全世界
交通管理ＤＸ技術に係るプロジェクト研究

ファイナルレポート

2025 年 2 月

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

株式会社 オリエンタルコンサルタンツグローバル
株式会社 交　通　総　合　研　究　所

社基
JR
25-023

全世界
交通管理ＤＸ技術に係るプロジェクト研究

ファイナルレポート

2025 年 2 月

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

株式会社 オリエンタルコンサルタンツグローバル
株式会社 交　通　総　合　研　究　所

目次

第 1 章　業務概要 1-1
1.1 業務の背景、目的、対象 1-1
1.2 本研究のスコープ 1-1
1.3 プロジェクト概要 1-2
1.3.1 業務全体の作業フロー 1-3
1.4 報告書の構成 1-4
1.5 本業務において情報収集した技術・制度政策に関する整理 1-4
1.6 報告書における調査行程および面談者 1-15
第 2 章　交通管理における先端技術の活用 2-1
2.1 概要 2-1
2.2 既存・先端技術に関する文献調査 2-2
2.2.1 Global Practices on Road Traffic Signal Control 2-2
2.2.2 Transportation Operations Manual (TOM) 2-5
2.3 最新の研究動向 2-8
2.3.1 交通センサー 2-8
2.3.2 信号制御・V2X・デジタルツイン 2-11
2.3.3 プローブデータ 2-15
2.3.4 渋滞予測 2-17
2.3.5 CDR データ 2-19
2.3.6 幾何構造（Alternative Intersections） 2-21
2.3.7 参考文献 2-26
2.4 各技術の概要 2-30
2.4.1 交通センサー 2-30
2.4.2 信号制御・V2X・デジタルツイン 2-32
2.4.3 プローブデータ 2-64
2.4.4 渋滞予測 2-73
2.4.5 CDR データ 2-76
2.4.6 幾何構造（Alternative Intersections） 2-83
2.4.7 参考文献 2-90
第 3 章　先進国における交通管理 3-1
3.1 各国基本情報 3-1
3.1.1 アメリカ合衆国 3-1
3.1.2 欧州連合（EU） 3-2
3.1.3 ドイツ 3-4
3.1.4 オーストラリアおよびニュージーランド 3-5
3.2 アメリカ調査 3-7
3.2.1 U.S.DOT、FHWA 3-7

3.2.2 Virginia DOT 3-25
3.2.3 Florida DOT（FDOT） 3-45
3.2.4 California DOT (Caltrans) 3-55
3.2.5 Washington DOT、Seattle DOT（WSDOT、SDOT） 3-84
3.3 ITS 世界会議 3-91
3.3.1 Data From Sky 3-91
3.3.2 Good Vision 3-95
3.3.3 TRANSCORE 3-97
3.3.4 ハンブルク市 3-99
3.3.5 Bast (ドイツ連邦道路研究所) 3-104
3.3.6 ERTICO（ITS Europe） 3-106
3.3.7 TISA (Traveller Information Services Association) 3-110
3.3.8 Continental AG 3-111
3.3.9 Q-Free 3-114
3.3.10 ST Engineering 3-119
3.3.11 Miovision 3-122
3.3.12 Kapsch 3-125
3.3.13 SWARCO 3-131
3.4 オランダ 3-134
3.4.1 MAPtm 3-134
3.4.2 TNO（オランダ応用科学研究機構） 3-138
3.4.3 CROW 3-142
3.4.4 NDW 3-144
3.4.5 Connekt (ITS Netherlands) 3-149
3.4.6 ユトレヒト市 3-150
3.4.7 デルフト工科大学 3-151
3.5 オーストリア 3-154
3.5.1 Austriatech 3-154
3.5.2 ASFiNAG 3-157
3.6 ドイツ 3-160
3.6.1 Yunex Traffic 3-160
3.6.2 TomTom 3-167
3.7 イタリア 3-173
3.7.1 Roma Servizi per la Mobilità (Rome Mobility Service) 3-173
3.7.2 PTV 3-180
3.8 スペイン 3-184
3.8.1 Celle30 3-184
3.8.2 Syntony 3-185
3.8.3 INDRA 3-188

第 4 章　途上国における交通管理 4-1
4.1 タイ王国 4-1
4.1.1 タイ王国概要 4-1
4.1.2 将来計画・政策 4-13
4.1.3 既存 ITS 設備の運用状況と課題 4-25
4.1.4 交通管理、ICT における関連プロジェクト 4-34
4.1.5 関連データの利活用状況 4-52
4.1.6 交通管理分野のニーズ 4-59
4.1.7 機材調達 4-59
4.1.8 維持管理 4-59
4.1.9 タイにおける交通管理分野の調査研究の課題、方向性 4-59
4.2 インドネシア共和国 4-65
4.2.1 ジャカルタの交通管理に関わる組織の管轄 4-65
4.2.2 インドネシア政府による機材調達（E-カタログ） 4-67
4.2.3 個人情報保護に関する法律（PDP 法） 4-69
4.2.4 JABODETABEK 交通マスタープラン（RITJ） 4-70
4.2.5 DKI ジャカルタ交通局　交通管制ユニット 4-73
4.2.6 DKI ジャカルタ交通局　ERP ユニット 4-79
4.2.7 ETLE（Electronic Traffic Law Enforcement；電子取り締まりシステム） 4-81
4.2.8 ITS Indonesia 4-81
4.2.9 PT Marktel 4-85
4.2.10 Roatex 4-86
第 5 章　タイにおけるプローブデータの活用検討 .....
第 6 章　国内における交通管理 DX 技術の取り組み 6-1
6.1 プローブデータを活用した信号パラメータ最適化 6-1
6.2 Bluetooth を活用した旅行時間情報提供 6-4
6.3 交通工学的見地に基づくシミュレーションソリューション 6-5
6.4 人流データを基にした交通解析 6-12
6.5 デジタルツインを活用した交通マネジメント 6-14
6.6 AI を活用した自律・分散型交通信号制御システムの開発と実証実験 6-15
6.7 SIP3 期スマートモビリティプラットフォーム 6-17
第 7 章　JICA 及び他援助機関による交通管理資機材供与での教訓 7-1
7.1 JICA による交通管理に関する資機材供与プロジェクト 7-1
7.1.1 JICA による交通管理に関する資機材供与プロジェクトの一覧 7-1
7.1.2 各プロジェクトでの課題・教訓 7-2
7.2 他援助機関による交通管理支援プロジェクト 7-13
7.2.1 世銀の支援による交通管理支援プロジェクト 7-13
7.2.2 ADB 支援による交通管理支援プロジェクト 7-15
7.3 機材調達に関する技術仕様 7-15
第 8 章　本邦や欧米企業による海外進出の事例および課題と解決の方向性 8-1

8.1 本邦企業の事例 8-1
8.1.1 JICA の民間普及連携事業からの事業展開の事例：ゼロ・サムによる交通情報ビジネス展開 8-1
8.1.2 JICA の技術協力プロジェクトからの事業展開の事例 8-4
8.1.3 現地政府資金を使った EPC 契約（Design Build）の事例：三菱重工 ERP2.0 の取り組み 8-5
8.1.4 交通データを活用した民間ビジネスの事例：村田製作所トラフィックカウンター 8-8
8.1.5 関連企業買収のシナジー発揮による海外展開の拡大の事例：キャノン 8-13
8.1.6 スタートアップ企業による海外展開の事例：LocationMind 8-14
8.2 欧米企業の事例（ビジネスモデル） 8-19
8.3 本邦企業の海外進出に向けた課題と解決の方向性 8-20
8.3.1 プロジェクトの種類ごとに異なる本邦企業が抱える課題 8-20
8.3.2 今後想定される「交通管理 DX 分野」プロジェクトへの参画に対する本邦企業の課題 8-22
8.3.3 海外進出への課題に対する解決の方向性 8-24
第 9 章 JICA の交通管理分野の取り組み方針に係る提言 9-1
9.1 交通管理 DX 技術の方向性 9-1
9.1.1 データ駆動型の交通管理 9-1
9.1.2 データを活用した交通管理施策の取り組み 9-4
9.1.3 制度・運用面での取り組み 9-5
9.2 交通管理へのプローブデータ活用の方向性 9-5
9.3 共有可能なモビリティデータの活用 9-6
9.3.1 共有可能なモビリティデータの種類 9-6
9.3.2 共有可能なモビリティデータの活用方法 9-6
9.3.3 データ活用における課題と解決の方向性 9-6
9.4 動的・能動的な交通制御の方法 9-8
9.4.1 動的・能動的な交通制御の方法 9-8
9.4.2 オープンソースシミュレーションの利用 9-8
9.5 途上国への有効な技術開発アプローチ 9-8
9.5.1 ローカライズされたソリューションの開発 9-8
9.5.2 現地リソース活用型の技術導入 9-9
9.5.3 シンプルな技術ソリューションの導入 9-9
9.5.4 途上国・新興国における官民プローブデータ活用の方向性 9-10
9.5.5 パイロットプロジェクトの活用 9-10
9.5.6 現地人材の能力開発 9-10
9.5.7 民間企業との連携による技術導入 9-11
9.5.8 持続可能な交通管理 DX のための資金調達スキーム 9-11
9.6 支援対象都市圏の選定における留意事項 9-12
9.6.1 費用対効果が高い地域の優先化 9-12
9.6.2 現地の協力体制の確認 9-13
9.6.3 既存交通インフラの再利用可能性 9-13
9.7 先進交通管理システムの開発に必要な調査研究内容 9-14
9.7.1 途上国・新興国における交通管理 DX の方向性 9-14

9.7.2　途上国・新興国で必要だと思われる交通管理 DX の技術開発 9-15
9.7.3　国際科学技術共同研究推進事業 9-17
Appendix 1 交通制御に関するガイドライン目次

図目次

図 1.2.1　本プロジェクト研究の交通管理 DX の対象範囲 1-2
図 1.3.1　本プロジェクトの実施フロー 1-3
図 2.2.1　Global Practices on Road Traffic Signal Control の表紙と章立て 2-2
図 2.2.2　全米における道路混雑の要因 2-7
図 2.3.1　LiDAR を利用した点群データからの車両検出の例 [1] 2-9
図 2.3.2　混合交通におけるリアルタイム速度観測のためのシステムアーキテクチャ [6] 2-10
図 2.3.3　カメラの映像を使った違反検出の例 [12] 2-11
図 2.3.4　中央制御（左）と自律分散制御（右）による交通管制システム [56] 2-13
図 2.3.5　ばねモデルを用いた信号制御法（左）と交通情報補間システムの開発（右） 2-13
図 2.3.6　V2X 下の交差点における分散型信号制御最適化のフロー[64] 2-15
図 2.3.7　Waze マップ（左：マップ全体図、右：アプリでの報告画面） 2-16
図 2.3.8　長期予測結果の一例 [43] 2-18
図 2.3.9　CDR ログの例 2-19
図 2.3.10　CDR データから抽出した軌跡の例 [16]（丸はデータ取得場所、矢印は時系列） 2-20
図 2.3.11　CSD データの概要 [18] 2-20
図 2.3.12　DLT のレイアウト 2-22
図 2.3.13　MUT（上：レイアウト、下：MUT における車両の代表的な挙動） 2-23
図 2.3.14　RCUT（上：レイアウト、下：RCUT における車両の代表的な挙動） 2-24
図 2.3.15　QRI のレイアウト 2-25
図 2.3.16　QRI の通行手順（左：東側からの左折、右：南側からの左折） 2-25
図 2.4.1　車両検知器の一例 2-30
図 2.4.2　FDOT の V2X データ交換プラットフォーム 2-32
図 2.4.3　V2X データ交換プラットフォームのフロー[24] 2-33
図 2.4.4　工事区間におけるデータのやりとりのイメージ 2-33
図 2.4.5　ドイツにおける信号解析 UI 例 48) 2-34
図 2.4.6　Signal Analytics ダッシュボード [48] 2-35
図 2.4.7　INRIX 社の概要 2-36
図 2.4.8　INRIX 社のサービスの主なデータソース 2-37
図 2.4.9　INRIX 社のモビリティプラットフォーム 2-37
図 2.4.10　INRIX 社の Signal Analytics 2-38
図 2.4.11　リアルタイムの信号データ解析①（交差点レベル） 2-38
図 2.4.12　リアルタイムの信号データ解析（細街路レベル） 2-39
図 2.4.13　Signal Analytics のプロジェクトの事例 2-39
図 2.4.14　Trips Analytics の概要 2-40
図 2.4.15　Safety View の概要 2-40
図 2.4.16　KIVI プロジェクトのプロセス図 [58][59] 2-41
図 2.4.17　導入されたセンサー（左）、サーマルカメラとレーザーによる車両検知（右）[60] 2-42
図 2.4.18　インゴル市の高精度テストフィールド 2-42

図 2.4.19　NoTraffic の検出システム [72] 2-44
図 2.4.20　NoTraffic のアルゴリズムのフロー[73] 2-44
図 2.4.21　NoTraffic プラットフォームによる赤信号無視の抑制効果 [72] 2-45
図 2.4.22　Green Light ダッシュボード [78] 2-47
図 2.4.23　Project Green Light 実施都市 [77] 2-47
図 2.4.24　デジタル交通管理センター[87] 2-50
図 2.4.25　PTV Optima のデータソース [108] 2-51
図 2.4.26　PTV Optima のワークフロー[101] 2-52
図 2.4.27　データプラットフォームによる信号現示モニタリングの例 [108] 2-52
図 2.4.28　ヨーク市の PTV Optima インターフェース [108] 2-53
図 2.4.29　EcoTrafix のインターフェース例 [93] 2-56
図 2.4.30　Abacus のインターフェース [98] 2-58
図 2.4.31　Cerberus のインターフェース [99] 2-58
図 2.4.32　Optimus のインターフェース [96] 2-59
図 2.4.33　Litmus のインターフェース [100] 2-59
図 2.4.34　Yutraffic Studio のインターフェース 2-60
図 2.4.35　道路利用者とクラウドとのデータのやり取り 2-61
図 2.4.36　MIB 公開ウェブサイト 2-63
図 2.4.37　Web アプリ Move 上のダッシュボード画面 2-66
図 2.4.38　住友電工 API サーバによる TomTom 渋滞データ活用の概要 2-67
図 2.4.39　Signal Trends のインターフェース [39] 2-70
図 2.4.40　ClearGuide Signal Trends のデザイン 2-71
図 2.4.41　ClearGuide Signal Trends の画面の例 [39] 2-71
図 2.4.42　ClearGuide で特定されたアラバマ州におけるボトルネックの例 [44] 2-72
図 2.4.43　「QTNN」による旅行速度・交通量・渋滞長の予測値と真値（3 地点） 2-74
図 2.4.44　Aimsun Live のワークフロー[45] 2-74
図 2.4.45　Aimsun Live とシンガポールの SCATS システムとの統合 [47] 2-75
図 2.4.46　シンガポールにおける Aimsun Live の意思決定支援 [47] 2-76
図 2.4.47　グリッドベースアルゴリズムの滞在地点抽出プロセス [20] 2-79
図 2.4.48　ポイントベースアルゴリズムを用いた滞在場所と通過エリアの推定結果 [20] 2-79
図 2.4.49　CDR, BHTS, MTS, NHTS における出発時刻分布 [21] 2-81
図 2.4.50　CDR データ分析パイプラインの全体像 2-81
図 2.4.51　CDR データに基づく時間帯別の滞在人口と時間帯別レコード数 2-82
図 2.4.52　州道 64 号線とインターステート・ハイウェイ 15 号線インターチェンジ（DDI） 2-84
図 2.4.53　州道 66 号線とインターステート・ハイウェイ 15 号線インターチェンジ（DDI） 2-84
図 2.4.54　DDI における交通の流れ 2-84
図 2.4.55　従来型 IC と DDI における輻輳点の比較 2-85
図 2.4.56　ロサンゼルスのバトンルージュにある partial DLT 交差点の左折交差点 2-86
図 2.4.57　ミシガン州の MUT[118] 2-87
図 2.4.58　RCUT の実際の導入例 2-87

図 2.4.59　オハイオ州フェアフィールド、Dixie Highway と Ross Road[119)] 2-88
図 3.1.1　EU-ICIP ガイドの画面 3-4
図 3.2.1　Turner-Fairbank Highway Research Center の対象と研究室 3-8
図 3.2.2　Office of Safety and Operations Research and Development のミッションとアプローチ 3-9
図 3.2.3　Office of Safety and Operations Research and Development の研究対象分野 3-9
図 3.2.4　VOICES System Integration Test の様子 3-11
図 3.2.5　Intersection Safety Challenge の Vision 3-13
図 3.2.6　Intersection Safety Challenge での課題認識と募集した提案 3-13
図 3.2.7　Intersection Safety Challenge の第 1 段階の選定者 3-14
図 3.2.8　TFHRC の敷地内にある交差点テストコースとシナリオデータ取得 3-14
図 3.2.9　TFHRC の敷地内にある各種センサーを搭載したスマートポール 3-15
図 3.2.10　Automation Program の概要と Sun Trax での協調型自動運転テスト走行 3-15
図 3.2.11　協調型自動運転下での先進信号制御最適化の実験 3-16
図 3.2.12　協調型自動運転の工事規制や合流支援のテスト 3-16
図 3.2.13　Saving Lives with Connectivity: A Plan to Accelerate V2X Deployment 3-18
図 3.2.14　V2X 展開のロードマップ 3-18
図 3.2.15　V2X の研究開発ための準拠マップの公開サイト 3-19
図 3.2.16　CAV の研究のために開発されたテレマティクスツール 3-19
図 3.2.17　CAVe-in-a-Box の貸し出しプログラム 3-19
図 3.2.18　ITS の開発・展開する資金提供プログラム 3-20
図 3.2.19　Accelerating V2X Cohort に参加している州 3-21
図 3.2.20　ITS Benefits and Costs Map 3-22
図 3.2.21　VDOT における州内の District 区分 3-26
図 3.2.22　VDOT における組織図 3-27
図 3.2.23　VDOT の資金源の内訳 3-28
図 3.2.24　Regional Multi-Modal Mobility Program（RM3P） 3-29
図 3.2.25　Dara-Exchange Platform (DEP) for RM3P 3-30
図 3.2.26　Artificial Intelligence-Based Decision Support System(AI-DSS) for RM3P 3-31
図 3.2.27　AI-DSS プロジェクトの組織図 3-32
図 3.2.28　Dynamic Incentivization System (DI) for RM3P 3-32
図 3.2.29　Haas Alert （左：車載器／右：工事箇所等の表示画面） 3-34
図 3.2.30　VDOT における交通運用のためのミッション 3-35
図 3.2.31　VDOT における交通運用のための目標と戦略 3-36
図 3.2.32　McConnell Public Safety and Transportation Operations Center 3-36
図 3.2.33　Safety Service Patrol Unit のサービストラック 3-38
図 3.2.34　ATIS の全体構成 3-38
図 3.2.35　511 モバイルの HMI 3-39
図 3.2.36　Incident Responder App の HMI 3-40
図 3.2.37　Smarter Roads ポータルサイト 3-41
図 3.2.38　提供されているデータセットと更新頻度 3-41

図 3.2.39 Drivewyze 3-42
図 3.2.40 KITS の画面イメージ 3-43
図 3.2.41 FDOT District 5 の組織図 3-46
図 3.2.42 Bluetooth センサー設置位置と旅行速度 3-47
図 3.2.43 高周波レーダー（Wavetronix Smart Sensor HD） 3-48
図 3.2.44 CCTV＋画像解析による交差点方向別交通量計測とヒヤリハットヒートマップ 3-49
図 3.2.45 ATSPM チャート（Parsons 社） 3-50
図 3.2.46 SunGuide のトップ画面 3-51
図 3.2.47 Event Management 内のイベント一覧 3-53
図 3.2.48 California 州の概要と Caltrans Bay Area の概要 3-55
図 3.2.49 Caltrans Bay Area の予算内訳（上全体）と建設関連事業（下 2023/2024） 3-56
図 3.2.50 Caltrans District4 の交通管理施策（緑は既往、赤は検討中） 3-59
図 3.2.51 Caltrans District4 の Transportation System Management ＆Operation の考え方 3-59
図 3.2.52 Caltrans District4 の交通運用に関する作業負荷 3-60
図 3.2.53 Caltrans District4 の課題 3-61
図 3.2.54 Caltrans District4 のシステム運用部門の組織図 3-61
図 3.2.55 ベイエリアの交通特性 3-62
図 3.2.56 ベイエリアの交通ボトルネック箇所 3-62
図 3.2.57 COVID-19 前後の交通変化 3-63
図 3.2.58 TMS におけるパフォーマンス指標 3-63
図 3.2.59 モビリティハブの展開 3-64
図 3.2.60 Innovate 869 Project の概要 3-65
図 3.2.61 Innovate 869 Project で導入を予定している機材 3-66
図 3.2.62 Innovate 869 Project で導入を予定しているランプメーターの位置 3-67
図 3.2.63 ベイエリアの光ファイバー建設プロジェクトの概要 3-68
図 3.2.64 AI を活用したパイロットプロジェクト 3-68
図 3.2.65 運用部門の稼働中のプロジェクト 3-69
図 3.2.66 Caltrans の TMC とパトロールの配置 3-70
図 3.2.67 ATC の制御器とランプメータリングに使われるループ式の車両感知器の模型 3-71
図 3.2.68 I-80 号線の ATMS を使ったコリドーマネジメント 3-72
図 3.2.69 システム管理部門の組織図 3-73
図 3.2.70 カリフォルニアの車線管理 3-74
図 3.2.71 カリフォルニア州の HOV レーン管理 3-74
図 3.2.72 カリフォルニア州の車線管理の統一 3-75
図 3.2.73 州道 37 号線プロジェクト 3-75
図 3.2.74 システム管理部門の稼働中のプロジェクト 3-76
図 3.2.75 Complete Street の導入 3-77
図 3.2.76 ラウンドアバウトの導入 3-77
図 3.2.77 高速道路の有料化の 3 つの提案 3-78
図 3.2.78 Flow Labs のプラットフォーム 3-79

図 3.2.79　プローブ情報を活用した路側のセンサー等のインフラに依存しないアプロ―チ 3-80
図 3.2.80　Flow Labs の主な 4 つのユースケース 3-80
図 3.2.81　Flow Labs の交通信号管理のソリューション 3-81
図 3.2.82　Flow Labs の道路交通安全管理のソリューション 3-82
図 3.2.83　Flow Labs のモビリティ管理のソリューション 3-82
図 3.2.84　Flow Labs の環境影響管理のソリューション 3-83
図 3.2.85　I-5 エクスプレスレーン（リバーシブルレーン）のランプ位置と写真 3-84
図 3.2.86　I-5 エクスプレスレーン（リバーシブルレーン）の可変ランプ 3-85
図 3.2.87　HOV・Toll レーンと Flex Pass（RFID） 3-85
図 3.2.88　可変情報版（上：テキスト、中：車線規制・指示、下：管制画面） 3-86
図 3.2.89　ランプメータリング 3-87
図 3.2.90　適応型信号（SCOOT）を導入した Mercer St.コリドー 3-88
図 3.2.91　I-5 速度超過自動取締のプロセス（2022 年時点予定） 3-90
図 3.3.1　Traffic Survey の料金体系 3-93
図 3.3.2　交通安全の指標（左）と個車のデータ（速度、加速度等）（右） 3-93
図 3.3.3　交通安全の指標（左）と解析のためのインターフェース 3-94
図 3.3.4　GoodVision Video Insights の料金体系 3-96
図 3.3.5　Adaptive Traffic Management System （左）及び TransSuite（右）の顧客マップ 3-97
図 3.3.6　TransSuite® の交通制御システム（TCS） 3-98
図 3.3.7　TRANSCORE 社の ETC 製品 3-99
図 3.3.8　ハンブルク市のジオポータブル（鉄道及びバス路線） 3-100
図 3.3.9　ハンブルク市のジオポータブル（信号データ） 3-100
図 3.3.10　ハンブルク市の 9 つの開発パスと 70 の稼働プロジェクト 3-101
図 3.3.11　ハンブルク市の C-ITS を使った取り組みのイメージ 3-102
図 3.3.12　ハンブルク市の Mobility Operating System による交通管理 3-103
図 3.3.13　C-Roads プロジェクトのユースケース 3-105
図 3.3.14　ERTICO の TM2.0 のミッション 3-107
図 3.3.15　ERTICO の TM2.0 のメンバー 3-107
図 3.3.16　TPEG サービスを適用している企業が所属する国 3-110
図 3.3.17　EETS 準拠の On-Board-Unit 3-111
図 3.3.18　V2X 通信を用いた工事規制の先読み情報配信のイメージ 3-112
図 3.3.19　Volkswagen 社の車両において V2X 通信を利用する際に表示されるオプトイン表示 3-113
図 3.3.20　Q-Free の提供する On-Board-Unit(OBU)と Road-Side-Unit(RSU) 3-115
図 3.3.21　Q-Free の提供する交通信号システムの信号制御盤（左）と信号制御ソフトの UI（右） 3-116
図 3.3.22　Q-Free 社の ANPR が対応可能な国・地域 3-116
図 3.3.23　ANPR の可視化のユーザーインターフェース 3-116
図 3.3.24　ITS-G5 準拠の V2X 通信の OBU と RSU 3-117
図 3.3.25　Intelligent Traffic Management Centre – Al Barsha 3-120
図 3.3.26　TransCore の買収によりスマートシティ事業の成長を促進 3-121
図 3.3.27　TransCore の強みと ST Engineering のアセアンでの存在感によるシナジー創造 3-122

図 3.3.28　ポール一体型の交通状況調査システムである Miovision Scout Plus 3-124
図 3.3.29　I-77 における Express Lane でのダイナミック課金システムの構成と整備効果..... 3-127
図 3.3.30　Kapsch EcoTrafiX のインターフェース例..... 3-129
図 3.3.31　ソーラー給電型の ETC 用車載器（OBU）..... 3-129
図 3.3.32　SWARCO My City のインターフェースのイメージ..... 3-132
図 3.4.1　MAPtm の運営する交通管理センター..... 3-134
図 3.4.2　自動運転車の ODD の制限..... 3-135
図 3.4.3　Traffic Management®の概念図..... 3-136
図 3.4.4　アムステルダム南環状線の工事による道路閉鎖の際の旅行アドバイスの実証..... 3-137
図 3.4.5　Urban Strategy が現在取り扱っている分析範囲..... 3-139
図 3.4.6　Urban Strategy のアムステルダムでの活用事例..... 3-140
図 3.4.7　Urban Strategy のサンディエゴでの活用事例..... 3-140
図 3.4.8　Urban Strategy のシンガポールでの活用事例..... 3-141
図 3.4.9　CROW の書籍（再下段右を除き Web 非公開）..... 3-143
図 3.4.10　RTTI データの種類..... 3-143
図 3.4.11　NDW オープンデータポータル..... 3-145
図 3.4.12　UDAP を介した道路管理者と道路利用者の通信..... 3-146
図 3.4.13　ROMO プロジェクト..... 3-147
図 3.4.14　TISA の 5 Star Vehicle Safety Rating のイメージ..... 3-148
図 3.4.15　Connekt のパートナー..... 3-149
図 3.4.16　Connekt の活動分野..... 3-149
図 3.4.17　ユトレヒト市での道路空間再配分..... 3-150
図 3.4.18　レーダーセンサーのデータ..... 3-151
図 3.4.19　XR 技術の研究への活用事例..... 3-152
図 3.4.20　XCARCITY のアプローチ..... 3-153
図 3.5.1　EU 回廊における交通管理（左）／交通データの標準化（右）..... 3-154
図 3.5.2　リアルタイム交通データの共有プラットフォーム..... 3-155
図 3.5.3　C-ITS を実現するための C-Roads プラットフォーム..... 3-156
図 3.5.4　C-Roads による道路工事や突発事象情報の提供や交通信号連動の取り組み..... 3-156
図 3.5.5　道路工事に関連した交通事故と対策としての移動式 VMS や車両搭載型の VMS..... 3-157
図 3.5.6　C-Roads による道路工事や突発事象情報の提供や交通信号連動の取り組み..... 3-157
図 3.5.7　C-Roads による道路工事や突発事象情報の提供や交通信号連動の取り組み..... 3-158
図 3.5.8　C-ITS 搭載車両による情報提供（左）／ハイブリッド型 C-ITS による相互運用性（右）. 3-158
図 3.5.9　C-ITS 搭載車両と Euro-NCAP への展開..... 3-158
図 3.5.10　C-ITS 搭載車両と Euro-NCAP への展開..... 3-159
図 3.6.1　Symphony のレイヤーと対応プロトコル..... 3-162
図 3.6.2　Symphony の画面イメージ..... 3-164
図 3.6.3　Yutraffic Fusion のイメージ..... 3-165
図 3.6.4　TomTom の将来ビジョン..... 3-167
図 3.6.5　TomTom Incidents 概要..... 3-168

図 3.6.6　TomTom のカメラベース SDO 技術イメージ 3-169
図 3.6.7　TomTom のリアルタイム車線別速度データ（バックデータ） 3-170
図 3.6.8　TomTom Orbis Maps の構成 3-171
図 3.7.1　Rome の承認された SUMP の概要 3-174
図 3.7.2　スマートバスシェルター 3-174
図 3.7.3　マルチトランスポートハブ 3-175
図 3.7.4　BikeBox とマイクロモビリティ 3-175
図 3.7.5　MaaS プラットフォーム 3-175
図 3.7.6　ローマ市の交通需要管理の 6 つのゾーン 3-176
図 3.7.7　ローマモビリティセンターのモニター 3-178
図 3.7.8　ローマモビリティセンターで実施している交通管理 3-179
図 3.7.9　Optima のレイヤ表示（交通状況、交通量、イベント） 3-180
図 3.7.10　ヨーク市の STEP プロジェクト 3-181
図 3.7.11　Optima による通行止めシナリオ評価 3-182
図 3.7.12　Optima が導入された主要な都市・都市圏 3-183
図 3.8.1　M-30 地下化事業 3-184
図 3.8.2　M-30 地下化前後での地上部景観の比較 3-184
図 3.8.3　M-30 モニタリングセンター 3-185
図 3.8.4　Subwave による測位のイメージ図 3-186
図 3.8.5　Subwave による測位情報提供の種類 3-186
図 3.8.6　M-30 トンネル内での測位の状況 3-187
図 3.8.7　M-30 モニタリングセンター 3-188
図 3.8.8　Indra 社の従業員数や売上など（左）と売上に占める各分野の割合（右） 3-189
図 3.8.9　世界各国における Indra 社の料金収受プロジェクトの例（一部） 3-189
図 3.8.10　Free Flow 料金収受のプロセス 3-190
図 3.8.11　LiDAR や画像解析による車両検知／車軸検知の例 3-190
図 3.8.12　AI 技術を活用した画像解析による車両検知・ナンバープレート読取など 3-191
図 3.8.13　一般車線から HOV／HOT Lanes：車線管理の発展段階 3-192
図 3.8.14　HOV／HOT でのダイナミック課金の考え方の例 3-192
図 3.8.15　HOV／HOT Lane での取締り技術例（左）と HOV／HOT でのダイナミック課金（右） 3-192
図 3.8.16　違反取締り支援システムの導入都市例 3-193
図 3.8.17　施設管理システムの HMI 例（左）／交通管理システムの HMI 例（右） 3-193
図 3.8.18　米国・欧州双方の標準規格への準拠と新たな方式への対応 3-194
図 3.8.19　Indra 社の参画する米国・スペインでの V2X プロジェクト 3-194
図 3.8.20　各国での拠点と地域別の従業員数と売上高（2023 年） 3-195
図 4.1.1　タイおよびバンコクの地図 4-1
図 4.1.2　バンコク都の交通渋滞状況 4-4
図 4.1.3　バンコクの現在の鉄道網と将来の路線 4-5
図 4.1.4　BMA 組織図 4-6
図 4.1.5　BMA 交通運輸局の組織図 4-7

図 4.1.6　DOH の組織図 4-9
図 4.1.7　DLT の組織図 4-9
図 4.1.8　OTP の組織図 4-10
図 4.1.9　タイにおける運輸開発戦略（2018-2037）の 3 つの目標 4-13
図 4.1.10　20-year Bangkok Development Plan 2018-2037 における 7 つの戦略 4-15
図 4.1.11　バンコク首都圏総合開発計画マップの比較（左：第 3 次、右：第 4 次） 4-16
図 4.1.12　M-MAP2 における鉄道ネットワーク 4-17
図 4.1.13　Master Plan of the Intercity Motorways (2017-2036) 4-18
図 4.1.14　TDM マスタープランのタイムライン 4-20
図 4.1.15　ITS マスタープラン（2018-2027）のコンセプト 4-22
図 4.1.16　ITS マスタープランのタイムライン（タイ全国） 4-22
図 4.1.17　ITS マスタープランのコンセプト（バンコク首都圏） 4-23
図 4.1.18　ITS マスタープランのタイムライン（バンコク首都圏） 4-24
図 4.1.19　タイにおける NDC とその内訳 4-25
図 4.1.20　既存の信号制御器 4-25
図 4.1.21　バンコクの信号配置図 4-26
図 4.1.22　BMA の CCTV カメラ配置図 4-27
図 4.1.23　画像式車両感知器 4-28
図 4.1.24　パイロット事業で導入された信号及び車両感知器の位置図 4-29
図 4.1.25　CCTV AI の設置場所とカメラの映像 4-30
図 4.1.26　NDRS（上：センサー映像、下：管理画面） 4-31
図 4.1.27　Rama IV 通り周辺の Bluetooth 検知ビーコンの位置 4-32
図 4.1.28　Signal Control Sensor の位置 4-32
図 4.1.29　PPP による VMS での交通情報提供 4-33
図 4.1.30　マルチフリフローレーン（M-Flow） 4-34
図 4.1.31　CCTV データと GPS の統合に関するシステムアーキテクチャ 4-36
図 4.1.32　プロジェクトで開発した交通管理ダッシュボード 4-36
図 4.1.33　Highway Traffic Operation Center 4-37
図 4.1.34　HTOC の交通監視システム TS 4-37
図 4.1.35　HTOC の旅行時間予測システム TT 4-38
図 4.1.36　HTOC の高度旅行者情報システム ATIS 4-38
図 4.1.37　HTOC の気象監視システム WMS（左：センサー、右：モニタリング画面） 4-39
図 4.1.38　HTOC の適応型交通信号制御システム管理画面及び魚眼カメラ＋Lidar の例 4-39
図 4.1.39　適応型交通信号制御システムに使用する魚眼カメラの例 4-40
図 4.1.40　可変速度制限表示 4-40
図 4.1.41　スマート横断歩道（上：導入状況、下：管理画面） 4-41
図 4.1.42　HTOC の車線管理システム LMS（上：導入状況、下：管理画面） 4-42
図 4.1.43　HTOC の速度取り締まりシステム SP（上：導入状況、下管理画面） 4-42
図 4.1.44　HTOC の車線・スピード取り締まりシステム 4-43
図 4.1.45　デジタルツイン技術を活用した信号制御、取締りシステム 4-43

図 4.1.46　Rama IV プロジェクトで提案された Friction Points を示すダッシュボード 4-47
図 4.1.47　グリッドロック時の所要時間 4-47
図 4.1.48　Rama IV モデルにおける渋滞ダッシュボード 4-48
図 4.1.49　SATREPS Thailand4.0 を実現するスマート交通戦略の成果目標シート 4-49
図 4.1.50　提案された Thailand4.0 を実現するスマート交通戦略 4-50
図 4.1.51　プロトタイプモデルによる 30 分後の渋滞予測 4-50
図 4.1.52　降雨による自動車交通及び渋滞への影響分析 4-51
図 4.1.53　iTIC が提供する交通情報 4-53
図 4.1.54　iTEC の交通情報生成配信の仕組み 4-54
図 4.1.55　iTIC にデータを提供している GPS サービスプロバイダー 4-54
図 4.1.56　DLT GPS の管理画面 4-55
図 4.1.57　Viabus の画面 4-55
図 4.1.58　TTMI プローブデータのカバレッジ 4-57
図 4.1.59　各キャリアのカバレッジ 4-58
図 4.2.1　DKI ジャカルタ交通局組織図 4-66
図 4.2.2　E-カタログの例（ISSD 社の CCTV カメラ） 4-68
図 4.2.3　RITJ をベースとした将来公共交通路線網整備計画 4-71
図 4.2.4　RITJ をベースとした将来有料道路網整備計画 4-72
図 4.2.5　交通管制センター室 4-73
図 4.2.6　DKI ジャカルタ内の信号機設置か所数 4-73
図 4.2.7　DKI ジャカルタが運用する信号機の設置地点マップ 4-74
図 4.2.8　SCATS 画面（左）と ITCS 画面（右） 4-75
図 4.2.9　ITCS 交差点に設置されたカメラ（上）と上流 100m に設置されたカメラ（下） 4-76
図 4.2.10　ITCS 交差点で ISSD 社製カメラから収集されるデータ 4-77
図 4.2.11　JAKI アプリ内の報告機能 4-77
図 4.2.12　Google Green Light Project 実施地点 4-78
図 4.2.13　PL2SE の課金プロセス 4-79
図 4.2.14　ITS Indonesia が示す枠組み 4-82
図 4.2.15　ヌサンタラ州における ITS グランドデザイン 4-83
図 4.2.16　CANTAS アプリ 4-86
図 4.2.17　Roatex の MLFF システムにおける MCU (Mobile Control Unit) 4-87
図 6.1.1　プローブデータのサンプル率 6-1
図 6.1.2　交差点での遅れ時間の実地観測値とプローブ観測値の相関の例 6-2
図 6.1.3　シミュレーション評価システム 6-2
図 6.1.4　スプリット調節制御 6-3
図 6.2.1　Bluetooth センサーによる旅行時間計測のイメージ 6-4
図 6.2.2　Bluetooth センサーの設置事例 6-5
図 6.3.1　ナウキャストシミュレーションのロジック 6-6
図 6.3.2　2016 年 1 月関東地方大雪時の東京トラフィックスコープ 6-6
図 6.3.3　総務省 SCOPE プロジェクトの概要 6-7

図 6.3.4　予測情報共有型時空間リソース有効活用技術の研究開発フレームワーク 6-8
図 6.3.5　エージェントシミュレーションモデル＋ミクロ人流シミュレーション 6-8
図 6.3.6　SOUND を活用した東京オリンピック・パラリンピックの交通影響分析 6-9
図 6.3.7　交通シミュレーションと CO2 排出量モデルの連携 6-10
図 6.3.8　メソモデルで運転挙動の変化を考慮するための手法 6-11
図 6.4.1　LocationMind xPoP で提供されるデータ例 6-12
図 6.4.2　xPOP のダッシュボードを活用したリアルタイム人流データの収集と解析の事例 6-13
図 6.4.3　LocationMind xPOP のプロフェッショナルデータサービス 6-14
図 6.5.1　日々の傾向や様々な変動に対応できる交通流シミュレーションの構想 6-15
図 6.6.1　事業概要と AI 交通信号機の設置状況 6-16
図 6.6.2　AI による渋滞状況の予測（上）と車両検知センサー削減効果イメージ（下） 6-16
図 6.7.1　スマートモビリティプラットフォームの構築の 5 つの視点 6-17
図 6.7.2　モビリティ指向型都市の実現の概念図 6-19
図 6.7.3　分散連邦型データ連携基盤「Japan Mobility Data Space」の構築の概念図 6-20
図 6.7.4　地理空間情報と全国擬似人流データによるモビリティ社会実験デジタルツイン 6-21
図 6.7.5　研究開発の全体概要 6-22
図 6.7.6　サブテーマ 1「低コストな定周期信号機の信号情報生成技術の研究開発」の概要 6-22
図 7.1.1　対象交差点位置図 7-7
図 7.1.2　信号機手動操作のインターフェース 7-8
図 7.1.3　パイロットプロジェクトで導入した ATC システム構成図 7-9
図 7.1.4　TCC スタッフによる主要な活動の割合（左）と年次別の頻度（右） 7-12
図 7.3.1　Traffic Management during Construction における基準の記載 7-15
図 8.1.1　アーメダバード市での交通情報配信システムの実証実験の様子（2014 年） 8-2
図 8.1.2　アーメダバード市での V2X 実証実験の様子（2019 年） 8-2
図 8.1.3　カンパラ市交通管制センターの完成予想図 8-4
図 8.1.4　ERP2.0 のシステム概要 8-6
図 8.1.5　ERP2.0 の On Board Unit 8-6
図 8.1.6　村田製作所のトラフィックカウンタシステムの概要 8-9
図 8.1.7　ジャカルタ政府への提供しているダッシュボード 8-10
図 8.1.8　Crossboarder Co-BuzDev Platform 8-11
図 8.1.9　IIJ との共同による国境を超えた市場拡大のプラットフォーム 8-12
図 8.1.10　キャノンのグループ拡大の変遷 8-13
図 8.1.11　キャノンのグループ会社の製品の監視カメラソリューションの活用イメージ 8-14
図 8.1.12　LocationMind 社のサービス領域 8-15
図 8.1.13　ジャカルタでのオンライン交通ダッシュボードの実装 8-17
図 8.1.14　PIVE ツールのコンセプト 8-17
図 8.1.15　PIVE ツールの機能 8-18
図 9.1.1　本プロジェクト研究のアウトカムイメージ 9-1

表目次

表 1.3.1　プロジェクト概要 1-2
表 1.5.1　本業務において情報収集した交通管理 DX に関連する技術・ 製品の整理 1-6
表 1.5.2　本業務において情報収集した交通管理 DX に関連する政策・制度・契約の整理 1-9
表 1.5.3　途上国での交通管理 DX 展開にむけた提言 1-11
表 1.5.4　欧米や本邦企業による海外展開のグッドプラクティスの事例 1-14
表 1.6.1　ITS America 行程およびヒアリング相手 1-15
表 1.6.2　米国調査行程およびヒアリング相手 1-16
表 1.6.3　欧州調査行程およびヒアリング相手 1-16
表 1.6.4　第 1 回タイ調査行程およびヒアリング相手 1-17
表 1.6.5　第 2 回タイ調査行程およびヒアリング相手 1-18
表 1.6.6　インドネシア調査行程およびヒアリング相手 1-18
表 2.1.1　先進国の交通管理分野における先端技術 2-1
表 2.1.2　調査した文献リスト 2-2
表 2.2.1　各国の固定時間制御、感応式制御、適応制御の比率 2-3
表 2.2.2　各国の信号制御器メーカーと制御システム 2-4
表 2.2.3　TSMO で対象とする問題と施策 2-7
表 2.3.1　各種センサーによる検出の比較 2-11
表 2.3.2　CDR と CSD の比較 2-21
表 2.4.1　実装されている交通センサーに係る文献調査結果 2-31
表 2.4.2　公開されている MIB の例 2-62
表 2.4.3　TomTom の提供する主な交通情報の種類と概要 2-65
表 2.4.4　ClearGuide の各モジュールの比較 2-69
表 2.4.5　CDR の強みと弱み [19] 2-77
表 2.4.6　CDR と調査データの特徴 [19] 2-77
表 2.4.7　さまざまな位置情報ベースのデータの特性 [19] 2-78
表 3.1.1　米国の主な制御機の標準 3-1
表 3.2.1　U.S.DOT と FHWA の役割分担 3-7
表 3.2.2　Safety and Operation Research and Development の各 Team の研究内容 3-10
表 3.2.3　FDOT の 6 つの戦略的プログラム 3-45
表 3.2.4　LiDAR・高周波レーダー・マイクロ波レーダーの特徴 3-48
表 3.2.5　SunGuide の機能一覧 3-52
表 3.2.6　予算内訳の凡例の内容 3-57
表 3.3.1　Data From Sky が提供する製品・サービス 3-91
表 3.3.2　Good Vision が提供する製品・サービス 3-95
表 3.3.3　ERTICO の TM2.0 の稼働中のタスクフォース 3-108
表 3.3.4　ST Engineering が提供する分野別のサービスの種類 3-119
表 3.3.5　Kapsch TrafficCom が提供するソリューションの例 3-126
表 3.3.6　SWARCO が提供する技術サービス 3-131

表 3.3.7　My City プラットフォームの 12 のモジュール 3-131
表 3.4.1　CROW の出版物一覧（交通に関連するもののみ抜粋） 3-142
表 3.6.1　Symphony のモジュールとその機能 3-163
表 3.7.1　各ゾーンの交通需要管理施策 3-177
表 4.1.1　概要及び主要指標 4-2
表 4.1.2　タイにおける道路種別 4-3
表 4.1.3　平均旅行速度の推移及び将来予測値 4-4
表 4.1.4 バンコクにおける現状の鉄道網 4-5
表 4.1.5　MOT 傘下の機関 4-8
表 4.1.6　バンコク首都圏総合開発計画マップの凡例 4-16
表 4.1.7　M-MAP2 における新規・延長路線 4-17
表 4.1.8　TDM マスタープランのフェーズごとの内容 4-19
表 4.1.9　TDM マスタープランのプロジェクト一覧 4-20
表 4.1.10　ITS マスタープランの 6 つの戦略 4-23
表 4.1.11　サトーン・モデルでのパーク&ライド実装における戦略的ゾーン 4-44
表 4.1.12　サトーン・モデルにおける利用データとその情報源 4-45
表 4.1.13　サトーン・モデルと同様の施策実施時における費用の予想 4-45
表 4.1.14　Rama IV モデルで利用されたデータ一覧 4-46
表 4.1.15　BMA による公開データの一覧 4-52
表 4.1.16　DLT の保有する GPS データの概要（車種別） 4-56
表 4.1.17　バンコクで利用可能なデータ一覧 4-61
表 4.2.1　ERP 導入に向けた課題と対応策 4-80
表 4.2.2　ITS 向け周波数帯および使用用途の一覧 4-84
表 7.1.1　JICA による交通管理に関する資機材供与プロジェクト一覧 7-1
表 7.1.2　ヒアリングを実施した JICA プロジェクトの特徴 7-2
表 8.1.1　LocationMind 社の海外実績一覧（交通ビッグデータ分析分） 8-16
表 8.3.1　交通管理 DX 分野のプロジェクトに対する本邦企業の海外進出に向けた課題 8-23
表 9.1.1　各組織のデータプラットフォームの保有機能の比較 9-4

略語表

略語	英語、元言語	日本語
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials	米国全州道路交通運輸行政官協会
AFD	Agence Française de Développement	フランス開発庁
AGTM	Australian Guidelines for Traffic Management	オーストラリア交通管理ガイドライン
AI	Artificial Intelligence	人工知能
AI-DSS	Artificial Intelligence-Based Decision Support System	人工知能型意思決定支援システム（米国、バージニア州）
AIIR	Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report	Alternative Intersections のレポート
AIS	Advanced Info Service Public Co., Ltd.	タイの携帯電話事業者
ANPR	Automatic Number Plate Recognition	自動ナンバープレート認識
AOG	Arrival on Green	信号のある交差点を停止せずに通過する車両台数
API	Application Programming Interface	アプリケーション・プログラミング・インタフェース
ARL	Airport Rail Link	エアポートレールリンク（タイ）
ARRB	Australian Road Research Board	オーストラリア道路研究委員会
AS	Australian Standards	オーストラリア規格
ASFiNAG	Österreichische Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft	オーストリア高速道路会社
ATC	Adaptive Traffic Control	適応交通制御
ATC	Area Traffic Control	面的交通制御
ATC	Advanced Transportation Controller	高度交通制御機
ATIS	Advanced Traveler Information Systems	高度交通情報システム（米国バージニア州）
ATDM	Active Traffic and Demand Management	アクティブ交通と需要管理（米国、ワシントン州）
ATMS	Advanced Traffic Management System	高度交通管理システム
ATRANS	Asian Transportation Research Society	アジア交通研究協会
ATSPM	Automated Traffic Signal Performance Measures	自動信号パフォーマンス測定（米国）
BATCP	Bangkok Area Traffic Control Project	バンコク都渋滞改善プロジェクト
BHTS	Boston Household Travel Survey	ボストン世帯旅行調査（米国）
BIMS	Bus Information Management System	バス情報管理システム
BIOTEC	National Center for Genetic Engineering and Biotechnology	国家遺伝子工学・生物科学センター（タイ）
BMA	Bangkok Metropolitan Administration	バンコク都庁
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr	デジタル・交通連邦省（ドイツ）
BMTA	Bangkok Mass Transit Authority	バンコク大量輸送公社
BPJT	Badan Pengatur Jalan Tol	有料道路庁（インドネシア）
BRT	Bus Rapid Transit	バス高速輸送システム
BSC	Base Station Controller	基地局コントローラ
BTS	Bangkok Mass Transit System	バンコク交通公社（タイ）
Caltrans	California Department of Transportation	カリフォルニア州交通局（米国）

略語	英語、元言語	日本語
CARM	Coordinated Adaptive Ramp Metering	系統高度ランプメーターリング
CATS	Coordinated Adaptive Traffic Signals	系統感応型信号機
CATT Lab	Center for Advanced Transportation Technology Laboratory	先進交通技術研究所（米国）
CAV	Connected and Automated Vehicle	インターネット接続と自動運転技術を活用した車両の総称
CBD	Central Business District	中心業務地区
CCAM	Connected, Cooperative & Automated Mobility	接続・協調・自動化モビリティ
CCTV	Closed-circuit Television	監視カメラ
CDA	Cooperative Driving Automation	協調自動運転
CDR	Call Detail Record	携帯電話位置情報データ
CEN	Comité Européen de Normalisation	欧州標準化委員会
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique	欧州電気標準化委員会
CFI	Continuous Flow Intersection	連続流交差点　※DLT と同一のものを指す
CHP	California Highway Patrol	カリフォルニア州ハイウェイパトロール
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport Systems	協調型高度道路交通システム
CMF	Crash Modification Factor	衝突修正係数
CNN	Convolutional Neural Network	畳み込みニューラルネットワーク
CPIS	Commuter Parking Information System	通勤用駐車場情報システム（米国、バージニア州）
C-Roads	Connected Roads	欧州の ITS に係る多国間連携プロジェクト
CROW	Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Weg- en Waterbouw	オランダの交通・都市計画に関する研究機関
CSD	Cellular Signaling Data	携帯端末信号データ
CSR	Corporate Social Responsibility	企業の社会的責任
CTIC	Connected Transportation Interoperability Committee	コネクテッド交通相互運用委員会（米国）
CTPP	Census Transportation Planning Products	センサス交通計画（米国）
CU	Chulalongkorn University	チュラロンコン大学（タイ）
C-V2X	Cellular Vehicle-to-Everything	セルラーを使った車車間・路車間通信
CWZS	Connected Work Zone Standard	路上工事に関する情報を共有するための標準規格
DDI	Diverging Diamond Interchange	ダイバージングダイヤモンドインターチェンジ
DEP	Data-Exchange Platform	データ交換プラットフォーム（米国、バージニア州）
DI	Dynamic Incentivization System	動的インセンティブシステム（米国、バージニア州）
Dishub	Dinas Perhubungan	運輸局（インドネシア）
DKI	Daerah Khusus Ibukota	ジャカルタ特別首都州（インドネシア）
DLT	Department of Land Transport	陸運局（タイ）
DLT	Displaced Left Turn	左折車線移動交差点　※CFI と同一のものを指す
DMS	Dynamic Message Sign	可変情報版
DOE	Department of Energy	米国エネルギー省

略語	英語、元言語	日本語
DOH	Department of Highway	道路局（タイ）
DOT	Department of Transportation	交通局(米国)
DQN	Deep Q-learning	深層 Q 学習
DRR	Department of Rural Roads	地方道路局（タイ）
DSRC	Dedicated Short-Range Communications	専用短距離通信
DSS	Decision Support System	意思決定システム
DX	Digital Transformation	デジタルトランスフォーメーション
DZE	Dilemma Zone Enforcement	ジレンマゾーン取り締まり
EETS	European Electronic Toll Service	欧州電子料金収受サービス
EN	European Norm	欧州標準
ENTEC	Energy Technology Center	エネルギー技術センター（タイ）
ERI	Electrical Registration Identification	電子登録識別（インドネシア）
ERP	Electronic Road Pricing	電子道路課金制度
ETC	Electronic Toll Collection System	電子料金収受システム
ETLE	Electronic Traffic Law Enforcement	電子取り締まりシステム
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	欧州通信規格協会
EU	European Union	欧州連合
EV	Electric Vehicle	電気自動車
EXAT	Expressway Authority of Thailand	タイ高速道路公社（タイ）
FDOT	Florida Department of Transportation	フロリダ州運輸省
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen	ドイツ道路交通研究協会
FHWA	Federal Highway Administration	連邦高速道路局（米国）
FMCSA	Federal Motor Carrier Safety Administration	連邦運輸安全局（米国）
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave	周波数変調連続波
FRA	Federal Railroad Administration	連邦鉄道局（米国）
FTA	Federal Transit Administration	運輸省連邦交通局（米国）
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GEICO	Government Employees Insurance Company	米国の保険会社
GHG	greenhouse gas	温室効果ガス
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
GLOSA	Green Light Optimal Speed Advisory	青信号最適速度アドバイザリー
GMSA	GSM Association	GSM 協会
GNSS	Global Navigation Satellite System	全地球航法衛星システム
GUI	Graphical User Interface	グラフィカルユーザーインターフェース
H LiS	Hinweise zur Lichtsignalanlagensteuerung im Straßenverkehr	道路交通における交通信号制御に関する助言（ドイツ）
H QML	Hinweise zur Qualitätssicherung von Lichtsignalanlagen	交通信号の品質管理に関する助言（ドイツ）
HAWK	High-Intensity Activated crossWalK	高強度作動式横断歩道（歩行者信号機の一種）
HOT	High Occupancy Toll	定員以上の乗員が搭乗している車もしくは料金をのみ走行できる車線

略語	英語、元言語	日本語
HOV	High-Occupancy Vehicle (lane)	定員以上の乗員が搭乗している車のみ走行できる車線
HSRa	Hinweise zur Radverkehrsführungen	自転車の信号化に関する助言（ドイツ）
HTF	Highway Trust Fund	連邦高速道路信託基金
HTOC	Highway Traffic Operations Center	高速道路交通運営センター（タイ DOH）
IC	Interchange	インターチェンジ
ICCC	Integrated Command Control Center	統合指令管制センター
ICM	Integrated Corridor Management	統合コリドーマネジメント（米国、バージニア州）
ICT	Information and Communication Technology	情報通信技術
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	電気電子学会
IETF	Internet Engineering Task Force	インターネット技術委員会
IIJA	Infrastructure Investment and Jobs Act	インフラ投資・雇用法（米国）
IoT	Internet of Things	モノのインターネット
IT	Information Technology	情報技術
ITE	Institute of Transportation Engineers	交通工学協会（米国）
iTIC	Intelligent Traffic Information Center	タイの ITS 関連 NPO
ITLC	Intelligent Traffic Light Controllers	インテリジェント信号機（オランダ）
ITS JPO	Intelligent Transportation Systems Joint Program Office	ITS 共同プログラムオフィス
ITS-G5	Intelligent Transport Systems - G5	欧州の IEEE 802.11p に基づく V2X の通信規格
ITSMP	Intelligent Transport Systems Master Plan	ITS マスタープラン
JCC	Joint Coordination Committee	合同調整委員会
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人 国際協力機構
JV	Joint Venture	共同企業体
KIAT	Kemitraan Indonesia Australia untuk Infrastruktur	オーストラリア・インドネシアインフラ協力
KNN	K-Nearest Neighbors	K 近傍法
KPI	Key Performance Indicator	重要業績評価指標
LED	Light Emitting Diode	発光ダイオード
LEZ	Low Emission Zone	低 CO2 排出ゾーン
LiDER	Light Detection and Ranging	レーザーによる画像検出および測距
LOV	Low Occupancy Vehicle	低乗車率車両
LPI	Leading Pedestrian Interval	先行歩行者インターバル（米国、カリフォルニア州）
LRT	Light Rail Transit	ライトレール輸送（軽量軌道交通）
LSTM	Long Short-Term Memory	長短期記憶
LTA	Land Transport Authority	陸上交通庁（シンガポール）
LTE	Long-Term Evolution	ロング・ターム・エボリューション (携帯電話の通信規格)
M/M	Minute of Meeting	協議議事録
MaaS	Mobility as a Service	モビリティ・アズ・ア・サービス
MARAD	Maritime Administration	海事局（米国）

略語	英語、元言語	日本語
MHESI	Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation	高等教育科学研究イノベーション省（タイ）
MIB	Management Information Base	管理情報ベース
MLFF	Multi Lane Free Flow	マルチレーンフリーフロー
M-MAP2	The Second Mass Rapid Transit Master Plan in Bangkok Metropolitan Region	バンコク首都圏都市鉄道新マスタープラン
MMC	Mobility Management Center	モビリティマネジメントセンター（米国）
MPO	Metropolitan Planning Organization	大都市圏計画機関（米国）
MPSTOC	McConnell Public Safety and Transportation Operations Center	マコーネル公共安全交通運営センター（米国、バージニア州）
MRT	Mass Rapid Transit	大量高速輸送
MRTA	Metropolitan Rapid Transit Authority	タイ大量高速輸送公社
MRWA	Main Roads Western Australia	西オーストラリア州道路局
MTC	Metropolitan Transportation Commission	都市圏交通委員会（米国、カリフォルニア州）
MTEC	National Metal and Materials Technology Center	国家金属・材料技術センター（タイ）
MUTCD	Manual on Uniform Traffic Control Devices	統一交通制御装置マニュアル（米国）
NBTC	National Broadcasting and Telecommunications Commission	国家放送通信委員会（タイ）
NCAP	New Car Assessment Program	新車の安全性能を評価するプログラム
NCDOT	North Carolina Department of Transportation	ノースカロライナ州運輸省（米国）
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program	全米共同高速道路研究プログラム（米国）
NDW	Nationaal Dataportaal Wegverkeer	国家道路交通データバンク（オランダ）
NECTEC	National Electronics and Computer Technology	国立電子コンピューター技術研究センター（タイ）
NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
NEMA	National Electrical Manufacturers Association	全国電気製造業者協会（米国）
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration	国家道路交通安全局（米国）
NOFO	Notice of Funding Opportunity	資金提供機会の通知（米国）
NSTDA	National Science and Technology Development Agency	国家科学技術開発庁（タイ）
NTCIP	National Transportation Communications for Intelligent Transportation System Protocol	高度道路交通システム通信プロトコル（米国）
NZTA	New Zealand Transport Agency	ニュージーランド運輸省
O&M	Operation & Maintenance	運用保守
OBU	On-Board Unit	車載装置
OCIT	Open Communication Interface for Road Traffic Control Systems	道路交通制御システムのためのオープン通信インターフェース（EU）
OD	Origin-Destination	出発地-到着地
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
ODD	Operational Design Domain	運行設計領域
OFC	Optical Fiber Cable	光ファイバーケーブル
OSM	OpenStreetMap	オープンソース地図
OT	Operations Technology	オペレーション・テクノロジー

略語	英語、元言語	日本語
OTP	Office of Transport and Traffic Policy and Planning	運輸省 交通政策・計画室（バンコク）
PCU	Passenger Car Unit	乗用車換算台数
PDPA	Personal Data Protection Act	個人情報保護法
PDPC	Personal Data Protection Commission	個人情報保護委員会（タイ）
PGS	Parking Guidance System	駐車案内システム
PIARC	Permanent International Association of Road Congress	世界道路協会
PO	Plan of Operations	活動計画
PoC	Proof of Concept	概念実証
PPP	Public-Private Partnership	官民パートナーシップ
PSAPs	Public Safety Answering Points	緊急通報受付センター（米国、バージニア州）
PUPR	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat	公共事業・国民住宅省（インドネシア）
QRI	Quadrant Roadway Intersection	四分円弧交差点
QTNN	Queueing-Theory-based Neural Network	渋滞長予測時空間 AI（プロジェクト名）
RASt	Richtlinien für die Anlage von Straßen	都市道路の設計指針（ドイツ）
RCUT	Restricted Crossing U-Turn	制限付き交差点 U ターン
REST	Representational State Transfer	レスト（Web アプリアーキテクチャスタイル）
RFID	Radio Frequency Identification	無線通信技術を利用した識別技術
RiLSA	Richtlinien für Lichtsignalanlagen	交通信号に関するガイドライン（ドイツ）
RITIS	Regional Integrated Transportation Information System	地域統合交通情報システム（米国）
RITJ	Rencana Induk Transportasi JABODETABEK	JABODETABEK 交通マスタープラン
RM3P	Regional Multi-Modal Mobility Program	地域複合モビリティ・プログラム（米国、バージニア州）
RMS	Roads and Maritime Services	ニューサウスウェールズ州道路海事サービス（オーストラリア）
ROI	Return on Investment	投資利益率
ROMO	Road Monitoring Project	道路モニタリングプロジェクト
RSM	Roma Servizi per la Mobilità	ローマ交通サービス
RSU	Roadside Unit	路側装置
RTMS	Remote Traffic Microwave Sensor	遠隔交通マイクロ波センサー
RTP	Royal Thai Police	タイ王国警察
RTTI	Real Time Traffic Information	リアルタイム交通情報
SAE	Society of Automotive Engineers	自動車技術者協会
SaaS	Software-as-a-Service	ネットワークを経由してソフトウェアをクラウドサービスとして利用できる仕組み
SATREPS	Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development	地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム
SCATS	Sydney Coordinated Adaptive Traffic	オーストラリアで開発された信号制御システム
SCOOT	Split, Cycle and Offset Optimization Technique	英国で開発された信号制御システム
SDOT	Seattle Department of Transportation	シアトル交通局

略語	英語、元言語	日本語
SGIM	Sistema de Gestión Integral de la Movilidad	統合モビリティ管理システム（ブエノスアイレス）
SHOPP	State Highway Operation and Protection Program	州道路運営・安全プログラム（米国、カリフォルニア州）
SIIT	Sirindhorn International Institute of Technology	シリントン国際工学部（タイ）
SMS	Short Message Service	ショートメッセージサービス
SNS	Social Networking Service	ソーシャル・ネットワーキング・サービス
SOP	Standard Operating Procedures	標準作業手順書
SPaT	Signal Phase and Timing	信号フェーズとタイミング（米国）
SRT	State Railway of Thailand	タイ国鉄
SOP	Surrogate Safety Assessment Model	代理安全評価モデル（米国）
STEP	Smarter Travel Evolution Programme	スマートトラベル進化プログラム（英国）
STM	Signal Timing Manual	信号タイミングマニュアル（米国）
StVO	Straßenverkehrs-Ordnung	道路交通規則(ドイツ)
TAT	Tourism Authority of Thailand	観光庁（タイ）
TDM	Transportation Demand Management	交通需要管理
TFHRC	Turner-Fairbank Highway Research Center	ターナー・フェアバンク道路研究センター（米国）
TfL	Transport for London	ロンドン交通局
TIM	Traffic Incident Management	交通インシデント管理
TL-LSA	Technische Lieferbedingungen für Lichtsignalanlagen	交通信号システムの技術的条件（ドイツ）
TMC	Traffic Management Center	交通管理センター
TMR	Department of Transport and Main Roads	クイーンズランド州運輸本部（オーストラリア）
TNO	Netherlands Organization for Applied Scientific Research	オランダ応用科学研究機構
TOC	Traffic Operation Center	交通オペレーションセンター
TOD	Transit-Oriented Development	交通指向型開発
TOM	Transportation Operations Manual	交通運用マニュアル（米国）
TPEG	Transport Protocol Experts Group	交通プロトコル専門家グループ
TRB	Transportation Research Board	交通研究委員会（米国）
TS	Technical Specification	技術基準（欧州）
TSM&O、TSMO	Transportation System Management & Operation	交通システム管理・運用（米国）
TSP	Transit Signal Priority	公共交通信号優先制御
TSMM	Transportation Systems Management and Monitoring	交通システム管理およびモニタリング
TTD	Traffic and Transport Department	交通運輸局（タイバンコク都）
TTMI	Toyota Tsusho Mobility Informatics Pte. Ltd	トヨタツウショウインフォマティクス（タイ）
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	国連気候変動枠組条約
USDOT	United States Department of Transportation	米国運輸省
UTC	Urban Traffic Control	日本の中央制御機に相当する
UTMC	Urban Traffic Management Control	都市交通管理制御

略語	英語、元言語	日本語
UTMS	Universal Traffic Management Systems	情報通信技術を活用した新交通管理システム
V2X	Vehicle to X (Everything)	車車間・路車間通信
VaTraffic	Virginia Traffic Information Management System	バージニア交通情報管理システム（米国）
VDOT	Virginia Department of Transportation	バージニア州交通局（米国）
VicRoads	Victoria Roads	ビクトリア州道路局（オーストラリア）
VMS	Variable Message Sign	可変情報板
VOICES	Virtual Open Innovation Collaboration Environment for Safety	アメリカで行われたデジタルツインを用いた協調自動運転の PoC
VOIS	Vehicle Operations Information System	運輸局運用情報システム（米国）
VR	Virtual Reality	バーチャルリアリティ
VRUs	Vulnerable Road Users	脆弱な道路利用者
VSM	Variable Speed Management	可変速度管理
VTRC	Virginia Transportation Research Council	バージニア州交通研究評議会（米国）
VV&E	Validation Verification and Evaluation	検証、確認、評価
WCTRS	World Conference on Transport Research Society	世界交通学会
WG	Working Group	作業部会
WMATA	Washington Metropolitan Area Transit Authority	ワシントン首都圏交通局（米国）
WSDOT	Washington State Department of Transportation	ワシントン州交通局
WZDx	Work Zone Data Exchange	工事区間のデータ交換
ZTL	Zona a Traffico Limitato	交通制限ゾーン

企業リスト

正式名称	国	製品・サービス概要
Aimsun SLU	スペイン	リアルタイム・ヒストリカルデータを利用して、将来の交通状況を予測するソフトウェア Aimsun Live。
AirSage, Inc.	米国	携帯電話の位置情報を活用し、交通流解析や都市計画向けのデータ AirSage Mobility Data を提供。
ASFiNAG	オーストリア	オーストリアの高速道路管理機関。ETC、リアルタイム交通監視、渋滞管理システムを提供。
AustriaTech	オーストリア	政府 100%出資の非営利組織。気候行動・環境・エネルギー・モビリティ省の下で、交通分野のイノベーション促進と実装支援に取り組む。
Connekt - ITS Netherland	オランダ	政府・民間・研究機関等 100 を超える組織がメンバーとして加わり、自動運転、データ標準化等の課題に取り組む。
Continental AG	ドイツ	多国籍自動車関連会社。V2X、ADAS、DSRC や GNSS による料金収受システムを提供。
CROW	オランダ	①交通、輸送、インフラ分野の研究、②標準化、③知見の移転と知識管理を担う NPO。政府機関や企業とガイドラインを作成。
Econolite Group, Inc.	米国	交通管理システムの大手企業で、信号制御機、車両検知センサー、ATSPM 等を提供。PTV Group と戦略的パートナーシップ。
ERTICO – ITS Europe	ベルギー	欧州の ITS 推進機関。スマートモビリティ、自動運転、V2X 通信の研究開発を主導。

正式名称	国	製品・サービス概要
Excelerate Technology Ltd.	英国	さまざまなベンダーの制御機・センサーと互換性を持つ信号管理システム Falcon。
Flow Labs, Inc.	米国	AI を活用した信号制御パラメータ評価および最適化システム Traffic Signal Management。
GoodVision Ltd.	英国	画像解析 AI による交通監視システム GoodVision Video Insight。
Google LLC	米国	AI を活用したナビゲーション、交通情報、ルート最適化機能を提供。
Grab Holdings Inc.	シンガポール	東南アジア最大の配車・ライドシェア企業。タイ Rama IV プロジェクトでは Grab の GPS データが利用された。
Image Sensing Systems, Inc.	米国	レーダー式交通監視センサーRTMS Echo で、最大 12 レーンを非接触で検知し、全天候対応でリアルタイム交通データ提供が可能。
Indra Sistemas, S.A.	スペイン	世界的なテクノロジーおよびコンサルティング企業。交通分野では DSRC や GNSS による料金収受システム、V2X による協調 ITS 等を提供。
INRIX, Inc.	米国	ビッグデータと AI を活用したリアルタイム交通分析・渋滞予測ツール INRIX Traffic。
ISSD	米国	画像解析により交通負荷を感知するインテリジェント信号制御システム CHAOS。
Iteris, Inc.	米国	交通データ解析・可視化ツール Clear Guide。リアルタイム交通監視や信号制御最適化に活用。
Kapsch TrafficCom AG	オーストリア	ETC、スマート交通管理システムを提供し、高速道路の渋滞緩和に貢献。
LYT, Inc.	米国	緊急車両や公共交通などに対する優先信号制御をハードウェアなしで行うための SaaS を提供。
Madrid Calle 30 S.A.	スペイン	マドリード環状道路 M-30 の管理会社。リアルタイム交通監視とトンネル制御を提供。
MAP traffic management	オランダ	交通データ分析やシミュレーション技術を活用し、信号制御や交通計画の最適化を支援するコンサルティング企業。
Miovision Technologies Inc.	カナダ	Waterloo 大学発の企業。交通信号制御と監視を一元化するシステム TrafficLink はリアルタイム交通データを分析し信号現示を最適化。
Mundys S.p.A.	イタリア	高速道路や都市交通インフラの開発・運営を行い、スマートモビリティ技術の導入を推進。
NDW	オランダ	オランダ国内の交通データを統合し、リアルタイム情報や予測データを提供するプラットフォーム。（Nationaal Dataportaal Wegverkeer）
NoTraffic Ltd.	イスラエル	リアルタイム交通データ収集、信号最適化、優先制御のためのハードウェア・ソフトウェアを提供。
Parsons Corporation	米国	INRIX のプローブデータを用いて信号パフォーマンスの評価を行う Intelligent Intersections（ATSPM）を提供。
PTV Planung Transport Verkehr GmbH	ドイツ	リアルタイム交通データとシミュレーションを統合し、都市の渋滞緩和や信号制御最適化を支援する PTV Optima。
Q-Free ASA	ノルウェー	センサーや CV からのリアルタイムデータで動的に信号制御を行うシステム MAXTIME Adaptive や ANPR、料金収受システムを提供。
RCE Systems s.r.o.	チェコ	画像解析 AI による交通監視システム DataFromSky。

正式名称	国	製品・サービス概要
Roatex Ltd. Zrt.	ハンガリー	ハンガリーの料金収受システム開発企業。国際的なスマート料金収受システムを提供。
Roma Servizi per la Mobilità S.r.l	イタリア	ローマ市の交通サービス全般を支援する専門的な運営会社。公共交通、駐車管理、都市交通計画のデジタル化を推進。
Singapore Technologies Engineering Ltd.	シンガポール	防衛、航空、海洋、電子工学、陸上交通システムなどで事業を展開する多国籍企業。2022 年に米 TransCore 社を買収。
Swarco AG	オーストリア	信号制御システム、ITS、駐車管理ソリューションを提供。
Syntony GNSS	フランス	地下や都市環境向けの高精度 GNSS 測位ソリューションを開発し、交通管理やナビゲーションを支援。
TNO	オランダ	自動運転、スマートモビリティ、交通管理技術の研究開発を行うオランダの研究機関。(Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek)
TomTom N.V.	オランダ	プローブデータを活用したヒストリカル・リアルタイム交通情報用データプラットフォーム TomTom Move。
Toyota Tsusho Mobility Informatics Pte. Ltd.	シンガポール	交通・モビリティデータを分析し、スマートシティ向けソリューションを提供。
TransCore, LP	米国	料金収受、信号制御を含めた交通管理、公共交通交通管制、RFID 技術を使った駐車場管理や物流の最適化のシステムを提供。
Volkswagen AG	ドイツ	V2X 通信技術を活用したスマート交通システムを開発し、安全性と渋滞削減を推進。
Wavetronix LLC	米国	マイクロ波レーダーベースの車両検知システム SmartSensor HD。交通流計測や信号制御に活用。
Waze Mobile Ltd.	イスラエル	ユーザー参加型のリアルタイム交通情報・ナビゲーションアプリ。(Google 傘下)
Yunex Traffic	ドイツ	交差点信号の管理からマルチモーダル交通運用、環境センサーの統合まで、幅広い機能を提供する Yutraffic Symphony。
株式会社 LocationMind	日本	位置情報データ解析を活用し、交通流分析や都市計画向けのソリューションを提供。
株式会社村田製作所	日本	車両・歩行者検知用の高精度 LiDAR。スマートシティや V2X に対応。
株式会社地域未来研究所	日本	交通・都市計画のためのデータ分析やシミュレーション技術を提供。
株式会社アイ・トランスポート・ラボ	日本	データ解析、交通流シミュレーション、最適化アルゴリズム、IoT 技術を活用した交通インフラの高度化。
株式会社ゼロサム	日本	モバイルシステムおよび ITS システムの開発技術を保有。インド子会社が現地交通情報システムの拡張として V2X の実証実験。
三菱重工業株式会社	日本	高速道路料金収受システムや都市交通管制技術を提供し、スマートインフラを支援。
住友電気工業株式会社	日本	高速道路の料金収受、信号制御、ITS 向けのシステムを開発。
名古屋電機工業株式会社	日本	道路情報表示装置・交通信号機の製造メーカー。「インド国ベンガルール中心地区高度交通情報及び管理システム導入計画」を実施。

第1章　業務概要

1.1　業務の背景、目的、対象

(1)　開発途上国における ITS 等を活用した交通管理の取り組みの現状と課題

開発途上国においては、急速な経済成長に伴うモータリゼーションの進展に対して、インフラ整備が追い付いておらず、慢性的な交通渋滞の発生、交通事故の多発、大気汚染による居住環境の悪化が深刻な社会問題となっており、早急な対応が求められている。この対応のため、開発途上国が、“道路を創る”のみならず時間と資金の制約の中で“道路を賢く使う”ことにも注力するようになるなか、JICA は、東南アジア、南アジア、アフリカ等で面的信号制御の整備や高速道路の交通管理運用のための ITS 設備設置などの支援を行い、交通流の円滑化等の改善に貢献してきた。一方、国や地域毎に異なる交通事情への設備・システムへの対応が不十分であること、異なる規格のシステムの整備や互換性・発展性がない機器の設置による弊害が出ていること、運用維持管理の人材・体制・予算が不足していること、日進月歩的に進化する情報通信技術の変化への対応が遅れていることなど、ITS 設備導入後の持続可能な交通管理を行う上での課題も多いのが現状である。

(2)　交通管理分野における DX の動向

交通管理分野における従来の手法は、ITS に関する大規模なハードインフラを整備することであったが、近年では、情報通信技術の進歩と AI 等の革新的な技術の登場により“デジタルトランスフォーメーション（DX）”が進んできている。途上国においても、車両及びスマートフォンからの移動体通信データ（以下、プローブデータ）、AI 画像解析、携帯電話通信記録、各種センサー等から収集するビッグデータを用いた交通計画や交通管理が始まっている。大規模な投資がなくとも各種媒体を通じて豊富かつ有用なモビリティデータがリアルタイムで取得できる環境が整いつつあり、それらはスマートシティ実現の重要な要素の一つとなっている。今後の ODA 事業においては、これらの国内外の DX 技術を取り入れた交通管理の最新事例や動向を把握し、現地でのニーズや事情に合った実装、かつ開発途上国が自ら維持管理できる持続可能な交通管理システムとなるよう、事業の方向性を検討する必要がある。

1.2　本研究のスコープ

本研究の対象となる交通管理 DX 技術は、図 1.2.1 に示す、データ収集（交通センサー、移動体通信システムを用いて取得されるデータ）、データ解析（ビッグデータ解析、データベース構築と維持）、データ活用（渋滞、事故対策のための交通信号制御、交通監視、交通情報提供等）である。



出典：調査団

図 1.2.1　本プロジェクト研究の交通管理 DX の対象範囲

1.3　プロジェクト概要

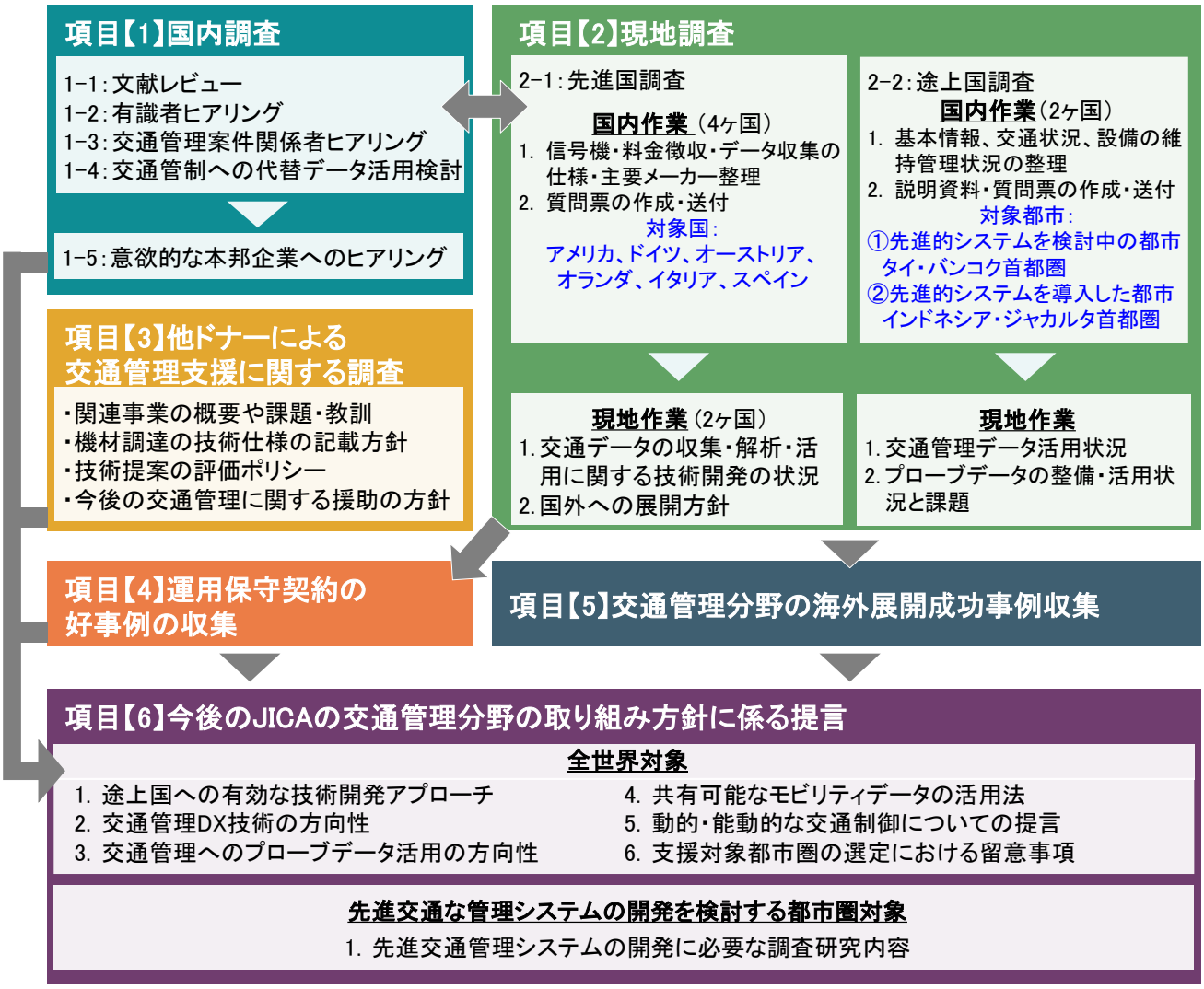
プロジェクトの概要を表 1.3.1 に記す。

表 1.3.1　プロジェクト概要

プロジェクト名	全世界交通管理 DX 技術に係るプロジェクト研究
履行期間	2024 年 2 月 9 日～2025 年 2 月 28 日（計 13 ヶ月）
調査の目的	今後の JICA の交通管理分野の取り組み方針について検討し、提言を行う
調査の範囲	全世界（現地調査：先進国 4 ヶ国抽出し 2 ヶ国現地調査、途上国 2 ヶ国）
調査項目	1. 文献レビュー及びヒアリング（国内調査） 2. 現地調査（海外調査） 3. 各援助機関の交通管理支援に関する調査 4. 運用保守契約の好事例の収集 5. 本邦及び海外企業ビジネスモデルの好事例等の収集 6. 今後の JICA 交通管理分野の取り組み方針に係る提言

1.3.1　業務全体の作業フロー

本業務では、図 1.3.1 に示すように、大きく分けて国内調査、現地調査（先進国＋途上国）の 2 つがあり、互いに連携することを意識しつつ業務を進めた。まず国内の文献レビュー、有識者ヒアリングを進め、その結果をもって調査対象国を選定し、現地調査を進めた。また、国内でのヒアリングおよび代替データの活用検討については、現地調査と並行して実施した。情報収集した結果を踏まえ、今後の JICA の交通管理分野の取り組み方針に係る提言を整理した。なお、先進国の現地調査については、当初 2 ヶ国の予定であったが、欧州については、複数国で企業や事例が分かれていたため、欧州を 1 地域として扱い、ドイツ、オーストリア、オランダ、イタリア、スペインにて調査を行った。



出典：調査団

図 1.3.1　本プロジェクトの実施フロー

1.4　報告書の構成

本プロジェクト研究では、以下の章構成で報告書を取りまとめた。

- 1 章：業務概要
- 2 章：交通管理における先端技術の活用
- 3 章：先進国における交通管理
- 4 章：途上国における交通管理
- 5 章：タイにおけるプローブデータの活用検討
- 6 章：国内における交通管理 DX 技術の取り組み
- 7 章：JICA 及び他援助機関による交通管理資機材供与での教訓
- 8 章：本邦や欧米企業による海外進出の事例および課題と解決の方向性
- 9 章：JICA の交通管理分野の取り組み方針に係る提言

1.5　本業務において情報収集した技術・制度政策に関する整理

本節では、本業務において収集した技術・制度政策に関する主要な情報を表形式で整理した。

表 1.5.1 では、文献調査や先進国調査の中で得られた交通管理 DX に関連する技術・製品に関する情報を整理した。得られた情報を俯瞰してみると、以下の 3 点の特徴がみられた。

1) 要素技術の発達

レーダー・LiDAR・画像解析 AI・Bluetooth といったセンサーの進化・多様化により、得られるデータの種類・精度が向上している。更にプローブデータビジネスが誕生から 20 年余りで成熟しつつありセンサーに頼らない多様な交通データが一般化しつつある。

2) 交通管理プラットフォームの台頭

上記の交通データは、単体で利用するとカバレッジやサンプル数などの制約があり、複数データがあってもデータ同士で矛盾が生じてエリア全体の交通状況を把握できない。そこで、データの統合とデータフュージョンにより一元的に交通管理を行うためのプラットフォームソフトウェアが次々に開発されている。中央制御機の上位レイヤとしてリアルタイム交通データと AI 渋滞予測を考慮して信号パラメータを最適化するものや、異なる規格・プロトコルに基づく複数の中央制御レイヤの上位レイヤとして機能するものなど、進化が進んでいる。機能がより複雑かつ多様になり、IT 企業の参入によりプレイヤーも増えているため、比較評価は総じて困難になっている。

3) 突発（Non-recurrent）事象によって引き起こされる渋滞への対策強化

先進国、特に米国では、TSMO[1]戦略に基づき、定常時の渋滞に加え、総遅延の半分以上の要因を占める予測不能な突発（Non-recurrent）事象によって引き起こされる渋滞への対策を強化している。交通管理者はこの視点での対応を求められ、必然的に技術・製品についても、その多くが Non-recurrent 事象への対応を念頭に開発されている。これは慢性的な交通渋滞に直面している途上国におけるニーズとは必ずしも一致しない。

次に表 1.5.2 では、交通管理 DX に関する政策・制度・契約について整理した。交通管理分野の課題は、技術のみでは解決できないものが多く、組織間のデータ相互利用促進のための取組みや、適切な機器の

[1] Transportation Systems Management and Operations

維持管理のための取組み、交通量の総量や時空間的な偏り自体を低減させるための交通需要マネジメントに関する取組みなど、多様な取り組みが進められている。

表 1.5.3 では、途上国の ITS 展開への提言として、以下 3 つの視点からまとめた。

1) 途上国で導入が期待される技術
   文献調査・先進国調査で情報収集した技術のうち、途上国が抱える問題への対策として、特に実現可能性や実現効果が大きいものを抽出し、導入にむけた課題とともに整理した。
2) 途上国で必要な研究開発
   途上国では、渋滞発生要因が多重構造になっている上、交通データが不足しているため、渋滞の根本要因やメカニズムは十分解明されていない。また、渋滞緩和策の定量的な評価が十分なされていない。詳細な交通状況分析と定量的な施策の評価を行うためのツールの開発が求められる。
3) 途上国で導入が期待される政策・制度
   途上国では、交通管理分野の組織間の調整や、制度の不備、地域特有の歴史・事情が混在する。これに対応し、適切な交通管理を実現するための政策・制度、およびそれらを導入する際の課題を整理した。

最後に、表 1.5.4 では欧米や本邦企業による海外展開の好事例をまとめた。データ解析等については、ソフトウェアを販売するのではなく、クラウドサービスとして利用できる SaaS の提供、データ販売・解析サービスなど新たなビジネスを通じた海外展開が始まっている。また、現地企業との連携による代理販売、維持管理も行われている。さらに、関連する技術を持つ企業の買収などで自社のサービスの領域の拡大や販路拡大も進められている。表中の事例の後に続く番号は対応する項目番号を示している。

表 1.5.1　本業務において情報収集した交通管理 DX に関連する技術・ 製品の整理

1. 技術・製品		
社会的な課題	**社会的課題を解決するための技術・政策**	**導入に向けた課題・制約**
精度の高い交通量･車種･速度データの収集 効率的な交通違反取締り	**1) 路側センサー（台数・速度）** 【概要】 従来のループコイル・超音波・画像センサーに加え、技術の進歩や新規参入により、レーダー・LiDAR・画像解析 AI などを利用した、より精度が高く、細かい車種区分で、悪条件でも検出可能な感知器の開発が進んでいる。特に LiDAR や画像解析 AI は、センサー内の人や車両の詳細な動きなど、従来のセンサーでは取得が難しかったデータを取得できる。これらのデータは車種別交通量カウント、ANPR[2]を利用した交通違反取締り、事故リスク分析等に利用される。 **【事例・レーダー】** • 米 Wavetronix 社 Smart Sensor HD（フロリダ）3.2.3 • 米 Image Sensing Systems 社 RTMS Echo（フロリダ）3.2.3 **【事例・LiDAR】** • 村田製作所の LiDAR センサー（タイ、インドネシア）8.1.4 • 米 Houston Radar 社 Speedlane Pro（フロリダ）3.2.3 **【事例・画像解析 AI】** • 捷 RCE Systems 社 DataFromSky（全世界）3.3.1 • 捷 Good Vision 社 GoodVision LiveTraffic（全世界）3.3.2 • 土 ISSD 社 VIERO-AI（トルコ、インドネシア）4.2.5	• それぞれ得意･不得意があり､価格帯も異なるため､目的や条件に応じた適用が必要。 • 画像データには個人の顔やナンバープレートなどが映っていることがあるため､プライバシーの問題が生じる場合がある。
車両や人の移動経路や OD に関するデータの収集	**2) 路側センサー（OD・経路）** 【概要】 Bluetooth・Wi-Fi センサーを設置し、一定範囲まで近づいたスマホの MAC アドレスを取得する。サンプリングベースにはなるが、複数地点の照合することで 1)では得られない交差点分岐率、OD（Origin-Destination）、経路などの情報を得ることができる。 **【事例】** • 地域未来研究所（日本、タイ）6.2 • 墺 Swarco 社 Waycom 3.3.1 • 米 Iteris 社 BlueTOAD（フロリダ）3.2.3	• Bluetooth の新しい規格では 15 分に 1 回 MAC アドレスが変わる。 • Bluetooth は高周波数で人体･鉄板等により影響を受けるため Wi-fi より難しい。 • 車種や人の判別ができない。
	3) プローブデータビジネス 【概要】 プローブデータを道路リンクにマップマッチングすることにより交通状況データを作成しヒストリカル・リアルタイムデータとして提供するサービス。特徴として、路側センサーの設置が不要で、広範囲を継続的にカバーできる。提供される情報は一般的に速度や混雑度だが、交差点分岐率や渋滞長などの情報を提供するサービスもある。 【適用技術・製品】 • 蘭 TomTom 社 Move（80 か国以上）2.4.3, 5.1.2 • 米 Google 社 Google Maps（全世界）2.4.2 • 以 Waze 社 Waze for Cities（40 か国）[3] 2.3.2 • 米 INRIX 社 Probe Data Analytics 2.4.2 • 豊田通商モビリティインフォマティクス社 5.1.1	• 車種や人の判別ができない。 • 非集計で属性情報があると分析の幅が広がるがプライバシーの問題が生じる場合がある。 • GPS を利用するため､建物やトンネル内の測位が出来ない。[4]

2 Automatic number-plate recognition（ナンバープレート自動認識）

3 自治体との提携プログラムで、メトロマニラ総合交通管理計画策定プロジェクトでは交通解析用データダッシュボードの主要データソースとして活用

4 スマホアプリの SDKs（Software Development Kits）経由で取得した GPS（広範囲・屋外が得意）と Bluetooth・Wifi（狭範囲・屋内が得意）を補完しながら統合された LBS（Location-Based Service）という派生データもある。

1. 技術・製品		
社会的な課題	**社会的課題を解決するための技術・政策**	**導入に向けた課題・制約**
車両や人の移動経路や OD に関するデータの収集	**4) CDR データの活用** 【概要】 通信事業者が記録する基地局と携帯電話の通信記録であり、本来は通信事業者による課金のためのデータである。プローブデータと同様に広範囲を継続的にカバーできる特徴を持つ。位置情報精度は基地局密度に依存する上、一般的に取得頻度もプローブデータには劣るが、普及率が高いため、大まかな人流を分析する際に有用なデータとして期待されている。 【適用技術・製品】 • LocationMind 社 2.4.5, 8.1.6 • 米 AirSage 社[5] 2.4.5	• 生データは秘匿性の高いデータであるため、レギュレータ・通信事業者と連携し秘匿化処理が必要となる。 • 非集計で属性情報があると分析の幅が広がるがプライバシーの問題が生じる場合がある。
Inter-Operability の確保	**5) 制御機インターフェース装置の開発** 【概要】 制御機にインターフェース装置を設置することにより、異なる規格に基づく制御器を中央制御システムに組み込む。オランダでは、インテリジェント信号機（iTLC）の規格化を進めており、ハードウェアとソフトウェアを分離し、相互運用性を確保したホワイトラベル標準の採用を目指している。 【適用技術・製品】 • 住友電工のインターフェース装置 2.4.3 • 蘭 CROW の iTLC の標準規格 3.4.3	• 制御機ごとにインターフェース装置を開発する必要がある。
Inter-Operability の確保 最新技術を活用した次世代交通管理システムの実現	**6) 交通管理プラットフォーム** 【概要】 データ統合とデータフュージョンにより一元的に交通管理を行うためのプラットフォーム。中央制御機の上位レイヤとして信号パラメータを最適化するものや、異なる規格・プロトコルに基づく複数の中央制御レイヤの上位レイヤとして機能するもの、交通管理・道路管理・警察消防の連携を支援するもの等、多様な機能を持ちうる。表中の要素技術すべてを内包しうるが、必ずしもすべての機能を持つわけではない。 【適用技術・製品】 • 墺 Kapsch 社 Ecotrafix （ブエノスアイレス）2.4.3, 3.3.12 • 以 Excelerate 社 Falcon Complete System • 米 Iteris 社 Clear Guide（主に米国） • 独 PTV 社 Optima（エッセン市 COMO プロジェクト、ヨーク市 STEP Program）2.4.3, 3.7.2 • 独 Yunex Traffic 社の Yutraffic Studio (イリノイ州エルジン市、アナーバー市)、Yutraffic Symphony 2.4.2, 3.6.1	• 機能がより複雑かつ多様になり、IT 企業の参入によりプレイヤーも増えているため、比較評価は総じて困難になっている。
近い将来の交通状態の予測を踏まえた予測型交通管理の実現	**7) 渋滞予測** 【概要】 交通工学モデル、統計学的手法、機械学習アルゴリズム等による渋滞予測の研究・製品化が進められている。渋滞予測には、道路容量、ヒストリカル・リアルタイム交通状況データ、事故・天候・イベント情報などが用いられる。予測結果は信号パラメータ変更、交通情報提供、経路誘導等に用いられる。 【適用技術・製品】 • 京都大学・住友電工による QTNN 2.4.4 • 独 PTV 社 Flows、Optima（エッセン市、ヨーク市等）2.4.3 • 西 Aimsun 社 Aimsun Live 2.4.4 • アイ・トランスポート・ラボによるナウキャストシミュレーションおよびフォアキャストシミュレーション 6.3	• 交通流データの精度やリアルタイム性が不十分だと、予測の信頼性が低下する。

[5] 2017 年に CDR データの利用をやめ、LBS データに移行

1. 技術・製品		
社会的な課題	**社会的課題を解決するための技術・政策**	**導入に向けた課題・制約**
信号制御の自動最適化	**8) 信号パラメータの評価と AI を活用した最適化** 【概要】 感知器・プローブ・CV データや信号制御実行履歴データを活用し、信号交差点のパフォーマンス評価を行う。また、AI を活用して線的・面的に信号パラメータ（スプリット、サイクル長、オフセット）を最適化したプランを提案する。 【適用技術・製品】 • 米 Google 社 Green Light（シアトル、ジャカルタ等[6]) 2.4.2, 4.2.5 • 米 Flow Labs 社 Traffic Signal Management 2.4.2,3.2.4	• AI はブラックボックスであるため、エンジニアによる確認を経て入力する必要がある。 • 不安定な交通状況では従来の交通工学理論が優位。 • Trash-in, Trash-out であるため、精度の高い交通データが必要。 • Google は、高いサンプル率を誇るが、根拠データの開示がないため透明性に欠ける。
交通施策導入の精度の高い事前評価	**9) 交通解析・施策提言のためのデジタルツイン** 【概要】 詳細な地図データとヒストリカル・リアルタイムの交通状況データを活用し、シミュレーションにより交通管理施策等の評価を行う。AI による信号パラメータの改善提案機能や、AI や交通工学理論に基づく数十分～数時間後の交通状況予測機能を持つものもある。 【適用技術・製品】 • 米 Flow Labs 社 Traffic Signal Management（米国）2.4.2, 3.2.4 • 米 Iteris 社 Clear Guide（米国）2.4.3 • 独 PTV 社 Optima（エッセン市 COMO プロジェクト、ヨーク市 STEP Program）2.4.3, 3.7.2 • 蘭 TNO （応用科学研究機構）が開発した統合都市計画予測型デジタルツインモデル Urban Strategy 3.4.2	• 詳細な地図データと交通状況データの整備が必要となる。 • 都市全体を対象とするものでは、ベースとなる OD 表が必要な場合がある（Optima など）。
緊急車両・公共交通の優先 路上工事・交通事故情報の迅速な提供	**10)V2X・C-ITS 技術** 【概要】 V2X（Vehicle-to-Everything）技術の進化により、車両と交通管理者の間でも詳細なデータの送受信が可能となった。車両からは位置・加速度・運転操作・周辺環境などの詳細なデータが得られ、緊急車両や公共交通車両の信号優先制御や、前方の路上工事・交通事故の情報提供などに使われる。 【適用技術・製品】 • 独 Volkswagen 社 C-ITS[7] 3.3.11, 3.5.2	• 効果発現には CV の普及率が高まるまで待つ必要がある • 上記とあわせて路側ユニットの導入が前提となる。 • ハッキング対策が必要。
道路課金のインフラ設置・維持コストの縮減	**11)効率的な道路課金に関わる技術** 【概要】 従来の課金方式は、ガントリーやゲートといった物理インフラの設置・維持コストが大きかったため、GNSS を利用した課金方式により、物理インフラコストを下げる取組がなされている。 【適用技術・製品】 • 三菱重工業 ERP 2.0（シンガポール）GNSS+DSRC 8.3.1 • 墺 Kapsch 社トラック課金（トルコモロッコ）GNSS 3.3.12 • 墺 Kapsch 社 HOV/Express Lane（ノースカロライナ州）RFID, DSRC, ANPR 3.3.12 • 洪 Roatex 社（ハンガリー、インドネシア）GNSS+ANPR 車載機なしでスマホ端末による有料道路 GNSS 課金をインドネシア有料道路庁との契約の下で試行実験中 4.2.10	• 課金システム導入に対する国民の理解が必要。 • 料金徴収のための法的枠組みが必要。 • GNSS 測位は高層ビル付近や高架道路がある場合に測位誤差が生じる懸念がある。 • GNN 課金にはハッキングや不正に対するセキュリティ対策が必要。 • HOV レーンの自動取り締まりは難易度が高い。

出典：調査団

[6] https://sites.research.google/greenlight/
[7] Cooperative Intelligent Transport Systems

表 1.5.2　本業務において情報収集した交通管理 DX に関連する政策・制度・契約の整理

2. 政策・制度・契約	
社会的な課題	**社会的課題を解決するための取組み**
最新のソフトウェアの適用	**1) SaaS によるサービス提供・契約形態** 【概要】 画像解析や交通管理プラットフォームのソフトウェアは、SaaS によるサービス提供・契約形態が増加している。同じソフトウェアを利用するユーザーの意見を踏まえてアップデートされ、常に最新の製品を使うことが可能となる。 【事例】 • RCE Systems 社の DataFromSky や GoodVision 社の Vision Insight は、クラウド上にアップロードした動画に対して画像解析サービスを提供する。従量課金ではあるが、初期投資なしに最新の画像解析 AI を利用できるため、導入しやすい。3.3.1, 3.3.2
データドリブンな社会の実現	**2) 組織間のデータ相互利用促進のための政策・運動** 【概要】 一般的に交通状況や信号制御実行履歴に関する交通関連データは、異なるデータソースのデータを組み合わせて活用することにより、カバー範囲や情報量が増えて利用価値が高まる。しかし、データ形式や通信プロトコルが異なると、仮に組織間でデータの共有が合意できたとしても、データ形式の統合や翻訳などの多大な労力が必要となる。これを避けるため、交通データや通信プロトコルなどの標準化や規格化、オープン API の活用など、多様な取り組みがなされている。 【事例】 • オランダ NDW は、国内および欧州全体の交通データの標準化に取り組んでおり、異なる組織のデータ互換性を確保している。この標準化により、Waze や Google といった民間企業と交通データを共有しやすくなるほか、国境を越えても一貫した交通サービスを利用できる。3.4.4 • FREE the MIBs Campaign (ノルウェーQ-Free 社 が開始したオープンスタンダードを推進するものであり、相互に MIB を公開するもの 2.4.2 • Google 社と TomTom 社が開催したワークショップでは、ヨーロッパ全域の道路当局とサービスプロバイダーが一堂に会し、データ品質に関する議論が行われた。オランダでは、サービスプロバイダーとデータ品質について深く議論することが一般的であり、官民連携が強化されている。他の国々では、法律で義務付けられているからという理由だけで最低限の対応を行うにとどまるケースが多い。3.6.2 • ERTICO イノベーションプラットフォームの Traffic Management (TM) 2.0 段階では一部のシステムで非互換性があり、市場競争を阻害していたが、TM2.5 ではオープン API の導入が重視されている。これにより、システムの相互運用性が高まり、ベンダー間の協力を通じた市場競争が促進される。3.3.6 • CTIC（Connected Transportation Interoperability Committee）は、州交通局（DOT）や自動車メーカー、信号制御機器メーカーが協力して、CV 対応信号交差点の標準を作成するための取り組みある。この委員会が開発している文書は「CTI 4501」と呼ばれる。公共セクター、自動車会社、道路インフラ関連の民間企業を結びつけることを目的としており、交差点におけるコネクテッド技術の進展に貢献している。3.2.1
ITS 機器の適切な維持管理	**3) 適切な維持管理契約** 【概要】 ITS 機器の適切な維持管理の方法のひとつとして、対象機器について熟知する機器メーカー等による O&M 契約がある。この際、契約期間や支払い方式を適切に設定することにより、交通管理者とメーカー双方にとって妥当性のある内容にする必要がある。 【事例】 • Yunex 社製の ITS 機器の維持管理契約は 3~5 年間のものが多いが、取引先との信頼関係やシステムの安定性によっては 30 年の長期契約もある。維持管理契約では、顧客側の要件が定められる SLA 契約が多い。例えばドイツの場合は、稼働率保証が 99%、クラウドホスティングで 99.5%のアップタイムを保証している。 まだ故障はしていないが不具合のある道路信号機の電源やシステムに対しては、Yunex が契約範囲内で予防保全を行う。信号機や制御機が故障し、再設置が必要な緊急事態の場合、Yunex が再設置する。この場合、①すべてのインシデントが契約金額によってカバーされる場合、②インシデント数の上限を設定し、上限以降は追加契約となる場合、③すべてのインシデントが追加契約となる場合の 3 パターンがある。原因者が存在するような事故（例：車が信号機に衝突）では、日本と同じく機器の再設置・修理は Yunex が行い、請求書は行政機関または原因者に対して発行され、基本的には、車の運転手の保険金で支払われる。3.6.1

2. 政策・制度・契約	
社会的な課題	**社会的課題を解決するための取組み**
ITS 機器の適切な運用・維持管理	**4) 交通管理者職員による直営管理、コンサルタントの活用** 【概要】 ITS 機器の維持管理の方法として、交通管理者職員自らが維持管理を行う場合もある。ITS 機器に関する知識や修理のための技術が必要であるため、職員のトレーニングや採用が必要となるが、コスト削減や迅速な対応につながるケースもある。 米国の一部の DOT では、外部のコンサルタントが、コントロールセンターに入り、ITS や信号制御に関する運用業務を行っている。 【事例】 • ワシントン DOT は、信号機や感知器のメンテナンスに関して、24 時間 365 日の緊急メンテナンスと、予防保全プログラムを実施しているが、いずれもほとんどはインハウスで DOT スタッフが行っている。資材を保管する倉庫も所有している。一方で、新規の設備工事は、請負業者に委託することが多い。3.2.5 • フロリダ DOT では、District Office の 9 割が契約ベースのコンサルタントであり、ITS に関する企画から運用維持管理まであらゆる段階で業務を行っている。3.2.3
新たな技術の迅速な導入	**5) 企業買収** 【概要】 交通管理分野では前述の通り様々な新しい技術が導入されており、それら技術の組み合わせによってより高い価値を生み出すことが多い。特定分野の新たな技術を迅速に自社サービスに組み込むため、また民間企業の市場拡大のため、企業買収という方法が取られる場合がある。 【事例】 • 高速道路や空港など運輸インフラ管理・運営を行うイタリア Atlantia S.p.A 社（現 Mundys S.p.A.社）によるドイツ Siemens Mobility の ITS 部門の買収（2022 年）3.6.1 • IT 企業米 Google 社によるイスラエルのナビアプリ開発企業 Waze 社の買収。Waze はユーザーがリアルタイムで渋滞情報や事故情報を共有できるクラウド型のナビゲーションサービスを提供（2013 年）2.3.3 • 防衛・航空・宇宙・交通システムの技術を持つシンガポールの ST Engineering 社による交通システム（料金収受、ITS）米 TransCore 社の買収（2021 年）3.3.10 • 多国籍自動車関連会社である独 Continental 社による独 Siemens 自動車電子部品部門の買収（2007 年）と高度運転者支援や車内情報・AV システム開発の独 Elektrobit 社買収（2015 年）3.3.8 • 交通管理とスマートシティソリューションの加 Miovision 社による画像解析技術を持つ加 MicroTraffic 社の買収（2023 年）3.3.11 • 電子料金収受システムの大手である墺 Kapsch TrafficCom による交通管理ソフトウェア・システム統合企業である米 Transdyn 社の買収（2014 年） • Kapsch TrafficCom Canada による、メキシコの駐車システム分野で長年の経験を持つシステム統合会社墨 Simex, Integracion de Sistemas への多額投資（2012 年） • 信号機を含む ITS 機器を提供する墺 SWARCO AG 社による信号制御機メーカー米 McCain 社買収（2016 年）と信号制御含む ITS 機器メーカーである蘭 Dynniq Mobility 社の買収（2021 年）3.3.12 • カメラメーカーのキヤノンによる画像解析ソフトウェア企業であるイスラエルの BriefCam 社の買収（2018 年）BriefCam 社は数時間の映像を数分に要約し、特定の条件で検索できるようにする技術を持つ。8.1.5
道路交通需要の総量と時空間的な偏りのコントロール	**6) 交通需要マネジメント（TDM, Traffic Demand Management）** 【概要】 道路混雑の緩和や交通の効率化を目的とした戦略で、交通需要の時間・空間的な分散やモーダルシフトを促進する手法。ロードプライシング（渋滞課金）、パーク＆ライド、カープール優遇、テレワーク推奨などの施策が含まれる。公共交通の利用促進や歩行・自転車インフラの整備も TDM の一環である。 【事例】 • ローマ市の交通需要管理は、「ゾーニングや ITS を駆使したアクセス制限」と、「インセンティブを活用したシェアモビリティの利用促進」を軸に進められている。都市全域を 6 つのゾーンに分け、ゾーンごとに異なる交通制限を設けている。主要なゾーンは 1～3 までであり、残りのゾーンは外周部や特定の地域に設定され、規制の強度が軽減されている。電子ゲートや信号制御システムを統合し、リアルタイムデータに基づく柔軟な流入制限を実現している。市全域の VSM を用いてドライバーや住民の状況を提供している。3.7.1

出典：調査団

表 1.5.3　途上国での交通管理 DX 展開にむけた提言

社会的な問題	社会的問題を解決するための技術・政策	導入に向けた課題・制約
3.1　途上国で導入が期待される技術		
交通状況を把握するための感知器の設置・維持管理費がない	**1) プローブデータによる感知器データの代替** 【概要】 感知器がほとんどない途上国においては、低コストでリアルタイムな交通情報を取得できるプローブデータの利用可能性は高い。従来の感知器と比較し、広範囲の交通状況を継続的に把握でき、特に混雑状況の動的変化に対応した適応型信号制御の導入・維持管理コスト削減が期待される。 【事例】 • Waze for Cities 2.3.3 • TomTom Move 2.3.3 • iTIC データ（バンコク）4.1.5 • 豊田通商モビリティインフォマティクス（バンコク）4.1.5 • DLT 商用車 GPS（バンコク）4.1.5	• 商用プローブデータの入手可能性と継続的に購入可能な価格であるか確認する必要がある。 • データのサンプル数や取得頻度が利用目的に合うか確認する必要がある
人流や交通需要の経年変化を継続的に取得する十分な方法がない	**2) CDR データによる大規模交通調査の代替** 【概要】 途上国でもスマホ普及率が高い国・地域では、プローブデータと同様に CDR データの利用可能性も高い。途上国では人口増加・流入率が高く、社会経済的な変化も大きいため経年的な交通需要の変動が大きい。CDR データにより、比較的低コストで継続的に交通需要に関する定量データを取得することが期待される。 【事例】 • モザンビークでの CDR データ分析 2.4.5 • リマでの CDR データをキャリブレーションに活用した需要予測モデルの構築 7.2.1	• 位置精度が基地局単位で粗く、交通手段や目的の把握も困難なため、他の調査・データとの統合や推測が必要となる。 • CDR データの入手（個人情報保護、通信会社へのデータ処理費用の支払） • 個人情報保護法に従う処理が必要
規格・基準が不統一な機材の混在による交通管理の効率性低下	**3) 複数規格との互換性を有する機材の導入** 【概要】 異なる交通管理システムを統合するプラットフォームを導入し、1 つの統合された環境に統合する。 【事例】 • ブエノスアイレス、リマ、パナマでは Kapsch 社の EcoTrafix によりシステムを統合している。3.3.12	• 統合可能な規格やプロトコルか確認と変換のための開発が必要となる。
3.2　途上国で必要な研究開発		
渋滞発生のメカニズム解明や対策の評価が十分になされていない	**4) Data fusion とデジタルツインを活用した施策評価** 【概要】 途上国では、インフラの未整備やドライバーの運転マナーの悪さなど渋滞発生要因が多重構造になっている上、交通データが不足しているため、個々の渋滞の根本要因やメカニズムは十分解明されていない。また、渋滞緩和策が計画・実施されても定量的な評価が十分なされていない。この問題を解決するため、Data fusion による詳細な交通状況分析とデジタルツインによる定量的な施策の評価を行うためのツールが求められる。 【事例】 • タイでの SATREPS「気候変動緩和に貢献する新興大都市におけるデータ駆動型の動的交通マネジメントに関する研究」では Data Fusion とデジタルツインのプラットフォーム構築が予定されている。9.7.3	• 十分なデータが得られるか、また不十分なデータの下でどこまでの精度、再現性を確保するかが課題

社会的な問題	社会的問題を解決するための技術・政策	導入に向けた課題・制約
3.3　途上国で導入が期待される政策・制度		
過大な交通需要	**5) 交通需要マネジメント** 【概要】 途上国では人口増加とモータリゼーションが急速であるため、交通需要マネジメント策が不可欠といえる。特に公共交通への転換を促進する施策が求められる。 【事例】 • インドネシアでは ERP の導入を DKI ジャカルタに担当組織を設けて検討している。市民の反発に警戒をしており、導入には自動車利用を代替する公共交通システムの整備が前提であると認識している。4.2.6 • ナンバープレート規制による自家用車利用抑制策は、車両購入を抑制する政策がないので、実態として自動車の購入促進につながっている（ITS Indonesia 見解）。	• 代替交通手段となる公共交通・歩道の整備が必要。 • 道路課金には市民の理解が必要。 • ITS システムの効果発揮には交通ルールの順守が必要
交通ルールが守られないことによる交通事故の発生と交通容量の低下	**6) 交通違反取締り強化** 【概要】 途上国では、信号無視や速度超過などの交通違反によって交通事故が多発し、また交通違反そのものによっても交通容量が低下している。ITS システムは交通ルールが順守されることが前提となっており、交通違反取締りが交通安全と交通流改善のために不可欠である。 【事例】 • 電子取り締まりシステム（インドネシア ETLE）4.2.7	• 交通教育や啓発活動が不十分で、ドライバーのルール順守意識が低い。 • 交通違反に対する罰則が軽微、または法の整備が不十分で抑止力が弱い。
交通警察の信号制御への手動介入による渋滞悪化	**7) 交通警察による信号制御手動介入の低減** 【概要】 途上国では、信号制御に手動介入し、下流交差点への過度な交通流入によりかえって渋滞が悪化するケースがみられるため、これを低減する必要がある。精度の高い交通データと面的制御を導入するか、手動制御の場合は隣接する交差点との連携を十分にする必要がある。 【事例】 • インドネシアでは以前は警察がスイッチで介入することあったが、現在は無くなっている。法律に基づき、警察の管轄は取り締まりで、信号制御への介入は管制センターの管轄になった。VIP 通過時の特殊制御時などは、警察とも連携している。4.2.5	• 警察官による仕事を一方的に奪わないよう、プライドを傷つけないよう配慮と調整が必要となる。
規格・基準が不統一な機材の混在によりデータ連携が難しく、維持管理コストも増加	**8) 規格・基準の統一と長期的な ITS 戦略の確立** 【概要】 この問題を解決するには、国際基準を参考にした統一規格の策定、政府の標準化主導、ドナー間の調整、長期的な ITS 戦略の確立が必要となる。 【事例】 • ITS Indonesia では、信号機の相互運用性について API により接続する構想がある。 • インドネシアの信号機の標準として Technical guidance があるが、これはあくまで最低限の情報を提示するものであり、技術的な詳細については書かれていない。また、運輸省規則第 76 号にも規定があるが、インターフェースに関する記述はなく、「API で接続が可能となるようにすること」が要件とされている。4.2.8 • ITS Indonesia による VV&E[8]認証 ITS インドネシアは ITS 関連のシステムについて第 1 世代～第 5 世代[9]までのレベルを定義している。国内では、Medan 市が第 4 世代として認証を受けており、ヌサン	• 現地の事情やインフラ水準に適合した基準の策定が必要

[8] Validation Verification and Evaluation

[9] 第 1 世代：孤立式制御、第 2 世代：地点感応制御、第 3 世代：中央管制システムによる感応制御（MODERATO、SCATS、SCOOT 等）、第 4 世代：AI を用いた制御、第 5 世代：デジタルツインによる各種データを活用した制御

社会的な問題	社会的問題を解決するための技術・政策	導入に向けた課題・制約
	タラでも第 4 世代の導入計画があるほか、スラカルタ州ソロ市では第 5 世代として認証を受けている。4.2.8	
価格のみによる入札や運用技術の不足で製品が十分な機能を発揮しない	**9) 入札仕様書の熟度の向上（それに対する技術協力）** 【概要】 低品質の製品が調達されないよう、2 envelop 方式による技術評価の導入や、標準や性能に基づく過不足のない評価が必要となる。また、納入された製品が所定の性能を発揮できるよう、入札仕様書にメーカーによる初期指導について明示する。政府機関・大学・専門家による研修プログラムを実施した、技術的な理解の向上や、実績に基づいた仕様書のテンプレートの作成も有効である。 【事例】 • 最新技術を考慮した入札図書の作成を政府や自治体だけで行うのは困難であるため、オーストリア政府 100%出資の非営利組織である Austriatech は、入札図書作成や入札実施を代理することがある。3.5.1	
ITS 機器の維持管理が不十分	**10)機材調達時に維持管理の仕組みを十分に検討** 【概要】 運営・維持管理を直営・外注どちらで実施するか機材調達段階で具体的に計画・予算化することが不可欠である。直営管理の場合は、組織・人材・トレーニング方法について検討する。外注の場合は、仕様書の整備、ODA 事業の場合は初期維持管理費の内包化も検討する。 【事例】 • 「インド国ベンガルール中心地区高度交通情報及び管理システム導入計画」では、O&M 付きの機材供与が実施され、5 年間の契約のもとで現地政府と O&M 事業者が協力する体制が構築された。O&M 契約では、SLA が設定され、99%以上の稼働率を求められる。7.1.2 • 「カンボジア国プノンペン交通管制システム整備計画」では、無償資金協力で中央管制システムが導入され、技術協力プロジェクトで維持管理能力を向上した。7.1.2 • DKI ジャカルタ交通局には、信号維持管理予算があり、導入後 1 年間はベンダーによる保守があるが、その後は交通局が維持管理を実施している。スペアパーツは事前に購入してストックしている。信号機の故障等については、Jakarta Smart City の提供する JAKI アプリ内の機能を通して、市民から報告を受ける。4.2.5	• 維持管理業務への Local fund (現地通貨建)の支払いに対する海外企業の懐疑を緩和することが必要 • 現地の契約慣行に配慮することが必要（例：インドネシアでは、通信線整備は路側機材設置契約の中に含まれる）
	11)現地企業の育成政策 【概要】 現地企業の育成は、ITS 技術の維持管理コスト削減に不可欠である。システムの維持管理や改良を現地で対応できる体制を構築することで、長期的な運用が安定する。具体的には国際企業とのパートナーシップや技術移転・研修プログラムなどの方法が考えられる。現地企業との連携は、国際企業にとっても市場拡大のチャンスとなる。 【事例】 • インドネシアでは政府調達庁が管理する E カタログへの登録を義務付ける国産品優先政策を導入している。国際企業は現地にパートナー企業を持つことで製品を納入している（例: トルコ ISSD 社と Zetech Laraka Utama 社、Yunex Singapore 社と NEWTEL 社など）4.2.2 • キャノンの AI 画像処理技術を有する新興国企業の買収と当該企業の人材、経営ノウハウの活用 8.1.5 • 現地法人の設立による O&M 体制構築（ゼロサムインディア 8.1.1	• 行き過ぎた国産品優先策や価格優先の入札が行われると先進国の質の高い技術の導入が困難になる。 • 単なる納入業者にとどまると技術移転が進まない。

出典：調査団

表 1.5.4　欧米や本邦企業による海外展開のグッドプラクティスの事例

海外展開のグッドプラクティスの事例	
会社名、製品・サービス	海外展開の形態
蘭 TomTom 社 プローブデータ解析提供サービス 3.6.2	途上国へのサービス販売は、基本的にはローカルパートナーを通じて政府向けに提供（直接の政府販売はしない）。 有能な現地パートナーを求めている。ドナー機関との協業にも関心。
英 Good Vision 社／Vision Insight 3.3.2	SaaS（システムを売るのではなくサービスを提供）、サブスクリプション契約で初期投資経費が不要。
チェコ RCE Systems 社／DataFromSky の画像解析による交通データ解析サービス Traffic Survey 3.3.1	SaaS は、従量課金でイニシャルコストが必要なく、既存の CCTV カメラなどのデータを活用でき、Web にアップロードするだけで画像解析処理が行われ、そのアウトプットをユーザーが自由に分析できるため、交通量調査の省力化や交通安全に関する事故の分析など、途上国の環境でも十分活用可能。
シンガポール ST Engineering 社 総合エンジニアリングサース 3.3.10	2022 年に米国の交通システム製品・サービスを提供する TransCore 社を約 3,000 億円で買収して 100%子会社化。TransCore 社の有する陸上交通関連の技術・製品・サービスを取り込むことで、Smart City 事業の更なる市場拡大・マーケットシェアを拡大。特に RFID 技術等による料金収受システムのソリューションと実績を手に入れることで、料金収受ソリューションをアセアン各国に導入することを目指している。
独 YunexTraffic 社（旧 Siemens 社の信号等部門） 信号制御及び交通管理システム 3.6.1	地域ごとの特性に応じた柔軟な戦略を採用。ドイツを開発・運用拠点とし、ヨーロッパ全体のプロジェクトを牽引。アメリカでは、直接販売ではなくディストリビューター（仲介業者）を通じた販売が中心。ラテンアメリカでは、現地法人とその他の国では代理店やパートナーを活用。南アフリカでは、SIEMENS Mobility がローカルパートナーとして活動しており、機器の販売や導入を担当。メンテナンス契約では、顧客と稼働率保証や応答時間などの要件での SLA 契約を締結。
墺 SWARCO 信号制御及び交通管理システム 3.3.13	支社がない場合には製品販売のみに特化し、導入や保守を現地請負業者に任せる戦略を採用している。維持管理については、現地業者が O&M を実施し、必要に応じて本社から技術者を派遣しオンラインサポートを提供
米 Flow Labs 交通データ解析サービス 3.2.4	OEM からプローブデータを入手し、それを交通管理に活用できるような形で加工し、付加価値をつけて提供、AI を用いて可視化や分析を行い、交通信号管理、道路交通安全管理、交通需要管理、環境影響管理等データ駆動型のソリューションをプラットフォームとして提供する。
蘭 TNO デジタルツインソフトウェア 3.4.2	研究機関や企業が新技術を開発し、その技術が成熟するとスピンオフ企業として独立させ、市場に投入する方式である。例えば、オランダの TNO は、技術開発後にスピンオフ企業として分社化し、TNO が株を売却し、その資金を新たな開発をするために活用するモデルを採用している。維持管理については、スピンオフ企業が独自に O&M を担う形となり、元の研究機関が技術支援を継続する。
日本 村田製作所 トラフィックカウンター及びデータ販売ビジネス 8.1.4	道路に設置した多数のセンサーから交通データを収集し、交通管理者だけでなく、民間の広告業界にもデータを提供するビジネスを展開。 実際にデータを販売するのは、現地パートナー企業であり、データの収集、販売先の開拓、顧客サポート、機器のメンテナンスはパートナー企業が担当し、データ販売の売り上げはパートナー企業がもつ。村田製作所は、「トラセンサーカウンタシステム」をパートナー企業に提供し、センサー実装部分をサポートする。サーバーや機器の使用料などトラフィックカウンタシステムに関するライセンスフィーが売り上げとなる。インドネシアでは、パートナー企業である地場のスタートアップをパートナー企業として政府調達の電子カタログにシステムを登録、販路を拡大。
日本　三菱重工 ERP2.0 の開発 8.1.3	政府資金を活用した EPC 契約を活用することで、開発や設計の段階から関与でき、仕様の検討や開発資金の確保が可能となった。ERP 2.0 はシンガポール政府が知的財産権を管理しており、他国展開には LTA の子会社 MSI が関与する。第 3 国との政府機関と連携した他国への展開による市場開拓を目指す。

海外展開のグッドプラクティスの事例	
会社名、製品・サービス	海外展開の形態
日本　キャノン ネットワークカメラ事業 8.1.5	シナジー効果のある製品やサービスをもつ海外会社（Axis や BriefCam）を戦略的に買収することにより、買収した企業の技術を自社製品と連携させ海外展開の拡大を進めている。買収した Axis にとってもブランド力が付き、キャノングループに加入した 2015 年以降、売上・営業利益ともに大幅に成長している。特にネットワークカメラによるセキュリティや監視の需要が世界中で高まっていることを踏まえて、国際市場への展開を促進させた。
ゼロサム アーメダバード市での ITSPPP 事業 8.1.1	JICA の民間提案型普及・実証事業をきっかけに、現地政府から ITS 事業（VMS での交通情報提供＋広告）の PPP 事業を展開。30 年分の広告ライセンス料を無償で広告収入を得る代わりに ITS の初期導入費の回収と運営費に充てるビジネスモデルを実施
名古屋電機、ゼロサム ベンガルール ITS への参入 7.1.2	現地合弁企業が維持管理に参加することを前提に、O&M 付の信号他 ITS 機材の入札に参加

出典：調査団

1.6　報告書における調査行程および面談者

(1)　先進国調査

本プロジェクト研究では、先進国調査対象国として、文献レビューにおいて特に交通管理 DX 分野で先進的な取組みが多く、かつ途上国への適用可能性が比較的高い技術や取組例の多かった米国および欧州（ドイツ、オーストリア、オランダ、イタリア、スペイン）を選定した。先進国調査のヒアリング先の選定に際しては、以下の観点からバランスを考慮して選定した。

- 交通管理 DX 分野の先進的な技術・製品を持つ**民間企業**
- 交通管理者として交通管理実務を担う**地方自治体**
- 交通管理に関わる標準や規制を策定する**政府・民間機関**
- 交通管理分野の研究やプロジェクトを実施する**大学機関**

米国調査（準備渡航の ITS America 参加含む）、欧州調査（ドバイでの ITS 世界会議を含む）の調査行程およびヒアリング先を以下に示す。

a)　ITS America

表 1.6.1　ITS America 行程およびヒアリング相手

日付	内容
2024/04/20	移動
2024/04/21	
2024/04/22	現地視察（HAWK、ministack 立体交差、HOV レーン、LRT、WAYMO）
2024/04/23	Goodvision、Miovision、SWARCO McCain, Inc.、LYT.、Axilion、iteris
2024/04/24	Arcadis、Econolite / PTV Group (Umovity)、INRIX / GM Future Roads、WAVETRONIX
2024/04/25	Southwest Research Institute、TomTom、Yunex Traffic、Kapsch、Flow Labs
2024/04/26	帰国
2024/04/27	

b)　米国調査

表 1.6.2　米国調査行程およびヒアリング相手

日付	都市	内容
2024/07/07	移動	
2024/07/08	Washington D.C.	FHWA/USDOT HQs Turner Fairbank Highway Research Center
2024/07/09		Virginia DOT、Iteris
2024/07/10		現地視察
2024/07/11	移動	
2024/07/12	Florida 州 Orland	Florida DOT
2024/07/13		現地視察（FDOT）
2024/07/14	移動	
2024/07/15	San Francisco	Caltrans、Flow Labs
2024/07/16	San Jose	LYT
2024/07/17	移動	
2024/07/18	Seattle	Washington DOT、Seattle DOT、INRIX
2024/07/19		現地視察
2024/07/20	帰国	
2024/07/21		

a)　欧州調査

表 1.6.3　欧州調査行程およびヒアリング相手

日付	都市	内容
2024/09/15	移動	
2024/09/16	ドバイ（ITS 世界会議）	PTV、Data from Sky (RCE systems s.r.o.)
2024/09/17		GoodVision、TomTom、ハンブルク市、TNO、Q-Free、 ST Engineering
2024/09/18		Miovision、BASt、Austriatech
2024/09/19		MAPtm、Yunex Traffic、Kapsch、Swarco
2024/09/20		ERTICO、TISA
2024/09/21	移動（フランクフルトへ）	
2024/09/22	移動	
2024/09/23	オランダ（アムステルダム）	ドキュメンテーション
2024/09/24	オランダ（ユトレヒト）	Utrecht 市、MAPtm、Rijkswaterstaat、CROW
2024/09/25	オランダ（デルフト）	デルフト工科大学、Connekt（ITS Netherlands）、TNO
2024/09/26	移動	
2024/09/27	オーストリア（ウィーン）	Austriathech、ASFiNAG
2024/09/28		
2024/09/29	移動	

日付	都市	内容
2024/09/30	ドイツ（ベルリン）	TomTom
	スペイン（マドリード）	Celle30、Syntony
2024/10/01	移動	
	スペイン（マドリード）	Indra
2024/10/02	ドイツ（ミュンヘン）	KIVI Project、Yunex
	移動	
2024/10/03	イタリア（ローマ）	ローマ市交通局、PTV
2024/10/04	移動（フランクフルトへ）	
2024/10/05	帰国	
2024/10/06		
2024/10/07		

(2)　**途上国調査**

途上国調査の対象としては、先進的な交通管理システムの開発を検討しているタイ・バンコク首都圏と、先進的な交通管理システムを導入した事例を持つインドネシア・ジャカルタ特別州を選定した。途上国調査のヒアリング先の選定に際しては、以下の観点からバランスを考慮して選定した。

- 交通管理者として交通管理実務を担う**地方自治体**
- 交通関連データを収集・管理する**政府機関**
- 交通管理 DX 分野で途上国進出を目指す**民間企業**
- 交通管理分野の研究やプロジェクトを実施する**大学機関**

タイ調査、インドネシア調査の調査行程およびヒアリング先を以下に示す。

a)　タイ調査

表 1.6.4　第 1 回タイ調査行程およびヒアリング相手

日付	内容
2024/07/29	移動
2024/07/30	Chulalongkorn University、ATRANS
2024/07/31	Toyota Tsusho Mobility Informatics Pte. Ltd.（オンライン）、 Agachai 教授（オンライン）、Shutoko International (Thailand) Co., Ltd.
2024/08/01	Murata Manufacturing Co., Ltd.
2024/08/02	自社業務
2024/08/05	iTIC foundation、Toyota Daihatsu Engineering & Manufacturing Co., Ltd.
2024/08/06	SIIT（シリントン国際工学部）Apichon 助教、Genius Traffic System Co., Ltd.
2024/08/07	JICA Thailand Office
2024/08/08	DLT、TECHSAUCE、岩根研究所
2024/08/09	PSK Consultants Co., Ltd.
	移動
2024/08/10	

表 1.6.5　第 2 回タイ調査行程およびヒアリング相手

日付	内容
2025/01/06	移動
2025/01/09	Chamuchuri Square（ビデオ撮影候補地点）視察
2025/01/10	バンコク信号技プロヒアリング（オンライン） 名古屋電機　ヒアリング（ハイブリッド開催）
2025/01/14	RamaIV プロジェクトについてヒアリング（Chaodit 博士）
2025/01/16	交通調査①（Sam Yan Intersection）
2025/01/17	交通調査②（Maen Si Intersection）※VIP 通行により中止 BMA へのヒアリング
2025/01/21	PSK へのヒアリング
2025/1/22	交通調査②（Maen Si Intersection）
2025/01/23	DOH へのヒアリング
～	データ解析・ドキュメンテーション
2025/02/04	移動

b)　インドネシア調査

表 1.6.6　インドネシア調査行程およびヒアリング相手

日付	内容
2024/12/02	移動
2024/12/03	JAST セミナー
2024/12/04	インドネシア大学、ITS Indonesia, PT Marktel
2024/12/05	ドキュメンテーション
2024/12/06	DKI Dishub（ERP Team）、JICA インドネシア事務所
2024/12/09	DKI（JICA 専門家・秋元氏）
2024/12/10	ドキュメンテーション
2024/12/11	Dishub DKI Jakarta、Network Operation Center 視察
2024/12/12	PT Roatex Indonesia Toll System
2024/12/13	インドネシア大学（Sutanto 教授）、Roatex コントロールルーム視察
2024/12/14	帰国

第2章　交通管理における先端技術の活用

2.1　概要

本章では、交通管理における先端技術の活用における文献調査の結果を示すこととする。本調査で把握している、交通管理に関する先端技術を表 2.1.1 に示す。文献調査により、最新の研究動向と実証もしくは実用化している適用技術・サービスを検索し整理した。

また、これらの適用技術については、先進国調査にて、企業、交通管理者、学術機関と面談し、その活用状況を補足している。

表 2.1.1　先進国の交通管理分野における先端技術

大項目	交通管理分野における先端技術（例）
交通センサー	・Bluetooth を活用した OD 分析、旅行時間情報提供 ・マイクロ波を使った車種別交通量観測 ・AI 画像解析を用いた交通流監視及び違反検知
モバイル・CDR データ	・携帯電話通話記録を基にした交通流（OD）や滞留時間の分析
民間プローブデータ、V2X・コネクティッドビークルデータの活用	・プローブデータを活用した交通流監視 ・V2X から読み取れるデータを元にした交通解析
信号制御・データプラットフォーム	・プローブデータを活用した信号現示最適化 ・自律分散型の信号制御 ・ビッグデータ AI 解析を基にした信号現示最適化 ・V2X と連携した信号制御 ・各種データを活用した交通管理プラットフォーム
渋滞予測	・プローブデータ及びリアルタイム交通データをパラメータにした交通流予測シミュレーション ・データプラットフォームと AI を活用した交通状況予測
平面交差の新たな制御方法	・近年米国を中心に導入が進んでいる右折をできるだけなくした平面交差部の幾何構造・交通制御方式（Alternative Intersection）

出典：調査団

使用した文献は、表 2.1.2 の通りであり、この文献調査によって近年の交通管理手法の先端技術や知見、各国の信号制御、センサー、プローブデータ等の活用の動向を整理した。上段 2 つの文献については 2.2 に、下段の Web サイトでの記事や学術論文の調査結果は 2.3、2.4 に記載する。

表 2.1.2　調査した文献リスト

項目	文献名	概要
信号制御	Global Practices on Road Traffic Signal Control	世界各国の信号制御に関する現状の調査結果が記載されている。著者：名古屋大 中村英樹教授他
交通管理の手法	Transporation Operations Manual 2022	AASHTO からの刊行。NCHRP 監修近年のビッグデータ解析を含めた交通管理手法に関するガイダンス。Transportation Systems Management and Operations（TSMO）戦略について解説している
表 2.1.1 で示した先端技術	ITS International Intelligent Transport その他各企業の Web サイト	ITS に関する Web サイト。最新関連情報や企業の Webinar や Video での Case Study の紹介等

出典：調査団

2.2　既存・先端技術に関する文献調査

2.2.1　Global Practices on Road Traffic Signal Control

(1)　書籍概要

本書籍は、WCTRS[1]ブックシリーズの 1 冊として、2019 年に発行された。著者には名古屋大学の中村英樹教授ら各国の交通分野の研究者がおり、16 か国・地域[2]の交通信号システムの概要・歴史・最先端技術、信号制御方式と考え方、機器メーカー、ソフトウェア、パラメータ設計手順等について紹介されている。以下に示す 15 章で構成されており、2 章で信号制御の基本事項に触れ、3～14 章で各国の信号制御方式について 20 ページ程度でまとめ、15 章で各国の信号制御の比較を行っている。

第 1 章　Introduction
第 2 章　Principle of road traffic signal control
第 3 章　United States and Canada
第 4 章　Germany and Austria
第 5 章　United Kingdom
第 6 章　France
第 7 章　Switzerland
第 8 章　Turkey
第 9 章　Australia and New Zealand
第 10 章 Japan
第 11 章 China
第 12 章 India
第 13 章 South Korea
第 14 章 The State of Qatar and the United Arab Emirates
第 15 章 Initial comparative analysis of international practice in road traffic signal control

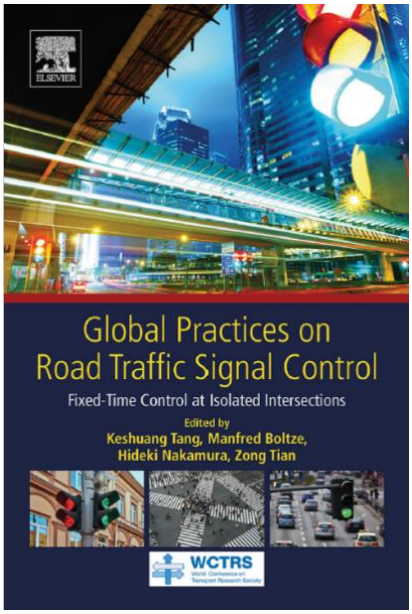


図 2.2.1　Global Practices on Road Traffic Signal Control の表紙と章立て

[1] World Conference on Transport Research Society
[2] アメリカ合衆国、カナダ、ドイツ、オーストリア、イギリス、フランス、スイス、トルコ、オーストラリア、ニュージーランド、日本、中国、インド、韓国、カタール、アラブ首長国連邦（UAE）

(2)　対象国における信号制御方式

信号制御方式は、大別すると以下の 3 種類に分けられる。

- 固定時間制御：感知器からの交通量データによらず、一日を通して固定または時間帯ごとに固定された信号タイミング（Time-of-day）による制御方式
- 感応式制御（Actuated Signal Control）：個々の交差点で感知器から入力される交通量データに基づき動的に信号を制御するが、他の交差点との連携は少ない制御方式
- 適応制御（Adaptive Signal Control）：複数の交差点やエリア全体での交通流を最適化するため、リアルタイムのデータに基づいて柔軟に信号を調整する制御方式

対象国における固定時間制御、感応式制御、適応制御の割合を表 2.2.1 に示す。感応式制御や適応制御は、アメリカ、カナダ、ドイツ、オーストリア、イギリス、フランス、スイス、オーストラリア、ニュージーランド、日本など、先進国でより一般的で、特にカタールと UAE では、ほとんどの信号交差点が SCATS や SCOOT によって運用されている。一方、カウントダウン装置が広く使用されている国々では、Time-of-day 制御方式に依存する傾向が強い。

アメリカとカナダでは、Time-of-day 信号制御の下での感応式制御が一般的であり、イギリス、オーストラリア、ニュージーランド、カタール、UAE では、SCATS や SCOOT、STREAMS などの複雑な信号制御アルゴリズムを使用した中央集権型適応制御が典型的である。ドイツ、オーストリア、スイスでは、ルールベースの感応式制御がより一般的であり、公共交通の優先にしばしば使用されている。日本の交通信号の大半は、固定時間制御（48%）または中央集権型適応制御（43%）のいずれかで管理されており、完全感応式および孤立制御はわずか 9%に留まる。中国、インド、韓国のような国々では、固定時間制御が依然として主流であり、感応式制御や中央集権型適応制御はごくわずかである。（書籍 15.3 より抜粋）

表 2.2.1　各国の固定時間制御、感応式制御、適応制御の比率

国	固定時間制御	感応式または適応制御
アメリカとカナダ	わずか	大部分（完全感応式または Time-of-day 下の感応式連動制御）
ドイツとオーストリア	わずか	大部分（主にルールベースの感応式制御）
イギリス	わずか	大部分（主に孤立感応式または SCOOT を使用した中央集権型適応制御）
フランス	わずか	大部分（ドイツと類似）
スイス	わずか	大部分（ドイツと類似）
トルコ	62%	38%（半感応式：26%；完全感応式：7%；中央集権型適応制御：4%；フラッシュ：1%）
オーストラリアとニュージーランド	わずか	大部分（主に孤立感応式、または SCATS・STREAMS による中央集権型適応制御）
日本	48%	52%（中央集権型適応制御：43%；孤立感応式：9%）
中国	95%	5%（孤立感応式または SCATS 等による中央集権型適応制御）
インド	大部分	少量
韓国	99%	1%（孤立感応式）
カタールと UAE	わずか	大部分（主に孤立感応式または SCATS および SCOOT を使用した中央集権型適応制御）

出典: Global Practices on Road Traffic Signal Control (Table 15.2)

(3)　各国の信号制御器メーカーと制御システム

現代の信号制御器の開発は、手動制御のものに代わって 1930 年代に始まった。初代の信号制御器である固定時間信号制御器は、感知器とコンピュータ技術の急速な発展により、すぐに感応式または適応式の信号制御器に取って代わられた。現在まで、カタールと UAE を除くすべての対象国では、主に国内の信号制御器が使用されている。信号制御器は、コンピュータ、通信、センサー技術の進歩とともに、孤立固定時間、孤立感応式、中央集権型連動、中央集権型適応へと進化を続けている。

対象国の主要な信号制御器メーカーは表 2.2.2 に示されている。この表は、シーメンスが信号制御器の最も成功したグローバルメーカーであることを示しているが、そのシェアは、特にアメリカや中国などの国内企業が急速に台頭している国々で、最近大幅に減少している。シーメンスの信号部門は、現在は Yunex Traffic 社に変わっている。

特筆すべきは、2006 年にアメリカで新しい信号制御器標準 ATC[3]が発表され、2008 年に EU で OCIT[4]が発表されて以来、信号制御器、感知器、車両、路側機器間の通信に関するソフトウェア・ハードウェアの基準が大きな注目を集めていることである。

表 2.2.2 に示される制御システムは、ルールベース、モデルベース[5]、およびその混合の 3 つに大別できる。例えば、ドイツ、オーストリア、スイスで実装されている BALANCE、TACTICS、VS-PLUS の多くは基本的にルールベースである。アメリカ、イギリス、フランス、オーストラリア、日本で実装されている Centracs、ATMS、SCOOT、SCATS、CRONOS、PRODYN、STREAMS、MODERATO などは、モデルベースまたは混合である。

さまざまな中央集権型適応制御システムが開発されてきたが、その費用対効果は長い間業界と学界で議論されてきた。これらのシステムは、ネットワークレベルで大きく変動する交通流に対応できるが、質の高い感知器と経験豊富なエンジニアに大きく依存している。一方で、多くの学者や実務者は、質の高い感知器を設置し、経験豊富なエンジニアを雇うことができない状況では、良く設計された固定時間信号制御と明確に定義されたコリドー連動が、費用対効果の観点から良い代替手段であると考えている。（書籍 15.4 より抜粋、一部省略）

表 2.2.2　各国の信号制御器メーカーと制御システム

国名	信号制御器メーカー	信号制御システム
アメリカとカナダ	Econolite, McCain, Naztec/Trafficware, Peek, Siemens USA, Intelight, etc.	Centracs, QuicNet, ATMS, TACTICS, MaxView, TransSuite, etc.
ドイツ オーストリア	Siemens, Swarco, AVT Stoye, etc.	BALANCE, MOTION, VS-Plus, etc.
イギリス	Swarco, EDS, SRL, etc.	SCOOT, LINSIG, OSCADY PRO, etc.
フランス	Fareco, Aximum, Lacroix Traffic, Polyvelec, etc.	CRONS, PRODYN, GLOCALE, CLAIRE, GERFAUT II, GERTRUDE, etc.
スイス	VRGA, Bergauer AG, Siemens, Swarco, etc.	VS-PLUS, FESA, TS200, etc.

[3] Advanced Traffic Controller
[4] Open Communication Interface for Road Traffic Control Systems
[5] 適応制御において、リアルタイムの「交通データと交通モデル」を用いて最適化するものを model-based、リアルタイムの「交通データ」に基づいてルールベースで信号制御するものを rule-based と呼ぶ。

国名	信号制御器メーカー	信号制御システム
トルコ	Isbak, Tek Teknotel, Siemens, Rayennur, Tankes, ISSD, etc.	ATAK, CHAOS, CYCLOPS, etc.
オーストラリアとニュージーランド	Tyco Traffic and Transportation, Quick Turn Circuits, Aldridge Traffic Controllers, etc.	SCATS, STREAMS, SIDRA INTERSECTION
日本	Nippon Signal, Sumitomo Electric Industries, Panasonic, Kyosan Electric Mfg., Koito electric industries, Omron, etc.	MODERATO, etc.
中国	Qingdao HISENSE, Nanjing LES, Shanghai BAOKANG, Lianyungang JARI, Anhui KELI, SIEMENS China, etc.	HICON, NATS, MiTCO, JRMATH, KELI-UTC, SCOOT, SCATS, etc.
インド	CDAC, CMS, BELL, Keltron, Envoyse Electronics, Swarco, Siemens, etc.	WiTraC, UCON, etc.
韓国	Korea Electric Traffic, Suhdol Electric and Communication, etc.	TRC, COSMOS, SMART, etc.
カタールと UAE	Siemens, etc.	SCATS, SCOOT, etc.

出典: Global Practices on Road Traffic Signal Control (Table 15.3)を元に調査団で追記

(4)　各国の最先端技術（State of the art on traffic signal control）

本書では対象 16 か国のうち、アメリカ合衆国とカナダ、イギリス、フランス、オーストラリアとニュージーランド、日本、中国、インド、韓国の章で交通信号制御に関する最先端技術（State of the art on traffic signal control）に関する節が設けられている。しかし、その内容は各国の信号制御に関するガイドライン、主な制御器メーカーと標準、信号制御ソフトウェアなど、主に 1970 年代～2000 年代に確立された内容を扱っており、本件のテーマである交通管理 DX に関わる個別事例を紹介するものではないためここでは触れない。

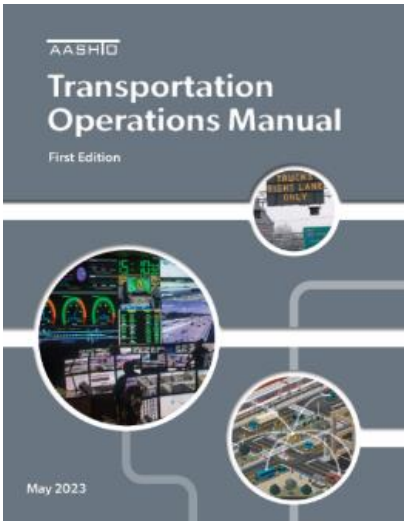
2.2.2　Transportation Operations Manual (TOM)

(1)　書籍概要

AASHTO（米国全州道路交通運輸行政官協会）が発行する本書籍は、交通運用に関する総合的なガイドラインを示すマニュアルである。このマニュアルは、交通運用に関連する政策、手法、および技術を統合し、州や地方の交通管理者に対して実用的かつ具体的な指針を提供することを目的としている。カバーする範囲は広く、都市部および地方の道路ネットワーク、インテリジェント交通システム（ITS）、緊急時の交通管理、情報提供システムなどが含まれる。

Part A：本書の目的・構成と関連ガイドライン内における位置づけ、Part B：TSMO[6]の概念、Part C：TSMO に基づくプログラムの設計・運用、Part D：個別プロジェクトの設計・実施、Part E：信号交差点の交通管理、データ取得、事故発生時の対応、貨物車両管理、先進的駐車管理、公共交通優先信号、ERP など多様なシーンにおける戦術、Part F：産業と技術のトレンドについて記載されている。

[6] Transportation systems management and operations

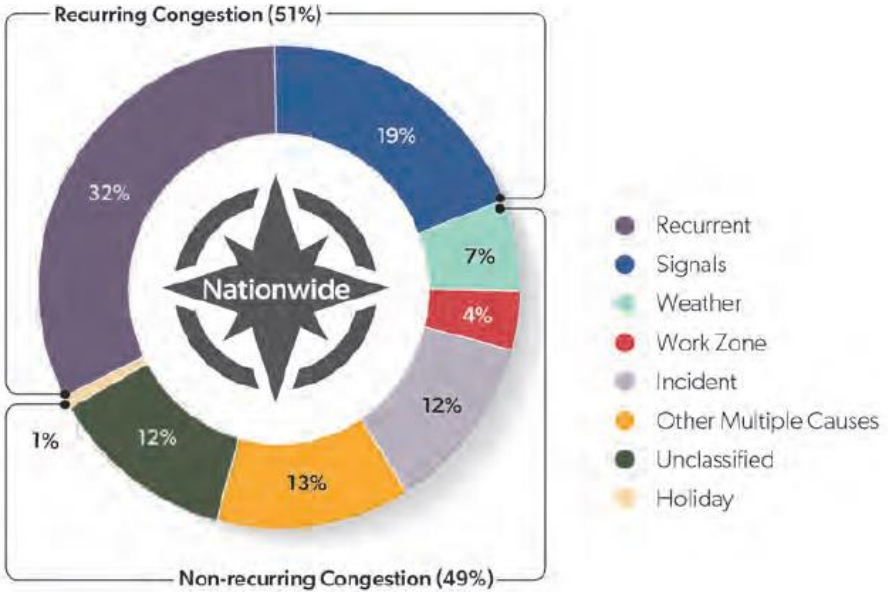


Part A: Introduction
1: Transportation Operations Manual Introduction
Part B: TSMO Concepts and Context
2: TSMO Concepts
3: TSMO in the Transportation Agency Context
4: Agency Readiness to Advance TSMO
Part C: TSMO Program Development and Management
5: TSMO Program Planning
6: Planning, Programming, and Funding for TSMO Tactics
7: TSMO Performance Management
8:Systems Engineering, Interoperability and Technology Management
9: Organization and Workforce
10: Collaboration and Outreach
11: Culture and Leadership
12: TSMO Capability Improvement, Guidance and Tools
Part D: Project Development
13: Performance-Based Practical Design
14: Performance Measures for Operational Improvements
15: Linking TSMO to Capital Projects
16: Procurement
17: Project Funding
Part E: Tactical Elements
18: Overview of Tactical Elements
19: Fundamental Elements of Situational Awareness, Communication, Decision Support, and Control
20: Event Management Tactics
21: Arterial Management
22: Freeway Management Tactics
23: Freight Operations
24: Advanced Integrated Tactics
25: Active Demand and Parking Management Tactics
26: Active Transportation Tactics
27: Transit Tactics
28: Tolling and Road Pricing
Part F: Industry and Technology Trends
29: Technology Trends
30: Industry Trends
Part G: Terms and Definitions

(2)　TSMO のコンセプト

TSMO は、主に幹線道路に関連する用語の定義と一般規定について定めるアメリカ合衆国法典第 23 編第 101 条において、「交通容量を維持し、交通システムの安全性・信頼性を向上させることを目的とした、交通モードの垣根や管轄区域を超えたシステム・サービス・プロジェクトデザインを通した既存インフラのパフォーマンスを最大限引き出すための統合戦略」と定義される。

従来の交通施策は、一定の容量を持つ道路区間と、それにより構成される道路網を整備することに焦点を当てており、これらは定常時のピーク時交通量に基づいて設計されている。しかし、多くの道路では、総遅延の半分以上が容量不足によるものではなく、予測不能な突発（Non-recurrent）事象によって引き起こされている（図 2.2.2）。このような突発事象は旅行時間を増加させるだけでなく、安全性と旅行時間信頼性も低下させる。TSMO は、突発事象および定常時の渋滞の両方を対象として、先進技術の活用と交通管理者のオペレーション等によって対応するための総合戦略である。表 2.2.3 は、TSMO で対象とする問題とその対策である。これを見ると途上国で多く見られるドライバーの運転マナーの悪さや、客待ち車両による車線占有などの問題は含まれておらず、アメリカ特有の問題があげられている。



出典: Transportation Operations Manual (Figure 2.1-1)

図 2.2.2　全米における道路混雑の要因

表 2.2.3　TSMO で対象とする問題と施策

問題	戦略と結果	TSMO の要素または戦術例
旅行者が現在・将来のトリップ条件について事前情報を持たないことによる、合理的なトリップ判断の妨げ	現在・将来のトリップ条件、天候、ルート・モードの選択肢等を提供して、旅行時間、ルート、およびモードを最適化する	事前情報（Pre-Trip Traveler Information）：複数のメディア（agency 511、アプリ、SNS）を介して提供（19.2.1 節参照）
リアルタイムの道路交通情報の不足（事故、混雑など）	経路上の混雑状況、事故等についてのリアルタイムな情報を提供してトリップ判断をサポートする	経路上情報（En Route Traveler Information）：ダイナミックメッセージサインや車載/モバイルデバイス経由の情報、旅行者情報プロバイダーとの共有（19.2.2 節参照）
地域全体のリアルタイム交通情報の不足による、管轄間での調整不足	全てのインシデントレスポンダーの状況把握、分析、通信、対応をサポートする「コントロールルーム」を提供	交通管理センター（TMC）：モニタリングおよびデータ取得、音声/テキスト/電子メール通信の提供（19.3 節参照）
交差点やコリドーの過剰な渋滞、または効率的でない信号タイミングによる渋滞	高度な信号制御戦略を使用して、交通応答型または交通適応型信号制御を提供し、ネットワーク全体で遅延を最小限にする	高度交通信号システム（Advanced Traffic Signal Systems）：信号制御戦略や交通応答/適応信号制御の使用（21.2 節参照）
フリーウェイランプにおけるピーク時の過剰な混雑と安全性の低下	交通状況や予測条件に基づいてランプの流量を制御し、主要路線の交通混雑と安全性の低下を最小限に抑える	ランプ管理および制御（Ramp Management and Control）：ランプメータリング/予測ランプ信号の使用（22.1 節参照）
交通事故や車両故障による渋滞と旅行時間信頼性の低下	迅速な事故の検出、管理、復旧による交通流の回復と安全の確保、状況・迂回路情報の提供	交通インシデント管理（TIM）：事故の検出、検証、復旧、原因究明、医療対応、交通状況・迂回路の情報提供（20.1 節参照）
悪天候（雪/氷、霧、雨等）により安全な通行が難しい状況	道路管理者向け、旅行者向けの現況・予測気象情報を提供する	路上気象管理（Road Weather Management）：路側センシング、気象情報取得、復旧と情報提供（20.3 節参照）

問題	戦略と結果	TSMO の要素または戦術例
計画された特別イベントによる重大で集中的な交通混雑	一時的な交通および駐車管理戦略を準備し、イベントによる交通への影響を最小限に抑える	計画された特別イベント管理（Planned Special Event Management）：イベント関連の交通管理（20.5 節参照）
工事現場における渋滞、運転手のフラストレーション、交通事故の可能性の増加	動的な交通応答型交通制御（車線使用、速度、警告）を提供し、安全性を向上させ、交通流を改善する	路上工事交通管理（Work Zone Traffic Management）：検出、監視、車線制限、速度制限、標識、信号制御、情報提供（20.4 節参照）
混雑時の公共交通優先の欠如	混雑した交通の中での公共交通の旅行時間信頼性と安全性を向上させるための優先運行	トランジット戦術（Transit Tactics）：公共交通車両に優先権を与える（27 章参照）
証明書確認、サイズ/重量の遵守、駐車情報や適切なルート情報の不足による貨物車両の遅延	技術とツールを提供して貨物の動きを促進し、リアルタイムで先進的な経路情報を提供する	貨物車管理（Freight Operations）：ドライバーの管理、Weigh-in-Motion、貨物車駐車場・経路情報提供（23 章参照）
フリーウェイ上における交通渋滞や事故による流量低下、最後尾での追突事故	交通流を維持し、事故の影響を減少させるための速度制限と路肩を含む車線運用	高度交通管理（Active Traffic Management）：ダイナミックな速度制限および警告/車線運用情報の提供（22.2, 22.3, 22.4, 22.5, 22.6, 22.7 節参照）
並行するフリーウェイ、主要道路、公共交通の容量の統合的な有効活用	隣接するフリーウェイ、主要道路、モード間、管轄間のリアルタイムな調整によるネットワークレベルの最適化を実現する	統合回廊管理（Integrated Corridor Management）：ネットワークレベルでの交通・事故管理の調整機能の強化（24.3 節参照）
車線追加をせずに交通流を改善したり旅行時間信頼性を向上したりする必要性が生じた場合	HOV レーン、有料レーンの提供	管理車線（Managed Lanes）：専用車線の提供（24.4 節参照）
	ICT を利用したダイナミックな交通需要管理（出発時刻、モード、経路変更）	アクティブデマンド管理（Active Demand Management）：ダイナミックなライドシェア、経路誘導、オンデマンド交通等を通じて交通選択を影響する（Chapter 25 節参照）

出典: Transportation Operations Manual (Table 2.2-1)

2.3　最新の研究動向

交通管理に使える DX 技術として、データ収集分野として、交通センサー、モバイルデータ、プローブデータ、データ分析分野として、渋滞予測、データ活用分野として、交通信号制御、V2X がある。また、近年日本でも注目されているできるだけ交通の錯綜をなくす新たな幾何構造として、Alternative Intersection についても調査した。

まず、最初に研究レベルの動向としての過去 10 年間で発表された学術研究論文を対象に、研究動向に関する調査結果をとりまとめるとともに、続いて既に実証や実装されている製品、サービスについてとりまとめた。

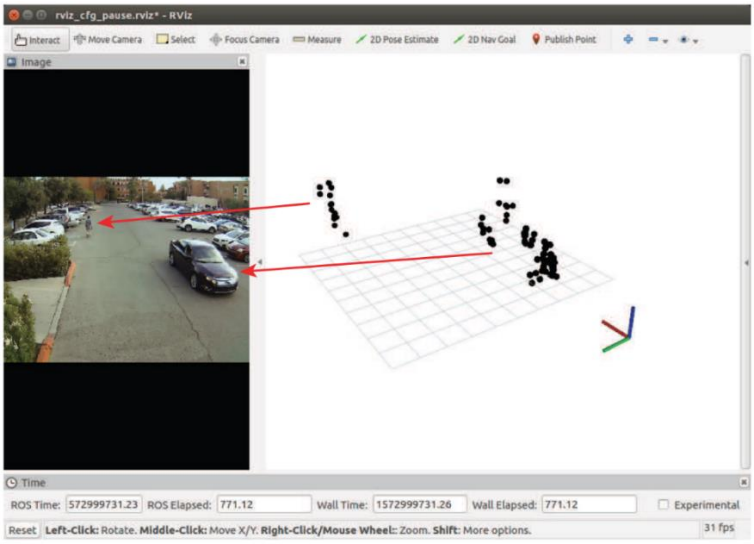
2.3.1　交通センサー

(1)　音波・電波式センサー

概要

車両及び歩行者の検知センサーとして、超音波などの音波、マイクロ波やミリ波などの電波を利用した感知器が広く利用されている。近年の傾向として、空間解像度の低いマイクロ波センサーからミリ波へ

の移行が進んでいる。また、LiDAR を利用した点群データから交通状況を抽出するより空間解像度の高いセンサーも実用化が進んでいる。これらの音波・電波・LiDAR を利用したセンサーの利点は、CCTV カメラとは異なり性能が悪天候に大きく影響されないこと、個人情報を収集しないため検出対象者のプライバシーが保護されることなどがある。



出典：Jin, F., Sengupta, A., Cao, S., & Wu, Y.-J. (2020)

図 2.3.1　LiDAR を利用した点群データからの車両検出の例 [1)]

主な研究テーマ

- ガウス混合モデルを用いたミリ波レーダー点群による交通モード分類 [1)]
- 24.1GHz FMCW レーダーシステムによる車線毎の交通流監視 [2)]
- 異なる交通状況下での LiDAR による交通量検出 [3)]

研究成果および課題

これらの研究からは、点群データにおいても、車両の位置および速度について正確な推定が行えた、CCTV カメラ映像等と組み合わせることで、異なる感知器間でも車両の追跡が可能であったとの報告がある。一方で、点群データによる交通モードの分類の精度や、膨大なデータの管理・保管といった課題も指摘されている。

(2)　Bluetooth・Wi-Fi センサー

概要

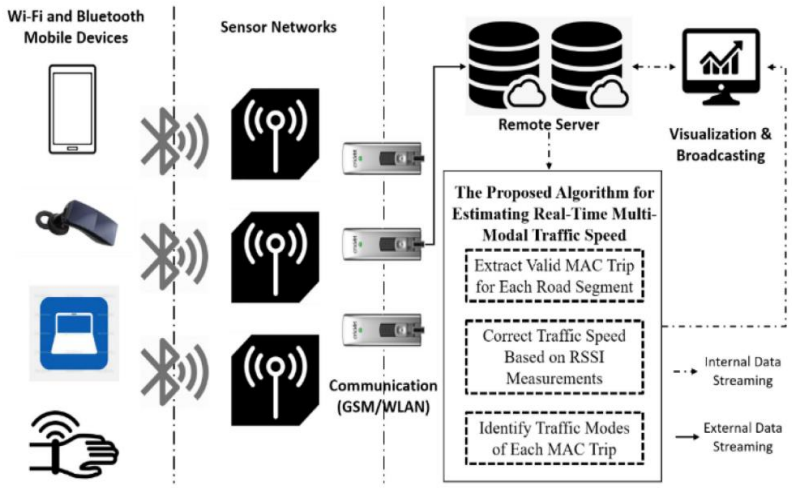
Bluetooth や Wi-Fi などの無線通信データは、ループ式車両感知器や CCTV カメラのような地点ごとのデータとは異なり、複数地点の観測データを用いて OD 情報を得ることができる。この特性を生かし、交通モニタリングに利用する方法や、そのモニタリング性能に影響を与える要因の研究・検証が行われている。

主な研究テーマ

- 旅行時間推定における Bluetooth センサーデータの評価 [4)]
- Wi-Fi センサーデータによる地域交通状況の推定 [5)]
- Wi-Fi と Bluetooth データに基づくリアルタイム速度モニタリングシステムの構築 [6)]
- バンコクの幹線道路網における Bluetooth データ収集によるトリップパターンの検出 [7)]

研究成果及び課題

Bluetooth と Wi-Fi データについて、2 つ以上のセンサーで MAC アドレスを使用して車両を識別することにより、同一車両を追跡することが可能となり、車両速度や軌跡などの交通特性を抽出できる [5]。さらに、データを長期的に収集すれば、OD とその変動性についても抽出できる [7]。なお、交通手段についてはクラスタリングアルゴリズム等を用いて分類する必要がある。図 2.3.2 は、リアルタイム速度モニタリングに対して提案された [6]システムアーキテクチャを示している。



出典：Pu, Z., Cui, Z., Tang, J., Wang, S., & Wang, Y. (2021)

図 2.3.2　混合交通におけるリアルタイム速度観測のためのシステムアーキテクチャ [6]

車両の速度は、センサーの検知性能に影響することが判明している。時速 80km を超えると MAC アドレスの検出数が減少することが示された研究もある。また、速度推計の精度を確保するためには、サンプル率はピーク時で 1%、オフピーク時で 5%程度あることが望ましいとされている。

これらのセンサーの課題として、データ量が膨大であるため、メモリに配慮した処理、大容量のストレージ等のリソースが必要となることが挙げられる。また、Bluetooth では、対応機器の数が浸透率に影響すること、Wi-Fi の場合は、基本的に MAC アドレスはランダム化されているため、長時間にわたる識別が難しくなっていることなどが挙げられる [8]。

(3)　カメラセンサー

概要

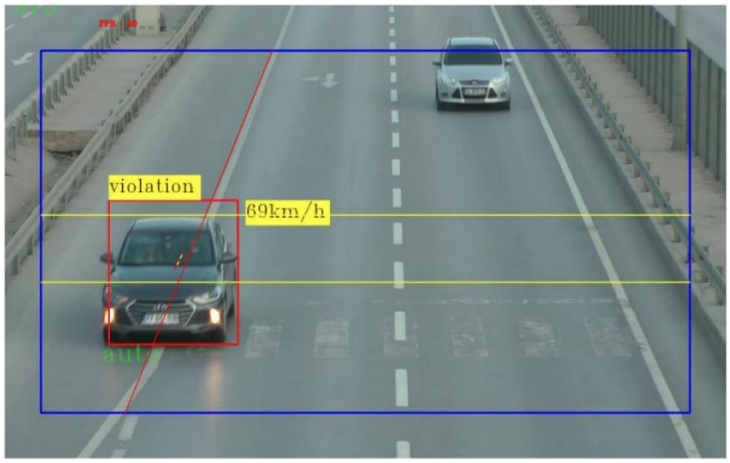
CCTV カメラからの映像は、交通状況のモニタリングや違反の検出に利用されてきた。近年では、目視だけでなく、機械学習アルゴリズムを利用した画像解析による物体検出・異常検知等の研究が進んでいる。研究のトレンドとしては、既存のアルゴリズムの精度向上、処理可能なフレームレートの向上、速度違反・逆走・進路妨害などの事故につながる違反検知等がある。

主な研究テーマ

i)　高速道路における交通流の推定のためのリアルタイム車両検知・追跡システム [9]
ii)　道路交差点におけるリアルタイム交通流監視システム [10]
iii)　画像処理による高速道路交通ルール違反の検出 [11]
iv)　画像処理によるリアルタイム交通ルール違反の判定：逆走と進路妨害の検出 [12]

研究成果及び課題

一般的な画像感知器の欠点として、カメラの設置高さや画角、悪天候、振動が精度に影響することが挙げられる。さらに、効果的な検知には高画質の映像が必要だが、現在のカメラは低画質のものが多い。



出典：Sentas, A., Kul, S., & Sayar, A. (2019)

図 2.3.3　カメラの映像を使った違反検出の例 [12)]

上述の交通センサーについて、その比較を表 2.3.1 に示す。

表 2.3.1　各種センサーによる検出の比較

センサー	概要	メリット	デメリット
音波・電波	音波・電波を直接当てて車両の位置を検出する	天候に左右されない 個人情報を収集しない	大規模なデータ収集 交通手段分類は難しい
Bluetooth Wi-Fi	携帯等の機器の通信を利用して車両の動きを追跡する	空間的な交通データ 大量のデータ 低コスト	検出頻度は浸透率・車両速度に依存する MAC アドレスのランダム化により追跡が困難
カメラ	監視カメラの画像や映像を交通監視に利用	輸送モードの検出が容易 違反検出を有効にする	天候・環境に影響されやすい 高品質のカメラが必要 高い計算能力を必要とする

出典：調査団

2.3.2　信号制御・V2X・デジタルツイン

(1)　プローブデータに基づく交通信号制御

概要

近年、プローブデータは車両速度や台数を計測するため、ループコイル式車両感知器の代用として導入されている。プローブデータは広範囲をカバーすることができ、センサーを設置する必要がなくコストが低いため、多くの研究者がプローブデータを入力値とした新しい交通信号最適化フレームワークとアルゴリズムの研究開発に取り組んでいる [47)48)49)]。また、ループコイル式車両感知器等のデータで動作している従来の信号制御手法にプローブデータを統合する研究も進んでいる [50)]。

主な研究テーマ

新しい交通最適化アルゴリズム・フレームワークの開発

1) プローブデータに基づく適応型交通信号制御アルゴリズム [47)]
2) 孤立交差点におけるプローブデータを用いた交通信号の多目的最適化 [48)]
3) 混合交通条件下での孤立交差点向けプローブベース需要対応信号制御 [49)]
4) プローブデータを用いた交通信号制御パラメータの計算 [50)]

研究成果及び課題

プローブデータは、現行のシステムや装置を大きく変更することなく、ループコイル式車両感知器のデータと置き換えが可能であることが示唆されている。制御性能の向上に関しては、プローブデータに基づく信号制御では、少なくとも 10%程度の遅延の削減が可能であるとされている。一方で、提案されている手法のほとんどにおいて、プローブデータの浸透率が低い条件下では、遅延削減の効果は薄いことが示唆されている。また、研究では小規模で単純なネットワーク条件のテストのみにとどまっており、現実の状況を反映した実証はほとんどない。予算や民間企業によるデータ提供範囲を含めたプローブデータ調達の難易度が国や地域によって異なることも実装の上では課題となる。

(2) 機械学習による交通信号制御

概要

機械学習手法に基づく交通信号制御の研究は増加傾向にある。多くの研究において機械学習手法が交通信号の最適化に利用できることを示しており、主に強化学習と深層強化学習の活用がトレンドである [51)]。強化学習における状態と報酬の設定や、モデルの数学的構造を追求する研究もある。

主な研究テーマ

現在の交通信号制御に関連する研究テーマとしては、インシデント発生時の交通信号制御 [52)50)]、ITS と交通信号制御の統合 [53)]、物体検出アルゴリズムからの信号制御 [54)]などがある。

リアルタイム交通信号制御

1. 交通信号制御のための深層強化学習に基づくアプローチ [55)]
2. 機械学習による AI ベースのリアルタイム信号制御システム [54)]

ITS との統合

3. ITS および強化学習に基づく交通信号制御システム [53)]

インシデント発生時の信号制御

4. 交通制御最適化のための機械学習を用いた Boosted 遺伝的アルゴリズム [52)]
5. リアルタイム交通予測を用いた事故発生時の推奨信号計画のための学習 [50)]

研究成果及び課題

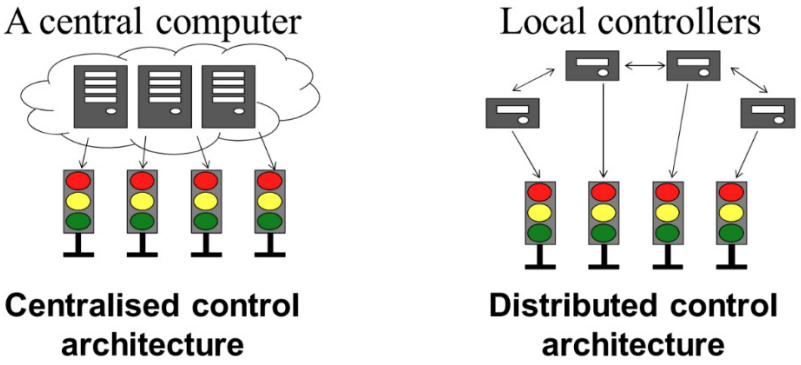
ほとんどの研究で、機械学習手法を用いた交通信号制御は交通渋滞を減らすことが示唆されている。これらの研究では、機械学習手法は将来の交通量予測に利用でき、これは交通管理者が計画を立案するのに役立つとしている。一方で、ほとんどの手法は実証実験の段階に到達していないため、計算時間やデータ収集に必要な機器などの制約が、交通信号制御への機械学習手法の応用に課題をもたらす可能性がある。実証実験の段階に達しているものに関しても、3.2.3 Florida DOT へのヒアリングによれば、AI には得意・不得意があり、不安定なシステムなどでは従来のエンジニアリングロジックが有効であることが確認されているため、この分野においては AI に頼ることに慎重な姿勢を示している。

(3)　交通信号制御の分散化

概要

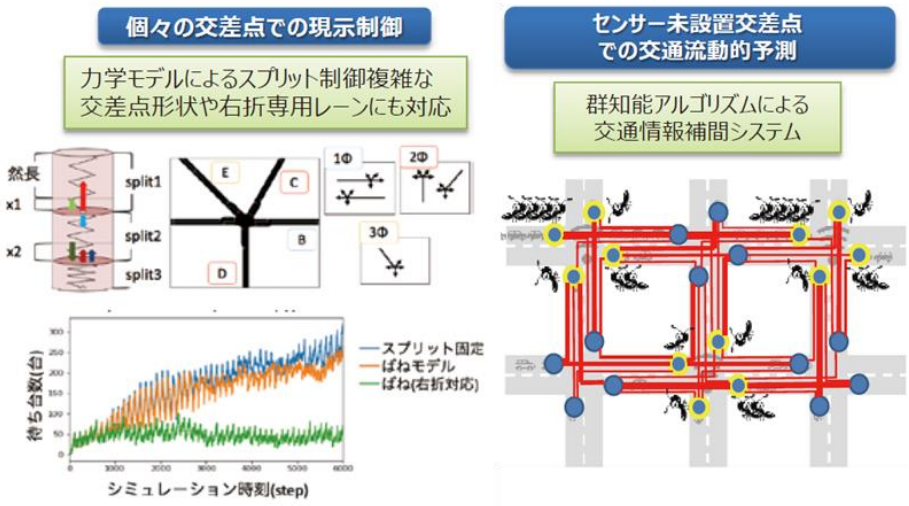
集中制御による調整は、交通流の効率化に効果的ではあるが、大規模ネットワークにおける交通状況の複雑な変動と相互作用のもとでは、理想的な最適化の実現は困難を極める。また、制御エリアが広範囲の場合や岐路の多い交差点などでは計算量が増大し、即応性が低下することが指摘されている。この問題を克服するために、計算時間が管理しやすい自律分散型信号制御が提案されている（図 2.3.4）が、集中制御に比べて全体最適化の性能は落ちてしまう。現在の研究では、この両者のギャップを埋めようとするものが多い。

慶応義塾大学大学院理工学研究科の栗原教授らのグループは、NEDO/人工知能技術適用によるスマート社会実現事業「人工知能を活用した交通信号制御の高度化に関する研究開発」の助成を受け、「ばねモデルを用いた交通信号機スプリット制御法」[84]を提案している（図 2.3.5）。この手法では、信号スプリットをばねの長さに、各現示の負荷量をばねにはたらく力にみたてて、負荷量に応じたスプリットを自律分散制御で設定する手法を提案している。この手法は複雑な形状の交差点においても適用可能であり、実在する 16 交差点をシミュレーションで再現してその性能を確認している。同グループは「群知能アルゴリズムによる交通情報補間システムの開発」[85]に関する研究もしている。この研究では、ネットワーク上で感知器のない区間の交通量を、感知器のある区間の交通量を用いて補間する方法を提案している。



出典：Sha, R., & Chow, A. H. F. (2019)

図 2.3.4　中央制御（左）と自律分散制御（右）による交通管制システム [56]



出典：NEDO/人工知能技術適用によるスマート社会実現事業

図 2.3.5　ばねモデルを用いた信号制御法（左）と交通情報補間システムの開発（右）

主な研究テーマ

i) ネットワーク交通制御のための集中型・分散型の信号タイミング最適化アプローチ [57)]
ii) 待ち行列の横溢を考慮した混雑道路網のためのリアルタイム分散型交通信号制御 [58)]
iii) ネットワーク交通制御のための集中および分散型信号制御手法の比較研究 [59)]
iv) 混合交通のための分散型信号制御：深層強化学習によるアプローチ [60)]
v) 適応型自律分散信号機制御システムの実装と効果の検証

研究成果及び課題

研究においては、やはり集中制御の方が分散制御よりも依然として優れているが、リアルタイムデータや強化学習など、いくつかのデータや手法を用いることでその性能差を縮めることができるとされている。また、ドライバーにリアルタイムの交通情報を提供することで、両者の性能差を縮めることができるとされている [59)]。提案された手法のほとんどは、集中型と分散型の差が出にくい小規模なシミュレーションネットワーク上で評価されたものである。これは学術研究における信号制御手法の評価における最大の課題であり、より実社会に近い環境でのシミュレーションが期待されている。

(4) V2X・CV 技術を利用した交通信号制御

概要

CV（Connected Vehicle）データは、車両が他の車両または周囲のインフラ、歩行者、インターネットなどと通信することによって生成されるデータで、車両の位置、速度、方向、ブレーキの状態などの細かいデータが含まれることが多い。CV・V2X 技術の発達により、そのデータはリアルタイムの交通管制に欠かせない技術となっている。局所的な交通状況を効率的に収集できるため、分散型制御にもメリットがあるとされている。

東京大学生産技術研究所の大口教授は、「交通信号機はどこへ向かうのか？」（東京大学生産技術研究所所報[7]、2022 年）の中で、CV や CAV（Connected and Automated Driving Vehicle）の普及が進んだ近未来の交通信号の役割について述べている。CV の普及環境下では、路側センサにより到着車両を検知する必要がなくなるため、CV/CAV からの情報で信号制御用の情報を代替することができる。また、車載表示機に信号灯色情報（やその近未来情報）を提示する「車内信号」の実用が想定される、としている。CV/CAV が普及すれば物理的な信号機は不要になるという意見もあるが、歩行者など Connected でない利用者が一人でもいる限り、また万一の通信エラーや誤動作が生じた際の検証のため、合理的な方法として物理的な信号機の設置の必要性を論じている。また、完全な CAV 同士の局所的な通行権の調整だけでは、全体の安全性・効率性を高めることができないため、局所最適を図る機能と全体最適を図る機能を持った制御システムの必要性を指摘している。

主な研究テーマ

現在の研究では、この技術を交通信号制御に活用する方法が提案されており、必要なサンプル率や実装可能性に焦点が当てられている。

コネクテッド・ビークル（CV）技術による交通信号制御

i) CV 環境におけるリアルタイム適応信号制御 [62)]
ii) CV 情報を用いた幹線道路の分散型交通信号最適化 [63)]

[7] https://ndlsearch.ndl.go.jp/books/R000000004-I032027690

iii)　V2X 下の交差点における分散型信号制御最適化 [64)]

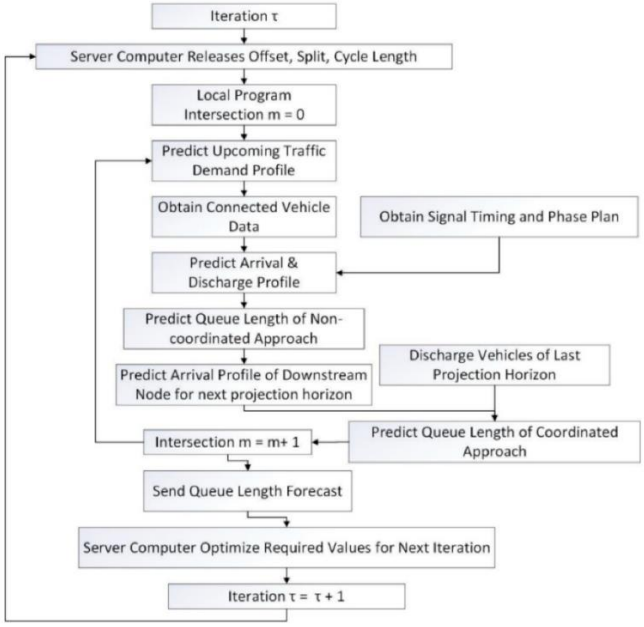
信号交差点での自律走行車の接続

iv)　孤立交差点における混合交通での CV の軌道の分散制御 [65)]

v)　連続信号交差点における C-V2X（Cellular V2X）を用いた CV の階層的速度最適化 [66)]

研究成果及び課題

CV データを利用した信号制御手法では、従来の信号制御手法よりも効率的に遅延を減少させることができるとされている。効果は CV の浸透率に左右されるが、浸透率が 10%である場合においても、CV データを利用した手法の方が従来のものよりも効率的であることが示されている [64)]。さらに、自動運転車両の車両軌道調整を組み合わせれば、よりスムーズな交通が実現することも示唆されている。本節で指摘している通り、浸透率や、実証実験の事例の不足は依然として大きな課題である。



Zhang, L., & Zhang, L. (2024)

図 2.3.6　V2X 下の交差点における分散型信号制御最適化のフロー[64)]

2.3.3　プローブデータ

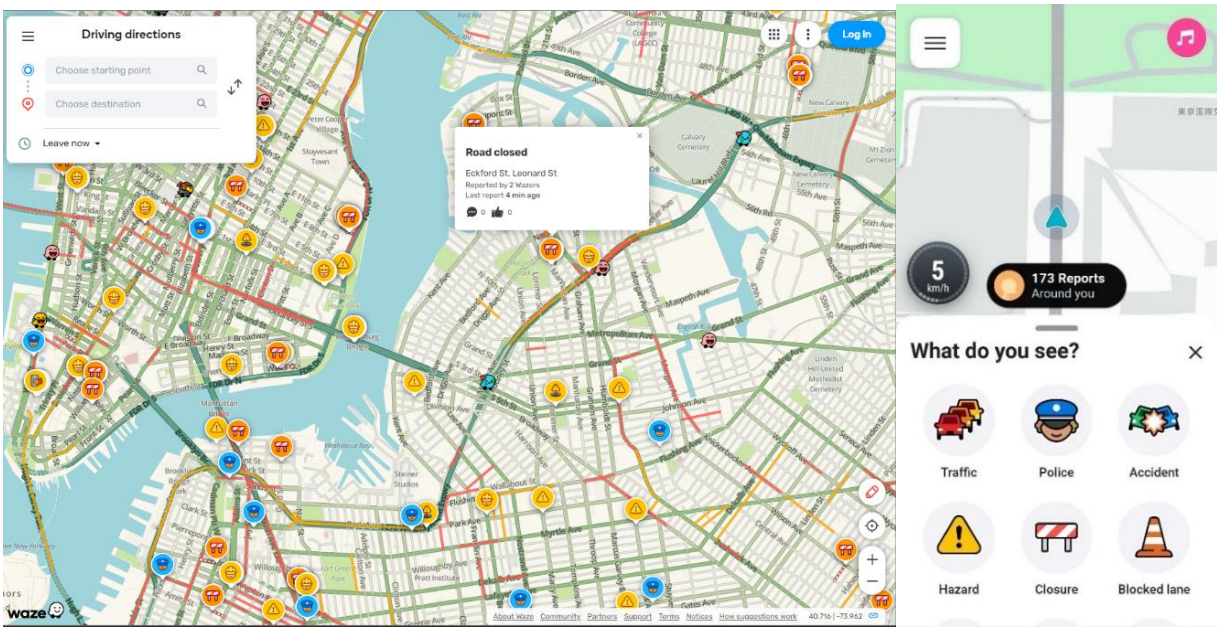
プローブデータとは、GPS を用いて車両や人といった移動体の移動履歴（座標、速度）をタイムスタンプとともに記録したデータのことである。「GPS 軌跡（GPS trajectory）データ」、「フローティング（floating）データ」とも呼ばれる。一般に、プローブデータのデータ量、精度、信頼性は GPS 機器を利用している車両や人の浸透率に依存する。TomTom、Google、Waze、INRIX、HERE などがプローブデータを用いた交通関連データを各国で提供しており、カーナビ・ナビアプリや交通管理等で利用されている。

(1)　Waze データ

概要

Waze は、イスラエルに本社を置く Waze Mobile が開発したコミュニティ主導型のナビゲーションアプリであり、2013 年に Google に買収された後も独立したアプリケーションを運営している。アプリ上では、ユーザーの GPS データに加えて、渋滞などの交通状況、事故、道路の危険、スピードカメラの位置

などの情報をユーザー自身から投稿することにより他ユーザーと共有し、他ユーザーが報告した情報や蓄積された交通状況をもとに、快適な運転を行うことができる。



出典：Waze

図 2.3.7　Waze マップ（左：マップ全体図、右：アプリでの報告画面）

主な研究テーマ

いくつかの研究では、Waze データの精度にはまだ懸念があるとしており、Bluetooth[24]や、路側センサー[25][26]等の既存の方法と比較・評価する研究が多い[27][28]。

Waze データの評価

i) Waze によるクラウドソース型交通事故報告の信頼性・網羅性等の評価[27]
ii) Waze と Bluetooth から得た一般道路の速度データの質：テネシー州のケーススタディ[24]
iii) Waze によるイベント報告の網羅性・時空間精度の評価：テネシー州のケーススタディ[28]
iv) Waze プローブデータによる交通速度調査と評価[29]

Waze による交通監視

v) Waze ユーザーの報告による待ち行列の自動識別[25]
vi) Waze ユーザーの報告を利用した二次衝突の特定[26]

研究成果及び課題

Waze は一定の精度でスピードと事故を検知でき、カバー範囲が広いが、その精度は交通量に依存することが指摘されている。交通量が多い場合はサンプル数も増える傾向にあり、速度や事故を高精度で検出できるが、交通量の少ない深夜から早朝にかけては精度が低下することが明らかになっている[24]。

Waze のデータを使った事故検出を行う上でのもう一つの課題は、報告データの信頼性である。Waze はユーザーの報告に依存しているため、報告データが重複する場合や不正確である場合がある。これに対処するためには前処理と検証が必要である。

(2)　商用車データ

概要

途上国も含めて複数の国、地域、企業では商用車に GPS 機器を取り付け、プローブデータを収集している。研究論文で最もよく見られる商用車プローブデータは、タクシープローブとバスプローブである。現在の最新の研究課題は主としてプローブデータからの渋滞検知、渋滞予測であり、具体的には以下のようなテーマがある。

主な研究テーマ

i)　タクシープローブを用いた右左折別の渋滞分析 [30)]
ii)　タクシープローブを用いた大規模都市道路網の交通状態推計とモニタリング [31)]
iii)　タクシープローブを用いた交通流ネットワークの構築と渋滞地域の特定 [32)]
iv)　バスプローブデータを用いた交通渋滞の特徴分析 [33)]
v)　バスプローブデータに基づく短期交通流予測 [34)]

研究成果及び課題

商用車プローブ自体は交通モニタリング目的での利用に十分なデータ量・精度があるが、バスプローブは、走行頻度は高いが決まったルート上のみのデータしか取れないこと、また、バス停での停車と渋滞での滞留を見分ける必要があるということ、タクシープローブに関してもタクシー自体の利用が低い（浸透率が低い）場合があるなど、その地域の特性によって利用可能かどうかが大きく左右されるという課題がある。

2.3.4　渋滞予測

(1)　短期予測

概要

ここでの短期渋滞予測とは、5 分～1 時間先の予測を指す。短期渋滞予測情報は、ドライバーにとっては経路選択等を行うための情報として、交通管理者にとってはリアルタイムで交通制御を調整するための情報として用いられる。研究では、さまざまな入力に基づくモデルが提案されている。

主な研究テーマ

外生要因を考慮しない予測

i)　プローブデータを用いた交通速度予測のための強化型深層ニューラルネットワーク [35)]
ii)　Long-Term Evolution（LTE）アクセスデータを使用したリアルタイム道路交通予測 [36)]
iii)　交通シミュレーションと機械学習によるリアルタイム交通予測 [37)]
iv)　Transformer モデルを用いた短期および長期の旅行時間予測 [38)]
v)　プローブデータを用いた信号あり幹線道路における ANN-ベイズ旅行時間予測モデル [39)]
vi)　深層ニューラルネットワークのアンサンブル学習によるリアルタイム交通状況予測 [40)]

外生要因を考慮した予測

vii)　疎なプローブ車両データを用いた大規模ネットワークの交通状態推定と予測 [41)]
viii)　気象データを取り入れた深層リカレントニューラルネットワークによるプローブデータに基づく短期旅行時間予測 [42)]

研究成果及び課題

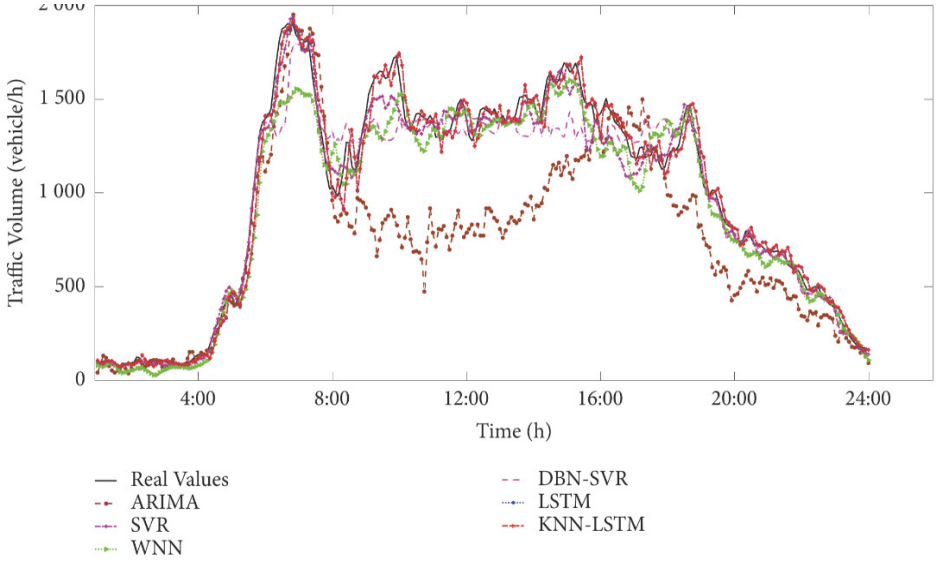
短期予測のために、LTE データ [36]、API からのデータストリーミング [40]、プローブデータ [35][39][42]等の様々な入力値が提案されている。予測に関しては、機械学習手法、特にニューラルネットワークと LSTM（Long-Short-Term Memory）が採用されている。なお、上記の研究においては、機械学習手法の予測が従来のシミュレーションモデルベースの予測を上回ることが示されている。また、ある研究では、既存のモデルベースの予測とのハイブリッドアプローチも有効であることを示唆している [37]。どの研究においても約 80%から 95%と高い精度を示している。他、天候、事故、道路工事などの外生要因をモデルに組み込んで、非誘発交通を予測しようとする研究もある [42]。

一方で、短期交通予測には多くの課題がある。信号のある道路は、そうでない道路より予測が難しいとされている。

(2)　長期予測

概要

ここでの長期的な交通量予測とは、主に 1 時間以上先の予測を指す。予測対象は、文献によって 1 日から 1 週間までさまざまである。図 2.3.8 は 1 日の渋滞予測の一例である。



出典：Luo, X., Li, D., Yang, Y., & Zhang, S. (2019)

図 2.3.8　長期予測結果の一例 [43]

主な研究テーマ

短期予測に比べると少ないが、長期予測の研究も多くなされている。現在の最新の研究課題としては以下のようなテーマがある。

i)　プローブを用いた短期・長期予測のためのグラフ CNN-LSTM[44]
ii)　勾配ブースティングを用いた長期旅行時間予測 [45]
iii)　Transformer ベースの技術を用いた短期および長期旅行時間予測 [38]
iv)　KNN および LSTM を用いた時空間交通流予測 [43]
v)　プローブを用いた不均質で無秩序な交通状況における旅行時間予測 [46]

研究成果及び課題

長期交通予測モデルの入力は、時系列データである。文献ではライドヘイリングサービスの GPS データ、ETC のデータ等、多くのデータが利用されている。短期予測と同様に、機械学習手法は長期予測のための主要なツールであり、特に長期予測においては 2 つの機械学習モデルを混合して 1 つの予測モデルを開発する事例が多い。例えば、ニューラルネットワークと LSTM の併用では、ニューラルネットワークは交通状況の空間的特徴を捉えるために使われ、LSTM は交通状況の時間的変化を捉えるために使われる。

長期予測は、適切なモデルと交通状況を適切に表現できている入力値が必要であるため、一般に短期予測よりも困難である。加えて、柔軟な予測時間枠（短期と長期の両方）を持つ総合的なモデルは性能が悪化するため [39]、特定の予測時間枠のモデルを開発することが推奨される。

2.3.5 CDR データ

(1) CDR（Call Detail Record：電話通信記録）

概要

CDR は、携帯電話ユーザーが電話やメッセージ等の通信を行った基地局と時間についての記録であり、通信事業者によって自動的に収集される。このデータを用いると、ユーザーの位置の近似値を推計し、移動経路等も推計できる。CDR はカバー率が高く、費用対効果が高いため、OD 表や交通手段の推計など、人々の移動パターンを観測するためのデータソースとして利用されている。

Originating_id	Originating_cell_id	Terminating_id	Terminating_cell_id	Timestamp	Duration
24393943	10121	17007171	10121	24031517	29
24393943	5621	17007171	2721	25141136	38
24393943	17221	17007171	2521	25534630	188
24393943	31041	17007171	5111	32440483	111
24393943	10121	17007171	9411	33152308	145
24393943	6321	17007171	20921	33431903	132
24393943	7041	17007171	10021	33435718	17
24393943	7021	17007171	14321	34160370	53

出典：Luo, X., Li, D., Yang, Y., & Zhang, S. (2019)

図 2.3.9　CDR ログの例

CDR に関連する最新の研究課題としては以下のようなテーマがある。

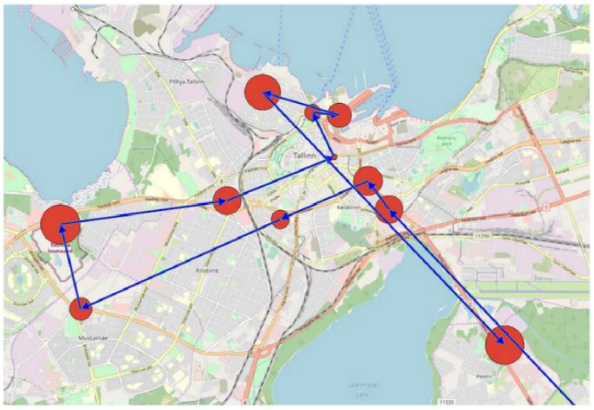
i) CDR データを用いた交通モード別の動的 OD フローの推計 [13]
ii) CDR に基づくモバイルネットワークデータ上での軌跡データ再構成 [14]
iii) CDR データから得られる OD 表の評価 [15]
iv) CDR データによる軌跡データ再構成に基づく OD 表抽出 [16]（図 2.3.10）
v) CDR データによる交通手段の識別と鉄道利用行動の解析：ヤンゴン市の事例 [17]

研究成果及び課題

CDR は OD 表や交通手段の推定に一定のレベルで利用できる。精度は研究によって異なるが、推計された OD 表と検証用データの相関係数は、0.5～0.9 の範囲にある。CDR の利点は、データ量、カバレッジ、データ収集の容易さ、分析結果の拡張性にある。通信事業者のシェアがわかっていれば、OD 表の拡大は容易である。

課題としては、①インターネット・電話回線への接続時のみ収集されるため取得頻度が低いこと、②位置の解像度は基地局の分布に依存するため郊外など基地局の少ない地域では信頼性が低下すること、③通

信事業者からのデータ取得はプライバシーの観点から高いハードルがあること、④1 人が複数の携帯電話を所持している可能性があること、⑤交通モードや移動目的の情報が得られないことなどが挙げられる。



出典：Pourmoradnasseri, M., Khoshkhah, K., Lind, A., & Hadachi, A. (2019)

図 2.3.10　CDR データから抽出した軌跡の例 [16]（丸はデータ取得場所、矢印は時系列）

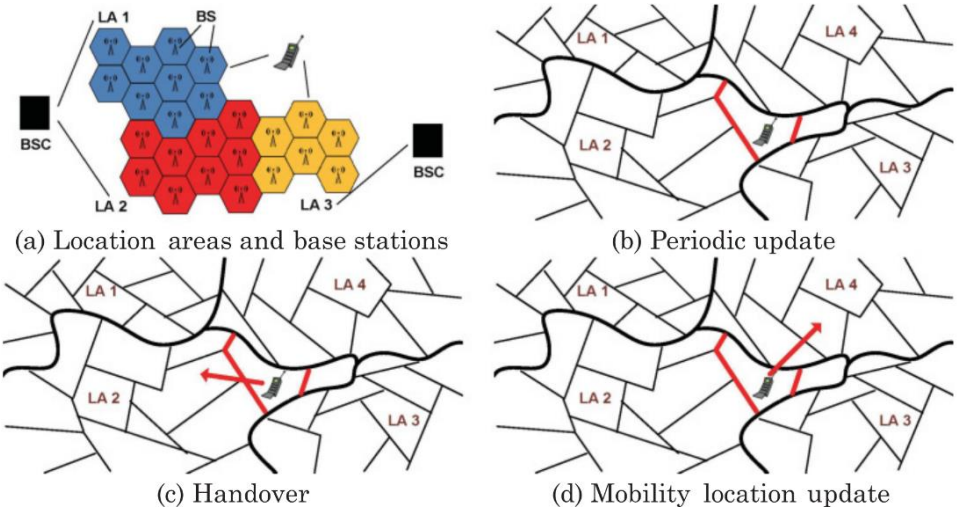
(2)　CSD（Cellular Signaling Data）

概要

通常、通信事業者が提供するサービスにおいて、各基地局は Cell area と呼ばれる小さなエリア（図 2.3.11(a)におけるそれぞれの六角形）をカバーしている。さらに、通信事業者は隣接する複数の基地局同士で通信を最適化している。この基地局群を Location area と呼ぶ。およそ 10～100 の基地局が 1 つの基地局コントローラー（BSC）と呼ばれるものを共有し、次のようなデータを受信する [18]：

i)　Periodic update：どの基地局に接続されているかに関する定期更新データ
ii)　Handover：新しい Cell area に移動したときに発生するデータ
iii)　Mobility location update：新しい Location area に移動したときに生成されるデータ

これら 1～3 の測定値を合わせて CSD（Cellular Signaling Data）と呼ぶ。CDR と異なり、CSD はより頻繁に収集されるため、データの粒度が高い。CSD は、CDR と同様に OD 表の推定や交通手段の特定に使用されるが、より高い精度と信頼性を持つ。ただし、携帯電話が非アクティブの場合、位置情報については Location area レベルでしか取得できない [19]。CDR と CSD について比較したものを表 2.3.2 に示す。



出典：Calabrese, F., Ferrari, L., & Blondel, V. D. (2014)

図 2.3.11　CSD データの概要 [18]

表 2.3.2　CDR と CSD の比較

	CDR	CSD
タイプ	イベントベース	ネットワークベース
自動データ収集	可能	可能
データ収集頻度	通話、SMS 等利用毎	定時または新しいエリアに移動した時
データの粒度	比較的低い	比較的高い
保存状況	課金に必要な情報のため一定期間保存される	課金に必要な情報でないため、通信事業者により保存期間にバラつきがある

出典：調査団

主な研究テーマ

i) CSD データを用いた都市道路交通状態の推定 [19)]
ii) CSD データから OD 表を構築するためのデータ駆動型アプローチ：リヨン（フランス）[20)]
iii) CSD データに基づく通勤トリップ頻度分析 [21)]
iv) CSD データを用いた都市交通ネットワークにおける交通量推定 [22)]
v) CSD データに基づく交通手段識別フレームワーク [23)]

研究成果及び課題

上記の研究では、CSD を用いて推定された OD 表は高い精度を持つことが示されている。従来の交通調査（パーソントリップ等）よって OD 表を推計する手法と比較し、CSD を用いる手法では低コスト・短期間で推計が可能であることが示唆されている [20)]。ただし、車両 1 台や 1 人に複数の携帯電話が紐づいている可能性を考慮することが必要であることが示された [22)]。また、CSD・CDR は①測位誤差が大きく、GPS データと比べると 50～150m 程度の誤差があること、②交通モードや移動目的が得られないこと、③年齢・性別・所得階層などの交通モデル構築に一般的に必要となる個人属性が含まれないこと、実用に当たってはいくつかクリアすべき課題が挙げられる。

なお、交通需要予測モデルを構築するためには、道路・公共交通ネットワークの構築、個人属性・交通モード・移動目的と現況 OD 表を組み合わせて行う行動モデルの構築、モデル検証のための交通量調査など、多くのステップがある。したがって、CSD・CDR による OD 表の推計は交通需要予測モデル構築のステップを全て代替するわけではない。

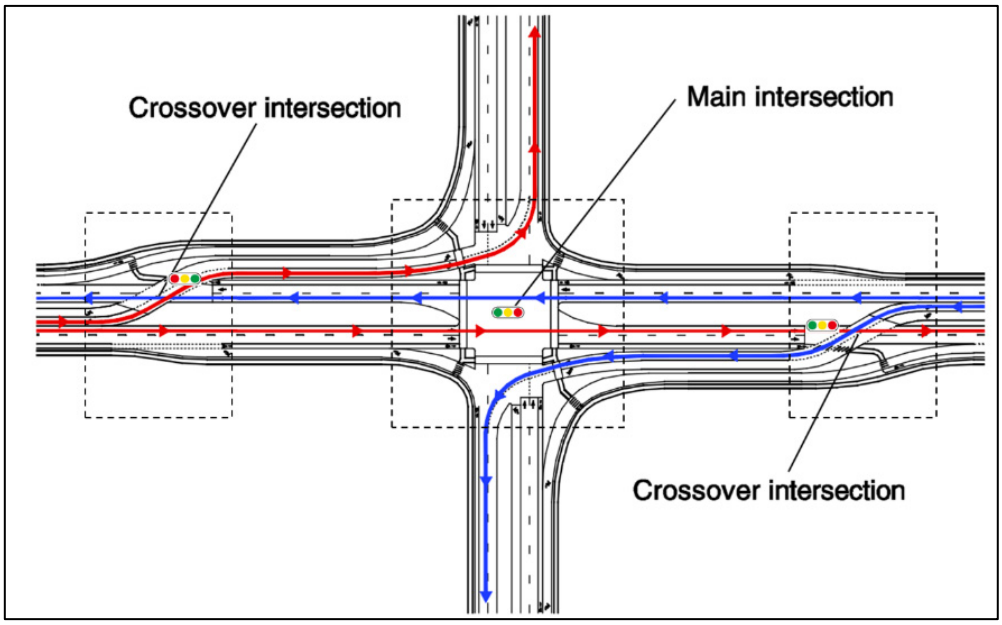
2.3.6　幾何構造（Alternative Intersections）

近年日本でも交通の錯綜をなくす新たな幾何構造として注目されている、Alternative Intersection についての調査結果を以下に示す。この節では、米国のような右側通行を主として記述する。

(1)　**Displaced Left Turn Intersections (DLT) / Continuous Flow Intersection (CFI)**

概要

Displaced Left Turn Intersections (DLT)（Continuous Flow Intersection, CFI とも呼ばれる）は、図 2.3.12 のように、交差点に向かう左折車線（右側通行の場合）を対向車線の向こう側に移す交差点である。DLT には主交差点と副交差点が存在し、あらかじめ副交差点で左折車両を対向車線と交差させることで、主交差点では左折車と直進及び右折車を同時に処理することが可能である。DLT は導入されてから長い期間が経っており、現在はその安全性評価に着目する研究が多い。



出典：FHWA Displaced Left–Turn Intersection Informational Guide (2014)に団員加筆

図 2.3.12　DLT のレイアウト

主な研究テーマ

幾何学的設計と交通制御に焦点を当てた研究では、DLT を歩行者と非電動車両にとってより安全にすること、DLT を他の形式の交差点と組み合わせて最も費用対効果の高い幾何構造を見つけること、交通信号の効率を向上させることが目的となっている。

性能と安全性の評価

i) DLT の交通シミュレーション：ケーススタディ [67)]
ii) CV 環境下における DLT の安全性能評価マイクロシミュレーション [66)]
iii) 左折レーンの長さが異なる DLT のエントロピー法による評価と分析 [68)]
iv) CV データを用いた DLT の性能測定 [69)]

交通信号制御

v) 不飽和交通条件下における DLT の信号制御方法と性能評価 [70)]
vi) 3 フェーズ式の信号を用いた Alternative Intersections のコンセプトの導入 [71)]

研究成果及び課題

ほとんどの研究では、安全性評価手法として、USDOT の Surrogate Safety Assessment Model（SSAM）を使用している。このモデルはプローブデータを入力として使用し、交差点での衝突リスクを特定する [72)]。DLT を導入することにより、事故の発生確率と重大性が大幅に減少することが判明しており、さらに、CV が導入された場合、DLT の安全性がさらに高まることが示唆されており、ある研究では浸透率が 50%以上であれば、改善効果が大きいという [67)]。

(2)　Median U-Turn (MUT)

概要

MUT は図 2.3.13 のような幾何構造をしており、DLT と同様、幹線道路からの左折処理を分離するほか、細街路からの左折処理も主交差点から分離する設計である。MUT では、幹線道路からの左折車両は

交差点を通過した後、主交差点から 150m 程度先で U ターンし対向車線と合流、そこから主交差点に戻って右折を行う（図中 Path A）。交通量が多い場合は U ターン後の合流部に信号が設置される例もある。細街路からは、まず右折を行いUターンの後直進方向へ進むことで左折を行う（図中 Path B）。

主な研究テーマ

現在の研究では、MUT の性能と安全性の両方を評価するものが多い。また、U ターンの位置などの最適化を提案するものもある。現在の最新の研究課題の例を以下に示す。

性能と安全性の評価

i) MUT の安全性評価 [73)]

ii) 無信号 MUT の安全性能評価 [74)]

デザインの改善

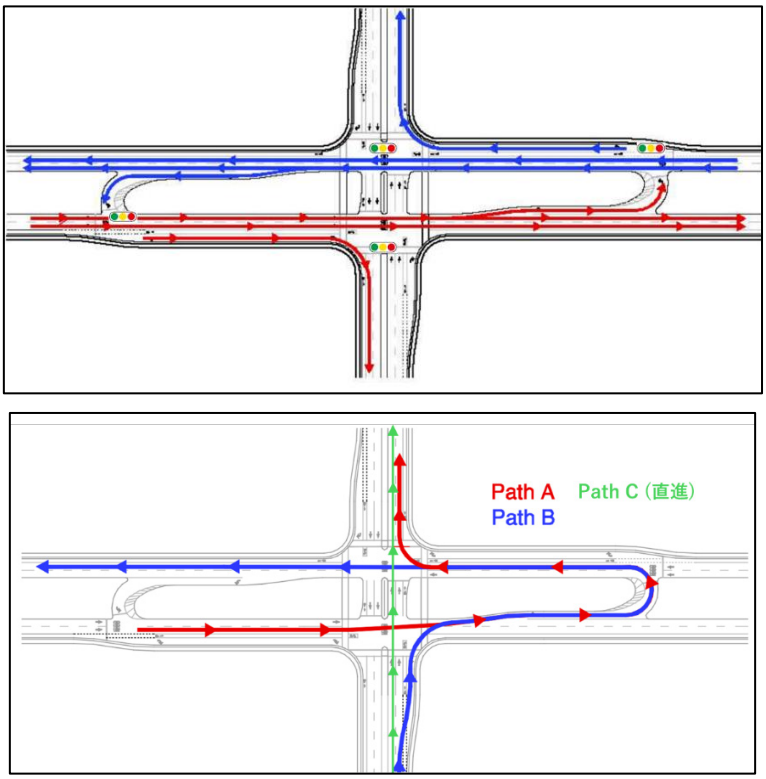
iii) 混合交通における MUT での中央分離帯開口部の位置の最適化 [75)]

交通信号制御

iv) 3 フェーズ式の信号を用いた Alternative Intersections のコンセプトの導入 [71)]

研究成果及び課題

交通量が中程度以上の場合は、MUT が渋滞緩和に大きく役立つことが分かっているが、交通量が少ない場合の MUT の必要性については不明である。MUT は物損事故、追突事故、主交差点内の左折事故を効果的に減少させるが、単独事故や歩行者・自転車関連の衝突事故は大幅に増加するという指摘がある [73)]。また別の研究では、信号のない MUT における死亡事故を含む事故は大幅に減少している [74)]。



出典：FHWA Median U-Turn Intersection Informational Guide (2014)に団員加筆

図 2.3.13　MUT（上：レイアウト、下：MUT における車両の代表的な挙動）

(3) Restricted Crossing U-Turn Intersection (RCUT)

概要

RCUT（別名：スーパーストリート）は、図 2.3.14 のようなレイアウトをしており、主に幹線道路と細街路の交差点に設置される。RCUT は MUT と見た目が見ており、細街路からの左折ができない点は同じであるが、主な違いは幹線道路からの直接左折が可能である点と、細街路からの直進ができない点である。細街路から直進・左折するためには、まず右折して U ターンし、そこから右折あるいは直進する必要がある。利点には、交差点内の衝突リスクの大幅な減少、事故確率と事故の重大性の減少がある。

主な研究テーマ

現在の研究では、その安全性と適切な交通規制の評価に焦点が当てられている。

性能と安全性の評価

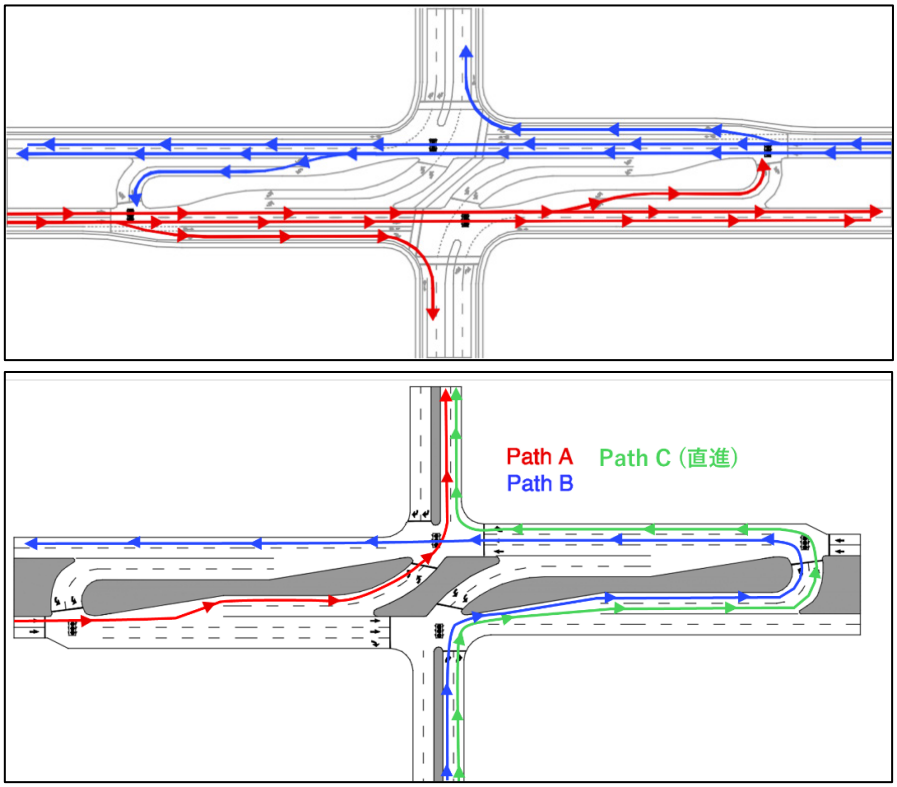
i) RCUT の安全性評価 [73]
ii) 農村部・郊外における信号あり・なし RCUT の安全性評価 [76]
iii) RCUT の安全性パフォーマンス関数の開発 [77]

交通信号制御

iv) RCUT のための信号制御要件の開発 [78]
v) ファジィ理論による RCUT の交通制御 [79]

研究成果及び課題

RCUT の安全性を評価するために、多くのアプローチが用いられているが、最も一般的なのは事故データによる評価である。研究によると、MUT と RCUT は、事故の種類は異なるものの、事故軽減に効果があるとされている。MUT と RCUT は、特に正面衝突と側面衝突事故による死亡・負傷を効果的に減少させ、特に RCUT は重大事故を減少させるとされている [73]。



出典：FHWA Restricted Crossing U-Turn Intersection Informational Guide (2014)に団員加筆

図 2.3.14　RCUT（上：レイアウト、下：RCUT における車両の代表的な挙動）

(4) Quadrant Roadway Intersection (QRI)

概要

QRI は、図 2.3.15 に示すようなレイアウトの交差点である。図中の東と南からの流入交通において、左折車両が交差点を中心とする円の四分円弧を通過することから、この名前がついている。主交差点には常に信号機があるが、副交差点の丁字型交差点には信号設置は必須ではない。QRI の特徴は、QRI を構成する際に既存の道路が利用できるケースがあることである。

主な研究テーマ

QRI の数は、他の Alternative Intersections に比べて少ないため、QRI に焦点を当てた研究は多くない。研究のほとんどは、MUT や RCUT といった他の交差点との比較に関するものである。

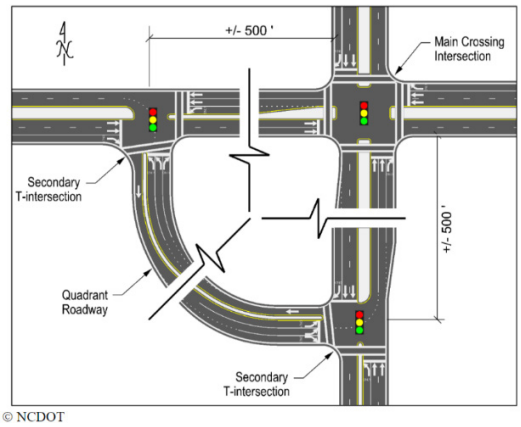
i) 3 つの非従来型幹線道路交差点設計の運用パフォーマンスの分析：MUT、RCUT、QRI[80)]

ii) 幹線道路の交通運用改善のための非従来型交差点設計 [81)]

iii) QRI：制御遅延の削減と追加の移動時間のトレードオフ [82)]

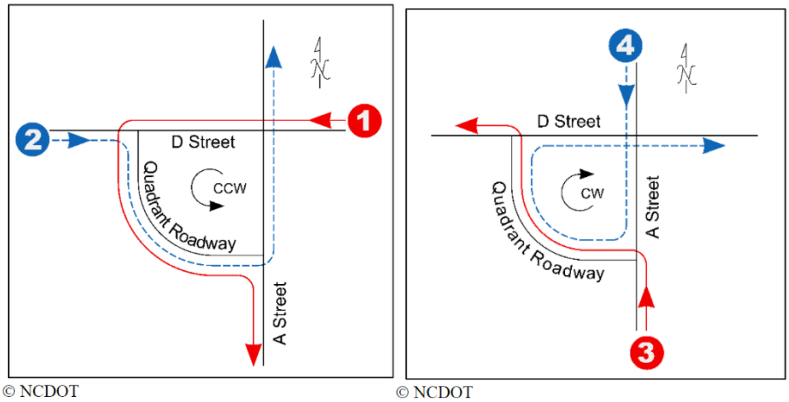
研究成果及び課題

QRI は、遅れ時間削減の点で従来の交差点よりも優れているとされている。また、QRI は交通容量比を大幅に減少させ、速度を増加させる [80)]。これは、MUT や RCUT にはない効果である。しかし、QRI は交通量が多い場合にはうまく機能せず [81)]、さらに、副交差点の制御によっては移動時間が短縮されない可能性があることが指摘されている。[82)]



出典：FHWA Quadrant Roadway Intersection Informational Guide (2020)

図 2.3.15　QRI のレイアウト



出典：FHWA Quadrant Roadway Intersection Informational Guide (2020)

図 2.3.16　QRI の通行手順（左：東側からの左折、右：南側からの左折）

2.3.7 参考文献

1) Jin, F., Sengupta, A., Cao, S., & Wu, Y.-J. (2020). MmWave Radar Point Cloud Segmentation using GMM in Multimodal Traffic Monitoring. 2020 IEEE International Radar Conference (RADAR), 732–737. https://doi.org/10.1109/RADAR42522.2020.9114662
2) Lim, H.-S., Park, H.-M., Lee, J.-E., Kim, Y.-H., & Lee, S. (2021). Lane-by-Lane Traffic Monitoring Using 24.1 GHz FMCW Radar System. IEEE Access, 9, 14677–14687. https://doi.org/10.1109/access.2021.3052876
3) Wu, D., Xu, H., Zhang, Y., Tian, Y., & Liu, H. (2021). Traffic Volume Detection Using Infrastructure-Based LiDAR under Different Levels of Service Conditions. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 147(11). https://doi.org/10.1061/jtepbs.0000595
4) Jedwanna, K., & Boonsiripant, S. (2022). Evaluation of Bluetooth Detectors in Travel Time Estimation. Sustainability, 14(8), 4591. https://doi.org/10.3390/su14084591
5) Maiti, N., & Chilukuri, B. R. (2023). Estimation of local traffic conditions using Wi-Fi sensor technology. Journal of Intelligent Transportation Systems, 1–18. https://doi.org/10.1080/15472450.2023.2177103
6) Pu, Z., Cui, Z., Tang, J., Wang, S., & Wang, Y. (2021). Multi-Modal Traffic Speed Monitoring: A Real-Time System Based on Passive Wi-Fi and Bluetooth Sensing Technology. IEEE Internet of Things Journal, 9(14), 1–1. https://doi.org/10.1109/jiot.2021.3136031
7) Kasemsri, R., Ishizaka, T., & Suwanno, P. (2021). Origin-destination trip pattern representative by using bluetooth data collection on the arterial road network, Bangkok, Thailand. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications, 12(2), 1541–1562. https://doi.org/10.22075/ijnaa.2021.5282
8) Vanhoef, M., Matte, C., Cunche, M., Cardoso, L. S., & Piessens, F. (2016). Why MAC Address Randomization is not Enough. Proceedings of the 11th ACM on Asia Conference on Computer and Communications Security - ASIA CCS '16. https://doi.org/10.1145/2897845.2897883
9) Azimjonov, J., Özmen, A., & Varan, M. (2023). A vision-based real-time traffic flow monitoring system for road intersections. Multimedia Tools and Applications, 82(16). https://doi.org/10.1007/s11042-023-14418-w
10) Azimjonov, J., & Özmen, A. (2021). A real-time vehicle detection and a novel vehicle tracking systems for estimating and monitoring traffic flow on highways. Advanced Engineering Informatics, 50, 101393. https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101393
11) Mindula, B., Ranasinghe, M., Ahamed, R., Tennakoon, J., Silva, C., & Wimalarathne, G. (2021). Image and Video Processing based Expressway Traffic Rules Violation Detection. 2021 8th International Conference on ICT & Accessibility (ICTA). https://doi.org/10.1109/icta54582.2021.9809781
12) Sentas, A., Kul, S., & Sayar, A. (2019). Real-Time Traffic Rules Infringing Determination Over the Video Stream: Wrong Way and Clearway Violation Detection. 2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP). https://doi.org/10.1109/idap.2019.8875889
13) Bachir, D., Khodabandelou, G., Gauthier, V., El Yacoubi, M., & Puchinger, J. (2019). Inferring dynamic origin-destination flows by transport mode using mobile phone data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 101, 254–275. https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.02.013
14) Bollverk, O., & Hadachi, A. (2023). CDR-based Trajectory Reconstruction of Mobile Network Data Using Transformers. 2023 8th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS). https://doi.org/10.1109/mt-its56129.2023.10241747
15) Mamei, M., Bicocchi, N., Lippi, M., Mariani, S., & Zambonelli, F. (2019). Evaluating Origin–Destination Matrices Obtained from CDR Data. Sensors, 19(20), 4470. https://doi.org/10.3390/s19204470
16) Pourmoradnasseri, M., Khoshkhah, K., Lind, A., & Hadachi, A. (2019). OD-Matrix Extraction based on Trajectory Reconstruction from Mobile Data. HAL (Le Centre Pour La Communication Scientifique Directe). https://doi.org/10.1109/wimob.2019.8923358
17) Kyaing, Lwin, K. K., & Sekimoto, Y. (2020). Identification of various transport modes and rail transit behaviors from mobile CDR data: A case of Yangon City. Asian Transport Studies, 6, 100025. https://doi.org/10.1016/j.eastsj.2020.100025
18) Calabrese, F., Ferrari, L., & Blondel, V. D. (2014). Urban Sensing Using Mobile Phone Network Data: A Survey of Research. ACM Computing Surveys, 47(2), 1–20. https://doi.org/10.1145/2655691
19) Derrmann, T., Frank, R., Viti, F., & Engel, T. (2017). Estimating urban road traffic states using mobile network signaling data. 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). https://doi.org/10.1109/itsc.2017.8317718
20) Fekih, M., Bellemans, T., Smoreda, Z., Bonnel, P., Furno, A., & Galland, S. (2021). A data-driven approach for origin-destination matrix construction from cellular network signalling data: a case study of Lyon region (France). Transportation, 48(4), 1671–1702. https://doi.org/10.1007/s11116-020-10108-w
21) Shi, F., & Zhu, L. (2019). Analysis of trip generation rates in residential commuting based on mobile phone signaling data. Journal of Transport and Land Use, 12(1). https://doi.org/10.5198/jtlu.2019.1431
22) Xing, J., Liu, Z., Wu, C., & Chen, S. (2019). Traffic Volume Estimation in Multimodal Urban Networks Using Cell Phone Location Data. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 11(3), 93–104. https://doi.org/10.1109/mits.2019.2919593Calabrese, F., Ferrari, L., & Blondel, V. D. (2014). Urban Sensing Using Mobile Phone Network Data: A Survey of Research. ACM Computing Surveys, 47(2), 1–20. https://doi.org/10.1145/2655691
23) Chen, J., Xiong, C., & Cai, M. (2022). A Travel Mode Identification Framework Based on Cellular Signaling Data. Journal of Mobile Information Systems, 2022, 1–19. https://doi.org/10.1155/2022/2113213
24) Hoseinzadeh, N., Liu, Y., Han, L. D., Brakewood, C., & Mohammadnazar, A. (2020). Quality of location-based crowdsourced speed data on surface streets: A case study of Waze and Bluetooth speed data in Sevierville, TN. Computers, Environment and Urban Systems, 83, 101518. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101518
25) Liu, Y., Zhang, Z., Han, L. D., & Brakewood, C. (2021). Automatic Traffic Queue-End Identification using Location-Based Waze User Reports. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2675(10), 036119812110133. https://doi.org/10.1177/03611981211013353

26) Zhang, Z., Liu, Y., Han, L. D., & Freeze, P. B. (2021). Secondary Crash Identification using Crowdsourced Waze User Reports. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2675(10), 036119812110130. https://doi.org/10.1177/03611981211013040
27) Amin-Naseri, M., Chakraborty, P., Sharma, A., Gilbert, S. B., & Hong, M. (2018). Evaluating the Reliability, Coverage, and Added Value of Crowdsourced Traffic Incident Reports from Waze. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2672(43), 34–43. https://doi.org/10.1177/0361198118790619
28) Liu, Y., Nima Hoseinzadeh, Gu, Y., Han, L. D., Brakewood, C., & Zhang, Z. (2023). Evaluating the Coverage and Spatiotemporal Accuracy of Crowdsourced Reports Over Time: A Case Study of Waze Event Reports in Tennessee. Transportation Research Record, 2678(4), 468–481. https://doi.org/10.1177/03611981231185144
29) Zhang, Z., Han, L. D., & Liu, Y. (2021). Exploration and evaluation of crowdsourced probe-based Waze traffic speed. Transportation Letters, 14(5), 1–9. https://doi.org/10.1080/19427867.2021.1906477
30) Kan, Z., Tang, L., Mei Po Kwan, Ren, C. E., Liu, D., & Li, Q. (2019). Traffic congestion analysis at the turn level using Taxis' GPS trajectory data. Computers, Environment and Urban Systems, 74, 229–243. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.11.007
31) Lu, S., Knoop, V. L., & Keyvan-Ekbatani, M. (2018). Using taxi GPS data for macroscopic traffic monitoring in large scale urban networks: calibration and MFD derivation. Transportation Research Procedia, 34, 243–250. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.11.038
32) Qin, J., Mei, G., & Xiao, L. (2020). Building the Traffic Flow Network with Taxi GPS Trajectories and Its Application to Identify Urban Congestion Areas for Traffic Planning. Sustainability, 13(1), 266. https://doi.org/10.3390/su13010266
33) Almeida, A., Brás, S., Sargento, S., & Oliveira, I. (2023). Exploring bus tracking data to characterize urban traffic congestion. Journal of Urban Mobility, 4, 100065–100065. https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2023.100065
34) Bohan, H., & Yun, B. (2019). Short-term Traffic Flow Prediction Based on Bus Floating Car. 2019 IEEE 9th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC). https://doi.org/10.1109/iceiec.2019.8784564
35) Do, V. M., Tran, Q. H., Le, K. G., Vuong, X. C., & Vu, V. T. (2024). Enhanced Deep Neural Networks for Traffic Speed Forecasting Regarding Sustainable Traffic Management Using Probe Data from Registered Transport Vehicles on Multilane Roads. Sustainability, 16(6), 2453–2453. https://doi.org/10.3390/su16062453
36) Ji, B., & Hong, E. J. (2019). Deep-Learning-Based Real-Time Road Traffic Prediction Using Long-Term Evolution Access Data. Sensors, 19(23), 5327. https://doi.org/10.3390/s19235327
37) Kim, Y., Tak, H., Kim, S., & Yeo, H. (2024). A hybrid approach of traffic simulation and machine learning techniques for enhancing real-time traffic prediction. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 160, 104490–104490. https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104490
38) Lin, H.-T. C., Dai, H., & Tseng, V. S. (2024). Short-Term and Long-Term Travel Time Prediction Using Transformer-Based Techniques. Applied Sciences, 14(11). https://doi.org/10.3390/app14114913
39) Lin, W., Wei, H., & Nian, D. (2022). Integrated ANN-Bayes-based travel time prediction modeling for signalized corridors with probe data acquisition paradigm. Expert Systems with Applications, 209, 118319–118319. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118319
40) Sundareswaran, A., & Lavanya., K. (2020). Real-Time Vehicle Traffic Prediction in Apache Spark Using Ensemble Learning for Deep Neural Networks. International Journal of Intelligent Information Technologies, 16(4), 19–36. https://doi.org/10.4018/ijiit.2020100102
41) Taguchi, S., & Yoshimura, T. (2021). Online Estimation and Prediction of Large-Scale Network Traffic From Sparse Probe Vehicle Data. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23(7), 1–11. https://doi.org/10.1109/tits.2021.3067603
42) Walch, M., Neubauer, M., & Schildorfer, W. (2023). Floating Car Data–Based Short-Term Travel Time Forecasting with Deep Recurrent Neural Networks Incorporating Weather Data. Journal of Transportation Engineering, 149(6). https://doi.org/10.1061/jtepbs.teeng-7647
43) Luo, X., Li, D., Yang, Y., & Zhang, S. (2019). Spatiotemporal Traffic Flow Prediction with KNN and LSTM. Journal of Advanced Transportation, 2019, 1–10. https://doi.org/10.1155/2019/4145353
44) Bogaerts, T., Masegosa, A. D., Angarita-Zapata, J. S., Onieva, E., & Hellinckx, P. (2020). A graph CNN-LSTM neural network for short and long-term traffic forecasting based on trajectory data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 112, 62–77. https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.01.010
45) Chen, C.-M., Liang, C.-C., & Chu, C.-P. (2019). Long-term travel time prediction using gradient boosting. Journal of Intelligent Transportation Systems, 24(2), 109–124. https://doi.org/10.1080/15472450.2018.1542304
46) Sihag, G., Parida, M., & Kumar, P. (2022). Travel Time Prediction for Traveler Information System in Heterogeneous Disordered Traffic Conditions Using GPS Trajectories. Sustainability, 14(16), 10070. https://doi.org/10.3390/su141610070
47) Lian, F., Chen, B., Zhang, K., Miao, L., Wu, J., & Luan, S. (2020). Adaptive traffic signal control algorithms based on probe vehicle data. Journal of Intelligent Transportation Systems, 25(1), 41–57. https://doi.org/10.1080/15472450.2020.1750384
48) Ma, W., Wan, L., Yu, C., Zou, L., & Zheng, J. (2020). Multi-objective optimization of traffic signals based on vehicle trajectory data at isolated intersections. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 120, 102821. https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102821
49) Maripini, H., Vanajakshi, L., & Chilukuri, B. R. (2023). A probe-based demand responsive signal control for isolated intersections under mixed traffic conditions. Transportation Letters, 16(2), 1–14. https://doi.org/10.1080/19427867.2022.2164613
50) Yoshioka, T., Sakakibara, H., Tenhagen, R., Lorkowski, S., & Takashi Oguchi. (2022). Traffic Signal Control Parameter Calculation Using Probe Data. International Journal of Intelligent Transportation Systems Research/International Journal of ITS Research, 20(1), 288–298. https://doi.org/10.1007/s13177-021-00292-z
51) Miletić, M., Ivanjko, E., Gregurić, M., & Kušić, K. (2022). A review of reinforcement learning applications in adaptive traffic signal control. IET Intelligent Transport Systems, 16(10), 1269–1285. https://doi.org/10.1049/itr2.12208

52) Mao, T., Mihaita, A.-S., Chen, F., & Vu, H. L. (2021). Boosted Genetic Algorithm Using Machine Learning for Traffic Control Optimization. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23(7), 1–30. https://doi.org/10.1109/tits.2021.3066958
53) Hurtado-Gómez, J., Romo, J. D., Salazar-Cabrera, R., Pachón de la Cruz, Á., & Madrid Molina, J. M. (2021). Traffic Signal Control System Based on Intelligent Transportation System and Reinforcement Learning. Electronics, 10(19), 2363. https://doi.org/10.3390/electronics10192363
54) Genitha, C. Heltin., Danny, S. A., Ajibah, A. S. H., Aravint, S., & Valentina, A. (2023). AI based Real-Time Traffic Signal Control System using Machine Learning. 2023 4th International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC). https://doi.org/10.1109/icesc57686.2023.10193319
55) Bálint, K., Tamás, T., & Tamás, B. (2022). Deep Reinforcement Learning based approach for Traffic Signal Control. Transportation Research Procedia, 62, 278–285. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.02.035
56) Sha, R., & Chow, A. H. F. (2019). A comparative study of centralised and decentralised architectures for network traffic control. Transportation Planning and Technology, 42(5), 459–469. https://doi.org/10.1080/03081060.2019.1609219
57) Chow, A. H. F., Sha, R., & Li, S. (2020). Centralized and decentralized signal timing optimization approaches for network traffic control. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 113, 108–123. https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.05.007
58) Noaeen, M., Mohajerpoor, R., H. Far, B., & Ramezani, M. (2021). Real-time decentralized traffic signal control for congested urban networks considering queue spillbacks. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 133, 103407. https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103407
59) Qadri, S. S. S. M., Gökçe, M. A., & Öner, E. (2020). State-of-art review of traffic signal control methods: challenges and opportunities. European Transport Research Review, 12(1). https://doi.org/10.1186/s12544-020-00439-1
60) Yu, J., Pierre-Antoine Laharotte, Han, Y., & Leclercq, L. (2023). Decentralized signal control for multi-modal traffic network: A deep reinforcement learning approach. Transportation Research. Part C, Emerging Technologies, 154, 104281–104281. https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104281
61) Hiroki, N., Kyhohei, K., Naoki, W., Yuji, Y.,
62) Feng, Y., Head, K. L., Khoshmagham, S., & Zamanipour, M. (2015). A real-time adaptive signal control in a connected vehicle environment. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 55, 460–473. https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.01.007
63) Liang, X. (Joyce), Guler, S. I., & Gayah, V. V. (2021). Decentralized arterial traffic signal optimization with connected vehicle information. Journal of Intelligent Transportation Systems, 27(2), 1–16. https://doi.org/10.1080/15472450.2021.1990762
64) Zhang, L., & Zhang, L. (2024). Distributed Traffic Signal Optimization at V2X Intersections. Mathematics, 12(5), 773. https://doi.org/10.3390/math12050773
65) Yao, H., & Li, X. (2020). Decentralized control of connected automated vehicle trajectories in mixed traffic at an isolated signalized intersection. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 121, 102846. https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102846
66) Zhang, X., Fang, S., Shen, Y., Yuan, X., & Lu, Z. (2024). Hierarchical velocity optimization for connected automated vehicles with cellular vehicle-to-everything communication at continuous signalized intersections. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 25(3), 3. https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3274580
67) Alkaissi, Z. A. (2022). Traffic simulation of continuous flow intersection with displaced left-turn: a case study. Journal of Engineering and Applied Science, 69(1). https://doi.org/10.1186/s44147-022-00091-7
68) Mutasem, A., & Zlatkovic, M. (2022). Safety Performance Evaluation of Continuous Flow Intersections in the Era of Connected Vehicles: A Microsimulation Modelling Approach. Put I Saobraćaj, 68(4), 1–10. https://doi.org/10.31075/pis.68.04.01
69) Pan, B., Luo, S., Ying, J., Shao, Y., Liu, S., Li, X., & Lei, J. (2021). Evaluation and Analysis of CFI Schemes with Different Length of Displaced Left-Turn Lanes with Entropy Method. Sustainability, 13(12), 6917. https://doi.org/10.3390/su13126917
70) Saldivar-Carranza, E., Li, H., Taylor, M., & Bullock, D. M. (2022). Continuous Flow Intersection Performance Measures Using Connected Vehicle Data. Journal of Transportation Technologies, 12(4), 861–875. https://doi.org/10.4236/jtts.2022.124047
71) Jiang, X., & Gao, S. (2020). Signal control method and performance evaluation of an improved displaced left-turn intersection design in unsaturated traffic conditions. Transportmetrica B: Transport Dynamics, 8(1), 264–289. https://doi.org/10.1080/21680566.2020.1764410
72) Luo, Z., Molan, A. M., Hummer, J. E., & Pande, A. (2024). Introducing the concept of alternative intersections with three-phase traffic signals. Transportation Letters, 1–14. https://doi.org/10.1080/19427867.2024.2334101
73) Federal Highway Administration. (2022). Surrogate Safety Assessment Model Overview | FHWA. Highways.dot.gov. https://highways.dot.gov/research/safety/ssam/surrogate-safety-assessment-model-overview
74) Ali, M., Abdel-Aty, M., Lee, J., Yue, L., & Abdelrahman, A. (2020). Safety Evaluation of Median U-Turn Crossover-Based Intersections. Transportation Research Record, 2674(7), 206–218. https://doi.org/10.1177/0361198120921158
75) Kay, J., Gates, T. J., Savolainen, P. T., & Shakir Mahmud, M. (2022). Safety Performance of Unsignalized Median U-Turn Intersections. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2676(9), 451–466. https://doi.org/10.1177/03611981221086936
76) Yao, R., Sun, L., Sun, F., & Zhao, S. (2019). Optimizing the Location of U-Turn Median Openings at Signalized Intersections with Multitype Vehicles. Journal of Transportation Engineering, 145(9). https://doi.org/10.1061/jtepbs.0000267
77) Mishra, R., & Pulugurtha, S. S. (2021). Safety evaluation of unsignalized and signalized restricted crossing U-turn (RCUT) intersections in rural and suburban areas based on prior control type. IATSS Research, 46(2). https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2021.12.007
78) Ulak, M. B., Ozguven, E. E., Karabag, H. H., Ghorbanzadeh, M., Moses, R., & Dulebenets, M. (2020). Development of Safety Performance Functions for Restricted Crossing U-Turn Intersections. Journal of Transportation Engineering. Part A. Systems, 146(6). https://doi.org/10.1061/jtepbs.0000346
79) Appiah, J. (2021). Developing Signal Warrants for Restricted Crossing U-Turn Intersections. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2676(2), 754–761. https://doi.org/10.1177/03611981211046923

80) Jovanović, A., Kukić, K., Stevanović, A., & Teodorović, D. (2023). Restricted crossing U-turn traffic control by interval Type-2 fuzzy logic. Expert Systems with Applications, 211, 118613–118613. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118613
81) Naghawi, H., Jadaan, K., Al-Louzi, R., & Hadidi, T. (2018). Analysis of the Operational Performance of Three Unconventional Arterial Intersection Designs: Median U-Turn, Superstreet and Single Quadrant. Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research). https://doi.org/10.5281/zenodo.1474325
82) Hadidi, T., Naghawi, H., & Jadaan, K. (2021). Unconventional Intersection Designs for Improving Traffic Operation Along Arterial Roads. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 50(1), 58–68. https://doi.org/10.3311/pptr.15732
83) Yang, G., Cunningham, C. M., & Brown, M. R. (2023). Quadrant Roadway Intersections: Tradeoffs between Control Delay Savings and Extra Travel Time. Transportation Research Record, 2678(6), 267–283. https://doi.org/10.1177/03611981231195056
84) Ryu, F., Satoshi, S., Yuji, Y., Fumito, I., Daiki, T., Ken, H., Satoshi, K. (2022). Traffic Signal Split Control Method Using Spring Model. Information Processing Society of Japan, Vol.15 No.3 38-52
85) Satoshi, S., Ryu, F., Yuji, Y., Fumito, I., Daiki, T., Ken, H., Satoshi, K. (2022).The Development of Swarm Intelligence-based Control Approach for Interpolating Traffic Information. Information Processing Society of Japan, Vol.15 No.3 53-70

2.4　各技術の概要

本節では、実証中もしくは実用化されている交通管理に関する新技術やデータについて、その概要と実際の事例を述べる。

2.4.1　交通センサー

交通センサーの役割は、特定地点における、車両の通過台数や地点走行速度などを収集するものである。技術的な手法としては、1) ループコイル式、2) 超音波式、3) 画像式などが存在するが、一般的に最も普及しているのは、道路舗装下にループコイルを埋設する事で、通過台数カウントを行う 1) ループコイル式である。1) ～ 3) のいずれについても設置数や設置方法によって、車両サイズを認識して、車種別交通量や旅行速度の収集を可能としている。

近年 CCTV で捉えた画像に対して、専用ソフトウェアを用いて画像解析する事で、道路交通における交通量や地点走行速度の取得に加えて、画角やソフトウェアの設定によって、交通事故や故障車が疑われるような突発的な事象検出を可能としている。

画像解析に必要な画質やサイズで車両を撮影出来る範囲内であれば、空間的に連続したデータの取得が可能であり、また範囲内を走行する全車両を対象とした検知が可能である。昨今では導入コストも低廉化していることや、AI を用いる事で、車種判定も含めて精度が飛躍的に向上していることから、情報収集手法として主流になりつつある。

これらに加え、近年は、スマートフォンの普及やカーオーディオの Bluetooth や Wi-Fi の Mac アドレスを照合し、2 点間の旅行速度や OD を取る Bluetooth センサーや Wi-Fi パケットセンサーを介して、交通計画や交通管理に活用する事例が実装されてきている。



超音波式

出典：首都高ウェブサイト



ループコイル式

出典：オムロンウェブサイト

図 2.4.1　車両検知器の一例

表 2.4.1 に実装されている交通センサーに係る文献調査の結果を示す。

表 2.4.1　実装されている交通センサーに係る文献調査結果

キーワード	段階	国	年	企業／組織	製品名	概要	Ref. No.
OD 分析、Bluetooth	開発	トルコ	-	Parabol	Metis Bluesense	トルコの Parabol 社が、Bluetooth のセンサーデータを使って都市交通を分析するプラットフォーム METIS Bluesense を開発：OD 分析と OD 表、可視化、道路利用者への所要時間通知	1)
Bluetooth、旅行時間推定	実証	イラン	2015	Roads Management Center	-	イランの Roads Management Center（RMTO）が、Bluetooth 受信機とスマートフォンの MAC アドレス（SPMA）を使った移動時間計測プロジェクトを実施；Bluetooth 搭載車両の普及率は約 7%だが、平均移動時間の計算には十分だった。	2)
Bluetooth、旅行時間データ データモニタリング、	実証	フランス	2012~2014	Egis, ARS T&TT	Bluetraffic sensor	A63 高速道路でのプロジェクトで、既存のループ感知器（交通量）、Bluetooth センサー（所要時間）、ARS T&TT 社の Bluetraffic センサーデータを利用。提案構成における Bluetraffic の検出率:30~50%、所要時間の精度を 90%以上確保	3)
Bluetooth、旅行時間推定	実証	カナダ	2018	運輸省交通システム モデリング局（TSMD）	-	- Highway 30 に 5 つの Bluetooth センサーを配置。データは運輸省交通システムモデリング局（TSMD）による 3 段階のアプローチで処理（SQL を使用）。Bluetooth からの速度変化は Google Distance Matrix と HERE と同じ傾向を示した。	4)
Bluetooth、旅行時間推定, 事故検知	実証	ドイツ	2010~	-	-	スマートフォンを MAC アドレスで検出、Bluetooth で追跡。車両の通過時間は複数地点で記録されるため、移動時間が追跡可能。検出された Bluetooth デバイスは、車両全体の 20～25%。車両分類や週末/平日、時間帯によって異なる。	2)
マイクロ波センサー、 RTMS、交通データ	実証	アメリカ	2022	Image Sensing Systems	RTMS Echo	フロリダ Turnpike Enterprise 社と Transcore 社は、既存の 88 台のマイクロ波車両検知システム（MVDS）を Image Sensing Systems 社の RTMS Echo に置き換えた。RTMS Echo レーダーは、車両毎の情報とともに交通速度をモニタリング可能。	5) 6)
画像処理、AI、違反検知、 交通モニタリング	開発	-	2022	Vitronic	Poliscan Redlight VA	Vitronic 社は、AI 画像解析を利用したビデオベースの信号無視取り締まりシステム Poliscan Redlight VA を導入した。先進的カメラセンサー（色認識機能・広視野）、強力なプロセッサ、CNN ベースのソフトウェアシステムを活用。さまざまな道路利用者の識別、信号無視のモニタリング、歩行者横断時の車両違反の撮影、右折違反の記録が可能。	7) 8)
画像処理、交通量、 交通モニタリング、 リアルタイム処理	開発	ドイツ発	2024	DataCollect Traffic Systems	Argos Mobile Argos Permanent	DataCollect 社は、今後発売予定の新製品の概要を発表。①Argos Mobile：交差点、ロータリー、複数車線道路での交通量計測と車両分類機能を備えた、AI ベースのモバイルビデオ検知システム、②Argos Permanent：クラウドサーバーへのデータ送信による継続的な交通量モニタリングにより、実用的な洞察と分析をサポート	9)
画像処理、VMS リアルタイム処理	実証	インド	2014~	Zero-Sum ITS Solutions India	-	Zero-Sum ITS Solutions India 社がインドのアーメダバード市と協力し、ITS 施設の官民パートナーシップを実現。カメラと画像処理技術で取得した交通データから、リアルタイムの渋滞状況を分析、VMS に情報を表示可能。約 70%が満足しているが、実際に提案代替ルートを利用したユーザーは 10%弱に留まる。	2)
画像処理、AI、事故検知、 画像解析	実証	アメリカ	NV FL：2019 以前 IO：2016	NDOT, FDOT, Iowa DOT & Iowa State University	TIMELI	ネバダ州・フロリダ州：CCTV からのフィードを処理、事故を特定する AI が採用された。結果、AI システムにより、事故の検知が 12 分間短縮された。 アイオワ州 : NVIDIA Titan X グラフィック処理ユニットと TensorFlow ディープラーニングシステムを使用し、CCTV カメラからの画像をほぼリアルタイムで分類する Traffic Incident Management Enabled by Largedata Innovations (TIMELI)を開発した。（パイロットプロジェクト）	10)
5G、コネクテッド RSU、 交通データ	計画	イギリス	2021	West Midlands 5G (WM5G), Transport for West Midlands (TfWM)	-	West Midlands 5G 社(WM5G)とウェスト・ミッドランズ交通局(TfWM)との提携。5G センサーを道路に設置し、地域の管制センターにリアルタイムの交通情報を送信する。データから、道路の交通量と容量に関するリアルタイムの洞察が得られる。主要道路網への導入を目標としている。	11)
検知センサー、 警報システム	実証	アメリカ	2022	南ネバダ地域交通 委員会（RTC）、 NDOT	-	FHWA の Advanced Transportation and Congestion Management Technologies Deployment (ATCMTD)から 600 万ドルの助成金が、ラスベガスの高速道路の現行技術のアップグレードを目的として、南ネバダ地域交通委員会(RTC)、ネバダ州交通局(NDOT)、およびパートナー企業に交付された。導入予定：逆走センサー（2023 年～）、混雑緩和と排気ガス削減を目的とした HOV レーンにおける車両検知センサー（2022 年設置）、前方の事故をドライバーに知らせ急ブレーキによる衝突を軽減する標識。また、18 ヶ月間、HOV レーン研究チームが収集データと試験運用結果を検証し、恒久的な運用について提言。逆走検知センサーの成功率は 84%であった。	12) 13) 14) 15)
交通センサー、 データフュージョン	実証	オランダ	2018	ARS T&TT	Bluetraffic sensor ほか	現在使用されているもの：ARS T&TT 社の Bluetraffic Bluetooth センサー、画像認識カメラ、ループ式感知器、仮想ループ式感知器、GPS センサー、レーダー感知器、プローブデータ、サードパーティデータ（データフュージョン使用）。最新技術：光ファイバーセンサー。オランダの道路で実験が行われ、低周波数の割合＝低速走行の割合の仮説がある。	16)
3D LiDAR、速度検知器、 交通量カウント、車両分類	実証	フランス	2022	PARIFEX	NANO-CAM	PARIFEX 社の NANO-CAM は 3D-LiDAR 技術に基づくカメラで、:車両（軽車両、大型トラック、オートバイなど）の追跡、カウント、分類、OD 表管理ができる。2022 年夏にデモ実施予定。	17) 18)

2.4.2　信号制御・V2X・デジタルツイン

(1)　技術概要

信号制御に関する DX としては、従来の車両感知器＋中央制御から、ソフトウェア会社によるプローブデータを活用した信号現示最適化、ビッグデータ AI 解析を基にした信号現示最適化、自律分散型の信号制御、V2X と連携した信号制御などの開発実装が始まっている。

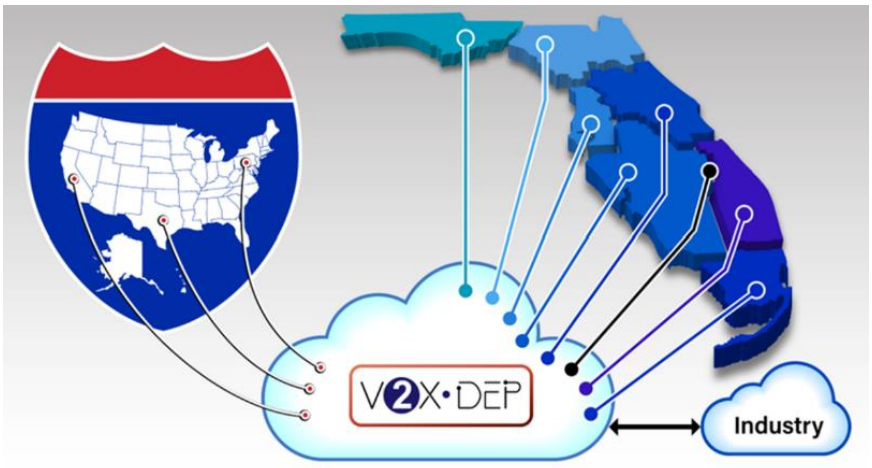
a)　**V2X**

Vehicle to Everything（V2X）とは、車両と人間、他の車両、クラウドシステム、インフラ等の他の物体との間でリアルタイムまたはほぼリアルタイムで行われる通信および通信による連携を指す。

(2)　米国 Florida 州における V2X データ交換プラットフォーム

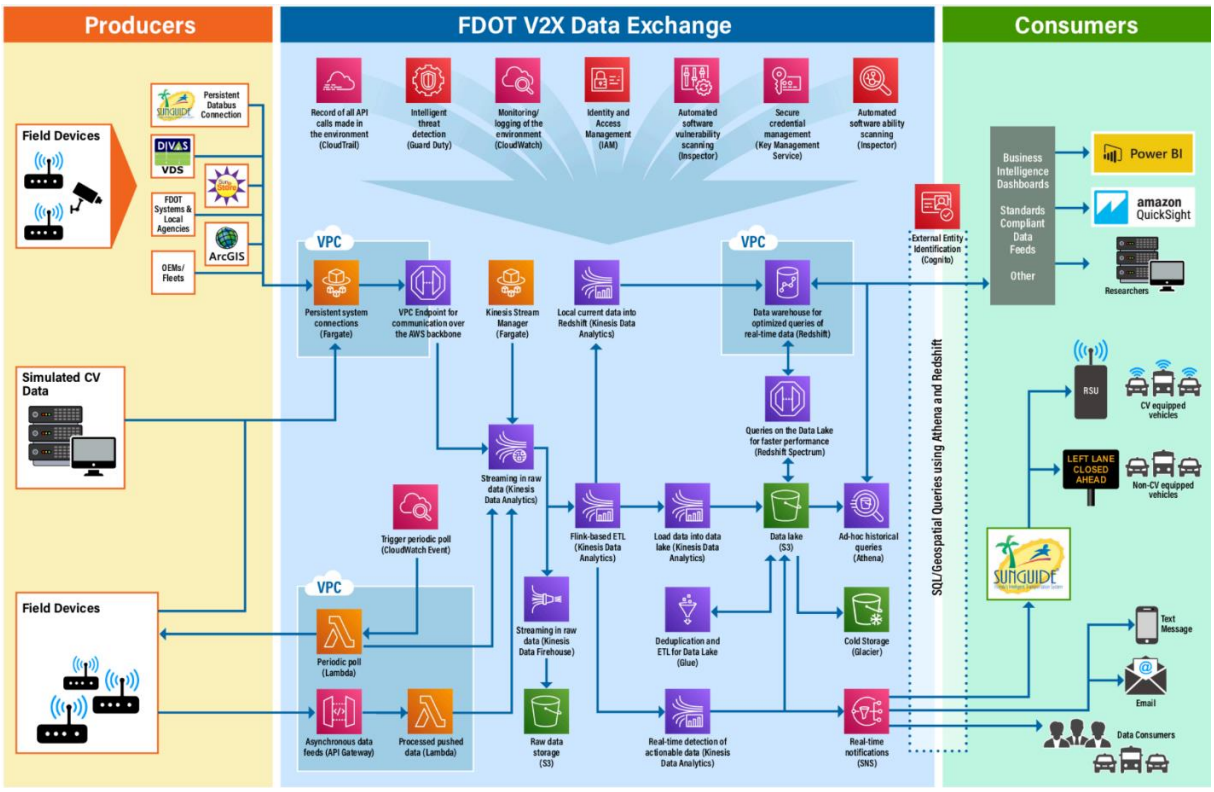
Florida 州運輸省（FDOT）は、ITS システムの一部として V2X を活用しており、2021 年から CV データを始めとする V2X データを州全体で集約するための V2X データ交換プラットフォーム（Data Exchange Platform, DEP）（図 2.4.2）が設立された。このプラットフォームは FDOT と Southwest Research Institute（SwRI）の協力により開発されたもので、プロジェクト実施期間は 2025 年までである [24]。データプラットフォームへは、下記データが収集されている。

a.　路側機（RSU）・車載機（OBU）・他 ITS 機器からのデータ（図 2.4.3「Field Devices」）
b.　SunGuide・SunStore・DIVAS VDS アプリケーション（Arcadis 社製既存システム）のデータ
c.　車両 OEM、Waze、HERE（速度・渋滞）、Ford Pro Data Services、Florida Advanced Traveler Information System などのサードパーティ製データ [24)25)]
d.　Connected and Autonomous Vehicle（CAV）デバイスからのデータ



出典：FDOT

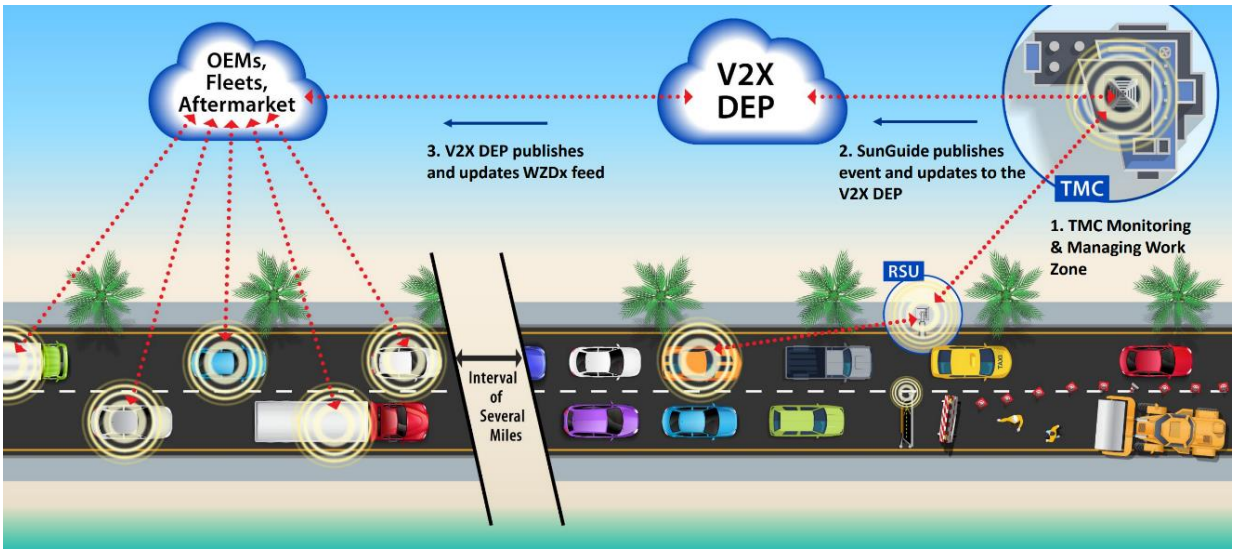
図 2.4.2　FDOT の V2X データ交換プラットフォーム



出典：FDOT

図 2.4.3　V2X データ交換プラットフォームのフロー[24)]

各種データの処理後、プラットフォームは交通管理システム（SunGuide）や地域統合交通情報システム（RITIS）に工事区間情報、事故情報、渋滞情報アラート情報等を提供し、RSU（CV 向け）や車両（CV 以外向け）にデータをプッシュすることで、その場所に到着する前にユーザーに知らせる。このプラットフォームでは、データの可視化だけでなくソースの追加、新規分析手法の導入、情報の配信について拡張が可能となっている [24)]。プラットフォームからは、車両の前方衝突警告や交差点での衝突警告など、リアルタイムの警告に関する情報は提供されない [25)]。



出典：FDOT

図 2.4.4　工事区間におけるデータのやりとりのイメージ

プラットフォーム以外にも、FDOT は SunGuide Traffic Management Center (TMC)を利用した V2X 機器ネットワークを形成し、多くの RSU と SunGuide Advanced Traffic Management System (ATMS)を州全体で導入・運用している [24)26)]。FDOT は、Commsignia 社と提携しており、同社の RSU 製品は、フロリダ州内の一部の道路や高速道路に設置された CV と情報を交換できるようになっている [26)27)]。

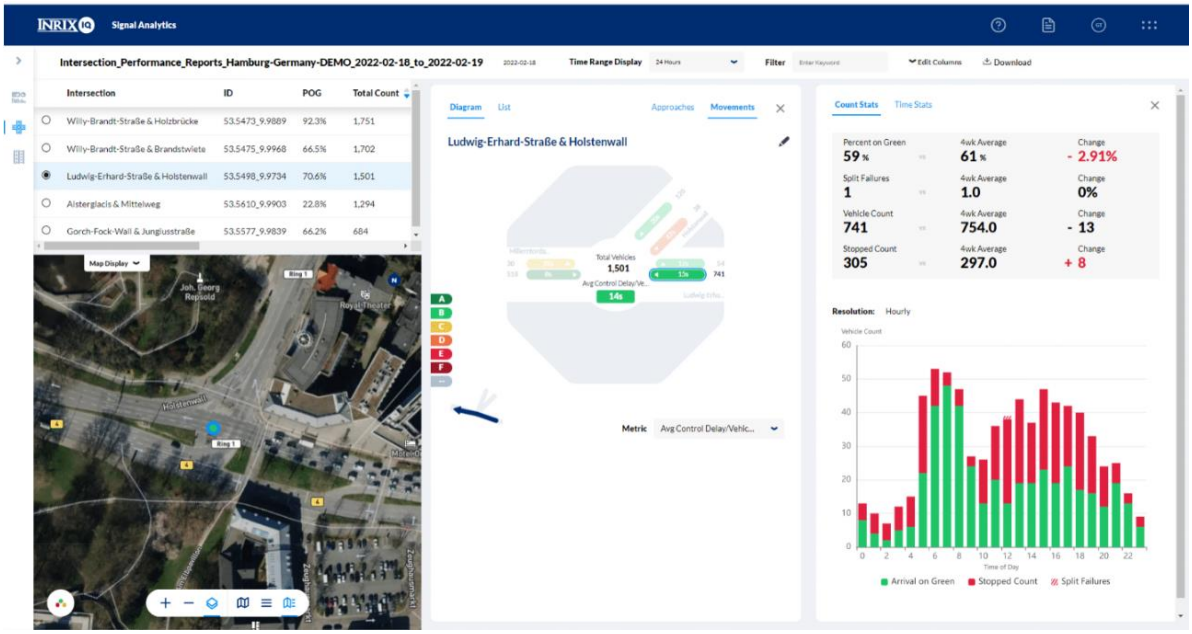
なお、FDOT の契約情報報告書によると、当該プロジェクトは SwRI をベンダーとして契約しており、契約総額は 8,000,000 ドルである（2022 年 5 月 4 日時点）[28)]。

発展途上国における適用（設置、運用、管理）について、V2X データ交換プラットフォームは複雑であり、同様の技術の適用には課題が伴う可能性が高く、そのほとんどはインフラの整備状況とデータの利用可能性に起因すると考えられる。CV は交通状況をより詳細に把握するためのデータを提供できるが、発展途上国では CV および V2X 技術、情報交換が可能な RSU は非常に珍しく、利用可能とは言えない。こうしたプロジェクトは、CV および V2X が商業的に利用可能な地域、つまり人口規模が大きく、所得水準が高く、商業活動が盛んな地域で実施する方が現実的と考えられる。

(3)　INRIX 社の Signal Analytics

a)　サービス概要

交通状況分析と CV サービスを手がける INRIX 社は、交差点分析、信号制御管理に係る SaaS プラットフォームとして 2021 年に Signal Analytics を発表した。2023 年 1 月現在、米国 20 州に加え、ドイツ [48)]や英国 [49)]においても利用されている。（図 2.4.5）

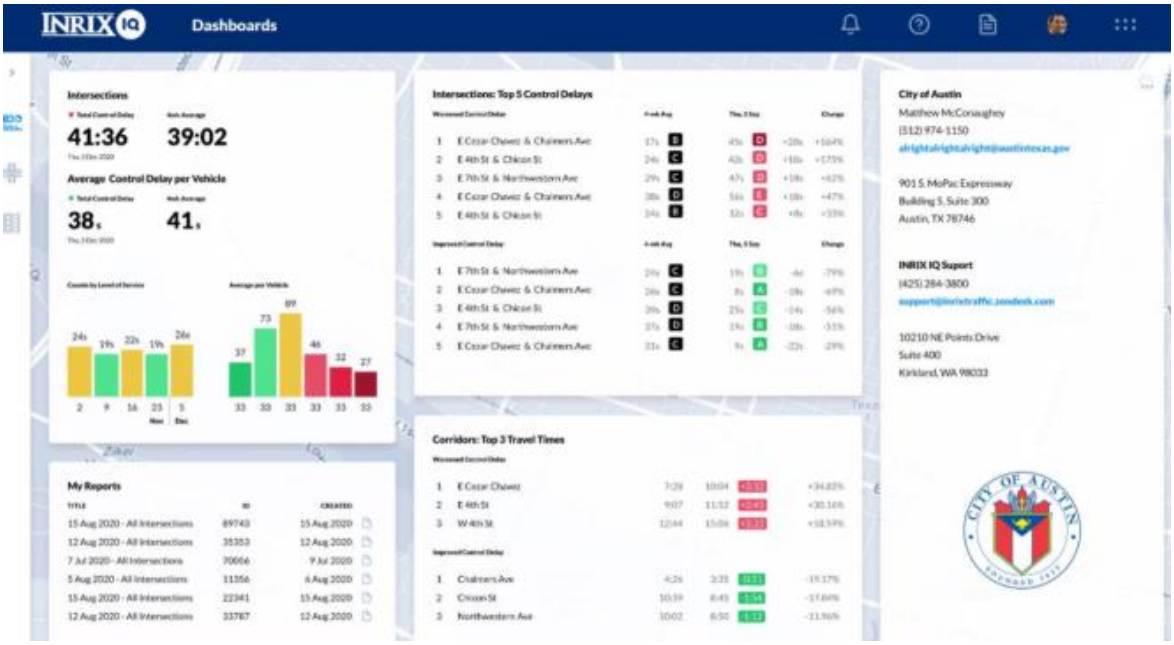


出典：INRIX 社

図 2.4.5　ドイツにおける信号解析 UI 例 [48)]

Signal Analytics のシステムは、ハードウェアを追加設置することなく、クラウドコンピューティングを利用し CV から毎日 2,500 万回以上、3 億マイル以上の走行プローブデータを取得し、全米 21 万ヶ所以上の信号交差点のパフォーマンスの分析を可能にしている [51)]。機能としては、施策前後の比較分析、交差点のパフォーマンス指標（例：AOG、移動時間、接近速度、損失時間、車両数、停止車両数、右左折比率）の提示、Split Failure の特定、信号優先制御の順位付けの指標の提示、交通信号制御戦略の効果評価、交通シミュレーションモデルの検証 [52)]が可能である。また、メリーランド大学の Center for Advanced

Transportation Technology Laboratory（CATT Lab）の Intersection Analysis Tools と連携することで、さらに詳細な分析が可能となる [52)53)]。図 2.4.6 に、Signal Analytics が提供する交差点ダッシュボードを示す。



出典：INRIX 社

図 2.4.6　Signal Analytics ダッシュボード [48)]

なお、当該プラットフォームは CV からのプローブデータのみを利用している。Signal Analytics で用いられている交差点分析に利用可能な指標と定義 [50)]について、下記に示す。

仮定

1. Inbound：停止線の手前 150m
2. Outbound：停止線から 80m
3. Reference travel time：同じ時間帯に停車しなかった全車両の旅行時間の 5 パーセンタイル値
4. 車両が交差点で停止するのは、時速 10km/h を下回る状態が 2 秒間続く場合である

指標

1. Arrival on Green (AOG)：信号のある交差点を停止せずに通過する車両台数
2. Travel Time：車両が Inbound の始点から Outbound の終点の間を移動する時間
3. Approach Speed：Inbound 内の車両の最高速度
4. Control Delay：交差点を通過する車両の Reference travel time と実際の走行時間の差
5. Split Failure：信号交差点で、車両が 2 回以上停止を強いられたかどうか
6. ほか：車両台数、停止車両台数、右左折の比率

米国において、この指標による交差点分析は、Travel Time、Control Delay、AOG、Split Failure について、従来の検知器ベースのデータと傾向が一致しているとの報告がある [50)]。

導入事例

- Oregon 州 Washington 郡では、交通信号再調整後に交通信号による遅延が 30%削減 [54)]
- Texas 州 Austin では、2022 年の SXSW 音楽・映画祭での交通管理に Signal Analytics を利用し、信号の再調整によって遅延が改善され、約 10,000 ドルの遅延節約が達成されたと報告されている [55)]

- 同じく Austin では、2022 年に MMC（Mobility Management Center）が Signal Analytics を導入し、信号の問題を特定して交差点での遅延を 35%改善し、総合的な交差点パフォーマンスを 23%向上させた。これにより道路利用者の年間節約額は 80 万ドルに達した [55)56)]
- イギリス Hertfordshire では、対象交差点において全体的に 15～40%の改善が見られた [57)]

料金

2021 年 3 月時点で、INRIX Signal Analytics のサービス料金は、プロジェクト最低料金が 25,000 ドルに設定され、スタートアップ料金は免除されている。年間ライセンス料は監視する交差点数に応じて設定されており、最初の 50 交差点までは 1 交差点あたり 500 ドル、51～200 交差点までは 300 ドル、201～1000 交差点までは 240 ドル、1001～3000 交差点までは 180 ドル、3001～5000 交差点までは 150 ドル、5000 交差点を超える場合は 1 交差点あたり 120 ドルである [52)]。

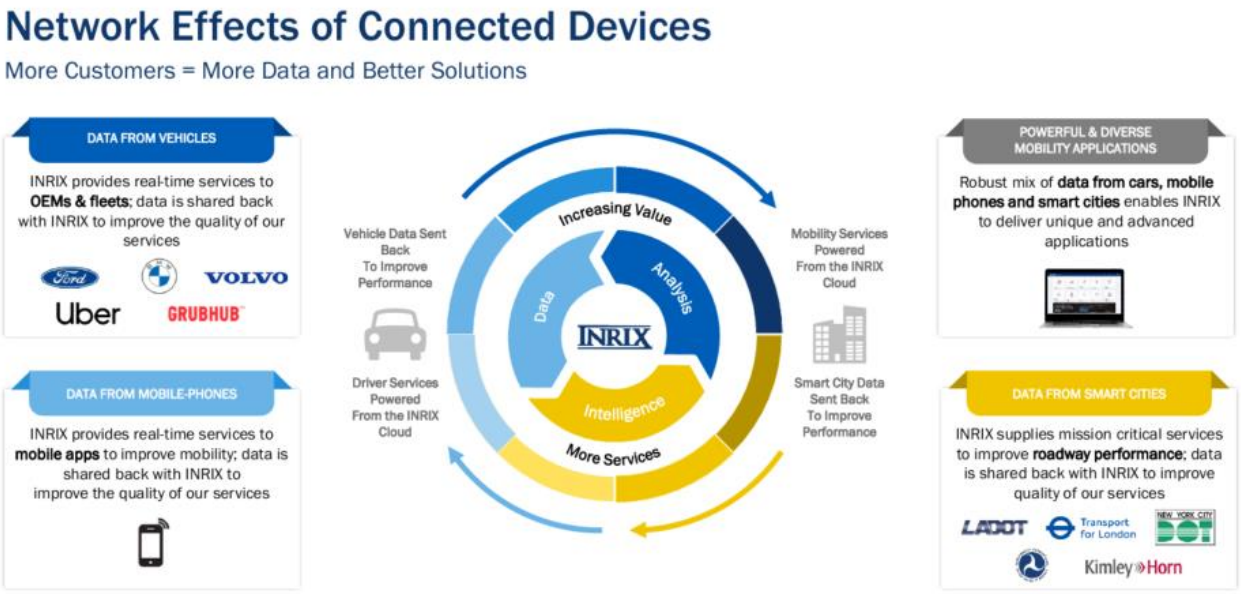
b)　INRIX 社のヒアリング結果

INRIX は交通管理およびモビリティの向上を目的として、データサービスを提供する企業である。主に CV から得られるデータを活用し、リアルタイムの交通情報や分析を行っている。2004 年に設立され、シアトルに本社を置き、145 カ国以上でサービスを展開している。このサービスにより、都市や公共機関に対し、交通管理やモビリティに関するインテリジェンスを提供し、より効率的な都市運営を支援している。



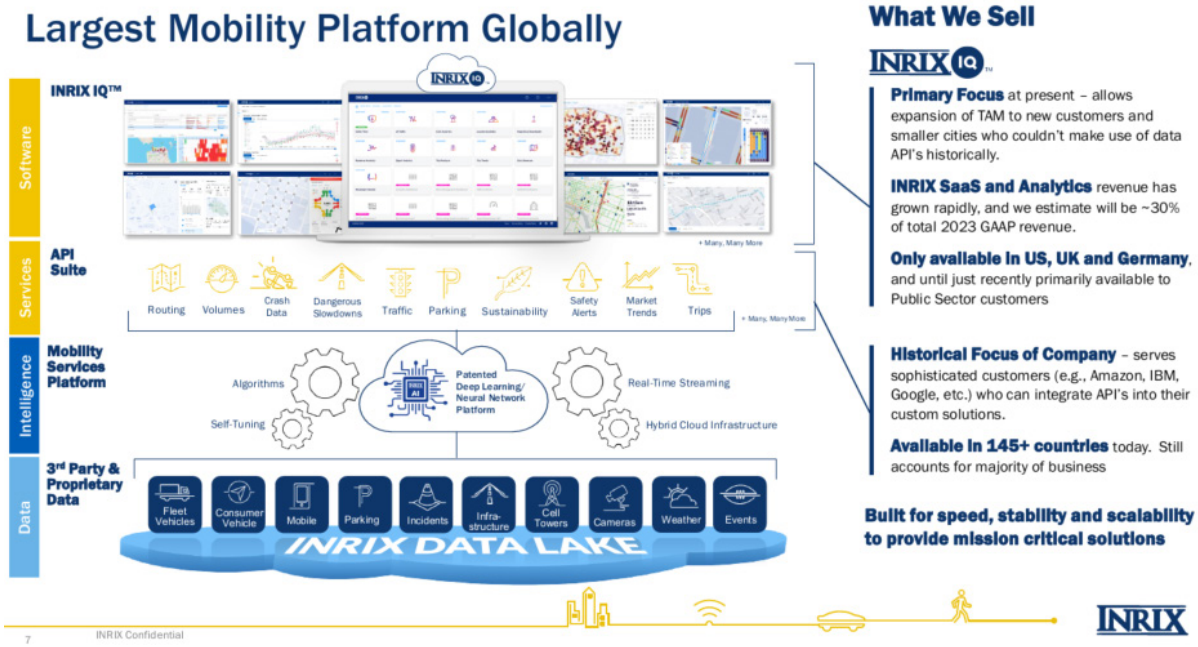
出典：INRIX 社

図 2.4.7　INRIX 社の概要



出典：INRIX 社

図 2.4.8　INRIX 社のサービスの主なデータソース



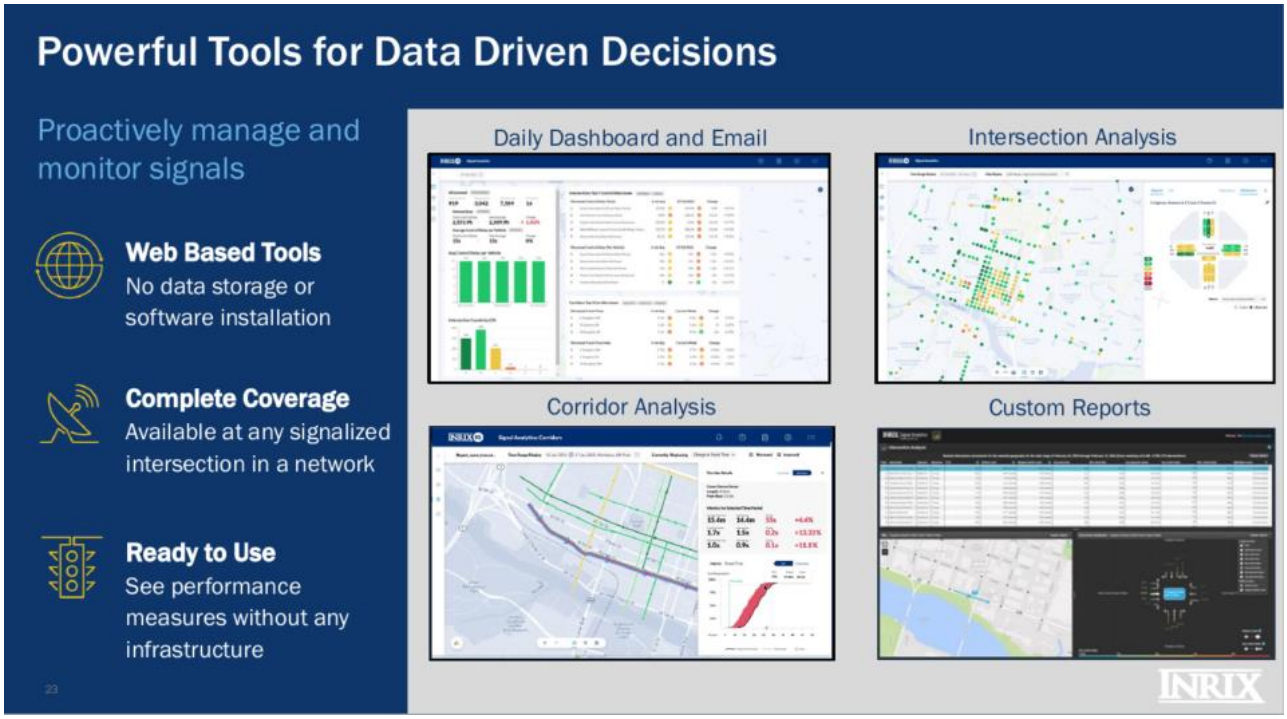
出典：INRIX 社

図 2.4.9　INRIX 社のモビリティプラットフォーム

c)　主なサービス

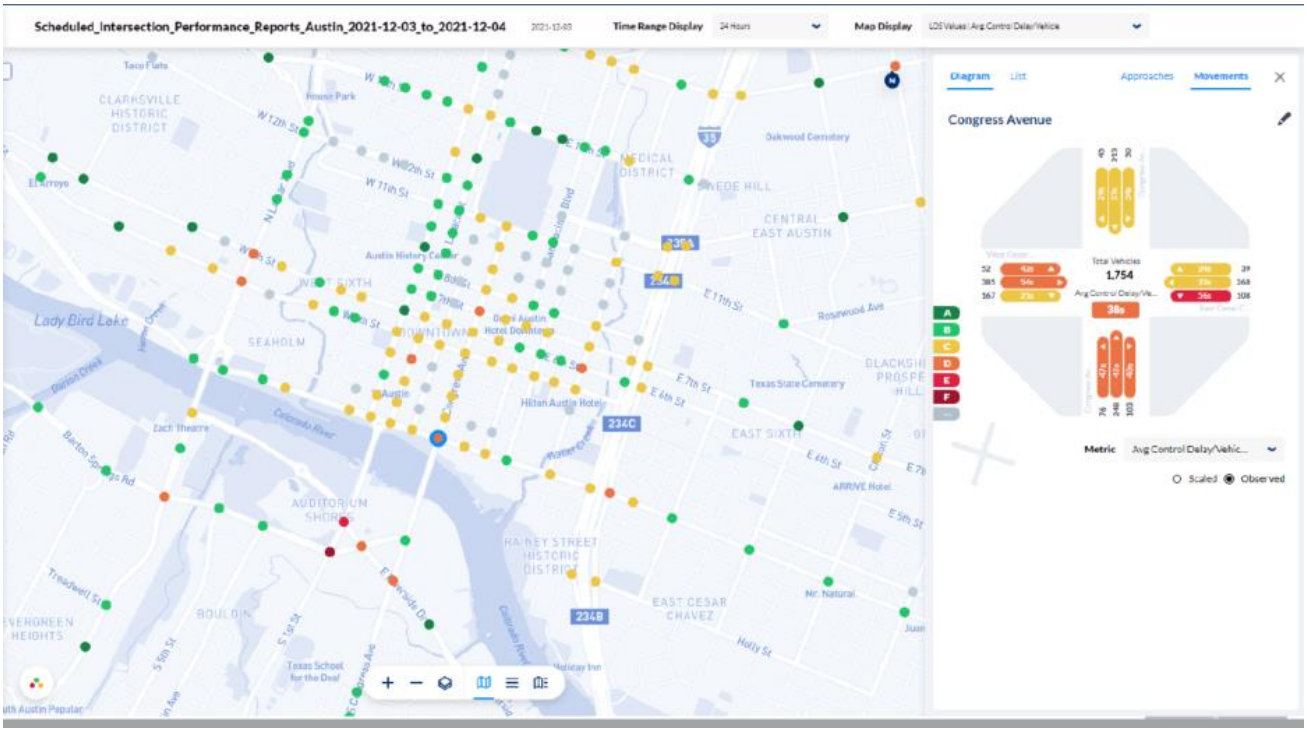
Signal Analytics（信号解析）

Signal Analytics は CV データを基に、信号のパフォーマンスを測定している。具体的には、旅行時間、進入速度、停止回数などの指標などが含まれ、インフラの設置を必要とせずに信号制御のパフォーマンスを把握できる。また、信号の遅延や Split Failure などの問題を特定し、信号の効率的な運用を支援する。これにより、渋滞の削減、燃料効率の向上、安全性の向上が期待できる。



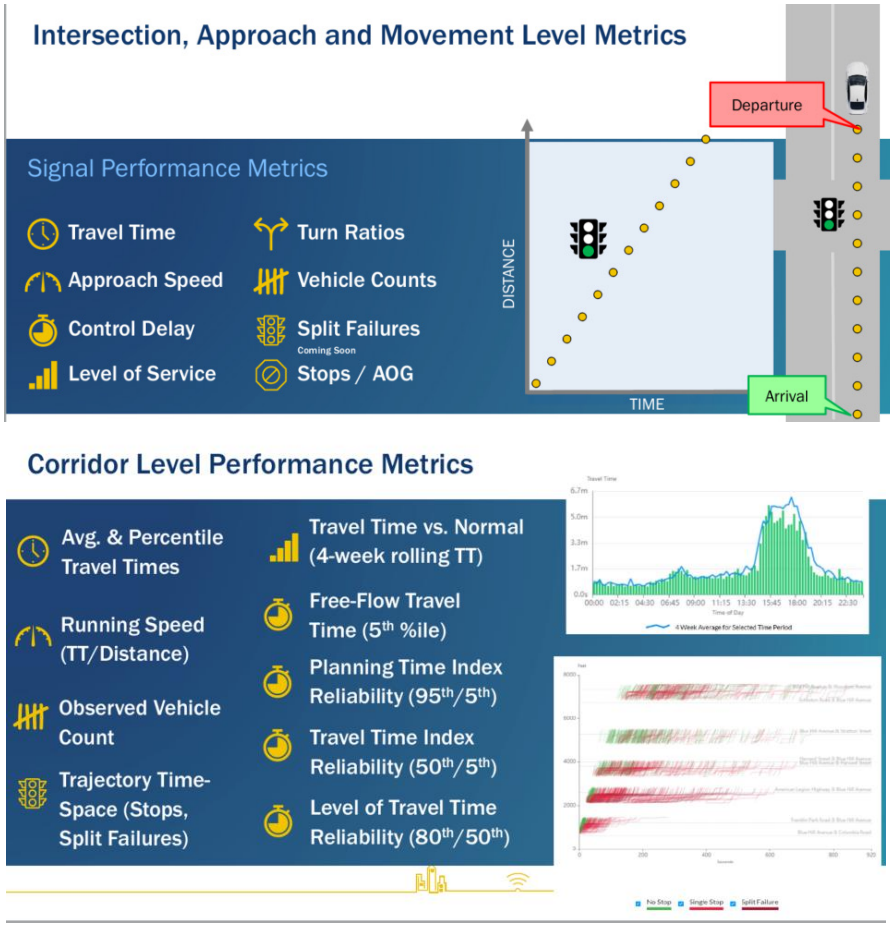
出典：INRIX 社

図 2.4.10　INRIX 社の Signal Analytics



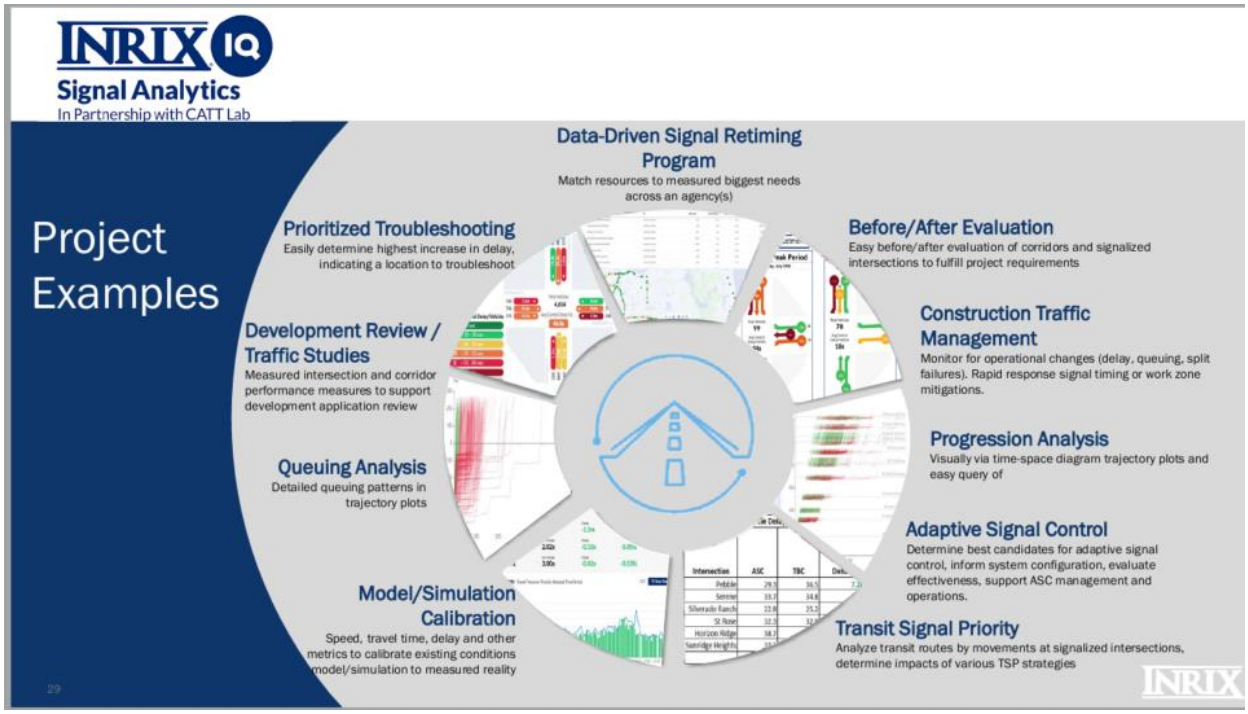
出典：INRIX 社

図 2.4.11　リアルタイムの信号データ解析①（交差点レベル）



出典：INRIX 社

図 2.4.12　リアルタイムの信号データ解析（細街路レベル）

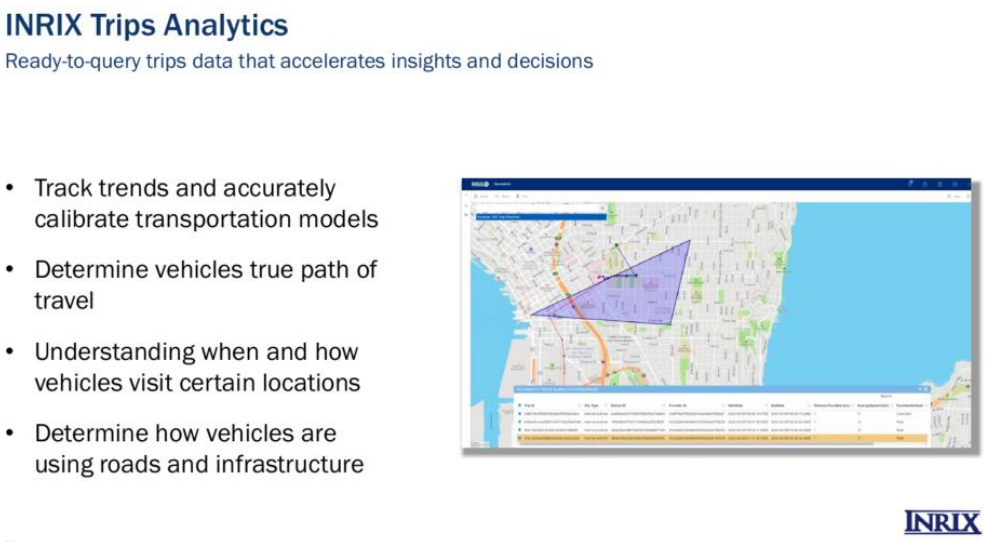


出典：INRIX 社

図 2.4.13　Signal Analytics のプロジェクトの事例

Trips（トリップ分析）

INRIX のトリップ分析ツールは CV から収集されたデータを基に、車両がどのように道路を利用しているかを視覚化し、インフラや道路の利用状況を理解するためのインサイトを提供する。

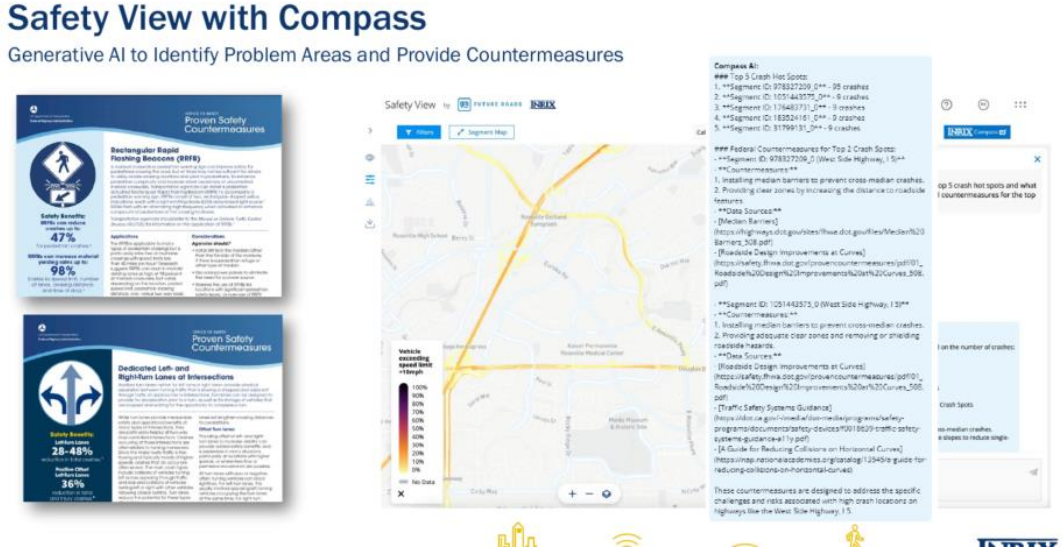


出典：INRIX 社

図 2.4.14　Trips Analytics の概要

Safety View（安全性分析）

INRIX の Safety View は、安全性向上に向けたデータ駆動型のインサイトを提供するためのツールである。このツールは、生成 AI を用いて事故リスクの高い場所や道路区間を特定し、交通安全施策の立案や資金調達のプロセスを支援する。



出典：INRIX 社

図 2.4.15　Safety View の概要

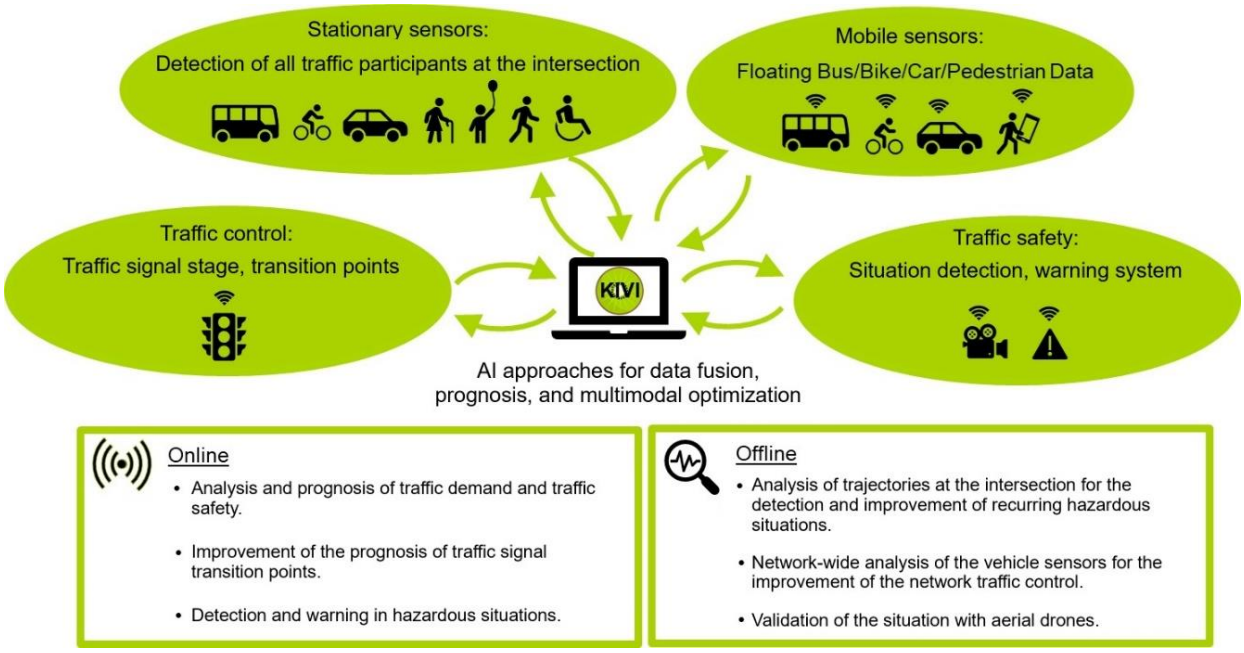
(4)　KIVI プロジェクト

KIVI（Künstliche Intelligenz im Verkehrssystem Ingolstadt：インゴル市の交通システムにおける人工知能）プロジェクトは、ドイツ・インゴル市の道路利用者からデータを収集し、交通管理と交通安全の分野を効率よく強化するため AI を導入するプロジェクトであり、自動車、バス、自転車、歩行者など、あらゆる交通手段を対象としている [58]。複数の産業界や中小企業、学術機関、およびインゴル市の協力により進められた [59][60]。プロジェクトは 2020 年 10 月から 2023 年 10 月まで実施され、2023 年 5 月から、Goethestraße、Schillerstraße、Friedrich-Ebert-Straße の 3 つの交差点にセンサーが設置された [61]。

このプロジェクトの目的は、以下の 3 点である [58]。

i)　都市の信号交差点におけるマルチモーダルな交通制御と安全性に対して、AI の可能性を実証する。
ii)　交通データ融合、交通状態推定、交通制御のための予測における AI の可能性を評価する。
iii)　交通工学（ネットワーク計画、交通管理）における AI の応用を拡大する。

KIVI プロジェクトは、固定センサー（LiDAR、カメラ、ループ式車両感知器）やモバイルセンサー（プローブデータ、5G スマートフォンを搭載した歩行者や自転車の追跡アプリ、カメラ付きドローン）など、複数のデータソースを活用し、図 2.4.16 のプロセスに沿って実施された。また、データの収集と通信のために、図 2.4.17 のような高精度のレーザー式感知器、サーマルカメラ、CCTV カメラ、AI 分析アルゴリズムを搭載したローカルコントロールセンター、光ファイバーネットワークなどのインフラが整備された [62]。



出典：インゴル市

図 2.4.16　KIVI プロジェクトのプロセス図 [58][59]



出典：インゴル市

図 2.4.17　導入されたセンサー（左）、サーマルカメラとレーザーによる車両検知（右）[60)]

KIVI プロジェクトでは、以下のことが成果として挙げられている。

1. **テストフィールドの設定（図 2.4.18）[63)]**
   - テストフィールドにおけるデータフュージョンと物体識別のための AI 実装に成功。
   - テストフィールド内のリアルタイム交通安全機能では、衝突の危険性がコンフリクトエリアに侵入する約 10m 手前（場所によって異なる）で通知される。

2. **ネットワーク制御トラフィックフローの最適化 [64)]**
   - 交通信号最適化のための強化学習を開発し、ベンチマークと比較して平均 5%の改善を達成。
   - GLOSA（Green Light Optimal Speed Advisory）[8]や赤信号までの残り時間など、信号システムに関する情報を提供するスマートフォンアプリ「trafficpilot」の導入。
3. **ジレンマゾーンの特定 [65)]**
   - プローブデータから、正確かつ高精度にジレンマゾーンを予測するモデルを開発。



出典：インゴル市

図 2.4.18　インゴル市の高精度テストフィールド

[8] 車両が信号交差点を停止せずに通過できるよう、最適な走行速度をドライバーに提供するシステム

KIVI プロジェクトは、プロジェクトの総費用 8,227,376 ユーロのうち 84.42%（6.95 百万ユーロ）がドイツの Ministry of Transport and Digital Infrastructure からのモビリティにおける AI 適用促進に関する助成金・補助金で賄われている [61)66)]。

(5) NoTraffic

NoTraffic 社は、2017 年にイスラエルで設立され、イスラエルおよび米国に拠点を置く企業で、AI を活用した交通管理プラットフォーム NoTraffic を提供している。このプラットフォームは、ハードウェア対応の SaaS によるエンドツーエンドのソリューションを提供し、NoTraffic のセンサーと CV データを統合してリアルタイムに交通を最適化し、交通事故を最小限に抑えることができるとしている [67)68)]。このシステムは完全自動化されており、2024 年 3 月時点でアメリカの 24 州以上（California、Texas、Pennsylvania、Colorado、Georgia、カナダの一部など）で運用されており、2024 年 6 月には FDOT も NoTraffic の導入を承認している [69)]。※FDOT へのヒアリングでは、プラットフォームが限られていること、サイバーセキュリティの課題があり PoC のみで終わっているとのことであった。

主要な機能としては、画像解析とレーダー等のセンサーを使用した各交差点における台数や速度のリアルタイムのデータ収集と、それらを用いたリアルタイムの面的な信号最適化が挙げられる[9]。また、交通事故予防、歩行者・自転車の優先、緊急車両等の優先制御、CV 車両との通信、交通信号制御への制約条件の追加といったカスタマイズ機能が含まれる [70)71)72)]。これらの機能により、人手による信号の再設定なしに、すべての道路利用者を考慮し、ネットワークレベルで隣接交差点との調整された自律的な信号最適化を行うことが可能であるとしている [71)]。

NoTraffic のシステムを使用するには、ハードウェアとソフトウェアの両方が必要であり、路側には下記の機器の設置が必要となる。また、必要に応じて DSRC を介して取得された CV データと統合することも可能であり、注意喚起情報などを CV に送信することができる [70)]。詳細な情報は見つからなかったが、CV データを利用することによりセンサーでは取得できない詳細な情報（経路や目的地など）を取得しているものと考えられる。

<u>エッジセンサー</u>

画像解析とレーダーで構成されるエッジセンサー（図 2.4.20 左）が交差点ごとに設置され、すべての道路利用者の動きを検出し、それぞれを自転車、歩行者、トラック、バス、車、緊急車両などに分類し、接近速度などの情報を収集する [73)]。（図 2.4.19）収集されたデータは匿名化され、クラウドに送信されて市全体のデータと照合して分析される。

<u>制御ユニット</u>

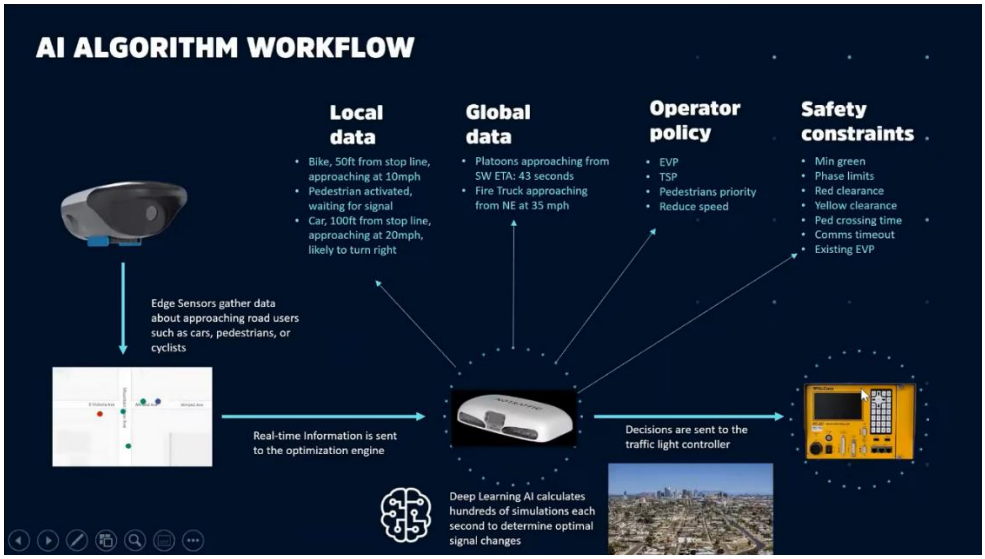
信号制御盤に設置される。ディープラーニングの技術を搭載しており、センサーデータを集約して毎秒ごとにシミュレーションを行い、最適な信号変更を計画し、最終決定がリアルタイムで信号制御システムに送信され、実行される。制御ユニットでは、エッジセンサーによって取得されたデータ、パブリックデータ、交通管理管理者の方針、安全上の制約など、さまざまな要素を取り入れられる（図 2.4.20）。また、交通管理者はダッシュボードにアクセスし、交通量、遅延情報、AI による意思決定、信号の状態などの詳細なデータを確認できる [71)]。

[9] https://techblitz.com/startup-interview/notraffic/?utm_source=chatgpt.com



出典：NoTraffic https://www.notraffic.com/ai-mobility-platform/

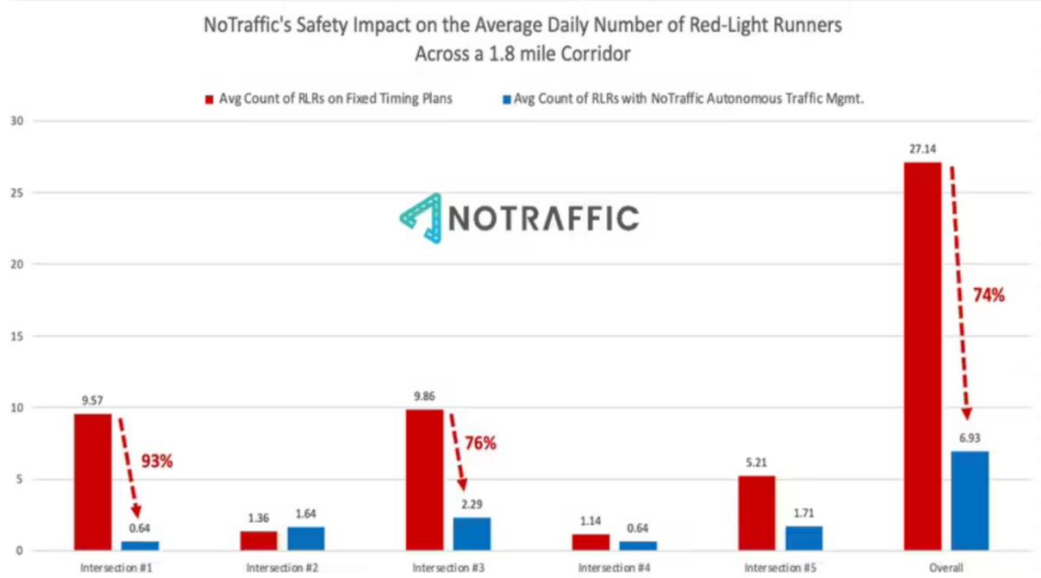
図 2.4.19　NoTraffic の検出システム [72)]



出典：NoTraffic https://www.notraffic.com/ai-mobility-platform/

図 2.4.20　NoTraffic のアルゴリズムのフロー[73)]

NoTraffic は、複数の地域で導入され、多くの成果が報告されている。例えば、California 州 Redlands では、2 つの交差点で 2 か月間信号最適化を行った結果、遅延時間が平均 37%減少し、平均速度が 40%向上し、これにより直接コストが 59%削減され、331,380 ドルの経済的利益と 11 トンの排出量削減が報告された [71)]。また Arizona 州 Chandler では、系統制御されていなかった街道上の 10 交差点にシステムが導入され、信号現示による遅延が 20%減少した [74)]。Vancouver では 5 交差点でシステムが試験的に導入され、2 週間で車両の遅延が 181.67 時間、歩行者の遅延が 93.42 時間減少し、これにより CO2 排出量が 2.8 トン削減された [75)]。さらに、Florida 州 Miami-Dade County では、パイロットプロジェクトが成功し、交通渋滞と事故の数が大幅に減少したことが報告されている [69)]。また、NoTraffic が 1.8 マイルの街道上の 5 交差点で行った実証実験では、このプラットフォームによって赤信号無視のドライバーの数を平均 74%削減できる可能性があることが示された [72)]。（図 2.4.21）



出典：NoTraffic https://www.notraffic.com/ai-mobility-platform/

図 2.4.21　NoTraffic プラットフォームによる赤信号無視の抑制効果 [72)]

開発および導入コストについては、2020 年 5 月時点で、1 交差点あたり 25,000 ドルから 30,000 ドルとされている [71)]。

現時点では、NoTraffic が設置された交差点では必ず歩行者はボタンを押して横断する必要があるが、今後の展望として、歩行者の横断要求を自動で検知して信号をアクティブ化する機能や、特定の車両（例: 除雪車や特定のバス）の優先順位付けを組み込む計画がある [71)]。

発展途上国での適用

発展途上国における適用について、NoTraffic は、様々な交差点にも後付けが可能で、既存の制御機とも互換性があり、発展途上国のような交通状況が非常に動的である場合にも対応可能である [73)]。ただし、交通管理者はハードウェアセンサーを設置する必要があり、多機能なハードウェアの導入コストは比較的高額であることから、発展途上国においては課題となる可能性がある。また、通信インフラのアップグレードが必要になる場合もある [69)71)]。

(6)　Project Green Light

a)　プロジェクト概要

Project Green Light は、Google 社の CSR 活動の一環として、交通の流れを改善し、交差点での車両による排出ガスを削減することを目的としたプロジェクトである。Google Research チームによって 2021 年に初めて発表され、AI 機能が強化された形で 2023 年に再発表された [76)]。このプロジェクトでは、Google Maps の運転傾向データと AI による分析手法を活用し、交差点の交通パターンを分析、その結果を元に各都市の交通機関に信号最適化の推奨計画を提供することを目的としている [77)]。

このプロジェクトの背景には、道路交通セクターからの排出ガスの多さがある。Google 社が Google Maps データと米国エネルギー省（Department of Energy, DOE）のモデルを使用して行った分析によると、交差点での排出ガスの約半分が信号による停止・再発進の動きから発生していた。Project Green Light 以前では、プロジェクト実施都市の一部の交通管理者は高価なセンサーや手動の車両カウンターを使用し

て信号を最適化しようとしていたが、それでも情報が不完全だった[77]。こうした背景から、Google は交差点での交通流を、AI を活用した信号最適化により改善し、最終的に空気の質の向上へつなげることを目指している。

b) **信号最適化フロー**

Project Green Light の信号最適化のフローは以下の通りである。主な利用データは、Google Maps から得られる運転傾向のデータである。

1) 交差点の選定

最適化対象交差点の選定には、Green Light のアルゴリズムを用いる。アルゴリズムは、Google Maps データから各パートナー都市の運転パターンを分析し、最適化した場合の期待される改善度合いに基づき推奨交差点を選出する[78]。

2) 交差点の流れの分析・理解

Google Maps で取得された運転傾向データを通じて、信号サイクルの長さ、移行時間、グリーンスプリット（各車線の優先権と信号の順序）、信号の調整、センサーの操作などの信号パラメータを推測する。[77][78]

3) 交差点の交通パターンの特定

交差点ごとのモデルを作成し、交通パターン（車両のストップアンドゴー）、交差点での平均遅延、信号サイクルの長さ、現実の交通と信号サイクルの相互作用を理解する。[77] [78]

4) モデルの開発

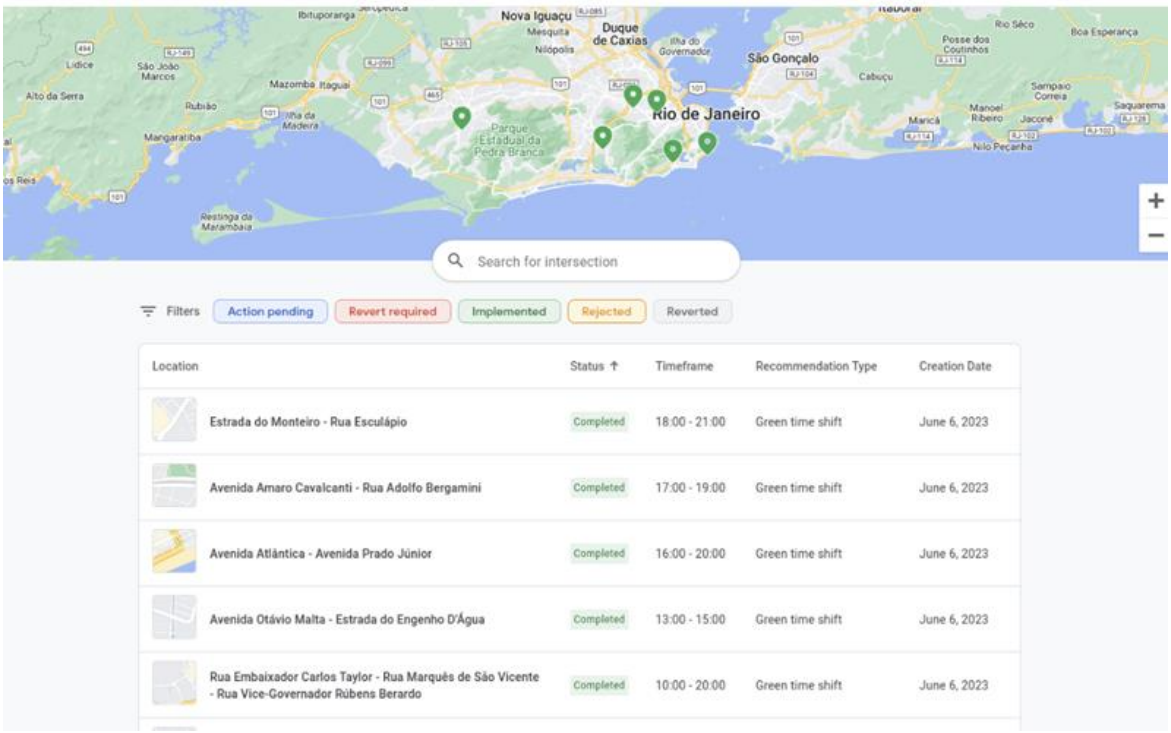
交差点モデルに基づき、AI を活用した信号現示最適化を行う。最適化は、特定の時間帯の特定のサイクルに数秒の変更を加えるような単純な調整から、隣接する複数の交差点を連携させたオフセット制御まで可能である。[76][79]。

5) 交通管理者への信号現示最適化プランの提案

モデルから得られた最適な信号タイミングを図 2.4.22 に示すような Green Light ダッシュボードを通じて既存システムに反映しやすい形で交通管理者に提案する[78]。交通管理者はこの提案を確認し、最短 5 分程度で既存の信号制御システムに提案された信号タイミングプランを手動で反映することができる[77]。

6) 最適化プランの影響分析

最適化プランの実装後、Google Research チームが効率性および環境影響に関する考察を影響分析レポートとして交通管理者へ提供する。なお、ビデオ、カメラ、その他のセンサーによる交通量カウントを通じて、Green Light で推奨される項目を検証することが可能である[80]。影響分析レポートは、調整が行われた後、Green Light ダッシュボードに記録される。対策実施の約 2 週間後には、影響分析レポートはフルレポートとして提供される[78]。



出典：Google 社

図 2.4.22　Green Light ダッシュボード [78)]

c)　**適用事例**

プロジェクトの初期段階においては、Google は世界 12 都市と Public Private Partnership を通して協力しており [76)77)]、図 2.4.23 に示す都市が選定されている。シアトルでは、Ballard 地区の 15th Avenue と Market Street、Greenwood Avenue と 80th Street、53rd Street の交差点がこのプロジェクトの対象地点に選ばれている [79)]。アメリカの FDOT へのヒアリングでも実証をしたとの情報があった。またタイバンコクにおいても導入の提案があったとの情報があった。



出典：Google 社

図 2.4.23　Project Green Light 実施都市 [77)]

シアトル（アメリカ）

2022 年 6 月初旬に、Green Light システムは 5 交差点を選定した。一つの交差点が除外されたが、残りの 4 つの交差点では Green Light システムを適用している [81]。

グレーター・マンチェスター（イギリス）

グレーター・マンチェスターでは、バスと歩行者の優先順位付け、ルート選択、信号現示最適化が推奨された。プロジェクト期間中、Google は交通状況を確認し、渋滞を減らすために信号タイミングを変更が推奨される交差点情報を提供した。ある 1 交差点での信号タイミングの調整により、朝のピーク時には平均 9%、午後のピーク時には 18%の改善が見られた [82]。83)の文献では別の情報源では、このプロジェクトが 18%の排出量と空気の質の改善に寄与したとされている（環境モデルについては不明）。

ブダペスト（ハンガリー）

Green Light の推奨が適用された際、赤信号にかかる車両が減少したことが Google のエンジニアにより確認された。これは、車両が複数の赤信号サイクルを待つ必要がなくなったためと考えられている [80]。

ジャカルタ（インドネシア）

ジャカルタで Green Light プロジェクトの対象となった 20 交差点では、渋滞が約 20%減少したと報告されている [84]。

テルアビブ（イスラエル）

2021 年にイスラエルの 4 交差点で行われたパイロットプロジェクトでは、燃料消費量と交差点での遅延時間が 10～20%削減された [83]。

なお、Google は、パートナー都市に対して Green Light による分析を無償で提供している [78]。

課題としては、Google の Green Light による一連の技術は Google Maps のデータを用いており、これは現時点では専有のものであるが、Green Light における意思決定では、交通管理者は推奨最適プランの適用可否のみを判断することしかできず、モデルやデータについての詳細な情報は提供されないことがある。一方で、上記に記載した方法論は Google のウェブサイト上で記載されているため [77] [78]、将来的には他の企業や機関が、代替データ（例: 他のナビゲーションアプリのデータ）を利用して同様のアプローチを提供する可能性がある [81]。

d)　発展途上国での適用

Project Green Light は、信号現示の最適化を迅速に低コストで実行できるツールであり、一連のプロジェクトでは、既存のインフラを活用しているため、発展途上国での適用可能性も考慮の余地がある。実際にジャカルタでも実施されており、バンコク都にも提案されていると BMA のヒアリングで聞いている。コストについては、例えば、米国では信号現示の分析にかかる費用が 1 か所あたり約 5,000 ドルとされているが [81]、このプロジェクトではその費用を削減できる可能性がある。より良い分析のためにも他の都市からのデータがより多く必要であるが、現時点で、Project Green Light は信号を遠隔操作できる都市を優先している。信号が手動で制御されている都市では、スタッフが交差点制御ボックスに立ち寄って信号タイミングを調整する方法も提案されている [80]。

FDOT や Seattle DOT へのヒアリング結果によると、Google からはデータを分析した結果と最適な信号現示が提案されるが、この提案は信号制御システムへ直接接続されず、交通管理者によってマニュアル設定する必要があるとのことであった。

(7)　エッセン市 COMO プロジェクト

a)　プロジェクト概要

COMO プロジェクトは、ドイツのエッセン市におけるデジタル交通環境の変革を目指す取り組みである。プロジェクトの目的は、エッセン市の交通管理をデジタル化し、環境に配慮した交通システムを導入することで、交通流の最適化や交通安全の向上を目指し、最終的に大気汚染の予防や持続可能なモビリティの推進に貢献することを目指している。

PTV Group がプロジェクトをリードしており、PTV Group による製品「PTV Flow」と「PTV Optima」が導入される予定である。他の主要なプロジェクトパートナーには、Benz + Walter GmbH、Bosch、ITK Engineering、Yunex Traffic、PWP Systems が含まれている。COMO プロジェクトでは、以下の特徴を持つシステムが開発されている[85) 86) 87) 88)]。

データソース

約 200 台の CCTV カメラによる車両検知データと、15 台の環境センサーによる空気質の監視データがリアルタイムで収集される。これに加え、気象データ、イベント情報、公共交通運営主体（Ruhrbahn GmbH）からのデータも統合される。これらのデータは、デジタル交通管理センターで統合され、包括的なヒストリカルデータとリアルタイムデータのリポジトリが形成される。

b)　PTV Flow および PTV Optima

PTV Flow と PTV Optima は、リアルタイムデータおよび AI・機械学習・動的交通モデルによる 60 分先までの交通状況の予測を行うほか、交通状況の更新も自動的に行われる。

PTV Flow は、交通状況をリアルタイムで可視化し、機械学習手法の一つである自己教師あり学習を用いて最大 120 分先までの予測を提供する。また、特定の重大な条件に対するアラートを発生させ、交通管理者に通知する機能や、SNS で自動的に発信する機能も持つ。パフォーマンスレポートの生成も行う。

PTV Optima は、感知器からのリアルタイムデータと機械学習手法を用いた最大 60 分先までの予測や、ミクロ・マクロ交通シミュレーションを実施する能力を持ち、交通管理者が最適な計画を選択するためのシナリオテストも可能である。また、問題を特定・モニタリングするためのダッシュボードや、パフォーマンスに関する履歴も抽出可能である。

c)　COMO プロジェクトにおいて計画されている活動

リアルワールドラボの設置と拡大

COMO プロジェクトでは、エッセン市内で交通量が多いルールアレー通り（Ruhrallee）と、市中心部への北側のアクセス道路沿いにそれぞれリアルワールドラボを設置し、プロジェクトの観察と評価を行っている。当該エリアでは、約 50 の交差点に感知器が設置され、リアルタイムでの交通データの収集と分析が行われる。

プロジェクトの最初の対象地点は、ルールバーン（Ruhrbahn）と呼ばれるエリアの交差点で、そこから、徐々にエッセン市内の他の主要道路（Hauptverkehrs、Ruhrallee、Gladbeckere、Bottroper、Heisinger、Altenessener 等）に拡大・展開がなされる予定である[85)]。

デジタル交通管理センターの設置

COMO プロジェクトではデジタル交通管理センターが新たに設置される（図 1.4.25）。このセンターは、エッセン市内の交通データを集約し、リアルタイムで分析を行うための拠点として機能することが想定されている。集められたデータは、Traffic Control Room に送信され、ダッシュボードやレポートを通じて交通管理者の意思決定を支援する。



図 2.4.24　デジタル交通管理センター[87)]

センターでは、約 200 台の CCTV カメラからの映像や 15 台の環境センサーからのデータが処理される。これらのデータは、車両のナンバープレートや歩行者の顔など、プライバシーに関連する情報が識別されないようにドイツの法規制に沿って匿名化される。また、CCTV カメラで取得された画像や、各時間帯における車両台数、天候、イベント情報、公共交通機関データなどが統合され、デジタル交通管理センターではヒストリカルデータとリアルタイムデータの両方から包括的に交通状況を見ることができるようになる [85)86)]。

交通流の制御は、統合されたデータにより、交通信号制御や交通情報提供を介して実施される。PTV Flow と PTV Optima もこのセンターで利用される [86)]。

なお、COMO プロジェクトは 2024 年 4 月時点でまだ初期段階にあるため、具体的な導入結果はまだ報告されていない。プロジェクトは複雑で、特にリアルワールドラボでの検証やデータフュージョンが課題となる可能性がある。また、複数のデータソース（CCTV カメラ、環境センサー）からのデータをリアルタイムで統合することも課題となる可能性がある [86)]。

d)　コスト

コストについては、COMO プロジェクトは、自治体交通システムのデジタル化（Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme）資金調達ガイドラインの一環として、ドイツの Ministry for Digital and Transport（BMDV）からの資金提供を受けている。「道路交通のデジタル化と環境に優しい管理」（現地名称：Digitalisierung und umweltgerechte Steuerung des Straßenverkehrs）プロジェクトの総費用は 14,601,917 ユーロで、そのうち 70%（10,221,341 ユーロ）が BMDV からの資金である。COMO プロジェクトはその一部であるが、COMO プロジェクトに割り当てられた具体的な資金額は公開されていない [88)89)]。

e)　発展途上国での適用

発展途上国での適用においては、COMO プロジェクトのような手法は技術的に高度であること、リアルタイムデータが利用できない地域があること、ハードウェアの設置コストが高いこと等が課題となる可能性がある [86)]。

(8)　ヨーク市 STEP Program による PTV Optima の導入

イギリスの York 市は人口約 22 万人の都市で、年間 700 万人の観光客が訪れることから、交通渋滞、排出ガス、アクセス性に課題を抱えている。特に、歴史的な市壁や橋が多数あるため、特定のエリアでボトルネックが発生しやすい状況となっていた。従来の交通モニタリングでは、CCTV カメラやソーシャルメディアのフィードを使用して行われており、問題が発生した後に対応するアプローチが取られていたが限界があったため、より包括的・効率的な交通管理のためのシステム改善が求められていた [101]。

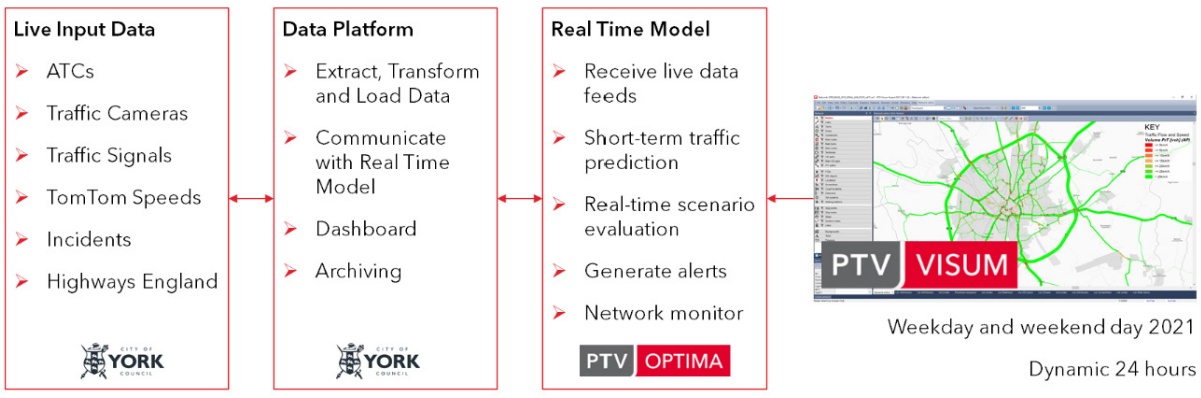
こうした背景から、イギリスの York 市議会が Smarter Travel Evolution Programme（STEP）を主導、コンサルタント会社である Wood Group がリードパートナーとなり PTV Group やモデリング専門のエンジニアリング会社である RelativeGAP 社と提携することによって進めている。STEP では、交通渋滞の緩和、GHG 排出量の削減、移動時間の短縮を目指している。このプログラムは、最新の予測モデリングソフトウェア「PTV Optima」を活用し、都市全体でリアルタイムの交通モデルを構築するもので、イギリス初の取り組みである。

2020 年頃から「PTV Optima」が York 市に導入され、他の都市（イタリアのローマとトリノ、フランスのストラスブール、ポーランドのルブリン、台湾の台中、オーストリアのウィーンなど）でも導入が進んでいる [101)107)]。

下記に PTV Optima の概要を示す。

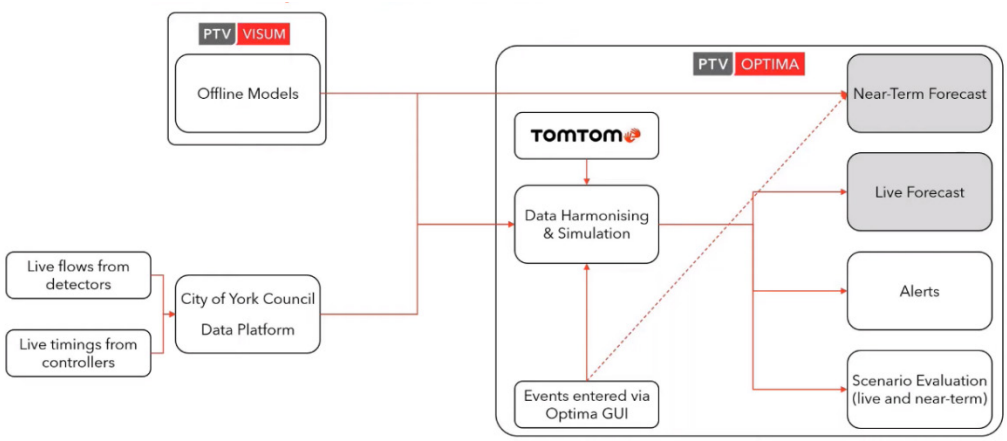
<u>モデル</u>

オフラインで構築されたモデルと、リアルタイムで取得されるデータを統合し、交通状況を分析・予測するモデル（以下、ライブモデル）がある。オフラインモデルは、Wood Group と RelativeGAP 社によって開発された PTV Visum の戦略モデルから派生しているもので、リアルタイムデータと組み合わせることで、York 市全体の交通の動きを予測することができるようになる [101]。ライブモデルでは York 市の 1 日の交通をシミュレート可能で、これは 2019 年の平日やピーク時の感知器データを使用して検証しており、また 2020 年 10 月から 12 月の同様のデータで修正されている [101]。



出典：PTV Group

図 2.4.25　PTV Optima のデータソース [108)]



出典：PTV Group

図 2.4.26　PTV Optima のワークフロー[101)]

<u>データフュージョンおよびハーモナイズによる実際の交通状態の生成</u>

PTV Optima は、複数のデータソースから取得したデータをフュージョン（統合）・ハーモナイズ（整合化）し、「Ground Truth」と呼ばれる、シミュレーションのベースとなる実際の交通状態（の仮定）を生成する。データには、感知器、信号制御機の履歴情報、プローブデータ（速度データ）、道路工事情報やイベント情報などが含まれる[101) 108)]。これらのデータはリアルタイムで収集・処理され、シミュレーションや予測に使用される。

<u>信号交差点の再現と信号タイミングの調整</u>

戦略モデルとライブモデルには、信号交差点のシミュレーションが含まれており、車線毎のフェーズ割り当て、各フェーズの現示内の割り当て、最小青時間などがモデル化されている。各制御機から PTV Optima にリアルタイムの現示情報を共有するために、一部の信号交差点はハードウェアやソフトウェアの設定変更がなされた。また、リアルタイムデータを PTV Optima に統合するための「データプラットフォーム」も開発されている[108)]。



出典：PTV Group

図 2.4.27　データプラットフォームによる信号現示モニタリングの例[108)]

リアルタイム交通予測およびシミュレーション

PTV Optima は、過去 10 分間に収集したデータをもとに、現在から**最大 60 分先（時間枠：15 分、30 分、60 分）までの交通状況をリアルタイムで予測**する。この予測は、交通流状態、速度、密度などの指標に基づいて数分で行われ、5 分ごとに繰り返される [101) 108)]。予測範囲については、監視されていない道路を含むネットワーク全体のリアルタイム予測が可能である。

シナリオの検証および KPI モニタリング

PTV Optima は、将来のイベント（例: 道路の工事や閉鎖）に対するシナリオの検証を実施し、予測された影響を評価することができる。なお、時間枠については、次の 1 時間、1 日、さらには数週間先を見据えた検証も可能である [107)109)]。また、速度、移動時間、交通量、渋滞などの KPI を設定し、これらの指標が閾値を超えた場合にはアラートを発生させることができる。KPI は継続的にモニタリングされ、異常が検出されると GUI や外部システムに通知される [101)]。

UI および操作性

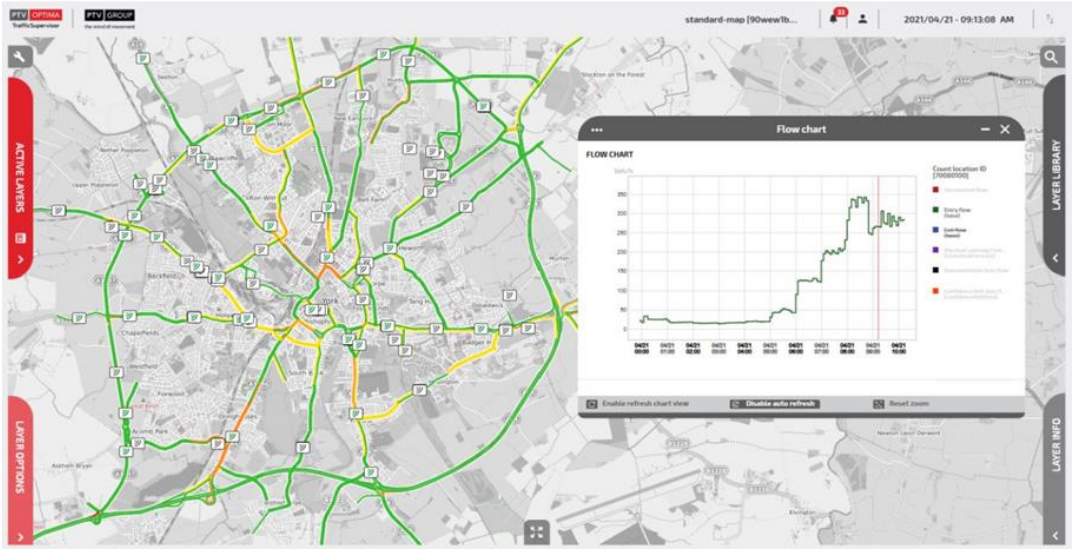
PTV Optima のすべての機能は Web ベースのユーザーインターフェースを通じてアクセス可能である、交通管理者はこのインターフェースを使用してリアルタイム予測の結果やシナリオテストの結果を確認することができる [101)]。

データソース

リアルタイムデータは、York 市が提供する感知器と信号制御機から取得される。ループ式車両感知器や CCTV カメラからのデータが収集され、最大 5 分以内のレイテンシーで 1 分未満の交通量データが送信される。さらに、150 台の信号制御装置からの信号現示データや、TomTom から提供されるプローブデータも利用されている [101) 108)]。

York 市での PTV Optima 導入の結果、ピーク時の移動時間が最大 8%改善されている。また、日中の移動時間のばらつきが大幅に減少したことも報告されている。York 市が、PTV Optima のライブ予測を他の交通データと比較したところ、正確であることを確認している [110)]。

他の都市での結果として、台湾の台中やオーストリアのウィーンでは、移動時間が 10-50%短縮され、交差点での遅延が最大 60%削減され、排出ガスが 15%削減された [110)]。



出典：PTV Group

図 2.4.28　ヨーク市の PTV Optima インターフェース [108)]

このプロジェクトでは、感知器からのリアルタイムデータ収集が不可欠だが、プロジェクトの初期段階（2020-2021 年）では、利用可能な感知器の約半数からしかデータを収集していなかった。そのため、モデルの精度は今後のデータ収集により向上する見込みとされている。また、パンデミック中にデータが収集されたため、通常の交通状態と異なるトレンドが見られ、モデルの調整が必要である。今後の改善としては、信号現示変更の自動化、リアルタイムのバス位置情報データや空気質データの統合が検討されている[101) 108)]。

コスト

コストについて、PTV Optima はユーザーごとに料金が設定されており、大規模な展開には割引が適用される[111)]ようである。STEP プログラム全体では政府から 285 万ポンドの助成金が提供されているが[101)]、PTV Optima の展開にかかる具体的なコストは公開されていない。

発展途上国での適用

発展途上国においては、感知器からのリアルタイムデータの収集が難しい場合があり、既存の感知器のアップグレードが必要になる可能性がある。また、データの更新頻度の高さや低いレイテンシが求められるため、質の高いインターネット環境のセットアップが求められる。

(9)　ブエノスアイレスの統合モビリティ管理システム（SGIM）プロジェクト

アルゼンチン・ブエノスアイレス市の交通制御システムは、異なる政府部門や機関によって運営され、技術も多様で統一されておらず、交通管理が効率的に行われていなかった。このため市内では交通渋滞が頻発し、空気質の悪化が問題となっていた。2016 年、ブエノスアイレス市は、4 つ存在したエリアコントロールセンターを 1 つのモビリティオペレーションセンターに統合し、従来の受動的な交通管理アプローチから、より積極的で協力的な戦略へとシフトするための戦略計画を策定した。

こうした背景から、2017 年初頭、Kapsch TrafficCom 社は、ブエノスアイレス市の統合モビリティ管理システム（SGIM: Sistema de Gestión Integral de la Movilidad）の導入（維持管理含む）の契約を受注した。このプロジェクトは、既存の技術を統合し、複数のデータソースを管理して高品質な情報を生成する「Umbrella System」を作成することを目的としている。

Kapsch 社はソリューションとして EcoTrafix プラットフォームと SGIM ソフトウェアを導入し、現行システム上にそのまま実装できるシステムを構築すると同時に、最終的には既存の UTC[10]（Urban Traffic Control）システムをより統一されたプラットフォームへと置き換えることを可能にしている。プラットフォームは、ブエノスアイレス市内の 3,800 以上の交差点、60 の VMS、150 台の CCTV カメラ、電車、バス、地下鉄、シェアバイク等からのデータを管理・調整可能である。また、ブエノスアイレス以外にも、リマ（ペルー）、パナマシティ（パナマ）でも Kapsch の EcoTrafix が導入されている[90)91)]。統合プラットフォームの特徴を以下に示す。

システムの統合

EcoTrafix プラットフォームは、既存の複数の交通管理システムを 1 つの統合された環境に統合し、UTC システムや他のソースからの交通情報を管理することができる[90)92)]。このシステムは、ハードウェア

[10] 日本の中央制御機に相当する。

や特定の仕様に依存せず、NTCIP（米国）、UNE（スペイン）、UTMC（イギリス）で定められるプロトコルを使用して幅広いデバイスと統合可能である[93]。

データの統合と処理

EcoTrafix と SGIM ソフトウェアは、複数のソースからデータを統合する能力を持っており、これには UTC システム、Google Maps、Waze データ、料金収受システム、サードパーティのシステム、イベント情報などが含まれる[90]。プラットフォームは交通状況をリアルタイムで継続的にモニタリングし、そのデータ、ステータス、アラームをすべて記録・集約・アーカイブし、マップ上で動的に視覚化することができる[93]。

交通管理機能

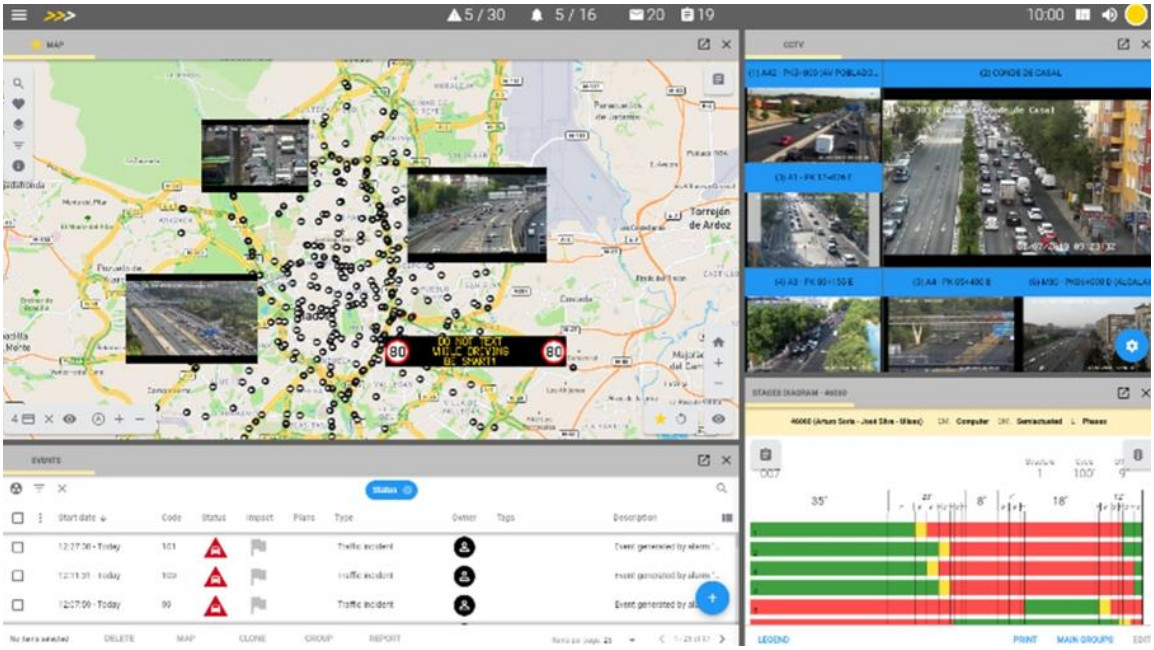
ソフトウェア「EcoTrafix Suite」は①EcoTrafix Command、②EcoTrafix Expert、③EcoTrafix Mobility の 3 つの製品で構成されており、それぞれ①交通信号制御、ITS デバイス制御、②適応的交通制御、意思決定支援システム、天候アラート、イベント管理、交通予測、③多機関協力、マルチモーダルイベント管理と調整、データフュージョンなどが行える。特に、意思決定支援システムは迅速な意思決定を支援する機能を持ち、各機関の標準作業手順書（SOP）に基づいたルールベースの事故検出と対応を行うことができる[93]。

双方向のインターフェース

システムは UTC に対して手動もしくは自動で制御信号を送信可能であり、SGIM によって交通計画施策を実行したり、計画に関するパラメータや制御モードを変更したりすることができる。また、Web Services（REST）に基づく SGIM-UTC 通信プロトコルが開発されており、これは他のプロバイダーにも開かれている。このプロトコルはブエノスアイレス市に所有権がある[90]。

ダッシュボードおよびレポート

リアルタイムとヒストリカルデータのダッシュボードがあり、交通状況を動的に可視化、アラート管理や事故の検出が可能である。また、マップベースの操作により、事故対応計画をリソースと関連付けることができる [93]。



出典：Kapsch Trafficcom

図 2.4.29　EcoTrafix のインターフェース例 [93]

コスト

コストについては、Kapsch のソフトウェア導入は、ラテンアメリカの 3 都市（ブエノスアイレス、リマ、パナマシティ）での契約総額が約 1500 万ユーロとなっている。ただし、ブエノスアイレスの SGIM プロジェクトに特化した詳細なコスト情報は公開されていない [91]。

課題

ブエノスアイレス市内には異なる技術による複数の交通管理システムが混在していることに加え、市内は 9 つの交通管理エリアに分かれ、それらが 5 つの異なる請負業者によって管理されている。さらに、4 つの異なる UTC システムが 4 つのエリアコントロールセンターによって管理されており、これが交通管理の統一性を欠く要因であり、SGIM プロジェクトにおける最大の技術的課題であった。

発展途上国での適用

発展途上国の多くの都市は、異なる制御機や通信プロトコルを持つ未統合の交通管理システムが存在し、これが交通状況の全体像を把握する上での障害となっていることから、多くの発展途上国において Kapsch の EcoTrafix の技術は有用なものとなる可能性がある。ただし、類似技術を他の発展途上国に導入する際には、既存インフラがリアルタイムデータを収集可能かどうかが課題となり、インフラのアップグレードが必要になる可能性がある。

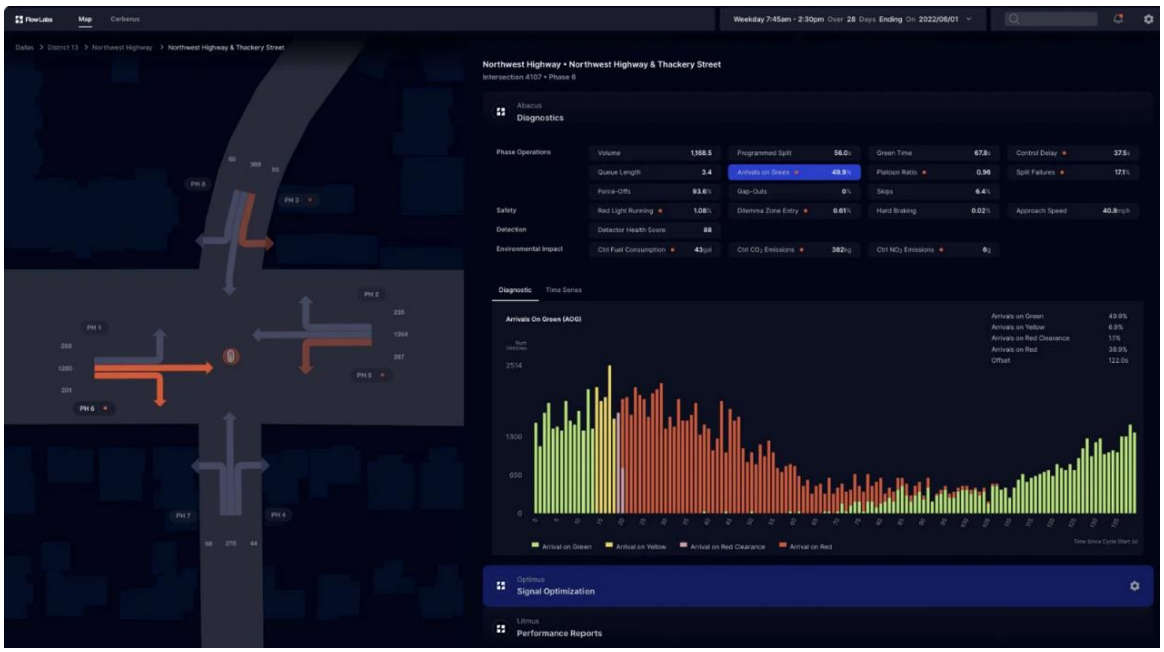
なお、実装の結果については、現時点では、まだ報告されていない。

(10) Flow Labs' Traffic Signal Management Platform

Flow Labs はカリフォルニア州オークランドに拠点を置く AI を活用した交通管理ソフトウェアを提供する企業である。2024 年 4 月、Flow Labs は Seattle DOT と協力し、シアトルの大学地区における交通ネットワークの全体的なパフォーマンスを分析するプロジェクトを開始することを発表した。このプロジェクトでは Flow Labs の「Traffic Signal Management」プラットフォームが使用される。加えて、「Integrated Connected Vehicle Data」プラットフォームも併せて導入され、シアトル市内の交通信号や CV、センサーからデータを収集する。プラットフォームは、既存のインフラを活用し、新しいハードウェアを導入せずとも展開が可能であること、複数のソース（既存のセンサーや CV、道路インフラ）からリアルタイムデータを統合して分析が可能 [94)95)]であることが主な特徴である。また、仮想環境でさまざまな交通パターンをシミュレーションし、AI を活用して最適な信号現示設計を行うことが可能である [96)]。

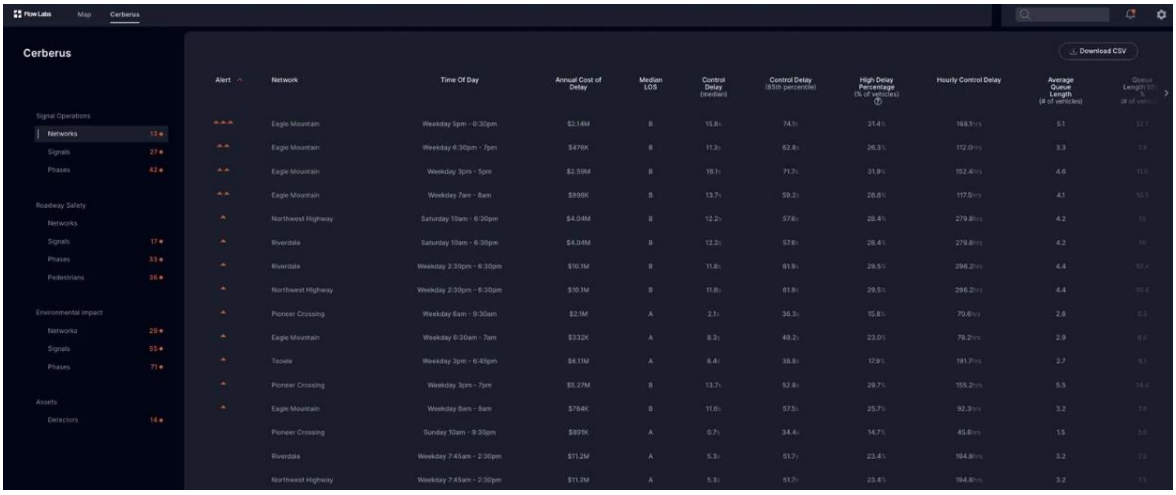
Flow Labs の Traffic Signal Management プラットフォームには、以下の 4 つのモジュールが標準で搭載されている [97)]：

1) **Abacus**：道路状況をリアルタイムでモニタリングし、交通信号の運用に関連する問題を診断する。このシステムは 94.4%以上のデータ精度があるとされている [98)]。また、安全対策（赤信号無視、進入速度、急ブレーキ、ジレンマゾーンなど）や交通指標（移動時間、移動時間信頼性、青信号到着、渋滞長、損失時間など）、環境指標（車両排出量）を提供する [98)]。
2) **Cerberus**：システム全体の問題をモニタリングし、優先順位をつけることで、交通管理者が解決すべき最重要課題を特定できる [99)]。
3) **Optimus**：AI を活用して対象となる交差点の信号現示を、各種設定（サイクル長、スプリットの長さ等）を考慮しながら最適化するとともに、新しい信号現示が旅行時間に与える影響を予測する [96)]。
4) **Litmus**：交通プロジェクトの影響を測定するモジュールであり、様々な機能を提供する。まず、主要業績評価指標（KPI）に関するデータを提供し、プロジェクトが交通に与える影響を最大 4 年間の過去のデータを使用してレポートする。また、B/C や投資収益率（ROI）分析を行い、収益率を定量化しレポートを作成する機能もある。これらのレポートはインタラクティブな形式で提供され、日付範囲や時間帯、曜日などをカスタマイズして PDF、CSV、XLS 形式でエクスポート可能である。これにより、交通管理者やステークホルダーがプロジェクトの効果を評価できるようになる [96)100)]。



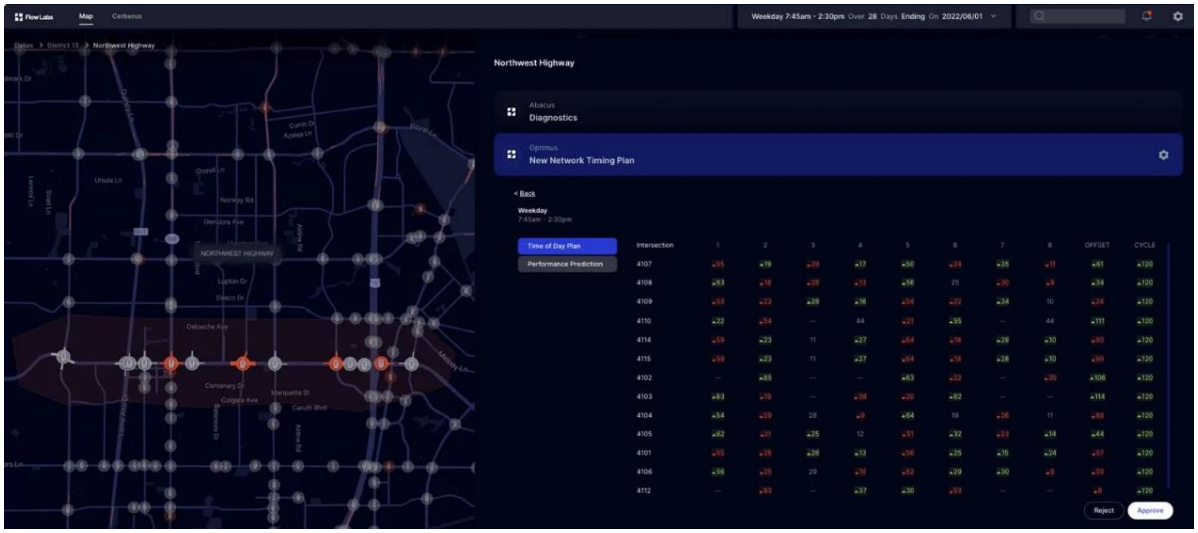
出典：Flow Labs 社

図 2.4.30　Abacus のインターフェース [98)]



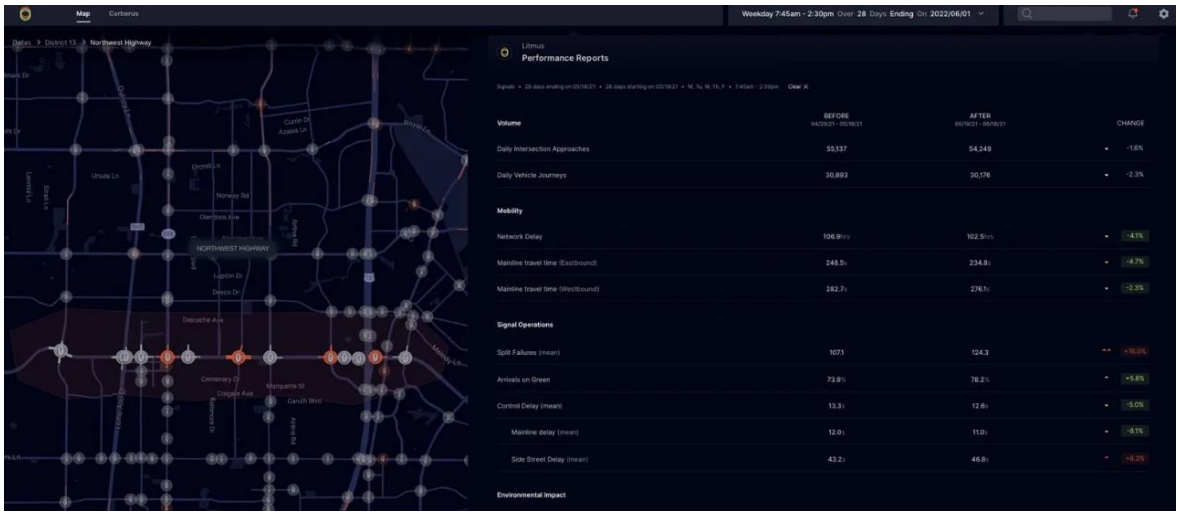
出典：Flow Labs 社

図 2.4.31　Cerberus のインターフェース [99)]



出典：Flow Labs 社

図 2.4.32　Optimus のインターフェース [96)]



出典：Flow Labs 社

図 2.4.33　Litmus のインターフェース [100)]

実際の導入事例

プロジェクトは 2024 年 4 月時点で計画段階にあり、実施結果はまだ報告されていない。

課題

Flow Labs のプラットフォームは、複数のデータソース（CV、インフラ、センサー）から収集されたデータを統合しているため、データ統合が技術的な課題となる可能性がある。さらに、これらのデータはリアルタイムで正確に入手される必要がある [100)]。

コスト

このプロジェクトに関連するコスト情報は公開されていない。

発展途上国での適用

Flow Labs のプラットフォームは、既存のインフラやセンサーからデータを収集し、特定のデータに依存しないため、発展途上国でも実施可能である。ただ、データフュージョンの技術的な課題や、CV データがない場合の分析結果への影響については考慮する必要がある。また、リアルタイムデータ入

手・分析には、高速で低遅延のインターネット接続が必要であり、都市部では対応可能だが、他の地域では難しい可能性がある [95)100)]。

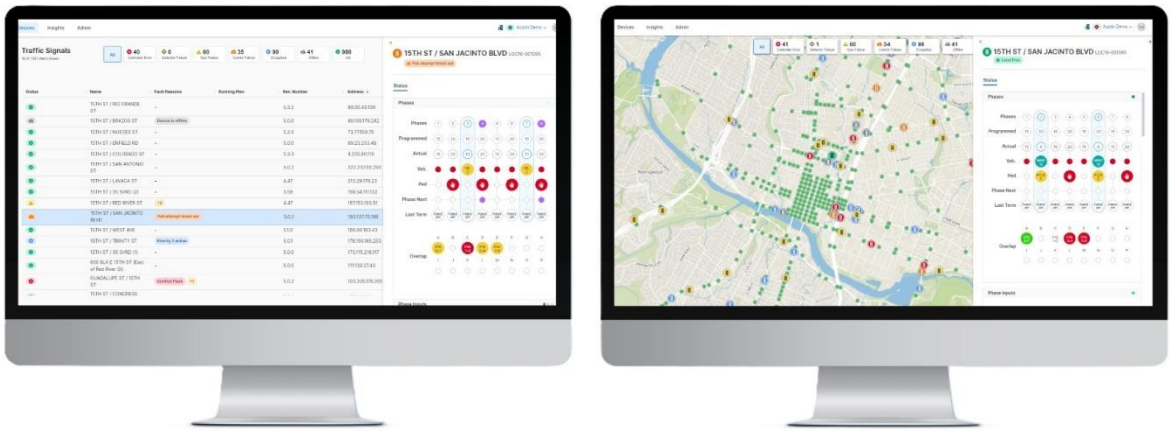
なお、Flow Labs とは米国調査の Caltrans との面談において同席しており、その際に Flow Labs とのサービス及び Caltrans との連携プロジェクトについての情報を得た（3 章参照）。

(11)　Yunex Traffic による「Yutraffic Studio」

サービス概要

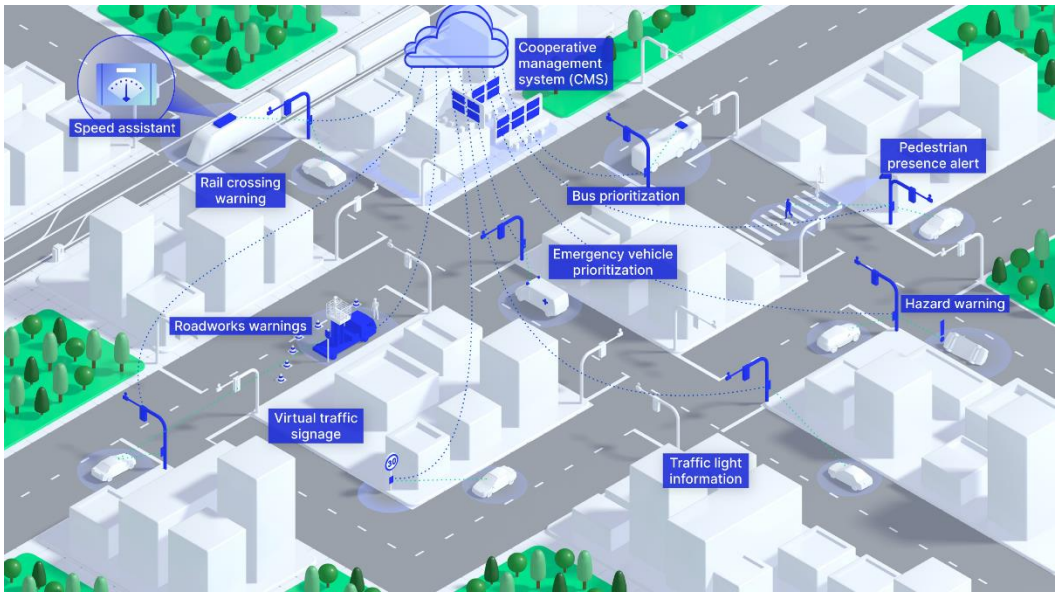
Yunex Traffic は、都市交通の複雑な課題に対応するため、2023 年にクラウドベースの交通管理プラットフォーム「Yutraffic Studio」を発表した。目的は、交通管理システムが効果的かつ安全に交通問題に対応できるよう支援することである。プラットフォームは、複数の交通システムを 1 つのプラットフォーム上で統合し、計画、監視、管理、最適化を可能にすることを目指している。特にミシガン州アナーバーでは、107,000 人以上が訪れるフットボールイベント時の交通混雑を管理するために導入された [101)102)103)]。

Yutraffic Studio は、AI を活用した高度な交通管理システム（ATMS）の一環として開発されたクラウドベースの SaaS ソリューションである。リアルタイムデータを活用し、交通信号の最適化、排出量のモデリング、CV との通信、DMS への情報提供など、多岐にわたる機能を提供する [101)103)104)]。



出典：https://us.yunextraffic.com/wp-content/uploads/sites/2/2023/11/231109_Yutraffic-Studio_Brochure.pdf

図 2.4.34　Yutraffic Studio のインターフェース



出典：https://www.itsinternational.com/its4/its5/its6/its8/products/yutraffic-studio-launched-us-saas-solution

図 2.4.35　道路利用者とクラウドとのデータのやり取り

特徴は、以下のとおりである [103]。

1. リアルタイム交通データ利用：現在の交通量に基づく信号最適化や推奨出力の生成を行う。
2. 統合機能：Yunex Traffic の ATSPM プラットフォーム「Yutraffic Insights」と統合されており、信号性能に関する洞察を提供。Aimsun Live と統合することで交通予測やシミュレーションも可能。
3. 多機能対応：公共交通機関の優先化、グリーンウェーブの設定、回路図管理、優先車両のルート計画とスケジューリング、排出量のモデリングと予測、CV との通信（危険警告の送信を含む）など。
4. セキュリティとアクセス：ISO/IEC 27001 に準拠した強化セキュリティを備え、デスクトップや iPad などのリモートデバイスからのアクセスが可能。二重認証プロトコルで保護されている。

導入事例

イリノイ州エルジン市（2024 年）では、Yutraffic Studio が都市交通管理の効率向上のために導入されている [105]。また、ミシガン州アナーバー市（2024 年）では、フットボールイベント時に 10 万人を超える観客が来訪するため、この混雑管理を目的に導入された。同市は長年にわたり Yunex Traffic 社の ATMS と SCOOT を活用しており、Yutraffic Studio がそれらを補完する形で利用されている [102]。

コスト

コストに関する具体的な情報は現時点で公開されていない。

発展途上国での適用

小規模都市では特定機能のみでプラットフォームを利用し、大規模都市ではさらなる分析機能を追加するなど、スケーラビリティがあり柔軟に対応可能である。また、外部データソースやアプリケーションとの互換性があり、新規ハードウェアを必要としない。一方で、リアルタイムデータのやり取りには高品質かつ低遅延のインターネット接続が必要であり、通信インフラが未整備な地域では課題となる可能性がある。

(12) #FREEtheMIBs Campaign

MIB（Management Information Base）は、米国で ITS デバイスが連携して動作するために使われるプログラムテキストであり、たとえば信号サイクル中の青時間など、信号制御機に対して具体の指示を与えるほか、各種プロトコルや、信号の設定、通信における使用言語に関する情報も含まれている。MIB は基本的には NTCIP に基づいて作成される [112)113)]。近年、企業は独自の MIB（例：黄色信号点滅、歩行者信号における黄色、警告点滅、鉄道踏切の遮断認識 [113)]）を作成することによって新機能を実現するようになってきているが、その MIB のうち、NTCIP に準拠しているのはわずか 15-20%で、残りの約 75-80%は製造元独自のものである [113)114)]。こういった状況から相互運用性は下がっており、製造元と交通局の間で MIB を自由に共有することが、この問題を解決する手段として見られている [114)]。

#FREEtheMIBs キャンペーンは、2019 年に Q-Free が開始したオープンスタンダードを推進する運動であり、MIB を公開することによって異なるベンダーの交通信号制御システムの相互運用性を高め、行政側が 1 社のベンダーに縛られることなく最適なソリューションを選択できる（例えば、交通管理システムを A 社、適応型交通管制システムを B 社、制御機を C 社など [113)]）。また、ベンダーが固定となった場合、価格が 300%まで跳ね上がる可能性も指摘されており [112)]、#FREEtheMIBs キャンペーンは税金の無駄遣いや公正な競争の促進にも貢献する [114)]。

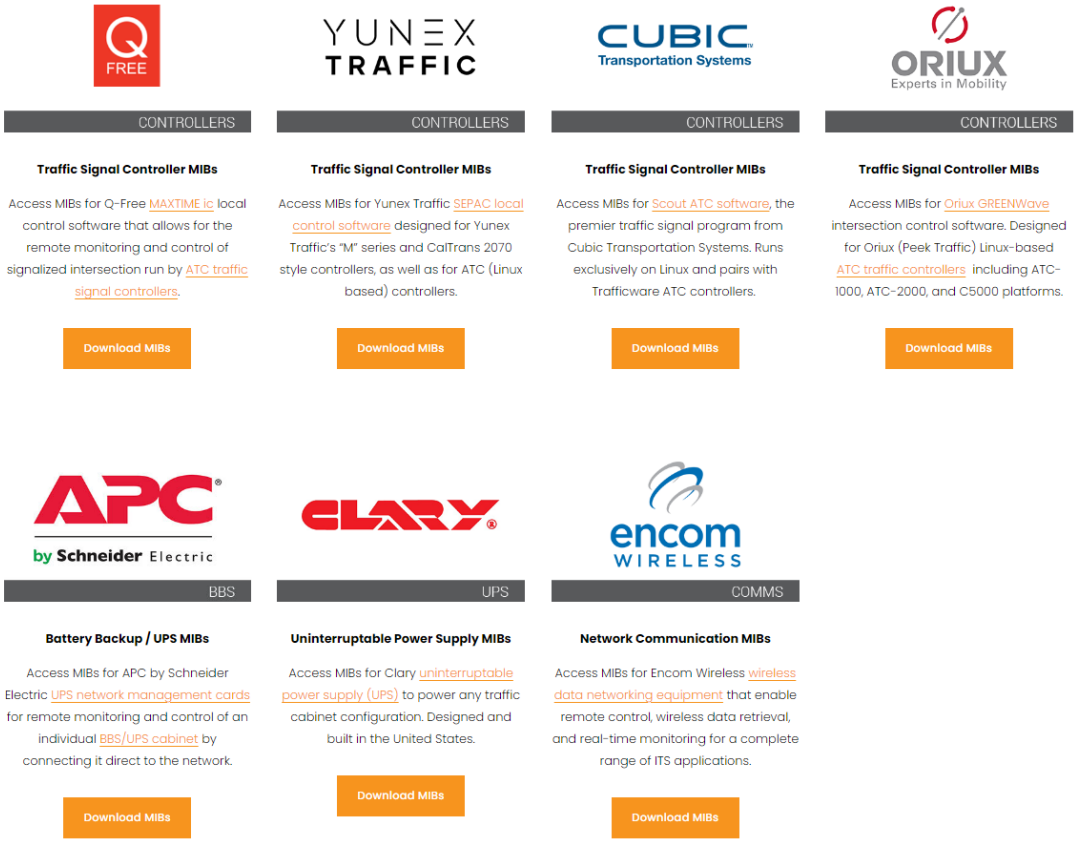
Q-Free 自身も自社の MAXTIME ローカルコントローラーソフトウェアの MIB を先行して公開しており [114)]、2020 年時点で、#FREEtheMIBs キャンペーンを Yunex Traffic、Cubic Transportation Systems、LYT、Flow Labs、ユタ州交通局（Utah DoT）、オレゴン州交通局（Oregon DoT）などが支持している [112)115)]。

現在、表 2.4.2 に示すような Q-Free の MAXTIME、Yunex Traffic の SEPAC、Cubic の Scout、Oriux の GREENWave などの製品固有の MIB が公開され、ウェブサイト（www.freethemibs.org）から無料でダウンロード可能となっている [113)116)]。

表 2.4.2　公開されている MIB の例

ソフトウェア	開発元	互換性のある機器
Intelligent MAXTIME	Q-Free	Q-Free の ATC（Advanced Transportation Controller）（図 2.4.36）
SEPAC	Yunex Traffic	Yunex Traffic M Series、CalTrans 2070、ATC (Linux ベース)
Scout ATC	Cubic Transportation Systems	Linux ベース、Trafficware ATC コントローラとペア
GREENWave	Oriux (Peek Traffic)	Oriux 社（Peek Traffic 社）の Linux ベースの ATC（ATC-1000、ATC-2000、C5000 プラットフォームを含む）

出典：www.freethemibs.org



出典：www.freethemibs.org

図 2.4.36　MIB 公開ウェブサイト

実際の導入事例

#FREEtheMIBs キャンペーンの開始以来、複数ベンダーの相互運用性が確立された交通制御ネットワークの具体的な導入事例は公表されていない [114]。

課題

MIB を公開することは、相互運用性を進めるために必要であるが、一部の企業は、他社が自社の MIB を使用して競争に勝つ可能性があることをリスクとして捉えている。また、セキュリティ上の懸念や訴訟リスク（相互利用する際に別の企業の MIB を誤解した場合、交通の安全に影響を及ぼす可能性がある）から MIB を公開しない企業もいる [112]。

2023 年に行われた IMSA フォーラムでは、Q-Free、Yunex Traffic、Cubic などの代表者がパネルディスカッションに参加し、セキュリティ標準の改善、デバイス統合のトレーニングやテストの重要性について議論が行われた [117]。

コスト

発展途上国においても、複数ベンダーの相互運用性を確立することで、交通制御システムがより競争的かつ効果的に機能することが期待される。なお、既存のシステムが多様なベンダーの製品と連携できるかは事前に確認しておく必要がある [112]。

2.4.3 プローブデータ

(1) 技術概要

プローブデータとは、走行中の車両に搭載された GPS や各種センサー、通信機器を通じてタイムスタンプとともに収集される各種の走行情報（位置情報、速度、加速度、方向、時間等）のことである。基本的には、データはリアルタイムまたは一定の間隔で収集され、データ形式は CSV や JSON などの標準的なフォーマットが用いられることが多い。データの種類（例：タクシープローブ）によっては、プライバシー保護やセキュリティの観点から、個人を特定できないように匿名化処理が施されることもある。また、収集頻度・サンプル数が大きい場合、データ量も膨大になるため、処理や解析にはビッグデータ活用技術やクラウドコンピューティングが用いられる。

プローブデータの主な用途は、交通流の解析や渋滞の検知、交通事故の分析、さらには都市計画や道路インフラの改善、公共交通機関の効率化など、政策立案にも重要な役割を果たす。近年では、自動運転技術の開発やスマートシティの実現に向けて、車両プローブデータの活用が一層注目されている。

以下では、プローブデータを用いた交通データを扱う TomTom 社と Iteris 社について概要を紹介する。なお、同様のサービスを提供する Waze 社については研究で利用されるケースが多かったため 2.3.3(1)で記載した。

(2) **TomTom**

a) **サービス概要**

TomTom では、全世界で 6 億台を超えるデバイスから GPS データを収集し、80 か国以上で交通情報サービスを提供している。主な交通情報の種類と概要を表 2.4.3 に示す。すべての情報は API 経由でデータ出力が可能である。出力データは json や csv など一般的な形式で出力され、変数の定義はデベロッパー向けのサイト[11]で公開されている。Traffic Stats, Route Monitoring, O/D Analysis, Junction Analysis の 4 カテゴリは、同社が提供する Web アプリ Move を利用してダッシュボード形式で指定した日時・地点のデータを閲覧できる（図 2.4.37）。

表 2.4.3　TomTom の提供する主な交通情報の種類と概要

カテゴリ	サブカテゴリ	統計/現況	概要	出力形式
Traffic Stats	Route	統計	指定ルートの区間別速度、サンプル数（日付時間帯指定）	geojson, json, kmz, shp, xlsx
	★Area - Full	統計	指定エリア内の道路の区間別速度（日付時間帯指定）	geojson, json, shp
	Area - Traffic Density	統計	指定エリア内の道路のプローブ数（日付時間帯指定）	geojson, json, shp
★Route Monitoring	-	現況	指定ルート全体および区間の速度、遅れ、所要時間、延長、信頼度	json
O/D Analysis	Origin/ Destination	統計	指定したゾーン体系に基づくプローブベースの OD 表とその可視化	csv, xlsx
	Selected link	統計	指定した区間を利用するプローブがどの道路から来てどの道路へ行ったか	csv, shp, geojson
★Junction Analysis	-	統計	指定したノードに流入した車両の分岐率、および時間帯別遅れ・渋滞長・所要時間・プローブ数	csv, json
	-	現況	指定したノードに流入した車両の分岐率、および遅れ・渋滞長・所要時間・プローブ数	json
Traffic API	Traffic Flow API	現況	指定した座標（1 点）を含む周辺道路区間における速度、所要時間、信頼度、通行止めの有無を Json 形式のポリラインまたは画像で返す	json, xml, jsonp, png, pdf
	Traffic Incidents API	現況	指定した四角形内のインシデント（事故、洪水、渋滞、規制等 14 種）について Json 形式のポリラインまたは画像で返す	json, png, pdf
Routing API	-	統計 / 現況	2 地点間の経路別の統計・現況所要時間、距離などを返す。車種、積み荷、ハンズフリー等に応じて細かな設定が可能	json, jsonp

現況：リアルタイムデータ、統計：ヒストリカルデータ
★：本案件で特に注目すべきカテゴリー
出典：調査団

[11] https://developer.tomtom.com/



出典：TomTom Move 試用版をベースに調査団で追記

図 2.4.37　Web アプリ Move 上のダッシュボード画面

b)　**活用事例**

Flow Labs

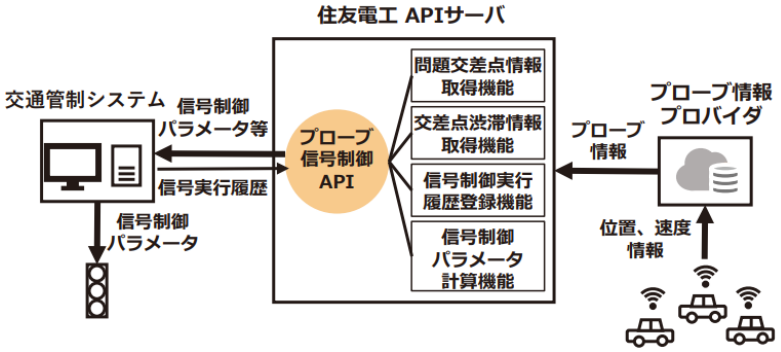
Flow Labs は TomTom のヒストリカル・リアルタイムデータへのフルアクセス権が与えられている開発パートナーで、TomTom データを使った信号最適化を最初に実装（Optimus）したほか、他のデータと組み合わせた交通情報の可視化（Abacus）などを提供する。同社は 2024 年 4 月に米シアトル DOT と主要道路のリアルタイム交通状況分析のための覚書を結んでいる [22]。

- Optimus：TomTom の交通データに加え、制約条件・目的関数を設定することで AI がタイミングプランを最適化してコントローラに指示を送るプラットフォーム
- Abacus：TomTom の交通データ、信号管制システム、感知器データを統合し、信号無視台数や信号現示別の到着時刻分布など単一データでは分からない情報を可視化

住友電工

住友電工は、TomTom 渋滞データと信号制御実行履歴データを組み合わせることで、信号制御パラメータを最適化する交通信号制御 API[23]を開発した。これにより、車両感知器の設置されていない地点でも渋滞状況に基づいた信号制御パラメータの見直しや、交通状況に応じたリアルタイムの信号制御が可能になるとしている。

- 問題交差点情報取得：指定エリア内で片側渋滞が多発する交差点を検出して出力
- 信号制御パラメータ計算：指定交差点において、現況/統計渋滞情報と信号制御実行履歴を入力し、最適な信号制御パラメータを出力



出典: 住友電工テクニカルレビュー（第 204 号 2024 年 1 月）

図 2.4.38　住友電工 API サーバによる TomTom 渋滞データ活用の概要

同社は、「モデル地域交通管制システムの構築を通じたバンコク都交通渋滞改善プロジェクト」において、TomTom の旅行速度データで渋滞長センサーのデータを代替する信号制御に関する実証実験に参加した。

c)　**技術優位性・特徴**

1) 国によってカバー率は異なるものの、多様な企業（スマホ OEM、自動車、タクシー、スマホアプリなど）から計 6 億台分の GPS データを取得
2) 20 年以上にわたり位置情報を解析してきた経験から、多様な交通情報サービス（速度、分岐率、OD）を Web アプリ、API 経由で様々な形式で提供する

3) リアルタイムデータは、30~85 秒ごとにデータソースからサーバに送られ、45～75 秒程度で各種交通データとして提供可能な状態となる
4) 固定長リンクではなく、時空間的な速度変化に応じてダイナミックにリンクが定義される
5) 観測数に基づき、取得データ数に応じたコンフィデンス（信頼度）データが提供される

d) **途上国の交通管理・交通計画支援での用途と懸念点**

用途

1) 時空間的な分析によるボトルネックの特定（Traffic Stats, Route Monitoring）
2) 渋滞長・分岐率・遅れ時間を、別途流入交通量と合せた交差点の分析（Junction Analysis）
3) 渋滞長、遅れ時間等を用いた信号パラメータの静的・動的最適化（Junction Analysis）
4) 旅行速度調査の代替（Route Monitoring）
5) 渋滞長調査・交差点方向別交通量調査（要補完）の代替（Junction Analysis）
6) 交通需要予測モデルにおける自家用車 OD 表の検証・補正（O/D Analysis）

懸念点

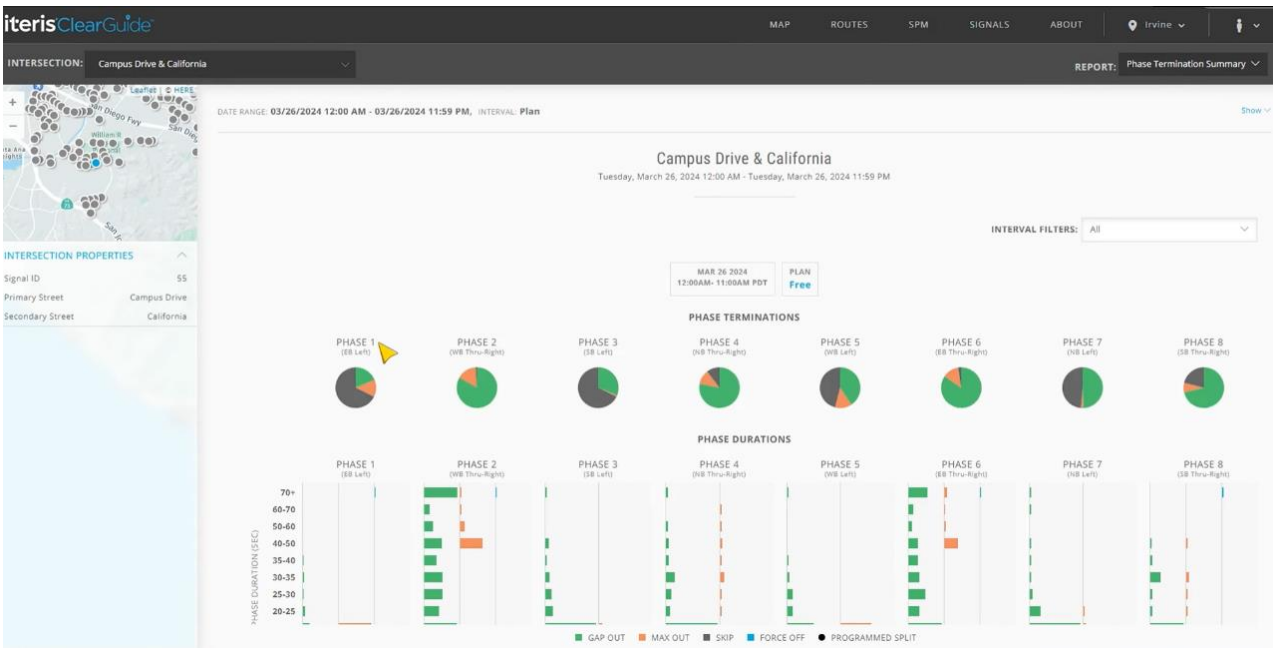
1) 利用量と先方の判断にもよるが、最低年間数万ドルで複数年契約という条件がハードル。上記のような多様な用途で活用することでいかに元を取れるかが課題となる。
2) 車種構成などはないため、二輪車や三輪車が多い途上国では注意が必要。
3) 個人属性がないので、長期的な需要予測で利用するためには PT 調査、補完データ、大胆な仮定などが必要となる。

(3)　Iteris 社「ClearGuide」

米国のスマートモビリティインフラマネジメントにおける大手企業である Iteris 社は、安全かつ効率的な交通管理をめざし、交通状態をアクティブに監視しネットワーク全体の異常とその根本原因を特定する政策決定者向けの製品「ClearGuide」を 2019 年に発表した[29]。SaaS プラットフォームである ClearGuide は、交通安全に関する「ClearGuide Safety」、交通状況に関する「ClearGuide Roadways」、制御機ベースの自動信号パフォーマンス測定（ATSPM）に関する「ClearGuide SPM[30]」、インフラに依存せずにプローブデータを使用して信号パフォーマンス指標を分析する「ClearGuide Signal Trends」（図 2.4.39）から構成される 4 つのモジュールがある。各モジュールの比較を表 2.4.4 に示す。

表 2.4.4　ClearGuide の各モジュールの比較

項目	ClearGuide Safety	ClearGuide Roadways	ClearGuide SPM	ClearGuide Signal Trends
機能	ダッシュボードによるデータの可視化、レポートの提供[32]			
	・事故軽減のための速度制限地点・時期・速度の提案[40] ・速度制限値の提案[40] ・交通安全施策の評価 ・赤信号無視や歩行者安全リスクの特定[30]	・リアルタイムの運用改善、インシデント管理、工事区間のモビリティ、および交通計画の改善[30][32] ・プロジェクト優先順位付け、効果測定[30] ・道路性能測定 ・交通トレンド可視化 ・渋滞頻発地点分析[32]	・信号交差点の安全性とパフォーマンスのモニタリング[30] ・交差点レベルでの詳細な情報評価[30]。 ・カスタマイズ可能なアラート[30]。 ・遠隔での交通状態特定と最適化[30]。 ・交差点パフォーマンス指標（AOG、クリアランス間隔、歩行者など）[30] ・O&M に関するアラート[32] ・信号タイミング提案	**・プローブデータベースの信号パフォーマンス測定**[33] ・パフォーマンスが低い交差点の特定とランク付け[31] ・地域別のパフォーマンス評価[39] ・信号タイミング調整のインサイト[31] ・すべての交差点のリアルタイム監視とインサイト[30][31] ・データは 10～15 分ごとに更新され、最大 6 か月分の履歴データを利用可能[31]。
データ	・RSU、IoT 機器、サードパーティプロバイダー、CV データ[29]、HERE データ[42]、ClearData のプローブデータと学習モデル[34]			
	スピード違反、交通事故データ[30]	交通流データ、インシデント情報、路上工事データ[32]	信号制御履歴と交通パフォーマンスデータを継続的に監視[30]。	Arity 社との協力により接続デバイスからデータを収集、約 3,000 万台の車両から得たデータを活用（普及率 7%～15%）[31][43]。
方法	- ClearGuide 全体の詳細な方法論は明示されていないが、各モジュールは専用のデータソースと分析手法を用いて交通運用や安全性の改善を目指す。			
	スピード違反の多発地点や交通事故データを分析し、リスクを特定し対策を実施する[30]。	マップツールやリアルタイムデータを用いて交通状況を監視し、渋滞やインシデントへの対応を最適化[30][32]。	・信号交差点の交通状態を遠隔で監視[31]。 ・交差点レベルでの詳細な評価を行い、信号現示を最適化する[30]。	・詳細地図データとプローブデータで、信号交差点のパフォーマンスを測定。 ・インフラに依存せずに信号のパフォーマンスを継続的に監視する[33]。



出典：Iteris

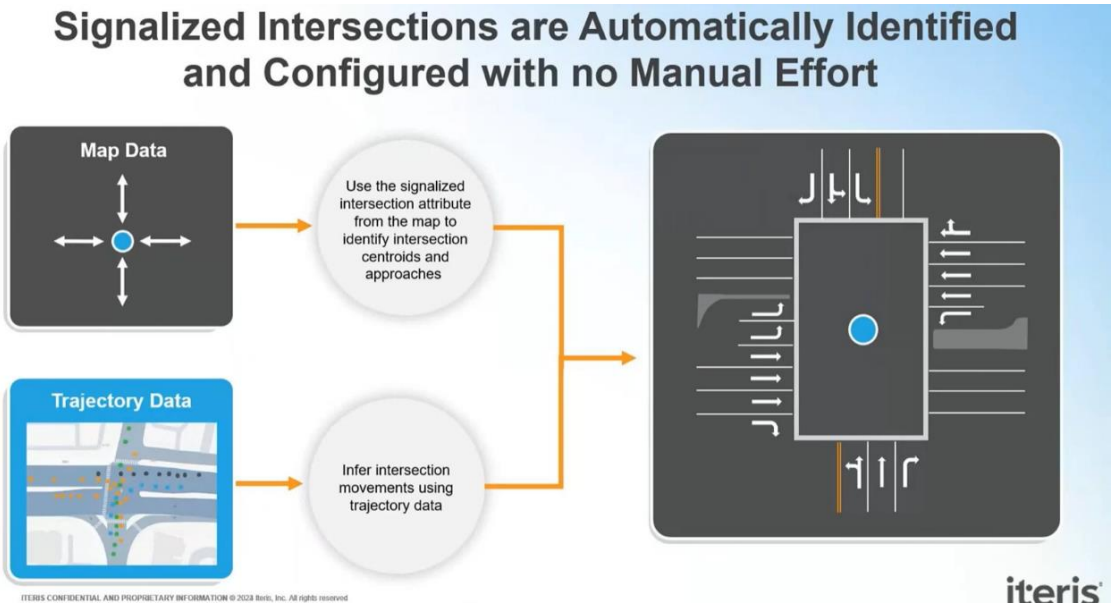
図 2.4.39　Signal Trends のインターフェース [39)]

Signal Trends のアイデアは、地方の交通機関が直面する課題から生まれた。課題には、例えば「限られたリソースの優先順位付け」、「問題が苦情に発展する前の解決」、「インフラがない地域からの視認性の確保」、「特別なイベントや事故・事件発生時の信号タイミングの調整」「交差点で使用される技術の互換性」「パフォーマンスの定量化」等が含まれる [31)]。

2023 年時点で、ClearGuide のそれぞれのモジュールの個別ライセンス契約、複数パッケージを束ねたライセンス契約の両方が提供されており、交通管理者が利用可能である [32)]。また、Signal Trends については、比較的新しい追加機能であり、単独のパッケージとしても利用できる [33)]。

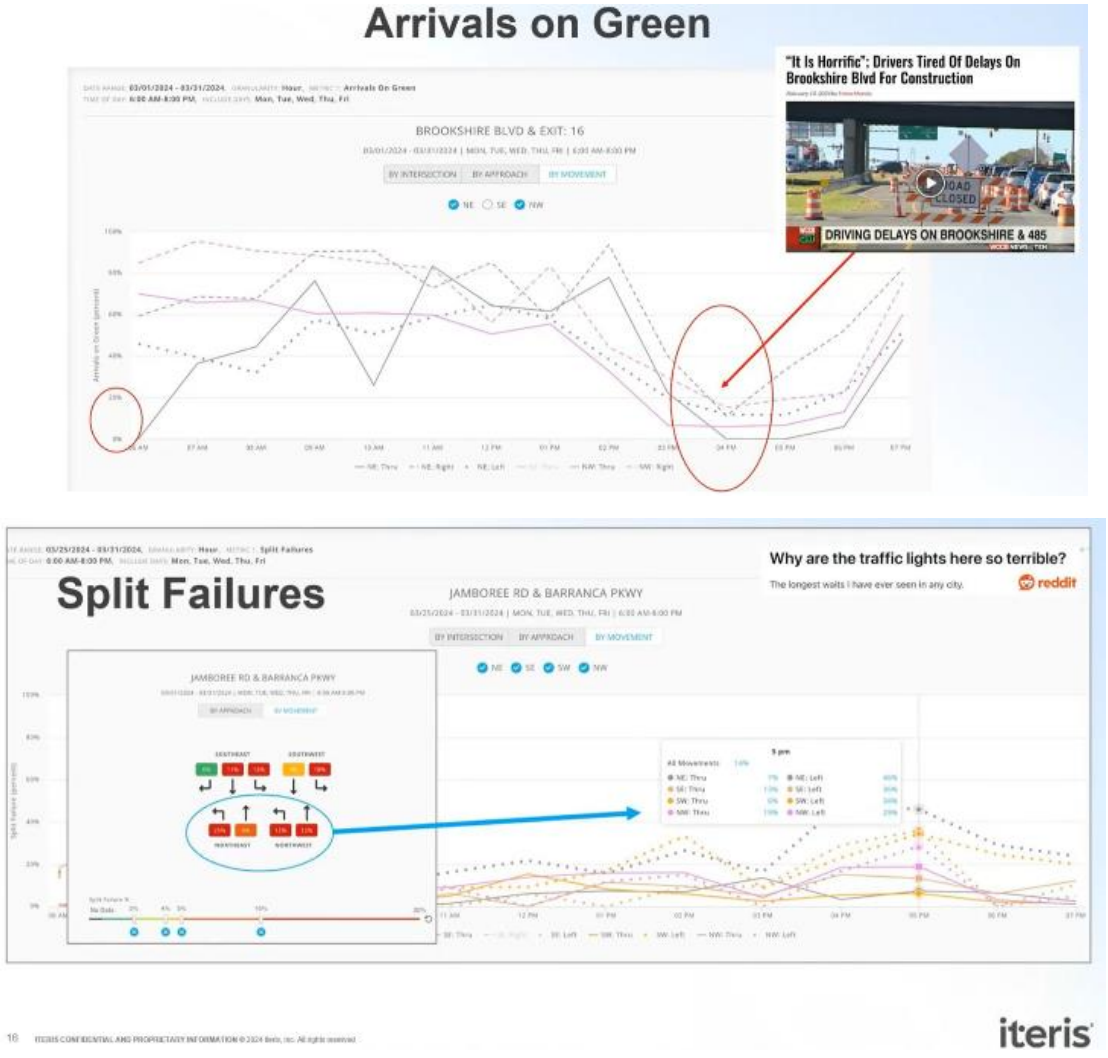
ClearGuide は現在、カリフォルニア州ベンチュラ郡、ロサンゼルス郡、サンバーナーディーノ郡 [34)]、ワシントン州のベルビューやシアトル [35)36)]、ノースカロライナ州 [37)]、カナダの一部地域などで導入されている [29)]。また、Signal Trends は、カリフォルニア州オレンジ郡での初導入が予定されている [38)]。

Signal Trends においては、信号交差点が自動的に抽出および設定され、手動で信号交差点を設定する必要はない。このプロセスは、詳細な地図データとプローブデータを使用して、道路リンクの交差地点、信号の有無、各車線からの移動軌跡を把握し、アルゴリズムによって各交差点の車線構成が生成される（図 2.4.40）[31)]。また、抽出された信号交差点において、AOG や Split Failure などを含むパフォーマンスが測定できる（図 2.4.41）。



出典：Iteris

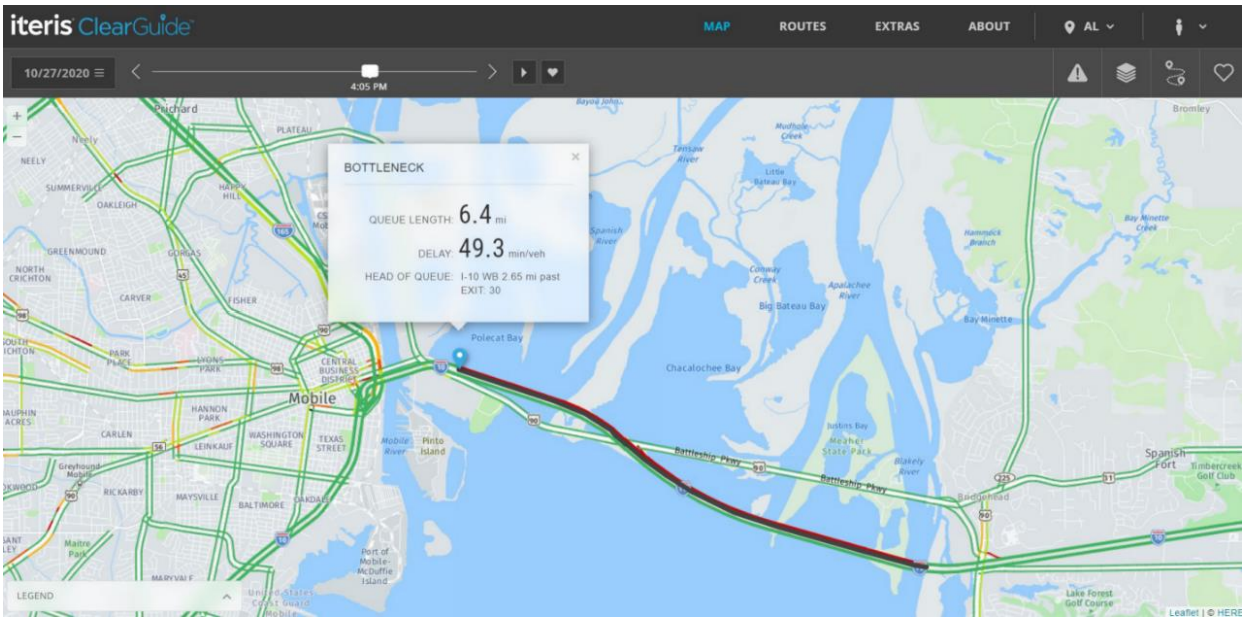
図 2.4.40　ClearGuide Signal Trends のデザイン



出典：Iteris　（上：Charlotte, North Carolina, 下：Irvine, California）

図 2.4.41　ClearGuide Signal Trends の画面の例 [39)]

アラバマ州では、ハリケーン等の極端な天候状況に備えて ClearGuide を導入・活用している。州内のハリケーン対策会議で、過去の対策を ClearGuide で評価、定量化するために使用された。実際の事例として、ClearGuide 上で George C. Wallace トンネル周辺における主要なボトルネックや渋滞箇所を特定し、計画策定に活用している。



出典：Iteris

図 2.4.42　ClearGuide で特定されたアラバマ州におけるボトルネックの例 [44)]

ClearGuide の導入コストについては、製品としての詳細な費用は公開されていないが、いくつかのプロジェクトの契約金額が明らかにされている。例えば、California の Ventura County 内の全都市における ClearGuide Roadways の導入は、3 年間で 100 万ドルの契約となっている。また、Iteris は California の Orange County 内の 34 都市における信号タイミング設計、運用、およびメンテナンスの契約を 960 万ドルで受注しており、この契約は Signal Trends の初の実装である。ただし、Signal Trends 自体の導入コストについても具体的な情報が公開されていない。

ClearGuide の課題としては、複数のデータソースからのデータを結合し分析する際に、データ融合のプロセスが技術的な課題となる可能性がある点が挙げられる。特に、異なる都市で使用されるデータの品質や提供者が異なる場合、その差異が問題となることがある。Signal Trends は新しい機器を設置する必要がないものの、詳細な地図データとサンプル率の高いプローブデータが前提となる。しかし、一部の地域ではこの条件が満たされない可能性があり、これが Signal Trends の展開における大きな制約となる。

2.4.4 渋滞予測

(1) 技術概要

交通分野における渋滞予測手法には、交通流理論に基づくモデル、統計学的手法、機械学習アルゴリズム等があげられる。渋滞予測には、道路の基本的な情報である道路容量、車両速度、交通量、空間平均／時間平均密度のほか、GPS データ、プローブデータ、道路センサーのデータ、さらには天候情報やイベント情報など、多種多様なデータが活用される。

渋滞予測結果の主なユーザーとしては、交通管理者（警察を含む）、都市計画担当者、公共交通機関の運営主体、一般のドライバーである。交通管理者は、予測結果を基に信号現示の調整や交通規制の実施を行い、渋滞の緩和を図る。都市計画においては、交通インフラの改善や新規道路計画の策定、大規模避難計画策定に利用される。公共交通機関の運営主体では、バスや電車の運行スケジュールの最適化（あるいは臨時便の検討）に用いられ、さらに一般ドライバーへは、カーナビやスマホアプリを通じて渋滞情報が提供される。

以下では、渋滞予測技術のケーススタディとして、京都大学・住友電工グループによる「QTNN」と Aimsun 社による「Aimsun Live」について記載する。このほかに、アイ・トランスポートラボ（ITL）もリアルタイム交通状況予測に関する技術を開発しており、これについては国内における交通管理 DX 技術の取組について紹介する 6 章で触れる。

(2) ケーススタディ 1：時空間 AI 技術「QTNN」

時空間 AI 技術「QTNN（Queueing-Theory-based Neural Network）」は、京都大学大学院情報学研究科の竹内孝助教、鹿島久嗣教授、住友電工システムソリューション株式会社のグループによって開発された渋滞地点と渋滞長を予測する技術である。

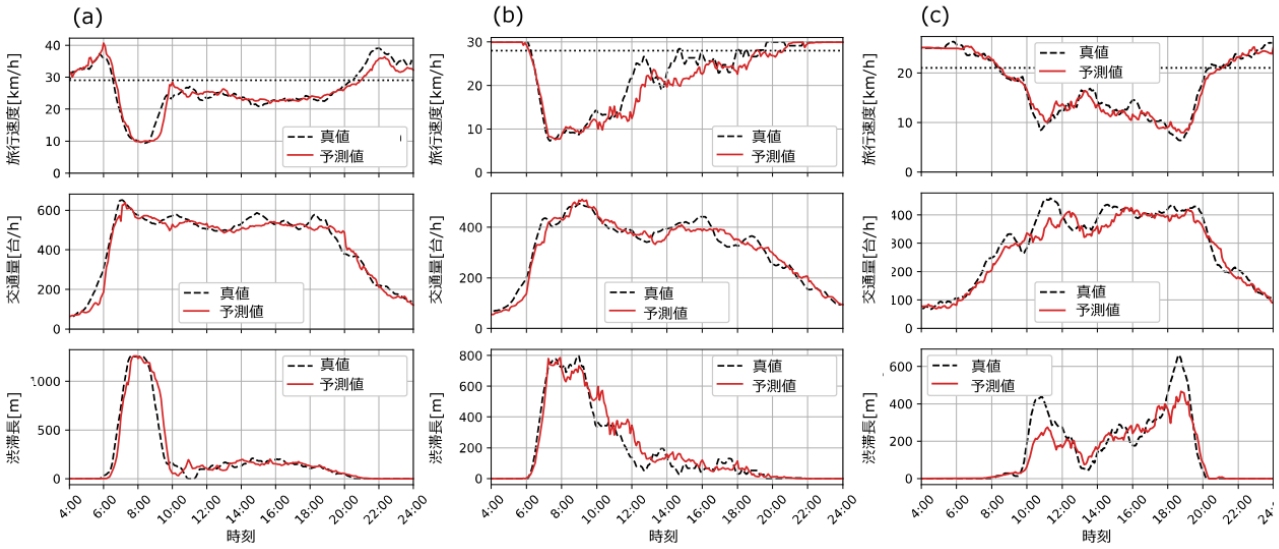
本技術は、交通工学の理論と深層学習を融合し、混雑の変化と道路網の関係を学習することで、将来の渋滞を高精度に予測するものである。警視庁が提供する東京都内の交通データを用いた実験において、1 時間先の渋滞長を平均誤差 40 メートル以下で予測することに成功し、従来の深層学習手法と比較して予測誤差を 12.6%削減する成果を上げている。

QTNN の手法は、過去の渋滞長、平均速度、交通量のデータを基に深層学習を活用し、交差点ごとの平均速度および交通量を予測する第一段階と、交通流モデルを補正しつつ渋滞長を予測する第二段階の二層構造を採用している。このアプローチにより、予測の解釈性と信頼性を向上させ、AI のブラックボックス性を低減しつつ、実務での適用可能性を高めることを目指している。

今後、本技術の実環境下での有効性を検証するため、一部の道路において評価試験を実施する予定である。さらに、信号制御、道路工事、事故発生といった外部要因を考慮した予測モデルの開発を進め、都市交通マネジメントに資する時空間 AI 技術の実装を視野に入れている。

この研究の一部は、科学技術振興機構（JST） 戦略的創造研究推進事業 さきがけ「信頼される AI 領域（JPMJPR20C5）」の支援を受けている。また、東京都の構造改革の取り組み「シン・トセイ」において、警視庁による「AI とビッグデータを活用した交通管制システムの高度化プロジェクト」[12]に関連する研究として実施された。この研究成果は、2023 年 8 月 6 日に開催された国際会議「The 29th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining」において発表された。

[12] https://shintosei.metro.tokyo.lg.jp/leading-project/leading-project-08/



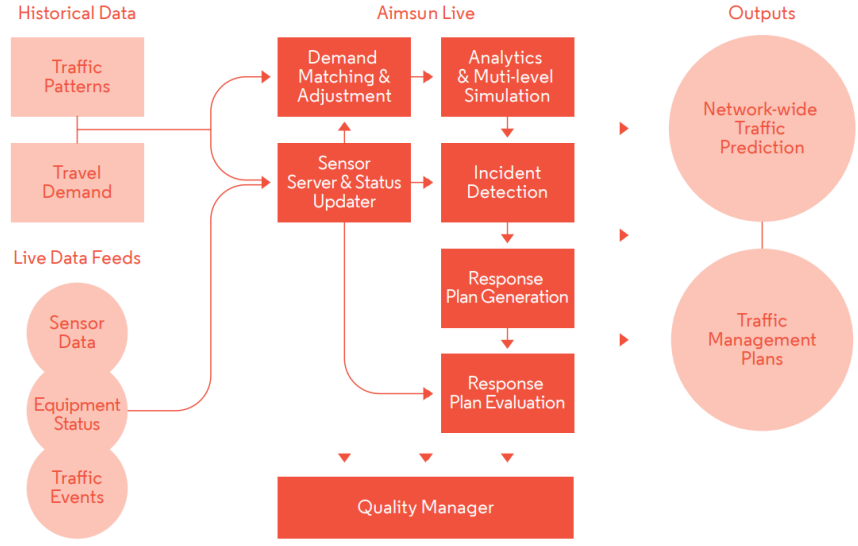
出典：京都大学、住友電工グループ

図 2.4.43　「QTNN」による旅行速度・交通量・渋滞長の予測値と真値（3 地点）

(3)　ケーススタディ 2：Aimsun Live

Yunex Traffic グループ傘下の Aimsun 社は、リアルタイムデータとヒストリカルデータを活用してネットワーク分析を行い、将来の交通状況を 5 分以内で予測するソフトウェア「Aimsun Live」を開発・提供した。このソフトウェアは、米国フロリダ州、オーストラリア・シドニー、英国オックスフォードシャー等で導入されている。アジア圏においては、2018 年 1 月から 2019 年 4 月にかけて、シンガポール陸上交通庁（Land Transport Authority, LTA）による実証実験が行われたのみである。

Aimsun Live のワークフローを図 2.4.44 に示す。Aimsun Live は、センサー、交通イベント、その他インフラからのデータを Live Data Feeds として取り込み、交通パターンや交通需要に関するヒストリカルデータと組み合わせ、各種アルゴリズムによって交通状況の予測を行う。



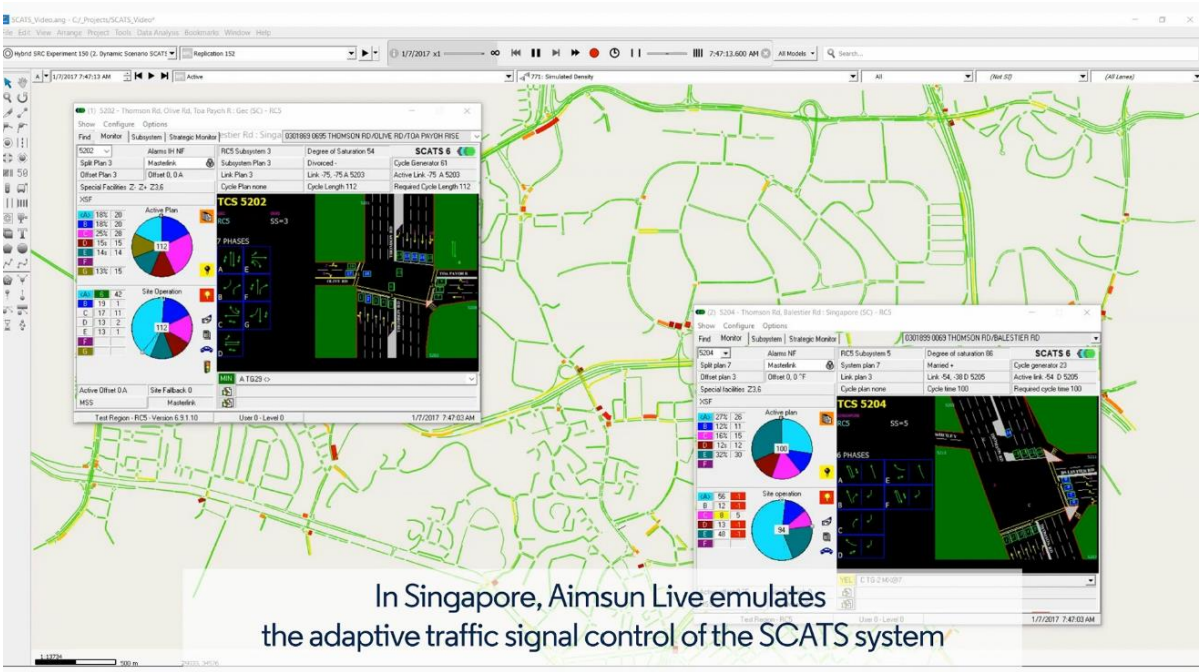
出典：Aimsun 社

図 2.4.44　Aimsun Live のワークフロー[45)]

主な機能として、まずデジタルツインによって車線、信号制御機、車両、および交通管理施策を詳細に再現できる点が挙げられる[46]。さらに、2〜5 分間の短時間の計算時間で交通予測を行うことが可能であり[45]、特定の KPI に基づいて施策の効果をリアルタイムで評価できる。また、感知器が設置されていない道路においても、交通状況の情報を補完する機能を備えている。Aimsun Live は、SCATS や SCOOT などのエミュレータ（模倣装置）[13]と接続することで、適応信号制御下におけるシミュレーションを行うこともできる。また、Aimsun Live は図 2.4.45 に示すように、既存の交通管理システムと直接接続した際には、感知器等からのリアルタイムデータを処理して車両挙動をシミュレーションし、渋滞緩和策の評価を行うことが可能である。[46]。

システム自体の自動化機能も備えており、国や地域の法律によって認可された場合には交通管理の意思決定を自動的に実行する能力がある。Aimsun Live は大規模なシミュレーションができ、オンサイトおよびクラウドベースでのシミュレーションにも対応している[46]。

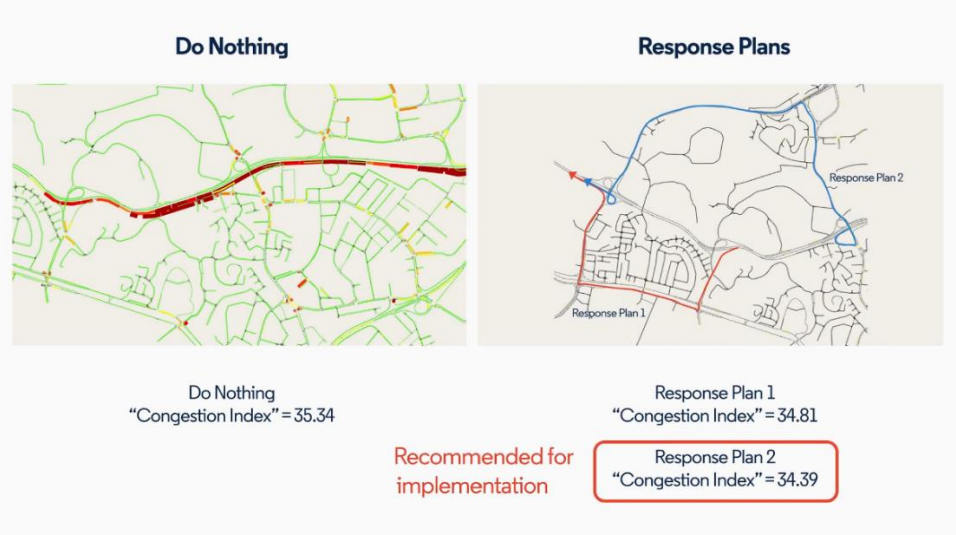
シンガポールの運用試験では、Land Transport Authority（LTA）と協力してシンガポールの信号制御システムである SCATS のエミュレータ（SCATSim）に接続し、実際の適応信号制御下の交通流を表現している。予測においては、図 2.4.46 に示すような Do と Do Nothing の比較ができ、交通管理者の意思決定に役立てることができる。



出典：Aimsun 社

図 2.4.45　Aimsun Live とシンガポールの SCATS システムとの統合[47]

[13] あるシステムや環境を別のシステム上で模倣し、同様の動作を再現するソフトウェアまたはハードウェア。



出典：Aimsun 社

図 2.4.46　シンガポールにおける Aimsun Live の意思決定支援 [47)]

2.4.5　CDR データ

(1)　技術概要

Call Detail Records（CDR）は各移動体通信事業がそれぞれのユーザーから取得するデータのことである。コール（発信・着信）、SMS の送受信、インターネットへのアクセス等、携帯電話基地局との通信毎にデータが記録される。事業者が CDR を収集する本来の目的は、ユーザーに対して課金レコードを作成することであるが、当該データは基本的には位置情報、タイムスタンプの 2 つを含むことから、各種行動分析、統計情報の算出等に利用されている。

加工されていない生の CDR は非常に詳細な個人情報を含んでいるため、事業者が CDR を販売する場合は各国の個人情報保護法のような法規制や、事業者による自主的な制限に基づいて一定の匿名化や集計データへの変換が行われている。

(2)　NCHRP リサーチレポート「旅行行動分析のための携帯電話の位置情報データ」

TRB の全国高速道路共同研究プログラム（National Cooperative Highway Research Program, NCHRP）では、交通実務技術者向けに、交通分野における CDR とその関連製品の活用方法に関するガイドラインを提示することを目的として、2018 年に報告書「Cell Phone Location Data for Travel Behaviour Analysis」[19)]を発表している。報告書では、ボストン都市圏のデータ（CDR と CDR 以外の各種調査データ）について比較を行っており、CDR の利点について下記のようにまとめている。

a)　CDR データとその特徴

携帯電話の高い普及率（例えば、米国では 104%、欧州では 128%、発展途上国では 85%以上）に伴い、携帯端末からのデータは有望なデータソースとなっている（GSMA 2011、国際電気通信連合 2014）。CDR データには、通話の発信や応答、SMS の送受信、インターネットへのアクセスなど、基地局との通信（能動的および受動的）の情報が含まれる。携帯通信事業者は課金目的でこのデータを自動的に収集しているが、ユーザーの位置情報を含むため、人流分析用データとして着目されている。現在、市販されている CDR データは、ユーザーのプライバシーを保護するために秘匿化され、集計されたものである。

i) CDR データの分析結果は、滞在場所と滞在時間において、国勢調査や他の調査データの分析結果と類似した結果を示しており、特に夕方から深夜にかけてのトリップに関しては CDR の方が多く、トリップ捕捉能力に優れているといえる。一方で、NHB[14]トリップについては割合が低いことについて、CDR データ分析の際に最低滞在時間の閾値を 10 分間に設定したことによって短時間の NHB トリップが抜けている可能性を指摘している。

ii) CDR データから推計された OD 表は、家庭訪問調査から推計された OD 表と高い相関を示した。特に都市内の OD トリップにおいて高い相関が見られた。

CDR の強みと弱みについて、表 2.4.5 に示す。

表 2.4.5　CDR の強みと弱み [19)]

強み	弱み
• 高い収集頻度と利用人数の多さによる大きな標本サイズにもかかわらずコストが低い • パッシブデータである（回答者によるバイアスがなく継続的に収集できる） • 夕方～深夜のトリップを補足しやすい • 住民基本台帳等からサンプルを抽出する調査とは異なり、海外からの観光客のデータも収集可能 • 世界的に携帯電話の普及率が高まることが予想されるため CDR データの充実度も年々増大する	• データが個人ではなく、契約回線単位となる • サンプリング（基地局通信）頻度が不規則 • 社会経済属性、世帯情報、旅行目的、交通手段、同行者数等が得られない • 位置は基地局レベルで基地局密度に依存する • 匿名化・集計化処理がなされる • 携帯電話を持たない層のデータを得られない • エリア外に移動した際の情報が収集できない • 行動を記録するものではないため、移動・滞在は仮定に基づく推測に依存する

出典：National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine

b)　CDR データと他のデータソースとの比較

表 2.4.6 では、CDR データと従来の家庭訪問調査データを比較している。表 2.4.7 は、CDR データとボストン都市圏で得られる他の位置情報データの具体的な特徴を示している。

表 2.4.6　CDR と調査データの特徴 [19)]

項目	CDR データ	従来の調査データ
サンプル率	15 - 35%	0.5 - 2%
サンプル単位	携帯電話端末	世帯
収集頻度	携帯電話端末の通信毎（CSD）、基地局へ接続時の信号（CDR）	通常、10 年以上ごと
コスト	各携帯電話会社による	1 世帯あたり 150～300 ドル
得られる情報	タイムスタンプ付き位置情報	旅行終了地点・時刻、旅行目的、利用交通手段、時間帯、社会経済属性
個人属性	携帯電話の夜間位置情報、日中の位置情報	年齢、性別、職業、勤務時間、勤務形態、収入、所属するグループ（宗教、民族等）
世帯属性	該当なし	世帯人数、保有車両台数、生産年齢人数、世帯収入、自宅の位置、子供の数

[14] Non Home-based トリップ。トリップの出発点・到着点のいずれも自宅ではないトリップのこと。

出典：NCHRP レポート Table 9-1 より調査団で作成

表 2.4.7　さまざまな位置情報ベースのデータの特性 19)

	CDR データ	GPS ロガー	調査アプリ[15]	Bluetooth データ
生データの取得	プライバシーの問題から 非公開の可能性が高い		取得できる可能性が高い	
加工データ	加工方法が不明 （事業者内でのブラックボックス）		手法を公開可能	限定的なデータ処理が可能
空間分解能	低い	高い	高い	細街路の交通解析をサポート可能
外部ゾーン	追跡できる		方法と回答者による	調査場所による
旅行目的	推測により生成		回答者の記憶	該当なし
社会経済属性	該当なし	該当なし	利用可能	該当なし
時間分解能	セルのカバレッジと通信頻度による	通信頻度による	非常に高い	時間帯別で集計可能
商業/旅客の区別	区別できない	区別できる （データによっては車両区分も区別可能）		区別できない
サンプルの拡大*	人口と地理的特徴による拡大		社会経済属性と地理的特徴による拡大[16]	交通量による拡大
軌跡データの信頼性	信頼できない	低い 処理速度が遅い為	信頼性が高い	該当なし

*いずれもサンプルベースのため、対象地域全体の分析をする場合、サンプルを拡大する必要がある。
出典：NCHRP レポート Table 9-2 より調査団で作成

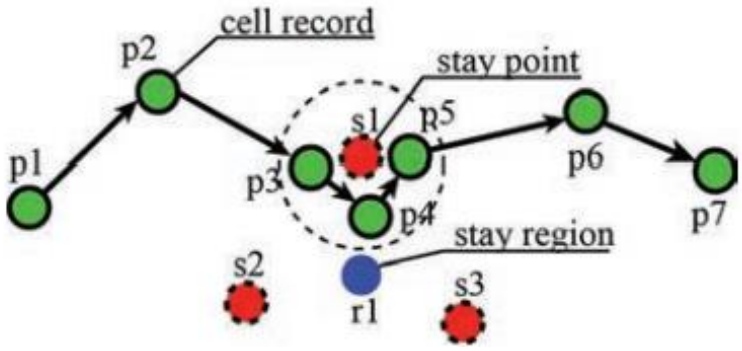
c)　滞在地点と活動の推定

CDR データは行動そのものを記録しているわけではないため、滞在・移動や活動について推論を行うには、以下のような前処理が必要となる。

最初のステップは滞在地点を抽出することである。ボストンのケースでは、CDR データのノイズを除去した上で、「300 メートル以内」の空間的閾値と「10 分以上」の時間的閾値を使用して滞在地点が抽出された 21)。図 2.4.47 において、p（緑）が CDR のレコードであり、p3～p5 で 300m 以内の範囲に 10 分以上滞在していると判断されると、3 点の重心である s1（赤）が滞在地点として生成される。この方法だと滞在地点が無数に生成されて、計算負荷が高まるため、分析に必要な空間解像度を考慮の上で、滞在エリア r1（青）を設定し、s1~s3 を r1 に集約する方法をとっている。

次のステップとして活動の種類を推測する。人間の行動の規則性に基づく方法や、土地利用情報を取り入れる方法がある。たとえば、週末や平日夜間に最も頻繁に観測される地点は「自宅」、平日昼間に最も頻繁に観測される地点は「仕事」として推定される 20)。出発時刻は CDR レコードからは直接得られないため、推計が必要となる。

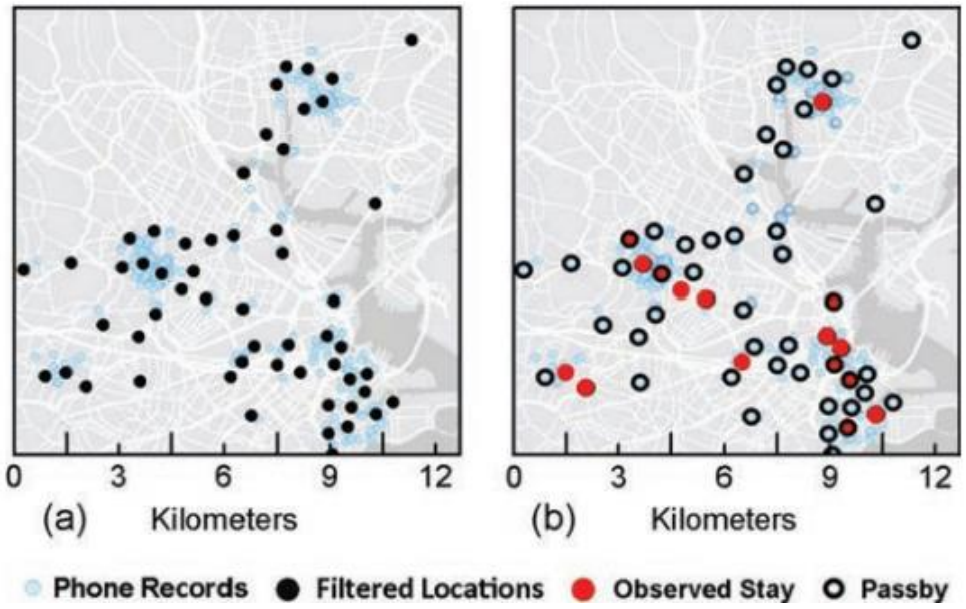
[15] 社会経済属性や旅行目的に関して質問し、同意のうえで位置情報を取得するスマホアプリを想定
[16] サンプルの社会経済属性が得られているため、母集団の社会経済属性別の実数が分かれば、それに応じた拡大が可能となり、サンプリングバイアスを小さくすることができる。



出典：A review of urban computing for mobile phone traces: Current methods, challenges and opportunities.

図 2.4.47　グリッドベースアルゴリズムの滞在地点抽出プロセス [20)]

図 2.4.48 では、上記のアルゴリズムを用いて CDR データから滞在エリアと通過エリアを推定した結果が示されている。左図の水色の点が生の CDR レコード 1,776 サンプル（Phone Records）を示しており、そこから 300m の閾値と 10 分間の閾値により滞在エリア（Observed Stay）と滞在エリア間を移動した際の通過エリア（Passby）が推計されている。



出典：A review of urban computing for mobile phone traces: Current methods, challenges and opportunities.

図 2.4.48　ポイントベースアルゴリズムを用いた滞在場所と通過エリアの推定結果 [20)]

d)　**CDR データの使用例**

CDR データは、例えば以下のような用途で従来のデータの代替・補完として利用が期待されている。

1)　トリップ数や訪問者数の季節変動モニタリング
2)　大規模なイベントによるトリップの分析
3)　交通量の年次変動モニタリング
4)　対象地域外からの交通の分析
5)　ゾーン間 OD 表の推計

(3) CDR データと他のデータの比較事例

a) 比較概要

NCHRP レポートでは、ボストン大都市圏のデータを使用して、CDR データの分析結果を、商業 CDR データ、従来の調査データ、センサスデータ、ボストンの交通需要予測モデルデータと比較している。具体的には、旅行目的、時間帯別の移動パターン、地理空間的な傾向の観点から比較が行われた。使用されたデータを以下に示す。

1) 生の CDR データ：2010 年のボストン大都市圏における 2 か月分の匿名化処理済みデータ
2) 商業 CDR データ（AirSage 社）：2015 年の 3 か月分のデータ[17]
3) 調査アプリを通じた GPS データ：2013 年～2014 年（18 か月間）、ボランティアの学生から提供。
4) 2010 年ボストン交通需要予測モデル
5) 2010 年 Census Transportation Planning Products（CTPP）
6) 2009 年 National Household Travel Survey（NHTS）
7) 2011 年 Massachusetts Travel Survey（MTS）
8) 1991 年 Boston Household Travel Survey（BHTS）
   ※2010 年ボストン地域都市計画機構（MPO）の需要予測モデルの入力値
9) 2007 年および 2010 年 Boston 地域モデル（Central Transportation Planning Staff（CTPS）提供）

b) 比較結果

<u>居住地・就業地分布</u>

2010 年のセンサスデータと、拡大された CDR データにおける各町の居住者数はほぼ同一だった。また、CDR データから推定された職場の位置分布も、2010 年の CTPP データとほぼ一致していた。

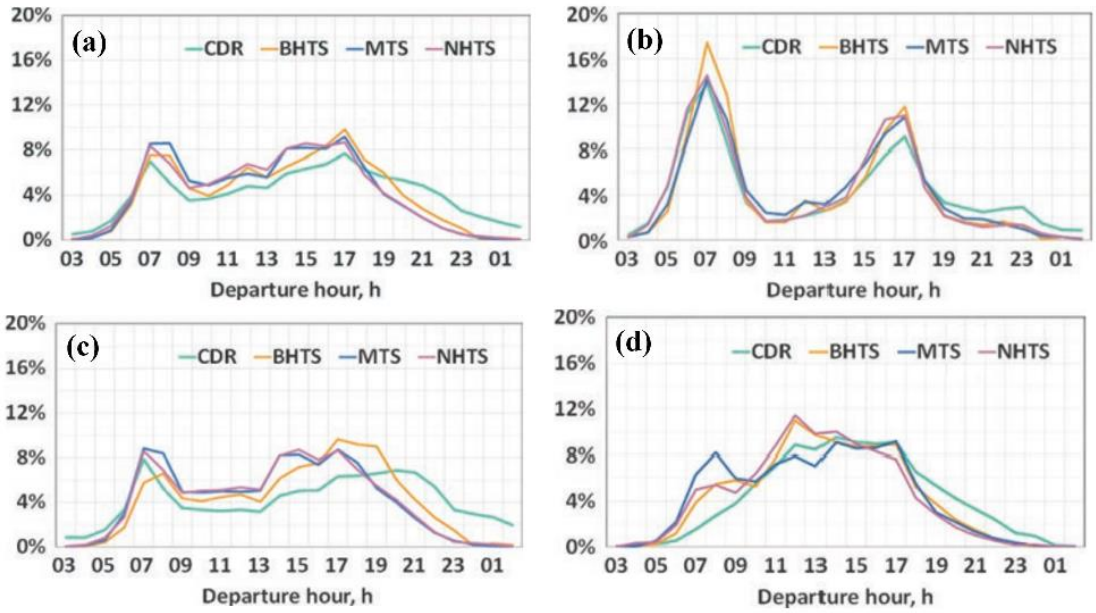
<u>トリップ時間帯分布</u>

平日の平均的な通勤（HBW[18]）トリップの時間帯分布は、CDR データと 1991 年 BHTS、2011 年 MTS、2009 年 NHTS との間で類似性がみられた（図 2.4.49）。また、その他の目的（HBO[19]、NHB）のトリップも同様の時間帯分布を示した。しかし、夕方および深夜については CDR データでより多くのトリップが記録されており、従来の調査では報告されなかったトリップを CDR データが捉えていると考察している。

<u>トリップ目的</u>

HBO のトリップ数は CDR データと MTS データで類似していたが、NHB のトリップの割合は CDR データの方が MTS より低く、HBW トリップの割合は CDR モデルの方が高いなど、トリップ目的によって類似度に差異が出る結果となっている。

[17] ボストン地域の 2010 年 Census 人口データを用いて調整済み
[18] HBW: Home-based Work。自宅を発着点のいずれかに持ち、もう一端が職場であるもの。
[19] HBO: Home-based Others。自宅を発着点のいずれかに持ち、もう一端が職場でないもの。



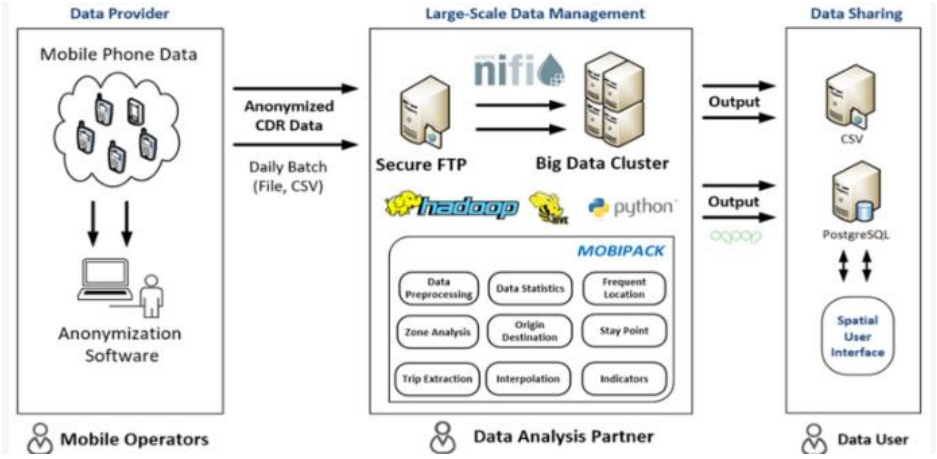
(a)全トリップ、(b)HBW、(c)HBO、(d)NHB
出典：NCHRP レポート Table7.2~5 より調査団で作成

図 2.4.49　CDR, BHTS, MTS, NHTS における出発時刻分布 [21)]

(4)　東京大学・LocationMind 社による CDR データの活用事例

東京大学と LocationMind 社（位置情報解析に関する東京大学発のベンチャー企業）のグループは、オープンソースソフトウェア Mobipack[20]と各国の CDR データを用いて、人の滞在・移動に関する様々な分析を行っている。Mobipack には CDR データの匿名化、滞在地抽出、可視化、OD 表計算などの機能を有している。

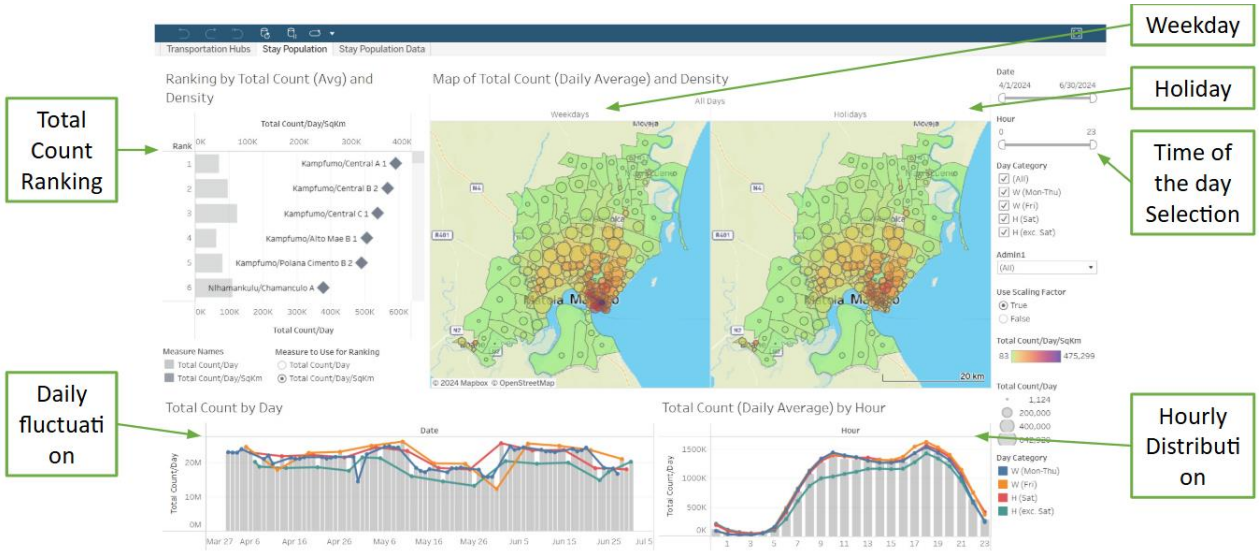
JICA による「ザンビーク国マプト市都市公共交通改善支援プロジェクト」（2023/1/1~2025/12/31）では、現地政府・レギュレータと JICA の間で MOU が結ばれ、CDR データを活用した人流分析が進められている（図 2.4.51）。この結果は都市交通マスタープランを改定する際の定量的な根拠として用いられる。



出典：Development of Big Data-Analysis Pipeline for Mobile Phone Data with Mobipack and Spatial Enhancement[21]

図 2.4.50　CDR データ分析パイプラインの全体像

[20] MIT ライセンス（Massachusetts Institute of Technology License）に基づくオープンソースソフトウェア。東京大学によって開発が開始され、現在は東京大学と LocationMind 社の共同プロジェクトである Spatial Data Commons によって管理されている。https://sdc.csis.u-tokyo.ac.jp/software-name/
[21] https://www.mdpi.com/2220-9964/11/3/196



出典：「開発途上国における CDR データを活用した都市交通政策マネジメントツールの開発」（土木計画学会、2024/11）

図 2.4.51　CDR データに基づく時間帯別の滞在人口と時間帯別レコード数

(5)　発展途上国での適用

発展途上国での適用の可能性としては、携帯データの利用に関するいくつかの潜在的な問題や懸念点が挙げられる。発展途上国では、一部の地域で携帯電話の普及率が低い場合があり、携帯電話を所有していない個人は分析から除外される可能性があるが、携帯電話の普及が進んでいるため、この問題は将来的に解消されると予想される。また、CDR データは基本的にどの国でも利用可能であるが、政府のレギュレータが、民間事業者からのデータを法令などで規定していない限り、データは民間事業者のものである。そのため、市場シェアが低い携帯電話事業者を選択した場合、データが過小評価されるリスクがある。さらに、商業的に提供される CDR データは通常、独自の方法で処理されているため、データを購入する前に、データセットのサイズ、空間的なカバレッジ、観測期間の長さ、時間帯分析のための詳細なパラメータを確認することが推奨される。また、各地域の交通機関の特定のニーズに応じるためには、ベンダーと交通機関の間で既存のデータソースやモデルの出力を比較する議論が必要である。

2.4.6 幾何構造（Alternative Intersections）

Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report（AIIR）は、従来の交差点やインターチェンジと比べて、より効率的かつ安全な代替設計を紹介するレポートである。第 1 版は 2010 年に FHWA によって発行され、代替設計に関する包括的なガイドブックとして広く参照されている。しかし、現在ではやや時代遅れとされており、ノースカロライナ州交通局（NCDOT）が第 2 版の作成に向けて準備を進めている[118)119)]。

なお、本項目では FHWA の文献を多く参照しているため、右側通行を想定した記述を行っている。

(1) DDI（Diverging Diamond Interchange）

概要

主要幹線道路の交通が高速道路のランプ間で一時的に反対側の車線を走行する形で設計されているインターチェンジである。この設計では、車両は停止せずに高速道路ランプへの左折やランプからの左折が可能であり、対向車線を横断する必要がなくなる。

高速道路のランプへの右折およびランプからの右折は、車線が右側通行に戻った後、または交差点に入る前に行われる。平面交差の場合は両方の交差点には信号が設置され、信号を設置しない場合はオーバーパス（高架橋）またはアンダーパス（地下道）となる。

DDI を適用すべき交通状況

- 高速道路ランプへの左折交通量が多い場所
- 隣接する信号や近くにある車両出入口がない場所
- ランプ交差点間の左折レーンのための道路幅が限られている、または拡張のための土地が限られている場所

DDI の利点

- 安全性の向上: 車両が交差するポイントの数が減少するため、事故のリスクが低減する。
- 効率の向上: 交差点は 2 つの信号フェーズのみで運用可能であり、これにより多くの交通量を処理し、遅延を減少させることができる。
- 高速道路へのアクセスが容易: 設計により、対向車線を横断せずに高速道路への進入と退出が可能となる。
- コスト効果: 幹線道路に左折レーンがないため、DDI は断面が狭く、新たなインターチェンジの建設や既存の改修よりもコスト効率が高い可能性がある。

実際の適用事例

Virginia 州では、州道 64 号線とインターステート・ハイウェイ 15 号線とのインターチェンジ及びインターステート・ハイウェイ 15 号線と州道 66 号線とのインターチェンジに導入されている。



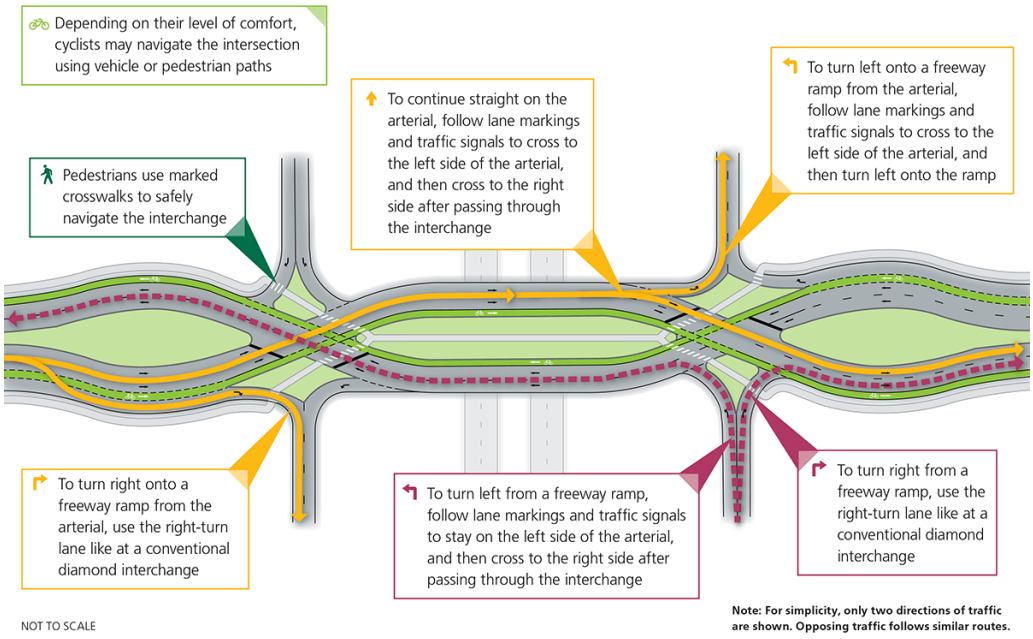
出典：https://www.vdot.virginia.gov/about/our-system/highways/innovative-intersections/diverging-diamond-interchange/

図 2.4.52　州道 64 号線とインターステート・ハイウェイ 15 号線インターチェンジ（DDI）



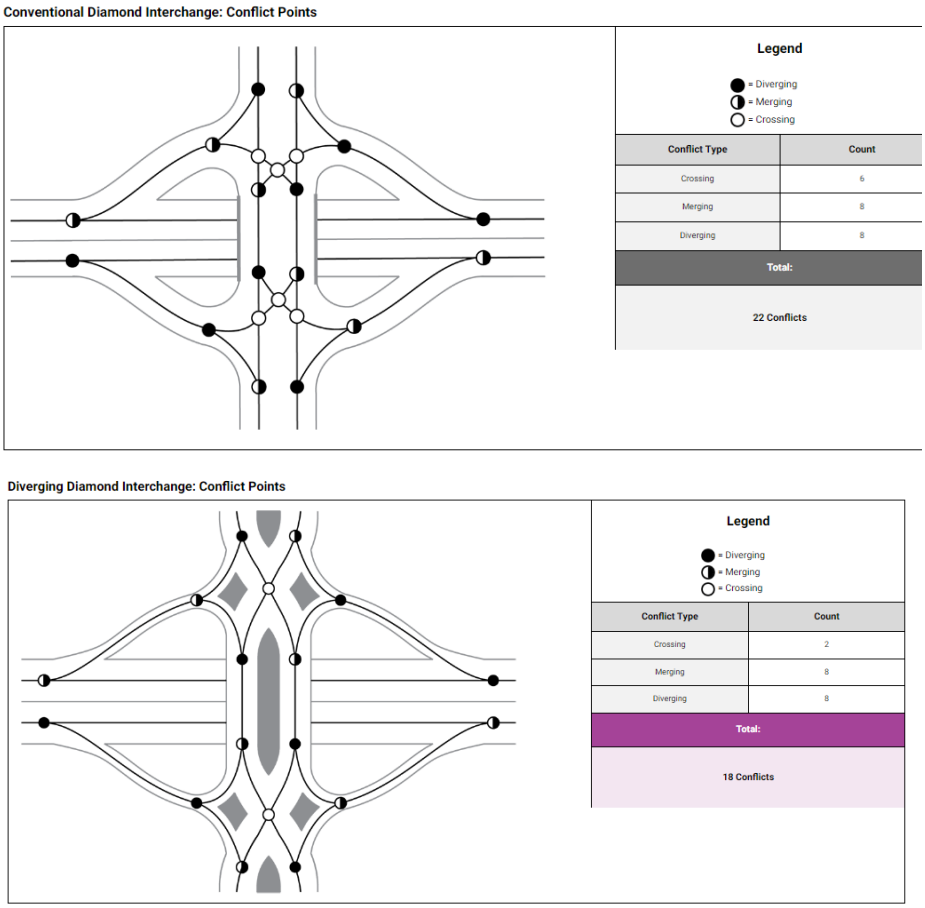
出典：https://www.vdot.virginia.gov/about/our-system/highways/innovative-intersections/diverging-diamond-interchange/

図 2.4.53　州道 66 号線とインターステート・ハイウェイ 15 号線インターチェンジ（DDI）



出典：https://www.vdot.virginia.gov/about/our-system/highways/innovative-intersections/diverging-diamond-interchange/

図 2.4.54　DDI における交通の流れ



出典：https://www.vdot.virginia.gov/about/our-system/highways/innovative-intersections/diverging-diamond-interchange/

図 2.4.55　従来型 IC と DDI における輻輳点の比較

(2)　**DLT（Displaced Left Turn Intersections)**

<u>適用</u>

DLT は、全方向から中程度～多量の交通量があり、かつ左折交通量が多く、交差点付近での細街路からの流入がほとんどない場所に適用される。また、従来の設計に比べて衝突点が少ないため、安全性が高い。いくつかの文献で報告されている利点を以下に示す[118)119)]。

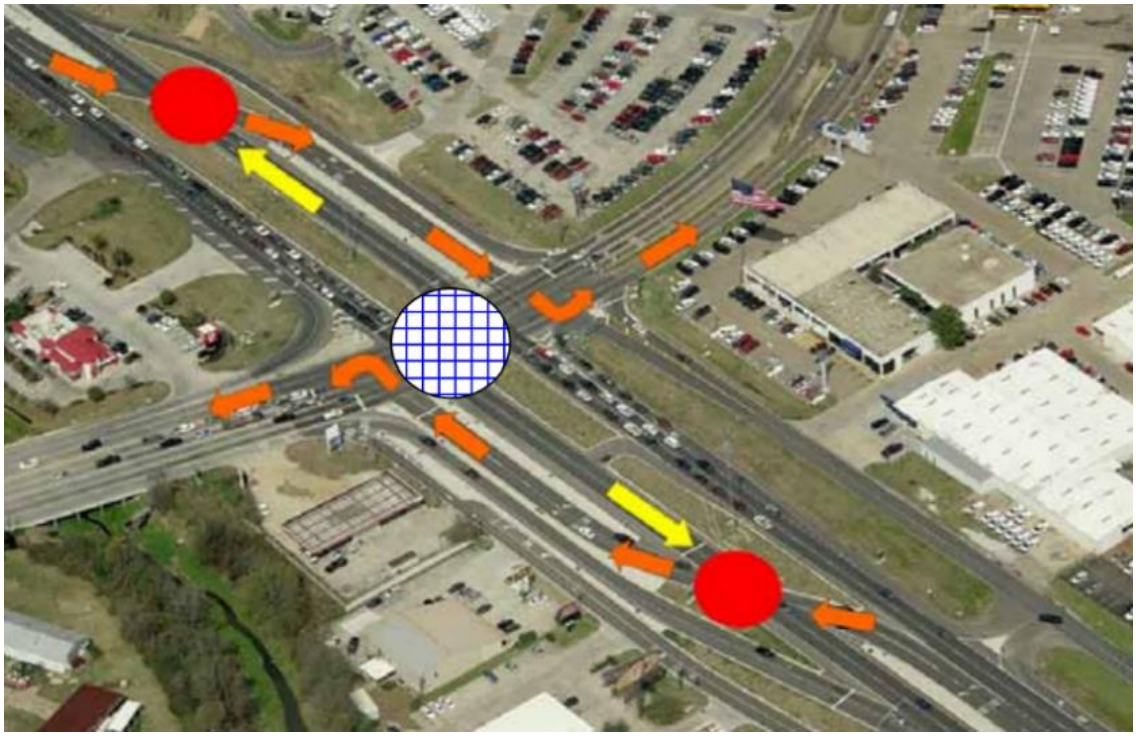
i)　衝突点の減少：フル DLT で 28、partial DLT で 30、従来の交差点では 32
ii)　Crash Modification Factor（CMF）が 0.71～0.89
iii)　迂回距離が他の Alternative Intersections と比較して最小限である

<u>建設コスト</u>

DLT 交差点の建設は、立体交差点に比べるとコストが安く、工期も短い。しかし、DLT では従来の平面交差点よりも大きな敷地が必要であり、追加の用地取得、新たな信号機の設置、従来の交差点等が必要であるため、従来の平面交差点に比べるとコストは高い。すでに建設が完了した DLT の一部について、2010 年のデータで 440 万ドルから 750 万ドルの費用が報告されており、特に農村地域での DLT は従来の交差点よりも約 92 万 2 千ドル高いコストがかかるとされる[118)]。

DLT 導入地域

メリーランド州 Accokeek、ニューヨーク州 Shirley、ルイジアナ州バトンルージュ、ユタ州ソルトレイクシティ、ミズーリ州 Fenton、メキシコ、イギリスの Swindon[118]。



信号制御は主要交差点（青ハッチング円）と左折交差点（赤丸）に設置されている [118]
出典：Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)

図 2.4.56　ロサンゼルスのバトンルージュにある partial DLT 交差点の左折交差点

(3)　MUT（Median U-Turn Intersection）

適用

MUT はミシガン州で広く使用されており、中程度～多量の交通量があり、左折交通が少ない場合や中央分離帯がある道路に適用される [119]。MUT では下記に示すように、移動時間短縮、主交差点での処理能力向上、交通円滑化、安全性向上といった利点があるが [118][119]、一方で、欠点として、建設コストの増加や土地取得がある。もともと十分な幅の中央分離帯がない場合、拡幅を行う必要がある。

i)　処理能力：30～45%増加。
ii)　左折車両の迂回を考慮しても、ネットワーク全体でみたときの旅行時間は従来の平面交差点よりも短縮される [118]。
iii)　事故削減率：平均 20～50%、CMF は 0.5～0.65
iv)　衝突点：MUT では 16、従来の交差点では 32

建設コスト

通常、MUT の設計は、U ターン路の建設に関連するコストや、用地取得のためのコストが必要であり、従来の交差点よりも初期建設コストが高くなる。また、U ターン開口部に信号制御が必要な場合、追加の信号設置コストが発生する [118]。

MUT 導入地域

ミシガン州、フロリダ州、メリーランド州、ニュージャージー州、ルイジアナ州 [118]



出典：https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/09060/

図 2.4.57　ミシガン州の MUT[118)]

(4)　**RCUT（Restricted Crossing U-Turn Intersection）**

適用

RCUT 交差点は、幹線道路における交通量が多く、細街路からの左折および直進交通量が少ない道路に適用される[119)]。欠点として、細街路からの直進および左折交通量が増加すると効率が低下する可能性がある。以下に安全性に関する利点を示す。

i)　衝突点の減少：RCUT では 14、従来の交差点では 32

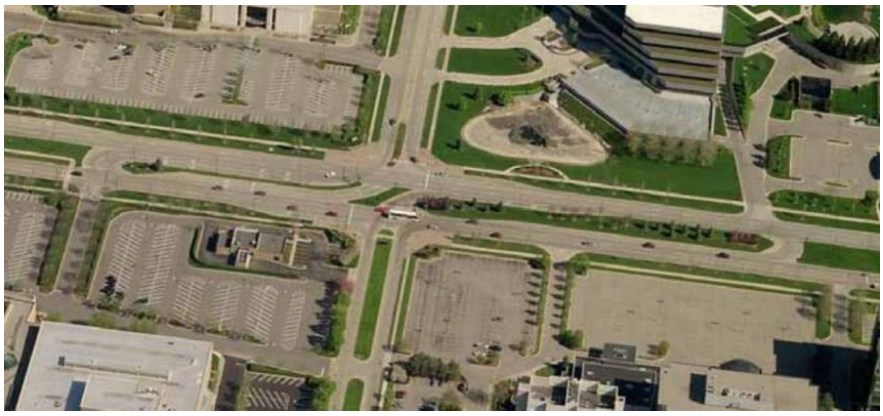
ii)　CMF：0.3～0.96 の範囲

建設コスト

道路拡幅、信号制御機の追加、U ターン路の建設などの潜在的なコストにより、従来のデザインよりも高くなると予想される。いくつかの計画および完成した RCUT の記録では、施工延長が 0.7 マイル以下の地域で 200 万ドルから 500 万ドルのコストが報告されている（2010 年のデータ）[118)]。

RCUT 導入地域

ミシガン州トロイ、メリーランド州イースタンショア（J-turn variant）、ノースカロライナ州複数地点[118)]。



出典：Hughes et. al., 2010

図 2.4.58　RCUT の実際の導入例

(5)　QRI（Quadrant Roadway Intersection）

適用

QRI は、主要道路と副道路の両方で交通量が多く、かつ左折交通量が多い場所に適しており、既存の道路がある場合はその道路を接続道路として利用できる [119]。1 つの四分円弧のみに接続するデザインが最も一般的であり、どこに四分円弧を配置するかは、利用可能な道路や左折の需要に基づいて決定される [118]。利点としては、衝突点の減少（QRI では 28～30、従来の交差点では 32 [118][119]）がある一方で、欠点として、四分円弧の道路に対して追加の右折専用路を作る必要があり、迂回するため走行距離が延長になる動線があることが挙げられる。

建設コスト

接続道路の新設および追加の交通信号設置、標識の設置により、従来の平面交差点のコストよりも高くなる可能性がある [118]。

QRI 導入地域

オハイオ州フェアフィールド [119]。



出典：Cunningham et. a

図 2.4.59　オハイオ州フェアフィールド、Dixie Highway と Ross Road[119]

(6)　Alternative Intersections の選定について

AASHTO の「A Policy on Geometric Design of Highways and Streets」[118]または Green Book[119]にその参考となる情報が掲載されている。下記に情報の例を示す。

i) **アクセス管理**：都市部と地方の設計に応じた管理が必要
ii) **交通信号処理**：信号、標識、マークの扱い
iii) **全ての道路利用者への対応と安全性**：歩行者、自転車、公共交通機関も含めた配慮
iv) **建設の段階、コスト、運用および維持**：建設の計画や運用維持における費用
v) **期待される性能**：現状および将来の交通効率や事故発生率の予測
vi) **周辺地域への影響**：ビジネスや財産など地域社会への影響
vii) **公共の理解と受容**：地域住民や関係者とのコミュニケーション、合意形成

また、代替交差点の評価方法として以下のものも示されている[119]。

i) 運用性能：旅行時間、遅延、渋滞長、平均速度などの運用パフォーマンス指標。
ii) 信号性能：停止回数、主道路での走行速度や旅行時間の評価。
iii) 安全性の評価：衝突点の確認や、車両、歩行者、自転車利用者に対する影響の確認。

発展途上国での適用について

Alternative Intersections は、交通渋滞を減らし、全ての道路利用者にとって安全性を提供するものであり、発展途上国においても、ラウンドアバウトなどが既に導入されている例もある。しかし、多くのデザインでは広い土地を要するため、都市中心部や地価が高い地域では必ずしも適していない可能性がある。

2.4.7 参考文献

1) Parabol. METIS Bluesense. https://www.paraboly.com/bluetooth-tabanli-trafik-analizi
2) PIARC. (2019). Low Cost ITS - Technical Report (No. 2019R07EN). https://www.piarc.org/en/order-library/30406-en-Low%20Cost%20ITS%20-%20Technical%20Report
3) PIARC. (2016). Advanced technology for data collection and infomation to users and operator (No. 2016R30EN). https://www.piarc.org/en/order-library/26555-en-Advanced%20technology%20for%20data%20collection%20and%20infomation%20to%20users%20and%20operator
4) Utilizing Data to Optimize Road Network Operations - Collection of Case Studies (No. 2022R09EN). (2022). PIARC. https://www.piarc.org/en/order-library/37419-en-Utilizing%20Data%20to%20Optimize%20Road%20Network%20Operations%20-%20Collection%20of%20Case%20Studies
5) RTMS Echo a resounding success for ISS in Florida. (n.d.). ITS International. Retrieved September 6, 2024, from https://www.itsinternational.com/daily-news/its-world-congress-2022/rtms-echo-resounding-success-iss-florida
6) Image Sensing Systems, Inc. (2020, January 22). Meet RTMS Echo. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=Wkf9KH0Xv3c
7) Efficient intersection monitoring with AI: Poliscan Redlight VA. (n.d.). ITS International. Retrieved September 6, 2024, from https://www.itsinternational.com/its4/its5/its8/products/efficient-intersection-monitoring-ai-poliscan-redlight-va
8) VITRONIC-The Machine Vision People [@themachinevisionpeople]. (2021, July 27). Solutions for Safer Intersections | VITRONIC. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=jSniqy7rihs
9) DataCollect will unveil two groundbreaking products. (n.d.). ITS International. Retrieved September 6, 2024, from https://www.itsinternational.com/daily-news/intertraffic-amsterdam-2024/datacollect-will-unveil-two-groundbreaking-products
10) Raising Awareness of Artificial Intelligence for Transportation Systems Management and Operations. (2019). United States Department of Transportation Federal Highway Administration. https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop19052/fhwahop19052.pdf
11) West Midlands to welcome UK's first 5G connected Road Sensor Network. (2021, June 18). Intelligent Transport. https://www.intelligenttransport.com/transport-news/126103/5g-tfwm/
12) RTC Southern Nevada to fit new tech to Las Vegas' freeways. (2021, February 3). Intelligent Transport. https://www.intelligenttransport.com/transport-news/116460/las-vegas-freeways/
13) Wrong-way driver detection systems to be installed at 4 Las Vegas Valley interchanges. (2023, August 15). KVVU. https://www.fox5vegas.com/2023/08/15/wrong-way-driver-detection-systems-be-installed-4-las-vegas-valley-interchanges/
14) Nevada Department of Transportation. (n.d.). High Occupancy Vehicle (HOV) Lanes. Retrieved September 6, 2024, from https://www.dot.nv.gov/safety/roadway-safety-improvements/high-occupancy-vehicle-hov-lanes-express-lanes
15) NDOT: Wrong Way detection system has 84% success rate. (2023, August 15). Channel 13 Las Vegas News KTNV. https://www.ktnv.com/news/ndot-wrong-way-detection-system-has-84-success-rate
16) Traffic management sensor innovations: the Dutch experience. (2018, April 25). Intelligent Transport. https://www.intelligenttransport.com/transport-articles/67329/traffic-management-sensor-innovation/
17) PARIFEX's NANO-CAM: A multifunctional traffic management tool. (2021, November 12). Intelligent Transport. https://www.intelligenttransport.com/transport-articles/130580/parifex-nano-cam-traffic-management/
18) New 'Super Speed Camera' to begin on-road trials this summer. (2022, May 30). Visordown. https://www.visordown.com/news/general/new-%E2%80%98super-speed-camera%E2%80%99-begin-road-trials-summer
19) National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2018. Cell Phone Location Data for Travel Behavior Analysis. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/25189.
20) Jiang, S., Fiore, G. A., Yang, Y., Ferreira, J., Frazzoli, E., & González, M. C. (2013). A review of urban computing for mobile phone traces: Current methods, challenges and opportunities. In UrbComp '13: Proceedings of the 2nd ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing, 2, 1–2, p. 9. https://doi.org/10.1145/2505821.2505828.
21) Alexander, L., Jiang, S., Murga, M., & González, M. C. (2015). Origin–destination trips by purpose and time of day inferred from mobile phone data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 58, Part B: 240–250. ISSN 0968-090X. https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.02.018.
22) Flow Labs and Seattle Department of Transportation Sign Agreement to Analyze Intersection Efficiency. (n.d.). Flow Labs. Retrieved September 9, 2024, from https://www.flowlabs.ai/blog/flow-labs-and-seattle-department-of-transportation-sign-agreement-to-analyze-intersection-efficiency
23) 住友電工. (2024). プローブ交通信号制御 API. 住友電工テクニカルレビュー, 204 号・2024 年 1 月, 137(1). https://sumitomoelectric.com/jp/sites/japan/files/2024-01/download_documents/J204-28.pdf
24) Brown, M. & Rossiter, D. (2022, September 7). Florida Department of Transportation (FDOT) Vehicle to Everything (V2X) Data Exchange Platform (DEP) [PowerPoint slides]. The Greater San Antonio Chamber. https://www.sachamber.org/clientuploads/Events/Presentations/SA_Chamber_Cyber_-_Data_Exchange_Platform_-_2022-09-07.pdf?_t=1662739234
25) FDOT Transportation Systems Management & Operations. (2024, March). Design Document for: Vehicle to Everything (V2X) Data Exchange Platform. FDOT. https://fdotwww.blob.core.windows.net/sitefinity/docs/default-source/traffic/fdot-v2x-dep-design-document_07-03-2024.pdf?sfvrsn=cb08ea99_1
26) Commsignia. (2023, October 11). Connected vehicles help traffic analysis. Retrieved July 10, 2024, from https://www.commsignia.com/blog/connected-vehicles-help-traffic-analysis/

27) Commsignia. (2024, June). We are pleased to be on Florida's Approved Product List with our Road Side Unit, so we can continue to [Thumbnail with link attached] [Post]. LinkedIn. https://www.linkedin.com/posts/commsignia_v2x-connectedvehicles-smartcity-activity-7211012593392488448-M-9S
28) Florida Department of Transportation. (2022, May 4). FDOT contract information [Excel file]. Retrieved from https://www.fdot.gov/docs/default-source/procurement/Contract/FDOT-Contract-Information.xlsx
29) Allen, J. (2019, June 6). Iteris launches new ClearGuide transportation analytics platform. Traffic Technology Today. Retrieved July 22, 2024, from https://www.traffictechnologytoday.com/news/event-news/iteris-launches-new-clearguide-transportation-analytics-platform.html
30) Iteris. (n.d.). ClearGuide SPM. Retrieved July 22, 2024, from https://www.iteris.com/oursolutions/clearguide-signals/spm
31) Iteris. (2024, April 4). ClearGuide Signal Trends Launch Webinar [Video file]. Iteris. https://connect.iteris.com/signal-trends-webinar-ondemand?submissionGuid=c8c0cd74-5b23-44df-8977-baa10f3b0ac0
32) Wallace, B. (2023, January 2). ClearGuide Offers New Bundles Of Its Powerful Features For A Variety Of Needs. Iteris. Retrieved July 22, 2024, from https://www.iteris.com/blog/clearguide-offers-new-bundles-its-powerful-features-variety-needs
33) Iteris. (n.d.). ClearGuide Signal Trends. Retrieved July 12, 2024, from https://www.iteris.com/oursolutions/clearguide-signals/signal-trends
34) Hill, A. (2024, March 14). Iteris wins $1m traffic SaaS contract in California. ITS International. Retrieved July 12, 2024, from https://www.itsinternational.com/its4/its5/its6/its7/its8/news/iteris-wins-1m-traffic-saas-contract-california
35) Hill, A. (2023, September 11). Bellevue takes on three-year Iteris SaaS agreement. ITS International. Retrieved July 22, 2024, from https://www.itsinternational.com/its5/its8/news/bellevue-takes-three-year-iteris-saas-agreement
36) Hill, A. (2022, June 21). Iteris makes moves on Seattle & Baton Rouge. ITS International. Retrieved July 22, 2024, from https://www.itsinternational.com/its4/its5/its7/its8/news/iteris-makes-moves-seattle-baton-rouge
37) Dron, A. (2022, November 18). NCDoT mobilises with Iteris ClearGuide. ITS International. Retrieved July 22, 2024, from https://www.itsinternational.com/its5/its8/news/ncdot-mobilises-iteris-clearguide
38) Arminas, D. (2024, April 18). Iteris gets $9.6m green light in Orange County. ITS International. Retrieved July 12, 2024, from https://www.itsinternational.com/its4/its7/its8/news/iteris-gets-96m-green-light-orange-county
39) Iteris. (2024, March 26). Iteris Launches New ClearGuide Signal Trends As A Probe-Based Option For Improving Intersection Performance. Retrieved July 12, 2024, from https://www.iteris.com/news/iteris-launches-new-clearguide-signal-trends-probe-based-option-improving-intersection
40) HERE. (n.d.). On-demand Webinar: Navigating road safety with Iteris and HERE [Video file]. HERE. https://go.engage.here.com/here-amer-trafficsafety-publicsector-video-on-demand.html?aliId=eyJpIjoiZFB5QlJ3bUhTWnlkWmV5NSIsInQiOiJWZDVaKzF2XC80MHRVTlI0a0RsOFZZZz09In0%253D
41) Iteris. (n.d.). ClearGuide. Retrieved July 22, 2024, from https://www.iteris.com/oursolutions/traffic-analytics-software/clearguide
42) RIITS. (2020, March 19). ClearGuide Metro Training Booklet 2020 [PDF file]. Retrieved July 22, 2024, from https://catalog.riits.net/dataset/measure-up-clearguide/resource/d42b45b5-dfad-4d6c-9eb0-3567de27c49c, https://catalog.riits.net/dataset/e6ce1d33-8e03-4e15-83f4-25294ed3ef4a/resource/d42b45b5-dfad-4d6c-9eb0-3567de27c49c/download/clearguide_metro-training-booklet_2020.pdf
43) BusinessWire. (2024, February 6). Iteris Expands Partnership with Arity to Deliver Enhanced Traffic Data Solutions. Retrieved July 12, 2024, from https://www.businesswire.com/news/home/20240206036956/en/
44) Iteris. (2021, January). Case Study: Alabama Department of Transportation - ClearGuide [PDF file]. Retrieved July 22, 2024, from https://www.iteris.com/system/files/content/resource/2021-01/Alabama_CASE%20STUDY.pdf
45) Yunex Traffic. (n.d.). Model Every Movement at Every Moment. Retrieved July 15, 2024, from https://www.yunextraffic.com/wp-content/uploads/media/global/traffic-management/pdf/aimsun-20live_brochureen.pdf
46) Aimsun. (n.d.). Aimsun Live. Retrieved July 15, 2024, from https://www.aimsun.com/aimsun-live/
47) Aimsun. (2019, October 31). Singapore: Asia's First Aimsun Live Pilot [Video file]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=Z0GaSe_8uVU
48) INRIX. (2022, March 1). INRIX Launches Signal Analytics in Germany to Find and Reduce Excessive Delays and Emissions. Retrieved June 11, 2024, from https://inrix.com/press-releases/signal-analytics-germany/
49) Hill, A. (2023, March 27). Inrix makes Signal Analytics available in UK. ITS International. Retrieved June 10, 2024, from https://www.itsinternational.com/its5/its8/products/inrix-makes-signal-analytics-available-uk
50) Rodgers, M., Paulo, D., & Remias, S. (2022, September 14-15). Leveraging High Fidelity GPS 'Trajectory' Data to Identify and Understand Signal Performance Network Wide. In M. Pleydell (chair), 27th JCT Traffic Signal Symposium [Symposium]. Nottingham, UK. https://jctsymposium.co.uk/wp-content/uploads/2022/11/Using-Cloud-Based-Software-leveraging-high-fidelity-GPS-Trajectory-Data-to-identify-and-understand-signal-performance-network-wide-Martin-Rodgers-and-Dominic-Paulo.pdf
51) Wordsworth, S. (2021, February 24). INRIX expands signal analytics to measure intersection performance. Traffic Technology Today. Retrieved June 10, 2024, from https://www.traffictechnologytoday.com/news/traffic-management/inrix-expands-signal-analytics-to-measure-intersection-performance.html
52) INRIX. (2021, March 17). INRIX IQ Signal Analytics Overview. Baltimore Metropolitan Council.https://www.baltometro.org/sites/default/files/bmc_documents/committee/presentations/tss/TSSC210826pres_INRIX-Signal-Analytics-Overview.pdf
53) INRIX. (n.d.) INRIX IQ Signal Analytics. Retrieved June 11, 2024, from https://inrix.com/products/signal-analytics/

54) Dubey, P. (2023, January 9). Agencies in 20 States Use INRIX Signal Analytics to Identify and Reduce Excessive Delays and Emissions. Informed Infrastructure. Retrieved June 10, 2024, from https://informedinfrastructure.com/79058/agencies-in-20-states-use-inrix-signal-analytics-to-identify-and-reduce-excessive-delays-and-emissions/
55) Tedino, J. (2024, March 14). Green Means Go: Seattle's AI Solution to Reduce Stoplight Idling. American Planning Association. Retrieved June 10, 2024, from https://www.planning.org/planning/2024/mar/green-means-go-seattles-ai-solution-to-reduce-stoplight-idling/
56) Austin Mobility Management Center. (n.d.). Austin Mobility Management Center 2022 Annual Report. https://www.austintexas.gov/sites/default/files/files/ATD%20PIO/Austin%20MMC%202022%20Annual%20Report_DIGITAL.pdf
57) Transport Technology Forum. (2023, April 26). Traffic Signal improvement funding proved to have benefitted traffic flows. Retrieved June 10, 2024, from https://ttf.uk.net/2023/04/26/traffic-signal-improvement-funding-proved-to-have-benefitted-traffic-flows/
58) Margreiter, M., Loder, A., Sautter, N., & Ilic, M. (2022). Case Study 4 – Artificial Intelligence to Optimize Traffic Flow at Signalized Intersection (Germany). In G. McGill, C. Han, & M. Hall. (Eds.), Utilizing Data to Optimize Road Network Operations: A PIARC Collection of Case Studies (pp. 37-39). PIARC. https://www.piarc.org/en/order-library/37419-en-Utilizing%20Data%20to%20Optimize%20Road%20Network%20Operations%20-%20Collection%20of%20Case%20Studies
59) Chair of Traffic Engineering and Control TUM School of Engineering and Design. (n.d.). KIVI - Artificial Intelligence in the Transportation System in Ingolstadt. Technical University of Munich. Retrieved June 25, 2024, from https://www.mos.ed.tum.de/en/vt/research/projects/current-projects/kivi/
60) IFG Ingolstadt. (n.d.). KIVI – KÜNSTLICHE INTELLIGENZ IM VERKEHRSSYSTEM INGOLSTADTS [KIVI – Artificial Intelligence in the Transportation System in Ingolstadt]. Retrieved June 26, 2024, from https://www.ingolstadt-ifg.de/wirtschaft-foerdern-1/innovationsprojekte/kivi-1
61) CARISSMA. (2023, April 18). Artificial intelligence to make intersections in Ingolstadt safer. Technische Hochschule Ingolstadt. Retrieved June 27, 2024, from https://www.thi.de/en/research/carissma/news-press/translate-to-english-carissma-news-detail/news/kuenstliche-intelligenz-soll-kreuzungen-in-ingolstadt-sicherer-machen/
62) CARISSMA. (n.d.). Real Lab High Definition Testbed. Technische Hochschule Ingolstadt. Retrieved June 28, 2024, from https://www.thi.de/en/research/carissma/laboratories/real-lab-high-definition-testbed/
63) Botsch, M., Huber, W., Chandrasekaran, K., & Geisler, M. (2024, June 11). High Definition Testfeld [High Definition Test Field] [Event Presentation]. KIVI – Abschlussevent.
64) GEVAS software GmbH (2024, June 11). GEVAS Software GmbH [Event Presentation]. KIVI – Abschlussevent.
65) Zweck, M. & Tariq, A. (2024, June 11). Optimizing Intersections for Safety: Identifying and Predicting Dilemma Zones Utilizing Floating Car Data for Traffic Management [Event Presentation]. KIVI – Abschlussevent.
66) Bundesministerium für Digitales und Verkehr. (2020, November 5). Künstliche Intelligenz im Verkehrssystem Ingolstadts – KIVI [Artificial Intelligence in the Transportation System in Ingolstadt – KIVI]. Retrieved June 27, 2024, from https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/KI-Projekte/kivi-kuenstliche-intelligenz-im-verkehrssystem-ingolstadts.html
67) NoTraffic. (2024, March 13). NoTraffic Expands its Operations and Launches in the State of Florida. PR Newswire. Retrieved June 28, 2024, from https://www.prnewswire.com/news-releases/notraffic-expands-its-operations-and-launches-in-the-state-of-florida-302087985.html
68) NoTraffic. (n.d.) FUTURE OF MOBILITY: DIGITIZING INFRASTRUCTURE. Retrieved June 28, 2024, from https://notraffic.tech/future-of-mobility/
69) Space Coast Daily. (2024, June 25). Florida DOT Approves Statewide AI Traffic Management by NoTraffic. Retrieved June 28, 2024, from https://spacecoastdaily.com/2024/06/florida-dot-approves-statewide-ai-traffic-management-by-notraffic/
70) NoTraffic. (n.d.) OPTIMIZATION AT CITY-GRID LEVEL. Retrieved June 28, 2024, from https://notraffic.tech/how-it-works/
71) NoTraffic. (2020, May 12). NoTraffic's Kjeld Lindsted presenting to city agencies from Colorado's smart city alliance [Video file]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=b_TMVcS2_wQ
72) Kiger, P. J. (2023, June 9). Going Nowhere Fast? Smart Traffic Lights Can Help Ease Gridlock. Howstuffworks. Retrieved June 28, 2024, from https://science.howstuffworks.com/engineering/civil/smart-traffic-lights-news.htm
73) NoTraffic. (2020, June 24). NoTraffic Webinar: Unprecedented change: New Opportunities for AI Traffic Optimization [Video file]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=2i2eupUgh7o
74) Effinger, J. & Milster, K. (2021). Maximizing Side Street Equity Using Artificial Intelligence. NoTraffic. https://notraffic.tech/wp-content/uploads/2021/08/NoTraffic_poster24x48_HQ_29.8.pdf
75) Wilson, L. (2024, March 16). NoTraffic Solution Eases Urban Congestion. Vision Systems Design. Retrieved June 28, 2024, from https://www.vision-systems.com/embedded/article/14310364/notraffic-solution-eases-urban-congestion
76) Times Of India. (2023, October 11). How Google is using AI to reduce traffic flow, pollution levels in these Indian cities. Retrieved June 11, 2024, from https://timesofindia.indiatimes.com/gadgets-news/how-google-is-using-ai-to-reduce-traffic-flow-pollution-levels-in-these-indian-cities/articleshow/104328334.cms
77) Matias, Y. (2023, October 10). Project Green Light's work to reduce urban emissions using AI. Google: The Keyword. Retrieved June 11, 2024, from https://blog.google/outreach-initiatives/sustainability/google-ai-reduce-greenhouse-emissions-project-greenlight/
78) Google Research. (n.d.). Green Light: Using Google AI to reduce traffic emissions. Retrieved June 11, 2024, from https://sites.research.google/greenlight/

79) Tedino, J. (2024, March 14). Green Means Go: Seattle's AI Solution to Reduce Stoplight Idling. American Planning Association. Retrieved June 10, 2024, from https://www.planning.org/planning/2024/mar/green-means-go-seattles-ai-solution-to-reduce-stoplight-idling/
80) Dave, P. (2023, October 10). Google's AI Is Making Traffic Lights More Efficient and Less Annoying. Wired. Retrieved June 12, 2024, from https://www.wired.com/story/googles-ai-traffic-lights-driving-annoying/
81) Jones, L. (2024, June 10). Google's AI Project Green Light System Cuts Intersection Delays by 30%. WinBuzzer. Retrieved June 12, 2024, from https://winbuzzer.com/2024/06/10/googles-ai-traffic-system-cuts-intersection-delays-by-30-xcxwbn/
82) Hutton, P. (2023, October 11). Greater Manchester working with Google on Green Light project. Highways News. Retrieved June 12, 2024, from https://highways-news.com/greater-manchester-working-with-google-on-green-light-project/
83) Shankar, S. (2023, October 10). How Google's AI is reducing emissions by improving traffic flow. NewsBytes. Retrieved June 12, 2024, from https://www.newsbytesapp.com/news/science/google-s-ai-is-regulating-traffic-efficiently-in-several-cites/story
84) Fea. (2023, July 5). Lampu Merah AI di Jakarta Diklaim Bisa Kurangi Macet 20 Persen [AI Traffic Lights in Jakarta Claimed to Reduce Congestion by 20 Percent]. CNN Indonesia. Retrieved June 12, 2024, from https://www.cnnindonesia.com/otomotif/20230705085331-579-969604/lampu-merah-ai-di-jakarta-diklaim-bisa-kurangi-macet-20-persen
85) Stadt Essen. (2023, September 14). Projekt COMO bringt in Essen die Digitalisierung auf die Straße [Project COMO brings digitalization to the streets in Essen]. Retrieved June 29, 2024, from https://www.essen.de/meldungen/pressemeldung_1508718.de.html
86) Arminas, D. (2024, April 22). PTV helps drive Essen's Como project. ITS International. Retrieved June 29, 2024, from https://www.itsinternational.com/its4/its5/its6/its7/its8/news/ptv-helps-drive-essens-como-project
87) Or, S. (2023, July 26). PTV Optima vs PTV Flows: Which Traffic Management Software is Best for You?. PTV Group. Retrieved June 29, 2024, from https://blog.ptvgroup.com/en/real-time-traffic-management/ptv-optima-vs-ptv-flows-which-traffic-management-software-is-best-for-you/
88) Bundesministerium für Digitales und Verkehr. (2024, June 6). Digitalisierung und umweltgerechte Steuerung des Straßenverkehrs – connected.mobility@Essen [Digitalisation and environmentally friendly control of road traffic – connected.mobility@Essen]. Retrieved July 1, 2024, from https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/DKV/dkv-essen.html
89) Stadt Essen. (2022, June 12). Projekt "Digitalisierung und umweltgerechte Steuerung des Straßenverkehrs" soll starten [Project "Digitization and environmentally friendly control of road traffic" to start]. Retrieved July 1, 2024, from https://www.essen.de/meldungen/pressemeldung_1466834.de.html
90) Kapsch TrafficCom. (n.d.) Buenos Aires: Integrated Mobility Management System. Retrieved July 1, 2024, fromhttps://www.kapsch.net/_Resources/Persistent/e672b3dcd0f537240946ac9524245e0d0f9fdc8c/KTC7216_Reference_Factsheet_Buenos-Aires_EN.pdf
91) ITS International. (2018, October 5). Kapsch to deploy advanced traffic management systems in Latin America. Retrieved July 1, 2024, from https://www.itsinternational.com/its8/news/kapsch-deploy-advanced-traffic-management-systems-latin-america
92) CitiesToday. (2024, March 8). Solving the increasing battle for city road access. Retrieved July 1, 2024, from https://cities-today.com/industry/solving-the-increasing-battle-for-city-road-access/
93) CO-UMP. (n.d.) Tools | Kapsch EcoTrafiX Suite. Retrieved July 1, 2024, from https://co-ump.eu/tools-kapsch-ecotrafix-suite/
94) Arminas, D. (2024, April 19). Seattle goes with the Flow. ITS International. Retrieved June 12, 2024, from https://www.itsinternational.com/its4/its5/its6/its8/news/seattle-goes-flow
95) Flow Labs. (n.d.). About Us. Retrieved June 13, 2024, from https://www.flowlabs.ai/about/about-us
96) Flow Labs. (n.d.). Optimus. Retrieved June 13, 2024, from https://www.flowlabs.ai/products/optimus, https://assets.website-files.com/6569de947ea16418ab633f6c/6669c262be2926bfc0ab12f3_Optimus_Digital.pdf
97) Flow Labs. (n.d.). Platform. Retrieved June 13, 2024, from https://www.flowlabs.ai/products/platform
98) Flow Labs. (n.d.). Abacus. Retrieved June 13, 2024, from https://www.flowlabs.ai/products/abacus, https://assets.website-files.com/6569de947ea16418ab633f6c/6669be740cb8f7130aeda27f_Abacus_Digital.pdf
99) Flow Labs. (n.d.). Cerberus. Retrieved June 13, 2024, from https://www.flowlabs.ai/products/cerberus, https://assets.website-files.com/6569de947ea16418ab633f6c/6669beb0ab1877ebc9946793_Ceberus_Digital.pdf
100) Flow Labs. (n.d.). Litmus. Retrieved June 24, 2024, from https://www.flowlabs.ai/products/litmus, https://assets.website-files.com/6569de947ea16418ab633f6c/6669bf2d8a4f5a52650319ac_Litmus__Digital.pdf
101) Arminas, D. (2023, December 8). Yutraffic Studio launched in US as SaaS solution. ITS International. Retrieved June 14, 2024, from https://www.itsinternational.com/its4/its5/its6/its8/products/yutraffic-studio-launched-us-saas-solution
102) Yunex Traffic. (2024, February 8). Yunex Traffic – Tackling Traffic with Yutraffic Studio. Retrieved June 15, 2024, from https://us.yunextraffic.com/newsroom/yunex-traffic-tackling-traffic-with-the-latest-in-atms-technology/
103) Yunex Traffic. (n.d.). Yutraffic Studio: Navigate the future of traffic management. Retrieved June 14, 2024, from https://us.yunextraffic.com/yutraffic-studio/, https://us.yunextraffic.com/wp-content/uploads/sites/2/2023/11/231109_Yutraffic-Studio_Brochure.pdf
104) Yunex Traffic. (2023, December). Exciting News from #YunexTrafficUSA! We are thrilled to announce the launch of Yutraffic Studio, our cutting-edge cloud-based [Thumbnail with link attached] [Post]. LinkedIn. https://www.linkedin.com/posts/yunextraffic_yunex-launches-yutraffic-studio-customer-activity-7137814910310199297-l1sw

105) Yunex Traffic. (2024, June 4). Elgin's Smart Traffic Management: A Journey to Efficiency. Retrieved June 15, 2024, from https://us.yunextraffic.com/newsroom/elgins-smart-traffic-management-a-journey-to-efficiency/
106) PTV Mobility. (2021, August 20). PTV Talks: A live model for supporting traffic management in the UK's historical City of York [Video file]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=mM2c7vYCFfo
107) PTV Group. (n.d.) PTV Optima: Real-time traffic management software for multimodal networks. Retrieved June 18, 2024, from https://www.ptvgroup.com/en/products/traffic-management-software-ptv-optima
108) Guilliatt, J. & Oliver, M. (2021, September 15-16). Real Time Transport Modelling at the City of York. 26th JCT Traffic Signal Symposium [Symposium]. Nottingham, UK. https://www.jctconsultancy.co.uk/Symposium/Symposium2021/PapersForDownload/12%20Real%20Time%20Transport%20Modelling%20at%20the%20City%20of%20York.pdf
109) PTV Group. (n.d.). Success Story: York integrates UK's first city-wide real-time transport model with PTV Optima. Retrieved May 27, 2024, from https://www.ptvgroup.com/en/resources/references/ptv-optima-real-time-transport-model-for-city-of-york
110) Hill, A. (2024, June 12). York roll-out for PTV Optima traffic management software. ITS International. Retrieved June 18, 2024, from https://www.itsinternational.com/its4/its5/its6/its8/its9/news/york-roll-out-ptv-optima-traffic-management-software
111) Or, S. (2023, July 26). PTV Optima vs PTV Flows: Which Traffic Management Software is Best for You?. PTV Group's Blog. Retrieved June 18, 2024, from https://blog.ptvgroup.com/en/real-time-traffic-management/ptv-optima-vs-ptv-flows-which-traffic-management-software-is-best-for-you/
112) Sowman, C. (2020, May 1). What actually happens if we do #FreetheMIBs?. ITS International. Retrieved July 2, 2024, from https://www.itsinternational.com/its8/feature/what-actually-happens-if-we-do-freethemibs
113) FREEtheMIBs. (n.d.) Learn More / Advocate. Retrieved July 2, 2024, from https://www.freethemibs.org/learn-more
114) Frost, A. (2019, November 7). Q-Free launches campaign to open up traffic management standards. Traffic Technology Today. Retrieved July 2, 2024, from https://www.traffictechnologytoday.com/news/legal/q-free-launches-campaign-to-open-up-traffic-management-standards.html
115) FREEtheMIBs. (n.d.) Advocates & Partners. Retrieved July 2, 2024, from https://www.freethemibs.org/advocates/
116) FREEtheMIBs. (n.d.) Find MIBs. Retrieved July 2, 2024, from https://www.freethemibs.org/find-mibs
117) Garcia, K. (2023). Opening the Gates: The push to freely share MIBs. IMSA Journal July/August 2023. https://www.q-free.com/wp-content/uploads/2023/08/IMSA-Journal-July-August-2023-Article-Excerpt.pdf
118) Hughes, W., Jagannathan, R., Sengupta, D., & Hummer, J. (2010). Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR) (Report No. FHWA-HRT-09-060). Vanasse Hangen Brustlin and U.S. Department of Transportation. https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/09060/
119) Cunningham, C., Chase, T., Yang, G., & Callister, L. (2023). Groundwork for the Second Edition of the Alternative Intersection and Interchange Informational Report (Report No. FHWA/NC/2022-11). Institute for Transportation Research and Education, North Carolina State University and North Carolina Department of Transportation. https://connect.ncdot.gov/projects/research/Pages/ProjDetails.aspx?ProjectID=2022-15

第3章　先進国における交通管理

3.1　各国基本情報

本節では、先進国調査での各国の基本情報として、文献調査から得られた信号設計ガイドライン、制御機の標準及びメーカー、信号制御ソフトウェアについて整理した。

3.1.1　アメリカ合衆国

(1)　全国的な信号設計ガイドライン

公共道路に交通制御装置を設置および管理する際に最も広く受け入れられている全国基準が「統一交通制御装置マニュアル」（MUTCD[1]）である。MUTCD は交通信号の設置に関する詳細、特に信号現示（左折制御等）、基本的な信号タイミングパラメータ（クリアランス等）、信号設置基準を提供する。

もう一つの重要な文書は「信号タイミングマニュアル」（STM）であり、初版は 2008 年に、第二版は 2015 年に発行された。STM は米国における信号タイミングに関する唯一の包括的なガイドブックとされている。STM の二つのバージョンは完全には重ならず、どちらも優れた情報源である（Global~3.1.2 より抜粋、一部省略）。MUTCD および STM 第 1, 2 版については Appendix に目次を掲載する。

(2)　制御機の標準とメーカー

現代の半導体ベースの制御機には、表 3.1.1 に示す NEMA 標準、Type 170 標準、ATC Type 2070 標準、Advanced ATC 標準の制御機が含まれる。それぞれの標準では、電気的特性（電源要件、電圧レベル、耐久性）、環境特性（動作温度範囲、防塵防水性能）、通信プロトコル（制御機間と中央制御機との通信）、安全性（フェールセーフ機能や異常時の動作）などが定められている。現代の制御機は、通常必要な基本機能に加え、標準化された通信プロトコルを使用して他のベンダーのソフトウェアと通信する能力、公共交通を優先する能力、ダイヤモンドインターチェンジを制御する能力を持つものもある。

表 3.1.1　米国の主な制御機の標準

標準	開発組織	開発時期	特徴
NEMA	NEMA[2]	1976 年	- TS 1: 初期の標準。制御機の基本機能を定義。 - TS 2: 1992 年に導入され、信号制御機の相互運用性を向上させるために、改良された通信プロトコルと機能を追加。
Type 170	Caltrans と FHWA	1979 年	- オープンアーキテクチャで互換性と拡張性が高い - 堅牢で信頼性が高く、広範な採用実績がある - 多様な環境条件下で動作するよう設計
ATC[3] Type 2070	ITE[4]と AASHTO[5]	1990 年代	- モジュラー設計で、ハードウェアとソフトウェアのアップグレードが容易 - オープンアーキテクチャで互換性と拡張性が高い - リアルタイム交通管理機能を持つ高度なプロセッサとメモリ - 通信プロトコルは NTCIP[6]
Advanced ATC	ATC Joint Committee (ITE, AASHTO, NEMA 共同)	2000 年代	- 高度な交通管理機能を持ち、リアルタイムで交通状況をモニタリングおよび調整 - Linux ベースのオペレーティングシステムを使用し、IoT や AI などの最新技術との統合が可能 - 通信プロトコルは高度な NTCIP

出典：Global Practices on Road Traffic Signal Control

1 Manual on Uniform Traffic Control Devices, Federal Highway Administration, 2012
2 National Electrical Manufacturers Association
3 Advanced Transportation Controller
4 Institute of Transportation Engineers
5 American Association of State Highway and Transportation Officials
6 National Transportation Communications for ITS Protocol

(3)　信号制御ソフトウェア

交通信号制御ソフトウェアは、ローカル制御機用ソフトウェア、中央制御ソフトウェア、およびタイミング開発/最適化ソフトウェアに分類される。

ローカル制御機用ソフトウェアは、外部入力およびプログラム可能なパラメータに基づいて制御ロジックを提供する。このソフトウェアは通常、制御機メーカーによって提供される。

中央制御ソフトウェアは、交通ネットワークデータを集約し、交通信号運用の状況をリアルタイムにモニタリング可能にする。NTCIP を通じて、中央管理ソフトウェアは信号を監視し、遠隔操作することができる。ほとんどの中央制御ソフトウェアには、モニター表示、データベース管理、および情報出力の 3 つの機能がある。これらのソフトウェアの大部分は制御機メーカーによって開発されており、特定の製品で使用される。例えば、Trafficware の ATMS.now、Econolite の Centracs ATMS、Seimens の TACTICS、McCain の QuicNet、Intelight の MaxView がある（Global~3.1.2 より抜粋）。一方で、制御機メーカーとは独立した TransCore の TransSuite のようなサードパーティ製の中央制御ソフトウェアは、特定のメーカーの制御機に依存せず、複数の異なるメーカーの機器と互換性を持つよう設計されている。

3.1.2　欧州連合（EU）

(1)　欧州全体の信号設計・運用に関する標準

交通信号の設計および運用に関する EN 規格（European Norm：欧州標準）は多数存在し、各標準は必要に応じて他の標準を参照する形で構成されている。EN 規格は、欧州標準化委員会（CEN：Comité Européen de Normalisation）や欧州電気標準化委員会（CENELEC：Comité Européen de Normalisation Électrotechnique）、欧州通信規格協会（ETSI：European Telecommunications Standards Institute）によって発行される。EN 規格は、EU 加盟国にとって拘束力があり、国家規格（例: イギリスでは BS EN、ドイツでは DIN EN、など）を制定する際に EN 規格を満たすことが要求される。信号設計に関わる主要な EN 規格には以下の 4 点が挙げられる。

信号設計に関わる主要な EN（European Norm：欧州標準） ※Appendix に目次を掲載

- EN 50556:2018: Road traffic signal systems
- EN 12368:2015: Traffic control equipment - Signal heads
- EN 12675:2017: Traffic signal controllers – functional safety requirements
- EN 50293:2012: Electromagnetic Compatibility - Road Traffic Signal Systems

各国の当局は、交通信号の運用に関連する独自の仕様を持つ場合があり、以下の欧州標準は、主要な欧州地域の枠組みとそれぞれの技術的アプローチの比較に関する広範な概要を提供している。

- CEN TS 17400:2020: Intelligent transport systems - Urban ITS - Mixed vendor environments, methodologies & translators　※Appendix に目次を掲載

主にサーバーと信号制御機とのデータ接続性に焦点を当てた以下の国際標準も存在するが、欧州では欧州または国内仕様が広く採用されている。

- ISO 15784-1:2008: Intelligent transport systems (ITS) — Data exchange involving roadside modules communication — Part 1: General principles and documentation framework of application profiles
- ISO TS 19082:2020: Intelligent transport systems — Definition of data elements and data frames between roadside modules and signal controllers for cooperative signal control

- ISO 20684-1:2021 Intelligent transport systems — Roadside modules SNMP data interface — Part 1: Overview
- ISO 20684-2:2021: Intelligent transport systems — Roadside modules SNMP data interface — Part 2: Generalized field device — Basic management
- ISO TS 20684-10:2021 Intelligent transport systems — Roadside modules SNMP data interface — Part 10: Variable message signs
- ISO 22951:2009: Data dictionary and message sets for pre-emption and prioritization signal systems for emergency and public transport vehicles (PRESTO)

(2)　特定のアーキテクチャに適用される標準（TS：Technical Specification）

新しい技術や市場のニーズに迅速に対応するため、正式な EN 規格として採用される前に前段階として TS（Technical Specification）が発行されることがある。以下に一例を示す。

- CEN TS 16157-9:2020: Intelligent transport systems - DATEX II data exchange specifications for traffic management and information
- CEN TS 17241:2019: Intelligent transport systems - Traffic management systems - Status, fault and quality requirements

DATEX II は、欧州における交通情報とデータ交換のための標準規格であり、道路交通と旅行情報のデジタル化と自動化を支援している。当初は道路交通制御センター間のデータ交換標準として始まったが、現在では都市のモビリティ、電気自動車の充電インフラ、物流、電子交通規制、協調型・接続型・自動運転モビリティなど、幅広い分野に広がっている。

DATEX II は、データ消費者への情報提供と、関連当局間の共同交通管理運用のサポートという、2 つのユースケースを支援する。これにより、サイクリングから大型トラックの車列に至るまで、さまざまな交通手段に関する情報を標準化された方法で提供できる。また、道路インフラの利用状況や発生するインシデントをデジタルで表現し、過去、現在、将来のネットワークの状況や、交通管理措置、車両アクセス規制、道路工事などの情報をサポートする。

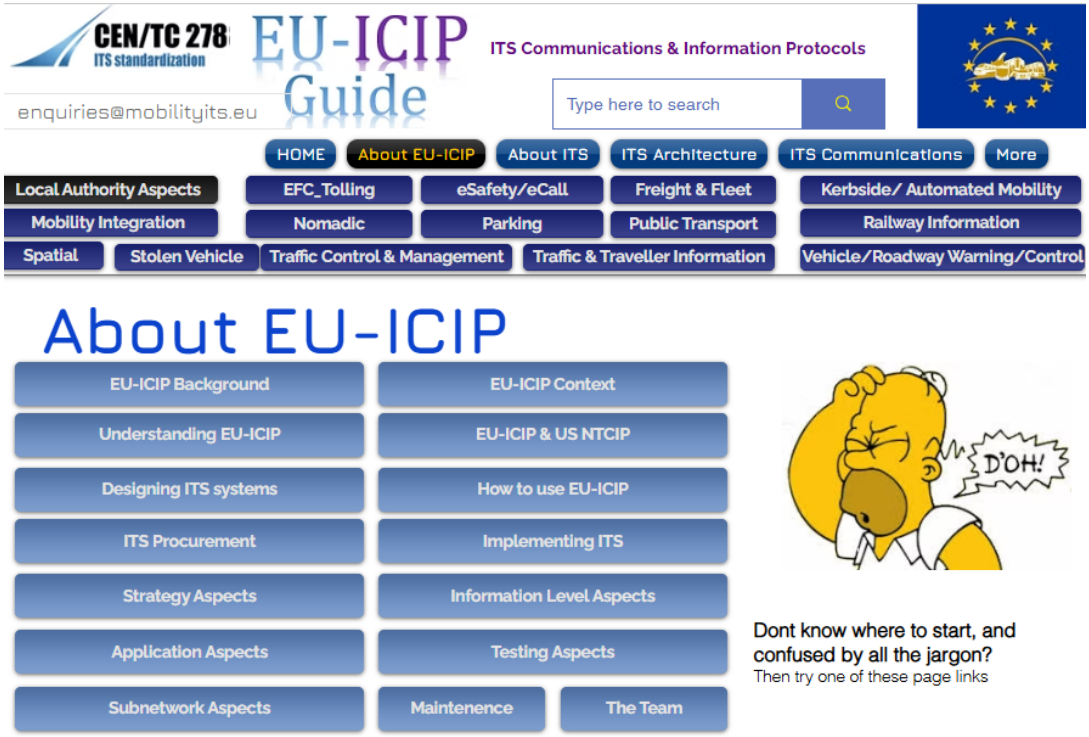
DATEX II では、言語や表示形式に依存しない情報配信し、音声案内、地図上表示、ナビゲーション計算など、さまざまな形式で情報提供する際に役立つ。

(3)　EU-ICIP ガイド

ITS に関するガイドライン（標準、技術仕様書、技術報告書、勧告、推奨実践例含む）は、主に商業的、政治的、または学術的な関心を持つ専門家によって、ボランティアとして開発されている。欧州の場合、多くは欧州委員会が資金提供するイニシアティブによって開発されている。

主要な標準成果物は、前述の CEN、CENELEC、ETSI 、ISO によって発行されており、一部には IETF（Internet Engineering Task Force）、IEEE（Institute of Electrical and Electronics Engineers）、SAE（Society of Automotive Engineers）からの専門的な標準も含まれている。ITS 分野は進歩が著しく複雑化しており、実施者はどこから手をつけるべきか、どの標準がプロジェクトの導入や実施に役立つのか、それらの標準はどのように連携するのかが分かりにくくなっている。EU-ICIP（European ITS Communications and Information Protocols）ガイド[7]は、こうした課題に対し、必要な支援、情報、指針を提供するために設計されている。

7 https://www.mobilityits.eu/about-eu-icip



出典: https://www.mobilityits.eu/

図 3.1.1　EU-ICIP ガイドの画面

3.1.3　ドイツ

前節で述べた通り、欧州では国レベルでもガイドラインが作成される。本節では、一例としてドイツにおける信号設計ガイドラインと制御機、制御ソフトウェアについて述べる。

(1)　全国的な信号設計ガイドライン

交通信号は道路交通規則（StVO[8]）の§37 および付随する規則において言及されている。この規則は、交通信号の設置基準や遷移時間を定義している。信号制御の実務は、ドイツ道路交通研究協会（FGSV[9]）によって発行される「交通信号に関するガイドライン」（RiLSA）で定義されている。このガイドラインでは、信号交差点における制御方式や運用の指針が提供されており、交通信号制御機はこのガイドラインに基づいて運用される必要がある。

FGSV は科学技術分野の非営利団体であり、学術界および公的および民間セクターの専門家を集めている。FGSV は道路交通に関連する技術指針を発行しており、ガイドライン（R1, R2）および技術資料（W1, W2）の 4 つに分けられる。

RiLSA は R1 のガイドラインであり、その重要性と高い義務度を示している。最新のリリースは 2015 年に発行され、英語に翻訳されている。「都市道路の設計指針」（RASt 2006, R1）および「郊外道路の設計指針」（RAL 2012, R1）は、信号交差点のレイアウトにも対応する他のガイドラインである。

特定の信号制御トピックに関しても多くの知識文書が発行されている。例として、「都市交通管理の一部としての信号制御センターに関する助言」（2018, W1）、「都市交通管理における公共交通優先に関する助言」（2018, W1）、「道路ネットワークにおける交通信号制御に関する助言」（H LiS 2014, W1）、「交通信号の品質管理に関する助言」（H QML 2014, W1）、「自転車の信号化に関するアドバイス」（HSRa 2005, W1）等がある。

8 Straßenverkehrs-Ordnung
9 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

(2)　制御機の標準とメーカー

代表的な信号機メーカーには、ドイツに本社を置く Yunex Traffic（旧 Siemens 信号部門）が挙げられる。Yunex Traffic は、交通インフラおよびスマート交通管理システムにおいて先進的な技術を持ち、信号制御機も幅広く提供している。そのほかオーストリアの Swarco Traffic Systems 及び Kapsch TrafficCom は、オランダの Dynniq (旧 Imtech Traffic & Infra)、フランスの Schneider Electric などがドイツで使用される信号制御機を提供している。

(3)　信号制御ソフトウェア

Yunex Traffic の Yutraffic （旧 Sitraffic）シリーズのソフトウェアは、リアルタイムでの交通制御を可能にし、適応型交通制御やスマートシティの要件を満たすための機能を備えている。このソフトウェアは、システム全体で交通状況を監視・制御し、信号の最適化を行う[10]。

- Yutraffic Scala: 中小規模の都市向けの交通管理ソリューション
- Yutraffic Concert: 大規模都市向けの統合交通管理システム
- Yutraffic Guide: 信号制御機の集中制御用システム

3.1.4　オーストラリアおよびニュージーランド

(1)　全国的な信号設計ガイドライン

州および地方政府の交通部門は、ガイドラインを通じて、設計、実施、および運用の標準化において主導的な役割を果たしている。オーストラリア道路研究委員会（ARRB[11]）は、両国の信号交差点のタイミング設計等に利用される ARR 123 を出している。さらに、道路交通機関の Austroads は、道路ネットワークの設計、建設、維持、運用をカバーする Austroads Guides を提供している。特に、Austroads Guide to Traffic Management（AGTM）Part 9: Traffic Operations は、ITS および手動の両方の交通信号システムの構成および運用に関するガイダンスを提供している。

上記のガイドに加えて、VicRoads（ビクトリア州政府）、TMR（クイーンズランド州運輸本部）、RMS（NSW 州道路海事サービス）、MRWA（西オーストラリア州道路）、NZTA（ニュージーランド運輸庁）などの州の交通当局は、オーストラリア規格（AS）を使用している。例えば、AS 1742.14-2014 Manual of Uniform Traffic Control Devices（MUTCD）は、Austroads Guides に示される施策オプションを選択し、導入する際に使用されている。さらに、各州の交通当局は、AGTM の補完的なガイドラインを作成してい（Global~ 9.2.1 より抜粋、一部省略）。

(2)　制御機の標準とメーカー

オーストラリアとニュージーランドで使用されている交通信号コントローラーは、Austroads による AGTM Part 10（2016b）で定義された標準と、AS 2578-2009 で指定されたオーストラリア標準に準拠している。これらの標準は、道路交通信号の運用に使用される制御機器の機械的、電気的、機能的要件を提供している。

コントローラーは、SCATS（Sydney Coordinated Adaptive Traffic System）対応または SCATS 非対応に分けられる。コントローラーオーストラリアで最も一般的に使用されているソフトウェアであり、SCATS 対応コントローラーである TSC/4 はオーストラリアで広く使用されている。

10 https://www.yunextraffic.com/de/wp-content/uploads/sites/8/2023/06/Yunex-Traffic_Yutraffic-Centrals_EN.pdf
11 Australian Road Research Board

主要な制御機メーカーには、Tyco Traffic and Transportation、Quick Turn Circuits、および Aldridge Traffic Controllers がある（Global~ 9.2.2 より抜粋、一部省略）。

(3) 信号制御ソフトウェア

SCATS は、ニューサウスウェールズ州道路交通局によって最初に開発され、オーストラリアおよびニュージーランドのほとんどの州で採用されている。SCATS は、信号タイミングを常に調整し、連続する交通信号を調整して都市全体の交通流を最適化する。SCATS は中央コンピュータ（通信およびデータベース機能）、地域コンピュータ（戦略的制御）、ローカル交通コントローラー（戦術的制御）の 3 つのレベルで動作する。

SCATS に加えて、Transmax によって提供される STREAMS という ITS プラットフォームがあり、高速道路と幹線道路の交通を単一のプラットフォームで管理する際に使われる。幹線道路の適応制御に加えて、ランプメータリング、車線制御、高速道路速度管理などの交通管理手段も含まれている。
Transmax はオーストラリア全土で STREAMS を展開しており、クイーンズランド、ビクトリア、南オーストラリア、西オーストラリア、ACT、タスマニアに顧客がいる。STREAMS プラットフォームの下で幹線道路の適応的交通制御に SCATS が使用されることもある。

1984 年にオーストラリアで開発された SIDRA INTERSECTION ソフトウェアは、個々の交差点および交差点ネットワークの信号タイミングの設計と評価に広く使用されている（Global~ 9.2.3 より抜粋、一部省略）。

3.2　アメリカ調査

3.2.1　U.S.DOT、FHWA

(1)　U.S.DOT と FHWA の ITS 関連に関する役割分担

米国運輸省（USDOT）及び連邦高速道路局（FHWA）の交通分野におけるそれぞれの役割を表 3.2.1 示す。USDOT の下部組織である FHWA の ITS や交通システムの分野においての主な役割は、最良の実践と技術の共有、技術の開発と展開の促進である。FHWA は技術の実施や展開を支援し、連邦援助高速道路プログラムを通じて資金提供を行っている。連邦政府が連邦燃料税（ガソリンやディーゼル燃料に課せられる税）を集め、連邦高速道路信託基金（Highway Trust Fund, HTF）に集められ、FHWA が各種プログラムを通じてその資金を各州に配分し、州の高速道路や道路プロジェクトに対して特定の基準を満たすものに使用する。州は、FHWA と協力して、各プロジェクトの予算計画を策定し、承認を得る必要があり、資金は一般的に補助金形式で提供され、連邦資金と州資金のマッチング（例えば 80:20 の割合）が求められる場合が多い。

FHWA は、道路の運営に直接関与することはなく、高速道路や道路の運営責任は有していない。例外として、政府所有の施設に関しては連邦土地部門が関与することがあるが、ほとんどの場合、州の交通局（DOT）、都市、郡政府が、道路の運営と維持管理の責任を負っている。

州や地方の機関は、それぞれの管理する道路に基づいて、リソースの投資時期や場所、地上輸送システムの管理・運営方法を決定する。これらの機関は、道路や橋などの輸送インフラの計画、設計、建設、および維持管理を担当している。例えば、州の交通局が料金道路や高速道路を管理する場合や、郡や市が地域の道路ネットワークを管理する場合がある。一部の州では、ほぼすべての道路を州が管理している例もある（バージニア州など）。

その意思決定プロセスは、地域のニーズ、利用可能な資金、そして連邦ガイドラインの遵守に基づいている。州や地方の機関は、地域の発展目標に沿った輸送計画を調整するために、大都市圏計画機関（MPO）と協力することが多い。リソースの配分は、交通需要、安全問題、経済発展、環境影響などの要因に基づいて行われる。

表 3.2.1　U.S.DOT と FHWA の役割分担

米国運輸省 （U.S. Department of Transportation, U.S. DOT）	連邦高速道路局 （Federal Highway Administration, FHWA）
1. 全体的な交通政策の策定: 米国の交通システム全体の政策を策定し、調整する。これには道路、鉄道、航空、海運など、すべての交通モードが含まれる。 2. 予算の管理: 交通インフラやサービスの改善に必要な予算を管理し、資金を配分する。連邦政府の予算を使って、各種の交通プロジェクトやプログラムを実施する。 3. 安全性と効率性の向上: 交通の安全性や効率性を向上させるための研究やプログラムを推進する。これには、交通事故の削減や移動の効率化が含まれる。 4. 連邦機関との調整: 道路、鉄道、航空、海運などの交通モードごとに専門の機関（例: FHWA、FTA、FRA 等）と連携し、政策の整合性を保つ。また、州や地方の交通機関と協力して、地域に合った交通ソリューションを提供する。 5. 技術革新の推進: 新しい交通技術やシステムの導入を推進し、交通システムの近代化を図る。これには、ITS や自動運転技術の研究が含まれる。	6. 道路の設計と維持管理: 連邦高速道路局は、アメリカの主要な道路網である連邦道路の設計、建設、維持管理を監督する。これには、高速道路や主要な州間道路が含まれる。 7. 資金の提供: 高速道路や橋の建設および維持管理のための資金を州や地方の交通機関に提供する。連邦資金は、交通インフラの整備や改良に使用される。 8. 政策の策定と実施: 交通インフラに関する政策や基準を策定し、実施する。また、交通の安全性や効率性を向上させるための研究やプログラムを推進する。 9. 技術支援とトレーニング: 高速道路や交通インフラに関する技術的な支援やトレーニングを提供する。これにより、最新の技術やベストプラクティスが広まるよう努める。

(2)　Turner-Fairbank Highway Research Center (TFHRC)

a)　概要

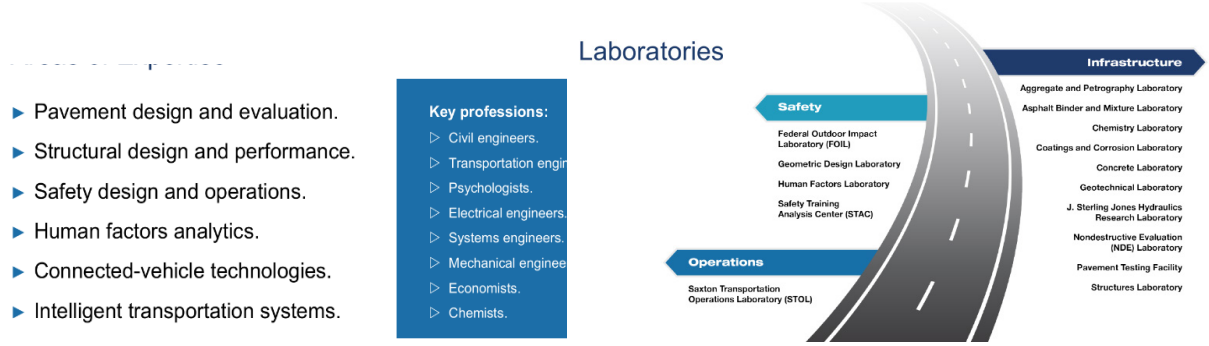
Turner-Fairbank Highway Research Center は、連邦政府が所有し、運営している研究施設であり、道路設計、交通安全、人間工学、高度道路交通システム（ITS）など、多岐にわたる専門分野で応用研究や技術開発が行われている。

この施設の強みは、急速に進化する技術に柔軟に対応できる点にあり、研究室や設備を必要に応じて迅速にアップグレードすることが可能である。この施設の主な目的は、新しい技術や概念のプロトタイプを開発し、州や地方自治体のパートナーが、新しい技術を導入する際のベースを提供することである。また、これらのプロトタイプや技術が産業界によって実用化され、交通システムの効率性や安全性が向上することを目指している。Turner-Fairbank では、心理学者や経済学者、交通工学や土木工学の専門家が協力し、広範な研究活動を行っている。特に、舗装設計から構造物の安全評価に至るまで、多様な実験設備が整備されており、パートナー機関に向けた高品質な技術的支援を提供している。

研究室としては、インフラに関連する研究、安全性に関する研究、オペレーションに関する研究があり、インフラ部門では、舗装や構造物に焦点を当てた研究が行われ、アスファルト舗装やコンクリート舗装、橋やトンネルなどの構造物などの研究がされている。また、非破壊評価ラボもあり、州や地方のパートナーが舗装や構造物の状態を評価するためのツールを提供している。

安全性に関する研究および技術開発は、図 3.2.1 に示す Federal Outdoor Impact Laboratory、Geometric Design Laboratory、Human Factors、Safety Training Analysis Center がある。

オペレーションに関しては、Saxton Transportation Operations Lab という 1 つの研究室を運営しており、Operations Research における多様な活動を網羅しており、個別のラボを持つのではなく、異なるプログラム領域を横断してスタッフが働けるようにし、相互作用を高めることで規模の効率を向上させる一つの大規模なラボを設置している。



出典：FHWA

図 3.2.1　Turner-Fairbank Highway Research Center の対象と研究室

b)　Office of Safety and Operations Research and Development

安全性に関する研究は、Turner-Fairbank Highway Research Center の重要な柱の一つであり、交通システム全体の安全性を向上させるために、図 3.2.2 に示す幅広いアプローチで　図 3.2.3 に示すテーマを、表 3.2.2 に示すチームで進めている。この研究では、道路設計の改良や運転者の行動分析を通じて、交通事故の発生率を低減することを目指している。また、将来の自動運転車両や高度な交通管理システムの安全性を確保するために、次世代技術の開発にも取り組んでいる。

具体的には、仮想現実（VR）やシミュレーション技術を駆使して、人間と車両、システムとの相互作用を安全な環境で研究している。例えば、ハイウェイドライビングシミュレーターやバーチャルリアリティシミュレーターを用いて、様々な交通状況における人間の反応をリアルタイムで分析し、車両やインフラがどのように対応するべきかを探求している。また、Federal Outdoor Impact Laboratory では、道路路外逸脱の車両の挙動や、新しい安全装置の有効性を評価する実験が行われている。さらに、データ分析チームが、過去の安全データを基に事故原因を特定し、将来の交通安全対策の設計に反映させている。このように、Turner-Fairbank Highway Research Center は、交通システム全体の安全性向上を目指して、科学的かつ実践的な研究を推進している。



出典：FHWA

図 3.2.2　Office of Safety and Operations Research and Development のミッションとアプローチ



出典：FHWA

図 3.2.3　Office of Safety and Operations Research and Development の研究対象分野

表 3.2.2　Safety and Operation Research and Development の各 Team の研究内容

テーマ	ミッション	研究エリア	キープロジェクト
Road Safety	道路上および交差点において、車両を安全に走行させるとともに、車両と脆弱な道路利用者との衝突の影響を最小限に抑える方法の開発	• 道路からの逸脱 • 交差点安全: • 道路幾何学的設計 • 速度管理	• 効果的な防護装置の開発および最適化に向けた州への調査支援
Safety Data and Analysis	高品質なデータに基づく高度な分析および評価技術を用いて、安全性向上の効果を評価するためのデータ品質および分析ツールを強化し、情報に基づいた高速道路の安全性に関する意思決定に資する知識の提供	• データ収集、統合、及び分析 • 安全性能測定及び対策 • 道路設計、インフラ、及び脆弱な道路利用者の安全	• 道路要素のモデル在庫 • 高速道路安全情報システム • インタラクティブ高速道路安全設計モデル • 衝突修正係数の開発 • 低コスト安全改善評価プールファンド[12]研究
Human Factors	道路設計において、すべての道路利用者の行動や能力を考慮し、交通利用者のニーズや制限を理解すること。人為的なミスの最小化、公衆の安全の強化、事故や死亡者の減少を目指すこと	• 運転自動化に関連する人間要因の問題 • 道路インフラの理解に関するドライバーの問題 • 大型車両運用に関連する人間要因の問題 • 脆弱な道路利用者の安全	• 交差点安全チャレンジ
Transportation Enabling Technologies	人と物の移動に対する交通システムの安全性、効率性、移動性の向上、交通システムのレジリエンスの強化	• 協調型運転自動化 • 高度なモデル化とシミュレーション • 車両とインフラの統合 • 交通システム管理と運用	• 協調型運転自動化研究 • 協調型運転自動化設計とアーキテクチャ • CARMASM 概念実証 • NextGen スペクトル
Transportation Operations Applications	交通安全、効率性、効果性の向上を目指し、先進的な分析ツールと革新的な交通管理技術を開発することで、未来の交通システムに備え、機関の計画や投資決定をサポートすること	• インテリジェント交通システム • コネクテッドおよび自動運転技術 • 分析、モデリング、シミュレーション	• CARMASM Everything-in-the-Loop. • CAVe-in-a-Box Deployment. • Virtual Open Innovation Collaborative Environment for Safety • Vehicle-to-Everything Hub[SM]

出典：FHWA

12 Pooled Fund Study（プールファンド研究）:複数の機関が資金を共同で提供し、共有の研究またはプロジェクトを実施する方法

c)　**Saxton Transportation Operations Laboratory**

Saxton Transportation Operations Laboratory（Saxton Lab）は、Turner-Fairbank Highway Research Center 内の研究施設であり、主に ITS や自動運転技術の研究、交通運用の効率化を目的とする実験室で、未来の交通管理システムの発展に貢献し、安全で効率的な交通運用を実現するための重要な施設である。

このラボの主な目的は、交通システムの効率性と安全性を高めることである。Saxton Lab では、以下のような研究が行われている

- **交通運用の包括的研究**: Saxton Lab は、多様な交通運用シナリオを模擬するための一つのインタラクティブな研究室であり、個別の研究室を持たず、統合的なアプローチで研究を進めている。
- **技術の導入と評価**: 新しい ITS や接続技術、自動運転技術の影響を評価し、それが交通システムに与える影響を理解するための実験が行われている。
- **効率性の向上**: 研究は、交通管理や事故対応、交通流の最適化など、運用面での効率性を向上させることを目指している。
- **スタッフの役割**: Saxton Lab では、異なるプログラム領域にまたがる研究を行うために、スタッフが共同で作業している。このアプローチにより、スケールの効率性を高め、効果的な研究が可能となっている。

この Saxton Lobo では、2022 年に VOICES （Virtual Open Innovation Collaboration Environment for Safety）System Integration Test と呼ばれるデジタルツインを用いた協調自動運転（CDA Cooperative driving automation）を検証する PoC を行った（図 3.2.4）。Turner-Fairbank Highway Research Center のテストコースと同じ 3D モデルを作成し、異なる 3 つのサイトを仮想的に接続し、リアルタイムでのなる技術とシステム間での連携の実現可能性を試験している。



出典：FHWA https://www.youtube.com/watch?v=hoShDlT6iFk

図 3.2.4　VOICES System Integration Test の様子

(3) ITS Joint Program Office

ITS 合同プログラムオフィス（JPO）は、U.S.DOT 傘下にあり、ITS に関する連邦政府の取り組みを管理・調整する上で極めて重要な役割を担っている。優先順位の高い ITS プロジェクトへの資金を全米に配分させ、技術革新が交通インフラに統合されるようにする役割を担っている。JPO は他の連邦、州、地方機関と緊密に連携し、高度交通管理システム、自動運転車、コネクテッド・インフラなどの ITS 技術の導入を推進している。これらの導入を促進することで、安全性の向上、渋滞の緩和、総合的な交通効率の向上を目指している。年間約 1 億ドルの予算があり、これを契約に利用して担当するプログラムやプロジェクトの大部分を実施している。

ITS JPO のビジョン:

ITS の利用を加速し、社会の移動の仕方を変革することである。ITS JPO の目的は、ITS の開発と利用を促進し、人々や物資の移動をより安全かつ効率的にすることである。

ミッション

ITS JPO は、ITS の協力的かつ革新的な研究、開発、実装を主導し、人々と物資の安全性と移動性を向上させることをミッションとしている。

組織とリーダーシップ

ITS JPO は、米国運輸省の多様な ITS イニシアティブのプログラムマネージャーで構成されている。ITS JPO は、輸送管理部門と協力して、米国運輸省の多様な ITS 技術研究プログラムを調整し、計画している。これにより、交通安全、移動性、効率を改善し、革新的な技術を国の交通システムに統合することで生産性を高めることを目指している。これらの機関には以下が含まれる：

- 連邦高速道路局（FHWA）
- 連邦運輸安全局（FMCSA）
- 運輸省連邦交通局（FTA）
- 連邦鉄道局（FRA）
- 国家道路交通安全局（NHTSA）
- 海事局（MARAD）
- パイプラインおよび危険物安全局
- セントローレンス運河開発公社

a) Intersection Safety Challenge

ITSJPO が管轄する交差点の安全に関する資金競争プログラムで、交差点における安全性の向上を目指し、革新的なソリューションや技術の開発を奨励するために設けられた（図 3.2.5）。

特に「脆弱な道路利用者（VRUs）」—歩行者、自転車利用者、マイクロモビリティ利用者—の安全を確保する方法が模索されている。機械視覚、センサー融合、リアルタイムの意思決定を含む新技術が含まれる。これにより、車両や脆弱な道路利用者が関与する危険な状況を特定し、危険性を低下させる（図 3.2.6）。

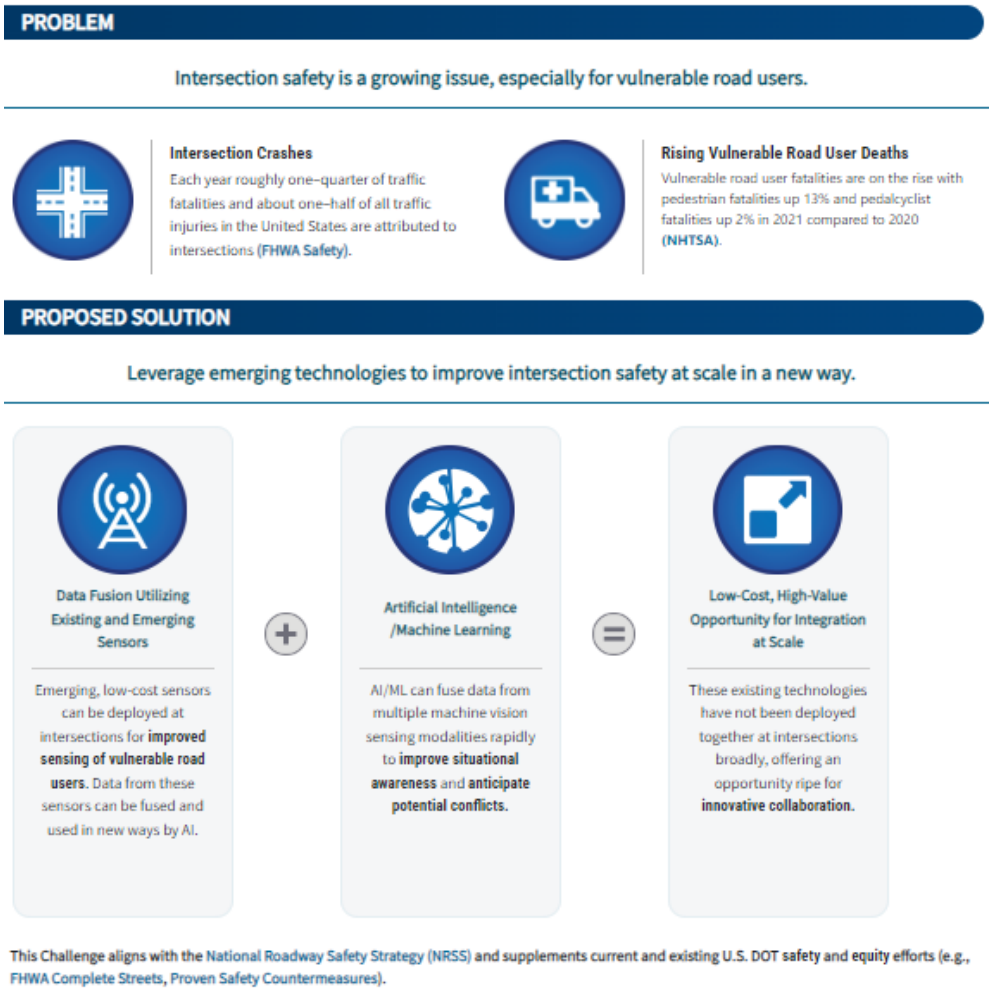
現在、2 段階のプログラムが進行中で、第 1 段階ではプロトタイプ技術の開発と検証が行われた（図 3.2.7）。第 2 段階では、第 1 段階の選定者全員に対し、Turner-Fairbank Highway Research Center の交差点で収集されたテスト交差点における車両と交差点利用者の数百件にわたる相互作用データセットを提供したこのデータセットには、すべての車両、歩行者、自転車利用者の位置に関するグラウンドトゥルー

ス[13]が含まれている。受賞者は、このデータを用いて各自のシステムがどのように衝突を検出し、回避するかを検証し、プロトタイプの開発およびテストを進めている。



出典：ITSJPO

図 3.2.5　Intersection Safety Challenge の Vision



出典：https://its.dot.gov/isc/

図 3.2.6　Intersection Safety Challenge での課題認識と募集した提案

13AI モデルの出力の学習やテストに使用される実際のデータを表す用語



出典：ITSJPO

図 3.2.7　Intersection Safety Challenge の第 1 段階の選定者



撮影：調査団

図 3.2.8　TFHRC の敷地内にある交差点テストコースとシナリオデータ取得



撮影：調査団

図 3.2.9　TFHRC の敷地内にある各種センサーを搭載したスマートポール

b)　**ITS JPO Automation Program と協調型自動運転支援**

イノベーションセクションの主要な分野の一つが自動化プログラムであり、自動化技術が安全で相互運用可能であることを確保する方法に注目している。また、自動化に無線接続を追加して協調型自動運転を進めることも目指している。自動化車両と人間、または他の車両との相互作用や、協調運転を支えるデジタルインフラの検討も行っている。自動化車両が高速道路や交通管理システムから必要とする情報を分析し、安全かつ効率的な運用を目指している。フロリダ州オーランド近郊の Sun Trax で、協調型自動運転システムのテストが行われている（図 3.2.10）。



出典：ITSJPO

図 3.2.10　Automation Program の概要と Sun Trax での協調型自動運転テスト走行

協調型自動運転では、自動運転下での信号制御最適化（Advanced Traffic Signal Control Optimization）（図 3.2.11）や工事規制やフリーウェイでの合流支援（図 3.2.12）などの研究、実証をしている。



出典：https://www.youtube.com/watch?v=oXFDIjSkoa4

図 3.2.11　協調型自動運転下での先進信号制御最適化の実験



出典：https://www.youtube.com/watch?v=tZf2xE8tt10,　　https://www.youtube.com/watch?v=ye_j86YgVSc&t=200s

図 3.2.12　協調型自動運転の工事規制や合流支援のテスト

c)　交通管理における AI 活用

ITS プログラムオフィスのイノベーション分野では、自動運転車両だけでなく、広範な交通管理にも AI をどのように統合できるかを検討している。AI に信頼性があり、説明可能であることが重要であり、AI は本質的に「ブラックボックス」であるため、機械学習のアルゴリズムがどのように決定を下しているのかが不明である。したがって、その決定が安全であり、推奨される決定が適切であることをどう確保するかが、課題となっている。以下は、ITSJPO からのヒアリング結果である。

現状の評価と課題

現在、ITSJPO の評価プログラムでは、AI 予測機能を都市や郡に提供している企業が存在する。しかし、これらの企業が提供する予測機能が、実際の現場で再現されているかどうかの研究や検証は行われていない。このため、DOT からの情報提供要求に応じられない状況が続いている。

新技術や新方法の導入に際しては、現行のパフォーマンスと利点を把握し、新しい提案と比較するための基準が必要である。しかし、現時点ではそのような制度が整備されていない。AI 技術の研究は進展しているものの、データ収集、分析、アルゴリズムの調整、モニタリング、評価にはコストがかかり、また、運用レベルの支援能力も問題となっている。

Delaware 州の取り組み

Delaware 州交通省は、連邦政府からの助成金を受けて、幹線道路や高速道路における AI を使った情報集約を行っている。この取り組みでは、インシデントを直接検出できない区域でのデータ収集が行われ、収集したデータを基に通常でない交通状況を特定し、検査と調整している。このプロセスにより、地方道路でのインシデントを早期に把握し迅速に対応することが可能となっている。

Delaware 州交通省は、信号タイミングの調整や情報共有も行っているが、全てが自動化されているわけではない。情報は他の運用戦略の管理に活用され、交通管理システムとの統合は行われていない。これにより、交通管理者は他の機関と情報を共有し、運用戦略を調整するための貴重な情報を得ている。

民間セクターの技術

アメリカの交通管理システムは、一部の交通のみを積極的に監視しているため、民間セクターが提供する情報は非常に有用である。特に、モバイルデバイスやプローブを用いて他の道路区間の旅行条件を特定する技術は、交通管理者にとって重要な情報源となっている。新技術の導入や情報活用に関しては多くの課題が存在するが、交通管理の向上に向けた取り組みが進められている。

d)　V2X Deployment Hub

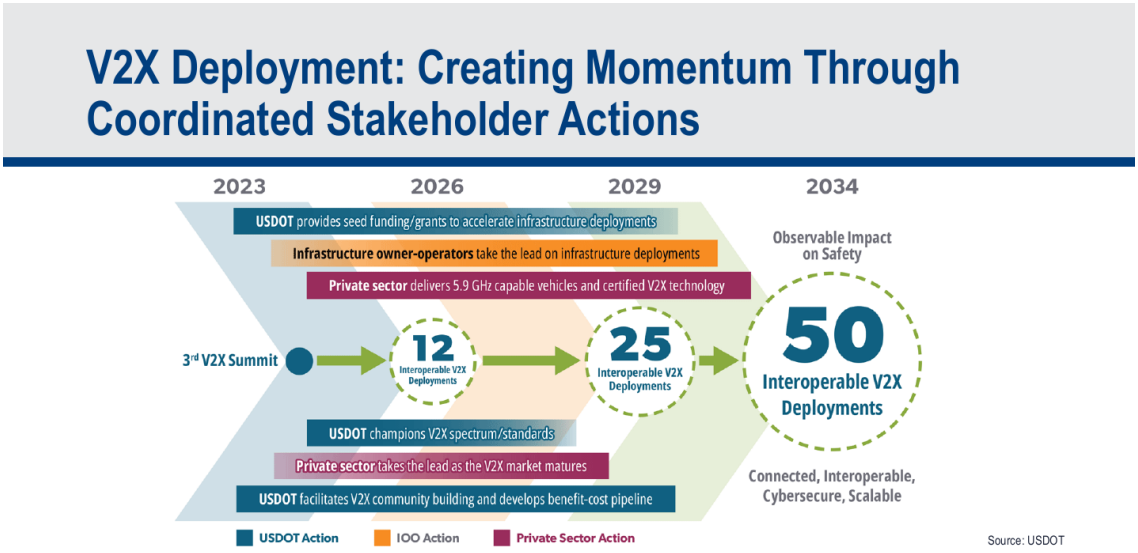
V2X（Vehicle-to-Everything）技術の普及は、ITSJPO の主要な分野であり、全国的に無線接続技術を展開するための支援を行っている。アメリカ合衆国は 50 州とそれぞれの州政府があり、各州内には市や郡の政府も存在するため、互換性のある（Interoperability）無線通信を交通システムに対応させることが課題となっている。V2X 展開に関する計画については、ドラフト版のレポートがオンラインで公開されている（図 3.2.13）。このドラフト展開計画は、V2X 技術の全国的な展開に向けた道筋と戦略を示している。2024 年 8 月 19 日の ITS international の記事によると、パブリックコメントを経て最終化されたと

のことであり、ロードマップが示された（図 3.2.14）。さらに、FHWA は、V2X 技術の導入を促進するため、アリゾナ州、テキサス州、ユタ州の当局に約 6000 万ドルの補助金を交付すると発表した。



出典：ITSJPO

図 3.2.13　Saving Lives with Connectivity: A Plan to Accelerate V2X Deployment



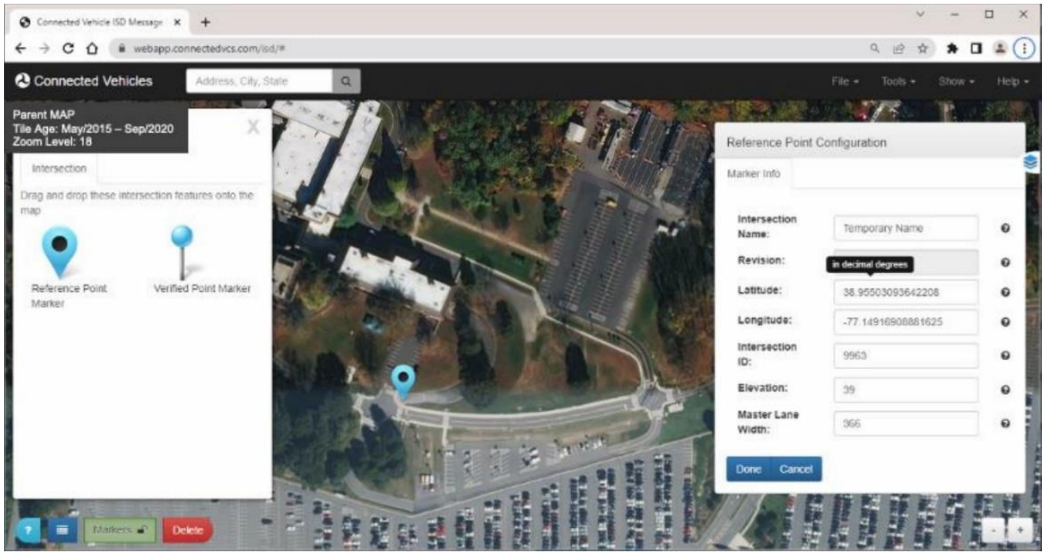
出典：ITSJPO

図 3.2.14　V2X 展開のロードマップ

V2XHub として、V2X 技術の普及のための標準化及びオープンソース化が進められており、V2XHub ソフウェアについては、2013 年に SAE International J2735TM[14]に必要なメッセージなどの路側のプロトコルシステムを策定するために開発が始まり、その後複数のプロジェクトで改善され、現在はオープンソースソフトウェアの開発を行っている。

また、Connected and Automated Vehicle(CAV) Research と呼ばれる研究も行っており、CAV のオープンソースと協調自動運転（CDA :Cooperative driving automation）の研究のためのツールを提供している。また、併せて Compliant MAP（準拠 MAP）を開発し、USDOT のサイトで公開している（図 3.2.15）。

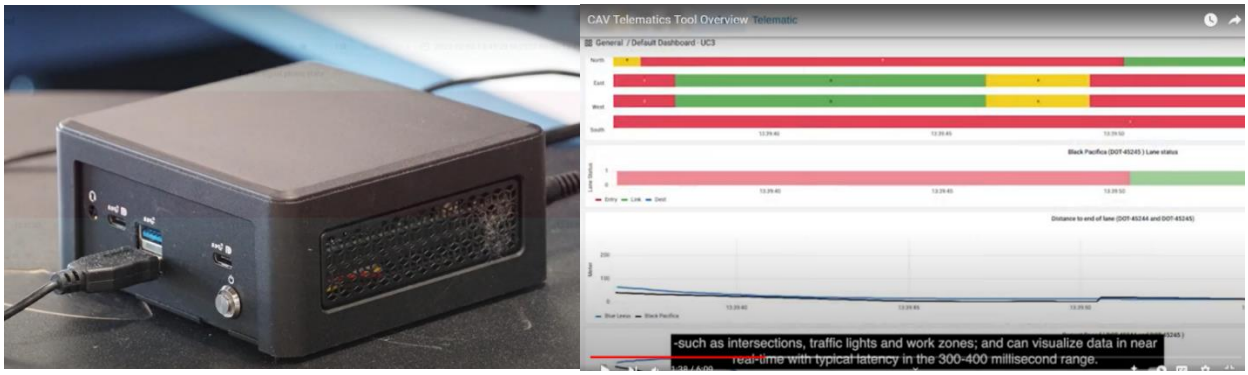
14 交通システムでの車両とインフラの間での通信に関する標準仕様。この標準は、車両間（V2V）、車両とインフラ（V2I）、および車両とその他の要素（V2X）の間でのデータ通信を規定する。



出典：https://webapp2.connectedvcs.com/

図 3.2.15　V2X の研究開発ための準拠マップの公開サイト

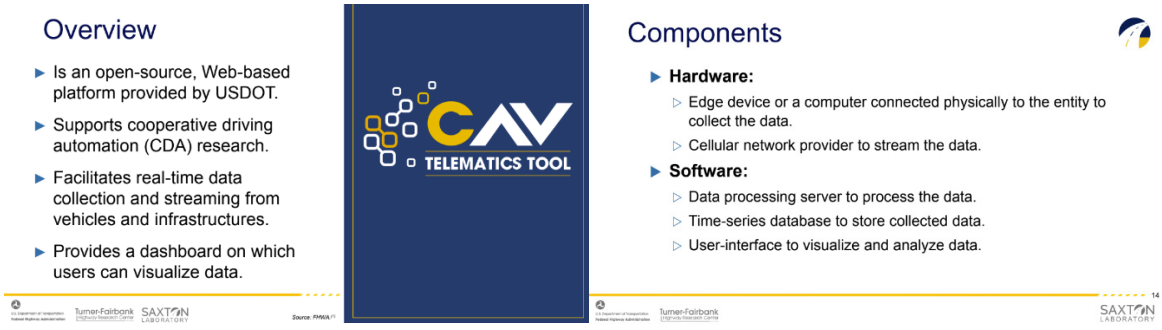
また、CAV の開発ですぐに分析できるようなテレマティックスツールとして、車両やインフラにインストールできるハードウェアとオープンソースデータ収集とストリーミングソフトウェアを開発した（図 3.2.16）。このツールでは、スピード、加速度の他、車線変更、右左折、停車、交差点への侵入の有無、レーン位置、信号の現示などのリアルタイムのデータが 0.3 から 0.4 秒で取得できる



出典：https://webapp2.connectedvcs.com/

図 3.2.16　CAV の研究のために開発されたテレマティクスツール

これらの交通信号制御装置、GPS、エッジコンピューティング、その他のコンポーネントを含む、接続された交差点用の「CAVe-in-a-Box」として、研究機関や業界団体向けに貸与することができるプログラムがあり、問い合わせが多くきている。



出典：FHWA

図 3.2.17　CAVe-in-a-Box の貸し出しプログラム

e)　**Accelerating ITS Deployment**

ITSJPO は、州や地方の関係者に対して、ITS の実展開に関する支援を行っている。プロトタイプやパイロットテストを重視しており、州や地方の交通機関に対して、図 3.2.18 に示す資金提供や助成金が数多く提供されており、これにより技術の実例を見て、安全性や交通効率、その他の指標に基づく初期の効果を収集し、他州の V2X 技術の展開を促進することができる。



出典：ITSJPO

図 3.2.18　ITS の開発・展開する資金提供プログラム

V2X を含めた ITS 技術を情報共有、展開するための組織がいくつか立ち上げている。

Smart Community Research Center

V2X（Vehicle-to-Everything）技術やその他の ITS（Intelligent Transportation Systems）技術に関連する情報を収集し、共有するための機関である。このセンターは、V2X 技術の展開やスマートコミュニティの発展に向けた戦略や機会を提供し、交通管理やインフラの革新を推進する役割を果たしている。主な役割と機能は以下に示す。

情報共有: V2X 技術やスマートコミュニティの展開に関する情報を提供し、コミュニティ間での知識と経験を広める。
研究と分析: スマートコミュニティに関連する研究や分析を行い、新たな技術やその利点についてのデータを集める。
支援と資源提供: スマートコミュニティの発展を支援するための資源やツール、資金の機会を提供する。
技術展開の促進: 新しい技術やソリューションの導入を促進し、コミュニティにおける ITS 技術の利用を拡大する。

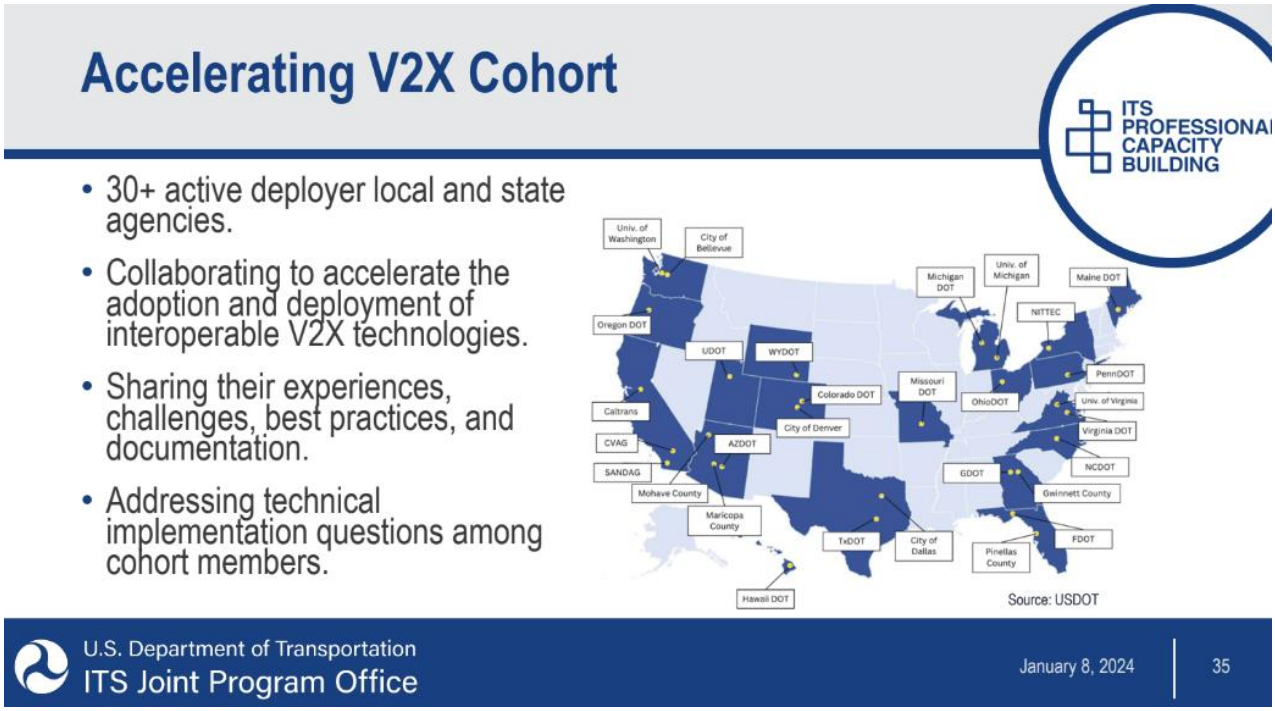
Accelerating V2X Cohort

州の交通局（DOT）が V2X（Vehicle-to-Everything）技術の展開に関する情報や経験を定期的に共有するためのグループである（図 3.2.19）。このグループは、ITS トレーニングプログラムオフィスのプロフェッショナルキャパシティビルディングプログラムによって 1 年前に組織され、主に以下の目的を持っている。このコホートは、V2X 技術の展開を支援し、州間の協力を深めるための重要なプラットフォームとなっている。

情報共有: 各州の交通局が V2X 技術の展開に関する知見や経験を共有し、相互に学ぶことを促進する。

展開支援: V2X 技術の展開を加速させるための戦略やアプローチを協議し、効果的な実施方法を模索する。

ネットワーキング: 他の州の交通局とのネットワーキングを通じて、共同の取り組みやサポートを強化する。



出典：ITSJPO

図 3.2.19　Accelerating V2X Cohort に参加している州

ITS Benefits and Costs Map

図 3.2.20 は、ITSJPO が運営する ITS の利点と費用に関する情報を提供するリソースである。このサイトは、交通機関、政策立案者、研究者が ITS 技術に基づいた意思決定を行うために必要な詳細なデータ、ケーススタディ、分析結果を提供している。

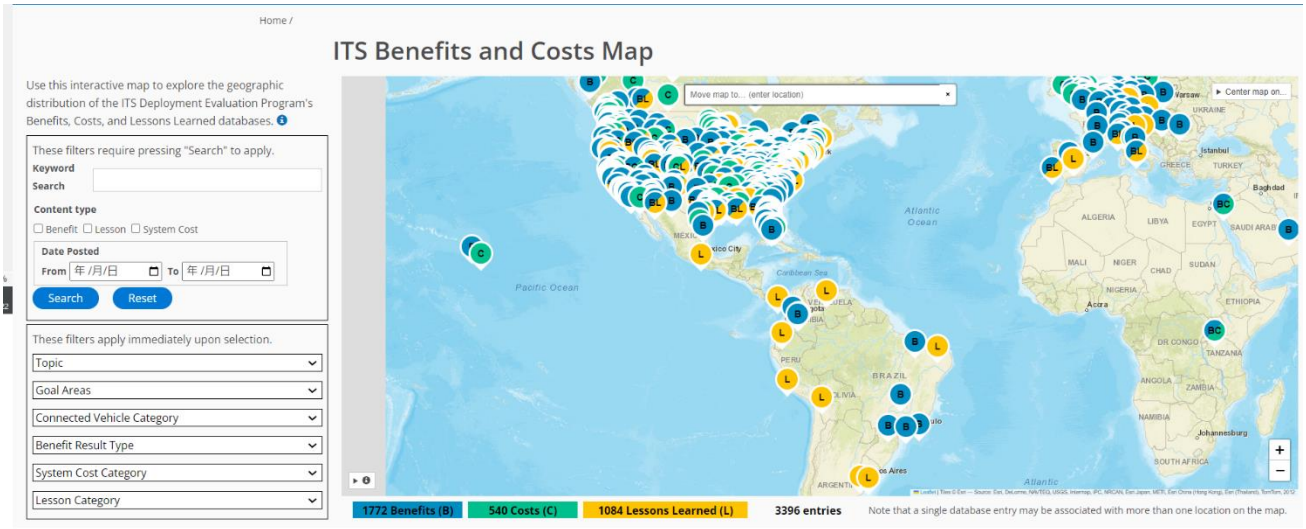
主な内容

1. **Benefits Database**:
   - ITS 技術がもたらす安全性の向上、交通効率の改善、環境負荷の軽減などの利点に関する実例やデータを集約している。
   - 利用者は特定の ITS アプリケーションの効果を調査し、異なるシナリオでの利点を比較することが可能である。
2. **Costs Database**:
   - ITS の導入および運用に関する費用データを提供している。

- 初期設置コストからメンテナンスや運用費用までの具体的な数値が提示されており、投資対効果の分析に役立つ。

3. **Deployment Statistics**:
   - ITS の展開状況に関する全国規模のデータを提供している。
   - どの技術がどの地域で導入されているか、その普及状況を確認することができる。
4. **Case Studies and Reports**:
   - 特定の地域やプロジェクトに焦点を当てたケーススタディや詳細なレポートを公開しており、実際の導入事例やその成果を学ぶことができる。
5. **Tools and Resources**:
   - ITS 導入に関する計画や評価を支援するためのツールやリソースを提供している。
   - 費用便益分析ツールや技術導入に関するガイドラインが含まれている。

このサイトは、ITS 技術の導入に関わる関係者がデータに基づいた意思決定を行うために、非常に有用なリソースである。特にコストのデータについては、ITS の施設、機材の一覧とコストの事例が検索できる。また、米国だけでなく、世界中の情報が収集されており、日本の東京オリンピック 2020 の際の交通管理マネジメントの事例も書かれている。



出典　https://www.itskrs.its.dot.gov/its-map

図 3.2.20　ITS Benefits and Costs Map

(4)　Crowdsourced Data

クラウドソースデータ[15]の利用には、政府機関の独自の監視システムを補完し、地理的なカバレッジを広げ、データ量を増やすという利点がある。ただし、独自システムのデータと一致しているかを確認するための検証プロセスが必要である。情報処理にはコストがかかるものの、データソースの範囲を拡大し、通常の情報源では得られない地域にも情報を提供できる可能性がある。

15 一般の個人やユーザーから自発的に提供された情報やデータを集めたものである。これらのデータは、スマートフォン、センサー、アプリケーション、ソーシャルメディア、GPS などのデバイスやプラットフォームを通じてリアルタイムで収集されることが多い。

(5) Work Zone Data Exchange （WZDx）

a) Connected Work Zone Standard（CWZS）

Connected Work Zone Standard（CWZS）は、路上工事に関する情報を共有するための標準規格であり、Connected Transportation Interoperability Standards という一連の互換性のある規格の一部として位置づけられており、この規格は、Institute of Transportation Engineers (ITE) が主導するものである。これらは、正式なシステムエンジニアリングの手順に基づいており、以下を目的にしている。

相互運用性の確保：50 の異なる州と多くの管轄区域が路上工事情報を提供する中で、標準フォーマットを持つことは、情報の一貫性とリアルタイム情報の提供するために重要である。

受け取るデータ形式の事前把握：Waze や Google などの民間事業者が、異なる州や自治体から受け取る情報のフォーマットを事前に把握できるようにすることで、サービス事業者側での追加作業やフォーマット変換が不要となり、迅速な交通情報の統合と利用が可能となる。

現在、この標準は上記の ITE で投票にかけられており、相互運用性の問題に対応するための取り組みが進められている。

また、自動運転車両によるマッピングの研究プロジェクトが進められており、適切なセンサーを装備した自動車が路上工事区間を通過し、現在の車線位置を詳細にマッピングする技術が検証されている。この情報は自動運転車両に送信され、ナビゲートのためのメッセージが生成される。これはまだ概念実証段階であり、実用化には至っていない。

b) Work Zone Data Exchange (WZDx)

Work Zone Data Exchange (WZDx) は、U.S.DOT が推進するイニシアティブであり、CWZS として標準化された規格に基づいた、路上工事（Work Zones）に関する情報をリアルタイムで共有するためのデータ標準とプラットフォームを提供する取り組みである。このプロジェクトは、交通安全の向上や交通効率の改善を目的としている。ITS-JPO から資金提供を受けている。

リアルタイム情報の共有:

WZDx は、道路工事に関するリアルタイムの情報（例: 工事場所、工事期間、交通規制、速度制限など）を標準化された形式で共有できるようにする。

これにより、自治体や交通機関、物流業者、自動車メーカー、アプリケーション開発者などが工事区域の情報を簡単に取得し、活用することが可能となる。

データ標準化:

異なる地域や機関から提供される工事区域の情報を一貫して利用できるように、WZDx はデータの標準化を図っている。

標準化されたデータ形式により、異なるシステム間での情報の互換性が高まり、データの統合と分析が容易になる。

交通安全の向上:

リアルタイムでの工事情報共有により、ドライバーは事前に工事区域を回避するルートを選択したり、速度を調整したりすることができる。

これにより、工事区域での交通事故のリスクが減少し、交通の円滑化にも貢献する。

効率的な交通管理:

WZDx は、交通管理者が工事区域の状況をリアルタイムで把握し、必要に応じて交通誘導やルート変更などの対策を迅速に講じることを支援する。
このような効率的な交通管理により、交通の混雑や遅延を最小限に抑えることが可能となる。

WZDx の利点を以下に示す。

- 公共機関や民間企業との協力: 公共機関と民間企業が協力して、標準化された工事情報を広く利用可能にすることで、全体的な交通システムの改善が図られる。
- データの一貫性と信頼性: 標準化されたデータ形式を使用することで、異なる情報源からのデータを一貫して利用でき、信頼性が向上する。
- 交通システム全体の最適化: リアルタイムデータの共有により、全体的な交通システムの効率化と最適化が進む。

ヒアリング結果によると、現在、下記のような課題に直面している

全国的リポジトリの不確立:

- 現在のデータハブは、全国的な路上工事データのリポジトリ[16]として設定されていないため、将来的にどのように運用されるかが不確定である。
- USDOT がこのリポジトリの公式管理者になるべきかどうかも未定であり、役割分担についての議論が初期段階にある。

資金と予算の制約:

- JPO が全体の資金提供を行うと、予算不足に陥る可能性があるため、持続可能な資金調達モデルが必要である。

情報共有の困難さ:

- 各州の運輸省内で、路上工事に関する情報を組織全体で効果的に共有するのが難しい。特に、24 時間以内の一時的な路上工事や、1～2 時間以上の長期的な路上工事の情報共有が課題となっている。

民間事業体との連携の未確立:

- 民間の事業体が路上工事データの管理を担う可能性があるが、その実現に向けた具体的な方向性がまだ見えていない。
- これらの課題を解決するためには、全国的なリポジトリの運用モデルの確立、持続可能な資金調達戦略の策定、情報共有プロセスの改善、民間事業体との連携の強化が求められる。

16 情報、データ、資源などを体系的に保存し、管理するための場所やシステム

(6) 助成金申請プロセス

州交通局（DOT）が連邦助成金を申請するプロセスとして、州交通局は、grants.gov プラットフォームを通じて連邦助成金プログラムを確認し、応募したい案件に申請する。このプロセスには、アウトリーチ方法や提案が、連邦が掲げる優先事項に合致しているかを確認するための評価基準が設定されている。提案は、その潜在的な影響、実現可能性、および国の交通目標との一致度に基づいて評価される。アラートの設定やカスタマイズも可能であり、このデータベースを通じて助成金の機会を探すことができるが、契約に関しては別のシステムが用意されている。州によっては、これらのウェブサイトのスキャン方法が異なる場合もある。

また、ITSJPO や FHWA は、州に対して資金機会の情報を事前に周知するため、多くのアウトリーチ活動を行っている。これには、メールやウェブサイト、さらにはウェビナーを通じて助成金の目的や申請方法についての説明が含まれる。連邦政府側では、メール、ウェブサイト、ソーシャルメディア、対面の会議やプレゼンテーションなど、様々なメディアを用いて情報を提供している。資金提供機会の通知（Notice of Funding Opportunity、通常 NOFO と呼ばれる）が発表され、提案の募集が行われる。

提案を主導するのは通常、州や地方政府であり、チームメンバーには大学や民間企業が含まれることもある。申請内容の詳細については、grants.gov に掲載された公式の通知に明記されており、その内容に基づいて準備を進める必要がある。

本局で提案がいくつか受領すると、選定委員会がこれを評価し、選定する。選定委員会には、FHWA の専門家チームが招集され、レビューする。この評価チームが提案を評価し、その結果を推薦するが、最終的な選定は行わない。推薦は、契約管理部門や調達部門、あるいは場合によっては運輸長官のオフィスに送られる。提案の審査は常に技術的な専門家によって行われ、その後に推薦が行われる。技術的な観点からの推薦が、契約管理部門またはより高位の役所に送られる。評価基準は助成金の要求書に含まれており、そこに評価のための優先事項が明記されている。

(7) Connected Transportation Interoperability Committee

CTIC（Connected Transportation Interoperability Committee）は、州交通局（DOT）や自動車メーカー、信号制御機器メーカーが協力して、コネクテッドインターセクションの標準を作成するための取り組みである。この委員会が開発している文書は「CTI 4501」と呼ばれ、主に交通信号付き交差点に関する標準化を目指している。公共セクター、自動車会社、インフラの民間セクターを結びつけることを目的としており、フリーウェイなどにはあまり関わっていないが、交差点におけるコネクテッド技術の進展に貢献している。

3.2.2 Virginia DOT

(1) VDOT の概要

バージニア州交通局（VDOT）は、州内の道路・橋・トンネルの建設、維持、運営を担当している。

州全体では約 3,000 基の信号を維持・管理・運営しており、その半数の約 1,500 基が、バージニア州北部に集中している。管轄州内を 9 つの District に区分して、州内の高速道路沿線に 41 の休憩所と 100 以上のパーキングエリアを有している。また、3 隻のフェリーの運航も担っている。

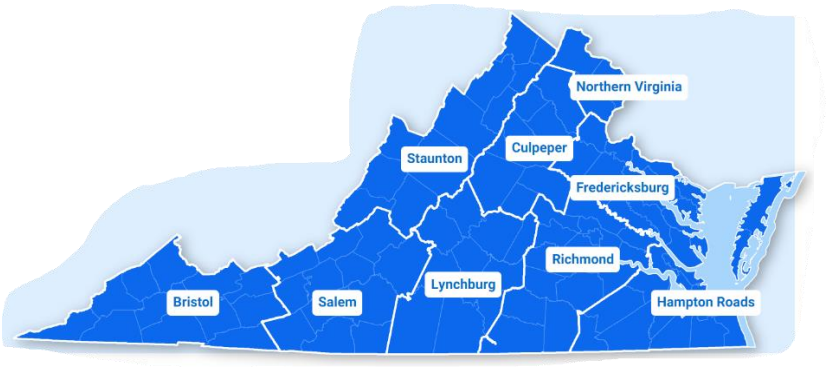
a)　**管轄範囲**

バージニア州には約 880 万人が住んでおり、その多くが州北部のワシントン DC 郊外やリッチモンド等の都市圏に居住している。管轄州内に約 58,000 マイル道路を有しており、米国内でも有数の道路ネットワークを有する州である。また、約 21,000 箇所の橋梁・トンネルも含まれており、これらの維持管理も管轄している。

b)　**組織と役割**

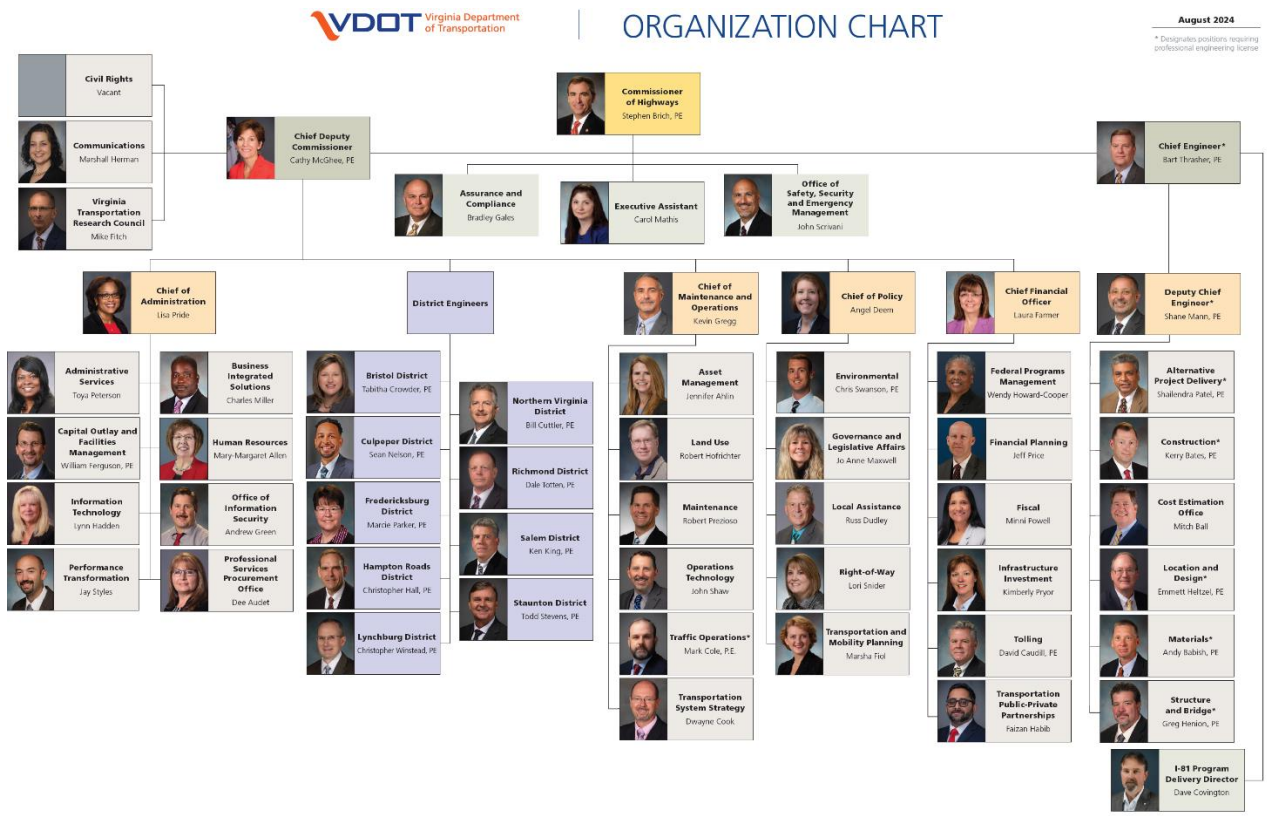
VDOT では州を下記の 9 つの District に区分しており、それぞれが District 内の交通インフラの管理と維持に権限を有している。

Bristol District　　: Covers the southwestern region of Virginia.
Salem District　　: Includes areas around Roanoke and parts of southwestern Virginia.
Lynchburg District　　: Covers the south-central part of the state.
Richmond District　　: Encompasses the state capital and surrounding counties.
Hampton Roads District　　: Manages the southeastern coastal region, including the cities of Norfolk and Virginia Beach.
Fredericksburg District　　: Covers the northern neck and middle peninsula regions.
Culpeper District　　: Includes the central northern areas of the state.
Staunton District　　: Covers the western and Shenandoah Valley regions.
Northern Virginia District　　: Manages the densely populated northern part of the state, including the suburbs of Washington, D.C.



出典：VDOT Web サイト（https://www.vdot.virginia.gov/about/districts/）

図 3.2.21　VDOT における州内の District 区分



出典：VDOT Web サイト（https://www.vdot.virginia.gov/about/districts/）

図 3.2.22　VDOT における組織図

c)　**VDOT の役割**

道路設計と建設：

バージニア州の住民と企業の交通ニーズを満たすため、新しい道路、高速道路、橋の設計と建設を行う。

維持管理と運営：

除雪、補修、橋梁点検など、州の道路が安全で機能的で、交通需要に対応できるように維持管理する。

交通管理：

交通信号、標識、高度道路交通システム（ITS）などの交通管理システムを導入し、交通の流れを効率的に監視・管理する。

安全への取り組み：

交通事故を減らし、バージニア州の交通網全体の安全性を高めるための安全対策を推進、実施する。

環境への配慮：

交通プロジェクトが環境規制を遵守し、バージニア州の天然資源の持続可能性に貢献することを確実にする。

d)　**資金調達**

VDOT の 2025 年度予算は約 89 億ドル（1.3 兆円）で、2024 年度から約 2.3%増加している。この資金は、連邦、州、地方の各政府、および債券や PPP といった資金調達手段から調達されている。

<u>政府からの資金</u>

運輸省連邦高速道路局（FHWA）助成金：連邦高速道路局の連邦援助高速道路プログラムなど、政府からの助成金。

運輸省連邦交通局（FTA）助成金：主に公共交通システムに使用され、多様な交通手段や交通ハブ周辺のインフラ改善といった VDOT の取り組みを間接的に支援。

インフラ投資・雇用法(IIJA)：2021 年 11 月に超党派インフラ法として署名された、Infrastructure Investment and Jobs Act (IIJA：インフラ投資・雇用法)は、国家のインフラ・システムの近代化を目的とした幅広いプロジェクトに約 1 兆 2000 億ドルが割り当てられており、当該予算に基づいた資金もバージニア州に流入している。

<u>州の資金</u>

交通信託基金：VDOT の主な州の資金源であり、燃料税、自動車の売上税および使用税、その他の交通関連料金によって支えられている。

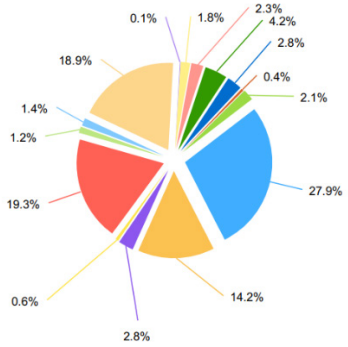
一般会計からの予算配分や債券：特定のプロジェクト等、バージニア州議会の承認を得て、VDOT に追加資金の配分をすることもある。また、大規模なインフラプロジェクトの資金調達のために債券を発行することがある。

<u>民間資金</u>

官民パートナーシップ(PPP)：大規模なインフラプロジェクトの資金調達と管理を目的として、民間資金と連携する事も多い。PPP では、HOV レーンなどの通行料収入やその他の財務的見返りに対して、民間資金の投入が行われている。バージニア州での PPP プロジェクトとしては下記のようなものが挙げられる。

- ✓ I-95/I-495 における Express レーンの建設・運営
- ✓ エリザベス・リバー・トンネルの建設・改修
- ✓ I-66 における Express レーン建設・P&R 用駐車場整備、インターチェンジの改良等





CTF Funding Programs prior to Distribution	$ 182,676,240
CTF Transfer to HMOF	2,434,302,674
TTF Transfer to Construction Fund	1,239,585,106
TTF Transfer to Priority Transportation Fund (PTF)	245,578,182
Other HMOF Revenues	49,732,511
Other Construction Fund Revenues	1,686,648,193
Interstate 81 Corridor Improvement Fund & Financing	103,553,395
Fuel Tax Revenue for Highway Construction District Grant Program	124,001,513
Federal Fund	1,645,728,217
Priority Transportation Fund (PTF)	12,000,000
General Funds	147,000,000
Route 58 Bonds	154,860,544
Subtotal	**$ 8,025,666,575**
Pass Through Revenues	
Central Virginia Transportation Authority Fund	197,300,000
Northern Virginia Transportation Authority Fund	364,900,000
Hampton Roads Transportation Fund	244,200,000
Hampton Roads Regional Transit Fund	38,700,000
TOTAL	**$ 8,870,766,575**

出典：VDOT Annual Budget / June 2024
https://www.vdot.virginia.gov/media/vdotvirginiagov/about/budget-and-financing/vdot-budget-2025_acc06192024.pdf

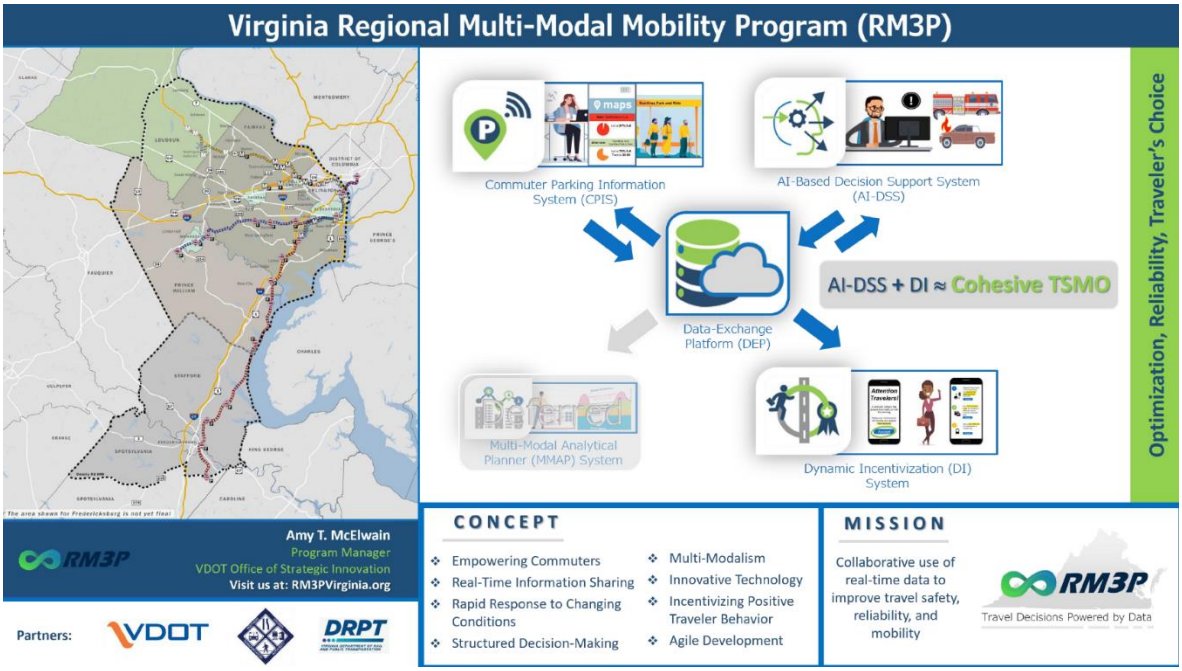
図 3.2.23　VDOT の資金源の内訳

(2)　AI を活用したデータ駆動型の意思決定支援

a)　地域複合モビリティ・プログラム

VDOT では、IPS[17]や IoT デバイスのサイバーセキュリティのテストや再構築など、サイバーセキュリティに取り組んで、州全体の光ファイバーネットワーク全体の見直しを行い、サイバーセキュリティに対する庁舎内ネットワークセキュリティを全面的に再構築している。光ファイバーネットワークについては、何年もかけて整備拡大が進み、現在では約 4,000～5,000 マイル（約 6,400～8,050km）のネットワークを構築している。その基盤上で、Regional Multi-Modal Mobility Program（RM3P：地域複合モビリティ・プログラム）の構築に取り組んでいるところである。

RM3P は、Commuter Parking Information System（CPIS：通勤用駐車場情報システム）、Artificial Intelligence-Based Decision Support System（AI-DSS：人工知能型意思決定支援システム）、Data-Exchange Platform（DEP：データ交換プラットフォーム）、Dynamic Incentivization System（DI: 動的インセンティブシステム）等によって構成されている。



出典：VDOT 資料

図 3.2.24　Regional Multi-Modal Mobility Program（RM3P）

以下に VDOT でヒアリングした結果を示す。

Regional Multi-Modal Mobility Program（RM3P）

RM3P は、一般的には Integrated Corridor Management（ICM：統合コリドーマネジメント）として知られるもので、包括的なプログラムの下に資金を提供するために作られた。

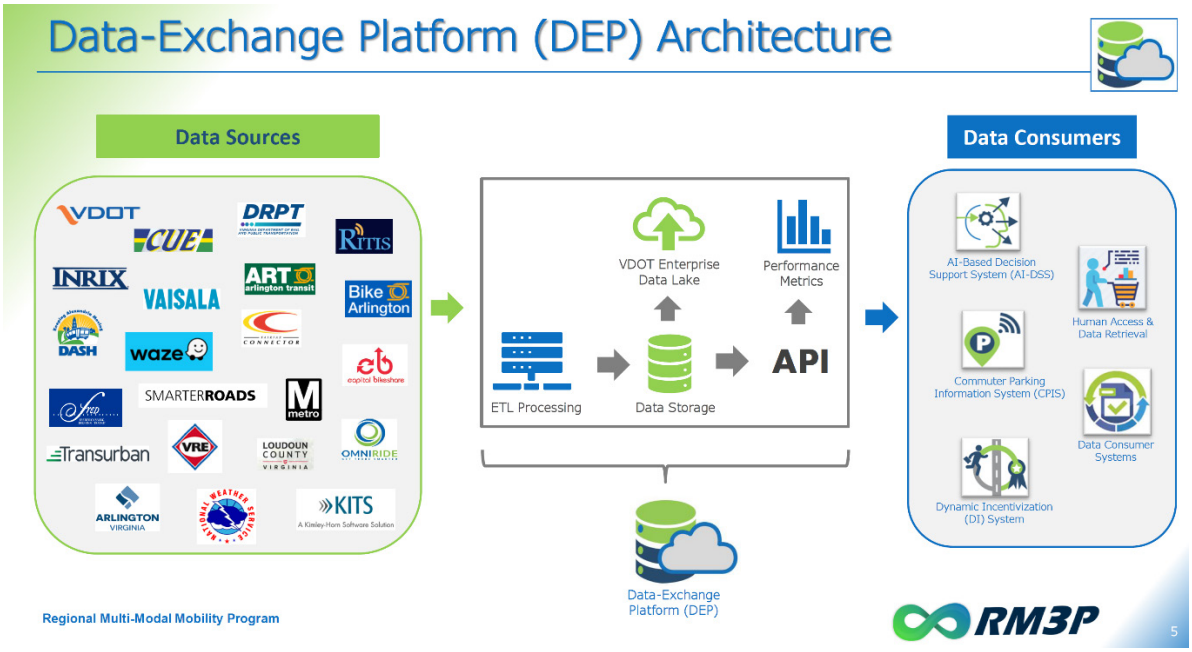
当初、バージニア州の南北に横断する I-95 に対して ICM を実施し、続いて東西の I-66 にも ICM の適用を行ったが、ICM を実現するために、様々な交通関連事業者（公共交通サービス、交通情報サービ

17 Intrusion Prevention System（侵入防止システム）ネットワークトラフィックをリアルタイムで分析し、セキュリティの脅威を防止するためのシステム

ス等）と連携してデータセットを用意する事になるが、南北コリドーでサービスを提供しているプロバイダーは、東西でも同様のサービスを提供していることから、I-95 と I-66 を別々に実施する必要は無く、そのため、コリドー単位に絞るのではなく、よる広域な地域プログラムとして取り組むべきと考え、RM3P を構築することとしている。

Data-Exchange Platform（DEP）

RM3P では、約 20 のサービスプロバイダーが様々なデータセットを提供している。バスの事業者や電車・メトロの事業者も独自のデータセットを有している。これら約 20 のプロバイダーからデータの供給を受けて、誰かがアプリケーションを開発しようとすると、20 カ所もの場所を訪れ、各々の団体と契約を結ぶ必要が発生する。それを避けるために、VDOT として DEP を整備し、それらのデータを 1 箇所に集め、アプリケーション開発者が自由に利用できるようにしている。ココで重要なのは、これらのデータを 1 箇所に集約した DEP を用意しただけで、様々な人々が、そのデータを基に円滑化促進のためのアプリケーションを構築しようとしていることである。
また、情報の多くは一般市民にとって有益なものであり、バージニア州だけでなく、隣接するメリーランド州やノースカロライナ州の専門家とも調整を図り、1 元的にデータを管理・共有する仕組みを構築しようとしており、産業界がワンストップでデータを入手することができる環境を整備する予定である。



出典：VDOT 資料

図 3.2.25　Dara-Exchange Platform (DEP) for RM3P

Commuter Parking Information System（CPIS）

VDOT としては、円滑化促進のため、人々が車から通勤電車に乗り換えるという、より長期的な行動変容を実現する必要があると考えている。自宅から車で駅まで移動して、駐車場の空きが無いという問題に直面しないように、駐車場管理システムでは、すべての駐車場の満空状況をリアルタイムに知る必要がある。メトロレールでの P&R を行うのに利用可能な駐車場が約 150 箇所／約 42,000 台分あ

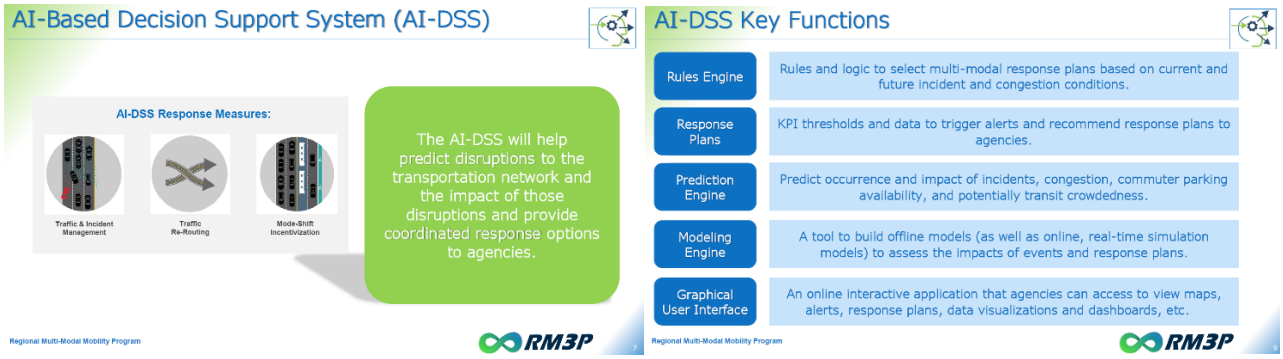
るが、これら全てにデータ収集のためのインフラを VDOT 側で用意するのは資金的にも難しいと考えたことから、現在は、データを事業者から購入することとして、駐車場情報ベンダーからの提案書を受け付け、現在は選定段階にある。まだ、選定段階であり、具体的な満空データ収集手法は未定だが、スマートフォンデータから得られる、多くの追跡データや、毎日の通勤パターンから、インフラを必要としないタイプのソリューションによって、駐車場が何%まで埋まっているかを推測することが出来る革新的な技術を適用する予定である。

Artificial Intelligence-Based Decision Support System（AI-DSS）

AI-DSS は、道路での突発的事象の発生に伴う、道路網の混乱とその影響を予測し、公共交通を含め、関係機関に協調的な対応策を提供する、意思決定支援システムである。

AI-DSS は Software-as-a-Service（SaaS）として提供され、現在の移動状況を評価する機能、AI-DS で指定された交通網の混雑を予測する機能、交通機関（公共交通、幹線道路、高速道路の状況、駐車場の満空など）の運営者がそれぞれの交通網に影響を与える、定期的および非定期的な混雑を管理する上で、情報に基づいた意思決定を行うのを支援する。また、交通機関の混乱に対応するために最適行動と、その混乱が地域に与える影響に関する勧告を行う機能を提供する。

AI-DSS は、(i) ルールエンジン、(ii) モデリングエンジン、(iii) 対応計画、(iv) 予測エンジン、(v) インタラクティブ・グラフィカル・ユーザー・インターフェースの 5 つのサブシステムを中心に構築されており、DEP のデータに加えて、AI-DSS サプライヤーが提供する追加データを活用している。



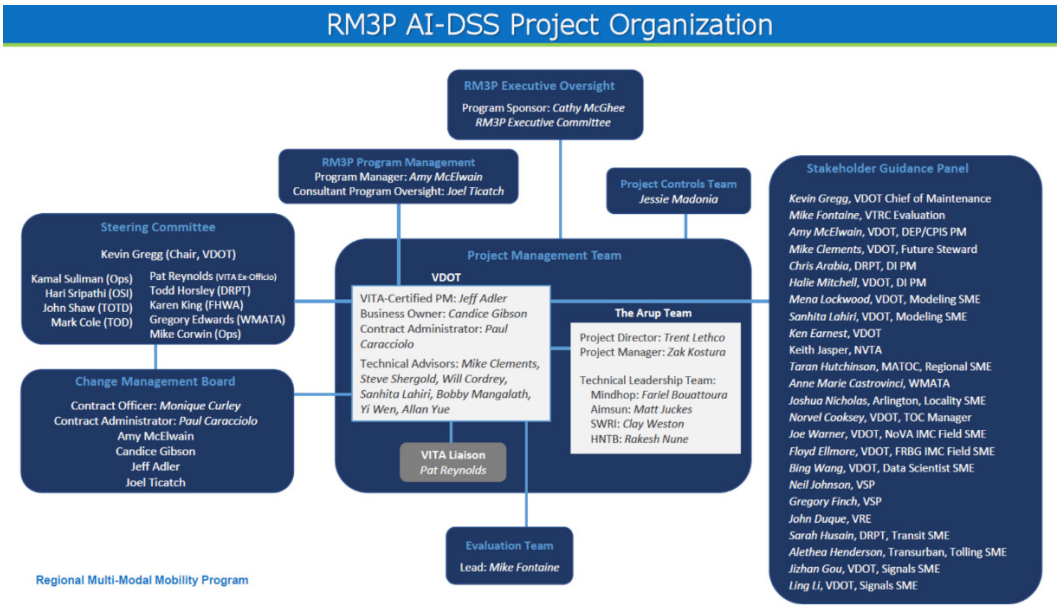
出典：VDOT 資料

図 3.2.26　Artificial Intelligence-Based Decision Support System(AI-DSS) for RM3P

AI-DSS については、下図に示すように VDOT のメンバーだけでなく、FHWA、バージニア州鉄道・公共交通機関省（DRPT：Virginia Department of Rail and Public Transportation）、ワシントン首都圏交通局（WMATA：Washington Metropolitan Area Transit Authority）、バージニア州警察などから構成されるステアリングコミッティでの協議を経て進められている。

具体的な開発については、Arup[18]（コンサルタントチーム）と Kapsch（技術開発パートナー）が行っている。

[18] 英国・ロンドンに本社を置く、世界的な社会インフラ系のコンサルティング企業 https://www.arup.com/フィリピンなど途上国でも事業を展開



出典：VDOT RM3P Web サイト（https://rm3pvirginia.org/artificial-intelligence-based-decision-support-system-ai-dss/）

図 3.2.27　AI-DSS プロジェクトの組織図

AI-DSS の実装・運用に向けた取り組みは、2020 年 2 月から開始され、2024 年 7 月時点では未だ開発途上である。開発は 2025 年末までを予定しているが、段階的に開発が進められ、2024 年 10 月以降には、バージニア州交通研究評議会（VTRC）による、一部機能の評価を開始する予定である。そして、2025 年 12 月～2026 年 12 月の 1 年間で実装が行われ、2027 年 1 月から本格運用が開始される見込みである。

Dynamic Incentivization System（DI）

利用者の交通状況に応じたリアルタイムの行動変容に、インセンティブを与えるアプリの開発をしている。様々な事例で、すでに多くの導入実績とリリースがあり、能力はあるが、現時点ではまだ展開していない。VDOT としては、あくまでも、人々の行動を変えさせることが目的であり、利用者がインセンティブを得ることに、過度にのめり込まないようなインセンティブと仕組みにしようと考えている。これにはロイヤリティ・プログラムも含まれている。

これはポイント制で、多くのポイントを獲得すれば、特定のインセンティブと交換可能で、長期的にはリアルタイムのイベントで行動を変えることを目標としている。



出典：VDOT 資料

図 3.2.28　Dynamic Incentivization System (DI) for RM3P

調達までの期間とサービスベンダーとの契約更新頻度

AI-DSS や DI など、いずれも VDOT の独自開発では無く、サービスベンダーによるシステムであるため、VDOT の求める要件を定義し、調達を実施するまでに最も時間を要する。契約内容や開始時期によって異なるが、3～5 年を要した。パイロットプロジェクト段階では、第 3 者となる独立した評価者にシステムを評価してもらい、良いシステムだと評価されれば、そのシステムを維持することになる。その後、任意で 2 年毎に更新を行う。

Software as a Service

“サービス”として提供されるため、ソフトウェアのアップデートは契約上、全て自動的に行われる。同じソフトウェア・サービスを利用している、他のエージェンシーから異なる改良・改善要求があれば、それもアップデートされ、VDOT としては追加費用を要さずにアップデートされた、より良い製品を使うことが可能となる。

これまでは、ソフトウェアやハードウェアを特定した調達を行ってきたが、今後はデータやソフトウェアを使用する形に切り替えようとしている。

b) 交通情報の収集に関する現状

従来は、交通量を計測するために車両検知器を使っており、VDOT でも 500 箇所程度あるが、今は使っていない。他の州もあまり使っておらず、Waze や INRIX などのサードパーティのデータに頼っている。民間企業がスマートフォンやテレマティクスサービスから収集されたデータに基づく情報は精度が高くなってきている。政府当局は民間企業がサービスを停止するとデータを取得できなくなる可能性があるため、民間企業のデータを使うためには常にアップグレードする必要がある。

Google Map を交通監視のために交通管制センターのビデオスクリーンに表示するだけなら、Google Map は公共のウェブサイトなので使用は許可されている。一方で、旅行所要時間データにアクセスするには API を使う必要がある、トークンを購入[19]してデータを取得する必要があるため、常に使うのではなく、Google Map で表示された交通状況をチェックする際に使うことに留めている。

より詳細な渋滞長などのデータについては、将来的には、TomTom と複数年契約を結んで利用する事も検討する事が考えられている。

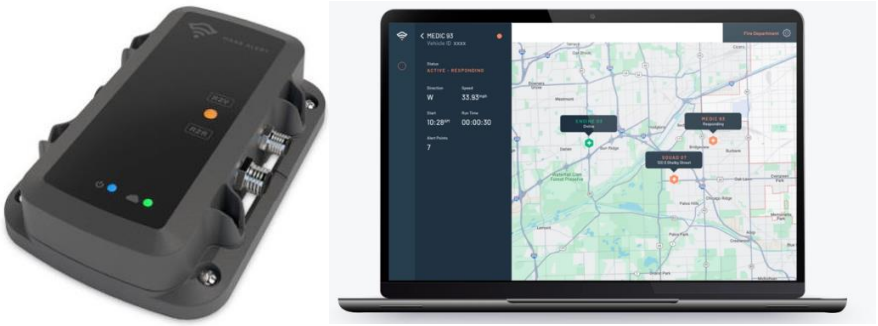
c) Haas Alert のパイロットプロジェクト

緊急信号が作動した際に Waze と Apple Maps にリアルタイムでアラートを出す Haas Alert のパイロットプロジェクトを実施中である。Haas Alert は携帯電話に繋げる事ができるデバイスで、クラウド（Safety Cloud）を経由して、Waze や Apple Maps に対して、道路上での緊急車両やパトロールカーに拠る作業が行われていると、警告が送られるようになっている。バージニア州では、ヘンリコ郡の消防署の車両と、サービス・パトロール・トラックに試験的に導入し、これを拡大しようとしている。

19 [指定した移動手段で複数の出発地と目的地の間を移動する場合の移動距離と所要時間の計算に関する Distance Matrix API 仕様]
https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/distancematrix?hl=ja
[Distance Matrix API の利用料金]
https://developers.google.com/maps/documentation/distance-matrix/usage-and-billing?hl=ja

Haas Alert では、本システムを C-V2X の一つとしているが、実際には既存の Cellular 基盤を利用したものであり、V2N の範疇になる仕組みである。

特筆すべきは、USDOT が普及展開を進めている Work Zone Data Exchange（WZDx）にも準拠しており、WZDx を導入している各州 DOT の工事規制情報に基づいて、Waze や Apple Map を介して、ドライバーに注意喚起を行う事が出来るようになっている。これは、フランスの Stellantis 傘下のブランドである Chrysler、Dodge、Jeep、RAM、Alfa Romeo などに搭載されている、Uconnect と呼ばれるインフォテイメントプラットフォームとの連携により実現している。



出典：Haas Alert Web サイト（https://www.haasalert.com/gb）

図 3.2.29　Haas Alert （左：車載器／右：工事箇所等の表示画面）

(3)　交通運輸戦略計画（TOSP：Traffic Operation Strategic Plan）

バージニア州運輸省（VDOT）は、広大な道路ネットワークを管理し、交通の効率的な流れを確保するための戦略およびアクションを概説する、交通運輸戦略計画（TOSP：Traffic Operation Strategic Plan）の立案を検討している。未だ Draft 段階であり、最終承認前の段階の資料に基づいて下記する。

a)　VDOT における交通運用のためのミッション

TOSP では、VDOT の行うべきミッションとして下記が挙げられている。

1. 交通工学・運用ガイダンス：

安全で効率的な高速道路システムをサポートするために、州全体の方針、基準、意思決定支援ツール、データの提供

2.　州全体の高速道路安全プログラムの監督：

交通事故データの分析、高速道路と踏切の安全プロジェクトの計画と資金提供、作業区域の安全方針と訓練の確立

3. 計画・実績管理：

運行計画、実績測定監督、交通データ収集、監視・分析、コネクティッドカー・自動運転車プログラムの実施

4. コリドー管理：

交通信号制御、速度政策、トラックルートと旅行者情報（511 システム）の提供

5. 交通事故管理：

TOC 管理、Safety Service Patrol、レッカー移動プログラム、交通事故管理

6. 交通事業の提供：

コリドーおよび技術プロジェクトにおける交付金による資金調達、報告書の作成と監督



出典：VDOT 資料

図 3.2.30　VDOT における交通運用のためのミッション

b)　**TOSP の目指すゴールと戦略テーマ**

TOSP で示されているすゴールと戦略テーマについて下記に示す。

目指すゴール

i. バージニア州の道路における安全性、機動性、利用者満足体験の向上
ii. 交通業務を全庁的に制度化
iii. 明確なパフォーマンス目標を持つ交通業務のライフサイクルと持続可能な方法論の確立
iv. 先進交通技術を活用し、運用回復力の強化
v. 交通オペレーションにおける革新的なデータ駆動型アプローチの使用を進化
vi. 官民パートナーシップを活用し、バージニア州の交通オペレーションへの投資を拡大

戦略テーマ

i. 安全とサイバーセキュリティ
バージニア州全体の交通システム利用者の安全性、サイバーセキュリティ、モビリティを積極的に向上させるため、業務機能を強化する。

ii. データ主導
情報科学の進歩を応用し、高品質で統合された安全なデータを発見、利用、共有することで、根拠に基づいた情報に基づいた交通運行の意思決定を支援する。

iii. オペレーション・テクノロジー
次世代のオペレーション・テクノロジー（OT）システムを導入するために、情報通信技術や自動車技術の発展を活用する。

iv. 資金調達と調達
ビジネスモデル、パートナーシップ、パフォーマンスベースの意思決定におけるイノベーションを取り入れ、バージニア州全体の運営財・サービスの資金調達と調達を変革する。

v. 労働力と能力
成熟化する業務機能に対する将来のスキルニーズとギャップに対応するため、全体的な労働力（VDOT と契約リソース）を惹きつけ、開発し、維持し、拡大する。



出典：VDOT 資料

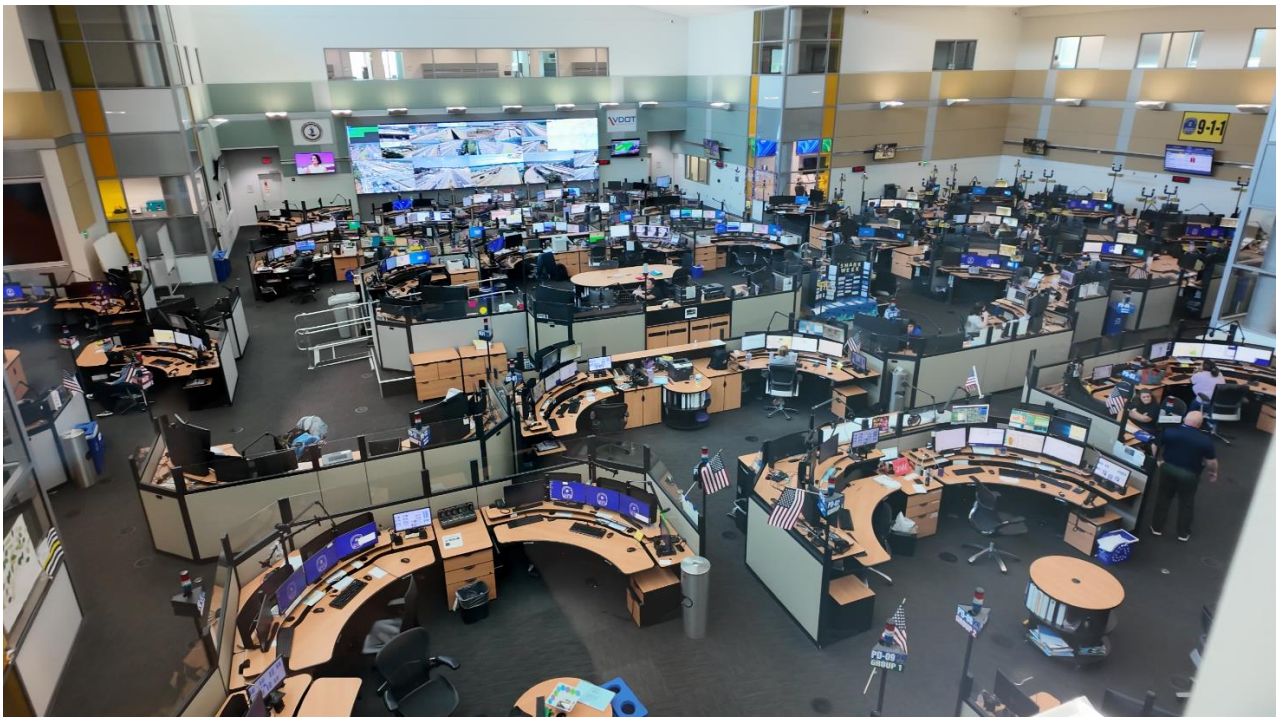
図 3.2.31　VDOT における交通運用のための目標と戦略

(4)　交通オペレーションセンター（McConnell Public Safety and Transportation Operations Center）

バージニア州交通局（VDOT）には、交通オペレーションセンター（TOC：Traffic Operation Center）が 5 箇所あり、McConnell Public Safety and Transportation Operations Center（MPSTOC）が最大規模を誇る。Virginia Beach、Richmond、Staunton、Selem にも TOC はあるが、Staunton、Selem の TOC は小規模で 5 人ほどのスタッフで運用しているのに対し、MPSTOC では 30 人以上のオペレーターによって運営されている。

a)　運営

MPSTOC は、VDOT とフェアファックス郡公共安全通信局の共同運営であり、交通管理と安全の両方の業務を担っている。同一施設内に、フェアファックス郡の 911 コールセンター、VDOT のオペレーター、ワシントンメトロ、警察・消防の通信指令係などの異なる組織のスタッフがおり、相互に連携して運用を行っている。



出典：JICA 調査団

図 3.2.32　McConnell Public Safety and Transportation Operations Center

b)　施設の特徴

MPSTOC は米国内に３箇所ある、DOT と統合された緊急通報受付センター（PSAPs：Public Safety Answering Points）の１つであり、交通管理者と警察や消防の通信指令係が協働している環境となっている。

MPSTOC では、リアルタイムのデータ収集、交通監視、緊急対応の調整を可能にする高度な通信および監視技術を備えており、その設備によって得られた情報を、交通管理者と警察や消防等の異なる機関が共有することで、相乗効果が促進され、より効果的な対応戦略とリソースの活用につながるものとしている。

911 に電話をかけると、911 コールセンターの担当が応答した上で、警察か消防の通信指令に転送され、通信指令が緊急車両の派遣を決定・指示する。その指示をシステムに入力すると、それが交通事故などの交通管理に関連するものであれば、DOT 側のシステムにも自動的に反映される。

MPSTOC の建物自体は掘割構造の中に建設されているが、これは 9.11 テロを受けて、そのように作られている。また、敷地外には Traffic Field Operation の施設があるが、MPSTOC のシステムを引き継ぐことが可能な仕組みとしており、MPSTOC が被災しても継続運用が可能な、冗長性を確保したシステムとしている。

c)　スタッフ

24 時間／365 日の運営を行っており、オペレーターは 6～8 名が常駐し、各シフトにスーパーバイザーが 1 名含まれる。現在、日中はスーパーバイザーを 2 名にするように変えており、夜間は 1 名である。

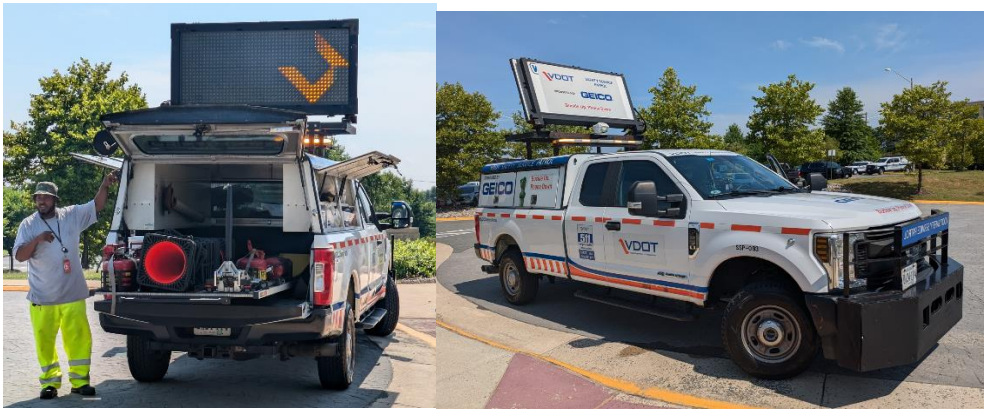
また、COVID-19 での影響を受けて、専用のラップトップを自宅に持ち帰り、自宅からもオペレーションが出来るようにしている。セキュリティのため MPSTOC のシステムに入るには、公共の携帯電話回線では無く、スマホアプリケーションから専用の無線通信を介して接続する方式を採っている。オペレーターはコンサルタント会社（AECOM）から派遣されたスタッフが担っている。

d)　**Virginia Traffic Information Management System (VaTraffic)**

バージニア州交通情報管理システム（VaTraffic：Virginia Traffic Information Management System）は、従来使われていた、運輸局運用情報システム (VOIS) に代わるアップグレードされた交通情報管理システムである。VaTraffic は、バージニア州内の運転者の移動の質に影響を与えるさまざまな活動を管理するための、より効率的で高度な統合データ管理プラットフォームを提供することで、VDOT の運用を改善するように設計されている。具体的には、道路のメンテナンスなどの計画されたイベント、交通事故などの計画外のイベントを管理し、他の VDOT システムに情報を相互共有するアプリケーションネットワークとなっている。また、道路情報を収集・監視・更新、および配布するための統合ツールを提供することで、511 システムの高度化が図られている。

e)　**Safety Service Patrol Unit（SSP）**

Safety Service Patrol Unit では 60 台以上のサービストラックを有しており、1 シフト 12 台で運用している。サービストラックには、交通事故車両の救出に必要な機材や、燃料不足車両のための予備燃料なども搭載している。下図の車両は、米国有数の自動車保険会社である、Government Employees Insurance Company（GEICO）のスポンサーによって、供給されている。

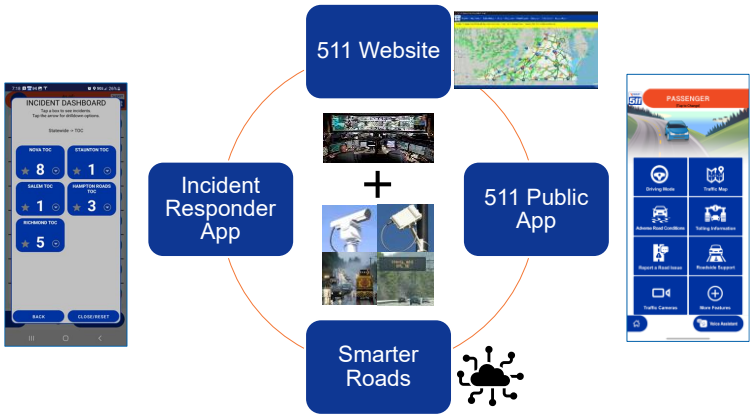


出典：JICA 調査団

図 3.2.33　Safety Service Patrol Unit のサービストラック

(5)　Advanced Traveler Information Systems（ATIS）

バージニア州では、高度交通情報システム（ATIS：Advanced Traveler Information Systems）が州の交通ネットワークの管理、交通の効率性と安全性の向上、旅行者への有益な情報の提供において、重要な役割を果たしている。ATIS の中心となるのは TOC（Traffic Operation and Control）であり、例えば、オペレーターが事故データを入力し、CCTV カメラを制御し、電光掲示板にメッセージを表示する運用を実施する場合、これらの情報は、511 ウェブサイト、511 スマートフォンアプリ、Smarter Roads に自動的に配信される。また、ドライバーは、メールやテキストによるアラートを設定しておくことで、随時情報提供を受けることが可能としている。



出典：VDOT 資料

図 3.2.34　ATIS の全体構成

a)　511 バージニア

511 バージニアは、VDOT が提供する総合的な旅行者向け情報サービスであり、リアルタイムの交通情報、道路状況、最新気象情報、ライブ交通カメラの映像を提供している。このサービスはウェブサイト、モバイルアプリ、電話からアクセスすることが可能であり、特にモバイルアプリでは、①乗用車モードと②商用車モードが用意され、それぞれに必要な情報が表示される。

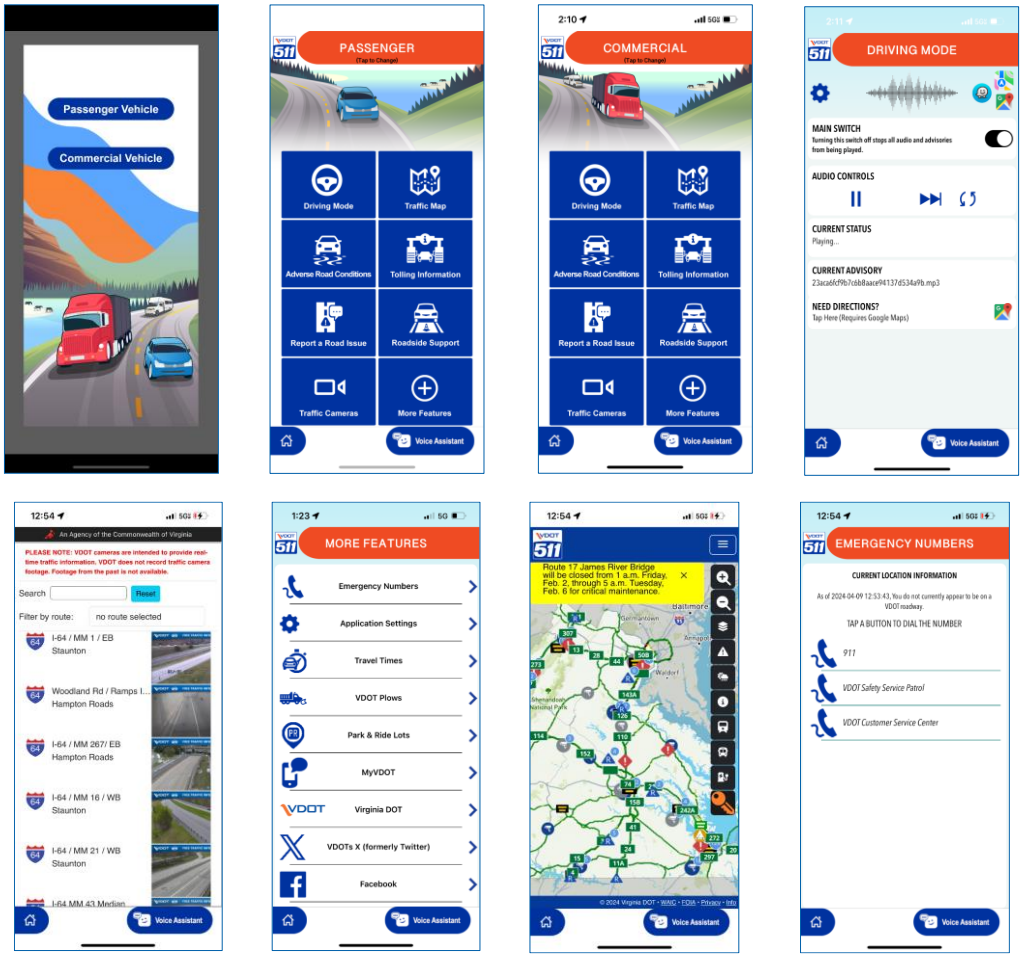
モバイルアプリについては、Apple CarPlay、Android Auto に準拠しており、ドライバーが走行予定のルートにしたがって、車両のナビ画面に事故の警告などを表示することも可能としている。

乗用車モード

このモードでは、デフォルトで車両速度が工事箇所や事故情報のレイヤーとともに表示される。
また、事故情報を音声で読み上げる機能も有しており、Google Maps 等を利用しているドライバーに情報提供することを可能としている。ドライバーに提供される情報は、進行方向にあるイベントに関わるもののみが提供される仕組みとしている。
また、ポットホールや倒れた標識、交通信号の問題など、道路に関連する問題をアプリまたは電話を介して通報する機能を有しており、通報された問題の位置を特定するために、モバイルデバイスの GPS を利用することも出来るため、通報を受けた後、現場に向かう作業員の省力化が図られている。
さらに、道路交通の正確な旅行速度を収集・把握するために、モバイルアプリから匿名の速度データを収集する機能も有している。

商用車モード

商用車モードでは、乗用車モードの機能とは別に、予め指定された走行ルートをデフォルトでマップ上に表示するほか、道路上にある橋梁等の高さが低い場所の表示機能も追加されている。



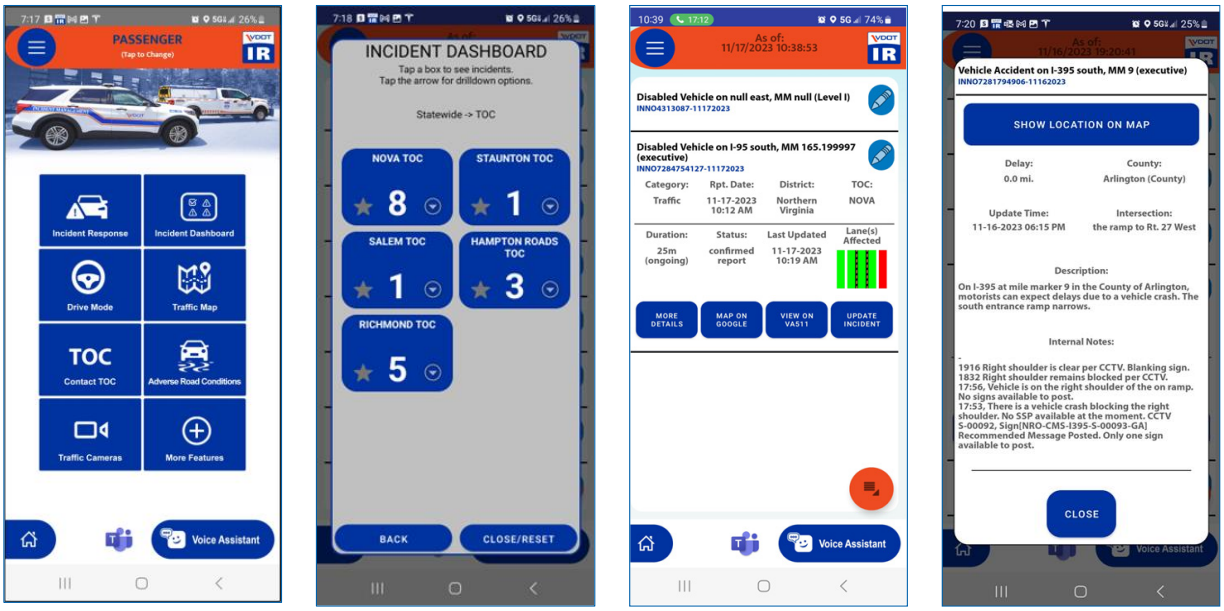
出典：VDOT 資料

図 3.2.35　511 モバイルの HMI

b)　Incident Responder App（突発事象対応アプリ）

突発事象対応アプリは、これまでに無い新しい取り組みとして導入されている。これまでは、突発事象が発生すると、その事象毎にメールが送られてきており、さらに、同一事象でも状態の変化があると追加でメールが来るようになっており、半日でも 50 通以上のメールを受信するため、実運用上、必要な情報が埋もれてしまうという問題があった。

当該アプリは、現場対応を行うスタッフ向けに構築されており、ユーザー名とパスワードで管理し、現場スタッフから、場所と深刻度レベルなどを収集すると共に、負傷者、危険物、現場にある州の資産、交通事故の継続時間、車線への影響の有無など、一般には公開されていない事故の詳細を提供・共有する機能を有している。



出典：VDOT 資料

図 3.2.36　Incident Responder App の HMI

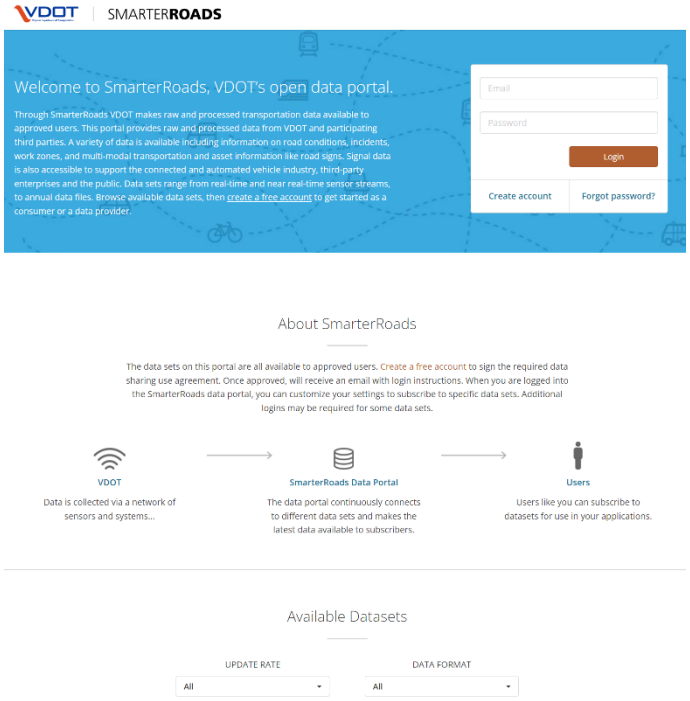
c)　Smarter Roads（オープンデータプラットフォーム）

Smarter Roads は、VDOT の有する未加工および処理済みの交通データを承認されたユーザーに提供するポータルサイトである。提供されるデータには、VDOT だけでなく、公開に同意したサードパーティからの未加工および処理済みのデータも含まれる。道路状況、事故情報、工事区域、道路標識などの資産情報や信号現示データも提供されている。

データセットは、リアルタイムデータから年間データまで多岐に渡っている。

下図に Smarter Roads で提供されているデータセットの一覧と、更新頻度を示す。各々の項目のうち、黄色反転しているのは、1～10 分間隔で更新されるデータ、緑色反転は 1 秒間隔で更新されるデータ、その他は日次～年次間隔で更新されるデータである。

緑色反転している、Signal Phase and Timing（SPaT）については、バージニア州で行われているコネクテッドコリドープロジェクトの交差点の交通信号の状態をリアルタイムに提供している。



出典：Smarter Roads（ https://smarterroads.org/login ）

図 3.2.37　Smarter Roads ポータルサイト

Average Daily Traffic	Speed Limits	Truck Parking
Crashes	Tolling and Trip Pricing I-64	VDOT Incidents
Districts	Tolling and Trip Pricing I-66	VDOT Road Closures
Dynamic Message Signs (Active and All)	Tolling and Trip Pricing I95/ I-495	Vehicle Miles Traveled
Gate	Traffic Sensor Stations	Weather Events (Long, Long Defaults and Short)
KITS Signal Data	Traffic Signal Location and Info	WorkZone Data Exchange (WZDx)
Map Data (MAP)	Travel Advisories & Lane Closures	
Paving Schedules	Travel Times	
Road Construction	Historical Truck Parking	
Signal Phase and Timing (SPaT)	Truck Restrictions	

出典：VDOT 資料

図 3.2.38　提供されているデータセットと更新頻度
（緑：1 秒間隔／黄：1～10 分間隔／その他：日次～年次）

Smarter Roads で提供されているデータセットのフォーマット（様式）については、工事情報のように WZDx として標準規格があるものは、それに準拠しているが、ほとんどのデータセットのフォーマットは標準化されておらず、独自仕様になっている。SPaT についても、米国全体では、12 種類程度の異なる仕様の SPaT が存在しているとのことである。

また、交通事故データについても、緯度・経度などの一般的な属性は、どの州のデータフォーマットにも存在すると考えられるが、フォーマットとして共通化されてはいないとの事である。

d)　**Drivewyze**

Drivewyze は、計量所バイパス情報とコネクテッド・トラック・ソリューションを提供している。クラウドベースの技術と GPS 対応デバイスを活用し、走行中の商用車に直接リアルタイムのデータとサービスを提供している。車両⇒サーバ（計量所）に対して、当該サービスへの加入状況や車両総重量（積載重量含む）などが送信され、加入状況の確認が行われた上で、計量所手前の Weign-In-Motion 設備での計測の結果、事前に送信された車両総重量よりも超過が無い場合は、計量所をバイパスすることを許可している。このサービスは、トラックが計量所に立ち寄る必要性を減らすことで、貨物輸送の効率性とコンプライアンス面を改善することを目的としている。

計量所バイパス：

車両計量所の計量センサーと通信が可能なモバイルアプリを使用して、トラック車両が計量所をバイパスすることを可能にしている。予めコンプライアンス基準を満たしていることが確認されているトラックは、他の計量所で停止することなくバイパスすることができ、時間、燃料、費用を節約することを実現する。

通行可否通知：

このサービスでは、突発事象の情報だけでなく、道路上にあるクリアランスの少ない橋梁、急勾配、横転の危険のある箇所、ルート前方にある運転上の危険に関する警告を含むことも可能である。

Drivewyze に VDOT の 511 の情報を組み込む作業を進めており、2024 年夏にはリリース出来る予定とのことである。商用車は Drivewyze を使っているため、そこに VDOT の有する道路のインフラデータから大型トラックの通行可否情報を提供する。

過積載は道路に与える影響が大きく、その取締りが重要である一方で、全てのトラックを停めて計量するとなると、輸送効率を低下させて経済的に良い影響を発生させない。

トラックを停めずに計測可能な Weigh-in-Motion もあるが、連邦政府では Weigh-in-Motion の精度に課題があるとして、取締りには使用できず、あくまでスクリーニングを行うために過ぎない。

Drivewyze は予め物流会社がコンプライアンス基準を満たしていることを確認している場合、或いは他の計量所で計測した実績があれば、他の計量所をバイパスすることを可能としている。



出典：VDOT 資料

図 3.2.39　Drivewyze

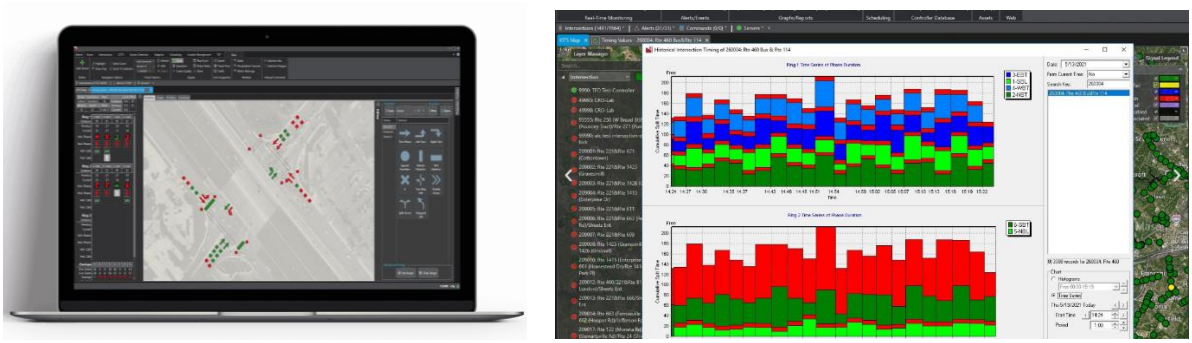
(6)　交通信号制御センター（Traffic Signal Control Center）

a)　管轄

当該センターでは、バージニア州全体の VDOT 管轄の道路にある信号機の約 3,000 基の 50%にあたる、約 1,500 基の信号と、約 17,000 の車両検知器を管理している。これは当該センターの管轄区域が北部バージニアであるものの、州全体の交通信号の 50%が北部バージニアに集中していることから、結果的に大多数を当該センターで管理することになっている。

b)　交通信号システムについて

VDOT で採用している交通信号システムは、2 年ほど前に導入された、KITS と呼ばれるシステムであり、Kimley-Horn and Associates, Inc（https://www.kimley-horn.com/）が開発・供給を行っている。



出典：KITS Web サイト（https://www.kimley-horn.com/solutions/smart-cities/kits）

図 3.2.40　KITS の画面イメージ

従来は北部バージニア地区だけの中央信号システムを 25 年以上運用していたが、全州的に KITS に刷新を行った。KITS によって常時リアルタイムに車両検知器や信号灯火の状態をモニタリングすることが可能なだけでなく、遠隔操作により現示パターンの調整を行うことが可能となっている。

c)　信号現示制御

当該センターの管理する信号交差点では、一般的には 8 つの現示パターン（①平日午前、②平日正午、③平日午後、④平日オフピーク、⑤週末午前、⑥週末正午、⑦週末午後、⑧週末オフピーク）を設定している。この現示パターンは、車両検知器から得られるデータを基に、典型的な 1 日の交通パターンを正確に把握し、繰り返し発生する混雑に対応するための現示パターン計画を策定している。

現示パターンはコリドー単位だけでなく、ネットワーク単位でも同期を図るように調整を行っている。ただ、このような現示パターンは、突発事象による影響は考慮されていないことから、突発事象によって交通状況が大きく変化した場合には、センターから現示パターンを変更し、事故対策モードに行っている。

現示パターンの立案や遠隔制御については、Iteris から派遣されたスタッフを雇用して対応している。

ダイナミックに信号現示を自動的に変化させる、完全適応交通制御システムとして、Rhythm Engineering の InSync（https://rhythmtraffic.com/）を試験的に導入したことがあるものの、車両検知に使われたカメラが上手く機能せず、カメラを修理する作業に追われる結果となり、正式導入は行っていない。

d)　**他機関との信号連携**

バージニア州内の自治体が管理する交通信号との統合は課題であり、異なる信号システムが導入されているために、一括した統合制御は行うことは出来ない。そのため、20 数年前から、Inter-Jurisdictional Coordinator（IJC）という役職を設け、他機関の信号管理者と 2 カ月毎に協議を行いう、境界での信号現示の調整を行っている。

e)　**信号制御への AI 活用について**

現状では信号制御への AI 活用は未定だが、AI に入力されるデータの質が担保されているかどうかが、最も重要であり、現段階では車両検知器データだけでなく、様々なデータの信頼性が担保されているかを評価する仕組みと併せて、将来的な AI 活用が検討されるとのことである。

3.2.3 Florida DOT（FDOT）

FDOT は、今回訪問した DOT の中で最も予算が潤沢にあり、先端的な技術の試験導入や評価を積極的に実施している印象を受けた。職員の 9 割が契約ベースのコンサルタントで、敷地内駐車場には、各機材のサンプルが配置されており試験やトレーニングを行っている。

(1) FDOT の組織構造

FDOT は、セントラルオフィスと 7 つの地区（District）から構成される。セントラルオフィスは、ポリシーの策定や立法府への代表としての役割を果たし、州全体のプログラム資金調達を行う。7 つの地区では、施策の実施、プロジェクトレベルの契約監理などを担っている。スタッフの 9 割が契約ベースのコンサルタントで、DOT の職員は 1 割に過ぎない。図 3.2.41 は、訪問した District 5 の組織図を表しており、コンサルタントが 94%を占めており、コンサルタント契約が色分けされて示されている。

FDOT では表 3.2.3 に示す 6 つの戦略的プログラムを掲げている。

表 3.2.3　FDOT の 6 つの戦略的プログラム

項目	内容
Program Mainstreaming	全プロジェクトにおける TSMO の実施、仕様の開発、技術導入のガイド、トレーニング資料作成
Freeway Management	州全体の ATMS（Sunguide）、州全体の ATIS （FL511）、サービスパトロール、交通事故管理、技術導入（Ramp Metering、Wrong Way Driving）、データ管理（DIVAS）
STAMP (Statewide Arterial Management Program)	保守（交通信号の保守と補償契約）、運用（コリドー管理とアクティブ幹線道路管理）、技術導入（適応信号制御技術）、新技術（CV および自動運転車両用インフラ）、交通制御システムデータ管理、トレーニング
Connected Vehicle	Version 1.0：大規模投資、独立型プロジェクト、州全体の SCMS（Security Credential Management System）、許可プロセス、Sunguide の強化、V2X DEP(V2X Data Exchange Program) Version 2.0：実装中、セルラー通信の重視、運用と保守、データ管理の調整
Express Lanes	設計と導入のガイダンス、州全体のソフトウェア（NG-SELS）、O&M 資金、トレーニング
Information Systems	各戦略を実現するためのソフトウェア投資（Sunguide、DIVAS、FL511、V2X DEP、NG-SELS）

出典：FDOT

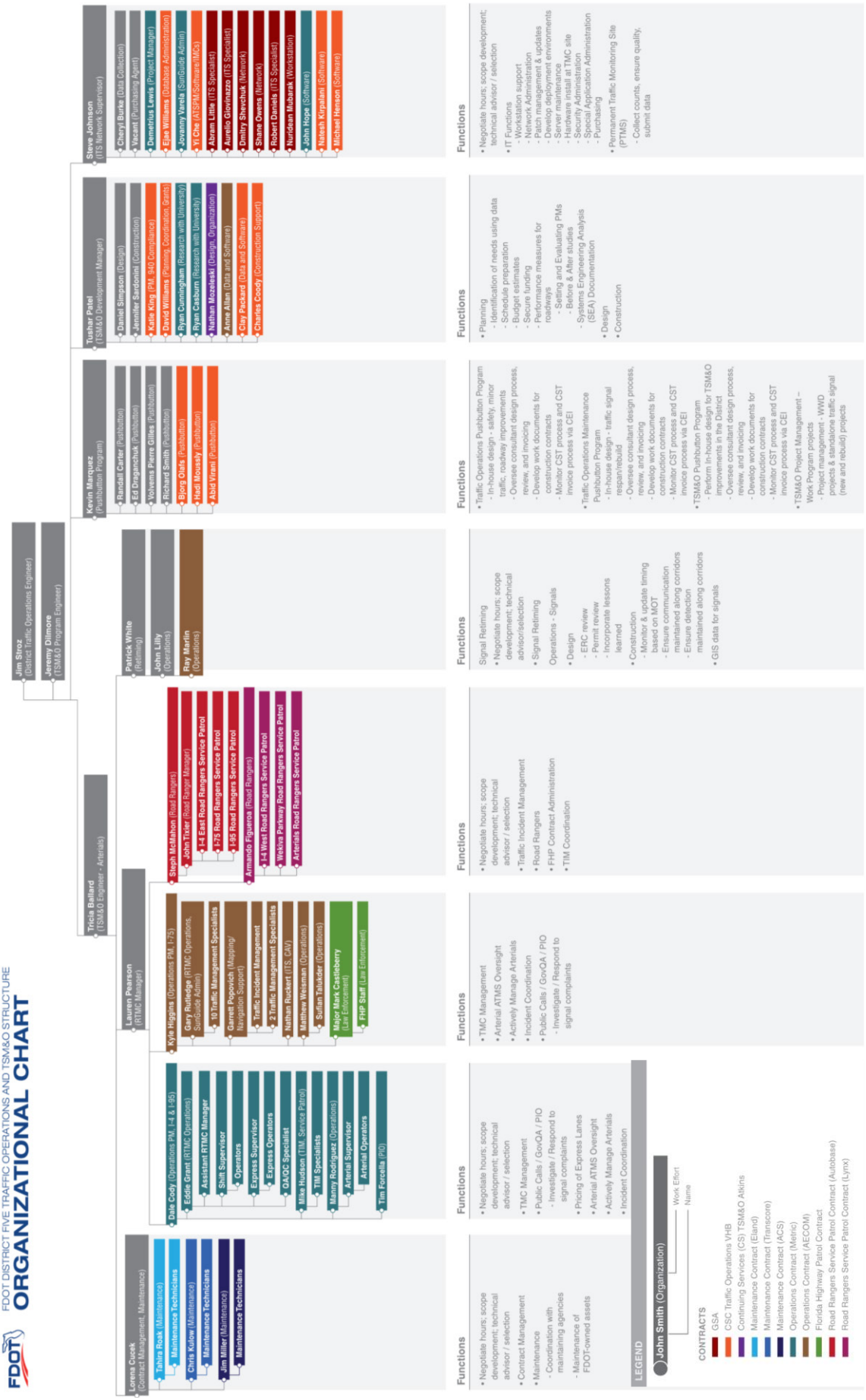


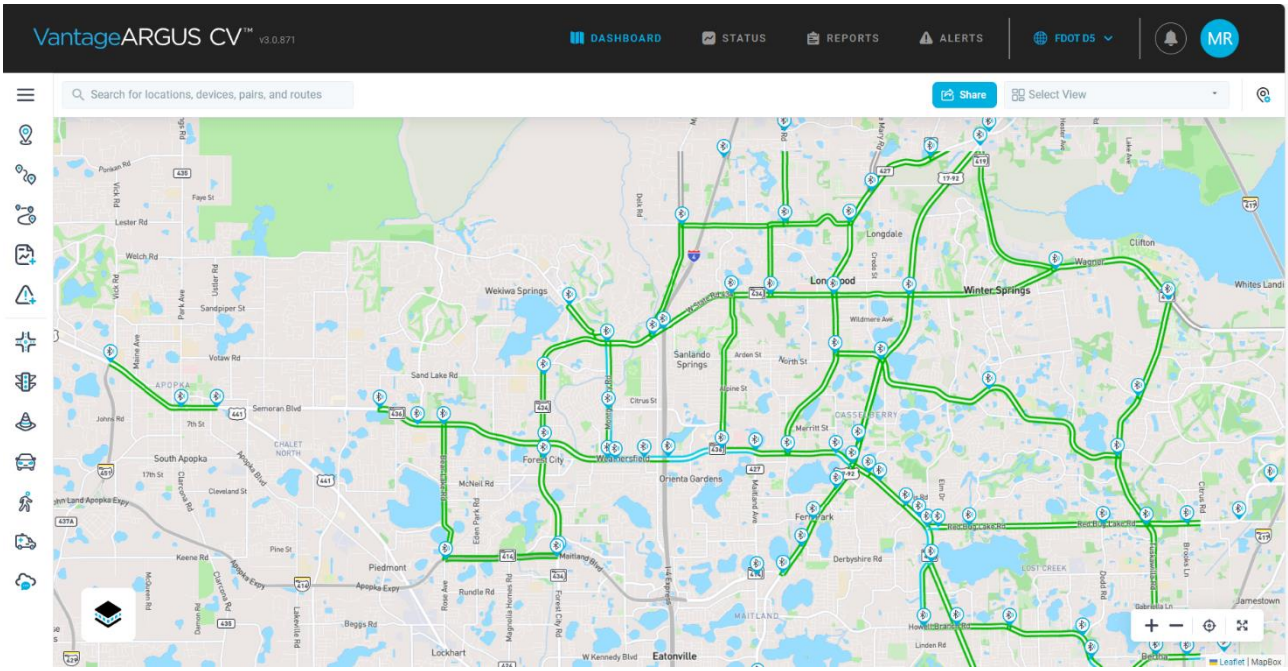
図 3.2.41　FDOT District 5 の組織図

(2)　車両感知器

目的に応じて多様な感知器データを取得・活用し、新たな製品・サービスについても積極的に試験運用と評価を行っている。

a)　Bluetooth

幹線上に Bluetooth センサーが設置されており、旅行時間と OD を収集している。旅行時間はパフォーマンス指標の算出に、OD は、ヒストリカルデータを分析して信号の系統の組み方の検討やインシデント発生時の迂回経路の検討にも用いられている。Bluetooth センサーおよびプラットフォームは、それぞれ Iteris 社が開発・提供する BlueTOAD および VangateARGUS CV が利用されている。Bluetooth のサンプル率は 3~5%で、1 時間あたりに 15 台以下の場合はデータ精度に関してアラートが出る。MAC アドレスは定期的に変更されるが、日付をまたいだデータは不要であり、この用途と設置間隔では問題なく利用できているとのことである。



出典：FDOT

図 3.2.42　Bluetooth センサー設置位置と旅行速度

b)　高周波レーダー（Wavetronix 社 Smart Sensor HD）

管轄内の I-4, I-95, I-75 に 1 マイルごとに導入されている。マイクロ波レーダーを利用する RTMS Echo が設置・調整に 7 日かかったのに対し、Smart Sensor HD は 1 時間で済み、機器の価格は高いが設置費用と精度を含めると優れていた。65 度のビーム角で最大 250 フィート（22 車線相当）を 1 台でカバーできるが、駐車場などの低速車両検知には適さない。

交通量、速度、占有率、車種、走行方向のデータを収集し、事故検知、道路計画、渋滞検知に利用している。LiDAR を使った Speedlane Pro（Houston Radar 社）も試験中で、悪天候時のパフォーマンス次第では代替手段となる。



出典：FDOT

図 3.2.43　高周波レーダー（Wavetronix Smart Sensor HD）

表 3.2.4　LiDAR・高周波レーダー・マイクロ波レーダーの特徴

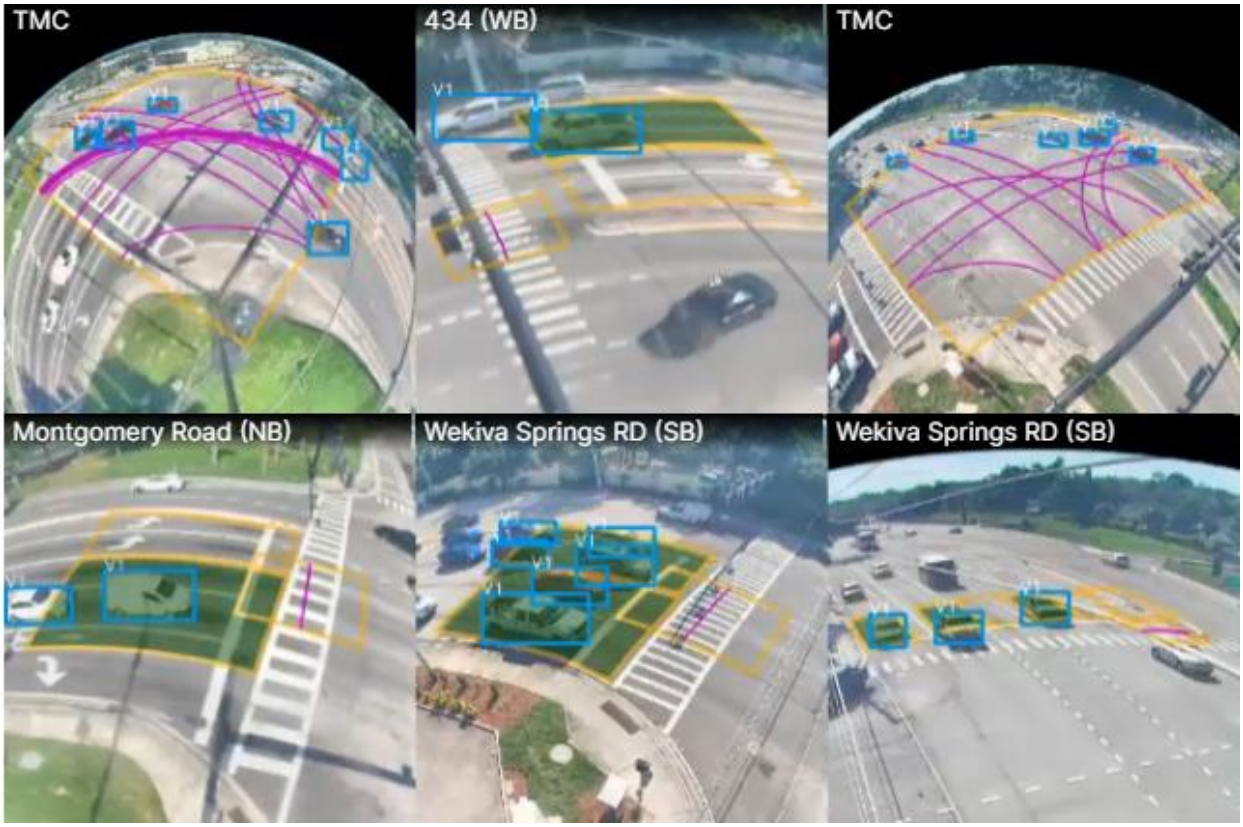
特徴	LiDAR	高周波レーダー	マイクロ波レーダー
原理	光の反射を測定	電磁波の反射を測定	電磁波の反射を測定
波長	可視光から近赤外線 （750～1500nm）	ミリ波 （1～10mm）	マイクロ波 （10～100mm）
精度	高精度（数 cm 以下）	中精度（数 cm から数 m）	中精度（数 cm から数 m）
透過能力	低 （煙、霧、雨に弱い）	中 （霧や雨の影響を受けにくい）	高 （雨や霧の影響を受けにくい）
範囲	短～中距離 （数 m～数百 m）	長距離 （数百 m）	長距離 （数百 m）
解像度	高解像度	中～高解像度	中解像度
コスト	高コスト	中コスト	低～中コスト

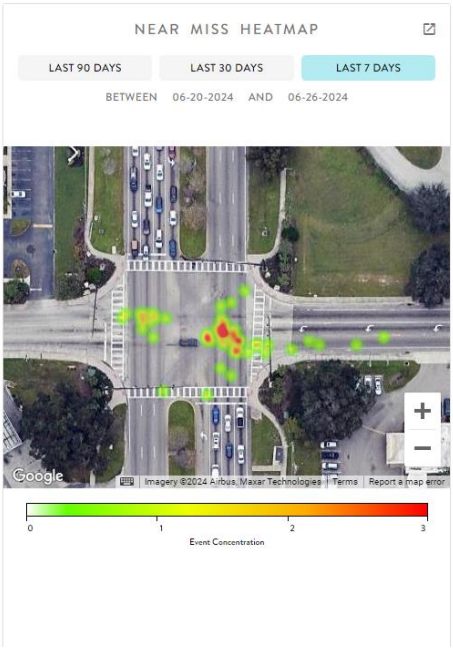
出典：調査団

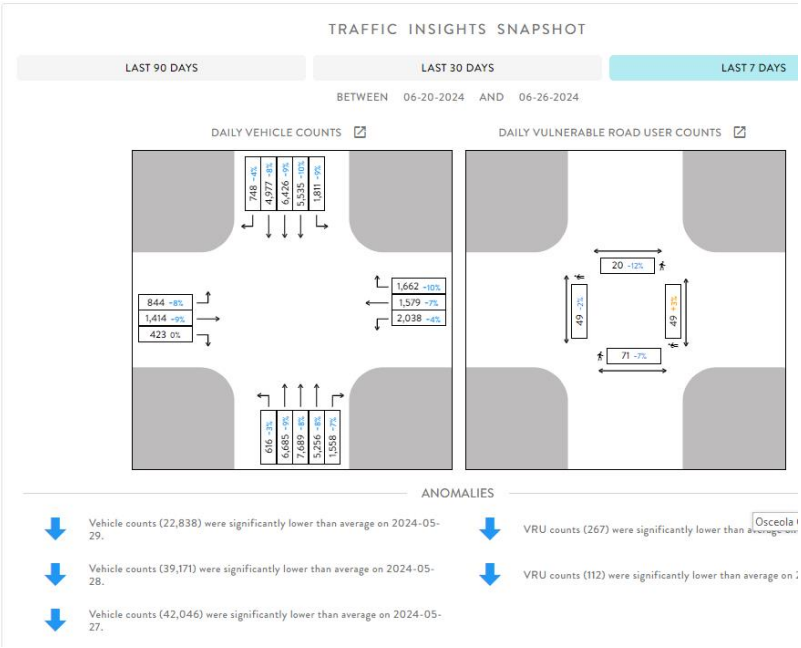
c)　**信号交差点における CCTV+画像解析**

交差点方向別交通量カウントのプロジェクトを 2016 年ごろから進めている。将来的にはリアルタイムの交通管理支援や短期的なコリドー交通量予測などに用いることを目標としている。プロジェクトは民間企業（GridSmart 社、Miovision 社、DERQ 社、Trafficvision 社など）に発注する形で進めている。

図 3.2.44 に示す信号交差点における CCTV+画像解析では、1 交差点あたり 1~2 台設置した魚眼レンズ CCTV 映像を画像解析し、車線別に交差点方向別交通量・横断歩行者の計測とヒヤリハット地点のヒートマップを作成している。将来的には、適応型信号の入力データとしても活用することにより、感知器の維持管理コストを抑えることを目指している。







出典：FDOT

図 3.2.44　CCTV＋画像解析による交差点方向別交通量計測とヒヤリハットヒートマップ

(3)　ATSPM と AI ベースの信号タイミング最適化

Automated Traffic Signal Performance Metrics（ATSPM）は、交通信号のデータ収集と可視化を自動化するシステムで、交差点における遅延や青時間の充足度などの指標を提供する。データは、イベントコードを使用して交通信号制御器から収集され、オープンソースのアプリケーション（Kafka）を使用して集計される。このデータは標準化され、さまざまなソフトウェアで使用され、交通状況に関するパフォーマンス指標が生成される。UDOT（ユタ州交通局）の提供する UDOTTraffic のようなオープンソースソフトウェアは柔軟性と低コストが利点となるが、Miovision や Parsons のようなベンダーのソフトウェアは、さまざまなレポートや指標を提供し、信号のパフォーマンスを監視し、最適化するのに役立てられる利点がある。例えば、スプリット・モニターは、スプリットの不具合を特定し、信号タイミングを最適化するのに役立つツールである。

ATSPM の効果的な使用には、車線ごとの検出、側道からの車両感知、高解像度の制御器データなどが必要で、より詳細なレポートを得るには高解像度のデータが必要となる。データの暗号化やセッション管理の問題など、ベンダーによって固有の課題があり、これがデータ収集や制御器のパフォーマンスに影響を与えるため注意が必要となる。今後の改善点としては、設定管理の改善、より安価な検出装置、より堅牢なデータ収集方法などがある。



出典：FDOT

図 3.2.45　ATSPM チャート（Parsons 社）

FDOT では、多数のベンダーの ATSPM 製品の導入やパイロットプロジェクトを実施している（Parsons 社 Intelligent Intersections、Iteris 社 ClearGuide、Miovision 社 TrafficOp、Axilion 社 X Way、Google 社 GreenLight、Cubic 社 SyncroGreen、FlowLabs 社 Abacus、NoTraffic 社など）。中には AI が信号

最適化を提案するものもあるが、AI には得意・不得意があり、不安定なシステムなどでは従来のエンジニアリングロジックが有効であることが証明されているため、この分野においては AI に頼ることに慎重である。FDOT は現時点で AI により提案された信号現示案をエンジニアが確認し、現示変更の参考情報として利用している。

2024 年 7 月時点では、FDOT は Iteris 社との契約を終了し、Miovision 社と FlowLabs 社の契約内に含まれる ATSPM チャートを継続利用しつつ、更新されたオープンソースソフトウェアの UDOTTraffic の試用を検討するということであった。以下、個別にコメントがあったサービスについて記載する。

- NoTraffic プラットフォームは、レーダーとカメラビューを組み合わせたものだが、サイバーセキュリティとデータ暗号化には限界がある。ATSPM のソフトウェアや指標も期待していたものではなかったため、今後契約を継続する予定はない。
- Google 社 Green Light は、最もサンプル率の高いデータを使い、AI を用いて無償で信号最適化案（個別交差点のスプリットとコリドーレベルのオフセット）を提案してくれたが、根拠となるデータを共有してもらえなかった。突発事象では従来の交通工学理論が有効であることが示されており、FDOT は独自のエンジニアリングロジックを適用するためにデータにアクセスすることを求めていたため不一致が生じた。
- Parsons 社 Intelligent Intersections は、一部の機能を使用するためには INRIX のプローブデータのライセンスが別途必要ということで、一部機能に絞り無償でパイロットプロジェクトを実施した。

(4)　交通管制プラットフォーム SunGuide

SunGuide はフロリダ州全体の交通管制センターで使われているソフトウェアであり、インシデント対応、データ収集、信号制御など多様な機能に一元的にアクセスできるプラットフォームである。2001 年から開発が始まり、徐々に機能を増やし、現在バージョン 9 を試験導入中である。開発は州の資金援助で行われている。SunGuide を利用する交通管制センター職員が隔週でミーティングを行い、ソフトウェアの使い方や機能について議論している。Version 8.2 の機能一覧を図 3.2.46 と表 3.2.5 に示す。



出典：FDOT

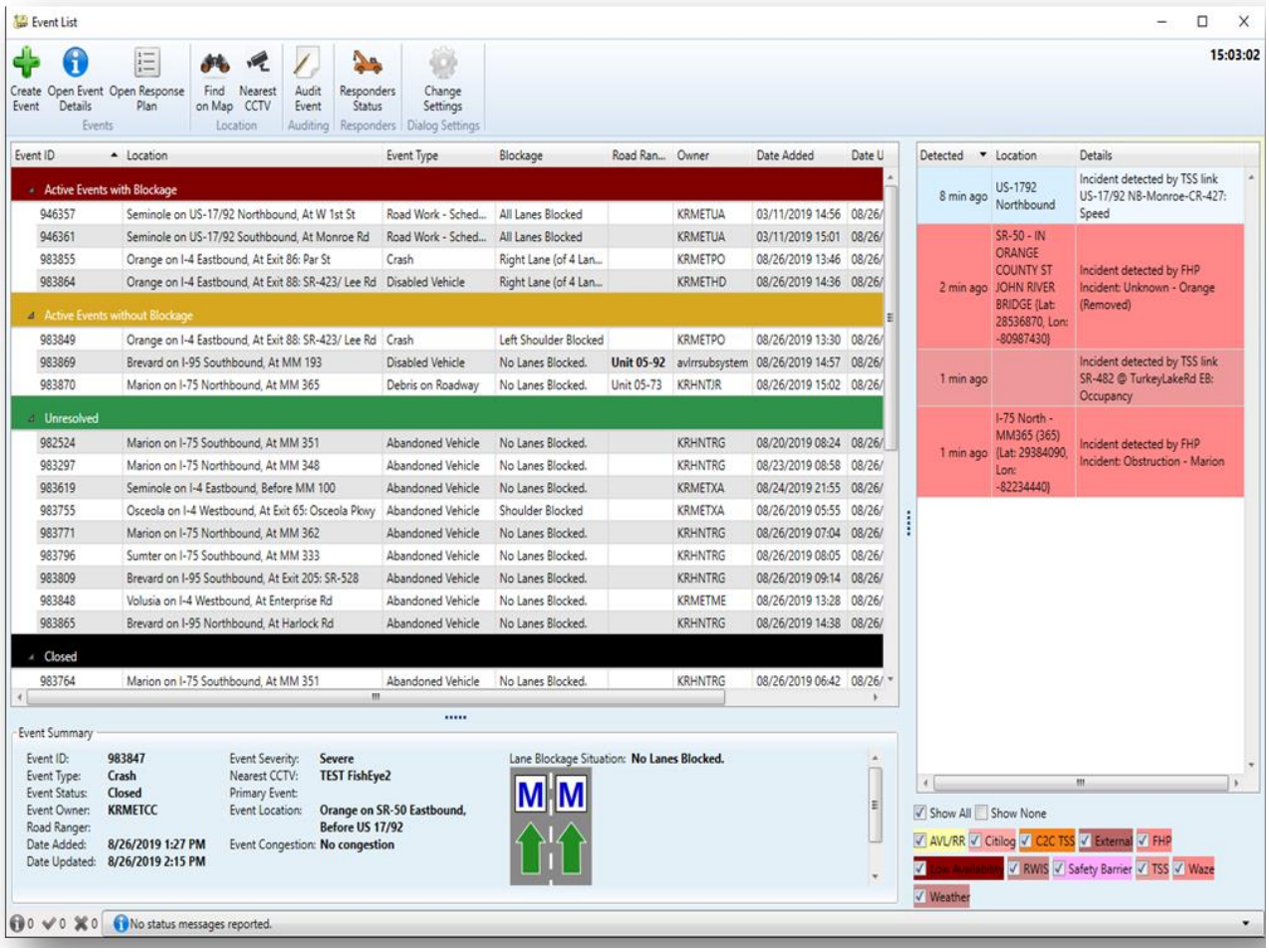
図 3.2.46　SunGuide のトップ画面

表 3.2.5　SunGuide の機能一覧

略称	総称	説明
AVLRR	Automated Vehicle Location Road Ranger	道路レンジャーの位置を追跡し、システム内のイベントにアクセスできるようにする。
BMS	Beacon Management System	低速または渋滞する交通が検出されたときに点滅灯を自動的に作動させることができる。
C2C	Center to Center	他の TMC との通信を可能にし、交通データにアクセスし、FL 511 システムにフラッドゲート/バナーメッセージを投稿できるようにする。
CNA	Contact Notification Application	異なる連絡先のデータベースを保存し、さまざまな種類のイベントの通知を受け取るように設定することができる。
CCTV	Closed Circuit Television	カメラの動作機能も含め、カバーされた道路沿いのすべてのカメラを制御する。
Connected Veh.	Connected Vehicle	OBU などの CV デバイスを搭載した車両にアラートメッセージを送信できるようにする。D5 で試験中。
DMS	Dynamic Message Sign	システム全体で頭上の標識にメッセージを投稿できるようにする。
EM	Event Management	交通管制センター内で行われるほぼすべての作業はこのサブシステムに結び付いている。道路で発生するすべての事件にはイベントが作成され、将来の参照のためにすべてのメモがここに追加される。
GPIO	General Purpose Input/Output	ブリッジの上げ下げ信号などの外部デバイスが SunGuide と通信できるようにするドライバー。
IDS	Incident Detection System	ロードレンジャー、天気情報、TSS から SunGuide に入るアラート。
MAS	Message Arbitration Subsystem	単一の DMS キュー内に複数のメッセージを投稿できるようにする。選択したメッセージを結合して単一のメッセージを作成できるようにする。
RCA	Remote Command Application	他の地区が自分の CCTV を共有できるようにし、その逆も可能にする。
RISC	Rapid Incident Scene Clearance	通常、故障車両・事故等のインシデントが生じた際に、牽引業者の到着およびクリアランス時間を追跡するために使用される。
RMS	Ramp Metering Subsystem	システム全体でランプメータリングを実装できるようにする。※1
RS	Reporting Subsystem	交通管制センターの上級管理職および FDOT が SunGuide 機能のレポートを生成するために使用する。
RWIS	Road Weather Information Subsystem	システム全体のセンサーから気象関連データを受信できるようにする。※1
SAA	System Administration Application	オペレーターが別のユーザー名とパスワードを入力するのではなく、Windows 認証情報を使用して SunGuide にログインできるようにする。
SAS	Scheduled Actions Subsystem	オペレーターが特定のアクション（事前選択された日時に DMS メッセージを投稿するなど）をスケジュールできるようにする。
TCS	Traffic Control Subsystem	重大な事故のために迂回が必要な場合に交通信号のフェーズを調整できるようにする。
TPS	Truck Parking System	オペレーターが休憩所および計量ステーション内の利用可能なトレーラー駐車スペースを監視し、指定された TPAS（Truck Parking Availability System）DMS に空き状況を表示する際に利用する。
TSS	Transportation Sensor Subsystem	道路上の平均速度を報告する検出器を制御する。
TVT	Travel Time	感知器データを処理することにより、頭上 DMS および FL 511 に表示される旅行時間の計算を可能にする。※2
VS	Video Switching	ビデオウォールでビデオを変更する。※3

水色網掛け：調査団が特筆すべきと判断したサブシステム
出典：FDOT

特筆すべき機能として、Event Management（EM）が挙げられる。EM ではインシデント毎にイベント ID を割り振り、対象リンク、インシデントの深刻度、CCTV 映像、ロードレンジャーや救命救急の対応状況、DMS などを通じた情報提供状況などを随時関係者間で更新・共有することができる。DMS への表示内容案は、インシデントの場所に応じて自動的に生成され、オペレーターはそれに基づいて情報提供を行っている。



出典：FDOT

図 3.2.47　Event Management 内のイベント一覧

(5)　その他のヒアリング結果

a)　交通管制システムの標準化

FDOT では、多数の制御器やファームウェア[20]の試験を行っている。メーカーによっては独自の機能を追加しているが、いずれも最低限 NTCIP の通信プロトコルに従っているため、問題なく機能している。民間企業はユーザーを囲い込もうとするため、このような規制は、DOT にとっても様々な機器に接続する製品を作るメーカーにとっても必要と考える。FDOT に納入される製品はすべて、FDOT が承認した製品リストに含まれている。信号制御器に限らず、新しい技術が出てきているので、同様の規制が必要になるのではないか。

20 ハードウェアの基本的な制御を行うために機器に組み込まれたソフトウェア

b)　適応型信号制御について

適応型信号制御は試したがうまくいかなかった。適応型信号そのものに問題があるというよりも、感知器データの精度に問題があったと考えている。左折車が過小評価されるなど、入力データに課題が見られた。そして、感知器データの精度はメンテナンスの予算によるところが大きい。連邦政府の報告書で繰り返しメンテナンスの重要性が述べられているにもかかわらず、機器の新設には予算がつくが、メンテナンスにはなかなか予算がつかない状況が続いている。

c)　民間企業の誇大広告への注意喚起

民間企業は実績作りのために誇大広告をすることが多いため、実際に試用して比較評価した FDOT の意見には参考になるところが大きい。例えば、「AI ベースの感知器が FDOT に承認された」と記事になったことがあったが、実際には州のスタンダードに合う感知器を導入しただけということもあったという。

d)　通信インフラとセキュリティ

信頼性の観点から光ファイバーネットワークが好まれ、携帯通信はバックアップ・オプションとして使用されている。光ファイバーを敷設ファイバーネットワーク、現実的でない場合には、無線ブリッジも使用されるが、距離や水面反射などの制約はある。

携帯通信は、AT&T 社の専用バンド（バンド 14）を使用しており、FDOT はファーストレスポンダーとして優先的な通信を提供される。これにより、緊急時の低遅延と信頼性の高い通信が確保される。

通信において、セキュリティは最優先事項であり、複雑さと潜在的なセキュリティ・リスクを軽減するため、ネットワークに関与する事業体の数を最小限にする努力がなされている。

3.2.4　California DOT (Caltrans)

(1)　Caltrans の概要

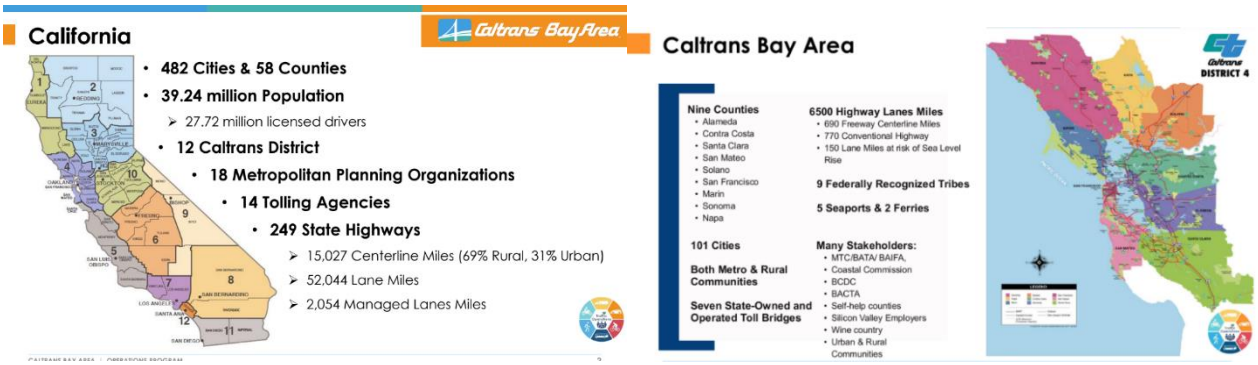
カリフォルニア州交通局（Caltrans）は、カリフォルニア州全体の交通インフラの管理と運営を担当する機関である。Caltrans は、州を 12 の地区に分け、それぞれの地区で交通システムの計画、設計、建設、維持管理を行っている。以下にヒアリングで得た概要を示す。このうち、訪問したのはベイエリアを管轄する District 4 である。

a)　対象範囲

カリフォルニア州には約 3,900 万人が住んでおり、そのうち 2,700 万人が自動車を利用している。高速道路の中心線は約 15,000 マイル（約 24,000 キロメートル）に及び、全車線を含めると約 52,000 車線マイルに達する。カリフォルニアには 18 の都市圏があり、特にベイエリアが重要な地域であり、この地域には 9 つの郡と約 101 の都市が存在、ネイティブアメリカの 9 つの部族エリアがある。7 つの有料橋があり、交通ネットワークの一部を形成している。（図 3.2.48 参照）

b)　組織の役割

Caltrans は、カリフォルニア州を 12 の地区に分け、それぞれの地区で交通システムの運営、維持、改良を行っている。主な部門には、安全部門、システム・オペレーション部門、そして日常業務を扱う部門がある。これらの部門が協力して州の交通の安全性と効率性を高める取り組みを行っている。



出典：Caltrans

図 3.2.48　California 州の概要と Caltrans Bay Area の概要

c)　Caltrans の 4 つの原則

Caltrans は「安全性」、「公平性」、「経済的改善」、「環境保護」という 4 つの指針のもとで運営されている。これらの指針は、すべての活動や取り組みに影響を与え、カリフォルニア州の全住民に効果的に役立つ交通システムを実現するために設計されている。中でも以下の 2 つは近年配慮している事項である。

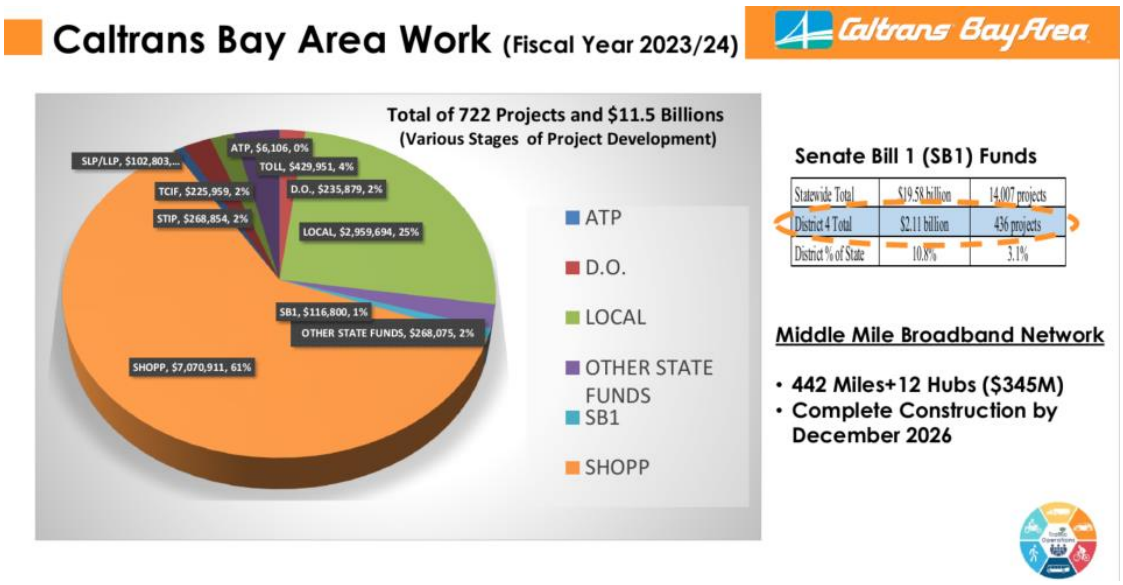
- **公平性**：過去には高速道路を設置し、それが中心となると考えていたが、現在ではすべての地域社会にどのように貢献できるかに焦点を当てている。富裕層、貧困層、その中間層を含め、特に恵まれない地域社会にどのようにサービスを提供できるかに重点を置いている。また、その一環として歩行者や自転車利用者の安全にも一層の注意を払っている。

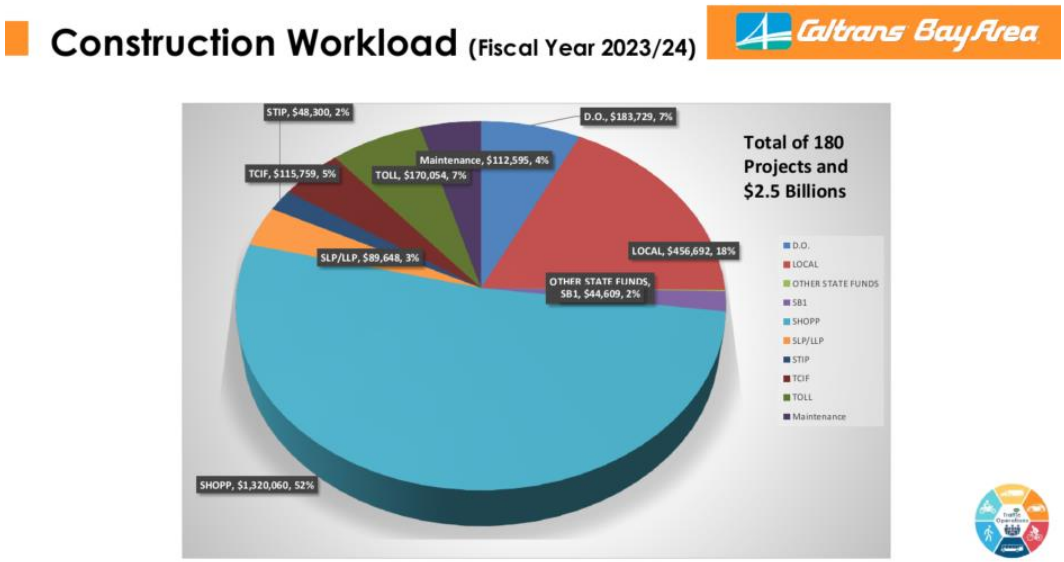
- **環境保護**：温室効果ガスの約 40%が交通から発生していることを認識し、私たちの業務が周囲の環境を悪化させないように努めることが非常に重要である。ベイエリアにおいては、気候対策が特に重要な課題であるため、この点を重視している。

d)　**Caltrans Bay Area の 2023/24 予算とプロジェクト**

Caltrans Bay Area の主な資金源は、 SHOPP（State Highway Operation and Protection Program：州道路運営・安全プログラム）であり、州道の運営と安全性を維持するために活用している。現在 Caltrans は、総額 115 億ドル規模の 700 以上のプロジェクト（計画、設計、建設、運営、保守の複数年にわたるものを含む）を進めている。その中には、ミドルマイル・ブロードバンド・ネットワークの拡大があり、地方の地域に接続を提供するための 442 マイルの光ファイバー網を敷設している（図 3.2.49 参照）。

また、そのうち、地域全体のインフラと安全性を向上させることを目的として、総額 25 億ドル 180 件の建設専用のプロジェクトが進行中である。以下に予算の内訳を示す。





出典：Caltrans

図 3.2.49　Caltrans Bay Area の予算内訳（上全体）と建設関連事業（下 2023/2024）

表 3.2.6　予算内訳の凡例の内容

凡例	目的	特徴
ATP (Active Transportation Program)	歩行者、自転車、公共交通の利用促進を目的としたプログラム。	歩行者や自転車専用道の整備、歩行者の安全向上、交通弱者支援が含まれる
D.O. (District Operations)	各 Caltrans 管轄地区での運用およびメンテナンスに使用される資金。	道路運営、交通管理、保守など、日常的な運用活動を支援。
LOCAL	地域政府（カウンティや市）から提供される資金。共同事業への資金協力。	地域プロジェクトに直接関連し、地方特有の改善施策に使われる。
OTHER STATE FUNDS	州の他の特定プログラムからの追加資金。	SHOPP や STIP 以外の州予算を活用。
SB1 (Senate Bill 1)	2017 年に制定された法案で、道路補修、渋滞緩和、輸送の近代化を目的とする資金。	燃料税や車両登録料の引き上げを通じて調達された。
SHOPP (State Highway Operation and Protection Program):	カリフォルニア州ハイウェイの維持、運用、安全対策の改善。	Caltrans の主要資金源で、長期的な計画の中核。
SLP/LLP (State/Local Partnership Program / Local Partnership Program):	地域交通プロジェクトにおける州と地方の共同資金提供。	地域独自の優先プロジェクトを推進。
TCIF (Trade Corridors Improvement Fund):	物流、貿易回廊、主要貨物輸送路の改善のための資金。	貿易関連の道路および鉄道インフラに焦点を当てる。
TOLL	通行料収入を利用した資金。	有料道路や橋梁の管理、運営に使用。

出典：Caltrans へのヒアリング結果

e)　ベイエリアにおける交通管理の概要

ベイエリアの交通管理は、システム運用部門が行っており、交通信号、電気オペレーション、Traffic Management System （TMS）資産管理など、広範な業務をカバーしている。COVID-19 以降、カリフォルニア州の交通パターンは変化しており、今後はカープール（相乗り）やライドシェア、トランジット（公共交通） 指向のモードシフトを促進することが Caltrans の焦点となっている。

ベイエリア運用部門は、地域内の高速道路や交通システムの安全性と効率性を確保するための様々な業務を担当している。ベイエリアでは、毎日 300 件以上の車線閉鎖が行われており、これには夜間作業や高速道路の改良工事が含まれる。また、交通信号システムの改善や歩行者安全対策も積極的に行われている。

Caltrans は、交通技術の導入と管理を通じて、交通の流れを改善し、安全性と効率を向上させるためのソリューションを提供している。交通システムの管理、渋滞緩和、インフラ改良を中心に、図 3.2.50 に示すさまざまな施策を展開している。

交通の現状把握

Caltrans は、交通の流れ、車線閉鎖、事故状況など、リアルタイムでの状況把握を重視している。これにより、迅速な対応が可能となり、交通の円滑な運行が維持される。これらのデータは、交通技術者が効果的な対策を講じるための基盤として機能している。

システム管理と渋滞緩和

Caltrans のシステム管理部門は、渋滞管理ソリューションの開発や高速道路の将来改良に取り組んでいる。過去には、高速道路の拡幅や安全性の改善などの伝統的な手法を用いて交通の流れを改善してきたが、最近ではより高度な技術を採用している。

特定の施策

- **登坂車線や補助車線の設置:** トラック専用の登坂車線や補助車線を設けることで、交通の流れを改善している。
- **Express（High Occupancy Toll） Lane の導入**: ライドシェアを促進するための High Occupancy Vehicle Lane レーンを導入し、渋滞を緩和している。
- **鉄道や交通システムの導入:** パートナー企業と協力し、鉄道やその他の交通システムを導入して交通量を分散させている。

ITS の統合

Caltrans は、事故や作業帯の管理において、ITS の要素をシステムに取り入れ、効率化を図っている。また、通行料金徴収に関する技術も導入し、収益の向上と交通流の最適化を実現する。

高速道路の統合と将来の需要管理

カリフォルニア州には多くの管轄区域（Caltrans では 12 の District それ以外にもカウンティや自治体）が存在し、高速道路の統合（ITS 機材のプロトコルなどのシステムの統合、データと通信ネットワークの統合）には多大な時間と労力を要している。Caltrans は、信号管理や高速道路運用を最適化し、将来的な需要を見据えた対策を講じている。有料道路の将来的な機能についても、需要抑制と渋滞改善の観点から検討を進めている。

コネクティッドビークルと AI の導入

Caltrans は、コネクティッドビークル技術を高速道路に取り入れるため、業界と連携している。また、人工知能（AI）を活用した交通網の最適化にも注力しており、交通の流れのギャップを埋めるための革新的なアプローチを模索している。

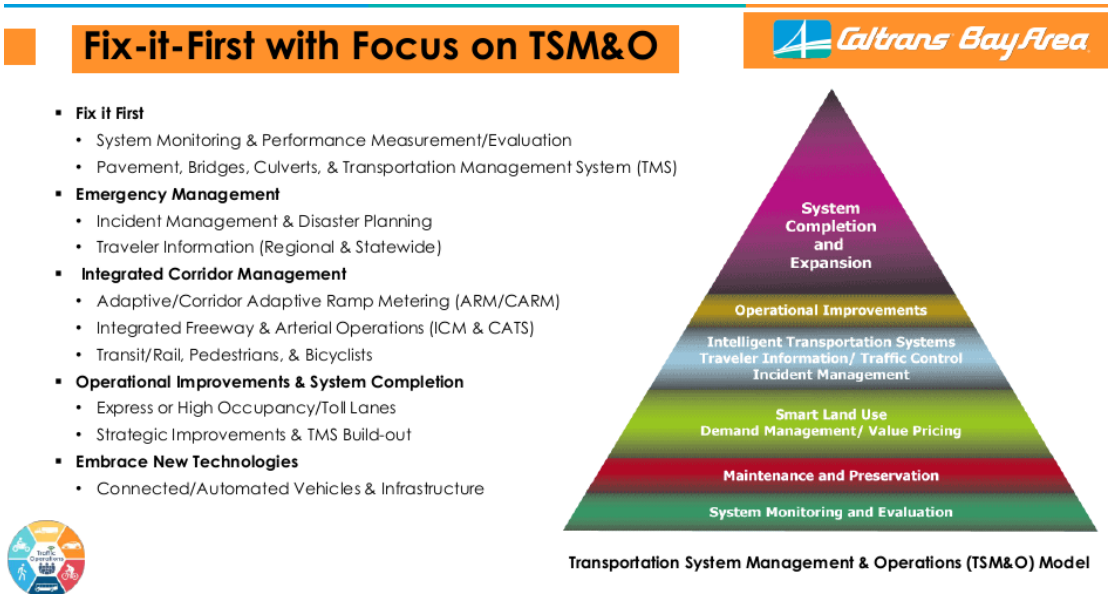


出典：Caltrans

図 3.2.50　Caltrans District4 の交通管理施策（緑は既往、赤は検討中）

f)　カリフォルニアにおけるモビリティのビジョン (TSM&O)

Caltrans のモビリティビジョン(TSM&O: Transportation System Management &Operation)は、図 3.2.51 に示すとおり、既存の交通インフラを維持し、改良することに重点を置いている。システムの監視と評価を行い、地域社会と協力してバランスの取れた発展を目指している。また、ITS 要素の導入や交通管理システムの構築、Express Lane や有料レーンの追加など、交通効率を向上させるための施策も進められている。



出典：Caltrans

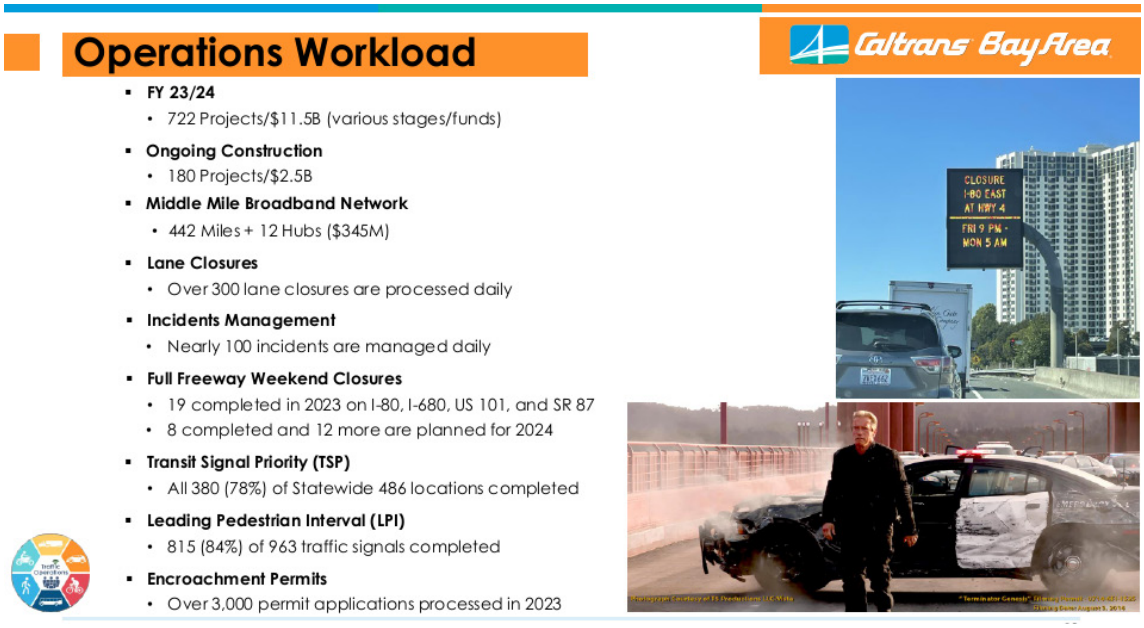
図 3.2.51　Caltrans District4 の Transportation System Management &Operation の考え方

g)　**オペレーションに関する作業負荷**

ベイエリアでは毎日 300 件もの車線閉鎖が行われ、整備や拡幅、インターチェンジの改造があり、非常に多忙な業務量となっている（図 3.2.52 参照）。作業は主に夜間や営業時間外に行われている。新たな戦略として、作業の効率と安全性を向上させるために全面閉鎖が検討されている。

信号システムの管理にも多くの取り組みがなされており、ベイエリアには約 1,000 の信号が存在する。その大部分は、歩行者にとって安全な横断間隔を確保するためにアップグレードされており、公共交通機関の信号優先によりサービスも向上している。

州道では、年間約 3,000 件の占用許可が他の道路事業者により申請されている。カリフォルニアでは、映画撮影の許可も取得されることがあり、これも業務の一環である。



出典：Caltrans

図 3.2.52　Caltrans District4 の交通運用に関する作業負荷

h)　**課題**

ベイエリアにおいては、図 3.2.53 に示す通り、交通管理だけでなく、労働力の確保や人材減少が大きな課題となっている。地域の高い物価に対応する人件費がネックで新しい人材の獲得が困難であり、既存の労働力の多くが定年退職に近づいている。また、Caltrans は、日々の業務量が非常に多く、信号管理や交通安全対策に対する需要が高まっている。



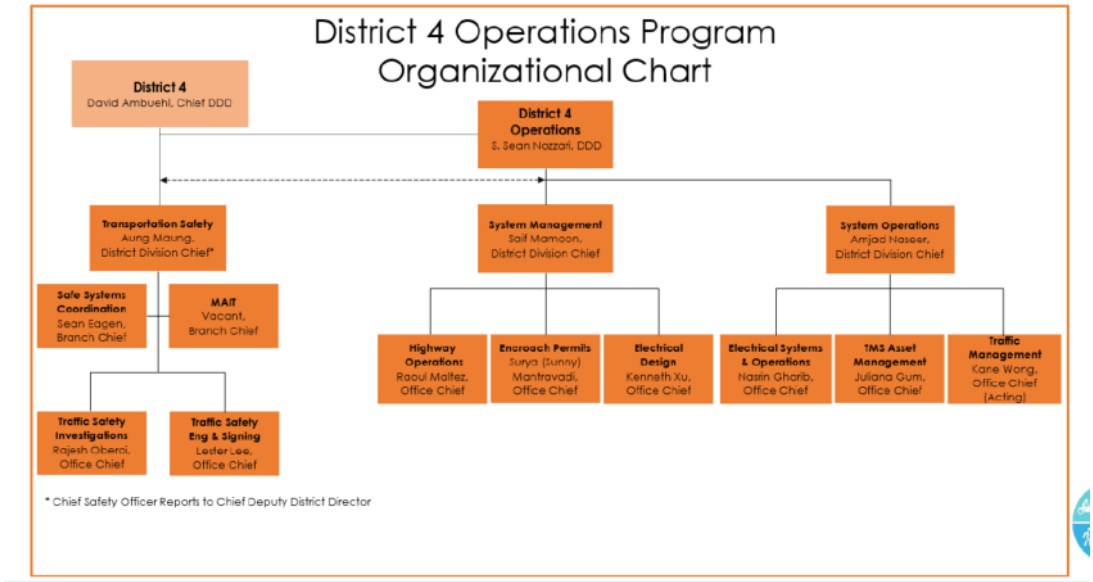
出典：Caltrans

図 3.2.53　Caltrans District4 の課題

(2)　ベイエリアのシステム運用部門の活動

a)　モビリティ部門の全体概要とシステム運用部門の活動

ベイエリア（District 4）のモビリティ部門は「システム運用」と「システム管理」に分かれており、それぞれの担当オフィスは図 3.2.1 の通りである。システム運用部門は、日々の交通管理を担当し、交通管理と電気オペレーション及びシステム運用、TMS の資産管理のオフィスがある。



出典：Caltrans

図 3.2.54　Caltrans District4 のシステム運用部門の組織図

以下にシステム運用部門の活動を示す。

b)　**ベイエリアの交通パターンと将来の焦点**

COVID 後の通勤に係るトリップデータによると、ソロドライバーが 55%を占め、テレワークが 25%、ライドシェア 9%となっており増加している（図 3.2.55 参照）。これらに対応するため、特にカープール、ライドシェア（ここでは、Carpool、Vanpool、およびライドソーシングアプリを通じた乗車共有の総称）、公共交通指向のモードシフトを増やすことが将来の焦点となっている。

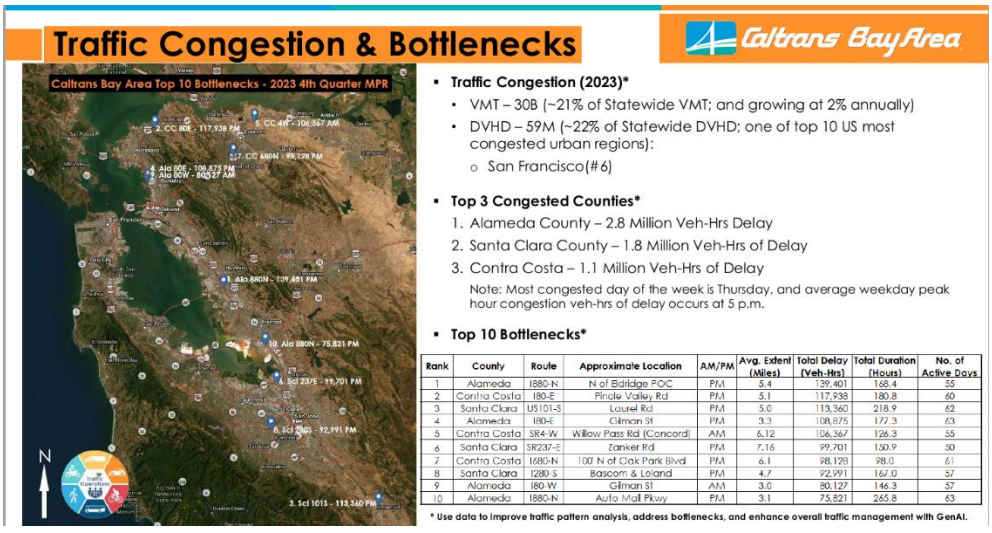


出典：Caltrans

図 3.2.55　ベイエリアの交通特性

c)　**交通量データと運行改善**

法律により交通量、渋滞、ボトルネックの記録をすることが義務付けられており、運行改善を計画する渋滞対策を管理する機関と共有される。このデータは運行の効率化に寄与するものである。



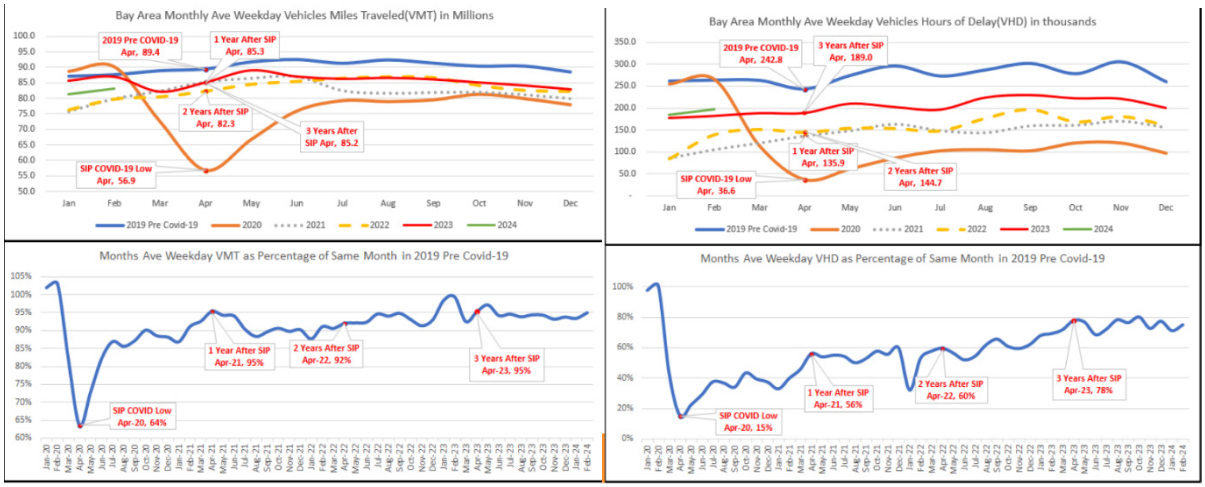
出典：Caltrans

図 3.2.56　ベイエリアの交通ボトルネック箇所

d)　渋滞管理プロジェクト TMS のパフォーマンス目標

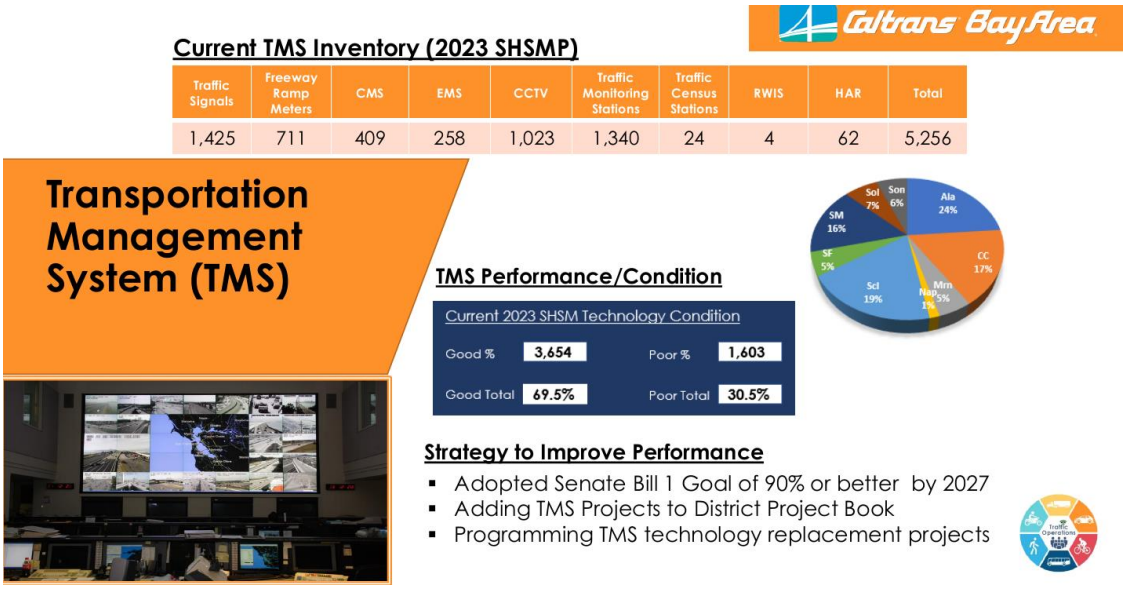
ベイエリアの COVID-19 前後の交通パターンを比較したところ、車両走行距離はパンデミック前の水準に戻りつつあるが、ピーク時の車両遅延時間は、80%に減少しており、移動パターンの変化により混雑が緩和されている（図 3.2.57 参照）。今後の渋滞緩和策の立案に際しては、この点を考慮する必要がある。また、SB1 法[21]に基づき、2027 年までに交通管理システム（TMS）のインベントリー（設備）が 90%以上のパフォーマンス目標を達成することが求められている（図 3.2.58 参照）。

[Vehicle Miles Traveled （VMT）]　　[Daily Vehicle Hours of Delay（DVHD）]



出典：Caltrans

図 3.2.57　COVID-19 前後の交通変化



出典：Caltrans

図 3.2.58　TMS におけるパフォーマンス指標

21 カルフォルニアの SB1 法（Senate Bill 1、通称「ロードリス・アンド・レストレーション法」）は、2017 年に成立した交通インフラの改善と維持のための法案。ガソリン税、車両登録料の増額、投資計画、地域への道路改善や公共交通機関の支援への資金提供が含まれている

e)　モビリティハブの展開

モビリティハブは、ベイエリアの交通管理とモビリティの向上において重要な役割を果たしている。モビリティハブは、かつては「パークアンドライド」として利用され、利用者がバスに乗り換えたりカープールしたりする集合場所であった。しかし現在では、自転車や徒歩を含む「ファーストマイル・ラストマイル」のアクセスを可能にし、トランジット（公共交通）利用を促進するトランジットハブへと役割が拡張されている。パークアンドライド駐車場やライドシェアプログラムを拡充し、これらをモビリティハブとして再構築することにより、ライドシェアやマルチモーダル交通の促進を図る。この取り組みは、交通混雑の緩和や車両走行距離の削減、温室効果ガス排出量の低減に寄与するものである（図 3.2.59 参照）。

Park &Ride Lots, Rideshare, Mobility Hubs

- 50 park & ride lots for transit and commuter ridesharing
  - Some lots are operated by other agencies (see 511.org)
- MTC oversees ridesharing program for the region
  - MTC's 511 program offers multiple ways to share a ride, including carpools and vanpools
- Status of Mobility Hubs in District 4
  - Caltrans SHOPP Mobility Hub Project:
    - Convert 6 existing facilities into 4 multimodal and 2 into commuter ridesharing mobility hubs



Lot No.	Lot ID	Route	Post Mile	County	Facility Name	Address	Mobility Hub Classification
10	410	242	0.9	Contra Costa	Concord	E. of Rte. 242/ S. of Willow Pass Rd., W. of Market St.	Commuter Rideshare
14	414	101	4.1	Marin	Manzanita	W. of Rte. 101 at Jct. Rte. 1	Multimodal
16	416	101	10.8	Marin	Hetherton	Under Rte. 101 between 3rd St to 5th St./Mission Ave.	Multimodal
17	417	101	11.2	Marin	Mission Ave.	Under Rte. 101 between Hetherton & Irwin at Mission Ave.	Multimodal
26	426	101	11.9	San Mateo	101/92	W. of Rte. 101 at S.W. quad. Rte.101/92 IC at 19th Ave.	Multimodal
45	443	680	3	Contra Costa	Bollinger	SW Quad., I-680 / Bollinger Canyon Rd.	Commuter Rideshare

  - Contra Costa Transportation Authority Innovate 680 Project:
    - Convert 8 existing facilities, including 2 Caltrans P&R Lots into mobility hubs under the SHOPP project above (Lots 410 and 443)

出典：Caltrans

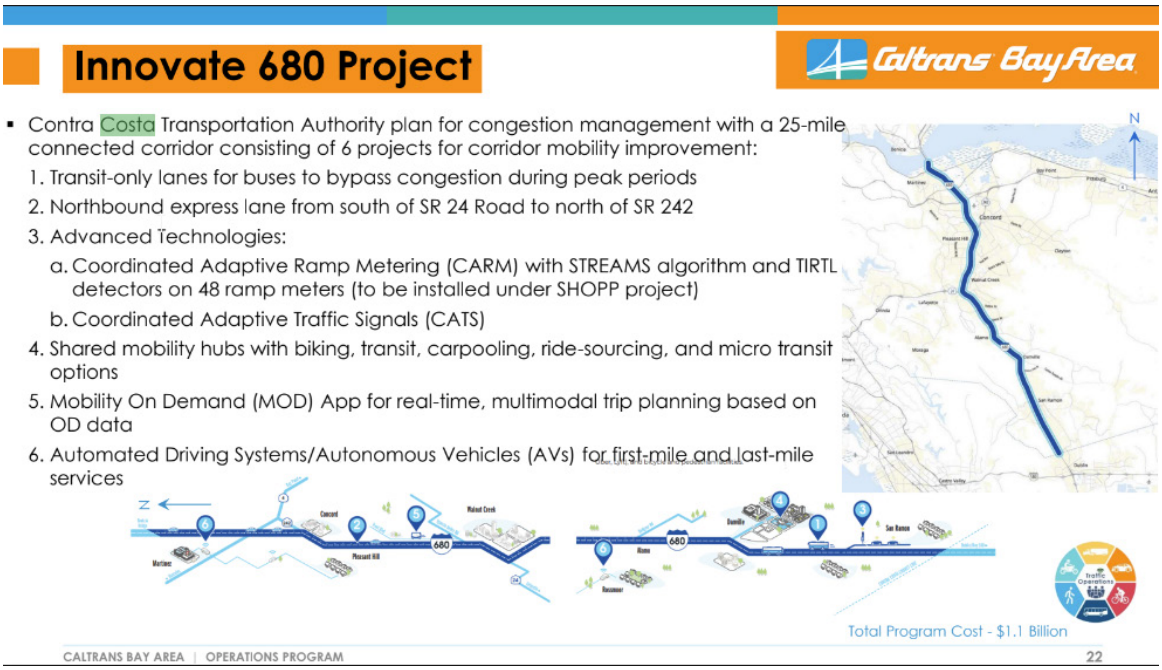
図 3.2.59　モビリティハブの展開

Caltrans のヒアリング結果によると Google が以前民間企業と共同でモビリティハブに関与したいと提案があったが、州が直接サービスや課金等の商業活動ができない制約があり、Google へ直接許可することができなかった。しかし、知事が充電ステーションの設置を望んでおり、州と契約した委託契約やコンセッション事業者、もしくは地方自治体、PPP 事業者であれば、課金サービスが可能ということで、第三者との契約を結び、他の業者が充電ステーションを設置し、維持管理を行うことになった。利用情報がこの業者から報告され、州はクイックマップを通じて充電ステーションの稼働状況や利用可能数を公表する。この方式により、州は直接的な課金を避けつつ、必要なインフラを提供することが可能になる。

f)　州道 680 号線の改善プロジェクト（Innovate 680 Project）

州道 680 号線の改善プロジェクトは、テクノロジー主導のモビリティにより、混雑の緩和、車両移量の削減、温室効果ガス排出量の削減を目的にしたプロジェクトである。Caltrans が Contra Costa County のパートナーと協力して全長約 25 マイルにわたる混雑した回廊を対象としており、総工費は 10 億ドル以上が見込まれている。プロジェクトには、先進技術による新しい高速レーンの設置、協調適応型ラン

プメーターの導入、協調感応型信号機（Coordinated Adaptive Traffic Signals : CATS)、モビリティハブの設置、自転車道、さらには自動運転車のアプリを活用したマルチモーダルトリッププランニングの導入が含まれており、2028 年以降に共用される予定である（図 3.2.60 参照)。



出典：Caltrans

図 3.2.60　Innovate 869 Project の概要

Coordinated Adaptive Ramp Metering (CARM)

高速道路流入部に設置したランプメーター（交通状況に感応してランプでの合流支援を行う管制機材）の調整により、複数の入口間で、高速道路への車両進入量を調整し、これにより高速道路内での渋滞の発生を防ぐ。州道 680 号線には 48 のランプメーターに CARM システムを導入予定であり、STRAMS というオーストラリアの Transmax 社（https://transmax.com.au/?utm_source=chatgpt.com）のプラットフォームで、STRAMS アルゴリズムは CARM の中で交通パターンを分析し、ランプメーターの信号タイミングをリアルタイムで動的に調整する。このランプメーターには、TIRTL（The Infra-Red Traffic Logger）という赤外線センサーがついており、車両の速度は艇、車種分類、交通量カウントを行う。想定している機材を図 3.2.61 に、48 か所のランプメーターの位置を図 3.2.62 に示す。

Figure 7-5　Typical Ramp Meter Signals



Source: WSP

Figure 7-6　Ramp Signal Advanced Warning Sign and Beacon



Figure 7-7　Example Supplemental Ramp Status VMS



Figure 7-9　Example Part-Time Shoulder Lane Use Management System, I-405 near Seattle, Washington



Image source: Wikipedia

Figure 7-10　Proposed Message Concept for Part-Time Shoulder Use Lane Use Management System Signage and Associated VMS

Figure 7-8　Typical TIRTL Installations



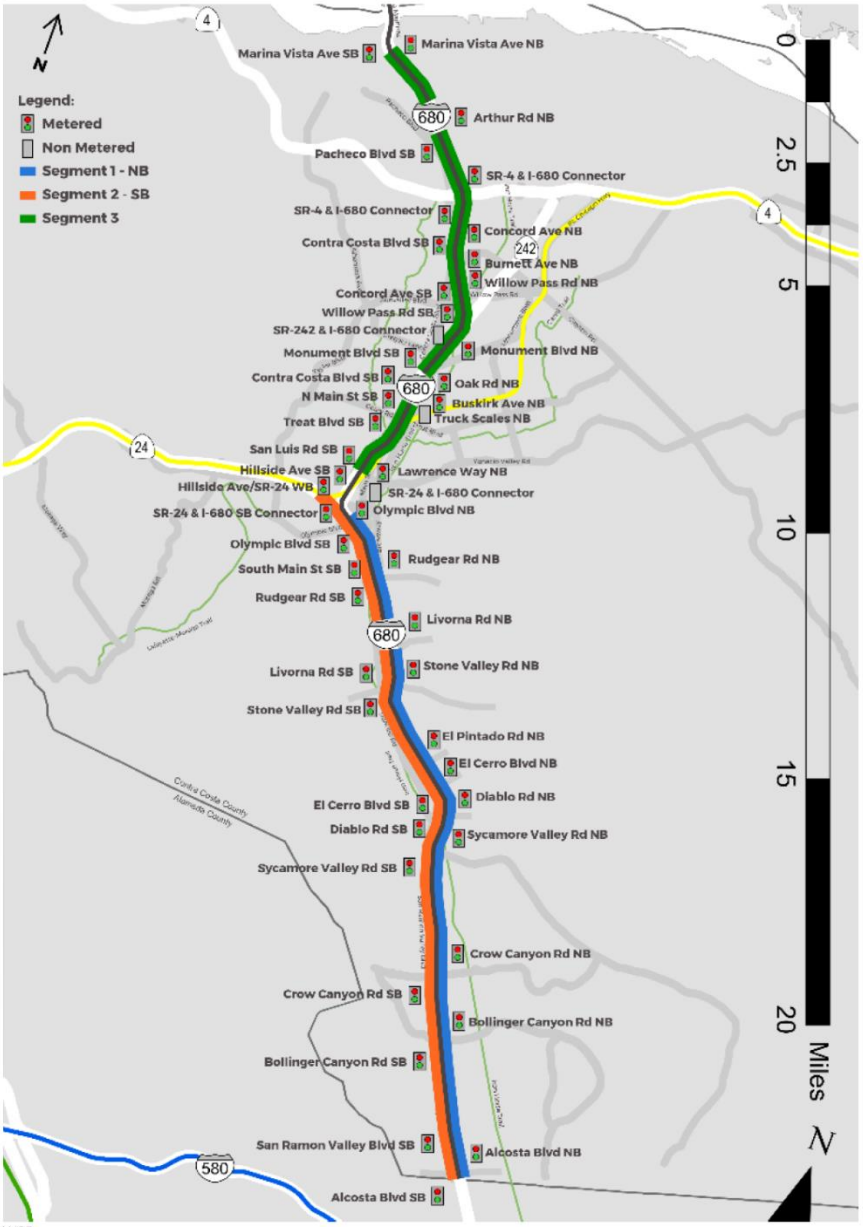
Source: WSP

出典：I-680 ADVANCED TECHNOLOGY PROJECT COORDINATED ADAPTIVE RAMP METERING (CARM) DRAFT Systems Engineering Management Plan (SEMP), CONTRA COSTA Transportation Authority

図 3.2.61　Innovate 869 Project で導入を予定している機材

INNOVATE 680

Figure 3-2　Innovate 680 CARM Corridor Map



Source: WSP

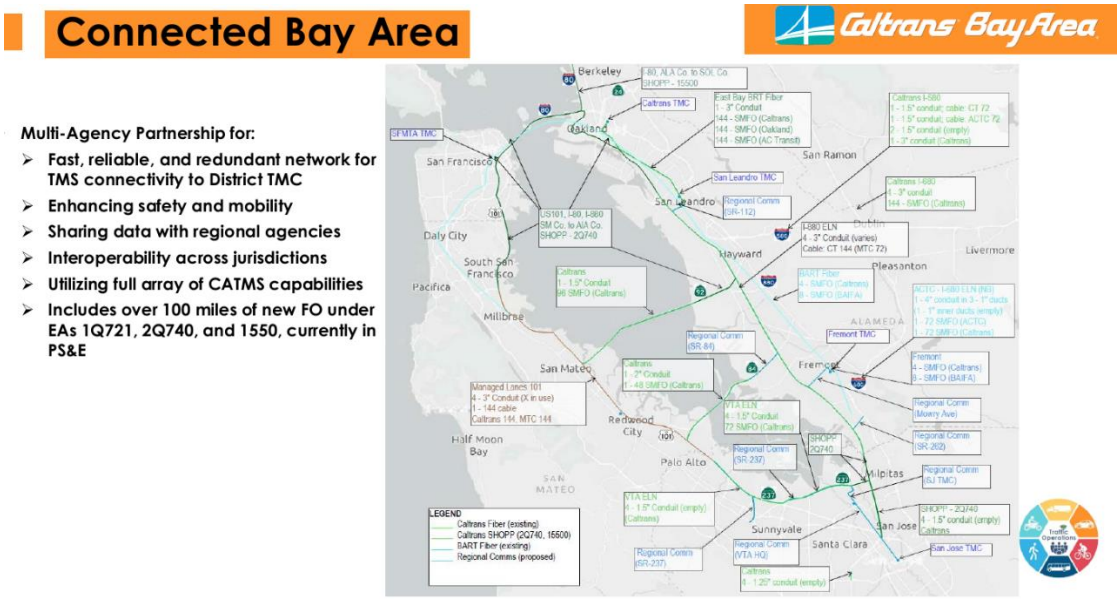
出典：I-680 ADVANCED TECHNOLOGY PROJECT COORDINATED ADAPTIVE RAMP METERING (CARM) DRAFT Systems Engineering Management Plan (SEMP), CONTRA COSTA Transportation Authority

図 3.2.62　Innovate 869 Project で導入を予定しているランプメーターの位置

g)　光ファイバーネットワークの導入

Caltrans は、湾を環状に囲む全長 100 マイル以上の光ファイバーネットワークを計画している。この光ファイバーは、Caltrans が整備し、交通管理システム（TMS: Transportation Management System）を支える専用の通信インフラとして利用される。このネットワークは、地元のパートナーである MTC（Metropolitan Transportation Commission）と共有され、事故対応や非再発渋滞の期間の短縮、安全性の

向上を目的としている。光ファイバーネットワークの導入により、交通管理システムの高速化と効率化が期待されている（図 3.2.63 参照）。

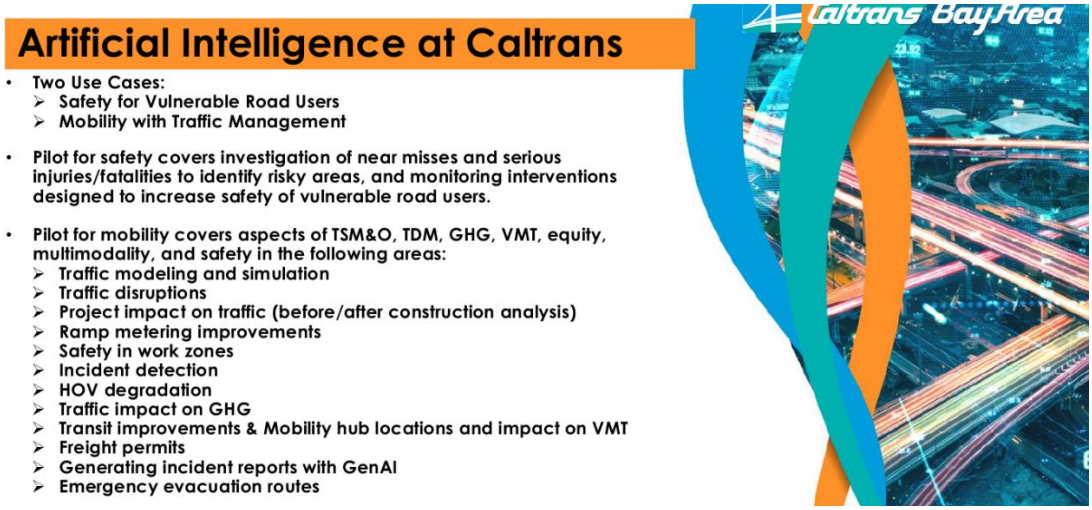


出典：Caltrans

図 3.2.63　ベイエリアの光ファイバー建設プロジェクトの概要

h)　生成 AI（人工知能）の活用

カリフォルニア州知事は、交通弱者の安全性の向上と交通管理によるモビリティの向上のために、生成 AI の活用を推進するための行政命令を出している。Caltrans は、異なる州機関と協力して、安全性向上のための 2 つのパイロットプロジェクトを策定している。 1 つは生成 AI を活用して、リスクの高いエリアでの近接事故や重大な致命的負傷を改善するための介入であり、脆弱な道路利用者の安全を高めることを目的としている。もう 1 つは、交通管理を通じてモビリティを改善し、TSMO（Transportation Systems Management and Operations）の最適化、交通需要管理、温室効果ガス排出の削減、車両走行マイルの削減、路上工事での公平性と安全性に焦点を当てるものである。生成 AI の知識データベースの開発のため、本部と協力してさまざまなユースケースに取り組んでいる（図 3.2.64 参照）。



出典：Caltrans

図 3.2.64　AI を活用したパイロットプロジェクト

i)　注目する稼働中のプロジェクト

注目する稼働中のプロジェクトを図 3.2.65 に示す。コネクティッドビークルのためのテストベッドの設立と安全対策を強化するためのカメラの設置計画、31 の交差点での接続された自動運転車両のテストベッド、Highway Safety Camera Pilot として、約 200 台のカメラを高速道路に設置し、安全性の向上、オークランド周辺での安全改善のため、10 point plan として 800 か所にナンバープレートリーダーを設置などがある。また、現在パイロット運用中として、ダイナミックな逆走警告システム（Wrong way driver）が TMC に接続されており、Caltrans Highway Patrol (CHP)が、US 101 バーモント通りのオフランプで逆走する車両に警告を受け取ることができる。また、上述している生成 AI を用いたインシデント管理をテストしている。その他、TMS（Transportation Management System:交通管理システム）の信号、ランプメーター、CMS（Changeable Message Signs: 可変メッセージサイン）、VDS（Vehicle Detection and Monitoring：車両検知・感知システム）の 2070Controller（Institute of Transportation Engineers や州交通機関によって開発された信号制御のハードウェア）から次世代の ATC（Advanced Transportation Controller）へ、アップデートを進めている。また、TSP（Transit Signal Priority：公共交通信号優先制御）の位置を TMS データベースに登録することを進めている。



出典：Caltrans

図 3.2.65　運用部門の稼働中のプロジェクト

j)　ベイエリアにおける交通管理センターの運用

Caltrans District 5 には交通管理センター（Traffic Management Center :TMC）があり、この地域には 900 台のカメラが設置されており、特に朝の通勤時間帯にサンフランシスコに向かうベイブリッジの西向き車線に焦点が当てられて TMC のモニターから確認できる（図 3.2.66）。午後には逆の方向、すなわちサンフランシスコからブルックリン、バレーホ、サンノゼへと戻る車両の流れが増加する。I-80 コリドーはこの地域で最も混雑する高速道路である。TMC 内部では、CHP（カリフォルニア・ハイウェイ・パトロール）が右側、保守部門が左側に配置されており、4 つのワークステーションで運用されている。問題発生時には、911 に通報があり、computer-aided dispatch（CAD）を介して対応が行われ、パトロール車両が派遣され、現場の状況を確認し、必要に応じて救急車の要請が行われる。TMC はカメラを利用して事故現場の状況を確認し、交通流を制御する VMS（可変情報板）のメッセージを更新し、迂回路を案内するなどの対応を行っている。多くのパトロール隊が 24 時間体制で都市部を中心に巡回しており、郊外もカバーしている。異常事象の把握は、州施設だけでなく、住民からの 911 通報にも頼っている。サンフランシスコ市はほぼすべてを自己管理しており、州道である 101 号線や 80 号線を除き、市警が担当している。19 番街のような州道も、大通りのように市警の管轄区域に含まれている。州道か郡道かを区別するため、CHP が情報を受け取り適切な部署に転送する。都市部では 3 から 5 分で対応するが、郊外では時間がかかることがある。ピーク時にはベイエリアを巡回するレッカー車があり、トラブルを探し出し、ガソリンの補給やタイヤの交換などの支援を行う。最優先事項は、車を走行車線から安全な場所へ移動させることである。このサービスは、年間 1 ドルの登録料で行われている。



出典：Caltrans

図 3.2.66　Caltrans の TMC とパトロールの配置

k)　ITS の更新

Caltrans は、現在の交通管理システムを最先端のソリューションに置き換える作業を進めている。このアップグレードは、さまざまな交通関係者間の調整と通信を改善することを目的としている。このシステムの導入により、交通管理の効率化が進むことが期待されている。LPI（Leading Pedestrian Interval）による歩行者の安全性の向上、信号機、ランプメーター、車両検知ステーション、VMS のメッセージ標識のコントローラーのアップグレード、信号機へのリモートアクセスのための信号機への通

信、交通信号優先の改善である。車線閉鎖遵守の目標を維持することで、車線閉鎖の場所や遅延を軽減し、州や連邦の目標を達成する。

l)　信号制御の標準化 Advanced Transportation Controllers とループコイル

Advanced Transportation Controllers（ATC）は、USDOT によって定められた交通信号制御やランプメータリングなどの交通管理アプリケーション向けのハードウェアとソフトウェアに関する一連の標準と仕様である。この規格は、さまざまなメーカーの機器が相互運用可能であることを保証し、より柔軟で拡張可能な交通管理システムの開発を促進することを目的としている。ATC 規格は、オープンアーキテクチャのハードウェアおよびソフトウェアプラットフォームを提供し、交通管理、安全、セキュリティなどのさまざまな ITS アプリケーションをサポートすることが可能である。これらのアプリケーションは、交通インフラの効率と有効性を高めるために重要な役割を担っている。ATC は特定のデバイスやアプリケーションに限定されず、交通信号制御やランプメータリングなど多岐にわたる交通管理アプリケーションに利用される。オープンアーキテクチャでできており、異なるシステムやソフトウェアとの互換性を向上させた柔軟なプラットフォームは、異なるシステムの統合を可能にし、交通管理の効率を大幅に向上させるための基盤を提供する。



出典：Caltrans

図 3.2.67　ATC の制御器とランプメータリングに使われるループ式の車両感知器の模型

フリーウェイにおける交通流の管理のために、図 3.2.67 の模型にあるようなループコイル式感知器で車両感知したランプメータリングを行っている。このシステムは、高速道路の車線ごとの車両数をスキャンし、渋滞が検出されると流入ランプロの信号の青時間を短くし高速道路本線への流入量を抑制する。高速道路の容量は 1,800 台から 2,200 台の車両とされる。加えて、CCTV カメラが車両検出や事故の確認に使用され、カメラを用いて、封鎖されている車線や、交通の程度緩和状況を把握する。これらの技術は、高速道路の運用効率を高めるために重要な役割を果たしている。

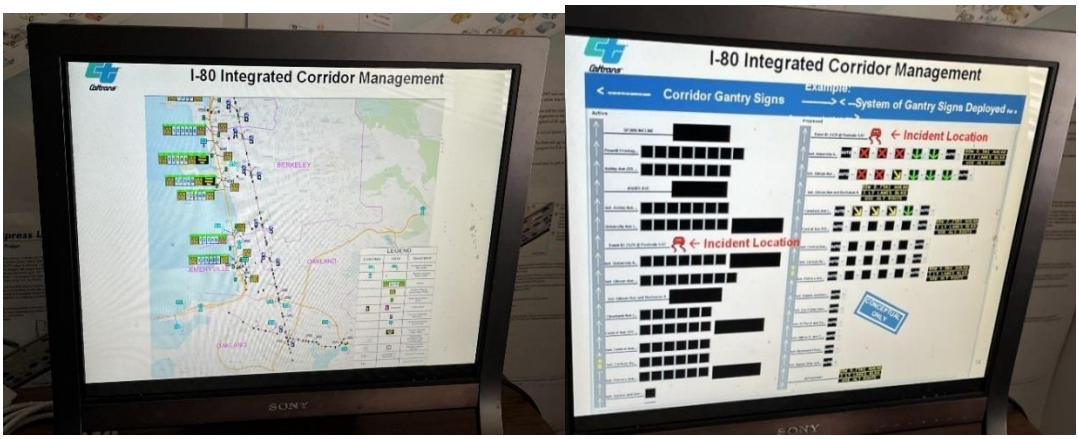
検出システムには様々な技術が試みられているが、現在は誘導ループ検出器が主要な検出システムとして利用されている。このシステムは、高い精度と手頃な価格を兼ね備えており、政府にとってコスト効率の高い選択肢となっている。他の検出技術として LiDAR やレーダーも存在するが、ループコイルにより得られるデータが提供するコストパフォーマンスにより、依然として広く採用されている。新しい検出技術への移行には時間がかかるが、ループコイルの利用は継続される見込みである。

ランプメータリングをすることで、一般道の交通が飽和状態になる恐れがあるが、HOV レーンを整備し、バスを使ってもらうことで渋滞解消を狙っている。

m)　I-80 コリドーにおける Advanced Transportation Management System (ATMS)

I-80 回廊は、ベイエリアにおいて最も渋滞が発生している区間である。過去 30 年間で最も混雑が激しいこの回廊は、バレーホからサンフランシスコへ向かう人々で賑わっている。この問題に対処するために、1 億ドルが投じられ、回廊の信頼性を高めるためのプロジェクトが進行中である。このプロジェクトにはランプメータリングやガントリーの設置が含まれており、ヨーロッパやアメリカのいくつかの州で使用されている先進的な交通管理システム（Advanced Transportation Management System　：ATMS）が導入されている。ガントリーは高速道路をまたぐ形で設置され、車線がブロックされた際には「X」マークで警告し、車両に他の車線へ移動するよう指示する（図 3.2.68 参照）。

事故発生時には、矢印が表示され車両に移動を促し、利用可能な車線に関する情報も表示される。ドライバーは右側に移動するように指示されるサインが点灯する。この路線は高速道路（フィリーウェイ）と一般道が並行して走っており、渋滞に遭遇したドライバーはフリーウェイを離れ、一般道（ローカルストリート）に入ることがある。これらの一般道では信号のタイミングを調整することが可能であるが、オークランド市やコントラコスタ郡のように異なるプロトコルを使用している地域の信号は制御できない。ローカルストリートの交通容量は限られており、今度は一般道の渋滞が発生し、Caltrans は自治体の信号を調整できない。そのため、案内表示で情報を提供し、Caltrans がコントロールできる高速道路に戻るように誘導する。さらに、交通信号システムではバス優先システムが取り入れられている。AC トランジット（アラメダ郡-コントラコスタ郡）の高速バスには自動車両位置測定器が搭載されており、予定より遅れている場合には、バスが赤信号に遭遇しないように青信号を保持し、遅れを取り戻すことができるよう信号のタイミングが調整される。このシステムは集中管理型であり、車両と信号制御装置間の通信に基づいて動作する。これにより、バスがスムーズに運行され、遅延が発生している場合には迅速に対応が可能である。



出典：Caltrans

図 3.2.68　I-80 号線の ATMS を使ったコリドーマネジメント

n)　有料道路事業者による Express Lanes の運用

カリフォルニア州では、5 つの料金徴収機関（Public tolling agencies）が存在しており、これらの機関は、高速道路で料金を徴収する。これらの高速道路は州の所有物であるが、Caltrans は、これらの高速

道路の管理者であり、法律により特定の車線を第三者にリースする権限が与えられている。そのため、Caltrans は、高速道路に自身で Express Lane を設置することはなく、HOV 車線（2 人以上の乗車が必要な車線）のみを設置することができる。既存の HOV 車線に空き容量がある場合、単独乗車者が料金を支払ってその車線を利用し、迅速に通行できるようにする。これは、料金徴収機関が関与する部分であり、Caltrans はこれらの機関に許可を与え、高速道路に Express Lane を設置させる。

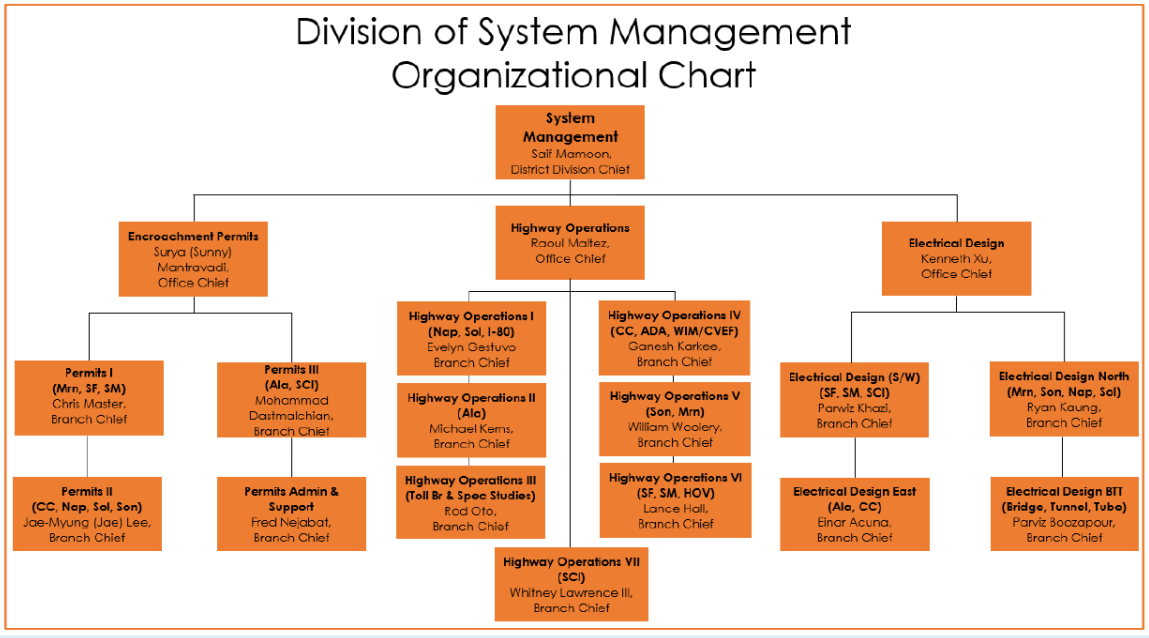
2013 年に成立した SP743 法では、高速道路を拡幅や新設して新しい Express Lane を建設する場合、公共交通機関を提供し、マルチモードの交通手段を併設して整備することが求められる。これは、Level of Service にかわり Vehicle Miles Traveled が指標に変わり、車中心ではなく、人の移動を重視している。

o) **Metropolitan Transportation Commission (MTC) in San Francisco**

アメリカでは、人口 50,000 人以上の都市圏には、その地域の交通計画や資金調達を管理する組織（Metropolitan Planning Organization：MPO）の設置が義務付けられており、サンフランシスコでは、サンフランシスコ湾岸地域（9 郡）における交通計画・資金管理を行う特定の MPO である Metropolitan Transportation Commission（MTC）があり、幹線道路の改良資金を提供し、将来の交通システムの構想も計画しているため、密接に協力している。MTC は、料金収受機関の 1 つである Bay Area Toll Authority の運営もしている。

(3) システム管理部門の活動

モビリティ部門の下にあるシステム管理部門は、図 3.2.69 に示す 占用許可、ハイウェイ運用、電気設計の 3 つのオフィスがある。



出典：Caltrans

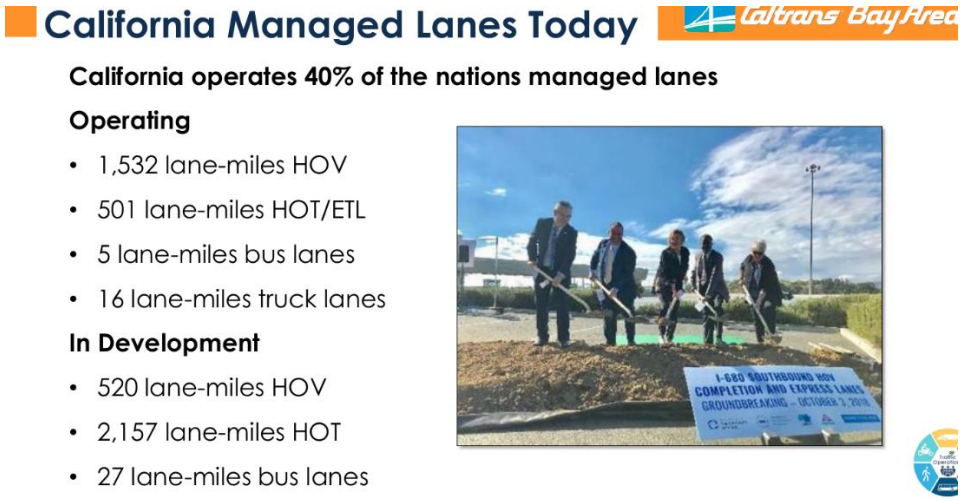
図 3.2.69　システム管理部門の組織図

以下にシステム管理部門の業務を示す。

a)　カリフォルニア州の Managed Lane（管理された車線）

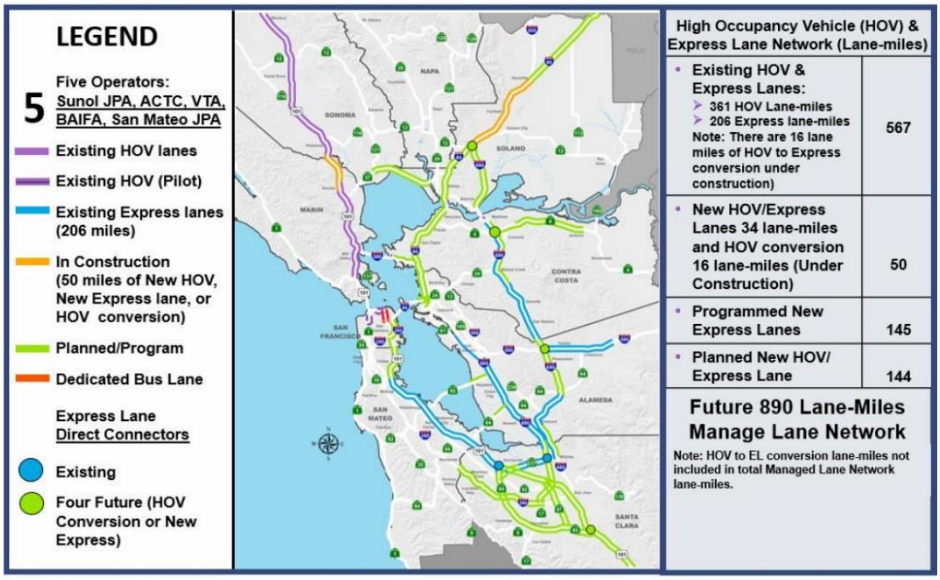
カリフォルニア州には、全米で最も多くの管理された車線（HOV、HOT（シングルユーザーでも料金を払えば利用可能）、トラックレーン）を有しており（全米の管理車線の 40%以上）、1960 年代にベイブリッジに管理車線を設置した最初の州である（図 3.2.70 参照）。特に HOV（高乗車率車両）レーンの運用時間の統一が課題となっている。また、エクスプレスレーン（すべての車両を対象として料金支払いで利用可能なレーン）の施行にも一貫性が求められている。この課題に対応するため、管理車線の運用時間や稼働要件の統一が検討されている（図 3.2.71、図 3.2.72 参照）。

ベイエリアには 500 以上の既存の高速車線（HOV やエクスプレスレーン）があり、将来的には 890 の追加が計画されている。また、14 の有料道路事業者のうち 5 者がベイエリアに存在する。管理されたレーンシステムが直面している課題には、HOV の営業時間の統一（午前 5 時から午後 8 時）、エクスプレスレーンの標識や通行料金、割引政策、エクイティが含まれる。HOV 2+（2 名以上の乗車）、HOV 3＋（3 名以上の乗車）、の稼働要件は、地区全体で統一する。



出典：Caltrans

図 3.2.70　カリフォルニアの車線管理



出典：Caltrans

図 3.2.71　カリフォルニア州の HOV レーン管理



出典：Caltrans

図 3.2.72　カリフォルニア州の車線管理の統一

b)　州道 37 号線のプロジェクト

州道 37 号線はマリン郡とコントラコスタ郡を結ぶ 21 マイルの回廊で主要な高速道路である 80 号線と 101 号線を結んでおり、気候変動や洪水の影響を受けやすい地域に位置する。北ベイの雇用地域と住宅コミュニティを結び、通勤や帰宅する交通の平等性を考慮する必要がある。これらの課題に対応するために、安全性、公平性、気候変動対策、「ピープル・ファースト」という理念を軸に、安全で持続可能な交通インフラの構築を目指している（図 3.2.73 参照）。



出典：Caltrans

図 3.2.73　州道 37 号線プロジェクト

c)　注目する稼働中のプロジェクト

図 3.2.74 に示す通り、短期的、中期的、長期的なプロジェクトに分かれており、現在は短期的な施策に取り組んでいる。

- オープンロード料金（フリーフロー）への移行：料金所からトールゲートを外す
- パートタイム・マネージド・レーン（時間帯や交通状況に応じて HOV、HOT レーンとして使用）の導入：リッチモンド・セントラル・ブリッジと州道 84 号線ダンバートンの 2 カ所でする予定。
- District 4 の指令：建設作業員の安全性を向上させるため、平日の閉鎖の代わりに週末の閉鎖による集中した作業時間の確保と、平日の道路を開放できる時間を増やした。
- コミュニティの再接続：1950 年代の高速道路の建設がコミュニティを分断してしまったという弊害を元に戻し、コミュニティを再接続するプロジェクトとして、ベイエリアのオークランドでは、580 号線と 880 号線を結ぶフリーウェイ 980 号線の 2 マイル区間について、地下化、大通りへの変更、その他同様の変更を検討するプロジェクトがある。

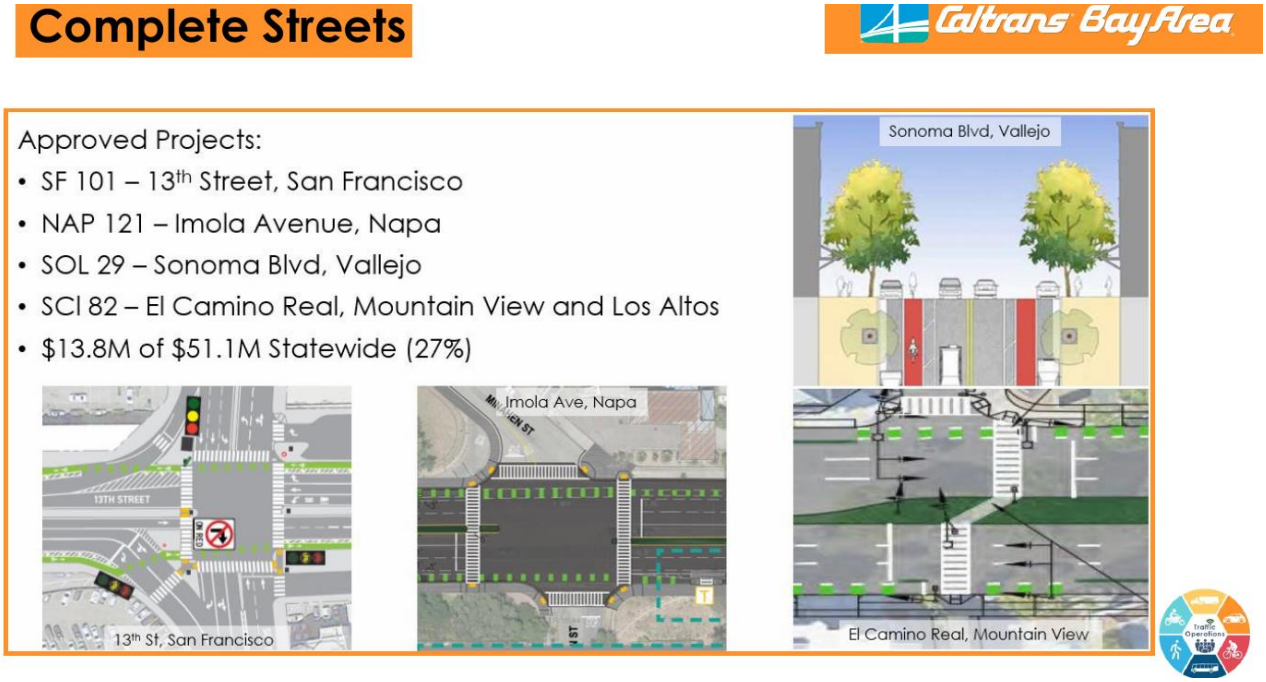


出典：Caltrans

図 3.2.74　システム管理部門の稼働中のプロジェクト

d)　**Complete Street**

「Complete Street」プロジェクトは、歩行者、自転車利用者、交通施設の整備を進め、自動車中心のインフラから、すべての交通手段に対応可能なインフラへの転換を図るものである。このプロジェクトは安全システム・アプローチを採用しており、2050 年までに道路上での重大事故や死亡事故をゼロにすることを目指し、ラウンドアバウトの設置など、信号交差点よりも安全な対策を講じている（図 3.2.75、図 3.2.75 参照）。



出典：Caltrans

図 3.2.75　Complete Street の導入



出典：Caltrans

図 3.2.76　ラウンドアバウトの導入

e)　次世代フリーウェイ

Caltrans では、将来ビジョンとして、パートナー機関である MTC と協力して、高速道路の有料化が検討されている。これにより、単独車両の利用を減らし、より多くの交通手段への移行を促進することが期待されている。また、エクスプレスレーンの運営を通じて、交通流の最適化とともに、温室効果ガスの排出量削減が目指されている（図 3.2.77 参照）。



出典：Caltrans

図 3.2.77　高速道路の有料化の 3 つの提案

f)　交通管理システムのライセンス及びサブスクリプションサービス

システムに使っているマップは Google Map（Google API）を活用していたが、ライセンス料を支払っていなかったため、約 7 ヶ月間マップが利用できなかった。データは存在していたが、GIS ベースではなく、単にタブで表示されていたため、マップ上の相対的な位置関係を確認することができなかった。このため、MTC は無料の OpenStreetMap を使用している。OpenStreetMap はフリーウェアであり、サービスを提供する企業が更新を定期的に行う。交通管理システムの運用には、多くのライセンスが関与しており、これらの画像を画面に表示するためだけにも多くのライセンスが必要である。現在、古いシステムに代わる新しいシステム「California Advanced Transportation Management System」の開発が進行中である。ライセンスは、すべてのシステムの運用・保守契約に組み込まれており、サブスクやサービス契約、運用・保守の費用が毎年の運営費から支出されている。

(4)　Flow Lab との連携プロジェクト

Caltrans との打合せには、現在連携しているスタートアップ企業であり、AI と機械学習を駆使した交通管理ソリューションの提供において、業界をリードする Flow Labs が参加し、製品の説明と Caltrans との連携のプロジェクトの説明がなされた。同社の製品は、追加のハードウェアを必要としない、コスト効率の高いソフトウェアのみのソリューションであり、未来に向けた接続型車両技術を活用することで、交通のパフォーマンスを測定し最適化する。

a)　Flow Labs のプラットフォームの概要

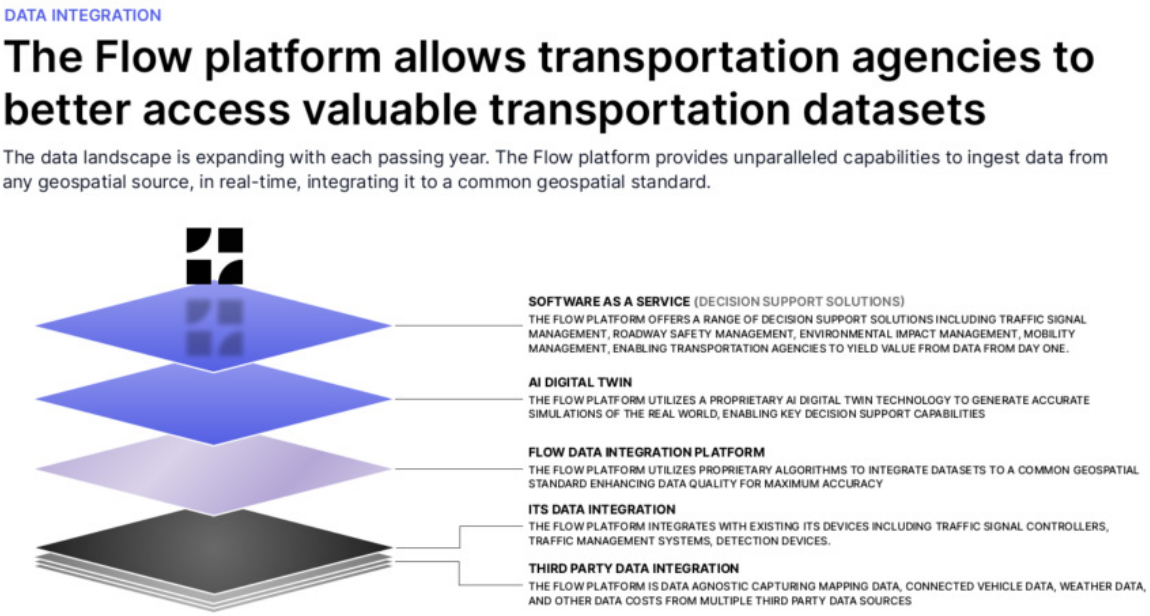
Flow Labs のプラットフォームは、直感的で使いやすいインターフェースを提供し、データ駆動型の意思決定を支援する包括的な交通管理ソリューションである。特に、交通信号の最適化、地域道路の安全性分析、環境影響評価などの分野で幅広く活用されている（図 3.2.78 図 3.2.79 参照）。

データのカバレッジと正確性

Flow Labs のデータパートナーネットワークは、OEM、GPS デバイスメーカー、ロケーションベースサービスプロバイダー、テレマティクスプロバイダーなどと提携し、特定の道路上で 20～35%の車両からデータを収集している。この高い浸透率により、15 分間隔でのデータの精度を確保し、重要なミッションクリティカルなアプリケーションでの使用を可能にする。

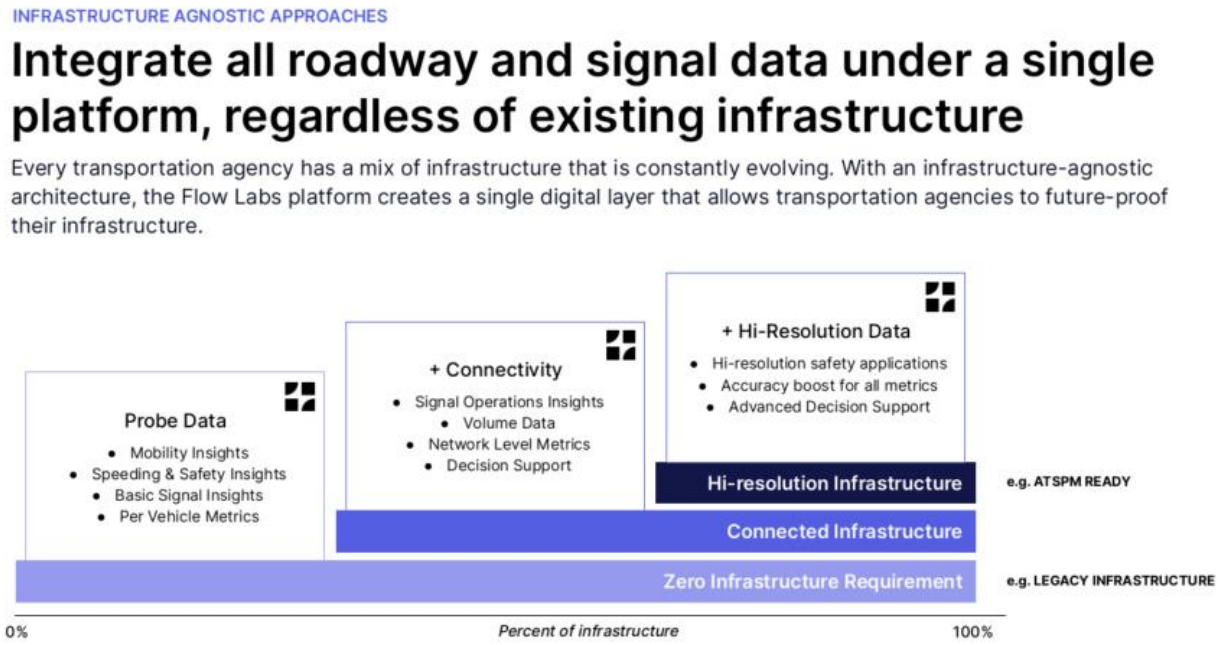
インフラとの統合

Flow Labs のプラットフォームは、Connected Vehicle Data、GPS、スマートフォンの位置データ、テレマティックなどの外部データを収集し、AI と機械学習アルゴリズムで分析することで、プローブデータの活用等により、新たなセンサーやカメラ等のハードウェアのインフラ整備を必要としないアプローチを採用しており、DOT などの交通機関が、将来のインフラ整備を行う際に対応する、シームレスに統合できるデジタルレイヤーを提供する。これにより、交通信号や検出装置、交通管理システムなど、さまざまなデータソースとの統合が可能である（図 3.2.79 参照）。



出典：Flow Labs

図 3.2.78　Flow Labs のプラットフォーム

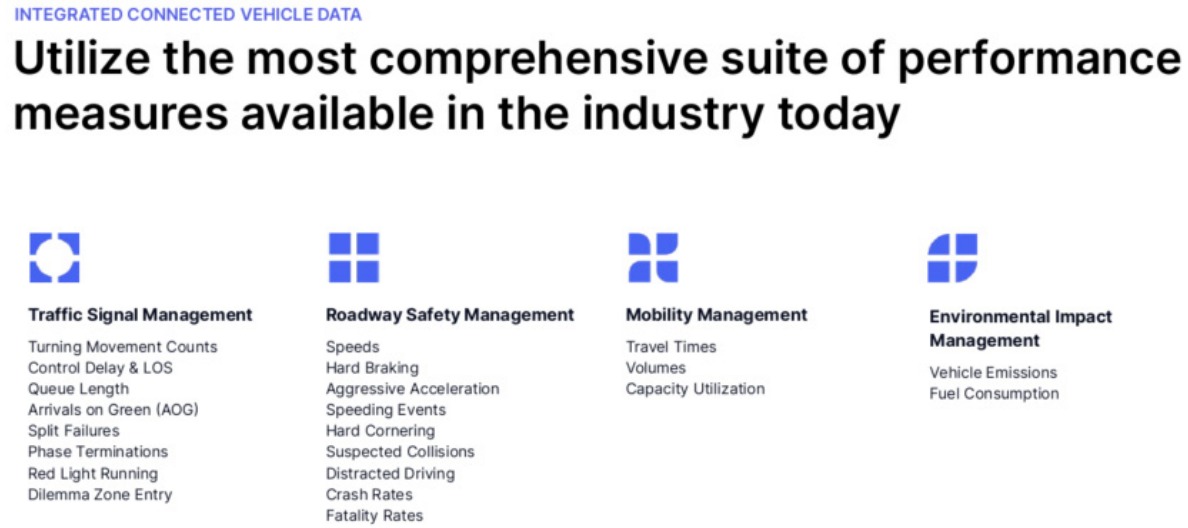


出典：Flow Labs

図 3.2.79　プローブ情報を活用した路側のセンサー等のインフラに依存しないアプローチ

b)　**具体的な適用事例**

Flow Labs のプラットフォームは、デジタルツイン技術を活用した交通シミュレーションを通じて、図 3.2.80 に示す、交通信号管理、安全管理、モビリティ管理、環境影響管理など、さまざまな分野で具体的な成果を上げている。



出典：Flow Labs

図 3.2.80　Flow Labs の主な 4 つのユースケース

以下にユースケースを示す。

交通信号管理

データ収集と分析：

- 接続車両データ、GPS、テレマティクス情報を活用して交通状況を分析。
- 新たなハードウェアを設置する必要なく、リアルタイムと履歴データを収集して信号性能や交通流を診断。

信号の最適化:

- AI を活用して、スプリット、サイクル、オフセットなどの信号タイミング計画を最適化。
- エンジニアが制約条件や目標を入力すると、数秒で最適な信号タイミング案を生成。
- 提案されたタイミング案の実施前に、精度の高いパフォーマンス予測を提供

提案とレポート:

- 導入前後の分析を行い、信号変更の影響を定量的に評価可能。
- 詳細な診断ツールやレポート作成機能を備える

統合性と汎用性:

- 既存の交通管理システムや制御器と互換性があり、最新のインフラや従来型インフラと統合可能。
- 最適化結果は CSV や JSON などの形式でエクスポート可能で、エンジニアが手動で実装できる

デジタルツイン技術を用いたリアルタイムの交通シミュレーションを活用して、交通信号のタイミングを詳細に管理できる。この技術により、仮想環境でさまざまな交通パターンやシナリオをシミュレーションし、最適な信号タイミングを設計することが可能である。特に、スプリット、サイクル、オフセットを最適化することで、交通の流れがスムーズに保たれる。また、シミュレーション結果を基に、現実の信号制御に即時反映させることができるため、交差点での遅延や渋滞の発生を大幅に削減できる（図 3.2.81 参照）。Flow Labs は、信号制御システムに直接接続せず、最適化された信号現示プランをオフラインでエンジニアに提供する。Flow Labs は、直接接続も技術的には可能だが、通常はオフライン提案の形で運用しているとのことである。



出典：Flow Labs

図 3.2.81　Flow Labs の交通信号管理のソリューション

道路安全管理

安全管理の分野では、Flow Labs のデジタルツイン技術が車両行動分析や事故分析に活用できる。仮想環境で過去の事故データやリアルタイムの車両動向を再現することで、危険な交差点や道路区間を特定し、事故を未然に防ぐための対策を提案する。このシミュレーションによって、異なるシナリオに基づいた安全対策を事前に検討し、効果を予測することが可能である。また、季節や時間帯による安全性の変化もシミュレーションすることで、事故率の低減を図ることができる（図 3.2.82 参照）。



出典：Flow Labs

図 3.2.82　Flow Labs の道路交通安全管理のソリューション

モビリティ管理

Flow Labs の交通シミュレーションは、モビリティ管理においても非常に有用である。リアルタイムで道路の混雑状況や交通パターンをシミュレーションすることで、最適な交通誘導や需要管理が可能となる。例えば、仮想環境で起源と目的地の分析を行い、特定の時間帯や曜日における交通の集中状況をシミュレーションし、その結果を基に適切な対応策を提案する。この技術により、交通渋滞の緩和や移動時間の短縮が期待でき、都市部における交通の効率化を実現する（図 3.2.83 図 3.2.81 参照）。



出典：Flow Labs

図 3.2.83　Flow Labs のモビリティ管理のソリューション

環境影響管理

環境影響管理の分野でも、Flow Labs のデジタルツイン技術が重要な役割を果たす。仮想環境で車両から排出される温室効果ガスや大気汚染物質をシミュレーションし、これらのデータを基に環境負荷を最小限に抑えるための対策を講じることができる。特に、都市部での交通渋滞による排出量の増加をシミュレーションし、信号の最適化や交通量の分散を図ることで、環境への悪影響を軽減します。また、シミュレーション結果を規制報告に活用することで、政府や地方自治体の環境政策の策定を支援することも可能である（図 3.2.84 参照）。



出典：Flow Labs

図 3.2.84　Flow Labs の環境影響管理のソリューション

c)　**Caltrans とのパイロットプロジェクトに関するヒアリングの要点**

FlowLabs 社は、機械学習、人工知能、接続車両データ、およびソフトウェアエンジニアリングを専門としている。OEM、スマートフォン、TomTom などの GPS サービス、テレマティクス機器など、さまざまなデータソースからデータを収集しており、これにより米国内のすべての車両の約 43%を追跡可能である。

このデータを利用して、Caltrans では、El Camino Real コリドーを対象とした、交通信号管理や道路安全性の最適化のパイロットプロジェクトが計画されており、プロジェクトの成功に向けて Caltrans との密な連携が進められている。ヒアリングでは、このプロジェクトでは、信号制御に関して、リアルタイム制御（オンライン連携）をすることが言及された。Flow　Labs の提供するプラットフォームに、現状のデータや信号の情報を入力し、37 交差点を対象にパフォーマンスの最適化と安全リスク情報の提供を実施する。接続はするものの自動化ではなく、提案されたプランをエンジニアが確認・評価し、採用する場合はエクスポートしたデータ（CSV、JSON などの形式で）を ATMS（Advanced Traffic Management System）にアップロードをする。

Flow Labs のプラットフォームは高精度でリアルタイムのデータを提供し、道路のパフォーマンスの監視と最適化には、欠かせないものと主張している。プラットフォームの AI 駆動のデジタルツイン技術は、迅速なシナリオ分析と最適な交通信号現示計画を可能にし、交通ネットワーク全体の効率を大幅に向上させるとしている。

Flow Labs のプラットフォームは、交通機関が直面する多様な課題に対して、データ駆動型のソリューションを提供し、よりクリーンで安全な道路環境の実現に寄与する。今回のヒアリングで明らかにな

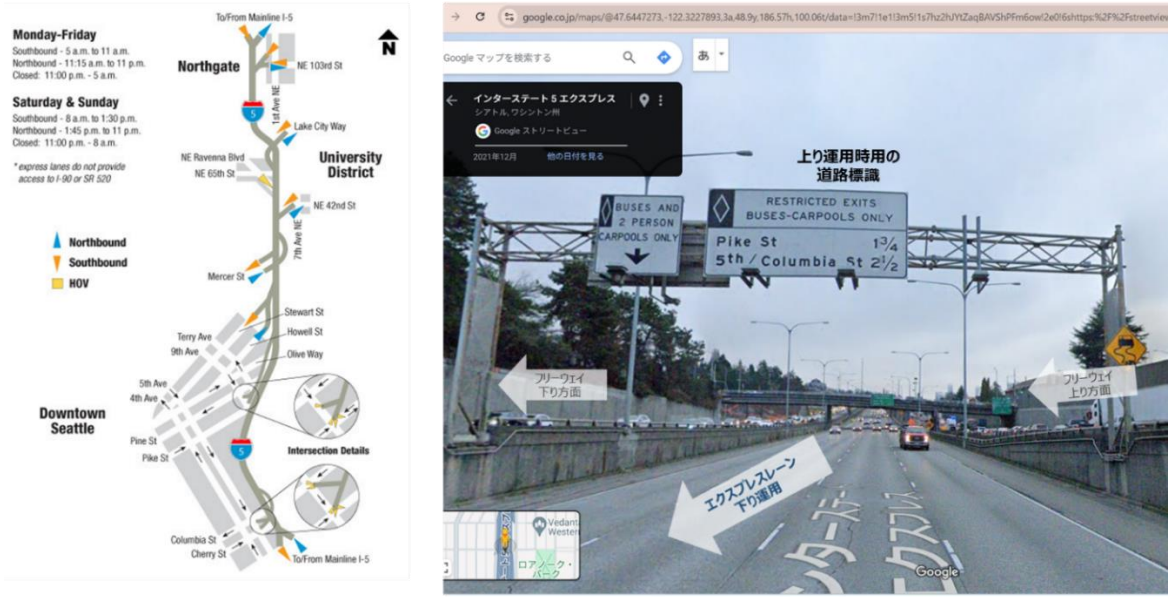
ったように、同社のソリューションは、スケーラブル（拡張性が高い：システムが利用者数、データ量、処理負荷の増加に応じて柔軟に対応できる、クラウドベースのプラットフォームを使用するため展開が早い）でコスト効率の高いもの（短期間で導入でき、初期投資が大きすぎず、従来のセンサなどハードウェアの新設やメンテナンスコストがいらない）であり、新しいハードウェアの導入を必要とせずに、既存のインフラと統合できる点が大きな強みである。

3.2.5　Washington DOT、Seattle DOT（WSDOT、SDOT）

(1)　車線運用

a)　I-5 エクスプレスレーン（リバーシブルレーン）

シアトルは東西を湖で囲われた地形のため、南北方向に都市が伸びている。朝夕は郊外部から中心部に向かう通勤車両が増加するため、フリーウェイに並行してエクスプレスレーン（リバーシブルレーン）が I-5 に設置されている。エクスプレスレーンを反転させるプロセスでは、上りオンランプを閉鎖し、パトロール隊が低速で走行し、エクスプレスレーン上に車両がいないことを確認した後、下り方向のオンランプを開く。ランプ・ゲートの閉鎖・開放などは、交通管制センターから CCTV でモニタリングしながらすべて遠隔操作で行っている。



出典：WSDOT の資料を活用し調査団が作成

図 3.2.85　I-5 エクスプレスレーン（リバーシブルレーン）のランプ位置と写真



撮影：調査団

図 3.2.86　I-5 エクスプレスレーン（リバーシブルレーン）の可変ランプ

b)　**HOV・Toll レーン（I-405）**

I-405 などでは、民間事業者により HOV・Toll レーンが運用されている。利用者は Flex Pass を購入し、プリペイドアカウントを作成し、乗車人数に応じて利用者自ら HOV モードと Toll モードを Flex Pass のスイッチで切り替えることにより HOV・Toll レーンを走行することができる。

インフラ側では、車線上の感知器群が、レーザーで車両の接近を感知、RFID の読み取り、ナンバープレートの撮影を行い、Toll モードの際はプリペイドアカウントから料金を徴収する[22]。Flex Pass で引き落としができない場合は、ナンバープレートに紐づけられたプリペイドアカウント、ナンバープレート所有者への郵送による支払い依頼の順で料金徴収が行われる。



図 3.2.87　HOV・Toll レーンと Flex Pass（RFID）

22 料金徴収システム紹介動画：https://www.youtube.com/watch?v=IX0rFjPuNV4

(2)　**技術適用**

a)　**可変情報版による ATDM (Active Traffic and Demand Management)**

ノースウエスト地域には 120 以上の可変情報版（VMS：Variable Message Signs）があり、その大部分は所要時間や遅れ時間を表示している。これらの表示により、ドライバーは下流や別の道路でどのような交通が予想されるかを自分で判断し、意思決定に役立てることができる。可変情報版インターチェンジの近くや他の交通に囲まれた重要な場所に設置している。主要な道路が封鎖された場合、メッセージは封鎖地点からの距離に応じて使い分けられる。

- 近距離：右合流・左合流・左車線閉鎖といった車線別の戦術的な情報を提供
- 中距離：閉鎖エリアに近づいたドライバーに迂回ルートを提供
- 長距離：ドライバーを封鎖地点に近づく高速道路やフリーウェイから遠ざける情報を提供



撮影：調査団（WSDOT 交通管制センター）

図 3.2.88　可変情報版（上：テキスト、中：車線規制・指示、下：管制画面）

b)　ランプメータリング

ランプメーターは、自動車専用道への合流を信号により管理することで本線の交通流を円滑にし、合流部の事故を未然に防ぐための施策である。本線上流にループコイルセンサーが設置されており、本線の車両密度に応じてオンランプから流入する交通量を調整する。また、オンランプの上流にもループコイルが設置されており、オンランプの滞留が一般道に遡上しないように調整されている。WSDOT のランプメーターは、オペレーターからの指示がなくても、合流部での混雑が発生する前にアルゴリズムで作動するように調整されている。したがってオペレーターは、ランプメーターが上流の混雑管理を即座に支援していることを認識しながら、他の作業に集中することができる。合流渋滞を未然に防ぐには即時の対応が必要となり、遅れるとランプメータリングは機能しない。合流部には CCTV も設置されており、オペレーターは目視で状況を確認することができる。ランプメーターの設置により、合流部での衝突事故が 30%削減された。

直感に反するかもしれないが、ランプメーターは市道への渋滞遡上防止にも役立っている。ランプメーターがないと、本線での合流地点から二次的な待ち行列が形成される可能性がある。

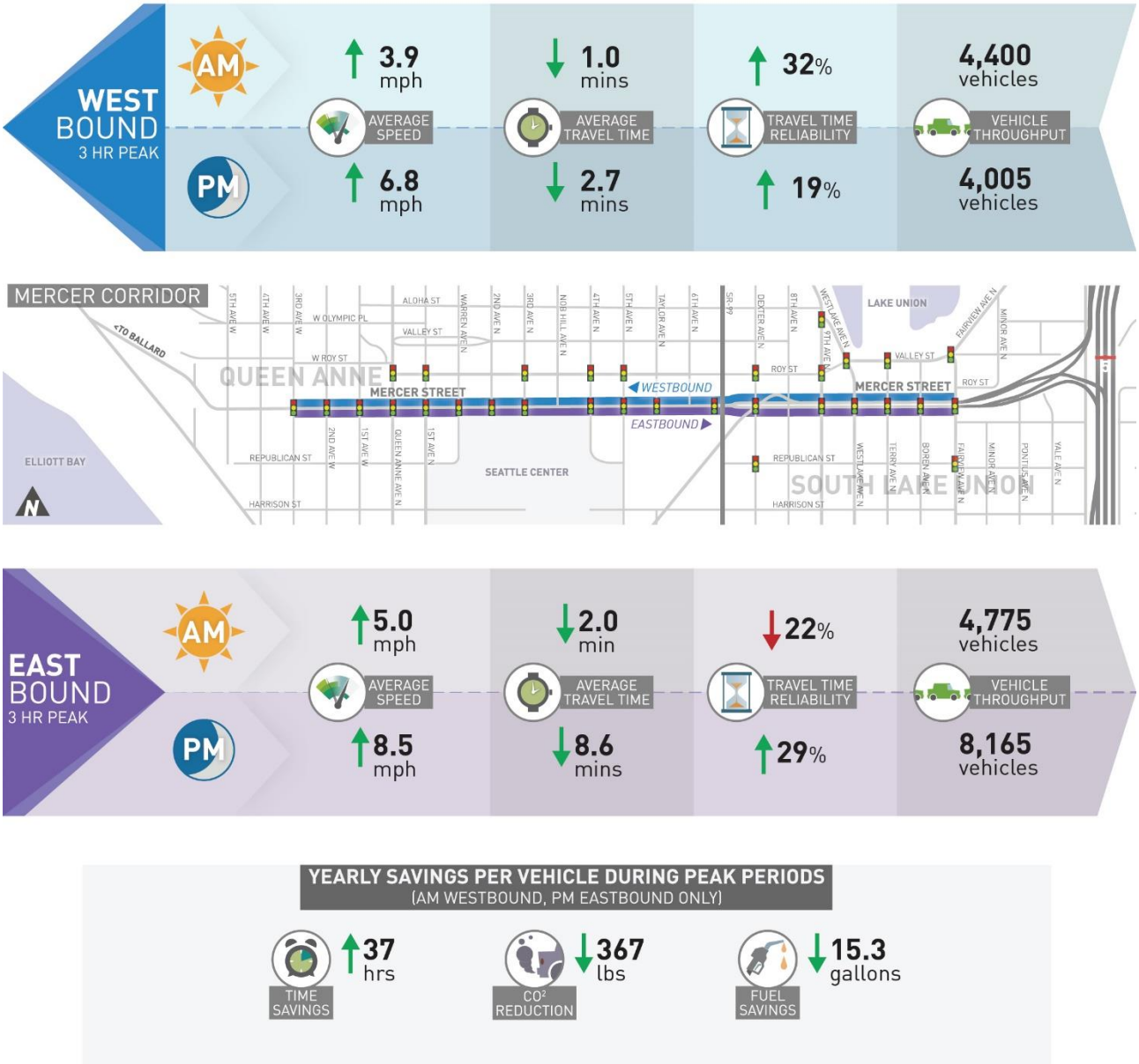


撮影：調査団（WSDOT 交通管制センター）

図 3.2.89　ランプメータリング

c)　適応型信号（SCOOT）

WSDOT では、SCOOT は、1 つのコリドー（Mercer St.）の 30 交差点で運用している。感知器は、ループコイルとワイヤレス磁気センサーを使用している。Adaptive Signal（適応型信号）システムには、高レベルのレイテンシーが要求されるため、感知器のメンテナンスとコリドー内の通信が課題となった。最初に設置したときは、交通流の改善と CO2 排出量削減にすることに成功[23]したが、隣接する I-5 のランプにランプメーターを追加することになったため、それ以上 Mercer St.の交通量を増やすことはできなくなった。適応型信号の効果については、都心部よりも郊外部のコリドーの方が大きい。また、前述のように COVID-19 の影響により道路混雑が緩和され、それに伴う交通事故死者数の増加が問題となっており、自動車優先から歩行者優先にシフトする必要が出てきている。



出典：https://www.seattle.gov/transportation/projects-and-programs/programs/technology-program/mercer-scoot

図 3.2.90　適応型信号（SCOOT）を導入した Mercer St.コリドー

23 https://www.seattle.gov/transportation/projects-and-programs/programs/technology-program/mercer-scoot

このような背景の下、MiCMA[24]プロジェクトでは、ワシントン大学周辺のサブエリアに対し、マルチモーダルな適応信号システムを導入するためのプロジェクトを実施した。このエリアでは、6 万人の学生が通学して多くの歩行者が行き交う上、LRT 駅もあるため列車到着時には一時的に歩行者の数が増加する。このような場合、多くの制約があるため、マルチモーダル適応信号システムという考え方が必要になった。このプロジェクトでは、以下の変数を観測し、適応制御を実現している。

- 交通量：交通信号の適応制御により交通流を改善するため、リアルタイムでの交通量の変動を検出している。
- 歩行者数：鉄道駅やイベント会場付近での歩行者需要に応じて横断時間を調整するため、歩行者検知技術を用いて実際の歩行者数を把握している。
- 自転車利用者：Sensys Networks の GiveMeGreen や Siemens の SiBike といったモバイルアプリを使用して自転車を検知し、信号が近づく自転車に応答することで、自転車利用者の待機時間や車両との衝突リスクを減らしている。
- 高速道路での事故：近隣の高速道路からのデータを統合し、事故が発生した場合に信号タイミングを変更することで、ネットワーク全体での事故による渋滞を軽減している。

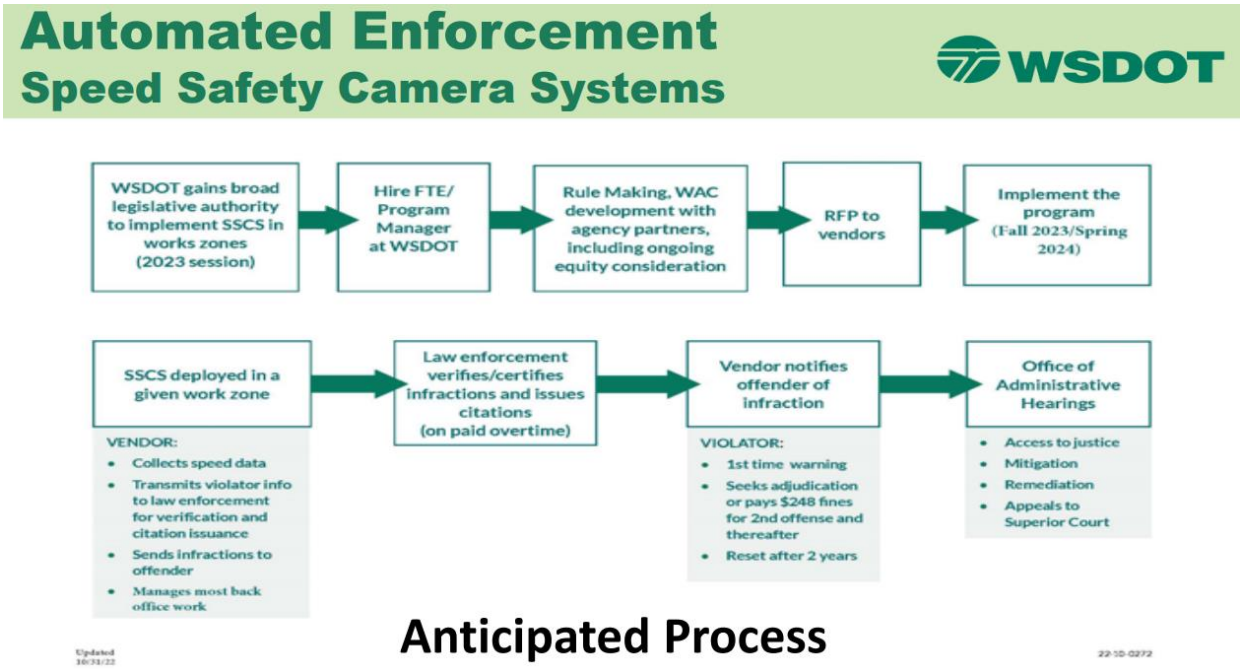
(3) その他の話題

a) 自動速度超過取締り

COVID-19 の影響で通勤パターンが変わったことにより道路渋滞が緩和した。その結果、速度超過による深刻な交通事故が増えてここ数年交通事故死者数が増加している。ワシントン州では、過去数回の立法議会で、WSDOT は道路工事が行われているステートハイウェイ上で速度超過の自動取締りを行う権限を得た[25]。ナンバープレートリーダーを導入し、車両とその速度を記録して、その車両に連絡し、罰則を科すことができるようになった。

交通安全のリーダー的存在であるノルウェーとフィンランドを視察し、平均速度法について学んできた。北欧では、自動取締りがいたるところで行われていた。平均速度法では、カメラのある地点で速度を落とし、他の区間で速度超過する車両を取り締まるために平均速度が算出され、平均速度が基準より高ければ、違反切符が切られる。今年度中にテストする予定になっている。

24 Multimodal Integrated Corridor Mobility for All
https://www.seattle.gov/Documents/Departments/SDOT/TechnologyProgram/UW_MIMCA_Technical_Proposal_Amendment1_2020.pdf
25https://www.fox13seattle.com/news/gov-inslee-signs-bill-allowing-speed-safety-cameras-in-active-work-zones-starting-july-2024



出典：WSDOT 資料

図 3.2.91　I-5 速度超過自動取締のプロセス（2022 年時点予定）

b)　**信号機や感知器のメンテナンス**

信号機や感知器のメンテナンスには、24 時間 365 日の緊急メンテナンスと、予防保全プログラムがあるが、いずれもほとんどはインハウスで DOT スタッフが行っている。資材を保管する倉庫も所有している。一方で、新規の設備工事は、請負業者に委託することが多い。

3.3　ITS 世界会議

3.3.1　Data From Sky

(1)　企業概要

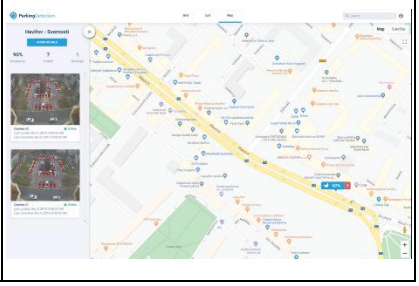
Data From Sky は、チェコ共和国に本社を置く RC Systems（工業用電気電子機器メーカー）のビジネスユニットであり、交通データの収集・解析に特化したソリューションを提供している。同社は、ドローンや固定カメラを活用し、交通状況のリアルタイムモニタリングや安全性向上のための高度な AI 解析を行っている。主な製品である「Flow」システムは、交通状況のモニタリングや安全性向上のために設計されており、交通信号の自動制御や事故検知、近接危険（ニアミス）の測定など、多機能なデータ解析を提供している。また、欧州や米国を中心に約 500 のプロジェクトを手掛けており、日本や中東地域でも市場拡大を目指しておりタイでも実績ある。NVIDIA（半導体）や AXIS（カメラ）などの企業と技術提携を行っている。また、Deloitte の「Fast 50」賞を 3 年連続で受賞し、急成長企業として認知されている。

(2)　提供する製品・サービス

Data From Sky は、AI 画像解析技術 Flow を使った交通管理と駐車システム向けのサービスを行っており、エッジ処理、リアルタイム、映像データをクラウド上にアップロードする SaaS のサービスなどを行っている。以下に提供するサービスを示す。

表 3.3.1　Data From Sky が提供する製品・サービス

製品・サービス	サービス内容	イメージ
エッジ交通制御ソリューション		
Traffic Camera	１つのデバイスで撮影と解析まで行うプラグアンドプレイ型（電源とネットワーク接続する）エッジデバイスであり、交通データのリアルタイム分析を可能にするカメラ。現場で処理することでリアルタイム性を高め通信量を削減できる。	
Traffic XRoads	AI アクセラレーター(高速化するためのチップ)を搭載したエッジユニットであり、交通信号制御キャビネット内に設置し、高度な交通流情報を提供する。複数のカメラを同時に処理できる。	
Traffic Embedded	既存のカメラを接続し、オンボードで画像解析を行い、軌跡、速度、通過時間を自動的に関しし、交通状況を提供する。IP カメラが状況を撮影したビデオデータがポールにある Traffic Embedded ユニットに送信され、搭載された FLOW AI エンジンが分析し、データを抽出。分析された情報は、FLOW Insights ダッシュボードに送信することが可能。その後、オープン API 経由で、スマートシティプラットフォーム/LED サイン信号/交通信号制御の基礎として活用できる。	

Traffic Drone	ドローンに解析用カメラをつけ、上空からリアルタイムの交通状況をリアルタイムで把握する。空から撮影することでラウンドアバウトの OD 表の作成やタイムギャップ、ヘッドウェイ、ニアミス、違反車両の検知などの交通モニタリングが可能	
サーバー側交通モニタリング		
Traffic Enterprise	スマートシティ向けの包括的な交通制御システムであり、都市全体の交通管理を支援する。複数の交差点や主要道路を対象に①リアルタイムの交通データを収集し、信号機制御ソフトウェアに接続し交通の流れを最適化する、②事故や異常な交通状況をインシデントとして検出する、③交通量、速度、遅れ時間などのデータを統合し可視化する。これらは既存インフラに合わせてアップグレードや新たな機器の追加ができ、長期的な利用が可能	
Traffic Survey	撮影した映像を Web サイトにアップロードし、ポストプロセッシングを通じて詳細な分析を行うサービス。通常の CCTV カメラ等の映像とドローンで撮影した映像を解析するサービスがあり、車種別の車両の軌跡から、車種別交通量、速度、加速度、交通安全の指標 TTC、PET、急ブレーキなどのデータの分析をユーザーが、ディスクトップ分析ツールで可能	
駐車システム		
Parking Detection	AI 画像解析を活用した駐車場管理システムであり、駐車スペースごとの占有状況をリアルタイムで監視するため、空いているスペースや満車のエリアが把握でき、利用者にはスマートフォンや Web サイトを通じて情報提供ができる。特定のルールやカスタマイズしたフィルタを使用することで、特定エリアの優先駐車や予約スペースの管理も可能、蓄積データの分析やレポート生成可能	

出典：Data From Sky の Web サイトの情報を基に調査団が編集、調査団が過去に実施した図も含む

(3)　製品・サービスの特徴（強み）

FLOW は、独自開発の AI、機械学習、軌跡ベースのアプローチに基づく交通流動分析のための包括的なプラットフォームである。設定が簡単で、リアルタイムで動作し、他のデバイスやシステムと通信ができるものとなっており、既往の IP カメラの活用が可能である。また、取得した映像を Web 上にアップロードし画像解析するサービスがあり、利用者は、従量型課金（通常映像：4.2€/時間,ドローン映像：21.0€/時間、図 3.3.1 参照）でタイムスタンプ付きの軌跡が取得され、別途ダウンロードした分析ビューワーでユーザーの志向に合わせて分析することができる。

自身の Web では、適切な条件であれば 98%の精度と謳っており、歩行者、自転車、二輪車を含む 17 種類の車種を分類できるとされている。また、図 3.3.2 に示すような交通安全に関する分析の機能が充実しており、ニアミスの指標である PET（Post Encroachment Time）、TTC（Time to Collision）、急ブレー

キなどの指標をパラメータで調整でき自動で取得、可視化できる。既に Traffic Survey は、「タイ交通安全プロジェクト」においても、活用されている。

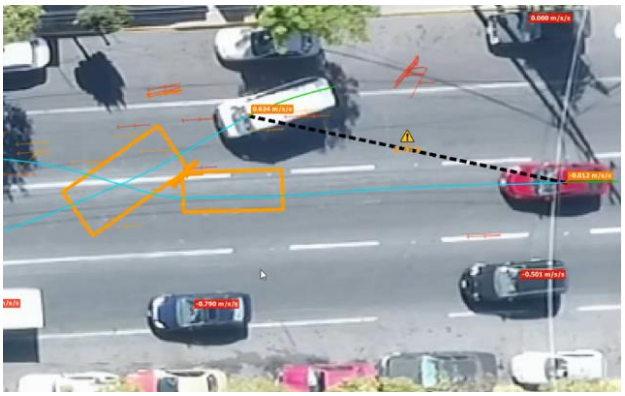
Choose your DataFromSky Plan!

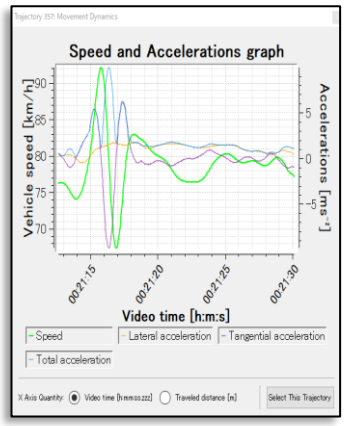
LIGHT	Without Plan	Beginner (100 hours)	Intermediate (1 000 hours)	Master (5 000 hours)
Video processing (1 Credit)	€4.20/hour	€3.84/hour	€3.32/hour	€2.90/hour
LP detection (0,1 Credit)	€0.42/hour	€0.38/hour	€0.33/hour	€0.29/hour
AERIAL	**Without Plan**	**Beginner (20 hours)**	**Intermediate (200 hours)**	**Master (1 000 hours)**
Video processing (5 Credits)	€21.00/hour	€19.20/hour	€16.60/hour	€14.50/hour
Georegistration				
First 3 hours (42 Credits)	€176.40	€161.28	€139.44	€121.80
Each add. Hour (7 Credits)	€29.40	€26.88	€23.24	€20.30
100% Guarantee				
Start fee (96 Credits)	€403.20	€368.64	€318.72	€278.40
Each correction (0,134 Credit)	€0.56	€0.51	€0.44	€0.39

All prices are in Euro

出典：https://datafromsky.com/trafficsurvey/

図 3.3.1　Traffic Survey の料金体系

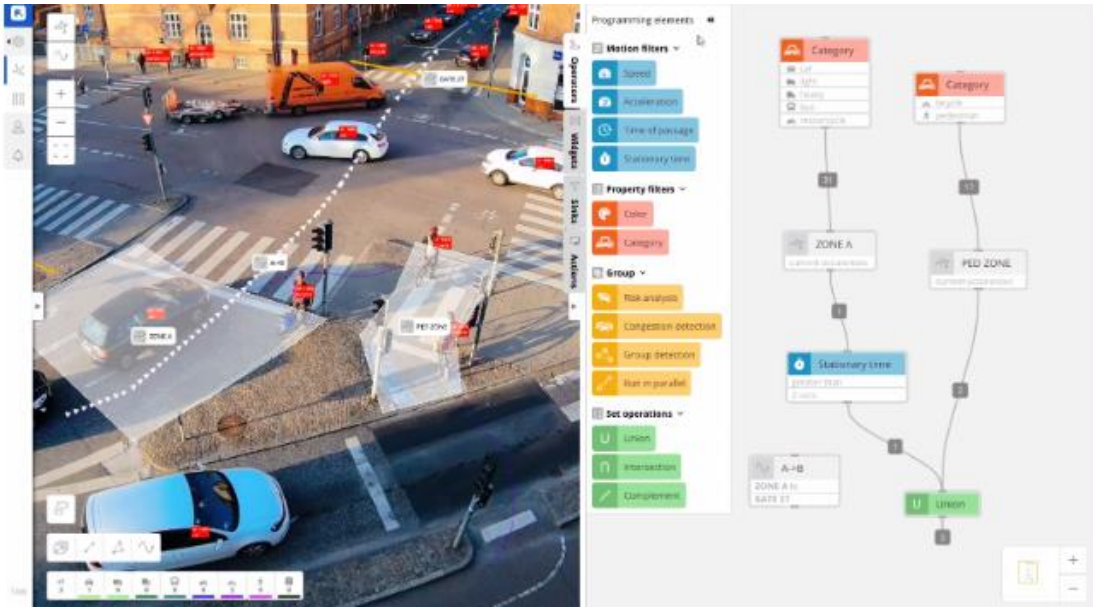




出典：Data From Sky の Web サイト及び分析ツール

図 3.3.2　交通安全の指標（左）と個車のデータ（速度、加速度等）（右）

また、図 3.3.3 に示す通り、Traffic Embedded 等リアルタイムの画像解析の設定については、ユーザーフレンドリーなインターフェースになっており、プログラミングの知識がなくても複雑なタスクを設定できる仕様になっている。



出典：https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3772980-what-is-flow-and-why-use-it

図 3.3.3　交通安全の指標（左）と解析のためのインターフェース

(4)　製品・サービスの途上国への展開の可能性

Web での Traffic Survey のような SaaS については、従量課金でイニシャルコストが必要なく、既存の CCTV カメラなどのデータを活用でき、Web にアップロードするだけで画像解析処理が行われ、そのアウトプットをユーザーが自由に分析できるため、交通量調査の省力化や交通安全に関する事故の分析など、途上国の環境でも十分有用できる。また、エッジ交通制御ソリューションについても、既存のカメラの活用との接続が可能であり、更に必要に応じたエッジのカメラの設置など、低コストかつ通信量を少なく抑えることができるため、途上国でも十分適用可能である。

先進国においては、ビデオネットワークサーベランスの製品を扱う NetworkOptics（NxGO）社と連携し、交通管理者が持つ CCTV カメラと接続しクラウドベースでのインシデント監視などのサービスを展開している。途上国での展開については、Traffic Survey は、既に途上国のプロジェクトでも活用されているほか、オンラインサービスについては、パイロットプロジェクトや POC（概念実証）を通じて技術の効果を実証し、それを基にフルスケールでの展開を検討していく方針である。また、アフリカ地域でのプロジェクトへの参画についても非常に興味を持っているとのことであった。現地でのパートナーとの協力体制の確立やオンラインにより現地交通管理者への技術指導、サポート、トレーニングができるとしている。

3.3.2　Good Vision

(1)　企業概要

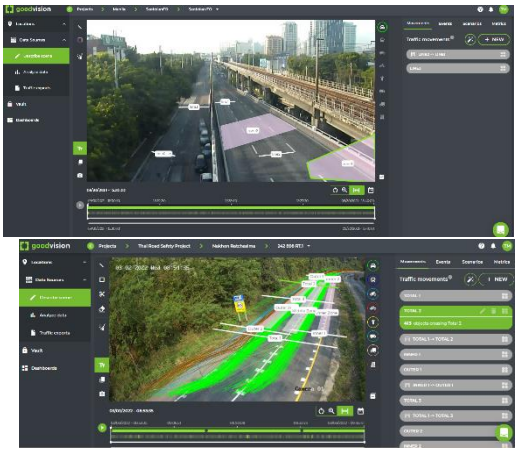
Good Vision は、2018 年に設立されたイギリスに本社をおく交通データの収集と分析を専門とするスタートアップ企業で、AI を活用したリアルタイムの交通監視ソリューションを提供する。チェコでサービス開発をしている。同社の製品は、カメラやドローンからのデータ収集、交通モデリング、リアルタイム制御など、交通プロジェクトの全段階を自動化することを目的としており、これにより都市の交通流の最適化や安全性の向上に寄与するとしている。

世界 56 か国での実績があり、ITS 世界会議ドバイでは、シンガポール系のコンサルタント TTS（Total Traffic Solution）と合同で出展しており、交通データ分析の分野で世界展開を狙っている。

(2)　提供する製品・サービス

主力製品である「GoodVision Live Traffic」は、24 時間体制での交通監視を可能にし、交通信号のリアルタイム調整や交通イベントの即時検出を支援する。また、「GoodVision Video Insights」は、ビデオ映像から交通データを抽出し、交通モデルの自動キャリブレーションを行う AI 駆動のプラットフォームである。

表 3.3.2　Good Vision が提供する製品・サービス

製品・サービス	GoodVision Video Insights	GoodVision Live Traffic
サービス内容	交通映像からデータを抽出し、詳細な分析を行うための包括的なプラットフォーム。オフライン分析に特化しており、ユーザーは、固定カメラやドローンで撮影した映像をアップロードし、交通量のカウント、車両分類、速度や移動時間の分析など、多様な交通パラメータを取得する。このプラットフォームは、交通調査やモデルのキャリブレーションに適しており、手動でのデータ収集を自動化し、時間と労力を節約する。交通調査のオフライン分析やミクロシミュレーションのモデルのキャリブレーションの入力データとして活用できる。	24 時間 365 日のリアルタイムの交通監視と分析を提供するソフトウェア。道路や交差点に設置された既存や新設したカメラからの映像を AI 技術で解析し、車両、バイク、自転車、歩行者などの交通状況を即時に把握する。これにより、交通量の監視、交通違反の検出、事故の早期発見などが可能となる。エッジデバイスやサーバー上で動作し、リアルタイムの映像ストリームを画像処理する。
イメージ		

出典：Good Vision の Web サイトの情報を基に調査団が編集、調査団が過去に実施した図も含む

(3)　製品・サービスの特徴（強み）

既存の CCTV カメラを活用できるため、新たなインフラ投資を抑えつつ、迅速な導入が可能である。また、リアルタイムでのデータ収集と分析により、交通信号の適応制御や交通違反の即時検出が実現する。さらに、収集されたデータは GoodVision の Video Insights プラットフォームと統合され、詳細な分析やレポート作成が容易に行える。交通データの収集と解析に重点を置き、手動作業の削減と効率化を図っている。

Vision Insight では、アカウントを作りプランを購入すると、オンライン上に個人のアカウントのプラットフォーム・ダッシュボードを持つことができる。ユーザー（交通エンジニアやモデラ―）により、直感的にグラフの作成や分析設定（OD、飽和交通量率、速度）の操作ができる。アップロードした映像データは、ストレージサーバーに保存することもでき、インターフェースは、ポルトガル語、スペイン語、フランス語など多言語対応が可能である。

Video Insights の料金体系は、サブスクリプションモデルでクレジットをあらかじめ購入しそれを消費していく形（固定カメラで 1 クレジット/時間、ドローンで 4 クレジット/時間、1 クレジット 4€）、になっている。以下の 3 つのプランに分かれており、それぞれ分析できる機能やデータの共有の範囲、データの蓄積量、有効期間が異なっている。



出典：https://help.goodvisionlive.com/en/articles/4302734-goodvision-subscription-platform-plans

図 3.3.4　GoodVision Video Insights の料金体系

また、Vision Live では、既存の監視カメラやサーバーとも用意に統合ができ、信号システムや監視システムなど他の交通プラットフォームとも連携が可能である。

(4)　製品・サービスの途上国への展開の可能性

Vision insight の SaaS については、サブスクリプションでイニシャルコストが必要なく、人手による交通量調査や撮影したビデオを目視でカウントする交通調査の代替えとして、大幅な省力化、コスト削減、精度向上のツールとして十分有用できる。一方、Vision Live の交通監視、インシデントや違反車両の検知については、エチオピアのアディスアベバで 150,000 時間以上の映像解析を実施、フィリピンで

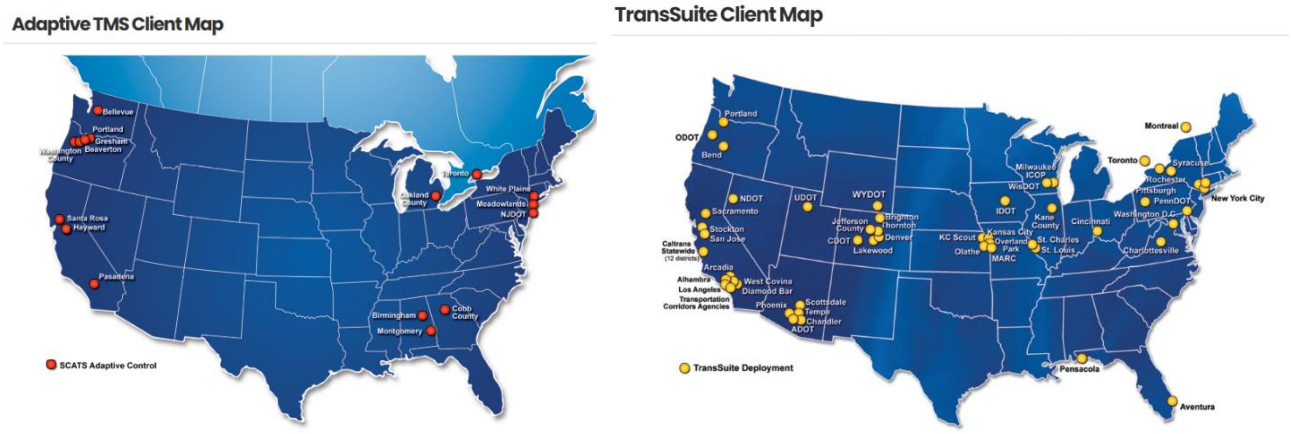
は、メトロパシフィック社の高速道路や料金所の監視等で活用されているなど、既に途上国での実績をもっており、フィリピンには Distributor として契約している会社がある。

地域固有の車両（トゥクトゥクやジプニー等）に対応できるよう、車両認識モデルのカスタマイズも行っている。各地域のパートナー向けにトレーニングプログラムを提供し、現地パートナーが顧客に対して高度なサポートができるとしている。また、リアルタイム監視の Vision Live では、データのセキュリティとプライバシー保護のため、ユーザーのデータを暗号化し、外部への送信を最小限にする設計となっている。

3.3.3 TRANSCORE

(1) 企業概要

1930 年代に創業した米国の交通・輸送関連技術及びサービスの提供の企業である。2021 年に Roper Technologies から Cubic Corporation に買収され、その傘下となっている。料金収受システム、信号制御を含めた交通管理システム、公共交通に関する交通管制システム、RFID 技術を使った駐車場管理や物流の最適化システムなどの製品を持っている。信号制御システムの導入では、米国国内の主要都市の交差点で多くの実績があるほか、カナダ、メキシコ、南米（チリ）の他、ドバイでも導入実績がある。また、RFID や ALDR を活用した料金収受システムでは、ドバイの Salik Toll System の設計・導入（フリーフロー）を行い、2006 年から RTA とパートナーシップ締結を結んでいる。



出典：https://transcore.com/its/transsuite

図 3.3.5　Adaptive Traffic Management System （左）及び TransSuite（右）の顧客マップ

(2) 提供する製品・サービス

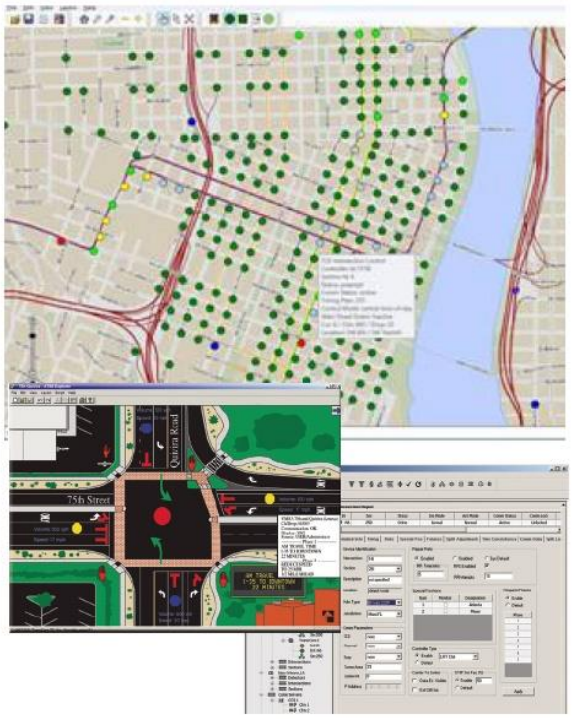
主力製品である、TransSuite®Traffic Control は、信号制御、リアルタイム交通データ収集、Adaptive traffic control（適応型信号制御）を統合した交通管理システムである。Adaptive traffic control は SACTS を適用しており、以下の特徴を有する。

- 複数の信号制御機をサポート
- NTCIP 通信に対応
- 高度なローカルコントローラー機能に対応
- Traffic responsive (交通流に合わせた信号現示パターン選択)は、 複数の制御モジュールに対応

- 高度な設定と検索が可能なイベントログ
- 10,000 を超える交差点の制御機と 10,000 を超える感知器に接続可能
- 遠隔制御が可能
- 信号制御のエラーの検知
- システムへの同時アクセスと相互通信が可能
- オペレーターの監視や操作なしに 24 時間稼働

ニューヨーク市の「Midtown in Motion」と呼ばれるプログラムでは、約 12,500 の信号を適応型制御（SCATS）管理するシステムを導入しており、マンハッタンの 270 ブロックにわたり約 300 のセンサー、カメラ、EZ-Pass（DSRC ベースの ETC） リーダーを使用して、交通管理センター（TMC）から信号パターンを即座に調整できるように設計されている。NYDOT では、この取り組みにより、対象地域での移動時間は約 10%改善されたとの報告がある。https://www.nyc.gov/assets/forward/documents/NYC-Smart-Equitable-City-Final.pdf

接続する交通信号制御器は、NEMA、Type 2070/ATC の基準に対応している Econolite、Simens、McCain 社製などに対応している。



Device Type	Software	Protocol
NEMA TS/2 Controllers		
Econolite ASC/3	ASC/3	NTCIP
Econolite ASC/2S	ASC/2	NTCIP
Econolite ASC/2	ASC/2	NTCIP
Siemens M50/M52	SEPAC	NTCIP
PEEK Traffic 3000/3000E & ATC-1000	GreenWave	NTCIP
Type 2070/ATC Controllers/Firmware		
Econolite 2070/ATC	ASC/2 & ASC/3	NTCIP
Eagle 2070/ATC	SEPAC	NTCIP
Fourth Dimension	D4	NTCIP/AB3418E (Database)
Northwest Signal	Voyage	AB3418E
Siemens	NextPhase	NTCIP
McCain	Omni EX	NTCIP
Intelight	MaxTime	NTCIP

出典：https://transcore.com/wp-content/uploads/2017/01/TransSuite_TCS_2_Page.pdf

図 3.3.6　TransSuite® の交通制御システム（TCS）

もう一つの主力製品は、RFID、DSRC、ALRP（Automatic License Plate Recognition）技術を使ったフリーフロー料金収受システムである。ガントリー施設からバックオフィスソリューションまでの一貫とした製品を扱っている。





出典：https://transcore.com/tolling/infinity-digital-lane-system

図 3.3.7　TRANSCORE 社の ETC 製品

(3)　**製品・サービスの特徴（強み）**

TransSuite TCS は、50 以上の交差点のスタンドアロン信号システムから、ビデオ制御、DMS（動的メッセージ標識）管理、インシデント管理、高速道路の交通管理のための完全統合型 ITS サポートを備えた 11,000 以上の交差点のシステムまで、拡張が可能である。

(4)　**製品・サービスの途上国への展開の可能性**

信号制御関連については、スマートシティ計画を目指す途上国や新興市場へも参入を模索しているが、現在のところ、SCATS に対応したシステムのみのようである。ヒアリングでは、ドミニカ共和国ではパートナー企業との関係で問題が生じ、地元企業が TransCore の名義を不正に使用し、プロジェクトが停止したとの話があった。

3.3.4　ハンブルク市

(1)　**ハンブルク市の交通管理及びデジタルインフラに関する概要**

ハンブルク市では、2008 年時点の自家用車の割合が 40%から、2030 年までに公共交通および自転車・歩行者の利用割合を増加させ、自家用車利用の割合を減少させる目標を設定している。インフラ整備としては、公共交通をより魅力的にするため、鉄道やバスの運行本数の増加と利便性向上を図っている。また、自転車専用の「保護レーン」や通勤者向けの「バイクハイウェイ」を整備し、高速かつ安全な自転車通行の実現を目指している。コロナ禍で公共交通の利用が減少し、自転車利用が増加したことを受け、試験的に一時的な仮設の自転車レーンが導入され、その後恒久化された。

特にモビリティのデジタル化に力を入れており、持続可能で効率的、かつ安全な都市交通を実現するためのプロジェクトを展開している。ドイツで進めている Urban Digital Twins project を行っている 3 都市の 1 つ（残りはライプツィヒ市、ミュルヘン市）である。

交通管理では ITS-G5(DSRC) 技術を導入した信号機を増設し、交通優先制御や衝突防止機能を提供、自転車や車両の接近を検知した情報提供が始まっている。また、交通データをリアルタイムで収集・分析し、15 分先の交通予測が可能にするモビリティ・オペレーティング・システムを導入し、AI を用いた予測に基づいて交通信号の調整や渋滞回避のための最適化を図り、自然体の交通効率を向上させる取り組みを始めている。自動運転シャトルを導入する計画が進行中であり、実証実験が始まっている。

(2)　交通管理における最先端の取り組み

a)　デジタルモビリティ戦略の目標

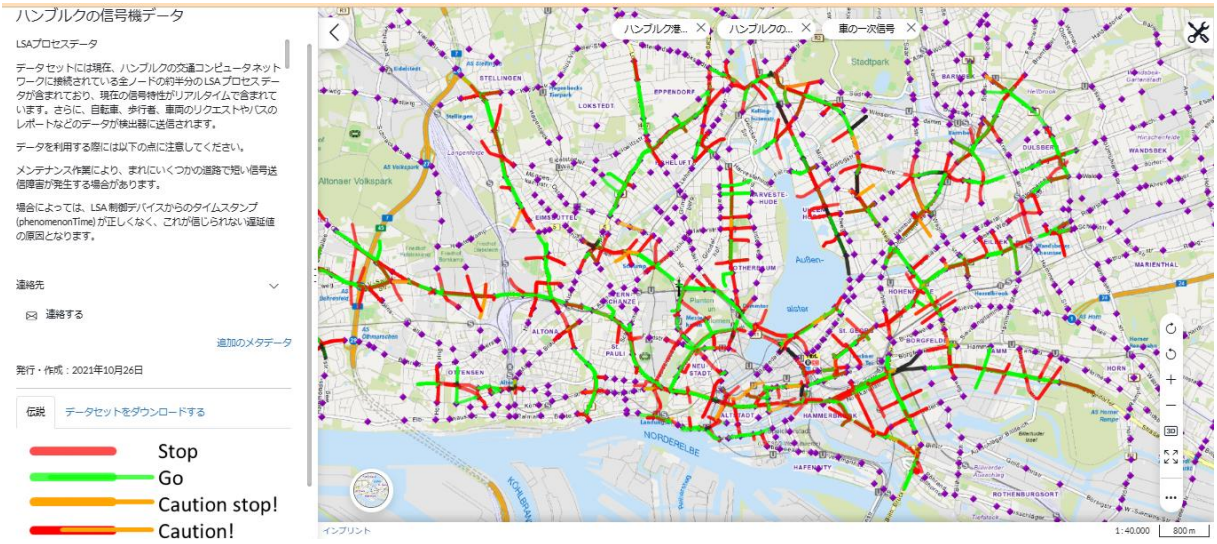
2024 年に策定された「デジタルモビリティ戦略」は、ユーザーのニーズに応じた利便性、安全性、効率性を重視し、2030 年までの交通転換を目指すものである。特に、公共交通や自転車利用を促進し、個人のモータリゼーションを抑制することで、都市環境に優しいモビリティの実現を図っている。

既に市が保有するあらゆる都市データをオープンにし一元的に閲覧、ダウンロードできるジオポータルマップを公開している（図 3.3.8）。道路網や公共交通の路線情報だけでなく、信号の設置位置や各信号の現示などもリアルタイムでわかるようになっている（精度は未確認）（図 3.3.9）。



出典：https://geoportal-hamburg.de/#LayerInfoDataDownload

図 3.3.8　ハンブルク市のジオポータブル（鉄道及びバス路線）

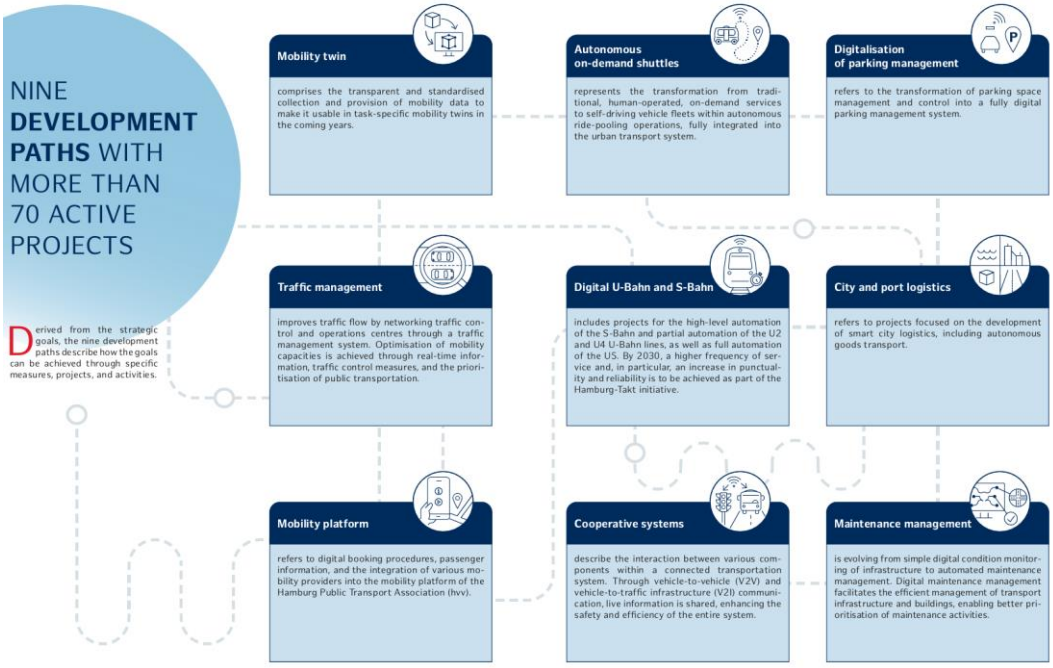


出典：https://geoportal-hamburg.de/#LayerInfoDataDownload

図 3.3.9　ハンブルク市のジオポータブル（信号データ）

b)　**九つの開発パスと 70 以上のプロジェクト**

この戦略には、九つの開発パスが設定され、合計 70 を超えるプロジェクトが含まれている。交通管理のデジタル化、インフラの自動化、モビリティプラットフォームの提供、デジタルツイン技術の活用などが行われており、スマートで効率的な交通インフラが構築されてきている。



出典：https://transcore.com/tolling/infinity-digital-lane-system

図 3.3.10　ハンブルク市の 9 つの開発パスと 70 の稼働プロジェクト

c)　**協調型 ITS（C-ITS）の導入**

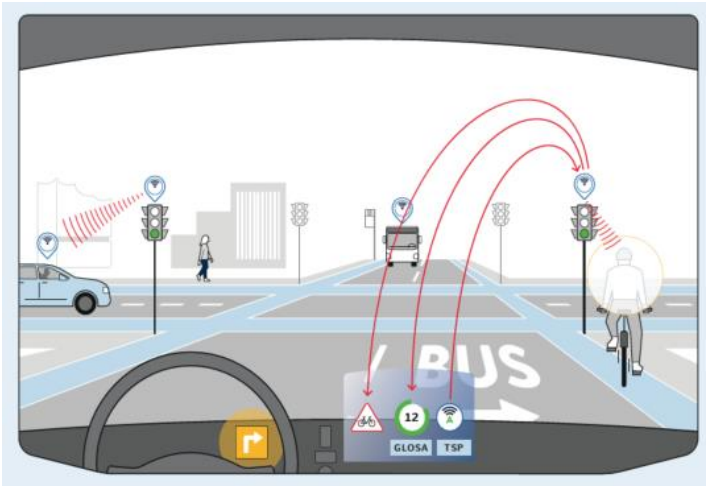
車車間通信や路車間通信を通じた「協調型 ITS」の導入を進めている。

① PrioBike プロジェクト：自転車向けの C-ITS サービスであり、自転車利用者が安全かつ快適に走行できるよう、リアルタイムでの信号情報や速度推奨を提供する「GLOSA（Green Light Optimal Speed Advisory）」サービスを導入している。このシステムにより、自転車利用者は信号のタイミングに合わせて適切な速度を維持でき、不要なブレーキングや加速を避けられるため、走行の安全性と快適性が向上する。さらに、センサーが交通内の自転車を検知し、その情報を信号システムと共有することで、モーター車両にも早い段階で自転車の存在が視覚的に通知される。例えば、路面に自転車のピクトグラム（絵文字）を表示することで、ドライバーが自転車の存在に気づきやすくなり、自転車利用者の安全性向上に寄与する。

② BOS（Authorities and Organisations with Security Tasks）リアルタイムナビゲーションプロジェクト：C-ITS を利用して緊急車両のルート最適化を図る取り組みである。このプロジェクトでは、緊急車両が事故現場などに迅速に到達できるよう、信号機が緊急車両の接近に応じて青信号に切り替わる機能を備えている。また、車車間通信（V2V 通信）により、他のドライバーにも接近中の緊急車両が通知され、迅速な進路譲りが可能となる。

③ 公共交通優先：C-ITS の「交通信号優先リクエスト（TSP: Traffic Signal Priority Request）」と呼ばれるサービスを活用し、公共交通機関、特にバスの優先通行を促進する取り組みである。バスが交差点をスムーズに通過できるよう、信号機がバスからのリクエストに応じて青

信号に切り替わる仕組みが導入されている。バス優先通行システムの基盤は、「BiDiMoVe（双方向・マルチモーダル・ネットワーク化）」や「ITS Cube」などのプロジェクトで既に実装されている。これにより、従来のアナログおよびデジタルラジオを使用した旧式のバス優先技術が置き換えられ、交通の円滑化と公共交通機関の時間通りの運行が実現されている。この優先システムにより、バスの移動が迅速化し、渋滞の緩和にも寄与している。



出典：Digitalisation of Mobility (ハンブルク市)

図 3.3.11　ハンブルク市の C-ITS を使った取り組みのイメージ

d)　**モビリティツインの活用した交通管理**

ハンブルク市では、デジタルツイン技術を導入して交通渋滞の予測やインフラの維持管理を効率的に行う取り組みを進めている。デジタルツインとは、現実の物体やシステムの仮想コピーをつくり、特定の課題や目的に応じて異なるデータセットをモジュールとして組み合わせ、現実を再現し、シミュレーションや予測を行うために使われる。デジタルツインには、エージェントベースのモデリングも応用できる。デジタルツインは、予測情報や意思決定のサポートシステムとして機能し、対策の効果や影響を事前に検証することが可能であるとし、都市開発のインパクト分析、環境影響評価、モビリティの最適化などに活用されるとしている。この取り組みでは、情報の統合、最新技術、地理参照データの活用により、モビリティ・オペレーティング・システム（MOS）を構築することに重点が置かれている。

交通流の包括的な分析と制御：交通流を最適に制御し、混雑への対応を行うためには、交通流の包括的な分析が必要であり、信号機、交通センサー、カメラなど様々なデータソースを組み合わせることで実現されるとしている。

包括的な交通管理

・センサーおよび AI を活用したリアルタイムの交通流分析
・信号機および交通ルーティングの最適化
・渋滞の最小化と交通流の改善

最新技術

・AI 支援によるモビリティ予測：複雑な交通シナリオをシミュレーションし、交通流を予測し、行動の推奨を生成する

・エージェントベースのモデリング[26]：個々の移動行動をシミュレーションおよび評価する

地理参照データ

・道路工事やその他の道路ネットワーク上のイベントを正確に記録

・交通への影響を計算し、迂回路を計画

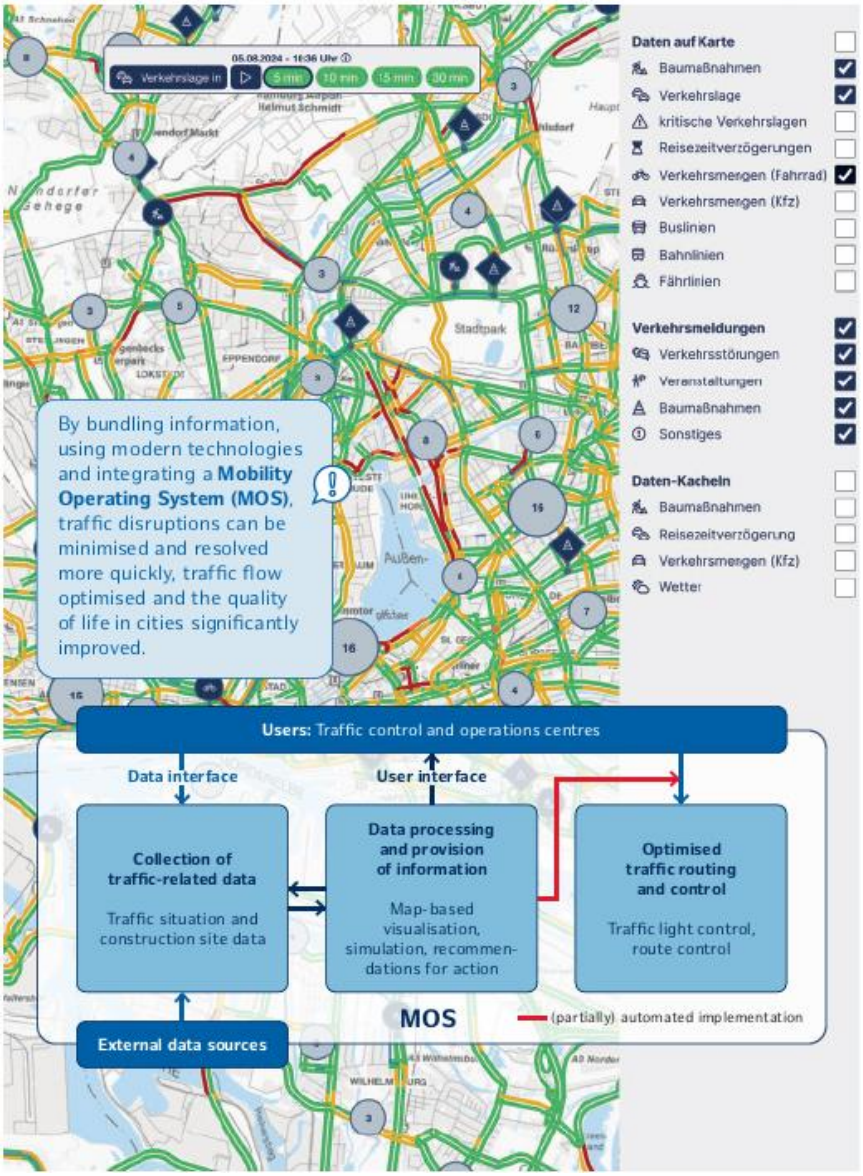
・交通流の最適化と混乱の最小化

アプリケーションとシステムの統合

・すべてのシステム間でリアルタイムのデータ交換

・交通状況の包括的な把握

・欧州データ戦略に基づく推奨行動の自動化



出典：Digitalisation of Mobility (ハンブルク市)

図 3.3.12　ハンブルク市の Mobility Operating System による交通管理

26 エージェントベースのモデリング（Agent-Based Modeling, ABM）とは、個々のエージェント（自律的に行動する要素）をシミュレーションし、全体のシステムや集団の挙動を理解・予測するためのモデリング手法である。交通分野では、ドライバー、歩行者、交通信号がエージェントとなる。

e)　**自動運転とオンデマンドシャトルの導入**

「ハンブルク・タクト戦略」では、日中、市民が 5 分以内に質の高い公共交通サービスへアクセスできることを目指している。この目標達成のため、運行頻度の増加やネットワーク密度の向上に加え、バス・電車・フェリーのスペース拡充が進められ、統合された自動運転オンデマンドシャトルの導入も計画されている。

現在、ハンブルク市では、ライドプーリング（相乗り）や定期運行における自動運転技術の実証プロジェクトが進行中であり、フォルクスワーゲンの子会社である MOIA がオンデマンド型ライドプーリングサービスの展開を行っている。現段階では、車両にドライバーが同乗して実際の交通状況下で技術をテストし、今後の開発に向けた貴重なデータを収集している。

また、安全性の向上を図るため、車載カメラやセンサーだけでなく、信号や標識、道路センサーといったインフラからの情報も活用し、自動運転車両が交通状況に正確に対応できる仕組みを備えている。これにより、事故防止にも貢献する。さらに、2025 年には最大 40 台の自動運転シャトルによる大規模な試験が予定されている。

(3)　**取り組みの途上国への展開の可能性**

交通に関するリアルタイムデータを収集、一元化したデータプラットフォームの整備、それを用いたハンブルク市の交通管理デジタル化の取り組みは、途上国における都市圏や都市レベルでの交通管理にとって参考となると考えられる。

3.3.5　Bast (ドイツ連邦道路研究所)

(1)　**組織概要**

BASt(Bundesanstalt für Straßenwesen：Federal Highway Research Institute)は、ドイツ連邦交通・デジタルインフラ省の技術研究機関として、主に研究、標準化、規格の整合性に取り組んでいる。ドイツおよび EU レベルでの交通管理やデータ標準化に関与しており、特に ITS や近年では C-ITS の分野で積極的な役割を果たしている。標準化や研究だけでなく、政府間の公式な枠組みとしての役割や、自治体への支援を行っている。

(2)　**交通管理における最先端の取り組み**

a)　**Data for Road Safety プロジェクト**

BASt は、欧州での交通安全向上を目指し、車両とインフラから収集されるデータを活用してリアルタイムの道路危険情報を提供することを目的とした協調プロジェクト Data for Road Safety に参加しており、BMW、メルセデス、フォルクスワーゲンなどの主要な自動車メーカーと協力して、道路安全情報の共有を推進している。このプロジェクトでは、自動車メーカー、政府機関、道路管理者、アプリ開発者などが参加し、道路上の潜在的な危険情報（事故、障害物、悪天候など）を収集・共有している。車両センサーやインフラ設備から得られるリアルタイムデータを匿名化し、複数のサービス提供者はアプリ開発者に共有され、交通管理やルーティングサービス、車内からの警告システムなどに利用される。欧州全域でのデータの互換性を確保するため、標準的なデータ形式と通信プロトコルが採用されている。

b)　**C-Roads Germany**

BASt は、ドイツの C-ITS プロジェクトである C-Roads Germany の調整役として担当し、連邦高速道路（Autobahn）や各都市と協力しながら、欧州全域の規格整合性を図っている。この取り組みは、欧州における国境を越えたデータの共有やインフラ整備の一貫として行われている。C-Roads Germany は、ドイツ国内の 5 つの地域でパイロット実施され、都市および高速道路における交通サービスを対象にしている。特にハンブルク、カッセル、ドレスデンの都市レベルでの展開と、A2 および A39 高速道路でのテストが実施されている。特に、GLOSA という信号と連携した V2X サービスをハンブルク、カッセル、ドレスデンで展開している。GLOSA（Green Light Optimal Speed Advisory）は、交通信号と連携し、運転者に最適な速度を通知するシステムであり、これにより青信号に合わせた走行が可能になり、停止回数の削減や燃費の向上、排出ガス削減を目指す。GLOSA は、車両とインフラ間の通信（V2I）を活用し、ドライバーにリアルタイムで信号の変化情報を提供する。



出典：総務省 https://www.soumu.go.jp/main_content/000861967.pdf

図 3.3.13　C-Roads プロジェクトのユースケース

(3)　**取り組みの途上国への展開の可能性**

C-ITS のような V2X を使った優先信号の取り組みは、途上国においても、総務省のプロジェクトで既にインドなどで実証が進められている他、フィリピンにおいても DOST が研究を進めている。これらの技術は、自動運転車の安全運転支援などに必須の技術である。現状は、欧州、米国、中国、日本で異なる方式（DSRC、セルラー通信）や異なる周波数等、バラバラの基準で進められている。近い将来、途上国においても、これらの機能が付いた中古車が出回ることが想定される。サービスの実装においては、日本同様、RSU などのインフラ設備をすることがネックとなることが想定されるが、今後、我が国としても、途上国においてもこれらの実証の支援などを行うことも必要かもしれない。

3.3.6 ERTICO（ITS Europe）

(1) 組織概要

ERTICO – ITS Europe は、1991 年に欧州委員会と 15 の産業リーダーにより設立された、欧州における高度道路交通システム（ITS）の推進を目的とする公私連携組織である。ERTICO には、サービスプロバイダー、サプライヤー、交通・運輸業界、研究機関、公共機関、ユーザー、モバイルネットワークオペレーター、車両メーカーなど、120 以上の企業や団体が加盟している。ERTICO の使命は、インテリジェントモビリティサービスの開発、促進、展開を支援することであり、ビジョンは持続可能で効率的かつ安全なモビリティの実現である。具体的な活動として、欧州の共同出資プロジェクトの推進、イノベーションプラットフォームの運営、国際協力、政策提言、イベントの開催などが含まれる。また、ITS 欧州会議や ITS 世界会議の主催も担当しており、2024 年度はドバイでの ITS 世界会議を主催している。

ERTICO は、欧州のみならず米国、日本、ロシア、中国などの主要な国際的プレイヤーと長期的な関係を築き、ITS のグローバルな展開と普及に貢献している。

(2) Traffic Management 2.0 の取り組みの概要

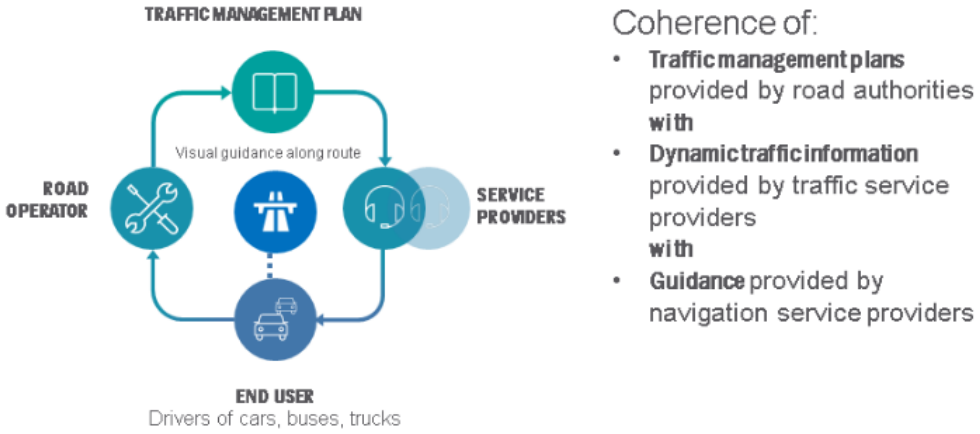
a) Traffic Management 2.0 の経緯と経緯

Traffic Management 2.0（TM 2.0）は、ERTICO – ITS Europe が 2014 年に設立したイノベーションプラットフォームであり、交通管理における新たなアプローチを目指している。このプラットフォームは、欧州の交通運営者、民間プロバイダー、公共機関、研究機関など多様な関係者を集め、交通システム全体の効率と安全性を向上させるために協力する場として設立された（図 3.3.15）。

背景には、データ共有の重要性と、従来の交通管理では対応しきれない高度化する都市交通問題があった。多様なステークホルダー間での情報連携が不十分であったため、渋滞、事故、環境問題の増加に対処しきれない状況があった。ERTICO は、この課題に対処するために TM 2.0 プラットフォームを立ち上げ、協調的かつインタラクティブな交通管理の実現を目指している。

TM 2.0 は、交通管理における「協調とインタラクティブな管理」を軸とし、以下の要素を備えている。

- **協調的交通管理**：交通運営者、サービスプロバイダー、自治体などがリアルタイムで交通情報を共有し、交通流の最適化を図る。
- **データ共有と分析**：公共と民間のデータを統合し、交通データの収集・分析を行い、最適な交通運用をサポートする。これにより、交通混雑の予測やインシデント管理がより精緻に行われる。
- **ユーザー中心のアプローチ**：交通利用者に対しリアルタイムの情報提供を行い、移動手段や経路選択の効率化を図る。また、複数の移動手段を組み合わせる「マルチモーダル」な管理により、エコで持続可能な都市交通を実現する。
- **新たなビジネスモデルの確立**：TM 2.0 は、サービスプロバイダーが交通管理に積極的に関与できる新たなビジネス機会も提供している。これにより、サービス提供者が交通流管理や渋滞軽減のために個別のルート提案を行い、交通状況の改善に貢献することが期待されている。



出典：https://tm20.org/page-2/objectives-mission/

図 3.3.14　ERTICO の TM2.0 のミッション



出典：https://tm20.org/members/

図 3.3.15　ERTICO の TM2.0 のメンバー

表 3.3.3　ERTICO の TM2.0 の稼働中のタスクフォース

タスクフォース	内容
TF26: TM 2.0 and MaaS	TM 2.0 と MaaS アライアンスの関係を探り、共通の課題の理解と協力・対話を促進。
TF27: Certification on TM 2.0 Compliance」	TM 2.0 準拠の認証を目指し、TM 2.0 コンセプトの確立と規制の設定を議論。
TF28: ITS Services Standardisation Requirements	複数の ITS ステークホルダーが提供する ITS サービスの相互運用性を確保するためのビジョンを策定。
TF29: TM 2.0 and Sustainability	持続可能性と TM の関係を研究し、戦略的・戦術的・運用的 KPI をもとに実施例の指針を構築。

出典：https://tm20.org/page-2/ongoing-task-forces/

b)　**Traffic Management 2.0 の目指す成果**

TM 2.0 が目指すのは、交通の効率化と持続可能なモビリティの実現である。特に、ITS 技術の普及率が一定（16%以上）に達すると、交通流の改善や環境負荷の低減といった効果が期待されるという分析結果が出ているとのことである。また、TM 2.0 により交通管理システムは、従来の単一的な管理からインタラクティブで協調的な交通管理へと発展することができ、スマートシティの基盤構築にも寄与する。この TM 2.0 の取り組みは、各都市の交通問題への対応のみならず、今後の交通インフラ整備や国際標準化の基盤となる重要なフレームワークとされている。

c)　**Traffic Management 2.5 の検討**

TM2.0 の基本的な枠組みは維持されつつも、さらに高度な技術の導入と新しい課題に対応するために、TM2.5 としての進化が模索されている。ERTICO へヒアリングによると、TM2.5 は次のような強化ポイントに焦点を当てている。この TM2.5 については、まだ検討中であり、公開情報はない。

1. データの相互運用性と高度なオーケストレーション

TM2.5 では、リアルタイムデータをさらに高度に統合し、自律走行車（CAV）やモビリティ・アズ・ア・サービス（MaaS）といった新技術との連携が強調されている。これにより、異なる交通管理システム間での「オーケストレーション（全体的な協調運用)」が可能となり、道路資源の最適化が目指されている。

2. 市場保護の問題への対応とオープン API の推進

TM2.0 の段階では一部のシステムで非互換性が問題となり、市場保護が競争を阻害していたが、TM2.5 ではオープン API の導入が重視されている。これにより、システムの相互運用性が高まり、ベンダー間の協力を通じた市場競争が促進される。

3. フェデレーション型ガバナンスの導入

TM2.5 では、異なる自治体や国境を越えた交通管理を実現するため、複数の自治体や機関が独自に交通運用を管理しつつ、協調する「フェデレーション[27]型ガバナンス」が目指されている。これは、各地域のニーズに応じた柔軟な管理を可能にしつつ、交通管理の全体的な効率を高める狙いがある。

27複数の異なるサービスやシステムを相互に運用すること（アカウント認証の連携によく使う言葉）

4. テクノロジーと利便性の向上

TM2.5 は、TM2.0 で築かれた基盤に新技術を追加し、交通システム全体の予測能力と最適化を強化することを目指している。ヒアリングで示されたように、現行の技術は既に一定の成果を上げているが、TM2.5 の導入によって、さらなる効率化やリアルタイムでの状況把握、災害対応力の向上が期待されている。

(3) 取り組みの途上国への展開の可能性

ERTICO の TM2.0 の取り組みは、途上国の交通管理にもいくつかの参考点を提供できる。特に、以下のような要素が重要である。

1. 協調型交通管理

途上国ではインフラが整備されていない場合が多く、リアルタイムの交通データ収集が難しいことがあるが、TM2.0 のように交通運営者とサービスプロバイダーが協力し、データを共有することは大きなメリットとなる。例えば、スマートフォンや既存のデジタルネットワークを活用して、比較的低コストで交通情報を収集し、共有するシステムを構築することで交通の流れを改善できる可能性がある。

2. 柔軟なデータ収集方法

発展途上国において、必ずしも先進国のような大規模な交通管理インフラが設置されているわけではない。そのため、スマートフォン位置情報や GPS データ、および民間ナビゲーションサービスからのデータを活用して簡易的な交通状況の把握は有用である。TM2.0 では既存のデータを活用して多くのステークホルダーが協力するモデルが構築されており、これを参考にインフラの構築に依存しない柔軟なデータ収集方法を途上国でも採用できる。

3. フェデレーション型ガバナンス

TM2.5 で目指している「フェデレーション型ガバナンス」のモデルは、途上国のように複数の都市や地域が独立して交通管理を行っている場合に特に有効である。地域ごとの独自の交通課題に応じつつ、必要なデータを共有し協力できるガバナンスモデルが途上国の交通管理にも適している。これにより、国境を越えた協力や異なる都市間での協調も可能になる。

4. オープン API と市場のオープン化

TM2.5 が推進するオープン API の導入により、途上国でも異なる交通管理システムやサービスを互換性のある形で利用できるようになる。市場をオープン化し、複数のサービスプロバイダーが参加できるようにすることで、低コストで多様なソリューションを導入でき、競争が進むことでイノベーションも生まれやすくなる。調達時にこれを義務化することで、途上国でこれまで起きていた ITS 設備の相互互換性の問題が解消される。

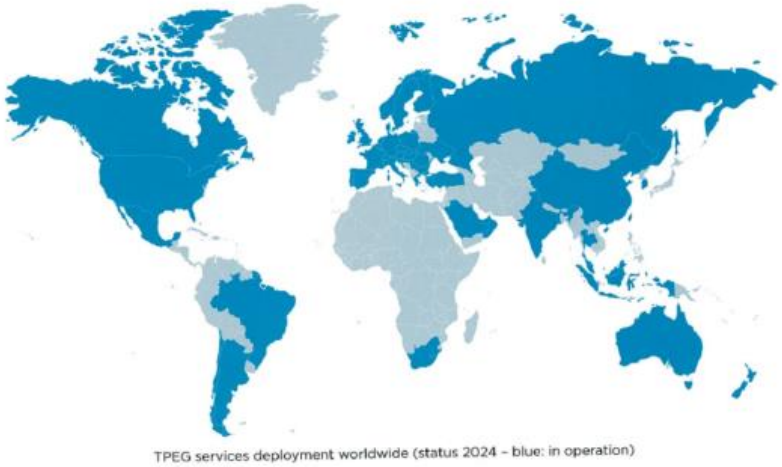
5. 持続可能性の視点

持続可能性と交通管理を統合する TM2.5 の考え方は、途上国の都市部の成長や環境問題への対応にも参考となる。小規模でも実施できる持続可能な交通管理戦略や政策（例えば交通需要管理やエコモビリティ施策）は、急成長する途上国の都市部の交通問題解決に寄与する可能性がある。

3.3.7　TISA (Traveller Information Services Association)

(1)　組織概要

TISA（Traveller Information Services Association：旅行者情報サービス協会）は、2007 年に設立された TPEG（Transport Protocol Experts Group）と呼ばれる交通情報を提供するための統一されたデータプロトコルを開発、普及するグローバルな非営利団体（本部はブリュッセル）である。TPEG の目的は、旅行者が多様な言語、国境や地域をまたぐ、なじみの地名や地理でない場合でも、安全に使用でき、一貫性のある交通情報や旅行情報を入手できることである。開発した基準を ISO などに提出し標準化を推進するとともに、技術ガイドラインなどを作成し普及活動を行っている。会員は、公的機関、自動車 OEM やサプライヤー（例：Continental、Bosch）および交通サービスプロバイダー（TomTom など）である。現在、欧州だけでなく、米国、アジア、オセアニア、中国の企業も参加している。日本は VICS が主流となっており、交通情報は警察のみが配信できることになっており入っていない。



出典：TISA のブローシャー

図 3.3.16　TPEG サービスを適用している企業が所属する国

(2)　TPEG2 の取り組み

TPEG は多言語対応とマルチモーダル情報に優れたデータプロトコルであり、交通及び旅行関連情報を車両に、デジタル放送やインターネットを介して、様々なデジタルネットワーク上で情報交換をサポートするために設計されている。現在は第 2 世代であり、ISO20219 シリーズとして標準化されている。これに準拠することにより、交通サービスプロバイダーがリアルタイム情報を一から加工する必要がなく、効率的に配信できるようになっている。メッセージの管理の方法、位置情報の管理の方法など必須コンポーネントを中心に、移動する工事区間の情報提供、渋滞、交通事故、天気、駐車場の空き状況、燃料価格などモジュール型になっており、必要に応じて追加できるようになっている。

新たな機能を追加したい場合は、OEM やサプライヤーが要望・提案し、TISA が新機能を標準に追加する。ISO の提出から承認までは、手続き・審査に 1～2 年時間がかかるが、TISA の会員はその間に情報を入手し、その市場で優位性を確保できるメリットがある。

(3)　取り組みの途上国への展開の可能性

ヒアリングでは、新興国市場をカバーするよう、タイやインドでのトゥクトゥクのような地域固有の車種の事故データも標準に追加するなどを行っているとのことである。参加国に東南アジアがあるよう

であるが、ウェブサイトでは具体の企業は見つからなかった。今後車両への情報提供を考える際には、途上国においてもこのような交通情報や旅行情報の標準化は検討する必要があると考えられる。

3.3.8 Continental AG

(1) 企業概要

Continental AG（以下、Continental）は、ドイツの Hannover に本社を置く多国籍自動車関連会社である。

1871 年に設立され、自動車用タイヤ等のゴム製品に中心に事業を展開してきたが、2007 年にシーメンス社の自動車電子部品部門を買収し、ブレーキシステム、車両用電子機器、自動車安全技術など、自動車に関わる様々なソリューションを提供する企業に発展している。現在は世界規模で事業を展開しており、58 カ国以上に生産施設、研究開発センター、販売事業所等の 527 拠点を構えている。

なお、日本国内では日清紡と Continental は合弁会社として 2000 年に Continental Japan を設立しているが、日清紡は 2017 年に日本無線グループを完全子会社化しており、長野日本無線の ABS センサ事業を Continental 及び日清紡に営業譲渡するなどの事業再編に関係している。

(2) 提供する製品・サービス

Continental は、自動車業界向けの幅広い製品およびサービスを提供しており、以下のようなものが挙げられる。

- タイヤ：乗用車、トラック、バス、および二輪車用の高性能タイヤ。
- 車両安全システム：先進ブレーキシステム、センサー、および運転支援技術。
- パワートレインコンポーネント：ハイブリッドシステムを含む、内燃エンジンおよび電気自動車向けのソリューション。
- インフォテインメントおよびコネクティビティ：車載インフォテインメントシステム、デジタルコックピットソリューション、テレマティクス。
- 産業およびオフロードソリューション：農業、建設、鉱業向けの特殊タイヤおよびソリューション。
- 自動車用ソフトウェア：AI を活用した自動運転およびモビリティサービス向けのソフトウェアソリューション。



出典：Continental AG (https://www.continental-automotive.com/en/solutions/smart-mobility/tolling-services/end-to-end-tolling-solutions.html)

図 3.3.17　EETS 準拠の On-Board-Unit

欧州における道路課金システムや V2X のソリューションを広く提供していることも特徴的であり、今回の ITS 世界会議でのヒアリングでは、主に V2X についての取り組みについて調査を行った。

[Continental AG における V2X への取り組み]

✓ **DSRC-V2X と C-V2X の両方をサポートするプラットフォーム**

V2X に関わる通信技術としては、Wi-Fi ベースの技術で、車両とインフラ間の直接かつ低遅延の通信を可能にする、DSRC（Dedicated Short-Range Communication）。4G LTE および NR（5G）を活用したセルラーベースのソリューションで、長距離接続や先進的なアプリケーションのサポートなど、より幅広い通信機能を実現する C-V2X（Cellular Vehicle-to-Everything）が存在するが、Continental では DSRC と C-V2X を組み合わせたハイブリッドソリューションを提供しており、さまざまな地域や規格にわたって互換性と信頼性を確保することとしている。

✓ **アンテナおよび RF ソリューション**

マルチバンドアンテナを採用することで、V2X 通信で使用される複数の周波数帯域をサポートし、強固な接続性を確保することも可能としている。

✓ **ソフトウェアとセキュリティ**

DSRC の IEEE 802.11p や C-V2X の 3GPP リリース 14 や 15 など、標準規格に準拠した製品を供給すると共に、サイバー攻撃から保護するための暗号化、認証、整合性チェックの仕組みも組み込んでいる。さらに、ソフトウェアを遠隔でアップデートする機能（OTA：Over The Air）により、システムが常に最新の機能やセキュリティパッチを維持できるようにしている。

[V2X 導入によるユースケースと効果]

✓ **安全性の向上**

先行車両の急ブレーキや死角の車両など、潜在的な危険をドライバーに警告、工事規制や事故車両、落下物の存在などを先読み情報として通知・警告したり、緊急車両の接近をリアルタイムに通知することを実現。歩行者の有するスマートフォンやウェアラブルデバイスと通信し、近くにいる歩行者や自転車乗りの存在をドライバーに通知することを可能とする。



出典：Continental AG （https://www.continental-automotive.com/en/solutions/cooperative-and-connected/v2x-communication.html）

図 3.3.18　V2X 通信を用いた工事規制の先読み情報配信のイメージ

✓ **交通の効率化**

V2I 通信により、リアルタイムの交通状況に基づいて信号現示を最適化したり、I2V 通信で受信した交通状況や信号情報に基づいて、車両側が旅行速度を調整する事により、交通流の整流化を図る。

✓ **環境への影響**

交通流が整流化されることで、渋滞が減少し、燃料消費がされて結果的に CO2 排出量が削減される。また、リアルタイムの交通データに基づいて、個々の車両に燃費効率の良いエコドライビングや追従走行による燃費・電費改善運転の推奨を提供する。

[欧州における普及状況]

✓ **V2X 搭載車両の市場展開**

2021 年に Volkswagen 社が製品化し、既に 100 万台以上の車両に 5.9GHz 帯 DSRC-V2X 方式（IEEE802.11p ベース）である ITS-G5 が搭載されている。

✓ **V2X で得られる車両データ**

チェコ共和国・ドイツ・オーストリア等の国々では、データを合法的に収集している。
全ての車両に V2X が搭載されているものでは無いが、米国では飲酒運転調査において抽出データによる推定が行われており、V2X 車両からのデータを利用することも検討されている。
欧州各国において V2X 通信で得られる車両データの共有の仕組みについて検討がされ、SAE J2735（商用車向けに V2X 通信でのデータ交換に利用されるメッセージセット、データフレーム及びデータ要素を規定）などの標準規格に基づくデータ形式により、データ共有が進みつつあり、交通管理や運転支援に利用されている。
補足として、オーストリアにおいて Volkswagen 社の EV 車両（ID.4）に乗車した際も、図 3.3.19 に示すような、V2X 通信を利用して車車間含めて相互に情報交換することを案内するオプトイン表示を行っている。



出典：JICA 調査団

図 3.3.19　Volkswagen 社の車両において V2X 通信を利用する際に表示されるオプトイン表示

(3)　**製品・サービスの特徴（強み）**

✓ イノベーション： 世界各国の拠点で研究開発を進めることで、ADAS（先進運転支援システム）やタイヤ技術などの最先端技術を確保

✓ グローバル展開： 世界各国に拠点を設けることで、広範なサプライチェーンと生産ネットワークを構築すると共に、各地域の市場ニーズに合わせたソリューションを提供

- ✓ インテグレーション： 既存の自動車はもちろんのこと、自動運転車や電気自動車など、将来のモビリティ・トレンドに対応するソフトウェア、ハードウェア、デジタル・ソリューションをシームレスに統合したワンストップでの製品やサービスを提供

(4) 製品・サービスの途上国への展開の可能性

Continental 社は、Tier0 である自動車メーカーに対して、車両の主要なコンポーネントやシステムを提供する Tier1 として活動をしてきた。しかし、昨今、自動車メーカーなどから委託を請けて高度運転車支援システムやインフォテイメントシステム（車室内の情報・AV など娯楽提供システム）といった複雑な車載機能向けのソフトウェア開発を担う Elektrobit Automotive 社（ https://www.elektrobit.com ）社を同社の売上高の 3 倍に及ぶ金額で買収することで、Tier0 と Tier1 の間に位置する Tier0.5 として事業展開することを志向している。

このような中、欧州をはじめとする自動車メーカー車両が世界各国で製造・販売されることで、自ずと Continental 社の製品も先進国のみならず、途上国へも展開する事になる。

また、Continental 社は欧州における課金制度である EETS（(European Electronic Toll Service：欧州電子的道路課金サービス）に適合した、GNSS・DSRC 等を利用した道路課金システムの供給も行っており、ロードプライシング等の道路課金を導入する際のソリューション提供も可能である。途上国で普及が進んだ RFID 方式での課金方式に比べて、GNSS・DSRC 等を利用した道路課金システムは導入コスト・運用コストが多大となる可能性があるものの、道路課金における要件によっては選択肢の一つとして検討されるものと考えられる。

3.3.9 Q-Free

(1) 企業概要

Q-Free 社は 1984 年に設立され、ノルウェーのトロンヘイムに本社を置いている。交通管理の改善、渋滞の緩和、安全性の向上、持続可能な都市開発の支援を目的とした先進技術ソリューションの開発・提供を行っている。従業員数は約 370 名と多くは無いが、世界約 15 か国に拠点を有し、各国での事業展開を図っている。

(2) 提供する製品・サービス

Q-Free 社では、多種多様な交通関連の製品やサービスを提供しているが、その中でも特に下記のものを重点としている。

- ✓ **電子料金収受システム（ETC）：**

  EETS 指令準拠の電子料金収受システム（ETC）提供を行っており、EETS 準拠であることで、単一の OBU で欧州各国において国境を越えて走行する車両の料金支払いをシームレスに行う、相互運用性を確保している。

  On-Board-Unit(OBU)については、CEN-DSRC、GNSS 等を利用したものであり、内蔵バッテリー駆動で 7 年間稼働が可能。車載器セッティングにおいても Bluetooth 接続によって OBU の各種セッティングが可能なものとしている。Road-Side-Unit(RSU)については、CEN-DSRC に準拠すると共に、200km/h までの車両速度に対応可能とするとことで、欧州における Multi Lane Free Flow(MLFF)に対応するものとしている。

  また、OBU や RSU 等の供給に留まらず、料金データ処理、請求、料金徴収業者間の相互運用性を実現するバックオフィスシステムの構築も行っている。







TECHNICAL SPECIFICATIONS

Operating frequency:	5.8 GHz CF
Downlink bit rate:	500kbps
Uplink bit rate:	250kbps
Sub-carrier frequencies:	1.5 MHZ (profile 0) 2.0 MHz (profile 1)
RTTT profiles:	EN 13372 sets A and B
Maximum communication range:	≤ 10m
Maximum radiated power:	-21.4 dBm (EIRP)
Power supply:	Single battery coin cell
Battery life time (MTBF):	> 7 years
Transaction capacity:	Class A2 ref ISO 14815
Environmental conditions:	Class H1 ref ISO 14815
IP grade:	IP40
Buzzer sound level:	> 55 dBA @ 1m
Operating temperature:	-40°C to +85°C
Storage temperature:	-40°C to +40°C
Dimensions (HWD):	Without Bracket: 69 x 40 x 19 mm With Bracket: 69 x 40 x 20 mm
Weight:	30 g

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Max vehicle speed:	>200 km/h
Operating frequency:	5.7975, 5.8025, 5.8075 and 5.8125 GHz
Typical communication zone:	3.5 x 6 m (W x L) @ 6m height 45° installation angle
Downlink bit rate:	500 kbps
Uplink bit rate:	250 kbps
Sub carrier frequencies:	1.5 MHz (profile 0) 2.0 MHz (profile 1)
Receiver sensitivity:	Class 4 (EN 300 674)
Antenna polarization:	Left hand circular
Radiated power (EIRP):	Max 33 dBm, (SW Adjustable)
Ethernet:	1000BASE-T, 100BASE-TX, 10BASE-T
Power supply:	PoE, IEEE 802.3at Type 1 Class 3
Power consumption:	Max 12 Watts
Connectors:	M12 (IEC61076-2-101)
Temperature:	-33°C to +55°C (-27°F to +131°F)
IP rating:	IP65
MTBF:	>100,000 hours
CEN TC278 DSRC:	EN 13372 EN 12253 Physical Layer EN 12795 Data Link Layer ISO 15628 DSRC Application Layer EN 300 674
Safety:	EN IEC 62368-1
Applications:	ISO 14906 / EN 15509 / ISO 15638-9 / ISO 15638-20 / EN 16312
Human exposure:	EN62232
RED:	2014/53/EU
RoHS:	2011/65/EU
WEEE:	2012/19/EU
Dimensions:	310 x 170 x 60 mm
Weight:	2 kg

出典：Q-Free 資料

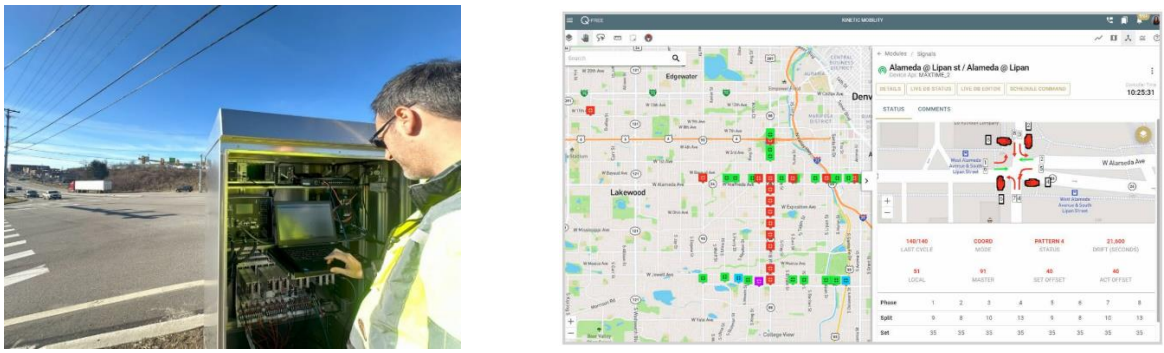
図 3.3.20　Q-Free の提供する On-Board-Unit(OBU)と Road-Side-Unit(RSU)

✓　**交通管理システム：**

MAXTIME Adaptive と呼ばれる、ダイナミック信号制御システムの開発・提供を行っている。当該システムでは、交通状況をリアルタイムに把握し、信号現示をダイナミックに調整すると共に、同一コリドーやサブエリアの信号交差点間での同期・連動を図ることで、信号交差点における停止・発進を少なくすることで交通流の遅延を削減し、渋滞を削減するものとしている。

交通状況の収集には、各種センサー、CCTV カメラ、コネクティッドカー等から得られるデータを利用し、車両速度・渋滞長・歩行者流動などのリアルタイムデータを収集している。これらデ

ータに基づいて、独自のアルゴリズムによって交通の流れを予測し、信号現示をダイナミック制御をすることとしている。また、緊急車両や公共交通機関等の優先制御の機能も提供しており、米国ペンシルバニア州ウェスト・ミフリン市、フロリダ州オーランド市などで導入されている。

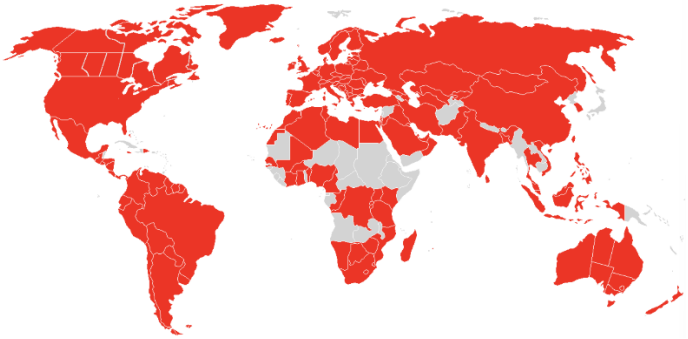


出典：Q-Free 資料

図 3.3.21　Q-Free の提供する交通信号システムの信号制御盤（左）と信号制御ソフトの UI（右）

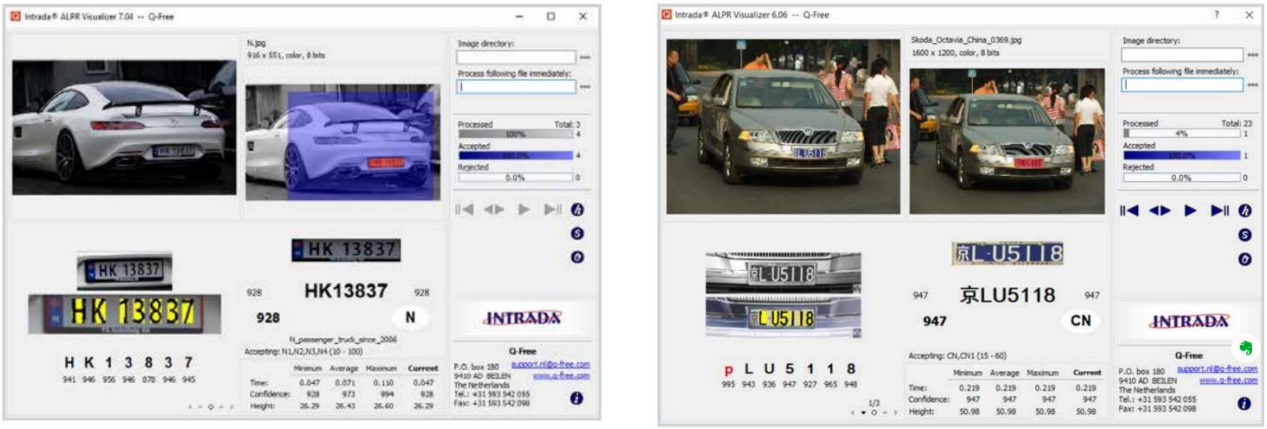
✓　**ANPR（自動ナンバープレート認識）システム：**

Q-Free 社の ANPR システムは、ハードウェアに依存せずに、世界各国のナンバープレートを自動認識する画像認識ソフトウェアとライブラリーを供給するものとしている。約 200 以上の州・国のナンバープレートに対応するライブラリーを提供している。



出典：Q-Free 資料（https://intrada.q-free.com/）

図 3.3.22　Q-Free 社の ANPR が対応可能な国・地域



出典：Q-Free 資料（https://intrada.q-free.com/）

図 3.3.23　ANPR の可視化のユーザーインターフェース

なお、ナンバープレート認識は写真を撮影するため、個人情報保護に配慮したシステムとする必要がある。Q-Free へのヒアリングにおいて得た情報を次に示す。

- 撮影した写真の利用は国によって異なるが、少なくとも GDPR が求めるセキュリティ要件には対応しておく必要がある。
- ノルウェーではすべての車の写真を撮影するが、当該車両がタグ所有者であった場合はその写真は削除される。タグ所有者ではない場合は、後払いとなる。このシステムではタグの有無にかかわらず全車両が料金所を短時間で通過できる。
- タイでは「Easy Pass」システムが稼働中であるが、タグを持たない車両は通過できず、従来の現金支払い方式となっている。

✓ **C-ITS 及びコネクティッドビークル**

ITS-G5 に準拠した V2I2V 通信のための OBU や RSU の開発・提供を行っている。単に V2X 通信を行うだけでなく、OBU は GSM/3G/LTE の eSIM 及び物理 SIM スロットを有することで、ドライバーのスマートフォンやタブレットにクラウドサーバを介して交通情報などを提供するものとしている。また、CAN-bus インターフェースも有し、車両 ECU との通信も可能な仕様となっている。

RSU は OBU と同様に GSM/3G/LTE の eSIM 及び物理 SIM スロットを有するだけでなく、Gigabit Ethernet の I/F を有する。



On-Board-Unit(OBU)　　Road-Side-Unit(RSU)

出典：Q-Free 資料（　https://www.q-free.com/c-its-connected-vehicle/ ）

図 3.3.24　ITS-G5 準拠の V2X 通信の OBU と RSU

(3)　製品・サービスの特徴（強み）

料金収受システムを中心に、V2I やコネクティッドカーの通信技術をベースとした総合的なソリューションを提供している。世界中でナンバープレート認識が可能なシステムを、ハードウェアに依存せずに供給できるのも特徴となっている。ナンバープレート認識は多くの課金システムで使用され、二重化やフェールセーフを目的として併用されるものであり、車両登録や取締りの際にも役立つため、先進国・途上国において将来も継続して利用される技術と考えられる。さらに、ダイナミック信号制御システムの開発・提供も行っており、主に米国市場で導入されている。

(4)　製品・サービスの途上国への展開の可能性

先に述べた通り、15 か国以上の国・地域に拠点を有することから、各国や地域のニーズに応じたソリューションを提供可能としている。また、現地のエンジニアやオペレーターの能力を高めるためのトレーニングプログラムを提供し、自立性とシステムの持続的な運用を可能としている。

途上国での導入実績については、ウズベキスタンのタシュケント市では、都市全体の交通管理システムに自動ナンバープレート認識（ALPR）システムを提供している。

また、タイにおけるドンムアン有料道路をはじめとする有料道路での料金収受システムを供給しており、DSRC による料金収受に加えて、ANPR による二重化、現金やクレジットカードおよび QR コードによる決済ソリューションを導入している。

スロベニアにおいて、有料道路運営会社の Dars d.d.に対して EETS 指定準拠の通行料金徴収システムを導入し、欧州全域との相互運用が可能なシステムの導入を行っている。

(5)　ヒアリング事項

Q-Free へのヒアリングにより、得た情報を次にまとめる。

システム運用の要件

システム運用にはヨーロッパでの電子道路課金サービス European Electronic Toll Service（EETS）、通称 EETS 指令への準拠、インターフェースの統合、セキュリティ要件である GDPR への対応が必須となっている。特に GDPR は重要で、データ漏洩は企業存続の危機に直結するほどの重大なインシデントにあたる。近年は、データ漏洩が無いことを証明できないことすら問題となってきている傾向がある。

ヨーロッパにおける GPS や GNSS ベースの電子料金徴収の現状

現時点では主にトラック向けに導入されている。

ビジネスの拡大

顧客はノルウェー、フランス、スペイン、ポルトガル、その他ヨーロッパ諸国、オーストラリアなどである。規模の大きい顧客に対しては直接営業をするが、小規模顧客向けにはウェブ販売を展開している。

3.3.10 ST Engineering

(1) 企業概要

ST Engineering 社（Singapore Technologies Engineering）は、シンガポールを拠点とする多国籍企業で、防衛、航空、海洋、電子工学、陸上交通システムなど多岐にわたる産業分野において事業を展開している。

1967 年に設立され、26,000 人以上の従業員がおり、17,000 人以上のエンジニア及び技術スタッフが製品やソリューションの研究・開発を担っている。グローバルな事業展開を進めており、既に 100 カ国以上に製品やサービスを提供し、特に米国では 21 州 52 都市に約 7,000 人の従業員がいる。

2022 年には米国の交通システム製品・サービスを提供する TransCore 社（ https://transcore.com/ ）を約 3,000 億円で買収して 100%子会社化している。

また、UAE のドバイ市の Intelligent Traffic Management Centre（以下、コントロールセンター）向けに統合プラットフォームを提供している。他にもシンガポールはもちろんのこと、アブダビ、バンコク等にも展開している。

(2) 提供する製品・サービス

ST Engineering は、防衛から陸上交通システムまで、多様な製品およびサービスを提供しており、概ね下表に示すような分野にサービス／ソリューションを提供している。

表 3.3.4　ST Engineering が提供する分野別のサービスの種類

分野	サービス/ソリューション
航空宇宙	航空機のメンテナンス、修理、オーバーホールサービス、航空機改造
電子工学	スマートシティソリューション、サイバーセキュリティ、データ分析、電子通信
海洋	造船、船舶の修理・改造、海洋プラットフォームの設計
陸上システム	自動車、装甲車両、スマートモビリティソリューション
防衛およびセキュリティ	軍事技術、防衛システム、監視技術

出典：ST Engineering のウェブサイトを参考に調査団が作成

このうち、ITS 世界会議@ドバイでは、スマートモビリティソリューションの一環として、ドバイ市のコントロールセンター向けに統合プラットフォームを構築・提供していることから、その点についてヒアリングを行った内容を下記に整理する。

ST Engineering 社が提供するプロジェクトについて

ドバイコントロールセンターのプラットフォームは、路側に設置された車両検知器や気象関連のセンサーなどを通じてデータを収集し、それらを視覚的に表示するシステムである。

既設のセンサーを統合プラットフォームに取り込むようにしているため、既設のセンサー1 つ 1 つの I/F を確認して、プラットフォームに接続する必要があった。また、必要に応じてパートナー企業などと協力して最新技術を駆使した新しいセンサーも導入している。

コントロールセンターのオペレーション

コントロールセンターの整備・導入は、政府（RTA）よる公開入札プロセスを通じて、企業に委託される。公開入札に際して、受注を希望する企業は技術面および財務面での提案を提出する必要があり、提案書では入札にあたって予め公示された KPI を満たすものでなければ入札には参加出来ないものとしている。

システム導入プロジェクトの実施企業は、技術移転の一環として現地のオペレーターを訓練するのが一般的であり、システムを引き渡し後は、現地企業がシステムを運用していくこととなる。

また、システムの保守・維持管理業務も、通常 3〜5 年の期間を対象として入札にかけられる。



出典：BIG SEE Architecture Award 2023 Website （https://bigsee.eu/intelligent-traffic-management-centre-al-barsha/）

図 3.3.25　Intelligent Traffic Management Centre – Al Barsha

交通管理システムにおける AI の活用

コントロールセンターでは、オペレーターが常時 300 台以上の CCTV カメラを目視で監視することが出来ないことから、映像の録画及び分析のために AI 画像認識を使用している。

管轄範囲には、CCTV カメラでは網羅出来ないエリアもあり、そのようなエリアではタクシー車両のプローブデータを収集・分析して、旅行速度の変動を検出したり過去のデータと比較したりしながら、交通の流れを分析している。

交通管理システムでは、AI を活用して 1 時間後の交通状況を予測する機能も有する。また、交通事故が発生した場合は、専門的な判断やアドバイスを提供する AI エキスパートシステムが対応策案を複数提示する仕組みとしている。ユーザーフレンドリーな設計となっており、オペレーターの訓練時間を短縮し、経験値を有するオペレーターが退職した場合でも問題・課題を軽減する効果を生んでいる。

(3)　製品・サービスの特徴（強み）

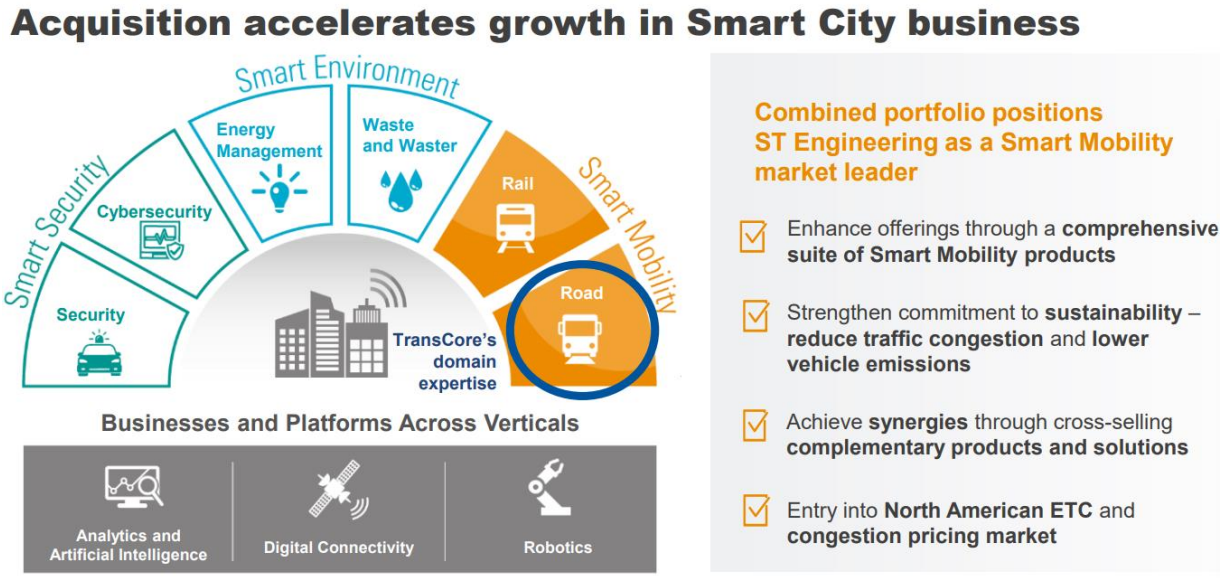
ST Engineering 社は、自動運転シャトルバスの分野では、シンガポール国内外での実証実験を通じて、安全で効率的な交通手段を実現している。 シンガポールのビシャン・アンモクヒオ公園での自動運転シャトルバスの試行的な運行を行っている。

都市交通の効率化を図るためのスマート交通管理ソリューションも提供しており、交通信号の最適化、リアルタイムの交通監視、データ分析に基づく交通予測なども行っている。

これらの製品・サービスの提供は、シンガポール国内だけでなく、世界各地に対して行われており、世界各国の拠点を設けることで、顧客ごとのニーズに対応するカスタマイズも可能としている。

(4)　製品・サービスの途上国への展開の可能性

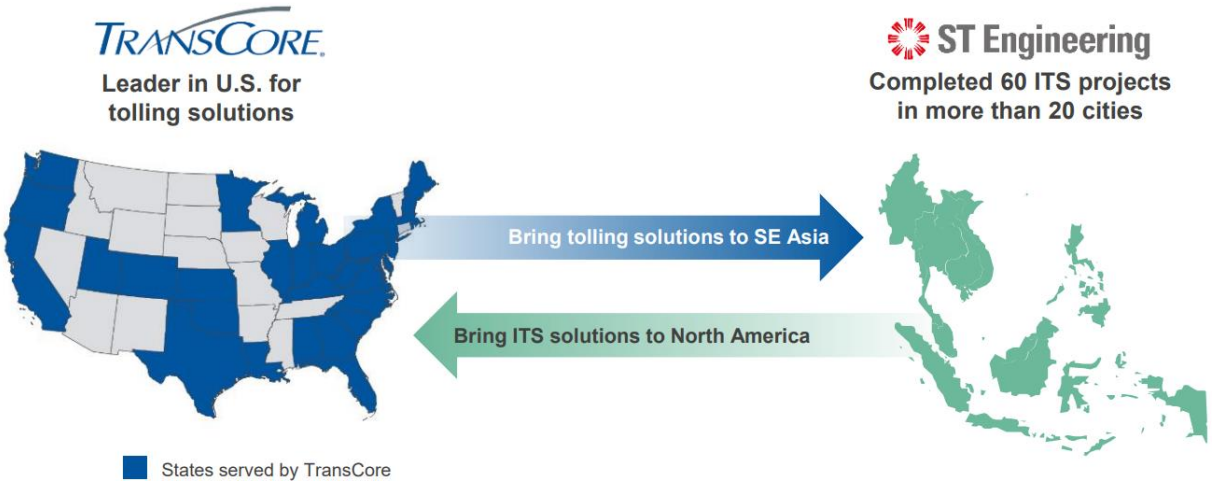
ST Engineering 社が TransCore 社を買収する際に公開した資料に拠れば、TransCore 社の有する陸上交通関連の技術・製品・サービスを取り込むことで、Smart City 事業の更なる市場拡大・マーケットシェアの拡大を意図している。



出典：ST Engineering 資料

図 3.3.26　TransCore の買収によりスマートシティ事業の成長を促進

特に、TransCore 社の米国における RFID 技術等による料金収受システムのソリューションと実績を手に入れることで、料金収受ソリューションをアセアン各国に導入することを目指している。



出典：ST Engineering 資料

図 3.3.27　TransCore の強みと ST Engineering のアセアンでの存在感によるシナジー創造

3.3.11 Miovision

(1)　企業概要

Miovision 社は交通管理とスマートシティソリューションに特化した、カナダの Waterloo 大学発の企業で、2005 年に設立されている。本社はオンタリオ州 Kitchener に位置し、交通データの収集、分析、管理を通じて都市の交通インフラを最適化する技術を提供している。

また、2023 年には、カナダ・マニトバ州の Winnipeg に設立された交通安全分析プラットフォームの提供企業である MicroTraffic を買収している。

(2)　提供する製品・サービス

Miovision 社の主要な製品とサービスには以下のようなものがある。ITS 世界会議@ドバイでは、これらのうち、Miovision Scout Plus と車載用 V2X ディスプレイユニットヒアリングを行った。

a)　TrafficLink

TrafficLink は、交通信号制御と監視を一元化するシステムであり、リアルタイムに交通データを収集・分析して、交通信号現示を最適化することで、交通流の改善を図り、交通渋滞の減少や交通事故の防止に寄与するものである。Miovision に拠れば、カナダのカルガリー市では、TrafficLink システムを導入することで交通信号現示を最適化し、ピーク時の交通渋滞を大幅に減少させた実績を有ました。さらに、歩行者の安全性も向上し、交通事故の発生率が低下したとの事である。

MicroTraffic 社の交通安全分析プラットフォームや、Scout Plus 等の様々な交通管理ソリューションを 1 つのプラットフォームに統合するための仕組み。

b)　Miovision Central

Miovision Central は、収集された交通データを分析および管理するためのクラウドベースのプラットフォームである。このプラットフォームは、交通エンジニアや都市計画者がデータに基づいた決定を行うための支援を提供している。

c)　**Miovision Scout Plus**

Scout は、道路交通の状況を監視するためのポータブルなデバイスで、カメラを使用してビデオデータを収集する。これにより、交通量や歩行者の動き、自転車の利用状況などを詳細に把握することを可能としている。1 ユニットに 3 つのバッテリーを搭載可能で、1 つのバッテリーで 3～5 日稼働することから、最大 15 日連続稼働が可能。取得したデータは自動でクラウド上のプラットフォームにアップロード（Cellular 通信）される。ただし、画像等の高解像度のデータはローカルに保存して、現地でデータ回収する仕様となっている。

サンディエゴ市では、Scout Plus システムを活用して道路工事やイベント時の交通状況をリアルタイムで監視し、交通流をスムーズに保ち、収集されたデータを基に将来の都市計画にも役立てているとの事である。

本製品は設置やメンテナンスが容易なように設計されており、設置のためのガイドライン・マニュアルも整備されていることから、発展途上国を含む様々な環境に適していると考えられている。

ポール一体型のカメラによる画像認識によるデータ収集を行うものであるが、現地でのキャリブレーションは自動的に行われ、長期間での屋外での利用にも耐えうる堅牢性を備えている。

d)　**車載用 V2X ディスプレイユニット**

交通信号情報をインフラから受信して、運転速度を最適化したり、インフラから得られた情報を車内表示するための、車載用 V2X ディスプレイユニットを供給している。V2X については現状の交通信号の路側機に併行設置される直接通信の DSRC-V2X だけでは対象範囲が限定的となることから、携帯電話の Cellular ネットワークを併用したカバーエリアの拡張が望ましいと考えている。

しかし、Cellular ネットワークを利用した場合、現地の交通信号制御機と管制センター間での情報遅延の課題はあり、制御機から管制センター間での遅延は 1～4 秒程度あると言われている。一方で、制御機から V2X 直接通信によって情報を伝達する場合の遅延時間は 0.4～0.7 秒程度との事である。

Audi 向けのユニットは米国では 2016 年から供給しており、欧州では 2019 年から一部都市で利用できるようになっているとの事である。Audi 社は V2X による直接通信よりも、Cellular ネットワークによる V2N を採用する方向で進んでいる。



Miovision Scout Plus 全景



Miovision Scout Plus 制御部（バッテリー内蔵）

出典：JICA 調査団

図 3.3.28　ポール一体型の交通状況調査システムである Miovision Scout Plus

(3)　製品・サービスの特徴（強み）

a)　ビジネスモデル

ビジネスモデルとしては、製品のリースではなく、技術とデータの販売に重点を置いている。

米国やカナダでは Scout Plus のようなデータ収集用ユニットをリースやレンタルする会社もあるが、Miovision 社では Scout Plus を直接販売することを指向している。

b)　既存システムとの互換性の確保と段階的な拡張

交通管理技術の導入に際しては、既存システムとの互換性に配慮しており、相互運用性を確保するための検討・開発を慎重に行っている。

最初から大掛かりな投資を行うのではなく、初期段階はサブシステムとしての試行的な導入を行い、互換性や運用性を確認しつつ、段階的に投資を行うことを勧めている。

c)　ハードウェアに依存しないシステム

各種の製品・サービスはハードウェア依存を出来るだけ避けて、ソフトウェアのアップデートにより機能拡張や精度向上を図るものとしている。

(4)　製品・サービスの途上国への展開の可能性

カナダ、米国、欧州各国、アラブ地域、アイスランド等に進出しており、さらに新しい国・地域への技術導入に力を入れている。

特に、インフラ投資予算が限定的な途上国では、Scout Plus のように可搬型で一時的な設置・運用によって交通データを収集するシステムのニーズはあるものと考えられている。通信障害や停電も少なくないことから、有用性はあると想定しており、アフリカ諸国を含めた途上国での展開も想定している。

米国や欧州ではプライバシーが重要視されており、データ収集において個人情報を特定できないようにするための対策が求められていることから、途上国での展開においても、同様の対策が求められたとして対応は可能との事である。

3.3.12 Kapsch

(1) 企業概要

Kapsch Group は、1892 年に設立されたオーストリア・Vienna を拠点とするグローバル企業で、特に交通ソリューションと通信技術に注力している。Kapsch TrafficCom 社は、Kapsch Group の中核子会社で、道路交通管理や Intelligent Transportation System（ITS）に特化した製品・サービスを提供しており、特に、電子料金収受システム（ETC）、交通管理、都市交通、スマートモビリティの分野で革新的なソリューションを提供している。

また、交通関連の企業買収にも積極的で、2014 年には米国で交通管理センターの設計・構築・運営支援をする企業である Transdyn 社を買収している。また、メキシコの駐車システム分野で長年の経験を持つシステム統合会社 Simex, Integracion de Sistemas への多額投資（2012 年）も行っており、これらによって、米国や欧州における技術や市場獲得を図っている。

(2) 提供する製品・サービス

Kapsch TrafficCom 社は、マルチレーンフリーフローや、通常の料金所システム、それに付随する OBU など、多様な製品を提供している。特に、VDX センサーと呼ばれる車両分類機能に加え、ALPR 機能も備わっている。また、電気自動車の普及に伴う燃料税収の減少を背景として、GNSS ベースの課金システムも開発されている。さらに、交通管理システムである Kapsch EcoTrafiX Suite や、北欧向けの信号制御機用プロトコル RSMP、制御機本体の開発も行っている。

表 3.3.5　Kapsch TrafficCom が提供するソリューションの例

ソリューション	説明
電子料金収受システム（ETC）	高速道路やトンネルでの料金収受を自動化し、交通流を最適化するソリューション。RFID や GNSS（衛星測位システム）を活用した料金収受技術。
交通管理システム（TMS）	リアルタイム交通監視、信号制御、交通流管理を統合したシステム。渋滞や事故のリスクを最小化するためのデータ分析機能を提供。
スマートシティソリューション	都市交通における渋滞削減、安全性向上、環境負荷軽減のための総合的な解決策。パーキング管理、都市間輸送の効率化を実現。
公共交通システム	バス、鉄道、その他の公共交通機関の運行管理とスケジュール最適化。
サイバーセキュリティとデータ分析	ITS および交通インフラに対するサイバーセキュリティソリューション。ビッグデータ分析を通じた交通運営の予測と最適化。

出典：調査団

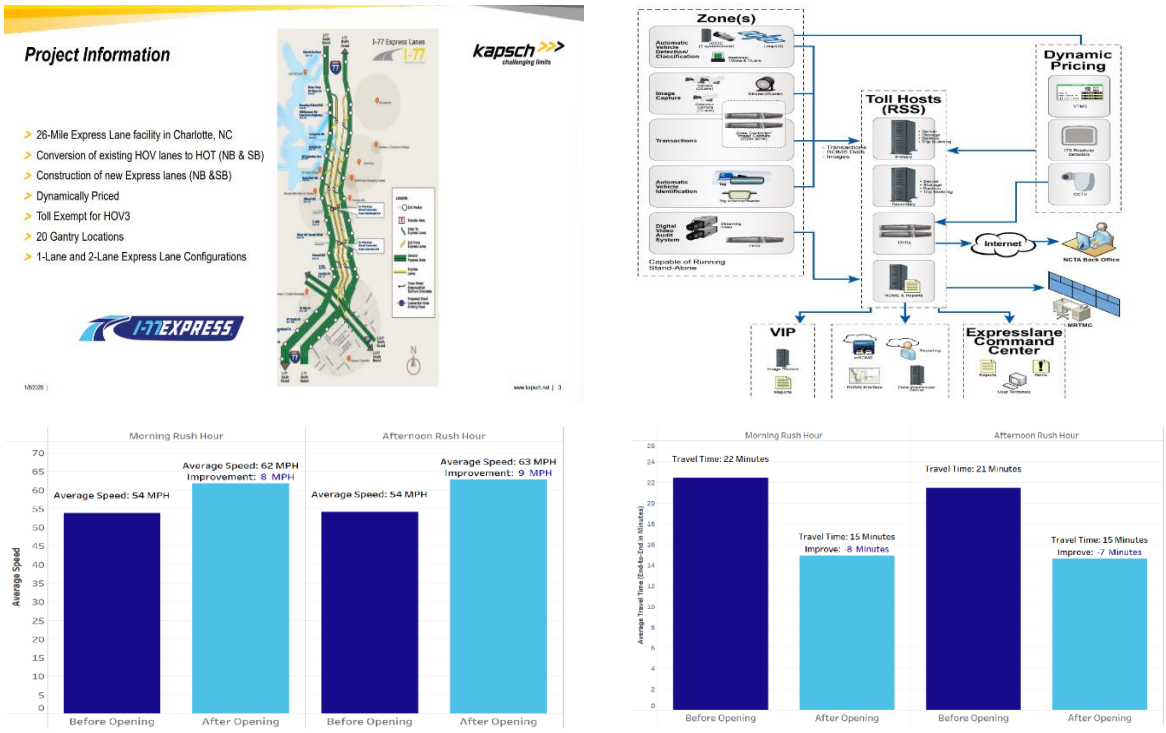
このうち、ITS 世界会議@ドバイでは、米国での High Occupancy Vehicle Lane (HOV Lane)や Express Lane といった車線運用システムにおけるダイナミック料金収受や、GNSS ベースでの課金、CO2 排出量ベースでの課金、さらに、交通管理システムである Kapsch EcoTrafiX Suite などについてヒアリングを行った。

a)　**車線運用システム（HOV Lane／Express Lane）について**

車線運用システムは、既存の道路の通行能力を最大化し、旅行時間の均一化を図り、サービス品質を確保することを目的としている。車線運用の概念は主に米国で発展しており、他の地域では積極的に導入されていない状況にある。車線運用システムの主な構成要素には、電子料金収受システム（ETC）、交通管理、車両速度や交通量を測定するセンサー、およびダイナミック料金設定モジュールが含まれる。ダイナミック料金設定モジュールでは、交通データに基づいて通行料金が設定され、予想移動時間が利用者に表示される。また、High Occupancy Vehicle 検知（車載器から送られてくる情報を利用）と組み合わせることも可能であり、車両の乗車人数に応じて無料化などが行われている。米国における HOV Lane を LOV(Low Occupancy Vehicle)が走行した場合の取締りは、自動化は殆どされておらず、自動検知を目的とした技術の活用は未だ信頼性が十分ではない状況にある。

また、乗車人数の偽装という潜在的な問題もあり、PPP による ETC の導入や車線拡張に伴って、HOV Lane という考え方から Express Lane という考え方に変化しているケースもある。

フランス・Pari でも事前登録制の HOV Lane の導入を検討しているが、米国同様に取締り方法が課題となっている。



図は、旅行速度の向上（左）と旅行時間の短縮（右）
出典：Kapsch TrafficCom 資料

図 3.3.29　I-77 における Express Lane でのダイナミック課金システムの構成と整備効果

b)　ダイナミック料金設定について

ダイナミック料金設定は渋滞削減に役立つが、リアルタイムでの料金設定の更新が不可欠である。テキサス州の Dallas では、3 つの区間を持つ幹線道路で約 10 年間、物理的なレーンの分離なしで運用が行われて、一定の効果を生んでいる。

元々米国の高速道路は Freeway であることから、料金徴収制度の導入は政治的に難しい課題もあるが、交通需要管理の包括的な戦略であり、ダイナミック課金は、交通渋滞を軽減するための対策になり得る。元々米国での HOV Lane は収益を得ることを目的として導入されたが、次第に交通需要管理の手段へと進化した背景がある。

HOV Lane とダイナミック料金設定の導入は米国では成功を収めているが、世界各国で適用できるわけではないと考えられる。一部の国では、HOV レーンを利用するために乗客を雇ったり、ロードプライシング制度を導入した後、指定区間・地域に入る手前で雇われる乗客が待機している場合があることから、一般道での導入には注意が必要と考えられる。

c)　GNSS 情報に基づく通行料金システムについて

中東と北アフリカ地域では、UAE・ドバイの Salik システムをはじめとして、ETC の導入が進められているが、更に昨今では、主にトラック向けの課金システムとして、GNSS 技術を活用した通行料金システムの導入が注目され、トルコやモロッコでの試行が行われている。

位置情報による課金プラットフォームでは、特定の車載器に限定されず、様々なデバイスから位置情報を収集し、それらを課金のために処理する事が検討されている。

特に複雑な道路ネットワークにおいて、マップマッチングやトリップ判定ロジックは正確な課金処理において重要である。昨今では AI や高度な解析処理エンジンを利用することで、GNSS 情報の精度課題を経験し、信頼性の高いデータ処理を可能とする取り組みが行われている。

d) **Kapsch EcoTrafiX**

EcoTrafiX は、ウェブベースの交通管理システムであり、各種インターフェースを通じて信号制御機や RSU 等との接続ができる。スペインの UNE、北欧の RSMP（Kapsch によって開発）、ドイツの OCIT などのプロトコルに対応している。

インターフェース

オペレーターは、自身の業務に合わせてレイアウトやビューをカスタマイズ可能で、複数の画面を使用し、各画面に異なる情報を表示することが可能である。また、マップベースのインターフェース上では、地図上のレイヤーもカスタマイズ可能で、オペレーターは自身の業務に必要な情報だけを表示し、効率的に作業が可能なツールとなっている。

デバイスモニタリング・管理:

CCTV カメラ、信号制御機、VMS、気象センサー、ALPR カメラなど、多様なデバイスを一元管理。

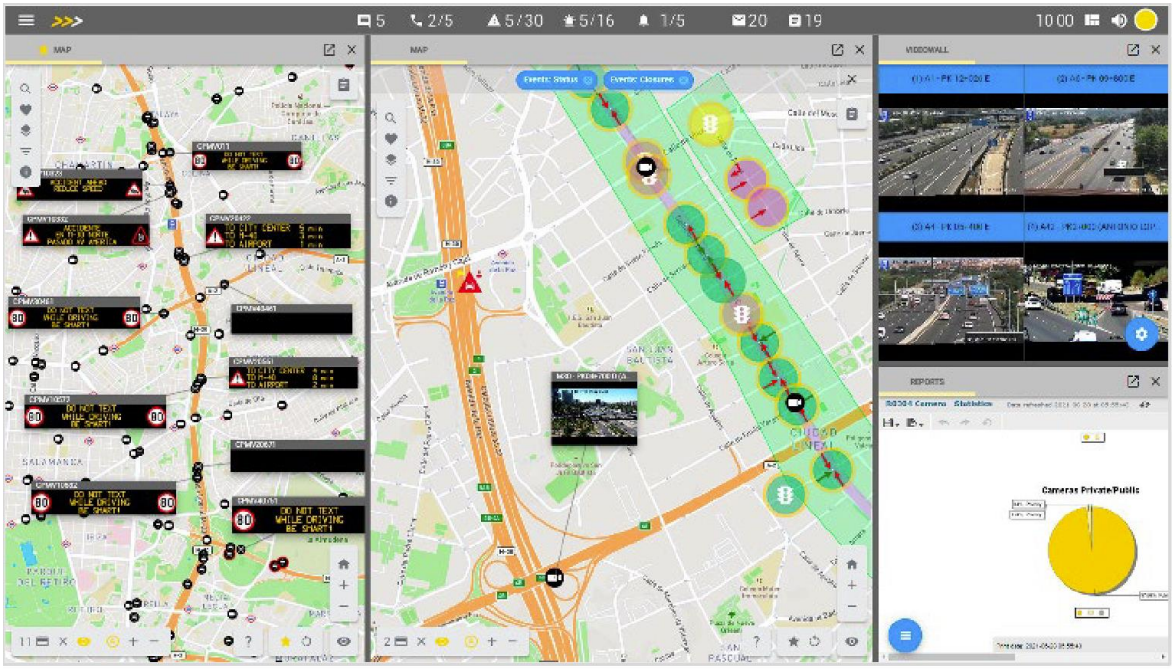
インシデント管理

渋滞や故障車両、信号機の故障などのインシデントが発生した際、自動的にアラームが生成される。アラームはステータス、重大度、タイプ、デバイスなどでフィルタリング可能で、オペレーターはアラームに対応し、迅速な措置を講じることができる。

さらに、インシデント対応操作に関連するデバイス（近隣の CCTV カメラ、VMS、信号など）をグループ化し管理ができる機能や、サービス車両の検索・配置機能、あらかじめ設定された対応策（警察への通報、VMS の更新、信号機の変更など）の実行といった機能が備わっている。

Waze との連携

EcoTrafiX は Waze データとも連携可能で、交通管理者は、リアルタイムデータを統合し交通状況把握の精度を向上したり、インシデント対応を強化したりすることが可能である。



出典：https://www.kapsch.net/en/newsroom/event-material?utm_source=QR-Code&utm_medium=Event

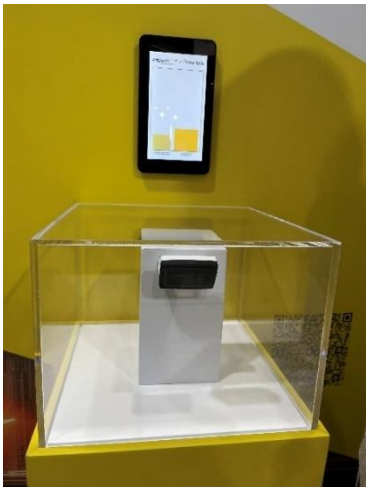
図 3.3.30　Kapsch EcoTrafiX のインターフェース例

(3)　**製品・サービスの特徴（強み）**

グローバルな実績：　50 以上の国と地域で導入されており、グローバル市場での豊富な経験と信頼性を有している。

最先端の技術を用いたデバイス：RFID、GNSS、AI、IoT など最先端技術を活用し、複数の技術を組合わせ、様々な顧客ニーズに合致したソリューションの提案・提供が可能としている。例えば、ソーラーパワーOBU を開発しており、太陽光だけでなく人口光でも動作する世界初の OBU であり地下駐車場などでも動作可能としている。

包括的なソリューション：ETC、交通管理、スマートシティなど、交通に関わる多様な課題に対応可能な包括的なソリューションの提供が可能である。



出典：調査団撮影

図 3.3.31　ソーラー給電型の ETC 用車載器（OBU）

(4)　製品・サービスの途上国への展開の可能性

米国、欧州各国だけでなく、これまでもベトナムやフィリピン等でも ETC システムを提供した実績を有している。ETC システムだけでも、安価な RFID 利用のものから、DSRC や GNSS 利用のものまで、幅広く対応が可能であり、あらゆる国・地域のニーズにあったソリューションを提供することを目指している。

ただし、ヒアリングの感触では、途上国への展開の可能性があると考えられる一方で、米国と欧州及び EMENA 市場に注力していると感じられた。

(5)　契約、O&M

a)　契約

スペインのマドリード市では、EcoTrafiX を導入し、都市全体の交通制御を担当している。マドリード市はベンダーロック回避のため、信号機の導入にあたり市を 4 つのエリアに分割して入札を行っていたが、その結果異なるメーカーの制御機（Kapsch、Yunex、SWARCO、地元のメーカー）が存在することになり、さらにこれをまとめる交通管理ソフトウェアの入札を行った。この入札では Kapsch 社が特定されている。

ブエノスアイレス市では、同様に異なるメーカーの信号制御装置を統合し、一元的な交通管理を実現している（2.4 参照）。

b)　Waze との連携

Waze データの利規規約は、顧客は公的機関のみに限るという仕様になっており、Waze のライブデータは行政の交通管理者のみが利用できる。行政からの特別な要望がない限りは、Kapsch はライブデータを利用しない。

c)　KPI

ブルガリアにおける衛星ベースの料金徴収システムの導入では、KPI 要求値が比較的低かったことが成功の鍵となりました。一方、フランスやオーストラリアなどでは、路側機、取締り、料金徴収に関する KPI が非常に高く設定されており、プロジェクトの複雑さやリスクが増大している。

ヒアリングによると、ゼロから料金徴収システムを導入する（その時初めて課金をスタートさせる場合）場合、収入増となる場合が多く KPI の要求はそこまで高くならない。しかし、手動で料金徴収をやっていたような道路に新たにシステムを導入する場合は、もともとの徴収率が 100%に近い為同様の高い KPI を要求される場合が少なくないとのことである。

d)　O&M

スペインでは、数年間の O&M 契約を締結している。

3.3.13 SWARCO

(1) 会社概要

SWARCO は、オーストリア・チロル州 Wattens に本社を置く企業である。同社は、ITS と RMS（Road Market System）に特化しており、特に ITS の分野では、都市部や高速道路において、道路標識から C-ITS を活用した交差点管理までの幅広いソリューションを提供している。なお、北米を中心に展開している SWARCO McCain, Inc.（本社：サンディエゴ）は、2016 年 8 月に SWARCO AG が米国 McCain 社を買収し、2022 年に社名を変更したという経緯があり、実質的には同じブランドを使用する別の企業体である。

(2) 技術・サービス

SWARCO が提供する技術サービスを以下に示す。

表 3.3.6　SWARCO が提供する技術サービス

カテゴリ	製品/サービス/説明
道路標識 道路上の付属物 舗装	・様々な機能を有する反射材・塗料・素材およびそれを利用した標識の作成および設置 ・道路工事区間の標識・バリケード・照明等 ・道路用舗装材
感知器	速度センサー、車両分類センサー、ループコイル式感知器、超音波式感知器、CCTV、Bluetooth / Wi-Fi / BLE センサー
信号機	信号灯器、制御機（SCATS, SCOOT, NTCIP, ITAKA, Omnia/SPOT に対応）
交通関連設備	・自転車交通関連製品（情報板、感知器等） ・電子標識、VMS、可搬式 VMS、 ・ガントリー
ソフトウェア	SWARCO MyCity（**表 3.3.7** 参照） その他、設計支援、高速道路／トンネル管理、駐車場管理、公共交通機関運行管理、電子標識制御、EV 充電管理ソフトウェア等
充電	電気自動車向け充電ステーションおよび充電ソフトウェア、バッテリー
駐車	駐車場管理システム、支払いシステム、駐車場用ディスプレイ

出典：調査団

a) SWARCO の My City プラットフォーム

SWARCO の「MyCity」は、オープン API を活用した交通管理プラットフォームであり、他社システムとの柔軟な連携も可能となっている。このプラットフォームでは、表 3.3.7 に示すような 12 のモジュールが備わっている。また、図 3.3.32 にインターフェースのイメージを示す。

表 3.3.7　My City プラットフォームの 12 のモジュール

モジュール名	機能
MyCity Traffic Management System (TMS)	下記の各種モジュールを束ねたダッシュボード等を表示
MyCity Air Quality Monitoring	空気質データを可視化
MyCity Monitoring	交通信号、駐車場、感知器、カメラ等の状態を可視化
MyCity Strategy Manager	交通および環境に関する交通管理戦略の分析・改善支援
MyCity TMS Adaptive	適応型信号制御に基づいた交通流の予測および信号タイミングの調整

モジュール名	機能
MyCity Parking Guidance System (PGS)	駐車場のモニタリングおよび駐車案内システムの提供
MyCity Monitoring LITE	制御機のモニタリング（SWARCO Cloud の後継製品）
MyCity Sign Manager	VMS の制御およびモニタリング
MyCity journey Time	検知器からのデータを用いて移動時間を計算
MyCity Vehicle Count	車両分類・カウント
MyCity C-Exchange	V2X 支援
MyCity Analytics	交通信号制御の品質分析、システムパフォーマンス評価

出典：調査団



図 3.3.32　SWARCO My City のインターフェースのイメージ

調査団によるヒアリングでは、SWARCO は TomTom とパートナーシップを結んでおり、都市によっては MyCity ツールにおける移動時間の算出や可視化に利用することも可能である。

b)　**V2X**

SWARCO は、DSRC を用いた狭域通信とセルラー通信である C-V2X を併用することで、車両や交通インフラ間のデータ交換を効率化するアプローチを検討している。特に、濃霧等の気象条件や歩行者の飛び出しなど、短時間で情報を伝える必要がある事象に注目している。

なお、調査団の認識では同一デバイスでの DSRC と C-V2X の併用はできないとの認識であるが、ヒアリングにて詳しい情報を得ることはできなかった。

また、SWARCO は TomTom データも V2X 技術に利用している。車両に信号現示情報（固定長ではなく適応型制御がなされている信号現示を含む）や道路工事区間の情報を 5G または RSU を介した通信で共有するパイロットを行っている。

c)　**環境に配慮した交通システム**

EU taxonomy for sustainable activities は 2020 年に策定、2022 年に発効となった、企業の経済活動が環境的に持続可能かどうかを分類するための基準のことである。交通分野においても環境負荷低減を目的とした新しい技術や運用手法の採用が加速する可能性がある背景から、SWARCO は環境負荷の少ない都市交通システムに着目しており、大気汚染やその原因となる渋滞の軽減を図るため、C-ITS を利用した信号制御や適応型交差点管理による交通流最適化や、大学と共同で、ITS 技術が環境に与える影響をシミュレーションを通じて定量化する研究を行っている。

d)　**AI の活用**

SWARCO でも AI を活用した交通管理を推し進める動きがあり、Traff-lAIts プロジェクトと呼ばれるプロジェクトがデンマークで実施されている。このプロジェクトでは、強化学習を始めとした機械学習（AI）を活用し、信号制御の最適化を行っている。現在、デンマークの 2 つの施設でテストが実施中であり、初期テストの結果では、信号の平均待ち時間が 5～10%以上短縮となっている。また、2024 年にはデンマークで 10～20、ノルウェーで約 15 の制御機にて稼働予定とされている。

一方で、こうした AI を用いた技術は 2024 年 8 月 1 日に発効となった EU の AI 規制法にも配慮する必要があるため、SWARCO はこれに適応する形で技術開発を行っている。

e)　**導入**

ハードウェア・ソフトウェア双方の導入について、現地に支社が無い場合、基本的には SWARCO が請け負うのは製品の販売のみである。導入、運用・保守については請負業者が担当している。

ソフトウェア導入時は、本社からのオンラインによる支援や、国や地域、マーケットの状況によっては、SWARCO から技術者を送る事例も存在する。

サウジアラビアには合同会社（SWARCO Saudia LLC.）があり、現地請負業者と協力し VMS の設置や運用保守を担当している。SWARCO は主に技術支援とトレーニングを行う。カタールでは、ソフトウェアメンテナンスを中心に活動しており、プロジェクト単位の事務所がある。ハードウェアも販売しているが、事務所ではメンテナンス業務は取り扱わず別の現地請負業者が運用保守を担当している。アフリカでは直接進出せず（事務所などを置かず）、現地請負業者と協力して業務を遂行している。顧客開拓は、展示会やウェブサイト等が主流となる。地域ごとの特性に応じたトレーニングプログラムを提供し、技術的な能力向上を支援している。オーストラリアには支社があり（SWARCO Australia Pty., Ltd.）、オーストラリアで主流である SCATS に基づいた制御機を導入している。

(3)　**O&M**

SWARCO は、信号機やコントローラーに対しては 5 年間の保証、VMS に対しては 2 年間の保証を、購入価格の 10%（目安）で現地請負業者が提供している。保証期間内は、現地請負業者がメンテナンス、点検作業を請け負う。スペアパーツは工場から直接発注者（政府機関）または現地請負業者が購入し、保有する。

ソフトウェアのサポート、メンテナンス、アップデート（パッチ修正レベル）の期間は基本的には 1 年、アップグレードや新機能の追加には場合によっては別途料金がかかる。

3.4　オランダ

3.4.1　MAPtm

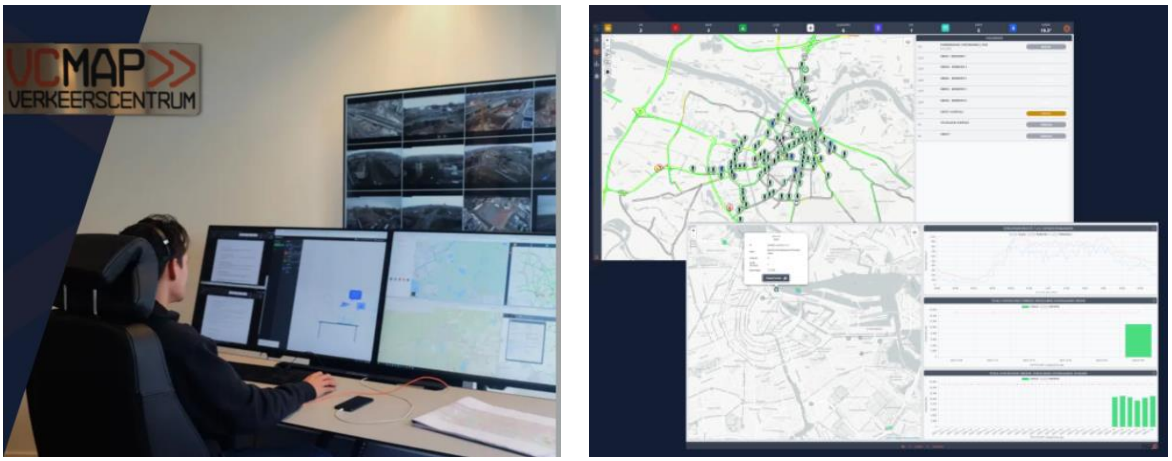
(1)　企業概要

MAPtm は 2010 年に設立されたオランダに拠点を置く小規模企業（約 30 名）で、交通管理やモビリティの分野での革新的なソリューションを提供するコンサルティングサービスを提供する会社である。オランダ初の民間交通制御センター「VCMAP」を運営している。交通管理に関するアドバイスからデジタルツールの開発、現場での運用までを幅広く手掛け、公共および民間セクターをつなぐ仲介者としても機能し、異なる利害関係者での協力を推進する役割を担っている。社名の由来は、当初は Traffic Management を意味していたが、今は Transformer Mobility に焦点を移している。「Connected, Cooperative & Automated Mobility (CCAM)」の分野でも活動し、自動運転技術やスマートインフラの計画・実装を支援している。これには交通シミュレーションやインテリジェントな交差点管理といった高度な技術も含まれる。また、MAPtm は「Social Traffic Management®」という独自のプラットフォームを提供しており、個人化された交通情報の提供を通じて、移動の選択肢を最適化する取り組みも行っている。国際的なプロジェクトにも積極的に関わり、欧州内外のパートナーと協力しながら、未来のモビリティの発展に貢献している。

(2)　提供するサービス・取り組み

a)　VCMAP

オランダ初の民間の専用の交通管理センターを運営し、ユトレヒト市でリアルタイムでの交通管理サービス（道路及び水路）を提供している。交通シミュレーションやインシデント管理により交通の流れを最適化している。



出典：MAPtm

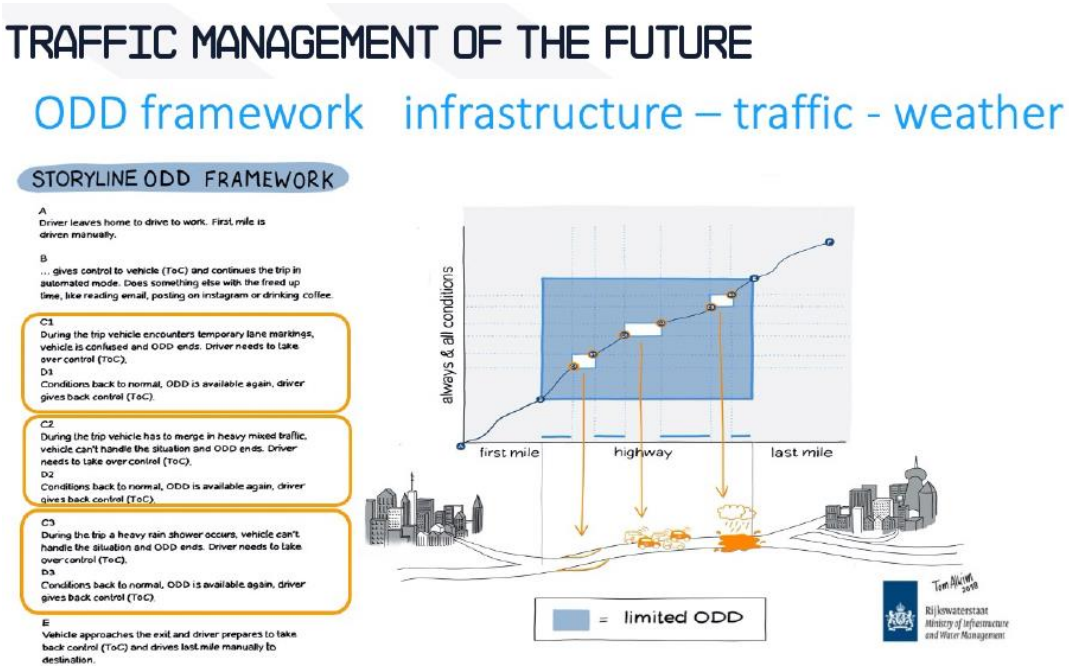
図 3.4.1　MAPtm の運営する交通管理センター

b)　CCAM（Connected ＆ Automated Mobility）

自動運転車両の普及を見据え、欧州での実装を目指し、公共及び民間のステークホルダー向けに専門的なアドバイザリーサービスを提供している。ODD（Operational Design Domain）[28]の中で車両が特定の条件下でのみ運行できるような環境を設計し、インフラなどこれを補完する外部情報の活用も検討して

28 ODD（Operational Design Domain）は、自動運転車が安全かつ効率的に運行可能な条件や範囲を定義する概念である。地理的条件、時間的条件、気象条件、交通状況、インフラ条件など。この条件の範囲を超えると、自動運転車は運行を停止するか、人間に操作を引き継ぐ必要がある。

いる。また、社会受容性や法的枠組みについても検討しており、特に既存システムとの共存についての課題について取り組んでいる。ODD の制限を克服する技術アプローチとして、「DOVA（Distributed ODD）」という概念を導入し、車両が外部からの情報を活用して運行判断を行う仕組みを開発している。例えば、遠隔モニタリングおよび支援システム（道路インフラからの情報提供）は、自動車運行中のトラブル対応に不可欠であり、現在さまざまなプロジェクトで試験中である。



出典：MAPtm

図 3.4.2　自動運転車の ODD の制限

c)　**Social Traffic Management®（社会交通管理）**

人間が運転する車の行動に着目し、交通管理の一環としてユーザーに情報を提供する取り組みである。単に道路状況を管理するだけでなく、道路利用者に適切なタイミングで情報を伝え、行動変容を促すことを重視している。実装にあたって、以下の 4 つの柱がある。

ジオフェンシング（Geofencing）

特定の地域に仮想的なフェンスを設定し、その地域を通過するユーザーに、ソーシャルメディアやメッセージアプリ（WhatsApp、Facebook、Waze など）を通じて通知を送信する。

通知サービス（Push Notifications）

道路閉鎖や遅延情報を事前にユーザーに通知し、代替ルートの選択を促す。

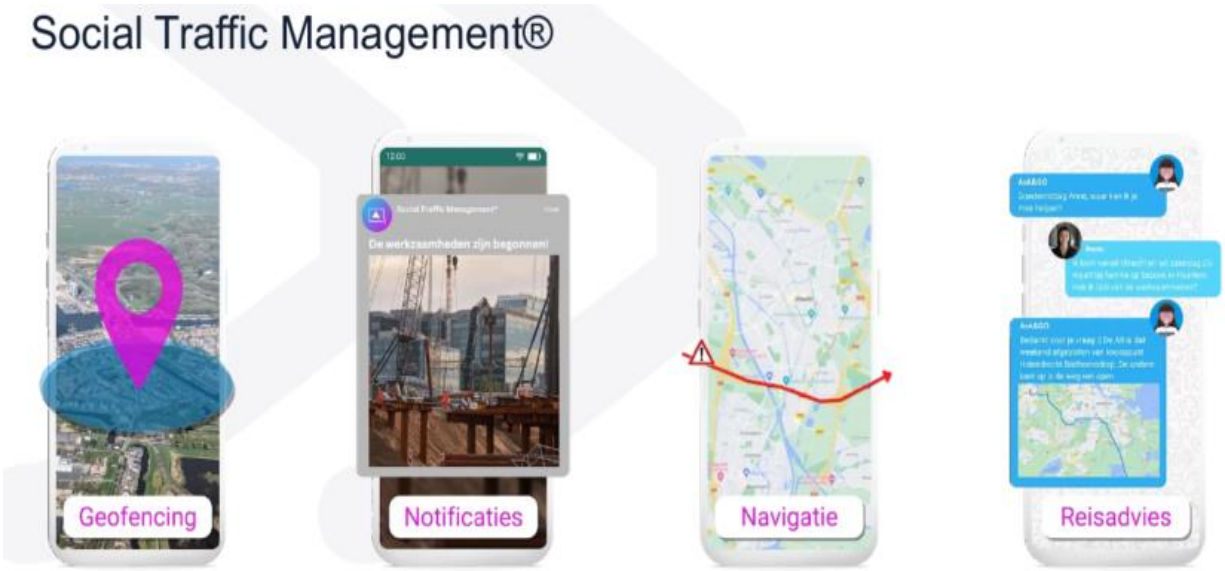
サブスクリプション型の通知サービスにより、パーソナライズされた旅行情報を提供する。

ナビゲーション調整

Google Maps や Apple Maps などのナビゲーションアプリに事前に道路閉鎖情報を反映し、無意識のうちにルートを再設定する。

旅行アドバイス

オペレーターがリアルタイムでユーザーからの問い合わせに対応し、最適な旅行ルートを提供する仕組み。例えば、WhatsApp 経由で旅行相談を受け付け、迅速なアドバイスを提供。



出典：MAPtm

図 3.4.3　Traffic Management®の概念図

ヒアリングの中では、以下の成功事例が紹介された。

Heine-Noord トンネル閉鎖の事例

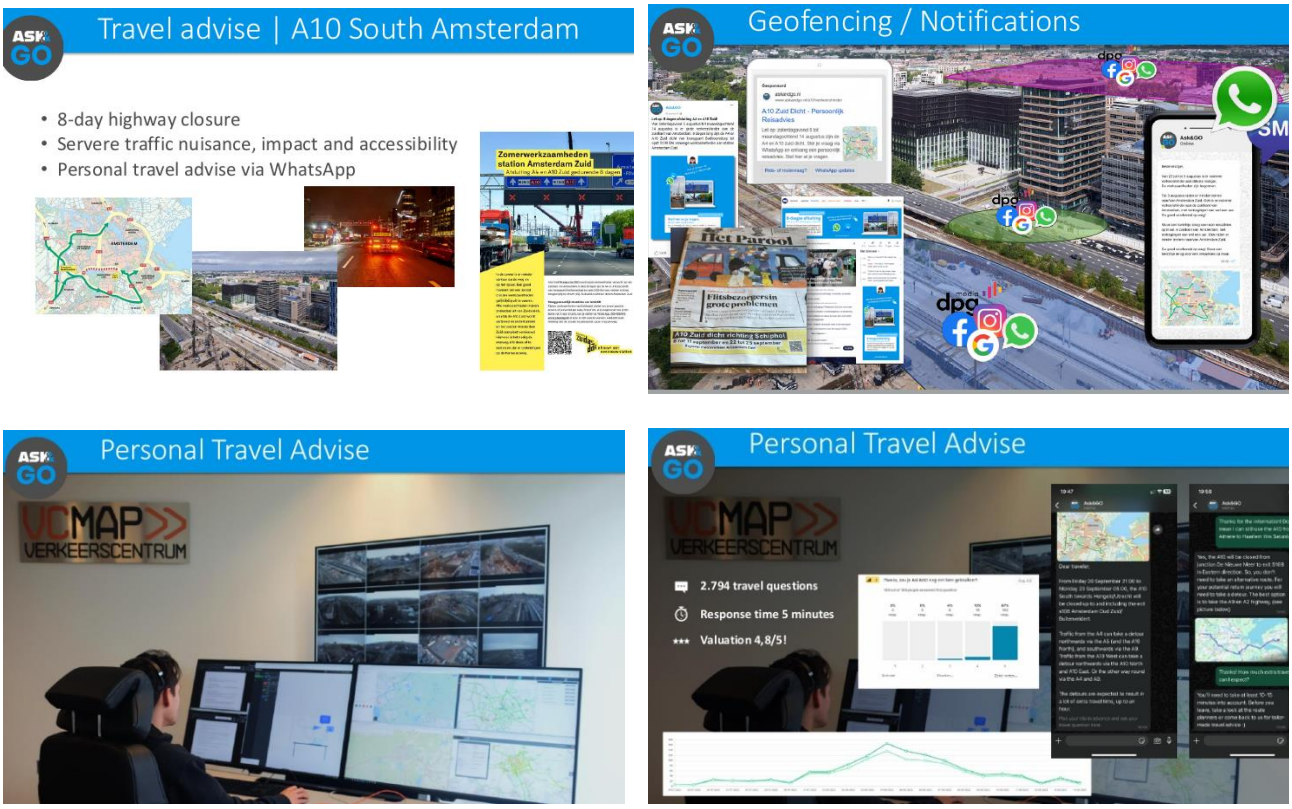
- ロッテルダム近郊の主要トンネルの 2 週間の閉鎖に際し、MAPtm はジオフェンシングと通知を駆使して、トンネル利用者に情報を提供している。
- トラック運転手や観光客など、多様な利用者層をターゲットに、プラットフォームごとに異なるメッセージを配信している。

通知サービスの事例

- 例えば、Leinmeiderbrug（橋）のメンテナンスに伴い、5,000 件のサブスクリプション契約をおこない、SMS にて事前通知サービスを提供。橋の状況をリアルタイムで伝えることで、通行者の利便性を向上させた。

旅行アドバイスの事例

- アムステルダム南環状線の閉鎖時、旅行者から 3,000 件の問い合わせを受け、平均 5 分以内に回答を WhatsApp で提供。ユーザー評価も高く、人のオペレーターによる対応が好評だった。



出典：MAPtm

図 3.4.4　アムステルダム南環状線の工事による道路閉鎖の際の旅行アドバイスの実証

(3)　取り組みの途上国への展開の可能性

フィリピンの MMDA などの途上国においても、交通管理センターでは、インシデント検知や道路通行止め情報を把握しており、Facebook や X などの SMS でも配信している。これらのインタラクティブの情報提供は可能であると考えられるが、民間企業のサービスとのすみ分けやベースとなる迂回路の情報や特に旅行速度情報のリアルタイム取得が必要である。

3.4.2 TNO（オランダ応用科学研究機構）

(1) 企業概要

TNO（Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek:オランダ応用科学研究機構）は、オランダ最大の応用研究機関であり、自動車産業、ハイテク産業、ICT、エネルギー、防衛、都市計画などの様々な分野に従事する政府から一部助成金を受ける企業（非営利団体）である。同機構は、技術の実用化事業、オープンイノベーションとシェアードリサーチの推進、共同研究、技術協力、受託研究、プロジェクトマネージメント、知財ライセンシング、規制科学におけるコンサルティング等を内外の政府系機関や企業等に提供している。約 3,200 名の専門家が在籍し、各分野で研究開発を推進しつつ、企業や政府が知識を応用できるよう、中立的な立場で支援している。同機構の自動車研究部門が、日本における既存顧客へのサービス強化を目的に、2018 年 4 月に横浜市に TNO JAPAN 株式会社を設立した。

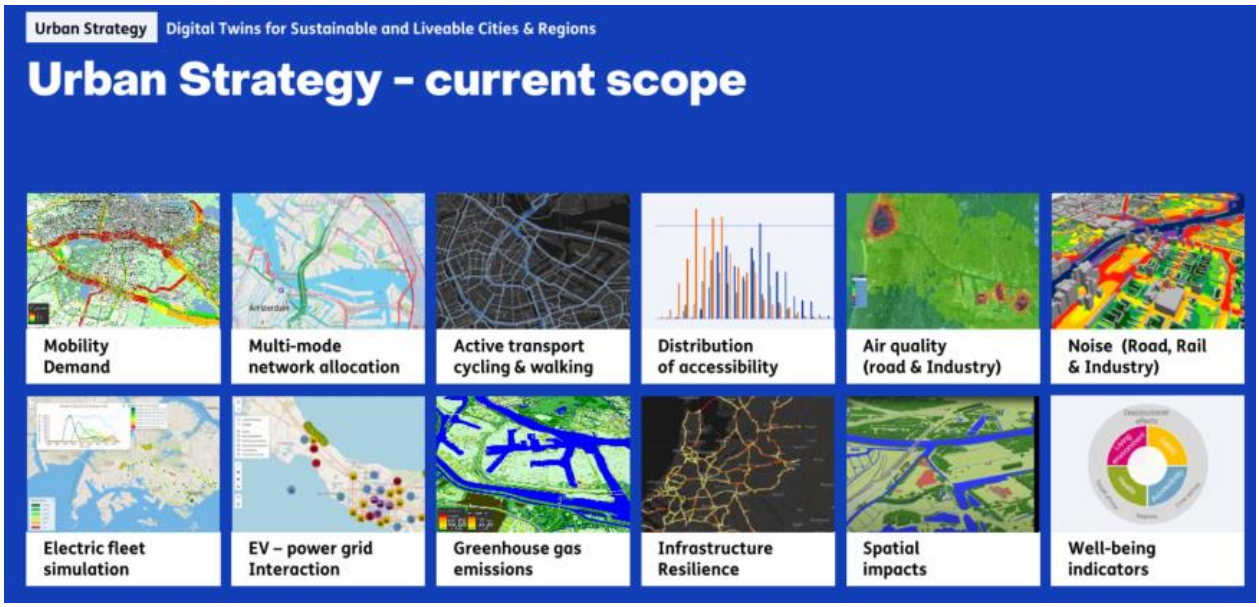
(2) TNO のビジネスモデル

TNO は、革新的技術が成熟すると、スピンオフ企業として分社化させ、TNO が少数株を保持し、引き続き研究パートナーとして関与するビジネスモデルを持っている。過去 7 年間で、45~50 社のスピンオフ起業を立上げた実績を持つ。

TNO は非営利団体であるため、保有する知的財産（特許やソフトウェア、ノウハウ）を無償で提供することは認められておらず、自ら開発した技術やソリューションをスピンオフ企業に移転し、TNO は株式を保有しつつ、スピンオフ企業はその技術を基盤として事業を展開し、利益を上げ、その利益に応じてスピンオフ企業は TNO にロイヤリティを支払う。TNO は初期の技術提供と市場投入支援を行うが、会社が成熟すると 5～10 年以内を目安に株式を売却する。そこで得た売却益は、新たな技術開発に再投資する循環モデルを構築している。

(3) 提供する製品・サービス

都市計画分野のとして、統合都市計画予想型デジタルツイン「Urban Strategy」を開発している。都市の仮想モデルを構築し、各種施策により、交通・騒音・大気などがどのように変化するかを予測できるソフトウェアであり、様々な都市や交通施策のシナリオ（What-if）をソフトウェア上で設定、シミュレーションを行い、仮に実施した場合の交通・騒音・大気などの影響を視覚的に確認できるものである。交通需要、公共交通網、建物情報、環境データ等都市全体の多様なデータを集約し、高度なアルゴリズムと GPU ベースの並列処理を採用し、従来の CPU では実現できなかった数千万～数億の計算（シミュレーション）を短時間で完了させることができる。シミュレーションできる分野や内容は、モジュール形式となっており、各要素、機能を追加できるようになっている。今後は洪水リスクや気候変動への対応といった新たな機能を追加する予定とのことである。



出典：TNO

図 3.4.5　Urban Strategy が現在取り扱っている分析範囲

担当責任者へのヒアリングした結果によると、具体の政策立案での活用する流れとしては、以下となっている。

１．シミュレーションの準備
- 都市の OD マトリクス、インフラ情報、環境データをデジタルツインに取り込む。
- データは市や公共機関から提供され、TNO がモデルを校正する。

２．政策シナリオの試行
- 政策担当者がリアルタイムで道路閉鎖、速度制限、駐車料金の変更などを設定し、即座に結果を確認。
- 影響が複数の分野（交通、環境、騒音など）でどのように相互作用するかを可視化。

３．迅速な意思決定のサポート
- 従来、数週間かかっていた外部委託のレポート作成が不要になり、都市が自前でシナリオ分析を実施可能。
- これにより、柔軟かつ迅速な政策変更が可能となり、都市の効率的な管理が促進される。

代表的な実践事例としては、以下がある（これ以外も多数あり）。

１．アムステルダムの交通とインフラ管理
- 運河や橋の改修時における観光客と市民の交通への影響をシナリオで比較。
- 駐車料金の変更による自動車から自転車や公共交通へのモード転換の影響を予測。
- シェアモビリティを導入した時の影響分析



出典：TNO

図 3.4.6　Urban Strategy のアムステルダムでの活用事例

2．サンディエゴ（米国）における自動運転車（AV）の導入評価（モビリティ計画）

・自動運転車（AV）導入の影響をシミュレーションし、他の交通手段からのシフトや渋滞への影響を分析。

・将来の都市航空モビリティ（UAM）やハイパーループ導入の可能性も評価



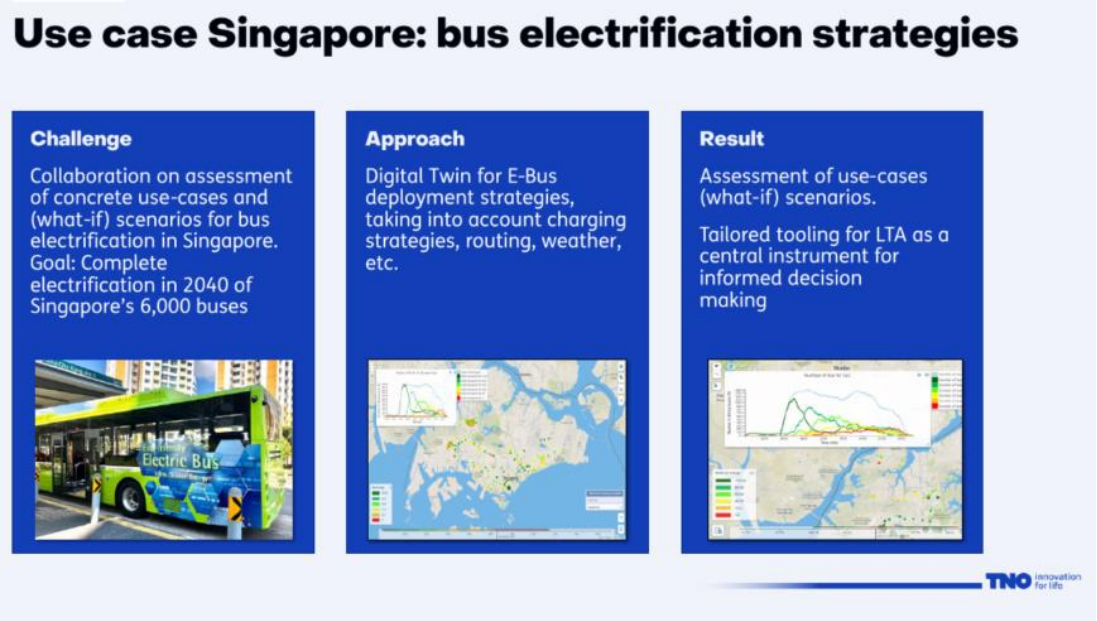
出典：TNO

図 3.4.7　Urban Strategy のサンディエゴでの活用事例

3．シンガポールでの EV バスの導入評価

・電動バスの大量導入（約 6,000 台）に伴うエネルギー需要の変化や都市全体の交通パターンへの影響を評価。

・電力網の負荷分析を行い、電動化が都市のインフラに与える影響を可視化。デジタルツイン術によりバスの配置やルート最適化をシミュレーション、エネルギー負荷を均等化する戦略を提案。



出典：TNO

図 3.4.8　Urban Strategy のシンガポールでの活用事例

(4)　今後の展開

TNO は、予測型デジタルツイン「Urban Strategy」の各国の都市への導入・展開（日本、シンガポール、米国）に向け、地域のパートナーとの連携を重視しており、国際市場に向けたスピンオフ準備が進んでいる。また、地方政府に対し、政策の効果を迅速に評価できるツールを提供する予定である。この新会社は、TNO が引き続き少数株を保持し、同時に研究支援を行いながらも、より商業的な自由度を持つ形で市場展開を目指す。

(5)　取り組みの途上国への展開の可能性

TNO は、国からの助成金をいれつつ技術開発を進めた後、成熟したプロジェクトをスピンオフ企業として市場に投入し、知的財産からの収益や株式売却益を次世代の研究開発に再投資するという循環型モデルは、これまでプロジェクト単位の PoC で終わっていた多くの技術の実装化のためのビジネスモデルの好事例にあげられると考えられる。ただし、新技術の研究開発には多額の投資が必要であり、資金が少ない途上国では、どこまで投資できるか課題が残る。

予想型デジタルツイン「Urban Strategy」については、都市の複雑なシステムを包括的に管理する次世代ツールであり、リアルタイムの意思決定を支援する先進技術といえる。交通や環境への影響を短時間で事前に予測できるため、政策立案の質と速度を向上させ、都市の持続可能な成長を支え、気候変動や災害リスクにも対応可能な柔軟な管理を実現するものとして有用だと考えられる。しかしながら、実装するには、交通需要予測に必要な OD データ、交通流量データ、道路ネットワーク、マルチモーダルデータ、建築物情報、環境データ等のベースとなるデータが必要不可欠であり、途上国においては、まずこのベースとなる基盤データ、移動データの整備が必要である。これまで都市交通マスタープランを作成している都市でベースデータがあるところであれば、活用でき導入の可能性はあると考えらえる。逆をいうと、データを整備・更新できる仕組みを構築することが重要である。

3.4.3 CROW

(1) CROW の活動内容

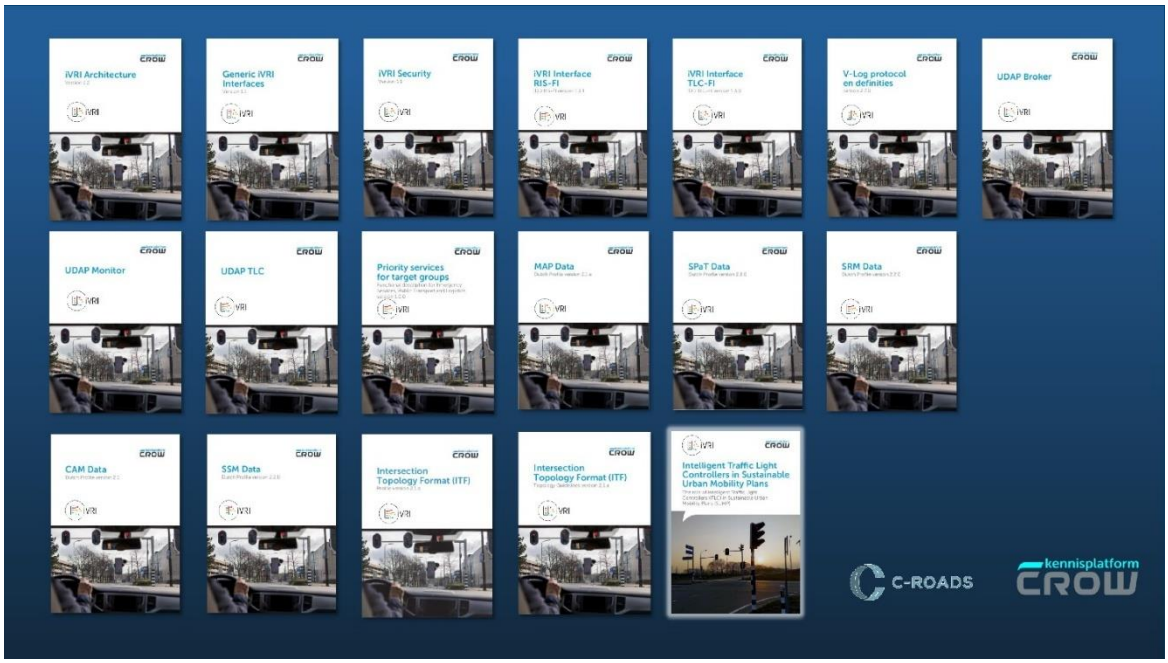
CROW は、実用的・実践的で直接適用可能な知識の構築を目的とし、主にオランダの省庁、欧州委員会、地方自治体や州政府、企業とガイドラインやハンドブックの作成に注力している NPO である。ガイドラインはインフラの設計からモビリティ政策の策定まで多岐にわたり、オランダでは、道路当局は CROW が作成するガイドラインに従う義務がある。ガイドライン違反の場合、違法ではないものの責任を問われるケースもある。CROW が掲げているタスクは、①交通、輸送、インフラ分野の研究、②標準化、③知見の移転と知識管理の 3 つである。

CROW のウェブサイトでは表 3.4.1 に示すようないくつかの書籍／概要版（英語）を公開しており、一部の書籍はフリーダウンロードが可能である。また、この他にも図 3.4.9 に示すような書籍を出版している（基本的にはオランダ語である）。

表 3.4.1　CROW の出版物一覧（交通に関連するもののみ抜粋）

ハンドブック名称	内容	入手方法
Design manual for bicycle traffic	効果的な自転車インフラの構築と維持	購入
Road Safety Manual	オランダの交通安全対策、実際の問題の概要、対処方法	購入
Intelligent Traffic Light Controllers in Sustainable Urban Mobility Plans	インテリジェント信号機 (iTLC)	フリー
Whitepaper Future proof road infrastructure	自動運転の出現を考慮した将来の道路設計	フリー
Real Time Traffic Information	リアルタイム交通データ（RTTI）の要件	フリー
Guidance for road authorities on Intelligent Speed Assistance (ISA)	Intelligent Speed Assistance (ISA)について	フリー
Cycling in the Netherlands	自転車利用促進政策とその遵守につながる地理的パターン	フリー
Making buildings fit for sustainable mobility	海外 31 か国における自転車と自動車の路上外駐車規制事例	フリー
Behaviour of cyclists and pedestrians near right angled, sloped and levelled kerb types	縁石形状と自転車・歩行者の行動の関係	フリー
Can smart innovations pave the way for the bicycle? (Thesis)	スマートバイクに関する文献調査	フリー
Congestion charges and cycling	渋滞課金制度と自転車関連政策についての事例（ロンドン、ミラノ、ストックホルム）	フリー
Guidelines Developing and implementing a sustainable urban mobility plan	都市交通計画策定ガイドライン	フリー
Translating the SAMEN scientific findings to practical applications and implications	SAMEN プロジェクト（デルフト工科大学との共同研究）から得られた洞察	フリー

出典：https://crowplatform.com/#bookstore

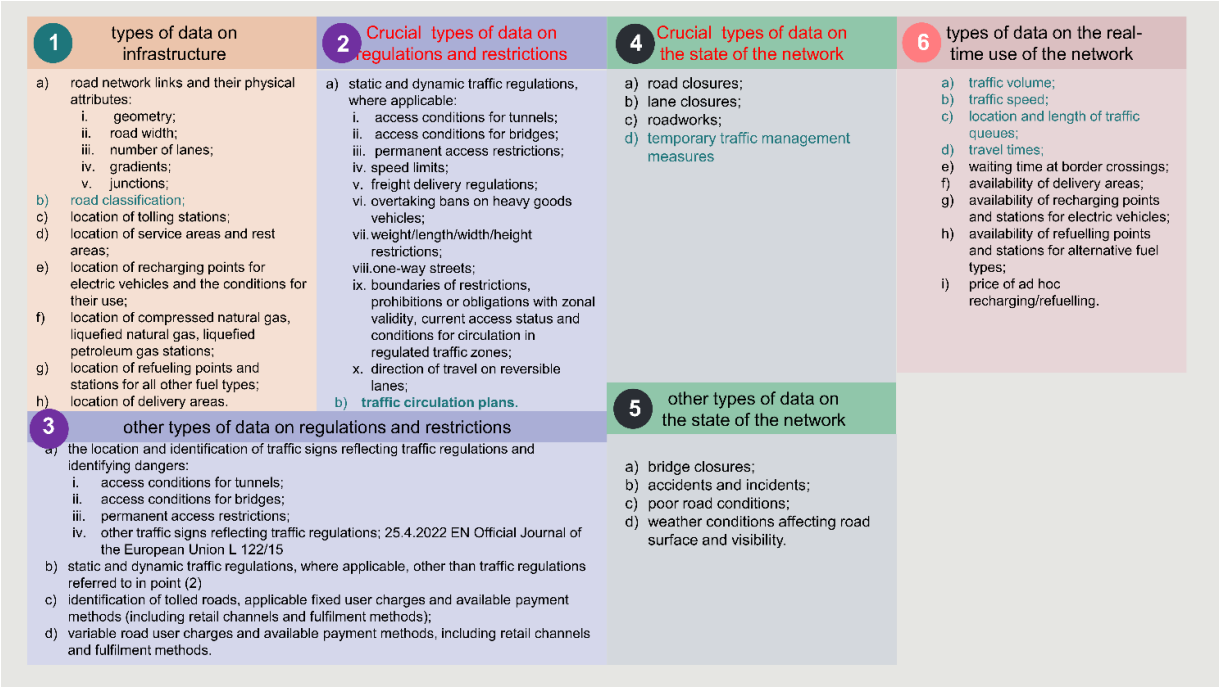


出典：CROW

図 3.4.9　CROW の書籍（再下段右を除き Web 非公開）

(2)　**リアルタイム交通情報データ（RTTI；Real Time Traffic Information）**

CROW はリアルタイム交通情報データ（RTTI；Real Time Traffic Information）の要件整理、全国的な体制構築に力を入れており、どのような機能がユーザー体験の質を向上させられるのか、その機能にはどのようなデータ（例：図 3.4.10）やどのような企業／政府間連携が必要なのか等を詳細に取りまとめている。



出典：CROW

図 3.4.10　RTTI データの種類

また、CROW は、欧州委員会とも密接に協力しており、リアルタイム交通情報（RTTI）に関する委任法の実施について、加盟国に対するプレゼンテーションを行ったり、実際の体制構築、ガイドライン作成にも協力している。

(3) インテリジェント信号機（ITLC；Intelligent Traffic Light Controller）

iTLC は、オランダで開発・導入されている次世代型の交通信号制御システムである。このシステムは、交通の効率化や安全性の向上を目的としており、車両やインフラとの通信を活用してリアルタイムで信号制御を行う。

iTLC の標準規格に基づく信号機は、ハードウェアとソフトウェアが分離されており、異なるメーカーの信号機、信号制御機、システム間での相互運用性が確保され、自治体や道路管理者が特定のベンダーに依存することなく、柔軟にシステムを導入・拡張できるという利点がある。

また、車両・インフラ間の通信（V2I）にも対応しており、車両からの情報（位置、速度、方向など）をリアルタイムで受信し、信号制御に反映することが可能で、緊急車両や公共交通機関、自転車や歩行者に対する優先制御に役立っている。

また、異なるメーカーの信号制御機が互いにシームレスに連携できるような「ホワイトラベル標準」を導入しようというアプローチを提案している。政府や自治体にホワイトラベル標準の採用を進めることで、交通管理システムやインフラの提供者が自社ブランドで製品を提供できるようにしながらも、他の製品やシステムと容易に統合できるようにする。

(4) 調達

政策立案関連のガイドラインには、入札、契約、調達（ベンダーの選定方法等）に関する知見も記載されている。

3.4.4 NDW

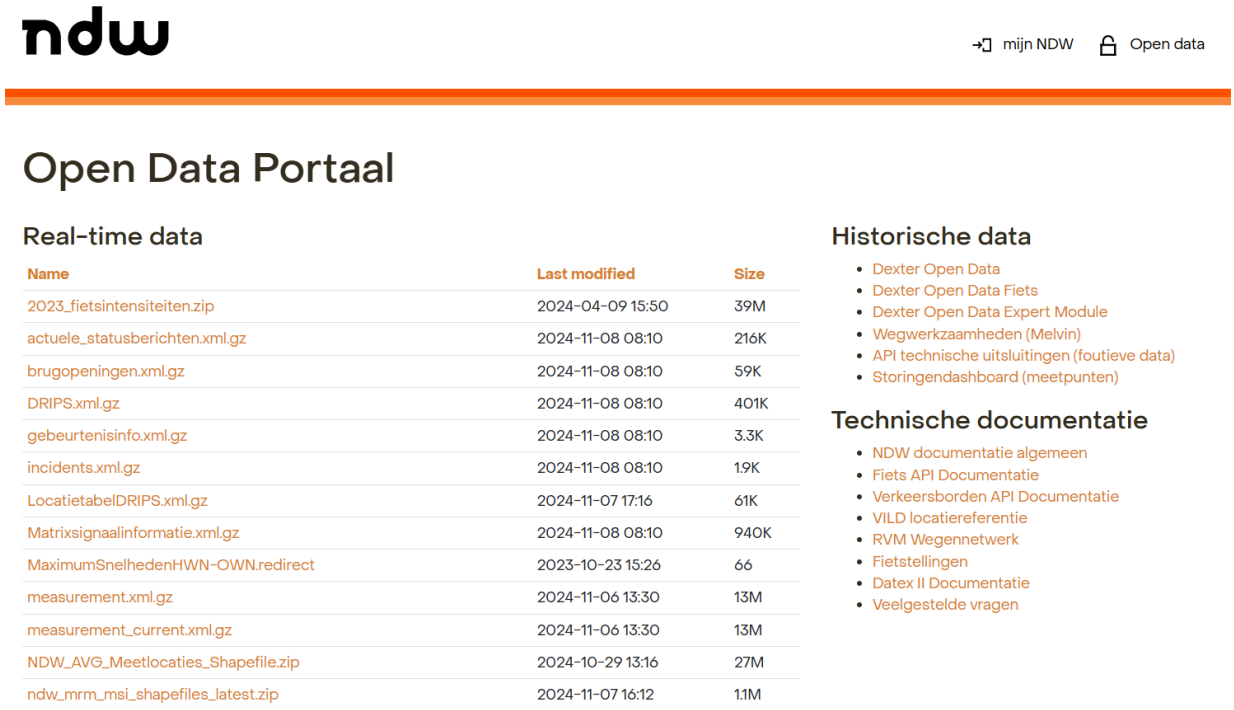
(1) 組織の概要

NDW（Nationaal Dataportaal Wegverkeer）は「国家道路交通データバンク」を意味し、パートナーである中央政府、州政府、大規模自治体の 19 の道路当局から出資を受け交通データを一元的に収集・管理・提供する非営利の機関である。組織は 100 名のスタッフと 60 名の外部開発者によって構成される。組織の主な目標は、交通管理の効率化と政策決定支援に向けたデータ提供であり、これを通じて交通の安全性向上やインフラ計画の最適化を図っている。地方自治体、州政府、道路管理者、公共交通機関、警察など、さまざまなパートナーが独自に収集したデータを NDW が集約し標準化された形式で保存することで、異なる機関や地域間のデータ共有がスムーズに行えるようにしている。NDW は、収集されたデータをもとに交通状況のリアルタイム把握、長期的な都市計画、道路インフラの改善案の策定を支援しており、オランダ全土の交通データ統合の中核として機能している。

(2) データの収集と提供

NDW は、さまざまな交通データ（交通量、事故発生状況、工事計画、速度データ、自転車・自動車ループコイルなど）をリアルタイムおよびヒストリカルデータとして収集している。データの収集には、路側センサー、CCTV、GPS、スマートフォン、車載機器からのプローブデータなどが使用される。また、TomTom, Google, Waze などの民間企業からも多くのデータを入手している。これらのデータ

は、都市計画の立案、交通安全対策、インフラの維持管理、観光客向けナビゲーションサービスの改善に役立てられているほか、一般市民向けにも交通データを公開（図 3.4.11）し、透明性を確保しながら、研究機関や企業がデータを活用できる環境を提供している。特に、交通渋滞の緩和や CO2 排出量削減など、環境問題に対応するためのデータとしても重要な役割を果たしている。また、リアルタイムのデータ提供によって、突発的な交通事象に対して迅速に対応できる仕組みが整えられている。



https://opendata.ndw.nu/

図 3.4.11　NDW オープンデータポータル

(3)　データ標準化と連携

NDW は、オランダ国内および欧州全体の交通データの標準化に取り組んでおり、これにより異なるデータソースを持つデータ間の互換性を確保している。この標準化により、Waze や Google といった民間企業と交通データを共有しやすくなり、複数の国や地域にまたがる交通システムで情報が統一され、国境を越えても一貫した交通サービスを利用できる。また、欧州各国がスムーズにデータを利用・共有できる体制を構築している。このような標準化を目指した背景には、オランダが小さな国で、多くの国で採用されているデータ標準がなければ、民間企業と協力関係を構築するのが難しかったという要因がある。

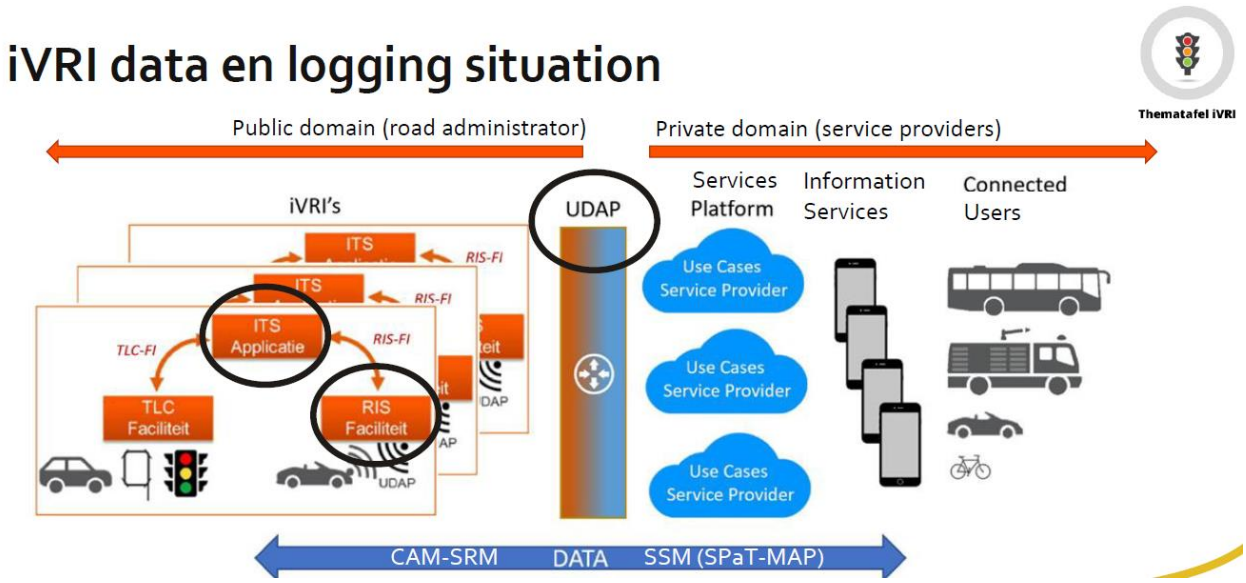
NDW は、物流分野での情報標準化にも注力しており、特に OTM（Open Telematics Message）と呼ばれる物流データ標準を採用している。これにより、交通と物流のデータを統合し、より効率的な交通管理と配送管理を可能にする。物流の効率化は、都市部での交通量を抑制するだけでなく、環境負荷の低減にも貢献する。

(4)　インテリジェント信号機（iVRI）と UDAP (Urban Data Access Platform)

モビリティからスマートモビリティへ移行するために、車両とインフラの通信が可能なインテリジェント信号機(iVRI：intelligente verkeersregelinstallaties)の導入を 2017 年から進めている。2023 年 4 月時点で 1372 基のインテリジェント信号機が設置されており、今年も 400 基以上の導入を進めている。イン

テリジェント信号機は、緊急車両、公共交通、貨物車、電気自動車に優先権を与えることができるが、法律上の問題もある。オランダ含む欧州では「信号機が道路利用者に従う」ということが法律的に認められておらず、この問題を解決するため、最高評議会で今年、プライバシーとセキュリティに関する議論がなされた。

インテリジェント信号機における道路管理者と道路利用者のデータのやり取りは、UDAP (Urban Data Access Platform)を介して行われる。道路管理者はインテリジェント交通管制システムを UDAP に接続することで、従来のような運用保守を行う。道路利用者は、UDAP を介して RSU と通信を行うことができ、前方の信号タイミングの情報を受信したり、優先権をリクエストすることができる。



出典：NDW 資料

図 3.4.12　UDAP を介した道路管理者と道路利用者の通信

(5)　交通安全に関するデータ

欧州では欧州法に基づき交通安全に関するデータ（SLTI : safety-related traffic information）を持っている場合、それを国の道路当局に共有しなければならないという法律がある。この法律の下、CV、TomTom、レッカー会社、保険会社、ロードレンジャー、スマート CCTV、気象サービスから情報を集めて提供する取り組みを進めている。オランダでは年間 25 件ほど作業中のロードレンジャー車両への追突事故が発生しており、迅速かつ精度よく事故と復旧に関する情報を収集し発信することが求められている。これは自動運転時代を見据えて重要な取り組みだと考えている。

(6)　ROMO プロジェクト

ROMO プロジェクトは、メルセデス・ベンツとのパートナーシップにより実現した、車両データを活用した道路モニタリングのプロジェクトである。本プロジェクトは、冬季路面管理、道路資産管理、安全性向上の 3 分野に重点を置き、オランダ全土約 13 万 km の道路網を対象とする。

車両データは匿名化・集計され、安全で効率的かつ持続可能な移動を実現するためのデータを提供する。このシステムは、交通事故リスク地点の特定にも利用され、インフラ改善の指針を提供する。冬季路面管理においては、車両のワイパーデータや温度データと気象情報を統合し、路面状態をリアルタイムで監視し、必要に応じて道路管理者に情報を提供する。道路資産管理分野では、車両データを用いて

道路の損傷や路面の摩耗を予測し、保守作業の効率を高める。ROMO2 では、複数のパートナーとの連携し、欧州各国での標準化に重点を置いている[29]。



出典：NDW 資料

図 3.4.13　ROMO プロジェクト

(7)　ナレッジシェアとイノベーション

NDW はデルフト大学や研究機関、民間企業との連携を通じて、交通データを利用した技術革新を促進している。これにより、収集したデータが単なる分析資料としてだけでなく、AI や機械学習を活用した交通の自動管理、事故予測、道路インフラの改善といった実際の交通管理に応用される。また、データの透明性を高め、一般に公開することで、企業や学術機関による新たな研究やサービスの開発を促進し、交通分野の技術発展を支援している。こうしたイノベーション推進によって、NDW はより安全で効率的な交通環境を実現しようとしている。

(8)　官民連携とヨーロッパ全域での展開

EU の ITS 指令の改訂（Delegated Regulation (EU) 2022/670）により、道路当局が交通データを収集し、一定の質を確保したうえで共有することが義務化される見込みである。これにより、交通情報サービスの標準化と質の向上が期待されている。ただし、データの相互運用性や品質評価基準の整備など、実現にはさらなる調整が必要とされている。

NAPCORE プロジェクトは、公共機関と民間企業が協力して交通データを共有し、リアルタイム交通情報サービスを提供することを目指している。特に、オランダでは公共と民間が協力してデータの質を向上させる取り組みが進んでいる一方、技術的課題にも直面している。特に、データ保存に関しては膨

29https://www.ndw.nu/actueel/nieuws/2024/10/1/tender-road-monitor-2-gepubliceerd-voor-verwerking-data-uit-voertuigen

大なリソースが必要であり、それを効率的に管理するためには優れた登録システムとコネクタの開発が不可欠である。また、相互運用性の確保も重要な課題である。加盟国間でのデータ形式の統一が進められており、汎用性の高いシステムが必要である。

また、昨年、Google 社と TomTom 社のオフィスで開催されたワークショップでは、ヨーロッパ全域の道路当局とサービスプロバイダーが一堂に会し、データ品質に関する議論が行われた。オランダでは、サービスプロバイダーとデータ品質について深く議論することが一般的であり、官民連携が強化されている。しかし、他の国々では同様の取り組みが進んでおらず、法律で義務付けられているからという理由だけで最低限の対応を行うにとどまるケースが多い。これにより、各国間での取り組みの差が課題として浮き彫りになっている。

データ品質向上については、道路当局がまずデータ品質の改善に取り組むべきか、それともサービスプロバイダーが提供されるデータを受け取り、それを基にしたサービスを展開すべきかという点で意見が分かれている。こうした議論を踏まえ、双方に利益がある状況を構築する必要性が強調され、TISA は 5 段階のデータ品質評価基準を提案、データ提供者とサービスプロバイダーの間での透明性と信頼性を高める取り組みを進めている。



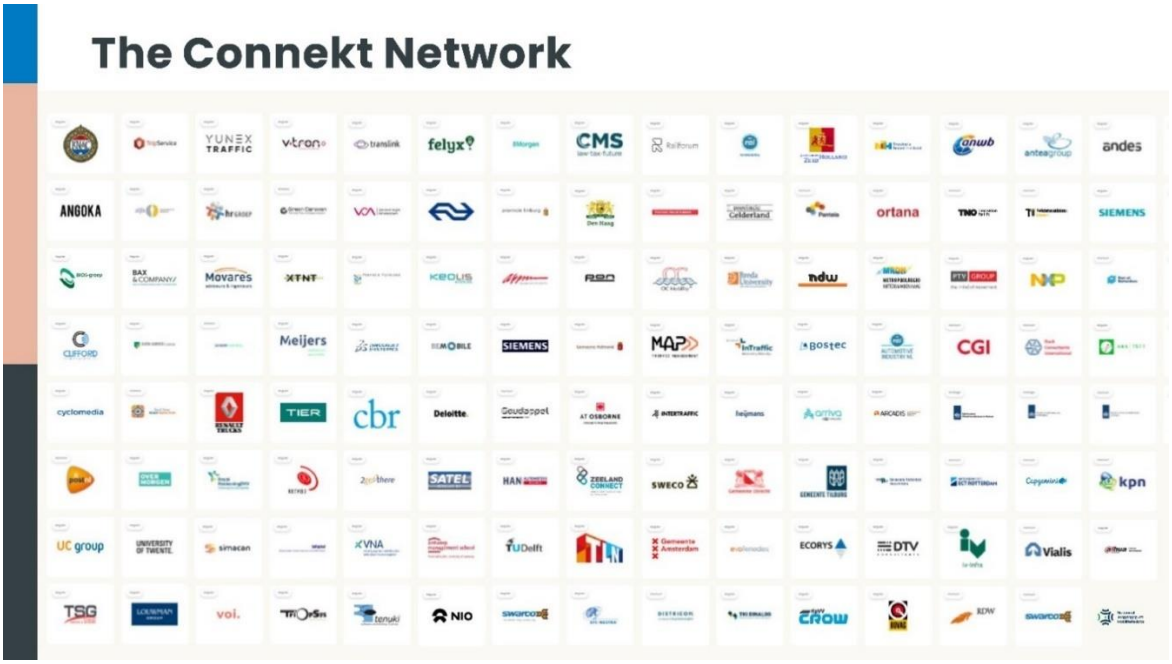
出典：TISA

図 3.4.14　TISA の 5 Star Vehicle Safety Rating のイメージ

3.4.5　Connekt (ITS Netherlands)

(1)　**Connekt の役割と活動内容**

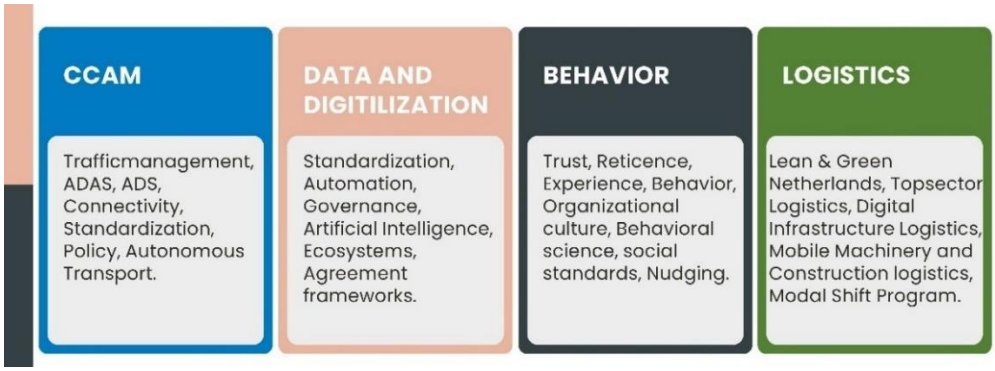
Connekt は ITS の業界における ITS Japan と同様の、いわゆる協会の位置に属する機関で、ITS Netherlands とは Connekt のことを指す。Connekt では、テクニカルワーキンググループを設置し議論を重ねる場を提供している。また、Connekt では図 3.4.15 にあるような政府、民間、知識分野からの幅広いメンバーがパートナー[30]となっており、とくに公共と民間のパートナーシップを強化し、政策開発や資金調達における連携を推進している。他の近隣地域の ITS 組織とは一線を画す規模の大きさとなっている。



出典：Connekt

図 3.4.15　Connekt のパートナー

Connekt は CCAM（Cooperative, Connected and Atomated Mobility）、デジタル化、行動様式の変化等を主な活動分野としており、Holizon プロジェクト（EU の研究開発プロジェクト）にも関わっている。



出典：Connekt

図 3.4.16　Connekt の活動分野

30 パートナー検索ページ：https://connekt.nl/leden/

3.4.6　ユトレヒト市

(1)　ユトレヒト市の交通管理戦略と背景

ユトレヒト市は、都市内外を結ぶ交通の要衝として、多様な交通手段を統合的に管理するシステムの導入を進めている。同市には 200 の信号機が設置されており、東京と比較すれば規模は小さいものの、オランダ全体の交通政策における実験的なモデル都市としての役割を担っている。

2013 年から推進されているモビリティ戦略では、都市開発を支える交通システムの進化に重点を置き、徒歩や自転車、公共交通機関等で 10 分以内に主要な目的地（図書館、店、学校等）に到達できる仕組みの構築を目指している。

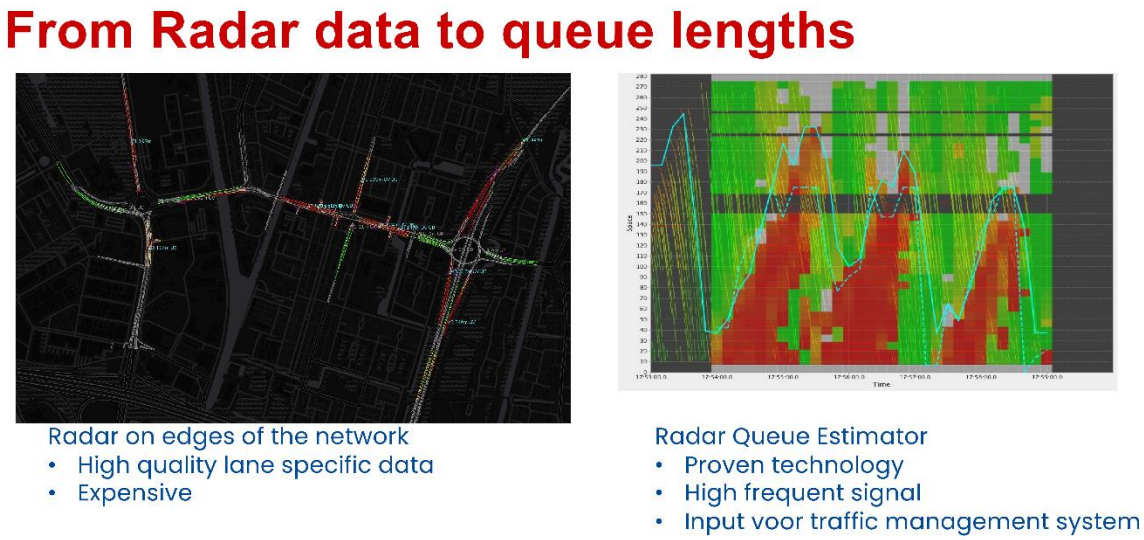
また、ユトレヒト市では、Smart Traffic Manageent の一環として、A12 高速道路（内環状道路）において、交通の流動性と周辺地域への住みやすさを両立させる試みが進行中である。この道路は、以前は片側 2 車線の自動車専用道路であったが、現在では片側 1 車線にダウングレードされ、自転車や歩行者、公共交通機関も利用可能な道路として再整備されている。（図 3.4.17）



出典：ユトレヒト市

図 3.4.17　ユトレヒト市での道路空間再配分

この取り組みでは、信号機の青時間を動的に調整する仕組みも導入されている。道路上にレーダーを設置し、センサーデータ（図 3.4.18）からリアルタイムで交通状況を把握、信号機のタイミングを調整することで渋滞を最適化している。このシステムは、特に渋滞が発生しやすい通りに向かう道路の出口と入口で、交通の流出入を制御する役割（ランプメータリング）を果たしている。



出典：ユトレヒト市

図 3.4.18　レーダーセンサーのデータ

このネットワーク管理システムにより、ユトレヒト市では渋滞による損失時間を約 10%削減することに成功している。

一方で、このシステムで使用する路上レーダー設備は高価であり、耐用年数も限られている（6〜7 年）ため、継続的なメンテナンスが必要となる。また、都市の交通需要が変化した場合には、システム全体を再調整する必要があり、その柔軟性が十分でない点も課題とされている。

3.4.7　デルフト工科大学

(1)　概要

デルフト工科大学（TU Delft）は、1842 年に設立されたオランダ最大の技術系大学である。学生数は約 27,000 人で、技術的な視点だけでなく、社会的要因や人間工学を考慮した学際的なアプローチを採用している。このアプローチは、モビリティ研究をはじめ、気候変動や都市成長といった多様な分野で展開されており、持続可能な開発目標（SDGs）にも密接に関連している。

デルフト工科大学には 8 つの学部があり、モビリティ関連では特に土木工学、機械工学、航空宇宙工学、建築学、技術政策管理学部が主導的な役割を果たしている。

(2)　XR 技術の活用

デルフト工科大学では、XR 技術を駆使して、歩行者や自転車利用者、自動車ドライバー、自動運転車などの交通主体間の相互作用等を研究している。

XR 技術を利用する主な利点は以下の 3 点に集約される。第一に、シミュレーション環境の制御可能性、第二に、生体データを含む高度なデータ収集が可能であること、第三に、実験の安全性がある。火災や洪水といった現実では危険なシナリオを安全に再現し、有効なデータを取得することができる。

デルフト工科大学での XR 技術の活用例として、次の 3 種類のシナリオが挙げられる。

- **仮説的なシナリオ**：特定の都市やインフラ計画を仮想空間で再現し、利用者の行動変化を分析。

例えば、自転車専用道路の拡張が利用者やドライバーに与える影響をシミュレーションし、その結果に基づいて政策の有効性を検証することが可能である。

- **未来型シナリオ**：自動運転車などの次世代交通技術を仮想的に導入し、利用者と車両の相互作用や社会的受容性を研究。例えば、自動運転車がどのようなインターフェースのデザインで歩行者とのコミュニケーションを図るべきかといった課題が研究されている。
- **緊急時のシナリオ**：避難行動や災害対応に焦点を当てた研究。火災や洪水といった状況で、避難経路の選択や誘導標識のデザインが行動効率にどのような影響を与えるかを分析することで、実用的な改善策を導き出している。

これらの研究は、実際のプロジェクトにも応用されている。例えば、車椅子利用者が都市空間でどのように交通をナビゲートするかを調査するプロジェクトでは、障害者の視点に立ったインフラ設計の改善が試みられている。また、自転車シミュレーターを用いたプロジェクトでは、自転車専用道路のデザイン変更が交通行動に与える影響が検討されている。



出典：デルフト大学

図 3.4.19　XR 技術の研究への活用事例

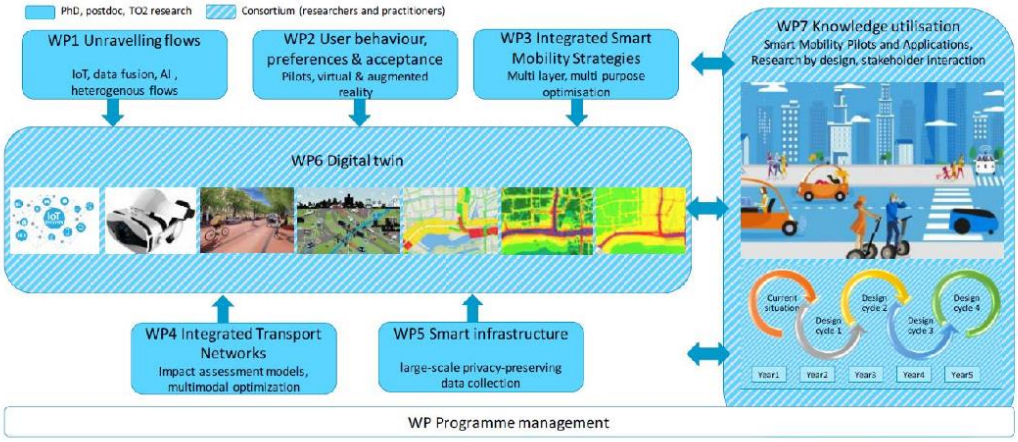
(3)　XCARCITY

オランダでは都市部の人口が増加しており、2030 年までに 100 万戸の住宅が新設される計画が進行中である一方、自家用車の増加による渋滞問題が深刻化している。こうした背景を受け、都市空間の最適利用を目指した革新的な取り組みが必要とされている。ブリュッセルでは「カーフリー・サンデー」が行われたが、こうした政策を評価する手法が求められている。

交通シミュレーションは、都市計画や交通政策の評価手法の 1 つとして広く利用されてきたが、従来のシミュレーション手法には以下のような課題が存在する。①過去のデータに依存しており、現状の交通状況や未来の変化を適切に反映できないこと、②シミュレーションモデルの生成や検証に時間がかかり、迅速な意思決定を支えるには非効率であること、③利害関係者や市民の意見を十分に反映できず、実際の社会的影響を過小評価する傾向。

このような課題に対し、デルフト工科大学はデジタルツインによるアプローチ「XCARCITY プロジェクト」を提案している。このプロジェクトは、デジタルツインを活用して自家用車の削減を目指す取り組みであり、作業パッケージには以下のような要素が含まれる。

- **交通管理の最適化**：センサー設置や交通データの収集により、効率的な交通流を実現する。
- **新しいモビリティコンセプトの試行**：カーシェアリングや公共交通機関の利用促進を含む、多様な移動手段の検討。
- **市民参加型の意思決定プロセス**：XR 技術を利用して市民と利害関係者に視覚的情報を提供し、政策の受容性を高める。
- **人間の意思決定を組み込んだ共同意思決定モジュール**：複数の利害関係者の意見を統合し、社会的影響を考慮した政策立案を支援する。



出典：デルフト大学

図 3.4.20　XCARCITY のアプローチ

(4)　自動運転車における人間工学

自動運転車が有望視される理由は、交通事故の削減、道路容量の改善、燃料消費の削減、時間損失の削減などが挙げられるが、しかし、快適性や社会受容性が向上しない限り、個人が自家用車を選択し続け、都市部の渋滞が悪化するリスクも存在する。

デルフト工科大学では自動運転車の快適性、受容性についても研究を進めており、特に①自動運転車における乗り物酔い、②安全性と信頼性の確保、③リモート操作に焦点を当てている。

乗り物酔いはユーザーが道路から目を離して、スマートフォンや書類に集中する際に発生しやすく、スムーズで予測可能な運転挙動となるような設計やインターフェース・車内環境の改良などを提言している。

安全性と信頼性の確保に関しては、技術的な安全性だけでなく、ユーザーが直感的に安全だと感じる設計（緊急時の制御移行、予測可能で直感的な運転挙動、車両のセンサー情報や意図をユーザーや他の道路利用者に伝えるインターフェース）を提言している。

リモート操作は、自動運転技術の新たな応用分野であるが、オペレーターが車両の物理的な挙動を感じ取れないため、操作性や安全性に課題がある。これに対し、オペレーターに車両の加速度や挙動を視覚的・聴覚的に伝えるようなインターフェースの開発や、リモート操作時のユーザー体験を改善するための研究が行われている。

3.5　オーストリア

3.5.1　Austriatech

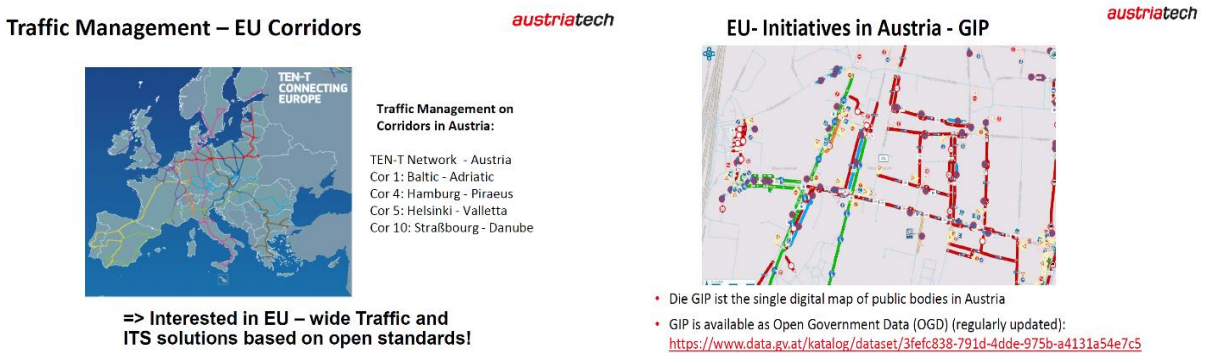
(1)　企業概要

オーストリア連邦政府 100%出資の非営利組織。気候行動・環境・エネルギー・モビリティ省の管轄下で運営され、主に交通技術分野のイノベーションの促進と実装支援に取り組む機関で、ITS 分野で国内外のステークホルダーと連携している。

(2)　主要な活動

a)　スマートモビリティ

情報通信技術（ICT）を活用して交通システムをより効率的かつ安全にすることを目指している。交通データのリアルタイム収集と分析、自動運転技術の研究開発、スマートインフラの構築などが含まれる。オーストリアを通過する車両の 95%はオーストリアのものではなく、EU 回廊の交通管理と ITS サービスの展開（交通情報、高速道路工事情報提供、スマホへのリアルタイム通知の導入）をしている。



出典：austriatech 資料

図 3.5.1　EU 回廊における交通管理（左）／交通データの標準化（右）

b)　持続可能な交通

環境負荷を最小限に抑えることを目指した取り組みであり、電動モビリティの普及、公共交通機関の強化、シェアリング・モビリティサービスの促進などを通じて、持続可能な交通システムの実現を目指している。

c)　交通安全

交通事故の減少を目指して、様々な安全対策を推進している。一例として、運転者支援システム（ADAS：Advanced Driver Assistance Systems）の開発や、交通安全教育プログラムの実施、道路インフラの改善検討を行っている。

d)　国際協力

欧州連合（EU）や国連などの国際機関と連携し、グローバルな交通課題に対処するための共同研究や技術交換を行っている。他国の最新の技術と知識を取り入れ、オーストリア国内のモビリティの革新に役立てている。また、トルコ、アゼルバイジャン、エジプトなどの他国の公的機関と定期的に協力しており、例えば交通安全分野の技術移転のために、Austiatech の専門家を 3 週間現地に派遣した後、各国の公的機関のスタッフが 2 カ月間に渡って、オーストリアで交通安全を学ぶ取り組みも行っている。

e)　**政策提言とアドバイザリー・公共調達支援（入札図書作成等）**

オーストリア政府や地方自治体に対して、モビリティと交通に関する政策提言や技術アドバイザリーを行っている。 また、ITS をはじめとして、最新技術を考慮した入札図書の作成を、政府や地方自治体だけで行うのは困難であり、場合によっては公共調達における入札図書作成や入札実施を担っている。

f)　**教育と啓発活動**

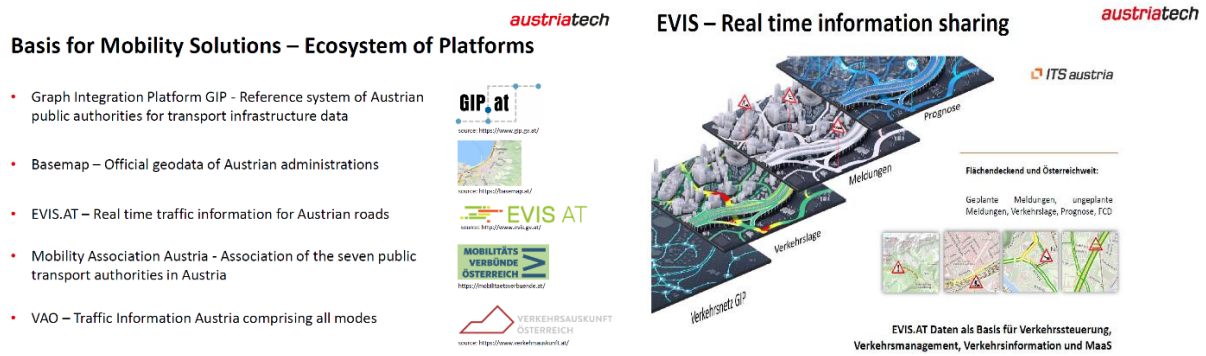
学校やコミュニティでの教育プログラムの実施、一般市民向けのワークショップやセミナーの開催を通じて、交通に関する教育や啓発活動を行っている。

(3)　**オーストリアにおける特徴的な取り組み**

a)　**オープンスタンダードによる道路交通関連情報の共有プラットフォーム**

オーストリアでは、関係機関が道路交通関連情報を共有すると共に、道路利用者に情報提供するための環境整備を進めている。GIP（Graph Integration Platform）と呼ばれる公的機関間での交通関連データの共有プラットフォームや、デジタル道路地図、EVIS（Echtzeit Verkehrsdaten der Straßen in Österreich）と呼ばれる ITS 関連機関間でのリアルタイムでの交通情報共有プラットフォーム等、20 年前から、オープンスタンダードによる道路交通関連情報のデジタル化や共有プラットフォームの構築に取り組んでいる。

欧州における交通情報とその提供に関する業界団体として、TISA（Travel Information Services Association : https://tisa.org/ ）があるが、具体的な標準的なデータメッセージ仕様を作っているわけでは無い。そのため、実際にデータ共有を行うための仕様づくりやプラットフォームをオーストリア主導で構築している。



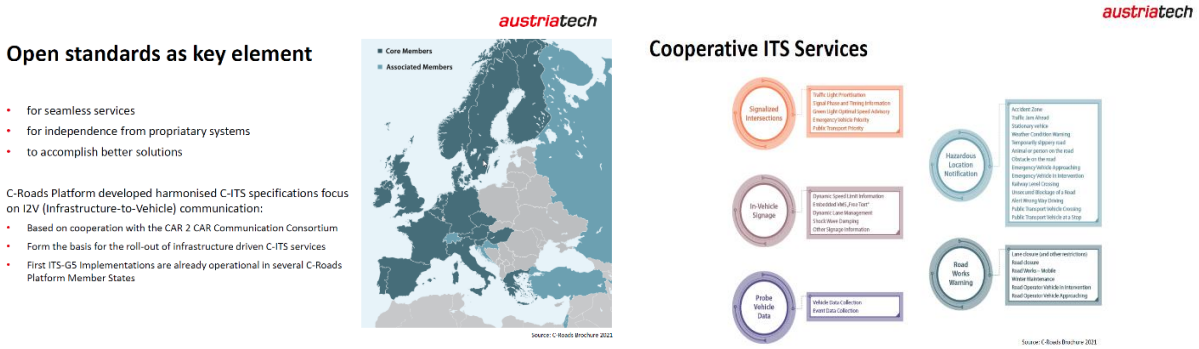
出典：austriatech 資料

図 3.5.2　リアルタイム交通データの共有プラットフォーム

b)　**欧州における C-ITS（協調 ITS）仕様の整合を図るための C-Roads の主導**

欧州において、C-ITS を実現するための多国間連携を図る、C-Roads プラットフォームを主導している。C-Roads はインフラと車両間での通信を行う I2V を軸として、インフラ主導での C-ITS サービスの展開を図るものである。C-Roads プラットフォームは EU に代わって Austriatech が運営しているものであり、スウェーデン、フィンランド、イタリア、ドイツ等の国・都市が C-Roads への参画メンバーとなっている。また、Volkswagen 社の約 160 万台の車両が欧州市場に出回っているが、それら全ても C-Roads の共通仕様に則っている。

また、欧州以外のメンバーもおり、トルコ、ロシア、オーストラリア、ニュージーランドも C-Roads のメンバーとなっている。



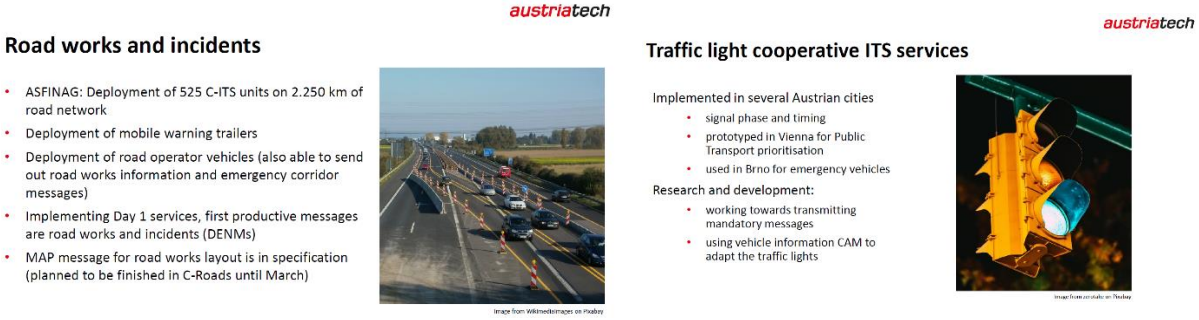
出典：austriatech 資料

図 3.5.3　C-ITS を実現するための C-Roads プラットフォーム

c)　C-Roads による路車協調インフラの整備

C-Roads によって整備された共通仕様に基づいて、I2V の社会実装が普及しつつある。公共交通機関や緊急車両の優先信号システムやグリーンウェーブが事例として挙げられる。チェコ共和国のブルノ市では、1 年半ほどかけて、市内のほぼ全域の交差点に V2X が導入され、全ての消防隊の車両にも V2X ユニットが搭載されている。これらの整備によって整備前と比べ、約 2 分半の現着時間の短縮が図られているとの事である。オーストリアのグラーツ市でも同様の取り組みを 2 路線で試験的に導入している。

また、路車協調インフラ（V2I2V）の整備によって、自動運転車の走行支援である ODD（Operational Design Domain）の拡大に寄与する事も意図されている。



出典：austriatech 資料

図 3.5.4　C-Roads による道路工事や突発事象情報の提供や交通信号連動の取り組み

3.5.2　ASFiNAG

(1)　企業概要

オーストリア政府が 100%出資する高速道路および主要幹線道路の管理・運営を担当する企業（株式会社）である。1997 年に設立され、公共交通インフラを維持し、道路の品質と安全を確保することを目的としている。

(2)　ASFiNAG における C-ITS の取り組み

路車協調インフラの全線整備

ASFiNAG において、道路上の工事に関わる交通事故が多く発生しており、出来るだけ早い段階で車両に対して道路工事情報を提供するため、移動式の VMS や車両搭載型の VMS を整備している。



出典：ASFiNAG 資料

図 3.5.5　道路工事に関連した交通事故と対策としての移動式 VMS や車両搭載型の VMS

さらに、工事規制情報を先読み情報として提供するために、3 つの主要 C-ITS 展開を図っている。

一つ目は、ITS-G5 準拠の I2V 路側設備の整備を進めており、総延長 2250km の道路網に 2025 年までに 525 台の C-ITS ユニットを設置予定（約 4 ㎞毎に 1 箇所)、二つ目は、移動式 VMS の整備による CCTV カメラでのモニタリング、レーダーを用いた所要時間推定等の実施、三つ目は、道路点検車両 100 台に C-ITS ユニットを搭載し、自動・手動トリガーにより、道路点検車両から I2V メッセージを C-ITS 搭載車両に送信・情報提供である。

これらの先読み情報の整備によって、Day1 サービス（2022 年開始）：道路工事警告、危険箇所通知に加えて、Day2 サービス（2024 年以降）：自動運転車両のガイダンス、プラトーン支援情報、集団認識サービスの導入（協調運転）を進めていく予定であり、さらに、C-ITS 搭載車両からリアルタイムデータを収集可能であることから、当該データの活用強化を進めているところである。



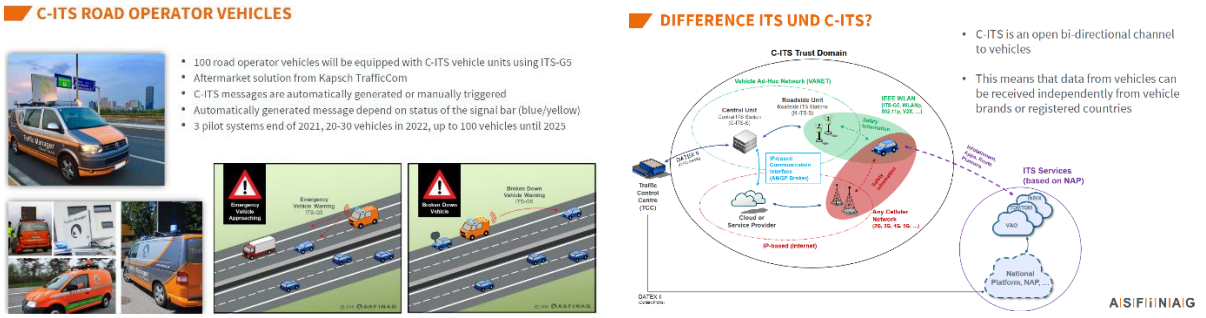
出典：ASFiNAG 資料

図 3.5.6　C-Roads による道路工事や突発事象情報の提供や交通信号連動の取り組み



出典：ASFiNAG 資料

図 3.5.7　C-Roads による道路工事や突発事象情報の提供や交通信号連動の取り組み



出典：ASFiNAG 資料

図 3.5.8　C-ITS 搭載車両による情報提供（左）／ハイブリッド型 C-ITS による相互運用性（右）

(3)　C-Roads／C-ITS に関する特徴的事項

車両搭載の進展と Euro-NCAP への展開

Volkswagen 社では、最近販売された車両では全車に C-ITS ユニット（ITS-G5 準拠の V2X 通信ユニット）が搭載されており、約 160 万台の車両が欧州市場に出回っている。

さらに、車両の安全性能を評価するための非営利団体である Euro-NCAP（European New Car Assessment Program）が定める車両の安全性能を評価する指標において、V2X 機能の搭載が評価指標の一つとなる予定であり、今後は Volkswagen 社だけでなく、欧州で販売される全ての車両において搭載が進展するものと考えられる。なお、Euro-NCAP での V2X は必ずしも直接通信の V2X だけでなく、間接通信の V2N も含まれている。



	Länder	Summe
Stand 02/2022	Österreich	16.916
Stand 07/2021	Deutschland	226.379
Stand 07/2021	Italien	30.448
Stand 07/2021	Schweiz	8.975
Stand 07/2021	Slowenien	2.544
Stand 07/2021	Tschechien	7.058

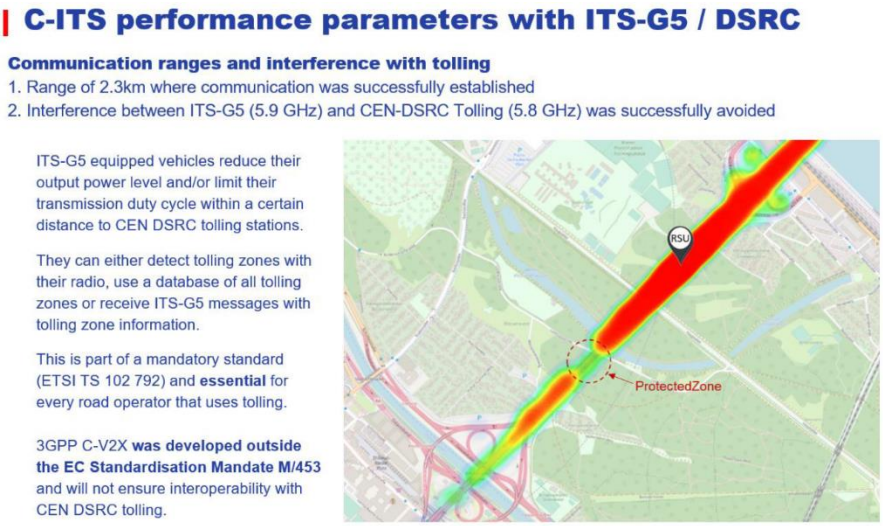
出典：ASFiNAG 資料

図 3.5.9　C-ITS 搭載車両と Euro-NCAP への展開

5.8GHz（CEN-DSRC）と 5.9GHz（V2X-DSRC（ITS-G5））の輻輳と対策

欧州における ETC で利用される周波数である 5.8GHz（CEN-DSRC）と、欧州における V2X で利用される周波数である 5.9GHz（ITS-G5）は、周波数帯は近似であるために通信輻輳が発生することが確認されている。つまり、5.8GHz による ETC 路側機の近傍では、5.9GHz による V2X 通信が行なう事が出来ないという事である。輻輳が発生すると ETC での料金収受が出来ない等の不具合が発生する可能性が高い。そのため、予め 5.8GHz（CEN-DSRC）路側機の整備箇所に関する情報を車両側に共有し、輻輳回避のために、5.9GHz（ITS-G5）搭載車両側で無線出力を抑えるようにするという対策を行っている。

なお、5.9GHz（ITS-G5）の仕様では本対策機能を標準化済みであるものの、3GPP で規格化している 5.9GHz（C-V2X）では本対策機能は考慮されていないため、5.8GHz（CEN-DSRC）と 5.9GHz（C-V2X）の相互運用性は担保されていない。



出典：ASFiNAG 資料

図 3.5.10　C-ITS 搭載車両と Euro-NCAP への展開

Euro-NCAP での実装を背景に、今後は USA-NCAP、Asean-NCAP、Japan-NCAP と各国・地域の NCAP でも V2X 機能が評価指標として取り込まれることとなると考えられ、途上国へも普及が進んでしまう可能性がある。一方で、米国・中国・欧州・日本を除いた国・地域では、C-ITS に用いる V2X の標準化はインドでの検討・議論がスタートしたところで、他の国々では未だ検討・議論が行われていない。近い将来において、V2X 機能を実装した車両が世界各国の市場で利用される可能性が高いことから、現時点から各国・地域での標準化の検討を進めることが不可欠と考えられる。

3.6　ドイツ

3.6.1　Yunex Traffic

(1)　会社概要

Yunex Traffic は、2021 年に Siemens の交通・ITS 部門から独立し、新たなブランドとして設立された。2022 年に、イタリアのインフラストラクチャグループである Mundys（旧称 Atlantia）が買収した。

(2)　製品・サービス

Yunex は、交通管理ソフトとして Yutraffic Studio、Yutraffic Concert、Yutraffic Symphony の 3 つを販売している。Yutraffic Studio は基本的な機能のみ入ったシステムで、Symphony は Concert に代わる次世代システムである。Studio は、交通量や環境条件の変化を検出し信号現示を変更する基本的な ATMS 機能に加え、Aimsun Live との統合や公共交通機関優先制御、排出量のモデリングおよび予測、CV との通信が含まれている。Symphony はより複雑な都市交通管理に重点を置いており、複数のオペレーター向けにカスタマイズが可能で、リアルタイムの渋滞やインシデント対応を行うことができる。

a)　**Yutraffic Symphony**

Yutraffic Symphony は 2023 年に高度な交通管理システムとして、Yutraffic Concert の後継品としてリリースされた製品であり、交差点信号の管理からマルチモーダルな交通運用、環境センサーの統合まで、幅広い機能を提供する、いわゆるアンブレラ・システムである。このシステムはすでに 240 以上の都市・機関で採用され、5 万以上のコントローラーが接続されている。柔軟な構成が特徴で、基本的な信号管理から複雑なモビリティ管理まで 1 本の製品の下で対応可能である。

<u>主な特徴と機能</u>

1. 包括的な統合プラットフォーム
   信号制御、交通管理、交通シミュレーション、公共交通機関モニタリング、駐車場管理、環境センサーモニタリング、VMS 制御、政策シミュレーション・管理など、多様なシステムを Traffic Management Platform として統合し、交通関連データや機能を一元的に管理できる。またサービスプロバイダー、交通管理者等が共通して使えるプラットフォームとなっているため操作者とその履歴が残り、役割分担が容易である。
2. マルチモーダル
   自転車、歩行者、公共交通機関、自動車など、複数の交通モードを管理し、交通管理者のニーズ（モード毎の優先順位設定等）に応じた AI による交通制御を実現する。
3. シミュレーション
   同じ Yunex の傘下である Aimsun が提供する Aimsun Live との連携により、交通流や環境への影響をリアルタイムで予測可能。将来の混雑を見越した適切な対応を取ることができる。
4. 幅広いプロトコルをカバー
   SCOOT、SCATS などの制御方式や OCIT、NTCIP 等の標準的なプロトコルに対応しており、プロトコルが対応している限りは他社製品や異なるシステムとの相互運用が可能。ベンダーロックが起きづらく、都市の信号システムが複数ある場合でも統合が比較的容易となる。なお、信号制御方式については後述の通り制約が存在する。
5. 環境管理機能
   空気質（AQ）センサーのデータや温室効果ガス排出データを活用し、モニタリングや可視化に加えて低排出ガスゾーンの管理や環境に配慮した交通管理の実現ができる。

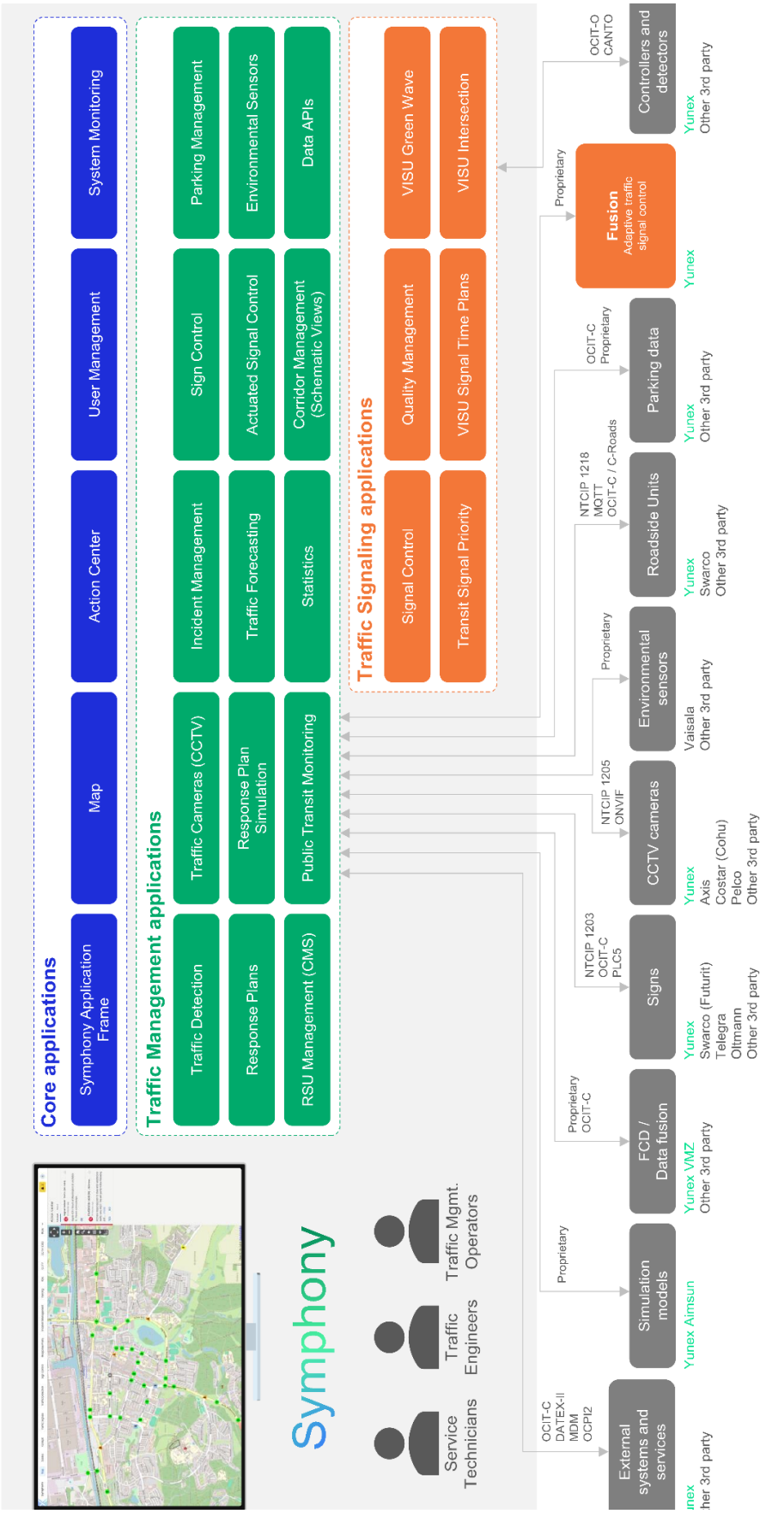
6. インターフェース
   マップベースのインターフェースにより、交通状況やシステムの稼働状況を一目で把握可能。アラートや通知機能もあり、即時対応ができるようになっている。

<u>システム構成</u>

Symphony は次のようなレイヤーで構成されている。下層から順に記述する：

1. フィールドデバイス層（図 3.6.1 最下部、グレー部分）：
   信号灯器、信号制御機、センサー、カメラ、RSU、VMS、プローブデータ等。また、Aimsun のシミュレーションモデルを組み込むことが可能。
2. 信号アプリ層（図 3.6.1 オレンジ部分）：
   いわゆる UTC（Urban Traffic Control）システムで、信号機を管理し、エリア全体の交通調整を行う。図中点線枠内の Traffic Signal applications にあるような Yunex の製品を、OCIT-O や CANTO などのプロトコルをもつ制御機と接続させることが可能。CANTO は、Yunex が SIEMENS の一部であったときに作成したリアルタイム性の高いプロトコルで、実質独自のものと思われる。または、Fusion と呼ばれる適応信号制御ソフトウェアを接続することも可能である。
3. 管理層（図 3.6.1 緑部分）：
   TMP（Traffic Management Platform）と呼ばれるもので、フィールドと信号アプリ層からのデータを収集し、可視化、モニタリング、機器管理機能を追加するものである。予測機能やデータ分析機能もこのレイヤーに含まれる。プローブデータ等の外部データを取り込むことも可能であり、渋滞やインシデントといった交通状況の把握に使ったり、Aimsun Live モデルと組み合わせることで戦略立案を行ったりすることが可能である。
4. コアアプリケーション層（図 3.6.1 青部分）：
   Symphony のユーザーインターフェース部分を担う。マップベースの可視化やアクションセンター、ユーザーおよびユーザーの権限管理、Symphony システムのモニタリングなどが含まれる。

従来の Yutraffic Concert システムはオンプレミス限定のシステムだったのに対し、Yutraffic Symphony ではオンプレミスまたはクラウドベースでの導入が可能となっている。また、プローブデータは TomTom、Here、INRIX 等を導入地域のデータ品質やカバレッジにより使い分けながら組み合わせている。



出典：Yunex Traffic

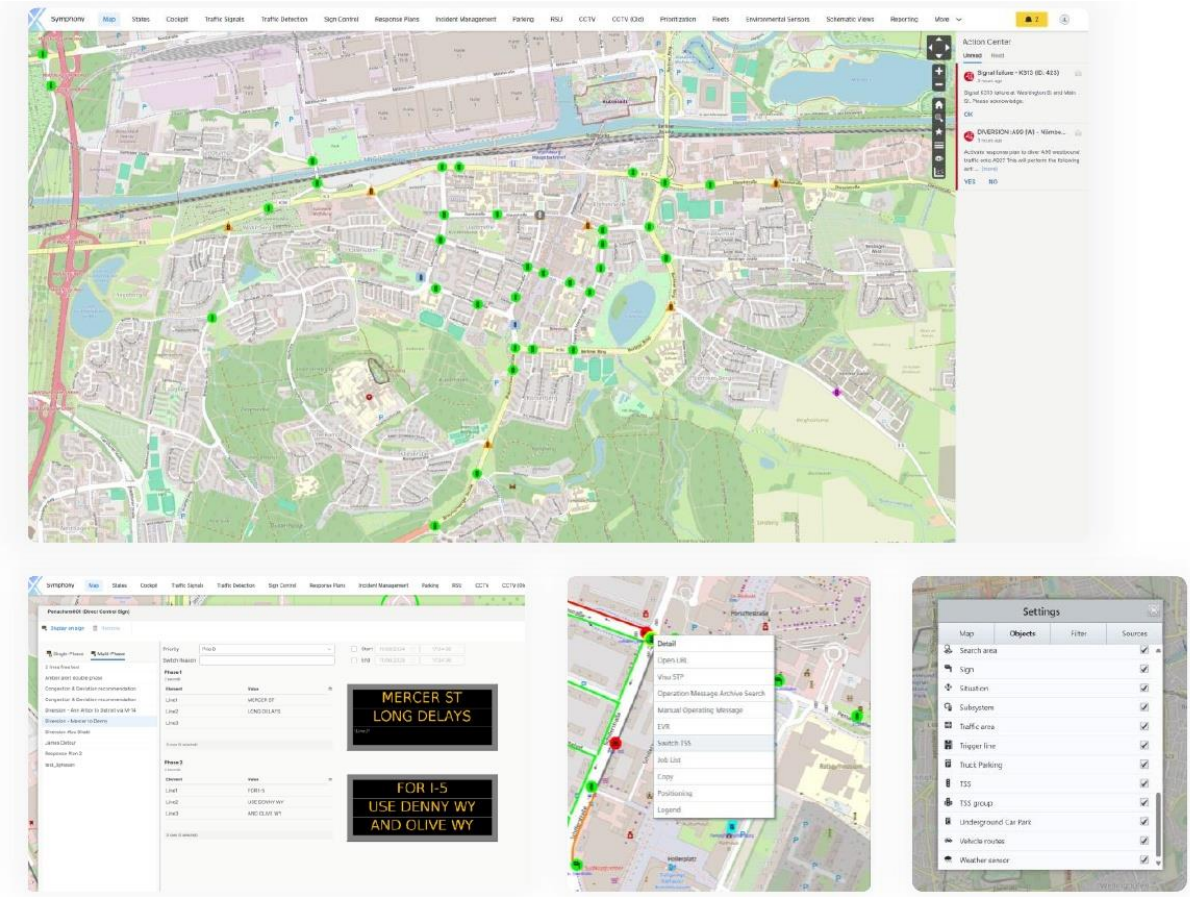
図 3.6.1　Symphony のレイヤーと対応プロトコル

表 3.6.1　Symphony のモジュールとその機能

モジュール名	機能
Symphony Application Frame	分かりやすいユーザーインターフェース
Map	フィルタやレイヤーを使用し情報を管理 アイコンから各種モジュールの操作ページへジャンプ
Action Center	エラー検出時の通知 画面遷移をすることなくエラー対応（介入）が可能
System Monitoring	システムの診断情報を 1 か所に集約。PTZ カメラを用いた自己診断を組むことも可能。
User Management	Keycloak によりログイン時の多要素認証をサポート
Traffic Detection	感知器のデータを収集、分析、可視化
Traffic Cameras (CCTV)	カメラ映像確認シーケンスのプリセット設定が可能
Incident Management	・建設・工事・大規模イベント等に合わせた交通管理計画を事前に設定し、イベントがアクティブになると自動的に実行可能。 • ダッシュボード、X（ツイッター）、旅行情報サイトなどの外部システムにインシデント情報を転送。管理者に対しては SMS や E メールでの通知も可能。
Sign Control	VMS の管理、特定のメッセージとトリガー条件、時間帯別制御の設定
Parking Management	駐車場管理、稼働率のエクスポート、VMS との通信
Response Plans	信号制御プラン／VMS／通行止め等の Response Plan の設定とトリガー条件（交通状況、移動時間、駐車占有率、空気の質、時間、デバイスの状態）の設定
Response Plan Simulation	Response Plan のシミュレーションおよび影響評価 シミュレーションは Aimsun Live を使用し、次の 1 時間の交通流や公共交通網への影響を、KPI を用いて評価する。KPI は交通管理者の戦略によってカスタマイズ可能。
Traffic Forecasting	
Actuated Signal Control	
Environmental Sensors	環境（温室効果ガス、空気質）センサー
Public Transit Monitoring	公共交通
RSU Management (CMS)	路側機器の管理が可能。また、インシデント情報を DENM[31]（分散型環境通報メッセージ）や IVI（車載情報）を用いて車両に配信可能。
Statistics	各種統計レポートの作成（PDF、CSV） 基本統計、駐車場の稼働率、品質レポート、短期交通レポート、長期トラフィックレポート、カスタムレポート
Corridor Management (Schematic Views)	細街路の車線（方向）・標識・バリア等の管理、サイトプランの作成（リバーシブルレーン等で使用）
Data APIs	TomTom、INRIX、Here 等のデータを API で取得
Signal Control	手動制御、各種信号機の制御設定

31 Decentralized Environmental Notification Message

モジュール名	機能
Quality Management	信号機の品質管理、パフォーマンス評価
VISU Green Wave	オフセット制御設定
VISU Signal Time Plans	複数のコントローラーについて依存関係や調整エラーを特定
VISU Intersection	信号の状態や運行情報を背景画像や地図上で可視化
Transit Signal Priority	信号機の優先制御設定（ハーリーコール設定）
Fusion	Symphony との組み合わせによる適応制御とマルチモーダル制御 ・歩行者、自転車、公共交通車両等、道路利用者グループに対する動的な優先順位付け（影響度、回復条件も設定可能） ・Symphony 上で Fusion のオペレーションを可視化し、制御性能を評価。 ・VISU Signal Time Plans によるリアルタイムの信号計画情報の可視化



出典：Yunex Traffic

図 3.6.2　Symphony の画面イメージ

b)　**Fusion**

Yunex は AI を活用したマルチモーダル適応制御システム「Fusion」を開発しており、前述の Symphony システムの傘下に加えることができるものである。Fusion はロンドン交通局 Transport for London (TfL)と共同で設計開発されたものである。現在も Yunex のエンジニアと TfL のエンジニアが協

力し、テストを通じてアジャイル開発が行われている。また、TfL 以外にも、サウサンプトン大学やロンドン大学と協力し、交通データやシステムの解析を行っている。これらの連携により、研究段階から実装段階まで幅広い範囲で意見を反映させることが可能となっている。

Fusion では、リアルタイムでの交通量や公共交通機関、自転車、歩行者の動きを統合的に管理し、優先順位を設定することができる。ロンドンをはじめ、ドバイ、アブダビなどの都市で導入され、交通流の改善や環境負荷の軽減に寄与している。



出典：Yunex Traffic

図 3.6.3　Yutraffic Fusion のイメージ

なお、SCATS は Fusion と接続可能だが、SCOOT は制御ロジックが違うため統合することができない。他の信号制御システムでも統合の可能性はあるが、統合の度合いによって難易度が異なるという。

(3)　導入事例

- ドイツ・ミュンヘン、Wiesbaden：環境センサーや Aimsun Live による予測モデルを活用し、交通流の最適化と空気質の改善を実現。
- ロンドン：フュージョンを導入し、複雑な都市交通を AI ベースで管理。公共交通機関への優先権付与や、混雑緩和策を効果的に実施。また、環境センサー（PM 2.5、PM10）を使ったロンドン市内における低排出ガスゾーンと超低排出ガスゾーンの導入も行っている。
- ドバイ：Fusion を導入。プローブデータとリアルタイムセンサーを統合し、効率的な交通管理を展開、大幅な交通改善が見られた。
- アブダビ：イギリスの標準に基づいた UTMC コントローラーと OCIT に基づいたコントローラーが両方存在していたが、Symphony を導入し、システムを統合している。

(4)　ビジネスモデル

Yunex は、地域ごとの特性に応じた柔軟な戦略を採用している。以下に、主要な国・地域別の活動内容を示す。香港では、香港支社が拠点として存在ししている。ドイツでは、2,000 人以上の従業員を擁する大規模な拠点があり、主要な開発・運用拠点として機能し、技術開発の中心地として、ヨーロッパ

全体のプロジェクトを牽引している。アメリカでは、戦略が他国と異なり、直接販売ではなくディストリビューターを通じた販売が中心となっている。ラテンアメリカでは、Yunex コロンビアと Yunex チリが存在するが、その他の国では代理店やパートナーを活用してプロジェクトを間接的に推進している。アラブ首長国連邦（UAE）では、全域でパートナーが活動を行っている。南アフリカでは、SIEMENS Mobility がローカルパートナーとして活動しており、機器の販売や導入を担当している。

(5)　入札、契約、O&M

Yunex の製品に関する契約について、ヒアリングによって得た内容を記述する。

a)　入札、KPI

ドバイのケースでは、QBS 形式の入札が行われており、価格点がつく場合でも 2〜3 割である。ドバイではインフラ設備はすべて既存のものを使うことになっている。

b)　契約

Aimsun Live のシステムはクラウドベース、Symphony のシステムはクラウドベースまたはオンプレミスであるが、オンプレミス環境での実装の場合、サーバーや PC の調達を含むパッケージ契約となっていることが多い。

プローブデータは発注者が購入・保有することも可能であるが、システムの品質確保のため、基本的には Yunex が調達し、パッケージ価格で販売する。顧客がすでにライセンスを持っている場合はそれを利用したり、データプロバイダーに関して顧客の希望があれば、それに従ったりすることもある。

また、1 回きりの料金支払いで、Fusion 等のシステムをテストコリドーに導入し、導入効果等に関する分析結果を得ることも可能である。なお、その場合は行政が過去の交通データ、データベースを提供する必要がある。

c)　O&M

通常は 3 年または 5 年契約で、その後 3 年間の延長オプションが付くことが多い。なお、追加の保証期間に発生する価格は一定とされているが、インフレ率に基づく調整も可能である。3 年間の追加オプションを取らなかった場合、再度保証を得ることはできない。取引先との信頼関係やシステムの安定性によってはを 30 年等の長期契約とする事例もあるようである。

メンテナンス契約では、顧客側の要件が定められる（SLA 契約）場合が多い。例えば、稼働率保証や応答時間などである。ドイツの場合は SLA 契約で、稼働率保証が 99%、クラウドホスティングで、99.5%のアップタイムを保証している。

メンテナンスでは、大きく分けて予防保全と是正処置があり、まだ故障はしていないが不具合のある道路信号機の電源やシステムに対しては、Yunex が契約範囲内で予防保全を行う。

信号機や制御機が故障（Yunex の製品不良ではなく、原因者もいない場合）し、それを再設置しなければならないような緊急事態の場合でも、同様に Yunex が再設置する。この場合、①すべてのインシデントが契約金額によってカバーされる場合、②インシデント数の上限を設定し、上限以降は追加契約となる場合、③すべてのインシデントが追加契約となる場合の 3 パターンがある。

原因者が存在するような事故（例：車が信号機に衝突し）では、日本と同じく機器の再設置や修理等は Yunex が行い、請求書は行政機関または原因者に対して発行される。基本的には、車の運転手の保険金で支払われる。

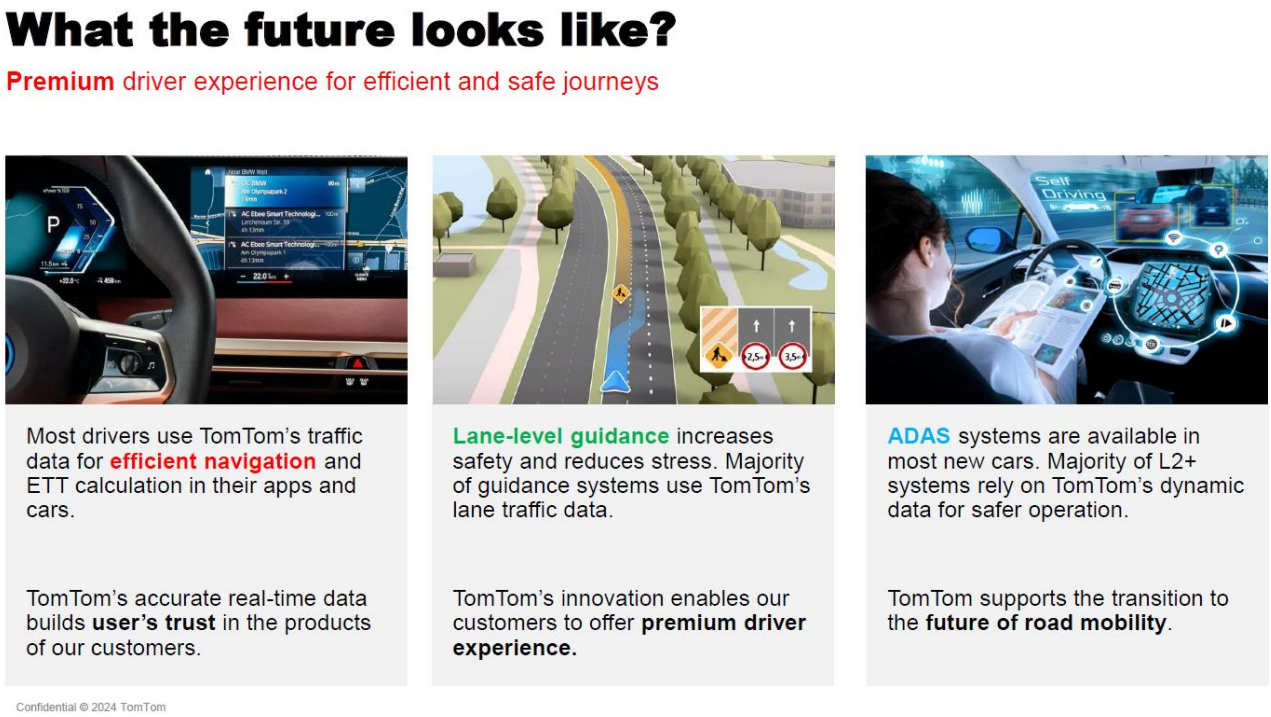
3.6.2　TomTom

(1)　将来ビジョン

TomTom は、MOVE を活用することで、需要変動への対応を包括的に行う構想を持っている。需要変化やインシデントへの対応策を提供するだけでなく、より広範な視点でネットワーク全体を制御することを目指している。具体的には、独自のナビゲーション機能と地図、プローブデータに基づいた移動データを一体的に使用することで、企業、政府、自動車産業を統合したエコシステムを構築し、相互にデータを活用しながら交通の最適化を行う狙いである。これにより、交通の流れを効率化し、需要を管理し、モーダルシフトやルート選択を促進することが可能になるとしている。

また、交通管制センター向けの機能を開発し、リアルタイムのデータ分析を基にした迅速な意思決定支援を提供する計画も有している。この計画は、データを活用して問題の特定やインシデントの発生状況を把握するだけでなく、即座に対応策を提案し、CO2 排出量の削減や騒音の抑制、渋滞の緩和、さらにはモーダルスプリットの変更をも視野に入れている。例えば、交通信号の調整やインフラ整備、料金設定といった手法を用いることで、需要の抑制や移動手段の分散を図り、渋滞や環境負荷を低減しつつ、より持続可能な交通管理を実現することを目指している。

最終的には TomTom が提供するナビゲーション機能とモニタリング機能を統合し、都市全体や広域交通ネットワークにおける循環システムを構築し、リアルタイムでの影響把握と改善を実現するというビジョンを持っている。これにより、MOVE 製品群が従来のデータ分析にとどまらず、より動的かつ効果的に交通管理を行うためのツールとして活用されることを目指している。



出典：TomTom

図 3.6.4　TomTom の将来ビジョン

(2)　**交通安全分野の取組**

交通安全に関しては、以下の 3 点に取り組んでいる。

- **「保険料設定」への応用**：クライアントである保険会社が、ドライバーのリスクプロファイルに基づいて保険料を設定することが可能。
- **「道路インフラ改善提案」への応用**：プローブデータを分析して危険箇所を特定し、政府が交通安全改善に投資できるような指針を提供する。
- **「自動運転分野」への応用**：自動運転機能や運転リスクの理解に役立つ新製品「behavior map」を開発している。この製品は、収集したプローブデータを基に人間の運転挙動を分析し、ADAS（先進運転支援システム）の開発に活用される。例えば、交差点やカーブ、高速出口、スピードバンプへの接近時の挙動をスムーズで快適なものにするために役立てる。

交通事故の検知は非常に複雑で、事故が発生した場所や状況によって、その影響範囲は大きく異なる。例えば、路肩で発生した小規模な事故では他車線の通行に大きな影響を与えないが、複数の車線が閉鎖される大規模な事故では、道路全体に渋滞が発生する。

警察の事故データや車両の挙動に基づいたデータ（車の流出・流入パターン）を用いて、事故や工事による交通パターンを学習するシステムを構築している。機械学習を活用し、事故や車線閉鎖のパターンを自動的に認識することを目指している。また、誤った報告が含まれる可能性のある利用者からの報告も、他のユーザーからの報告数に応じて信頼度を高めている。



出典：TomTom

図 3.6.5　TomTom Incidents 概要

(3)　データカバレッジと特徴

ドイツの自動車メーカーが提供する車載カーナビには、TomTom のナビゲーションと交通データが使用されていることが多い。ヨーロッパ全体での OEM 市場における TomTom のシェアは 80%に達し、Mercedes-Benz や Audi、Volkswagen グループ（ほとんどの車種）などが TomTom のデータを使用している。BMW も一部モデルで TomTom のデータを採用しているため、ドイツ車の多くの車載ナビゲーションは実質的に TomTom のデータを活用していると言える。北米でも同様に車載カーナビのマーケットシェアを 40%持っている。

さらに、TomTom は 84 市場で幅広いプローブデータセットを有しており、Google と比較しても多様なデータエコシステムを持っていると説明している。TomTom のプローブデータはアプリ、貨物車、TomTom のポータブルデバイス、車載カーナビ、iPhone など、さまざまなソースから得られており、Google の Android デバイス中心のデータとは異なる優位性を持っている。

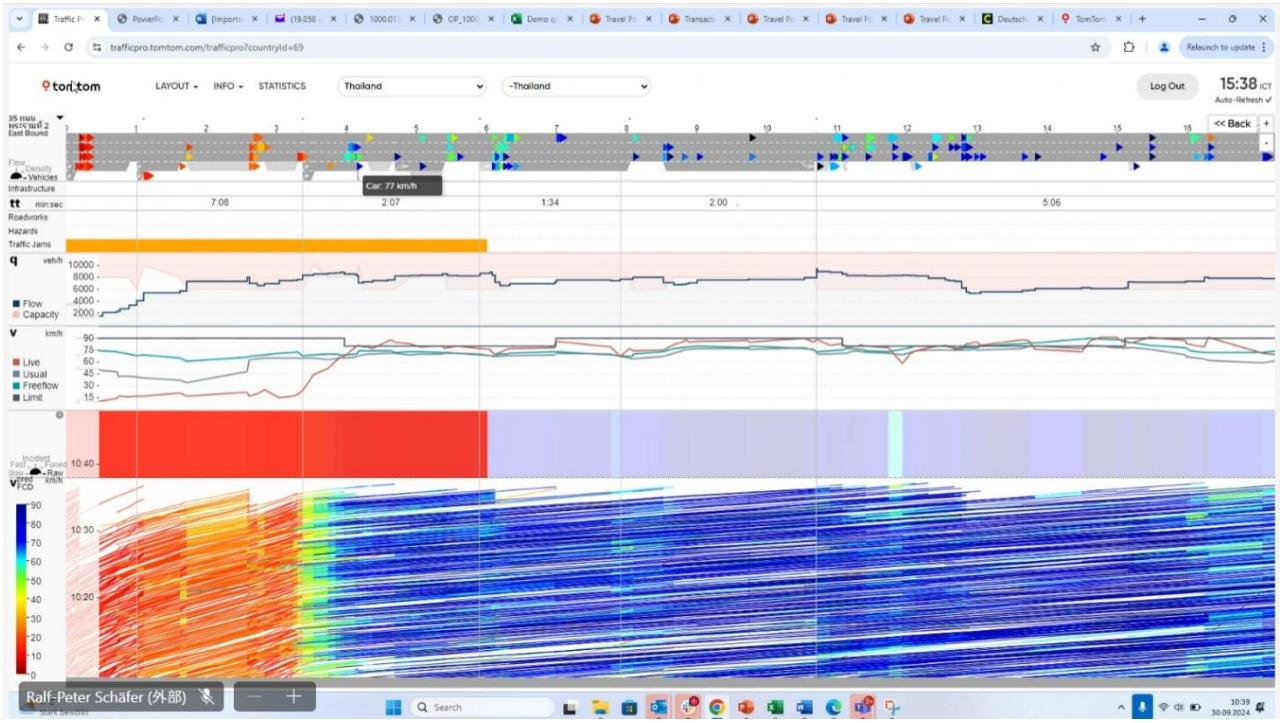
また、TomTom はカメラベースの SDO（sensor derived observations）技術（図 3.6.6）を利用し、リアルタイムで最大 1,600 種類の標識データを数分遅れで読み取ることができる。このデータと GPS や 60 センチメートル精度の高解像度プローブデータを組み合わせて、車線別の渋滞や事故などの情報（図 3.6.7）を取得している。

データ管理において TomTom は、GDPR（一般データ保護規則）を遵守し、個人の特定ができないようにデータの匿名化・集計処理を行っている。具体的には、データを保存する際に車やユーザーとのリンクを削除し、さらに人口密度の低い地域では移動開始地点や終了地点をカットしてプライバシー保護を徹底している。一部の自動車メーカーやプロジェクトからは、パーソナライズされたデータや利用者属性データへの需要があるが、GDPR に基づく利用者の同意が必要であり、管理が複雑になるため、個別のカスタムプロジェクトには対応していない。



出典：https://www.tomtom.com/newsroom/behind-the-map/where-is-the-tomtom-moma-car/

図 3.6.6　TomTom のカメラベース SDO 技術イメージ



出典：TomTom
注：TomTom 内部での解析・検証用データであり一般販売はしていない

図 3.6.7　TomTom のリアルタイム車線別速度データ（バックデータ）

(4)　途上国への関心

TomTom の製品は基本的にパートナーを通じて政府向けに提供しており、直接の政府販売はしていない。特に、アジアやラテンアメリカといった新興市場での拡大で重要となる現地パートナーを求めている。また、TomTom はバンコクにオフィスを構えているが、現地政府には現地パートナー経由でアプローチし、同様にラテンアメリカや中米でもパートナーを通じて政府機関にデータ提供を行っている。

さらに、TomTom は個別配送市場にも注力しており、特にスクーターや電動バイクの多い地域では、将来的に車種識別機能を導入してスクーターや二輪車にも対応したい。しかし、現在のデータ収集は主にトラックや乗用車に偏っており、スクーターや二輪車のデータは不足している。特にアジア市場では、スクーター市場の収益性が低く、ビジネスとして採算が合わないため、この分野への大規模投資は控えている状況である。市場の価格競争が激しく、政府からの十分な資金支援も期待できないため、現時点ではスクーター向けのデータ拡充は見送りとなっている。

また、グローバルなパートナー契約も重視しており、これによりパートナーは世界中で迅速に TomTom のデータを活用できる。この契約により、個々のプロジェクトごとに価格交渉やデータアクセス手続きを省略し、TomTom のグローバルデータを即時に利用できる。世銀、JICA、AFD といったドナーとの協業もぜひ議論していきたい。現在データを提供していない国・地域についても、TomTom のビジネスとして成り立つようであれば、プローブデータを入手し、スケーラビリティの高いエンジンを活かして展開を検討する。

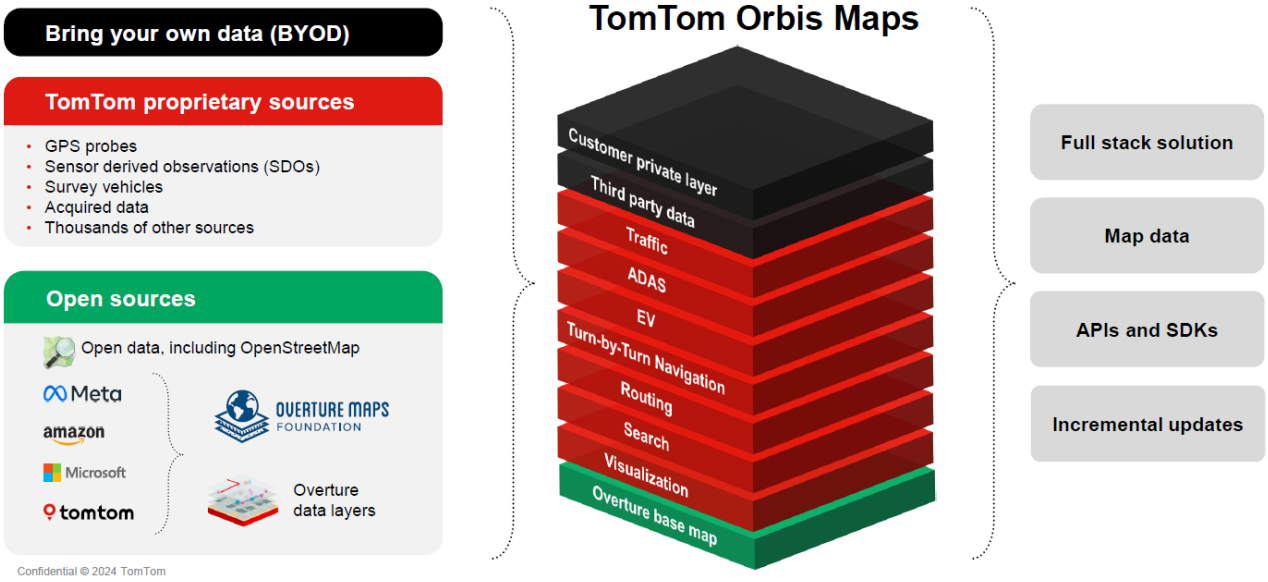
(5)　TomTom Orbis Maps

TomTom Orbis Maps は、Microsoft、Meta、Amazon と共同開発された次世代の地図プラットフォームで、235 以上の国と地域をカバーする豊富で正確な地図情報を提供する。Orbis Maps はオープンデータ（Overture Maps Foundation や OpenStreetMap）と TomTom 独自のデータを融合させ、信頼性と柔軟性の高い地図を構築できる点が特徴である。AI を活用した自動検出により、地図の更新は 15 分ごとに行われ、95%以上の自動化精度を実現している。この頻繁な更新により、交通情報、地点情報（POI）、ルーティングの精度が向上し、都市の変動や道路工事情報の反映が迅速に行われる。また、車線別渋滞、EV 対応の施設検索など、多様なサービスとデータを API や SDK を通じて提供し、企業のカスタムソリューション構築をサポートする。

Orbis Maps は、専用の地図データフォーマットを採用し、TomTom のオープンソース位置参照標準である OpenLR や OpenStreetMap の ID（OSM ID 規格）にも準拠しているため、企業は他のデータと容易に統合できる。開発者向けの API と SDK も充実しており、アプリや Web、組み込みデバイスでの地図利用を支援する。TomTom の開発ツールは多くのオープンソースツールと互換性があり、既存のツールを活用して地図のカスタマイズが可能である。Orbis Maps は HD Map(High-Definition Map)[32], ADAS Map (Advanced Driver Assistance Systems Map)[33], SD Map(Standard-Definition Map)を別物ではなく一緒に使える点も特徴である。

このプラットフォームは、企業が必要に応じて独自データをレイヤーとして統合することで、特定のビジネスニーズに対応したカスタムソリューションを構築できる柔軟な基盤を提供している。

オープンデータとオープンソースの交通管理プラットフォームの導入は、コスト削減や更新頻度の向上につながる。こうした共通基盤により、基礎的な情報を共有し、都市や企業が独自のレイヤーを追加することも可能となる。このアプローチにより、交通標識や車線分離、駐車場管理など、地域の特性に応じた交通管理が効率的に行える。また、都市交通のデジタル化が進むことで、自転車や歩行者などの移動手段も含めた交通管理が可能になると期待されている。



出典：TomTom

図 3.6.8　TomTom Orbis Maps の構成

32 自動運転、精密な車両ナビゲーションに使われる高解像度（サブメートル級）地図
33 運転支援システム（ADAS）、安全運転支援に使われる中解像度（メートル級）地図

(6) その他話題

- 近年、事故や工事を検知し経路変更を提案する技術が発展しているが、交通管理においては、自己最適化されたナビゲーション（例 : Google や Waze）の普及が、逆に渋滞を増大させる問題がある。主要道路の混雑回避のために迂回ルートとして低容量の側道に誘導されると、その道路に新たな渋滞が生まれるためである。こうした現象を防ぐには、ネットワーク全体を考慮した経路誘導が求められている。
- TomTom は大学との研究提携を積極的に行っている。ドイツのミュンヘン大学やオランダのユトレヒト大学、オーストラリアのニューサウスウェールズ大学（シドニー）と連携し、修士や博士課程の学生とオフィスで協働するなどして研究を支援している。また、南アフリカのステレンボッシュ大学とも共同プロジェクトを進行中で､特に機械学習分野での取り組みが強化されている。東京大学ともコンタクトがあるが、特にドイツやオランダ、シドニーの活動が活発である。
- シンガポールは最も進んだ事例とされ、限られた空間での交通需要を動的料金徴収や高額な駐車料金、税制によって管理する「需要管理」を実現している。これにより、車両数のコントロールや渋滞の抑制に成功しており、世界でも最大規模の交通管理予算を有する。この方法は、特に過密都市において渋滞を制御するために不可欠なアプローチであり、容量を超えた交通量を抑制するための手段として有効とされている。
- モスクワも高額な投資による先進的な交通制御を導入しており、すべての信号や移動手段（スクーター、タクシー、バスなど）がリアルタイムで交通管制センターに接続されている。モスクワのシステムでは、交通違反のリアルタイム検知や即時罰金システムを備えており、プローブデータを用いた交通量を把握する最も大規模なインフラを構築している。

3.7　イタリア

3.7.1　Roma Servizi per la Mobilità (Rome Mobility Service)

(1)　組織概要

Roma Servizi per la Mobilità（RSM）は、ローマ市の交通サービス全般を支援し、都市交通の持続可能性と効率性を向上させるための専門的な運営会社である。ローマ市の交通局の運営部門（Public Company）として、交通サービス全般を支援し、都市交通の持続可能性と効率性を向上させるための専門的な運営会社である。行政的な政策立案はローマ市が担当し、技術的・運営的な実質部分を担う。主な業務は、公共及び民間の交通に関する計画、設計、規制、監視を担当しており、ローマ市とのサービス契約に基づいて行われている。

(2)　ローマ市の交通課題と交通施策

RMS からヒアリングした都市の課題と交通施策は以下の通りである。

都市の交通課題

ローマ市は、人口約 280 万人に対して 250 万台の車両（180 万台の自家用車、40 万台の二輪車）が存在、多くの車両が路上駐車となっている。モードシェアは自家用車 50%、公共交通 22%、二輪車 10%、徒歩自転車 17%。公共交通の不足と道路交通安全が課題である。2025 年に宗教的行事 Jubilee があり、世界中から来訪者が訪れるため、その対応として 50 以上の交通プロジェクトが急ピッチで進行中である。

主な重要領域

1. 交通需要管理と ITS 支援（後述）
   - ・モビリティセンターの整備・運営によるアクセス管理
   - ・ANPR を用いた交通制限ゾーン（ZTL）での電子ゲートでの制御
2. 持続可能な交通計画（SUMP[34]）の策定と公共交通と自転車道の拡張
   - ・EU 規定で 10 万人以上の都市は、SUMP を立案する必要があり、ローマ市においても 10 年間での交通混雑と汚染を削減し持続可能な都市交通の実現を目的に策定され、公共交通と自動車道の拡張を進めている。（図 3.7.1 参照）
   - ・インフラ整備としては、4 つの新規トラム路線と地下鉄路線の拡張に 50 億ユーロを投資しており、2035 年までに鉄道やトラムのネットワークの拡充と都市間の連携を目指し 100－150 億ユーロの予算を検討している。
   - ・次世代交通の導入として、公共交通に電動バスとハイブリット車両の導入を進めており、2025 年以降はゼロエミッション車へ移行、新しい「グリーン・デポ」を設立し、電動バスと水素バスを利用。複雑な地形のため、丘陵地と市街地を結ぶロープウェイの導入を計画している。
   - ・800 以上のスマートバスシェルター（液晶電子タッチスクリーンでの情報提供）の整備計画（図 3.7.2 参照）
   - ・主要駅（Trastevere 駅及び Tiburtina 駅）のマルチトランスポートハブの整備により、鉄道、地下鉄、トラム、自転車道のネットワークを構築（図 3.7.3）、駅には Bike box を整備、マイクロモビリティ（3 社の EScooter と 2 社の Ebike のオペレーターと契約）

34 Sustainable Urban Mobility Plan であり、都市の持続可能なモビリティを実現するために、公共交通、自転車、歩行者、車両のバランスを最適化し、交通の効率性や環境負荷の低減を目指す、EU が推進する包括的な交通計画、近年アフリカを中心に EU が策定の支援を始めている。

・MaaS プラットフォームを開発し、民間事業者と連携し様々なサービスを展開

3. 資金調達と国際連携

・国家および EU プロジェクトの助成金を活用し、ローマ市の交通ネットワーク改善を支援。

・C40[35]や POLIS[36]などの国際組織と協力し、ベストプラクティスを共有。



出典：Roma Servizi per la Mobilità

図 3.7.1　Rome の承認された SUMP の概要



出典：Roma Servizi per la Mobilità

図 3.7.2　スマートバスシェルター

35 世界中の主要都市が気候変動対策を推進し、カーボンニュートラルを目指して協力する国際的な都市連携プラットフォーム。

36 ヨーロッパの都市や地域が持続可能な都市交通の課題に取り組むためのベストプラクティスや知識を共有するネットワーク



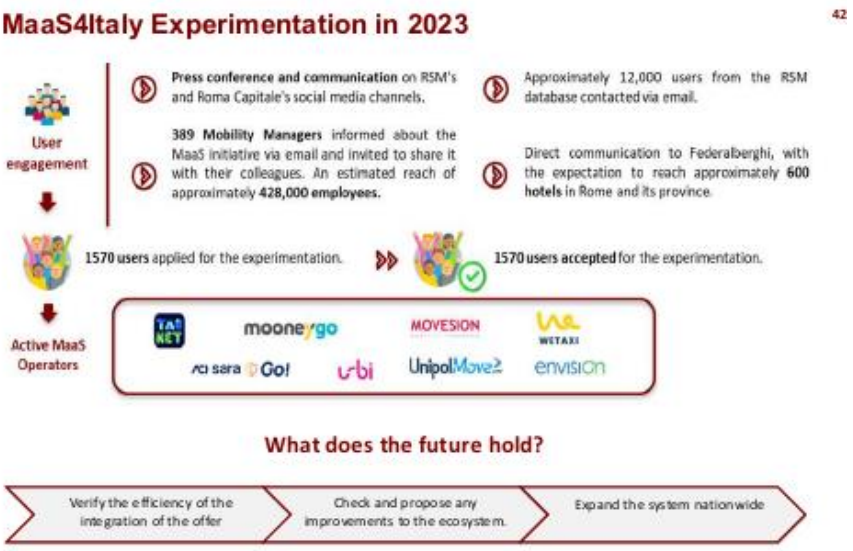
出典：Roma Servizi per la Mobilità

図 3.7.3　マルチトランスポートハブ



出典：Roma Servizi per la Mobilità

図 3.7.4　BikeBox とマイクロモビリティ



出典：Roma Servizi per la Mobilità

図 3.7.5　MaaS プラットフォーム

(3)　ローマ市の交通需要管理の概要

ローマ市の交通需要管理は、ゾーニングや ITS を駆使したアクセス制限と、インセンティブを活用した共有モビリティの促進を軸に進められている。交通需要を制御しながら環境負荷を軽減し、持続可能な都市交通の実現を目指している点が特徴的である。策定された SUMP に基づき、交通需要管理を通じて、自家用車依存の削減、公共交通・シェアモビリティの利用促進、交通渋滞と大気汚染の軽減、住民生活の質の向上を目指している。

ローマ市では、都市全域を 6 つのゾーンに分け、ゾーンごとに異なる交通制限を設けている。主要なゾーンは 1〜3 までであり、残りのゾーンは外周部や特定の地域に設定され、規制の強度が軽減されている。

これらは、ITS 技術が活用され、交通状況をリアルタイムで監視・管理されている。電子ゲートや信号制御システムを統合し、データに基づく柔軟な流入制限を実現している。市全域の VSM を用いてドライバーや住民の状況を提供している。

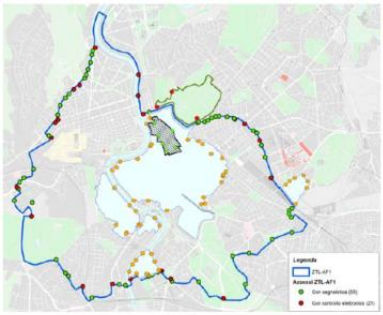
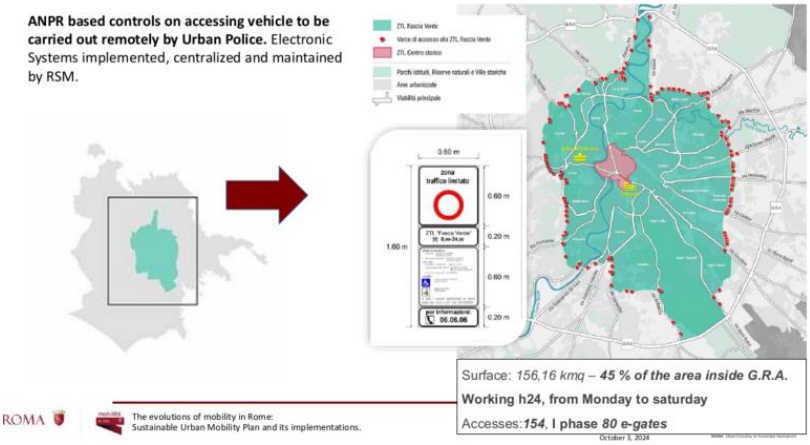


出典：Roma Servizi per la Mobilità

図 3.7.6　ローマ市の交通需要管理の 6 つのゾーン

以下にゾーン 1 から 3 までの概要と手法を示す。

表 3.7.1　各ゾーンの交通需要管理施策

<table>
<tr>
<td>ゾーン 1: 市中心部
（Historic Center LTZ）
• 低排出ゾーン（LTZ: Limited Traffic Zone）として最も厳しい制限が課されるエリア。
• 車両アクセスは許可制で、ANPR（自動ナンバープレート認識）による監視。
• 駐車や通行には特別な許可証が必要で、アクセス時間帯も制限されている。</td>
<td>Demand Management Policies
Zone 1: City Centre LTZs already fully controlled by electronic access control systems
Time-based, Permits given to selected categories decided by Municipal Council, subject to different annual fees.
ANPR based controls carried out remotely by Urban Police. Electronic Systems implemented, centralized and maintained by RSM.
 
 
LTZ Historic Center
Mon. to Fri. 6.30 am - 6 pm
Sat. 2 pm – 6 pm
Fri. & Sat. 11 pm – 3 am
LTZ Trastevere
Mon. to Fri. 6.30–10 am
Fri. & Sat. 9,30pm–3am
LTZ Villa Borghese
Mon. to Sun. 0 –24
LTZ San Lorenzo
From Wed. to Sat. 9.30 pm – 3 am
(May to July & September- October)
Fri. & Sat. 9,30pm–3am
(November – April)
LTZ Testaccio
Fri. & Sat. 9,30pm–3am</td>
</tr>
<tr>
<td>ゾーン 2: 鉄道環状線内
（Rail Ring）
• 中心部周辺の広域エリア。
• 一部車両（公害車両や大型車両）に対するアクセス制限。
• 現在 21 か所の電子ゲートでアクセス制限、今後 63 か所に拡大
• ANPR（自動ナンバープレート認識）による監視。
• 混雑料金やさらなる制限の導入が計画中。</td>
<td>Zone 2 – Rail Ring: towards an internal control system
 
LTZ VAM-Rail Ring:
63 electronic gates
Presently operating system
Time-based, Restriction for all vehicles with total length over 7,5 meter controlled on the 21 e-gates in the red dots. Daily or other temporary permits for tourist coaches (or special freight delivery) subject to charge.
Working h24, from Monday to saturday
New operating system
System completed by red & green dots (63 e-gates).
Tourist coaches and freight delivery remain subject to charge.
2025: ANPR based automatic check of Euro categories for all vehicles accessing the zone;
Pollution/Congestion scheme in next years</td>
</tr>
<tr>
<td>ゾーン 3: グリーンベルト
（Green Belt LEZ）
• 市郊外部で 2024 年末から段階的に稼働予定。80 か所の電子ゲートが設置。最終的には 154 か所のゲートの拡大予定。
• ANPR（自動ナンバープレート認識）による監視。
• 車両の欧州排出基準（Euro Categories）に基づき、アクセス制限を強化。
• MOVE-IN システム（走行距離制限）を導入し、環境負荷の高い車両の利用を減少させる。</td>
<td>Zone 3: Green Belt LEZ to be controlled by electronic access control systems
Operational from the end of 2024. Growing limitations for vehicles according to Euro categories
ANPR based controls on accessing vehicle to be carried out remotely by Urban Police. Electronic Systems implemented, centralized and maintained by RSM.
 
Surface: 156,16 kmq – 45 % of the area inside G.R.A.
Working h24, from Monday to saturday
Accesses:154, I phase 80 e-gates
ROMA
The evolutions of mobility in Rome:
Sustainable Urban Mobility Plan and its implementations.</td>
</tr>
</table>

出典：Roma Servizi per la Mobilità

併せて、古い車両の廃車を促進するため、共有モビリティや公共交通の利用を促進する補助金を提供する。MaaS の統合チケットなどを通じて公共交通への移行を促進している。
また、初期段階では、非準拠車両に対して限定的な無料許可証（例: 年間 30 回まで）を発行。 MOVE-IN システムを用いた距離制限で、より緩やかな移行を支援するとしている。

これらの運営主体は、Roma Servizi per la Mobilità（モビリティセンター）が実施し、電子ゲートやシステムの管理を担当、ANPR による車両データの記録と統合を行う。一方、都市警察は、違反車両の罰則志向や監視データの最終確認を実施する。

(4)　モビリティセンターの運営

モビリティセンターでは、以下の事項を実施し一元管理をしている。

リアルタイムの交通の監視、運営

- ローマ市全域のバスやシェアリングサービスの稼働状況を監視する。
- ルート毎のバス運行距離やスケジュール遵守状況を自動で追跡し、目標未達成の場合はオペレーターに罰金を適用する。
- 罰金適用はモビリティセンターが提案し、正式な執行は交通局が行う。

シェアリングサービスの管理：

- 自転車やスクーターのシェアリング業者に対する規制を実施する。
- 各ゾーンでの車両分散を義務付け、基準未達成の場合はペナルティや一時停止措置を科す。
- ある業者はゾーンの基準違反で 1 週間の運営停止処分の事例あり

モビリティセンターと警察の役割分担

- モビリティセンターは、システム管理とデータ提供を担当し、違反取締りは警察が実施。
- ANPR（自動ナンバープレート認識）システムにより、制限ゾーンのゲートで車両を監視。
- 警察がナンバープレートのエラーを修正して罰金を執行するが、システムは Web インターフェース経由で提供する。

信号管理と交通制御

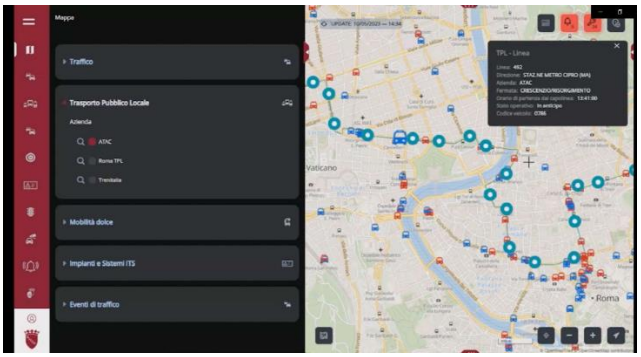
- メイン道路では、交通状況に応じて信号パラメータのプランが自動調整される。
- ローカル道路では、孤立制御の信号が多い。
- 信号のタイミングやプランはコントロールセンターから変更が可能。オペレーターは、必要に応じて交通信号や VMS を使い、リアルタイムで状況に対応する。



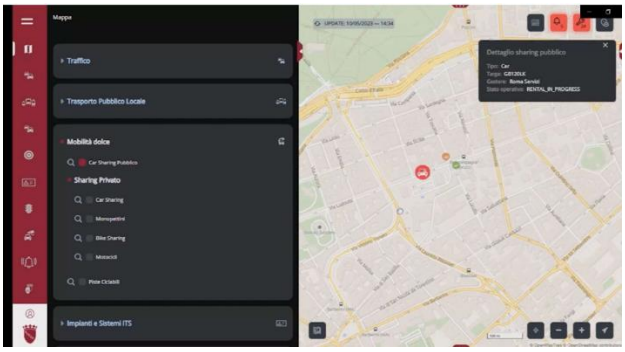
出典：調査団

図 3.7.7　ローマモビリティセンターのモニター

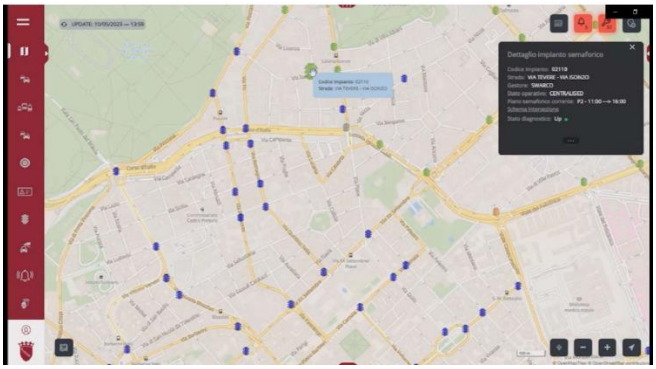
公共交通バスの運行管理監視



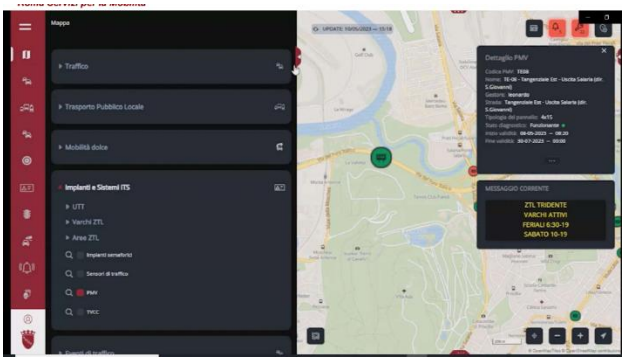
カーシェアリングの車両の管理



信号制御管理



VMS 管理



出典：Roma Servizi per la Mobilità

図 3.7.8　ローマモビリティセンターで実施している交通管理

なお、2024 年 10 月時点では、実装は確認できなかったが、PTVOptima を導入する予定になっている。

(5)　取り組みの途上国への展開の可能性

ジャカルタ、バンコク、マニラのアセアン大都市では、交通渋滞問題の解決策として、ロードプライシングが検討されているが、エリア課金として、データ基づく柔軟な流入制限の手法は参考になる。特に物理的バリアはなく、カメラやセンサーを使った非接触型のデジタル監視システムとしており、AI 画像解析が安価になっている中、比較的安価に整備できると考えらえるが、初期投資や維持管理体制の構築が必要である。ローマ市では、違反者の交通違反罰金、市の予算や国からの助成金、利用者からの混雑料金や商業車両・観光バスからの特別許可証の発行手数料からシステム維持費用に利用している。

また、モビリティセンターにおいて、交通状況のモニタリングだけでなく、公共交通及び民間事業者（シェアードサービス）の車両監視、交通需要管理、信号制御、VMS の管理まで一元管理しているのは、特筆すべきところであり、縦割りの行政の都市が多い途上国での交通管理と公共交通管理の一体化は、課題が多いが、参考になる事例である。

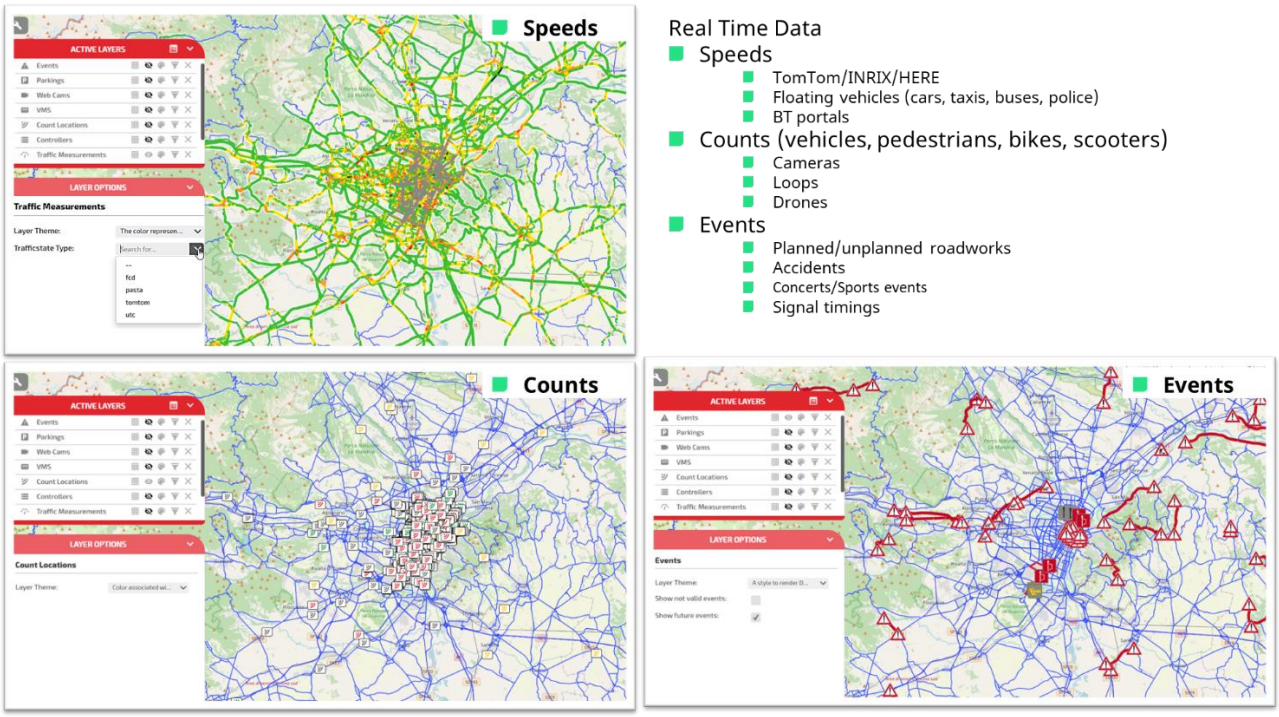
3.7.2　PTV

(1)　Optima システムの概要と目的

Optima は、過去のデータでキャリブレーションされた交通モデルをベースラインとして使用している。ベースラインのモデルは一般的に平日休日や季節ごとに作成し、そこにリアルタイムデータを組み合わせることでリアルタイムシミュレーションを実施し、現況分析と将来予測を行うことができる。シミュレーションでは、交通量、所要時間、渋滞長を推計・予測（15 分後から翌日まで）し、結果は 5 分ごとに自動更新される。シミュレーションは機械学習と交通工学理論を組み合わせて構築されている。シミュレーションに利用できるリアルタイムデータとしては、以下が挙げられる。

- **速度情報**：TomTom/INRIX/Here などのリンク速度情報
- **交通量**：CCTV、ループコイル
- **イベント**：道路工事、事故、雨・雪、スポーツイベント、信号タイミングなど

各入力データは情報源からのデータをそのまま利用するのではなく、外れ値の除外や、複数の情報源がある場合には信頼度に応じた加重平均などの処理をしている。



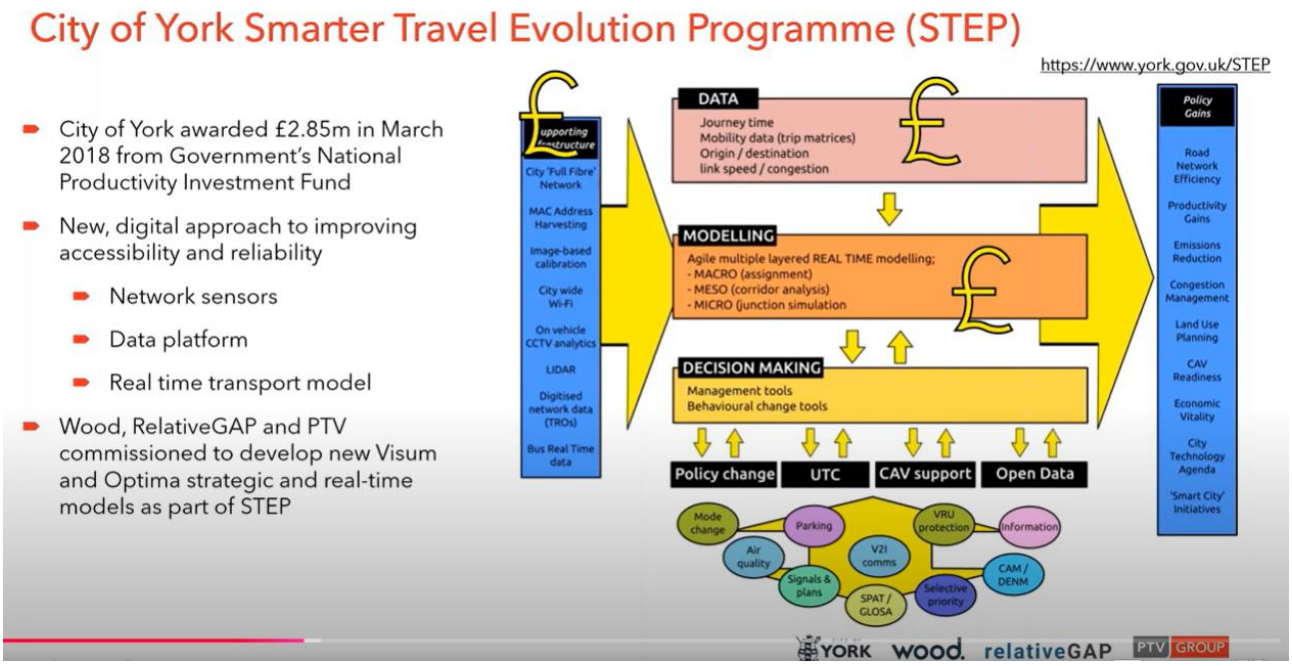
出典：PTV 資料をベースに調査団が整理

図 3.7.9　Optima のレイヤ表示（交通状況、交通量、イベント）

a)　ヨーク市の Optima モデル構築と活用方法

ヨーク市の STEP プロジェクトでは、まず戦略モデル（マクロモデル）を構築し、そのあとリアルタイムモデルを構築した。モデル構築には、道路ネットワークデータが必要となるが、4 段階モデルや社会経済データは必要ない（長期の需要予測用ツールではないため）。ネットワークデータには車線数・道路容量などの基本情報や、曜日時間帯ごとの速度制限情報が必要となる。このデータは OpenStreetMap をベースに PTV が編集することもあるし、TomTom のようなプロバイダーから入手することもある。ベースとなる OD データは、戦略モデルの OD を利用し、平日と休日の 2 種類で構築し

た。OD 表は戦略モデルのものを利用することが望ましいが、TomTom や INRIX の提供するものや、モバイルデータをベースにしたものも考えられる。一方、信号制御のデータを統合するため、全ての交差点を詳細にモデル化した。リアルタイムの台数データは 120 か所の路側センサーから取得している。オペレーターは Optima の予測を確認し、それに基づいて UTC システムを監視して信号パラメータの変更を行っている。



出典：PTV　https://www.youtube.com/watch?v=mM2c7vYCFfo

図 3.7.10　ヨーク市の STEP プロジェクト

b)　システムのメンテナンスとモデルの定期更新

Optima は、都市の交通状況に基づき年一回程度ベースモデルの更新を行う。ドバイのようなプロジェクトでは 6 ヶ月ごとに軽い更新が実施されることもある。年次更新により、道路構造や交通パターンの変化が反映され、モデルの精度が維持される。また、COVID-19 のような特異な状況が発生した場合、状況に応じて更新スケジュールを調整することもある。メンテナンス後には、必要に応じて利用者に再トレーニングが提供され、システムの新機能や改善点についての説明が行われる。これにより、オペレーターは常に最新の機能を活用し、効率的に交通管理を行うことが可能となる。

c)　シナリオ評価と信号計画の最適化

Optima はシナリオ評価機能を持ち、計画的な交通イベントや突発的な事象に対して最適な対策をシミュレーションすることが可能である。例えば、大規模な工事やコンサートなどのイベントがある場合、迂回ルートの検討や信号タイミングの変更が効果的かどうかを事前に確認できる。また、道路閉鎖が必要な場合には、曜日や時間帯を変更した場合の影響を予測し、最も影響の少ない選択肢を検討することが可能である。このようなシナリオ評価は、渋滞の伝播や信号プランの効果を視覚的に確認でき、都市交通管理において重要な意思決定支援となる。



出典：PTV 資料をベースに調査団が整理

図 3.7.11　Optima による通行止めシナリオ評価

d)　トレーニングとサポート体制

Optima は複雑なシステムであるため、オペレーター向けのトレーニングが不可欠である。壮大なアイデアがあっても、人的リソースが不足していることが多いためである。PTV では、システムの導入時やメンテナンス後にトレーニングを実施し、運用のサポートも提供している。トレーニング通常、初回のトレーニングに加え、オンラインでの操作支援や追加トレーニングを行い、オペレーターがシステムを十分に理解し、活用できるよう支援している。一般的に数週間から 1 か月程度、トレーナーとともに業務を行うことで、オペレーターが新しいツールや新機能の使用に慣れることができる。トレーニングは録画することも出来、それが役に立っているケースもある。

e)　開発途上国での適用について

開発途上国では、交通量を把握するための路側センサーが十分な数設置されていない。センサーの数よりも、特定の交差点や区間にセンサーを設置することがネットワークの状態を把握する上で重要であり、PTV ではセンサー設置推奨箇所を提案したこともある。具体的に途上国での導入を検討するのであれば、まずは PTV の各地域担当への相談が推奨される。

f)　データ管理とプライバシー

Optima はリアルタイムでの交通状況の分析と予測を行うため、システム上でのデータは当日内に削除される。これは、過去のデータよりも現在のデータに重きを置いて予測を行うためであり、ストレージを効率的に使用するためでもある。なお、機械学習を用いる場合は、過去数か月間のデータが機械学習の結果として残り、予測モデルの精度向上に役立てる。データのプライバシー保護にも配慮し、特に地域ごとの法規制に基づいてデータの保存やアクセスが制限されることがある。たとえば、中東の一部の国や中国ではデータを国外に持ち出せないため、クラウドではなくオンプレミスでの導入が行われる。

(2)　PTV Flows

Optima が交通工学に基づくネットワークレベルのシミュレーションを行うのに対し、Flows は TomTom のデータを使用して機械学習のみ基づきリンク速度予測を行う。Flows は継続的に入力される各リンクの速度データを用いて、数十分後の速度を予測する簡易的なものであるため、Optima と比較して迅速なセットアップが可能である。Flows は Web サービス形式で提供され、クライアント側でのインストールが不要であり、API を介して他システムとの連携が容易である。また、リアルタイムデータと 15 分前の 15 分後予測、30 分前の 30 分後予測を比較し、機械学習により予測を継続的に改善する。通常十分な予測精度を得るためには 2~3 か月程度の時間を要する。



European Cities

- York
- Vienna
- Erfurt
- Lublin
- Rome
- Strasbourg
- Hamburg
- Turin
- Catania



Worldwide Cities

- Dubai, UAE
- Doha, Qatar
- Abu Dhabi, UAE
- Taichung, Taiwan



European Projects

- Slovenia
- Hungary
- Germany
- Czech Republic
- Vienna region
- Paris region

出典：PTV 資料

図 3.7.12　Optima が導入された主要な都市・都市圏

3.8　スペイン

3.8.1　Celle30

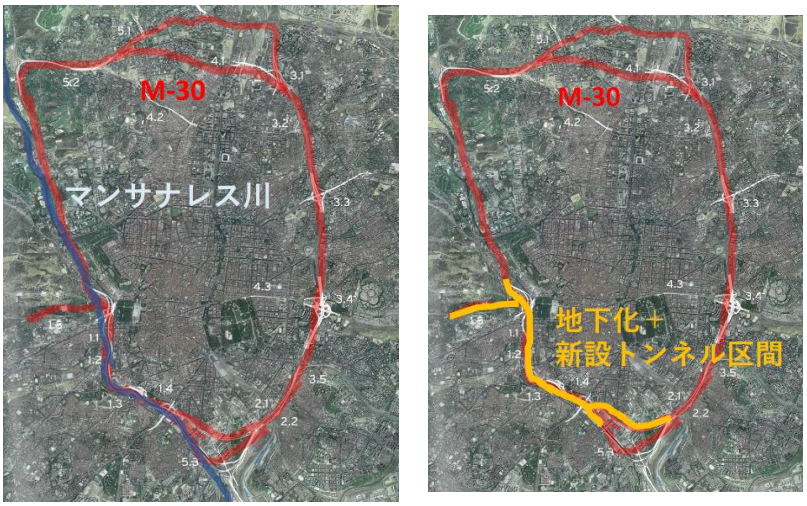
(1)　企業概要

Calle30 は、スペイン・マドリードの M-30 環状都市高速道路の整備と運営を行う公営企業である。

(2)　M-30 地下化事業

M-30 環状都市高速道路は 1960 年代から 1970 年代にかけて建設され、マドリードの急速な成長の交通需要の増加に対応してきたが、全長 48km の道路は殆どが高架構造やトンネル構造になっていないため、環状道路の内側と外側の交流を阻害し、交通渋滞を引き起こし、騒音・排気ガスなどの問題が取り沙汰されていた。

そのような中、2012 年の夏季オリンピック誘致も含めて、ガジャルドン市長（当時）の強いリーダーシップのもと、M30 の一部を地下化し、マンサナレス川沿いに緑地空間を再生することで、地域・人の接続性を高め、生活の質を向上する取り組みが進められている。



出典：調査団

図 3.8.1　M-30 地下化事業



出典：マドリード市における M-30 の地下化とそれに伴う都市空間整備に関する考察（東京大学・小松崎氏、第 23 回 IBS フェローシップ発表会）

図 3.8.2　M-30 地下化前後での地上部景観の比較

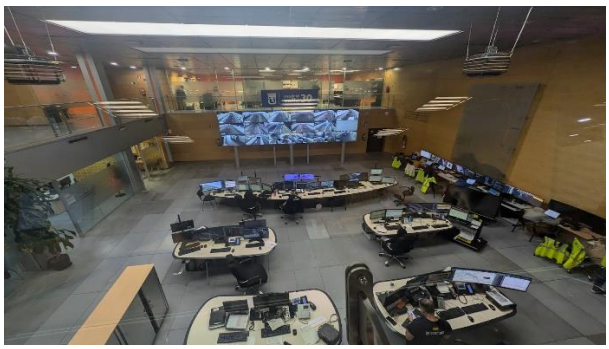
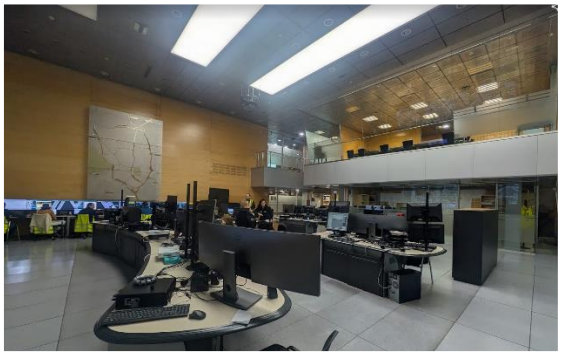
(3)　**M-30 モニタリングセンター**

地下化に伴って、道路管理レベルを向上させる必要があり、ITS の導入による 24 時間運用のモニタリングセンターを整備。（300 人の職員で運営）

300 ㎞にも及ぶ光ファイバー網や 2,000 台の CCTV カメラによる監視を実施。可変情報板による情報提供、音声アナウンスシステム等も導入している。

トンネル交通制御システムは 3 年前に刷新し、スペインの SICE (Sistema de Información y Control de la Energía）の SIDERA と呼ばれるシステムが導入された。

環状道路全体では約 50,000 件/年の突発事象が発生しているが、4 箇所の拠点から平均 6.5 分で現場に到着している。施設故障についても平均 15 分で対応が行われている。

出典：調査団

図 3.8.3　M-30 モニタリングセンター

3.8.2　Syntony

(1)　**企業概要**

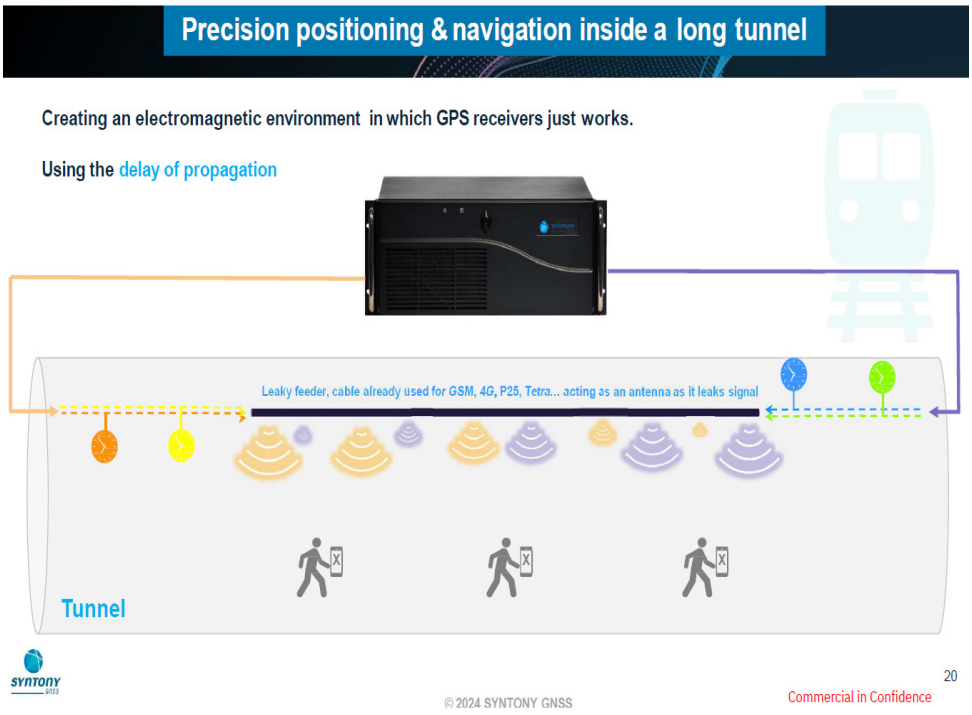
フランスのトゥールーズを本社とする測位ソリューション提供企業。フランス以外でも、米国・カナダ・スペインなどに直営事務所を有する他、各国に代理店を有する。（※日本は現在調整中）

(2)　**提供する製品・サービス**

トンネルや地下街等の GNSS 信号の受信が出来ない場所で、測位を可能とする Subwave と呼ばれるシステムを提供しており、①ストックホルム地下鉄、②モンブラントンネル、③マドリード MC30 トンネル（今回視察）、④Mälar Passage 道路トンネル（スウェーデン）、⑤Piedicastello 道路トンネル（イタリア）、⑥香港道路トンネルにおいて、正式導入・試験導入を実施。

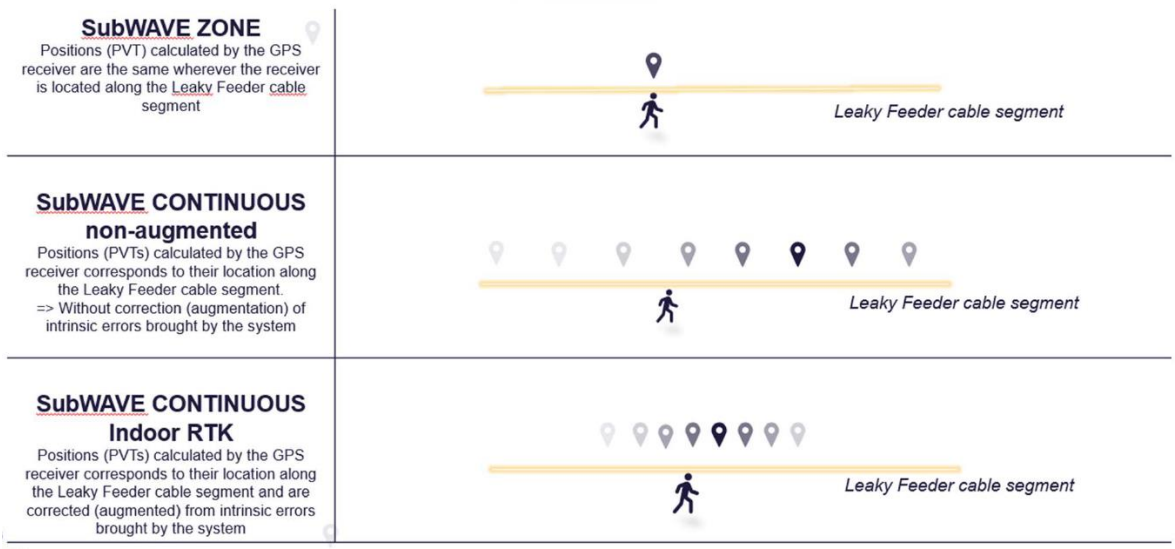
技術としては、リアルタイムに GNSS 信号をシミュレーションしながら、当該信号を 2 本の漏洩同軸ケーブルを用いてトンネル内に提供して、GNSS 測位を実現するものである。

マドリード MC30 トンネルでは、道路利用者への GNSS 測位環境の提供よりも、道路トンネルの維持管理や緊急車両の派遣・管理などの道路管理用途として採用されることとなっている。



出典：Syntony 社資料

図 3.8.4　Subwave による測位のイメージ図



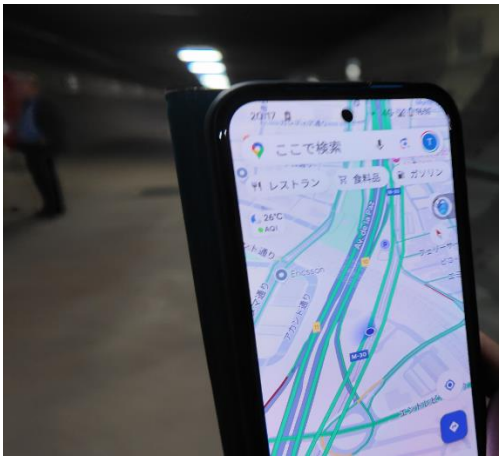
出典：Syntony 社資料

図 3.8.5　Subwave による測位情報提供の種類

実際に M-30 地下トンネル区間では、メンテナンス用トンネル内に試験的 Subwave が導入されており、トンネル内での測位を検証している。今回の視察において、車両での移動と徒歩でメンテナンス用トンネル内の移動を行ったが、一般的なスマートフォンの Google Map でもスマートフォンの位置を表示すると共に、移動に合わせて連続的に測位が可能であった。



車両内での測位状況・地図上での表示



徒歩移動時の測位状況・地図上での表示

出典：調査団

図 3.8.6　M-30 トンネル内での測位の状況

(3)　途上国への展開の可能性

途上国では整備コストの観点からトンネル構造での道路整備が、先進国に比べると少ないが、昨今では都市部での旺盛な交通需要に対応したバイパス整備など、地下トンネルの整備も行われている。

日本国内での過去事例でも明らかなように、トンネル内での交通事故・火災は重大化することも少なくないことから、突発的な事象の発生検知と正確な位置把握が不可欠である。また、道路利用者の円滑な避難・退避においても、非常口位置と個々の利用者の位置を踏まえた誘導が必要であり、トンネル内での位置測位は大きな課題となっている。

今後、途上国においてもトンネル構造の道路内や、高架構造の高架下などの GNSS 信号の受信が困難な場所における測位ニーズが高まるものと考えられる。その際、利用者側が特殊な機材を用意する必要が無く、スマートフォン等の既存の機器で測位環境を提供できる本技術の優位性は高いと考えられる。

なお、本技術は 2021 年に国土交通省関東地方整備局が公募した、「衛星受信不感区間における高精度測位技術公募」で採用・検証が行われた技術の一つでもある。



出典：国土交通省資料（https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000805243.pdf）

図 3.8.7　M-30 モニタリングセンター

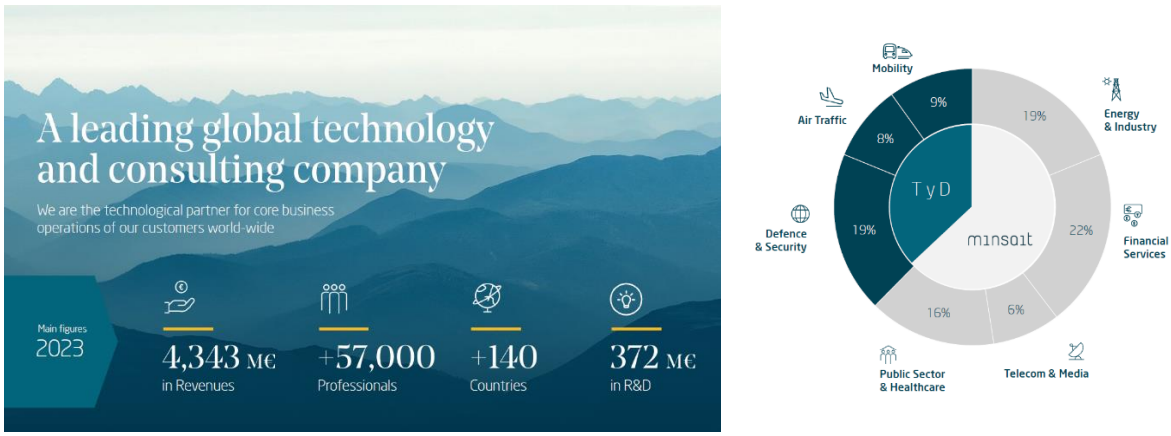
3.8.3　INDRA

(1)　組織概要

Indra Sistemas, S.A. (以下、Indra)は、スペインの Madrid に本社を置く、世界的なテクノロジーおよびコンサルティング企業である。1992 年に設立された Indra は、約 57,000 名の従業員を有して、140 カ国以上で事業を展開し、さまざまな業界に最先端のソリューションを提供している。

運輸部門においては、都市および都市間交通、鉄道、航空、海運、ロジスティクス向けの包括的なシステムを提供しており、昨今では、人工知能（AI）、ビッグデータ、モノのインターネット（IoT）などの先進技術を活用し、顧客のニーズに合わせた革新的なソリューションを提供している。Indra 社全体の売上は約 7,000 億円（2023 年）で、そのうち Mobility 部門の占める割合が 9%（約 630 億円）となっている。

なお、フィリピン・MMDA（Metropolitan Manila Development Authority：メトロマニラ首都圏開発局）に交通信号システムを納入した企業でもあるが、現在は交通信号システム事業から撤退したとのことである。

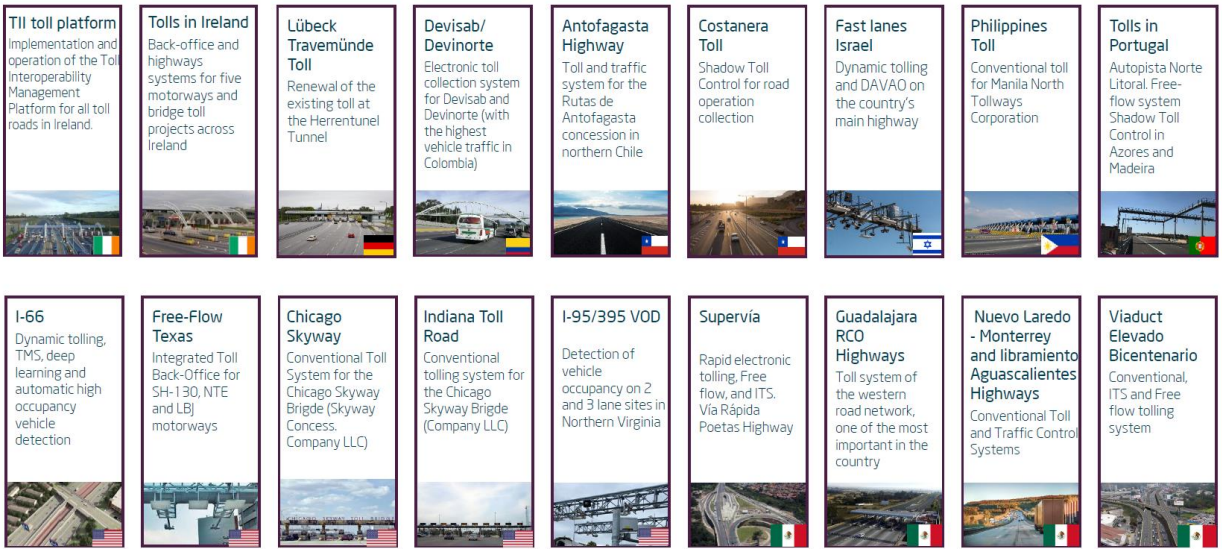


出典：Indra 社資料

図 3.8.8　Indra 社の従業員数や売上など（左）と売上に占める各分野の割合（右）

(2)　提供する製品・サービス

Indra 社における Mobility 部門では、道路交通だけでなく、鉄道・地下鉄・空港・港湾などの多様な Mobility 部門のプロジェクトに取り組んでいる。特に、道路交通分野では、DSRC や GNSS による料金収受システム、HOT(High Occupancy Toll) Lanes ／ Express Lanes システムなどの料金収受系のソリューションに加えて、V2X を含む協調 ITS にも積極的に取り組んでいるところである。

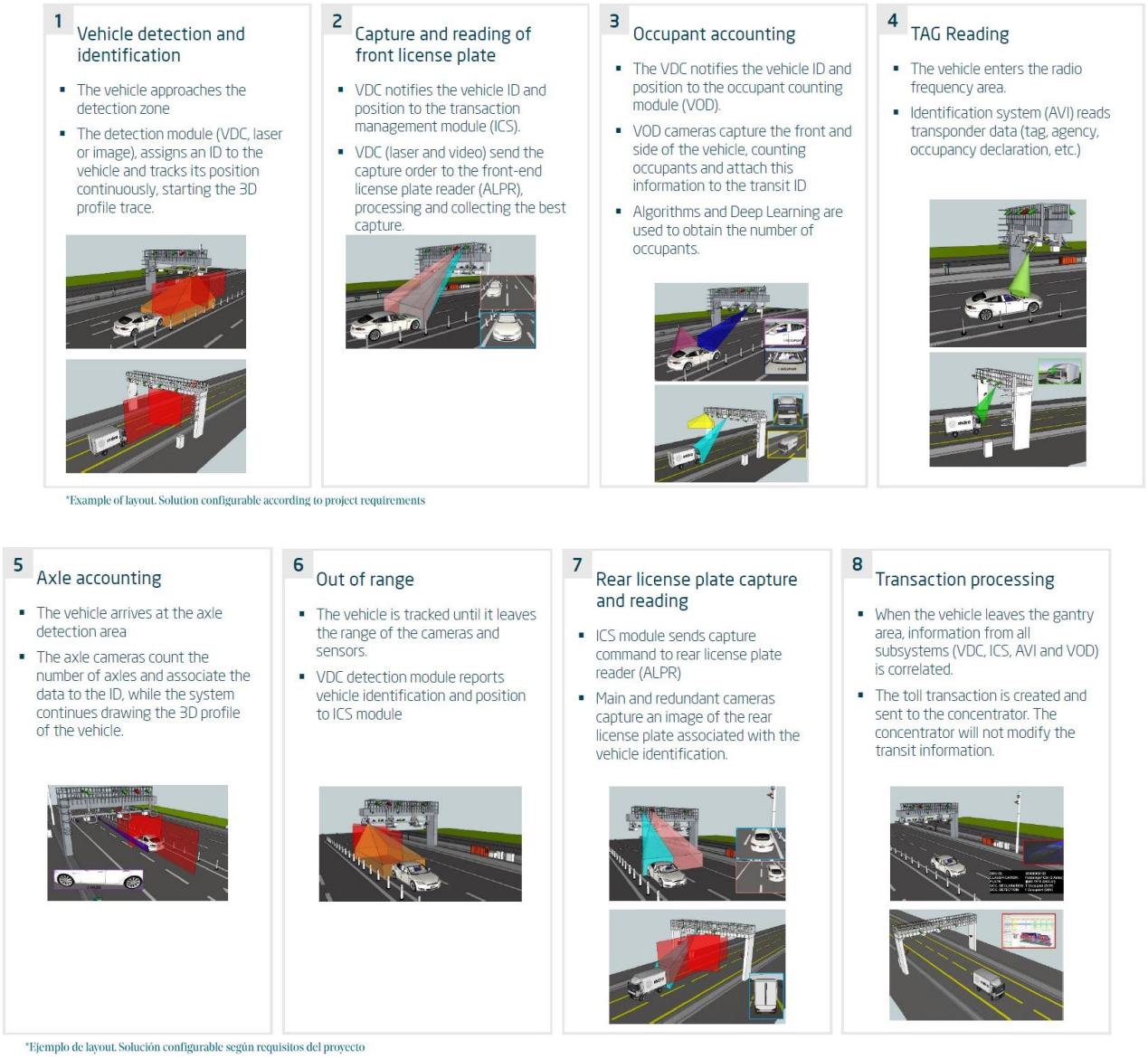


出典：Indra 資料

図 3.8.9　世界各国における Indra 社の料金収受プロジェクトの例（一部）

a)　Free Flow 料金収受

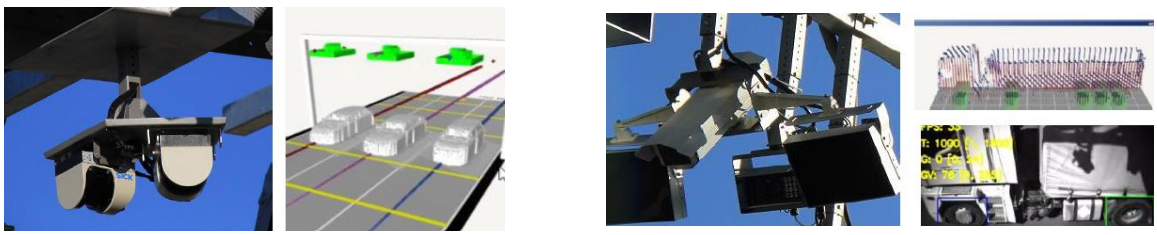
Indra 社の Free Flow 料金収受システムは、トールバリア方式ではなく、マルチレーンフリーフロー（MLFF : Multi Lane Free Flow）によって、交通流を阻害することなく電子料金収受を可能にし、道路交通容量を最適化するものとしている。欧州連合の電子料金徴収システムの相互運用性イニシアティブである欧州電子料金徴収サービス（EETS）へ準拠するものである。



出典：Indra 資料

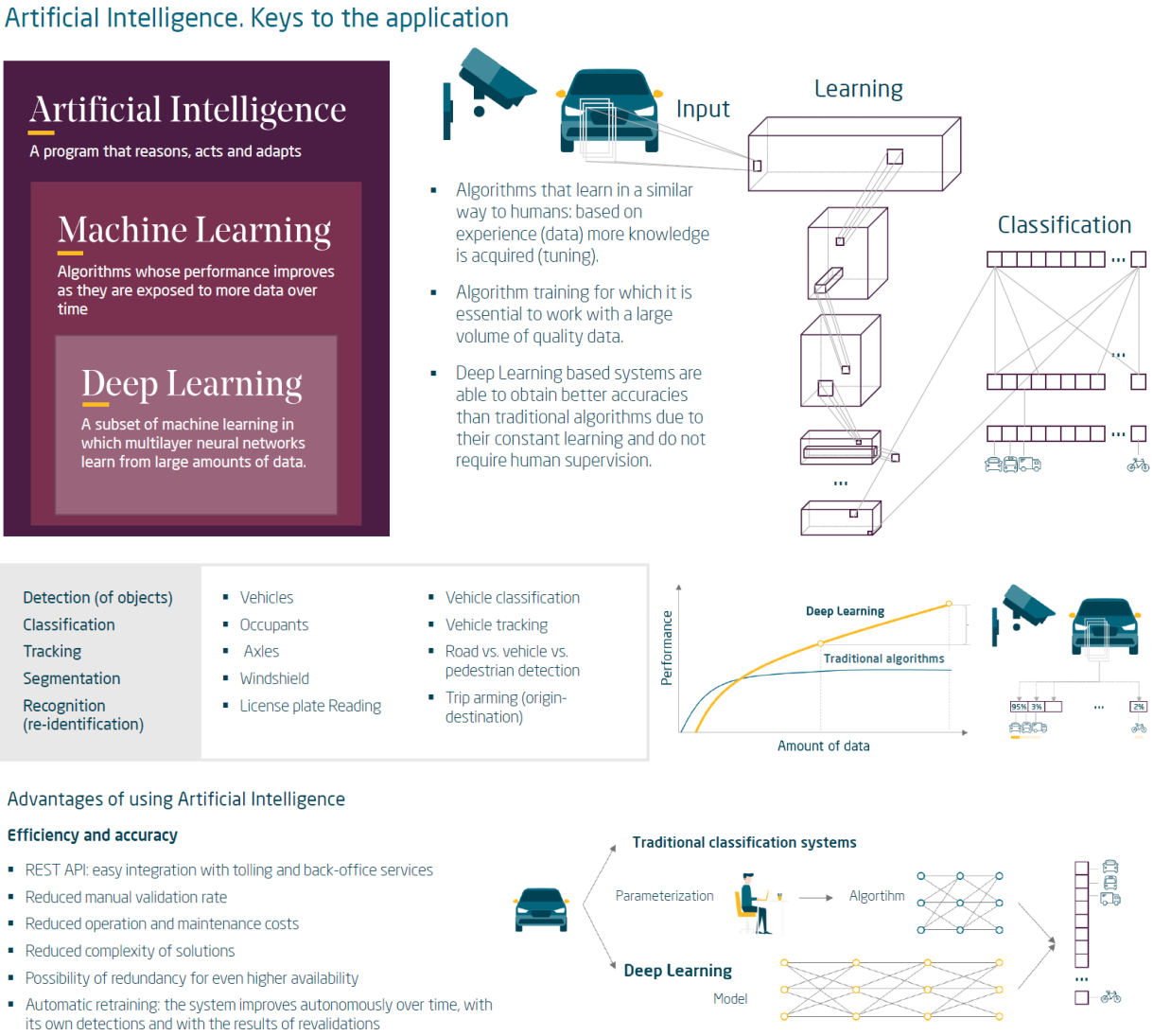
図 3.8.10　Free Flow 料金収受のプロセス

MLFF による Free Flow 料金収受においては、様々な車両検知技術を活用しており、LiDAR や画像解析、車軸計測などを行っている。特に、AI 技術を活用した画像解析には積極的に取り組んでいるとのことである。



出典：Indra 資料

図 3.8.11　LiDAR や画像解析による車両検知／車軸検知の例



出典：Indra 資料

図 3.8.12　AI 技術を活用した画像解析による車両検知・ナンバープレート読取など

b)　車線管理システム（HOT レーン運用）

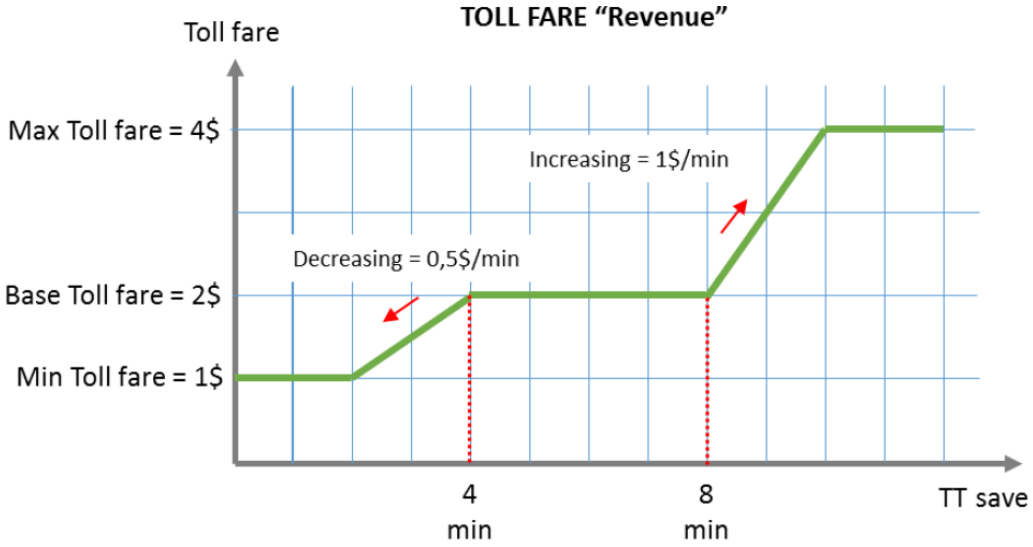
米国 FHWA では、HOV Lanes や HOT Lanes などを交通状況に応じて需要管理を行う Managed Lanes として位置づけており、Indra では Managed Lanes システムとして、HOT (High Occupancy Toll) Lanes システムの導入を各所で行っている。

Managed Lanes では、最低平均速度を確保するため、ダイナミックに通行料金を変化させることにより、交通需要管理を行っている。Indra では各種センサーにより交通量・旅行速度をリアルタイムに把握し、料金表を計算するモジュールをはじめ、取締りの仕組みなど、包括的な Managed Lanes システムの供給を行っている。一例として、図 3.8.14 に HOV／HOT でのダイナミック課金の考え方の例を示すが、この例では最低料金を 1 ドル、基本料金を 2 ドル、最大料金を 4 ドルと設定。一般レーンに比べて HOV／HOT Lanes を利用した場合での旅行時間の削減効果が 4 分以下の場合は、料金を基本料金から 1 分当たり 0.5 ドル安く設定し、一方で、8 分以上の削減効果が期待される場合は、基本料金から 1 分当たり 1 ドル高く設定するといったような料金設定を行っている。



出典：Indra 資料

図 3.8.13　一般車線から HOV／HOT Lanes：車線管理の発展段階



出典：Indra 資料

図 3.8.14　HOV／HOT でのダイナミック課金の考え方の例



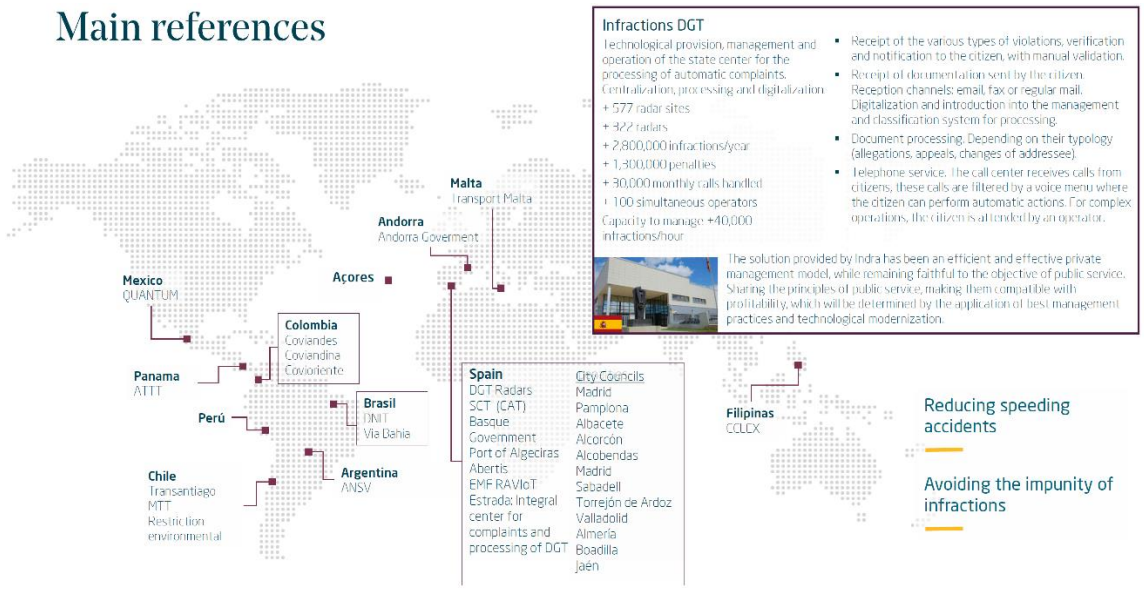
出典：Indra 資料

図 3.8.15　HOV／HOT Lane での取締り技術例（左）と HOV／HOT でのダイナミック課金（右）

c)　**違反取締り支援システム（ Infractions Management System ）**

速度違反や信号無視などの違反取締り支援を行うシステムの開発・導入・運用を行っている。

スペインでは、交通警察の交通違反取締りのバックオフィスの運用を担っており、直接的な違反者確保や裁判所への出廷などを除き、違反者の検出からはじまって必要な手続きのための書類作成まで、間接的に実施する運用部分のすべて違反取締り支援システムで担っているとの事である。



出典：Indra 資料

図 3.8.16　違反取締り支援システムの導入都市例

d)　**交通管理・施設管理システム**

車両検知器や CCTV カメラによって、道路における交通状況などを監視する交通管理システムや、CCTV カメラや道路情報板などの ITS 関連設備の動作状況の監視をする施設管理システムなどの納入も行っている。これらの管理システムは必ずしも自社製品のみならず、SIer として各国各社の製品を使ってソリューションを提供することも行っている。また、既存設備についても、国際標準や業界標準に準拠した相互運用性を確保されているものであれば、取り込むことが可能。



出典：Indra 資料

図 3.8.17　施設管理システムの HMI 例（左）／交通管理システムの HMI 例（右）

e)　**コネクティッドビークル（C-ITS、V2X）**

C-ITS および要素技術である V2X について、米国・欧州の両地域で取り組んでいるとのことである。米国については、現段階での米国標準である IEEE802.11p 由来の 5.9GHz-DSRC である WAVE に準拠するとともに、C-V2X や 5G（いわゆる V2N）にも取り組んでいるとの事である。また、欧州について、IEEE802.11p 由来の 5.9GHz-DSRC である ITS-G5 に準拠している。

具体的な実証実験・導入プロジェクトにも取り組んでおり、米国では Virginia 州の I-66 における C-V2X を用いた路車協調実証実験に参画している。欧州はすでに ITS-G5 を主流とした社会実装フェーズであり、Madrid での導入プロジェクトについては、いずれも ITS-G5 を用いた路車協調環境整備を行っている。また、V2X については、車両から直接的に車両関連情報を収集可能な、新たな情報収集インフラとしての利用も想定して、Digital Twin 実現のための革新的な技術としての検討も行っている。

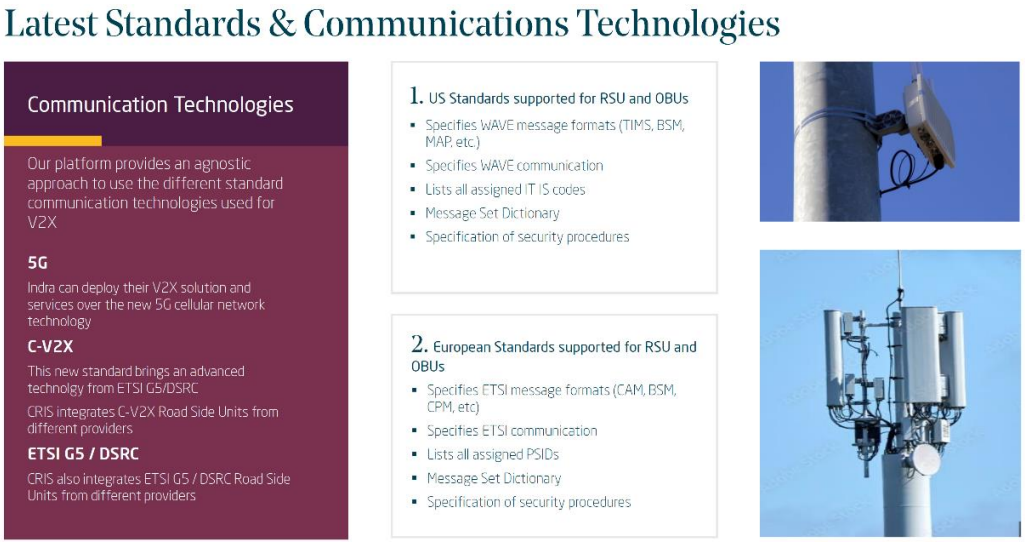
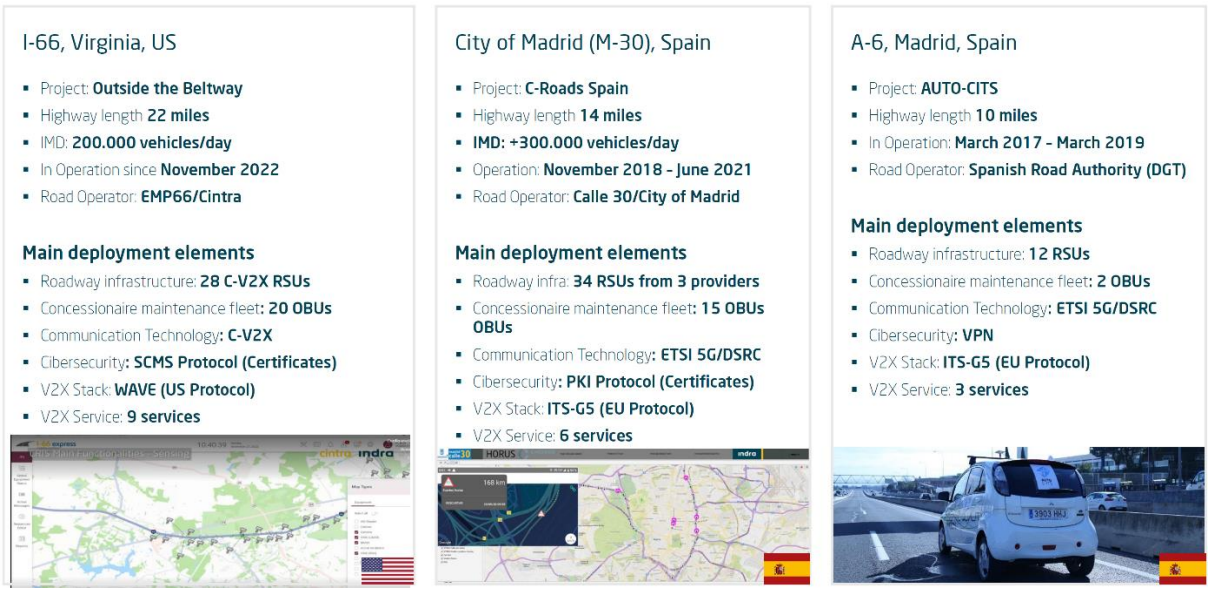


図 3.8.18　米国・欧州双方の標準規格への準拠と新たな方式への対応



出典：Indra 資料

図 3.8.19　Indra 社の参画する米国・スペインでの V2X プロジェクト

(3)　製品・サービスの特徴（強み）

グローバルな存在感：

140 カ国以上でソリューションを提供しており、米国や欧州だけでなく、中南米、中東などの市場にも参入している。

顧客ニーズに応じたソリューション提案とカスタマイズ能力：

ソリューションプロバイダーである SIer としての立場だけでなく、IT コンサルタントとしての事業展開も行っていることから、必ずしも自社製品利用に偏らず、顧客ニーズに応じたソリューション検討やカスタマイズを行っている。

高度な技術力と包括的なソリューション提案：

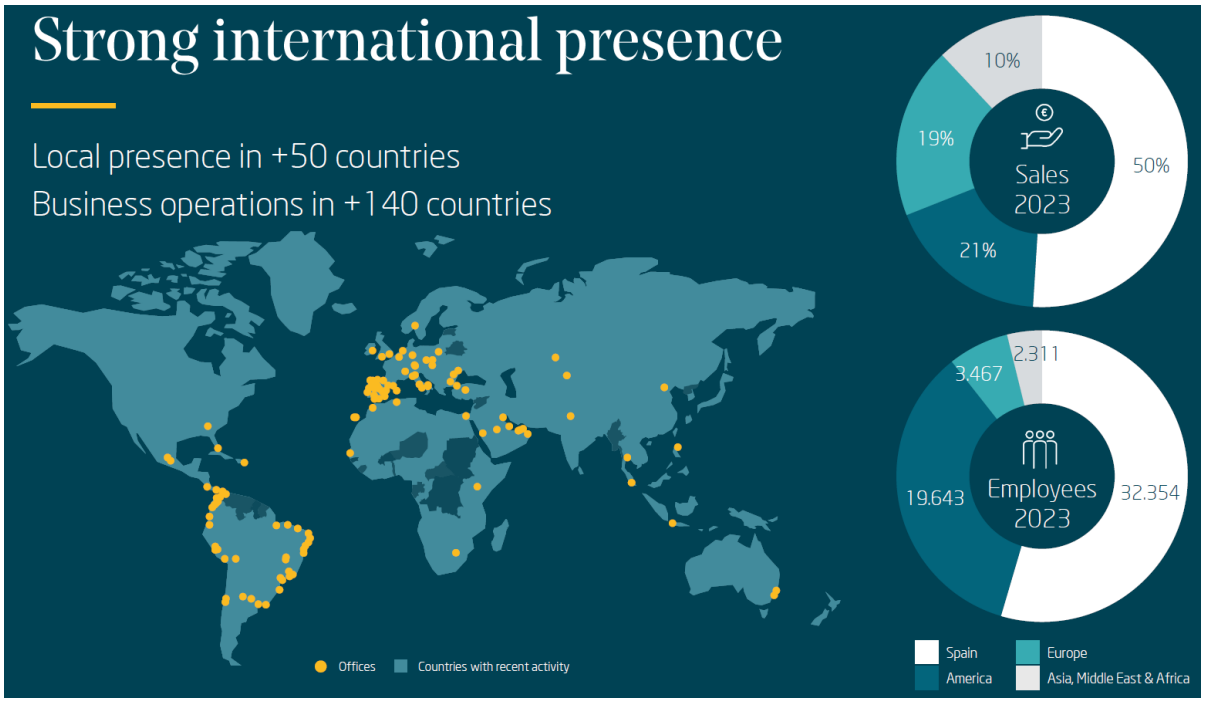
AI、IoT、ブロックチェーンなど最先端技術を活用し、複数の技術を組み合わせ、多様な顧客ニーズに合致した、ETC、交通管理、スマートシティなど、交通に関わる多様な課題に対応可能な包括的なソリューションの提供を可能としている。

(4)　途上国への展開の可能性

50 か国以上の拠点と 140 か国以上での事業展開を行っており、その中には途上国も含まれる。

売上高の約 90%、従業員数の約 95%がスペイン・欧州・米国となっているものの、アジア地域ではフィリピン・タイ・シンガポールなど、アフリカ地域でもモロッコ・ケニアなどでのプロジェクトに参画している。

ヒアリング調査に拠れば、自社製品に拘らず、様々な企業と連携したエコシステムの形成によるソリューション提案・導入を指向しているとのことであり、要素技術や製品を有する本邦企業やローカル企業との連携も可能との事である。



出典：Indra 資料

図 3.8.20　各国での拠点と地域別の従業員数と売上高（2023 年）