

### 第3章 これまでの整備支援事例と今後の支援編

この章では、過去及び現在進行中の JICA プロジェクトの支援経緯、支援項目の一覧表を記載している。また、支援プロジェクトを通じて得られた成果と課題についても記述しており、今後新たに行う支援の留意点とする。それら課題を踏まえ、今後の協力準備調査において最低限抑えるべき重要調査項目や、標準的な O&M 支援計画、支援内容の抜け漏れをチェックできるリストや、O&M 支援実施段階における各種留意点等についても記述している。

#### 3.1 インド・ムンバイメトロ 3 号線 (Handbook P89-P90)

##### (1) 事業概要

ムンバイメトロ 3 号線の事業概要を表 3-1 に示す。

表 3-1 ムンバイメトロ 3 号線の事業概要

事業主体	MMRC (ムンバイメトロ公社)
運営主体	MMRC (予定)
建設資金	政府
総事業費 (予定)	約 5,200 億円 (約 3,400 億 INR)
キロあたり事業費	153 億円
需要予測	139 万人/日 (開業後 9 年)
円借款対象	有
総延長	34km (全線地下)
駅数	27
駅間距離 (平均)	1.2km
鉄道方式/構造 施設供給/車両メーカ	MRT/地下/Alstom/Alstom
開業時期	2021 年開業予定から遅延中
支援内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>建設工事、電気・通信関連工事</li> <li>車両調達 (248 両: 8 両×31 編成)</li> <li>コンサルティング・サービス (設計レビュー・入札補助・施工監理、経営改善等)</li> </ul>
事業実施スケジュール	2013 年 6 月～2021 年 12 月 (予定: 計 103 ヶ月) (入札補助から施設供用開始時まで)

##### (2) 本事業の特徴

ムンバイメトロ 3 号線の事業経過を図 3-1 に示す。また、各種コンサルティング・サービスの TOR に含まれていた O&M のスコープを整理した表を表 3-2 に示す。なお表 3-2 の表左側の番号は図 3-1 に記載の各事業の番号と連動している。インテリムコンサルタントについては TOR を入手できなかったため表にスコープが未記載である。

インドではデリーメトロをはじめ、国内に都市鉄道 O&M に関する経験や実績が一定程度備わっており、都市鉄道の O&M に関する法制度も既に整備されていた。また、インドにおける都市鉄道事業では計画、設計を政府直雇のコンサルタントによって実施されるケースが多く、ムンバイメトロ 3 号線も JICA による FS は実施されていない。O&M 体制の検討は、民間事業者の可能性も含め本邦支援により実施されているが、調査の中で意思決定を促すのではなく、あくまで選択肢の提示に留めている。開業準備段階における O&M 支援サービスについては本邦支援が別途検討され

ている。

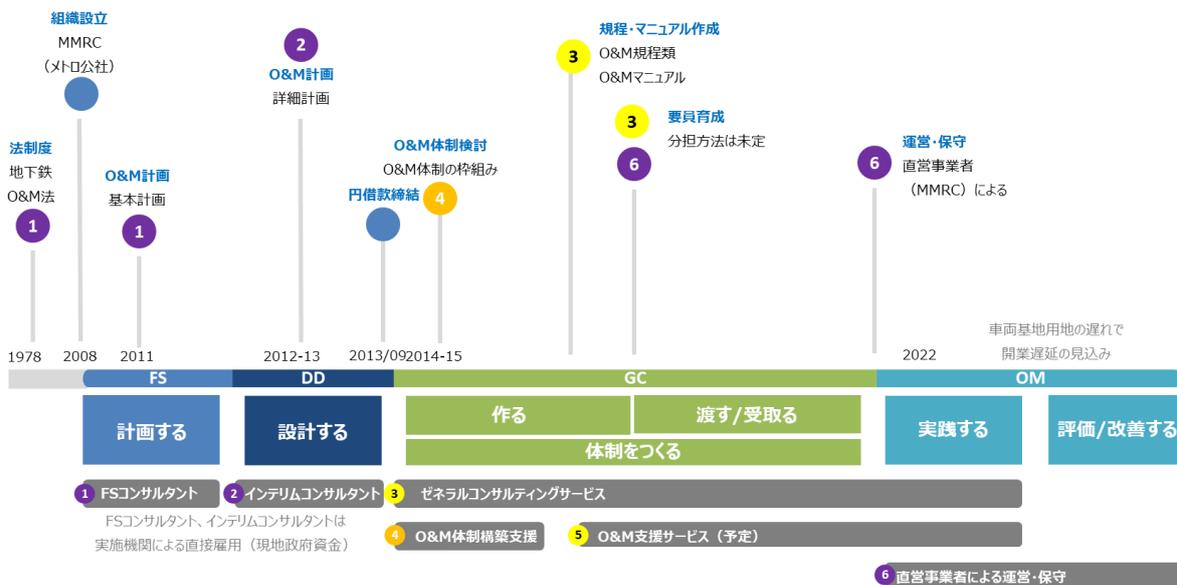


図 3-1 ムンバイメトロ 3 号線に係る事業経過

表 3-2 ムンバイメトロ 3 号線の各種コンサルティング・サービスの O&M スコープ

	O&M計画			要員計画		運営組織計画					経済財務			規制監督			契約																
	需要予測	路線計画	運行計画	車両・鉄道施設設計	駅務計画	保守計画	組織体制	要員計画	職務分担	資産保有・管理	事業スキーム	O&M収支	運営主体選択	運賃政策	運賃管理	(関連事業)	事業戦略	サートレス水準	更新投資費	補助金	O/A分析	経済財務分析	規制枠組み	規制制度整備	規制業務	技術基準	安全管理	安全認証	その他法令	O&M契約	外注計画		
1	●	●	●	●													●			●	●												
2	情報を入手できず未記載																																
3	●	●	●	●	●																						●						
4						●	●			●		●	●										●								●		
	組織設立・採用				開業準備										開業後支援				研修所														
	組織設立	採用計画	一般管理人材採用	運行・保守人材採用	運転士養成	視察・技術移転	竣工図書整備	施設受領	一般管理部門養成	運行部門養成	保守部門養成	内部規程整備	業務マニュアル整備	品質管理計画	保守・予算計画	機材調達	資産管理・システム	施設扱い訓練	総合試験・訓練	営業許可	組織運営	保守業務	運行業務	組織運営改善	保守改善	運行改善	組織制度構築	研修所運営管理	研修教材整備	研修機材調達			
1																																	
2	情報を入手できず未記載																																
3																	●																
4																																	

※：本表にある項目は、これまでの整備支援事例として調査した事業の、O&M 支援のスコープを整理したものであり、2.8 章で後述する O&M 支援チェックリストとしても使用されている。本章と同様に、2.2~2.6 章でも、本表を用いて O&M スコープを整理している。

### (3) 本事業における成果、課題等

文献調査および本事業の O&M 体制構築支援、GC に携わっている関係者へのヒアリングの結果から得た、本事業での O&M 支援に関する成果・特長と課題を表 3-3 に示す。

表 3-3 ムンバイメトロ 3 号線の成果と課題

成果・特長	課題
<ul style="list-style-type: none"><li>• O&amp;M体制構築支援では直営やPPPなど様々な想定の下検討が行われた。要員数や人件費もそれらのそれぞれの想定について実施されている。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 現地政府が直接 FS を発注して実施しているが、その段階で O&amp;M の検討がほとんど実施されていない。</li><li>• O&amp;M 体制構築支援が建設の初期段階で実施されたため、体制の選択肢を与えるに留まっている。</li><li>• GC では O&amp;M の範囲がほとんど無く、O&amp;M は建設が進んでから検討されるようになっている。</li></ul>

### (4) 総評

FS コンサルタントの段階で O&M 支援がほとんど実施されていなく、建設事業に対する検討が先行し O&M の検討が後追いになっている。また、O&M 体制構築支援でも体制の決定までは至っていない。実施主体・運営主体の枠組みが確認できないことで GC 段階での O&M 支援範囲が不明瞭とならないためにも、計画・設計段階から O&M 体制構築を範囲に含めることが望ましい。

また、コンサルタント側に O&M 支援の必要性の認識が少なく、建設事業に多くのリソースが投じられ、GC 段階で O&M 支援に不足が生じるケースが散見される。これは、GC は土木の専門家がトップに立つのが通例であり、O&M への理解が不足しているためであると考えられる。GC に O&M 支援を含める場合、支援スキームの検討段階で十分にリソースを確保すべきである。

## 3.2 バングラデシュ・ダッカ MRT6 号線 (Handbook P91-P92)

### (1) 事業概要

ダッカ MRT6 号線の事業概要を表 3-4 に示す。

表 3-4 ダッカ MRT6 号線の事業概要

事業主体	DMTC（ダッカ都市交通公社）
運営主体	DMTC
建設資金	政府
総事業費（予定）	約 3,700 億円（約 2,800 億 BDT）
キロあたり事業費	185 億円
需要予測	59 万人/日（開業後 10 年）
円借款対象	有
総延長	20km（全線高架）
駅数	16
駅間距離（平均）	1.2km
鉄道方式／構造 施設供給／車両メーカー	MRT／高架／丸紅、L&T／三菱商事、川崎重工
開業時期	2022 年開業予定
支援内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>建設工事、電気・通信関連工事</li> <li>車両調達（144 両：6 両×24 編成）</li> <li>コンサルティング・サービス（F/S レビュー、詳細設計、入札補助、施工監理、運営維持管理指導等）</li> </ul>
事業実施スケジュール	2013 年 2 月～2024 年 12 月（予定：計 143 ヶ月） （詳細設計から全区間の供用開始時まで）

### (2) 本事業の特徴

ダッカ MRT6 号線の事業経過を図 3-2 に示す。また、各種コンサルティング・サービスの TOR に含まれていた O&M のスコープを整理した表を表 3-5 に示す。なお表 3-5 の表左側の番号は図 3-2 に記載の各事業の番号と連動している。

海外鉄道事業の法制度を一から整備した前例はなく、本事業が初の試みである。都市鉄道の組織・法制度整備を支援する目的で有償資金協力専門家「ダッカ都市高速鉄道実施体制強化支援専門家派遣」及び「ダッカ都市交通法整備支援」（LSC：Legal Setup Consultant）を実施するなど、日本企業の事業環境を損ねない事業管理の枠組み、技術基準の法制化を実現している。また、建設の段階では GC に加え、組織開発支援コンサルタント<sup>38</sup>（IDC：Institutional Development Consultant）が財務・経営計画を策定している。都市鉄道分野における行政管理の強化に向け、今後同様の取組を他国で展開することが期待される。

<sup>38</sup> GC が設計、施工監理、O&M 支援に対して包括的なコンサルティング・サービスを提供する一方、IDC は DMTC をオペレータとして機能させることを目的としている。

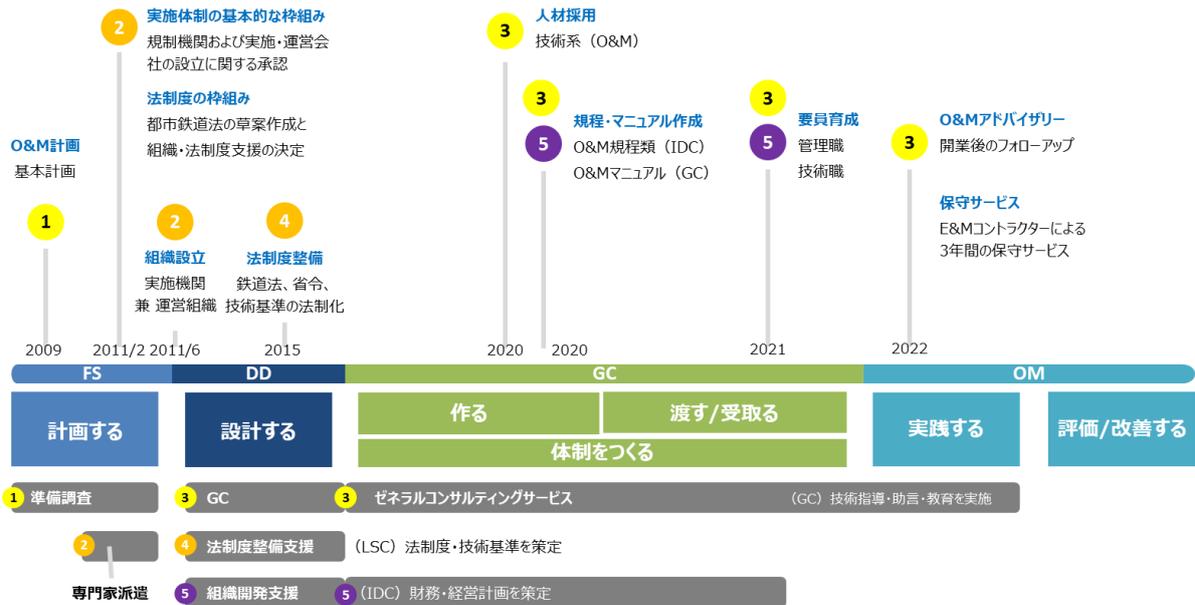


図 3-2 ダッカ MRT6 号線に係る事業経過

表 3-5 ダッカ MRT6 号線の各種コンサルティング・サービスの O&M スコープ

	O&M計画				要員計画		運営組織計画						経済財務			規制監督				契約											
	需要予測	路線計画	運行計画	車両・鉄道施設計画	駅務計画	保守計画	組織体制	要員計画	職務分担	資産保有・管理	事業スキーム	O&M取次	運営主体選択	運賃政策	(関連事業)	(広報計画)	事業戦略	サービス水準	更新投資費	補助金	O/M分析	経済財務分析	規制枠組み	規制制度整備	規制業務	技術基準	安全管理	安全認証	その他法令	O&M契約	外注計画
1	●	●	●	●																	●	●									
2						●	●													●	●	●	●								
2						●	●												●	●	●	●	●								●
3	●		●		●	●			●			●	●														●	●			
4																											●	●			
5						●	●	●			●	●	●						●	●	●	●	●				●				

	組織設立・採用			開業準備							開業後支援					研修所														
	組織設立	採用計画	一般管理人材採用	運行・保守人材採用	運転士養成	視察・技術移転	竣工図書整備	施設受領	一般管理部門養成	運行部門養成	保守部門養成	内部規程整備	業務マニュアル整備	品質管理計画	保守・予算計画	機材調達	設備管理・メンテナンス	施設扱い訓練	総合試験・訓練	営業許可	組織運営	保守業務	運行業務	組織運営改善	保守改善	運行改善	組織制度構築	研修所運営管理	研修教材整備	研修機材調達
1																														
2	●																													
2		●																												
3		●	●	●	●							●	●					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
4																														
5	●	●				●					●	●				●														

### (3) 本事業における成果、課題等

文献調査、および本事業の GC に携わっている関係者へのヒアリングの結果から得た、本事業での O&M 支援に関する成果・特長と課題を表 3-6 に示す。

表 3-6 ダッカ MRT6 号線の成果と課題

成果・特長	課題
<ul style="list-style-type: none"> <li>ゼネラルコンサルタント、組織開発支援コンサルタントが同時に存在していたが、タスクが明確に分けられていることで弊害なく業務が進められている。</li> <li>法整備支援が事業の早い段階からあったことで、火災対策基準も含めて日本の設計標準が採用できている。</li> <li>GC のスコープの中で O&amp;M 支援をカバーできているため、FS 時の検討の不備などの課題は感じられない。</li> <li>オペレーションのことを考慮しながら建設を行うが、建設と O&amp;M の実施機関が同じであるため、実施機関の意思決定が最終決定となり、業務が円滑に進められている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>雇用すると人件費が発生してしまうが、建設工期の遅れなどもあり、採用活動がボトルネックとなり、スケジュールの遅延が懸念される。</li> <li>GC という大きなパッケージで、当初契約から要員配置が大きく変わった。O&amp;M について取りまとめをするポジションの配置など、GC の TOR に改善の余地がある。</li> <li>法整備支援でドラフトした法案の一部が支援終了後に現地政府で修正されたことで、法律間の不整合が一部発生している。</li> <li>同国初の都市鉄道であるため、実施機関の経験不足がみられるため、そのような場合は事業の早い段階での本邦研修などが望まれる。</li> </ul>

### (4) 総評

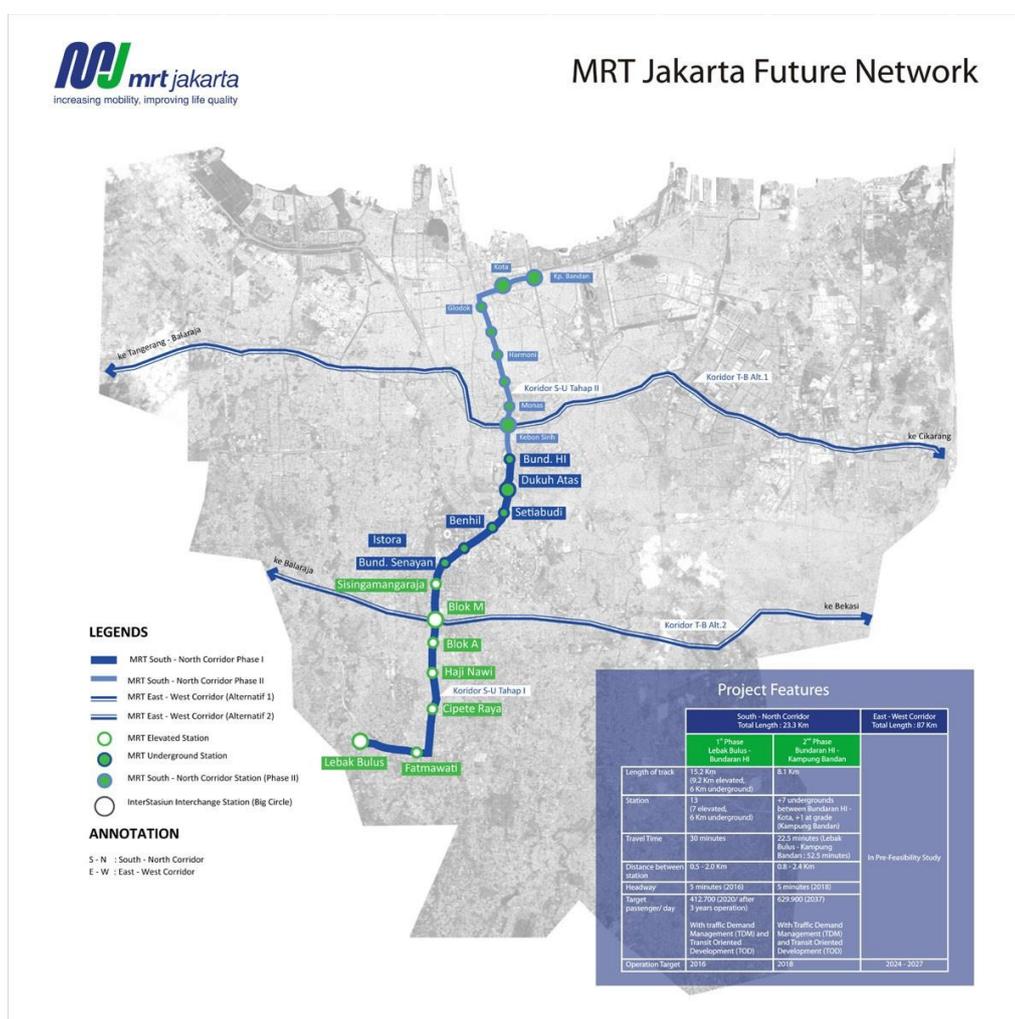
ダッカ MRT6 号線では、先方政府が一貫して同一国の支援を受け統一感のある事業実施を行うことで円滑な事業実施が行われてきた。また、専門家派遣により、事業実施段階の支援枠組みを整理することができた。また、ゼネラルコンサルタント、組織開発、法制度整備、とタスクが明確に分かれており、スコープの重複は避けられた。

ただし、設計・建設工事に注力している中で、組織開発支援のタイミングが早すぎると検討深度が深まらず支援効果が低減する可能性があるため注意が必要である。また、採用活動のタイミングは建設工期に影響を受けるが、組織の幹部のポジションは建設事業初期から採用し、建設段階から事業に携わりながら経験を積むといった工夫も考えられる。

### 3.3 インドネシア・ジャカルタ MRT 南北線 (Handbook P93-P94)

#### (1) 本事業の特徴

- 2019年3月における南北線フェーズ1区間の開業前後において、CMCS、MCS、OMCS及びOMCS 2ndのコンサルティング・サービス4つによって支援されている。
- 日系のコントラクタ及び日系のコンサルティング・サービスによって、竣工・開業を果たした。
- 2009年の事業準備調査では南北線フェーズ2区間及び東西線も含まれている。(図3-3に、2014年時点で公開されていた将来路線網を示した。)
- 2016年にはOSV計測技術の普及促進事業として、建設現場における安全監理についての支援活動が行われている。



出典：パデコ社 WEB サイト “Operation and Maintenance Consulting Services for Project of Jakarta MRT System Phase 1 Lebak Bulus-Bundaran Hotel Indonesia”<sup>39</sup>

図 3-3 ジャカルタ MRT 将来路線網

<sup>39</sup> <https://www.padeco.co.jp/en/projects/detail.html?pdid=35007>

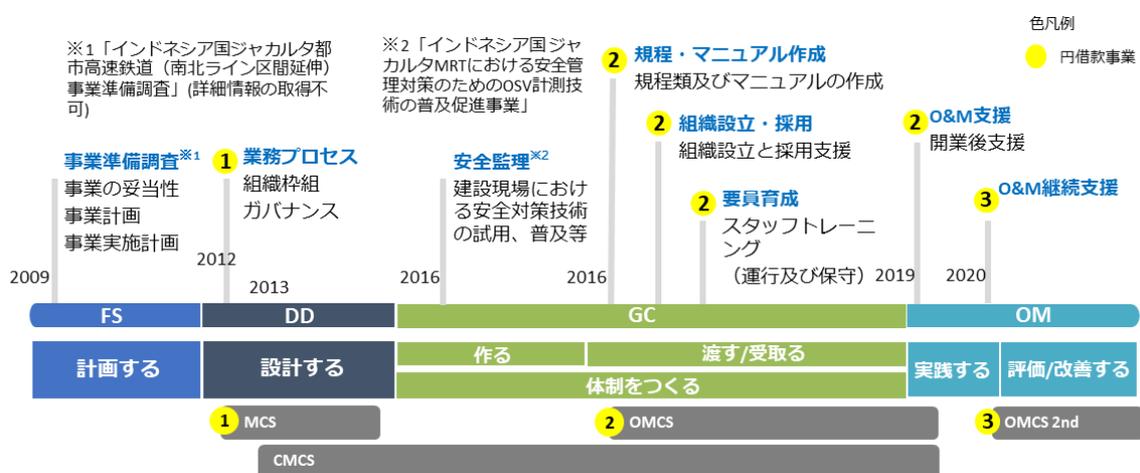
## (2) 本事業における成果、課題等

- 各ステージに合った支援プロジェクトが形成されており、開業若しくは開業後の健全な運営に貢献している。

図 3-4 にジャカルタ MRT 南北線における円借款事業等の経過を、表 3-7 に O&M 関係プロジェクトについての TOR 確認表を示した。

- OMCS においては、規程・マニュアルの作成、組織設立・採用、要員育成、開業直前及び直後の O&M 支援等、幅広い支援を行った。

- 各支援プロジェクトにおいて必要な TOR が設定された。表 3-7 において一部項目に重複が見られるが、開業に向けて或いは開業後の段階での詳細検討若しくは更新を要したものである。(関係法令の制定若しくは改正、発注者における組織・規程類の整備等への対応が必要となる。)



CMCS: Construction management consulting service

MCS: Management consulting service

OMCS: Operation and Maintenance consulting service

OMCS 2nd: OMCS 2nd stage

OSV: On-Site Visualization

出典：調査団作成

図 3-4 ジャカルタ MRT 南北線に円借款事業等の経過

表 3-7 ジャカルタ MRT 南北線に係る O&M 関係プロジェクトについての TOR 確認表

O&M計画				委員計画		運営組織計画						経済財務			規制監督				契約										
需要予測	路線計画	運行計画	車両・鉄道施設計画	駅務計画	保守計画	組織体制	委員計画	職務分担	資産保有・管理	事業入チーム	O&M収支	運営主体選択	運営政策	(関連事業)	(広報計画)	サーブिस水準	更新投資費	補助金	Q&A分析	経済財務分析	規制枠組み	規制制度整備	規制業務	技術基準	安全管理	安全認証	その他法令	O&M契約	外注計画
1																													
2																													
3																													

組織設立・採用				開業準備										開業後支援				研修所											
組織設立	採用計画	一般管理人材採用	運行・保守人材採用	運転士養成	視察・技術移転	竣工図書整備	施設受領	一般管理部門養成	運行部門養成	保守部門養成	内部規程整備	業務マニュアル整備	品質管理計画	保守・予算計画	機材調達	資産管理・システム	施設扱い訓練	総合試験・訓練	営業許可	組織運営	保守業務	運行業務	組織運営改善	保守改善	運行改善	組織制度構築	研修所運営管理	研修教材整備	研修機材調達

上表は、各種コンサルティングサービスのTORに記載された内容を基に、どのような支援項目が含まれていたか一覧表としてまとめたものである。(支援項目の記載があった場合を「●」とし、表中に一度も「●」がついていない支援項目は灰色文字表示とした)  
 なお、①～③は、前の図における①～③に対応している。

出典：調査団作成

### (3) 総評

- 2019年3月の開業から2021年に至るまで、運営事業者の責に起因する重大な輸送障害は発生していない。2019年8月に発生したジャカルタ地域の大停電の際には、社員において停電発生後から1時間強で、駅間停止列車4編成を含む全7編成から約3,400人の乗客を無事避難に導き、高く評価された。(図3-5は、避難誘導の状況)
- 一般に、新線鉄道建設工事は遅延しがちだが、開業日は現地政府等によって決定される。よって、それに対応するためのコンサルティング・サービス期間及び支援活動の調整が求められる。本プロジェクトではOMCS、CMCS及び全コントラクタの協力・努力もあって開業が成された。



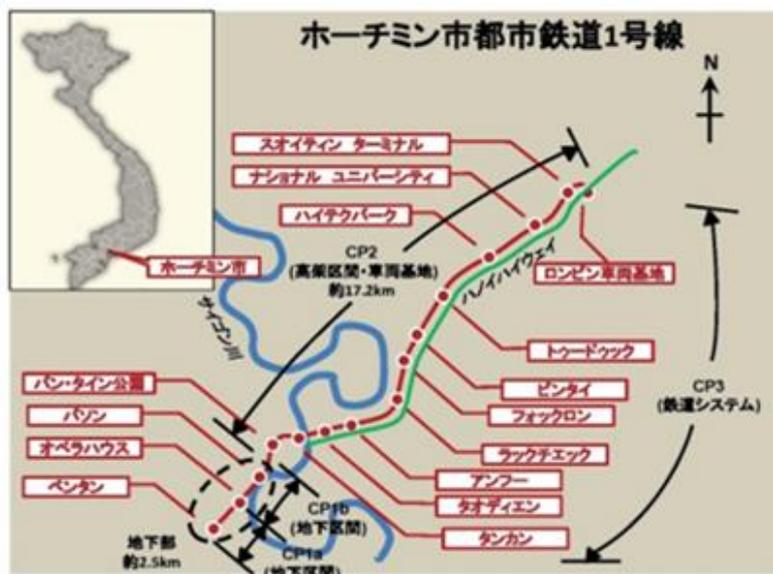
出典：Facebook への MRTJ の投稿<sup>40</sup>

図 3-5 2019 年 8 月に発生したジャカルタ地域大停電時における避難誘導状況

<sup>40</sup> <https://www.facebook.com/968936483186894/posts/2359933684087160?sfns=mo>

### 3.4 ベトナム・ホーチミン都市鉄道1号線 (Handbook P95-P96)

#### (1) 事業概要



出典) 日本工営株式会社 HP<sup>41</sup>

図 3-6 ホーチミン都市鉄道1号線路線図

#### 1) 都市鉄道(地下区間及び高架区間(19.7km)の建設

(基本設計、入札補助、施工監理、運営維持管理支援)

土木工事：三井住友建設（株）と現地企業のJV、清水建設（株）と前田建設工業（株）のJV、住友商事（株）及び現地企業コンソーシアム

車両・通信・信号等システム：（株）日立製作所

設計・施工管理：日本工営（株）

#### 2) 総事業費

約 2,400 億円（うち円借款 1,554 億円）

#### 3) 事業実施スケジュール

2007年3月～2025年10月を予定（計 224 ヶ月）。

施設供用開始時期（当初 2019年3月）をもって事業完成とする。

#### 4) 経緯

ホーチミン都市圏の人口は 1995 年の 659 万人から 2015 年には 1,448 万人に増加した。これに伴いバイク及び自動車の登録台数も大幅な増加が見られ、市内道路交通量の増加が著しい。この結果、交通渋滞の深刻化、交通事故の増大、大気汚染の悪化、都市サービスへのアクセス困難等

<sup>41</sup> [https://www.n-koei.co.jp/rd/thesis/pdf/201603/forum24\\_007.pdf](https://www.n-koei.co.jp/rd/thesis/pdf/201603/forum24_007.pdf)

の問題が生じている。

ベトナム政府は、「第9次5ヵ年社会経済開発(2011-2015)」を定め、その中で都市における交通インフラ整備が不十分であり、そのため交通渋滞への対策が重要な課題であるとしている。ホーチミン市においても、都市交通マスタープラン及びその改訂を行い、深刻な交通渋滞解決の観点等から、現在8路線の事業計画が掲げられている。その中でも、本事業の対象である1号線は将来の交通需要への対応に資する最優先区間とされている。

JICAにおいては、表3-8に記載のある各種開発調査の実施や当局によるマスタープランの作成を支援してきた。建設に係る契約は、2007年の円借款調印を受け、翌年、日本工営株式会社をリーダーとするコンソーシアムにより建設事業に係る契約が締結された。

本建設事業の特徴としては、フランス、ドイツ、ロシア、中国等、都市鉄道建設事業に関心を有する他国に先駆け、日本の技術を適用するべく、日本の鉄道技術に係る知見を踏まえ日本が作成した都市鉄道標準であるSTRASYA(鉄道システム)および国土交通省の鉄道技術省令の技術規定(火災防災基準も含めて)の適用が承認されていることである。このことから、本事業は我が国のインフラ輸出の典型的な案件といえる。

表3-8 ホーチミン市都市鉄道1号線建設開始までの主な支援・調査

年 度	内 容
2002-2004年	プレFS：ホーチミン都市交通計画調査(HOUTRANS)(JICA)
2005年	FS：Feasibility Study and Implementation Program for Ho Chi Minh City UMRT Line 1 (east section)(経済産業省)
2006年	SAPROF(案件形成促進調査：IBIC)
2007年1月	首相による都市交通マスタープラン決定(JICAによる作成支援)
2007年3月	第1次円借款調印(20,887百万円)
2007年	建設事業に関する契約
2012年	工事着工

## (2) 技術協力プロジェクトにおける支援内容

JICAは、表3-8に記載したホーチミン市都市鉄道建設事業に関する支援に加え、技術協力プロジェクトにおいても、図3-7に記載されたうちの多くの案件で支援を実施してきた。開業までの期間が長期間にわたることが想定されたため、技術協力プロジェクトは、運営会社設立までを想定した第1期、開業までを想定した第2期と分けられて実施されている。

技術協力プロジェクトの第1期は、2011年から実施された「ホーチミン市都市鉄道運営組織設立支援プロジェクト」(TC1)である。TC1は2年間実施され、ホーチミン市都市鉄道管理局(MAUR)の中に設立された会社設立準備室(PUC)をカウンターパートとして、会社定款、運輸約款の他、安全・人事・財務部門における基本的な部内ルール作成がなされた。また、TC1では、後の運営会社となる組織に関する事業計画も作成され、運営会社設立が承認される道筋を作った。

その後、当初想定していた開業予定時期がずれ込んだ状況を鑑み、JICAは「ホーチミン市都市鉄道1号線建設事業に係る案件実施支援調査(SAPI)」(2014年～2016年)を実施した。ここでは、都市鉄道運営会社の申請手続き、規制機関の設置及び監督範囲の設定等の観点から、都市鉄道運営会社の設立が滞っている要因や課題の分析がなされた。

さらに、第2期として、2017年12月から5か年に及ぶ「ホーチミン市都市鉄道規制機関及び運営会社能力強化プロジェクト」(TC2)を実施中である。この技術協力プロジェクトでは、表3-11に記載された成果を目標としており、O&M分野におけるカウンターパートによる規程・マニュアルの作成や採用・人材育成のみならず、商業施設やモビリティマネジメントをも包含した支援を行っている。現時点までの大きな成果としては、運営会社であるホーチミン市都市鉄道1号線運営

会社（HURC1）が設立され、開業後に必要な運営に関する各種の規程・マニュアルの一部が完成した点である。その一方、政府による予算執行遅延や新型コロナウイルスの影響に起因する工期遅延により、開業時期の延期が発生している。この影響を受け、技術協力プロジェクトにおいても、支援の停滞が存在している。

表 3-9 ホーチミン市都市鉄道 1 号線に関する調査・技術協力プロジェクト

年度	内容
2009 年	ホーチミン市都市鉄道 1 号線東区間案件実施支援調査（SAPI） 運営会社の骨格の策定、スケジュール整理
2011-2013 年	ホーチミン市都市鉄道運営組織設立支援プロジェクト（TC1） 運営会社の事業計画作成、根本となる規則の作成
2014-2016 年	ホーチミン市都市鉄道 1 号線建設事業に係る案件実施支援調査（SAPI） 運営会社設立にあたり各種課題の分析
2017 年-	ホーチミン市都市鉄道規制機関及び運営会社能力強化プロジェクト（TC2） 運営会社設立、各種規程の作成、安全認証、採用・訓練の実施

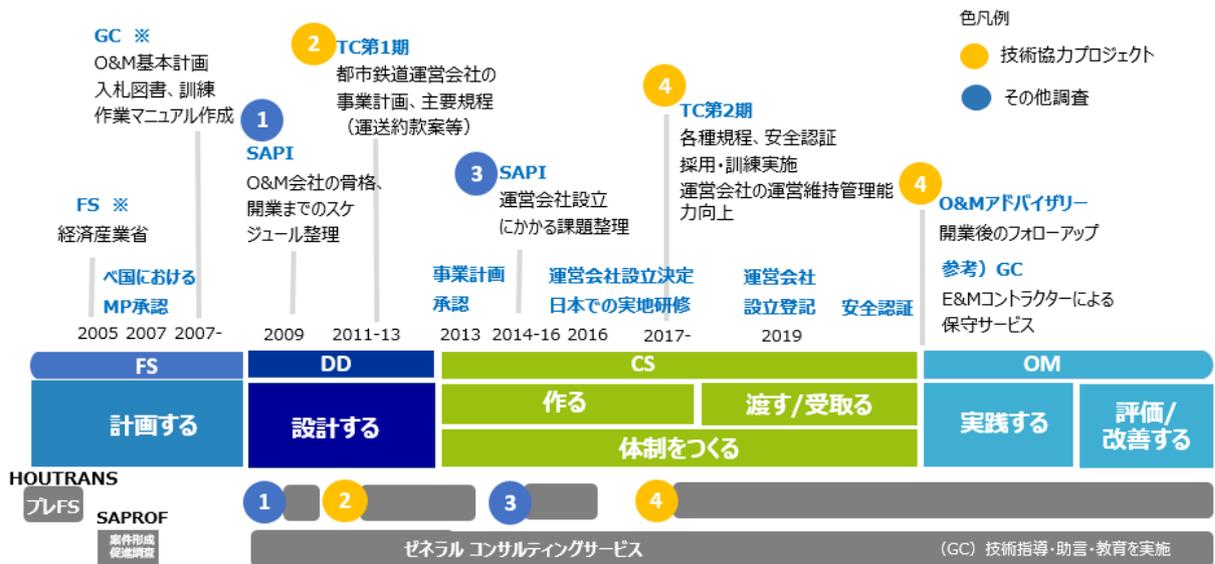


図 3-7 ホーチミン市都市鉄道 1 号線に係る各種支援の流れ

表 3-10 ホーチミン市都市鉄道 1 号線に係る技術協力プロジェクトの TOR

	O&M計画					要員計画			運営組織計画							経済財務				規制監督					契約						
	需要予測	路線計画	運行計画	車両・鉄道施設計画	駅務計画	保守計画	組織体制	要員計画	職務分担	資産保有・管理	事業入キーム	O&M取支	運営主体選択	運賃政策	(関連事業)	(広報計画)	事業戦略	サービス水準	更新投資費	補助金	CA分析	経済財務分析	規制枠組み	規制制度整備	規制業務	技術基準	安全管理	安全認証	その他法令	O&M契約	外注計画
①						●			●	●		●			●						●										
②	●					●	●	●	●		●		●	●		●				●	●	●					●				
③						●																	●				●				
④						●	●	●					●	●	●								●	●			●	●			

	組織設立・採用				開業準備										開業後支援				研修所											
	組織設立	採用計画	一般管理人材採用	運行・保守人材採用	運転士養成	視察・技術移転	竣工図書整備	施設受領	一般管理部門養成	運行部門養成	保守部門養成	内部規程整備	業務マニュアル整備	品質管理計画	保守・予算計画	機材調達	資産管理・システム	施設扱い訓練	総合試験・訓練	営業許可	組織運営	保守業務	運行業務	組織運営改善	保守改善	運行改善	組織制度構築	研修所運営管理	研修教材整備	研修機材調達
①	●																													
②	●				●	●			●		●	●			●	●														
③	●				●	●						●																		
④	●	●	●	●	●	●	●				●	●			●	●				●	●			●						

上表は、各種コンサルティングサービスのTORに記載された内容を基に、どのような支援項目が含まれていたか一覧表としてまとめたものである。(支援項目の記載があった場合を「●」とし、表中に一度も「●」がついていない支援項目は灰色文字表示とした)。なお、①から④の数字は、図2-7(ホーチミン市都市鉄道1号線に係る各種支援の流れ)の記載と対応している。

表 3-11 ホーチミン市都市鉄道 1 号線技術協力プロジェクト (TC2) における成果 (目標)

成果 1	都市鉄道規制機関の能力が強化される
成果 2	都市鉄道運営・経営に必要なシステム・規則・計画が整備される
成果 3	HURC1 職員の運営維持管理能力が向上する
成果 4	HURC1 の企画・営業・広報活動が行われる
成果 5	円借款本体契約 (CP4) に含まれない経営管理に必要なソフトウェアが構築される
成果 6	HURC1 の経営管理に必要なインフラが整備される
成果 7	ホーチミン市の他路線含むベトナム及び周辺国の都市鉄道運営に関する連携が図られる

※成果 2 に関する活動には、安全認証を得るために必要な組織及び規程等の整備や、TC1 で策定された HURC1 の規程・規則の更新やレビュー、組織全般・管理部門・営業部門に関する内部規程・規則を策定が含まれる。成果 3 に関する活動には、安全に関する全社的な取組の継続、人材採用計画を立案・実施や、GC やコントラクターが実施しない部分の教育・訓練の実施が含まれる。

### (3) 成果、不足点等

#### 1) 成果

- ・運営会社における事業計画・定款が承認された（2013年7月）。
- ・MAURを母体として、運営会社であるHURC1（ホーチミン都市鉄道1号線有限会社）が設立された（2019年7月）。
- ・運営会社における運輸約款、安全・人事・財務部門における基本的な部内ルールの作成がなされるとともに、規程・マニュアルの一部が完成した。
- ・日本における実地研修が実施された。
- ・（GCによる実施）運転士の研修が開始した。

#### 2) 課題

- ・FSの精度

FSや案件形成促進調査において、主に時間の制約により精度が高くなかったものがある。鉄道に関わる知見のある人員が調査にかかわった場合、FSの検討精度が向上できた可能性がある。

- ・カウンターパートの経験、建設会社との関係

技術協力プロジェクトにおいては、当該プロジェクト終了後カウンターパートが独力で会社を運営することを念頭に置く必要があり、その前提としてカウンターパートが主体的に動くことを想定している。一方、成果物の作成効率を考えた場合、カウンターパートに対しきめ細やかな指示を行う形で支援するという考え方も存在し得る。しかしながら、この場合、支援する側がO&Mの運用を完成させることになるため、カウンターパートが自ら考え、運用実施のために社内外の調整を行うことがより少なくなることが通常である。その結果、開業後に、部門間の連携が取れなかったり、独力で対応すべき有事への対応能力が備わっていないリスクが増大する。このような観点から、技術支援プロジェクトでは、カウンターパートによる自主性を求め支援を行うことが多い。

ホーチミンにおける技術支援においても、こうした観点からカウンターパートが主体的に動く前提にて支援を行ってきた。しかし、カウンターパートにおける都市鉄道経験が乏しいことに加え、支援当初では見えていなかった点として、決定プロセスにおけるHURC1の決定権限の少なさがネックとなった。多くの状況において、資産を保有しているMAURへの具申・調整が必要な場合が多く、HURC1単独での意思決定ができない状況が多く発生している（MAURとの関係性については、図3-8も併せて参照のこと）。

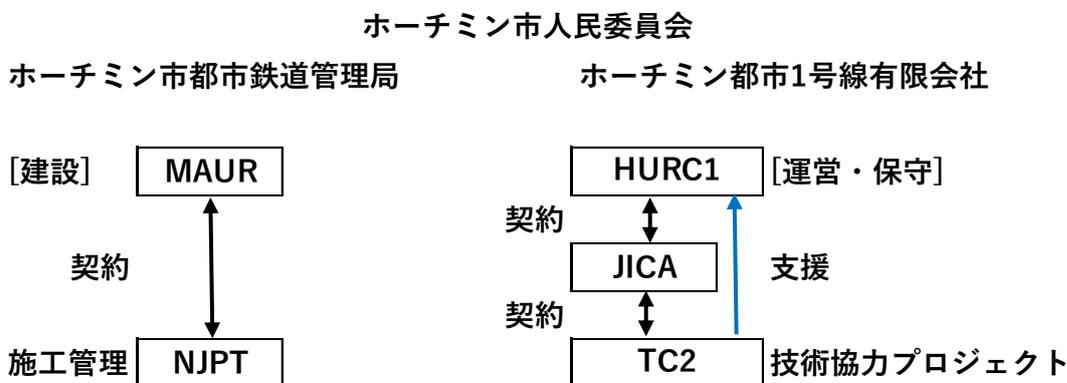


図 3-8 ホーチミン市都市鉄道1号線建設・技術協力プロジェクト当事者

さらに、O&M案件に係る意思決定プロセスが明瞭でないことがある。この点は次に記載する。

- ・O&M 関係の規程・マニュアル類作成支援等の分掌、契約

ホーチミン都市鉄道1号線のO&Mに関しては、規程類作成や人材育成等の支援における、技術プロジェクト専門家、GC、コントラクター間の担当業務が複雑になっている。

例えば、図3-9にあるように、O&Mに係る規程・マニュアルに関して、本社で所管するものはTC2専門家が支援する一方、現業の運用マニュアルはGCが担当している。さらに、各種設備保守に係る機器のマニュアル類はコントラクターが支援しており、支援に係る役割分担が分かれている。これにより複数の部門・領域をまたぐ事項の検討には、多岐に亘る関係者間の調整が必要となり、また、調整に時間を要することとなる。

また、鉄道の現地経験に基づく具体的なノウハウを必要とする駅・列車運行におけるマニュアル作成や要員育成はGCが担当しており、その完成には、TC2が作成しその内容が密接に関連すると規程との整合確認が必須である。その一方で、図3-8にあるように、TC2とGCは、契約上は直接の当事者でないことから、進捗や情報共有方法に関しての建付けが、課題となっている。

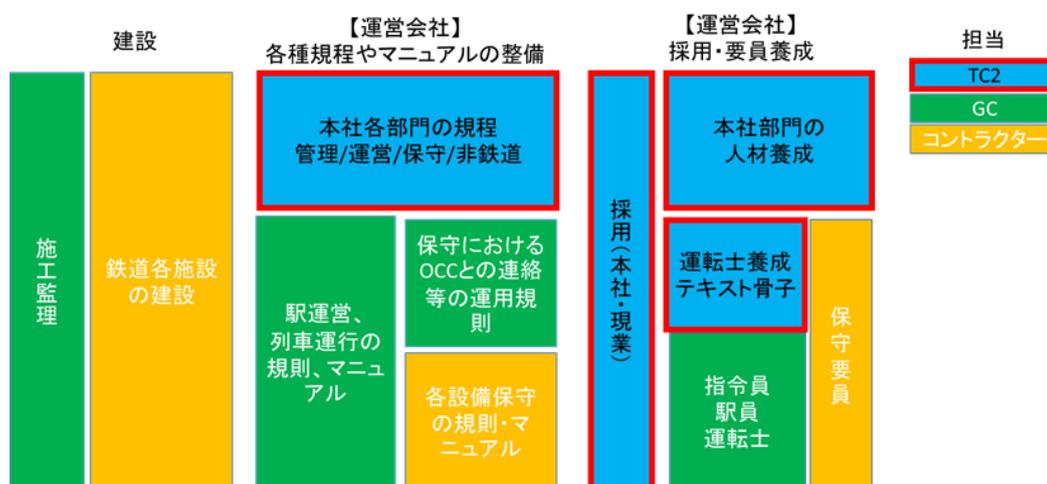


図3-9 ホーチミン市都市鉄道1号線にO&MにおけるTCの役割分担

- ・ベトナム当局による予算執行、関係者との契約契結

プロジェクトにおける政府の予算配分遅延<sup>42</sup>、また、MAURによるコンサルティング文書の未締結（ホーチミン市人民委員会により2022年4月にされた）により、コンサルティング・サービスが中断していた<sup>43</sup>。

#### (4) 総評

- ・路線建設、技術協力に関して、オールジャパンで取り組んでいる案件である。
- ・O&M会社に関して、事業計画の策定、運営会社の設立、規程・マニュアル類が一部完成する等、会社運営の屋台骨となる部分において、一定の成果が上がっている。
- ・一方、鉄道の経験がないカウンターパートに対する支援内容やその深さ、GC等との分掌については、課題として残っている。今後の類似案件においては、最適な支援の内容やその深さ、関係箇所との連携について、プロジェクトごとに適切なレベル感を検討する必要がある。

<sup>42</sup> アジア経済ニュース（2017年9月26日付）<https://www.nna.jp/news/show/1666607>

<sup>43</sup> ベトナムニュース総合情報サイト VIETJO（2022年4月12日付）<https://www.viet-jo.com/news/economy/220408161944>。

・現地の財政上・手続き上の遅延により、鉄道の路線開業、プロジェクト完了時期について 2023 年以降となる可能性が高い再延長の懸念がある。

・ホーチミン都市鉄道 1 号線の開業は 2023 年以降にずれ込む見通しである。路線開業、本技術協力プロジェクトの成功に向けて、現地カウンターパートの引き続きの注力が求められる。

### 3.5 フィリピン・マニラ地下鉄（Handbook P97-P98）

#### (1) 事業概要

マニラ地下鉄の事業概要を表 3-12 に示す。

表 3-12 マニラ地下鉄の事業概要

事業主体	DOTr（フィリピン運輸省）
運営主体	未定
建設資金	政府
総事業費（予定）	約 8,000 億円（約 3,600 億 PHP）
キロあたり事業費	296 億円
需要予測	97 万人/日（開業後 10 年）
円借款対象	有
総延長	27km（地下 26km、地上 1km）
駅数	15
駅間距離（平均）	1.9km
鉄道方式／構造 施設供給／車両メーカー	MRT／地下／未定／住友商事、J-TREC
開業時期	2026 年部分開業予定
支援内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 建設工事、電気・通信関連工事</li> <li>• 車両調達（240 両：8 両×30 編成）</li> <li>• コンサルティング・サービス（入札補助、施工監理、運営維持管理能力強化、公共交通指向型開発実施支援、実施機関の能力強化等）</li> </ul>
事業実施スケジュール	2018 年 2 月～2027 年 9 月（予定：計 116 ヶ月）（入札補助から施設（研修センター以外）供用開始まで）

#### (2) 本事業の特徴

マニラ地下鉄の事業経過を図 3-10 に示す。また、各種コンサルティング・サービスの TOR に含まれていた O&M のスコープを整理した表を表 3-13 に示す。なお表 3-13 の表左側の番号は図 3-10 に記載の各事業の番号と連動している。

民間の O&M 事業者を入札で選定するため、DOTr が雇用した ADB OPMP オフィスが入札支援を行っている。法制度や規制として国が定めるものは僅かであり、多くは O&M コンセッション契約書で定められる。

設計段階では、研修所の設立支援を並行して行い、研修所の設立と同時に人材育成制度が確立されている。

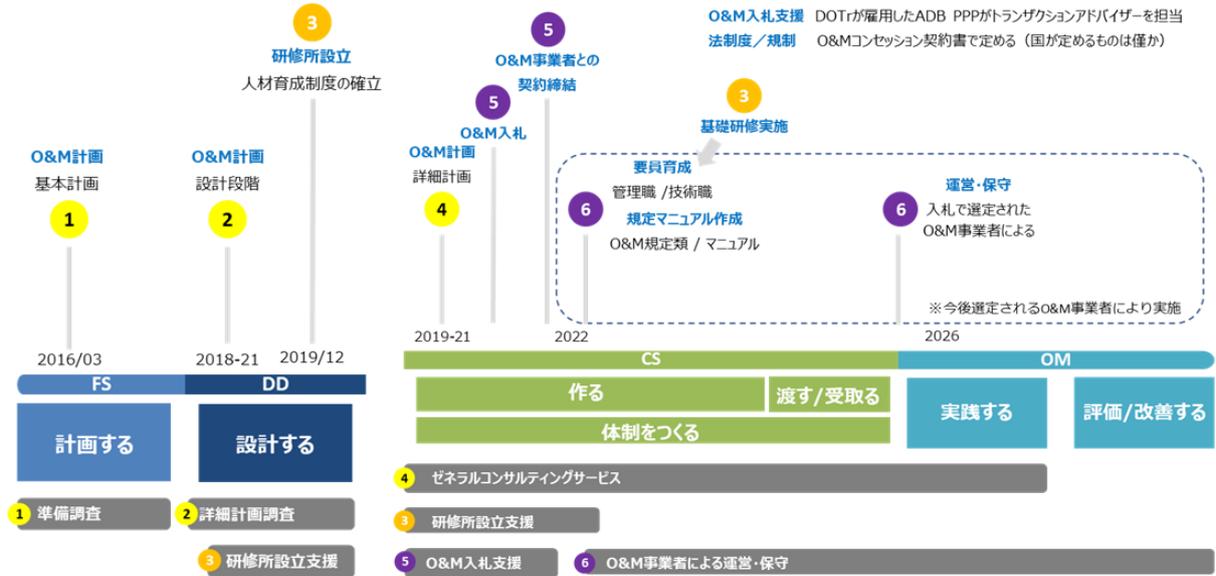


図 3-10 マニラ地下鉄に係る事業経過

表 3-13 マニラ地下鉄の各種コンサルティング・サービスの O&M スコープ

	O&M計画			委員計画		運営組織計画						経済財務			規制監督				契約											
	需要予測	路線計画	運行計画 車両・鉄道施設計画	駅務計画	保守計画	組織体制	委員計画	職務分担	資産保有・管理	事業スキーム	O&M取支	運営主体選択	運賃政策	(関連事業)	(広報計画)	事業戦略	サービス水準	更新投資費	補助金	O/M分析	経済財務分析	規制枠組み	規制制度整備	規制業務	技術基準	安全管理	安全認証	その他法令	O&M契約	外注計画
1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
3																														
4		●	●	●	●				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	組織設立・採用			開業準備										開業後支援				研修所												
	組織設立	採用計画	一般管理人材採用	運行・保守人材採用	運転士養成	視察・技術移転	竣工図書整備	施設受領	一般管理部門養成	運行部門養成	保守部門養成	内部規程整備	業務マニュアル整備	品質管理計画	保守・予算計画	機材調達	資産管理・システム	施設扱い訓練	総合試験・訓練	営業許可	組織運営	保守業務	運行業務	組織運営改善	保守改善	運行改善	組織制度構築	研修所運営管理	研修教材整備	研修機材調達
1					●						●	●																		
2											●	●																		
3											●																●	●	●	●
4	●	●	●	●	●				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

(3) 本事業における成果、課題等

文献調査、および本事業の詳細計画調査、GC、研修所設立支援に携わっている関係者へのヒアリングの結果から得た、本事業での O&M 支援に関する成果・特長と課題を表 3-14 に示す。

表 3-14 マニラ地下鉄の成果と課題

成果・特長	課題
<ul style="list-style-type: none"> <li>準備調査、詳細設計調査、研修所設立支援、GC など充実した支援が行われている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業形成の段階で適用基準を RD (Record of Discussion) 等で縛っていない、またステークホルダーも多いため、GC 段階で日本仕様と欧州仕様の比較といった議論がなされる結果となり、事業の遅延に繋がっている。</li> <li>O&amp;M 全体を見越した検討が計画段階から不足している。</li> <li>JICA の支援とは別にシャドウオペレータが実施機関に O&amp;M 全体の支援を実施している。</li> <li>都市鉄道に関する法制度が整っていない、火災対策基準や建築基準など、各担当省庁などと協議しながら決めていく必要がある。</li> <li>同国他路線のメンテナンス状況を鑑みると、技術者や予算面で経済の専門家を派遣するなど、GC 終了後にも継続的な支援の形が必要と思われる。</li> <li>同国の風習で、高等教育を受けた人材はオフィスワークを望む傾向があるため、研修所でスタッフを教育する指導員に現場経験が無いといった事態が発生している。</li> </ul>

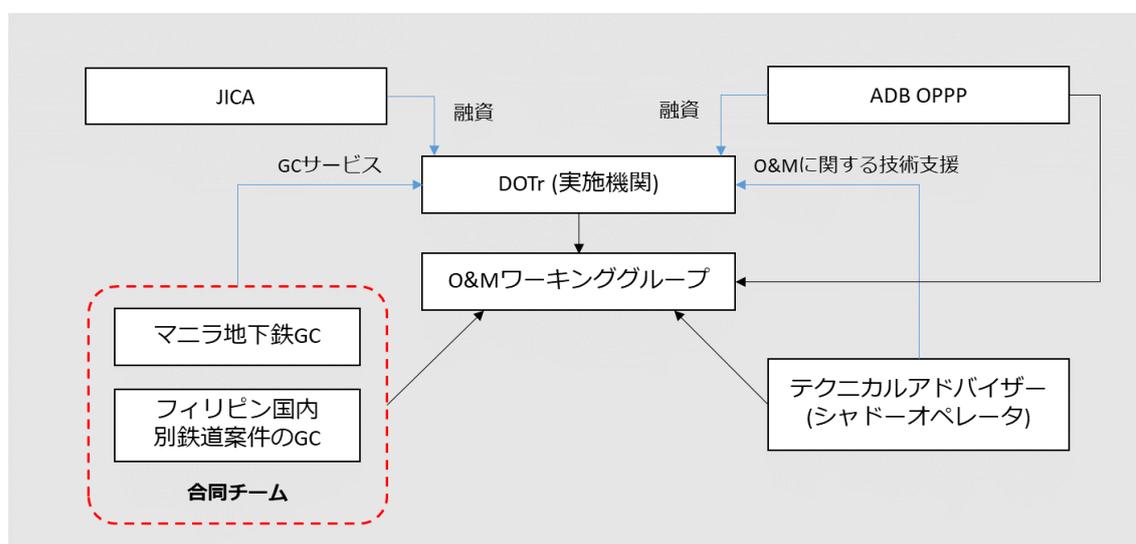


図 3-11 マニラ地下鉄におけるシャドウオペレータのスキーム図

#### (4) 総評

幅広い設計検討、事業承認プロセス支援、人材育成支援など、充実した支援を行っており計画・設計面での成果が得られている。

しかし、充実した支援の結果、路線間、詳細設計調査—ゼネラルコンサルティングサービス間、

ドナー間を含むプロジェクト間の調整が非常に複雑化している。適宜対応ではなく、支援の全体構成と支援プロジェクト間の調整メカニズムを準備調査段階で綿密に企画・設計することが望ましい。

実施機関は設計段階で O&M 事業者の入札を実施する方針だが、設計が最終化を待たず入札条件を定める難しさがあり、開業時期の見通しも立てにくい。また、O&M 事業者の調達支援を他ドナー（ADB OPPI）が支援しており、建設事業のドナーである JICA の意向が反映されにくい状況にある。質の高い O&M 事業者が選定されるよう、資格要件を適切に定めなければならない。円借款事業では JICA も O&M 事業者選定のクライテリアを明確化すべきである。

さらに、フィリピンに都市鉄道に関する法体系が確立されておらず、そのため直営または民間企業とのコンセッション契約により路線ごとに対応する必要があるといった課題もある。鉄道事業は公益性が高く、路線ごとに対応するよりも国が法制度を整備し、統一的に規制すべきとの見方もできる。

### 3.6 エジプト・カイロ地下鉄 4 号線 (Handbook P99-P100)

#### (1) 路線概要

##### 1) 背景

エジプト・アラブ共和国（以下エジプト国）のカイロ県、ギザ県及びリオベヤ県などからなる大カイロ都市圏には全人口の 25% が集積しており、インフラにかかる負担が増大し、交通渋滞不十分な公共交通サービス大気汚染などの都市問題はますます深刻化していた。エジプト国政府は、郊外に工業地域、住宅地域などの機能を持つ衛星都市を建設し既存都市圏の人口・機能を分散させる都市計画を推進しているが、既存都市部と新旧の衛星都市と機能的に一体化させるための交通システムの整備が不可欠となっている。

このような状況を踏まえ、2001 年～2002 年に JICA の開発調査「大カイロ都市圏総合交通計画調査 (CREATS、フェーズ 1) が実施され、地下鉄 2 号線及び 3 号線の延伸、4 号線の建設、基幹バスウェイの整備などが提案された。2006 年には同開発調査の結果を以って大カイロ都市圏の交通整備マスタープランとしてエジプト国政府によって決定され、その提案に沿って整備の実施/準備が進められてきた。上記開発調査にて提案された地下鉄 4 号線は、1 号線のエルマレク・エルサレ駅を基点に、西へ向かうルート約 17.2km (フェーズ 1 区間) と、東へ向かうルート約 23.5km (フェーズ 2 区間) から成り、カイロ市を東西に横断する総延長 40.7km の路線である。エジプト国政府は地下鉄 4 号線の整備も早期に進める意思決定を行い、2008 年 10 月、全線のフィージビリティ調査、フェーズ 1 の予備設計、フェーズ 1 の基本設計及び入札図書の内容とする調査の実施を日本国に要請した。

##### 2) 事業内容

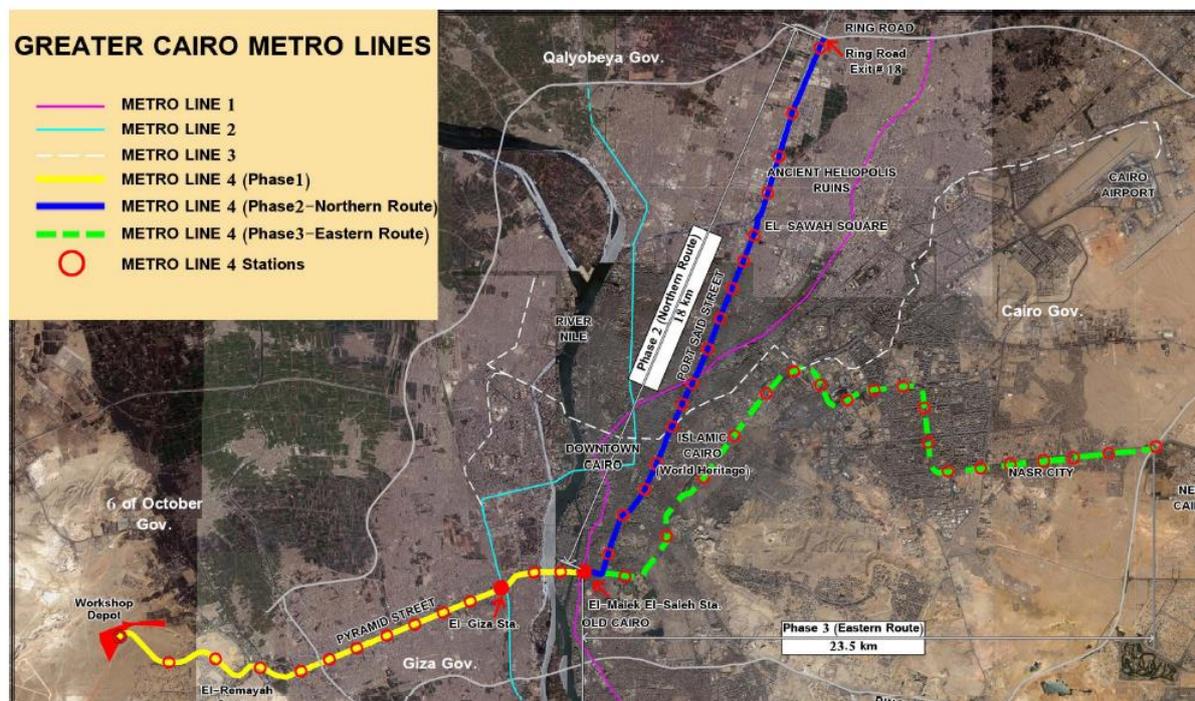
フェーズ 1 区間は、カイロ市街外縁のリングロード西側に位置する起点駅ハダエク・エル・アシュガル駅 (Sta. 1) より東に向かい、建設中の大エジプト博物館、世界遺産のギザピラミッド前を通過して、ピラミッド通りに沿って進み、地下鉄 2 号線のエル・ギザ駅 (Sta. 13) を経てナイル河を横断し、地下鉄 1 号線の交差駅エルマレク・エルサレ駅 (Sta. 16) を結んでおり、起点駅付近を除く全線が地下路線である。駅数は 16 駅となっている。車両基地予定地は西端の起点駅付近に位置している。フェーズ 2 区間は、エルマレク・エルサレ駅から世界遺産地区であるイスラミックカイロを横切り 3 号線と接続した後に、ナスル・シティを経由しニューカイロを結ぶ路線で、全線地下の 19 駅から成る予定である。(表 3-15 は整備事業の概要、図 3-12 路線マップ)

表 3-15 カイロ地下鉄四号線第一期整備事業

事業名	カイロ地下鉄四号線第一期整備事業 (Greater Cairo Metro Line 4 Phase I Project)
借款契約日	2012 年 3 月 19 日
事業内容	カイロ市街中心部より西側ギザのピラミッド方向にピラミッド通りの下に地下鉄を約 17km 建設するもの。
	・地下鉄建設工事 (駅・トンネル建設、軌道工事含む)
	・車両基地・工場建設
	・電気 (第三軌条) ・信号・通信施設・設備の敷設、一次受電変電所、中央管理室
	・車両調達 (8 両編成×23 編成=184 両)
	・コンサルティング・サービス (入札補助、施工監理、運営・維持管理支援)

事業対象地域	カイロ大都市圏
事業実施機関	運輸省トンネル公団 (National Authority for Tunnels)
総事業費	約 400,000 百万円 (借款額 : 200,000 百万円、STEP)

出典：調査団作成

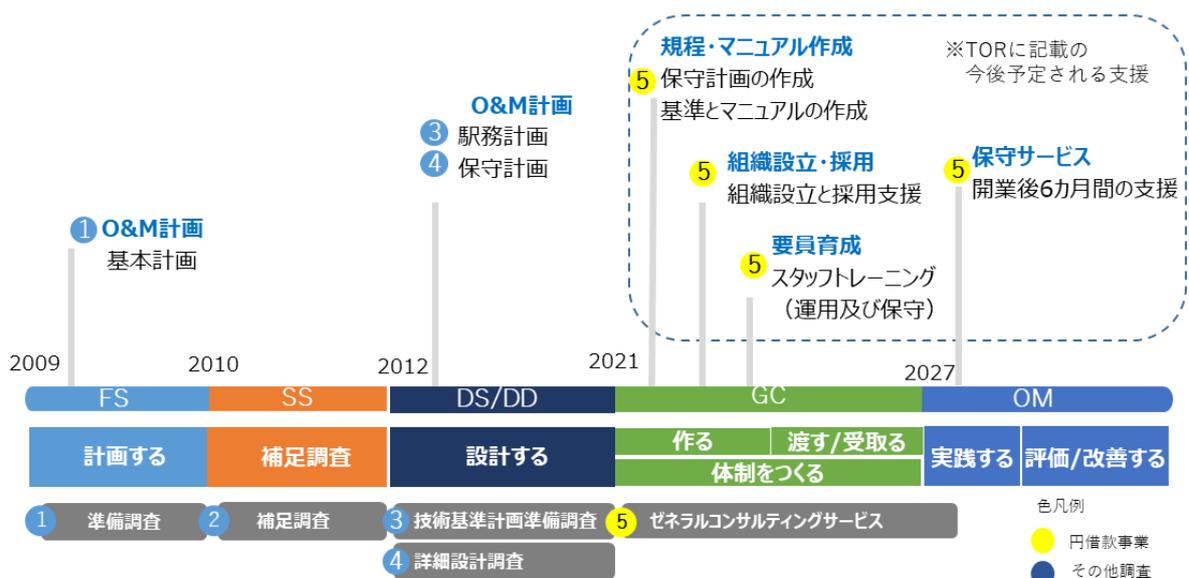


出典：JICA「カイロ地下鉄4号線整備事業準備調査 最終報告書」2010年6月,1頁

図 3-12 カイロ地下鉄4号線路線マップ

## (2) 支援内容

2009年より4号線全体のF/Sを実施し、2010年にはフェーズ1区間の補足調査(S/S)が実施された。この結果を受け、2010年9月にエジプト国政府より本邦技術活用条件(STEP)を活用した円借款の要請があり、円借款供与による事業実施が予定され、その実施に向けて主要なコンポーネントについて技術基準計画準備調査および詳細設計調査が実施され、2021年から入札、施工管理の段階となっている。(図3-13はプロジェクトの経過)各段階でのO&M支援の内容及び状況を把握するため、調査団作成のチェック表を用いてTORの記載内容を整理した。(表3-16カイロ地下鉄4号線に係るTOR分析表は分析結果表)



出典：調査団作成

図 3-13 カイロ地下鉄 4 号線に係る技術協力プロジェクトの経過

表 3-16 カイロ地下鉄 4 号線に係る TOR 分析表

	O&M計画			要員計画		運営組織計画						経済財務			規制監督				契約											
	需要予測	路線計画	運行計画	車両・鉄道施設設計	駅務計画	保守計画	組織体制	要員計画	職務分担	資産保有・管理	事業スキーム	O&M収支	運営主体選択	運賃政策	(関連事業)	(広報計画)	事業戦略	サービス水準	更新投資費	補助金	CF分析	経済財務分析	規制枠組み	規制制度整備	技術基準	安全管理	安全認証	その他法令	O&M契約	外注計画
準備調査	●	●	●	●																	●									
補足調査	情報を入手できず未記載																													
技術基準計画準備調査	●	●	●	●	●	●																								
詳細設計調査	●			●	●																									
ゼネラルコンサルティングサービス		●		●	●	●	●	●															●	●	●	●	●			
	組織設立・採用				開業準備								開業後支援					研修所												
	組織設立	採用計画	一般管理人材採用	運行・保守人材採用	視察・技術移転	竣工図書整備	施設受領	一般管理部門養成	運行部門養成	保守部門養成	内部規程整備	業務マニュアル整備	品質管理計画	保守・予算計画	機材調達	資産管理・ITシステム	施設扱い訓練	総合試験・訓練	営業許可	組織運営	保守業務	運行業務	組織運営改善	保守改善	運行改善	組織制度構築	研修所運営管理	研修教材整備	研修機材調達	
準備調査																														
補足調査	情報を入手できず未記載																													
技術基準計画準備調査																														
詳細設計調査																														
ゼネラルコンサルティングサービス	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

出典：調査団作成

### **(3) 本事業の成果、課題**

#### **1) 成果**

カイロ地下鉄 4 号線はカイロ地下鉄 1 号線～3 号線の運営経験のある ECM によって運営されることを想定しており、既存の O&M の体制を踏まえて運行の基本計画を策定し、入札図書に詳細な条件を記載することができた。また、E&M のマニュアル類については、必要なものを請負業者が準備するように明記し開業準備が円滑に進むよう準備がなされた。

Taking over（引渡し）前の Trial Run については、責任の所在があいまいとなるため注意する必要があり、本件では性能確認のための試運転（Demonstration）と乗務員訓練（Experimental Working Period）を明確に分けて整理し、開業前後にトラブルが生じないように工夫された。

#### **2) 課題**

ナイル川近郊の地盤調査等の影響により建設が遅れており、開業は概ね 2027 年へ先送りとなっている。また、ECM が初めて取り扱う日本式の信号設備については入念な教育が必要であり、これまでの保守体制と親和が図れるか注視する必要がある。

円借款を利用した、現地政府や事業者が発注者となつての業務契約ではなく、本件ではかつての連携 D/D（詳細設計）方式のように、JICA 発注の業務となつていた。成果物にはカウンターパートの承認が必須であるが、カウンターパートには承認しないことによるデメリット（費用増大等）が無く、業務が遅々として進まない事態となつた。

### **(4) 総評**

#### **1) TOR について**

運転計画の指示書（成果物）に運行ダイヤが含まれていたが、カイロでは運行ダイヤが重要視されていなかったため、設計場面では設備容量を決定するためのピーク時のダイヤのみを作成することとすれば、効率の良い業務となつたと考える。国によってはダイヤを使用していないので、ニーズに合わせた成果物の設定が必要と考える。

#### **2) 業務スキームについて**

かつての連携 D/D（詳細設計）方式のように、JICA 発注の業務となつた場合は、カウンターパートに承認をスムーズに行っていただくような仕組みや、工程が伸びた場合のエンジニアへの追加人月の配慮などが必要である。本件では追加の人月が限定的であり苦慮する部分が見られた。

#### **3) JICA 業務について**

各プロジェクトにおいて taking over（引渡し）前に（各国案件でしばしば）実施されるスタッフ訓練の位置づけについては整理が必要であり、本件のような記載の工夫も解決策の 1 つと考えられる。

### 3.7 今後の支援の在り方(標準化) (Handbook P101-P102)

#### (1) O&M 計画の標準化(FS 段階)

FS 段階で最低限抑えるべき重要調査項目や調査深度を以下に例示する。調査の要員構成や鉄道事業者によるレビュー体制など、FS 調査を効果的に実施するための工夫が提案されている。

- 調査深度を定義する上で最低限調査すべき項目を「重点調査項目」としてまとめた。
- 調査の要員構成において「鉄道 O&M」担当者の配置とタスクを示した。
- 準備調査段階で「鉄道事業者によるレビュー体制」を構築し、O&M 支援の抜け漏れと重点調査項目の横通しを確認するものとした。

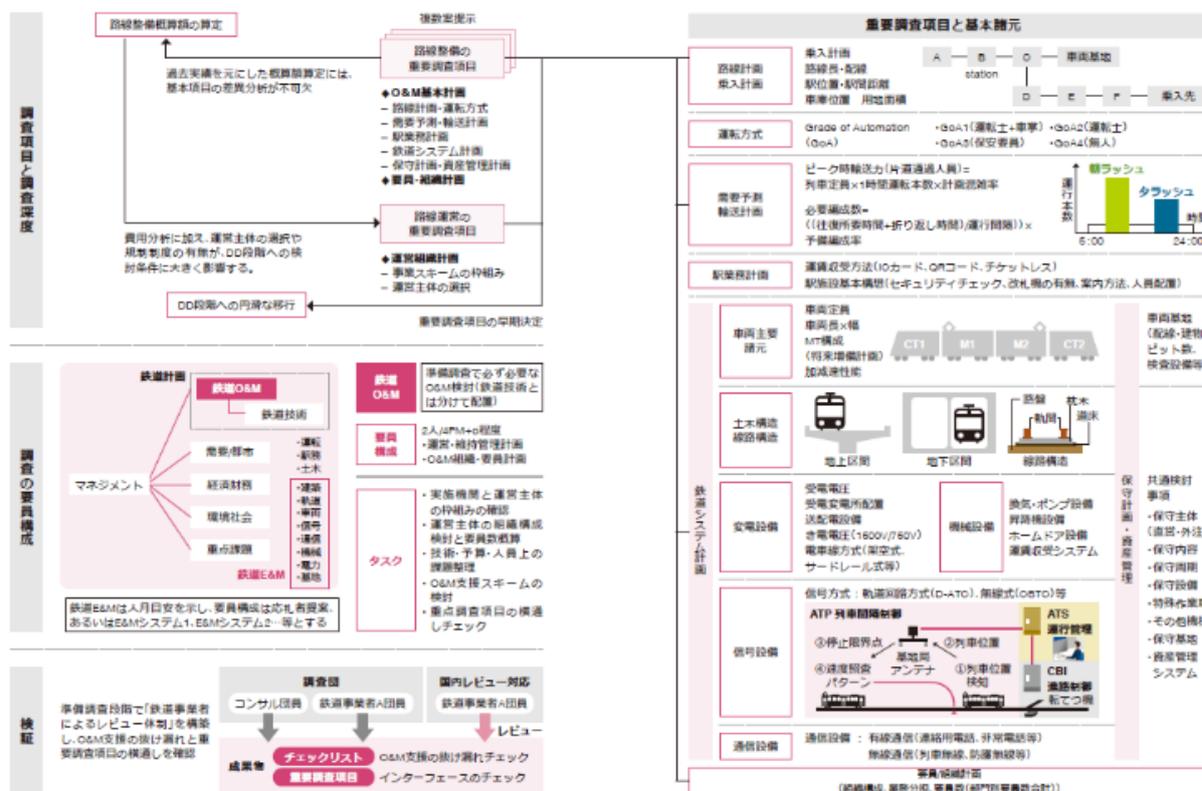


図 3-14 O&M 計画の標準化 (FS 段階)

### 3.8 O&M 支援の計画・実施 (Handbook P103-P108)

#### (1) O&M 支援の計画

FS 段階における O&M 支援の計画で留意すべき点を示す。チェックリストを活用した支援漏れの防止、支援枠組みの標準形を提案した。O&M 支援の前提となる実施の枠組み・事業スキームに係る留意点を示した。

##### 1) O&M 支援チェックリスト

今後の O&M 支援における調査項目を開業後の支援も含めて標準化するための枠組みの例を示す。O&M 検討項目は O&M 計画、要員計画、運営組織計画、経済財務、規制監督、契約、組織設立・採用、開業準備、開業後支援、研修所に分類される。

- ・ 過去の TOR 分析を通じて整理した O&M 支援チェックリストを用意している。
- ・ 支援枠組みを定める際にどの主体がどの支援を実施するかをチェックする際に使用する。
- ・ 各コンサルパッケージの他、実施機関・運営主体、コントラクタとの分担も意識する。

同チェックリストの活用方法については以下の通りである。

- ・ FS (準備調査) 段階で各コンサルパッケージ・仕様書案を提案する (コンサルタント)。
- ・ チェックリストを使って支援の抜け漏れがないことを確認する (JICA 案件担当者)。
- ・ 円借款事業+付帯事業として案件を形成する (JICA 案件担当者)。
- ・ 仕様書に沿って業務が進める (コンサルタント)。
- ・ 継続的にチェックリストを使って各サービスの役割分担を確認する (JICA 案件担当者)。

表 3-17 O&M 支援チェックリスト

O&M 計画			要員計画		運営組織計画					経済財務			規制監督				契約													
需要予測	路線計画	運行計画	車両・鉄道施設計画	駅務計画	保守計画	組織体制	要員計画	職務分担	資産保有・管理	事業スキーム	O&M 収支	運営主体選択	運賃政策	(関連事業)	(広報計画)	事業戦略	サービス水準	更新投資費	補助金	CF 分析	経済財務分析	規制枠組み	規制制度整備	規制業務	技術基準	安全管理	安全認証	その他法令	O&M 契約	外注計画

O&M 支援に係るコンサルティングサービス

組織設立・採用				開業準備							開業後支援				研修所														
組織設立	採用計画	一般管理人材採用	運行・保守人材採用	運転士養成	視察・技術移転	竣工図書整備	施設受領	一般管理部門養成	運行部門養成	保守部門養成	内部規程整備	業務マニュアル整備	品質管理計画	保守・予算計画	機材調達	資産管理・IT システム	施設扱い訓練	総合試験・訓練	営業許可	組織運営	保守業務	運行業務	組織運営改善	保守改善	運行改善	組織制度構築	研修所運営管理	研修教材整備	研修機材調達

##### 2) O&M 支援枠組みの考え方

本社職員への管理指導、現地職員への実地訓練、機器使用のユーザー訓練を、GC、O&M コンサ

ルティング・サービス、コントラクターのいずれが担当するか、分担を確認する。また、開業後支援を想定していない案件が過去に多くあったため、今後の案件では当初から想定しておくことが望ましい。

### 3) O&M 支援枠組みの検討

準備調査段階で O&M 支援の枠組みを決定する。その上で GC の O&M 関係タスクを明らかにする必要がある。組織体制整備、法制度整備、研修センター支援：独立 or GC の一部か、円借款 or 技術協力プロジェクトか、等の判断が必要である。運営主体が直営の場合には様々な支援方法があるが、民間ならば支援範囲は限られる。

### 4) O&M 支援枠組みの定型

GC とコントラクターの他、法制度・技術基準、事業計画、開業前・開業後支援などにより網羅的な O&M 支援が実現する。下図は都市鉄道の経験がない・浅い国での必要な O&M 支援を網羅的に示している。現地状況や鉄道事業者の参入環境等を考慮し、準備調査で支援パッケージを決定する。

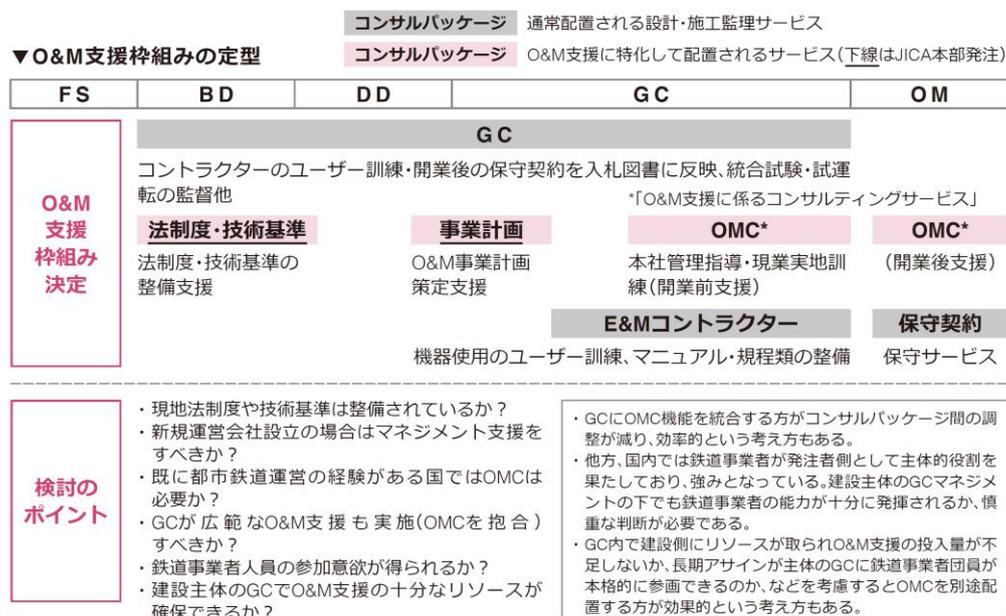


図 3-15 O&M 支援枠組みの定型

### 5) 事業の実施・運営体制(事業スキーム担当者を別途配置する場合)

運営主体の選択はある程度明確な場合もあるが、準備調査段階では決定されないことが少なくない。事業スキームは通常閣議レベルの決定となる場合が多く、多方面のステークホルダーとの調整が必要である。準備調査で検討が必要な場合には鉄道 O&M チームに「事業スキーム」担当者を配置する必要がある。

▼実施の枠組み・事業スキームに関する過去の事例

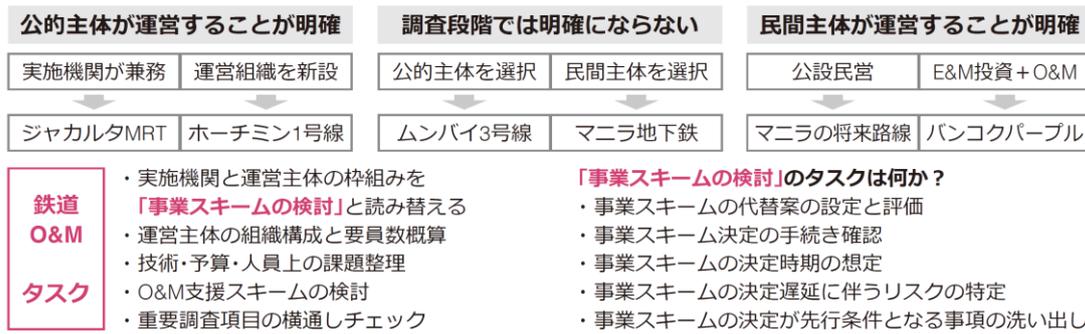


図 3-16 実施の枠組み・事業スキームに関する過去の事例

(2) O&M 支援の実施

1) O&M に係る GC の要員構成(必要とされる専門分野)

マニュアル・研修計画、O&M 計画とコントラクターとの I/F 調整、事業スキーム・事業計画系の 3 分類で考える。TA や OMC が配置されるか否かで GC の要員構成は異なるため、以下に一例を示した。この他、共通決済システム、本社 IT システムや資産管理等も適宜追加する。

ポジション(MMSP-GCの例)	タスク概要	補記
1. Manual Expert 2. Training Expert 3. Training Coordinator	・入札図書への仕様 ・研修計画の策定・実施支援	・通常GC契約に入るポジション ・コントラクターからのアウトプットが必要
4. Station Operation Advisor 5. Rolling Stock and Depot Advisor 6. Signal & Telecommunication Advisor 7. Civil & Track Advisor 8. Train Operation Advisor 9. E&M Advisor 10. Advisory Engineer 1 11. Advisory Engineer 2	・O&M計画の策定 ・入札図書への反映 ・コントラクターとのインターフェース調整 ・GC内の各サブシステム間の横通し ・開業後のO&Mアドバイザー	・OMCにより開業前・開業後支援が実施される場合は3名以上を配置 ・例えば、土木軌道、車両、信号
12. O&M Rule Expert / PPP Expert 13. Finance & Business Management Advisor 14. PR & Mobility Management Expert 15. Transport Expert 2 16. Railway Business Expert	・事業スキームの検討→承認支援 ・事業計画の策定→最終化 ・運営主体の財務的健全性確保	・実施・運営の枠組みは決定済みか? ・TAやOMCに分担させるか?

図 3-17 GC の要員構成 (O&M 関係)

2) O&M に係る OMC の要員構成(必要とされる専門分野)

例としてジャカルタ MRT の O&M コンサルティング・サービス (円借款による現業支援) とホーチミン都市鉄道 1 号線の技術協力プロジェクト (本社管理支援) の要員体制を示す。

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Project Manager</li> <li>2. Urban Railway Train Operation Management Expert</li> <li>3. Urban Railway Train Operation Planning Expert</li> <li>4. Urban Railway Train Operation Handing Expert</li> <li>5. MRT Safety System and security Expert</li> <li>6. Electric Multiple Unit(EMU)Management Expert</li> <li>7. Track Facility Maintenance Expert</li> <li>8. Civil Structure Management Expert</li> <li>9. Workshop/Depot Facility &amp; Equipment Management Expert</li> <li>10. Signal/Telecom. System Management Expert</li> <li>11. Electrification System Management Expert</li> <li>12. General Mechanical Equipment Management Expert</li> <li>13. IT System Operation Expert</li> <li>14. Passenger Service Management Specialist</li> <li>15. Legal &amp; Regulatory Administration Specialist</li> <li>16. Environmental Management Expert</li> <li>17. Organization Strycture Planning/HR Expert</li> <li>18. Operation &amp; Maintenance Cost Specialist</li> <li>19. Personnel Training Planning Expert</li> <li>20. Non Railway Business Managing Expert</li> <li>21. Tender Document Specialist</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 総括/プロジェクトマネージャー</li> <li>2. 都市鉄道規制</li> <li>3. 安全管理</li> <li>4. 人材育成</li> <li>5. 財務</li> <li>6. 企画(組織運営・経営方針)</li> <li>7. 都市鉄道運営</li> <li>8. 駅設備管理</li> <li>9. 維持管理(土木・軌道)</li> <li>10. 維持管理(車両)</li> <li>11. 維持管理(電気・信号通信)</li> <li>12. 維持管理(機械)</li> <li>13. ITシステム</li> <li>14. 資産・資材管理</li> <li>15. モビリティ・マネジメント</li> <li>16. プロジェクトコーディネーター/<br/>モニタリング評価</li> </ol> |
|--|---|

図 3-18 要員体制 (左：現業支援・円借款、右：本社管理支援・技術協力プロジェクト)

### 3) マニュアル・規程類の整備

マニュアルはコントラクタ提出物を基に最終化する。規程類はコントラクタと運営主体の双方が分担する。過去の支援では、コントラクタの提出物が入手できずコンサルタントが自らの想定で作成した事例が多かった。ただし、マニュアルがあれば O&M ができる訳ではない。O&M 実務能力養成により労力を割くため、マニュアル整備は効率化したい。

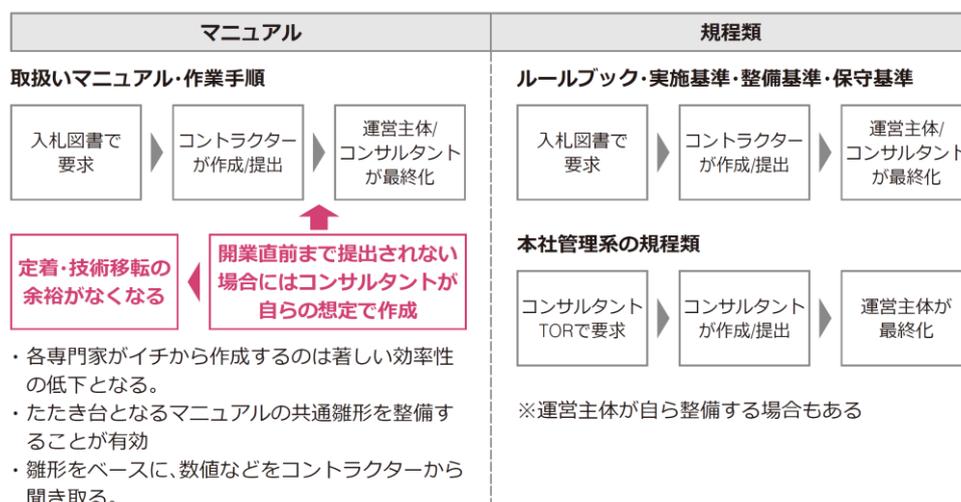


図 3-19 マニュアル・規程類の整備

### 4) キャパシティビルディング

各分野で C/P を複数配置、C/P 報告義務の徹底、教育担当の配置によりキャパビル効果を高めることが重要である。C/P の離職・配置転換、進捗報告に関する専門家への依存、教育担当の不在により効果が低減しているケースがみられる。ただし技術協力プロジェクトの場合には R/D への明記で対応できるが、円借款の場合には契約者間の関係にあるため制約もある。



図 3-20 キャパシティビルディング実施上の工夫

### 5) O&M 支援実施の先行条件

実施の枠組み・事業スキームの決定は可能な限り O&M 支援の先行条件とすべきである。準備調査で実施主体・運営主体の枠組みが確認できない場合には、支援量・支援分野を特定しにくい。O&M の直営・外注の選択、運営主体の選択（実施主体が兼務か新設組織か）は O&M 支援の先行条件とすべきである（ただし実施機関の権限では決定できないため、先行条件にできるとは限らない）。

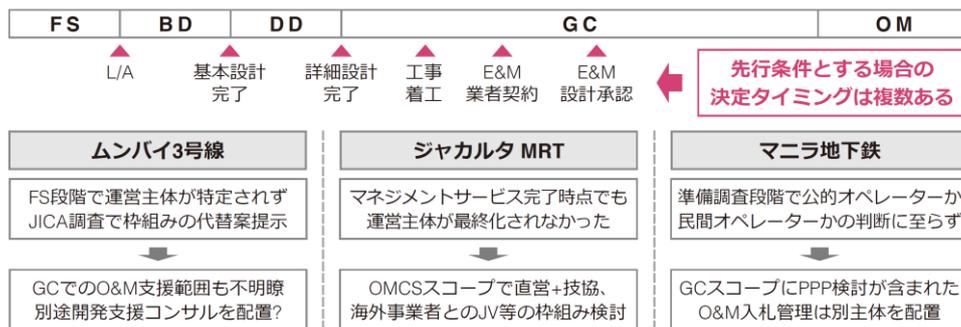


図 3-21 O&M 支援実施の先行条件（タイミングと事例）

### 6) 開業準備のタイムライン(イメージ)

タイムラインを示しても、開業遅延により支援が間延びするリスクがある。支援の開始・再開条件を明確化する必要がある。理想的な実例としてつくばエクスプレスやジャカルタ MRT などが挙げられるが、大きな開業遅延がなかったことが主要因である。開業遅延が見込まれる場合は支援が間延びしないよう、会社設立や職員雇用の進捗率等を再開条件とする必要がある。最小要員で支援を継続する場合には、フォロー期間のリソース見直しや逸失機会の補填等も検討すべきである。

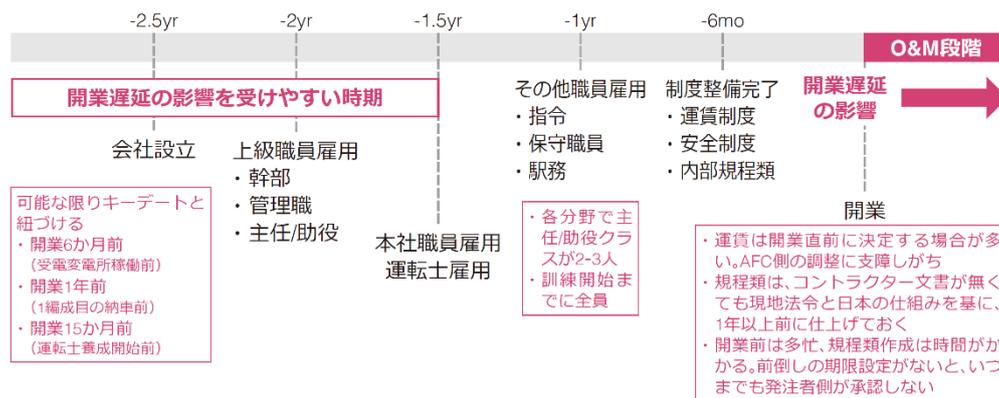


図 3-22 開業準備のタイムライン (イメージ)

### 7) ステークホルダーとの調整

案件管理の際にステークホルダー調整の抜け漏れがないかをチェックする。鉄道建設事業と鉄道 O&M でステークホルダーを切り分けることはできない。技術面では特に電力供給や無線使用許可が取り上げられることが多い。この他、運営主体を検討する際には国営企業を所管する官庁や人事院等が関係する場合がある。

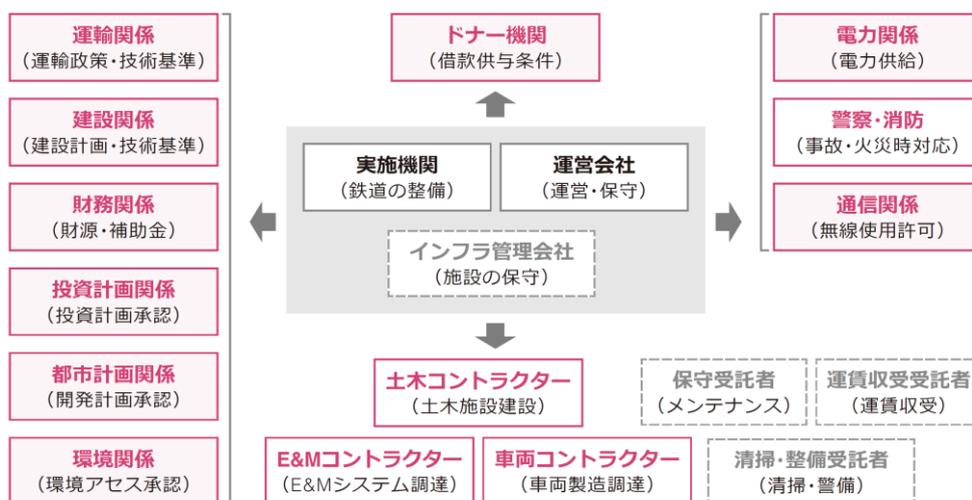


図 3-23 ステークホルダーとの調整

### 8) 事業効果/評価の考え方

基本的には「運用・効果指標ガイドライン」に従う。この他、運用指標として輸送障害/故障発生率/重大事故件数、効果指標として脱炭素やジェンダー等の追加を検討する（「追加項目」と呼ぶ）。

今後の進め方として、以下を提言する。

- 「運用・効果指標ガイドライン」において、追加項目を反映する (JICA 全体)
- 準備調査の特記仕様書において、追加項目を含めた指標を求める (JICA 案件担当者)
- 準備調査報告書において、特記仕様書に基づき追加項目を含めた指標を示す (コンサルタント)

- 準備調査の成果物において、追加項目を含めた指標となっていることを確認する（JICA 案件担当者）
- 関係する O&M 支援業務の特記仕様書において、追加項目を含めた指標を参照することを求める（JICA 案件担当者）
- 関係する O&M 支援業務の報告書において、追加項目を含めた指標を更新する（コンサルタント）
- 関係する O&M 支援業務の成果品において、追加項目を含めた指標が更新されていることを確認する（JICA 案件担当者）

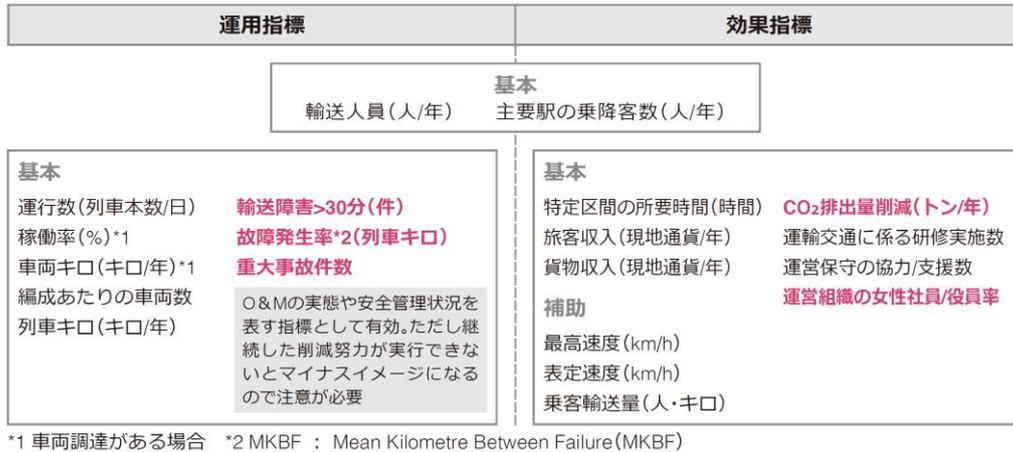


図 3-24 事業効果/評価の指標

### 3.9 その他の技術協力 (Handbook P109-P110)

各支援方法（技術プロジェクト、案件実施支援、専門家派遣）の特徴と内容を整理した。供用開始済みの事業との連携による第3国研修の可能性を示した。今後も多様な支援ニーズが発生することから、有用な先事例を紹介している。

#### (1) 各スキームの特徴・OM 支援内容の整理

技術協力プロジェクトは設立支援、案件実施支援調査は法制度・技術基準・事業計画、専門家派遣はこれらの発掘を担うものとして整理する。

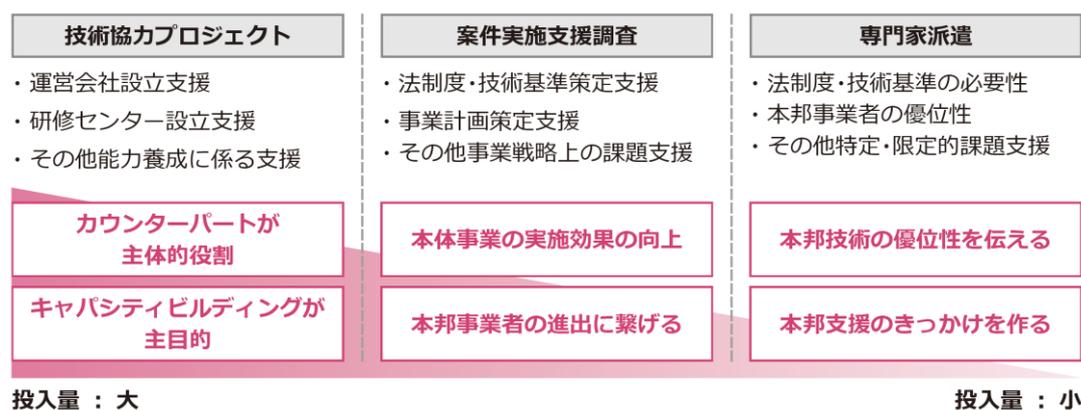


図 3-25 各スキームの特徴・OM 支援内容の整理

#### (2) 第3国研修

今後の都市鉄道整備や運営維持管理事業においては、供用開始済みの鉄道事業者や研修センターを活用した第3国研修が有効である。JICA 技術協力プロジェクトや円借款で支援したものを中心に、効果的な研修プログラムを計画・実施することが望ましい。研修のテーマと各都市鉄道の特性に合わせて以下の活用案を参考に取捨選択すると良い。これまでの支援が多岐に渡ることから、様々なテーマでの研修実施が可能である。

表 3-18 各国都市鉄道の運営主体

開業支援に伴う技能研修	・ジャカルタ MRT ・デリー・バンガロールメトロ
研修センター設立支援	・フィリピン鉄道訓練センター
事業実施に伴う基礎研修	・ジャカルタ MRT ・フィリピン鉄道訓練センター
運営の管理	・ジャカルタ MRT ・デリー・バンガロールメトロ
メンテナンスの管理	・バンコクパープルライン
事業スキーム	・バンコク (鉄道局)
安全管理	・フィリピン鉄道訓練センター ・バンコクパープルライン
組織設立・採用計画	・ジャカルタ MRT ・デリー・バンガロールメトロ
運転士の養成	・ジャカルタ MRT ・フィリピン鉄道訓練センター
マニュアル・規程類	・バンコクパープルライン



▲ジャカルタMRT



▲フィリピン鉄道訓練センター

### 直営・外注の別

- 運営及び／あるいは保守を民間企業に外注している場合は研修受入れを要請することは困難な場合が多い。このため、基本的には直営事業者を選択しなければならない。
- ただし、バンコクパープルラインのように本邦企業が請負者の場合には研修を受け入れてもらえる可能性がある。

### 高架・地下の別

- 施設・設備、運用・保守が一部異なるため、高架・地下の別は、同じものを選択すべき。
- 高架・地下区間の両方を持つ路線が多いため、総じて研修先の選定に影響しない。
- ただし、バンコク・パープルライン等は高架区間のみのため、地下鉄の研修には向かない。

### 電化方式・集電方式の別

- 直流と交流、架線と第3軌条など、電化方式や集電方式が同じシステムを選択すべき。

### 信号方式の別

- 軌道回路と移動閉塞（CBTC）の別を踏まえて、信号方式が同じシステムを選択すべき。

### 語学力（英語による研修）

- マネジメントレベルは各国・各組織で相応の英語力を備えているが、現業職員レベルになると非英語圏では通訳を介する必要がある。
- インド・フィリピンを目的地であれば、英語による研修が容易である。

## (3) 法整備・技術基準策定支援

都市鉄道に特化した法制度・技術基準が整備されていない対象国ではこれらの整備支援を実施することで、事業実施の円滑化が図られたり、日本の鉄道システム輸出に貢献することができる。

**ダッカ都市交通法整備支援** 都市鉄道の規制・監督機関であるダッカ交通調整局に対して都市鉄道法（メトロレール法）及び下位規則の策定を支援し、法制度体系を整備すると共に、鉄道技術基準を法制化した。

## (4) 安全認証

日本の安全管理規程と欧州の安全認証との相違に留意する必要がある。対象国が後者への順守を法令で定めたり、施主の意向により設計・入札図書で求めたりするケースが少なくない。このような場合、対応できる国内のリソースは限定されるため、支援実績を重ねることが必要である。

**ホーチミン都市鉄道1号線運営会社設立・能力強化支援** ベトナムで新たに施行された安全認証制度に従い、リスクアプローチに基づいた運行安全管理システムの作成を支援している。MAURが入札によって調達する認証機関の審査を受け、商業運転開始前に安全認証を取得することを目的として実施中である。

## (5) 研修設備

研修設備の調達・納入を支援することにより人材育成に寄与することができる。新線建設と同時に研修施設・設備を整備する場合や、既存の訓練センター（主に国鉄）の研修施設・設備を改修・増強する方法も考えられる。研修設備としては、運転シミュレータ、模擬駅、信号演習ジオラマ、台車や軌道構造のカットモデル、等がある。また近年ではDX/VRを活用した研修ソフト等も開発されており、活用が期待される。

**フィリピン鉄道訓練センター設立支援** マニラ地下鉄事業の一部として、研修センター建屋の建設、総合的な訓練センターの研修設備を円借款で調達している。また、動的シミュレータと卓上運転シミュレータは無償支援にて調達している。技術協力プロジェクトでの研修制度構築、研修カリキュラムや教材の整備支援を含め、総合的な支援を実施している。

## 第4章 O&Mの海外展開編

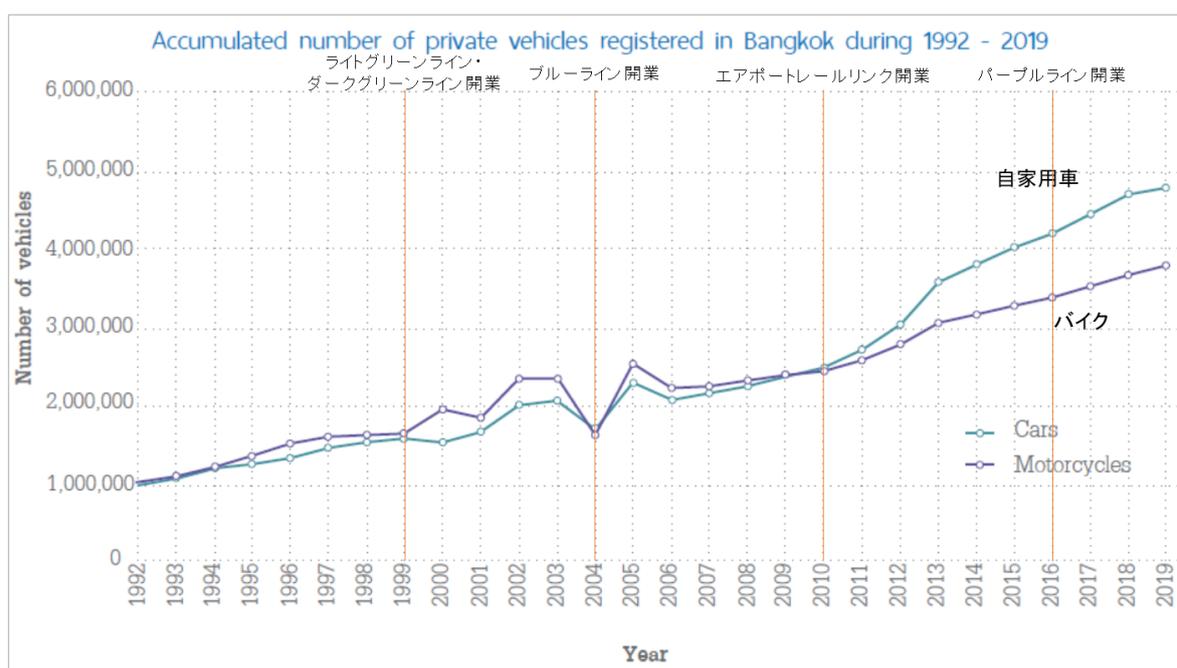
この章では、都市の基幹交通として今後も安全で安定した鉄道運営を維持するために、東南アジア諸国を中心に鉄道 O&M の現状や課題、ニーズ等について調査した結果とそれを踏まえた技術支援の方向性について記載している。その後、土木メンテナンスを対象として今後の支援展開について考察している。

### 4.1 開発途上国のニーズ調査

#### 4.1.1 タイ・バンコク

##### (1) 都市鉄道整備の歴史

バンコクで都市鉄道整備が動き出したのは1990年代に遡る。経済成長に伴い、バンコクの自家用車及びバイクの登録台数は1992年に合計200万台を超え、交通渋滞が激しさを増したことから都市鉄道整備が急務となった(図4-1)。1994年には最初の都市鉄道マスタープランであるMTMP(Mass Transit Master Plan)が内閣により承認されたが、タイ政府はその整備財源について、1970年代の高速道路整備における借款等による対外債務増大という教訓を踏まえ、民間資金の活用方針に舵を切った。



出典：MRTA Annual Report 2020<sup>44</sup>

図4-1 バンコクの自家用車・バイクの登録台数(1992年～2019年)

しかし、都市鉄道整備の経験がないタイ政府にとり、最初から民間セクターに依存した都市鉄道整備は難航した。図4-3は現在の都市鉄道路線図であり、以下の各項で各路線の概要を示す。

<sup>44</sup> [https://www.mrta.co.th/media/896998/en\\_mrta\\_ar2020\\_7june.pdf](https://www.mrta.co.th/media/896998/en_mrta_ar2020_7june.pdf)

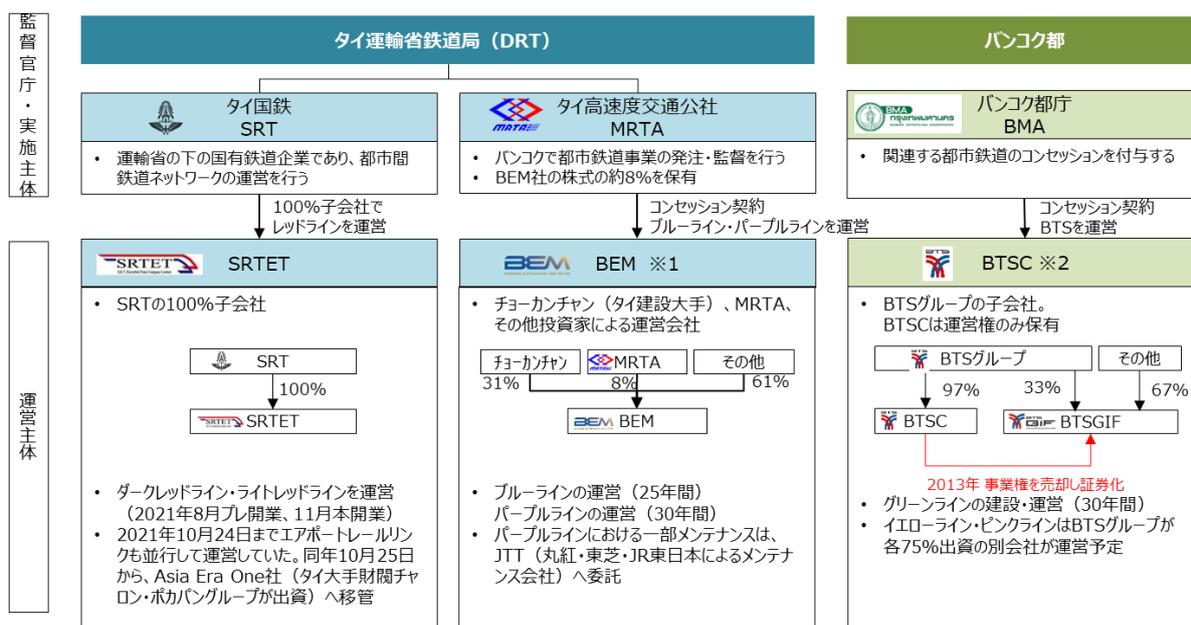
## (2) 既存路線

バンコクには既存の都市鉄道が 8 路線存在し、以下の主体が関係している。

表 4-1 バンコクにおける都市鉄道の主な主体

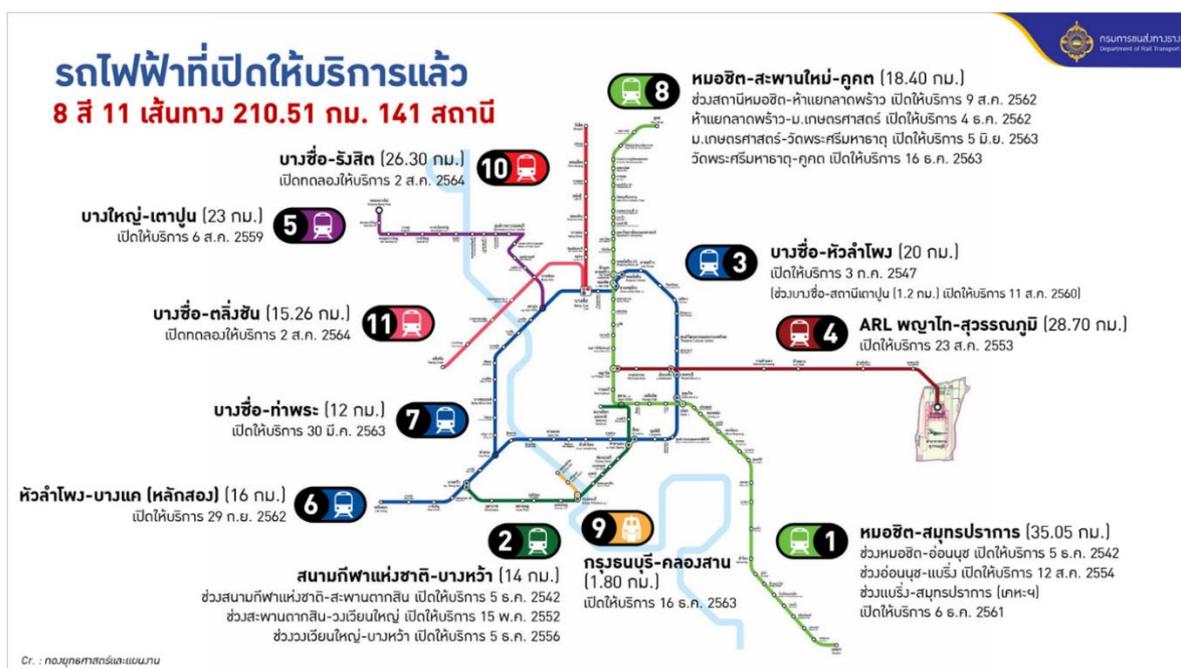
主体	概要
DRT (Department of Rail Transport)	タイ運輸省鉄道局。2019 年 4 月に設置され、鉄道 O&M における運賃政策及び保守基準等の策定を担当している規制機関。
MRTA (Mass Rapid Transit Authority)	タイ運輸省傘下の公社。都市鉄道事業実施主体の 1 つ。新線建設に必要な用地の取得・土木施設建設、コンセプション入札及び O&M 主体の監督を行う。
BMA (Bangkok Metropolitan Administration)	バンコク都の行政を担う機関。バンコク都の交通整備を担う。都市鉄道事業実施主体の 1 つ。
BEM (Bangkok Expressway and Metro)	都市鉄道事業を行うタイの民間企業（旧 BMCL 社）。2015 年に高速道路事業を担っていた旧 BECL 社と合併した。ブルーライン及びパープルラインの E&M (Electrical & Mechanical) 整備、O&M を MRTA から請け負う。一部の保守作業は、SIEMENS（ブルーライン）、JIT（パープルライン）に委託している。
BTSC (Bangkok mass Transit System)	都市鉄道事業を行うタイの民間企業。不動産事業に源流を持つ。ダークグリーンライン・ライトグリーンライン及びゴールドラインの建設・E&M 整備、O&M を担う。一部の保守作業は、SIEMENS 等に委託している。
SRT (State Railway of Thailand)	タイ国鉄。ダークレッドライン・ライトレッドラインの事業主体。
SRTE (State Railway of Thailand Electrified Train)	タイ国鉄の路線のうち電化路線の O&M を担当する子会社。ダークレッドライン及びライトレッドラインを担当している。
AERA1 (Asia Era One)	2021 年 10 月まで SRTE (上述) が O&M を実施していたエアポートルールリンクの O&M を引き継いだ企業。タイ財閥の Charoen Pokhapang グループを中心とした企業の出資による事業者で、エアポートルールリンクを一部区間に組み込む形で整備される「3 空港連絡高速鉄道」（図 4-15 参照）の建設・運営も担う。

都市鉄道における監督官庁・実施主体・運営主体の構造としては、図 4-2 に示すとおり、ブルーライン・パープルラインは MRTA の監督下で BEM が運営し、ダークグリーンライン・ライトグリーンラインは BMA の監督下で BTSC が運営している。ダークレッドライン・ライトレッドラインは運輸省傘下の SRT の完全子会社である SRTE が運営している。エアポートルールリンクはタイ国鉄の完全子会社である SRTE が運営していたが、表 4-1 で示したとおり、2021 年 10 月以降はタイ大手財閥の Charoen Pokhapang グループが出資する企業に引き継がれた。



出典：JICA 調査団

図 4-2 タイの都市鉄道における監督官庁・実施主体・運営主体の構造



出典：タイ運輸省鉄道局 WEB サイト<sup>45</sup>

図 4-3 バンコクの既存都市鉄道路線図 (2021年11月現在)

<sup>45</sup> <https://www.drt.go.th/>

表 4-2 バンコクの既存都市鉄道路線概要

路線名		ブルーライン	パープルライン	エアポートレールリンク	ゴールドライン
形式		MRT	MRT	MRT	ビーブルムーバー
民間負担		上下分離型	上下分離型	—	上下一体型
コスト方式		ネットコスト方式	グロスコスト方式	—	ネットコスト方式
事業主体		MRTA	MRTA	Asia Era One	BMA
O&M組織		BEM	BEM	Asia Era One	BTSC
営業キロ	km	47.0	23.0	28.7	1.9
(地下)	km	(47.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
(その他)	km	(0.0)	(23.0)	(28.7)	(1.9)
駅数		38	16	8	3
(地下)		(38)	(0)	(0)	(0)
(その他)		(0)	(16)	(8)	(3)
開業(当初区間)	年	2004	2016	2010	2020
開業後年数	年	17	5	11	1
軌間	mm	1,435	1,435	1,435	—
電気方式		直流750V	直流750V	交流25,000V	直流750V
集電方式		サードレール	サードレール	架空線	サードレール
車両メーカー		SIEMENS	J-TREC	SIEMENS	Bombardier
備考		<ul style="list-style-type: none"> <li>下部はMRTAが公共事業として円借款を活用し建設、上部は車両調達・E&amp;M整備・25年の営業権を含むBOT方式のPPP事業。</li> <li>2008年に運営会社が債務繰延</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>民間が建設・調達・O&amp;Mを一括して請け負うが、政府が民間に対しあらかじめ定めた算式に基づく事業対価を支払うスキームのPPP事業。</li> <li>土木工事等に円借款活用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3空港連絡高速鉄道(建設中)の一部となる予定</li> <li>2021年10月25日以降、同高速鉄道の整備を担うAsia Era One社へと引き継がれた。</li> </ul>	

路線名		ダークグリーンライン(シーロム)	ライトグリーンライン(スクムウィット)	ダークレッドライン	ライトレッドライン
形式		MRT	MRT	MRT	MRT
民間負担		上下一体型	上下一体型	—	—
コスト方式		ネットコスト方式	ネットコスト方式	—	—
事業主体		BMA	BMA	SRT	SRT
O&M組織		BTSC	BTSC	SRTEET	SRTEET
営業キロ	km	14.0	55.8	26.3	15.2
(地下)	km	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
(その他)	km	(14.0)	(55.8)	(26.3)	(15.2)
駅数		14	47	10	4
(地下)		(0)	(0)	(0)	(0)
(その他)		(14)	(47)	(10)	(4)
開業(当初区間)	年	1999	1999	2021	2021
開業後年数	年	22	22	0	0
軌間	mm	1,435	1,435	1,000	1,000
電気方式		直流750V	直流750V	交流25,000V	交流25,000V
集電方式		サードレール	サードレール	架空線	架空線
車両メーカー		SIEMENS、長春軌道客車(中国中車)	SIEMENS、長春軌道客車(中国中車)	日立	日立
備考		<ul style="list-style-type: none"> <li>バンコク都とのコンセッション契約</li> <li>土木設備はBTO方式、E&amp;M設備はBOT方式で、BTSの投資により整備</li> <li>用地はバンコク都からBTSへ提供</li> <li>2006年に経営破綻・事業再生手続</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>バンコク都とのコンセッション契約</li> <li>土木設備はBTO方式、E&amp;M設備はBOT方式で、BTSの投資により整備</li> <li>用地はバンコク都からBTSへ提供</li> <li>2006年に経営破綻・事業再生手続</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>建設費は円借款活用</li> <li>車両・電気設備は日本企業(三菱重工・日立・住友商事)により製造・納入</li> <li>2021年8月から無料運行開始、11月29日に本開業</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>建設費は円借款活用</li> <li>車両・電気設備は日本企業(三菱重工・日立・住友商事)により製造・納入</li> <li>2021年8月から無料運行開始、11月29日に本開業</li> </ul>

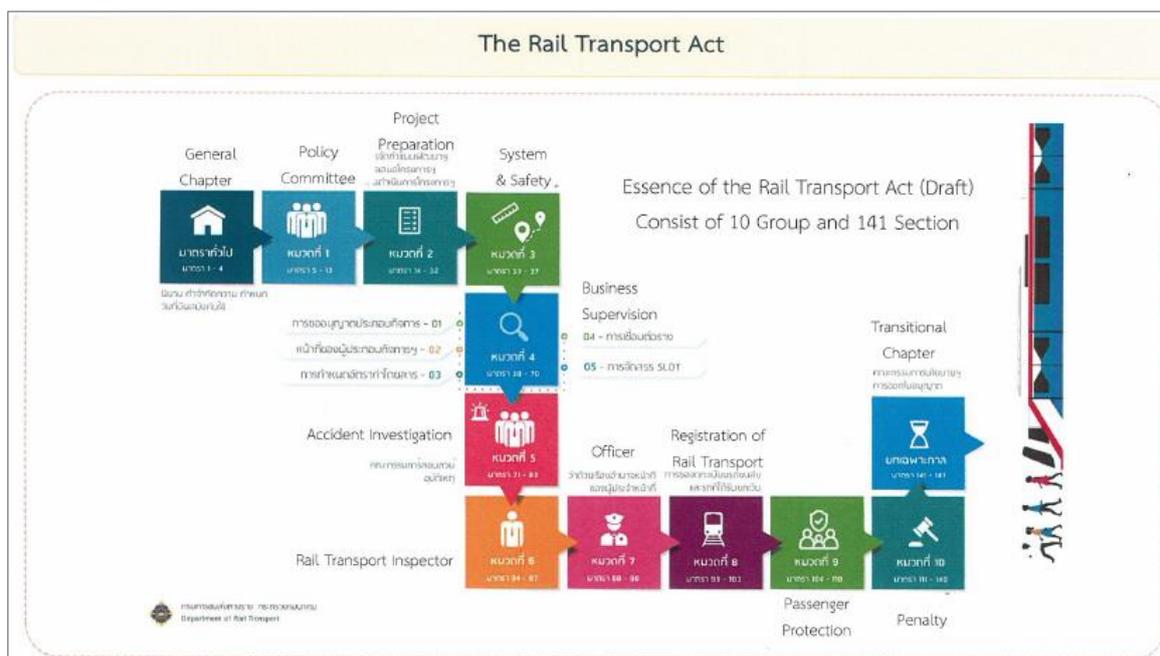
出典：JICA 調査団

表 4-3 タイ王国の都市鉄道案件に対する円借款実績

締結年月 (貸付契約)	案件名	借款金額 (百万円)	本体部分		コンサルタント部分		償還期間 年	据置期間	事業 実施者
			金利	調達条件	金利	調達条件			
1996/9	バンコク地下鉄建設計画(Ⅰ)	26,586	2.70%	一般アンタイド			25	7	MRTA
1997/9	バンコク地下鉄建設計画(Ⅱ)	32,659	2.70%	一般アンタイド			25	7	MRTA
1998/7	既往案件内資融資事業(バンコク地下鉄建設計画)	29,792	0.75%	一般アンタイド			40	10	MRTA
1998/9	バンコク地下鉄建設計画(Ⅲ)	23,343	0.75%	一般アンタイド			40	10	MRTA
1999/9	バンコク地下鉄建設計画(Ⅳ)	64,228	0.75%	一般アンタイド			40	10	MRTA
2000/9	バンコク地下鉄建設計画(Ⅴ)	45,818	0.75%	一般アンタイド			40	10	MRTA
2008/3	バンコク大量輸送網整備計画(パープルライン)(Ⅰ)	62,442	1.40%	一般アンタイド	0.01%	一般アンタイド	25	7	MRTA
2009/3	バンコク大量輸送網整備計画(レッドライン)(Ⅰ)	63,018	1.40%	一般アンタイド	0.01%	一般アンタイド	25	7	SRT
2010/9	バンコク大量輸送網整備計画(パープルライン)(Ⅱ)	16,639	1.40%	一般アンタイド	0.01%	一般アンタイド	25	7	MRTA
2015/6	バンコク大量輸送網整備計画(レッドライン)(Ⅱ)	38,203	0.40%	一般アンタイド	0.01%	一般アンタイド	20	6	SRT
2016/9	バンコク大量輸送網整備計画(レッドライン)(Ⅲ)	166,860	0.30%	一般アンタイド	0.01%	一般アンタイド	15	5	SRT

出典：『世界鉄道市場便覧（タイ・ラオス編）』（日本鉄道システム輸出組合）及び外務省 WEB サイト<sup>46</sup>

表 4-2 のとおり、バンコクの都市鉄道は民間資金を活用した Public-Private Partnership 方式 (PPP) で整備された実績があり、今後の新線整備においても PPP 方式が軸となりうる。落札状況によっては O&M 会社が増加することとなり、他 O&M 会社による運営路線との互換性・連携が考慮されないおそれがある。民間主導で鉄道整備が進んだため、関係法令もこれまで鉄道事業全般を包括的にカバーする法律（日本の「鉄道事業法」にあたる法令）がなく、SRT や MRTA 等の個別組織に対する法律等で監督されてきた。現在、鉄道交通法 (Rail Transport Act) の制定に向けて承認手続きが進められており、2022 年に制定される見込みとなっている。



出典：タイ運輸省鉄道局 (DRT) 説明資料

図 4-4 鉄道交通法 (Rail Transport Act) の概要

PPP 方式による都市鉄道整備は、行政側が負担する初期の投資費用を見かけ上減らせるが、都市鉄道全体を考えた場合、契約毎に O&M 会社が乱立し、指令所等の設備や管理部門の人材等が重複するなど運営が非効率となる。旅客にとっても乗換の連続性や流動が考慮されない、運賃制度が異なるといった利便性低下につながる可能性がある。

また、民間部分の整備費用は受託企業の信用力に応じた民間ベースの金利による資金調達（市中銀行からの借入等）となるため、政府資金での直轄整備と比較すると割高となる。これは、最終的には旅客が負担する運賃や行政が支払う補助金に跳ね返ることとなるので、長期的に割高となるためである。

### 1) ホープウェル計画(事業者起因による中止)

ホープウェルホールディングス社（香港、以下「HH 社」）により提案され、1990 年に事業免許が交付された計画である。タイ国鉄が事業主体となり、HH 社が建設・運営を行う BOT 方式が採用された。タイ国鉄用地に 3 階建ての高架構造を建設し、3 階部分を高速道路、2 階部分を通勤新線

<sup>46</sup> [https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/data/gaiyou/odaproject/asia/thailand/contents\\_02.html](https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/data/gaiyou/odaproject/asia/thailand/contents_02.html)

(標準軌)及び既存在来線の高架化(メーターゲージ)、1階を商業施設とする内容であり、通勤新線として南北線及び東西線を建設する予定であった。しかし、申請時の資金計画の甘さから着工は1993年にずれ込み、1994年にはHH社が用地買収困難を理由に南部区間と西部区間の計画削除を表明、橋脚建設時点で財源不足に陥り工事は中断した。1997年に発生したアジア通貨危機の影響もあり1998年2月にタイ政府が契約破棄を通知し、橋脚が長年残置された。後年、南北線予定地に沿ってSRTET ダークレッドライン(2021年開業)が、東西線予定地に沿ってエアポートレールリンクが建設された。建設には残置された橋脚の流用が試みられたが、経年劣化によりほとんどが流用できず、撤去及び改修が必要となった。



出典：(一財)計量計画研究所『IBS Annual Report 研究活動報告2001』<sup>47</sup>

図 4-5 ホープウェル計画(左：計画路線図、右：当時の完成予想図)



出典：JICA 調査団(2021年11月撮影)

図 4-6 ダークレッドラインの駅跨線橋とホープウェル計画の残置橋脚

<sup>47</sup> <https://www.ibs.or.jp/wp-content/uploads/2002/03/s2001-3-9.pdf>

## 2) ラバリン・スカイトレイン計画(政府起因による中止)

1992年2月、3路線・61kmのLRT整備計画について落札したLavalin社(カナダ)に事業免許が交付されたが、タイ政府によって軍事政権への反政府運動による国内の混乱を理由に同年6月に事業免許が取り消され、幻の計画となった。

## 3) BTS ダークグリーンライン・ライトグリーンライン(図 4-3「4」「5」「8」)

1992年、バンコク都の事業として2路線・23kmの高架鉄道計画が成立したが、行政の財源不足のため、民間事業者が建設後に所有権を事業権者へ戻す方式が採られた。タイの不動産開発企業であったタナヨン社が1992年に設立したJVのBTS社により落札され、1995年に着工した。工事はアジア通貨危機の影響により遅延したものの1999年12月に開業し、タイ初の都市鉄道となった。一方、上下一体方式による建設費用の負担に加え、通貨危機による通貨下落、割高な運賃による利用の伸び悩み(図 4-12 参照)等によりBTS社は2002年に債務不履行に陥り、事業再生を実施した。当初区間の開業(1999年)から20年以上が経過しているが、これまで大きな事故は特段起きていない。今後は、設備の老朽化対策や異なる外国メーカーが製造した車両の大規模更新が必要になると想定される。



出典：JICA 調査団

図 4-7 BTS ライトグリーンライン (左：駅構造 右：ホームドアと車両)

## 4) BTS ゴールドライン(図 4-3「9」)

当路線は、2010年に承認された現行の都市鉄道マスタープラン(M-MAP)では計画されていなかった路線である。商業施設へのアクセス整備のためにBTSダークグリーンラインのフィーダー路線として2015年に商業施設側から提案があり、2016年に内閣承認を受けた。整備費用は同施設デベロッパーが全額負担し、コンセッション期間中の利益は同デベロッパーの収入となるスキームである。2020年12月に新交通システム(ピープルムーバー)として開業した。

## 5) BEM ブルーライン(図 4-3「2」「3」「7」)

1996年に日本政府と調印された借款契約(L/A)に基づき、タイ運輸省傘下のMRTAにより土木工事が進められた。上下分離方式が採用され、電気・機械システム(Electrical & Mechanical)及び運営・維持管理(O&M)は、MRTAとのコンセッション契約に基づき、地下鉄運営目的で設立されたタイ企業BMCL(Bangkok Metro Public Company Limited)社が受託し、2004年に開業した。BMCL社は利用の伸び悩み(図 4-12 参照)から赤字が続き、2008年には債務繰延を実施した。2015年には高速道路運営会社のBECL(Bangkok Expressway Public Company Limited)社により吸収さ

れ、現在は BEM(Bangkok Expresssway and Metro) 社として高速道路及び地下鉄の運営会社となっている。図 4-3 に記載のとおり、当初区間 (20km) は開業後 15 年以上が経過している一方、2019 年及び 2020 年に計 28km が延伸開業し「6 の字」型の環状路線となっている。延伸開業に伴う新規採用者に対するこれまで蓄積した経験・技術の継承とともに、当初開業区間は計画的な大規模更新の計画・実施を進めることが今後必要になると想定される。

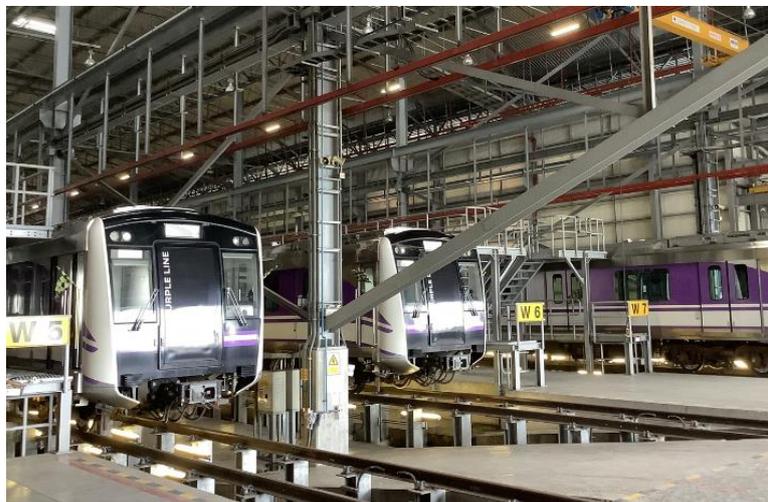


出典：JICA 調査団

図 4-8 BEM ブルーライン (左：改札口 右：ホームドアと車両)

#### 6) BEM パープルライン(図 4-3「1」)

2008 年に日本政府と調印された借款契約 (L/A) に基づき、MRTA により土木工事が進められた。ブルーラインと同様に上下分離方式が採用され、E&M (Electrical & Mechanical: 電気・機械) システム及び O&M は、MRTA とのコンセッション契約に基づき BEM 社が受託し、2016 年に開業した。



出典：JICA 調査団

図 4-9 BEM パープルライン (車両基地)

#### 7) Asia Era One エアポートレールリンク(図 4-3「6」)

2006 年に開港したスワンナプーム国際空港へのアクセス路線として 2010 年に開業した路線である。1) で述べた「ホープウェル計画」の線形にほぼ沿った形で、タイ国鉄東本線の敷地を利用し建設された。建設においては、同計画で放置された橋脚の流用を試みたが、最終的にはそれらを取り壊して新たに建設したため、工事が遅延した。タイ国鉄の子会社として設立された SRTET

社が運営していたが、2021年10月25日には現在整備中で当路線がその一部となる「3 空港連絡高速鉄道」（図 4-15 参照）を管轄する Asia Era One 社が運営を継承した。2014 年までは専用車両による急行列車も運行されていたが車両不足により廃止され、現在は全て各停運行である。設計上の最高速度は 160km/h である。

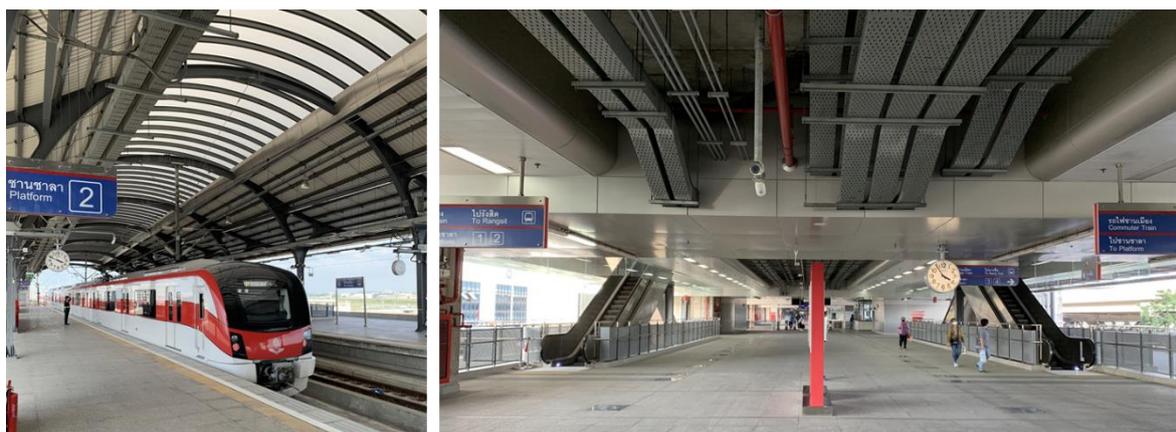


出典：JICA 調査団

図 4-10 Asia Era One エアポートレールリンク（左：急行型車両 右：駅構内）

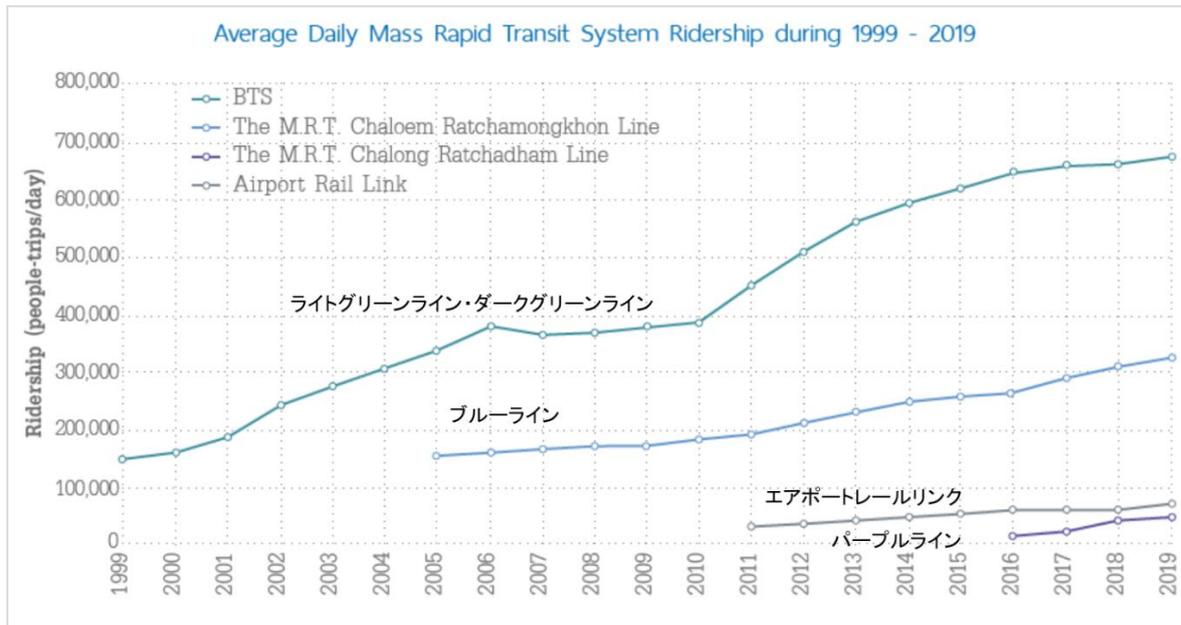
#### 8) SRTET ダークレッドライン・ライトレッドライン(図 4-3「10」「11」)

2021年8月にプレ開業し、2021年11月から商業運転が開始された路線である。整備には円借款が活用されており、機電システムの設計・建設及び車両納入を三菱重工・日立製作所・住友商事の企業連合が受注した。ダークレッドラインは、1)で述べた「ホープウェル計画」の線形にほぼ沿った形で、タイ国鉄北本線の敷地を利用し建設された。建設にあたっては同計画で放置された橋脚を流用できず、新たに高架橋を建設して整備された。それらの橋脚はダークレッドライン整備後の2021年11月時点も残置されたままである(図 4-6 参照)。



出典：JICA 調査団

図 4-11 SRTET ダークレッドライン（左：車両（日立製） 右：駅構内）



出典：MRTA Annual Report 2020<sup>48</sup>

図 4-12 バンコクの大量輸送機関における 1 日あたりの利用者数

### (3) 計画路線

現在、バンコクにおける都市鉄道延長は図 4-3 のとおり約 210km であるが、図 4-13 に示すとおり、2027 年まで新線開業及び既存路線延伸が毎年予定されており、2027 年には 400km を超える見込である。短期間で急速に新線建設が進められることは、設備の大規模更新時期が一斉に到来することと同義でもあり、安全で安定した運行のためには、健全で持続可能な O&M に向けた取組の重要性が一層増す。

円借款で建設されたダーク/ライトレッドライン（フェーズ 1）は 2021 年 8 月にプレ開業し、2021 年 11 月に本開業した。ピンクライン（フェーズ 1）は全体進捗 62%、イエローライン（フェーズ 1）は全体進捗 64%（2020 年 9 月末現在）と着々と工事が進められている。

ピンクライン・イエローラインは、グリーンラインと同様に上下一体型・ネットコスト方式が採用され、ライダースhipリスクは民間側が負うこととなり、両路線とも BTS 社系列の JV が落札した。背景において、今後も続々と都市鉄道整備が控える状況で、財政負担を抑制したい政府の意向が働いたものと考えられている。

<sup>48</sup> [https://www.mrta.co.th/media/896998/en\\_mrta\\_ar2020\\_7june.pdf](https://www.mrta.co.th/media/896998/en_mrta_ar2020_7june.pdf)



出典：タイ運輸省鉄道局 WEB サイト<sup>49</sup>

図 4-13 バンコクの都市鉄道計画図 (2021年2月現在)

<sup>49</sup> <https://www.drt.go.th/>

表 4-4 バンコクの都市鉄道計画路線概要

図の番号	17, 20	12, 27	13, 28
路線名	オレンジライン	ピンクライン	イエローライン
状況	建設中(東部区間)、入札中(西部区間)	建設中	建設中
形式	MRT	モノレール	モノレール
民間負担	—	上下一体型	上下一体型
コスト方式	—	ネットコスト方式	ネットコスト方式
事業主体	MRTA	MRTA	MRTA
運営組織	—	Northern Bangkok Monorail (NBM)	Eastern Bangkok Monorail (EBM)
営業キロ	km 35.9	37.5	33.0
(開業予定)	km (35.9)	(34.5)	(30.4)
(計画段階)	km (0.0)	(3.0)	(2.6)
開業予定(当初区間)	年 2024	2022	2022
駅数	29	30	23
軌間	mm 1,435	1,435	1,435
電気方式	直流750V	直流750V	直流750V
集電方式	サードレール	サードレール	サードレール
車両メーカー	—	Bombardier	Bombardier
備考		イエローラインと並び、現行のPPP法のもとで推進する「PPPファストラック」の第1号案件。 <b>NBM出資構成(3社)</b> ・BTSグループHD(鉄道) 75% ・シノタイ・エンジニアリング&コンストラクション(ゼネコン) 15% ・ラチャブリ・エレクトリシティ・ジェネレーティングHD(電力) 10%  <b>NBMの役割</b> ・軌道、駅等の建設 ・車両、運行システムの導入 ・運行、整備 ※車両保守(20年)はボンバルディア・トランスポートーションが受注。	ピンクラインと並び、現行のPPP法のもとで推進する「PPPファストラック」の第1号案件 <b>EBM出資構成(3社)</b> ・BTSグループHD(鉄道) 75% ・シノタイ・エンジニアリング&コンストラクション(ゼネコン) 15% ・ラチャブリ・エレクトリシティ・ジェネレーティングHD(電力) 10%  <b>EBMの役割</b> ・軌道、駅等の建設 ・車両、運行システムの導入 ・運行、整備 車両保守(20年)はボンバルディア・トランスポートーションが受注。

図の番号	30	31	32
路線名	ブラウンライン	グレーライン	ライトブルーライン
状況	内閣承認待ち	申請中	—
形式	LRT(想定)	モノレール(想定)	LRT(想定)
民間負担	—	—	—
コスト方式	—	—	—
事業主体	MRTA	BMA	BMA
運営組織	—	—	—
営業キロ	km 22.1	39.9	9.5
(開業予定)	km (0.0)	(0.0)	(0.0)
(計画段階)	km (22.1)	(39.9)	(9.5)
開業予定(当初区間)	年 —	—	—
駅数	20~23	39	9
軌間	mm —	—	—
電気方式	—	—	—
集電方式	—	—	—
車両メーカー	—	—	—
備考			

出典：JICA 調査団

(4) 運営状況、課題、ニーズ及び本邦技術の適用可能性

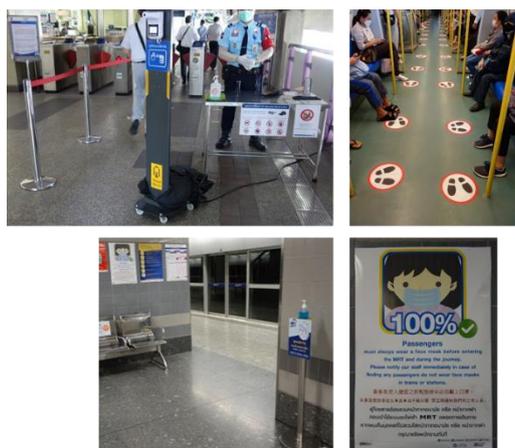
1) 現地調査

運営状況、課題、ニーズ及び本邦技術の適用可能性について、現地調査では表 4-5 に示した関係機関に対しヒアリングを実施した。

表 4-5 現地調査におけるヒアリング先 (タイ・バンコク)

分類	ヒアリング先	事業等概要
関 規 制 機	DRT (Department of Rail Transport)	タイ運輸省鉄道局
公 社 ・ 国 鉄	MRTA (Mass Rapid Transit Authority)	タイ運輸省傘下の公社。ブルーライン及びパープルラインを保有
	SRT (State Railway of Thailand)	タイ国鉄。都市間鉄道及び都市鉄道のレッドラインを有する。
電 車 運 営 事 業 者	BEM (Bangkok Expressway and Metro)	ブルーライン及びパープルラインの O&M を MRTA から受託。高速道路事業も有す。
	BTSC (Bangkok mass Transit System)	グリーンライン及びゴールドラインを運営。BRT も運営している。
	SRTET (State Railway of Thailand Electrified Train)	SRT からレッドラインの O&M を受託
係 本 邦 機 関 関	MHSC (Mitsubishi Hitachi Sumitomo Consortium)	レッドラインにおける鉄道施設及び車両のコントラクター
政 策 関 係 機 関	(一財) 運輸総合研究所アセアン・ インド地域事務所	アセアン・インド地域の運輸・観光分野における政策、規制、インフラ整備等の動向、制約、ニーズ等についての情報収集等
	(独) 国際協力機構タイ事務所	—

COVID-19 による O&M 事業への影響については、各社とも旅客数減少に伴う減収減益があった。各社とも駅又は車両において、図 4-14 に示すような感染対策を各々講じていた。



出典：JICA 調査団

図 4-14 バンコク都市鉄道における感染対策

(左上：グリーンライン・Saphan Taksin 駅 改札口入場前の検温及び手指消毒 右上：ARL 車内  
フィジカルディスタンス喚起 下：ブルーライン・Sukhumvit 駅 プラットホーム上の消毒液及び  
啓蒙ポスター (左)、並びに啓蒙ポスター (右) )

## 2) ヒアリング結果

実施したヒアリングについて、主なトピックを各々表に整理した。（JICA 調査団の理解において、事柄あるいは考察を記事にした。）

表 4-6 DRT ヒアリング結果

項目	記事
課題/ ニーズ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>鉄道事業、O&amp;M 等に関する法令、基準等を作成中</u></li> <li>2. 将来的な <u>EV の利用促進</u>、また <u>国鉄の電化</u>も検討中</li> <li>3. 運転士不要の運転システム（ゴールドラインで1路線整備済）</li> <li>4. <u>運転士のライセンス管理（免許制度及び養成方法）</u></li> <li>5. <u>不通時の振替輸送、払戻し、事業者を跨いでの運賃一括決済等</u>の仕組みが整っていない。</li> </ol>
調査団 考察	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>法令、基準等整備</u>の必要性が認識されており、自国・自身で作成中</li> <li>2. <u>各都市鉄道路線の急速な拡大状況に対し、法令及び共通の仕組み（共通運賃カード、振替輸送制度等）</u>の整備が追い付いていない様相</li> </ol>

表 4-7 MRTA ヒアリング結果

項目	記事
課題/ ニーズ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>鉄道施設・車両の稼働状態を的確に把握する方法</u>を検討中</li> <li>2. <u>キャリアアップを意図しての人材流失が多い</u>そうだが、仕方のないこととして受け入れられている。（タイの鉄道では共通認識の様相）</li> </ol>
調査団 考察	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 効率的な KPI の管理につながる <u>新技術（モニタリング、AI&lt;分析・解析・予知&gt;、CBM*、検測機器等）</u>の導入ニーズがある。 *CBM: Condition Based Maintenance (状態基準保全) なお、これに対する従来方法は、TBM: Time Based Maintenance (時間(定期周期)基準保全)</li> <li>2. タイ国内では鉄道事業が拡張中なので <u>経験者人材</u>のニーズが高い。</li> </ol>

表 4-8 BEM ヒアリング結果

項目	記事
課題/ ニーズ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 軌道/土木/建築               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 一部に老朽、劣化等が発生している。</li> <li>(2) <u>日本での自然災害発生後の基準改訂について複数の質問あった。</u>（行政の基準改訂等がある旨を回答した。）</li> </ol> </li> <li>2. 車両/電気               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 仕様で明記されていた標準期間より短い年月での交換を要したものがあつた。（東南アジアの環境で従来寿命を果たせなかった可能性がある。）</li> <li>(2) <u>今後発生する電子機器等オーバーホールに対する使用年数基準</u></li> <li>(3) <u>部品に欧州製があり、納入までに時間を要す。</u></li> </ol> </li> </ol>
調査団 考察	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>交換周期、部品調達方法、故障対策等に対する最適化意向</u>があるようだ。</li> <li>2. <u>トラブルシューティング</u>について、現在はサプライヤ対応だが、将来的には直営保守をしたいとの意見があつた。</li> <li>3. バンコクの都市鉄道事業者には、開業から約 20 年以降の修繕・更新の知見がない。BEM・BTS の技術部門において、対応検討中のものである。</li> </ol>

表 4-9 SRT 及び SRTET ヒアリング結果

項目	記事
課題/ ニーズ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 軌道/土木               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 老朽、劣化等が発生している施設があり、短いメンテナンスサイクルで対</li> </ol> </li> </ol>

項目	記事
<p>(SRT 本社会議室での意見交換)</p>	<p>応している。</p> <p>(2) 軌道メンテナンスにおけるマネジメントシステムを構築中</p> <p>2. 車両</p> <p>(1) <u>客車と台車に関する技術 (安全、メンテナンス及び検査ツール) 及び最新技術の知識</u></p> <p>(2) 火気あるいは侵入者検知のシステム</p> <p>(3) 省メンテナンスに係る材料、クリーンエネルギー活用、モニタリング、CBM</p> <p>3. 電気</p> <p>信号技術の学習機会</p> <p>4. 技術分野共通</p> <p>(1) 総合検測車</p> <p>(2) 鉄道関連製品の自国生産</p>
<p>課題/ニーズ (レッドライン視察時の聴取内容: SRTE が案内)</p>	<p>1. 駅/運転 &lt;1項のみ、別日に SRT 本社会議室で聴取した内容&gt;</p> <p>(1) 駅では日本発祥の 5S 活動を実施</p> <p>(2) 遅延証明書について、関東・都市鉄道の事例を参考とした紙片サイズで発行 (以前は A4 サイズで発行していた。)</p> <p>(3) 遅延証明書のペーパーレス化</p> <p>2. 技術共通</p> <p>(1) 現状では<u>基準 (規程類・マニュアルと解釈) が未だ十分ではない</u></p> <p>(2) <u>詳細なメンテナンス方法についてのトレーニングが不足</u></p> <p>(3) 正式開業を前にスペアパーツの不足がある。</p> <p>(4) <u>DNP*期間後におけるサプライヤへの不具合等相談</u></p> <p>*DNP: Defects Notification Period (瑕疵通知期間)、あるいは DLP: Defects Liability Period (瑕疵保証期間)</p> <p>3. 車両</p> <p>(1) <u>洗車線に排水溝がなく、洗車施設が使用不能</u> (日本では法令において排水は浄化し下水へ流す。)</p> <p>(2) 豪雨時に車両ドア下部に浸水がある。</p> <p>(3) ピットの作業スペースが極端に狭い。</p> <p>4. 電気</p> <p><u>信号ケーブルの切断・盗難があり、故障状態が継続</u></p>
<p>調査団考察</p>	<p>1. SRT 担当者から、現状施設に対する様々な課題を聴取できた。</p> <p>2. SRT 担当者は新技術に大変興味を示していた。</p> <p>3. 鉄道施設等の技術基準はサプライヤ基準とのことであった。</p>

表 4-10 BTSC ヒアリング結果

項目	記事
課題/ ニーズ	<p>1. 駅/運転 駅の混雑対策、運転におけるトラブルシューティング、定時運行等に課題意識（完全遂行目標）があるようだが、具体的な課題及びニーズの話題はなかった。</p> <p>2. 軌道/土木 (1) 開業から 5-15 年の箇所に対しては、人的資源確保及び予算確保が課題 (2) 開業から 15 年以上に対してもレール交換等を行うための人的資源確保が課題 (3) 土木分野に BIM* 及びドローンを導入の意向 *BIM: Building Information Modeling (建築物をコンピューター上で 3D 構築し、企画・設計・施工・メンテナンスの情報を一元管理)</p> <p>3. 車両 ※電気不参加 - 最古車両は 20 年以上経過しており、来年更新予定（放送、液晶モニタ、CCTV 新設、空調交換等）</p>
調査団 考察	<p>1. インタビュー回答では常に「安全第一」を前提とされ、安全・安定輸送に対する意気込みが感じられた。</p> <p>2. <u>最新の ICT 技術等を活用したメンテナンスシステムにニーズ</u>があるようだ。</p> <p>3. <u>15 年以上経過した鉄道施設等の修繕及び更新を計画</u>中のようで、自らの課題意識が感じられた。</p>

表 4-11 MHSC ヒアリング結果

項目	記事
課題/ ニーズ	<p>1. 軌道 <u>排水が十分でなく、バラストに影響が生じている。</u></p> <p>2. 車両基地 <u>関係コントラクター間での調整が叶わなかった。</u>配置レイアウトと配置機器が合わなかったり、排水施設が無かったりしている。</p> <p>3. 電気 (1) 無線の免許取得において複数機関への問い合わせを要し、また承認にも時間が掛かった。 (2) 運賃及び乗車券種類の連絡が AFC 完工後（新興国鉄道建設の共通課題と思われる。） (3) 架線式電車線のサプライヤ及び技術者（同国では未だ導入路線が少ない。）</p> <p>4. その他（発注者に対して） (1) 追加工事契約についての協議に苦労がある。 (2) 竣工手続きがスムーズに運んでいない。 (3) <u>O&amp;M オペレーターの決定が開業直前だったため、コントラクタートレーニングへの参加者が少数だった。</u>（これが現状の O&amp;M スキルに影響している。） (4) <u>引渡し前での係員起因による鉄道施設及び車両の故障がある。</u> (5) 関係コントラクター間を横断的かつ中立的に監理できるコンサルが必定</p>
調査団 考察	<p>1. <u>コントラクターにおいて、発注者あるいは規制機関に対するリスクを考慮せざるを得ない状況</u>がある。（<u>契約価格の高騰、工程の長期化若しくは遅延に繋がる懸念</u>がある。）</p> <p>2. <u>中立視点で発注者にも意見できるコンサル組織が必要かつ重要</u>（円借款事業においては、恐らく日系が必定）</p> <p>3. コントラクターに <u>O&amp;M 専門家（鉄道事業者社員）</u> が配置されていたようだが、やはりコンサルにもそれを置いて発注者を支援することが望ましい。</p>

### 3) 今後の支援(ビジネス)展開に関する考察

2) に記述したヒアリング結果を踏まえ、開業時には予測できなかった土木インフラの維持管理問題に対して、日本の技術を活用して具体的にどのような支援が展開できそうか、考察を加える。ここでは、鉄道事業者として実際にメンテナンス業務を実施している SRT、SRTET、BEM、BTS に対する可能性として記述する。

#### ア) タイ向けにインフラメンテナンスを展開する場合の留意点

・タイは円借款の条件に適合する案件が少なくなっており、ビジネスベースの支援にシフトすることが必要。

・ビジネスベースとする場合には相手のニーズを対話により引き出し、相手の要望に沿ったビジネスプラン（スキーム）を提案していくことが必要。

#### イ) 具体的な支援の内容と支援スキーム

SRT、SRTET、BEM、BTS に対する具体的な支援内容と支援スキームについて、表 4-12 にまとめる。

表 4-12 バンコク鉄道事業者に対する具体的な支援内容

		SRT	SRTET
支援の内容	現状把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術アップデートが難航しており、施設等の維持管理に課題あり。</li> <li>・研修施設を保有</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新規開業のレッドラインの維持管理を安定させる必要性あり。ただし、今後民間に委託される可能あり。</li> <li>・ARLで10年以上の電車O&amp;M経験あり。</li> </ul>
	現状を踏まえた支援コンセプト	従来型の技プロに加え、SRTの自己資金で実施できるビジネスプランも模索し、また関係を強化しておくことで、今後のレッドラインO&Mで支援ニーズが生じた際に日本企業を選択してもらえるようにする「ギブアンドテイク型」	
	具体的な支援内容(日本側が展開し易い分野としてよい)	① 保守の基礎技術の習得・改善、技術基準策定 ② 現状施設のアップグレード(土木・軌道、研修施設、EV車両等) ③ 保守に関する基礎訓練 ④ 包括的な維持管理(①～③に示すような個別課題の支援を通じて、全体の状況を把握することで、将来的に全体的な維持管理支援につなげていく。	
支援スキーム	ビジネスベースにおける支払リスク	予算不足による支払い遅延の可能性を考慮 SRTETは親会社のSRTによる予算承認が必要	
	リスクを考慮したスキーム(丸数字の各プラン解説)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当初はJICAプロジェクトによる支援とし支払いリスクを回避</li> <li>①、②及び③は技プロとしてJICAと契約</li> <li>②は、少額であるならば、自己資金による直接契約</li> <li>③は、本邦鉄道事業者の文書或いは本邦研修を活用した確実かつ効率的な支援</li> <li>④は円借款付きO&amp;M契約(現地における運営補助金が確立次第、現地との直接契約に切り替えることが前提)</li> </ul>	
		BTS	BEM
支援の内容	現状把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自立した維持管理ができているとの思われ、過去には日本企業から幾つかアプローチをするも案件成立していない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・保守に日系企業が参画しており受け入れられ易いと推測。今後ブルーラインの経年が進むのでニーズ有と思われる。</li> <li>・オーバーホールの基準が明確に定まっていない。</li> </ul>
	現状を踏まえた支援コンセプト	対話により適宜ニーズを把握し、解決策を提案する 「ソリューション提供型」	他のメンテナンス案件においても指名される 「保守一括請負型」
	具体的な支援内容(日本側が展開し易い分野としてよい)	③ 保守に関する基礎訓練(BTSのみ) <sup>※</sup> ⑤ 新技術を活用した施設等の検査・監視の提案(ドローン検査、デジタル技術やモニタリング技術を活用した検査) ⑥ デジタル技術を用いた教育(AR/VR(拡張現実/仮想現実)技術活用等) ⑦ 施工に関する技術指導(工事中の渋滞緩和を考慮した施工方法の紹介(アンケートより)等) ※BTSについては教育制度が不透明(アンケートより)なため、保守業務量増大に適切に対応するため「③保守に関する基礎訓練」の必要性も考えられる。	
支援スキーム	ビジネスベースにおける支払リスク	リスク小と推測 (欧州企業との契約実績あり)	リスク小 (日本企業との契約実績あり)
	リスクを考慮したスキーム(丸数字の各プラン解説)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・JICAプロジェクトではないビジネスベース若しくは円借款にて実施する</li> <li>よって、⑤⑥⑦とも相手企業との直接契約を前提に提案</li> <li>・必要に応じ、本邦政策金融機関(JBIC・JOIN等)による融資・出資スキームを活用</li> </ul>	

## (5) 指定文献レビュー結果

### 1) インフラシステム輸出戦略(令和2年度改訂版)

「第3章 地域別取組方針」の「1. ASEAN 地域」におけるタイの国別取組方針において以下の記載がある。

タイでは、産業の高度化・高付加価値化を達成することを目的とした政策として、「タイランド 4.0」を發表し、同政策を実施するための具体的な方策として、新たな経済成長エンジンとなる産業 10 分野の投資誘致・育成や東部臨海地区（チョンブリ、チャチュンサオ、ラヨーンの東部 3 県）を対象とした「東部経済回廊（EEC）」経済計画を打ち出しており、新たな経済成長エンジンとなる産業 10 分野の投資誘致・育成とともに、港湾、高速道路、鉄道、空港の拡張等インフラの整備が一体的に進められようとしているところ、関連案件の受注実現に取り組む。また、我が国技術の実証とリサイクル関連制度の政策対話をパッケージ化することで、適切な資源循環システムの構築を図る。

「タイランド 4.0」実現に向けた中心プロジェクトは東部経済回廊（EEC）の開発であり、鉄道インフラ整備案件は以下 2 案件である。都市鉄道案件は予定されていない。

- ・ 3 空港連絡高速鉄道の整備（図 4-15 「5」）  
 ※図 4-3（「6」エアポートレールリンク）が当該高速鉄道の一部区間に吸収される予定
- ・ タイ国鉄（東本線）の複線化（図 4-15 「6」）



出典：タイ工業省 “Eastern Economic Corridor Development Project: Drive Forward...”<sup>50</sup>

図 4-15 EEC における中核 15 プロジェクト

### 2) 国土交通省インフラシステム海外展開行動計画(国土交通省)

タイの都市鉄道に関する具体的記述はなかった。

50

[https://www.boj.go.th/upload/EEC%20pack%20for%20BOI%20fair\\_Rev4%203%201.pdf?msclid=46c7feaca58711ec87003ef17c19c0f4](https://www.boj.go.th/upload/EEC%20pack%20for%20BOI%20fair_Rev4%203%201.pdf?msclid=46c7feaca58711ec87003ef17c19c0f4)

### 3) 各国の国別開発協力方針・事業展開計画(外務省)

タイの都市鉄道に関する具体的記述はなかった。

### 4) World Rail Market Study(Unife)

タイの都市鉄道に関する具体的記述はなかった。

### 5) Upcoming Rail Projects & Market Opportunities in Asia Pacific (Research And Markets, 2020)

本文献のタイにおける鉄道案件一覧(表 4-13)のうち、都市鉄道の新線計画(黄色)を本レポートに反映している。既存路線の延伸案件及び「ドンムアン空港スカイトレイン」案件(具体的情報なし)は省略した。

表 4-13 タイの鉄道計画案件

プロジェクト	国	都市	輸送手段	案件種別(延伸、新線、近代化)	本報告書での取扱い
バンコクMRT ピンクライン	タイ	バンコク	モノレール	新線	対象
バンコクMRT イエローライン	タイ	バンコク	モノレール	新線	対象
バンコクMRT オレンジライン (東部区間)	タイ	バンコク	MRT	新線	対象
バンコクMRT オレンジライン (西部区間)	タイ	バンコク	MRT	オレンジライン(建設中)の延伸	対象
ドンムアン国際空港スカイトレイン	タイ	バンコク	モノレール	新システム	対象外(関連情報皆無のため)
バンコクMRT ブルーライン (延伸)	タイ	バンコク	モノレール	ブルーライン(既存)の延伸	対象外(既存路線の区間延伸のため)
バンコクMRT パープルライン フェーズ2: 南部区間延伸	タイ	バンコク	MRT	パープルライン(既存)の延伸	対象外(既存路線の区間延伸のため)
タイ・日本(バンコク-チェンマイ) 高速鉄道	タイ	バンコク	高速鉄道	新線	対象外(高速鉄道のため)
BTSダークグリーンライン Mo Chit~Khu Khot 間延伸	タイ	バンコク	高架鉄道	ダークグリーンライン(既存)の延伸	対象外(開業済のため)
ブーケットライトレール	タイ	ブーケット	ライトレール	新システム	対象外(調査対象都市ではないため)

出典: Upcoming Rail Projects & Market Opportunities in Asia Pacific を JICA 調査団加工

## 4.1.2 インドネシア・ジャカルタ

### (1) 都市鉄道整備の歴史

最初に、最も歴史が古く国鉄を起源とする KCI について述べる。

ジャカルタの都市鉄道の歴史は古く、1925 年に現在の KCI 環状線の東側にあたる区間 17.1km が電化され、オランダ製の電車が運行を開始している。そして 1927 年には現在のタンジュン・プリオク線 8.1km、1930 年には中央線～ボゴール線の 54.8km が電化されている。(出典：「インドネシア鉄道の旅」古賀俊行著)

その後は太平洋戦争を挟んで大きな動きはなく、十分な維持管理も行われなかったことから、次第に輸送力が低下していった。

そんな中、1976 年にインドネシア政府は日本政府からの円借款供与を得て日本製の電車 20 両(新造車両)を導入し、KCI 路線の近代化に着手した。そして 1981 年に JICA は「ジャカルタ大都市圏鉄道輸送計画調査」を集約し、駅や線路、信号機など老朽化していた既存施設の改善策を提案。これに基づき、急激に都市化が進むジャカルタ首都圏区間の通勤電車区間の高架化、信号システム、車両基地、車両の納入を含めた一連の「ジャボタベック圏鉄道近代化事業」へと発展している。

(注：「ジャボタベック圏」とはジャカルタ首都圏を指す用語。「ジャボタベック」とは、首都圏を形成する郊外の都市の頭文字を並べた言葉。)

また、2000 年からは東京メトロをはじめとする日本の中古車両の譲渡が開始された。更に 2013 年からは JR 東日本で廃車となった大量の通勤電車が譲渡されたことで、輸送力不足による混雑状態は解消されている。なお、ジャボタベック圏鉄道近代化に関する JICA 事業の概要を、表 4-14 に示す。

これらの都市鉄道区間は、かつてはインドネシア鉄道会社 (KAI : PT Kereta Api Indonesia、国鉄を起源とする国営鉄道会社) によって運営されていたが、2008 年 9 月にジャカルタ通勤鉄道事業を分社化し、KCI (PT Kereta Commuter Indonesia) の運営となっている。



出典：JICA 調査団

図 4-16 KCI (ジャカルタ通勤鉄道)

表 4-14 ジャボタバック圏鉄道近代化関連事業の概要一覧

事業名	事業概要	円借款承諾額 /貸付実行額	借款契約調印
電車事業	ジャカルタ市への近郊輸送に電車（20両）を投入し、鉄道輸送能力の増強を図るもの。	1,543百万円 /1,541百万円	1974年12月 及び1975年10月
ジャカルタ都市交通事業 II	ディーゼルカー（16両、含スペアパーツ）、整流器、通信・踏切・保守設備の調達。	2,604百万円 /2,450百万円	1977年12月
ジャカルタ都市交通事業 III	電車（24両）、踏切保安設備、通信設備、軌道材料の調達、及びエンジニアリングサービス。	4,305百万円 /4,278百万円	1979年8月
ジャカルタ都市交通事業 IV-1	電車（20両）、踏切保安設備、通信設備、軌道材料の調達。	3,751百万円 /3,281百万円	1980年8月
ジャカルタ都市交通事業 IV-2	電車（16両）、西線電化、路線整備（変電所設備、踏切保安設備、通信設備、軌道材料、駅・フェンス）	5,836百万円 /4,947百万円	1981年3月
ジャボタバック圏 鉄道近代化事業Phase I	レール、踏切設備、電車（12両）の調達、及びエンジニアリングサービス。	5,524百万円 /4,354百万円	1982年5月
ジャボタバック圏 鉄道近代化事業Phase II	車両基地・工場の改修、電車（4両）の調達、及びエンジニアリングサービス。	6,631百万円 /4,850百万円	1983年9月
ジャボタバック圏 鉄道近代化事業Phase III	電車（4両）、ディーゼルカー（28両）の調達。	5,203百万円 /3,737百万円	1984年6月
ジャボタバック圏 鉄道近代化事業Phase IV	信号機改良（中央線マンガライ・ボゴール間44.9km）、複線化工事（中央線マンガライ・デボック間22.8km）、マンガライ駅立体交差化に係る詳細設計、及びプロジェクト・マネージメント・サービス。	9,331百万円 /9,140百万円	1985年12月
ジャボタバック圏 鉄道近代化事業Phase V	プカシ線電化（14.8km）、カンボン・バンドン駅地区改良（東・西両線のループ化）、電車調達（中央線8両）、架橋・新駅建設、仮線建設、信号設備改良。	27,661百万円 /25,254百万円	1987年3月
ジャボタバック圏 鉄道近代化事業Phase VI	高架橋（全長8,650m）の北端（ジャカルタ・コタ駅側）のA工区（4,050m）の建設、軌道及び電化工事、コンサルティング・サービス。	13,565百万円 /11,375百万円	1987年12月
ジャボタバック圏 鉄道近代化事業Phase VII	高架橋建設、軌道建設、コンサルティング・サービス。	10,381百万円 /9,673百万円	1989年12月
ジャボタバック圏 鉄道近代化事業Phase VIII	4駅（マンガライ、ジャティネガラ、パサール・スネン、タナハバン）のホーム拡幅・高上げ、跨線橋建設等の改良工事、電車（24両）調達、プロジェクト・マネージメント・サービス、トレーニング機材供与。	7,400百万円 /6,415百万円	1991年9月
ジャボタバック圏 鉄道近代化事業Phase IX	東線・西線の自動信号化、列車運行管理システム、電車調達（24両）、コンサルティング・サービス。	15,347百万円 /9,907百万円	1992年10月
デボック車庫建設事業	ジャカルタ近郊のデボックにおける電車車両メンテナンス・留置用車庫の建設、及びコンサルティング・サービス。	9,223百万円 /7,454百万円	1998年1月

出典：JICA「ジャボタバック圏鉄道網総合インパクト評価」。なお、「デボック車庫建設事業」の貸付実行額については、JICA「ODA 見える化サイト」の「デボック車庫建設事業」に基づく。

次に、近年相次いで開業した2つの都市鉄道について述べる。

MRT Jakarta は、ジャカルタ市南西部のルバックブルスから市中心部のブンデラン HI 間の 13 駅 15.7km を 28 分で結ぶ路線で、高架区間及び地下区間を有するインドネシア初の地下鉄である。

2006 年 11 月に JICA が建設に関する円借款貸付契約に調印し、2013 年に着工。そして、2019 年 3 月 24 日に開業するまで日本が一貫して支援したものである。



出典：JICA 調査団

図 4-17 MRT Jakarta (大量輸送軌道交通)

LRT Jakarta は、ジャカルタ中心部から少し離れたプガンサアン・ドゥアとフェロドローム間の 6 駅 5.8km を 15 分で結ぶ路線で、全区間が地上（高架）区間の軽量軌道交通である。

2016 年に着工し、2019 年 12 月に営業運転を開始。車両や地上設備は、韓国の技術支援のもと建設された。



出典：JICA 調査団

図 4-18 LRT Jakarta (軽量軌道交通)

## (2) 既存路線の特徴、経年状況

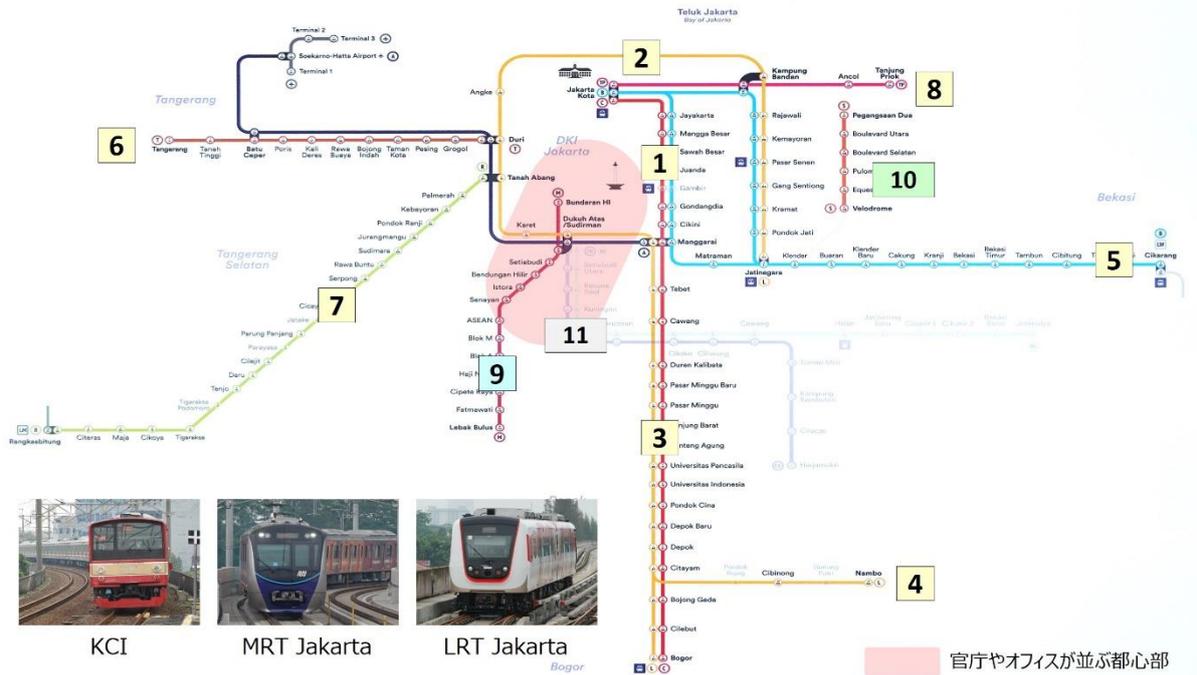
現在ジャカルタでは、3 事業者によって計 10 路線の都市鉄道が営業運転を行っている。運営事業者を表 4-15、現在営業中の路線を図 4-19 に示す。

表 4-15 ジャカルタにおける都市鉄道の運営事業者

運営事業者	概要
KCI (PT Kereta Commuter Indonesia)	鉄道公社を 1999 年に国営有限会社化したインドネシア鉄道会社 (PT Kereta Api Indonesia) から、2008 年 9 月にジャカルタ通勤鉄道事業 (KRL Commuterline の路線の運営) を分社化した事業者。2017 年 9 月 20 日付で、現在の社名に変更。
MRT Jakarta (PT Mass Rapid Transit Jakarta)	ジャカルタ首都特別州政府が 99% を出資する、MRT を運営する鉄道事業者。2008 年設立。
LRT Jakarta (PT Jakarta Propertindo)	ジャカルタ州営の建設会社「ジャカルタ・プロペルティンド」の子会社で、LRT を運営する鉄道事業者。



## Peta Jaringan KA Perkotaan Jabodetabek dan Sekitarnya Jakarta Metropolitan Railway Network Map



KCI



MRT Jakarta



LRT Jakarta

No.	運営事業者	形態	路線名	区間	路線長 (km)	駅数
1	KCI	通勤鉄道	中央線	ジャカルタ・コタ～マンガライ	9.9	8
2			環状線	マンガライ～ジャティネガラ	25.4	14
3			ボゴール線	マンガライ～ボゴール	44.9	17
4			ナンボ線	チタヤン～ナンボ	16.2	3
5			プガン線	マンガライ～チカラン	34.2	13
6			タンگران線	デュリ～タンگران	19.3	11
7			スルボン線	タナ・アバン～ランカスピトゥン	72.8	19
8			タンジュン・プリオク線	ジャカルタ・コタ～タンジュンプリオク	8.1	4
9	MRT Jakarta	MRT	南北線	ルバックプルス～ブンデランHI	15.7	13
10	LRT Jakarta	軽量軌道	—	プガンサン・ドゥア～フェドローム	5.8	6
11	[参考] LRT JABODEBEK		—	建設中及び計画路線 (2022年5月現在、全線未開業)	—	—

出典：KCI の駅に掲出されていた路線図に調査団で追記加工。薄線は計画路線。

図 4-19 ジャカルタ都市鉄道概要 (2022 年 5 月現在)

### 1) KCI

ジャカルタ首都圏（ジャボタベック）を網羅する広域的な輸送を担う事業者である。特徴としては、各路線は都市鉄道路線として新たに建設されたものではなく、鉄道会社のジャカルタ近郊区間の電化・複線化によって都市鉄道化されたことが挙げられる。KCI が担当するのは列車の運行及び車両保守であり、これに必要な地上側のインフラ設備については、維持管理は KAI、保有は政府による「上下分離」の形態となっている。

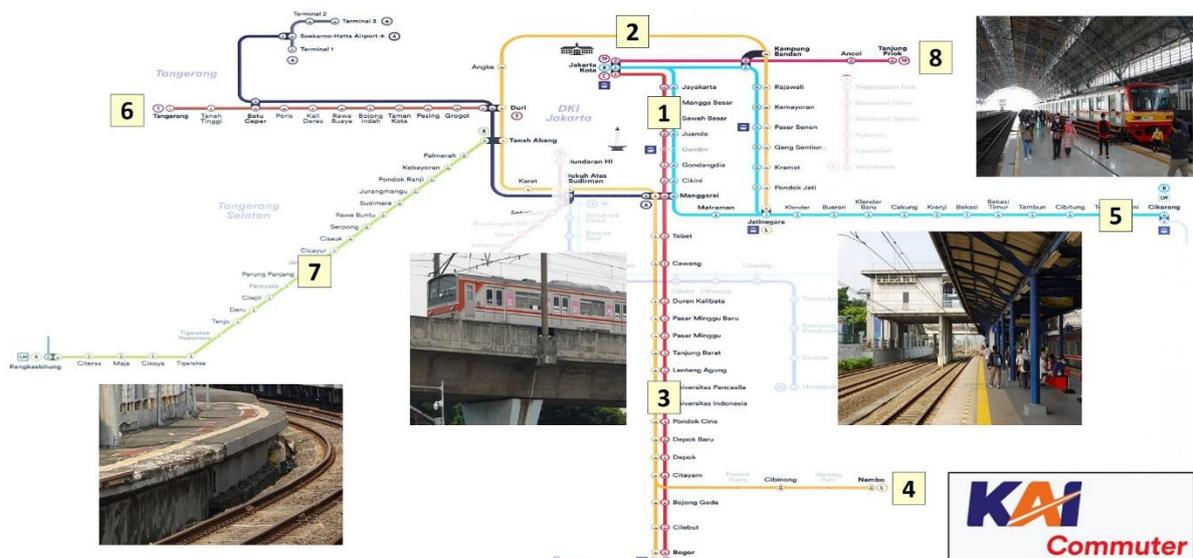
路線は方面別に 8 系統ある。これらの路線には日本の鉄道のように「〇〇線」といった路線名称が付けられておらず、KCI の公式 Web サイト上でも、列車の運行系統に基づいた案内が行われている。このため本稿では KCI の運行系統別に路線を分け、調査団側で便宜的に命名した路線名称に基づき、各線の駅数や営業キロ、設備等の経年状況を図 4-20 に示す。

列車は日本から譲渡された中古通勤電車により、8～12 両編成で運行されている。各方面からの列車が集まる中央線では、ピークタイムには高頻度で運行されているが、現時点では

ATS（自動列車停止装置）などの保安装置が設置されていないため、赤信号の見落としによる衝突事故が度々発生している。

なお、2020年3月のパンデミック以前は、1日の輸送人員は100万人を超えていたが、パンデミック直後は20万人程度にまで大きく落ち込んだ。2021年の実績では、1日平均33.7万人となっている。

設備等の経年状況については、図4-20に示す通り。KAIが維持管理を行う土木構築物については、一部でホーム舗装面の剥がれ等の劣化が見られたものの、外観上の致命的な損傷や劣化は確認できなかった。また、KCIが維持管理を行う車両については、後述する車両基地の調査も含め、特に問題は感じられなかった。



No.	路線名	区間	路線長 (km)	駅数	軌道	設備等の経年状況
1	中央線	ジャカルタ・コタ～マンガライ	9.9	8	複線	両終端駅を除く途中の8.7kmの区間は、1993年に日本の円借款により複線高架化。
2	環状線	マンガライ～ジャティネガラ	25.4	14	複線	
3	ボゴール線	マンガライ～ボゴール	44.9	17	複線	これらの路線が接続するマンガライ駅は、2021年に高架化が完成。
4	ナンポ線	チタヤン～ナンポ	16.2	3	複線	ブカシ線のブカシ～チカラ間間は2017年に電化し都市鉄道化。また、マンガライ～ブカシ間は日本の円借款により複々線化工事が進捗中で、マンガライ～チャク間は2019年に供用開始。
5	ブカシ線	マンガライ～チカラ	34.2	13	複々線 複線	
6	タンゲラン線	デュリ～タンゲラン	19.3	11	複線	2017年にスカルノ・ハッタ空港鉄道と接続し、空港アクセス列車と線路を共用。
7	スルボン線	タナ・アバン～ランカスピトゥン	72.8	19	複線	電化による都市鉄道化は、2009年に途中のバルンパンジャンまでの12km、2013年にマジャまでの22km、そして2017年4月に現在の終点であるランカスピトゥンまで実施。
8	タンジュン・プリオク線	ジャカルタ・コタ～タンジュンプリオク	8.1	4	複線	オランダ統治時代に建設された最初の電化路線の1つ。
合計			230.8	80		

注：KCIの駅に掲出されていた路線図に調査団で追記加工。各路線の駅数は接続駅を重複してカウントしている一方で、合計値は重複分を除いた実際の駅数を記載している。また、現在休止中の駅及びKCIとしての客扱いを行っていない駅の数は除外している。写真は調査団撮影。

図 4-20 KCI 各路線の概要

## 2) MRT Jakarta

ジャカルタ南部地域から都心部のオフィス街及び商業地域への輸送を担う州営の事業者である。特徴としては、日本の円借款により建設から開業支援までを一貫して行ったことから、運営・保守に日本方式が根付いている点である。

路線は現在、フェーズ1として2019年に開業したMRT南北線1路線のみである。

列車は、日本のメーカーで製造されたアジア向け都市鉄道システム標準仕様であるSTRASYA (Standard urban Railway System for Asia) に基づいた6両編成の車両で運行されている。  
(注：1両あたりの収容力は、日本の通勤電車と同程度)

パンデミック以前の2019年実績では、1日の輸送人員は9万人前後に達していたが、パンデミック後の2021年は1日平均2万人弱と大きく落ち込んでいる。

設備や車両については、開業からまだ3年余りと新しいことから、経年劣化に伴う問題はヒアリングなどでも特に挙げられていなかった。



出典：KCIの駅に掲出されていた路線図に調査団で追記加工。写真は調査団撮影。

図 4-21 MRT Jakarta 路線概要

### 3) LRT Jakarta

北ジャカルタから東ジャカルタにかけての外郭部の輸送を担う州営の事業者である。路線は現在、2019年に開業した1路線のみで、韓国のヒュンダイ・ロテムで製造された2両編成の小型電車で運行されている。1列車当たりの定員は約250人で、MRTの920人と比べ輸送力が小さい。

2020年3月のパンデミック以前は、1日の輸送人員は4,500人程度であったが、パンデミック以降は、1日あたり800～900人程度の実績となっている。

フェーズ1として開業した現在の区間は、KCIやMRT Jakartaといった他の都市鉄道路線

とは接続していない。

建設開始された 2016 年当初、当時のアホック州知事が MRT よりも建設費が安い LRT による都市鉄道整備を提唱し、約 200km の路線延伸計画を発表していた。しかし、同知事が 2017 年に失脚したことから、計画はトーンダウンしている。(出典：JORSA「世界鉄道市場便覧(インドネシア編) 2022 年 3 月」)

LRT Jakarta は、列車の運行と車両・インフラ設備の維持管理を行い、インフラ設備自体はジャカルタ州が保有する「上下分離」の形態となっている。

設備や車両については、開業からまだ 3 年余りと新しいことから、経年劣化に伴う問題はヒアリングなどでも特に挙げられていなかった。



出典：KCI の駅に掲出されていた路線図に調査団で追記加工。写真は調査団撮影。

図 4-22 LRT Jakarta 路線図

### (3) 今後の路線拡大計画等

#### 1) KCI

現在、既存路線の輸送力増強や改良に伴う大規模プロジェクトが進められている。

まず、ジャカルタ東部方面との輸送を担うブカシ線の複々線化工事が挙げられる。このうち、ジャティネガラ～チャクン間は 2019 年に完成して供用を開始。残るチャクン～ブカシ間の複々線化工事が 2022 年中の完成を目指し、工事が進められている。これにより、ブカシ線の通勤電車の増発が可能となり、同線の混雑緩和が期待される。

次に、KCI の都心方の拠点駅であるマンガライ駅の高架化が挙げられる。これまで 4 方向の路線が平面交差していた同駅は、進路が交差する列車が同時に到着することで「列車の渋滞」が日常的に発生している状況であった。これにより列車の定時性と輸送効率の低下を招

き、輸送力の増強を妨げる大きな要因となっていた。また、この駅で乗り換える乗客の多くが線路を横断してホーム間を移動しており、安全上やバリアフリー上の大きな課題となっていた。これらの問題を解決するため、同駅は高架化工事が進められており、2021年9月にジャカルタ南部方面との輸送を担うボゴール線側が高架化された。現在、2024年の完成を目指し、残りの工事が進められている。

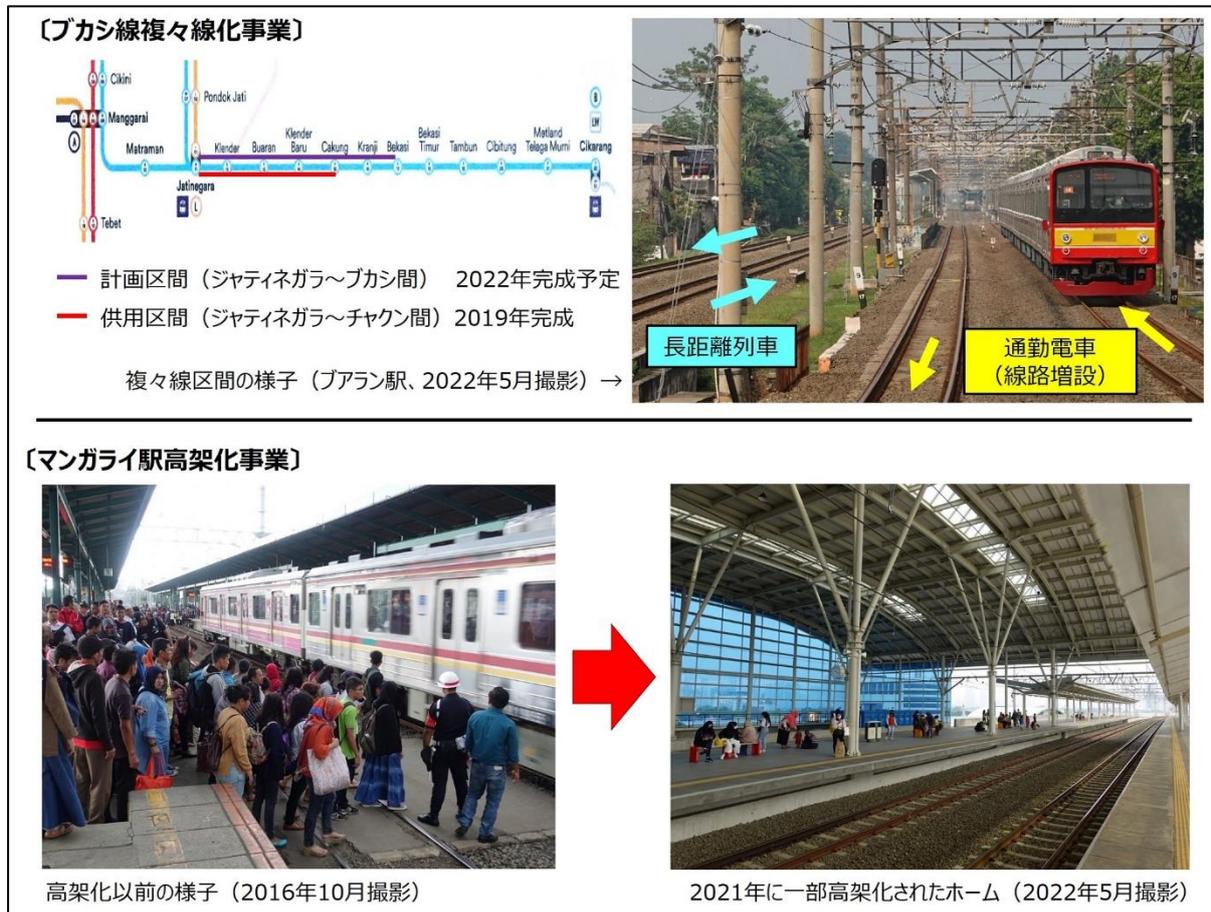


図 4-23 KCI の輸送力増強及び改良事業

次に、車両基地の増強の可能性が挙げられる。現時点においても、保有する車両数に対して車両基地の収容能力が限界を超えており、これ以上の車両増備が困難な状況にある。主力基地のひとつであるデポック車両基地には拡張計画が存在し、土地も既に確保されている。だが、地上側の設備は国や KAI の管轄となるため、KCI 独自の判断で拡張計画を進めることが出来ないというジレンマを抱えているのが実情である。



図 4-24 デポック車両基地

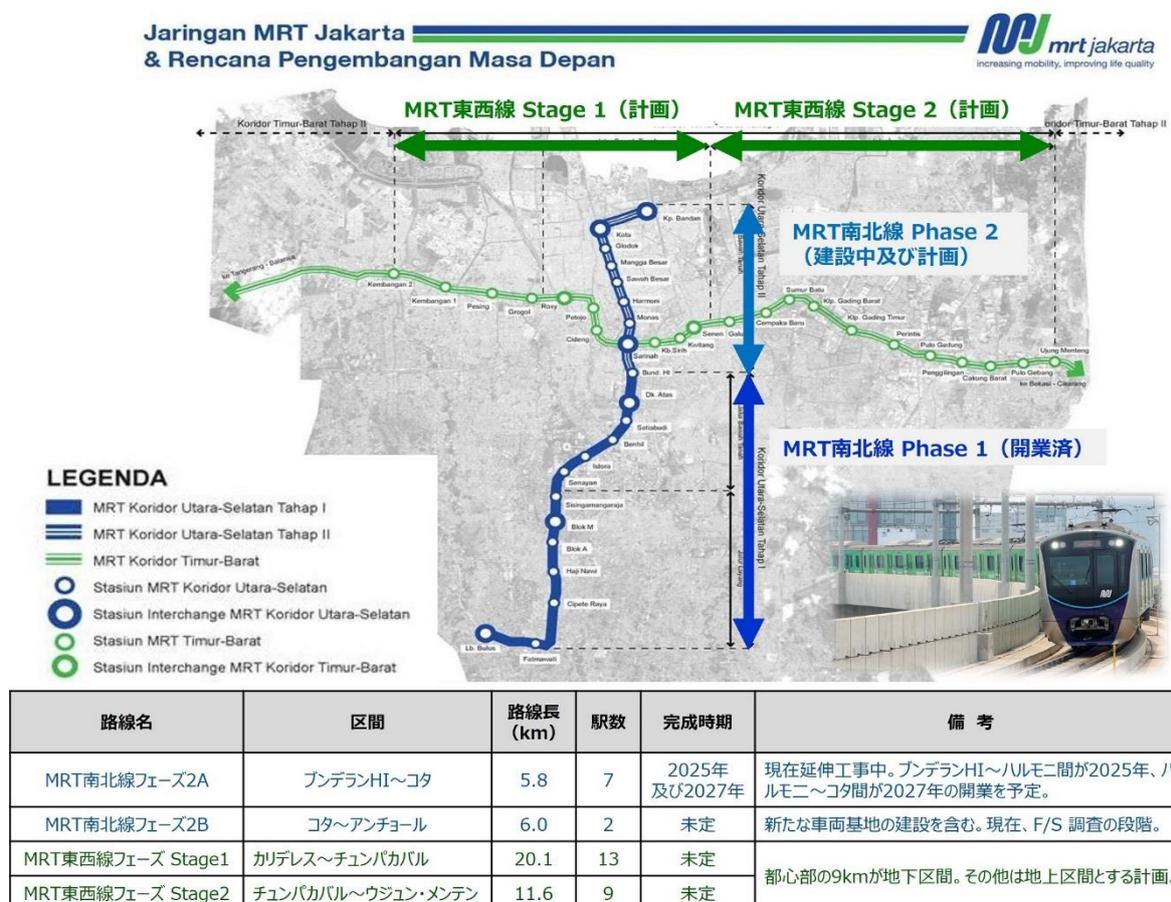
## 2) MRT Jakarta

フェーズ1が既に開業している南北線は、現在フェーズ2Aの5.8kmの区間について延伸工事中であり、2021年末の進捗状況は7.3%とされている。(出典：NNN ASIAの2021年12月28日配信記事「首都MRT2期、来年に進ちよく20%を目標」に基づく)

フェーズ2Bの区間については、現在F/S調査の段階である。これには新たな車両基地の建設が含まれている。現在南北線の車両基地はフェーズ1の郊外側の終点であるルバックブルスに設けられているが、敷地面積の制約から既に車両の留置能力の限界に達している。このため、将来の路線の延伸や輸送力増強に伴う車両数の増加を見据えた場合、フェーズ2Bで計画されている車両基地が重要なカギとなる。

一方、ジャカルタ都市圏を東西に結ぶ東西線の計画については、JICAによって行われたプレF/Sで示された5つのルートに対し、2013年に行われたF/S調査(ジャカルタ都市高速鉄道東西線事業準備調査)において現在の計画案が示されている。この路線は、西ジャカルタのカリデレスから東ジャカルタのウジュン・メンテンを結ぶ31.7kmの路線である。(出典：2013年JICA「ジャカルタ都市高速鉄道東西線事業準備調査最終報告書」に基づく)

開業時期については現時点では未定であるが、2013年に行われたJICAによるF/S調査の中では、ステージ1のカリデレス～チュンパカバル間20.1kmの区間は2021年、ステージ2のチュンパカバル～ウジュン・メンテン間11.6kmの区間は2024年の開業を予定していた。



出典：南北線についてはMRT Jakarta公式Webサイト、東西線については「ジャカルタ都市高速鉄道東西線事業準備調査最終報告書」(2013年JICA)に基づく

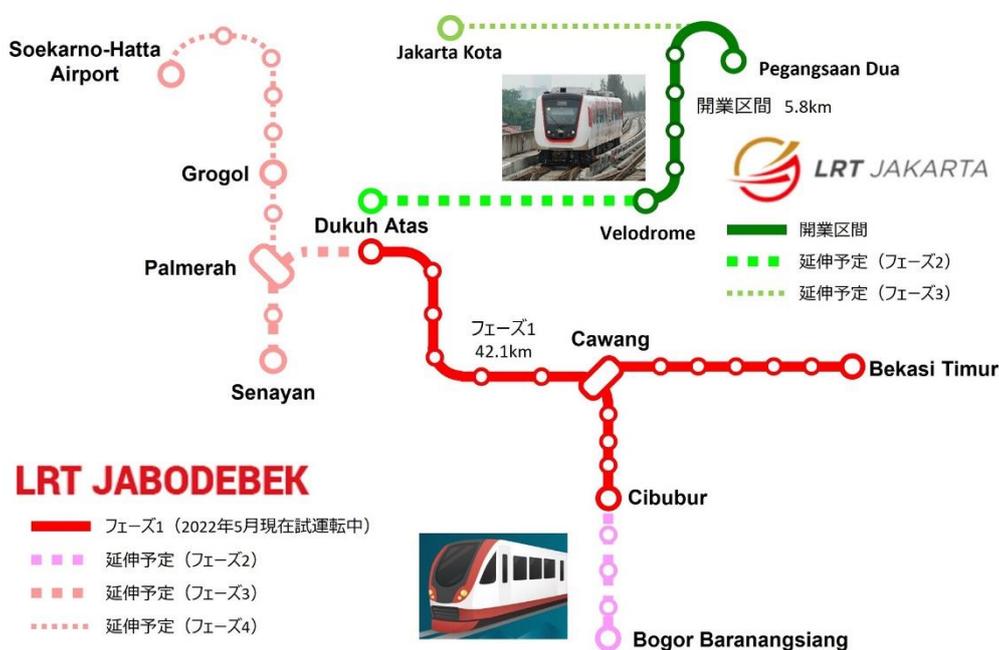
図 4-25 MRT Jakarta 延伸計画

### 3) LRT(LRT Jakarta & LRT JABODEBEK)

今後の延伸計画については、図 4-26 の通り。ここで特筆すべきは、現在営業運転中の LRT Jakarta とは別の事業者である LRT JABODEBEK によって、全長 40km あまりの路線が新たに開業するという点である。

LRT Jakarta は、ジャカルタ州営の建設会社「ジャカルタ・プロペルティンド」の子会社であることから、「ジャカルタ州営 LRT」と言える事業者である。また、計画中の延伸区間もジャカルタ市内に限られる。

一方、LRT JABODEBEK は、ジャカルタ中心部と隣接する首都圏地域を結ぶもので、国営建設会社であるアディ・カルヤが主要請負業者となり、完成後はインドネシア鉄道会社 (PT Kereta Api Indonesia) が運営する、云わば「国営 LRT」のような性格の事業者である。LRT JABODEBEK のフェーズ 1 の進捗率は 2022 年 4 月末現在で 90.52%とされており、既に試運転も行われている。2022 年 5 月現在での開業時期は、2022 年 12 月または 2023 年初頭と発表されている。(出典：LRT JABODEBEK の公式 Web サイトに基づく)



事業者名	区間	路線長 (km)	駅数	完成時期	備考
LRT Jakarta	フェロドローム～ドックアタス	今回の調査では事業者側に確認したが、詳細情報は得られなかった。			フェーズ2とされる区間
	ガディンニマス～ジャカルタ・コタ				フェーズ3とされる区間
LRT JABODEBEK	チブプール～ドックアタス チャワン～東ブカシ	42.1	17	2022年	フェーズ1とされる区間。進捗率は2022年4月現在で90.52%。
	チブプール～バラナシアン	今回の調査では、詳細情報は得られなかった。			フェーズ2とされる区間
	ドックアタス～スナヤン				フェーズ3とされる区間
	パルメラ～スカルノハッタ国際空港				フェーズ4とされる区間

出典：LRT Jakarta、LRT JABODEBEK の公式 Web サイト及び「NNA カンパサール Web マガジン 2018 年 2 月号」の情報に基づく

図 4-26 LRT の延伸計画図



(出典：2022年5月、調査団撮影)

図 4-27 将来の延伸を見据えた LRT Jakarta の構造物



(出典：INKA 公式 Web サイト)

図 4-28 LRT JABODEBEK の試運転の様子



図 4-29 フェーズ 1 の工事進捗状況を伝える LRT JABODEBEK の公式 Web サイト

#### (4) 運営状況と課題、ニーズ、本邦企業の適用可能性

##### 1) 現地調査

運営状況、課題、ニーズ及び本邦技術の適用可能性について、現地調査では表 4-16 に示した関係機関に対しヒアリングを実施した。

表 4-16 現地調査におけるヒアリング先（インドネシア・ジャカルタ）

分類	ヒアリング先	事業等概要
規制機関	DGR (Ministry of Transportation Republic of Indonesia)	インドネシア運輸省（鉄道総局）
電車運営事業者	KCI (PT Kereta Commuter Indonesia)	インドネシア通勤鉄道会社。ジャカルタ首都圏の通勤輸送を担う。
	MRTJ (Mass Rapid Transit Jakarta)	ジャカルタ都市高速鉄道。ジャカルタ中心部の地下鉄である MRT 南北線を運営する州営事業者。
	LRTJ (Jakarta Light Rail Transit)	LRT ジャカルタ。ジャカルタ外郭部を走る軽量高架鉄道を運営する州営事業者。
本邦関係機関	株式会社オリエンタルコンサルタンツ グローバル ジャカルタ事務所	インドネシア国内の都市鉄道計画等の動向、ニーズ等についての情報収集等
	JR 東日本テクノロジー株式会社 インドネシア駐在員事務所	JR 東日本が行っている KCI 車両保守支援に対し、保守部品の供給や車両保守のサポートを行っている企業。
政策関係機関	在インドネシア日本国大使館	インドネシア国内の都市鉄道計画等の動向、ニーズ等についての情報収集等
	(独) 国際協力機構 ジャカルタ事務所	—

現地調査に先立ち、ジャカルタ首都圏の統合交通決済システム・MaaS の普及に向けて、インドネシアのジャクリンコ社と覚書を締結した日本工営株式会社（東京）で、ヒアリングを実施した。

また、KCI が使用する地上側のインフラ設備の維持管理を行う KAI については、先方都合により現地でのヒアリングを実施できなかったが、土木分野の質問のみ別途書面で回答を得たため、本報告書に反映している（4.2 章参照）。

##### 2) ヒアリング結果

現地関係機関並びに都市鉄道事業者に実施した O&M に関するヒアリングについて、主なトピックを各々表に整理した。（JICA 調査団の理解において、事柄あるいは考察を記事にした。）

表 4-17 DGR ヒアリング結果

項目	記事
課題/ニーズ	1. 都市鉄道事業及び運行・保守・設備等に対する <u>統一的な基準が無い</u> 。(土木、電機システムのメンテナンス、安全アセスメント基準等) 2. KCI 社内の <u>部門間コミュニケーションが取れていない</u> ため、KCI 指令室の設備を運行・保守・指令機能を統合した形にアップグレードしたい。 3. 日本から譲渡された KCI の <u>古い車両の修理</u> に課題。今後は <u>新車導入か中古車の輸入か検討</u> している。 4. KCI の <u>中古車両の改造</u> などを日本に検討してほしい (保安装置の取り付け等)
調査団考察	1. <u>政府及び各鉄道事業者間が統一した基準</u> に則った運行・保守を行い、 <u>効率的な経営体制確保や相互利用の向上</u> に資する支援が必要である。 2. 日本から譲渡された車両の修理に関する課題を整理することで、 <u>機器更新などの改良ニーズ</u> がある。

都市鉄道事業に関する基準については、国が発出するレベルでは統一されているかもしれないが、事業者によって規程類の作成レベルに差が出ていると考えられる。判定基準について、国または国に準ずる機関から示されていないなら、日本の基準を参考にすることも考えられる。

表 4-18 KCI ヒアリング結果

項目	記事
課題/ニーズ	1. 駅設備/電気 (注: 設備自体の維持管理は KAI の管轄) (1) 国家予算が限られているため <u>運用に応じた駅設備の改良ができていない</u> 。 (2) 運行本数の増加に伴い <u>ピーク時に変電所の容量が不足</u> している。 2. 車両 (1) 古いタイプの機器の <u>部品が入手困難</u> で、修理に苦慮している。 (2) 車両保守に用いる化学薬品で日本から輸入できないものがあるため、 <u>現地の実情に応じた対応が必要</u> 。 (3) <u>新車導入時</u> はメンテナンスの経験がある <u>日本式の車両を要望</u> 。
調査団考察	1. 現状の運用状況に合わせた <u>設備改修計画などの支援</u> にニーズがある 2. 古い車両の機器更新や、日本式の車両のニーズがあるが、尼国の国内調達率 40%の目標もあり、 <u>尼国のサプライヤとの連携が必要</u>



出典: JICA 調査団 (2022 年 5 月撮影)

図 4-30 駅設備の改良が出来ていない例

図 4-30 では、運用に応じた駅設備の改良ができていない事例を示している。利用者に危険が及んでいる現状を考慮すると、このような mismatches の改善に関する支援は、中長期的な観点で優先的に取り組むべき項目と言える。

また、変電所の容量不足については、設備の維持管理を行う KAI は電圧を規定値よりも上げて急場を凌いでいることから、課題としての認識があると言える。おそらく変電所の増強に対する予算の問題があり、根本的な改善が出来ないものと推測される。

表 4-19 MRTJ ヒアリング結果

項目	記事
課題/ ニーズ	1. 車両 車輪の異常摩耗や、騒音・振動の <u>原因分析や対策に苦慮。</u> 2. 電気 剛体架線の波状摩耗の <u>原因分析や対策に苦慮。</u> 3. 運転 イベント時等の <u>多客臨時輸送のニーズ</u> が生じている。
調査団 考察	1. <u>OMCS2 の支援の効果が大きく</u> 、今後の O&M についての見通しは明るい印象 2. 日々の <u>不具合対応へのアドバイスや、故障の予兆分析などの支援</u> にニーズがある。 3. 8年目の車両の <u>全般検査*</u> でも <u>技術支援の提案が可能。</u>

\* 全般検査：車両装備品全体に対して行われる最も大掛かりな定期検査

表 4-20 LRTJ ヒアリング結果

項目	記事
課題/ ニーズ	1. 技術全般 (1) 開業後の韓国からの支援は、電話やメールによるコンサルティングのみで、 <u>専門家が現地を訪れて行う技術支援は無い。</u> (2) <u>中・長期的な保守の計画や実務</u> は LRTJ が独自に行う必要がある。 2. 人材育成 技術分野の社員は <u>鉄道専門学校卒</u> を受け入れているが、 <u>技術的スキルが不足している部分もある</u> ので自社養成を行っている。
調査団 考察	1. 今年度実施予定の <u>車両のヘビーメンテナンスの支援を希望</u> していた。 2. フェーズ 2 の延伸については韓国の支援とは決まっていない様子であった。 3. 彼らの <u>未経験分野である今後の中・長期的な保守計画や実務</u> について、 <u>支援の可能性</u> がある。 4. <u>技術分野社員のスキルを補う基礎研修支援</u> の可能性が考えられる。

なお、今回調査は行わなかったものの、日本の支援で開業した MRTJ ではマニュアルが整備されていることや、KCI の訓練センターでは教育が行われていることが、過去の調査からも確認されている。

例えば、図 4-31 の左の写真は、MRTJ が開業前に行った異常時想定訓練の様相である。これは駅で火災が発生したことを想定したもので、駅係員と駅の警備員が協力して、怪我人を駅の外の安全な場所に搬出している。(2019年3月5日撮影)

一方、右の写真は、KCI の訓練センターにある、列車の緊急停止訓練用施設である。これは、事故発生時などにおいて、当該箇所に接近して来る他の列車を緊急停止させるために、発煙筒を焚いて緊急停止信号を示す訓練を行うためのものである。(2014年9月23日撮影)

これらの教育訓練が行われていることを考えると、各事業者とも異常時の対応や復旧処置に関する規程やマニュアルが整備されていると考えられる。



出典：JICA 調査団

図 4-31 MRTJ の訓練及び KCI の訓練施設の様子

### 3) 本邦企業に対するヒアリング結果

今回、本邦技術の適用可能性を検証するにあたり、国内及び現地で、次の企業に対するヒアリングを行った。

表 4-21 日本工営ヒアリング結果

項目	記事
経緯	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 同社は 2022 年 3 月 25 日に、ジャカルタ首都圏の交通決済システムの統合と運営を担うジャクリンコ社と、MaaS 分野で連携する覚書を締結。</li> <li>2. この取り組みに関し、都市交通改善への適用可能性について検証。 <a href="https://pdf.irpocket.com/C1954/jQug/b7H7/Vk0i.pdf">https://pdf.irpocket.com/C1954/jQug/b7H7/Vk0i.pdf</a></li> </ol>
ヒアリング内容	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. データ活用による付加価値の創出と、これによる公共交通機関の分担率を増やすことでライダーシップの増加につなげる。</li> <li>2. これらの取り組みが本当にライダーシップの増加に寄与するか？は、<b>壮大な実験</b>になると考えている。</li> <li>3. MaaS アプリで適用される運賃の割引分を補助金で賄うよう、<b>現在州議会で審議</b>が進められている。</li> </ol>
調査団考察	<p>詳細な移動者データの適用可能性として、次のことが考えられる。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>利便性や快適性の高い運行計画の策定</b> (いつ、どの区間で、どのくらいの列車が必要か)</li> <li>2. <b>利用者への影響を最小限に止める保守計画の策定</b> (いつ、どこで実施すれば影響が少ないか?)</li> <li>3. <b>将来の運行計画</b>に対応する<b>設備計画の策定</b> (列車の増発に対し、どのくらいの設備が必要?)</li> </ol>

表 4-22 JR 東日本テクノロジー株式会社ヒアリング結果

項目	記事
経緯	<p>1. 同社の公式 HP によれば、海外事業について「<u>車両部品の販売</u>」と「<u>現地でのアフターサービス</u>」と紹介。</p> <p>2. KCI には JR 東日本をはじめとする日本製中古通勤電車が大量に譲渡されていることから、<u>これらとの連携</u>について検証。  <a href="http://www.ttech.co.jp/business/maintenance/">http://www.ttech.co.jp/business/maintenance/</a></p>
ヒアリング内容	<p>1. インドネシアの<u>新たな輸入規制</u>により製造から 20 年以上経過した中古車両の譲渡が禁止されたため、<u>機器更新でしのぐこと (=既存の車両の延命)</u>を余儀なくされている面がある。</p> <p>2. 技術支援を通して<u>信頼関係を構築</u>し、部品供給ビジネスへとつなげていきたい。</p> <p>3. 当社の強みは、他の鉄道事業者よりも<u>規模の経済</u>が働くので、<u>部品を安く仕入れられる点</u>である。</p> <p>4. 新規案件については、リスクを考慮した<u>適正な価格設定が難しい</u>。</p>
調査団考察	<p>保守に関する支援については、「<u>保守部品の供給</u>」と「<u>技術支援</u>」が一体であることが、<u>安定且つ継続的に実施する上で必須</u>。この意味では、<u>同社のビジネスモデルは極めて有効な取組み</u>と言える。</p>

#### 4) 今後の支援(ビジネス)展開に関する考察

2) に記述したヒアリング結果を踏まえ、開業時には予測できなかった土木インフラの維持管理問題などをはじめ、現在課題として挙げられている都市鉄道 O&M の課題解決に対し、日本の技術やノウハウを活用して具体的にどのような支援が展開できそうか、考察を加える。

ここでは、鉄道事業者として実際に O&M を行っている KAI、KCI、MRTJ、LRTJ に対する可能性として記述する。

表 4-23 KAI の課題と支援の方法

分類	課題	支援のスキーム	支援の方法
駅設備	現行設備の <u>仕様と運用状況の乖離</u>	技術協力	<u>駅設備改良工事</u> の支援 * 駅、運転、工務、電気、車両といった各部門の課題を横断的に反映した、 <u>設備改修計画</u> の策定支援。 * 課題解決の <u>判断材料となるデータ</u> を、 <u>組織を超えて共有するしくみ作り</u> の支援。(日本工営の取り組みが1つのヒントになり得る)
		専門家派遣	
電力	運行本数の増加に伴う <u>変電所容量の不足</u>	技術協力	<u>変電所増強工事</u> の支援
		機材調達	

(注：本件については、KCI への現地ヒアリング結果から、KAI に関する課題を整理の上記載)

「各部門の課題を横断的に反映した、設備改修計画の策定支援」ということでは、日本の鉄道事業者で社々間の調整機関である「協議会」の設置支援などが考えられる。これは、解決すべき課題に対する関係各社の関係部門が集まる機関であり、ここで協議を重ね合意した内容を各社が実施することで、組織を超えた横断的な課題の解決につなげている。KAI の場合、施設の保有者は運輸省、保守は KAI、運用は KCI という上下分離型であり、「運営&保守の組織」という観点で言えば異なる事業者の集まりと同じであることから、協議会の設置は有効と考える。

KAI は構造物の検査に対する十分な基準が無い可能性もあるので、今後の打音検査など通じて課題を発見することや、維持管理の予算確保のみならず、効率的な保守方法についての検討も必要と考える。(詳細は「表 4-35 維持管理状況に関するアンケート結果 (KAI)」を参照)

表 4-24 KCI の課題と支援の方法

分類	課題	支援のスキーム		支援の方法
車両	古いタイプの機器の部品が入手困難	技術協力	専門家派遣	保守が困難な旧機器のみを更新し、車両の延命を図るための支援。(*1)
			機材調達	JR 東日本テクノロジーの KCI に対するビジネスモデルがひとつの例となる。 保守に必要な資材や部品供給を、保守に対する「後方支援」としてセットで行う。
	技術協力	専門家派遣	これまで KCI が培った日本式保守のノウハウが活用出来るようにするための支援 (国営 INKA 社を巻き込んで行う)	
	欧州規格車両が新たに導入された場合の対応 (*2)	技術協力	専門家派遣	

\*1 インドネシアの新たな輸入規制により、既存の車両の延命対応が余儀なくされている。詳細は表 3-22 「JR 東日本テクノロジー株式会社ヒアリング結果」を参照。) )

\*2 国営 INKA 社とスイスのシュタドラー社の間で、欧州規格の新車導入計画がある。) )

車両の延命については、経験のある鉄道事業者の協力の元での工事が必要になる。車体や台車に問題が無ければ、古い車両機器を搭載していても更新工事は可能である。現在の KCI の施設的では、機器の更新工事の対応は可能と思われるが、通常の定期検査でも使用される施設なので、これらとの関連を含めた検討が必要と考える。

表 4-25 MRTJ の課題と支援の方法

分類	課題	支援のスキーム		支援の方法
車両・電気	日々の不具合対応 (騒音、異常摩耗等)	技術協力	専門家派遣	*不具合や故障対策へのアドバイス *故障の予兆分析等に関する支援
車両	定期検査への課題はない*	技術協力	専門家派遣	*4年後の全般検査に関する支援 *OMCS2の流れを維持しながら行う
運転	イベント時等の多客臨時輸送への対応	技術協力	専門家派遣	スポーツ、コンサート、大規模イベント等の開催時における臨時ダイヤの作成及び運行管理上の対応等、日本の豊富な経験に基づく支援。

\* OMCS2 による支援で重要部検査を無事に完了しているため。重要部検査とは、主要部分に対して行われる定期検査。

表 4-26 LRTJ の課題と支援の方法

分類	課題	支援のスキーム		支援の方法
技術全般	建設支援国である韓国の開業後の技術的な支援が不十分	技術協力	専門家派遣	日本式の設備ではないため、現行システムに対する詳細な支援は難しい。
	鉄道専門学校卒社員の技術スキル不足	技術協力	専門家派遣	メンテナンスの基礎知識の習得といった人材育成の支援は有効。

分類	課題	支援のスキーム	支援の方法
		本邦 研修	日本の現場体験を通じた <b>基本技能の習得</b> 支援

### 5) ジャカルタと東京の首都圏輸送の類似性に関する考察

過去に日本で行われた東京圏の抜本的な輸送改善の実績が、ジャカルタの都市鉄道支援における「日本の優位性」を示す上で効果的な一面がある。その理由は、都市圏の輸送形態並びに都市鉄道整備の背景が、ジャカルタと東京で非常によく似ているからである。

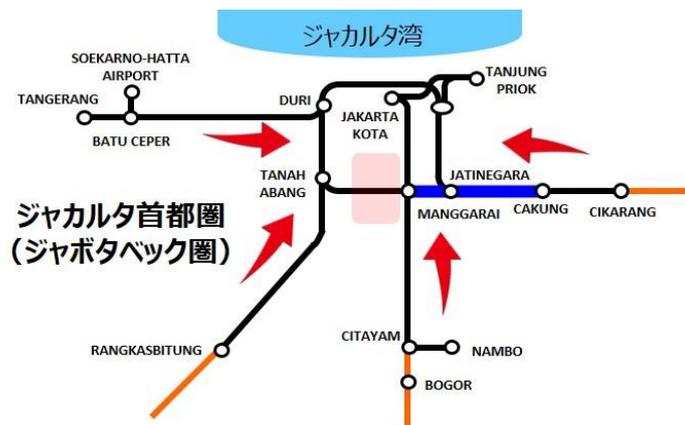
東京の首都圏輸送の歴史を振り返ると、国鉄（当時）では1960～80年代にかけて、東京から放射状に延びる五方面路線（東海道・中央・東北（高崎）・常磐・総武）に対して抜本的な輸送改善事業を実施している。俗に「五方面作戦」と呼ばれるものであり、具体的には複々線化、別線整備、連続立体交差化、列車の長大編成化、地下鉄との相互直通化といった対策が行われ、現在のJR東日本における首都圏輸送の礎を築いた。（出典：家田仁、他、「五方面作戦～今日の首都圏都市鉄道の基盤を築いた国鉄による空前絶後の通勤鉄道改善プロジェクト～」2021年3月）

この前提で図 4-32 を参照されたい。これは現在のジャカルタ KCI と、東京の「五方面作戦」の対象となった JR 東京近郊区間の路線図を比較したものである。オレンジ色の線は既存の国鉄の幹線を示し、黒い線は通勤電車が運行されている都市鉄道区間を示している。

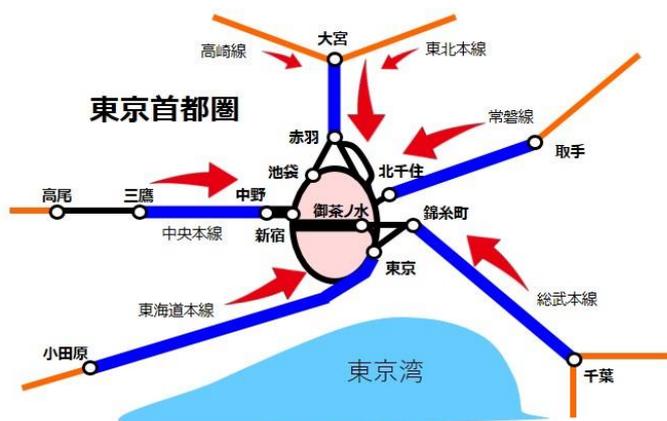
#### 【ジャカルタのKCI各線】



- 既存の国鉄の幹線
- 都市鉄道区間（複線）
- 都市鉄道区間（複々線）
- ← 朝ピークタイムの主な流動
- 都心部



#### 【東京のJR各線】



注：五方面作成によって複々線化した路線以外の武蔵野線や南武線、横浜線等の路線は省略。

図 4-32 ジャカルタ KCI と東京の「五方面作戦」の路線図比較

東京の場合、これら 5 路線は首都圏の拡大に伴う沿線人口の増加に伴い、列車の混雑が顕著となった。このため、抜本的な輸送力増強対策が必要になった。これが前記の「五方面作戦」であ

る。この結果、特に利用者が集中する都心部側が複々線化され、通勤電車と中長距離列車の分離運転が実現し、輸送力が飛躍的に向上している。

一方、ジャカルタの場合、幹線の一部を構成する3路線では、郊外の都市からジャカルタ都心部に向かう輸送量の増加により、線路容量の不足が懸念される。これに伴い、現在 KCI では輸送力増強対策として、ブカシ線の複々線化工事やマンガライ駅の平面交差の解消（高架化）が進められており、これらの取り組みが、かつての東京圏の輸送力増強モデルと似ているとされる。

ただし、インフラの整備支援に関しては、都市鉄道事業の形態（上下分離か否か）や鉄道整備計画を取り巻く環境の違い等により、単純に日本のモデルが導入可能であるとは限らない。この点については、「JABOTABEK 鉄道プロジェクト事後評価第三者委員会レポート」（JICA：2003年2月4日）等も参考にしながら検討すべきと考える。

この「東京モデル」は施設完成後のオペレーションにおいても、効果的な活用が期待される。

今回の現地調査で、複々線化されたブカシ線の運用状況を確認したところ、長距離列車用と通勤電車用の線路が分離されたにも関わらず、長距離列車が通勤電車用の線路を走行していた。この結果、速度及び輸送上の性格が異なる列車が同じ線路上に混在し、「長距離列車に道を譲るために、通勤電車が駅で長時間の停車を余儀なくされる」といった事象が生じていた。これがピークタイムに発生すると通勤電車の円滑な運行の妨げとなり、輸送力の低下を招くこととなる。これを示したものが図 4-33 である。これは、完成した設備を用いた効果的なオペレーションが実施されておらず、複々線化以前に発生していた課題の解決に至っていないことを意味する。

「東京モデル」では、このような事象に対する効果的な列車運行管理に関するノウハウを有していることから、複々線化の進展に応じた適正なオペレーションについて東京の首都圏輸送の事例を示すことで、本邦企業の支援（ビジネス）展開の優位性を示すことが出来ると考える。

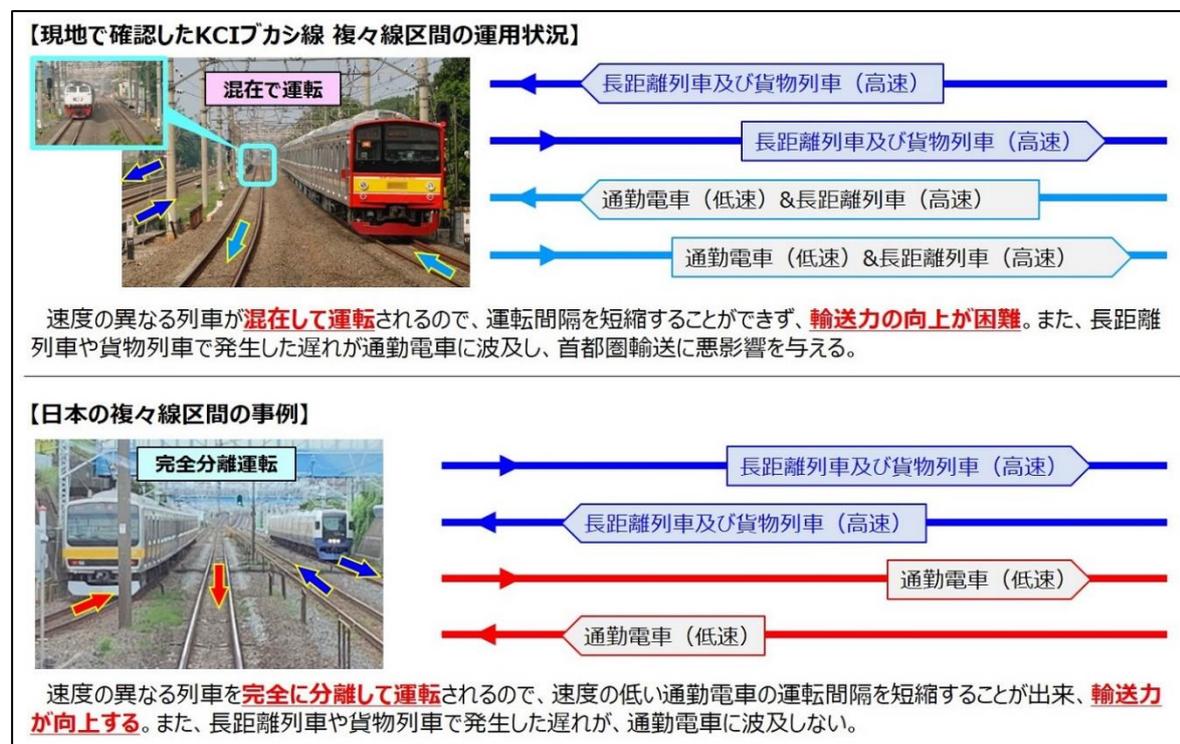


図 4-33 複々線化後の効果的なオペレーションの事例

## (5) 指定文献レビュー結果

### 1) インフラシステム輸出戦略(令和2年度改訂版)

「第3章 地域別取組方針」の「1. ASEAN 地域」におけるインドネシアの国別取組方針において以下の記載がある。

インドネシアには既に多くの我が国企業が進出しており、平成28年に設立された「日インドネシア海洋フォーラム」の下、経済開発についてあらゆるレベルの二国間対話を推進する。また、同国の経済成長を牽引するジャカルタ首都圏では、交通分野や都市開発分野におけるインフラ整備の必要性が高いことから、これらの取組を推進するとともに、首都圏以外のインフラ整備にも焦点を当て、国全体の発展に貢献する。(以下省略)

だが、インドネシアの都市鉄道に関する具体的記述はなかった。

### 2) 国土交通省インフラシステム海外展開行動計画2021(国土交通省)

「第3章 分野別の取組」の「(1) 鉄道」の「②2020年において動きのあった主なプロジェクト」において、以下の記述がある。

ジャカルタ都市高速鉄道東西線事業(インドネシア) ジャカルタ MRT 東西線(フェーズ1はカリデウス〜ウジュン・メンデン間、約32km)を整備する事業。基本設計コンサルタント契約について、2020年11月に我が国企業を中心とするJVが受注。

また、「(参考) 今後注視すべき主要プロジェクト」の「今後注視すべき主要プロジェクト一覧」の「⑤ インドネシア」において、都市鉄道に関して以下の記述がある。

34 ジャカルタ都市高速鉄道事業(フェーズ2) ジャカルタ MRT 南北線(ルバックブルス〜ブンデラン HI 間)を北部(ブンデラン HI〜カンピンバンダン間、約8km)へ延伸する路線を整備する事業。

35 ジャカルタ都市高速鉄道東西線事業 ジャカルタ MRT 東西線(フェーズ1はカリデレス〜ウジュン・メンデン間、約32km)を整備する事業。

37 ジャカルタ首都圏鉄道輸送能力増強事業 車両検査・整備場の拡張、鉄道システムの改良(保安装置の導入等)、車両調達を通じて、ジャカルタ首都圏鉄道の旅客輸送能力の増強を図る事業。

このうち34については、2019年3月に開業したMRT南北線の延伸に関する事業である。

35については、ジャカルタ中心部でMRT南北線と交差する新たな路線の整備に関する事業である。

37については、KCIの輸送力増強に関する事業である。

### 3) 各国の国別開発協力方針・事業展開計画(外務省)

インドネシアの都市鉄道に関する具体的記述はなかった。

### 4) World Rail Market Study(Unife)

インドネシアの都市鉄道に関する具体的記述はなかった。

### 5) Upcoming Rail Projects & Market Opportunities in Asia Pacific (Research And Markets, 2020)

文献のインドネシアにおける鉄道案件一覧(表4-14)のうち、都市鉄道の新線計画(黄色)を本レポートに反映している。

表 4-27 インドネシアの鉄道計画案件

プロジェクト	国	都市	輸送手段	案件種別	本報告書での取扱い
ジャカルタ首都圏 LRT フェーズI	インドネシア	ジャカルタ	LRT	新線	対象
ジャカルタ首都圏 LRT フェーズII	インドネシア	ジャカルタ	LRT	新システム	対象
ジャカルタMRT 東西回廊	インドネシア	ジャカルタ	MRT	新線	対象
ジャカルタMRT 南北回廊	インドネシア	ジャカルタ	MRT	新線	対象
ジャカルターバンドン高速鉄道	インドネシア	ジャカルターバンドン	高速鉄道	新システム	対象外（高速鉄道のため）
スラバヤ トラム	インドネシア	スラバヤ	トラム	新システム	対象外（調査対象都市でないため）

出典：Upcoming Rail Projects & Market Opportunities in Asia Pacific を JICA 調査団加工

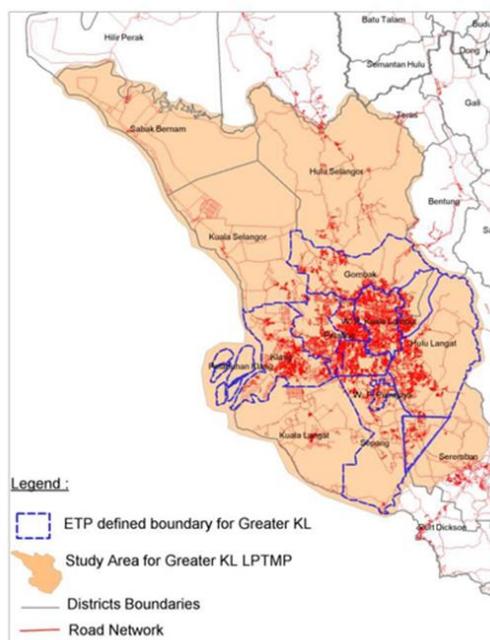
### 4.1.3 マレーシア・クアラルンプール

#### (1) マレーシア・クアラルンプールの都市鉄道の概要

マレーシアにおける鉄道は、錫の運搬を目的として1885年に開通した鉄道路線が最初である。その後、タイ国境からマレー半島東海岸・西海岸へ、さらにその一部がシンガポールに至る路線が形成された。これらの路線がマレー鉄道の一部となり、現在マレーシア全土に関する鉄道輸送の中心となっている。

一方、都市鉄道は、クアラルンプール及びその周辺部から構成されるクランバレー（図 4-34）地域を結ぶ「クランバレー統合輸送システム」と総称される路線網（図 4-36）に集約される。

クアラルンプールにおける路線建設は、1981年に策定されたマスタープランにおいて、LRT路線が提案されたことがきっかけとなった。このマスタープランに基づき、最初のLRT（STAR-LRT：現在のアンバン・スリペタリン線）が1996年に、1998年には2路線目のLRT（PUTRA-LRT：現在のケラナジャヤ線）が運行を開始した（後に、LRT路線2路線はともにマレーシア財務省の管轄下に置かれる）。また、これとほぼ同時期に、マレー鉄道のうちクアラルンプール近郊を走る2路線が電化され、クランバレー統合輸送システムの一部に組み込まれた。その後、空港リンク線やモノレールの開業を経て、クランバレー統合輸送システムは、2022年6月現在、通勤鉄道2路線、LRT3路線、MRT2路線、モノレール・BRT各1路線、空港連絡線3路線の12路線となり、路線の総延長は約500km超となった。



出典) Greater Kuala Lumpur/Klang Valley Public Transport Master Plan Exclusive Summary

陸路公共交通委員会<sup>51</sup>

図 4-34 クランバレー大都市圏

クアラルンプールにおいては、全体における公共交通の占める割合が低い。クアラルンプール

51

<https://www.scribd.com/document/215874490/Greater-Kuala-Lumpur-Klang-Valley-Public-Transport-Master-Plan-Executive-Summary>

都市圏の人口は、2010年の約580万人から10年間で200万人以上増加している一方で、2019年における同都市圏の利用者は約86万人にとどまっている。その結果、公共交通（鉄道+バス+タクシー）の占める割合は、図4-35にあるように、2012年時点で12%と非常に低い状態であり、交通渋滞の解消が急務となっている。

この問題に対し、マレーシア政府では、2013年に「Land Public Transport Master Plan GREATER KUALA LUMPUR / KLANG VALLEY」を発表し、公共交通の利用率向上をうたっている。具体的には、2030年における朝のピーク時の公共交通の利用割合を40%とすべく、新規鉄道路線の建設や鉄道利用に関する利便性の向上を計画している。しかしながら、この計画公表以降、新規路線における建設時期の延期や輸送力の下方への見直しが相次いでなされており、計画が達成できるかどうかは課題となっている。



出典) Land Public Transport Master Plan GREATER KUALA LUMPUR / KLANG VALLEY 陸路交通委員会<sup>52</sup>

図 4-35 クアラルンプール大都市圏における公共交通利用の割合

## (2) クアラルンプール大都市圏における都市鉄道の規制機関、事業者

### 1) 規制機関

以下に記載する規制機関に加え、運賃や主要プロジェクトの承認等の、公共交通に関する重要な検討事項は、首相が重要な意思決定者となっている点が特徴的である。

#### ・運輸省 (MOT: Ministry of Transport)

マレーシア国鉄 (KTMB: Keretapi Tanah Melayu Berhad) 及びその運営会社である鉄道資産公社 (RAC) をその傘下に持つ。また、都市公共交通機関 (APAD: Agensi Pengangkutan Awam Darat) も運輸省の傘下にある。

#### ・財務省 (MOF: Ministry of Finance)

Prasarana 社 (LRT, KL モノレール、MRT の資産所有者であり、これらを運営するラピッド KL 社の親会社でもある)、MRT 社 (MRT プロジェクトを実施する) を傘下に持つ。

#### ・都市公共交通機関 (APAD: Agensi Pengangkutan Awam Darat)

前身の組織である都市公共交通委員会 (SPAD) においては、マレーシア全土の道路交通、公共交通、貨物輸送を規制し、マスタープランの策定を行い、前項記載の Land Public Transport Master

<sup>52</sup> [http://eps.mbj.gov.my/SlideTod/MBPJ\\_GKLV\\_Nov2013\\_SPAD.pdf](http://eps.mbj.gov.my/SlideTod/MBPJ_GKLV_Nov2013_SPAD.pdf)

Plan GREATER KUALA LUMPUR / KLANG VALLEY (2013 年) の策定主体である。APAD は公共交通システムの改善の役割を担っている。

表 4-28 マレーシア政府（運輸省、財務省傘下）の鉄道事業者

省庁	事業者名	説明
運輸省 (MOT)	マレーシア国鉄 (KTMB)	マレーシア国鉄の運営を実施している。
	鉄道資産公社 (RAC)	マレーシア国鉄の資産を保有している。
財務省 (MOF)	Prasarana 社	クランバレー輸送システム (LRT/KL モノレール、MRT) の資産保有会社である。
	MRT 社	MRT プロジェクトを実施する事業者である。

## 2) 事業者

・マレー鉄道（マレーシア国鉄 (KTMB)、鉄道資産公社 (RAC: Railways Asset Corporation)）マレーシア最大の鉄道会社の総称であり、約 1,700km に及ぶ鉄道網を誇る。資産所有、運転・保守ともに運輸省傘下の組織が行い、前者は鉄道資産公社 (RAC)、後者をマレーシア国鉄 (KTMB) が行う上下分離方式である。

マレーシア全土にわたる列車運行の形態としては、都市鉄道であるクアラルンプールの通勤路線 KTM Komuter、都市間鉄道としては、電化区間を走行する ETS 及び非電化区間 KTM インターシティ、及び貨物列車から構成される。クアラルンプール大都市圏の路線では、KTM Komuter のセレンバン線 (1 号線) 及びポートクラン線 (2 号線)、並びにスルタン・アブドゥル・アジズ・シャー空港と市内を結び、2018 年に開業したスカイパークリンク (10 号線) の 3 路線を補修している。

### ・Prasarana 社

公共交通機関の統合・再構築を目的として、1998 年に財務省傘下に設立された、政府 100% 所有の資産所有会社であり、クアラルンプール大都市圏にとどまらず、ペナンやクアantan におけるバス事業者の資産所有会社でもある。

クアラルンプールにおいては、LRT 3 路線 (旧 STAR LRT 及び PUTRA LRT : 現在の 3-5 号線)、モノレール (8 号線) の資産を所有している (これらはかつて民間資本で改行した路線を救済したものである)。また、2016 年に開業した MRT1 号線 (9 号線) の資産も所有している。

### ・Rapid Rail 社

Prasarana 社の子会社であり、同社が保有している LRT 3 路線、モノレール、MRT 各 1 路線、及び MRT 社が保有する MRT1 号線の運営会社である。

### ・MRT 社

Prasarana 社と同様、クアラルンプールの公共交通機関再構築のため、2013 年に法令により設立された財務省傘下の組織である。大量高速輸送システム (Mass Rapid Transit) プロジェクトの開発者として存在しており、2022 年 6 月に部分開業した MRT2 (12 号線) 及び計画中の MRT3 (13 号線) に関するプロジェクト開発の主体となっている。

### ・The Express Link 社

1998 年に開業したクアラルンプール国際空港 (KLIA: Kuala Lumpur International Airport) と市内とを結ぶ空港線にかかる資産を保有している、マレーシア最大のコングロマリットである YTL Corporation 他が出資する民間会社である。空港と市内をダイレクトに結ぶ Express (6 号線) と途中駅のある Transit (7 号線) があり、6 号線・7 号線ともに、運営・保守は同社の子会社である ERL Maintenance Support 社が実施している。

クアラルンプールの鉄道事業者の特徴は大きく 2 点が挙げられる。

一点目は、全ての路線が上下分離方式であり、資産所有、運営・保守を行う事業者が別になっている点である。中でも、資産所有と運営・保守会社が並列的であるマレー鉄道を除いて、全ての運営・保守会社が資産所有会社の子会社として存在している。

二点目は、KLIAに係る2路線及びマレー鉄道を除く鉄道事業者が財務省の傘下となっている点である。この背景は、1990年代以降民間資本で開業したLRT2路線やモノレールが、財政面の悪化のため政府に救済され、この過去の苦い経験を踏まえてその後の路線開発や会社所有が政府傘下の組織により行われたことによる。

なお、マレーシアにおいては、国レベルでも財政面の懸案が存在している。この点については第6項に後述する。

表 4-29 クアラルンプール各路線の主要諸元

状態	運行中				
線名	セレンバン線 1号線	ポートクラン線 2号線	スカイパークリンク 10号線	KLIAエクスプレス 6号線	KLIAトランジット 7号線
種別	通勤鉄道	通勤鉄道	空港リンク	空港リンク	空港リンク
形態	上下分離方式				
所有	鉄道資産公社(RAC)			The Express Rail Link社	
運営	マレーシア鉄道公社 (KTMB)			ERL Maintenance Support社	
営業キロ (km)	135.0	131.0	26.0	59.8	59.8
(地下) (km)	0.0	0.0	0.0	0.0	不明
(その他) (km)	135.0	131.0	26.0	59.8	不明
駅数	26	34	3	3	6
(地下)	0	0	0	0	3
(その他)	26	34	3	3	3
輸送人員 (万人/日)	8.3		0.0	0.6	1.8
開通年月日	1995年8月	1995年8月	2018年5月	2002年4月	2002年6月
開業後経過年数	26	26	3	19	19
乗務員	有人 (運転士)	有人 (運転士)	有人 (運転士)	有人 (運転士)	有人 (運転士)
軌間(mm)	1,000	1,000	1,000	1,435	1,435
電気方式	交流25KV	交流25KV	交流25KV	交流25KV	交流25KV
集電方式	架空線	架空線	架空線	架空線	架空線
車両メーカー	CRRC Zhuzhou		現代ロテム/丸紅	CRRC Changchun	CRRC Changchun
状態	運行中				
線名	アンバン線 3号線	スリベタリン線 4号線	ケラナジャヤ線 5号線	モノレール 8号線	カジャン線 9号線
種別	LRT	LRT	LRT	モノレール	MRT
形態	上下分離方式				
所有	Prasarana社				
運営	Rapid Rail 社				
営業キロ (km)	45.1		46.4	8.6	51.0
(地下) (km)	0.0	0.0	4.3	0.0	9.5
(その他) (km)	45.1		42.1	8.6	41.5
駅数	18	29	37	11	31
(地下)	0	0	5	0	7
(その他)	18	29	32	11	24
輸送人員 (万人/日)	17.8		25.9	3.4	17.5
開通年月日	1996年12月	1998年7月	1998年9月	2003年8月	2016年12月
開業後経過年数	25	23	23	18	5
乗務員	有人 (運転士)	有人 (運転士)	自動運転	有人 (運転士)	自動運転
軌間(mm)	1,435	1,435	1,435	-	1,435
電気方式	750V	750V	750V	750V	750V
集電方式	第三軌条	第三軌条	リニア	モノレール	第三軌条
車両メーカー	CRRC Zhuzhou		ボンバルディア/ ハーモスタ	Mtrans (Scomi)	Siemens Malaysia (コンソーシアム)

\*2022年6月16日開業したPutrajaya線については次項を参照。

**(3) 既存路線(主要諸元は表 4-29 参照)****1) 鉄道資産公社(RAC)所有、マレーシア鉄道公社(KTMB)運営・保守による路線**・セレンバン線 (1号線 : Batu Caves ~ Pulau Sebang/Tampin 間)

マレーシアで最初の電気鉄道であり、1895年に開通したクアラルンプールークラン鉄道線をその起源に持つ。マレーシア国鉄(KTMB)の近郊路線(KTM Komuter)の1路線であり、1995年8月に電化された。クアラルンプールにあるPutra駅からKL Sentralまでの4駅は、2号線との乗換駅となっている。

・ポートクラン線 (2号線 : Tanjung Malim ~ Port Klang 間)

KTM Komuterの1路線として1995年に開業した。1・2号線ともKTMBが保守・運営を行いKTM Komuterと呼ばれているが、その運行頻度の低さにより、利便性に乏しく、利用者が減少傾向である。

・スカイパークリンク (10号線 : KL Sentral ~ Terminal Skypark 間)

旧国際空港であるSubang空港とKL中央駅を結ぶ路線として2018年に開業し、一部区間を2号線と共用されている。駅施設の利便性の低さによる利用者数低迷が課題となっている。

**2) Prasarana 社所有、Rapid KL 社運営・保守による路線**

2022年現在、LRT3路線、モノレール及びMRT各1路線から構成される。2016年に開業したMRTを除き、過去民間資本であった路線を政府が救済したものである。

・アンパン線 (LRT 3号線 : Sentul Timur ~ Ampang 間)

外国資本(Taylor Woodrow/Adrtranz)により1996年STAR-LRTとして開業した。しかし、実績が予測を大きく下回ったことに加えアジア金融危機の影響により、ローンが支払えなくなった。2001年、財務省傘下のPrasarana社に資産や各種権利が移管されるとともに、路線の運営・保守は2004年に設立されたRapid KL社が行うこととなった<sup>53</sup>。2005年には、路線名称がアンパン線と改称されている。なお、Sentul Timur ~ Chan Sow Lin間は、スリペタリン線との共用である。

・スリペタリン線 (LRT 4号線 : Sentul Timur ~ Putra Heights 間)

STAR-LRTとして開業したが、現在はPrasarana社が資産を所有し、Rapid Rail社が運営・保守を行っている。2016年にSri Petaling ~ Putra Heights間が延伸されたことを受け、正式にアンパン線から分離し、別路線になった。

・ケラナジャヤ線 (LRT 5号線 : Gombak ~ Putra Heights )

Projek Usahasama Transit Ringan Automatik Sdn Bhdにより1998年にPUTRA-LRTとして開業した(なお、路線建設は間建設を含むJVが実施した)。しかし、この路線も、STAR-LRT同様にアジア経済危機をきっかけにローンが支払えなくなり、Prasarana社に経営が移管された。ケラナジャヤ線では、完全無人運転(GoA4)が行われており、完全無人運転路線としては開業当時においては世界最長、現在においても世界でも有数の営業キロとなっている。

・モノレール (8号線)

<sup>53</sup> The Operator's Story Case Study: Kuala Lumpur's Story Imperial College London, Railway and Transport Strategy Centre, [https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/research-centres-and-groups/centre-for-transport-studies/rtsc/world-bank/OperatorsStory\\_Kuala-Lumpur-Prasarana\\_Final-210717.pdf](https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/research-centres-and-groups/centre-for-transport-studies/rtsc/world-bank/OperatorsStory_Kuala-Lumpur-Prasarana_Final-210717.pdf)

1990年に計画が承認され、当初計画では日立による建設が計画されていた。その後、別会社による建設中に、アジア金融危機の影響による工事一時中断、試運転時の事故による開通遅延もあり、2003年になってようやく開業した。しかしながら、**運営・保守を行う KL インフラストラクチャーグループの負債が膨らんだため、2007年に Prasarana 社が負債を吸収し、救済することとなった<sup>54</sup>。**

・カジャン線 (MRT1 号線、9 号線 : Sungai-Buroh ~ Kajang 間)

クランバレー大量高速輸送 (KVMRT) プロジェクト (既存の鉄道路線に加えて、MRT をクアラルンプール/カランバレー地域の公共交通機関の基幹とするプロジェクトで 2010 年に政府により承認された) により設立された最初の路線である。カジャン線は、2010 年 12 月に政府によって承認された翌年に工事が開始され、2016 年 12 月にスンガイブロー駅からスマンタン駅までの 12 駅で構成される同線のフェーズ 1 が、その 7 ヶ月後の 2017 年 7 月 17 日に全線が開通した。現時点における、クアラルンプール最新の路線であり、完全自動運転が採用されている。

### 3) The Express Rail Link 社所有、ERL Maintenance Support 社運営

The Express Rail Link 社は、マレーシア最大のコングロマリットである YTL Corporation 他が出資する民間会社であり、1998 年に開業したクアラルンプール国際空港 (KLIA) と市内とを結ぶ空港線にかかる資産を保有している。路線は 2 路線・ともに KL Sentral~KLIA2 間を結ぶ約 57km であり、空港と市内をダイレクトに結ぶ Express (6 号線) と途中駅のある Transit (7 号線) がある。運営・保守は同社の子会社である ERL Maintenance Support が実施している。

### 4) MRT Corp 社所有、KL Rapid 社運営

・プトラジャヤ線 (MRT2 号線、12 号線 : Kwasa Damansara -Putrajaya Sentral 間)

2022 年 6 月 16 日に部分開業した、現時点で最も新しい路線である。KVMRT プロジェクトにより計画されている 2 路線目となる MRT 路線である。総延長は 52.2 km、36 駅が設置される予定であり、クアラルンプール北西部の新興地区からプトラジャヤまで、多くの人口集積地を経由しながら、人口約 200 万人の沿線人口をカバーする建設中路線である。この路線の建設計画は、2015 年 10 月最終承認が政府から下り、翌 2016 年から工事が着工している。

フェーズ 1 (Kwasa Damansara - Kampung Batu 間 13 駅) は当初 2021 年 8 月に開業する予定であったが、新型コロナの影響で同年 11 月に延期され、最終的に 2022 年 6 月に開業した。残る区間はフェーズ 2 として、2023 年 1 月に全線開業となる見通しである。

### (4) 計画路線

ここでは、建設中路線として、シャーアラム線 (LRT3 : 11 号線) を、計画中の路線として MRT 環状線 (MRT3: 13 号線) を記載する。

#### 1) シャーアラム線 (LRT3: 11 号線 Johan Setia~Bandar Utama 37 km、20 駅)

クアラルンプール大都市圏西側のアクセスを向上させるべく建設中のセラングール州の西側と港湾部を南北に結ぶ LRT 路線である。CBTC、完全自動運転 (GoA4)、パーク&ライドの整備や、高架部分におけるプレキャスト工法による路線建設時の作業負荷低減など、最新の技術が多く採用

---

<sup>54</sup> The Operator's Story Case Study: Kuala Lumpur's Story Imperial College London, Railway and Transport Strategy Centre, [https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/research-centres-and-groups/centre-for-transport-studies/rtsc/world-bank/OperatorsStory\\_Kuala-Lumpur-Prasarana\\_Final-210717.pdf](https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/research-centres-and-groups/centre-for-transport-studies/rtsc/world-bank/OperatorsStory_Kuala-Lumpur-Prasarana_Final-210717.pdf)

されている。

路線建設が進捗とともに、路線建設費用が拡大したため、2018年に、政府はコントラクタとの契約形態及び内容につき、予定駅数（26駅から20駅へ）、1編成の車両数（6両から3両へ）、編成数（42両から22両へ）における見直しを実施した。さらに、付随して駅や車両基地の大きさを縮小するとともに、開業時期を2024年と当初計画から開業時期を4年延期した。

## 2) MRT 環状線(MRT3:13号線、計画:50.8 km)

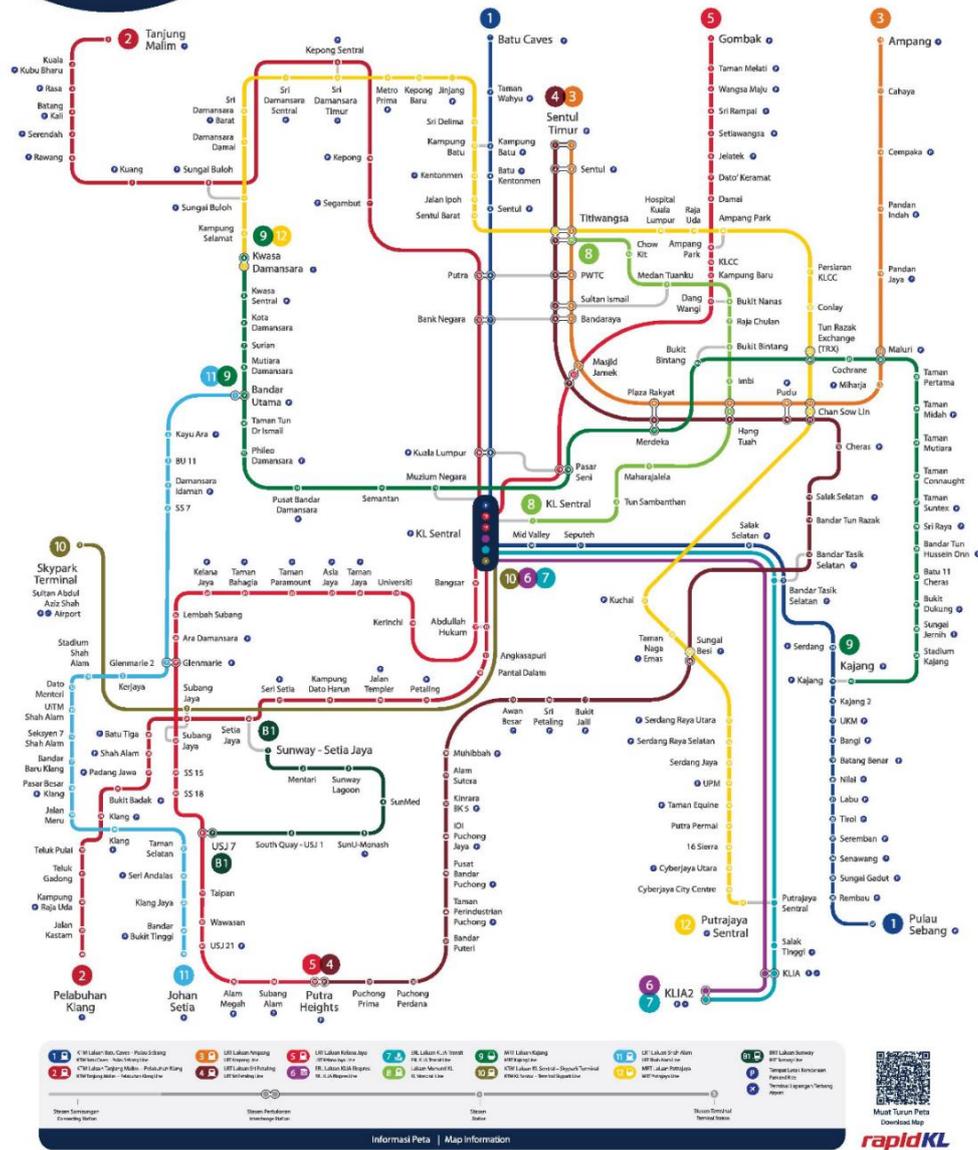
KVMRTプロジェクト中、3つ目のMRT路線であり、クランバレー統合都市鉄道ネットワークのすべての路線と結節点を持つ環状路線として想定、提案されている。

2017年に路線建設計画を政府が発表、翌2018年に国の財政状況が改善するまで棚上げされたものの、2020年に発表された2021年予算にて改めて計画が推進されることが表明されている。現時点においては、2025年の開業を目標として計画されている。

なお、建設中の12号線を含むクランバレー大都市圏の鉄道路線は図4-36のとおりである。

# Peta Transit Berintegrasi Lembah Klang

## Klang Valley Integrated Transit Map



出典) Official Map: Klang Valley Integrated Transit<sup>55</sup>

図 4-36 建設中路線を含めたクアラルンプール統合輸送システム

<sup>55</sup> <http://transitmap.net/klang-valley-2021/>

## (5) クアラルンプール大都市圏における都市鉄道の課題

### 1) 低い公共交通利用率と輸送能力

東南アジアの他大都市と同様に、クアラルンプールにおいても人口の増加と交通渋滞が喫緊の課題となっている。2000年において420万人であったクアラルンプール大都市圏の人口は、2010年には約580万人、2020年には約800万人と増加の一途をたどっている。その一方で、クアラルンプールにおける2019年の鉄道利用者は合計で約80万人程度にとどまり、大部分が鉄道以外の自家用車等による移動となっている。その結果、前述のとおり、公共交通機関利用率は、19%にとどまっている。

これに対し、既に記載のとおり、2030年までに公共交通機関利用率を40%にすることが国としての目標であり、クアラルンプール大都市圏には複数の路線延伸・新規路線計画があるが、その効果は限定的となる懸念が高い。例えば、2016年に開業したカジャン線（MRT1：9号線）は、1列車が4両編成と短く輸送力が低い。列車の編成長が短い（＝輸送力が低い）という問題は、今後開業を予定しているシャーアラム線（11号線：3両編成）と2022年6月に部分開業したプトラジャヤ線（12号線：4両編成）についても当てはまる。こうした路線でラッシュ時間帯の運行本数をいかに増やせるか、そしてそのためにどのような具体的なオペレーションができるか今後の大きな課題である。

### 2) 財政面でのリスク

前項で記載したとおり、クアラルンプールにおいては、過去に複数路線の鉄道事業者の経営が破綻した事例がある（STAR-LRT、PUTRA-LRT及びモノレール）。これらの路線は政府系資本により救済され、現在は財務省傘下のPranasara社が保有している。しかし、マレーシア国としての財政状況のリスクが懸念され、このリスクは、マレーシアとシンガポールを結ぶ高速鉄道（HSR）計画の進捗に端的に表れた。この高速鉄道計画は、クアラルンプール・シンガポール間の約350kmを90分で結ぶ高速鉄道計画であり、当初2026年に開業を予定していた。しかし、マレーシア国の財政悪化に伴い、同国からシンガポールに申し入れた契約変更について同国間の合意に至らず、2021年1月に高速鉄道契約は撤回するに至った（後に同年11月に再度、本計画の協議再開がなされて現在に至る）。

また、クランバレー統合輸送システムにおいても、財政面により路線の計画変更がなされている。シャーアラム線（11号線）においては、2018年パカタン・ハラパン新政権により建設プロジェクトのコスト削減を決定した。このコスト削減に伴う見直しは、輸送力が当初計画対比で半減することを意味している。このことは、公共交通の輸送能力増強という計画の成否そのものが、国の不確実な財政面により左右されるということの意味している。

## (6) O&Mの参入可能性

クアラルンプールにおいては、モノレール建設時における日立製作所（但し、アジア金融危機により撤退）、MRT1号線での鉄道システムにおいて三菱重工が受注する等、日本のメーカーの参入実績があるものの、表4-29の記載にあるように、車両においては韓国や中国企業、信号においてはドイツやイタリア企業による参入が多く、既存路線における日本企業との親和性は高くないと考えられる。

## (7) 指定文献レビュー結果

### 1) インフラシステム輸出戦略(令和2年度改訂版)

マレーシアの都市鉄道に関する具体的な記述はなかった。

## 2) 国土交通省インフラシステム海外展開行動計画(国土交通省)

「第三章 分野別の取組」(1)鉄道 ② 2020 年において動きのあった主なプロジェクト 3) 中止又は中断したプロジェクトにおいて、以下の記載がある。

・マレーシア～シンガポール間高速鉄道計画 (マレーシア・シンガポール)

マレーシア・クアラルンプールからシンガポールまでの約 350 k m の高速鉄道を整備する事業。2020 年末を期限として両国が計画の見直しを協議していたが、合意に至らず、2021 年 1 月に両国で本計画に関する二国間協定の終了を発表した。

→2021 年 11 月、再度協議再開がなされ、進行中の案件となっている。

また、同省が協力している ASEAN スマートシティ・ネットワーク (ASCN) に参画している国・都市一覧 (同計画 P. 131、26 都市の中) クアラルンプールがその一都市として入っており、2021 年度案件実施調査が実施される予定であることが記載されている。

## 3) 各国の国別開発協力方針・事業展開計画(外務省)

「対マレーシア 国別開発協力方針」中の 3. 重点分野 (中目標) (1) 先進国入りに向けた均衡のとれた発展の支援においてマレーシアが 2020 年を目標に先進国入りを目指していることも踏まえ、行政能力向上、産業人材育成を含む高等教育、鉄道分野 (高速鉄道等) をはじめとする質の高いインフラ整備、エネルギー等、更なる経済成長に資する支援と共に、環境保全、社会的弱者支援等社会の安定に資する支援につき、官民連携の観点も考慮しつつ実施する、との記載があり、この内容を踏まえプログレスレポートに反映した。

## 4) World Rail Market Study(Unife)

マレーシアの都市鉄道に関する具体的記述はなかった。

## 5) Upcoming Rail Projects & Market Opportunities in Asia Pacific (Research And Markets, 2020)

本文献のマレーシアにおける鉄道案件一覧 (表 4-29) のうち、都市鉄道の新線計画及びクアラルンプール・シンガポール高速鉄道に関する内容を参照した。クアラルンプール以外の情報は省略した。

#### 4.1.4 トルコ・イスタンブール

##### (1) イスタンブールの都市鉄道の状況

###### 1) 概要

トルコでは経済成長に伴い、温室効果ガス排出量が急増し、増加基調に歯止めがかかっていない状況である。イスタンブール市においても、大気汚染対策として、都市鉄道の整備に加え、歴史地区における車両進入禁止や電気バスの導入等の施策が講じられている。イスタンブールでは都市内鉄道の整備によるモーダルシフトは徐々に促進されており、平日は鉄道輸送が 2 割以上を占めるまでになっている。<sup>1)</sup>

イスタンブールのような大都市に限らず、現在、トルコでは、人口 100 万人に満たない都市でも都市内鉄道の建設が進んでおり、鉄道が市内交通の手段として運用されている。今後もイスタンブール以外にも、アンタルヤ、イズミール、カイセリなどの都市において地下鉄・トラム事業も計画されている。<sup>1)</sup>

イスタンブールはトルコ最大の都市で、トルコ経済、文化歴史の中心地であり、ヨーロッパでは最大規模の都市の一つである。人口約 1500 万人、約 5,000km<sup>2</sup>の地域をカバーする公共交通機関は、バス、軌道交通、ケーブルカー、船等により複合的なもので構成されている。イスタンブールの路線図を図 4-37 に示す。また、さらなる拡張が予定されており、イスタンブールの鉄道網は 2022 年時点で 262.15km であり、2023 年までには 805.23km に達する見込みである。

トルコでは都市化による交通渋滞と排気ガスによる大気汚染の深刻化を背景に、1990 年代後半から都市内鉄道の建設が急速に進んだ (表 4-30)。円借款「ボスポラス海峡地下鉄整備事業」も鉄道案件として分類されているものの、イスタンブールの環境を改善する狙いもあった。<sup>2)</sup> これまでバスとフェリーにのみ依存し、交通のネックとなっていたボスポラス海峡が 2013 年に海底トンネルにより結ばれた。これにより従来フェリーで 30 分かかっていたボスポラス海峡の横断時間は 4 分に短縮された。<sup>3)</sup>

メトロイスタンブールのウェブサイトには、路線の状況が次ように紹介されている。

「メトロイスタンブールは、1988 年にイスタンブール市がイスタンブール市内の鉄道網を運営するために設立した関連会社である。現在もイスタンブール市の関連会社として、路面電車、地下鉄、ライトレール、ケーブルカー、空中ケーブルカーなどの路線を運営している。

イスタンブールの都市鉄道網の長さは 262.15km で、メトロイスタンブールはこのうち 183.15km を運行しており、このネットワーク内の 16 の都市鉄道路線により、毎日 200 万人にサービスを提供している。

また、イスタンブール地下鉄は、その管理下にある鉄道システムの車両、駅、施設、路線インフラ、電気・電子システムの保守・修理作業も行っている。運営、保守、修理に加えて、イスタンブールの将来の地下鉄プロジェクトや、国内外の公共交通プロジェクトのためのエンジニアリングやコンサルティングのサービスも提供している。」<sup>4)</sup>

メトロイスタンブールは、EFQM (European Foundation for Quality Management) に準じた審査で 5 つ星を獲得し、これはトルコ鉄道事業者で最初であり唯一のことである。また、既存路線の運営とともに、新規路線の建設を継続しつつ、社外に対する技術的なサービスの提供や海外からの研修生の受け入れも行っている。

###### 2) 各路線の状況

イスタンブールには、本格的な地下鉄、小型の地下鉄、地下ケーブルカーの 3 種類の地下鉄が走行しており、さらに Tram、郊外電車が存在している (表 4-31)。

トンネルと呼ばれる地下ケーブルカーは1875年に開業しており、イギリスのロンドンのメトロポリタン鉄道に次いで世界で2番目に古い地下式鉄道である。この路線は現在でもカラキョイとイスティクル通り急な573mの路線を運行している。また、よりモダンなケーブル鉄道がタクシマ広場とカラキョイの間を2006年から走り始めている。<sup>5)</sup>

通勤鉄道に関しては、1872年に欧州側のシルケジ(Sirkeci)～ハドムキョイ(Hadımköy)が開業し、アジア側も1873年にハイダルパシャ(Haydarpaşa)～イズミット(Izmit)間が開業している。<sup>6)</sup>

本格的な地下鉄はメトロと呼ばれている。M2号線はイスタンブール発の本格的な地下鉄として2000年9月にTaksim～4.Levent間7.9kmが開業した。開削工法により全線地下で建設され、マグニチュード9の地震にも耐えられるように設計されている。<sup>7)</sup>

現在はM8号線を除く、M9号線まで運行されており、M10号線からM13号線の建設が進められている。一方で、開業から30年以上経過している路線も存在している。M1号線はライト(小型)メトロで1989年に開業した。最も古い地下鉄は、地下ケーブルカーであるF2線であり、1875年に開業している。

2013年にはボスポラス海峡地下鉄整備事業における地下鉄区間(この路線の現地名称はMarmaray)が開業した。この地下鉄区間には、4つのトンネル工法(海峡部:沈埋トンネル工法、陸上部:シールドトンネル工法、駅部:開削工法及びNATM工法)が採用されている。<sup>8)</sup>

### ①Metro/Light Metro

最初の路線は1989年に開業したMetro M1号線のAksaray-Kartaltepe間であり、ライトレール形式で建設された。本格的なMetroの第1号は1992年に建設が始まり、2000年に開業したM2号線の一部、タクシム(Taksim)～4<sup>th</sup>Levent間8.5kmである。現在は8路線、127.4kmが営業中であり(調査団アンケート結果より)、朝6時から夜0時半位まで、7～10分間隔(ピーク時は5分間隔)で運行されている。<sup>9)</sup>

### ②Tram

イスタンブールのTramは馬車軌道から始まった。1912年に電化され、1956年には56路線で1億800万人を運ぶ都市内交通の主役となった。その後更新が遅れ、1911年製車両を使い続ける状況において、順次バスに置き換えられ、1960年代半ばに一旦廃止された。その後、交通渋滞解消に対するTramの優位性が見直され、1990年に欧州地区においてT2号線(Nostalgic tram)が開通した。1992年に欧州地区で現在のT1号線(Modern Tram)が、2003年にはアジア地区でも現在のT3号線(Nostalgic tram)が復活し、2007年には欧州地区にT4号線(Modern tram)が開通している。<sup>10)</sup> 2021年には金角湾沿いを走行するT5号線が開通している。

### ③郊外電車(Marmaray路線)

ボスポラス海峡を海底トンネルで通過し、ヨーロッパとアジアを結ぶ初の鉄道である。この路線は欧州地区ハルカル(Halkalı)からアジア地区のゲブゼ(Gebze)間76.6kmを結んでいる。この区間はボスポラス海峡下を横断する1.4kmの沈埋トンネルを含む13.6kmのトンネル区間(ボスポラス海峡横断鉄道トンネル)と、既存設備を改良する63kmの郊外区間により構成されている。<sup>11)</sup>

信号保安設備は、通勤電車にはCBTCを用いた列車制御システムに自動運転(ATO)機能を付加、都市間列車にはETCS Level 1に準拠した地上信号方式を採用しており、同一線路に二つのシステムを備えこととした。<sup>12)</sup>

## 3) 運営の状況

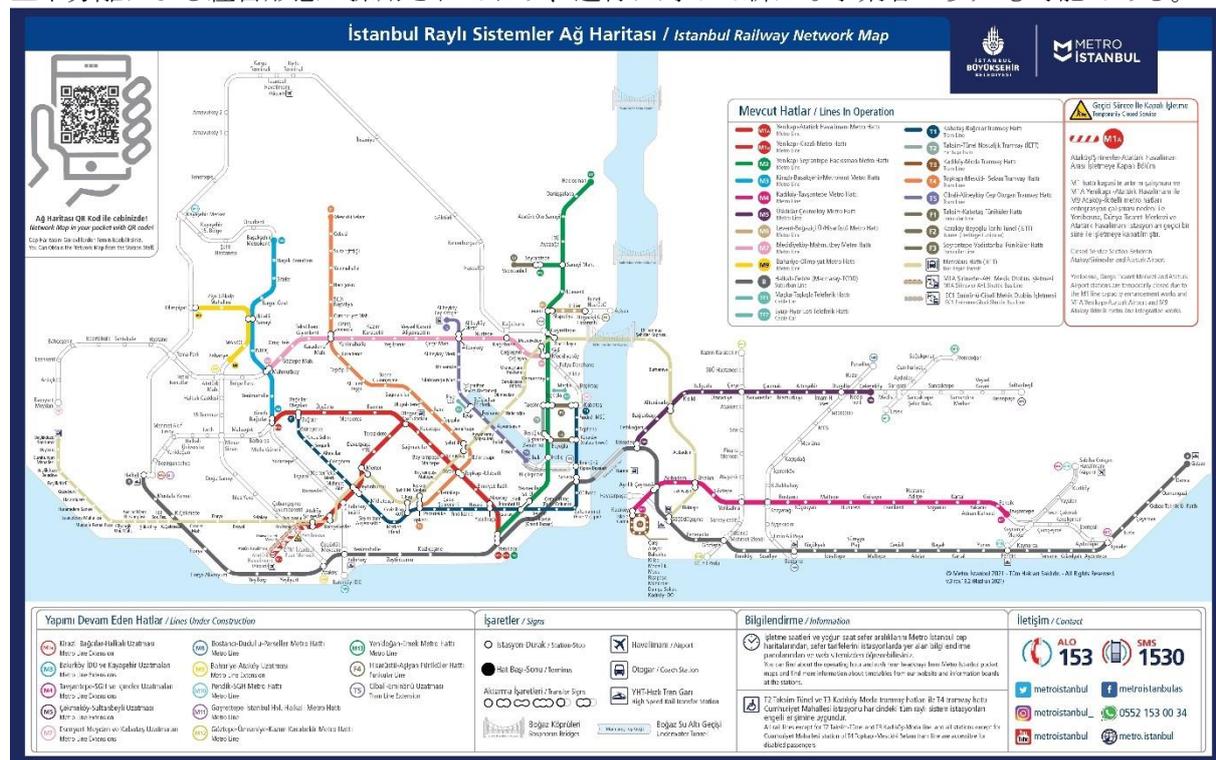
イスタンブールの公共交通は複数の英国並びにフランス企業が運営していたが、1939年に全て国営化され、新設された国営企業İETT(İstanbul Electric Tram and Tunnel Company)に移管さ

れた。<sup>5)</sup>その後、1988年、イスタンブール市当局によりメトロイスタンブールが設立され、現在に至っている。

イスタンブールの地下鉄は、イスタンブール市当局の関連企業であるメトロイスタンブールが全路線を運営しており、インフラ施設はイスタンブール市が所有している。

路面電車は、もとは馬車軌道から始まり、一旦1960年代に廃止されたが、1990年代に徐々に復活した。<sup>5)</sup>現在の路面電車はイスタンブールメトロが4路線を運営している。

郊外電車 (Marmaray 路線) の運営はトルコ国鉄 (TCDD) が行っている。トルコ国鉄に関しては、上下分離による経営形態が採用されており、運行に対して新たな事業者の参入も可能である。<sup>13)</sup>



出典：METRO İSTANBUL ホームページ<sup>56)</sup>

図 4-37 イスタンブール都市近郊路線図

表 4-30 都市内鉄道整備状況

	都市	人口(千人)	距離(km)	開業年
通勤線	イスタンブール	14,804	76.6	2013
	アンカラ	3,517	37.0	1982
	イズミール	2,501	136.0	2010
	ガジアンテップ	1,066	25.0	建設中
	地下鉄・LRT	イスタンブール	14,804	115.3
	アンカラ	3,517	64.4	1996
	イズミール	2,501	20.1	2000
	ブルサ	1,413	38.9	2002
	アダナ	1,249	13.5	2010

出典：国際協力機構 (JICA) 運輸交通ナレッジ、鉄道で世界をつなぐ、P231、日刊工業新聞社、2021年

<sup>56)</sup> <https://www.metro.istanbul/en/YolcuHizmetleri/AgHaritalari>

表 4-31 イスタンブール都市内鉄道整備状況

状況	路線名	鉄道形式 <sup>注)</sup>	駅数	路線延長 (km)	開業年		
					初期	最新	
開業済み	Light Metro M1	UR	24	25.5	1989	2014	
	Metro M2	UR	16	21.5	2000*	2021	
	Metro M3	UR	9	11.8	2013	-	
	Metro M4	UR	19	25.6	2012	2016	
	Metro M5	UR	16	18.1	2017	2018	
	Metro M6	UR	4	3.1	2015	-	
	Metro M7	UR	15	17.3	2020	-	
	Metro M9	不明	5	4.5	2021	-	
	Tram T1	Tram	31	18.2	1992	2011	
	Tram T2	Tram	5*	1.5	1990	-	
	Tram T3	Tram	11	2.6	2003	-	
	Tram T4	Tram	31	14.9	2007	-	
	Tram T5	Tram	14	10.1	2021	-	
	F1 Füniküler	Funicular	2	0.6	2006	-	
	F2 Cable car	Cable Car	2	0.5	1875	-	
	F3 Füniküler	Funicular	2	0.8 <sup>*2</sup>	2019 <sup>*2</sup>	-	
Marmaray - Suburban Rail	Suburban rail	43	76.6*	-	2019 <sup>*2</sup>		
予定	延伸	Metro M1B (Kirazli - Halkali) <sup>*2</sup>	UR <sup>*2</sup>	不明	不明	不明	-
		Metro M3 (Kirazli - Bakirköy-IDO, Basaksehir - Kayasehir) <sup>*2</sup>	UR <sup>*2</sup>	不明	不明	不明	-
		Metro M4 (Tavsantepe - Istanbul-Sabiha Gökçen International Airport) <sup>*2</sup>	UR <sup>*3</sup>	不明	7.4 <sup>*2</sup>	不明	-
		Metro M4 (Tavsantepe - Tuzla) <sup>*2</sup>	UR <sup>*2</sup>	不明	不明	不明	-
		Metro M5 (Çekmeköy-Sultanbeyli) <sup>*2</sup>	UR <sup>*2</sup>	不明	不明	不明	-
		Metro M7 (Mecidiyeköy - Kabatas, Mahmutbey - Esenkent/Esenyurt) <sup>*2</sup>	UR <sup>*2</sup>	不明	不明	不明	-
		Metro M9 (Ikitelli Sanayi - Ataköy) <sup>*2</sup>	UR <sup>*2</sup>	不明	13.0 <sup>*2</sup>	不明	-
		Marmaray (Halkali - Bahçesehir) <sup>*2</sup>	UR <sup>*2</sup>	不明	不明	不明	-
	新線	Metro M8 (Bostanci - Yukari Dudullu) <sup>*3</sup>	UR <sup>*3</sup>	13 <sup>*3</sup>	14.0 <sup>*3</sup>	建設中 <sup>*3</sup>	-
		Metro M10 (Pendik - Istanbul-Sabiha Gökçen International Airport) <sup>*2</sup>	不明	不明	不明	不明	-
		Metro M11 (Gayrettepe - the New Airport (Istanbul Yeni Havalimani)) <sup>*2</sup>	不明	不明	31.0 <sup>*2</sup>	不明	-
		Metro M12 (Ümraniye - Ataşehir - Göztepe) <sup>*4</sup>	UR <sup>*3</sup>	11 <sup>*3</sup>	13.0 <sup>*3</sup>	建設中 <sup>*3</sup>	-
		Metro M13 (Yenidogan-Emek Metro - feeder line for M5 on Anatolian side) <sup>*2</sup>	不明	不明	不明	不明	-
		F4 (Rumeli Hisarüstü-Asiyan Funicular Line) <sup>*2</sup>	Funicular <sup>*2</sup>	不明	不明	不明	-
		Gebze-Darica Metro <sup>*2</sup>	Tram <sup>*2</sup>	不明	15.6 <sup>*2</sup>	建設中 <sup>*2</sup>	-

注) UR: Urban Railway (ここでは地下鉄)

上表は次の業務報告書を基に調査結果を反映：JICA業務「鉄道整備と都市・地域開発を連携させる開発のあり方に関する調査」（平成2017年11月、アルメック、東京メトロ）

\* 「世界鉄道市場便覧 トルコ編（2015年）」から転載。

\*2 「Urban Rail.net」による。

\*3 webサイト「ISTANBUL METROPOLITAN MUNICIPALITY」より

## (2) トルコのインフラを取り巻く環境

トルコの1人当たりGDPは9,370米ドル（2018年）と、既に一定程度の経済成長を遂げているが、人口規模が大きく、特に若年人口の割合が大きいこと等から更なる成長が見込まれている。トルコの第11次国家開発計画（2019-2023年）では、共和国建国百周年を迎える2023年までに「先進国の仲間入りをする事」、「1人当たりGDPを12,484米ドルにすること」等为目标に掲げている。このように順調に経済成長を続けているものの、拡大する都市部を支える都市インフラ（都市交通や上下水道など）が十分に整っていない現状にある。<sup>14)</sup>

地震災害に対する対策が進められている。文献 14) からの抜粋を以下に記す。

「トルコは日本と同様世界有数の地震多発国であり、アナトリア高原北部を東西 1,200km にわたって横断する北アナトリア断層や、国の東側から南側にかけて位置する東アナトリア断層、エーゲ海に面した地域の大小様々な活断層等、数多くの活断層が存在している。近年では、1999年のイズミット地震（M7.6）や同年のドゥズジェ地震（M7.2）、2011年には東部ヴァン県で M7.2 の大地震が発生するなど、大規模な地震が頻繁に発生している。また、トルコのマルマラ海地方は経済発展の中心地イスタンブールを含む人口密集地域だが、海底下に巨大地震の空白域があり、その東側で発生した 1999年のイズミット地震での被害状況に鑑みると、大きなリスクを抱えてい

ると言われている。トルコ政府は、市民の生命・財産を守り、経済活動への影響を最小限に抑えるため、地震等の各種災害対策を重要視しており、同国が策定した国家開発計画では災害管理の項目を設置し、様々な防災への取組を推進している。」<sup>14)</sup>

2005年にはボスポラス海峡を横断する第2橋梁やゴールデンホーン橋を含むイスタンブール市内の大規模架橋の耐震化工事が実施されている。<sup>15)</sup>

### (3) 鉄道整備に関する関係機関の方針について

#### 1) トルコ国運輸省

トルコ国運輸省へのヒアリングを実施した。その結果に基づいて、トルコ国鉄に関する今後の方針を次に記す。

トルコ国運輸省としては、トルコ国鉄の近代化の必要性を考えている。その背景には、非電化区間が多いことや、信号システムの問題がある。今後は、貨物の運用を拡大させていく意向であり、運営の自由化も貨物輸送が中心となる意向をもっている。近代化は、電気関係や軌道が主な対象である。軌道を単線から複線にする場合、需要があるならば、トンネルや橋りょう等の土木構造物の更新もありうるが、近代化を実施しても土木構造物は既存のまま使用することになると考えている。

#### 2) イスタンブール市

イスタンブール市へのヒアリングを実施した。その結果に基づいて、イスタンブール市としての現在の取組を次に記す。

イスタンブール市はマスタープラン作成、設計、建設を担当している。イスタンブール市が施設を整備し、その施設の維持管理はメトロイスタンブールが行っている。日常的な保守はメトロイスタンブールが実施するが、規模の大きい補修はイスタンブール市が発注する。

今後の計画路線に関して、主なものとしてフズライ線の計画が挙げられる。フズライ線はボスポラス海峡を挟んでヨーロッパ側とアジア側をトンネルで結ぶ路線であり、路線長 72.5km、駅数 13 駅の設置を予定しており、列車の最高速度は 160km/h としている。現在、フズライ線の他、218.75 km の路線を計画策定中（トラムやケーブルカーを含む）であり、これは現在の路線延長 262.15 km と同規模である。

また、今回のヒアリングにおいては、特に地下区間における火災対策に関心を示していた。

### (4) ニーズ、本邦企業技術の適用可能性

#### 1) トルコ国鉄

トルコ国鉄の貨物の運用の増大を図った場合、設備側の対応も必要となる。インフラ管理の重要性が増し、それにつれてトルコ国鉄の役割（負担）も拡大すると想定される。例えば軌道に関することとして、貨物という重量のある車両に軌道が耐えられるように、軌道変位や軌道部材の損傷に対する保守の頻度を高める必要があり、場合によってはより高規格な軌道への更新も必要になる可能性がある。

トルコ国鉄の設備の近代化は電気関係や軌道が主な対象であり、土木構造施設は既存のものを活用する方針であることから、トンネルや橋梁等の経年に伴う検査や補修といった維持管理業務の重要性は更に高まるものと想定される。

## 2) イスタンブールメトロ

イスタンブールメトロに関しては、急速に拡大するネットワークに対して、運営・維持管理職員の採用・教育の確保が必要である。また、より多くの旅客を扱うことに対して、安全・安心（ソフト・ハード）の拡充も必要である。

M1 号線および M2 号線は、開業から 20 年以上経過しており、今後、軌道および土木構造物ともに保守のための作業量が増加すると考えられる。実際に、M1 号線では、バラスト区間が存在し、経年によるバラスト交換が必要であるが、バラスト交換機が線路内入らないので、その作業に苦慮しているとのことであった。

土木構造物に関しては、漏水発生箇所があり、止水また導水といった処置は行なわれており、危機的な状況ではないとのことであるが、開業から 30 年以上経過している路線では、地上部も含めコンクリートの劣化が顕在化し始めている可能性がある（図 4-38）。

トラム路線に関しては、設計乗車数 15 万人/日に対し、45 万人/日が利用している状況である。そのため、軌道に対して、設計荷重よりも大きな負担が強いられ、保守量が多くなっているが、工事が困難、工事騒音の問題もあり、保守工事が困難な状況とのことである。

今回はヒアリングと併せて、夜間のレール交換作業の視察も実施した。今回視察したレール交換作業は、損傷部分のみの交換（交換の際は 6m のレールを使用）であった。当日の担当者の話では、過去 3 年間においても損傷部分のみのレール交換を 5 か所実施したとのことであった。今後のレール交換に対する計画の有無については、更なる調査が必要である。

その他の事項として、予算不足でレールの研磨が進んでおらず、振動が大きくなっている状況があるとのことであった。これに対しては、目下、レール削正の周期を検討しているとのことである。また、ヒアリング時およびアンケート回答の両方において、メンテナンスウインドウ（夜間の列車間合いでの保守作業時間）の不足が挙げられた。



出典：JICA 調査団

図 4-38 高架橋部（M1 号線地上部）



出典：JICA 調査団

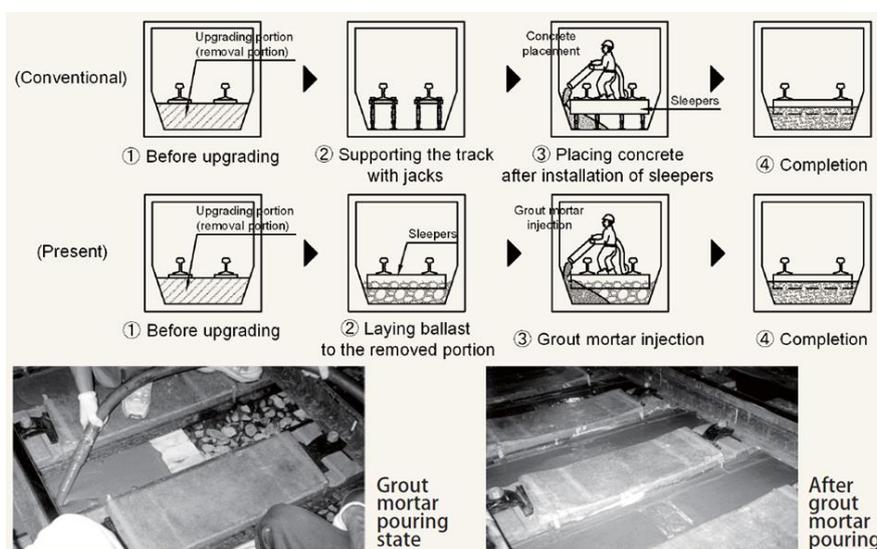
図 4-39 トラムの車両と軌道（T1 号線）

以上のことより、経年による保守量増加を見越した計画策定および施工法の精査が必要と考えられる。これに対し、レール交換については、まずはレールの交換に関する基準値の存在や、レールの損傷の発生状況を確認する必要がある。その上で、長期的な計画策定に必要な基準値や計

画策定方法の検討が考えられる。また、軌道における効率的な施工法として、東京メトロにおけるプレパックド工法の適用が考えられる。この工法は、バラストの保守に関するものではなく、基本的にはコンクリート道床の更新に適用するものであるが、施工条件によってはバラスト道床のコンクリート道床化にも適用することができる。また、現在既にコンクリート道床である区間に対しても、経年により更新が必要になる場合もあるため、その際にもこの工法が適用できる可能性がある。ただし、この工法の適用に当たっては、列車荷重条件、軌道構造、気候等の精査が必要である。

・プレパックド工法

軌道の更新工事に関して、メンテナンスフリーとされているコンクリート道床でも、約30年以上経過すると交換（コンクリートの更新）が必要な場合がある（東京地下鉄（株）における事例）。東京地下鉄（株）では、このコンクリート道床の更新工事をより効率的に施工するため、従来のジャッキによる軌道の仮支持の代わりに、バラストを敷設して、そこにグラウトモルタルを流し込む新工法を開発し、実用化している（表 1-13）。



出典：東京メトロ

図 4-40 プレパックド工法

3) 共通する潜在ニーズ

トルコは日本と同様世界有数の地震多発国であり、大地震の発生の可能性も考えられる。そこで、日本の耐震補強工法の活用が考えられる。今回の調査では、トルコ国鉄およびメトロイスタンブールの両者からは耐震補強に関する要望は聞かれなかった。しかし、高架橋下部が駅施設として利用されている箇所も存在していることから、そのような箇所への対応方法を含んだ補強例、及び線路に近接した箇所における施工例として、東京地下鉄（株）のケースを挙げる。

・高架橋柱補強

高架橋柱補強（図 4-41）では、柱の四面に鋼板を巻き立てる工法が基本であるが、駅店舗周辺や高架下の土地が店舗などに利用されている場合は、一面耐震補強工を採用している。ただし、4面が露出している柱上部については、鉄筋が密集しているため鋼板巻き立て工法を採用している。<sup>16)</sup> 柱上部は構造上梁と柱の交点となり、またハンチが存在することからそれぞれの配筋が錯綜し、一面耐震補強工法を適用した場合、補強鉄筋の配置打設が困難になることが多いためである。

施工箇所が駅施設や店舗として利用されている場合は、施工にあたり関係者との調整が必要となる。東京地下鉄（株）の事例であるが、その調整内容を以下に記す。

駅構内や店舗施設では外観仕上げが優先されることから、床・壁・天井の内装裏の非常に狭いスペースに防火設備・電気線・通信線・警備システム・空調設備等、様々な重要設備が設置されている。施工支障範囲にこれら重要設備がある場合は、それら設備の一時移設・復旧作業が発生する。重要設備によっては管理部署が多岐にわたることが多々あり、移設までの調整には多大な時間を要する。また、これらの配線・配管は施工実施年数の関係等から正確な寸法・位置の図面・データが残っていることが少なく、現場で事前に完全に把握することは非常に困難である。しかし、そのどれもが少しでも損傷を受けると、何万人もの乗客を運搬する鉄道運行への影響が懸念される。このようなリスクを回避するため、駅構内や店舗では支障設備への影響を最小にするための調整が必要となる。<sup>17)</sup>

#### ・線路に近接した箇所における石積み擁壁補強

補強工法は、背面地山等の条件により、地山補強式土留め壁とピンナップ工法を採用している。施工条件としては、周辺が民地や道路等のため施工スペースが限られること、また石積み擁壁天端と民地境界との離隔が少なく補強材が越境すると地権者との協議等が必要になることが考えられた。そのため小型機械で施工でき、民地への越境が最小限になるよう補強材の長さや配置間隔を工夫して施工された。<sup>16)</sup> また、夜間の短い作業時間での非効率な足場組立解体や、これに伴う騒音へ対策として移動昇降式足場を導入し、石積み擁壁の補強施工(図 4-42)を行った区間もある。<sup>18)</sup>



出典：東京メトロ

図 4-41 高架橋柱補強例



出典：東京メトロ

図 4-42 擁壁の耐震補強例

## (5) 指定文献レビュー結果

### 1) インフラシステム輸出戦略(令和2年度改訂版)

「第3章 地域別取組方針」の「3. 中東、ロシア・CIS、太平洋島嶼国、中南米」における取組の方向性として、トルコに関して以下の記載がある。

人口・経済規模から有望なインフラ市場であるトルコでは、ODA等を活用しつつ、高速道路を含む交通、橋梁、エネルギー、防災、宇宙、医療等にかかるインフラ整備において、ビジネススペースでの参入が図れるよう戦略的に関係を強化。

### 2) 国土交通省インフラシステム海外展開行動計画 2021(令和2年度改訂版)

「(参考) 今後注視すべき主要プロジェクト」における(2) 今後注視すべきプロジェクトにおいて、「今後注視すべき主要プロジェクト一覧」中の「⑭中東」に次の記述があるのみ。

ボスポラス第2大橋補修事業(トルコ) 【新規案件】

イスタンブールのヨーロッパ側とアジア側を横断する基幹道路であるボスポラス第2大橋のケーブル劣化に伴う取り換え工事を行う事業。

### 3) 各国の国別開発協力方針・事業展開計画

「対トルコ共和国 国別開発協力方針」には、鉄道インフラのニーズに関する記述はなかった。「事業展開計画」にトルコの経済や災害の状況及び交通インフラの必要性に関する記述があり、この点について本文中に反映した。

### 4) World Rail Market

トルコ共和国におけるニーズに関する記述は無かった。

### 5) Upcoming Rail Project

トルコ共和国におけるニーズに関する記述は無かった。

- 1) 国際協力機構(JICA) 運輸交通ナレッジ、鉄道で世界をつなぐ、P231-232、日刊建設工業新聞社、2021年
- 2) 国際協力機構(JICA) 運輸交通ナレッジ、鉄道で世界をつなぐ、P230、日刊建設工業新聞社、2021年
- 3) 世界鉄道市場便覧 トルコ編、P52、日本鉄道車両輸出組合、2015年
- 4) メトロイスタンブールホームページ <https://www.metro.istanbul/en/content/hakkimizda>
- 5) 世界鉄道市場便覧 トルコ編、P23、日本鉄道車両輸出組合、2015年
- 6) 世界鉄道市場便覧 トルコ編、P22、日本鉄道車両輸出組合、2015年
- 7) 世界の地下鉄、P49、ぎょうせい、2020年
- 8) 国際協力機構(JICA) 運輸交通ナレッジ、鉄道で世界をつなぐ、P234、日刊建設工業新聞社、2021年
- 9) 世界鉄道市場便覧 トルコ編、P28、日本鉄道車両輸出組合、2015年
- 10) 世界鉄道市場便覧 トルコ編、P30、日本鉄道車両輸出組合、2015年
- 11) 世界鉄道市場便覧 トルコ編、P50、日本鉄道車両輸出組合、2015年
- 12) 世界鉄道市場便覧 トルコ編、P52、日本鉄道車両輸出組合、2015年
- 13) 世界の鉄道、P104、一般社団法人海外鉄道技術協力協会、2015年
- 14) 国別開発協力方針(20189月) 別紙 対トルコ 事業展開計画、外務省
- 15) 新興国のインフラを切り拓く、P136、山田順一
- 16) 松川 俊介、「東京地下鉄(株)における安全への取組み」、日本鉄道施設協会誌 2019年3月
- 17) 伊藤弘毅、福田司ら、「狭隘施工に関する高架橋柱耐震補強工事の考察」、土木学会第71回年次学術講演会(2016年9月)
- 18) 武藤義彦、田中和也ら、「鉄道営業線近接工事における移動昇降式足場の導入」、土木学会第72回年次学術講演会(2017年9月)

## 4.2 O&Mの海外展開

ジャカルタ、バンコク、イスタンブールの3都市を対象都市として、各都市の都市鉄道の維持管理状況の調査を行った。その結果に基づき、本邦企業の技術の適用可能性、メンテナンス方法の提案、事業スキームの提案を行う。

### 4.2.1 インフラの維持管理状況の調査

事前の机上調査では、文献等から得られる具体的な情報は開業からの経過年数のみの場合もあり、公開されている文献からの情報も限定的である。よって、各都市のインフラの維持管理状況は、現地調査時に調査可能範囲における目視確認結果とヒアリング内容（アンケート含む）も考慮して調査することとした。

維持管理の状況を判断するには、当初の設計および施工の状況といった先天的要因や、疲労や腐食といった使用環境から来る物理的要因とともに、構造物に対して検査や補修を行う側の維持管理体制も考慮する必要がある。一般的には、維持管理体制に関して、現状の管理体制が維持できれば今後も健康状態も保てると考えられる。逆に維持管理体制が整っていない場合、現状は問題がなくても、将来的な見通しは不透明となる。例えば、日本の地方鉄道事業者では予算、人員状況、人材育成、技術開発のあらゆる面で厳しい環境であることが顕著であり、施設の健康状態が特に悪いインフラを有する事業者においては、メンテナンスコスト並びに人員が十分に確保されていない可能性が高いことが報告されている。<sup>1)</sup>

以上のことから、インフラの維持管理状況の評価は、ヒアリングを主体とした構造物自体の劣化状況評価<sup>注)</sup>とともに維持管理体制の側面からも調査を行うこととした。維持管理体制は、表4-32の項目に関して調査を行うこととした。調査は、現地踏査、ヒアリングおよびアンケートにより行った。

また、維持管理上のニーズ調査として、各鉄道事業者に対して課題に関するアンケートも実施した。新規計画路線および既存路線の両者についてアンケートを実施し、既存路線については、開業～5年未満、5年以上15年未満、15年以上に分けて課題の抽出を行った。また、コロナウィルス感染防止対策およびその対策に関する課題も調査した。

表 4-32 維持管理体制の評価項目

	項目	評価
維持管理体制	データ管理システムの整備状況	構築済み / 構築予定有 / 構築予定無
	検査規則・マニュアル類の整備	整備済み / 未整備
	予算	十分 / 最低限 / 不足
	人材育成の仕組み	整備済み / 未整備
	人員、採用	十分 / 最低限 / 不足
	委託の状況	連携や自主性の有無
	技術開発の取り組み	効果発現 / 取組中 / 予定有・無

注) インフラの健康度の評価に当たって、留意すべき事項として次の①および②のことが挙げられる。

- ①国内の鉄道事業者に対する調査結果<sup>1)</sup>において「経年と施設の健康度に明確な相関性はなく、インフラ健康度が必ずしも経年の進行のみに依存するものではない」という報告がある。
- ②構造物の当初の性能や、劣化による性能の変化について次のような見解が示されている。
  - ・構造物にもたらされる余裕度がどの程度であるかははっきりしておらず、また施工の程度によっても差が生じる。<sup>2)</sup>
  - ・供用を開始した後の性能の劣化の仕方は、その構造物のおかれている自然環境や、交通荷

重などの使われ方によって変化する。<sup>2)</sup>

- ・補修あるいは補強の必要性およびその程度の判断は、構造物の性能と要求レベルとの関係および劣化の進行速度に基づいて実施されるものである。しかし、実際は現時点での構造物の真の性能、健全度、劣化度あるいは耐力（体力）を判断することは大変難しい。<sup>2)</sup>

インフラの健康度の評価に当っては、検査結果を含む多くの情報が必要である。一方で、これらの情報は、各事業者の機密情報に当たる部分でもあり、また今回の調査自体の時間的制約からも収集が難しい。よって、今回は調査範囲を限定せざるを得なく、ヒアリングを主体とした方法により健康度の把握を試みた。

- 1) 鉄道インフラの健康診断と将来のメンテナンスに向けた提言、ii、土木学会 インフラメンテナンス特別委員会、2020年6月
- 2) 三木千壽、橋の臨床成人病学入門、P177、2017年

#### 4.2.1.1 ジャカルタ

##### (1) 各鉄道事業者の状況

###### 1) MRT ジャカルタ(MRTJ)

###### ①概要

###### a) 構造物の特徴

MRT ジャカルタの土木構造物は、ほぼ高架橋とトンネルであり、全線の軌道もほぼ高架橋上またはトンネル内に敷設されている。軌道構造は、全線 PC まくらぎや、コンクリート道床が採用され、さらにロングレールが採用されており、保守労力の軽減を図ったものとなっている。コンクリート道床は、高架部においては防振型 PC まくらぎが敷設されており、列車通過時の振動対策として、周辺環境に配慮した構造であるとともに、保守の軽減にもつながる構造である。<sup>1)</sup>

###### b) 日本の支援について

2019年3月、インドネシアの首都ジャカルタで、東南アジア初の「オールジャパン」の地下鉄プロジェクト、ジャカルタ MRT フェーズ1区間が開通した。ジャカルタ MRT の運営事業者である PT. MRT Jakarta に対しては、本邦企業による運営維持管理コンサルサーサービス (OMCS) による支援が行われた。この支援によって、社内規程・マニュアル、組織要員計画、採用支援、訓練計画の策定及び実施が支援されており、運営に必要な制度や体制は整備されている。<sup>1)</sup>

マニュアルに関しては、軌道保守作業マニュアル、線路閉鎖マニュアルがあり、保守作業の確実な実施も重視していることがうかがわれる。<sup>1)</sup>

JIC (日本コンサルタンツ) の OJT として 2018年11月～2019年1月までの3か月間にわたって、日本の鉄道事業者社員 (JR 西日本、JR 東日本) によって軌道の教育訓練が行われている。また、2018年10月中旬の約10日間、日本の鉄道事業者 (小田急電鉄 (株)) にてジャカルタ MRT の社員3名に対して、軌道保守に関する研修を実施している。<sup>1)</sup>

###### c) 維持管理上の課題

軌道構造自体は省力型であるが、半径200m以下の急曲線も存在するため、レール塗油や散水も行われており、また定期的なレール削正の実施も必要である。<sup>1)</sup>

文献1)によると、急曲線における曲線外側レールの (外軌) の側摩耗と内軌頭頂面の波状摩耗の抑制が課題と報告されており、この点に関しては日本の地下鉄における急曲線管理のノウハウの活用が期待できる。また、文献1)によると、ジャカルタ MRT が運行を開始して1年余りが経過した時点でジャカルタ MRT の責による輸送障害は発生していないと報告されており、良好な運営状況が伺える。

## ②アンケート結果

事前の文献調査を補うため、アンケートを実施した。アンケートは、軌道および土木建造物の状況、検査の実施状況、データ管理システムの導入状況、基準書・規程類の整備状況および運営面（予算、人員、人材育成、委託状況）に関する事項に対して実施した。結果について、集約したものを表 4-33 に示す。

表 4-33 維持管理状況に関するアンケート結果（MRTJ）

項目	回答の概要
路線名	Phase 1 Line (Lebak Bulus – Bundaran HI)
維持管理担当会社名	MRTJ
開業年及び経過年数	2019 年開業、約 3 年経過
建造物の状況	<p>(軌道)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・JIS E 1120 54kg/m を使用。</li> <li>・直結軌道割合 72%、バラスト軌道割合 28%であり、保守作業の省力化が図られている。</li> <li>・レール交換数量は年間 300m 程度。</li> <li>・軌道管理値超過箇所の分布は限定的。</li> </ul> <p>(土木建造物)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル 5.8km、高架橋 9.71km</li> <li>・建造物の変状として、高架橋での滞水を挙げている。</li> </ul>
検査の実施状況	<p>(軌道)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・定期的な確認(1 回/4 日:列車巡回、1 回/月:徒歩巡回)および定期的な検査(1 回/3 ヶ月:軌道検測、1 回/年:軌道の部材検査)が行われている。軌道検測にはトラックマスターを使用し、軌道の部材検査は徒歩で実施している。</li> </ul> <p>(土木建造物)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル(1 回/月)および高架橋(1 回/年)は軌道内からの目視で実施。また、近接目視(1 回/5~10 年)も行われている。</li> </ul>
データ管理システムの導入状況	データを管理するシステムは導入されており、現行のシステムは十分に機能しており、今後も継続して使用する予定。
基準書・規程類の整備状況	政府制定による標準書・規程類として 3 種類の省令が存在している。また、軌道も土木も検査方法や標準的な補修方法を示した仕様書がある。
運営面（予算、人員、人材育成、委託状況）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・制約はあるが維持管理に影響する予算上の問題は無い。ただし補助金を受けており、今後も補助金が必要な見通し。</li> <li>・必要なメンテナンスを行うだけの人員は足りているが、採用においては必要人員を確保するだけの予算が取れないことが続いており、全年代において採用人員不足がある。</li> <li>・定期的な研修(新入社員研修とその後の数年間の教育が存在)や社内資格制度が有る。社内資格と公的資格ともに昇進の際に考慮される。</li> <li>・軌道は、検査は直営で実施しているが、補修は委託している。土木は検査と補修の両方を委託している。軌道も土木も特定の会社に委託している。</li> <li>・委託の理由は、土木の検査は人員不足であり、補修は軌道・土木ともに人員およびスキル不足のためである。</li> </ul>
技術開発の状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術開発の取組や ICT 技術の活用は積極的に行っている。軌道も土木も検査から補修までを統合して管理できるシステムを開発した。</li> <li>・関心のある技術として、土木は健全度をモニタリングするシステム、軌道は BIM を挙げている。</li> </ul>

土木建造物および軌道の両方においてまだ劣化は顕在化していない模様である。

軌道では、現状ではレール交換数量は年間 300m 程度であり、これは約一晩でも交換できる数量

である。このことから損傷部分だけのレール交換にとどまっている可能性がある。現在はレール交換数量が少ないものの、開業後 20 年を超えると摩耗による交換とともに、通過トン数による交換が始まる可能性もあるため、今後は交換数量が増えていくことが考えられる。

検査の実施状況について、軌道に対しては、日常的な確認（巡回）および定期的な検査（検測、部材損傷確認）が行われており、必要な検査を実施する体制は整備されている模様である。土木構造物に対しては、毎月または毎年目視による検査が行われており、また 5 年から 10 年毎に近接目視の検査が行われていることから、定期的に構造物の状態把握が行われており、検査の実施体制は整備されている模様である。

検査の定期的な実施、検査結果等のデータを管理するシステムは既に活用されていること、標準書及び規程類が整備されていること、そして予算や現状の人員に問題は無いことから当面は適切な維持管理が継続して実施されるものと考えられる。しかし、採用人員に不足が見られることから、将来的には増加が見込まれる保守作業量に対し、採用の強化とともに、保守作業の機械化、省力化軌道の拡充が必要となる可能性がある。

日本の鉄道事業者は、自らが列車運行の安全の責任を持つことから、以前は直轄で検査ならびに修繕を実施していた。現在は社外委託している場合があるが、その場合でも委託先はほとんどがグループ会社または線区を熟知した協力会社である。これらにより、鉄道事業者・協力会社は平時のメンテナンスのみならず、災害時や降雪時などの緊急対応についても迅速かつ正確に実施してきている。<sup>2)</sup>

検査や補修作業の委託に関して、軌道も土木も特定の会社に委託しており、安定した保守の実施が見込まれる。

技術開発に関する取り組みも行われており、軌道も土木も検査から補修までを統合して管理できるシステムを開発している。今後の興味ある技術として、土木は健全度をモニタリングするシステム、軌道は BIM を挙げている。

## 2) KAI

### ①概要

#### a) 構造物の特徴

ジャボタバック圏鉄道に対しては、老朽化したレール・踏切の更新等小規模な基盤整備、単線の複線化、非電化線の電化、手動信号の自動化が行われてきている。また、高架事業も行われており、円借款事業「ジャボタバック圏鉄道近代化事業」の一環として、ジャボタバック圏随一の幹線である中央線の一部の高架化を行い、道路交通の円滑化と鉄道輸送力の強化を図ったものが 1993 年に完成した。また、ジャボタバック圏随一の幹線である中央線のジャカルタ・コタ駅～マンガライ駅間（約 10km）にあった多数の踏切が、既往円借款の完成により列車運行数が急増することによっていわゆる「開かずの踏切」となる事態が予想されていたことから、高架化は「開かずの踏切」解消にも貢献した。<sup>3)</sup>

#### b) 検査の実施状況

軌道の維持管理は PT. KAI により行われている。よって、PT. KAI の業務に関する JICA による報告<sup>3)</sup>からの抜粋を次に記す。

「ジャボタバック圏には 11 の保線区間があり、各地区にメンテナンスチームが配置されている。チームはリーダー 1 名を含む 6～8 人で構成され、毎朝始発列車の前に保線区間を点検パトロールする。軽微な修繕等はこのチームが対応するが、地区別チームが技術的に対処出来ない事態に備え、特別技術チームが控えている。ジャボタバック地域の特別技術チームは 1 つであり全域を担当する。軌道メンテナンス活動には、毎朝の保守点検のほか、高速軌道走行点検車（6 ヶ月おき）

や振動加速度計（3ヶ月おき）を用いた定期点検がある。さらに、2年に一度、第1ジャワ地域事業部により線路の交換が行なわれる。」

#### c) 予算及び人材の状況

JICAによる調査報告書<sup>3)</sup>に、Perum KAにおける1998年（Perum KAは1999年に民営化されPT. KAIとなる。）の研修実績が示されており、次のように報告されている。

「研修者数、研修日数とも全体では計画の半分程度の実績となっている。PT. KAIによれば、翌1999年も同様の達成度合であり、新入社員コース及び専門者コースに関しては良好であるが、経験者を対象とした上級者コース、再教育コースの実施状況が良くない。」

また、同報告書<sup>3)</sup>によると、人員および予算に関して次のように報告されており、安定したメンテナンスの実施体制の維持に向けて、継続した取り組みの必要性が伺える。

「運転士は過剰、他（整備士、保線工、電気技師、信号・通信）は不足状況にあるが、PT. KAIは、過剰人員は合理化にて減らす方向、不足人員は補充する方向である」

「民営化前の1997年は、補助金がなければ収益性が保たれず経常赤字に転ずる状態であり、1998年も計上黒字が若干出る水準であった。一方、民営化初年度の1999年には政府補助金が対前年度比60%弱まで減じて、営業黒字をみた。」

#### d) その他

JICAによる調査報告書<sup>3)</sup>に、高架化事業（ジャボタベック圏随一の幹線である中央線の一部の高架化を行い、道路交通の円滑化と鉄道輸送力の強化を図る事業）による運行状態の改善状況について次のように報告されている。

##### ・運行状態の改善状況に関して

高架化事業（1993年完成）によりジャボタベック地域における鉄道利用者数が倍増した（5千万人弱から1億人）。運転間隔は朝の通勤時間帯において12分間隔が実現し（1993年12月実績）、中央線の運転本数は1993年には一日あたり123本（ジャカルタ・コタ〜ガンビール間の上り下り合計）であったものが2000年8月現在で218本まで増えた。<sup>3)</sup>

##### ・PT. KAIの組織体制について

高架化事業完成後の施設の運営・維持管理は、インドネシア国鉄（PJ. KA）を前身とする鉄道公社（Perum KA）の第1ジャワ地域事業部（DAOP I）が担ってきた。第1ジャワ地域事業部には、「信号・通信部」「運行部」「鉄道・橋梁部」「車輛部」「営業部」「雇用・保健部」の6部があった。1999年にPerum KAは民営化されPT. KAIとなったが、基本的な組織体制に変更はなかった。この民営化はいわゆる「上位分離方式」（インフラ公的機関（中央政府）が主導的に整備し、運行・維持管理を民間鉄道事業者に委ねる方式）のタイプである。土地、軌道、駅舎等の不動産は政府が保有し、車輛等動産をPT. KAIに譲渡し、軌道メンテナンス、駅運営、運行サービス等を委託している。<sup>3)</sup>

補足) インドネシアのジャカルタ周辺の元国鉄路線の運営者の変遷は、次のようになると考えられる（本調査団調べ）。

- ・インドネシア国鉄が1991年に公社化されてPerum KAが設立された。
- ・1999年6月にPerum KAが民営化（株式会社化）され、列車の運行を担う組織としてPT. Kereta Api (Persero) が設立された。
- ・PT Kereta Api (Persero) は、2010年5月に社名変更されPT Kereta Api Indonesia (KAI) となった。KAIは、ジャカルタ周辺の中長距離列車を運営する会社である。
- ・KAIの100%子会社がKAI Commuter Jabodetabekであり、KAI Commuter JabodetabekはKRLジャボデタベックの運営を担っている。

・KAI Commuter Jabodetabek は、2017 年 9 月に改名され、PT Kereta Commuter Indonesia (KCI) となっている。

## ②アンケート結果

事前の文献調査を補うため、アンケートを実施した。アンケートは、軌道および土木構造物の状況、検査の実施状況、データ管理システムの導入状況、基準書・規程類の整備状況および運営面（予算、人員、人材育成、委託状況）に関する事項に対して実施した。結果について、集約したものを表 4-34 に示す。ただし、今回 KAI から得られた回答は、KAI が維持管理するジャボタバック圏を含むインドネシア国全体の路線に対する回答となっていたので、この点に留意されたい。

表 4-34 維持管理状況に関するアンケート結果 (KAI)

項目	回答
路線名	DAOP1～9: 4719km DIVRE I～IV: 1543km
維持管理担当会社名	KAI
開業年及び経過年数	1900 年(全線共通)、約 120 年経過
構造物の状況	DAOP1～9:トンネル 3.48km、高架橋 15.91km、鋼製橋梁 48.72km DIVRE I～IV:トンネル 2.31km、高架橋 1.11km、鋼製橋梁 7.20km  (土木) 鋼製橋梁の部材の腐食(居住地および海岸部で発生)、橋脚部の洗堀(急流箇所で発生)が見られる。 (軌道) 一部路線(DIVREⅢ、Ⅳ)では路線全体に渡り均等に基準値超過が発生。
検査の実施状況	(土木) 1 回/3 ヶ月: 橋梁の目視検査、1 回/6 ヶ月: 洗堀の検査、1 回/年: 橋梁全体の検査、1 回/5 年: 橋梁の詳細検査  (軌道) 2 回/日: 徒歩巡回または徒歩巡回と列車巡回の混合をどこかの区間で実施、1 回/週以上: 列車巡回、1 回/月: 本線における軌道部材検査、1 回/年～1 回/2 ヶ月: 軌道検測とレール摩耗測定を曲線半径(250m、500m、100m)に応じて段階的に頻度を上げて実施、1 回/6 ヶ月: 検測車による測定を実施、1 回/3 ヶ月: 分岐器検査、1 回/年: 軌道材料の在庫検査
データ管理システムの導入状況	導入済み。システムの改良を継続的に行っていく予定。
基準書・規程類の整備状況	省令(3 点)、社内規定(3 点)、マニュアル(検査手順、メンテナンス方法、基準値、仕様、管理方法)から構成。 予防保全に関するマニュアル、仕様書や基準値の見直しを行うとのこと。
運営面(予算、人員、人材育成、委託状況)	予算: 不足しており、メンテナンスの実施に支障を来している。現在補助金を受けており、将来も補助金が必要。  人員: 予算に制限があり、人員を増やすのは困難である。そのため必要最低限の検査や補修に留まっている。他の職種の人気のため、採用が難しい。  人材育成: 定期的な研修が実施され、技術的な社内資格も整備されている。また、公的な資格取得も奨励している。新入社員研修、中間層への技術的教育、中間および上位層へのマネジメント研修等がある。軌道・土木の保守業務従事員としての資格が運輸大臣から与えられる。また、プロフェッショナルとしての資格、中間管理職の教育トレーナーの資格がある。  委託状況: 軌道・土木ともに、検査は直営で実施し、補修は委託で実施している。委託理由は人員不足である。委託先は、土木は契約更新の度に見直す、軌道は特定の会社(グループ会社)に委託。

項目	回答
技術開発の状況	<p>技術開発とともにICTの活用に取り組んでいる。軌道の情報(軌道材料の在庫、検査結果等)を管理するシステムを持っており、軌道のモニタリングや災害の警戒のシステム等も運用している。</p> <p>興味のある技術として次のものを挙げている。  土木構造物に対して適切に補修を行うための健全度のモニタリングシステム、予防保全として軌道変位予測システム、保守労力の軽減につながる自動化技術、高密度運転区間への高耐久軌道材料の適用</p>

土木構造物および軌道の両方において劣化が顕在化しており、橋梁では部材の腐食の他、橋脚部では洗堀も発生している。軌道では一部路線において、基準値超過が全線に渡り均等に発生している。

軌道では、アンケート結果によると、レール交換理由は摩耗と損傷であり、列車通過トン数による交換は行われていない可能性がある。

検査の実施状況について、軌道に対しては、日常的な確認(巡回)および定期的な検査(検測、部材損傷確認)が行われており、必要な検査を実施する体制は整備されている模様である。土木構造物に対しては、橋梁の検査(目視による調査や洗堀調査)が3ヶ月、6ヶ月および1年毎に行われており、さらに5年毎に詳細な検査が行われている。定期的な軌道および構造物の状態把握が行われており、検査の実施体制は整備されている模様である。

検査の定期的な実施、検査結果等のデータを管理するシステムが活用されていること、標準書及び規程類が整備されている一方で、現状の人員に不足があり、新規の採用も予算の関係から困難との回答である。採用の強化とともに、保守作業の機械化、省力化軌道の拡充による維持管理に係る業務の効率化が必要である。予防保全への取り組みに関心を示しており、これを効率化への取組として進めるべきであるが、予防保全による効果が得られるには、まだ時間がかかると思われる。

技術開発に関する取り組みも行われており、軌道のモニタリングや災害の警戒システム等の運用が行われている。土木構造物のモニタリングにも関心があり、軌道・土木ともに予防保全への取組の更なる推進が期待される。

### 3) LRT ジャカルタ

#### ①概要

(軌道・土木の維持管理活動に関する参考文献無し。)

#### ②アンケート結果

今回の調査では、LRTJからは回答が得られなかった。

### (2) 維持管理に関するニーズについて

#### 1) 新規計画路線に対して

ニーズ調査として、新規計画路線における課題について、アンケートを基に整理したものを表4-35に示す。

新規路線に関しては、保守作業効率および管理業務効率の改善を求めるものが多い。そのための具体策として、構造物諸元や検査結果のデータ管理、予防保全のためのモニタリング技術が挙げられている。コロナ感染に関する課題としてメンテナンス予算の削減が挙げられている。

なお、今回の調査では、LRTJからの回答は得られなかった。

表 4-35 新規計画路線に関する課題

線別	課題(新規計画路線)
MRTJ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・活用した維持管理に関する統合プラットフォームによるデータ管理の効率化</li> <li>・工具や消耗品の在庫管理システムの改善</li> <li>・LPP(Line Possession Permit)システムを活用したマネジメントの効率性の改善</li> <li>・土木構造物におけるモニタリングによる寿命診断</li> <li>・マネジメントのための人員不足解消に資するシステム</li> </ul>
KAI	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軌道と土木構造物に対するメンテナンスの効率化(例えば、予防保全の実施、検査やメンテナンス作業の自動化、省力化につながる材料の使用、軌道メンテナンス書類のデジタル化)</li> <li>・労働力不足への対応(予防保全の実施、検査や保守作業の自動化、省力化につながる材料の使用、軌道メンテナンス書類のデジタル化)</li> <li>・CVID19による軌道および土木構造物にメンテナンス予算の削減の影響</li> </ul>

## 2) 既存路線に対して

ニーズ調査として、既存路線における課題について、アンケートを基に整理したものを表 4-36～表 4-38 に示す。

軌道に関しては、補修作業の質(補修しても、すぐに補修前の状態に戻ってしまう)作業効率の改善(バラスト交換、レール交換等)、作業員の安全確保(レール取り卸し時の安全確保等)、作業時間の短さ、予算不足等が挙げられている。将来的な課題として、レール交換数量の増加によるレール交換時期の分散化も挙げられている。このような長期計画の策定により、予算の平準化を図ることも予算確保に有効と考えられる。

土木に関しては、工事竣工時の引継ぎデータの管理や、検査結果を含む維持管理に必要なデータの管理、列車の運行に影響後及ぼさない施工法、補修箇所の優先度判定方法等が挙げられている。また、工事竣工時の図面の散逸の問題も挙げられている。

コロナ感染症に関しては、対策として維持管理自体の作業量を減らしている。課題としては、予算削減、労働力不足、作業員同士が近接しての作業時の感染対策が挙げられている。

なお、今回の調査では、LRTJからは回答が得られなかった。

表 4-36 既存路線に関する課題(軌道)

既存路線に関する課題(軌道)		
	MRTJ	KAI
開業5年未満	<ul style="list-style-type: none"> <li>・補修後の仕上がり精度が十分でない。</li> <li>・施工後も短期間で状態が悪くなる。</li> <li>・レール取卸し時の安全確保。レール溶接品質確保。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・質の低い軌道作業</li> <li>・短期間で線形が悪くなる(予想よりも早く変位が発生)</li> <li>・夜間の列車間合いでの作業時間の短さ</li> </ul>

既存路線に関する課題(軌道)		
5年～15年未満	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バラストの搬入および運搬の効率化</li> <li>・腐食環境対策</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・短期間で線形が悪くなる(予想よりも早く変位が発生)</li> <li>・交換用のレールや分岐器部材の供給が不十分(調達に必要な予算が不足し、調達にも時間がかかる)</li> <li>・短期間で分岐器の状態が悪くなる(予想よりも早く異常が発生)</li> <li>・木まくらぎの短寿命に起因する交換数量の多さ</li> <li>・夜間の列車間合いでの作業時間の短さ</li> </ul>
15年以上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バラストの搬入および運搬の効率化</li> <li>・レール交換数量の増加による、レール交換時期の分散化。</li> <li>・施工時間の確保(できれば、列車を運休せずに施工したい。)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軌道変位が早く、突き固めや線形補修が追い付かない。</li> <li>・軌道材料の供給が不十分(調達に必要な予算が不足しており、調達にも時間がかかる)</li> <li>・軌道状態の劣化が早く、更新や交換作業が追い付かない。</li> <li>・木まくらぎの短寿命に起因する交換数量の多さ</li> <li>・木まくらぎの交換に合成マクラギの使用を検討</li> <li>・自動化が実施できないためバラスト交換が困難になっている。</li> <li>・軌道更新作業に対する予算不足</li> <li>・夜間の列車間合いでの作業時間の短さ</li> </ul>

表 4-37 既存路線に関する課題 (土木構造物)

既存路線に関する課題(土木構造物)		
	MRTJ	KAI
開業～5年未満	<ul style="list-style-type: none"> <li>・完成検査時のデータ管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工事完成時の検査結果の記録方法、竣工図面の散逸(建設作業が政府によって実施されたことに起因)</li> </ul>
5年～15年未満	<ul style="list-style-type: none"> <li>・検査結果の管理方法(管理システムの改良)</li> <li>・列車を極力運休させない施工方法の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・検査結果の管理方法(必要に応じたマネジメントシステムの改良)</li> <li>・塗装作業の実施中の天候の急変が補修効果に与える影響(雨季は特に懸念される)</li> <li>・補修作業時間の確保(可能な限り列車を止めずに補修するため)</li> </ul>

既存路線に関する課題(土木構造物)	
15年以上	<ul style="list-style-type: none"> <li>健全度(施工の優先度)の判定方法</li> <li>列車を極力運休させない施工方法の確立</li> <li>補修が必要となる箇所が増えるにつれて、どの箇所から補修を行うべきか判断が困難。</li> <li>補強方法の検討</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>健全度の判定方法(補修の優先度の決定)</li> <li>塗装作業の実施中の天候の急変が補修効果に与える影響(雨季は特に懸念される)</li> <li>補修作業時間の確保(可能な限り列車を止めずに補修するため)</li> <li>オランダ支配時代に建設された構造物の場合、補強方法の検討に必要な図面が無い。</li> <li>オランダ領時代に建設されたもののように、古い土木構造物には竣工図面が不足しているため、補強方法を決定するのが困難である。</li> </ul>

表 4-38 既存路線におけるコロナ感染症対策の課題

	対策事例	課題
MRTJ	(回答無し)	(回答無し)
KAI	(軌道)軌道メンテナンス活動を減らした。 (土木)橋梁の保守作業を減らした。	(軌道・土木共通) <ul style="list-style-type: none"> <li>COVID19に起因する予算削減によりメンテナンスの可能実施数量が減少。</li> <li>COVID19の感染懸念による労働力の大幅な減少。</li> <li>作業員同士が近接して作業を行う場合におけるCOVID19の高い感染リスク</li> </ul>

- 1) 石田誠、宇都宮真理子、ジャカルタ MRT 運営維持管理支援と施設保守、日本鉄道施設協会誌 2020 年 8 月
- 2) 鉄道インフラの健康診断と将来のメンテナンスに向けた提言、P26、土木学会インフラメンテナンス(鉄道)特別委員会、2020 年 6
- 3) JICA 有償資金協力 事後評価資料「ジャボタバック圏鉄道近代化事業 (VI)、参照サイト：[https://www2.jica.go.jp/ja/evaluation/pdf/2000\\_IP-325\\_4\\_f.pdf](https://www2.jica.go.jp/ja/evaluation/pdf/2000_IP-325_4_f.pdf)」

#### 4.2.1.2 バンコク

##### (1) 各鉄道事業者の状況

###### 1) BTSC

###### ①概要

BTS Skytrain はタイで最初に大量輸送機関としての電気鉄道であり、BTSC 社 (Bangkok mass Transit System Public Company Limited) によって、建設と運営が行われてきている。

1999 年に Sukhumvit Line と Silom Line の 2 系統を持つ Green Line が開業した。Green Line は、フルサイズといわれる通常の鉄道で、全線高架線となっている。軌間は標準軌 (1,435 mm)、電化方式は直流 750V による第三軌条終電方式である。<sup>1)</sup>

さらに、2020 年には Gold Line が開業している。Gold Line は、ほぼ全線高架線となっている。

###### ②アンケート結果

事前の文献調査を補うため、アンケートを実施した。アンケートは、軌道および土木構造物の状況、検査の実施状況、データ管理システムの導入状況、基準書・規程類の整備状況および運営面(予算、人員、人材育成、委託状況)に関する事項に対して実施した。結果について、集約し

たものを表 4-39 に示す。

表 4-39 維持管理状況に関するアンケート結果（グリーンライン、ゴールドライン）

項目	回答の概要
路線名	グリーンライン、ゴールドライン
維持管理担当会社名	BTSC
開業年及び経過年数	・グリーンライン 1999 年開業。約 22 年経過。 ・ゴールドライン 2020 年開業。約 1 年経過。
構造物の状況	(軌道) ・重量のあるレール(約 60 kg/m)を使用。 ・全線直結軌道採用により保守作業の省力化が図られている。 ・レール交換数量は年間 1200m 程度。 ・分岐器においては、管理規定値を超える箇所が複数個所で発生している模様。  (土木構造物) ・グリーンライン 全路線高架橋(高架橋延長 67.2km) ・ゴールドライン 高架橋 1.8km、鋼橋 0.18km ・高架橋においてはクラックや剥離、鋼構造物には腐食の発生が見られ、1 年以内に補修が必要の状況とのことであり、劣化が顕在化している模様。
検査の実施状況	(軌道) ・日常的な確認(巡回)および定期的な検査(検測、部材損傷確認)が行われている。  (土木構造物) ・2 ヶ月毎の目視による検査および 5 年毎に変状や変位の検査が行われている。
データ管理システムの導入状況	データ管理システムは導入されており、現行のシステムは十分に機能しており、今後も継続して使用する予定。
基準書・規程類の整備状況	政府制定による標準書・規程類、事業者制定のマニュアル(作業指示書および検査方法)がある。
運営面(予算、人員、人材育成、委託状況)	・制約はあるが維持管理に影響する予算上の問題は無い。 ・人員に問題はなく年齢構成にも偏りは無い。 ・教育制度として確立されているのは新人研修のみであり、さらなる制度整備が必要な模様。 ・検査や補修作業の委託に関して、土木は特定の会社への委託ではないが、軌道は特定の会社に委託している。委託の理由は、土木はスキル不足のためであり、軌道をコスト重視しているためである。
技術開発の状況	・技術開発やデジタル化は実施されており、CMMS(Computerized Maintenance Management System)というシステムを導入し、欠陥箇所の記録と予防保全に取り組んでいる。

土木構造物および軌道の両方において劣化が顕在化している模様である。経過年数からすると、今後も更に劣化が進むことが考えられる。

軌道では、現状ではレール交換数量は年間 1200m 程度であり、これは約二晩から三晩で交換できる数量である。このことから摩耗と損傷部分だけのレール交換にとどまっている可能性がある。よって、摩耗や通貨トン数によるレール交換が増えてくる可能性がある。現在はレール交換数量が少ないものの、開業後 20 年を超えると摩耗による交換とともに、通過トン数による交換が始まる可能性もあるため、今後は交換数量が増えていくことが考えられる。

検査の実施状況について、軌道に対しては、日常的な確認(巡回)および定期的な検査(検測、部材損傷確認)が行われており、必要な検査を実施する体制は整備されている模様である。土木構造物に対しては、2 ヶ月毎の目視による検査が行われており、また 5 年毎に変状や変位の検査が行われていることから、定期的に構造物の状態把握が行われており、検査の実施体制は整備さ

れている模様である。

一方で、検査の定期的な実施、検査結果等のデータを管理するシステムが活用されていること、標準書及び規程類が整備されていること、そして予算や人員に問題は無いものの、人材の育成に関して教育制度は新人研修以外には十分な教育機会が設けられていない模様である。よって、増えてくる補修数量に対しても、適切に対応しつつ将来に渡って良い健全度を維持するためには、教育機会の拡充が望まれる。

日本の鉄道事業者は、自らが列車運行の安全の責任を持つことから、以前は直轄で検査ならびに修繕を実施していた。現在は社外委託している場合があるが、その場合でも委託先はほとんどがグループ会社または線区を熟知した協力会社である。これらにより、鉄道事業者・協力会社は平時のメンテナンスのみならず、災害時や降雪時などの緊急対応についても迅速かつ正確に実施してきている。<sup>2)</sup>

検査や補修作業の委託に関して、土木は特定の会社への委託ではないが、軌道は特定の会社に委託している。軌道に関しては比較的安定した保守の実施が見込まれる。

技術開発に関する取り組みも行われており、CMMS (Computerized Maintenance Management System) というシステムを導入し、欠陥箇所の記録と予防保全に取り組んでいる。今後の興味ある技術として、土木構造物に対しては欠陥箇所のモニタリングのための BIM、軌道では欠陥箇所のモニタリングのための Image Processing 技術を挙げている。

## 2) BEM

### ①概要

バンコクメトロ (MRT : Mass Rapid Transit) は、バンコク首都圏を走る高速鉄道網の名称である。タイ高速度交通公社 (MRTA) が路線の建設や施設の保有を行い、民間のバンコクエクスプレスウェイ・アンド・メトロ社 (BEM) が運営を行う上下分離方式を採用している。<sup>1)</sup>

BEM はブルーライン・パープルラインの運営・維持管理実績を有する。BEM は、2015 年にバンコクメトロ公社 (BMCL) 及びバンコク高速道路公社 (BECL) との合併により設立された。主な事業には、高速道路及びメトロのサービス提供があり、高速道路やメトロに関連する商業開発も行っている。<sup>3)</sup>

#### a) パープルライン

路線長は 23km (全線高架) であり 2016 年に完成している。軌道延長は、本線が 46km、車両基地内が 18km、併せて 64km である。MRTA との 30 年間のコンセッション契約に基づき、BEM に運営・維持管理が委託されている。パープルラインでは PPP グロスコスト・スキームが採用されている。MRTA の基本的役割は BEM による運営・維持管理の監督にある。同スキーム下では、パープルラインからの運賃収入はすべて MRTA が受け取り、MRTA は受け取った運賃収入の多寡にかかわらず、BEM に運営・維持管理の報酬を支払うこととなっており、当初想定に乘客数が達しなかった場合のリスクは MRTA が取る形となっている。MRTA はパープルラインの施主及び監督機関として、鉄道サービスの可用性 (アベイラビリティ)、定時性、落書きの削除、照明基準といった主要業績評価指標を設定し、BEM のパフォーマンスを定期的にモニタリング・評価している。<sup>3)</sup>

JR 東日本は、丸紅および東芝とともに現地法人「Japan Transportation Technology (Thailand) Co., Ltd」 (以下、JTT) を設立し、パープルラインの軌道を含む鉄道システム全体の 10 年間のメンテナンス業務を、MTJV (丸紅、東芝の 2 社が設立した合弁会社) を通じて BEM から受託されている。JTT の本拠となる車両基地 (パープルラインの北側終点のクロンパンパイ駅東側に隣接) には、保守用車や超音波探傷車、レール削正車等の大型保線機械のほか、検査装置や工具、予備品等を配備している。<sup>4)</sup>

## b) ブルーライン

地下区間を持ち、トンネル延長は 25.2km（調査団調べ）である。

O&M は BMCL（後に BEM に社名変更）が受託した。BMCL は車両・通信・信号の運営・維持管理、およびそのローカルスタッフへの教育・トレーニング一式を Siemens and Lincas と Turn-Key 契約している。<sup>5)</sup>

MRTA は、Maintenance Department を設立し、技術的な課題にも関与することになっている。例えば、地下の湧水箇所については、BMCL のメンテナンスチームが点検マニュアルに従って、点検・補修を行うが、その結果については、MRTA の Maintenance Department へ報告する。<sup>5)</sup>

## ②アンケート結果

事前の文献調査を補うため、アンケートを実施した。アンケートは、軌道および土木構造物の状況、検査の実施状況、データ管理システムの導入状況、基準書・規程類の整備状況および運営面（予算、人員、人材育成、委託状況）に関する事項に対して実施した。

パープルラインとブルーラインは同一の組織（BEM）によって維持管理されているが、今回の調査における回答は、BEM からはパープルラインに対して、MRTA からはパープルラインとブルーラインの両者に対してなされた。よって、各社の見解が混同するのを避けるため、パープルラインは BEM の回答を、ブルーラインは MRTA からの回答を示す。

### a) BEM からの回答結果

結果について、集約したものを表 4-40 に示す。

表 4-40 維持管理状況に関するアンケート結果（パープルライン）

項目	回答の概要
路線名	パープルライン
維持管理担当会社名	BEM
開業年及び経過年数	2016 年開業。約 5 年経過。
構造物の状況	(軌道) ・重量のあるレール(60 kg/m)を使用。 ・レール交換数量は年間 800m 程度。 ・全線直結軌道であり、保守作業の省力化が図られている。 (土木構造物) ・全路線高架橋(高架橋延長 23km) ・クラック、Tendon failure(損傷の具体的内容は不明)が特定の箇所で発生。
検査の実施状況	・軌道に対しては、日常的な確認(巡回)および定期的な検査(検測、部材損傷確認)が行われている。 ・土木構造物に対しても、年一回の目視による全般的な検査が行われており、5年に1回特定箇所(橋梁の支承部)の検査も行われている。
データ管理システムの導入状況	(回答無し)
基準書・規程類の整備状況	・公的な機関により定められたマニュアルや作業の仕様書を保有している。 ・現在も必要に応じて追加で作成している。
運営面(予算、人員、人材育成、委託状況)	・回答によると維持管理に影響する予算・人員に問題は無い模様。 ・入社後数年間は定期的に教育が実施されており、レール交換やレール探傷に関しては社内資格制度が整備されている模様。 ・検査や補修作業の委託に関して、土木は特定の会社への委託は行われていない。軌道は特定の会社に委託されており、軌道に関しては比較的安定した保守が見込まれる。委託の理由は、土木・軌道ともに、人員及びスキルが不足しているため。
技術開発の状況	・技術開発には興味はあるものの、予算上の問題で実施できない模様。

アンケート結果からは、路線自体がまだ新しく（開業後約 5 年）、高規格のレールおよび直結軌道が採用されていることから、補修作業または補強作業の必要性は当面の間は低いと考えられる。

軌道に関しては、レール交換数量は年間 800m 程度であり、交換区間が連続していれば、一晩から二晩分で交換できる数量である。開業からの年数が 5 年程度であることから、現在は損傷部分だけのレール交換にとどまっていると推定される。今後、摩耗や通貨トン数によるレール交換が増えてくる可能性がある。土木構造物に関しては、クラック等の損傷が徐々に顕在化してきている模様である。

検査に関しては、軌道及び土木構造物に対して、定期的な検査が行われており、検査の実施体制は整備されている模様である。

システムの導入状況であるが、今回のアンケートでは回答が得られなかった。しかし、CMMS (Computerized Maintenance Management System) という設備保守管理システムが導入されている模様である。<sup>6)</sup>しかし、軌道・土木構造物に維持管理への CMMS の適用状況は不明である。

標準書及び規程類の整備に関しては、公的な機関により定められたマニュアルや作業の仕様書を保有しており、現在も必要に応じて追加で作成していることから、現在の整備が進められている模様である。

運営面に関しては、予算、人員に問題はないとのことであり、人材育成面でも社内資格制度が存在している。軌道に対しては、特定の会社に委託されていることから、比較的安定した保守業務の実施が見込まれる。

一方で、技術開発の取り組みは予算上の問題で実施が難しい模様だが、興味ある分野として、ドローンによる検査、GPS による高架橋の変位管理、営業車による線路変位モニタリングを挙げている。

アンケート結果を見る限りにおいては、技術開発への取り組みは課題であるが、今後も維持管理業務が適切に実施されると見込まれる。

補足)

#### ・教育に関して

過去の各種報告（文献 3）、4）からも教育に関しては、良好な状況が見られる。人員および教育に関する記述を「」内に抜粋して記す。

「パープルラインの運営・維持管理に係る技術面における問題は認められない。」<sup>3)</sup>

「BEM 職員の多くは、エンジニア又はテクニシャンである。BEM は、2004 年以降ブルーラインの運営・維持管理を担当しており、鉄道の運営・維持管理には実績がある。BEM は、社内にトレーニングセンターを備えており、各種業務内容に応じた研修プログラムを提供している。この研修プログラムには、駅管理者研修（4 カ月）、保線・車両基地管理者研修（10 カ月）、エンジニアリング管理者研修（8 カ月）などが含まれる。各研修プログラムは、各専門分野について基礎的・技術的科目を網羅する約 40 モジュールから構成されている。さらに、BEM 職員は、MRTA 職員が受講する定期研修にも参加している。」<sup>3)</sup>

「現在（2018 年 1 月）、約 200 名の社員が車両、信号、保線等の部門に分かれ、シフト交代制により 24 時間対応可能な体制で業務に取り組んでいる。うち日本人出向者 14 名は JTT の経営者や各部門を統括する管理者として日々メンテナンス業務の推進や BEM 等の関係会社との調整を行っている。」<sup>4)</sup>

「現地社員の教育・訓練については、まず各システムを納入したメーカー（軌道敷設会社等）がそれぞれ取り扱いマニュアルを作成し、JTT の管理者に英語で講義・訓練を行い、次にその講習内

容やメンテナンスの作業手順書を基に JTT の管理者が実際のメンテナンス実務を担うスタッフにタイ語で教育訓練を行った。また、日本メーカ（株）カネコ製の軌道変位検測装置、および保守用車タイプの超音波レール探傷車がタイで初めて導入されたため、軌道変位やレール損傷の管理方法等、日本独自の保線技術に関する教育も数多く実施した。その一環として、JTT の保線部門において核となるタイ人技術者を技術力の向上と知見を広めるため日本に派遣し、JR 東日本や鉄道総研において保線技術や安全に対する考え方・取組を学ばせている。」<sup>4)</sup>

#### ・人員に関して

過去の報告書（文献 3）からは次のような懸念も見られる。抜粋を「」内に記す。

「BEM の鉄道システム運行・エンジニアリング部には職員 918 名が配置されている。BEM は、人員不足に直面しており、毎月、エンジニアの採用を行っており、十分なレベルまで職員の増員を行う計画である。（2019 年 1 月 10 日時点でエンジニア 250 名を募集中であった。）」<sup>3)</sup>

#### ・予算に関して

過去の報告書（文献 3）から予算に関して良好な状況が見られる。抜粋を「」内に記す。

「PPP グロスコスト・スキームにおいて、パープルラインの収支にかかわらず、BEM に対してパープルラインの運営・維持管理の対価として年間約 2,000 百万バーツ（30 年間の契約期間で合計 57,208 百万バーツ）の報酬が支払われており、過去 4 年間の財務状況は黒字となっている。BEM は、同スキーム下において乗客リスクを取ることなく、今後 24 年間はパープルラインの運営・維持管理に対する対価としての十分な報酬が保証されている。」<sup>3)</sup>

「パープルラインの運営・維持管理に係る財務面における問題は認められない。」<sup>3)</sup>

一方で、過去の報告書からは財務的安定性に対する懸念も見られた。報告書（文献 3）からの抜粋を以下の「」内に記す。

「MRTA の収支は政府補助金に大きく依存している点には注意を払う必要がある。2017 年及び 2018 年の総収入において政府補助金が占める割合は、それぞれ 59% 及び 61% となっている。当面の間はパープルライン単体の総収入が費用を超えないこと考慮すると、政府補助金の比率が急速に下がることは考えにくい。つまり、MRTA の財務的安定性は、必ずしも高いとは言えない。今後も MRTA によりパープルラインが安定的に運用・維持管理されるためには、政府の鉄道政策の裏付けのもとで、継続的な政府からの補助金が必要となる。」<sup>3)</sup>

#### b) MRTA からの回答結果

結果について、集約したものを表 4-41 に示す。

表 4-41 維持管理状況に関するアンケート結果（ブルーライン）

項目	回答の概要
路線名	ブルーライン
維持管理担当会社名	BEM(アンケート回答は MRTA より)
開業年及び経過年数	1999 年開業。約 21 年経過。
構造物の状況	(軌道) ・重量のあるレール(54 kg/m、60 kg/m)の使用により保守費軽減に寄与している。 ・今回得られた回答では、レール交換数量が年間 500m 程度である。 ・全線直結軌道(保守作業の省力化が図られている。)  (土木構造物) ・構造物種別と延長は、トンネル 25.2km、高架 22.7km、鋼橋 0.1km である。 ・高架橋における継目部や駅のスロープの手すりといった部分的な劣化が見られるとのことであり、構造本体の劣化はまだ顕在化していない模様。

項目	回答の概要
検査の実施状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軌道に関しては、日常的な確認(巡回)および定期的な検査(検測、部材損傷確認)が行われている(徒歩巡回1回/2ヶ月、列車巡回1回/2週、検測1回/6ヶ月、軌道部材検査(レール探傷含む)1回/年)。</li> <li>・土木構造物に対しても、年1回および5年に1回の検査が行われ、定期的に構造物の状態把握が行われている(巡回検査1回/年、構造物の状態検査1回/5カ年)。</li> </ul>
データ管理システムの導入状況	システムは導入済みである。このシステムは十分に機能しており、今後も継続して使用する予定。
基準書・規程類の整備状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・公的な機関(MRTA 含む)からは通知、標準書、マニュアルが発行され、BEM も作業の仕様書を持っている。</li> <li>・現在も必要に応じて追加で作成しており、基準書・規程類等は整備が進められている。</li> </ul>
運営面(予算、人員、人材育成、委託状況)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・将来的に改良が必要になった際は補助金が必要との回答から、将来的に予算が不足する恐れが有る。</li> <li>・回答によると鉄道の維持管理の仕事は人気が無い模様。また、転職によるキャリア形成を図る傾向がある(人員の過不足は不明)。</li> <li>・定期的な教育や社内資格の制度有り。公的な資格取得を促す制度もある。</li> <li>・検査や補修作業の委託に関して、土木は特定の会社への委託ではないが、軌道は特定の会社に委託している。軌道に関しては比較的安定した保守が見込まれる。</li> <li>・委託の理由は、土木は不明だが、軌道は人員及びスキルが不足しているため。</li> </ul>
技術開発の状況	・技術開発には、現在は取り組んでいないが、具体的な計画を持っている。

開業(1999年)から20年以上経過しており、今後、レール交換数量の増加や経年劣化の顕在化が考えられる。

軌道について、今回得られた回答では、レール交換数量が年間500m程度である。これは連続していれば、一晩からせいぜい二晩分程度の数量である。今後、摩耗や通貨トン数によるレール交換が本格化してくると考えられる。

土木構造物に関しては、劣化の発生は一部にとどまっている模様だが、今後は経年劣化が顕在化してくるものと考えられる。

検査の実施体制、システム導入および基準書・規程類に関しては、整備されている模様である。また、教育に関しては、定期的な教育や社内資格があり、教育の制度は整備されている模様である。

検査や補修作業の委託に関して、土木は特定の会社への委託ではないが、軌道は特定の会社に委託している。軌道に関しては比較的安定した保守が見込まれる。

人員に関して、維持管理の仕事は人気職種とは言えず、また転職によるキャリア形成を図る傾向があるとのコメントもあった。また、予算については、将来的に改良が必要になった際には補助金が必要とのことである。技術開発も現在は行われていないが、必要性は認識されている模様である。人員、予算および技術開発について、今後の何らかの取り組みが必要と考えられる。

ちなみに、技術レベルについて、過去の報告書からも問題ない旨の報告がなされており、その部分の抜粋を次の「」内に記す。

「土木インフラ関連施設の維持補修は、BMCLのMaintenance Departmentが担当している。具体的には、保線要員が、終電から始発間(1:00-5:00)に地下鉄全線の点検補修を実施し、主として、トンネル・駅部の湧水状況をチェックしており、担当者の技術レベルは特段問題ない。」<sup>5)</sup>

### 3) SRT

#### ①レッドライン

##### a) 概要

SRT (タイ国鉄) の子会社である SRTET が運営を行っている。SRTET は現在レッドライン (電車) の運行・維持管理を実施。ただし、整備主体は SRT である。タイ国鉄法の定めにより、SRT は電車運行ができないため会社を分離し、SRT は気動車、SRTET は電車を担当している。(調査団ヒアリング結果より。)

##### b) アンケート結果

事前の文献調査を補うため、アンケートを実施した。アンケートは、軌道および土木構造物の状況、検査の実施状況、データ管理システムの導入状況、基準書・規程類の整備状況および運営面 (予算、人員、人材育成、委託状況) に関する事項に対して実施した。結果について、集約したものを表 4-42 に示す。

表 4-42 維持管理状況に関するアンケート結果 (レッドライン)

項目	回答の概要
路線名	レッドライン
維持管理担当会社名	SRTET
開業年および経過年数	2021 年開業
構造物の状況	(軌道) ・重量のあるレール (54 kg/m、60 kg/m) の使用。 ・開業直後であるためレール交換はまだ実施されていない。 ・直結軌道が多い (直結軌道 67%、バラスト 33%)。全区間 PC まくらぎ使用。 ・開業直後であるため軌道状態に異常は見られない模様。 (土木) 既開業部の路線長は 42km であり、土木構造物としては高架橋 (34km) のみという回答
検査の実施状況	(軌道のみ) の回答 ・軌道に関しては日常的な検査から定期的な検査まで実施されている (徒歩巡回 1 回/月、締結装置 1 回/3ヶ月、分岐器 1 回/3ヶ月、車止め 1 回/年、軌間 1 回/年)。 ・軌道変位の検査は、軌間と水準のみの回答。軌道の部材についてはレール摩耗・損傷、締結装置、まくらぎ、道床等。
データ管理システムの導入状況	(軌道のみ) の回答 ・軌道の保守管理システムは導入済み。しかし、今後も改良の余地があるとの回答であり、今後の運用の中で改良点により明確になってくるものと考えられる。
基準書・規程類の整備状況	(軌道のみ) の回答 ・ISO「Quality management system」の他の基準書類の存在は不明。会社としては、軌道の検査や周期の根拠を示したものを保有しているとのことであるが、具体的な規程類の記述はない。また、今後の基準書や規程類の制定予定は不明。
維持管理実施体制	(軌道のみ) の回答 ・基地数が 1 つというのは、将来の維持管理の実施に支障を来す恐れ有り。 ・収入と支出の関係から最低限のメンテナンスにとどまっている。今後、補修箇所が増えてきた際に、予算が不足する恐れがある。 ・人員を増やすのは予算的に難しい状況。 ・教育制度は今後整備予定。 ・軌道に関して、特定の会社への委託でないため、施工品質が安定しない可能性がある。委託理由は人員不足。
技術開発の状況	回答無し

回答は軌道部門に関するもののみであった。

軌道の検査項目、基準書・規程類および教育制度の整備状況に懸念が見られる。

データ管理システムに関しては、軌道の保守管理システムは導入済みである。しかし、今後も改良の余地があるとの回答であり、今後の運用の中で改良点がより明確になってくるものと考えられる。

予算上の制約から、人員の確保が難しい模様である。今後、軌道に関して、基準書や規程類の体系化や、維持管理体制の整備が必要と考えられる。

なお、土木構造物に関しては、具体的な回答は得られなかった。

## ②ARL

エアポートレールリンク (ARL) に関しては、アンケートの回答が得られなかったので、文献調査による情報のみを記す。

ARL とは、バンコク中心部とスワンナプーム国際空港を結ぶ都市高速鉄道である。2010 年に正式開業した。タイ国鉄東本線の敷地を利用し、路線距離はパヤタイ駅からスワンナプーム空港駅まで 28.6km、8 つの駅が設置された。法規上は SRT 東本線の線増扱いである。ARL は、地下に設けられたスワンナプーム空港への入り口までのほぼ全線が、高さおよそ 22m の高架橋で、駅も高架線上に建設された。標準軌間で最高速度は時速 160km/h で計算されている。<sup>1)</sup>

## (2) 維持管理に関するニーズについて

### 1) 新規計画路線に対して

ニーズ調査として、新規計画路線における課題について、アンケートを基に整理したものを表 4-43 に示す。

新規路線に関しては、保守作業効率および管理業務効率の改善を求めるものが多い。そのための具体策として、データ管理、統計処理ツールの改良、教育機会の拡充および技術開発等が挙げられている。コロナ感染対策としては、研修時の人数に制限を設けて実施していることが挙げられているが、そのほかの対策に関する回答は得られなかった。

表 4-43 新規計画路線に関する課題

線別	課題(新規計画路線)
BEM	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メンテナンスにおける作業効率の改善(作業の質、社員の知識、延伸プロジェクトにおける技術導入)</li> <li>・技術の導入による人力による作業時間の削減</li> <li>・既存路線で培った知見に基づく設計の見直し</li> <li>・適切な予算措置による維持管理に係る一連の業務の最適化</li> </ul>
MRTA	<ul style="list-style-type: none"> <li>・データ管理ツールの改善、予測のための統計処理、維持管理に関する意思決定。</li> <li>・将来的に作業時間や作業員数の削減につながるツールの検討、維持管理業務に従事する者の疲労を軽減するツールの検討</li> <li>・新たなアイデアやノウハウを生み出すために技能、知識および経験を向上させる訓練センターの発展</li> <li>・コロナが現場での実務経験にもたらす影響(研修生の人数制限、時間の延長)</li> </ul>
BTSC	<ul style="list-style-type: none"> <li>・駅の改良(駅は 20 年以上の経年)</li> <li>・補強。例えば、再緊張。</li> <li>・列車走行時に軌道から発生する騒音の低減。例えば、レールダンパーの導入。</li> </ul>
SRT	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施設管理マネジメントの効率性の改善(例えば、施工や検査記録のデジタル化の推進)</li> <li>・労働力不足への対応</li> </ul>

## 2) 既存路線に対して

ニーズ調査として、既存路線における課題について、アンケートを基に整理したものを表 4-44～表 4-46 に示す。

軌道に関しては、作業効率の改善（レール交換、分岐器交換等）、作業員の技能向上（レール削正技術、レール探傷技術、レール取り卸し時の安全確保等）、腐食環境の改善も挙げられている。また、予算措置に対する懸念も挙げられている。予算確保のためには、適切な健全度判断と、年度毎に補修作業量が大きく増減しないように平準化することにより、関係者の理解を求めていくことが重要である。表中に記していないが、MRTA では、15 年以上経過した際の保守作業として、軌道スラブの更新を挙げている。MRTA 以外の路線においても直結軌道が多いため、今後は軌道スラブまたはコンクリート道床等の更新が必要になると考えられる。その際、更新方法に関して、これまでの本邦における経験が活かされる可能性がある。

土木に関しては、損傷の検知方法や損傷箇所に対する補修方法が挙げられている。また、工事完成時の記録方法や、劣化箇所に対する交換優先順位の評価方法も挙げられており、データ管理、およびデータ分析手法が十分に確立されていない可能性がある。また、予算や人員に対する懸念も挙げられている。人員については専門家の不足も挙げられている。予算確保のためには、適切な健全度判断と、年度毎に補修作業量が大きく増減しないように平準化することにより、関係者の理解を求めていくことが重要である。一方で、検査や作業時における道路の通行止めに対する懸念も挙げられており、本邦の道路使用に関する手法も参考になる可能性がある。

コロナ感染症に関しては、日本国内と同様（作業員および作業箇所の分散化、体温管理等）の対策が取られている。課題としては、作業員の効率低下、人員不足、作業の延期等が挙げられている。

表 4-44 既存路線に関する課題（軌道）

既存路線に関する課題(軌道)				
	BEM	MRTA	BTSC	SRT
開業～5年未満	<ul style="list-style-type: none"> <li>分岐器レール寿命の改善、モニタリング方法の改善</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>補修およびレール交換にかかる時間の削減</li> <li>レール削正のような作業に関する保守作業員の資質と技能の向上</li> <li>レール損傷の解析技術の向上、損傷レールの補修技術の向上</li> <li>超音波探傷結果を活用したレール損傷発生の予測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>補修が完了する前に保証期間が終わってしまうこと。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>仕上がり精度が十分でない</li> <li>レール取り卸し作業時の安全確保、レール溶接の品質確保</li> </ul>
5年～15年未満	<ul style="list-style-type: none"> <li>分岐器等の交換方法の改善(線路閉鎖時間の短縮)</li> <li>分岐器の寿命延長、交換や改良に関する人力による作業時間の削減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>腐食環境の箇所の低減(腐食による損傷は進展する)</li> <li>超音波探傷結果を利用した損傷発生予測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>リソースの増加に応じた予算手当</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>補修してもすぐに悪い状態に戻ってしまう。</li> <li>腐食環境対策</li> </ul>

既存路線に関する課題(軌道)				
15年以上	(記述無し)	(記述無し)	・リソースの増加に応じた予算手当	N/A

表 4-45 既存路線に関する課題 (土木構造物)

既存路線に関する課題(土木構造物)				
	BEM	MRTA	BTSC	SRT
開業～5年未満	・高架橋の欠陥を明確に検知する方法	・構造物の損傷の検知方法、補修方法、工事完成時の記録の保存方法	・補修が完了する前に保証期間が終わってしまうこと。	(記述無し)
5年～15年未満	・道路の通行止めの措置、人員の確保(専門家を含む) ・設計上の耐用年数に近付いた構造物の伸縮継目(ゴムタイプ)に関する補修方法 ・人員の確保(適切な道具や装備の調達のための専門家を含む)	・メンテナンス方法(箇所ごとの補修優先度を決めることが難しい。) ・検査やメンテナンスは終車後に実施される。 メンテナンスとして特別な機器が求められる箇所 の施工の際には、道路の通行止めが必要な場合もある。	・リソースの増加に応じた予算手当	(記述無し)
15年以上	(記述無し)	・メンテナンス方法 ・検査やメンテナンスは終車後に実施される。 メンテナンスとして特別な機器が求められる箇所 の施工の際には、道路の通行止めが必要な場合もある。 ・劣化した材料を交換にあたっての、劣化箇所ごとの優先順位の評価。	・リソースの増加に応じた予算手当	(記述無し)

表 4-46 既存路線におけるコロナ感染症対策の課題

対策事例	課題
------	----

	対策事例	課題
BEM	(軌道・土木共通) ・職員のグループ化、作業箇所の分散化 ・ソーシャルディスタンス ・作業箇所における新たなルールの適用(日々の清掃、体温管理、作業箇所の分散化 等)	(軌道・土木共通) ・出勤制限と換気(?)の促進 ・作業中のマスク着用による息苦しさへの対策
MRTA	(土木) ・コロナの感染を防止するため、メンテナンス従事者をいくつかのグループに分散させる取り組みを行っている。	(土木) ・コロナ禍による延期されているメンテナンス作業もある。 ・作業員が限られるため、メンテナンス作業が困難となり、作業の遅れが発生している。
BTSC	(軌道・土木共通) ・感染防止対策の実施 ・政府部門の対策	(軌道・土木共通) ・就業時間の制限。例えば、外出禁止。 ・隔離措置による労働力の減少
SRT	(記述無し)	(軌道) ・必要な作業員の確保が困難になった。 (土木) ・コロナウィルスの大流行により作業が遅延されている。

- 1) 世界鉄道市場便覧 タイ・ラオス編、P31-32、2016年2月
- 2) 鉄道インフラの健康診断と将来のメンテナンスに向けた提言、P26、土木学会インフラメンテナンス(鉄道)特別委員会、2020年6月
- 3) 2018年度 外部事後評価報告書 円借款「バンコク大量輸送網整備事業(パープルライン) (I) (II)」
- 4) 松田博之、「バンコク都市鉄道パープルラインプロジェクト概要と開業前後の取り組み」、JREA 2018年 Vol. 61 No. 2
- 5) 2007年度 外部事後評価報告書 円借款「バンコク地下鉄建設事業I-V」
- 6) 川崎淳司、「バンコク・パープルラインにおけるメンテナンス業務」、JREA、2019年 Vol. 62 No. 9

### (3) 各鉄道事業者の状況

#### 1) トルコ国鉄(マルマライ線)

##### ①概要

トルコ国鉄の維持管理に関する状況について、ヒアリング結果に基づき、以下に記す。

マルマライ線はゲブゼからハルカリまでの43駅、約77kmの路線であり、そのうち約13kmが地下区間である。列車の運行時間帯は5:00~24:30までであり、終車後の列車間合いでの保守作業を行っている。

今回の調査においては、予算・技術・要員のいずれに対しても特段の問題は見られなかった。

必要な保守業務は担当部署からのボトムアップで要求される形で計画および予算化され、現状では維持管理に対する予算は十分確保されているとのことであった。

マルマライ線では、軌道回路による列車制御が行われている一方で、CBTCも導入している。防災面の取組としては、車両の状態管理を特定箇所で行い、その情報は指令所で把握することができ、異常がある場合は列車をマルマライ線に進入させない指示を指令所から出すことができる。

また、火災対策として、マルマライトトンネルの内面にもコーティングが施されている(図 4-43)。このような高い防災意識のもと、先進のシステムの活用が行われている。

保守に関しては、以前は事後保全であったが、現在は予防保全により実施している。

土木構造物に対する補修作業としては、現時点では漏水補修が行われている。漏水はセグメントの継目から生じているものであり、漏水の発生は季節的なものであり、特定の時期に限定されている程度とのことである。マルマライトトンネルは100年超で劣化すると考えられており、現段階では土木構造物に関する補修作業の実施は限定的となっている模様である。

軌道に関しても防振構造となっていることから、保守の省力化が図られている。また、定期的にレール削正を実施しており、列車の通過トン数として2000万トン毎に実施されている。今回の視察時は分岐器の調整作業(ロック調整)が行われており、信号および電気部門と連携して実施しているとのことであった。このように中長期的な視野と分野間の連携意識を持ちつつ、継続的な保守が行われていると考えられる。



出典：JICA 調査団

図 4-43 トンネル表面のコーティングの様子(表面の汚れのようなものがコーティング)

## ②アンケート結果

トルコ国鉄からは回答が得られなかった。

## 2) メトロイスタンブール

### ①概要

トルコ国鉄の維持管理に関する状況について、ヒアリング結果を基に、以下に記す。

メトロイスタンブールは品質管理を徹底し高い顧客満足度を記録している。EFQM (European Foundation for Quality Management) に準じた審査で5つ星を獲得しており、これはトルコの鉄道事業者において最初で唯一のことである。また2021年には、メトロイスタンブールはCOMET参加事業者の中で顧客満足度世界一となった。先進的な技術の導入にも積極的であり、地下鉄に関しては、Light Rail 以外は全てCBTCにより運行されており、また一部路線では自動運転も行われている。

鉄道員の育成については、鉄道関係の公的な資格を取得させるためにメトロアカデミーという教育を実施しており、海外からの研修生も受け入れている。

海外に対する技術支援も行っている。技術支援の活動は、ナイジェリア、アゼルバイジャン等で行っており、ラホールプロジェクトは従業員の教育も含んで実施している。これらのことか

ら比較的高い水準の鉄道運営を行っていると考えられる。

維持管理に必要な予算は確保されており、予算が足りないときはイスタンブール市から補助金を受けている（全収入の5%程度）とのことであった。

## ②アンケート結果

事前の文献調査を補うため、アンケートを実施した。アンケートは、軌道および土木構造物の状況、検査の実施状況、データ管理システムの導入状況、基準書・規程類の整備状況および運営面（予算、人員、人材育成、委託状況）に関する事項に対して実施した。結果について、集約したものを表 4-47 に示す。

表 4-47 維持管理状況に関するアンケート結果（メトロイスタンブール）

項目	回答の概要
路線名	Metro Line: M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9 Funicular Line: F1, F2 Tram Line: T1, T3, T4, T5
維持管理担当会社名	METRO ISTANBUL
開業年及び経過年数	Metro Line: 1989 年(最高で 33 年経過) Funicular Line: 1875 年(最高で 147 年計画) Tram Line: 1992 年(最高で 30 年経過)
構造物の状況	<p>(軌道)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>使用レールの規格は次の通り。 Metro Line: EN13674/49E1, EN13674/54E1, EN13674/54E3 (左記レール規格のレール重量は 49 kg/m または 54 kg/m) 等を使用。 Funicular Line: (不明) Tram Line: EN14811/59R2, EN14811/60R2 (左記レール規格のレール重量は 59 kg/m または 60 kg/m) 等を使用。</li> <li>「路線名(直結%: 有道床%)」で次に示す。 Metro Line: M1(27:73)、M5(80:20)、M7(97:3)、M9(56:44)、その他の MetroLine 路線は直結のみ。 Funicular Line および Tram Line は直結軌道のみ。</li> <li>レール交換理由とその理由毎の割合 Metro Line: 損傷 100% Funicular Line: 交換無し Tram Line: 摩耗 80%、損傷 20%</li> <li>軌道管理値超過箇所の分布は限定的。</li> </ul> <p>(土木構造物)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>所有構造物 Metro Line: トンネル 110.7km、高架橋 4.1km Funicular Line: トンネル 1.1km Tram Line: 高架橋 6.91km</li> <li>構造物の変状発生状況 M1 路線の高架橋コンクリートの桁に変状がいくつかの場所で発生(数年以内に補修が必要)。 M2 路線の全線に渡り軌道スラブの下面との間に垂直方向の動きが有り。</li> </ul>
検査の実施状況	<p>(軌道)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>定期的な確認(1 回/週:巡回)および定期的な検査(4 回/年:伸縮継目、1 回/週・1 回/月:塗油器検査、1 回/年:検測・軌道部材、1 回/3 ヶ月:検測、1 回/年:軌道部材)が行われている。検測車や波状摩耗測定車を保有している。</li> </ul> <p>(土木構造物)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>徒歩による巡回検査(1 回/月)</li> </ul>

項目	回答の概要
データ管理システムの導入状況	データ管理システムは導入されており、現行のシステムは十分に機能しており、今後も継続して使用する予定。
基準書・規程類の整備状況	標準書や関係規程類が制定されており、軌道も土木も社内マニュアル、仕様書、指示書および手順書等が存在する。
運営面(予算、人員、人材育成、委託状況)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・予算 収支状況から、必要最低限の維持管理予算の確保に留まっている。将来に渡り予算を確保していくには補助金が必要。</li> <li>・人員 必要人員を確保するだけの予算が取れないが続いており、全年代において人員不足がある。</li> <li>・人材育成 新人教育、2年目・3年目研修、軌道技術の専門研修あり。社内資格や公的資格の所持は昇進時に考慮される。</li> <li>・軌道は、検査は直営で実施しているが、補修は直営と委託の併用で実施している。土木は、検査と補修の両方に対して、直営および委託の併用で実施している。軌道も土木も特定の会社に委託とはなっていない(契約更新時に委託先も見直す。)</li> <li>・委託の理由は、軌道も土木も人員不足である。</li> </ul>
技術開発の状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術開発の取組や ICT 技術の活用は積極的に行っている。土木では2号線の鋼製橋梁のモニタリングシステムを所持。軌道では検測車(手押し装置の可能性有り)や波状摩耗測定車(手押し装置の可能性有り)を所持。データは SAP によって管理されている。</li> </ul>

最初の開業から30年以上経過し、土木構造物の劣化の顕在化が懸念される。例えば、コンクリートのかぶりの少ない箇所や湿潤環境にある箇所では、鉄筋の腐食によりコンクリートの剥離が生じている可能性も考えられる。

軌道に関しては、主にレール重量が49 kg/m以上のレールを使用しており、直結軌道構造の採用とともに、バラスト軌道でもPCまくらぎ区間が多くを占めているため、保守の省力化に寄与した軌道構造となっている。一方で、M1号線のような経過年数の大きい路線にもバラスト道床が見られ、また木まくらぎも存在することから、軌道変位整正やまくらぎ交換等の定期的な保守作業が必要である。レール交換作業も、現時点では損傷部のみの交換にとどまっているが、今後交換数量が増えてくることが見込まれ、中長期的な保守作業計画の策定がより重要となってくる。

検査に関しては、軌道・土木ともに定期的な検査が実施されている。ただし、土木に関しては、巡回検査に留まっている模様であり、今後はより詳細な検査の必要性が生じる可能性がある。

運営面であるが、収支の関係から最低限の維持管理に必要な予算の確保に留まっており、将来的に補助金が必要な状況との回答であった。また、予算の制限から必要な人員を十分に確保することができず、全年代に渡って人員不足が見られるとのことである。ヒアリング時には予算は確保されているとのことだったので、目指す維持管理のレベルと併せて、必要な予算について更なる確認が必要である。技術開発では、ICT技術の活用を積極的に行っており、SAPを活用した管理が行われており、デジタル技術の活用による効率化が期待される。

#### (4) 維持管理に関するニーズについて

##### 1) 新規計画路線に対して

ニーズ調査として、新規計画路線における関する課題に対しては、メトロイスタンブールからは回答は得られたものの、新規計画路線に対するニーズに関する記述は無かった。なお、トルコ国鉄からは回答が得られなかった。

## 2) 既存路線に対して

ニーズ調査として、既存路線における課題について、アンケートを基に整理したものを表 4-48～表 4-49 に示す。また、コロナ感染症対策に関する記述は無かった。なお、トルコ国鉄からは回答が得られなかった。

表 4-48 既存路線に関する課題（軌道）

既存路線に関する課題(軌道)	
	メトロイスタンブール
開業～5年未満	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レール削正の適正化</li> <li>・夜間の列車間合いの短さ。</li> <li>・社員の不足</li> </ul>
5年～15年未満	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レール削正の適正化</li> <li>・夜間の列車間合いの短さ。</li> <li>・社員の不足</li> </ul>
15年以上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レール削正の適正化</li> <li>・夜間のバラスト交換作業に対する作業時間の不足。</li> </ul>

表 4-49 既存路線に関する課題（土木構造物）

既存路線に関する課題(土木構造物)	
	メトロイスタンブール
開業～5年未満	・鉄筋コンクリート構造における補修作業に対する時間制限(始発までに作業を完了しなければならない。)
5年～15年未満	・鉄筋コンクリート構造における補修作業に対する時間制限(始発までに作業を完了しなければならない。)
15年以上	・鉄筋コンクリート構造における補修作業に対する時間制限(始発までに作業を完了しなければならない。)

## 4.2.2 土木メンテナンスの海外展開可能性

### 4.2.2.1 経年変化(一般論)

#### (1) 土木構造物

##### 1) 鋼橋

鋼橋にとって最も注意すべき破壊モードは疲労とぜい性破壊である。<sup>1)</sup>疲労き裂は、最初に微小な亀裂が生じ、そこが応力集中源となり進展拡大する進行性の変状である。そのため、発生初期では発見が困難であり、ある程度の大きさに進展した段階で発見されることが多い。<sup>2)</sup>亀裂が進展すると、日常的な使用状況において、構造物が突然脆性的な破壊に見舞われることになる。

腐食はその進行が観察しやすいことから、適切なメンテナンスが行われている場合には、腐食を原因としての破壊事故は少ないが、表面からは見えにくい箇所に局部的に腐食が進行して部材の破断に至ることがある。<sup>3)</sup> 煤煙や大気汚染の影響を受けやすい環境であるとか、風通しが悪く、湿気の多い環境等も腐食を引き起こす可能性があるが、腐食は一般的には全部材に対して、一律に進行することはほとんどなく、部位別または局部的に進行する。<sup>4)</sup> また、アルミやステンレスでできたボルトなどを鋼に取り付けるなどした場合、湿潤環境では異種金属腐食と呼ばれる電気化学反応が発生し、予想もしないような急激な腐食が進行する場合がある。<sup>3)</sup>

##### 2) コンクリート構造物

コンクリート構造物は種々の要因（水、二酸化炭素、塩化物イオンなど）により劣化することが知られ、適切な設計、施工、あるいは維持管理がなされていない場合には、劣化により構造物の性能・機能に支障をきたすことになる。コンクリート構造物の劣化機構には、「中性化」、「塩害」、「アルカリシリカ反応」、「化学的浸食」、「凍害」、「疲労」、「すりへり」などがある。我が国において構造物の三大損傷とされる「塩害」、「アルカリシリカ反応」、「疲労」のうち、「塩害」と「アルカリシリカ反応」は現状のコンクリート構造物において、大きな問題となっている。<sup>5)</sup>

###### ①コンクリート橋

鉄筋コンクリート橋（RC 橋）においては、コンクリートの中性化やアルカリシリカ反応（アルカリ骨材反応とも呼ばれる）によりコンクリートが劣化し、鉄筋に錆が発生し、破断に至る場合がある。コンクリートそのものは経年とともに強度が上昇する材料であり、またコンクリートは強アルカリ性であり、コンクリート中の鉄筋も腐食から保護されている。しかし、かぶり薄い場合や、乾燥収縮やコンクリートの劣化などにより微細なひび割れが発生するようなことがあると、急速に鉄筋位置まで中性化が進み、鉄筋の腐食が生じることになる。腐食による錆は体積膨張を伴うため、かぶりコンクリートを破壊して剥落を引き起こし、鉄筋の腐食を進め、耐荷力の低下に至る。<sup>3)</sup>

プレストレスコンクリート橋（PC 橋）ではプレストレスを導入するための高強度の鋼線（ピアノ線、PC 線）のケースであるシース管の中で腐食が発生し、PC 鋼線の断線を引き起こすこともあり、その場合構造物の耐力低下を引き起こすだけでなく、PC 鋼材が外に飛び出る危険性もある。その多くの原因は、シース管の中にきちんと充填されなければならないグラウト（セメントモルタル）が未充填あるいは不十分な充填であったことなど、施工に起因することが多い。また、定着具で遅れ破壊が生じる可能性もある。<sup>3)</sup>

###### ②トンネル

トンネルは施工法により、主に山岳工法、シールド工法、開削工法、沈理工法等に大別される。これらのうち代表的な山岳工法、シールド工法および開削工法の主な変状について述べる。山岳工法のトンネルでは、覆工の大半は無筋コンクリートで、中性化による鉄筋腐食は坑門・坑口付

近の覆工に限られる。在来工法<sup>\*</sup>では、外力に起因する変状や漏水が発生しやすい。また、覆工の巻厚不足、背面空洞が残存している場合がある。

シールド工法では、周辺地盤の沈下（または上部地盤掘削による隆起）が発生した場合は、覆工に変状が発生しやすい。

開削工法では、経年によるコンクリートの中性化等に起因した鉄筋腐食による材質劣化が発生する。また目地部から漏水も発生しやすい。設計時に見込んだ荷重以上の外力が作用した場合は外力起因の変状が顕在化する場合がある。<sup>6)</sup>

※概ね平成元年ごろを境に、以前の在来工法（矢板工法）と、以降の標準工法（吹付コンクリート・ロックボルト支保工）に分類される。

## (2) 軌道

軌道は、列車からの繰り返しの荷重を受けることによりレール面に歪みが生じる。この歪みを軌道変位と呼ぶ。軌道変位は、一般の土木構造物で発生する物理的劣化（体力低下、摩耗・変形など）や化学的劣化（変質・腐食など）と同様の劣化が軌道部材（レール、まくらぎ、締結装置等）で発生するとともに、バラスト軌道では列車荷重等の外力による砕石の圧密や流動によっても発生する。その変位量の進展は場所によっても異なるため、列車をスムーズに案内する機能を低下させ、場合によっては列車の走行安全性を脅かすことになる。バラスト軌道では、砕石の圧密や流動による歪みの進展速度は、数日～数か月でメンテナンスが必要な状態まで進行する場合があり、数年～数十年単位で進行する部材の物理的劣化や化学的劣化に比べると早く、定期的な点検・調査による状態把握と状態に応じて適切な時期に修繕を行うことが重要である。バラストを用いない軌道においても、列車走行による荷重、振動、摩擦により軌道部材に疲労や摩耗、磨滅等の劣化が生じる。風雨、温度変化による伸縮や凍結融解、日照（紫外線）をはじめ、粉塵や植物性堆積物による化学反応、沿岸地域での塩害などにより、腐食や脆化等の経年劣化も進展する。また、レールには、電車の動力となる電気を変電所に戻すための電流が流れるので、湿潤環境下では電気分解の一種である電解腐食が生じることもある。<sup>7)</sup>

まくらぎは、様々な材質のものが使用されており、その材質により劣化状態や寿命が異なる。近年はコンクリートまくらぎが主流であるが、木製のまくらぎや複合材料による合成まくらぎも敷設されている。

木製のまくらぎは、耐朽性の高い樹種の木材を使用し、さらに防腐剤を注入している。交換要因としては、腐朽の他、列車荷重等の外力を受けての割れや欠け、レールの食い込み等が挙げられる。耐用年数は、まくらぎ素材の樹種、製作条件、使用環境、保守の良否などの多くの因子の影響を受けるので、平均的な耐用年数を求めるのは困難である。<sup>8)</sup>

合成まくらぎは、物性については新品の木まくらぎと同程度であり、敷設後もその物性が変化しないとされている。<sup>9)</sup>

一方、現在主流のコンクリート製まくらぎは、列車荷重等の外力によるひび割れが発生しないように設計されており、急激に耐力が失われる劣化は発生しない。主な損傷や劣化としては、寒冷地における凍害損傷、アルカリシリカ反応等、あるいはレール締結用ボルトを受ける部材の損傷が挙げられる。<sup>8)</sup>

道床バラストの劣化としては、圧密、側方への流動、路盤への貫入、細粒化等が挙げられる。道床バラストは、列車荷重等の外力により細粒化や磨滅することを前提に使用しているので、細粒化や磨滅が徐々に進行する。磨滅した砕石微粒子の増加、飛来する土砂や粉塵の混入などにより排水が悪くなると道床は固結して弾性が低下する。また、路盤土にバラストのめり込みが生じた場合、まくらぎ自体はレールの合成により浮いた状態（浮きまくらぎ）となる。この浮いたまくらぎは、列車通過時は沈み込み、通過後はまくらぎ下面が泥土を吸い上げることになる。この吸い上げられた泥土はまくらぎ周囲に押し出され、列車荷重がかかったときに泥土が広がり、やがて道床の機能が低下していく。この現象を「ふん泥」という。

以上のように、軌道には様々な劣化現象があり、またその劣化は走行安全性に直接影響するため、それぞれの劣化状態を確実に把握し、補修計画に反映させ、確実に補修または交換を行っていくことが重要である。

今回調査を行った、いずれの都市においても軌道構造は、バラストを用いない直結軌道も多く存在する。しかし、メンテナンスフリーを目指したコンクリート道床でも 30 年程度経過するとコンクリートの打ち替え（更新）が必要となる場合がある。<sup>10),11)</sup>

- 1) 三木千壽、橋の臨床成人病学入門、P49、2017 年
- 2) 西田寿生、わかりやすい土木講座 鋼鉄道橋の維持管理 (6)、日本鉄道施設協会誌 2002 年 6 月
- 3) 三木千壽、橋の臨床成人病学入門、P50、2017 年
- 4) 吉村剛、わかりやすい土木講座 鋼鉄道橋の維持管理 (5)、日本鉄道施設協会誌 2002 年 5 月
- 5) コンクリート構造の設計・施工・維持管理の基本、P337、土木学会、2014
- 6) 社会インフラメンテナンス学、P299、土木学会、2019 年
- 7) 社会インフラメンテナンス学、P175-176、土木学会、2019 年
- 8) 社会インフラメンテナンス学、P177、土木学会、2019 年
- 9) 軌道構造と材料、P175、交通新聞社、2001 年
- 10) Mutou Y.、Yanagisawa Y.、「Track Structure and Maintenance in Urban Tunnels (都市トンネルにおける軌道の構造と維持管理)」World Tunnel Congress 2012
- 11) 菊池敏幸「東京メトロの省力化軌道の取り組み」日本鉄道施設協会誌 2008 年 11 月

#### 4.2.2.2 維持管理技術の展開

土木構造物のメンテナンスを行う技術者には、膨大な土木構造物群から詳細な調査や対策が必要な構造物を抽出する能力、詳細な調査により性能低下の程度やその原因及び進行性を推定する能力、予算や施工条件等の制約を踏まえながら対策方法を決定し実行する能力などが必要とされる。不確実性も含む多くの情報から、より適切な対応を行っていくにあたり、日本国内での経験に基づいた実績のある取り組みが貢献できると考えられ、実績のある取り組みを通じて、維持管理技術の展開を図っていくことが考えられる。

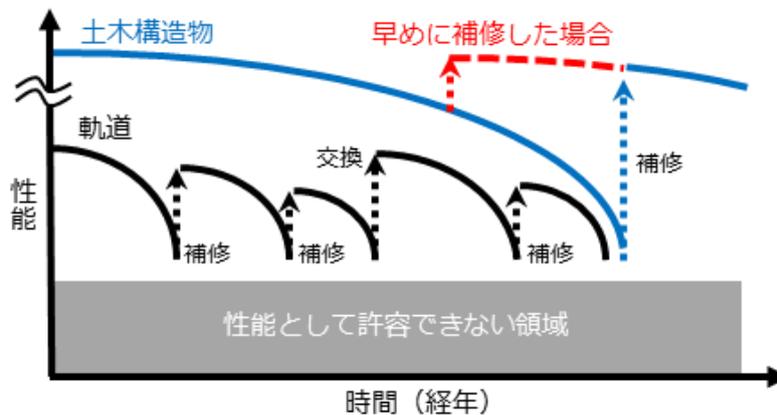
日本の鉄道インフラでは、技術基準により統一的な検査体系が定められ、さらに各鉄道事業者において検査・判定・修繕計画・修繕の一連のメンテナンスサイクルが確立されている。インフラメンテナンスは、その施設の材料、施工方法、検査・補修履歴など様々な情報に基づく診断が重要であり、日本の鉄道事業者の多くにおいてもこれらの情報をデータベースとして管理しながらメンテナンスを実施している。<sup>1)</sup>展開に当たっては、点検・診断技術および取得したデータの活用方法のノウハウの移転とともに、OJT による経験を積み重ねて獲得した技術をより確固たるものとするのが望ましい。<sup>2)</sup>

表 4-50 (参考) 日本における維持管理に関する法令、標準および規程類の構成

主体者	種別	名称
国	省令	鉄道に関する技術上の基準を定める省令
	告示	施設及び車両の定期検査に関する告示
鉄道事業者	規程	実施基準(各社で作成)
(鉄道総研)	標準	鉄道構造物等維持管理標準
鉄道事業者	マニュアル	(検査方法や保守作業方法等を各社の状況に応じて策定)

トンネルや高架橋といった土木構造物では、休止を含む列車運行計画の変更やコストの観点から、経年による作り替えは困難である。また、都心部では既に多くの構造物があり、施工空間の確保が難しい場合もある。したがって、これらの土木構造物の性能を維持しつつ低コストで延命化するためには、コンクリートや鋼材などの劣化特性の把握や、適切な健全度評価、確実な補修・補強の実施が必要である。

軌道は、列車運行の安全性に直結しているものであり、土木構造物に比べて損傷の進行が早い  
ため定期的な補修が必要である。したがって、コストを抑制しつつ軌道の性能を維持していくた  
めには、定期的な検査の実施による劣化進行状況の把握、劣化進展抑制、省力化を図った構造の  
適用等が必要である。



(出典)第 26 回鉄道総研講演会(一部改編)<sup>3)</sup>

図 4-44 性能の経年変化 (イメージ)

土木構造物、軌道のいずれにしても、まずは補修によって性能を回復することが必要である。  
当然のことであるが、補修が確実に Rowe なければ、性能の回復を図ることはできないばかりか、  
補修箇所が増える一方となる。例えば、コンクリート表面における鉄筋露出箇所に対して、補修  
として適切な施工がなされなかった場合、補修後まもなくして補修材が剥落し、鉄筋が露出する  
ことになる。しかし、国内における実績のある補修方法を適用することによって、確実な補修と  
機能回復を図ることが期待できる。

## (1) 鋼構造物

現在の維持管理の方法は、日常の点検によって発見した損傷に対して、健全度を評価し、その  
評価の程度に応じて補修・補強を行うシステムである。これを予防保全と言っているが、このよ  
うなシステムになったのは、昭和 40 年代後半になってからである。それ以前は、何か損傷の発生  
を発見してから対処する事後保全といわれるシステムであった。予防保全の導入により損傷の発  
生を早い時期に把握・対処できるようになり、事故等は大幅に減少した。<sup>4)</sup>

鋼構造物においては、一般に鋼材の材料劣化を考える必要はないので、性能を低下させる要因  
としては損傷のみを考えればよく、その損傷を大きく分類すると、腐食、疲労き裂、高力ボルト・  
リボットの緩み、支障部の損傷、地震や衝突時の異常な外力に起因する損傷などになる。<sup>4)</sup>

鋼鉄道橋の代表的な損傷は腐食と疲労である。腐食に対しては、防食性能を適切に維持してい  
くことが、鋼構造物の延命化に最も重要である。対策としては、腐食要因の除去、塗替え等によ  
る喪失した防錆・防食機能の補修、断面欠損に対する断面補強等が挙げられる。-

疲労損傷に関して、疲労き裂が確認された場合に、その進展性を予測することが一般に困難な  
場合が多いとされており、き裂が急速に進展することも念頭に速やかな対応を検討する必要があ  
る。<sup>5)</sup> 疲労損傷の対策としては、疲労損傷の根本を除去・軽減する方法と、損傷ディテールの疲  
労強度を高める方法に分けられる。<sup>6)</sup> 具体的には「鋼構造物補修・補強・改造の手引き」を参照  
されたい。

## (2) コンクリート構造物

建設後間もない路線では変状はほとんど見られないが、完成当初の初期欠陥がある場合は、その把握が重要である。

一般的に鋼構造物の耐久性は、疲労に係わる設計によるところもあるが、鋼材の腐食の進行を防止する塗装（周期や品質）などの維持管理によって定まるのに対し、コンクリート構造物の耐久性は、建設後にコンクリートの品質を改善することは非常に困難であることから、建設時の施工管理の良し悪しの影響は大きい。施工不良に起因する初期欠陥（コールドジョイント、ひび割れ、豆板、巻厚不足など）のない健全なコンクリート構造物を建設することが維持管理に対する労力の軽減につながる。日本国内でも初期欠陥が原因と考えられる事例が報告されており、予期欠陥箇所のモニタリングは重要である。

コンクリートの劣化機構としては、中性化や塩害等が挙げられるが、これらのことについて、各種検討が進められており、山陽新幹線の例では次のような報告がされている。

「鉄筋腐食に関しては中性化が主要因であること、中性化残りとの鉄筋腐食度との相関ほど顕著ではないものの塩化物イオン量の値が大きいほど鉄筋腐食が進行する傾向が認められることが確認できた。」<sup>7)</sup>

このような調査結果は、海外における診断に当たっても参考になるものであり、これまでの知見を活かすことができると考えられる。

診断の際は、第三者影響度の考慮も重要である。今回調査を実施した鉄道は、都市部の高架上を走行することの多いことから、道路交差部や高架下利用箇所などでの剥落リスクが想定される。よって、構造物に対する第三者影響度を他の要求性能と区別して判定する仕組みの導入が必要であると考えられる。

劣化が進行する前に酸素や水分の侵入を防ぐことを目的に、予めコンクリートの表面や鉄筋の表面を被覆したりすることなどの対策を講じることもある。このような行為は、変状が現れる前に対策を講じることから「予防保全」と位置づけられる。

劣化が進行すると、ひび割れやはく離等の変状となって現れる。ひび割れや剥離が進行すると、さらにそこから酸素や水分などが侵入しやすくなるため、これ以上の進行を抑制し、耐久性や耐荷性を回復することを目的に変状を補修する。このような行為は、劣化が進行して変状が現れた後に対策を講じることから「事後保全」と位置付けられる。事後保全に当たっては、適切な補修工法を選定し、確実に施工を行うことが重要である。（具体的な補修工法は「コンクリート標準示方書 維持管理編（土木学会）」等を参照されたい。）

補修済みの箇所も含めて補修するのでは、補修箇所が増える一方となってしまうため、実績のある補修工法と補修材料の使用が重要である。また、基本的な施工上の留意点をマニュアル化することも重要であり、日本国内の知見が展開できる部分であると考えられる。

マニュアル作成やその運用といった教育とともに、技術認定資格に関しても国内の経験が展開できる部分である。例えば、JR西日本では、「コンクリート補修施工管理技士」制度を設けている。これは補修工事に従事する一定の資質を有する施工会社の技術者を対象に行っているものであり、試験に合格した者にコンクリート補修施工管理技士の資格認定を行い、施工現場に常駐させることとしている。このような資格制度は、補修工事に従事する技術者の技術レベルの向上とともに、現場技術者の地位向上にも資するものである。<sup>8)</sup>

コンクリート構造物が本来どのような生涯を送るべきか。どのような形で作られ、管理されるべきかを検討することも大切である。シナリオデザインの説明として文献9)に次のように記されている。

「構造物はただつくればよいものではなく、震災という非常時にも耐えられるよう、平時の維

持管理を忘れてはなりません。地震や津波が発生すると、それに心を奪われ、平時の行為・行動への見直しが疎かになりがちですが、非常事態への対応は、平時の維持管理でまかなわなければなりません。当初から維持管理そのものを設計し、正しく工事し、適切な維持管理を実施する。これが極めて重要です。つまり「時空間シナリオ」が必要なのです。従来は、「地震が起きたらどう壊れるか」が盛んに検討されていました。これは空間だけで考え、時間軸を考慮していないこととなります。つくられた当初の、初期の力学を偏重していたわけで、これから先、それではだめだと私は思います。当初の性能がどう変わっていくか。それを含めて、地震や津波、台風や洪水に対応しなくてはなりません。」<sup>9)</sup>

このようなシナリオをデザインする場合、コンクリート構造物の補修、補強に関する知識も経時的な構造性能の評価に必要になってくる。よって、実績のある工法や施工法の展開は、より良いシナリオ策定にもつながるものである。

### (3) 軌道

軌道の構造はシンプルであるが、軌道ならではの特殊性がある。そのことについて文献 10) につぎのように記されている。

「軌道の補修作業は、一見すると単純で簡単な作業のようであるが、特殊な工具器具を使用する作業が多く、高度な技能を身に着けた作業員がいなければ満足する品質が確保できない。国土交通省の公共工事設計労務単価においても、「軌道工」と定義され「普通作業員」の2倍前後の単価となっている。加えて、作業時間が数時間しか確保できない場合が多いので、作業員全員が意識を集中しチームプレーで施工することが大切である。よって、日々の作業量を平準化し、ある程度決まった人数、同じ顔ぶれで作業が行えるような施工体制をとっている。」<sup>10)</sup>

一方で、今後の思考の多様化による労働価値観の変化や、多職種との競合により、これまで以上に優秀な技術者や技能に秀でた軌道工を安定して確保するのは困難になる可能性がある。また、路線拡大に伴い作業量も増大し、より効率的な保守が求められることが考えられる。

よって、マルチプルタイタンパ、レール溶接の機械化（フラッシュバット溶接の導入）といった機械化とともに、レール削正やレール塗油によるレール交換周期の延伸といった作業量自体を減らす取り組みも重要である。

軌道構造面からの省メンテナンスの取組も有効である。有道床軌道の沈下則ではまくらぎ下面圧力と道床振動加速度が沈下量の主要な決定要因であり、荷重分散と振動減衰を実現するための高剛性化や低ばね化等が具体策となる。有道床弾性まくらぎ、縦まくらぎ、高剛性軌道などの既設線省力化軌道の採用も有効である。<sup>11)</sup> よって、経年による軌道更新の際は、日本国内おける省力化軌道は十分な実績があるため、この技術の展開も可能と考えられる。

代表的な省力化軌道（保守の少ない軌道または保守のしやすい軌道）としてスラブ軌道がある。スラブ軌道は長さ約5mのプレキャストコンクリート製の軌道スラブをてん充層で支持するものであり、てん充層には一般的にCAモルタル（セメントアスファルトモルタル）が用いられる。

スラブ軌道は新設線での施工を前提とした構造であり、終電から始発までの短い時間ではバラスト軌道をスラブ軌道に置き換えることはできない。そのため、既設のバラスト軌道を省力化軌道とするため、舗装軌道やてん充道床軌道が開発されてきた。<sup>12)</sup>

舗装軌道は従来と比較して幅の広いPCまくらぎを使用して、道床に作用する圧力と道床振動加速度を低減させるとともに、道床には小粒径の砕石を用いてその空隙にアスファルト系のでん充材を注入して固化し、雨水が進入しないように道床肩バラスト表面およびPCまくらぎ間の道床面を舗装している。

舗装軌道の開発と並行し、てん充道床軌道の開発も進められた。てん充道床軌道は、限られた列車間合いでの列車の徐行なしで施工できることを目的として開発され、また工事費の低廉化に

も重点を置き、既存のまくらぎを交換せず、既存のバラストにCAモルタル等のてん充材を注入して硬化させる構造である。

その後、まくらぎを大型化し、アスファルト系の材料と比較して比較的成本の低いセメント系てん充材をバラストに充填したTC型省力化軌道が開発され、(東京の)首都圏を中心に広く敷設が進められている。<sup>12)</sup> TC型省力化軌道のメンテナンスコストはバラスト軌道の1/3以下と報告されている。<sup>13)</sup>

最近では鉄道総研において、通トン数の少ない区間を対象とした低コストのてん充道床軌道として、細粒化が進んだ既設バラストに浸透性の高い超微粒子セメントミルク(以下、SFCミルク)を注入するてん充道床軌道を開発している。従来のてん充道床軌道や舗装軌道の施工においては、碎石内にセメント系またはアスファルト系の材料を注入するのが一般的であったが、地盤や岩盤の改良工事に用いられる浸透性に優れたSFCミルクを適用し、かつ既存のバラストやまくらぎを再利用するので、低コストで既設バラスト軌道を省力化軌道へ改良することができる。<sup>12)、14)</sup>

今回の調査地域では、高架橋区間が多く存在する。高架橋上に敷設されたスラブ軌道は振動・騒音が比較的大きくなるという課題がある。日本国内の例であるが、東北新幹線および上越新幹線では、スラブの下面にスラブマットを設けた防振型のスラブ軌道が一部の区間に敷設されているが、スラブ軌道ではスラブが面的に支持されるため、支持ばね係数を大きく下げるのが難しいという課題があった。そこで、まくらぎ下面に弾性材を設ける弾性まくらぎ直結軌道が開発された。<sup>12)</sup>

弾性まくらぎ直結軌道は、コンクリート道床の肩部で列車の横荷重に抵抗する構造であるため、鉄筋を密に設置する必要があり、施工の際には鉄筋の配置に時間を要するという課題があった。そこで、鉄道総研は、施工コストの削減および施工期間の短縮が可能な防振性能を有する軌道として、鉄道総研ではS型弾性まくらぎ直結軌道を開発した。この軌道は、まくらぎ側面に設けた突起(せん断キーと呼ばれる)で列車横荷重に抵抗させることでコンクリート道床を大幅に軽減させることができ、短繊維補強コンクリートを用いるとともに構造を最適化することで、構造物とのずれ止め筋を除く鉄筋が不要となり、配筋作業を省力化できるといった特徴がある。<sup>12)、15)</sup>

一方で、メンテナンスフリーを目指したコンクリート製の道床(以下、コンクリート道床)でも30年程度経過するとコンクリートの打ち替え(更新)が必要となる場合がある。その場合、従来は更新に多くの労力が必要であった。従来は、古い道床を撤去する際、仮設状態が生じることや、コンクリートの運搬の問題等があった。これらの問題点を解消するために、道床コンクリートを撤去した後に、直ちに仮設のバラスト道床に置き換え、最終的にコンクリート道床にする施工法が考案された。この施工法は、主に土木工事で採用されていたプレパックドコンクリートの施工法を参考にしたものである。仮設のバラスト道床に、流動性の高い超速硬性無収縮グラウトモルタルを流し込み、コンクリート道床化する。この方法により、軌道を支持するジャッキの点検が不要なため安全管理が容易になり、かつ列車の徐行も必要なくなる。また、モルタルを流し込んだ後のコンクリートは、コンクリート養生が不要であり、工期の短縮が図れるだけでなく、列車間合いの短い都心部における施工に有利である。<sup>16)</sup>

軌道は定期的なメンテナンスを前提にした構造物であり、決められた周期に基づいて検査を行い、その結果に基づき保守作業が計画されてきたが、近年は営業列車に取り付けた機器により、日々の軌道の状態をモニタリングするシステムも導入されつつあり、これにより作業実施時期の最適化を図ることが期待されている。所謂CBMによる維持管理手法の例である。メンテナンス対象の特性により異なるが、状態監視保全の導入は今後のメンテナンスの主流になると考えられる。

一方で、新たな技術が導入されたとしても、保線に携わる者のスキルの維持向上は継続して行っていく必要がある。国内では、スキルの維持とステイタスの向上のため、資格や検定が存在する。このような技能検定の取り組みの展開も有効であると考えられる。それ例を以下に示す。

#### ・鉄道設計技士

鉄道設計技士試験は、鉄道設計業務を総合的に管理できる技術能力を客観的に証明することにより、鉄道技術全体の向上を図ることを目的としたものである。法令に定める一定の条件を満たした試験実施機関が行う試験として国土交通大臣の登録を受けており、わが国で唯一の鉄道技術に関する登録試験である。

#### ・鉄道技術検定（保線）

日本鉄道施設協会が実施しており、線路の規格や構造、軌道材料、軌道管理、軌道工事等に関する知識を問うものとなっている。

- 1) 鉄道インフラの健康診断と将来のメンテナンスに向けた提言、P26、土木学会 インフラメンテナンス（鉄道）特別委員会、2020年6月
- 2) 横田弘、インフラマネジメント技術の国際展開、土木学会誌 Vol.1105 No.6 June 2020
- 3) 高井秀之、経年劣化の評価と克服に向けたメンテナンス技術、第26回鉄道総研講演会 2013年11月
- 4) 市川篤司、鋼構造物の耐久性能と維持管理、JSCE Vol. 86, Dec. 2001
- 5) 社会インフラメンテナンス学、P229、土木学会、2019年
- 6) 西田寿生、わかりやすい土木講座 鋼鉄道橋の維持管理（6）、日本鉄道施設協会誌 2002年6月
- 7) 松田好史、山陽新幹線コンクリート構造物維持管理の20年を振り返って、道路構造物ジャーナル NET (<https://www.kozobutsu-hozen-journal.net/>)、③山陽新幹線コンクリート構造物の劣化要因と補修工法選定フロー
- 8) 松田好史、山陽新幹線コンクリート構造物維持管理の20年を振り返って、道路構造物ジャーナル NET (<https://www.kozobutsu-hozen-journal.net/>)、④山陽新幹線コンクリート構造物の実証的な補修の取組～補修箇所の再劣化を防ぐ～
- 9) 宮川豊章、シナリオデザインのすすめ、JICE REPORT vol. 22/2012. 12
- 10) 社会インフラメンテナンス学、P186、土木学会、2019年
- 11) 内田雅夫、省力化軌道の系譜とその要件、日本鉄道施設協会誌 2021年11月
- 12) 桃谷尚嗣、メンテレス軌道の歴史、日本鉄道施設協会誌 2021年11月
- 13) 奥村悠樹、堀雄一郎、TC型省力化軌道の変遷と近年の開発、日本鉄道施設協会誌、2014年1月
- 14) 洲上翔太、高橋貴蔵、中村貴久、桃谷尚嗣、既存のバラストを固めた軌道で保守を省力化する、RRR Vol. 74 No. 9 2017. 9
- 15) 鉄道総合技術研究所ホームページ、<https://www.rtri.or.jp/rd/division/rd45/rd4520/rd45200119.html>
- 16) 菊池敏幸、東京メトロの省力化軌道の取り組み、日本鉄道施設協会誌 2008年11月

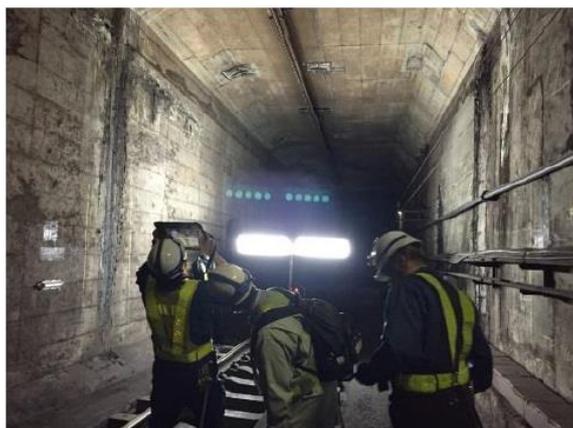
#### 4.2.2.3 先進的な取組

インフラマネジメントには基本的な知識と経験が重要であるが、その業務を支援する技術の開発も進められており、それらの活用により効率的でより高度なインフラマネジメントへと発展させることが期待できる。

#### (1) デジタル技術の活用

##### 1) iPad(タブレット端末)を活用した検査業務

従来の紙による検査結果の記録から、タブレット端末を使用した検査結果の記録および管理が進められている。東京メトロでは、トンネル検査へのiPad(タブレット端末)の導入及び検査専用アプリケーションの導入を行っており、検査の効率化や紙の削減等に寄与している。検査は終電後から始発前までのわずかな時間で行っており、効率的な作業を行うことが重要となる。このアプリケーションでは、ひび割れや漏水の発生位置、状態等についてiPadの特徴を生かし、画面をタップすることで簡単に入力できるようになっているほか、検査結果をiPadからデータベースに直接転送することが可能であり、データベースへの入力・整理に要する時間の大幅な削減に寄与している。海外鉄道事業者に導入する場合の留意点として、より高度なインフラマネジメントに当たっては、各事業者のメンテナンスサイクルに対する本技術の運用方法を精査した上で、本技術の運用を含むメンテナンス業務全体を継続して回していくことの重要性が挙げられる。



出典：東京メトロニュースリリース（2017年7月3日）<sup>1)</sup>

図 4-45 iPad によるトンネル検査

## 2) 教育へのデジタル技術(AR)の適用

インフラメンテナンスにおいて、技術者の育成は重要である。東京メトロは、教育用に AR 技術を活用したアプリケーションを使用している。このアプリケーションは、2015 年度から運用している土木構造物の検査業務用 iPad 専用アプリケーションを拡張開発したもので、総合研修訓練センター内の模擬トンネル、模擬橋りょう・高架橋において、iPad アプリケーションの画面上に実際のトンネルや橋りょう・高架橋に存在する変状を再現することができる。これにより、検査業務用 iPad 専用アプリケーションを用いた実際の検査業務と同じ手法・手順で、維持管理技能の模擬体験が可能となり、研修生の理解度向上や安全かつ時間的制約を受けない研修の実施に繋がっている。



出典：東京メトロニュースリリース（2017年7月3日）<sup>1)</sup>

図 4-46 AR 技術の教育への活用

## (2) 新たな機器の導入

### 1) 非 GPS 環境下でのドローンによるトンネル検査

東京メトロでは、トンネルの通常全般検査の一部にドローンの運用を開始している。これにより、トンネル内の高い場所を従来の軌道上からの徒歩による目視に比べて精度良く確認できるほか、ドローンによる検査データを蓄積することにより質の高いトンネルの検査が可能となる。なお、トンネル内は非 GPS 環境下であることから、現場に適したドローンを製作するとともに、操縦者の育成を行い、東京メトロ社員の操縦で運用することとした。



出典：JICA 調査団

図 4-47 ドローンによるトンネル検査

## 2) 営業列車による線路のモニタリング

近年は、検査のための専用車両を用いるのではなく、営業列車に検査機器を搭載して検査対象物をモニタリングする手法が導入されている。JR 東日本の線路設備モニタリング装置は、レールにレーザーを照射して軌道変位を測定する「軌道変位モニタリング装置」と、レール締結装置等の軌道の材料状態を画像として収録する「軌道材料モニタリング装置」で構成され、営業列車の車体床下に搭載して、高頻度にデータを得ることができ、リアルタイムに軌道状態を把握することが可能である。

営業列車に検査機器を搭載する手法では、専用の検査車両を必要としないので導入コストを少なくすることや、列車ダイヤの調整や乗務員あるいは測定員の手配が不要になる。<sup>2)</sup>

1) 東京メトロニュースリリース（2017年7月3日）

2) 社会インフラ メンテナンス学、P179、土木学会、2019年

### 4.2.2.4 事業スキーム

#### (1) インフラの維持管理区分

トンネルや高架橋等の土木構造物は、長期的視点でメンテナンスするものであり、検査頻度や技術上のノウハウも含め、レール等の日常的なメンテナンスとは性格が異なる。そのため、鉄道事業者においても組織が分かれていることが一般的である。従って、上下分離において、土木構造物のメンテナンスは所有者が自ら行うことが考えられるものの、レール等のメンテナンスについては、安全確保のインセンティブを働かせる観点からも、運行主体がその実務を行うことが合理的と考えられる。<sup>1)</sup>

インセンティブの観点以外にも、運行主体が一元的に実務を行うことは有効と考えられる。日本の鉄道事業者の多くは、インハウスエンジニアを抱え、メンテナンスと建設の技術情報を組織内に蓄積し、専門のセクションに集約して相互の情報を適時適切に業務に反映させ、構造的な弱点克服に継続的に取り組んできた。<sup>2)</sup>

土木構造物のメンテナンスも、線路内において行われることも少なくない。例えば、トンネルの場合、基本的にトンネル内での検査および補修作業となる。よって、軌道や電気作業との競合や、場合によっては列車運行部門との連携も必要になる。さらに、トンネルにおけるコンクリート片の剥落や漏水は、列車の安定運行に支障することもあり、逆に言えば列車の安定運行のため

にも、基本的なメンテナンスサイクルは軌道の維持管理と一体で管理することも考えられる。

## (2) 事業スキーム事例

### 1) バンコク・パープルラインのメンテナンス

パープルラインの発注主体はタイ運輸省の傘下のタイ高速度交通公社 (MRTA) である。鉄道システムの調達と開業後の運営およびメンテナンスは MRTA との事業免許契約によりバンコク高速度道路・メトロ社 (BEM) が受注した。JR 東日本は、丸紅および東芝とともに現地法人 (JTT) を設立し、パープルラインの軌道を含む鉄道システム全体の 10 年間のメンテナンス業務を MTJV (丸紅、東芝の 2 社が設立した合弁会社) を通じて BEM から受託した。<sup>3)</sup>

なお、パープルラインは、運賃を MRTA が収受し、BEM や JTT には一定額の業務委託費用が支払われるグロスコスト方式が採用されており、乗客数が計画を下回る等のリスクは、MRTA・政府側が追っている。<sup>4)</sup>

### 2) 米国における橋梁点検

NEXCO 西日本のグループ企業である NEXCO-West USA, Inc. は、2011 年 1 月より北米等のインフラに対して、赤外線サーモグラフィを用いた検査技術を適用した事業を展開している。2018 年 5 月現在で、東海岸を中心に 11 州で 20 件以上の受注実績を挙げている。<sup>5)</sup>

受注に必要な実績を作るため、実橋において試行的に実施するプロジェクトである実橋パイロットも行ってきた。パイロットは無償の場合も多いが、米国において実績のない新技術の営業には不可欠である。また、橋梁点検業務を既に受注しているエンジニアリング会社に対して技術を提案し、そこから下請け受注することで実績を伸ばしていった。<sup>6)、7)</sup>

赤外線カメラのメーカーとパートナーシップを結び、メーカーへの顧客からの問い合わせに対して、NEXCO-West USA, Inc. が過去の経験とノウハウを活かして対応することで、技術の普及促進を図るという仕組みを構築した。メーカーとのパートナーシップにより、彼らのブランド力と営業販売網を味方に付けることに成功し、技術の普及を加速させることができた。<sup>5)</sup>

- 1) 金山洋一、欧州の上下分離政策の評価と日本版上下分離への知見、金山洋一、運輸と経済 第 63 巻第 3 号
- 2) 鉄道インフラの健康診断と将来のメンテナンスに向けた提言、P26、土木学会 インフラメンテナンス (鉄道) 特別委員会
- 3) 松田博之、バンコク都市鉄道パープルラインプロジェクト概要と開業前後の取り組み、JREA 2018 年 Vol. 61 No. 2
- 4) 島田信明、営業を開始したバンコク・パープルライン、JREA 2017 年 Vol. 60 No. 1
- 5) 松本正人、米国におけるインフラ点検技術の展開、土木学会誌 Vol. 103 No. 11 November 2018
- 6) 松本正人、インフラ点検技術で米国市場進出、土木学会誌 Vol. 199 no. 8 August 2014
- 7) 松本正人、インフラ輸出と世界に通用する技術者の育成、技術士、2018. 11

#### 4.2.2.5 維持管理の計画およびコスト

点検、診断、記録、措置のサイクルを構築することが基本である。

点検では、変状の種類、打音による状態の把握、記録の方法を指導し、講習会とともに、実地の指導を繰り返し行うことで、技術の定着を図る。診断は評価基準に従って行い、その結果をシステムに入力する。この診断結果に基づいて補修計画を策定する。また、同時に予算計画の策定も必要である。これらの一連の流れは、点検の周期に合わせて更新されるものである。

維持管理のサイクルを定着させるとともに、維持管理の PDCA サイクルを回す中で出てきた課題

への対応も必要である。その場合でも、基本的には日本国内で開発された技術の適用が検討されるが、その場合各国の自然・気象条件に応じた変更が必要となる。

コンクリート構造物の断面補修やレール交換といった補修工事の実施時期は、使用状態や周囲の環境に依存するため、定期的な検査を通じて補修工事の実施計画を検討する必要がある。特に、レールは日々摩耗し、繰り返しの荷重を受けるため、腐食環境といった不利な状況も伴えば交換周期は数年となる可能性がある。一方で、レール摩耗が少なく、レールの損傷も見られない場合は、交換周期が20年以上になることもあり得る。

鋼製橋梁も定期的な検査を通じて補修工事の実施計画を検討する必要がある。鋼製橋梁の場合、塗装を施している橋梁は、設置環境に応じて定期的な塗替えが必要となる。ちなみに、東京メトロの場合、海岸部（河川部）付近にかかる鋼製橋梁は10年の周期で塗装を塗替え、都心部の道路にかかる鋼製架道橋は12年の周期で塗装を塗り替えている。<sup>1)</sup>

パイロット工事は、コンクリート構造物であれば、断面補修や漏水補修といった比較的小規模で、今後も継続して発生する可能性のあるものを選定することが考えられる。軌道であれば、定尺（日本の場合25m）レールやまくらぎの交換、締結装置の交換など、日常的な補修作業が考えられる。

一方で、維持管理の基盤となる、組織・制度、診断結果および補修記録の管理体制が整備されていない場合は、この整備が必要となる。整備の際に考慮すべきこととして、管理方法の確立、職員への使い方の周知、システムの整備が挙げられる。<sup>2)</sup>

コストとしては、点検用機材、工事用機材、材料、運搬車両等にかかる費用とともに、労務費等が挙げられる。レール、まくらぎといった固定資産は、施設所有者からの提供となるのか維持管理業務の受注時に確認が必要である。また、検査結果や工事履歴等を管理するシステムを施工者が用意する際は、この整備更新費用も考慮する必要がある。いずれにしても検査や補修工事にかかるコストは、検査や工事の数量と方法により変わってくるため、定量的に示すことは難しい。参考として、日本の関東大手民鉄の線路保存費を示す（表4-51）。

表 4-51 関東大手民鉄の線路保存費\*

事業者名	営業キロ	線路保存費(千円)	線路保存費(千円)/営業キロ
東武鉄道	463.3	7,803,442	16,843
西武鉄道	176.6	5,458,671	30,910
京成電鉄	152.3	3,809,583	25,014
京王電鉄	84.7	5,802,111	68,502
小田急電鉄	120.5	6,531,024	54,199
東京急行電鉄(鉄道)	99.9	7,588,476	75,961
京浜急行電鉄	87	5,289,285	60,796
相模鉄道	35.9	2,313,725	64,449
東京地下鉄	195.1	30,935,742	158,564

出典：平成30年度鉄道統計年報<sup>3)</sup>

※線路保存費：軌道や土木構造物等の維持補修に要する作業費

1) 小松久男、若手技術者のための土木講座⑬ 応用編⑤ 東京メトロにおける鋼製橋りょうの維持管理事例、日本鉄道施設協会誌 2020年1月号

2) インフラ維持管理における新技術導入の手引き(案)、2021年3月、国土交通省総合政策局

3) 鉄道統計年報[平成30年度]、3. 財務 (5) -2 鉄・軌道業営業損益、国土交通省ホームページ  
[https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo\\_tk2\\_000051.html](https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk2_000051.html)

#### 4.2.2.6 維持管理業務への参画

##### (1)参画に向けたステップ

維持管理業務の海外展開に当たっては、まずは現状の把握（スクリーニング）が必要である。スクリーニングは、軌道変位の検測および巡回による変状部材の抽出、土木構造物に対する目視検査または可能な範囲での打音検査等々、安価で誰でも使用できる技術を用いて実施する。スクリーニングにより、重大な損傷が発見された場合には、専門家とともにより詳細な調査を実施し、必要な措置を取る。

スクリーニングを含む検査に当たっては、基本的には対象国の基準類に従うことになるが、馴染みのある日本の基準が反映された国際的な基準の適用を提案することも考えられる。<sup>\*</sup> いずれにしても、対象国の基準類の体系や各基準類の内容とともに、当該構造物の維持管理に関するマニュアルの理解は必要である。一方で、不足するマニュアル類については、本邦で適用可能なものをカスタマイズして提案することで、本邦技術の展開を図っていくことも考えられる。

スクリーニングの結果を受けて、補修対象（レール変位、レール損傷、漏水、剥落防止等）を選定する。その後、補修・補強に向けて、現地での既存の検査結果と併せて、改めて詳細な検査を実施し、補修・補強工法を選定する。選定した工法を用いた工事を、まずはパイロット工事として実施する。

補修や補強、場合によってはモニタリングといった措置には、本邦の実績のある技術や先進的な技術を活用する。その効果を検証した上で、対象国の点検・診断マニュアルや、補修・補強ガイドラインなどにその技術の活用を例示・推奨することで、引き続き適した技術の活用が期待できる。<sup>1)</sup>

パイロット工事の実施後は、検査方法を含めて本邦技術の適用性を改めて検証し、必要に応じて試行的な取組を提案しつつ、同時に現地での検査・工事委託先との提携の検討を行っていく。

これら一連の流れを図 4-48 に示す。

※ 例えば、ISO/TC71（コンクリート、鉄筋コンクリート及びプレストレスコンクリート）が2014年に制定したISO16311 Maintenance and repair of concrete structure が文献2)に紹介されている。この国際標準は土木学会コンクリート標準示方書〔維持管理編〕をベースにしたものであるが、アジア特有の問題点などを共に議論して知識と技術を共有し国際規格へと発展したものであるとして紹介されている。<sup>2)</sup>

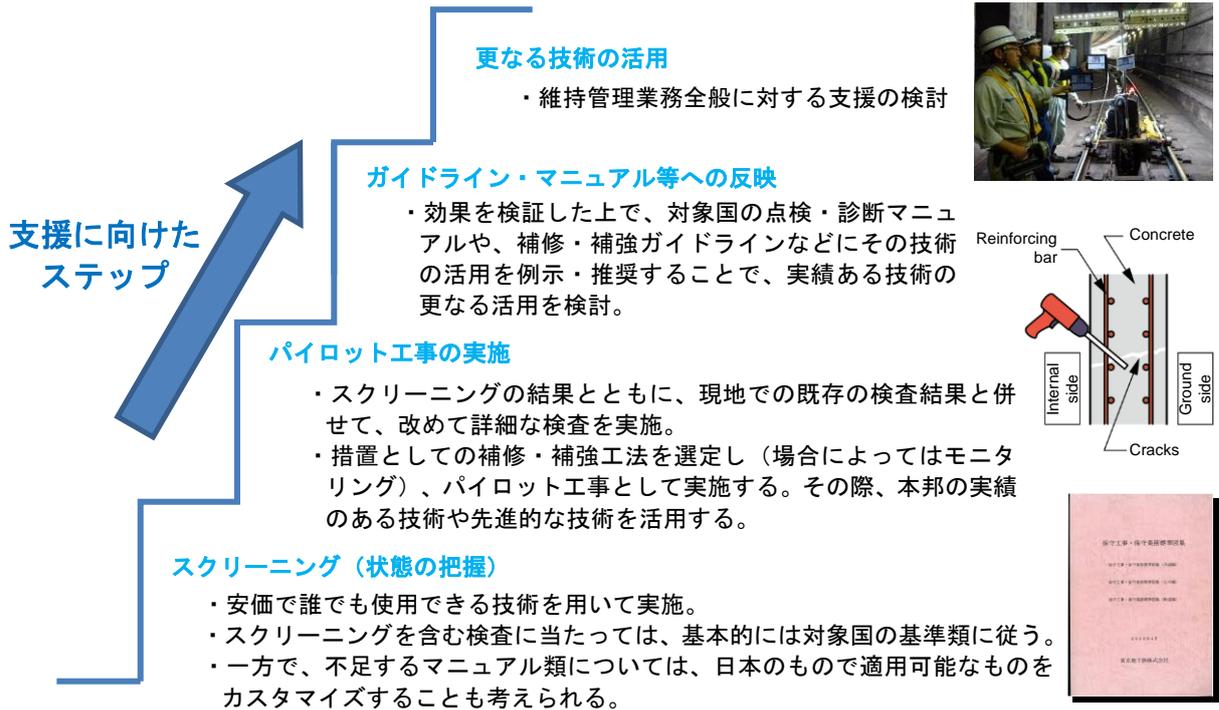


図 4-48 維持管理業務参画に向けたステップ

(2) JICA スキームに則った具体的な取組(イスタンブール)

前述のステップを踏まえ、JICAにおける技術支援スキームに沿った具体的な取組の検討を行った。ここでの検討はイスタンブールを対象とした。イスタンブールでは、開業から30年以上経過した都市鉄道（地下鉄）の存在とともに、今後も急速な路線拡大が計画されている。このような維持管理の必要性に関する社会的・組織的背景（表 4-52）を踏まえつつ、維持管理に関する今後の具体的な取組について検討を行った。

表 4-52 維持管理の必要性に関する社会的・組織的背景（イスタンブール）

項目	内容
鉄道輸送への転換	トルコでは経済成長に伴い、温室効果ガス排出量が急増し、増加基調に歯止めがかかっていない状況である。イスタンブール市においても、大気汚染対策として、都市鉄道の整備に加え、歴史地区における車両進入禁止や電気バスの導入等の施策が講じられている。イスタンブールでは都市内鉄道の整備によるモーダルシフトは徐々に促進されており、平日は鉄道輸送が2割以上を占めるまでになっている。 <sup>3)</sup>
拡大する鉄道網	イスタンブールはトルコ最大の都市で、トルコ経済、文化歴史の中心地であり、ヨーロッパでは最大規模の都市の一つである。人口約1500万人、約5,000km <sup>2</sup> の地域をカバーする公共交通機関は、バス、軌道交通、ケーブルカー、船等により複合的なもので構成されている。イスタンブールの鉄道網は2022年時点で262.15kmであり、2023年までには805.23kmに達する見込みである。急拡大する鉄道網に対する維持管理の業務量も増加するため、より適切な維持管理の実施が必要となる。

項目	内容
安全で安定した輸送の確保	鉄道輸送のへの転換、拡大する鉄道網に対して、その安全で安定した鉄道輸送の確保は必須である。事故が発生した場合の影響は大きく、2018年12月トルコの首都アンカラで発生した高速鉄道と点検用機関車の衝突の事故では多数の死傷者を出す大惨事となった。事故の未然防止の観点からも適切な維持管理の実施は重要である。また、メロイスタンブールでは、近年は乗客の満足度を意識した運営を行うとともに、EQFM(European Foundation for Quality Management)に準じた審査で5つ星を獲得している。このような品質管理意識の高まりもあり、安全で安定した輸送を支える鉄道施設の維持管理がより重要となってくる。
構造物の劣化	イスタンブールの地下鉄においては、最初の開業から30年以上経過している路線もあり、軌道の改良の必要性や土木構造物の劣化の顕在化が懸念される。特に、定期的な修繕が必要な軌道については、今後保守量の増大が懸念される。路線が拡大する一方で、既存の構造物の経年劣化も進むため、これに対応できる人材の配置も必要になってくる。
技術に対する積極的な姿勢	イスタンブールの鉄道事業者は、CBTCによる列車運行を始めとして、先端技術の導入に積極的である。また、メロイスタンブールについては海外への技術支援にも積極的である。これらのことから、第3国支援も含めた実績のある本邦技術の展開が期待できる。

## 1) 軌道

軌道に関して、ヒアリングおよびアンケート結果から維持管理業務に対するニーズを抽出し、社会的・組織的背景を踏まえつつ、長期的な維持管理に向けた技術支援上の課題を検討した（図4-49）。その結果として次のものが考えられる。①技能の向上、②作業時の安全性向上、③作業効率の改善（機械化を含む）、④交換周期の延伸（劣化予測）、⑤長期計画の策定（予算確保を含む）である。

課題に対する技術的支援に関する取組を図4-50に示す。基礎調査の主な目的は、各課題に関連する事項のスクリーニングである。スクリーニングにおける検証事項としては、教育の実施状況や、仕様書の内容、検査方法等が挙げられる。

想定されるスクリーニング結果として、a)教育機会（または施工経験）の不足、b)規程・システムにおける計画策定に関する項目の不備および計画策定機能の不備、c)実績ある補修方法および改良方法の未整備、d)検査装置の不足が考えられる。これらのa)からd)に対して、技術協力プロジェクトとして、技術支援案件の選定及び策定を行っていく。なお、計画策定に関する項目として、レール等の軌道部材の交換基準の検討を行う際は、専門の研究機関等との連携が必要となる場合がある。

基礎調査の結果を受けて、機材調達が必要な場合も考えられるが、技術協力と併せて機材調達を行うことも視野に入れる。そうすることで、本邦の従来からの実績ある技術の拡大とともに、先進的な技術の更なる発展が期待できる。

技術協力の結果、実施事項の効果と汎用性が認められれば、仕様書や現地の標準書への反映も働きかけ、本邦の技術の適用機会の更なる拡大につなげていく。

	現地調査およびアンケートから抽出された問題点（イスタンブール）	長期的な維持管理に向けた課題
軌道	<ul style="list-style-type: none"> <li>・夜間の列車間合いでの作業可能時間の短さ。</li> <li>・バラストの交換が必要な区間にたいして、バラスト交換機が入らない。</li> <li>・軌道部材（例えば、クロッシングのノーズレールの損傷）に対する管理方法の適正化。</li> <li>・開通後20年以上経過している路線におけるレール交換数量の増加への対応。</li> <li>・保守量の増加に伴う安全管理体制の維持向上</li> <li>・レール削正周期の適正化</li> <li>・トラム路線における設計時想定を上回る乗客増加に伴う保守量の増加への対応</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①技能の向上</li> <li>②作業時の安全性向上</li> <li>③作業効率（方法）の改善</li> <li>④交換周期の延伸</li> <li>⑤長期計画の策定（予算確保を含む）</li> </ul>

図 4-49 長期的な維持管理に向けた技術支援上の課題

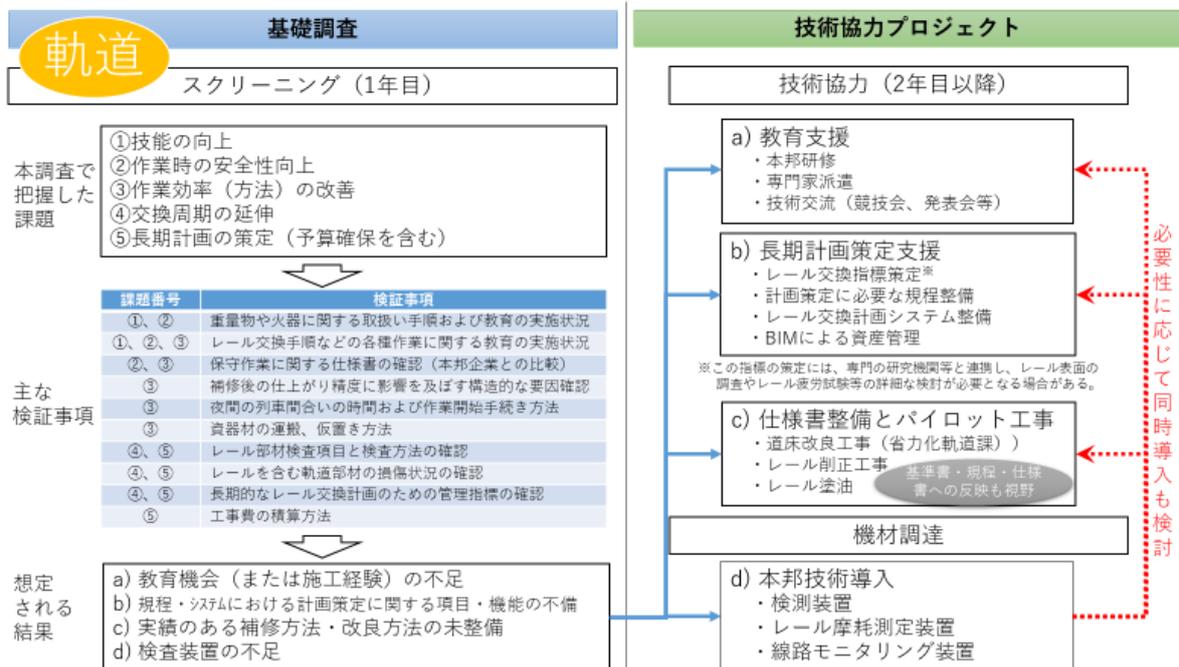


図 4-50 JICA スキームに則った技術協力の取組（軌道）

## 2) 土木構造物

土木に関して、現地調査およびアンケート結果から維持管理業務に対するニーズを抽出し、長期的な維持管理に向けた技術支援上の課題を検討した（図 4-51）。その結果として次のものが考えられる。土木構造物に関しては、①変状の検知方法、②検査結果の管理方法、③健全度（施工の優先度）判定、④補修・施工方法、⑤予算の確保、⑥作業時間の確保である。

課題に対する技術的支援に関する取組を図 4-52 に示す。土木に関しても取組の流れは軌道の場合と同様である。基礎調査ではスクリーニングにより支援事項を明確にし、技術協力または機材調達へと進めていく。その際、DX 技術を含む先進技術の適用も視野に入れることで、本邦の実績ある従来技術の拡大とともに、先進的な技術の更なる発展が期待できる。協力の結果、得られた効果に関しては、仕様書や現地の標準書への反映を働きかけ、本邦技術の適用機会の拡大につなげていく。

	現地調査およびアンケートから抽出された問題点 (イスタンブール)	長期的な維持管理に向けた課題
土木	<ul style="list-style-type: none"> <li>・夜間の列車間合いでの作業可能時間の短さ</li> <li>・土木構造物に関しては、漏水発生箇所に対する止水また導水といった処置は行われており、危機的な状況ではないが、開業から30年以上経過している路線では、地上部も含めコンクリートの劣化が顕在化し始めている可能性がある。</li> <li>・コンクリートのかぶりの少ない箇所や湿潤環境にある箇所では、鉄筋の腐食によりコンクリートの剥離が懸念される。</li> <li>・沿線に港湾も存在しているため、コンクリート構造物の劣化とともに、鋼構造物の塗膜の劣化も懸念される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 変状の検知方法</li> <li>② 検査結果の管理方法</li> <li>③ 健全度 (施工の優先度) 判定</li> <li>④ 補修・施工方法</li> <li>⑤ 予算の確保</li> <li>⑥ 作業時間の確保</li> </ul>

図 4-51 長期的な維持管理に向けた技術支援上の課題 (土木構造物)

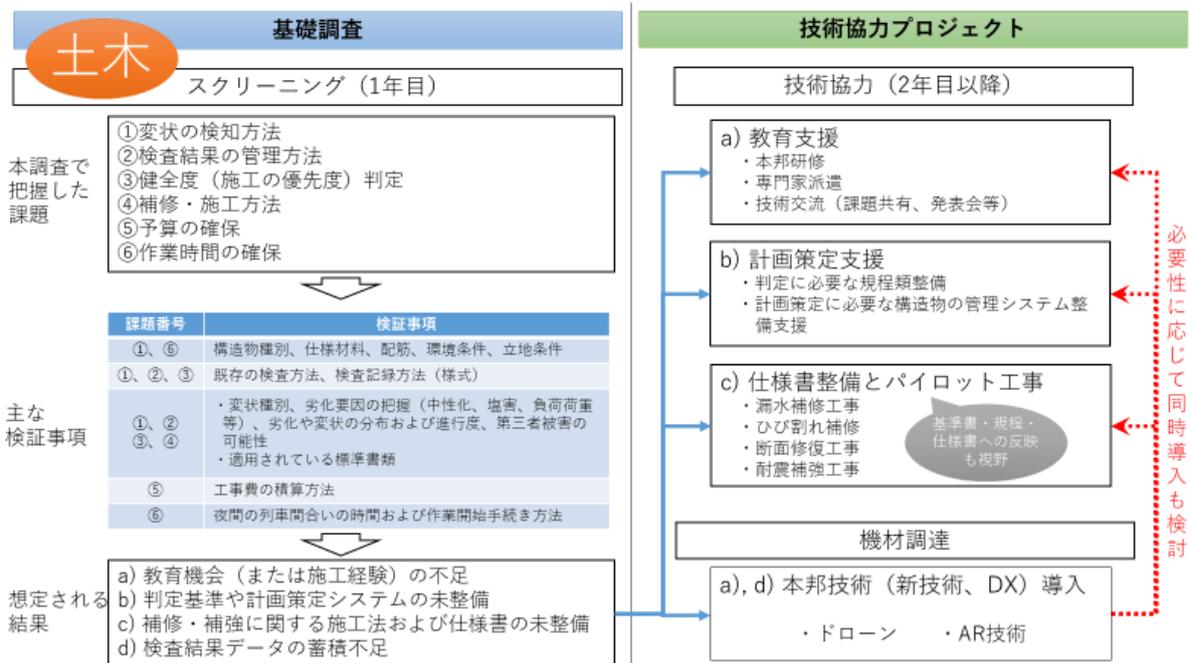


図 4-52 JICA スキームに則った技術協力の取組 (土木構造物)

- 1) 金縄知樹、JICA 道路アセットマネジメントプラットフォームの取り組み、土木学会誌、2020年 Vol.105 No.6
- 2) 横田弘、インフラマネジメント技術の国際展開、土木学会誌、2020年 Vol.105 No.6
- 3) 国際協力機構 (JICA) 運輸交通ナレッジ、鉄道で世界をつなぐ、P231-232、日刊建設工業新聞社、2021年