

ベトナム国

ベトナム国
効率的な道路トンネル換気制御
システムの実現にかかる基礎調査

業務完了報告書

2023年7月

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

株式会社 創発システム研究所

関西セ

JR

23-008

<本報告書の利用についての注意・免責事項>

- ・本報告書の内容は、JICA が受託企業に作成を委託し、作成時点で入手した情報に基づくものであり、その後の社会情勢の変化、法律改正等によって本報告書の内容が変わる場合があります。また、掲載した情報・コメントは受託企業の判断によるものが含まれ、一般的な情報・解釈がこのとおりであることを保証するものではありません。本報告書を通じて提供される情報に基づいて何らかの行為をされる場合には、必ずご自身の責任で行ってください。
- ・利用者が本報告書を利用したことから生じる損害に関し、JICA 及び受託企業は、いかなる責任も負いかねます。

<Notes and Disclaimers>

- ・ This report is produced by the trust corporation based on the contract with JICA. The contents of this report are based on the information at the time of preparing the report which may differ from current information due to the changes in the situation, changes in laws, etc. In addition, the information and comments posted include subjective judgment of the trust corporation. Please be noted that any actions taken by the users based on the contents of this report shall be done at user's own risk.
- ・ Neither JICA nor the trust corporation shall be responsible for any loss or damages incurred by use of such information provided in this report.

目次

写真	1
地図	6
図表リスト.....	7
略語表.....	7
案件概要図（和文）	9
案件概要図（英文）	10
要約	11
第1 対象国・地域の開発課題.....	13
1. 対象国・地域の開発課題.....	13
2. 当該開発課題に関連する開発計画、政策、法令等.....	14
(1) 開発計画.....	14
(2) 政策	14
(3) 法令等.....	14
3. 当該開発課題に関連する我が国の国別開発協力方針.....	15
4. 当該開発課題に関連する ODA 事業及び他ドナーの先行事例分析.....	15
(1) 我が国の ODA 事業	15
(2) 他ドナーの先行事例分析	15
第2 提案法人、製品・技術	16
1. 提案法人の概要	16
(1) 企業情報.....	16
(2) 海外ビジネス展開の位置づけ	16
2. 提案製品・技術の概要	16
(1) 提案製品・技術の概要	16
(2) ターゲット市場.....	17
3. 提案製品・技術の現地適合性	19
(1) 現地適合性確認方法.....	19
(2) 現地適合性確認結果（技術面）	19
(3) 現地適合性確認結果（制度面）	19
4. 開発課題解決貢献可能性.....	19
第3 ビジネス展開計画.....	21
1. ビジネス展開計画概要	21
2. 市場分析	22
(1) 市場の定義・規模	22
(2) 競合分析・比較優位性	22
3. バリューチェーン.....	22
(1) 製品・サービス	22

(2) バリューチェーン	22
4. 進出形態とパートナー候補	22
(1) 進出形態	22
(2) パートナー候補	22
5. 収支計画	23
6. 想定される課題・リスクと対応策	23
(1) 法制度面にかかる課題/リスクと対応策	23
(2) ビジネス面にかかる課題/リスクと対応策	23
(3) 政治・経済面にかかる課題・リスクと対応策	23
(4) その他課題/リスクと対応策	23
7. 期待される開発効果	23
8. 日本国内地元経済・地域活性化への貢献	24
(1) 関連企業・産業への貢献	24
(2) その他関連機関への貢献	24
(3) 地域活性化への貢献	24
第4 ODA 事業との連携可能性	25
1. 連携が想定される ODA 事業	25
2. 連携により期待される効果	25
別添資料	26

写真



課題分析にかかる調査
(サイゴン川トンネル)



課題分析にかかる調査
(ベトナム橋梁道路協会)



既設トンネル管理者へのヒアリング
(ホーチミン市交通局)



トンネル交通量計測協議
(都市交通管理センター)



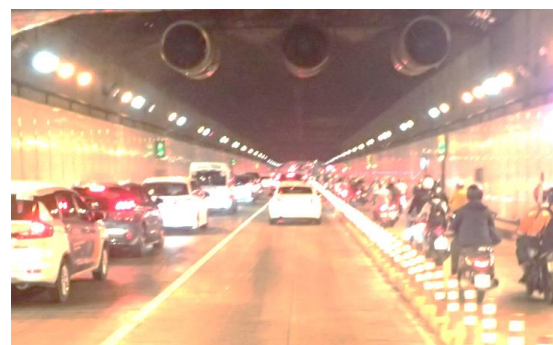
トンネル換気制御状況確認
(サイゴン川トンネル管理センター)



トンネル換気制御状況確認
(サイゴン川トンネル管理センター)



トンネル管制状況調査
(サイゴン川トンネル管理センター)



トンネル内環境実地調査
(サイゴン川トンネル)

出典：調査団撮影



トンネル電気室状況確認
(サイゴン川トンネル電気室)



既設換気動力盤
(サイゴン川トンネル電気室)



トンネル排風機
(サイゴン川トンネル換気設備)



交通量計測準備
(サイゴン川トンネル坑口)



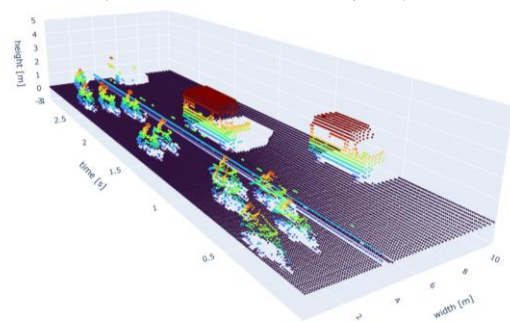
交通量計測機器設置
(サイゴン川トンネル坑口)



交通量計測現地備人サポート
(サイゴン川トンネル坑口)



交通量計測
(サイゴン川トンネル坑口)

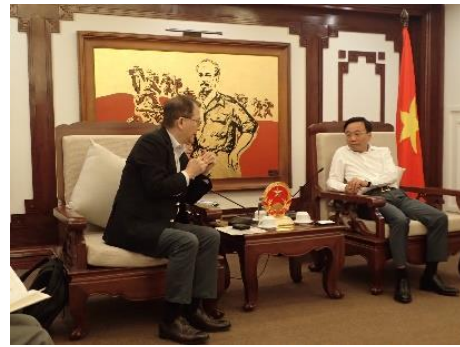


交通量計測データ点群処理技術
(サイゴン川トンネル坑口)

出典：調査団撮影



近隣 ODA 事業視察
(ホーチミン市地下鉄事業)



トンネル計画ヒアリング
(交通運輸省)



道路トンネル PPP 事業者ヒアリング
(DEOCA 社)



現地適合性確認
(設計コンサルタント)



現地適合性確認
(交通科学技術研究所)



バリューチェーン調査
(部品供給会社)



バリューチェーン調査
(盤製造会社)



トンネル計画・課題ヒアリング
(交通運輸省 道路総局)

出典：調査団撮影



既設トンネル換気制御状況調査
(クモントンネルコントロールセンター)



既設トンネル換気現況調査
(クモントンネル坑内)



既設トンネル換気現況調査
(クモントンネル電気室)



進出形態調査
(現地オフィス候補)



サイゴン川トンネル調査報告
(ホーチミン市交通局)



サイゴン川トンネル調査報告
(ホーチミン人民委員会)



サイゴン川トンネル調査報告
(都市交通管理センター)

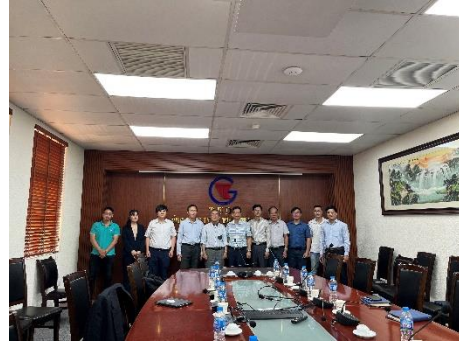


クモントンネル視察報告
(DEOCA 社)

出典：調査団撮影



既設トンネル情報調査
(道路総局)



現地適合性(技術面・制度面)確認
(TEDI 社)



ベトナム経済についてヒアリング
(ベトナム経済研究所)



サイゴン川トンネル調査について
ベトナム科学技術セミナーにて発表
(交通科学技術研究所)



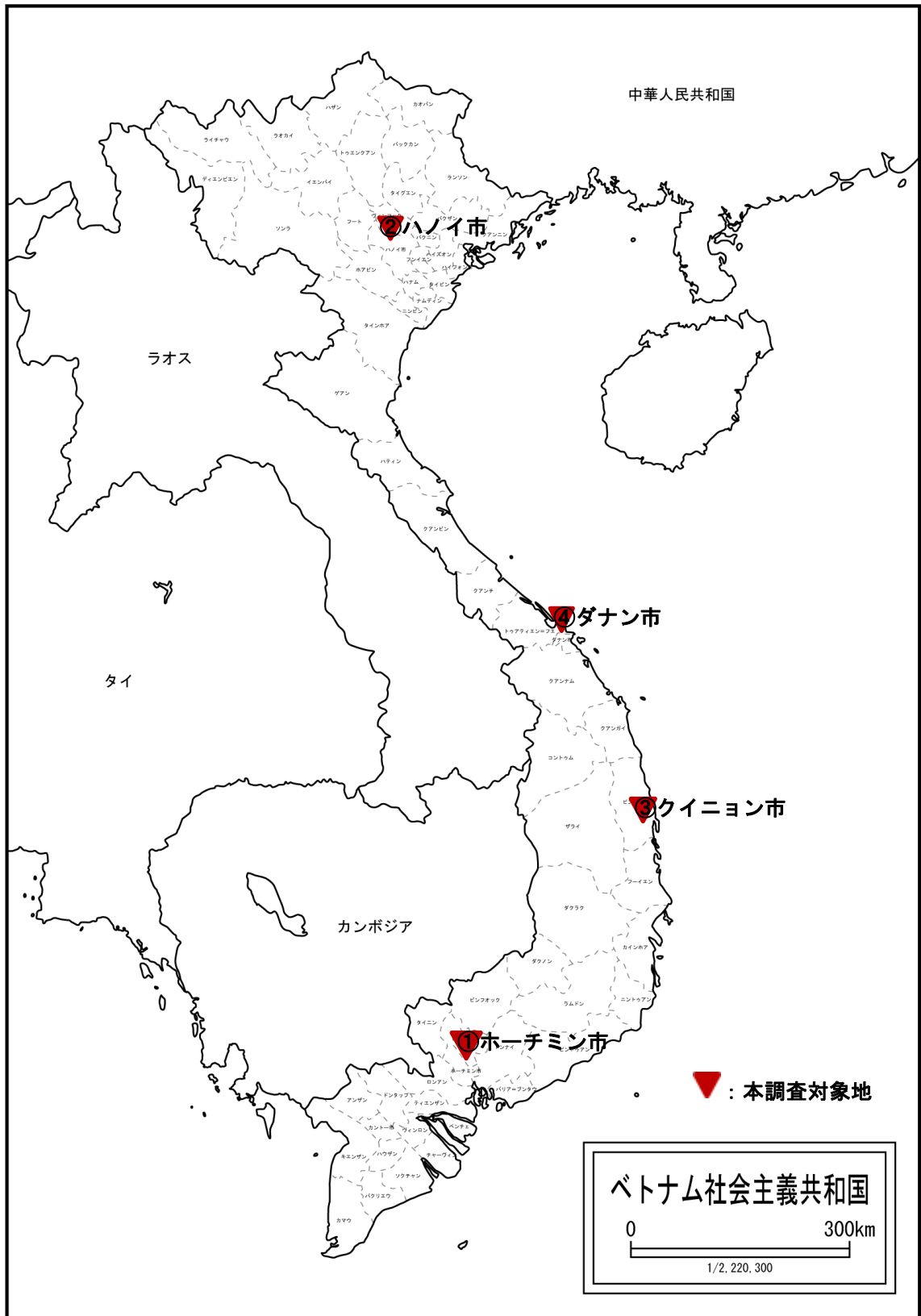
トンネル火災時制御について
ベトナム科学技術セミナーにて発表
(交通科学技術研究所)



ベトナム科学技術セミナー集合写真
(交通科学技術研究所)

出典：調査団撮影

地図



出典：白地専門店 <http://www.freemap.jp/>


図表リスト

番号	タイトル	ページ
図 1	日本の標準トンネル換気制御システム	17
図 2	インバータ換気制御システム製品群	17
図 3	道路トンネル設備市場構造	18
図 4	道路トンネルの換気制御方式における技術の位置づけ	19
図 5	バイク・車両を正確に判別する交通量計測	【非公表】
図 6	サイゴン川トンネル計測値	【非公表】
図 7	ジェットファン台数運転とインバータ運転の省エネ性比較イメージ	【非公表】
図 5	ビジネス展開のプロセス	22
図 9	サイゴン川トンネル坑口（東側）	【非公表】
図 10	サイゴン川トンネルコントロールセンター	【非公表】
図 11	バリューチェーン全体像	【非公表】
表 1	開発協力方針	15
表 2	提案法人概要	16
表 3	ベトナム道路トンネル案件への参画実績のあるステークホルダー	【非公表】
表 4	省エネ実現 適合性試算 [サイゴン川トンネルの例]	【非公表】
表 5	現地適合性確認結果（制度面）	【非公表】
表 6	既設トンネルリスト	【非公表】
表 7	2021 年から 2025 年までの期間に開始され、2025 年以降に完了するプロジェクトのリスト	【非公表】
表 8	2026 年から 2030 年までに着工・完了するプロジェクト一覧	【非公表】
表 9	換気制御システムの優位性比較	【非公表】
表 10	サイゴン川トンネル換気制御方式別年間電力消費削減試算表	【非公表】
表 11	提案製品技術の調達と価格（想定）	【非公表】

略語表

略語	正式名称	日本語名称
ACIT	A Chau Industrial Technology Joint Stock Company	アチャオ社
AT Energy	AT Energy Joint Stock Company	エーティーエナジー社
AV	Airflow Velocity	風速
BOT	Build Operate Transfer	一括事業請負後譲渡方式
CO	Carbon Monoxide	一酸化炭素
COP26	The 26th session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change	国連気候変動枠組条約第 26 回締約国会議


DEOCA	Deo Ca Group Joint Stock Company	DEOCA 社
DFSA	Distance Free Surge Absorber	ディー・エフ・エス・エー (ノイズ除去)
DRVN	Department for Roads of Vietnam	道路総局
Hanoi DOT	Ha Noi City Department of Transport	ハノイ市交通局
HCMC	Ho Chi Minh City	ホーチミン市
HCMC DOT	Ho Chi Minh City Department of Transport	ホーチミン市交通局
ICEA	Institute of Control Engineering and Automation (Hanoi University of Science and Technology)	自動制御技術研究所(ハノイ工科大学内)
ITST	Institute of Transport Science and Technology	交通科学技術研究所
JETRO	Japan External Trade Organization	日本貿易振興機構
JF	Jet Fan	ジェットファン (換気機)
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
LiDAR	Light Detection and Ranging	レーザ式測距計
LTC	Laser Traffic Counter	レーザ式交通量計
MOST	Ministry of Science and Technology	科学技術省
MOT	Ministry of Transport	交通運輸省
NEXCO	Nippon Expressway Company Limited	日本高速道路株式会社
NK Vietnam	Nippon Koei Vietnam International Co., Ltd	日本工営ベトナム
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
PMU	Project Management Unit	交通運輸省道路事業・管理委員会
ppm	Parts Per Million	ピーピーエム (一酸化炭素濃度の値)
QCVN	Quy Chuẩn kỹ thuật quốc gia Việt Nam	ベトナム国家技術基準
PPP	Public Private Partnership	官民連携
SIM	Simulation	シミュレーション(解析)
TCVN	Tiêu Chuẩn quốc gia Việt Nam	ベトナム国家規格
TEDI	Transport Engineering Design Inc	TEDI 社
UTMC	Urban Traffic Management Center	都市交通管理センター
VI	Visibility Index	煤煙濃度
VIBRA	Vietnam Bridge and Road Association	ベトナム橋梁道路協会




ベトナム国 効率的な道路トンネル 換気制御システムの実現にかかる基礎調査

株式会社創発システム研究所(兵庫県神戸市)


7 エネルギーをみんなに
そしてクリーンに



9 産業と技術革新の
基盤をつくらう



11 住み続けられる
まちづくりを




道路インフラ分野における開発ニーズ(課題)

- ・ベトナム特有であるバイクと車両の混合交通主体による都市トンネル内環境(CO)の悪化
- ・大型車両主体の山岳トンネル内環境(煤煙、NO_x、SO₂)の悪化による換気運用コストの増大

提案製品・技術

・道路トンネル換気制御システム
トンネル坑内の換気をインバータ制御にて省エネ運転し、最適な空気環境を維持する

構成要素: ①インバータ換気動力盤
②換気制御盤 ③交通量計
④計測センサ(CO計・AV計・VI計)
⑤計測盤
⑥予測シミュレーション



インバータ換気動力盤

案件概要

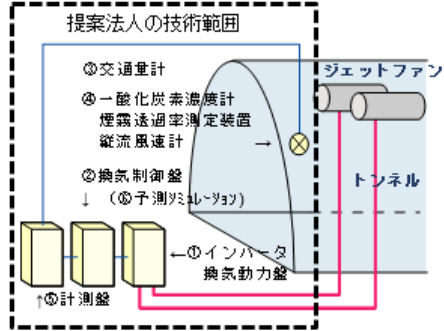
- ・ 契約期間: 2022年9月～ 2023年8月
- ・ 対象国・地域: ベトナム国ハノイ市、ホーチミン市、クイニン市、ダナン市
- ・ 案件概要: 都市トンネルであるサイゴン川トンネルにレーザ交通量計を設置、同トンネルの運用データを収集、トンネル換気パラメータを推定、シミュレーション解析をもとに同トンネル運用時の環境とコストを改善するインバータ換気制御システムを提案する。さらに導入可能性について検証するとともに、ベトナム国内の他のトンネルについても同システムを導入するビジネスに必要な基礎情報を収集する。

開発ニーズ(課題)へのアプローチ方法(ビジネスモデル)

- ・現地駐在員事務所(法人)を設立。ノウハウ・技術を現地人材に継承し、現地を中心とした営業と技術サービス体制を確立
- ・現地製造メーカーとのパートナーによるインバータ換気動力盤の現地製造の確立
- ・対象顧客は、地方・中央政府、民間道路会社から道路トンネル換気設備を受注するサブ・コントラクター

対象国に対し見込まれる成果(開発効果)


- ・都市トンネル内環境(CO)の改善
- ・道路トンネルインバータ換気制御システム導入による運用コストの削減




道路トンネル換気制御システムイメージ図


2023年7月現在


9



Small and Medium-Size Enterprise (SME) Partnership Promotion Survey for Realization of
Efficient and Effective Road Tunnel Ventilation Control System in Vietnam
Sohatsu Systems Laboratory Inc.(Kobe City, (Hyogo Pref.,))

7 AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY


9 INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE


11 SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES


Development Issues Concerned in Road Infrastructure Sector

- Deterioration of the environment (CO) in urban tunnels due to the mixed traffic of motorcycles and vehicles characteristic of Vietnam
- Increased ventilation operation cost due to deterioration of the environment (soot, NOx, SO₂) in mountain tunnels, mainly for large vehicles

Survey Outline

- Survey Period: Sep. 2022~Aug. 2023
- Country/Area: Vietnam/Hanoi, Ho Chi Minh City, Qui Nhon, Da Nang
- Survey Overview: Install laser traffic counter and capture operations data at the Saigon River Tunnel. Estimate ventilation parameters, and verify an introduction of the effective and efficient inverter ventilation control system at the Saigon River Tunnel, as well as collecting basic technical and market information to extend the verified inverter ventilation control systems to the existing and new road tunnels in Vietnam.


Products/Technologies of the Company

• Road Tunnel Ventilation Control System

Energy-saving operation of ventilation inside the tunnel by inverter control to maintain optimum air quality.

Composing elements

- ① Inverter ventilation power panel
- ② Ventilation control panel
- ③ Traffic meter
- ④ Measurement sensors (CO meter, AV meter, VI meter)
- ⑤ Measurement board
- ⑥ Predictive Simulation



Inverter ventilation power panel

How to Approach to the Development Issues (Business Model)

- Establish a local representative office (corporation). Transfer know-how and technology to local personnel and establish a local-centered marketing and technical service system.
- Establish local manufacturing of inverter ventilation power panels by partnering with local manufacturers.
- Direct customer targeted at local equipment subcontractors receiving orders placed by local and central government and private road companies.

Expected Impact to the Country

- Improvement of the environment in urban tunnels (CO)
- Reduction of the operating cost by installing road tunnel inverter ventilation control system

Technical Scope of Proposing Corporation

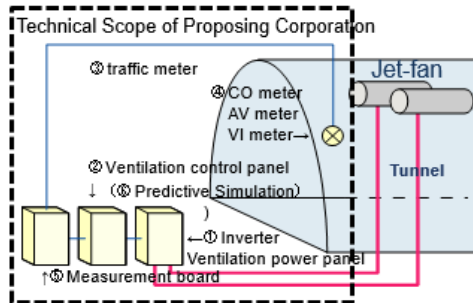


Diagram of road tunnel ventilation control system

As of July, 2023

要約

I. 調査要約

<p>1. 案件名</p>	<p>(和文) ベトナム国効率的な道路トンネル換気制御システムの実現にかかる基礎調査 (英文) Small and Medium-Size Enterprise (SME) Partnership Promotion Survey for Realization of Efficient and Effective Road Tunnel Ventilation Control System in Vietnam</p>
<p>2. 対象国・地域</p>	<p>ベトナム国ホーチミン市、ハノイ市、クイニン市、ダナン市</p>
<p>3. 本調査の要約</p>	<p>道路トンネルの換気制御のトータルシステム導入に関する基礎調査。ベトナム特有の交通特性を考慮し、適切な交通計測と解析により、省エネ、快適、安全を備えた効率的なトンネル換気の実現を目指す。ひいてはカーボンゼロな道路トンネル換気制御システムの実現にも貢献する。</p>
<p>4. 提案製品・技術の概要</p>	<p>トンネル坑内の空気環境を維持しながら換気を省エネ制御する技術。不可避とされてきたトンネル内でのインバータ駆動時の電磁ノイズ問題を、特許技術として解決した。世界で株式会社創発システム研究所（以下、「創発」）のみが保有するノイズ除去技術。平常時の換気電力の大幅な省エネを実現し、火災時には風速制御により避難環境を確保する。さらに車種別交通量を正確に計測する交通量計測技術と組み合わせ、交通データに則した最適な換気制御を実現する。</p>
<p>5. 対象国で目指すビジネスモデル概要</p>	<p>トンネルの長期ライフサイクルに合わせ、計画から維持管理まで、継続的に収益を確保可能なビジネス展開を目指す。トンネルのライフサイクルとは、計画段階（シミュレーションビジネス）、設計段階（交通計測・解析ビジネス）、工事段階（設備納入ビジネス）、維持管理段階（保守点検ビジネス）であり、段階毎にビジネスチャンスが存在する。 現地駐在員事務所を設立し、創発の道路トンネル換気のノウハウ・技術を現地人材に継承し、現地を中心とした営業と技術サービス体制を確立する。また、パートナー関係を構築した現地メーカーとインバータ換気動力盤を製造する。対象顧客は、発注者（地方・中央政府、民間道路会社）から受注し、道路トンネル換気設備を供給する現地サブ・コントラクターを想定。また、現地パートナーとの共同開発を通して、現地の技術者の育成を図る。</p>
<p>6. ビジネスモデル展開に向けた課題と対応方針</p>	<p>貢献を目指す SDGs のターゲット： 7. エネルギーをみんなに そしてクリーンに 9. 産業と技術革新の基盤をつくろう 11. 住み続けられるまちづくりを</p>
<p>7. ビジネス展開による対象国・地域への貢献</p>	<p>2000 年初頭より道路トンネルを保有してきたベトナムは、これまでの運用を検証し、効率化するための時期を迎えている。今後トンネル整備拡大期への移行を見据える過渡期において、最小電力で最適な換気制御を実現する換気制御技術を標準化することで、インフラを効率的に長期運用可能なものにするアセットマネジメントの確立に貢献する。</p>

8. 本事業の概要	
① 目的	<p>既設トンネルの現状とニーズを確認することにより、保守・更新についての具体的な情報を把握する。また、新設トンネルのターゲット、ビジネス契約権限を持つターゲットの絞込みを行い、今後のビジネス展開計画案を作成する。</p> <p>さらに、対象国における道路トンネル換気設計に関連する基準を把握し、提案製品が基準を満たしているかを確認する。</p> <p>本調査の結果、創発は、ビジネスアイデア（モデル）の実現可能性（市場、制度、競合、価格等）を具体的に判断できるようになる。</p>
② 調査内容	<p>(1) 対象国の課題分析にかかる調査</p> <p>(2) 提案製品の現地適合性</p> <p>(3) ビジネス展開にかかる情報収集・分析</p> <p>(4) ODA 事業との連携可能性</p>
③ 本事業実施体制	<p>提案企業：株式会社創発システム研究所</p> <p>外部人材：築野コンサルティング株式会社</p>
④ 履行期間	2022年9月～2023年8月（1年0ヶ月）
⑤ 契約金額	8,498,600円（税込）

II. 提案法人の要約

1. 提案法人名	株式会社創発システム研究所
2. 代表法人の業種	[①製造業]
3. 代表法人の代表者名	代表取締役 中堀 一郎
4. 代表法人の本店所在地	兵庫県神戸市中央区浪花町64番地
5. 代表法人の設立年月日 (西暦)	2000年 4月 3日
6. 代表法人の資本金	4,000万円
7. 代表法人の従業員数	14名
8. 代表法人の直近の年商 (売上高)	42,160万円（2020年4月～2021年3月期）

第1 対象国・地域の開発課題

1. 対象国・地域の開発課題

ベトナムでは東南アジアの他の国に先がけて、2000年初頭からハイヴァントンネル（6.8km）やトゥーティエム（現サイゴン川）トンネル（1.6km）が日本のODA事業により建設された。これらのトンネルは当初の想定通り、スムーズな交通流を実現し、経済発展の基盤となるインフラとして地域へ多大な貢献を果たしてきた。その一方で2010年に省エネルギー法を制定、さらに2022年に国連気候変動枠組条約第26回締約国会議（COP26）において2050年までに温室効果ガスの排出量ゼロを国際公約として発表したベトナムでは、道路インフラとしてのトンネルにおける電力消費の削減が課題となっている。また、建設から十数年経つ現在、運用維持管理の面では、建設時の想定を超える交通量の増加、それに伴うCO₂排出量の増加によるトンネル内環境の悪化（出典:Poste・都市交通管理センター（以下、「UTMC」）より受領したCO₂実測値）、換気電力量の増加（出典:Tuoï Tre News・UTMCでのヒアリング調査）、設備機器の対ノイズ協調設計の不備による故障の発生（クモントンネルでのヒアリング調査）等の課題が浮かび上がってきている。

ベトナムはその経済成長に伴い（日本のODA事業を参考に）自国の力でその後15本超のトンネルを建設してきたことが本調査で判明した。これらのトンネルはODA事業として実施された時に日本側のコンサルタントをサポートしたベトナム人コンサルタントが計画を実行し、設備機器は自国で調達されている。しかし、これらのトンネルでは、公表されていないもののインバータノイズによると推測される不具合が存在し、換気制御の最適運転ができていないとの課題がある（TEDI社でのヒアリング調査、クモントンネルでの現地調査で確認）。現在ベトナムには南北高速線に6トンネルの新設計画がある。一方、既設トンネルは18本あり、本調査ではこのうち2本のトンネルについて、運用管理を行う道路総局（以下、「DRVN」）にて現在の換気課題を解決・修正する方法について相談を受けた。

本調査では開発課題の実態を把握する目的で、日本のODA事業で建設されたサイゴン川トンネルと、その後ベトナム自国で建設されたクモントンネルを訪れ、運転管理と維持管理の調査を行った。この調査ではサイゴン川トンネル（3車線一方通行1.6km）で、ジェットファン（換気機、以下「JF」）が台数制御（稼働台数による調整）となっており、これをインバータ制御に替えることで約35%の省エネが達成できることがわかった。ライフサイクル20年の電力料金の削減量は、1kWh当たり10円として3,794万円となる。一方、CO₂濃度が最大時で100ppm（一酸化炭素中毒症状を引き起こす可能性がある）と非常に高く、快適性に問題があることがわかった。この原因は、交通量が1日10万台（大型車3%小型車20%バイク77%）であり、設計時の想定1日2万台を大幅に超過しているためと考えられる。

また、クモントンネル（1車線対面通行、2.6km）では合計16台のJFがインバータで駆動されているが、インバータの特色を生かした省エネ最適運転がなされていないことがわかった。この原因はインバータを活用した最適運転を実現する制御方法が適用されていないことと、インバータが発生させるノイズが大きく、CO₂計や風速センサが誤動作していることが原因とみられる。

道路トンネルの換気制御用設備・機器としては最新のコンピュータ、コントローラ、インバータ、センサを使用している一方で、使用電力量低減、トンネル内環境改善、防災RISK軽減の換気システムの目的を達成するための有効活用がなされていないことが本調査により確認された。

換気制御用設備・機器をより効果的に活用するためには、換気制御をシステムとしてとらえる考え方

を管理者に周知する必要がある。換気制御システムの目的とは使用電力量低減、トンネル内環境改善、災害リスク軽減を達成することである。その目的を制御管理方法（制御アルゴリズム）によって実現するための機器の正常動作を保証する仕組み（全機器性能を保証する各機器の役割分担、他機器への悪影響を与えないオペレーション、メンテナンス）の整備が、今後ベトナムの道路トンネルの省エネルギー化及びインフラの長寿命化に必要である。

2. 当該開発課題に関連する開発計画、政策、法令等

（1）開発計画

ベトナム国政府は、2010年の省エネルギー法に続き「国家省エネルギープログラム 2019-2030」を策定した。省エネ性能の高い製品・技術の普及を促進することを目標のひとつとしている。また2050年までに温室効果ガスの排出量をゼロにすることを COP26 において国際的に公約している。

（2）政策

社会インフラにおいて設置される個別の「機器」レベルの政策と共に機器の集合体としての「システム」レベルの政策も重要である。しかし、ベトナムにおいて「システム」に対する政策、すなわちシステムの目的、管理制御、実現方式、評価に関する体系を教育・普及する、という政策が未確立である。日米欧においては20世紀の後半にシステムという学術領域が認知されシステムに関する教育、高等研究機関が設立されて、システム研究者、システム技術者の育成、交流が盛んに行われてきた（例えばオーストリアの国際応用システム分析研究所（IIASA）など）。本調査において、ベトナムでは自動制御の教育と研究は行われているものの、システム技術の一部として取り扱われており、システムという枠組みでとらえるという政策が明確に実現される段階に至っていないことが判明した。

（3）法令等

日本においては国土交通省を中心に道路トンネルの設備指針に関する法令が発令されている。一方、ベトナムでは交通運輸省（以下、「MOT」）への聞き取り調査の結果、日本の NEXC02013 基準が適用されていることがわかった。ただし、トンネルの換気制御システムについては、創発が展開しているインバータ換気制御システムの設備基準が NEXC02013 において未制定であるため、ベトナムにおいても同システムに関する設備基準の法令による制定は未達成である。

ベトナムでは環境保護法第 72 条第 3 項において廃棄物管理要件、同法第 1 条、第 2 条、第 3 条、第 88 条において、粉塵及び排出物の管理及び規制が制定されている。技術基準については、QCVN07-4:2016/BXD において交通技術インフラ工事に関する国家技術規制と都市地下交通事業についての要件が定められている。また、QCVN05:2013/BTNMT では、大気質に関する基本的な項目の最大許容濃度が定められている。規格については TCVN4527-88 において、鉄道トンネル及び自動車トンネルでの規制が定められている。同規格では、延長 400m を超えるトンネルには人工換気が必要との記載がある。しかし大気汚染の管理と制御に関する要件を含む道路トンネル独自の設計基準は、まだ制定されていない（本調査期間中の 5 月 19 日ハノイで開催の「道路トンネル内空気環境管理に関する科学技術セミナー」にて確認）。

3. 当該開発課題に関連する我が国の国別開発協力方針

表 1 開発協力方針

項目		内容	詳細
重点分野	1	成長と競争力強化	経済成長に伴い増大している経済インフラ需要に対応するため、幹線交通及び都市交通網の整備、エネルギーの安定供給を支援
開発課題	1-3	経済インフラ整備・アクセスサービス向上	<ul style="list-style-type: none"> ・ 基幹交通インフラ整備プログラム：戦略的に重要な基幹インフラ(港湾、空港、鉄道、道路等)整備を支援 ・ 都市交通網整備プログラム：都市交通網(鉄道、道路、大量輸送システム)整備を支援 ・ エネルギー安定供給・省エネ推進プログラム：経済成長を支えるエネルギー需要増に対応するためのエネルギー安定供給を支援

出典：外務省 国別開発協力方針

4. 当該開発課題に関連する ODA 事業及び他ドナーの先行事例分析

(1) 我が国の ODA 事業

ベトナム国における日本の ODA トンネル建設事業は、円借款事業として実施された 2 つの長大トンネル、2005 年運開のハイヴァントンネル及び 2011 年運開のサイゴン川トンネル（旧トゥーティエム・トンネル）がある。これらのトンネルは当初の想定通り、スムーズな交通流を実現し、経済発展の基盤となるインフラとして地域発展に多大な貢献を果たしてきた。しかし、建設から十数年経つ現在、運用維持管理の面では、建設時の想定を超える交通量の増加、設備機器の対ノイズ協調設計の不備による故障の発生、トンネル内環境の悪化、換気電力量の増加等の課題があることが調査の結果明確になると同時に、建設だけではなく、運開後の維持管理にも日本の産官学を挙げた支援が必要であるとの示唆が得られた。また本調査では、建設後サイゴン川トンネルの管理機関で、同トンネルの他、ホーチミン市全体の交通管制を担う UTMC に導入されている機器の殆どが欧米メーカー製であり、加えて、トンネルの水噴霧システムには欧州企業が新たなシステムの据付工事を行っていることを確認した。これらの工事はホーチミン市（以下、「HCMC」）人民委員会の予算によるものである。日本のメーカーも、ODA（日本タイトの STEP 円借款）の支援を受けた建設時だけでなく運開後の維持管理、改善進化の展開を積極的に推進するべきであり、今回の調査でその重要性を痛感した。

(2) 他ドナーの先行事例分析

他ドナーの先行事例なし

第2 提案法人、製品・技術

1. 提案法人の概要

(1) 企業情報

表 2 提案法人概要

会社名	株式会社創発システム研究所
所在地	兵庫県神戸市中央区浪花町 64 番地
設立	2000 年 4 月 3 日
事業内容	道路トンネルの換気制御及び監視システムの開発、提供

出典：提案法人作成

創発は、設立以来 20 数年、道路トンネルの換気制御システム及び監視システムの開発、設計、製造、販売、設置、保守を行い、日本国内において国土交通省や民間道路会社を中心に公共事業での実績を重ねてきた。

(2) 海外ビジネス展開の位置づけ

日本国内において、国土交通省の公共事業費は、ピークである 1998 年の約 14 兆円から 2021 年には約 6.8 兆円と半分以下となり、今後、さらなる削減が見込まれている。一方で、2018 年からは防災・減災、国土強靱化のための予算も計上されており、建設の時代から維持管理の時代へと移行している。このように、国内道路網は完成期を迎え、新規トンネルや高速道路は縮小市場となっている。一方、海外、特に東南アジア諸国の道路網は今後本格的な拡大期を迎える。東南アジア特有の道路トンネルの混合交通特性（都市部：バイクと車両、山岳部：排ガスの大きな大型トラックと小型車両、等）に鑑みると、正確な交通計測と効率的な換気制御を適用することにより、省エネによる運用コストを最大限に削減しつつトンネル内の空気環境を快適に保つことができる。創発が日本で培った換気制御技術と交通計測技術の強みを十分に活かすことができる市場である。

創発は中期経営計画において、グローバルニッチトップを目指すことを経営方針に掲げ、2020 年現在、国内売上 100%の比率を 5 年後に国内市場売上 80%、東南アジアをはじめとする海外市場売上 20%とすることを目指し、海外でのビジネス展開を拡大して経営基盤を固めていく計画である。

2. 提案製品・技術の概要

(1) 提案製品・技術の概要

創発は、道路トンネルの換気制御をトータルシステムとして提供している。換気制御の省エネを実現するためには、トンネル内 JF の最適運転が欠かせない。最適運転とは、換気制御システムへの入力としてトンネル内の交通量（車種別）、一酸化炭素濃度(CO)、煤煙濃度(VI)、車道内風速(AV)を正しく計測し、これらの計測値を用いてトンネル内空気環境を常時基準値以下に維持しながら、最小電力で JF 運転を行う自動制御のことである。

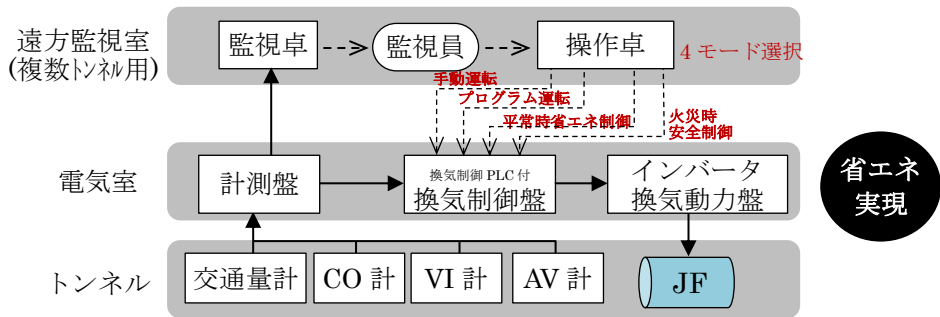


図1 日本の標準トンネル換気制御システム

出典：提案法人作成

環境基準を満足するトンネル内空気環境を最小電力で実現するインバータ換気制御システムは、日本では創発のみがオンリーワンで提供する技術である。トンネル換気にインバータ制御を用いることは、インバータユニットから発生する電気ノイズの影響によりこれまで難しいとされてきた。創発は、この電気ノイズを完全に削減するフィルタ Distance Free Surge Absorber (以下 DFSA) を開発し、インバータ換気動力盤に組み込むことでこの課題を解決し、ノイズレスジェットファン用インバータ換気動力盤として、国内外の市場からその性能の優秀性が認識されている。

インバータ換気制御の省エネ性を最大限に高めるため、創発の技術は、換気制御システムを構成する車種別交通量計測 (交通量計)、計測値を用いたモデル型予測換気制御ソフトウェア (換気制御盤)、最小電力での JF 運転 (インバータ換気動力盤) をトータルシステムとして提供している。



図2 インバータ換気制御システム製品群

出典：提案法人作成

創発は、2009年に米国で開催された国際換気学会 BHR13th ISAVVT で発表した論文にて、インバータ換気制御による換気の省エネ性を世界に向けて提言し、最優秀論文賞を受賞した。この論文で発表されたインバータ換気制御の省エネ性は、後にスウェーデンのストックホルム市の E4 トンネル計画でも参照され、省エネ換気制御における世界市場のスタンダードとなってきており、技術開発の先導的な役割を果たしている。

(2) ターゲット市場

[既存の国内外における市場の定義]

ビジネスターゲットとなる市場は、道路トンネル設備市場のうち、換気設備分野である。道路トンネルは多くの設備とシステムが連動する複合インフラであり、設備ごとに専門メーカーが存在する。換気設

備分野の中でも、さらに計測器、換気動力盤、換気制御盤等、それぞれに独立した技術としての市場とメーカーが存在するが、創発の強みは、これら換気設備市場にかかる技術をトータルシステムとして提供し、効果を最大化できる点にある。創発は、道路トンネルの換気設備市場を、トータルシステムとしてとらえ、ビジネスターゲットとしている。

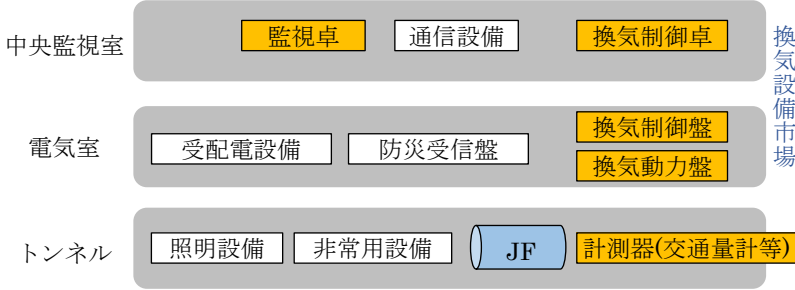


図 3 道路トンネル設備市場構造 ※ は創発製品

出典：提案法人作成

[顧客の定義]

国内市場における換気設備ビジネスの場合、創発が製品を直接販売する顧客は、換気設備工事一式を一括受注する JF メーカーがメインである。一方、国外市場においては、設備分野ごとの入札ではなく、トンネルの建設工事一式を請負うゼネラルコントラクター（以下「ゼネコン」）や、設備工事一式を請負うサブ・コントラクター（以下「サブコン」）が直接の顧客となる。

海外市場の中でも特に、道路トンネルの運用経験の浅い途上国市場においては、換気制御技術に対する知識と理解が浸透しておらず、まずは最適換気制御とその省エネ効果及び必要性をトンネルの運用管理者が理解しなければ、技術採用に結びつくことは難しい。よって、予算と設備スペック承認に権限を持つ所轄省庁等への技術提案活動が、ビジネスの実現のための重要なポイントとなる。

[市場の動向]

近年、道路トンネルを通過する車両の交通特性は多岐にわたり、その傾向は国によりますます異なってきた。道路トンネルの換気には、通過する車両の車種別交通量、速度、煤煙排出量等が大きく影響するため、変化する市場の交通特性を常に正しく把握し、換気制御に反映することが重要である。

先進国では、車両のEV化が進み、道路トンネルの換気の必要性が低くなる反面、バッテリー火災の危険性や、トンネルの長大化による換気制御の複雑化がみられる。一方、発展途上国では、自家用車保有率やモーターバイク利用率の急激な増加等、ますます車種別交通量を考慮した換気制御の必要性が増している。特に、東南アジア諸国の都市部に多く見られるモーターバイクの通行量の増加は、換気制御の最適化に大きく影響することから、考慮する必要がある。このため、創発のビジネスは、換気制御システムに交通量計測を組み込んだ提案となる。

[技術の位置づけ]

換気制御の方式には、創発がリードするインバータ制御方式と、台数制御方式の2パターンがある。欧州をはじめとした海外市場では、インバータ制御方式が標準として採用されており、その省エネ性は広く認知されているが、電磁ノイズの影響とケーブルコストが未解決の課題として認識されている（調

査団ヒアリングによる)。創発は DFSA フィルタをインバータ換気動力盤に実装することで、電磁ノイズの除去、ノンシールドケーブルの採用により、この問題を解決している。

また、換気制御の省エネ効果を高めるために欠かせない交通予測技術についても、他社には無いモーターバイクの交通量を正確に計測する技術を保有していることから、創発の技術は、優位性を持ってビジネスを展開していくことが可能となる。

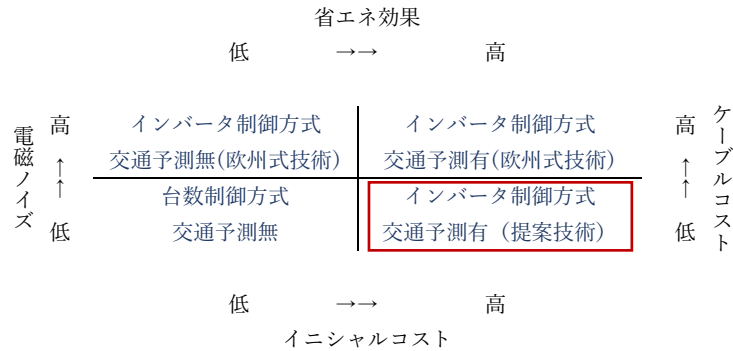


図 4 道路トンネルの換気制御方式における技術の位置づけ

出典：提案法人作成

[シェア]

日本国内でインバータ換気制御技術を提供しているのは創発のみであり、インバータ駆動される JF の換気制御盤、換気動力盤の国内市場シェアは 100%である。海外では、日本の ODA 道路トンネル事業において、日本製技術として採用されている（例：ネパール、フィリピンの ODA 道路トンネル事業）。その他の海外市場においては、現状欧州企業の技術が広く採用されているが、今後創発の優位性をアピールしつつ、シェア獲得を目指していく。

3. 提案製品・技術の現地適合性

(1) 現地適合性確認方法

企業機密情報につき非公表

(2) 現地適合性確認結果（技術面）

企業機密情報につき非公表

(3) 現地適合性確認結果（制度面）

企業機密情報につき非公表

4. 開発課題解決貢献可能性

ベトナム国では、国連気候変動枠組条約第 26 回締約国会議（COP26）で首相が 2050 年までに温室効果ガスの排出量実質ゼロ（カーボンニュートラル）を達成することを表明した。再生可能エネルギー分野の強みを生かし、排出量削減に向けた強力な対策を講じるため、自助努力での省エネルギー化の実現を図ることが推奨されている。

本調査の結果、既設の道路トンネルにおける換気機器の電力消費量削減や計測機器の保守メンテナン

スの運用に関する課題が明確となった。調査対象とした既設トンネルの換気制御設備・機器は、最新のものを導入しているが、運用後の検証と解析によるシステム評価のフィードバックは行われていないため、導入時のままの換気制御が行われている。創発は、各トンネルでの換気制御システムの運用をデータ検証し、現在の状況にあった最適な換気運用を提案することで、換気機運転の省エネルギー化に貢献することができる。また、適切な機器の保守メンテナンス技術を継承することにより、インフラ長寿命化への対策にもつながる。

第3 ビジネス展開計画

1. ビジネス展開計画概要

道路トンネルは重要な社会インフラである。ベトナムでは、その建設は、計画、設計、建設、運用、管理において中央政府の MOT、DRVN、ITST のほかハノイやホーチミン市人民委員会の機関である DOT が中心的役割を担っている公共工事が主体となる。一方 DEOCA などの民間道路運用管理会社が PPP 事業として実施する民間工事も存在する。公共工事として建設された既設トンネルが 15 本超あり、現在、南北高速線に 6 本のトンネルの建設が進んでいる。民間工事として建設されたトンネルは 4 本あり、現在 1 本のトンネルの建設が進んでいる。MOT の新設道路計画については、DRVN から 2030 年までのリストを入手した。また、第 3 回現地調査において、DEOCA から新規トンネル 3 本(1,700m, 2,300m, 3,100m)の建設事業を落札し掘削中という情報を得た。換気制御機器の詳細については、今後もゼネラルコントラクターとして事業を実施する DEOCA と連絡を取り情報共有するという同意を得ることができた。創発が想定していた本数以上のトンネルがビジネス展開の対象になると言える。

創発は日本の ODA (円借款) 事業のサイゴン川トンネルと民間事業のクモントンネルの調査を行い、トンネル換気における省エネルギー化を実現するためには換気制御システムの目的の明確化、システム構成機器の正常な稼働を常時実現する、という必要性を確認した。創発は換気制御システムの正常な稼働を実現するためのトンネル換気規格、換気機器の仕様、制御アルゴリズム、機器保守の確立などを通して課題の解決を図る。

今回実施した基礎調査に基づき、実証確認及びビジネス実施は 2 段階に分けて行うこととする。以下に、その概要を示す。

(1) 実証確認の段階

(i) 既設トンネルでの改善課題の抽出と解決方法の受容

既設トンネルの改善課題 (省エネ性、快適性、安全性) と解決方法を提示し、既設トンネル管理者に理解、さらには受容いただく。

(ii) 既設トンネル更新時期に解決策の実施

今回 MOT の研究機関である ITST とトンネル換気システム改善及び標準化の検討を共同で行う覚書 (「MOU」) を締結した。既設トンネルの更新工事として、改善方法を ITST と共同で開発し、実施する。

この更新工事で得られた改善課題の解決策を定量的に評価し、ITST と共にレポートを作成する。

(iii) 換気制御監視システムの標準化確立

この実証確認の試験結果から、「ベトナムトンネル設備工事指針 (案)」の作成及び「換気制御監視システム標準仕様 (案)」の作成を ITST と協力して行う。

(2) ビジネス実施の段階

基礎調査及び実証確認の成果をもとに現地法人「ベトナム創発社」を設立し、同社を核にベトナムでの新設・既設トンネルの公共工事・民間工事の受注を目指すと共に東南アジア諸国へのトンネル換気システム事業の展開を図る。

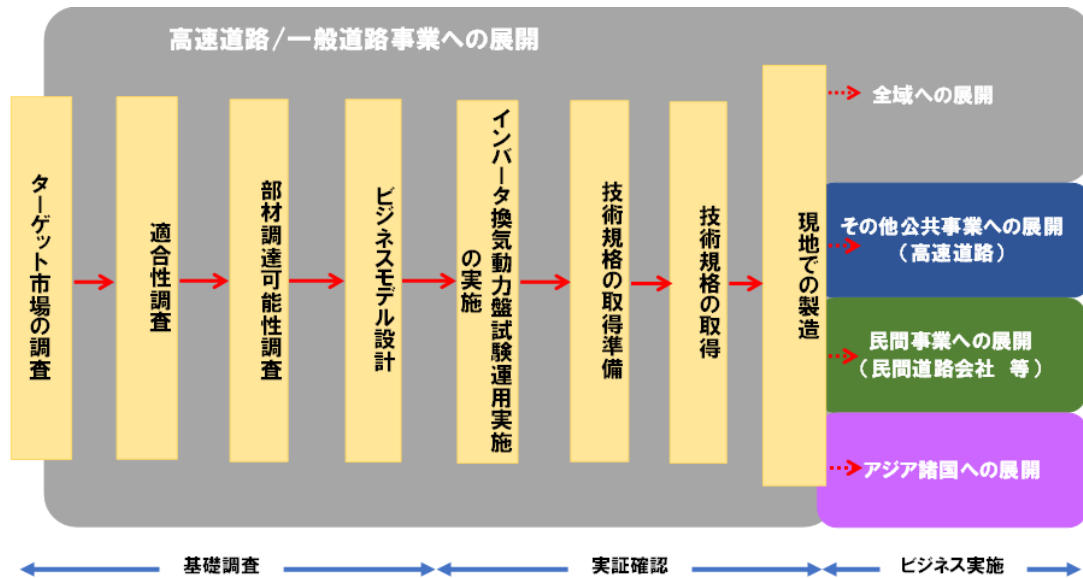


図 5 ビジネス展開のプロセス

出典：提案法人作成

2. 市場分析

(1) 市場の定義・規模

企業機密情報につき非公表

(2) 競合分析・比較優位性

企業機密情報につき非公表

3. バリューチェーン

(1) 製品・サービス

業機密情報につき非公表

(2) バリューチェーン

企業機密情報につき非公表

4. 進出形態とパートナー候補

(1) 進出形態

企業機密情報につき非公表

(2) パートナー候補

企業機密情報につき非公表

5. 収支計画

企業機密情報につき非公表

6. 想定される課題・リスクと対応策

(1) 法制度面にかかる課題/リスクと対応策

企業機密情報につき非公表

(2) ビジネス面にかかる課題/リスクと対応策

企業機密情報につき非公表

(3) 政治・経済面にかかる課題・リスクと対応策

企業機密情報につき非公表

(4) その他課題/リスクと対応策

企業機密情報につき非公表

7. 期待される開発効果

創発のビジネス展開を行うことによりベトナムの開発課題が次のように解決できる。

・換気システムの目的を高いレベルで達成

既設のサイゴン川トンネルを対象として換気システムの目的（電力量、環境、人的傷害リスク）を明確化し、課題改善に対する解決策を提案することにより、既設の道路トンネルの換気制御用設備・機器（コンピュータ、コントローラ、インバータ、センサ）を使用して換気システムの目的を現行より高いレベルで達成できることを示す。

・換気システム技術の標準化による全国展開

開発課題は既設のサイゴン川トンネル固有の課題ではなく、その根本原因は換気制御をシステムとしてとらえていないことによると考えられる。このため特にシステムの目的（電力量、環境、人的傷害リスク）を達成するための考え方を明確にし、その目的を実現するための制御管理方法（制御アルゴリズム）とそれを実現するための機器の正常動作を保障する仕組み（全機器性能を保障する各機器の役割分担、他機器への悪影響を与えないオペレーション、メンテナンス）の整備に関するシステム技術の標準化をITSTと共同で図ることで、公共・民間を問わず既設・新設の全国の道路トンネルに展開が容易になり、ベトナムにおける換気システム技術の確立につながる。

・東南アジアにおけるトンネルシステム技術のCenter of Excellence（COE）としてのベトナム

ASEAN諸国は引き続き高い経済成長が期待されている。ベトナムはこの地域における道路トンネルの計画、建設、運用、保守において最先進国であり、ベトナムにおいて換気システム技術の標準化が確立すれば、トンネルシステム技術のCenter of Excellence（「COE」）としてこの地域におけるトンネル施設の

製造、工事、メンテナンスの拠点となり、より一層の発展が期待できる。

8. 日本国内地元経済・地域活性化への貢献

(1) 関連企業・産業への貢献

ベトナムでのビジネスが実現した後も、基幹技術であるノイズ抑制フィルタはブラックボックス化した上で日本での製造を行う。これにより、国産技術としての水準を保持し、国内製作委託企業の生産増、輸出増が見込まれる。

(2) その他関連機関への貢献

兵庫県とホーチミン市は貿易・投資促進などの経済交流を推進するため、「友好・経済交流に関する覚書」を締結しており、双方向の経済交流を進めている。当該ビジネス展開を通じて、創発が両都市の人材交流、技術交流事業への経済促進に寄与することが可能である。

(3) 地域活性化への貢献

創発は神戸大学と共同で新システム懇談会を主催している。システム事業を得意とする中小企業として、ベトナムへの海外展開の経験を懇談会メンバー、参加企業と共有することにより地域の学生、地域の中小企業の活性化に貢献することができる。例えば、2023年3月に開催したものづくり工場でのオープンファクトリー事業を通して地域の中小企業、神戸大学の学生が参加することにより、地域の活性化に貢献した。

第4 ODA 事業との連携可能性

1. 連携が想定される ODA 事業

(1) トンネル分野

ベトナムにおいて、日本の ODA 事業として完成した大規模トンネルとしては、円借款事業「サイゴン東西ハイウェイ建設事業」における「サイゴン川（トゥーティエム）トンネル」（2010 年完成）及び「ハイヴァントンネル」（2005 年完成）の 2 つがある。その後、ハイヴァントンネルの経験は同地域のカーパストンネルやハイヴァントンネル第 2 期に生かされ、南北高速道路においてもベトナム企業により実績を挙げている。今後の主な事業も南北高速道路計画において予定されているが、ベトナム政府は ODA（円借款等）ではなく、政府予算または PPP 事業として実施する方針であり、日本の新規 ODA 事業との連携は想定されない。他方、上記の既往円借款 2 案件のうち、特にサイゴン川トンネルについては、完成後 10 年を経て機械設備の更新時期を迎えており、本調査を通じ、創発の技術（インバータ換気動力盤と交通量計測センサを組み入れた換気制御）によりトンネルの換気システムの改善に寄与することが確認されたため、ホーチミン市人民委員会を始め関係機関の合意を前提として導入を図りたい。この事業は基礎調査に続く普及・実証・ビジネス化事業としての実施を計画している。カウンターパート候補としては、同トンネルの管理機関である UTMC を想定している。これにより、我が国 ODA 事業の代表例の一つであるサイゴン川トンネルの維持管理を改善し、ODA 事業の持続性向上に貢献することが可能となる。

将来ベトナムと東南アジア隣国を接続する国際高速道路計画において、道路トンネルは必須であり、この事業に日本の資金協力による ODA 事業が形成される際には、換気制御システムに創発技術が活用される可能性が高い。

(2) 交通量計測分野

本調査において、ベトナム道路橋梁協会会長（元 MOT 副大臣）の紹介により、ハノイ人民委員会交通局、環境局へ創発の技術を紹介した。ハノイ市では、日本の ODA（円借款）により市内道路網の改良（市中心部のキムリエン・アンダーパスを含む）に続き、環状 3 号線の建設を支援し、市人民委員会と日本は長年の協力関係がある。他方、ハノイ市ではこれらの日本の ODA によるインフラ整備が進んだものの、急速なモータリゼーションに追いつかず、従来からバイク交通量が極めて多いという特殊性により、近年交通渋滞が益々深刻化し、交通局は開発計画の見直しを迫られている。その基礎として交通量の把握が不可欠であり、交通局によればこれまで欧米の手法により計測を行ったが、特にバイクの計測が困難なため、適切な計測器を探していたとのことであり、創発がサイゴン川トンネルで行った計測システムに高い関心を示している。日本の ODA は、ハードのインフラ整備に続き、高速道路の料金徴収や交通情報システムに日本の技術の導入を支援したが、残念ながら普及には至っていない。本調査によるサイゴン川トンネルでの実績を踏まえ、ハノイにおいても既往円借款事業である市内道路、環状 3 号線等を対象として都市交通ネットワークの改善事業（ITS、新設道路計画、既設交通網最適化等）との連携が可能であり、創発の交通量計測の技術による貢献可能性を追求したい。

2. 連携により期待される効果

(1) 本調査において、サイゴン川トンネル東側坑口で、LiDAR を利用して交通量計測を実施し、自動車と

モーターバイクの交通量を適切に計測できることを確認した。バイクの交通量を含めた換気システムを構築することができ、坑内環境、特に CO 濃度の改善及び換気電力量の削減に貢献することができる。サイゴン川トンネルの換気制御システムの改善を ITST との MOU に基づく実証事業（普及・実証・ビジネス化事業）として実施することを想定し、標準システム化することでベトナム国内の既設、新設トンネルへの展開を見込む。

(2) 現地関係機関へのヒアリングの過程で、これまでハノイ、ホーチミンなどの都市部において、都市交通網最適化のための様々な交通計測が試みられてきたが、実用性のあるデータを得られていないという現状が明らかになっている（DOT Hanoi でのヒアリング調査）。本調査で行った創発の LTC のバイク検知システムは、正確な自動車とモーターバイクの混合交通量の計測において貢献が期待される。

(3) 日本政府は、日本企業の優れた技術を生かした「質の高いインフラ」を世界標準とすることを目標としており、ベトナムにおける既往 ODA 事業を通じて創発のオンリーワン技術であるインバータ換気制御システムをベトナムにおいて普及・標準化することは、日本政府の政策、国際的なイニシアティブに沿うものである。日越政府（交通運輸当局）間における政策対話の機会等を通じ、良いモデルとなることを目指したい。

別添資料

企業機密情報につき非公表