

令和4年度

質の高いインフラの海外展開に向けた事業実施可能性調査事業

(インドネシア国・鉄道における DX 推進のためのデジタルツイン導入に関する調査事業) 成果報告書

令和5年2月

経 済 産 業 省

委託先：日本コンサルタンツ株式会社

東日本旅客鉄道株式会社

目 次

第1章	調査概要.....	2
1.1	基本情報	2
1.1.1	インドネシア国の国土と人口.....	2
1.1.2	インドネシア国の産業とデジタル化の現状.....	3
1.1.3	インドネシア国の鉄道.....	6
1.2	調査背景と目的	11
1.2.1	インドネシア国の公共交通の現況.....	11
1.2.2	インドネシア国の鉄道事業者のDX化の課題.....	12
1.2.3	日本の鉄道事業者のDX化の現状とインドネシア国への適用.....	12
1.3	調査内容	13
第2章	日本の鉄道事業者におけるデジタルツイン技術の活用によるDXとその効果	16
2.1	日本における鉄道DXの目指す姿とロードマップ.....	16
2.1.1	国土交通省の取り組み.....	16
2.1.2	JR 東日本の取り組み	20
2.2	本邦鉄道事業者におけるデジタルツインの現状と今後の進展.....	23
2.2.1	デジタルツインの定義と活用事例.....	23
2.2.2	鉄道デジタルツインを構築するソフトウェア.....	24
2.2.3	デジタルツインに関連するDXソリューション.....	29
2.2.4	鉄道デジタルツイン及びDXソリューションの導入による効果.....	35
2.2.5	鉄道デジタルツインの今後の進展.....	37
第3章	デジタルツイン環境構築、DXソリューション導入に必要な環境調査	41
3.1	インドネシア国のDX施策・方針・関連法令調査.....	41
3.1.1	運輸省鉄道総局（DGR）のDX施策・方針・関連法令.....	43
3.1.2	公共事業・国民住宅省道路総局（Bina Marga）のDX施策・方針・関連法令.....	45
3.1.3	工業省金属・機械・輸送機材・電力事業総局（ILMATE）のDX施策・方針・関連法令....	45
3.1.4	通信情報省（KOMINFO）のDX施策・方針・関連法令.....	46
3.1.5	地理空間情報庁（BIG）のDX施策・方針・関連法令.....	47
3.2	インターネット／データセンター環境、BIM/CIM ソフトウェア環境調査	48
3.2.1	インターネット環境	48
3.2.2	データセンター環境	51
3.2.3	BIM/CIM ソフトウェア環境調査	53
3.3	衛星データを活用したデジタル環境の構築調査.....	53
3.3.1	地球観測衛星	53

3.3.2 測位衛星	56
第4章 現地鉄道事業者におけるDX	59
4.1 ジャカルタ都市高速鉄道会社（Jakarta Mass Rapid Transit; MRTJ）におけるDX施策.....	59
4.1.1 DXにかかる基本方針.....	59
4.1.2 整備状況	59
4.1.3 潜在的ニーズ	61
4.2 インドネシア鉄道会社（PT. Kereta Api Indonesia; KAI）におけるDX施策.....	61
4.2.1 KAI のDXにかかる基本方針.....	61
4.2.2 整備状況	62
4.2.3 潜在的ニーズ	66
4.3 インドネシア通勤鉄道会社（PT. Kereta Commuter Indonesia; KCI）におけるDX施策.....	66
4.3.1 KCI のDXにかかる基本方針.....	66
4.3.2 整備状況	67
4.3.3 潜在的ニーズ	68
第5章 デジタルツイン、DXソリューションの導入及び活用の検討.....	71
5.1 デジタルツインプラットフォーム.....	71
5.1.1 デジタルツインプラットフォームの概要.....	71
5.1.2 デジタルツインプラットフォームの有効活用.....	72
5.2 DXソリューション①「鉄道沿線地形の詳細化と弱点箇所の抽出」	74
5.2.1 鉄道沿線地形の詳細化.....	74
5.2.2 弱点箇所の抽出	75
5.3 DXソリューション②「位置情報を活用したDXソリューション」	78
5.3.1 在線位置表示	79
5.3.2 GIS データを活用した在線位置表示	80
5.3.3 デジタルツインプラットフォームへの在線位置表示.....	80
5.4 DXソリューション③「映像を活用したDXソリューション」	82
5.4.1 混雑情報の可視化	82
5.4.2 標識検知	83
5.4.3 挙動検知	83
5.4.4 土砂災害検知	84
5.4.5 線路への転落検知	85
5.4.6 旅客流動調査	87
第6章 将来的なビジネスモデル	90
6.1 将来的な想定ビジネスモデル.....	90
6.2 提案事業①「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」	91
6.3 提案事業②「デジタルツイン PF サービス提供、DXソリューション開発事業」	92
第7章 導入ロードマップの策定	95
7.1 ビジネスモデルの実施体制と実施方法.....	95

7.1.1	ビジネスモデルの実施体制.....	95
7.1.2	ビジネスモデルの実施方法.....	97
7.2	ビジネスモデルの実施における概算費用と収入見込み.....	103
7.2.1	概算費用の試算①「デジタルツインプラットフォーム構築」にかかる費用.....	103
7.2.2	概算費用の試算②「鉄道沿線地形の詳細化と弱点箇所の抽出」にかかる費用.....	103
7.2.3	概算費用の試算③「位置情報を活用したDXソリューション」にかかる費用.....	104
7.2.4	概算費用の試算④「映像を活用したDXソリューション」にかかる費用.....	104
7.3	ファイナンス	105
7.3.1	実証実験のファイナンス.....	105
7.3.2	事業実施時のファイナンス.....	109
7.4	実施スケジュール	110
7.5	ビジネスモデルの実施に向けクリアすべき課題.....	112
7.5.1	「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」の課題.....	113
7.5.2	「デジタルツイン PF サービス提供、DX ソリューション開発事業」の課題.....	113
7.5.3	各事業に共通する課題.....	113
第8章	結論と提言.....	116
8.1	結論	116
8.1.1	鉄道オペレーションとデジタル環境整備の現況.....	116
8.1.2	実証実験・ビジネスモデルの実施.....	116
8.1.3	懸念と対応策における日本の優位性.....	116
8.2	提言	117



図 1-1	インドネシア共和国	2
図 1-2	日本とインドネシア国の人口ピラミッド.....	3
図 1-3	JakLingko アプリ画面	4
図 1-4	ジャカルタ市内の駅前で公共交通から配車バイクに乗り換える通勤客たち.....	4
図 1-5	PeduliLindungi アプリ画面	5
図 1-6	MRTJ の車両	6
図 1-7	MRTJ 現状路線と延伸計画	7
図 1-8	KAI の車両	8
図 1-9	KAI 路線図（ジャワ島）	9
図 1-10	KCI の車両	9
図 1-11	KCI 路線図	10
図 1-12	ジャカルタ周辺の鉄道利用者数の推移.....	11
図 2-1	3次元点群データを用いた鉄道施設点検システムの開発	18
図 2-2	IT やセンシング技術等を活用したホーム転落防止技術等の活用促進	19
図 2-3	第四次産業革命	20
図 2-4	モビリティ・リンケージ・プラットフォームの構築.....	23
図 2-5	自社新幹線のチケットレス化推進.....	23
図 2-6	白地図表示	25
図 2-7	航空写真重ね合わせ表示.....	25
図 2-8	多層情報表示	25
図 2-9	検索機能	26
図 2-10	3D 空間上での距離計測	27
図 2-11	3D 空間上へのメモ、アイコン配置、パノラマムービー連携	27
図 2-12	パノラマムービーの表示.....	28
図 2-13	新旧映像の比較	29
図 2-14	列車走行位置と到着見込時刻.....	30
図 2-15	列車走行位置及び到着見込み時刻と編成の混雑度（首都圏）	31
図 2-16	ロッカー空き情報	32
図 2-17	津波避難誘導アプリ画面.....	33
図 2-18	津波避難誘導アプリ管理画面.....	33
図 2-19	TRANCITY 操作画面	34
図 2-20	TRANCITY による計測とデータ比較	35
図 2-21	建設工事のリモート監督イメージ.....	37
図 2-22	3次元点群データを用いた設計、工事情報管理	39
図 2-23	実物大模擬設備	39

図 3-1	インドネシア国の政府組織図.....	41
図 3-2	Major Project Transformasi Digital.....	42
図 3-3	DGR とターゲットとする鉄道事業者の関係.....	44
図 3-4	One Map Policy 推進の組織図.....	48
図 3-5	インドネシア国のインターネットユーザー増加状況.....	49
図 3-6	Telkomsel のカバレッジ.....	50
図 3-7	XL Axiata のカバレッジ.....	50
図 3-8	Indosat Ooredoo のカバレッジ.....	50
図 3-9	掘削工事中のケーブル切断の例.....	51
図 3-10	AWS で構築した SaaS のネットワーク構成図.....	52
図 3-11	干渉 SAR の原理.....	55
図 3-12	2018 年インドネシア国・ロンボク島の地震に伴う地殻変動の解析結果.....	56
図 3-13	複数 GNSS 対応高精度軌道時刻推定ツール (MADOCA).....	57
図 4-1	IBM Maximo と ERP (SAP) のインタフェースプロセス.....	60
図 4-2	DX に向けた戦略行動プログラム.....	62
図 4-3	財産管理ダッシュボード.....	63
図 4-4	チケット販売端末.....	64
図 4-5	発行されたチケット.....	64
図 4-6	旅客案内ディスプレイ.....	65
図 4-7	列車内小型ディスプレイ.....	65
図 4-8	IT 開発戦略 (KCI).....	67
図 4-9	旅客案内ディスプレイ.....	68
図 5-1	BIM データ.....	72
図 5-2	点群データ.....	73
図 5-3	レーザー計測データ.....	73
図 5-4	運行情報と 3D モデルとの重ね合わせの例.....	74
図 5-5	災害危険箇所抽出例 (■土石流危険箇所 ■落石、土砂崩壊危険箇所).....	75
図 5-6	河川浸水想定範囲.....	76
図 5-7	軟弱地盤.....	76
図 5-8	解析雨量.....	77
図 5-9	等高線図.....	77
図 5-10	斜度図.....	78
図 5-11	KCI の列車位置情報サービス.....	79
図 5-12	列車位置表示 (駅電光掲示板、PC、スマートフォンなど).....	79
図 5-13	在線位置表示の例.....	80
図 5-14	視点を傾けることで地形の把握が容易になる事例.....	81
図 5-15	運行情報と災害地形との重ね合わせの例.....	81
図 5-16	運行情報と 3D モデルとの重ね合わせの例.....	82

図 5-17	混雑情報の可視化	83
図 5-18	標識検知	83
図 5-19	挙動検知の例	84
図 5-20	ブミワルヤ駅の上空から撮影した写真.....	84
図 5-21	JR 東日本 災害監視カメラ	85
図 5-22	マンガライ駅 ホーム上狭窄部の様子.....	86
図 5-23	マンガライ駅 ホーム上狭窄部 旅客通行の様子.....	86
図 5-24	ステレオカメラによる障害物検知.....	87
図 5-25	旅客流動調査に使用するセンサー.....	87
図 5-26	旅客流動調査結果（舞浜駅）	88
図 5-27	マンガライ駅の状況（オフピーク時）	88
図 6-1	将来的な想定ビジネスモデル・実施体制（案）	91
図 6-2	デジタルツイン PF のイメージ.....	92
図 6-3	デジタルツイン PF を活用したソリューション（案）	93
図 7-1	将来的な想定ビジネスモデル・実施体制（案）（図 6-1 再掲）	95
図 7-2	SaaS の基本的な仕組み	98
図 7-3	インドネシア国への進出形態（案）その 1	101
図 7-4	インドネシア国への進出形態（案）その 2	101
図 7-5	想定対象範囲	104
図 7-6	JICA 民間連携事業の概要	106
図 7-7	JETRO「日 ASEAN におけるアジア DX 促進事業」の概要.....	108
図 7-8	将来のビジネスモデルの実施に向けたスケジュール.....	111

表

表 1-1	調査内容について	13
表 2-1	DXアクションプランの取り組み等.....	16
表 2-2	IT やセンシング技術等を活用したホーム転落防止技術（抜粋）	19
表 2-3	技術革新の中長期ビジョンと方向性.....	21
表 2-4	DXソリューション導入による効果.....	35
表 2-5	JRE-BIM 導入による効果の詳細	36
表 3-1	鉄道DX実用化に関連する法令等.....	43
表 3-2	インドネシア国内の 3D ソフトウェア製品.....	53
表 4-1	MRTJ ソフトウェア使用状況	59
表 5-1	鉄道事業者ニーズと対応するソリューション・ビジネスモデル.....	71
表 5-2	鉄道事業者ニーズとデジタルツインプラットフォーム適用可否.....	74
表 6-1	鉄道事業者ニーズと対応するソリューション・ビジネスモデル（表 5-1 と同内容）	90
表 7-1	オンプレミスと SaaS の比較.....	98
表 7-2	インドネシア国への進出形態の概要と特徴.....	100
表 7-3	法務・税務に関する主な課題と対応方針.....	102
表 7-4	各支援スキームの特徴・課題の整理.....	109
表 7-5	IT 関連システムの輸出において活用可能性のある JBIC の支援メニュー	110
表 7-6	ロードマップ実現に向けた課題整理.....	112

略 語

略語	Complete Name	日本語名称
AI	Artificial Intelligence	人工知能
ATOS	Autonomous decentralized Transport Operation control System	東京圏輸送管理システム
ALOS	Advanced Land Observing Satellite	陸域観測技術衛星
ASEAN	Association of South East Asian Nations	東南アジア諸国連合
AWS	Amazon Web Service	アマゾン・ウェブ・サービス
BAPPENAS	Badan Perencanaan Pembangunan Nasional	インドネシア国 国家開発企画庁
BI	Bank of Indonesia	インドネシア国中央銀行
BIG	Badan Informasi Geospasial	インドネシア国 地理空間情報庁
BIM	Building Information Modeling	構造物情報付加モデル
Bina Marga	Directorate General of Highways	インドネシア国 公共事業・国民住宅 省道路総局
CAD	Computer Aided Design	コンピューター支援設計
CBM	Condition Based Maintenance	状態基準保全
CDE	Common Data Environment	共通データ環境
CIM	Construction Information Modeling /Management	建設情報付加モデル
CMMS	Computerized Maintenance Management System	資産管理、保守スケジュール設定、及び作業指示の追跡を支援するシステム
CRM	Customer Relationship Management	顧客関係管理
DC	Data Center	データセンター
DGR	Directorate General of Railways	インドネシア国 運輸省鉄道総局
DSM	Digital Surface Model	数値表層モデル
DTM	Digital Terrain Model	数値地形モデル
DX	Digital Transformation	デジタル技術によってビジネスモデルをはじめ業務や組織などの改革をもたらし、企業の競争力を高めるソリューション

EAM	Enterprise Asset Management	企業資産管理
EDMS	Electronic Data Management System	エレクトロニック・データ・マネジメント・システム
ERP	Enterprise Resource Planning	統合基幹業務システム
ESO	Electronic System Operator	電子システムオペレーター
GCP	Google Cloud Platform	グーグル・クラウド・プラットフォーム
GDPR	General Data Protection Regulation	一般データ保護規則
GE	General Electric Company	ゼネラル・エレクトリック
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球測位衛星システム
GPS	Global Positioning System	全地球測位システム
ICT	Information and Communication Technology	情報通信技術
ILMATE	Direktorat Jenderal Industri Logam, Mesin, Alat Transportasi dan Elektronika	インドネシア国 工業省金属・機械・輸送機材・電力事業総局
InSAR	Interferometric SAR	干渉合成開口レーダー
IoT	Internet of Things	モノのインターネット
IT	Information Technology	情報技術
ITGI	IT Governance Institute	I T ガバナンス協会
ITS	Intelligent Transport Systems	高度道路交通システム
ITU	International Telecommunication Union	国際電気通信連合
JETRO	Japan External Trade Organization	日本貿易振興機構
JBIC	Japan Bank for International Cooperation	国際協力銀行
JIC	Japan International Consultants for Transportation Co., Ltd.	日本コンサルタンツ株式会社
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
JRC	JR East Consultants Company	JR 東日本コンサルタンツ株式会社
JRE	East Japan Railway Company	東日本旅客鉄道株式会社

KAI	PT. Kereta Api Indonesia	インドネシア鉄道会社
KBLI	Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia	インドネシア標準産業分類
KCI	PT. Kereta Commuter Indonesia	インドネシア通勤鉄道会社
KCIC	Kereta Cepat Indonesia China	インドネシア中国高速鉄道
KKJTJ	Komisi Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan	インドネシア国 橋・トンネル安全委員会
KOMINFO	Kementerian Komunikashi Dan Informatika	インドネシア国 通信情報省
KPBUMN	Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha Milik Negara	インドネシア国 行政・国営企業連携
LAPAN	Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional	インドネシア国立航空宇宙研究所
LiDAR	Light Detection And Ranging	光による検知と測距
LRT	Light Rail Transit	軽量高架鉄道
LRTJ	LRT Jakarta	LRT ジャカルタ
MaaS	Mobility as a Service	モビリティ・アズ・ア・サービス
MADOCA	Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis	複数 GNSS 対応高精度軌道時刻推定ツール
MOU	Memorandum of Understanding	了解覚書
MRTJ	Jakarta Mass Rapid Transit	ジャカルタ都市高速鉄道会社
NDA	Non-Disclosure Agreement	秘密保持契約
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
OJK	Otoritas Jasa Keuangan	インドネシア国 金融サービス庁
OMP	One Map Policy	インドネシア国 一つのマップ政策
O&M	Operation and Maintenance	オペレーション&メンテナンス
P3DN	Peningkatan Penggunaan Produksi Dalam Negeri	インドネシア国 国産品優先
PCT	Patent Cooperation Treaty	特許協力条約
PF	Platform	プラットフォーム
PMA	Penanaman Model Asing	インドネシア国 外国投資会社
PPh	Pajak Penghasilan	インドネシア国 所得税

PSBB	Pembatasan Sosial Berskala Besar	インドネシア国 大規模な社会制限
PT	Perseroan Terbatas	インドネシア国 会社法に基づく有限責任会社
RTK	Real Time Kinematic	相対測位
SAP	SAP Plant Maintenance (PM)	設備財産管理システム
SAR	Synthetic Aperture Radar	合成開口レーダー
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	大規模設備監視システム
SfM	Structure from Motion	他視点ステレオ写真測量
SNS	Social Networking Service	ソーシャル・ネットワーキング・サービス
STEP	Special Terms for Economic Partnership	本邦技術活用条件
TKDN	Tingkat Komponen Dalam Negeri	インドネシア国 国産化率
VAT	Value Added Tax	付加価値税

第 1 章 調査概要

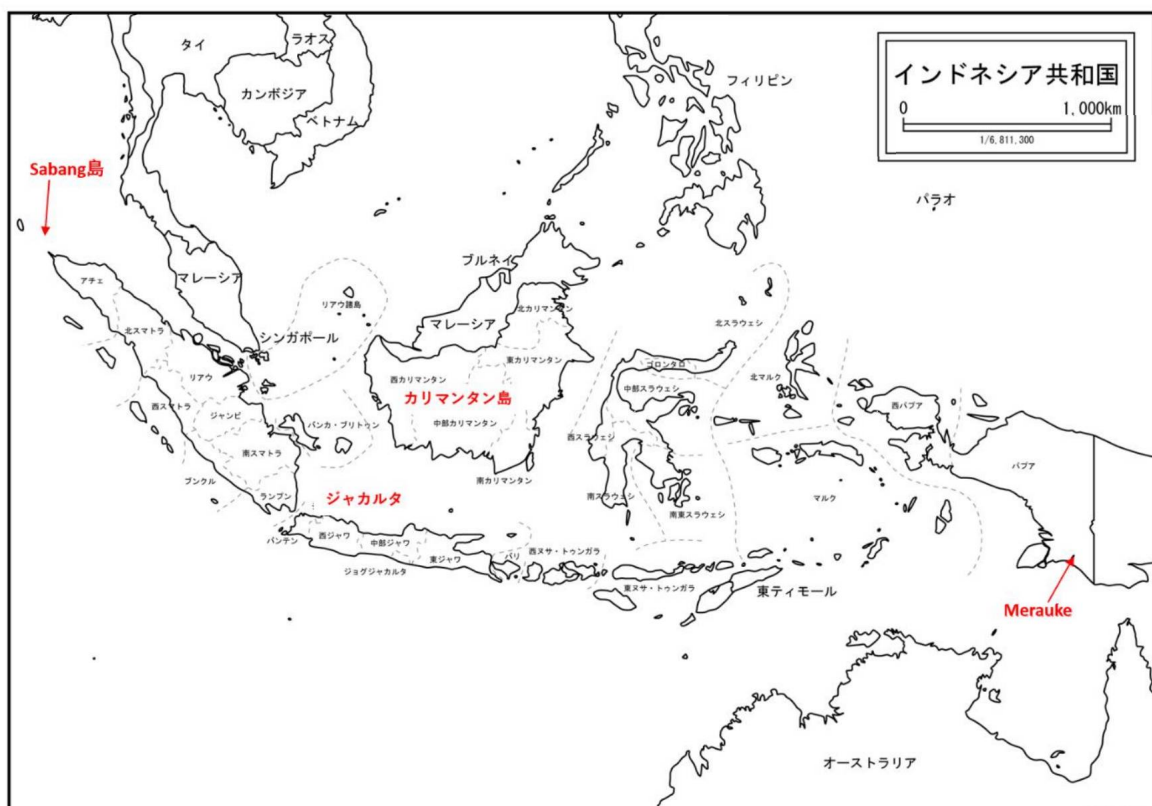
第1章 調査概要

本章においては、インドネシア国の基本情報、特に産業とデジタル化、鉄道について述べる。次に本調査事業の目的として、同国の鉄道事業が持つ課題とそれに対する日本の鉄道技術の有用性について言及し、最後に調査内容について述べる。

1.1 基本情報

1.1.1 インドネシア国の国土と人口

インドネシア国（インドネシア共和国）は、国土面積が 191 万平方 km で日本の約 5 倍の大きさ、13,000 以上の島から成る群島国家である。国土が東西に非常に長く、国土の西北の隅にあるサバン島から東南の隅の街メラウケまでの距離は約 5,200km にも及び、東京からシンガポールまでの距離（約 5,300km）にも匹敵する。

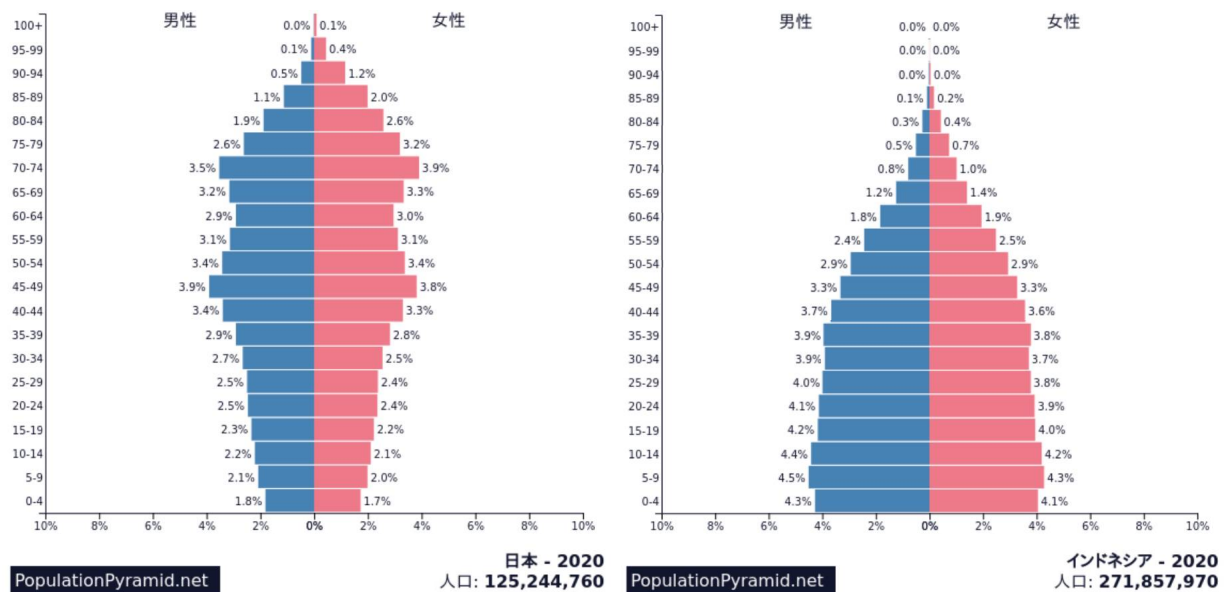


出典：白地図 (<https://www.freemap.jp/>) を加工して調査団作成

図 1-1 インドネシア共和国

人口は約 2 億 7,000 万人、中国、インド、アメリカに次いで、世界で 4 番目に人口が多い。人口増加率は年々低下してきているが、2021 年の年平均人口増加率は 0.7%で、PopulationPyramid.net によると 2067 年までは毎年人口が増加し続けるだろうとされている。日本の人口ピラミッドと比較してもわ

かるように、日本と比較して国民の平均年齢が非常に若い。



出典：PopulationPyramid.net (<https://www.populationpyramid.net/>)

図 1-2 日本とインドネシア国の人口ピラミッド

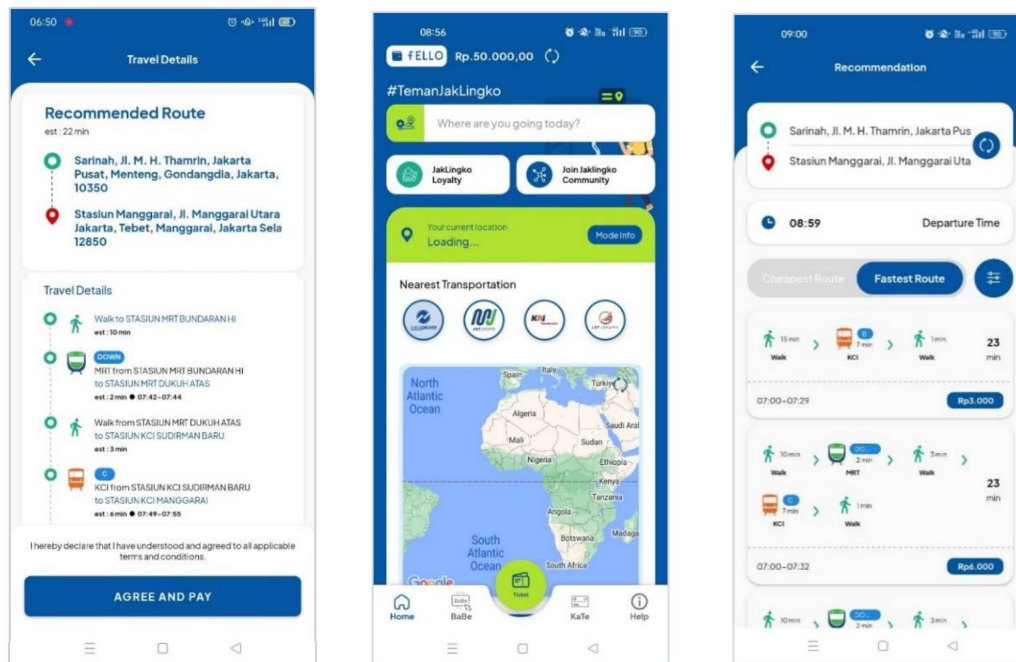
インドネシア国の人口分布の特徴として、ジャワ島への一極集中が挙げられる。ジャワ島は国土面積に占める割合は 7%程度にしか満たないが、そこに総人口の 6 割近くが集中している。そこでインドネシア国政府は、ジャワ島と島内の首都ジャカルタへの人口集中、そしてそれにより発生している交通渋滞や環境汚染を緩和するために、2019 年、インドネシア国の首都を現在のジャワ島ジャカルタから、カリマンタン島（ボルネオ島）東部に移転し、新首都名を「ヌサンタラ」とすると発表（2022 年 1 月）している。

1.1.2 インドネシア国の産業とデジタル化の現状

アジアの他の新興国と同じく、インドネシア国ではパソコンよりも、携帯電話によるインターネット利用が日常生活に定着している。一例として 2021 年 2 月 25 日付のインドネシア総合研究所の記事によると、若者層（ここでは 16 歳～30 歳としている）では、過去 3 か月間のモバイル端末の利用率が 94.55%であるのに対し、コンピューターの利用率は 26.45%にしか過ぎない。この数字は学校でのコンピューターの利用を含むので、一般的に学校を卒業している 25 歳～30 歳に限定すると、コンピューターの利用率は 19.47%と更に低くなる。また、日本とインドネシアを比較すると、ITU (International Telecommunication Union) の 2020 年のデータによれば、コンピューターを持っている世帯数は、日本では全体の 76%であるのに対し、インドネシア国は全体の 18%しかない。一方でモバイル端末を持っている個人は日本が全体の 93%であるのに対し、インドネシア国は 66%と日本よりも低いものの、これらのデータから、インドネシア国ではコンピューターよりもモバイル端末が活用されていることが推定できる。このような状況のもと、インドネシア国ではモバイル端末を使った電子マネーなどの決済、配車サービス、E コマース、SNS、エンターテインメント、ナビゲーションなど日常生活の幅広い

分野でのデジタル化が定着してきている。

決済分野では、2021 年 5 月 10 日付の JETRO ビジネス短信によると、インドネシア国には 56 の電子マネーが存在しており、人口の 3 割が銀行口座を持たずクレジットカードが普及していないインドネシア国では、スマートフォンを用いた決済が急成長している。交通分野では、ジャカルタ市内で展開されている JakLingko という統合交通決済基盤は、アプリひとつで、鉄道や市内のバス等の公共交通と Grab 等の配車サービスを統合させた MaaS サービスを展開している。



出典：JakLingko

図 1-3 JakLingko アプリ画面



出典：調査団撮影

図 1-4 ジャカルタ市内の駅前で公共交通から配車バイクに乗り換える通勤客たち

E コマースに関しては、2020 年 3 月に始まった新型コロナウイルス感染拡大に関して、インドネシア国は大規模な社会制限（PSBB）が実施されており、最も制限が強化された時点では首都ジャカルタにおいては、公共交通機関に乗車定員が設定され、レストランでは店内での飲食は禁止され持ち帰りかデリバリーのみ、一時は買い物のためのモールなども閉鎖され、E コマースが進展した（2020 年 4 月 14 日付け、2020 年 9 月 15 日付、2021 年 7 月 2 日付 JETRO ビジネス短信）。2022 年 12 月時点では、こうした社会制限はほぼ撤廃されているが、ワクチン接種履歴を PeduliLindungi スマートフォンアプリ（図 1-5）で管理し、モールなど人が多く集まる場所ではこのアプリの画面を提示して入場する、という姿が日常的になっている。

このように、新型コロナウイルス感染拡大により、インドネシア国も他国と同様に、オンラインによるフードデリバリーや、E コマース、学校のオンライン授業などさまざまな分野でのデジタル化の動きが一層加速されている。



出典：PeduliLindungi

図 1-5 PeduliLindungi アプリ画面

インドネシア国政府も、ポストコロナを見据えた国民生活の質の向上や経済発展のための情報インフラの整備、産業のデジタルトランスフォーメーション（DX）促進を施策として掲げており、大統領規則 2020 年 18 号（2020 年～2024 年中期開発計画）のもと、2021 年 5 月に国家開発企画庁（BAPPENAS）が通信情報省（KOMINFO）と共に国家DX主要プロジェクト（Major Project Transformasi Digital）を策定し対象となる 10 の産業分野を指定している。その中に交通・観光産業（Digital Transportation and tourism）が含まれており、鉄道産業界も積極的なDX対応が求められているのが現状である。

1.1.3 インドネシア国の鉄道

ここでは、ジャカルタ首都特別州政府が出資するジャカルタ都市高速鉄道会社（MRTJ）、国有企業であるインドネシア鉄道会社（KAI）と KAI の子会社であるインドネシア通勤鉄道会社（KCI）について説明する。

（１）ジャカルタ都市高速鉄道会社（MRTJ）の会社概要

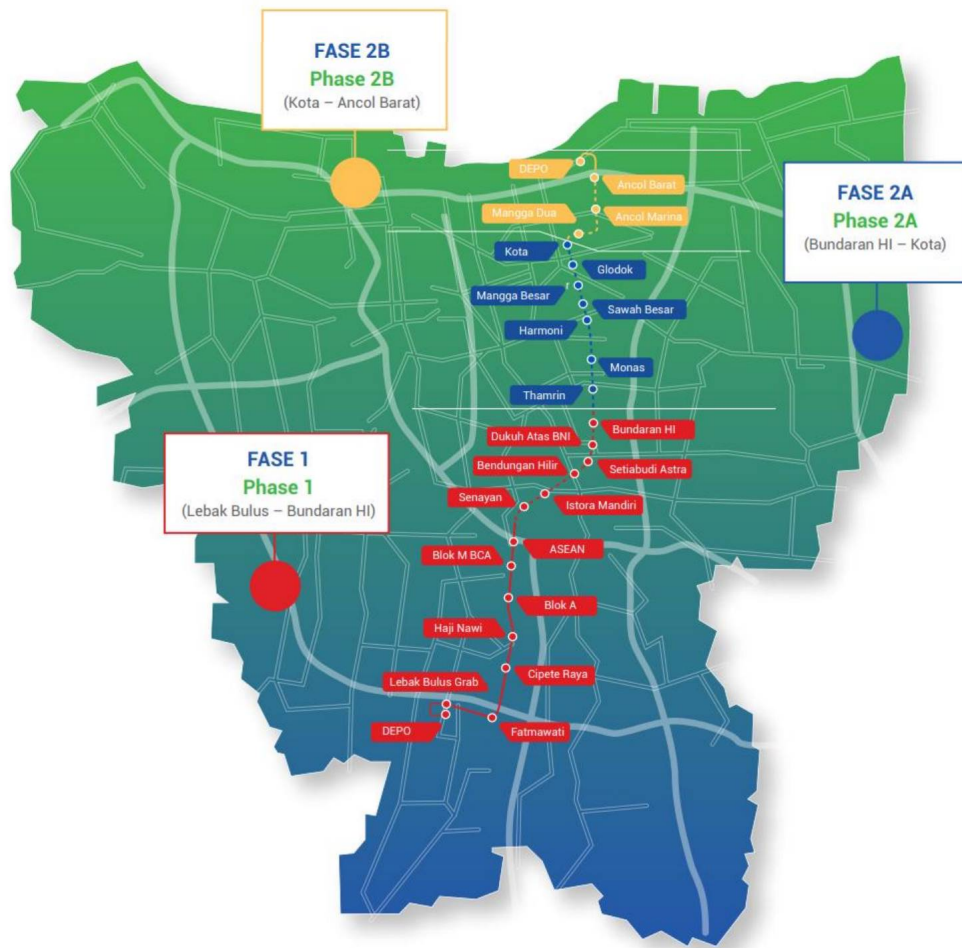
MRTJ（Jakarta Mass Rapid Transit）は、ジャカルタ首都特別州政府が出資する MRTJ 社が運営する、インドネシア初の地下鉄である。建設工事は、日本企業主体のコントラクターにより施工され、南北線の Lebak Bulus Grab 駅から Bunderan HI 駅までのフェーズ 1：15.7 km（高架区間 7 駅 9.8 km、地下区間 6 駅 5.9 km）は要求工期どおり 2019 年 3 月に開業している。南北線のフェーズ 2：11.5 km（10 駅及び車両基地）については、現在施工中である。東西線については、政府で計画案を検討中である。

建設資金は日本の円借款の本邦技術活用条件（STEP：Special Terms for Economic Partnership）により供与された。フェーズ 1 に関しては、運行及びメンテナンスの事業主体である MRTJ に対して、開業前の準備と開業後の運営のために日本コンサルタンツ株式会社（JIC）が支援している。



出典：調査団撮影

図 1-6 MRTJ の車両



出典：MRTJ Annual Report 2021

図 1-7 MRTJ 現状路線と延伸計画

(2) インドネシア鉄道会社 (KAI) の会社概要

(a) 概要

インドネシア鉄道会社 (KAI : Kereta Api Indonesia) は、ジャワ島及びスマトラ島全域において、主に都市間輸送の鉄道運行を行う国有企業である。オランダ統治時代に建設された路線を活用して運行しており、1999 年に現在の PT.KAI 組織体制となった。KAI には 6 つの子会社があり、以下のような分業となっている。

- ・ KAI Commuter (KCI) : 主に都市内鉄道を運営
- ・ KAI Logistik : 貨物鉄道を運営
- ・ KAI Bandara : 空港接続線を運営
- ・ KAI Wisata : 旅行業を担当
- ・ KAI Properti : 建設・不動産・貿易・鉄道インフラの保守を担当
- ・ KAI Services : 鉄道周辺事業を担当

KAI は近年都市内鉄道も手掛けており、軽量高架鉄道「LRT Jabodebek」をジャカルタ首都圏で建設中である。



出典：調査団撮影

図 1-8 KAI の車両

(b) 施設・車両

ほとんどがオランダ統治時代に建設されたこともあり、日本と同じ 1,067mm の狭軌が多く、一部 750mm や 600mm のゲージも存在する。近年では世界標準に合わせて 1,435mm の標準軌も建設されている。ほとんどが単線非電化区間でディーゼル気動車や機関車が主となっている。運営は上下分離方式が採用されており、駅舎・車庫以外の地上施設は運輸省鉄道総局 (DGR) が所有している。

(c) 運営路線

KAI の路線は大きく分けて北スマトラエリア、西スマトラエリア、南スマトラエリア、ジャワエリアの 4 つのネットワークで成り立っている。最初の路線はオランダ統治時代の 1864 年にスマランで建設された。現在は総延長が約 5,000km にのぼり、貨物輸送や地域間旅客輸送にとって重要なセクターとなっている。



出典：OpenRailwayMap (<https://www.openrailwaymap.org/>) を加工して調査団作成

図 1-9 KAI 路線図（ジャワ島）

（３）インドネシア通勤鉄道会社（KCI）の会社概要

（a）概要

ジャカルタ首都圏及び地方主要都市において電気鉄道の運行を行う企業である。2008 年に親会社の KAI から分離し、子会社化されている。KCI は車両の保有もしており、KAI とは別に独自の車両基地を持ち、そこでメンテナンスを行っている。配車やダイヤなどの運行面に関しては KAI が管理しており、KCI は決定権を持っていない。今後 KAI に管理されている路線も一部 KCI に移譲される予定である。



出典：調査団撮影

図 1-10 KCI の車両

（b）施設・車両

KAI と同様に、運営は上下分離方式が採用されており、駅舎、車庫以外の地上施設は DGR が所有

している。全線が電化されており、特にジャカルタエリアでは軌間と電圧も日本と同様の仕様（軌間：1,067mm、電圧：直流 1,500 ボルト）であるため、日本製中古車両が多く運行されている。日本製車両以外には、INKA（インドネシア）とボンバルディア・トランスポーテーション（ドイツ）が共同制作した車両が運行されている。

（c）運営路線

運行されているエリアはジャカルタ首都圏の他に、バンドンエリア、ジョグジャカルタエリア、スラバヤエリアがあり、営業路線延長は約 700km 強となっている。588km がジャカルタ首都圏の路線である。ジャカルタ首都圏の路線は主要 5 路線と地方ローカル線 1 路線の計 6 路線で、市内中心部では環状運転が行われている。特にボゴール線とチカラン線の運行本数が多く、その 2 路線が交わるマンガライ駅は一大ターミナルとなっている。同駅は数年前まで平面交差による列車遅延が常態化していたため、2019 年から立体交差化工事が行われており、現在は大部分の平面交差が解消されている。



出典：KCI ウェブサイト (<https://commuterline.id/perjalanan-krl/peta-rute>)

図 1-11 KCI 路線図

（４）その他の旅客鉄道

上記の他に、ジャカルタ特別州による軽量高架鉄道「LRT Jakarta」が 2019 年 12 月 1 日に営業を開始している。また、ジャカルタとバンドン間の都市間鉄道として、高速鉄道「Kereta Cepat Indonesia China」(KCIC) の建設が進められており、今後は高速鉄道・準高速鉄道のネットワークも拡充される計画である。

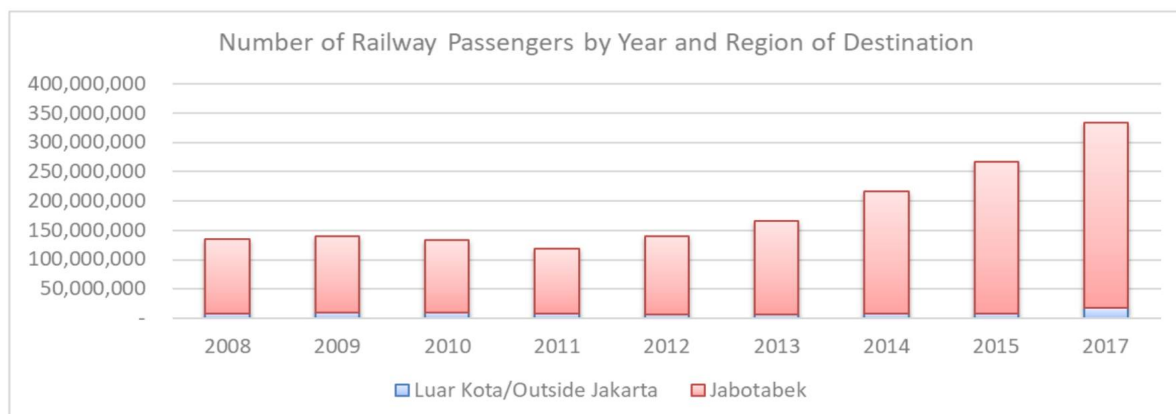
1.2 調査背景と目的

1.2.1 インドネシア国の公共交通の現況

2022 年 10 月 19 日、ジャカルタ首都特別州政府の知事代行と国営企業相がジャカルタ特別州の公共交通機関の接続の改善などに向けた全般的な統合について協議したとのプレス報道があった。この協議は今後も継続して行われるものという。対象となる公共交通機関は、MRTJ から建設中のジャカルターバンドン高速鉄道も含めており、ジャカルタ首都圏における公共交通機関を一つのシステムにまとめる方針であるという。国営企業相は、向こう 1 年半から 2 年で公共交通機関のサービス改善を加速させる考えを示すと同時に、これはジョコ・ウィドト大統領の意向でもあることを発表している。

また、同年 11 月 30 日には、MRTJ が KCI に資本注入することがプレスされている。これは、当初 MRTJ が KCI を買収するというジョコ大統領の指示から計画が変更されたものであると報道されている。目的は、ジャカルタ首都圏の交通網の統合を目指したものであり、様々なアプローチでジャカルタ首都圏の公共交通網のサービス向上にインドネシア国として取り組んでいることが伺われる。

ジャカルタ首都特別州政府は、公共交通機関へのモダルシフトを加速させる取り組みを継続して実施しており、公共交通分担率の向上に取り組んでいる。その結果、図 1-12 にあるように、ジャカルタ周辺の鉄道の利用者数も近年急速に伸びてきている。このような状況であるジャカルタからヌサンタラに 1.1.1 で述べた首都移転が実施されることにより、同州における課題について一定の改善は見込まれると考えられるが、解決されるには相当の期間が必要であると推測される。



出典：Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta

(<https://jakarta.bps.go.id/statictable/2017/02/23/169/jumlah-penumpang-kereta-api-menurut-bulan-dan-tujuan-2008---2015-2017.html>) を加工して調査団作成

図 1-12 ジャカルタ周辺の鉄道利用者数の推移

1.2.2 インドネシア国の鉄道事業者のDX化の課題

前述のように、インドネシア国政府は鉄道産業界における積極的なDX化を促進したいと考えているものの、現時点での現地鉄道事業者のDX活用は、旅客への情報提供やチケット購入などのサービス面が主流であり、鉄道運行、保守業務、防災情報等の高度な業務活用は構想段階に留まってしまっている。具体的な課題は本報告書の中で述べるが、例えば KCI では、列車の到着番線を旅客に知らせる際に、列車を係員が目視で確認した上で到着番線を端末に手入力しているなど、まだ人力に頼っている面が多い。

業務活用が進まない一因としては、業務活用に必要なインドネシア国内の基準となる地図が整備されていないことがあると考える。鉄道の業務で活用するためには、基準となる線路平面図の上に、例えば列車の現在位置や信号の位置、防災上の危険箇所といった鉄道に関するさまざまな情報を集約する必要があるが、現在はその基準となる地図が存在していない。一般市民の間でも地図の未整備による紛争も発生しており、地図の整備のためにインドネシアでは2016年、「One Map Policy」という大統領令が出されているが、未だ整備中である。また、KAI、KCI は資金的な面からも古いままの鉄道システムを使わざるを得ないこと、人口が多く人件費も安いために喫緊にDX化を進めて省力化をする必要性が無いためにDX活用に関するノウハウや人材が蓄積されていないことなども、業務でDX活用が進まないことの要因となっている。

このような中、現地鉄道事業者が日本の鉄道事業者へ列車運行や設備の維持管理、旅客サービスの面についてDX支援の要請を行っている。日本は1970年代からインドネシアの鉄道のインフラ整備、そして日本の中古車両の輸出、そして近年はオペレーションとメンテナンスの技術支援など最大の支援国になっており、日本の鉄道技術に対する信頼度も高い。長い歴史の中でインドネシアと日本の鉄道はサービス面、技術面で親和性が高いと言える。

1.2.3 日本の鉄道事業者のDX化の現状とインドネシア国への適用

日本においては、2020年12月には経協インフラ戦略会議が「インフラシステム海外展開戦略2025」を発表している。ここでは、今後のインフラ輸出戦略においては、コロナ禍を契機とした社会の変革やデジタル化、脱炭素化の加速を踏まえた新たなインフラニーズへの対応の重要性が提起されており、具体的な施策の一つとして、インフラ稼働実績から得られるデータを活用したハードの設計、設置、運転の高度化や新たなサービスの提供の推進が提言されている。

日本の鉄道事業においては、すでに準天頂衛星「みちびき」や陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2) から得られる高精度の位置情報や3D データを活用したDX化が進められている。例えば JR 東日本では、2000 年から鉄道空間情報の ICT 化に取り組んでおり、2004 年には全線約 7,500km の図面管理と保守・資産台帳データベースを統合した「鉄道 GIS」と呼ばれる業務支援システムの稼働を開始し、システム上で鉄道路線や設備等の高精度 3D モデルを再現する事で土木工事計画、設備保守、利用者向けナビゲーションサービスなどへの活用を図っている。具体的な活用方法については関係する章で述べるが、「みちびき」や「だいち2号」が活用可能な地域に位置するインドネシア国等のアジア新興国に対して、日本の鉄道事業の先進的なDX施策を提案することで、現地の鉄道事業のDX化が促進され、定時性の向上や故障の減少、そしてサービスの向上が実現されることにより鉄道の利便性が向上することで、環境負荷が軽い鉄道へのモダルシフトの促進が期待できる。更に、日本の衛星データを

活用したデジタル・インフラビジネスのアジア新興国への輸出促進も期待できる。

そこで本調査事業は、日本の鉄道と親和性の高いインドネシア国の鉄道事業者へのデジタルツインプラットフォームやDXソリューションに関して、人材育成などの導入後の運営支援を含めて、継続的な関与ができるビジネスモデルの策定を行うことを目的とする。

1.3 調査内容

鉄道事業は公共性の観点から、そして安全確保の観点から、数多くの法律や規則が存在しているのは日本もインドネシア国も同様である。更に、DXソリューションはその範囲が広く、日本とインドネシア国の鉄道事業者では求められるソリューションも異なる可能性があり、相手国のニーズを正確かつ詳細に把握する必要がある。また、将来的に事業として成立させるためには、関係する利害関係者と健全な関係を築きながら継続的なビジネスモデルを構築する必要がある。

そのため本調査事業の実施にあたっては、日本での文献調査、現地の事業者や関係機関へのヒアリング、駅や鉄道施設、交通に関連するサービスの現地調査を実施し、現地の状況や課題を十分に把握した上で、事業化にあたってのビジネスモデルを構築する。

こうした観点から、調査内容は表 1-1 のように整理される。

表 1-1 調査内容について

項目	概要
国内事情の調査	以下の項目について、文献調査や関係機関、関係するメーカーにヒアリングを行う。 ・日本におけるDX導入の現状と将来像 ・日本の鉄道GIS及び各種データベース ・日本におけるデジタルツイン技術を用いた各種DXソリューション
現地の環境調査	以下の項目について、国内で文献調査、関係するメーカー等にヒアリングを行う。また、インドネシア国運輸省、地理空間情報局等の関係省庁、インドネシア国の鉄道事業者等にヒアリングを行う。 ・インドネシア国のDX政策・方針・関連法令の調査 ・インドネシア国の鉄道事業者のデジタル施策等導入事例の調査 ・インターネット／データセンター環境、BIM/CIMソフト環境調査 ・衛星データを活用したデジタルツイン環境の構築環境調査
現地鉄道事業者のDX導入の現状調査	インドネシア国運輸省、地理空間情報局等の関係省庁、在インドネシア日本国大使館やJETRO等のインドネシア国の日本の関係機関や関係するメーカー、インドネシア国の鉄道事業者等にDX導入の現状や課題、将来案などについてヒアリングを行う。
ビジネスモデル案の策定	提案可能な事業案、及びそのビジネスモデル案を策定する。
提案可能なソリューション策定	インドネシア国の鉄道事業者及びその関係者に、導入スキームを含めたDXソリューションの導入と活用に向けた提言を行い、次年度以降の活動計

	画を策定するための関係者からのフィードバックを得る。
事業費概算	事業実施時の概算費用と収入見込みを算出する。
ビジネスモデル実施体制 スケジュール案策定	今後インドネシア国でDXソフトインフラを整備して、導入後の運営支援 事業を行うにあたっての実施体制とスケジュール案を策定する。

出典：調査団作成

第 2 章

日本の鉄道事業者における デジタルツイン技術の活用による D X とその効果

第2章 日本の鉄道事業者におけるデジタルツイン技術の活用によるDXとその効果

本章においては、日本国内でのインフラ分野のDX導入事例や、国内外でのデジタルツイン活用事例を示しつつ、本邦鉄道事業者におけるデジタルツイン技術の活用によるDXの取り組みとその効果の今後の進展について述べる。

2.1 日本における鉄道DXの目指す姿とロードマップ

2.1.1 国土交通省の取り組み

日本のインフラ分野におけるDXを省庁横断的な形で推進するため、国土交通省は2020年7月にDX推進本部を設置した。2022年3月に同本部が発行した「インフラ分野のDXアクションプラン」においては、インフラ分野のDX推進を必要とする背景として、新型コロナウイルス感染拡大を契機とした生活様式の変化、災害の頻発・甚大化、熟練技術者から次世代への技術継承、インフラ自体の老朽化等が挙げられている。このような社会経済状況の激しい変化に対応すべく、インフラ分野においてもデータとデジタル技術を活用して、国民のニーズを基に社会資本や公共サービスを変革すると共に、業務そのものや、組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方を変革し、インフラへの国民理解を促進すると共に、安全・安心で豊かな生活を実現するとしている。

本アクションプランにおいては、「DXアクションプランの取組（施策）を構成する柱」と、それぞれに対応する「インフラ分野のDXで目指す姿」を表2-1のとおり整理している。

表 2-1 DXアクションプランの取り組み等

番号	DXアクションプランの取組（施策）を構成する柱	インフラ分野のDXで目指す姿（利用者の観点からの整理）	具体的な目標や効果
(1)	行政手続のデジタル化	手続きなどいつでもどこでも気軽にアクセス	リモート化を実現する一元的なWEBシステム等の開発による各種手続きの簡略化
(2)	情報の高度化とその活用	コミュニケーションをよりリアルに	建設生産プロセスにおける関係者間での3次元デジタルデータ等を活用したコミュニケーションの促進
(3)	現場作業の遠隔化・自動化・自律化	現場にいなくても現場管理が可能に	建設機械の自動・自律施工による建設従事者負担削減や作業精度の向上

出典：「インフラ分野のDXアクションプラン」（国土交通省）

(<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001474380.pdf>) を加工して調査団作成

こうしたインフラ分野のDXの目指す姿を実現するため、同アクションプランでは国土交通省全省的な取り組みとして53の個別施策を取りまとめている。

具体的な事例は2.2で述べるが、近年、インフラ分野においてはデジタル上で現実世界の複製モデルを構築し、モニタリングやシミュレーション、その他DXソリューションに活用するためのデジタルツイン活用が注目されている。上記の53の個別施策のうち、鉄道デジタルツインに関連するものとして、

- ① 3次元点群データを用いた鉄道施設点検システムの開発
- ② ITやセンシング技術等を活用したホーム転落防止技術等の活用促進

の二つの検討が進められている。以下にこの二つの施策の具体的な取り組みを示す。

（１）3次元点群データを用いた鉄道施設点検システムの開発（図2-1参照）

トンネル等の鉄道施設における保守点検効率化に向けて、3次元点群データを活用した鉄道施設点検システムの開発を行う施策である。具体例として、首都高速道路株式会社、首都高技術株式会社、株式会社エリジオン、朝日航洋株式会社が開発したGISと3次元点群データを活用したインフラ維持管理支援システム「インフラドクター」の鉄道への利活用が進められており、「鉄道版インフラドクター」として東急電鉄株式会社及び伊豆急行株式会社へ導入されている。

首都高速道路株式会社のプレスリリースによると、本システム導入の利点として以下の点が紹介されている。

- ・ 人による近接箇所からの目視点検を専用の計測車両による計測に置換えが可能
- ・ 3次元点群データや高解像度カメラの画像の解析により、トンネル壁面の浮きや剥離などの要注意箇所を効率的に抽出することができ、打音調査が必要な箇所の絞り込みが可能

これらにより、従来の近接目視点検に要する検査日数は、15日程度から3日へと約8割減少する見込みであり、検査費用についても約4割減少する見込みで、点検作業の効率化、人手不足の解消及びコスト削減に大きく貢献する。また、特別全般検査で必要なトンネル壁面の展開図などを、計測した各データから自動的に作成することが可能となるため、事務作業も大幅に省力化できるほか、検査の機械化による検査精度のバラつき解消や、技術継承の支援などの効果もあるとされている。

今後はさらに鉄道に特化した、建築限界の自動抽出などの技術開発を進め、他鉄道事業者への展開も検討されている。

3-18 3次元点群データを用いた鉄道施設点検システムの開発

概要

- トンネル等の鉄道施設の保守点検は巡視により行われているが、計測車両等に搭載したレーザーから取得される3次元点群データの活用により、トンネル等における変状検出や異常箇所の早期発見等を可能とするシステムを開発し、効率的な保守点検を目指す。



出典：「インフラ分野のDXアクション」（国土交通省）

(<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001474380.pdf>) を加工して調査団作成

図 2-1 3次元点群データを用いた鉄道施設点検システムの開発

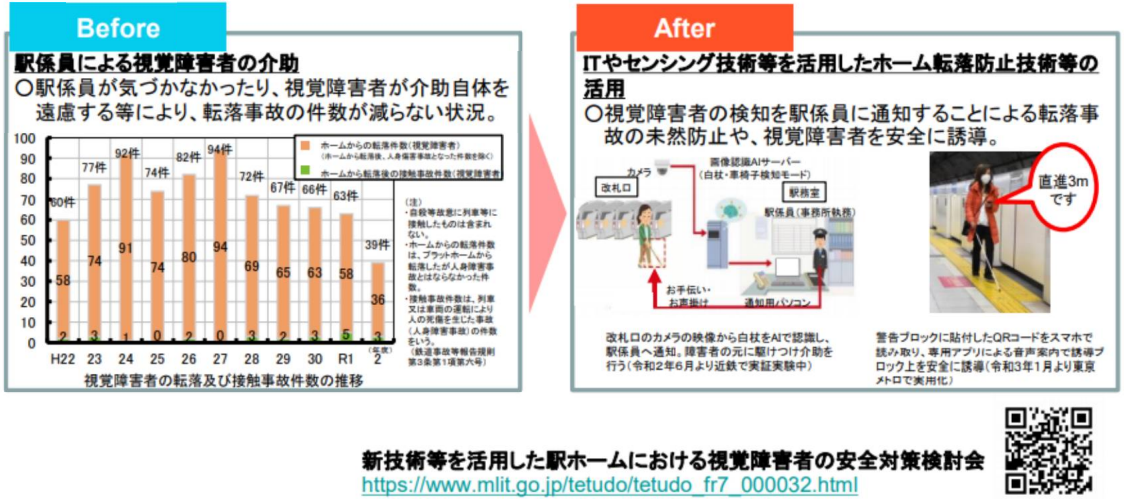
（2）IT やセンシング技術等を活用したホーム転落防止技術等の活用促進（図 2-2 参照）

2020 年に JR 東日本西日暮里駅や阿佐ヶ谷駅などにおいて発生した視覚障害者のホーム転落事故を受けて、国土交通省は整備に多くの時間や費用を要するホームドアによらない、IT やセンシング技術等を積極的に活用した転落防止策検討のため、「新技術等を活用した駅ホームにおける視覚障害者の安全対策検討会」を設置した。2020 年 10 月 9 日に視覚障害者団体・支援団体、学識経験者、鉄道事業者、国土交通省等のメンバーを交えた第 1 回検討会が実施されて以降、2023 年 1 月時点で計 11 回の検討会が行われている。

2021 年 7 月 2 日に行われた中間報告においては、IT やセンシング技術等を活用したホーム転落防止技術等として、表 2-2 のとおり対策が提示された。鉄道を利用する視覚障害者等の更なる安全確保の実現に向け、現在、各対策の実証実験等を踏まえた検討の深度化が進められている。

3-19 ITやセンシング技術等を活用したホーム転落防止技術等の活用促進

概要 ● 駅ホームにおいて駅係員が視覚障害者の介助を実施しているが、国が設置する有識者検討会において、新技術の活用等による駅ホームにおける視覚障害者の安全対策について検討を行っており、検討結果を踏まえITやセンシング技術等を活用したホーム転落防止技術等の活用を促進する。



出典：「インフラ分野のDXアクション」（国土交通省）
(<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001474380.pdf>) を加工して調査団作成
図 2-2 IT やセンシング技術等を活用したホーム転落防止技術等の活用促進

表 2-2 IT やセンシング技術等を活用したホーム転落防止技術（抜粋）

具体的な方法	概要	実証実験の有無 (中間報告時点)	主な課題等
AI カメラを活用して駅係員等による円滑な介助を行う方法	改札に設置したカメラの映像から、白杖等を AI で認識し、駅係員に通報して迅速な介助を行う方法	実施済	視覚障害者の改札通過時の誤検知や未検知をなくすために、盲導犬についても検知対象に加えたうえで、AI の学習機能による検知精度の向上が必要
スマホアプリを活用して駅係員等による円滑な介助を行う方法	視覚障害者がスマホアプリで送信した支援要請を、駅係員等が受信し、確実に迅速な介助を行う方法	実施済	確実に支援要請を行うために、アプリ操作の手数（てかず）を減らすなど、視覚障害者が利用しやすいアプリへの改良が必要
ホーム端に接近している視覚障害者を検知して注意喚起する方法	ホームに設置したカメラの映像から、転落の危険性がある視覚障害者を AI で認識し、音声で注意喚起する方法	実施予定	AI の活用により、列車の在線状況や歩行動線を踏まえて、転落の危険性のある視覚障害者の確実な識別を可能とするような取り組みが必要

ホームに設置したカメラ映像で転落した鉄道利用者を AI で認識、速やかに列車を止める方法	ホームに設置したカメラ映像で転落した鉄道利用者を AI で認識し、接触を防止するために速やかに列車を止める方法	実施予定	既に導入されている方法は、転落時の姿勢や気象条件等によってはカメラによる検知ができないこともあることから、AI の学習機能による更なる検知精度の向上が必要
スマホを用いて視覚障害者を誘導する方法	視覚障害者がスマホの専用アプリを用いて、点状ブロックに貼り付けた QR コード等の情報を読み取り、自らのいる位置を認識した上で、音声案内による誘導に従って線状ブロック上を歩行し目的地に向かう方法	実施済	ホームドアがない駅での利用については、現時点では、アプリによる案内と利用者の歩行ルートの不一致等により転落に繋がる危険性が排除できないことから、転落防止対策としてホーム上で利用するためには安全性や操作性について十分な検証が必要

出典：「新技術等を活用した駅ホームにおける視覚障害者の安全対策検討会 中間報告」

(2021 年 7 月 2 日) (国土交通省) (<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001412166.pdf>)

を加工して調査団作成

2.1.2 JR 東日本の取り組み

日本の鉄道事業者が目指す DX の姿の一例として、JR 東日本の取り組みを紹介する。

JR 東日本では 2016 年に「技術革新中長期ビジョン」を策定している。この中で、会社を取り巻く課題として、少子高齢化と人口減少による鉄道人材確保、地球環境問題への対応、オープンイノベーションを視野に入れたグローバル化、公共交通と自動車交通の連携を含めたモビリティ・オペレーションの変革を挙げている。

また、世の中の技術動向として、IoT と AI の進展による新たな価値創造や、自動車及び列車等の自動運転技術活用によるモビリティ変化が進んでおり、JR 東日本では、これを「第四次産業革命」(図 2-3) と捉え、鉄道における根本的なビジネス変革が求められているとしている。



出典：JR 東日本

図 2-3 第四次産業革命

こうした背景により、JR 東日本においては時代を先取りした技術革新を目指し、表 2-3 に示す方向性の下、DX や技術革新を推進している。

表 2-3 技術革新の中長期ビジョンと方向性

分野	技術革新の中長期ビジョンと方向性 ※赤字はデジタルツイン技術に関係し得るもの
安全・安心	「安全・安定輸送」のレベルアップ
	・新技術による、最近発生した重大な事故などの再発防止
	「部内原因による事故」を完封
	・人間の能力に頼らない、自動かつ高精度・高頻度な異常などの検知
	・作業の自動化・無人化によりヒューマンエラーを極小化
	・保守作業のシステム化、線路閉鎖区間などの作業環境の「見える化」などによる事故防止
	・運転規制通告のシステム化
	「外的要因による事故」に対するリスク低減
	・面的センサや予測技術などにより、きめ細かい運転規制を実現
	・首都圏直下地震などの大規模地震対策に関する研究開発
	「社会とのかかわりが密接な事故」に対するリスク低減
	・ITSを活用した踏切事故防止
	・ホームの安全性を向上するハードの開発・整備
	・センサ技術・ロボットを活用したセキュリティ向上
	・ICTを活用した見守りサービスなどのセキュリティサービスの実現
	埋もれているリスクの掘り起こし
	・列車運行に関する安全上のリスクを把握
	・ビッグデータ分析により正常状態からリスクを抽出しトラブルを捕捉
	ヒューマンファクターに基づく安全マネジメントの展開
	・組織の安全レベル把握の手法を開発
	・Safety II などの新たなヒューマンファクターの知見を考慮した教育手法を整備
オペレーション & メンテナンス	CBM などのスマートメンテナンスの実現
	⇒ビッグデータ分析などによる状態管理や予兆把握
	・E235系をはじめとした車両のモニタリング
	・営業車による線路設備・電気設備のモニタリング
	・各種設備管理へのCBMの導入
	・ネットワークを活用したメンテナンスの拡大
	自動運転技術・乗務員支援技術を深度化
	ロボット化など
	・人間に代わり自動で作業するロボット技術の確立
	・メンテナンス作業や生活サービス事業（調理・物流バックヤード作業など）へのロボット導入
	・IoT機器などによる作業品質の向上
	効率的な修繕方法の確立
	・メンテナンスを軽減する新たな構造・手法を確立
	建設工事における新工法の開発
	・機械化、屋間施工による安全・効率的な施工法・構造の確立
	建設生産システムによる効率化
	AI、IoT活用による建設生産システムの実現（BIM、CIMの導入）

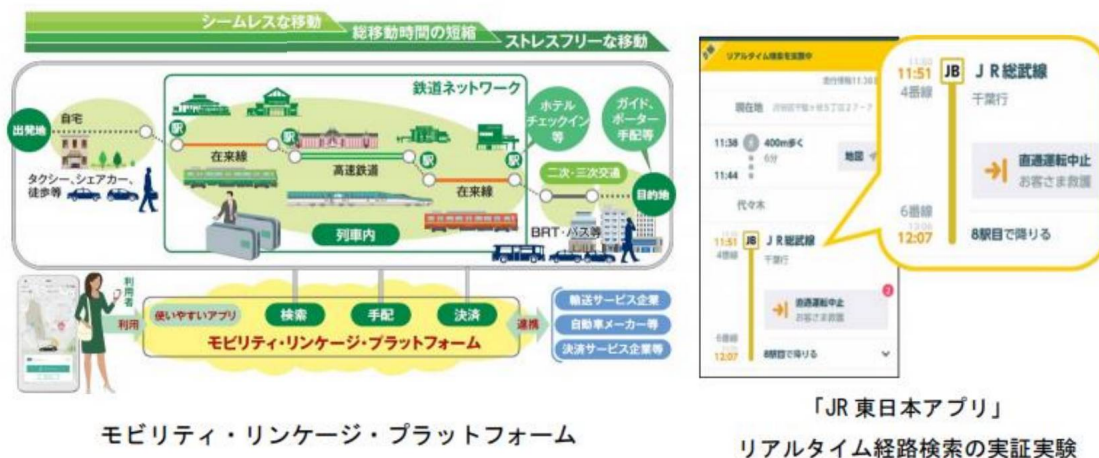
サービス & マーケティング	他交通機関、パーソナルモビリティとの融合
	・ 有機的な運行連携・案内によるトータルトリップタイムの短縮
	・ オープンデータなどによる情報連携の実現
	AIなどを活用した運行管理
	・ リアルタイムでお客さま混雑を把握し的確に輸送手配を支援
	・ AIによる自動運転整理（社内外データを活用）
	・ お客さまの需要に応じた柔軟な輸送計画手法を確立
	・ 異常時の乗務員操配を支援
	異常時案内を含む個々のお客さまへの情報やサービスの提供
	・ 必要な情報を、お客さま自身で入手できる環境整備を推進
	・ AIなどを活用した異常時の情報提供の実現
	・ AIを活用したお問い合わせセンター業務支援システムの実現
	お客さま一人ひとりに応じたサポート
	・ あらゆるお客さまがスムーズに移動・乗降できる環境整備を推進
	・ 車いすをご利用のお客さまのご利用環境を改善
	次世代チケットシステムなど
	・ チケットレスで新幹線・在来特急を利用できる環境を整備
	・ 端末機能のシンクライアント化を推進
	・ 乗車券のICT化を推進
	・ 店舗のレジレス決済へ応用
エネルギー・環境	データを活用した情報提供や新たなマーケティング手法
	・ AIを活用し、お客さまの声情報を基にしたサービス品質改革を推進
	・ 施設内デジタルサイネージのIoTの活用などによる案内表示および広告媒体への応用
	・ ビッグデータ、AIなどを活用した行動予測、需要予測
	次世代新幹線の実現に向けた開発
	・ 到達時間短縮とお客さま一人ひとりに合わせた移動空間の価値向上
	・ インテリジェント化による効率性や環境性能などの向上
	次期エネルギーネットワーク
	・ 効率の良い地上用蓄電技術などの確立によるエネルギー効率の向上
	地上・車上の協調による自動省エネ列車制御
	・ 地上・車上間連携による省エネ制御技術の実現
	・ 省エネ運転可能な車両の実現
	蓄電池活用
	・ 高効率で低コストな蓄電技術の実現
	・ 環境負荷の低い蓄電媒体を活用した鉄道車両の実現
	水素エネルギー利活用
	機器効率向上
	・ 散水消雪設備の効率的な制御方式の開発と新幹線への導入

出典：JR 東日本「技術革新中長期ビジョン」（<https://www.jreast.co.jp/development/innovation/>）より調査団作成

また、JR 東日本は 2017 年～2021 年の 5 年連続で経済産業省及び東京証券取引所によりデジタルトランスフォーメーション銘柄（DX 銘柄）に選定されている。

2021 年の選定に至った主な取り組みとしては 2018 年 7 月に公表した JR 東日本グループ経営ビジョン「変革 2027」や、お客さまが移動のための検索・手配・決済をオールインワンで行うことが出来る「モビリティ・リンケージ・プラットフォーム」（図 2-4）の構築を通じた MaaS の推進、交通系 IC カ

ードとオンライン予約サイト「えきねっと」を活用した自社新幹線のチケットレス化推進（図 2-5）等が挙げられる。



出典：JR 東日本

図 2-4 モビリティ・リンケージ・プラットフォームの構築



出典：JR 東日本

図 2-5 自社新幹線のチケットレス化推進

2.2 本邦鉄道事業者におけるデジタルツインの現状と今後の進展

2.2.1 デジタルツインの定義と活用事例

デジタルツインとは、一般的にインターネットに接続した機器などを活用して、現実空間の情報を取得し、サイバー空間内に現実世界の環境を再現することを指す。2002 年に米ミシガン大学のマイケル・グリーブス氏によって提唱された概念である。これを活用することにより、現実世界のリアルタイムな監視やシミュレーションが可能となる。

デジタルツインの概念は製造業から都市計画まで、幅広い分野での活用が行われている。以下に、二つのデジタルツインの活用事例を示す。

（１）製造業における活用事例：航空機エンジンのデジタルツイン

米 GE 社は航空機エンジンを構成する部品の一つであるファンブレードをデジタルツイン上に再現し、時間経過による部材の損傷をシミュレーションする仕組みを構築している。精度の高い劣化予測により航空機エンジンのメンテナンスサイクルを最適化することができ、GE 社製エンジンを使用する航空機メーカーは、メンテナンスサービスにかかるコストを大幅に削減することが可能となった。

また、GE デジタル社においては運行中の航空機から取得された航空機エンジンのリアルタイムモニタリングデータを集約しており、各種センサー取得情報から将来的な不具合が予測された際に速やかに運行者へ知らせるなど、航空機運行における安全性の向上にも寄与している。

（２）都市計画における活用事例：バーチャルシンガポール

バーチャルシンガポールプロジェクトは、シンガポールにおける都市の 3D モデルを構築し、これを活用した交通経路や日照等のシミュレーションによる都市計画や太陽光発電能力の分析ツールを民間企業や研究機関等に提供することにより実証実験・サービス提供に繋げることを目的とした事業であり、シンガポール国立研究財団、首相府、シンガポール土地管理局、シンガポール政府技術庁が合同で進める国家プロジェクトである。システムには Dassault Systèmes 社の「3DEXPERIENCE City」を使用しており、各種シミュレーションへの活用の他、設備等のライフサイクル管理に用いることが可能である。現時点では静的な 3D モデルとして構築されているが、外部リアルタイムデータの連携により動的な 3D モデルシミュレーターとして活用されることを目指している。

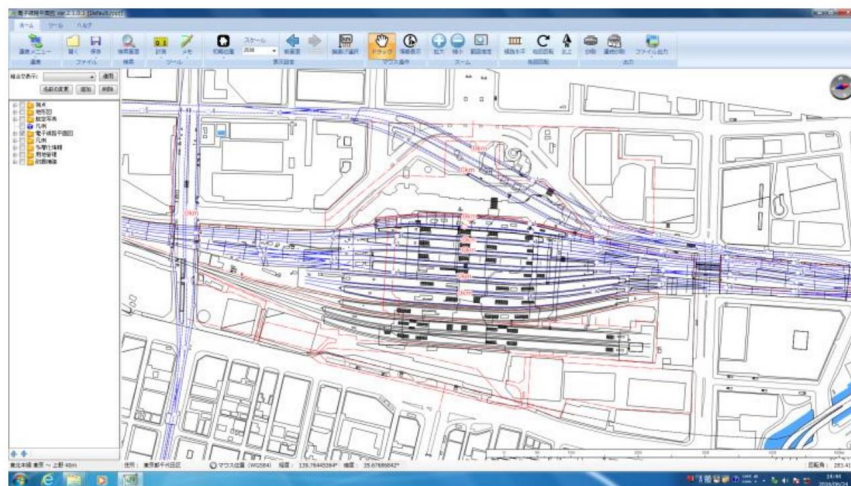
2.2.2 鉄道デジタルツインを構築するソフトウェア

デジタルツインはその使用用途に応じ、使用するソフトウェアや集約する情報が異なる。JR 東日本グループにおいてはアセットマネジメントや防災用途への活用を通じた「技術革新中長期ビジョン」の達成に向け、JR 東日本コンサルタンツ株式会社（JRC）が開発し展開する「沿線画像表示装置」を活用している。

本システムは「電子線路平面図」「3D 線路情報」「パノラマムービー」の三つのソフトウェアにより構成され、専用の PC 端末から操作できるものである。これらのソフトウェア群は通常の GIS ソフトウェア等と異なり、鉄道関連施設の管理に特化していることが特徴である。目的に応じて線路平面図、3D 線路情報、パノラマムービーの異なるデータを使い分けることにより、鉄道施設の状況把握から施工計画、施工監理フェーズ等の幅広い分野においてデジタルツインの活用を推進している。

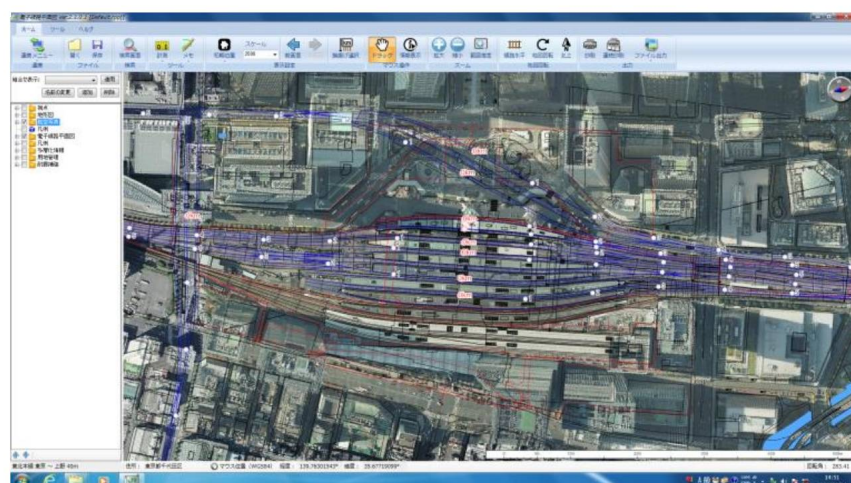
（１）電子線路平面図

「電子線路平面図」は鉄道の線路平面図を表示し、線路線形や駅施設を含む鉄道施設情報を確認できるソフトウェアである。線路沿線の白地図（図 2-6）の他、航空写真の表示や重ね合わせ（図 2-7）が可能であり、周辺建物や道路等の確認を行うことが出来る。また、駅施設等についてはフロアマップのような多層情報表示（図 2-8）が可能であり、駅構内図等を確認することが出来る。



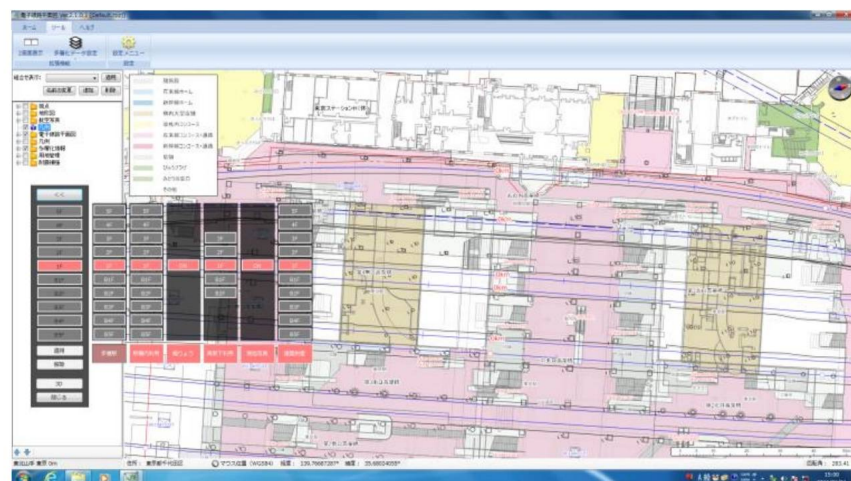
出典：JR 東日本コンサルタンツ

図 2-6 白地図表示



出典：JR 東日本コンサルタンツ

図 2-7 航空写真重ね合わせ表示



出典：JR 東日本コンサルタンツ

図 2-8 多層情報表示

線路平面図の精度として、駅部は 1/500、それ以外は 1/2500 で図化している。全体のデータ更新頻度は約 7～10 年に 1 度であるが、特定部分に絞った地図データ更新が可能であり、駅改良工事や線形改良工事の都度新データへの入れ替え作業が行われている。

地図上の線路線形には緯度経度の情報に加え、鉄道施設管理上重要な概念となる線路キロ程情報が含まれているため、線路キロ程の入力により当該箇所付近の地図を表示することが可能である。その他駅名、施設名、住所による検索の他、地図上に表示した箇所から住所情報、キロ程を取得することも出来る（図 2-9）。



出典：JR 東日本コンサルタンツ

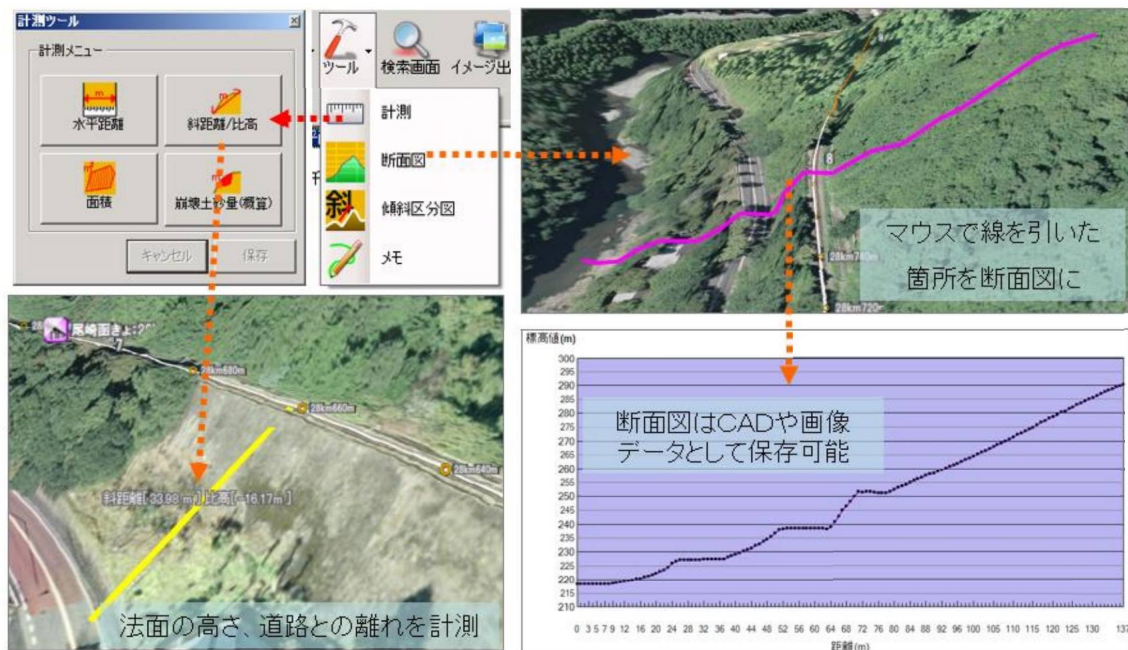
図 2-9 検索機能

(2) 3D 路線情報

「3D 線路情報」は地形データ、地表画像データ、線路線形等の鉄道施設データの組み合わせにより、3 次元空間上で鉄道沿線を眺めることが出来る地球儀ソフトウェアである。3D 線路情報を整備することで、3D 空間上での距離計測や断面図生成（図 2-10）が可能となる。これにより、3D モデルをベースとした施工数量算出等の工事計画に活用することが出来るため、工事やメンテナンスの計

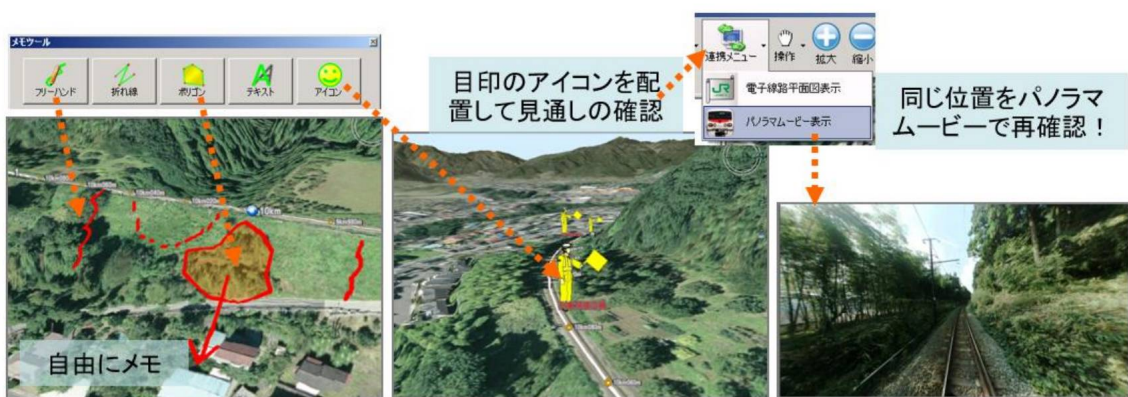
画段階における時間短縮や省力化に貢献している。

また、3D 空間上に直接メモを書き込む機能やアイコンを配置する機能と後述するパノラマムービーとの連携（図 2-11）により直感的な現場状況把握が可能となり、PC 上での概略施工計画の検討等による効率的な作業計画策定などの効果が期待される。



出典：JR 東日本コンサルタンツ

図 2-10 3D 空間上での距離計測



出典：JR 東日本コンサルタンツ

図 2-11 3D 空間上へのメモ、アイコン配置、パノラマムービー連携

本ソフトウェアで利用する地表画像データは航空写真や衛星画像、市販の地表画像を組み合わせている。標高については国土地理院地形図や航空写真から計測したデータが使用されている。このよ

うに複数のデータソースを組み合わせて 3D 空間を構築することが出来るため、求められる精度や予算に応じた柔軟な対応が可能である。

(3) パノラマムービー

「パノラマムービー」は JR 東日本が運行する電気・軌道総合検測車 (East-i) の先頭部分に搭載された 360 度カメラにより撮影された映像を閲覧することが出来るソフトウェアである。

撮影された映像は East-i が取得した線路キロ程情報と紐づけられているため、線路キロ程の入力や橋梁・トンネル等の施設名から検索して当該箇所の映像を表示することが出来る (図 2-12)。また、前述の「電子線路平面図」及び「3D 線路情報」との相互連携により、線路平面図や 3D 空間内で指定した地点の映像を表示することが可能である。

映像の更新頻度は East-i の走行頻度に依存するため、おおよそ四半期に 1 度更新される。同地点における新旧映像を横並びで比較する機能も備わっている (図 2-13)。

表示したい線区、キロ程・施設等を検索

選択した箇所が頭出しされます。



出典：JR 東日本コンサルタンツ

図 2-12 パノラマムービーの表示



出典：JR 東日本コンサルタンツ

図 2-13 新旧映像の比較

2.2.3 デジタルツインに関連するDXソリューション

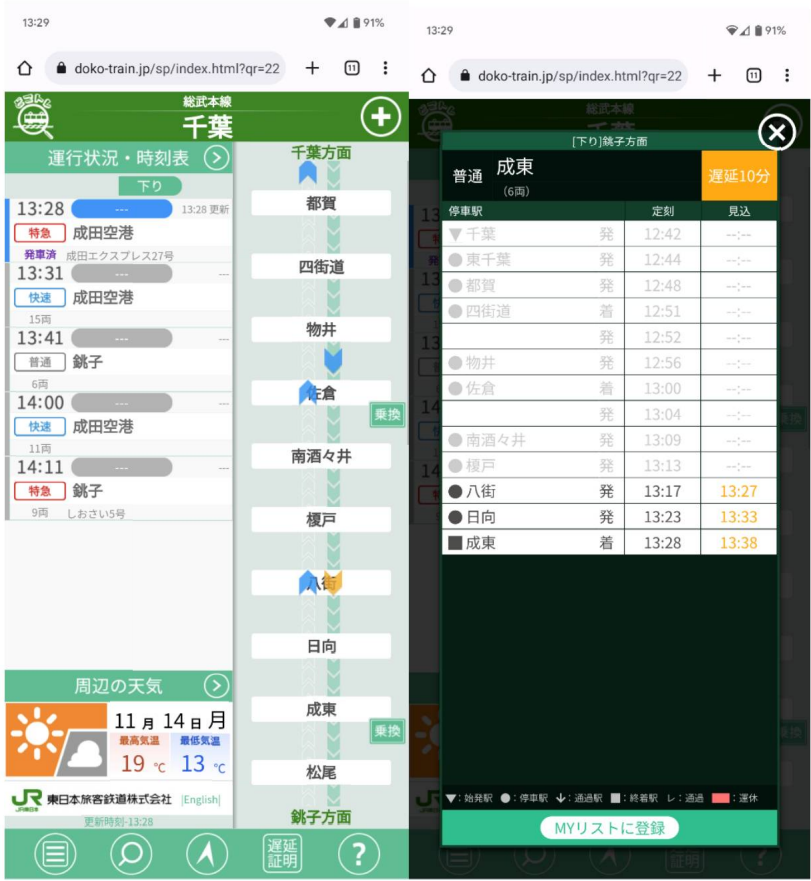
JR 東日本においては、2.2.2 で紹介したデジタルツインのデータベース上に鉄道に関する様々な情報を付加することで、お客さま案内、運行管理、乗務員支援、アセットマネジメント、防災など、幅広い分野でのDXソリューションを構築している。その事例として、以下に JR 東日本における具体的な事例を四つ紹介する。

(1) JR 東日本アプリ

JR 東日本アプリは経路検索、運行情報や駅施設情報の閲覧が可能なスマートフォン向けアプリケーションである。2014 年 3 月のリリース以降、継続的なアップデートにより機能拡充が行われている。現在では 700 万ダウンロードを越えており、幅広く利用されている。

本アプリの特徴の一つである列車走行位置機能においては走行中の列車により取得された軌道回路や GPS 位置情報に基づく列車走行位置を管理サーバー上に集約し、旅客案内情報として提供している。

列車走行位置（図 2-14(a)）に加えて、遅延状況を加味した当該列車の各駅到着見込み時刻を表示することが可能である（図 2-14(b)）。



(b) 列車走行位置

(a) 到着見込時刻

出典：JR 東日本アプリ

図 2-14 列車走行位置と到着見込時刻

また、首都圏エリアにおいては東京圏輸送管理システム（ATOS）と連携しており、各編成の混雑状況や運行計画変更を加味した精度の高い列車到着予想時刻を表示することが可能である（図 2-15(a) (b)）。JR 山手線においてはこれらの情報に加え、運行車両に搭載する各種センサーにより取得された車両ごとの混雑率や車内温度に関する情報を提供している（図 2-15(c)）。



出典：JR 東日本アプリ

図 2-15 列車走行位置及び到着見込み時刻と編成の混雑度（首都圏）

駅施設情報について、一部のターミナル駅においては施設内のコインロッカー所在地とリアルタイムな空き状況を提供している（図 2-16）。JR 東日本が提供するロッカー予約システム「To Locca」と連携しており、空きロッカーの事前予約が可能である。



出典：JR 東日本アプリ

図 2-16 ロッカー空き情報

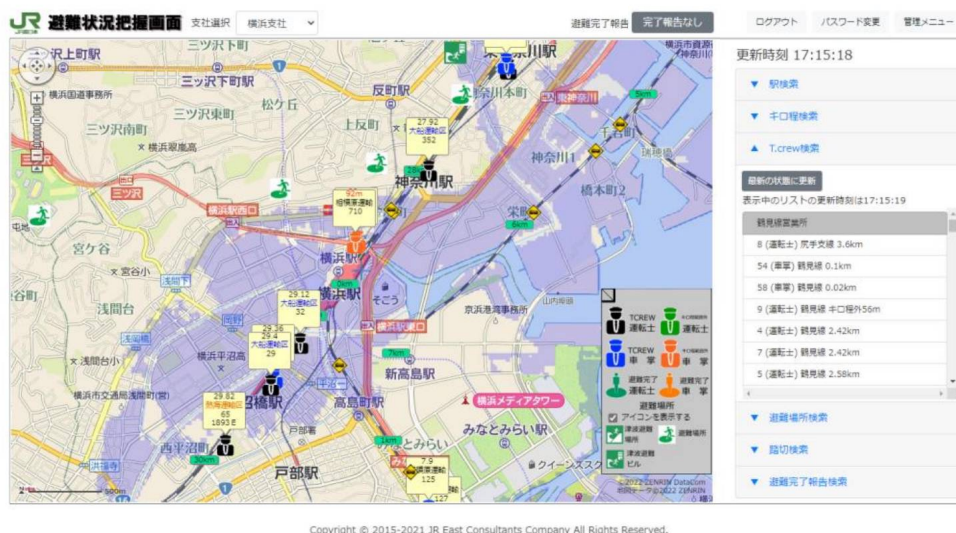
(2) 津波避難誘導アプリ

津波避難誘導アプリは列車乗務員向けに提供されている防災ソリューションの一つであり、2011 年 3 月に発生した東日本大震災を受けて開発されたものである。列車乗務員が携行するタブレット端末の GPS 位置情報を活用し、津波被害想定エリアマップを重ね合わせることで、災害発生時に乗務員への警報を発出するものである（図 2-17）。また、最寄りの避難所の表示や高台へのルート案内を行うことが可能であり、乗客及び乗務員の避難を支援する。管理画面においては乗務員のリアルタイムな位置情報を把握することができ、災害発生時の避難状況モニタリングに役立っている（図 2-18）。



出典：津波避難誘導アプリ

図 2-17 津波避難誘導アプリ画面



出典：津波避難誘導アプリ

図 2-18 津波避難誘導アプリ管理画面

(3) JRE-BIM

JRE-BIM は JR 東日本が推進する土木・建築を含めた BIM (Building Information Modeling : 構造物情報付加モデル) /CIM (Construction Information Modeling : 建設情報付加モデル) の取り組みの総称である。CDE (Common Data Environment : 共通データ環境) として 2016 年から「BIM クラウド」を整備しており、BIM/CIM に係る 3D モデルのほか、契約関係書類や施工計画書、保安打合せ書類等、設計会社や施工会社とプロジェクトにかかわるデータの共有を行っている。

2018 年には JR 東日本の東京建設プロジェクトマネジメントオフィスが発注する建設プロジェクトにおいて、BIM クラウド及び 3D レーザースキャナーを用いた測定の原則化を行っている。また、2020 年の JRE-BIM ガイドラインを制定により、契約書や工事関係書類の電子化についても原則化された。

(4) TRANCITY

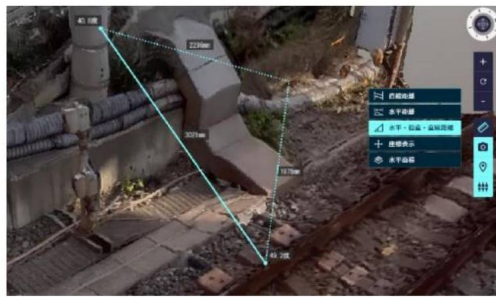
TRANCITY は撮影した動画から 3D モデルを構築する SfM (Structure from Motion) ソフトウェアの一つである。小型ドローンやタブレット、スマートフォン等で撮影した動画をアップロードすることで三次元地図データ内の現実空間と同じ場所に点群が生成される。3D モデル生成処理はクラウド上で行われるため、ユーザーが使用するデバイスに高性能な処理能力を必要としない。また、ブラウザベースで 3D モデルの表示が可能のため、関係者間の情報共有も容易である。

また、取得した点群データを用いた距離及び面積計測機能に対応しており、工事計画における概算数量算出に活用することが可能である。さらに BIM 等との重ね合わせ表示や同じ地点で異なる時系列のデータを表示することで、設備更新作業等の進捗管理に活用することができる (図 2-19、図 2-20)。

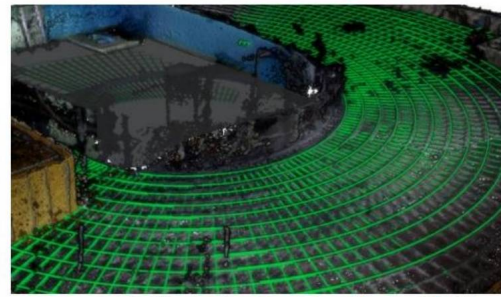


出典 : TRANCITY

図 2-19 TRANCITY 操作画面



点群データの寸法計測イメージ



BIM・点群データの重ね合わせによる比較

出典：TRANCITY

図 2-20 TRANCITY による計測とデータ比較

2.2.4 鉄道デジタルツイン及びDXソリューションの導入による効果

デジタルツイン及びDXソリューションの導入により、一般的には作業の効率化や精緻化、それらに伴うコストの縮減といった効果が期待される。2.2.2 と 2.2.3 において記載した鉄道デジタルツイン及び各種DXソリューション導入による効果は表 2-4 のとおりである。

表 2-4 DXソリューション導入による効果

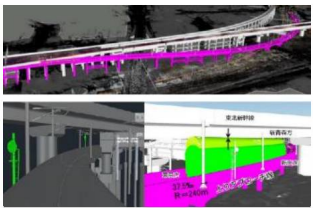
ソリューション名	分野	直接的効果	間接的効果
電子線路平面図	- 施設管理 - 運行支援	- 検索機能活用による図面検索時間削減 - 図面デジタル化による紙図面の保管スペース削減	系統間の管理図面一元化
3D 線路情報	- 施設管理 - 防災	3次元空間上での測量実施等による現地移動時間、費用の削減 - BIM/CIM との組合せによる工事施工計画の精度向上	3次元視覚化による関係者間の理解度向上
パノラマムービー	旅客案内	映像上での線路周辺状況、施設状態確認による現地調査所要時間、費用の削減	映像による関係者間の理解度向上
JR 東日本アプリ	- 旅客案内 - 乗務員支援	- 旅客に対する運行状況、駅施設状況等の情報提供による鉄道利便性向上 - 列車混雑度情報提供による旅客分散促進	旅客案内のデジタル化及び自動化による駅係員案内業務量削減

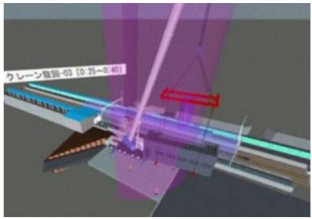
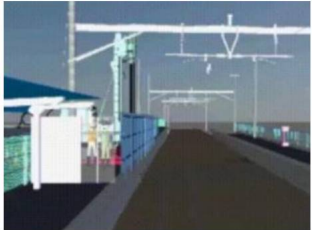
津波避難誘導アプリ	・ 乗務員支援	・ 災害発生時の当該列車通知、避難経路誘導機能による列車運行安全性向上	・ 災害発生時ダイヤ乱れに対する運転整理計画検討への活用
JRE-BIM	・ 施設管理	・ BIM/CIM 活用による施工計画や修繕計画管理の効率化	・ データの一元化による関係者間の情報共有の迅速化及び簡易化
TRANCITY	・ 施設管理	・ 3D モデル生成に係る業務時間短縮	・ 3 次元視覚化による関係者間の理解度向上

出典：調査団作成

また、JR 東日本はDXソリューション導入における効果の詳細の一例として、JRE-BIM 導入による効果の詳細を表 2-5 のとおり示している。いずれも、これまで多くの時間、労力、費用をかけて取り組んできた事柄を、JRE-BIM 導入により大幅に改善した好事例であり、今後、導入の進展により更なる効果の発現が期待されている。

表 2-5 JRE-BIM 導入による効果の詳細

イメージ	内容	回数等の増減	その他の効果
	見通し確認回数 工事による景観変化の関係者確認（現場立会）回数	98%減	・ 関係社員間の理解度の向上 ・ 手戻りの削減
	干渉確認回数 新規路線設計時や線形変更時における他路線との干渉確認回数	50%減	・ 手戻りの削減
	仮設資機材コスト 工事に必要な仮設資機材数量	20%減	・ 使用資機材減による環境負荷低減
	電子納品の検査準備 しゅん巧検査や出来形検査における説明資料準備等に係る時間	46%減	・ 維持管理における活用性向上

	工事説明会用資料作成 工事計画を説明する際の資料作成に要する時間	90%減	・ 施工イメージの共有による早期合成形成
	施工検討会資料作成 工事承認のための施工検討会に使用する資料作成に要する時間	75%減	・ 施工可視化による高レベルのリスク把握

出典：JR 東日本資料を基に調査団作成

2.2.5 鉄道デジタルツインの今後の進展

JR 東日本においては、鉄道分野におけるデジタルツインの更なる活用に向けて、様々な実証実験等を行っている。以下に三つの取り組み事例を示す。

（１）建設工事のリモート監督業務の実現に向けた 5G×デジタルツインの実証実験

JR 東日本とソフトバンク株式会社は建設工事のリモート監督業務の実現に向け、JR 東日本の千手発電所の大規模取替工事において、5G とデジタルツインを活用した実証実験を 2021 年夏から開始している。

本実証実験では建設現場における画像や点群データをドローン等により取得し、現地状況を仮想空間に実現するデジタルツインを活用して、オフィスなどの遠隔地で鉄筋検査や寸法検査等、工事の品質確認（図 2-21）を行っている。また、データの伝送には高速・大容量通信などの特徴を持つ 5G を活用することで、遠隔地からのリアルタイムな工事状況把握の実現を目指している。

JR 東日本は建設工事における働き方改革を推進することを目的に、さまざまなプロジェクトに実証実験の結果を水平展開することで、建設プロジェクトの DX を実現するとしている。



出典：JR 東日本

図 2-21 建設工事のリモート監督イメージ

（２）夜間工事のデジタルツイン化に向けた実証実験

JR 東日本と JR 東日本スタートアップ株式会社、MODE, Inc. は、鉄道夜間工事における安全管理を目的として、JR 東日本浜松町駅における夜間工事のデジタルツイン化に向けた実証実験を行った。

鉄道における営業線近接工事は、保安体制の確保と列車運行安定性確保を目的として、最終列車運行終了後から始発列車運行開始前にかけて行うケースが多い。この場合、特に首都圏線区においては作業時間が 3 時間程度しか確保できないため、時間的制約の中で作業の安全性と定時制の両立が求められる。こうした背景により、本実証実験では JR 東日本の DX プラットフォーム構築と実運用を想定した検証並びに工事関係者・軌陸車のリアルタイム位置情報把握、工事関係者の活動状況・バイタル相関分析、鉄道工事中に使用する保安機器の状況把握等、デジタルツインのプロトタイピングを実施し、夜間作業管理のレベルアップを目指している。

MODE, Inc. は本実証実験を通して、現場データ全てをリアルタイムで収集・蓄積することの有効性が確認され、実用化に向けての GPS 精度の検証を継続する必要性が認識されたとしている。今後は実運用展開・多用途展開を目標に、地方部や夏季の運用、センシング機能の拡張、サービス事業での活用などに取り組むとしている。

（３）新幹線の大規模改修に向けた技術開発

JR 東日本は、1982 年に開業した東北新幹線（東京～盛岡間）及び上越新幹線（大宮～新潟間）の合計約 780km 区間において、将来にわたる安定輸送確保のため、橋梁やトンネル等の新幹線構造物を対象として 2031 年度から 10 年間で大規模改修の実施を計画している。

本大規模改修にあたっては、3 次元点群データを活用した設計や設備調査・施工計画等の工事情報管理の簡略化・質的向上が検討されている（図 2-22）。これまで、広範囲かつ膨大な数量の高架橋やトンネルといった既設構造物施工に関し 3 次元点群データを活用した事例がないため、JR 東日本総合研修センターの敷地内に構築された実物大模擬設備（図 2-23）を用い、効率的なデータ取得や利活用方法を検討していくこととしている。

3次元点群データを用いた設計、工事情報管理

大規模改修では、780kmもの延長の橋りょうやトンネルといったさまざまな構造物に対し、10年間と限られた期間で各種改修工事を確実に進めていくために、3次元点群データを活用した設計、工事情報管理に取り組みます。
⇒ ・3次元点群データを活用し、設計や工事情報管理の簡素化・質的向上を検討
・膨大な設備延長に対し、どのような3次元点群データの取得・活用方法が望ましいかについて検討



出典：JR 東日本

図 2-22 3次元点群データを用いた設計、工事情報管理

設備	延長
コンクリート橋	約 80m
トンネル・土工設備	各約 30m
線路	コンクリート橋 約 70m 地上 約 105m

※ 福島県白河市十三原道下 1-1



出典：JR 東日本

図 2-23 実物大模擬設備

第 3 章

デジタルツイン環境構築、 DX ソリューション導入に必要な環境調査

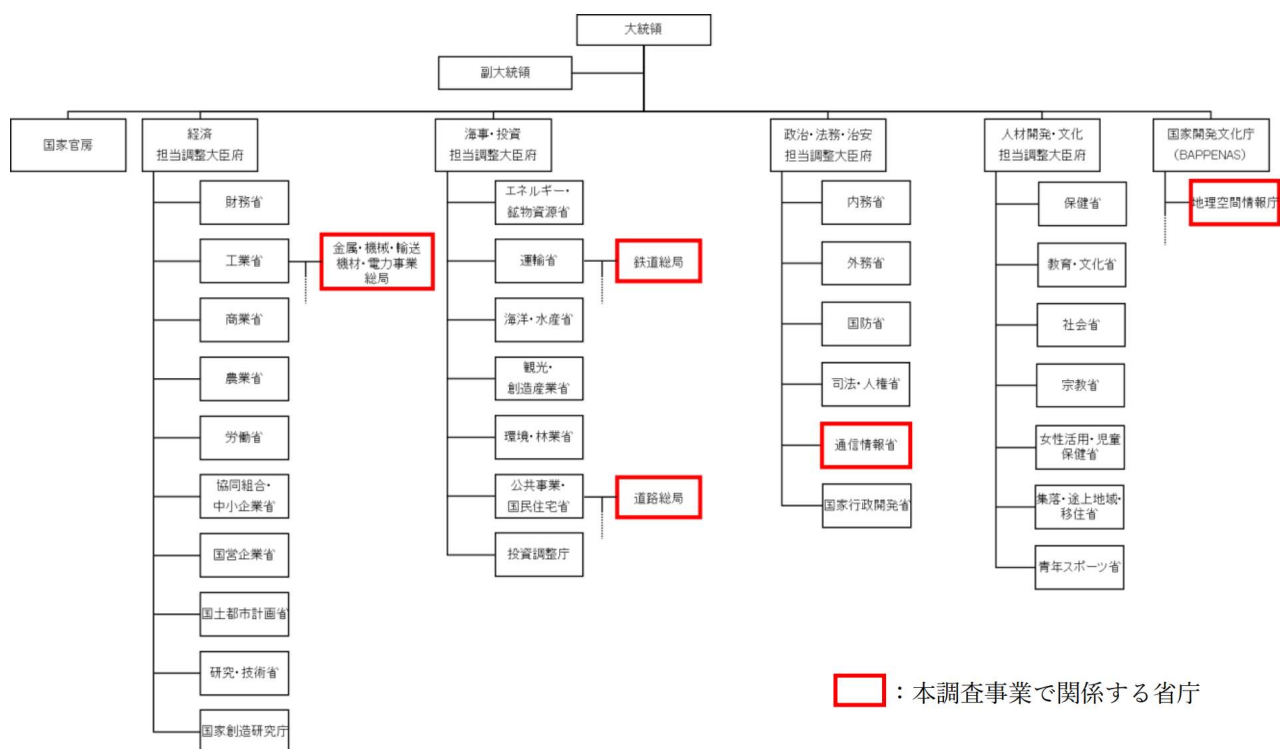
第3章 デジタルツイン環境構築、DXソリューション導入に必要な環境調査

本章においては、インドネシア国の鉄道事業者に対して本調査事業が提案するDX実用化に関する関係省庁並びに関連する法令等について述べる。また、同国内が取り組んでいるDX施策と衛星データを活用したデジタル環境構築のほか、インターネット／データセンター環境等DX実用化に関する基盤環境について述べる。

3.1 インドネシア国のDX施策・方針・関連法令調査

インドネシア国の鉄道事業におけるDX実用化を提案するにあたり、現在インドネシア国で適用されている関連法令、実施している施策について、鉄道事業におけるDX実用化への影響等を確認する必要がある。

現在、インドネシア国の政府組織は図3-1の構成となっている。



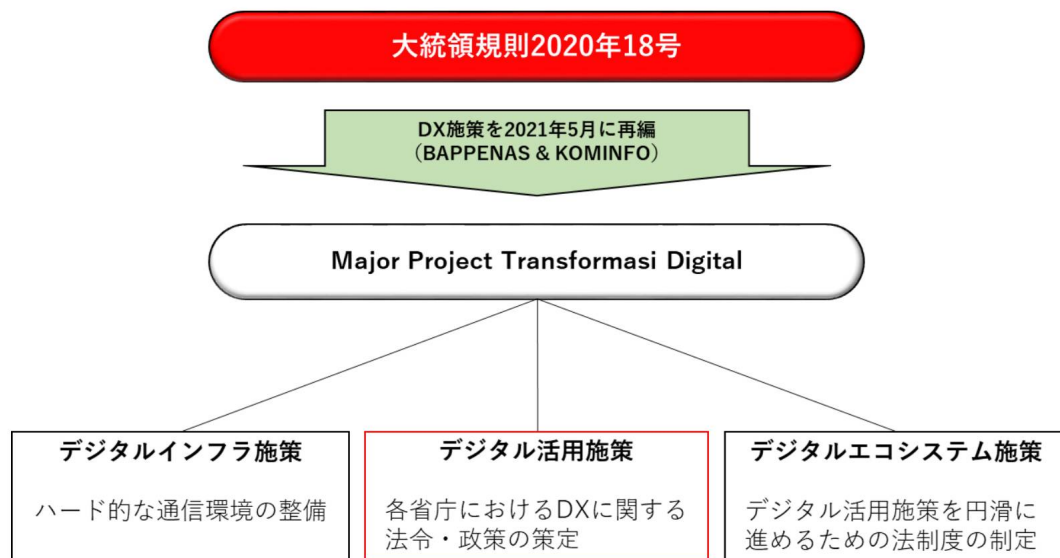
出典：調査団作成

図 3-1 インドネシア国の政府組織図

インドネシア国におけるDX施策については、大統領規則 2020 年 18 号（2020 年－2024 年中期開発計画）で規定された。これに従い、2021 年 5 月に BAPPENAS 及び通信情報省（KOMINFO）により、本大統領規則の中のDXに対する施策が、国家DX主要プロジェクト「Major Project Transformasi Digital」へ再編され、マスタープランが策定された。「Major Project Transformasi Digital」では、図3-2のとおり、「デジタルインフラ施策」、「デジタル活用施策」、「デジタルエコシステム施策」の三つの項目に纏め

られている。

本施策がベースとなり、各省庁はそれぞれDX推進に向けての施策を検討し進めている。特に、図 3-2 の赤枠にある「デジタル活用施策」のDX施策に関する法令・施策の策定については今後の動向を本調査事業で注視しておくべきであり、各関連省庁に対して確認が必要と考える。



出典：調査団作成

図 3-2 Major Project Transformasi Digital

「デジタル活用施策」について、本調査事業における鉄道DX実用化に関係が深いと考えられる関係省庁を調査したところ、図 3-1 に赤枠で示した下記の 5 つの省庁が挙げられる。

- ・ 運輸省鉄道総局 (Directorate General of Railways; DGR)
- ・ 公共事業・国民住宅省道路総局 (Directorate General of Highways; Bina Marga)
- ・ 工業省金属・機械・輸送機材・電力事業総局 (Directorate General of Metal, Machinery, Transportation Equipment and Electronics Industry; ILMATE)
- ・ 通信情報省 (Ministry of Communications and Informatics; KOMINFO)
- ・ 地理空間情報庁 (Geospatial Information Agency; BIG)

また、鉄道DX実用化に関連すると考えられる法令等は表 3-1 のとおりである。

表 3-1 鉄道DX実用化に関連する法令等

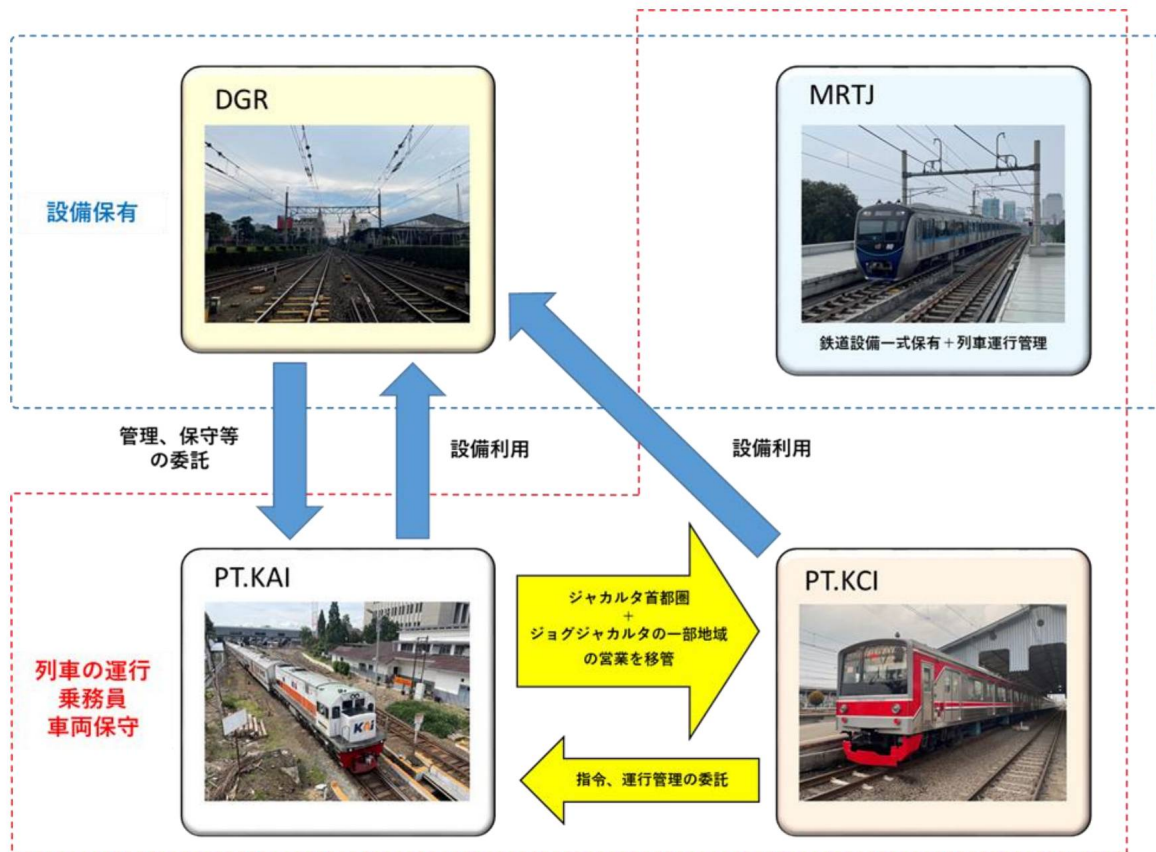
分野	関係省庁	法令等	内容
全体	——	大統領規則 2020 年 18 号	2020 年－2024 年中期開発計画
鉄道	DGR	運輸省大臣令 2020 年 60 号	鉄道に関する施設・設備・車両に関する情報技術を用いた管理状態監視・制御システム
鉄道	DGR	運輸省大臣令 2022 年 7 号	高速鉄道に関する技術
BIM	Bina Marga	道路総局通達 11/SE/Db/2021	道路総局が管轄している道路・橋梁の BIM 構築義務
国産化率	ILMATE	法律 2014 年 3 号	工業に関する法律
国産化率	ILMATE	大統領規制 2021 年 12 号	政府の物品・サービス調達
国産化率	ILMATE	政令 2018 年 29 号	国内産業能力強化
情報	KOMINFO	法律 2022 年 27 号	個人情報保護に関する法律
情報	KOMINFO	政令 2019 年 71 号	電子システムと電子取引のオペレーション
情報	KOMINFO	通信情報大臣令 2020 年 5 号	民間電子システムオペレーター
マップ	BIG	大統領規制 2016 年 9 号	単一の標準基本図の整備、主題図データは基本図データを基に作成義務 (One Map Policy)
マップ	BIG	大統領規制 2021 年 23 号	One Map Policy の事業範囲を主題図作成の中心
マップ	BIG	大統領規制 2021 年 11 号	中央政府と国営企業の協力による、基本地理空間情報の提供

出典：調査団作成

ここでは、表 3-1 の法令に基づいた関連省庁における DX 施策・方針、鉄道 DX 実用化への影響について情報収集した結果を述べる。

3.1.1 運輸省鉄道総局（DGR）の DX 施策・方針・関連法令

インドネシア国の鉄道では上下分離方式を採用しており、KAI 及び KCI が運営する鉄道路線の設備は政府が所有し、設備の管理・保守等を KAI に委託している。また、MRTJ においては、MRTJ が鉄道設備一式を所有しており、設備の管理・保守等においても MRTJ が実施している（図 3-3）。



出典：調査団作成

図 3-3 DGR とターゲットとする鉄道事業者の関係

DGR は 2005 年に設立された政府運輸省配下の総局であり、KAI 及び KCI が運営する鉄道設備を所有していると共に、

- ・鉄道の全般的な将来計画・政策・立案の策定
- ・鉄道の技術基準の策定・承認・審査

の二つを主な役割としている。

前述のとおり、KAI 及び KCI が運営する路線における設備の所有者・政策当局であることから、KAI 及び KCI の鉄道設備に対する DX ソリューションを導入する際に、DGR との調整は欠かせないと考えられる。

DGR による鉄道分野での DX 導入に関する明確な基本計画はまだ存在していないが、運輸省大臣令 2020 年 60 号（PM60/2020）では、鉄道設備及び鉄道車両を監督するための情報技術の利用が規定されている。DGR とのヒアリングの結果、鉄道構造物のマップは現在開発中であり、DGR が所管する構造物にセンサーを設置する計画が進行中であることが判明している。しかし、資金面や技術面での問題があり、プロジェクトは遅々として進んでいない状況にある。

PM60/2020 では、DGR、鉄道設備事業者、鉄道車両事業者は、設備と車両の監視システムを開発し、ネットワークに接続して監視データを送信し、DGR が観察・確認できるようにすることが義務付けられ

ている。また、同規則は施行日から 5 年以内に実施しなければならないと定めている。

鉄道インフラ用監視装置は、橋梁監視装置、レール監視装置、踏切監視装置、駅監視装置、トンネル監視装置が規定されており、各装置の技術仕様は規程集に記載されている。

鉄道車両の監視については、振動温度監視装置、車輪寸法監視装置、快適性監視装置、在位置監視装置、重量監視装置、電力監視装置、加減速監視装置、軸受温度監視装置が規定されている。

また、運輸省大臣令 2022 年 7 号（PM7/2022）においても雨量計、風速計、地震計の設置が規定されている。

3.1.2 公共事業・国民住宅省道路総局（Bina Marga）の DX 施策・方針・関連法令

インドネシア国では道路を管理している省庁は運輸省ではなく、都市局等と同じ Bina Marga である。公共事業・国民住宅省の管轄省庁である Bina Marga は、インドネシア国全土の国道及び高速道路を管理しており、

- ・道路の全般的な計画・政策・立案の策定
- ・道路に関する技術の計画・審査・規制・支援

の二つを主な役割としている。

Bina Marga はインドネシア国政府機関の中でも積極的に DX 施策を進めている省庁であり、道路総局通達 11/SE/Db/2021 による BIM 及びデジタルツイン技術を、国道及び高速道路管理のために活用している。Road Ledger システム（道路台帳）というシステムで道路局が管理している全国の国道及び高速道路の建設日付、平面・縦断図面、位置、状況、用地等の情報を管理している。最近では本システムで BIM データも管理している。

Bina Marga が会長職を務める橋・トンネル安全委員会（KKJTJ）は、特殊橋梁及びトンネルの設計の安全性と機能性を審査し、公共事業・国民住宅大臣による特殊橋梁及びトンネルの設計と機能性の証明書を発行するための根拠となる勧告を発行することを任務としている。鉄道高架橋トンネルも含まれているため、他省庁の特殊橋梁及びトンネルと共に、設計データが特殊橋梁及びトンネル情報管理システムに提供される義務がある。最近の Bina Marga 内のデジタルツイン・BIM 応用の普及と共に、鉄道の特殊橋梁及びトンネルの BIM データも将来的に提供することが求められる。

そのため、将来的に鉄道における設計データも BIM データとする計画があるため、本調査事業が提案するビジネスモデルは、Bina Marga の BIM システムの仕様や政策に整合させる必要がある。

3.1.3 工業省金属・機械・輸送機材・電力事業総局（ILMATE）の DX 施策・方針・関連法令

ILMATE は、インドネシア国工業省に属する部局で、

- ・金属、機械、輸送用具、電子機器産業、特に製造工程に関連した政策
- ・金属、機械、輸送用具、電子機器産業の国産化率・国産品優先に関連した政策
- ・国内の金属、機械、輸送用具、電子機器産業の能力強化に関連した政策

の三つを主な役割としている。

DX分野との関わりについては、ILMATE が TKDN（国産化率）と P3DN（国産品優先）の規制を決定する担当組織となっていることが挙げられる。一般的なルールとしては、国営企業は国営企業省の下にあるため状況により異なるが、基本的には 25%以上の TKDN が達成される商品があれば、その商品を購入しないといけないというものである。

また、ILMATE は現地の生産業者やインドネシア国に生産施設を持つ外国企業との強力なネットワークを持っており、将来的にDXプロジェクトの持続可能性を確保する上で非常に有用な存在となることが考えられる。

日本の鉄道DXソリューションを導入する際に要する機材においては TKDN を念頭に置く必要があり、ILMATE への相談が必要であることが判明した。この点に対しては、2022 年 10 月渡航の際に ILMATE から「インドネシア国の法令は細かく、本調査事業が提案するプラットフォームであれば複数の省庁が関わっていると思われる。連絡先がない場合は、当省の Transport Directorate がサポートする」との発言を頂いており、実証実験及びビジネスモデルの展開にあたっては ILMATE を通じて、関係省庁の合意と関係法令を確認した上で進めていくことになる。

3.1.4 通信情報省（KOMINFO）のDX施策・方針・関連法令

KOMINFO は、インドネシア国政府の通信、情報事務を担当する省であり、BAPPENAS と共に国家DX主要プロジェクトの実施を担当している。KOMINFO は、国家独立後間もない頃からのルーツを持ち、

- ・ 情報・通信の全般的な計画・政策・立案の策定
- ・ 情報・通信に関する技術の計画・審査・規制・支援

の二つを主な役割としている。

なお、法令的な施策については「個人情報保護」、「電子システム及び電子取引」の項目にまとめられている。これら二つの項目について、本調査事業への影響等について調査した。

インドネシア国政令 2019 年 71 号 (PP71/2019) は電子システムオペレーター (Electronic System Operator; ESO) の事業を規制する。ESO は Public Scope ESO と Private Scope ESO に分けられ、国家機関（省庁、地方、中央政府など）のシステムは Public Scope ESO として、国家機関以外の団体（国営企業を含む）は Private Scope ESO として含まれる。

Public Scope ESO と Private Scope ESO の主な違いは、Public Scope ESO はインドネシア国内でシステムとデータを管理、処理、保存しなければならないのに対し、Private Scope ESO はそのような規制を要求されないという点である。

しかしながら、どちらのタイプの ESO もデータ保護規制を遵守し、政府や法執行機関による監督を確保し、インドネシア国政府に登録する義務がある。登録等の義務を守らなければ、政府はインドネシア国へのアクセスを遮断することが可能である (3.2.2 参照)。

PP71/2019 では個人情報保護要件に関しても規定されている。個人データ保護における他の多くの規制と同様に、データ収集の目的、データ保存の期間、期限後のデータ削除の要件を明記し、消去権 (right to erasure)、上場廃止権 (right to delisting) についても GDPR (EU 一般データ保護規則) をベース

としている。

通信情報大臣令 2020 年 5 号（民間電子システムオペレーターについて；PM5/2020）は Private Scope ES0 の事業を規制する。当大臣令では、Private Scope ES0 がシステムで保存・処理される個人情報保護し、担当局へのシステム登録時に収集・処理されるデータ量を規定する要件について特に言及されている。また、警察当局がシステムに保存された個人情報にアクセスする権利、Private Scope ES0 がアクセスによるシステム全体のパフォーマンスへの悪影響を評価する権利、監査目的のために与えられたすべてのアクセスを記録する義務についても言及されている。

法律 2022 年 27 号（個人情報保護法）はインドネシア国における個人情報保護を規制する全体的な法令である。上記の従来規程との最も大きな違いは、個人情報保護の違反に対して、行政処分だけでなく、刑事処分も規定されていることである。GDPR をベースに、個人情報管理者（personal data controller）、個人情報処理者（personal data processor）の役割、個人情報に対する権利について具体的に言及している。また、インドネシア国内外への個人データの越境移転（cross-border data transfer）についても規定されており、個人情報保護に関する国際協力の必要性についても明記されている。DX ソリューションに関連して、公共スペースでの映像データ処理、現在進行中のデータ収集の告知、個人を特定しないための要件が規定されている。

本調査事業において鉄道 DX を提案するにあたり、電子システムの取扱いや個人情報保護の規制、ビッグデータ関連法令に関する支障について、ILMATE へヒアリングしたところ、KOMINFO への相談を推奨された。そのことから、日本の鉄道 DX ソリューションをインドネシア国へ導入する際に、提案する事項についての法令支障等を KOMINFO に確認する必要があると考える。

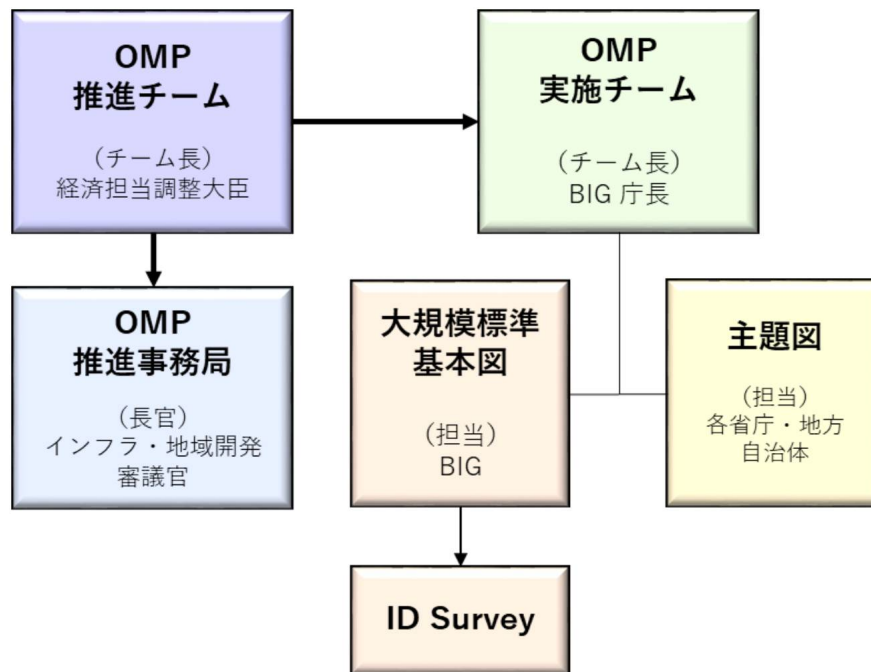
3.1.5 地理空間情報庁（BIG）の DX 施策・方針・関連法令

BIG は 1969 年 10 月 17 日に設立されたインドネシア国政府が所有する機関で、インドネシア国における地理空間情報のデータ管理及び配信を行う権限を有している。主な役割としては、

- ・ 地理空間情報の効率的かつ効果的な協力、調整、統合、同期の実施
- ・ 地理空間情報を行政や地域生活の様々な場面で活用することの検討

の二つである。

インドネシア国では大統領規制 2016 年 9 号により、One Map Policy（OMP）が公布され、関連する省庁が図 3-4 の組織体制を構築し、国として単一の標準基本図（Base Map）を整備し主題図データは基本図データを基に作成することが義務付けられた。また、同法令が 2021 年改正され、大統領規制 23 号により、当初 2019 年までとしていた OMP 実施期間が延伸されると共に、経済相乗効果を最大限にすることを目的として事業範囲についても標準基本図から主題図の作成支援が中心となった。



出典：調査団作成

図 3-4 One Map Policy 推進の組織図

大統領規制 2021 年 11 号（中央政府と国営企業の協力による、基本地理空間情報の提供について）が発令され、標準基本図の作成における国営企業との協力（KPBUMN）が可能になった。KPBUMN スキームを利用し、BIG が大縮尺国土基本図作成（Large Scale Base Mapping）事業の入札を実施した結果、測量専門の国営保有企業である ID Survey 社が落札した。これに伴い、ID Survey 社が BIG を代行し、インドネシア国全土の大縮尺国土基本図作成を進めている。

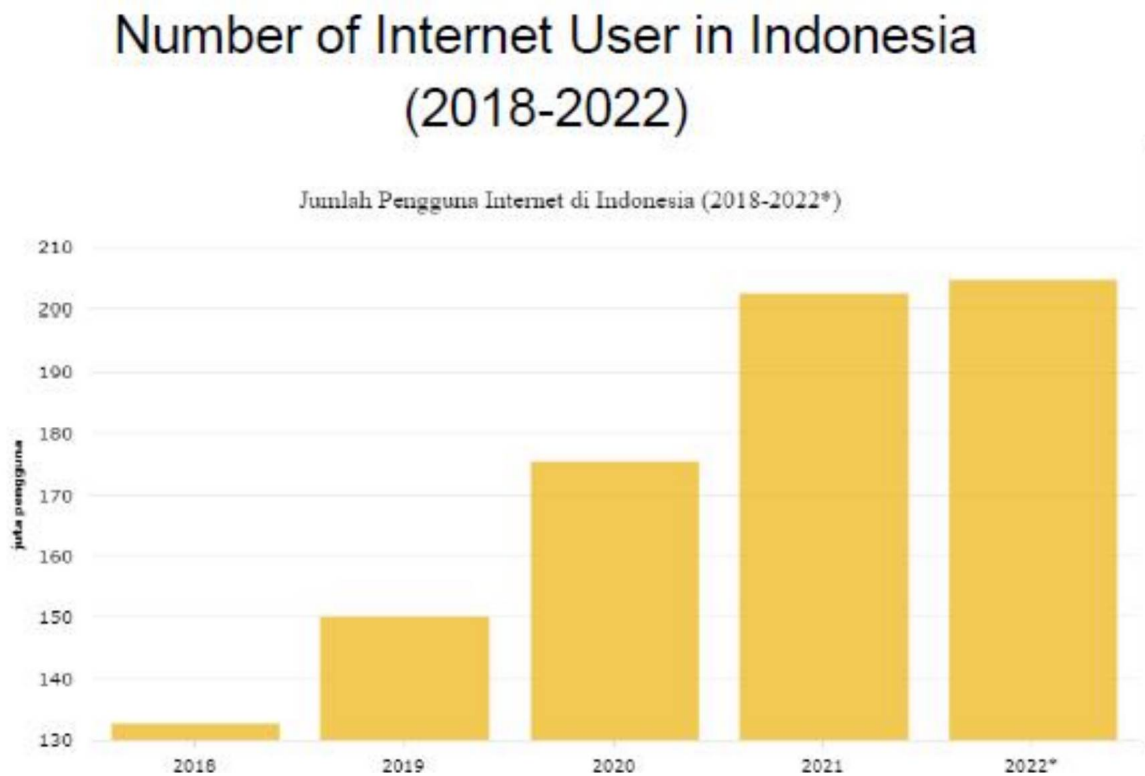
今後、2.2.2 で述べた鉄道沿線の 3D 路線情報のソフトウェアをインドネシア国に導入する場合は、OMP 等の施策を配慮して検討する必要があると同時に、BIG 及び ID Survey 社との調整が必要である。

3.2 インターネット／データセンター環境、BIM/CIM ソフトウェア環境調査

今日においては、DX ソリューションを提案する上でサーバーの利用は欠かせないものであり、それに伴いインターネットやデータセンターの利活用は必須であるといえる。また、本調査事業の提案には BIM や標高データなど 3D データを扱った DX ソリューションも含まれているため、インドネシア国での BIM/CIM ソフトウェアの利用環境を把握することは、既存データや新規に作成するデータを有効的に活用することに繋がる。以下、本調査事業において実施した調査の結果について述べる。

3.2.1 インターネット環境

インドネシア国では、総人口の 70%以上がインターネットを利用している。元々 SNS が広く活用されていたが、コロナ禍での需要も相まって有料コンテンツの市場が急成長している。中小企業では通信が不安定な上に料金も高額であったためインターネット活用が遅れていたが、近年ではインターネット普及率は右肩上がりであり、コロナ禍でのリモートワークの実施によって更に大きく向上している。



出典：NTT コミュニケーションズ

図 3-5 インドネシア国のインターネットユーザー増加状況

固定電話の普及率は 8.8%程度、携帯電話の普及率は 66%程度であるが、複数台の保持を含めると 130%を超えている。日本より貧困率が高いインドネシアでは携帯電話を持ってない家庭も多いが、一定以上の収入がある家庭では生活に欠かせないものになっていることが読み取れる。5G が利用可能なエリアは首都ジャカルタやバリ島の一部地域のみだが、4G はジャワ島ではほぼ全土で通信環境が整備されている。国営の Telkomsel 社、マレーシア系の XL Axiata 社、カタール系の Indosat Ooredoo 社が 3 大キャリアで契約件数の 8 割超を占めている。

国内には大小含め 50 を超える固定網事業者（インターネット、閉域網）があるが、前述のようにインドネシア国の通信環境は固定回線よりモバイル回線の方が整っているというのが実態である。国営の Telkomsel 社のカバレッジが最も広いが、他と比較して通信料が高く、速度が遅いなどそれぞれにメリット、デメリットがあるため、その場所に適したキャリア選択が必要である。また、地域、開発事業者、ビルごとに排他的、専有、指定キャリアが存在する箇所があるため、接続拠点が広く存在する場合、一括管理が可能なプロバイダ選択が必要である。



出典：NTT コミュニケーションズ

図 3-6 Telkomsel のカバレッジ



出典：NTT コミュニケーションズ

図 3-7 XL Axiata のカバレッジ



出典：NTT コミュニケーションズ

図 3-8 Indosat Ooredoo のカバレッジ

加えて、固定回線、携帯回線に依らず速度低下など通信に不安定な状況が見受けられる。主な原因と

しては、光ケーブルの断裂や機器の不良、停電などが挙げられる。その背景には、地中ケーブル等の情報が非常に乏しいことによる地下鉄や道路工事に伴う回線支障や電力環境の脆弱性がある。



出典：NTT コミュニケーションズ

図 3-9 掘削工事中のケーブル切断の例

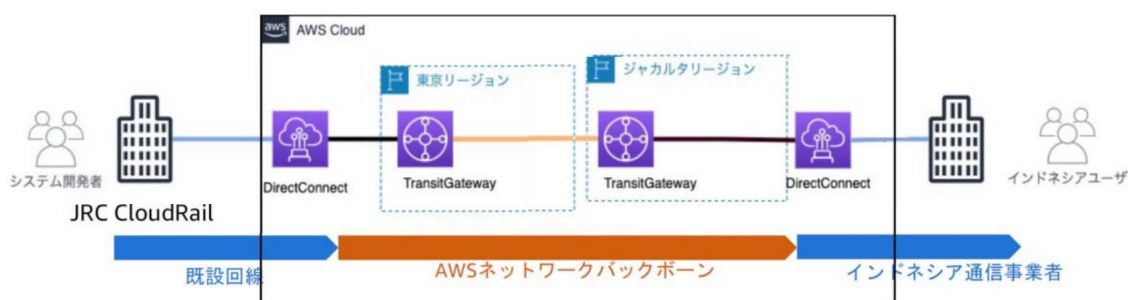
3.2.2 データセンター環境

従来、東南アジアにおけるデータセンターの拠点といえばシンガポールが主であった。地震など自然災害が少なく、インターネット環境、電力供給の安定性から高く評価されていた。しかし、国土の狭さから新たな用地確保が困難でコストが高額であることがネックとなっていた。近年は多くの企業による投資の増加もあり、周辺各国への設置の動きが活発化し、インドネシア国内でも着々と数を増やしている。これはコロナ禍によるDXやリモートサービスの需要の高まりによる影響が大きく、今後もクラウドサービスなどの需要が高まっていくことが予想される。Google 社やAlibaba 社、Amazon 社などの外資系企業以外に NTT グループもデータセンターを建設しており、日系企業を中心にDX実現のための各種サービスを提供している。セキュリティ対策や定期的なアップデートなどシステム保守に必要なルール作りや一連の対応をサポート可能な体制が整っているため、日本と変わらずセキュアなクラウド環境の構築が可能である。

SaaS（サーズ）は「Software as a Service」の略語で、クラウドサービスとして提供されるソフトウェアのことであるが、これにより日本国内に置いたソフトウェアを海外ユーザーがインターネット経由で利用することが可能となる。すでに環境が整っていることから利用者は開発の時間と保守管理

の手間とコストを抑えることができ、データをクラウドに保存することで、災害やサイバー攻撃などの脅威に対する安全性は高い。

日本とインドネシア国間で、SaaS 環境を構築可能なクラウドサービスの一例として、Amazon 社が提供する AWS がある。AWS のネットワークサービスを利用すれば国際閉域網を初期費用、回線のメンテナンス費用なしに従量課金のみで構築が可能である。2021 年 12 月より、ジャカルタ市内のデータセンター内にリージョンが開設され、日本の鉄道技術コンサルティング会社のクラウド環境を構築する日本国内のデータセンターとの接続が構築可能である。これによりインドネシア国外へ持ち出すことができない機密性の高いデータであってもインドネシア国内にデータ本体が配置されたまま、日本からリモートでシステム運用を行うことが可能である。



出典：NTT コミュニケーションズ

図 3-10 AWS で構築した SaaS のネットワーク構成図

AWS の他、Google 社が 2020 年に導入済みであり、Microsoft 社の Azure も導入予定である。インドネシア国政府の規程 (PP71/2019) では、外資を含む一般事業者は、インドネシア国外にデータを保持してよいとされているが、インドネシア国民の個人情報を保持する消費者向け事業者は、サービス登録手続き義務があるため注意が必要である。これを遵守しない場合、通信が遮断される可能性がある。登録期限までに手続きしなかった Yahoo 社や Paypal 社、Steam 社、Epic Games 社が通信を遮断されたという事例がある。

電子マネーなどの支払いシステムを扱う事業者は、更に金融サービス庁 (OJK) 及び中央銀行 (Bank of Indonesia; BI) 規程を遵守しなければならないため、Suica 事業を展開する際は更に注意が必要である。各種規程の遵守や申請をすることでインドネシア国外にデータを保守することは可能であるが、リスク管理・事業継続性・監視など契約から運用まで幅広い領域が規制の対象とされている。このプロセスの煩雑さ・規程における不明瞭な箇所・規程が以後変更される可能性を懸念し、一部の開発系以外ではインドネシア国外にシステムを構築していないのが実態である。

また、前述のとおりこれまでインドネシア国には一般的な個人情報保護法がなかったが、2022 年 9 月に公布された。駅で撮影した映像など個人情報を含むデータの保存には留意が必要である。

以上のことから業種に問わず特段の事情がなければ、システムのロケーションはインドネシア国内 DC ないしインドネシアリージョンのクラウドが望ましいと言える。

3.2.3 BIM/CIM ソフトウェア環境調査

インドネシア国内の 3D 設計においては Autodesk 社製品と Dassault Systèmes 社製品のシェア率が高いが、政府機関や企業間で統一性がないのが現状である。中には同一企業内で部署ごとに異なるケースも見受けられる。

KAI においては、以前 Dassault Systèmes 社製品のソフトウェアである 3D EXPERIENCE を組み合わせた 3D プラットフォームの導入を検討していたものの、現所有設計データが Autodesk 社製品の AutoCAD で作成されていたため、Dassault Systèmes 社製品への切り替えを断念した。背景には、インドネシア国唯一の車両メーカーである PT INKA が車両製造に Dassault Systèmes 社製品の CATIA を使用しており、ソフトウェアを揃えたかったという背景がある。

MRTJ では Bentley 社製の CAD を使用しているが、委託業務を請け負う建設会社がそれぞれ異なったソフトウェアを使用して 3D モデルを作成しており、それらのデータを結合するために使用している。

上記の例のようにソフトウェアに統一性がないため、データの受け渡しやシステム連携などの場面で様々な制約や不自由な問題を抱えているのが実態である。

インドネシア国内で利用されている一般的な 3D ソフトウェア製品を表 3-2 に示す。

表 3-2 インドネシア国内の 3D ソフトウェア製品

ソフトウェアベンダー	ソフトウェア製品
Autodesk 社	Autodesk AutoCAD Autodesk Inventor Autodesk Fusion 360
Dassault Systèmes 社	Solidworks CATIA
Bentley 社	MicroStation
PTC 社	Creo Onshape
Siemens PLM Software 社	SIEMENS NX
Intergraph 社	Solid Edge
Shapr3D Zrt. 社	Shapr3D

出典：調査団作成

3.3 衛星データを活用したデジタル環境の構築調査

衛星データには、地球観測衛星から提供される写真や地形などの情報と測位衛星から提供される位置情報がある。これらの情報は、本調査事業が提案する DX ソリューションには必要不可欠であるため、インドネシア国内の状況を調査し、利用における課題の有無について確認を行った。

3.3.1 地球観測衛星

インドネシア国の 3D マップの構築は、政府主導の 2022 年から 2047 年までという長期のプロジェクトで進められている。2022 年から 2027 年までは全国土を網羅したマップを完成させると共に、地理空間ソリューションの提供を開始する。都市部では航空写真 LiDAR 技術を活用し、他の地域では航空機 SAR 及び高分解能衛星画像のオルソ補正(歪み補正)技術を活用する計画である。大都市の場合は 1/1000 の精度でその他は 1/5000 の精度となる。マップの商品・サービス化も目指しているため、データセン

ターによるクラウド技術も利用される予定である。2028 年から 2037 年まではマップデータの商品化段階として、ベースマップだけでなく主題図の商品化も計画している。2038 年から 2047 年までは地理空間情報業界へのグローバル展開を目指している。地形図、地形モデル (Topographic Model)、数値地形モデル (Digital Terrain Model; DTM)、数値表層モデル (Digital Surface Model; DSM) など提供できる見込みで、建物の高さや道路の縦断図も確認できるようになる。

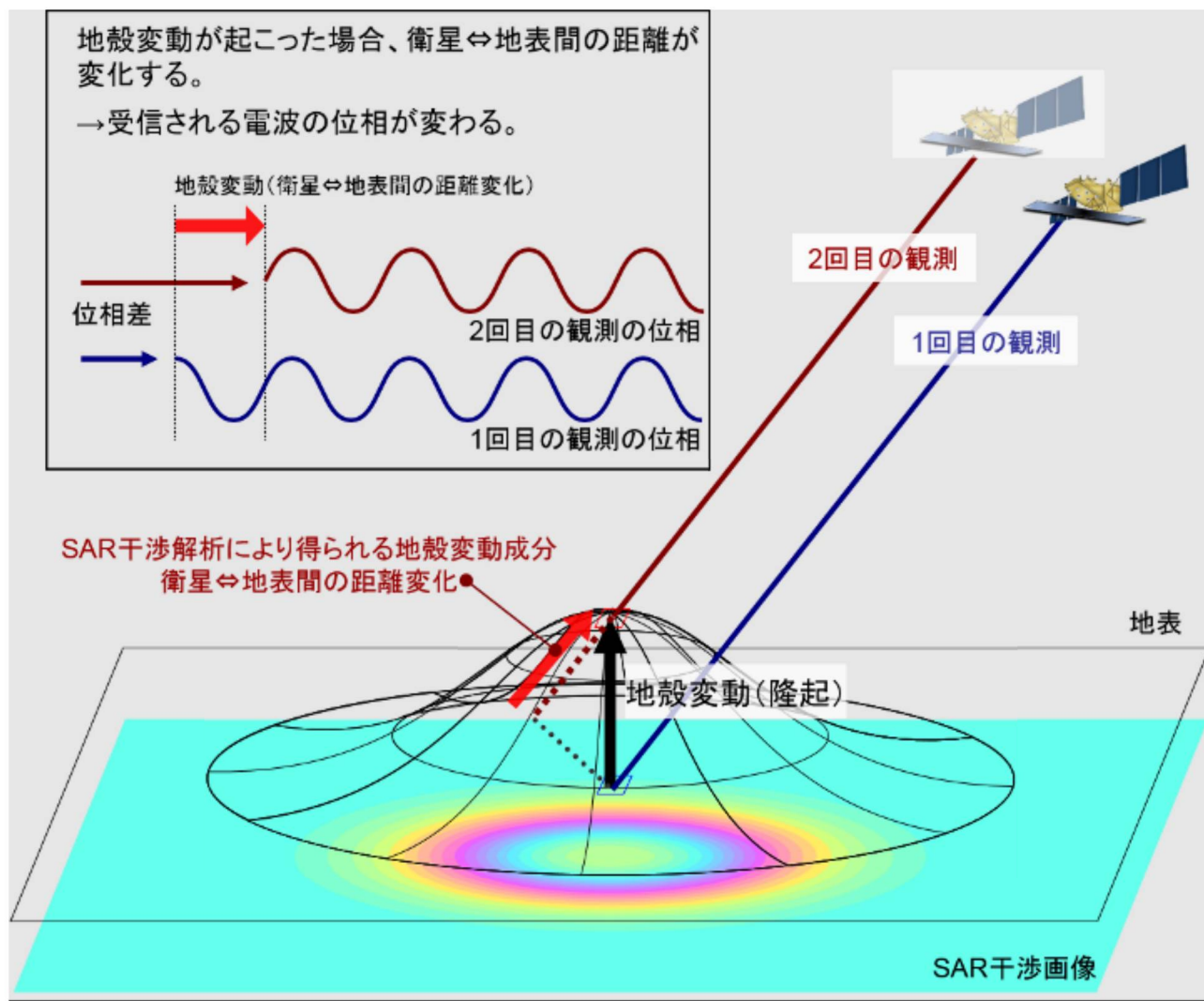
インドネシア国立航空宇宙研究所 (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional; LAPAN) は衛星データ活用プラットフォームシステム (ReDaNo システム) の開発を進めている。このシステムはインドネシア国及びその他の東南アジアに、自然災害、海面上昇、違法な海上活動に関する衛星データをほぼリアルタイムで提供することを本来の目的としているが、インドネシア国内では、水田の所有権と課税対象地に関するデータ化の効率と精度を向上させるために、このシステムを使用することを検討している。元来農地管理と共に固定資産税の適正化を目的とした農地の広さや作付け状況の情報収集について、その正確性に課題を抱えている。農場の 6 割以上が山間部に位置することや露地養殖が盛んに行われており、衛星画像や航空写真からの目視判読に限界があった。

測量・計測の日本国内最大手である株式会社パスコは、2018 年 10 月 16 日に LAPAN と ReDaNo システムの構築に関する協力合意を締結した。この活動の一環として、インドネシア国における地球観測衛星データの活用に関する実証実験を行なっている。農地管理の高度化を目指し、AI 技術を活用して、異なる分解能を持つ地球観測衛星から自動的に農地ポリゴンを抽出して、圃場 (ほじょう、農地) の場所を推定し、定期的にモニタリング可能な技術を確立することを目的としている。

上記のとおり、インドネシア国では既に衛星データを活用していくつかの取り組みを行っており、特に 3D マップのデータは関係機関との調整ができれば本調査事業でも活用可能であると考えられる。また、その他大きなプロジェクトや現在進行形の開発もあるため、それらを考慮した提案が必要である。

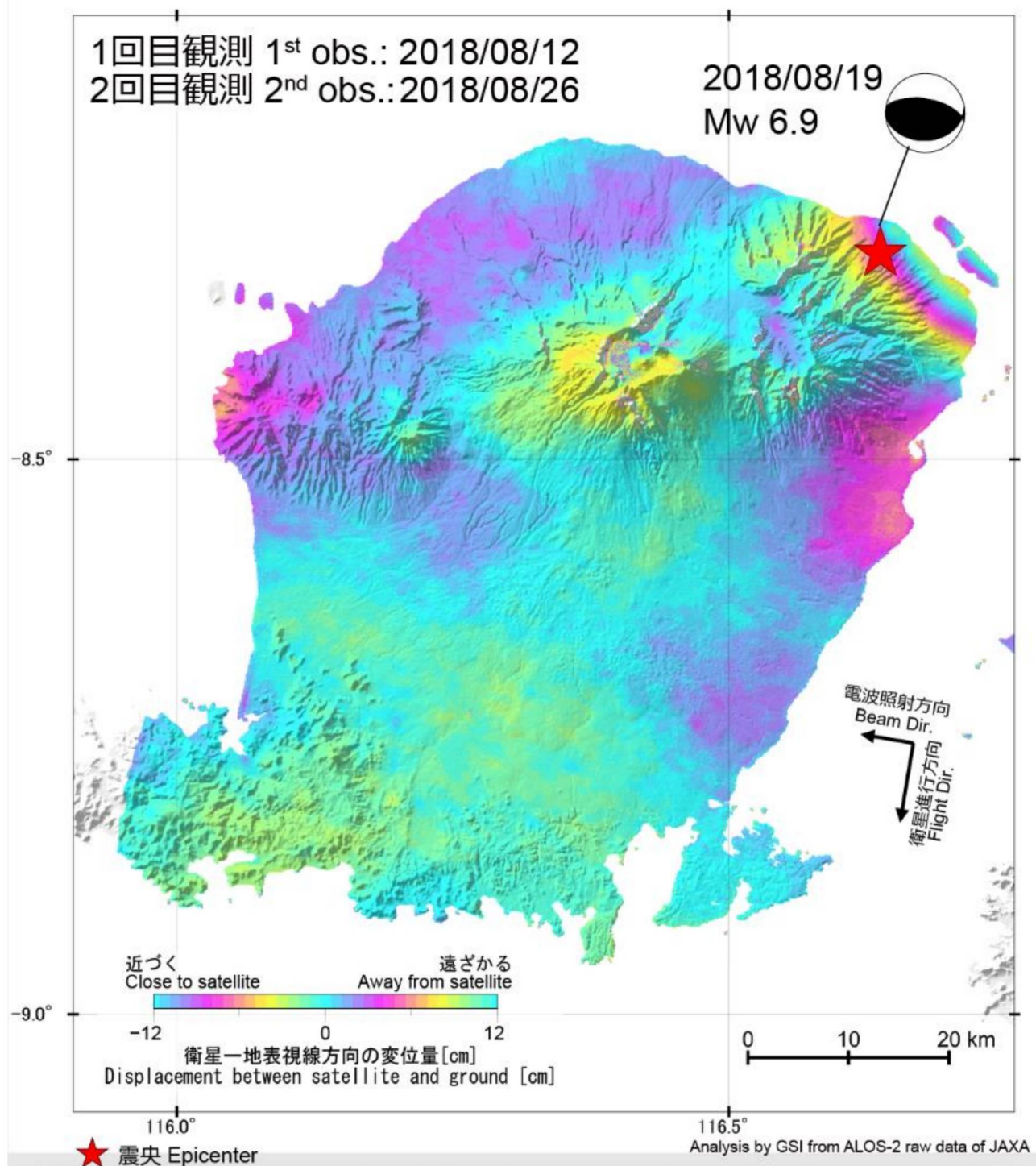
インドネシア国は日本と同様災害が多い国である。約 130 の活火山を持つ地震多発国であり、津波や河川氾濫など水害も多く発生している。特に首都ジャカルタは地下水の汲み上げによる地盤の沈下が深刻で、2020 年に発生した洪水では 3 万 4 千人以上が避難を強いられることとなった。これは、2019 年に首都をカリマンタン島へ遷都することを決めた主要な要因にもなっている。

地球観測衛星の重要な役割として災害を可視化することが挙げられる。合成開口レーダー (SAR) はマイクロ波を地表面に照射して得られる反射波の解析により、地表面の様子や変化を観測するセンサーであるが、二つの異なる時期に観測された反射波の位相差を分析する干渉合成開口レーダー (InSAR) 解析により、地殻変動による微小な標高変化を観測できる。これにより地表面の移動量を把握し、土砂崩壊や地盤沈下の状況を可視化することが可能である。なお、合成開口レーダーは写真のような人間の視覚を再現する光学とは異なり、雲被覆を貫通して地表面を観測できる。そのため光学センサーでは困難な豪雨による洪水被害の観測にも効果的である。元々インドネシア国は雲が多く、自然災害に対するリスクが広範囲かつ多岐に渡るため、合成開口レーダーによるモニタリングは非常に有効な手段であると言える。



出典：国土地理院ウェブサイト (https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/sar_mechanism.html)

図 3-11 干渉 SAR の原理

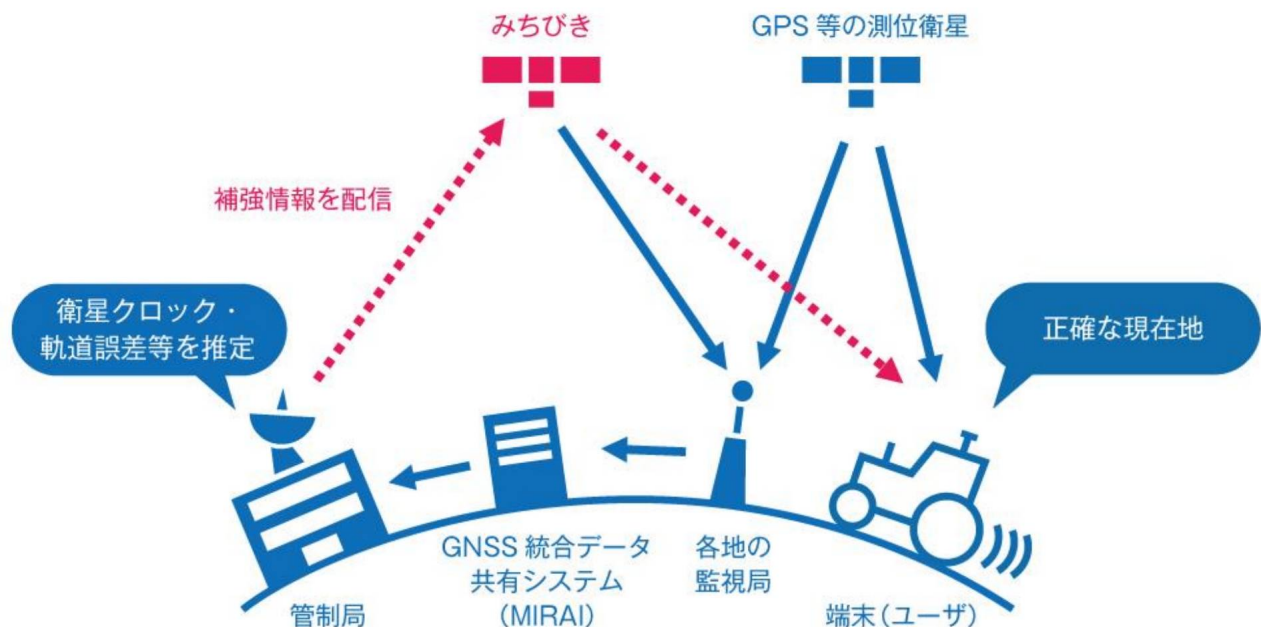


出典：国土地理院ウェブサイト (<https://www.gsi.go.jp/cais/topic180731-index.html>)

図 3-12 2018 年インドネシア国・ロンボク島の地震に伴う地殻変動の解析結果

3.3.2 測位衛星

インドネシア国は日本国産の準天頂衛星「みちびき」の周回軌道下にあり、新しい高精度測位サービス (MADOCA) や位置認証サービスが 2024 年から提供される予定である。MADOCA は通常の RTK (Real Time Kinematic) 技術と異なり、基準点がなくとも 10～数 10cm レベルの測位精度を達成できる。



出典：みちびきウェブサイト (https://qzss.go.jp/overview/services/sv13_madoca.html)

図 3-13 複数 GNSS 対応高精度軌道時刻推定ツール (MADOCA)

新しい位置認証サービスは、高セキュリティのサービスで耐スプーフィング性能を提供可能である。スプーフィングとは意図的に、「偽位置・時刻情報」を送信し、GNSS 受信機の出力（位置・時刻）を操作することである。測位衛星の信号は完全にオープンになっており、自由に生成することは容易である。位置情報を活用したゲームでの不正使用の例が多いが、店舗への来店ポイントを不正に受給した詐欺事件も発生しているため、セキュリティの確保が課題であった。この課題を解決するため、2024 年より測位衛星からの真正信号であることを証明するデジタルシグネチャを準天頂衛星から配信するサービスを開始する。これにより悪意のある位置情報の偽装ができなくなるため、鉄道事業へは切符を購入しなくても列車での移動距離に応じて運賃を精算するような高度な活用も検討できるようになる。

結論としてインドネシア国でも「みちびき」を活用できることから日本と変わらない位置情報を活用した仕組みを構築可能である。

第4章 現地鉄道事業者におけるDX

第4章 現地鉄道事業者における D X

本章においては、1980 年代以降、インドネシア国の鉄道事業者で、JR 東日本をはじめとする日本の鉄道事業者からの中古車両の無償・有償譲渡などによる輸送品質の向上並びに JR 東日本による車両メンテナンス等の技術支援を継続的に受けていること、及び JR 東日本グループにて日本の鉄道技術を、建設・鉄道システム・オペレーションをセットで輸入している実績もあることから、本調査事業の対象となる MRTJ、KAI 及び KCI の 3 社に対して実施した現地調査で得た情報を基に、D Xに関する基本方針、整備状況及び潜在的ニーズについて述べる。

4.1 ジャカルタ都市高速鉄道会社（Jakarta Mass Rapid Transit; MRTJ）における D X 施策

4.1.1 D Xにかかる基本方針

MRTJ は、すでにアセットマネジメントプラットフォームと 3D モデルの構築を進めている。各システムでは、アセット管理、保守サービス、セキュリティ等で個別の管理ソフトウェアを使用しているが、将来的には、それぞれソフトウェアの既存データを融合し、一つのプラットフォームで管理する計画である。表 4-1 に、MRTJ のソフトウェア使用状況を示す。

表 4-1 MRTJ ソフトウェア使用状況

ソフトウェア	用途
Trueline	主に輸送計画の作成と管理に使用
SAP Plant Maintenance (PM)	設備財産管理
IBM Maximo Application Suite	主に車両関連の在庫管理に使用
Bentley Systems Infrastructure Digital Twins	既存の鉄道や駅施設の 3D モデルの構築

出典：調査団作成

4.1.2 整備状況

（１）オペレーション

オペレーションについては、東芝が開発した、「TrueLine」と呼ばれる AI を活用した輸送計画ソフトウェアを使用している。これは以下の 7 つの機能を有したソフトウェアであり、列車の輸送計画の作成と管理に使用しているが、乗務員の出勤管理については Excel で行っている。

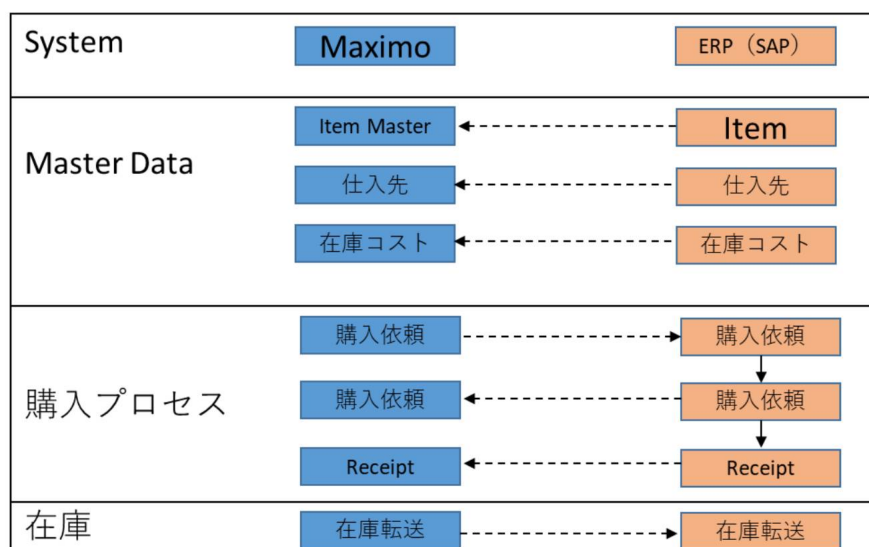
- ① 運転曲線作成サービス
- ② 時隔曲線作成サービス
- ③ 基本ダイヤ作成サービス
- ④ 乗務員／車掌運用作成サービス

- ⑤構内基本計画作成／構内作業管理サービス
- ⑥検査計画作成／車両割当管理サービス
- ⑦GIS 運行監視サービス

(2) メンテナンス

IBM Maximo Application Suite は車両のメンテナンスや管理のために使用されているが、鉄道施設全般のアセットマネジメント (Enterprise Asset Management:EAM) は ERP (SAP) を使用している。そのため、MRTJ 内では、全部門の管理を統一するプラットフォームは存在せず、各部門（営業部、建設工事部、財務部門、オペレーションとメンテナンス部）に独立して異なったソフトウェアを使用している。すべての発注業務やコスト管理等に係るソフトウェアを管轄する部署は、財務部門の中にある IT 部門となっている。

車両のメンテナンスや管理は IBM Maximo を基本としているが、部品の購入やコスト管理は SAP で管理している。図 4-1 に示したように現在 MRTJ は IBM Maximo と SAP をリンクさせ、この二つのソフトウェアのデータを一元化し、業務ごとのシステム・データが統合することで、仕事の効率化を図っている。しかし、プロセスの一部に関しては、単価や在庫の追加するたびに、ERP へ新規情報入力や修正するなど、煩雑な処理となっている。



出典：調査団作成

図 4-1 IBM Maximo と ERP (SAP) のインタフェースプロセス

現在、MRTJ は IT 部門をはじめ、既に使用しているソフトウェアを IBM Maximo と SAP のどちらかに統一することは難しいことから、MRTJ にて全てのソフトウェアを結合した新たなプラットフォーム作りが検討されている。

(3) 3D モデル・BIM の構築

MRTJ は、Bentley Systems Infrastructure Digital Twins のソフトウェアを、Bundaran HI 駅へ

Ancol 車両基地間総延長 11.5km となる MRTJ 南北線フェーズ 2 において、各コントラクターが作成した 3D モデルを結合するために使用している。Bentley は 7D BIM の運用（時間軸（建設日時）や部材（属性情報）やシミュレーション、コスト管理・維持管理）が可能としている。また、インターネット接続可能なあらゆるデバイス（PC、スマートフォン、タブレット端末等）からの 7D BIM へのアクセスが可能である。

MRTJ 南北線フェーズ 2 で利用されている BIM は EDMS (Electronic Data Management System) である。MRTJ 社内だけでなく、設計会社及び施工会社とプロジェクトに関わるデータを共有して設計・施工から維持管理までの全体の生産性向上を目指しており、図面の管理、審査、承認等は従来の紙の帳票や対面ではなく、全て電子データやクラウドによって行われている。

4.1.3 潜在的ニーズ

（１）デジタルツイン（3D モデル・BIM）関係

MRTJ は 3D モデル構築ノウハウが不足しており、営業区間である Lebak Bulus Grab 駅～Bundaran HI 駅の MRTJ 南北フェーズ 1 の 3D モデルを作成していなかった。そのため、MRTJ 南北線フェーズ 2 の 3D モデルと結合する作業量が膨大になると想定している。また、MRTJ 南北線フェーズ 1 においては、複数のコントラクターの成果物が異なっていたため、個々にデータ確認が必要であり、これらを統一するためのプラットフォームも必要となる。

（２）プラットフォームの構築

MRTJ は全てのソフトウェアのデータを一元化し、業務ごとのシステム・データを統合することにより現状を系統横断的に把握できるようになり、解決すべき課題を抽出することで仕事の効率化やコストの削減が可能になることを期待している。また、既存の SAP 及び IBM Maximo からのデータを総合するソリューション（Computerized Maintenance Management System; CMMS）にも高い関心を示している。

（３）旅客流動関係

現在、MRTJ は AI による画像認証技術を用いた人数・性別や年齢データを集計するシステムを使用していない。しかし、インドネシア国の鉄道利用者数は増加しており、MRTJ は既設プラットフォームでの混雑を解消するために、旅客流動の解析データを用いた駅構内の施設や旅客動線などの見直しを行っていくことを検討している。

4.2 インドネシア鉄道会社（PT. Kereta Api Indonesia; KAI）における DX 施策

4.2.1 KAI の DX にかかる基本方針

KAI は DX 導入に向けて「TRAINS-FORMATION DIGITAL KAI」というスローガンを掲げており、DX ロードマップの作成計画を立てているところである。この計画は、2020 年から 2024 年にかけて策定を進めている IT マスタープランの一部として発行される予定であり、以下の 5 つの戦略行動プログラムを設定している（図 4-2）。

- ①DX導入支援
- ②ビッグデータ整備
- ③設備のデジタル化
- ④CRM (Customer Relationship Management) アプリケーション開発
- ⑤列車管理システムの開発



出典：KAI Annual Report 2021

図 4-2 DXに向けた戦略行動プログラム

4.2.2 整備状況

ここでは、KAI におけるデジタル機器等の整備状況について5つの事例を述べる。

(1) IT センター

KAI 本社敷地内に IT センターが設置されており、そこで各種情報をモニタリングしている。IT センター内には、日本の指令室と同じく正面に大型スクリーンがあり、手前に PC が十数台設置されている。各 PC にオペレーターが配置されており、以下の三つの業務を担っている。

(a) 運行状況監視

主要な長距離列車には GPS 端末が設置されており、IT センターでは 2D マップ上に列車位置がプロットされた形で運行状況が表示されるほか、プロットされた列車を選択するとさらに在線位置、運行速度等の詳細な運行状況を確認できる。ただし、モニタリング機能のみであり、指令としての機能はなく運行管理には活用されていない。今後の活用法については検討中の状況である。

(b) 資産管理

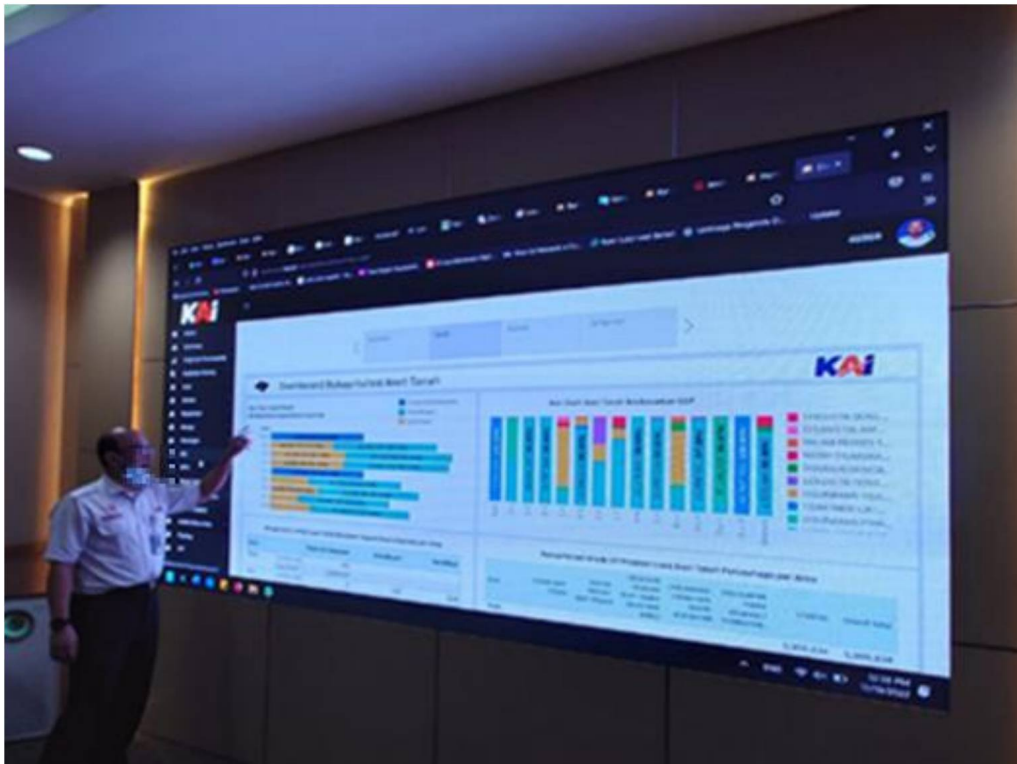
運行状況監視と同様に、2D マップ上に各資産がプロットされた形での表示が可能で、各資産を選択すると資産区分や国有の電子ベースマップに登録されている緯度経度情報による位置情報、設置年月等が確認できる。

(c) Web 情報解析

KAI のホームページで公開されているエリア別アクセス数やチケット販売状況を、集約された形で表示することができる。

（２）財産管理

各部門の財産の管理状況を、KAI 自社開発のシステム上にダッシュボード形式で表示することができる。どの設備がどの部門で管理されているかだけではなく、その設備の稼働率や予算などの情報が集約されている。



出典：調査団撮影

図 4-3 財産管理ダッシュボード

（３）インフラ設備のメンテナンス

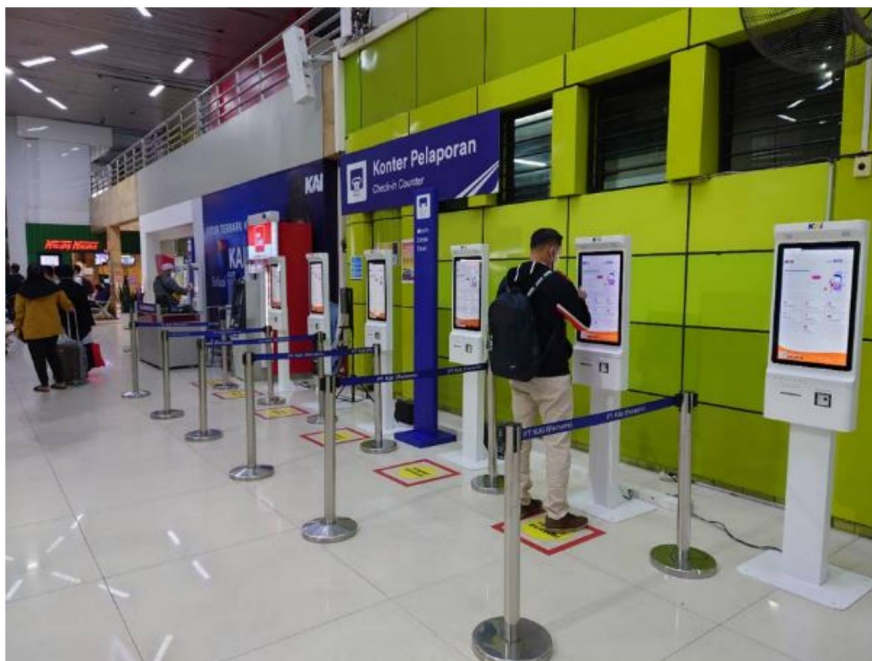
KAI のインフラ設備部門により、橋梁などの土木構造物のデータベース化が進められている。将来的には CBM(Condition Based Maintenance)による保全を計画しているが、現時点では試験的に一つの橋梁にひずみ計を設置している段階である。また、過去の災害情報や地質など、土砂災害に関する情報を整理したうえでデータ化し、運行・維持管理や新線建設等に活用したいとの意向もある。現状では、構造物は DGR が保有しているため、防災のための検知装置の設置には調整が必要となる。

（４）チケット販売システム

列車チケットの販売方法は主に以下の三つである。

- ① オンライン
- ② 駅に設置されているチケット販売端末
- ③ 駅窓口での販売

オンラインで購入した場合は、Eメールに送られてくるQRコードを②の端末にかざして発券するか、③の窓口で予約番号と身分証を提示することで発券できる。発券後は有人改札でチケットに印刷されたバーコードと身分証を提示して改札内へ進む。またオンラインでのチケット販売は主に、KAI公式アプリ、代理店の販売サイト、JakLingkoで行われている。



出典：調査団撮影

図 4-4 チケット販売端末

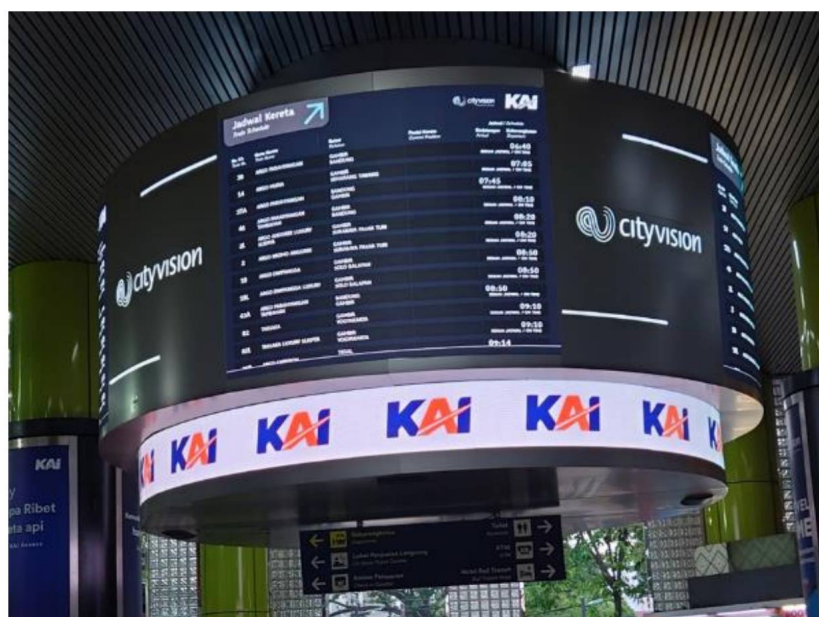


出典：調査団撮影

図 4-5 発行されたチケット

(5) 旅客案内

駅構内には旅客案内用の大型ディスプレイが設置されており、行先や列車出発時刻、運行状況を表示している。また列車内にも天井吊り下げ式や客室端部壁面設置の小型ディスプレイがあり、列車運行に関する情報や広告を表示している。



出典：調査団撮影

図 4-6 旅客案内ディスプレイ



出典：調査団撮影

図 4-7 列車内小型ディスプレイ

本調査事業において、KAI は日本の鉄道事業者と比較して技術的に大幅に遅れている状況ではなく、既存のデジタル機器を有効に活用している事例も確認することができた。その一方で導入された機器のほとんどが新しいものであり、安定性や耐久性については現状では不明である。

4.2.3 潜在的ニーズ

KAI が現状抱えている課題として、災害対策に関する情報が整理されておらず災害への対応が十分行われていないことを挙げており、本調査事業で提案する鉄道 GIS を活用した防災ソリューションについて、KAI 側は高い関心を示している。また、財産管理についても同様に高い関心を示している。

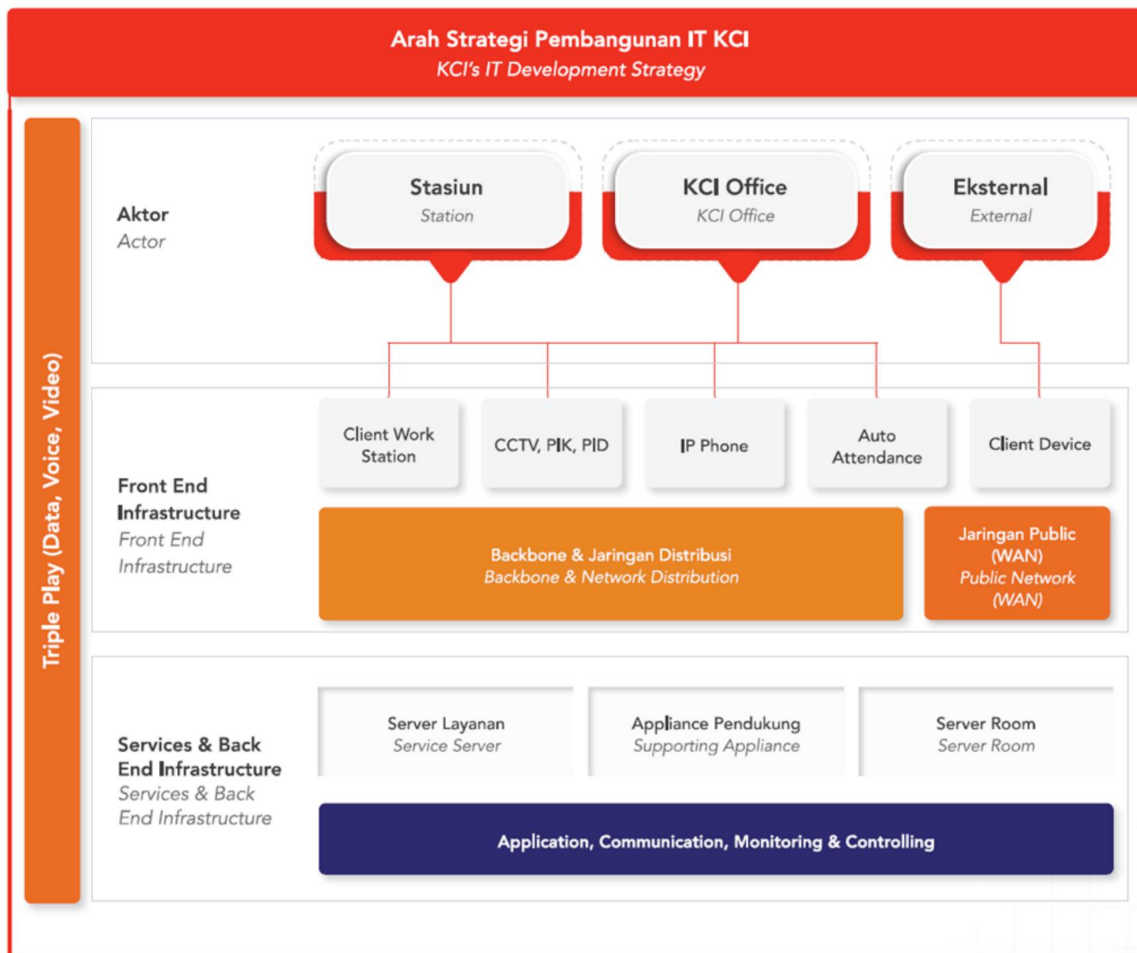
4.3 インドネシア通勤鉄道会社 (PT. Kereta Commuter Indonesia; KCI) における DX 施策

4.3.1 KCI の DX にかかる基本方針

KCI では DX に関連した部署として IT 部が組織されており、同組織は国際機関である ITGI の基本方針に準じて IT 化の目的を以下の四つに定めている。

- ①組織への IT 適用による安定した利益の実現
- ②IT の活用による利益の最大化と機会創出
- ③説明責任への IT の活用
- ④IT 関連リスクの管理

これらの目的を達成するために、KCI では独自の IT 開発戦略が定められている。本戦略は三つの階層に分かれており、駅や事務所、対外の業務において実際に IT を活用する立場の「実務者」層、通信ネットワークや実務者が実際に利用するデバイスなどを指す「表面インフラ」層、アプリケーションや通信、モニタリング&コントロールなどを指す「基礎インフラ」層がある（図 4-8）。



出典：KCI Annual Report 2021

図 4-8 IT 開発戦略(KCI)

4.3.2 整備状況

ここでは、KCI におけるデジタル機器等の整備状況について4つの事例を述べる。

(1) IoT Fleetsight、IoT Fleetsense

KCI の監視システムには、インドネシア国の通信事業者 Telkomsel によって提供されている IoT ソリューション IoT Fleetsight と IoT Fleetsense が導入されている。

IoT Fleetsight は、車両に設置された GPS 端末によって列車の位置情報をモニタリングするシステムで、2D マップ上に列車位置、列車速度等の情報を表示することができる。

IoT Fleetsense は、乗務員の状態監視、前頭映像のリアルタイム配信を行うシステムで、各運転台に設置された監視カメラからの映像を分析することで、乗務員の居眠り、その他の不正行為の検知等に活用されている。

(2) 顔認証機能つき監視システム

利用客に対しては、駅構内各所に設置された監視カメラからの映像が記録されている顔認証機能つき監視システムが導入されている。改札突破などの不正行為が発生した際にその映像が記録され

るほか、顔認証機能により過去の不正行為の記録から、不正を行った人物と想定される人物を抽出することが可能である。

(3) 旅客案内

旅客案内設備としては、列車の発着時分や行先などを表示する旅客案内ディスプレイが駅構内に設置されている（図 4-9）。これには表示内容を自動更新するシステムが内蔵されていないため、駅社員が列車運行状況を都度把握し、手動でディスプレイの表示内容を更新している。駅社員は、ホーム上にある管理室から列車の到着及び出発を確認している。列車到着時のアナウンスも自動ではなく、管理室にいる駅社員がマイクで行っている。

C-TRACK と呼ばれるシステムの画面上では、到着番線を含む情報が閲覧可能となっているが、実際は到着番線や発車時刻が頻繁に変わるため前述のような作業を行う必要がある。



出典：調査団撮影

図 4-9 旅客案内ディスプレイ

(4) 車両メンテナンス支援システム

車両メンテナンスにおいては、検査記録管理システムを使用する計画がある。これは KCI 独自が開発したもので、現在試験運用をしている。このシステムへは検査係のタブレット端末からアクセスが可能で、日々の車両検査結果の記録機能、上位者による承認機能が備えられている。

システムの開発は四つのフェーズに分かれており、現在は第 1 フェーズである。2024 年までに段階的に定期検査結果の記録機能と在庫管理機能等の実装を計画している。

4.3.3 潜在的ニーズ

(1) 列車到着番線把握及び旅客案内等の自動化

前述のとおり、KCI では列車到着番線の把握と旅客案内ディスプレイの表示内容の更新、アナウンスが駅社員により手動で行われているため、自動化する方法について関心を持っている。解決策として各ホームに列車を検知するセンサーを設置して到着番線を判別するという構想はあるが、この方法では到着列車の判別に課題が残る。

（２）位置情報を活用した列車位置情報案内オペレーション補助

KCI は、親会社の KAI が管理する線路を用いて通勤旅客列車を運行している。そのため、KAI が運行する長距離列車や貨物列車の運行状況の影響を受けやすい。また、運行計画も KAI に一任しているため、輸送障害発生時などの運行計画把握が KCI では困難である。これらを解決できるソリューションについて、KCI は高い関心がある。

（３）電子決済及び広告事業

KCI の運賃以外の主な収入源は電子決済の手数料と広告手数料であり、この分野での協力を得たいという意向を示している。

第 5 章 デジタルツイン、 DX ソリューションの導入及び活用の検討

第5章 デジタルツイン、DXソリューションの導入及び活用の検討

本章においては、第4章で述べたインドネシア国の鉄道事業者ニーズを基に、本調査事業が提案するDXソリューション及びデジタルツインプラットフォームの概要とその構築手法並びに適用される技術について述べる。また、各種DXソリューションについては、JR 東日本の事例を例示しつつ鉄道事業者の潜在ニーズに対応したメニューのほか、有用と思われるDXソリューションについて述べる。

各鉄道事業者ニーズと本調査事業が提案するソリューション、及びそれらの事業化におけるビジネスモデルについて、表 5-1 に示す(表中、デジタルツインプラットフォームをデジタルツイン PF と表記)。本章では、表 5-1 の赤枠で示した提案するソリューションを中心に述べる。

表 5-1 鉄道事業者ニーズと対応するソリューション・ビジネスモデル

	鉄道事業者ニーズ	提案するソリューション	ビジネスモデル
MRTJ	デジタルツイン(3Dモデル・BIM)関係	デジタルツイン PF	デジタルツイン PF サービス提供
	プラットフォームの構築	デジタルツイン PF	デジタルツイン PF サービス提供
	旅客流動関係	映像を活用したDXソリューション ・ 旅客流動調査	DXソリューション開発
KAI	鉄道 GIS を活用した防災ソリューション	鉄道沿線地形の詳細化と弱点箇所の抽出 ・ デジタルツイン PF ・ 災害地形の情報を統合	デジタルツイン PF サービス提供 DXソリューション開発
	財産管理	(今回の提案では対象外)	—————
KCI	列車到着番線把握及び旅客案内等の自動化	(今回の提案では対象外)	—————
	位置情報を活用した列車位置情報案内オペレーション補助	位置情報を活用したDXソリューション ・ 旅客への運行情報配信 ・ GIS データを活用した在線位置表示 ・ デジタルツイン PF への在線位置表示	デジタルツイン PF サービス提供 DXソリューション開発
	電子決済及び広告事業	(今回の提案では対象外)	—————

※デジタルツイン PF サービス提供には「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」による 3D マップが必要

出典：調査団作成

5.1 デジタルツインプラットフォーム

5.1.1 デジタルツインプラットフォームの概要

インドネシア国の鉄道事業者向けにデジタルツインプラットフォームの開発と導入を検討した。デジタルツインプラットフォームでは、3D マップをベースとしてリアルタイムの列車位置、構造物、車両の状態など様々な情報を集約することで、実世界をデジタルモデル化することが可能である。PC やタブレット、スマートフォンを介してアクセスすることで、実際にその場所へ行かなくても欲しい情報を取得することができるようになるため、広大な線路延長を持つインドネシア国の鉄道事業者にとって有効な

ツールとなり得る。

また、デジタルツインプラットフォームを導入することで、そのプラットフォーム上に様々なDXソリューションを開発して展開することができる。インドネシア国の鉄道事業者へは、JR 東日本グループが持つデジタルツインプラットフォーム技術とDXソリューションを中心に導入に向けた提案を行った。

5.1.2 デジタルツインプラットフォームの有効活用

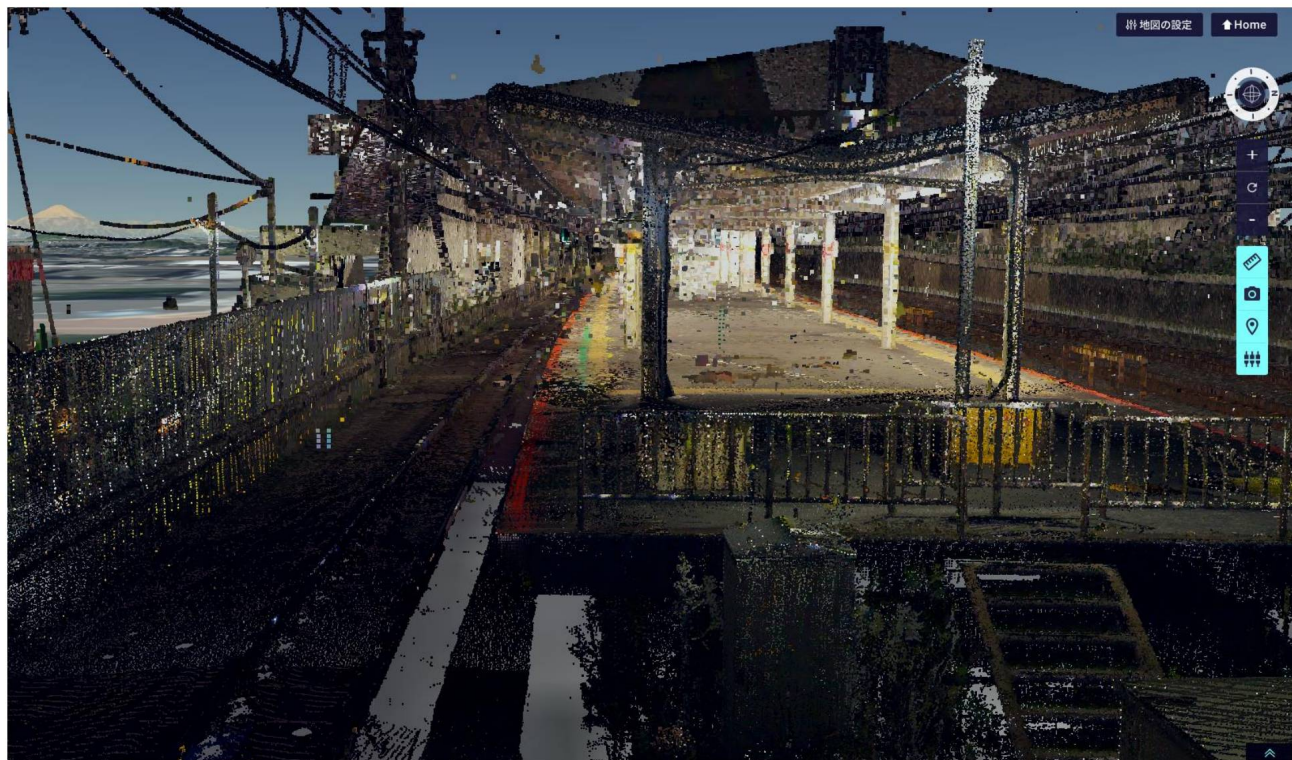
従来、BIM（図 5-1）や点群（図 5-2）、レーザー計測（図 5-3）による詳細な地形情報などの 3 次元データは高性能なパソコンに専用のソフトウェアをインストールして扱うことが通例であった。しかし、これには大きなコストが必要となるため、データを共有することが難しく、十分に活用できない事例も多く見受けられた。一方、本調査事業が提案するデジタルツインプラットフォームは WEB アプリケーションであり、クライアント側のパソコンに専用のソフトウェアをインストールすることは不要である。また、サーバー上で演算処理を行い、処理結果の画面だけをクライアント側に返す仕組みのため、タブレットやスマートフォンでの閲覧も可能である。第 1 章で述べたとおり、インドネシア国においてはモバイル端末がパソコンより普及していることや、第 4 章でも述べたように鉄道事業者はすでにタブレットを業務に利用しているので、導入のハードルがより低くなることが期待できる。さらに複数のユーザーが同時に閲覧することが可能であると共に、データが一元管理されているのでデータを共有集約する場面に適している。

高精細な地形データ上に 3 次元データを表示することで、より現実に近い世界を再現することが可能であり、2.2.4 で述べたような高い効果を得ることが可能となる。



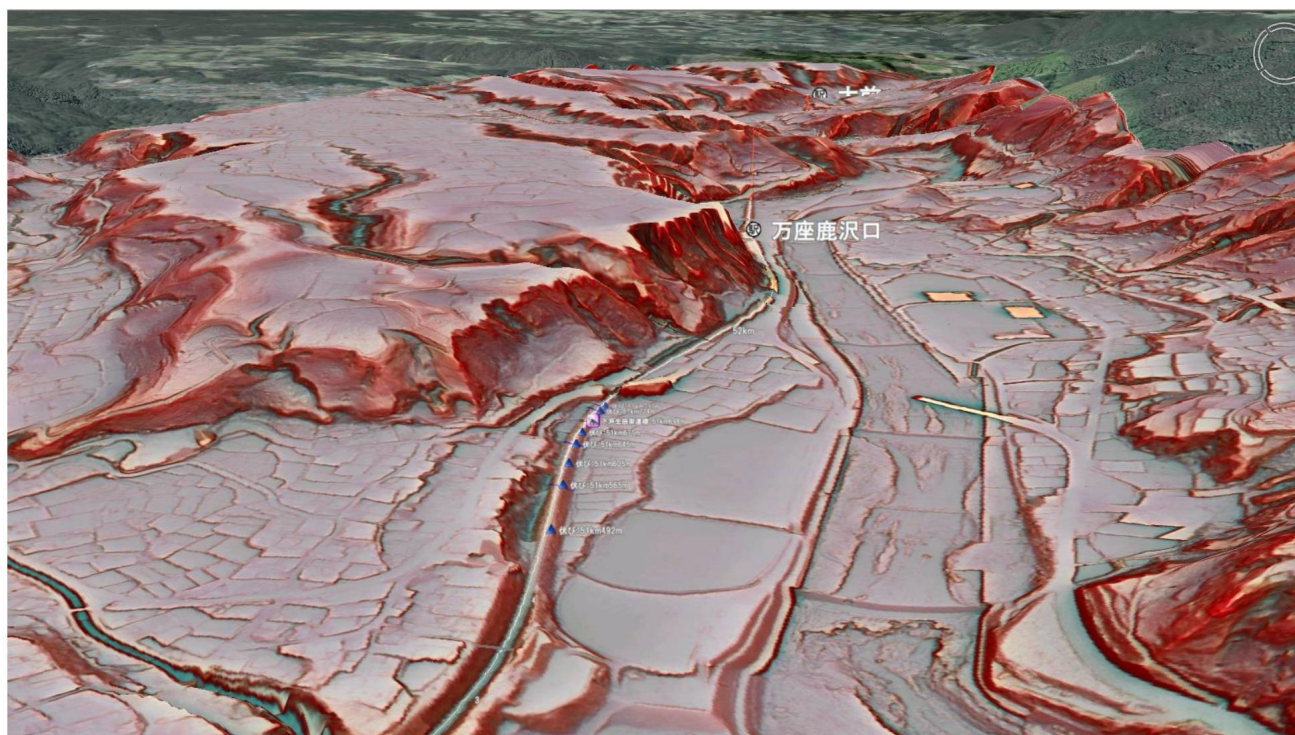
出典：調査団作成

図 5-1 BIM データ



出典：JR 東日本コンサルタンツ

図 5-2 点群データ



出典：JR 東日本

図 5-3 レーザー計測データ



出典：「PLATEAU」（国土交通省）（<https://www.mlit.go.jp/plateau/>）を加工して調査団作成調査団作成

図 5-4 運行情報と 3D モデルとの重ね合わせの例

なお、第 4 章で述べたインドネシア国の鉄道事業者ニーズとデジタルツインプラットフォームの適用可否については、表 5-2 のとおりである。

表 5-2 鉄道事業者ニーズとデジタルツインプラットフォーム適用可否

事業者	ニーズ	デジタルツイン PF適用性	備考
MRTJ	デジタルツイン（3Dモデル・BIM）関係 Phase 1の工事部分の3Dモデルは存在しないが、将来的には作成してPhase 2の3Dモデルと結合する予定であるため、大量の作業量が想定されている。	△	BIM・CIMの活用
	プラットフォームの構築 既存のSAP及びMaximoからのデータを統合するソリューション（CMMS）に高い関心を示している。	△	SAP・Maximoの融合
	旅客流動 人口の増加によるインドネシア国の鉄道利用者数は増加しており、MRTJは既設プラットフォームでの混雑を解消するために旅客流動の解析データを用いて、駅構内の施設や旅客動線などの見直しを検討している。	△	
KAI	鉄道GISを活用した防災ソリューション 調査団側からの鉄道GISを活用した防災ソリューションの提案に高い関心を示している。	◎	弱点箇所の抽出
	財産管理 GISマップを活用した財産管理システムを構築中である。	△	デジタルツインPF搭載予定の設備情報として
KCI	列車到着番線把握及び旅客案内等の自動化	○	運行管理情報との連携が必要
	位置情報を活用した列車位置情報案内及びオペレーション補助	◎	GPS列警（列車接近警報装置） 遅延情報の旅客案内 映像データの活用
	電子決済及び広告事業	△	

出典：調査団作成

5.2 DXソリューション①「鉄道沿線地形の詳細化と弱点箇所の抽出」

5.2.1 鉄道沿線地形の詳細化

インドネシア国政府が主導で整備を進める 3D マップは、メッシュによる標高データから作成される。

しかし、メッシュの標高データでは平坦な線路が斜めに傾いたり、盛土などの微地形が表現できず詳細な地形を表現することが困難である。

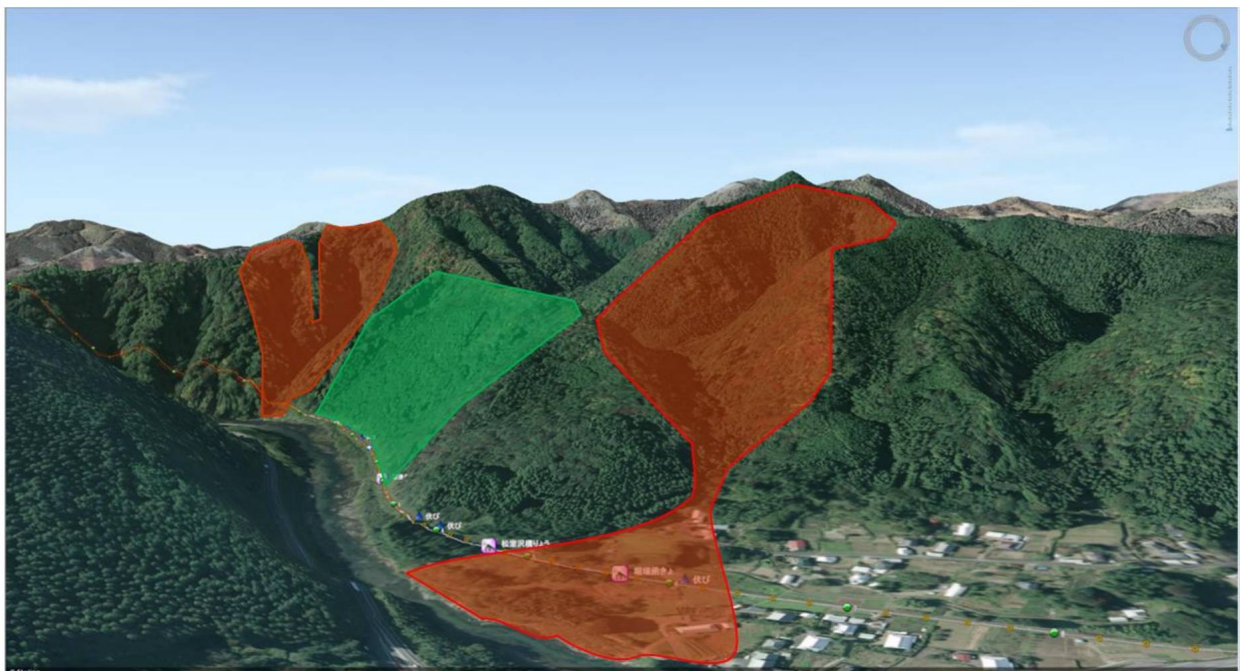
メッシュ標高をベースに鉄道沿線の地形をより詳細にデータ化することで、鉄道事業者が有効活用できるようになることを本調査事業では提案する。また、地形データの詳細化にはインドネシア国側で整備した既存データを活用し、カバーできない箇所においては日本の国産衛星のデータを活用することも提案する。写真測量の原理を用いて、衛星写真や航空写真から崖や高架橋の縁など高さが急激に変化する箇所をデータ化することで微地形を表現可能である。

既存データの活用が難しい場合、現地でレーザー計測器やドローンで計測を行うことでも詳細な地形データが取得可能である。ただし、この場合は作業時の安全確保や計測機器の搬入経路の確認などの検討が必要となる。

航空写真や現地での計測データより詳細な地形情報でインドネシア国政府作成の 3D 地図を補完する。これにより一定間隔の標高データでは表現しきれない現実に近い地形データを作成することができる。

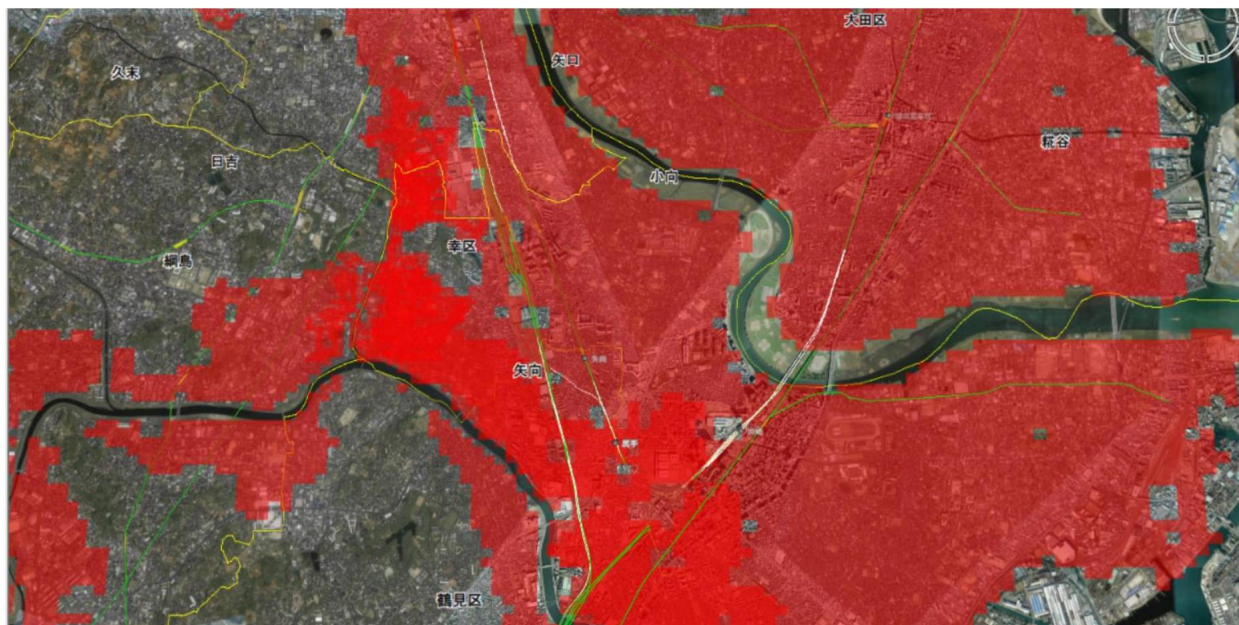
5.2.2 弱点箇所の抽出

詳細化された鉄道沿線地形に対して、人工衛星による解析情報や専門家の知見を加えることで、より詳細な災害地形の抽出が可能である。抽出可能な災害地形の例として土砂災害危険箇所（図 5-5）、河川浸水想定範囲（図 5-6）、軟弱地盤（図 5-7）などが挙げられる。詳細な地形データを元に災害発生の危険性が高い箇所を抽出することで沿線の弱点箇所を特定、防災対策や運行抑止の判断に活用することにより安全性の向上につながる。



出典：調査団作成

図 5-5 災害危険箇所抽出例 （■土石流危険箇所 ■落石、土砂崩壊危険箇所）



出典：国土交通省：国土数値情報

図 5-6 河川浸水想定範囲



出典：国土地理院：明治前期の低湿地データ

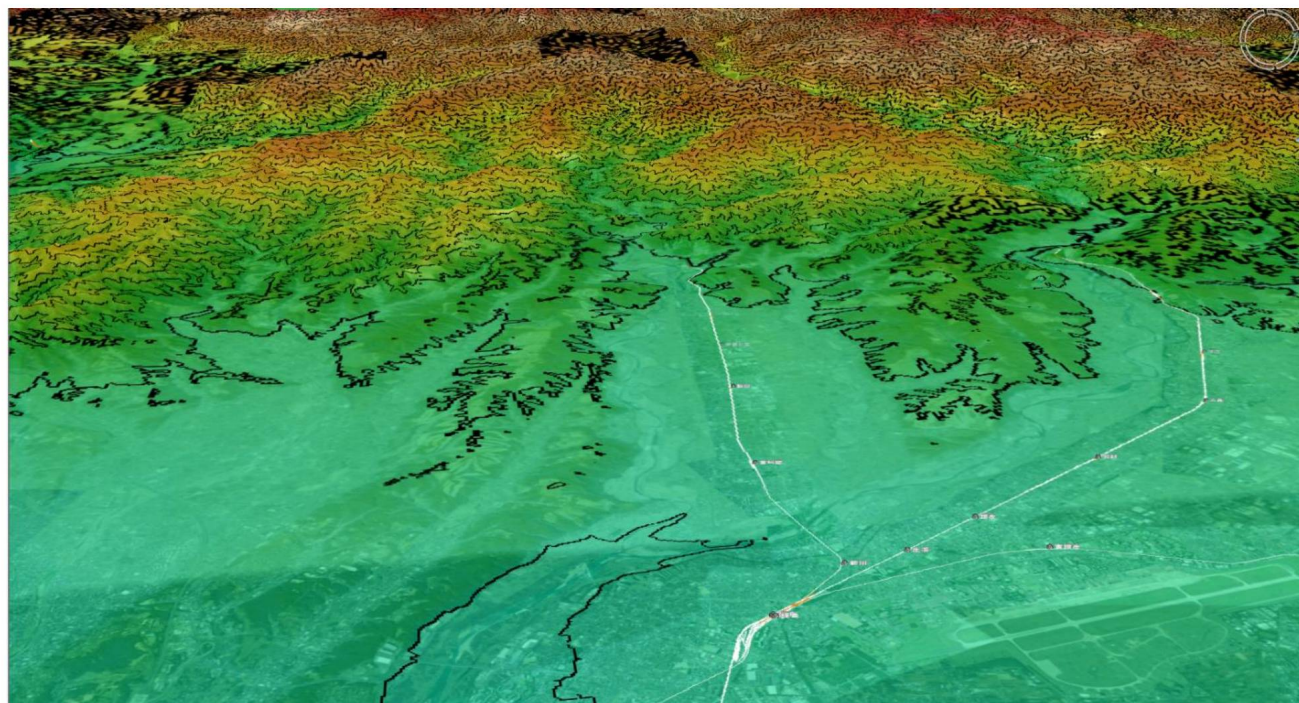
図 5-7 軟弱地盤

さらに気象情報や地形解析の結果を重ね合わせることで、より多岐に渡る防災分野での活用が可能である。例えば、解析雨量のデータを重ねることにより、降雨の状況をリアルタイムで把握することが可能となる（図 5-8）。また、周辺と比較して低い場所は集水地形であり、降雨時に弱点箇所となることも知得可能となる。加えて、地形解析を行い等高線図（図 5-9）や斜度図（図 5-10）を作成することで、このような弱点箇所を特定することが容易となる



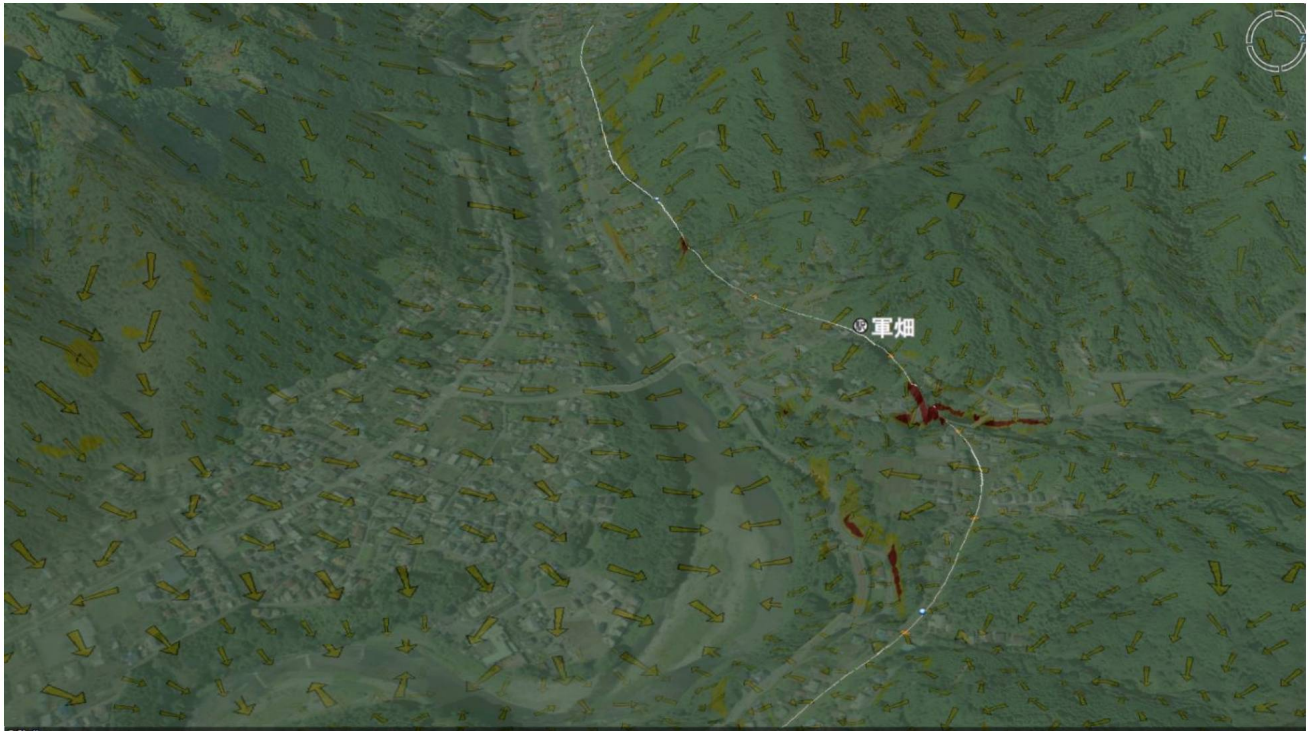
出典：防災科学研究所

図 5-8 解析雨量



出典：調査団作成

図 5-9 等高線図



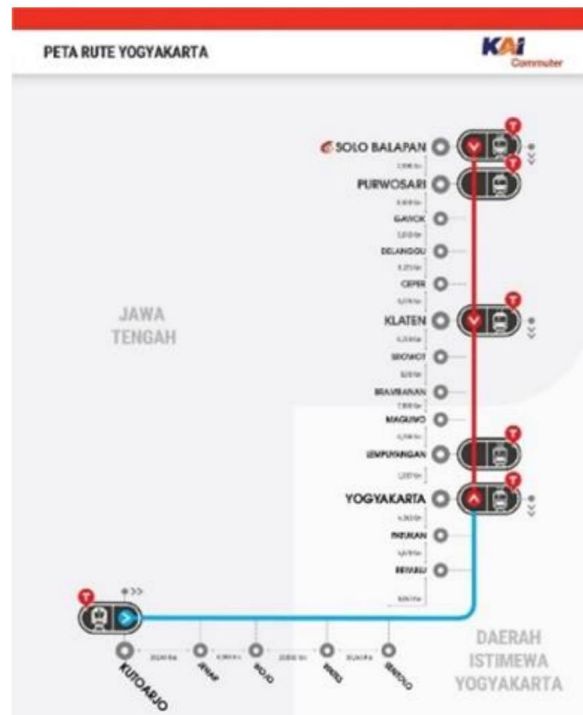
出典：調査団作成

図 5-10 斜度図

5.3 DXソリューション②「位置情報を活用したDXソリューション」

車載 GNSS の位置情報を使って、旅客への運行情報配信や、現場作業員への列車接近警報等の DX ソリューションが導入可能である。また、線路やキロ程情報を整備して前述の災害地形の情報を統合したデジタルツインプラットフォーム上に位置情報を表示することで、より有効な活用ができるようになる。

調査の結果、KAI は列車の位置情報を略図上には表示できているが、座標情報を持った地図上には表示できておらず、位置情報を活用した旅客への案内も行っていなかった。KCI は旅客への案内は行っているが、在線位置は駅または駅間が把握できるだけであり、到着までの時間も表示されない状態であった。本調査事業が提案するソリューションの導入により、その改善効果は十分にあると考えられる。



出典：KRL ACCESS

図 5-11 KCI の列車位置情報サービス

以下、本調査事業が提案する三つの位置情報を活用したソリューションについて述べる。

5.3.1 在線位置表示

列車に搭載した GNSS の情報から、列車の現在位置を旅客や社員に通知することが可能となる。地図や略図、文字での案内などニーズに合わせて様々な表示が可能となり、列車接近の警報を発することも可能である。

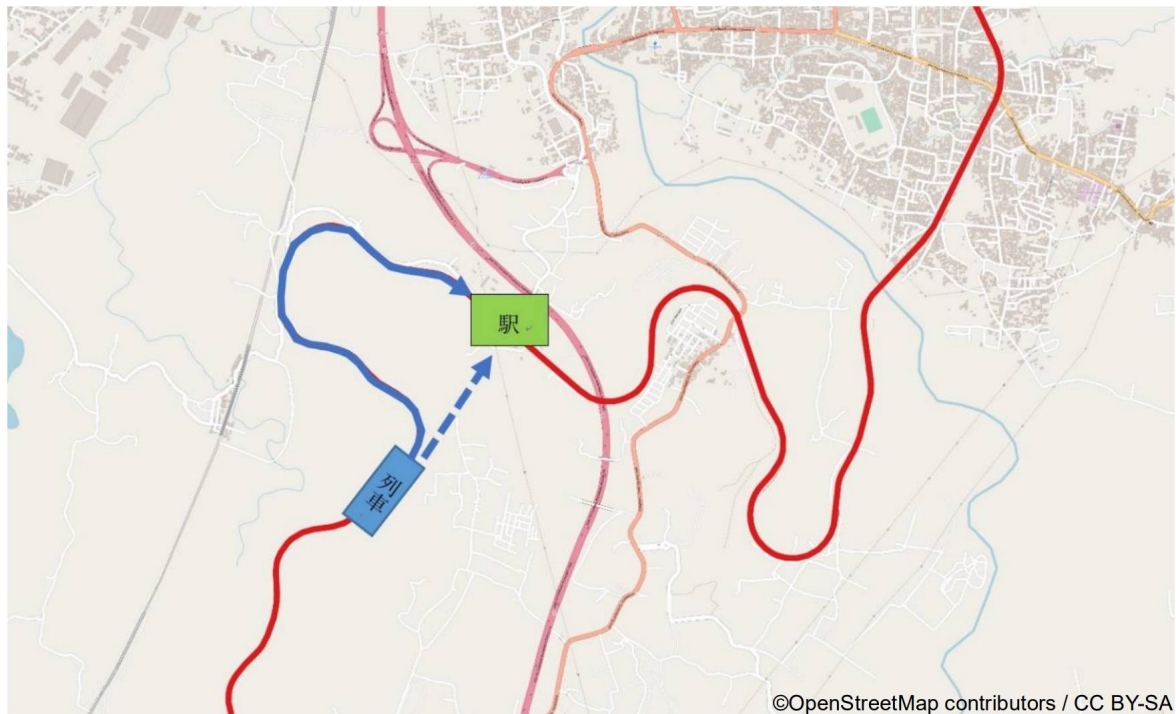


出典：調査団作成

図 5-12 列車位置表示（駅電光掲示板、PC、スマートフォンなど）

5.3.2 GIS データを活用した在線位置表示

GNSS の位置情報のみでは、実際にどの程度の距離まで列車が迫っているのかを正確に知得することはできない。例えば、図 5-13 のように直線距離では近くても、軌道が大きく迂回する箇所が存在する。線路やキロ程などの GIS データと組み合わせることで、駅までの到着時分の案内や現場作業員への列車接近警報などに活用することが可能である。



出典：OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org/>) を加工して調査団作成

図 5-13 在線位置表示の例

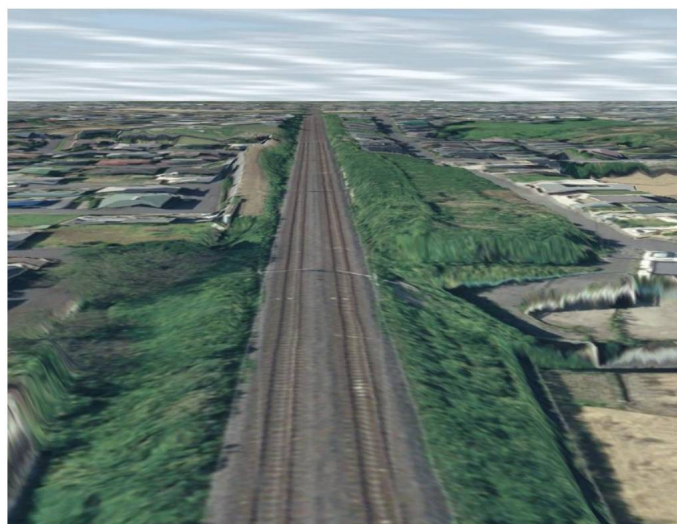
5.3.3 デジタルツインプラットフォームへの在線位置表示

長時間抑止などの列車運行異常時において、列車の在線位置をデジタルツインプラットフォーム上で把握することで現場の状況が一目でわかり、異常時対応の支援をすることが可能である。

例えば、駅間で停止中の列車はどちらの駅に近いかという判断は平面でも可能であるが、線路から側道に旅客を誘導できるかは地形情報がないと判断できない。側道と線路の高低差がわかれば危険な線路上ではなく側道を歩かせることが可能になるため、旅客誘導における安全性の判断材料となる。



(a) 平面図

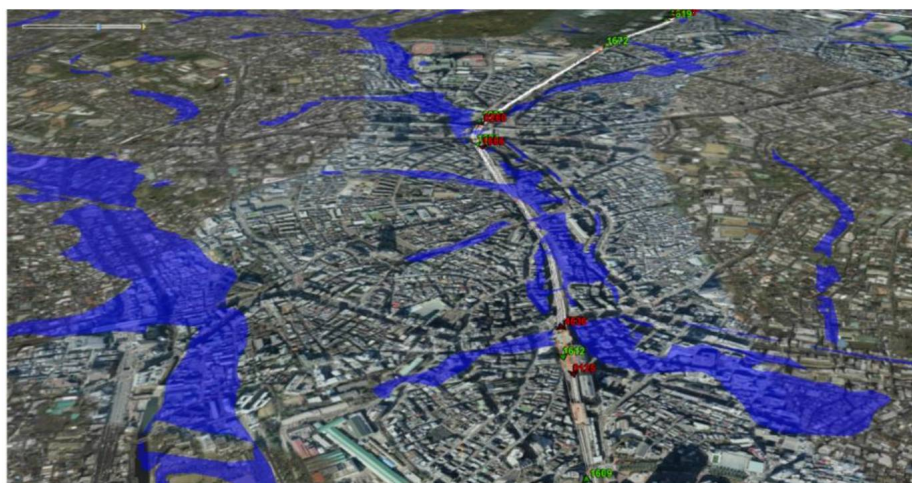


(b) 角度を変えた視点

出典：調査団作成

図 5-14 視点を傾けることで地形の把握が容易になる事例

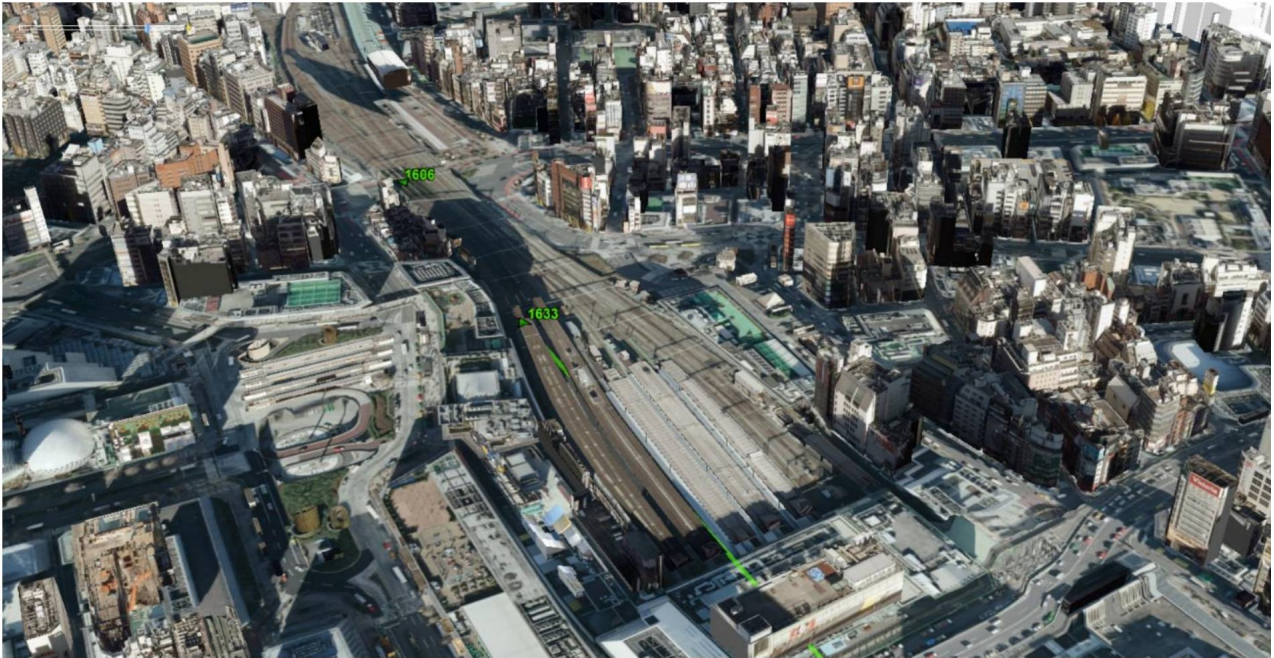
また、災害危険箇所の情報と気象情報を併せることで、豪雨の予報が出た際に災害危険箇所手前の駅で抑止するなどの運行管理における判断に活用することが可能である。



出典：災害地形（国土地理院）(<https://maps.gsi.go.jp>) を加工して調査団作成

図 5-15 運行情報と災害地形との重ね合わせの例

さらにデジタルツイン上に集約した 3D データと重ね合わせることで、より視覚的に現地の状況を把握することができるようになる。



出典：「PLATEAU」（国土交通省）（<https://www.mlit.go.jp/plateau/>）を加工して調査団作成

図 5-16 運行情報と 3D モデルとの重ね合わせの例

5.4 DXソリューション③「映像を活用したDXソリューション」

各種映像を AI による処理を加えることで、車両内や駅構内の混雑状況を可視化して旅客サービスの向上や、標識検知による運転士の運行サポートを行うことが可能となる。KCI より日本では列車の混雑率をどのように算出しているのかとの問い合わせもあり、本提案は非常に有効なものであると考えられる。

このソリューションはデジタルツインプラットフォームと切り離しても提供可能であるが、組み合わせることで利便性の向上が見込める。例えば地図上で選択すると当該の駅や災害監視カメラの映像を閲覧できる仕組みなど、必要な情報により迅速にアクセスすることが可能となる。

以下、本調査事業が提案する映像を活用したソリューションについて、提案する三つと急遽の要請による今後詳細検討が必要な三つについて述べる。

5.4.1 混雑情報の可視化

ホーム上に設置したカメラで電車内やホームの混雑状況を撮影した動画から、アプリ上やモニター画面に混雑状況を可視化することができる。既に撮影されている車内の映像をそのまま活用することもできるため、現状撮影されている動画を有効活用することも可能である。

当初は、ホームの先頭車両側にカメラを 1 台設置することを想定していたが、車両編成数が 12 両と長く、最後尾車両通過時にはかなりの速度になるため、ホームの間にもカメラを設置して補うことも検討する。

【課題】

- 特定の車両だけに人が集中し、混雑する
- 密集することで感染リスクが増大
- ラッシュ時間帯のトラブル発生

【解決】

- 乗客を分散し、混雑を防ぐ
- ソーシャルディスタンスが保たれ、感染防止に
- 車内のトラブルが減り、安心して利用できる



出典：調査団作成

図 5-17 混雑情報の可視化

5.4.2 標識検知

列車の GNSS 位置情報と標識マップをベースとした AI による画像認証技術によって標識を認証させ、運転士に通知することで安全運行に寄与することが可能となる。常設標識以外の工事区間など、普段設けられていない臨時の減速区間など運転士が見落とし危険性が高い標識についても通知することが可能であり、見落としを防ぐことが可能である。インドネシア国の鉄道事業者が用いている標識を学習させる必要があり、検知が難しいものや鉄道用地外を含め誤検知しやすい類似物（道路標識など）の有無についても調査をする必要がある。



出典：調査団作成

図 5-18 標識検知

5.4.3 挙動検知

AI カメラを車内に設置し、運転士の挙動をリアルタイムで検知することができる。新たにカメラを

設置しなくても撮影された映像を AI により解析することで同様の効果を得ることが可能である。4.3.2 で述べたとおり KCI では導入済みであるが、他の鉄道事業者への提案やデジタルツインプラットフォーム上での展開も含めた提案が可能である。



出典：調査団作成

図 5-19 挙動検知の例

5.4.4 土砂災害検知

KAI よりバンドンから東へ 60km 程度のところにあるブミワルヤ駅付近は、土砂崩れの危険性が特に高い地域であるとの話題があった（図 5-20）。左側の斜面に棚田が広がっており、土砂崩れの危険性があるとのことである。



出典：KAI

図 5-20 ブミワルヤ駅の上空から撮影した写真

ブミワルヤ駅における比抵抗二次元探査（地盤物性を把握する代表的な物理探査法）による調査結果

によると、斜面の地表面から 10m 程度の位置に透水層があり、雨水の浸透等による地下水の流れが想定される。含水比が高く、土砂崩れの原因になり得ることが判明している。

実際に 2017 年 12 月 7 日に土砂災害が発生しており、列車が運行できない事態となっている。航空写真や地形図を確認すると平坦かつ緩傾斜な台地は縁が急崖となっている。周辺に火山があり、火砕流などによる堆積物上に存在していることが判読できるため、元々崩れやすい場所であることがわかる。

KAI では、ひずみゲージを使った簡易的な計測は既に行っているとのことだが、同様な箇所にセンサーを設置して監視するような設備を作ることは可能かという質問を受けた。

JR 東日本にも同様に土砂災害危険箇所は数多くあり、特に注意すべき箇所はカメラやセンサーによる監視システムにより、災害発生時に遠隔地からでも素早く通知を得ることが可能となっている。本件は今後 KAI から具体的なイメージが提示された段階から、本導入に向けた検討を進めていくことになる想定している。



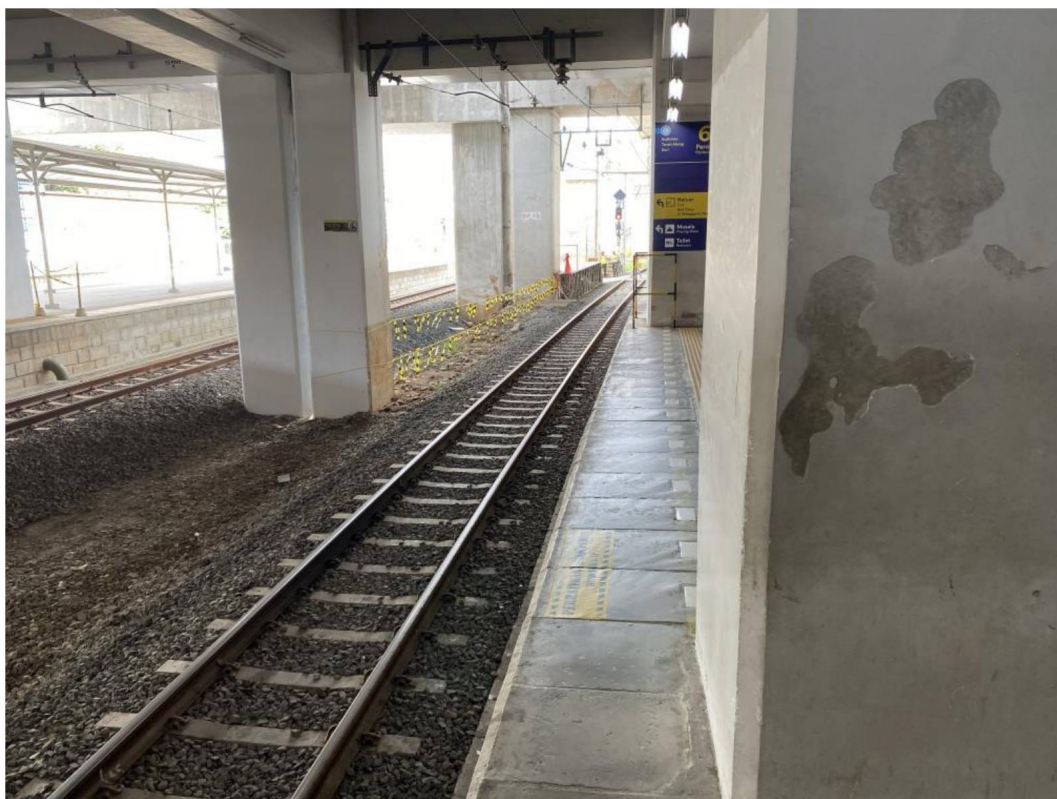
出典：JR 東日本コンサルタント撮影

図 5-21 JR 東日本 災害監視カメラ

5.4.5 線路への転落検知

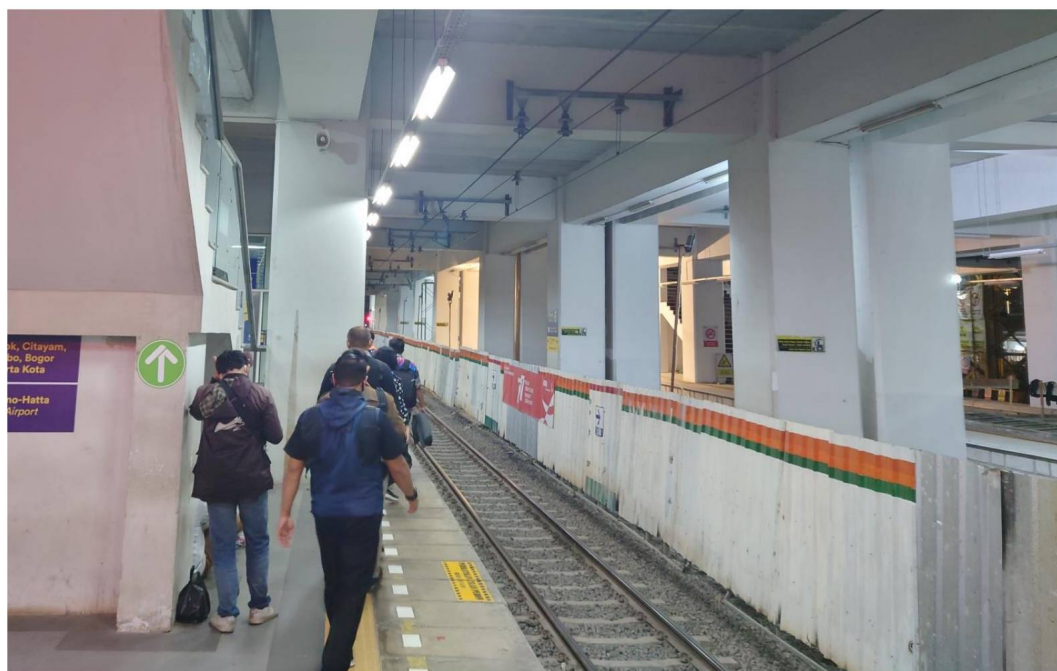
KCI の駅では柱によってホームの線路際を歩かなければならない箇所が多くあった。線路上に転落した場合、ホーム下に退避するスペースがないため危険性がかなり高い。ホームや車両に設置されているカメラの映像処理による転落検知システムの事例について紹介したところ強い関心を持たれた。

本件についても KAI から具体的なイメージが提示された段階から、本導入に向けた検討を進めていくことになる想定している。



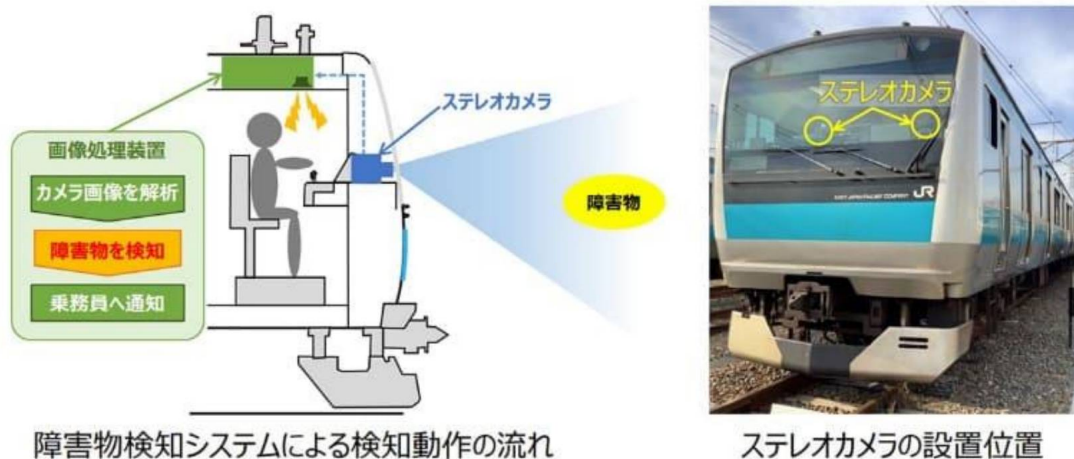
出典：調査団撮影

図 5-22 マンガラライ駅 ホーム上狭窄部の様子



出典：調査団撮影

図 5-23 マンガラライ駅 ホーム上狭窄部 旅客通行の様子



出典：JR 東日本

図 5-24 ステレオカメラによる障害物検知

5.4.6 旅客流動調査

MRTJ が駅構内の広告事業などマーケティングに関心を示したため、JR 東日本での旅客流動調査の事例を紹介した。IoT 技術を用いた駅構内の旅客流動計測を主に LiDAR センサー、ビデオカメラ、赤外線センサーを用いて実施しており、人の動きを捉えることで鉄道事業や生活サービス事業で活用することが可能である。



出典：JR 東日本コンサルタンツ撮影

図 5-25 旅客流動調査に使用するセンサー

JR 東日本では旅客流動調査の結果を様々な計画に活用した。例えば、付近にあるテーマパークの閉園後の混雑が激しい舞浜駅（図 5-26）では、ホームを延伸することで改札口やコンコース内の混雑がどの程度緩和されるかを検討し、そのシミュレーション結果から実際に東京行きと蘇我行きの列車をずらして停車させることで混雑緩和を実現した。インドネシア国ではオフピーク時でも時間帯によっては混雑しており（図 5-27）、今後も鉄道の利用者は増加すると予想されている。将来的には混雑解消のために駅構内の改良やホームの延伸などの対応が必要になると想定され、今後 KAI から具体的なニーズを受ける可能性が高い。本件についてもそのニーズを提示された段階から、本導入に向けた検討を

進めていくことになる想定している。



出典：JR 東日本

図 5-26 旅客流動調査結果（舞浜駅）



出典：調査団撮影

図 5-27 マンガライ駅の状況（オフピーク時）

第 6 章 将来的なビジネスモデル

第6章 将来的なビジネスモデル

本章においては、本調査事業にて確認したインドネシア国の鉄道事業者ニーズを受けて整理した各種ソリューションを実現するためのビジネスモデルとなる「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」・「デジタルツインプラットフォーム（本章においては、デジタルツイン PF）、サービス提供、DXソリューション開発事業」と、その実現に向けた今後の取り組みについて述べる。

各鉄道事業者ニーズと本調査事業が提案するソリューション、及びそれらの事業化におけるビジネスモデルについて表 6-1 に示す。本章では、表 6-1 の赤枠で示したビジネスモデルを中心に述べる。

表 6-1 鉄道事業者ニーズと対応するソリューション・ビジネスモデル（表 5-1 と同内容）

	鉄道事業者ニーズ	提案するソリューション	ビジネスモデル
MRTJ	デジタルツイン (3D モデル・BIM) 関係	デジタルツイン PF	デジタルツイン PF サービス提供
	プラットフォームの構築	デジタルツイン PF	デジタルツイン PF サービス提供
	旅客流動関係	映像を活用した DX ソリューション ・ 旅客流動調査	DX ソリューション開発
KAI	鉄道 GIS を活用した防災ソリューション	鉄道沿線地形の詳細化と弱点箇所の抽出 ・ デジタルツイン PF ・ 災害地形の情報を統合	デジタルツイン PF サービス提供 DX ソリューション開発
	財産管理	(今回の提案では対象外)	—————
KCI	列車到着番線把握及び旅客案内等の自動化	(今回の提案では対象外)	—————
	位置情報を活用した列車位置情報案内オペレーション補助	位置情報を活用した DX ソリューション ・ 旅客への運行情報配信 ・ GIS データを活用した在線位置表示 ・ デジタルツイン PF への在線位置表示	デジタルツイン PF サービス提供 DX ソリューション開発
	電子決済及び広告事業	(今回の提案では対象外)	—————

※デジタルツイン PF サービス提供には「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」による 3D マップが必要

出典：調査団作成

6.1 将来的な想定ビジネスモデル

本調査事業における情報収集や現地鉄道事業者、政府関係機関等へのヒアリング結果を踏まえ、図 6-1 のとおり本調査事業における想定ビジネスモデルを検討する。

本ビジネスモデルで想定する事業は大きく「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」と「デジタルツイン PF サービス提供、DX ソリューション開発事業」の二つに分けられる。前者は支援事業であり単独での収入は見込んでいないものの、後者における鉄道沿線地形の詳細化に係る収入につながる。また、後者においてはインドネシア国の鉄道事業者への DX ソリューション開発・提供とデジタルツイン PF 利用料徴収による収入を見込んでいる。

これらの事業の展開にあたっては、導入時に鉄道オペレーションへの適用も含めた指導・支援を実施する。また、導入したプラットフォームとソリューションの鉄道オペレーションに対する効果が最大限に発揮されるよう、人材育成の観点も含めた運営支援等の各種サポートを実施するなど、継続的な関与ができるビジネスモデルとしている。

提案事業 1.
インドネシア国 3D マップ構築支援事業

提案事業 2.
デジタルツイン PF サービス提供、DX ソリューション開発事業



出典：調査団作成

図 6-1 将来的な想定ビジネスモデル・実施体制（案）

6.2 提案事業①「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」

インドネシア国においては、第 3 章で記載の One Map Policy 政策に基づき、インドネシア国全土を対象とした 3D マップの構築と、それを活用した GIS の開発を進めている。本計画におけるインドネシア国の実施機関は BIG であるが、国営調査測量会社の ID Survey 社に 3D マップ構築業務を委託しており、2027 年までの完成を目標としている。

ID Survey 社は 3D マップの構築にあたり、30 社以上のベンダー企業からの協力を得て事業を進めている。例として、ジャワ島全土における 3D 地形データの取得については、米国企業である Intermap 社が航空測量により実施する予定である。本提案事業においては、後述の提案事業②におけるデジタルツイン PF 構築への活用を視野に入れつつ、インドネシア国 3D マップ構築を担当する ID Survey 社に対し、ベンダー企業の 1 社として鉄道沿線における 3D マップ地形詳細化を行うことを目指す。

鉄道の軌道中心線から一定範囲において詳細な地形データを取得し、線路及び周辺地形の 3D マップモデルの解像度を向上させる取り組みとなる。航空測量によって画一的に取得されるインドネシア国全土の 3D マップでは、鉄道周辺におけるピンポイントな測量が行われないため、盛土や高架区間の地形が正

確に再現されない問題がある。そのため、当該箇所の追加測量により詳細な情報を取得することで正確な鉄道沿線地形情報を付加し、より詳細な 3D マップモデル構築を目指す。

また、インドネシア国 3D マップは地形や建物の変化に対応するため定期的なアップデートが予定されているため、初期の 3D マップ構築段階からその後の更新作業実施段階においても本邦企業や団体の継続的関与が見込まれる。

上記取り組みにより構築した鉄道沿線地形詳細化済みの 3D マップデータは、後述の提案事業②で構築するデジタルツイン PF の基礎マップデータとして取り込むことができ、鉄道 BIM や防災ソリューションなど、高い地形情報精度が求められる DX サービスへの活用の幅が広がる。

協力形態や具体的内容については検討中であるが、本提案事業においては日本の国産衛星関連会社等と連携し、BIG や ID Survey 社に対する技術協力やアドバイザーを行うことで、国産衛星をはじめとした本邦技術やシステムの活用・導入を目指す。また、インドネシア国 3D マップは地形や建物の変化に対応するため定期的なアップデートが予定されているため、初期の 3D マップ構築段階からその後の更新作業実施段階においても本邦企業や団体の継続的関与が見込まれる。

6.3 提案事業②「デジタルツイン PF サービス提供、DX ソリューション開発事業」

インドネシア国の鉄道事業者に向けた各種 DX ソリューションを提供、共同開発するにあたり、その基盤となるデジタルツイン PF を構築する。これはデジタル 3D マップ上に列車の GPS 位置情報や気象情報、走行中の車両状態や駅施設等における混雑度など、あらゆる情報を集約（図 6-4）することで、リアルタイムモニタリングや各種シミュレーション等に活用（図 6-5）できるものである。



出典：調査団作成

図 6-2 デジタルツイン PF のイメージ

■ Example DX solutions utilizing high-resolution 3D railway map data



出典：調査団作成

図 6-3 デジタルツイン PF を活用したソリューション（案）

本調査事業においてはデジタルツイン PF を構築し、インドネシア国の鉄道事業者向けにデジタルツイン PF へのアクセス権を付与し利用料を徴収する。サービスの維持及び継続的なアップデートが想定されるため、サブスクリプションサービスの形態を見込んでいる。

プラットフォームの構築には鉄道沿線地形を再現した 3D マップが必要となるため、提案事業①においてその整備を支援する。One Map Policy 政策により、インドネシア国におけるデジタルマップを用いた DX サービス提供においては、BIG のインドネシア国 3D マップの利用が必須である。このため BIG が所有する 3D マップデータを参照し、列車位置情報、車両状態、BIM データ等の鉄道関連情報を重ね合わせて表示する形でのプラットフォーム構築を目指すことになる。

また、デジタルツイン PF を活用した DX ソリューション提供については、インドネシア国の鉄道事業者との共同開発を想定している。第 5 章で述べた DX ソリューションについて、インドネシア国での実証実験を行い、鉄道事業者のフィードバックを踏まえつつ、効果的なソリューションの共同開発を行う計画としている。

第 7 章 導入ロードマップの策定

第7章 導入ロードマップの策定

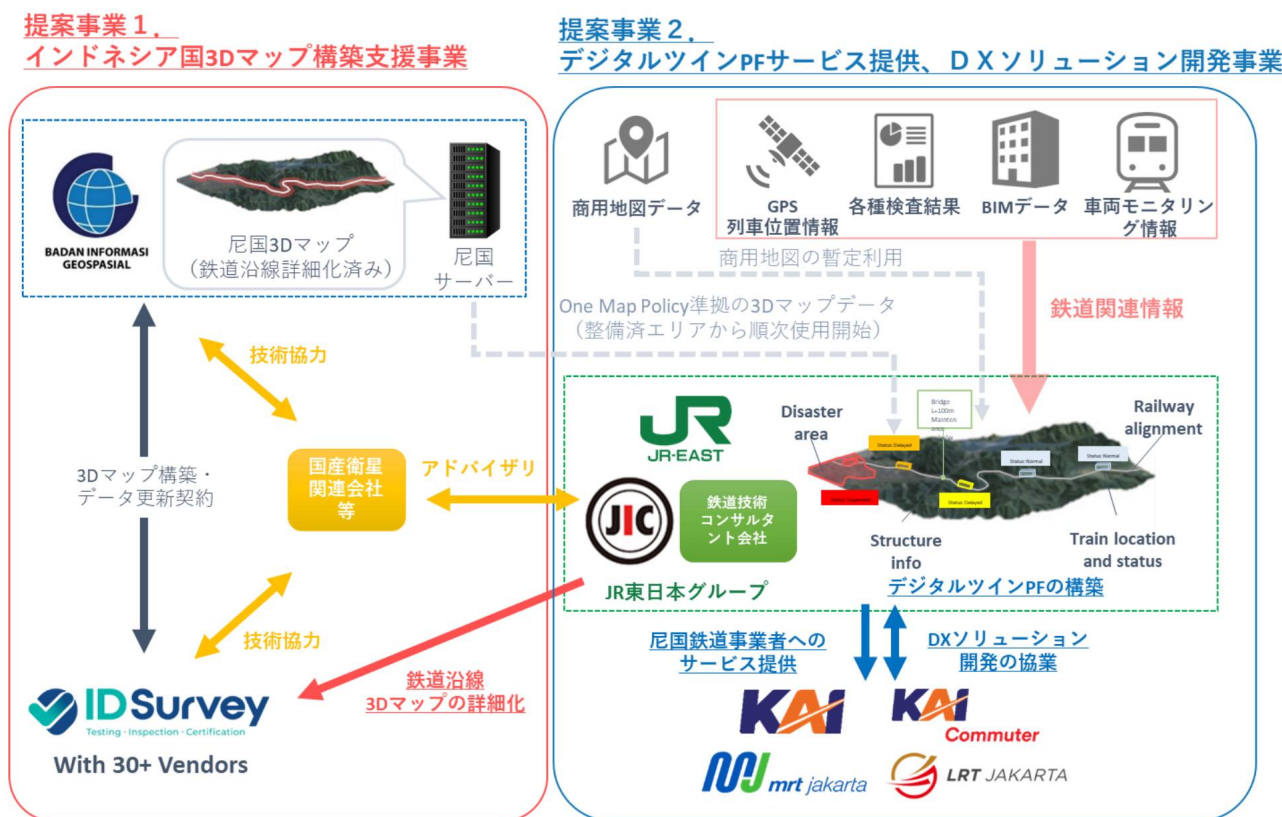
本章においては、インドネシア国の鉄道事業者へのDXソリューション導入に向け、事業化を想定した実施体制や実施方法、及び事業費や収入見込みについて述べる。また事業実施時に加え実証実験時に活用可能性のある支援メニューについて整理し、最後に全体スケジュールと課題について述べる。

7.1 ビジネスモデルの実施体制と実施方法

ここでは、第6章でまとめたインドネシア国におけるビジネスモデルである「インドネシア国3Dマップ構築支援事業」及び「デジタルツインPFサービス提供、DXソリューション開発事業」の提案内容を踏まえた、2023年度以降の実証実験とビジネスモデルの実施に向けた実施体制及び具体的な実施方法についての検討結果を述べる。なお、以下の計画は調査時点における検討結果であり、実証実験の結果により実施体制や実施方法についての変更はあり得る。

7.1.1 ビジネスモデルの実施体制

2023年度以降の事業化に向けた、本調査事業における想定ビジネスモデルの実施体制（案）を図7-1に示す。



出典：調査団作成

図 7-1 将来的な想定ビジネスモデル・実施体制（案）（図 6-1 再掲）

本調査事業において想定している本邦側のビジネスモデルの実施体制は、日本国内の鉄道事業者としてデジタルツインプラットフォームの運用・活用実績やDXソリューションの鉄道オペレーション・メンテナンスへの活用事例が豊富なJR東日本と、鉄道による世界各国の交通インフラの充実や日本のインフラシステム輸出の推進に係る鉄道プロジェクト専門のコンサルタント会社である日本コンサルタンツ株式会社（JIC）にDXソリューションの技術を有する鉄道技術コンサルタント会社を加えた三社間による協力体制の下で実施することを想定モデルとしている。この想定モデルの場合においては、インドネシア国鉄道事業者の課題・ニーズに合わせたデジタルツインプラットフォームの構築とDXソリューションの提案に際してはJR東日本の日本国内の事業にて積み重ねた知見・ノウハウを提供するだけでなく、それらを支える技術開発能力や海外鉄道事業のプロジェクト管理能力を合わせ持つことで、海外事業者へビジネスモデルを展開する際の現地適合性の確保も可能となる。

なお、現地企業との協業にあたっては、国産人工衛星活用に係る技術分野のノウハウや技術・サービス面のニーズと課題の擦り合わせ能力を保有する国産衛星関連会社等をファシリテーターとすることで、現地企業への技術協力及び本邦企業へのアドバイザーにより効果的なソリューションの開発・提供することが期待できる。

デジタルツインプラットフォームを活用した事業は、デジタルツインプラットフォームの基礎となる「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」と、インドネシア国の鉄道事業者に対する「デジタルツイン PF サービス提供、DXソリューション開発事業」の二つの事業展開で取り組んでいく。

（１）インドネシア国 3D マップ構築支援事業

「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」では、BIG から 3D マップ構築業務を受託契約している ID Survey 社に対し、本邦事業者の 3D マップ構築の技術・知見を活かして鉄道沿線 3D マップの詳細化に係る技術アドバイザーサービスの提供及び 3D マップ構築業務の支援を実施する。なお、本調査事業は BIG による 3D マップの構築が完了し、かつ DGR や KAI にとって優先度の高い地域から順に実施することとする。インドネシア全国の 3D マップの構築完了後は 3D マップ更新支援事業へと移行する。

（２）デジタルツイン PF サービス提供、DXソリューション開発事業

「デジタルツイン PF サービス提供」は、「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」により構築された 3D マップ情報を基盤としたデジタルツインプラットフォームを構築した上で、現地铁道事業者（MRTJ/KAI/KCI）にサービス提供する事業である。なお、デジタルツインプラットフォーム構築初期には、BIG によるインドネシア国内の One Map Policy 準拠 3D マップの構築及び鉄道沿線地形詳細化が未了であることが想定されるため、既存の商用地図情報を用いたデジタルツインプラットフォーム構築を行う。その後、BIG による 3D マップの構築及び鉄道沿線地形の詳細化が完了した箇所・線区から順次、商用地図から One Map Policy に準拠した 3D マップへの切換え及び運用試験を行った上で、デジタルツインプラットフォームサービス提供の本格運用地域を拡大していく。

「DXソリューション開発事業」にて提供予定のDXソリューションは、デジタルツインプラットフォームサービス提供後から提供可能となるデジタルツインプラットフォーム上に展開するソリューションと、それ以外のデジタルツインプラットフォームサービスとの連携により高品質なサービ

ス提供が可能となるソリューションの二つに大別される。

デジタルツインプラットフォーム上に展開するソリューションについては、デジタルツインプラットフォームサブスクリプションサービスの提供開始後、現地鉄道事業者による一定のデジタルツインプラットフォーム利用経験を経た上で、更なるDXソリューションのニーズ調査とソリューションの提供、現地鉄道事業者との共同開発を進めていく。

それ以外のソリューションについては、本調査事業終了後の2023年度から既存の活用事例及び現地鉄道事業者のニーズを踏まえ、可能な限り早期に現地企業各社との協業体制を確立し、DXソリューション提供・共同開発に取り組む。なお、それ以外のソリューションはデジタルツインプラットフォーム構築前から利用可能ではあるものの、デジタルツインプラットフォームと連携することにより高品質なサービス提供が可能であることも本取り組み段階において提案していく。

7.1.2 ビジネスモデルの実施方法

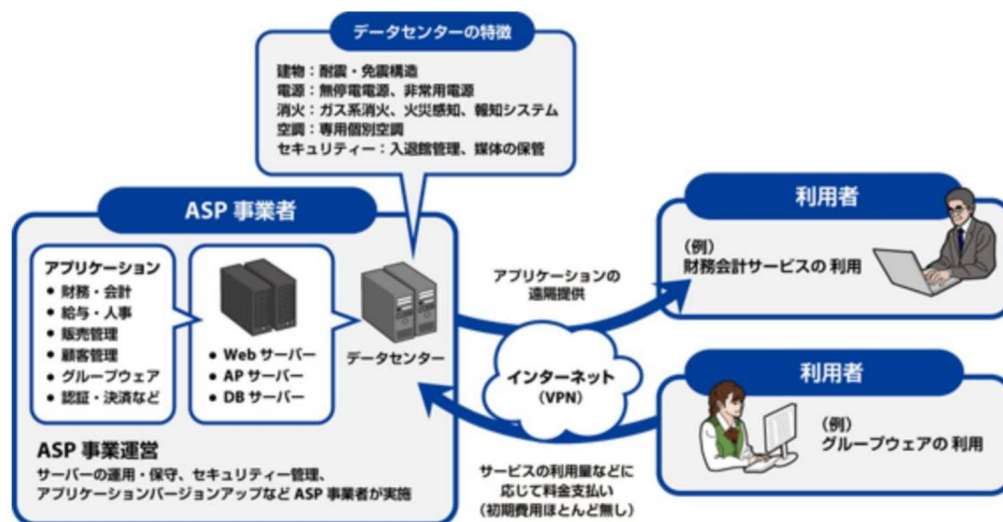
インドネシア国でのビジネスモデルの実施においては、本格的な事業化の前段階として、主に技術面での現地事情への擦り合わせを目的とした実証実験を実施する想定である。実証実験段階と本導入段階においては、事業規模の大きさに差異はあるものの提供する商品がソフトウェアやコンサルティングサービスを主体とするものであるため、ビジネスモデルの実施方法に関しては本質的な違いはない。

またインドネシア国での事業化が完了すれば、将来的には他の東南アジア諸国等、他国の市場への更なる展開にも着手する。その場合においても、具体的な事業内容や国特有の法律や規程に合わせた法務・税務面での各種課題について、現地の実情に合わせ適宜対応する必要がある。

(1) ソフトウェアの提供方法

第3章において、インドネシア国におけるインターネットの普及状況や関連技術の活用状況、各種規制等について示した。これらを踏まえ、本調査事業で提案する各種サービスはSaaS（図7-2）の形で提供することを前提とする。

従来ソフトウェアを利用する際には、利用者側のコンピューターにソフトウェアや各種データをインストールし、情報の処理や保管を利用者側のシステムで行うオンプレミスというスタイルが一般的であった。そのためソフトウェアを利用するためには利用者側でシステムを構築するための初期投資が必要となるほか、ソフトウェアのアップデートや保守作業を行うためには利用者側の設備のある場所まで人を派遣して対応を行う必要があるなどの課題があった。しかし現在はインターネット回線の速度や容量が向上したことで、システムやデータをサービス提供側のシステムに保管しておき、利用者側の操作に応じてインターネットを介して都度必要なデータをやり取りするSaaSが急速に普及しており、オンプレミスの課題であった部分を解消することで、より高度なシステムをより安価にかつ便利に利用することが可能になっている。



出典：ASPSaaS インダストリーコンソーシアム、マルチメディア振興センター

「ASP・SaaS 白書 2009/2010」（カナリア書房、2009年）

図 7-2 SaaS の基本的な仕組み

本調査事業ではサービスの提供先となるソフトウェアの利用者は海外の事業者となるため、オンプレミスでシステムを導入する場合、初期投資や運用・保守に関して多くの課題がある（表 7-1）。そのためシステム全体のサービスの質を高めると共に、事業の実現可能性向上を目的に、SaaS の形でサービスを提供することを前提としている。

表 7-1 オンプレミスと SaaS の比較

	オンプレミス	SaaS
費用	- 買い切りまたは使用時間に応じて費用が発生 - ものによってハード面での先行投資が必要	使用期間や使用時間に応じて費用が発生する従量課金制
カスタマイズ性	基本的に低い、ものによってはカスタマイズ可能	- 基本的に低い - オーダーメイドに近いものであれば、ベンダー次第でカスタマイズ可能
ハードの管理	利用者が自前で整備及び管理する必要がある	ソフトを利用する機器を除き不要
ソフトの管理	ソフト及びデータは利用者が管理	ソフト及びデータはSaaSプロバイダーが管理
セキュリティ	- インターネットに接続しなければウイルス感染等のリスクは低い - データの盗難を含む物理的な対策や、自然災害対策は利用者の責任	- インターネット接続に関連するセキュリティ対策は必要 - 物理的な対策は基本的に不要
アクセス性	モバイル端末からのアクセスは自由度が低い	モバイル端末からも容易にアクセスが可能

出典：調査団作成

SaaS の場合、サービス提供に必要なソフトウェアやデータは、クラウドサービス会社が保有するクラウドサーバー上に保管し、それらを改変する場合はインターネットや専用回線を経由しクラウドにアクセスする必要がある。またソフトウェアやデータの保管場所は、サービス提供者側が選択することが可能である。特にデータの保管場所については、データの越境移転規制の面から重要である。第3章に記載のとおり、基本的にデータの保持が必要なシステムはインドネシア国内で開発されることが主流であり、本事業においてもインドネシア国内のクラウドサーバーにデータを保管することが望ましい。

3.2.2に記載したとおり、2022年現在、大手クラウドサービス会社としてはGoogle Cloud Platform (GCP)、Amazon Web Service (AWS)、Microsoft Azure 等があるが、いずれもインドネシア国にリージョンがあるため、これらを活用することで事業に必要なソフトウェアやデータをインドネシア国内に保管した状態でサービスを提供することが可能である。また利用するクラウドサービス会社を選定する際は、サービスの機能やセキュリティの他、契約に関する準拠法や管轄裁判所はいずれも日本が望ましいこと等についても考慮する必要がある。

(2) インドネシア国への進出方法

インドネシア国への進出方法については様々な形態が考えられる。想定する事業内容や、進出企業が有する人材や資産などの経営資源、許容する事業投資リスクの程度など、総合的に勘案し適切な手法を選択する必要がある。第3章で記載した、事業の内容に関連する技術的環境や法規制等の内容を踏まえ、ここでは主にビジネス面での進出形態についての可能性や制約条件について示す。

インドネシア国への進出方法として取り得る選択肢について、その概要及び特徴を表7-2に示す。

表 7-2 インドネシア国への進出形態の概要と特徴

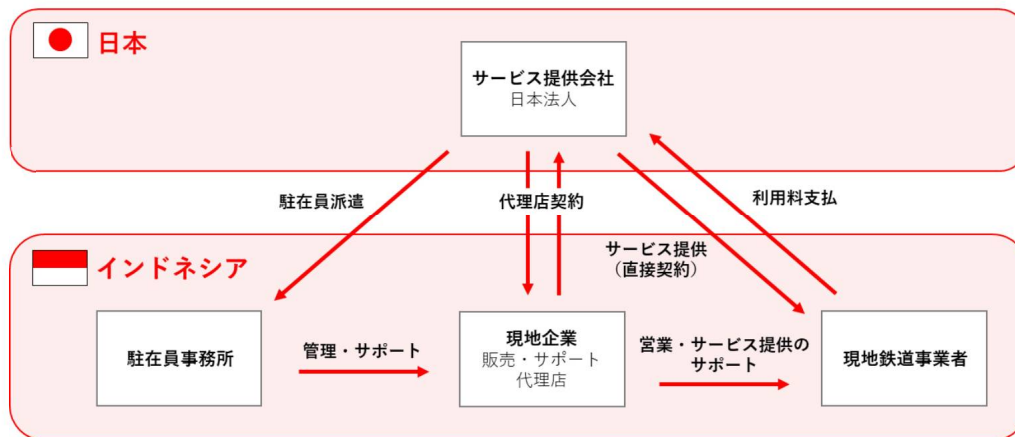
インドネシア国への進出形態の概要	特徴
■日本法人による直接契約 ソフトウェアサービスやコンサルティングサービスの提供に係る契約を、日本法人が提供先企業と直接結ぶ	サービスの提供そのもののコストは最も低くなるが、契約交渉やサポートなどは基本的に日本からの対応となるため、顧客対応の機動性が下がる、場合によっては出張費が高くなる等のデメリットがある
■現地企業との代理店契約の締結 日本法人による直接契約に加え、現地企業と代理店契約を結びサービスの販売や運営・保守においてサポートを得る	- 企業としての本格的な海外進出が不要、ローコストで商品・サービスの海外展開が可能 - 現地企業との協力関係の構築が必要、方針の違いにより事業に支障を来すリスクがある
■駐在員事務所の設置 日本法人による直接契約に加え、現地に駐在員事務所を設置し、仲介やサポートを行う	- 上記の二つの形態と比較し費用は掛かるが、現地での市場調査やマーケティング、契約に向けた準備等を効率的に行うことが可能 - 基本的に営利活動はできないが、資本金が不要であるなど設立が比較的容易 - 現地企業と代理店契約を締結と駐在員事務所の設置を組み合わせることで、現地における更なる機動性の向上が可能
■支店の開設 契約は進出事業者のインドネシア支店と提供先企業が結ぶ	インドネシアにおいては支店を開設する形での進出は金融・保険等の一部分野でのみ認められており、ITや交通インフラの分野においては適用不可
■現地企業の株式を取得（M&A） 既存株式または第三者割当増資による新株を取得し、現地子会社を設立する	- 現地法人を新設する場合と比較し、事業運営に係る人材やノウハウを容易に取得可能 - コンプライアンス上問題のある部分を承継してしまうことを防ぐため、形式上新たに法人を設立した上で、必要な事業等を移管するような手法が取られる場合もある - 代理店契約の締結や駐在員事務所の締結と比較して多くの費用や労力を要する
■現地企業との合併会社の設立 現地企業との共同出資により、現地で新会社を設立する	- 信頼性の高い合併相手企業の選定が肝要 - 業種（インドネシア標準産業分類：KBLI）に応じた規制の範囲内で出資が可能 - 上記各施策と比較して多くの費用や労力を要する
■現地法人の設立 単独または他の外資企業との共同出資により、現地で新会社を設立する	- 外資による100%出資が認められている業種に限り設立可能 - 上記各施策と比較して多くの費用や労力を要する

出典：調査団作成

表 7-2 のとおり、インドネシア国への進出方法は様々なものが考えられる。上記の選択肢に対し

1. 現地法人や駐在員事務所の設立及び撤退には多くの費用や労力を要すること
2. 新規性の高い事業でありある程度のリスクが見込まれること
3. サービスをオンラインで提供可能という SaaS の強みを生かすこと

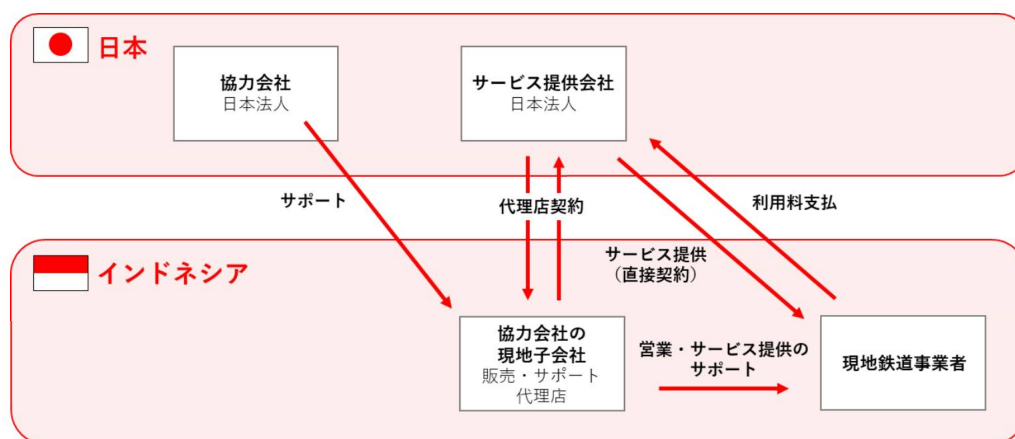
等の事情を勘案し、望ましいと考えられる二つの進出形態（案）を図 7-3、図 7-4 に示す。



出典：調査団作成

図 7-3 インドネシア国への進出形態（案）その 1

「インドネシア国への進出形態（案）その 1」（図 7-3）は、インドネシア国の現地企業と代理店契約を結び、サービス提供会社の日本法人との直接契約によって現地鉄道事業者へ提供されるサービス関連のサポート対応や営業等を一部委託する方法である。代理店契約を結ぶ現地企業は信頼の置ける企業を慎重に選定する必要があるものの、現地法人の設立より遥かに低いコスト及びリスクで事業を行うことが可能である。また代理店契約を結ぶ現地企業を管理・サポートするため、サービス提供会社からは駐在員を派遣することも選択肢として考えられる。



出典：調査団作成

図 7-4 インドネシア国への進出形態（案）その 2

「インドネシア国への進出形態（案）その 2」（図 7-4）は、現地企業と代理店契約を結ぶ点は「インドネシア国への進出形態（案）その 1」と同じであるものの、現地企業が日本の協力会社の子会社であるという点が異なる。協力会社としては、

1. 本調査事業のサービスに関してビジネス面または技術面で優位性がある、
2. 現地のカウンターパートとなる事業者や政府機関と既にコネクションがある、
3. 本調査事業においてサービス提供会社と利益相反にならない

等の条件を満たす企業を選定し、協力を仰ぐことが望ましい。協力会社としては、サービス提供会社と代理店契約を結ぶことで手数料収入が現地子会社へ入ることからグループ収入となる等ローリスクで得ることが可能である一方、サービス提供会社は駐在員事務所設立に係るコストを削減することができるといったメリットがある。

本調査事業においては、上記の二つのインドネシア国への進出方法について検討したが、それぞれの事業内容や市場の動向も注視し今後の実証実験等も踏まえて、より実現性の高い進出方法を検討する。

（３）法務・税務に関する課題

インドネシア国において本ビジネスモデルを実施・進出する際に注意が必要な法務・税務に関する事柄について、主なものを表 7-3 に示す。各項目の詳細については、今後のビジネスモデルの実施計画の進捗に合わせ更なる分析を行う必要があるほか、継続的に関係省庁・機関へ確認するなど正確かつタイムリーな情報を収集していくことが必要となる。

表 7-3 法務・税務に関する主な課題と対応方針

法務に関する課題	詳細と対応方針
■駐在員事務所について インドネシアにおいて、基本的に駐在員事務所は収益を上げることができないため、契約の主体にはならない	- インドネシアにおいて設立可能な駐在員事務所は、1. 外国駐在員事務所、2. 外国商事駐在員事務所、3. 外国建設駐在員事務所、の3種類である。この内3. 外国建設駐在員事務所は収益を上げることが可能だが、主に建設事業や建設コンサルティング業を想定して設立される組織であり、本事業の内容では認められない可能性が高い。 - 契約の主体は日本法人、または現地子会社とする必要がある。
■最低投資額について インドネシアで外資による出資を伴う企業を設立する場合、投資額や資本金額に条件（下限）がある	- インドネシアで設立される会社は、外国投資家による出資が少しでも含まれていればPMA会社（外国投資会社）の分類となる。 - PMA会社の設立にあたっては、投資額（負債＋資本）が土地建物を除き100億ルピア以上、払込資本が25億ルピア以上必要となる。 - 最低投資額はKBLI（インドネシア標準産業分類）毎に満たす必要がある（※KBLIを2種類取得する場合は200億ルピア以上）。 - 技術系スタートアップによる経済特区内での投資であれば、投資額を100億ルピア未満に設定することも可能である（大統領令2021年10号8条2項）。 - 最低投資額について規定した雇用法（オムニバス法）の制定前に既に設立されていた会社を買収することで回避することが可能であるが、買収に係るリスクが新たに発生するデメリットがある。
税務に関する課題	詳細と対応方針
■日本法人がインドネシアの企業にサービスを販売・提供する場合の税の発生	- サービス提供を受けるインドネシアの企業に、PPh26に基づき20%の源泉税が発生する。日本法人へは残りの80%が対価として支払われるが、20%についても日本において法人税の控除を申請することができる。 - インドネシアの企業には合わせて11%の付加価値税（VAT）が課税されるが、日本法人への直接的な影響はない。
■日本法人がインドネシアの企業にモノを販売・提供する場合の税の発生	関税、付加価値税（VAT）、前払法人税（PPh22）の3種類の税が発生する。
■現地法人がインドネシアの企業にサービスを販売・提供する場合の税の発生	サービス提供を受けるインドネシアの企業に、PPh23に基づき2%の源泉税が発生する。日本法人が契約する場合と比較し源泉税は定額だが、いずれ規程の法人税から控除されることとなるため、実質的な違いはほとんど無い。

出典：調査団作成

7.2 ビジネスモデルの実施における概算費用と収入見込み

ビジネスモデルを実施する際の導入費用の概算とそれによる収入の見込みを事業ごとに検討した。なお、検討に際しては不確定な要素が多いため、事業実施時の概算費用については前提条件を定義し、それに基づいて算出した。今後、インドネシア国の鉄道事業者との協議により条件が確定することで大きく変わる可能性がある。また、収入に関しては利用料によって収益を得るサブスクリプション方式を考えているが、導入費用より不確定要素が多い。通常、日本でのシステム運用であれば年間数百万～数千万円規模の収益が見込めるが、現地鉄道事業者が支払うことが可能な現実的な価格設定を引き続き検討する必要がある。

7.2.1 概算費用の試算①「デジタルツインプラットフォーム構築」にかかる費用

デジタルツインプラットフォーム構築のためにまず必要となるのがデータセンターやネットワーク回線であるが、3.2.2 で述べたように Amazon が提供する AWS のネットワークサービスを利用すれば費用を抑えることが可能である。従来であれば現地へエンジニアを派遣し、慣れない環境の中で様々な調整を行う必要があったが、国際閉域網を初期費用やメンテナンス費用無しで構築できる上、日本国内からリモートでアクセスすることができるため大幅なコストダウンとなる。また、従量課金のため、サービスを停止すればその時点で利用料金は発生しない。ビジネス需要の予測が難しい海外での事業展開において拡大、縮小の容易性は重要な条件である。

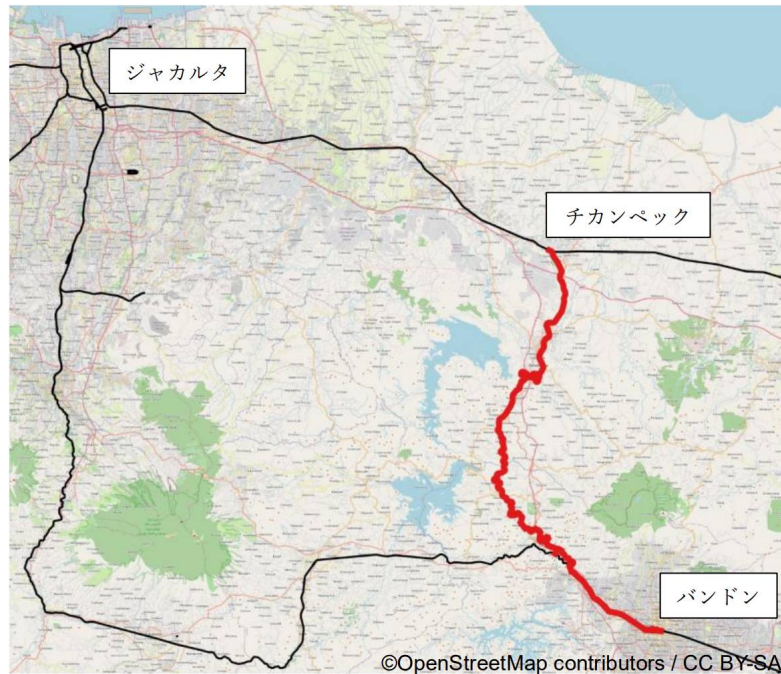
また、ベースとなる地図情報はインドネシア国が整備を進める 3D マップで構築する必要があるが、整備完了までには時間を要する。それまでは日本国産衛星 ALOS の地形データなどを活用することでデジタルツインプラットフォームの構築を進め、インドネシア国の 3D マップが完成したエリアから順に差し替えていくことを想定している。

上記条件によるデジタルツインプラットフォーム構築についての概算費用は、「ジャワ島エリアの 3D マップ作成」と「システム開発」にそれぞれ数千万円程度と試算している。これに加えて、通信量やサーバー利用料などの「システム保守費用」については月額で数百万円程度と試算している。

7.2.2 概算費用の試算②「鉄道沿線地形の詳細化と弱点箇所の抽出」にかかる費用

チカンペック～バンドン間（約 100km）を対象と想定して検討を行った。KAI 訪問時にガンビール～バンドン間を列車で移動したが、ジャカルタ市内やチカンペックまでは平坦な箇所が多かった。また、インドネシア国政府によって作成される 3D マップの標高は都市部では 0.25m メッシュとかなり精度が高いため、地形を詳細化することによる有効性は低いと判断した。逆にチカンペック～バンドン間は山間部で起伏が激しく、急峻な崖も多くあった。

上記条件による鉄道沿線地形の詳細化と弱点箇所の抽出についての概算費用は、「航空・衛星写真調整」と「詳細情報取得」・「地形モデル作成」に数百万円程度、「弱点箇所の抽出」にも数百万円程度と試算している。なお、対象区間長については 100km を想定している。



出典：OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org/>) を加工して調査団作成

図 7-5 想定対象範囲

7.2.3 概算費用の試算③「位置情報を活用したDXソリューション」にかかる費用

本調査事業で、KCI が車両に GPS 端末を設置して位置情報を把握していることが確認できた。しかし、位置情報の精度や取得頻度が不明なため、既設のものをそのまま流用できるかは検討が必要である。流用することが難しい場合は新たにニーズに合わせた機種選定を行った GNSS 端末を設置する必要がある。実証実験の段階においては設置対象の編成数を限定して、費用を抑えることで事業実施の可能性を高めたい。

また、GIS データも既存のものを活用できれば費用を抑えることが可能である。これについても、位置精度について確認が必要であり、不十分であれば国産衛星によるデータ精度向上を提案する。

上記条件による位置情報を活用したDXソリューションについての概算費用は、「列車への GNSS 取り付け」に千数百万円程度、「通信環境構築」・「線路中心線・キロ程 GIS データ作成」に数百万円程度、「デジタルツインプラットフォームへの表示設定」として数百万円程度と試算している。これに加えて、通信量やサーバー利用料などの「システム保守費用」については月額で数十万円程度と試算している。なお、対象区間長は 100km、対象編成数は 5 編成を想定している。

7.2.4 概算費用の試算④「映像を活用したDXソリューション」にかかる費用

技術的には確立しているが、仕様検討や技術検証における映像の認証精度の要求レベル等によって、費用の変動幅が他のソリューションと比較して大きい。位置情報を活用したDXソリューションと同様に、実証実験時は駅や車両の設置対象を絞り、費用を抑えることで事業実施の可能性を高めたい。特に KCI は 4.3.2 で述べたように既存のカメラシステムがあるので、それらを活用することでコストを抑えることが可能であるが、詳細は実証実験段階で検討する。

上記条件による映像を活用したDXソリューションについての概算費用は、1 駅の「混雑可視化」に

数百万円程度、1路線の「標識検知」に数百万円程度、5編成を対象とする「挙動検知」についても数百万円程度と試算している。これに加えて、通信量やサーバー利用料などの「システム保守費用」については月額で数十万円程度と試算している。

7.3 ファイナンス

上に示した各種事業の実施に向けた、ファイナンスに関わる課題や可能性について以下に述べる。ファイナンスについては、本格的な事業化を行う場合と小規模な実証実験を行う場合で、必要な資金の大きさや拠出元も異なると想定されるため、7.3.1 で実証実験のファイナンス、7.3.2 で事業実施時のファイナンスの考え方についてそれぞれ示す。

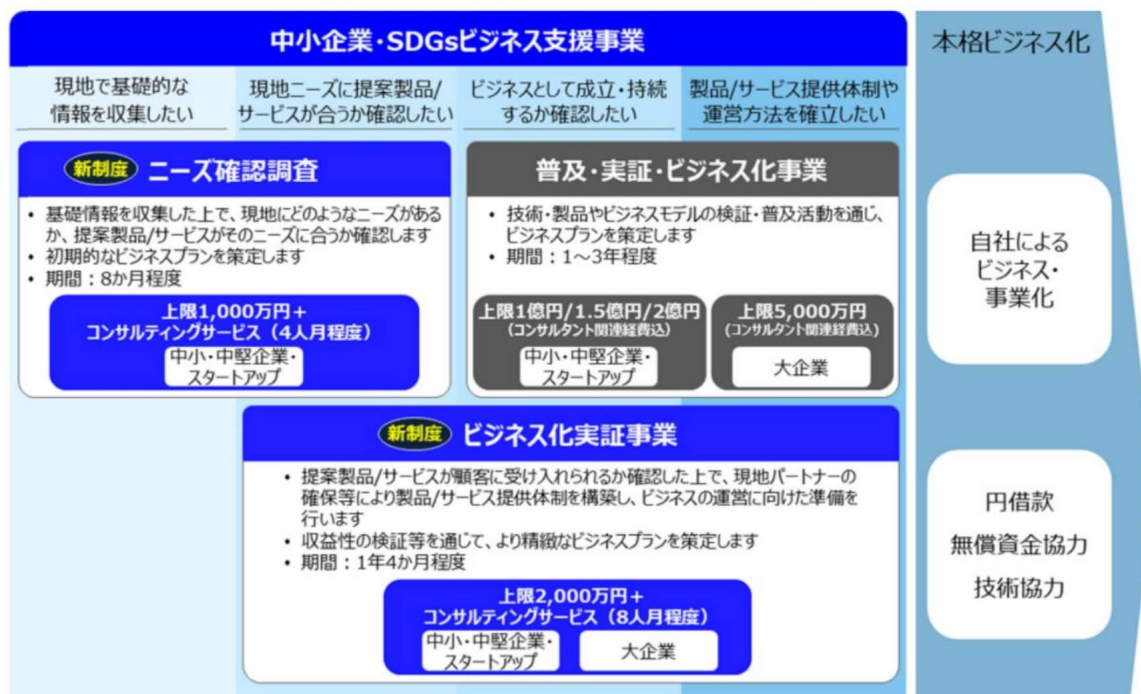
7.3.1 実証実験のファイナンス

第5章、第6章で述べた事業内容やビジネスモデルを実施するにあたり、提供するサービスの効果を現地铁道事業者の評価され受注に繋げること、及びインドネシア国へシステムを導入するための技術的懸念の解消等を目的に、現地铁道事業者と共同で実証実験を実施することを計画している。実証実験に要する資金は基本的に日本側から拠出する想定であるが、実証実験を効果的に行うには一定規模の資金が必要になるため、様々な国際支援機関が提供する支援スキームを活用することを検討した。以下に述べるとおり、実証実験の実施に際して活用が想定される支援スキームは複数あるが、それぞれ特徴が異なっており、実証実験内容や規模、実施時期や各種制約等を考慮した上で選択する必要がある。

本調査事業で想定したビジネスモデルや事業内容を基に、活用が可能であると想定される支援スキームとその概要、及びそれらを活用するにあたり留意すべき点や課題について、以下に述べる。

(1) 独立行政法人国際協力機構（JICA）

JICA の民間連携事業とは、「主に政府開発援助（ODA）に関連して開発途上国への国際協力を行っている JICA と、開発途上国の社会的・経済的課題を解決するため海外展開を目指す民間企業とが協力して行う事業」のことである。図 7-6 に各事業の概要を示す。



出典：国際協力機構（JICA）（https://www.jica.go.jp/priv_partner/activities/index.html）を加工して調査団作成

図 7-6 JICA 民間連携事業の概要

実証実験の目的から、上記の各事業の中から「普及・実証・ビジネス化事業」または「ビジネス化実証事業」の活用が考えられる。なお、以下の理由により大企業が本事業を活用するものと想定する。

- ソフトウェア業または情報処理サービス業の企業の場合、「普及・実証・ビジネス化事業」または「ビジネス化実証事業」のいずれにおいても、資本金が10億円を超える企業は大企業の扱いとなる。また大企業でなくとも、発行済株式の総数又は出資金額の総額の2分の1以上を同一の大企業が所有している場合はみなし大企業の扱いとなり、中小・中堅企業等とは補助対象となる経費額の上限が異なる。

（独立行政法人 国際協力機構「募集要項 2022年度中小企業・SDGsビジネス支援事業」

（2022年9月15日）より）

また実証実験を実施する事業の場合、想定されるビジネスモデルは、ICTを活用したサービスを現地鉄道事業者へ提供するというものである。本調査事業における実証実験の目的は、現地鉄道事業者が実際にサービスを活用することでその価値を評価し、事業化に繋げることである。また概念的にはワンパッケージサービスであるが、異なる鉄道事業者ごとにカスタマイズした実証実験を行うためには、より多くの資金が活用できることも、活用する支援スキームを選択する上で重要な要素の一つである。従って、時期的な制約はあるものの、基本的には普及・実証・ビジネス化事業の活用を優先して検討する。

（２）日本貿易振興機構（JETRO）

JETRO は、ICT 等のデジタル技術に強みを持つ日本の企業による、ASEAN の経済・社会課題解決に繋がるような事業の展開を支援するための事業として、「日 ASEAN におけるアジア DX 促進事業」を実施している。事業の概要を図 7-7 に示す。

こちらにおいても、以下の理由により大企業が本事業を活用するものと想定する。

- ・ ソフトウェア業又は情報処理サービス業の企業の場合、資本金が 3 億円を超えると大企業の扱いとなる。また大企業でなくとも、発行済株式の総数又は出資価格の総額の 2 分の 1 以上を同一の大企業が所有している場合も大企業の扱いとなり、中小企業とは補助対象となる経費額の割合や上限が異なる。

（日本貿易振興機構（ジェトロ）「日 ASEAN におけるアジア DX 促進事業 第 3 回公募 公募要領」

（2022 年 5 月）より）

大企業が本事業を活用して実証実験を実施する場合、通常は補助対象経費の 3 分の 1 以内かつ上限 1,000 万円、機械設備費が過半を占め多額の費用が掛かる場合は 3 分の 1 以内かつ上限 5,000 万円の補助を受けることができる。上記の JICA の各スキームとは異なり、応募企業の人件費についても補助対象経費として認められる点が特徴である。

1. 事業目的

日本企業がASEAN企業・機関と連携し、デジタル技術等のイノベーションを駆使しながら、日ASEANの経済・社会課題解決を目指す取り組みを支援します。

2. 補助対象事業

対象国

ASEAN10カ国
(インドネシア、カンボジア、シンガポール、タイ、フィリピン、ブルネイ、ベトナム、マレーシア、ミャンマー、ラオス)

対象分野

サプライチェーン、交通・モビリティ、製造、物流、医療・介護、コロナ感染対策、カーボンニュートラル、農業、水産業等、社会課題の解決に資する分野

対象案件要件

- ・実施対象国の抱える経済・社会課題解決が具体的に設定されており、当該課題の解決に資する事業であること。
- ・デジタル技術等のイノベーションを活用する事業であること。
- ・案件実施にあたり連携するASEAN企業・各種法人等※が決定していること。
- ・早期（本実証事業終了後概ね2年以内）に実施国もしくはその他ASEAN地域で事業開始、または事業継続の見込みがあること。

3. 補助対象経費および補助率

補助対象経費

人件費、旅費、外注・委託費、機械設備費、備品費、消耗品費、補助要員費、その他事業を実施するために必要な経費

※当該事業のためだけに使用されることが特定・確認できるものとします。

※補助金は本事業完了後に補助事業実績報告書の提出を受け、JETROによる確定検査後に精算払いします。概算払いはありませんのでご注意ください。

補助上限額、補助率

	企業規模	補助率・補助上限額
通常枠	中小企業	補助対象経費の2分の1以内、かつ上限2,000万円
	大企業	補助対象経費の3分の1以内、かつ上限1,000万円
特別枠※	中小企業	補助対象経費の2分の1以内、かつ上限5,000万円
	大企業	補助対象経費の3分の1以内、かつ上限5,000万円

※機械設備費が補助申請経費総額の過半（50%以上）を占め、総事業費が大きくなる実証事業。

※同じプロジェクトの応募はいずれか1枠のみ。

※採択決定時の補助上限額は、申請時に想定される補助上限額（補助申請額）より、審査結果によって大きく減少する場合があります。

出典：JETRO「第3回日ASEANにおけるアジアDX促進事業 概要説明資料」

(https://www.jetro.go.jp/ext_images/services/asiadx/info-3/outline_2.pdf)

図 7-7 JETRO「日ASEANにおけるアジアDX促進事業」の概要

(3) 各支援スキームの比較

各支援スキームにおいて、基本事項、活用の際に確認が必要な課題及び解決の見通しについて、表7-4に整理する。

表 7-4 各支援スキームの特徴・課題の整理

基本事項	留意すべき課題	課題の詳細・解決の見通し
普及・実証・ビジネス化事業		
- 途上国の課題解決に貢献し得るビジネスの事業化に向けて、事業計画案を策定する。 - 技術・製品・ノウハウ等の実証活動を含むビジネスモデルの検証、提案製品等への理解の促進、ODA事業での活用可能性の検討を行う - JICAとの委託契約のもと、必要に応じコンサルタントを外部登用する - 支援金額は大企業の場合上限5,000万円（SDGsビジネス支援型）	初期投資の扱いとなる費用は基本的に経費として認められない。	- 実証実験後の事業実施時にそのまま活用可能な機材の調達費は、経費としては認められない。 - 実証実験の実施に必要な各種IT関連サービスや、システムのプロトタイプ製作など、詳細部分についての扱いは検討及び確認が必要。
	実証実験後の事業実施時に利害関係を持つ企業・個人には、コンサルタント業務の外注は不可。	- コンサルタントの外注費用は経費に含めることが可能。 - 実証実験後の事業実施時に利害関係を持つ企業・個人であれば、コンサルタントであっても共同提案者に含めることで参画が可能だが、その場合の人件費は経費として認められない。
	申請時期が決まっており、基本的に採択及び事業実施のタイミングは1年に1回に固定されている。	- プロジェクトの進捗状況によっては、実証実験までに間が空いてしまう可能性がある。 - 時間的な問題を重視する場合は、ビジネス化実証事業の活用を優先して検討する。
	同一案件で「普及・実証・ビジネス化事業」と「ビジネス化実証事業」の両方を実施することは不可。	応募時に併願することは可能だが、採択となるのはどちらか片方である。
ビジネス化実証事業		
- 製品やサービスの開発途上国での受容性を検証し、ビジネス構築や収益性の確保に目途を立たせ、事業計画の精度向上を図る。 - 資金面での支援の他に、コンサルティングサービス（8人月程度）を利用可能 - 支援金額は大企業の場合上限2,000万円	コンサルティングサービスを提供するコンサルティング会社はJICAが指定する。	- コンサルティングサービスは主にビジネス面に限られるため、技術面での助言等は期待できない。 - 技術面での助言が必要な場合、その他のコンサルティングサービスの利用費用が経費として認められるかは応募時に確認が必要。
	商品・サービスの提供そのものに関わる費用は基本的に経費として認められない（損料を含む）	実証実験に必要な機材の輸送費は経費として扱うことが可能。
日ASEANにおけるアジアDX促進事業		
- 日本企業がASEAN企業・機関と連携し、デジタル技術を駆使しながら、日ASEANの経済・社会課題解決を目指す取り組みを支援する。 - 支援金額は大企業の場合補助対象経費の3分の1かつ上限1,000万円	各種IT関連システムの開発費が機械設備費に当たるかが不明	- 機械設備費が補助申請経費総額の過半（50%以上）を占め、総事業費が大きくなる実証事業については、特別枠（補助対象経費の3分の1以内かつ上限5,000万円）に応募可能。 - 応募時に確認が必要
	補助を受けられる経費以外の部分は自己資金による投資が必要	- ある程度の金銭的リスクを負う必要がある - 交渉次第ではあるが、将来的なサービス利用者に実証実験費用をある程度負担して貰う選択肢もある

出典：調査団作成

7.3.2 事業実施時のファイナンス

実証実験と比較しビジネスモデルの実施時は、事業規模も大きく多額の資金が必要になるため、ビジネスモデルの実施に際してはより詳細な検討が必要となる。本調査事業は基本的に SaaS によるサービス提供及びコンサルティングサービス等を想定しているため、莫大な初期投資が必要なインフラ整備事業等とは異なり、基本的には鉄道事業者はサービスの利用料を継続的に支払い、その収入をもってサービス提供のための費用を確保できる形となるため、大規模なインフラ整備プロジェクトにおけるプロジェクトファイナンス等の手法を想定する必要は無い。一方でコーポレートファイナンスにおいても、日本の支援機関が提供する支援メニューを活用することにより、金利面における資金調達のハードルの低下や、政府系金融機関の持つ知見やノウハウを事業に生かせるといったメリットが想定される。

国際協力銀行 JBIC (Japan Bank for International Cooperation) は、日本企業の国際投融資の支援を行う政府系金融機関である。JBIC の提供する支援メニューの中で、本調査事業で想定するビジネス

モデルに関連する支援メニューとその概要を表 7-5 に示す。

表 7-5 IT 関連システムの輸出において活用可能性のある JBIC の支援メニュー

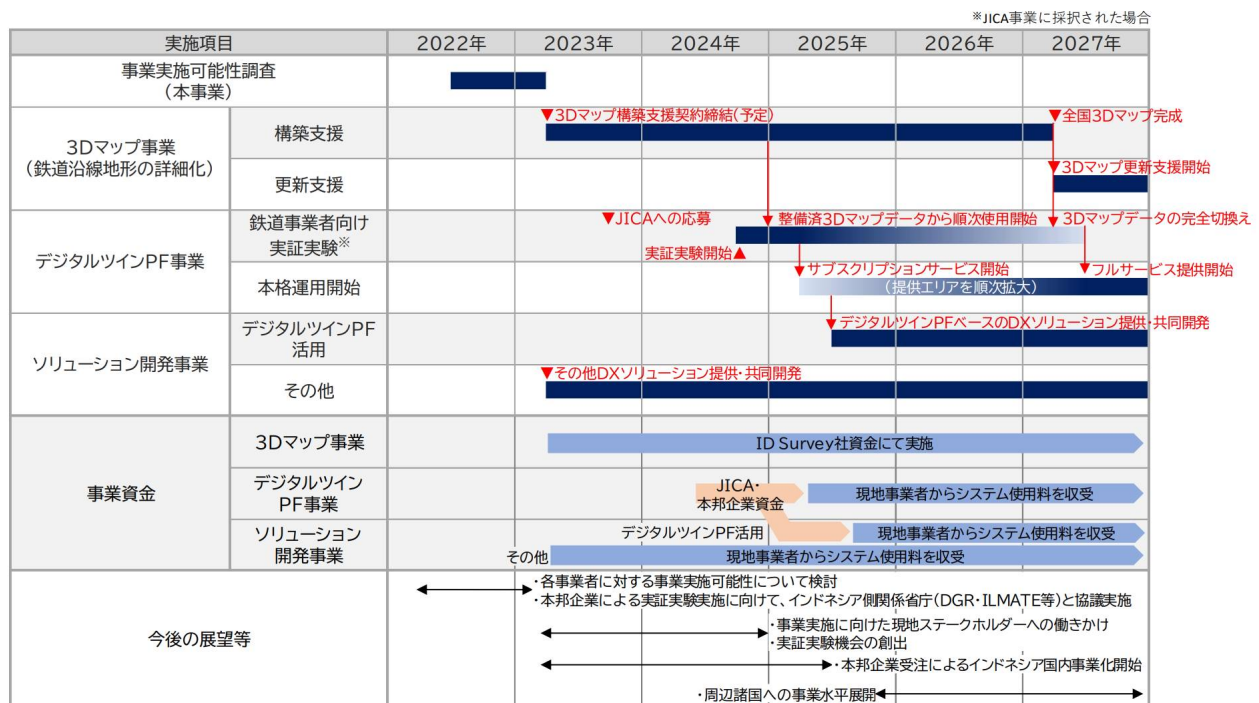
支援メニュー	詳細・特徴
■輸出金融	・ 日本企業によるプラントや船舶、技術の輸出を支援する融資
■投資金融	・ 日本企業の海外における生産拠点の設立・増設や資源開発など、海外での事業展開に必要な長期資金を対象とする融資
■出資	・ 出資により日本企業の海外事業を支援
■事業開発等金融	・ 開発途上国等による事業及び当該国の輸入に必要な資金、もしくは当該国の国際収支の均衡もしくは通貨の安定を図るために必要な資金を供与
■調査業務	・ 開発途上国や資源保有国で実施されるプロジェクトの初期段階に必要な、フィージビリティ・スタディー等を実施する調査業務

出典：JBIC「支援メニュー」(<https://www.jbic.go.jp/ja/support-menu/index.html>) より調査団作成

インドネシア国の鉄道事業者に対し各種DXソリューションを提供するビジネスモデルの場合、表 7-5 に示した支援メニューの内、技術の輸出を対象の一つとしている輸出金融は活用の可能性がある。本調査事業で想定するビジネスモデルは単にモノを輸出する訳ではなく、IT 関連システム及びノウハウの輸出であるため、具体的にどの部分で活用可能性があるかについては、より具体的な事業内容が確定した段階で再度確認が必要である。また実際の融資にあたっては現地金融機関を介した融資（ツーステップローン）となる可能性もあり、最終的な融資対象となる現地铁道事業者のみならず関連する現地金融機関とも予め調整が必要になると想定する。加えて JBIC の融資を活用する意義としては、ビジネスモデルの実施にあたり資金調達がボトルネックになっていることが重要である。そのためビジネスモデルのボトルネックが資金調達ではなく技術や法規制にあるような場合は、別の対処法を取る必要がある。

7.4 実施スケジュール

2023 年度以降のビジネスモデルの実施に向けたスケジュールの検討結果を図 7-8 に示す。



出典：調査団作成

図 7-8 将来のビジネスモデルの実施に向けたスケジュール

2022 年度現在、デジタルツインプラットフォームの基盤となるインドネシア国内の 3D マップは、インドネシア国政府の One Map Policy の下 2027 年度内の完成に向けて整備が行われているが、5.2.1 で示したとおり鉄道事業者向けデジタルツインプラットフォームで使用するには、鉄道沿線 3D マップの詳細化等が必要である。

そのため、まずは詳細化を含む 3D マップの構築支援事業を 2023 年度より開始し、2027 年度中に完了を予定している。なお、3D マップの構築完了後は、引き続き 3D マップのメンテナンス・更新事業に参画することで、継続的に BIG の 3D マップの事業に関与する。

併せて、2024 年度下期からはインドネシア国の鉄道事業者向けデジタルツインプラットフォームの構築と実証実験の開始を計画しており、ここでは日本の国産衛星等の活用を予定している。前述のとおり、実証実験の段階では既存の商用地図情報を利用するが、「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」による整備が完了した 3D マップに順次置き換えていく計画である。またインドネシア国の One Map Policy により、インドネシア国内の 3D マップの構築完了後はデジタルツインプラットフォームで使用する 3D マップは BIG が構築した 3D マップへ完全移行し、2027 年度以降にはフルサービスを提供開始できることを想定している。

デジタルツインプラットフォーム上に展開する DX ソリューションの提供・共同開発については、デジタルツインプラットフォームの本格運用開始後に計画しているが、それ以外の DX ソリューションについては、2023 年度以降段階的かつ継続的な提案・提供及び現地鉄道事業者との共同開発を行い、幅広い O&M 領域におけるインドネシア国鉄道の DX 化を推進していくことを目指す。

7.5 ビジネスモデルの実施に向けクリアすべき課題

本章でまとめたロードマップの実現にあたり、現時点で判明している懸念と解決すべき課題点について検討した結果を表 7-6 に示す。

表 7-6 ロードマップ実現に向けた課題整理

	当事者	課題点	概要
(1) インドネシア国 3D マップ構築支援事業			
1	ID Survey	MOU/NDA の締結時期等の契約管理	国営企業のため、契約締結までの部内事務手続きに一定の期間を要する
2	ID Survey	マップ構築の進捗	事業期間が長期に渡るインドネシア国全土のマップ構築事業の一環となるため、特に事業開始間もない期間におけるプロジェクト遅延が懸念される
3	DGR	実証実験実施の許諾	実証実験を行う線区選定については KAI からのヒアリング結果を基にするが、最終的な承諾は鉄道インフラを管理している DGR から得る必要がある。そのため、適切な時期までに線区選定を行うためには DGR との連携・関係構築が必要。
(2) デジタルツイン PF サービス提供、DX ソリューション開発事業			
4	DGR 及び現地鉄道事業者	DX ソリューションに対する要望の発散	各種施策の導入にあたり、様々な部門から多種多様な要求を出され、収集がつかなくなる恐れがある。そのため交渉窓口を見極めた上で、慎重に導入施策の優先順位を明確にする必要あり。
5	現地鉄道事業者	DX ソリューションに係る知財管理	インドネシア国の現地鉄道事業者も DX ソリューションの他企業・他国展開に関心を持っていることから、デジタルツインプラットフォーム構築や DX ソリューションの提供・共同開発においては本邦企業の知的財産権を確実に保護していくことが必要。
(3) 各事業共通			
6	ID Survey・KAI・DGR	鉄道沿線詳細化の予算措置	BIG からの当初の委託事業には含まれないため、ID Survey 負担での事業実施は困難。一方、KAI・DGR の予算で実施する場合には国営企業内の予算措置が必要となり、予算確保までの見通しが不透明。
7	本邦企業・機関	ファイナンススキーム構築	デジタルツインプラットフォームサービスの実証実験にあたっては、活用するファイナンススキームによって、実証実験開始可能時期が大きく変わってくる。特に日進月歩な DX 分野では、取り組み開始時期が遅延することで、他国企業に案件が渡ってしまうことや、提案予定の技術が陳腐化してしまう恐れがある。

出典：調査団作成

7.5.1 「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」の課題

(1) 契約管理

「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」については、ID Survey 社との協業開始時期が遅延することで、デジタルツインプラットフォームサービスの基盤をなすインドネシア国内の 3D マップが遅れ、現地鉄道事業者へのデジタルツインプラットフォームサービス提供時期も遅延することになる。

そのため、協業開始に求められている ID Survey 社との MOU や NDA、その他業務委託契約については遅延なく締結していくことが重要である。また、ID Survey 社との契約関連事務手続きには一定の期間を要することを予め念頭に置いた上でのスケジュール管理が必要である。

(2) ID Survey 社によるマップ構築の進捗

また、ID Survey 社が引き受けているインドネシア国内の 3D マップ構築・更新の事業期間が 2047 年までと長期に渡ることから、ID Survey 社の軽微なプロジェクト遅延がデジタルツインプラットフォーム構築にあたっては大きな影響を及ぼす恐れがある。そのため、「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」では少なくとも鉄道沿線に係る地域のマップ構築には大きな遅延が発生しないよう、ID Survey 社と密に連携を図る必要がある。

7.5.2 「デジタルツイン PF サービス提供、DX ソリューション開発事業」の課題

DX ソリューションの本格導入は現地鉄道事業者負担で行われることを原則とするが、実証実験段階においては、本邦企業が利用可能なファイナンススキームに則って実施することとなる。そのため、実証実験可能な DX ソリューションはその利用可能額の範囲内に限られる。よって、現地鉄道事業者からの要望をヒアリングする中で、実証実験可能でかつ現地鉄道事業者のニーズに合致した DX ソリューションのパッケージを、実証実験の優先順位を明確にして現地鉄道事業者の合意を得た上で構築することが必要である。

7.5.3 各事業に共通する課題

(1) 国営・公営企業による予算措置

ID Survey 社や DGR、現地鉄道事業者のいずれも国営・公営企業であることから、インドネシア国政府・ジャカルタ首都特別州政府による予算措置の可否や時期の影響を受ける可能性がある。よって、在インドネシア日本国大使館や本邦政府機関との連携を通じて、インドネシア国政府関係機関との良好な関係の構築・維持に努めることも重要である。

(2) ファイナンススキーム構築の早期実現

デジタルツインプラットフォームサービスや DX ソリューションの実証実験、本導入後のサービス提供にあたっては、現地鉄道事業者のニーズに合致していることに加えて、彼らが必要とする時期に合わせたタイムリーなサービス提供ができることも重要である。DX 分野は急速に発展しており、実証実験開始時期の遅延が、案件自体が他国企業に渡ってしまうことや、提供予定であった技術・サービスの陳腐化に繋がる可能性がある。また、インドネシア国は現状ブルーオーシャンに近い市場で

あるが、本調査事業においても様々なアプローチが進行していることを確認している。時機を逸することで、他国企業に本調査事業が提案するビジネスモデルを奪われる可能性もあるため、出来る限り早期の開発・実証実験を実現させることが重要である。

第 8 章 結論と提言

第8章 結論と提言

本章においては、本調査事業での調査結果とこれまで述べてきた考察を基に、インドネシア国の鉄道事業者へ提案するビジネスモデルについて、その意義と日本国の優位性や懸念事項にも触れた上で、実証実験段階から本導入段階における結論と提言について述べる。

8.1 結論

8.1.1 鉄道オペレーションとデジタル環境整備の現況

第4章で述べたとおり、インドネシア国内ではデジタルツインプラットフォーム・DXソリューション等についてはある程度整備済、あるいは整備中であることが判明している。「インドネシア国 3D マップ構築支援事業」において、日本の国産衛星データを活用した鉄道沿線を主体とするデータ整備を推進していくことは第5章で述べたとおり非常に有効なビジネスモデルである。このビジネスモデルは、日本の国産衛星データと鉄道事業におけるプラットフォーム技術とDXソリューションが、インドネシア国における地理空間情報のデータ整備に大きな役割を果たすという非常に意義が大きいものである。

第4章で述べたように、インドネシア国の鉄道事業者のオペレーションにおけるデジタル化の現状は鉄道事業者は部分的なデジタイゼーションを推進させている状態であり、プロセス全体のデジタイゼーションやDXの導入方法や導入後の業務プロセス等については検討・調査を行っている状況にある。

従って、本調査事業が提案するデジタルツインプラットフォーム及びその上に展開するDXソリューション及びデータ整備のビジネスモデルの分野においては、One Map Policy など国家施策が進行中ではあるもののインドネシア国は極めてブルーオーシャンに近い状況である。ただし、第4章で述べた Telkomsel 社の IT Fleetsight など、いくつかのメーカーやベンダーが個々にアプローチしている事例もあり、DX化に向けた取り組みが展開されつつある。

8.1.2 実証実験・ビジネスモデルの実施

第5章、第6章で述べた実証実験・ビジネスモデルの実施については、対象となるインドネシア国の鉄道事業者、BIG 及び ID Survey 社との協議を経て、その詳細を決定していくこととなる。インドネシア国の地理空間情報の利用と現地鉄道事業者の事業へのアプローチとなるので、関係省庁への情報共有並びに実施の同意と関連法令の遵守が不可欠となる。

この点に対しては第3章で述べたとおり、ILMATE を窓口として関係省庁との調整と関連法令への適合検証を実施していくことを想定している。実証実験並びにビジネスモデルの実施において、インドネシア国への窓口を一本化できるというメリットは非常に大きいと言える。

8.1.3 懸念と対応策における日本の優位性

本調査事業が提案するビジネスモデルの実施に関する大きな懸念の一つは、そのアイデアや技術等を他国或いは他の事業者はその機会を奪われてしまうことである。

これに対する対応策の一つは、本調査事業のゴールに設定しているビジネスモデルと、日本の鉄道の優位性を組み合わせて提案することである。日本の鉄道はその安全性や定時性が評価されているため、

- ・デジタルツインプラットフォームと、その上に展開する各種DXソリューションの提供
- ・日本の鉄道事業者がそのソリューションを活用した鉄道オペレーションをサポート

という二つの事業を同時に実施していく「鉄道DXパッケージ」としてのアプローチが非常に効果的である。

また知的財産という観点から、マップ情報を鉄道オペレーションに適用する技術について特許を取得している鉄道関連のコンサルタント会社が日本国内に存在しており、当該の会社と調整してインドネシア国における特許申請を行うという方法も検討される。出願においては、今後の東南アジア諸国への展開も視野に入れて、調整を進める必要がある。

8.2 提言

これまで述べてきたとおり、本調査事業が提案するデジタルツインプラットフォームとDXソリューションのインドネシア国の鉄道事業者への提供は、同国鉄道事業者の安全性とサービスの向上に大きな効果をもたらすものである。同時に、日本の鉄道事業者によるサステナブルなコンサルティングサポートにより、その効果を最大限に発揮することが可能となるビジネスモデルの提案も、日本の優位性を高める効果が期待できるものである。

また、プラットフォームの構築においては、同国 BIG が推進する Multi-Scales Topographic Base Maps の作成という施策に、日本の国産衛星データを利用した形で参入することにより、同施策の加速化に貢献するだけでなく、日本の国産衛星の技術的優位性を示すことにもつながる。これは、今後他の東南アジア諸国に同様のビジネスモデルを展開するにあたり、非常に訴求力の大きなプレゼンテーションとなり、日本が東南アジア諸国における鉄道DXプラットフォームとしての地位を獲得することにもつながる可能性を秘めている。

本調査事業が提案するビジネスモデルがもたらすものは、鉄道運営のデジタル化、DX化にとどまらず、本ビジネスモデルに関連する日本の技術の優位性を示すと同時に、インドネシア国の鉄道事業者のサービス向上に伴う利用者の増加が公共交通分担率を改善させ、経済損失と大気汚染の改善など同国の施策にも資することが期待できる。

第4章で述べたインドネシア国の各種法令規制に適合しつつ、第7章で述べたファイナンスを確保するためには一定の期間を要することが想定される。また、インドネシア国は現状ブルーオーシャンに近いマーケットであるが、本調査事業においても様々なアプローチが進行していることを確認している。

次年度に計画している実証実験の実施を経て、インドネシア国における本調査事業が提案するビジネスモデルを実施した場合に得られる実績は、他の東南アジア諸国及びその鉄道事業者に対しての大きなアピールとなり、今後日本が東南アジア諸国の公共交通機関のDX化ビジネスやプラットフォームビジネスにおけるリーダーポジションを獲得することに対して、非常に大きく作用するものである。

その実績を現実のものとして獲得するためには、本調査事業が提案するビジネスモデルは可能な限り早期に実施していかなければならない。

二次利用未承諾リスト

報告書の題名：インドネシア国・鉄道におけるD X推進のためのデジタルツイン導入に関する調査事業

委託事業名：質の高いインフラの海外展開に向けた事業実施可能性調査事業

受注事業者名：日本コンサルタンツ株式会社、東日本旅客鉄道株式会社

頁	図表番号	タイトル
2	図 1-1	インドネシア共和国
3	図 1-2	日本とインドネシア国の人口ピラミッド
4	図 1-3	JakLingkoアプリ画面
5	図 1-5	PeduliLindungiアプリ画面
7	図 1-7	MRTJ現状路線と延伸計画
9	図 1-9	KAI路線図（ジャワ島）
10	図 1-11	KCI路線図
11	図 1-12	ジャカルタ周辺の鉄道利用者数の推移
16	表 2-1	D X アクションプランの取り組み等
18	図 2-1	3次元点群データを用いた鉄道施設点検システムの開発
19	図 2-2	ITやセンシング技術等を活用したホーム転落防止技術等の活用促進
19	表 2-2	ITやセンシング技術等を活用したホーム転落防止技術（抜粋）
20	図 2-3	第四次産業革命
21	表 2-3	技術革新の中長期ビジョンと方向性
23	図 2-4	モビリティ・リンケージ・プラットフォームの構築
23	図 2-5	自社新幹線のチケットレス化推進
25	図 2-6	白地図表示
25	図 2-7	航空写真重ね合わせ表示
25	図 2-8	多層情報表示
26	図 2-9	検索機能
27	図 2-10	3D空間上での距離計測
27	図 2-11	3D空間上へのメモ、アイコン配置、パノラマムービー連携
28	図 2-12	パノラマムービーの表示
29	図 2-13	新旧映像の比較
30	図 2-14	列車走行位置と到着見込時刻
31	図 2-15	列車走行位置及び到着見込み時刻と編成の混雑度（首都圏）
32	図 2-16	ロッカー空き情報
33	図 2-17	津波避難誘導アプリ画面
33	図 2-18	津波避難誘導アプリ管理画面
34	図 2-19	TRANCITY操作画面
35	図 2-20	TRANCITYによる計測とデータ比較
36	表 2-5	JRE-BIM導入による効果の詳細
37	図 2-21	建設工事のリモート監督イメージ
39	図 2-22	3次元点群データを用いた設計、工事情報管理
39	図 2-23	実物大模擬設備
49	図 3-5	インドネシア国のインターネットユーザー増加状況
50	図 3-6	Telkomselのカバレッジ

(様式2)

50	図 3-7	XL Axiataのカバレッジ
50	図 3-8	Indosat Ooredooのカバレッジ
51	図 3-9	掘削工事中のケーブル切断の例
52	図 3-10	AWSで構築したSaaSのネットワーク構成図
55	図 3-11	干渉SARの原理
56	図 3-12	2018年インドネシア国・ロンボク島の地震に伴う地殻変動の解析結果
57	図 3-13	複数 GNSS 対応高精度軌道時刻推定ツール (MADOCA)
62	図 4-2	D X に向けた戦略行動プログラム
63	図 4-3	財産管理ダッシュボード
67	図 4-8	IT開発戦略(KCI)
73	図 5-2	点群データ
73	図 5-3	レーザー計測データ
74	図 5-4	運行情報と3Dモデルとの重ね合わせの例
76	図 5-6	河川浸水想定範囲
76	図 5-7	軟弱地盤
77	図 5-8	解析雨量
79	図 5-11	KCIの列車位置情報サービス
80	図 5-13	在線位置表示の例
81	図 5-15	運行情報と災害地形との重ね合わせの例
82	図 5-16	運行情報と3Dモデルとの重ね合わせの例
84	図 5-20	プミワルヤ駅の上空から撮影した写真
85	図 5-21	JR東日本 災害監視カメラ
87	図 5-24	ステレオカメラによる障害物検知
87	図 5-25	旅客流動調査に使用するセンサー
88	図 5-26	旅客流動調査結果（舞浜駅）
88	図 5-27	マンガライ駅の状況（オフピーク時）
98	図 7-2	SaaSの基本的な仕組み
104	図 7-5	想定対象範囲
106	図 7-6	JICA民間連携事業の概要
108	図 7-7	JETRO「日ASEANにおけるアジア D X 促進事業」の概要
110	表 7-5	IT関連システムの輸出において活用可能性のあるJBICの支援メニュー