

令和 7 年度
国土交通省 国土技術研究会

概要論文集
～一般部門＜活力＞～

研究会 1 日目（11月27日（木））：C会場
9:45～14:15

A会場						
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属 発表者名
一般部門 (安全・安心Ⅰ)	A1	1	審査 課題	9:45～10:00	大沼トンネル避難坑の施工についてー熱水変質を受けた低強度地山と多量湧水への対応ー	北海道開発局 港湾空港部 港湾計画課 宮澤 駿
		2		10:00～10:15	流域治水認知拡大のための住民参加型出前講座の取り組みについて	東北地方整備局 仙台河川国道事務所 流域治水課 三原 魁人
		3		10:15～10:30	地質リスクを考慮した道路災害復旧案の検討について	近畿地方整備局 奈良国道事務所 奈良南部災害復旧対策出張所 冷水 孝太郎
		4		10:30～10:45	橋橋上部工点検用ROV/ASVとその運用支援技術の開発	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 インフラDX研究領域 メタロボティクス研究グループ 田中 敏成
	A2	5	審査 課題	11:00～11:15	メンテナンスに優れた橋梁伸縮装置の研究開発について	福井県 産業労働部 工業技術センター 建設技術研究部 林 泰正
		6		11:15～11:30	オーバーツーリズム渋滞に対する社会実験の試行及び対策工の効果	山梨県 企業局 早川水系発電管理事務所 中沢 翔太
		7		11:30～11:45	地区全体を対象とした耐震改修による復興枠組みの提案～BBBから改修中心へ～	国立研究開発法人 建築研究所 所付 片山 耕治
		8		11:45～12:00	九州地方整備局管内の道路橋定期点検結果(1・2巡目)を踏まえたメンテナンスサイクルの留意点	九州地方整備局 九州道路メンテナンスセンター 萩原 頼徳
	A3	9	審査 課題	13:00～13:15	木下川排水機場の耐震化について	東京都 建設局 江東治水事務所 特定施設建設課 福永 龍佑
		10		13:15～13:30	解釈可能AIを用いた木造建築物多目的最適設計に向けた基礎的研究	国立研究開発法人 建築研究所 材料研究グループ 難波 宗功
		11		13:30～13:45	氾濫シナリオ別水害ハザード指標分布を用いた地域の脆弱性評価に関する研究	国土技術政策総合研究所 河川研究部 水害研究室 大野 純暉
		12		13:45～14:00	無信号横断歩道における歩行者及び車両の挙動分析と対策の方向性	四国地方整備局 道路部 道路計画課 三島 晃平
		13		14:00～14:15	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 ICTによる潜水士の労働負荷の実態把握と労務最適化による生産性向上に関する実証研究	星薬科大学 児玉耕太 藤山遼行
	A4	14	審査 課題	14:30～14:45	小開口付き面材耐力壁のせん断性能に関する研究	国土技術政策総合研究所 建築研究部 材料・部材基準研究室 酒井 優太
		15		14:45～15:00	吉野川水系における流域治水の自分事化に向けた取り組み ～洪水と水害の「勘どころ」作成～	四国地方整備局 徳島河川国道事務所 流域治水課 高野 稜馬
		16		15:00～15:15	恵那市街地の水害軽減に向けた取り組み ～阿木川ダム下流残流域の流出特性～	独立行政法人水資源機構 木曽川上流ダム総合管理所 管理課 向井 健朗
		17		15:15～15:30	旭川水系における既存ストックの有効活用検証	中国地方整備局 岡山河川事務所 開発調査課 福井 文菜
		18		15:30～15:45	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 液化炭酸ガスと3次元曲りボーリングを組み合わせた地盤凍結システムの高度化に関する研究	ケミカルグラウト株式会社 相馬 啓

A会場						
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属 発表者名
一般部門 (安全・安心Ⅱ)	A5	1	審査 課題	16:00～16:15	弘川流域(水防災)緊急対応タイムラインの取組 ～水害の教訓から流域が一体となった防災対応を目指して～	四国地方整備局 大洲河川国道事務所 工務第一課 北島 瑛介
		2		16:15～16:30	寺内ダム再生事業 非常用洪水吐きゲート設備の改造	独立行政法人水資源機構 筑後川上流総合管理所 設備課 徳田 克也
		3		16:30～16:45	模型やボードゲーム活用体験型学習による地域防災力向上の取組について	長野県 安曇野建設事務所 整備課 手塚 凱斗
		4		16:45～17:00	大谷トンネルの被災状況と応急復旧について	北陸地方整備局 能登復興事務所 工務第三課 高井 静也
	A6	5	審査 課題	17:15～17:30	4脚4輪走行式油圧ショベルによる能登半島地震被災現場対応について	国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 社会資本施工高度化研究室 矢野 祥吾
		6		17:30～17:45	室内試験と実橋応力計測に基づく床版の土砂化進展予測に関するケーススタディ	寒地土木研究所 寒地基礎技術研究グループ 寒地構造チーム 角間 恒
		7		17:45～18:00	3D都市モデル(PLATEAU)を活用した“動く”水害リスク情報による水災害の自分事化	北陸地方整備局 信濃川河川事務所 流域治水課 下村 魁晟
		8		18:00～18:15	ETC2.0を用いた渋滞情報提供の精度向上に関する取組	本州四国連絡高速道路株式会社 本州保全部 電気通信課 入江 桃子

SBIR建設技術開発助成制度とは

国や地域の諸課題(地球温暖化、社会インフラの老朽化、少子高齢化等)の解決に資するための技術開発テーマを国土交通省が示し、そのテーマに対し民間企業や大学等の先駆的な技術開発提案を公募し、優れた技術開発を選抜し助成する競争的資金制度です。
令和6年度に実施された研究開発等の成果について報告します。

B会場							
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
イノベ ーション部門 Ⅰ	B1	1	審査 課題	9:45～10:00	除雪支援システムについて	岩手県盛岡広域振興局土木部 岩手土木センター 道路河川整備課	菊地 和久
		2		10:00～10:15	工事監督業務における生成AIの活用検討について	滋賀県 南部土木事務所 道路計画第二課	太田 宏生
		3		10:15～10:30	屋内無線LANの整備とデータ通信の高速化の検討	関東地方整備局 関東技術事務所 品質調査課	渡部 大輔
		4		10:30～10:45	SLAM技術を活用した効率的な河川管理について	中国地方整備局 岡山河川事務所 管理課	長屋 明里
	B2	5	審査 課題	11:00～11:15	CSGダムにおける規格外フライアッシュの活用について	東北地方整備局 成瀬ダム工事事務所 工事課	小田島 嵩
		6		11:15～11:30	ダム建設現場におけるi-Construction 2.0～足羽川ダムの挑戦～	近畿地方整備局 足羽川ダム工事事務所	桑 純司
		7		11:30～11:45	品川における重層的な制約条件下での国道上空の交通広場デッキの設計について	関東地方整備局 東京国道事務所 交通ターミナル整備課	岩柳 智之
		8		11:45～12:00	松沢川第2砂防堰堤におけるICT施工の取り組み	中部地方整備局 富士砂防事務所 調査課	船橋 良太
	B3	9	審査 課題	13:00～13:15	樋門改築工事におけるBIM/CIM技術の有効活用事例と課題について	北海道開発局 札幌開発建設部 千歳川河川事務所 第2工務課	大塚 康平
		10		13:15～13:30	大崎出張所管内におけるUAVを用いた河川巡視の試行について	東北地方整備局 北上川下流河川事務所 大崎出張所	太田 なお子
		11		13:30～13:45	徳島河川国道事務所における皆で早くお家に帰ろうプロジェクトの取り組み	四国地方整備局 香川河川国道事務所 工務第二課	岡井 大三郎
		12		13:45～14:00	トンネル内面調査の省人化・効率化に向けた実証試験	独立行政法人水資源機構 総合技術センター水路グループ	小林 志歩
		13		14:00～14:15	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 長期保証を見据えた地方建設会社による効率的な路面情報管理技術の構築 —動圈を活用した路面評価手法『路面情報カルテ』の開発—	株式会社 建設IoT研究所	可児 憲生
	B4	14	審査 課題	14:30～14:45	XAI(Explainable AI)による道路附属物点検の高度化 —北大との連携協定に基づくインフラ管理のイノベーション「NORTH-AI/Eye」の推進—	北海道開発局 小樽開発建設部 小樽道路事務所	今西 将也
		15		14:45～15:00	のり面に繁茂した外来種「ヨシススキ」対策について	中部地方整備局 紀勢国道事務所 管理第二課	藤井 秀一郎
		16		15:00～15:15	水中ロボを活用した橋樑式岸壁における効率的な点検手法の検討	四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 調査課	中澤 祐飛
		17		15:15～15:30	長大トンネルへの坑内Wi-Fi導入による費用対効果の検証と総括	独立行政法人水資源機構 水路事業部設計課	渡辺 樹也
		18		15:30～15:45	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 GEOTETS工法(土留材引抜同時充填工法)を活用した環境保全技術の開発	株式会社CivilAssist	西 靖彦

B会場							
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
イノベ ーション部門 Ⅱ	B5	1	審査 課題	16:00～16:15	最先端技術を体験出来る「中国インフラDXセンター」の開設と運営	中国地方整備局 中国技術事務所 品質調査課	小柳 忠史
		2		16:15～16:30	ドローン点群データによる道路施設管理	中部地方整備局 静岡国道事務所 管理第二課	加藤 歆大
		3		16:30～16:45	梯川水系における内外水統合型水害リスクマップの検討について	北陸地方整備局 金沢河川国道事務所 流域治水課	徳坂 文音
		4		16:45～17:00	暴風雪・大雪時の災害デジタルアーカイブを用いた道路管理判断支援システムの試作	寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム	原田 裕介
	B6	5	審査 課題	17:15～17:30	徳山ダム・横山ダム連携による水位運用高度化の取組	独立行政法人水資源機構 揖斐川・長良川総合管理所	石黒 順司
		6		17:30～17:45	電子基準点リアルタイム解析システム(REGARD)の役割と発展	国土地理院 測地観測センター 電子基準点課	橋本 蘭未
		7		17:45～18:00	令和6年能登半島地震後の道路橋点検における点検支援技術の試行と検証	国立研究開発法人 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター	小林 巧
		8		18:00～18:15	空港(土木施設)のBIM/CIMの取り組みについて	国土技術政策総合研究所 空港研究部 空港施エシステム室	久保田 阜

C会場						
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属 発表者名
一般部門 (活力)	C1	1		9:45～10:00	道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験における効果検証 (中間報告)	近畿地方整備局 浪速国道事務所 計画課 中世古 蓮汰
		2	審査 課題	10:15～10:30	効果的な合意形成を目指して ～BIM活用の検証と営繕事業の円滑化～	関東地方整備局 営繕部 整備課 小野塚 裕
		3		10:30～10:45	全国都市交通特性調査データを活用したアクティビティ・ベースド・シミュ レータ(ABS)の開発と活用	国土技術政策総合研究所 都市研究部 都市施設研究室 小笠原 裕光
		4	報告 課題	10:45～11:00	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 カーボンニュートラルに資する火山ガラス微粉末コンクリートの実用化研 究	金沢工業大学 工学部 環境土木工学科 花岡 大伸
	C2	5		11:00～11:15	歴まち都市への誘客に向けた観光連携事業～歴史と観光をつなぐ2つの 要素～	中部地方整備局 建政部 計画管理課 深谷 有沙
		6	審査 課題	11:15～11:30	縦型密閉発酵槽を用いた下水汚泥の肥料化、エネルギー化技術実証と導 入効果検討	国土技術政策総合研究所 上下水道研究部 下水処理研究室 青葉 隆仁
		7		11:30～11:45	企業のリクルート活動に着目した産官学協同の渋滞緩和プロジェクト松江 Good Morning Projectについて	中国地方整備局 松江国道事務所 計画課 桃住 蓮太
		8	報告 課題	11:45～12:00	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 非構造部材を含めたBIMからFEMへの汎用変換システムの開発と検証	東京大学 浅井 竜也
	C3	9		13:00～13:15	次世代自動車の普及を見据えた走行時の二酸化炭素排出係数の試算	国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 道路環境研究室 根津 佳樹
		10		13:15～13:30	マンション等を対象とした外装仕上材の劣化度判定支援AIの開発	国立研究開発法人 建築研究所 材料研究グループ 中田 清史
		11	審査 課題	13:30～13:45	国道41号名濃バイパス6車線化による整備効果	中部地方整備局 愛知国道事務所 計画課 澤 圭斗
		12		13:45～14:00	九州初の「道路シールドトンネルの中間報告(市街地部を通過)」 ～鹿児島3号東西道路シールドトンネル(下り線)新設工事～	九州地方整備局 鹿児島国道事務所 工務課 樋口 昌宏
		13	報告 課題	14:00～14:15	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 木材入りCFT部材の開発とその実用化	長崎大学 中原浩之

C会場						
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属 発表者名
アカウント ビリティ部 門	C4	1		14:30～14:45	アイヌ文化振興に資する河川整備の取組～北海道特有の観光地域づくり を目指して～	北海道開発局 札幌開発建設部 夕張川ダム総合管理事務所 管理課 橋本 武幸
		2	審査 課題	14:45～15:00	地域や観光に配慮した公共工事 ～建設業における「おもてなし」の心～	山形県村山総合支庁 建設部 西村山道路計画課 小山 祐伍
		3		15:00～15:15	都市河川における不法投棄Oをめざした多面的なソフト対策について ～事務所と出張所 1年間の奮闘～	近畿地方整備局 淀川河川事務所 福島出張所 伊豆野 史皇子
		4		15:15～15:30	災害に立ち向かう「空の眼」九州地整UAV登録講習機関設立と挑戦	九州地方整備局 九州技術事務所 総務課 山本 伸也
		5	報告 課題	15:30～15:45	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 職人と小型ロボットが協働する新しい湿式施工法の開発	京都工芸繊維大学デザイン・建築学系 村本真
	C5	6		16:00～16:15	留萌地域における「ほっかいどう学」の実践と今後の展望―留萌地域のみ ち学習―	北海道開発局 留萌開発建設部 道路計画課 堀田 孝也
		7	審査 課題	16:15～16:30	首里城正殿の「見せる復興」 ～今しか見られない復元現場のPR～	沖縄総合事務局 国営沖縄記念公園事務所 首里出張所 内間 安朗
		8		16:30～16:45	「おかくぼっけえ教え隊！」の活動報告	中国地方整備局 岡山国道事務所 交通対策課 西海 こころ
		9	報告 課題	16:45～17:00	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 「改良前後の地盤の耐震性能評価ができる原位直繰返しプレッシャー メータ試験の実用化」	川崎地質(株) 風間 基樹
	C6	10		17:15～17:30	白川ダムのオープン化と地域の活性化	東北地方整備局 最上川ダム統合管理事務所 白川ダム管理支所 相馬 宏丞
		11	審査 課題	17:30～17:45	建設産業の魅力向上に向けたインフルエンサーとの協働 ～オフィシャル広報パートナー制度～	四国地方整備局 企画部 企画課 高橋 加奈子
		12		17:45～18:00	「苦情」から「協力」へ！～VSPを活用した地域連携～	関東地方整備局 宇都宮国道事務所 管理第一課 三野 将明
		13		18:00～18:15	3次元モデルを用いた用地境界立会いについて	長野県 建設部 河川課 諏訪 有祐

A会場							
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
一般部門 (安全・安心Ⅱ)	A7	9		9:45～10:00	大規模災害を想定した関係機関との合同訓練	九州地方整備局 宮崎河川国道事務所 防災課	西 晃希
		10	審査 課題	10:00～10:15	山岳トンネルの変状の診断精度向上に向けた施工時情報の活用と引継ぎ	国立研究開発法人土木研究所 道路技術研究グループ(トンネル)	菊地 浩貴
		11		10:15～10:30	長時間(168時間)運転可能な簡易型非常用発電装置について	沖縄総合事務局 南部国道事務所 防災情報課	内間 航一郎
	12	報告 課題	10:30～10:45	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 自治体間で円滑に横展開可能な共同利用型の地域デジタルツインの開発	一般社団法人 社会基盤情報流通推進協議会	関本 義秀	
	A8	13		11:00～11:15	名古屋国道管内初！スムーズ横断歩道の整備とその効果	中部地方整備局 名古屋国道事務所 交通対策課	堤 悠大
		14	審査 課題	11:15～11:30	サザンゲートブリッジRC床板における詳細調査および補修方法の検討について	沖縄総合事務局 石垣港湾事務所 工務課	後上里 友晴
		15		11:30～11:45	災害リスク情報を企業活用へ～白川水害リスクマップ公表の取り組みと活用事例～	九州地方整備局 熊本河川国道事務所 流域治水課	齊木 愛菜
		16	報告 課題	11:45～12:00	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 建物のライフサイクルマネジメントを目的とした3次元点群データを用いたBIMデータ自動構築システムの開発	株式会社エリジオン	渡辺友彦

A会場							
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
各局等 提案課題	A9	1		13:00～13:30	日本の現場力、世界へ。～ウクライナ復興に挑む遠隔施工～	国土交通省 大臣官房 参事官(イノベーション)グループ 国土交通省 総合政策局 海外プロジェクト推進課	中根 亨 松尾 健二
		2		13:30～14:00	PODIに基づく縮約モデルの適用とそのAIC の提案 ―重力式岸壁の2D地震応答解析への適用性評価―	港湾空港技術研究所 地震防災研究領域 地震動研究グループ	福永 勇介

B会場							
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
イノベーション部門Ⅱ	B7	9		9:45～10:00	ごみ処理施設(宮ノ陣・上津CC)で発電した電力の地産地消について	久留米市 環境部 施設課	鹿田 大貴
		10		10:00～10:15	地図作成における高分解能光学衛星画像の利用可能性	国土地理院 基本図情報部 地図情報技術開発室	神山 優恵
		11	審査課題	10:15～10:30	UAV自律飛行を活用した手取川流域における砂防施設等の点検手法の構築	北陸地方整備局 金沢河川国道事務所 流域対策課	中野 光
		12		10:30～10:45	主ケーブル外装モニタリングシステムの開発	本四高速道路ブリッジエンジニア株式会社 技術事業本部 技術開発部 技術3課	大淵 慶大
	B8	13		11:00～11:15	AI技術を用いたCo吹付法面及び橋梁の健全度診断に関する技術手法について	北陸地方整備局 能登復興事務所 計画課	長谷部 佑太
		14		11:15～11:30	「だいち4号」を活用した地殻・地盤変動監視と地盤沈下調査への活用に向けた取組	国土地理院 測地部 宇宙測地課	室山 怜太郎
		15	審査課題	11:30～11:45	沖縄管内における物流推進の検討	沖縄総合事務局 開発建設部 港湾計画課	山田 廉太郎
		16		11:45～12:00	床版コンクリート耐久性確保の取り組み～施工現場と取り組み内容の紹介～	東北地方整備局 岩手河川国道事務所 工務第二課	瀬倉 英

B会場							
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
各局等 提案課題	B9	3		13:00～13:30	下水道等に起因する大規模な道路陥没事故を踏まえた管路マネジメントの動向や方向性等について	国土交通省（上下水道審議官グループ）大臣官房参事官（上下水道技術）付	辻 亮水
		4		13:30～14:00	群マネ、知ってる？新たなヒーローは動いている	国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課	伊藤 瑞基

D会場	
15:00～16:00	【特別講演】 早稲田大学教授 土木学会第112代会長 佐々木 葉 様 「インフラの広がりと風景」
16:05～16:35	【表彰式】
16:35～16:50	受賞者記念撮影

道路空間を活用したEV路上カーシェアリング 社会実験における効果検証（中間報告）

中世古 蓮汰¹ 石田 翔吾²

¹浪速国道事務所 計画課（〒651-0082 兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30）

²大阪国道事務所 地域調整課（〒536-0004 大阪府大阪市城東区今福西2丁目12-35）

大阪国道事務所は、道路分野におけるカーボンニュートラルの取り組みとして、全国初となる道路空間を活用したEV車両によるカーシェアリング社会実験を実施している。本稿では、社会実験内容と効果検証結果について中間報告する。

キーワード 道路空間の有効活用、カーボンニュートラル、カーシェアリング、GX、MX

1. はじめに

(1) 背景

道路は我が国の経済成長を支え安全安心な暮らしを確保する重要な社会基盤であるが、その一方国内CO₂排出量の約18%を占めており、道路管理者としても脱炭素に関わる役割と責任を積極的に果たしていく必要がある。その中で、自動車による輸送を代替できる部分については、鉄道等の低炭素な公共交通への転換の促進が求められている。また、自動車による移動が必要な場面においても、ガソリン車による利用から、環境に配慮した自動車であるEV車両の利用が注目されている。さらに近年は自動車を個人で保有せず、必要な時に自動車を借りて利用する「カーシェアリング」が広く普及しているところである。

以上の背景を念頭に、環境に配慮しつつ公共交通による移動を補完する役割を担える手段として、EV車両を用いたカーシェアリングの有効性について検証するための実証実験を実施している。また、EV車両を借りる拠点であるカーシェアリングステーションは、公共交通とのアクセス性に注目し、鉄道駅付近の国道の路上に設置した。本稿では「京阪神都市圏での水平展開」を見据えた「道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験」の取り組みについて報告する。

(2) 社会実験の目的

本社会実験は、JR大阪駅など鉄道駅周辺の国道1号及び国道2号の路上にEVカーシェアリングステーション（以降、ステーションはSTとする）を5箇所（①大阪西梅田、②福島出入橋西、③福島浄正橋東、④福島浄正橋西、⑤東天満）設置し、鉄道とEVカーシェアリングの組合せによるCO₂排出量の削減や、交通利便性の向上、災害時の有効活用等の検証を行うことを目的とする。

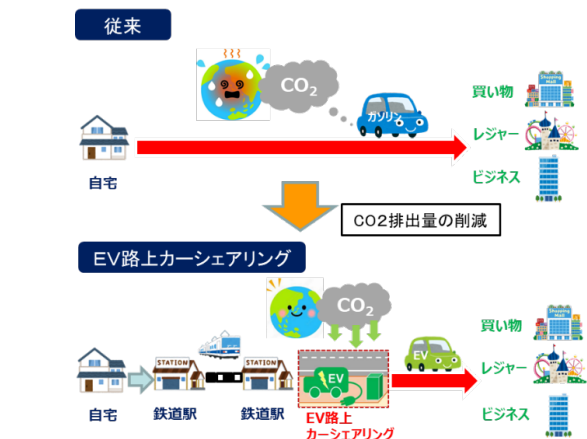


図1 鉄道とEV路上カーシェアリングの組合せ



図2 ST位置図

正橋西、⑤東天満）設置し、鉄道とEVカーシェアリングの組合せによるCO₂排出量の削減や、交通利便性の向上、災害時の有効活用等の検証を行うことを目的とする。

(3) 期待する効果

自宅等から目的地（買い物、レジャー、ビジネス）への移動に自家用車（ガソリン車）を利用していた方が、鉄道とEV路上カーシェアリングを組み合わせた移動

に転換することでCO₂排出量の削減（GX）が期待できる。また、EV路上カーシェアリングという新たな移動手段の提供により、利用者が交通手段を選択しやすい環境を構築すること（MX）で、交通利便性の向上が期待される。

(4) 実験概要

大阪国道事務所は、道路分野におけるカーボンニュートラルの取り組みとして、「道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験」（以下、社会実験）を令和6年10月1日より開始した。なお、EV車両を活用した路上カーシェアリングは全国初の取り組みである。

- 実験期間：令和6年10月1日～令和7年12月末（予定）
※実験期間は、延長する場合がある。
- 実験箇所：大阪府大阪市北区梅田・東天満・福島区福島（国道12号の道路上5箇所）
- 運営車両：日産サクラ（EV車）
- 運営方式：ラウンドトリップ方式（車を借りた場所と返す場所が同じ方式）
- 運営時間：0:00～24:00（24時間）
- 実験主体：道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験協議会
- 実験参加者：タイムズモビリティ株式会社
- カーシェアリング利用方法：
タイムズモビリティ株式会社が運用する「タイムズカー」にて予約し、利用。

図3 実験概要

(5) ST概要

カーシェア車両利用者の安全性・利便性だけでなく、自転車や歩行者等の他交通参加者の安全性等を確保することを踏まえて、STを設置した。

a) 道路空間の活用・設置位置について

歩道空間内の植栽等を撤去して、STのスペースを確保する計画とした。なお、自転車・歩行者の動線を考慮し、歩道内の照明柱を一部撤去することで、自転車・歩行者が安全にすれ違うことができる空間を確保した。

また、マウントアップ歩道を切り下げし、ST空間を確保することから、地下埋設物の回避が課題となった。

そこで、出来るだけ地下埋設物の影響がない設置位置としたが、一部マンホールが影響する箇所に設置する計画となったが、取り外しが可能な防護柵を設置し、維持管理作業に支障が出ないように留意した。

表1 ST内設置物

設置目的	設置物	
歩行者の安全確保	防護柵	STと歩道空間を物理的に分離
	門扉	
ST内の車両の安全確保	路面標示・縁石鋸	走行軌跡や停車位置を安定
	ミラー	後方から来る車両の確認
	チェーンゲート（15mスパン）	支柱と車両の接触を避けるため、ST端部のみに支柱を設置
ST出入り車両の周知	看板	周辺を通行する車両に対して、STを出入りする車両の存在を周知

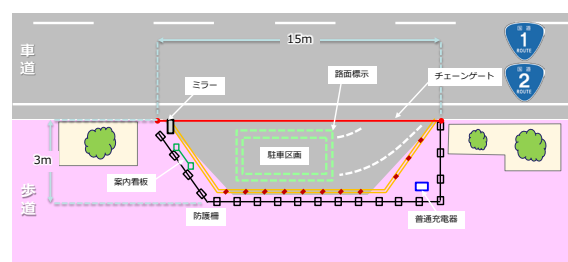


図4 ST設置イメージ



図5 ST外観

b) STの大きさについて

STを利用する車両の走行軌跡を考慮して、車道側の出入口15m確保した。なお、設計車両は乗用車が利用することを想定し、道路構造令で示される小型自動車を採用した。

c) STチェーンゲートについて

カーシェアを利用してSTに駐車車両がない場合に、他の車両が誤って駐車しない様、チェーンゲートを設置した。チェーンゲートは、車両内に設置したリモコンにより開き、車両が入出庫後は、自動的に閉まる仕様とした。

なお、他地域においてチェーンゲートの支柱を中央部に設置されていたが、車両との接触を回避するため、中央部に支柱を設置しない15mスパンのチェーンゲートを採用した。

d) 充電器について

一般的にEV車両の充電には、急速充電器と普通充電器が存在するが、カーシェアでの運用ではケーブルを差したままの時間が長いことを想定すると、急速充電

器ではバッテリーへの負荷が懸念されることを踏まえ、普通充電器を採用することとした。

なお、充電器のコードが道路敷地内にはみ出さないことに留意するとともに、車両利用者や車両の安全性を考慮して、通常の手動で巻きつける充電器ではなく、自動で巻きつけることができる充電器を採用した。

また、自動で巻きつける充電器のコード延長に限りがあることから、車両の充電プラグに近い車両後方に充電器を設置した。

e) ミラーについて

車両がSTから出庫する際に、安全・円滑に一般道へ合流するため、一般道を走行する車両の状況が、確認出来るように、ST先方にミラーを設置した。

2. 社会実験の運営体制

(1) 実験参加者

社会実験の実験参加者は、公募の結果よりタイムズモビリティ株式会社（以下、実験参加者）が選定された。実験参加者はカーシェアリングサービス「タイムズカー」を運営している。実験参加者はEV車両を用意し保守点検及び清掃を行うほか、カーシェアの運営管理（利用者対応業務、利用料金等の徴収等）及び充電設備・チェンゲートの電気料金の支払いを行っている。

(2) 車両

実験用に日産サクラ（EV車）5台を、5箇所のSTに各1台配備した。サクラは定員4名の軽自動車である。

(3) 協議会

「道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験協議会」で、社会実験の運営・効果検証を行っている²⁾。

国土交通省近畿地方整備局道路部・大阪国道事務所、大阪府警察本部、大阪市環境局・計画調整局・建設局、梅田2丁目振興町会、西阪神桜橋商店会、福島連合町会、東天満1・2丁目振興町会、実験参加者

図 6 協議会構成組織

なお、大阪国道事務所地域調整課が事務局となり、実験参加者の協力のもと、社会実験の利用実績報告、安全性及び車道の走行円滑性への影響検証（車両の出入りに伴う交通支障）、道路上へのST設置による利用実態の変化と効果検証を実施した。

3. 効果検証内容

(1) 効果検証の実施概要

効果検証として、表 2 に示す①～⑥の6つの視点で分析を行った。各分析項目に関する調査手法を表に示す。具体的には、アンケート調査、インタビュー調査、ビデオ調査、ETC2.0調査、実験参加者提供データを組み合わせながら効果検証を行った。

表 2 効果検証項目

分析等の視点	手法
①利用者属性・行動特性等の把握	・アンケート調査 ・実験参加者提供データ
②カーボンニュートラル、交通利便性向上の機能（公共交通機関との連携）	・アンケート調査 ・実験参加者提供データ
③道路上へ設置することの有効性	・アンケート調査 ・実験参加者提供データ
④STの安全性・快適性	・アンケート調査 ・インタビュー調査 ・ビデオ調査 ・ETC2.0調査
⑤STに設置した設備・施設等の妥当性	・アンケート調査
⑥利用者の拡大、路上STの継続性、災害時の活用	・アンケート調査 ・インタビュー調査 ・実験参加者提供データ

(2) 調査方法

a) アンケート調査

EV路上カーシェアリング利用者、沿道利用者等を対象に、3つの手法でアンケート調査を実施した（表 3）

表 3 アンケート調査概要

調査方法	調査対象	調査手法	票数 (R7.3.31時点)
現地 QRコード	EV路上カーシェアリング利用者 または 沿道利用者	STに設置したQRコードを読み取り	67票
タイムズ会員へのメール配信	EV路上カーシェアリング利用者	1か月に1回メール配信（利用の翌月に配信）	40票
	タイムズカーシェア会員	3か月に1回、タイムズカーシェア会員メールマガジンで配信	2,918票 ・1回目 (R6.10.16) : 1,253票 ・2回目 (R7.1.15) : 1,665票
一般の方へのWEBアンケート	京阪神都市圏在住の方	3か月に1回、WEBモニターへメール配信	600票 ・1回目 (R6.10.25) : 300票 ・2回目 (R7.1.24) : 300票

b) インタビュー調査

EV路上カーシェアリング利用者を対象に、インタビュー調査を実施した（表 4）。

表 4 インタビュー調査概要

調査項目	調査対象	調査時期	調査手法	票数
安全性評価	EV路上カーシェアリング利用者	平常時	EV路上カーシェアリングの返却時にお声掛け	12票 ・1回目調査 (R6.12.13・R6.12.14) : 4票 ・2回目調査 (R7.3.19・R7.3.22) : 8票
災害時利用		災害時（鉄道運休時等）	災害発生後に利用者にヒアリング予定	・今後実施予定

(3) 視点③道路上へ設置することの有効性

「STへの近接が望ましい施設」は、「駅」との回答が86.8%で最多であった。本社会実験で設置したSTは全箇所駅に近接しており、公共交通との乗継等の利便性確保が重要であることが示された（図12）。

「一般的なカーシェアリングではなく、EV路上カーシェアリングを選択した理由」では、「EV車を利用できるから」という回答が最多となったことから、環境負荷軽減を意識している利用者のニーズを満たしていることが確認された。次いで「幹線道路へのアクセスが良いから」との回答が32.8%となり、道路上に設置することのメリットが確認された（図13）。

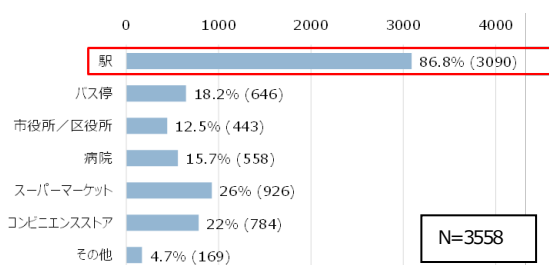


図12 STへの近接が望ましい施設（複数回答）

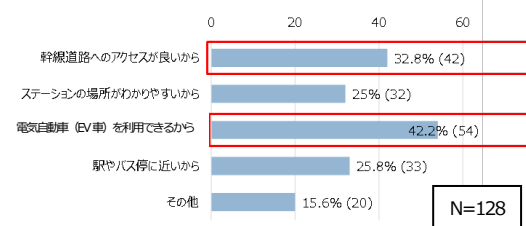


図13 一般的なカーシェアリングではなく、EV路上カーシェアリングを選択した理由（複数回答）

(4) 視点④STの安全性・快適性

a) ST入出庫時の安全性

安全にSTの入出庫ができたかを利用者へのインタビューにより調査したところ、回答者12名中2名がヒヤリ経験があったと回答した。具体的には路上駐車車両の影響に関する意見や、夜間が昼間と比べて視界不良であることが起因して課題があるとの意見であった（図14）。

- ・路上駐車があって、入りにくいときがある
- ・夜間だったので特に入庫時は後続車に追突されないか怖かった。入庫時に、後続車や車道を走る自転車が気になり何度もバックミラーを見た

図14 ヒヤリの内容

b) 国道を走行している車両への影響

ST付近に設置したビデオカメラより、STへのカーシェア車両入出庫時にステーション側（第一車線）を走行する車両の挙動を分析した。調査結果より、特に返却時に後続車がブレーキを踏み車線内の右側を走行する挙動が22.4%（撮影期間中に返却があった76件中17件）で発生していることを確認した。これは、STに車両を返却する際、車内にあるリモコンを用いてチェーンゲート进行操作するために路上で停止することが要因と考えられる（図15）。

昼間12時間の旅行速度平均値をST入出庫がある時間帯・ない時間帯別で集計・比較したところ、全てのSTで速度低下なし（ST入出庫なしと比較して、ST入出庫ありの旅行速度の低下が1km/h以下）との結果となった。この結果より、EV路上カーシェアリングST設置による交通渋滞への影響は確認されない（図16）。

昼間12時間の旅行速度平均値をST入出庫がある時間帯・ない時間帯別で集計・比較したところ、全てのSTで速度低下なし（ST入出庫なしと比較して、ST入出庫ありの旅行速度の低下が1km/h以下）との結果となった。この結果より、EV路上カーシェアリングST設置による交通渋滞への影響は確認されない（図16）。

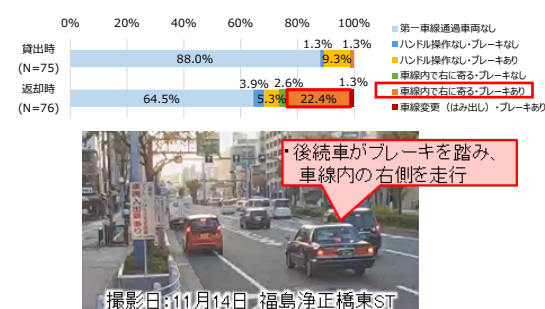


図15 車道ビデオ調査

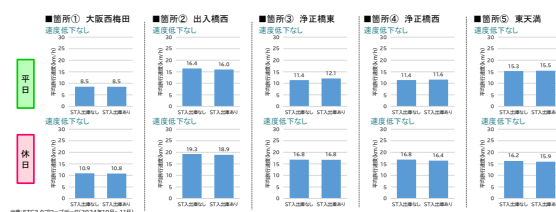


図16 ST入出庫がある場合・ない場合の平均旅行速度の比較

c) 歩行者・自転車への影響

ビデオ調査より、STに設置に伴う歩道幅員の縮小が、歩行者や自転車の通行に及ぼす影響について確認した。調査結果により、歩行者・自転車が対向者回避等のために減速・停止した回数は、④福島浄正橋西STにて大幅に増加したことが確認できた（図17）。

この理由として、④浄正橋西STがコンビニ前に設置されており、コンビニ出入口付近で立ち止まる人によって歩道がふさがることによって歩行者・自転車の通行を阻害する状況が発生していることが確認された（図18）。

対策として自転車速度の注意喚起路面シールを設置し、歩行者と自転車の衝突防止を図った（図19）。

(5) 視点⑤STに設置した設備・施設等の妥当性

利用者アンケートの結果より、充電器、チェーンゲートともに肯定的な意見が多数を占めていることから、

ST内の設備については利便性の高いものになっていると考えられる（図 20）。

(6) 視点⑥利用者の拡大，路上STの継続性，災害時の活用

EV路上カーシェアリングの利用者拡大に向けた取り組み方針の検討を目的として，EV路上カーシェアリングSTを知ったきっかけ及び希望する返却方式を調査した。本社会実験のSTを知ったきっかけは，「タイムズカーアプリで表示されたこと」，「現地の車両や案内看板を見たこと」の回答割合が高い。周知方法として，ST付近を通行しない方にはタイムズカーアプリが，ST付近を通行する方には看板が有効であることが推察される（図 21）。

また，災害時（鉄道運休時）にタクシーの代替手段でEV路上カーシェアリングの利用を想定しており，災害発生後に利用者にヒアリングを予定しており，災害時の活用については今後検証予定である。

5. まとめ

本社会実験の狙いであった鉄道とEV路上カーシェアの組み合わせによるCO₂排出の削減（GX）や，交通利便性の向上について，公共交通への転換状況の確認やCO₂排出量の試算を行い，一定の効果が発現している傾向であることを確認した。また，これまでに得られたアンケートにおいても，EV路上カーシェアリングが新たな移動手段として普及し，利用者の交通手段の選択肢が増えることで，利用者が多様な交通手段を選択しやすい環境構築（MX）の可能性もあることも期待できる結果となった。

一方で，STの安全性に関して，路上駐車対策，夜間の安全性確保，チェーンゲート操作のための一旦停止等，運営上の課題も確認した。

引き続き，課題の改善や本社会実験で得られるデータをもとに安全性を分析のうえ，評価していくことが必要と考える。

今後の利用実績や特性も踏まえながら，今後のEV路上カーシェアのあり方についても議論を深めていくことが必要となってくる。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路分野の脱炭素化政策集Ver1.0
(<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/utilization/datutansoka/collv1.pdf>)
- 2) 道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験ホームページ
(<https://www.kkr.mlit.go.jp/osaka/works/jikken/carsharing/>)

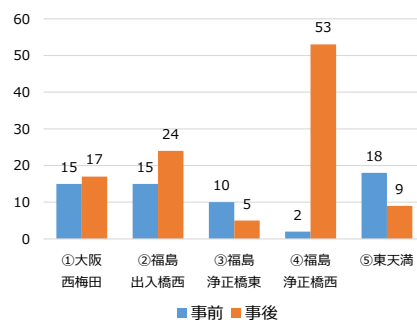


図 17 歩行者・自転車等が対向者回避のために減速・停止した回数（ST 設置前後の比較）



図 18 ④福島浄正橋西 ST 付近の歩道の様子



図 19 ④浄正橋西 ST 付近の注意喚起シール

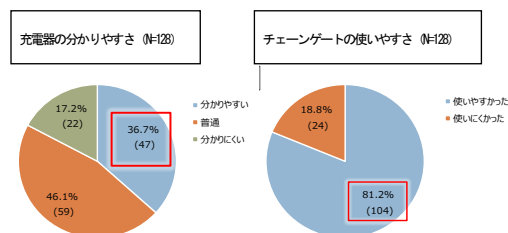


図 20 充電器，チェーンゲートの評価

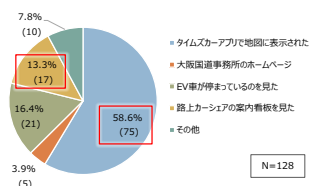


図 21 ST を知ったきっかけ

効果的な合意形成を目指して ～BIM活用の検証と営繕事業の円滑化～

小野塚 裕¹・内藤 善一¹

¹ 関東地方整備局 営繕部 整備課 (〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心2-1)

現在、建設業における生産性向上のひとつとしてBIM/CIMを導入した業務の効率化を図る取組みが推進されている。建築設計・施工時のBIM活用については、情報の明快さや変更のしやすさ等からその必要性が語られることはあるが、合意形成や調整を担う私たち発注者の業務に対して、どのような効果があるのかが語られることは少ない。本稿では、BIMを活用した横浜法務総合庁舎の設計業務をモデルとし、設計時の合意形成の取組みについて、関係者へのアンケートとヒアリングを通じて効果の検証を行い、それが営繕事業の発注者としての観点からどのように効果的であったのかを考察するものである。

キーワード 合意形成、業務の円滑化、効果検証、アンケート、BIM、VR、景観協議

1. 発注者としてのBIM活用

営繕事業における従来の協議や合意形成では、平面的な図面を用いた説明が一般的である。しかし、二次元の説明資料であるため、説明を受ける側が、三次元の空間としてイメージする必要がある、すべての人が即座に同じ空間のイメージを共有することが難しい側面があった。現在、国土交通省で推進されているBIM/CIMは、制作物を三次元で可視化させることができるため、効果的な説明資料としての可能性を有していると考えられる。そこで、設計段階における配慮事項の多い横浜法務総合庁舎の設計業務を対象にBIMを効果的に活用し、業務の円滑化を試みると同時に、合意形成や調整を担う発注者としての観点から、どのように効果的であったのかの検証・考察を行った。



図-1 横浜法務総合庁舎 CGパース

計画概要	
工事場所	神奈川県横浜市中区日本大通9
敷地面積	2,236.37 m ²
規模	地下1階/地上10階建て 延べ面積 17,731 m ²
構造	鉄骨造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造)
工期	2026年11月～2030年10月

(1) 複数の景観規制が重なる敷地

横浜市では、より質の高い景観を形成していくための独自のビジョンをもっており、「都市景観協議地区」の指定や、市と事業者による協議を義務づけている。横浜法務総合庁舎の敷地は、関内地区都市景観協議地区に指定され「見通し景観・眺望景観」「歴史的界限形成エリア」「景観重要道路」等様々な景観規制が重なり、協議が難航することが予想された。

(2) 施設の業務特性に配慮した建築計画

本庁舎は、横浜地方検察庁と関東公安調査局(以下「入居官署」という。)の入居が計画されている。一般来庁者が訪れる施設でありながら、被疑者の動線や同行室、資料の保管など秘匿性の高い特殊な機能が必要であり、それらに応じた形態と運用方法が求められる施設である。また、庁舎を計画していく段階で入居官署が各関係機関へ確認を取ることが予想され、これらの情報を正確に伝達し、合意形成を図っていく必要があった。

2. 本業務の概要と課題

横浜法務総合庁舎は、日本初の西洋式街路とされている日本大通り沿いと本町通りの角地に敷地をもち、横浜地方検察庁の移転と老朽化に伴う庁舎建替えを合わせて計画された、地上10階建て、延べ面積17,731m²の新築の庁舎である。(図-1) 2022年から2025年に設計、工事完成は2031年の予定であり、施設整備から庁舎を実際に運用するまでに長い時間を要する営繕事業である。

設計段階から各関係機関との協議が必要な他、敷地周囲は、横浜地方裁判所、横浜市開港記念館(通称Jack)及び神奈川県庁舎(通称King)に囲まれ、景観規制の厳しい横浜市の中でも特に配慮が求められる場所である。

3. 効果的な合意形成に向けた試み

営繕事業では、新築の設計業務に、BIM活用の項目や対象を指定する発注要件であるEIR（Employer's Information Requirements）を適用し、BIMの活用を推進している。本業務は関東地方整備局営繕部で初のEIRを適用した業務であり、これらを活用して「協議の期間短縮」「正確な意図伝達による施設整備の質の向上」を目的として実施した。横浜市との景観協議に対しては敷地周辺の点群データを収集しウォークスルー動画を作成したほか、入居官署に対してはVR（Virtual Reality）を用いて主要動線等の確認を行った。

(1) 景観規制の課題：点群データとBIMモデルの合成によるウォークスルー動画

入居官署への説明や横浜市との景観協議では、BIMモデルから作成したパース写真に加え、町並みや歴史的建造物との調和を確認するためにウォークスルー動画を作成し、説明を行った。作成にあたって、建物高さや開口、植栽等、対象建築と周りとの関係を正しく計測するため、3Dレーザースキャンで近隣点群データを収集し、BIMモデルと合成することで動画を作成した。（図-2）（図-3）ウォークスルー動画を用いたことで、図面や模型のような俯瞰した確認方法とは異なった、実際の歩行者空間に近い環境で景観を共有することができた。これにより契約当初、5ヶ月の予定としていた横浜市の景観協議の期間を3.5ヶ月で完了することができ、約1.5ヶ月の期間をその他の業務に充てることができた。また、「見通し景観・眺望景観」の配慮事項としてある、横浜港大さん橋からの見え方についても、敷地から800mという広域の建物データを収集し、遠景と近景のそれぞれから、歴史建築物の周辺の環境を含む景観への影響も確認することができた。（図-4）

従来の作成方法で同様の範囲を同等の品質でモデルを作成することと比較し、点群データを用いた景観の作成は、作成時間の短縮やデータの軽量化、解像度の高さという点の他に、様々な場所からの見え方を説明することができたという点で、合意形成の円滑化に非常に効果的な働きがあった。



図-2 3Dレーザースキャンデータ収集

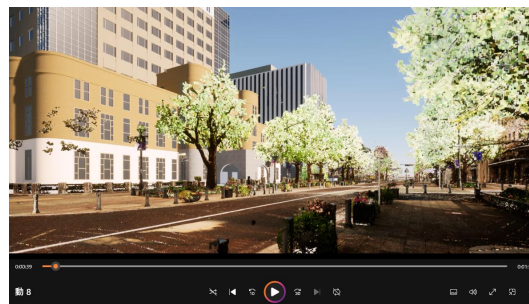


図-3 BIMモデルを合成したウォークスルー動画

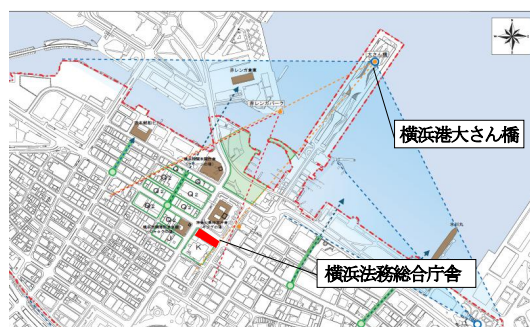


図-4 関内地区における「見通し景観・眺望景観」
横浜港大さん橋等からの景観計画

(2) 施設特性の課題：入居官署に向けたVR体験の実施

VRとは仮想現実のことを指し、専用ゴーグルで視界を覆い360°の映像を映し出すことで、実際にその空間にいるような感覚を得られる技術である。

本業務では、入居官署との協議を目的として、エントランスホール、エレベーターまでの動線、大会議室といった一般来庁者が利用する場所に加え、被疑者の動線等、官署固有のモデルも作成し、視線や場面に齟齬がないよう確認と説明を行った。

VRを用いて、モデル内を移動することで完成後の空間イメージを共有するし、図面では表しきれないベンチや掲示板等の要素を同時に確認することができた。

4. 入居官署に向けたアンケートによる検証

合意形成を行う入居官署の目線にて、本業務におけるBIMを用いた説明の有用性や、今後のBIM活用への要望等を確認するため、「BIM活用に関するアンケート調査」を実施した。入居官署である横浜地方検察庁2部署、関東公安調査局2部署を対象に実施し、本設計業務で取り組んだ、a)「景観シミュレーション動画とVR体験」に対しての効果、b)「今後BIMを活用してイメージ共有したい箇所」、c)「BIM活用において今後期待するもの」の3つを記述形式で回答いただいた。

また、アンケートの回答を元に、要望をさらに設計に反映させ、協議を繰り返すことで施設整備の質の向上を図った。以下の項目に回答と考察をまとめる。（図-5）

a) 「景観シミュレーション動画とVR体験」 ・職員の新庁舎に対する興味や期待感を持ってもらう上で有意義だった。 ・図面で個々にイメージするより、画像を全員で共有できたので効果的であった。
b) 「BIMを活用してイメージ共有したい箇所」 ・エントランス前外構、大会議室（9階）、事務室、便所、給湯室、倉庫 ・E Vホールから被疑者待合室及び被害者待合室への誘導動線（運用の動線） ・正面玄関から受付及び、各階への動線（来庁者の動線）
c) 「BIM活用において期待するもの」 ・職員が共有できるデータがあると興味をもってもらえる機会が増える ・データを自由に動かすことができること。

図-5 「BIM活用に関するアンケート調査」の回答例

(1) 「回答と考察」

a) 「景観シミュレーション動画とVR体験」

「景観シミュレーション動画とVR体験」に対する回答では、空間が二次元よりも想像しやすかったという回答に加え、関係機関との説明する際に有用であったことや、職員の新庁舎に対する興味や期待感を持ってもらう上でも、有意義だったという回答が挙げられた。発注者と入居官署間の説明だけでなく、組織内での間接的な意図形成の円滑化にも寄与していることが分かった。

(図-6)



図-6 VRを用いた検討箇所の説明

b) 「BIMを活用してイメージ共有したい箇所」

「今後BIMを活用してイメージ共有したい箇所」に対する回答では、当時協議中であった「エントランスからEVホールまでの動線」が多く挙げられた。

アンケートの回答を受けてモデルを作成し協議を重ねたところ、「通路が一直線であると秘匿性を保てないのではないか」等、二次元では確認することのできない視点から様々な意見が挙げられた。その結果、目隠し壁を追加する対応を行い、動線を明確に分ける計画とすることができた。(図-7)

このように、フィードバックを反映しながら協議を重ねたことにより、受注者の設計意図と入居官署の要望の双方を尊重しつつ、施設整備の質の向上に寄与することができた。

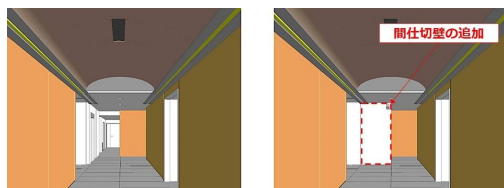


図-7 協議による目隠し壁の設置 (左) 検討前 (右) 検討後

c) 「BIM活用において期待するもの」

「BIM活用において今後期待するもの」に対する回答では、庁舎が完成するまでの整備期間中の関係者のモチベーションの維持・意図伝達等、a)で考察した組織内での間接的な意図伝達への需要の他に、「データを自由に動かしてみたい」「職員等に対して共有できるデータが欲しい」等、データを入居官署の組織内部の協議や報告で使いたいという意見が多くを占めていた。回答を受けて、二次元バーコードで読み込むと誰でもモデルを視聴できるような仕組みを取り入れ、入居官署の組織内で施設の外観や内観のモデルを見ることができるよう展開も行った。

5. 受注者に向けたヒアリングによる検証

BIMを活用した設計業務に関して、受注者へのヒアリングも行った。横浜市や入居官署をはじめとした各関係機関との協議が予定より早く終わられたことに加え、社内での協議や検討もスムーズになったとの意見が挙げられた。また、3DスキャンやBIMを使用したことで、3Dプリンターを活用することができたため、模型を手で作成していた従来の方法に比べ、大幅な時間短縮と質の向上につながったと伺った。(図-8)

その一方で、入居官署から要望された、追加のBIMモデルの作成や、細かい修正への負担も挙げられた。BIMはあらゆるスケールのものをひとつの空間に作ることができるのがメリットだが、全てを同じ精度で作っていても、その分の時間と労力がかかってしまう。特に本業務では横浜市全体の広域モデルから庁舎内の内装まで、様々な視点での検討が必要であったため、モデルを作り込む精度がそれぞれで異なっていた。このため、「この場所はより詳細な部分まで再現して欲しい」という入居官署と、受注者が考えた必要性の認識に乖離が生じ、追加の要望が挙げられたと考えられる。



図-8 3Dプリンターで作成した模型

6. 今後のBIM活用に向けて

(1) 発注者として出来ること

横浜市との合意形成に加え、入居官署の施設整備に対する意見を効果的に引き出すことができたBIMやVRの活用は施設整備の質の向上において、非常に有用であった。

しかし、被疑者の動線の動画を作成した際に、セキュリティを区分けする建具を表現しておらず、入居官署から表現して欲しいとの指摘が挙げられた。BIMモデルを作成した受注者にとっては作り込む必要がないと判断した部分でも、入居官署にとっては運用上、非常に重要かつ詳細な確認が必要な部分であったりと、異なる立場による必要性の認識に乖離が生じていたことが判明し、今後の重要な教訓となった。

このような事象に対して、BIMの活用範囲を指定する発注要件であるEIRの内容をより詳細にする必要があると考える。現在のEIRの項目は、「外観及び内観の提示」等、標準的な表現にとどまっていることに加え、受注者が活用範囲を提示するため、受注者だけでは把握することが難しい施設固有の用途や運用に応じた、柔軟な提案を引き出しにくい状況である。そこで、官庁施設整備のノウハウがある私たち発注者が、詳細に作成する箇所を施設の用途や規模ごとに定めたり、発注前の現地調査のタイミングで施設管理者にアンケートやヒアリングを行い、効果的な箇所を発注条件に定めたりすることで、受注者と入居官署間の認識の乖離を解消することができるのではないかと考える。また、今後の設計業務を受注する受注者は、技術力や施設に対するノウハウが一律ではないことも予想されるため、重要な検討事項を見逃さないためにも、発注者側がある程度のBIM活用範囲を指定し、効果的な活用範囲を揃えていくことで、これから普及していくだろう他のBIMを活用した営繕事業の一定以上の品質確保が可能になると考える。（図-9）

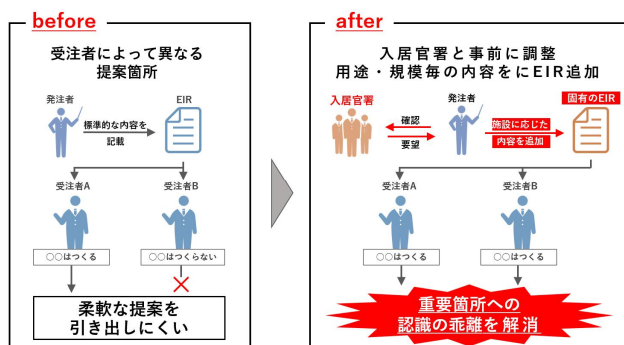


図-9 EIRを詳細指定した際の品質確保のフロー図

(2) 本業務を実施して感じたこと

本業務での取組みを実施、検証するにあたり、BIM活用範囲の決定、受注者がBIMモデル作成するタイミングや頻度の調整等が必要であることが理解でき、今後の営繕事業を行っていく上で大きな学びとなった。また、実

施した取組みとアンケートによる検証を履行期間の早い段階で行うことができたため、把握した効果や要望を設計に反映させることができた。（図-10）取組みを通じた結果として、微力ながら施設整備の質の向上に寄与することができたという経験は、私自身の大きなやりがいにもなった。



図-10 アンケートの結果を設計に反映
（上）当初計画（下）モデル作成検討後

(3) まとめ

本業務の検証では、BIMやVRを用いた合意形成が協議期間を短縮させると同時に、従来では見過ごされてきたであろう重要な検討事項を発見するツールであることもわかった。発注者、受注者、入居官署それぞれの視点から検討事項の認識を共有し、解決に向けて協議できたことは、施設整備の質の向上にもつながった。

また、組織内での間接的な合意形成の有用性が非常に高いこともわかった。間接的に設計内容が共有された方を含め、関係者全員で意見を出し合い、それらの合意形成を効果的に行えたことは、自分たちも一緒につくりあげたという施設整備及び運営への参画意識とこれから建てられる横浜法務総合庁舎への愛着にもつながったと考えられる。

私たち営繕部の職員が施設を整備するという業務を行う一方で、入居官署内でも施設完成に向けて、様々な業務を各部署で分担し、調整していることが推測される。大規模な施設整備を何度も経験しているわけではないであろう入居官署の担当者の方に、組織内で説明しやすい資料を提供していくことは、結果的に私たちが実施していく営繕事業の多くを占める「合意形成」と「調整」の効率化につながると考えられる。

解決しなければいけない課題は残されているが、BIMという手段が業務の枠を超えて重要な役割をもち、私たちの想像を超えた所で貢献しているという検証は、本考における最大の結果であったと考えている。

全国都市交通特性調査データを活用した アクティビティ・ベースド・シミュレータ (ABS) の開発と活用

小笠原 裕光¹・新階 寛恭¹・石井 良治²

¹国土技術政策総合研究所 都市研究部 都市施設研究室 (〒305-0802 茨城県つくば市立原1番地)

²一般財団法人計量計画研究所 (〒112-0004 東京都文京区後楽1丁目4番14号 後楽森ビル12階)

地方行政における持続可能な都市交通の計画にあたっては、全国各地地方都市圏の圏域単位で実施されるパーソントリップ (PT) 調査によるマルチモーダルな交通行動実態の把握が重要である一方で、調査実施コストや技術の難化から、実施都市は減少傾向にあった。

本研究では、国が定期的に実施する全国都市交通特性調査の結果を用いて、各都市圏の人々の個人属性と1日の詳細な活動・移動データを再現可能な、アクティビティ・ベースド・シミュレータ (ABS) を構築した。更に、ABSの特長を活かしたユースケース駆動開発により、施策実施の有無による将来シナリオ分析、非集計データならではの多面的な分析手法を整理した。

キーワード 非集計行動モデル, ABM, マイクロシミュレーション,
シナリオ・プランニング, 政策分析, ABP Challenge

1. はじめに

全国の各地方都市圏において圏域単位で実施される都市圏PT調査について、実施コストや技術が課題となり、実施都市が図-1のように減少傾向にある一方で、人口減少・高齢化に転じつつも社会の成熟、ポストコロナや技術進展等による活動・移動の多様化・複雑化とその把握が求められている。地方行政におけるEBPM (Evidence Based Policy Making) によるWell-beingで持続可能な都市交通プランニングにあたっては、都市内の一人一人の活動・移動を属性や目的、交通手段も含めて捉える都市圏PT調査の移動実態データは引き続き重要である。

そこで、本研究では、各地方都市圏における人々の個人属性と1日の詳細な活動・移動をトリップチェーンやパターンで再現可能な新たなシミュレーション技術として、全国都市交通特性調査 (全国PT調査) データを活用し、標準的なアクティビティ・ベースド・シミュレータ (ABS) を構築するとともに、ABSの特長を活かした活用技術をユースケース駆動開発により行った。これまで都市圏PT調査を実施できなかった都市や財政・技術的制約のある都市でも、現況再現や将来の活動の変化を推計するシミュレーションモデルにより、データを活用し、都市生活者のライフスタイルに寄り添った高度で効率的な都市交通計画が実現できる環境を構築する。

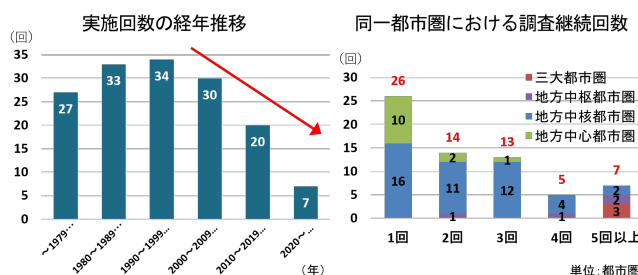


図-1 都市圏 PT 調査の実施回数の推移と継続状況

2. ABSの構築

全国PT調査は、国土交通省都市局が、大都市から地方都市までの全国都市 (2021年度調査は70都市) を対象に、都市交通の特性 (外出率、トリップ原単位、交通手段分担率等) を把握するため、1都市あたり500世帯回収を目標に概ね5年に1度実施している。特長として、同一年に全国横断的に比較できること、定期的であり時系列的に把握できること、人口数万程度の小規模な地方都市も含むことなどが挙げられるが、各都市圏あたりのサンプル数が少ない、OD量は調査していないといった面があるため、各都市圏単位の施策検討で扱える粒度にする

必要がある。

そこで、現実の都市の傾向のサンプルデータとなる全国PT調査データ（2021年度）からパラメータを推定し、各都市圏人口分の個人単位の活動・移動データを再現する確率モデルとしてABSを構築した。ABSは、大別して2つのモデルから成る。「個人データ生成モデル」と、「アクティビティ・ベースド・モデル（ABM）」である。ABSの全体像を図-2に示す。

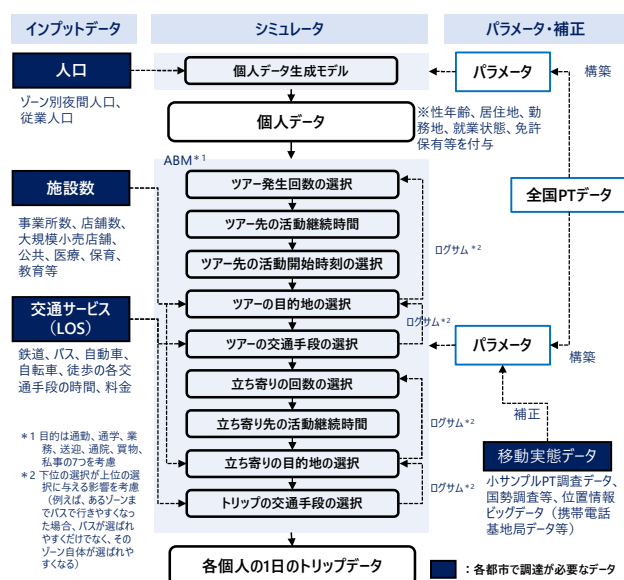


図-2 ABSの全体像

(1) 個人データ生成モデル

個人の属性情報である性年齢や居住地（ゾーン単位）、就業状況、勤務先・通学先、自動車運転免許の有無、世帯状況等について、後述するABMへのインプットデータとして必要であるが、直接調査により取得することは困難である。このため、国勢調査から母数データとして居住地、性年齢データを起点として入力することで、その他の様々な属性情報が擬似的に生成できる確率モデルを構築した。確率モデルには、少ないデータ数でも多くの属性の関係性を記述でき、解釈性も高く、安定した学習が可能であるベイジアンネットワークを用いた。構築されたネットワークは図-3の通りである。

なお、属性情報の内、通勤先・通学先については、従業員数等や学校数等のゾーン毎の特性を加味した多クラス選択でありベイジアンネットワークでの同時推定は困難であるため、別途、離散選択モデルの一つであり、人が複数のカテゴリから一つを選択する行為をモデル化した多項ロジットモデルを構築し推計した。

次に、夜間人口、従業員人口と整合的な拡大係数を算出する方法として、IPF（Iterative Proportional Fitting）法を採用した。IPF法は、非集計データを複数の断面に合うよう個別に重みづけを繰り返すことによって、複数断面と

整合した重みを得よう計算する方法である。さらに、重みに応じた個人のリサンプリングで係数調整を行い最終的なデータとした。

出力データは、内部検証（R3全国PT調査データとの比較）と外部検証（H29山形都市圏PT調査データとの比較）を行っており、結果、内部検証の実績と推計の乖離は僅かであり、外部検証においても実績を概ね再現でき、有用性が確認された。

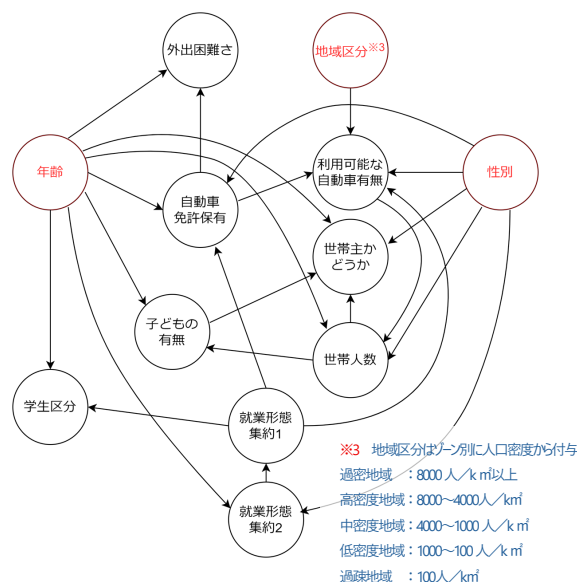


図-3 ベイジアンネットワークの構造推定結果

(2) アクティビティ・ベースド・モデル（ABM）

個人の1日の活動・移動を推計するにあたり、1日の全体のスケジュールを踏まえながら、各行動を決める個人の意思決定プロセスを、効用最大化理論に基づき、確率的意思決定モデルによりモデル化した。

今回はツアー型のABMを用い、まずツアーに関連するモデルよりツアー選択行動を推計し、次に、立ち寄りに関連する選択行動を推計するという順序で、個人の1日の活動・移動を生成する。

ツアーは、図-2に示した、発生回数選択、（各ツアーの）活動継続時間選択、活動開始時刻選択、目的地選択、交通手段選択という、5つのステップのサブモデルから構成される。まず、各個人は、一日あたりで何回のツアーが発生するかを決定する。その後、ツアー毎に目的地でどれくらいの時間活動を行うのか（継続活動時間選択）、何時から活動を開始するのか（活動開始時刻選択）を決定する。さらに、義務的活動（通勤及び通学）以外の目的に関しては、ツアー目的地を決定する。なお、通勤先及び通学先に関しては、個人データ生成モデルにおいて、予め各個人に付与しておくため、ツアー目的地選択は行わない。

最後に、自宅を出発してからツアー目的地に行き、再

び帰宅するまでの交通手段を選択する。この交通手段は、より優先順位の低い活動の意思決定や立ち寄りの意思決定をする際の移動制約（プリズム制約）を構成するために用いられる。

立ち寄り行動は、発生回数、活動継続時間、目的地の3つのステップで構成される。各ツアーの往路と復路それぞれで、何回立ち寄りが発生するのか（発生回数選択）、各立ち寄りの活動時間はどれくらいか（活動継続時間）、どこで活動するのか（目的地選択）に関する行動を推計する。

立ち寄り行動を推計することで、トリップ単位で移動を区切ることができ、最後に、各トリップにおける交通手段を決定する（トリップ交通手段選択）。なお、トリップ交通手段選択においては、当該ツアーで決められた交通手段によって利用可能な選択肢が制約される。

目的と意思決定の順番の関係について整理する。人の活動は、勤務等の「1.義務的な活動」、日用品買物等の生活を維持するために必要な「2.生活維持活動」、その他の時間的な制約の少ない「3.自由活動」の大きく3種類に分けられ、行動を意思決定する際には、義務的な活動から決定し、残りの活動可能な時間の中で、生活維持活動、自由活動の順番で意思決定を行うことを想定する。また、これらの意思決定過程を表現するため、意思決定の優先順位が低い活動では、その活動を規定する各サブモデルにおいて、明示的に残り活動可能時間を変数として加味すると共に、移動制約（プリズム制約）をモデル上で加味することとする。

具体的には、ABMにおいては7つの目的を加味することとし、義務的な活動、生活維持活動、自由活動との対応は以下のとおりである。

1. 義務的な活動：「通勤」、「通学」、「業務」
2. 生活維持活動：「送迎」、「通院」、「買物」
3. 自由活動：「私事」

目的も組み合わせた推計の順番は、例えば、就業者に関しては、まずは通勤目的のツアーから順番に意思決定をしていく。全てのツアーの推計が終わったら、残りの活動可能な時間の中で立ち寄りの推計を行うような推計フローとしている。このような推計フローとすることにより、例えば、通勤ツアーが発生した人は、一日の多くの時間が消費されるため、残りの活動可能時間が少なくなり、その後の買物ツアーや私事ツアー等が発生しづらくなるといった状況を表現することが可能となる。一方、通勤ツアーが発生しない場合には、残りの活動可能時間が増大するため、買物や私事等のツアーが発生しやすくなるような状況が表現できるようになっている。

サブモデルは、基本的には、取り扱いがし易く解釈性

も高い多項ロジットモデル（MNL）を基本的に用いた。ただし、活動の継続時間は生存時間モデルを採用し、交通手段選択は、都市特性や年齢、免許保有、交通サービスレベル等、説明変数が多くMNLでの表現が困難であったため、グルーピングした人々が自動車をよく用いる、公共交通をよく用いるなど特定の行動を取りやすくなる傾向を再現した潜在クラスモデルを設定した。各サブモデルの推定においては、性別や年齢等の説明要因をできるだけ多く考慮することによって、属性別の行動の違いや、交通サービスレベル（LOS）データ等への感度の違いを表現する。また、時間制約による活動の違いを表現するために、発生回数モデルや活動継続時間モデルの説明変数として“残り活動可能時間”を用いる。その他の主要な説明変数としては、施設数（事業所数や店舗数等）とLOSを導入している。施設数のデータとして、事業所数、店舗数、大規模小売店舗数、文化施設数、集客施設数、保育施設数、医療施設数、教育施設数をゾーン別に作成した。事業所数は経済センサスの500mメッシュデータを面積按分によりゾーンに集約し作成した。店舗数は商業統計の500mメッシュデータを面積按分によりゾーンに集約し作成した。大規模小売店舗数に関しては、大型小売店舗総覧よりデータを作成し、ゾーン毎に集計した。文化施設数、集客施設数、保育施設数、医療施設数、教育施設数に関しては、国土数値情報データを利用した。

LOSデータとして、鉄道、バス、自動車、自転車、徒歩の各交通手段のゾーン間の所要時間や運賃等を整備した。鉄道及び自動車に関しては、国土交通省が提供する総合交通分析システム（NITAS）より算出した。バスの乗車時間や待ち時間に関しては、ゾーンの代表地点間のバス経路検索結果を株式会社ナビタイム・ジャパンより購入し作成した。自転車及び徒歩に関しては、デジタル道路地図（DRM）の全道路データを用いて、ゾーンの代表地点間の最短経路を算出し、距離を速度換算（自転車：時速9.6km、徒歩：時速4.8km）し、所要時間等のLOSを算出した。

なお、ABMは全国の地方都市での活用を目指していることから、モデルの都市間移転性を確保することが重要であるため、モデル性能の検証としては、外部データとの比較検証のほか、機械学習等の領域で用いられており、近年都市交通の分野でも用いられている交差検証（クロスバリデーション）の考え方を採用した。

各サブモデル内容と考慮した説明変数の一覧、検証結果等の詳細は技術検証レポート³⁾にまとめ公開している。

(3) データ補正技術の適用

シミュレーション結果であるトリップデータと移動実態データから得られる各種集計値に合わせるように、シ

シミュレーションのパラメータを補正する「データ同化」を行うことで、移動実態データの集計値と整合が取れたトリップデータが得られるようにする。

第一段階としてシミュレーション結果であるトリップデータを、移動実態データの集計値を用いてIPF法で補正、さらに第二段階として、その結果を用いてパラメータの補正する方法を取る。このような手法を採用することで、各サブモデルの選択行動の集計値が直接得られない場合でも、トリップデータで集計可能な移動実態が得られればパラメータ補正が可能になるため、都市圏のデータの整備状況や課題に応じて補正断面を柔軟に変更することが可能となる。

具体的には、第一段階では、トリップデータを所与として、個人ごとに拡大係数を持たせる。そして、集計した際に移動実態データと整合するような拡大係数を、IPF法で算出する。第二段階では、トリップデータと、IPF法で算出された拡大係数を用いて、各サブモデルで表現している選択行動の拡大前の集計値と拡大後の集計値の比率から定数補正項を算出する。ただし、全てのモデルの定数項を更新すると、煩雑かつ収束に時間がかかる可能性があるため、「ツアー発生回数」、「ツアー目的地」、「ツアー交通手段」、「立ち寄り発生回数」の定数補正項の算出を行った。また、ベイズ更新等により定数項以外のパラメータを更新する方法も考えられるが、今回は簡易化のため定数項のみを補正する方法を採用している。

このようにして算出された定数補正項を用いてパラメータを更新し、再度シミュレーションを実施、結果が収束するまでこれを繰り返す。収束判定条件には、実績集計値の各断面について、実績集計値と推計集計値を用いてカルバック・ライブラー（KL）情報量を算出して、全ての断面においてKL情報量の変化率が1%未満になった場合を収束とする。

トリップの発生状況、目的別の到着地分布および交通手段利用の補正を行うためには、例えば表-1に示すデータの活用が考えられる。

属性別のトリップの発生数や目的、トリップチェーンのパターン等については、ビッグデータでの把握は難し

表-1 想定される補正データの例

想定データ	項目	補正内容の例
国勢調査等	人口	・ 性年齢別の夜間人口 ・ 従業人口
小サンプルPT	トリップパターン	・ 属性別のトリップの発生数 ・ 目的やトリップチェーンのパターン
	目的地	・ 地域毎の目的別集計値
	交通手段	・ 地域全体 or 地域毎の交通手段分担率
携帯電話基地局・GPSデータ	滞留人口	・ より解像度の高い地域での滞留人口 (目的地別の集計値が理想的)
交通系ICカード等	公共交通利用者数	・ 主要駅やゾーン単位の公共交通利用者数

く、PT調査による把握が必要である。一方、PT調査で詳細な空間解像度の集計値を得るには大規模標本数が必要になるため、携帯電話基地局データやGPSデータ等の位置情報ビッグデータの活用が考えられる。その際、ODデータを活用する方法も考えられるが、位置情報ビッグデータでは時間を条件に移動滞在を判定しているケースが多く、目的ベースでトリップを区切っているPTデータとは不整合が生じる場合がある。そのため、本検討では両者の整合が図りやすい滞留人口を断面として採用している。

(4) 現況再現性の検証

現況データ生成に関して、ABSをそのまま適用した場合と、地域の移動実態データで補正した場合の都市圏PT調査データと比較し、補正無しの状態でのシミュレータの性能検証を行うと共に、補正方法の妥当性の検証も行った。検証結果として得られた内容を示す（図-4）。

外出率や目的別トリップ数、交通手段分担率等の都市圏全体の移動特性は、補正前であっても都市圏PT調査データの傾向を一定程度捉えられていることが確認できた。特に、外出率に関しては、属性別の外出率の違い等の基礎的な傾向等は捉えられていることが確認できた。さらに、小サンプルを想定したPTデータ等に合わせて補正することにより、都市の移動特性・トリップ数の実態に近づけることが可能であることが確認できた。

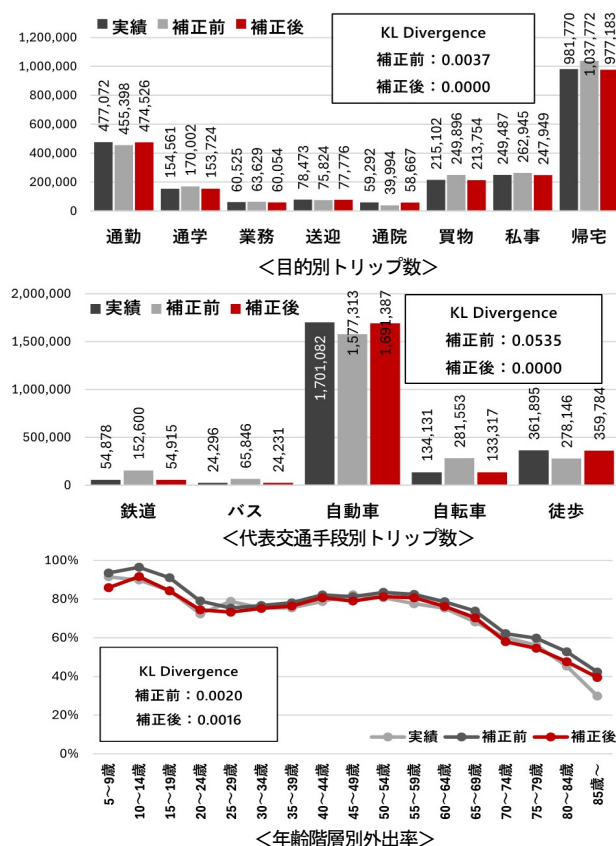


図-4 補正結果（西遠都市圏）

(5) シミュレーションプログラム

今回構築したABSについて、推計したい都市圏における人口データ、施設数データ、交通サービス（LOS：Level of Service）データを準備しインプットとして実行すれば、個人単位の1日の活動・移動データ（PT調査のトリップデータに類似した形式）を出力することが可能なプログラム（exeファイル）を用意した。このシミュレーションプログラムは、2024年10月より、プロトタイプ版ABSとして希望者に貸し出しを開始しており、民間コンサルタントや大学研究機関、地方公共団体等の関心主体に提供している。

プログラムの計算時間は、例えば、CPU2.50GHz、コア数8、スレッド数16、メモリ32GBのパソコン環境を用いて、個人数が約36万人の山形都市圏において約15分を要し、短時間で取り扱うことが可能である。

3. ユースケースの開発

(1) ABSの特長

都市圏PT調査等により、詳細な空間解像度で精度担保したデータを取得するにはコストがかかることや、近年活用が進んでいる人流ビッグデータは限定的な属性情報や目的等の付与に留まっていることをふまえると、ABSを用いることで効率的に現況データ生成が可能となる。また、交通行動分析において将来の都市交通状況を予測・把握するため、従来から四段階推定法等の集計的

な手法が用いられてきたが、ABSは、非集計データとして人々の個人属性と1日の詳細な活動・移動データを再現可能であり、より多面的な視点からの交通行動分析が可能になる。モデルで用いるデータやパラメータを変化させることで、公共交通サービス改善や都市機能や居住の誘導等の個別施策の実施の有無といった複数シナリオによる人々の流動の将来変化データの推計が可能となる。

(2) ケーススタディ

ABSの特長を活かしたデータ分析手法について、山形都市圏と西遠都市圏を対象にユースケース開発を行った。

a) 都市構造の将来シナリオ予測

山形都市圏については、将来シナリオ分析に関しては、20年後の都市構造の変化と公共交通の変化の2パターンで検討した。都市構造シナリオ分析では、趨勢と、現在の課題が進展した場合と、コンパクト・プラス・ネットワーク等の都市交通施策を行った場合について、それぞれ人々の流動の変化を分析した。公共交通シナリオ分析では、バス等の幹線交通のサービスレベル向上と、デマンド交通等の地域交通の導入といった施策の対象エリア、内容の違いによる効果の変化を、人々の居住場所や先行、目的や利用者属性といった多面的な切り口で分析した。

西遠都市圏については、浜松市の総合計画や都市計画マスタープラン、都市交通マスタープラン、立地適正化計画、地域公共交通計画等を参考に、施策実施のシナリオを整理し、図-5の通り、都市交通施策に関する取り組みを行わず現在の課題が進展した場合の趨勢シナリオに加え、都市構造シナリオについて2パターンの検討を行

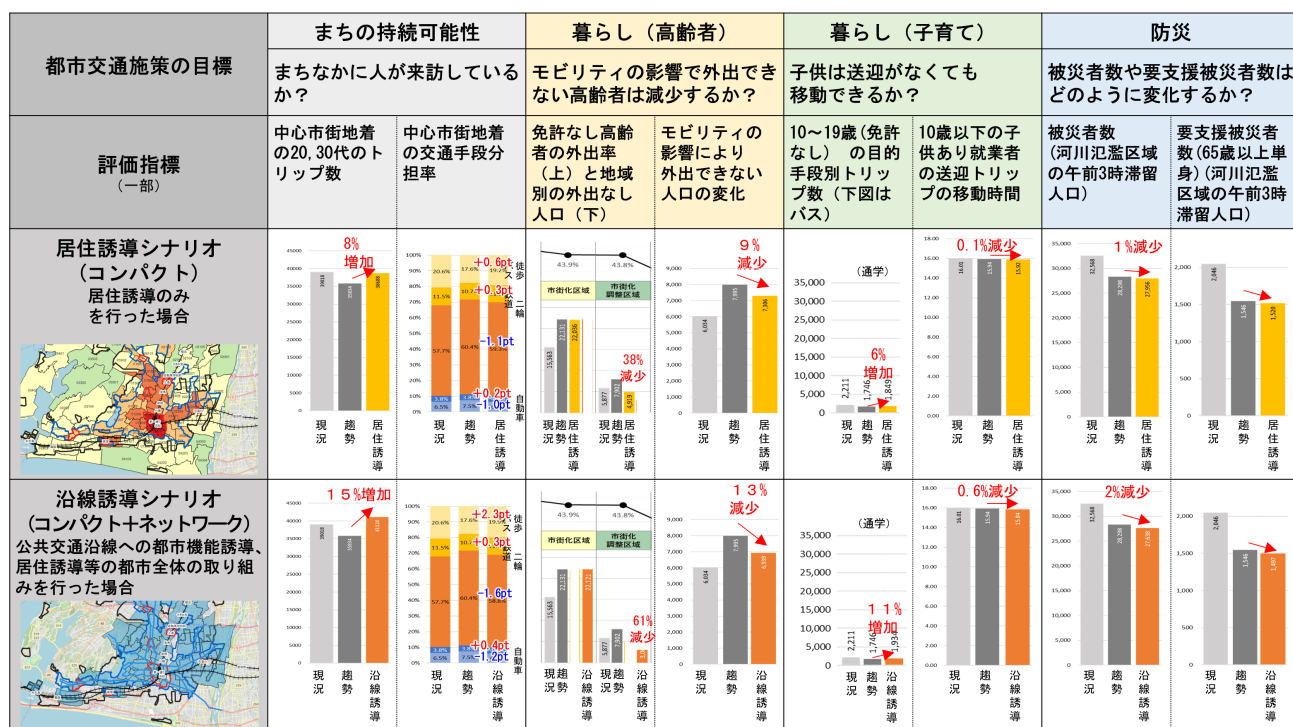


図-5 都市構造の将来シナリオと多面的な指標による分析結果（西遠都市圏）

将来シナリオの条件設定等の詳細内容や、分析結果に関して各都市圏の自治体担当職員から得たコメントについては、都市施設研究室HPで公開している。

山形都市圏のシナリオ分析では、まちの持続可能性（中心市街地へのトリップ数の維持等）、暮らしの変化（高齢者の外出率の改善）等、多様な観点で評価した。

ほか、全国の既往文献調査等から、ABSを通じて分析可能な都市交通、Well-being（高齢者・健康、子育て、多様性等）、防災、環境（CO₂排出量等）、経済（産業、観光）、インフラ維持管理の分析の着眼点と評価指標例の一覧を検討、整理し、後述のABP Challenge²⁾の巻末に補足資料として公開した。

本技術の社会実装に向け、2025年4月に官民共創プロジェクト「ABP Challenge」²⁾を立ち上げた。

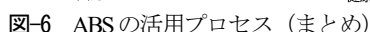
公表資料では4つの重点アクションを掲げ、中でも重点アクションⅢとして、産学官の関心主体への認知や技術情報、交流機会の提供を行い、コミュニティの形成を図るため、2025年11月より「ABPサロン」を企画し、随時継続的に開催し（第1回と第2回の参加申込者合計100名超）、シミュレータプログラムの動作方法や、地方都市圏における実務を想定した分析方法を学ぶことが可能な交流・体験の場となっている。

本研究では、全国都市交通特性調査の結果を用いて、バイジャンネットワークや非集計行動モデル等により、全国の各地方都市圏の人々の個人属性と1日の詳細な活動・移動データを再現可能な、アクティビティ・ベースド・シミュレータ（ABS）を構築した。地域のビッグデータ等を加えることで、地域特性を加味した内容に補正するための方法についても整理した。更に、ABSの特長を活かしたユースケース駆動開発により、施策実施の有無による将来シナリオ分析、非集計データならではの多面的な分析手法を整理した。都市圏における広域道路網や都市機能配置、公共交通等の課題や政策、施策の方向性を検討する際の有用な材料となると考えられる。図-6の通り、活用プロセスの全体像をまとめて示す。

今後は、ABP Challengeに掲げた4つの重点アクションのもと、2025年度全国PT調査結果の最新データを反映したABSへの改良，研究室問い合わせフォームやABPサロン等を通じた活用ニーズの拾い上げとこれをふまえたモデルの改善を進める。また、ABSと、土地利用や居住意向の変化を再現可能な立地シミュレータ，自動車や公共交通等の経路における速度や混雑状況等を路線単位で検討可能な交通シミュレータ，歩行回遊シミュレータといった，他の様々なシミュレータと検討目的に応じて連携することで，実務における活用場面が大幅に広がると思われるため，連携技術についても研究を進めたい。

2026年度以降に予定しているABSのOSS公開時には、産学官のコミュニティやプラットフォームが形成され、エコシステムによる継続・発展の体制が整っている状態を目指す。

- 1) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 都市施設研究室：全国都市交通特性調査データを活用したアクティビティ・ペースド・シミュレータ 技術検証レポート，2024。
- 2) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 都市施設研究室：『ABP Challenge』－新たな交通行動分析手法を活用した都市交通プランニングの実現戦略－，2025。



歴まち都市への誘客に向けた観光連携事業 ～歴史と観光をつなぐ2つの要素～

深谷 有沙

中部地方整備局 建政部 計画管理課 (〒460-8514 愛知県名古屋市中区三の丸2-5-1)

歴史まちづくり行政では、歴史的建造物やまちなみなどの歴史的風致を守り、後世に受け継ぐために、様々な取り組みを行っているが、認知度の低さや経済的負担など、いくつかの課題を抱えているのが現状である。

中部地方整備局では、それらの解決の一助として、歴まち都市の周遊を促進するべく、観光連携事業に取り組んでいる。2024年度は「担当イチ推し！歴まちフォトスポット」と題し、Webページを作成した。歴史的資源を活用した取り組みを観光に結びつけるため、どのように事業を行ったのか、そのポイントとともに報告する。

キーワード 歴史まちづくり，観光連携，「担当イチ推し！歴まちフォトスポット」，周遊

1. 歴史まちづくりとは

城跡、神社、仏閣などの歴史ある建物の周辺には、昔の風情を残す城下町や伝統的な行事、習慣、その土地ならではの工芸品や料理などが、今なお人々の生活の中に息づいている。歴史まちづくり（以下、歴まち）とは、こうした歴史や伝統が残る環境をまるごと守り、次の世代へとつなげていくため、2008年に施行された「地域における歴史的風致の維持及び向上に関する法律（歴史まちづくり法）」に基づき、「歴史的風致維持向上計画」を策定し、国の認定を受けた自治体（以下、歴まち都市）が行う取り組みのことである。国の認定とは、文部科学大臣、農林水産大臣、国土交通大臣の認定を指し、認定を受けると、国から補助金等の支援や、法律上の特例措置が受けられる。また、各地方整備局では、管内の歴まち都市を支援する取り組みを行っている。

全国には、2025年3月21日時点で98の歴まち都市がある。その中で、中部地方整備局管内には18都市があり、約20%を占めている。全国で初めて認定を受けた都市の一つである岐阜県高山市は、上記時点で全国唯一の3期計画認定都市である。また、2024年3月に株式会社ナビタイムジャパンより発表された¹⁾訪日外国人滞在数増加率ランキングでは、愛知県犬山市の外国人観光客数が、昨年に比べて約4倍の増加数となり、全国1位となるなど、中部地方には注目度の高い歴まち都市が集積している。

2. 歴史まちづくりが抱える課題

歴史まちづくり法施行から17年が経過し、様々な事業が行われている中で、歴まち都市における古民家の空き家の増加や、地震や火災等の災害対策の必要性の高まりなど、いくつかの課題を抱えているが、本研究では、二つの課題を取り上げる。

(1) 認知度の低さ

中部地方には、歴史的建造物や伝統的なまちなみが数多く存在する。しかし、広く一般に知られているものは限られており、身近に暮らしている人でも、実は歴史的価値の高いものだとは知らずに生活している人も多いだろう。こうした認知度の低さは、歴史的建造物の保存、継承を難しくしてしまう。

例えば、建造物の歴史的価値を構成する重要な要素の一つに、地域独自の建築様式やデザインが挙げられることがある。しかし、それらの価値が知られていなければ、維持の負担等から、建造物自体が店舗等に建て替えられたり、除却されてしまうことがある。さらに、保存に向けて改修される場合でも、その歴史的価値が正しく理解されず、コストや利便性が優先されてしまい、その地域にそぐわないデザインに変えられてしまうことがある。これでは、建造物自体は保存されたとしても、本来の歴史的価値は損なわれ、歴史的なまちなみの滅失につながってしまう。建造物の歴史的価値を正確に把握し、理解することは、歴史的建造物の保全につなげることができ

ると考える。

実際に、2024年度に国土交通省 都市局 公園緑地・景観課が行った²⁾「古都保存・歴史まちづくりの推進に関する検討調査業務」（以下、歴史まち検討調査）では、自治体から「歴史的建造物に対する個人の理解不足で除却されてしまうことがある」という課題が挙がるなど、認知度の低さは、実際に歴史的建造物や歴史的なまちなみの滅失に影響している。

また、形のない伝統的な風習や祭礼は、ことさらにその危険性にさらされてしまう。少子高齢化が急速に進んでいる多くの地域では、すでに後世への継承が問題となっている。³⁾静岡県掛川市の横須賀城下にて開催されている「ちいねり」という祭では、各町の中学生以下の子どもたちが中心となり、準備、運営を行っている。しかし、少子化により、すでに町の子どもたちだけでは人手が足りず、外部から助っ人を呼び、準備を行っている状態である。少子高齢化だけでなく、若者の都市部への流出も深刻であり、認知度の向上を図らなければ、将来の担い手不足により歴史ある伝統文化が失われる可能性が非常に高い、切迫した状況であることがわかる。

(2) 経済的負担

先述のとおり、歴史的価値のあるものでも、その知名度には大きな差がある。これにより生じるのが、経済的負担に起因する問題である。

文化財の保存には、修繕費や管理委託費など、多額のコストがかかる。歴史的建造物などを観光資源とし、すでに観光地として発展している自治体であれば、観光によって得られた利益を、文化財の保全、修復、活用にかかる費用に充てることができる。それに対して、歴史的価値が認知されておらず、観光客もさほど訪れないような文化財を擁する管理者にとって、この文化財を維持することの経済的負担は大きく、文化財の保全、修繕が進まない一つの要因になりうる。

実際に、歴史まち検討調査においても、多くの市町が金銭的負担により歴史的建造物が滅失している現状を課題として挙げており、「改修・維持管理に際して所有者の金銭的負担が大きい」と回答した自治体は、100市町中44市町と、約半数が課題と認識している。所有者に保存の意思はあれど、その金銭的負担に耐えきれず、やむを得ない事情により建造物が除却されるなど、経済的な課題さえ解決できれば、守ることのできた建造物が失われてしまうというケースもある。

また、行政の財源不足も、歴史的建造物の修繕に大きく影響している。歴史まち検討調査において、建造物の保全に要する費用が高額である上、それに伴う効果が見込めないため、事業が停滞していると回答する自治体もある。行政側の財政状況も歴史的なまちなみの維持に大きな影響を及ぼす中で、十分に建造物の修繕がされていない建造物では、ますます老朽化が進行する結果となる。

3. 課題に対するアプローチ

以上の課題を解決する一助として重要なのは、人々に、ただ歴史まち都市を訪れてもらうだけではなく、複数の歴史まち都市を周遊してもらうことである。

特定の歴史まち都市への観光を予定している人が、「歴史まち」という共通項を通じて、他の認定都市に関心を持ち、「周辺の歴史まち都市へも行ってみよう」と周遊してもらうことで、その歴史的資源に触れ、今まででは知り得なかった歴史的価値を知ることが、何より認知度の向上につながると考える。

また、それぞれの市町を周遊しながら観光してもらうことで、有料施設への入場や飲食店の利用などを通して、各市町に経済的効果をもたらすことができる。これは、建造物の修繕に必要な費用の一部となったり、保全により見込まれる効果を押し上げたりするなど、経済的負担の軽減にもつながると考える。

すでに観光地として賑わう歴史まち都市に対して、歴史的資源が知られていないことや、来訪者を受け入れる体制が整っていないこと等が理由で来訪者が少ない歴史まち都市にとっては、2. で示した課題は喫緊の問題である。しかし、地方の歴史まち都市が単独でPR等の取り組みを行っても、その効果は小さい場合が多いと考えられる。

そこで、中部地方の歴史まち都市の歴史的価値を統括的にアピールし、周遊を促すため、中部地方整備局が中心となり、観光連携事業を実施している。

(1) 観光連携事業の概要

中部管内の歴史まち認定都市で構成される「中部歴史まち協議会」では、2013年に「中部歴史まちづくりに関する合意書」を締結した。「それぞれの地域における観光交流の推進を図るため、相互に連携・協力」し、「①観光交流に関する情報の提供及び観光宣伝活動の実施」や「②観光交流に関する行事等の実施」に取り組むという合意に基づき、2014年から観光連携事業と題して、歴史的資源を観光へ活用する取り組みを行っている。2017年には、観光連携事業の一環として、全国で初めて「歴史まちカード」（図-1）を発行。各歴史まち都市の写真と情報を1枚に集約したカードは、各歴史まち都市に行かなければ手に入らないということもあり、コレクターに人気の



図-1 歴史まちカード（左：岡崎市、右：明和町）

カードとなった。中部から始まった歴まちカードは、現在では、全国で同様の取り組みが行われている。

その他、スタンプラリーや、フォトコンテストなど、各歴まち都市への周遊を促進するような様々な事業を実施してきた。

(2) 「担当イチ推し！歴まちフォトスポット」の概要

様々な旅行会社から写真撮影をテーマとしたツアーが販売されるなど、旅先での写真撮影の需要が高いことに注目し、2024年度は写真に焦点をあてた事業を企画した。「担当イチ推し！歴まちフォトスポット」と題し、各歴まち都市の重点区域内を撮影して画になるスポットの写真を、各都市の個別ページにまとめ、Webページとして公開した。(図-2)「担当」とは、各歴まち都市の担当者、つまり自治体職員を指し、各都市を知り尽くした担当者だからこそ知っている、魅力ある写真を募集した。



図-2 「担当イチ推し！歴まちフォトスポット」トップページ。掲載している地図や写真のうち、好みのものをタップすると、各都市の個別ページ(図-3)にリンクする。

4. 課題解決のためのポイント

「担当イチ推し！歴まちフォトスポット」を実施するにあたり、歴史的資源を、より効果的に観光に結びつけるために、以下の二つのポイントを軸に事業をおこなった。

(1) 周遊の動機付け

歴まち都市を周遊してもらうには、各都市を訪れてみたいと思わせる最初の動機付けが必要不可欠である。しかし、ただフォトスポットを紹介するだけでは、他のSNS等との差別化が図れず、それによる動機も弱いものであると考える。

そこで、各都市の担当に、写真を提供してもらうだけでなく、そのスポットでの撮影について、おすすめの季節や時間帯、撮影方法などに加え、実際に訪れて撮影をする際に必要な位置情報も提供してもらった。これにより、写真撮影に慣れていない人や、土地勘がない人でも、見栄えの良い写真を撮影することができる。このように、視覚情報だけでなく、文字情報としても、その都市を知り尽くした担当だからこそ知り得る情報や、説得力のある文章を記載することで、実際にその場所へ行き、写真を撮ってみたいという動機につながるよう工夫した。(図-3)



図-3 高山市の個別ページ。撮影におすすめの時間帯やポイント等も掲載している。

(2) 周遊を促す工夫

各都市を周遊する動機は重要であるが、動機付けを行うだけでは不十分であると考え。別の都市に行こうとする際に、面倒だと感じられてしまうと、「いつか訪れたい」という願望に終始してしまい、実際に周遊してもらえないからである。よって、周遊の準備に要するタイムパフォーマンスを高めることも、重要なポイントである。

a) 効率的な情報収集のためにできること

一般的に行動の妨げとなる主な要因として、コストや時間などが挙げられるが、本事業においてできることは、情報収集にかかる手間や時間的コストの削減であると考えた。関心を持った写真の場所へ訪れたいと思った際に、その場所の位置や、行くためにかかる時間、その経路については、誰もが知りたいと思うだろう。しかし、複数の都市にあるフォトスポットを巡るとなると、各市町のホームページや、観光情報サイト等を閲覧し、個別に情報を得る必要がある。これでは、情報収集に手間と時間がかかり、周遊へ結びつけることは難しいと考えられる。

そこで、情報提供に関して工夫を行った。

b) 具体的な取り組み内容

必要な情報の提供として、各スポットの位置や各スポットを巡る際の行程を簡単に閲覧、検索できるように、Googleマイマップを活用した。

Googleマイマップとは、Googleが提供する地図サービスのことであり、Googleマップとは異なり、自身のニーズに合わせて地点を追加したり、アイコンを設定したりすることで、自分だけの地図を作成することができる。これを活用し、各写真を撮影した正確なフォトスポットの位置を地点として追加し、独自のマイマップを作成した。(図4)

これを、図3の個別ページ下部に配置して、ユーザーがスムーズに検索できるようにした。



図4 高山市のマイマップ。Googleマップに通常表示される施設と同様に、フォトスポットがアイコンにより表示されている。

c) マイマップによる解決方法

マイマップによる情報提供は、以下の三つの点において、効率的な情報収集に有効であると考え。

まず一つ目は、各フォトスポットの正確な位置を地図上で確認できることである。Webページ上で、一つずつのフォトスポットを眺めるだけでは、複数のフォトスポット間の具体的な距離や、周囲に何があるのかがわからないが、地図上で確認できることで、複数のスポットを巡る際の効率的な順番を考えることや、スポット周辺にある施設や店舗についても、すぐに確認することができる。これは、周遊のハードルの緩和に、非常に有効であると考え。

地図上で確認できるようにするため、各都市には、写真や掲載文章のほかに、撮影場所の地図上での正確な位置も提供いただいた。例えば、岐阜公園のような敷地の広い公園内にフォトスポットがある場合、地図アプリ等で検索しても、被写体である岐阜公園三重塔の位置のみが表示され、実際にどこから撮影されたのかわからない。そこで、マイマップに公園内の撮影位置をピンポイントで表示(図5)することにより、どこから撮影すれば良いのかが分かる。また、各フォトスポットに、都市別に番号を割り振り、Webページの番号とマイマップ上の番号を対応させたため、誰でもすぐに、どこにどのスポットがあるのかがわかる。

二つ目は、必要な情報を得るための時間的コストが低いという点である。マイマップでアイコンをクリックすると、フォトスポットの詳細画面が表示される。(図6)そして、経路検索のアイコンをクリックするだけで、Googleマップが開き、そのフォトスポットまでの現在地からの経路を検索することができる。(図7)これにより、Webページに記載の撮影場所の住所を検索欄に入力するなどの手間を省くことができ、フォトスポットへの経路や、交通手段、所要時間が瞬時にわかるため、周遊のハードルの緩和につながると考える。



図5 岐阜市のマイマップ。撮影場所の岐阜公園は広大であるが、マイマップを用いることで、詳細な位置を表示できる。

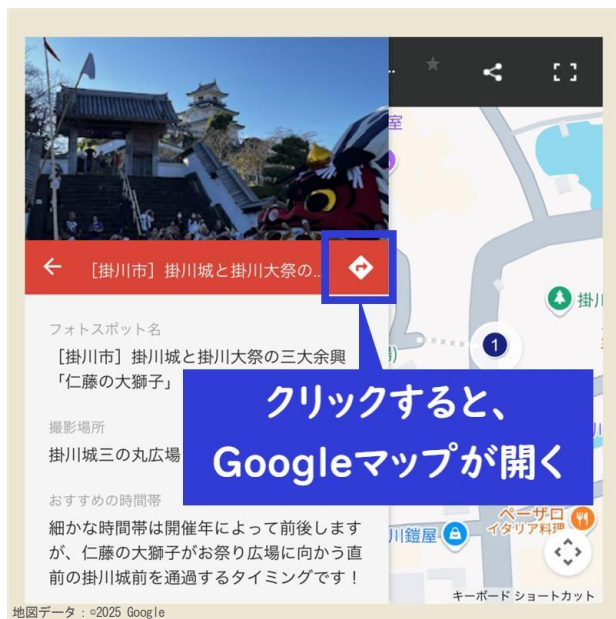


図-6 マイマップ上でのフォトスポットの詳細画面。各フォトスポットのアイコンをタップすると、マイマップ上でもWebページと同様の情報を確認することができる。



図-8 掛川市のマイマップ。歴まちロゴをアイコンに用いて、歴まちカードの配布場所を表示している。



図-7 フォトスポットへの経路検索の画面。Googleマップが開くと、自動的に現在地からの経路が検索される。出発時間を指定して検索することもできる。

三つ目は、他の事業でも有効活用できることである。図-4から図-7にあるように、マイマップには、フォトスポットの位置だけでなく、各市町の歴まちカードの配布場所も、歴まちのロゴマークを用いて地図上に表示している。(図-8) また、カードの配布時間や配布施設の定休日等、歴まちカードの収集に必要な情報についても記載したことで、歴まちカードを収集する際にも役立てることができる。コレクターの多い歴まちカードの情報も載せることで、カード収集とフォトスポット巡りの相乗効果が生まれることを期待している。

また、マイマップは、簡単な操作で編集することができるため、今後取り組む事業にも活用できる余白があり、将来的に、このマップ一つで複数の観光連携事業を楽しめるように更新することも可能である。

5. 今後の展望および期待する効果

(1) 展望 — フォトスポットの更新・追加

2025年度も継続して、各都市へ写真および掲載文章の提供を依頼している。季節ごとに開催される祭礼行事の様子を収められるスポットや、花や紅葉と歴史的なまちなみを撮影できるスポットなど、四季折々の風景を収め、何度も歴まち都市へ訪れたいくなるようなページを作成していく。

また、掲載している情報には、掲載時に時期未定のものや、情報が古いものもあるため、定期的に情報の見直しを行って、常に新しい情報が得られるようにする。

さらに、観光連携事業の一環として運営している「中部歴まちInstagram」と連携した企画として、フォトコンテストの実施など、他の事業とも複合させながら活用していく。

(2) 歴まち都市を周遊する観光客の増加

この「担当イチ推し！歴まちフォトスポット」の目標は、歴まち都市への旅行等を計画してもらうことはもちろん、すでに一つの歴まち都市へ訪れる計画をしていた人が、訪れる予定になかった都市にも興味を持ち、複数都市を周遊するようになることである。その結果、歴まち都市における賑わいの創出や、関係人口の増加につながり、歴史的資源が多くの人に認知され、ひいては歴史的風致の維持向上につながることを期待している。

(3) 歴まち行政の認知度向上

この事業の主な目的は、歴まち都市への周遊の促進であるが、歴まち行政全体の認知度の向上も重要であると考えている。

歴史的側面からの自治体への支援を、国土交通省の地方支分部局で行っていることを知る人は、非常に少ないと感じる。今後も様々な取り組みを行っていく中で、その取り組みの効果が十分に発揮されるために、まずは国や自治体が一丸となって、歴史や伝統が残る環境を守ろうとしていることと、自治体への支援の存在を、より多くの人に知ってもらう必要があると考える。歴史的なま

ちなみの維持には、地域の協力が不可欠だからである。

その中で、歴まちカードの発行により、全国のコレクターに歴まちが広がったことや、フォトコンテストにより、SNSユーザーに歴まちを知ってもらったことなど、観光連携事業は、歴まち行政の認知度向上に大きく貢献できると考える。国の支援の取り組みを、より親しみやすいものにする事で、その取り組みを通じて、地域が歴まち行政に関心を持ち、歴史的風致を身近に感じてもらい、ひいては地域における歴史的風致の維持向上につながることを望んでいる。

自治体と協力しながら、観光と連携した取り組みが、その一助となることを期待する。

謝辞：本論文の作成にあたり、多くの方々にご支援いただきました。ご多忙の中、快く事業にご協力いただいた、中部地方整備局管内の歴まち認定都市の皆様には感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 株式会社ナビタイムジャパン：「訪日外国人旅行者が訪れる冬の人気急上昇エリアを分析 ～増加率ランキング 1位は愛知県犬山市。スキー、カニ、温泉など冬季ならではの体験に興味～」
- 2) 国土交通省：令和6年度「古都保存・歴史まちづくりの推進に関する検討調査業務」
- 3) 静岡県掛川市：「掛川市歴史的風致維持向上計画」

縦型密閉発酵槽を用いた下水汚泥の肥料化、エネルギー化技術実証と導入効果検討

青葉 隆仁¹・重村 浩之¹

¹国土技術政策総合研究所 上下水道研究部 下水処理研究室（〒305-0804 茨城県つくば市旭1）

本研究では、下水汚泥の肥料としての利用を拡大させることを目的として、畜糞堆肥化で多数実績のある縦型密閉発酵槽を下水汚泥に適用し、発酵槽の性能、肥料・エネルギーとしての下水汚泥の利用可能性等について、実規模施設を導入した実証を行った。また、温室効果ガスおよびライフサイクルコストの観点で、従来のコンポスト化技術との比較による実証施設の導入効果の検討を行った。その結果、得られた下水汚泥は、肥料およびエネルギーとして利用することが可能であった。また、従来のコンポスト化技術と比較すると、温室効果ガス排出量は約1,330[t-CO₂/年]、ライフサイクルコストは約16%削減されることが示された。

キーワード 肥料，エネルギー，縦型密閉発酵槽，温室効果ガス，ライフサイクルコスト

1. はじめに

日本では、化学肥料の原料である尿素，りん安（りん酸アンモニウム），塩化加里（塩化カリウム）について、国内で使用される量の多くを輸入に依存している。特にりん安は全輸入量の約73%を中国から輸入しており、資源の偏在が見られる¹⁾。また、日本の化学肥料の製造コストのうち約6割は原材料費が占めており、化学肥料コストは輸入通関価格の変動に大きく左右される。加えて、中国による肥料原料の輸出検査の厳格化などに伴い、肥料原料の価格が高騰している¹⁾。

このような社会情勢を受け、令和4年12月に改訂された「食料安全保障強化政策大綱（食料安定供給・農林水産業基盤強化本部）」では、2030年までに家畜排泄物由来堆肥・下水汚泥資源の肥料としての使用量を倍増し、肥料の使用量（リンベース）に占める国内資源の利用割合

を40%まで拡大することを目標に掲げた²⁾。ここで下水汚泥に着目すると、図-1に示すとおり、年間約232万[t-DS]発生し、そのマテリアルとしてのリサイクル率は約78%である³⁾。一方で、約半分がセメント等の建設資材として利用がなされており、肥料としての利用率は約15%にとどまっている³⁾。下水汚泥には有機分、リン等の微量元素が含まれ、バイオマスとしての特性を活かして肥料利用することは有意義であることから、下水汚泥の更なる肥料としての利用を拡大させる必要がある。

国土交通省では、消化汚泥および脱水ろ液からのリン回収を行い、下水汚泥由来の肥料を利用するための下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）により複数の実証研究を実施してきた。一方で、リン回収施設の建設にかかる設備投資、薬品注入に伴う維持管理費の増大に課題があり⁴⁾、導入にあたり、特に中小規模の下水処理場ではコスト面から採算が取れていないという課題があった。そこで、乾燥／炭化による肥料化技術の実証も行われてきたが、依然として設備のスケールメリットが働かず、外部熱源を必要とする課題があった。また、生成物は消防法上の指定可燃物に該当することから、生成物の輸送や貯留時に消防法に準じた対策が必要となり、受入先が制約されていた。このように、様々な肥料化技術の実証が進められているが、受入先の安定確保も含め、低コストかつ省エネルギーで下水汚泥肥料の利用促進を達成した事例は少ない。

中小規模の下水処理場では従来、発生汚泥は処分されるか、コンポストによる緑農地利用が行われていた。汚

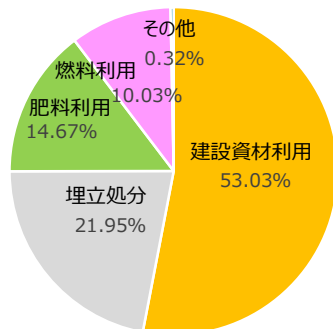


図-1 下水汚泥の有効利用方法¹⁾
※令和5年度実績，1)より国総研作成

そこで、上記の課題に対応し、下水汚泥肥料利用の更なる促進を目的として、密閉型の発酵槽を下水汚泥に適用し、生成物を肥料かつエネルギー源として利用可能な技術の実証研究を行った。具体的には、実下水処理場に実規模施設を建設し、発酵槽の性能および肥料、エネルギー利用適用可能性の評価を実施し、得られた実証結果により温室効果ガス排出量（以下、GHG排出量）およびライフサイクルコスト（以下、LCC）の観点から施設の導入効果の検討を行った。

の品質の確保等に関する法律に基づき規定された公定規格（以下、公定規格）のうち、含有すべき主成分の最小量として、全窒素、全リン、カリウムの含有量を測定した。有害成分は、公定規格のうち、含有を許される有害成分の最大量として、カドミウム、水銀、ヒ素、ニッケル、クロム、鉛の6成分の含有量を測定した。測定はいずれも肥料等試験法によるものとした。なお本研究で想定する公定規格は「汚泥肥料」である。

植害試験は、肥料法に基づき事前に植物に対する害に関する試験栽培を行うものである。本研究では、コマツナを用いたポット試験として、植物に対する害に関する栽培試験の方法・解説により実施した。

c) セメント工場におけるエネルギー利用適用性評価

本研究では、安定した受け取り先の確保を目的として、発酵乾燥汚泥の肥料利用のほか、セメント工場におけるエネルギー源として利用することを想定し、評価を行った。図-3に概念図を示す。セメントクリンカ生成のため、キルン前段の仮焼炉（約1,000℃）に従来は脱水汚泥および石炭を投入していたが、脱水汚泥の代わりに本研究で得られた発酵乾燥汚泥を投入することを想定した。評価項目は固定炭素、揮発分、高位発熱量、SIT試験による自然発熱性、有効熱量とした。SIT試験とは、試料を断熱空気雰囲気下で火種なしの状態から燃焼に至るまでの時間を測定するもので、自然発火のしやすさを評価するものである。有効熱量は、仮焼炉への投入時に有効な熱量であり、試料が保有する水分も含めて評価を行った。このとき、瀝青炭の含水率は3.3%とした。なお、燃焼後に残る無機分は、金属類の含有量分析を行った上で、セメントクリンカとして有効利用を行っている。

(4) 導入効果検討

本研究で得られた実証結果により、本技術を実際に脱水汚泥処理量が10[t/日]の下水処理場に導入した場合のGHG排出量、LCCの効果について、導入効果試算を実施した。なお、本研究での脱水汚泥処理量は5[t/日]であるが、実証技術の普及展開を見据え、推奨される脱水汚泥処理量の最小量で試算を行ったことに留意されたい。本研究で得られた発酵乾燥汚泥は、季節変動による需要の

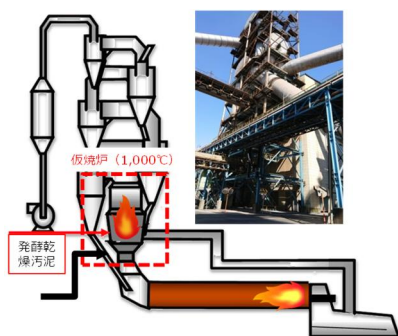


図-3 セメント工場でのエネルギー利用概念図

変化を想定し、年間発生量のうち3分の2を汚泥肥料として、3分の1をセメント工場でのエネルギー源として利用することを想定した。従来技術として脱水汚泥のコンポスト化を想定し、年間発生量のうち3分の2をコンポスト化施設に投入、3分の1は受入先の需要がなく埋立処分を行っていることを想定した。以下、本研究での実証を革新的技術、従来のコンポスト化を従来技術とする。

a) GHG排出量

革新的技術では、発酵槽設備の運転に伴う電力由来、薬品由来のGHG排出量、発酵乾燥処理に伴うGHG排出量、セメント工場でのエネルギー利用に伴うGHG排出量を考慮した。電力由来、薬品由来のGHG排出量は、本研究での運転実績に基づく消費電力量および薬品使用量に各GHG排出原単位を乗じた。発酵乾燥処理に伴うGHG排出量は、発酵槽排気から脱臭工程を経た処理ガスを捕集バッグにて採取、CH₄およびN₂Oをガスクロマトグラフにより測定し、各GHG排出係数を乗じた。セメント工場でのエネルギー利用に伴うGHG排出量は、従来セメント工場で投入されていた石炭使用に伴うGHG排出量が、発酵乾燥汚泥の使用に伴い削減されることを想定し、その削減量に石炭使用に伴うGHG排出原単位を乗じたGHG排出量を差し引いた。

従来技術では、コンポスト化設備の運転に伴う電力由来のGHG排出量、コンポスト化に伴うGHG排出量、埋立に伴うGHG排出量とした。電力由来のGHG排出量は、同等の脱水汚泥発生量のコンポスト化設備の運転に必要な消費電力量に電気のGHG排出原単位を乗じた。コンポスト化、埋立に伴うGHG排出量は、既存のGHG排出係数⁹⁾を用いて試算を行った。

b) LCC

革新的技術では、建設費、維持管理費、汚泥肥料外販費・セメント工場引き取り単価を考慮した。建設費は土木建築工事費、電気工事費、機械設備費とし、土木建築工事費、電気工事費は既存の費用関数⁷⁾および建設工事デフレーターを考慮して試算した。機械設備費は本研究での建設工事にかかる価格実績値を採用した。各設備において建設費年価を考慮した^{7,8)}。維持管理費は、設備の運転に必要な電力費、薬品費、副原料等の材料費、人件費、補修費を考慮し、本研究での実績値を採用した。汚泥外販費・セメント工場引き取り単価も本研究での実績値を採用した。

従来技術では、建設費、維持管理費、汚泥外販費・埋立処分費を考慮した。建設費、維持管理費は既存の費用関数⁷⁾に建設工事デフレーターを考慮して試算した。汚泥外販費・埋立処分費は文献値に建設工事デフレーターを考慮して試算した。

3. 研究結果と考察

(1) 発酵乾燥汚泥の性能評価

図-4に汚泥投入量、副原料添加率、製品含水率の経日変化の推移を示す。脱水汚泥は毎週月曜日から土曜日の週6日の投入であり、発酵原料が不足する日曜日に発酵槽内温度が低下するのを防ぐため、前日の土曜日に汚泥投入量を増加させている。また、2024年8月4日から9月1日、11月2日から12月3日は発酵槽の運転を停止しており、発酵槽の起動時には、発酵速度の増加に合わせて汚泥投入量を段階的に増加させている。これらに留意する必要があるが、定常運転時に汚泥投入量が5[t/日]になるように発酵槽の運転を行った結果、四季を通じて、製品含水率が20～30%（平均：27%）となり、目標値を満足する結果が得られた。また、発酵槽前後の汚泥量収支により計算された発酵日数は平均で13.6日となり、こちらも目標値を満足する結果が得られた。

本実証で用いた発酵槽の特徴である密閉性、および投入した副原料の菌材、栄養剤としての機能が十分に発揮されたことにより、発酵槽内の脱水汚泥の好気発酵が進み、その発酵熱の循環による低含水化、高速発酵が実現されたと考えられる。

(2) 肥料利用適用可能性評価

表-1に、肥効成分、有害成分の分析結果を示した。分析対象は副原料添加率の一定とした秋期（10月下旬）および冬期（12月上旬）の任意の1日に得られた発酵乾燥汚泥とした。また、有害成分は肥料法に基づく規制値を示した。肥効成分は、公定規格「汚泥肥料」としての含有すべき主成分の最小値の規定は存在しないが、参考値として、従来コンポストで実績のある佐賀市の肥料分析結果平均値⁹⁾を示した。

発酵乾燥汚泥の全窒素、全リン、カリウム含有量は参考値よりも高い傾向を示した。本研究で副原料として投入した発酵鶏糞中のカリウムの含有量は29,000[mg/kg-dry]である。また、発酵槽投入前の脱水汚泥中のカリウム含有量は3,300[mg/kg-dry]であり、日本全国の32処理場の脱水ケーキ組成分析を行ったChen *et al.* (2021)¹⁰⁾によるカリウム平均値：3,530[mg/kg-dry]と比較して同等の値を示したことから、発酵乾燥汚泥には発酵鶏糞由来のカリウムが多く含有されていると考えられる。一方、発酵槽投入前の脱水汚泥中全窒素、全リン含有量はそれぞれ97,000[mg/kg-dry]、41,000[mg/kg-dry]であり、Chen *et al.* (2021)¹⁰⁾による全窒素平均値：56,700[mg/kg-dry]、全リン平均値：27,500[mg/kg-dry]と比較して高い値を示したことから、A処理場特有の脱水汚泥の性状によるものと推察される。なお、従来の汚泥肥料はカリウムの含有量が少なく、汚泥肥料として利用する際にはカリウムの補填の

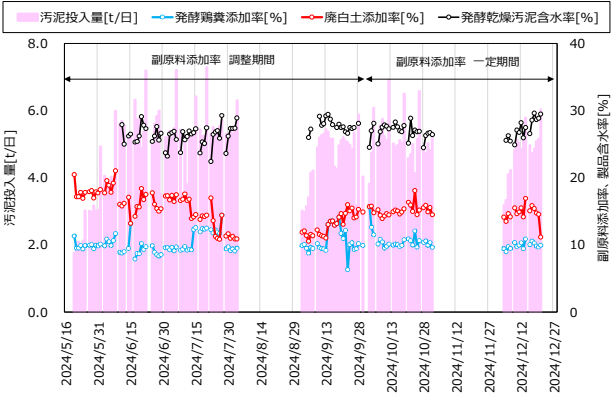


図-4 汚泥投入量、副原料添加率、製品含水率経日変化

表-1 肥効成分、有害成分分析結果

分析項目		単位	発酵乾燥汚泥 (秋期)	発酵乾燥汚泥 (冬期)	規制値	参考値
性状	水分	%-wet	25.4	26.3	—	—
	灰分	%-dry	43.8	44.1	—	—
肥効成分	全窒素	mg/kg-dry	43,000	43,000	—	30,000
	全リン	mg/kg-dry	25,000	24,000	—	16,000
	カリウム	mg/kg-dry	10,000	12,000	—	3,300
有害成分	カドミウム	mg/kg-dry	<1.0	<1.0	5.0	—
	水銀	mg/kg-dry	0.1	0.1	2.0	—
	ヒ素	mg/kg-dry	<1.0	4.0	50	—
	ニッケル	mg/kg-dry	130	140	300	—
	クロム	mg/kg-dry	8.0	11	500	—
	鉛	mg/kg-dry	14.0	7.0	100	—

表-2 植害試験結果

分析項目	単位	供試試料区 (静置0-1週間)	供試試料区 (静置1-2週間)	供試試料区 (静置2-3週間)	供試試料区 (静置3-4週間)	標準区
N	mg/ポット	125	125	125	125	25
P ₂ O ₅	mg/ポット	154	157	156	158	25
K ₂ O	mg/ポット	55	56	55	56	25
発芽率	%	96	93	98	98	93
生体重	g/ポット	33.6	31.8	33.8	32.5	24.5
相対値		137	130	138	133	100
判定	—	合格	合格	合格	合格	—

ために化成肥料を投入している事例もあるが、本研究で得られた発酵乾燥汚泥はカリウムを多く含むという特徴を有する。

有害成分はいずれも肥料法に基づく規制値を下回る結果であった。また、肥効成分、有害成分とも秋期、冬期の結果で大きな差異はなく、本研究で分析した季節限定ではあるが、季節変動による発酵乾燥汚泥への成分への影響は見られなかった。

表-2に植害試験の結果を示した。標準区には化成肥料を施肥し、供試試料区には発酵乾燥汚泥と化成肥料を施肥した。このとき、農林水産省「植物に対する害に関する栽培試験の方法」に基づき、汚泥由来の窒素100mgに対し化成肥料由来の窒素、りん酸、カリウムが25mgずつ含有されるよう、発酵乾燥汚泥と化成肥料を概ね9：1



図-5 コマツナによるポット栽培試験結果

の割合で混合した。また図-5に栽培試験のうち、一例として、標準区および3～4週間（フレコンにより22日間）静置した発酵乾燥汚泥を用いた供試料区の結果を示した。植害試験としては、化成肥料を用いた標準区とコマツナの発芽率は同等であり、生体重は約3割増加する結果となった。また、ポット栽培により植物に影響がないことから、合格（異常なし）という判定が得られた。静置期間により発芽率、生体重に変動がないことから、静置期間を経ても汚泥肥料としての機能を保ち、汚泥肥料として有効であることが示された。

(3) セメント工場におけるエネルギー利用適用性評価

表-3に、セメント工場でのエネルギー利用を想定し、発酵乾燥汚泥の固定炭素、揮発分、高位発熱量、SIT試験、投入時の有効熱量の結果を示した。また、従来のセメントキルンでの運用と比較するため、投入していた脱水汚泥および瀝青炭（石炭の一種）の分析結果を示した。脱水汚泥の高位発熱量に着目すると、Chen *et al.* (2021)¹⁰による高位発熱量平均値 $18,100 \pm 1,480$ [J/g-dry]の範囲内であり、一般的な値であった。また、高位発熱量と強熱減量は強い正の相関関係があることから¹¹、好気発酵により有機分が分解された発酵乾燥汚泥の高位発熱量は12,400 [J/g-dry]まで減少する結果となった。

得られた結果から、固定炭素／揮発分で定義され、石

炭の燃焼性を評価する指標となる燃料比の試算を行うと、発酵乾燥汚泥は0.17、脱水汚泥は0.16であり同等であった。DAFベースの高位発熱量も同等の値を示したことから、発酵乾燥汚泥は従来の脱水汚泥と同等の燃焼性を有することが確認された。SIT試験の結果から発熱事象はなく、ハンドリング時の自然発熱に起因するトラブルは起きにくいと推察された。

また、仮焼炉投入時の有効熱量は、脱水汚泥は負の値を示したことから、脱水汚泥中の多量の水分を蒸発させるため、追加で石炭の投入が必要となる結果となった。一方で、発酵乾燥汚泥の有効熱量は8,100 [J/g-wet]であり、瀝青炭の30%の有効熱量を有することから、エネルギー源として仮焼炉で使用すると、石炭使用量の削減に寄与することが確認された。

(4) 導入効果検討

図-6にGHG排出量の導入効果試算結果、図-7にLCCの導入効果試算結果を示した。Aを従来技術、Bを革新的技術とすると、GHG排出量は革新的技術が従来技術と比較して1,330 [t-CO₂/年]削減され、LCCは革新的技術が従来技術と比較して16%削減される結果となった。

GHG排出量は、設備の運転のための電力消費および脱臭設備の運転に必要な薬品消費に起因して増加した。一方で、従来技術と比較して発酵に伴うGHG排出量が91.6%程度減少したこと、埋立処分を取りやめたことにより埋立によるGHG排出量が0となったことから、革新的技術が優位な結果となった。なお、革新的技術の発酵に伴うGHG排出量は、発酵槽排気の処理ガスのスポットサンプリングによる一時的な分析結果であり、日変動、季節変動が考慮されていないことに留意する必要がある。

また、セメント工場でのエネルギー利用において、従来技術で使用されていた石炭の使用量が削減されることから、革新的技術ではその削減分をマイナスの値として評価することが可能であった。中久保¹²は、下水汚泥の固形燃料化のうち、炭化のためのエネルギー消費に伴う

表-3 エネルギー利用適用可能性評価結果

*1 DAF：水分、灰分を除いた指標

分析項目	単位	発酵乾燥汚泥 (秋期)	脱水汚泥	瀝青炭
水分	%-wet	25.4	83.4	11.1
灰分	%-dry	44.0	23.7	17.8
固定炭素	%-dry	8.1	10.6	52.2
揮発分	%-dry	47.8	65.7	30.0
高位発熱量	J/g-dry	12,400	17,600	28,300
	J/g-DAF *1	22,100	23,000	34,400
SIT試験	—	発熱なし	—	—
瀝青炭換算重量	g-瀝青炭/g	0.3	-0.03	1
有効熱量	J/g-wet	8,100	-860	27,200

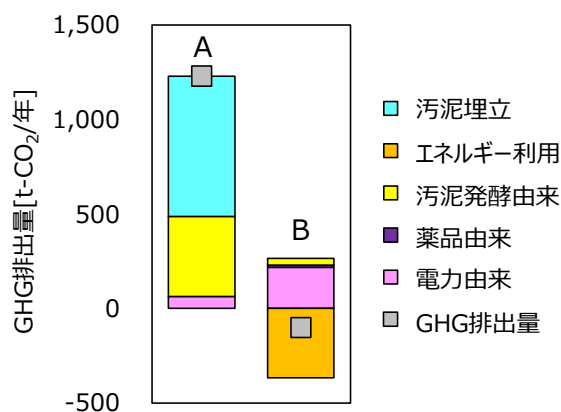


図-6 実証技術導入におけるGHG排出量試算結果

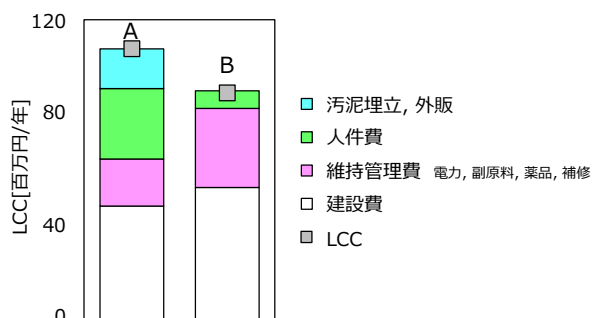


図-7 実証技術導入におけるLCC試算結果

CO₂排出量と炭化物の使用に伴う石炭代替のCO₂排出削減量が相殺されることを報告しており、発酵乾燥による本研究でも石炭代替により設備のエネルギー消費に伴うGHG排出量を相殺する結果となった。

LCCは、革新的技術の導入により建設費、維持管理費はそれぞれ14%、41%増加する結果となった。建設費は、従来のコンポスト化技術と比較すると、副原料の投入設備、脱臭設備等を追加する必要があったことにより増加し、維持管理費も同様、副原料の材料費および脱臭設備の運転に必要な薬品費に起因して増加したと考えられる。一方で、従来のコンポスト化技術で必要であった切り返し等の作業のための人件費が削減されたこと、埋立処分費を削減することが可能となり、全体のLCCで革新的技術が優位な結果となった。

4. 結論

本研究では、畜糞堆肥化で実績のある縦型密閉発酵槽を下水汚泥に適用し、生成物を肥料かつエネルギー源として利用可能な技術の実証研究を行った。また、得られた実証結果によりGHG排出量およびLCCの試算を行い、導入効果の検討を行った。

発酵乾燥汚泥の性能として、目標値とした製品含水率30%以下、発酵日数15日以内を達成し、密閉性、および投入した副原料の機能が十分に発揮され、発酵槽内の脱水汚泥の好気発酵が進み、低含水化、高速発酵が実現された。得られた発酵乾燥汚泥の肥効成分分析、有害成分分析、植害試験の結果により、肥料としての適用が可能であること、有効熱量の評価により、補助燃料なしでセメント工場でのエネルギー源としての適用が可能であることが確認された。また、従来のコンポスト化技術と比較すると、GHG排出量は約1,330[t-CO₂/年]、LCCは約16%削減されることが示された。

今後は、より有機分量が多く、好気発酵が進行しやすい未消化汚泥を用いた試験、得られた発酵乾燥汚泥を肥

料として流通させるための検討を実施する。本研究は令和7年度も引き続き実証研究を行っており、実証結果に基づき本技術を一般化し、国土技術政策総合研究所より技術導入ガイドライン（案）として取りまとめを行う予定である。

謝辞：本研究は、クボタ、UBE三菱セメント、中部エコテック、日本下水道事業団、島根県共同研究体により、令和5年度に国土交通省下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）に採択され、国土技術政策総合研究所の委託研究として実施されました。ここに記して研究体各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 農林水産省：肥料をめぐる情勢—令和7年9月
https://www.maff.go.jp/scisan/sien/sizai/s_hiryo/attach/pdf/index-209.pdf (2025.10.17 閲覧)
- 2) 国土交通省：下水汚泥資源の肥料利用に関する検討手続書 (2024)
- 3) 国土交通省：脱炭素化／資源・エネルギー利用
https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/crd_sewage_tk_000124.html (2025.10.17 閲覧)
- 4) 三島慎一郎：日本における未利用資源からのリンの再生利用，農研機構研究報告，2020(4), 1-9 (2020)
- 5) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説後編—2019年版—, pp.586-593 (2019)
- 6) 環境省，国土交通省：下水道における地球温暖化対策マニュアル (2016)
- 7) 日本下水道協会：バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル (2004)
- 8) 国土交通省，国土技術政策総合研究所：下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン—2015年版—，P.13. (2015)
- 9) 佐賀市上下水道局：肥料の有料販売について，2024.6.6～2025.3.3 肥料分析結果平均値
<https://www.water.saga.saga.jp/main/104.html> (2025.10.17 閲覧)
- 10) Chen, M., Oshita, K., Mahzoun, Y., Takaoka, M., Fukutani, S., & Shiota, K. (2021). Survey of elemental composition in dewatered sludge in Japan. *Science of the Total Environment*, 752, 141857.
- 11) Mahzoun Yahya, 大下和徹，高岡昌輝，藤森崇：下水汚泥脱水ケーキの全国組成調査による有機物構成元素を中心とした変遷推定と高位発熱量の予測，下水道協会誌，54(659), pp.86-96. (2017)
- 12) 中久保豊彦：脱水汚泥の直接セメント原料化（キルン投入方式）を対象としたエネルギー収支解析. 土木学会論文集 G（環境），73(6), II_233-II_244. (2017)

企業のリクルート活動に着目した 産官学協同の渋滞緩和プロジェクト 松江Good Morning Projectについて

桃住 蓮太¹・水田 雄士¹・飯塚 尚人¹

¹中国地方整備局 松江国道事務所 計画課（〒690-0017松江市西津田2丁目6番28号）

渋滞対策には、道路整備等のハード対策と、TDM（交通需要マネジメント）などのソフト対策がある。TDMのうち、多くの地域で実施されているのが、時差通勤などの時間帯変更であるが、これらの実施には、フレックスタイム制度の導入など、企業による協力が重要である。本地域では、地元企業の協力を得ながら、TDMを実施していくため、「本活動を通じた地元学生へのリクルート面でのPR機会の創出」に着目し、地元企業・学生と協同で進める渋滞緩和プロジェクトを立ち上げ、推進した。その内容と成果を報告する。

キーワード TDM施策、渋滞緩和、時差出勤、産学官連携、リクルート活動

1. はじめに

(1) 背景

近年、全国的に交通渋滞の緩和に向けたさまざまな取り組みが推進されている。道路拡幅やバイパス整備などのハード対策に加え、TDM（Transportation Demand Management：交通需要マネジメント）に代表されるソフト対策も両輪として重要性を増している。松江市においても、コロナ禍による社会構造や働き方の変化を背景に、令和3年度からTDM施策による渋滞緩和の取り組みが本格化した。本論文では、松江市におけるTDM施策の全体像と、その中でも特に教育機関と企業が連携して推進した事例を中心に、取り組みの経緯・内容・成果・課題・今後の展望について報告する。

2. 松江市におけるTDM実施の背景

(1) 松江市内の渋滞状況

松江市は大橋川により、市街地が分断され、渡河部橋梁等への交通集中により、朝夕中心に面的に渋滞が発生している。市街地中心部には多くの商業施設や公共施設が立地し、通勤・通学時間帯（7:45～8:15）に著しい交通混雑が発生している。

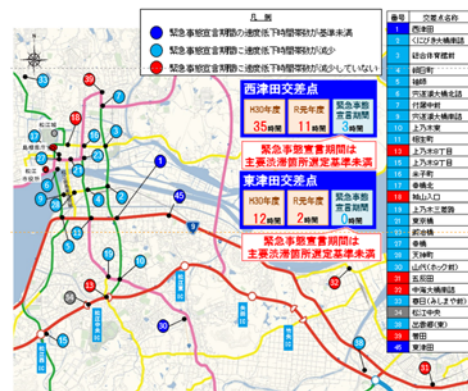
(2) 渋滞対策の実施状況

市内中心部の渋滞に対し、関係者が連携し、道路整備を推進している。R3年度より松江北道路が事業化され、通過交通の転換・分散による渋滞緩和を期待しているが、

開通までの当面の対応も重要となっている。そこで、道路整備等のハード対策に加えて、ソフト的な対策の実施の必要性が高まっていた。

(3) コロナ禍を契機としたTDMの展開

コロナ禍による外出自粛要請が一時的に交通量を減少させた。（図-1）さらにコロナ禍以後はテレワークや時差出勤、オンライン会議の普及により、従来の「同時に同じ場所へ移動する」必要性が薄れた。こうした社会構造の変化を踏まえ、渋滞対策の一環として、交通需要を調整することで、渋滞を緩和させるTDM（Transportation Demand Management：交通需要マネジメント）の実施が全国的に展開されることとなった。そこで、松江市内においても、新たな道路整備などのハード対策と合わせて、TDMによる既存のインフラを活用したソフト対策を検討することとなった。



3. 松江市のTDM実施形式の検討

(1) TDMのメニュー

TDMは、既存の道路インフラを最大限活用しながら交通需要を適切に制御・分散し、ピーク時の交通混雑を緩和するための施策である。交通需要マネジメントは、一般的には、公共交通、自転車への転換等の「移動手段の変更」の検討、道路交通情報による経路の分散などの「経路の変更」、時差通(退)勤やフレックスタイム等の「時間の変更」、在宅勤務などの「発生源の調整」、相乗りや共同集配等の「自動車の効率的利用」などがあり、(図-2) 実施する地域の道路ネットワークや交通実態などの実情に応じて有効な施策を適用する必要がある。



図2 一般的なTDMのメニュー

(2) 松江市における課題とTDM施策の方向性

松江市の交通状況にはいくつかの特有の課題が存在する。まず、市街地中心部の慢性的な渋滞箇所において、迂回可能な道路が極めて少なく、経路変更による分散が困難である。また、公共交通の運行範囲・便数が限定的であるため、自動車からの転換が現実的でない状況がある。こうした制約条件を踏まえ、松江市ではTDM施策の中でも特に「時間帯の変更(時差出勤)」を中心に、ソフト対策の検討・導入を進めることとした。

4. 松江市におけるTDM施策の展開

(1) 令和3年度の実施：TDM始動

コロナ禍にて渋滞緩和が大きかった国道9号西津田交差点、東津田交差点を中心に、当該交差点を通る車両に着目し、ETC2.0プローブデータを使用した起終点分析を行い、起終点が集中する箇所において、時差通勤の広報を実施した。(図-3,図-4) 広報活動としては、横断幕設置やチラシ配布、YouTube広告の配信等を実施した。YouTube広告においては、5秒スキップ再生回数6.47万回・全再生回数2.12万回(当時中国地方整備局公式動画の再生回数最多)を記録した。こうした広報により、時間帯シフトの認知拡大・行動変容の促進が図られたが、実際の交通量シフト効果は限定的であり、課題も残った。

また市内へ通勤する方を対象としたWEBアンケートを実施し、効果を検証したところ、取組みに対しては、肯定的な意見が過半数であったものの、フレックスタイムの導入や職場の制度・体制の充実が必要であるという意見が約6割を占め、企業による協力が重要であることを把握した。(図-5)

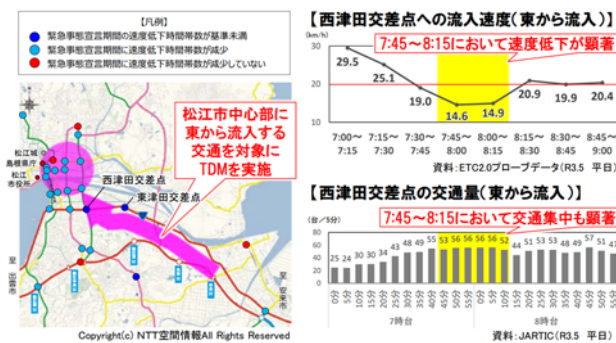


図3 西津田交差点の速度・交通量 (R3年取組み)



図4 時差通勤広報内容 (R3年取組み)

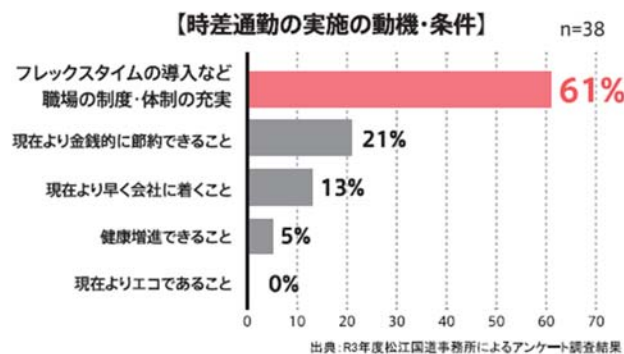


図5 松江市内在住者向けアンケート結果 (R3年取組み)

(2) 令和4年度の実施：企業との連携と課題

令和4年度は、企業側の勤務形態や就業ルールが出勤時間に与える影響に着目し、企業による協力を得ることを目的として、松江市商工会議所所属2,800社に対して広報チラシ(図-6)を配布し、時差出勤導入を呼びかけた。しかし、企業側からは「時差出勤のメリットが少ない」「業務運営上、柔軟な時間設定が困難」といった意見が多く、十分な協力を得るには至らなかった。どのようなメリットがあれば、時差通勤を導入したいか企業へ伺うと、「リクルート活動への波及効果が見込めるのであれば導入を検討したい」といった前向きな声もあり、動機付けの工夫が重要であることが認識された。(図-7)

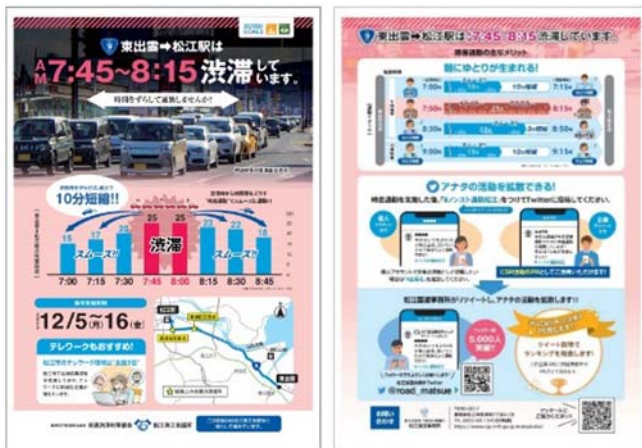


図-6 時差通勤広報チラシ (R4年取組み)



図-7 商工会との意見交換によるニーズ把握 (R4年取組み)

企業に実施してもらう上での有効なインセンティブとして「就職面で学生へのPRになること」の重要性を把握

(3) 令和5年度以降の取り組み：学生と連携した「松江 Good Morning Project」の創設

企業のモチベーションをアップさせるためには、学生との協同実施が鍵であると考え、島根大学飯野研究室、松江高専浅田研究室の学生とともに意見交換を実施し、学生からも時差通勤することへのニーズが大きいことを把握した。そこで、産学官の新たな連携モデルとして、本プロジェクトを通して、学生と企業が柔軟な働き方について情報交換できる機会を創出することで、学生・企業の双方が「リクルート」を軸にメリットを感じてもらえる「松江 Good Morning Project」を立ち上げた。取組みでは、「渋滞だけじゃない、みんなが働きやすい社会へ」をキーワードとし、学生が企業への広報や意見交換を主導、企業は学生にとって魅力的な職場環境づくりを目指すという双方向の交流を図った。(図-8) 学生発案によるチラシ・ポスターの作成や、学生自らが企業訪問し取組みのPR活動を行うなど、若い世代ならではの柔軟な発想と実行力が活かされた。(図-9、図-10) 賛同企業が令和5年度の2社から、令和6年度には8社に増加するなど、地域ぐるみの取組みへと拡大している。



図-8 松江Good Morning Projectコンセプト (R5年以降取組み)



図-9 学生主導の企業訪問実施の様子 (R5年以降取組み)



図-10 企業向け時差通勤広報チラシ (R5年以降取組み)

5. 取組みの効果検証

(1) 利用者の声

市内へ通勤する400名を対象としたWEBアンケートを実施し、効果を検証したところ、プロジェクトの認知度や、時差通勤実施率は、令和5年度以降2年連続で向上。(図-11) また学生・参加企業合同WEB座談会(図-12)では、「学生へのPRになることで、会社として取組みやすかった」という声を多数確認した。

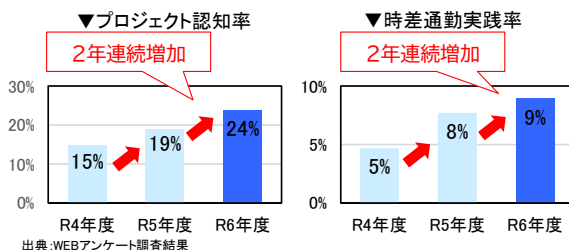


図-11 プロジェクト認知度・実施率 (R5年以降取組み)

▼参加企業・学生による座談会実施



▼企業の生の声

- 取組み理由としては、学生へのPRになることで、会社として取組みやすかったという意見が多数。
- 昨年プロジェクトでの試験導入を踏まえて、制度化した企業があった。
- いずれの企業も取組み内容について、前向きな意見を頂いており、集中実施期間終了後も、取組継続実施が可能と答えた企業が多数あった。
- 現在の活動の方向性は良い。継続していくことが重要だと感じる。

図-12 学生・参加企業合同WEB座談会

(2) 交通量変化

都市圏流入断面の、7:45～8:15における交通量（30分間合計）は、全方向において減少。袖師交差点東行き、西津田交差点西行きなど、国道9号の東西方向において、特に減少が大きかった。（図-13）



図-13 松江市主要流入断面におけるTDM前・中の交通量

(3) 速度の変化

交通量の減少が特にみられた袖師交差点東行において、速度向上がみられ、交通量減少による効果が確認できた。一方で、他の箇所では、交通量は減少しているが、速度の向上がみられなかった。交通量の減少よりも、交通量以外の渋滞発生要素（信号交差点の連続や、歩行者・自転車の影響、右折車による直進阻害等）が影響した可能性が考えられる。

都市圏中心部では、東京橋交差点東行き、鍛冶橋交差点東行き、米子町交差点西行き、総合体育館前西行き、くにびき大橋北行きで速度が向上した。（図-14）



図-14 松江市中心部におけるTDM前・中の速度向上状況

6. 今後の展望とまとめ

(1) 持続的なTDM推進のための方策

今後は、定量的な効果検証とフィードバックを継続し、施策の改善・見直しを柔軟に進めていくことが重要である。速度の検証では、交通量は減少しているが、速度の向上がみられなかった箇所もあったことから、信号交差点の連続や、歩行者・自転車の影響、道路構造によっては、TDMによる効果が発現しにくい箇所が存在すると考えられる。このため、交通量が少ない夜間でも速度低下している区間を除くなどしてTDMの効果が発現しやすい箇所を対象とし、これらの交差点を通る車両をターゲットとした広報を行うなどの工夫が必要である。また事務所単体で行う広報には規模の限界があるため、波及的に施策認知が広がるよう、各主体と連携した情報発信の仕組みづくりなども重要である。（図-15）加えて、地域住民・企業・教育機関・行政が一体となった協働体制を基盤とし、「松江市発」の先進モデルとして、独自のTDM施策を発展・持続させていく必要がある。

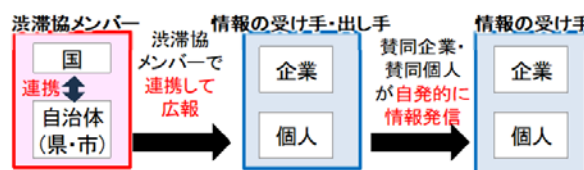


図-15 自発的な情報発信による施策認知拡大イメージ

(2) 松江市モデルにおける全国展開の可能性

本取組みの特徴である産学官連携、学生主体の広報や企業への動機付け等は他都市でも十分応用可能なノウハウである。地方都市特有の交通課題や社会構造の違いを踏まえつつも、TDM施策の水平展開に向けて、松江市モデルの積極的な情報発信・ノウハウ共有が期待される。謝辞：TDMの取組みにご協力頂いた関係機関各位のご協力に深く感謝申し上げます。

次世代自動車の普及を見据えた走行時の 二酸化炭素排出係数の試算

根津 佳樹¹・橋本 浩良¹

¹国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 道路環境研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

道路分野における二酸化炭素（以下「CO₂」という。）排出量の把握方法として、エネルギー消費特性を考慮した旅行速度別の排出係数が用いられてきた。近年、ハイブリッド車、電気自動車等の次世代自動車の普及や車両性能の向上など、車両を取り巻く環境が変化している。

そこで本研究では、次世代自動車のエネルギー消費特性を考慮できるよう、実道路での走行調査結果を用いてガソリン車、ハイブリッド車、電気自動車の排出係数を試算した。試算結果より、ガソリン車は、車両性能の向上により排出係数は小さくなること、ハイブリッド車及び電気自動車は、ガソリン車よりも低速度域で排出係数が小さくなること、などが確認された。

キーワード CO₂、ハイブリッド車、電気自動車、エネルギー消費特性、排出係数

1. はじめに

国土交通省では 2025 年 10 月に道路脱炭素化基本方針及び道路分野の脱炭素化政策集 Ver.2.0 をとりまとめ、脱炭素化に取り組むこととしている^{1) 2)}。国内の二酸化炭素（以下「CO₂」という。）排出量の内、約 16% が道路利用に伴う排出である（2022 年度）。道路利用で排出量は、渋滞対策などにより削減を目指すこととしている。

渋滞対策による速度の向上や加減速の減少は、エネルギー消費効率を高め、CO₂ 排出量の削減につながる事が期待される。エネルギー消費特性を考慮した CO₂ 排出量の把握にあたり、旅行速度別に大型車、小型車別の CO₂ 排出量を定めた CO₂ 排出係数（以下「排出係数」という。）を用いる手法がある。

現在の排出係数は、土肥ら³⁾により、2012 年に大型車、小型車の 2 車種別、旅行速度帯別に公表されている。しかしながら、排出係数の算定から 15 年程度が経過している。近年の次世代自動車の普及や車両性能の向上など、車両を取り巻く環境が変化している。

また、電気自動車は、電力を消費して走行するため走行時は CO₂ を排出しない。しかしながら、速度や加減速の変化により電力消費量は異なり、電力の発電時には CO₂ を排出する。現在の排出係数は、走行時である「Tank to Wheel」（図-1）での CO₂ 排出量に着目している。そのため、電気自動車のエネルギー消費特性を考慮できない。そのため、次世代自動車のエネルギー消費特性を考慮した排出係数の作成が求められる。排出係数の作成にあたり、燃料の精製から燃焼、電力の発電から消費ま

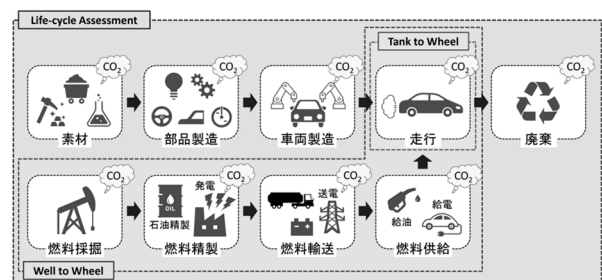


図-1 「Tank to Wheel」と「Well to Wheel」の範囲
（環境省 税制全体のグリーン化推進検討会資料より）

での「Well to Wheel」（図-1）の考え方が参考となる。

本研究では、次世代自動車の普及や車両性能の向上を見据えた、新たな排出係数の作成を目的としている。本稿では、「Tank to Wheel」及び「Well to Wheel」の考え方を参考として、排出係数を試算する。試算結果を基に、両者の排出係数の違い及び、次世代自動車と現在の排出係数との違いの観点で考察する。

本稿の構成は、1.にて本研究の背景と目的を、2.ではエネルギー消費特性の把握方法を述べる。3.では次世代自動車を含めたエネルギー消費特性を把握し、考察する。4.では「Tank to Wheel」及び「Well to Wheel」の排出係数を試算し、考察する。5.でまとめを行う。

2. エネルギー消費特性の把握方法

土肥ら³⁾の排出係数の作成時に主に使用されたガソリン車、ディーゼル車に、次世代自動車としてハイブリッド車、電気自動車を加えた4区分別に、エネルギー消費

量として燃料消費量及び電力消費量を把握するため、走行調査を実施した。調査車両の設定、データの取得方法、走行調査区間及び調査条件は、以下の通りとした。

(1) 調査車両の設定

市場の代表性を確保するため、まず、次世代自動車を含めてレンタル可能な車両を対象に、自動車保有車両数（（一財）自動車検査登録情報協会）と、（一社）自動車検査登録協会が公開している初度登録年度別の残存率を用い、2023年度時点の各車両の保有台数を推計した。次に、エネルギー消費特性が近いと想定されるメーカー、車両総重量帯、燃費性能が同様のグループに分類し、分類別に保有台数が最も多い車両を調査車両として設定した。結果、ガソリン車 22 台、ディーゼル車 3 台、ハイブリッド車 21 台、電気自動車 4 台の計 50 台を設定した。

(2) データの取得方法

速度、加速度、燃料消費量及び電力消費量等のデータを車載型燃費計により 1 秒単位で取得した。

(3) 走行調査区間

平均的な道路交通状況の中で速度、加速度の幅広いデータを取得するため、高速道路、一般道路の別に、以下を走行調査区間に選定した（図-2）。

高速道路：常磐自動車道（上り）の谷和原 IC（茨城県守谷市）～三郷 JCT（埼玉県三郷市）、東京外環自動車道（内回り）の三郷 JCT～草加 IC（同草加市）の約 25 km。なお、一部車両を対象に、規制速度が 110 km/h と高い常磐自動車道（上り）の土浦北 IC（茨城県土浦市）～桜土浦 IC（同つくば市）及び、規制速度が低い、首都高速道路 6 号向島線（下り）の堤通 IC（東京都墨田区）～三郷 JCT を追加。



図-2 走行調査の実施区間（地理院地図を基に作成）

一般道路：一般国道 4 号（上り）線の七左町交差点（埼玉県越谷市）～千住 5 丁目交差点（東京都足立区）付近の約 10 km。

(4) 調査条件

走行時間、走行条件、車両条件を以下の通り設定した。

走行時間は、幅広い速度のデータを取得するため、高速道路、一般道路とも、混雑時間帯（7～9 時または 17～19 時）及び非混雑時間帯（9～17 時）とした。

走行条件は、平均的な道路交通状況でのエネルギー消費特性を把握するため、追い越しは行わず、道路交通に準じて走行することとした。また、外気温や走行以外でのエネルギー消費の影響を除くため、走行調査前に暖機運転を行うとともに、走行中はエアコンを不使用とした。走行抵抗の違いによる影響を除くため、荒天時は走行調査を実施しないこととした。

車両条件は、車両重量により燃費及び電費へ影響すると考えられることから、燃料は容量の上限まで給油して走行調査を開始することとし、人員は、2 名乗車または 1 名乗車の際は 60 kg の荷重を積載することとした。

3. エネルギー消費特性の把握と考察

2. の走行調査にて取得したデータを基に、エネルギー消費特性を把握し、結果を考察する。

(1) エネルギー消費特性の把握方法

走行調査で取得したデータは、速度データが 1 秒単位、1 km/h 単位である。加速度は、1 秒毎に、式(1)により速度データの差分により算定した。

$$(i \text{ 秒目の加速度}) = (i \text{ 秒目の速度}) - (i-1 \text{ 秒目の速度}) \quad (1)$$

速度データが 1 km/h 単位のため、加速度の算定に影響し、正確性が下がることが懸念された。そこで、取得した速度データを移動平均処理することとした。複数の移動平均時間（秒）を設定し、妥当性の確認を行ったところ、5 秒以上では、細かな変動がなくなり、実際の走行挙動を再現できていること、5 秒超では、発進及び停止時の走行状態に乖離が大きくなること、などから 5 秒の移動平均で処理することとした。燃料消費量及び電力消費量についても、整合させ 5 秒の移動平均処理を行った。

次に、移動平均処理したデータを用いて、車両別に速度、加速度、燃料消費量及び電力消費量の関係を把握する関係式のパラメータの推定を行った。燃料消費量及び電力消費量は、加速度により異なると考えられる。そこで、加速度帯で分類し、加速度帯毎に関係式のパラメータを推定した。分類する加速度帯は、速度データが 1 km

/h 単位のため、 0.28 m/s^2 単位 ($1,000 \text{ m}/3,600 \text{ s}$) で算定できる。速度データを移動平均処理したことで、より細かく算定できることから、 0.28 m/s^2 、 0.21 m/s^2 、 0.14 m/s^2 の3つの加速度を比較し、加速度帯毎のサンプル数が確保できる 0.14 m/s^2 単位とし、計7分類を設定した(表-1)。

また、高速道路と一般道路では、同様の旅行速度でも、加減速の違いなどによりエネルギー消費特性が異なることが想定される。そこで、高速道路と一般道路の道路種別で、関係式のパラメータの推定を分けた。具体的には、車両別、道路種別に、速度と車両重量あたりの燃料消費量及び電力消費量を加速度帯別に、式(2)にあてはめ、重回帰分析にてパラメータ a 、 b 、 c を推定した。

$$E = aV^2 + bV + c \quad (2)$$

E : 車両重量あたりの加速度帯別の速度別の燃料消費量 (cc/s/t) 及び電力消費量 (kWh/s/t)

V : 速度 (km/h)

なお、車両重量は、車両本体重量及び2名分の重量 (1名あたり 55 kg) を合わせたものとした。

次に、車両別の式(2)と JARI モード⁴⁾、土研モード⁵⁾の走行モードを用いて、エネルギー消費特性を把握した。

具体的には、まず、各走行モードの1秒毎の速度、加速度を各車両の式(2)にあてはめ、各走行モードにて走行した場合の燃料消費量及び電力消費量の総量を車両毎に算定した。次に、総量を各走行モードの走行距離で除し、 1 km あたりの燃料消費量及び電力消費量を算定した。なお、自専道の走行モード (全 21 モード) は高速道路での調査結果に、一般道の走行モード (全 11 モード) は一般道路での調査結果に、それぞれあてはめた。

以上により、車両別、道路種別、走行モード別に、燃料消費量及び電力消費量が得られた。得られた結果を道路種別、2で設定した4区分別に散布図化した。なお、4区分の内、ガソリン車とディーゼル車は、両者の燃費特性が類似していることなどから統合し、「ガソリン車・ディーゼル車」、「ハイブリッド車」、「電気自動車」の計3つの車種区分に集約した。各散布図を式(3)にあてはめ、重回帰分析にてパラメータ A 、 B 、 C 、 D を推定した。

$$E2 = AV^2 + BV + C + D/V \quad (3)$$

$E2$: 車両重量あたりの旅行速度別の燃料消費量 (L/km/t) 及び電力消費量 (kWh/km/t)

V : 旅行速度 (km/h)

「ガソリン車・ディーゼル車」、「ハイブリッド車」は、旅行速度と燃料消費量との関係より、「電気自動車」は、旅行速度と電力消費量との関係よりエネルギー消費特性を把握した。

(2) エネルギー消費特性の把握結果と考察

(1)に基づき、エネルギー消費特性を把握した結果を

表-1 本研究で使用する加速度帯と分類

分類	加速度帯 (m/s^2)
3	0.35 以上
2	0.21 以上 0.35 未満
1	0.07 以上 0.21 未満
0	-0.07 以上 0.07 未満
-1	-0.21 以上 -0.07 未満
-2	-0.35 以上 0.21 未満
-3	0.35 未満

整理した(図-3, 4, 5)。図-3, 4 については、高速道路、一般道路の別に、単位重量、単位距離あたりの旅行速度と燃料消費量との関係を整理した。図-5については、高速道路、一般道路の別に、単位重量、単位距離あたりの旅行速度と電力消費量との関係を整理した。

各散布図より、個々の車両の分布に違いが見られた。

「ガソリン車・ディーゼル車」は、 20 km/h 以下の低速度域において燃料消費量の最大値と最小値の差が、旅行速度の減少とともに大きくなることが確認された。最大値、最小値とも、旅行速度の減少に伴って、増加する傾向となった。「ハイブリッド車」は、 20 km/h 以下の低速度域において燃料消費量の最大値と最小値の差が、旅行速度の減少とともに大きくなることが確認された。旅行速度の減少に伴って、燃料消費量の最大値は増加し、最小値は減少し、両者の差が拡大する傾向となった。

「電気自動車」は、旅行速度全体を通して、電力消費量の最大値と最小値の差が大きく、特に高速道路において、1台の電力消費量が大いことが確認された。

次に式(3)の推計結果より、3車種区分とも、旅行速度の増加とともに、燃料消費量及び電力消費量が減少傾向となった。燃料消費量及び電力消費量が最小となる旅行速度は、高速道路では「ガソリン車・ディーゼル車」は 71 km/h 、「ハイブリッド車」は 77 km/h 、「電気自動車」は 71 km/h となった。それ以降は旅行速度によらず、概ね一定であった。一般道路では「ガソリン車・ディーゼル車」は 55 km/h 、「ハイブリッド車」は 25 km/h 、「電気自動車」は 40 km/h となった。それ以降は一般道路の最高速度である 60 km/h まで旅行速度によらず、概ね一定であった。「ハイブリッド車」は「ガソリン車・ディーゼル車」に比べて、高速道路、一般道路ともに、 20 km/h 以下の低速度域において、燃料消費量が小さくなることが確認された。

上記の内、 20 km/h 以下の低速度域において、燃料消費量の傾向が車両により異なった「ハイブリッド車」について個別に考察を行った。「ハイブリッド車」は、ハイブリッド方式により、燃料消費から走行に至るまでのメカニズムが異なる。今回走行調査を実施したハイブリッド車には、エンジンとモーターが並列し、エンジン駆動が主体で、補助的に一部モーターでも駆動する「パラ

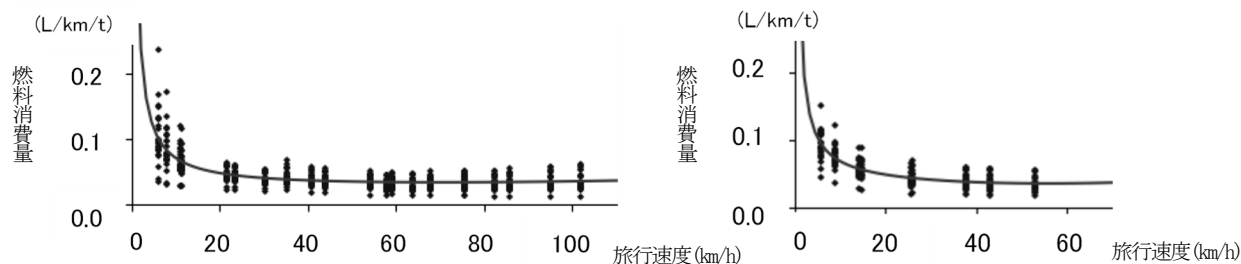


図3 「ガソリン車・ディーゼル車」のエネルギー消費特性（左：高速道路，右：一般道路）

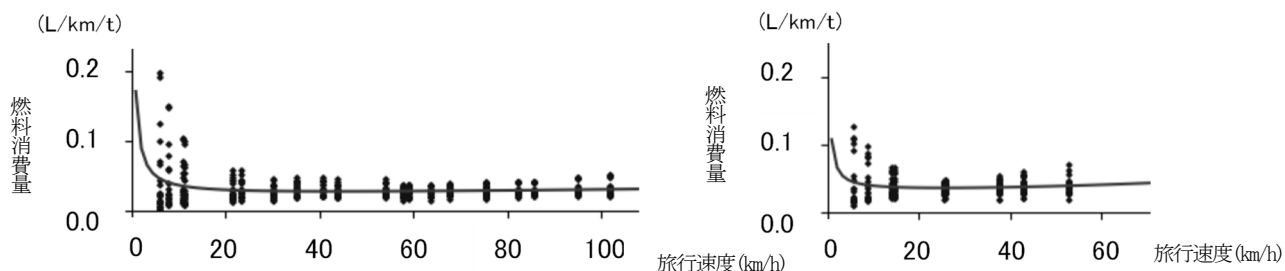


図4 「ハイブリッド車」のエネルギー消費特性（左：高速道路，右：一般道路）

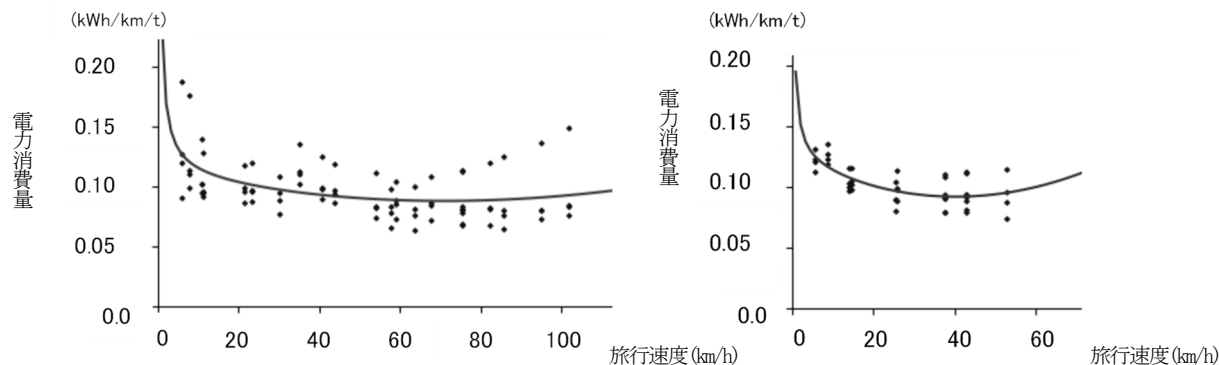


図5 「電気自動車」のエネルギー消費特性（左：高速道路，右：一般道路）

レル式」，エンジン駆動時にモーターがアシストする「マイルドパラレル式」（以下「マイルド式」という．），エンジン駆動時に電気を発電し，モーターでの駆動が主体的な「シリーズ式」，モーターでの駆動が主体的でエンジン駆動時のアシストも行う「シリーズパラレル式」の各方式の車両が含まれていた．また，2台の「PHEV」が含まれており，それらのハイブリッド方式は「シリーズパラレル式」であった．

ハイブリッド方式により車両のエネルギー消費特性は異なると考えられる．そこで，「マイルド式」，「パラレル式」，「シリーズ式」，「シリーズパラレル式」，「PHEV（シリーズパラレル式）」の計5台を抽出し，高速道路を例に比較した（図-6）．

結果，「マイルド式」は他のハイブリッド方式と比べ，燃料消費量が大きく，特に20 km/h以下の低速度域で大きいことが確認できた．「マイルド式」は速度によらず，燃料消費を伴いながら走行するためと考えられる．「シリーズ式」は，特に低速度域では走行時の燃料消費が抑えられていた．「パラレル式」及び「シリーズパラレル式」は，旅行速度によらず燃料消費量が概ね一定で

あった．なお，概ね60 km/h以上では，「シリーズ式」，「パラレル式」，「シリーズパラレル式」での大きな差は確認できなかった．いずれも速度の増加に伴い，発電や駆動に必要な燃料消費量が増加し，燃料消費量が速度の影響を受けやすくなるためと考えられる．

「PHEV」は，「マイルド式」以外のハイブリッド方式の車両と比べると，20 km/h以下では燃料消費量が多く，60 km/h以上では少ない傾向となった．これは，「PHEV」

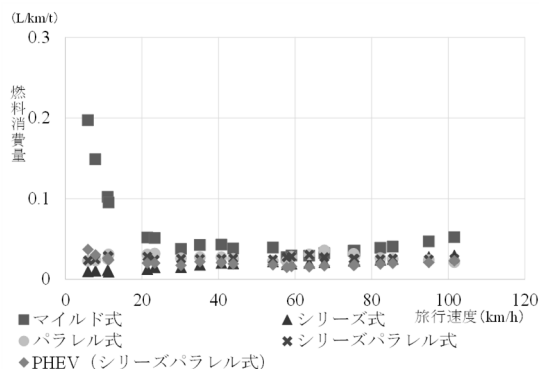


図6 「ハイブリッド車」のハイブリッド方式別のエネルギー消費特性の比較（高速道路）

のバッテリー容量が他のハイブリッド車より大きく、走行状況に応じて、燃料消費と電力消費を組み合わせることから、他のハイブリッド方式の車両と異なる傾向となったと考えられる。

4. 排出係数の試算と考察

3.で把握したエネルギー消費特性を基に、「Tank to Wheel」と「Well to Wheel」の別に、排出係数の試算方法を整理し、試算結果について考察する。

(1)排出係数の試算方法

まず、現在の排出係数の算定方法を参考に、「Tank to Wheel」の範囲による算定方法を、以下に整理した。

○Tank to Wheel

- ・ガソリン車、ディーゼル車、ハイブリッド車
速度毎の燃料消費量に、燃料燃焼時のCO₂排出量の原単位⁶⁾を乗じることで算定する。
- ・電気自動車
走行時はCO₂を排出しないことから0とする。

上記の通り、「Tank to Wheel」の範囲では、電気自動車のエネルギー消費特性が考慮することができない。

次に、「Well to Wheel」の範囲を参考とする試算方法を、以下に整理した。

○Well to Wheel

- ・ガソリン車、ディーゼル車、ハイブリッド車

$$Q_{WW} = Q_{TW} / e \quad (4)$$
 Q_{WW} : 「Well to Wheel」のCO₂排出量(g-CO₂/km/t)
 Q_{TW} : 「Tank to Wheel」のCO₂排出量(g-CO₂/km/t)
 e : 換算係数
「Tank to Wheel」にて算定したCO₂排出量に、「Well to Wheel」の範囲の「燃料精製」、「燃料輸送」、「燃料供給」のCO₂排出量を考慮した換算係数⁷⁾を用いて算定する。例えばガソリンは0.92、ディーゼルは0.93となる。ハイブリッド車は使用燃料に対応して適用する。なお、本換算係数は、図-1の「Well to Wheel」の範囲の内、「燃料採掘」は含まれない。主に国外での排出となるため、本稿では考慮しないこととした。

- ・電気自動車

$$Q_{WW} = 1000 \times W \times p / L \quad (5)$$
 W : 1 km 走行あたり、調査時の車両重量 (t) あたりの電力消費量(kWh/km/t)
 p : 1kWh 発電あたりのCO₂排出量(kg-CO₂/kWh)
 L : 給電時の給電効率(%)

ガソリン車、ディーゼル車、ハイブリッド車と同じ、「燃料精製」、「燃料輸送」、「燃料供給」の範囲とする。まず、「燃料精製」は、発

電時に排出される単位あたりのCO₂排出量の全国平均値⁸⁾(p)に電力消費量(W)を乗じることで試算する。全国平均値⁸⁾(p)には、CO₂排出量の総量を供給(小売)した電気量で除して算定されている。そのため、発電地から供給地までの送電時のロス分である「燃料輸送」が含まれている。一方で、小売りされた給電施設などの供給施設から、電気自動車へ給電される際の電力ロス分である「燃料供給」は別途考慮が必要となる。既往文献⁹⁾などでは、給電ロス率が10~12%程度となっている。給電施設のメーカーや出力(kWh)により性能が異なることから、本研究では、確認できた最大値である12%をロス率(給電効率88%)とする。

(2)排出係数の試算結果と考察

(1)で整理した方法により、「Tank to Wheel」及び「Well to Wheel」の別に排出係数を試算した(図-7, 8)。「Tank to Wheel」では、電気自動車は排出係数が0のため図-7には記載していない。また、図-7に比較のため、現在のガソリン車の排出係数を併記した。

まず、各車種区分のグラフの波形は、3.のエネルギー消費特性の各グラフと同様となった。次に、図-7, 8を比較すると、「Well to Wheel」では「ガソリン車・ディーゼル車」及び「ハイブリッド車」にて1.1倍程度増加することとなった。これは、走行までの「燃料精製」、

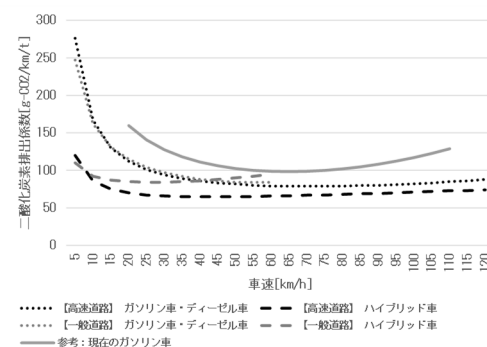


図-7 「Tank to Wheel」による排出係数の試算結果

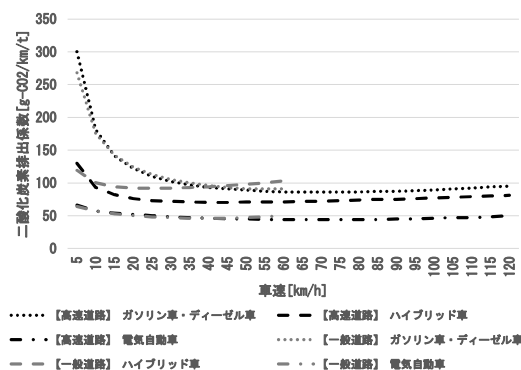


図-8 「Well to Wheel」による排出係数の試算結果

「燃料輸送」，「燃料供給」の過程分として，走行時のCO₂排出量の10%程度の排出を評価していることとなる。

「Tank to Wheel」において，現在のガソリン車の排出係数と比較すると，各車種区分の排出係数は全速度帯で小さくなっており，同じガソリン車でも近年の車両性能の向上により，小さくなっていることが確認できた。

「Well to Wheel」において，車種区分間で比較すると，概ね「ガソリン車・ディーゼル車」，「ハイブリッド車」，「電気自動車」の順で排出係数が大きくなった。特に，電気自動車は各速度域で「ガソリン車・ディーゼル車」のおよそ半分以下となった。また，高速道路と一般道路を比較すると，排出係数が最も小さい速度域に違いはあるものの，「ガソリン車・ディーゼル車」，「電気自動車」は，値そのものには大きな差はなかった。

「Tank to Wheel」，「Well to Wheel」とも，「ハイブリッド車」は「ガソリン車・ディーゼル車」に比べて各速度域で概ね小さいものの，一般道路では「ガソリン車・ディーゼル車」を上回る速度帯が見られた。3.のとおり，ハイブリッド方式により，車両毎のばらつきが大きく，高速道路と一般道路では旅行速度が上昇するにつれて，両者の値の差が大きくなっている。差の要因や妥当性を確認していく必要があるといえる。

本稿での排出係数の試算結果より，次世代自動車を含めた車種区分別の傾向の違いが確認できた。「Well to Wheel」の排出係数の試算結果から，「電気自動車」のエネルギー消費特性を考慮できるようになり，「ガソリン車・ディーゼル車」の半分程度のCO₂排出量であることなどが確認できた。

なお，「Well to Wheel」の排出係数には「燃料精製」，「燃料輸送」，「燃料供給」が含まれる。そのため，CO₂排出量の総量を把握する際に使用すると，電力発電や送電など他分野でのCO₂排出量と二重で計上することとなる。今回の排出係数の使用にあたっては，評価対象と評価目的より使用が適切かを確認する必要がある。

また，今回把握したエネルギー消費特性から排出係数を算定する際に使用した各種換算係数は，現時点での平均値である。地域や年次，発電構成割合の変化により差異が生じることとなる点に留意が必要となる。

5. まとめ

本研究では，次世代自動車のエネルギー消費特性が考慮可能となるよう，排出係数を試算した。

「Well to Wheel」の排出係数は，「ガソリン車・ディーゼル車」，「ハイブリッド車」，「電気自動車」の順に大きいことを確認した。低速度域では，旅行速度の増加とともに，いずれの車種区分，道路種別においても排出係数が小さくなることが確認された。高速道路と一般道路を比べると，排出係数が最も小さくなる速度域が高

速道路では71～77 km/h，一般道路では25～55 km/hと異なることが確認された。本稿での排出係数の試算結果より，今後の普及が見込まれる次世代自動車を含めた，道路施策によるCO₂排出量の把握への活用が期待できる。

今回の試算結果の中で，「ハイブリッド車」の一般道路の排出係数が「ガソリン車・ディーゼル車」より大きい速度帯があった。ハイブリッド方式の違いによる影響が考えられることから，算定結果の妥当性の確認など課題があると考えられる。また，「Tank to Wheel」及び「Well to Wheel」の排出係数は，CO₂排出量の評価対象と評価目的に応じて，使用に適する排出係数が異なることから，使用方法を整理する必要がある。本稿では，乗用車を対象に排出係数を試算しており，今後，貨物車を対象に排出係数の算定に取り組んでいく。その上で，大型車，小型車の2車種別の排出係数を算定する予定である。

謝辞：本研究を実施するにあたり，国立環境研究所の松橋啓介氏，近藤美則氏，（一財）日本自動車研究所の伊藤晃佳氏，金成修一氏，羽二生隆宏氏，森川多津子氏，平井洋氏，東京都立大学の小根山裕之氏にはヒアリングにご協力いただき，貴重な助言をいただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路脱炭素化基本方針，2025，
<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/utilization/datutannsoka/policy.pdf>
- 2) 国土交通省：道路分野の脱炭素化政策集 Ver.2.0，2025，
<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/utilization/datutannsoka/collv2.pdf>
- 3) 土肥学，曾根真理，瀧本真理，小川智弘，並河良治：道路環境影響評価等に用いる自動車排出係数の算定根拠（平成 22 年度版），国土技術政策総合研究所資料，第 671 号，2012.2
- 4) 森川多津子：自動車排出ガス計測における走行モードガソリン・LPG 乗用車を例として，JARI Reasearch Jounal，2019.5
- 5) 並河良治，高井嘉親，大城温：自動車排出係数の算定根拠，国土技術政策総合研究所資料，141 号，2003.12
- 6) 環境省：第 4 回グリーン税制とその経済分析等に関する専門委員会，2008.10，
<https://www.env.go.jp/council/16pol-ear/y164-04/mat04.pdf>
- 7) 経済産業省：自動車判断基準ワーキンググループ・交通政策審議会 陸上交通分科会 自動車部会 自動車燃費基準小委員会 合同会議，2019.6.25，
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/sho_energy/jidosha_handan/20190625_report.html
- 8) 環境省：温室効果ガス排出量 算定・報告・公表制度における電気事業者別排出係数一覧，2024.7.19 更新
<https://policies.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/calc.html>
- 9) 吉本貫太郎：EV/PHEV のバッテリー充電技術動向，電気設備学会誌，2013.10

マンション等を対象とした外装仕上材の劣化度判定支援AIの開発

中田 清史¹・根本 かおり²・三島 直生²・土屋 直子²

¹ (国研) 建築研究所 材料研究グループ (〒305-0208 茨城県つくば市立原1)

² 国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 (〒305-0208 茨城県つくば市立原1) .

築40年以上のマンションは2024年末時点で148万戸存在し、今後その数は増加する見込みである。一方、マンション等の建築物の維持管理に従事する専門技術者の数は、減少・高齢化の傾向がみられ、適切な維持管理がなされないまま管理不全に陥るマンション等が増加する可能性がある。本研究では、マンション等の維持管理の効率化を目的として、外装仕上材の劣化度判定支援に関する技術開発を行った。本技術は、スマートフォン等で利用可能なウェブアプリケーションであり、AIにより専門技術者でなくても劣化度を判定することができる。本技術を活用することで、マンションの居住者等が負担なく日常点検を行い、劣化の早期発見やスクリーニングに活かすことができると考えられる。

キーワード マンション、維持管理、AI、外装仕上材、劣化度判定

1. はじめに

(1) 研究の背景

築40年以上のマンションは2024年末時点で148万戸存在し、10年後には約2.0倍、20年後には3.3倍に増加すると推計されている¹⁾。適切な管理・再生が計画されているマンションがある一方で、一部では老朽化によって外壁剥落等が生じ、居住者・近隣住民等の生命・身体に危険を生じる事例も報告されている²⁾。築40年以上の高経年マンションを問題なく安全に供用するには、日頃から点検を行い劣化が生じた場合には適切に補修等の措置を講じるという維持管理が重要となる。しかしながら、維持管理に従事する専門技術者は減少・高齢化している。今後、高経年マンションの増加と相まって維持管理が行き届かなくなり老朽化が問題となる事例が増加する可能性がある。

(2) 研究の目的

このような課題を解決するためには、マンションの維持管理を効率化する手法が必要である。この方策の一つとして、従来は専門技術者が担っていた点検作業の一部を、専門技術者に頼らずに実施する手法が考えられる。本研究では、専門技術者ではない一般のマンション所有者等をユーザーとして想定した、簡易な劣化度判定支援ツールを開発した。本技術により劣化度のスクリーニングが可能となり、専門技術者への相談や補修の要否判断を従来よりも効率よく行うことが期待される。

2. 技術開発の概要

(1) 外装仕上材の劣化度判定

マンション等の鉄筋コンクリート造建築物は、多くの場合躯体表面に外装仕上材が施されている。外装仕上材の劣化は、表-1に示す劣化シナリオの中でも初期に生じるものであり、躯体劣化の前兆と位置付けられる。外装仕上材の劣化を早期発見し適切な措置を行えば、その後の躯体劣化を抑制することが可能となる。また、外装仕上材の劣化は、目視により判定することが可能であり判定に際して特殊な装置を必要としない。このことから、本研究では外装仕上材の劣化度を判定対象とし支援ツールを開発することとした。なお、外装仕上材の劣化度については、既往の研究で多くの検討がなされており、表面に生じる微細なひび割れの密度による判定基準が提案されている(表-1 下部³⁾)。本研究ではこの基準に従って劣化度を判定することとした。

表-1 鉄筋コンクリート造建築物における劣化シナリオの例

	外装仕上材の劣化	コンクリートの劣化	鉄筋腐食	コンクリートの剥落等
劣化の時期	初期 → 後期			
目視判定	可	不可	不可	可
破壊調査	不要	必要	必要	不要場合も



(2) 劣化度判定支援技術の概要

a) 劣化度判定アプリケーション

本研究で開発する支援ツールは、専門技術者ではない一般のマンション所有者等をユーザーとして想定している。そこで、スマートフォン等の身近なモバイル端末で利用可能なアプリケーションを開発することとした。また、モバイル端末の OS や性能によっては開発したアプリケーションが正常に動作しないことも想定される。そのため端末の OS や性能に極力依存しない手法として、インターネットを介してブラウザ上で動作するウェブアプリケーション形式で劣化度判定を行うこととした(図-1)。ここで、総務省「通信利用動向調査」によれば、スマートフォンの世帯保有率は 88.6% (2021 年時点)、個人のインターネット利用率は 82.9% (2021 年時点)とされている。いずれの数値も年々わずかながら増加を続けており、スマートフォン等で利用可能なウェブアプリケーションは一般の利用者にとって身近なツールであると考えられる。

b) 劣化度判定

専門技術者に頼らない手法とするため、劣化度判定は AI に行わせることとした。本研究で用いた AI は、機械学習による画像分類に基づく手法である。画像分類は、対象とする物体の画像とこれに付随する情報(例えば、「リンゴ」や「ネコ」)を予め学習させることで、任意の画像が学習した物体かどうかを判定させる手法である。本研究では、対象とする物体を外装仕上材とし、劣化度等を考慮して学習させることで、劣化度判定を行う AI モデルを構築することとした。

(3) AIモデル構築の概要

a) 実建築物調査

AI モデルを構築するには、教師データとなる画像が必要である。本研究では実際に供用されている建築物(いずれも茨城県つくば市内、写真-1)を対象に外装仕上材の調査を実施し、スマートフォン(iPhone SE 第3世代)で写真撮影を行うことで画像データを収集した(写真-2)。また、調査には専門技術者が同行し、撮影部位の劣化度判定を行った。この結果は各画像に付随する情報として記録し機械学習に用いた。

ここで、一般ユーザーが劣化度判定を行う際、使用時間帯、壁面の方位や壁面とカメラの距離等、さまざまな使用条件が想定される。これは、同じ部位であっても日の当たり方や画像の解像度等が異なり、AI の判定精度に影響を及ぼす可能性があることを意味する。このことから、教師データの収集は壁面の方位を考慮して部位選定を行い、撮影時間帯を3水準、撮影距離を3水準として部位ごとに合計9回撮影を行った(写真-3)。

b) AI学習および判定精度の検証

前項で撮影した画像データおよび専門技術者の劣化度判定の結果をもとに機械学習を行い AI モデルを構築し

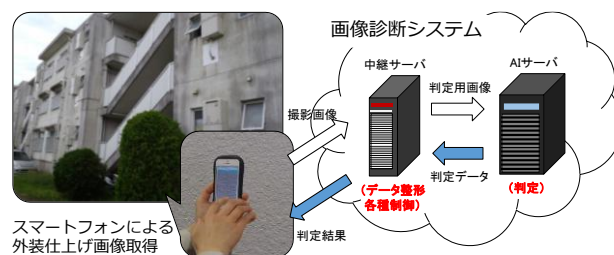


図-1 劣化度判定アプリケーションのイメージ



写真-1 調査を実施した建築物の外観



写真-2 スマートフォンによる撮影(左)および撮影箇所(右)

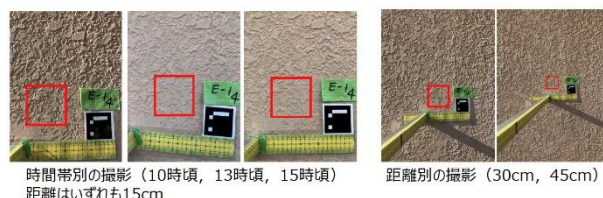


写真-3 同一部位における撮影条件ごとの比較

た。AIモデルの構築は Vertex AI (Google) を用いて行い、設定は初期設定のままとした。また、得られた AI モデルの判定精度を検証するため、検証用の画像データを判定させ正答率を算出した。なお、検証用データは前項の調査で取得した画像データのうち、機械学習に用いていない独立したデータである。模様ごと/劣化度ごとに10データずつ(合計 240 データ)を予め抽出しておき、AIモデルの構築後に検証用として用いた。

3. 開発状況

(1) 劣化度判定アプリケーション

図-2に本研究で開発したウェブアプリケーションのブ



図-2 開発したウェブアプリケーションのブラウザ画面

ブラウザ画面を示す。ユーザーは QR コードの読み込み等によってトップページにアクセスし、アプリケーションを使用することができる。「外壁の劣化度判定」を選択すると写真撮影・画像送信の画面に遷移し、スマートフォンのカメラ機能が起動する。判定したい部位が赤枠に収まるように撮影し、緑色の「解析実行」ボタンを押下すると、数秒後には判定結果が得られる。通信環境にもよるが、トップページへのアクセスから判定結果が得られるまで数十秒程度である。また、上記の一連の作業は、専門技術者でなくても比較的容易に実行できると考えられ、一般のユーザーが負担なく日常点検を行うことができると考えられる。なお、本アプリケーションの実演動画は参考文献⁴⁾でも紹介している。

(2) 実建築物調査

写真4に調査を行った外装仕上材の模様を示す。本研究では、10棟の建築物で調査を行い、「吹付け」、「吹付け（ヘッドおさえ）」、「さざ波」、「砂壁」の4種類の模様の画像データを取得した。これらの模様は外装仕上材の代表的な模様と考えられる。また、吹付け模様、吹付け（ヘッドおさえ）模様、砂壁模様が得られた建築物の数は3棟以上であり、さざ波模様が得られた建築物は1棟であった。

表-2に取得した画像データの数量を示す。いずれの模様／劣化度においても200以上の数量が確保されており、各模様の合計の数量は2500以上（全合計10000以上）となった。条件によって数量の偏りはあるものの、全体として多くの数量が確保されており、教師データとして十分に用いることができると考えられる。また、これらのデータは撮影条件を変えて撮影したデータであり、このデータの学習によって様々な撮影条件に対応したAIモデルの構築が期待できる。

(3) AI学習および判定精度

表-3に吹付け模様のAI判定結果を示す。AI判定結果と実際の劣化度を比較すると、正答率は98.3%（59/60）であり極めて精度のよい結果であった。また、誤判定についても実際の劣化度に近い劣化度（実際の劣化度1に対し、AIの判定は劣化度2）を示しており、スクリーニ



写真-4 外装仕上材の代表的な模様

表-2 取得した画像データの数量

	劣化度					
	0	1	2	3	4	5
吹付	713	354	302	345	348	717
吹付※	483	170	300	344	207	1057
さざ波	430	1024	567	497	214	160
砂壁	485	765	348	348	299	535

※ヘッドおさえ

表-3 AIの判定結果と実際の劣化度／吹付け

AIの判定結果	5	0	0	0	0	0	10
	4	0	0	0	0	10	0
	3	0	0	0	10	0	0
	2	0	1	10	0	0	0
	1	0	9	0	0	0	0
	0	10	0	0	0	0	0
	0	1	2	3	4	5	
実際の劣化度							

表-4 AIの判定結果と実際の劣化度／吹付け（ヘッドおさえ）

AIの判定結果	5	0	0	0	0	1	10
	4	0	0	0	0	9	0
	3	0	0	0	10	0	0
	2	0	0	10	0	0	0
	1	0	10	0	0	0	0
	0	10	0	0	0	0	0
	0	1	2	3	4	5	
実際の劣化度							

表-5 AIの判定結果と実際の劣化度／さざ波

AIの判定結果	5	0	0	0	0	0	10
	4	0	0	0	0	9	0
	3	0	0	0	9	0	0
	2	0	1	10	0	1	0
	1	1	9	0	0	0	0
	0	9	0	0	1	0	0
	0	1	2	3	4	5	
実際の劣化度							

表-6 AIの判定結果と実際の劣化度／砂壁

AIの判定結果	5	0	0	0	0	0	10
	4	0	0	0	0	7	0
	3	0	0	0	10	2	0
	2	0	2	9	0	0	0
	1	0	8	1	0	1	0
	0	10	0	0	0	0	0
	0	1	2	3	4	5	
実際の劣化度							

ングを行うには十分な精度と考えられる。

表-4に吹付け（ヘッドおさえ）のAI判定結果を示す。

吹付け模様の場合と同様に、正答率は 98.3% (59/60) であり極めて精度のよい結果であった。また、誤判定についても実際の劣化度 4 に対して AI の判定は 5 であり、両者は大きく乖離しない結果であった。

表-5 にさざ波模様の AI 判定結果を示す。正答率は 92.3% (56/60) であり、吹付け模様や吹付（ヘッドおさえ）模様と比べると正答率は劣るものの、十分に高い数値と言える。ただし、誤判定 4 データのうち 2 データは、実際の劣化度 4 に対して 2、実際の劣化度 3 に対して 0 というように、やや乖離のある判定見られた。

表-6 にさざ波模様の AI 判定結果を示す。正答率は 90.0% (54/60) であり、本研究の中では最も低い正答率となった。また、誤判定の 6 データのうち 1 データでは、実際の劣化度 4 に対して AI の判定が 1 となっており乖離のある誤判定が見られた。

(4) 今後の課題

a) ウェブアプリケーションの公開

本研究で開発したウェブアプリケーションは、将来的には一般のユーザーが誰でも使うことができるよう公開することを目標としている。この目標に向けて、劣化度判定結果の実用性やアプリケーション自体の動作確認等を今後実施していく必要がある。共同研究機関や自治体と連携し、各種検討を継続する予定である。

b) AI判定精度の改善

前節でも示したとおり、本研究で構築した AI モデルは専門技術者の判定結果（実際の劣化度）に対して 9 割以上の正答率を示した。一般ユーザーが劣化度のスクリーニングとして使用する分には十分な精度であると考えられる。ただし、一部では実際の劣化度に対して大きく乖離する判定が見られた。この点については、教師データの拡充や判定時の閾値の調整等により改善する必要があると考えられる。

また、本研究の判定精度の検証は、学習を行った建物の別の部位で取得した画像を検証用データとして用いた。しかしながら、実際に一般ユーザーが使用する場合には、未学習の建物に対して判定を行う必要がある。建物が異なっている、劣化度の判定基準（ひび割れ密度）は同じであるが、外装仕上げ材の模様や色は学習したものと異なる可能性がある。このような場合でも正確に判定ができるかは今後検証が必要である。また、未学習の建物に対して判定精度を確保するには、教師データのさらなる

拡充が必要である。今後も建物調査を実施し、幅広い教師データのデータセットの構築を図りたい。

c) 劣化度判定メニューの拡充

本研究では、躯体劣化の初期段階で生じる劣化現象であり、かつ目視検査が可能な（AI への置き換えが比較的容易な）外装仕上材の劣化度判定の対象とした。しかしながら、躯体劣化のうち目視検査が可能な劣化現象は、コンクリートのひび割れや鉄筋露出等も考えられる。今後、外装仕上材の劣化度判定以外にも検討を行い、判定メニューの拡充に向けた検討を行う。

4. まとめ

本研究では、専門技術者ではない一般のマンション所有者等をユーザーとして想定した、簡易な劣化度判定支援ツールの開発を目的として検討を行った。得られた成果を以下にまとめる。

- 1) 外装仕上材の劣化度判定を行うためのウェブアプリケーションを開発した。本アプリケーションは、スマートフォンおよびインターネット環境があれば、数十秒で簡易な劣化度判定が可能なシステムである。
- 2) 専門技術者の劣化度判定を AI に学習させるため、実際の建築物の調査を実施し教師データを収集した。その結果 10 棟の建物から合計で 10000 以上の教師データを取得した。
- 3) 取得した教師データを用いて AI モデルを構築し、劣化度判定の精度を検証した。専門技術者の判定に対して正答率 90%以上の精度が得られた。
- 4) 開発技術に関する今後の課題を整理した。

参考文献

- 1) 国土交通省：築 40 年以上のマンションストック数の推移, <https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/content/001903887.pdf>
- 2) 国土交通省：マンションを取り巻く現状と課題, 令和 4 年 10 月, <https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/content/001520089.pdf>
- 3) 建築研究所：建築物の長期使用に対応した 外装・防水の品質確保ならびに 維持保全手法の開発に関する研究, 建築研究資料, No.145, pp. 49, 2013
- 4) 建築研究所：国立研究開発法人建築研究所講演会「建築材料分野における AI を活用した画像診断支援ツールの事例紹介」, 2025 年 3 月, https://www.youtube.com/watch?v=7KLqGqxo_w

国道41号名濃バイパス 6車線化による整備効果

澤 圭斗¹

¹中部地方整備局 愛知国道事務所 計画課 (〒464-0066 愛知県名古屋市中千種区池下町2-63-4)

国道41号は愛知県名古屋市から富山県富山市を結ぶ一般国道であり、その内、愛知県小牧市中から犬山市五郎丸の区間については、慢性的な交通渋滞等の課題解決を目的に、名濃バイパス事業を実施してきた。

本稿では、6車線供用から約1年が経過した本事業について、交通量調査・ETC2.0プローブデータの分析・企業ヒアリングなどの結果から、国民生活の視点でとりまとめた整備効果の分析手法とその結果を述べる。

キーワード 整備効果, 事業評価

1. はじめに

国道41号名濃バイパスは、愛知県小牧市中から犬山市五郎丸に至る延長約7.0kmのバイパスである。

交通渋滞の緩和、周辺住民や沿線に立地する大規模事業所の高速道路アクセスの利便性向上を目的に計画された道路であり、4車線から6車線へ拡幅する整備事業である。

平成29年度に一部区間6車線化での運用を開始し、令和6年1月までに6段階に渡る部分供用を実施した後、令和6年2月に全線6車線化が完了した。

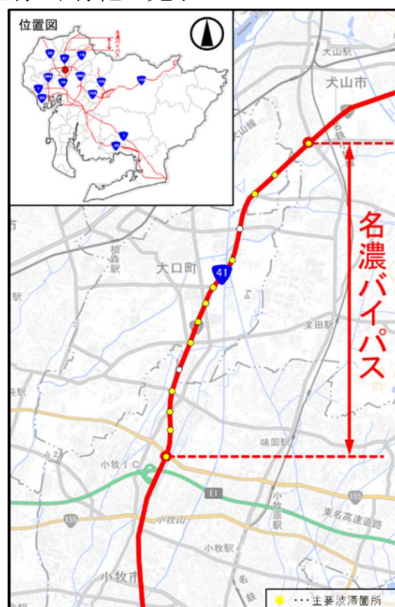


図-1 主要渋滞箇所状況

完了した事業の評価を行うにあたり、道路整備における事業評価で実施している費用便益分析での現状の評価指標は、走行時間短縮便益、走行経緯費減少便益、交通事故減少便益の3便益より事業の投資効果を計っているところであるが、費用対効果以外の多様な効果が、道路利用者やその影響を受ける国民に対する重要な要素と考える。

本稿では、交通量や交通容量、走行速度向上による時間信頼性の向上等の定量的な効果の他、企業立地の促進や観光支援に伴う地域経済への波及効果、今後期待できる効果として交通事故や災害にかかる防災支援など、国民生活にかかる視点で効果を取りまとめた。

2. 本路線の課題

名濃バイパスの事業区間約7.0kmに存在する14箇所の交差点の内、12箇所が主要渋滞箇所となっており、かつ事業区間すべてが主要渋滞区間に位置付けられている。

(図-1)

本事業は、名神高速道路や名古屋高速道路へのアクセス道路であり、物流、製造業等の企業が多数立地していることや沿線には多数の観光施設が立地していることから、交通集中による渋滞が発生し、企業活動が停滞しているなど多くの課題があり、本事業は、課題解決のために6車線化整備をすることで、交通の円滑化、物流の効率化等の効果を見込んでいる。

3. 整備効果とその取りまとめの評価手法について

(1) 物流、製造業等の企業への貢献と、企業立地に伴う地域への波及効果

国道41号は名神高速や名古屋高速へのアクセス道路であり、沿線には多数の製造、物流業等の企業が立地している。

製造、物流業で最も重要となる所要時間について、整備前後で比較した。(図 - 2)

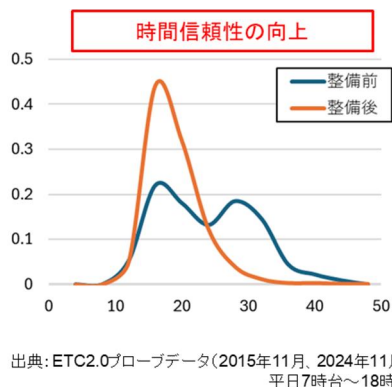


図 - 2 整備前後における時間信頼性の比較

整備前の五郎丸交差点から村中交差点までの約7.0km区間での所要時間は、10分台～40分台までのばらつきが大きく予測時間が計れない傾向にあったが、整備により10分台～20分台の幅を占める割合が増え、ばらつきが小さくなった。

ばらつきが小さくなり、時間信頼性が向上することで、沿線企業の物流効率化の支援に寄与する。

時間信頼性は、帰着時間に制限がある場合、旅行時間が不確実であるために必要時間を余計に見積もる余裕時間の短縮の他、物流、製造業の視点でみると、配達時間が短縮することによる自動車の燃料や人件費などのコスト削減にも繋がると考える。

渋滞などの影響による旅行時間の変動が小さくなることで、社会的・経済的な損失の削減に期待できる。

なお、整備前後において、大型車のみに絞った30km/h以上で走行する車両の割合を比較したところ、整備後には約3倍の割合となった。(図 - 3)

この比較においても、旅行時間短縮の他、渋滞による排出ガスの増加や、生活道路への流入による事故等を防ぐことが可能となると考える。

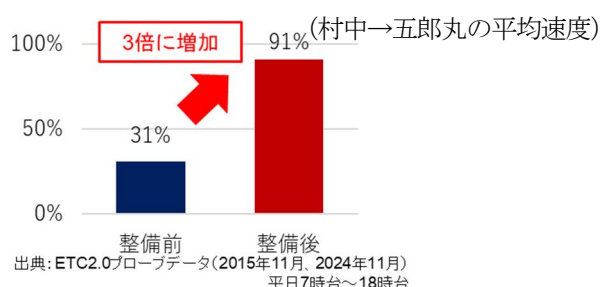


図 - 3 30km/h以上で走行する大型車の割合

名濃バイパス事業化以降、沿線の地域には工場や物流施設が新規に立地している。民間投資の誘発による企業立地の促進により新たな雇用が生まれ、人口増加や税収の増加など、経済活動への波及効果を生み出し地域の発展に寄与すると考える。

さらに本事業に併せて、沿線地域では開発可能区域を設定した。(図 - 4)

沿線地域では事業化以降、地域の政策による企業誘致を一つの要因とし、企業の事業所数、税収が、増加傾向にあるとみられる。(図 - 5)、(図 - 6)

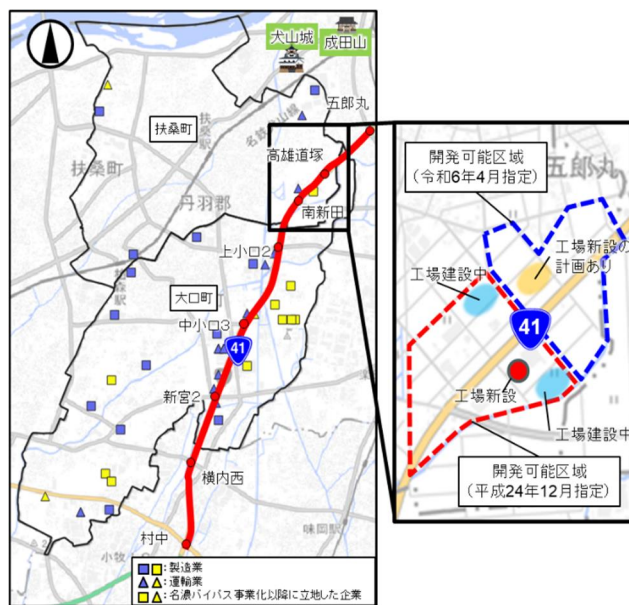


図 - 4 開発可能区域の指定区域

※開発可能区域：都市計画法第34条12号の規定により愛知県知事の指定を受けた、工場や研究所に用途を限定して開発が可能な区域

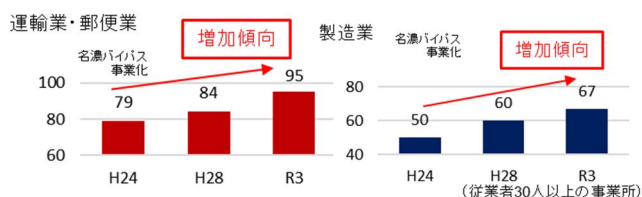


図 - 5 事業所数の変化（大口町・扶桑町）

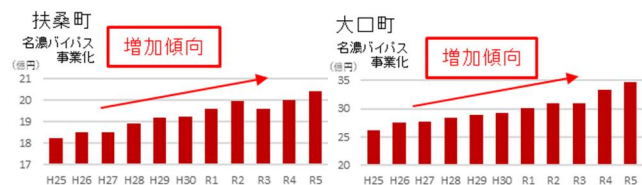


図 - 6 固定資産税の変化

出典：愛知県統計年鑑、大口町 HP、扶桑町 HP

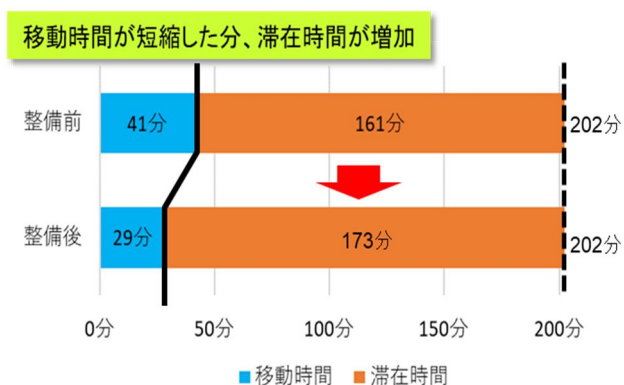
(2) 観光支援

国道41号名濃バイパス沿線の犬山市中心部には、犬山城や成田山名古屋別院など、多数の観光施設が市内各所に点在している。（図－4）

犬山城の観光入込客数は、2024年に過去最多の約65万人となり、成田山名古屋別院では正月三が日でおおよそ30万人の参拝客が訪れるなど、犬山市を訪れる観光客の約6割が足を運んでいる。

事業の整備前後で、旅行目的地までの旅行時間と滞在時間の変化を比較するため、スマートフォンに搭載されたGPS情報などを利用し、ユーザーの位置情報や移動速度、走行ルートなどの収集が可能なスマートフォンプローブデータ（GEOTRA Activity Data）を活用した。

（図－7）



出典：GEOTRAデータ（整備前R1年5月、整備後R5年5月）（休日）

図－7 名古屋から犬山城来訪者の移動時間・滞在時間

道路の整備によって移動時間が短縮されたことで、目的地での滞在時間が増加していることが分かる。

旅行における移動時間短縮による効果を多角的な視点で考えると、観光地へのアクセス性が向上し、遠方への旅行が可能となることで、広域的な周遊ルートの形成、より多くの観光地の選択肢の増加が期待できる。

また、目的地での滞在時間が増加することで、来訪する旅行者の満足度向上のほか、観光における宿泊費や飲食費、施設利用料などの消費支出が増加し、地域経済の活性化が期待できる。

既存に立地している観光施設以外にも、新たな観光ルートとして、受け入れ環境の形成に向けた取り組みにも期待できると考える。

5. おわりに

道路の事業評価の評価指標においては、現状の3便益の計算に含まれない部分の効果を取り入れる見直しについて議論がされているところである。

本稿では、道路整備における費用対効果分析以外の指標に着目した整備効果を紹介した。

本稿では、道路整備による自動車の走行速度向上や渋

滞の緩和などの直接的な効果から波及した、時間信頼性や経済支援などの効果を取りまとめた。

直接的で定量的な効果が、余裕時間や物流コストの削減、地域経済、観光支援への波及効果など、多様で定性的な要素を生み出していることが分かる。

また、本稿で紹介した整備効果のほか、警察や消防の緊急車両等を支援する防災面、幹線道路の整備における地域交通の適正化において、新たな視点として取りまとめた。警察、消防の防災関係者へのヒアリングを実施したところ、道路拡幅による緊急車両の円滑な通り抜けが可能となった他、災害発生時の道路啓開におけるがれき等の円滑な撤去作業等に期待の声が得られた。

また、地域交通の適正化として、国道41号名濃バイパスへの交通が転換し、周辺道路の交通の分担率が減少した。沿線道路への流入が減少することによる交通事故発生件数の減少等に期待できると考える。

このような定性的な効果は、道路利用者や道路整備による影響を受ける国民に対して、3便益（走行時間短縮便益、走行経緯費減少便益、交通事故減少便益）の効果と同程度の有益性を有していると考えられるが、評価としては総括の参考値としてのみでしか扱われていないのが現状である。

これらの効果を考慮することで道路整備における社会的意義がより大きく必要性のあるものになると考える。

本稿で取りまとめた既存の評価指標以外の多様な効果を一端とし、今後の道路の事業評価における新たな評価指標として、定量的に扱っていくことを提案していきたい。

参考出展

- 1) 平成26年度刊愛知県統計年鑑「経済センサス-活動調査」の県集計結果
- 2) 平成29年度刊愛知県統計年鑑「経済センサス-活動調査」の県集計結果
- 3) 平成30年度刊愛知県統計年鑑「経済センサス-活動調査」の県集計結果
- 4) 令和4年度刊愛知県統計年鑑「経済センサス-活動調査」の県集計結果
- 5) 愛知県統計年鑑バックナンバー
- 6) 令和5年度 大口町決算書（大口町HP）
- 7) 令和5年度 扶桑町決算書（扶桑町HP）

九州初の道路シールドトンネルの 中間報告（市街地部を通過） ～鹿児島3号東西道路シールドトンネル （下り線）新設工事～

樋口 昌宏¹・河野 敏和¹・富山 達也¹・勝田 弘志¹

¹九州地方整備局 鹿児島国道事務所 工務課 （〒892-0812 鹿児島県鹿児島市浜町2番5号）

鹿児島東西道路は、鹿児島市街地部に位置する延長3.4kmの自動車専用道路であり、このうち延長2.3kmのシールドトンネルを施工している。シールドトンネル工事は、令和5年11月より掘進を開始しており、各種近接構造物へ有害な変状を与えることなく市街地部を通過し、令和7年2月より、土被りが相対的に大きく、地盤の安定した山岳部の掘進を行っている。

本稿では、市街地部の通過に伴う技術的な課題、施工管理、計測管理等について報告する。

キーワード 鹿児島東西道路、シールド工法、低土被り、騒音、振動、計測管理

1. はじめに

鹿児島東西道路（延長約3.4km、完成4車線）は、鹿児島市に位置し、九州縦貫自動車道や南九州西回り自動車道との結節点である鹿児島ICと鹿児島市中心市街地および重要港湾である鹿児島港を結び、アクセス機能強化と都市交通円滑化、交通混雑の緩和を目的とした高規格道路である（図-1）。

このうち、本工事は九州地方で初めてとなるシールド工法による道路トンネル工事であり、外径11.34mの泥土圧式シールドマシンにより、シラス地盤を約2.3km掘進するものである。シールドマシンは市街地部を発進し、供用中の幹線道路直下を掘削しながら、九州電力洞道や鹿児島市電、九州旅客鉄道（以下、JR九州）軌道等の各種構造物に近接した中で掘進する施工条件であることから、各構造物の管理者と事前協議を行い、慎重な掘削が求められた。本稿では、市街地部の通過に伴う技術的な課題、施工管理、計測管理等について報告する。



図-1 鹿児島東西道路 概要図

2. 市街地部における施工条件の概況

市街地部の概況を図-2に示す。シールドマシンは、都市部の幹線道路の中央部に発進立坑を設けて発進していることから、沿線の家屋や店舗等、周辺環境に配慮した施工が求められる。特に、九州電力洞道、鹿児島市電、曙陸橋、JR九州軌道（鹿児島本線、指宿枕崎線）においては、社会的に影響の大きな重要構造物の直下でのシールド掘削であり、各構造物への影響を最小限に抑えるため、事前の予測解析や施工時の変状計測を行いながら、慎重にシールドを掘進することが求められた。また、多岐にわたる管理者に対して、承認期間を考慮して早期の協議を実施する必要があった。

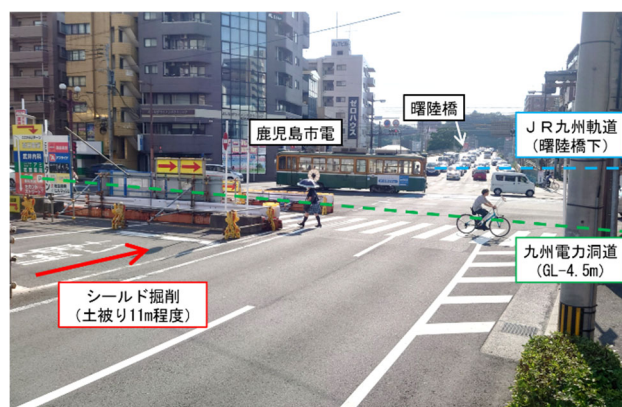


図-2 市街地部の概況

3. 市街地部における土質概況

本工事の平面図および土質縦断図を図-3,4に示す。トンネル全線において、九州南部に分布する特殊土であるシラス地盤の掘削となる。シラス地盤は火砕流堆積物であり、一般的な砂質土と比較して間隙率が大きく、水が加わると流動性が増加して崩壊しやすい傾向にある。このことから、市街地部はもとより、Si-M層（設計N値=45）を主体とする山岳部の掘進においても、慎重な施工が求められる。

市街地部における土質縦断図を図-5に示す。シールドは発進後、1 D程度の土被りはあるものの、シールド上部には緩い砂質土地盤であるUs層（設計N値=12）が堆積している。このように、シールド掘削による変状が地表面に伝わりやすい地盤の中で、各構造物の直下を掘削する施工条件となるため、変状の抑制対策を検討する必要がある。

4. 市街地部における施工時の課題と対応

(1) シールド掘進に伴う地盤変状の概要

シールド掘進に伴う地盤変状として、シールド前面の切羽圧のバランスに起因した前方での先行沈下、シールドマシンとセグメントの外径差（テールボイド）に起因した後方での後続沈下が生じる（図-6）。

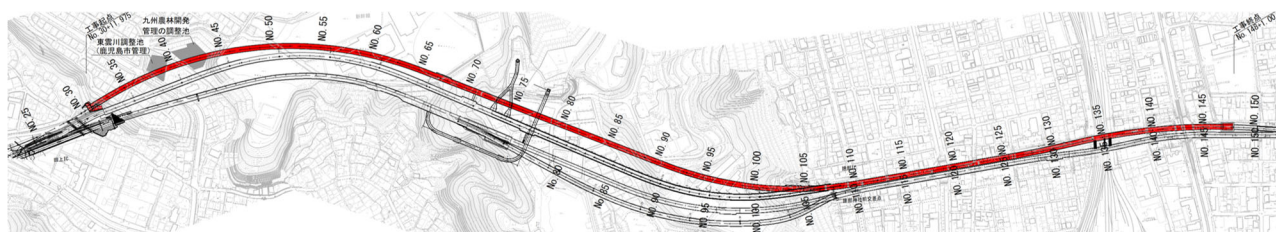


图-3 平面图

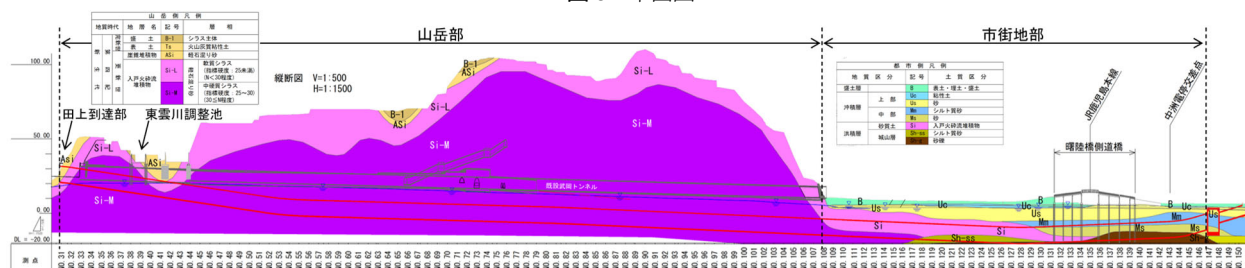


図4 土質縦断面図

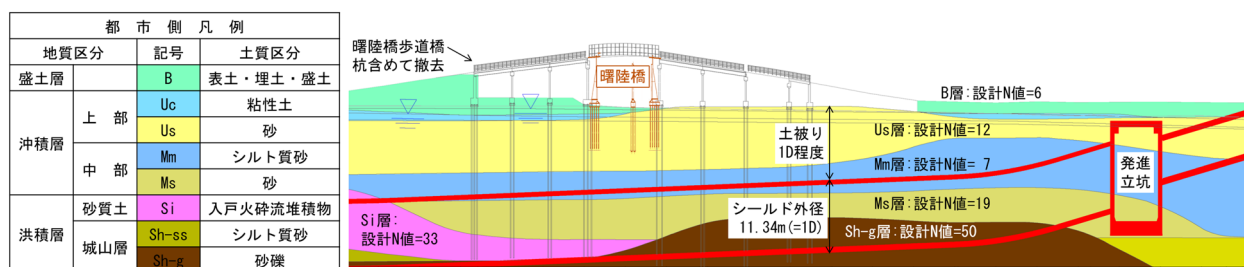


図-5 市街地部における土質縦断図

左記の変状を抑制するため、シールド前方の先行沈下に対しては、適切な切羽圧の設定を行うこと、後方の後続沈下に対しては、適切な裏込め注入圧を設定することが求められる。一般的には、切羽圧や裏込め注入圧の管理値は机上計算により設定されるが、本工事においては、適切な施工管理値の設定のため、施工ヤード内においてトライアル区間を設け、地盤変状に関する計測を行うことで、切羽圧および裏込め注入圧の設定の妥当性を検証することとした。

なお、図-5中に示されている曙陸橋の歩道橋の杭は、トンネル線形と干渉するものであり、当初はシールドマシンで杭を直接切削して掘進する計画であったが、本工事の技術検討委員会に諮問の上、シールド掘削前に歩道橋とその杭を一時撤去し、流動化処理土による埋戻しを行った後にシールド掘削する計画へ変更となった。これより、当該部での変状リスクを低減できたものとする。

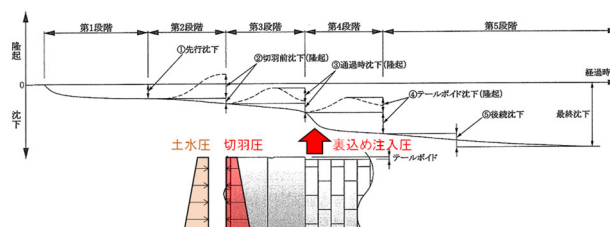


図-6 シールド掘進による地盤変位の概要²⁾

(2) 発進後の施工ヤード内におけるトライアル掘進

a) 計測内容

トライアル掘進の概要を図-7に示す。計測機器は施工ヤード内に設置しており、トータルステーションによる地表面の沈下量の計測および層別沈下計による地中の沈下量の計測を行った。解析値と計測値を比較した結果を図-8に示す。地表面の沈下については、解析値4.7mmに対して計測値4.8mmと、概ね一致している結果を得ており、層別沈下計の計測値は、各層で解析値と1mm以内の差であったことから、解析値と計測値が同程度であると判断した。以上より、机上計算による切羽圧および裏込め注入圧の管理値（上限値、下限値）の設定が妥当であることを確認した。なお、地盤変状をゼロにするべく、上限値を超えて切羽圧や裏込め注入圧を高める場合、必要以上に地盤が乱されて沈下を招く恐れや、セグメントに過度な荷重が作用する可能性があることから、上限値を超えた切羽圧や裏込め注入圧を作用させていない。

切羽圧と裏込め注入圧の設定を、以下に示す。

切羽圧

- ・ 上限値＝静止土圧＋水圧＋予備圧20kPa
- ・ 下限値＝主働土圧＋水圧＋予備圧20kPa

裏込め注入圧

- ・ 上限値＝切羽圧の上限値＋200kPa
- ・ 下限値＝切羽圧の上限値＋ 20kPa

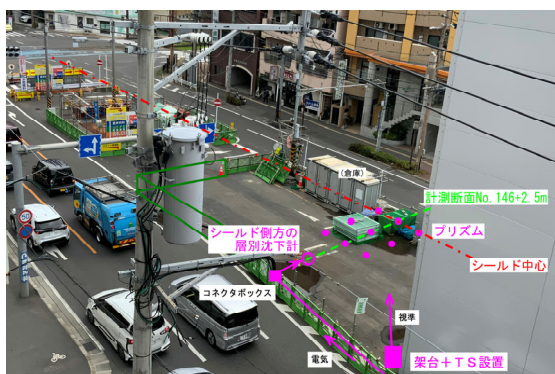


図-7 発進部トライアル掘進概要

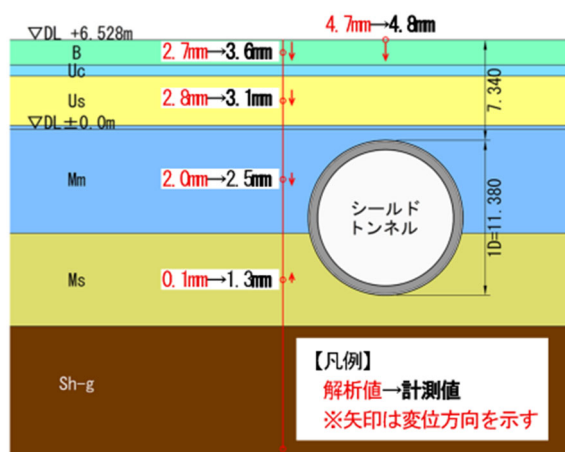


図-8 解析値と計測値の比較（立坑から切羽を望む）

b) 騒音振動対策：滑材の変更

一方、地表面ではシールドマシン掘進による振動・騒音の発生が一部区間にて確認された。これは、シールドマシンと地盤との摩擦に起因するものであり、通常、シールドマシン外面から滑剤を吐出することにより、摩擦を低減することが出来る（図-9,10）。

トライアル掘進においても、当初設計の「凝結材＋助剤」の滑剤を注入していたものの、振動・騒音の発生が確認されたため、摩擦低減効果のより大きい「高分子（サイレントゲル）」に滑剤を変更し、以降の掘進を行うこととした（図-11）。

滑剤変更後、地表面における振動計測にて、一定の振動低減効果があることを確認した（図-12）。

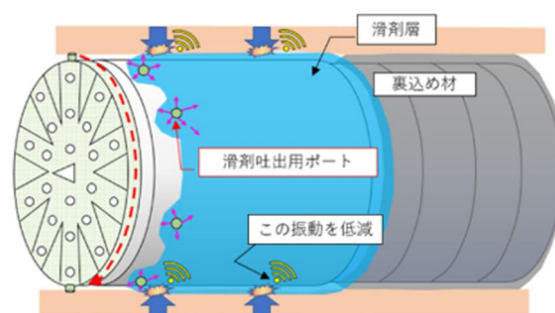


図-9 振動発生の概要

▼振動計測現地写真



図-10 振動の計測状況



図-11 滑剤の性状

注入材変更前後の掘進における振動の比較（No.145付近）

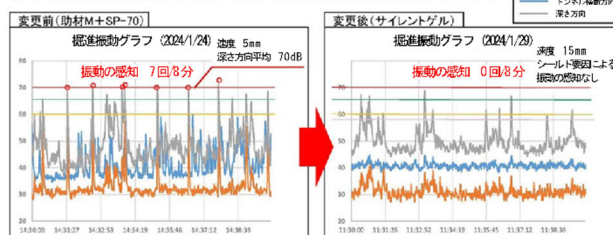


図-12 滑剤変更による振動低減の効果

(3)市街地部における各種課題と対応

a) 幹線道路（市道中洲通線、県道24号）

市街地部においては、供用中の幹線道路の直下を施工することから、手動測量により路面変状をモニタリングしており、測定結果を定期的に鹿児島国道事務所HPにて公開している。管理値の設定においては、過去の工事の事例を参考に、表-1の通り設定しており、一次管理値以内で市街地部の掘削を完了している。

b) 中洲電停交差点：九州電力洞道

対象構造物は、GL-4.5m付近に位置するφ220mmの電力洞道（電力管）である（図-13,14）。管理者との協議により、洞道の限界値を10mmとする回答を得たが、地中の洞道に対して計測機器を直接取り付けることが出来ないため、どのように管理を行うかが課題であった。

これに対して、管理者協議の上、二次元FEM解析結果における地表面変位と洞道位置の変位との関係性を踏まえ、地表面変位の実測値から洞道変位を推定することとした。具体的には、図-15の解析結果において、地表面沈下4.2mmに対して洞道位置の沈下が4.9mmと、1.17倍の変位が表れると推定された。これより、洞道の限界値10mmに対応する地表面変位を $10\text{mm} \div 1.17 = 8.5\text{mm}$ と定め、各管理値を設定するものとした（表-2）。

c) 中洲電停交差点：鹿児島市電

対象構造物は、地表面に位置する鹿児島市電の軌道である（図-13,14）。管理者協議の上、限界値は「鹿児島市交通局軌道整備心得」に示される、軌道の10m弦正矢法による高低・通りで、各10mmとした。10m弦正矢法による軌道管理の概要図を図-16に示す。これは、レールに10mの糸を張り、その直線に対するレールの偏差として表される値である。管理値は電車の走行性から定められるもので、各鉄軌道事業者で整備基準値が設定されている³⁾。鹿児島市電の軌道の管理値の設定を表-3に示す。

計測における工夫として、平面図（図-13）に示すように、5mピッチで軌道の変位を計測することで、10m弦正矢法での処理を容易としている（例えば6mピッチであれば、12m弦となってしまったため、線形補完して10m弦での値を推定する等の処理が必要となる）。

施工における工夫として、計測データを常時モニタリングすることはもとより、中洲電停交差点においては、九州電力洞道・鹿児島市電・幹線道路等、社会的に影響の大きな重要構造物の直下での施工となるため、迅速に通過することを目的として、土日を通じた連続掘進を行うこととし、問題無く施工を完了している。（なお、本工事は4週8休適用工事であるため、別途閉所日を設けた。）

表-1 路面変状の管理値の設定

管理値	設定値	超過時の主な対応
一次管理値	±10mm	計測頻度アップ
二次管理値	±15mm	施工方法再検討，対応協議
三次管理値	±20mm	対策工検討，協議，実施

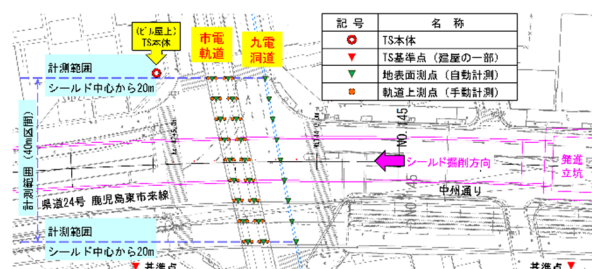


図-13 平面図

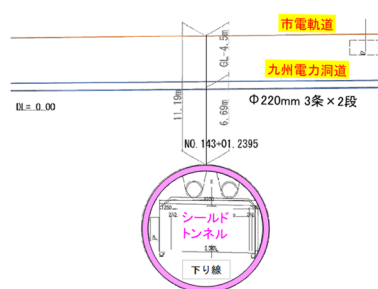


図-14 横断面図

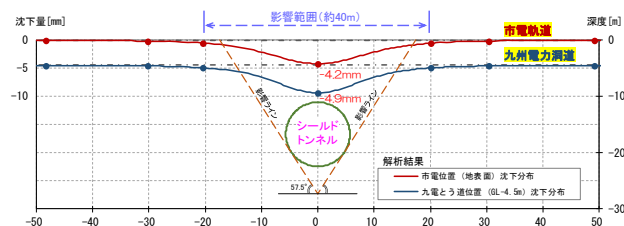


図-15 二次元FEM解析による沈下量の予測解析

表-2 九州電力洞道管理のための地表面変位の管理値の設定

管理値	設定値	超過時の主な対応
一次管理値	±8.5mm×50%=±4.2mm	計測頻度アップ
二次管理値	±8.5mm×80%=±6.8mm	工事中断，対応協議
限界値	±8.5mm	対策工協議，実施

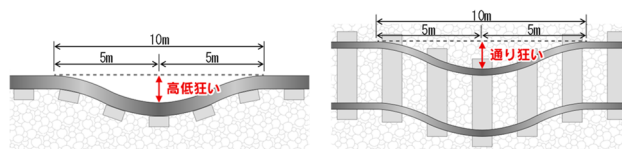


図-16 10m弦正矢法による軌道管理の概要図

表-3 鹿児島市電の管理値（10m弦正矢法：高低・通り）の設定

管理値	設定値	超過時の主な対応
一次管理値	±10mm×50%=±5mm	計測頻度アップ
二次管理値	±10mm×80%=±8mm	工事中断，対応協議
限界値	±10mm	対策工協議，実施

d) 曙陸橋

対象構造物は杭基礎形式の橋台および橋脚であり、片側2車線の車道を供用する道路橋である。図-17の概況に示す通り、JR九州軌道を跨線している。シールドトンネルとの位置関係は、平面図・縦断面図・横断面図(図-18,19)に示す通り、深度方向に曙陸橋の杭との離隔を確保している。なお、北側歩道橋については、先述の通り、杭を含めて歩道橋を一時撤去している。

計測方法は、橋台、橋脚の北面および南面にプリズムを設置し、JR敷地外に設置したTS(トータルステーション)から自動測量を行う方法とした。プリズムの設置はJR敷地内となるため、敷地の管理者であるJR九州と協議の上、夜間の線路閉鎖時に施工を行った。

曙陸橋の橋台、橋脚の変位の管理値は、管理者である鹿児島地域振興局との協議の上で、表-4の通りに設定した。これは、参考文献4)に示されている、シールド工事における同様の事例を参考に、限界値 $\pm 10\text{mm}$ を設定したものである。施工は、問題なく掘削を完了している。

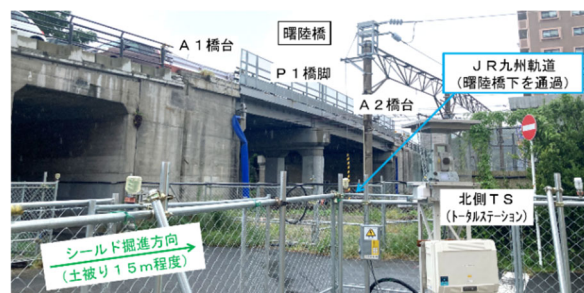


図-17 曙陸橋およびJR九州軌道北側の概況



図-18 平面図

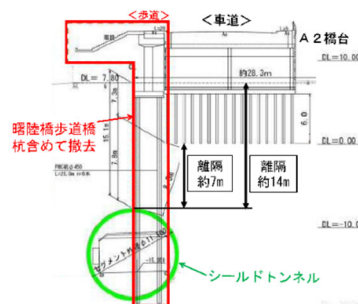


図-19 横断面図(起点側から終点側を望む)

e) JR九州軌道

対象構造物は地上を走行するJR九州軌道(鹿児島本線、指宿枕崎線)である。先述の鹿児島市電の管理と同様に、10m弦正矢法による軌道変位の高低・通りを管理するものである。表-5に管理値を示す。なお、計測業務は管理者に委託しており、計測機器として管理者指定の軌道変位自動測定器を軌道近傍に設置し、計測データを常時監視できる体制を構築した。

また、JR九州軌道に対しては、事前の二次元FEM解析結果を踏まえ、2つの対策工を管理者に委託、施工している。対策工は、軌道の変位を抑制するための補強桁の設置と、軌道下の地盤変状を抑制するための薬液注入工法による地盤改良であり、いずれも夜間の線路閉鎖時に時間が制約された中で施工であった。

曙陸橋部の通過においては、中洲電停交差点と同様に、社会的に影響の大きな重要構造物の直下での施工となるため、迅速に通過することを目的として、土日を通じた2週間にわたる連続掘削を行った。上記の対策工、施工上の工夫により、軌道の変状は高低・通りともに問題なく施工を完了している。

なお、シールド掘削に伴い、変状が生じた際の軌道整備作業員を管理者にて確保頂くために、管理者・発注者・受注者で密に連携し、確実な情報伝達を行うために細心の注意を払ったことが苦慮した点である。

表-4 曙陸橋の管理値の設定

管理値	設定値	超過時の主な対応
一次管理値	$\pm 10\text{mm} \times 50\% = \pm 5\text{mm}$	計測頻度アップ
二次管理値	$\pm 10\text{mm} \times 80\% = \pm 8\text{mm}$	工事中断、対応協議
限界値	$\pm 10\text{mm}$	対策工協議、実施

表-5 JR九州軌道の管理値の設定

項目	管理値	設定値	超過時の主な対応
高低・通り 10m弦正矢法	警戒値	$\pm 8\text{mm}$	計測頻度アップ
	補修実施値	$\pm 15\text{mm}$	軌道補修実施
	限界値	$\pm 22\text{mm}$	対策工協議、実施

(4) モニタリング結果の公表

市街地におけるシールドトンネルの施工にあたっては、施工の安全性確保、周辺の生活環境への影響の低減策のほか、地域の安心を確保するために、シールドマシン直上における地表面の変位や、振動・騒音・低周波の計測を行い、モニタリング結果を公表している。(図-20)



図-20 鹿児島国道事務所HP(モニタリング結果公開)

5. 今後の予定

現在、シールドトンネルは、土被りが大きく、安定した地盤である山岳部を掘削している。今後のシールド掘削における要所と計画を以下に記す。

a) 東雲川調整池部における杭の直接切削

東雲川調整池部の概要図を図-21に示す。当該箇所においては、シールド掘削断面と調整池擁壁の基礎杭が干渉しており、無対策の状態ではシールド掘削を行った場合は、基礎杭が大割れし、シールドマシン内で排土を行うスクリーコンベアが閉塞し、掘進が不能となる可能性がある。

これに対して、高圧噴射攪拌工法を用いて杭切削部の地盤改良を行うことにより、杭を小割りにして掘削、排土する計画としている（現在、地盤改良の施工を完了している）。加えて、小型のシールド機を使用した切削実験⁹⁾により切削可能であることを検証しているものの、実施工においては擁壁に沈下計を設置し、不同沈下等の異常が無い常時監視できる体制を構築し、シールド掘進を行う予定である。

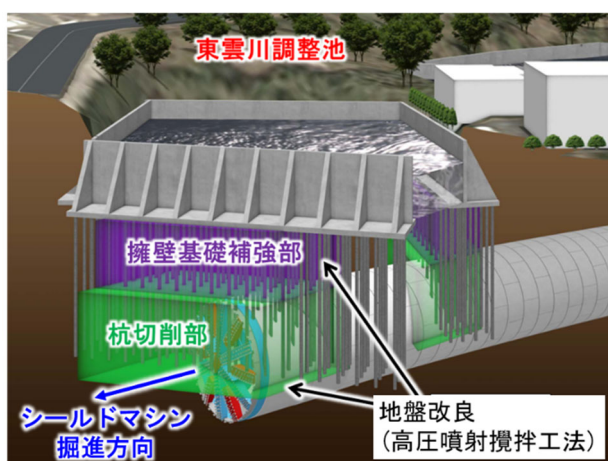


図-21 東雲川調整池部の概要

b) 田上到達部における急傾斜地への到達

田上到達部の概要図を図-22に示す。当該箇所においては、上部の住宅地、鹿児島県より急傾斜地崩壊危険区域に指定されている急斜面、側部の既設擁壁・国道3号（※市街地部の県道24号と接続している）に囲まれた中での施工となり、各構造物への影響抑制が求められる。

これに対して、シールドの到達過程を考慮した三次元逐次掘削解析を行うことで事前の変状予測を実施しており（図-23）、到達時には各種構造物に対して計測機器を設置し、異常が無い常時監視できる体制を構築し、シールド掘進を行う予定である。

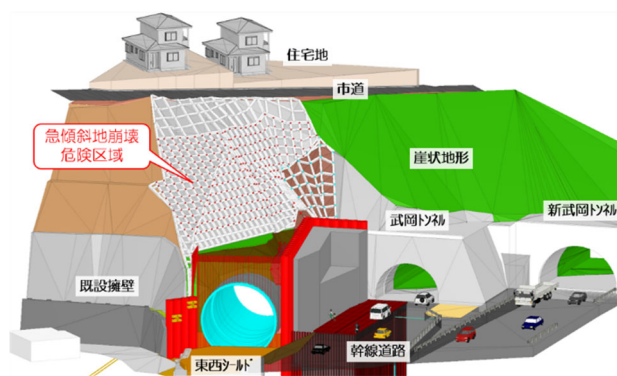


図-22 到達部の概要

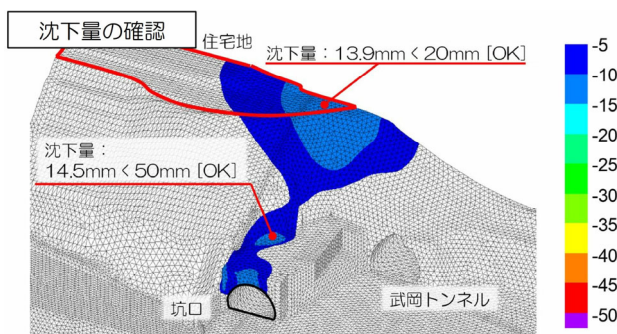


図-23 三次元掘削解析による到達時の沈下量の事前予測

6. おわりに

本稿では、鹿児島3号東西道路シールドトンネル（下り線）新設工事における、市街地部の各種近接構造物に対する事前協議内容、計測内容と結果について報告した。現在、各種構造物へ有害な変状を与えることなく、シールド掘進ができている状況である。

シールド工事に限らず、都市部での工事においては、近接構造物の管理者との管理値設定や対策工事など、事前協議が必須となる。本事例が他の都市部における工事の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 「土かぶりの浅いシラス地帯を中壁式NATMで挑む一般国道3号鹿児島バイパス武岡トンネル」（1988.7.トンネルと地下, Vol.19, No.7, pp.55-62：瀬戸口忠臣 他）
- 2) 「トンネル標準示方書 シールド工法編」（2016年、土木学会）
- 3) 「都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアル」（平成19年、鉄道総合技術研究所）
- 4) 「都市部近接施工ガイドライン」（2016年、日本トンネル技術協会）
- 5) 「シールド機によるPHC杭の直接切削実験」（令和4年度土木学会全国大会 年次学術講演会投稿論文、中村凌太郎 他）