

首都高速道路のDXを活用した維持管理効率化

DIGITAL TRANSFORMATION FOR EFFICIENT MAINTENANCE MANAGEMENT OF THE METROPOLITAN EXPRESSWAY

森田明男* , 庄司健太**, 岡田 舜啓**

Akio MORITA, Kenta SHOJI and Mitsutaka OKADA

ABSTRACT This paper presents on the digital transformation (DX) initiatives undertaken by the Metropolitan Expressway as part of its carbon-neutral strategy. Specifically, it describes i-DREAMs, the InfraPatrol, the InfraDoctor, and inspections using drones.

KEYWORDS : 首都高速道路, カーボンニュートラル, DX, 維持管理
Metropolitan Expressway, Carbon-Neutral, Digital Transformation, Maintenance management

1. はじめに

2021年10月に地球温暖化対策計画¹⁾および気候変動適応計画²⁾が改訂され、政府は2050年カーボンニュートラルの実現に向けた気候変動対策の推進を明確に示した。また、国土交通省の国土交通グリーンチャレンジ³⁾や東京都などの地方公共団体でも地球温暖化対策計画⁴⁾に関連する施策が策定されている。首都高グループにおいても持続可能な社会の実現に貢献するため、2050年のカーボンニュートラル実現を見据えた首都高カーボンニュートラル戦略⁵⁾を2022年5月に策定した。

首都高カーボンニュートラル戦略では、2030年度に自動車交通からのCO₂排出量を約3割削減(2019年度比)および事業活動によるCO₂排出量を約5割削減(2019年度比)することを目標とし、3つの基本方針に基づく12のリーディングプロジェクトを策定した。これらの一つとして「業務効率化のためのDXの戦略的導入」があり、2023年10月にはデジタル技術活用を様々なステークホルダーと連携し、加速・進化・拡大させるべく、2030年代までに実現したい「首都高DXビジョン⁶⁾」を策定した。

首都高速道路は1962年から供用を開始し、2024年4月時点では供用延長は327.2kmであり、構造物の高齢化が進んでいる状況にある。その管理対象は、橋梁で約12,000径間、施設物(約350種類)で約29万個にもおよび、生産年齢人口の減少にともなう適切な管理が大きな課題である。また、交通量が多く、構造物比率が高く、周辺環境の条件が厳しいため、迅速な現地状況の把握や損傷の早期発見などが難しいという課題もある。これらの課題に着実に対処するためにはデジタル技術を活用したデジタルトランスフォーメーション(DX)が不可欠であると考えられている。

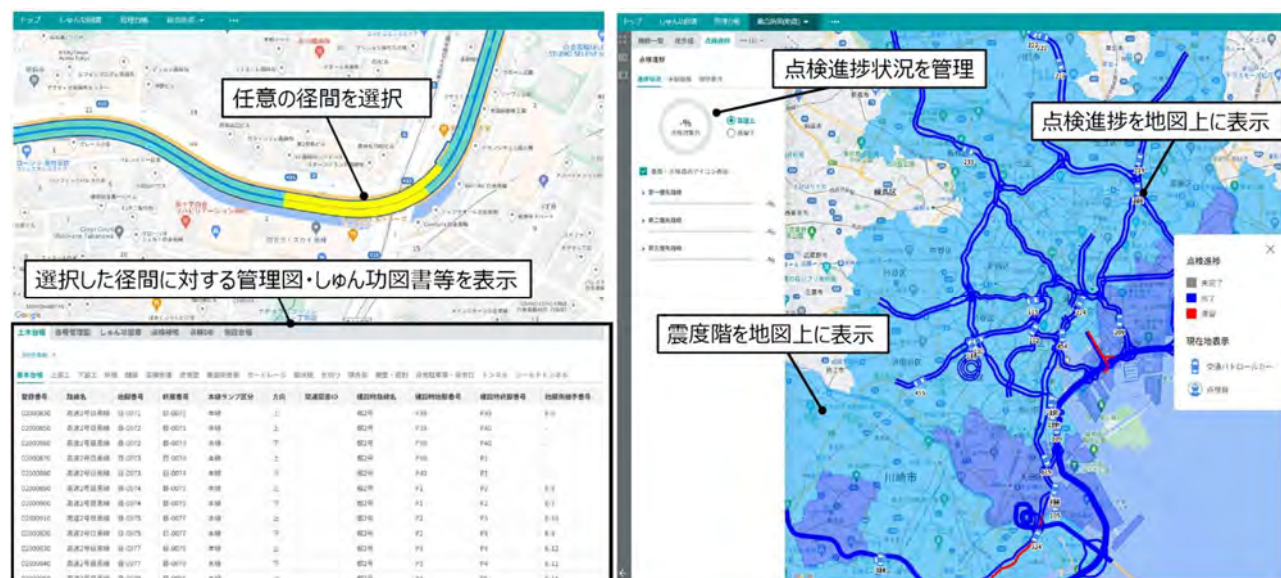
首都高グループでは、2017年に導入したスマートインフラマネジメントシステム i-DREAMs^{7),8)}による道路維持管理の効率化・高度化をはじめ、InfraDoctor⁹⁾、InfraPatrol¹⁰⁾および無人航空機(ドロー

*首都高速道路(株) 保全・交通部 点検・補修推進課 課長代理(〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1)

**首都高速道路(株) 保全・交通部 点検・補修推進課 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1)



図－1 新旧 i-DREAMs の UI の変化



(a) 径間情報検索

(b) 総合防災システム

図－2 i-DREAMs の機能

ン) による点検など、DX の取り組みを進めてきた。本論ではこれら首都高グループで取り組んでいる DX の概要を紹介する。

2. i-DREAMs

i-DREAMs (intelligence-Dynamic Revolution for Asset Management system)は、首都高速道路の構造諸元、点検・補修データ、図面データといった道路管理データを GIS プラットフォームで統合管理することで、維持管理業務を効率的に支援するシステムである。2017 年度の運用開始以降、必要な情報を収集する時間の大幅な短縮化を実現し、現在の首都高速道路の維持管理業務において必要不可欠なシステムとなっている。2024 年には i-DREAMs の更なる利用性・拡張性・冗長性の向上を目的に、オンプレミスサーバでの運用からクラウドサーバでの運用に移行し、システムをウェブ化した。ウェブ化に際しては、旧版 i-DREAMs の利用状況ヒヤリングやシステム利用ログ解析を実施し、より使い勝手の良い UI (ユーザインタフェース) 設計と各種機能の見直しを行った (図－1)。

i-DREAMs は各路線を 1 径間単位で管理しており、任意の径間を指定すると、指定した径間の情報 (しゅん功図面、点検・補修履歴、点検写真など) を容易に抽出することができる (図－2 (a))。さらに、i-DREAMs には異常気象や大震災などの災害発生時の情報を統合管理する総合防災情報システムが構築されており、道路啓開優先路線の情報、ハザードマップ、中央分離帯開口部や車両非常口などの位置情報が GIS 上で管理されている。地震が発生した際には、首都高速道路管内で発生した地震の震度情報、交通パトロールカー (交通 PC) および点検員が携行したモバイル端末から報告される位置



図－3 InfraDoctor で用いている MMS



図－4 点群データによる距離計測

情報・被災状況、点検進捗状況などをシステム上で確認することができる（図－2（b））。

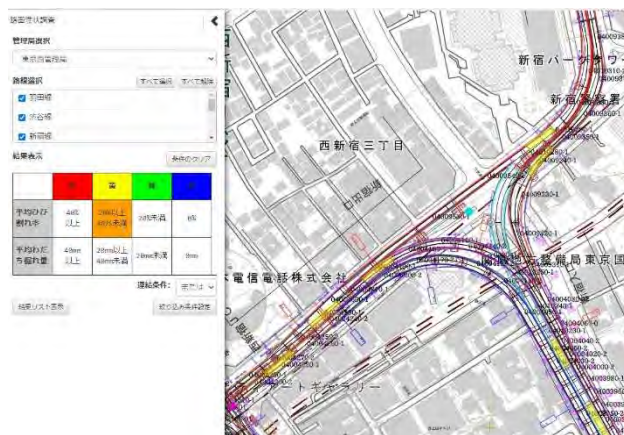
3. InfraDoctor

InfraDoctor は、レーザースキャナやカメラを搭載した Mobile Mapping System (MMS)（図－3）で計測した 3 次元点群データおよび映像を GIS プラットフォームで管理する維持管理支援システムである。計測した 3 次元点群データには全ての点に正確な 3 次元座標 (X, Y, Z) が付与されている。したがって、交差する構造物との離隔調査（図－4）や BIM/CIM など様々な場面で活用することができる。

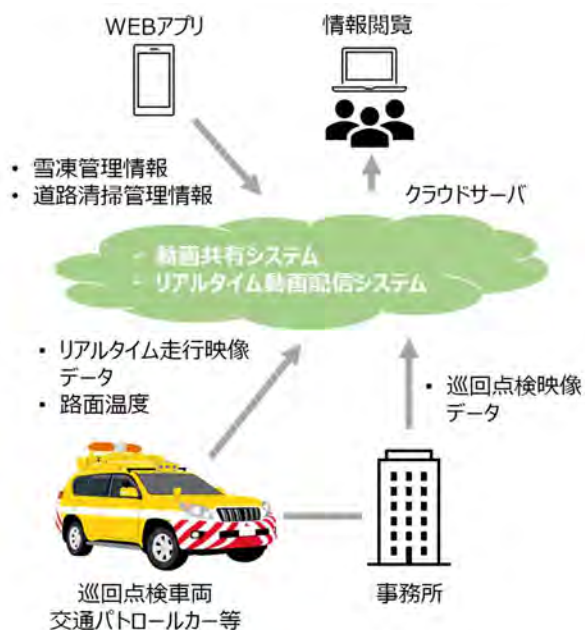
また、首都高速道路では走行快適性を確保することを目的に、InfraDoctor で計測した 3 次元点群データを用いた舗装点検（わだち掘れ、平坦性、ひび割れが点検対象）を行っている。3 次元点群データを用いた舗装点検は道路舗装を面的に調査できるため、従来の路面性状測定車による舗装点検と比較して、より実態に近い舗装評価が可能である¹¹⁾。点検した結果は GIS 上へ橋梁径間毎に管理しており、点検結果を評価ごとに色分けして確認することもできる（図－5）。

4. InfraPatrol

InfraPatrol は、巡回点検車両や交通 PC に設置したカメラ映像と車両位置情報をクラウドに構築した GIS プラットフォームにアップロードし、現場状況を閲覧および共有するシステムである（図－6）。首都高速道路では 2017 年より InfraPatrol の運用を開始し、車両巡回点検、自然災害や交通事故発生時などの情報共有に活用している。本章では InfraPatrol の主な機能である動画共有システムとリアルタイム動画配信システム（以後、RT システムとする）の 2 つの機能について述べる。



図－5 舗装点検結果の閲覧



図－6 インフラパトロールのシステム構成



(a) 点検映像の閲覧



(b) 過去の点検映像との比較閲覧

図ー7 舗装点検結果の閲覧

4.1 動画共有システム

(1) 基本機能

動画共有システムは、巡回点検車両による点検時の映像と GIS 情報を組み合わせたデータを閲覧するシステムである。映像は点検車両のルーフ部に設置した視野角 180° のカメラ(視野角 60° のカメラ 3 台で構成される)で撮影され、映像と GIS 情報を紐づけた状態で巡回点検車両に設置された記録媒体 (SSD) へ保存される。巡回点検車両に保存された映像データは、点検終了後に事務所のパソコンを介してクラウドサーバにアップロードし、クラウド上に蓄積した巡回点検の映像データは、GIS 上から検索し



図ー8 AIによるポットホール検知



(a) 走行映像と路温表示



(b) 凍結防止剤散布状況



(c) 塩水プラント在庫状況



(d) 雪凍パトロール報告状況

図－9 雪凍対応管理機能

て閲覧することができる（図－7 (a)）。また、動画共有システムは過去の映像データと最新の映像データを比較して視聴することができるため（図－7 (b)），異常や損傷の発生時期を絞り込むことが可能となっている。

巡回点検中に緊急報告する必要がある損傷を発見し、直ちに現場状況を事務所と共有したい場合は、車両に設置された緊急通報ボタンを用いる。緊急通報ボタンを押下すると、事務所に発報されるとともに、押下した時点の前後5秒間の映像とGIS情報がLTE回線によってクラウド上へアップロードされ、緊急事象へ迅速に対処することができる。

(2) 点検映像に対するAIによる損傷自動検知の検討

蓄積した巡回点検映像データの活用方法として、AIによる舗装損傷の自動損傷検知を検討している¹²⁾。舗装損傷の自動検知が可能となれば、点検技術者による目視点検の補助や損傷の見逃し防止などに活用でき、巡回点検の高度化および効率化を図ることができる。

自動損傷検知を行うAIは、路面ひび割れおよびポットホールなどの車両走行性に影響をおよぼす舗装面の損傷を対象としており、日々の巡回点検によって蓄積される巡回点検映像データを教師データとしてAIエンジンを開発した。図－8はAIで自動検知したポットホールの画像であり、AI損傷自動検知の精度向上やAI自動検知を組み込んだシステムの改良を進めている段階にある。



図－10 交通PCに設置した路温計



図－１１ 道路清掃管理機能

4.2 RT システム

(1) 基本機能

RT システムは、交通 PC による高速道路巡回時のリアルタイム映像と車両位置情報を共有できるシステムであり（図－9（a））、交通事故や自然災害発生時において迅速な現場状況の共有に活用されている。

交通 PC の室内には車載カメラ（1 台）が設置されており、撮影している映像と交通 PC の位置情報は、LTE 回線によってクラウド上に即座にアップロードされるため、リアルタイム性の高い情報を共有することができる（図－6）。さらに近年では、ウェアラブルカメラと RT システムを API 連携することで、ウェアラブルカメラの映像も本システムで共有することができ、より詳細な現場状況の把握を可能にしている。

(2) 雪凍対応管理機能

積雪凍結対応（以後、雪凍対応という）時の効率的な管理を目的に、雪凍対応管理機能が実装されている。現場からの作業状況の報告などは、雪凍対策に従事する作業者が所持するモバイル端末により発信される情報を GIS プラットフォームに表示させることで、リアルタイムの情報を本システムにあげられ、ウェブブラウザを通じて関係者にリアルタイムに共有することができる。

雪凍対応管理機能には様々な機能がある。例えば、交通 PC に設置された非接触型の路温計（図－10）から取得できるリアルタイムな路温状況をシステム上で確認することができる（図－9（a））。また、凍結防止剤を散布している車両の位置情報や散布回数の把握、雪凍パトロール状況や塩水プラントの在庫状況（図－9（b）,（c）,（d））、首都高グループと協力会社間の掲示板機能を実装している。

これらの機能の活用によって、作業進捗状況等を迅速に把握することができ、従来と比較して電話連絡が大幅に削減され、業務効率化につながっている。

(3) 道路清掃管理機能

本機能は受発注者の双方が、道路清掃作業を管理できる機能として開発・実装した。本機能は道路清掃作業ルート、作業写真などを GIS 上に表示することで容易に作業内容を把握でき、かつ作業報告書を出力できる機能となっている（図－11）。清掃管理機能においても RT システムをモバイル端末からウェブブラウザを通じて利用することで作業報告を可能としている。この機能を活用することにより、道路清掃業務の受注者は作業報告や作業報告書作成の手間が削減されるため、業務効率化につながる。本機能は 2024 年度より運用を開始し、現在は一部の道路清掃業務での活用留めているが、今後は本機能の適用業務範囲を拡大し、更なる業務効率化を図ることを検討している。

5. ドローン点検の取り組み

5.1 点検困難箇所におけるドローンの活用

高所の点検や高架下条件が厳しい環境下では接近点検を行うことが困難なため、2021年度から首都高速道路の一部の点検ではドローンを活用した点検を行っている。

ドローン点検を活用した事例として、首都高速 11 号台場線のレインボーブリッジアプローチ部は鋼箱桁橋梁内部の点検がある。この橋梁は桁高が最大で約 10m にもなり（図－1 2）、従来は高所点検用ポールカメラやロープアクセス工法によって点検を行っていた。そこで、高所部の点検をドローンにて実施することにした。

点検に使用した機体は Skydio2+（Skydio 社製）であり、6 個のカメラによって 360 度撮影が可能であり、衝突回避センサーを搭載している。Skydio2+はビジョンセンサーによって、橋梁箱桁内や高架下などの非 GPS 環境下においても安定した飛行が可能である。また、機体が小型のため、狭隘な空間でも飛行しやすい特徴を有している。

ドローン点検の結果、遠方目視では発見困難な溶接部の塗膜割れも十分に確認することができ、従来の点検手法と遜色のない結果が得られた。また、従来の点検手法と比較して、ドローン点検は工期を約半分にすることができ、大幅な業務効率化を実現した。なお、ドローン点検はスクリーニング点検として活用しており、非破壊調査などを必要とする箇所は接近点検を実施している。

5.2 首都高速道路における災害時のドローン活用

（1）災害発生時のドローン活用構想

首都高速道路では、大地震発生時に構造物の被害状況や車両滞留を把握するために、交通 PC による高速上目視点検、徒歩による高架下目視点検および CCTV 映像による被災状況把握を実施する。しかしながら、構造物損傷発生時や車両滞留発生時は、交通 PC が高速上を走行できず、高速上点検が困難になる可能性がある。また、CCTV に故障などが発生し、映像が閲覧不可能となった場合には、首都高速道路全域の被災概況の把握が困難となる。首都高速道路ではこれらの課題を解決するために、構造物の損傷や車両滞留の影響を受けず、広域を点検可能な無人航空機（ドローン）の機動性に着目した。

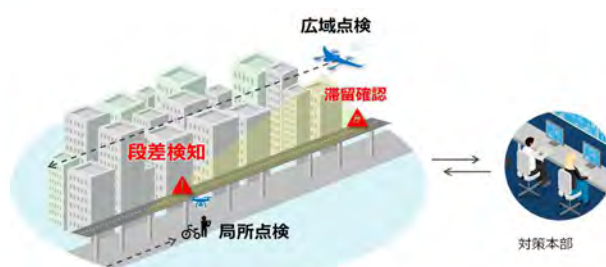
ドローンを活用した点検の将来的な構想として、発災時の迅速かつ確実な情報把握を可能にするために、広域点検と局所点検を組み合わせることを考えている。広域点検とは長距離飛行可能なドローンを用いて、高速上全域の損傷概況や車両滞留状況などの情報収集を行うこと、局所点検とは広域点検で発見された損傷箇所でも小型ドローンによる詳細な損傷状況把握をすることを想定している（図－1 3）。局所点検では、災害支援協定による協力と首都高社員自らドローン操縦を行うインハウス化を目指している。

（2）災害時の広域点検に向けた長距離飛行の実験

5.2（1）に示したドローンによる広域点検の構想を検証するために、50km以上を連続飛行可能な長距離飛行型ドローンによる実験を行った。連続航続距離が50kmを超える長距離飛行型ドローンに



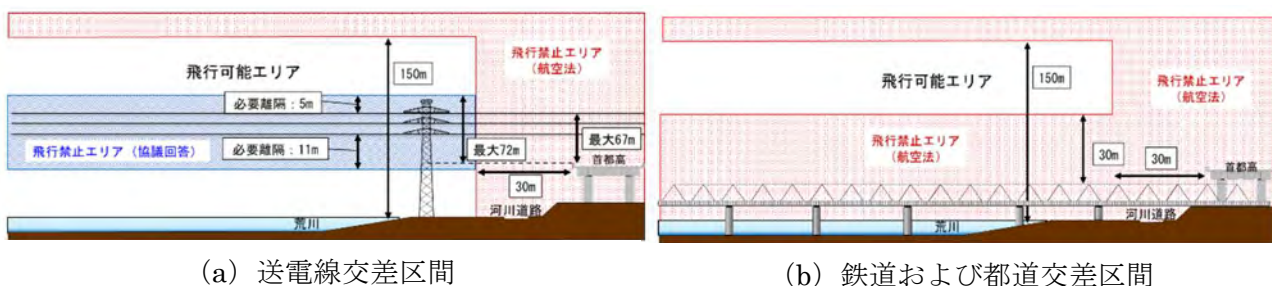
図－1 2 高所点検箇所



図－1 3 広域点検と局所点検



図－1 4 飛行経路と交差物件の状況



(a) 送電線交差区間

(b) 鉄道および都道交差区間

図－1 5 交差物件区間の飛行条件

は、主に無人ヘリ、VTOL、固定翼型の3つの形式がある。固定翼型は飛行機と同様に主翼揚力によって飛行するため、離着陸時に滑走路などの広いスペースを必要とする。したがって、首都高速道路のような都市部での適用は困難である。一方、無人ヘリとVTOLはロータの推進力により垂直方向に離着陸が可能のため、広いスペースを必要とせず、都市部などでも適用できると考えられる。そこで、本実験は、災害発生時の広域点検において無人ヘリとVTOLの適用可否を検証することを目的とした。検証項目は、自律飛行の精度、映像の視認性および通信品質とし、無人ヘリは㈱JDRONE、VTOLはエアロセンス㈱にて実施した。

(a) 飛行計画

図－1 4に飛行経路および交差物件状況、図－1 5に交差物件区間の飛行条件を示す。飛行経路は、中央環状線の葛西JCT～小松川JCT間（往復約14km）に沿った経路とし、荒川河川の上空を自律飛行させる計画とした。なお、本実験は法令上の制約に基づいて、構造物などと必要離隔距離を十分に確保し、飛行する機体を常に目視監視した上で実施した。

(b) 使用機材

表－1に実験に使用した各機体の諸元を示す。無人ヘリはYAMAHA発動機社製FAZER R G2を、VTOLはエアロボウイング（AS-VT01）を使用した。無人ヘリの映像は、既設のフルHDカメラを使用し、デジタルデータをアナログ変換して、LTE通信と衛星通信の両方で映像伝送する仕組みである。VTOLの映像は、既設の4Kカメラを使用し、データを圧縮してデジタルデータのままLTE通信にて映像伝送する仕組みである。

(c) 運航管理方法

各機体は往復 14km の経路をあらかじめ設定した飛行計画に基づいて自律飛行させた。撮影した構造物や高速上の状況映像は、リアルタイムに首都高速道路本社の災害対策本部に伝送（ドローンから直接 LTE 通信を行う）することで飛行状況を確認した。

表－１ 機体の諸元

無人ヘリ (FAZER R G2)

VTOL (AS-VT01)

外観		
寸法	3,665mm×734mm×1,226mm	2,130mm×1,250mm×415mm
重量	81kg	9kg
連続航続時間	100 分	40 分
連続航続距離	90km	50km
積載可能重量	31kg	1kg
動力	エンジン (3900cc)	リチウムイオンバッテリー
通信方式	LTE/衛星通信/無線 (2.4GHz)	LTE/無線 (2.4GHz)



(a) 無人ヘリ



(b) VTOL

図－１６ 各機体によるリアルタイム映像

(d) 実証実験の結果

各機体の飛行経路（緯度・経度・高度）を確認した結果、飛行計画通り精度よく自律飛行できていることを確認した。また、各機体で撮影したリアルタイム映像から構造物の概況や車両走行状況なども十分に確認することができた（図－１６）。特に VTOL は固定翼のため、無人ヘリの映像と比較してカメラの揺れが少なく映像の質が高かった。しかしながら、両機体ともにリアルタイム映像が度々途切れることがあった。これは東京都内上空の LTE 通信が、複数基地局の干渉などによって通信が不安定になっているためだと考えられる。通信の不安定な状況を解決し、リアルタイム映像を安定して伝送するためには、高速・大容量通信回線の活用などを検討する必要がある。なお、首都高速道路では 2022 年度より都市内高速道路上へのローカル 5G 展開の検証を行っており¹³⁾、ローカル 5G を活用することで本課題が解決できる可能性がある。

6. まとめ

本論では、首都高速道路のカーボンニュートラル戦略の一つとして取り組んでいる維持管理における DX の活用状況を紹介した。今後も更なる業務効率化に向け、DX 化に取り組んでいく。

参考文献

- 1) 環境省：地球温暖化対策計画，2021

- 2) 環境省：気候変動適応計画，2021
- 3) 国土交通省：グリーン社会の実現に向けた「国土交通グリーンチャレンジ」，2021
- 4) 東京都：ゼロエミッション東京戦略，2019
- 5) 首都高グループ：首都高カーボンニュートラル戦略，2022
- 6) 首都高グループ：首都高 DX ビジョン，2023
- 7) 竹鼻淳志，長田隆信：ICT の活用による生産性向上を図る道路維持管理システムー 首都高速道路の i-DREAMs[®]ー，土木学会誌，vol.105，No.10，2020
- 8) 土橋浩，長田隆信：インフラデータプラットフォームの活用インフラマネジメントから防災情報システムへ，AI・データサイエンス論文集，1 巻，J1，pp.17-24，2020
- 9) 首都高技術株式会社 HP：InfraDoctor/インフラドクター，<https://www.shutoko-eng.jp/technology/infradoctor.php>，2024.7 閲覧
- 10) 高野淳，紺野康二，丸山大貴：首都高速道路における道路管理業務支援システムの活用，土木学会第 76 回年次学術講演会，VI-827，2021
- 11) 川村日成，永田佳文，水谷司：MMS を用いた舗装の評価手法（その 1），土木学会第 74 回年次学術講演会，V-439，2019.
- 12) 佐藤公紀，紺野康二，高野淳，長田隆信：首都高におけるカメラ点検システムと AI 損傷自動検出を活用した巡回点検の高度化，AI・データサイエンス論文集，2 巻，J2，pp.539-544，2022.
- 13) 首都高速道路 HP：，共同研究「ローカル 5G の都市内高速道路への展開に関する研究」の開始について，https://www.shutoko.co.jp/updates/2022/data/05/09_local5g/，2024.7 閲覧