

三菱電機技報

7

2023

Vol.97 No.7

安心快適な社会を支える社会インフラシステム

No.7

特集	安心快適な社会を支える社会インフラシステム	Social Infrastructure Systems that Support a Safe and Comfortable Society
巻頭言		
社会インフラシステムが貴方を救う。……………	1-01	Social Infrastructure Systems Will Save You. Yoshio Izui
泉井良夫		
つくばスマートシティでのオンデマンド自動運転実証…	2-01	Demonstration of On-demand Automated Driving in Tsukuba Smart City Hiroyuki Kobayashi
小林弘幸		
道路維持管理ソリューション……………	3-01	Solution for Road Maintenance Kanya Watanabe, Ryuji Miyoshi, Taku Sakushima
渡辺完弥・三好竜司・佐久嶋 拓		
ETCシステム……………	4-01	Electronic Toll Collection System Yuichiro Matsushita, Hideo Yoshinaga, Hidenori Kawakami
松下裕一郎・吉永秀雄・川上英哲		
上下水道向けデータ活用ソリューション……………	5-01	Data Utilization Solutions for Water and Wastewater Kei Gotoda, Shinsuke Goto, Kenta Shimoda, Kohei Tani, Tetsuo Kanazawa
後藤田 佳・後藤伸介・霜田健太・谷 浩平・金澤哲夫		
IoTプラットフォーム“INFOPRISM”を適用した 水防災情報システム……………	6-01	Cloud-based Flood Disaster Prevention Information System with IoT Platform "INFOPRISM" Seiichi Nagai, Ryo Ogasawara, Shouji Kaneko, Nagahiro Odani
永井誠一・小笠原 良・金子昇治・小谷長弘		
ヘリサット小型化／軽量化……………	7-01	Downsizing HELI-SAT Hiromitsu Nomura, Hayate Ito, Atsumu Yamazaki, Katsuyuki Tamai, Ikumi Hashimoto
野村拓光・伊藤 颯・山崎厚武・玉井克幸・橋本育美		

三菱電機では、サステナビリティ経営を実現する4つのビジネスエリアとして、「インフラ」「インダストリー・モビリティ」「ライフ」「ビジネス・プラットフォーム」を設定しています。

三菱電機技報ではこの4つのビジネスエリアに分類し特集を紹介しています。

今回の特集ではインフラ領域の“安心快適な社会を支える社会インフラシステム”をご紹介します。

巻頭言

社会インフラシステムが貴方を救う。

Social Infrastructure Systems Will Save You.



泉井良夫 *Yoshio Izui*

金沢工業大学 教授

Professor, Kanazawa Institute of Technology

唐突だが、この原稿は病院で執筆している。先週、腹部がだんだんと痛くなり、呼吸も困難になってきた。このため、やむを得ず救急車で病院へ駆け込んだ。病名は“胆石性すい炎”である。胆嚢(たんのう)でできた胆石が胆管を降ってきて、ちょうどすい臓の出口で引っかかった。この結果、出口を塞がれたすい臓は困り果て、炎症を起こしたのである。最初は、なかなか原因がわからず単純CT(Computed Tomography)、造影剤CT、超音波内視鏡、MRI(Magnetic Resonance Imaging)と片端から検査した。最初のあたりで石が発見されたが、検査の途中で石が見えなくなった。医師もすこし驚いていたが、途中で石が勝手に移動したようである。要約すると、私の胆石は、18時間程度、私のすい臓の出口を塞ぎ、その後、勝手に消化管の中へ消え去った。石がないのであるから、手術の必要はない。保存療法で点滴のみとなり、絶飲食下で、すい臓の炎症回復を待っている。

ところで、本特集号は“安心快適な社会を支える社会インフラシステム”である。私の入院と、何の関係があるのか疑問に思われた方が大部分に違いない。しかし、私は、今、一応は“生きて”いる。どうみても、社会インフラシステムの一つである緊急医療システムの“安心”担保機能のおかげである。広く考えると、救急車を呼ぶための携帯電話通信システム、救急車と病院を連携管理する救急指令システム、救急車の適切な移動を可能とする道路交通管理システム、さらには病院での医療管理システムなどのサブシステムも含まれる。

社会インフラシステムは、いわば“空気”のようなものである。このため、大多数の人は、通常は意識にも留めない。水は蛇口を捻(ひね)れば出てくる。自動車にETC^(注1)(Electronic Toll Collection)カードを差し込めば、高速道路のゲートや駐車場で料金の支払いを気に留める必要もない。ただし、一旦、正常でない状態になれば話は違う。どんな人でも、その人が依存している社会インフラシステムに感謝の気持ちを捧(ささ)げることになる。水が出なければ困る。道路も自動車が快適に通行できないと社会生活に支障をきたす。ましてや、生命に関わる事項になると、言うまでもない。

ところで、私は、大学にて、エネルギーマネジメントシステムの社会実装という業務に携わっている。再生可能エネルギーに起因する、熱、水素、電気をトータルに操る技術である。今のところ大学キャンパスレベルにとどまっているが、実際に実装して、うまく機能するかを検証している。ただし、エネルギーとは言え、大部分は電気である。近年では、ほとんどのシステムで電気を使うため、電気がないと起動すらしない。このため、電気は、インフラ中のインフラとも言われることがある。この電気も最近までは、“空気”のように思われていた可能性がある。しかし、地震や台風などの大規模自然災害に伴う停電の頻発や、発電能力不足にともなう節電への注意喚起により、“空気”よりは意識されるようになった。

おそらく、最近では、最も意識されるのは、電気代の請求書を見た時かもしれない。我が国の貿易統計には、品目別輸入金額の推移で“鉱物性燃料”という項目がある。これは、火力発電所やガソリンの元となる燃料のことである。円安の効果もあり、2022年5月ごろが最悪で前年比140%(金額ベース)を記録したことがあった。40%上昇ではなく、輸入代金が2.4倍と言う意味である。我が国の輸入量は、例年100兆円程度で推移しており、燃料が20兆円前後ということである。これに対し、燃料輸入代金が一挙に50兆円近くまで跳ね上がったのであるから、その影響は絶大である。毎月10万円の生活費、内2万円の光熱費が、一挙に5万円になったイメージである。こうなってくると、どうしても意識せざるを得ない。これまでは、再生可能エネルギーは、カーボンニュートラルとして語られてきたが、今後は、国産エネルギーとして語られることも多くなるのではないか。

社会インフラシステムは、いつもは“空気”のような存在かもしれないが、一旦コトがあると、何事にも変え難い重要な基盤システムである。これがないと、我々は、“安心快適”に生活を過ごせない。三菱電機(株)では、このような重要な社会インフラシステムに、日々、真摯に取り組み、これからも、大いなる発展が期待される。本誌発行時点では、これらの社会インフラシステムに救われて、私は、本特集号を、元気いっぱい読んでいよう。

(注1) ETCは、一般財団法人 ITSサービス高度化機構の登録商標である。

つくばスマートシティでの オンデマンド自動運転実証

Demonstration of On-demand Automated Driving in Tsukuba Smart City

*社会スマートインフラ事業開発室

要旨

2022年3月10日に行われた国家戦略特別区域諮問会議(議長・岸田文雄首相)で、茨城県つくば市をスーパーシティ型国家戦略特別区域として区域指定することが決定した。つくば市は、スーパーシティ選定に際して“つくばスーパーサイエンスシティ構想”を定めて、先端的サービスの社会実装と都市機能の最適化を目指している。

今般、三菱電機は、つくばスマートシティ協議会メンバーとして、“2022年度国土交通省スマートシティ実装化支援事業”にスマート・コミュニティ・モビリティ実証調査事業(つくば医療MaaS(Mobility as a Service))を提案し、この事業で、当社は、ペDESTリアンデッキ(注1)上の小型モビリティ等による自動運転走行実証を担当した。

(注1) 高架型の歩道。一般に建物と接続して作られ、歩道のほかに広場の機能を併せ持つ場合も多い。

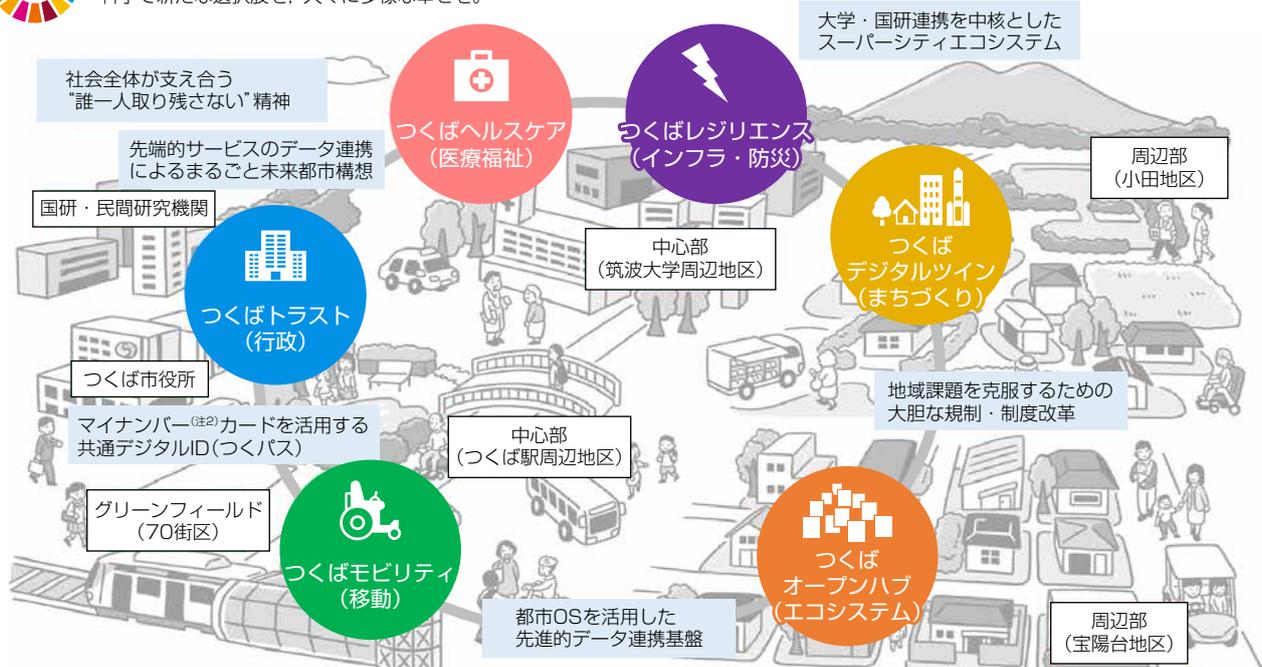
1. ま え が き

つくば市は、スーパーシティ選定に際して“つくばスーパーサイエンスシティ構想”を定めて、次の6分野の先端的サービスの社会実装と都市機能の最適化を目指している(図1)。

当社は、つくば市スーパーサイエンスシティ構想で掲げられた先端的サービスのうち、“つくばモビリティ(移動)”について、オンデマンド自動運転サービスを社会実装するとともに、得られる様々なデータをデータ連携プラットフォーム(都市OS)で連携することで、他の先端的サービスとデータ連携した様々なサービスの実現を目指している。



都市空間で科学するつくばスーパーサイエンスシティ構想
科学で新たな選択肢を、人々に多様な幸せを。



(注2) マイナンバーは、デジタル庁会計担当参事官の登録商標である。

国研：国立研究開発法人 出典：つくば市 つくばスーパーサイエンスシティ構想⁽¹⁾

図1. つくばスーパーサイエンスシティ構想 先端的サービスの概要

つくばスマートシティ協議会は、2019年6月に設立された。協議会の目的は、“各機関が協力・連携して、筑波研究学園都市の都市基盤と科学技術イノベーションに対する市民の高い理解をSociety 5.0の実装フィールドとし、つくば地域の課題解決と都市機能の向上に資するため、デジタル・ロボティクス等最先端技術とこれに呼応する施策を連携させて形成する“つくばスマートシティ”の実現を目指す。”と定められている。当社は、協議会に設立当初から参加し、協議会が実施する検討や実証事業に協力してきた。

協議会は2019年度国土交通省スマートシティモデル事業に採択され、“スマートシティ実行計画⁽²⁾”を策定した。実行計画に記載されたつくば市の課題は、次の3項目である。

- ①中心部の交通渋滞防止
- ②持続可能な地域公共交通網の構築
- ③高齢者等の交通弱者の移動手段確保と外出促進

これらを解決するための取組み内容として、次の四つが計画に盛り込まれた。

- ①交通流の最適化による渋滞等の事前予防
- ②公共交通の利用促進に向けた運行サービスの充実
- ③公共交通の利便性向上による高齢者等の外出促進
- ④ラストワンマイルの安心・安全な移動手段の提供

本稿で述べるスマート・コミュニティ・モビリティ実証調査事業(つくば医療MaaS)(2022年度国土交通省スマートシティ実装化支援事業に採択)は、このスマートシティ実行計画に基づいて実施されたものである。高齢者等の患者が安心・安全・快適に通院できる環境を実現することを目的に、移動から受付、受診、会計まで、通院での患者負担を最小化(時間短縮, 手間軽減)するモデルケースの実証を行った。

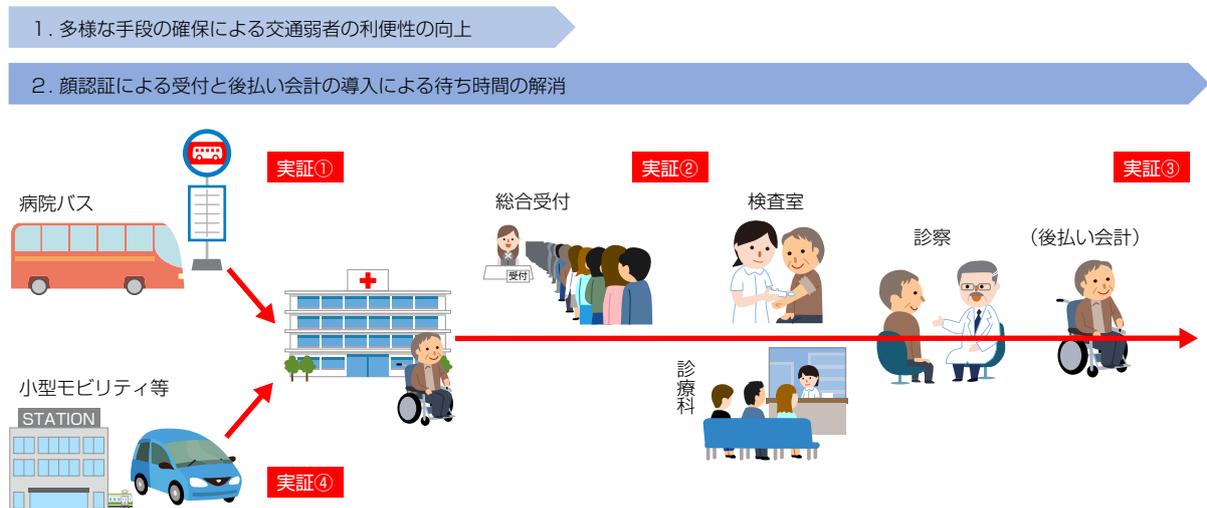
2. スマート・コミュニティ・モビリティ実証調査事業(つくば医療MaaS)の概要

実証内容の全体概要を図2に示す。今回の実証の目的は、次の二つである。

- (1) 多様な手段の確保による交通弱者の利便性の向上
- (2) 顔認証による受付と後払い会計の導入による待ち時間の解消

また、次の4実証を行った。このうち、当社が担当した実証は④である。

- ①病院バス車内での顔認証による事前受付
- ②顔認証によって、総合受付に加えて、検査室や各診療科での受付を省略
- ③後払い会計システムの導入
- ④ペDESTリアンデッキ上の小型モビリティ等による自動運転走行



出典：つくばスマートシティ協議会 令和4年度スマートシティ関連事業応募書類

図2. つくば医療MaaS実証の全体概要

3. ペDESTリアンデッキ上の小型モビリティ等による自動運転走行

今回の実証の目的は“移動制約者に対する新たなモビリティの確保”である。そのため、つくばエクスプレス^(注3)(TX)のつくば駅周辺で、既存の都市インフラ(ペDESTリアンデッキ)を活用し、通院する人などのための新たな移動手段(モビリティ)を確保するための実証を行った。

今回実施した項目は、次の3項目である。

(1) 通院する人などの移動を自動運転モビリティで支援

(ペDESTリアンデッキ周辺施設の移動支援にも対応するため、運行範囲を拡張)

(2) 見守りカメラから得られるルート上の混雑・人流情報をモビリティ利用者に提供し、安全を確認できるシステムの構築

(3) 行き先を指定して配車依頼し、自動運転モビリティで行き先までの移動が可能になるシステムを構築

実施場所及び自動運転モビリティ運行ルートを図3に示す。ペDESTリアンデッキの一部を実施場所とし、つくば駅出口付近を中心として近隣の主要施設(図書館、商業施設、文化施設)間を結ぶ、総距離約1kmの範囲を実証ルートに選定した。

なお、将来的には、筑波大学附属病院、筑波メディカルセンター病院に向けての運行を想定するが、実現には横断歩道上での車両走行等について規制緩和が必要になることから、今回はつくば駅を中心とした可能な範囲での実証を行うことにした。

(注3) つくばエクスプレスは、首都圏新都市鉄道株の登録商標である。



出典：
つくばスマートシティ協議会
令和4年度スマートシティ関連事業応募書類

図3. 自動運転モビリティ運行ルート

4. 実証のユースケース

今回の実証でのユースケースを図4に示す。

事前に、ペDESTリアンデッキのつくば駅出口付近及び主要施設(図書館、商業施設、文化施設)近傍に停留所(固定型配車端末)を設置しておく。

利用者は停留所で行き先を指定して配車予約を行うことで、一人乗り自動運転パーソナルモビリティ(PMV)又は複数人乗りの小型自動運転モビリティ(カート)を呼び出して乗車する。PMV及びカートの外観を図5に示す。

走行中の安全確保のため、ペDESTリアンデッキ上に設置した見守りカメラの映像をAI解析して得たリアルタイム混雑状況や自転車接近情報、自動運転モビリティの動作状況を管制員が確認し、安全な運行を実現する。



図4. 自動運転モビリティ実証の流れ



図5. 実証に使用したPMVとカート

5. オンデマンド運行管制システム

今回の実証で使用したオンデマンド運行管制システムの全体像を図6に示す。

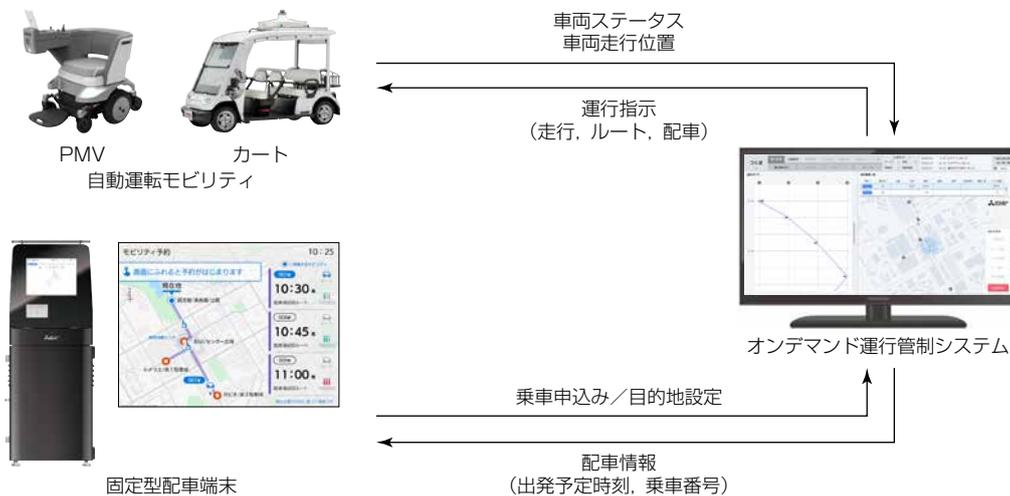


図6. オンデマンド運行管制システムの全体像

利用者が停留所で目的地を設定すると、管制システムが直近で乗車可能なモビリティを割り当てて、出発予定時刻や乗車番号を提示する。

その後、管制システムから自動運転モビリティに運行指示を通知し、運行指示を受信したモビリティが指定された目的地に自動で運行する。モビリティの状態(ステータス、走行位置)は常時管制システムで集約し、運行管制画面で常時監視する(図7)とともに、障害発生の際には関係者に迅速な対応を指示できる。

今回使用した管制システムは、乗車予約状況に応じてダイヤ(運行時刻、運行ルート)をリアルタイムに最適変更できるアルゴリズムを搭載したことで、乗車待ち時間の短縮や走行距離短縮による運行電力削減、それによるコスト削減、CO₂削減に寄与できるものになっている。

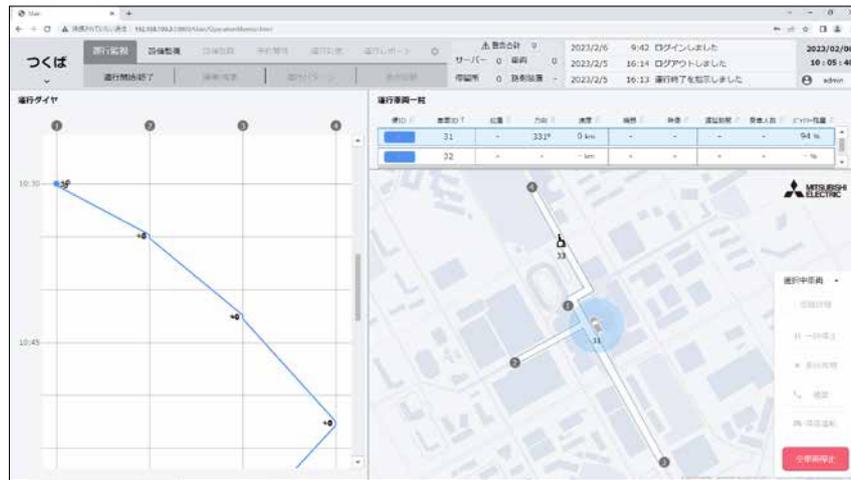


図7. 運行管制画面の例

6. カメラ見守りシステム

今回の実証で使用したカメラ見守りシステムの全体像を図8に示す。

カメラで撮影した映像は、映像解析AIを用いることで歩行者と自転車を抽出する。歩行人情報については混雑度情報(3段階)に変換し、位置・時刻情報とともにFIWAREに登録する。FIWAREとは、つくばのデータ連携基盤で用いられている都市OSで、EU(European Union)の官民連携プログラムで開発された次世代インターネット基盤ソフトウェアである。既存システムと様々なサービスをつないで、自治体や企業等の業種を越えたデータ利活用を可能にする。

FIWAREに登録された混雑度情報及び自転車接近情報はエリア情報アプリケーションからの要求で取り出すことができ、地図上に重畳表示することで、管制室での監視や、モビリティ内での乗客への情報提示に用いられる(図9)。

今回の実証では、検出した混雑度や自転車接近情報はモビリティ内での表示による乗客への注意喚起だけに用いたが、将来的には、モビリティの自動運転制御アルゴリズムと連携し、モビリティの自動運転センサーの一部として活用することで、モビリティ単体ではセンシング不可能な物陰からの障害物の接近などの際の安全運行支援機能の実現を目指している。

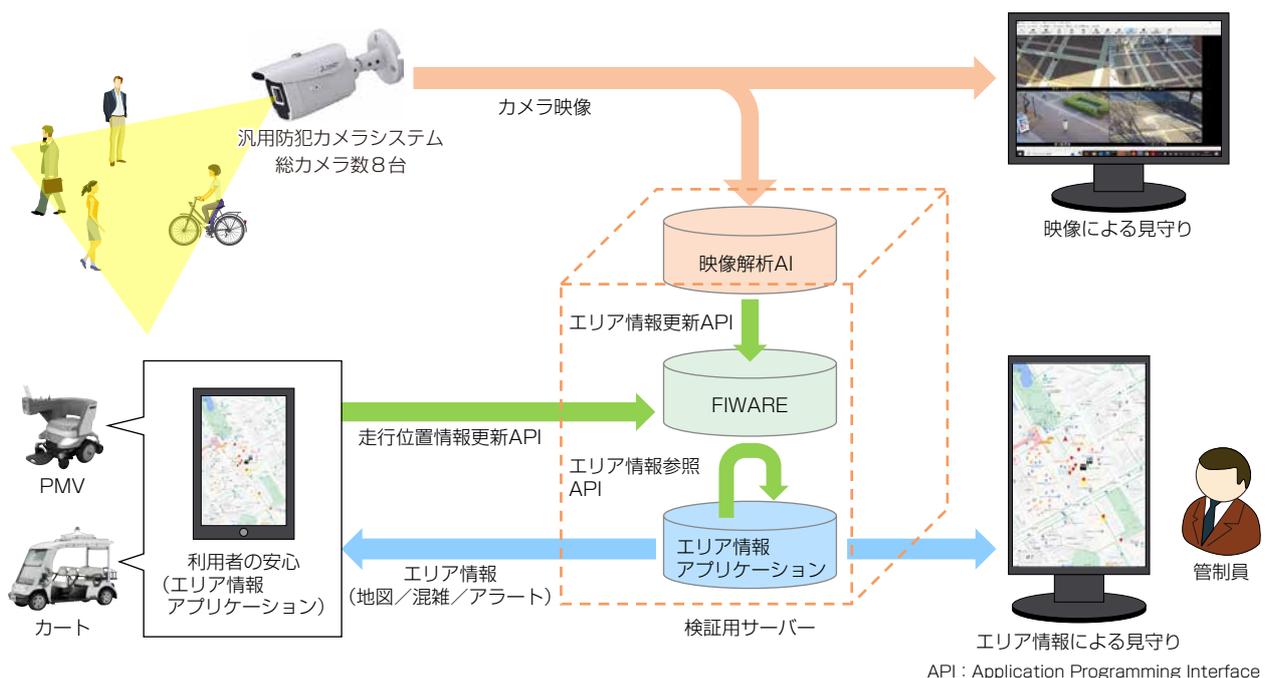


図8. カメラ見守りシステムの全体像



図9. カメラ見守りシステム監視画面とモビリティ内表示画面の例

7. 実証結果

2023年2月3日～2月13日に実証を実施し、雪・雨による運休(1日半)があった以外は予定どおり運行できた。259組336名に乗車してもらい、143名のアンケート回答を得た。結果、回答者の91%(130名)は“無料でこのサービスを利用できるなら今後も利用したい”と回答し、うち76%(99名)は“有料でも利用したい”との回答であったことから、ペDESTリアンデッキ上の自動運転モビリティのニーズが高いことが推察される。

今回の実証結果を踏まえて、ペDESTリアンデッキ上を走行する自動運転モビリティの安全性や運用体制を確認するとともに、アンケートや実証参加者で得られた知見をシステムに反映する予定である。

今後、スーパーシティの規制改革と併せて運行可能な地域を広げるとともに、当該地域で継続的にサービス可能なビジネスモデル及び組織体制を構築し、2025年までに社会実装を目指す。

8. むすび

当社は、この実証実験で得られた成果を基にオンデマンド自動運転サービスの社会実装を目指すとともに、オンデマンド自動運転サービスを起点として、医療介護サービス(つくばヘルスケア)、物流サービス(つくばポーター)、防犯・防災・インフラサービス(つくばレジリエンス)等の先進的サービスとの連携や、観光・回遊促進など、データを利活用した様々なサービスを実現した。今後、全国のスマートシティやリゾート施設や公園などの大規模施設に向けた様々な運行形態や移動ニーズに対応したオンデマンド自動運転サービス事業に展開していく。

参考文献

- (1) 茨城県つくば市：つくばスーパーサイエンスシティ構想 (2021)
<https://www.city.tsukuba.lg.jp/shisei/torikumi/kagaku/index.html>
- (2) 国土交通省：茨城県：つくばスマートシティ協議会スマートシティ実行計画 (2020)
<https://www.mlit.go.jp/common/001341986.pdf>

道路維持管理ソリューション

Solution for Road Maintenance

*神戸製作所(博士(情報学))
†同製作所

要 旨

高度成長期に整備された道路インフラの多くは、建設後50年を超過し老朽化の加速が懸念されている。道路管理者は、道路インフラの安心と安全を守るため、限られた予算内かつ適切なタイミングでの点検や維持管理、更新が求められ、業務の効率化、更新時期の最適化が喫緊の課題になっている。

三菱電機は、インフラ点検ロボット技術で道路インフラの点検業務を支援する“三菱インフラモニタリングサービス(Mitsubishi Mobile Monitoring System for Diagnosis : MMSD)”と、道路インフラの現況を三次元仮想空間内に再現し、維持管理業務を支援する“三菱多次元施設・設備管理システム(Mitsubishi Multi-dimensional Data Management for Diagnosis : MDMD)”の提供によって、点検業務や維持管理業務のDX(Digital Transformation)化、効率化を目指している。今後も、MDMDのデータ連携機能開発など、更なる機能拡充に取り組んでいく。

1. ま え が き

日本国内の道路インフラ(トンネル:約1万箇所、橋梁(きょうりょう):約73万箇所)⁽¹⁾は、高速道路会社、国土交通省、都道府県・政令指定市、市町村の道路管理者等によって管理されている。これらの多くは高度成長期に整備されており、建設後50年を超過する割合(トンネル:約24%、橋梁:約34%(2022年3月末時点))が高まるため、老朽化の加速や維持管理コストの増加が懸念されている。また、維持管理ができる土木構造物の専門知識を持つ熟練技術者の減少といった問題も顕在化している。さらに、2012年に発生した笹子トンネル天井板崩落事故によって点検の重要性が再認識された結果、2014年に道路法が改正され5年に1回の近接目視点検が義務化された。

このような中で道路管理者は、道路インフラの安心と安全を守るため、限られた予算内で定期点検、維持管理、及び適切な更新が求められ、点検業務や維持管理業務の効率化、更新時期の最適化が喫緊の課題になっている。

国土交通省は、課題に対する解決策の一つとして、道路インフラ点検の効率化・高度化を推進するため、点検に活用可能な技術を取りまとめた“点検支援技術性能カタログ”⁽²⁾を策定し、熟練技術者減少の対策や点検効率化、コスト削減を目指して点検現場でのロボット技術の適用を進めている。さらに、社会経済状況の激しい変化に対応するため、インフラ分野でもデータとデジタル技術を活用して、業務そのものや組織、プロセス、建設業等を変革するDXを推進している⁽³⁾。

当社は、道路インフラの点検業務を支援する“三菱インフラモニタリングサービス(MMSD)”と、道路インフラの現況を三次元仮想空間内に再現し、維持管理業務を支援する“三菱多次元施設・設備管理システム(MDMD)”を開発、提供している(表1)。

これらのサービスの展開で、従来は現地でしかできなかった点検業務や維持管理業務のDX化(ロボット化、情報の可視化や整理の自動化)を実現し、業務プロセス全体の変革、効率化に寄与する⁽⁴⁾。

表1. 当社が提供する道路維持管理ソリューション

目的	提供するソリューション	概要
点検業務の効率化	三菱インフラモニタリングサービス(MMSD)	道路構造物の表面形状を走行型計測車両で計測し、高精度の点群データや高精細の画像データを取得・解析するサービス。デジタルデータの活用によって、現場作業の省力化、結果整理の自動化、解析結果の可視化などを実現する。
維持管理業務の効率化	三菱多次元施設・設備管理システム(MDMD)	MMSD等で取得したデジタルデータを用いて、道路構造物の現況を仮想空間内に再現し、維持管理情報等を重畳し一元管理するシステム。周辺の道路構造物の形状や点検結果、変状等の情報提供によって、履歴情報検索の効率化、補修工法の打合せのDX化、補修箇所の伝達の効率化などを実現する。

本稿では、道路インフラの点検業務や維持管理業務の効率化につながるMMSD及びMDMDについて述べる。具体的には、2章でMMSDの計測サービスや解析サービス、3章でMDMDのデータ管理機能とデータ連携機能、4章でMDMDの今後の展開について述べる。

2. 三菱インフラモニタリングサービス(MMSD)

2.1 MMSDの概要

当社は、トンネル、法面、設備等の道路インフラ点検業務の効率化に貢献するため、2015年度にMMSDを開始した。MMSDは、道路インフラ上を当社保有の計測車両で走行しながら、高密度三次元レーザースキャナーで取得した点群データと8K高解像度ラインカメラ等で撮影した画像データを、解析システムでデジタル処理を行うことによって、点検結果を可視化するサービスである。例えばトンネル壁面点検に必要な二次元の変状展開図作成の場合、これまで円形等のトンネル覆工面に散在する変状を、熟年者が現場でスケッチやデジタルカメラを使用して記録し、設備などの位置関係から図面上の位置を読み解いていた。これに対して、MMSDは、計測車両で撮影した座標付きの高精細画像データの座標とAIの活用によって、正確な位置座標に変状を記録した二次元又は三次元の変状展開図を作成できる。ここで、変状展開図とは、二次元の図面にトンネル壁面のひび割れ等の変状を記した図面を指す。さらに、現場では確認しにくい形状の変化を差分解析し三次元上に変位量を重畳表示できる。このように、MMSDの適用によって道路インフラの点検作業をデジタル処理・自動化、結果を可視化することで、経験を問わず点検を実施でき、現場作業の効率化に寄与する。またMMSDは、2019年度に国土交通省の新技术情報提供システム(New Technology Information System : NETIS)⁽⁵⁾、2020年度から国土交通省の点検支援技術性能カタログに掲載されており、2015年度のサービス開始以降、既に多くの現場に採用されている。

2.2 計測車両

現在、MMSDの計測車両は3タイプあり(図1)、それぞれの取得できるデータは表2のとおりである。

計測車両(MMSDⅡ・Ⅲ)には、衛星測位システム(Global Navigation Satellite System : GNSS)、慣性計測装置(Inertial Measurement Unit : IMU)、100万点/秒の点群データ(三次元座標値(緯度、経度、標高)等の集合)を取得可能な高密度三次元レーザースキャナー及び8K高解像度ラインカメラを搭載しており、点検や解析に必要な高精度な点群データや高精細画像データ等を取得できる。



図1. 計測車両

表2. 計測データの種類

計測データ	内容	計測車両
点群データ	100万点/秒の高精度三次元レーザースキャナー、GNSSアンテナ、IMUを搭載した車両で走行しながら取得した三次元座標値等の集合(点群)で、道路等の表面形状を再現可能	MMSD I MMSD II MMSD III
高精細画像データ	8K高解像度ラインカメラを用いて、走行しながら撮影した高精細画像	MMSD II MMSD III
全周囲画像データ	360°カメラを用いて、走行しながら撮影した全周囲画像	MMSD I

高精度な点群データは、衛星測位技術にIMUを組み合わせることで、GNSS衛星の電波を受信できないトンネル内でも取得できる(図2)。高精細画像データは、トンネル内を法定速度以下で走行しながら8K高解像度ラインカメラで撮影する。撮影した高精細画像データは、図3のとおり、0.3mmまでのひび割れを確認できる。



図2. 点群データ(トンネルの例)

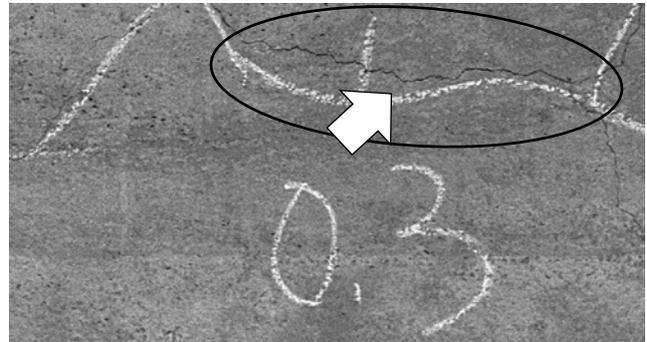


図3. 高精細画像データ(ひび割れの例)

2.3 解析システム

この節では、解析システムのデジタル処理を用いた、トンネル点検、法面点検、設備点検の支援事例を述べる。

2.3.1 トンネル点検支援

トンネル向けの解析システムは、8K高解像度ラインカメラで撮影した高精細画像データに埋め込んだ座標を基に、ソフトウェアで画像を貼り合わせていくことで、座標情報を持つトンネル壁面全周の展開画像を自動で作成する。展開画像とは、図4のとおり、変状展開図の背景画像として利用するため、正確な縮尺に補正した覆工面の画像を平面に変換したものである。展開画像には座標が埋め込まれており、ひびの長さや漏水の範囲を計測できるため、点検者は、現場点検前にあらかじめ展開画像でトンネルの壁面状態を確認しておくことで、現場での目視点検に関わる作業時間を大幅に短縮できる。また、トンネルのひび等の変状位置を記録する変状展開図は、これまで点検者が現場でスケッチしていたため、作成に労力がかかる上、位置や形状が正確ではないことがあり、記載されている変状が現場のどの変状に対応しているかを照合しにくいという問題があった。それに対し、このシステムはAIと展開画像に埋め込まれた座標情報を活用し、変状の位置と形状を正確に記録した変状展開図を自動で作成するため、現場で過年度結果との突き合わせが容易になり、現場では把握しにくい変状の経年変化が把握できる。さらに、過去と現在の点群データとコンター差分析を用いたデジタル処理によって変位量を可視化し(図5)、変状位置と同時に確認可能にすることで、正確かつ効率的な診断を支援する。

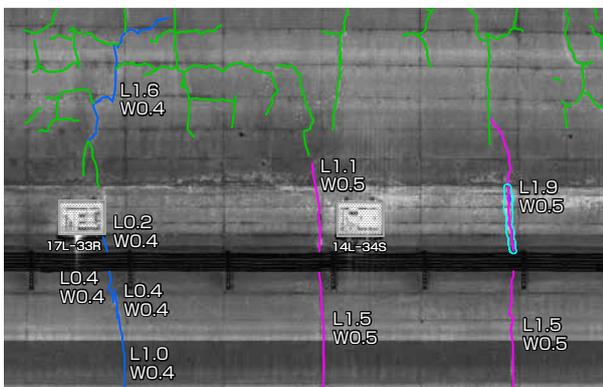


図4. 変状展開図(トンネル壁面)

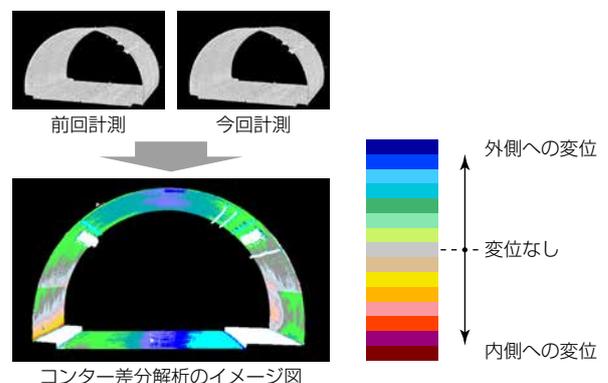


図5. コンター差分析結果(トンネル壁面)

2.3.2 法面点検支援

法面点検では、現場で法面のはらみ出しや浸食等の変状を確認し、健全性を診断するが、目視点検では変位の進行を把握することが難しかった。法面向けの解析システムは、過去と現在の点群データの座標値とデジタル処理によって変位量を算出し、これまで確認が困難であった法面形状の経年変化を可視化(図6)することで、正確かつ効率的な診断を支援する。

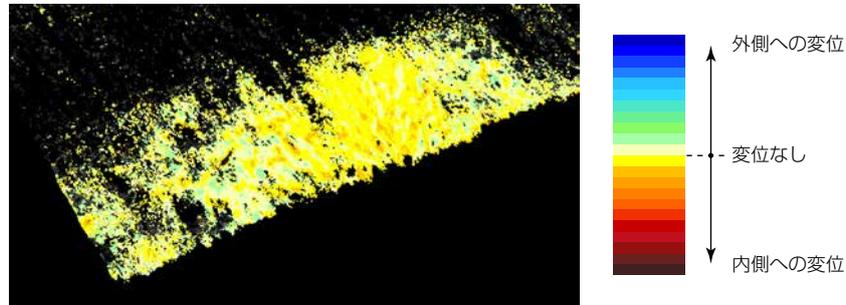


図6. 法面形状の経年変化を可視化

2.3.3 設備点検支援

設備点検向けの解析システムは、トンネル内の灯具等の状況を判別可能な高解像度の展開画像を作成する(図7)。点検者は、展開画像上で設備の劣化状況や取付ボルトの脱落、取付金具のずれ、ケーブル断線の有無、ナットの弛緩(しかん)(撮影可能な合いマークの状態(図8))等をあらかじめ確認しておくことで、現地で設備を確認する時間を大幅に短縮できる。

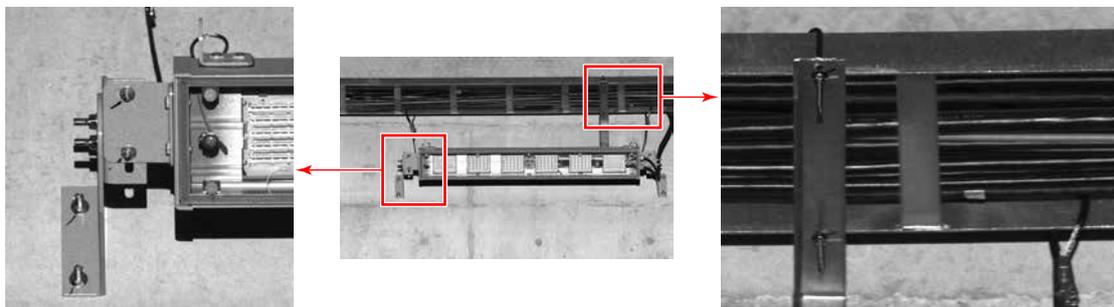


図7. 高精細画像の例(灯具)

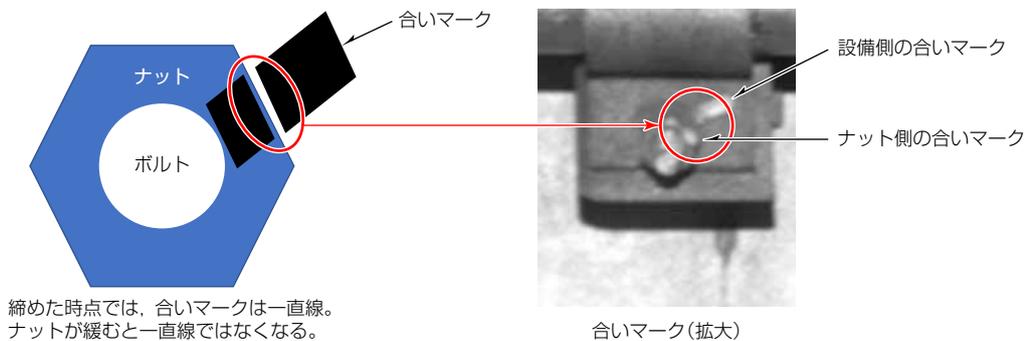


図8. 合いマーク

3. 三菱多次元施設・設備管理システム (MDMD)

3.1 MDMDの概要

MDMDは、MMSD等の計測車両で取得した点群データや高精細画像データを活用することで、デジタルツインとして仮想空間内に道路インフラの現況を再現するシステムである。

仮想空間のデジタルツインに割り付けられた点群データや高精細画像データは、三次元の座標情報を保持しており、構造物・設備諸元情報(台帳)や変状情報、点検・補修結果、経年変化予測結果等の維持管理情報について座標をキーに一元管理できる。また、MDMDはクラウド、オンプレミスのどちらのサーバー構成にも対応しており、ユーザーは端末のブラウザからサーバーにアクセスして利用する。

MDMDは、今後も道路構造物や道路付帯設備に関連する様々な情報を活用することで、更なる現地作業のDX化、維持管理業務の省力化を目指している。

3.2 データ管理機能

MDMDは、MMSDで取得した点群や全周囲画像等の三次元データをデータベースに保持し、閲覧したい箇所の三次元データをブラウザ上に表示する。これらのデータは三次元の座標情報を持っており、座標情報をキーに全周囲画像と三次元点群をブラウザ上で相互に切替え表示できる(図9)。



図9. 全周囲画像、三次元点群のブラウザ表示イメージ

MDMDは、地図や路線図から得られる二次元の座標位置に対応した三次元データを表示する機能を持つことに加えて、構造物・設備の諸元情報や関連する点検・補修情報を三次元データ上に重畳できる。図10は、トンネル壁面に発生したひび等の変状(図11)と、従来の点検結果(ひびの長さ・幅、健全度評価結果)を関連付けた表示の例である。このように、構造物の維持管理情報と周辺形状を関連付けることで、変状や補修対象などの情報検索を省力化できる。

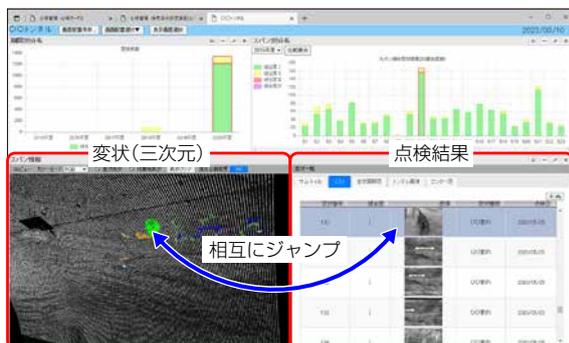


図10. 三次元データと点検情報を関連付けた表示

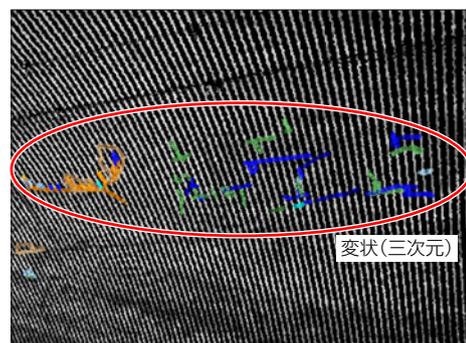


図11. トンネル壁面(白)と変状(青, 緑等)の重畳表示

3.3 データ連携機能

MDMDは、更なる道路管理での活用拡大を目指して、道路インフラの維持管理に利用される様々なシステムのデータと三次元データを連携する機能の開発を進めている。構造物や設備の維持管理情報をデジタルツイン上で一元管理し、他システム等への重複入力を防ぐには、このようなシステム間のデータ連携機能が必須要件になる。一例として、国土交通省が提供する道路データプラットフォーム“xROAD”（図12）との連携が挙げられる。国土交通省は、道路管理者ごとに蓄積される定期点検のデータを活用する環境を提供することで、民間企業等による技術開発の促進や、維持管理の効率化・高度化等を進めている。

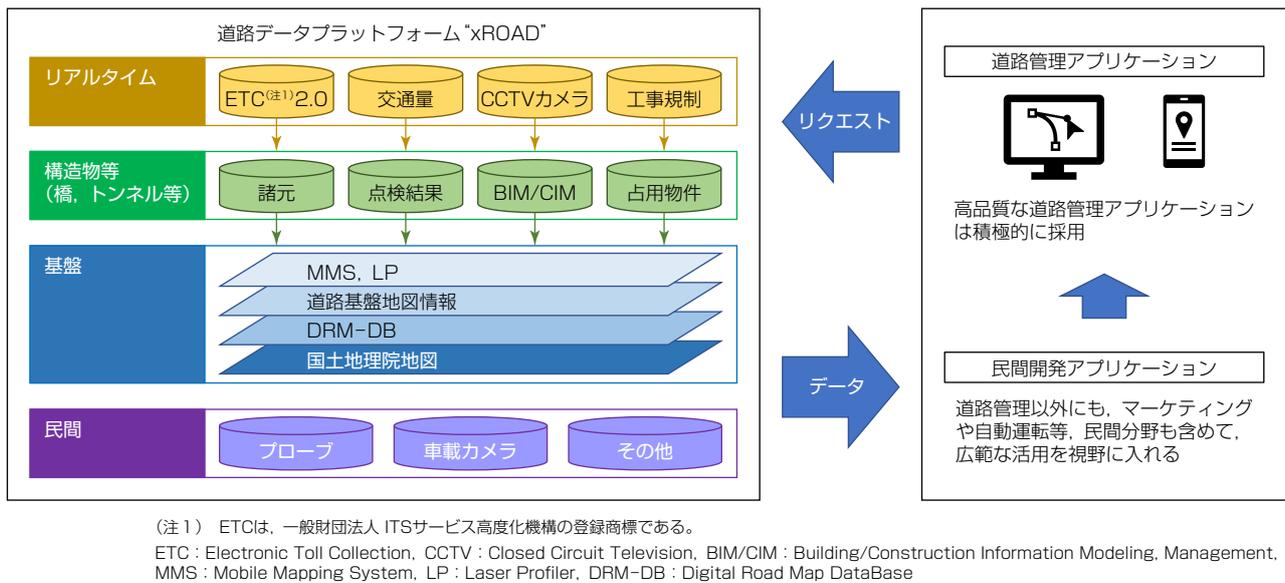


図12. xROADイメージ(参考文献(6)の図を改変)

さらにxROADは、地方公共団体等の道路管理者との連携によるデータの拡充も視野に入れている。それに合わせて当社は、xROADに登録された道路インフラの諸元データや点検データを開発中のデータ連携機能で取得し、MDMDが持つ点群データと紐(ひも)づけて表示・提供する。これによって、道路管理者は、補修設計や補修工事の発注作業に関して、仮想空間で現地の状況と諸元情報、点検情報を併せて確認でき、これまで調書やCAD図面で時間をかけて確認していた情報を短時間で確認できるようになる。

4. 今後のMDMDの展開

これまで述べたとおり、MMSDで得られる高密度・高精度の点群データや全周囲画像データ、高精細画像データと、MDMDで仮想空間上に道路やトンネルの精緻なデジタルツインが構築できる。しかし、より効率的な維持管理のためには、各道路管理者管理下の道路だけでなく、他道路管理者管理下の周辺道路を取り込む必要がある。もちろん、各道路管理者が維持管理に必要な周辺の道路を含めてデジタルツインを構築すれば維持管理を効率化できるが、道路管理者全体で見るとデジタルツインの構築範囲が重複し余分なコストがかかる。さらに、道路は様々な箇所で行き交うため相互の道路インフラや設備の情報も必要になる。当社は、現実空間の正確な再現だけでなく、各道路管理者の情報連携による一つのデジタルツインの構築が、更なる効率化のために必要と考えている。

今後、当社は、各道路管理者向けの個別サービスだけでなく、複数の道路管理者の情報を相互に活用し、一つのデジタルツインとして利用できる環境をMDMDで提供するため、xROAD以外のプラットフォームやデータソースと連携する機能の開発を順次進めていく。想定される導入効果は表3のとおりである。離隔距離確認など、これまでそれぞれの道路管理者で現地調査が必要であった情報がデジタルツイン上で確認できるようになり、業務の効率化につながる。

表3. 複数の道路管理者が一つのデジタルツインを活用するメリット

活用場面	メリット	導入効果
デジタルツイン構築	管理下以外の周辺道路を含めてデジタルツインを構築する必要がない	費用削減
離隔距離確認	工事等の際に他道路管理者の構造物や設備との離隔距離が確認可能	工事計画効率化
住民からの問合せに対する回答	各道路管理者の工事情報や灯具等設備諸元情報を共有することで、住民からの問合せに対する確に回答可能	住民サービス向上
シミュレーション	精緻な三次元形状を用いた電波伝搬、洪水、騒音等のシミュレーションが可能	シミュレーション精度向上

5. む す び

道路管理者の点検業務の効率化や道路維持管理業務の効率化を目指して開発したMMSD及びMDMDの概要について、さらにMDMDについては今後の展開について述べた。

これからも道路を始めとした道路インフラの点検や維持管理業務の効率化に寄与する様々なサービスや機能を提供することで、安心・安全な道路インフラの実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 国土交通省 道路局：道路メンテナンス年報（2022）
https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/r03/r03_08maint.pdf
- (2) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ（2023）
<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/>
- (3) 国土交通省：インフラ分野のDX
https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000073.html
- (4) 渡辺完弥，ほか：社会インフラのDXを支援するMMSD・MDMD，三菱電機技報，95，No.12，742～745（2021）
- (5) NETIS 新技術情報提供システム
<https://www.netis.mlit.go.jp/NETIS>
- (6) 国土交通省：道路施設の詳細な点検データの公開開始（2022）
https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_001569.html

ETCシステム

Electronic Toll Collection System

*鎌倉製作所

要 旨

有料道路の通行料金をノンストップで徴収可能なシステムとして導入されたETC^(注1)(Electronic Toll Collection)システムは、各種割引サービスの適用とともに全国へ普及拡大している。更なる利便性向上・渋滞緩和のため、国土交通省からETC専用化の施策が示されており、三菱電機は、フリーフローナンバープレート認識カメラを他社に先駆けて^(注2)納入している。ETC専用化拡大に伴いゲートレス構成のフリーフローETCの需要が見込まれるが、ゲートレスでは、車両のレーン進入を検知するセンサーがないことから、5車種区分に対応した車種の判定ができないという問題がある。そこでその対策として、車体形状や速度を計測するレーザー車両検知器、ETC車載器との通信で車両位置を特定する測角アンテナなどの先取り開発を進めている。

(注1) ETCは、一般財団法人ITSサービス高度化機構の登録商標である。
(注2) 2017年1月11日、当社調べ

1. ま え が き

当社は、2001年に本運用が始まったETCシステムを日本で初めて^(注3)関東地区に納入し、有料道路での料金収受の自動化や利用者の利便性の向上及び渋滞緩和による環境負荷低減等、様々な社会貢献をもたらしてきた。現在では、高速道路でのETC利用率は90%超まで普及し、世の中になくはならないサービスに至っている。近年では、柔軟な課金システムの導入や将来的な管理コスト削減に向けた都市部・地方部へのETC専用化施策が国土交通省から発表されていることに加えて、ETC2.0車載器を装着した利用者に対して、駐車場利用やドライブスルーの自動決済サービスも拡充し始めており、当社が持っている無線通信技術、センサー技術に加えて、AI技術を活用したナンバープレートの文字認識技術の重要性がますます高まっている。

本稿では、ETCを構築する既存システムの事例を述べるとともに、将来のETC事業拡充に向けたゲートレスETC開発、ETC多目的利用開発の取組み状況について述べる。

(注3) 2001年3月30日、当社調べ

2. 国土交通省・高速道路会社施策・市場動向

ETCシステムが全国に普及する一方、高速道路の料金に対しても、都度、国土交通省から新たな料金体系・施策の導入が提言され、見直しが行われてきた。首都圏で2016年4月から料金水準の整理・統一が行われ、同一起終点であれば同じ利用料金になった。将来的には、混雑度合いに応じて複数経路で料金に一定の差を設けることや、混雑状況・時間帯に応じて変動する機動的な料金施策の導入が検討されている。

それに続いて、高速道路利用料金に対する施策とともに推進されているものとして、2020年9月に国土交通省から報道・広報された料金所のキャッシュレス化・タッチレス化を目的としたETC専用化がある。これは高速道路の利用料金をETC通信ではなく、現金等で支払う車(以下“現金車”という。)を対象外として、ETC車載器を搭載の上、ETC通信で支払う車(以下“ETC車”という。)に限定することで、戦略的な料金体系の導入が容易になることや、現金徴収に伴う管理コストの削減などが見込まれている。また、これまでETC車以外の車両に対しては、現金徴収の際に一旦停止させるため、ゲートがある料金所ETCが主流であったが、ETC車限定になることで、全ての車両は一旦停止不要になる。したがって今後は、渋滞緩和にもつながることからゲートレスETCになるフリーフローETC(以下“FF-ETC”という。)の拡大が想定される。

3. FF-ETCシステム

3.1 FFナンバープレート認識カメラ

FF-ETCとしては、ゲートがある料金所ETCと異なり、通行車両を一旦停止させることができないことから、不正通行車両や、たまたま車載器との通信に失敗した場合など、課金処理ができないケースがある。これら課金処理ができなかった通行車両を後から特定するための装置として、FFナンバープレート認識カメラ(以下“FF-NPカメラ”という。)が必要になる。FF-NPカメラは、ナンバープレート情報の取得のため、適正な明るさでクリアな画像を安定して撮像する技術と、撮像した画像からナンバープレートを検知し、さらに自動判別する文字認識技術が組み合わさって実現している。まず、FF-NPカメラは、車両の通行を検知する外部の検知センサーからの車両通過信号を必要とせず、カメラ映像から直接通過車両を判別する。その被写体になる車両の最大速度としては、時速180kmまで対応している。また、ナンバープレートのサイズは、大型、中型のプレートだけでなく、バイク用の小型のプレートにも対応している。バイクのプレートは後方に取り付けられているため、FF-NPカメラは車両前方のプレートを判別する前方カメラと車両後方のプレートを判別する後方カメラの2台で1セット構成になる。撮像したナンバープレート画像からプレートの文字を識別することでナンバープレート情報を取得する。

3.2 画像サーバ

当社は、FF-NPカメラに加えて、その上位装置として、画像サーバを導入している。画像サーバは、FF-NPカメラで取得したナンバープレート情報を蓄積するために導入している。蓄積したナンバープレート情報は、適切な料金徴収のため、車両の走行区間の把握に使用される。走行区間の把握には次に述べる課題がある。

当社が設備を導入した高速道路の出口はFF-ETCであるのに対して、入り口は料金所ETCであり、FF-NPカメラがないため、入り口のナンバープレート情報は、画像サーバに蓄積されない。料金所ETCにも、FF-NPカメラ同様にナンバープレート情報の取得を目的とした料金所ナンバープレート認識カメラ(以下“料金所NPカメラ”という。)が導入されており、料金所NPカメラで取得したナンバープレート情報は以前からETCのログの一部として管理されているが、現金車については、車載器を搭載しておらずETC通信ができないため、ETCのログ自体が作られない。つまり現金車に対しては、走行区間の把握に必要なナンバープレート情報が蓄積されない。したがって現金車の走行区間の把握には、FF-NPカメラで取得したナンバープレート情報と同様に、料金所NPカメラで取得したナンバープレート情報も画像サーバに送信、蓄積できるようにする必要がある。

3.3 ETC専用化対応

ETC専用化は、2020年9月に国土交通省から報道・広報された際、都市部は5年、地方部は10年程度での概(おおむ)ね完成を目指して、まずは一部料金所で試行運用を行い、運用状況等を踏まえながら、順次拡大していく方針を示している。試行運用段階では、ETC車以外の誤進入車両(現金車)に対しては、一旦停止してもらい、インターホン・カメラで利用者の連絡先・免許証を確認し、後日利用者自身で能動的に料金を支払ってもらうようにチラシを渡す運用になっている。将来的には、誤進入車両(現金車)も、一旦停止させることなく、ナンバープレート情報から走行区間の特定を行い、直接利用者に対して、高速道路の利用料金を請求する運用が想定されている。そのためには、誤進入車両(現金車)の走行区間の把握が必要と考えられる。

当社が納入したFF-ETCでもETC専用化の試行運用が2022年から行われており、そこでは、誤進入車両(現金車)の走行区間の把握を目的として画像サーバに対して追加の機能改修を行っている。画像サーバは、新たに入り口の料金所NPカメラからもナンバープレート情報を取得することで、ETCのログが作られないETC車以外の現金車についてもナンバープレート情報を蓄積できるようにした。これによって、入り口と出口を通行した全ての車両に対して、ナンバープレート情報での走行区間の把握が可能になった。ETC専用化の運用イメージを図1に示す。

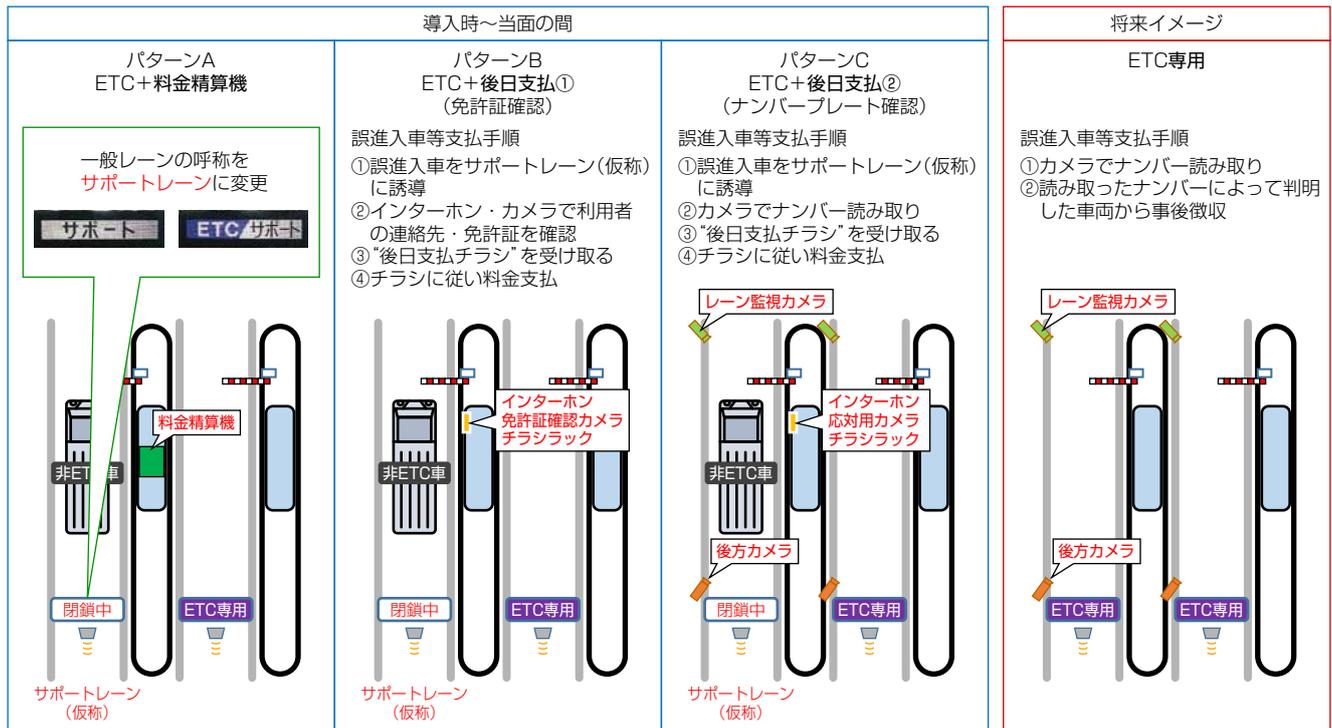


図1. ETC専用化運用イメージ
出典：国土交通省 ETC専用化等による料金所のキャッシュレス化・タッチレス化について⁽¹⁾

4. ETC技術

4.1 ナンバープレート認識カメラ高度化

ETC専用化によるETC車以外の誤進入車両(現金車)の走行区間の把握，料金の事後請求を実現するには，ナンバープレート認識カメラでの確実なナンバープレート情報取得が必要である。一方，現状のナンバープレート認識カメラでは，逆光時や悪天候時にナンバープレートが検知できない課題がある。その補完として，ナンバープレート認識カメラとは別に設置する監視カメラの映像に対して，動体検知の機能追加によって，車両の捕捉率を向上させる開発を進めている(図2)。

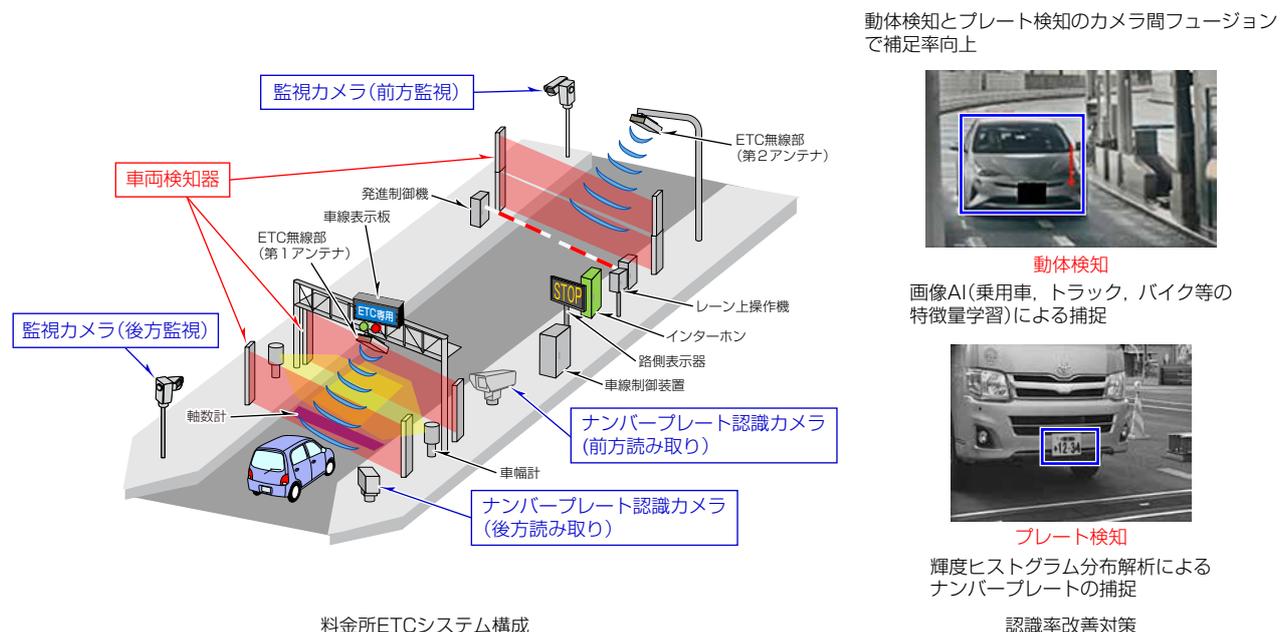


図2. ナンバープレート認識カメラ高度化

動体検知は、画像AI(乗用車、トラック、バイク等の特徴量の学習)によって動体を予測・検知する技術である。監視カメラの出力フレームごとに動体検知を行うことで、フレーム間の移動方向を識別して車両進入時の前後進を判定する機能や、料金所に入るとはいけない動体を識別する誤進入判定機能の検討も進めている。

また、従来のプレート検知処理についても輝度ヒストグラム分布解析によるナンバープレートの補足率向上を進めている。

4.2 ゲートレスETC

日本の高速道路では、2022年12月時点で約94%の車両がETCで、残り約6%が現金等で料金を支払っている。車両1台当たりの料金収受に必要な経費は、ETC車35円に対して現金車141円と試算されており、現金収受をなくした場合コストダウンを図ることができる⁽²⁾。3.3節に述べたとおり、ETC専用化の将来イメージでは、現金収受をなくすため、ナンバープレートカメラで自動的に撮影・認識し、当該車両の利用者から、料金を事後請求することを目指している。

ETC専用化によって、現金収受の撤廃が実現されると、車両の一旦停止が不要なため、ゲートがある料金所ETCに変わってゲートレスETCとなるFF-ETCが主流になると考えられる。現金収受に必要な人員や設備のコストカットに加えて、高速道路本線上の料金所をゲートレス化することによって渋滞解消などが期待できる。この予測から、ゲートレスETCの拡大を見越して、要素技術の開発・評価を進めている。

ゲートレスETCの実現に向けての課題は、複数車線を車線変更する車両を個体識別できるセンシングを行い、ETC車載器とETC無線部間の通信(以下“路車間通信”という。)によって料金収受を行う車両の通信記録とセンシング結果とを確実に紐(ひも)づけてエビデンス化することである。そこで、路車間通信がどの車両と実施されたものであるかを測角アンテナで判定し、当該車両に登録されている車体形状が正しいものかをレーザー車両検知器で判定する。

ゲートレスETCのシステム構成を図3に示す。システムを構成する各機器はGPS(Global Positioning System)時刻で同期しており、レーザー車両検知器が複数レーン上での車両走行軌跡を把握する。当社採用のレーザーは、車両進行方向に45度の照射範囲を持っており、高速道路の門柱8m高に設置した際に8m長の観測エリアを持つことで、時速180kmで走行する車両も捕捉できる性能を持っている。

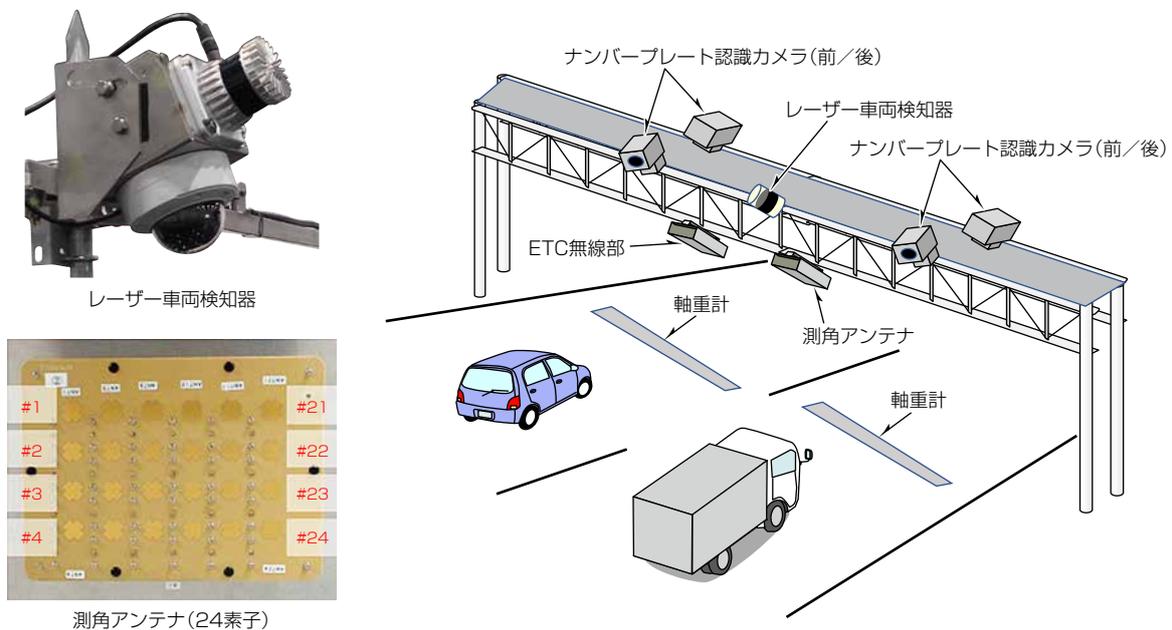


図3. ゲートレスETCシステム構成⁽³⁾

レーザー車両検知器によって車両が路車間通信地点に到着したと判定すると、ETC無線部の電波照射開始を制御する。測角アンテナは、24素子のパッチアンテナで構成しており、ETC車載器からの個別IDをキー情報として使用し、受信電波の到来方向を部分空間法(MUSIC法)で測位する。最終的には、路車間通信した車両を測位結果によって識別し、レーザー車両検知器で計測した車体形状やナンバープレート認識カメラで取得したナンバープレート情報、軸重計で計測した車軸数などのセンシング結果を紐づけて通過記録としてエビデンス化する。

4.3 ETC多目的利用

2019年に高速道路以外の決済にETCを利活用できる要綱が制定されたことを背景に、利便性向上や渋滞対策効果を目的に、駐車場やドライブスルーなどでのETC決済が検討されており、その実証実験が進められている。ETC多目的利用の特長は、ネットワークを用いて遠隔地に設置した情報処理機器で情報を一括処理することによって路側設備の初期導入費用を抑えた上で、管理者負担を減らせることである。さらに、利用者は車両に乗り込んだままタッチレス課金が可能になりサービス向上につながる。ETC多目的利用のシステム構成を図4に示す。

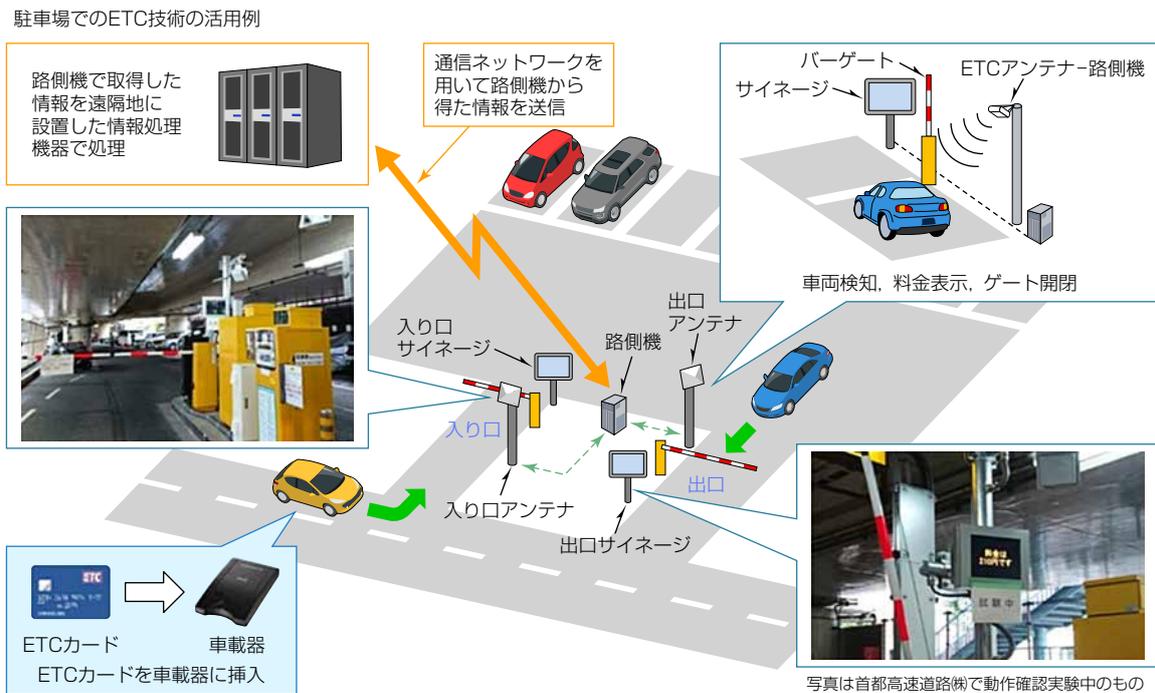


図4. ETC多目的利用システム構成⁽⁴⁾
 出典：国土交通省 ETC多目的利用サービス
<https://www.mlit.go.jp/road/yuryo/etc/service.html>

当社では、ETC車載器にETCカード挿入忘れを通知するお知らせアンテナの開発実績やセキュリティー規格の変更対応実績などを持っており、サービス事業者とネットワーク型ETC装置の共同開発を行っている。

5. む す び

ETC専用化の本格導入に向けては、ナンバープレート認識カメラの認識率向上やゲートレスETCでの車種判別機能実現・精度向上など、技術課題も多い。またETC専用化以外にも、ETC多目的利用など高速道路以外でのETC決済サービスについて実証実験を行い、ETCシステムの更なる利用拡大・普及を目指している。試行運用から得られるETC利用者や道路事業者からのニーズに沿いながら、各種技術課題を解決し、便利な社会の実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 国土交通省：ETC専用化等による料金所のキャッシュレス化・タッチレス化について (2020)
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001378536.pdf>
- (2) 国土交通省：ETCの利用状況、導入効果等
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/pdf/7.pdf>
- (3) 中村 徹：国外における道路の課金制度について、交通工学, 57, No.2, 24~27 (2022)
- (4) 国土交通省：ETC多目的利用システムの利用に関する要綱
<https://www.mlit.go.jp/road/yuryo/etc/pdf/usage-summary.pdf>

上下水道向け データ利活用ソリューション

後藤田 佳* Kei Gotoda
後藤伸介* Shinsuke Goto
霜田健太* Kenta Shimoda
谷 浩平* Kohei Tani
金澤哲夫* Tetsuo Kanazawa

*神戸製作所

Data Utilization Solutions for Water and Wastewater

要 旨

三菱電機は、上下水道向けの監視制御システムに蓄積されたプラントデータを活用して安心・安全なプラント運用を支援する“データ利活用ソリューション”の提供を目指している。その取組みの中で、下水道向けにAI技術を適用した“高度水処理プロセス制御システム”と“運転管理支援システム”を開発し、フィールド実証を行った。

高度水処理プロセス制御システムは、窒素除去量が最大になる処理水アンモニア濃度で風量制御を行うもので、風量削減(省エネルギー)と処理水全窒素濃度低減(水質改善)の両立を確認した。運転管理支援システムは、雨天時の揚水量制御に対して水位・水質・消費電力を考慮した運転操作ガイダンスを提示するもので、浸水リスク低減・水質改善・消費電力低減を確認した。

1. ま え が き

当社は、上下水道向けの監視制御システムに蓄積されたプラントデータに加えて、降雨データ等の外部データや点検記録等の保守データを収集し、IoT(Internet of Things)・AI技術を適用したデータ分析やシミュレーションを行うことで、上下水道施設の運用合理化、保守・保全コスト削減等を実現する“上下水道向けデータ利活用ソリューション”の提供を目指している(図1)。



図1. 上下水道向けデータ利活用ソリューション

国内の上下水道事業は、職員の高齢化・減少や施設の老朽化に加えて、脱炭素への取組み、気候変動に伴い多発している集中豪雨等への対応が厳しさを増す中、ライフラインである水処理プラントの安心・安全な運転が求められている。そ

ここで当社は、下水処理場向けソリューションとして、制御目標値の算出にAIを適用してプロセスを制御することによって省エネルギーと水質改善を両立する“高度水処理プロセス制御システム”と、運転操作ガイダンスの提示によって豪雨などの非常時にも適切な運用を支援する“運転管理支援システム”の開発に取り組んでいる⁽¹⁾。

本稿では、これらのシステムの概要と顧客との共同研究で実施したフィールド実証の結果について述べる。

2. 高度水処理プロセス制御システム

2.1 下水処理場のプロセス制御での現状と課題

下水処理場のプロセス制御は、流入水に含まれる有機物や窒素を除去するための生物処理に必要な空気供給量、水処理プロセス内の活性汚泥を適切に維持するための汚泥引き抜き量等を調節するものである。昨今の脱炭素への社会的要求の高まりを背景に、特に下水処理場全体の消費電力のうち約32%⁽²⁾を占める送風機による空気供給については、消費電力の抑制と目標処理水質の確保との両立が課題になっている。

2.2 AI技術を活用した生物反応槽風量制御システム

当社は東京都下水道局と、下水処理プロセスでの窒素除去について省エネルギーと水質改善を両立させる制御技術の開発を目的に、水質・水量・風量等のデータ分析、プロトタイプシステム構築、及びフィールド実証を行った。

窒素除去には硝化プロセス、脱窒プロセスの二つがあり、全窒素濃度と図2に示す関係にある。ここで全窒素濃度とは、アンモニア、亜硝酸、硝酸に含まれる窒素の総量である。流入水のアンモニアは、空気供給を必要とする硝化プロセスで亜硝酸・硝酸に酸化され、空気供給を必要としない脱窒プロセスで窒素ガスになり大気放出される。従来の硝化プロセスでは、アンモニアを全て亜硝酸・硝酸に酸化させる完全硝化を確実にを行うため必要量より多くの空気供給を行っており、脱窒プロセスで窒素ガス化が促進されず硝酸が多く残る傾向にあった。そこで、硝化プロセスで、あえて処理水のアンモニアを少量残すことで、空気供給量の削減と、窒素ガス化の促進との両立ができないか検討を行った。その結果、処理水アンモニア濃度と窒素除去量との相関分析によって、窒素除去量が最大になる処理水アンモニア濃度が存在し、その濃度は流入負荷(流入水質×流入水量)によって変動することが明らかになった(図3)。つまり、流入負荷に応じて窒素除去量が最大になる処理水アンモニア濃度になるように空気供給量を制御すれば、従来よりも過剰な空気供給量を削減しつつ窒素除去率を向上させる可能性が示唆された。

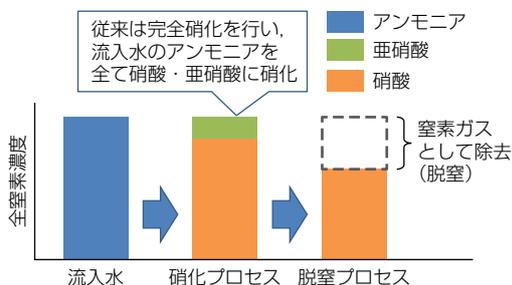


図2. 窒素除去プロセスと全窒素濃度の関係

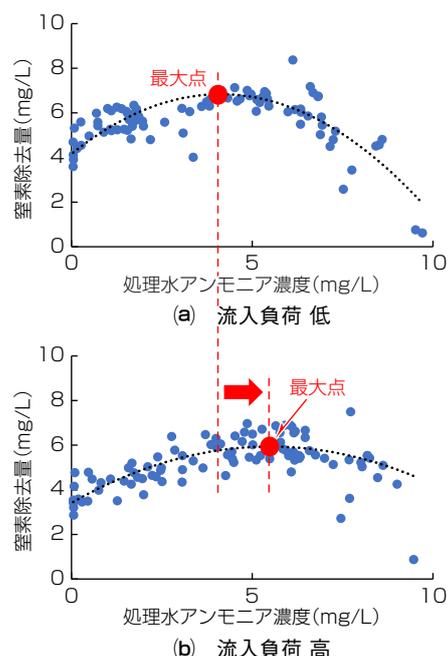


図3. 処理水アンモニア濃度と窒素除去量の関係(例)

次に、先に述べた窒素除去量が最大になる処理水アンモニア濃度の算出にAI技術を活用した生物反応槽風量制御システムを構築した(図4)。このシステムは、生物反応槽の入り口と出口にそれぞれ設置された水質センサーと、流入水質予測機能を持つアンモニア制御を行うコントローラー、処理水アンモニア濃度の目標値を算出するガイダンス装置で構成される。目標値を算出するアルゴリズムは、AI技術に分類されるJust-in-timeモデリング(過去のデータから必要なときに関連データを抽出しモデル化する手法)を用いた。図5にこのアルゴリズムの概念図を示す。まず、過去の処理水アンモニア濃度と窒素除去量のデータを用いて、その相関関係に影響を与える流入負荷等の複数指標でデータの分類を行う。さらに、指標ごとに図3で示したような流入負荷の高低等のしきい値でデータを分類し、現在の運転状況に最も近い領域に属するデータから窒素除去量と処理水アンモニア濃度の相関関係をモデリングする。このモデルを用いて、窒素除去量が最大になる処理水アンモニア濃度の目標値を算出する。

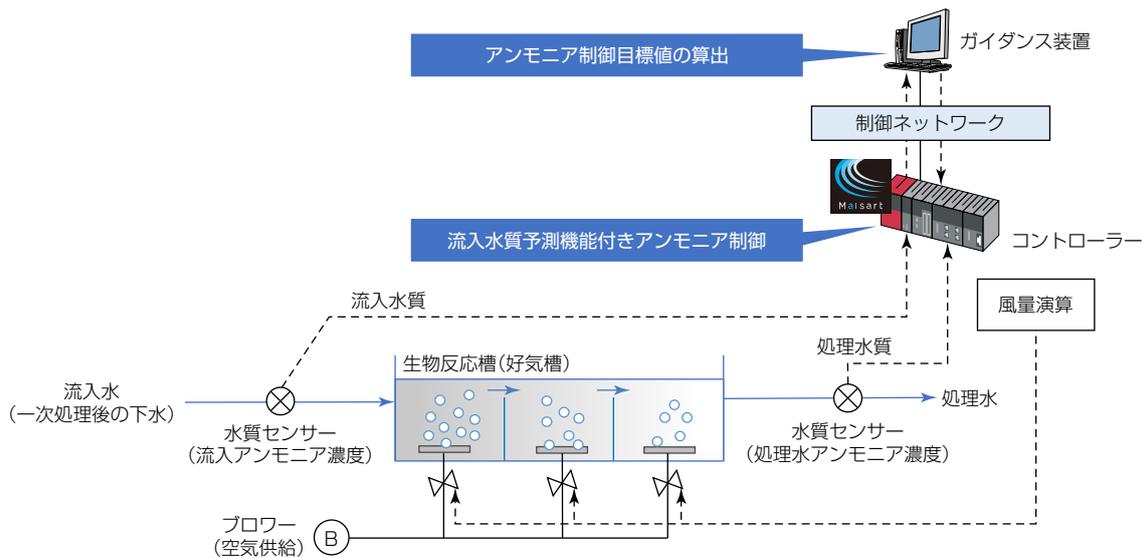


図4. AI技術を活用した生物反応槽風量制御システム

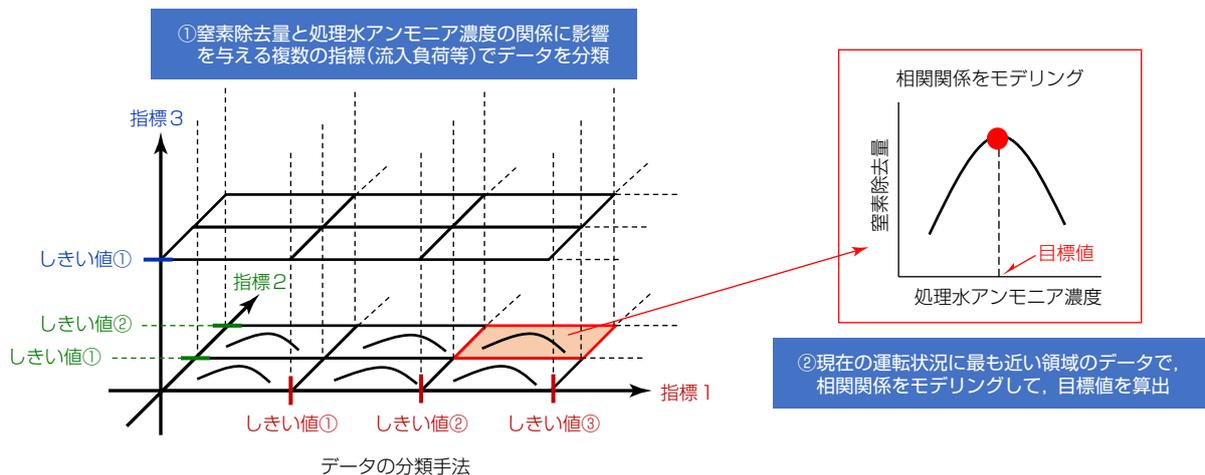


図5. アンモニア制御目標値を算出するアルゴリズムの概念図

2.3 フィールド実証結果

フィールド実証は同じ処理方式の2系列を用いて、一方は実証系として流入水質予測機能付きアンモニア制御、他方は比較系として既設のDO(Dissolved Oxygen: 溶存酸素)濃度一定制御でそれぞれ約6か月間運用し、風量と処理水全窒素濃度を比較した。実証系では処理水アンモニア濃度の大幅な悪化を防ぐため、3 mg/Lを超えない曝気(ばっき)量で制御した。なお、今回のフィールド実証では、ガイダンス装置で算出した目標値を自動でコントローラーに入力し、アンモニア制御を実施した。

風量は、図5に示すアルゴリズムで算出した処理水アンモニア濃度の目標値に追従するように制御したことで、図6のとおり比較系と比べて低い値で推移した。処理水全窒素濃度についても、ガイダンス機能によって窒素除去量が最大になる条件で制御したことで、図7のとおり比較系と比べて低い値で推移した。

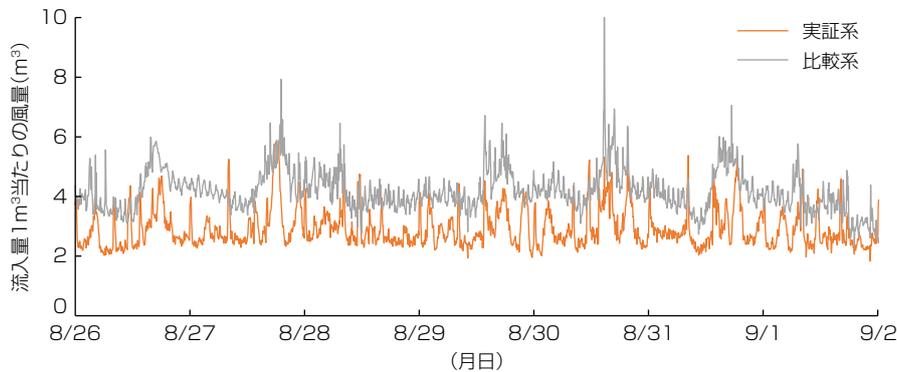


図6. 流入量当たりの風量の推移

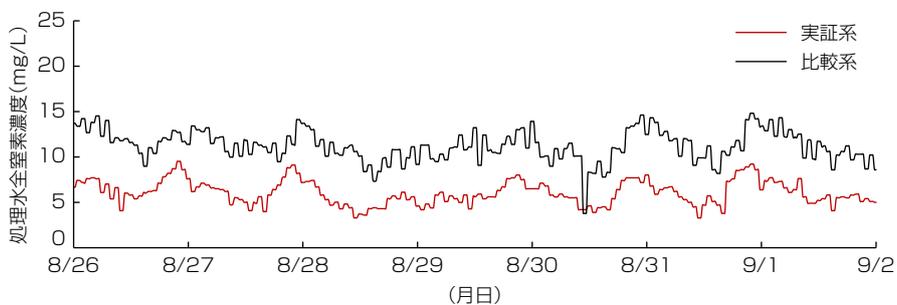


図7. 処理水全窒素濃度の推移

表1は、実証試験期間での実証系列の風量削減率と処理水全窒素濃度低減率である。約6か月の連続試験で、実証系では比較系よりも風量が15.8%削減、処理水全窒素濃度が36.2%低減され、風量削減(省エネルギー)と処理水全窒素濃度低減(水質改善)の両立が確認できた。今後は、冬季データを収集して、年間を通した効果の確認を行っていく。

表1. 風量削減率と処理水全窒素濃度低減率

	風量削減率(%)	処理水全窒素濃度低減率(%)
5月	17.2	32.8
6月	16.1	27.7
7月	19.5	43.5
8月	17.4	45.7
9月	12.0	30.2
10月	12.3	37.4
全体	15.8	36.2

3. 運転管理支援システム

3.1 プラント運転管理での現状と課題

水処理プラントの運転管理で、水量や水質等の目標値設定はベテラン運転員のノウハウに依存している。特に、気候変動に伴い多発している台風・集中豪雨に対する浸水防止等の非常時対応は高度な運転ノウハウを必要とするが、ベテラン運転員の人数は年々減少している。そのため、ベテラン運転員に依存しない安心・安全な水処理プラントの運用が課題になっている。

3.2 雨天時運転ガイダンスシステム

雨天時運転ガイダンスシステムは、雨天時での揚水ポンプの運転操作を支援するシステムであり、幹線流量データや降雨データから下水処理場への流入量を予測する“流入量予測機能”，生物反応モデルを用いて放流水質を予測する“水質予測機能”，目的に応じて適切な揚水ポンプの運転操作を提示する“AI運転ガイダンス機能”で構成される(図8)。

このシステムは、流入量予測機能で予測した流入量変動に対して、流入渠(きょ)水位上限値や水質総量規制値の制約条件範囲内で、水位重視、水質重視、消費電力重視の各目的にマッチする揚水量パターンを、あらかじめAIによる多目的最適化で作成された揚水量パターンの中から抽出し、各揚水量パターンの水位・水質・消費電力の予測値と併せて運転員に提示することによって、運転員の目的に応じた揚水ポンプの最適な運転支援を行う(図9)。

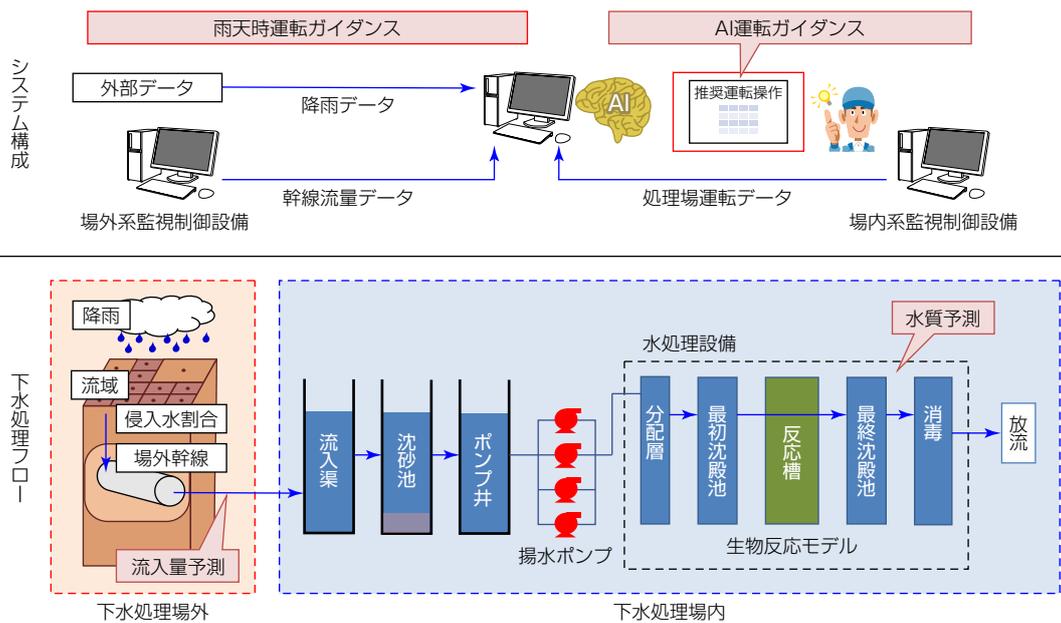
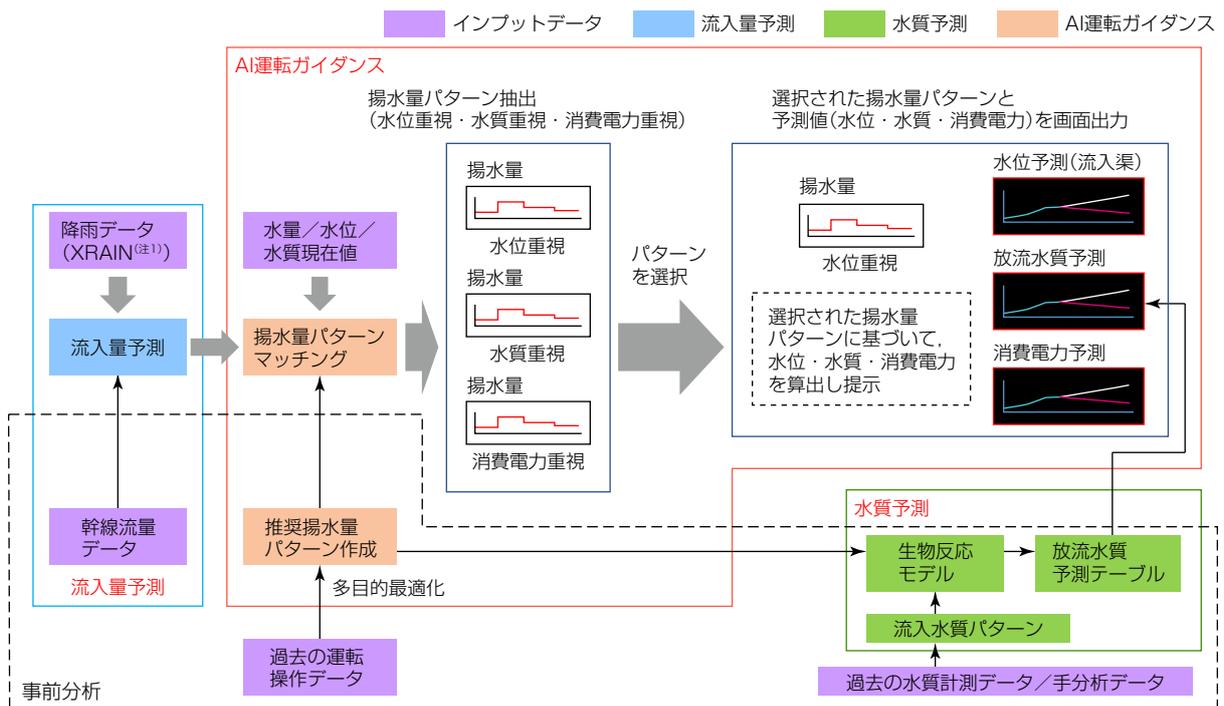


図8. 雨天時運転ガイダンスシステムのシステム構成



(注1) XRAINは、国土交通省国土技術政策総合研究所長の登録商標である。

図9. 雨天時運転ガイダンスシステムの概略演算フロー

なお、水質予測は、あらかじめ過去の水質データに基づく流入水質パターンと推奨揚水量パターンを生物反応モデルに入力して放流水質予測テーブルを作成しておき、その中から今回の流入水質と揚水量パターンに合致するものを抽出し提示する。

このシステムを、国土交通省の令和3・4年度下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)の実規模実証“AIを用いた分流式下水の雨天時浸入水対策支援技術に関する実証事業”で、AI技術を適用し適切な運転操作を提示する雨天時運転ガイダンスシステムのデータ分析、プロトタイプシステム構築、及びフィールド実証に適用した。

3.3 フィールド実証結果

フィールド実証は約7か月間実施し、流入量予測機能と水質予測機能は予測値と実測値を比較し、運転ガイダンス機能は、水位重視・水質重視・消費電力重視それぞれの推奨揚水量パターンに基づいて運転した場合の水位・水質・消費電力の予測値と実運用結果(実測値)を比較して有効性を評価した。

流入量予測機能は、変動の大きな場合の追従性に着目した評価手法で雨天時の急激な流入量変動への追従性評価に適しているNS(Nash-Sutcliffe, NashとSutcliffeによって提唱された評価指標)係数^③で評価した。実測値と比較した結果、NS係数は0.912と、予測精度が良いとされる0.7を大きく上回っており、良好な精度が確認できた(図10)。

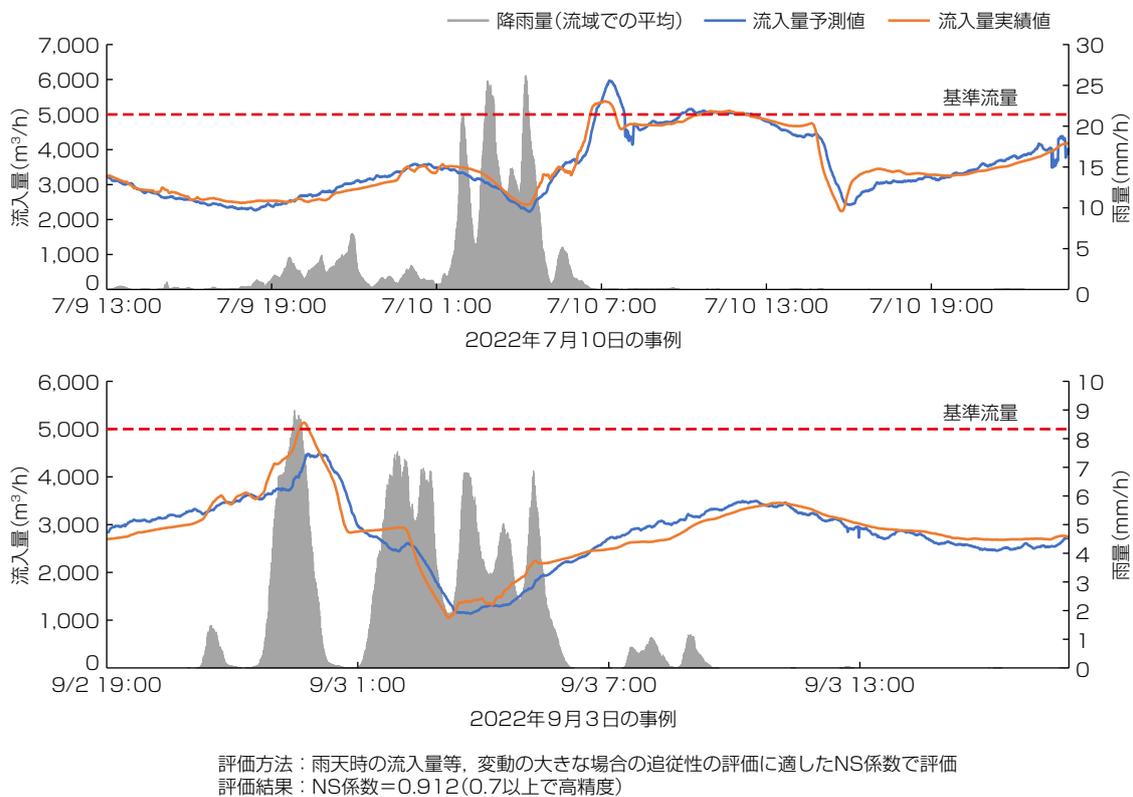


図10. 流入量予測機能の評価結果

水質予測機能は、誤差(予測値-実測値)と実測値との割合の平均値を示す一般的な評価手法であるMAPE(Mean Absolute Percentage Error: 平均絶対誤差率)で評価した。実測値と比較した結果、MAPEは化学的酸素要求量(COD)で11.3%、全窒素(TN)で13.4%、全リン(TP)で34.5%になり、特にCODとTNについてはTPに比べて良好な精度が確認できた(図11)。

表2は、運転ガイダンス機能の各揚水量パターン(水位重視・水質重視・消費電力重視)での運転方法と評価結果である。水位重視運転パターンは、流入渠水位の管理水位の超過回数が2回から0回になり、浸水リスクの低減が確認できた。水質重視運転パターンは、COD・TN・TPが目標とする水質総量規制値の60%以下を達成し、晴天時と同等の水質が確認できた。消費電力重視運転パターンは、雨天時の揚水ポンプの消費電力を5.0%削減する効果が確認できた。

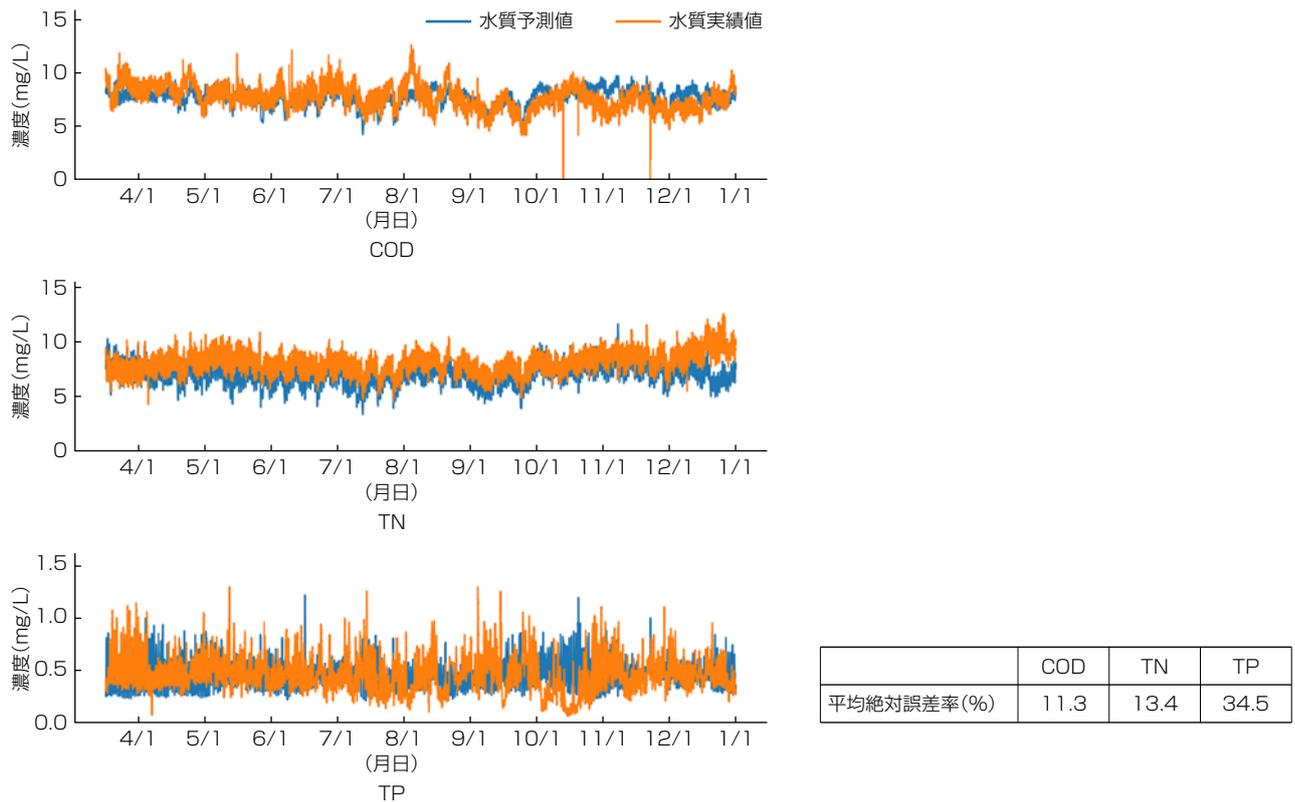


図11. 水質予測機能の評価結果

表2. 運転ガイダンス機能の評価結果

揚水量パターン	目的	運転方法	目標値	評価結果
水位重視運転	浸水リスクの低減	流入渠水位が管理水位を超えないようにあらかじめ揚水しておく運転	流入渠水位の管理水位超過回数10%低減	○ 管理水位超過回数0回(100%低減)
水質重視運転	晴天時と同等の水質確保(水質総量規制値)	水質総量規制値(揚水量×水質濃度)の目標値を超えないように揚水を抑える運転	COD・TN・TPの水質総量規制値の60%以下(=晴天時の水質)	○ 水質総量規制値の60%以下を達成
消費電力重視運転	消費電力の低減	消費電力を抑えるように揚水を抑える運転(揚水ポンプ運転を抑える)	揚水ポンプの雨天時消費電力量を1.5%削減	○ 雨天時消費電力量を5.0%削減

4. むすび

データを活用したソリューションとして“高度水処理プロセス制御システム”による省エネルギーと水質改善の両立、及び“運転管理支援システム”による雨天時の運転操作支援の実証結果を述べた。

国内の上下水道事業を取り巻く環境は、今後ますます厳しくなることが予想されるが、このような環境下でも、ライフラインである水処理プラントを安心・安全に運用していくことが必要である。

今後は、上下水道向けの監視制御システムに蓄積されているプラントデータだけでなく、外部データ等の活用による更なる予測精度向上や、保守データや施設データとの連携によって維持管理領域や設計・施工での業務効率化を進めていき、設計・施工段階から運転・維持管理までをカバーするトータルソリューションの提供を目指す。

参考文献

- (1) 入来院浩司, ほか: 水処理プラント高度オペレーション支援システム, 三菱電機技報, 95, No.12, 737~741 (2021)
- (2) 国土交通省: 下水処理場のエネルギー最適化に向けた省エネ技術導入マニュアル(案)(概要版)(2019)
<https://www.mlit.go.jp/common/001295312.pdf>
- (3) Nash, J.E., et al.: River flow forecasting through conceptual models part I- A discussion of principles, Journal of Hydrology, 10, 282~290 (1970)

IoTプラットフォーム“INFOPRISM” を適用した水防災情報システム

永井誠一*

Seiichi Nagai

小笠原 良*

Ryo Ogasawara

金子昇治*

Shouji Kaneko

小谷長弘*

Nagahiro Odani

*神戸製作所

Cloud-based Flood Disaster Prevention Information System with IoT Platform "INFOPRISM"

要 旨

気候変動によって台風や大雨の脅威が拡大し水害リスクが増加する中、河川管理者には、迅速な水防活動や住民への避難行動を促す情報発信の強化が求められている。そこで三菱電機は、データ収集・蓄積、高度なセキュリティー、AIデータ解析等、IoT(Internet of Things)ソリューション機能をまとめたIoTプラットフォーム“INFOPRISM”を適用し、水位・雨量や流域施設の情報を提供する機能、水防担当職員の業務を支援する機能を持つ水防災情報システムを開発した。今後も、IoTプラットフォームを利用した流域データのセンシング等によって、流域施設の最適運転や省力化に資するサービスを提案し、安心・安全な社会の実現に向けた課題解決に貢献していく。

1. ま え が き

国や自治体などの河川管理者は、河川水位や周辺地域の雨量等、観測データを収集し、台風や大雨時にこれらの気象情報や観測データを基に、国民の命や財産を守るため水防業務を行う。具体的には、国や自治体が策定したタイムライン(防災行動計画)に基づいて、今後の気象予報に応じた水防態勢の構築や、観測データから判断される水位の上昇傾向に基づく洪水予報の発令、河川水位の上昇を抑制する貯留施設・排水施設の運転、住民の避難行動を支援するための情報発信等を行っている。しかし近年、気候変動による水害リスクが増加する中、河川水位の急激な上昇に対して迅速な業務遂行と情報発信内容の強化が求められている。一方、河川管理者は、河川管理を担う職員の減少、老朽化施設のメンテナンス等の対応による業務負荷や維持管理費の増加も懸念している。

そこで当社は、“水害リスクの増加”“業務負荷・維持管理費の増加”という社会及び顧客の課題に対して、これまで様々な河川管理システムを納入してきた実績を基に、データ収集・蓄積、高度なセキュリティー、AIデータ解析等が可能な独自のIoTプラットフォームINFOPRISMを適用したクラウド型の水防災情報システム(図1)を開発した。

2. 水防災情報システムの現状と課題

現状の水防災情報システムは、タイムラインに沿った水防業務を支援するため、河川管理に必要な水位・雨量等の観測データの収集・解析によって、担当職員へ水防活動の判断材料になるデータの提供や住民へ避難行動の判断材料になる情報を公開する“河川情報提供機能”と、水防態勢確立に必要な担当職員の参集や洪水対策施設への運転指令及び水防日誌の作成などの水防活動を支援する“水防業務支援機能”で構成される(図2)。

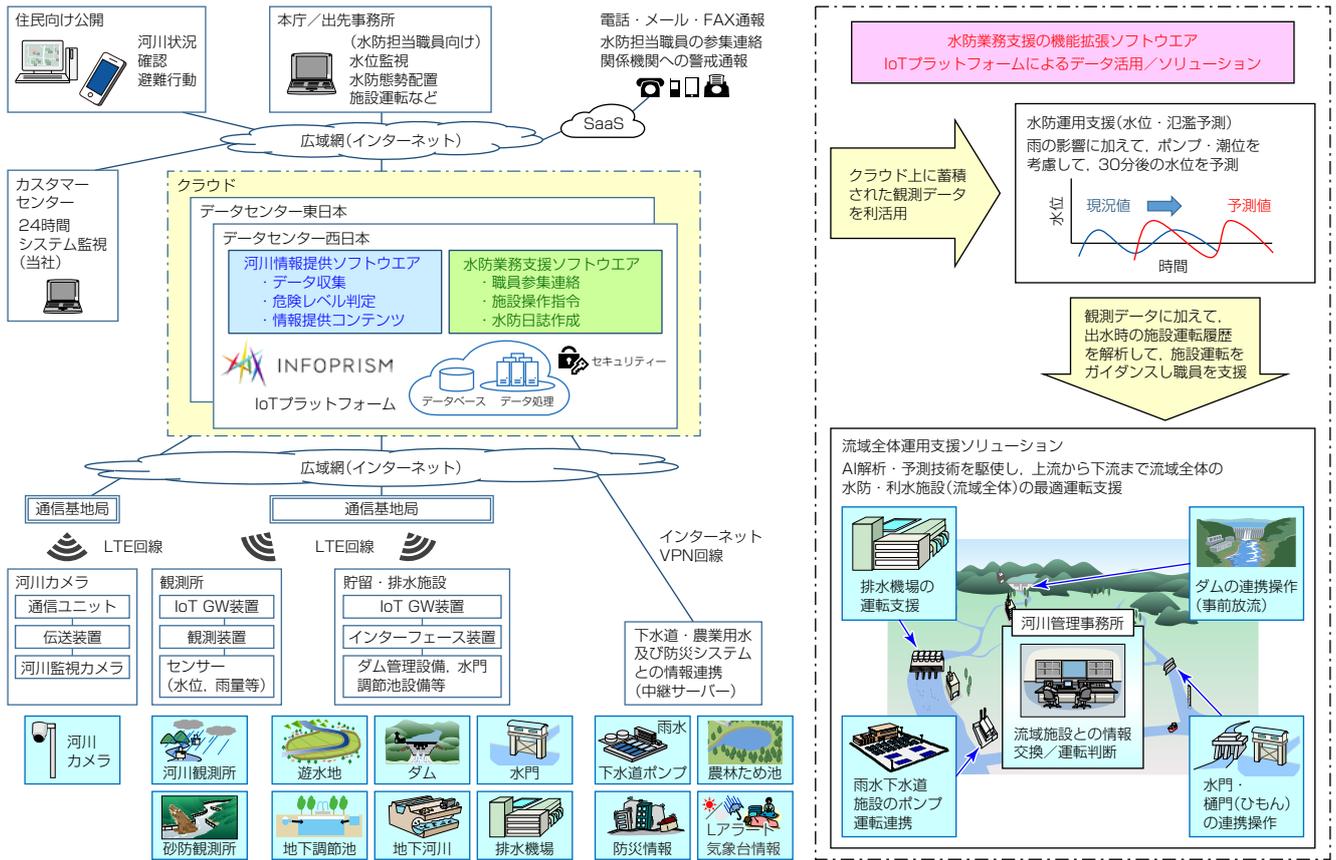
現状、気候変動等の影響によって、次に述べる課題への対応が必要になっている。

2.1 水害リスクの増加や業務負荷・維持管理費の増加への対応

“河川情報提供機能”では、近年の急激な水位上昇への対応や、水位の危険度レベルをよりリアルに把握するため、従来10分間隔であった水位観測データ収集周期の短縮や、カメラ映像による観測地点の流況の提供が必要である。

“水防業務支援機能”では、職員の業務負荷軽減に対応するため、これまで職員が行ってきた担当職員の参集連絡や、水防に関わる関係機関や市町村自治体への連絡に加えて、水位が上昇した場合の水門や排水施設の運転指令連絡、貯留施設への雨水流入操作の指令連絡を水防災情報システムで自動化する必要がある。

また、システムの構築に当たっては、維持管理費の低減も考慮する必要がある。



SaaS : Software as a Service, LTE : Long Term Evolution, VPN : Virtual Private Network, GW : GateWay

図1. IoTプラットフォームINFOPRISMを用いた水防災情報システムの全体イメージ

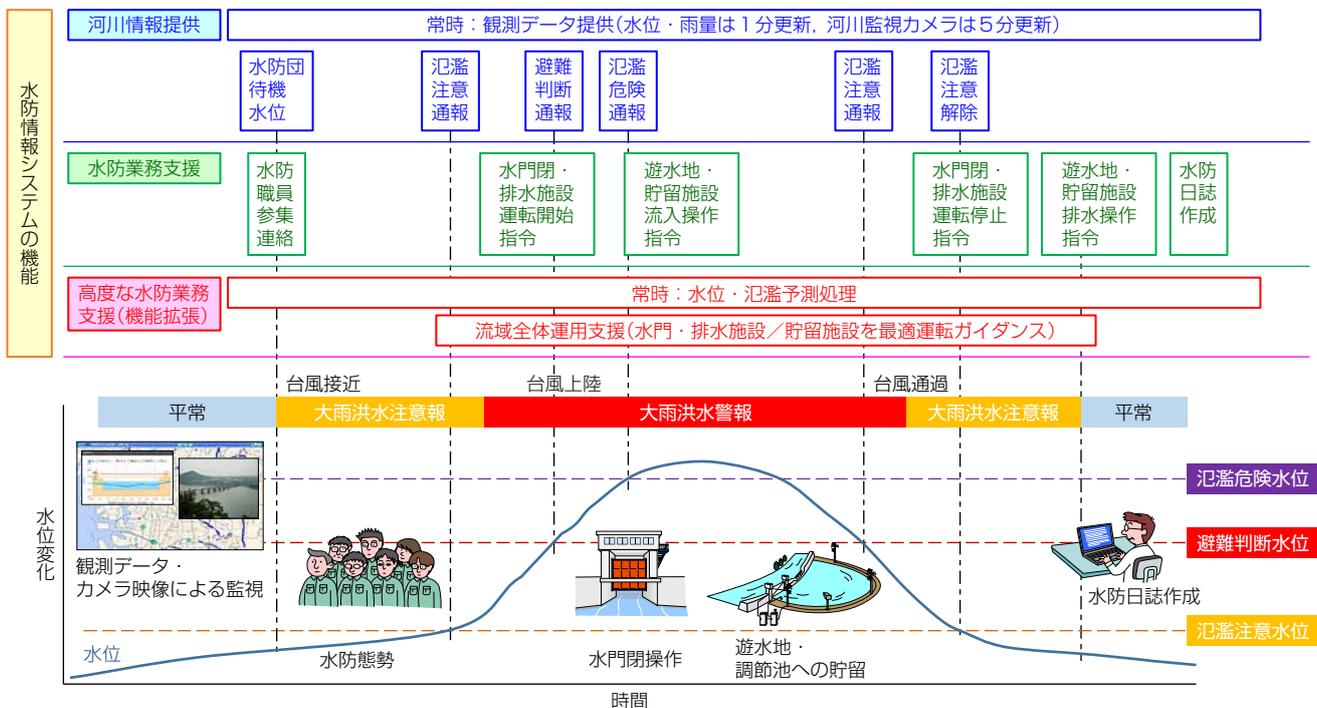


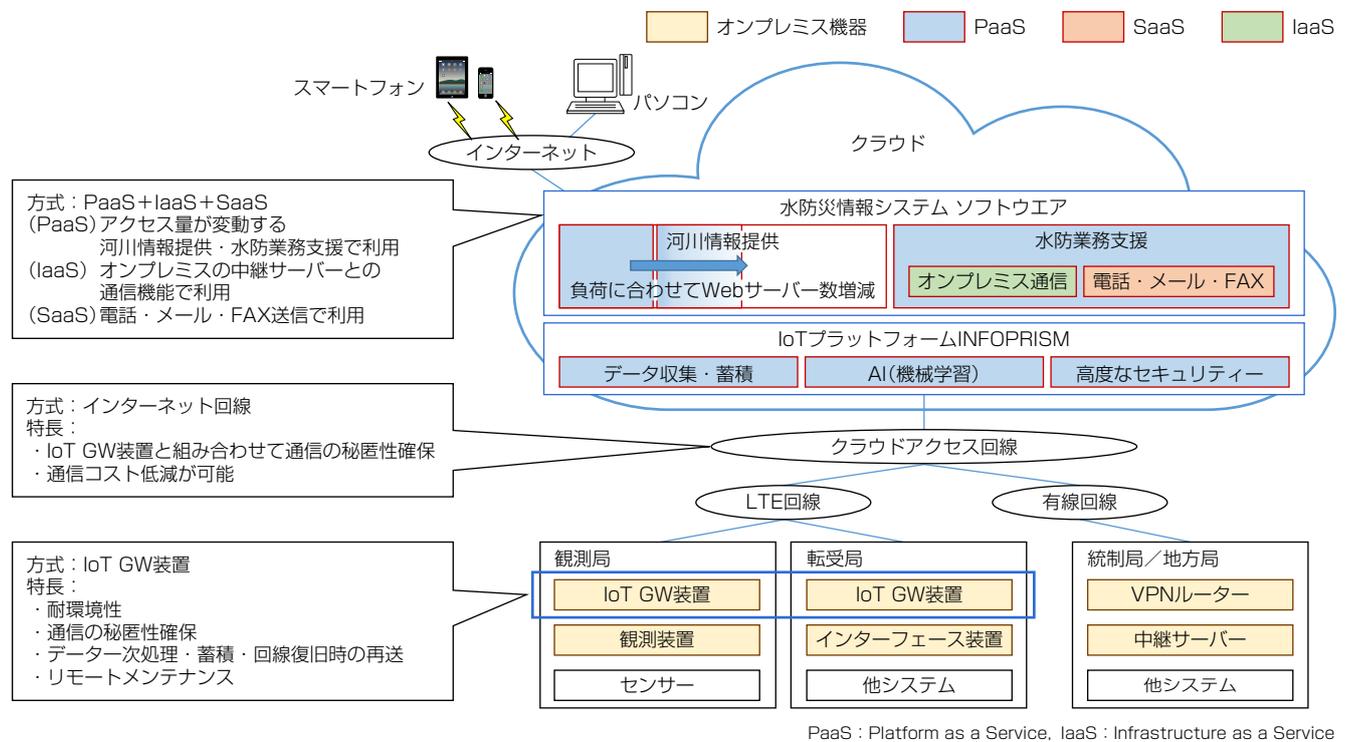
図2. タイムラインに沿った水防災情報システムの機能

2.2 流域施設と連携した水防業務の実現

水防業務の実現には、流域全体から収集・蓄積したデータの分析によって迅速な水防運用を支援する水位・氾濫を予測する機能や、ベテラン職員が経験に基づいて行っている施設の運転開始・停止操作を施設運転履歴データとして抽出・解析するとともに水位予測と組み合わせて施設を効率良く運転する操作ガイダンス機能が必要になる。さらに、流域全体の観測データと施設運転履歴データを組み合わせた解析によって、流域のピーク時水位を下げる施設操作の連携等の運用支援機能が必要になる。

3. INFOPRISMを適用したクラウド型水防災情報システム

当社は、これらの水防災情報システムが抱える課題の解決策として、データ収集・蓄積、高度なセキュリティー、AIデータ解析等、IoTソリューション機能をまとめた独自のIoTプラットフォームINFOPRISM⁽¹⁾を適用したクラウド型の水防災情報システムを開発した(図3)。



PaaS : Platform as a Service, IaaS : Infrastructure as a Service

図3. クラウド型水防災情報システムのアーキテクチャ

3.1 クラウド型水防災情報システムのアーキテクチャ

3.1.1 観測所機器と回線

現場のセンサー(水位・雨量計)からデータの取り込みを行う観測装置とクラウドをLTE回線で接続するIoT GW装置を図4に示す。これらの装置は、屋外盤への取付けを見据えて耐環境性に優れる(動作温度-20~55℃, 防塵(ほうじん)防水IP53相当)ほか、TLS(Transport Layer Security)による暗号化通信に対応し、インターネット回線を利用した場合も第三者による監視データや制御データの盗聴・改ざんを防止する⁽²⁾。

3.1.2 クラウドサービス

クラウドサービスは、クラウド事業者が提供する範囲によって、三つの形態がある(表1)。INFOPRISMは、アプリケーションの用途に応じて利用形態を選択可能であることから、このシステムでは表1のとおり、維持管理費の低減に向けてアプリケーションごとに最適な利用形態を採用した。



図4. 観測所(機器取付け例)

表1. クラウドサービスの利用形態と水防災情報システムへの適用方針

利用形態	サービス提供範囲	自由度	開発・運用コスト	クラウド型水防災情報システムでの適用方針
IaaS	ハードウェア・仮想化	高	高	オンプレミスサーバーとの通信など、ソフトウェア資産を活用して既存システムを踏襲する機能に適用
PaaS	ハードウェア・仮想化・OS・ミドルウェア	中	中	処理負荷の変化によってWebサーバー数の増減が容易であることから、平常時・大雨時でアクセス量が変動する河川情報提供・水防業務支援に適用
SaaS	ハードウェア・仮想化・OS・ミドルウェア・アプリケーション	低	低	送信先に確実に情報が届く実績があり、かつ画一的な処理を提供する、電話・メール・FAX送信機能に採用

3.2 クラウド型水防災情報システムの特長

3.2.1 システム運用の継続性を確保

(1) クラウド拠点冗長化

複数拠点のデータセンターで冗長化かつデータを等値化することによって、大規模災害等発生時にもデータが欠落することなくシステム運用を継続できる。INFOPRISMのディザスタリカバリー(災害復旧)機能によって、クラウドとオンプレミス機器(IoT GW装置/中継サーバー)間で自動連携して拠点切替えを行い、システム運用を継続する。

(2) 観測データ補償

IoT GW装置でデータの一時蓄積を行い、データがクラウドに届かなかった場合でも再送処理を行うことによって、山間部にある観測所など電波が弱い場所でLTE回線接続断が発生した際のデータ欠落を防止する。

3.2.2 ストレスのない情報提供と機能拡張性の確保

(1) 高速データ収集

従来の水防災情報システムでは観測データを10分間隔で収集していたが、リアルタイムなデータ監視のため、1分間隔で高速データ収集を行う。また、クラウド側の処理負荷軽減及び通信データ量軽減のため、IoT GW装置でデータの種類ごとに整理、結合処理を行う。さらに、PaaSのスケールアウト(アプリケーションの実行インスタンス増)によって、観測所ごとにデータの並列処理を行うことで高速処理を実現した。

(2) Webサーバー増強

水防災情報システムは、平常時はアクセスが少なく、台風や大雨時にアクセスが急増する特性がある。そこで、アクセス量に応じてWebサーバー数を増減させるアーキテクチャを採用することによって、クラウド利用料を最小限に抑えたシステムを実現した。また、クラウド化によって、リソース(CPU、メモリー)追加による処理負荷増への対応も容易である。

3.2.3 維持管理費の低減、及びシステム監視・保守の迅速化

INFOPRISMでは、観測所に設置する観測装置に従来のテレメーターから省電力化した機器を採用した。また、クラ

ウド化によってサーバー類の部品交換・更新が不要なため、ライフサイクルコストを低減できる。さらに、広範囲に設置される観測装置の異常監視やメンテナンスを迅速化するため、IoT GW装置にリモートメンテナンス機能を搭載しており、遠隔地から状態監視、ログ収集、設定変更、再起動、ソフトウェアバージョンアップが可能である。

3.2.4 定期的な診断によるセキュリティ対策

セキュリティ上の脅威からシステムを守るため、定期的なプラットフォーム診断やクラウド設定診断によって脆弱(ぜいじゃく)性の確認を行い、必要に応じて処置を行う。これに加えて、24時間対応のカスタマーセンターで異常監視を行う。

3.2.5 他システムとの連携(開発中)

INFOPRISMでは、流域全体から収集したデータや、ベテラン職員が経験に基づいて行っている施設の運転開始・停止操作の施設運転履歴データ等、各種システムのデータ活用が容易である。これらのデータとAI機能を用いて分析することによって、水位・氾濫予測機能や、水位予測とベテラン職員の施設運転履歴を組み合わせた施設効率運転や、流域のピーク時水位を下げる施設操作等の最適運転ガイダンス機能を実現できる。

4. クラウド型水防災情報システムの適用例“大阪府水防災情報システム”

大阪府は、市街を流れる都市型河川や山間部の河川に約150か所の観測所を設置し、監視を行っている。流域には、ダム・遊水地・調節池などの貯留施設、排水機場・水門などの排水施設が多数整備されている。

当社は、観測所・施設データの収集・情報提供と、職員の水防業務を支援するクラウド型の水防災情報システムを構築し、運営維持管理サービスを開始した。

4.1 システム概要

従来の水防情報システムは、府庁や出先機関に数十台のサーバーや専用のデータ収集装置が設置されていた。クラウドの採用によって、サーバーや専用装置を大幅に削減し、またこれまで職員が手作業で行っていた業務の一部をシステム化した。

4.1.1 河川情報提供

各コンテンツは、地図GIS(Geographic Information System)への観測データ表示に加えて、地図上に避難所情報/洪水リスク表示図/土砂災害警戒区域/降水ナウキャスト等の情報の一元表示、水位危険度レベルに応じて色に変化する河川情報、スマートフォンの位置情報による、職員の現在位置、周囲の河川状況、開設された避難所の確認が可能である。これらのコンテンツを水防職員向け、住民向け、スマートフォン向けに提供する(図5)。

4.1.2 水防業務支援

これまで水防業務時に水防職員がホワイトボードに記載していた情報(水位危険度レベル・施設の運転指令等)をシステムで自動化し、府庁・出先機関の職員で情報共有が可能である(図6)。

4.1.3 主なシステム諸元

観測局は、最大200局を1分間隔で収集・処理する。水防職員向けコンテンツは500人を超える職員の同時アクセス、住民向け公開コンテンツは最大25万ページビュー/分の処理能力を持つ。

4.2 運営維持管理サービス

このシステムは、当社が運営維持管理サービスを行っている。主なサービス業務は、カスタマーセンターでの24時間システム監視・障害発生時の復旧、機器の稼働状況確認や精密点検などの保守点検及び補修・定期交換、OSバージョンアップなど予防メンテナンスである。これらのサービス提供を通じて、システムの信頼性を確保しつつ、水防職員の業務負担軽減に貢献している。

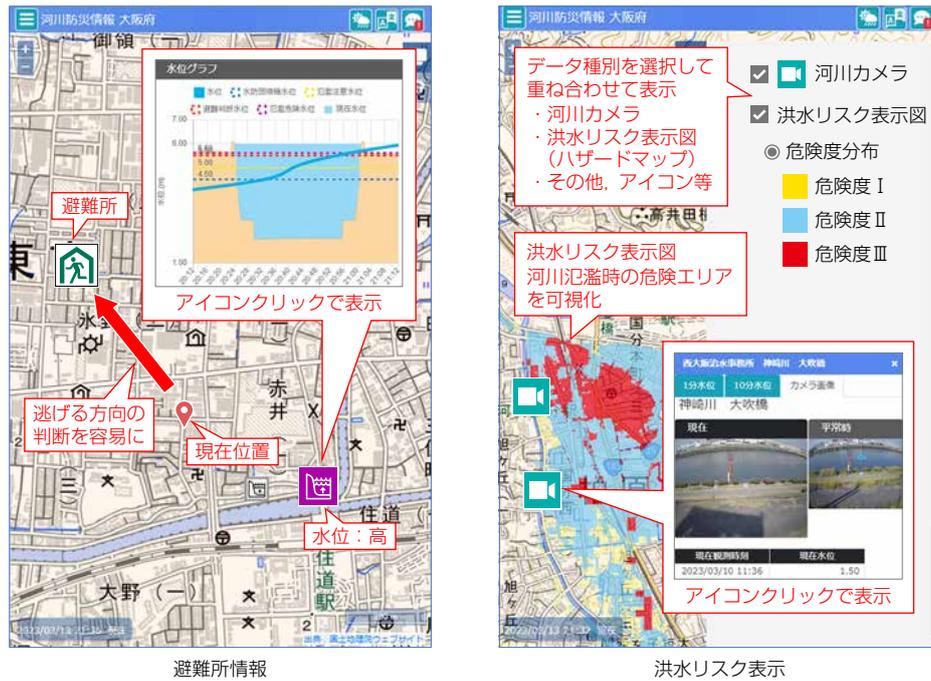


図5. スマートフォン用コンテンツ例



図6. 水防職員向けコンテンツ例(水防業務支援画面)

5. む す び

水害リスクの増加に対して、国、流域自治体が協働し“流域治水プロジェクト”を立ち上げて、河川に複数ある貯留・排水施設の連携運転や、住民の早期避難対策を策定している。

当社は、IoTプラットフォームを利用した流域データのセンシング等によって、流域施設の最適運転や省力化のサービスを提案し、今後も水害リスク低減、水防職員の負荷軽減といった社会課題の解決に貢献していく。

参考文献

- (1) 廣岡俊彦：社会・電力インフラIoTプラットフォーム“INFOPRISM”，三菱電機技報，93，No.7，397～400（2019）
- (2) 坪井真也，ほか：IoTプラットフォーム“INFOPRISM”を適用したクラウド監視制御システム，三菱電機技報，95，No.12，732～736（2021）

ヘリサット小型化／軽量化

Downsizing HELI-SAT

*電子通信システム製作所

要 旨

近年、東日本大震災、広域での台風被害、山林火災といった災害に対して、被害状況の迅速な把握手段として、ヘリコプターからの空撮映像が活用されている。しかしながら、従来のヘリコプター映像伝送システムでは、広域災害発生時に地上局が利用できず、リアルタイムでの被害把握に課題が生じたことから、耐災害性に優れて、伝送範囲に制約を生じない衛星通信が映像伝送手段として注目されている。

三菱電機では、その解決手段として世界初^(注1)のヘリコプター衛星通信システム(ヘリサット)を2012年度からリリースしており、今般ユーザーから特に要望の強かったヘリサットの小型化／軽量化を主眼に次世代機の開発を実施した。2024年度からの初号機運用開始を皮切りに、更なる安心・安全社会の確立に寄与していく。

(注1) 2013年3月28日現在、当社調べ

1. ま え が き

ヘリサットは、衛星を経由してヘリコプターからの空撮映像や音声／データをリアルタイムに地上局へ無線伝送しつつ、地上からヘリコプターへも音声／データの双方向通信を実現する“ヘリコプター衛星通信システム”の略称である。また、世界初のヘリコプター搭載型の衛星経由の映像伝送システムとして2013年3月に京都市消防に納入して以来、総務省消防庁、各地方自治体、国土交通省といった国・地方公共団体による災害時の情報収集手段として活用されている⁽¹⁾⁽²⁾。

図1、図2にヘリサットの配備状況を示す。2023年3月時点で、国土交通省で9機、各自治体で運用される消防・防災ヘリコプター11機に搭載されている。運用開始以来、口永良部島噴火、御嶽山噴火を始め、2019年の台風19号による被害状況確認といった豪雨、広域災害時に活用されている(図3)。また、今後発生が懸念される首都直下地震や南海トラフ地震といった大規模広域災害発生時に備えて、ヘリサットの導入／配備も継続されている。

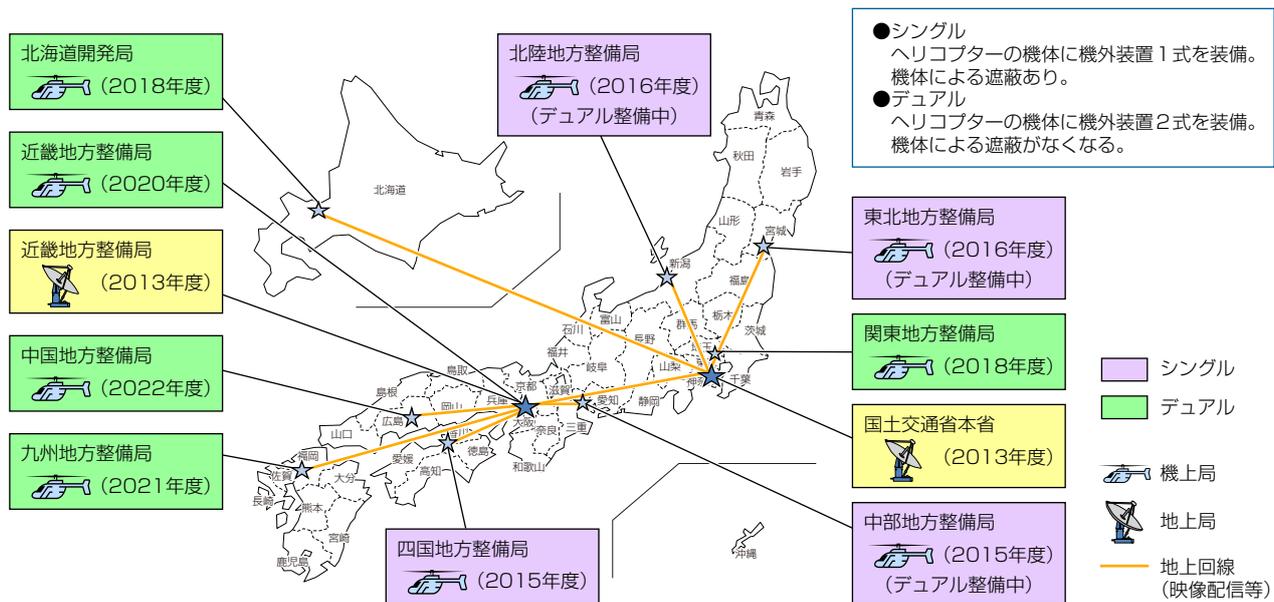


図1. 国土交通省でのヘリサット配備状況

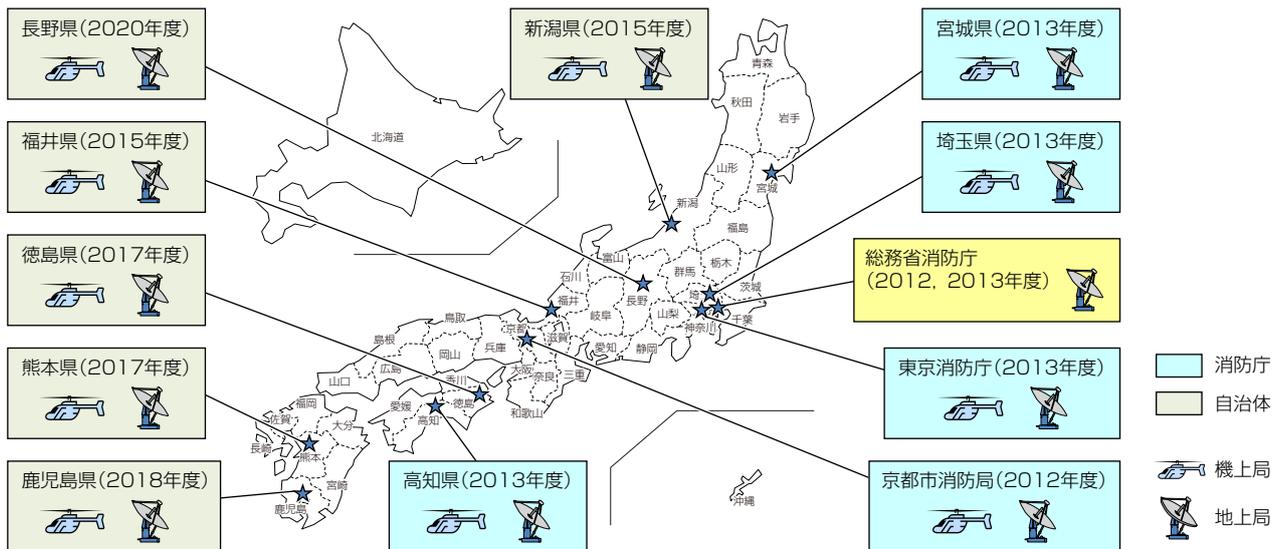


図2. 消防庁・自治体でのヘリサット配備状況

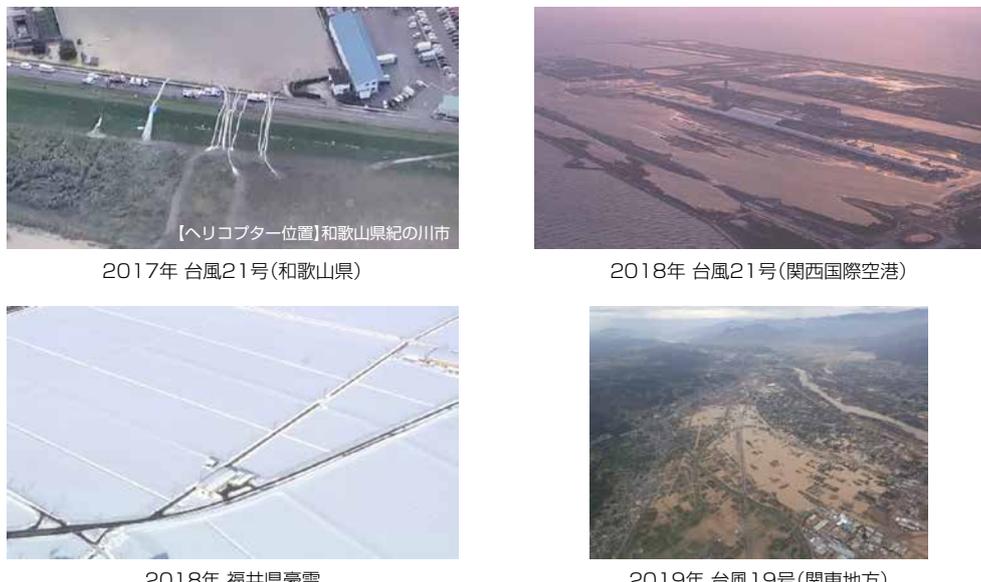


図3. ヘリサット空撮映像(提供：国土交通省 近畿地方整備局⁽⁴⁾)

しかしながら、ヘリサット初号機開発着手から10年以上が経過し、主要部品の生産中止対応も多岐にわたり、継続生産が困難になったことから、次機種開発を2019年度から2022年度の3か年で実施した⁽³⁾。開発に当たっては、ヘリコプター運用に際して、特に要望の強かった装置類の小型化／軽量化を実現すること、小型化／軽量化に当たって機能・性能は既存品相当を維持すること、防衛機種との設計共通化の3点を主眼として開発を行った。

本稿では、ヘリサットのシステム構成及び映像伝送の事例を述べるとともに、小型化／軽量化開発で行った取組み、今後のヘリサット展開の展望について述べる。

2. ヘリサットの主要諸元及び機器構成の新旧比較

2.1 主要諸元

ヘリサットの既存品と開発品(小型化／軽量化)での主要諸元の比較を表1に示す。開発時の目標として、各種機能／仕様については、既存品相当を基準として大きな変更は加えず、機外装置の小型化／軽量化に力点を置いたため、質量、空力断面積が主の改善点になる。また、変調方式に8PSK(Phase Shift Keying)(8位相偏移変調)を加えることで、1シン

ボル(伝送波形の基本単位)当たり8パターン(3ビット)の伝送を可能にした。従来のBPSK(Binary Phase Shift Keying, 2位相偏移変調)に比べて4倍, QPSK(Quadrature Phase Shift Keying, 4位相偏移変調)に比べて2倍の情報を伝送できるようになり, ユーザーメリットとして, 同一占有周波数帯幅での映像伝送レート向上による高画質化, 又は同一映像伝送レートでの占有周波数帯幅の削減(狭帯域化)が期待される。

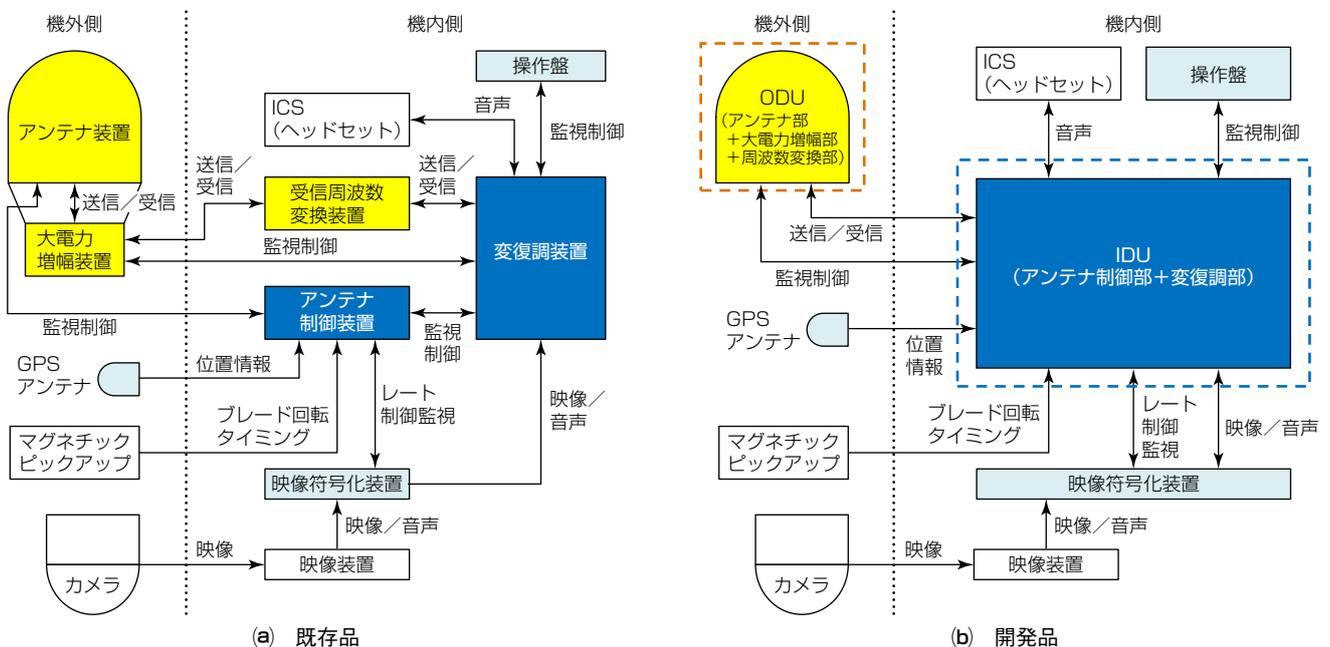
表1. ヘリサットの主要諸元の新旧比較

項目	既存品	開発品	備考
質量(機外装置)	24kg(アンテナ装置) 14kg(大電力増幅装置)	24kg(ODU)	14kg低減
空力断面積(機外装置)	3.163cm ²	2.625cm ²	17%低減
消費電力(機外装置)	700W以下	700W以下	
EIRP	46.2dBW	46.2dBW以上	
G/T	9.5dB/K	10.0dB/K以上	
変調方式	BPSK, QPSK	BPSK, QPSK, 8PSK	
映像伝送レート	最大10Mbps	最大10Mbps	フルHD 1080i(地上デジタル放送相当)

EIRP : Equivalent Isotropically Radiated Power(等価等方輻射電力), 送信系性能を示す指標
G/T : Gain to noise Temperature ratio, 受信アンテナ利得とシステム雑音温度の比で受信性能を示す指標

2.2 機器構成

既存品と開発品(小型化/軽量化)での機器構成の比較を図4に示す。ヘリサットの装置は, ヘリコプター機外に設置される機外装置と, ヘリコプターの機内に設置される機内装置とに大別され, それぞれ求められる環境条件(耐振動性や耐候性, 温度条件, EMC(ElectroMagnetic Compatibility)等)が異なるために機器の設計条件が異なる。防衛向けではMIL規格(Military Specification and Standards)を適合条件とするが, 民間向けでは, 米国の業界団体, RTCA(Radio Technical Commission for Aeronautics)によって策定された航空機搭載機器に対する環境条件であるDO-160Gを適合条件としている。



ICS : Inter Communication System

図4. ヘリサットの機器構成の新旧比較

従来の機外装置は, アンテナ装置と大電力増幅装置とGPS(Global Positioning System)アンテナで構成していたが, 開発品ではアンテナ装置と大電力増幅装置及び機内装置の受信周波数変換装置(受信波を中間周波数の1GHz帯へ変換)をODU(Outdoor Unit)として統合している。機内装置は, 受信周波数変換装置, 変復調装置(MODEM), 映像符号化装置(CODEC : COder DECoder), アンテナ制御装置, 操作盤(受信チャンネル設定やヘリサットの状態確認で使用)で構

成している。開発品では、IDU(Indoor Unit)として、変復調装置、アンテナ制御装置を統合している。それ以外の装置は機体装備品である映像系装置類のため、伝送系装置であるヘリサットとは区別される。実際の機外装置、機内装置の外観の比較を図5に示す。3章で各装置の要求条件、設計コンセプトを示す。

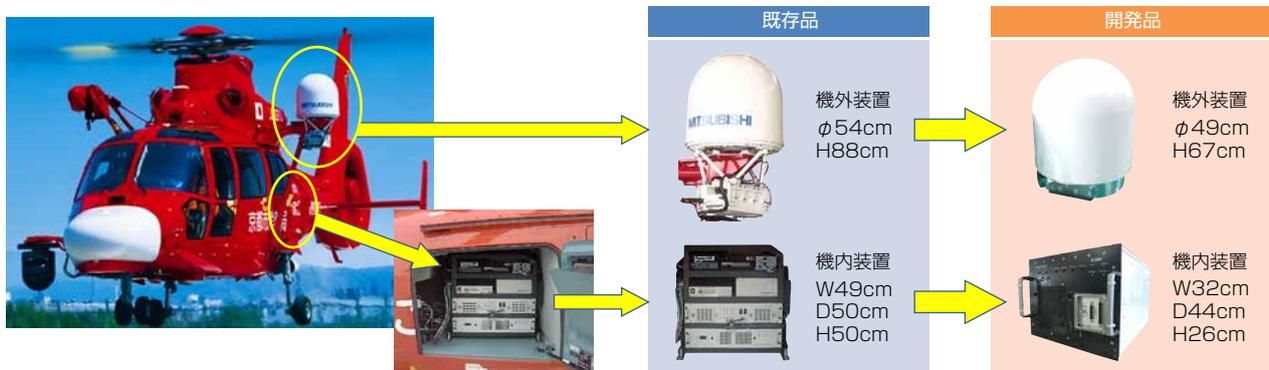


図5. 機外装置、機内装置の新旧比較

3. 小型化／軽量化開発でのコンセプト

2.2節に示すように機外装置と機内装置では、適用される環境条件が異なるため、それぞれの設計方針は異なってくる。

機外装置について、アンテナと衛星間で遮蔽が生じないように、機体及び回転翼(ローターブレード又はブレード)から極力離して設置させることが望ましく、アンテナ取付アームにかかるモーメント荷重を低減するためにODU質量は軽量であること、風による抗力を抑えるためにODU空力断面積は小さいことを主要な要求条件として設定した。

機内装置について、既存品の開発当初は、ヘリコプターの振動条件や設置方式といった各種条件が不明瞭であったため、従来の放送局向けに販売していた移動体SNG(Satellite News Gathering)での車載機器を技術的な基準にした。このため既存品では、取付インターフェースには米国電子工業会(EIA)規格の19インチサーバーラックに準拠したものを採用し、不明であった振動や設置条件は、ヘリコプターの艀装(ぎそう)を担当する業者側で吸収するコンセプトにしていた。

しかしながら、このコンセプトでは艀装業者側の設計負担が大きくなり、振動に起因するヘリサットの動作不良も発生したため、今回の開発では、DO-160Gの振動基準を満たすことに加えて、各ヘリコプターでの艀装実績や測定したヘリコプターの振動値を基に独自の運用時振動基準を設けて、艀装設計を容易に行えることを主眼に要求条件を再設定した。それぞれの設計詳細については3.1節以降に示す。

3.1 機外装置(ODU)

ODUの構成を図6に示す。ODUの開発では、従来装置を統合すること、駆動部や導波管部品を見直し小型化すること、大電力増幅装置の大部分を占めるBUC(Block Up Converter)を内作化し一体化することの三つを実現することで軽量化を図っている。従来装置の統合では、アンテナ装置(機外)はアンテナ部として、大電力増幅装置(機外)、受信周波数変換装置(機内)の機能は、それぞれベース部に配置している。また、大電力増幅装置は、大まかにBUC、帯域除去フィルタ(BRF: Band Rejection Filter)で、受信周波数変換装置はLNB(Low Noise Block down-converter)で構成しており、それぞれ電波の送信部/受信部に当たる。アンテナ部へは分波器(Duplexer)を通じて送信、受信を切り分けて接続されており、BUC、BRF、LNBがベース部に一体化/近接化することによって、既存品に比べて導波管部の小型化/低損失化を実現している。

BUCは送信周波数変換を行うアップコンバータ(UP-CONV)と増幅器のSSPA(Solid State Power Amplifier: 固体電力増幅器)で構成している。BUCの内作化に当たって、当社高周波光デバイス製作所製のGaN(窒化ガリウム)を用いた100W・70W FET(Field Effect Transistor)を採用したSSPAを開発した。従来の大電力増幅装置では、定格出力80Wの増幅器であったが、開発品ではアンテナ部とBUC間の経路長を短くして、伝搬損失を改善することで、同一EIRPでの増幅部の低出力化(38W級)を実現した。SSPAの発熱を低減したことによって、放熱設計も緩和され、従来のBUC構造で大半を占める放熱フィンを小型化することで軽量化を実現した。それに加えて、ベース部全体を放熱部品とし、ベ-

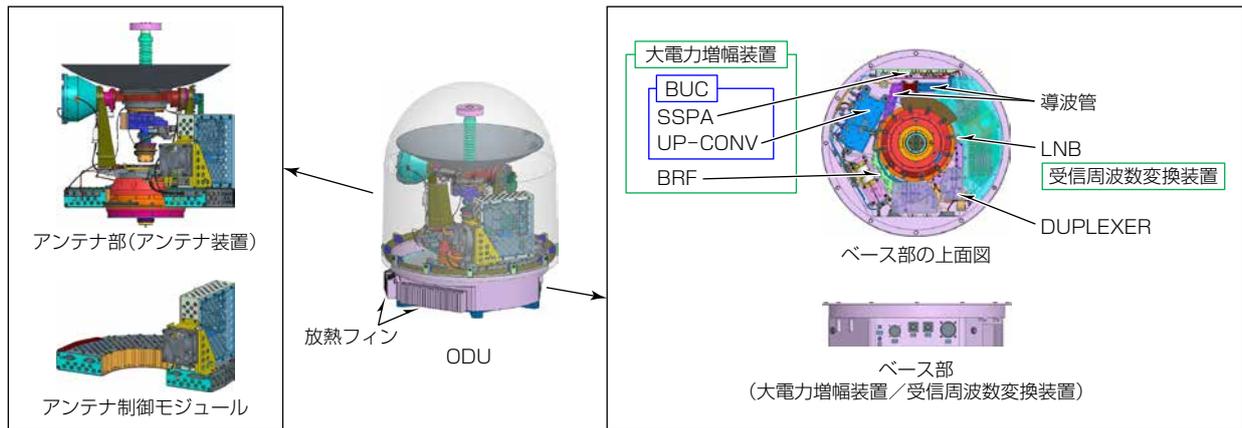


図6. ODUの構成

ス部に放熱フィンを加えることでより効率的な放熱を実現している。放熱フィンの配置は、ヘリコプターのローターブレードで生じるダウンウォッシュ(重力方向への空気流)がODU設置時に効率的に当たる箇所にしており、ダウンウォッシュをBUCの放熱に利用することで冷却ファンの実装を不要にした。放熱フィンの配置を特色とするこの構造については、開発成果として意匠登録出願(意匠登録第1674712号)を行っている。

3.2 機内装置(IDU)

IDUの開発では、過去の課題を基にした新たな要求条件として、ラック搭載を必須とせず、ヘリコプター機内のシートレール(座席を固定するためのもの)といったキャビン(客室)、カーゴ(貨物室)の固有取付インターフェースに固定できること、サーバーラックのフレームに頼らずとも独立でDO-160Gの振動条件に耐え得ること、独自の運用時振動基準下ではヘリサットの運用(映像伝送)が継続できることの3点を設定した。

IDUの外観図を図7に示す。筐体(きょうたい)部の下部に取付用の固定インターフェースを設けており、航空機搭載用途で使用される汎用のピン／ファスナーに対応している。また、配線／コネクター類は全て背面に統一したことで、艤装も容易にした。

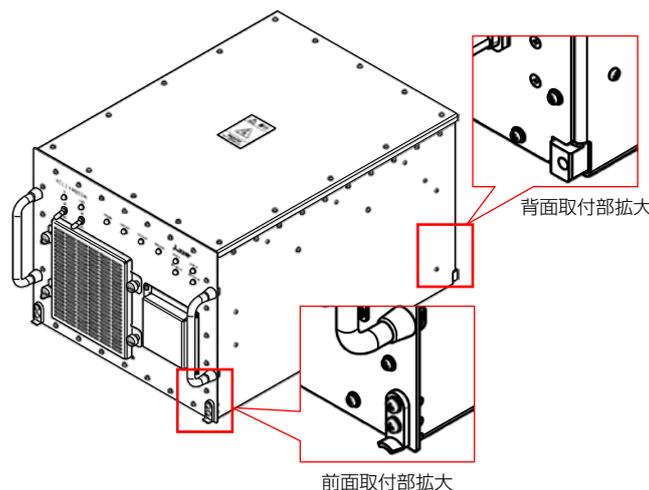


図7. IDU外観

独自の運用時振動基準については、図8に示すように過去に測定したヘリコプター機内の振動測定実測値を周波数解析した結果を重ね合わせて、実効値に換算したものに安全率1.5を考慮した値を運用時に機内装置に入り得る振動値として採用している。図9に振動試験の様子を示す。DO-160Gに加えて、運用時振動基準でもヘリサットの運用が可能なことを確認した。

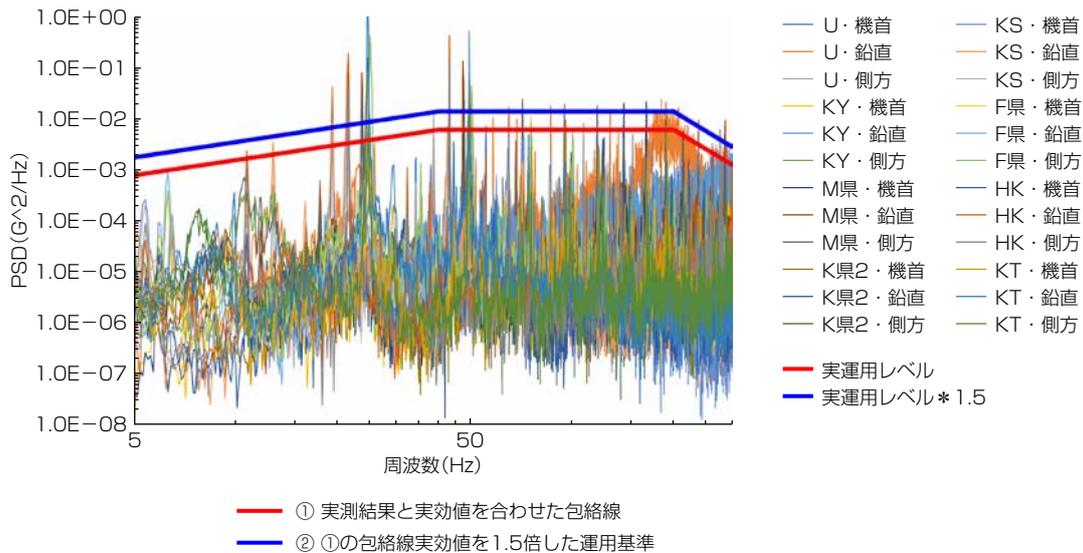


図8. ヘリコプターの振動測定波形の比較



図9. IDUの振動試験

むすび

小型化／軽量化を実現したヘリサット開発について、既存品からの差分、開発コンセプト、取組みについて述べた。既存品では、主に防災ヘリコプターでの中／大型の機体での搭載が多数を占める。軽量化によって、小型機への搭載も可能になり、幅広い機体への搭載が期待できる。今後は、災害時の情報収集だけでなく、小型機で運用されることの多い救急用途での展開も訴求していく。また、2022年6月から改正航空法が施行され、機外装置の一部が航空機装備品として取り扱われることになった。当社電子通信システム製作所では、継続したヘリサット事業運営を行うため、同法改正に合わせて、航空法第20条第1項に基づく事業場認定を取得した。今後もヘリサット事業を通じて、社会の安心・安全に貢献していく。

参考文献

- (1) 秋山健次, ほか:ヘリコプター映像応用システム, 三菱電機技報, 89, No.2, 137~140 (2015)
- (2) 上田昌治, ほか:防災・広域監視, 映像情報メディア学会誌, 70, No.1, 70~74 (2016)
- (3) ヘリサットシステム機器の小型軽量化, 三菱電機技報, 96, No.1, 78 (2022)
- (4) 国土交通省 近畿地方整備局:防災・災害情報
<https://www-1.kkr.mlit.go.jp/bousai/index.html>

三菱電機株式会社