



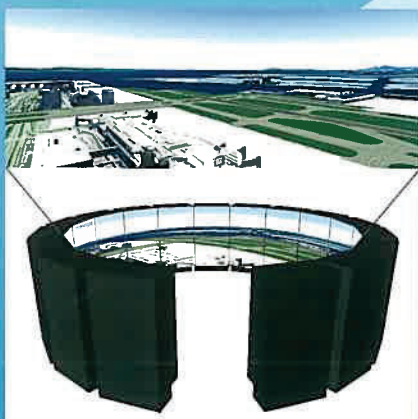
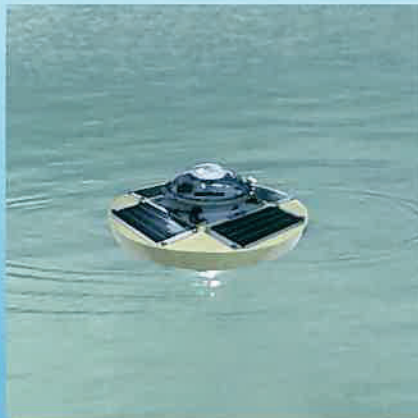
三菱電機技報

12

2021

Vol.95 No.12

デジタルトランスフォーメーションで変わる社会インフラ



表紙：デジタルトランスフォーメーションで変わる社会インフラ



三菱電機の社会環境事業では、上下水道、道路、河川、空港や防災などの公共システムと、ビル、データセンター、競技場などにおける電源、映像システムなど民間施設に関するシステムを提供し、社会の持続的発展に貢献している。

①は、ため池の水面状況を監視するサービスである“みなモニター”の装置イメージである。

衛星の測位信号を受信するブイ型センサをため池に浮かべて、水位などの状況を遠隔監視し、豪雨や地震等の災害発生時に安全に状況を把握し、防災・減災に貢献する。また、水温計測やメモ登録機能などで日々のため池管理にも活用できる。

②は、“飛行場管制訓練システム ACTS”の設置イメージである。飛行場管制塔からの外界景色や航空機を、飛行場の構造物や航空機や車両などの移動体とともに、季節や時間帯による気象や日照の変化も含めてほぼ全周の大型ディスプレイ上にコンピュータグラフィックスで忠実に再現し、管制官の飛行場管制業務の訓練実施に貢献している。



①



②



ライフ



インダストリー



インフラ



モビリティ

特集 デジタルトランスフォーメーションで変わる社会インフラ

Social Infrastructure to Change with Digital Transformation

巻頭言

- “デジタルトランスフォーメーションで変わる
社会インフラ”の特集号に寄せて 4
福岡秀樹

- Foreword to Special Issue on Social Infrastructure to Change with Digital Transformation
Hideki Fukushima

巻頭論文

- デジタルトランスフォーメーションで変わる
社会インフラ 6
三嶋英俊

- Social Infrastructure to Change with Digital Transformation
Hidetoshi Mishima

- 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 12
坪井真也・大崎敦志・坂本純一・中川敦之・島津朋也

- Cloud-based Supervisory Control System with IoT Platform “INFOPRISM”
Shinya Tsuboi, Atsushi Osaki, Junichi Sakamoto, Nobuyuki Nakagawa, Tomoya Shimazu

- 水処理プラント高度オペレーション支援システム 17
入来院浩司・眞田信也・金澤哲夫・霜田健太

- Advanced Operation Support Systems for Water Treatment Plants
Koji Irikin, Shinya Manabe, Tetsuo Kanazawa, Kenta Shimoda

- 社会インフラのDXを支援するMMSD・MDMD 22
渡辺完弥・眞鍋七海・那須升亮・三好竜司・佐久嶋 拓

- MMSD and MDMD to Support Digital Transformation of Social Infrastructure
Kanya Watanabe, Nanami Manabe, Shosuke Nasu, Ryoji Miyoshi, Taku Sakushima

- 三菱電機点検サポートサービス“InsBuddy” 26
矢田 進・糸井三由希

- Mitsubishi Electric Inspection Support Service “InsBuddy”
Susumu Yada, Miyuki Itai

- 受配電設備の自動点検システム 30
大丸友也

- Automatic Inspection System for Power Distribution Facilities
Tomoya Daimaru

- 無線給電を用いたバッテリーレス
下水道管渠内モニタリングシステム 34
榊 裕翔・坂本寛明・長竹栄二・矢田 進・川田卓嗣

- Battery-less Monitoring System of Sewage Pipe Using Wireless Power Transfer
Hiroto Sakaki, Hiroaki Sakamoto, Eiji Nagatake, Susumu Yada, Takushi Kawada

- 三菱電機水面状況監視サービス“みなモニター” 38
吉田 剛・矢田 進・西村友香

- Mitsubishi Electric Water Surface Situation Monitoring Service “MINAMONITOR”
Takeshi Yoshida, Susumu Yada, Tomoka Nishimura

- 画像式水位計測システム 42
芦田 泰

- Water Level Observation System Based on Image Processing Technique
Yasushi Ashida

- オンデマンド運行管制技術を用いた
新たな交通サービスへの取り組み 45
小林弘幸

- Initiatives for New Transportation Services Using On-demand Operation Control Technology
Hiroyuki Kobayashi

- 飛行場管制訓練システム 49
下谷遼資・木村権人

- Aerodrome Control Training System
Ryosuke Shimoya, Yoshihito Kimura

- アフターコロナ社会を見据えた
“しずおかMaaS”での人流制御の実証実験 53
茂地顕一郎

- People Flow Control Demonstration Experiment at Shizuoka MaaS Project for Post-COVID Society
Kenichiro Moji

- くらしのエコテクノロジー 57

- Webサイト紹介(三菱電機点検サポートサービス) 59

- 三菱電機技報95巻総目次 60

新型コロナウイルス感染症で亡くなられた方々に謹んでお悔やみを
申し上げますとともに、罹患(りかん)された皆さまとご家族及び
関係者の皆さまに心よりお見舞い申し上げます。

巻頭言

“デジタルトランスフォーメーションで変わる社会インフラ”の特集号に寄せて

Foreword to Special Issue on Social Infrastructure to Change with Digital Transformation

福島秀樹 *Hideki Fukushima*

常務執行役 社会システム事業本部長

Executive Officer, Group President, Public Utility Systems



私たちの日々の生活は、上下水道、ダム・河川、道路・鉄道、空港など、様々な社会インフラに支えられています。三菱電機はこうした社会インフラの安全で適正な運用や管理、保守・保全に貢献する、数々の情報システムを納入してきました。


社会インフラ設備での情報システムの歴史は、1970年代後半の監視制御システムへの導入に始まります。当初は、ICS(Industrial Control System：産業用制御システム)と呼ばれる、1台の工業用計算機を頭脳として中心に置く集中型のシステムでしたが、制御LAN(ローカルエリアネットワーク)などのネットワーク技術の進歩に伴い、DCS(Distributed Control System：分散制御システム)へと移行しました。1980年代後半、当社は上下水道プラント等の監視制御システムで、中央監視制御に必要とされる監視操作・帳票作成・運用制御の各機能を、各々独立の工業用計算機で構築する水平分散制御システムを開発し、監視制御機能の高度化と信頼性の向上を実現しました。また、河川・ダムなど広域に点在する施設に対しては、専用回線を用いたTM/TC(テレメータ・テレコントロール)装置と計算機の組合せによるシステム化を進めました。

1990年代になると、工業用計算機に代わってワークステーションが用いられるようになり、LANなどのネットワーク技術の進歩とともに、クライアントサーバシステムが主流になりました。1990年代後半からはパソコン向けのOSであったWindows^(注1)が高い可用性を要求されるビジネス向けの市場でも活用されるようになり、社会インフ

ラの監視制御分野でも監視制御端末のOSとして導入が進んで、マンマシンインタフェースが大きく向上しました。2000年代に入ると、インターネット網の普及とともに複数のコンピュータを接続して運用する技術が急速に進歩し、各種のサービスをコンピュータネットワークで提供するクラウドコンピューティングを活用したシステムも誕生しました。

このように社会インフラでは、監視制御システムを中心にして情報システムが進展し、市民の安心・安全な生活を支えてきました。一方、近年では労働人口が減少する中、長年にわたって整備されてきた社会インフラ設備を、中長期的にどのように維持管理していくかが大きな社会課題にもなってきました。併せてエネルギー資源の有効活用、地球温暖化対策への対応、働き方の改善など、持続可能な社会の実現に向けたSDGs(Sustainable Development Goals)の達成という変革への取組みも喫緊の課題になっています。

こうした社会の変革への要求に対して、注目を集めているのがデジタルトランスフォーメーションです。デジタルトランスフォーメーションでは、現実空間をデジタル化し、仮想空間上でデジタル化した各種のデータを処理することによって、社会インフラの運用管理者に対して監視制御を中心としたより効率的で信頼性の高い設備運用の機能を提供するばかりでなく、維持管理の合理化や省力化を実現するとともに、社会インフラを利用する市民へ様々な新しいサービスを提供します。



デジタルトランスフォーメーションは、センシング、AI・ビッグデータ解析、ローカル5G(第5世代移動通信システム)等の通信やクラウドコンピューティングといったIoT(Internet of Things)の進展によって実現が可能になりました。当社では、画像処理やレーザを用いたセンシング技術の高度化や、プロセスシミュレーションやデジタルツイン技術の開発、ローカル5Gの活用研究、AI技術基盤“Maisart”の整備や統合IoT“ClariSense”の構築、及びClariSenseの設計思想に基づくIoTプラットフォーム“INFOPRISM”の開発などを進めてきました。

この特集では、こうした当社の様々な取組みの一端を、具体例とともに紹介します。

センシングやAI・ビッグデータ解析関連では、線状降水帯による集中豪雨や局地的大雨の予測等への活用を目指す水蒸気・風計測ライダーや海洋レーダによる津波検出の開発、高密度レーザスキャナと高精細画像解析技術を併用した三菱インフラモニタリングシステム“MMSD”や取得したデジタルデータを仮想空間上に再現して活用する多次元設備管理サービス“MDMD”、下水道管渠(かんきょ)内の状態把握を無線給電で実現し、管渠の維持管理を効率化するバッテリーレス下水道管渠内モニタリングシステムを紹介します。また防災・減災に貢献するシステムとして、河川の水位をCCTV(Closed Circuit TeleVision)カメラ画像から計測する画像式水位計測システムや、衛星測位信号を使ってため池の水位監視をクラウド環境で提供する水面状況監視サービス“みなモニター”を紹介します。

シミュレーション技術、デジタルツイン技術分野では、プロセスシミュレーションとAIガイダンス技術を活用した水処理プラント高度オペレーション支援システムの実証や、空港管制処理システム“TAPS”の構築実績とバーチャルリアリティ技術を駆使し、実機同等の模擬管制を再現する飛行場管制訓練システム“ACTS”構築への取組みを取り上げます。

また、IoTを活用した新しいサービスの提供としては、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や、受配電設備の自動点検システム、点検端末とクラウドを活用し、点検業務の高度化・省力化を実現する点検サポートサービス“InsBuddy”の紹介や、オンデマンド運行管制技術によって自動運転車両の運行最適化や運行业務の省力化を実現する新たな交通サービス、及びアフターコロナ社会を見据えて、各種センサで捉えた混雑・人流情報を基にした情報提供サービスを通じて、混雑緩和と商業活性化の両立を目指すMaaS(Mobility as a Service)システムを提案します。

技術の進展とともにあらゆるモノがシームレスにつながり、デジタル化された情報のサイバー空間上での活用と私たち現実世界での利用が進んでいきます。当社は、今後もデジタルトランスフォーメーションの追求を通して、様々な社会課題を解決するシステムやソリューションを提供し、活力とゆとりある社会の実現に貢献します。

(注1) Windowsは、Microsoft Corp.の登録商標です。

デジタルトランスフォーメーションで変わる社会インフラ

Social Infrastructure to Change with Digital Transformation



三嶋英俊*
Hidetoshi Mishima

要 旨

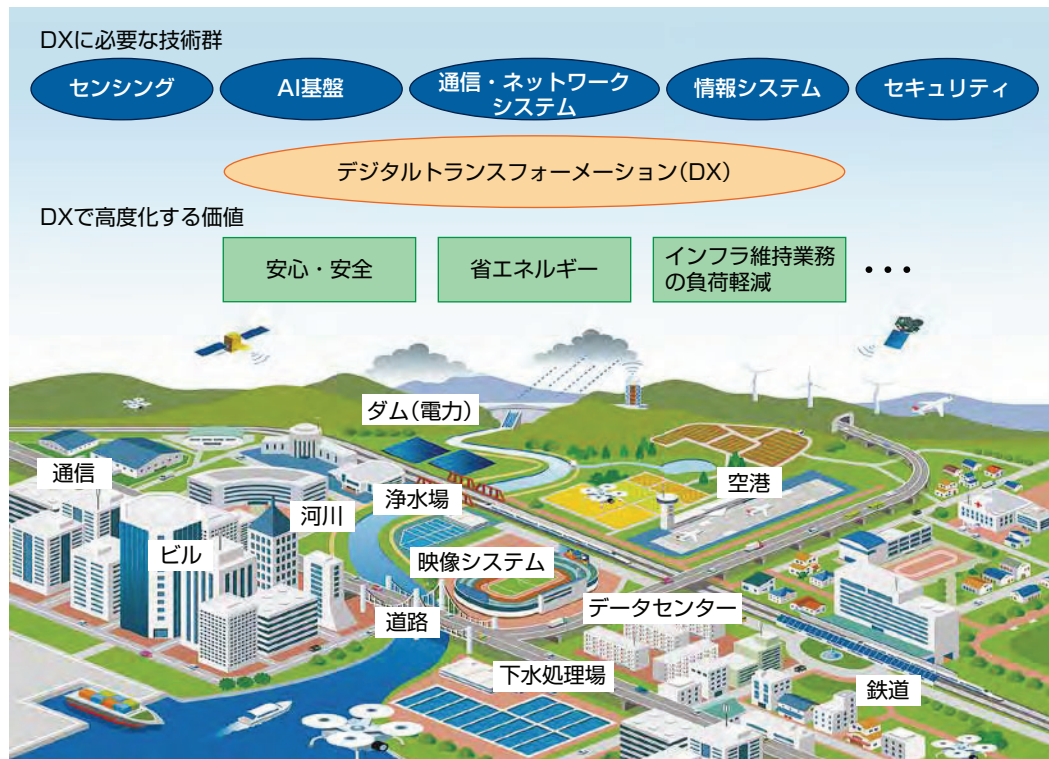
日本はSociety 5.0として、地球温暖化対策や自然災害に対する安全確保、労働人口減少への対策、エネルギー制約への対応など様々な社会的課題の解決と経済発展を両立させていく新たな社会の実現を目指している。これを戦略の柱として、国連で採択された“Sustainable Development Goals(SDGs)”を達成する。

社会インフラには、上下水道、道路、河川、鉄道、空港などの公共システムのほか、ビル、データセンター、映像システムなど公共性が高い様々な民間施設系システムがある。これらの施設は我々の生活を支えるため、フィジカル空間(現実空間)の状況をデジタル化してサイバー空間(仮想空間)で情報を処理・伝達し、社会課題を解決すること

が強く求められている。このように、デジタル化によって社会をより良い姿にしていこう動きは、デジタルトランスフォーメーション(DX)として今後の大きな潮流になって加速されていく。

例えば、地球温暖化対策として、発電部門の温暖化ガス排出抑制だけではなく、需要家側の施設の徹底的な消費電力削減に貢献する、又は、労働人口減少にはインフラ維持業務を効率化し、これに対応するなどである。このほかにもインフラとしては、自然災害に対する安心・安全の範囲を拡大するなど期待は大きい。

三菱電機は、DXに必要な技術を深化させて、社会インフラの進化とSDGsの実現に貢献する。



デジタルトランスフォーメーション(DX)で変わる社会インフラ

現実空間の状況をデジタル化して仮想空間で情報を処理・伝達し、社会インフラの各々の施設で社会課題を解決する。安心・安全、快適性や目標性能を損なわない省エネルギー、インフラ維持業務の負荷軽減などDXで価値を高度化し、Society 5.0の社会を実現する。

1. ま え が き

2030年までの国際社会共通の目標として、SDGsが国連サミットで2015年に採択され、折り返し時期に差し掛かろうとしている。このSDGs達成に向けて日本が戦略の柱として取り組むSociety 5.0の実現に、社会インフラが与える影響は非常に大きい。

また、世界規模でDXが普及期に入ってきており、デジタル化で社会インフラが更に高度なものになることが期待される。

本稿ではDXを支える技術群をまとめて、技術だけでなく、法律面・行政面からも影響を受けつつ進むDXによって変わる社会インフラについて述べる。

2. 社会インフラとDX

2.1 社会インフラのデジタル化

人々の生活には、水道、道路、空港などの公共システムが欠かせない。社会インフラは、地域の人々の生活を支えるこのような施設群で構成されている。施設では、それぞれの運用現場の状況をデータ化し、状況を把握しつつ運用されることが大きな流れになっている。

一般にDXとは、進化したIT技術を浸透させることで、人々の生活をより良いものへと変革させることと定義される。すなわち、デジタル化することによって、社会インフラで、より高度な価値を実現し、社会基盤を変革して、SDGsの達成に貢献していくことが狙いである。

当社は、社会インフラのシステムとして、上下水道、道路、河川、鉄道、空港や防災などの公共システムと、ビル、データセンター、映像システムなどの民間施設に関連するシステムを提供している。これらのシステムを、単なるデジタル化にとどまらずにDXを進めることが重要である。

2.2 デジタル化による変革への期待

社会インフラは、既存のITシステム技術の老朽化、システムの肥大化・複雑化などの問題があり、様々な分野で事業戦略上の足かせ、高コスト構造の原因になっていると報告されている。日本は約8割の企業が老朽化システムを抱える中、老朽化システムを抱える社会インフラは93%という高い数値になっている⁽¹⁾。

社会インフラでは、現実空間の状態をデータにして仮想空間に持ち込んで、現場の課題を解決するCPS(Cyber-Physical System)を適用することで、社会サービスを行う業務そのものやプロセスを変革していくことが期待され

る。例えば、より高いレベルの安心・安全を提供することや目標性能を損なわずに省エネルギーを実現すること、サービスを提供する際に不意のトラブルでのダウンタイムを限界まで短くすることに加えて、公共サービス提供のための業務自体の効率を高めて、地域住民の生活の快適性を実現するなど、施設の運用を通じて地域住民へのサービス提供にまで結びつけるよう期待されると考える。

情報通信白書によれば、日本企業のICT(Information and Communication Technology)投資は業務効率化を目的としたものが中心であり、事業拡大や新事業進出といったビジネスモデルの変革を伴うようなデジタル化は広がっていないとされている⁽²⁾。デジタル化が社会インフラに与える影響は、より高度な安心・安全であり、省エネルギーなどサステナビリティそのものであり、インフラ維持業務の効率化にとどまらない。この高度な価値を生む社会インフラこそが、Society 5.0やSDGs実現の重要な一翼を担うことにつながり、追求すべき社会インフラ像であると考ええる。

3. DXを支える技術群

DXを支えるCPSに使われるIT技術は、大きく分けて、センシング、AI基盤、通信・ネットワークシステム、情報システム、セキュリティの五つがある。この章では、これらの各技術の当社での取組みについて述べる。

3.1 センシング

各現場の状況をデータ化するために最初に必要になるのがセンシングである。従来できなかった公共サービスを実現するには、従来取り込めなかったデータをCPSに取り込むセンシングの技術は非常に重要である。

まず初めに光を使ったセンシング技術について述べる。近年、地球温暖化に伴う異常気象が増加しており、特に線状降水帯による集中豪雨、局地的大雨(ゲリラ豪雨)については、住民の安全な避難行動を促すためにより早期の警報発令が求められている。これに対応するため、高精度豪雨予測で被害を最小限に抑えることのできる社会の実現に向けて、水蒸気量を高精度・高分解能に把握する必要がある。当社は大気中の水蒸気量を高精度に計測し、豪雨の早期予測に貢献する水蒸気・風計測ライダー(LIDAR: Light Detection And Ranging)を開発した。図1のように、ライダーから大気に向けて、二つの波長のレーザー光を同時に出力し、大気中のちりに当たって跳ね返って戻ってきたレーザー光を同時に受信して計測する。一つの波長は大気中の水蒸気に吸収される波長、もう一つの波長は大気中の水蒸気に吸収されない波長にして、レーザー光の受信強度を比較することで気象レーダーでは捉えられなかった水蒸気

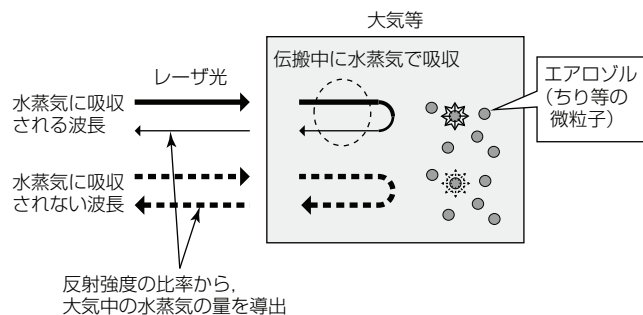


図1. レーザ光を使った水蒸気量計測の原理

量を計測する。同時に、当社がこれまで培ってきた風計測ライダー(大気中のちりなどの微粒子の移動速度や方向から風速・風向を計測)の技術で上昇気流も同時に計測することで、積乱雲の発生前の“雲の卵”をいち早くキャッチする。ゲリラ豪雨の約90分前の予測を支援することを目指し、研究開発を推進している。

次に、電波を使ったセンシング技術について述べる。東日本大震災では、津波によって多大な被害が発生した。自治体等が対策を取って安全に避難するためには、津波を十分遠方で捉える必要がある。当社は、短波帯と呼ばれる周波数(3~30MHz)の電波を用いることで、地球の形状に起因した水平線の向こう側の見通し外エリアでの津波の流速を観測できる海洋レーダに着目した。短波帯の電波は、地球表面に沿って回り込む性質があり、観測条件にもよるが、周波数24MHzでは津波の流速を約50km遠方まで観測できる。図2に示すように、波頭部を検出、推定することによって、津波の誤検出率を従来の10%程度から0.1%(レーダからの距離50km以内、ただし海面の状態等の観測条件による)にまで低減した。

3.2 AI基盤

センシング技術によって手に入れたデータを活用して、AI基盤で分析して予測する、又は、各々の施設の設備を制御することで、従来に比べて公共システムを更に効率的に運用することが可能になる。社会インフラの高度化には欠かせないAI基盤として、当社AI技術ブランドとして展開している“Maisart”が貢献する。

まず初めに、予測の例として、3.1節で述べた海洋レーダで得た津波の流速から、浸水深(陸地で浸水する深さ)を

予測する技術について述べる。この技術は、一般財団法人建設工学研究振興会と共同で開発したものである。津波は高潮や洪水流などと同様に長波理論に従うことが知られている。そのため浸水深は、海底地形が既知であれば、スーパーコンピュータを使用して複雑な計算によって、押し寄せてくる津波の経路に当たる海底の地形を考慮したシミュレータで求めることが可能になっている。図3の左半分に示すように、津波の流速値とシミュレータによって得られる、ある地点の浸水深の値について様々なデータセットをAIに学習させる。学習で得たモデルを適用して、地震による津波のセンシングとほぼ同時に浸水深を予測することが可能になる。

次に、予測した結果を制御に反映する例として、下水処理場で、生物反応槽の区画ごとに曝気(ばっき)(空気供給)量を制御する技術について述べる。下水処理に必要な酸化処理を行う生物反応槽への流入水の水質(アンモニア濃度)を数時間先までMaisartによって高精度に予測し、曝気量を制御する。図4に示すように、流入水質の予測値を用いたフィードフォワード(FF)制御を従来の処理水質のフィードバック(FB)制御に組み合わせて、水質変動に対する曝気量制御の応答性を向上させ、過剰な曝気を抑制できるようになる。この研究開発では、生物反応槽の区画ごとに適切な曝気量になるよう個別に制御することで、処

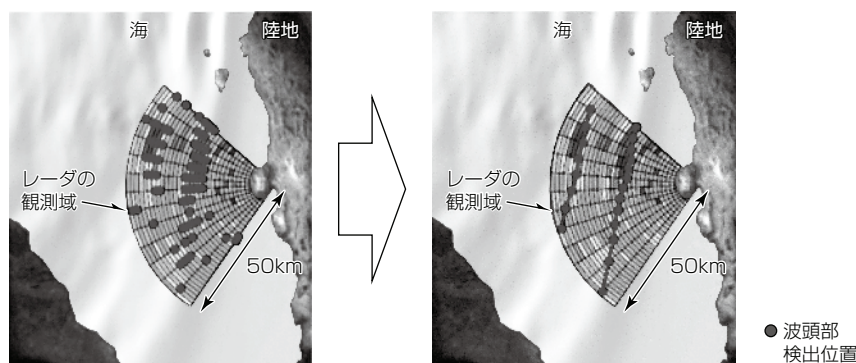


図2. 海洋レーダによる電波を使った津波検出の改善

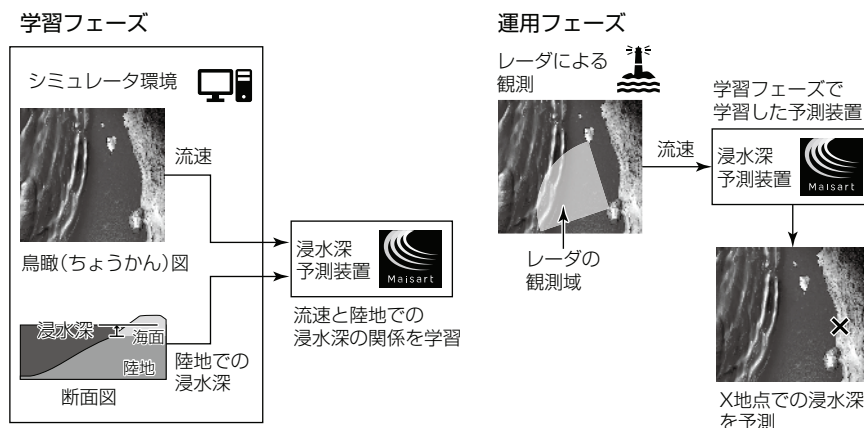
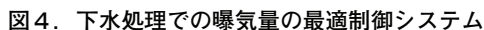


図3. 津波による浸水深予測の適用イメージ



AI基盤技術としてディープラーニングを含む機械学習などの技術が飛躍的に進歩してきている。今後も、更にその進歩は続いて、社会インフラのデータを活用して、社会システムの様々な価値を獲得できるようになっていく。

3.3 通信・ネットワークシステム

デジタル化されたデータは、ストレージされるべきところや計算処理されるところに転送して使用される。そのため、通信・ネットワークシステムが必要になる。DXでは、データ量が膨大に増えていき、適用分野が広がることで、更にその通信容量の増加が加速する。3.2節で述べたAI基盤で、DXの適用対象に制御まで含まれるようになってくると、通信の高速化(低遅延化)も必要になっていく。移動体通信の分野では、図5に示すような社会を実現するため、国内で2020年に5Gの実サービスが始動したが、その超高速大容量、超低遅延、多数同時接続といった従来の移動体通信を超えた特長によって、5Gは、単なる



また、総務省は企業や自治体が自らの建物や敷地内で利用可能な5Gを“ローカル5G”として2019年12月に制度化し、2020年12月には、広い

通信エリアの構築が可能で利便性が高いSub-6(サブシックス：6GHz帯未満の4.6~4.9GHz)の周波数帯が追加された。Sub-6の追加によって、ローカル5Gを活用したソリューションの利用環境が整い、今後の利用拡大が見込まれる。当社は、情報技術総合研究所(神奈川県鎌倉市)構内に顧客やパートナー企業と共同研究や実証実験を行うため、“5G OPEN INNOVATION Lab(5Gオープンイノベーションラボ)”を開設した。

ローカル5Gは、大容量、高信頼、低遅延、多接続な通信を自営網で実現可能なことから、産業や病院、農業、鉄道などへの適用が検討されている。施設内で障害物が極端に多い環境では、マルチパスの影響が強く、汎用的なモデルによる厳密な伝搬環境の推測は難しいと考えられる。したがって通信の安定性を評価(見える化)しておくことは通信・ネットワークシステム構築で重要である。当社は、これに対して、安定性を測定して解析できるようにしている。図6は、ある施設で、基地局からの電波の受信レベルを評価する基本的なパラメータであるRSRP(Reference Signal Received Power)と受信位置との関係をマップ化した例を示している。

3.4 情報システム

当社は、IoT・クラウド技術を活用して社会インフラでのシステムの効率的な運用・保守を実現する各種ソリューションの開発に取り組んで、図7のように、ソリューションに共通する機能を集約したIoTプラットフォーム“INFOPRISM”を提供している。INFOPRISMは、現場



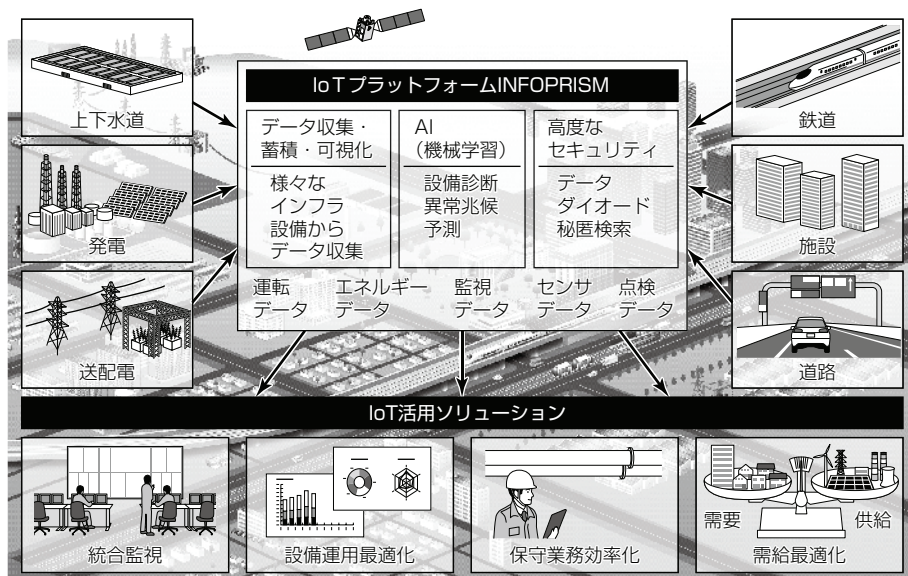


図7. INFOPRISM

側に設置するハードウェアとクラウド上で動作するソフトウェア群で構成し、“データ収集・蓄積・可視化”“AI(機械学習)によるデータ分析”“高度なセキュリティ”を実現したものである。電力・社会インフラ分野で質の高い様々なソリューションをタイムリーに、短期間で提供するために、IoTソリューションの共通的な機能をまとめたものである。INFOPRISMは、様々な外部システムと柔軟につながり、必要なデータを自由に活用できるオープンなプラットフォームである、当社の設計思想“ClariSense”の考え方に沿っており、社会インフラのDXに貢献する。

3.5 セキュリティ

社会インフラには、セキュリティ技術の搭載が重要である。近年のサイバー攻撃は、情報システムだけでなく、インフラ設備、プラント設備、工場の生産設備などの制御システムも対象にしており、操業停止などを狙い始めている。これに対して、当社は、①事業継続を重視した“セキュリティアセスメント”，②制御システムの変更を最小限にした“サイバーセキュリティ対策”，③継続的な監視・改善業務をサポートする“サイバーセキュリティ運用サービス”の三つのコンセプトに基づいたサイバーセキュリティソリューション“OTGUARD”を提供している。

また、DXのための今後の社会

インフラの情報システムでは、多くのプライバシーに関するデータを安心・安全に取り扱えることが必要になってくる。例えば、決済などでは、プライバシー保護の観点で、データを見ることができる人の範囲や、利用者の範囲をコントロールできるようにすることが要件として重要になっていくと考えられる。

まず、社会サービスを利用した場合の請求支払管理システムについて述べる。デジタル通貨を用いた決済システムが注目されている。

図8に示すように、決済の送金データはデジタル通貨基盤に保存

されるが、その送金の取引データを送金データに含めることは様々な制約があり困難なことも多い。このシステムは、取引データ用のブロックチェーンに対して、請求内容とデジタル通貨基盤の送金IDを関連付けて記録することによって、デジタル通貨の取引データを安全に管理でき、取引データの状態に応じて送金の自動実行が可能である。さらに、取引データを当社暗号技術で暗号化することで、復号可能者や開示範囲を柔軟に設定できる。

次に、プライバシーデータを用いて計算をする際のデータ保護が実現できる秘匿計算技術について述べる。今後は図9に示すようなクラウドを用いた情報システムで多様なAIサービスが更に活発になっていく。しかし、一般に、AIサービスの利用者から送付された分析依頼データは、

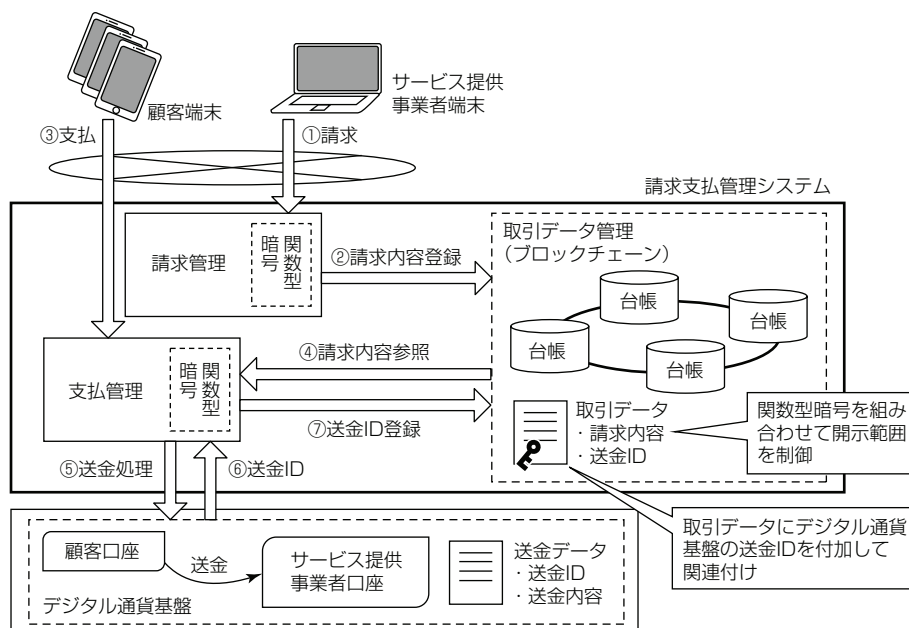


図8. 請求支払管理システム

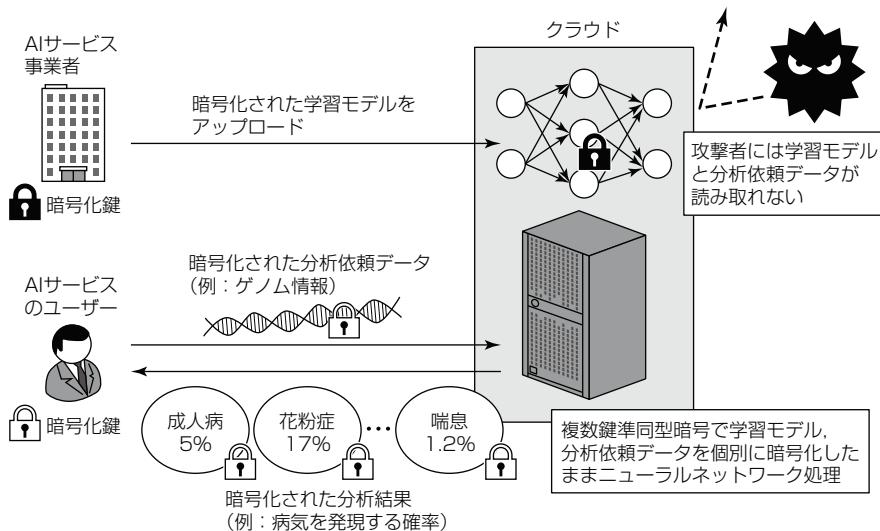


図9. 複数鍵準同型暗号を用いた秘匿計算システム

暗号化されたまま分析計算を行っても、良い結果は得られない。これに対応するため、異なる暗号化鍵から作られた暗号化データ同士でも演算できる複数鍵準同型暗号を用いて、分析依頼データとAIモデルを保護しながらAI分析処理ができる“秘匿AI分析技術”を開発した。この技術でAIの計算を行うと、AIの分析出力も暗号化されているため、サイバー攻撃されてもその暗号化された出力は復号しないと読み取れない。この技術によって、AIサービスのユーザーはデータ分析を安全にクラウドに依頼でき、AIサービス事業者も安全に学習モデルをクラウドに預けることができる。

4. データの積極的活用に向けて

CPSで社会課題を解決する現実空間の価値を実現するには、CPSに関する技術が高度化するだけでは足りず、CPSに取り込むデータを充実化することが非常に重要である。この章では、データの流通についての世界の動き、留意点など積極的活用のための技術開発以外の動きを述べる。

4.1 データ流通に関する世界の動き

世界経済フォーラム年次総会で、日本から“信頼性のある自由なデータ流通”が2019年1月に提唱された。現在、各国・地域で特色ある形で進んでいるDXを通じて、あらゆる国・地域が経済成長を実現するとともに、社会課題を解決するためには、デジタル技術の利用や規制などをめぐって望ましいガバナンスのあり方を検討する必要があるとされている。このように国際的にも行政的にも、利用者が信頼できるようにするための規制をかけつつ、データの流通を活発化する動向は、データによる社会システムの高度化には歓迎される動きであると言える。

また、DXの浸透に向けて、経済産業省は“デジタルガバナンス・コード”を定めた。その基本的事項は、情報処理促進法が定めるDX認定制度に対応している。

4.2 データ利活用での留意点

DX推進のデータ活用でしっかり成果を出すためには、次の四つの留意点が重要と考える。①データ管理、②データ特性把握、③データ活用、④データ保護である。

データ管理は、データ間の関係性を含めて、収集したデータを活用できるように整理し、滞りなくデータの使

用・追加・削除・更新を行えるような運用ルールを設定し、徹底することを指す。単にストレージにデータを入れておくだけであればすぐには使えないし、属人性を下げる、又はブラックボックス化からの脱却のためにもルールの徹底は重要である。

次に、データの特性把握であるが、多くのシステムではデータから規則性を導き出すことをしているため、バイアス（偏見）を回避するためデータの特性は常に把握しておく必要がある。

また、抽出された傾向や予測を業務運用に反映し、社会インフラの維持に関する業務プロセスの変革まで進めることが重要である。

最後にデータ保護に関しては、個人情報など法律にのっとって扱うことはもちろんのこと、サイバーセキュリティのレベルを高めるという視点は忘れてはならない。

5. む す び

SDGs, Society 5.0の実現に向けて、DXによって変わる社会インフラ像について述べた。DXを支える技術群の深化を加速させ、2030年に向けて、安心・安全、省エネルギーであっても快適性や設備稼働効率が落ちないような、サステナブルな未来社会の実現に貢献していく。

参考文献

- (1) 経済産業省：デジタルガバナンス・コードに関する取り組みについて（2020）
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/suishinkaigo2018/corporate/dai6/siryou1.pdf>
- (2) 総務省：令和3年版 情報通信白書のポイント（2021）
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/pdf/01point.pdf>
- (3) 国土交通省：下水道における資源・エネルギー施策の現状分析（2013）
<https://www.mlit.go.jp/common/001022698.pdf>

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

坪井真也*
Shinya Tsuboi
大崎敦志*
Atsushi Osaki
坂本純一*
Junichi Sakamoto

中川敦之*
Nobuyuki Nakagawa
島津朋也†
Tomoya Shimazu

Cloud-based Supervisory Control System with IoT Platform
"INFOPRISM"

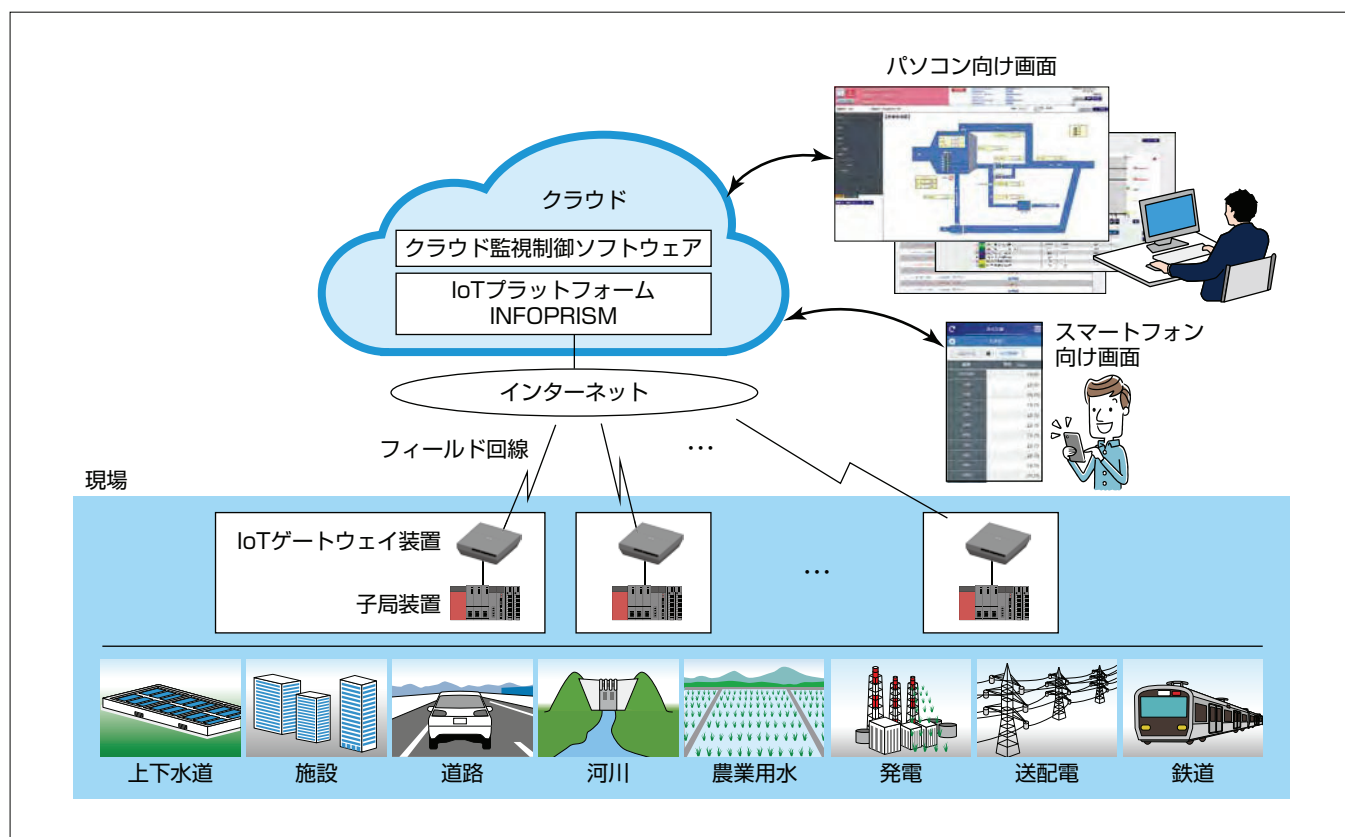
要 旨

三菱電機は、安心・安全かつレジリエントな社会の実現に向けて、監視制御システムを開発し、幅広い社会インフラ向けに納入している。近年は、職員の減少や増加する災害、老朽化施設への対応等によって、業務負荷や維持管理費用の増加が懸念されている。監視制御システムでも、業務効率化につながる機能の充実や、システム自体の維持管理業務負荷の軽減、ライフサイクルコスト(LCC)の低減等が望まれており、これらを解決する有効な手段としてクラウド監視制御システムが注目されている。

クラウド監視制御システムを社会インフラに適用する際には、高いセキュリティ性や災害時の可用性が要求される。これらの要求に対して、三菱電機はシステムへの不正侵入や情報漏洩(ろうえい)を防止する暗号化通信機能や、災害

発生時の可用性を確保するクラウドの複数拠点切替え機能を持つ、独自のIoT(Internet of Things)プラットフォーム“INFOPRISM(インフォプリズム)”を適用したクラウド監視制御システムを開発した。

今後は、INFOPRISMのデータ分析機能やデータ連携機能を活用し、設備の運転データや計測データに基づく異常兆候の早期把握や、設備管理データと気象データ等との連携による俯瞰(ふかん)的な状況把握、蓄積データをベースとする各種予測に基づく操作判断支援等の機能をクラウド監視制御システム上で実現する。これによって、社会インフラの維持管理業務負荷軽減やLCC低減等、社会課題解決に貢献していく。



クラウド監視制御システム

三菱電機独自のIoTプラットフォームである“INFOPRISM”を適用したクラウド監視制御システムを開発した。このシステムは、IoTゲートウェイ装置とクラウドサーバ間の暗号化通信や、クラウドサーバの拠点切替え機能によって、高いセキュリティとディザスタリカバリー(災害復旧)を確保している。また、INFOPRISM上に構築したクラウド監視制御ソフトウェアによって、各ユーザーのニーズに最適な監視制御機能の提供を実現している。

1. ま え が き

近年，社会インフラ管理業務で，職員の減少や，増加する災害発生時の緊急対応，老朽化施設の修繕や点検などの保守対応等によって，業務負荷や維持管理費用の増加が懸念されている。監視制御システムでも，業務効率化につながる機能の充実や，システムの維持管理にかかる業務負荷やLCCの低減が望まれている。

このような要求に対応するため，三菱電機はデータ分析やデータ連携が可能な独自のIoTプラットフォーム“INFOPRISM”を適用した，クラウド監視制御システムを開発した。

本稿では，クラウド監視制御システムの特長を述べて，さらに適用事例として，“クラウド農業用水管理システム”について述べる。

2. INFOPRISMとクラウド監視制御システム

2.1 INFOPRISMによる監視制御システムのクラウド化

監視制御システムに求められる高機能化，LCC低減の解決策として，施設ごとにハードウェアを持たず，パソコンやスマートフォンからクラウド上で動作するアプリケーションを利用する，監視制御システムのクラウド化が挙げられる。クラウド上で監視制御システムを構築するためには，現場機器からインターネット等の回線を利用して，クラウドサーバにデータを収集する必要がある。一方，社会インフラの監視制御システムでは，システムへの不正侵入や悪意ある操作の防止，情報漏洩防止等のセキュリティ確保が重要である。これらの要件を満たすため，三菱電機はINFOPRISMを適用したクラウド監視制御システムを開発した。

INFOPRISMは，データ分析機能などの高機能なソリューションをタイムリーに提供するため，IoTソリューションのうち共通的な機能をまとめた社会インフラ向けのIoTプラットフォームである⁽¹⁾。また，耐環境性に優れており，現場機器からのデータ収集を容易にする各種産業用通信規格に対応したIoTゲートウェイ装置とINFOPRISMとの暗号化通信機能によって，高度なセキュリティを確保している。

2.2 INFOPRISM適用のメリット

INFOPRISMをクラウド監視制御システムに適用した場合のメリットを次に示す。

(1) ディザスタリカバリー(災害復旧)

INFOPRISMは，あらかじめ設定された複数拠点のクラウドサーバ間でデータを等値化している。災害発生などによって運用中のクラウドサーバが停止すると，他拠点のクラウドサーバに切り替わって，監視制御を継続するディザスタリカバリー機能を持っている。なお，拠点切替えはクラウドサーバが自動的に行うため，現場の機器や監視端末は接続先の切替えが不要である。

(2) 監視対象設備のシステム拡張性

INFOPRISMは，クラウド上でシステム固有のハードウェアを持たないため，監視対象設備の追加など，システムの変更に応じてストレージや処理部品などのリソースを容易に拡張することが可能である。

(3) システム連携による機能拡張

INFOPRISMは，AIによるデータ分析などの拡張機能を持つ。現場から収集した運転操作データなどの分析によって，プラント運転など維持管理の効率化につなげることが可能である。さらに，各システム間のデータ連携によって，複数の監視制御システムを統合した統合監視制御システムの構築や，新たなソリューションの提供が可能である。

2.3 クラウド監視制御システムのアーキテクチャ

INFOPRISMを適用したクラウド監視システムのアーキテクチャ例を図1に示す。

(1) 伝送装置とフィールド回線

現場の各種センサや被制御機器のデータ収集を行う子局装置とフィールド回線を接続する伝送装置であるIoTゲートウェイ装置は，耐環境性に優れるほか，TLS(Transport Layer Security)による暗号化通信に対応し，第三者による監視データの盗聴や制御データの改ざんを防止できる。

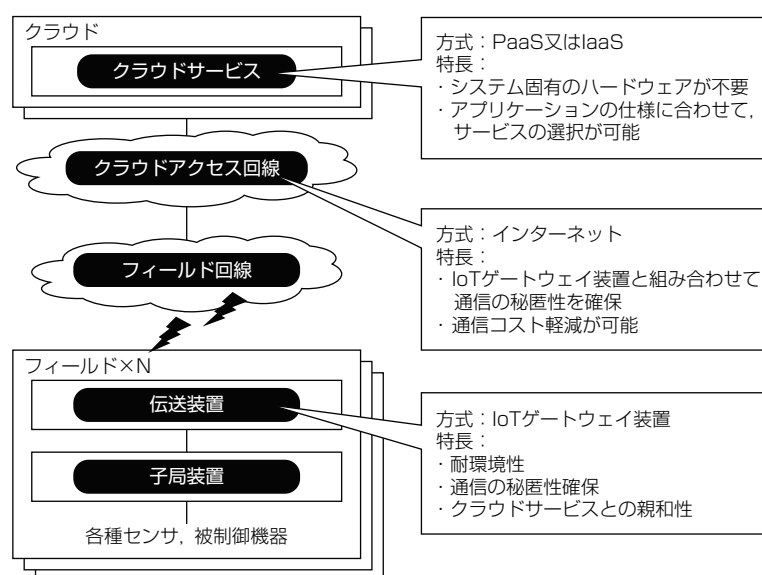


図1. クラウド監視制御システムのアーキテクチャ例

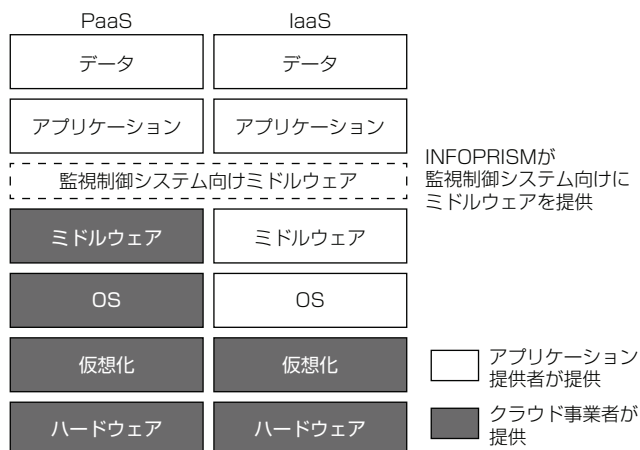


図2. クラウドサービスの内容

なお、フィールド回線は、LTE(Long Term Evolution)などの無線通信や有線回線など、システムの要求仕様にに応じて柔軟に選択可能である。

(2) クラウドアクセス回線

クラウドアクセス回線には通信の秘匿性が要求されるが、INFOPRISMでは、IoTゲートウェイとクラウドサーバ間を暗号化通信によって通信の秘匿性を確保しているため、インターネット網の利用による通信コスト低減が可能である。なお、帯域保証などが必要な場合は閉域網の利用も可能である。

(3) クラウドサービス

クラウドサービスには、サーバやストレージ等のハードウェアをサービスとして提供するIaaS(Infrastructure as a Service)と、IaaSに加えて、オペレーティングシステム(OS)やミドルウェアをサービスとして提供するPaaS(Platform as a Service)がある(図2)。

システム固有のハードウェアが不要という点ではIaaSもPaaSも同等であるが、IaaSはアプリケーション提供者側でOSやミドルウェアを自由にカスタマイズ可能なため、既存システムのソフトウェア資産が容易に活用できる。またPaaSは、クラウド事業者が提供するOSやミドルウェアを利用するため、アプリケーション構築の自由度は下がるが、構築費用の削減や提供までの期間短縮につながる。

INFOPRISMは、監視制御システム向けミドルウェアの提供によって、アプリケーションの仕様に合わせた最適なクラウドサービスの選択が可能である。

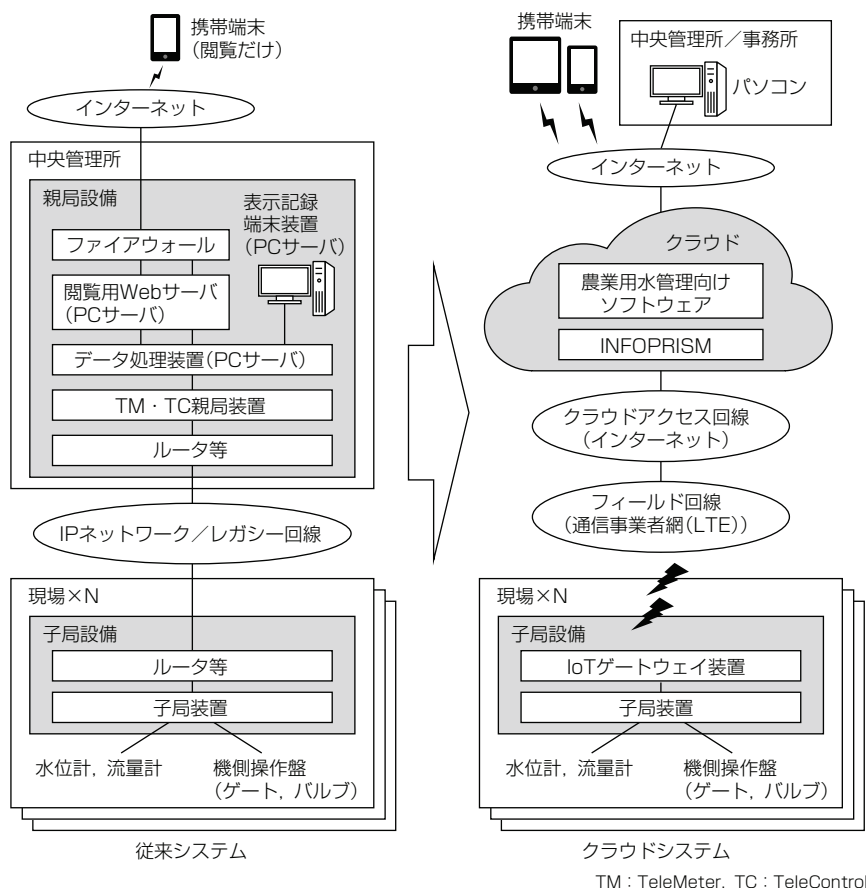
3. 適用例“クラウド農業用水管理システム”

3.1 クラウド化の背景

三菱電機は、農業用水を広範囲の受益地へ適正に配分するために整備される農業用水管理システムを多数納入している。管理業務は各地域の土地改良区や地元自治体が行っており、限られた職員が通常業務と管理業務を兼務して対応しているが、職員数の減少によって、管理業務の負荷軽減や、システム自体の点検や修繕にかかる業務負荷軽減等が課題になっている。そこで三菱電機は、INFOPRISMを適用したクラウド農業用水管理システムを開発した。

3.2 システムの概要

クラウド農業用水管理システムは、農業用水を複数の水路に配分する分土工や、ポンプで送水する揚水機場などの各現場に設置される子局設備と、INFOPRISM上に農業用水管理ソフトウェアを搭載したクラウドサーバ、管轄区域全体の水位・流量の監視や、ゲートやポンプ等の制御を行う管理用パソコンやスマートフォンなどの携帯端末で構成される。従来システムとクラウドシステムとの構成比較を図3に示す。



3.3 システムの特長

クラウド農業用水管理システムは、親局設備をクラウドシステムで構築することによって、従来システムで課題になっていた、PCサーバや専用装置等の点検や部品交換、機器更新を不要にした。また、INFOPRISMをプラットフォームとする農業用水管理向けソフトウェアによって、セキュリティや災害時の運用継続性を確保しつつ、次の農業用水管理業務に特化した監視制御機能を実現した。

3.3.1 機器制御操作

クラウドシステムでは、ゲート開度など計測データの収集周期が制御操作に及ぼす影響や、インターネット回線の混雑や障害、複数端末からの同時操作による制御動作への影響等を考慮する必要がある。そこで、次の三つの対策を講じることによって、機器制御操作の信頼性を確保している。

(1) 制御操作時の計測データ収集周期短縮

一般的にクラウドシステムでは、通信データ量の削減を目的として、計測データの収集周期を長く(10分など)することが多い。一方で、ゲートなどの制御操作時は、計測データの変化をリアルタイムに確認する必要がある。そこで、通常時と制御操作時でデータ収集周期を自動的に変更することによって、通信データ量削減と、制御操作安定性の両立を実現している。

(2) 通信断に対するフェールセーフ機能

インターネットなどの公衆回線では、回線混雑や障害等によって現場との通信が切断された場合の安全対策が必要である。そこで、一定時間通信断が継続した場合、各現場の制御プロセスに最適なフェールセーフ機能を設けて、異常動作の防止を図っている。

(3) 複数端末からの制御操作に対する排他制御機能

クラウドシステムは、特定の端末から制御操作を行う従来システムと異なり、インターネット上の端末から同時に制御操作が行われる場合がある。そこで、排他制御機能によって同一機器への同時制御操作を防止している。

3.3.2 監視画面

クラウドシステムでは、事務所にあるパソコンや、現場や移動中に用いるスマートフォンなどの携帯端末からも利用することを想定し、汎用的なWebブラウザに対応している。

パソコン画面(図4)では、従来の農業用水管理システムと同様に

状況図による現況監視・制御、履歴、帳票、トレンドグラフ等を提供する。なお、クラウドからWebブラウザへ状態変化を通知するため、手動での表示更新操作は不要であり、表示更新周期を待つ必要もない。さらに、警報発生時にはフリッカ表示と画面上部の注視しやすいエリアに配置した警報リストが自動で更新される。これによって、従来システムの専用アプリケーションと同様に、迅速な状況把握と制御操作を可能にしている。

スマートフォン画面(図5)では、現場での作業中や移動中に状況確認や制御操作ができるよう、計測一覧、状態一覧、制御、履歴、トレンドグラフ等の一覧画面を用意した。スマートフォンは、パソコンと比べて画面サイズが小さく、屋外や移動中等、利用条件の良くない環境下での監視・操作を考慮し、シンプルかつ操作性の高い画面・メニュー構成にしている。具体的には、使用頻度の高い計測一覧、状態一覧、制御画面をタブ選択だけで切替え可能にして、タブも指で選択しやすい大きさにしている。また計測一覧では、スマートフォン画面を横向きにすることでトレンドグラフの表示を可能にして、スマートフォンで一般的な縦長の画面アスペクト比に対して、ムダのないグラフ表示を可能にしている。

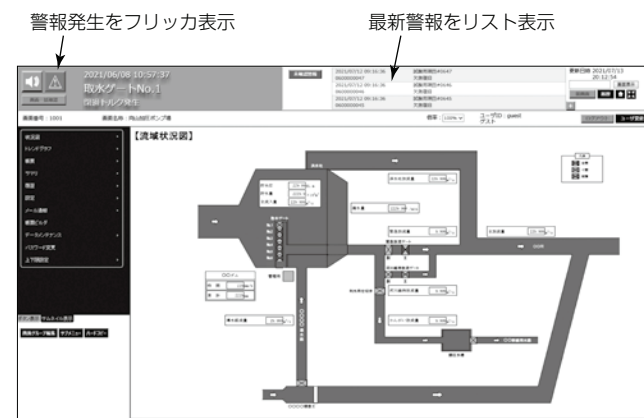


図4. パソコン向け画面例(状況図)

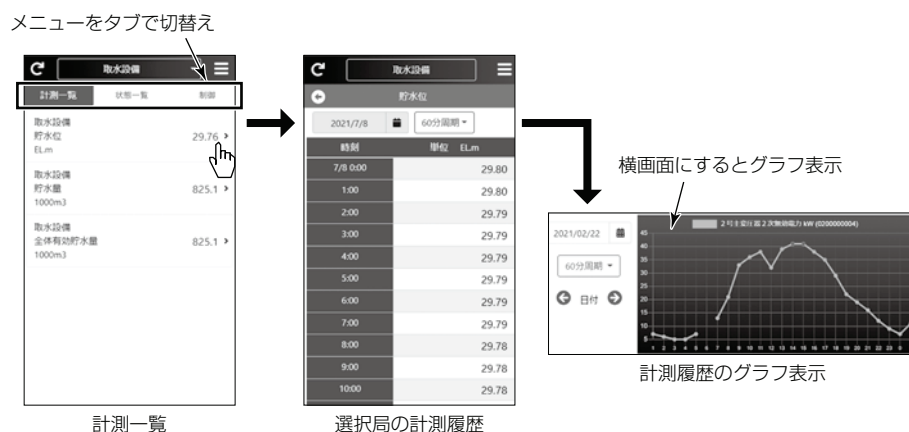


図5. スマートフォン向け画面例

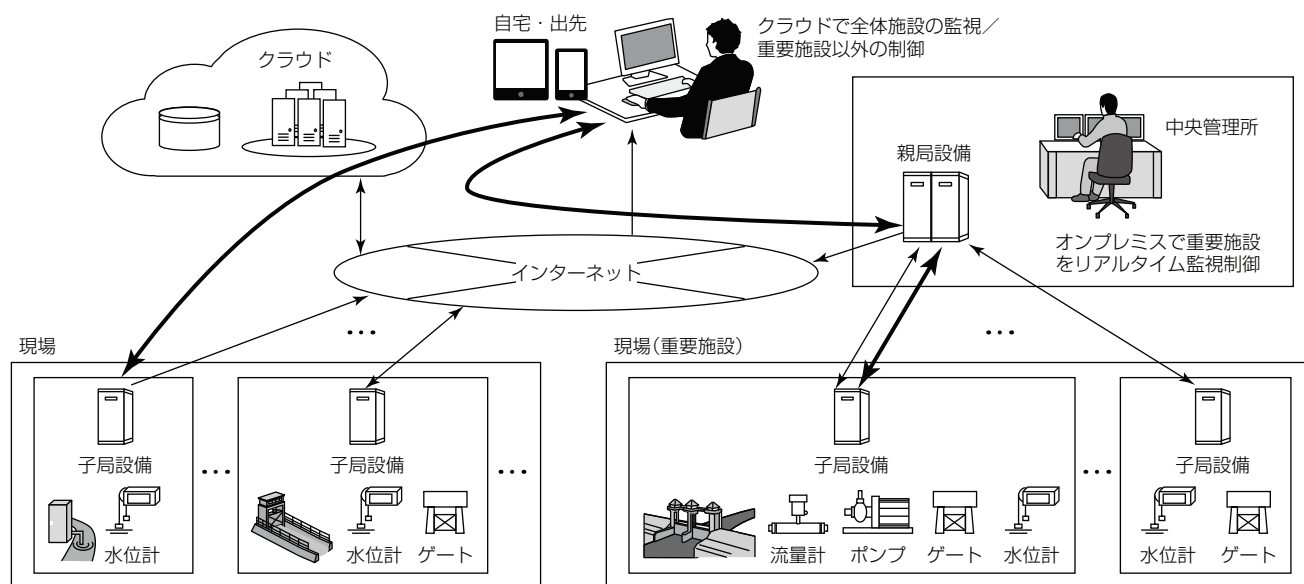


図6. ハイブリッド型クラウドシステム

3.4 ハイブリッド型クラウドシステム

農業用水の施設のうち、河川を堰(せ)き止めて農業用水を取水する頭首工は、河川流水の安全な流下に影響する重要施設である。頭首工のゲート開度によって河川水位が変動するため、ゲート制御は開度や水位・流量を常に確認しながら慎重に行う必要があり、データ通信のリアルタイム性が要求される。

そこで三菱電機では、オンプレミスの監視制御システムと、クラウドシステムとを組み合わせたハイブリッド型クラウドシステムの開発を進めている(図6)。ハイブリッド型クラウドシステムでは、オンプレミスでの頭首工制御と、クラウドでの分土工等施設の監視制御及び頭首工含めた施設全体の監視を可能にする。これによって重要施設の制御の確実性やリアルタイム性を確保しつつ、施設全体の管理業務効率化やLCC低減を実現する。

4. む す び

IoTプラットフォームであるINFOPRISMを適用したクラウド監視制御システムと、適用例としてクラウド農業用水管理システムについて述べた。

今後は、INFOPRISMのデータ分析機能やデータ連携機能を活用し、設備の運転データや計測データに基づく異常兆候の早期把握や、設備管理データと気象データ等との連携による俯瞰的な状況把握、蓄積データをベースとする各種予測に基づく操作判断支援等の機能をクラウド監視制御システム上での実現を進めて、社会インフラの維持管理業務負荷軽減やLCC低減等、社会課題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“INFO-PRISM”，三菱電機技報，93，No.7，397～400（2019）

水処理プラント 高度オペレーション支援システム

Advanced Operation Support Systems for Water Treatment Plants

入来院浩司*
Koji Irikiin
眞辺信也*
Shinya Manabe
金澤哲夫*
Tetsuo Kanazawa

霜田健太*
Kenta Shimoda

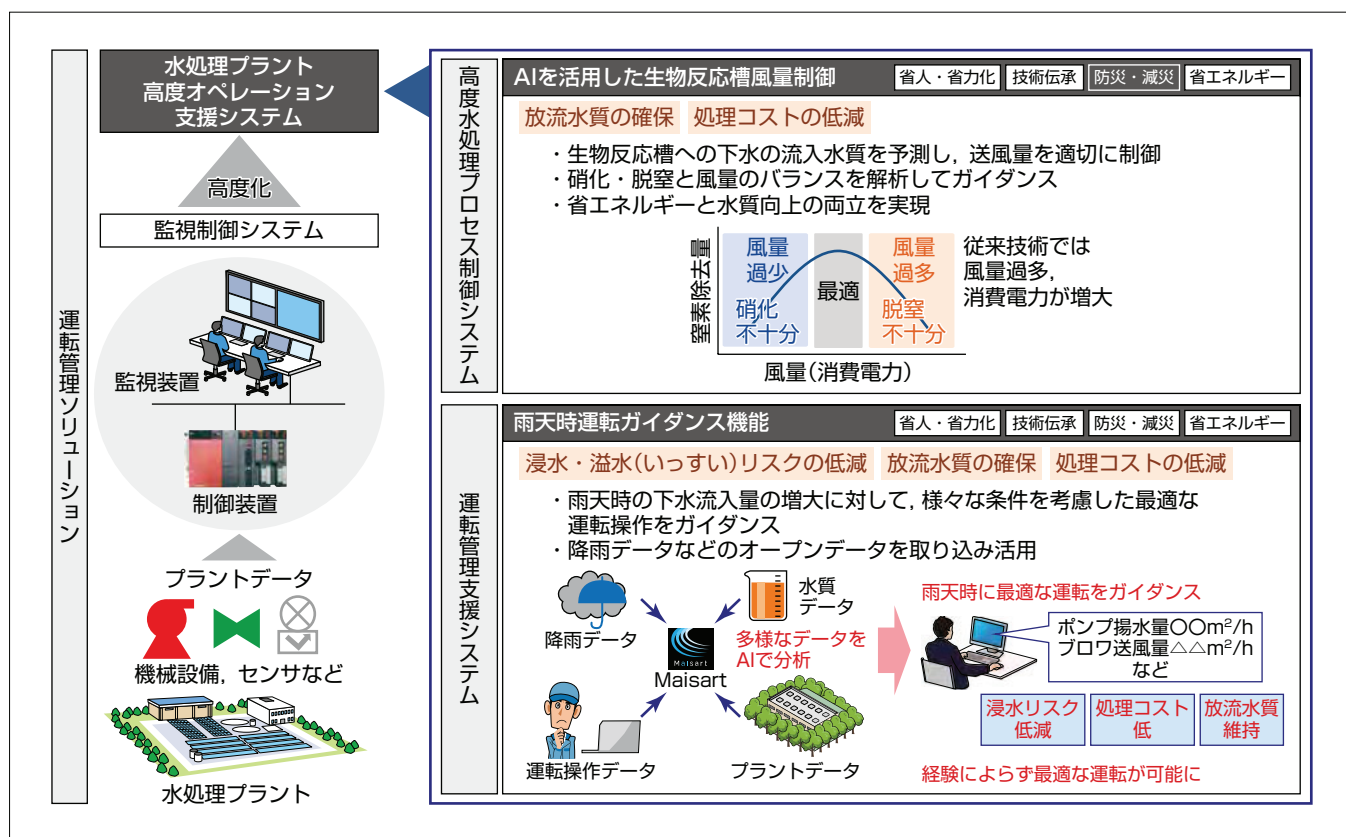
要 旨

国内の上下水道事業を取り巻く環境は、水需要の減少や、高度経済成長期に整備した施設の老朽化、少子高齢化に伴う職員の減少等、厳しさを増している。特に、ベテラン職員が減少する中、必要不可欠なライフラインである水処理プラントの安定的な稼働と、効率的な運用を実現するための解決策として、IoT(Internet of Things)やAI等のデジタル技術を用いて、運転管理業務を変革するデジタルトランスフォーメーション(DX)が注目されている。

三菱電機は水処理プラント監視制御システムに蓄積されたプラントデータから抽出したベテラン操作員の運転ノウハウをシステムに組み込んで、AI技術を活用した運転ガ

イダンスや自動運転の高度化などによって、水処理プラントの最適運転を支援する“水処理プラント高度オペレーション支援システム”の開発を進めている。

水処理プラント高度オペレーション支援システムは、ベテラン操作員が不在の状況でも、省エネルギーや水質向上、台風・ゲリラ豪雨など緊急時の最適な運転管理を実現するためのシステムであり、現在、その主要機能である“高度水処理プロセス制御システム”を下水処理場の生物反応槽へ、“運転管理支援システム”を下水処理場の揚水ポンプ設備へそれぞれ導入し、顧客との共同研究での実証を通じて、機能・性能を検証中である。



水処理プラント高度オペレーション支援システム

当社の水処理プラント監視制御システムに、“水処理プラント高度オペレーション支援システム”の機能を組み込んで、上下水道事業者が抱える課題の解決に貢献する。以前から計測・監視している水処理プラントのデータに、新たに降雨量など外部システムのオープンデータを組み合わせることによって、流入量や水位等の予測精度を高めるなど、水処理プラントの運転管理の更なる高度化に必要な機能を実現する。

1. ま え が き

近年、国内の上下水道事業を取り巻く環境は、水需要の減少や、高度経済成長期に整備した施設の老朽化、少子高齢化に伴う職員の減少等、厳しさを増している。特に、ベテラン職員が減少する中、必要不可欠なライフラインである水処理プラントの安定的な稼働と、効率的な運用が求められており、これらの実現に向けてIoT/AI技術等の活用によって運転管理業務を変革するDXが目玉されている。

当社は、デジタルツインの技術を用いて水処理プラントを仮想空間上に再現し、プロセスシミュレーションやAI技術を活用した最適運転パターンガイダンス、自動運転の高度化などによって、水処理プラントの最適運転を支援する“水処理プラント高度オペレーション支援システム”の開発を進めている。

2. 水処理プラント高度オペレーション支援システム

水処理プラント高度オペレーション支援システムは、図1のように水処理プラント監視制御システムの主要機器である監視制御装置やコントローラに、新たにガイダンス装置を加えた構成になる。ガイダンス装置は、監視制御装置に蓄積された計測値・状態信号・操作履歴などのプラントデータや、外部システムから取り込んだ気象データなどの情報を基に、AIを用いたデータ分析やシミュレーションを行い、プロセス制御の目標値や運転操作ガイダンスなど、プラントの最適運用に必要な情報を操作員に提供する。

本稿では、水処理プラント高度オペレーション支援システムのうち、“高度水処理プロセス制御システム”を下水処理場の生物反応槽へ、“運転管理支援システム”を下水処理

場の揚水ポンプ設備へそれぞれ導入し、顧客との共同研究を通じて実証中の事例を述べる。

3. 高度水処理プロセス制御システム

3.1 下水処理場のプロセス制御での現状と課題

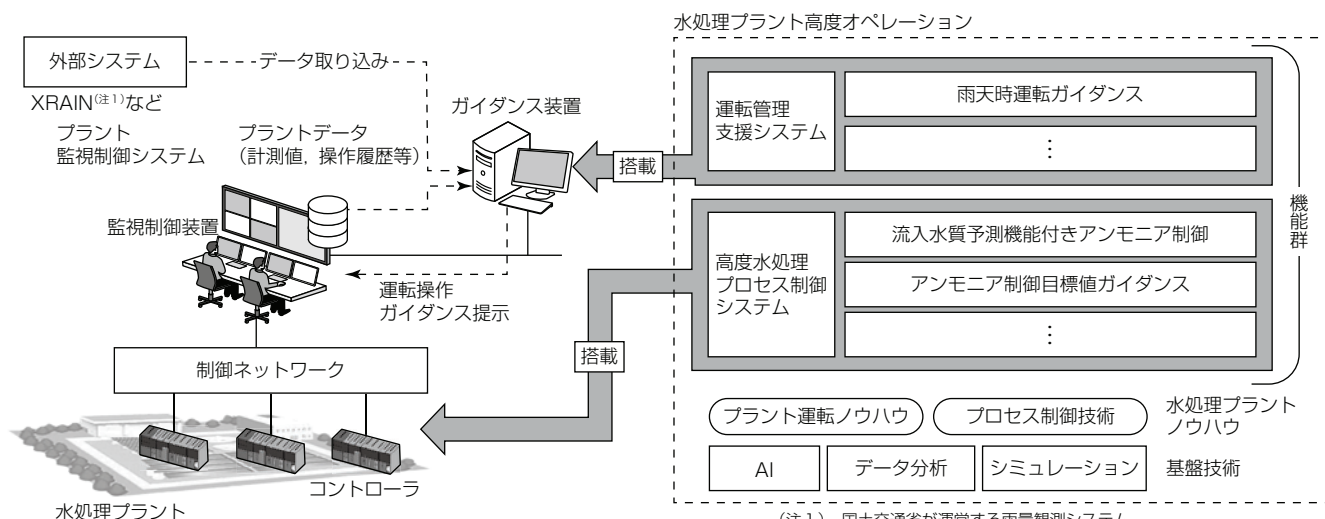
国内の下水処理施設では、日本の年間消費量の約0.7%を占める約70億kWh⁽¹⁾の電力が消費されている。中でも、主ポンプから汚泥処理までの下水処理プロセスで、生物反応槽で有機物を分解する活性汚泥(微生物)に酸素を供給する、送風機の消費電力量が約32%⁽²⁾と最も大きい。生物反応槽では、下水に含まれる窒素を除去するため、アンモニア性窒素を硝酸に変換する硝化反応と、硝酸を窒素として大気へ放出する脱窒反応が行われている。窒素除去率とエネルギー消費にはトレードオフの関係があるため、目標とする処理水質を最小のエネルギー消費で実現する風量制御が求められている。

3.2 AIを活用した生物反応槽風量制御システム

図2は、省エネルギーと水質向上の両立を実現する、AIを活用した生物反応槽風量制御システムである。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と、流入水質予測機能付きアンモニア制御を行うコントローラ、アンモニア制御目標値ガイダンスを行うガイダンス装置で構成される。

3.2.1 流入水質予測機能付きアンモニア制御⁽³⁾

従来のアンモニア制御は、処理水質である生物反応槽出口のアンモニア濃度が目標値と一致するように送風量を制御するフィードバック(FB)制御が一般的である。さら



(注1) 国土交通省が運営する雨量観測システム。
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1. 水処理プラント高度オペレーション支援システムの全体構成

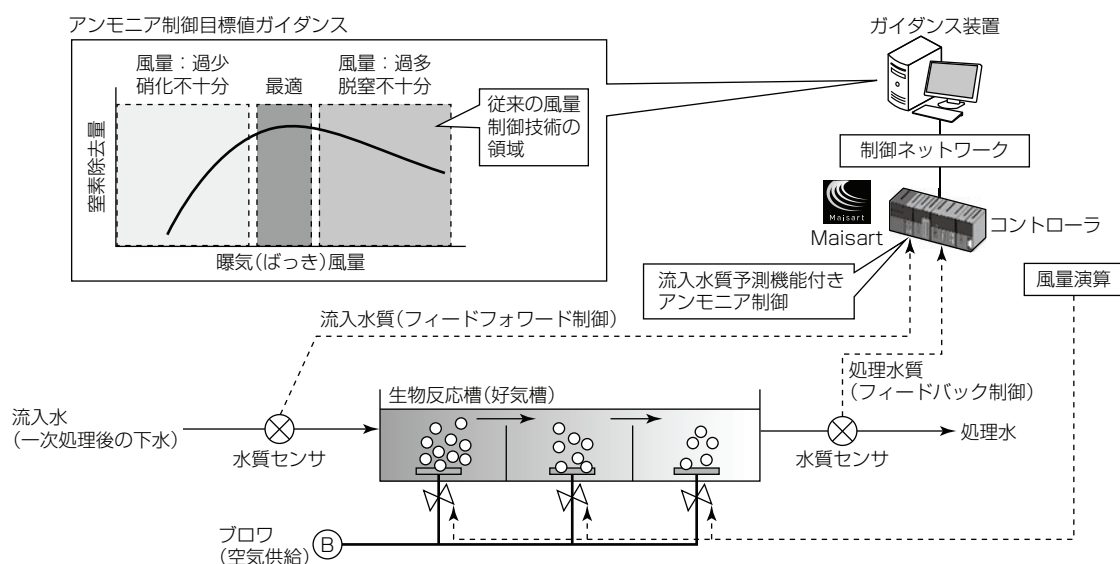


図2. AIを活用した生物反応槽風量制御システム

に近年では、FB制御と流入水質である生物反応槽入り口のアンモニア濃度の変動を補正するフィードフォワード（FF）制御を組み合わせたものが開発されている。しかし、硝化反応は送風量に対する応答時間が長い為、生物反応槽入り口のアンモニア濃度変動が大きい場合には、FF制御による補正が間に合わず、FB制御の目標値に対する追従性が悪化する可能性がある。

そこで当社は、生物反応槽入り口のアンモニア濃度の変動を予測したFF制御が行えるよう、AI技術“Maisart^(注2)”を用いて、プラント監視制御システムに蓄積された過去のデータから、現在の状態に類似するデータ探索によって、生物反応槽入り口のアンモニア濃度を予測する機能を開発した。これによって、生物反応槽入り口のアンモニア濃度が下降傾向の場合、早めに送風量を下げることによる消費エネルギーの削減や、上昇傾向の場合、早めに送風量を上げることによるFB制御の安定性向上が期待できる。

(注2) Mitsubishi Electric's AI creates the State-of-the-ART in technologyの略。全ての機器をより賢くすることを目指した当社のAI技術。

3.2.2 アンモニア制御目標値ガイダンス機能

当社は、東京都下水道局との共同研究“アンモニア／NADH(還元型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド)計を活用した省エネルギーと水質改善を両立する制御技術の開発”で、各種水質や水量、風量等のデータ分析及びプロトタイプシステム構築、フィールド実証等を行っている。

データ分析の過程で、硝化・脱窒反応には、窒素除去率が最大になる風量の最適域が存在し、その最適域は流入負荷によって変動することが明らかになった。水質改善と省エネルギーを両立させるためには、制御目標値を流入負荷の変動に合わせて都度変更するのが望ましいが、ノウハウ

が少なく実施が困難であった。

そこで、プラント監視制御システムに蓄積された流入水質や水量データ、運転データの活用によって、窒素除去率が最大になるアンモニア濃度目標値を推定し、操作員にガイダンスするシステムの開発を進めている。

現在、共同研究では実プラントでのプロトタイプシステム構築を完了し、フィールド実証を開始したところである。今後は、フィールド実証でガイダンスの妥当性検証や、制御目標値の推定アルゴリズム改良及び自動変更機能の検討などを進めていく。

4. 運転管理支援システム

4.1 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、水量や水質などの目標値の決定は、最終的に操作員による判断が必要になることが多い。例えば下水処理場の操作員は、豪雨の場合、増加する流入量と、現在のプラント状況から放流水質、消費電力など複数の項目を考慮し、刻々と変化する状況に対応しなければならない。また、近年甚大な被害を及ぼす台風や、頻発するゲリラ豪雨への対応も必要になっている。これらへの対応は、長年の経験を持つベテラン操作員のノウハウに依存しているが、その人数は年々減少しており、ノウハウの蓄積や伝承が課題になっている。

4.2 雨天時運転ガイダンスシステム

4.1節の課題に対して当社は、AI技術などを活用し、ベテラン操作員のノウハウを反映した運転操作を支援する“雨天時運転ガイダンスシステム”(図3)の開発を進めている。

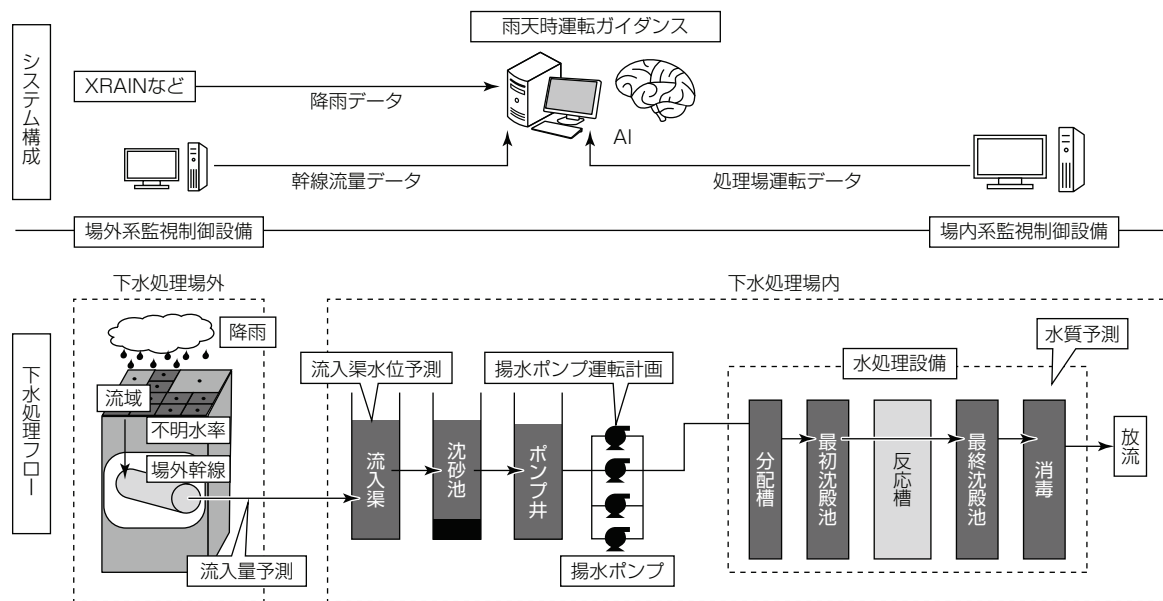


図3. 雨天時運転ガイダンスシステム

このシステムは、雨天時での下水処理場の流入渠(きょ)水位を予測する水位予測シミュレーション機能や、放流水質などの変化を予測する水質予測シミュレーション機能、プラントデータから抽出された操作員の運転ノウハウを用いたAIによる運転ガイダンス機能で構成される。これによって、ガイダンスされた操作をあらかじめシミュレートして結果を確認した上で実操作可能にすることによって、雨天時での安定したプラント運用を実現する。

なお、このシステムは国土交通省の令和3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」で実証中である。

4.2.1 水位予測シミュレーション機能⁽⁴⁾

雨天時には、処理区域の浸水リスクを早期に把握し、ポンプの先行運転などの事前対応を行うため、流入量や流入渠、ポンプ井水位などの予測が必要である。

この機能は、まず晴天時に下水処理場に流入する汚水量を各時刻、曜日での過去の流入量実績値に基づいて予測する。次に、XRAINやAMEDAS^(注3)の降雨データから処理区域の現在の雨量を求めて、管渠に流入する雨水の浸入率、下水処理場までの到達時間を考慮して下水処理場への流入量を予測する(図4)。下水処理場の流入渠やポンプ井の予測水位は、流入量の予測値とポンプ揚水量から求める。

(注3) 気象庁が運営する自動気象データ収集システム。

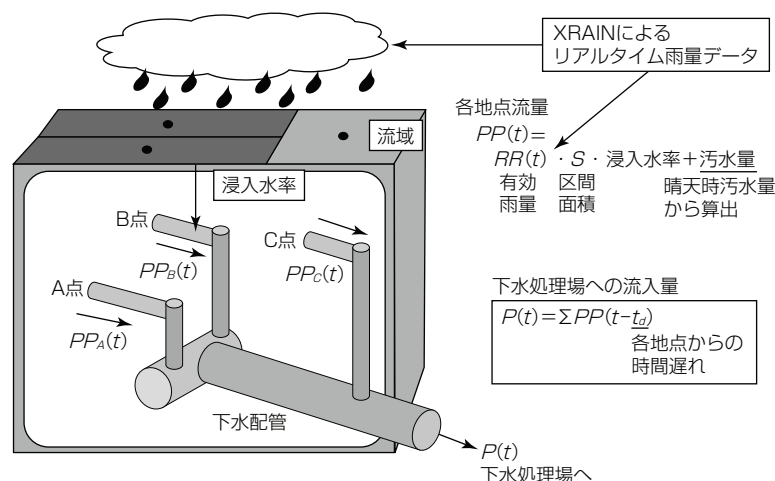


図4. 下水処理場への流入量予測の概念図

4.2.2 水質予測シミュレーション機能⁽⁵⁾

雨天時には、水質悪化や汚泥界面上昇に伴う汚泥流出事故を未然に防止するため、放流水質や最終沈殿池の汚泥界面の予測が必要である。

放流水質の指標(B-DASHプロジェクト実証研究ではCOD(Chemical Oxygen Demand)、全窒素(TN)、全リン(TP)濃度)については、生物反応槽内の水質収支に基づく生物反応モデル(Activated Sludge Model: ASM)でのシミュレーションによって予測する。また、最終沈殿池の汚泥界面は、SVI(Sludge Volume Index)等のデータと重力沈降モデルから求めた汚泥沈降速度を用いて予測する(図5)。

4.2.3 AIによる運転ガイダンス機能

ベテラン操作員はこれまでの経験・知識に基づいて、設

備能力などプラント固有の制約を考慮した上で、浸水・溢水リスクの低減や放流水質を確保する運転操作を行っている。

この機能では、監視制御システムに蓄積された過去の運転データから、次の手順によってベテラン操作員の運転ノウハウを“デジタル化”する。

- (1) 降雨量と降雨時間を基に、運転データを晴天・小雨・豪雨・長雨等のパターンに分類する。
- (2) パターンごとの運転操作履歴・流入渠水位・放流水質・消費電力等の過去データから、放流水質などの管理基準を満たして、消費電力が最小になるパターンを抽出する。
- (3) 抽出されたパターンをガイダンスに用いる“運転操作カタログ”としてシステムに登録する。

実運用では、降雨量や流入量、流入渠水位等の計測値からAIがプラント状態を判断し、運転操作カタログの中から推奨する運転パターンを操作員に提示する。操作員は、AIが提示した運転パターンと、パターンごとの水位や水質、消費電力の予測シミュレーション結果を確認することによって、最適な運転操作の選択が可能になる(図6)。

今後は、実プラントでプロトタイプシステムを構築し、各シミュレーション結果の精度や、運転ガイダンスの有効性に関する検証を行う。

5. む す び

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。このような環境下でも、上下水道を安定かつ効率的に運用していくための解決策として、水処理プラント高度オペレーション支援システムの主要機能である、AI技術等を用いて省エネルギーと水質向上を両立させる“高度水処理プロセス制御システム”及びベテラン操作員の運転管理を再現する“運転管理支援システム”に

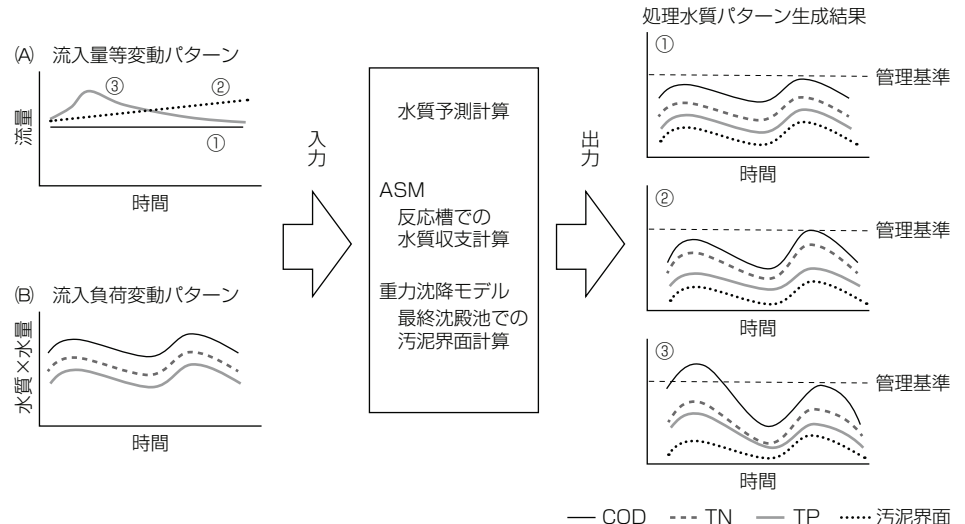


図5. 水質・汚泥界面予測の概念図

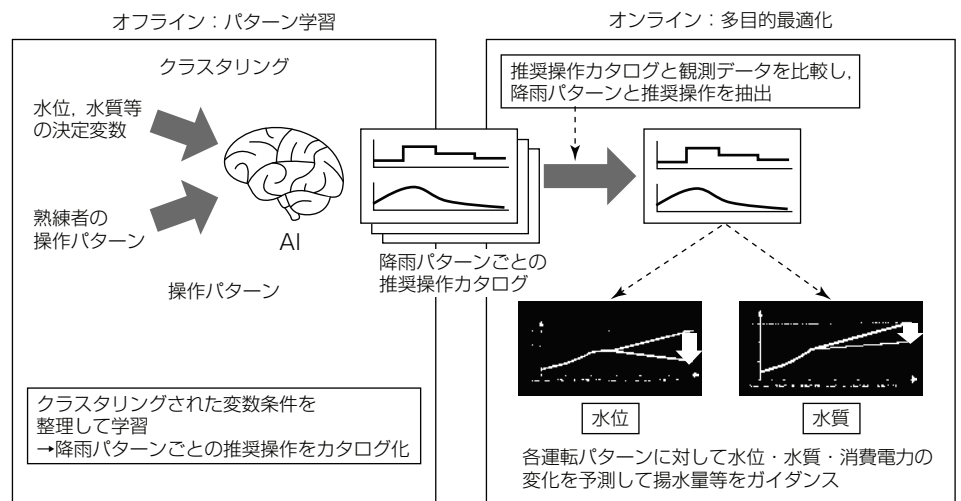


図6. 最適な運転操作ガイダンスの概念図

について述べた。

現在上下水道プラントの監視制御システムに蓄積されているプラントデータに加えて、気象などの外部データを活用することによって、運転管理の更なる高度化が可能になる。今後も上下水道プラントの運転管理を変革する“デジタルトランスフォーメーション”の推進を支援していく。

参考文献

- (1) 国土交通省：下水道における資源・エネルギー施策の現状分析(2013)
<https://www.mlit.go.jp/common/001022698.pdf>
- (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) 橋爪弘二、ほか：流入・流出水質データを活用した下水処理場向け曝気風量制御、三菱電機技報、93, No.7, 409~412(2019)
- (4) 三浦浩之、ほか：修正RRL法による浸水を考慮した都市域下水の流出解析、土木学会論文集、No.533, 205~214(1996)
- (5) 味埜 俊：第2回 IWA活性汚泥モデルの構造、EICA、7, No.4, 43~49(2002)

社会インフラのDXを支援する MMSD・MDMD

渡辺 完弥*
Kanya Watanabe
眞鍋 七海†
Nanami Manabe
那須 升亮†
Shosuke Nasu

三好 竜司†
Ryuji Miyoshi
佐久嶋 拓†
Taku Sakushima

MMSD and MDMD to Support Digital Transformation of Social Infrastructure

要 旨

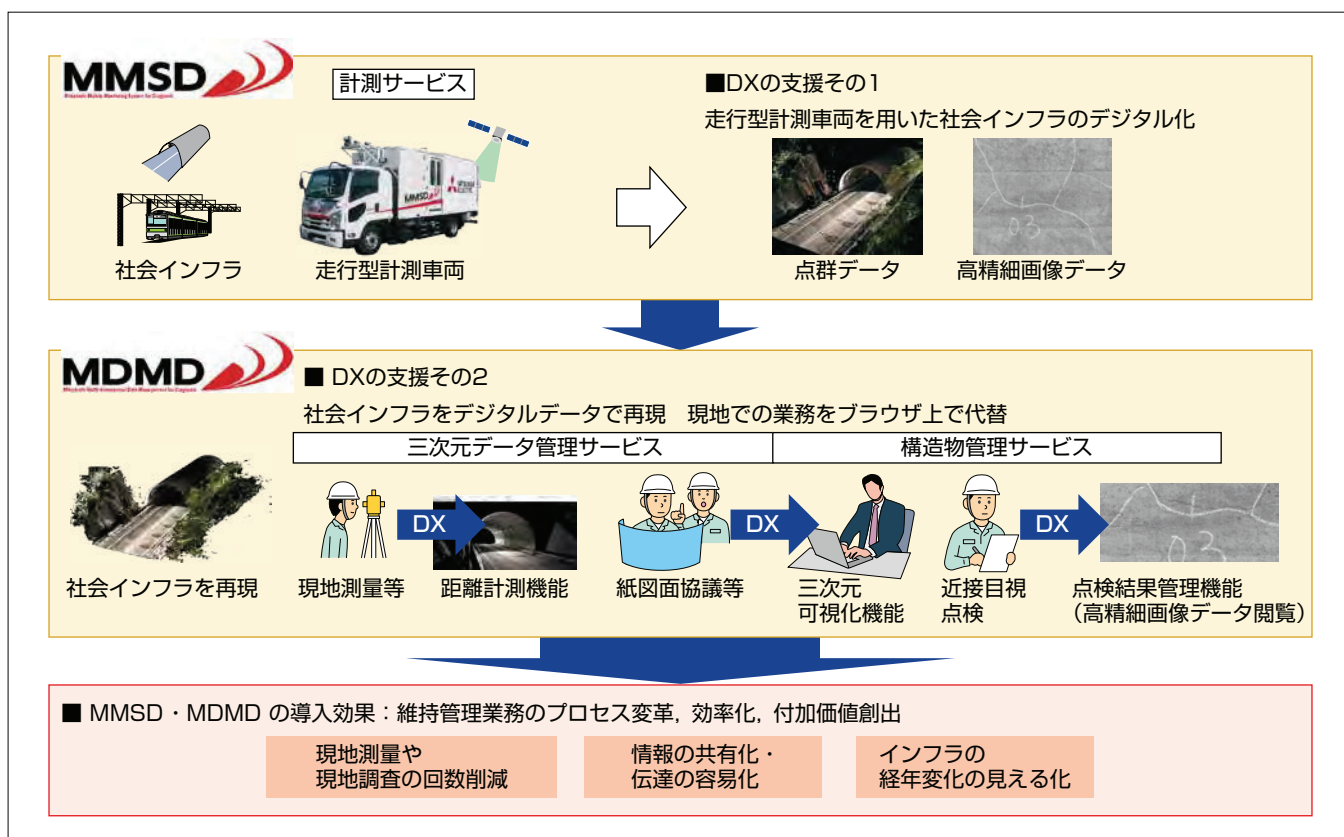
日本では、建設後50年を超過したトンネルや橋梁(きょうりょう)等の老朽化インフラの増加に伴う維持管理コストの増大や、少子高齢化を背景とした点検技術者不足等への対応が喫緊の課題になっており、維持管理業務のDX(デジタルトランスフォーメーション)による効率化が期待されている。デジタルデータを用いて社会インフラを仮想空間内に再現し、デジタル解析技術やAI技術等の適用によって維持管理業務のプロセス変革を図り、効率化や新たな付加価値の創出が望まれている。

三菱電機は、走行型計測車両で社会インフラの表面形状を点群や高精細画像のデジタルデータとして取得する計測・解析サービス“MMSD(Mitsubishi Mobile Monitoring

System for Diagnosis)”及びMMSDなどで取得したデジタルデータを用いて仮想空間内に社会インフラを再現する多次元設備管理サービス“MDMD(Mitsubishi Multi-dimensional Data Management for Diagnosis)”を提供している。

これらのサービスを用いて、現地での寸法測定やトンネル壁面の目視確認を代替することによって、現地測量や現地調査の回数削減、情報共有／伝達の容易化などの維持管理業務効率化に加えて、対象インフラの経年変化の見える化など新たな価値創出を実現した。

当社は、今後もMMSDとMDMDの提供機能の拡充を図り、維持管理業務の更なる効率化と高付加価値化に貢献していく。



MMSD・MDMDによる社会インフラのDXのイメージ

当社は、走行型計測車両で社会インフラの表面形状を点群や高精細画像のデジタルデータとして取得するMMSDと、デジタルデータを用いて仮想空間内に社会インフラを再現するMDMDを提供している。現地での寸法測定やトンネル壁面の目視確認をこれらのサービスで代替することによって、現地測量や現地調査の回数削減、情報共有／伝達の容易化が可能になり、維持管理業務を効率化できる。さらに、インフラの経年変化の見える化など新たな価値創出を実現できる。

1. ま え が き

日本では、建設後50年を超過したトンネルや橋梁等の老朽化インフラの増加に伴う維持管理コストの増大や、少子高齢化を背景にした点検技術者不足等への対応が喫緊の課題になっており、維持管理業務のDX(デジタルトランスフォーメーション)による効率化が期待されている。デジタル解析技術やAI技術等の適用によって維持管理業務のプロセス変革を図り、効率化や新たな付加価値の創出が望まれている⁽¹⁾。

当社は、社会インフラのDXを支援する二つのサービスを提供している。

(1) 計測・解析サービスMMSD

社会インフラ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・解析するサービスである。

(2) 多次元設備管理サービスMDMD

MMSDなどで取得したデジタルデータを用いて社会インフラの現況を仮想空間内に再現し、端末のブラウザへの表示や距離計測等の機能を提供するサービスである。

これらのサービスの利用者は、従来は現地でしかできなかった業務を端末のブラウザ上で代替できるようになり、維持管理業務のプロセス変革や効率化を実現できる。

本稿では、MMSDやMDMDについて述べるとともに、中日本高速道路(株)(以下“NEXCO中日本”という。)が目指すi-MOVEMENT“次世代技術を活用した革新的な高速道路保全マネジメント”の実現に向けて設置された、イノベーション交流会で実施した技術実証について述べる。

2. 計測・解析サービスMMSD

2.1 MMSDの特長

MMSDは、社会インフラの表面形状を走行型計測車両搭載のレーザスキャナなどで計測し、取得した高精度の点群データや高精細の画像データを解析するサービスである。高精度・高精細のデータを解析することによって、トンネル点検や建築限界解析等の業務を省力化できる特長を持つ。現在、走行型計測車両は、MMSD I、MMSD II、MMSD IIIの3種類があり、全車両に高精度GPS(Global Positioning System)、IMU(慣性計測装置)、100万点/秒の点群データが取得可能なレーザスキャナを搭載しており、走行しながら効率的に三次元位置情報(緯度、経度、標高)を持つ点群データを取得できる。また、MMSD Iには全方位カメラ、MMSD IIとMMSD IIIには8Kラインカメラ

を搭載しており、点群データと同時に、全方位カメラ画像や高精細画像のデータを取得できる。

2.2 MMSD計測データの特長

2.2.1 点群データ

走行型計測車両で取得した点群データは高精度な位置座標を持っているため、MDMDの仮想空間内でトンネルや道路等の三次元形状を再現できる。再現例を図1に示す。図1(a)はレーザの反射輝度値を用いて輝度表示した点群の例、図1(b)は点群データ取得と同時に撮影したカメラ画像を用いて各点に色付けしたカラー表示の例である。

2.2.2 画像データ

MMSD走行型計測車両で取得した高精細画像データを図2に示す。図2(a)は走行型計測車両が50km/hで走行中にトンネル壁面を撮影した例であり、幅0.3mm程度のひび割れの有無を画像で確認できる。図2(b)はトンネル壁面のケーブルを撮影した画像であり、ボルト緩みに起因する取付け金具のずれや断線の有無を確認できる。

全方位カメラで撮影したパノラマ画像を図3(a)に示す。このパノラマ画像をソフトウェアで加工・表示することによって、画面内に全方位の視野を再現できる(図3(b))。

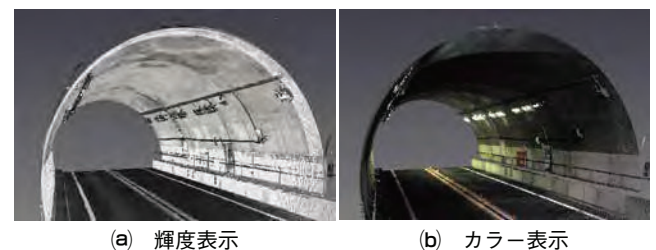


図1. 点群データの例

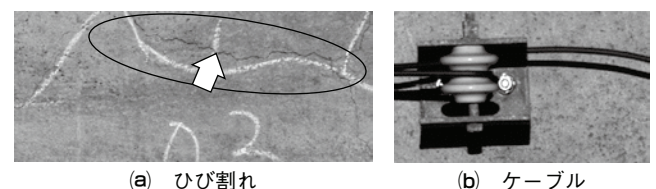


図2. 高精細画像データの例

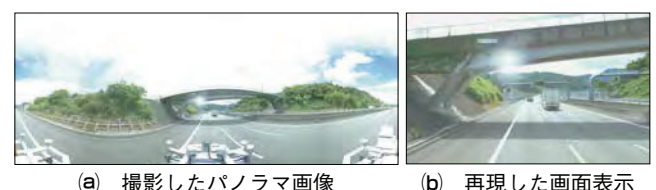


図3. 全方位カメラ画像データの例

3. 多次元設備管理サービスMDMD

MDMDは、MMSDなどで取得したデジタルデータで仮想空間内に社会インフラの現況を再現し、端末のブラウザへの表示や距離計測の機能を提供するサービスである(図4)。MDMDは、道路管理者や鉄道事業者に構造物や設備の管理に加えて、更新補修計画時や補修工法検討時の現況把握等で活用してもらうことを目的としており、施設設備台帳や点検結果、経年変化を確認するための差分解析結果を管理する機能も提供可能である。ユーザーは、クラウド又はオンプレミスのMDMDサーバに端末のブラウザからアクセスすることによって利用できる。

3.1 提供機能

サービスが提供する機能を表1に示す。MDMDは、端末のブラウザ上に社会インフラの形状を点群データで再現し、閲覧等の機能を提供する三次元データ管理サービス(図5)と、トンネル等の構造物の高精細画像や点検結果等、構造物の状態に関わる情報を管理する構造物管理サービス(図6)に大別される。

三次元データ管理サービスは、社会インフラ形状の閲覧や点群の持つ座標を使った2点間の距離計測機能を提供する。構造物管理サービスは、高精細画像データなどの点検結果の履歴管理や年度比較表示の機能を提供する時系列データ管理機能、変状等の点検結果を区間や領域といった空間的な単位で情報提供する空間系列データ管理機能、さらに従来二次元図面で管理していたひび割れなどの変状情

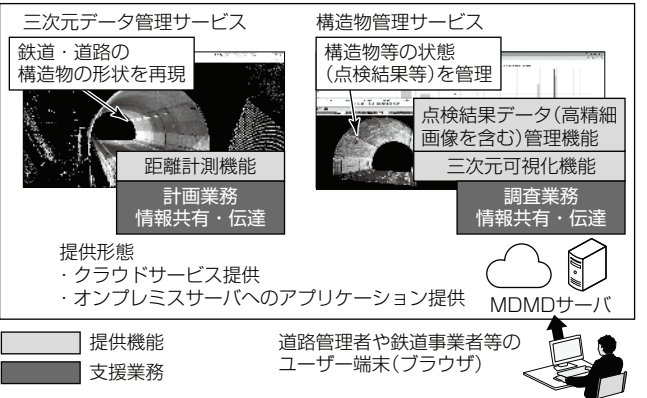


図4. MDMDの概念図

表1. サービス提供機能

サービス名	主要提供機能
三次元データ管理サービス	・点群データ閲覧(表示、視点移動) ・距離計測(幅、長さ、高さ等)
構造物管理サービス	・点検結果(高精細画像を含む)の時系列データ管理 ・点検結果の空間系列データ管理 ・点検結果の三次元可視化 ・差分解析結果のデータ管理 ・施設設備台帳データ管理

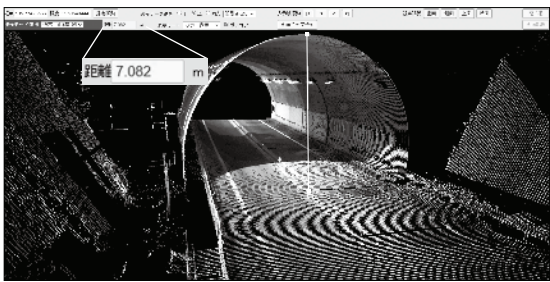


図5. 三次元データ管理サービスの画面例

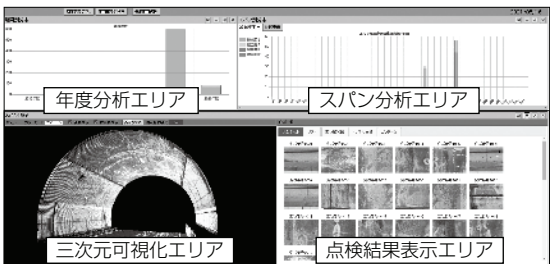


図6. 構造物管理サービスの画面例(トンネル)

報を三次元で可視化する三次元可視化機能等を提供する。

3.2 導入効果

利用場面ごとの導入効果を表2に示す。

3.2.1 計画業務の効率化

社会インフラの更新・補修等の計画業務に三次元データ管理サービスを活用することによって、従来は現地で実施していた設置場所検討や寸法計測が、端末のブラウザ上で代替可能になり、現地測量の回数や時間が削減できる。また、新設設備の寸法に基づいて、設置や搬入時の既存設備との干渉チェックも可能になり、設置工事時の手戻り防止効果が期待できる。さらに、測量のための交通規制や高所作業の削減によって、安全面でのリスク低減を図ることもできる。

3.2.2 調査業務の効率化

構造物管理サービスを活用し、高精細画像等を端末のブラウザで確認することによって、従来は現地で交通規制を行いながら実施していた調査業務の代替が可能になり、現地調査の回数を削減できる。また、高精細画像データに付

表2. 導入効果

利用場面	利用サービス	効果
計画業務 ・設置場所検討 ・寸法計測 ・干渉チェック	・三次元データ管理	・現地測量回数の削減 ・現地測量時間の削減 ・手戻りの防止 ・安全性の向上
調査業務 ・壁面目視確認 ・設備状態確認 ・経年変化把握	・構造物管理	・交通規制を伴う 現地調査回数の削減 ・結果の正確な記録 ・変状の経年変化把握
情報共有・伝達	・三次元データ管理 ・構造物管理	・分かりやすい情報伝達

与される正確な位置情報を用いて、トンネル覆工面のひび割れなどの位置情報を正確に記録し、異なる時期の点検結果(ひび割れなど)を比較することによって、経年変化の把握が容易になる。

3.2.3 情報の共有化・伝達の容易化

本庁と現場事務所又は設計者と施工者など、関係者間で施工方法・手順の協議を行う際、社会インフラの対象箇所
の現況が三次元情報として共有可能になるため、図面等の
二次元媒体を使った現況確認よりも、分かりやすく、かつ、
効率的な情報の共有・伝達が期待できる。

4. イノベーション交流会での技術実証

NEXCO中日本は、次世代技術を活用した革新的な高速道路保全マネジメント“i-MOVEMENT(アイ・ムーブメント)”の実現に向けて、コンソーシアム方式でオープンイノベーションを推進する組織“イノベーション交流会”を設立し、業務課題(ニーズ)と先端技術(シーズ)を組み合わせる技術実証を積極的に進めている⁽²⁾。この章では、イノベーション交流会で当社が実施した三次元データを活用した道路の点検や管理の技術実証について述べる。

4.1 技術実証の内容

実証内容を表3に示す。実証では、三次元データを活用した道路の点検や管理手法を高速道路に導入可能か検証するため、走行速度80km/hで取得した点群データや高精細画像データにMMSDとMDMDの解析・可視化技術を適用している。

4.2 実証結果

実証結果を次に挙げる。

- (1) 走行速度80km/hで点群データを取得し、構造物の表面形状を再現できた(図7)。
- (2) 走行速度80km/hで撮影した高精細画像データで、幅0.2mmのひび割れを確認できた(図8)。
- (3) 高精細画像から抽出したひび割れ等の変状ポリゴンと点群データを正確な位置情報を基に重畳し、変状を含むトンネル覆工面の三次元モデルが生成できることが確認できた(図9)。

表3. 実証内容

計測対象	敦賀保全・サービスセンター管内の自動車道約85kmの区間
実証項目	①走行速度80km/hで取得した点群データで道路周辺の構造物の表面形状が再現できること ②走行速度80km/hで撮影した高精細画像データで近接目視相当の確認ができること(0.2mmのひび割れが確認可能) ③トンネル覆工面のひび割れ等の経年変化を把握するための三次元モデルが生成できること

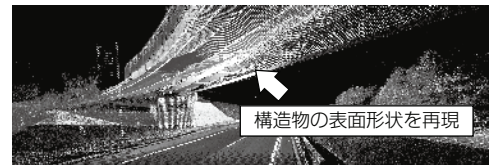


図7. 取得した点群データの例

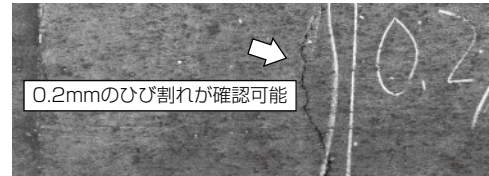


図8. トンネル壁面(ひび割れ)の高精細画像データの例



図9. 変状を含むトンネル覆工面の三次元モデルの生成の例

実業務への適用検証が今後必要になるものの、MMSDとMDMDの解析・可視化技術は、走行速度80km/hでも利用可能であり、高速道路の点検や管理の省力化が期待できるとの評価を得た。

5. む す び

MMSDとMDMD及びNEXCO中日本イノベーション交流会での当社の三次元データを活用した道路の点検や管理の技術実証について述べた。MMSDで社会インフラの現況を効率的にデジタルデータ化し、MDMDで現場を仮想空間に再現することによって、現地測量や現地調査の回数削減、情報の共有化や伝達の容易化が可能になり、維持管理業務を効率化できる。さらに、対象インフラの経年変化の見える化など、新たな価値創出を実現できる。

今後は、AI技術の活用等MMSDとMDMDのサービスメニューの拡充を図り、社会インフラ維持管理業務の更なる効率化や高度化に貢献していく。

なお、NEXCO中日本イノベーション交流会の技術実証では、NEXCO中日本の関係各位にアドバイスを受けた。ここに感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 国土交通省：インフラ分野のDXに向けた取組紹介(2020)
https://www.mlit.go.jp/tec/content/200729_03-2.pdf
- (2) NEXCO中日本：i-MOVEMENT「次世代技術を活用した革新的な高速道路保全マネジメント」
<https://www.c-nexco.co.jp/corporate/operation/maintenance/i-movement/>

三菱電機点検サポートサービス “InsBuddy”

矢田 進*
Susumu Yada
糸井三由希*
Miyuki Itoi

Mitsubishi Electric Inspection Support Service "InsBuddy"

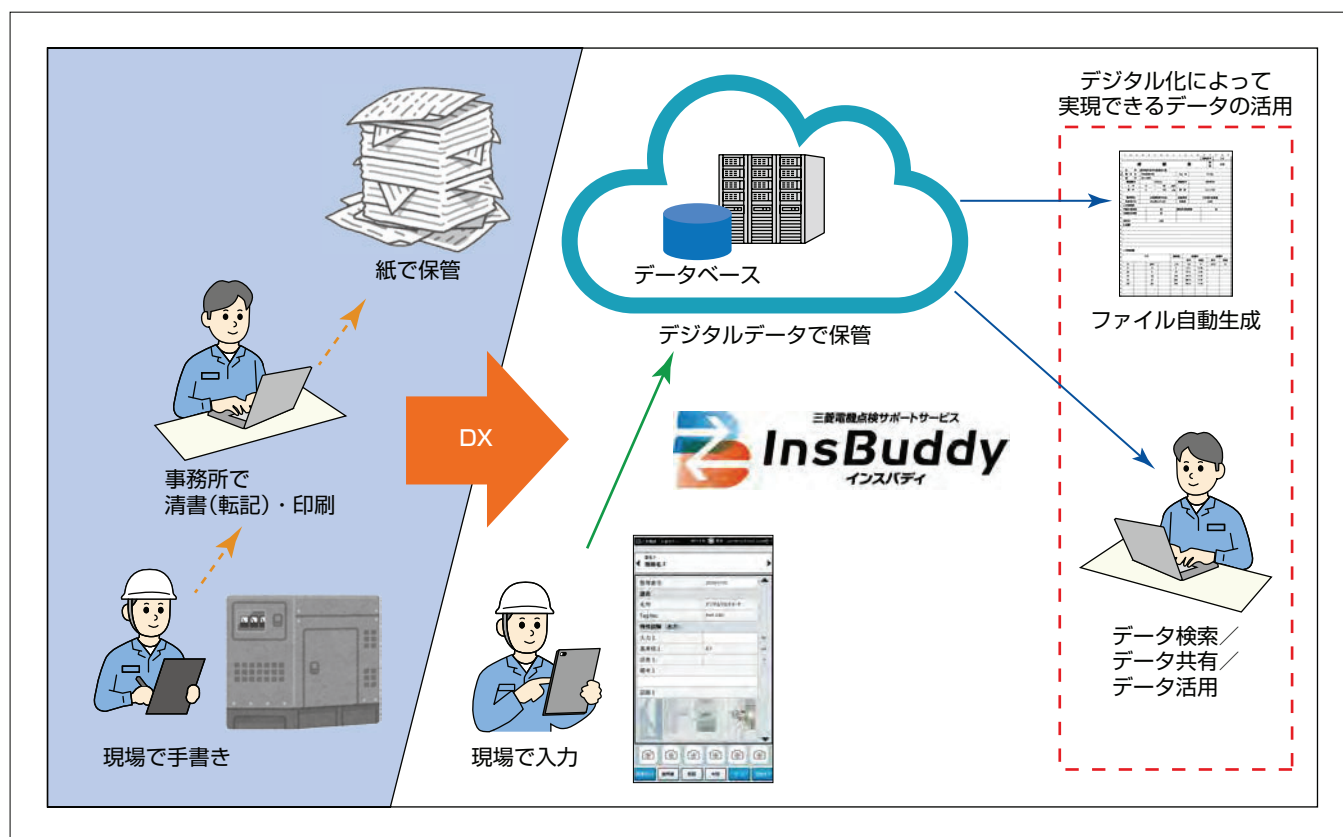
要 旨

三菱電機は、2020年に社会インフラや産業設備などの点検業務のDX(デジタルトランスフォーメーション)を支援するサブスクリプション型の三菱電機点検サポートサービス“InsBuddy(インスパディ)”の提供を開始した。

InsBuddyは、タブレットなどの点検端末とクラウド上のアプリケーションによって、設備点検結果の収集・保管、点検報告書などの自動作成、点検データの検索・管理等を行う従来の点検支援システムの機能に加えて、設備台帳機能、点検計画作成支援機能、長期保全計画作成支援機能等、点検業務全体をデジタル化する新たなサービスである。

しかし、デジタル化の実現には、対象設備や点検項目といった膨大なデータのクラウド登録など、今まで不要であったデータ管理業務が新たに必要になる。これに対応するため、InsBuddyでは、点検業務の支援機能に加えてデータ管理支援機能を充実させて、導入の容易化を実現した。

今後も、ユーザーニーズを積極的に取り込んで、デジタル化によって高度化・効率化した新しい点検サービスを、様々な分野の顧客に利用してもらえよう機能拡充・改善を進めていく。



“InsBuddy”によるDXのイメージ

従来の保守点検では、点検結果を現場で手書きして、事務所で清書(転記)することが多く、二度手間が発生していた。さらに、点検結果を紙で保管しているため、後から欲しいデータを見つけることが困難であり、データの利活用ができていなかった。InsBuddyを使ってデータをデジタル化することによって、転記の二度手間の解消とデータの二次利用を可能にする。

1. ま え が き

昨今、施設・機器の保守で、業務や情報をデジタル化することによって、生産性や付加価値の向上を実現するDXの動きが活発化している。施設の老朽化で維持管理費用の増大が見込まれる中、施設や機器の点検業務をデジタル化することで、計画的かつ効果的な長期保全を図る動きである。

当社は2020年度に、三菱電機点検サポートサービスInsBuddyの提供を開始した。InsBuddyは、クラウドで設備点検の結果を収集・保管し、点検報告書などの自動作成や、各種データの検索・管理等を行うサービスである。点検データや点検結果は、クラウドのデータベース上で点検業務や点検対象機器と紐(ひも)づけて管理されるため、紙面に手書きで作成・保管していた従来の管理方法に比べて、データ活用が容易になる。

本稿では、InsBuddyを用いた点検業務のDXでのメリットと、デメリットの軽減事例について述べる。

2. InsBuddyの構成

InsBuddyは、一つのタブレット用アプリケーションと二つのWebアプリケーション(以下“アプリ”という。)で構成される(図1、表1)。データの登録や出力・編集作業には多くのユーザーが習熟しているExcel^(注1)形式のファイルを使用できる。

(注1) Excelは、Microsoft Corp. の登録商標である。

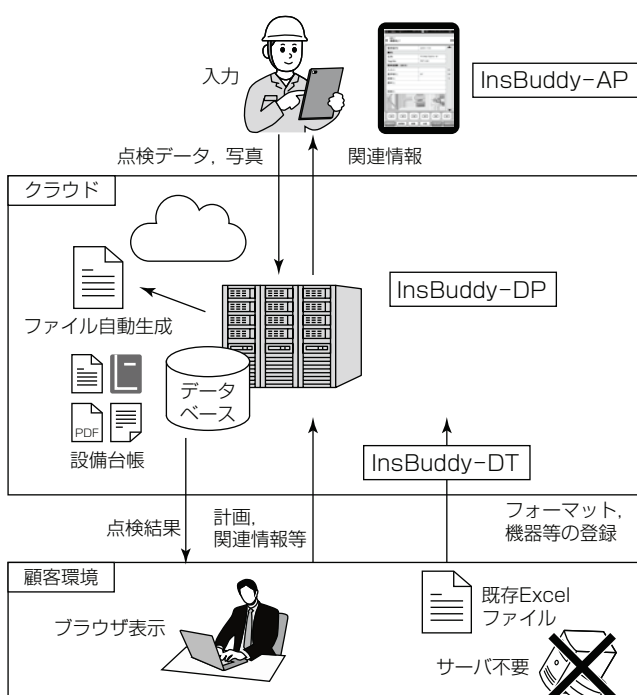


図1. InsBuddyの構成

表1. InsBuddyのアプリ

名称	概要
InsBuddy-AP	専用タブレットアプリ。 入力画面の表示及びデータのアップロードを行う。
InsBuddy-DP	Webアプリ。 アップロードされたデータを蓄積し、所定のExcel ファイルを自動生成する。 設備台帳機能を持つ。
InsBuddy-DT	Webアプリ。 ユーザーがInsBuddy-DPに必要な情報(設備保有者、 施設、機器、成績書など)を登録、変更、削減するた めのツールである。

3. InsBuddyの特長

3.1 データ入力デジタル化に伴うメリット

点検現場で、InsBuddyの利用によってユーザーが得られるメリットを次に述べる。

3.1.1 自動計算、しきい値判定

紙面と手書きによる従来の点検で、計測結果の判定が計算を伴う場合は、内容を熟知したベテラン点検員が電卓を用いてその場で計算し、判定していた。また、計測結果が上下限範囲内にあるか判定する場合は、計測結果と上下限範囲の目視によるチェックに依存していた。

InsBuddyは、あらかじめ設定した計算式によって自動計算を行い、上下限値の設定によって計測結果の合否を瞬時に判定する。そのため、経験の浅い点検員でも、点検結果を適切に判断しながら点検を進めることが可能になる。

3.1.2 点検手順と一致した入力画面

点検報告書などの様式は、Excelの制約や印刷時の見やすさを考慮して作成されることが多い。そのため、点検手順と点検結果入力欄のレイアウトが必ずしも一致せず、入力欄を探す手間の増加や、誤記入の発生につながることがあった。

InsBuddyは、Excelの制約に影響されことなく入力画面のカスタマイズを可能にした。例えば、入力必須項目だけを表示した入力画面や、ベテラン点検員の効率的な点検手順を反映した入力画面にすることによって、不慣れな点検員に正確かつ効率的な点検手順を明確に示すことが可能になる。

3.1.3 ペーパーレス化

従来の点検では、前回の成績書を点検員の人数分だけコピーし、各点検員はその紙上に今回の点検結果を朱書きしていることが多かった。そのため、点検対象が数千台にも及ぶ点検時では、数千枚×点検員数分の紙が必要になっていた。また、前回の成績書をコピーしている理由の一つに、

前回の成績書に記載された点検結果や所見欄を確認することで、今回の点検値の妥当性を判断することがあった。

そこで、InsBuddyのタブレット用アプリ“InsBuddy-AP”では、図2に示すオリジナルキーボード上に前回値確認用の表示を追加した。また、前回の成績書ファイルをダウンロードし、入力画面と並べて表示することによって、前回の成績書の印刷を不要にした。

オリジナルキーボード上に表示された前回値は前回値流用ボタンを押すことによって、今回の結果欄にそのまま入力できる。所見欄などが前回と変わらない場合は、データ入力作業そのものを割愛できるため、現場作業の更なる効率化が可能である。

さらに、点検対象に関連する完成図書や各種図面、写真、取扱説明書などをクラウドに登録しておけば、現場で確認できるため、現場に携行する資料(紙)の量を減らすことができる。

3.2 データ入力作業の負荷軽減

デジタル化には多くのメリットがある一方、逆に作業の効率が低下することもある。InsBuddyは次に述べる工夫によってデータ入力作業の負荷軽減を図っている。

3.2.1 オリジナルキーボードの採用

紙面と手書きによる従来の点検では、一定のリズムで確認・記入を行っていた。しかし、タブレット標準のタッチキーボードを使って点検結果を入力するためには、複数回の操作が必要であり、そのリズムが乱れるという課題があった。

そこでInsBuddyでは、①入力形式に応じたキーボード表示(数値、リスト等)、②入力確定と入力欄移動を1回の操作で実現の二つの入力支援機能を持ったオリジナルキーボードの採用によって、図3に示すように紙に手書きする行為と同等の操作回数で入力できるようにした。

3.2.2 入力画面自動表示

紙面と手書きによる従来の点検では、その日に使用する

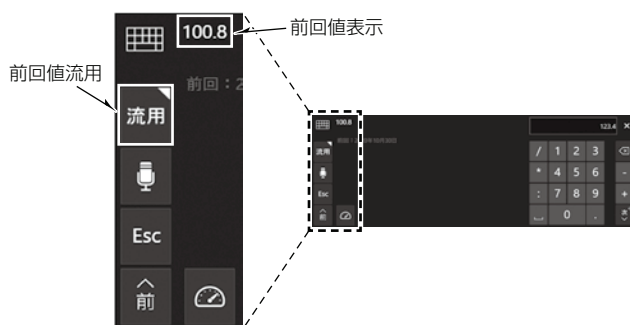


図2. オリジナルキーボード

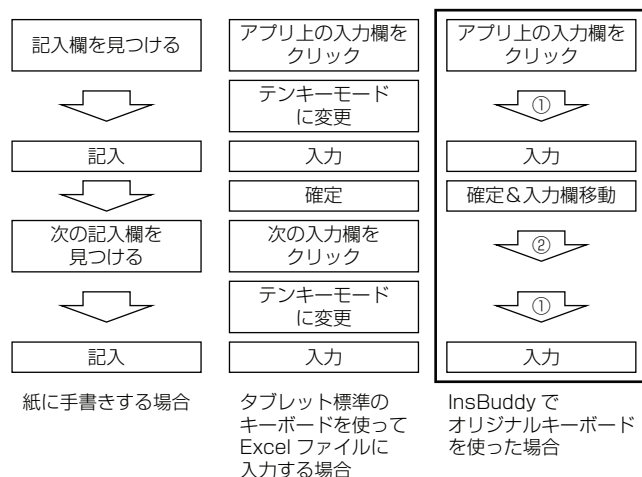


図3. 入力操作の比較

点検用紙は事前に準備しているため、現場で探す必要はなかった。しかし、タブレットに点検結果を入力する場合は、現場で多数の入力画面の中から、点検対象の入力画面を探すため、従来の点検では不要であった準備時間が生じる。

InsBuddyは、事前に作成した点検計画に従い、その日に使用する入力画面を自動的に表示することによって、点検開始時の準備時間を不要にした(図4)。

3.2.3 オフライン環境対応

常時ネットワークに接続できない地下の管廊などのオフライン環境に対応するため、InsBuddyは、ネットワーク接続時に点検に必要な情報をタブレットにダウンロードし、また、点検結果はタブレットにいったん保存し、ネットワーク接続時に、自動又は手動でアップロードする機能を持っている。これによって、点検データ入力中などにネットワークが切断されても、データ消失を防ぐことができ、安心して利用できる環境を実現している。

3.3 データ管理のデジタル化に伴うメリット

InsBuddyが提供する点検のデジタル化によって、ユーザーが得られるメリットを次に述べる。

3.3.1 Excelファイルの自動作成

報告が必要な点検では、一度事務所に戻って、手書きの

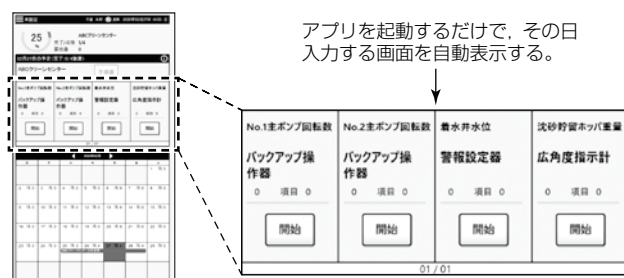


図4. 入力画面の自動表示例

点検結果をExcelファイルに入力しており、点検業務の効率低下を招いていた。さらに、入力時に入力ミスが発生する懸念もあった。

InsBuddyは、タブレットからアップロードしたデータを用いて、従来使っていた様式と同じExcelファイルを自動作成するため、点検員は、業務効率や品質の低下要因になっていた手書き点検結果の入力作業から解放される。

3.3.2 点検結果の即時共有

従来の点検では、管理者や設備保有者に点検結果を説明するには、その人の元に出向いて手書きした成績書を見せる必要があった。そのため、点検員の移動のムダや、管理者や設備保有者の待ち時間のムダが発生していた。

InsBuddyは、IDを持っている人であれば、場所を問わず点検結果を確認できるため、移動時間や待ち時間が削減できる。

3.3.3 設備台帳整備

設備台帳整備は点検保全業務効率化に有効である。一度整備した台帳については、最新状態に保つための継続的なデータメンテナンスが必要であるが、作業ボリュームが多くてメンテナンス不足になり、十分に活用できていないケースもある。

InsBuddyは、点検対象になる施設や機器、業務等の情報を記録する機能を持っているため、InsBuddyを用いて点検を行うだけで、簡易的な設備台帳を作成できる。さらに、InsBuddyで作成した設備台帳は、点検計画の作成や、点検結果の更新に合わせて自動的にメンテナンスされるため、設備台帳が継続的に活用できる。

3.3.4 長期保全計画作成支援

点検は、対象設備や機器ごとの長期保全計画に基づいて実施されることが多い。しかし、長期保全計画は、設備台帳と同様、継続的なメンテナンスが必要不可欠であるが、膨大な作業になるため、大きな負担になっていた。

InsBuddyは、点検結果や実施回数、実施周期などの登録情報を基に、長期保全計画のメンテナンスを自動で行うことができる。これによって、最新の長期保全計画に基づいた継続的な保守が可能になる。長期保全計画の画面例を図5に示す。

3.4 データ管理のデジタル化作業の負荷軽減

点検のデジタル化を進める上での最大の障壁は、システム導入時の対象設備や点検項目といった膨大なデータ登録作業である。点検業務よりもシステム導入時に発生する負荷の方が大きなケースもある。InsBuddyでは、次の取組

図5. 長期保全計画の画面例



図6. InsBuddyの様式データ管理イメージ

みによって、システム導入時の負荷軽減を図っている。

3.4.1 成績書のフォーマット定義と固有情報の分離

設備点検では、機器の種類が同じなら、成績書のフォーマットは同じになる場合が多い。

InsBuddyは、成績書を、①罫線(けいせん)や書式等の“テンプレート”，②テンプレートの各セルの役割を定義した“セル定義”，③点検対象ごとの機器名称などの“固有情報”に分けて管理する(図6)。

テンプレートやセル定義の登録は、機器の台数に関係なく1回で済むため、登録作業の負荷が軽減される。

3.4.2 固有情報の自動登録

点検対象ごとの“固有情報”は、過去の成績書から“固有情報”に当たる“文字列”を読み込んで自動登録する。機器ごとに入力する必要がなくなるため、登録作業の軽減と誤記入の削減が可能になる。

3.4.3 専門技術者不要

InsBuddyは、独自タグやプログラミングを用いずに各種設定、セル定義が可能のため、IT専門技術者は不要である。

4. む す び

施設の維持管理に向けた保守点検の重要性が高まる中、設備保有者、保守業者の業務をDXによって利便化するニーズは尽きることはない。今後も、ユーザーの意見を積極的に取り込んで、機能拡充・改善を進めて、デジタル化による高度化・効率化した点検を促進する点検サポートサービスを、様々な分野の顧客に利用してもらえよう努めていく。

受配電設備の自動点検システム

Automatic Inspection System for Power Distribution Facilities

要 旨

受配電設備は、電気事業法の規定に基づいて保安規定を作成し、保安規定に沿った点検方法や点検スケジュールで設備点検を実施している。

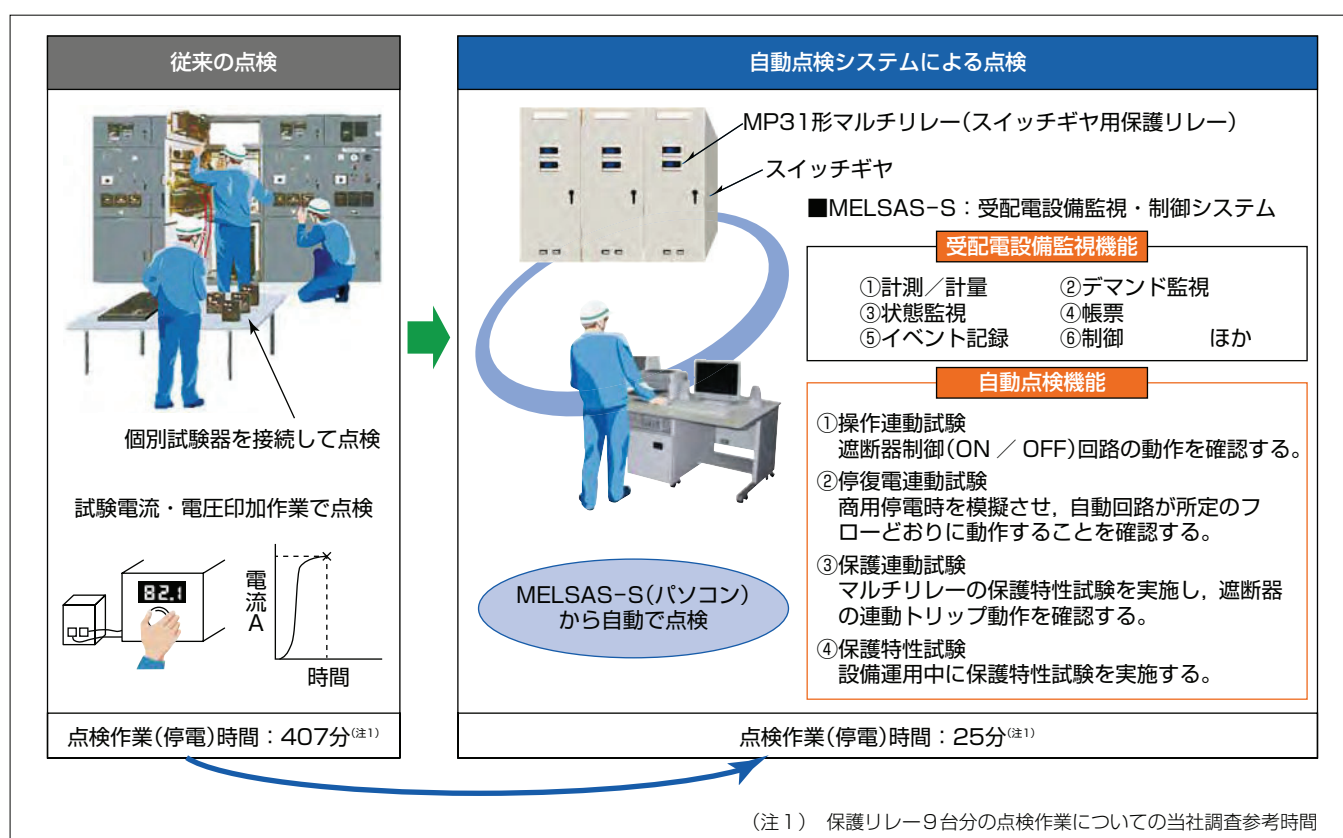
受配電設備は、例えば保護リレーの試験を行うために、保護リレーへ電流・電圧を模擬入力するためのテスト端子を設けるなど、設備点検のしやすさを考慮して設計・製作している。しかし、点検作業は受配電設備の知識や経験が必要とする上に、設計製品仕様と現物の動作が一致することを一点一点作業員が確認する必要があるため、点検作業には多くの作業員と作業時間を要している。

この課題に対して三菱電機では、受配電設備の監視・制御を行う三菱受配電監視・制御システム“MELSAS-S”の

データ処理ユニット(パソコン)とスイッチギヤに収納された“MP31形マルチリレー”を連携させることで次の試験を自動で実施できる自動点検システムを製品化している。

- (1) 操作連動試験
- (2) 停復電連動試験
- (3) 保護連動試験
- (4) 保護特性試験

このシステムによって、点検作業の省力化及び作業時間の短縮を可能にした。また、点検作業は受配電設備の停止が必要で、停電を伴う作業になる。このシステムを使用することで設備の停電時間の短縮も実現できる。



受配電設備の自動点検システム

当社が製品化した受配電設備の自動点検システムは、受配電監視・制御システム“MELSAS-S”から点検指令を出力する。自動点検システムでは、①操作連動試験、②停復電連動試験、③保護連動試験、④保護特性試験の四つの試験を自動で実施できる。このシステムを導入した場合、従来の点検作業に比較して作業(停電)時間を大幅に削減できる。

1. ま え が き

受配電設備は、電気事業法の規定に基づいて保安規定を作成し、保安規定に沿った点検方法や点検スケジュールで設備点検を実施している。受配電設備はそれら設備点検が実施しやすいように考慮して設計・製作している。例えば保護リレーの試験を行うために、保護リレーへ電流・電圧を模擬入力するためのテスト端子を設けている。しかし、このように考慮しても点検作業は受配電設備の知識や経験を要する上に、設計製品仕様と現物の動作が一致することを一点一点人の手で確認して行われている。そのため、点検作業には多くの作業員と作業時間を要している。そこで当社は受配電設備の点検作業を少ない人数で簡単かつ効率的に実施できる自動点検システムを製品化した。

本稿では、自動点検システムの構成と機能及び効果について述べる。

2. 受配電設備の自動点検システム

2.1 自動点検システムの構成

受配電設備の自動点検システムは次の製品を組み合わせることで実現している。図1にこのシステムの構成を示す。

(1) MP31形マルチリレー(以下“MP31”という。)

保護機能、制御機能、計測機能を1台で担うスイッチギヤ用のリレーである。自己診断機能や、事故時の故障電流、動作時間などの履歴表示も可能である。外観を図2に示す。

(2) 受配電監視・制御システム(MELSAS-S)

受配電設備での通常運転時の監視制御や、故障時と停電時の自動処理支援、さらには保全省力化などをトータルに行う。

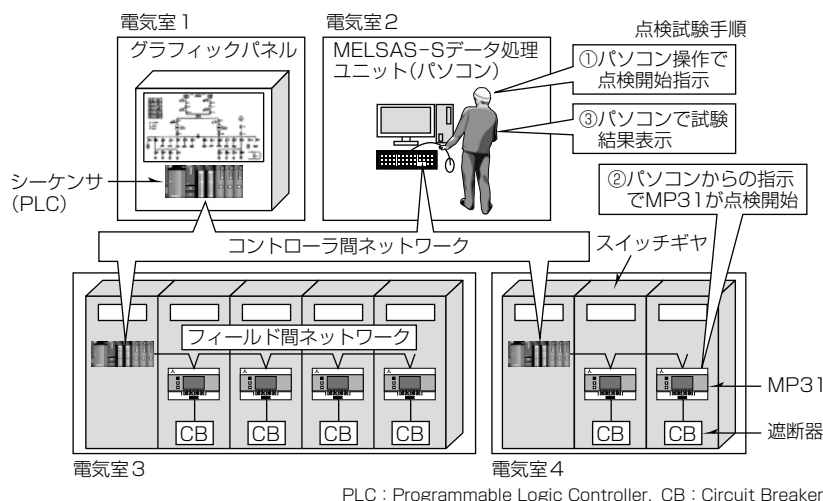


図1. 自動点検システムの構成



図2. MP31形マルチリレー

2.2 自動点検システムの機能

自動点検システムでは、MELSAS-Sを構成するデータ処理ユニット(以下“パソコン”という。)からMP31に点検用の命令を出力して結果を取得することによって、操作連動試験、停復電連動試験、保護連動試験、保護特性試験の四つの試験を実行できる。これら試験の結果判定及び試験結果は、印刷とファイル保存が可能である。

それぞれの特長と従来の方法との違いについて述べる。

2.2.1 操作連動試験

遮断器への制御操作機能を持つMP31からの操作指令によって遮断器を動作させ、遮断器動作時間を計測することで遮断器動作の良否を判定する。遮断器制御回路の健全性の確認を行うとともに計測された遮断器開閉動作時間から遮断器の劣化を発見するなどの保全支援を行う。

従来の試験方法ではパソコン又はスイッチギヤ盤面から遮断器の開閉操作を行い、実際に遮断器が開閉することを確認する。このシステムの場合と、従来の試験方法との試験時間に大きな差異はないが、このシステムでは遮断器の開閉動作時間を計測できるメリットがある。

2.2.2 停復電連動試験

停電時に自家用発電機を起動して系統を切り替えるような自動回路を組み込んでいる場合に、MP31から模擬信号を発生させることで自動回路を動作させ、登録されたフローどおりの順序・時間で動作することを確認することによって自動回路と動作させる機器の健全性の確認を行う。

従来の試験方法では、熟練の作業員が自動回路を確認する方法を事前検討した後、部分的に停電を取ることで自動回路が動作することを確認している。動作前の状態と動作後の状態変化が想定どおり動作することを確認するため、結果の判定に時間を要している。

2.2.3 保護連動試験

MP31の機能によって、試験用の保護特性試験信号を発生させ、保護回路を動作させる。トリップまでの動作時間を計測して保護特性の良否判定を行うとともに、遮断器の連動トリップ動作の確認を行う。これによって周辺補助リレーの動作を含めたシーケンス回路の健全性を確認できる。

従来の試験方法では、各保護要素をスイッチギヤ盤面の保護リレー操作によってテスト出力し、それによって遮断器がトリップすることを確認している。

2.2.4 保護特性試験

パソコンからの指令によって、MP31内部で試験用の保護特性試験信号を発生させてMP31の保護回路を動作させる。保護回路が動作する時間を計測して保護特性の良否判定を行う。

保護連動試験では保護回路の動作信号で遮断器を開放していたが、保護特性試験では遮断器を動作させずに保護特性の良否だけを確認する。MP31では計測回路(保護検出回路)を二重化しており、点検時に一方の回路で設備の保護状態を保ちながら他方の回路で保護特性試験を行う。これを交互に回路を切り替えて点検を行うことで、設備運転状態での保護特性試験を実現している。図3及び図4にMP31の通常運用時と保護特性試験時の内部回路状態を示す。

従来の試験方法では、専用の試験機材を用いて、スイッチギヤ盤面のテスト端子から各保護リレーに電圧・電流を入力して保護要素を動作させ、保護リレーの動作時間を測定している。保護リレーごとに、試験機材を接続して実施する必要があるため時間を要していたが、このシステムではパソコンからの操作だけで実施でき、試験時間を大幅に短縮できる。

2.3 自動点検システムによる試験手順

MELSAS-Sのパソコンの画面で試験項目を選択することで、2.1節で述べた試験を行うことができる。試験を開始するためには、あらかじめ設けた開始条件(遮断器の状態、MP31の遠方/直接の状態など)が成立している必要があり、開始条件が成立していない状態で試験開始の操作を行うと、開始条件不成立のメッセージが表示され、試験が開始できないようになっている。開始条件不成立の場合のパソコンの画面例を図5に示す。

試験(1)~(3)については、遮断器の開閉を伴うため設備の停電が必要であるが、(4)は設備運転状態で試験を行うことができる。

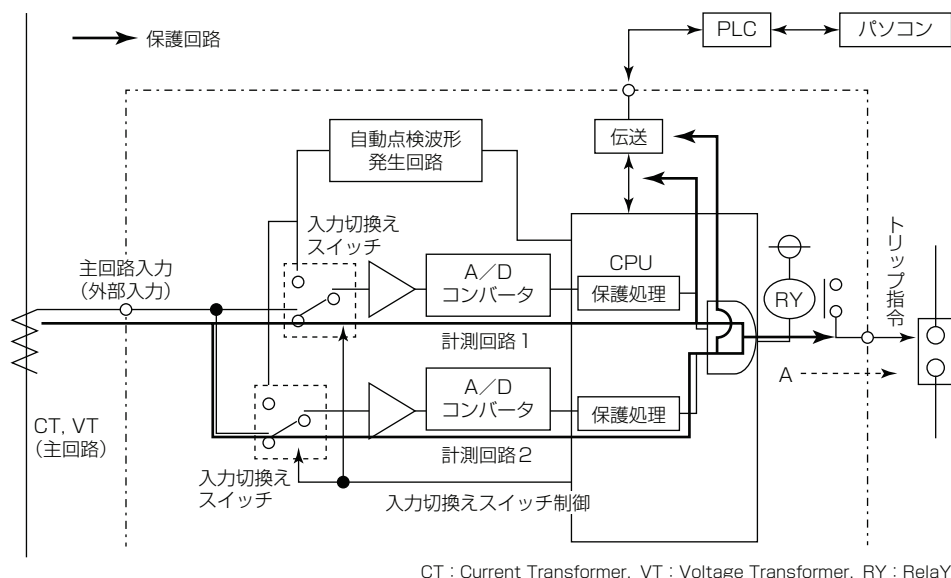


図3. MP31の通常運用時の内部回路状態

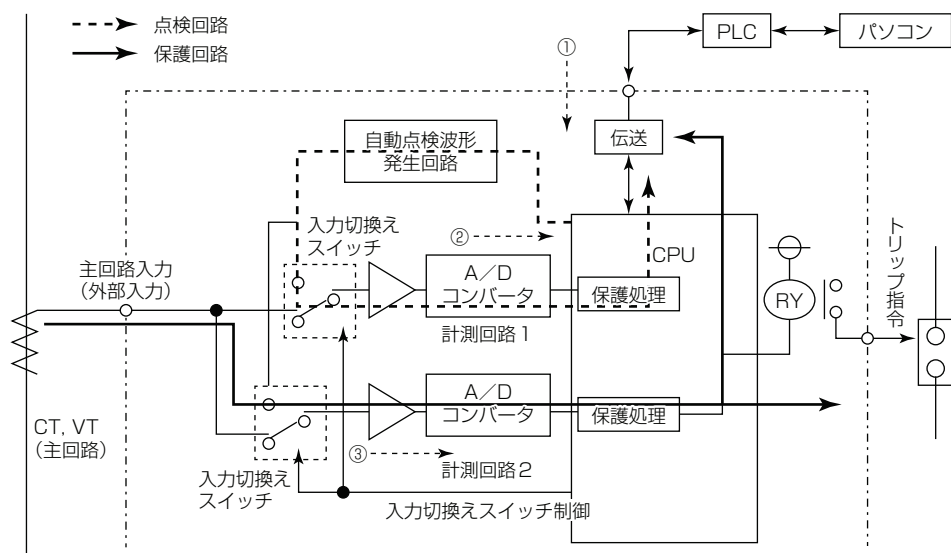


図4. MP31の保護特性試験時の内部回路状態

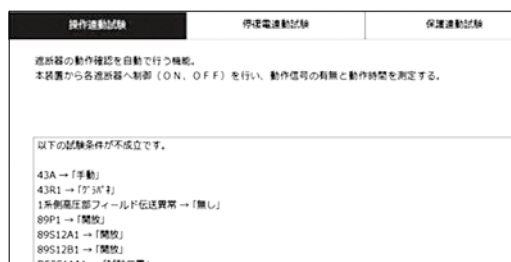


図5. 開始条件不成立時の画面

デバイスNo	保護要素名	設定名称	点検前	点検後
			前整定値	現整定値
S1	50	動作電流	210	250
		動作時間	INST	0.5
		CB投入ロック選択	LOCK	UNLOCK
	S1	動作電流	OFF	100
		特性カーブ	-	2

図7. 整定値比較結果画面

2.4 自動点検システムの補助機能

(1) スケジュール機能

保護特性試験については、設備運用中に試験が可能である。そのため、予定したスケジュールに沿って自動で試験できる機能を備えている(図6)。

(2) 整定値・設定値取得機能

パソコンはMP31の保護機能の動作条件(以下“整定値”という。)に従って試験指示コマンドを送信する。つまりMP31を点検する前に必ず最新の整定値をパソコンに設定しておく必要がある。そこで、MP31の整定値を変更した際、自動でパソコンの整定値を更新する機能をパソコンに追加した。これによって、いつでも最新の整定値で試験できるため、現場のMP31とパソコンの設定を確認しなくても点検作業に入ることができる。

また、CT一次定格やVT一次定格などMP31の計測・計量に関する設定値についてもパソコンがデータを取得し、該当MP31の計測・計量用のスケールを自動で修正する機能を追加した。これによって複雑な設定がなくなり、変更内容に合わせてパソコンの設定が正しく行われる。

(3) 整定値・状態比較機能

通常、年次点検時に保護リレーの整定値と遮断器状態を変更するため、点検前に保護リレーの整定値と遮断器状態をメモしておき、点検終了後に点検前の状態に戻ったことを確認する作業が必要であった。

そこで、点検作業の支援機能として整定値・状態比較機能をパソコンに搭載した。この機能によって点検前と点検後の整定値や状態信号の差分を比較、印刷できるため、作業時間短縮と人為的ミスの削減に貢献する。整定値比較結果画面を図7に示す。



図6. スケジュール設定画面

表1. 点検作業時間の比較

作業項目	従来点検 (自動点検なし)	今回提案 (自動点検あり)
試験準備 後片付け	60分	5分
保護リレー 整定値控え	18分	1分
保護特性試験	236分	(通常運用中に実施)
操作連動試験	5分	12分
保護連動試験	50分	
停復電連動試験	20分	
保護リレー 整定値確認	18分	1分
合計(停電時間)	407分	25分

3. 自動点検システムによる効果

従来の点検では試験機を用意して1台ずつ点検する。自動点検システムの場合はあらかじめ設備運用中に保護特性試験を実施しておき、定期点検時の設備停電中に、保護連動試験などほかの点検を実施する。これらの作業時間を比較した結果を表1に示す。ここでは9台のMP31の点検作業を想定している。

結果として407分程度必要としていた作業時間が25分程度で完了できるようになり、保護リレーに要する試験時間を382分(約6時間)程度削減できる。また、人に頼る作業や確認を排除しているため人為的ミスも少なくなる。

4. む す び

MELSAS-SとMP31を用いて、従来各遮断器や保護リレーを手手で操作確認していた点検項目の一部を自動で実施できる自動点検システムを製品化している。このシステムを使用することで、点検作業時間や停電時間の削減を図ることができ、点検作業員不足が想定される将来でも有効な効果が見込まれる。これからも受配電監視・制御システムを利用した運用・点検の効率化・省力化を目指す。

参考文献

- 平田陽介：停電時間を大幅に削減する保護リレー自動点検システム、三菱電機技報、91, No.11, 619～623 (2017)
- 電気学会・受配電設備の高度化と環境対応技術調査専門委員会：受配電設備、オーム社 (2014)

無線給電を用いたバッテリーレス 下水道管渠内モニタリングシステム

榊 裕翔*
Hiroto Sakaki
坂本寛明*
Hiroaki Sakamoto
長竹栄二*
Eiji Nagatake

矢田 進†
Susumu Yada
川田卓嗣‡
Takushi Kawada

Battery-less Monitoring System of Sewage Pipe Using Wireless Power Transfer

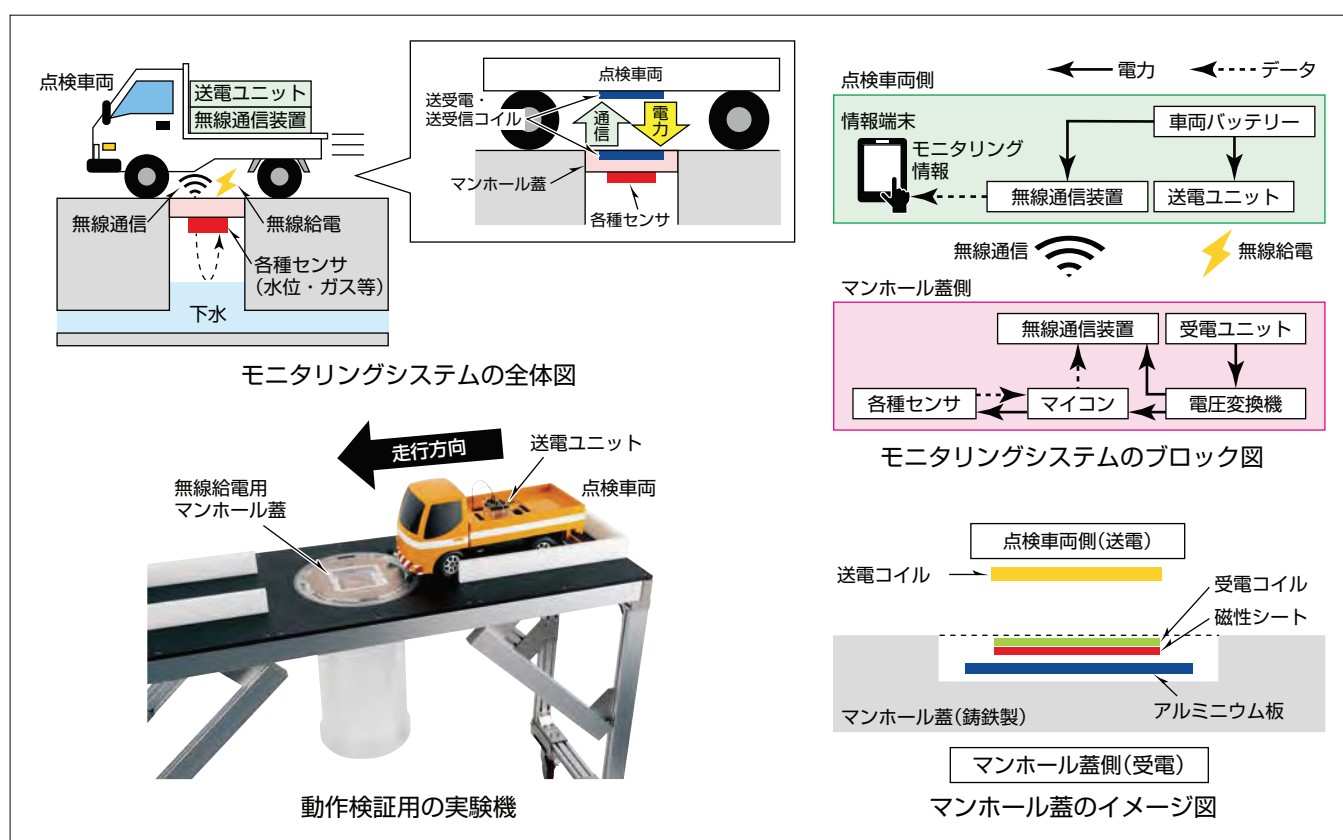
要 旨

現在、使用されている下水道管渠(かんきょ)(以下“管渠”という。)内には、油分を含有した排水が流れており、油分が管渠内で冷却されて管渠が閉塞する。これによって管渠内での異臭やコンクリート壁の腐食が発生するので、閉塞箇所を把握・除去する必要がある。閉塞箇所を把握するためには、重量物であるマンホール蓋を複数回開け閉めしなければならない、これらの作業が大きな負荷になっている。

三菱電機では、マンホール蓋を開け閉めせずに管渠内の状態をモニタリングするシステムを開発した。管渠内の状態をセンサでモニタリングして、その結果を無線通信で点検車両へ送信する。さらに、センサの駆動電力を外部から無線給電で供給することでマンホール蓋側のバッテリー

レス化を実現したこともこのシステムの特長である。マンホール蓋に無線給電のコイルを設置する場合、強磁性体材料であるマンホール蓋の影響で効率良く無線給電することが難しい。そこで、受電コイルとマンホール蓋の間に、磁性シートと非磁性体であるアルミニウム板を設置した。これによって伝送効率が27.5%から74.2%へと向上した。伝送効率の向上によってセンサを駆動させるために必要な電力を短時間で供給できるので、点検車両を走行させながらのモニタリングが期待できる。

システム全体の動作検証用の実験機を作製し、無線給電とセンサ情報のための無線通信の動作を実験で確認した。



マンホール蓋の開け閉めが不要な下水道管渠内モニタリングシステム

マンホール蓋側に取り付けたセンサの駆動電力を点検車両側からの無線給電によって供給することで、センサのバッテリーを不要とする下水道管渠内モニタリングシステムを開発した。これによって、マンホール蓋の開け閉めが不要になり、下水道管渠の維持や管理作業の効率化が期待できる。受電コイルとマンホール蓋の間に磁性シートとアルミニウム板を設けることで強磁性体であるマンホール蓋の影響を低減し、高効率な無線給電を実現した。また、システムの動作検証用の実験機を作成し、システムの有効性を確認した。

1. ま え が き

少子高齢化に起因した労働人口の減少は、日本での産業課題であり公共事業も例外ではない。国土交通省水管理・国土保全局下水道部によると、下水道事業に携わっていた職員数は1997年の時点で約47,000名であったが、2018年には約27,400名まで減少している⁽¹⁾。下水道事業は社会インフラであり、人手不足の状況下でも安定的に事業を継続する必要があるため、下水道関連業務の効率化・省人化は今後強く求められる。

現在、使用されている管渠内には、家庭や事業所から油分を含有した生活・産業排水が下水道へと排出される。管渠内で油分が冷却され、管渠の壁に固体の油分が癒着するので管渠が閉塞してしまう。これによって、管渠内の異臭発生やコンクリート壁が腐食することが知られている⁽²⁾。

管渠は地中に敷設されているため、管渠と地上を結ぶ縦孔(マンホール)を介して、目視を使って管渠内の水位などをセンシングすることで閉塞箇所を把握する。しかし、点検作業をするために質量が数十kgのマンホール蓋を開け閉めしなければならず、複数名の職員が点検作業には従事する⁽³⁾。このように、管渠の維持管理では、管渠の閉塞や異臭の発生などの課題に対処するための作業が大きな負荷になっている。先に述べたような労働人口の減少に対応するためにこれらの作業の効率化・省人化が要求されている。

本稿では、マンホール蓋を開けることなく管渠内の状態をモニタリングするシステムを提案する。具体的には、管渠内の状態をセンサでモニタリングし、その結果を無線通信によって点検車両へ送信するものである。さらに、センサの駆動電力を外部から無線給電することでマンホール蓋側のバッテリーレス化を実現したこともこのシステムの特長である。2章ではこのシステムについて、3章ではこのシステムの実験結果について述べる。

2. 下水道管渠内モニタリングシステム

2.1 システムの全体について

下水道管渠内モニタリングシステムは、管渠内の状態をモニタリングするために各種センサ(水位を測定する場合は水位センサ、硫化水素の濃度を測定する場合はガスセン

表 1. 駆動電力の確保手段と各手段の長所・短所

	バッテリー	太陽電池	無線給電(今回方式)
長所	・現地での電力供給が不要 ・荒天時でもデータ取得可能	・三つの手段の中で最も安価 ・現地での電力供給が不要	・バッテリーが不要なため省コスト ・管渠閉塞時以外にマンホール蓋の開栓が不要
短所	・バッテリー交換のためマンホール蓋の定期的な開栓が必要 ・バッテリーが高価	・太陽光が当たりにくいビル群周辺への設置は不向き ・荒天時や夜間の動作が困難	・現地での電力供給が必要 ・荒天時のデータ取得は困難

サなど)をマンホール蓋の裏に取り付ける。

表 1 に駆動電力の確保手段と各手段の長所と短所を示す。設置箇所の制約を避ける目的で有線での電力供給を必要としない手法が求められていることから、バッテリー、太陽電池、無線給電の三つを候補とした。どの手段でも長所及び短所がある。管渠閉塞時以外にマンホール蓋を開け閉めする必要がないこと、設置箇所の制約が少ないこと、そして、コストの観点からこのシステムでは無線給電を使ってセンサの駆動電力を確保することにした。

図 1 に下水道管渠内モニタリングシステムの全体図を示し、図 2 にブロック図を示す。送電ユニット内で、点検車両のバッテリー(直流電力)から無線給電用の電力を生成する。その後、送電ユニット内のコイルと受電ユニット内の

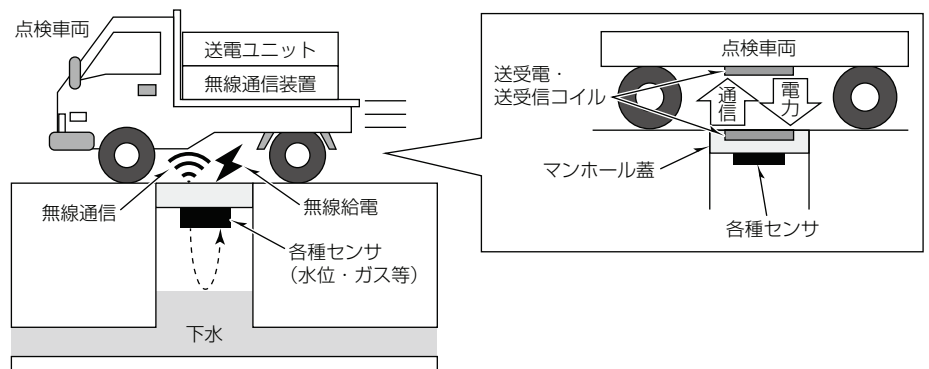


図 1. 下水道管渠内モニタリングシステムの全体図

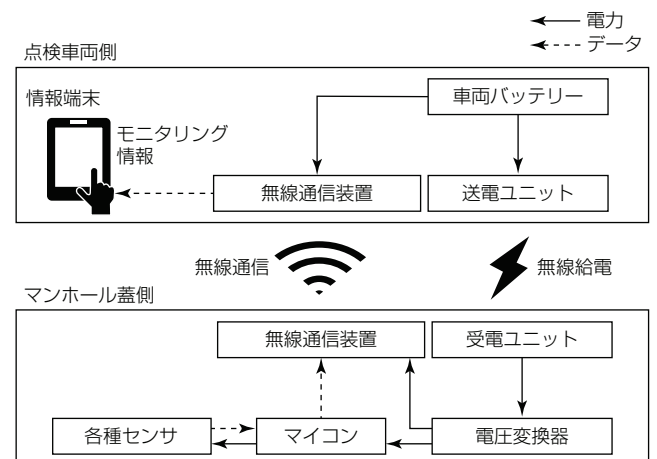


図 2. 下水道管渠内モニタリングシステムのブロック図

コイルを介して、点検車両からマンホール蓋側へと電力を送電する。受電ユニット内ではコイルで受電した交流電力を整流回路に入力することでマイコンや無線通信装置などを動かすために必要な直流電力を得る。

整流回路が出力する直流電圧は、マイコン及び無線通信装置が駆動するために必要な電圧と一致しないので、電圧変換器(DC-DCコンバータ)によって、個々の部品に適した電圧へと電圧変換を行う。電圧変換器が出力した直流電圧によって、マンホール蓋内のマイコンと無線通信装置がそれぞれ起動する。マイコンは各種センサに対する電力供給だけでなく、センサに管渠内の状態をセンシングするように命令を出す。センサはセンシングした結果をマイコンへと出力し、マイコンはその結果をマンホール蓋側の無線通信装置へと出力する。マンホール蓋側の無線通信装置から点検車両側の無線通信装置へ無線通信でセンサ情報が送信される。その後は、点検車両側の情報端末にセンサ情報が表示される。

2.2 無線給電用マンホール蓋

下水道管渠内モニタリングシステムでは磁界共振型無線給電を採用しており、点検車両側の送電コイルで発生する磁束がマンホール蓋側の受電コイルを貫通し、貫通した磁束を基に電力を得る。得られる電力は、受電コイルを貫通する磁束密度に比例する。しかし、送電・受電コイル付近に鋳鉄のような高透磁率の金属が存在すると、レンツの法則に従って受電コイルを貫通する磁束を打ち消すような渦電流が金属表面上で発生する。受電コイルを貫通する磁束密度が小さくなるので、現在、街中に敷設されているマンホール蓋に受電コイルを付けても十分な電力を得ることができない。

そこで、金属製マンホール蓋の構造を工夫することで、マイコンやセンサを駆動させるために必要な電力を得られるようにした。図3に無線給電が可能なマンホール蓋の構造の断面図を示す。マンホール蓋に切り込みを入れてマンホール蓋内に形成された空間に受電用のコイルを配置し、受電側のコイルとマンホール蓋の間に磁性シートとアルミニウム板を設けている。この構造によってアルミニウム板

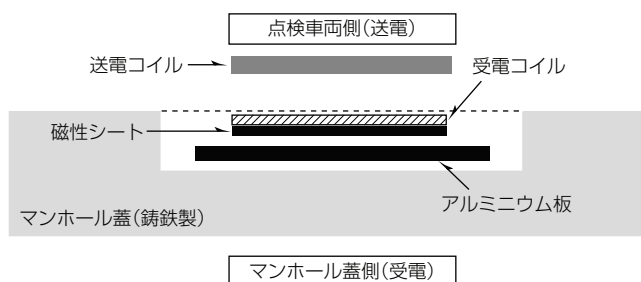


図3. 無線給電可能なマンホール蓋のイメージ図

表2. 送電・受電コイル間の伝送効率の計算結果

	磁性シート／アルミニウム板 なし	磁性シート／アルミニウム板 あり
伝送効率	27.5%	74.2%

を貫通してマンホール蓋へ届く磁束が弱くなり、マンホール蓋の表面で発生する渦電流が小さくなる。結果として、送電コイルから受電コイルへと伝わる磁界を打ち消す逆方向の磁界は弱くなるので、高効率な無線給電を実現できる。

表2に送電・受電コイル間の伝送効率のシミュレーション結果を示す。磁性シートとアルミニウム板を設けることで、送電・受電コイル間の効率が27.5%から74.2%へと46.7pt向上した。この結果から、受電コイル間とマンホール蓋の間に磁性シートとアルミニウム板を挿入することの効果を確認された。

3. 実験結果

本稿で提案した下水道管渠内モニタリングシステムのうち、下水の水位を測定する動作検証用の実験機を作製した。このシステムの有効性を確認するための実験機を図4に示す。サイズは約1/5のスケールである。無線給電と無

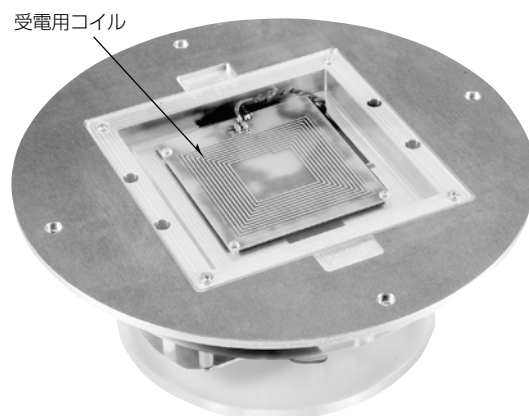
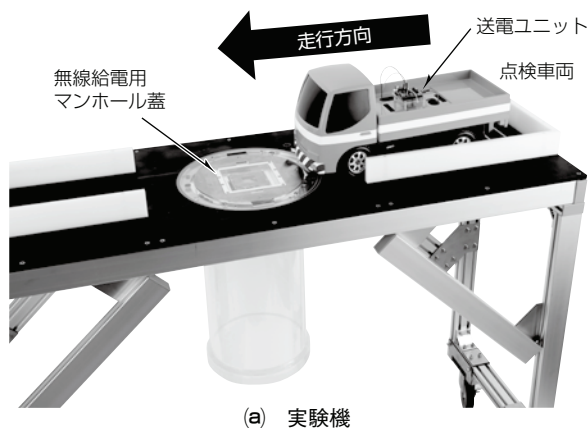


図4. このシステムの有効性を確認するための実験機

線通信の動作確認を目的とするため、実験機の点検車両（トラックの模型）では、図2で示すようにバッテリーではなく、直流電圧源から送電ユニットに直流電力を供給した。点検車両からマンホール蓋（1/5スケールモデル）へ無線給電する。整流した直流電力を用いてマンホール蓋に設置した無線通信装置によって超音波センサ（水位センサ）の測定結果を送信し、点検車両の無線通信装置で受信する。

超音波センサは、センサから出力される超音波が対象物に当たって、反射した超音波がセンサに戻ってくるまでの時間を計測することでセンサと対象物の距離を測定するものである。センサが超音波を出力して超音波を受信するまでの時間をT、音速をc(m/s)とすると、センサと対象物の距離dは次式で計算される。

$$d = c \cdot \frac{T}{2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

なお、音速cは次式で計算される。

$$c = 331.45 + 0.61t \quad \dots\dots\dots (2)$$

式(2)内のtはセンサ周囲の温度である。マイコンは、超音波センサが超音波を送信して受信するまでの時間Tと式(1)を使って水位を計算する。なお、この実験機には温度センサは取り付けられていないため、温度計で測定した実験室の室温(26.5℃)データをあらかじめマイコンに書き込んだ。また、今回は水位を40cmに設定して実験を行った。

図5に実験結果の一部を示す。図5は点検車両側の無線通信装置が受信したセンサ情報を示している。図5の左側は受信時刻を示しており、右側は点検車両の無線通信装置で受信したデータを示している。図5の結果を参照して設定した水位とセンサ情報を比較すると、今回の実験機での誤差は約1cmであった。超音波センサが超音波を出力し

て超音波を受信するまでの時間Tの測定精度などによって誤差が生じたと考えている。ただし、このシステムの目的に照らし合わせると、1cm程の誤差はシステムを運用していく上で大きな問題とはならない。これらの結果から、無線給電を使って供給した電力によって、マンホール蓋側に搭載しているマイコンやセンサや無線通信装置が正常に動作していると判断し、このシステムの有効性を確認した。

4. む す び

マンホール蓋側に取り付けたセンサの駆動電力を点検車両側から無線給電することで、センサのバッテリーを不要にする下水道管渠内モニタリングシステムを開発した。これによって、マンホール蓋を開け閉めせずに管渠内の状態をモニタリングすることが可能になるので、下水道管渠の維持や管理作業の効率化が期待できる。

マンホール蓋に無線給電のコイルを設置する場合には、強磁性体材料であるマンホール蓋の影響で効率良く無線給電することは難しいことが課題であった。そこで、受電コイルとマンホール蓋の間に磁性シートと磁性体ではない材料であるアルミニウム板を設置し、伝送効率を高める構造を開発した。開発した構造によって伝送効率が27.5%から74.2%へと向上することをシミュレーションで確認した。伝送効率の向上によってセンサを駆動させるために必要な電力を短時間で供給できるので、点検車両を走行させながらのモニタリングが期待できる。さらに、このシステムの実験機を作成し、水位状態の把握を例として、このシステムの有効性を確認した。実験によって、無線給電とセンサ情報のための無線通信の動作を確認した。

参 考 文 献

- (1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：「人口減少下における維持管理時代の下水道経営のありかた検討会」報告書—持続可能な下水道事業経営の実現に向けて—（2020）
<https://www1.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001372485.pdf>
- (2) 竹内準一、ほか：硫酸還元菌の計数法および硫酸還元活性の測定法、水質汚濁研究、11、No.1、33～49（1988）
- (3) 川崎市上下水道局：マンホールの点検・補修・取替（2017）
<https://www.city.kawasaki.jp/800/page/0000083572.html>

10:54:54.444	-> 水位は38.79cmです
10:54:54.945	-> 水位は38.86cmです
10:54:55.446	-> 水位は38.83cmです

図5. 実験結果の一部

三菱電機水面状況監視サービス “みなモニター”

吉田 剛*
Takeshi Yoshida
矢田 進*
Susumu Yada
西村友香*
Tomoka Nishimura

Mitsubishi Electric Water Surface Situation Monitoring Service "MINAMONITOR"

要 旨

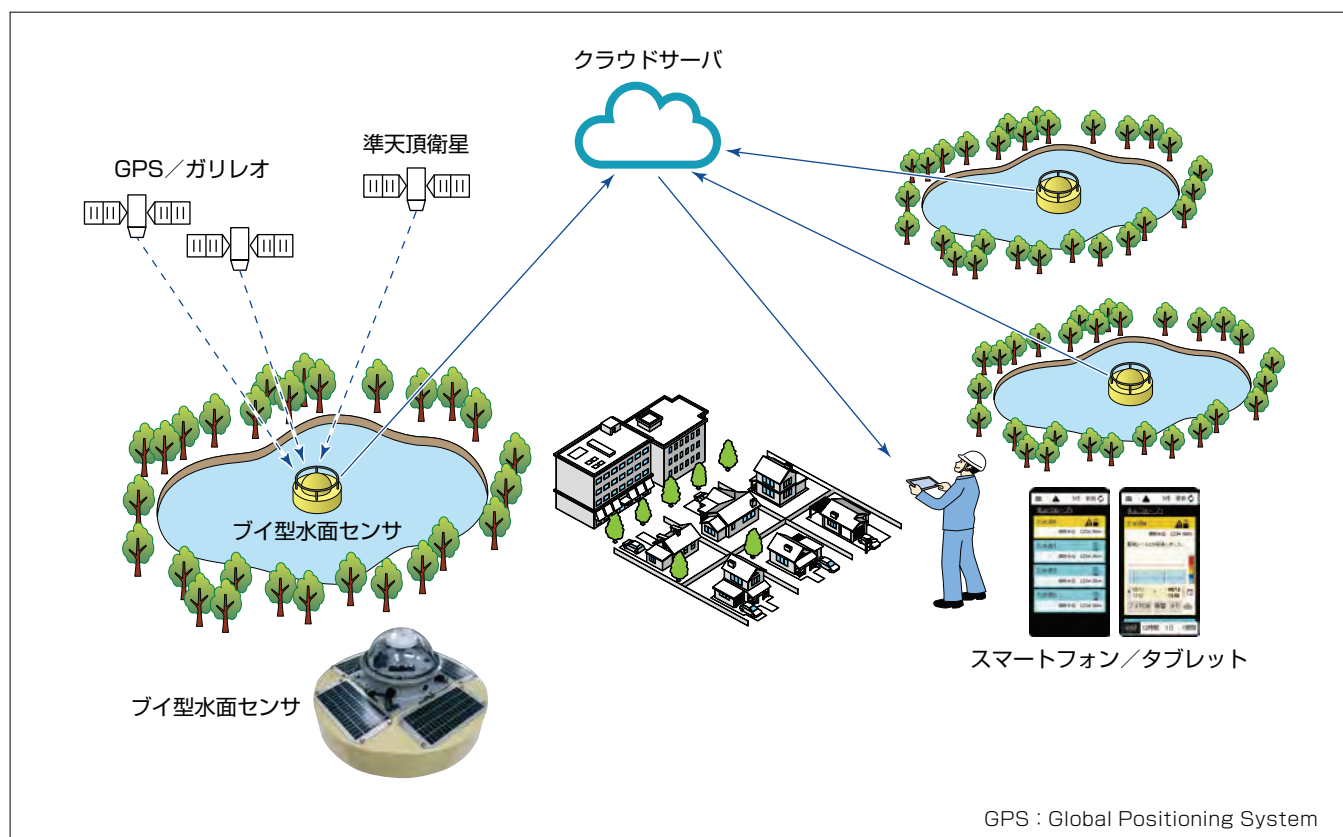
近年、豪雨、地震等に起因するため池の決壊による甚大な被害が多発しており、対策が鋭意進められている。ため池の堤体補強などハード面での対策に加えて、リアルタイムに状況を把握し、避難情報の早期提供や現地での点検不要化などによって人的被害防止を図るソフトウェア面での対策の重要性が認識されてきた。この対策では、災害時に起こり得る決壊や停電に影響を受けることなく安定動作するシステムが求められる。

三菱電機は、衛星の測位信号を受信するブイ型センサをため池に浮かべて、水位などの状況を監視する水面状況監視サービス“みなモニター”を開発した。みなモニターでは、ブイ型センサの耐震性や耐環境性を高めて、冗長化したク

ラウドシステムを採用し、豪雨、地震等によるため池の決壊や停電に対しても高い可用性を実現している。また、取得したデータをクラウドサーバで収集・蓄積することによって、危険水位到達時のメール通報、スマートフォンやタブレットによる水面状況確認、写真やメモの登録等の機能を持つ。

このように、みなモニターは、IoT(Internet of Things)の活用によって、災害時の決壊や停電の影響を受けることなく、ため池の遠隔監視を可能にするサービスであり、災害発生時の人的被害防止と、管理業務のDX(デジタルトランスフォーメーション)を実現した。

今後も、カメラによる周辺状況の監視機能など、ため池の防災や管理に役立つサービスの拡充を目指す。



水面状況監視サービス“みなモニター”の全体構成

水面状況監視サービス“みなモニター”は、準天頂衛星などの衛星から受信した測位信号や水温等のデータを取得するブイ型水面センサをため池に浮かべて、水位などの状況を監視するサービスである。取得したデータはクラウドサーバで収集・蓄積し、スマートフォンやタブレットから確認可能なため、現場での作業が不要になる。

1. ま え が き

ため池は全国に159,543か所、そのうち防災重点ため池は63,522か所(農林水産省調べ)存在する⁽¹⁾。近年、豪雨、地震等の自然災害に起因するため池の決壊によって、甚大な被害が多く発生しており、ため池の堤体補強やハザードマップ作成等、防災や減災に向けた対策が鋭意進められている。

防災重点ため池を中心に、堤体の補強などハード面の対策に加えて、豪雨、地震等の災害時の早期避難や人的被害防止につなげるため、水位計などの計測設備によってため池の状況をリアルタイムに把握し、情報を提供するソフトウェア面の対策の重要性が認識されてきた。この対策では、豪雨、地震等による決壊や停電の影響を受けず安定動作する信頼性の高いシステムが求められる。

そこで当社は、センシング技術やクラウド技術を活用し、災害に強く設置が容易な水面状況監視サービス“みなモニター”を開発した。

本稿では、みなモニターの概要、特長、及び主な提供機能について述べる。

2. みなモニターの概要

みなモニターは、準天頂衛星などの衛星から受信した測位信号や、センサを用いて水温などを計測するブイ型水面センサをため池に浮かべて、水面状況を遠隔で監視するサービスである。

2.1 全体構成

図1にみなモニターの全体構成を示す。ブイ型水面センサは、衛星からの測位信号と、自身で計測した水温などのデータをクラウドサーバに送信する。クラウドサーバは、ブイ型水面センサからのデータと、準天頂衛星からの測位補強信号によって演算する水位情報と、気象関係機関からの天候情報を収集・蓄積する。これらのクラウドサーバに蓄積された情報は、スマートフォンやタブレットを通じてユーザーに提供される。

2.2 水位計測の原理

図2にみなモニターの水位計測の原理を示す。クラウドサーバは、ブイ型水面センサから取得した衛星の測位信号と、準天頂衛星システム“みちびき”のセンチメートル級測位補強サービス(Centimeter Level Augmentation Service : CLAS)が配信する測位補強信号から、当社独自アルゴリズムを用いて標高位置を算出する。測位補強信号を利用し

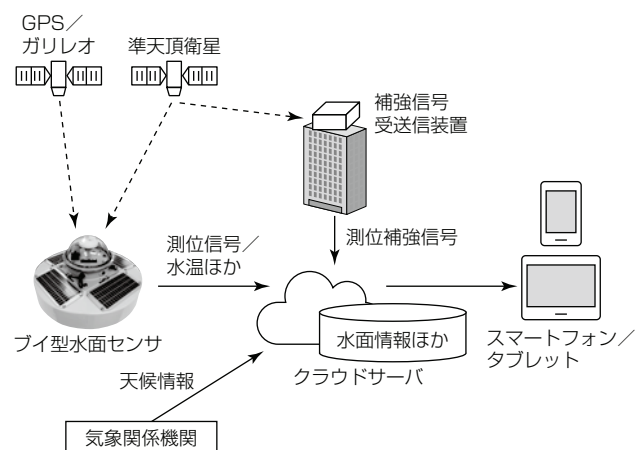


図1. 全体構成

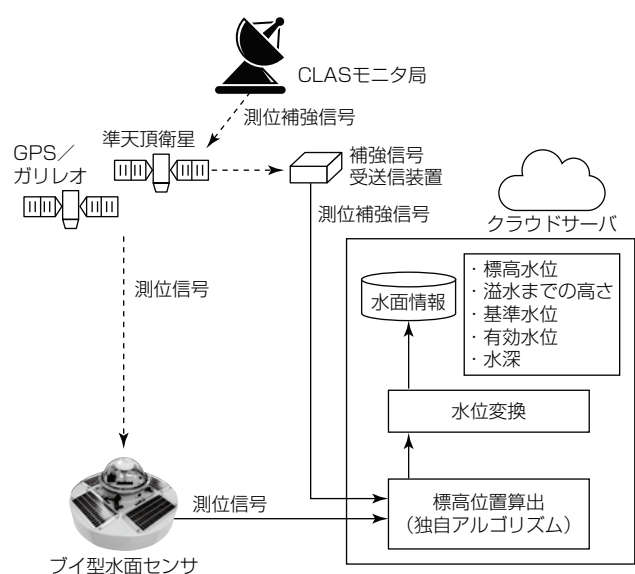


図2. 水位計測の原理

ない従来のGPSによる水位計測では、高さ方向の誤差が10m以上であったが、CLASと当社独自アルゴリズムを用いることによって標高水位の計測精度3cm(RMS)を実現した。なお、水位情報は標高水位のほか、溢水(いっすい)までの高さ(堤防天頂標高との差分)、基準水位(標高基準点との差異)、有効水位(取水口標高との差分)、水深(最深部標高などの差分)等、分かりやすい表現に変換して提供する。

3. みなモニターの特長

3.1 耐災害性

ブイ型水面センサは水面に浮いているため、地震による破損や断線のおそれもなく耐震性に優れている。さらに、太陽電池パネルと蓄電池で稼働するため、停電時でも動作可能である。また、過去の災害時にも動作実績のある4G/LTE(Long Term Evolution)を用いた通信回線と、東日

本・西日本の複数拠点で冗長化されたクラウドサーバの利用によって、災害時の可用性を高めている。

3.2 耐環境性

ブイ型水面センサは水面に浮いているため、浮遊物の衝突による影響を受けにくく、また、池底の泥の付着の影響がなく、定期的な泥の除去は不要である。さらに、水面から突出している部分が少なく、周囲は電気が流れやすい水に囲まれているため、落雷の影響が少ない。

3.3 可搬性

ブイ型水面センサは、本体に太陽電池パネル、蓄電池、通信機を内蔵し、ため池の水面に浮かべてロープで固定するため、電源工事や通信工事、基礎工事が不要である。これによって、設置場所の変更が容易なので、水位計未設置のため池への一時設置などが可能である。

4. ブイ型水面センサ

4.1 仕様

水面に浮かべるブイ型水面センサの外観を図3に、仕様を表1に示す。

ブイ型水面センサは、太陽電池パネルと蓄電池で構成さ



図3. ブイ型水面センサ

表1. ブイ型水面センサの仕様

項目	仕様
測定データ	測位信号、加速度、地磁気、水温、筐体(きょうたい)内温度、太陽光パネル発電量、蓄電池電圧
観測周期	2分、5分、10分、30分、1時間、12時間、24時間
通信路	4G/LTE
通信キャリア	SORACOM ^(注1) (docomo ^(注2) / au ^(注3))
電源	太陽電池パネル、蓄電池
無日照稼働日数	9日間無日照の後、150回 ^(注4) の観測が可能
外形寸法	Φ600×H456(mm)
質量	約18kg
動作温度	-15～+50℃

(注1) SORACOMは、(株)ソラコムに登録商標である。
(注2) docomoは、日本電信電話(株)に登録商標である。
(注3) auは、KDDI(株)に登録商標である。
(注4) 観測頻度2分で5時間

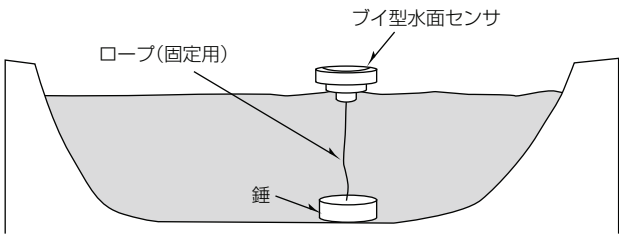


図4. ブイ型水面センサの設置例

れる電源と、加速度や地磁気、水温等を計測するセンサ、測位信号等の各種測定データをクラウドサーバに送信する通信機を内蔵している。

4.2 設置方法

ブイ型水面センサの設置例を図4に示す。ブイ型水面センサは錘(おもり)や岸辺のアンカーとロープを用いて固定するため、基礎工事やケーブル敷設工事が不要である。

5. みなモニターの主な提供機能

みなモニターは、災害時の早期避難の支援や現場での人手による目視確認、通常時の現場点検を代替する様々な機能を提供する。主な提供機能を次に述べる。

5.1 情報提供

みなモニターは水位だけでなく、水面の荒れや水位の急上昇、急下降等の水面状況やため池を管理するための関連情報をユーザーのスマートフォンやタブレットを通じて提供する。

(1) 水面状況情報の提供

ブイ型水面センサに搭載した様々なセンサは、従来の水位計では検知できない水面の状況を提供する。主な提供内容を図5に示す。

スマートフォンの水面状況の画面例を図6に示す。ため池の水位は状態によって色が変わるため、一目で危険な水位に達しているため池を識別することが可能である。その他、ため池ごとの警報レベル設定や水位のトレンドグラフ表示も可能である。

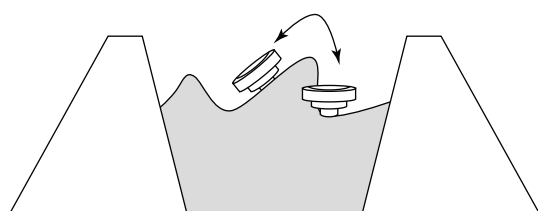
(2) 関連情報の提供

ため池を管理する際の関連情報の提供や、メモなどの情報が登録可能である。主な提供内容を表2に示す。

スマートフォンの関連情報の画面例を図7に示す。ブイ型水面センサの電池残量など稼働状態の確認や、メモ、写真等のため池状態の記録・共有が可能である。

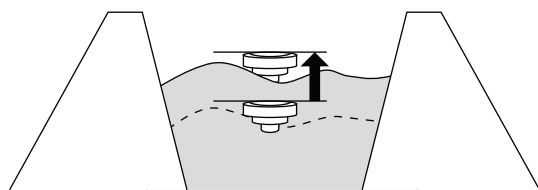
5.2 各種異常通知

設定した条件に達した場合、画面上での通知に加えて、



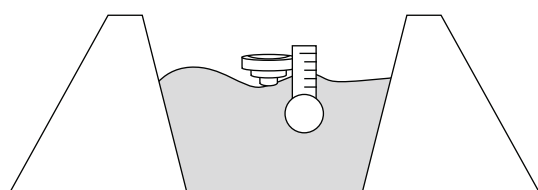
加速度／地磁気センサデータによって水面の荒れを判定

(a) 水面の荒れ



位置データ(標高)によって水位の急上昇／急下降を判定

(b) 水位の急上昇／急下降



水温センサによる池の表面の水温

(c) 水温



位置データ(緯度経度)によってブイ型水面センサの異常移動を判定

(d) 異常事態(盗難／流出)

図5. 水面状況の提供内容



(a) 水面状況の一覧画面



(b) 水面状況の詳細画面

図6. 水面状況の画面例

登録されているメールアドレスに通知する。通知の内容は、水位しきい値超過／復帰、水位急上昇／急降下、水面の荒れ、電池残量低下、異常事態(ブイ型水面センサ異常、システム異常)である。

表2. ため池管理上の関連情報

項目	提供内容
天候情報	ブイ型水面センサ設置場所近辺の天候情報の確認 (天候情報：天気、降雨、風向、風速、雨雲レーダ)
ブイ型水面センサ状態	太陽電池パネル発電量、電池残量、筐体温度などのブイ型水面センサの稼働状態の確認
メモ、写真	メモ、写真の登録による、ため池状況の記録・共有。 (災害後のため池の状況記録、平常時の手入れや周辺情報の記録に活用可能)



(a) ブイ状態画面



(b) メモ画面

図7. 関連情報の画面例

5.3 観測周期変更

ブイ型水面センサの観測周期は、設定画面から変更可能である。さらに、晴天時は24時間、降雨時は2分とするなど、天候(降雨有無)や水位しきい値の超過／復帰、水位の急上昇／急降等の条件に応じた自動設定変更によって、蓄電池の消耗を抑えて、長時間稼働を可能にしている。観測周期、無日照稼働日数の仕様は表1に示すとおりである。

6. む す び

ため池監視の課題を解決する、ブイ型水面センサを用いた水面状況監視サービス“みなモニター”について述べた。みなモニターは、豪雨、地震等の災害時での人手による現場確認の人的被害リスクや、ため池決壊による被害を最小限に抑えることに活用できる。また、このサービスは災害時に加えて、通常のため池管理でも活用できるサービスになっている。今後も、カメラによる周辺状況の監視機能など、ため池の防災や管理に役立つサービスの拡充を目指す。

参 考 文 献

- (1) 農林水産省：ため池管理保全法に基づく都道府県別の対応状況について (2021)
https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/tameike_taiou.html

画像式水位計測システム

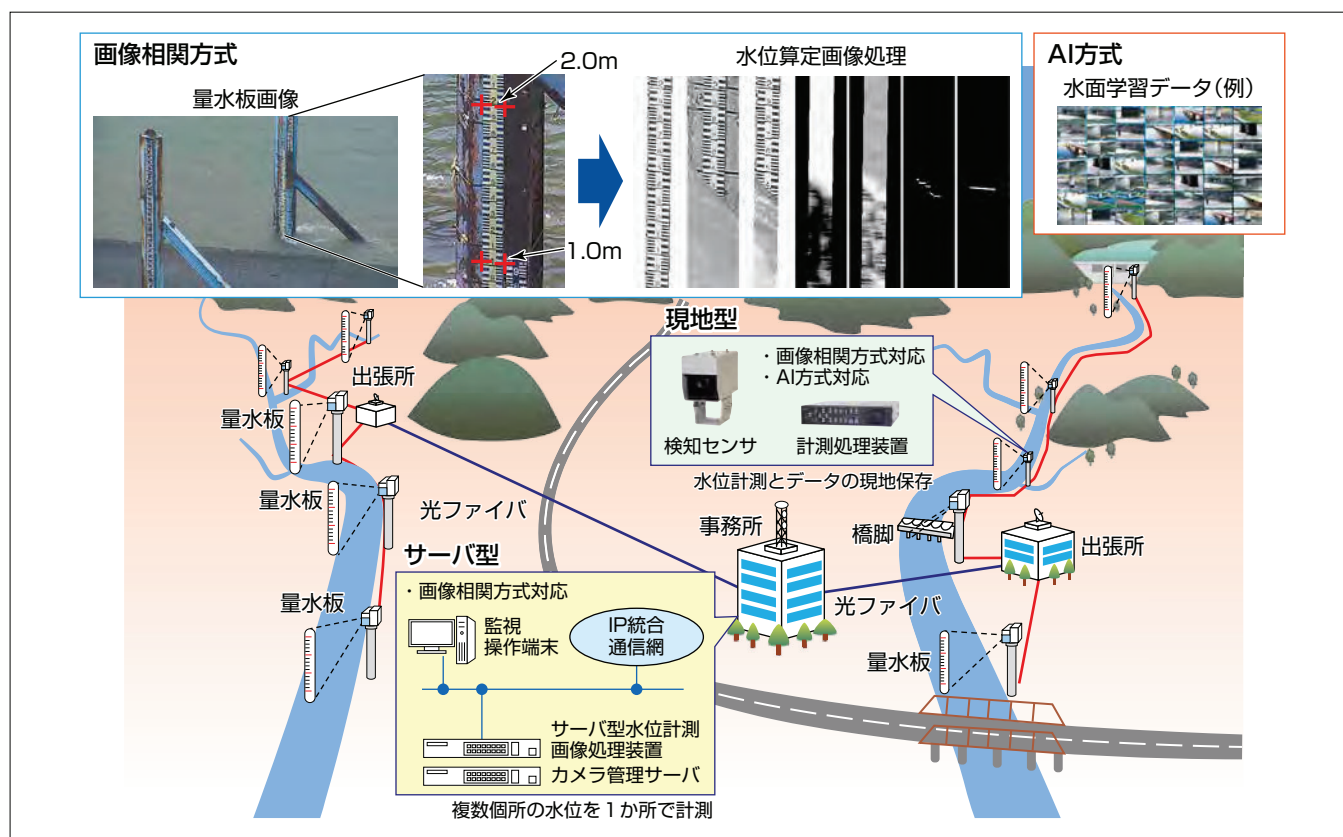
Water Level Observation System Based on Image Processing Technique

要 旨

近年の記録的な大雨や集中豪雨による水害の激甚化を踏まえて、河川管理での治水計画及び防災・減災に向けた水位把握が重要になっている。フロート式など従来の接触型水位計は激流による流出や流木等による損傷被害があった場合にその状況を確認する術(すべ)がなく、誤った水位データを観測し続けるおそれがあった。

画像式水位計測システムでは水位データとともに水位計測時の画像を記録するため、水位データの確からしさを現在から過去にわたって確認できる。三菱電機の画像式水位計測システムには“現地型”と“サーバ型”がある。現地型は専用検知センサと計測処理装置を現地に設置する。計測処理装置は検知センサの画像から得られる水位データと計測時の静止画を記録する。サーバ型は国土交通省が定め

るCCTV(Closed Circuit TeleVision)カメラ設備機器仕様書に準拠したカメラに対応したシステムである。複数映像を順次1か所に集めて、水位データと計測時の静止画を記録する。現地型は現地からの画像伝送容量が少ない特長がありベストエフォート型インターネット回線で伝送可能である。サーバ型は国土交通省IP(Internet Protocol)統合通信網で映像伝送されるため画像伝送容量の心配がなく、既存のカメラで水位計測できることが特長である。処理アルゴリズムには“画像相関方式”と“AI方式”がある。画像相関方式では量水板の画像が必要であるが1cm精度の計測が可能であり、AI方式は橋脚・護岸堤防などの構造物の画像を対象に3～4cm精度の計測が可能である。



画像式水位計測機器の設置場所と画像処理方式

現地型画像式水位計測システムは専用検知センサの画像を用いてその場で計測水位データと静止画を蓄積し、サーバ型画像式水位計測システムは1か所に集約された複数カメラ画像を順に処理して計測水位データと静止画を蓄積する。画像処理方式として量水板が必要だが計測水位精度が高い画像相関方式と量水板が不要で橋脚・護岸堤防などの画像で水位計測ができるAI方式(現地型だけ)を選択できる。

1. ま え が き

水位計測方法にはフロート式などがあるが、水位データの提供だけであった。画像式水位計測システムでは水位データとともに水位計測時の静止画を確認できる。

2. 画像式水位計測システムの構成

2.1 現 地 型

現地型は検知センサと計測処理装置で構成される(図1)⁽¹⁾。検知センサはセンサ部が旋回する旋回型和旋回しない固定型の2種類がある。これらは水位計測に特化した画像センサで、特に河川水位の観測では量水板の読み値が基本であることから高感度かつ高精細なフルHD(High Definition)画質としている。また安定して水位を計測するために天候や太陽光反射等の様々な光源変化の影響を軽減できるフレキシブルエリア測光制御機能を持っている。

計測処理装置は静止画を生成するビデオアダプタと水位を計測する計測処理部から成る。計測処理部にはWWW(World Wide Web)サーバ機能を搭載し、水位と画像を同時に確認できる水位観測画面を光ネットワークやインターネット等のIP網を介して遠隔地の閲覧端末(監視用パソコン、職員パソコン)から確認できる(図2)。データ更新間隔は急激な水位変動を迅速に把握できるように1分間隔としている。なおクラウドでのデータ管理も可能である。

2.2 サ ー バ 型

サーバ型は国土交通省CCTVカメラ設備機器仕様に準拠した複数のフルHDカメラ映像を国土交通省IP統合通信網で一つのサーバに集めて、順次集中的に水位計測を行う(図3)。サーバには現地型の計測処理装置と同等の処理機能を搭載し、100台のカメラ映像から水位を10分間隔で計測できる。カメラ映像が伝送されているため監視拠点(サーバ拠点)ではリアルタイムに動画の確認ができる。

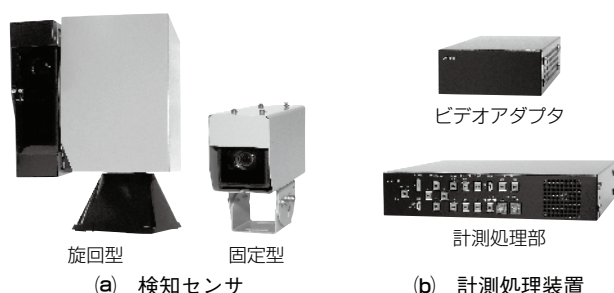


図1. 現地型画像式水位計測システムの機器

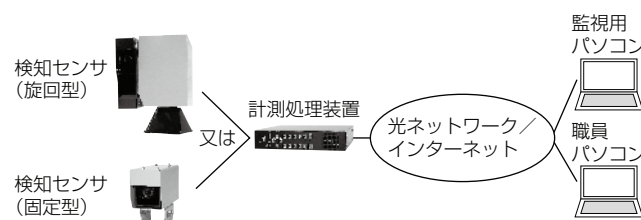


図2. 現地型画像式水位計測システムの構成例

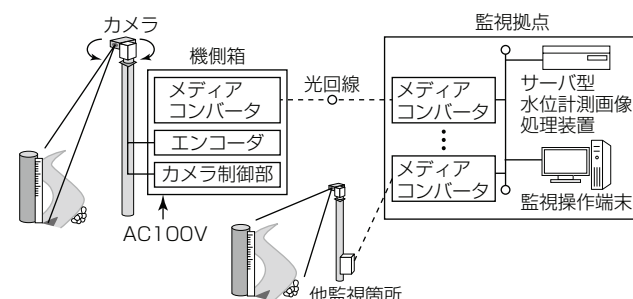


図3. サーバ型画像式水位計測システムの構成例

3. 画像処理のアルゴリズム

3.1 画像相関方式

(1) 方式

従来の画像式水位計は水面の揺らぎ(動き)等の特徴量を検出し、水面境界抽出等を行うことで水位を算定していた。しかしこれら特徴量は水面以外にも発生する場合があります安定した連続計測は困難であった。特に水面の“動き”を利用する場合は、カメラ性能の制約から照度が確保できない夜間等で計測に必要な“動き”が得られなかった。

そこで量水板を被写体とした静止画を用いて、画像相関方式によって水面の位置を検出して水位を算定する次のような画像式水位計測手法を考案した。すなわち量水板全体が露出した基準画像(図4(a))と、各時刻に取得した計測画像(図4(b))を画像相関方式で比較すると、基準画像と計測画像の水面上に露出している量水板領域は強い相関関係があり、水面下の領域は弱い相関関係になることが分かる。相関関係の強弱を表す相関係数の変化点が水面上と水面下の境界、すなわち水位になる。計測対象は“量水板”で計測精度は1cmである(被写体の縦の長さが実物で3.6mのとき)。

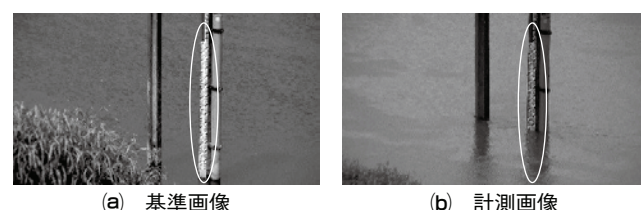


図4. 画像相関方式での基準画像と計測画像の例

(2) 特長

天候や太陽光反射等の様々な光源変化の影響を軽減できるフレキシブルエリア測光制御機能を搭載した検知センサや、強風等による画像ぶれや夜間・降雨・降雪等での視認性低下時でも計測可能なアルゴリズムによって、安定して水位を計測できる。図5に環境への対応事例を示す。

(3) 評価実験例

福岡県の河川で画像式水位計測システムの評価実験を実施した⁽²⁾。高所に検知センサを設置し、約120m先の二つの蓄光型量水板(低水位：0～3m／中水位：2～6m)を計測対象とした(図6)。

7日間の計測で降雨(大雨)を含む天候等の環境変化にかかわらず昼夜を通して、データ欠測することなく目視水位、テレメータ水位(国土交通省提供)と同等の計測水位が得られた(図7)。

3.2 AI方式

(1) 方式

AIによる深層学習方式を用いたAI方式では量水板の代わりに橋脚や護岸堤防を被写体として水位を計測する(現地型だけ対応)。AI方式では水とは何か(水面はどのように撮像されるか)を多様な屋外環境で取得した映像に基づいて学習させ、任意の対象画像で水域と非水域を分離することで水面位置を特定する⁽³⁾。その後あらかじめ計測した橋脚の長さ情報と喫水線位置から水位を算定する(図8)。計測対象は“橋脚・護岸堤防”で計測精度は3～4cm(被写体の縦の長さが実物で3.6mのとき)である。

(2) 特長

量水板がない場所でも橋脚・護岸堤防などの構造物があれば水位計測ができる。国内の複数の河川の映像から水域学習済みであるため購入設置後からある程度の精度の水位計測が可能である。さらに設置場所での映像を学習させることによって計測精度の向上が可能である。

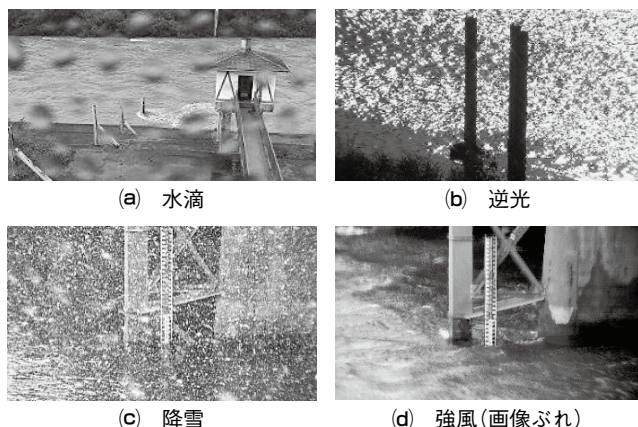


図5. 環境への対応事例

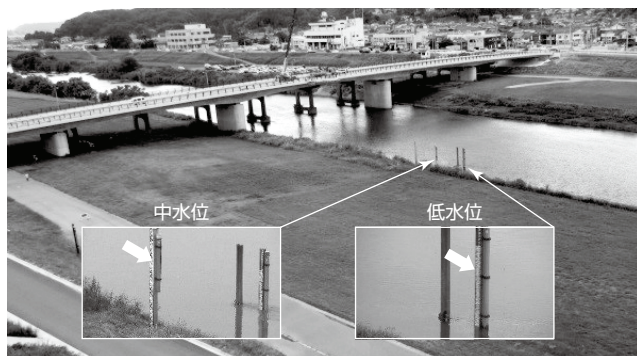


図6. フィールド検証場所

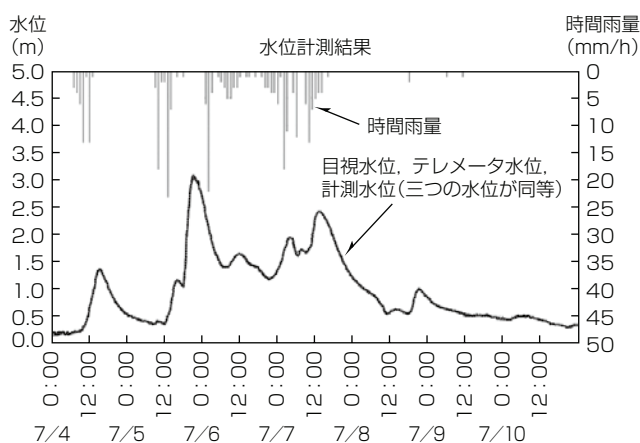


図7. 河川の水位計測結果

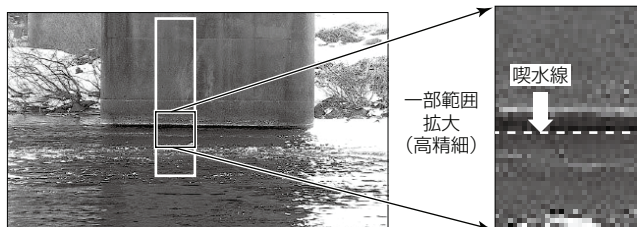


図8. AI方式での水位計測範囲の例

4. む す び

画像処理による水位計測(観測)は国土交通省が制定する河川管理での水文観測業務規程細則⁽⁴⁾に量水板観測の一つの手段として認められており、水位データと計測時の画像を同時に確認・記録できる画像式水位計測システムは今後の新たな水位計測手段として活用が期待される。

参 考 文 献

- (1) 本田吉朋, ほか: 非接触型画像式水位計, EICA環境システム計測制御学会, 23, No.1 (2018)
- (2) 磯部修一: 画像・レーザーを活用した非接触型水位計について, 平成29年度建設電気技術研究発表会 (2017)
- (3) 前原秀明, ほか: AIを活用した画像式河川水位計測装置, 三菱電機技報, 93, No.7, 401～404 (2019)
- (4) 国土交通省: 水文観測業務規程細則 第1章 第2条 (2017)

オンデマンド運行管制技術を用いた 新たな交通サービスへの取り組み

小林弘幸*
Hiroyuki Kobayashi

Initiatives for New Transportation Services Using On-demand Operation Control Technology

要 旨

国内では、少子高齢化に伴う移動制約や外出率の低下、コロナ禍を踏まえたニューノーマル時代への対応など、都市や郊外、観光地などの地域が抱える様々な社会課題の解決を目指して、新たなモビリティサービスであるMaaS (Mobility as a Service)を活用した取り組みが官民で活発化している。

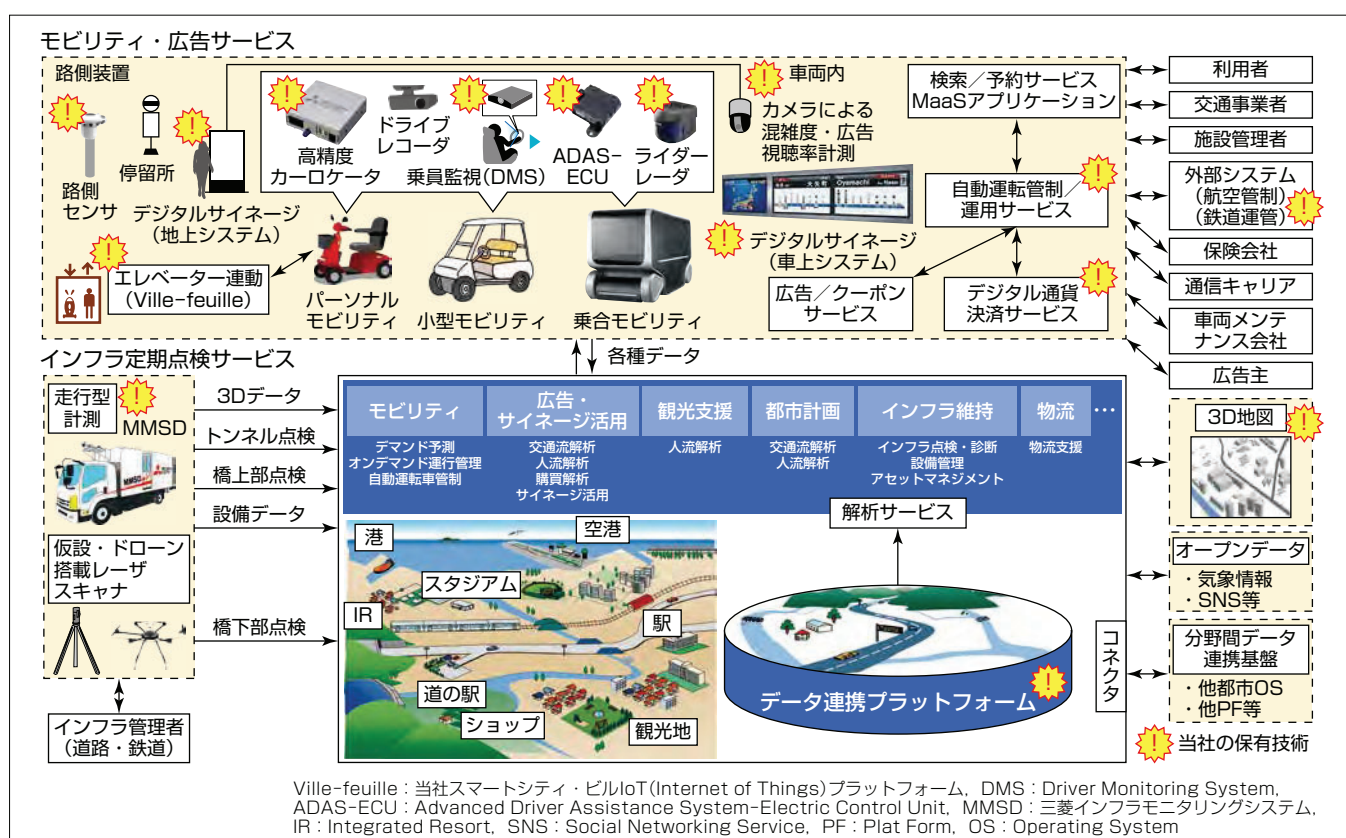
三菱電機は、移動制約解消、ニューノーマル対応、ドライバー不足・高齢化対応を目指して、個々人のニーズに合わせた移動を可能にする“中／小型モビリティを組み合わせたオンデマンド運行(注1)”+“自動運転”(オンデマンド自動運転)の開発に取り組んでいる。

その取り組みの一環として、MaaSの社会実装に向けたオンデマンド運行管制の実証実験を当社の神戸製作所(兵庫

県神戸市)で2020年11月から2021年3月にかけて実施した。この実証実験で得た成果に当社がこれまで培ってきたシミュレーション技術や予測技術を組み合わせることで、複数車両への配車・運行指示の自動化による運行業務の省力化と、状況変化に応じたリアルタイムオンデマンド運行管制による利用者の利便性向上の実現を目指す。

また、オンデマンド自動運転サービスを起点として、広告・サイネージ活用や観光支援を始めとするデータを利活用した様々なサービスを提供し、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×〇〇サービス事業(サービスの掛け合わせ)”の早期社会実装を目指す。

(注1) 乗車要求に対応して運行する交通システム



オンデマンド自動運転への取り組み

当社は、オンデマンド自動運転に対するコア技術を幅広く持っている。それらの技術を結集し、オンデマンド自動運転サービスを事業化するとともに、得られる様々なデータをデータ連携プラットフォームで連携することで、広告・サイネージ活用や観光支援を始めとするデータを利活用した様々なサービスの実現に寄与する。

1. ま え が き

当社は、2021年6月に発表した経営戦略の中で、“多様化する社会課題の解決に向け、100年培った経営基盤^(注2)の強化に加え事業モデルの変革により、ライフ、インダストリー、インフラ、モビリティの4つの領域において、グループ内外の力を結集した統合ソリューションを提供する”ことを戦略として掲げている(図1)。

本稿では、この4領域の一つである“モビリティ”に関わる統合ソリューションとして、オンデマンド自動運転サービスについて述べる。

(注2) 顧客とのつながり、技術、人材、製品、企業文化等

2. モビリティを取り巻く課題

総務省の国勢調査・人口推計⁽¹⁾によれば、日本の総人口は2008年の1億2,808万人をピークに減少し続けている。今後の少子高齢化の進行に伴い、自家用車に頼らない移動手段としてのモビリティの整備が急務である。

また、国土交通省の全国都市交通特性調査⁽²⁾によれば、外出率は1987年が86.3%(平日)、69.5%(休日)であったが、2015年は80.9%(平日)、59.9%(休日)に減少している。目的別移動回数を経年的に比較すると、平日の“業務”目的の移動が特に減少(1987年比57%減)し、休日は、“食事等(日常生活圏内)”や“観光等(日常生活圏外)”などの“買物以外の私用”の移動が大きく減少(1987年比32%減)している。全体傾向として、若者(20代)の移動回数が高齢者(70代)の移動回数を下回るまで減少したことが挙げられており、これは諸外国でも同様の傾向であることが示されている。これらの外出率の低下も、モビリティによって解決すべき課題である。

現状の移動交通手段の中で自動車(運転又は同乗)が占め

る割合が、平日で45.1%(1987年比で11.1ポイント増)、休日で61.7%(1987年比で15.7ポイント増)と多く、年々増加傾向である。また、自動車運転免許の有無で一日当たり移動回数を比較すると、平日／休日・地域にかかわらず、免許を持っていない人の方が移動回数が少なく、自動車の保有形態で見ても、自動車を持っていない人の方が移動回数が少ない。

これらのことは、日本はまだ移動を自動車に頼っているという事実を示している。しかし、高齢化の進行に伴う免許返納者の増大等によって、自動車に依存し続けられない社会が必ず到来する。したがって、今後、モビリティの自動運転技術やシェアリング等を普及させることによって、運転免許や自動車を持っていない人も、自動車を持っている人と同じように行動できる社会を実現することが急務である。これらによって、少子高齢化、外出率の低下の課題の解決につながると考える。

3. 新型コロナウイルス感染症の影響

また、モビリティを語る上で、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の影響は切っても切り離せない。

新型コロナウイルス感染症の影響によって移動客数が大幅に減少し、鉄道各社及び高速道路事業者各社は大きな打撃を受けてモビリティ業界に暗い影を落としているが、米国などの事例を参考にすれば、今後、ワクチン接種率の向上に伴い、外出制限は緩和される方向になると推察できる。

しかし、コロナ禍が一段落ついたとしても、テレワークやネットサービスの拡大の動きは止まらないと見る向きも多い。そのため、ニューノーマル時代でのモビリティについては、従来のモビリティとは違うあり方が求められると見込まれる。

4. ニューノーマル時代でのモビリティ

ニューノーマル時代で、人々がどのような移動をするようになるかについて、様々な予測がなされているが、正解はまだ誰も分らない。ただし、“人間は社会的動物(ポリスの動物)である”(アリストテレス)に示されるように、人間は共同体を構築し、その中で生活する動物であり、他人(社会)とのつながりを重視すると言われている。つまり、全く他人との関係を持たずに生きることは難しく、他人とつながるために移動は欠かせないものであると考えられる。

しかし、従来とは違い、皆が同じ場所に集中することは避けたいという行動(混雑回避行動)

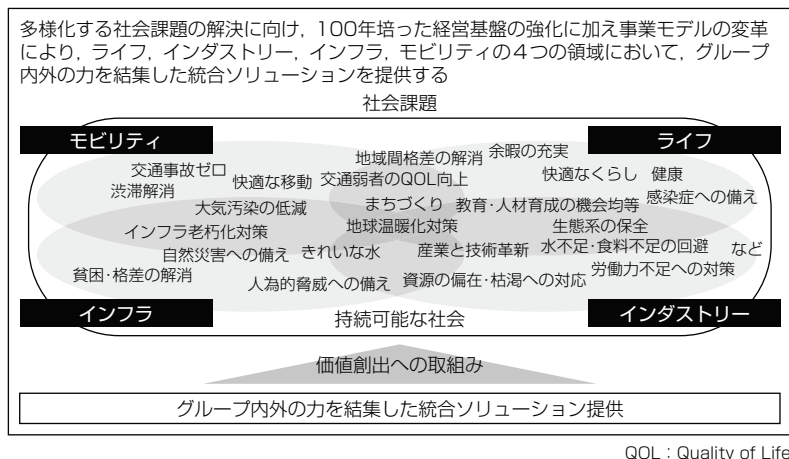


図1. 当社の経営戦略(2021年6月発表)

が、少なくとも当面の間は主流になると思われる。

また、個人の趣味趣向や価値観も多様化し、行きたい場所ややりたいことが分散していくこと、働き方改革やテレワークの普及によって人々の活動時間も分散していくことが予想される。

このようなニューノーマル時代でモビリティが果たすべき役割は、“個々人のニーズに合わせた移動を可能にする”ことである。そのため、当社は“中／小型モビリティを組み合わせたオンデマンド運行”の開発に取り組んでいる。

また、中／小型モビリティを多数運行するということは、多数のドライバーが必要になるが、昨今のドライバー不足・高齢化の問題も深刻である。

そのため、“中／小型モビリティを組み合わせたオンデマンド運行”を実現するためには“自動運転”とのセットで実現するオンデマンド自動運転が必須であると考えて、“自動運転”技術の開発も併せて取り組んでいる。

5. オンデマンド自動運転サービス

当社の考えるオンデマンド自動運転サービスのイメージを図2に示す。

サービスフィールド全体の移動を最適制御する管制システムの下で、サービスフィールド内に様々な自動運転モビリティが走行し、それらが路側装置と連携しながら安全に運行する交通システムを当社は目指している。

国内では、都市や郊外、観光地などの地域が抱える様々な社会課題の解決を目指して、新たなモビリティサービスであるMaaSを活用した取組みが官民で活発化している。

MaaSの一要素であるオンデマンド自動運転サービスでは、利用者の需要に応じた配車や運行ルート of 最適化が求

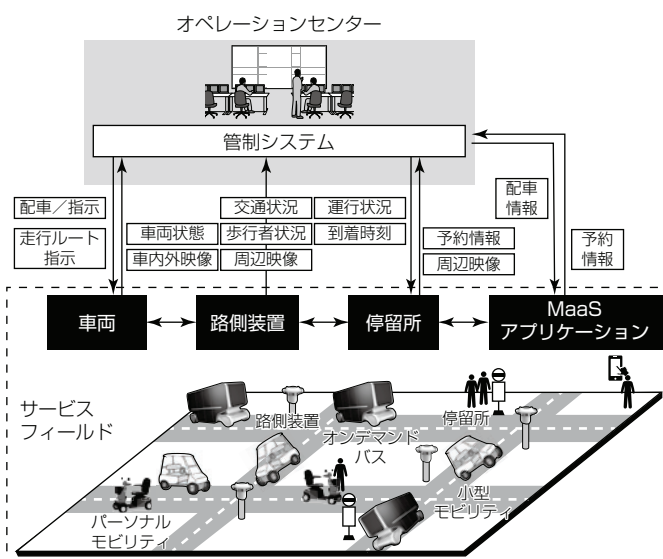


図2. オンデマンド自動運転サービスのイメージ

められるが、乗車申込みの受け付けや配車指示などの運行管理はオペレータが行う例が大半で、交通事業者が志向する運行業務の省力化との両立が課題になっている。

当社は今回、開発中の運行管制システムを用いたオンデマンド運行管制の実証実験を行うことで運行管制技術の確立を図り、運行業務の省力化と利用者の利便性向上との両立を目指している。

6. 運行管制技術の特長

運行管制技術は、次の二つの特長を持つ。

6.1 複数車両への配車・運行指示の自動化で、運行業務の省力化を実現

この運行管制システムは、利用者が停留所端末から入力する乗車申込みや運行車両から送信される自車位置などの車両情報を常時監視し、複数の運行車両に対して最適なタイミングで配車や運行ルートを指示する。また、運行状況の変化に応じて、常に最新の情報を停留所端末へ配信する。

これらの機能によって、自動走行車両への運行指示や、停留所端末への配車情報配信を全自動化し、管制員も運転員も必要としないオンデマンド自動運転サービスを実現する。

6.2 状況変化に応じたリアルタイムオンデマンド運行管制で、利用者の利便性を向上

従来のオンデマンド交通サービスでは、専用アプリケーションなどを通じて入力された利用者の乗車申込みに基づいて、相乗りタクシーのように個別に運行車両を手配してルートを設定していたため、運行車両の位置によって利用者の待ち時間が変動することや、専用アプリケーションの導入が必要になるなど、利用に向けた課題があった。

このシステムでは、利用者の乗車申込件数が増加した場合は、自動的に運行車両を増便する。また、利用者の申込み情報を分析し、満員かつ乗車者の目的地が同一などの条件下で、最短の運行ルートに変更する。

路線バスのような運行・利用形態を基本とした交通サービスをベースに、乗車申込数や目的地などの状況に応じた運行便数の増減や運行ルートの柔軟な変更をリアルタイムに実施することで、利用者の待ち時間や移動時間を短縮し、利用者の利便性の向上に貢献する。

7. オンデマンド運行管制の実証実験

実証実験の概要を表1、図3、図4に示す。

実証実験の結果、特定条件下でこのシステムを使用しない場合に比べて、迂回（うかい）・近道運行によって移動時

表 1. 実証実験の概要

実験期間	2020年11月～2021年3月
場所	当社神戸製作所構内(兵庫県神戸市)
システム構成	運行管制システム、自動走行車両 ^(注3) 、 停留所5か所(ルート全長約1.5km)
実証内容	自動走行車両への運行指示や停留所端末への配車情報配信を全自動で実現する運行管制システムを実証する。停留所端末からの乗車申込み情報に基づいて、次の四つの運行モードを柔軟に切り替える。 (1)通常運行 指定ダイヤに基づいて全停留所を巡回 (2)スルー運行 乗降客がない停留所を停車せずに通過 (3)迂回・近道運行 乗降客がない際、次の停留所まで最短ルートで通行 (4)増便・減便運行 乗車申込みの件数に応じた増減便

(注3) アイサテクノロジー㈱が提供する自動走行車両を使用

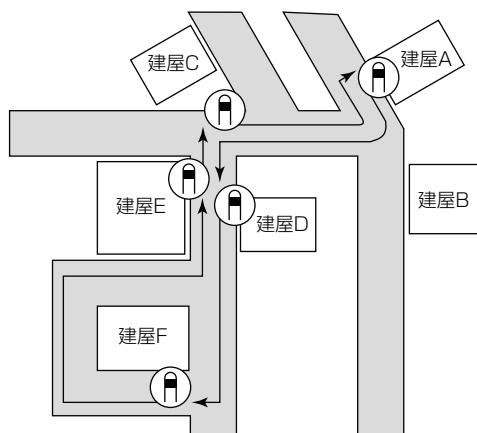


図 3. 実証実験フィールドの模式図

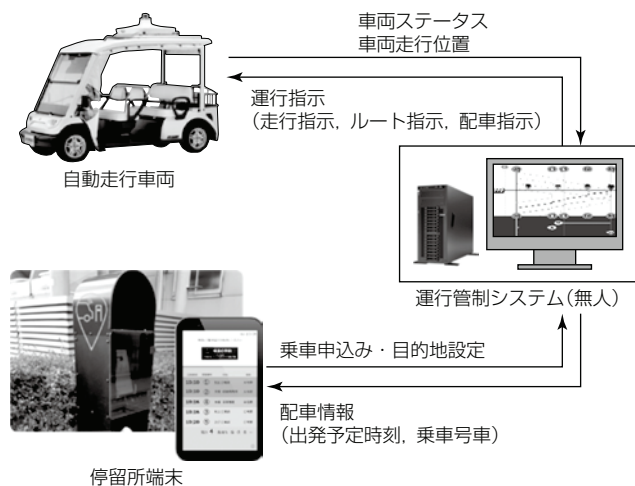


図 4. 実証実験のシステム構成図

間が平均31.7%短縮でき、増便・減便運行によって待ち時間が平均7%短縮できるという事前シミュレーションを立証する結果が得られ、このシステムの効果が確認できた。

8. 移動目的の創出に向けて

モビリティとは、ただ移動するためにあるのではなく、

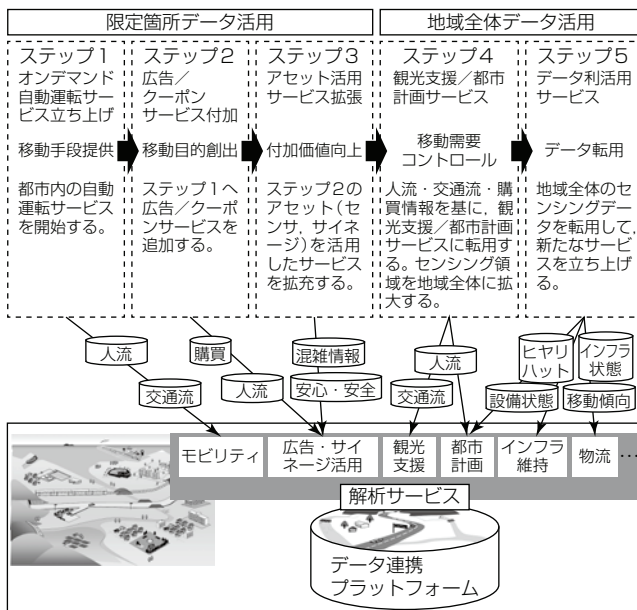


図 5. 移動目的の創出に向けたロードマップ

その先で何かをしたいという目的で利用することを忘れてはならない。そこで、当社はモビリティと移動目的自体の創出とをセットで考えている。

図5に移動目的の創出に向けた当社のロードマップを示す。ステップ1としてオンデマンド自動運転サービスを立ち上げるが、これは移動手段の提供にすぎない。そのため、ステップ2として広告クーポンサービスを付加し、移動目的の創出を図る。さらに、ステップ3としてセンサやサイネージを活用したサービス拡張によって付加価値を向上させる。次に、地域全体に範囲を広げて、ステップ4として観光支援や都市計画による移動需要のコントロールを行い、最終的には、スマートシティの理念であるデータ連携によって、様々なデータ利活用サービスの実現を目指す。

9. む す び

オンデマンド運行管制の実証実験で得られた成果に当社がこれまで培ってきたシミュレーション技術や予測技術を組み合わせることで、オンデマンド自動運転サービスの実現を目指す。

また、オンデマンド自動運転サービスを起点として、広告・サイネージ活用や観光支援を始めとするデータを利活用した様々なサービスを提供し、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(サービスの掛け合わせ)の早期社会実装を目指す。

参 考 文 献

- (1) 総務省統計局：人口推計(2020, 2021)
- (2) 国土交通省都市局：平成27年度全国都市交通特性調査(2016)

飛行場管制訓練システム

Aerodrome Control Training System

要 旨

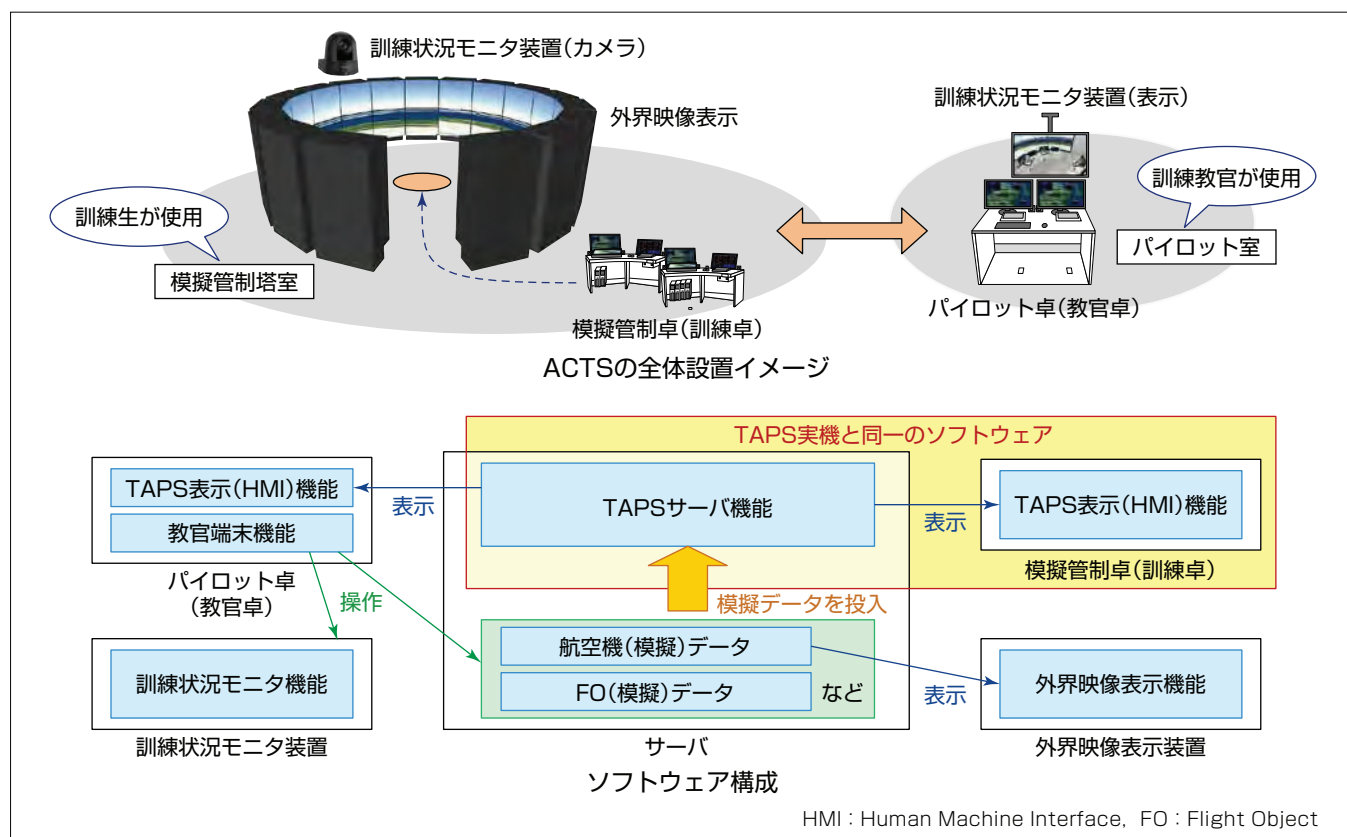
飛行場管制訓練システム(Aerodrome Control Training System : ACTS)とは、飛行場管制業務を行う航空管制官の技能習得と技能向上を支援する訓練シミュレータである。管制業務は、安全かつ円滑な航空交通を確保するために、航空機に対して指示を与える業務である。近年増加する航空交通流への対応として、より高度な航空管制が求められる、管制支援システムの利用が不可欠になっている。三菱電機では、空港管制処理システム(Trajectorized Airport traffic data Processing System : TAPS)の開発・製造を行っている。

ACTSは、飛行場面や周辺風景をバーチャルリアリティで大型ディスプレイに表示して管制塔からの視界を模擬す

る機能(外界映像)や、TAPS実機同等の模擬管制支援システムを備えており、リアルな飛行場管制業務の訓練が可能である。航空管制官は訓練を恒常的に行っており、ACTSはその効率的な訓練実施に貢献している。

当社は、TAPSの供用開始に合わせて、東京国際空港(羽田空港)及び成田国際空港(成田空港)向けに、ACTSの開発及び納入を行った。また、那覇空港には、新滑走路建設及び新管制塔の整備に合わせてACTSを納入した。

今後も航空交通量の増加や滑走路増設などの新たな設備の整備に伴って、飛行場管制業務が複雑化する空港は増加すると考えられ、ACTSはそのような空港の業務を支援する重要な役割を担うことが期待される。



ACTSの全体設置イメージとソフトウェア構成

管制塔視点の飛行場面や周辺風景の外界映像を表示する大型ディスプレイを円形状に設置し、管制塔内部を再現する(模擬管制塔室)。模擬管制卓(TAPSの表示装置等)は、模擬管制塔室内に設置され、訓練生が使用する。訓練教官は航空機のパイロット役として、模擬航空機の操作や、訓練生との音声通信等を行う。航空機・FO(フライト情報)等の複数の模擬データを、TAPS実機と同一ソフトウェアで処理・統合して表示する。

1. ま え が き

航空管制は、航空機の安全かつ円滑な運航を行うために、主に地上から航空交通の指示や情報を航空機に与える業務である。これを支援するために、管制支援システムが導入されており、管制官等に支援情報が提供されている。当社はTAPS開発及びTAPSの前身システムであるターミナルレーダ情報処理システム(Automated Radar Terminal System: ARTS)開発から、長年にわたって航空管制に関わるシステムに携わっている。ACTSはTAPSをベースに開発しており、当社の管制システムに関するノウハウを活用した訓練シミュレータである。本稿では、導入背景や機能を述べるとともに、今後の展望について述べる。

2. ACTSの概要と導入背景

2.1 統合管制情報処理システムの整備

航空管制を支援して安全かつ円滑な航空交通を確保するために、航空交通管制情報処理システムによって管制官等に管制支援情報が適確かつ安定的に提供されている。この管制支援情報は、国内外の航空会社等から得る飛行計画情報、各管制機関等から得る飛行経路・高度等の管制指示情報、地上施設及び人工衛星から得る航空機位置情報、気象庁から得る気象情報、その他の膨大な関連情報を含む。

近年、既存の航空交通管制情報処理システムでの機能の統廃合や共通データベースの採用等、システムの設計方針が抜本的に見直され、空港管制処理システム(TAPS)やFO^(注1)のデータベースを所有する飛行情報管理処理システム(FACE)等の複数のサブシステムから構成される統合管制情報処理システム(以下“統合システム”という。)が整備されている。一部の空港の端末を除いて、2019年度に全ての統合システムの初期導入が完了した。

(注1) 飛行計画・航空機の動態情報・管制指示等、フライトに関する情報を一つにまとめたデータ。

2.2 飛行場管制業務

TAPSが対象とする飛行場管制業務は、管制塔からの目視とTAPS等システムの併用で、主に飛行場面に存在する航空機や飛行場近傍を飛行する航空機に対して管制指示を行う業務である。管制官は、航空機間や他の車両との距離、滑走路の使用状況、天候の状況等を考慮しながら、出発機(出発承認、スポット^(注2)アウトから離陸まで)や到着機(着陸降下からスポットインまで)の誘導を行う。

(注2) 飛行場での航空機の駐機場。

2.3 飛行場管制訓練システム(ACTS)

ACTSは、TAPSを利用した飛行場管制業務を訓練するためのシステムである。このシステムは、管制塔から見える飛行場面や周辺風景をバーチャルリアリティ表示(外界映像)する円形配置した大型ディスプレイと、管制塔室内のTAPS操作端末の模擬管制卓(訓練卓)等で構成される。サーバ機能や操作端末の装置・表示機能は、TAPS実機と同等のハードウェア・ソフトウェアを使用する。これによって、機能面・操作面で、リアルな訓練を可能にする。さらに、TAPS実機に新機能が追加された場合でも同様のバージョンアップができるメリットがある。これらは、他のシミュレータでは対応できない、このシステムの強みであると言える。

2.4 ACTSの目的

管制業務を行う上では、空港ごとに異なる資格が必要である。これは空港によって運用に特色があり、扱う航空機の種類や機数、及び滑走路本数、各種設備配置等の飛行場面の状態が異なるためである。人事異動等で業務資格未取得の管制官は、資格取得のための基礎及び技能向上のため訓練を行う。また、業務資格取得者でも、定期審査を踏まえた技量維持や、飛行場管制業務での新たな運用に対応可能な技能の習得をするため、恒常的に訓練を行っている。

ACTSは、TAPSを利用した飛行場管制業務で通常業務が多忙の中でも、これらの訓練を効率的に行うことを目的にしている。

2.5 ACTSの導入空港

最初に羽田空港及び成田空港向けにACTSを開発・納入した。両空港では統合システムの整備と並行して、東京2020オリンピック・パラリンピックの開催や今後予想される航空需要の更なる増加に対する首都圏空域の再編等が進められてきた。発着便数が他の空港に比べて非常に多い両空港は、業務の複雑性・困難性が高い。このような状況を背景に、統合システムの供用開始に合わせて、TAPSの操作慣熟を特に効率良く行う必要があった。

次に那覇空港向けにACTSを開発・納入した。国内でも繁忙な空港の一つであり、民間定期便だけでなく、自衛隊機、海上保安庁機等の多種多様な航空機を取り扱う。また近年、LCC(Low Cost Carrier)の増加や自衛隊機の緊急発進機増加等に対応するため、2本目の滑走路建設及び新管制塔の整備が行われた。新管制塔では、空港の東側・西側の両面を管制することになり、飛行場管制業務の複雑性・困難性は更に高くなる。このような状況下でも、効率的な訓練が必要であることが背景にあった。

3. ACTSの主な装置と機能

3.1 訓練の概要

訓練は、あらかじめ作成した訓練シナリオに基づいて実施する。訓練シナリオとは、航空機ごとの発生位置や時刻、移動経路、及びFO情報等を時系列で記載したものである。訓練を開始すると、模擬航空機が仮想空間上に発生し、シナリオで決められた経路を自動で飛行・走行する。シナリオは、訓練教官が自由に作成可能で、不測の事態や新たな管制業務運用を反映して表現できるため、訓練を受ける管制官(訓練生)からすると“練習問題”に相当する。訓練生は、この模擬航空機に対して管制指示を出して、訓練教官はパイロット役として、それに応じた操作を行うことで訓練は進行する。

3.2 外界映像表示機能

飛行場管制業務では、目視で滑走路の使用状況、天候の状況、航空機や車両等の位置を確認する。外界映像表示機能は、飛行場管制の訓練を現実に近い形で実現するため、バーチャルリアリティによって管制塔から見える飛行場面や周辺構造物、及び飛行・地上走行する航空機を表示する機能である(図1)。

外界映像の航空機モデルは、模擬航空機の緯度経度情報を基に表示させ、3.3節に述べるTAPSの操作端末の画面(飛行場管制HMI模擬装置のシチュエーション画面)と連動する。航空機は、旅客機・ヘリコプター・戦闘機等、様々な機種の表示に対応しており、管制塔からの距離によって大きさが変化するエンジン音等を割り付けることで、管制塔内の環境をリアルに再現する。

また、目視を基本とする飛行場管制では、視界の良不良は重要な要素の一つである。雨・雲・視程(霧、もや)といった気象を表示可能にして、視界の変化を模擬する。さらに、太陽の位置を計算して日照変化を模擬し、夜間での建物の明かりや影、飛行場灯火の点消灯による視界の変化も再現する。これらを自由に組み合わせることによって、



図1. 外界映像イメージ

様々な状況を想定した訓練ができる。

外界映像の“見栄え”は重要な要素である。管制の目印になる建物や設備の立体オブジェクトを作成し、正確な位置・距離感で表示する。また、航空機動作は特に重要視される。航空機の針路・高度・速度の微妙な変化の仕方等が、管制官にとって違和感になる。ユーザーも設定可能な多数のパラメータによって、細かい動作を可能にする設計にしておき、できるだけ自然な動作になるように綿密な調整を実施している。例えば羽田空港にはおよそ200のスポットがあるが、その全てに対しての出発・到着を動作確認し、パラメータを調整している。

3.3 模擬管制卓(訓練卓)機能

模擬管制卓(訓練卓)は、訓練生が模擬管制塔室で使用する卓である(図2)。訓練卓は、次の装置と機能を具備する。実際の管制塔室内と同等の設備環境にすることで、現実に即した訓練を可能にする。

(1) TAPSの飛行場管制HMI模擬装置

TAPS表示(HMI)機能を持つ。主な画面として、シチュエーション画面(レーダ等のセンサから受信する航空機の位置情報と、FOを紐(ひも)づけて表示する)やFO詳細を確認する支援画面、及び電子ストリップ(注3)画面がある。これらはTAPS実機と同等の機能である。

(2) 通信制御模擬装置(CCS: Communication Control System)

航空機のパイロットとの無線通信や、関係機関との有線通信を行うための機能を持つ。

(3) 管制情報表示模擬装置(TDU: Total information Display Unit)

NOTAM(NOTice to AirMen)(注4)や気象情報等の管制支援情報を表示する機能を持つ。

(注3) 航空機の便名や型式・出発・目的地等が記載された短冊状の運航票。従来、紙で運用されていたが、統合システムへの移行に伴い電子化された。

(注4) 航空保安施設・業務・方式及び航空に危険を及ぼすもの等の設定、状態又は変更に関する情報。



図2. 模擬管制塔室と模擬管制卓のイメージ

3.4 パイロット卓(教官卓)機能

パイロット卓(教官卓)は、訓練教官がパイロット室で使用する卓である(図3)。教官卓は、次の装置と機能を具備する。

(1) 教官端末

訓練卓と同等のTAPS表示(HMI)機能に加えて、訓練の開始・停止等の操作や、模擬航空機の動作制御を実施する教官端末機能を持つ。訓練教官は、現実と同等の航空機動作を再現する多数のコマンド入力によって、模擬航空機をリアルタイムに制御する。

(2) 通信制御模擬装置(CCS)

訓練教官が、航空機のパイロット役として無線通信や、関係機関の関係者役として有線通信を、訓練生と行うための機能を持つ。

(3) 訓練状況モニタ装置

訓練中に模擬管制塔内のライブ映像が表示され、訓練教官が訓練生の動向をモニタリングするための機能を持つ。

3.5 リプレイ機能

訓練中の訓練生及び訓練教官の操作履歴、CCS模擬装置での通信記録、訓練状況モニタの録画映像を保存することで、これらの同時リプレイを可能にする。訓練のフィードバックの効率化を目的にした機能である。

3.6 空港ごとのカスタマイズ

飛行場管制業務は、基本的な流れは各空港で共通、又は同一システムを操作するという点で共通化されているものの、空港面の差異や空港周辺状況、その他の空港事情によって、その空港独自の特徴的な運用がされることが少なくない。そのため、ここまで述べた機能を共通として、各空港の特徴に応じたカスタマイズを行うことで、要望に対応している。例えば那覇ACTSの製造では、自衛隊等の戦闘機が多く離発着するという特色から、模擬航空機をカスタマイズし、戦闘機特有の編隊・分離、オーバーヘッド



図3. パイロット卓のイメージ

アプローチ^(注5)等といった動作を可能にした。

(注5) 戦闘機に多く見られる着陸方法。滑走路上で180°急旋回することで減速しつつ高度を落とし、さらに180°旋回して着陸する。

4. 今後の展望

これまでACTSは、羽田空港、成田空港、那覇空港といった、比較的業務が複雑な空港への導入に限られた。今後もそういった大規模空港への展開が見込まれる。一方で、大規模空港以外への新規導入を促進することが課題の一つである。現行ACTSは実際の管制塔に立ったような臨場感はあるが、設備が大型で広い設置スペース(模擬管制塔室は10m四方、天井2.5m程度)が必要になる。また、訓練実施には訓練教官の人手確保も避けられない。今後はこのような課題に対して、大型ディスプレイを設置せずとも外界映像を表示するAR(Augmented Reality)技術や、模擬航空機を自動操作するAI技術等の新しい技術の導入を検討し、設備の小型化や訓練教官の負担軽減と操作性の向上に取り組んでいく。

さらには、訓練に限らない場面への応用も可能と考える。例えば、災害等で管制塔が使用できない場合に、仮想の管制塔として活用し、管制業務を継続可能にするといったことである。運用面の整備等の課題が多々あると思われるが、TAPSを忠実に再現しているACTSだからこそ視野に入る応用であり、当社が担うべき役割の一つであると認識している。

5. む す び

今後、航空管制システムは、空港CDM(Collaborative Decision Making)^(注6)等の新しいシステムと連携され、トラジェクトリベース運用^(注7)に向けた段階的な変化が見込まれる。それに伴い、管制業務での管制官の関わり方も変わっていく。また、ドローンを含む無人航空機や、空飛ぶ車の登場によって、既存の航空機との共存が課題になる可能性がある。このような管制対象の拡大に対しても、航空管制システムは対応していかなければならないと考える。その新たな運用を安心・安全なものにするため、ACTSは訓練シミュレータとして進化していくことで貢献していく。

(注6) 空港運用に係るステークホルダー間の協調的意思決定を実現するためのシステム。羽田空港等のCDMを当社が開発した。

(注7) 関係者との調整によってあらかじめ精度よく定められた4次元軌道(緯度経度・高度・時刻)に基づいて、航空機が整然と飛行する運用。

参 考 文 献

- (1) 国土交通省：航空
<https://www.mlit.go.jp/koku/>
- (2) 中村尚広，ほか：空港CDM，三菱電機技報，93，No.7，421～424（2019）

アフターコロナ社会を見据えた “しずおかMaaS”での人流制御の実証実験

茂地顕一郎*
Kenichiro Moji

People Flow Control Demonstration Experiment at Shizuoka MaaS Project for Post-COVID Society

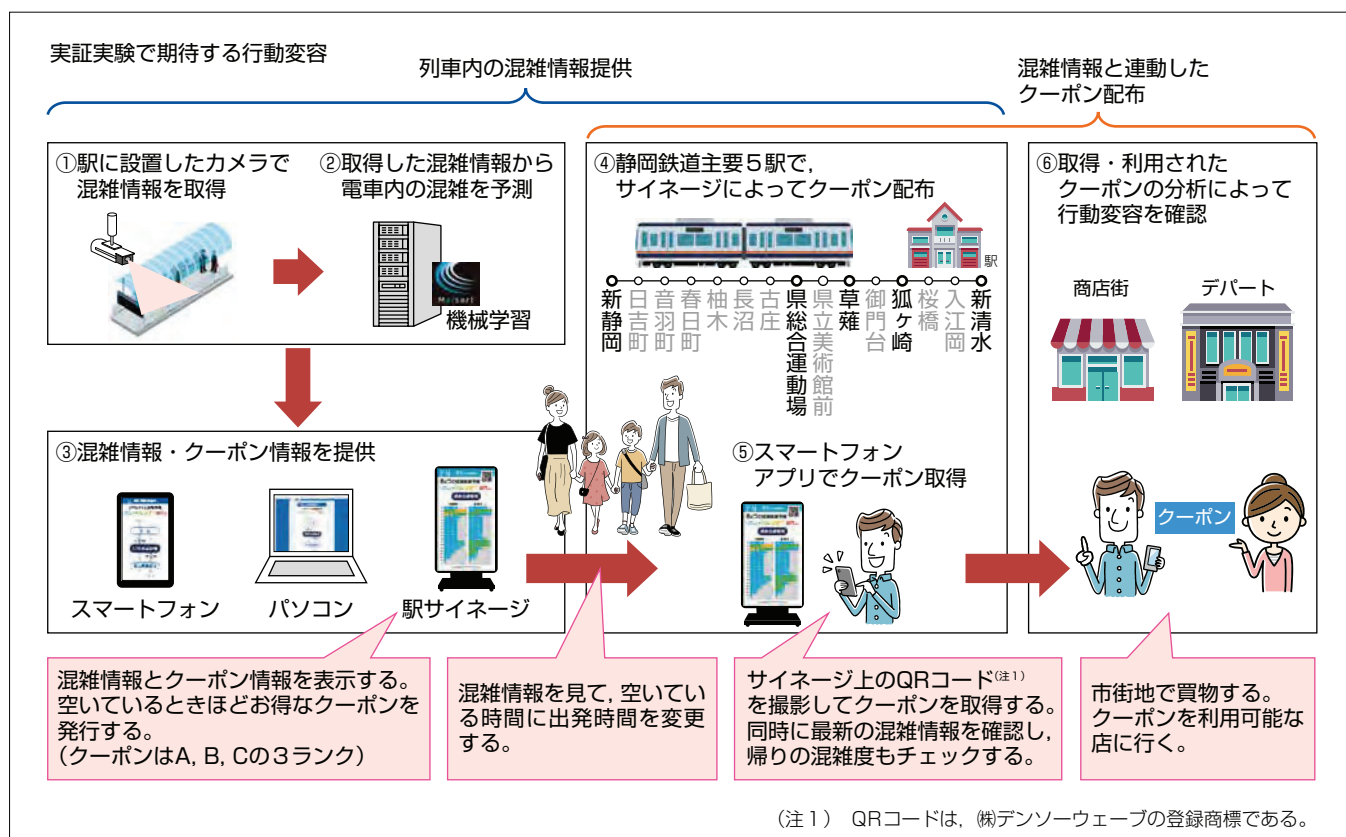
要 旨

新たな交通サービスの概念であるMaaS(Mobility as a Service)は、世界各地で社会実装に向けた取り組みが進んでいる。国によって交通事情が異なるため、その概念の定義は様々ではないが、国土交通省では“出発地から目的地までの移動ニーズに対して最適な移動手段をシームレスに一つのアプリケーションで提供するなど、移動を単なる手段としてではなく、利用者にとっての一元的なサービスとして捉える概念”と表現し⁽¹⁾、日本でのMaaSの概念を説明している。

一方で、MaaSは単に交通手段をつなぎ合わせるだけではなく、観光、医療、飲食など様々な業態のサービスと組み合わせることで新たな価値を生み出して、地域の課題を解消するものとしても期待されている。

三菱電機は、この後者のMaaSに対する取組みの一つとして、静岡鉄道(株)が代表幹事を務める“しずおかMaaS”(静岡型MaaS基幹事業実証プロジェクト)に参画し、2020年度に人流制御の実証実験を実施した。この実証実験では、新型コロナウイルスの感染予防・拡大防止と商業活動の両立を目指し、“列車内の混雑情報提供”と“混雑情報と連動した旅客へのクーポン配布”を実施し、混雑緩和及び商業活性化への寄与効果を検証した。

この実証実験で得られた成果を踏まえて、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)による新たな社会課題に対するサービスやソリューションの充実化を図り、早期に社会実装を進めることで、アフターコロナ社会での持続可能な社会の実現に貢献していく。



三菱電機の技術を活用した人々の行動変容を促す取組み

三菱電機は、映像解析技術、分析予測技術、情報提供技術など、行動変容と親和性の高い技術を幅広く持っている。これらの技術を活用し、情報のセンシング、分析加工・予測、人々への情報提供をシームレスに行うことで、社会課題の解決につながるサービスの実現を目指す。実証実験を通して、人々に受容されるサービスの社会実装のあり方を模索し、持続可能な社会の実現に貢献していく。

1. ま え が き

当社は“しずおかMaaS”（静岡型MaaS基幹事業実証プロジェクト）に技術会員として参画し、2020年度に静岡鉄道・静岡清水線を実証フィールドとして、鉄道利用者の行動変容を狙いとした人流制御実証実験^(注2)を実施した。

この実証実験では、新型コロナウイルス感染症の拡大を踏まえて、鉄道利用者が自発的に混雑を回避できるようにするための“静鉄^(注3)電車の混雑情報提供”と、沿線商業施設での消費行動の動機付けを狙いとした“混雑情報と連動したクーポン配布”の二つの取組みを実施し、混雑緩和及び商業活性化への寄与効果を検証した。本稿では、この実証実験の取組みについて述べる。

（注2） しずおかMaaSから国土交通省“令和2年度日本版MaaS推進・支援事業”の公募に申請し、実証支援事業として選定されている。

（注3） 静鉄は、静岡鉄道㈱の登録商標である。

2. しずおかMaaSとは

しずおかMaaSは、静岡鉄道㈱が代表幹事を務めて、静岡市や地元の事業者・団体が参画する地域密着型の官民連携コンソーシアムである。人口減少・少子高齢化に伴うまちの活気や住みやすさの低下を課題と捉えて、“誰もが利用しやすい新たな移動サービスの提供”や“住み続けられるまちづくり（SDGs(Sustainable Development Goals)11）”に取り組んで、生活に根ざしたサービスの実現を目標としている⁽²⁾。

その背景には、運転士不足によるバス路線廃止や人口減少による税収減少など、静岡市内の公共交通の維持に対する強い危機感がある。2019年の発足以降、しずおかMaaSではこれらへの対応策として“持続可能な公共交通網”を構築するため、AI配車による乗り合い交通・客貨混載・自家用車の移動データ収集等、新たなモビリティサービス実現に向けた実証実験を実施している。

3. 実証実験の背景

当社が実証実験を実施した2020年は、新型コロナウイルス感染症が急拡大し、人々の行動様式が大きく変化した年であった。密を避けて、移動を控え、自宅にとどまることが推奨されるニューノーマル社会は、移動需要から成り立つ公共交通事業にとって大きな逆風になっている。しずおかMaaSでも、新たな移動サービスの実現には、感染防止対策や安心・安全の確保が前提として求められるようになった。しずおかMaaSは2020年度の取組みとして、感染

対策という新たな課題への対応に加えて、感染症が抑制されたアフターコロナ社会を見据えて、経済回復に向けた布石を打つことも目標にした。このような背景の下、当社はしずおかMaaSでの実証実験案を提案し、“混雑回避と商業活性化を両立”させるための実証実験に取り組む運びになった。

4. しずおかMaaSでの当社実証実験

4.1 実証実験の概要

しずおかMaaSで、2020年11～12月にかけて、“静鉄電車のリアルタイム混雑情報提供（以下“混雑情報提供実験”という。）”と、“仮想ダイナミックプライシング実験（以下“仮想DP実験”という。）”と称した実証実験を実施した。旅客へのリアルタイムの混雑情報提供に加えて、混雑していない時間帯ほど割引率の高いクーポン（静岡鉄道沿線の協力店舗で利用可能）を配布することで仮想的にダイナミックプライシングを実現し、混雑緩和の促進とともに商業活性化やまちなかの賑（にぎ）わい創出の両立を目指した。

4.2 システム構成

この実証実験のシステム構成を図1に示す。システムは大きく次の機器から構成した。

(1) データ取得機器

各種カメラ及び映像解析サーバである。駅構内に設置し、駅構内の混雑度を計測する。また、サイネージ視聴者の属性や視聴時間を計測する。

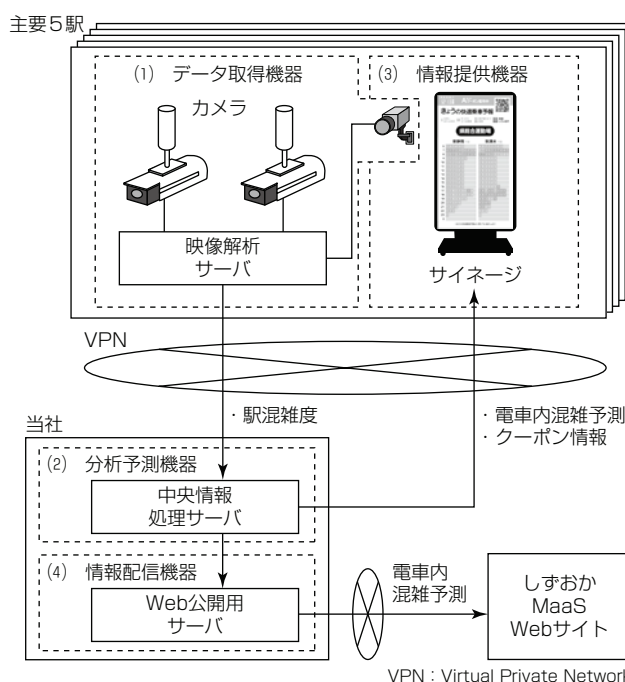


図1. システム構成

(2) 分析予測機器

(1)とネットワーク接続した中央情報処理サーバである。

(1)で計測した混雑情報を用いて、AIによって列車内の混雑度を予測する。

(3) 情報提供機器

サイネージ及びサイネージ制御用パソコンである。駅構内に設置し、旅客に対して、混雑情報とスマートフォンでクーポンを取得するためのQRコードを表示する。

(4) 情報配信機器

しずおかMaaSのWebサイトに混雑情報を公開するためのサーバである。混雑情報を画像化し、しずおかMaaSのWebサイトにアップロードする。

(1)と(3)は、静岡鉄道・静岡清水線主要5駅(新静岡、県総合運動場、草薙、狐ヶ崎、新清水)に、(2)と(4)は当社内に設置した。

4.3 混雑情報提供実験

この実験では、駅に設置したカメラの映像からホームの混雑度を解析し、各駅のホーム混雑度を基に、AIを用いて運行中の各列車内の混雑度を予測している。

予測した各列車の混雑度は、“リアルタイム混雑情報(現在時刻を基に先発・次発・一時間後の列車の混雑度を表示)”“快適乗車予報(当日及び翌日の全ダイヤの列車の混雑度を時刻表形式で表示)”という形式で、主要駅に設置したサイネージ及びしずおかMaaSのWebサイトに表示した。なおサイネージ上には、これらの混雑情報に加えて、クーポン情報や静岡鉄道からの告知情報も表示した。コンテンツの表示例を図2に示す。

AIを用いた予測を実現するには、駅の混雑度と列車内の混雑度の関係性をAIに学習させる必要がある。そこで、過去の改札入退場データと列車のダイヤ情報から、駅構内と列車内の混雑度を擬似的に計算し、これを学習データとすることでAIを構築した。なお、学習データには天候情報も利用した。また、カメラを設置した主要5駅の混雑状

況から、全駅発着の列車内混雑度を予測するようにAIに学習させることで、カメラを設置していない駅を発着する列車を含めて、ダイヤに記載された全ての列車の混雑度を予測可能にした。

4.4 仮想DP実験

この実験では、旅客に対して静岡鉄道沿線の協力店舗(全77店舗)で使用可能なクーポンを配布し、仮想的にダイナミックプライシングを実現する取組みを行った。

駅構内のサイネージに表示されるQRコードを“しずてつMapS!アプリ(注4)”で読み取ることで、旅客はクーポンを取得できる。3種類のクーポン(A, B, Cでランク分けする。Aが最も割引率が高い。)を用意し、混雑していない時間帯ほど割引率の高いクーポンを配布することで、旅客自らが能動的に行動変容し、混雑時間帯を回避することを狙った。なお、配布するクーポンのランクは、リアルタイムの混雑情報には連動せず、事前にサイネージで告知した時間割(クーポン情報(図2(c))に沿って配布した。これは予測した混雑度とクーポンのランクをひも付けて表示することで、より強く行動変容を促すためである。また、旅客の行動変容によって、予測した混雑度と実際の混雑度が乖離(かいり)した場合に、旅客が意図したランクのクーポンを取得できなくなることを防ぐためでもある。

(注4) 静岡鉄道㈱が提供する実証実験用のスマートフォンアプリである。

5. 実証実験の効果分析

実証実験の効果は、改札入退場データを真値に用いて、混雑予測精度や混雑度の遷移を分析した。また、しずてつMapS!アプリに登録された交通系ICカードIDから旅客のクーポン取得/使用履歴と改札入場履歴を突合せて、実験の効果进行分析した。

5.1 混雑予測精度

この実験では、図2の凡例に示すように混雑予測結果を4段階で表現している。改札入退場データから混雑予測の4段階表現の正答率を確認したところ、当日予測の場合で94.0%、翌日予測の場合は90.9%と、9割を超える予測精度を実現していることが分かった。

5.2 混雑情報提供実験の効果

“混雑情報提供実験”によって、旅客の混雑回避行動がどの程度促されたかを分析した。実証実験と同時期に進行した新型コロナウイルス感染拡大に伴う旅客数減少の影響を除外して分析するため、朝の旅客数を一定数に正規化し、

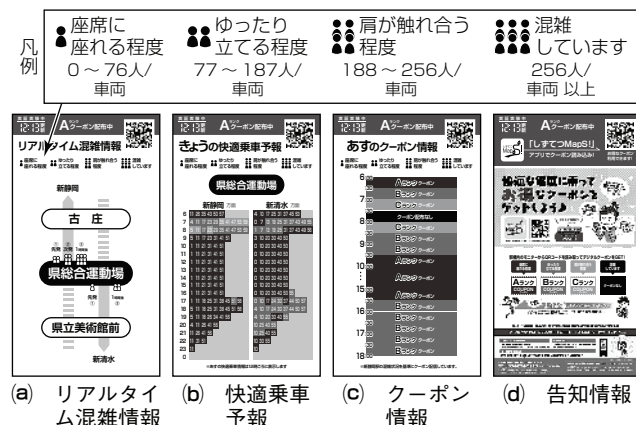


図2. 表示コンテンツ例

平日午前6:00~10:00の新静岡駅着列車の混雑度の標準偏差(以下“混雑平準度”という。)を計算した。実証実験前(10月)と実証実験期間(11, 12月)の混雑平準度の変化を図3に示す。12月までの混雑平準度は良化傾向にあり、この実験の施策効果があったことが推測できる。

さらに、この良化傾向の確からしさを検証するために、朝の通勤者(定期券利用者)の平均入場時刻を、実証実験前後(10月と12月)で比較分析した。その結果、朝通勤者の7.1%がピーク入場時刻(7:40)から遠ざかる方向に5分以上入場時刻を変更し、混雑回避行動をとっていることが分かった。また、サイネージを設置した5駅は、設置していない他の駅と比較して混雑回避行動者数が多いことも分かった。

5.3 仮想DP実験の効果

(1) 混雑緩和への効果

“仮想DP実験”によって、旅客の混雑回避行動がどの程度促されたかを分析した。朝のピークを含む6:00~10:00の平均旅客数約7,000人に対して、同時時間帯のクーポン取得数は平均15枚であり、混雑緩和に有意な影響を与えるほどクーポンは取得されなかった。

ただしクーポン取得数を、配布されるクーポンのランクの切り替わりと関連付けて確認すると、“Bクーポンに悪化する直前のAクーポン(=ピーク開始直前)”が最も取得が多く、“Cクーポンから良化した直後のBクーポン(=ピーク

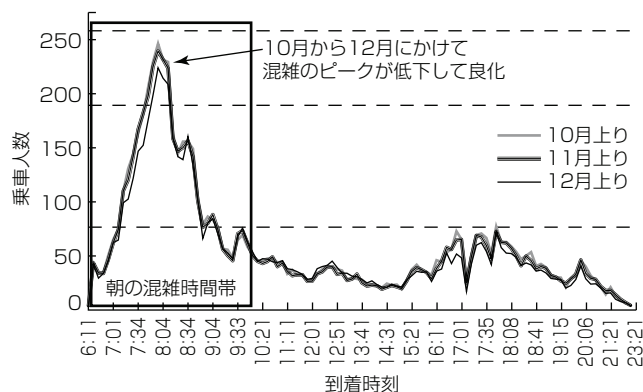


図3. 新静岡駅着の列車の平均乗車人数の変化

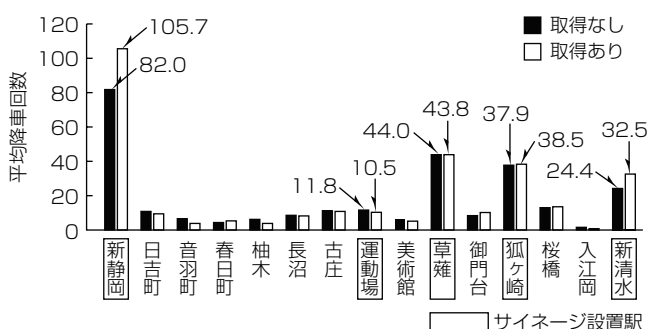


図4. クーポンによる送客効果

終了直後)”の取得数も多いことが分かった。つまり、クーポン取得を動機として、混雑を回避した旅客が存在したことが示唆されている。

(2) 商業活性化への効果

“仮想DP実験”による商業活性化への効果として、クーポン取得有無による旅客の市街地への来訪回数の違いを分析した。分析対象者は“しずてつMapS!アプリ”に交通系ICカードIDを登録しており、クーポン取得履歴と改札入退場履歴を突合可能であった146人とした。

この146人のクーポン取得がある日・ない日の、各駅での平均降車回数を算出した(図4)。この結果、クーポン取得がない日と比較して、クーポン取得がある日には新静岡・新清水の平均降車回数(=来訪回数)が多いことが分かり、特に新静岡では29.0%(82.0回/105.7回)来訪回数が多いことが分かった。これは、クーポン配布をきっかけとして、新静岡・新清水への来訪者数が増加した可能性を示唆している。ただし、この結果には“クーポンをきっかけに移動した可能性”と“もともと買物予定の人がクーポンを取得した可能性”の両方が含まれており、それぞれを切り分けた分析ができていない。今後はこのような要因の切り分けを可能にする方法でクーポン効果を検証する必要がある。

6. む す び

しずおかMaaSでの実証実験として、“列車内の混雑情報提供”と“混雑情報と連動したクーポン配布”の二つの取組みを実施した。この実証実験の効果分析から、7.1%の旅客の混雑回避行動が確認できた。また事後アンケートからも7.8%の旅客が“混雑を避けるようになった”との回答が得られた。商業活性化に対しても、クーポン取得時には新静岡への来訪回数が29.0%増えたことが確認でき、両目的に対して一定の効果が得られた。一方でクーポン取得数の少なさや要因切り分けが困難な実験方法には課題が残っており、2021年度の取組みでは、実証実験参加者を増やしてデータ数の確保に取り組むとともに、より明確に個人個人の行動分析が可能になり、行動変容を促せるような実験方法・分析方法を検討していく。

しずおかMaaSが目指す“持続可能で住みやすいまち”を実現するため、実証実験の成果を活用しながら、生活に根付いたサービスやソリューションの早期社会実装を目指していく。

参考文献

- (1) 国土交通省：都市と地方な新たなモビリティサービス懇談会
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_tk_000089.html
- (2) 静岡型MaaS基幹事業実証プロジェクト事務局：しずおかMaaS
<https://s-maas.jp/>



点検(Inspection)+相棒(Buddy), 煩わしい点検作業をデジタル化ですっきり片付けるサービスです

三菱電機点検サポートサービス

三菱電機点検サポートサービス“InsBuddy(インスパディ)”は、タブレットを活用して点検計画から報告書作成までの点検業務のムダをなくし、業務効率化、品質向上に貢献するサービスです。

特殊な専用端末を購入する必要はありません。タブレットを準備するだけで導入が可能です。

<https://www.MitsubishiElectric.co.jp/society/insbuddy/>

主なコンテンツ



InsBuddyの八つの特徴について動画でご覧いただけます。



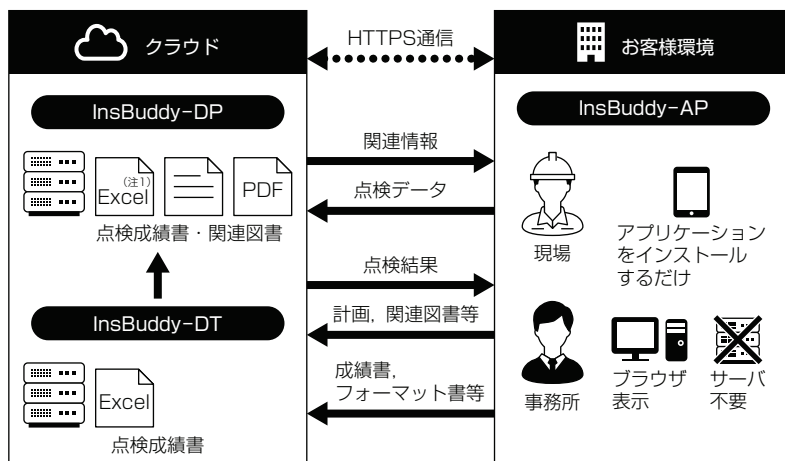
成績書ファイルを自動生成、利用中の成績書をそのまま登録など、InsBuddyでできることを紹介します。



データの登録から成績書自動生成までの主な機能と、使用するタブレットの推奨スペックを説明します。



計画／準備／点検／報告の各フェーズでの、点検員や管理者にとってのメリットが分かるリーフレットをダウンロードできます。



HTTPS : Hyper Text Transfer Protocol, PDF : Portable Document Format
(注1) Excelは、Microsoft Corp.の登録商標です。

InsBuddyのシステム概要

▶ 詳しくはWEBサイトでご覧いただけます。

三菱電機 InsBuddy

検索

