

三菱電機技報

9

2017

Vol.91 No.9

豊かな社会の実現に貢献する社会インフラシステム



目次

特集「豊かな社会の実現に貢献する社会インフラシステム」
社会インフラの建設と維持管理へのICTの活用…… 巻頭言 1
岩波光保

豊かな社会の実現に向けた
最新の社会インフラシステム…………… 巻頭論文 2
岡本幸文・三谷英一郎

共通

IoT・クラウドを活用したサービスによる
社会インフラシステムの課題解決…………… 6
吉田 剛・門馬 啓

維持管理

水道事業者向けアセットマネジメントシステム……………10
佐久嶋 拓

下水道管維持管理向け地中空洞検知技術……………14
梅山 聡・星野越寛

非常用発電装置運用支援システム……………18
猪坂 智

省エネ・創エネ

データセンター・ビル施設向け
中低圧直流配電ネットワークシステム……………22
竹内勇人

高効率・大容量の無停電電源装置……………26
志摩悠介・木村友孝・井尻昌男

下水・工業排水処理向け省エネルギー・
省スペース型膜分離バイオリアクタ“EcoMBR” ……30
安永 望・時盛孝一・今村英二・古川誠司

防災・減災

高度河川管理システム……………34
小池敏恭・飯田祥文

防災ネットワークを支える衛星通信システム……………38
金正利和・木村敏章・加川義久

安全・安心・快適

航空管制用広域マルチラテレーション装置……………43
畑 清之・佐藤 亮

インフラ協調型自動運転システム……………47
緑川哲史・津田喜秋

大型映像表示装置“オーロラビジョン”の
最新技術と新市場への適用……………51
飯尾信哉・花村敏明・切通 聡

Social Infrastructure System that Contributes to Realization of Prosperous Society
ICT-based Construction and Management of Infrastructure
Mitsuyasu Iwanami

Latest Social Infrastructure System for Realizing Prosperous Society
Takafumi Okamoto, Eiichiro Mitani

Application of IoT and Cloud to Social Infrastructure System
Takeshi Yoshida, Kei Monma

Asset Management System for Water Supply Company
Taku Sakushima

Sensing Technique of Underground Cavity for Maintenance Management of Sewerage Pipe
Satoshi Uneyama, Takehiro Hoshino

Operation Support System for Emergency Generator
Satoshi Isaka

MVDC Distribution Network System for Data Centers and Buildings
Hayato Takeuchi

High Efficiency and Large Capacity Uninterruptible Power Supply
Yusuke Shima, Tomotaka Kimura, Masao Ijiri

Energy and Space Saving Membrane Bioreactor “EcoMBR” for Municipal and Industrial Wastewater
Nozomu Yasunaga, Koichi Tokimori, Eiji Imamura, Seiji Furukawa

Advanced River Management System
Toshiyasu Koike, Yoshifumi Iida

Satellite Communication Systems for Supporting Disaster Prevention Network
Toshikazu Kanemasa, Toshiaki Kimura, Yoshihisa Kagawa

Wide Area Multilateration Equipment for Air Traffic Control
Kiyoyuki Hata, Ryo Sato

Infrastructure-based Autonomous Driving System
Tetsuhito Midorikawa, Yoshiaki Tsuda

State-of-the-art Technologies of Large Scale Video Display “Diamond Vision” and Application of Technologies to New Market
Shinya Iio, Toshiaki Hanamura, Satoru Kiridoshi

特許と新案

「鉄道車両の運転教習シミュレータ」
「プラズマ発生用電源装置」……………55

「ネットワークシステムおよびネットワーク接続装置」……………56

表紙：豊かな社会の実現に貢献する社会インフラシステム

三菱電機は社会環境事業では、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、競技場などの電源、映像システムや大規模太陽光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。

①は三次元レーザを用いた路面計測技術(Mitsubishi MMS for Diagnosis : MMSD)である。レーザスキャナと高精度GPS(Global Positioning System)を用いて車両から路面を三次元計測する技術であり、路面のへこみと下水道管の位置を把握し、レーダ信号処理技術から、空洞箇所を抽出することで、下水道管付近の空洞や空洞上部の路面のへこみを確認することができる。

②は米国ニューヨークのブロードウェイに設置されたオーロラビジョンであり、2014年11月に竣工(しゅんこう)した商業広告用大型映像表示装置である。4K解像度を持つサイネージとして世界最大級の面積を誇る。

当社は、最新技術の研究開発やそれらを活用した製品化を更に加速し、持続可能な社会と安全・安心・快適が両立する豊かな社会の実現に貢献していく。



①



②

巻/頭/言

社会インフラの建設と維持管理へのICTの活用

ICT-based Construction and Management of Infrastructure

岩波光保

Mitsuyasu Iwanami



ICT (Information and Communication Technology) の進歩はめざましく、社会への実装も進み、我々の生活は一変しようとしている。一方で、道路、鉄道、港湾などの社会インフラを建設してきた土木工学は古くから現場主義の経験工学と言われ、ICTからもっとも縁遠い存在であると考えられてきた。しかし、それゆえに、ICTをインフラ分野に導入することには計り知れないメリットがあると考えられる。昨今、国土交通省は建設業の生産性向上のために、“i-Construction”の旗印の下、ICTの全面的な活用を推進している。2016年度には、ICTを実装した建設機械等を活用した“ICT土工”の事業が始まり、2017年度には浚渫(しゅんせつ)工や舗装工にもICT対象工種が拡大している。さらに、CIM (Construction Information Modelling) の導入も進められており、調査～設計～施工～維持管理の各プロセスでの三次元データの活用が期待されている。

本稿では、インフラの建設及び維持管理の分野へのICT導入を更に促進するために、インフラに関わる土木技術者が取り組まなければいけないと感じていることを述べる。

ICTをはじめとした先端技術をインフラ分野に導入しようとした場合、一般には既存技術に対する補完や置き換えを図ろうとする。例えば、インフラ点検へのドローンの適用やセンシング技術を活用したモニタリングなどである。しかし、ICT導入によるメリットが大きいにもかかわらず、コスト面で折り合いが付かないため、必ずしも導入が進まないことがある。このとき、求められる精度やデータの質といったスペックを既存技術による場合と単純比較していないだろうか。現在のスペックは、ICT技術が存在していなかった旧来の世界で生まれたものである。無論、現在のスペックはこれまでの膨大な経験に基づいて築かれた先人たちの技術の結晶であり、その有用性と合理性に異論はない。ただ、ICTの導入による生産性の向上を考えると、現在のスペックとの単純比較はすべきではない。例えば、あるインフラ点検で1 cmの測定精度が求められているとき、現在のICT技術では3 cmの測定精度しか達成できないとする。測定精度の面では、このICT技術は導入できない。しかし、1 cmというスペックが意味しているところは何であろうか。もちろん、技術的根拠をもって定

められたスペックであれば、これは守らなければならない。ただ、1 cmというスペックが定められた経緯を紐(ひも)解いたとき、もし、当時の作業の不確実性や材料品質のばらつきなどを考慮した結果だとすると、今日の技術レベルをもってすれば明らかにオーバースペックである。また、最新の解析技術を駆使すれば、真に必要なスペックを合理的に定められるかもしれない。現状において、この1 cmというスペックを達成するために、多大な費用と労力をかけているとすれば、もったいない話である。ICT技術の導入によって、3 cmという測定精度ではあるが、ごくわずかのコストで極めて効率的に点検できるのであれば、スペックを見直すべきである。これこそが、ICT導入による生産性革命である。しかし、既存のスペックや基準を見直すことはたやすいことではない。特に、インフラ分野ではこの傾向が強いように感じられる。ただ、今こそが千載一遇のチャンスではないだろうか。これからのICT時代に見合った技術体系に転換すべきである。

また、三次元データの活用やデータベースの構築に関して分野横断的な議論をしていると、インフラに関わる土木技術者が必ず問われるのが、本当に必要なデータは何か、ということである。ただ、残念ながら、この問いに対して明確に答えることができていない。土木構造物はスケールが大きく、供用期間も長いことから、この問いに答えることは簡単ではない。しかし、インフラのライフサイクルにわたる要求性能を確保するためには、施工の段階や維持管理の段階で何をどう把握しておけばよいのか、土木技術者はそろそろ答えを用意すべきである。人間ドックの検査項目のように、分かりやすい形で、本当に必要なデータを明示していかなければ、センシング技術を活用したモニタリングもAI (Artificial Intelligence) を活用した性能評価・予測も一向に花開かない。

土木工学は経験工学だから、という言い訳はもう止めるべきである。社会からの要求に正面から向き合い、次世代の土木工学に脱皮しなければならない。そのためには、土木技術者の努力はさることながら、他分野との協調と連携も不可欠である。関係各位のこれまで以上の協力、助言をお願いしたい。

巻頭論文

豊かな社会の実現に向けた 最新の社会インフラシステム



岡本幸文*



三谷英一郎**

Latest Social Infrastructure System for Realizing Prosperous Society

Takafumi Okamoto, Eiichi Mitani

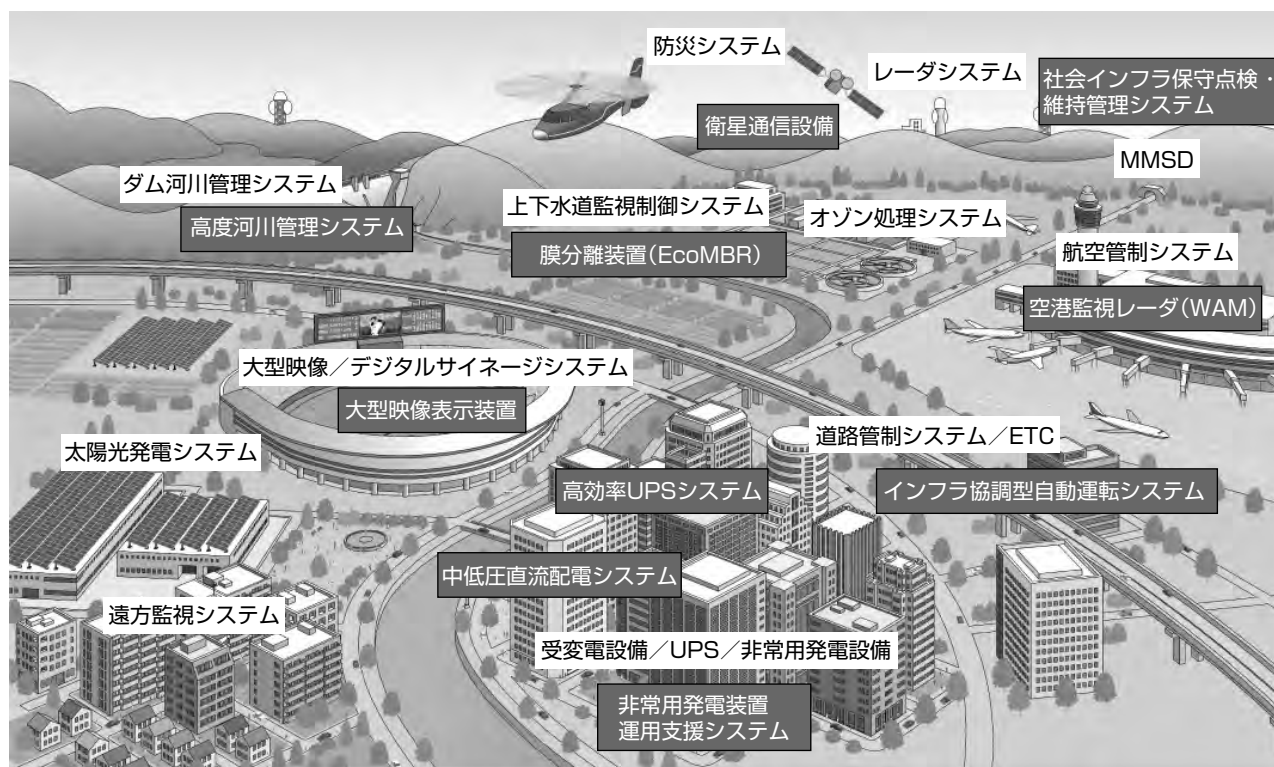
要 旨

人口の減少，都市への一極集中が進む中で，長年にわたり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課題となってきた。

一方，IoT(Internet of Things)の拡大とセンシング技術の進歩による膨大なデータ収集及びAI(Artificial Intelligence)技術の進歩による解析能力の向上によって，収集・解析した情報を活用した社会インフラ・設備の最適な維持管理が期待されている。政府が策定した第5期科学技術基本計画では，世界に先駆けた“超スマート社会”の実現(Society 5.0)を柱としており，この基本計画は，三菱電機が長年携わってきた社会インフラシステムの目指すべき姿である。

当社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，競技場などの電源，映像システムや大規模太陽光発電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。

この特集号では，社会環境事業に関連する社会インフラシステムの最新技術として，“IoT・クラウド技術を活用したIoT共通プラットフォーム”，“社会インフラ維持管理システム”，“省エネルギー・創エネルギーシステム”，“防災・減災システム”，“安全・安心・快適システム”の切り口で紹介する。当社は，最新技術の研究開発やそれらを活用した製品化を更に加速し，持続可能な社会と安全・安心・快適が両立する豊かな社会の実現に貢献していく。



MMSD : Mitsubishi MMS for Diagnosis, WAM : Wide Area Multilateration, ETC : Electronic Toll Collection System, UPS : Uninterruptible Power Supply

当社社会環境事業関連のシステム及び設備・装置

当社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，競技場などの電源，映像システムや大規模太陽光発電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。この図では社会環境事業に関連する社会インフラシステム及び設備・装置を示しており，この特集号の論文で紹介しているものは網かけにしている。

1. ま え が き

近年、情報通信技術(ICT)の急激な進化、グローバル化の進展等によって、情報、人、組織、物流、金融など、あらゆる“もの”が瞬時に結び付き、相互に影響を及ぼし合う新たな状況が生まれてきている。それによって、既存の産業構造や技術分野の枠にとらわれることなく、これまでにない付加価値が生み出されるようになってきた。

このような大変革時代に、我が国及び世界が将来にわたり持続的に発展していくことを目的に第5期科学技術基本計画が定められた。その政策の柱となっているのが“超スマート社会”の実現(Society 5.0)である。超スマート社会とは「必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズにきめ細かく対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことのできる社会」とされており、当社が長年にわたって携わってきた社会インフラシステムの目指すべき姿である。

社会インフラでは、“エネルギー、資源の安定的な確保と循環的な利用”、“持続可能な都市及び地域のための社会基盤の実現”、“効率的・効果的なインフラの長寿命化への対策”、“国及び国民の安全・安心の確保”など、社会的課題の解決が必要となっている。これらの課題解決に向けて、当社が提供する社会インフラシステムも変革を続けている。

本稿では、当社の社会インフラシステムの中で、特に超スマート社会の実現、社会的課題の解決に寄与する代表的な例を技術とともに述べる。

2. 社会インフラシステムの展望と当社の取組み

当社の社会環境事業での社会インフラシステムは、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、競技場などの電源、映像システムや大規模太陽光発電システムなどの民間施設に関連するシステムである。この章では、これらの各システムを取り巻く社会環境の展望と当社の取組みについて述べる。

2.1 IoT・クラウドを活用したサービス基盤IoT共通プラットフォーム

従来の情報社会では、分野ごとの合理化や最適化が主たるシステム化の目的であった。ICTの更なる進化によって、あらゆるものがネットワークにつながり、“実世界とサイバー空間が相互連携した社会(CPS(Cyber Physical System)/IoT社会)”が徐々に実現されようとしている。CPS/IoT社会の到来によって、これまでは実現できなかったデータの収集・蓄積・解析と解析結果の実世界へのフィードバックといった一連のサイクルが社会規模で可能になる。

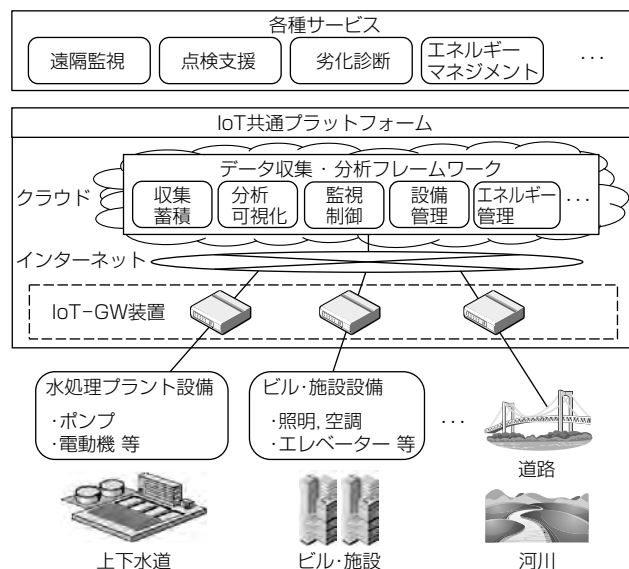


図1. IoT共通プラットフォーム

当社は、IoT・クラウド技術を活用し、社会インフラシステムの効率的な運用・保守を実現する各種サービスの開発に取り組んでいる。それらのサービスの基盤として構築したのが多種・多様なデータを収集・蓄積・活用可能にするIoT共通プラットフォームである(図1)。

2.2 社会インフラ維持管理システム

日本では、高度成長期以降に整備したインフラが急速に老朽化し、今後20年で建設後50年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる。

2012年12月の中央自動車道笹子トンネル上り線で天井板落下事故が発生した。これを受け、国や自治体では今後の戦略的な維持管理・更新に向け、インフラ点検の義務化や技術開発促進などの対策が進められている。しかし、維持修繕予算は、施設の老朽化に伴い本来ならば増やすべきところ、公共事業予算の減少に合わせて減少しているのが現実であり、いずれ維持修繕予算だけで現在の社会インフラ予算規模を超えると予想されている。このような状況で、社会インフラの維持管理に係るコスト軽減と新技術による長寿命化が急務となっている。

社会インフラの維持管理に関する当社の主な取組みについて次に述べる。

2.2.1 水道事業者向けアセットマネジメントシステム

社会インフラの老朽化に伴い、それらを管理する事業者では、保有する施設や設備に関する資産の管理コストの最小化検討、継続的な事業運営を目的にアセットマネジメントの導入検討が開始されている。その中で、厚生労働省は“水道事業におけるアセットマネジメント(資産管理)に関する手引き”を策定しており、当社もこれを受け、施設・設備情報を管理する台帳管理システムをベースに、水道事業者の資産管理業務を支援するアセットマネジメントシステムを開発した。

2.2.2 下水道管維持管理向け地中空洞検知技術

国土交通省は、下水管起因の道路陥没の兆候やその原因となる異状を効率的に検知可能な調査点検技術を公募する下水道革新的技術実証事業を実施している。

この実証事業で、衛星分野で実績のある高度なレーダ信号処理技術と三次元レーザを用いた路面計測技術を組み合わせた当社の地中空洞検知技術が評価され、実証研究では計測した地中レーダ波形から空洞候補を自動抽出し、緊急処置が必要な空洞候補を選別する手法を考案した(図2)。

2.2.3 非常用発電装置運用支援システム

近年、ビルやデータセンター等は設備管理の重要性が高まる一方で熟練保守技術員の減少という課題を抱えている。この課題に対し定期保守運転データの収集・蓄積、運転結果の自動出力、点検周期の自動ガイダンスや中央監視設備とのインタフェースによる遠隔での状態監視等を行う非常用発電装置運用支援システムを開発した。

2.3 省エネルギー・創エネルギーシステム

日本の発電資材は化石燃料が中心であり、その大半を輸入に頼っている。特に東日本大震災以降、原子力発電所の停止に伴う電力供給の減少を主に火力発電で補っている状況である。近年の政策によって太陽光発電を始めとする再生可能エネルギーの導入は進んでいるものの、国際的に見て非常に脆弱(ぜいじゃく)なエネルギー供給構造になっている。このため、徹底した省エネルギーの推進及びエネルギー源の多様化が求められている。さらに、温室効果ガス排出量削減による環境負荷の軽減が重要課題である。

省エネルギー・創エネルギーシステムに関する当社の主な取組みについて次に述べる。

2.3.1 データセンター・ビル施設向け中低圧直流配電ネットワークシステム

デジタル化・クラウド社会の到来によるデータセンター需要の拡大や、BCP(事業継続計画)意識の高まり、ビルのZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)化などを背景に電力を無駄なく活用できる直流配電システムが注目され

ている。太陽光発電・蓄電池・回生電力等と連携し、最適エネルギーミックスを実現して省エネルギーを実現するほか、データセンターやビルの安定稼働やBCP強化、防災拠点等に有効な直流配電システムを開発した。

2.3.2 高効率・大容量の無停電電源装置

無停電電源装置(UPS)は、各種情報処理装置などの重要負荷設備に対する電源の高信頼性を確保する装置として様々な場面で活用されている。特に近年、大規模データセンターの整備を背景に、UPSの高効率化、小型化、大容量化のニーズが高まっている。

これらのニーズに対応するために、最先端SiC(シリコンカーバイド)パワーモジュールを採用した高効率の大容量UPS、従来の交流給電システムに比べてシステム全体での高効率化によって消費電力削減を実現した高電圧直流UPS、装置単機の最大容量を2,100kVAまで拡大した大容量UPSを開発した。

2.3.3 下水・工業排水処理向け省エネルギー・省スペース型膜分離バイオリアクタ“EcoMBR”

気候変動による水資源の偏在、人口増加・産業発展による水需要の拡大、人口集中による水質汚濁等によって、水資源不足が地球規模で問題となっており、下水や工業排水の農業・工業用水としての再利用が進められ、水再利用装置が果たす役割はますます重要となっている。膜内洗浄にオゾン水を用いることを特徴とし、従来比省エネルギー25%、省スペース50%の膜分離バイオリアクタ(Membrane BioReactor: MBR) EcoMBRを開発した(図3)。

2.4 防災・減災システム

近年、2011年の東日本大震災、2014年の広島市土砂災害と御嶽山の火山災害、2015年の関東・東北豪雨災害のように、地震・津波、水害・土砂災害、火山噴火等の多種多様な自然災害が頻発しており、大規模な自然災害によって数多くの被害を受けてきた。また、南海トラフ地震や首都直下型地震など巨大災害の切迫性が指摘され、一度発生すれば国家存亡の危機を招くおそれもある。

それらの事態に備え、これまでの災害から得られた教訓を今後の大規模自然災害への備えに生かし、発生後にでき

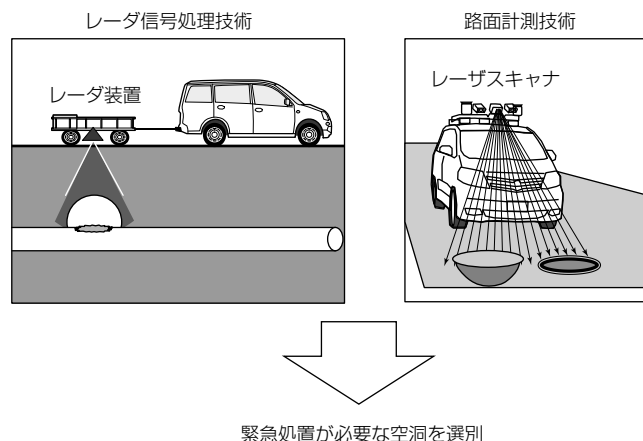


図2. 地中空洞検知技術の概念図

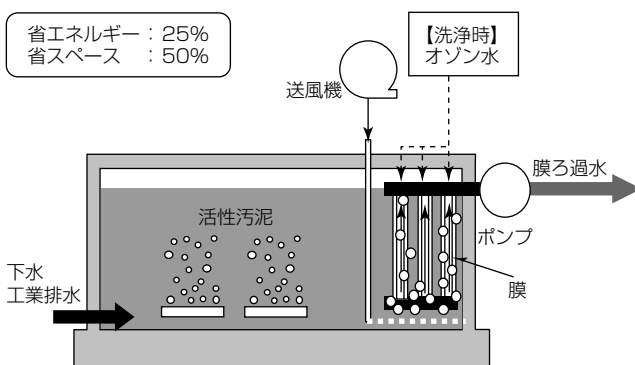


図3. EcoMBR

るだけ早急かつ有効な災害情報を提供することで、組織や個人の安全・安心が確保されるレジリエントな社会の実現が急務となっている。

そのため、災害に負けない都市・インフラの構築、災害の予測・察知、早期被害状況把握による被害の最小化や安全な避難実施、迅速な復旧などを目的に、リスクを効果的に低減し、災害情報をリアルタイムに共有・利活用する仕組みの構築が求められている。

防災・減災システムに関する当社の主な取組みについて次に述べる。

2.4.1 高度河川管理システム

近年の豪雨発生によって河川堤防の越流・決壊と洪水被害が多発しており、河川管理者である国土交通省では、早期避難や的確な水防活動のために、住民の居住地に近い地先単位(ピンポイント)のきめ細かな水位観測を目指している。

CCTV(Closed-Circuit TeleVision)カメラ画像と三次元地形データを用いた水位計測を実現し、危険性をリアルタイムかつ地先単位に伝えることを特長とする高度河川管理システムを開発した。

2.4.2 防災ネットワークを支える衛星通信システム

災害対策の分野では、迅速かつ的確に情報を収集・整理し、情報通信基盤を通じて住民や関係機関に伝達することが求められている。とりわけ、衛星通信は広域性、同報性、耐災害性及び柔軟で容易な回線設定にその特長があり、既に多くの分野で活用され、その有効性も広く確認されている。当社では、衛星通信システムを多くの防災システムに適用・活用している。

2.5 安全・安心・快適システム

あらゆる世代の国民が住み慣れた地域で安全・安心な生活を送ることができる社会基盤の実現に向け、ICT等を駆使したコンパクトで機能的な街づくり、交通事故や交通渋滞のない安全かつ効率的で利用しやすい道路交通システムの構築等が求められている。

また、2020年の東京オリンピック・パラリンピックを見据えた観光客誘致政策の強化などを通じて訪日観光需要は一層拡大し、旅客機の発着便数は大幅な増加が見込まれており、これまでも増して航空安全の確保が求められている。

安全・安心を確保しつつ、一歩先の快適性を追求することによって、全ての国民が心豊かに質の高い生活を送れる社会の実現に向けた当社の主な取組みについて次に述べる。

2.5.1 航空管制用広域マルチラレーション装置

航空機監視センサは、従来の送受信一体かつ1か所の回転式レーダによる測位に代わり、複数地点の送受信装置によって複合的に測位する方式(マルチラレーション)が主流になりつつある。当社は、羽田空港などに空港面監視用

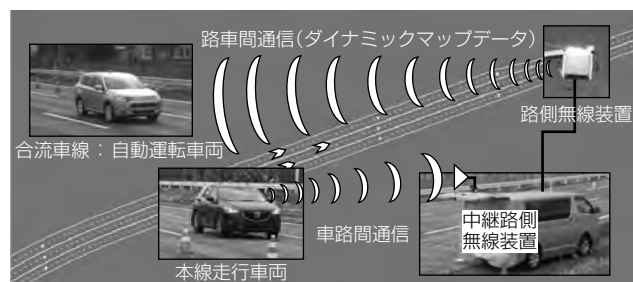


図4. インフラ協調型自動運転システムの実験概念

マルチラレーション装置を納入してきた。これらの経験を踏まえ、岡山空港向けに空域監視まで拡張したマルチラレーション装置を開発した。

2.5.2 インフラ協調型自動運転システム

安全・安心な道路交通社会の実現を目的に、自動運転の実用化に向けた開発が国内外で積極的に行われている。自動運転では、車載機器の開発だけでなく、道路インフラ側から自動運転を支援する仕組みの開発も重要であり、当社は、国土交通省国土技術政策総合研究所テストコースでの実証実験(図4)などに取り組んでいる。

2.5.3 大型映像表示装置“オーロラビジョン”の最新技術と新市場への適用

近年の大型映像表示装置には、黒色LEDによる高コントラスト技術や高解像度化、4KやHDR(High Dynamic Range)といった最新の映像技術、多画面連動制御や高演出システム等の最新技術を適用してシステム化している。

加えて、当社では、防災・減災、安全・安心につながるETC車線表示板や道路情報板、河川表示板(防災情報表示)などの領域に大型映像表示技術を展開している。

3. む す び

社会インフラでは、“エネルギー、資源の安定的な確保と循環的な利用”、“持続可能な都市及び地域のための社会基盤の実現”、“効率的・効果的なインフラの長寿命化への対策”、“国及び国民の安全・安心の確保”など、社会的課題の解決が求められており、社会インフラを運用・管理するシステムへの期待は今後ますます高まっていく。

超スマート社会の実現に向けた最適なソリューションを提供していくために、最新技術を活用した研究開発や製品化を更に加速し、持続可能な社会と安全・安心・快適が両立する豊かな社会の実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 内閣府：第5期科学技術基本計画(2016)
- (2) 内閣府：科学技術イノベーション総合戦略2016(2016)
- (3) 内閣府：科学技術イノベーション総合戦略2017(2017)

IoT・クラウドを活用したサービスによる社会インフラシステムの課題解決

吉田 剛*
門馬 啓*

Application of IoT and Cloud to Social Infrastructure System

Takeshi Yoshida, Kei Monma

要 旨

近年、労働人口減少や老朽化設備増加に伴い、社会インフラシステムは①運用・保守を担う人員(特に熟練技術者)の減少、②設備の点検・更新等の保守作業負担増大、③運用でのエネルギーコストの抑制ニーズという課題があり、運用・保守業務の効率化ニーズが高まっている。

三菱電機は、次のようなサービス提供によってこれらの課題解決に取り組んでいる。

(1) 遠隔監視・広域運用サービス

遠隔から複数システムを統合監視・運用することによって運用を省人化。

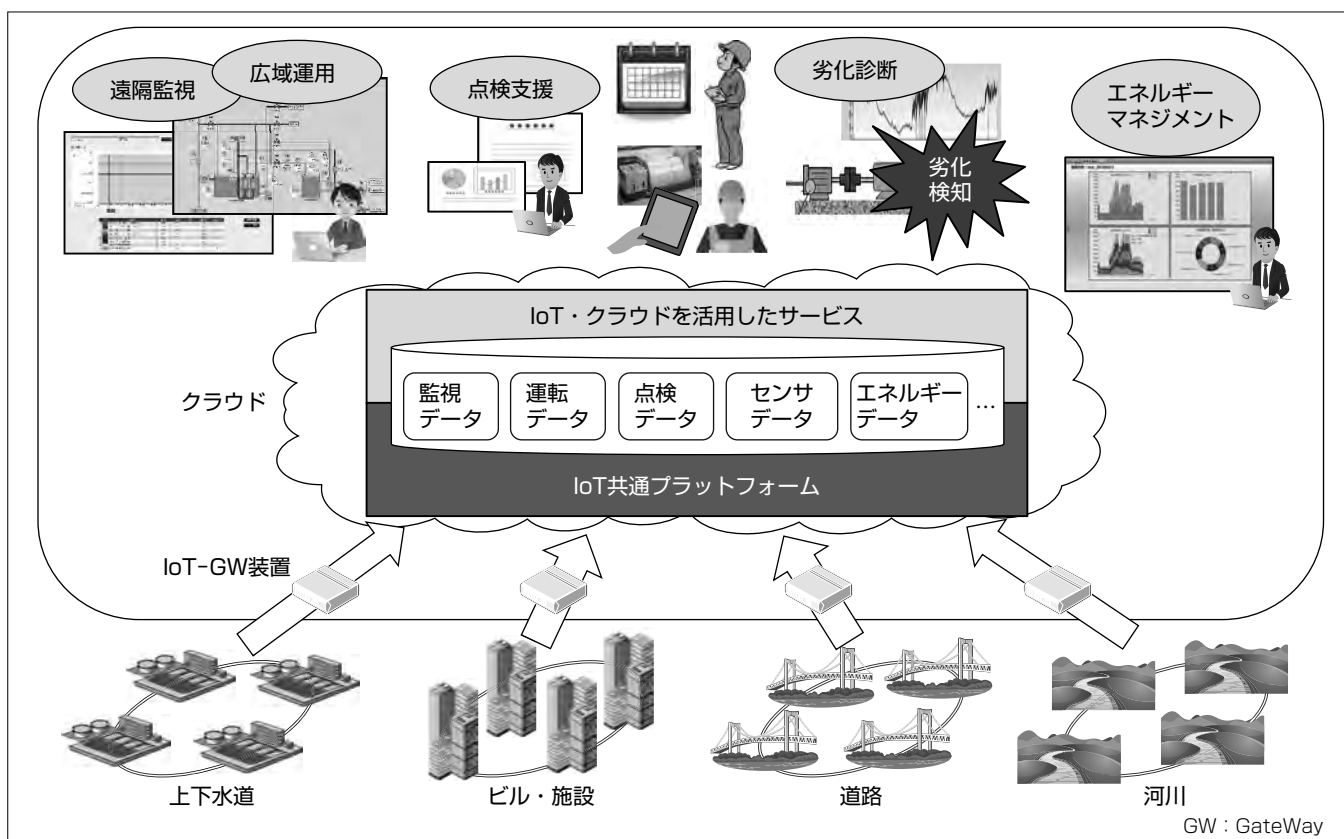
(2) 点検支援・劣化診断サービス

カメラやマイクなどの活用による点検作業の省力化と、設備の状態把握による点検・更新作業の効率化。

(3) エネルギーマネジメントサービス

複数システムのエネルギーを統合的に管理することによってエネルギーコストの抑制。

一方、IoT(Internet of Things)やクラウド技術の進展に伴い、社会インフラの監視・運転・エネルギー等のデータ利活用が注目されている。当社は、IoT・クラウド技術を活用してこれらの各種サービスを実現している。



IoT・クラウドを活用したサービスとIoT共通プラットフォームの概念図

上下水道、ビル・施設、道路、河川などで使われる社会インフラシステムの課題解決のため、IoT・クラウド技術を活用したサービスとして、遠隔監視・広域運用サービス、点検支援・劣化診断サービス、エネルギーマネジメントサービスを提供する。

また、これらのサービスを実現するため、共通基盤としてデータ収集・蓄積・可視化・分析・監視制御等の機能を持つIoT共通プラットフォームを開発した。

1. ま え が き

近年、労働人口減少や老朽化設備増加に伴い、社会インフラシステムの運用・保守業務効率化ニーズが高まっている。一方、IoT・クラウド技術の進展に伴い、社会インフラの監視・運転・エネルギー等のデータ利活用が注目されている。

当社は、IoT・クラウド技術を活用して社会インフラシステムの効率的な運用・保守を実現する各種サービスの開発に取り組んでいる。

本稿では、開発している各種サービスの内容と今後の展開を述べるとともに、サービスの基盤として用いているIoT共通プラットフォームについて述べる。

2. IoT・クラウドを活用したサービスによる社会インフラシステムの課題解決

社会インフラシステムは、次のような大きな課題を抱えている。

- (1) 運用・保守を担う人員、特に熟練技術者の減少
- (2) 老朽化設備の増加に伴う保守作業負荷の増大
- (3) 運用でのエネルギーコスト抑制ニーズ

当社では、社会インフラシステムが抱えるこれらの課題を解決するIoT・クラウド技術を活用した各種サービスの開発に取り組んできた。

2.1 遠隔監視・広域運用サービスによる省人化と運用支援

2.2.1 遠隔監視・広域運用サービス

上下水道プラントシステムやビル・施設管理システムなどの大規模な社会インフラシステムの遠隔からの監視・制御を実現し、運用の省人化を可能にした。

具体的には、次の機能を用意することによって、広域に点在する複数のシステムを遠隔から統合的に運用可能とし、システムごとに必要であった運転員を集約して省人化している(図1)。

(1) 統合管理機能

複数のシステムを統合的に管理するために、統合管理機能を従来の監視制御システムに追加した。この機能によって、複数システムを地域分けしたツリーメニューや地図などでシームレスに管理することが可能になる。

(2) 遠隔監視・制御機能

遠隔からも従来の監視室と同様の監視・制御を可能にするため、次の機能を提供する。

- ① グラフィカルな状況監視
- ② トレンドグラフによるデータ確認
- ③ アラームガイダンスによる異常・故障の検知

(3) ハンディ監視・制御機能

システムに複雑な異常が発生した場合に、熟練技術者の支援を得やすくするため、タブレット端末を用いた場所を選ばない監視・制御機能を提供する。

これらの機能の実現には、当社で開発したIoT-GW装置を用いている。IoT-GW装置は、複数種のコネクタ・通信プロトコルをサポートしており、現場機器にセンサを容易に追加してIoTのデータとして収集することができるため、システムの状態をより的確に把握することができる。

また、監視制御システムの機能全体をクラウド上で実現しているため、バックアップ拠点を持つ耐障害性が高いシステムを容易に構築し、運用に必要な機能をサービスとして運用事業者を提供できるようにした。

2.1.2 運用支援サービス

遠隔監視・広域運用サービスで蓄積した監視・運転・IoT関連のデータを活用する運用支援を実現し、運用の省力化を可能にした。

具体的には、蓄積したデータに天候や地域のイベント等を加味して、上下水道のシステムではポンプなどを最適に制御する運転パターンを生成し、運転パターンに応じた操作ガイダンスを通知して運転を支援している。

2.2 点検支援・劣化診断サービスによる点検作業の省力化と設備更新の最適化

2.2.1 点検支援サービス

上下水道のポンプなど目視で点検している設備に、カメラやマイクなどを取り付け、また現場作業にタブレット端末を用いることで、点検作業の省力化を可能にした。

具体的には、次の機能を用意することで、目視での点検項目を減らし、現場作業も効率化して省力化している(図2)。

(1) 映像・音の点検データ化機能

現場での点検項目を減らすために、点検対象設備に取り付

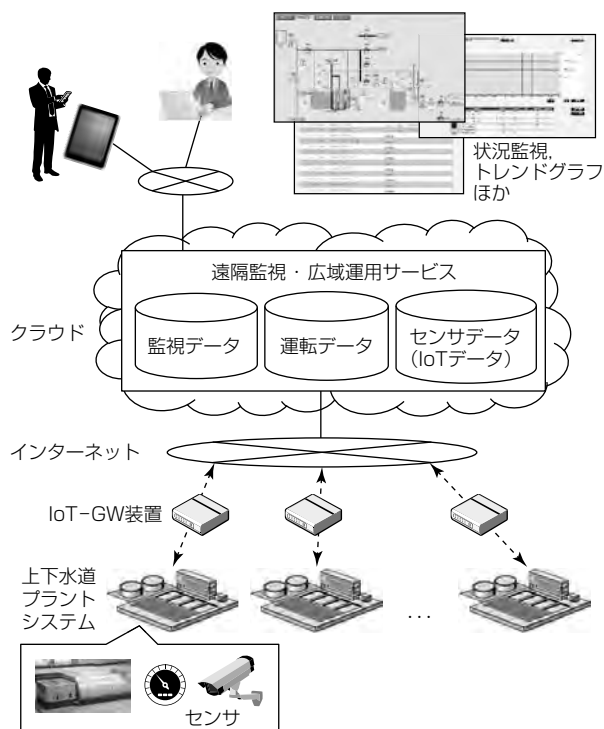


図1. 遠隔監視・広域運用サービス

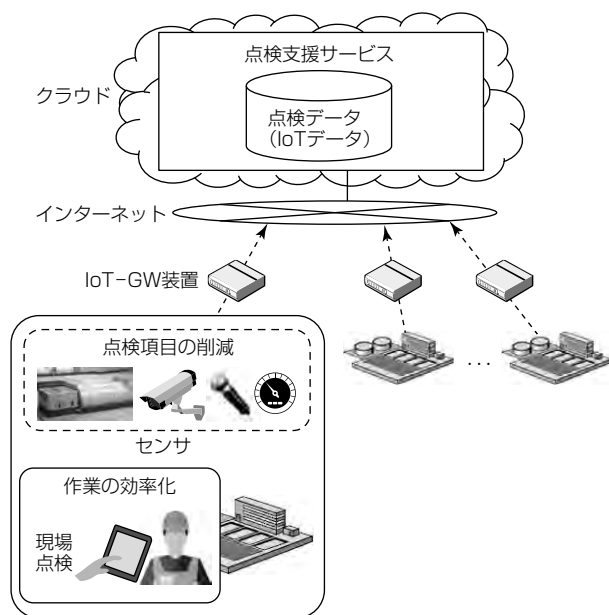


図2. 点検支援サービス

けたカメラ・マイクの映像・音を画像解析や音響・周波数解析などの技術によって、点検データ化する機能を提供する。

(2) ハンディ点検機能

現場作業を効率化するために、タブレット端末のカメラと画像認識によるメタ情報等の入力、画像認識で入力できない場合は目視での点検結果をマイクと音声認識で入力する機能を提供する。

これらの機能で必要となるカメラ・マイク・その他センサは、IoT-GW装置を用いることで、容易に追加することができる。また、点検支援の機能全体をクラウド上で実現しているため、保守事業者には、点検に必要な機能をサービスとして提供する。

2.2.2 劣化診断サービス

点検支援サービスで蓄積した点検データを活用して、設備の状態保全を実現し、点検作業の省力化、設備更新の最適化を可能にした。

具体的には、次の機能を用意することによって、設備の状態に応じた点検・更新を可能にして、点検作業を省力化し、また設備更新を最適化している(図3)。

(1) 劣化診断機能

点検データの統計的な解析に、設備の設計情報や異音・変色など点検者のノウハウ、及び監視・運転データも加味した設備の劣化度合い・異常の兆候を把握可能とする劣化診断機能を提供する。

(2) 劣化状態の可視化機能

設備の状態に応じた最適な点検・更新の計画立案を支援するため、劣化診断機能で把握した劣化度合い・状況・要因を可視化する次の機能を提供する。

①劣化度合いをレベル表示

②劣化状況を視覚的に確認するグラフ表示

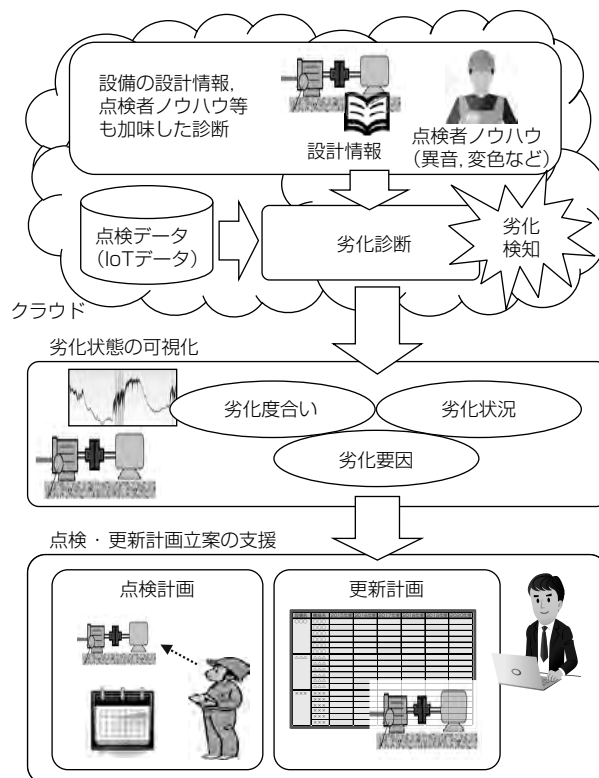


図3. 劣化診断サービス

③劣化要因となる部品・部分を表示

これらの機能もクラウドで実現しているため、保守事業者には、点検・更新に必要な機能をサービスとして提供する。

2.3 エネルギー管理サービスによるエネルギーコストの抑制

ビル・施設などの複数のエネルギー管理システムの統合的な管理を実現し、運用でのエネルギーコストの抑制を可能にした。

具体的には、次の機能を用意することで、複数システム全体のエネルギーの消費状況を把握し、センサデータを活用した的確な需要予測と全体で最適に再生可能エネルギーを利用する供給計画を立案し、運用でのエネルギーコストを抑制している(図4)。

(1) エネルギー見える化機能

省エネルギー施策立案を支援するために、次の様々な視点でグラフ表示して、複数システムのエネルギー消費状況を多角的に比較・分析可能とするエネルギー見える化機能を提供する。

①エリア別(建物、フロア等)表示

②設備の種別(照明、空調等)表示

③エネルギー種別(電力、ガス、水道等)表示

(2) 需給計画立案機能

エネルギーコストを抑制するために、空調等の負荷設備の運転データ(ON/OFF制御データ等)に、室温などのセンサデータを加味して需要予測を行い、複数システムが持つ太陽光発電・蓄電池などの再生可能エネルギーを最適に利用した

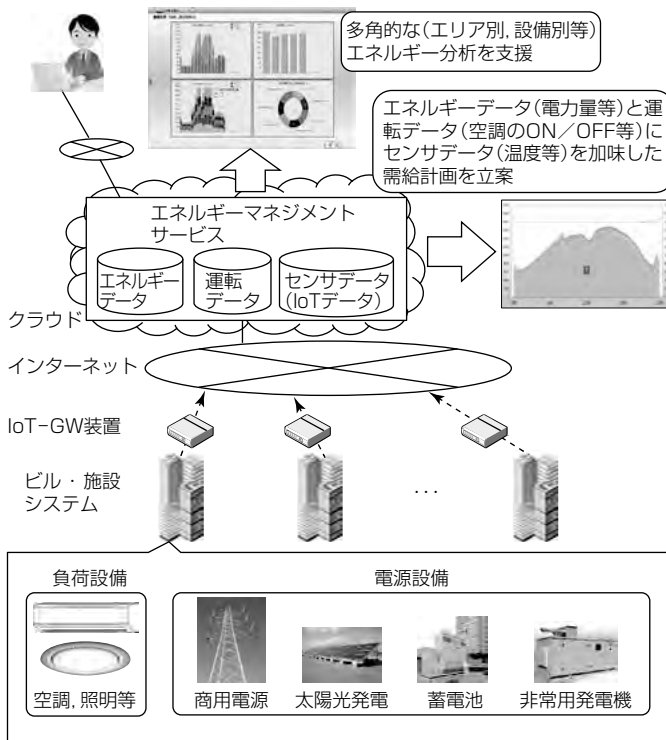


図4. エネルギーマネジメントサービス

供給計画を立案する機能を提供する。

これらの機能で必要となるセンサはIoT-GW装置を用いることで、容易に追加できる。また、エネルギーマネジメントの機能全体をクラウドで実現しているため、運用事業者には、システムを容易に構築し、運用に必要な機能をサービスとして提供する。

3. IoT共通プラットフォーム

当社では、これまでに述べた各種サービスを実現するための共通機能を整備した“IoT共通プラットフォーム”を開発した(図5)。

3.1 特 長

- IoT共通プラットフォームは、上下水道、ビル・施設、道路、河川などで使われる、多種多様な社会インフラシステムに適用するサービスを実現するために次の特長を持つ。
- (1) 複数種のコネクタ・通信プロトコルをサポートする
IoT-GW装置によって、多種多様な現場機器・社会インフラシステムのデータを収集することが可能。
 - (2) 通信路・蓄積データの暗号化、不正アクセス防止、権限に応じた高度な情報閲覧(個人・機密情報等の流出防止)などの機能によって、強固なセキュリティを確保。
 - (3) 複数データを関連付けて様々な視点でデータの特性を見る機能によって、多角的なデータの比較・分析が可能。
 - (4) IoT-GW装置からクラウドでのデータ管理、監視や設備管理の画面作成まで、統合的にエンジニアリングする機能によって、各種サービスを実現するシステムを短期間で構築可能。

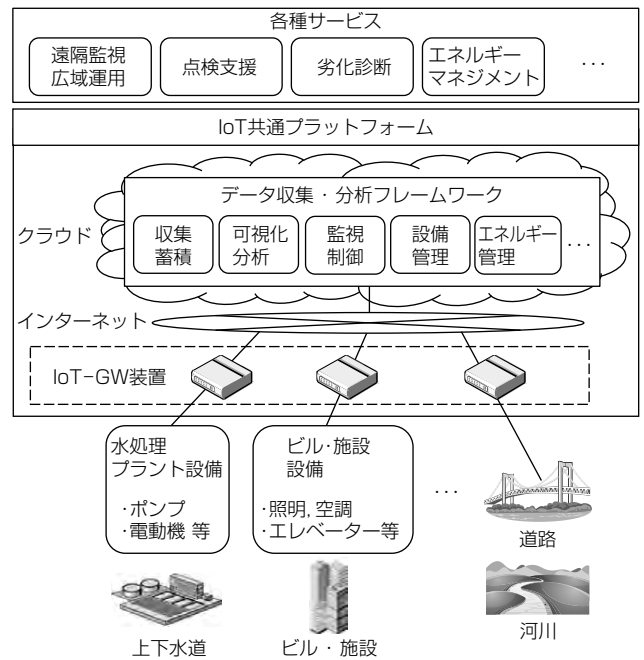


図5. IoT共通プラットフォーム

表1. 機能一覧

機能	目的
GW機能 (IoT-GW装置)	多種・多様な現場機器・システムをIoT化する。 コネクタ：WAN, LAN, USB, RS485/422など 通信プロトコル：Modbus ^(注1) , TCP, SLMP, OPC-UAなど
データ収集機能	IoT化したデータを演算・集約等加工し、暗号化して収集する。
データ蓄積機能	大量のデータを暗号化して蓄積し、高速に検索する。
データ可視化機能	表やグラフなど様々な形式でデータ表示し、分析結果を視覚的に確認する。
データ分析機能	閾値判定や文脈判定などのデータを分析したり、複数データを関連付けて比較・分析する。
監視制御機能	グラフィカルな状況監視、トレンドグラフ、設定値・ON/OFF制御など、遠隔から監視・制御する。
設備管理機能	設備の台帳情報、点検履歴、文書情報等を管理する。
エネルギー管理機能	電源設備(太陽光発電/蓄電池等)、負荷設備の電力使用状況確認、需要予測/供給計画立案など、エネルギー管理を行う。
エンジニアリング機能	IoT-GW装置からクラウドでのデータ管理まで一括で設定したり、監視や設備台帳などの各種の画面を作成する。

(注1) Modbusは、Schneider Automation, Inc. の登録商標である。

WAN : Wide Area Network
TCP : Transmission Control Protocol
SLMP : SeamLess Message Protocol
OPC-UA : OLE for Process Control-Unified Architecture
OLE : Object-Linking and Embedding

3.2 主な機能

共通基盤としてデータ収集・蓄積・可視化・分析・監視制御等の各種機能を持つ(表1)。

4. む す び

社会インフラシステムの課題を解決するために、当社が開発しているIoT・クラウドを活用したサービスについて述べた。これらのサービスは、今後実証実験等を経て順次提供していく計画である。IoT・クラウドは今後も発展・普及していくものであり、更なる活用サービスを開発して社会に貢献していく。

水道事業者向け アセットマネジメントシステム

佐久嶋 拓*

Asset Management System for Water Supply Company

Taku Sakushima

要 旨

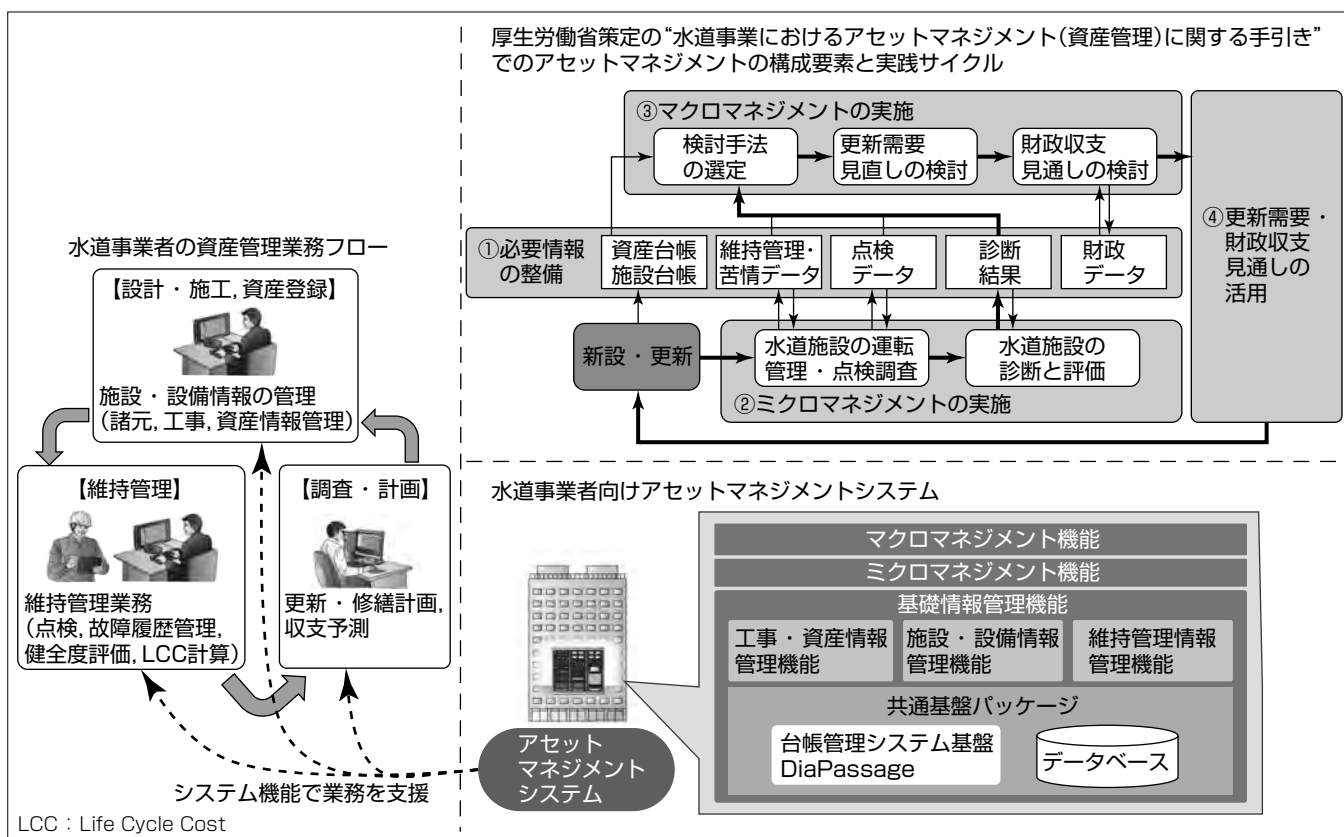
国内の水道インフラは、高度経済成長期に急速に整備されたため、耐用年数の到来による本格的な更新時期を迎えつつある。そのため、更新等の維持管理コストの大幅な増加が予想されている。

維持管理コストの低減には、水道インフラを極力長期間使用するための長寿命化計画や更新の計画的実施が必須であり、水道事業者はこれらの事業計画と普段の資産管理業務を結び付けて実施することが課題となっている。

解決策として、厚生労働省は水道事業者向けにアセットマネジメントの導入検討を支援するために、“水道事業にお

けるアセットマネジメント(資産管理)に関する手引き”⁽¹⁾を策定し、その中で実践に必要な構成要素と実践サイクルを規定した。これを踏まえて、水道事業者は、アセットマネジメントの導入検討を始めている。

三菱電機はこれまでに開発・運用保守を行ってきた社会インフラ管理事業者向け台帳管理システム基盤“DiaPassage”をベースに、厚生労働省アセットマネジメントの手引きの概念を取り入れて、水道事業者の資産管理業務を支援するアセットマネジメントシステムを開発した。



水道事業者向けアセットマネジメントシステムのイメージ

水道事業者向けアセットマネジメントシステムは、水道事業者が日々の資産管理業務で利用する施設・設備の諸元情報や故障・修繕の履歴といった維持管理情報をデータベース化し、それらに基づいた更新・修繕計画策定の支援をするシステムである。厚生労働省が水道事業者向けに策定した“水道事業におけるアセットマネジメント(資産管理)に関する手引き”に基づいてシステムを開発した。

1. ま え が き

国内の水道事業者が持つ水道インフラ(浄水場等の施設・設備や管路)は、高度経済成長期に急速に整備されたため、耐用年数の到来による本格的な更新時期を迎えつつある。一方、国内の人口は減少傾向にあり、今後の水需要は減少することが予想されている。このような背景から、水道事業者では、水道インフラ更新等の費用の増加と水道使用料等の事業収入の減少が予想されており、近い将来、事業継続に必要な資金が確保できなくなることが懸念されている。

そのため、水道事業者では、水道事業を持続可能とするために、保有する水道インフラの機能を維持しながら費用を最小化することが求められており、その実現手法としてアセットマネジメントが注目されている。

また、厚生労働省は、各水道事業者のアセットマネジメントの実施を推奨しており、その一環として、水道法改正による水道施設台帳の整備義務化を予定している。このため、水道事業者でのアセットマネジメント実施は必須となりつつある。

2. 厚生労働省アセットマネジメントの手引き

2.1 概 念

水道事業者が、中長期的財政収支に基づき持続可能な事業を実現していくためには、長期的な視点に立って施設・設備の更新等を計画的に実行し、保有する施設・設備のライフサイクル全体にわたって効率的かつ効果的に管理運営することが必要不可欠であり、これを組織的に実践する活動がアセットマネジメントである。

厚生労働省は、アセットマネジメントの重要性を各水道事業者等が十分に理解した上で、全ての水道事業者でアセットマネジメントの実践が推進されることを目的に、水道事業者向けに“水道事業におけるアセットマネジメント(資産管理)に関する手引き”⁽¹⁾(以下“手引き”という。)を2009年に策定した。

2.2 アセットマネジメントの効果

アセットマネジメントの実践によって、次に示す効果が期待されている(以下①～④手引き抜粋)。

- ①基礎データの整備や、技術的な知見に基づく点検・診断等によって、現有施設の健全性等を適切に評価し、将来における水道施設全体の更新需要を掴むとともに、重要度・優先度を踏まえた更新投資の平準化が可能となる。
- ②中長期的な視点を持って、更新需要や財政収支の見通しを立てることにより、財源の裏付けを持った計画的な更新投資を行うことができる。
- ③計画的な更新投資により、老朽化に伴う突発的な断水事故や地震発生時の被害が軽減されるとともに、水道

施設全体のライフサイクルコストの減少につながる。

- ④水道施設の健全性や更新事業の必要性・重要性について、水道利用者や議会等に対する説明責任を果たすことができ、信頼性の高い水道事業運営が達成できる。

2.3 構成要素と実践

アセットマネジメントは、①必要情報の整備、②ミクロマネジメント(水道施設の日常的な資産管理)の実施、③マクロマネジメント(水道施設全体の資産管理)の実施、④更新需要・財政収支見通しの活用の4つの要素で構成される⁽¹⁾。その実践に当たっては、水道事業者の事業規模や事業特性に合わせた仕組みの構築が必要となる。

3. 当社アセットマネジメントシステムの特長

当社は水道事業者のアセットマネジメントを支援するアセットマネジメントシステム(以下“システム”という。)を開発した。手引きに記載されているアセットマネジメントの構成要素のうち、システムで実現する機能を表1に示し、表2にそれらの機能の目的を示す。

このシステムは、これまで当社が開発して納入してきた設備台帳管理システムで利用している台帳管理システム基盤DiaPassageを組み込んだ構成(図1)としており、次の特長を持つ。

表1. アセットマネジメント構成要素とシステム実現機能

アセットマネジメントの構成要素 ⁽¹⁾		システムで実現する機能
①必要情報の整備	必要情報の整理・収集	△
	データベース化	○
②ミクロマネジメントの実施	水道施設の運転管理・点検調査	○
	水道施設の診断と評価	○
	検討手法の選定	—
③マクロマネジメントの実施	更新需要見通しの検討	△
	財政収支見通しの検討	—
	妥当性確認と検討結果の取りまとめ	—
	マクロマネジメントのレベルアップのための改善方策の抽出	—
	地域水道ビジョン等計画作成における活用	—
④更新需要・財政収支見通しの活用	情報提供における活用	—
	水道の運営基盤強化に向けた包括的検討	—

○：対象，△：一部対象，—：対象外

表2. アセットマネジメントシステムの機能

機能		目的
①基礎情報管理機能	工事・資産情報管理	施設や設備に関する工事の情報や固定資産に関連する情報を登録・編集・参照する。
	施設・設備情報管理	施設や設備の諸元情報(名称、設置年等)の登録・編集・参照する。
	維持管理情報管理	故障履歴、修繕履歴、点検履歴等の維持管理情報を対象の施設や設備にひも付けて登録・編集・参照する。
②ミクロマネジメント機能		対象施設の施設設備情報や維持管理情報を基に計算を行い、妥当と考えられる更新時期を計算する。
③マクロマネジメント機能		ミクロマネジメント機能で算出した更新時期を基に、全体で発生する費用を年ごとに集計して、更新に伴い発生する費用(更新需要)を計算する。

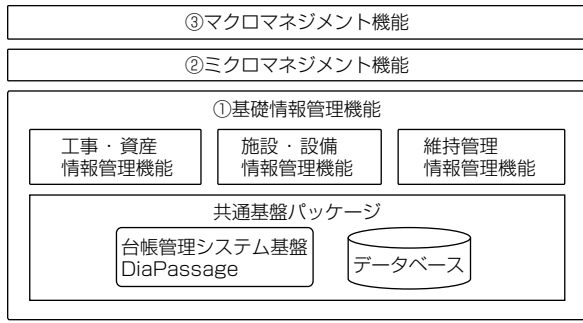


図1. アセットマネジメントシステムの構成

表3. 基礎情報管理機能の要件と課題

項目	内容
要件1	各情報をシステム利用者(例：水道事業者の職員)が日常業務で必要ときに容易に参照できる。
要件2	水道事業を運営していく上で日々発生する施設の新設・更新・撤去に合わせて情報も追加・編集・削除できる。
要件3	水道事業者が持つ情報の管理体系に合わせたカスタマイズや見直しに容易に対応できる(課題1及び2から必要となる要件)。
課題1	管理対象とする情報(“①資産・施設台帳データ”～“④財政データ”)は水道事業者ごとに最適化された独自の管理体系(項目等)や管理方法を持っており、統一されていない。
課題2	システム開発中又は完成後に管理体系を変更する場合がある。これは、アセットマネジメントは現在発展途上であり、他水道事業者の良好事例等を取り込んだシステムとすることがあることに起因する。



図2. システム画面(左上)及び一括処理用Excel(右下)

- (1) Web方式のシステムであるため、ネットワークに接続されたパソコンのブラウザがあれば操作可能。
- (2) 情報の入出力にExcel^(注1)を利用することが可能で、大量の情報を一括で登録・修正・削除することが容易。
- (3) データモデルをプログラミングレスで定義可能であるため、短時間でデータベースの構築・修正が可能。
- (4) 管理する情報の関連付けを設定によって作成・変更できるため、将来の機能拡張に対応しやすい。

システムの納入に当たっては、納入先水道事業者の特性や規模によって業務実施形態が異なることから水道事業者に合わせてカスタマイズが必要となるが、このシステムでは納入に当たって必要となるカスタマイズの多くをプログラミングレスで実施できる。

(注1) Excelは、Microsoft Corp.の登録商標である。

4. 当社アセットマネジメントシステムの機能

手引きを基に開発した当社アセットマネジメントシステムについて、システムの各機能を実現する上での課題を考慮した要件、及び要件の実現法について述べる。

4.1 基礎情報管理機能

4.1.1 要件と課題

手引きでは、水道事業者で管理が必要な情報を①資産・施設台帳データ、②維持管理・苦情データ、③点検・診断データ、④財政データとしている。

基礎情報管理機能の要件と課題を表3にまとめる。

4.1.2 実現法

この機能に対する要件は、システムに組み込まれているDiaPassageの特長(3章の(1)～(4))を利用することで実現している。

(1) 要件1と要件2の実現法

基礎情報管理機能では、ブラウザに表示されるシステム画面を通じてデータの参照や編集を可能としているため、システムがつながっているネットワークに接続されたパソコンであれば操作することができる(図2左上画面)。

また、システムに対して大量の情報の追加・編集・削除を行う場合は、Excelを利用した入出力機能を利用することで一括処理を行うことができる(図2右下)。

(2) 要件3の実現法

情報の管理体系変更については、DiaPassageの機能を利用するとシステムプログラムの改造なしに変更できるため、システム稼働後にデータ項目の追加等が発生した場合でも、短期間かつ運用への影響を最小限に抑えて対応することができる。

4.2 ミクロマネジメント機能

4.2.1 要件と課題

手引きにおけるミクロマネジメントの実施の目的は、必要情報の整備でデータベース化した情報を利用し、マクロマネジメントの実施につなげることである。

マクロマネジメントの実施に必要な情報の1つに施設の更新時期があるが、更新時期の算出は、ミクロマネジメントで施設の状態を確認した結果の情報(施設の運転管理・点検調査)から、施設の健全性を診断し評価(施設の診断と評価)することで行う。

ミクロマネジメント機能の要件と課題を表4にまとめる。

4.2.2 実現法

(1) 要件1の実現法

ミクロマネジメント機能では、DiaPassageの特長(4)を活用して、維持管理情報をシステム内で管理している施設の情報と関連付けて登録・参照できるようにした。これによって、システムでは施設の情報から、そこに関連付けられている維持管理情報(故障履歴、修繕履歴、点検履歴)を容易に取得できる。

(2) 要件2と要件3の実現法

これらの要件では、システムで健全度評価を行えること

表4. ミクロマネジメント機能の要件と課題

項目	内容
要件1	施設の運転管理・点検調査：日々発生する施設の維持管理情報(故障、修繕、点検等の履歴)をデータベースに適切に管理して、“施設の診断と評価”で利用できる。
要件2	施設の診断と評価：データベースに蓄積された維持管理情報に基づいて施設の機能や状態の健全性を診断し、対策を必要としない健全な状態から、瞬時に更新等の対策を必要とする状態までランクを分けた健全度評価ができる。
要件3	健全度評価のルール変更及び追加に対応できる(課題1から必要となる要件)。
課題1	健全度評価をシステム化するためには、診断対象とする情報や評価のやり方(ルール)の確立が必要。現状統一的なルールがなく、事業者内で事業特性に合わせたルールを確立しなければならない。

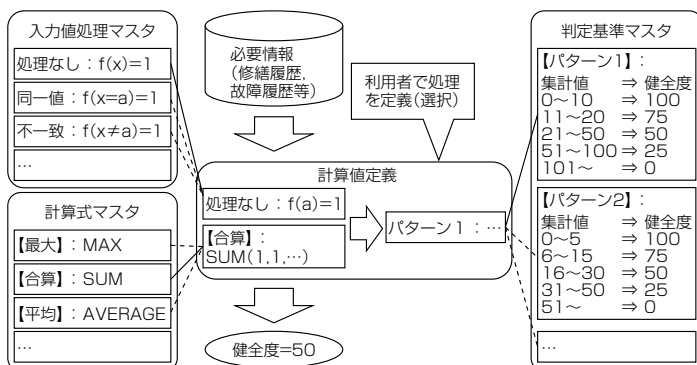


図3. 健全度計算定義機能のイメージ

が必要だが、事業特性に合わせたルールを設定するために、健全度評価のためのルールをあらかじめ定義した上で選択可能とし、その選択結果に基づいて健全度評価を行う仕組みを構築した(図3)。

具体的には、健全度評価を行う際、①システム内に蓄積された維持管理情報を入力値として取得する際に行う処理(入力値処理)、②それらを集計する際の計算方法(計算式)、③計算結果から健全度評価値を算出するための基準値(判定基準)を、システムであらかじめ定義されたメニューの中から選択し、それを計算値定義として設定できるようにしている。計算値定義は、対象の施設単位で設定可能であり、変更はシステム利用者でも可能にした。これによって、健全度評価ルールの変更にも対応が可能になる。

4.3 マクロマネジメント機能

4.3.1 要件

手引きでは、マクロマネジメントは水道事業者が保有する施設全体のアセットマネジメントを指し、ミクロマネジメントで得られた施設単位の情報に基づいて、中長期的な観点から“更新需要見通し”及び“財政収支見通し”について検討するとしている。

表1に示すように、マクロマネジメントの実施に対するシステムで実現する機能は更新需要見通しの検討としている。

マクロマネジメント機能の要件を表5にまとめる。

4.3.2 実現法

マクロマネジメント機能では、基礎情報管理機能やミクロマネジメント機能で作成・管理する情報から、更新時期

表5. マクロマネジメント機能の要件

項目	内容
要件1	対象施設の情報や健全度評価結果から、対象施設の更新時期を算出できる。
要件2	各施設の更新時期を集約して、水道施設全体の更新需要見通しが作成できる。

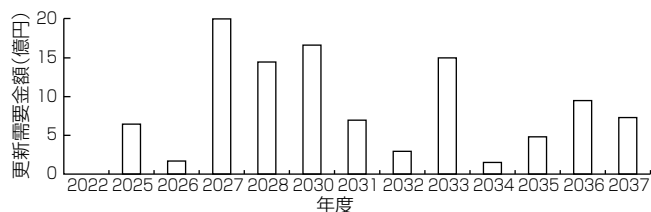


図4. 更新需要のグラフ出力例

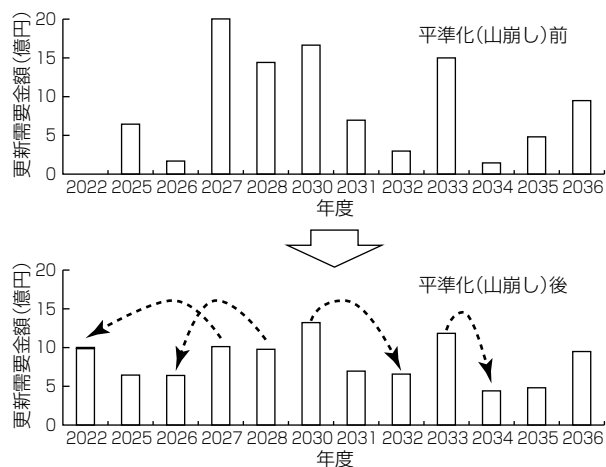


図5. 山崩し機能のイメージ

の算出に必要な情報を一括で取得し、施設単位の更新時期を算出する機能を実現した。また、Excelの機能を利用して各施設の更新時期と基礎情報を組み合わせて集計することで水道施設全体の更新需要見通しのデータも作成・出力できるようにした。更新需要見通しの情報は、Excelを利用してグラフ出力することができる(図4)。

また、更新需要見通しの情報はExcel帳票上に全て出力されているため、これを利用して、個別の施設の更新時期を調整して平準化を行う山崩し機能を実現した(図5)。

5. むすび

当社は、厚生労働省が策定した水道事業でのアセットマネジメントの手引きに基づいて、水道事業者のアセットマネジメントを支援するシステムを開発した。

今後は、システムの提供を通じて水道事業者のアセットマネジメント業務の効率化に寄与していく。

参考文献

- (1) 厚生労働省健康局水道課：水道事業におけるアセットマネジメント(資産管理)に関する手引き～中長期的な視点に立った水道施設の更新と資金確保～(2009)

下水道管維持管理向け地中空洞検知技術

梅山 聡*
星野起寛**

Sensing Technique of Underground Cavity for Maintenance Management of Sewerage Pipe

Satoshi Umeyama, Takehiro Hoshino

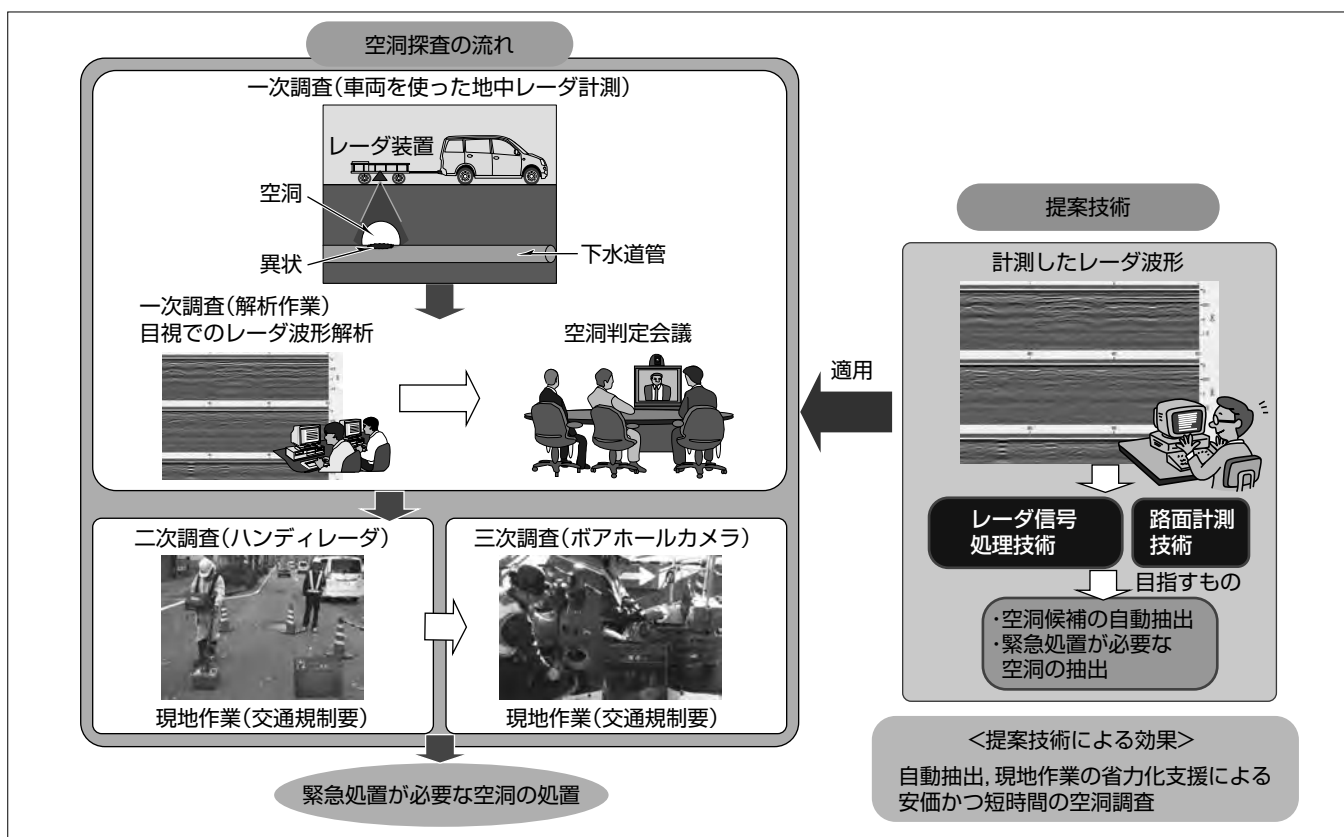
要 旨

日本では建設後50年以上経過した老朽化インフラが急増し、限られた予算の中で、効率的な維持更新が求められている。国土交通省では道路、河川、港湾、鉄道、下水道等社会インフラの維持更新のため国土交通省インフラ長寿命化計画(行動計画)(2014年5月)を策定し、点検・診断における非破壊・微破壊での検査技術、ICT(Information and Communication Technology)を活用した変状計測等の新技術による高度化・効率化に取り組んでいる。

社会インフラの1つである下水道は、建設後50年以上経過した老朽管が全国で約1.3万km(総延長の3%)ある。その老朽管の破損など下水道管に起因する道路陥没が、年

間約3,300件発生しており、重大事故が発生する前に対策を打つ必要がある。そのため国土交通省は、下水道管に起因する道路陥没の兆候やその原因となる異状を効率的に検知可能な調査点検技術を公募する実証研究を実施している。

三菱電機は、衛星分野で実績のあるレーダ信号処理技術と、三次元レーザを用いた路面計測技術を組み合わせた地中空洞検知技術が評価され、この実証研究に採択された。実証研究では計測した地中レーダ波形から空洞候補を自動抽出し、緊急処置が必要と考えられる空洞を抽出できることが分かった。今後の実証研究で更なる抽出精度の向上を図り、短時間かつ安価な空洞探査の実現を目指す。



空洞探査の流れ

現在の空洞探査は車両で計測したレーダ波形から空洞候補を判定する一次調査、ハンディレーダから空洞候補を判定する二次調査、ボーリング孔内にカメラを入れる三次調査から構成される。当社は下水道管に起因する空洞探査でレーダ信号処理による高解像度化技術と路面計測技術を適用し、空洞候補の自動抽出や緊急処置が必要な空洞を抽出することで、現地作業の省力化を可能にする短時間かつ安価な空洞探査を目指している。

1. ま え が き

下水道管の総延長約47万kmのうち建設後50年を経過した老朽化管は現在約1.3万km(総延長の3%)存在している。50年経過管は10年後には約4倍に増加する見込みであり、将来的には老朽管の破損など下水道管に起因する地中空洞発生に伴う道路陥没によって重大事故が発生するリスクが高まる。このため、下水道施設を管理する自治体は、下水道管を迅速かつ適切に点検調査し、効率的な維持管理を実施していく必要がある。

自治体では目視できない管について管内テレビカメラ調査で下水道管点検を行っているが、1日に調査できる距離が短く、さらにkm当たりの単価が高いことから、全ての下水道管を調査するには多くの時間とコストがかかる。さらに老朽管の破損などによって発生する地中空洞の状態は管内テレビカメラ調査では把握することはできない。

一方、道路分野では、道路陥没を未然に防ぐために地中空洞探査が行われている。近年では、道路陥没が下水道管に起因するものも増えていることから、危機感を持つ自治体は、下水道分野でも地中空洞探査を行い、道路陥没対策に努めている。しかし、予算的制約から、総延長の地中空洞探査による安全確認に数年かかる状況となっている。

国土交通省では管内テレビカメラ調査では発見できない下水道管に起因する道路陥没やその原因となる異状を効率的に検知可能な調査点検技術を下水道革新的技術実証事業(以下“実証研究”という。)で公募しており、当社は2015年からその実証研究に参画している。

本稿では、陥没の兆候の検知を目的とした地中空洞検知の実証研究に当社が持っているレーダ信号処理技術と路面計測技術を適用した成果について述べる。また、下水道管の維持管理に向けて、その成果を組み込んだ下水道管維持管理サービスについて述べる。

2. 実 証 研 究

2.1 下水道革新的技術実証事業と当社の取組み

2.1.1 下水道革新的技術実証事業

国土交通省では、「新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出等を実現するため下水道革新的技術実証事業(B-DASH/Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project)に取り組んでいる。」(国土交通省報道発表資料抜粋)

老朽管の破損など下水道管に起因する道路陥没などの発生リスクが高まっている中、道路陥没を未然に防ぐため、従来の調査技術では発見できない道路陥没の兆候やその原因となる異状を効率的に検知可能な調査点検技術を2015年に公募し、下水道管管理への適用可能性等を検証するため

の研究を進めていくことにした。

2.1.2 当社の下水道分野への取組み

当社は衛星分野で実績のある高分解能な画像が取得できるレーダ信号処理技術と、三次元レーザを用いた路面計測技術を持っている。道路陥没を未然に防ぐため、下水道管に起因する地中空洞に上記の技術を適用して効率的に検知する提案が評価され、この実証研究に採択された。

2.2 実証研究で適用する技術

実証研究で適用する技術は、地中レーダ(Ground Penetrating Radar : GPR)を使ったレーダ信号処理技術(図1)と、三次元レーザを用いた路面計測技術(Mitsubishi MMS for Diagnosis : MMSD)であり、この技術を使って道路陥没の兆候を示す危険な地中空洞を安価にかつ短時間に検出することを目指している。

2.2.1 レーダ信号処理技術

地中レーダ探査は、車両が地中レーダ装置を牽引(けん引)し、レーダ装置から数GHz～数10MHzの電磁波を地中に照射して受信した反射波の確認によって埋設物の探査を行う手法である。埋設物からのレーダ反射波は、地中レーダ装置の仕組みから弓型(図2)となり、埋設物の1つである空洞の判定には有識者の熟練した知識が必要となっており、目視の判読に時間を要するという課題がある。

課題解決にはレーダ反射波画像の分解能向上が有効であるが、通常、分解能を上げるためにはレーダのアンテナの直径を極めて大きくする必要がある。当社は、埋設物からのレーダ反射波にレーダ信号処理技術を適用することに

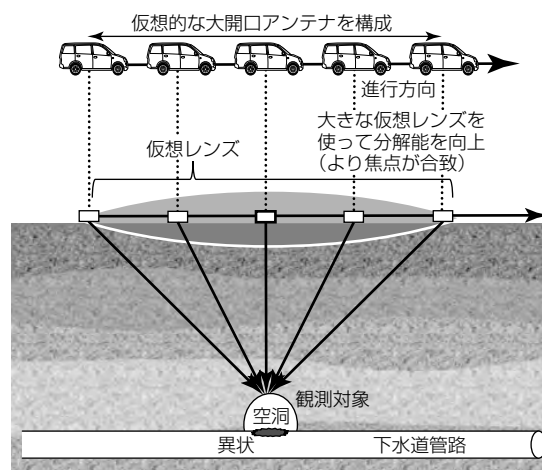


図1. レーダ信号処理技術の概念図

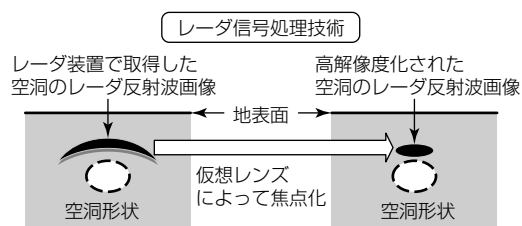


図2. レーダ信号処理を適用した空洞箇所の画像

よって、車両で牽引可能なアンテナサイズでも分解能向上に成功した。具体的には、車両の進行方向に仮想的な大開口アンテナを構成し、この仮想アンテナが仮想レンズの役割を果たすことによって、焦点が合致した高解像度な画像を得ることができる(図1)。

図2の左側の弓型の画像は、破線で示している空洞箇所を従来の地中レーダ探査で得られる画像イメージである。右側の画像は、レーダ反射波にレーダ信号処理技術を適用したイメージであり、仮想レンズの効果によって、実際の空洞の大きさに近い高解像度な画像を得ることができる。

2.2.2 路面計測技術

下水道管の破損等によって発生する空洞箇所の特定には、下水道台帳に記載されているマンホールと下水道管の接続情報を用いるが、測量した時期が古くて時間も経過していることから、台帳上のマンホールの位置が実際の位置と合っていないという課題がある。

そこで、この実証研究では、当社の開発したMMSD技術を用い、路面のへこみを抽出とマンホールの位置補正を行い、下水道管の位置を把握することによって、位置特定を容易にした。

MMSDは、レーザスキャナと高精度GPS(Global Positioning System)を用いて車両から路面を三次元計測する路面計測技術である。MMSDでは、計測した三次元点群データの処理によって、正確な位置情報を含んだ高密度な点群画像を生成できる(図3)。

路面計測技術によって路面のへこみと下水道管の位置を把握し、レーダ信号処理技術から、空洞箇所を抽出することで、下水道管付近の空洞や空洞上部の路面のへこみを確認することが可能になる。

2.3 実証研究の成果

実証研究では、2.2節で述べた技術を適用して空洞候補を自動抽出し、空洞と判定したものから緊急処置が必要な空洞候補を選別可能とした。また、その研究成果を踏まえ今後の実証計画についても述べる。

2.3.1 空洞候補の自動抽出

まず、車両のGPRで計測したレーダ反射波にレーダ信号処理技術を適用し、高解像度化したレーダ波を解析することで空洞候補の自動抽出について検証した。

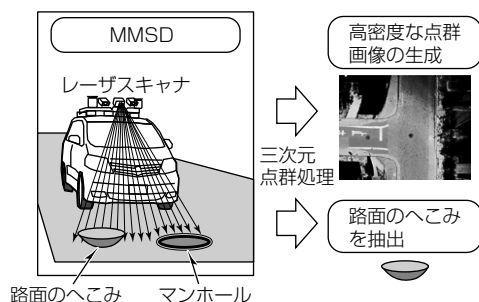


図3. 路面計測技術の概念図

自動抽出では、レーダ反射波の情報を仮想レンズによる解像度向上を行った上で、点群の情報に変換し、その点群情報をレーダ波の位相情報を使って集約化する。集約化された点群情報が、空洞が持つ特徴と合致するかを判定することによって、空洞候補を抽出する手法を考案した。

表1は、現在空洞探査で使われている技術(以下“従来技術”という。)とこの実証研究で空洞候補の自動抽出技術による抽出結果の一例を比較したものである。従来技術は、車両によるGPR計測、ハンディレーダ(手動)によるGPR計測、ボアホールカメラ調査を経て空洞有無の判定を行っているが、三次調査であるボアホールカメラによる空洞有無の判定と当社技術の判定が同じ結果となっていることが分かる。特に空洞候補箇所No. 3, 4, 5では、車両のGPR計測やハンディのGPR計測からでは有識者の目視でも判断しづらかった空洞有無の判定が当社技術では判定できている。

2.3.2 緊急処置が必要な空洞候補の選別

次に、2.3.1項で抽出した空洞候補と2.2.2項の路面計測技術で述べた下水道管と路面のへこみの正確な位置の情報を用いて、緊急処置が必要な空洞の選別について検証を行った。

緊急処置判定は、複数の緊急度判定項目に対し重み付けを行った上で数値化し、合計点によって判定する手法を考案した。緊急処置が必要な空洞の選別は、表2に示す緊急処置判定(案)に対し、実証を行っている段階である。

この実証研究では、緊急度判定項目として考えられる、①厚み大きい空洞、②広がり大きい空洞、③空洞上部に路面のへこみがある空洞を計測データから確認すること

表1. 従来技術と当社技術の空洞箇所の抽出結果(一例)

	実施内容	従来技術			当社技術
		一次調査	二次調査	三次調査	一次調査
空洞候補箇所	計測	車両GPR	ハンディGPR	ボアホールカメラ	車両GPR
	解析	レーダ波の目視による空洞抽出	レーダ波の目視による空洞抽出	カメラ画像による空洞判定	レーダ信号処理技術を適用し、空洞有無を判定
No.1		○	○	○	○
No.2		△	○	○	○
No.3		○	△	○	○
No.4		△	△	○	○
No.5		△	△	×	×

○…その調査方法で空洞候補(又は空洞)と判定したもの
△…その調査方法では空洞候補(又は空洞)と判定できないもの
×…その調査方法で空洞候補(又は空洞)ではないと判定したもの

表2. 抽出した空洞候補に対する緊急処置判定(案)

緊急処置が必要と考えられる緊急度判定項目	想定される危険	重み	空洞候補			
			No.1	No.2	No.3	No.4
空洞の厚みが大きい	道路陥没につながるおそれあり	5	○	○	—	—
空洞の広がり大きい		3	—	—	○	○
空洞上面に路面のへこみがある	道路陥没がおこる可能性あり	5	—	—	○	—
空洞の位置が浅い		3	○	—	—	—
下水管に近い空洞	下水道起因の陥没	3	○	—	—	—
…	…					
緊急度の判定例：0<緊急度低≤5, 6<緊急度中≤10, 10<緊急度高		数値判定	11	5	8	3
			高	低	中	低

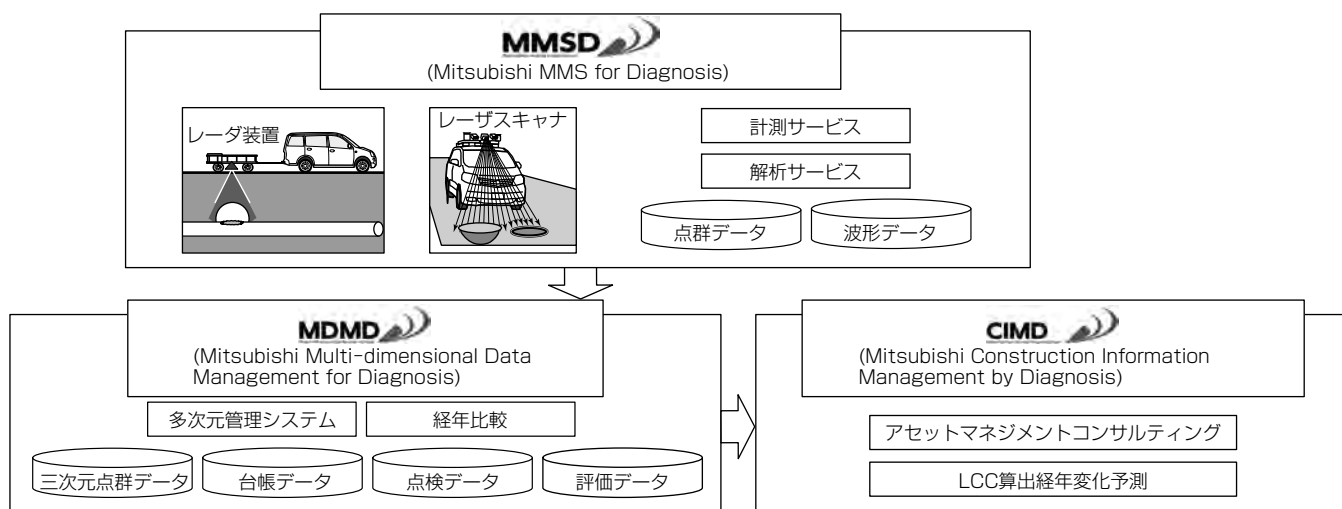


図4. 下水道維持管理サービスのイメージ

が可能か検証した。

その結果、①厚みが大きい、又は②広がり大きいと考えられる空洞については、計測データから特徴を捉えることができ、その特徴が従来技術で計測した空洞のサイズとの間で相関を持っていることを確認した。③空洞上部の路面のへこみについては、空洞候補の自動抽出手法で得られた空洞箇所と路面のへこみ位置との相関を確認した。

2. 3. 3 今後の実証研究の内容

実証研究の結果、車両によるGPRを使ったレーダ信号処理技術とMMSDを使った路面計測技術を使って、空洞候補を自動抽出し、緊急処置が必要な空洞候補を選別することが分かった。今後は、2. 3. 2項で示した項目以外の緊急度判定項目や重み付けを使った数値化方法を継続検討し、計測データを増やしながら、空洞候補の自動抽出や緊急処置が必要な空洞候補の選別手法の評価や検討を行い、精度を高めていく予定である。

3. 下水道管の維持管理に向けて

実証研究で適用している地中空洞検知技術の当社下水道管維持管理サービスへの組み込みについて述べる。

当社の社会インフラ維持管理サービスは、次の3つのサービスで構成される。

- (1) 計測・解析サービス(MMSD／三菱インフラモニタリングシステム)
- (2) 多次元設備管理サービス(MDMD：Mitsubishi Multi-dimensional Data Management for Diagnosis／三菱多次元設備管理システム)
- (3) コンサルティングサービス(CIMD：Mitsubishi Construction Information Management by Diagnosis／三菱CIMアセットマネジメントシステム)

MMSDは、社会インフラの現在の状態を計測・解析するサービスであり、MDMDは、計測した三次元データを時系列データとして管理し、社会インフラの経年比較を提

供するサービスである。CIMDは、維持管理計画策定のためのコンサルティングサービスとなっている。

下水道管の維持管理に向けて、実証研究の成果を組み込んだ場合のMMSD、MDMD、CIMDの内容を次に述べる。図4はMMSD、MDMD、CIMDによる下水道管維持管理サービスのイメージを示したものである。

下水道管に対するMMSDは、下水道管に起因する空洞探査の計測・解析サービスを指す。計測したデータから安価にかつ短時間で空洞候補の抽出と緊急処置が必要な空洞の選別を行うサービスとする。

MDMDは、抽出した空洞の三次元レーダ波形データ、三次元路面計測データにGPSで計測した位置情報を付与して管理する。さらに下水道台帳や下水道管の点検業務で行われている管内テレビカメラ調査結果も合わせて管理することで、劣化している下水道管、空洞箇所、路面のへこみの重畳表示機能やそれぞれの空洞箇所、下水道管に対応する空洞探査結果データ、下水道管点検結果データとの連携表示機能を提供する。また、定期点検による空洞探査結果や下水道管点検結果データも管理することで、空洞や下水道管の経年変化を比較して確認できる機能を提供する。

CIMDは、LCC(Life Cycle Cost)算定機能や経年変化予測機能を使って、維持管理計画の策定を行うコンサルティングサービスを提供する。

4. む す び

国土交通省が公募している下水道革新的技術実証事業に参画し、道路陥没の兆候検知を目的とした地中空洞検知技術の実証研究の成果と下水道管の維持管理に向けた当社のサービス内容について述べた。

2017年度も、下水道管維持管理への適用に向け地中空洞検知の実証研究を継続していく。その成果を当社の下水道管維持管理サービスに組み込み、顧客インフラの維持管理業務の効率化に貢献する。

非常用発電装置運用支援システム

猪坂 智*

Operation Support System for Emergency Generator

Satoshi Isaka

要 旨

近年、ビル・病院・データセンターなどの重要施設では、事業継続計画(Business Continuity Plan : BCP)の導入によって、多発する震災などの自然災害や、火災・送配電系統事故などによる停電に備え、非常用発電装置の導入と信頼性の維持・向上が重要視されている。

しかし、非常用発電装置は受変電設備、UPS(Uninterruptible Power Supply)などの常時稼働設備に比べ運転頻度が少ないことから、保守・維持管理の優先度が低く、震災発生等の稼働時に始動不良や運転継続不可など保守不良を原因とする不具合の発生が見られる。また、電気及び機械の両方の知識を持っているベテラン保守技術員の減少とともに、運転頻度が少なく機器の状況把握が困難な中で、保守点検

による機能維持・向上には機器の経年変化を的確に捉え、故障が発生する前の構成部品交換等の最適な予防保全の策定が重要課題である。

三菱電機ではこれらの課題解決のため、非常用発電装置の運用、特に保守管理業務を支援する三菱発電装置運用支援システム“MELGOS(Mitsubishi ELectric Generator Operation Support system)”を開発した。MELGOSは、発電装置の制御をつかさどる三菱発電装置コントローラ“MELGIC(Mitsubishi ELectric Generator Intelligent Controller)”と連携し、定期点検での運転データを自動測定して保存し、運転記録(運転帳票)として出力する機能を備え、保守技術員に必要な情報を提供して省力化を可能にする。

MELGOSタッチパネル式液晶装置
(発電装置最大8台を一括監視可能)



発電機制御盤
(MELGIC搭載)



(注1) Ethernetは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。

MELGOSのシステム構成とホーム画面

発電機制御盤(最大8台)からEthernet Hubを介して、タッチパネル式液晶装置に運転データを伝送する。発電機運転状態を表示するだけでなく、運転データを自動測定、保存し、運転記録(運転帳票)として出力する機能を持つ。

1. ま え が き

近年、ビル・病院・データセンターなどの重要施設では、BCPの導入によって、多発する震災などの自然災害や火災・送配電系統事故などによる停電に備え、非常用発電装置の導入と信頼性の維持・向上が重要視されている。このため非常用発電装置は、万が一の停電時に安定した給電を確保するための日常点検のほかに、消防法や建築基準法などで半年ごとの機器点検と1年ごとの総合点検の実施及び点検結果報告が義務付けられている。しかし非常用発電装置は、受変電設備、UPSなどの常時稼働設備に比べ運転頻度が少ないことから、保守・維持管理の優先度が低く、震災発生等の稼働時に始動不良や運転継続不可など保守不良を原因とする不具合の発生が見られる。また、電気及び機械の両方の知識を持っているベテラン保守技術員の減少とともに、運転頻度が少なく機器の状況把握が困難な中で、保守点検による機能維持・向上には機器の経年変化を的確に捉え、故障が発生する前の構成部品交換等の最適な予防保全策定が重要課題である。

当社ではこれらの課題解決のため、非常用発電装置の運用、特に保守管理業務を支援する三菱発電装置運用支援システムMELGOSを開発した。MELGOSは定期点検での運転データを自動測定して保存し、運転帳票として出力する機能を備え、監視に必要な情報を保守技術員に提供できる。

本稿では、MELGOSのシステム構成と搭載機能及び非常用発電装置の運用支援の例について述べる。

2. システム構成

図1はMELGOSのシステム構成を示す。データセンターの大規模化、ビル需要電源増加による大容量の非常用電源確保のため、複数台の非常用発電装置が設置されることが多い。MELGOSは最大8台分の常時監視、記録性能を確保し、一括管理ができるシステム構成とした。また、通信機能によって電力監視設備、中央監視設備との親和性を高め、将来的な機能拡張も可能にした。さらにプリンター出力機能も持ち、各種画面のハードコピーを直接印字することで保守技術員に対する利便性を高めた。

非常用発電装置からのデータ入力を全てMELGOSで処理する場合、膨大な配線とインタフェース装置が必要になり導入コストが増加する。そのためデータは三菱発電装置コントローラMELGICから伝送するシステム構成とした。図2にMELGICを搭載した発電機制御盤を示す。MELGICは発電装置の制御をつかさどる頭脳であり、必要なデジタル信号(各種状態)、アナログ信号(各種計測)の入力機能を既に持っている。始動時間や停止時間の計測機能もMELGICの機能を活用し、アナログ計測値を工学値に変更後、MELGOSに伝送することで、MELGOSの必要

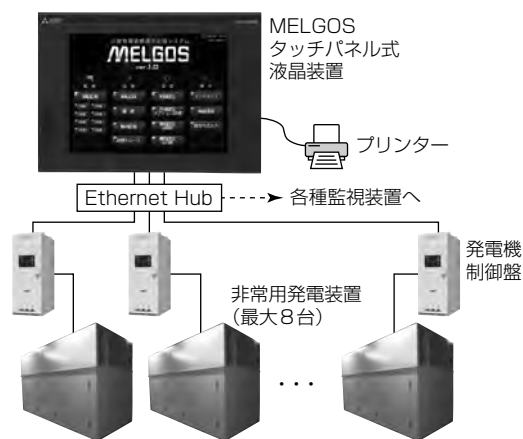


図1. MELGOSのシステム構成



図2. MELGIC搭載の発電機制御盤

処理能力、伝送仕様を必要最小限にした。またMELGICには保守支援機能としてアラート機能を装備した。

3. 搭 載 機 能

3.1 運 転 監 視

図3にMELGOSの一括監視画面の例を示す。非常用発電装置の状態をリアルタイムに最大8台一括で監視できる。監視する項目は、故障発生有無、遠方/直接や自動/手動の運転モード、発電状態、送電状態などの基本的な電気計測項目とした。また送電先が複数ある場合に、発電装置各号機の送電先別(A, B, C, D母線)に送電電力合算値を算出・表示する機能を持つ。

図4は1台ごとの詳細監視画面の例である。発電装置1台ごとにフォーカスした詳細データを表示する機能を持つ。一括監視画面にはない、回転数、排気温度等のエンジンアナログ計測や各種積算値(電力量、運転時間等)、後述の燃料監視、アラート表示等の詳細データを表示する。

これら運転監視機能を活用することで、従来のような大規模監視装置をなくし、簡易的な非常用発電装置の遠方監視装置として導入することも可能である。

3.2 運 転 記 録

非常用発電装置は、潤滑油の機内循環と始動性能を含めた健全性を維持するため、月1回の運転を推奨している。

特集論文

この月次運転は健全性維持が目的であるため、詳細データを記録しないことがある。MELGOSでは全ての運転を記録し、運転から停止までの代表データを帳票としてまとめ、1画面に表示する運転帳票自動作成機能を設けた。図5は運転記録(運転帳票)画面の例である。過去にさかのぼった表示も可能とし、年月及び何回目の運転かを入力することで、現状データと過去データとの対比を可能にした。

原動機としてディーゼル機関を使用する発電装置は、長時間の軽負荷運転によって機関内部の未燃燃料や炭化物等の付着蓄積が性能維持に支障をきたすことが知られている。このため、1年に1回の総合点検では定格の約30%以上の負荷運転が義務付けられている。負荷運転で各部の温度、圧力変化を計測・記録することは装置の劣化把握に有効であるが、限られた時間と保守技術員で漏油漏水の有無、異音、異臭等の確認を行いながら目視による各種計測値確認と記録を行うには困難が伴う。MELGOSには自動計測・記録機能を設け、始動開始から5分及び30分間隔でのデータ収集を自動で行う。

図6は運転計測画面の例で、発電機の出力特性(電圧、電流など)や温度特性(排気や潤滑油など)の計測結果を表

示する。計測開始タイミングを保守技術員が任意に選択できるようにし、運転記録の長時間化、多彩な保守点検方法に対応できるように工夫した。また、始動時の回転数変化や温度変化を捉えるため、始動前後150秒間は1秒単位で記録、トレンドグラフとして表示する機能を設けた。図7は、始動トレンドグラフ表示の例で、始動後の回転数、温度、有効電力の変化を表す。運転記録(運転帳票)、運転計



図5. 運転記録画面(運転帳票)



図3. 一括監視画面(最大8台)



図6. 運転計測画面

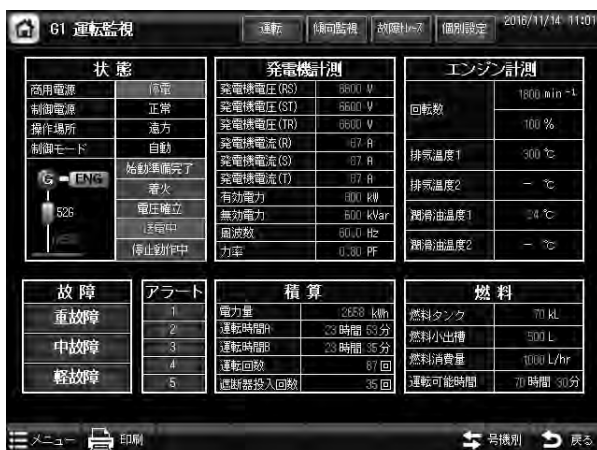


図4. 詳細監視画面(1台ごと)

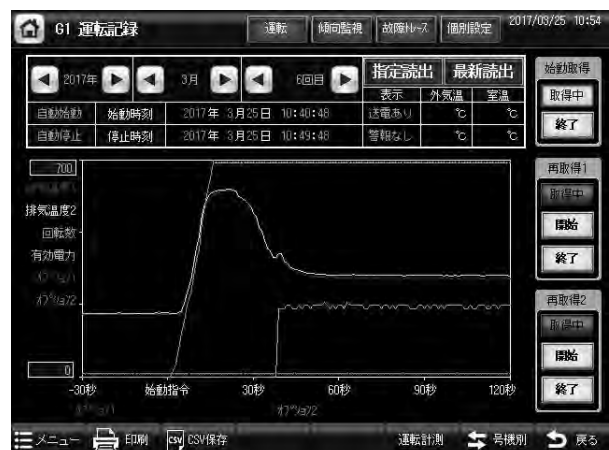


図7. 始動トレンドグラフ表示

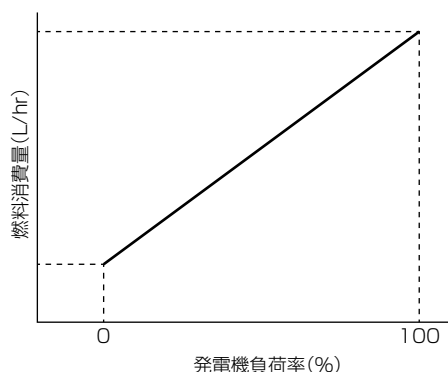


図8. 発電機負荷率と燃料消費量の関係

燃 料	
燃料タンク	70 kL
燃料小出槽	500 L
燃料消費量	1000 L/hr
運転可能時間	70 時間 30分

図9. 燃料消費量と運転可能時間表示

運転積算値	
運転時間	0:19:10
送電時間	0:14:08
送電電力量	704×10kWh
遮断器投入	1 回
燃料消費量	571 L

図10. 燃料消費量積算値表示

測、始動トレンドグラフ等は標準付属品のプリンターによる印字又は画面ハードコピーによるデータ保存ができ、CSV(Comma Separated Value)形式での電子データ出力も可能にした。

3.3 燃料消費量と運転可能時間の算出

最近の震災等の大規模災害では停電発生から商用電源復旧までに長期間を要することが現実化しており、非常用発電装置は長時間運転が求められるようになった。長時間運転のためには大容量の燃料備蓄(複数の地下燃料タンク設置)が必要であるが、設置スペースの制約から地下燃料タンクによる燃料備蓄は限界がある。そのため発電機負荷量によって変動する燃料消費量を把握、燃料備蓄量から運転可能時間を把握しながら、燃料追加補給の準備も必要になる。また従来、燃料消費量の確認は配管系統に設けた燃料流量計を目視確認し、燃料備蓄量から手計算で運転可能時間を確認する必要があった。

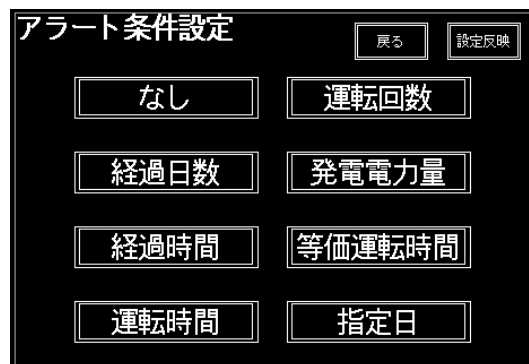


図11. MELGICでのアラート条件設定画面

このためMELGOSには燃料備蓄量と発電機負荷量から、発電装置の運転可能時間を自動算出する機能を設けた。非常用発電装置は、図8のように燃料消費量が発電機負荷率から相対的に決まる。MELGOSでは、この特性を利用し、燃料消費量を推定、燃料槽残油量から運転可能時間の算出・表示を行う(図9)。併せて1回の運転(始動から停止まで)での積算消費量も算出・表示する(図10)。これらは図4、図5の画面の中に表示する。

3.4 アラート機能

予防保全方案では、部品の定期交換を推奨しているが、適正な部品交換が行われず結果として不具合発生の原因となることもある。そこで、あらかじめ設定した条件(例えば運転回数、運転時間など)が成立した場合に部品交換時期となったことを知らせるアラート機能をMELGICに付加した。図11はMELGICでのアラート条件設定画面の例である。保守技術員がMELGICの液晶画面操作で自由に設定でき、アラート機能作動(発報)情報はMELGOSにも伝送され、図4の詳細監視画面に表示される。

アラートは最大5つ、発報条件は図11のアラート条件設定の中から各々選択が可能である。運転回数と運転時間のほか、エンジンオーバーホールを目安とされる等価運転時間(1回の運転を1時間として運転時間に加えた、みなし時間)などを設定可能にした。

4. む す び

非常用発電装置の保守業務は、これまで保守技術員の経験と定期点検での目視点検、計測結果を基に行われていた。定期点検時に採取する計測データ量は限られており、記録も紙面上だけとなることがほとんどであった。

今回、MELGOSを開発し、定期点検結果を自動収集して記録するシステムを実現したことで、月次・年次点検を省力化するとともに、貴重な運転データを基にした装置状態の客観的判断が可能になる。今後は運転データを基にした最適な予防保全で、非常用発電装置の維持管理に貢献していく。

データセンター・ビル施設向け 中低圧直流配電ネットワークシステム

竹内勇人*

MVDC Distribution Network System for Data Centers and Buildings

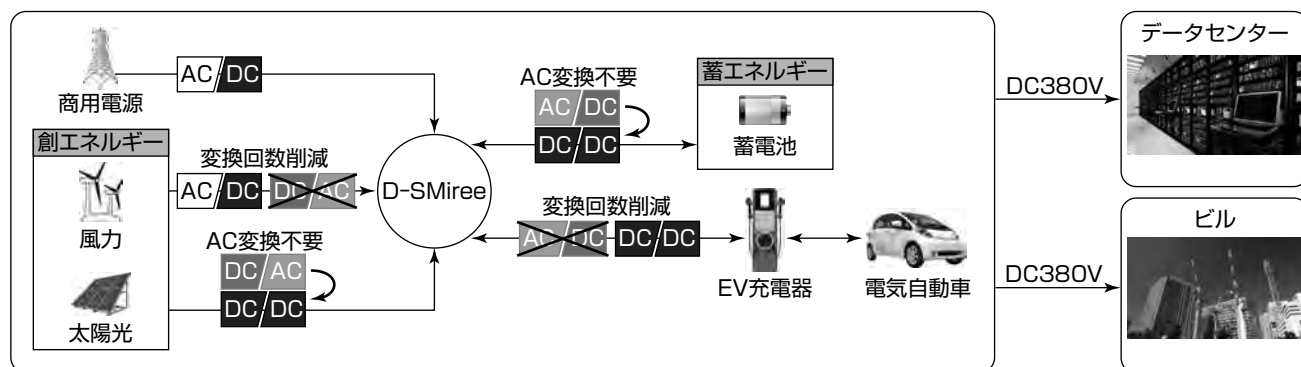
Hayato Takeuchi

要 旨

近年、低炭素社会実現に向けた供給力の1つ、又はエネルギー安全保障を担う供給力の1つとして、太陽光発電(Photo Voltaic: PV)、風力発電(Wind Turbine: WT)等の再生可能エネルギー(以下“再エネ”という。)が注目されている。また、同時に安定した電力供給を目指し、エネルギー貯蔵装置としての蓄電池を組み合わせた環境配慮型の創蓄連携システムが普及している。

PV等で発電した直流電力は、一般的に交流電力に変換し送配電されるが、電気機器の多くは機器内部で直流電力で動作するため、受電した交流電力を直流電力に再度変換

して使用している。これらの変換の際に生じる電力損失の削減が省エネルギー化を進める上での課題の1つである。今回、構築したスマート中低圧直流配電ネットワークシステム“D-SMiree(Diamond-Smart Medium Voltage Direct Current distribution network system innovative, reliability, economy, ecology)”は、発電した直流電力を直流配電することで交流に変換する回数を極力削減し、電力損失の低減や変換器の削減による設備コストの低減等を実現した次世代の配電システムである。



		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
データセンター向け 直流給電システム (MELUPS DECO)	研究開発・実証研究 (NEDO委託研究)	研究開発				実証研究					
	製品開発・市場投入				製品開発						
一般需要家向け スマート中低圧直流配電 ネットワークシステム (D-SMiree)	基礎研究・実証研究				直流配電技術 スマートグリッド関連技術 蓄電池最適制御技術	基礎研究					
	製品開発・市場投入										

EV: Electric Vehicle

スマート中低圧直流配電ネットワークシステムへの取り組み

三菱電機は、従来、直流配電用開閉器・データセンター向け直流給電システムや鉄道架線(DC1,500V)用直流高速度遮断器等の製品を市場投入した実績を持っている。スマート中低圧直流配電ネットワークシステムD-SMireeは、これらの直流配電技術に加え、最新のスマートグリッド関連技術や蓄電池最適制御技術などを組み合わせたシステムである。

1. ま え が き

デジタル化とクラウド社会の到来によるデータセンター需要の拡大や、東日本大震災以降のBCP(事業継続計画)対策気機運の高まり、電力自由化を代表とした市場環境の変化に伴い、電力インフラに対して省エネルギー化・分散電源・エネルギーミックス等の新しい要求が増えている。

近年、建設業界におけるZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)実証設備の建設も増加し、従来の“エネルギー消費型”から自然光・周囲環境を利用した省エネルギー化に、自前の発電・蓄電設備に制御技術を応用する“地産地消型”に変化している。

このような背景の中、当社は、2016年7月、“スマート中低圧直流配電システム実証棟”を当社受配電システム製作所(香川県丸亀市)内に建設し、今後の直流配電の普及促進に向けた製品開発やエンジニアリング強化を図るための開発検証とこのシステムの事業展開を開始した。

スマート中低圧直流配電ネットワークシステムD-SMireeのコンセプトと用途に合わせた特長について述べ、続いて

D-SMireeの主な製品群である直流給電システムとDC連系変換装置、直流分電盤とマイグレーション装置、エネルギーマネジメントシステム(EMS)の特長について述べる。

2. D-SMireeの用途に合わせた特長と直流配電システムのメリット

2.1 D-SMireeの用途に合わせた特長

電力を無駄なく活用できる、信頼性と経済性を両立させたD-SMireeを、データセンター、ビル、工場、駅などの用途に合わせて提供する(図1)。

2.2 直流配電システムのメリット

D-SMireeは、“創エネ”“蓄エネ”“省エネ”をコンセプトにした配電システムであり、次のメリットを持っている。

(1) “創エネ”

直流には交流のような周波数がないため、複数の電源を並列接続する場合に同期を考慮する必要がなく、再エネ発電(太陽光・風力等)の複数の発電設備との連系が容易である。

(2) “蓄エネ”

EMSの発電・需要予想機能によって蓄電池の充放電を

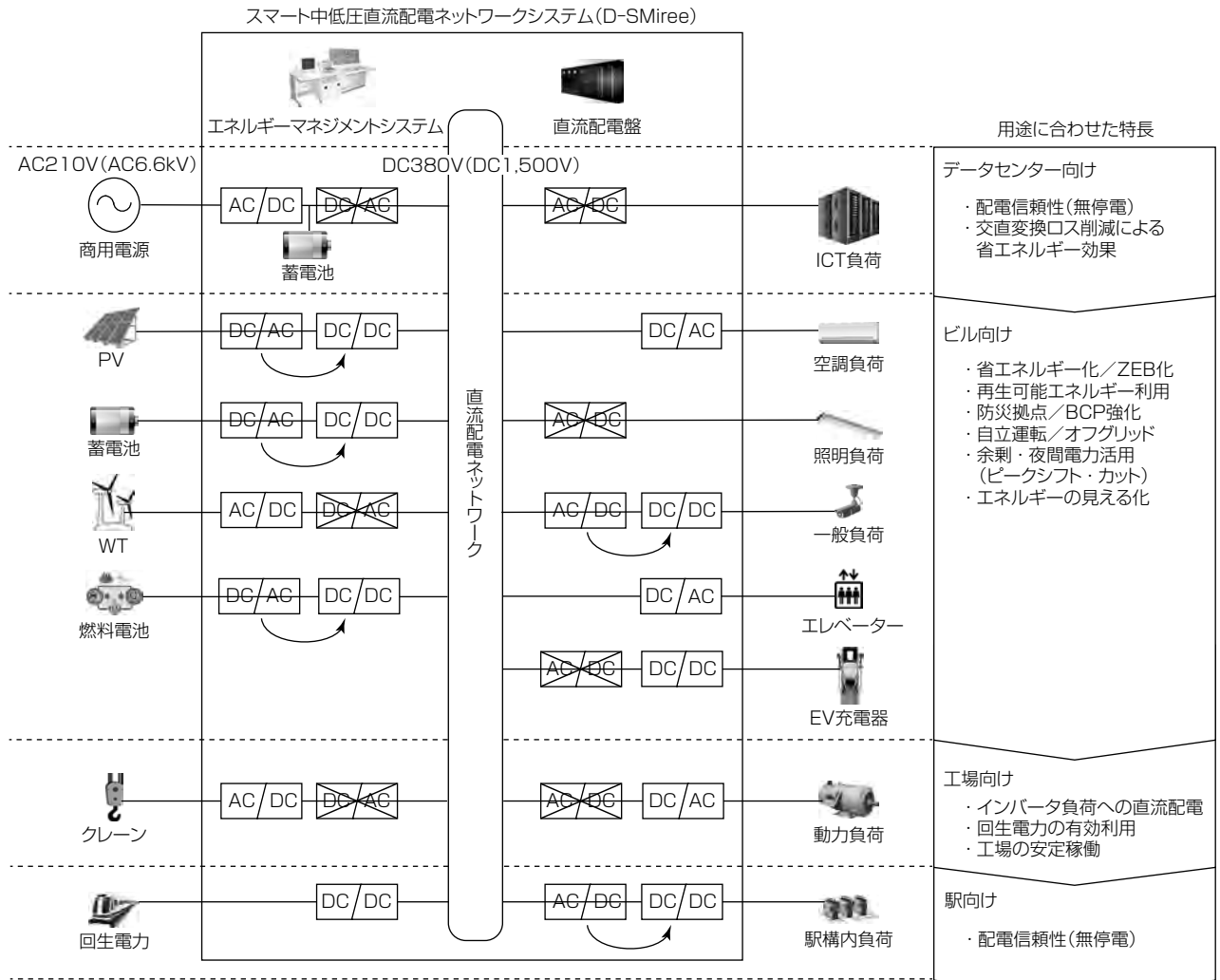


図1. D-SMireeの用途に合わせた特長

最適に制御し、蓄電エネルギーを有効活用する。

(3) “省エネ”

従来の交流配電に比べ、交流・直流の電力変換回数や変換ロス削減によって省エネルギー化する。

3. D-SMireeの主な製品群の特長

3.1 直流給電システムとDC連系変換装置

D-SMireeの電源は、直流給電システムとDC連系変換装置で構成している。また直流給電システムの容量によって、Standard(100~700kW)、Light(7.5~75kW)、Mini(3.5~10.5kW)と3タイプのラインアップがある。

ここでは、標準機であるStandardを例に各機器の特長を述べる。

(1) 直流給電システム

直流給電システムは、2009年のNEDO((独)新エネルギー・産業技術総合開発機構)委託研究で“MELUPS DECO”(詳細は今特集号の論文“高効率・大容量の無停電電源装置”の3章参照)として製品化開発したものであり、中低圧直流配電ネットワークシステムの商用電源AC210Vを変換してDC380Vを出力する中核機器として適用している。主な特長は、消費電力変動に応じて電源ユニットの運転台数を最適制御する“ダイヤモンド・エコ・ドライブ”で、低負荷時から定格負荷時まで全領域で高い運転効率の維持を実現して省エネルギー化に貢献している。D-SMireeでは後述するDC連系変換装置で再エネ、蓄エネと連系可能なシステムとし、買電電力の削減を図ることができる。

(2) DC連系変換装置

DC連系変換装置は、PVとリチウムイオン蓄電池(Lithium-Ion Battery: LIB)を連系させ、直流電力を制御する装置で、PV用、LIB用のDC/DC変換器2台で構成されている。PV用DC/DC変換器ではMPPT(Maximum Power Point Tracking)制御を行い、発電エネルギーを負荷に給電しており、余剰分はLIB用DC/DC変換器を充電制御し、LIBへ蓄えることができ、発電エネルギーを無駄なく利用することができる。また、中央監視制御装置からの指令によって、LIBの充放電制御が可能で、先に述べた直流給電システムとの協調運転によって、図2に示すように様々なパターンによる給電を可能にし、再エネ発電量と負荷変動に応じた効率的な運転が可能になる。また、商用停電時にはLIBから給電する停電補償機能も持つ。

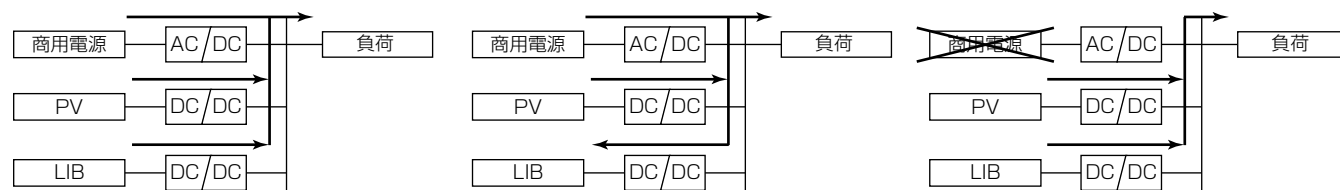


図2. 給電パターンの一例

3.2 直流分電盤とマイグレーション装置

3.2.1 直流分電盤

このシステムで使用する直流分電盤は、NEDO委託研究の開発成果を基に製品化しており、①各分岐MCCB(Molded Case Circuit Breaker)収納ユニットの負荷電流、漏洩(ろうえい)電流、電力量等を計測・表示が可能な電子式マルチDC計測器を搭載した高機能型と、②マルチDC計測器を搭載せず1面当たりの分岐MCCB実装台数を多くした高収納型の2機種がある⁽¹⁾。それぞれの特長を次に述べる。

(1) 高機能型直流分電盤(図3)

- ①分岐MCCB収納ユニットにプラグイン構造を採用し、主母線の停電なしで他系統への電源供給を維持しながら安全にユニットの追加・撤去・交換作業が可能。
- ②各分岐MCCBユニットのMCCBがON状態では扉を開けることができない機能を採用。
- ③扉を開けた状態ではMCCBをONすることができないインターロック機能を採用。

(2) 高収納型直流分電盤(図4)

- ①MCCBがON状態では開くことができない個別MCCBカバーを採用。
- ②ユニットを取り外した際の主母線の露出を抑えるため母線カバーを採用。

3.2.2 マイグレーション装置

DC380V直流給電システムは導入の過渡期であり、負荷側設備が完全にDC380Vに対応していないため、給電システム移行(マイグレーション)用の電圧変換装置(マイグレーション装置)が必要となる。今回の実証設備を構築す

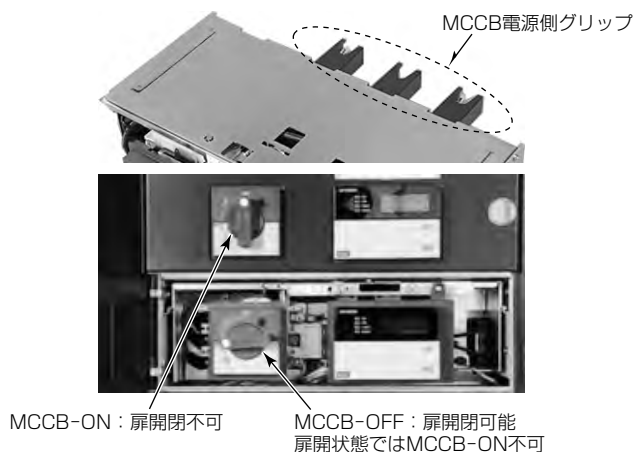


図3. 高機能型直流分電盤

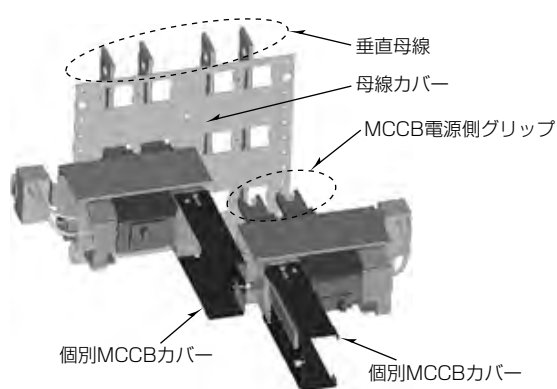


図4. 高収納型直流分電盤

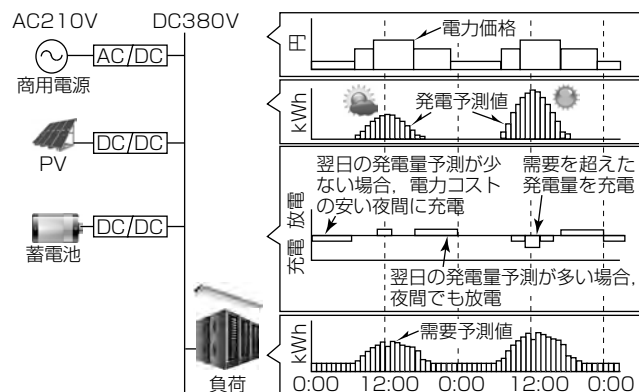


図6. 需要予測、再エネ発電予測に基づく需給計画例

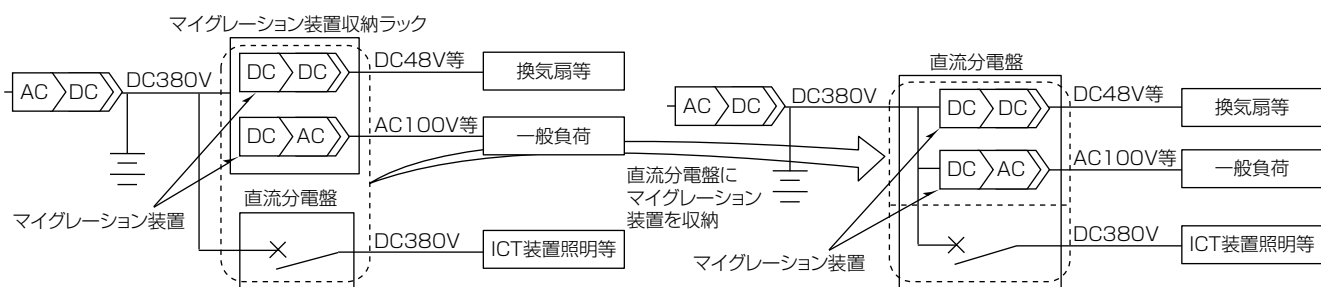


図5. マイグレーション装置の構成

る上でこの装置が必要であり、次の特長を持った装置を開発している(図5)。

- (1) 当社製の直流分電盤に実装可能で分岐MCCB収納ユニットと置き換えが可能。
- (2) 当社製の直流分電盤に実装可能とするため、マイグレーション装置の電源側は分岐MCCB収納ユニットと同様のグリップ構造とする。
- (3) これらによって、負荷側がDC380Vに対応した際に、マイグレーション装置を撤去した部位に分岐MCCB収納ユニットを配置することが可能であり、分電盤の追加設置が不要となる。

3.3 エネルギーマネジメントシステム

D-SMireeでは、“創エネ”“蓄エネ”の最適制御を実現するため、EMSを導入している。エネルギーマネジメントシステム(EMS)は、大きく需要予測機能、再エネ発電予測機能、需給計画・制御機能の3機能から構成されており、再エネを最大限に活用するためには、需要予測、再エネ発電予測からの需給計画に基づいた蓄電池の有効活用が重要になる。

(1) 需要予測機能

一般的に、需要は気温との相関性が高く、需要予測は、気象予報データの気温、過去の気温と需要の実績データを基に、回帰分析を用いて、48時間先までの需要を予測する。また、当日の需要予測に関しては、直近の実績データを基に予測カーブを補正して、より実態に近い予測値で計画するようにする。

(2) 再エネ発電予測機能

スマート中低圧直流配電システム実証棟には再エネ発電としてPV、WTを導入しており、いずれも発電出力が気象に左右されることから、気象予報データ(日射量、風向、風量)と発電出力特性モデル(PV、WT)から、翌日の発電量を予測する。当日の発電予測は、予測精度を高めるため、過去の日射量実績、PV発電実績データを利用し、気象予報に基づく“予報モデル”、直近の発電出力が持続すると考える“持続モデル”、過去の天候変化を予測に反映する“時系列モデル”を組み合わせた予測を行っている。

(3) 需給計画・制御機能

需要予測、再エネ発電予測を基に、ビル、工場などの設備運用に合わせた需給計画を行う。商用電源からの給電を最小限にして再エネ発電を最大限活用する運用を実現する。図6に需給計画例を示す。

4. む す び

2016年7月に稼働開始したスマート中低圧直流配電システム実証棟を主要拠点として、DC380V以下の製品、システム群の実証試験を進めるとともに、顧客向けにシステムのPR活動を展開している。2017年度以降は、DC1,500V級システムへの適用範囲拡大の検討や、国内・海外市場への展開をする予定である。

参 考 文 献

- (1) 関 孝一郎, ほか: 新市場向け低圧配電盤, 三菱電機技報, 88, No.11, 705~708 (2014)

高効率・大容量の無停電電源装置

志摩悠介*
木村友孝*
井尻昌男*

High Efficiency and Large Capacity Uninterruptible Power Supply

Yusuke Shima, Tomotaka Kimura, Masao Ijiri

要 旨

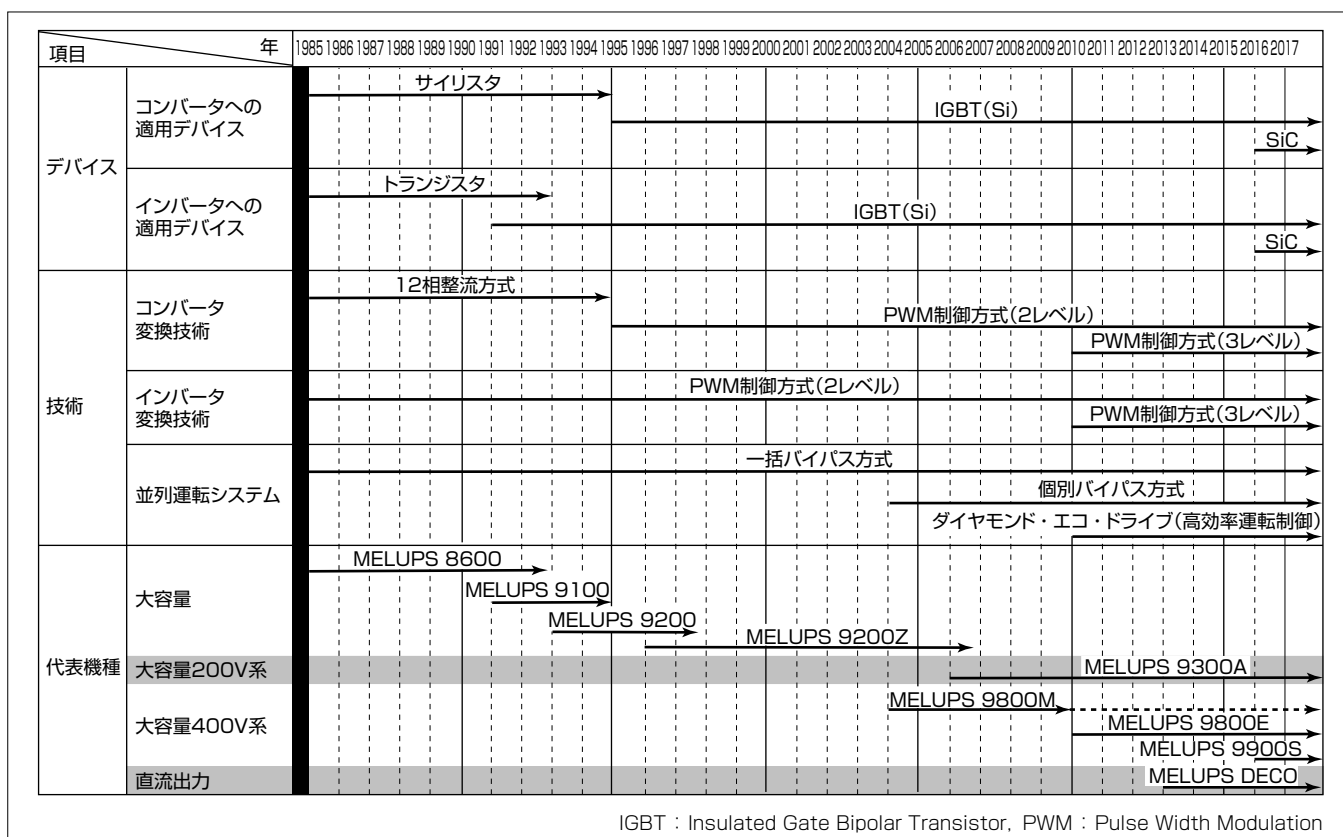
無停電電源装置(Uninterruptible Power Supply : UPS)は、各種情報処理装置などの重要負荷の電源の高信頼性を確保する重要な装置として、様々な場面で活躍している。特に近年、大規模データセンターの整備を背景に、UPSの高効率・小型化、大容量化のニーズが高まっている。

これらのニーズに対応するために、従来、UPS内部の電力変換回路に3レベル制御方式を採用することで、電力変換回路の半導体素子及び出力フィルタでの損失を削減し、高効率・小型化を実現してきた。それに加えて、三菱電機が新たに開発した最先端パワーデバイス“SiC(シリコンカーバイド)パワーモジュール”を電力変換回路に適用することによって、業界トップクラス^(注1)の装置最高効率98%及び設置面積20%削減という更なる高効率・小型化を実現した。

また、データセンターでの消費電力削減への新たな取り組みとして、ICT(Information and Communication Technology)関連機器などを高電圧直流電源(DC380V)で稼働させる直流給電システムに注目が集まっており、システム全体の高効率化によって消費電力削減を実現した高電圧直流無停電電源装置を開発し、製品化している。

先に述べた2種類の高効率UPSに加えて、保守の容易さなどから高まるMVA(Mega Volt Ampere)クラスの単機容量への需要に対応するために、変換器及び切換えスイッチを大容量化することで、これまで装置単機の最大容量が1,050kVAであった北米向け装置で単機容量2,100kVAまでの大容量化を実現した。

(注1) 2016年9月現在、当社調べ



当社UPSの技術変遷

当社製UPSの技術変遷について、電力変換回路に適用している半導体スイッチングデバイス、電力変換回路に採用している制御技術、並列運転システム方式及び代表機種を基にまとめたものであり、各時代の高信頼性、高効率・小型化、大容量化などへのニーズに対応するために、その都度、技術革新を図りながら、最新機種の市場投入を行っている。

1. ま え が き

UPSは、各種情報処理装置などの重要負荷の電源の高信頼性を確保する重要な装置として、様々な場面で活躍している。特に近年、大規模データセンターの整備・普及を背景に、UPSの高効率・小型化、大容量化のニーズが高まっている。

本稿では、これらのニーズに対応するために市場投入した、最先端SiCパワーモジュールを採用した高効率の大容量UPS、従来の交流給電システムに比べてシステム全体での高効率化によって消費電力削減を実現した高電圧直流UPSの特長を述べるとともに、装置単機の最大容量を2,100kVAまで大容量化したUPSについて述べる。

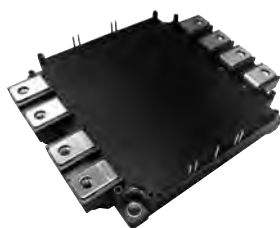
2. 最先端SiCパワーモジュールを用いた高効率・大容量UPS

2.1 400V系大容量UPSの開発

高効率化のニーズに対し、これまでSi(シリコン)を材料としたIGBTパワーモジュールを用いた400V系大容量UPSを開発しており、2004年に装置最高効率96%の“MELUPS 9800M”を市場投入した。その後2010年に、UPS内部の電力変換回路に3レベル制御方式を採用し、電力変換回路及び出力フィルタの損失を削減して高効率化を図った装置最高効率97%の“MELUPS 9800E”を市場投入してきた。また、更なる高効率化のニーズによって、近年低損失な半導体デバイスとして開発が進められてきた当社製SiCパワーモジュールを電力変換回路に適用し、更なる高効率化を実現した装置最高効率98%の“MELUPS 9900S”を開発し、2016年に市場投入した(図1、表1)。



(a) MELUPS 9900S



(b) SiC パワーモジュール

図1. MELUPS 9900SとSiCパワーモジュール

表1. MELUPS 9900Sの諸元

項目		仕様
容量		500kVA
AC入力	定格電圧	415V, 420V(440Vオプション60Hzのみ)
	相数・線数	三相3線
	定格周波数	50/60Hz
AC出力	定格電圧	415V, 420V(440Vオプション60Hzのみ)
	定格周波数	50/60Hz
	電圧精度	±1.0%
蓄電池	定格電圧	504V

2.2 MELUPS 9900Sの特長

2.2.1 SiCパワーモジュール

最先端パワーデバイスのSiCパワーモジュールに使用されているSiCは、Siに比べて電気抵抗が大幅に低減され、半導体デバイスの導通損失を大幅に低減できる。さらに、SiCは、Siに比べて、高速スイッチング動作が可能になり、半導体デバイスのスイッチング損失の低減が可能となる(図2)。

2.2.2 高効率・小型軽量化

SiCパワーモジュールの適用によって、従来の400V系大容量UPS(MELUPS 9800E)と比較して1ポイント効率を改善し、装置最高効率98%を達成した。最高効率改善とともに、負荷率40%以下での効率が格段に向上し(図3)、軽負荷時の損失低減を図った。さらに、当社独自の省エネルギー機能である“ダイヤモンド・エコ・ドライブ”(3.2.2項)の適用によって、負荷であるICT関連機器の消費電力変動に応じて並列運転中のUPSの運転台数を自動で最適制御し、全台数運転時に比べてシステム全体の更なる高効率化が図れる。

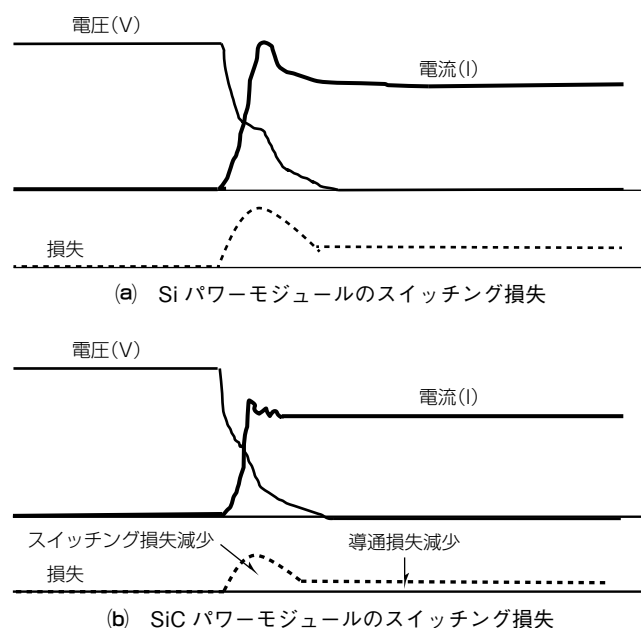


図2. パワーモジュールのスイッチング損失比較

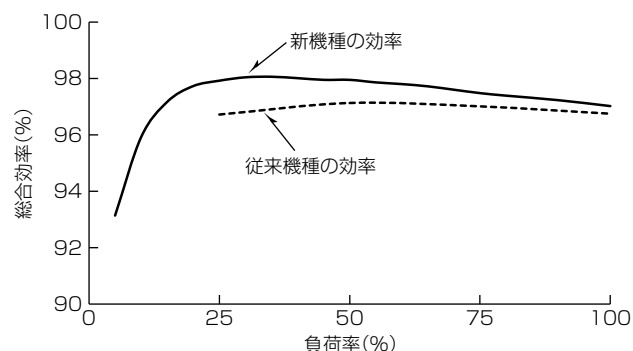


図3. 新機種(9900S)と従来機種の効率(500kVA時)

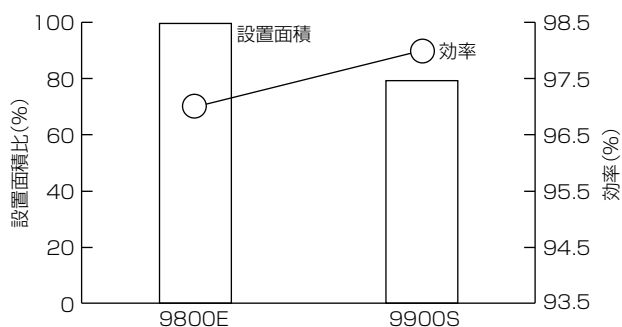


図4. 効率・設置面積の比較

SiCパワーモジュールの適用によって従来のIGBTパワーモジュールに比べて高速スイッチング動作が可能になったため、出力フィルタ回路の小型化が可能になり、MELUPS 9800Eと比較して、装置の設置面積は約20% (図4)、質量は約18%の削減を実現した。これによって、データセンターなどでの設置スペース縮小、機器配置計画の容易化に加え、エレベーターでの重量制限や搬入経路での寸法制限といった施工面での制約緩和も図れた。

3. 高電圧直流UPS

3.1 高電圧直流給電システム“MELUPS DECO”

情報処理能力や通信技術の発展に加え、クラウドコンピューティングやソーシャル・ネットワーキング・サービス(SNS)などの普及に伴いICT関連機器の需要は急増、そのICT関連機器を収容するデータセンターの延べ床面積も急増しており、今後、データセンターにおけるICT関連機器以外の消費電力を大幅に削減することが求められている。

データセンターでの消費電力の削減への新たな取り組みとして、当社は、高電圧直流給電システム“MELUPS DECO”を2013年8月から市場投入している(図5、表2)。直流電源で駆動しているICT関連機器への給電を380Vの高電圧直流化して交流／直流変換段数を削減することによって、電源システムの変換効率を向上させ、省エネルギーを実現する。

また、AC400V系大容量UPSでも採用している当社独自の省エネルギー機能“ダイヤモンド・エコ・ドライブ”の適用によって、低負荷時から定格負荷時まで全領域で高い運転効率の維持を実現し、省エネルギー化を図っている。

さらに、直流出力で太陽光発電システムや蓄電池システムなどの直流給電システムと連携運転することで、太陽光発電システムの発電量に応じて高電圧直流UPSの運転台数を最適制御して太陽光発電の電力を優先的に利用することなど、データセンターでのICT関連機器などへのより効率的な給電方法の実現が期待できる。

3.2 MELUPS DECOの特長

3.2.1 高電圧直流給電によるシステム変換効率向上

直流380V給電(入力交流200V)による交流／直流変換



図5. 高電圧直流給電システムMELUPS DECO

表2. MELUPS DECOの諸元

変換ユニット	100kW
入力電圧	AC 三相3線 200V
入力周波数	50/60Hz
出力電圧	DC380V
システム容量	100kW以上
モジュール変換効率	97%
ユニット構成	(N + 1)冗長構成

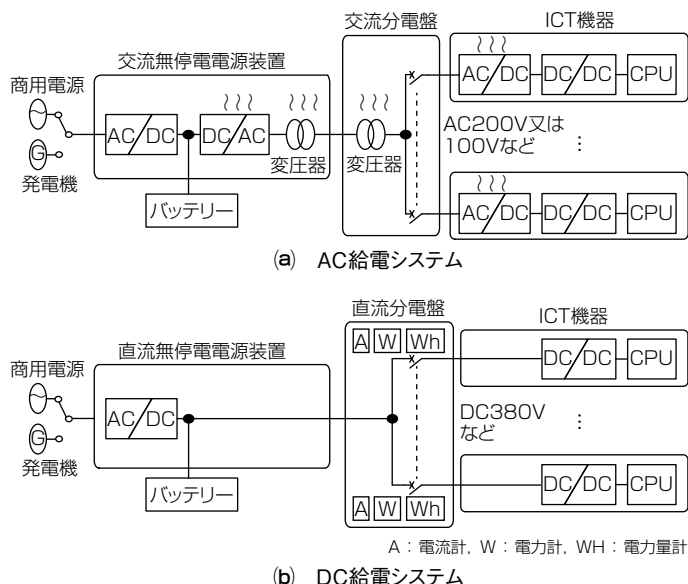


図6. AC給電システムとDC給電システム

段数削減などによって電力損失を低減させることで、システム変換効率(ただし、ICT関連機器は除く)は、当社製の従来の交流200V給電システムに比べて9ポイント向上して97%を実現した(図6)。

高効率化のために行った高電圧(DC380V)化によって配線ケーブルの細径化ができ、設備コストの低減を図ることができる。

3.2.2 省エネルギー機能“ダイヤモンド・エコ・ドライブ”

負荷であるICT関連機器の消費電力変動に応じて、並列運転中の電源ユニットの運転台数を自動で最適制御する当社独自の省エネルギー機能である。

例えば6台の並列運転システムで、負荷率が10%の低負荷時にはダイヤモンド・エコ・ドライブ機能によって並

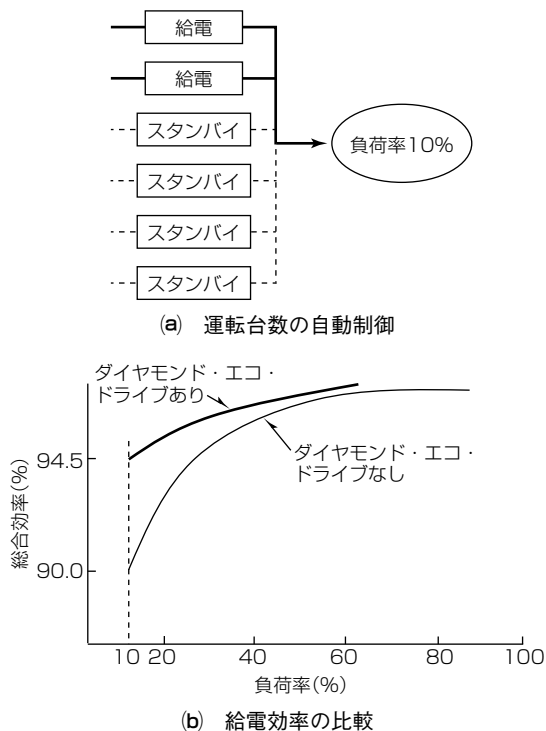


図7. ダイヤモンド・エコ・ドライブによる高効率運転

列運転中の装置4台を自動停止させることで(図7(a)), ダイヤモンド・エコ・ドライブなしの全装置運転時に比べて4.5ポイントのシステム総合効率の向上が図れる(図7(b))。

4. 単機容量の大容量化UPS

4.1 北米向け大容量UPS“9900CXシリーズ”

北米市場での大規模UPSシステムは、システムのシンプルさや保守の容易さなどから、従来の並列冗長構成ではなく、複数の常用の単機UPSに共通の予備UPSを設けて故障時や保守時に予備UPSに切り換わる共通予備システムへの志向が高まっており、単機容量がMVAクラスのUPSの需要が高まっている。従来、当社製北米向けUPSの単機容量の最大は“9900Cシリーズ”の1,050kVA(1.05MVA)であったが、変換器及び切換えスイッチの大容量化によって、2,100kVA(2.1MVA)まで拡大した“9900CXシリーズ”を市場投入した(図8)。

4.2 9900CXシリーズの特長

切換えスイッチ部分の小型化・高密度化設計、盤間接続方法の改善などによって、1,400kVA超の容量で業界最小^(注2)サイズ、省スペースを実現した(表3)。また、最大容量の2,100kVAは、従来機種^(注2)の最大容量である1,050kVAを2台



図8. 9900CX

表3. 9900CXの諸元

システム定格容量(kVA)	1,400	1,750	2,100
交流入力	AC480V・三相3線式 60Hz		
交流出力	AC480V・三相3線式 60Hz		
インバータ過負荷耐量	100%連続, 125%-10分, 150%-1分		
蓄電池	公称 480V(240セル)		
装置効率(AC/AC)	97%		
装置幅(W)寸法(mm)	4,250	5,050	5,650
装置質量(kg)	4,650	5,650	6,400

表4. 9900CXと従来機種(9900C)の装置寸法比較

	9900C_ 2台	9900CX_ 1台
装置容量(kVA)	2,100(1,050×2)	2,100
装置寸法(W)(mm)	6,000(3,000×2)	5,650

で構成するよりも省スペース化を実現した(表4)。

(注2) 2016年12月現在、当社調べ。

5. む す び

最先端SiCパワーモジュールを採用した高効率・大容量UPSのMELUPS 9900S、高電圧直流給電とすることで交流UPSよりもシステム効率を向上できるMELUPS DECO、単機容量で2,100kVAの大容量化を実現した北米向けUPSの9900CXシリーズについて述べた。

高効率・小型化、大容量化によって、市場のニーズに応えるとともに、近年拡大しているデータセンター事業の省エネルギー化に大きく貢献できるものと考ええる。

IoT(Internet of Things)やビッグデータの活用などに伴うデータセンターの延べ床面積増加などを背景に、今後も同様の市場ニーズは継続していくものと考えられるため、常に新しい技術を取り入れながら、より高信頼、高効率、大容量のUPSの市場投入に力を注ぐ。

下水・工業排水処理向け省エネルギー・省スペース型膜分離バイオリアクタ“EcoMBR”

安永 望* 古川誠司***
時盛孝一*
今村英二**

Energy and Space Saving Membrane Bioreactor "EcoMBR" for Municipal and Industrial Wastewater

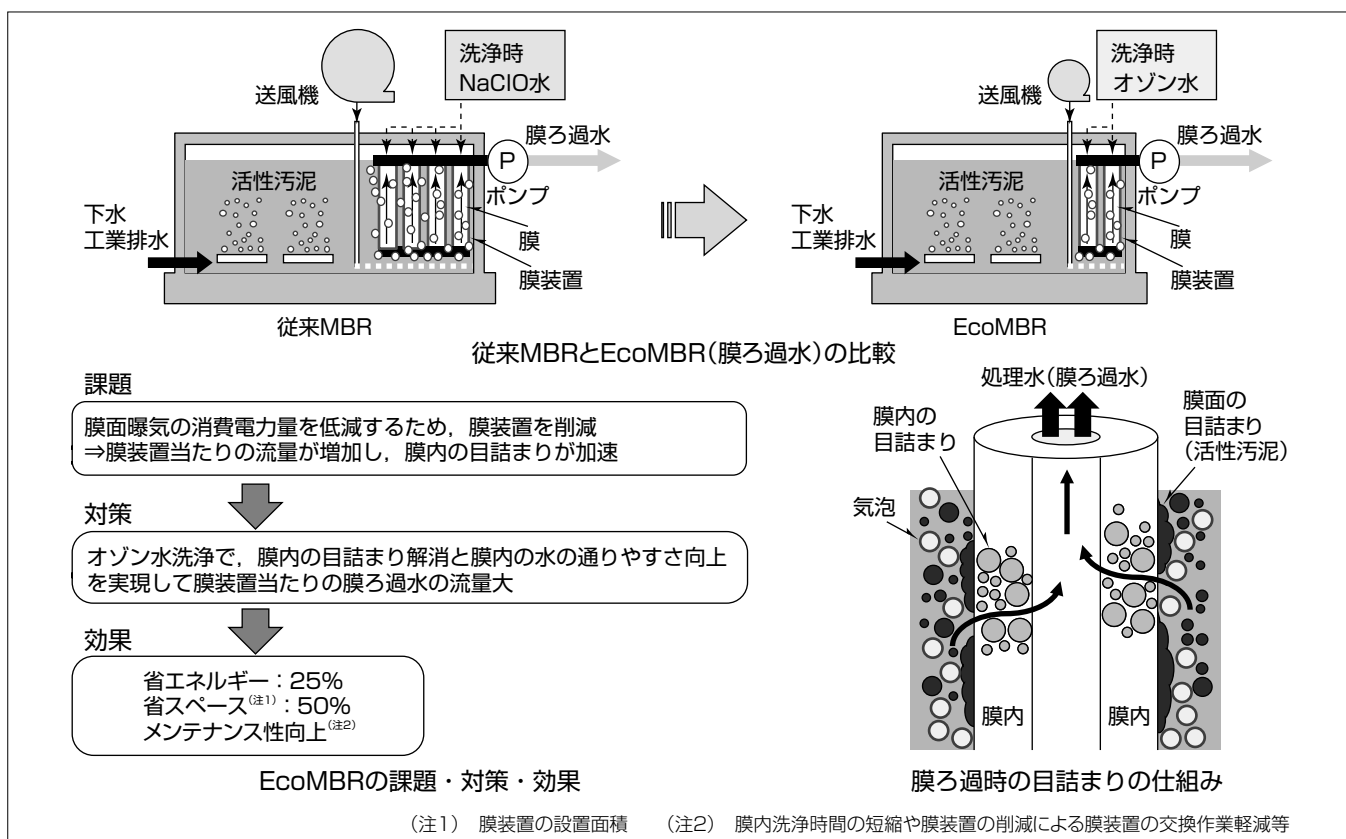
Nozomu Yasunaga, Koichi Tokimori, Eiji Imamura, Seiji Furukawa

要 旨

気候変動による水資源の偏在、人口増加・産業発展による水需要の拡大、人口集中による水質汚濁等によって、水資源不足が地球規模で問題となっている。そのため、下水や工業排水の農業・工業用水としての再利用が進められ⁽¹⁾⁽²⁾、水再利用装置が果たす役割はますます重要となっている。

水再利用装置としては、膜分離バイオリアクタ(Membrane BioReactor: MBR)、オゾン処理装置、逆浸透膜等がある。MBRは膜装置で処理水と活性汚泥を分離する。膜の利用によって、浮遊物のない再利用に適した処理水が得られる一方で、膜面及び膜内の目詰まり対策が必要となる。膜面は目詰まりしないよう常時、送風機で曝気(ばっき)し膜面を洗浄する必要がある、その消費電力量が大きいことが課題である。消費電力量を低減するには、膜装置を削減

して曝気する膜の表面積を小さくすることが考えられるが、この場合、膜装置当たりの流量を大きくする必要が生じるため、膜内の目詰まりが加速される。三菱電機は、従来膜内の洗浄に使用されているNaClO(次亜塩素酸ナトリウム)水より酸化力の大きいオゾン水を使用することによって目詰まりを解消し、さらに膜内の透水性(水の通りやすさ)を向上させた省エネルギー・省スペースの膜分離バイオリアクタ“EcoMBR”を開発中である。EcoMBRは従来のMBRと比較して消費電力量25%低減、膜装置の設置面積50%低減を見込む。さらに、膜装置の削減等によってメンテナンス性の向上も期待できる。EcoMBRの実用化によって豊かな水循環社会の実現に貢献する。



“EcoMBR”の特長

EcoMBRは、従来の膜内洗浄剤であるNaClOより大きい酸化力を持つオゾン水を溶解した水(オゾン水)を用いた膜分離バイオリアクタである。膜装置当たりの流量を大きくして膜装置を削減し、膜面の洗浄に必要な膜面曝気風量を低減して省エネルギー・省スペースとメンテナンス性向上を実現する。

1. ま え が き

1.1 開発の背景と課題

MBRは、被処理水中の有機物を微生物である活性汚泥で除去し、膜装置で処理水、すなわち膜ろ過水と活性汚泥を分離する水再利用装置である。従来の活性汚泥法と比較すると、膜で活性汚泥と膜ろ過水を分離することから、処理水に浮遊物質が含まれず、再利用に適した処理水が得られる。さらに活性汚泥法では最終沈殿池で時間をかけて活性汚泥を沈降させて処理水と分離するが、MBRではこの最終沈殿池を膜分離槽で代替するため、水再利用装置の設置面積を低減できる。これらの利点から、現在は下水・工業排水の再利用処理に広く活用されている。

しかしMBRは活性汚泥による膜面及び膜内の目詰まり対策が必要である。通常、膜面の目詰まりは送風機で曝気して洗浄することによって除去する。一方、膜内の目詰まりはNaClO水等の洗浄水をろ過時と反対方向に注水することによって除去する。膜面は常時曝気して洗浄する必要があり、その消費電力量はMBRの消費電力量の最大で約8割と大きい⁽³⁾。

膜面曝気に要する消費電力量を低減する方法として、洗浄する膜の表面積を小さくするために、膜装置を削減することが考えられる。ただしその場合、同じ水量を処理するために膜装置当たりの流量を大きくする必要があるが、膜内の目詰まりが加速されるため、それを解消する手段が必要となる。

1.2 開発の狙い

当社はこれらの課題を解決するため、従来の洗浄水であるNaClO水より大きな酸化力を持つオゾン水に着目した。高濃度オゾン水で膜内を洗浄することによって目詰まり物質をほぼ完全に除去でき、さらに、高濃度オゾン水で膜を構成する材料の表面を酸化し、水になじみやすくさせて透水性を向上させた。これによって、膜装置当たりの流量を大きくすることで膜装置を削減しても従来と同じ膜ろ過水量を確保でき、曝気風量、すなわち送風機動力を低減してMBRを低コストで運転できる。膜装置の削減によって膜装置の設置面積も低減でき、MBRの省スペース化やメンテナンス性向上も可能である。

本稿では、この省エネルギー・省スペースを実現する膜分離バイオリアクタEcoMBRのシステム構成、及びその特長について述べる。さらにEcoMBRの適用によって得られるユーザーメリットについて整理する。

2. EcoMBRシステム

2.1 EcoMBRのシステム構成

図1にEcoMBRのシステム構成と動作フローを示す。EcoMBRは膜ろ過と膜面洗浄、及び膜内洗浄を繰り返しながら運転する。次にこのシステムの動作フローを述べる。

(1) 膜ろ過と膜面洗浄

膜ろ過を継続すると、徐々に膜面及び膜内が目詰まりする。常時、膜面曝気(図1①)することで膜面の目詰まりを抑制し、膜装置で活性汚泥から分離された膜ろ過水は処理水槽に貯留される(図1②)。膜ろ過を継続すると活性汚泥中の有機物等が徐々に膜内に蓄積し、目詰まりが進行することによって膜内の目詰まりを示す指標である膜間差圧が上昇する。

(2) 膜内洗浄

膜間差圧が所定値に達すると、一旦膜ろ過を停止して、膜内洗浄に切り替える。高濃度オゾン水による膜内洗浄では、膜ろ過水の一部をオゾン水タンクに引き込み(図1③)、高濃度オゾンガスをオゾン水タンクに注入して(図1④)高濃度オゾン水を生成する。

続いて、膜ろ過とは反対方向から高濃度オゾン水を膜装置に注入し(図1⑤)、高濃度オゾン水で膜内の目詰まり物質を酸化させることで膜内を洗浄する。膜内の洗浄完了後、膜ろ過を再開し、これらを繰り返してEcoMBRの運転を継続する。なお、オゾンは膜内の目詰まり物質と反応して消費されるが、膜装置を介して余剰のオゾン水が活性汚泥中に溶出する。溶出する余剰オゾン水中のオゾン量は大幅に低減しており、活性汚泥を構成する微生物の活性を低下させないため、活性汚泥へのオゾンの影響は無視できる。また膜分離槽内でオゾンは全て消費されるため、排オゾンガスは発生しない。

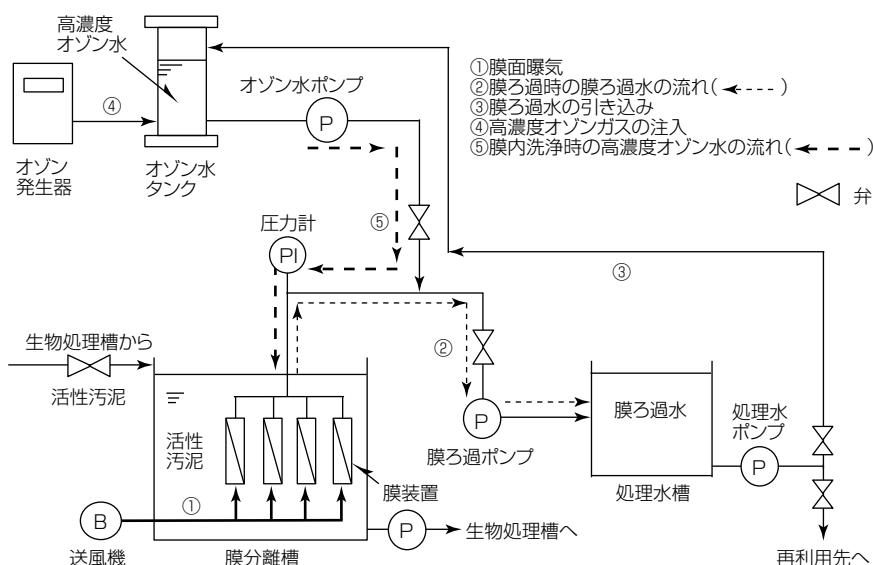


図1. EcoMBRのシステム構成と動作フロー

2.2 EcoMBRの特長

EcoMBRには次の3つの特長がある。それぞれについて小規模実験でその効果を確認しているため、検証結果も併せて述べる。

2.2.1 高濃度オゾン水による膜内洗浄と膜装置削減

EcoMBRでは、 NaClO 水より酸化力の大きい高濃度オゾン水で膜内を洗浄するため、目詰まりをほぼ完全に解消できる。その結果、膜装置当たりの膜ろ過水を増大させることが可能になり膜内の目詰まりが加速されても、長期的に安定した運転が可能となり膜装置を削減できる。

これについて、図2に示す試験装置を用いてEcoMBRの連続運転を実施し、運転安定性について検証した。MBR用の膜としては、一般的な使用材質であるPVDF (Poly Vinylidene DiFluoride) 製の中空糸型の膜装置(膜ろ過面積 0.1m^2)を用い、図2に示すとおり、膜装置の下部から送風機としてエアポンプを用いて常時膜面曝気を実施した。

結果としてフラックス、すなわち膜面積当たりの膜ろ過

水の流量を従来比2倍以上の $1.6\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ とし、膜装置を従来の半分に削減した。被処理水には人工下水を用いて膜ろ過運転を行った。膜間差圧が所定の値に到達した時点で膜ろ過運転を停止し、膜装置を膜分離槽に浸漬(しんせき)した状態で高濃度オゾン水を膜ろ過とは反対方向から注入する膜内洗浄を約30分間実施した。以上の動作を定期的に繰り返して、膜間差圧の推移を確認した。

EcoMBRを24日間連続して運転した際の膜間差圧の推移を図3に示す。図中の矢印で、高濃度オゾン水で膜内を洗浄した結果、図3中の破線で示したように膜間差圧は膜内の目詰まりの解消を示す膜ろ過前の約5 kPaまで低減した。これによって、高濃度オゾン水で膜内を洗浄することで、膜装置を削減してフラックスを従来比2倍以上の $1.6\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ とした条件でも膜内の目詰まりを十分に解消でき、長期安定運転が可能であることが確認できた。

図3に示すようにEcoMBRでは、従来は1週間～1か月に1回程度であった膜内洗浄の頻度が数日から1週間に短くなるものの、膜装置当たりの流量を大きくし、さらに後述するように洗浄時間は従来のMBRより短縮できるため、従来のMBRと同等の膜ろ過流量を維持できる。EcoMBRでは、膜内洗浄用の高濃度オゾン水を生成するために必要な動力が増加するが、これによる消費電力の増加量は、膜装置を従来の半分以上に削減して低減した膜面曝気に要する送風機の消費電力量と比較して十分に小さく、全体の消費電力量低減が見込める。また、膜装置を従来のMBRの半分にすることで膜装置の設置面積を50%低減でき、EcoMBRによって省スペースなMBRを実現できる。

なお、EcoMBR連続運転時の水質変化について、この実験期間中の総有機炭素(Total Organic Carbon : TOC)除去率、及び膜分離槽内の微生物(Mixed Liquor Suspended Solid : MLSS)濃度はそれぞれ約90%、 $8,000\text{mg/L}$ でほぼ一定で、膜内洗浄後のオゾン水の膜分離槽流入による微生物への影響はなく、膜ろ過水の水質が良好であったことも確認できた。

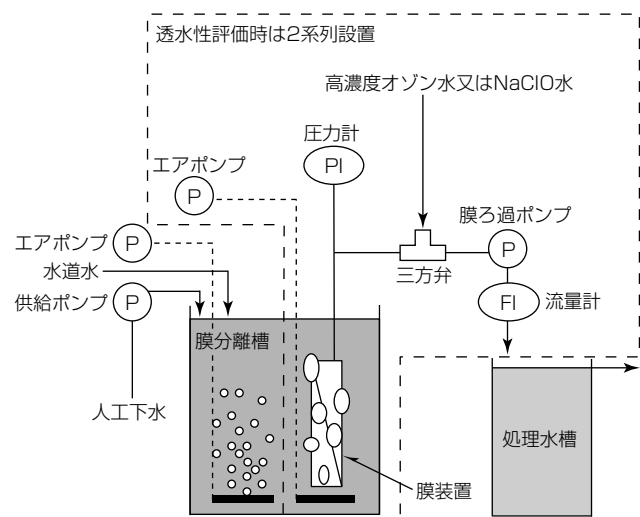


図2. 試験装置の模式図

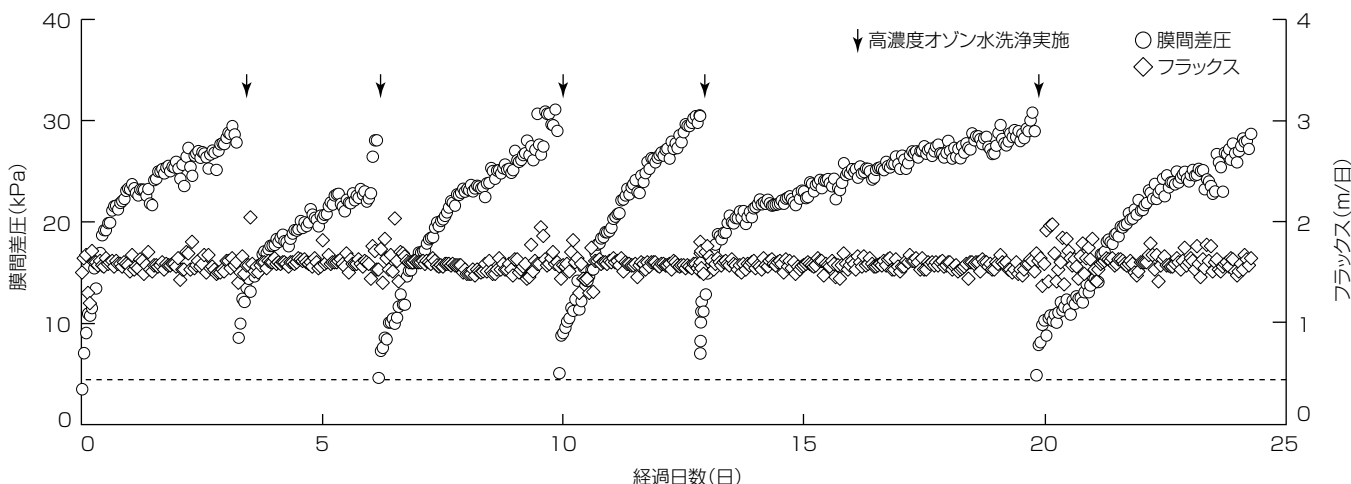


図3. 時間経過に伴う膜間差圧の推移

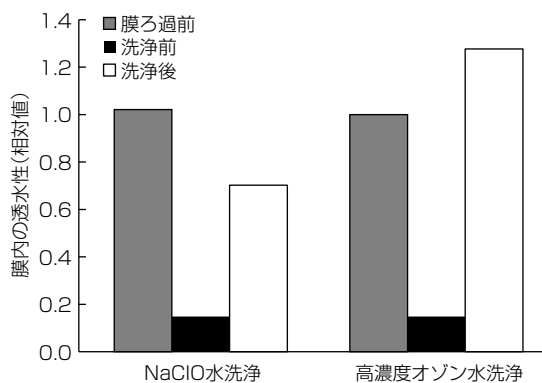


図4. 透水性の比較

2. 2. 2 膜内の透水性向上

膜内を高濃度オゾン水で洗浄することで膜内の目詰まりが十分に解消されるだけでなく、膜を構成する材料の表面が酸化されて、膜内が水になじみやすくなる。その結果透水性が向上し、膜装置当たりの流量の増大に有利になる。

この透水性向上についても試験装置を用いて検証した。図2と同じ試験装置を使用してMBRを運転し、NaClO水及び高濃度オゾン水で洗浄した場合の膜内の透水性を比較した。この試験ではNaClO水、高濃度オゾン水洗浄用に各1つ、計2つの膜装置を用意し、同条件でそれぞれ膜ろ過運転を実施して膜内を目詰まりさせた。続いて膜ろ過運転を停止し、各膜装置をそれぞれNaClO水、及び高濃度オゾン水で洗浄した。その後、各膜装置を膜分離槽から取り出して清水を通水し、その際の膜間差圧と通水流量から膜内の透水性を評価した。

膜ろ過前の透水性を1.0とし、NaClO水と高濃度オゾン水でそれぞれ洗浄した膜内の透水性を比較した結果を図4に示す。膜ろ過運転によっていずれも0.2未満まで膜内の透水性が低下した。続いてNaClO水で膜内を洗浄した場合、透水性は約0.7まで回復したが、高濃度オゾン水で洗浄した際の透水性は1.2以上まで向上した。高濃度オゾン水洗浄によって透水性が膜ろ過前より0.2以上向上したことから、オゾンによって膜内が水になじみやすくなったことを確認できた。

2. 2. 3 膜内の洗浄時間の短縮

洗浄水中のオゾンと膜内の目詰まり物質がすみやかに反応するため、高濃度オゾン水による膜内洗浄時間は、従来のNaClO水による膜内洗浄時間の約1/3～1/4と大幅に短くなる。図2に示した試験装置で膜内洗浄に要した時間は、NaClO水による膜内洗浄時間が90～120分であるのに対し、高濃度オゾン水洗浄の膜内洗浄時間は約30分であった。

表1. EcoMBR適用によるユーザーメリット

項目	ユーザーメリット
①省エネルギー	膜面曝気風量低減によるブロウ消費電力量の低減(25%)
②省スペース	膜装置削減による膜装置設置面積の低減(50%)
③メンテナンス性向上	膜内洗浄時間の短縮や膜装置削減による交換作業時間短縮

3. EcoMBR適用によるユーザーメリット

EcoMBRは、従来よりも膜装置当たりの流量を増大させて膜装置を削減して運転する。EcoMBR適用によるユーザーメリットを表1に示す。

EcoMBRでは、従来のMBRと比較して高濃度オゾン水生成に必要な動力が増加するものの、膜面曝気風量の低減による送風機動力の低減量が高濃度オゾン水生成に必要な動力の増加量より大きいため、約25%の省エネルギーを実現できる見込みである。さらに、膜装置を半分に削減することで膜装置の設置面積を50%低減でき、従来のMBRよりも省エネルギー・省スペースを実現できる。その上、高濃度オゾン水による膜内洗浄時間や、膜装置削減で定期的な膜装置の交換作業に要する時間も短縮できることから、メンテナンス性も向上する。

4. む す び

膜分離バイオリアクタEcoMBRのシステム構成、及びその特長について述べ、さらにEcoMBRの適用によって得られるユーザーメリットについて述べた。今後、従来よりも省エネルギー・省スペースでメンテナンス性を向上させたEcoMBRによって、下水や工業排水の再利用拡大に貢献できると考えられる。

現在はシンガポールで、実下水を対象とした連続運転を実施中である。さらに今後は、実規模で工業排水を対象にした実証試験を経て、EcoMBRの実用化を目指す。

参 考 文 献

- (1) 山縣弘樹：米国カリフォルニア州モンレー郡における下水処理水の農業灌漑利用、環境システム計測制御学会誌, 14, No.2・3, 83～86 (2009)
- (2) 伊藤禎彦：下水処理水の飲用再利用におけるリスクの取り扱いについて、水環境学会誌, 39, No.6, 187～196 (2016)
- (3) 橋本敏一：日本下水道事業団における膜分離活性汚泥法の省エネ化に向けた取り組み、造水シンポジウム2014講演集, 13～24 (2014)

高度河川管理システム

小池敏恭*

飯田祥文*

Advanced River Management System

Toshiyasu Koike, Yoshifumi Iida

要 旨

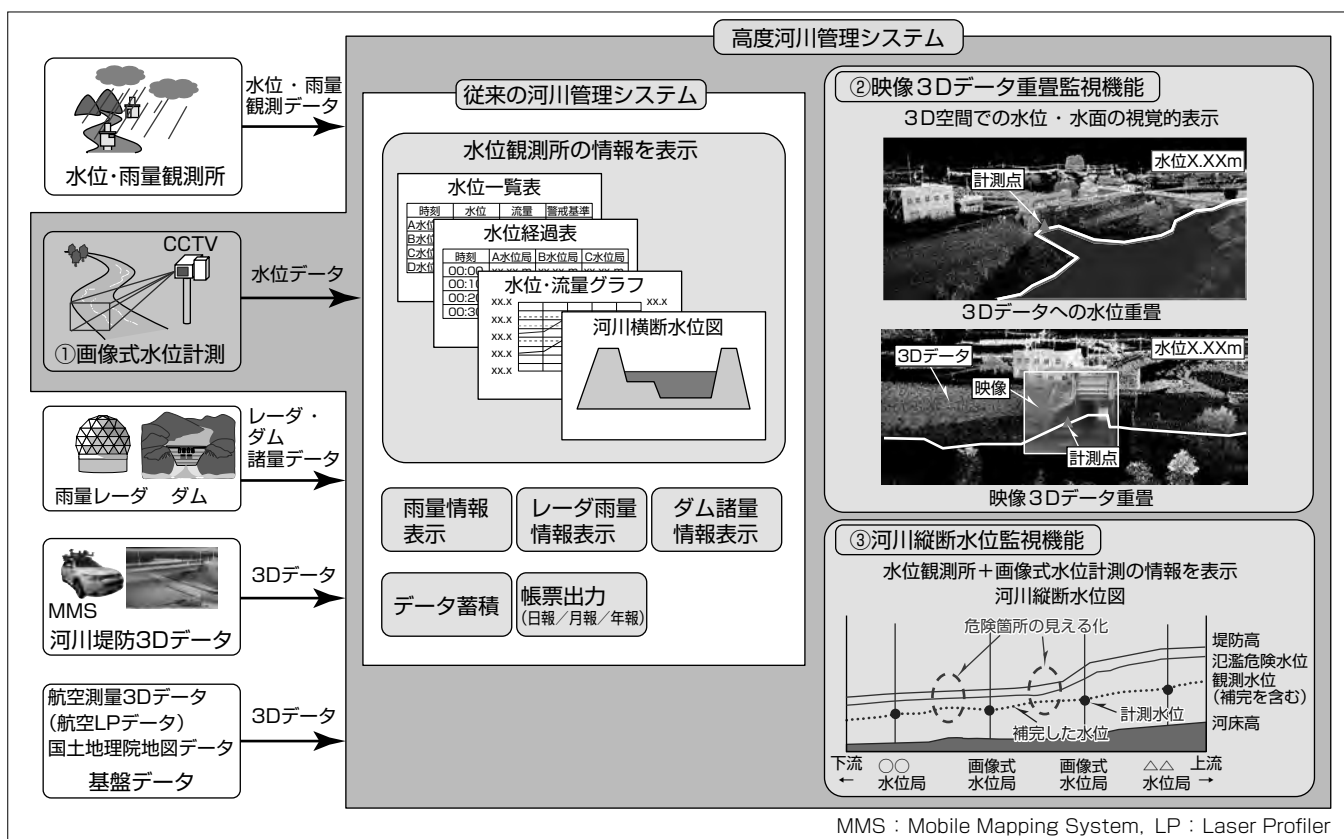
近年、豪雨発生による河川堤防の越流・決壊と洪水被害が多発している。洪水被害は、多大な経済的損失だけでなく、深刻な人的被害をもたらすので、特に高齢者など社会的弱者の避難誘導・保護は重要な課題となっている。

河川管理者である国土交通省の洪水対策では水位計による水位観測情報を現況把握に利用しているが、河川管理システムで扱う水位情報は、約5～20km間隔の片岸の水位計による観測という離散的な情報であり、水位観測所の間で発生した危険箇所の情報をリアルタイムに収集・伝達することが難しい。地域住民にとって居住地から離れた場所の水位情報では、危険性が十分に伝わらない場合もあり、避難行動の遅れが被害を拡大するおそれがある。また、河

川管理者と気象台が共同発表する洪水予報の水位危険度の対象地点も水位観測所に限られている。

高度河川管理システムでは、居住地に近接した水位情報を提供して氾濫の切迫性を強く伝えることを目的として、従来の水位観測所の間に河川監視用に設置されているCCTV(Closed-Circuit TeleVision：防災用映像監視システム)カメラを利用し、画像処理技術を用いた水位計測を行う。画像処理で得られた水際検出位置から水位(標高値)への変換には、三次元レーザ計測データを用いる。

また、画像式水位計測の導入によって数倍に増加する水位情報を効果的に表現する技法として、映像3Dデータ重畳監視機能と河川縦断水位監視機能を開発した。



高度河川管理システムの構成

高度河川管理システムは、従来の河川管理システムにCCTVカメラと三次元レーザ計測データを用いた①画像式水位計測機能、②映像3Dデータ重畳監視機能及び③河川縦断水位監視機能を加えて構成される。従来の水位観測所の観測情報等に画像式水位計測情報を加えた、地先単位(ピンポイント)のきめ細かな水位情報は、河川管理者の防水業務としての危険箇所の監視に有効であり、また、住民へのタイムリーな情報提供に活用できる。

1. ま え が き

近年、国内では激甚な洪水被害が発生しており、特に“平成27年9月関東・東北豪雨”の鬼怒川堤防決壊と常総市浸水被害、“平成28年台風第10号”の岩手県今泉町高齢者施設浸水による死亡事故では洪水の危険性が住民に十分伝わらず深刻な被害を招き、河川の危険性を周知する重要性を強く認識させた。

河川管理者である国土交通省では、早期避難や的確な水防活動のために、住民の居住地に近い地先単位のきめ細かな水位観測を目指しており、国土交通省水管理・国土保全局の“河川砂防技術研究開発”での“従来の水位観測地点間の地先単位の水位・氾濫危険度の把握のための解析・観測”をテーマとした取組み(2016年度)や、国土技術政策総合研究所等での“CCTV画像からの水位計測”などの取組みが行われている。

国土交通省が定める水文観測業務規程細則⁽¹⁾の2017年5月改定では、水位標の観測方法として従来の目視観測に画像解析による観測が追加され、今後はCCTVカメラ画像を用いた水位計測⁽²⁾(以下“画像式水位計測”という。)が増加すると予想される。

本稿ではCCTVカメラ画像と3D(3Dimensions:三次元)地形データを用いた水位計測によって、危険性をリアルタイムかつ地先単位に伝えることを実現する高度河川管理システムについて述べる。

2. 高度河川管理システム

2.1 目 的

洪水対策として河川の状態を知る一次情報は河川水位であるが、一級河川(国土交通省が管理する河川)の場合、水位観測所の間隔は約5~20kmと広いため、河川堤防の全てについて越流・決壊の危険度を知ることができない。住民は居住地から数km離れた地点の水位情報を受けても危険性を認識するのが難しく、避難行動の遅れにつながるおそれがある。避難行動を適時に促すには、居住地に近い地先単位の危険度の情報提供が有効である。

現在の水位情報収集・計測には、フロート式・水圧式などの接触型水位計を使用しており、その設置には増水時の水流に耐える強固な施設が必要なため、多数の設置には膨大な費用を要する。一方で一級河川には、河川流況監視用及び水門等施設監視用のCCTVカメラが全国で約1万台設置されており、このカメラを水位計測に活用できれば危険度の指標となる水位情報を増やすことができる。

三菱電機は、河川管理者や住民に水位上昇や氾濫の切迫性をリアルタイムかつ地先単位に伝え、避難行動を適時に促して洪水被害を軽減することを目的として、画像式水位計測とその情報を収集・蓄積・提供する“高度河川管理システム”を開発した。

2.2 従来の河川管理システムとの比較

従来の河川管理システムと今回開発した高度河川管理システムの機能比較は表1のとおりである。

従来の河川管理システムでの水位観測(河川砂防技術基準⁽³⁾に定める水文・水理観測カテゴリー1)は、河川堤防や水門等の河川施設の整備計画の基礎となる統計や流量演算又は水門等の河川施設の操作基準に用いられており、±1cmの精度が要求されている。それに対して高度河川管理システムとして追加した画像式水位計測機能は、増水時の危険性の把握のため、計測精度に加えて計測箇所の高密度化や、危険性を分かりやすく伝えるための表示を備えた。

2.3 機 能

高度河川管理システムでは従来の河川管理システムの機能に加え、河川管理者が河川水位の状況を空間的・連続的に把握するために次の機能を持つ。なお、各機能は、CCTVカメラ映像データと対象地域を別システムで測量したMMSデータ^(注1)、航空LPデータ^(注2)等の3D点群データを合わせて活用することによって実現している点が特徴である。

(注1) MMS(モバイルマッピングシステム)データは、車載レーザ計測器によって測量した三次元座標データである。

(注2) 航空LP(レーザプロファイラ)測量データは、航空機からレーザ光を照射して測量した三次元座標データである。

2.3.1 映像3Dデータ重畳監視機能

映像3Dデータ重畳監視機能は、CCTVカメラの視野範囲だけでなく視野範囲外の水位状況を視覚的に把握するための機能である。河川周辺の3D点群データを3D表示ソフトウェア(3Dビューア)で表示し、3D空間にCCTVカメラ映像と水位及び3D点群データを重ね合わせることで次の方式で実現した。

まず、カメラ情報(カメラ位置座標、視点、画角)を基に、3D空間に河川管理用のCCTVカメラ映像を表示し、3D点群データと重畳表示させる。さらに、CCTVカメラ映像を画像処理することによって水面と空間の境(水際線)を検出し、

表1. 河川管理システムの比較

機能項目	従来の河川管理システム	高度河川管理システム
水位計測方法	接触型水位計 (フロート式、水圧式など)	・画像処理方式 ・レーザ計測方式 ^(注3)
水位計測間隔	5~20km	1~5km
水位計測精度	±1cm	・画像式(高精度): 約±1cm目標 ・画像式(概略) ^(注4) : 約±30cm目標 ・レーザ式: 約±10cm目標
水位の表示方法	・水位一覧表 ・河川横断水位図 (観測点だけ)	・水位一覧表 ・河川横断水位図 (観測点+画像式計測点) ・河川縦断水位図 ・3D水位表示
CCTV映像の利用	・河川流況監視 ・河川施設監視 (映像監視だけ)	・河川流況監視 ・河川施設監視 ・3Dデータと映像の重畳表示 (標高表示、距離計測、高さ計測)
住民への情報提供	水位観測所の水位	地先単位の水位と危険度

(注3) レーザ光による水位計測。

(注4) 水位標を用いず、橋脚・護岸堤防を背景とする画像式水位計測。

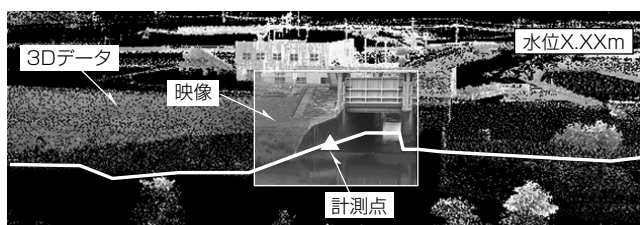


図1. 映像3Dデータ重畳

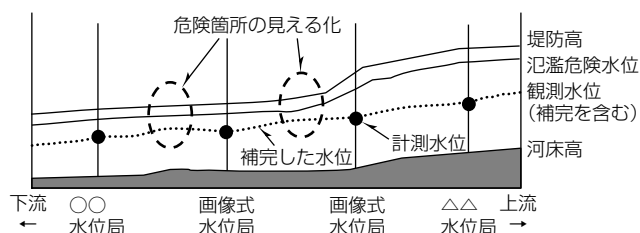


図2. 河川縦断水位のモデル図

検出した水際線に対応する3D点群データの標高から水位を算出して、CCTVカメラ視野範囲外を含む3D空間に連続する水際線を描写する(図1)。

その他、2点間の距離計測、高さ計測などの計測機能や、水位観測所のポイント表示、観測水位データ表示など、河川管理に必要な機能を提供する。

2.3.2 河川縦断水位監視機能

河川縦断水位監視機能は、河川両岸の上流から下流までの水位状況を高密度でリアルタイムに把握するために、河川水位、河床高、堤防高の関係を図形式で表示する機能である。上流から下流までの河川縦断水位を連続表示することによって、観測水位と堤防高の高低差の接近箇所を氾濫の危険箇所としてリアルタイムに把握することができる。

堤防高データは、あらかじめ3D点群データを基に両岸堤防位置の標高座標データを抽出しておくことによって、両岸の堤防高を縦断方向に連続的に把握することを可能にした。

水位情報は、従来の水位観測所のデータに加え、CCTVカメラ映像による画像式水位計測データを利用することによって、データを高密度化し、地先単位の危険箇所の把握(見える化)を可能にした(図2)。

3. 課題と対応方式

3.1 映像3Dデータ重畳

CCTVカメラを用いて河川の様子を撮影した映像は、色の情報は持つが、奥行きや高さといった空間的な情報を含んでいない。今回活用した地形や構造物の形状といった空間的な情報に関する3D点群データは、緯度・経度・標高などの三次元情報を持つ複数の点から構成されているため、CCTVカメラ映像と3D点群データとを重ね合わせることによって、色の情報と空間的な情報の両方を用いて河川の状況をより正確に把握することができる。

CCTVカメラ映像と3D点群データの重畳は、映像の各

画素に対して、3D点群データの点を正確に対応付ける必要があり、映像と3D点群データのそれぞれで形状に特徴のある点(例：構造物の鋭角など)を抽出し、それらの特徴を手がかりに、映像と3D点群データの間で対応する画素と点を見つけ、更にこの対応関係を基に、ほかの部分での対応関係を推定する。

これによって、指定した地点の高さ(標高)の計測やCCTVカメラ映像から画像処理によって抽出した水際線の水位を計測することを可能とした。

3.2 水位の3D空間への描写

3Dビューアを用いて3D空間に水際線、基準水位線(氾濫注意水位、氾濫危険水位など)を表示する際、3D点群データから同一標高の点群を着色表示する方法では、3D点群データがない箇所、又は3D点群データが少ない領域については水位線表示ができない。

そこで、堤防面の3D点群間を線で結んで堤防面に水位線を描画する方式を検討したが、特定の高さの点群を抽出した場合、堤防面とそれを覆う草木などの表面との判別が難しく、どの点群間に描画するのがよいか判断する技術の確立が課題であった。これについては、水位線を引く3D点群の範囲と方向を指定することによって対応した。また、点群データが少ない領域については、描画した線を滑らかにしつつ補正処理を加えることによって課題を解決した。

3.3 河川縦断水位図

河川縦断水位図の作成には、連続的な堤防高データ、水位データが必要となる。両岸の堤防高データは3D点群データを利用することによって、高精度に把握することが可能であるが、河川堤防は蛇行しているため、3D点群データから連続的に堤防位置を抽出する技術の確立が課題であった。これについては、河口からの距離を示す河川距離標間を結んだ方向に沿って、最高標高点を滑らかにしつつ処理を設けることによって対応した。

また、連続的な水位データは、従来の水位計による水位観測に加え、CCTVカメラ映像を用いた画像式水位計測による水位計測地点数の増加によって把握することができる。

将来的には、水位観測地点間の水位を推定する処理を設けることによって、更に高密度で連続した水位データの把握ができる。

4. 現在の取組み

高度河川管理システムは3D河川管理サーバ、河川氾濫予測・避難情報提供サーバから構成される。図3に高度河川管理システムのシステム構成を示す。

4.1 映像3Dデータ重畳

3D空間にCCTVカメラ映像を表示する機能に関して、現在、映像オブジェクトと3D点群データを重畳するための位置合わせを、視点位置、注視点位置、画角情報から自

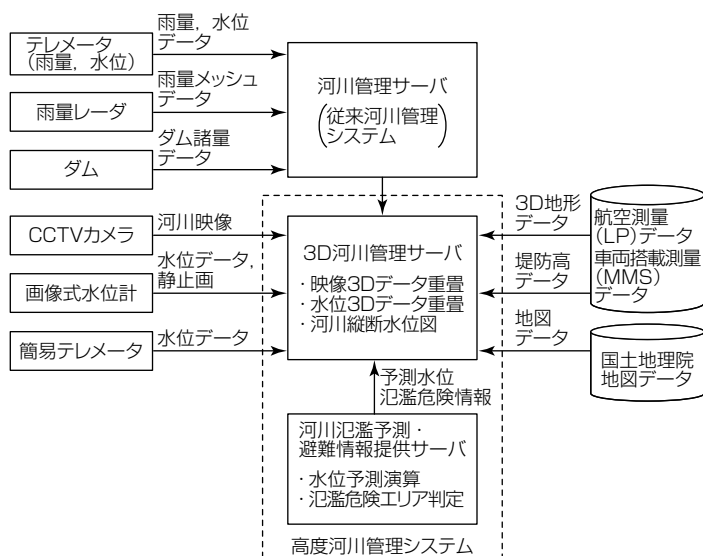


図3. 高度河川管理システムの構成



図4. 3Dデータへの水位重畳

動的に処理する追加機能を開発中である。

4.2 水位3Dデータ重畳

3D空間に水際線、基準水位線を表示するための3D点群データから同一標高の点群を着色表示する機能に関して、3D点群データがない箇所について水位線表示ができない課題に対応するため、現在3Dビューア上にベクトル線を生成する機能を開発中である。図4に3Dデータへの水位重畳機能の表示例を示す。

4.3 河川縦断水位図

河川縦断水位図に堤防高を連続的に表示する機能に関して、現在、3D点群データから河川兩岸の堤防高データを

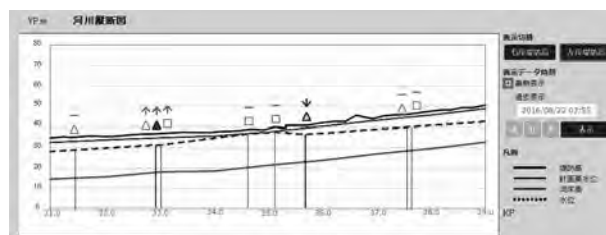


図5. 河川縦断水位図

自動抽出する追加機能を開発中である。図5に河川縦断水位図の表示例を示す。

5. む す び

画像式水位計測と水位情報の効果的な表示を行う高度河川管理システムについて述べた。従来の水位観測が離散的な点情報だけであったのに対し、画像式水位計測と計測地点間の補完処理によって、点情報から連続的な情報への拡張を目指している。これによって現在は水位観測点だけで作成している河川横断水位を、河川沿いの任意の地点で表示可能となる。また、CCTVカメラ設置地点以外の区域で3D空間上に現況水位をグラフィック表示することも可能である。

さらに、将来は、流域の予測雨量を基に河川流入による水位変化予測機能を拡張するとともに、越水時の浸水シミュレーションと連携することによって、住民の避難行動の早期化と安全・安心の向上への貢献を目指す。

参 考 文 献

- (1) 国土交通省 水管理・国土保全局：水文観測業務規程細則（2017）
- (2) 服部亮史，ほか：画像処理を活用した水位観測システムの実現，三菱電機技報，91，No.6，333～336（2017）
- (3) 国土交通省 水管理・国土保全局：河川砂防技術基準調査編（2014）

防災ネットワークを支える衛星通信システム

金正利和*
木村敏章*
加川義久*

Satellite Communication Systems for Supporting Disaster Prevention Network

Toshikazu Kanemasa, Toshiaki Kimura, Yoshihisa Kagawa

要 旨

安全・安心な社会に対する社会的要請は近年更に高まっており、相次ぐ地震、台風、津波などの災害対策や、事故や犯罪等の種々の危機管理への的確な対応が求められている。災害対策・危機管理の分野では、迅速かつ的確に情報を収集・整理し、情報通信基盤を通じて住民や関係機関に伝達することによって、被害や事故の件数の軽減や質的な改善が実現することが見込まれ、情報通信技術が住民の被害を適切に回避するための大きな役割を果たすことが期待されている⁽¹⁾。

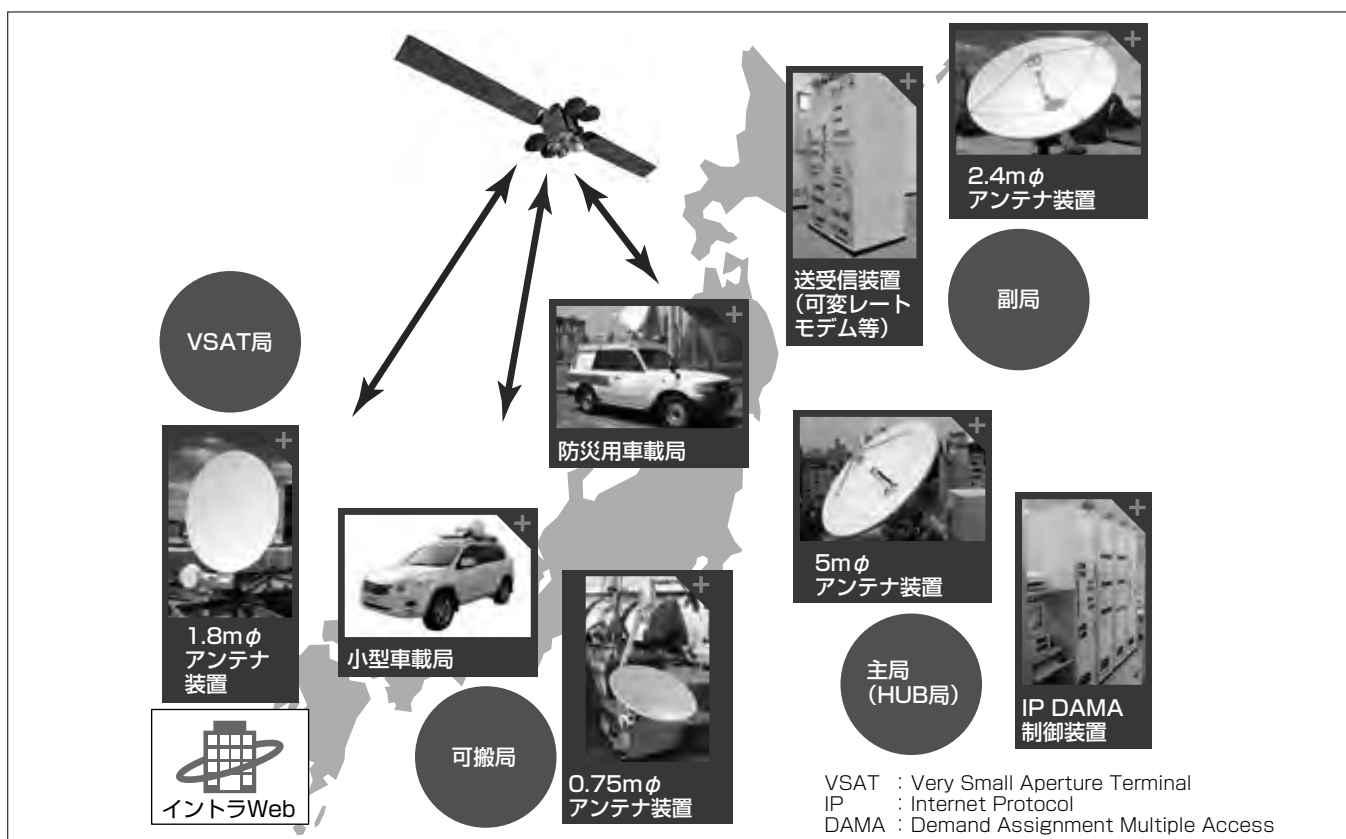
とりわけ、衛星通信は広域性、同報性、耐災害性及び柔軟で容易な回線設定にその特長があり、既に多くの分野で活用されており、その有効性も広く確認されている。

安全・安心な社会を実現するための災害対策・危機管理

用システムで利用されている衛星通信分野で、三菱電機はヘリコプター衛星通信システム(通称：ヘリサットシステム)と防災衛星通信システムに取り組んでいる。

ヘリサットシステムは、2013年から販売を開始して2017年度で累計16局の納入が完了する。また、従来のヘリサットシステムの課題であった、飛行姿勢によって伝送が中断するブロッキングを解消するデュアルアンテナヘリサットシステムを開発し、2018年度から稼働開始の予定である。

防災衛星通信システムとしては、山形県防災行政通信ネットワークを構築しており、2017年度から本格的に稼働する計画となっている。



防災衛星通信システム

衛星通信は広域性、同報性、耐災害性及び柔軟で容易な回線設定にその特長があり、災害対策・危機管理用システムでは、既に多くの利用実績があり、今後ともその発展と利用拡大が期待されている。防災衛星通信システムは、主局、副局、VSAT局及び可搬局で構成され、各局はアンテナ装置、送受信装置、制御装置などで構成される。

1. ま え が き

東日本大震災では、通信インフラを含め大規模かつ広範囲にわたり甚大な被害が発生し、被災地では情報の途絶が問題となった。総務省では災害時でも通信を確実に確保するために、災害に強い防災通信ネットワークの整備を進めている⁽²⁾。

衛星通信は、広域性、同報性、耐災害性及び柔軟で容易な回線設定にその特長があり、既に多くの分野で活用されており、その効果も確認されている。

本稿では、災害対策・危機管理用システムで利用されている衛星通信分野での当社の取組みの一端について述べる。

2. 当社防災衛星通信システムの構成機器

2.1 主 局

主局は、図1に示すように、アンテナ装置、送信装置、受信装置、変復調装置、回線接続制御装置等から構成されており、アンテナは口径4.5m、5m、7mのラインアップをそろえ、HPA(High Power Amplifier)はSSPA(Solid State Power Amplifier)タイプを開発して導入している。また、変復調装置はIP通信に必要なデータ伝送アダプタを内蔵し、最大6chまで同時に通信が可能なタイプを開発して導入している。

2.2 VSAT局

VSAT局は図2に示すように、アンテナ装置と送受信装置(以下“ODU”という)、変復調装置(以下“IDU”という)から構成されており、アンテナは口径0.75m、1.2m、1.8m、2.4m、ODUは出力1W、2W、4W、10Wの製品をそろえ、運用要求に応じて柔軟なVSAT局の構成を実現できる。

IDUは、電話・ファクシミリ通信に加えIP型データ伝送が可能であり、IP型データ伝送は32kbps～8Mbpsでの伝送速度を可変速で制御することが可能であり、IDUに実装されたスループット改善機能によって、TCP(Transmission Control Protocol)/IP通信での衛星回線上の伝送遅延を改善する。また、複数チャネルの無線信号処理を1台のモデム装置に集約させた小型軽量IDUもラインアップされており、低コストでのシステム構築が可能である。

2.3 可 搬 局

災害時の初動対応として、車両等に搭載し、通信が途絶した被災地等に赴いて、災害状況の伝達や通信経路の確保に活用されている。可搬局の構成を図3に示す。

口径0.75mの分割型アンテナ装置を採用することによって、可搬局としては最大1.5MbpsのIP型データ伝送が可能である。また、組立てが容易であり、初期運用時の衛星捕捉も自動で行われるため、容易に運用できる。

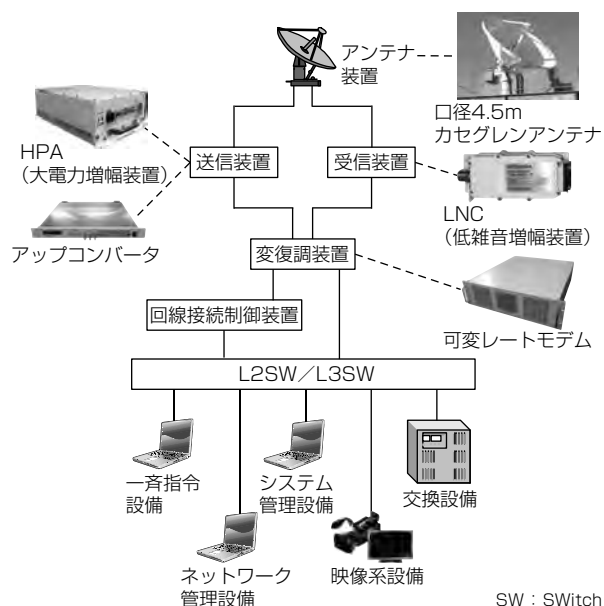


図1. 主局の構成

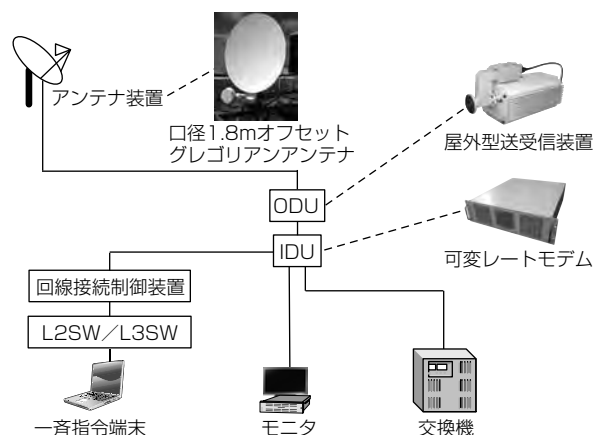


図2. VSAT局の構成

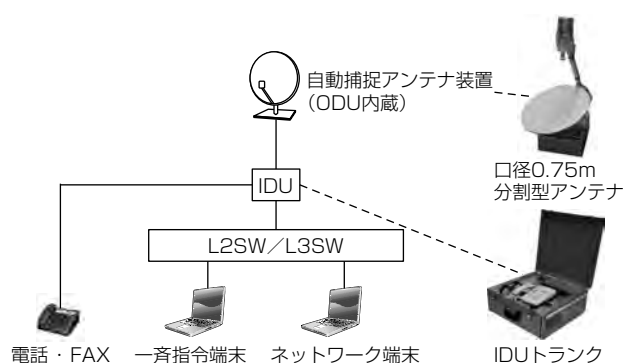


図3. 可搬局の構成

3. ヘリコプター衛星通信システム⁽³⁾

従来、被災地での空撮映像の伝送には地上で整備した中継局を経由して伝送を行う“ヘリコプターテレビ伝送システム(ヘリテレ)”が用いられていた。しかし、巨大地震では津波によって中継局が被災し、情報収集に時間を要するという課題が発生している。このような状況を改善するた

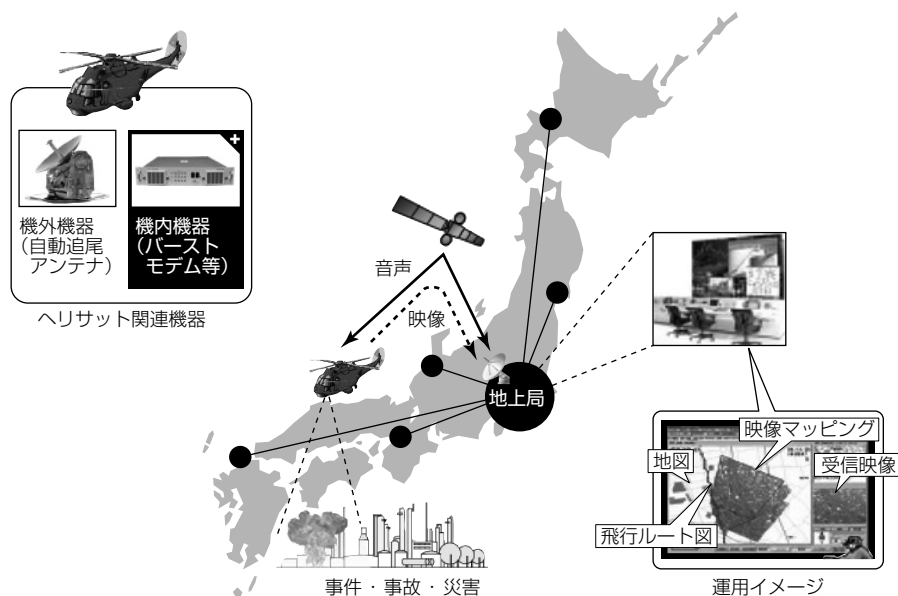


図4. ヘリサットシステム

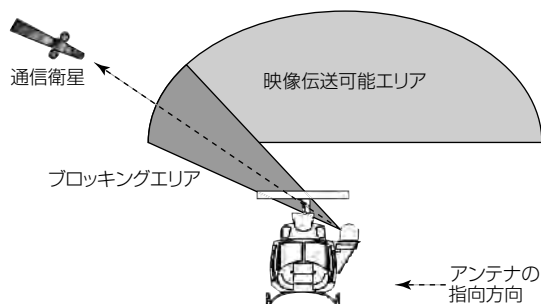


図5. 従来ヘリサットシステムでのブロッキング

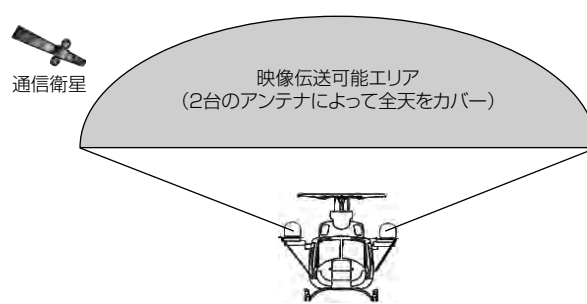


図6. デュアルアンテナヘリサットシステムでの映像伝送可能エリア

めに、当社では、ヘリコプターから直接通信衛星を介して情報を伝送するヘリコプター衛星通信システム(通称：ヘリサットシステム)(図4)の販売を2013年から開始し、現在13局を納入している。2017年度には更に3局の納入が完了する予定である。このシステムは、地震や大雨による河川の氾濫、火山の噴火など、広域災害時に迅速な情報通信手段として活躍している。

ヘリサットシステムは通信衛星を介して直接通信を行うため、運用地域、飛行高度の制約を受けずにリアルタイムに情報の伝達が可能だが、飛行姿勢によるブロッキングによって通信が中断する課題があった。このブロッキングの課題を解決するためにアンテナ装置を2台搭載するデュアルアンテナヘリサットシステムを開発し、2018年度から稼働開始する予定である。

3.1 ヘリサットシステムの課題(ブロッキング)

ヘリサットシステムでは機外に搭載されたアンテナ装置が機体の方位や動揺によって機体方向に指向した際、自動的に停波する機能を具備しており、この電波を自動的に停波している状態をブロッキングと呼んでいる(図5)。

ヘリコプター飛行中に姿勢が変化するため、機体の片側

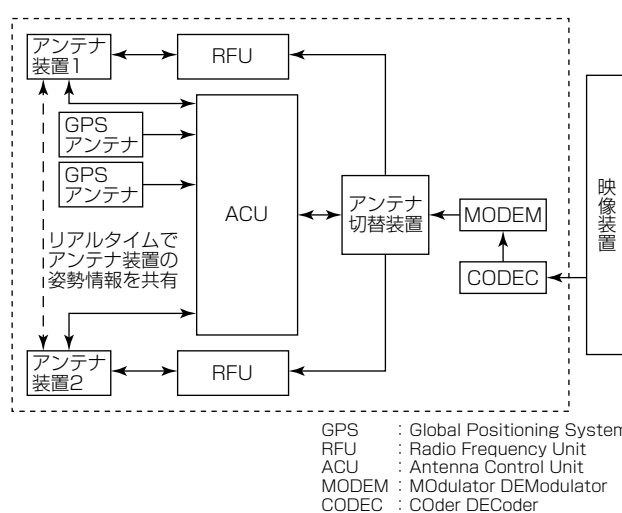


図7. デュアルアンテナヘリサットシステムの構成

GPS : Global Positioning System
RFU : Radio Frequency Unit
ACU : Antenna Control Unit
MODEM : MODulator DEModulator
CODEC : COder DECoder

にアンテナ装置を搭載する従来システムでは、ブロッキングによる通信の中断が発生する課題があった。

3.2 デュアルアンテナヘリサットシステム

ブロッキングの課題を解決するために、デュアルアンテナヘリサットシステムを開発した。デュアルアンテナヘリ

サットシステムは、アンテナ装置2台でシステムを構築する。2台のアンテナ装置を全天がカバーできる位置(機体の左右)に装備し、電波を送信中のアンテナ装置が機体の動揺などでブロッキングとなる前にアンテナ装置の切替えを行うことでブロッキングとなる姿勢をなくしブロッキングを解消することができる(図6)。

デュアルアンテナヘリサットシステムでは機体の動揺に応じてアンテナ装置の切替えを瞬時的に行うため、2台のアンテナ装置のうち衛星追尾を行っているアンテナ装置の姿勢の情報を共有する(図7)。ブロッキング状態のアンテナ装置は高精度の姿勢情報を取得し、擬似的に“プログラム追尾”を行うことで、2台のアンテナ装置が常に高精度で衛星方向を指向できる。これによって、機体の動揺に応じて瞬時的に電波を送信するアンテナ装置の切替えが可能になる。

4. 山形県防災行政通信ネットワーク

4.1 全体システムの構成

このシステムは多重無線ネットワーク、地域衛星通信ネットワーク、有線回線、IPネットワーク、無線LAN、及び各種のサブシステムが連携・機能し、県庁統制局を中枢局として、総合支庁局、地域振興局、市町村局、消防本部局、県出先機関局、防災関係機関局等を結ぶ防災行政通信ネットワークとして構成している。総合支庁局と地域振興局では多重無線系と衛星系、市町村局と消防本部局では衛星系と有線系、県出先機関と防災関係機関では有線系と無線LANによる冗長回線を構築して強靱(きょうじん)なネットワークを構築しており、2017年度から本格的に稼働する計画である。次に主要システムについて述べる。

(1) 一斉指令システム

気象台から伝送されるXML(eXtensible Markup Language)

電文を端末局の一斉受令端末に伝達し、これに接続された大型モニタで地区ごとの警報注意報表示や一覧表表示を行うとともに、スクロールによるテキスト閲覧ができるようにシステムを構築した。また、大型モニタに対して映像一斉配信によるフルHD(High Definition)映像配信機能を実現した。

(2) ネットワーク管理システム

回線障害が発生した場合でも、回線迂回(うかい)機能によって、監視制御ができるように強靱な監視制御システムを構築した。

(3) システム管理システム

SNMP(Simple Network Management Protocol) 機器に対してMIB(Management Information Base)情報を収集して監視できるシステム管理設備を設け、ネットワーク管理システムと合わせて監視制御の二重化を実現した。また、機器のセキュリティ管理機能のほかに取扱い説明書をWeb閲覧できる機能もっており、ペーパーレスな運用管理を実現した。

(4) 映像システム

県庁統制局に大型8面マルチ対応モニタを設置し、マトリックススイッチャによるデジタル映像収集配信システム



図8. 8面マルチ対応モニタと操作卓

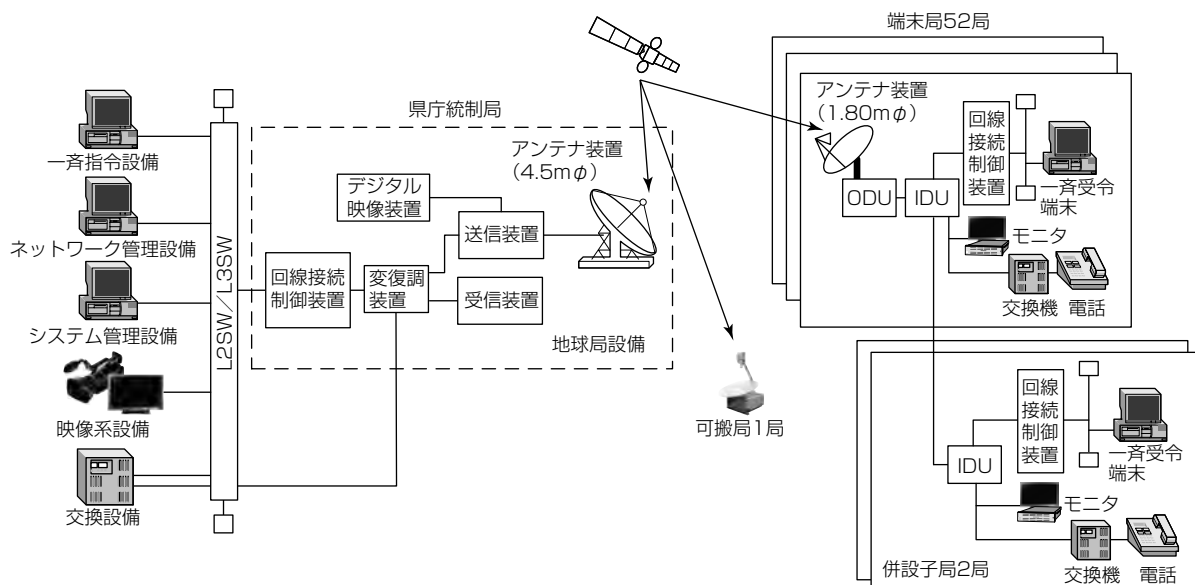


図9. 山形県防災衛星通信システムの構成



(a) 県庁統制局アンテナ



(b) 端末局アンテナ

図10. 衛星通信システムのアンテナ

を構築した(図8)。各種端末画面、ヘリテレ、テレビ会議、気象観測カメラ等の映像ソースを収集して映像配信を実現した。

(5) 交換システム

県庁統制局、総合支庁局、市町村局、消防本部局にIP交換機を設置し、県出先機関、防災関係機関にはVoIP (Voice over Internet Protocol) GW (GateWay)を設置してIP交換網を構築した。また、災害対策本部に卓上PHS (Personal Handyphone System) 及び、有線電話端末を設置し端末の二重化運用を実現した。

4.2 衛星通信システム

山形県防災行政通信ネットワークでの衛星通信システムは一般財団法人 自治体衛星通信機構が運営する地域衛星通信ネットワークを活用し、県庁統制局と端末局(VSAT)、併設子局及び可搬局(VSAT)から構成されたシステムであり、地上系通信との二重化によって信頼性の向上が図られている。図9にシステム構成を図10に県庁統制局、端末

局のアンテナ外観を示す。

このシステムの機能を次に述べる。

(1) 個別通信

中央省庁と都道府県との間で、電話・ファクシミリによる個別通信が行える。また、県庁統制局の防災中継IP交換機を使用して山形県防災行政通信ネットワークの構成機関と個別通信が行える。

(2) IP型データ通信

映像の受信を行うために最大受信伝送速度8MbpsのIPデータ伝送が可能であり、県庁統制局から1:NのIPマルチキャスト伝送によって1MbpsのフルHD高画質映像配信が行える。

(3) 国一斉受令

消防庁局又は消防大学校局からの国一斉指令(電話、ファクシミリ)を受令し、その応答信号を送信局に返信できる。

(4) 県一斉指令、受令

県庁統制局から端末局、併設子局に対して県内一斉指令が行える。また、各局から県庁統制局にその応答信号を返信できる。なお、迅速な一斉指令を実現するために、最大送信伝送速度192kbpsの性能を持っている。

(5) デジタル映像送受信

県庁統制局からMPEG2(Moving Picture Experts Group 2)画像符号化方式によるデジタル映像の送信が行える。また、県庁統制局、端末局で映像情報の受信が行える。

(6) 設備監視

端末局の各モデムの運用状況をSNMPで監視できる。

5. む す び

災害対策・危機管理で利用されている衛星通信分野での当社システムの適用例を中心に述べた。

今後も災害対策・危機管理用システムの充実を図り、災害に強い通信ネットワークの構築に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 坂戸美朝、ほか：災害対策・危機管理での衛星通信利用、三菱電機技報、81、No.8、529～532 (2007)
- (2) 総務省：平成28年版情報通信白書
- (3) 福井貴之、ほか：ヘリコプター衛星通信システム“デュアルアンテナヘリサットシステム”、三菱電機技報、91、No.2、129～132 (2017)

航空管制用広域マルチラレーション装置

畑 清之*
佐藤 亮*

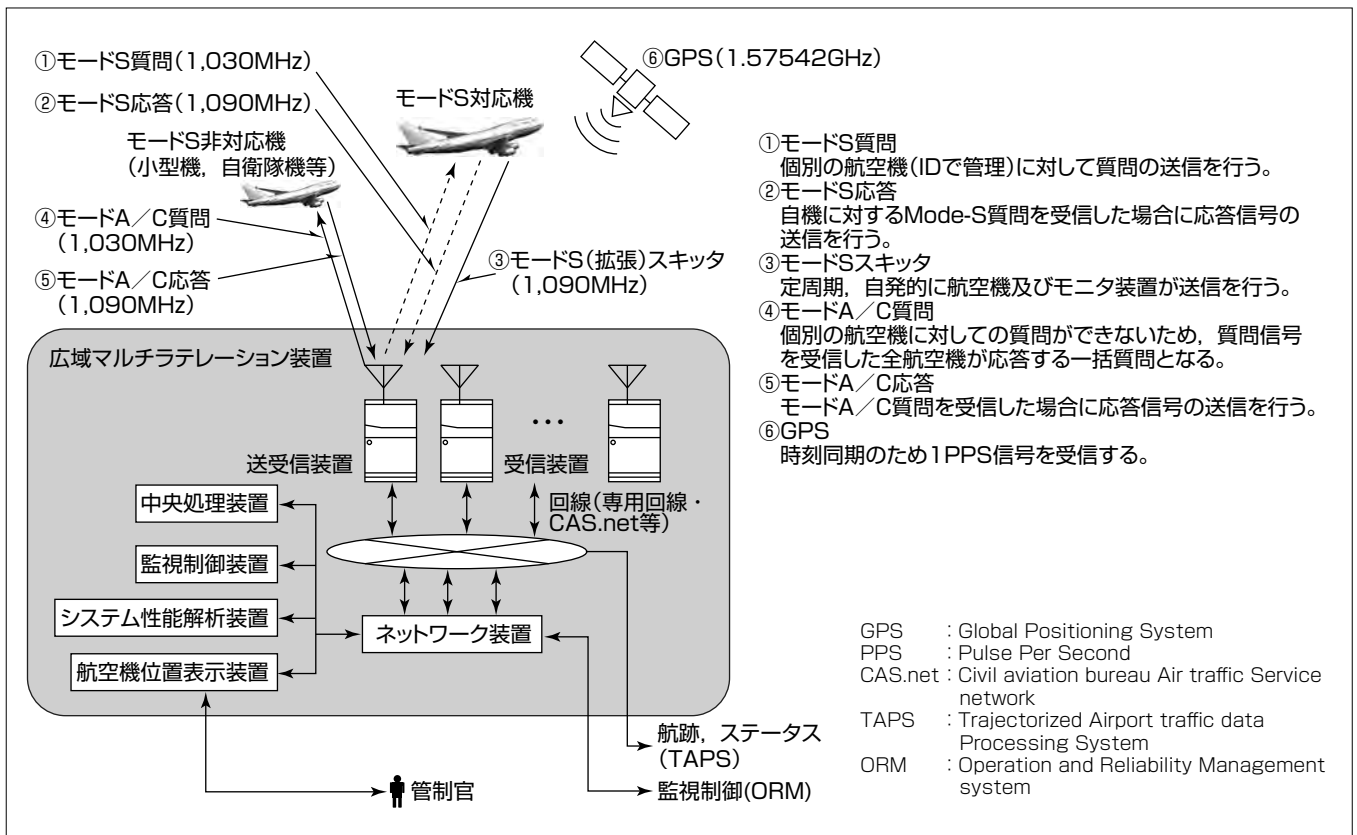
Wide Area Multilateration Equipment for Air Traffic Control

Kiyoyuki Hata, Ryo Sato

要 旨

日本では、航空交通の安全確保をしながら、増大する交通量に対応するため、次世代航空保安システムの整備が国土交通省航空局によって推進されている。この次世代航空保安システムには、従来の一次・二次監視レーダに加えて、航空機が発信するトランスポンダ信号からマルチラレーション技術を用いることで航空機の位置を算出するマルチラレーション装置がある。その特長は、①高いデータ更新頻度が期待できる、②高い位置精度が期待できる、③ブラインドエリアの解消が期待できる、④監視エリアの自由

度が高い、が挙げられる。国土交通省航空局では、まず空港面監視装置としてマルチラレーション装置の導入が始まり、最近は空域・航空路監視装置としても導入されつつある。三菱電機は羽田空港を初めとする日本の主要6空港に空港面監視用マルチラレーション装置を納入してきた。これらの経験を踏まえて2016年度には岡山空港向け広域マルチラレーション装置を開発・製造して国土交通省航空局に納入した。



広域マルチラレーション装置のシステム構成

広域マルチラレーション装置は、複数の受信装置又は送受信装置を各地に設置し、その受信装置又は送受信装置で受信した航空機に搭載されているトランスポンダからの信号を中央処理装置で収集し、それらの受信時刻の差(Time Difference of Arrival: TDOA)に基づき航空機を測位する。この測位結果によって空港及び空港近傍の空域を飛行する航空機の位置の監視が可能になり、管制システムに提供される。

1. ま え が き

当社では、昭和30年代に空港面探知レーダを運輸省(当時)に初めて納入して以来航空管制にかかわるレーダ及びその関連装置を納入してきた。また近年は、航空交通の安全確保をしながら、増大する交通量に対応するため、次世代航空保安システムの整備が国土交通省航空局によって推進されている。この次世代航空保安システムには、従来の一次・二次監視レーダに加えて、航空機が発信するトランスポンダ信号からマルチラレーション技術を用いることで航空機の位置を算出するマルチラレーション装置があり、その特長として、①高いデータ更新頻度が期待できる、②高い位置精度が期待できる、③ブラインドエリアの解消が期待できる、④監視エリアの自由度が高い、が挙げられる。当社は、空港面探知レーダを納入してきた技術に加えて、このマルチラレーション技術を応用したマルチラレーション装置を開発した。これを空港面監視装置として2009年度から羽田空港ほか5空港に納入し、2016年度には岡山空港向け広域マルチラレーション装置を開発・製造して国土交通省航空局へ納入した。

本稿では、マルチラレーション技術と当社製広域マルチラレーション装置について述べる。

2. マルチラレーション技術⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

2.1 マルチラレーションの原理

マルチラレーションとは、航空機が発信するトランスポンダ応答信号を利用して、複数の受信局(4局以上)からの応答信号を中央処理装置で双曲線測位処理を行い、航空機の位置を算出するものである。

2.2 マルチラレーションによる測位

マルチラレーションの測位原理の概念図を図1に示す。複数の受信装置・送受信装置を設置し、それらの装置で受信した、航空機搭載トランスポンダからの信号の受信時刻の差(TDOA)から航空機の位置を測位する。

2局のTDOAが一定となる位置の集合は双曲面になることから、4局以上で受信した場合は、3つの双曲面の交点として航空機の位置を算出できる。測位精度は受信装置で囲まれた閉領域内で双曲面同士が直交しやすく測位の精度が高くなる一方で、その閉領域の外側では双曲面が接しやすく測位の精度は低下する。

次に、マルチラレーションでの測位の位置精度は、TDOAの測定精度に依存するため、TDOAを高精度で取得することが必要である。TDOAを高精度で取得するには、受信・送受信装置のTOA

(Time of Arrival)の計測での時間軸が一致している必要がある。この装置では、受信・送受信装置から受信するGPSの1PPS情報(Pulse Per Second, GPS計測で得られる時刻の毎正秒のタイミングで発生する信号)を基準として受信・送受信装置の時間軸を同期する。

2.3 レンズング

送受信装置から航空機に質問して応答を取得する場合、質問送信から応答受信までの時間を測定し、その時間から求めた距離を利用して測位計算を補間できる。質問から応答までの時間によって得られる式は幾何学的には楕円(だえん)(質問と受信が同じ装置の場合は真円になる)を回転させてできる面を表す。航空機の位置はマルチラレーション測位の双曲面と楕円の交点として求められる。

送受信装置で質問送信と応答受信の両方を行って測距する場合をレンズング、応答受信を複数の受信装置で受信して測距する場合をマルチレンズングという。航空機の位置が受信装置配置の外側の場合、レンズング・マルチレンズング測位によって測位精度の改善効果がある。マルチレンズングの概念図を図2に示す。

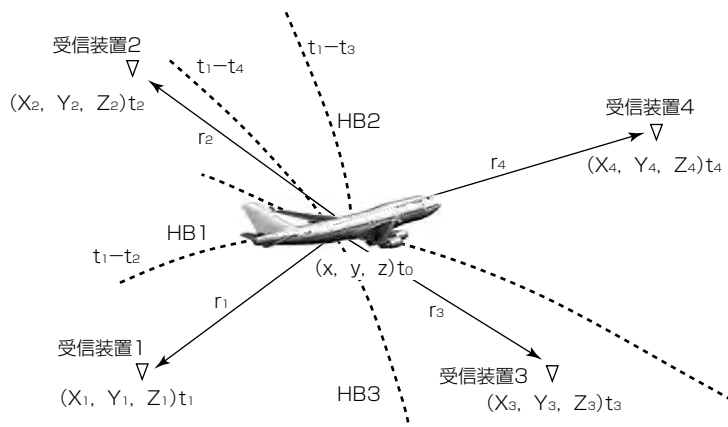


図1. マルチラレーションの測位原理の概念図

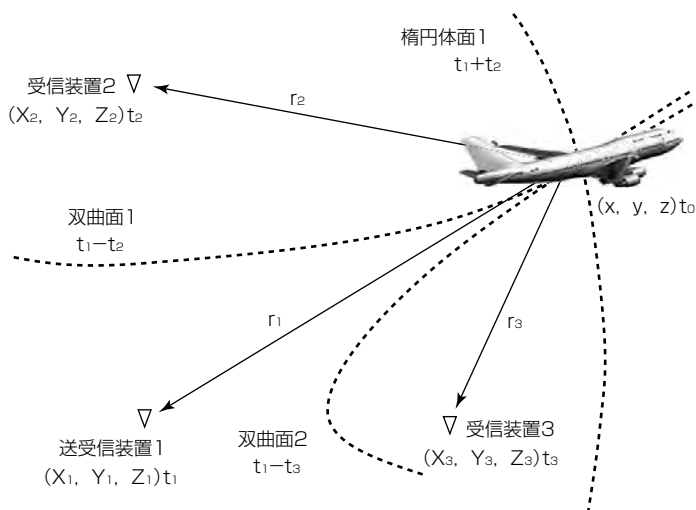


図2. マルチレンズングの概念図

3. 三菱広域マルチラレーション装置

当社が開発した広域マルチラレーション装置の主な仕様を表1に示す。

岡山空港周辺の空域を監視するため、全8局の受信・送受信装置が設置されている。航空機から発信されるトランスポンダ信号をこれらの受信・送受信装置で受信し、岡山空港に設置された中央処理装置に送信される。この中央処理装置でそれら航空機の測位計算が実施され、その座標位置が算出・表示される。

3.1 受信・送受信装置

受信装置の系統図を図3に示す。受信装置は通信ユニット、受信部(2台)、マイクロ波切替えユニット等と筐体(きょうたい)から構成され、筐体は前面及び背面に扉、側面に熱交換器、筐体内下部にヒーター、筐体内背面上部にサーモスイッチ等を持つ。

受信部は、冗長構成のため受信装置1台につき2台で構成されている。GPS空中線が受信した時刻同期信号(1PPS)に基づき受信部のシステム時刻を補正する。また空中線が受信したモードS及びモードA/C信号をデコードするとともに受信時刻等の必要な情報を付与する。マイ

クロ波切替えユニットは、中央処理装置からの制御信号によって内蔵されている同軸スイッチを選択された系に切り替えることが可能である。また同軸スイッチの系選択状態及び空中線の接続状態を監視して中央処理装置に伝達する。この結果、必要なメッセージ、監視情報をネットワーク経由で中央処理装置に送出する。

送受信装置の系統図を図4に示す。送受信装置は通信ユニット、送受信部(2台)、マイクロ波切替えユニット等と筐体から構成され、筐体は前面及び背面に扉、側面に熱交換器、筐体内下部にヒーター、筐体内背面上部にサーモスイッチ等を持つ。

送受信部は、冗長構成のため送受信装置1台につき2台で構成されている。また、受信部と同様の機能に加えて、質問信号を増幅して空中線へ伝送するのと空中線で受信した航空機の応答信号を増幅するための増幅ユニットを内蔵している。図5に受信・送受信装置の外観を、図6に送受信装置と空中線装置の設置例を示す。

表1. 三菱広域マルチラレーション装置の主な仕様

項目	仕様
送信周波数	1,030MHz
受信周波数	1,090MHz
送信出力	250W
質問モード	モードA/C, S
受信モード	モードA/C, S
データ更新レート	1回/秒

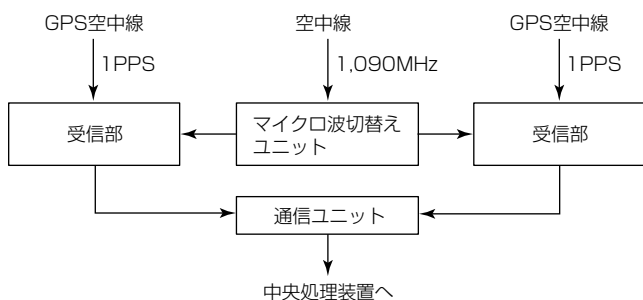


図3. 受信装置の系統図

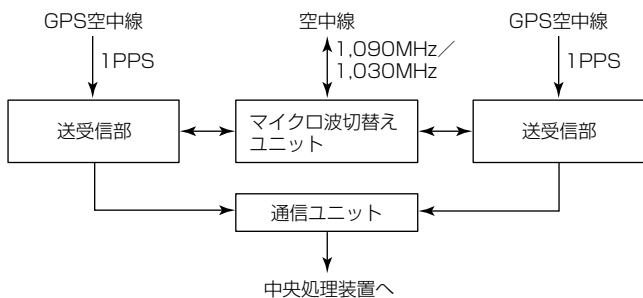


図4. 送受信装置の系統図



図5. 受信・送受信装置



図6. 送受信装置と空中線装置の設置例

3.2 中央処理装置

中央処理装置はローカルスイッチ、計算ユニット、ディスプレイ、キーボード、マウス及びUPS(Uninterruptible Power Supply)ユニット等から構成される。中央処理装置内の計算ユニットは冗長化構成によって2台内蔵されており、互いを監視することによって異常発生時に自動的に系切替えを実行できる。

次に処理の内容について述べる。

- (1) 受信装置又は送受信装置から航空機応答信号データを受信する。
- (2) 入力したデータに基づいて測位計算を実行する。
- (3) 測位計算では、受信した応答信号の受信時刻データの組合せに基づいて、ターゲットの位置を計算する。
- (4) 測位計算で求めたターゲットの測位位置に基づいて航空機航跡を維持・管理し、航跡情報を決められたタイミングで出力する。
- (5) 質問送信は、送信スケジューリングを航跡情報に基づいて作成し、質問送信を出力する。

このようにして得られた航空機の航跡情報が管制システムに出力され、管制官の航空管制業務に利用される。

3.3 冗長構成

広域マルチラテレーションでは運用を継続するために次の方策が採られている。

3.3.1 装置の二重化による冗長構成

受信・送受信装置の主要な部分、例えば受信部、送受信

部及び中央処理装置の計算ユニットを二重化することによって、片系が故障などによって停止しても運用を継続可能な構成としている。

3.3.2 N-1によるシステムの冗長構成

受信装置・送受信装置を配置した送受信局のどの1局が停止しても(N-1局となっても)、残りの局によって所要の覆域を確保可能なように設計されている。

4. む す び

今回開発・製造した岡山広域マルチラテレーション装置の技術を基本として、2016年度に岩沼研修センター向け教育用広域マルチラテレーション装置を納入した。また、2017年度には羽田空港向け広域マルチラテレーション装置を納入予定である。今後も当社の技術によって航空管制の発展に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) Aeronautical Surveillance Manual, Doc9924, ICAO (2011)
- (2) Technical Specification for Wide Area Multilateration (WAM) Systems, ED-142, EUROCAE (2010)
- (3) International Standards And Recommended Practices, Aeronautical Telecommunications, Annex 10, Volume IV (Surveillance Radar And Collision Avoidance Systems), ICAO (2014)

インフラ協調型自動運転システム

緑川 哲史*
津田 喜秋**

Infrastructure-based Autonomous Driving System

Tetsuhito Midorikawa, Yoshiaki Tsuda

要 旨

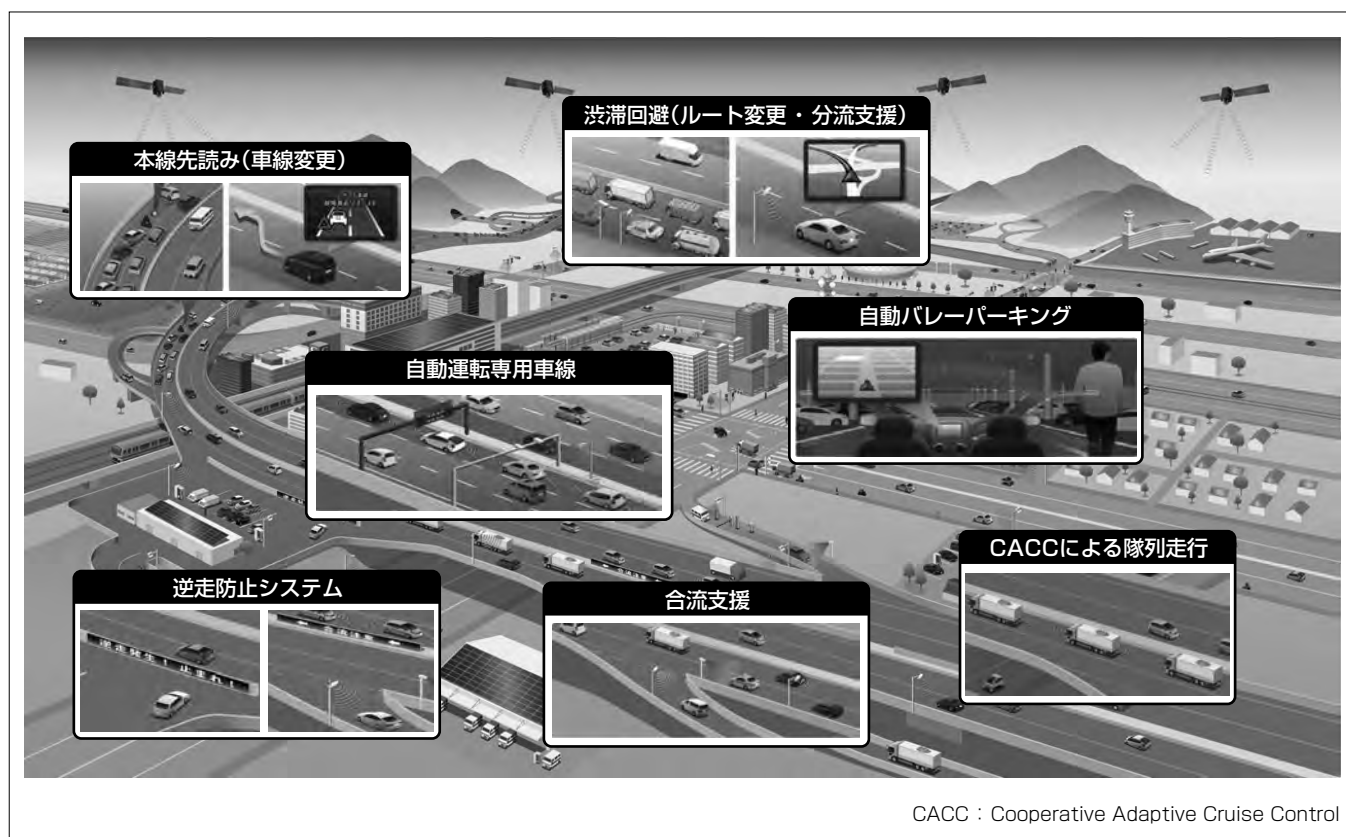
ITS(Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム)とは、道路交通の安全性や快適性の向上を目的に最先端のICT(Information and Communication Technology)を活用して、人と道路と車両とを一体として構築する高度な交通システムである。これまでETC(Electronic Toll Collection System)やVICS(Vehicle Information and Communication System)等のサービスが実現され、更に事故削減や渋滞緩和を目的としたETC2.0などのインフラ協調型の運転支援システムが全国に展開されている⁽¹⁾。

次世代のITSは、安全運転支援や自動運転、自動駐車などの高度化によって、個々の交通課題への対応だけでなく、少子高齢化対策、エネルギー・環境対応、持続的経済発展、安全・安心の確保など、社会全体が抱える課題解決の基盤

としての役割を期待されている⁽¹⁾。

政府が定めたロードマップによると、2020年をめどに条件付自動運転が市場化され、さらに高度化した自動運転システムや安全運転支援システムの実用化を目指すとしている⁽²⁾。車両とインフラが、通信で様々な情報を共有してサービス連携を図る協調ITSを活用した自動運転サービスの実現に向けた検討が進められている⁽³⁾。

三菱電機は、車両単独では見通せない前方の道路状況や周りの交通情報を、インフラから車両に提供するインフラ協調型自動運転システムについて、①自動運転中央システム、②路側処理システム、③ダイナミックマップサーバ、④準天頂衛星による高精度測位技術などの多様な先端技術を用い、実用化に向けて取り組んでいる。



安全・安心・快適

ITSの更なる高度化が目指す安全で安心な豊かな社会

高度化されたITSは、個々の交通課題だけでなく社会全体が抱える課題を解決する基盤としての役割を期待されている。インフラ協調型自動運転システムによる本線先読みや合流支援、自動バレーパーキング、逆走防止システムなど次世代のITSを活用することで、より安全で安心な豊かな社会を実現する。

1. ま え が き

政府IT総合戦略本部の策定した“官民ITS構想・ロードマップ2017”や内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)で自動走行システムの開発・研究を行う“SIP-adus”が示す開発計画によれば、2020年を目処に高速道路等一定条件下での自動運転(SAE(Society of Automotive Engineers)レベル3“自動パイロット”)が市場化され、2025年をめぐりに高速道路での完全自動運転システム(SAEレベル4)によって世界一安全で円滑な道路交通社会を目指すとして(2)(3)。

当社は、安全・安心でより豊かな道路交通社会の実現のために協調ITSの活用に取り組んできた。協調ITSとは道路上を走行する車両が、インフラと多様な通信手段で情報を共有・連携することで、安全・安心、道路交通管理の効率向上、事故・渋滞の削減などの便益をもたらすシステムコンセプトである。

本稿では当社が取り組んでいる協調ITSを活用したインフラ協調型自動運転システムの開発状況について述べる。

2. インフラ協調型自動運転システム

2.1 概 要

インフラ協調型自動運転システムとは、車両とインフラが通信で情報をやり取りし、自動運転を実現するシステムである。例えば、道路管理者が把握している事故や渋滞、工事規制などの道路上の事象情報と、車両が自らのセンサで取得した位置や速度、画像等の高度化された車両の情報(プローブ情報)が協調ITSによって共有化されて処理される。これによって細やかな道路状況の把握や自動運転の支援など新たな利用価値が生まれ、車両と道路管理者の双方が多くのメリットを享受することができる。また、共有された情報は、道の駅やサービスエリア・パーキングエリアなどの施設でも活用でき、ドライバーのストレス低減や地域活性化など、より豊かな社会の実現に貢献できる。

現在、高速道路上を走行する自動運転車両に対して、車両単独では見通せない先の道路状況や見通しの悪い分合流地点の車両の存在をインフラ設備で検知し、路車間通信で提供するインフラ協調型自動運転システムの開発に取り組んでいる。今回、国土交通省国土技術政策総合研究所(国総研)の“次世代協調ITSのシステム開発に関する共同研究”の中で、高速道路を模擬した国総研テストコースでの“本線先読み実験”及び“合流車両支援実験”の自動運転実験に成功し、次なる段階に到達した。

ここで、車両に提供する本線先読み情報や合流支援情報について述べる。本線先読み情報は、高速道路上を走行している車両に対して、事故情報、渋滞情報、規制情報等と高速道路の地図データを提供するものである(図1)。また、合流支援情報は、高速道路の合流車線を走行中の車両に対して、本線を走行中の車両情報(車両形状、車両番号、車両位置、車両速度、走行車線情報)を提供するものである(図2)。従来のETC2.0システムでは、提供される情報に車線ごとの正確な位置情報や時刻情報が付与されていないため、車線ごとに車線状態(車線ごとの事故、車線ごとの渋滞長、車線ごとの規制等)が認知できず、車両側は受信データを車両制御に活用することが難しかった。これらを解決するために、インフラ協調型自動運転システムでは、SIP自動走行システムで検討されているダイナミックマップを利用することにした(図3)。インフラ側からは高速道

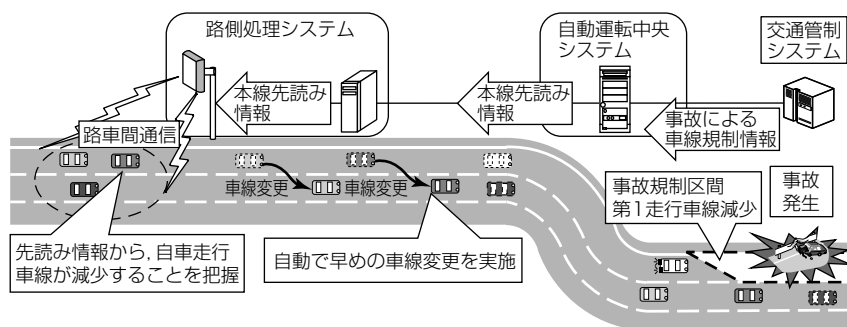


図1. 本線先読み情報提供の仕組み

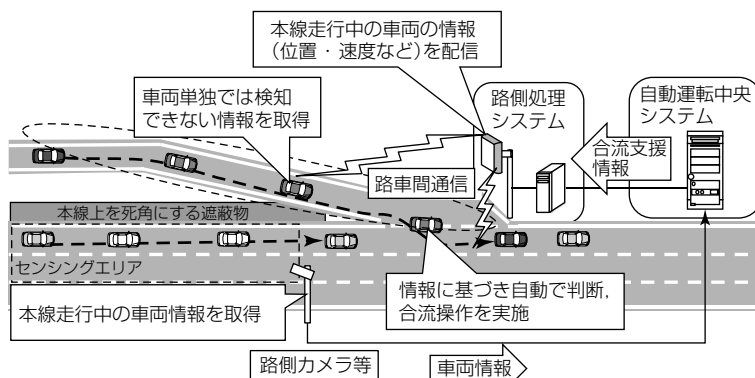
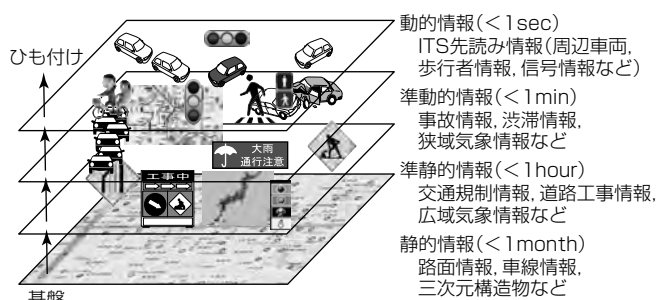


図2. 合流支援情報提供の仕組み



ダイナミックマップとは、SIP-adusで開発実用化が検討されている基盤技術であり、静的情報である高精細デジタル道路地図に、自動運転に必要な交通規制情報や渋滞情報、周辺車両情報等といった様々な準静的・準動的・動的情報を統合して構造化した高度交通情報データベースである。

図3. ダイナミックマップ

路の車線ごとに正確な位置情報や時刻情報を提供することで、車両制御にも利用可能な情報になる。高速道路上を走行中の自動運転車両や合流車線を走行中の自動運転車両は、それぞれの車両から見通せない先の情報を事前に受信することで、車線変更、合流タイミング調整や車両の加減速などの車両制御のほか、自動運転モードからドライバが運転するモードへの移行判断が可能になる。今回のテストコースでの実験では、ダイナミックマップの仕組みと路車間通信を活用して、高速道路上の車線ごとの事象情報やほかの走行車両情報を自動運転車両に対して提供するシステムの開発・実験的検証を実施し、それが有用であることを確認した。

2.2 システム構成

高速道路上を走行する車両が、V2V(Vehicle to Vehicle)、V2I(Vehicle to Infrastructure)、I2I(Infrastructure to Infrastructure)等の通信で取得した情報を整理・活用することで、安全・安心、道路管理、交通管理、物流管理、環境対策(ECO)、情報提供、情報収集等の多様なアプリケーションでインフラ側と共有する場合、情報の鮮度(時間や座標等の情報)や精度、信頼性の高さが重要となる。

当社のインフラ協調型自動運転システムは、AI(Artificial Intelligence)技術やビッグデータを活用し、収集した情報をリアルタイムに高速処理・高速通信することで情報の鮮度を保ち、情報の精度を高めて提供することを狙っている。このシステムは大きく4つの要素で構成される(図4)。次に各要素の機能について述べる。

(1) 自動運転中央システム

- ①道路上の発生事象を収集し、本線先読み情報や合流支援情報を生成し、生成した情報を路側処理システムに送る。

- ②路側処理システムが車両から取得した走行車両(プローブ)情報を収集し、処理する。

(2) 路側処理システム

- ①自動運転中央システムから送られた情報を、ETC2.0やIEEE802.11pなどの無線通信技術による路車間通信で自動運転車両へ配信する。

- ②自動運転車両のプローブ情報を取得し、自動運転中央システムに送る。

(3) ダイナミックマップサーバ

- ①モバイルマッピングシステム(MMS)を使って製作された高精度な三次元基盤地図情報と道路管理者が独自に収集・製作する道路地図情報や道路線形情報等を編集し、自動運転中央システムに送る。

(4) 準天頂衛星による高精度測位技術

- ①準天頂衛星から配信された補強情報を用いてデータを補正するセンチメートル級の測位技術によって、車線単位での高精度な位置特定を可能にする。

3章以降で、高鮮度・高精度を実現するためのキーコンポーネントである自動運転中央システムと路側処理システムの機能・特長について述べる。

3. 自動運転中央システム

自動運転中央システムは、自動運転や道路管理に必要な高鮮度・高精度な情報をリアルタイムに生成する装置であり、次の機能を持っている。

(1) 情報生成機能

道路管理者が持つ交通管制システムやETC2.0サーバと接続し、渋滞情報や落下物、事故規制情報などの自動運転

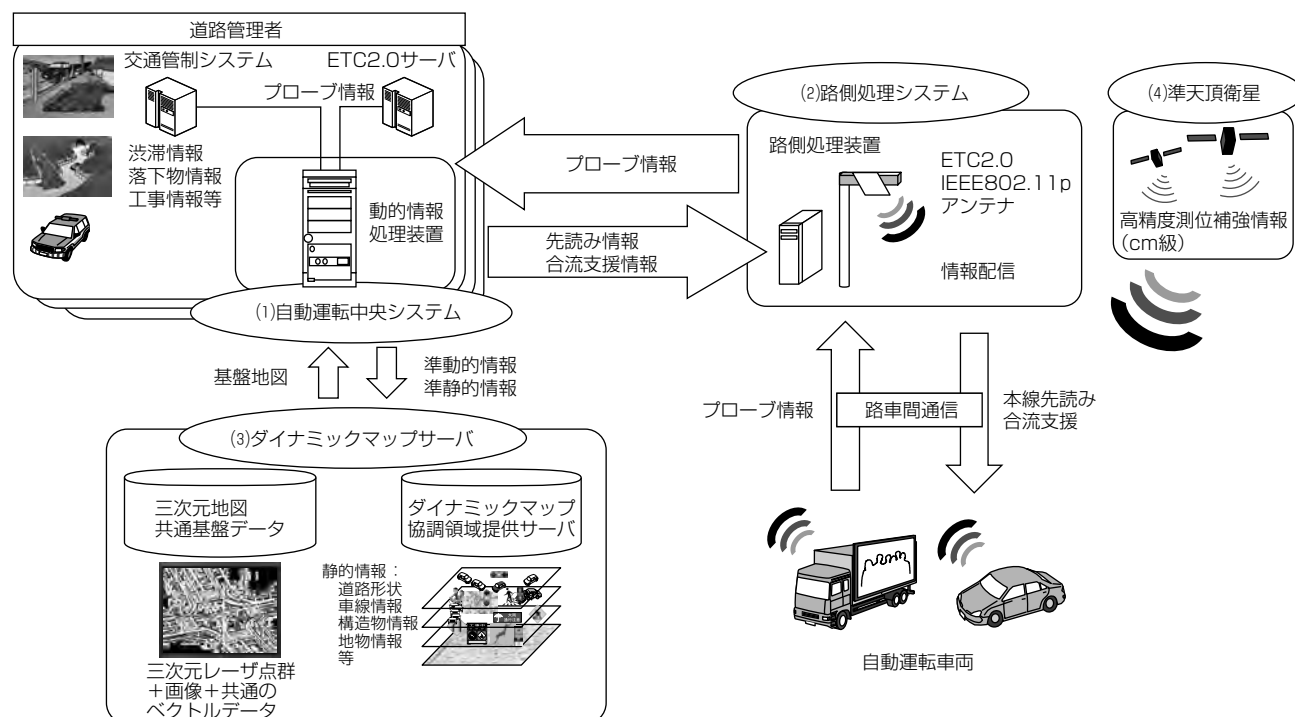


図4. インフラ協調型自動運転システム

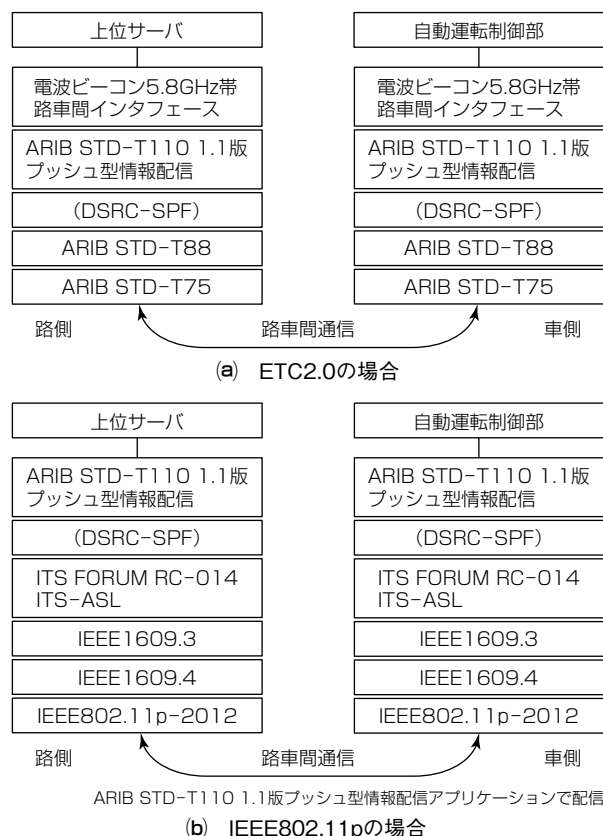


図5. 路側処理システムの路車間通信プロトコル構成

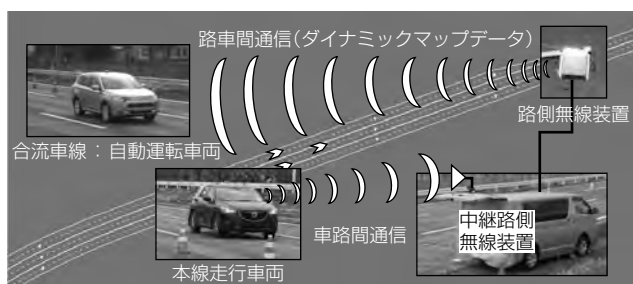
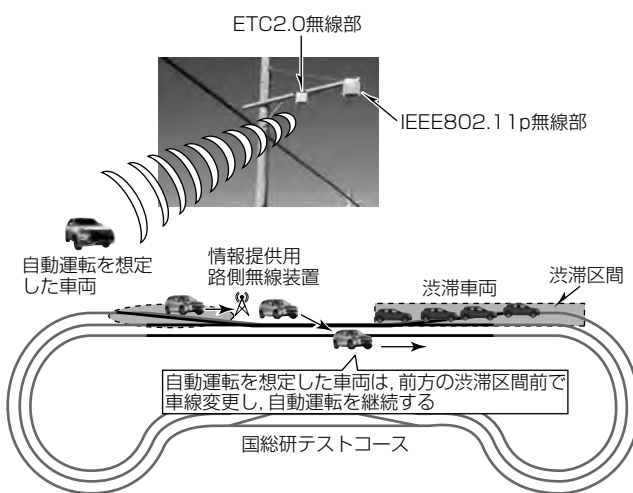


図6. インフラ協調型自動運転システムの実験概念図

車両単独では見通せない先の道路の事象情報や、合流地点での車両情報などを収集し、本線先読み情報、合流支援情報等を生成する。生成した情報は高鮮度・高精度な情報として路側処理システムに送る。

(2) プローブ情報処理機能

路側処理システムが道路上を走行する自動運転車両から取得したプローブ情報(位置・速度などの車両状況や画像等のセンサ情報など)を収集し、道路管理者の道路保全業務や設備維持管理業務に活用できる情報(例：轍(わだち)や陥没の位置、渋滞末尾の検知など)にする。

4. 路側処理システム

路側処理システムは、自動運転中央システムで生成された情報を、無線通信技術を用いて自動運転車両へ本線先読み情報や合流支援情報として提供する。このシステムでは、ETC2.0と高速伝送・高通信品質を確保可能なIEEE802.11pの2種類の無線通信方式を選定した。これらの無線通信方式のプロトコル構成を図5に示す。

図5に示したETC2.0及びIEEE802.11pによる路側処理システムを用いて、図1や図2に示したインフラ協調型自動運転システムが実現可能か否かの検証を国総研テストコースで実施した。図6に実験概念図を示す。また、この実験では準天頂衛星から配信される補強情報も路側処理シ

ステムを用いて車両に提供した。自動運転車両の制御用情報として、ダイナミックマップ情報(本線先読み情報、合流支援情報)や補強情報を活用可能であることが確認できた。

5. む す び

車両とインフラが通信で情報を相互にやり取りし、自動運転を実現するインフラ協調型自動運転システムの開発状況について述べた。当社は、自動運転車両と路側処理システムが情報交換するインフラ協調型自動運転システムの実現に向け、SIP自動走行システムで検討中のダイナミックマップを利用し、高速道路を走行する自動運転車両に対して、車両制御にも有効な情報提供が可能であることを確認し、次なる段階へ到達している。今後は、協調ITSを活用した豊かな社会のため、早期実用化を目指す。

参 考 文 献

- (1) 特定非営利活動法人ITS Japan：ITS年次レポート2016年度版“日本のITS” (2016)
- (2) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部：官民ITS構想・ロードマップ2017 (2017)
- (3) 内閣府：戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)自動走行システム研究開発計画 (2017)

大型映像表示装置“オーロラビジョン”の最新技術と新市場への適用

飯尾信哉*
花村敏明*
切通 聡*

State-of-the-art Technologies of Large Scale Video Display "Diamond Vision" and Application of Technologies to New Market
Shinya Iio, Toshiaki Hanamura, Satoru Kiridoshi

要 旨

三菱電機の大規模映像表示装置“オーロラビジョン”は、スポーツ施設やビル壁面広場など、人通りの多い場所に設置され、臨場感、観客の一体感を高めるための必須設備として広く浸透し、集客力向上に寄与している。臨場感を高めるため、更なる大型化や高解像度化が進むとともに、4K映像や8K映像の時代の到来に合わせて、高階調化や高色域色変換、コントラスト補正などの技術が発展している。さらに屋外の明るい環境で高画質を得るために、画面の高コントラスト化も進んでいる。こうした技術動向と並行して、ライブ環境での迫力や観客との一体感を高めるための

演出が追求され、表示の多画面化や連動化による来場者への表示サービス向上が進んでいる。

一方、こうした既存の大規模映像市場で求められてきた高性能表示技術や高信頼性技術は、過酷な使用環境でも低故障率が求められる社会インフラシステム分野にも適用されている。省エネルギー化への要求とともに、長寿命化、小型・軽量化が進展し、各種施設や公共施設の利用者に安全で快適な情報サービスを提供するための媒体として活用されている。



米国ニューヨークのブロードウェイに設置された“オーロラビジョン”

2014年11月に竣工(しゅんこう)した商業広告用大型映像表示装置で、4K解像度を持つサイネージとして世界最大級の面積を誇る。

1. ま え が き

オーロラビジョンは、主に大型のスタジアムなどに設置されてきたが、最近は地方の競技場や球場にいたるまで様々な施設に設置され始めている。またビル壁面や広場など、人通りの多い場所への設置が増え、各種イベント会場では臨場感、観客の一体感を高めることで集客力向上を図っている。一方で道路や交通での公共施設では、施設や設備の利用者に対し、常時・非常時にかかわらず情報を素早く確実に伝達することが重要であり、高い信頼性と国際基準に対応した表示サービスが求められている。

本稿では、オーロラビジョンの最新技術についてその特長を述べるとともに、道路交通関連の市場での最新の適用事例について述べる。

2. 臨場感を高める最新の画質化技術

2.1 高コントラスト化技術

図1(a)は広く使われている従来型LED(Light Emitting Diode)の例を示す。従来型LEDは、表面の色が白又は赤、緑、青であり、密度の上昇つまり高解像度になるほどLED表面の反射比率が高くなり、画面全体のコントラストは低下する。太陽光下の屋外で見やすさを向上させるには黒レベルを下げるのが重要である。この対策として、図1(b)に示すようにLED表面を黒化した黒LEDを最新のオーロラビジョンに採用し始めている。図2は、これらのLEDを搭載したパネルでのコントラストの比較を示す。LEDの黒化によって画面のコントラストは大きく改善されており、太陽光下であれば更にこの差は顕著に表れる。これによって引き締まった黒レベルと高コントラストが得られ、大画面の

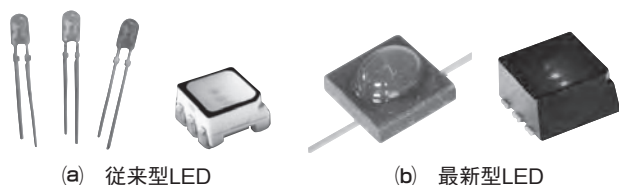


図1. 大型映像表示装置のLED



図2. LED搭載パネルの表示コントラスト比較

映像に奥行き感と立体感を生み、今までにない臨場感あふれる圧倒的な映像表現力のオーロラビジョンを実現できる。

2.2 4K映像、HDR対応による更なる高画質化

近年、ハイビジョンの4倍の解像度を持つ4K映像技術が急速に発展し、4K映像に対応したテレビ、カメラやビデオ機器が市場投入され始め、4K映像のコンテンツは急速に普及している。以前から4K解像度を持つ大型映像表示装置は存在していたが、表示の制御は、ハイビジョンの拡大表示又はハイビジョンの2画面表示等であった。これに対し、最新の大型映像表示装置は、4K映像規格である3G/12G-SDI(Serial Digital Interface)入力又はHDMI2.0(High Definition Multimedia Interface 2.0)入力に対応し、4K映像ソースを劣化させずに表示することで、圧倒的な臨場感を持つ大画面映像の実現が期待できる。

また、4K映像とともに、映像の明るさ(輝度)情報のレンジ(幅)を拡大する最新映像処理技術であるHDR(High Dynamic Range)を大型映像表示装置に搭載することで、画面内の明暗の差が広がる。これによってメリハリがあり、映像が身に迫るような、リアルな映像表示が実現できる。また、画面全体のコントラスト感が増すため、画面の輝度を抑えて運用することも可能となり、省エネルギー効果も期待できる。このようにHDRの機能は、今後屋外の大画面映像表示装置には必須機能になると考えられる。

2.3 最新の色変換技術

2.3.1 ハイビジョン対応色変換と高色域色変換

4K映像の普及に伴い、新たな色規格が定義されている。従来のハイビジョン色規格(BT.709)では現実世界の色再現範囲(ポインターカラー)は74.4%と正しい色再現ができていなかったが、4K映像に合わせて新たに定義された色規格(BT.2020)では、ポインターカラー99.9%と実物に近い色再現が可能になっている。大型映像表示装置でも、高い臨場感を提供するためには、この新たな色規格に対応した色再現が求められる。

オーロラビジョンに使用されるLEDは、家庭用テレビ等の一般的なディスプレイと比較して、色純度が高く色再現範囲はハイビジョン色規格より広い。しかし、オーロラビジョンに入力される映像はハイビジョン規格コンテンツであるため、表示コンテンツとLEDとの間で色再現性にミスマッチが生じ、視聴者は映像のぎらつきなどの不自然さを感じる。これを解消するため当社では、LEDの色域をハイビジョン規格に変換してきた。最近では、ハイビジョンコンテンツをリアルタイムに解析し、自然な色合いを保ちつつLEDの特性を生かして高色域化し、4Kコンテンツの場合でも色域を損なうことなく表現できる高色域色変換技術を開発し、システムに搭載する例もある。図3は、色再現範囲を独自の高色域色変換によって4Kに合わせた新たな色規格に対応させた例を示す。

2.3.2 外光適応型色変換

設置環境が屋外となる大型映像表示装置では、外光照射によってコントラストの低下と色域の縮小を招き、画質に大きな影響を与える。また、太陽光反射の影響を補うため、スクリーンの輝度を上げると消費電力は増加する。この課題を克服するため当社では、外光適応型色変換技術によって周囲の照度での輝度の自動調整だけではなく、自動的に色を調整している(図4)。

図4(a)は、通常的大型映像表示装置の色再現範囲である。ここで太陽光が照射されると色域が縮小する(図4(b))。外光適応型色変換は、高色域色変換を適用するとともにオーロラビジョンに設置された光センサを用いて、周囲光の照度・色に応じて表示面の色再現範囲をダイナミックに調整し、外光によって縮小した色再現範囲を拡大する(図4(c))。

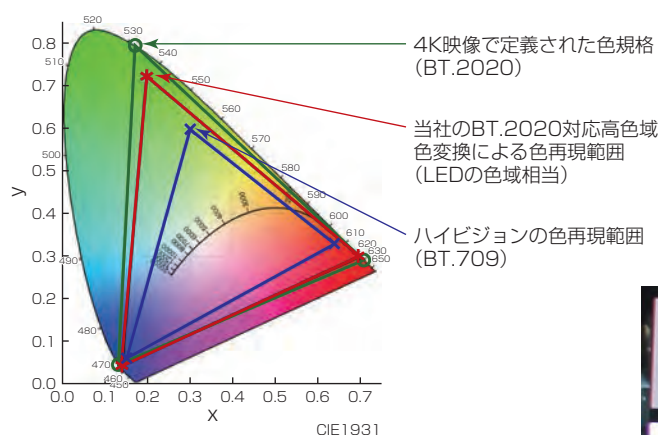


図3. BT.2020対応高色域色変換の色再現範囲例

このような色変換技術によって、天候や時刻、方角等のあらゆる太陽光条件下でコントラストが低下しにくく、鮮やかな映像を省エネルギーで提供することが可能になる。

2.4 広視野角とカラーシフト

野球場やサッカー場などの施設では、より多くの観客に大型映像表示による映像サービスを提供するために、広視野角で左右上下どの角度から見ても均一でカラーシフト(正面視に対する左右視時の色の変化)のない大型映像表示装置が求められている。

カラーシフトは、正面視と左右視の色度を u^*v^* 色空間座標系にプロットをし、両者の色空間上の距離(Δu^*v^*)によって表現される。この色差(Δu^*v^*)をJND(Just Noticeable Difference)と呼び、 $JND(\Delta u^*v^*) \leq 0.02$ の場合カラーシフトは人の目に認識できない(JIS Z 8518で規程)。左右から見ても正面からのカラーシフトのない大型映像表示装置としては $JND(\Delta u^*v^*) \leq 0.02$ が望ましい。図5に示すようにカラーシフトのない表示装置ではどこから見ても同じ色を実現されている。

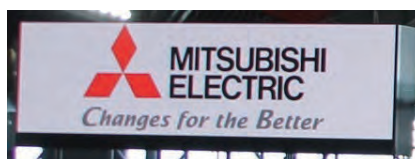


図5. カラーシフトのない広視野角なオーロラビジョンの例

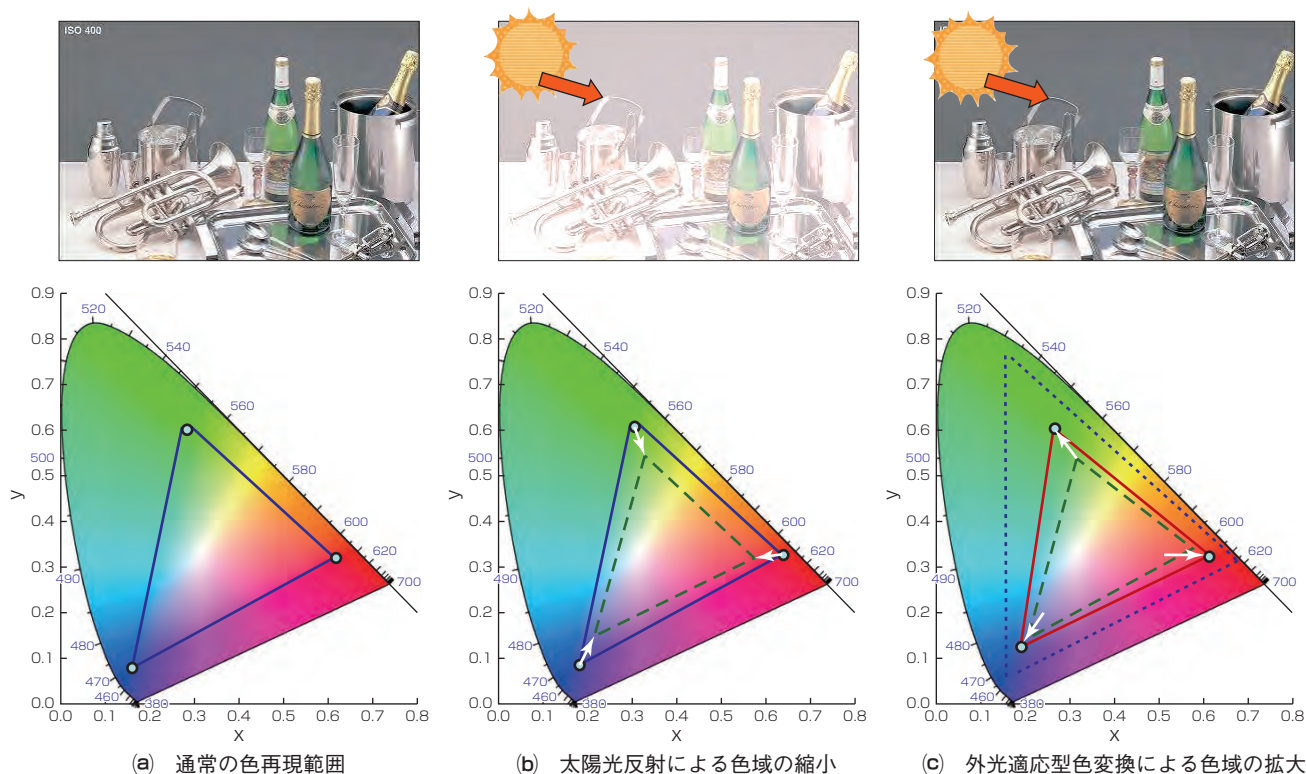


図4. 外光適応型色変換の適用効果

3. 多彩な演出を可能にする最新システム技術

3.1 多画面連動表示

最近のスタジアムでは、メイン、サブ、リボン等大型映像表示装置の多画面化が進み、1台の大型映像表示装置では成し得なかった多彩な演出ができるようになり、スタジアム内の観客の一体感醸成につながっている。図6に多画面連動表示の例を示す。例えばプロ野球では、ストライク、アウト等のタイミングでスタジアム内の複数の大型映像表示装置を用いて1つの映像を連動表示する例が考えられる。多画面連動を実現する上で重要となるのが映像の同期技術である。各大型映像表示装置に対して映像を送出するタイミングを高精度に同期させることで一体感のある演出が行えるようになる。

3.2 ワンオペレーションによる高演出性

大型映像表示装置が多画面化すると、観客に提供できる情報や演出の種類が増加するので、表示を制御するオペレータの数は増加する傾向にあり、オペレータが多いほど、多画面連動の演出は難しくなる。そこで、ワンオペレーションで多画面連動の多彩な演出が行えるよう、1台の端末から複数の映像送出装置を統合制御可能なワンオペレーションのシステム(図6)が構築され、様々な形状の複数表示装置を少人数のオペレータで簡単に操作する工夫がなされている。



図6. 多画面連動表示例とワンオペレーション



図7. ETC車線表示板

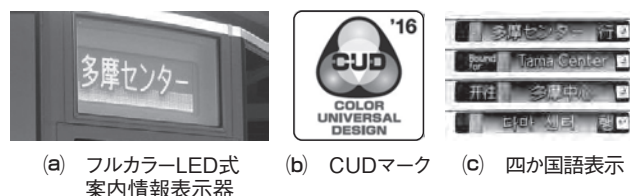


図8. 鉄道車両用情報表示器

4. 新市場への適用

オーロラビジョンは、環境問題に対する意識の高まりから、省エネルギー化とともに長寿命化、小型・軽量化が進展した。その技術の応用は、きめ細かな輝度設定及び色変換によって、多彩な表現と経年変化や環境の変化に応じた表示の補正を実現できる。また、オーロラビジョンの高い信頼性は、過酷な使用環境での故障率と万一故障した場合のシステムへの影響を最小化し、社会インフラシステムとしてふさわしい性能と品質を実現し、オーロラビジョンの技術の新市場への適用が期待される。

4.1 ETC車線表示板

図7(a)は、オーロラビジョンの技術を適用したETC車線表示板の高速道路への設置例を示す。当社のETC車線表示板は、フルカラー化と輝度の均一化技術による見やすい表示が特長である。さらに構造面では、LEDの駆動やレンズ形状を最適化し、発光効率の改善及び発熱の抑制とともに、独自の放熱設計によって冷却ファンを廃止することで、従来製品に対して、大幅な薄型化(1/3以下)と軽量化(1/4以下)を実現している。図7(b)は、ETC車線表示板の外観を示す。薄型・軽量化によって本体の輸送・設置工事・保守が容易になり、ETCゲートの簡素化にも役立っている。

4.2 鉄道車両用情報表示器

近年、公共施設での誘導案内設備は一般色覚者だけでなく、色の見え方が一般と異なる人にも情報がきちんと伝わるよう

“カラーユニバーサルデザイン”の考え方が浸透しつつある。

図8(a)は、当社が多摩都市モノレール(株)に納入した鉄道車両用情報表示器である。これまで培ってきたオーロラビジョンの表示技術によって、約687億色もの多彩な色表現と、グラデーションを始めとする様々なデザインが案内に使用されている。色弱者が判別困難な色の組合せを避けつつ、必要な情報が一目で分かるようデザインを工夫することで、鉄道車両用LED表示器としては国内で初めて(注1) NPO法人カラーユニバーサルデザイン機構のCUDマークを取得した(図8(b))。一方では、2020年の東京オリンピック・パラリンピックに向けてインバウンド(訪日外国人)の増加が見込まれており、とりわけ都心の交通機関ではこうしたインバウンド対応への需要が高まっている。増加が見込まれるインバウンドに向けて、図8(c)に示すような四か国語(日・英・中・韓)表示にも対応しており、安心・快適な案内サービスを提供している。

(注1) 2016年4月4日現在、当社調べ

5. む す び

オーロラビジョンの最新技術とシステム動向について、その特長や技術の内容について述べた。スポーツ施設ではスタジアムでしか味わえない臨場感と大迫力を提供、また公共施設の情報表示では万人に対する安心で快適な案内サービスが求められている。今後もオーロラビジョンの技術を進化させ、各種施設や公共施設の利用者に快適な情報サービスを提供するとともに安全な社会の実現に貢献していく。