

三菱電機技報

2

2015

Vol.89 No.2

社会インフラを支えるシステム技術



目 次

特集「社会インフラを支えるシステム技術」

先端技術とインフラ技術との融合	1
藤野陽三	
社会インフラを支えるシステム技術	2
福島秀樹・三谷英一郎	
社会インフラ維持管理を実現する要素技術	7
小林伸太郎・中田雅文	
AR技術を用いた社会インフラ施設維持管理の効率化	11
川田卓嗣・渡辺完弥・川浦健夫	
エネルギー最適化システム“MELSmart”	15
弓野雅章・浅沼 智・池原 照・吉田 剛	
駅舎補助電源装置“S-EIV”	19
松村 寧・勝俣尚士・川野 聡・松本真一	
公共プラント監視制御装置“MACTUS-ASX”と 拡張システム	23
山田知史・岩波宏和・眞辺信也・那須佑子	
ビル管理システム“MELBAS-EX”	27
福田浩士・井貫武文・森永昌義	
GPS応用列車在線表示システム	31
橋本 諭・阿達竹司・山口武志	
電鉄変電所電力管理システムの現状と将来展望	35
小林泰貴・井上敬介・米谷研二	
三菱広域ネットワーク装置“MELNETシリーズ”	39
秋富利伸・福本 猛・落合徳彦	
ヘリコプター映像応用システム	43
秋山健次・野村 立・福井貴之	
大型映像表示装置“オーロラビジョン” 新“ODX, ODQシリーズ”	47
奈良淳一・切通 聡	
高濃度・高効率オゾン発生装置の適用例と水処理特性	51
石田稔郎・安永 望・山内登起子	

System Technologies Supporting Social Infrastructure

Collaboration between Advanced Technology and Civil Engineering
Yozo Fujino

System Technologies Supporting Social Infrastructure

Hideki Fukushima, Eiichiro Mitani

Element Technologies to Achieve Social Infrastructure Maintenance

Shintaro Kobayashi, Masafumi Nakata

Augmented Reality for Effective Maintenance of Social Infrastructure

Takushi Kawada, Kanya Watanabe, Takeo Kawaura

Community Energy Management System “MELSmart” for Social Infrastructure System

Masaaki Yumino, Satoshi Asanuma, Akira Ikehara, Takeshi Yoshida

Station Energy Saving Inverter “S-EIV”

Yasushi Matsumura, Hisashi Katsumata, Satoshi Kawano, Shinichi Matsumoto

Supervisory Control and Data Acquisition System for Water Treatment Plants “MACTUS-ASX” and its Additional Systems

Satoshi Yamada, Hirokazu Iwanami, Shinya Manabe, Yuko Nasu

Building Automation System “MELBAS-EX”

Hiroshi Fukuda, Takefumi Inuki, Masayoshi Morinaga

Applied GPS for Train Information System

Satoshi Hashimoto, Takeshi Adachi, Takeshi Yamaguchi

Present Condition and Future Outlook of Centralized Substation Control System for Railway

Yasuki Kobayashi, Keisuke Inoue, Kenji Yonetani

Mitsubishi Wide-area Network Equipment “MELNET Series”

Toshinobu Akitomi, Takeshi Fukumoto, Norihiko Ochiai

Applied Helicopter Imaging System

Kenji Akiyama, Ritsu Nomura, Takayuki Fukui

New “ODX, ODQ Series” of Large Scale Video Displays “Diamond Vision”

Junichi Nara, Satoru Kiridoshi

Examples of Application and Characteristics of Water Treatment by Higher Concentration and More Efficient Ozone Generators

Toshiro Ishida, Nozomu Yasunaga, Tokiko Yamauchi

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」

「ネットワークシステムおよびネットワーク接続装置」

表紙：安心・安全で環境に優しい社会システム

長年にわたって整備されてきた道路・鉄道・上下水道・河川などの社会インフラによって、経済活動は支えられ、人々は豊かに暮らしている。しかし、一方ではインフラの老朽化が進んでおり、施設の点検など老朽化対策をいかに適正に効率よく行うかが、我が国の喫緊の課題となっている。また、東日本大震災以後、重要性が増した災害への備えやエネルギーの効率的な活用も、更に進めていかねばならない。

三菱電機では、このような課題に応えるために情報処理技術やパワーエレクトロニクス技術などを用いて、表紙の①ヘリコプター映像応用システムや②エネルギー回収システム等の開発を進めており、安心・安全で環境に優しい社会システムの実現を目指している。



巻/頭/言

先端技術とインフラ技術との融合

Collaboration between Advanced Technology and Civil Engineering

藤野陽三
Yozo Fujino



2012年12月2日に起きた、中央高速道の笹子トンネルでの130mの区間にわたる天井板落下事故は衝撃的で、まさしく社会を震撼(しんかん)させた。我が国でのインフラの高齢化に起因した、死者を伴う初めての事故であり、長くインフラにかかわってきた私にとっても強い驚きであり、責任の大きさを感じた。

高齢化するインフラが増える状況の中で、国土交通省は道路インフラにおいて5年に一度の近接目視点検の義務化を2014年に決めた。昭和40年代に急速に延長距離を伸ばした高速道路インフラに対する検討も行われ、今後15年間におよそ4兆円の大規模更新・大規模修繕が必要との報告がなされている。

我が国のインフラストックは右上がりが増え続け、現在では総額800兆円に達している。GDP(Gross Domestic Product)は残念ながら年500兆円のオーダーにとどまっており、フローの社会からインフラストックがGDPを大幅に上回るストックの社会に、かなり前から移っているのである。したがって、インフラストックの保全に今後ますます費用が必要になっていくが、一方、国や地方自治体の財政状況には厳しいものがある。当然既存インフラの撤去や縮退も、迫られるであろう。しかし、使い続けるインフラについての点検、補修、更新などの費用は社会を維持するための費用であり、必要な費用を社会に明示し、訴えていく必要がある。その一方で、様々な意味での“効率化”も必然である。効率化の鍵を握るのが先端科学技術の取り込みと私は考えている。

例えば橋梁(きょうりょう)点検を例にとると、点検員が橋の下にもぐり、手で触れる距離まで近づいて見て(近接目視)、打音をすることになっているが、機材を使ったとしてもアクセスが難しいところが多く、危険なところもあり、橋の下に足場を作るとなると膨大な費用が発生する。全国70万橋の点検には非常に多くの点検員が必要になる。急激に若手労働者が減る我が国の状況の中で、人手に頼らない点検が望まれている。飛翔(ひしょう)体も含め、カメ

ラや打音装置、さらには最新鋭の計測器を積んだロボットや車などの移動体による点検への期待は極めて大きい。

“点検員は現場でいろいろなものを見て判断できるのに対し、ロボットは決まったことしかできず、人間にはかなわない”というような厳しい意見もある。確かに、深い知識と豊富な経験を持った熟練点検者ならそうであろう。しかし、そのような方が我が国に沢山いらっしゃるとは思えない。人による点検も完全では全くないわけで、先端技術でないとできないことも多々ある。精度、コスト、スピードなどの総合的な面で判断し、先端技術で次第に代替していけばよいと考えている。米国連邦道路局は、目視点検の信頼度は高くないという調査結果を公表し、非破壊検査などを使った定量的な点検方法に切り替えようとして、2007年から大規模な研究開発プロジェクトを行っている。ヨーロッパでも目視点検から抜け出すべく、10年近く前からEC(European Communities)内で同様な研究プロジェクトを実施している。

今年度から内閣府総合科学技術・イノベーション会議の先導のもとに戦略的創造イノベーションプログラム、通称SIPがスタートした。その1つが“インフラ維持管理更新マネジメント技術”であり、材料、点検・モニタリング、ロボット、情報などの先端技術を活用し、点検を含めたインフラマネジメントを抜本的に効率化することを狙っている。多くの研究チームが参加し、競争的環境の中でイノベーションにつながる成果が期待されている。既存の先端技術をそのままインフラに適用しているだけでは絶対にうまく行かないことは過去の事例が示している。先端技術とインフラとそれにかかわる技術の特徴や特性をよく理解し、実践的经验を積み重ねて考え出される一味違う工夫、知恵があって2つの技術が融合するのである。技術は人が作るものであり、結局は関与する人同士が十分なコミュニケーションの中で相手を理解し、尊敬する関係になることが大事なことで私は思っている。

巻頭論文

社会インフラを支えるシステム技術

System Technologies Supporting Social Infrastructure

Hideki Fukushima, Eiichiro Mitani



福島秀樹*



三谷英一郎**

要 旨

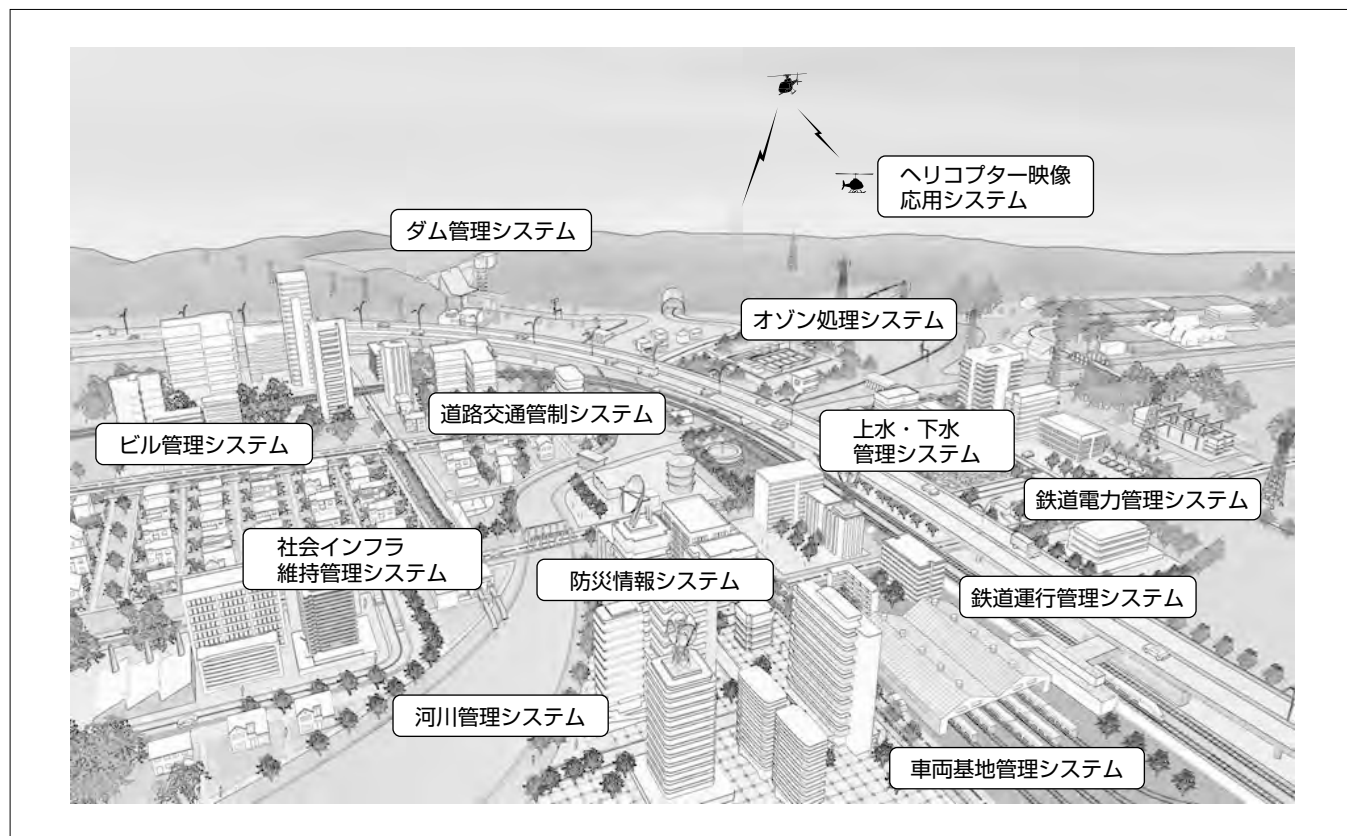
長年にわたって整備されてきた道路・鉄道・上下水道・河川などの社会インフラによって、経済活動は支えられ、人々は豊かに暮らしている。

しかし一方で、高度成長期に集中的に整備された膨大なインフラの老朽化が進んでおり、施設の点検など老朽化対策をいかに適正に効率よく行うかが、我が国の喫緊の課題となっている。少子高齢化も進んでおり、インフラ設備の運転管理における熟練者の減少も問題となっている。震災以後、重要性が増したエネルギーの効率的な活用も、更に進めていかねばならない⁽¹⁾。

三菱電機では、このような課題に応えるため情報処理技術やパワーエレクトロニクス技術などを用いたシステムの開発を行ってきた。維持管理分野では、トンネルの表面形

状等を高精度に計測する走行型計測車両、構造物の探傷装置、拡張現実を用いた現場作業支援装置、三次元位置情報を用いた維持管理システムなどの開発を進めている。その他、分散電源などを統括管理するEMS (Energy Management System)、鉄道車両の余剰回生電力を有効活用する駅舎補助電源装置、熟練運転員のノウハウを組み込んだ運転支援装置、大規模災害発生時にも高速な迂回(うかい)によって通信を確保するIP光ネットワーク装置などの開発を進めており、これらの技術を用いて安心・安全で環境にやさしい社会インフラシステムの実現を目指している。

この特集では、“社会インフラを支えるシステム技術”をテーマに、社会インフラの維持管理や運用を支援する当社の最新技術について述べる。



社会の安心・安全を支える社会インフラシステム

当社は、監視制御技術、情報処理技術、ネットワーク技術をコア技術とし、電力、上下水道、ビル、道路、鉄道、河川、ダムなどの市民の生活を支える各種インフラシステムを導入し、環境に配慮した技術による、安心・安全・便利で快適な生活環境の実現に貢献してきた。

1. ま え が き

安心・安全で環境にやさしい社会の実現に向け、社会インフラへの期待と要求が、従来にも増して高まっている。一方、インフラ設備の老朽化や熟練技術者の減少など、設備を運用・維持していく上での課題も顕在化してきた。

当社は、道路、鉄道、上下水道、河川など、市民の生活を支える各種の社会インフラシステムを納入しており、これらの課題に対して、情報処理など最新技術を用いたソリューションの提供を目指している。

本稿では、社会インフラシステムに関する当社の取り組みについて概観する。

2. 社会インフラの維持管理

2.1 社会インフラ維持管理の課題

我が国では、高度経済成長期に集中的に整備されたトンネル・橋梁(きょうりょう)など社会インフラの老朽化が建設後50年を経て進行しており、これら施設の老朽化対策が喫緊の課題となっている。国土交通省は2014年の点検要領の改正で、トンネル・橋梁等の点検を近接目視を基本として5年に1度実施することを定めた。膨大な点検作業を、適切な費用と時間で実施する仕組みが求められている。

2.2 維持管理を支援する技術

社会インフラの維持管理が抱える現状の課題に対し、当社では先端技術を応用した開発を進めている(図1)。次に、①計測、②データ処理、③現場作業支援の3つの観点からまとめる。

(1) 計測技術

トンネル等の社会インフラの目視点検を実施するに当たり、危険箇所を事前にスクリーニングすることができれば、点検をより効率的に、より詳細に実施することができるであろう。また、近接目視や打音検査が実施できない箇所の対応も考える必要がある。

当社ではこの要求に応えるため、高精度な三次元位置計測装置を搭載した走行型計測装置・MMS(Mobile Mapping System)や、電波や超音波を用いた構造物の探傷装置などの計測技術の開発を進めている。

①走行型計測装置・MMS

走行型計測装置・MMSは、GPS(Global Positioning System)、オドメータ、レーザスキャナ、カメラ等を車両に搭載した装置であり、走行しながら道路やトンネルの表面形状やひび割れを高精度に計測する。従来の手法で測量された地物の位置を利用して計測座標位置を補正する機能を持ち、高架下やトンネル内などのGPS不感計測下でも高精度な計測が可能である。

計測された三次元データは、社会インフラの現状を把握し、危険箇所をスクリーニングする基礎データとしての活用が期待されている。

②電波／超音波イメージング

当社は、合成開口レーダを用いたコンクリートひび割れ計測や、超音波を用いた道路橋鋼床版デッキプレート

の亀裂探査などの技術開発も進めている。

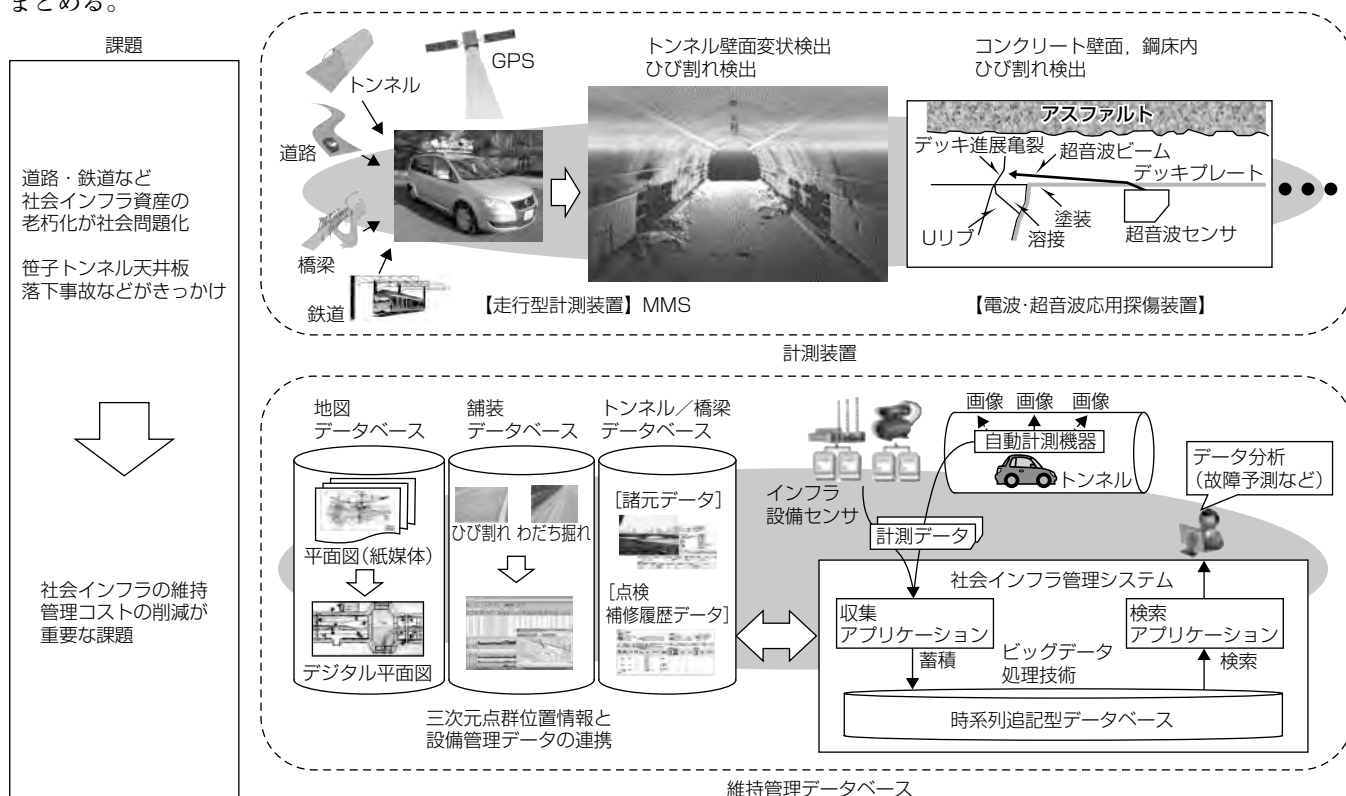


図1. 社会インフラの維持管理ソリューション

イムでのひび割れ検知を実現している。超音波を用いた亀裂探傷装置では、超音波ビームの方向を制御することで、目視や打音検査ができない部位の亀裂確認が可能となる。

(2) データ処理技術

レーザを用いたスキャンニングでは、テラバイト級の三次元点群位置情報が収集される。維持管理では、三次元位置情報の経年的変化を管理する必要があり、膨大な量の時系列データの圧縮・伸張処理や、高速な検索処理など、いわゆるビッグデータの処理技術が要求される。

また、点群データから構造物や設備を三次元モデルとして抽出する技術の確立も求められている。三次元位置情報を中心としたデータベースに、既存の機器図面や保守履歴といった設備管理情報を統合していくこともできる。

こうした三次元位置情報を用いた技術の活用は、我が国の産業競争力の強化につながるものと期待されており⁽²⁾、当社としてもその開発に注力しているところである。

(3) 現場作業支援技術

モバイル機器で撮影する現場映像に、走行型計測装置で計測したトンネル壁面の変状やひび割れ等を重ねて表示させることができれば、危険個所の確認作業が容易になる。変状の経年的な変化を表示させれば、施設老朽度の判断をよりの確に行うことも可能となる。

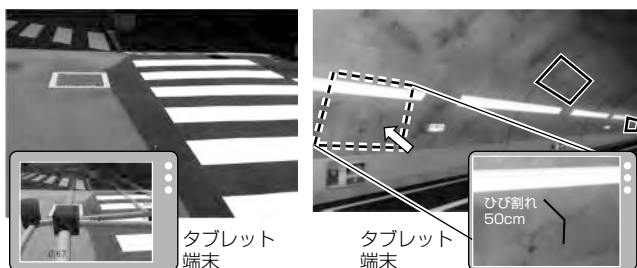


図 2. AR技術を用いた現場作業支援

現場映像に、地中埋設管路など現実には見えない施設の情報を重ね合わせて表示したり、管路(かんきょ)内面の撮像画像を管路にテクスチャマッピングして表示すれば、施設点検や補修工事といった作業の合理化も期待できる。

このような、現実の映像などに情報を付加してユーザーの理解を助ける手法をAR(Augmented Reality：拡張現実)と呼ぶ。当社では、撮像画像の位置特定技術や設備CADデータの3Dグラフィックス表示、撮像画像のテクスチャマッピング技術などのAR技術を応用した現場作業支援技術の開発に取り組んでいる(図2)。

3. スマートコミュニティ

3.1 スマートコミュニティの狙い

スマートコミュニティは、電気の有効利用に加え、熱や未利用エネルギーも含めたエネルギーの面的利用や、地域の交通システム、市民のライフスタイルの変革などを複合的に組み合わせたエリア単位での次世代のエネルギー・社会インフラシステムの概念であると定義される⁽³⁾。当社では、減災・防災の観点も加え、次の取組みを行っている(図3)。

(1) 施設エネルギー最適化(スマートエネルギー)

社会インフラ施設に設置された分散電源と、これらを統括するEMSで構成され、エネルギー需給の総合的管理を実現する。

(2) 防災拠点等の非常時BCP(スマートレジリエント)

地域の防災拠点、避難所での停電時の電力確保として、再生可能エネルギー等を含む分散電源を活用する。EMSによって太陽光発電などの分散電源やEVの蓄電機能を最大限活用し、非常用電源の供給延長を図る。

(3) 道路渋滞緩和(スマートモビリティ)

ITSスポットのプロープ情報を基に車両の経路把握を行

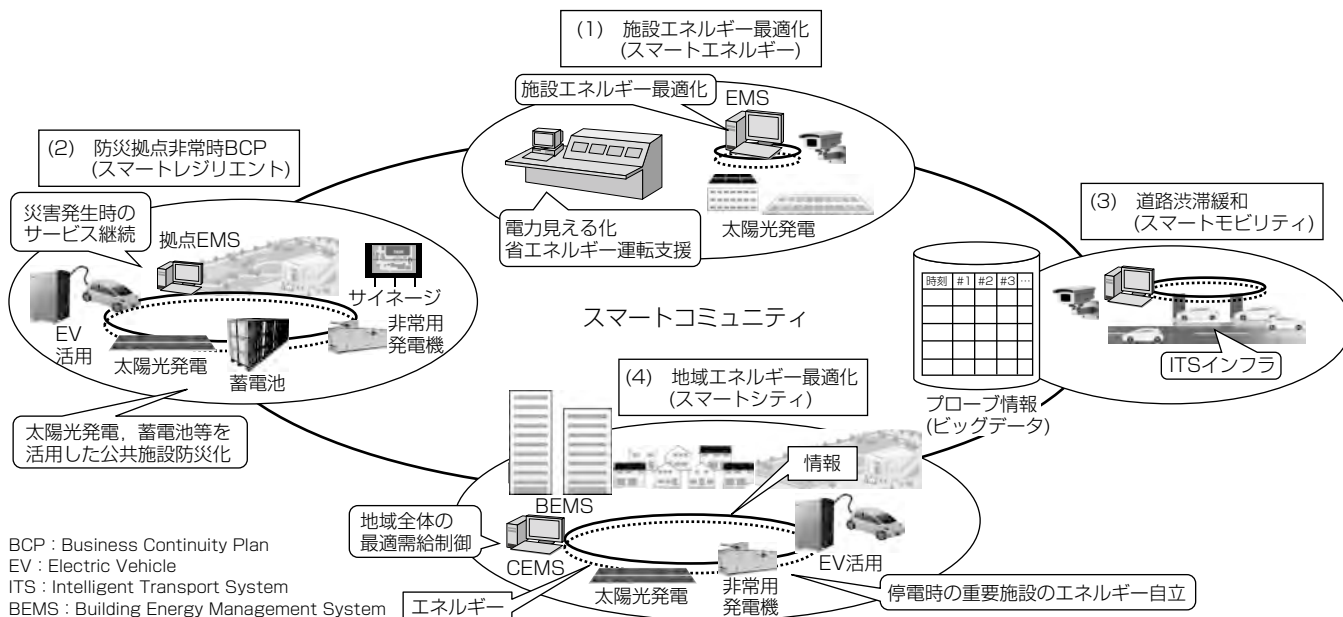


図 3. スマートコミュニティの4分野

BCP：Business Continuity Plan
 EV：Electric Vehicle
 ITS：Intelligent Transport System
 BEMS：Building Energy Management System

い、ETC(Electronic Toll Collection system)と連携して迂回路への経路誘導やダイナミック・ロードプライシングを実現して、都市部の渋滞を緩和する。

(4) 地域エネルギー最適化(スマートシティ)

従来のエネルギーマネジメントは施設ごとに行われてきたが、今後は地域内のエネルギー融通、需給の統合管理、エネルギー利用の最適化を実現するCEMS(Community Energy Management System)の導入が必要とされる。当社は、エネルギー融通を支援する様々なシステムを提供していく。

3.2 エネルギー最適化システム“MELSmart”

分散電源を統括し、エネルギー需給の総合的管理を実現するEMSやCEMSの中核装置として、エネルギー最適化システム“MELSmart”を開発した。

MELSmartは、電力需要予測に基づき、コスト最小又はCO₂排出量最少となる運用を支援するシステムで、当社独自のデータベース技術によって多次元的な分析を高速に行うことで、買電、太陽光発電、蓄電設備等の設備のベストミックスな運用を実現する。上下水道、大規模ビル群、鉄道、道路等の社会インフラ施設への適用を狙いとしている。

ヒューマンインタフェースには、ユニバーサルデザインを採用した。各種のグラフで需給計画を分かりやすく表現する工夫や、需要予測等のシミュレーション設定をグラフ上で視覚的に操作するなどの工夫を加えたことが評価され、2014年のグッドデザイン賞を受賞した(図4)。

3.3 エネルギー回収システム

分散電源を統括管理するマネジメントシステムのほか、



図4. 電力供給計画・実績を示すMELSmart画面

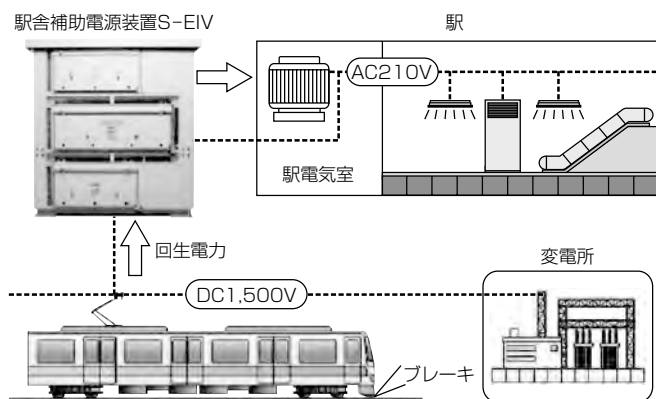


図5. 駅舎補助電源装置

当社では太陽光発電設備など、未利用エネルギーを活用する装置の開発も進めている。鉄道では、車両の回生電力の活用が期待されており、駅舎補助電源装置“S-EIV”として製品化した。この装置は、鉄道車両の減速時に発生する回生電力の内、車両間で融通消費できなかった余剰分を、蓄電池を用いずに駅の空調等の負荷に直接供給するものである(図5)。

実運用での省エネルギー効果が高く評価され、国内外での導入検討が進んでいる。鉄道分野では、車両の駆動系や空調の省エネルギーなど個々に取り組んできたが、今後は変電設備を含む路線全体のエネルギーの全体最適化を図る鉄道トータルエネルギーソリューションの提供を目指していく。

4. 社会インフラの運用高度化技術

当社は、上下水道、道路、鉄道など、様々な社会インフラ設備を運用管理する監視制御システムを納入してきた。この章では、少子・高齢化などの近年の環境変化に対応する監視制御システムの高度化への取組みについて述べる(図6)。

4.1 安全で確実な運用の実現

(1) インフラ設備の運用支援

少子・高齢化の進展に伴い、近年、社会インフラの運転管理に携わる熟練運転員は減少する傾向にある。運転員の負荷を低減するため、制御の自動化を図ったり、高度な予測やシミュレーションを用いた提案型の運用支援機能を監視制御システムに具備することが望まれている。的確な施設運用を実施するため、プラントの詳細情報を表示するシステムを安価に構築することも求められている。

当社では、上下水道や道路交通管制、鉄道の列車運行管理や変電設備の監視など、様々な分野で自動制御や運用支援機能を提供してきた。この特集では、電鉄変電所の電力管理システムでの停電制御の自動化・支援事例や、上下水道向けの水運用支援システムの実現例、鉄道運行管理における列車在線表示システムの高度化事例などを述べる。

(2) 異常時対応

プラントの安全な運用を実現するには、機器の故障などの異常時への適切な対応を図ることも重要であり、上下水道では流入水質の変化、列車運行管理では突発事故による列車ダイヤの乱れなどが異常時に相当する。

これらの異常等は、熟練運転員のノウハウが特に求められる事態であり、熟練運転員の持つ異常兆候の検知や異常時対応などのノウハウを見える化し、装置に組み込んで継承するシステムの提供が望まれている。当社では、熟練運転員のノウハウを組み込んだ故障復旧支援機能や、作業停電などの計画作成の支援機能など、運用支援機能を開発し提供している。

(3) 人にやさしいシステム

運転員の高齢化や減少が進む一方、監視制御の対象は、広域化する傾向にある。多様な情報を直感的に分かりやすく表示するとともに、操作ミスを起こしにくい操作性を実

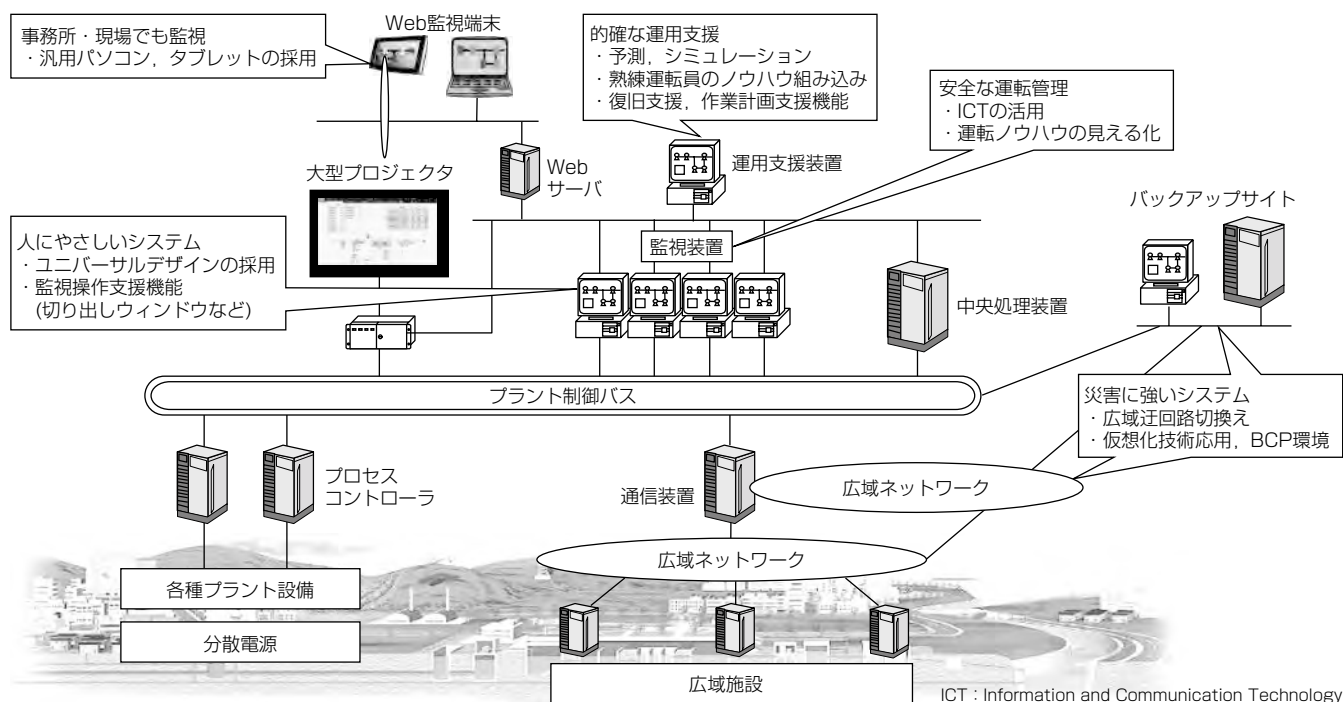


図6. 社会インフラ監視制御システムの高度化技術

現する必要がある。当社では、ユニバーサルデザインを採用し、監視制御システムの画面設計を一新した。画面選択を画面イメージで直観的に行うサムネール表示機能や、見たい部分だけ切り出して表示する機能などを加え、またその設定をユーザーに開放した。これによって、運用の変化にも柔軟に対応できる、操作性のよい監視制御を実現した。

4.2 災害への備え

(1) 堅牢なシステムの構築

社会インフラ設備を安定して運用するためには、システムの冗長性の確保など、堅牢なシステムを構築することも重要である。大規模災害発生時に設備の継続的な運用を確保するためには、広域通信網の高信頼化が鍵となる。

これに対し当社では、障害時の高速な迂回路切換え機能を持つリング型IP光ネットワーク装置を開発した。この装置は汎用のIP通信装置に比べて高速な迂回路切換えが可能であり、屋外設置等の厳しい環境にも適した装置である。

その他、システムの被災時に、計算機システムを縮退運転させつつ、運用の継続を図る技術の開発も期待される。

1台のハードウェア上に、OS等の基盤が異なる複数のシステムを動作させる仮想化技術を用い、システムの堅牢性を高めることが考えられ、電鉄変電所の電力管理システム等への適用開発をすすめている。

(2) ヘリコプター映像応用システム

大規模広域災害時に、現場被災状況を迅速に把握するため、ヘリコプターによる空撮映像が広く活用されている。

当社では、人工衛星を使った映像のリアルタイム伝送、地図上への空撮映像の重畳表示によって撮影位置の特定を容易にしたヘリコプター映像応用システムを提供している（図7）。さらに施設名称重畳や倒壊建物検出・火点候補抽出等の被害

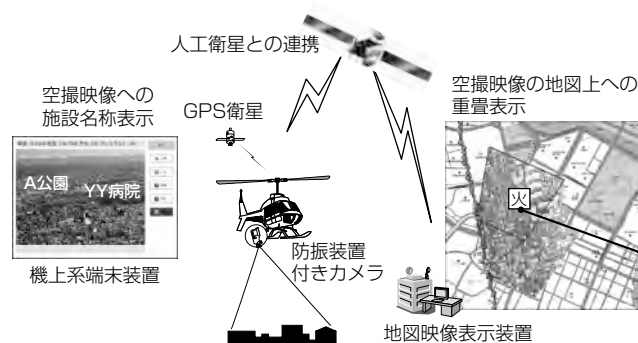


図7. ヘリコプター映像応用システム

位置特定機能の高度化を実現し、国や地方公共団体などにおける大規模広域災害時の即応力の強化に貢献している。

5. む す び

我々の生活は、各種の社会インフラに支えられており、その適切な維持と運用は、快適な暮らしの実現に欠かせない。少子高齢化や施設の老朽化が進み、省エネルギー化が更に求められる中、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であろう。

社会ニーズの変化に対応した最適なソリューションを提供していくため、最新技術を活用した研究開発や製品化を更に加速していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 国土交通白書2014, 国土交通省 (2014)
- (2) 産業競争力懇談会2014年度プロジェクト中間報告: 3次元位置情報を用いたサービスと共通基盤整備 (2014)
- (3) ジャパン・スマートコミュニティ・アライアンス(JSCA)のホームページ <https://www.smart-japan.org/>

社会インフラ維持管理を実現する要素技術

小林伸太郎*
中田雅文*

Element Technologies to Achieve Social Infrastructure Maintenance

Shintaro Kobayashi, Masafumi Nakata

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ており、限られた予算の中で、計画的かつ効率的に社会インフラの老朽化対策と維持更新を実施することが喫緊の課題となっている。

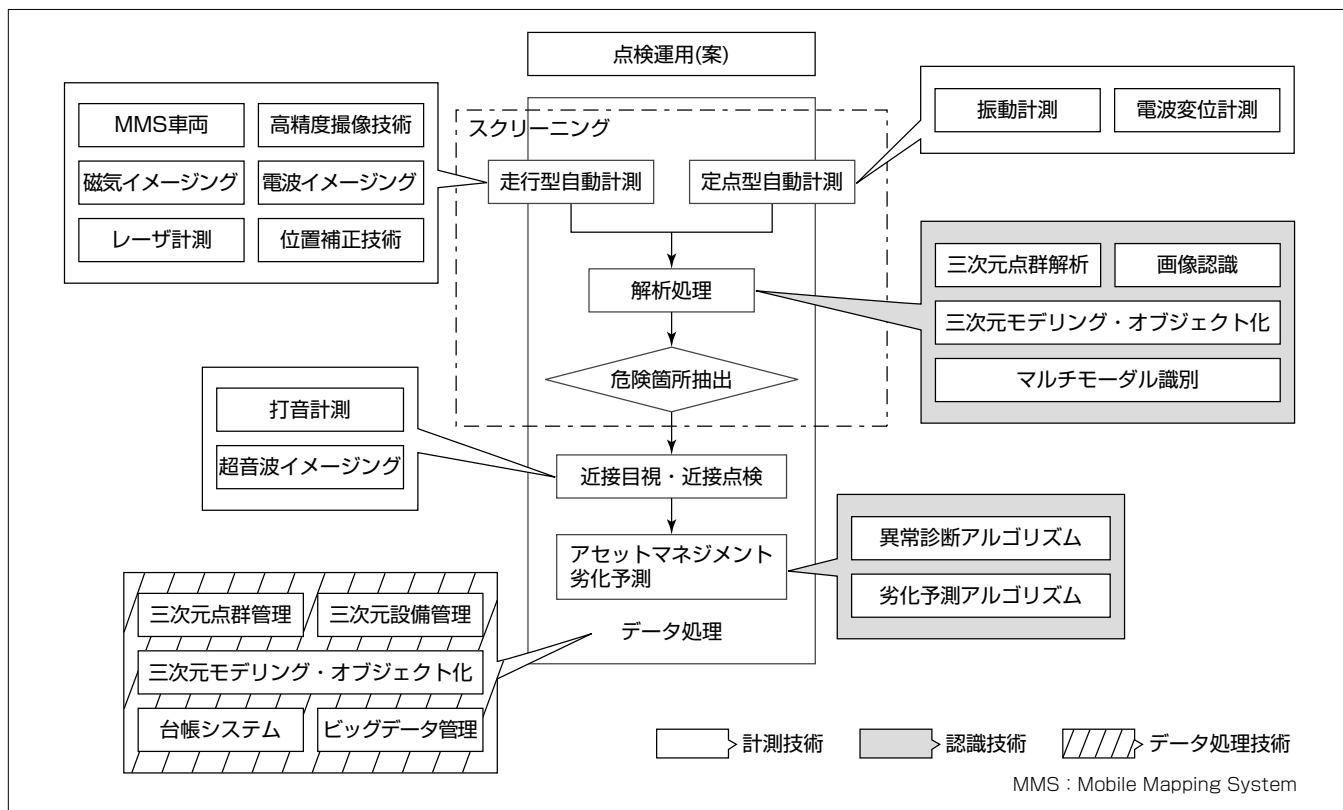
具体的には、笹子トンネル天井板落下事故を受けて国土交通省が2013年3月に策定した“社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置”では、道路(トンネル、橋梁(きょうりょう)、舗装、道路法面(のりめん)工・土工構造物、道路附属物)、河川、ダム、下水道、鉄道、公園、住宅にいたる様々なインフラに対し、2015年からの本格的運用に向けた実施方針が出されている。インフラの老朽化への対策として、①インフラの現状把握と総点検、②インフラ維持管理に向けた基準類の整備、③インフラの現状把握に対する新技術開発、④継続的な維持管理や長寿命化に向

けてのデータ整備と共有化が課題として挙げられている。

国土交通省 道路局が定める総点検実施要領では、橋梁、トンネル等の道路構造物の点検は、近接目視や打音検査による5年に1回の点検が前提となっている。全国の橋梁数は約70万橋、トンネル数は1万本あり、これらの構造物の点検を5年に1回実施するには多大な時間と人を要する。

この課題を解決するために、新しい自動計測・認識技術を用いた解析によるスクリーニング(優先順位が高い箇所の選定)を実施し、危険箇所を抽出した上で、近接目視・点検で最終確認を行う点検運用が進められると考える。

三菱電機は、社会インフラ維持管理に対し多方面にわたる新技術開発を行っている。本稿では社会インフラのスクリーニング(危険箇所抽出)、近接目視・点検、アセットマネジメントを支援する計測技術とデータ処理技術について述べる。



社会インフラ維持管理における点検運用(案)と要素技術

点検運用(案)は、①走行型自動計測及び定点型自動計測によってデータを収集、解析することで危険箇所を抽出する。②抽出した危険箇所に対しては近接目視・点検で危険度を判断し、③積み重ねたデータを経年分析することでアセットマネジメントに展開する処理で構成される。この点検運用を実現する要素技術を計測、認識、データ処理に分類し、各業務にマッピングした全体像を示す。

1. ま え が き

本稿では、目指す点検運用の流れに沿い、危険部位を短時間でスクリーニングするための技術として、構造物の変状をレーザ計測する走行型計測技術、電波イメージングによるひび割れ抽出技術、スクリーニングによって抽出した道路陥没箇所に対して近接点検で構造物劣化を検出する超音波イメージング技術、さらにこれらの計測で得られた膨大なデータを短時間で解析処理するための三次元点群管理技術、設備管理・アセットマネジメントに向けた三次元モデリング・オブジェクト化技術について述べる(図1)。

2. 社会インフラ点検支援技術

2.1 計測技術

2.1.1 走行型計測車両・MMSによる三次元位置情報計測

当社は、GPS(Global Positioning System)、IMU(Inertial Measurement Unit)、オドメータ、レーザスキャナ、カメラ等の機器を車両に搭載し、走行しながら道路・トンネルの形状、法面形状、鉄道の線路、付帯設備等の社会インフラの三次元位置情報を高精度で効率的に取得できる“三菱モービルマッピングシステム(MMS)”を開発し、製品提供している。

三菱のMMSは以下の特長を持つ。

- (1) GPSアンテナ、IMU、カメラ、標準レーザを一体化したユニット構造とすることで、一般市販車両の屋根に容易に機装(ぎそう)可能である。図2に三菱MMSを機装した車両を示す。
- (2) 絶対位置精度10cm(rms)以内(衛星可視時)、相対位置精度1cm(rms)以内での測定が可能である。
- (3) 高架下やトンネル等衛星不可視区間でも連続してデータを取得することができる。そのデータを従来の測量手法で計測された地物の位置(ランドマーク)を利用することによって、MMSで計測した座標値の誤差を補正することが可能である。

社会インフラを管理する現場では、MMSを用いた走行型計測が盛んに行われており、今後、社会インフラの現状を把握するための基礎データ整備として三次元位置情報の計測・管理が加速していくと考える。

2.1.2 電波イメージング⁽¹⁾

当社は、合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar : SAR)技術を用いたコンクリートひび割れ計測技術の開発に取り組んでいる。電波を用いたひび割れ計測については、近接場を用いた接触型センサが実用化されているが、近接型であるため、広範囲の計測に課題があった。

SARは電波を用いた遠隔型の高解像度イメージングセンサであり、複素誘電率や物体形状に由来する散乱係数の観測が可能である。SARは衛星や航空機に搭載して数km

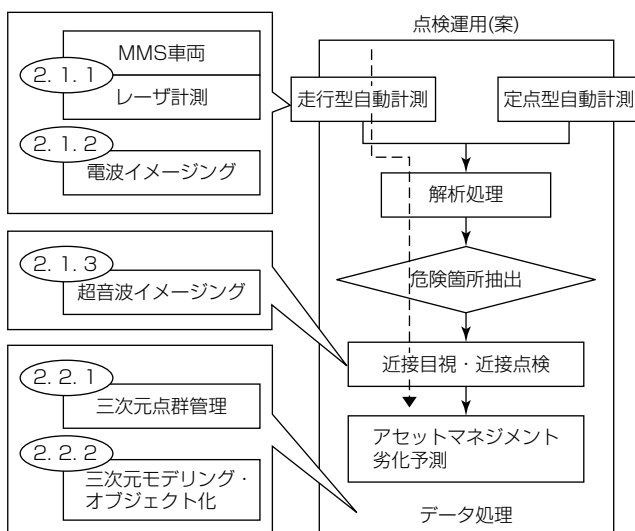


図1. 点検運用(案)と本稿で取り上げる技術



図2. 三菱MMSを機装した車両

～数百kmの彼方から地表面の観測が可能であり、その出力である電波画像は、一般にSAR画像と呼ばれている。

SARの特徴として、表面形状が滑らかな観測目標に対しては散乱係数が小さく観測される一方で、表面に波長の10分の1程度のキズがある場合には後方散乱が観測される。

当社は、レーダ波長9mmに対して、1mm程度のコンクリートひび割れからの散乱を全偏波Ka帯ミリ波SAR(26～40GHz)で計測した結果、偏波観測によるひび割れ計測の有効性を確認した。

図3に試験コンクリート片(30×30(cm)、縦横2×3)を示す。右上コンクリート片には縦のひび割れを、右下コンクリート片には横のひび割れを用意した。図4に計測したSAR画像を示す。

当社は実計測で、垂直偏波(VV偏波)によって水平方向のひび割れを観測し、垂直偏波(V偏波)と水平偏波(H偏波)を組合せたクロス偏波(VH偏波)によって、垂直方向のひび割れを観測した。

コンクリート構造物(トンネル壁面等)のひび割れ検知はカメラ画像を処理することで検知する技術開発が盛んであるが、走行型計測装置にSARを搭載することで、画像処理を必要としないひび割れ検知が実現できる可能性がある。

2.1.3 超音波イメージング⁽²⁾

走行型計測でスクリーニングして抽出した危険部位に対

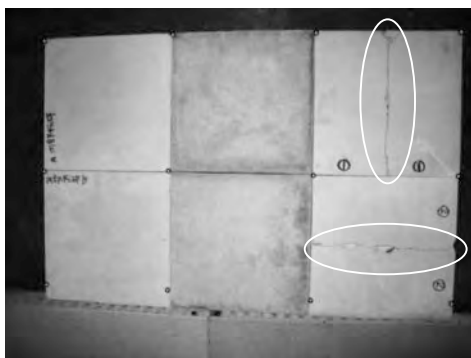
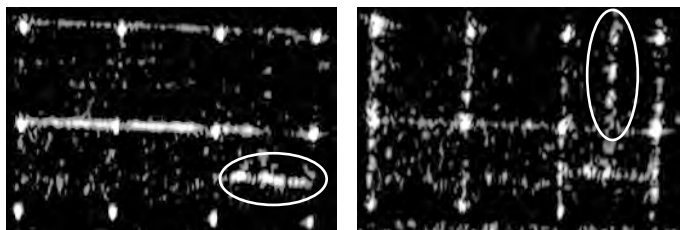


図 3. 試験コンクリート片



出典：土木研究所ホームページ

図 5. 道路表面上の窪み



(a) VV偏波による観測結果

(b) VH偏波による観測結果

図 4. ひび割れのSAR画像

する近接点検にも課題がある。

例えば、道路橋に用いられている鋼床版では、交通量の多い場所でデッキプレートを通る亀裂が報告されている。構造物の検査は、目視検査や打音検査で行われるが、この亀裂は目視検査ができない部位に発生し、また打音検査も有効でないため、デッキプレート下側からの超音波探傷が有効と考えられる。

図 5 に、路面に発生した窪(くぼ)みを示す。窪みの深さはそれ程ではないが、この窪みに車のタイヤが嵌(はま)ることによって交通事故が誘因される可能性がある。窪みが発生する原因は、道路の構造にある。図 6 に鋼床版の断面図を示す。鋼床版は溶接されたデッキプレートとUリブ(デッキプレートを支えるU型の補強金属材)から構成されている。Uリブ上を車が通行すると溶接部に大きな荷重がかかり、Uリブとデッキプレートとの接点に応力が集中し、デッキプレート内に亀裂が発生する。

年月を重ねるとこの亀裂が進展し、最終的にはデッキプレートを貫通する。この場合、路面のアスファルトを支えられずに、窪みが生じる。デッキプレート中で進展中(貫通する前)の亀裂を検出できれば、補修を行って路面の変形を防ぐことが可能である。

超音波センサの探触子を設置する場所は図 7 に示すようにデッキプレートの裏面に限られる。またアスファルトが載っている面は平滑とは限らないので、この面で超音波ビームを反射させて探傷することは難しい。そこで、デッキプレートの面にほぼ平行な超音波ビームを伝搬させて亀裂に直接照射する臨界屈折角探傷法を開発した。この方式によって、目視検査や打音検査で確認できない鋼床版等の亀

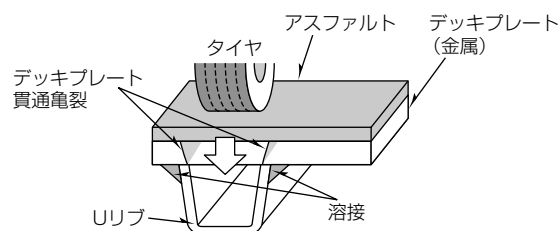


図 6. 鋼床版の断面図

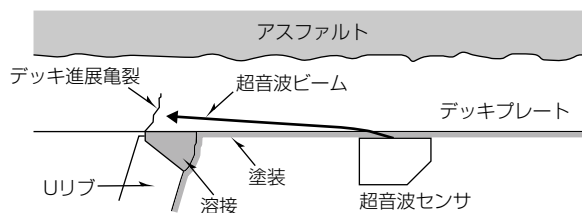


図 7. 鋼床断面と臨界屈折角探傷法

裂の進展状況の確認が可能となる。

2.2 データ処理技術

2.2.1 三次元点群管理技術⁽³⁾

最新のレーザスキャナは100万点/秒を計測できるため、20kmの距離を50km/hの速度で走行した場合には14.4億点のデータ量となる。社会インフラ維持管理システムでは、このような大規模な点群データに加え画像データ等の複数のデータを一度に取り扱い、過去からの変化を捉え経年劣化を診断する。

例えば、設備の経年劣化を分析しようとする場合には、過去の大量なデータの中から対象設備に該当するデータを抽出して分析処理を実行することになる。高速な処理を実現するためには、大規模データの中から必要なデータを検索・抽出する時間を短縮させることが重要となる。

一般的に大規模なデータを管理するデータベースのパフォーマンスはディスクI/O(Input/Output)によって制限される。ディスクI/O時間を短縮するためには、取り扱うデータのサイズを小さくすることが有効な方法の1つである。つまり、大規模なデータの圧縮率を高めることが処理性能高速化の1つの鍵となる。また圧縮率の向上はストレージ容量の削減にも寄与する。

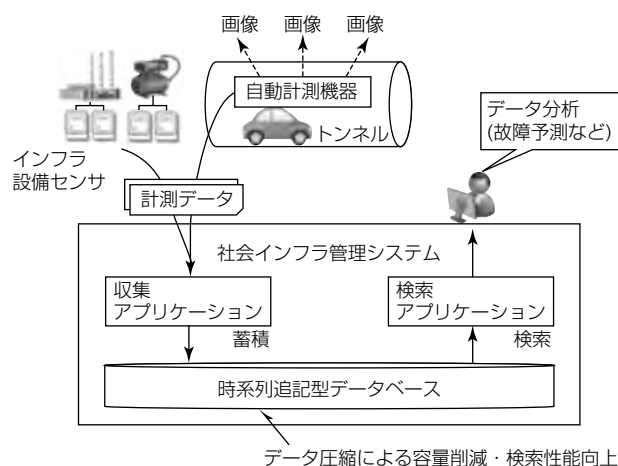


図8. 時系列追記型データベースの適用イメージ

汎用データベース(リレーショナルデータベース)では、データを行単位で扱うことを基本としており、行単位で格納されたデータは重複値による圧縮効果はあまり期待できない。一方、当社の時系列追記型データベースは、列指向型データベースのアーキテクチャを採用し、重複率が高いデータが多く存在する場合の圧縮効果は高い。社会インフラの維持管理で取り扱うデータは、2.1.1項に述べた走行型計測車両で取得した三次元点群情報を基本とする。そのため、近似した位置情報が前後に存在することになり、高い圧縮率とそれによる検索時間の短縮化、処理性能高速化を図ることができる。

さらに、時系列追記型データベースでは、圧縮・伸長処理や検索処理の並列処理を可能としており、マルチプロセッサコアの有効活用による性能向上も期待できる。

このように、社会インフラの大規模データ高速処理には、時系列追記型データベースが適する。図8に、時系列追記型データベースの適用イメージを示す。

2.2.2 三次元モデリングオブジェクト化技術

道路等の管理現場では、構造物・設備は、二次元図面で管理されている場合が多く、補修・改修等の結果が反映されず、現況が把握できていないといった課題がある。

近年、現況を把握するために、構造物・設備を三次元計測し、改修計画・設計に活用する取組みが行われている。三次元計測では、一般的に、広範囲を高密度に計測するレーザスキャナを使用し、計測結果は三次元点群として取り扱う。最新のレーザスキャナは100万点/秒を計測できるため、計測結果は大規模な点群データとなる。この大規模点群の中の構造物・設備を、三次元オブジェクトとして抽出する技術が必要となっている。抽出した構造物・設備は、“建設年”“外形寸法”“補修履歴”等の属性データとともにデータベース化し、設備管理、アセットマネジメントに活用する検討が進められている。

大規模点群から構造物をオブジェクトとして抽出するには、対象とする構造物の点群をベクトル化し、形状を再構

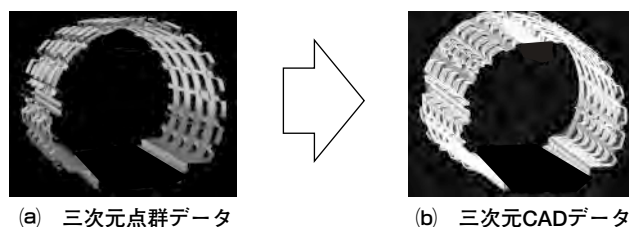


図9. 三次元点群から抽出したトンネルデータ

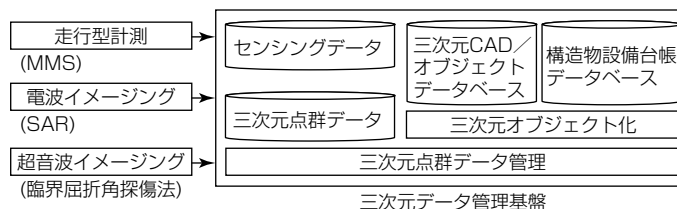


図10. 三次元データ管理基盤のイメージ

成する。図9に、三次元点群のトンネル形状をベクトルデータのオブジェクトとして再構成し、三次元CADデータとして抽出した例を示す。

今後、三次元点群データ、電波イメージングデータ、超音波イメージングデータ、三次元オブジェクト化データ、構造物属性データは、三次元データ管理基盤で統合管理する方向へと進む。ユーザーは、この三次元データ管理基盤にアクセスすることで三次元の構造物データやCADデータの取得が可能となる。図10に、三次元データ管理基盤のイメージを示す。

3. む す び

本稿で述べた技術は当社が取り組んでいる技術開発の一部であり、社会インフラ維持管理を実現するには“計測技術”“認識技術”“データ処理技術”に示した広範囲な要素技術の開発と、それら要素技術を有機的に結合した社会インフラ維持管理システムの実現が必須となる。当社は、これらの技術開発を早期に実現し、社会インフラの現状把握(Check)、老朽化評価と設備更新計画(Action, Plan)、工事施工(Do)を低コストで回す社会インフラアセットマネジメントを実現し、社会貢献を目指す。

参考文献

- (1) 星野越寛，ほか：合成開口レーダを用いた遠隔観測型コンクリートひび割れ計測の原理検証実験，第15回システムインテグレーション部門講演会予稿集（2014）
- (2) 木村友則，ほか：鋼床版デッキプレート亀裂の超音波探傷技術，第15回システムインテグレーション部門講演会予稿集（2014）
- (3) 嶋 貴洋，ほか：社会インフラ管理システム向けデータベースの検討，第15回システムインテグレーション部門講演会予稿集（2014）

AR技術を用いた 社会インフラ施設維持管理の効率化

川田卓嗣*
渡辺完弥*
川浦健央**

Augmented Reality for Effective Maintenance of Social Infrastructure

Takushi Kawada, Kanya Watanabe, Takeo Kawaura

要 旨

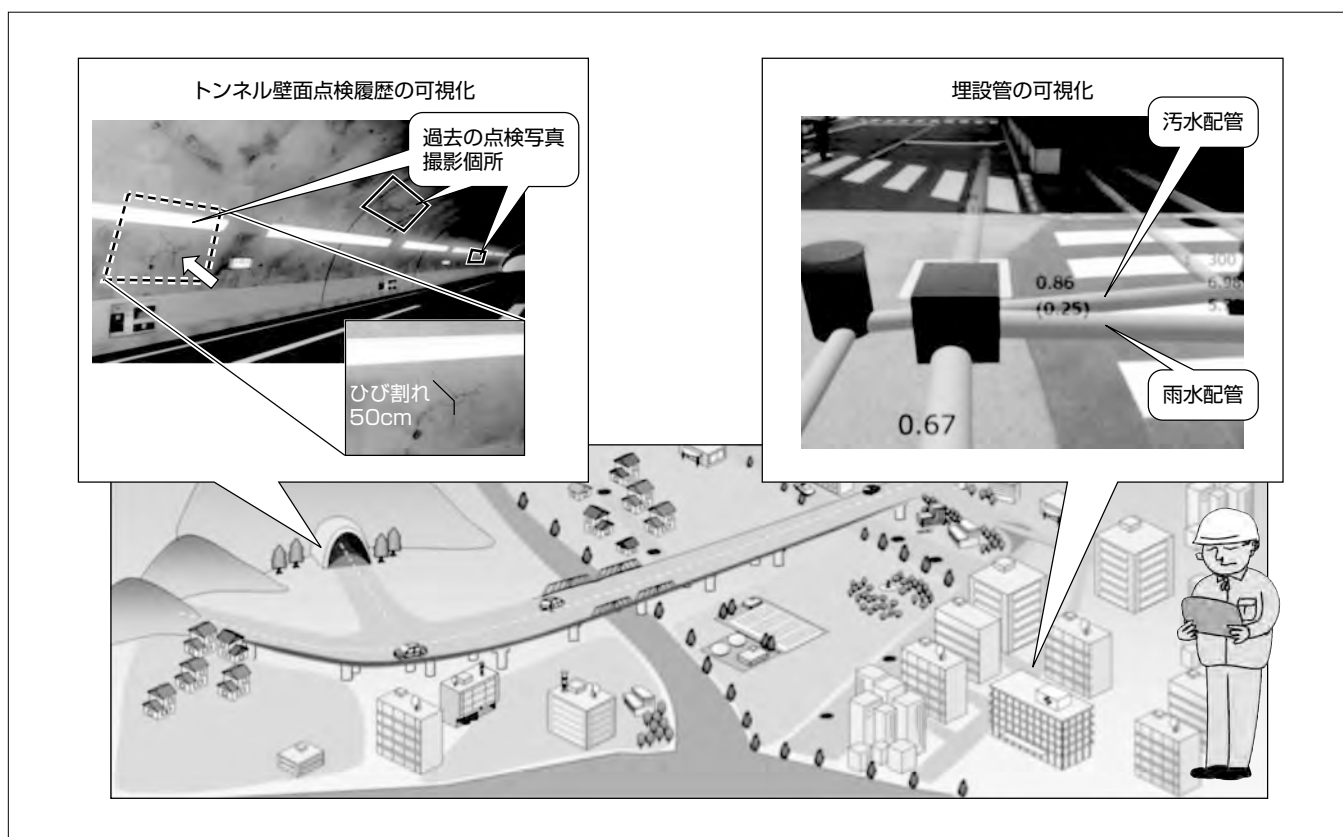
AR(Augmented Reality：拡張現実)とは、“現実環境に情報を付加してユーザーが見ているものや場所を理解しやすくすること”を意味しており、維持管理の現場では、点検等の維持管理作業の履歴可視化や、地下の埋設管路や壁の裏側に隠れている施設の情報の可視化への応用が考えられる。

これまで、維持管理業務の支援を目的に、あらかじめ設置したマーカを使ってAR表示を行うマーカ型ARが用いられてきたが、道路や水道・下水道など、広範囲に敷設された社会インフラでARを利用するには、対象施設に個別にマーカを設置するための手間がかかる点が問題であった。

近年モバイル機器にかかわる技術の進歩、利用者への普

及拡大は目覚ましいものがあり、GPS(Global Positioning System：全地球測位システム)・ジャイロ・カメラ等のセンサを標準で備えるようになってきている。そこで三菱電機はモバイル機器に搭載されたセンサを用いた高度な自己位置推定技術を基に、マーカレス型ビジョンベースAR技術を採用し、マーカ設置の手間をかけることなく、広範囲な施設の維持管理、長寿命化のための施設点検の支援に、ARを利用できるようにしている。

本稿では、まず、社会インフラ向けARシステムについて述べた後、社会インフラの維持管理の現状の課題と、AR技術を使った解決策について述べる。



社会インフラの維持管理へのAR技術の適用例

社会インフラの維持管理作業にAR技術を用いたモバイル機器を利用することで、維持管理の履歴や施設の情報を、現場のカメラ画像に重ね合わせて表示することができる。例えば、トンネルの壁面について、過去の損傷写真の撮影箇所を可視化することで、状態基準保全で必要となる継続的な監視が容易になる。また、下水管の埋設位置を可視化することで、埋設物の位置関係の把握が容易になり、掘削の際の事故が予防できる。

1. ま え が き

高度経済成長期に建設された様々な社会インフラが標準耐用年数を超えようとしている中、社会インフラの状態を把握し、必要な改修を行いながら長寿命化させることが必要となっている。

また、熟練作業者の減少に伴って、施設の維持管理のノウハウが失われ、施設の適切な維持が困難になりつつある状況も警鐘されて久しい。

一方、特に、モバイル機器にかかわる技術の進歩、利用者への普及拡大は近年目覚ましいものがあり、社会インフラの維持管理の現場でも、モバイル機器の直感的な操作を使った、作業効率化、非熟練作業支援の実現が求められるようになってきている。

当社は、社会インフラの維持管理業務で、直感的で分かりやすい操作を実現する上で、特にAR技術に着目して技術開発を進めている。

本稿では、まず、社会インフラ向けARシステムの概要について述べた後、社会インフラ維持管理の課題と、AR技術を使った解決策について述べる。

2. 社会インフラ向けARシステム

ARとは、“現実環境に情報を付加してユーザーが見ているものや場所を理解しやすくすること”を意味する。ARは現実環境に情報を付加するものであるため、ユーザーが常に持ち歩けるモバイル機器は、ARの表示デバイスとして最適である。モバイル機器には、カメラと複数センサが標準で搭載されている上に性能も十分に向上しており、また、汎用化が進んだことで、各種センサの利用も容易となっている。

ARは技術的な特性から、大きくロケーションベースARとビジョンベースARの2つに、またビジョンベースARはマーカ型とマーカレス型の2つに分類される(表1)⁽¹⁾。

マーカ型ビジョンベースARは、対象物に事前にマーカを設置しておく必要があり、上下水、道路、鉄道等、広範囲に敷設された施設の維持管理に利用しようとする、事前準備にかかる手間が膨大になる。

そこで当社は、マーカの設置が不要な、ロケーションベ

表1. AR技術の分類

分類	特徴	課題
ロケーションベースAR	GPS、ジャイロ、コンパス等を組み合わせて現在地とカメラの視線を求め、情報を表示する。	位置推定の精度の向上が難しい。
マーカ型ビジョンベースAR	特定の図形(マーカ)を認識することによって付加情報の表示位置を特定し情報を表示する。	情報を表示したい場所にマーカの設置が必要である。
マーカレス型ビジョンベースAR	現実環境に実在する物体そのものを認識して、表示位置を特定し情報を表示する。	認識に要する計算量が大きく技術的難易度も高い。

ースARと、マーカレス型ビジョンベースARの2つを組み合わせた、社会インフラ向けARシステムを開発している。

当社の社会インフラ向けARシステムの全体構成を図1に示す。このシステムは、施設や維持管理履歴の情報を管理する既存の施設情報管理システムサーバと、インターネット等の回線を通して接続されたタブレットから構成される。

タブレット上の機能構成を図2に示す。ARシステムは、自己位置推定機能でタブレットの正確な自己位置を推定し、その自己位置を基にAR表示機能でタブレットのカメラ映像に各種情報をARとして重畳表示する。

正しく重畳表示を行う上で、利用者の現在地の正確さが必要になるため、表2に示す複数の手段を組み合わせで自己位置推定を行っている。

推定した自己位置に基づいて、緯度・経度・高度の情報を持つ管路や道路の情報を、タブレットのカメラで撮影した画像に重ね合わせ、ディスプレイに表示する。

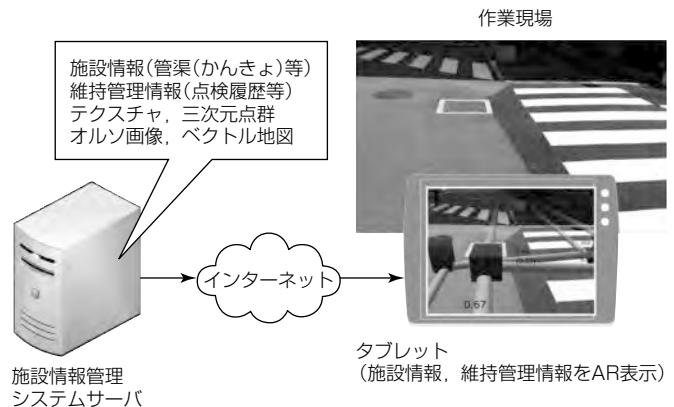


図1. 社会インフラ向けARシステム

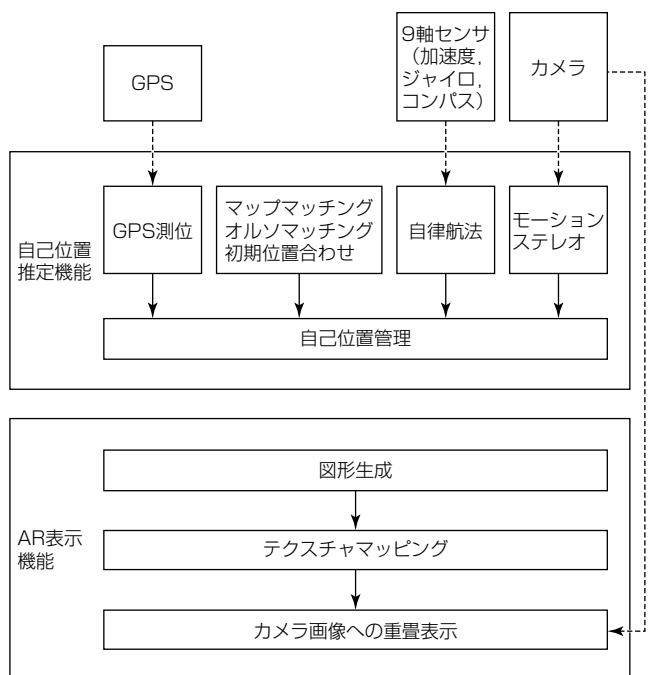


図2. タブレット上の機能構成

表 2. 自己位置推定の手段

機能	概要
GPS測位	4つ以上のGPS衛星を使って自己位置を測位する。原理上、最大10m程度の測位誤差がある。
マップマッチング オルソマッチング	正確なベクトル地図、又は、MMS(Mobile Mapping System：移動計測車両による測量システム)で作成したオルソ画像地図と、カメラ画像から認識した道路の形状の情報を比較することで、正確な位置が得られる。
設備位置を使った 初期位置合わせ	マンホールや標識等の目標物の位置があらかじめ分かっている場合に、カメラ画像内で目標物を指定すると正確な位置が得られる。
自律航法	ジャイロ、コンパスの値をリアルタイムに取得して相対的な移動量を算出する。
モーションステレオ ⁽²⁾	最新のカメラ画像と前画像を基に三角測量で相対的な移動量をリアルタイムに算出する。



図 3. 下水道台帳の表示例

3. 社会インフラ維持管理の課題とAR技術による解決

3.1 施設情報管理へのARの適用

多くの社会インフラで、施設情報管理システムが導入されている。

施設情報管理システムは、施設の敷設状況の把握と、維持管理業務の状態把握及び作業効率向上を主な目的としてきたが、近年では、熟練作業者の減少への対処や、熟練作業員から若年作業員へのノウハウの引継ぎの支援といったことがより強く求められるようになっている。このような状況に対応するため、当社では、現場作業の効率化とノウハウの共有を目的に、施設情報管理システムのモバイル機器対応を進めている。

図 3 に、下水道管路の埋設状況を、地図を用いて管理する“下水道台帳”の表示例を示す。“下水道台帳”は、地中に埋設されている下水道管路や、マンホールの位置を、地図・図面を使って表示するシステムである。

従来事務所に設置された“下水道台帳システム”で地図・図面を参照していたが、モバイル機器への対応を進めたことで、現場で同じ情報が利用できるようになっている。しかし、“下水道台帳”が平面的な図面であるため、現場では、地上の風景と図面の記載内容を基に、地下の状況を想像することが必要である。

また、現場の埋設物の構造が複雑になっていたり、図面自体が不正確である等の理由によって、地下の状況を把握する困難の度合いが増し、掘削時に、不用意に関係のない埋設物を壊してしまうといった事態も生じやすい。

図 4 は、地中の埋設管をAR表示した例を示す。地中の雨水・汚水等の管渠の埋設状況が、地面を透過して表示されるため、管渠の埋設位置・流下方向等が一目で分かる。

下水道の維持管理現場では通常、工事担当者はマンホール等の地上の目標物と、配管図面を使って、配管等の地下に埋設された施設の位置を推定し作業を行っている。管渠施設をAR表示することで、実際には見えない埋設位置や

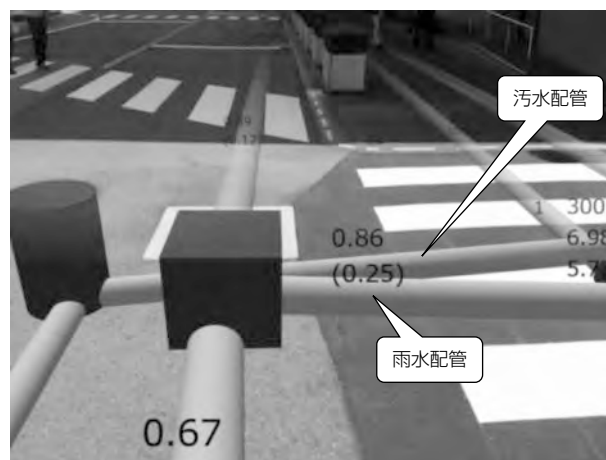


図 4. 埋設管のAR表示例

表 3. 下水分野へのAR適用

機能	概要
管渠表示	地中に埋設されている管渠とマンホールの3Dグラフィックスをカメラ画像に重畳して表示する。タブレットを道路に向けるだけで、管渠の埋設位置・深さを直観的に把握できる。
テキストチャ マッピング	調査用ロボットによって撮影された管渠内の展開画像を、管渠の3Dグラフィックスにテキストチャとして貼り付け、地上から異常の発生箇所、管と管の接続位置が容易に特定できる。

状況を正確に把握できるようになり、効率的な工事と工期の短縮が可能となる。

さらに、管内のカメラ調査を実施した結果がある場合は、地中管の周りに管の内面写真を貼り付ける(テキストチャマッピング)することも可能である。マンホールがなく、地中で管と管が直接接続されている箇所の特定は、非常に手間がかかるが、管の内面写真のテキストチャマッピングによって、接続箇所が一目で分かるようになる(表 3)。

3.2 施設の点検・状態監視保全(CBM)へのARの適用

社会インフラを構成する施設等の維持管理に、CBM(Condition Based Maintenance)の考え方に基づく長寿命化が導入され始めている。

CBMは、施設の点検を継続的に実施することで、健全

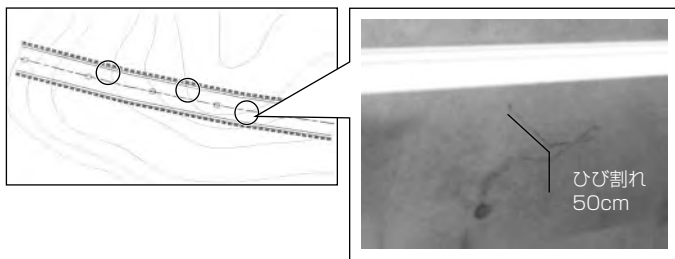


図 5. 従来のトンネル不具合箇所管理(イメージ)

度の把握と劣化の予測を行い、維持管理上又は運用上致命的な不具合が起きる前に、適切な補修又は改築を行おうというものである。

CBMを適切に行う上で、市民等からの要望や苦情の蓄積、又は、コンクリートのひび割れや浮きなどの不具合箇所の継続的な観察が必要になる。

施設の点検・維持管理の現場では、施設図面や現場写真の組合せで、不具合の発生箇所を管理している。又は、図面の代わりに1/500程度の縮尺の地図で管理している場合もある。

例えば、施設の点検を実施する中で、コンクリートのひび割れが見つかった場合、CBMでは、補修が必要な状態になるまで、ひび割れの状態を継続的に監視していく必要が生じる。

従来、図面上の位置や、写真等、又は、チョークなどを使った現場でのマーキングを使ってひび割れの位置を管理してきたが(図5)、施設の老朽化が進み、管理が必要な不具合箇所の数が増大になるにつれて、不具合を過去の履歴と照合するために必要な作業が負担になってきている。

そこで道路・トンネル・擁壁・河川の護岸等の土木構造物の維持管理の現場に対しては、AR技術を用いて、不具合箇所を継続的に監視するための手段を実現している。

図6に道路・トンネルの維持管理状況に関するAR表示の例を示す。この例では、路面やトンネルの壁面に、過去に登録された不具合報告書の説明写真の画枠を、AR技術を用いて赤枠表示している。したがって、タブレットのカメラを通して表示された現場の画面を見れば、過去、現場で報告された不具合箇所が一望できる。

また、AR表示された赤枠に合わせて、写真を撮影することで、前回とほぼ同じ画角で写真を撮影できる。同一の不具合の継続的な監視が容易になるため、CBMによるトンネルの長寿命化が容易になる。

また、撮影した写真と合わせて、撮影時の写真のスケールを

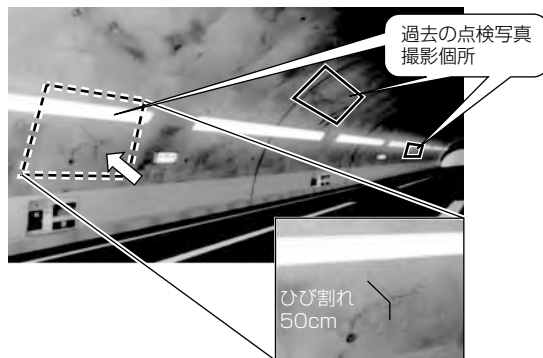


図 6. 変状箇所のAR表示例

表 4. 道路分野へのAR適用

機能	概要
写真撮影履歴表示	不具合報告書として撮影・蓄積された路面や壁面の写真の撮影範囲を、現場のタブレット画面に表示する。不具合が報告された箇所が一目で分かるとともに、前回撮影したのと同じ箇所を同じアングルで撮影できる。
注記表示	不具合の箇所や内容、作業指示等を、マーキングやアノテーションで表示することによって現場作業への注意喚起ができる。
計測	撮影時の写真のスケールを使って、写真から正確な長さ、面積が計測できる。

ルを保管しておき、後から、写真上で、距離や面積を計測することも可能である(表4)。

4. む す び

対象施設にマーカを設置しなくてはならないマーカ型ビジョンベースARでは、道路・下水等、広範囲に敷設された施設の維持管理の現場作業に適用しづらい。当社は、ロケーションベースAR技術とマーカレス型ビジョンベースAR技術を組み合わせた社会インフラ向けARシステムによって、マーカ設置等のコストをかけることなく、作業者の支援や、長寿命化のための施設点検を可能にしている。

参 考 文 献

- (1) 蔵田武志, ほか: 「実世界と仮想世界」を繋ぎ「人と人」を結ぶ拡張現実インタラクション, ウェアラブルコンピューティング研究会研究報告, 1, No. 2, 34~39 (2005)
- (2) Menglong Zhu., et al.: Monocular Visual Odometry and Dense 3D Reconstruction for On-Road Vehicles, Computer Vision-ECCV 2012, Workshops and Demonstrations Lecture Notes in Computer Science, 7584, 596~606 (2012)

エネルギー最適化システム“MELSmart”

弓野雅章* 吉田 剛*
浅沼 智*
池原 照*

Community Energy Management System "MELSmart" for Social Infrastructure System

Masaaki Yumino, Satoshi Asanuma, Akira Ikehara, Takeshi Yoshida

要 旨

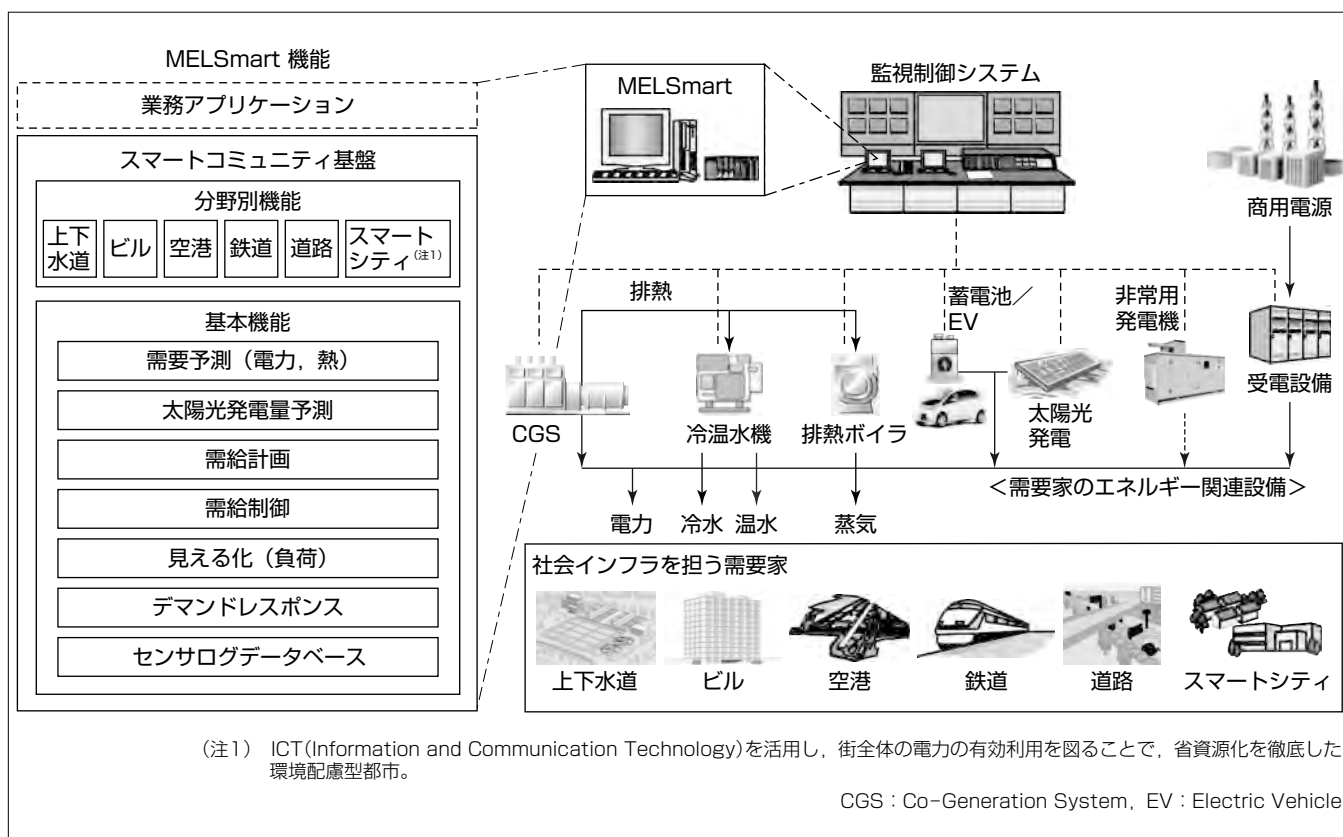
現在、国内では、地球温暖化対策、東日本大震災以降発生した原発停止に伴う電力供給不足や燃料コストの高騰対策、再生可能エネルギーの大量導入による電力品質問題対策やエネルギー制度改革への対応など、様々な問題や課題が発生している。三菱電機の従来事業領域である上下水道、ビル、空港、鉄道、道路等の社会インフラ事業では、太陽光発電設備や蓄電池、コジェネレーション等の自家発電設備の導入、新電力からの電気の調達、余剰電力の取引等、エネルギーに係る様々な取組みや検討が行われている。

当社は、今まで蓄積してきた社会インフラシステムの構築技術や経験を生かして、このような顧客の取組みやニ

ズに柔軟に対応可能なエネルギーの最適化システム“MELSmart”を新たに開発した。

MELSmartの導入によって、平常時や非常時に、既存設備や新たに導入される太陽光発電や蓄電池等のエネルギー関連設備と連携を図りながら、それぞれの状況に応じたエネルギーの最適供給計画を立案することができる。そのため、平常時の省エネルギーやCO₂削減、災害時の電力確保による自立を実現することが可能となる。

今後、従来の社会インフラ事業や都市の再開発事業に展開していく予定である。この製品の操作画面は2014年のグッドデザイン賞を受賞した。



“MELSmart”のシステム概念図と基本機能

エネルギー最適化システム“MELSmart”は、上下水道、ビル、空港、鉄道、道路等の社会インフラ事業や都市の再開発事業（スマートシティ）への適用を想定し、電気や熱の統合的なエネルギー管理を実現する地域エネルギーマネジメントシステム（Community Energy Management System：CEMS）である。

1. ま え が き

近年、社会インフラ事業を取り巻くエネルギー環境は、大きく変わりつつある。地球温暖化による電力需要の増加、原発停止に伴う電力供給不足や燃料コストの高騰、再生可能エネルギーの大量導入による電力品質問題などが発生している。そのような状況の中、社会インフラを担う事業者や都市再生を図る自治体は、平常時のエネルギーコスト低減や災害時の自立の実現を目的に、フィジビリティスタディや実証実験に取り組んでいる。一方、国は国全体のエネルギーコストの低減を図る目的で、エネルギー制度改革を進めている。

こうした中で、当社の従来事業領域である上下水道、ビル、空港、鉄道、道路等の社会インフラ事業や新たな領域である都市再開発事業に対してエネルギーの最適化に関するソリューションの提供を狙いとしたエネルギー最適化システム“MELSmart”を開発した。

本稿では、MELSmartの特長、機能、適用先について述べる。

2. MELSmartの特長

2.1 省エネルギーやCO₂削減の実現が可能

過去の電力使用実績や気象データ等から予測する電力需要や太陽光発電量、自家用発電機の発電量や燃料コスト、商用電源の電気料金等のデータをもとに、エネルギーコスト又はCO₂排出量が最小となるようなシミュレーションを行うことで、通常時の最適エネルギー需給計画や、非常時の設備運転の継続・延命化計画を立案できる。

2.2 短期間で顧客別エネルギー最適化システム構築が可能

MELSmartのソフトウェアは、上下水道、ビル、空港、鉄道、道路等の分野別機能と各分野に共通の基本機能からなるスマートコミュニティ基盤(要旨の図)で構成されている。このため、それぞれの適用分野に合わせたエネルギー最適化システムを短期間で効率的に構築することができる。

2.3 センサログデータベースによる高度な設備状況の分析が可能

当社独自の高速圧縮・伸長が可能なセンサログデータベースによって、定期的に収集した大量のセンサログ情報を高速に検索、多次元的な分析(ドリル分析・相関分析等)を行うことで、設備の維持管理の効率化を実現することができる。

2.4 分かりやすく操作性が良いマンマシンインタフェース

当社がこれまで社会インフラ向けに設計してきた監視制御システムの実績をもとに、MELSmartの操作画面をデザインした。その結果、電力供給の監視や需要予測、電力供給計画策定などの操作が、分かりやすく操作性が良いと評価されて、2014年のグッドデザイン賞を受賞した。

3. MELSmartの主な機能

3.1 需要予測

気象データ配信サービスから予想気温を取り込み、過去同月日の前後で、予想気温に近い時刻の実績データ(電力・熱)の平均値を需要予測値とし、36時間先まで求める。祝日等の通常の需要(電力・熱)と異なる日は、特異日とし、あらかじめ設定した値を予測値として使用する(図1)。

3.2 太陽光発電量予測

気象データ(日射量予報値)に、太陽光発電定格出力、予測精度を高めた出力モデル係数を乗じて、36時間先までの太陽光発電予測値を算出する(図2)。

3.3 需給計画

エネルギー需要予測(電力・熱)や太陽光発電量予測から、契約電力の受電電力上限値等の運用条件を満足し、かつ選択した運用モード(コスト最小、CO₂最小)に応じた最適供給計画(電源設備[発電機運転計画、蓄電池充放電計画、受電電力計画]、熱供給設備[ボイラー運転計画、冷温水機運転計画等])によって、36時間先までの需給計画を立案する。

(1) コスト最小

商用電源の電気料金、自家発電(常用発電機)の発電コスト(燃料費)等のエネルギーコストが最も小さくなるように、電源設備・熱供給設備の運用計画を立てる。

(2) CO₂排出量最小

商用電源の電力使用量、自家用発電機の消費燃料のCO₂排出係数から計算されるCO₂排出量が最も小さくなるように、

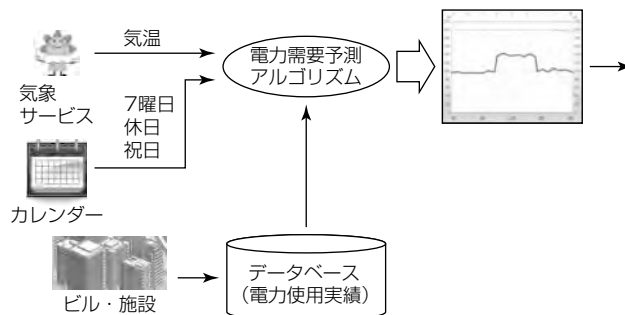


図1. 需要予測フロー

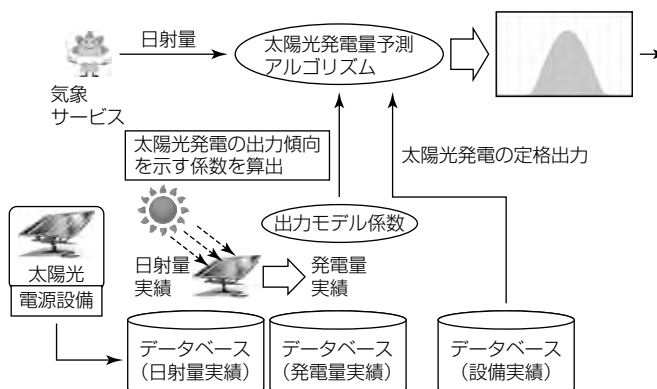


図2. 太陽光発電量予測フロー

電源設備・熱供給設備の運用計画を立てる(図3)。

3.4 需給制御

(1) 需給監視

①需給状況表示(図4)

設備別供給量, 電池残量の数値表示に加えて, バーグラフで示すことで, 発電余力や蓄電池の残量を把握しやすくなり, また, 設備別の供給量を円グラフで表示することで, 各設備の供給割合を視覚的に把握することができる。

②需給計画・実績表示(図5)

需要予測, 太陽光発電予測, 及び最適需給計画で計画した各電源設備の供給量を積み上げグラフで表示することで, 電源供給割合(需給計画)を視覚的に把握することができる。また, 同じグラフに使用電力, 各電源設備(太陽光発電, 受電電力, 発電機, 蓄電池等)の実績値を表示することで, 同一画面で需給計画と実績を確認する

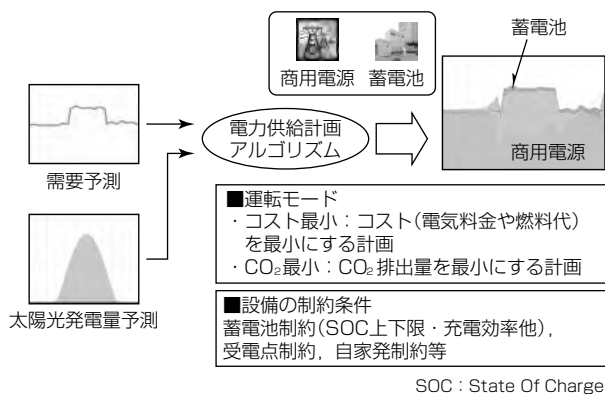


図3. 最適供給計画フロー

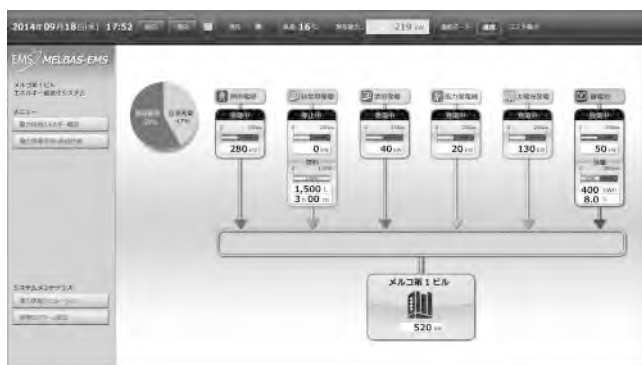


図4. エネルギー監視画面(グッドデザイン賞)

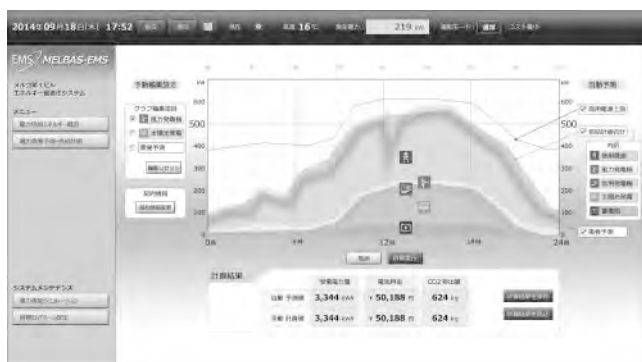


図5. 供給計画・実績画面(グッドデザイン賞)

ことができる。さらに, 需給計画, 需給実績, 各々の電気料金(計算値), CO₂排出量を表示し, エネルギーコストや環境への影響を把握することができる。

(2) 需給制御

通常時は, 立案した需給計画に基づき電源設備を制御する。停電等の非常時は, 非常用電源による電力供給を行う。発電機の稼働時間は備蓄燃料に依存するため, 非常用電源の長時間運転を目的に次の制御を行う。

①常時重要設備を対象とした分散電源(太陽光発電, 蓄電池)を用いた需給制御

②常時重要設備の優先順位に基づく縮退運転による長時間運転制御

③EVを可搬型の分散電源と位置付けた需給制御

3.5 見える化(負荷)

リアルタイムの需給監視に加えて, 現在の電力量と過去の電力量の比較等, 様々な視点でデータを分析することができる。エネルギーの使用量を“見える化”することで, どの設備でどれくらいエネルギーを消費しているか把握することができ, 効率的な省エネルギー運転計画の立案を支援する。

(1) 過去のデータとの比較表示機能

時刻別, 日別, 月別, 年別のエネルギー使用量(電力・熱)表示, 及び現在の使用量と過去の使用量(先週, 先月, 前年, 指定日等)を表示することで, 過去の使用量と比較して, 現在の使用量の多寡を把握することができる。

(2) 原単位表示機能

原単位はエネルギーに関する生産効率を表す指標で, エネルギー使用量(電力・熱)を生産個数, 建物床面積等, エネルギー使用量と密接な関係のある値で除したものである。過去の原単位との比較や, 異なる施設間の原単位の比較を行うことで, 省エネルギー状況や, 効率の低い施設を把握できる。

3.6 デマンドレスポンス

デマンドレスポンス(DR)機能は, 電力事業者からの電力削減要請を受けた時や, 需要家供給設備の需給逼迫(ひっばく)による要請を受けた時に, 需要家設備の使用電力を削減する機能である。各設備の当日・翌日の使用電力, 調整可能電力等の情報を事前に収集しておき, 電力事業者からDR要請があった場合, 調整可能電力, 過去のDR達成率等に応じて, 電力削減量を割り振ることで電力を削減することができる。DR結果は, 前日までに決定した電力需要計画値と電力消費実績に基づき, ネガワット量^(注2)を算出し, DR達成量とする。一般電力又は新電力とのネガワット取引にも対応する。

(注2) 需要家の節約によって余剰となった電力量

3.7 センサログデータベース

各負荷設備から収集した多種・大量データを, センサログデータベースで管理し, エネルギー使用量の他施設との比較, 傾向分析など目的に応じた分析を行うツールである。

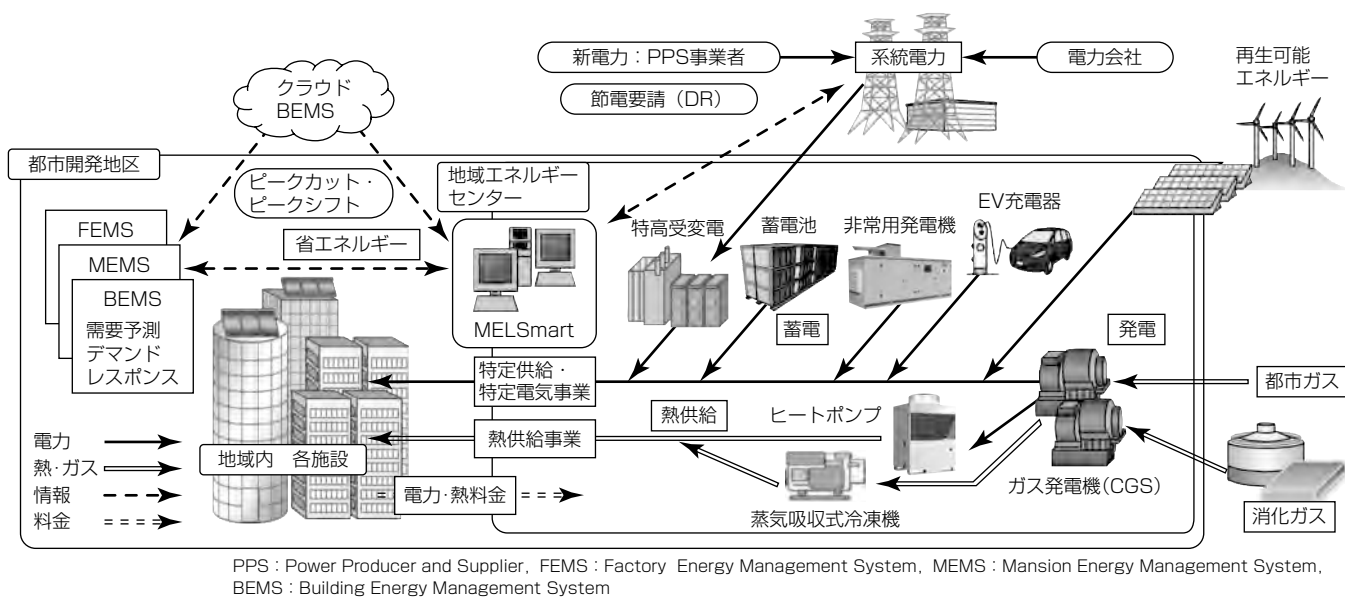


図 6. 都市型モデルのMELSmart

(1) ドリルダウン分析による設備診断機能

ドリルダウンは、階層的データを1段階ごとに掘り下げて、順次データを確認して、分析する機能である。

例えば、複数施設(東館、西館等)を管理している場合、まず施設別の電力量を表示し、電力量の大きい施設を特定する。次に電力量の大きい施設の内訳(フロア別)を表示し、電力量の大きいフロアを特定する。さらに、電力量の大きいフロアの内訳(空調、照明等)を表示することで、段階的に電力使用量の大きい箇所を特定して、効率的にエネルギー対策を行うことができる。ドリルダウン分析は、負荷設備の電力計測を細かい単位で計測するほど、使用電力の大きい箇所を詳細に特定することができるため、必要に応じて詳細に電力を計測することが望ましい。

(2) 相関分析による影響評価機能

設備と電力量の関係、時間帯と電力量の関係、気温と電力量の関係など、電力使用量と関連のある項目を電力量と合わせて確認することで、多角的な視点によるエネルギー分析が可能である。例えば、下水道施設では、水質と電力量の相関を表示することで、水質と電力量のバランスを考慮した運用に利用することができる。

3.8 適用分野に応じた機能

上下水道、ビル、空港、鉄道、道路等の分野特有の機能を設けることができる。例えば、上下水道施設では、水質を考慮しながら、電力料金の安い時間帯の運転にシフトするなど、プラント運用によるピークシフトを活用して、エネルギー最適化を実現する。

4. MELSmartの適用領域

当社の従来事業領域である上下水道、ビル、空港、鉄道、道路等に加えて、新たに次のような都市再開発や地方再生

の事業領域にMELSmartの適用を想定している(図6)。

4.1 都市型モデル(複合施設への対応)

首都圏を中心とした都市部では、2020年の東京オリンピックに向け、老朽化したビルの建て替えや大規模な再開発など、駅、商業施設、居住など複合施設の建設が多数計画されている。MELSmartは、このような複合施設に対して、コンパクトで利便性の高い熱・電気の併給システムの統合的なエネルギー管理や一括受電や新電力の活用によるエネルギーコストの低減・最適化を実現する。また、非常時に一定期間、自立して活動できるような対策へも対応する。

4.2 地方型モデル(エネルギーの地産地消)

地方では、その地域周辺にある太陽光発電、小水力発電やバイオ発電などの自主電源の活用を図り、防災対策やエネルギーコスト削減を狙いとして、エネルギーの地産地消の実現を検討している。総務省や経産省の補助金等を活用しながらフィジビリティスタディや実証事業が全国各地で実施されており、MELSmartは、その実現に貢献できる。

5. む す び

スマートコミュニティ事業は、国内外でフィジビリティスタディや実証実験が数多く実施されているが、現時点では採算面等での課題も多く、本格的な普及には、もう少し時間がかかると考えられる。しかし、近い将来、国内外のエネルギーを含めた社会問題を解決する有効な手段として考えられており、今後、政府や民間事業者の取り組みや技術開発によって、徐々に商用化が実現されていくと考えられる。また、スマートコミュニティ事業は、関連する技術や取り扱い製品の幅が広く、社内外の関係部門と連携を強化しながら早期事業化に向けて取り組む所存である。

駅舎補助電源装置 “S-EIV”

松村 寧* 松本真一**
勝俣尚士*
川野 聡*

Station Energy Saving Inverter “S-EIV”

Yasushi Matsumura, Hisashi Katsumata, Satoshi Kawano, Shinichi Matsumoto

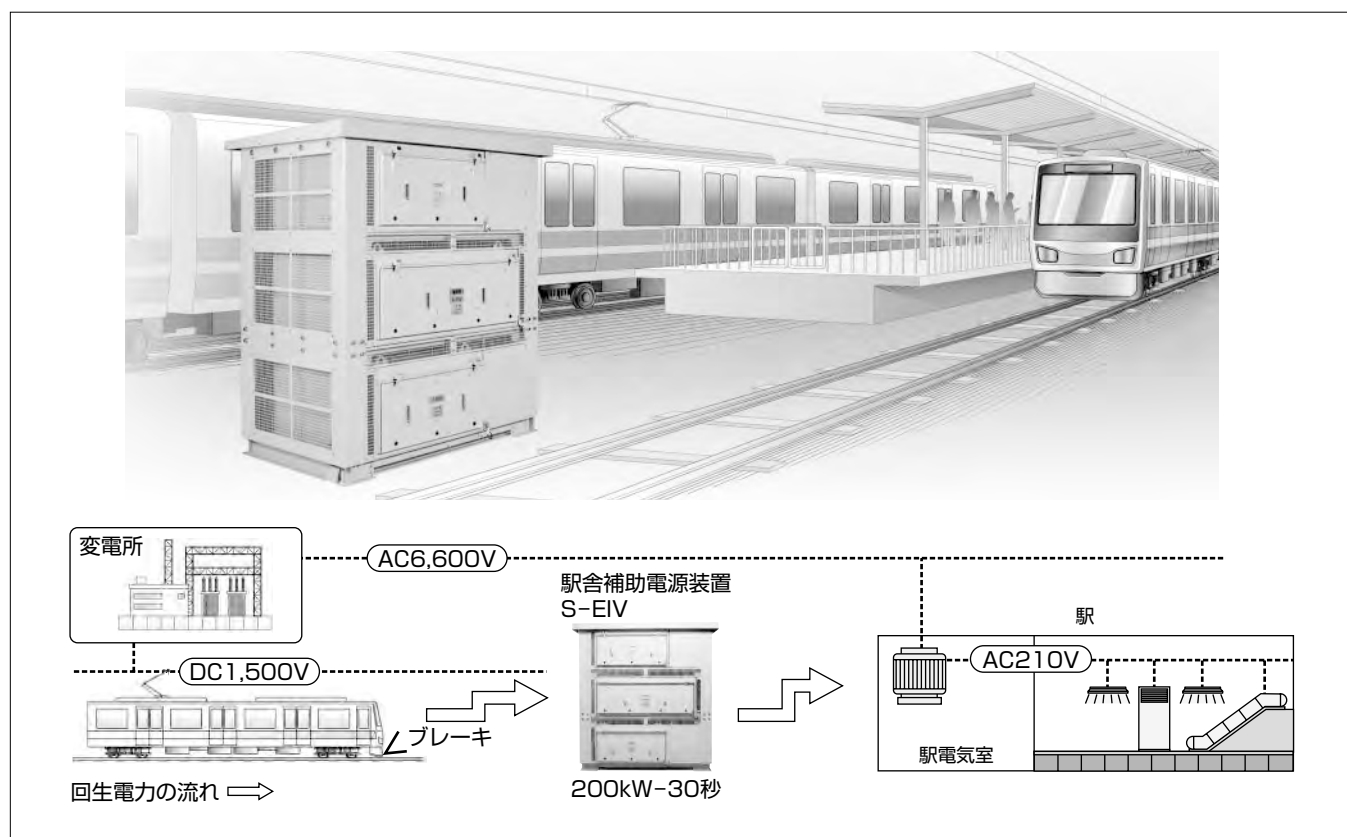
要 旨

鉄道は、元来エネルギー効率が良い輸送手段として、環境負荷における優等生であるが、東日本大震災を契機として、より一層の効率化が求められるようになった。国土交通省でもエコレールライン政策等、鉄道システム全体での省エネルギー化を推進している。

一方、車両の回生エネルギーは、VVVF(可変電圧可変周波数)車の普及とSiC(シリコンカーバイド)素子導入とともに年々増大する傾向にあり、これに伴い直流電車線を通じ加速車両に融通できずに廃棄されるエネルギーも増加している。三菱電機は、この車両間で融通できずに余剰となる車両回生エネルギーに着目し、これを駅舎で利用する駅舎補助電源装置“S-EIV”を開発した⁽¹⁾。

この装置は、車両の回生エネルギーの余剰分による電車線電圧上昇を自動検知して直流電車線から交流210Vに変換し、駅負荷に供給するものである。回路には、SiCパワーモジュール、共振型高周波インバータを採用し、小型、低損失、自冷を実現した。系統連系規定に従った信頼度、及び電力品質を確保していることで低圧系統との協調を図っている。また、別に設置される監視操作盤には、運転監視制御、制御パラメータ設定及び各種データ記録を可能とすることで運用負荷の軽減を実現した。

2014年6月から開始した東京地下鉄(株)東西線の妙典駅における実運用で、1日当たりおよそ600kWhの省エネルギー効果が確認できた⁽²⁾。



駅舎補助電源装置“S-EIV”による余剰回生エネルギーフロー

車両は駅停車時に電気ブレーキによる回生エネルギーを発生し、直流電車線に電気エネルギーとして返還する。S-EIVは、この回生エネルギーの内、他の車両で消費できなかった余剰分を低圧3相交流電力に変換し、駅の負荷に供給することでエネルギーの有効活用を図る。

1. ま え が き

当社は鉄道エネルギーの全体最適化を目指すソリューションを推進するために、“車両エネルギー管理”“駅エネルギー管理”“車両基地エネルギー管理”“路線エネルギー管理”の4つの階層による“鉄道トータルエネルギー・環境ソリューション”に取り組んでいる。

本稿では、“路線エネルギー管理”の取組みの1つとして製品化した駅舎補助電源装置S-EIVの狙いと動作及び装置構成、さらに東京地下鉄(株)東西線の妙典駅において実運用で確認した省エネルギー効果について述べる。

2. S-EIVの狙いと動作

2.1 S-EIVの狙い⁽³⁾

S-EIVは車両のブレーキ時に発生する車両回生エネルギーの内、車両間で融通できなかった余剰回生エネルギーを駅舎の交流電力に変換し、駅の負荷電力として活用することによって省エネルギー化を図るものである。

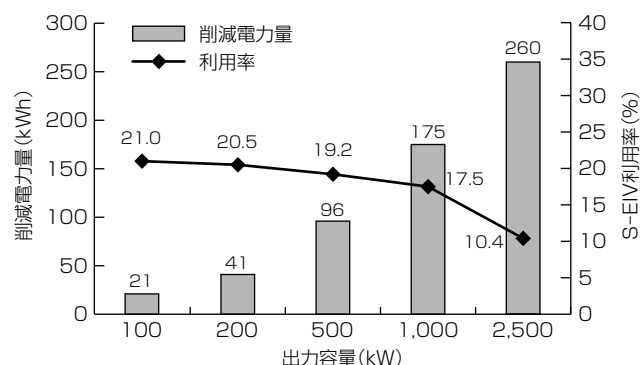


図1. 出力容量に対する削減電力量と利用率

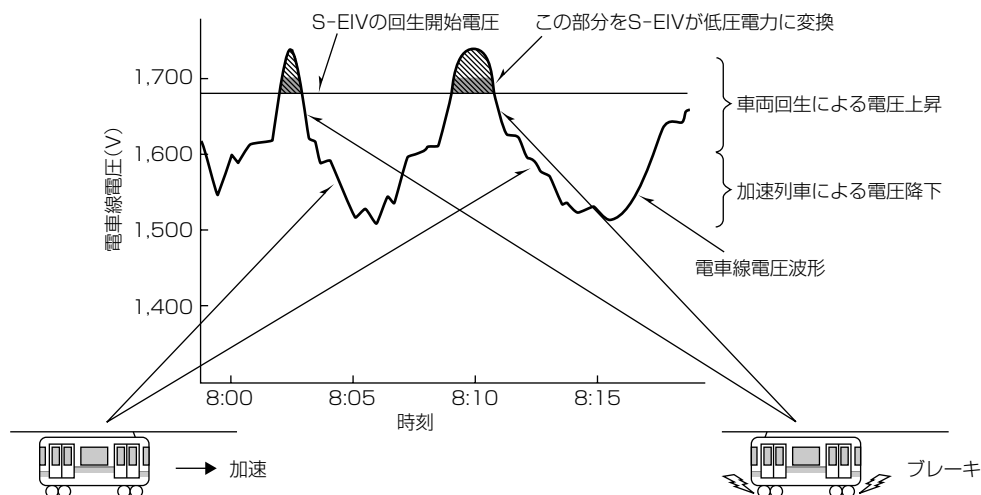


図2. S-EIVの動作

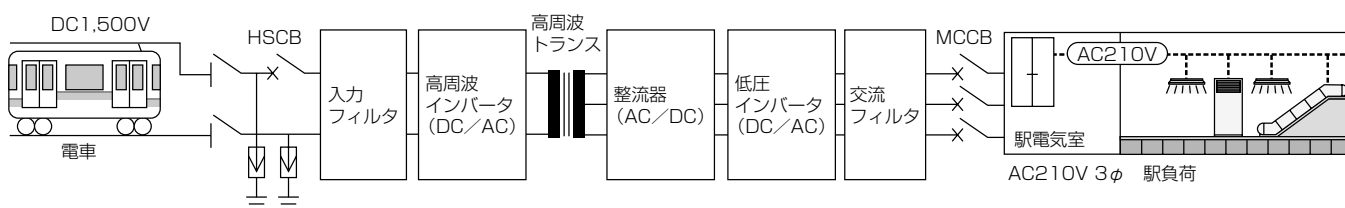


図3. S-EIVの主回路構成

ギーの内、車両間で融通できなかった余剰回生エネルギーを駅舎の交流電力に変換し、駅の負荷電力として活用することによって省エネルギー化を図るものである。

S-EIVの定格は、電力シミュレーションによる省エネルギー効果をもとに決定した。

図1にS-EIVの各出力容量に対する削減電力量と利用率(出力容量に対する削減電力量の割合)の関係を示す。

出力容量200kWの場合が、小容量ながら、利用率が高く、省エネルギーに対する費用対効果が高いことが分かる。

2.2 S-EIVの動作

車両余剰回生エネルギーのS-EIVによる再利用の考え方を図2に示す。車両の回生エネルギーは直流電車線電圧を上昇させほかの車両の運転電力に融通される。回生エネルギーが車両間融通量を超えて余剰となると、車両は更に直流電車線の電圧を押し上げる。S-EIVはこの電車線電圧を監視し、あらかじめ設定した値以上になると余剰回生エネルギーが発生したものと判断し、直流電車線から取り込んだ直流電力を低圧3相交流に変換して、駅の負荷に供給する。

3. S-EIVの装置構成

S-EIVは、電源装置と監視操作盤で構成する。

電源装置の主回路を図3に示す。入力電圧・電流を平滑し、帰線電流による誘導障害を防ぐための入力フィルタ、DC1,500Vを変換する高周波インバータ～整流器、AC210Vに変換する低圧インバータ、及び出力電圧・電流を平滑す

るための交流フィルタで構成される。さらに、入出力にHSCB(直流高速度遮断器)、MCCB(配線保護用遮断器)を備えている。また、監視操作盤は電源装置と離れた駅事務室や電気室等での運転・停止操作や状態監視を目的として設けた。装置仕様を表1に示す。

3.1 特 長

(1) SiCパワーモジュールの適用

高周波インバータと低圧インバータ部には、図4に示すSiCパワーモジュール(1,700V/1,200A)を採用している。SiCパワーモジュールの発生損失は、従来との比較で約30%低減され、高温150℃でも動作が可能であり、冷却器の小型化を実現している。

(2) 共振型高周波インバータ方式の採用

高周波インバータ部には、鉄道車両用補助電源装置で実用化した共振型高周波インバータ方式の適用によって、電源装置内で最も大きな寸法、質量を占めるトランスを小型軽量化している(従来トランスとの比較で体積、質量を約90%削減)。さらに、発生損失を低減するため、ソフトスイッチング方式を採用している。ソフトスイッチング方式は、共振コンデンサと高周波トランスを直列共振させることで、ゼロ電流でのスイッチングが可能で、パワーモジュールのスイッチング損失低減によって自然空冷での冷却を実現している。また、スイッチング周波数の選定によって低騒音化(耳障りな高周波音の改善)も図っている。

(3) 省メンテナンス

長寿命部品の採用、自冷方式(冷却ファン不要)、及び防塵(ぼうじん)・防さび構造の採用によって、屋外に設置しても長期間のメンテナンスが不要としている(メンテナンス周期：6年)。

表1. 装置仕様

入力電圧	直流1,500V, 750V/600V
出力電圧	交流210V, 3相 50Hz/60Hz
定格出力	200kW-30秒, 2分30秒休止
冷却方式	自冷
設置場所	電源装置：屋外(駅のホーム端, 線路脇等) 監視操作盤：屋内



図4. SiCパワーモジュール

3.2 運 転 機 能

(1) 余剰回生エネルギーの変換

余剰回生エネルギーは直流電車線電圧を上昇させる。電車線電圧が監視操作盤で設定した回生開始電圧を超えると、電車線直流側から駅舎交流側に電力を変換する。電車線電圧が回生開始電圧を下回ると、変換を停止し、待機状態となる。

(2) 系統連系機能

S-EIVは系統連系規定JEAC9701-2010に従った信頼度、及び電力品質を確保した次の機能を持っている。

①駅舎交流との協調運転

駅舎交流電圧を検出、フィードバックすることで、S-EIVは、その位相に同期した出力電圧で、系統並入する。また、有効電流成分と無効電流成分をそれぞれ独立に制御することで、駅舎交流電源接続点での力率を1にしている。

②無効電力制御による電圧上昇の抑止

S-EIVが電力供給することで駅舎交流電圧が上昇し、適正値を逸脱するおそれがある。この装置は無効電力制御と出力制御を備えており、この電圧上昇を抑制する機能を持っている。

③駅舎交流停電時の単独運転検出による停止

単独運転の検出は、太陽光発電用パワーコンディショナで実績のある周波数シフト方式(能動方式)と電圧位相跳躍方式(受動方式)を採用し、駅舎交流停電時には電源装置を確実に停止できる。

(3) 監視操作機能

監視操作盤は、制御装置、液晶タッチパネルで構成し、電源装置とは光ケーブルで接続され、ノイズによるトラブルを防止し、システムの安定化を図っている。外観を図5に示す。

①運転監視制御機能

監視操作盤は、運転・停止制御、機器状態と計測値の表示、故障情報の外部警報出力機能を持つ。運転停止は、スケジュールによる自動運転を基本として運用する。

②制御パラメータ設定機能



図5. 監視操作盤

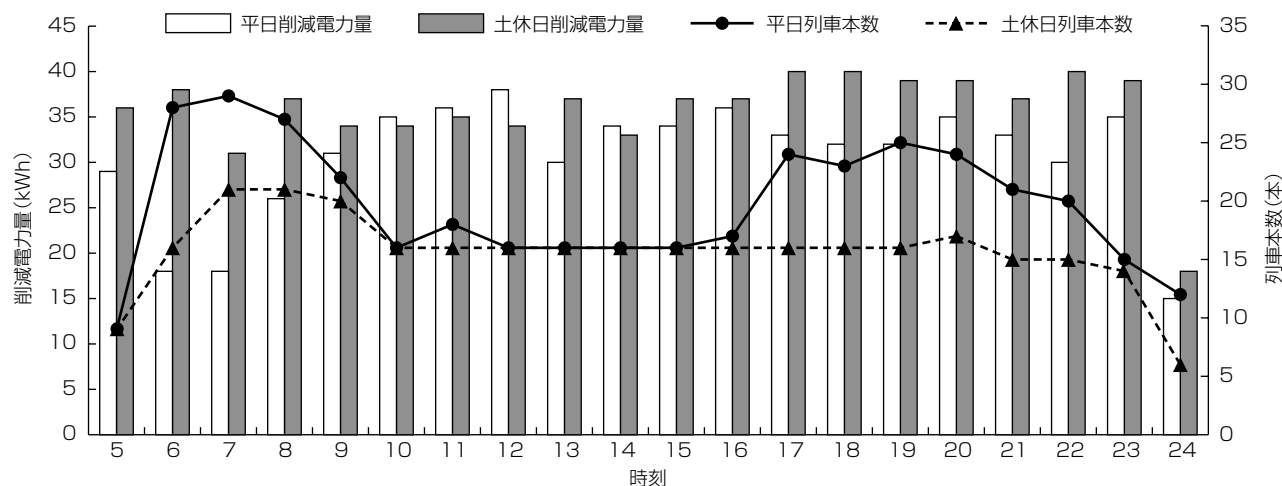


図7. 削減電力量の日内変化

制御パラメータとしては、回生開始電圧、回生電流・電力リミッタ、電流電圧変化率等があり、運転時刻に従ったスケジュール設定が可能である。

③運転・計測データの記録機能

直流側／交流側の各電圧・電流・電力及び電力量を記録し、電力量の帳票(日報・月報)を画面に表示する。

記録したデータは、イーサネット^(注1)インタフェースによって外部端末に出力し、グラフ化・帳票化を行うことで省エネルギー効果を定量的に評価できる。

(注1) イーサネットは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。

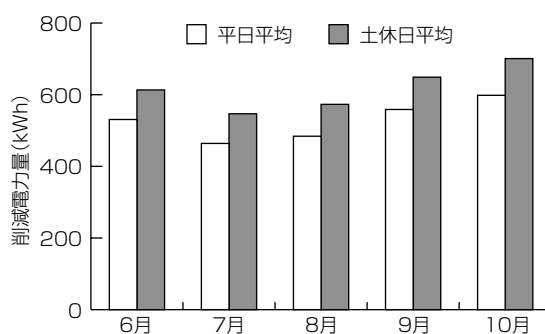


図6. 月ごとの削減電力量

4. 省エネルギー効果

東京地下鉄(株)東西線の妙典駅で、2014年6月から使用開始したS-EIVによって得られた省エネルギー効果を次に述べる。省エネルギー量は、S-EIVが交流に変換した電力を削減電力量として評価する。

4.1 削減電力量の月変化

図6に月ごとの削減電力量を示す。

平均削減電力量は、9～10月は600kWh/日前後の値を示したが、7～8月は500kWh/日前後と小さい値となった。これは、車両空調負荷の増加によって回生エネルギーの自車両及び他車両への融通が増えて、余剰回生エネルギーが減少したためと推定される。

4.2 削減電力量の日内変化

図7は時間帯ごとの削減電力量と通過列車本数を平日、土休日ダイヤ別に示したグラフである。

平日の時間帯における削減電力量は、朝のラッシュ時間帯6～9時と夕方のラッシュ時間帯17～20時にかけて低く、回生エネルギーが車両間で融通され、余剰分が減少していると考えられる。土休日は1日を通し、時間当たりの列車本数に変化が少ないことから、削減電力量も変化は少ない。

5. む す び

駅舎補助電源装置S-EIVの装置構成と特長、及び東京地下鉄(株)東西線の妙典駅での実運用における省エネルギー効果について述べた。これは単一駅での例であるが、路線全体に分散配置することによって、更なる省エネルギー効果改善が期待できる。

また、直流電車線電圧1,500Vに加え600/750V対応のラインアップも行っており、海外も視野に入れた多くの鉄道線区への適応を可能とした。今後も、余剰回生エネルギーの利用効率向上に取り組み、更なる環境負荷低減に貢献していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 奥田 亘，ほか：駅舎補助電源装置(S-EIV)の開発－プロト機によるフィールド検証－，JREA，**56**，No.4，37672～37675 (2013)
- (2) 万谷航太，ほか：駅補助電源装置による省エネルギーの取り組み，JREA，**57**，No.9，38889～38892 (2014)
- (3) 松村 寧，ほか：余剰回生電力を駅舎へ供給する駅舎補助電源装置(S-EIV)，鉄道と電気技術，**25**，No.3，39～42 (2014)

公共プラント監視制御装置 “MACTUS-ASX”と拡張システム

山田知史* 那須侑子*
岩波宏和*
眞辺信也*

Supervisory Control and Data Acquisition System for Water Treatment Plants “MACTUS-ASX” and its Additional Systems

Satoshi Yamada, Hirokazu Iwanami, Shinya Manabe, Yuko Nasu

要 旨

三菱電機の公共プラント監視制御システム“MACTUSシリーズ”は、浄水場、下水処理場などの水処理プラントを始めとした公共プラント向けの監視制御システムである。あらゆる規模や構成のプラントに対応する柔軟性と、公共プラントに必要とされる可用性・保守性といった特長を持ち、長年にわたる納入・稼働実績がある。さらに2012年には、ユニバーサルデザインの考えを導入した新世代のプラント監視制御装置“MACTUS-ASX”をリリースした。

一方で、上下水道事業の環境は、熟練オペレータの減少、サービス対象エリアの広域化、省エネルギー・運用コスト削減要求の高まりなど大きく変わりつつある。そのため、少人数でかつ高度な運転が必要になってきており、監視制御システムもこれらの要求に対応する機能が求められている。このようなニーズに応えるため、“MACTUS-ASXシリーズ”に多彩な拡張システムを展開している。

本稿では、MACTUS-ASX、及び代表的な拡張システムの機能と技術について述べる。

(1) 公共プラント監視制御装置“MACTUS-ASX”

分かりやすい画面デザインによって、非熟練オペレータのプラント監視制御の負荷を軽減する。

(2) Web監視システム“MACTUS-Web II”

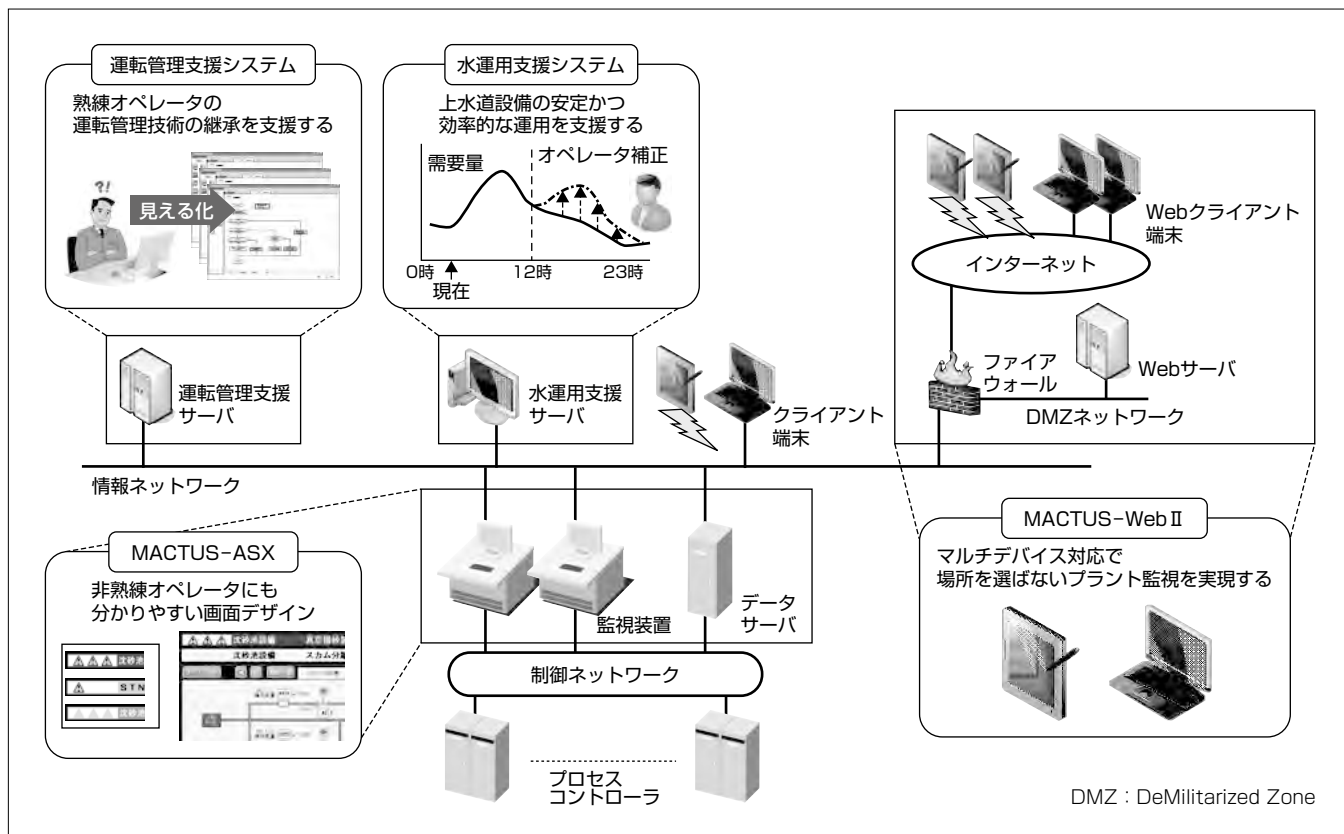
パソコンやタブレットといった汎用のデバイスに対応し、場所を選ばずプラント監視を実現する。

(3) 上水道向け“水運用支援システム”

高精度に需要量を予測するとともに、上水道設備の安定かつ効率的な運用を支援する。

(4) 運転管理支援システム

熟練オペレータのノウハウを利用した異常兆候表示と対応マニュアルの提示によって、運転管理技術の継承を支援する。



“MACTUS-ASXシリーズ”のシステム構成

MACTUS-ASXシリーズは当社の公共プラント向け監視制御システムであり、ニーズに即した多彩な拡張システムを持っている。この図はシステム構成と各システムの特長機能を示している。

1. ま え が き

当社の公共プラント監視制御システム“MACTUSシリーズ”は、浄水場、下水処理場などの水処理プラントを始めとした公共プラント向けの監視制御システムである。あらゆる規模や構成に対応する柔軟性と、公共プラントに必要なとされる可用性・保守性といった特長を持ち、長年にわたる納入・稼働実績がある。さらに2012年には、ユニバーサルデザインの考えを導入した新世代のプラント監視制御装置“MACTUS-ASX”をリリースした。

一方で、次の背景によってプラント監視制御システムは、新たな機能が求められている。

- (1) 団塊世代の大量退職による、熟練オペレータの減少と非熟練オペレータの増加
- (2) 市町村合併や人口減少による、プラントの統廃合、及びサービスエリア広域化による遠隔地での集約監視の増加
- (3) 省エネルギー・運用コスト削減要求による、きめ細かな運転管理の実現

監視制御システムで、これらのニーズに応えるため、MACTUS-ASXの拡張システムとして次の3システムを開発した。

- (1) Web監視システム“MACTUS-Web II”
- (2) 上水道向け“水運用支援システム”
- (3) 運転管理支援システム

これらの代表的なシステム構成を図1に示す。

本稿では、MACTUS-ASX、及び各拡張システムの機能と技術について述べる。

2. 公共プラント監視制御装置“MACTUS-ASX”

MACTUS-ASXはユニバーサルデザインの考え方を導入し、非熟練オペレータでも使いやすい画面デザインとし、さらに熟練オペレータには効率的な操作環境を提供する画面のカスタマイズ機能を実現した。機能の詳細を次に述べる。

2.1 分かりやすいデザインを用いた画面表示機能

MACTUS-ASXが持つ分かりやすい画面デザインの、主要なものを次に述べる。

(1) 色以外の判別要素による視認性向上

アラーム表示はアラームレベルに応じて背景の色を変化させるとともに、アラームレベルに合わせて注意喚起マークを変化させることで、確実な判別を可能とした。また、トレンドグラフでは、グラフ線に項目番号を併記して対象の項目の判別性を向上させるとともに、選択中のグラフ線と番号を強調表示することで、確認対象が明確に分かるようにした(図2)。

(2) 画面シンボルのコントラスト確保による視認性向上

グラフィック画面のシンボルは色の調整や輪郭線を追加することで、コントラストを高めて視認性を向上させた。

2.2 画面カスタマイズ機能

熟練オペレータが効率的な操作環境を実現するための画面カスタマイズ機能について主要なものを次に述べる。

(1) 切り出しウィンドウ

グラフィック画面の任意の一部を切り出して、別の画面

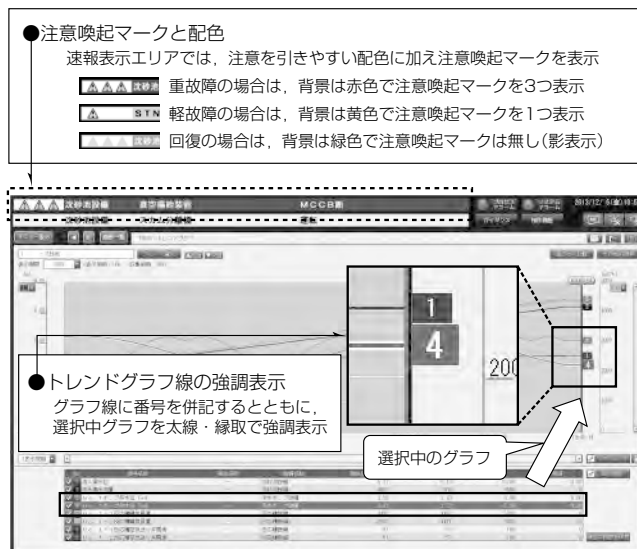


図2. 色以外の判別要素による視認性向上

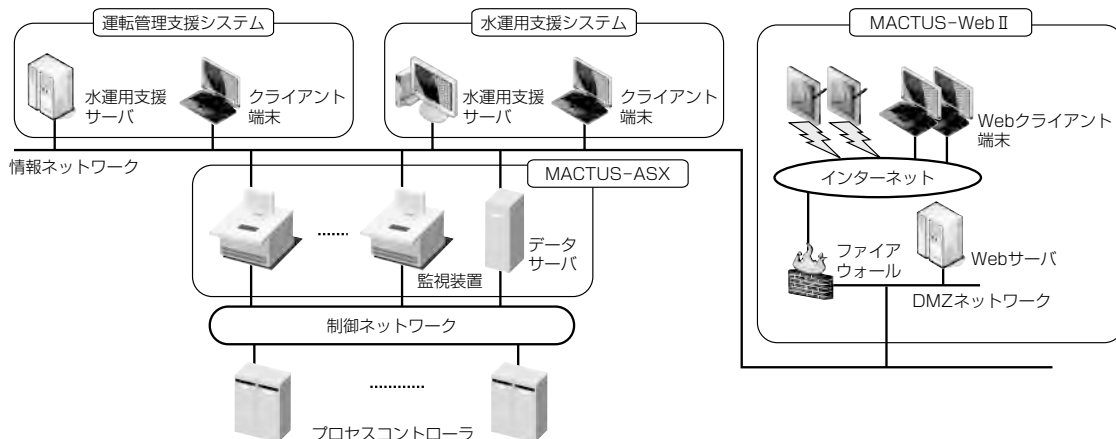


図1. MACTUS-ASXシリーズのシステム構成

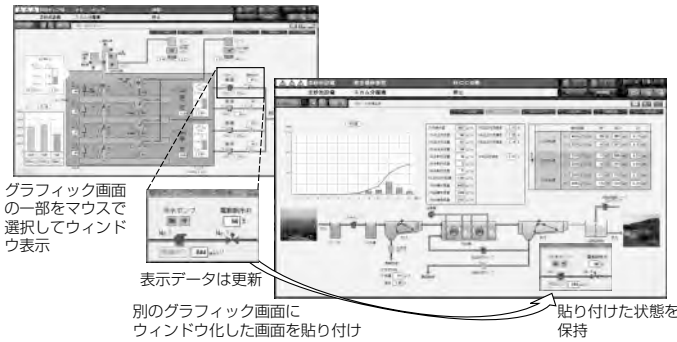


図 3. 切り出しウィンドウ

の任意の位置に貼り付けることを可能とした。これによって、オペレータが運用に沿ったカスタマイズ画面を作成し、効率的な監視ができるようにした(図 3)。

(2) メニューカスタマイズ

画面メニューを自由にカスタマイズすることができ、オペレータが表示頻度の高いグラフィック画面やトレンドグループ等を画面メニューエリアに登録することで、効率的に画面展開操作が行えるようにした。

3. Web監視システム“MACTUS-Web II”

MACTUS-Web II は、MACTUS-ASX 同様ユニバーサルデザインの考えを導入した新世代の Web 監視システムであり、Web クライアント端末のマルチデバイス対応、セキュア通信、スケーラビリティを実現した。従来の Web 監視システムとの比較を表 1 に示し、機能の詳細を次に述べる。

3.1 マルチデバイスの対応

MACTUS-Web II は、Web 記述言語のデファクトスタンダードである HTML5 (Hyper Text Markup Language 5) を用いて監視機能を構築することで、従来の Web 監視システムでは不可能であった、パソコン、タブレット、スマートフォン等の様々なデバイスでの表示を実現した。

3.2 セキュアな通信

MACTUS-Web II は、暗号化に対応した HTTPS プロトコルを Web サーバと Web クライアント端末間の通信に用いることで、情報漏えいや改ざんと言ったセキュリティリスクを低減した。

3.4 スケーラビリティの実現

MACTUS-Web II は、従来機種の 3 倍である 30 台の Web クライアント同時接続台数をサポートしている。多数の端末からの同時接続は、Web サーバ上の監視データ配信機能が、Web クライアント端末からの計測値やアラーム信号の頻繁なリクエストに対し、データを集約して応答し、データサーバ以下のプラント制御装置側に負荷をかけずに必要なデータを取得することで実現している。さらに、万一、要求が輻輳(ふくそう)した場合でもデータサーバの過負荷を保護するためのリミット機能も持っている。図 4 に Web サーバとデータサーバのソフトウェア構成を示す。

表 1. MACTUS-Web II と従来の Web 監視システムの比較

項目	MACTUS-Web II	従来の Web 監視システム
視認性, 操作性	ユニバーサルデザインの考えを導入	—
適用可能なデバイス	マルチデバイス	パソコン(専用ソフトウェアが必要)
スケーラビリティ	30 台	10 台
適用可能なネットワーク	イントラネット / インターネット(開発中)	イントラネット
セキュリティ	HTTPS プロトコル	—

HTTPS: Hyper Text Transfer Protocol Security

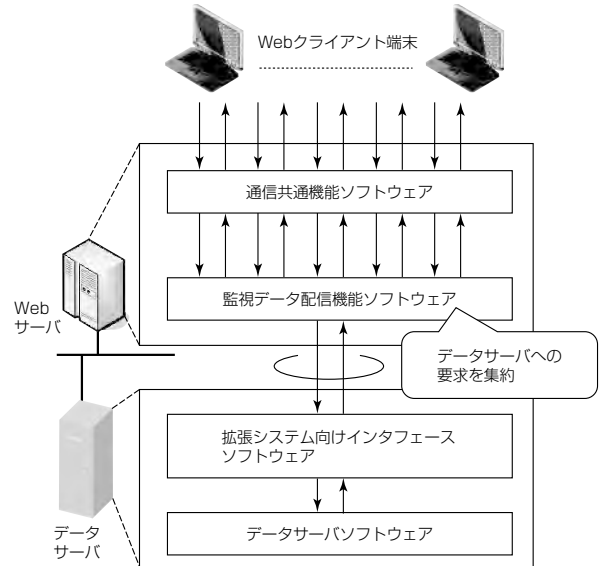


図 4. Webサーバとデータサーバのソフトウェア構成

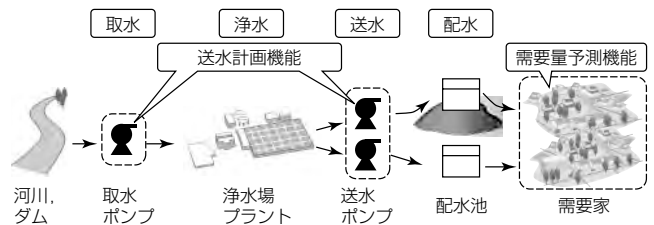


図 5. 水運用システムの機能と上水送水系統の関係

4. 上水道向け“水運用支援システム”

水運用支援システムは、需要量予測機能と送水計画機能によって、限られた人員での浄水・送水設備の安定かつ効率的な運用を支援する。このシステムの機能と、取水から需要家への供給までの関係を図 5 に示し、機能の詳細を次に述べる。

4.1 高精度な上水需要量予測機能

需要量予測機能は、データサーバに蓄積された過去の配水実績データを活用し、家庭や工場などの需要家への給水量を 24 時間先まで予測する。当日の天候、気温、及び曜日などの条件から高精度に需要量を予測し、必要となる浄水処理量を事前に把握できる。さらに、オペレータが予測結果に補正を加え、浄水処理計画の精度を向上させることができる。図 6 に補正のイメージを示す。

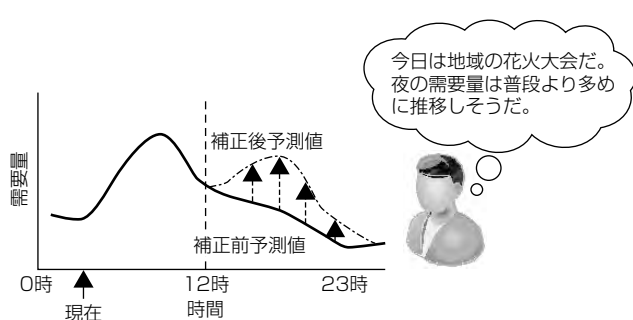


図 6. 熟練オペレータによる補正

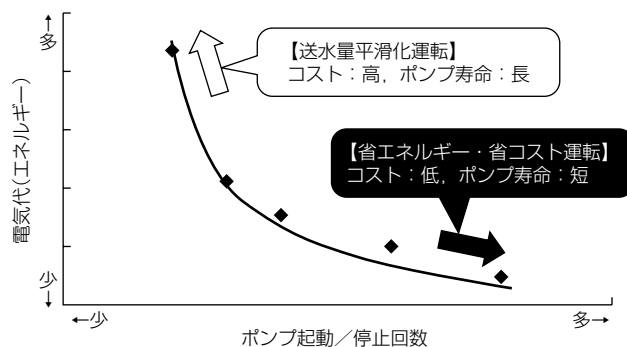


図 7. 電気代とポンプ運転/停止回数の関係

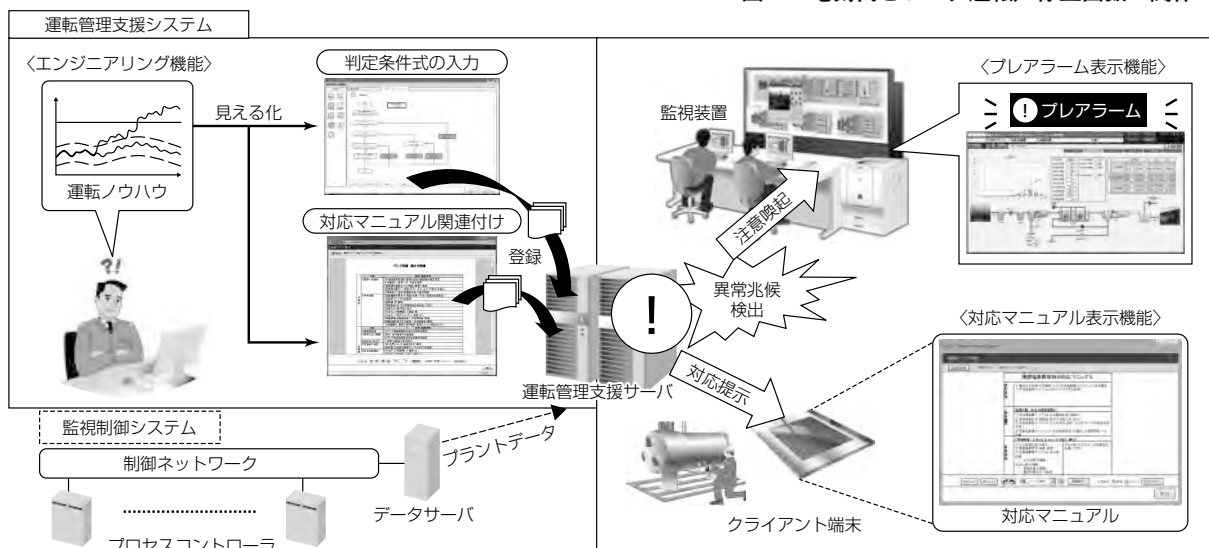


図 8. 運転管理支援システム

4.2 柔軟な計画立案ができる送水計画機能

送水計画機能は、需要量予測の結果と設備諸元や配水池水位管理基準等の設備運用条件をもとに、最適な送水量を自動的に計画する。また、送水ポンプの効率が良い出力点を活用する省エネルギー・低コスト運転と、ポンプの起動/停止回数を最小化してポンプの長寿命化を図りつつ送水量を一定化させる送水量平滑化運転といった相反する条件について、運用方針に応じた送水計画の立案ができ、効率的・経済的な浄水場運用を支援する(図7)。さらに、設備停止などを想定した送水・配水池水位シミュレーションも可能とした。

5. 運転管理支援システム

運転管理支援システムは、熟練オペレータが持つ異常兆候検知や異常時対応方法等のノウハウを見える化したプレアラーム表示機能と対応マニュアル表示機能によって、プラント運転技術の継承を支援する。このシステムを図8に示し、機能の詳細を次に述べる。

5.1 異常兆候を検出するプレアラーム表示機能

プレアラーム表示機能は、管理基準値やオペレータが任意に設定することができる判定条件式に基づいて、プラントデータの異常兆候の判定を行う。異常兆候を検出した場合は、監視装置にプレアラームを表示して注意を促す。判定条件式には、計測値の偏差や変化率、複数のプラントデ

ータを組み合わせた論理条件を構築することができ、柔軟な異常兆候の判定を可能にする。

5.2 異常に関連付けた対応マニュアル表示機能

対応マニュアル表示機能は、異常兆候を検出した場合、その異常に関連付けられた対応マニュアルをパソコンやタブレットといったクライアント端末に表示する。異常兆候の内容に合わせた対応マニュアルが参照できるため、迅速な対応が可能となる。

5.3 オペレータがノウハウを入力できるエンジニアリング機能

エンジニアリング機能は、オペレータがクライアント端末上で条件判定式の入力や異常と対応マニュアルの関連付けを実現する。条件判定式は、画面上で信号やロジックの部品を配置することで容易に入力できる。また、作成した条件判定式は、運用する前にシミュレーションが行え、構築した条件式が正しく機能するか確認できる。

6. む す び

当社の公共プラント向け監視制御装置であるMACTUS-ASXと拡張システムについて、その機能と技術を述べた。今後も引き続き、セキュリティの高度化、最新の入出力デバイスへの対応、リスクマネジメント機能の実現等を通じて、市場やユーザーのニーズに応えていく所存である。

ビル管理システム“MELBAS-EX”

福田浩士*
井貫武文*
森永昌義*

Building Automation System "MELBAS-EX"

Hiroshi Fukuda, Takefumi Inuki, Masayoshi Morinaga

要 旨

施設・ビルでの快適な環境を構築する上でビル管理システムによる設備の最適な監視制御がますます重要になってきている。操作性のよいシステムであることはもちろんのこと、“空調・照明設備のきめ細かい運用によって快適かつ省エネルギーを推進できること”“非常用電源等の停止が許されない重要な設備を扱うため、システムの信頼性が高く、万一、一部の装置が故障しても監視制御を継続可能であること”といったビルの運営管理に直結した機能が望まれている。また設備の監視制御だけでなく、施設・ビルのエネルギー管理に必要な情報を提供する機能への関心も高い。

これら市場の要求に対応するため、三菱電機では施設・ビル向け監視制御システム“MELBAS-EX”を製品化し、販売を開始している。

MELBAS-EXは、従来機種の機能を継承しており、センター／ローカルごとのリブレース需要にも対応可能である。さらに、操作性を向上させ、新機能を搭載するとともにエネルギー管理機能の強化も図っている。

MELBAS-EXの特長は次のとおりである。

(1) ユーザビリティの向上

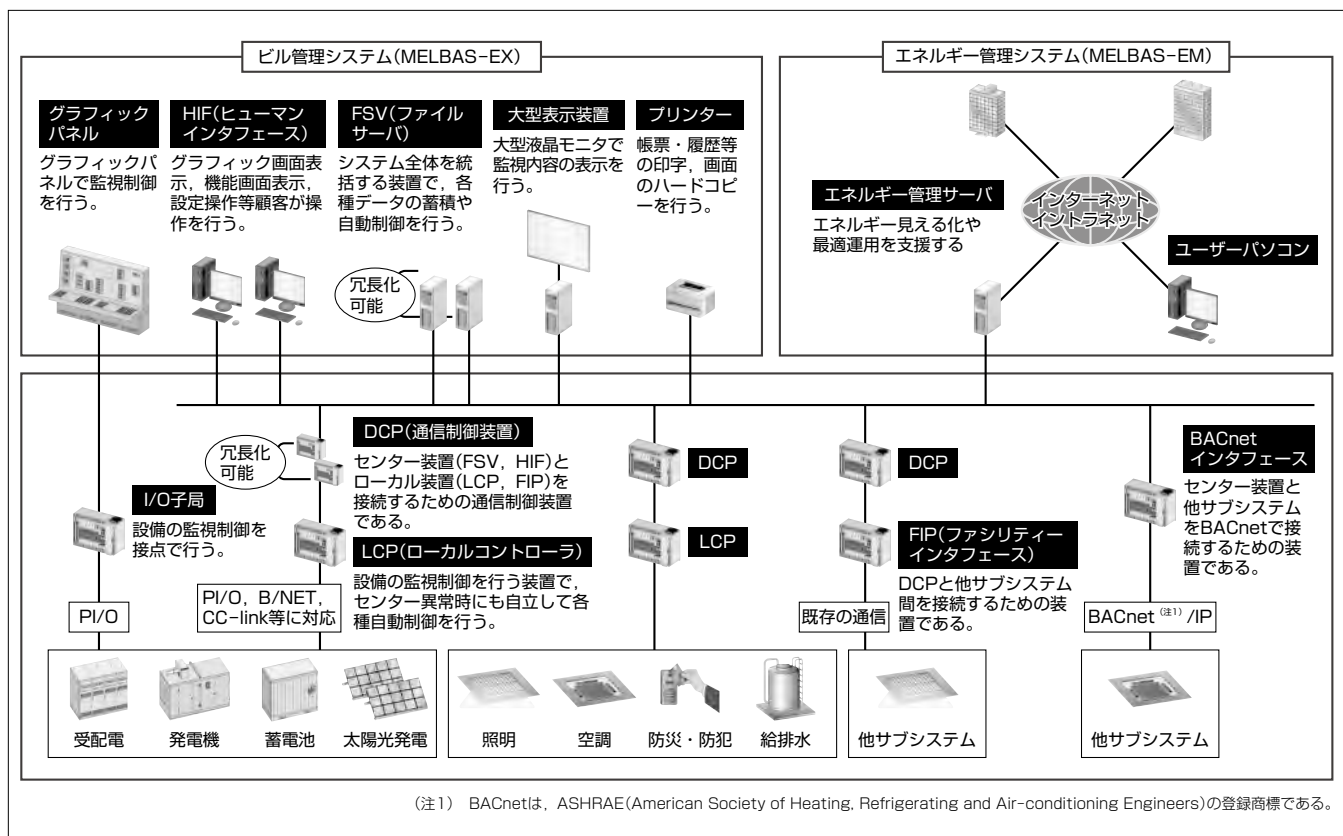
ユニバーサルデザインを採用して画面デザインを一新。切り出し画面表示機能等を搭載し、ユーザビリティを向上。

(2) 高信頼性と機能強化

従来機種の優れた信頼性を継承するとともに、設備監視の可視化機能を中心とした機能強化。

(3) エネルギー管理機能

エネルギー見える化及び分散電源需給制御機能。



“MELBAS-EX”のシステム構成

MELBAS-EXは、設備の運用管理、エネルギー管理を行えるビル管理システムである。専用端末を利用したユーザビリティの高いシステムを実現し、運用形態に合わせ、柔軟にシステムを構成できることを特長とする。

1. ま え が き

近年、ビル管理システム市場はリブレース需要を中心に堅調に推移している。その中でビル管理システムに対するニーズは既に満足されつつある基本的な監視制御機能から、設備運用者の使いやすさや、より細分化された機能にかかわるものにシフトしてきている。

施設・ビル向け監視制御システムMELBAS-EXはMELBASシリーズの最新機種として、従来機種からの特長である高い信頼性を生かしつつ、優れたユーザビリティときめ細かな機能群を搭載し、2013年度から市場投入を開始した。

本稿ではMELBAS-EXの特長と機能について述べる。

2. ユーザビリティの向上

ユニバーサルデザインを採用し、非熟練者にも分かりやすく操作ミスが起きにくい画面を実現した。また、効率的な監視業務を実現するため、様々な画面の見方を実現する機能を追加した。

2.1 画面デザインの刷新

MELBAS-EXは運用者のユーザビリティの向上を目指し、従来機種から画面デザインを大幅に刷新した(図1)。次にその特長を述べる。

(1) 警報表示エリア

警報表示する部分を大きくして遠くから見ても警報発生状況が一目で分かるように視認性を向上させた。

(2) メニューエリア

機能を体系的に表示し、スクロールやプルダウンなしで画面選択を可能とした。

(3) 履歴エリア

最新の状態変化、故障履歴等を3件表示する。オペレータの操作によって10件表示も可能である。

2.2 切り出し画面表示機能

平面図などの見たい部分を常に表示しておきたいという要望に応えるため、オペレータの指定した範囲を別ウィンドウで切り出して常時最前面に表示可能とした(図2)。切

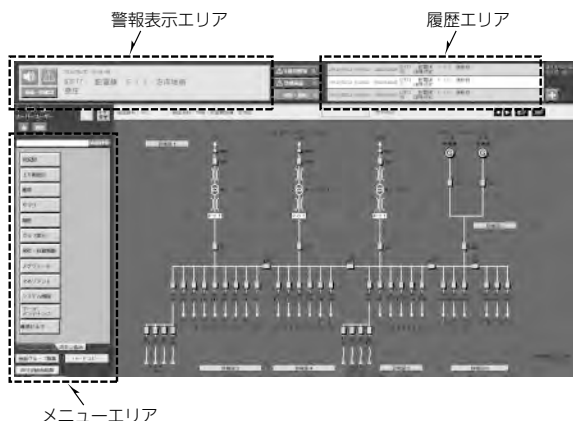


図1. 画面レイアウト

り出した画面は常に最新の状態を表示し、その画面から機器の制御を行うこともできる。

2.3 マルチウィンドウ機能と4分割画面機能

複数の画面を同時に見たり、他画面を見ながら設定を行いたい場合に画面をウィンドウ化して表示することで効率よく作業をすすめることができる。また、4つの異なる画面を1画面として登録・表示可能とした(図3)。

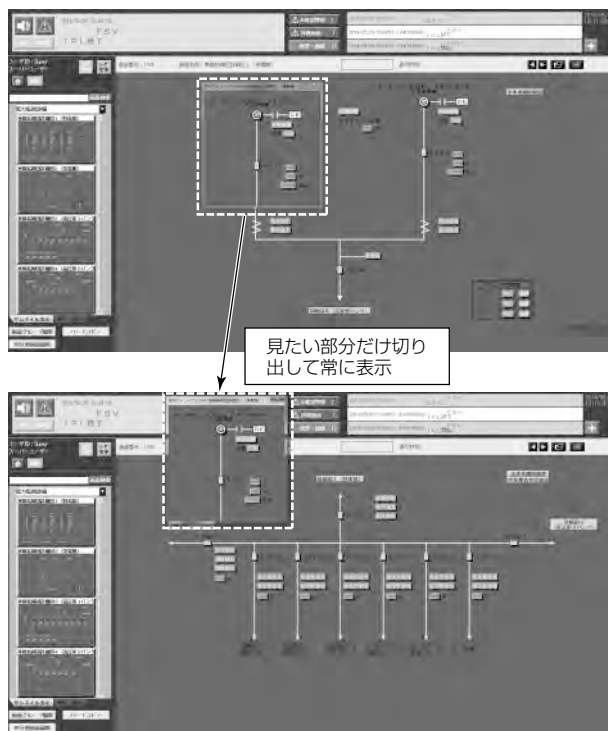
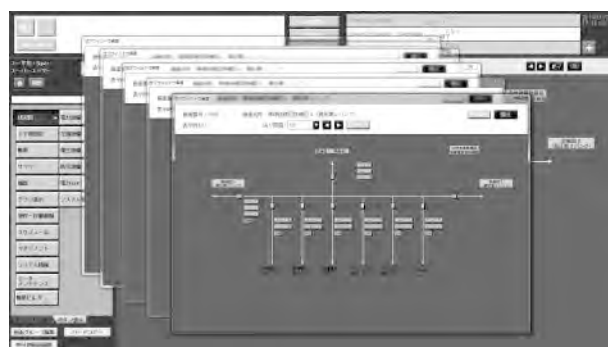
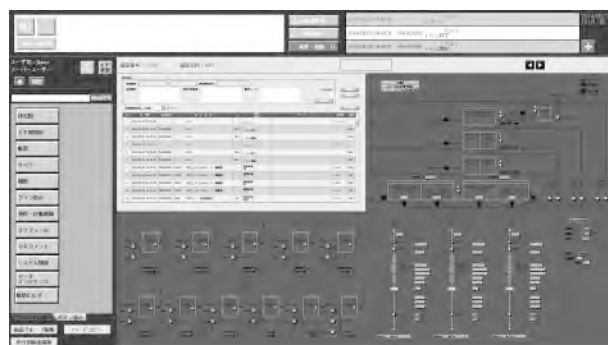


図2. 切り出し画面表示



(a) マルチウィンドウ機能



(b) 4分割画面機能

図3. マルチウィンドウ機能と4分割画面機能

2.4 拡大・縮小表示機能

画面は拡大・縮小が可能である。また画面に表示しきれない部分は画面スクロールで表示可能とした。

3. 高信頼性と機能強化

優れた信頼性、電算ビル等にも対応可能な停復電機能等従来システムの特長を継承するとともに、新機能の追加、従来機能の強化も行っている。

3.1 高信頼性

(1) 可用性の高いシステム構成

(a) 冗長システム構成

ファイルサーバや通信制御装置等のシステム上重要な装置は冗長化が可能。ネットワークは二重化にも対応するとともに、大規模施設内ケーブル敷設時の耐雷を考慮した光ファイバー化も可能。

(b) 分散システム構成

万一ファイルサーバが停止しても、ヒューマンインタフェース装置で監視制御が継続可能。

(2) 強固なハードウェア

ファイルサーバ、ヒューマンインタフェース装置には産業用コンピュータ、通信制御装置、ローカルコントローラには三菱広域監視制御装置“MELFLEXシリーズ”を採用。MELFLEXシリーズは耐環境性(−10~55℃)があり、空調がない部屋や、屋外盤内にも設置可能。

(3) カスタマイズ可能なソフトウェア

電算ビル、大規模施設など、高信頼性を要する大規模電気設備の複雑な停復電制御にも対応可能。ユーザーの要求に沿ったカスタマイズにも対応。

3.2 機能強化

MELBAS-EXは従来機種から大幅な機能強化を行っている。特に設備監視の可視化機能を強化し、きめ細かい監視が可能となっている。

(1) 停復電処理の可視化

停復電時の機器の動作状況をタイムチャートで表示し、直観的に確認可能なタイムチャート出力機能を追加した(図4)。

(2) プレイバック表示

機器故障、停電時などで後から発生時の設備の運用状態を確認する場合、従来は履歴から人手を使って運用状態を確認する必要があった。MELBAS-EXではウィンドウ化したグラフィック画面上で履歴データに基づき、過去の状態変化を表示することを可能とした(図5)。

(3) トレンド表示機能

過去データの比較が簡単となるように、上下2段のグラフ表示を可能とした。またグラフが重なって見づらい場合に凡例をクリックすることで該当のグラフ線を強調表示する(図6)。

履歴(リスト表示)



図4. タイムチャート出力機能



図5. プレイバック表示

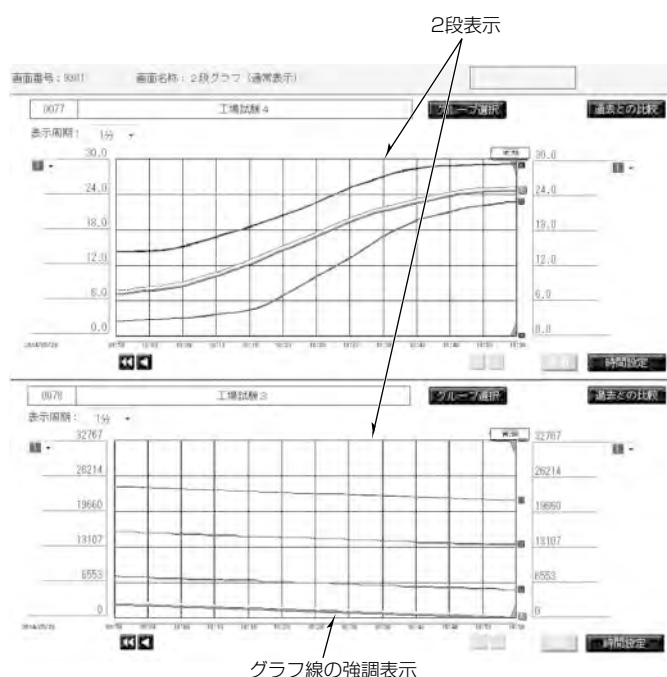
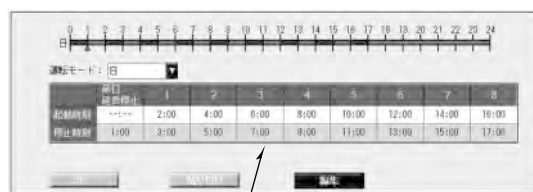


図6. トレンド表示



最大17時点の制御可能



ON時刻だけ、OFF時刻だけの設定可能

図7. スケジュール設定画面

(4) スケジュール制御機能

空調、照明等のきめ細かいON/OFF制御による省エネルギーに対応するため、1日に17時点(8山半)での制御が可能とした。また、ON時刻だけ、OFF時刻だけの設定ができるスポット時刻設定が可能である(図7)。

4. エネルギー管理機能

CO₂削減の世界的な動向に加え、震災による電力供給逼迫(ひっばく)という新たな課題が発生し、近年エネルギー問題への関心がますます高まってきた。各省庁や都道府県を中心に省エネルギー対策の推進が行われており、エネルギー使用量が多い工場や病院などでは、実効性のある省エネルギー対策の推進が期待されている。

この章では、MELBAS-EXに装備したエネルギー関連の機能と将来的に“MELBAS-EM”として拡張開発を予定している機能について述べる。

4.1 エネルギー見える化

電力、電流などのアナログ計測(AI)及び電力量や水量などのパルス項目(PI)を対象とし、監視ポイントのエネルギー見える化を行う。データベースでは項目ごとに設備グループが定義でき、設備ごとに分類した見える化が可能である(図8)。

また、帳票については日月年報から設備ごとに帳票出力できる。

データ蓄積は、1分データ:64日、5分データ:15日、30分データ:186日、日・月・年報データ:241か月、検針データ:121か月の期間保持ができ、この保持期間内のデータをグラフ化できる。グラフは、折れ線グラフや円グラフなど、11種のグラフに対応できる。

4.2 分散電源需給制御

自家発電設備(常用・非常用)と太陽光発電、蓄電池等の設備と組み合わせ、平常時と非常時に分けた負荷への最適



図8. 見える化画面

エネルギーコスト最小等の目的に応じた需給計画と実績をグラフ表示

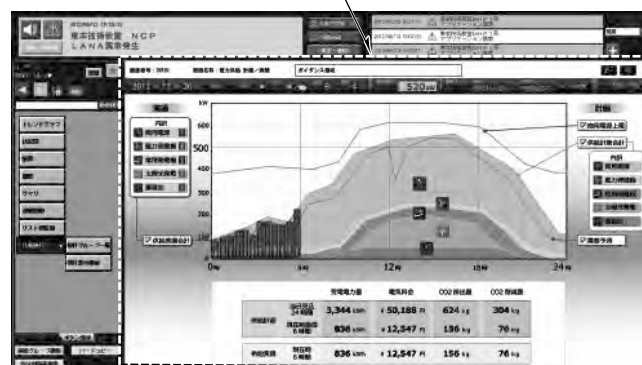


図9. 最適需給制御画面

需給制御を行う(図9)。通常時は、負荷量、太陽光発電量を予測して、電気料金が最小になるように蓄電池を充放電し、安価な夜間電力を使用して蓄電池を充電し、昼間には放電を行う。また、常用発電機、蓄電池を利用して、ピークカットすることによって、契約電力の抑制を図る。

停電時は、自家発電設備と太陽光発電、蓄電池を並列運転することで、自家発電設備の燃料使用量を抑制し、運転時間を延長する。また、自家発電設備が故障や燃料切れで停止した場合でも、太陽光発電と蓄電池で運用可能な縮退運転を支援する。

5. む す び

MELBAS-EXの特長と機能について述べた。現在、次世代システムとしてクラウドを活用したシステムの開発にも着手しており、施設中央監視システムや見える化のアプリケーションはクラウド上でのサービスも可能となる予定である。

刻一刻と変化する情報技術や顧客のニーズを反映させ、建物のオーナー、管理者、居住者等に、より使いやすく有益になるシステムとなるようますますの機能拡充を図っていく所存である。

GPS応用列車在線表示システム

橋本 諭*
阿達竹司*
山口武志**

Applied GPS for Train Information System

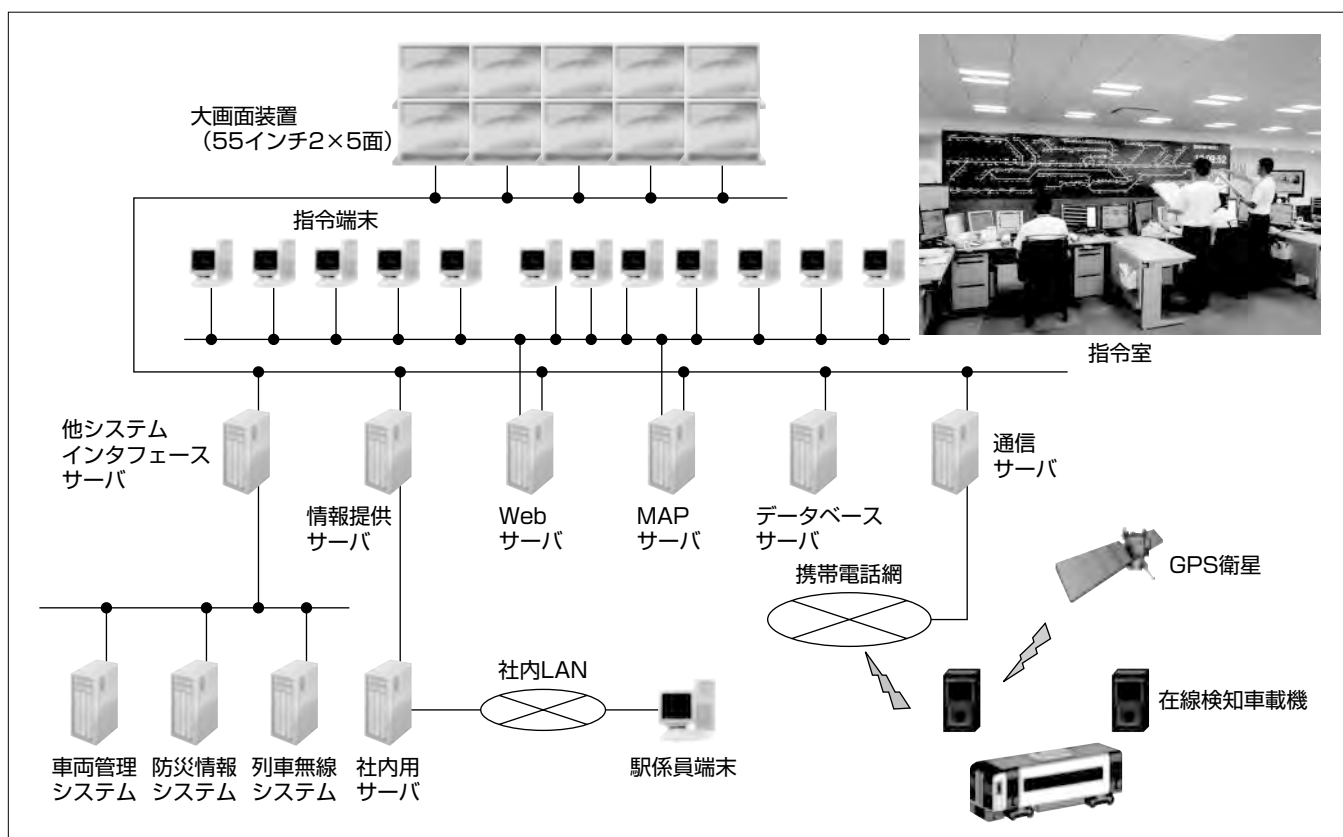
Satoshi Hashimoto, Takeshi Adachi, Takeshi Yamaguchi

要 旨

列車の位置を把握し管理する列車運行管理システムは、沿線に設置される軌道回路で列車位置を検知し、CTC (Centralized Traffic Control) システムと呼ばれる伝送装置によって指令所に情報を伝達して一括管理する方式がとられている。この方式では、全線に伝送網を敷設する必要がある。また、運行状況の改善等によって軌道回路構成の変更を行った際に改修が必要になるなど、インフラ設備の設置、維持管理に多大なコストが必要となる。そのため、その代替手段として列車無線を使って指令員が運転士と連絡を取り列車位置を把握するといった手段がとられる場合もあるが、両者への負荷が増大するという問題がある。このような鉄道事業者での列車運行状況の把握、管理を効率

化するため、車両に搭載したGPS(Global Positioning System) 測位機能を持つ在線検知車載機からの情報を携帯電話網を使用して指令所に集約し、列車の位置を把握、表示するシステムを開発した。

GPSを使用した場合、トンネルや地下駅などGPS測位が不可能な区間での位置把握という課題が残る。この課題を解決するため、車両に搭載する在線検知車載機に、車両の速度発電機を基にした走行距離算出機能と、GPS測位不能区間に進入する前後の走行距離によって列車位置を補正する機能を具備した。また、通過時間間隔によって複数車両編成の連結又は解放を判定する機能を具備した。



システム構成

各運転台に取り付けたGPS測位機能を持つ在線検知車載機が取得した測位結果や走行距離を携帯電話網を通じて指令所設備に送信する。指令所設備では、当該車両がどの駅や駅間に存在しているかを判断し、各端末のブラウザ上や大画面装置に表示する。

1. ま え が き

従来、列車の位置を把握して管理する列車運行管理システムは、沿線に設置される軌道回路によって列車位置を検知して指令所等に情報伝達、一括管理をする方式がとられている。この方式では、全線にCTCシステムと呼ばれる伝送装置を設置する必要がある。また、運行状況改善等のため軌道回路構成の変更を行った際に改修が必要になるなど、インフラ設備の設置、維持管理に多大なコストが必要となる。そのため、列車無線等を使って運転士等と連絡をとり列車位置を把握するといった手段がとられる場合もあるが、このような鉄道事業者における列車運行状況の把握、管理を効率化するため、車両に搭載したGPS測位機能付の在線検知車載機からの情報を、携帯電話網を使用して指令所に集約し、列車の位置を把握、表示するシステムを開発した。

2. システムの概要

GPS測位機能付の在線検知車載機を全車両に搭載し、測位結果を携帯電話網を通じて指令所に送信して全線の在線位置を判断し、指令所設置の指令端末や大画面装置での表示を可能とした。また、測位結果の判断時に連結・解放を判定する機能を設けることで、列車の構成を表示することを可能とした。さらに、このシステムで得た情報を社内LANからアクセス可能とすることによって駅係員への情報提供を可能とし、ダイヤ乱れ時などにおける乗客への情報提供を可能とした。

3. 機能概要

3.1 在線検知車載機

在線検知車載機(図1、図2)には、GPS測位機能、携帯電話網による通信機能、速度発電機パルスによる走行距離算定機能を具備している。在線検知車載機は、運転台ごとに設置され、あらかじめ車両番号や車輪径などが設定される。運行の際には、運転士が列車番号を設定することで、このシステムに対し当該車両が運行状態に入ったことを通知する。

駅、駅間の位置判定のために、駅及び駅近傍に、図3に示す定点情報という監視エリアを設定する。定点情報は、中心座標と半径を示す情報であり、在線検知車載機と地上設備にあらかじめ同じ内容が登録されている。

在線検知車載機は、1秒周期でGPS測位を行い、測位の結果、定点情報内に位置していると判定された場合に、その定点番号と当該車両の車両番号、列車番号、速度発電機のパルスから算出した積算走行距離、方位などを含む位置情報を携帯電話網を通じて地上装置へ通知する。在線検知車載機からの位置情報の送信は、定周期の他、定点検知時、ドア開閉時、停止・発進時の各タイミングによって行う。

これによって、列車の走行状態変化時には遅滞なく最新の位置を通知することが可能になる。

なお、定周期送信間隔については、過密区間で送信周期を長くすると、駅間で追い越すような表示をする可能性がある。一方、駅間に複数列車が進入しない閑散区間で送信周期を長くしても、駅間追越しのような表示は発生しない。このため、定点ごとに定周期送信間隔を定義することで閑



図1. 在線検知車載機

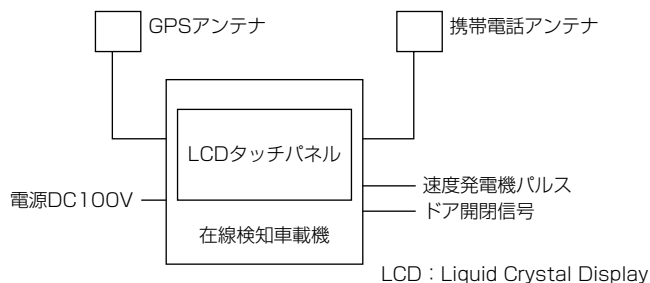


図2. 在線検知車載機の構成

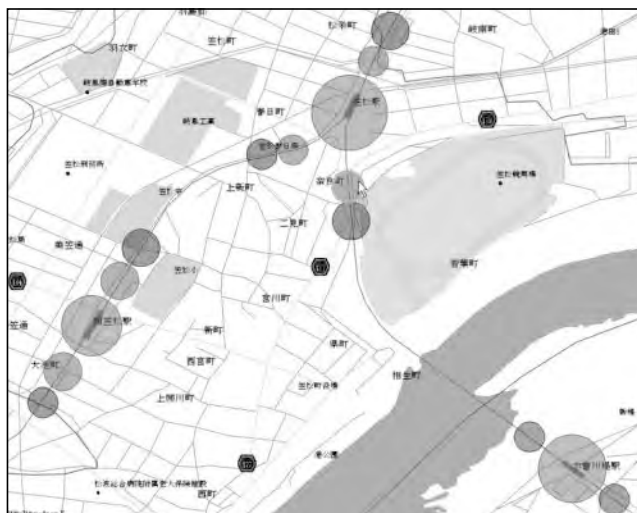


図3. 定点情報

散区間と過密区間で通信頻度を変化させ、通信量の削減と適切なタイミングでの表示位置更新を可能とした。

3.2 列車在線位置判定

指令端末や大画面装置に表示する列車在線位置や走行状態は、在線検知車載機から受信する情報を基に、次の方法によって決定する。

3.2.1 定点情報による位置判定

在線検知車載機から送信された位置情報によって、指令所装置は該当する定点情報から在線駅又は駅間を判断し、列車位置を特定する。

定点情報には、該当箇所が駅、駅間のいずれであるかを示す属性や、地下・トンネル区間進入地点、連結・解放判定用などの属性を付加しており、位置判定の他、属性に応じて次に述べる地下・トンネル区間の位置補正や連結・解放の判定処理を行う。

3.2.2 地下・トンネル区間の位置補正

地下区間やトンネル区間では、GPS測位をすることができず、GPS座標から列車位置を特定することはできない。そのため、在線検知車載機の算出する積算走行距離を利用して位置補正を行う機能を具備している。

地下区間やトンネル区間の前後に、地下・トンネル区間進入定点を設定し、当該定点から次駅以降GPS測位可能な駅までの距離を定義しておく。指令所装置では、地下・トンネル区間進入を示す位置情報を受信した際、積算走行距離を記録する。その後送信されてくる情報に付加される積算走行距離と地下・トンネル区間進入定点時の積算走行距離の差を算出し、あらかじめ定義された駅までの距離と比較し駅到着を判断する。

3.2.3 連結・解放の判定

複数の車両が、連結して1本の列車として走行する場合がある。そのため、連結したことを判定し、当該列車がどの編成で構成されているかを表示する機能を具備している。

定点情報として、連動駅に隣接した連結・解放判定定点を2点定義している(図4)。ある列車がこの連結・解放判定定点を通過後、一定時間以内に同一定点を通過した列車がある場合、連結された可能性があるものと判定する。この判定は、2つの連結・解放判定定点を使用することで、同一の連結・解放判定定点に上下方向の2列車がほぼ同時

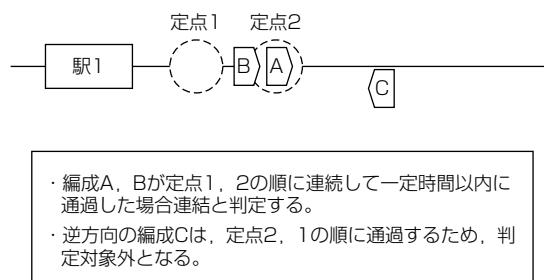


図4. 連結・解放判定

に進入した場合に、これらの列車が連結したと誤って判定することを防いでいる。

同様に連結されていると判定している編成が、一定時間以内に連結・解放判定定点を通過しなかった場合に、解放されたとして判定する。

3.3 在線状況表示

表示方式として、MAP表示、配線図表示、閉そく^(注1)表示の3方式が可能である。

なお、指令端末における表示は全てWeb形式で行われるが、Ajax^(注2)を採用して列車位置等の更新部位だけを再描画している。これによって、画面全体の再表示によるちらつきを防いでいる。

- (注1) 1つの閉そく区間には、2列車以上進入させないことで安全を確保している区間である。
 (注2) Ajax: Webブラウザに実装されているJavaScript^(注3)のHTTP(HyperText Transfer Protocol)通信機能を使い、Webページのリロードを伴わずにサーバとXML(eXtensible Markup Language)形式のデータのやり取りをバックグラウンドで行うWebアプリケーションの実装形態である。
 (注3) JavaScriptは、Oracle, Inc.の登録商標である。

3.3.1 MAP表示

MAP表示では、受信した測位座標を地図上にマッピングし、該当位置にマークを表示する(図5)。進行方向については、在線検知車載機でGPS受信機から出力される1秒周期の座標変化を基に判定を行っている。

MAP表示は必要に応じて5段階の縮尺変更が可能で、縮尺が小さい場合には、表示している列車数が多くなることからマークだけの表示とし、全体的な列車位置の把握が可能である。縮尺が大きい場合には、表示している列車数が少なくなるので列車番号や行き先など、より詳細な情報の表示が可能である。

また、信号機や踏切など、通常の地図では描画されていない情報をランドマークとして重ねて表示する機能を具備している。これによって、車両故障等の異常時に停止した際にも実際の位置把握が容易になる。

3.3.2 配線図表示

駅、駅間の単位で位置表示を行う機能である(図6)。定点情報ごとに割り付けられた定点番号と表示上の位置を関



図5. MAP表示

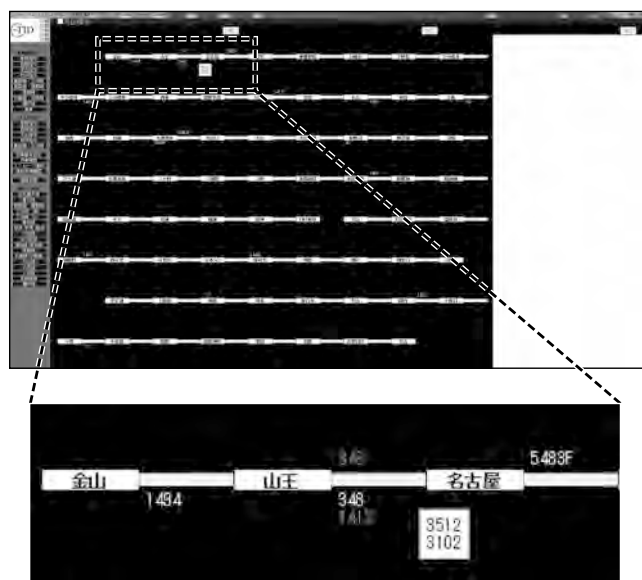


図 6．配線図表示

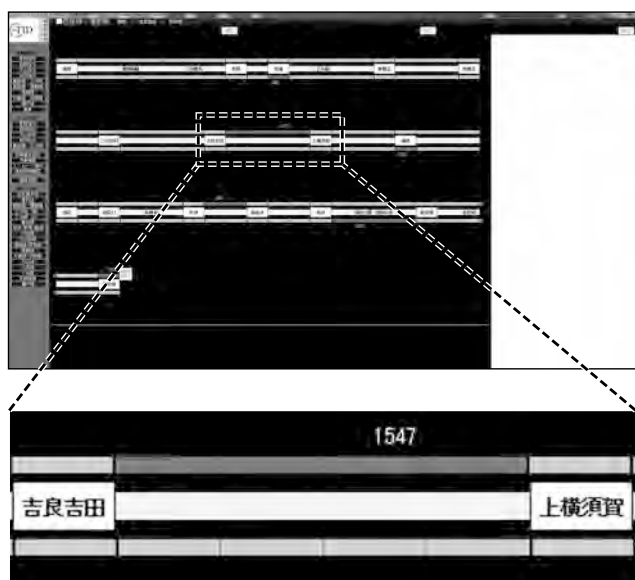


図 7．閉そく表示

連付けたデータを持ち、最新位置を表示している。

駅間に複数列車が在線している場合には、順序を保持する必要がある。そのため、駅間進入時刻を記録することによって、順序を区別した表示を行っている。

3.3.3 閉そく表示

MAP表示では特定の列車について、詳細位置を把握することが可能であるが、物理的な距離によって一度に各列車を区別して表示可能な範囲が限定される。

一方、配線図表示では、表示の最小単位が駅又は駅間となっており、駅間のどのあたりに在線しているのかを知ることができない。

物理的な距離に左右されずに、広い範囲の列車位置を詳細に把握する手段として閉そく表示機能を具備している(図7)。

閉そく単位に定点情報を定義した場合は、通信頻度が高くなる。そのため、在線検知車載機から送信される周期情報を利用し、測位座標が、あらかじめ設定した閉そくエリアのどのエリアに含まれているかを指令所装置で判定し、在線閉そく位置を決定している。

3.4 在線検知車載機へのメッセージ送信

ダイヤ乱れが発生した場合など、乗務員に対しての連絡が必要となる。列車無線を使用することも可能であるが、列車走行中の乗務員に対しては通話ができないなどの制約

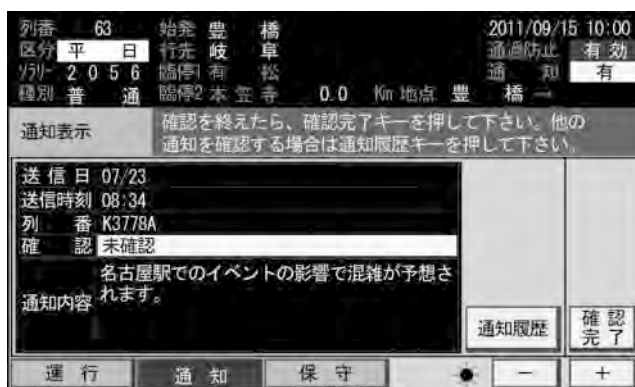


図 8．在線検知車載機メッセージ通知

がある。これを解決するため、在線検知車載機へのメッセージ送信機能を付加した。なお、メッセージ送信は、全車両への一斉送信のほか、走行している線区単位、列車単位、また必要によって列車の先頭側車載機、最後尾側車載機を選択することが可能である(図8)。

4. む す び

GPSを利用することによって、比較的低コストで列車位置の把握を可能とした。CTCシステム等のインフラ設備がない路線や、相互乗り入れ路線における他社路線上の自社車両位置把握等への拡大を図っていく。

電鉄変電所電力管理システムの現状と将来展望

小林泰貴*
 井上敬介*
 米谷研二*

Present Condition and Future Outlook of Centralized Substation Control System for Railway

Yasuki Kobayashi, Keisuke Inoue, Kenji Yonetani

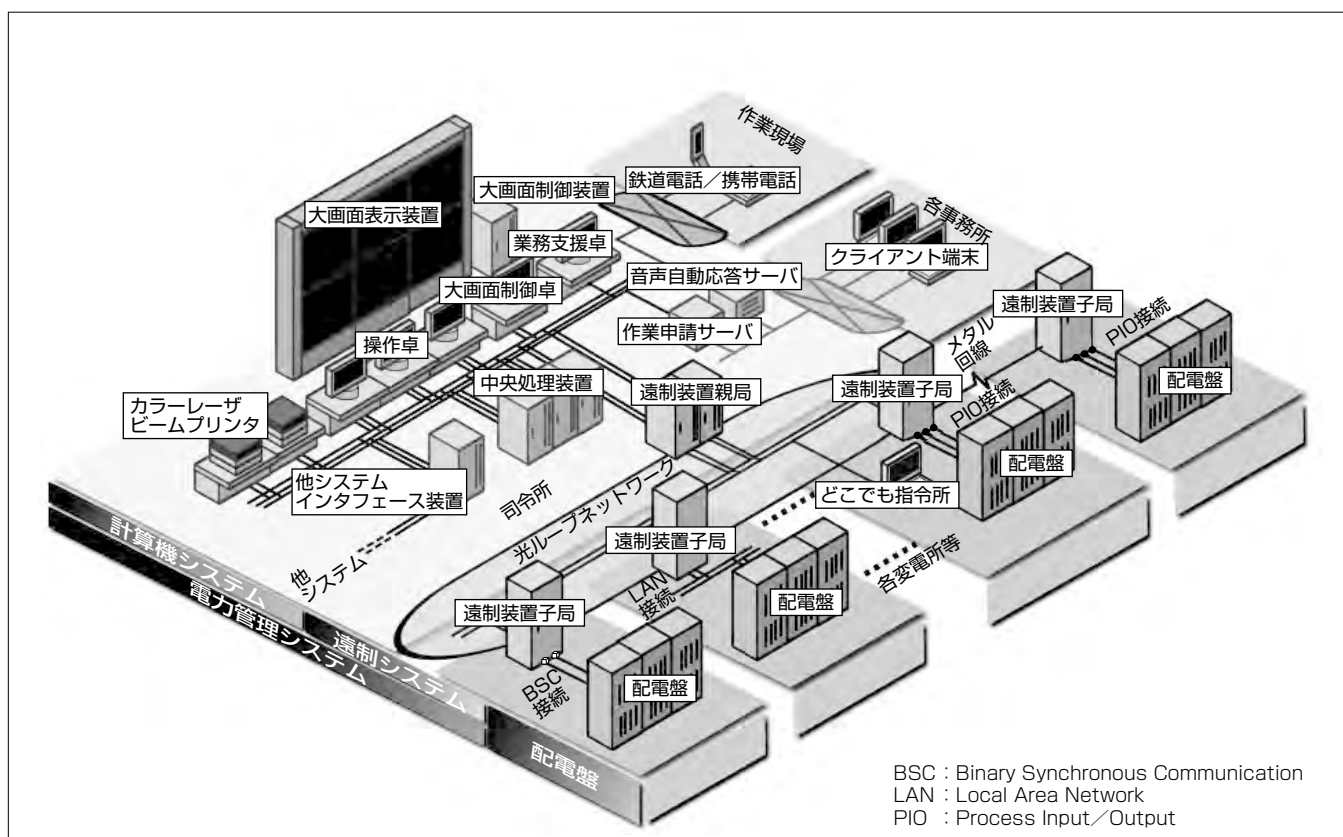
要 旨

電鉄変電所電力管理システム(以下“電力管理システム”という。)は、き電系統への電力供給状況や変電所等の電力供給設備を集中監視制御するシステムであり、列車の安定・安全運行と大量輸送を支える上で、電力の安定供給という重要な責務を果たしている。き電系統の状態監視と遠隔制御が基本的な役割であるが、通勤ラッシュ時の電力需要に合わせて整流器の運転・停止を自動的に行うスケジュール制御機能や、き電系統の故障が発生した場合に復旧制御を自動的に行う故障処理機能等、指令員の監視制御業務をサポートする機能を具備している。

このほかに、夜間停電作業における指令業務負荷を軽減する夜間作業申請機能や、現場作業者と指令員間の作業進捗連絡を自動化する電話自動応答機能等、様々な応用機能を

を適用したシステムを数多く納入してきた。また、計算機システム多重化や光ループ伝送路の無瞬断切換え、大規模災害時におけるバックアップ端末の開発等、高信頼化技術も積極的に導入している。さらに最新技術として、メタル回線でもIP(Internet Protocol)化による長距離・高速・大容量伝送可能な自社製メタルIPモデムの採用やシステムのコンパクト化を実現する仮想化技術、ユーザー側でシステム変更できるユーザーメンテナンス機能の開発も行っている。

本稿では、電力管理システムの標準的な構成、従来の基本機能や指令業務効率化を目的とした応用機能の適用事例を述べるとともに、最新技術を駆使したシステムの将来展望について述べる。



電力管理システムの構成

電力管理システムは、計算機システムと遠方監視制御(遠制)システムで構成しており、各変電所等の電力供給設備を指令所で集中監視制御する。計算機システムは、中央処理装置、操作卓等で構成し、電力系統の状態監視と遠隔制御を行う。遠制システムは、指令所の親局と各変電所等の子局で構成し、指令所～各変電所間の電力系統情報の受渡しを行う。

1. ま え が き

電力管理システムは、路線全体のき電系統を指令所で集中監視制御するために設けられたシステムである。列車や信号設備、駅設備等への電力安定供給を行う上で、安全性、信頼性は必須であり、三菱電機ではシステム多重化や伝送路の無瞬断切換え、自動制御等の技術を適用して鉄道事業者の安全安定輸送に貢献してきた。また近年では、“指令業務負荷の軽減”“システム全体のコンパクト化”“ローコスト化”を目的とした最新の計算機技術や伝送技術を駆使し、更なるシステム高度化を実現している。

本稿では、現状の電力管理システムの標準的な構成や機能を述べるとともに、将来に向けたシステム高度化に対する当社の取組みについて述べる。

2. 電力管理システムの特徴と主要装置

電力管理システムは、一般的に計算機システムと遠方監視制御(遠制)システムで構成される。指令所のイメージを図1に示す。

計算機システムは、システムの頭脳としての役割を持つ中央処理装置や、指令員のユーザーインタフェース機能を担う操作卓等で構成される。き電系統の状態監視と電力設備の遠隔制御という基本機能をベースに、通勤ラッシュ時の電力需要に合わせて整流器の複数台運転・停止を行う機能や、き電系統の故障が発生した場合に復旧制御を自動的に行う機能等、指令員の監視制御業務をサポートする機能を数多く設けている。

遠制システムは、指令所の中央処理装置と各変電所の配電盤との間に位置し、遠制装置親局と各変電所の遠制装置子局から構成される。各変電所の状態や計算機システムからの制御を、鉄道事業者の所持する専用伝送路を介してリアルタイムかつ信頼性の高い通信で受渡しすることが主な役割である。

計算機システム、遠制システムともに列車の安定運行を支える重要なシステムであることから、高信頼性の自社製専用装置で構成し、特に重要な装置は冗長系を設けている。

電力管理システムの主要装置を表1に示す。

3. 電力管理システムの機能

3.1 基本機能

電力管理システムの基本機能を表2に示す。

3.2 支援機能

指令業務の高信頼化・効率化を目的に基本機能を応用した主な機能について次に述べる。

(1) 計画停送電機能

変電設備やトロッコ線等の保守作業計画を基に指令員が承認した機器制御手順を事前に登録し、作業区間の停送電制御を自動で行う。停電制御時には運行管理システムから終



図1. 電力管理システムの指令所

表1. 主要装置

装置名称	説明
中央処理装置	システムの中核装置であり、主要なシステム機能を実行する。2重系、又は3重系で構成する。
操作卓	システムのユーザーインタフェースをつかさどる装置であり、指令員の運用形態に合せて、2画面や3画面を連動させて構成する。
大画面表示装置	広範囲に渡る路線全体のき電系統の状態を視覚的に把握するだけでなく、変電所のカメラ映像、気象情報等目的に応じて表示内容を切替できる。
遠制装置親局／子局	各変電所の配電盤及び中央処理装置との通信を行い、表示情報や制御情報の受渡しを行う。伝送路は、物理的又は論理的に多重化して信頼性の高い通信を実現する。
作業申請サーバ	オンラインで停電作業申請を受け付け、作業当日の停電区間等を中央処理装置に通知する。現場作業者が直接、作業申請を入力できる。
音声自動応答サーバ	指令員になりかわり停電作業当日の作業状況や停電状況の確認を音声ガイダンスと電話機トーン入力で自動化するための装置である。
他システムインタフェース装置	運行管理システム等の他システムと情報受渡しを行うことで、指令業務の効率化や確実化を行う。

表2. 基本機能

機能名称	説明
系統監視／制御機能	操作卓や大画面表示装置に系統図を表示し、停送電状況、変電所機器状態や故障状態を表示する。状態変化時には、警報鳴動や状態変化機器シンボルのフリッカ表示で告知する。系統図等からは機器の個別／複数操作や制御ロック等の設定操作が可能である。
記録統計機能	変電機器の操作や故障情報を記録し、時系列表示する。時刻や機器種別等の条件で絞り込んだ表示も可能である。
電力量管理機能	各変電所電力量を定期的に取得・集計し、日報や月報として表示する。デマンド監視機能も備えており、使用電力量が契約電力等を超過することが予測される場合は、警報鳴動等によって告知する。
スケジュール制御機能	あらかじめ変電所機器運転スケジュールを設定し、指定した時刻に整流器やき電遮断器等を自動で制御する。平日、休日、臨時など運行ダイヤに合わせた設定が可能である。
故障処理機能	故障発生時に変電所から取得した情報を基に故障種別を自動判定し、自動事故復旧制御(き電再閉路制御等)や確認事項・復旧手順等のガイダンス表示を行い、復旧作業を支援する。
機器制御手順作成／実行機能	一連の変電機器制御手順を事前に登録し、指令員が任意のタイミングで登録した手順を実行する。制御手順は専用画面(系統図等)で機器の入／切を選択して登録する。

電情報を取得し、制御可否を自動判断させることもできる。

この機能は後述の夜間作業申請機能、電話自動応答機能と連携し、指令員の作業を効率化する。

(2) 夜間作業申請機能

保守拠点等のクライアント端末から夜間作業を申請し、

指令所の作業申請サーバで一元管理する機能である。申請の流れを図2に示す。申請情報(作業指揮者、作業目的、作業区間等)を作業申請サーバに送信し、他の申請との競合等が自動判定され、指令員が承認すると指令所側の停送電状況を専用画面に情報が反映され、作業区間を明確に表示する。作業申込みが多数輻輳(ふくそう)するに従い高くなる指令員の業務負担が著しく軽減される。

(3) 電話自動応答機能

夜間作業時、現場作業員の確認連絡の応答を、指令員になりかわり音声アナウンスによって自動化する機能である。現場からの電話報告時(作業進捗状況等)に社員番号、パスワード等を電話機からキー入力して現場作業者を認証する。その後、作業進捗状況に応じて再生される音声アナウンスを基に作業を行い、システム上の作業進捗状況画面を自動更新する(図2)。

(4) 変電所保守業務支援機能

変電所の保全系データ(電力量日報、月報、年報、直流総合電流値、機器動作回数、風速等)を取得して業務支援サーバに保存し、指令所及び現場側クライアント端末で閲覧可能とする。帳票やグラフ表示によって、指令員及び現場作業者が行う保守点検業務等、各種業務を支援する。

(5) 変電所シミュレーション機能

変電所機器改造時等の改修後の動作確認試験や指令員の操作訓練に活用する。各変電所機器の動作を模擬する変電所シミュレータ端末を接続することで、変電所の操作連動・保護連動等の挙動を模擬した機器操作の訓練ができる。また、あらかじめ機器動作・復旧手順を登録することで事故発生を模擬した訓練も可能である。

(6) 他システムとの連携機能

同一鉄道事業者でも管理区ごとにシステムが異なる場合や、他事業者から乗り入れがある場合、隣接する他区の変電所情報を取得して停送電状態を監視する。さらに、停電情報や列車在線情報等を運行管理システムと授受し、系統事故発生時の列車影響確認や停電区間への列車侵入抑止などシステム間連携を図り、健全な運行を支援する。

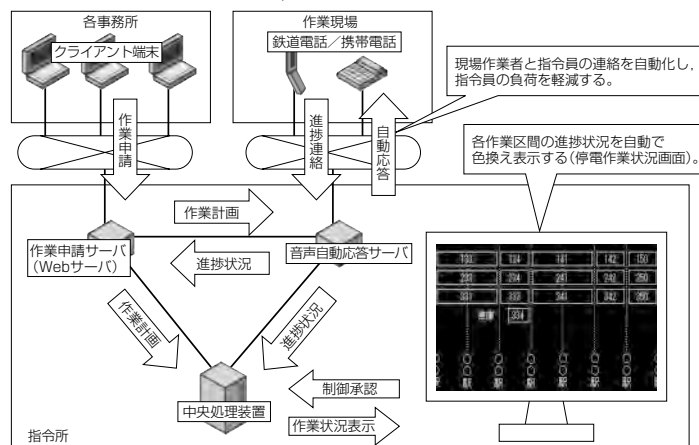


図2. 夜間作業申請機能と電話自動応答機能の流れ

4. 当社システムの特長

4.1 計算機システムの特長

従来は、計算機にはUNIX^(注1)搭載の汎用EWS(Engineering Work Station)を、大画面装置にはモザイクパネル等を適用していたが、近年はFAパソコンや大画面ディスプレイを導入し、性能・機能向上及び長期保守・長期安定稼働を実現している。次に当社計算機システムの特長を述べる。

(1) 自社製監視制御インフラによる保守性向上

計算機ハードウェアには自社製監視制御用パソコン“PEACE-Hシリーズ”を適用、ソフトウェアはオープンソースLinux^(注2)をベースに監視制御向けに独自に最適化したオペレーティングシステム(OS)とミドルウェアによって構築しており、システムの高信頼化、高機能化とともに保守性を向上させた。

(2) 大画面装置の高精細・長寿命化

複雑な系統図等を広範囲に表示する大画面装置は光源にLEDを採用したDLP^(注3)(Digital Light Processing)方式から大型液晶モニタまで規模や目的に応じラインアップの充実化を図った。特にLED-DLP方式の適用によって複数画面間の色調や輝度均一化によって高精細かつディスプレイ間を一層シームレスに表示可能とするとともに、従来のランプ方式に比べ6倍以上の長寿命化によって保守費の低減を実現した。

(注1) UNIXは、The Open Groupの登録商標である。

(注2) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標である。

(注3) DLPは、Texas Instruments Corp.の登録商標である。

4.2 遠制システムの特長

従来の遠制システムは、CDT(Cyclic Data Transfer)やHDLC(High-level Data Link Control)方式等の伝送方式が適用されてきたが、最近ではリアルタイム性、汎用性の高いIP方式を適用した遠制システムが主流である。次に当社遠制システムの特長を述べる。

(1) 高信頼性

遠制装置親局と子局間は、物理的又は論理的にLANを多重化しており、冗長化を図っている。光ループ伝送路の場合は光伝送装置“MELNET-RPシリーズ”を適用し、RPR(Resilient Packet Ring)技術によってループ分断時に切換え時間50ms以内で高速迂回(うかい)できる。また、電源部、処理部には社会インフラシステム向け遠方監視制御装置“MELFLEXシリーズ”を採用して構成ユニットを全てファンレス・ディスクレスとする等、高信頼化を図っている。

(2) 汎用性

最近では、光通信による高速・大容量伝送が普及しているが、光ファイバの敷設は高コストであるため、既存のメタル回線を使用する鉄道事業者も多い。メタル回線でもIP方式を適用するために、マルチドロップ接続が可能な高速IP伝送モデム“MLCNETシリーズ”(図3)や、国内メーカ



図 3. MLCNET-G100

表 3. 当社メタルIPモデムの仕様

項目	MLCNET-G200	MLCNET-G100	音声帯域IPモデム
通信形態	1:1又は1:N(マルチドロップ, スター型)	1:1又は1:N(マルチドロップ, スター型)	1:1
通信方式	適用変調型OFDM ^(注4)	適用変調型OFDM	変調方式: ITU-T ^(注7) V.32bis 圧縮方式: ITU-T V.42bis
物理速度	最大50Mbps	最大8Mbps	最大14.4kbps
伝送距離	最大2.5km	最大10km	最大20km
LANインタフェース	10/100BASE-TX(全二重/半二重)×4ポート	10/100BASE-TX(全二重/半二重)×4ポート	10/100BASE-TX(全二重/半二重)×2ポート
電源電圧	DC48V, DC100V, AC100V	DC48V, DC100V, AC100V	DC5V(MELFLEXシリーズのカードタイプであるため、専用シャーシから入力)
環境仕様	温度: -10~60℃ 湿度: 30~90%	温度: -10~60℃ 湿度: 30~90%	温度: -10~55℃ 湿度: 30~90%
その他	VLAN ^(注5) , SNMP ^(注6) をサポート	VLAN, SNMPをサポート	VLAN, SNMP, ソフトウェア圧縮機能, フィルタリング機能をサポート

(注4) OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing): 直交波周波数分割多重
(注5) VLAN(Virtual LAN): 仮想LAN
(注6) SNMP(Simple Network Management Protocol): ネットワーク管理プロトコル
(注7) ITU-T(International Telecommunications Union-Telecommunication standardization sector): 国際電気通信連合-電気通信標準化部門

一では唯一の音声帯域で長距離IP伝送が可能な音声帯域IPモデムといった自社製メタルIPモデムの開発によって、光・メタル・搬送を問わず最適なIPネットワーク構成を可能とした。表3に当社メタルIPモデムの仕様を示す。

4.3 どこでも指令所

“どこでも指令所”は大規模災害等による指令所計算機ダウン時や光ループ回線分断時等、指令所から変電所監視制御が不可能な場合に備えた、バックアップ監視制御システムである。

“どこでも指令所”は、3.1節で述べた基本機能と同等の機能を搭載し、指令所が正常に監視制御可能な場合は変電所のモニタリング端末として、指令所が監視制御不可能な場合は変電所の監視制御端末として使用できる。また、ハードウェアはノート型パソコンであるため可搬性に優れ、伝送路に接続できる場所であれば、指令所・変電所を問わず、その名の通り“どこでも”使用できる。

5. 将来展望

電力管理システムは、ほとんどの鉄道事業者に導入され、基本機能自体は成熟領域にあるものの、鉄道の社会インフラとしての重要性は更に高まっており、“災害等に強いシステムの実現”“指令業務の更なる技術向上”“システム全体のコンパクト化”“ランニングコスト低減”を目的としたユーザーニーズは今後も高まると考える。これらニーズの実現に向け導入している主な新技術を次に述べる。

5.1 仮想化技術

仮想化技術とは1つのハードウェア上に複数の仮想ハードウェア動作環境を提供するとともに、従来のOSやアプ

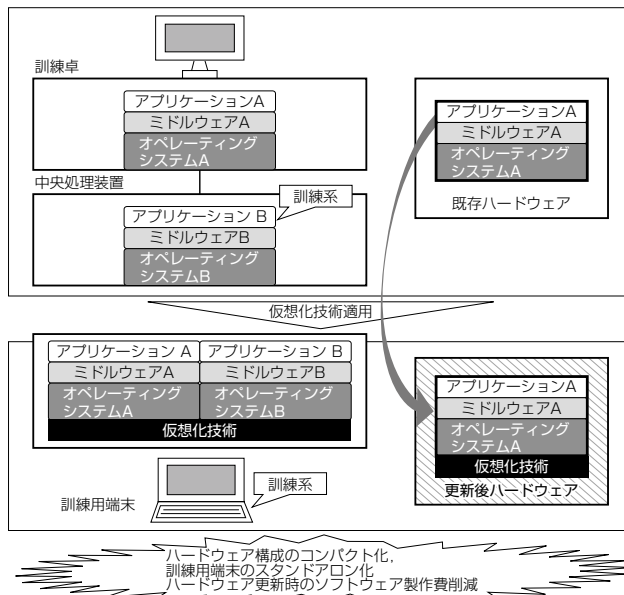


図 4. 仮想化技術適用イメージ

リケーションを最新のハードウェアやOS上で動作できる環境を提供する技術である。当社の仮想化技術は汎用技術をベースに独自にカスタマイズして監視制御システムに最適な動作環境を提供する。

電力管理システムでは、仮想化技術の適用によって、例えば図4のように操作卓と中央処理装置を一台のハードウェア上に構築することで、システムのコンパクト化を図り、設置スペース削減やシステム全体の消費電力削減を実現する。これをノートパソコン等のスタンドアロン環境で構築することで、現状は運用システムで実施しているシミュレータによる訓練を、運用制約や時間に拘束されことなく実施可能な環境を提供し、効率的な運用技術向上に役立てることができる。この環境は運用システムと同一機能を搭載しているので、万一の被災時に早期復旧用システムとしても活用可能であり、災害に強い指令システムを実現できる。

5.2 データベースメンテナンス

変電設備改造等に伴い、電力管理システムが持つ機器情報や系統画面情報等に変更があった場合、従来はメーカーでシステム改修を実施していたが、改修がデータベース変更の範囲であれば、当社独自のデータベースメンテナンス技術を適用することで、ユーザーによるデータベース改修や画面改修が可能となる。これによって改修コスト抑制等、ランニングコスト低減を実現する。

6. むすび

電鉄変電所を集中監視制御する電力管理システムの現状と最新技術について述べた。このシステムによって電力指令業務及び変電システム保守業務の高信頼化と効率化を実現するとともに、いかなる状況化でも運用継続可能なシステムを提供できる。今後は、本稿で述べた最新技術の適用を一層進め、引き続き鉄道の安全安定輸送に貢献する所存である。

三菱広域ネットワーク装置 “MELNETシリーズ”

秋富利伸*
 福本 猛*
 落合徳彦*

Mitsubishi Wide-area Network Equipment "MELNET Series"

Toshinobu Akitomi, Takeshi Fukumoto, Norihiko Ochiai

要 旨

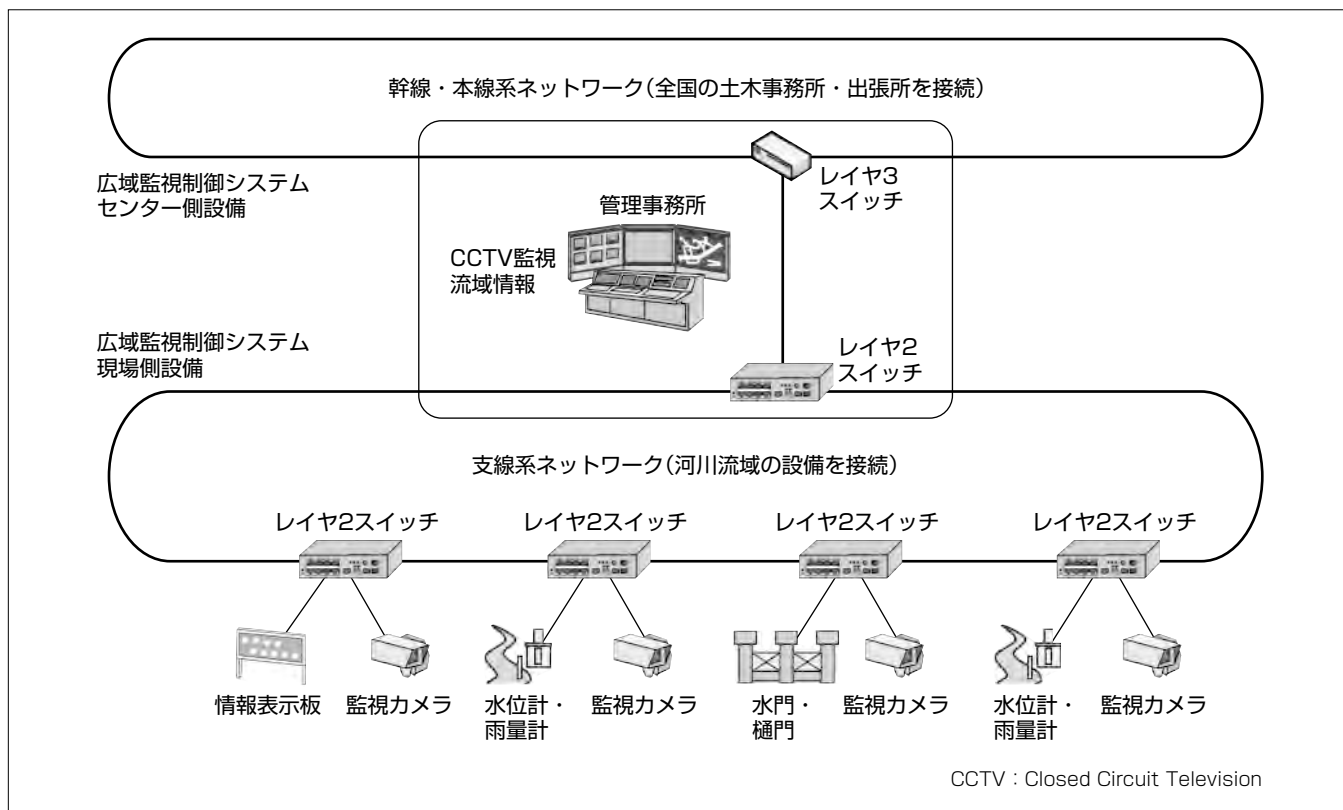
“MELNETシリーズ”は、社会インフラを支える広域監視制御システムで各種の監視制御機器をリング型広域IP光ネットワークで結び、通信の高信頼性を提供するレイヤ2スイッチ装置である。例えば一級河川の流域、国道・有料道路や鉄道などの沿線に光ネットワークを張り巡らしており、数十～数百kmの広域なエリアをカバーしている。広域監視制御システムは、これらのエリアの気象情報収集や設備状態監視、映像情報をセンター側でリアルタイムに集中監視するとともに、迅速な警報・注意報の発令や防災設備の遠隔制御などによって、住民の安全・安心な生活を支えている。

この光ネットワークを構築するスイッチ製品には、10年以上のメーカー保守、屋外設置、メンテナンス容易性など、社会インフラ特有のニーズがある。さらに災害や事故で

ネットワークが一部分断した場合でも、高速に迂回(うかい)経路に切り換えることで、水門の遠隔制御やトンネルの火災警報など、極めて重要なオペレーションが迅速に継続実行可能でなければならない。

MELNETシリーズは、これらのニーズに応え、イーサネット^(注1)方式の“ESシリーズ”と、RPR(Resilient Packet Ring)方式の“RPシリーズ”を提供している。自社設計製造によって10～15年のメーカー保守、温度条件-10～55℃の耐環境性を持ち屋外筐体(きょうたい)への設置が可能、自然空冷(ファンレス)・長寿命電源によってメンテナンスフリーであり、ネットワーク障害時にも高速な通信迂回を実現している。

(注1) イーサネットは、富士ゼロックス社の登録商標である。



リング型広域IP光ネットワークシステムの構成：河川管理システムの例

支線系ネットワークは、レイヤ2のリング型広域IP光ネットワークであり、レイヤ2スイッチMELNETシリーズで構成している。広域監視制御システムのセンター側設備(管理事務所)と、現場側設備(情報表示板や監視カメラなど)を接続し、リアルタイムに監視制御を行う。

1. ま え が き

MELNETシリーズは、社会インフラの多数の監視制御機器を結ぶリング型広域IP光ネットワークで、通信の高信頼性を実現するレイヤ2スイッチ製品群である。ネットワーク障害時の高速な迂回機能による通信の高信頼性、現場設置可能な耐環境性を備え、長期保守を保証することによって、社会インフラ向けの通信機器として安心して使い続けることができる。

2. リング型広域IP光ネットワークシステム

河川、国道、有料道路、鉄道などでは、地理的に広範囲な地点に設置された様々な設備や監視カメラなどを、数十～数百kmに及ぶ光ファイバーネットワークを用い、拠点となる管理事務所等のセンター側で一元的に広域監視制御を行っている。

要旨の図に、国土交通省の河川管理システムの広域ネットワーク例を示す。国土交通省では、一級河川の流域にリング型の光ファイバー網を整備し(支線系ネットワーク)、各地域を管轄する地方整備局の管理事務所(広域監視制御システムセンター側設備)から、河川の水位や雨量などの気象データ収集、監視カメラによる映像監視、遠隔からの水門・樋門のゲート制御、排水機場のポンプ制御などを行う。さらに、情報表示板、サイレン、音声放送での警報発報なども行う。各管理事務所は上位ネットワーク(幹線・本線系ネットワーク)で接続され、全国の管理事務所・出張所からも映像監視などが可能となっている。

このような広域監視制御システムの現場側設備は、環境条件の厳しい屋外に設置されるため、広い温度範囲で動作する耐環境性が必須である。また、システムを10年以上安定動作させるためにメンテナンス容易性や長期保守性が求

められる。そのため、室内用や5年程度で生産中止となる市販品では対応できない場合が多い。

さらに、東日本大震災を契機に、災害に強いネットワークの必要性が高まっている。例えば光ネットワークの一部が災害で分断されても、高速に迂回することでリアルタイム性が重要な監視制御データの欠損を極力低減できなければならない。MELNETシリーズは、これらのニーズに応える光ネットワークを提供する装置である。

3. MELNETシリーズ

MELNETシリーズは、社会インフラ向けのリング型広域IP光ネットワークを主な対象とし、パケット多重化装置、SDH(Synchronous Digital Hierarchy)、イーサネット、RPRに対応した製品群を30年以上にわたり提供してきた実績がある。

現在の主力機種は、光イーサネットスイッチMELNET-ESシリーズと、RPR方式光ネットワークスイッチMELNET-RPシリーズである。

両シリーズに共通な特長を次に挙げる。また表1に両シリーズの仕様を示す。

- (1) 耐環境性を持ち屋外筐体に設置可能で、現場側設備として使用可能。
- (2) 自然空冷(ファンレス)、長寿命設計電源(15年)であり、定期的な部品交換が不要でメンテナンスフリー。
- (3) 伝送距離に応じて0.5～80kmまでの光モジュール(Small Form factor Pluggable：SFP)を選択可能。
- (4) 接点入力インタフェースを持ち、現場設備異常信号などをIP伝送可能。
- (5) 鉛フリーPhase1対応。低消費電力設計。エコリーフ環境ラベル取得。
- (6) 自社設計製造によって、社会インフラに必要とされる

表1. MELNETシリーズ仕様

区分	MELNET-ES1100	MELNET-ES1200	MELNET-RP1100
光ネットワーク インタフェース	インタフェース 1000BASE-X, 2ポート 100BASE-FX, 2ポート	1000BASE-X, 2ポート	1000BASE-X, 2ポート
	リングアクセス 方式	イーサネット	RPR(IEEE802.17)
	SFPタイプ 1000BASE-X: 2芯タイプ:約550m/10km/40km/80km 100BASE-FX: 2芯タイプ:約2km/15km/40km	2芯タイプ:約550m/10km/40km/80km	2芯タイプ:約550m/10km/40km/80km
機器接続インタフェース(メタル)	10BASE-T/100BASE-TX, 6ポート	10BASE-T/100BASE-TX, 8ポート	10BASE-T/100BASE-TX, 6ポート
上位ネットワークインタフェース (メタル)	なし	10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T, 1ポート	10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T, 1ポート
光ネットワーク障害迂回機能	ERMP(当社独自仕様), STP, RSTP(IEEE802.1D)	ERMP(当社独自仕様), STP, RSTP(IEEE802.1D)	RPR
QoS	3クラス優先制御	3クラス優先制御	3クラス優先制御/4VLANグループ帯域保証
接点入力インタフェース	デジタル入力6点, デジタル出力1点	デジタル入力6点, デジタル出力1点	デジタル入力6点, デジタル出力1点
電源	AC100V±10%(電源アダプタ方式) 電源寿命15年設計(周囲40℃)	AC100V±10%, DC24V/48V(電源内蔵) 電源寿命15年設計(周囲40℃)	AC100V±10%(電源アダプタ方式) 電源寿命15年設計(周囲40℃)
環境条件	温度: -10～+55℃, 湿度: 30～90%RH (結露なきこと) 自然空冷(ファンレス)	温度: -10～+60℃, 湿度: 10～90%RH (結露なきこと) 自然空冷(ファンレス)	温度: -10～+55℃, 湿度: 30～90%RH (結露なきこと) 自然空冷(ファンレス)
寸法	W200×H44×D175(mm)	W200×H44×D250(mm)	W200×H44×D175(mm)

QoS: Quality of Service, RH: Relative Humidity, RSTP: Rapid STP

メーカー長期保守(10~15年)に対応。

3.1 ESシリーズ

図1に“MELNET-ES1200”の外観を示す。ESシリーズは、レイヤ2の光イーサネットスイッチである。機種として“ES1100”と“ES1200”があり、次の特長を持つ。

- (1) 光1 Gbpsインタフェースのリング型光ネットワークに対応。ES1100は光100Mbpsにも対応。イーサネット方式のため、マルチベンダー接続にも対応。
- (2) STP(Spanning Tree Protocol)など標準のネットワーク制御プロトコルとは別に、三菱電機独自の高速経路制御プロトコルERMP(Enhanced Ring Management Protocol)で、最短50msのリング経路切換えが可能。最大256台の接続が可能。
- (3) ES1200は、ES1100の上位機種で1 Gbpsアップリンクを持ち、幹線本線系などの上位ネットワークとの接続が可能。

ESシリーズは、マルチベンダー接続を重視する国土交通省関係の河川管理システム、国道管理システムなどに採用されている。

3.2 RPシリーズ

図2に“MELNET-RP1100”の外観を示す。RPシリーズは、RPR方式のレイヤ2の光ネットワークスイッチであり、次の特長を持つ。

- (1) 1 Gbpsのリング型光ネットワークで、RPR方式によって、リング障害時にハードウェアで高速な障害迂回(50ms以下)を実現。最大128台接続が可能。
- (2) 接続機器インタフェースは10Mbps又は100Mbpsイー

サネットであり、イーサネットスイッチと同様に使用できる。

一般的なイーサネットに比べ、障害発生時の迂回時間が高速で50ms以下を保証していることから、リアルタイム性が重要な鉄道向けの電力遠方監視制御システムや運行管理システムに採用されている。

4. MELNETシリーズの技術

4.1 ERMP方式

ERMPは、当社独自のリング型ネットワーク専用の経路制御プロトコルである。図3にERMP方式の動作を示す。

リング型ネットワークの場合、あるノード(MELNETシリーズ等のネットワーク装置)から送信されたパケットがリングを周回し続けて無限にループしてしまうため、一般に、STPなどの標準プロトコルを使用し、通信経路上の1か所を閉塞(論理的に通信不可とする)することでループを防止している。しかし、STPの場合はメッシュ型などの複雑なネットワーク構成に対応している反面、障害発生時の経路切換えに1分近い時間がかかるという問題がある。

ERMPは、リング型ネットワーク専用のプロトコルで、リング上の1台をマスタノードとし、正常時はマスタノードがポートの一方を閉塞することでループを防止する。リング上に障害が発生した場合は、マスタノードがポートの閉塞を解除することで、高速に迂回経路を確保する方式である。マスタノードは定期的に管理パケットを送信してリングの状態確認、各ノードへの閉塞解除通知等を行う。ノード数に依存するものの、最短で50msで経路切換えが可能である。

4.2 RPR方式

RPRは、障害発生時に50ms以内に迂回を行い通信を高速に迂回させることが可能な方式である⁽¹⁾。図4にRPR方式の動作を示す。

RPR方式は、各ノードがノードIDという識別子を持ち、リングを構成する全ノードを常時把握して接続状態を示す



図1. MELNET-ES1200



図2. MELNET-RP1100

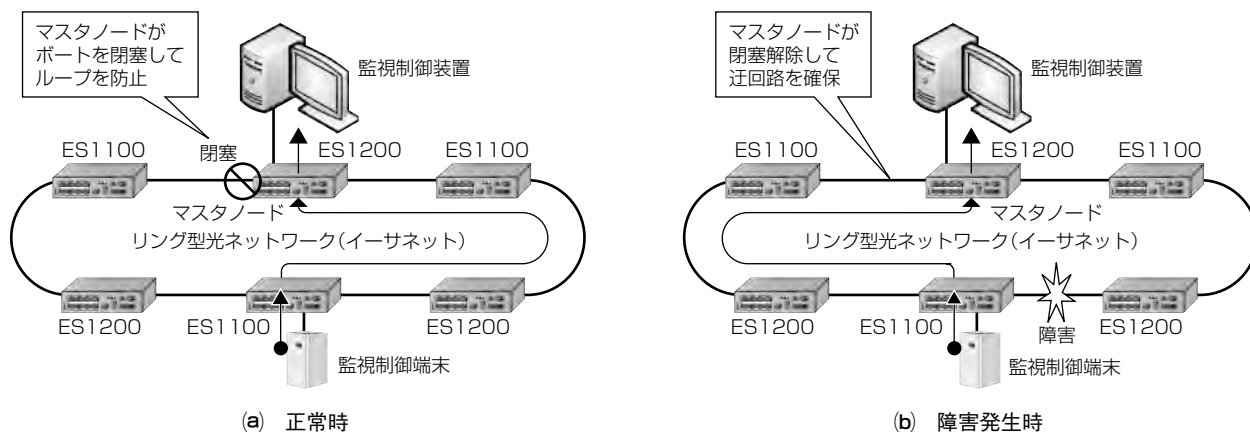


図3. ERMP方式の動作

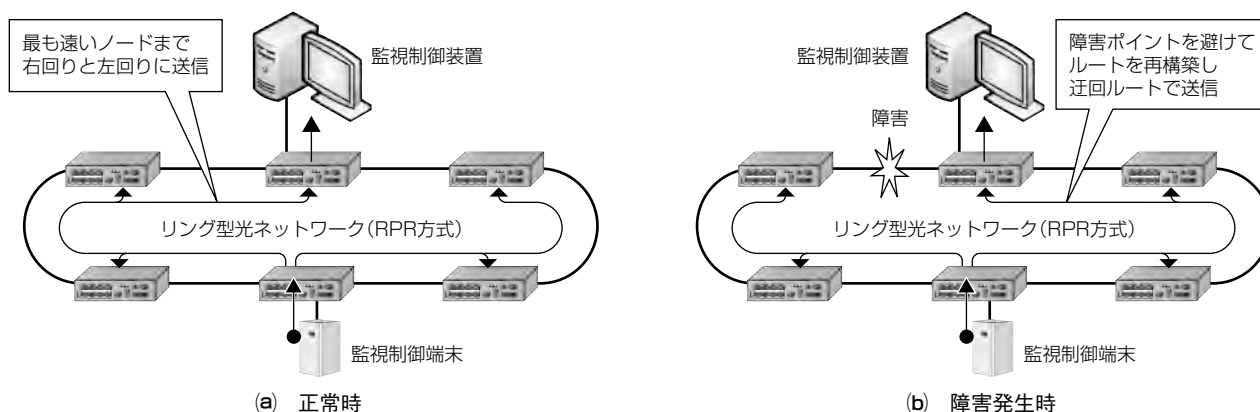


図4. RPR方式の動作

トポロジーマップを生成し、自ノードから見てどのノードが最遠端かを判断する。ユーザーデータの通信は、イーサネットフレームに専用のRPRヘッダを付加し、送信元ノードから右回りと左回りに最遠端ノードまで送信する。この仕組みによって、リング型で問題となるループを防止できる。各ノードは、受信したデータのRPRヘッダを除去したイーサネットフレームを基に、送信先が自ノードの端末インタフェース側に存在すれば、イーサネットフレームを送信先機器へ転送する。

光ファイバーが断線した場合などは、障害箇所の両端にあるノードが、障害発生を検知し、全ノードに通知する。各ノードは自律的に障害箇所の位置を特定し、障害箇所を迂回する方向に通信経路を切り換える。

これらの処理をハードウェアで実現しているため、障害発生時の経路切換え時間をノード数に依存せず50ms以下に保証できる。

その他にRPR方式では、パケット転送時の優先制御機能に加え、VLAN(Virtual Local Area Network)を最大4つのグループに分け、それぞれの通信帯域を固定的に割り当てる帯域保証機能を持つ。これによって、通信帯域が変動しやすいカメラ映像データの通信負荷の影響を受けず、高優先の監視制御データやIP電話などの通信帯域を保証し、通信の信頼性を高めている。

4.3 プラグアンドプレイ機能(RPシリーズ)

社会インフラのネットワークに障害が発生した場合、緊急対応が必要であるため、顧客側の担当部門又は当社保守部門の作業員が現場に急行してハードウェア交換などの保守作業を行う。しかし、ネットワーク機器の設定は難易度が高く複雑なため、設定に時間がかかり、またヒューマンエラーが起きやすいという問題がある。

RP1100では、あらかじめ全ノードにリング内の全てのノードの動作設定情報を保存しており、ノード故障が発生した場合には、ハードウェア交換するだけで、交換後のノードが隣接ノードから自動的に動作設定情報を取得し、故障したノードと同じ設定で通常動作を開始するプラグアン



製品型式	登録番号
MELNET-ES1100	No. DG-10-001
MELNET-ES1200	No. DG-14-003
MELNET-RP1100	No. DG-12-002

図5. エコリーフ環境ラベル

ドプレイ機能を持つ。これによって、複雑なネットワーク機器設定作業を不要とし、保守作業員の負担低減と、ネットワーク停止時間の短縮が可能となっている。

4.4 エコリーフ環境ラベル

ES1100/ES1200/RP1100は、エコリーフ環境ラベルの認証を取得している(図5)。エコリーフ環境ラベルは一般社団法人産業環境管理協会(JEMA)が運営するタイプⅢ環境ラベル制度でライフサイクルアセスメント手法(製品の資源採取から廃棄リサイクルされるまでの一生にわたった環境影響評価)によって得られた製品の定量的な環境データを開示するものである。各機種種の環境データは第三者による検証を受けて登録・公開している。

4.5 バイパス装置

今回述べたES1100/ES1200/RP1100以外に、停電時にネットワークへの影響を最小化するための、光バイパススイッチ製品や、外付けバッテリー付き電気バイパススイッチ製品も提供し、ネットワークの高信頼化を図っている。

5. む す び

大容量データを高速に伝送する光ネットワークシステムの信頼性は、社会インフラを支える様々なシステムで極めて重要である。今後は、隣接する別の光ネットワークとの連携や、無線系ネットワークとの連携による広域迂回技術によって、大規模災害に対しても強靱(きょうじん)な広域ネットワークシステムの提供を図っていく。

参 考 文 献

- (1) 小口和海, ほか: PRPにおける多重障害への対応方法, 電子情報通信学会技術研究報告 IN, 情報ネットワーク, **103**, No.198, 41~46 (2003)

ヘリコプター映像応用システム

秋山健次*
 野村 立*
 福井貴之**

Applied Helicopter Imaging System

Kenji Akiyama, Ritsu Nomura, Takayuki Fukui

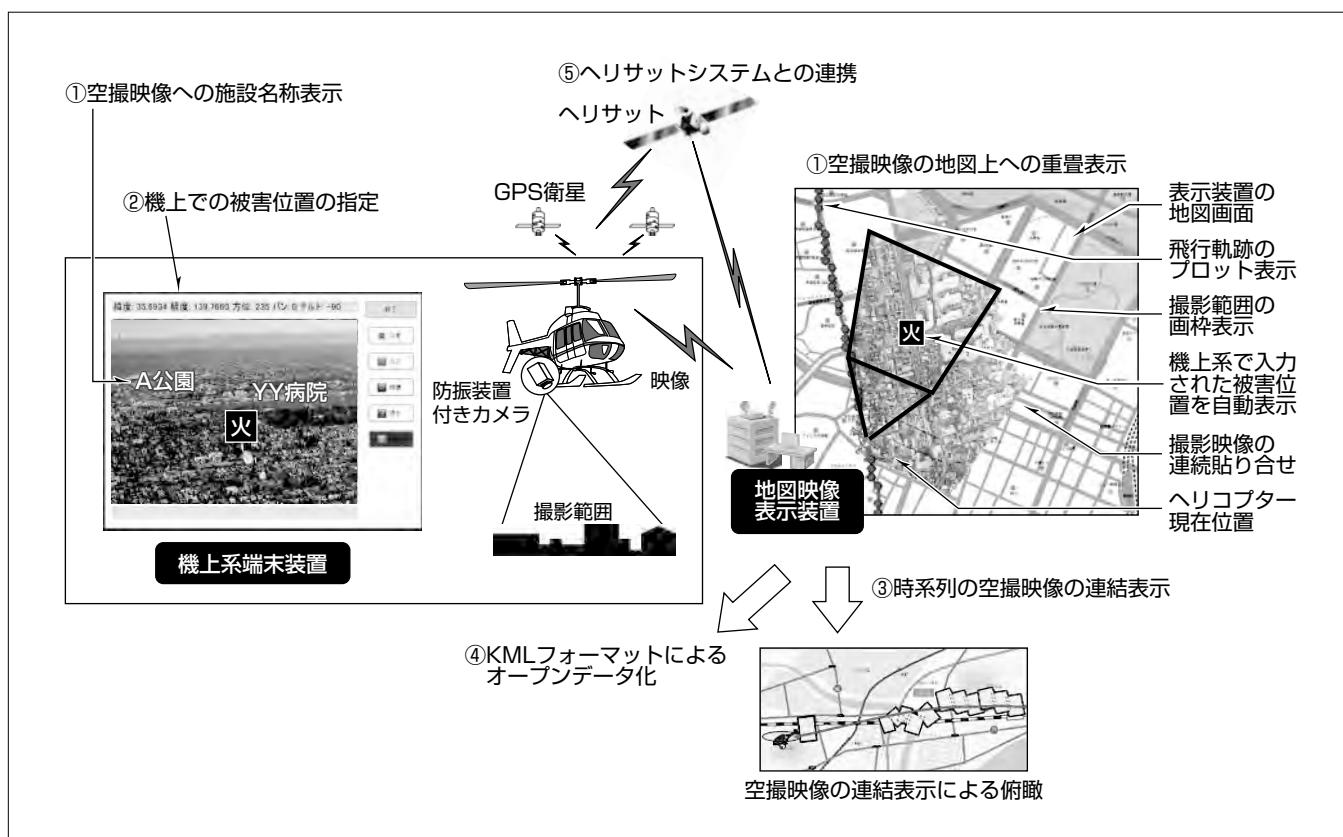
要 旨

高い機動性と広域性を合わせ持つヘリコプターによる空撮映像をリアルタイムに地上局へ伝送する“ヘリコプターテレビシステム”(以下“ヘリテレ”という。)は、現場状況を迅速に把握するための情報収集手段として、国や地方公共団体等による災害対策や救助・救難活動等で広く活用されている。しかしながら従来のヘリテレは、①空撮映像だけでは撮影位置(範囲)を特定しにくい、②時々刻々と撮影位置が変化するため広域を俯瞰(ふかん)した現場状況を把握しにくい、③収集する空撮映像等のオープンデータ化が困難、④無線回線の特性上、地上局から低空のヘリコプターを捕捉できないといった課題を持っていた。

“ヘリコプター映像応用システム”(以下“このシステム”

という。)は、ヘリコプターからの空撮映像にGPS(Global Positioning System)による位置情報及びカメラ情報・機体姿勢情報を付加して送信し、地上局では①空撮映像の地図上への重畳表示や空撮映像への施設名称表示による撮影位置の特定、②機上での被害位置の指定、③時系列の空撮映像の連結表示による俯瞰した現場状況把握、④KML(Keyhole Markup Language)フォーマットによるオープンデータ化、⑤ヘリサットシステムとの連携など、従来のヘリテレの高度化・高機能化を実現している。

このシステムは国、都道府県、地方公共団体等の各機関で活用されており、迅速かつ的確な対策立案及び指示を可能とするものである。本稿ではその特長について述べる。



ヘリコプター映像応用システムの特長

ヘリコプターからの空撮映像をヘリサット等によってリアルタイムに地上局へ無線伝送し、画像解析技術によってヘリ位置／ヘリ映像を地図上に重ね合わせて表示することで、現場の状況を瞬時に把握できる。また空撮映像への施設名称表示による撮影位置の特定、時系列の空撮映像の連結表示による俯瞰した現場状況把握、KMLフォーマットによるオープンデータ化など、従来のヘリテレの高度化・高機能化を実現している。

1. ま え が き

ヘリコプターに搭載したカメラで撮影した空撮映像をリアルタイムに地上へ伝送して映像表示を行うヘリテレは、その広域性・機動性から、報道機関や国・地方公共団体等による災害対策や救助・救難活動等に広く活用されている。

東日本大震災では、警察庁、消防庁、国土交通省及び地方公共団体等で、ヘリテレ映像が被害情報の収集、救出救助活動、支援体制の早期確立等に貢献した。最近では平成26年8月の豪雨による広島市の土砂災害や平成26年9月の御嶽山噴火でもヘリコプターが出動し、リアルタイムな映像伝送によって対策立案を支援している。

今後発生が懸念される首都直下地震や南海トラフ地震等の大規模広域災害時に對し、更なる即応力の強化、より詳細な情報収集が求められており、ヘリテレは現地被災状況を迅速かつ正確に把握するための最も有効な情報源となる。

本稿では、従来のヘリテレが抱えていた課題を解決し、現場状況把握や被害範囲の特定を容易とする目的で開発した“ヘリコプター映像応用システム”の特長と、今後の高度化・高機能化に向けた取組みについて述べる。

2. ヘリコプター映像応用システムの構成

このシステムは、ヘリコプターに搭載する機上系システムと、地上局で受信した映像を表示する地上系システムで構成する。

2.1 機上系システム

2.1.1 機上系システムの構成

機上系システムは、防振装置内に実装する“カメラ装置”、ヘリ・カメラ情報を空撮映像に重畳して地上系システム向けに送信する“信号処理装置”、空撮映像に被害位置や施設名称を重畳表示する“機上系端末装置”等で構成する。

2.1.2 機上系システムの処理の流れ(図1)

- ①カメラ装置から、空撮映像とカメラ情報を取得する。
- ②同時に、ヘリ情報(GPS位置情報によるヘリコプターの現在位置と機体方位、姿勢情報)を取得する。
- ③空撮映像にヘリ・カメラ情報を重畳し、地上へ送信する。

2.2 地上系システム

2.2.1 地上系システムの構成

地上系システムは、映像とヘリ・カメラ情報を分離する“信号処理装置”、地図上で撮影範囲に合わせた静止画を生成する“静止画変換装置”、ヘリコプター位置と静止画を地図上に重畳表示する“地図映像表示端末”等で構成する。

2.2.2 地上系システムの処理の流れ(図2)

- ①機上系システムから送信される映像を受信し、空撮映像及び付随するヘリ・カメラ情報を取得する。
- ②ヘリ・カメラ情報から、空撮映像の撮影範囲(地図上での画枠)を計算し、画枠に合わせて静止画を変形する。

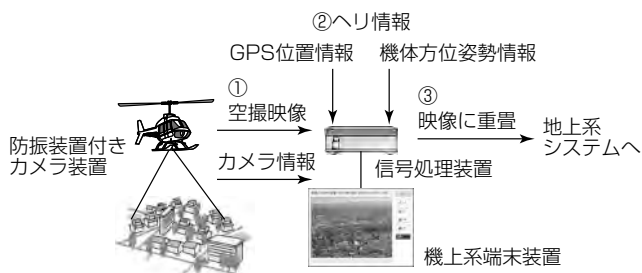


図1. 機上系システムの処理の流れ

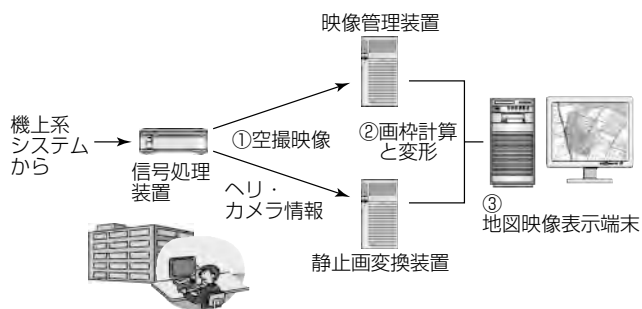


図2. 地上系システムの処理の流れ

- ③地図上にヘリコプターの現在位置と軌跡を表示し、画枠に合わせた静止画を連続的に貼り合わせて表示する。

3. 従来システムの問題点

従来のヘリテレは、ヘリコプターの空撮撮影を地上に配信し、地上側におけるリアルタイムの映像表示が主たる機能であり、地上局員と機上の担当者との意志の疎通は音声による通話が主体となっている。

災害発生直後の応急対策活動をする状況では、その被災状況を具体的に把握することが重要である。例えば、災害発生箇所(住所や緯度経度)、被災規模(焼失/流失/浸水面積等)などが具体的な情報に当たるが、映像を見るだけでは、このような詳細情報の把握は困難である。

また、地上一機上間の意志の疎通が音声通話だけという点も、双方の情報共有という面で課題を残している。例えば、地上から機上に撮影場所を指示する場合、お互いに映像を見ながらの口頭連絡だけでは、的確な指示ができないか又は時間がかかり、指示伝達までにヘリコプターが最適な撮影ポジションから離れてしまうことも考えられる。

大規模広域災害時の省庁間連携のためには、各部署間での情報の共有が必須である。ヘリテレで収集した情報は災害一次情報として重要であり、関係各省庁・地方公共団体等への即時配信が必要である。

4. このシステムの特長

4.1 基本機能

4.1.1 地図重畳映像表示機能

地図重畳映像表示機能は、空撮映像のスナップショット



図 3. 地図重畳映像表示機能の画面イメージ



図 4. 施設名称重畳機能の画面イメージ

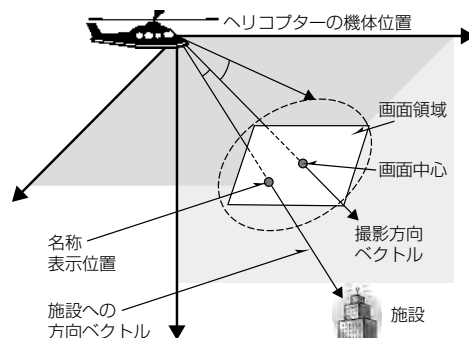


図 5. 名称描画位置の特定

を静止画像として定期的に抽出し、ヘリ・カメラ情報から算出された撮影範囲(画枠)に従って変形して地図上に連続的に貼り付ける機能である(図3)。

カメラ撮影の軸に対して、ヘリ・カメラ情報から求めた同次座標変換をかけることによってグローバル座標系下での撮影方向を求める⁽¹⁾。撮影方向ベクトルと地表面との交点を求めることで地図画面上での撮影範囲の形状を特定し、地図上に貼り付けることでGIS(Geographic Information System: 地理情報システム)と空撮映像が連携可能となる。具体的には被災箇所からの住所特定、地図上の距離・面積計算機能による被災規模の算出等が容易になる。

4.1.2 ライブ映像自動録画機能

空撮映像は地上局の映像管理装置で蓄積し、同時にヘリ・カメラ情報も蓄積する。蓄積映像は地図映像表示端末で任意に検索して再生表示可能であり、再生時には映像に同期して地図画面上にヘリコプター位置がプロットされる。

4.2 拡張機能

4.2.1 施設名称重畳機能

映像上に、映像に写っている施設等の名称を、映像上のその施設の位置に重ねて表示する機能である(図4)。

施設名称重畳機能についても最初にカメラ撮影方向を算出する⁽²⁾。ヘリコプターの機体位置から施設の位置までの方向ベクトルを求め、ベクトルが画面領域を通るものを描画する(図5)。

映像は連続情報であるが、名称表示位置を算出するヘリ・カメラ情報は離散情報であるため、映像移動に名称表示を追従させるため名称表示位置の補間処理も併せて行う。

この機能を機上側と地上側双方に実装し、映像上に表示される施設名称をその位置とともに把握することで、地上一機上間の音声でのコミュニケーションで、施設を名称で指定・指示することができ(“XXビルの横”“A公園の東”など)、相互意思疎通と情報共有の支援につながる。

4.2.2 連結静止画作成機能

4.1.1項の地図重畳映像表示機能は、映像からのスナップショットとしての静止画像を作成するものであったが、一枚一枚の静止画像で一度に把握できる領域面積は限られていた。

そこで、連続して撮影した複数の静止画像から、連続してつながる帯状の静止画像を作成するための連結静止画作

成機能を提供する。映像から取り出した静止画像を、ヘリ・カメラ情報を基にオルソ補正^(注1)した後⁽³⁾、隣り合う静止画像との間で照合を行い重なり部分を算出し、結合を行う。広範囲の静止画表示によって、広域を俯瞰した状況把握が可能となる。

(注1) 映像の中心から外周へと生じる歪(ひず)みを修正すること。

4.2.3 外部システム連携機能

外部システム連携機能は、各情報を提供可能な形式に変換し、このシステムのWebサーバ上に公開することで、外部からWebインタフェースを用いて情報を取得可能とする。

フライト航跡情報や静止画像・画枠情報をライブ映像に追随してKMLフォーマット^(注2)で提供することで、ヘリテレ映像の受信設備を持たない部門でもKMLフォーマットをサポートするGIS環境があれば、被災状況をリアルタイムで把握できる⁽⁴⁾。

(注2) 三次元地理空間情報を表示するXML(eXtensible Markup Language) ベースの言語である。

4.2.4 倒壊建物抽出機能

倒壊建物抽出機能では、鉛直真下方向に撮影した映像を利用して、撮影した範囲の三次元形状を算出する。三次元形状とその範囲の建物の高さ情報をマッチング処理することによって、“本来建物があるはずの所に建物が存在しない”という地点を抽出し、倒壊建物として地図表示する。

4.2.5 火点候補抽出機能

ヘリコプターには、可視カメラと赤外カメラの2つのカメラ装置を搭載していることが多い。赤外カメラでは火災の煙等で視界が悪く可視カメラでは特定できないような火災発生地点をピンポイントで特定可能となる。

火点候補抽出機能では、赤外カメラの機能を応用し、4.1.1項の地図重畳映像表示機能と連携することで、火災の発生が想定される場所を機上側で抽出する機能を提供している。

4.2.6 自動追尾撮影機能

ヘリコプターの乗組員は、限られた人数で多くの作業を行う必要がある。自動追尾撮影機能は、指定した場所(被災した建物等)を指定することで、その場所を自動的に撮影し続ける機能である。これによって、乗組員がカメラ操作に人手を煩わせることなく、他の作業を行うことができる。

自動追尾撮影機能には、撮影位置の緯度経度を指定して

行う方式と、画像処理によって目標物を映像から特定して追跡する方式がある。前者は目標地点エリア付近の広域の撮影を、後者は特定対象物の連続撮影を目的としている。

5. ヘリコプター衛星通信システムとの連携

ヘリコプターからの映像・音声・データ伝送手段として、無線で地上中継局を介して伝送するヘリテレが活用されているが、伝送エリアは地上中継局から一定距離の見通し範囲に限定され、広い範囲をカバーするためには複数の地上中継局が必要で整備費負担も大きくなるなどの課題がある。

三菱電機が開発したヘリコプター衛星通信システム（ヘリサット）^(注3)は、この課題を解決するシステムとして総務省消防庁等で運用されている。ヘリサットとこのシステムの連携によるシステムの高度化について次に述べる。

(注3) 当社通信機製作所が開発し、製作している。

5.1 ヘリサットの概要

ヘリサットは、ヘリコプターで撮影した被災地等の動画を静止衛星経由で地上局へ伝送する機能とヘリコプターと地上局間の双方向音声通信を実現する機能を持つ(図6)。

ヘリ局装置は衛星通信用小型アンテナ、送受信機、変復調器、映像装置等から構成され、地上局は通常の衛星通信用アンテナ・送受信設備にヘリサット用の変復調器、映像装置を追加した構成である。ヘリサットの導入効果を次に挙げる。

- (1) 地上中継局を必要とせず地上局1局で広域をカバーできる(広域性)。
- (2) 回線接続のための準備作業を必要とせずヘリコプターの到着と同時に伝送が可能である(利便性)。
- (3) 山岳や高層建築物の影響を受けず近接撮影、谷あい等でも安定な伝送ができる(耐環境性)。
- (4) 複数受信局で同報受信することによって各拠点で同時にリアルタイムに情報を共有できる(同報性)。
- (5) 災害等によって地上(中継局)などが被災しても通信衛星を経由して伝送が可能である(抗堪性)。
- (6) 常時双方向の音声連絡回線を確保でき、地上局からヘリコプターへ撮影箇所等の指示等が可能である(常時接続性)。
- (7) 地上中継局が不要なので管轄区域が広範囲なほどコストパフォーマンスに優れる(低コスト)。

5.2 ヘリサットの主要技術

(1) 送受信方式

ヘリサットは、ブレード回転の間隙を狙って送信する間欠送信方式を採用している。間欠送信のタイミングは、ヘリコプターの姿勢、衛星の位置及びブレードの回転タイミングによって決定され、フライト姿勢によって時々刻々と変化するため正確かつ動的なタイミング制御が求められる。

(2) 追尾方式

衛星追尾誤差による回線劣化と隣接衛星への干渉を防ぐため、衛星通信指向方向からの誤差0.5°以内という厳しい

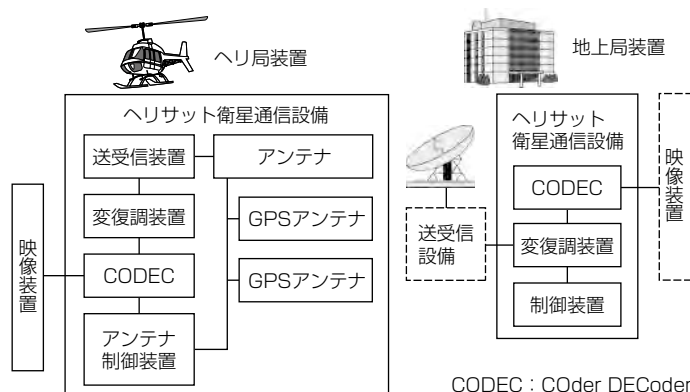


図6. ヘリサットのシステム構成

追尾精度が要求される。ヘリサットは、衛星方向を中心にビームを微小角ずらして円を描くようにスキャンし、受信電力が最大になる方向を検出することで高精度追尾を実現するコニカルスキャン方式を採用している。

5.3 ヘリサットと連携した新機能

ヘリサットは、映像送信回線と別にヘリコプターと地上局間を双方向で送受信するデータ通信回線を提供しているため、次のような機能が実現可能となる。

- (1) 機上設備と地上設備間でメッセージの送受信を行う。
- (2) 地上設備からフライト目的地データを送信して機上設備の地図画面に表示、逆に機上設備の地図画面で入力したポイントデータを地上設備に送信して地図画面に表示する。
- (3) 地上設備から継続的に注視したい地点データを送信し、機上設備側のカメラ制御で対象地点を自動追尾撮影する。

6. む す び

従来のヘリテレの高度化・高機能化を実現した“ヘリコプター映像応用システム”について述べた。

このシステムは、独自の高速GIS技術や画像処理技術によって、地図上への映像のリアルタイム重畳機能を提供しており、災害時の迅速で的確な対策立案・指示を支援している。

今後は、ハイビジョンカメラによる高解像度映像を活用した被害検知機能等の精度向上など、国や地方公共団体等における大規模広域災害時の即応力の強化、より詳細な情報収集と情報共有を支援する更なる機能拡充を図っていく。

参 考 文 献

- (1) 山口富士夫（監修）：実践コンピュータグラフィックス—基礎手続きと応用、日刊工業新聞社（1987）
- (2) Kuipers, J.B.: Quaternions and Rotation Sequences, Princeton Univ. Press（1999）
- (3) 日本写真測量学会 動体計測研究会編：デジタル写真測量の理論と実践、日本測量協会（2004）
- (4) OGC KML, OGC Inc., OGC 07-147r2（2008）
http://www.opengeospatial.org/standards/kml

大型映像表示装置“オーロラビジョン” 新“ODX, ODQシリーズ”

奈良淳一*
 切通 聡*

New "ODX, ODQ Series" of Large Scale Video Displays "Diamond Vision"

Junichi Nara, Satoru Kiridoshi

要 旨

大型映像表示装置は、公営競技場、各種スポーツ施設はもちろん、ビル壁面やコンサートホール、広場に設置され、人々への情報伝達手段として重要な役割を果たしている。三菱電機の大規模映像表示装置“オーロラビジョン”は、1980年に世界初のフルカラー大規模映像表示装置として米国ドジャースタジアムに納入して以降、これまで日本国内を始め世界で1,900セット以上の納入実績がある。

大型映像表示装置はテレビとは異なり、夜間から日中の直射日光下まで幅広い照度環境で使用される。そのため、この使用環境や特性に応じた独自の高画質化技術が求められている。これに対しオーロラビジョンでは、特に幅広い照度環境下でのコントラスト改善に積極的に取り組んでいる。コントラストとは、スクリーンの明暗差を示す値であ

り、コントラストが高いと深みのある引き締まった映像を表示することができる。今回LEDパッケージを黒色化したSMD (Surface Mount Device) 型BlackLEDを採用することで高コントラストを実現した新“ODX, ODQシリーズ”を開発・製品化し、群馬県立敷島公園野球場を皮切りに市場投入を果たした。さらにLEDや表示面の改良に加えダイナミックガンマ、環境対応色変換による高コントラスト信号処理技術も開発し、現行機より更なる高画質化を実現している。

本稿では今回新たに市場投入して高画質化を実現した新ODX, ODQシリーズにおける“高コントラスト技術”をテーマとして各種技術について述べる。



群馬県立敷島公園野球場向け高コントラスト“オーロラビジョン”

SMD型BlackLEDを適用したオーロラビジョン新ODX, ODQシリーズは、屋外でのコントラストが向上しており、野球場、スタジアム等の公共施設を中心に今後の市場拡大が期待されている(2014年設置 新ODX8 5.76m×17.6m)。

1. ま え が き

当社の大型映像表示装置オーロラビジョンは、公営競技場、各種スポーツ施設はもちろん、ビル壁面やコンサートホール、広場に設置され、高画質・高信頼性という優れた特長によって市場から高い評価を得てきた。当社は、大型映像表示装置の更なる高画質化に向けて、太陽光下でのコントラストを重視し、改善を進めている。

本稿では、オーロラビジョンの新ODX、ODQシリーズに搭載している高画質化技術として、SMD型BlackLED適用による次世代表示ユニット及び新画素配列による高コントラスト技術、さらに高コントラスト信号処理技術であるダイナミックガンマ、環境対応色変換技術について述べる。

2. オーロラビジョンの高コントラスト技術

2.1 太陽光とコントラスト

大型映像表示装置の画質を評価する指標の1つとして、コントラストがある。コントラストとは、黒と白表示時の輝度の差であり、このコントラストが高いほど、深みのある引き締まった映像を表示することができる。

図1は、スクリーンの色再現範囲を立体表現したものである。色は3原色(ベクトル)の合成ベクトルであり、色の再現範囲はベクトルR(赤)、G(緑)、B(青)と平面 $X+Y+Z=1$ との交点R1、G1、B1で囲まれる三角形で表される。一方、表示面における外光の反射は幅広い色成分を持つ。このため画像の3原色の色度は、反射光の影響を受けて、三角形の内側にシフトし(破線の三角形)、色再現範囲が狭くなる。つまり、太陽光の反射率が高く、コントラストが低い大型映像表示装置ほど、色再現範囲が狭くなる。外光下でも高い色再現性を実現するため、当社ではオーロラビジョンの外光の反射を抑制してコントラストを向上させるSMD型BlackLEDと新たな画素配列を採用し、高コントラストを実現した。

2.2 SMD型BlackLEDによる高コントラスト実現

図2は、当社の従来型ユニットとSMD型BlackLEDを適用した表示ユニットである。従来のユニットは、R、G、

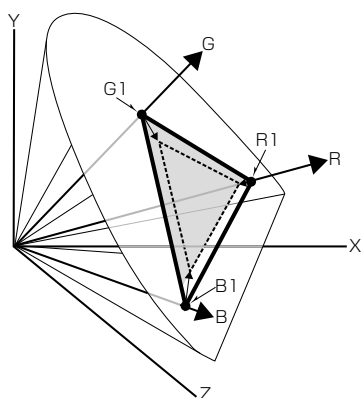


図1. 色再現範囲の三次元表現

Bそれぞれの画素に対し、赤、緑、青に着色された砲弾型LEDパッケージ(図3(a))を用いていた。図4(a)に示すように、従来の砲弾型LEDに太陽光といった外光が照射された場合、LEDはパッケージ色の光を反射するため、太陽光の反射率が高く、コントラストが低下する。

一方SMD型BlackLEDでは、LEDパッケージを赤、緑、青色に着色せず、LED素子周辺を含めたパッケージ全体を黒色化した(図3(b))。LEDパッケージの黒色化によって外光を吸収して反射を低減し、その結果表示面での黒の沈み込みを改善し、コントラストを向上できる(図4(b))。

さらにSMD型BlackLEDの特徴は、黒色パッケージに加え、LEDの構造を従来の砲弾型からSMD型へと移行したことであり、表面実装技術によって次の製造上の課題を克服している。

- (1) 実装時のLEDの傾きを低減(LEDの実装ばらつきを低減し、幅広い視野角で均一性を確保)
- (2) LED実装スピードの改善

従来の砲弾型LEDはLED裏面のリードが長いいため、実装時にLEDが傾くといった実装ばらつきが発生しやすい。

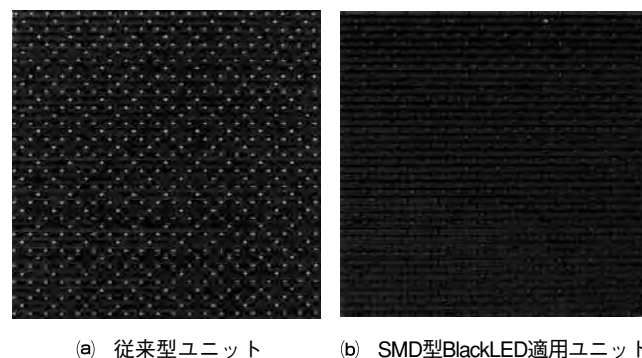


図2. 表示ユニット

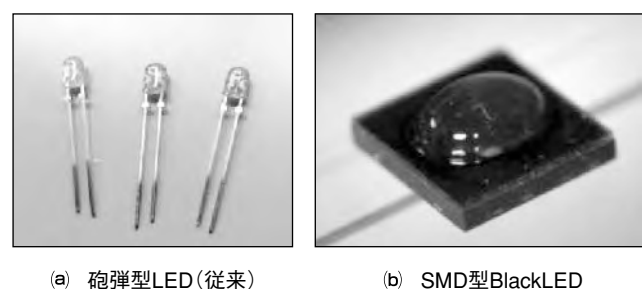


図3. 砲弾型LEDとSMD型BlackLED

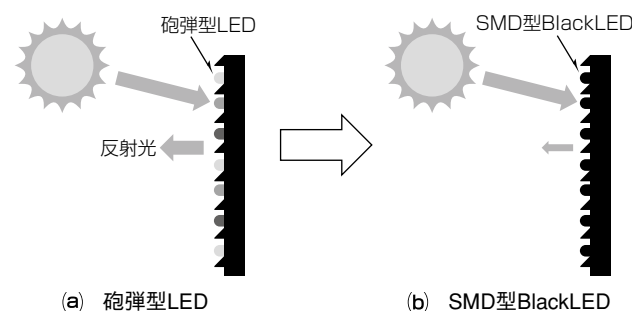


図4. LEDパッケージの違いによる太陽光反射の状況

LEDの実装ばらつきがあると、正面の輝度を均一化しても、スクリーンを斜めから見た場合に輝度むらが生じ、画質低下の一因となる。SMD型BlackLEDは表面実装型であるため、構造上そのような問題が発生しにくい。

また、通常のSMD型LEDはLED表面が平滑であるが、SMD型BlackLEDはレンズ構造を採っている(図3(b))。このレンズの光学設計を最適化することで、従来の砲弾型LEDのメリットは継承しつつ、次の効果が得られる。

- (1) 黒色パッケージによる高コントラストとレンズ構造による高発光効率の両立
- (2) LEDサイズの小型化によるコントラスト向上
(表示面におけるLED面積を削減)

特にLEDの小型化は近年のLED素子の性能向上によるところが多い。LED素子の輝度向上によってLED素子の小型化とともに、LEDパッケージを小型化することが可能となった。表示面に占めるLED面積を減らすことで、表示部に占めるLED以外の面積が大きくなり相対的にコントラストを向上させることができる。このようにSMD型BlackLEDは、オーロラビジョンのコントラスト向上に大きな効果をもたらし、さらに従来の砲弾型LEDの課題であった斜め方向から見た輝度むらを改善している。

2.3 画素配列とSMD型BlackLEDによる高コントラスト実現

当社の代表的な画素(ピクセル)配列としてQUAD配列(ODQシリーズ)と新画素配列であるX配列(ODXシリーズ)が挙げられる。

QUAD配列(図5)の画素は4つの素子(サブピクセル)で構成されている。通常、画像の標準化は1標本点を1画素に対応付けるピクセル制御を適用するが、オーロラビジョンでは、4つの標本点を4つの素子に対応付けるサブピクセル制御を適用する。この方式は、隣接画素が重複して破線の画素が生じ、見かけの画素数を約2倍に増加させることができる⁽¹⁾。新ODQシリーズでは、使用するLEDに先に述べたSMD型BlackLEDを適用することで、LED面の反射を低減させた高コントラストユニットを実現した。

X配列(図6)は、太陽光下での更なるコントラスト向上を実現するために開発した新画素配列である。X配列では画素を構成する4つのサブピクセルのうち、1サブピクセルにLEDを設けなくて外光の反射を抑制する黒スペースにすることで、コントラスト向上を目指している。近距離からの視認では、黒化した領域を含む画素構造がノイズとして目立つ可能性があることから、画素配列を45°回転させて、黒化した領域を千鳥格子状に配置し、画素構造に起因するノイズを目立ちにくくしている⁽¹⁾。図7は、X配列における解像度の考え方を示す。画素ピッチ x_0 の格子状画素配列の解像度に対応するフルカラーの表現が可能なナイキスト領域(カラー表示領域)は、正方形で表現される⁽²⁾。画素配列を45°回転させるとナイキスト領域も45°回転する。

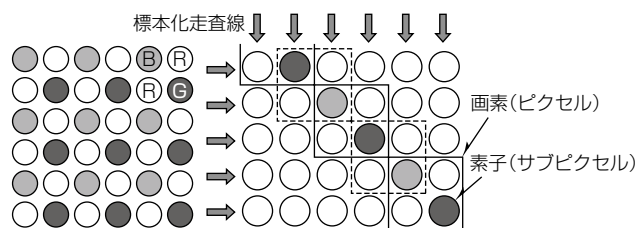


図5. QUAD配列

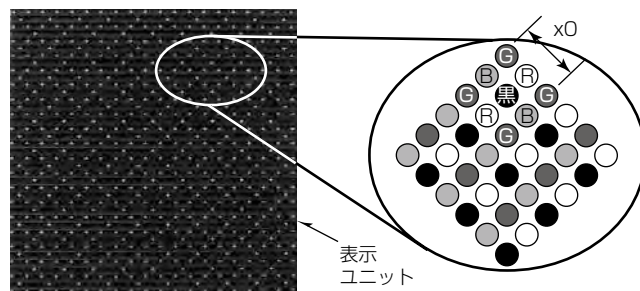


図6. X配列と表示ユニット

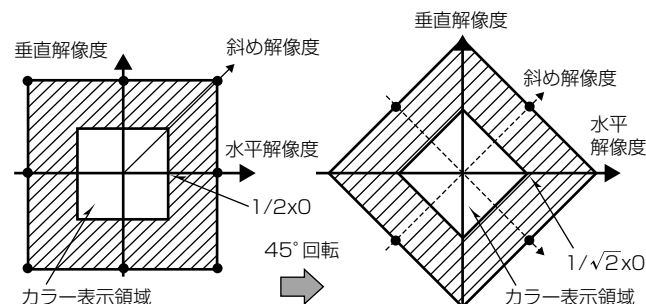


図7. X配列の解像度の考え方

図7から、回転前のナイキスト領域は水平解像度が $1/2x_0$ であるが、回転後の解像度は $1/\sqrt{2}x_0$ となる。このようにX配列は斜め解像度が犠牲となるが、水平・垂直解像度が高くなる。ここで1サブピクセルを黒化することの影響は、図7のカラー表示領域周辺の斜線部に現れる。この領域は、画素にとって重要であるが、画像の輪郭や細線部に対応しており、十分な画素数を持つ高精細オーロラビジョンでは、輪郭や細線部は画像に対してごく一部であり影響が限定的である。したがって、新画素配列であるX配列の画質は、外光反射の抑制によるコントラスト向上が支配的と考えられる。

X配列を搭載した新たな機種シリーズとして今回ODXシリーズをラインアップ化した。ODXシリーズはODQシリーズと同様に先に述べたSMD型BMD型BlackLEDと併せた新ODXシリーズとして展開しており、LED自体の黒化と組み合わせることで更なる高コントラストを実現している。

3. 高コントラスト信号処理技術

3.1 ダイナミックガンマによる高コントラスト処理

オーロラビジョンでは、表示する映像に対して当社独

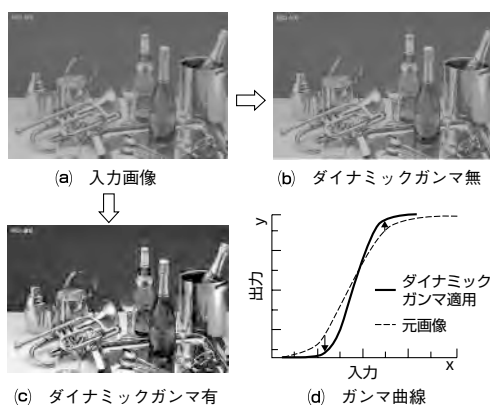


図8. ダイナミックガンマの機能

自の高画質化処理を適用することで高画質化を図っている。そのうち高コントラストを実現する機能の1つがダイナミックガンマである。

図8にダイナミックガンマの機能を示す。ダイナミックガンマは入力画像のヒストグラムに応じて1枚(フレーム)ごとにガンマ特性を制御し、コントラスト感を向上させる技術である。ガンマ特性とは入力された映像の輝度信号と実際に画面に表示される輝度との関係のことであり、ダイナミックガンマを適用することで、図8のガンマ曲線のように階調が低い黒はより黒く、階調が高い白はより白く表示するようにガンマ特性を変化させ、表示を行う。

屋外に設置される大型映像表示装置は、外光によってコントラストが低下するため、ダイナミックガンマ処理によるコントラスト感の向上は、画質向上に大いに役立つ。

3.2 環境対応色変換による高コントラスト処理

LEDは、他の表示デバイスと比較して、色純度が高く色再現範囲が広い。ハイビジョン^(注1)の色再現範囲に比べてLEDの色再現範囲が広すぎると、色に不自然さを感じることから、オーロラビジョンでは、LEDの3原色をハイビジョン規格相当の3原色に変換することで自然な色を表現している(図9(a))。

ただし、先に述べたとおり大型映像表示装置では、直射日光時の表面における太陽光の反射がコントラストの低下と色再現範囲の縮小を招く(図9(b))。この課題を克服するため、オーロラビジョンでは、環境対応色変換と呼ばれる次世代の高コントラスト処理技術を開発した。

環境対応色変換は、光センサと独自のアルゴリズムを用いて、周囲環境光の照度・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、環境光によって失われた色域を復元させる。この機能は、ハイビジョン相当の色域に制限していたLED表示能力の余剰分を活用することで、周囲の環境光によって低下した色域を補償する機能である。つまり太陽光下でも鮮やかな色の高精細表示を実現することができる(図9(c))。環境対応色変換は、まず3色(R, G,

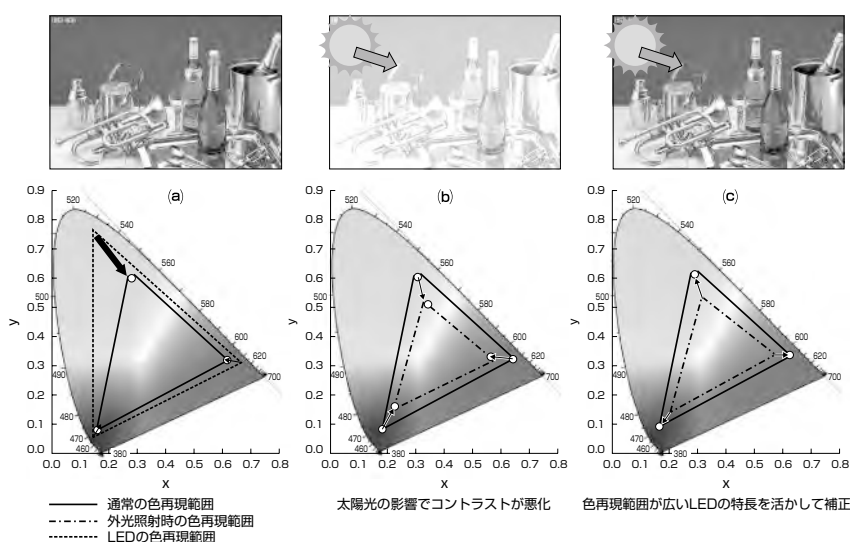


図9. 色度座標によるLEDの色再現範囲と環境対応色変換

B)のカラーセンサによって太陽光の色、光量を検出する。得られたセンサ情報を当社独自のアルゴリズムによって太陽光の色を3色から7色成分へと拡張・分析し、R, G, B, C(シアン), M(マゼンタ), Y(イエロー), W(白)の7色の軸で、コンテンツの内容と外光情報に基づき、フレームごとに色再現範囲の調整を行う。この技術を適用することで、直射日光時や西日時、また夜間でもスクリーンのコントラストが変化することなく、常に一定の色域での表示能力を提供することが可能となる。

(注1) ハイビジョンは、一般財団法人NHKエンジニアリングシステムの登録商標である。

4. む す び

オーロラビジョンは、フルハイビジョン信号処理など最新の高画質化信号処理を適用することはもちろん、テレビとは異なる独自技術を開発することで、様々な設置環境下でも高い映像品質を提供している。本稿では、SMD型BlackLEDや新画素配列を適用することで高コントラストを実現したオーロラビジョン新ODX, ODQシリーズについて述べた。また同時に、高コントラスト信号処理技術として、ダイナミックガンマ、環境対応色変換技術を開発した。今後、大型映像表示装置市場は、LEDの高性能化と高速信号処理技術の発達によって高解像度・超大型化が進むことが予想される。今後も当社はオーロラビジョンの高画質化を実現するための技術開発を進めていく。

参 考 文 献

- (1) 原 善一郎, ほか: 大画面ディスプレイにおける画素配列と画質, 電子情報通信学会論文誌C-II, J77-C-2, No.3, 148~159 (1994)
- (2) カラー画像表示装置, 特許5456917号

高濃度・高効率オゾン発生装置の適用例と水処理特性

石田稔郎*
安永 望**
山内登起子***

Examples of Application and Characteristics of Water Treatment by Higher Concentration and More Efficient Ozone Generators

Toshiro Ishida, Nozomu Yasunaga, Tokiko Yamauchi

要 旨

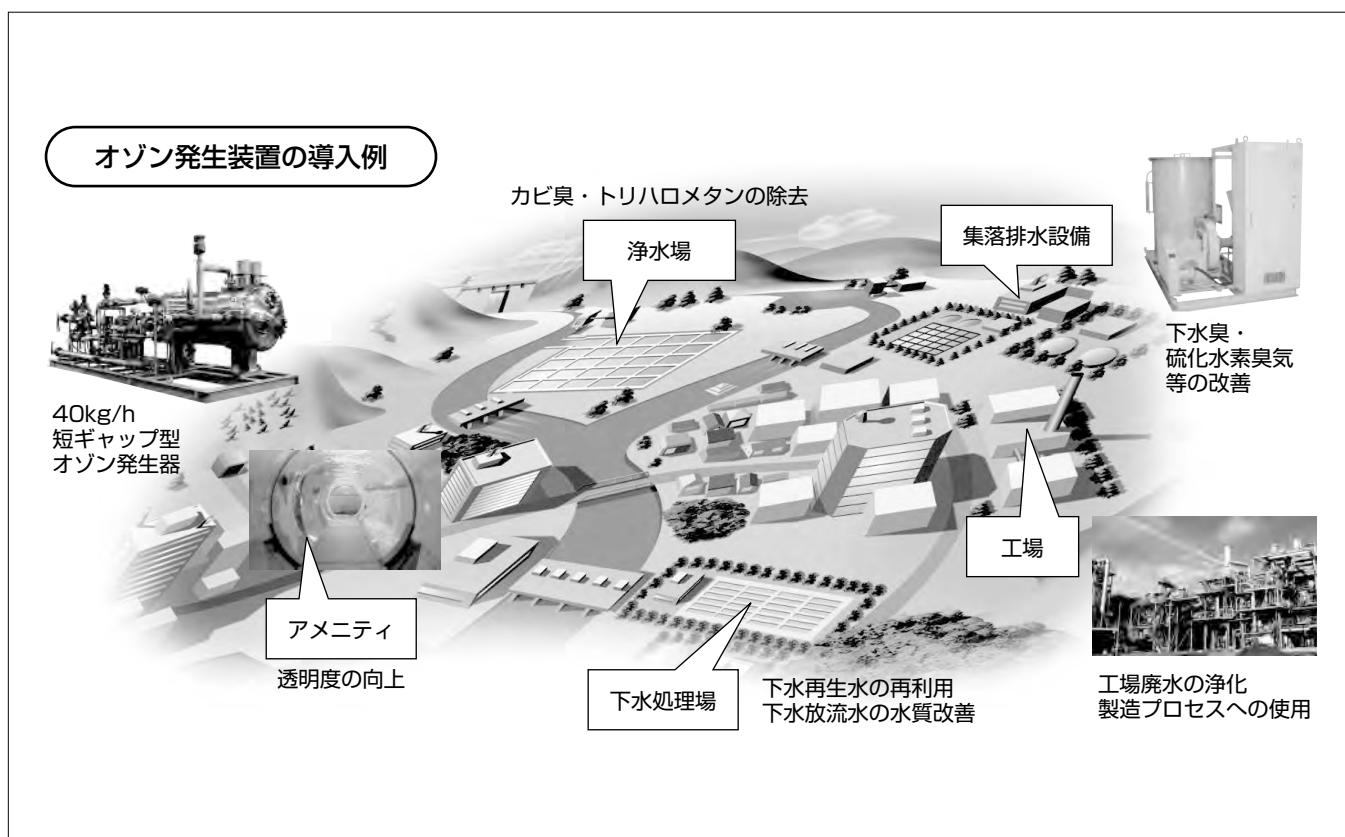
オゾンは酸素原子が3つ結合した分子で、自然界ではフッ素に次いで2番目に酸化力の強い気体である。この強い酸化力を利用して、上下水や工業分野の水処理に適用されている。上水ではかび臭除去・トリハロメタン前駆物質の低減、下水や工場排水では脱色・脱臭、工業分野では漂白・酸化など多岐にわたって適用されているが、更なる適用拡大に向けて、運転にかかる電力消費量低減とオゾン処理水の安全性向上が求められている。

三菱電機はオゾン発生装置を1968年に製品化して以来、高濃度・高効率・省スペースを課題として改良を続けてきた。特に近年では、細管型放電管を用いて放電空間の精度を向上させ、短ギャップ化することができた。この短ギャップ

化による各種高濃度・高効率オゾン発生装置の適用例について述べる。

また、高濃度オゾンを使用した水処理特性についてはオゾン吸収効率及び有機物分解率の向上が明らかになりつつあるが、健康への影響が懸念される臭素酸等の副生成物の生成特性については不明な点が多い。そこで、オゾン濃度をパラメータとして、オゾン吸収効率、臭素酸生成特性について評価した。

その結果、オゾン濃度が高いほどオゾン吸収効率が高いこと、及びオゾン吸収量に対する臭素酸生成量が少ないことがわかった。



高濃度オゾンのメリット

当社のオゾナイザの特長は高効率な高濃度オゾンの発生であり、高濃度オゾンによって必要な原料ガス量を低減できるとともに省スペースなシステムを構築できる。さらに高濃度オゾンを経水処理に適用することで、オゾンの溶解効率が高まり効率的にオゾンを利用できるとともに、健康への影響が懸念される副生成物（臭素酸）の生成量を低減できる。

1. ま え が き

オゾンは酸素原子が3つ結合した分子で、自然界ではフッ素に次いで2番目に酸化力の強い気体である。この強い酸化力を利用して、上下水や工業分野の水処理に適用されている。上水ではかび臭除去・トリハロメタン前駆物質の低減、下水や工場排水では脱色・脱臭、工業分野では漂白・酸化などに適用されている。

オゾンはオゾン発生装置によって製造する。オゾン発生装置は原料ガス供給装置とオゾン発生器から構成される。原料ガス供給装置はオゾンの原料となる酸素を生成する装置である。オゾン発生器は無声放電によって酸素分子を分離し、もう1つの酸素分子と結合させてオゾンを生産する装置である。

当社はこのオゾン発生装置を1968年に製品化して以来、高濃度・高効率・省スペースを課題として改良を加えてきた。発生オゾンを高濃度化することによって、必要な原料ガス量が低減するため、原料ガス供給装置の電力コストを削減できる。オゾン発生器を高効率化することによって、放電に必要な電力を削減でき、オゾン発生装置全体の電力コストを削減できる。オゾン発生器を省スペース化することによって、オゾン発生器の設置スペースを削減でき、輸送車両の問題も解消できる。これらの課題を解決するために2008年に細管型オゾン発生器を製品化した⁽¹⁾。

一方、反応面ではオゾン処理の副生成物である臭素酸の低減と反応効率の向上が課題である⁽²⁾。臭素酸はオゾンと臭化物イオンが反応して生成される副生成物で、浄水処理過程でも生成されることから、健康への影響が懸念されている。臭化物イオン濃度は取水点が河口に近いほど大きくなる傾向にあり、オゾン処理によって生成される臭素酸もそれに伴い増加する。これらの課題を解決する手段として高濃度オゾンの適用が考えられる。高濃度オゾンを用いることでオゾン吸収効率の向上と、臭素酸の生成抑制が図られることをラボ実験レベルで確認した。

そこで今回は、高濃度オゾン生成が可能な細管型オゾン発生装置とその適用例並びに高濃度オゾンによるオゾン吸収効率、臭素酸生成特性の評価結果を述べる。

2. 細管型オゾン発生装置

2.1 オゾン発生方法

オゾン発生には、一般的に最も効率がよく経済的な無声放電法が採用されている。無声放電法の原理を図1に示す。

ガラスの誘電体を介した2つの電極間に原料ガスとなる酸素又は空気を流し、高圧・高周波の電源を印加する。すると、電極間で放電が発生して酸素からオゾンが生成される。この2つの電極の隙間を“放電ギャップ”と呼び、この隙間の長さを“放電ギャップ長”と呼んでいる。通常、放電ギャップ長は、0.数～1mm程度のごくわずかな隙間であ

る。この放電ギャップ長は、オゾン発生効率に影響を与える重要な因子である。

2.2 オゾン発生装置の構成

オゾンの原料となる酸素の供給には酸素発生装置や液体酸素が必要となる。酸素原料のオゾン発生装置の構成を図2に示す。オゾン発生装置は、酸素を供給する原料ガス供給装置、オゾン発生に適した電源を供給する電源装置、オゾンを発生するオゾン発生器、及びオゾン発生器で発生した熱を除去する冷却装置の4つの装置で構成されている。

オゾン発生器の構造を図3に示す。オゾン発生器は円筒型で、内部に放電管と接地電極管が対になって収納されている。一对の放電管と接地電極管の詳細図を合わせて示す。図3で述べた放電ギャップは、放電管の外側と接地電極管の内側の隙間に形成される。この隙間に原料ガスを流しながら無声放電を行うことによってオゾンが生成される。

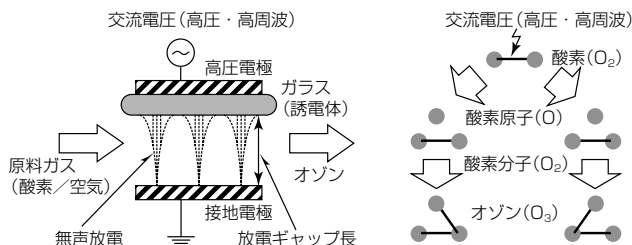


図1. 無声放電法の原理

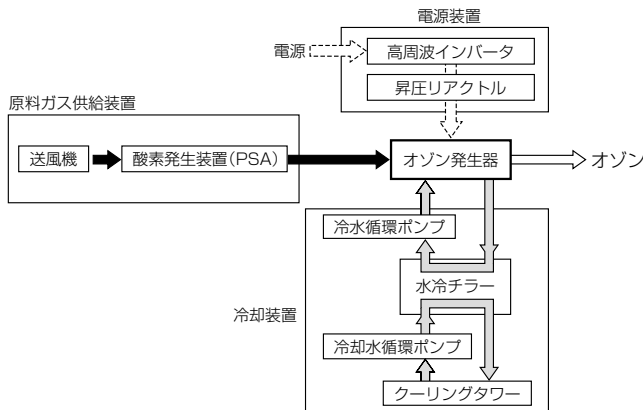


図2. オゾン発生装置の構成

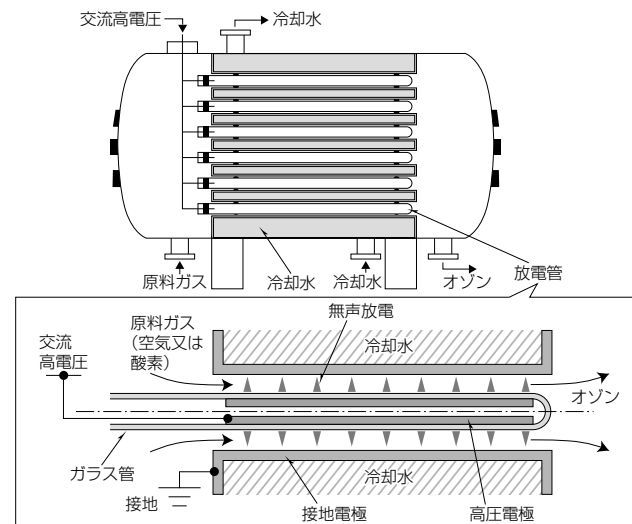


図3. オゾン発生器と放電管の構造

2.3 短ギャップ化によるオゾン発生の高濃度・高効率化

短ギャップ化によるオゾン発生特性の改善を図4に示す。短ギャップ化によって次の効果が確認できた。

- (1) 高濃度化：同じ電力であれば、高濃度のオゾン発生が可能。オゾン分解の抑制によって、飽和オゾン濃度が高い。
- (2) 高効率化：同じオゾン濃度であれば、少ない電力でオゾン発生が可能。

2.4 ランニングコストの評価

オゾン濃度とランニングコストの関係を図5に示す。ランニングコストには、オゾン発生器と原料ガス供給装置の電気代が含まれている。オゾン濃度180g/Nm³で当社従来比約22%削減となる。また、従来のランニングコストは150g/Nm³を超えると悪化していたが、今回は180g/Nm³以上の高濃度領域でも悪化することなく低いランニングコストが維持できている。

2.5 細管採用によるオゾン発生器の大容量化

細管採用と短ギャップ化によって、同一サイズのオゾン発生器で、次のことが可能となった。

- (1) 細管採用：オゾン発生量が従来の4倍
 - (2) 短ギャップ化：オゾン発生量が従来の2倍
- (1), (2)から、オゾン発生量は従来の8倍に大容量化が可能となった。

また、同一オゾン発生量の場合、オゾン発生器の缶体径は従来の $1/\sqrt{8}$ ($\approx 1/2.8$)に省スペース化が可能となった。

3. 高濃度オゾン発生装置の適用例

3.1 水処理装置への適用

高濃度オゾン発生装置の上下水や工業分野の水処理装置への適用例を述べる。図6はオゾンと水を接触反応させる水処理装置の一般的なフローである。オゾン反応槽はオゾンと水を接触反応させる装置で、排オゾン分解塔は接触反応時の余剰オゾンである排オゾンを分解し酸素に戻して排気する装置である。

高濃度オゾンを適用すると原料ガス量を減少させることができるため、散気管本数と排オゾン分解塔の容量をそれぞれ縮小できる。

3.2 循環型オゾン浄化装置への適用

高濃度オゾン発生装置の循環型オゾン浄化装置への適用例を述べる。循環型オゾン浄化装置は、水族館やプール、循環系冷却水など幅広い循環利用水の水質浄化に使用されている。

図7、図8に循環型オゾン浄化装置の外観とフローを示す。オゾン注入にはインジェクタが用いられている。インジェクタは通水した配管の口径を絞って吸込圧を生じさせ、オゾンを配管内に吸引させる装置である。高濃度

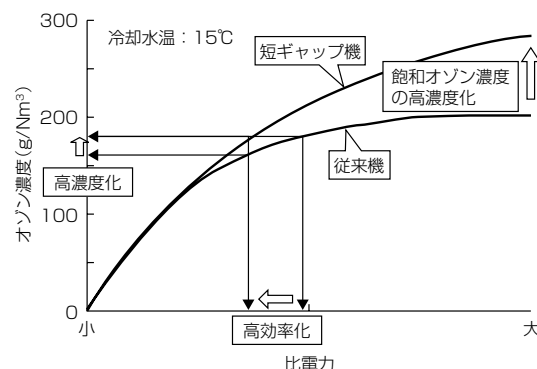


図4. オゾン発生特性の改善

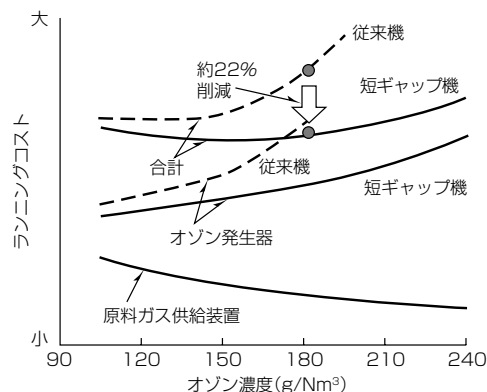


図5. オゾン発生装置のランニングコスト

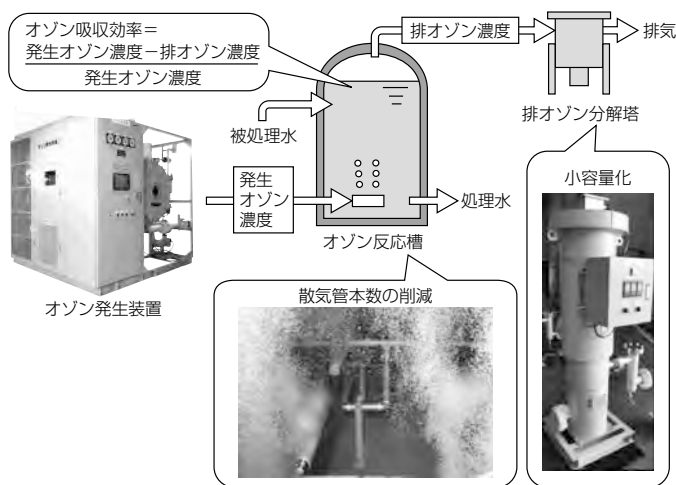


図6. オゾン水処理装置のフロー

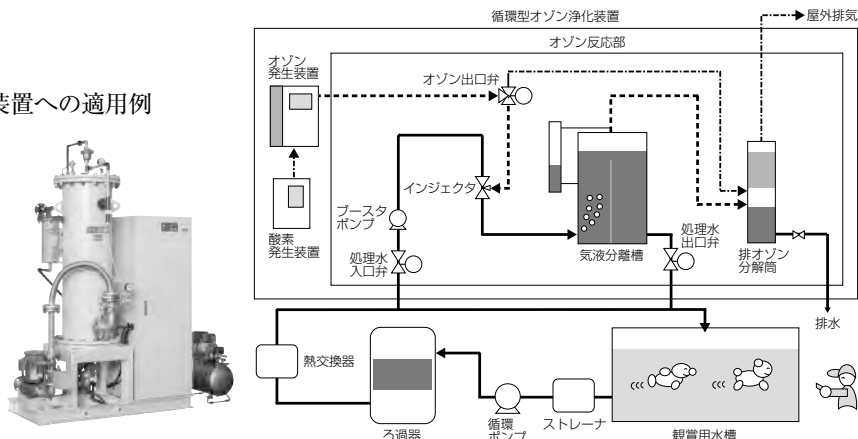


図7. 循環型オゾン浄化装置

図8. 循環型オゾン浄化装置のフロー



図9. 乾式オゾン脱臭装置

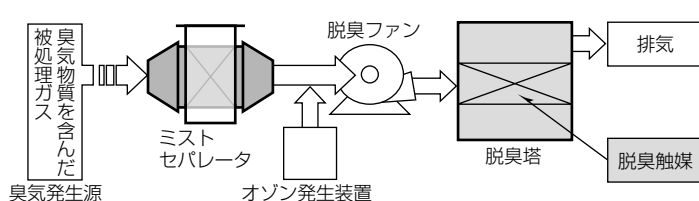


図10. 乾式オゾン脱臭装置フロー

水に所定量の臭化カリウム(KBr)を添加したものを用いた。オゾン反応槽は対向流型反応槽(内径50mm, 有効容量2.95L)に被処理水を循環させる経路を設けて流動状態を完全混合とした。オゾンガスはインジェクタを用い

てオゾン濃度20, 50, 150, 210g/Nm³でそれぞれ注入した。

4.2 オゾン吸収効率

オゾン濃度に対するオゾン吸収効率の変化を図11に示す。この図から、オゾン注入率10mg/Lではオゾン濃度が高いほどオゾン吸収効率が高いことが分かる。これは同じオゾン注入率ではオゾン濃度が高いほど原料ガス量を小さくできることを示している。

4.3 臭素酸生成特性

図12に一定オゾン吸収量(4mg/L)におけるオゾン濃度に対する臭素酸生成量及び臭化物イオン(Br⁻)濃度の変化を示す。臭素酸はBr⁻がオゾンで酸化されて副生物として生成される。この図から分かるように、オゾン濃度が高いほど臭素酸濃度が小さくなる傾向があることが分かる。これは、オゾン濃度が高いほどオゾン吸収量(=溶存オゾン濃度+オゾン消費量)に対するオゾン消費量の割合が増大する傾向があり、この消費オゾンが臭素酸の生成に寄与していないためであると推察される。

5. む す び

最新のオゾン発生技術として、当社で取り組んでいる短ギャップ化による高濃度・高効率化と細管採用による大容量化(省スペース化)について述べた。この技術を用いることによってオゾンの適用拡大に貢献できると考えている。

また、高濃度オゾン在水処理に適用した場合の効果について検討した結果を次にまとめる。

- (1) 同じオゾン注入率ではオゾン濃度が高いほどオゾン吸収効率が高かった。したがって、オゾン濃度が高いほど、オゾンを有効に利用できる。
- (2) オゾン濃度が高いほどオゾン吸収量に対する臭素酸生成量が少なかった。

当社は高濃度・高効率オゾン発生技術の開発を更に進め、これらを中心とした水処理技術によってグローバルな水環境改善に貢献したい。

参 考 文 献

- (1) 倉橋一豪, ほか: 円筒多管式オゾン発生器の省エネルギー・省資源化, 三菱電機技報, **82**, No.11, 707~710 (2008)
- (2) 安永 望, ほか: 高濃度オゾンガス適用によるオゾン水処理特性-臭素酸生成抑制効果の検証-, 平成25年度全国会議(水道研究発表会)講演集, 140~141 (2013)

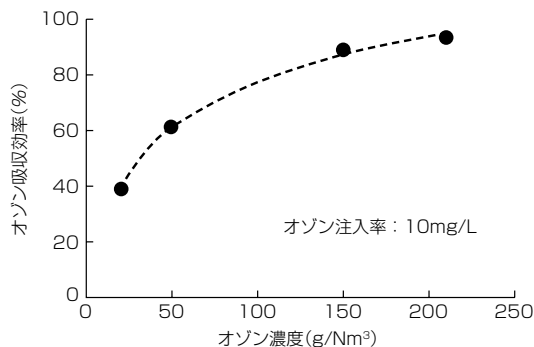


図11. オゾン濃度に対するオゾン吸収効率の変化

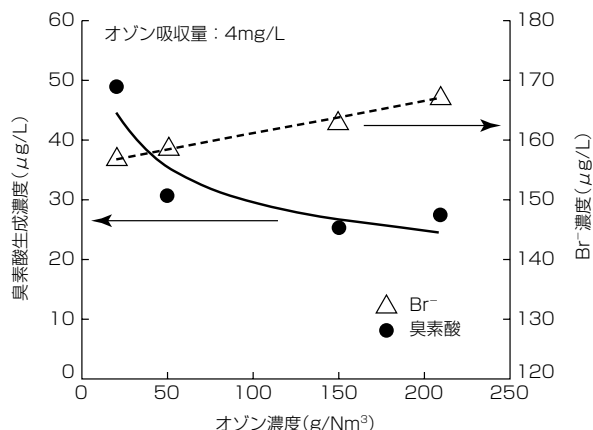


図12. オゾン濃度に対する臭素酸及びBr⁻濃度の変化

オゾンを適用すると原料ガス量を小さくできるので装置を省スペース・高効率化できる。

3.3 乾式オゾン脱臭装置への適用

高濃度オゾン発生装置の乾式オゾン脱臭装置への適用例を述べる。乾式オゾン脱臭装置は、下水やし尿の脱臭を始め、幅広い分野の脱臭に使用されている。

図9, 図10に乾式オゾン脱臭装置の外観とフローを示す。この装置には被処理ガスにオゾン注入後、臭気物質のオゾン分解を促進する脱臭触媒が充填されている。臭気強度が大きい場合、注入オゾン発生量を大きくする必要があり、脱臭ファンの容量が大きくなるが、高濃度オゾンを適用すると原料ガス量を小さくできるので装置を省スペース・高効率化できる。

4. 高濃度オゾンによる反応性向上と臭素酸生成抑制

4.1 高濃度オゾンによる実験条件

高濃度オゾンによる反応性の向上と臭素酸生成抑制効果について、実験によって評価した。実験の被処理水は、工業用