

**MITSUBISHI**  
*Changes for the Better*

家庭から宇宙まで、エコチェンジ



# 三菱電機技報

**10** | 2011  
Vol.85 No.10

特集Ⅰ「社会システムの進化に貢献する先端 ICT」  
特集Ⅱ「受配電システム最新技術」



## 目 次

### 特集Ⅰ「社会システムの進化に貢献する先端ICT」

底力を持つ社会システム .....	1
島川博光	
鉄道沿線情報監視システム .....	2
池田芳紀・直川和宏・白石広幸	
大量設備データ対応機能を強化した 地理情報ソフトウェア“PreSerV” .....	6
中村信夫・市川勝浩	
メタル線IPモデム“MLCNET” .....	11
小島佐和子・明星慶洋・安藤重男	
水処理及び広域監視制御向け 次期監視制御システム .....	15
井上敦士・井上雅品・岡嶋国明・北村操代・今村圭子	
多機能集約型画像処理応用道路監視装置 .....	20
富田浩朗・清水利英・成川昌史	
高効率・省スペース型オゾン発生装置 .....	25
尾台佳明・和田 昇・中谷 元・江崎徳光・竹田智昭	
特集Ⅱ「受配電システム最新技術」	
受配電システム技術における“捕雷役電” .....	29
小林信一	
受配電システム機器の技術展望 .....	30
酒井道雄	
受配電設備の最新技術 .....	35
小嶋 進・笹川 悟・堀之内克彦	
7.2~72kV脱SF <sub>6</sub> ガス絶縁スイッチギヤの最新技術 .....	39
矢野知孝・竹内 靖	
海外向けB形ワイドモータコントロールセンタ .....	43
中谷篤子・岩澤頼晃	
高圧真空コンタクト・コンビネーションユニット “VZ-Eシリーズ” .....	47
後藤圭二・越智 聡・遠矢将大	
MT法による特別高圧の劣化診断・余寿命推定技術 .....	51
岡澤 周・三木伸介・梅村園子・松木寿夫・大塚康司	

### Advanced ICT for Evolution of Social Infrastructure System

Social System with Real Ability Hiromitsu Shimakawa
Rail-side and Station Device Monitoring System Yoshinori Ikeda, Kazuhiro Naokawa, Hiroyuki Shiraishi
Geographic Information System Software “PreSerV” with Reinforced Functions for Large-scale Facilities Nobuo Nakamura, Katsuhiko Ichikawa
Metal Cable IP Modem “MLCNET” Sawako Ojima, Yoshihiro Akeboshi, Shigeo Ando
Next Generation Supervisory Control System for Water Processing and Wide Area Monitoring Atsushi Inoue, Masaaki Inoue, Kuniaki Okajima, Misayo Kitamura, Keiko Imamura
Image Processing Based Traffic Monitoring System with Traffic Flow and Incident Detection Hiroaki Tomita, Toshihide Shimizu, Masafumi Narikawa
High Efficiency Space-saving Ozone Generator Yoshiaki Odai, Noboru Wada, Hajime Nakatani, Norimitsu Esaki, Tomoaki Takeda
The Latest Technologies of Power Distribution Systems Control of a Thunderbolt in Power Receiving and Distributing Equipments Shinichi Kobayashi
Technological Aspects of Power Receive and Distribution Systems Apparatus Michio Sakai
Latest Technologies of Medium-voltage Switchgear Susumu Kozuru, Satoru Sasakawa, Katsuhiko Horinouchi
Latest Technologies of 7.2~72kV Dry Air Insulated Switchgear Tomotaka Yano, Yasushi Takeuchi
Type-B Wide Motor Control Center for International Market Atsuko Nakatani, Yoriaki Iwazawa
High-voltage Vacuum Electromagnetic Contactors and Combination Units “VZ-E Series” Keiji Goto, Satoshi Ochi, Nobumoto Toya
Remaining Service Life Diagnostic Technology of Insulators Using MT Method Hiroshi Okazawa, Shinsuke Miki, Sonoko Umemura, Hisao Matsuki, Yasushi Otsuka

### 特許と新案

「ガス絶縁開閉装置」「開閉装置」 .....	55
「ガス絶縁スイッチギヤ」 .....	56

### スポットライト

受配電監視制御システム“MELSAS-S(E11形)”

### 表紙：社会システムの進化に貢献する先端ICT

水・電気・交通・防災・環境等の社会インフラシステムの分野において、更なる高機能・高信頼化、人にやさしいユーザーインタフェース、環境負荷低減等の実現のため、先端ICT技術を活用した新しいシステムを開発している。写真②は、次世代監視制御の監視操作卓と監視画面の例である。

### 表紙：受配電システム最新技術

受配電システム機器は、環境負荷低減・安全性向上・ライフサイクルコスト(LCC)削減等の社会ニーズに対応した各種技術の進展によって進化を遂げている。

写真①は高圧真空コンタクト、③は海外向けB形ワイドモータコントロールセンタである。



# 底力を持つ社会システム

Social System with Real Ability

島川博光

Hiromitsu Shimakawa



普段、縁の下の力持ちとして働いている社会システムを我々はあまり意識していない。しかし、危機状態に陥ったときに、水道、電力、ガス、通信、交通などの社会基盤がいつものように使えると、また、防災や防犯のサービスが我々を守ってくれると、社会システムのありがたみを感じる。想定外の自然災害が起こっても、それに耐え、人々が安心できるサービスを提供するもの、それが社会システムである。逆に、社会システムが異常なふるまいを始めると、我々の生活そのものが脅かされる。社会システムはますます便利になっていく我々の生活を支える。そのために、技術者は絶え間ない努力で社会システムを進化させなければならない。

一方、いかなる状況においても安定して動作する社会システムを、限られたコストの中で開発するには、我々、技術者はどうすればいいのだろうか。どんなに素晴らしい技術にも限界はある。しかし、その限界を超える衝撃が襲ってきた場合、技術者はそれに備えるすべを持たないのである。恥ずかしながら、この問いに対し筆者は確たる答えを持ち合わせていない。しかし、そのヒントを、2011年のプロ野球パシフィック・リーグ開幕戦で、東北楽天ゴールデンイーグルスの嶋基宏選手会長が東日本大震災の被災地と日本全国へ送ったメッセージに見た気がした。

“みせましょう、野球の底力を。”

みせましょう、野球選手の底力を。”

みせましょう、野球ファンの底力を。”

ここに野球ファンが参加していることに着目したい。ファンは、本来、野球を楽しむ、受動的な立場にあるが、このメッセージの中では積極的に力を発揮するメンバーとして現れている。“野球”という語を“技術”に置き換えてみよう。野球選手は技術者になり、ファンはユーザーとなる。

いままで、技術者は市民をユーザーとして捉え、ユーザーが何も言わなくとも満足する社会システムを開発することに専念してきた。しかし、社会システムのステークホルダーが一般のユーザー、つまり、市民である以上、これからは市民の意向を無視しての社会システムの開発はありえない。

1998年BeyerとHoltzblattが著書“Contextual Design”の中でユーザー中心設計の概念を提案した。この開発手法は数多くのヒット商品を生み出した。ユーザーが口には出さない要求を掘り起こす方法を示したからである。同様に、多くの市民が利用する社会システムの開発においては、市民の参画なくして成功はありえない。それは非常時の機能の定義においても真であると考えられる。技術者は、市民に参画してもらい、社会システムをいかに進化させるかを考える時代が来たのではないだろうか。

“底力”という日本語が英語では“real ability (真の力)”と訳されるように、窮地において発揮される力が底力であろう。たしかに、何が起ころうとも大丈夫なシステムを創ることは極めて難しい。しかし、社会システムはそれを成し遂げなければならない。技術と、それを開発する技術者と、それを利用する市民との協力により、常時安定したサービスを提供できる、底力をもった社会システムが完成する。嶋選手のメッセージを借りるならば、以下のようなスローガンが底力を備えた社会システムをもたらすのではないだろうか。

“みせましょう、技術の底力を。”

みせましょう、技術者の底力を。”

みせましょう、市民ユーザーの底力を。”

筆者も、技術者として、そして、市民ユーザーとして、ありったけの底力を見せたいと考えている。

# 鉄道沿線情報監視システム

池田芳紀\*  
直川和宏\*  
白石広幸\*\*

Rail-side and Station Device Monitoring System

Yoshinori Ikeda, Kazuhiro Naokawa, Hiroyuki Shiraishi

## 要 旨

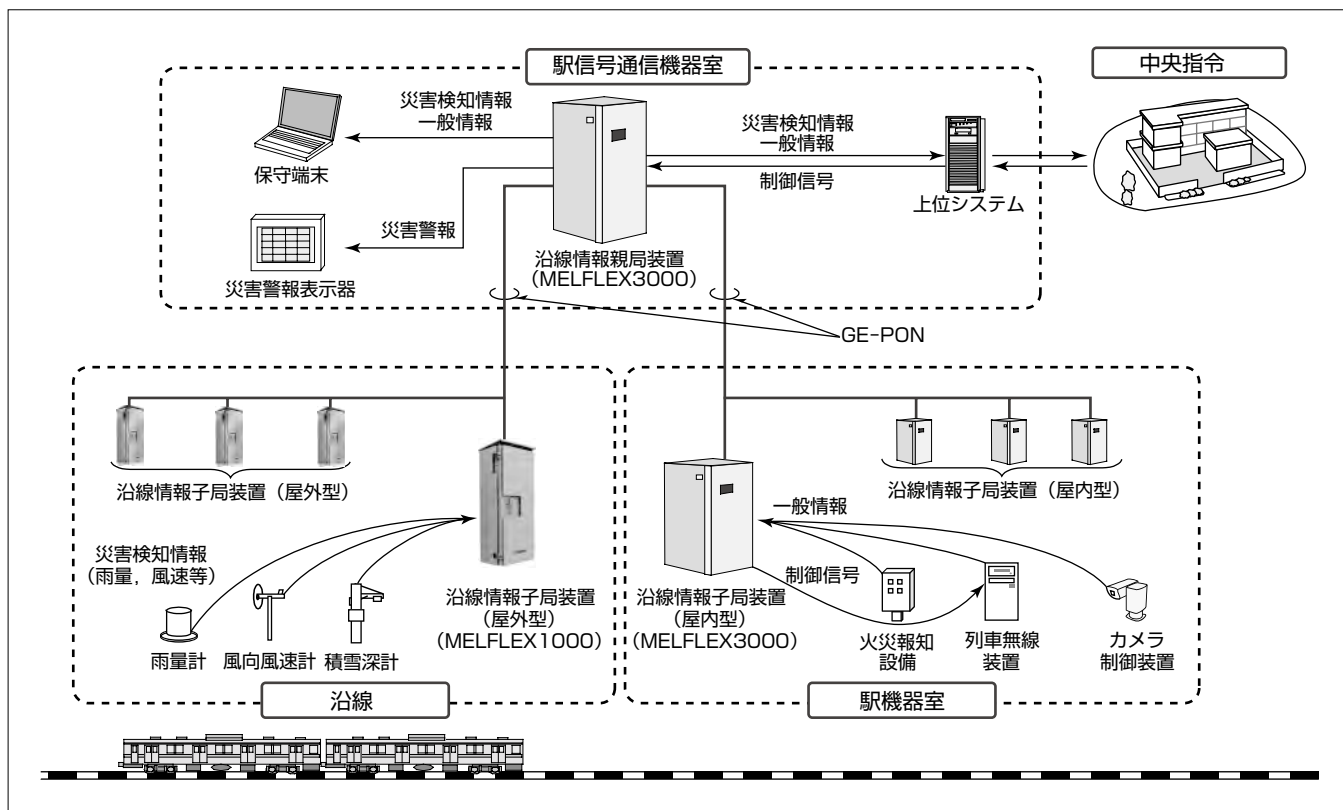
鉄道の安全運行に際して、風速や雨量等の気象情報や、駅機器室の様々な機器の運用状態を把握することは、運行可否を判断する重要な要素となる。三菱電機では、鉄道沿線の気象情報及び駅機器室に設置された各種機器の運用状態を一元的に収集し、上位システムを経由して中央指令へ伝送するシステムとして“鉄道沿線情報監視システム”を構築し、複数システムを納入している。

このシステムは、沿線や駅機器室に設置し気象情報や機器の運用状態を収集する“沿線情報子局装置”と、駅信号通信機器室に設置し、複数の沿線情報子局装置から受信した情報を集約・処理し上位システムを経由し中央指令へ伝送する“沿線情報親局装置”で構成される。これらは各装置間の通信方式にIP(インターネットプロトコル)を採用することで、上位システムとの親和性に優れるとともに、今後増

加するIP対応の沿線機器の接続にも対応が容易となっている。さらに、通信媒体に2重化したGE-PON(Gigabit Ethernet-Passive Optical Network)による光マルチドロップ伝送を採用することで、沿線に点在する機器の情報を効率的にかつ高い信頼性を持って収集することが可能となり、また将来の拡張性にも優れている。

沿線情報親局装置及び沿線情報子局装置は広域監視制御装置“MELFLEX”シリーズ(以下“MELFLEX”という。)を適用している。これによって、特に沿線情報子局装置では耐環境性に優れ、沿線情報親局装置では主要部二重化などの信頼性に優れた構成としている。

本稿では、この鉄道沿線情報監視システムと、MELFLEXの特長について述べる。



## 鉄道沿線情報監視システムの構成

雨量計、風向風速計など沿線に設置される設備からの気象情報を沿線情報子局装置(屋外型)で収集し、また火災報知設備、列車無線装置など、駅機器室に設置される各種設備からの運用状態を沿線情報子局装置(屋内型)で収集する。これらの情報は駅信号通信機器室の沿線情報親局装置へGE-PON光ネットワークを用いて伝送される。沿線情報親局装置では、取得した情報を上位システム経由で中央指令へ伝送するとともに、災害警報発生時には災害警報表示器へ発報し、駅係員へランプとブザーで通知する。これらの状態は沿線情報親局装置に接続された保守端末でも確認することができる。

## 1. ま え が き

鉄道の沿線では、風向風速計や雨量計等の気象観測機器や信号設備等様々な機器が稼働している。これらの機器からの気象情報によって強風や大雨など災害の発生を高い信頼性を持って検知すること、及び膨大な数の各種機器が故障なく正しく運用されていることを把握することは、鉄道の安全運行において極めて重要である。当社は沿線の気象観測情報や、駅機器室の各種機器の運用状態を収集する“鉄道沿線情報監視システム”を構築し、既に実路線に複数システム納入している。

本稿ではそのシステムの概要と特長、構成装置であるMELFLEXについて述べる。鉄道沿線情報監視システムの構成例を図1に示す。

## 2. 鉄道沿線情報監視システム

### 2.1 システム概要

鉄道沿線情報監視システムは、“災害検知情報”と“一般情報”の2種類の情報の収集・処理を行い、上位システムを経由して中央指令に伝送するシステムである。

“災害検知情報”とは、風向風速、雨量、積雪深、レール温度等の観測値を指す。また、“一般情報”は、駅機器室の

カメラ制御装置や列車無線装置等、各種機器の運用状態を指す。鉄道沿線情報監視システムは、沿線情報子局装置（以下“子局装置”という。）に入力されたこれらの情報を沿線情報親局装置（以下“親局装置”という。）に集約し、適切な処理を行った上で上位システムを経由し中央指令へ伝送するものである。これによって、災害の発生や各種装置の異常をすみやかに発見し、列車や駅設備の安全な運用を支援する。

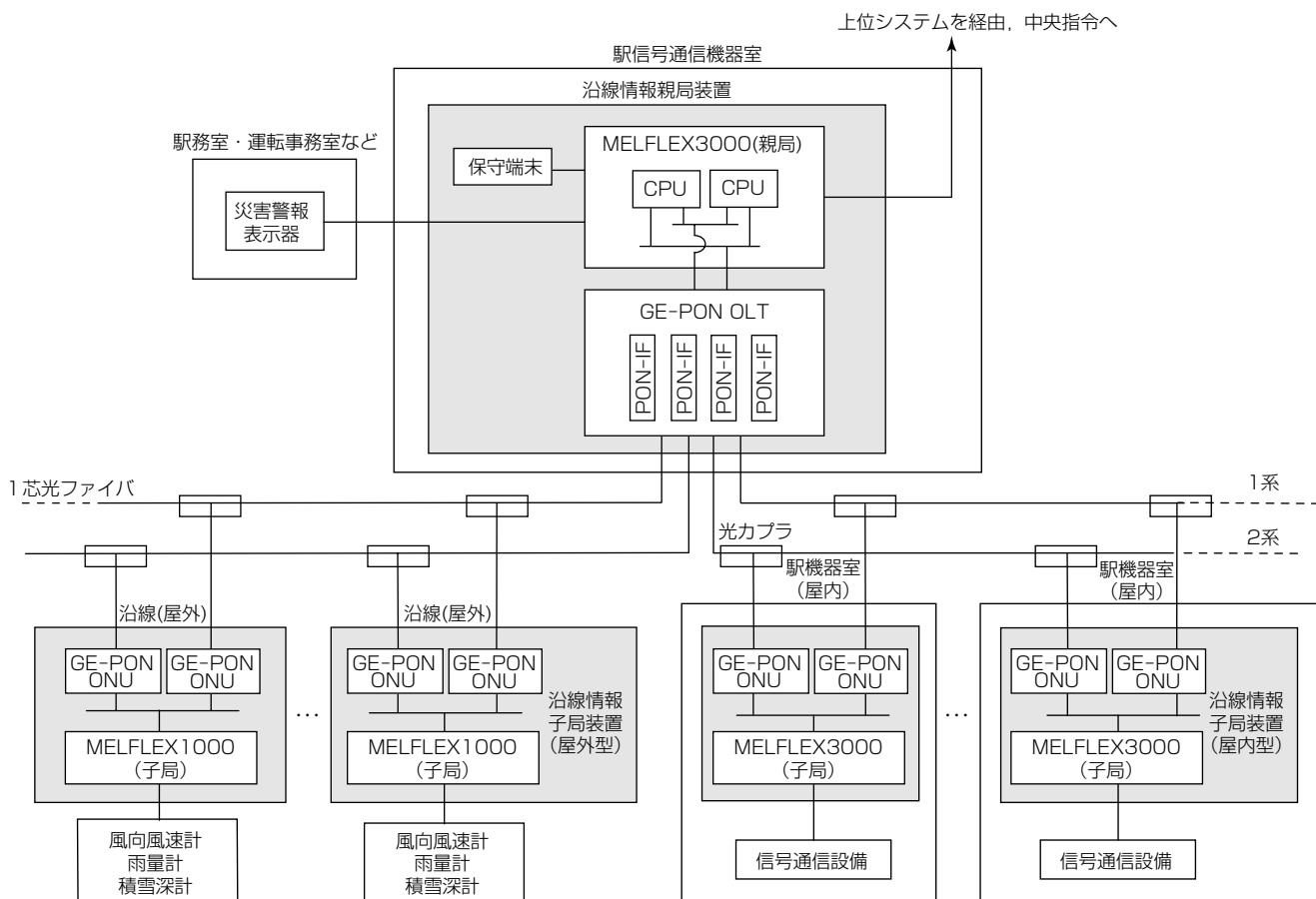
### 2.2 システムの特長

このシステムは、次の特長を持ち、信頼性の確保とシステム構築の柔軟性、将来への拡張性を実現している。

#### (1) 冗長化構成によるシステム信頼性・保守性の向上

(a) 親局装置はCPU(Central Processing Unit)などの処理部を冗長化構成としている。これによって装置の信頼性が向上するだけでなく、監視項目追加や警報閾値(しきいち)の変更など、ソフトウェアのバージョンアップを装置の運用停止なしに行うことができる。

(b) 伝送路についても冗長化構成としている。なお、二重化回線の切替え方法として、このシステムでは親局装置で二重化回線に対応したイーサネットポートを設け、アプリケーションレベルでの切替えを行っている。これによって、切替え時間の短縮と同時にL3SW(レ



OLT : Optical Line Terminal (親局装置側のネットワーク終端装置), ONU : Optical Network Unit (子局装置側のネットワーク終端装置)

図1. 鉄道沿線情報監視システムの構成例



イヤ3スイッチ)などの併用を不要としている。

## (2) GE-PON適用による伝送信頼性の向上

(a) 伝送にメタル線を使用する場合では、列車からの電磁ノイズや雷害による誤作動への対策が必要であった。光回線の使用によって、これらの障害が排除され、信頼性の向上が図られる。

(b) 光カプラを用いたマルチドロップ接続を行うことで、光ファイバ芯(しん)線の節減と、障害時の波及範囲の局所化を行っている。これによって、1台の子局に故障または停電が発生した場合でも、他の子局との通信に影響が波及しない。

## (3) 機能拡張への対応

(a) 通信速度の高速・大容量化によって、将来の沿線画像監視や、業務用電話などの機能追加が可能となる。

(b) 各種インタフェースモジュールの追加実装によって監視対象機器の追加が容易である。

## 2.3 システム構成装置

鉄道沿線情報監視システムを構成する子局装置(屋外型、屋内型)、親局装置、及び災害警報表示器について述べる。

### 2.3.1 沿線情報子局装置

子局装置は屋外型と屋内型の2種類がある。各収容機器の入出力信号をGE-PONを介して親局装置に接続するため、屋外型(図2)ではIP変換器、または省電力特性を持ち耐環境性にも優れた“MELFLEX1000”(図3)を採用している。また、屋内型では監視対象が多岐にわたるため、豊富なインタフェースカードモジュールのメニューの中から選択・実装が可能な“MELFLEX3000”を適用している。

また、屋外型では、特に消費電力を節減することによって沿線での電源確保を容易にしている。これによって耐雷サージ回路の容量も小さくなり、子局装置の小型化にも役

立っている。

子局装置(屋外型、屋内型)のそれぞれの仕様を表1に示す。

### 2.3.2 沿線情報親局装置

駅信号通信機器室に設置し、子局装置に入力された風向風速値、雨量パルス及びその他監視対象機器の運用状態をGE-PONによるマルチドロップ回線を用いて収集し、雨量パルスの積算や観測値の警報閾値との比較など、必要な処理を行った上で上位システムを経由し中央指令へ伝送を行っている。また、警報を検出した場合には災害警報表示器へ該当の出力を行っている。

さらに、保守端末を架内に収容し、受信した気象情報や監視対象機器の運用状態及び鉄道沿線情報監視システム自身の機器状態を駅機器室においても蓄積・表示することができるため、これら機器に対する保守が容易となる。

親局装置はMELFLEX3000で構成し、電源部及びCPUを2重化することで信頼性と保守性の向上を図っている。沿線情報親局装置の外観を図4に示す。

### 2.3.3 災害警報表示器

駅務室・運転事務室などに設置され、親局装置からの出力によってLED(Light Emitting Diode)表示、ブザー鳴動を行うことで警報発生を駅係員に通知している。

表1. 沿線情報子局装置(屋外型、屋内型)の仕様

		屋外型	屋内型
監視対象機器	接続機器	災害検知設備 ・風向風速計 ・雨量計 ・積雪深計	信号通信設備 ・火災報知設備 ・列車無線装置 ・カメラ制御装置 ・その他
	入出力I/F	接点, シリアル	接点, Ethernet <sup>(注1)</sup>
適用機器		・IP変換器 または ・MELFLEX1000	MELFLEX3000
対親局装置伝送路		GE-PON×2回線	GE-PON×1または2回線
使用環境		-20~+50℃屋外	0~+40℃屋内

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス株の登録商標である。



図2. 沿線情報子局装置(屋外型)

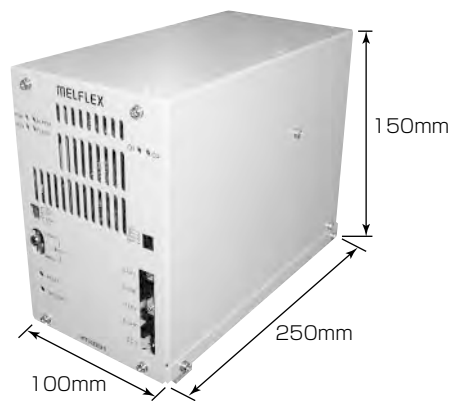


図3. MELFLEX1000の外観

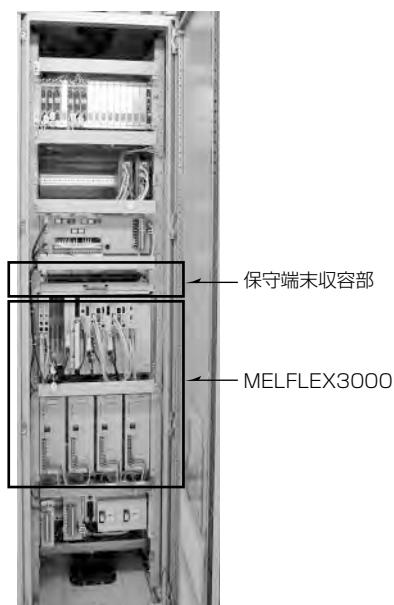


図 4. 沿線情報親局装置の外観

### 3. 広域監視制御装置MELFLEX1000/2000/3000

子局装置，親局装置に適用しているMELFLEXは，鉄道，道路，水道などの社会インフラシステム向けに設計，製作している広域監視制御装置である。最新機種であるMELFLEX1000/3000（このシステムで適用），及びMELFLEX2000のそれぞれの位置付けを図5に示す。

また，特長を次に述べる。

#### 3.1 システム適用への柔軟性と拡張性

- (1) IP対応各種プロトコルを搭載しているため，IPネットワークの適用性に優れている。
- (2) 通信インタフェースはイーサネット<sup>(注2)</sup>のほか，HDLC(High-level Data Link Control procedures)など各種シリアル通信にも対応している。
- (3) 通信インタフェースの他，デジタル入出力，アナログ入出力等のカードモジュールの組合せによって，各種監視制御対象機器との接続が可能である。

(注2) イーサネットは，富士ゼロックス㈱の登録商標である。

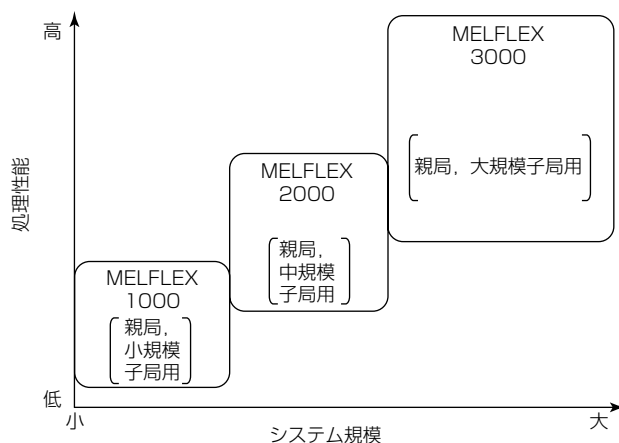


図 5. MELFLEXシリーズの位置付け

#### 3.2 保守性及び信頼性

- (1) ディスクレス，ファンレス設計と耐環境性設計によって，故障率の低減を図っている。
- (2) OS(Operating System)として信頼性の高い組み込み型Linux<sup>(注3)</sup>を採用し，安定した動作とリアルタイム性を確保している。
- (3) CPU，電源は2重化が可能であり，運用系の障害発生時には待機系への切替えを行うことでシステムの運用継続性の確保が可能である(MELFLEX2000/3000)。
- (4) 10年以上の運用を前提とした，回路設計及び部品選定を行っている。

(注3) Linuxは，Linus Torvalds氏の登録商標である。

### 4. む す び

鉄道沿線情報監視システムについて，概要と特長を述べるとともに，その中心となる構成機器のMELFLEXについて述べた。鉄道運行にかかわる重要システムとして，信頼性と長期運用性の確保は重要であり，これらの基盤を維持したまま今後は監視対象の更なる拡大や，セキュリティ確保のための対応が必要となる。引き続き，ユーザーニーズを的確にとらえるとともに，最新技術を取り入れたより良い鉄道沿線情報監視システムが提供できるよう取り組んでいく。

# 大量設備データ対応機能を強化した地理情報ソフトウェア“PreSerV”

中村信夫\*  
市川勝浩\*

Geographic Information System Software "PreSerV" with Reinforced Functions for Large-scale Facilities

Nobuo Nakamura, Katsuhiko Ichikawa

## 要 旨

地理情報ソフトウェア“PreSerV”は、電気、ガス、上下水道、道路、鉄道、通信等の社会インフラ向け地図利用システム（以下“地図利用システム”という。）に求められる機能を柔軟に実現できるGIS（Geographic Information System）製品である。

地図利用システムに用いられるGISでは、都道府県や市区町村等の広い範囲にわたる大量の設備データを管理している。管理する設備データは設備の増加、管理する範囲の拡大によってより大量となる傾向にあり、地図利用システムではより多くの設備データを管理することが望まれている。

大量の設備データを管理する場合、画面に一度に表示する必要のある設備データが増加するため、画面の表示性能向上が課題となる。また、視認性向上のため、大量の設備データの表示／非表示等の設定が必要となり、表示項目設定

作業の省力化が課題となる。

PreSerVではこれらの課題解決のため、次の開発を実施した。

表示性能向上のため、高速処理可能なサーバ側で設備データと地図データを組み合わせ、イメージデータとしてクライアントに送信することで、高速化を実現した。

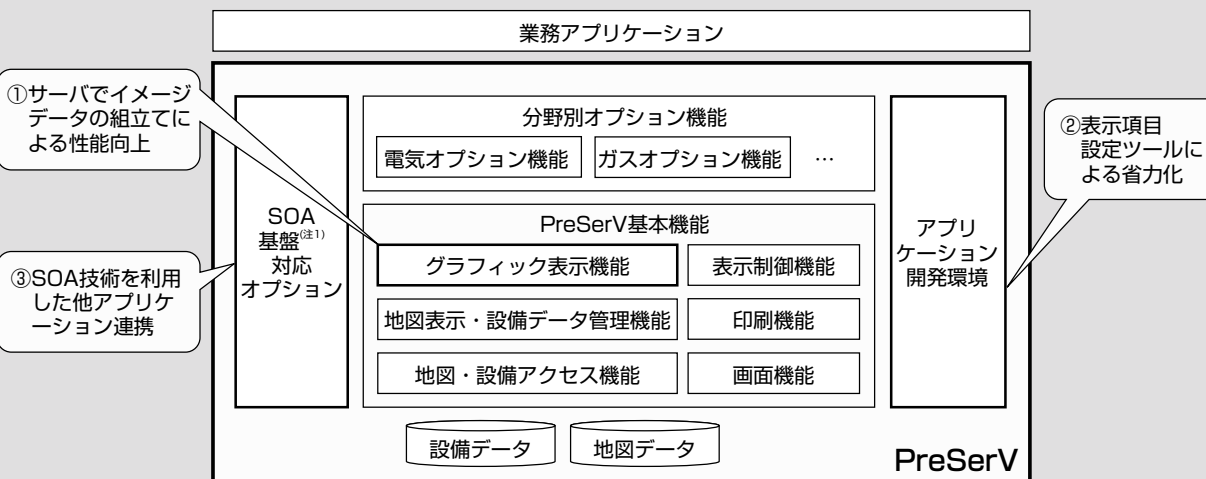
また、表示項目設定作業の省力化のため、表示項目設定ツールを開発した。表示項目設定ツールでは、表示条件一覧、個々の表示条件設定、表示規則設定を体系立て、GUI（Graphical User Interface）によって直感的に利用できる設定画面とすることで、作業の省力化を図った。

今後の展開に向けて、最新技術であるSOA（Service Oriented Architecture）技術によって設備管理アプリケーションなどの他アプリケーションと容易に連携可能とした。

### 【PreSerVの特長】

- ①客先ニーズに合わせ柔軟に対応できる機能を提供
- ②多様なシステム形態へ対応可能
- ③様々なOS（Operating System）・ミドルウェアに対応可能

### 【地図利用システムのソフトウェア構成】



(注1) SOA基盤：PreSerVとは別製品（複数製品の連携を実現するミドルウェア）

## “PreSerV”の特長と地図利用システムのソフトウェア構成

PreSerVは、社会インフラ向け地図利用システムでの豊富な経験を取り込んだGIS製品である。大量設備データの管理を行うため、①高速処理可能なサーバでイメージデータを組み立てて送信することによって、描画性能向上を実現し、②表示項目設定ツールによる大量の設備データの視認性確保と設定作業省力化を実現した。また、今後の展開に向けて、③SOA技術を利用したその他アプリケーションとの連携の仕組みを開発した。



# 1. ま え が き

PreSerVは、電気、ガス、上下水道、道路、鉄道、通信等の社会インフラにおける地図利用システムに求められる機能を柔軟に実現できるGIS製品である。

地図利用システムに用いられるGISでは、都道府県や市区町村等の広い範囲にわたる大量の設備データを管理している。管理する設備データは設備の増加、管理する範囲の拡大によってより大量となる傾向にあり、地図利用システムではより多くの設備データを管理することが望まれる。

大量の設備データを管理する場合、画面に一度に表示する必要のある設備データが増加するため、画面の表示性能が課題となる。また、視認性向上のため、大量の設備データの表示／非表示等の設定が必要となり、表示項目設定作業の省力化が課題となる。

本稿では、PreSerVの特長を述べるとともに、課題となっている設備データの表示性能向上、及び表示項目設定作業の省力化実現方式について述べる。

## 2. 地理情報ソフトウェア“PreSerV”

### 2.1 PreSerVの特長

PreSerVは、電力会社や官公庁を中心に社会インフラ関連企業や自治体に向けて70社90部門以上の納入実績がある。その中で豊富な経験に基づく機能の取込みなどを含め、GISの新技术や標準化された地図形式に対応しながら、進化、充実を図ってきた。

PreSerVの主な特長を次に述べる。

#### (1) 客先ニーズに合わせ柔軟に対応できる機能を提供

PreSerVは、これまで地図利用システム開発を通して必要な機能を取り込み、製品化してきた。PreSerV基本機能では、地図や設備を表示したり操作するための豊富な機能

を、ニーズに合わせ柔軟に組み合わせることが可能である。また、分野別オプション機能では、業種別のニーズに対応する機能を提供している。さらに、アプリケーション開発環境によって、地図利用システムの業務アプリケーションを効率的に開発できる(図1)。

#### (2) 多様なシステム形態に対応可能

様々な業務システムを構築可能なWebシステム用製品、リアルタイム性が求められる分野向けのクライアントーサーバシステム用製品、携帯端末を利用する分野向けのモバイルシステム用製品を持ち、ユーザーの要望に合わせた多様なシステム形態を選択可能である。

#### (3) 様々なOS・ミドルウェアに対応可能

UNIX<sup>(注2)</sup>やWindows<sup>(注3)</sup>等のOS、Oracle<sup>(注4)</sup>などのデータベースソフトウェア、WebSphere<sup>(注5)</sup>などのWebアプリケーションサーバ等、様々なOS・ミドルウェアに対応しており、ユーザー環境に合わせたシステム構築が可能である。

(注2) UNIXは、X/Open Company Ltd. の登録商標である。

(注3) Windowsは、Microsoft Corp. の登録商標である。

(注4) Oracleは、Oracle Corp. の登録商標である。

(注5) WebSphereは、International Business Machines Corp. の登録商標である。

## 3. 大量の設備データ管理実現における問題

### 3.1 設備データの増加に伴う表示性能劣化

地図利用システムでは、管路や電線等細分化された設備データを、数kmから数十kmの範囲で大量に取得し、一画面に表示して俯瞰(ふかん)する必要がある。

地図上で設備データを独立して管理するためには、それぞれを独立して描画せざるを得ない。そのため、設備データの表示性能は、設備データのデータ量の増加に伴い劣化する問題がある。

設備データの表示性能では、地図利用システムの用途に



図1. 地図利用システムのソフトウェア構成

よって、地図上で設備データを独立して管理する必要がなく、表示性能の向上が優先する場合があります、用途を考慮した方式の実現が必要である。

### 3.2 設備ごとの表示項目設定作業の増大

地図利用システムでは、視認性確保のため、設備種類ごとに表示項目設定を実施し、表示内容の調整を行う必要がある。設備データが増加すると、表示する設備データの密集度が高まり、表示項目設定の作業量も増大する問題がある。

表示する設備データの密集度が高い場合の表示調整の必要性について、図2に具体例を示す。視認性確保のために必要な表示項目設定を行わずに表示した場合、設備データが密集していると、設備シンボルが重なってしまう(同図(a))。反対に画面上で設備シンボルが重ならないように、サイズを縮尺に合わせて縮小すると、設備シンボルと文字のサイズが小さくなりすぎ見にくくなる(同図(b))。そのた

め、表示項目設定として、地図の縮尺ごとや設備の密集状況の異なる地域ごと(例えば、都市部や山間部)に、設備シンボルと文字のサイズを変えずに、必要な設備シンボルと文字を選択して表示調整を行う(同図(c))。表示項目設定の例を表1に示す。

## 4. 大量の設備データ管理実現問題に対する解決策

### 4.1 設備データの増加に伴う表示性能向上

従来、設備データの表示は、表示する設備データをサーバから取得し、クライアントで個々のデータとして描画(表示)するベクトルデータ方式を用いてきた。そのため、データ量に比例して設備シンボルや文字等の描画処理時間が増加していた。

そこで、高速に処理可能なサーバ側で設備と地図をイメージデータ(写真のような画像データ)として組み立て、ク

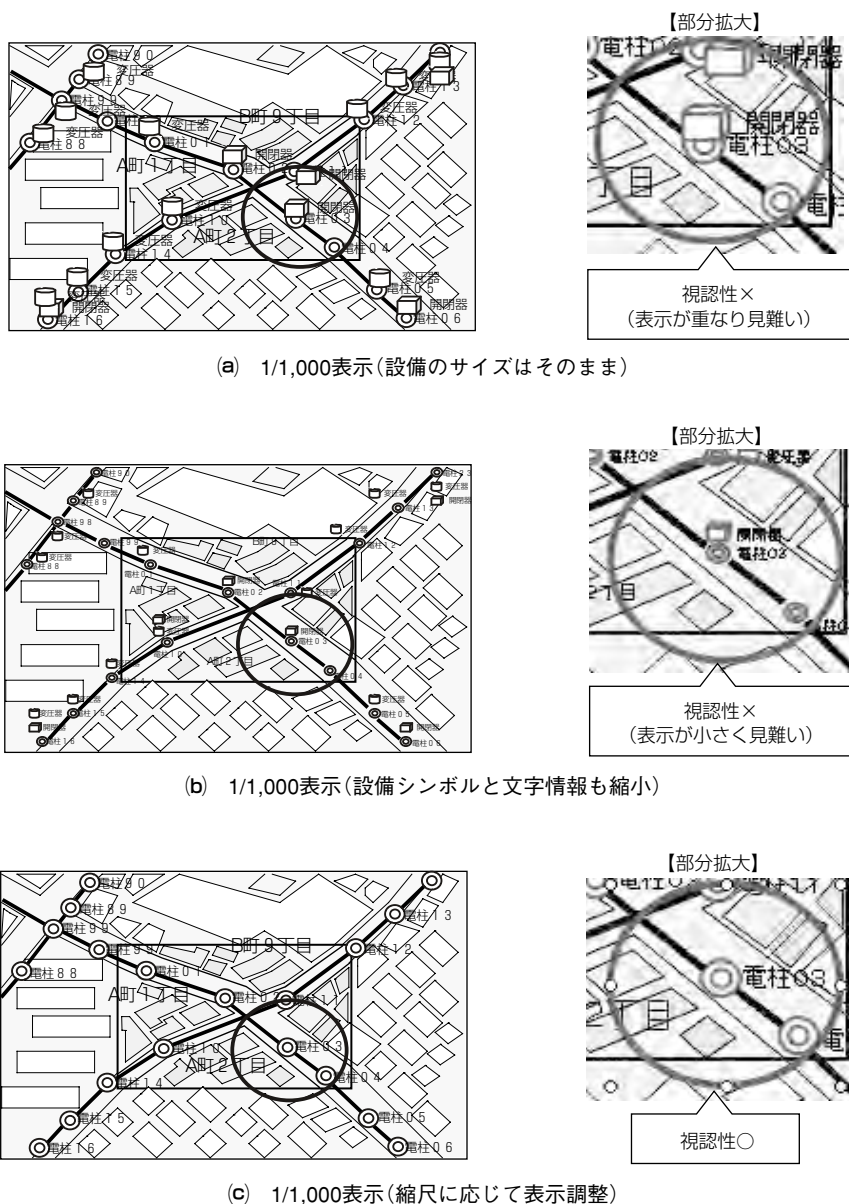


図2. 多くの設備を表示した場合の視認性

クライアントに送信し設備データを表示するイメージデータ方式を追加し、表示性能の向上を図った(図3)。

イメージデータ方式は、広い範囲を表示して、設備のつながりの状況(例えば、電力分野の配電系統、通信分野の通信系統等)を確認する用途として有効な表示方式である。

ただし、イメージデータ方式では表示性能が向上するメリットはあるが、設備データが各々独立していないため、特定の設備を非表示にしたり、設備シンボルを選択し操作したりすることはできない。そこで、ベクトルデータ方式とイメージデータ方式を、業務内容にしたがって、設備数などの条件によって選択可能とすることで、要件にあった機能(操作)を実現するとともに、表示性能の向上を実現した(図4)。

表1. 設備ごとの表示項目設定例

表示条件管理		表示規則設定			表示条件設定	
設備種類	パターン	形状	サイズ	配色	縮尺	表示
電柱	都市部 1	◎	24	黒	狭	○
			中		○	
			広		×	
	都市部 2		36		狭	○
					中	○
					広	×
	山間部		48		狭	○
					中	○
					広	×
開閉器	都市部 1	㊦	24	狭	○	
				中	×	
				広	×	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

形状：◎(電柱シンボル)，□(開閉器シンボル)

縮尺：狭(1/250～1/1,000)，中(1/1,000～1/5,000)，広(1/5,000以上)

表示：○(表示)，×(非表示)

## 4.2 設備ごとの表示項目設定作業の省力化

設備の視認性確保のための表示項目設定作業が増大する課題に対して、GUI画面によって直感的に利用できる表示項目設定ツールを用意し、作業の省力化を行った(図5)。

表1に示す表示項目を設定するため、表示項目設定ツールは、表示条件管理画面、表示規則設定画面、表示条件設定画面の3つのGUI画面で構成する。表示条件管理画面では、設備種類ごとの表示パターンを一覧で管理する。表示規則設定画面では、設備種類ごとの設備シンボルの形状、サイズ、配色等を設定する。表示条件設定画面では個々の表示条件(縮尺、表示/非表示等の条件)の設定を行う。

従来、表示項目を設定する場合には、設備シンボルの形状、サイズ、配色、表示条件等が定義された多くの表示項目定義ファイルを個別に修正する必要があった。表示項目設定ツールでは、表示条件一覧、個々の表示条件設定、表示規則設定を体系立て、画面設計を行った上で、GUIによって直感的に利用できる設定画面とすることで、操作性を向上させ作業を省力化した。

なお、表示条件設定画面でも、表示規則設定画面で設定する縮尺ごとのシンボルサイズや形状を設定可能であり、縮尺ごとのきめ細かい設定管理が可能である。

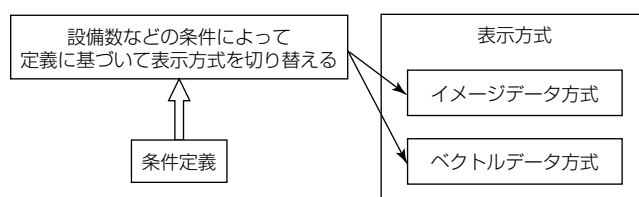


図4. 設備数などによる表示方式の切替え

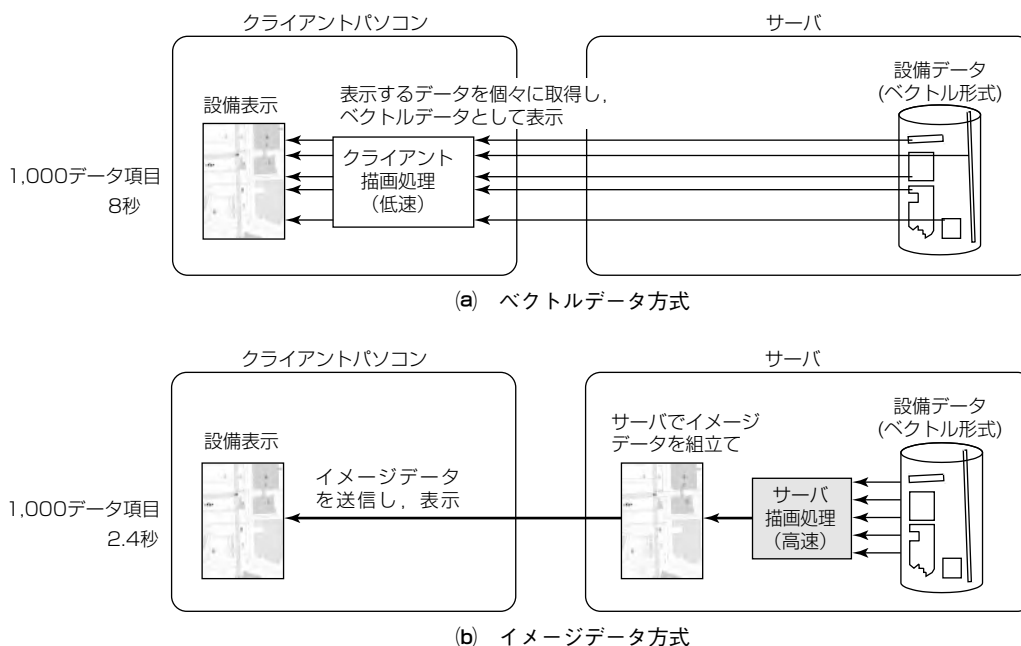


図3. ベクトルデータ方式とイメージデータ方式

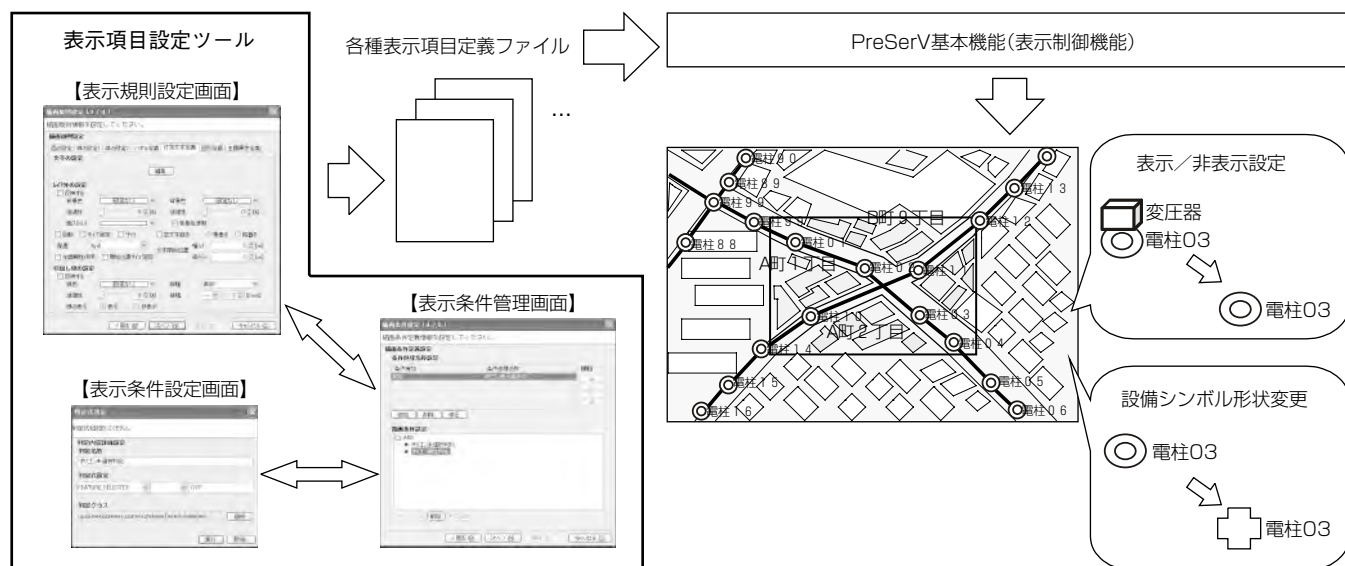


図5. 表示項目設定ツールを利用した視認性確保

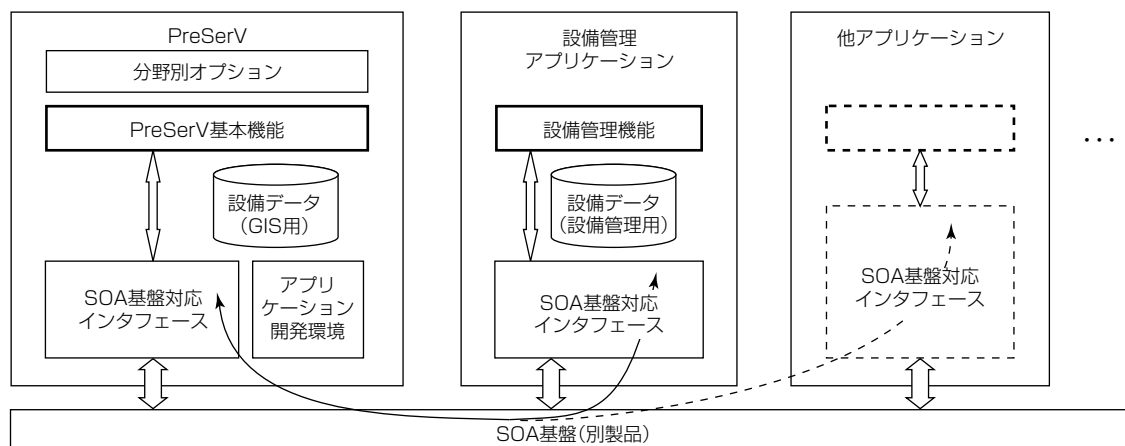


図6. PreSerVと他アプリケーションの連携イメージ

## 5. 今後の展開：他アプリケーションとの連携

地図利用システムで管理対象の設備が多くなると、大量設備データを管理する仕組みを持つ設備管理アプリケーション等との連携に対するニーズが高まってくる。設備管理アプリケーションは、設備情報への点検情報や事故情報の関連付け、各種条件検索等の豊富な機能を持っており、PreSerVとの連携によって、相互に付加価値を高めることが可能である。しかし、従来は、連携ごとに個別の連携プログラムを作成する必要があり、効率が悪かった。そのため、最新技術であるSOA技術によって、PreSerVと設備管理アプリケーションなどの他アプリケーションとを連携する機能をPreSerVに追加した。

図6にPreSerVと設備管理アプリケーションとの連携イメージを示す。PreSerVのオプションとして、SOA基盤(PreSerVとは別製品：複数製品の連携を実現するミドルウェア)のサービス要求に対するインタフェースを実装し、設備管理アプリケーションでも同様のインタフェースを実

装することによって、PreSerVと設備管理アプリケーション間でSOA基盤を経由した連携が可能となる。

また、今後、他アプリケーションでもSOA基盤とのインタフェースを実装することによって、PreSerV及び設備管理アプリケーションと相互に連携が可能である。SOA基盤対応のアプリケーションが増えることによって、さらに利便性が高まる。

## 6. む す び

PreSerVは、GISの新技术やGIS標準化に対応しながら、社会インフラの地図利用システムの業務に必要なGISの仕組みを提供してきた。

今回の開発では、大量の設備データ管理に必要な設備データの表示性能向上、及び表示項目設定作業の省力化を実現した。これによって、より広い範囲の設備データ管理が可能となり、地図利用システムのユーザーに対して、より使いやすいGISの提供が可能となった。



# メタル線IPモデム“MLCNET”

小島佐和子\*  
明星慶洋\*\*  
安藤重男\*

*Metal Cable IP Modem "MLCNET"*

*Sawako Ojima, Yoshihiro Akeboshi, Shigeo Ando*

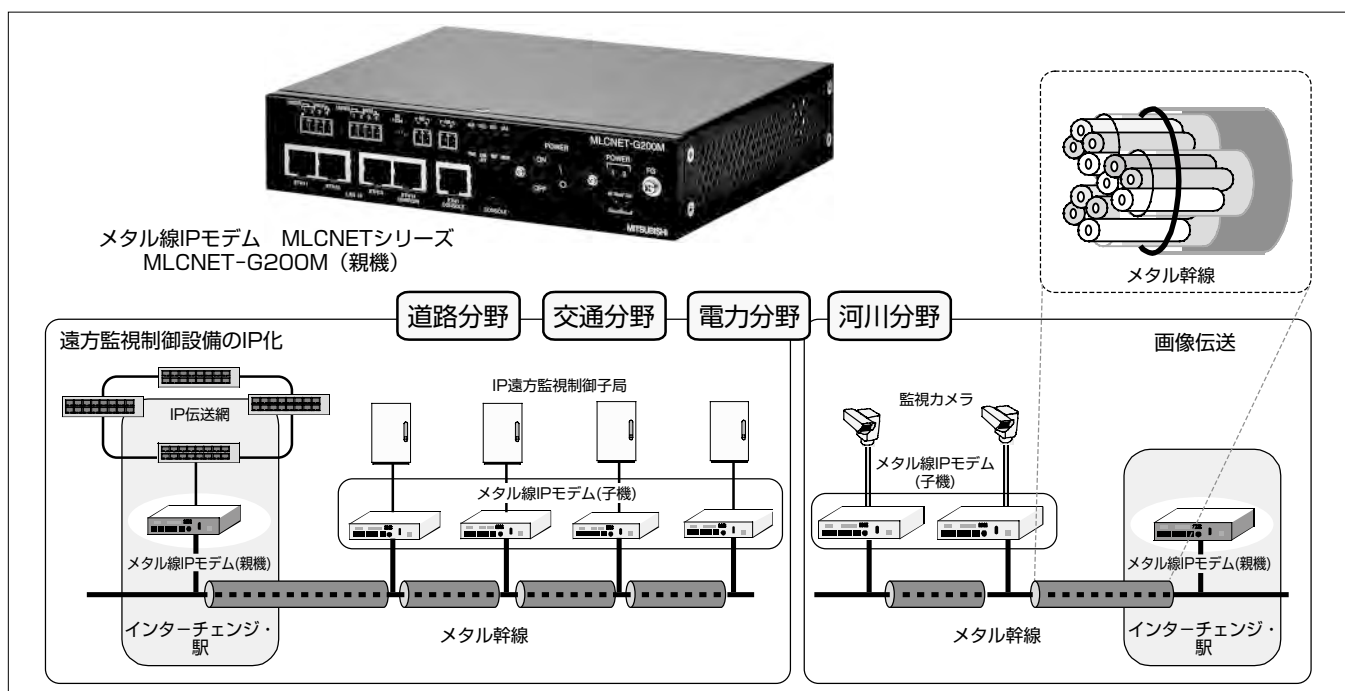
## 要 旨

道路、交通、電力、河川等の社会インフラは多くの設備で構成され、従来、メタル線にアナログモデムを接続した専用の低速シリアル通信によって、これらの設備は運用・管理されていた。近年の、ネットワークの高速化・IP (Internet Protocol) 化の急速な進展に伴い、工事費削減のため幹線のみ光化し設備監視用は既設のメタル線を利用したいというニーズが大きい。

今般、既設のメタル線を活用し様々なネットワーク構成でメタル線通信をIP化する製品として、伝送帯域の周波数利用効率に優れたOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: 直交周波数分割多重方式) 方式を採用し、高速道路のインターチェンジ間や鉄道の駅間の長距離伝送を実現するメタル線IPモデム“MLCNET (Metal Line Communication NETwork) -G100”及び監視カメラなどの画像伝送によるトラフィック量の増大化に対応した高速伝送を実現する“MLCNET-G200”の2機種を開発を完了した。本稿では、その内容について述べる。

このメタル線IPモデムは、1台の親機に複数の子機をマルチドロップ接続することを可能とする特長を持っており、主要な開発課題は、長距離化、高速化、並びにメタル線の線路上に存在する多様かつ時間的に変動するノイズ環境下で高品質な伝送を行う耐雑音性能の実現である。長距離化に対しては、アナログ送信部における低歪(ひず)み特性を確保した高送信電力化によって高ダイナミックレンジを実現し、MLCNET-G100で最大伝送距離10kmを実現した。高速化に対しては、アナログ受信部のS/N (Signal to Noise ratio: 信号対雑音比) の改善と多値変調化を図ることで、MLCNET-G200で物理速度最大50Mbpsを実現した。伝送路ノイズに対しては、変動するノイズに動的に追従可能なS/N推定機能によって、耐雑音性能を向上させ、高品質・高信頼な伝送を実現した。

メタル線IPモデムMLCNETの開発によって、今後の社会インフラ事業のネットワーク基盤の1つとして、市場拡大を図る。



## メタル線IPモデム “MLCNET”

メタル線IPモデムMLCNET-G100M (親機) / G100 (子機) 及び、MLCNET-G200M (親機) / G200 (子機) の、社会インフラ各分野への適用イメージを示す。道路・鉄道沿線等の既設のメタル線を活用し、設備監視を目的としたIPネットワークを構築する。親機に対し複数子機を接続するマルチドロップ接続を可能とし、また中継機による距離延伸を可能としている。



# 1. ま え が き

メタル線を使用し、高品質なIP通信を実現する産業用のメタル線IPモデムとして、高速道路のインターチェンジ間や鉄道の駅間等の長距離伝送を実現するMLCNET-G100並びに監視カメラの画像伝送などの大容量データの伝送に対応した高速化及び多段中継による距離の延伸を実現したMLCNET-G200の2機種を開発を完了した。この2機種の開発における主要な技術課題は、長距離化、高速化、並びにメタル線上のノイズ環境下での高品質な伝送を可能とする耐雑音性能の確保である。本稿では、その内容について述べる。

## 2. メタル線IPモデムMLCNET

### 2.1 MLCNETシリーズの諸元

MLCNETシリーズ(親機)の外観を図1に、諸元を表1に示す。-20～+60℃までの広い温度範囲を実現した耐環境性仕様、現地配線工事の容易化のため外部インタフェースをすべて前面に配置した前面保守構造、並びにAC100V、DC100V、DC48Vの3種類のマルチ入力電源を内蔵し、屋外を含む様々な設置場所に対応可能とする小型ユニット構造を実現した。

### 2.2 MLCNETシリーズの特長

#### 2.2.1 OFDM方式の採用

図2に装置ブロック図を示す。メタル線インタフェース



図1. MLCNETシリーズ(親機)の外観

表1. MLCNETシリーズの諸元

項目	MLCNET-G100シリーズ	MLCNET-G200シリーズ
モデム型名	MLCNET-G100M(親機)	MLCNET-G200M(親機)
	MLCNET-G100(子機)	MLCNET-G200(子機)
子機接続台数	6台	8台
キャリア周波数帯域	100kHz～2MHz	1～10MHz
物理速度	最大10Mbps	最大50Mbps
変調方式	OFDM多重方式 QAM変調方式	同左
無中継伝送距離	10km	2km(多段中継による 10km延伸可能)
入力電圧	DC48V, DC100V, AC100V	
外形寸法	187(W)×153(D)×42(H)(mm)	
動作温度範囲	-20～+60℃(AC100V, DC100V)	
	-10～+60℃(DC48V)	

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

は、図3に示すように、多数のキャリアを周波数軸上に直交に多重するOFDM方式を採用し周波数利用効率を上げることができることを可能とした。各キャリアの変調方式は、最大256QAMからBPSK(Binary Phase Shift Keying)まで、S/Nに応じて変調度を自動制御する適応変調方式を実現することで、周波数特性を持つ伝送路の減衰やノイズ特性に最適化し高ビットレートを確保した。イーサネットインタフェース<sup>(注1)</sup>は4ポートを持ち、複数のIP機器との接続を可能としている。

(注1) イーサネットは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

#### 2.2.2 マルチドロップ接続機能

メタル線IPモデムは、1本のメタル線で1台の親機と複数の子機の通信を可能とするマルチドロップ接続機能を持つことを特長とする。図4に、通信フレームの構造を示す。親機と複数の子機の通信を時間軸上に多重化することで、複数の子機分のメタル線の芯数を必要とせず、省線化を実現した。さらに、各子機のデータを、トラフィックに応じて動的にデータ長を最適化することで、通信効率を向上させた。

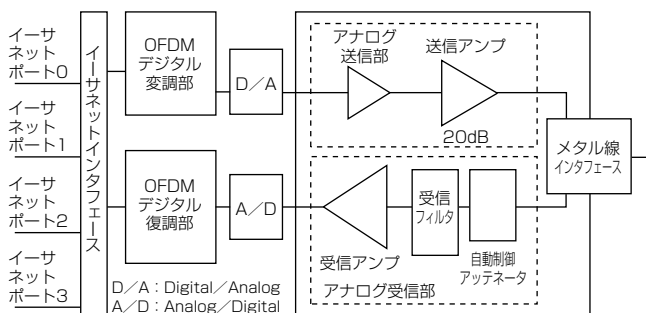


図2. MLCNETの装置ブロック図

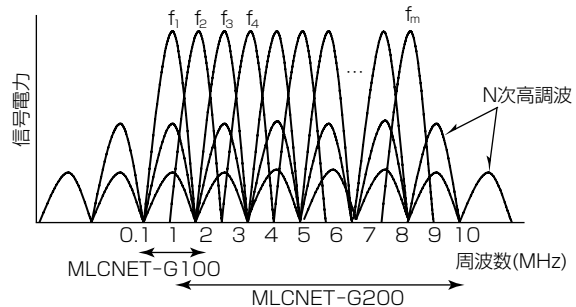
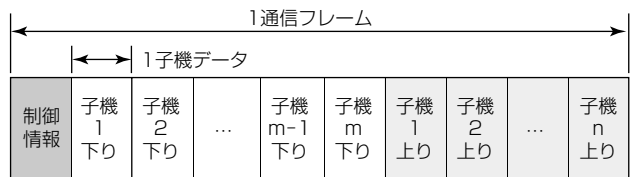


図3. OFDM方式によるマルチキャリア多重



下り: 親機から子機への通信  
上り: 子機から親機への通信

図4. 通信フレーム構造

### 3. メタル線伝送の技術課題と設計目標

#### 3.1 長距離化

メタル線(0.9mmφツイストペア線)の減衰特性の規格<sup>(1)(2)</sup>に基づく計算値を図5に示す。線路長10kmの場合、0.6MHzで約90dBの減衰量となる。高速道路のインターチェンジや鉄道の駅間等の10km区間の通信を可能とするための、ダイナミックレンジ90dB以上を確保した高ダイナミックレンジを目標とした。

#### 3.2 高速化

MLCNET-G200の高速化のためには、多値変調化が必要である。多値変調化にはアナログ部でのS/Nの確保が必要であり、最大256QAM変調の実現のための設計目標S/Nを装置マージンを含め40dBとした。

#### 3.3 変動する伝送路ノイズに対応する高品質な伝送

メタル線伝送では、既設のメタル線を使用して高周波を使用した高速伝送を実現する。伝送路上には他機器の電源ノイズ、通信信号の漏洩(ろうえい)、外来の環境ノイズ等の各種のノイズが混入する。図6に、現地で測定したノイズ特性の一例を示す。ノイズ電力は、設置場所によって様々で周波数範囲も広く、時間的な変動が観測される。このように変動するノイズに動的に追従してS/N推定を行い、最適なビットレートを決定して高品質な伝送を行う機能が必要となる。

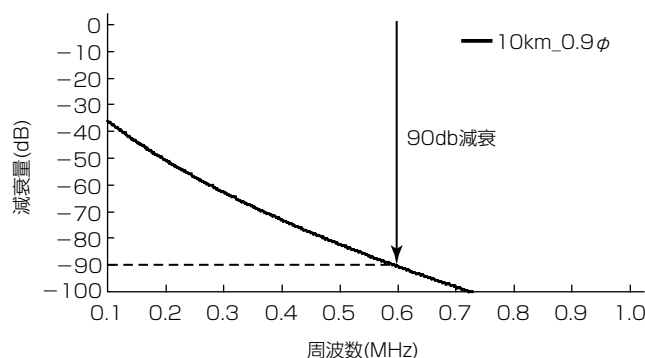


図5. メタル線減衰特性計算値(0.1~1.0MHz, 10km, 0.9φ)

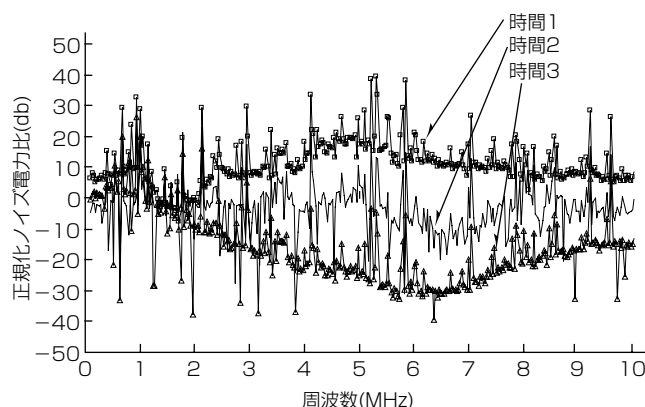


図6. メタル線ノイズ特性測定値

### 4. メタル線IPモデムの技術課題への対策

#### 4.1 長距離化のための高ダイナミックレンジ設計

MLCNET-G100の長距離化のための高ダイナミックレンジ設計は、アナログ送信部のS/Nを確保した高出力化によって実現した。アナログ送信部の課題は、D/A変換後における送信信号の高出力化及び歪みによるS/N劣化の抑制である。高出力化は、送信アンプの多段化及び並列化による利得の向上を行うことで実現した。OFDM信号は、ピーク振幅が平均振幅の数倍以上になる。したがって、ピーク時の信号振幅をクリップさせずアンプのリニアリティを確保する設計が重要である。この課題は、アンプ電源の高電圧化並びに増幅率と歪み特性の最適化をシミュレーション及び試作での実測による検証を繰り返すことで解決した。

送信部でS/N劣化が生じる主要因は、相互変調歪みである。OFDM信号は、図3に示すようにマルチキャリア方式であり、複数の搬送波の異なる周波数成分 $f_1$ と $f_2$ の相互変調歪みによる生じる高調波成分が、S/Nを劣化させる。この課題は、送信アンプの差動信号において、浮遊容量やインダクタンス成分によって生じる不平衡要因を排除した平衡度の高い回路及びパターン設計並びに低歪みの結合トランスの設計を行うことで解決した。図7に、D/A出力に対するアナログ送信信号の基本波と相互変調歪波の関係を示す。設計値であるD/A出力比0dBにおいて、出力を20dB増幅した場合、送信信号の基本波に対する相互変調歪波は-60dBであり、十分なS/Nを確保して高出力化を図ることができ、長距離化のための高ダイナミックレンジを実現した。

#### 4.2 高速化のための多値変調化

MLCNET-G200の高速化は、高S/Nを確保した多値変調化によって実現した。アナログ受信部は、メタル線から入力された信号をフィルタによって不要な帯域を除去し、低いノイズレベルを維持した増幅を行いA/D変換へ送信する必要がある。アナログ受信部の高S/N化は、①受信信

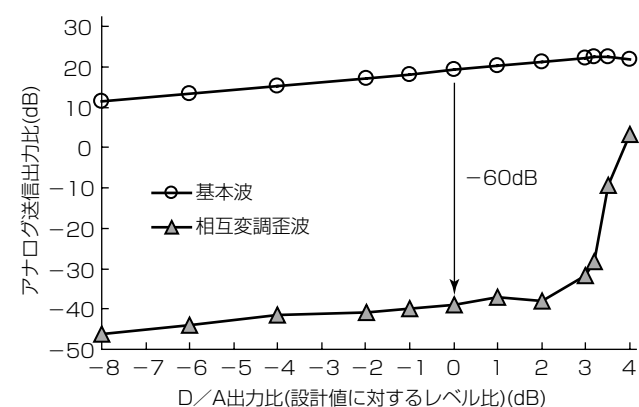


図7. アナログ送信部における基本波と相互変調歪波

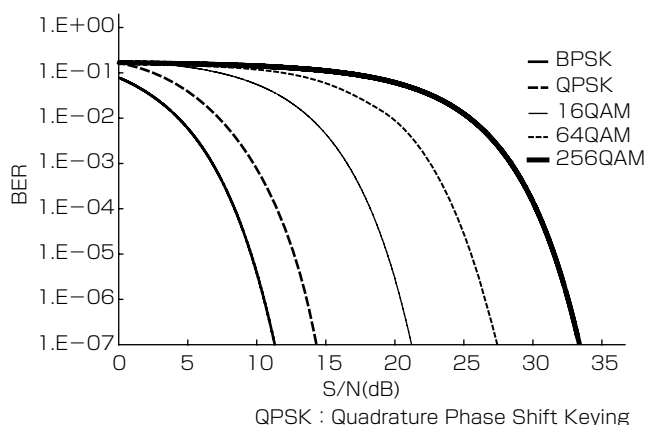


図 8. 多値変調におけるS/NとBERの関係

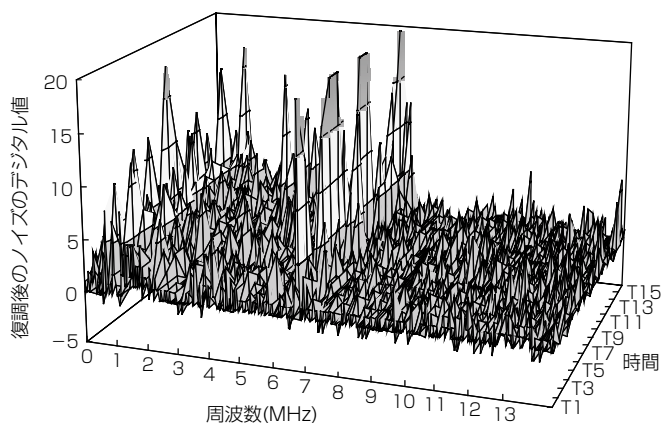


図 9. モデムで検出した復調後のノイズのデジタルデータ

号の歪みの低減, ②受信アンプ等のアクティブノイズの低減, ③差動回路のバランス設計によるコモンモード成分の低減, 及び④基板内ノイズの低減によって実現した。①及び②は, 送信部と同様, 受信アンプにおけるリニアリティを確保した設計及び低ノイズレベルを考慮した利得設計を実施した。③は, 差動型フィルタなどで発生する不平衡成分の抑制を行った。④は, 微弱信号を増幅するアナログ受信部において, デジタル部や電源から発生するノイズの影響を回避するためシールド設計を十分に実施した。これらの対策によって, アナログ部のS/N40dBを達成した。図8に, 参考として多値変調で必要とするS/NとBER(ビットエラーレート)の関係を示す。高い変調度に対しては高いS/Nを必要とすることを示す。

#### 4.3 変動するノイズに動的に追従するS/N推定機能

メタル線のノイズ環境下で高品質な伝送を行うため, 各種のノイズ変動に動的に追従するS/N推定機能を実現した。デジタル復調部では, キャリアごとにS/Nに応じて変調度を制御する適変調を行う。S/N推定機能において, 瞬時的なノイズやバースト的に発生するノイズを判別し, ノイズが発生した場合はノイズ電力の学習をすみやかに行い, S/N推定値を低下させることでエラーレートを改善し, ノイズが消滅した場合には, S/N推定値を上げることで, 速度の復帰機能を実現した。図9に, 時間軸で変動するノイズをモデムで検出し復調した結果のデジタルデータを示す。ノイズ変動に追従した動的な復調とS/N推定によって高品質な伝送を可能とした。

### 5. その他の実現技術

#### 5.1 近接設置を可能とした自動アッテネータ制御機能

モデムの設置形態は, 長距離から近距離まで様々である。従来, 近接設置時は, 送信信号が減衰せずに直接アナログ受信部に入力されるため, 飽和が発生し, この場合受信信号を正しく復調できず, ビットエラーを引き起こす場合が

あった。対策として, 図2のブロック図に示すように, 受信部にアッテネータ回路を設け, 受信電力を判定し信号減衰量の自動制御を行うことによって, 近接設置を可能とした。

#### 5.2 中継機能による長距離化の実現

高速化を実現したMLCNET-G200では, 高速化のため高周波数帯域までの広帯域を使用することから信号減衰が大きくなり長距離化に課題があった。時分割方式で複数のモデムを多段接続する中継機能を実現することで, 距離の延伸を可能とし, 長距離化を実現した。

### 6. 設計目標の達成

- (1) 長距離伝送のための高ダイナミックレンジ設計目標に対しては, 高送信電力化によって, ダイナミックレンジ90dBを達成し, MLCNET-G100において, 最大伝送距離10kmを実現した。
- (2) 高多値変調による高速化に対しては, アナログ受信部の高S/N化を図り, MLCNET-G200において物理速度最大50Mbpsを実現した。
- (3) メタル線のノイズに対しては, 変動する線路ノイズに動的に追従するS/N推定機能を実現し, 高品質・高信頼の伝送を可能とした。

### 7. む す び

今後, メタル線IPモデムを広く社会インフラネットワークの基盤とするための, 様々な市場に適用可能とする機能の提供及び更なる市場展開を図る。

### 参 考 文 献

- (1) ITU-T G.992.1-1999, ITU-T Series G: Transmission Systems and Media, Digital systems media, ITU-T (1999)
- (2) ITU-T G.996.1-1999, ITU-T Series G: Transmission Systems and Networks, ITU-T (1999)

# 水処理及び広域監視制御向け 次期監視制御システム

井上敦士\* 北村操代\*\*  
井上雅晶\* 今村圭子\*\*\*  
岡嶋国明\*

Next Generation Supervisory Control System for Water Processing and Wide Area Monitoring

Atsushi Inoue, Masaaki Inoue, Kuniaki Okajima, Misayo Kitamura, Keiko Imamura

## 要 旨

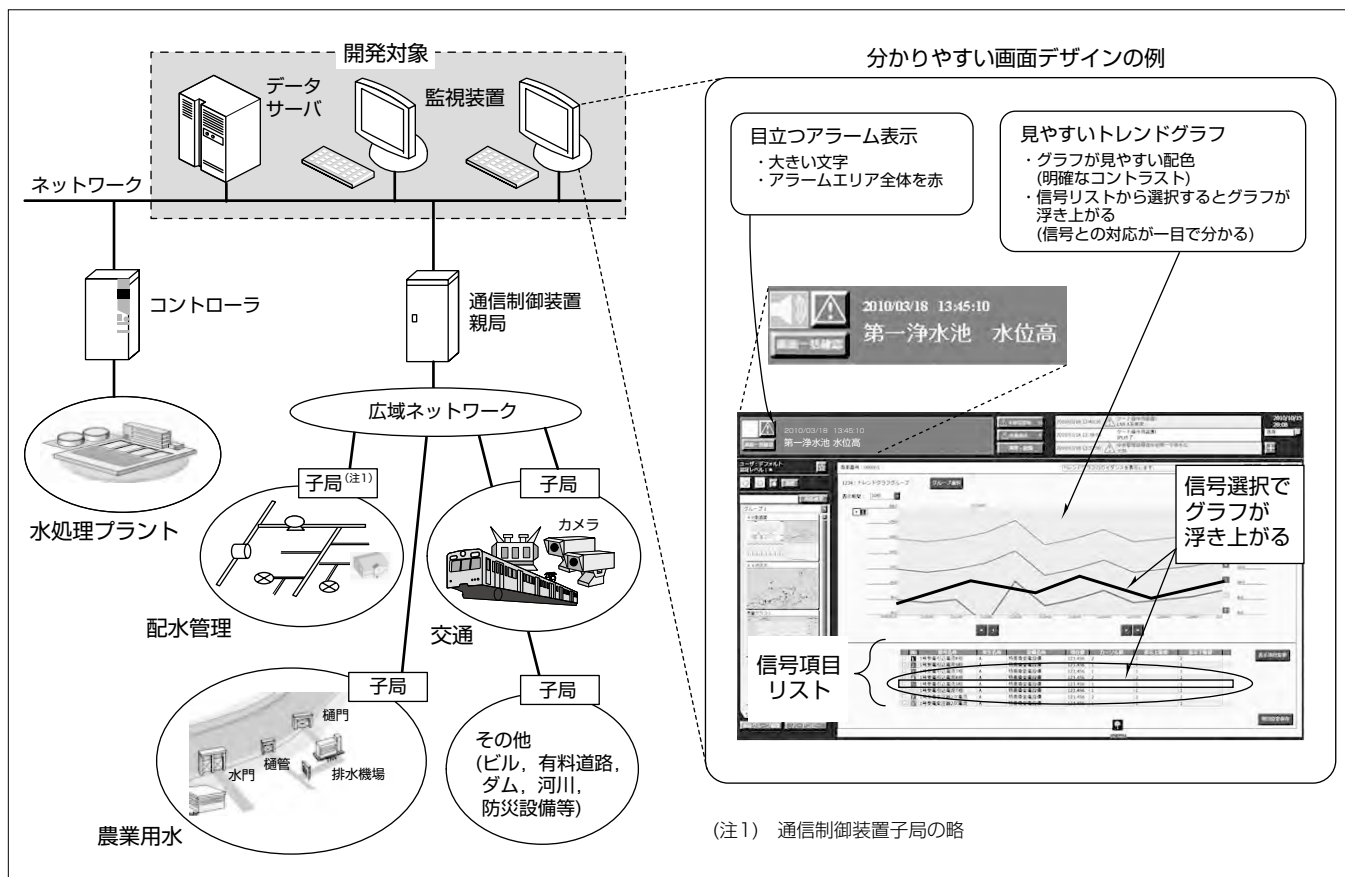
三菱電機が取り組む社会インフラシステムの分野には上下水道における水処理プラント向け監視制御システムや、配水管理設備、農業用水設備、交通設備等の広域監視制御システムがあり、長年にわたる納入・稼働実績がある。少子高齢化が進展する中、これらの監視制御システムの分野でも、熟練オペレータが減少傾向にある。このため、非熟練者でも容易に操作でき、少数で効率的な監視業務を可能とするシステムが望まれている。

このような背景の中、当社はこれまで納入してきた監視制御システム（以下“従来システム”という。）の後継として、水処理及び広域監視制御の両分野に適用可能な次期監視制御システムを開発した。このシステムは、従来システムのデータサーバと監視装置のソフトウェアを一新したものであり、次の特長を持つ。

- (1) 水処理、広域監視制御の両分野に適用可能なアーキテクチャ
- (2) 市場・顧客からのニーズによる機能追加に、容易に対応できる監視制御GUI(Graphical User Interface)フレームワーク
- (3) ユニバーサルデザインの考え方を取り入れた、非熟練者にも分かりやすい画面
- (4) 効率的な監視業務を支援する多数の新機能

例1：監視画面を任意に切り出し、別画面と組み合わせる“切り出しウィンドウ”

例2：オペレータごとに必要な情報だけ画面表示する“マイモニタ機能”



## 次期監視制御システムの構成と分かりやすい画面デザインの例

次期監視制御システムは当社の最新の監視制御システムであり、水処理及び広域監視制御の両分野に対応する。また、非熟練者にも分かりやすい監視装置画面デザインを備える。

## 1. ま え が き

当社が取り組む社会インフラシステムの分野には上下水道における水処理プラント向け監視制御システムや、配水管理設備、農業用水設備、交通設備等の広域監視制御システムがある。少子高齢化が進展する中、これらの分野でも熟練オペレータが減少傾向にあり、非熟練者でも容易に操作でき、少人数で効率的な監視業務を可能とするシステムが望まれている。

このような背景の中、当社はこれまで納入してきた監視制御システムの後継として、水処理及び広域監視制御の両分野に適用可能な次期監視制御システムを開発した。

本稿では、次期監視制御システムのソフトウェアアーキテクチャ及び監視装置のユーザーインターフェースの特長について述べる。

## 2. システム構成と適用範囲

次期監視制御システムのシステム構成と適用範囲を図1に、システム構成要素を表1に示す。次期監視制御システムは、水処理及び広域監視制御の両分野に適用可能である。次期監視制御システムの開発では、データサーバ、監視装置のソフトウェアを従来システムから一新した。

## 3. ソフトウェアアーキテクチャ

次期監視制御システムで一新した監視装置・データサ

バのソフトウェアアーキテクチャについて述べる。

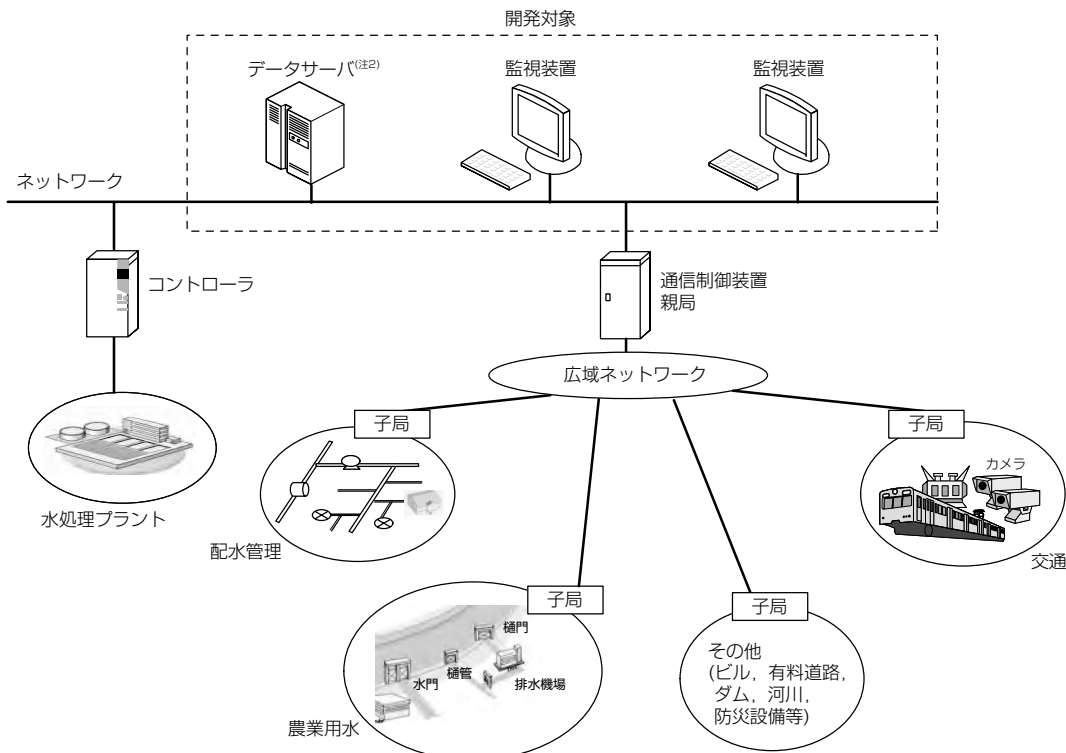
### 3.1 水処理及び広域監視制御の両分野に対応

データサーバのソフトウェア構成を図2に示す。データサーバ内のデータ収集ソフトウェアは、コントローラ・通信制御装置親局よりデータ収集を行い、監視装置へのデータ提供とデータ蓄積ソフトウェアへのデータ蓄積を行う。

コントローラ(水処理監視制御の分野)及び通信制御装置親局(広域監視制御の分野)は、それぞれ扱うデータの特性に応じて異なる専用の通信プロトコルを実装している。次期監視制御システムでは、コントローラ、通信制御装置親局それぞれとの通信処理をデータサーバ内のデータ収集ソフトウェアに集約して差異を吸収することで、両分野への適用を可能とした。

表1. 次期監視制御システムの構成要素

構成要素	説明
監視装置	オペレータとのインターフェースを担う。この装置上の表示画面を通して、オペレータは設備・機器の監視制御業務を行う。
データサーバ	コントローラ、通信制御装置親局からのデータを時系列に蓄積する。
コントローラ	プラントの設備・機器の制御を行う装置。また、設備・機器の計測データ・動作状態を、監視装置・データサーバに提供する。水処理監視制御の分野で用いられる。
通信制御装置親局	広域ネットワーク経由で通信制御装置子局からのデータを受取り、データサーバ・監視装置に提供する。広域監視制御の分野で用いられる。
通信制御装置子局	各地点の設備・機器のデータを、広域ネットワーク経由で通信制御装置親局に伝送する。広域監視制御の分野で用いられる。



(注2) データサーバと監視装置の兼用も可能

図1. 次期監視制御システムの構成と適用範囲



### 3.2 機能追加に容易に対応できる監視制御GUIフレームワーク

監視装置のソフトウェア構成を図3に沿って述べる。監視装置のソフトウェアは、状況図(監視対象を模式図で表

現),トレンドグラフ,アラーム表示等の各画面に対応する画面ソフトウェア群と,監視制御GUIフレームワークで構成する。

監視制御GUIフレームワークは,画面ソフトウェアの製作基盤であり,先に述べた各画面はこのフレームワークを用いて製作している。このフレームワークによって,画面ソフトウェアの効率的な製作が可能であり,多様な市場ニーズ,顧客ニーズによる監視装置画面の機能追加に容易に対応できる。表2にフレームワークの機能と特長を示す。

表2. 監視制御GUIフレームワークの機能と特長

機能	特長
データサーバとの通信処理をフレームワークに集約し,各画面ソフトウェアにデータを渡す。	個々の画面ソフトウェアでデータサーバとの通信処理の実装が不要
各画面ソフトウェアとのインタフェースの標準仕様を定義する。 (例:画面切り替え時の表示・非表示の手順)	画面ソフトウェアの設計・製作方法の明確化
表示用のソフトウェア部品群を提供する。 (ボタン,ラベル等の表示用基本部品)	ソフトウェア部品を利用した効率的な画面ソフトウェア製作が可能

### 4. 監視装置のユーザーインターフェースの特長

次期監視制御システムの中で,オペレータとのインタフェースとなるのは監視装置である。この監視装置では,非熟練者にも分かりやすく,効率的な監視業務を支援するユ

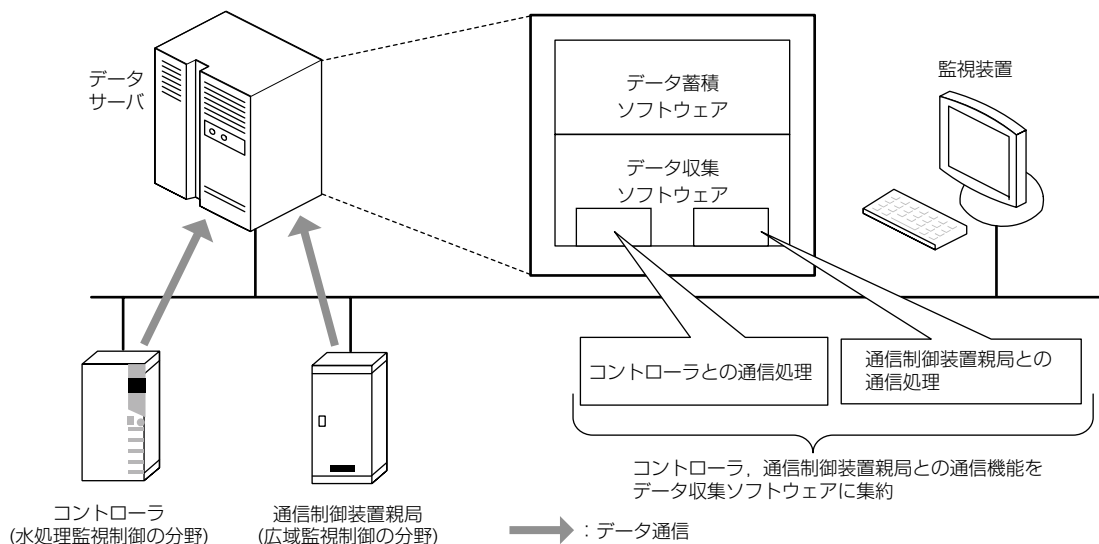


図2. データサーバのソフトウェア構成

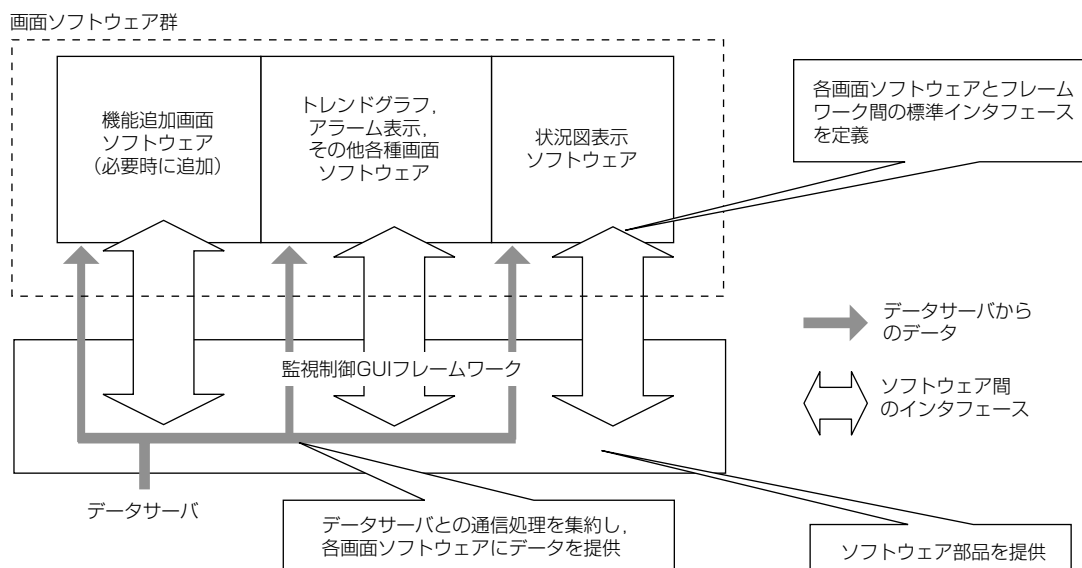


図3. 監視装置のソフトウェア構成

ユーザーインターフェースを提供する。この章ではこの監視装置のユーザーインターフェースの特長として、分かりやすい画面デザインと、新機能の2点について述べる。

#### 4.1 非熟練者にも分かりやすい画面デザイン

次期監視制御システムでは、ユニバーサルデザインの考え方を用いて、高い視認性を持つ、非熟練者にも分かりやすい画面デザインを行っている。画面デザイン上の工夫は多岐にわたるが、主要なものを次に挙げる。

- ①気付かせたいものには目立つ表現(目立つ色、浮き上がって見える表現等)
- ②大きい文字
- ③見やすい配色(明確なコントラスト)

これらの工夫の具体例として、アラーム表示・トレンドグラフの画面デザインでの工夫点について述べ、従来システムからの改善を図4に示す。

##### (1) 目立つアラーム表示

従来は文字色を赤とすることでアラーム発生を示していたが、次期監視制御システムでは、アラーム表示エリア全体を赤色表示として目立たせるようにした。また、アラ-

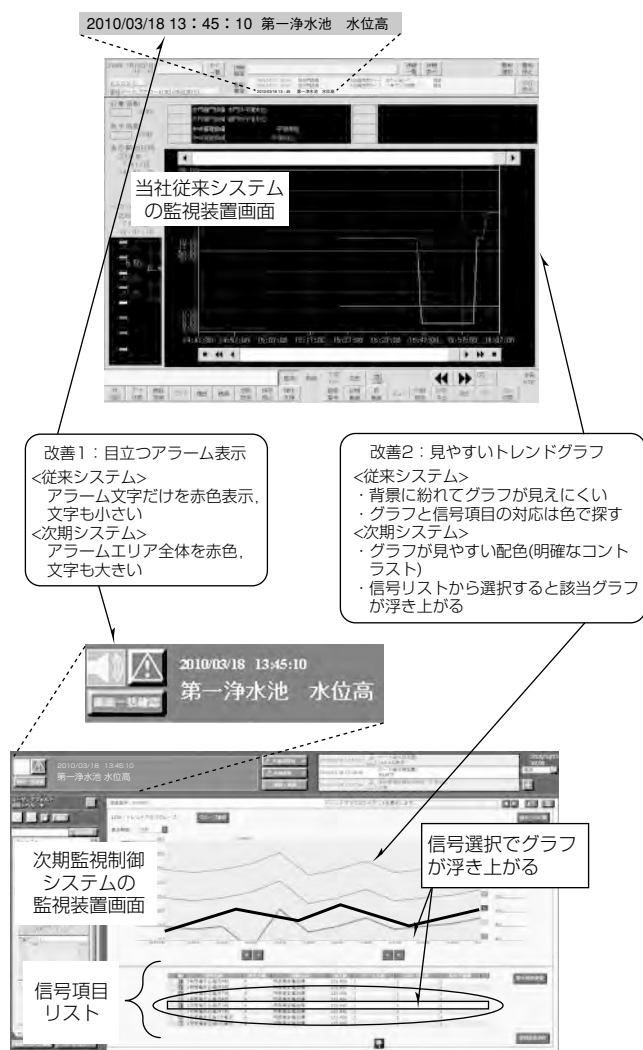


図4. 監視装置の分かりやすい画面デザインの例

ムの文字サイズも拡大し見やすくした。これによって非熟練者でもアラームの発生を見逃すことなく、確実に対応可能とした。

##### (2) 見やすいトレンドグラフ

従来は背景色とグラフを見分けにくい配色であったが、次期監視制御システムでは、これらを見分けやすい配色に見直した。また、画面上の信号項目リストを選択すると、対応するグラフが浮き上がるような表示とした(従来は同じ色のグラフを探す)。これによって、信号項目に対応するグラフを即座に認識できる。

#### 4.2 効率的な監視業務を支援する新機能

次期監視制御システムでは、従来システムにはない多数の新機能の導入によって効率的な監視業務を支援する。

次に、主要な新機能について述べる。

##### (1) 切り出しウィンドウ

表示中の状況図の一部をマウス操作で任意に切り出してウィンドウ化し、別の状況図と組み合わせて表示可能とする(図5①②)。この機能によって、ある状況図の重要データの監視を継続しながら別の状況図の監視も可能となり(図5③④)、より効率的な監視を行える。また、各オペレータが自己の監視業務の特性に合わせて、効率的な状況図の組み合わせを作ることができる。なお、切り出しウィンドウは複数枚同時表示も可能である。

ベース画面<sup>(注3)</sup>、切り出しウィンドウでのデータ収集、表示更新処理の概要を図6に沿って説明する。

(注3) ベース画面：切り出しウィンドウの後ろの表示領域(図5)

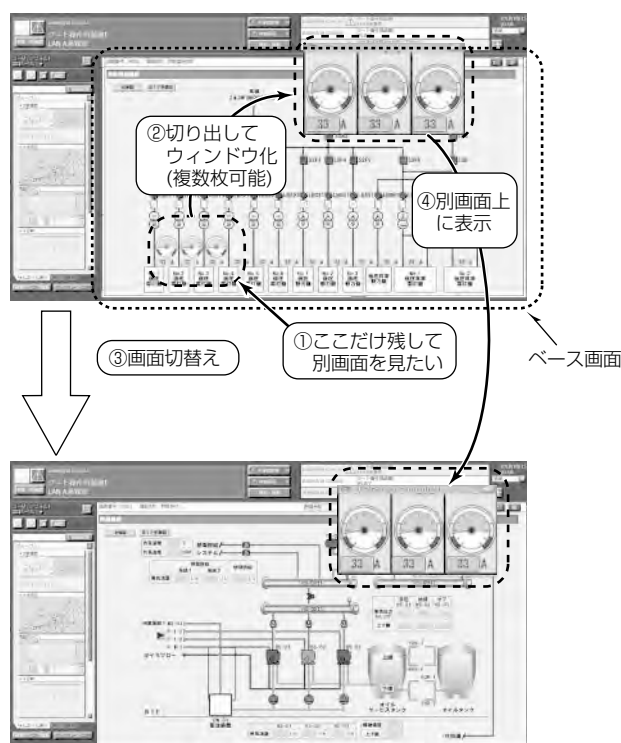


図5. 切り出しウィンドウの操作

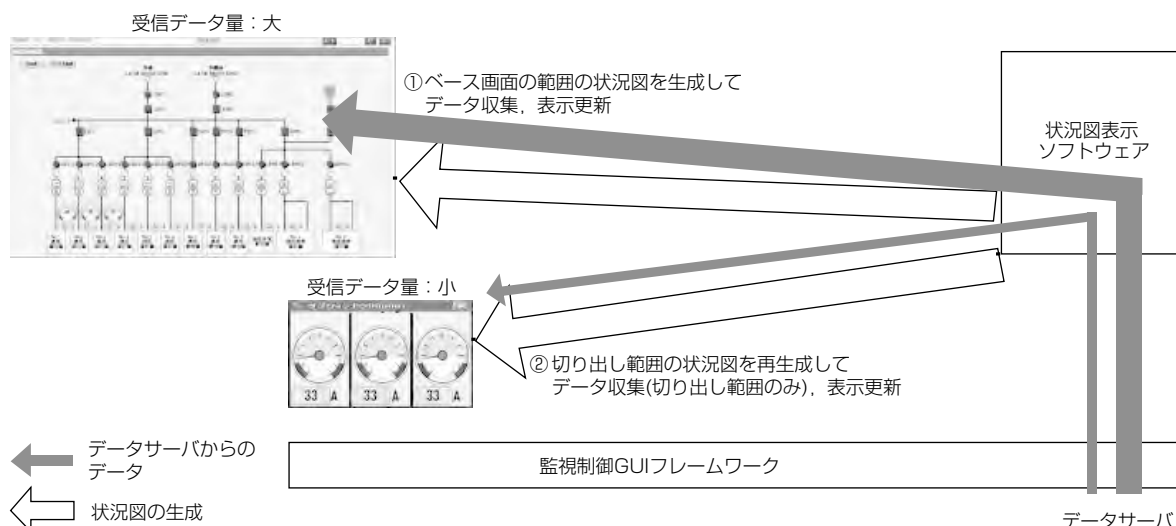


図6. 切り出しウィンドウの仕組み

- (a) ベース画面表示時、状況図表示ソフトウェアは、ベース画面に表示される状況図を生成する。そして状況図に表示するデータ項目を抽出し、定周期収集・状態変化通知をデータサーバに要求する。その後データ受信ごとに、状況図の表示更新を行う。
- (b) ユーザー操作によってウィンドウの切り出し範囲が指定されると、状況図表示ソフトウェアは、切り出した範囲のみの状況図を再生成する。以後は切り出した範囲の状況図について、(a)と同様にデータサーバにデータの要求を行い、受信したデータで表示更新を行う。

以上の仕組みによって、切り出しウィンドウでもベース画面と同様に表示更新が行われる。また、切り出しウィンドウでは、受信データ量を必要最小限に抑えているので(切り出し範囲のみのデータ受信)、切り出しウィンドウを複数枚表示しても、表示更新性能は維持される。

## (2) マイモニタ機能

1枚の状況図上でもオペレータによって注目すべき設備・機器が異なる場合がある。マイモニタ機能は、オペレータごとに必要な情報だけ表示するように状況図の表示内容を切り替える機能である(図7)。これによって、対象設備だけに集中し、非熟練者でも見逃しや誤操作を起こさない効率的な監視業務が可能となる。マイモニタ機能は次の方法で実現している。

- ①状況図上のシンボルごとにどのログインユーザー(監視装置の使用者)で表示されるかをあらかじめ登録しておく。
- ②オペレータが監視装置にログインすると、状況図ソフトウェアは①の情報と組み合わせて、シンボルごとの表示／非表示を行う。

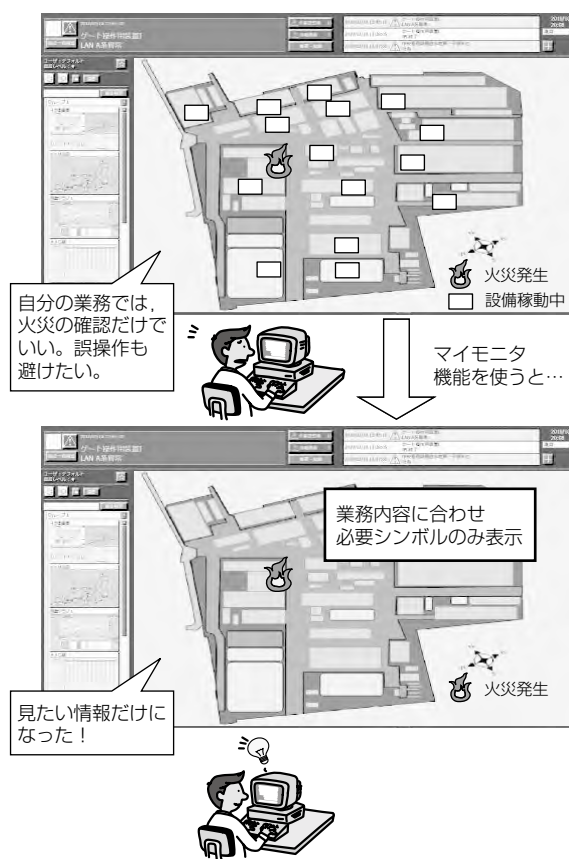


図7. マイモニタ機能

## 5. む す び

当社の水処理及び広域監視制御向け監視制御システムの最新製品である次期監視制御システムのソフトウェアアーキテクチャ、ユーザーインターフェースの特長について述べた。今後、より効率的な監視制御に貢献するための機能拡充に取り組んでいく。

# 多機能集約型画像処理応用道路監視装置

富田浩朗\*  
清水利英\*  
成川昌史\*

Image Processing Based Traffic Monitoring System with Traffic Flow and Incident Detection

Hiroaki Tomita, Toshihide Shimizu, Masafumi Narikawa

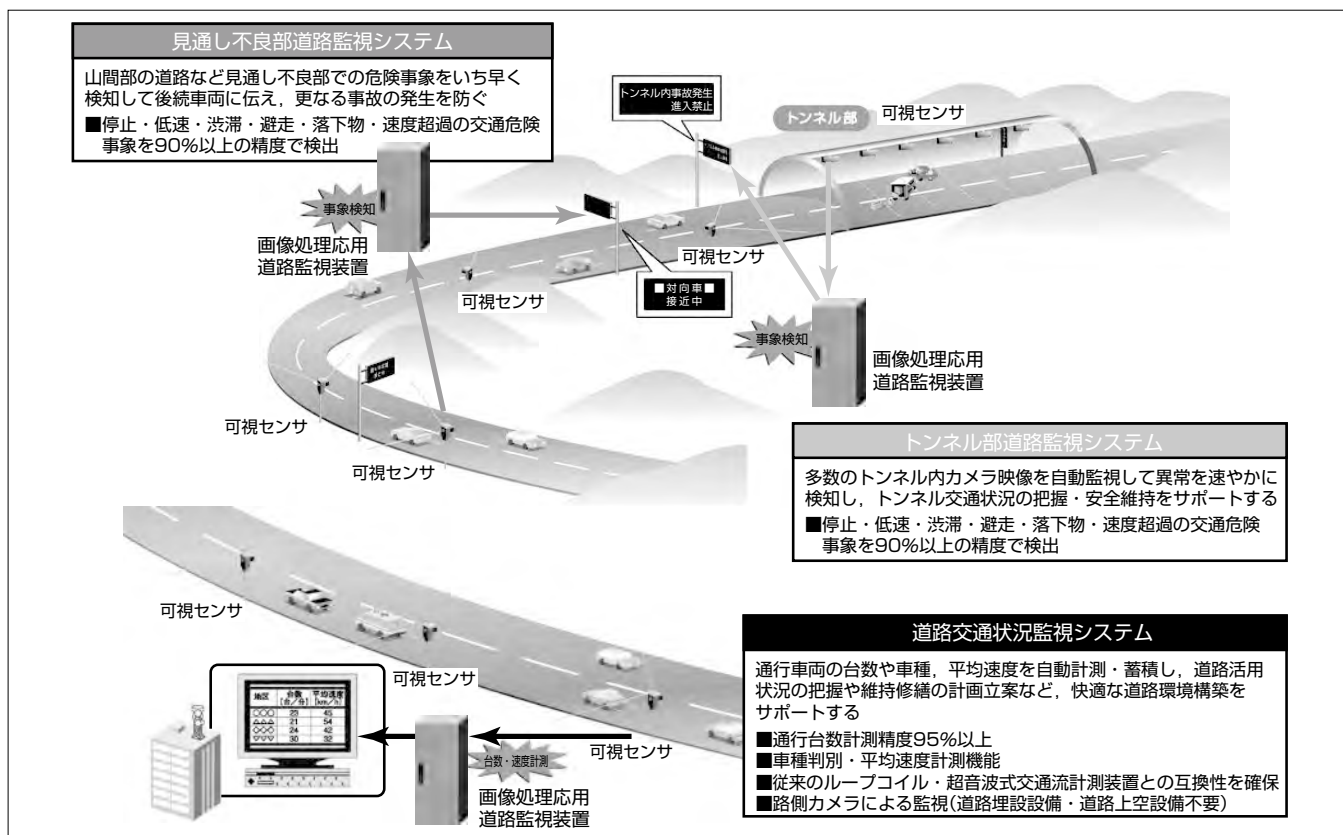
## 要 旨

情報通信技術を活用して道路交通の円滑化を図るITS (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム) の一環として、1996年からAHS-i (Advanced cruise-assist Highway Systems-information: 情報提供システム) の導入が開始された。これは、見通しの悪い道路の路側に設置されたカメラの映像を基に、画像処理技術によって渋滞・停止車両・落下物等の交通危険事象を検出し、後続車のドライバーに危険を警告するシステムであり、導入開始以降、見通し不良部／トンネル部道路監視システムとして広く普及・認知されてきた。

近年、道路管理の更なる高度化・効率化を目指して画像処理の導入が一層活発化し、画像処理による監視対象は道路全線に広げられ、通行台数の計測・車両平均速度の計測

などの従来のループコイル式交通流計測装置を代替する機能を持つ道路交通状況監視システムの適用も進んでいる。さらに、交通危険事象の検出と交通流計測の機能を同時に備え、先行して整備された目視用途のズーム旋回型カメラにも適用可能な、付加価値を高めた画像処理応用道路監視システムが求められている。

今回、このニーズに対応した多機能集約型画像処理応用道路監視装置を製品化した。この装置によって、従来複数のハードウェアを必要としていた交通危険事象の監視と交通流計測の処理を、1台のハードウェアで集約処理できる。交通流計測処理では、目視用途ズーム旋回型カメラを活用した高精度の計測が可能である(通行台数計測精度95%以上)。



## 画像処理応用道路監視システム

道路沿いに設置されたカメラの映像を画像処理技術によって自動監視し、交通危険事象(渋滞・障害物等)の検知・交通状況の計測を行うシステムである。検知・計測した結果を基に、情報表示板によるドライバーへの危険警告や、道路管理への通知を行う。これによって、二次事故の防止や、パトロールカーの派遣等の対応をすみやかに行うことができ、道路環境の安全・安心の向上に貢献する。



## 1. ま え が き

情報通信技術を活用して道路交通の円滑化を図るITSの一環として、ドライバーの負担の軽減、安全性の向上を図るAHSが研究され、1996年からAHS-iの導入が開始された。これは、見通しの悪い道路の路側に設置されたカメラの映像を基に、画像処理技術によって渋滞・停止車両・落下物等の交通危険事象を検出し、ドライバーに危険を警告するシステムである。以降、見通しの悪い道路や長大トンネルを対象に、道路環境の安全向上・道路管理の効率化を目的として画像処理技術を応用した道路監視システムの導入が進められ、見通し不良部／トンネル部道路監視システムとして広く普及・認知されてきた。

近年、道路管理の更なる高度化・効率化を目指し、画像処理の導入が一層活発化している。画像処理による監視対象は道路全線に広げられ、通行台数の計測、車両平均速度の計測等の従来のループコイル式交通流計測装置を代替する機能を持つ道路交通状況監視システムの適用も進んでいる。画像処理に求められる機能は多様化が進み、さらに、付加価値を高めた画像処理応用道路監視システムが求められている。

本稿では、これらの市場ニーズへの対応を目指し、新たに開発した多機能集約型画像処理応用道路監視装置について述べる。

## 2. 画像処理応用道路監視システムにおける課題

### 2.1 画像処理適用範囲の拡大と導入目的の多様化

1996年のAHS-iの導入開始より15年を経過し、山間部道路の見通し不良部や、長大トンネル等、事故発生時の危険性の高い箇所を中心に、画像処理応用道路監視システムの導入が活発に進められてきた。これによって、画像処理応用道路監視システムは、道路の安全向上・道路管理の効率化に資するものとして広く認知され、普及が進んでいる。三菱電機でも独自の画像処理アルゴリズム(図1)と専用ハードウェアを開発し、1998年より画像処理応用道路監視システム“見通し不良部／トンネル部道路監視システム”を事業化し展開を進めてきた<sup>(1)(2)</sup>。さらに、近年では通行台数の計測、車両平均速度の計測等、従来のループコイル式交通流計測装置を代替する機能を、“道路交通状況監視システム”として画像処理技術を用いて実現してきた。

一方、道路管理としては、目視による監視を意図したカメラ設備の導入も進み、カメラ映像を切り替えながら目視してより広域に道路状況を監視できる環境が先行して整備されてきた。これに伴い、目視監視するカメラ映像の数が飛躍的に増大し、効率的な監視が必要となってきた。また、事故などの発生の瞬間をとらえ、状況の分析に役立たいという要求も強まっている。この要求にこたえる手段として目視用途カメラを活用した画像処理応用道路監視

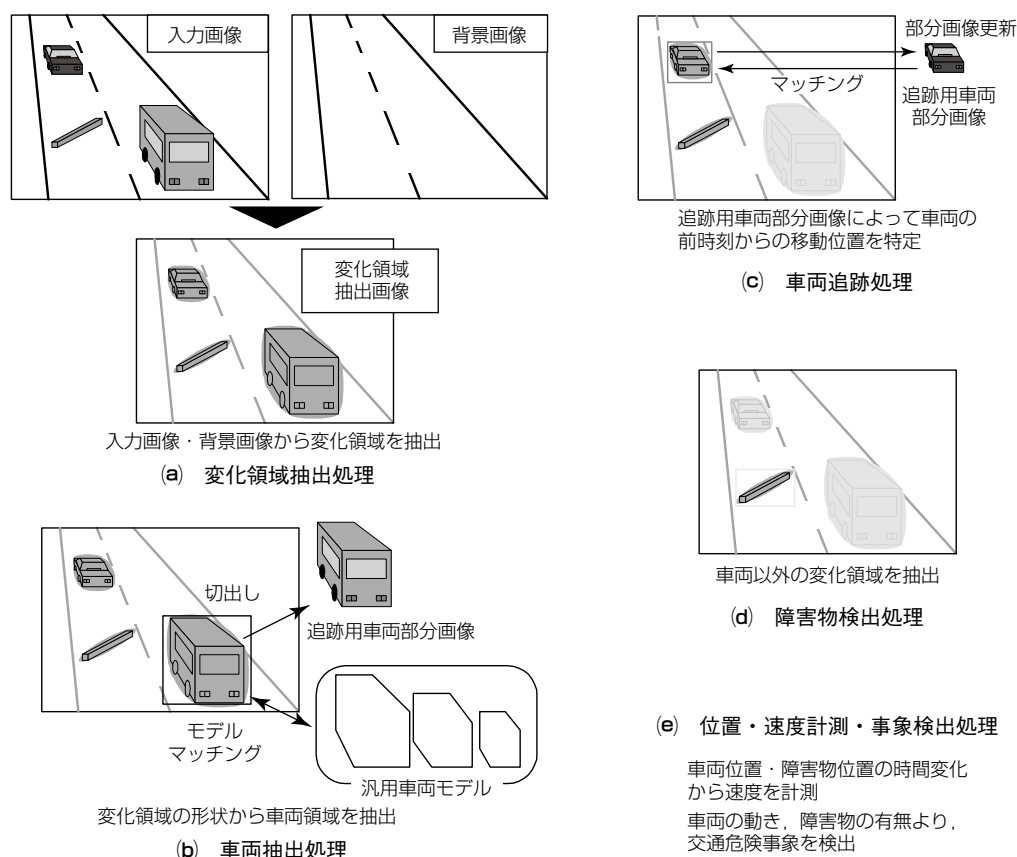


図1. 画像処理アルゴリズム



システムへの期待が強まっている。

さらに、広く配置された目視用途のカメラなどの映像に対して、交通危険事象の検出と交通流計測の機能を同時に実現し、道路全線にわたる情報収集・管理の自動化を進める新たな試みが進められている。

## 2.2 画像処理応用道路監視システム適用拡大の課題

目視用途カメラを活用した画像処理応用道路監視システムへの新たな要望に対応するためには、次の課題を克服する必要がある(表1)。

### 2.2.1 ズーム旋回式カメラ画角復帰位置誤差への対応

これまでの画像処理応用道路監視システムは、画像処理による監視専用に設置された固定式カメラを用いることを前提としてきた。これは、画像処理で車両の抽出のために背景差分手法を用いていることや、車両の位置・移動距離の計測のために三角測量の原理を用いているためであり、カメラの画角のずれはそのまま車両抽出や車両の位置・速度の計測に悪影響を与える。

一方、目視用途カメラは、事故などの発生時に現場付近を拡大して状況を詳細に確認するため、ズーム旋回式のものが多く導入されている。ズーム旋回式カメラの多くにはカメラの向き(偏角・俯角(ふかく))及び画角の広さ(レンズ焦点距離)をあらかじめ設定した位置に戻す“プリセット機能”が設けられているが、この機能によって復帰させたカメラの画角は、カメラの性能に応じ、角度で0.05～0.5度程度までの誤差を含んでいる。

このため、ズーム旋回式カメラの映像で画像処理を行う場合には、次の対応が必要となる。

- ①画像処理による計測対象とするカメラ画角を限定し、カメラのズーム旋回中などほかの画角に対する計測処理を行わず、元の画像処理対象画角に復帰した際に画像処理を再開する。
- ②画像処理対象画角での画像処理再開時、カメラの向き・画角の広さに誤差がある場合はこれを補正する。

### 2.2.2 演算処理負荷の増大

交通危険事象検出は、車両の停止・低速走行・渋滞等の挙動を認識することを目的としている。そのため、約100mにわたるより広い計測範囲を確保し、個々の車両の

挙動の変化や、複数の車両を群としてとらえてその挙動の変化を把握する必要がある。

一方、交通流計測では、個々の車両を切り分けて認識し、通行台数を正確に計数することが求められる。

カメラ映像では、連続して走行する車両が前後方向に重なって映り個々の車両の切り分けが困難となる問題がある。この問題に対応するため、カメラ位置からより近い位置に車両認識エリアを配置し、より高いフレームレートで認識処理を行うことで車両の重なりによる影響を緩和させる必要がある。

このように、交通危険事象検出と交通流計測ではその目的の違いから処理内容が異なり、同時計測時の処理負荷は大幅に増大する。このため、画像処理ハードウェアにはより高い演算性能が必要となる。

### 2.2.3 効率的な映像記録

道路管理では、事故などの発生要因を分析して道路環境の改善策を立案・実践する事後対応が必要となる。この事後の分析・検証作業を行うにあたり、事象発生時の映像を確認することが必要不可欠である。従来、映像記録装置を別途設置して対応してきたが、この手法では映像記録装置を収容するために屋外筐体(きょうたい)を大型化したり、電気室などに設置した映像記録装置で映像記録を行うために大容量の伝送路を用意して処理対象映像を常時転送する必要がある、画像処理応用道路監視システムとしては、効率的な記録を行うことが求められる。

### 2.2.4 屋外分散設置筐体への収容

従来の画像処理応用道路監視システムでは、見通し不良部や、トンネル部等にカメラが局所的に集中配置されていた。このため、画像処理応用道路監視装置は比較的大型の筐体に収容して路側に設置したり、トンネル管理所などの施設内に設置することができた。

しかし、道路沿線の広範囲にわたって配置したカメラの映像に対して画像処理による監視を行う場合、映像伝送のための伝送路敷設が困難な場合もあり、画像処理応用道路監視装置はカメラと同一箇所に分散配置することが求められる。設置に当たっては、施工の面でカメラ柱への取付けが必要とされ、屋外設置に対応した耐環境性及び装置の小型化が不可欠となる。

## 3. 多様な目的に対応した画像処理システムの開発

目視用途などのカメラ映像を用いた道路監視の多目的化に対応するため、新たに画像処理ソフトウェア及び画像処理ハードウェアを開発した。次にその特長を述べる。

### 3.1 画像処理ソフトウェアの開発

#### 3.1.1 ズーム旋回式カメラへの対応

ズーム旋回式カメラの映像に対し画像処理を適用する方法として、次の機能を持つ画像処理ソフトウェアを開発した。

表1. 技術課題と対策

要求項目	課題	対策
ズーム旋回式カメラの活用	画角復帰位置誤差への対応(位置・速度計測精度悪化)	プリセット画角への復帰位置誤差の補正
交通危険事象検出・交通流計測の同時対応	演算処理負荷の増大	演算性能の向上 演算アルゴリズムの改善
交通危険事象発生状況の事後検証	効率的な映像記録	高効率映像圧縮技術の採用
屋外分散設置化	屋外設置筐体への収容(設置工事費用の抑制)	小型化・発熱量低減による屋外設置筐体の小型化

### ①カメラ管理サーバとの通信機能

ズーム旋回式カメラの動作制御を行うカメラ管理サーバとの通信機能を設け、カメラの画角情報を取得できるようにした。これによって、目視用途のためにカメラのズーム旋回動作をさせた際に画像処理を中断させ、画像処理用プリセット画角に戻った際に画像処理を再開させるよう構成した。

### ②カメラ画角情報の再計算機能

画像処理用プリセット画角に戻った際、ズーム旋回動作の誤差で、あらかじめ画像処理として設定したカメラ設定情報(カメラ俯角・偏角・レンズ焦点距離情報)に対してわずかな誤差を含む(図2)。この誤差の補正のため、カメラ設定情報の補正処理を開発した。カメラ設定情報の補正処理は次のように行う。

- (1) システム設置時、画像処理用画角でカメラ映像中に複数の参照点を設定する。参照点は映像中の道路構造物など、位置の変化しない特徴的な箇所を複数選択し、その画像中の座標位置、三次元座標位置、及び特徴点周囲の部分画像を記録しておく。
- (2) カメラ管理サーバより画像処理用プリセット画角への復帰情報を受信した際、あらかじめ記録した特徴点周囲の部分画像とのマッチング処理によって、特徴点の画像中での位置誤差を算出する。
- (3) 位置誤差を算出した複数の特徴点につき、特徴点の新たな画像中座標位置及びあらかじめ記録した三次元座標位置情報から、新たなカメラ画角(偏角・俯角・レンズ焦点距離)を再演算する。

この処理を実施しない場合、カメラのプリセット動作によって0.05度の誤差が生じる場合に、約10%の速度計測値誤差を生じるが、これを3%以下に軽減することができた。

## 3.2 画像処理ハードウェアの開発

### 3.2.1 複数機能の集約処理に対応する高い演算性能

画像処理を実施する演算素子として、高速マルチコア

DSP(Digital Signal Processor, 3コア・1GHz)を採用し、当社従来機種(シングルコア600MHz×2石搭載)に対し、動作クロック比2.5倍の演算性能を確保した(図3)。

画像処理アルゴリズムの面では、マルチコアDSPを採用することで交通危険事象検出・交通流計測に共通する背景画像生成処理を統合し、コア間での連携動作をさせることで、全体の計算負荷を抑えた。

これによって、従来それぞれ1台の装置を必要としていた交通危険事象検出・交通流計測を同時に1台で処理することを可能とした。

### 3.2.2 先進の映像符号化技術に対応

画像処理対象の映像の入力方法としては、従来のアナログNTSC(National Television System Committee)形式及び、LAN経由でのMPEG(Moving Picture Experts Group)2形式(MP@ML(Main Profile at Main Level))での入力に標準対応した。さらに、ビデオプロセッサを搭載したDSPを採用することで、先進のH.264形式及びハイビジョン形式(MPEG2, H.264)での映像入力に対応した。

同時に、映像記録のために必要となる機能として、アナログNTSC形式での入力映像をH.264形式で符号化する機能を実装した。これによって、画像処理応用道路監視装置単体で事象検出時の映像を高効率に圧縮・記録ができるようにし、事象発生前後1分間の映像記録を可能とした。

今回開発した方式によって、外部映像記録装置が不要になり、屋外筐体の大型化や、電気室などへの記録用映像の常時転送の問題が解消できる。また、記録映像の高圧縮化によって伝送路の有効活用が可能となる。

### 3.2.3 装置小型化による屋外路側設置対応

画像処理応用道路監視装置の屋外設置のためには、画像処理ハードウェアを収容する筐体をカメラ設置柱に搭載できるサイズまで小型化する必要がある。そこで、DSP、SDRAM(Synchronous Dynamic Random Access Memory)等の回路素子の集約、削減によって、装置奥行きを従

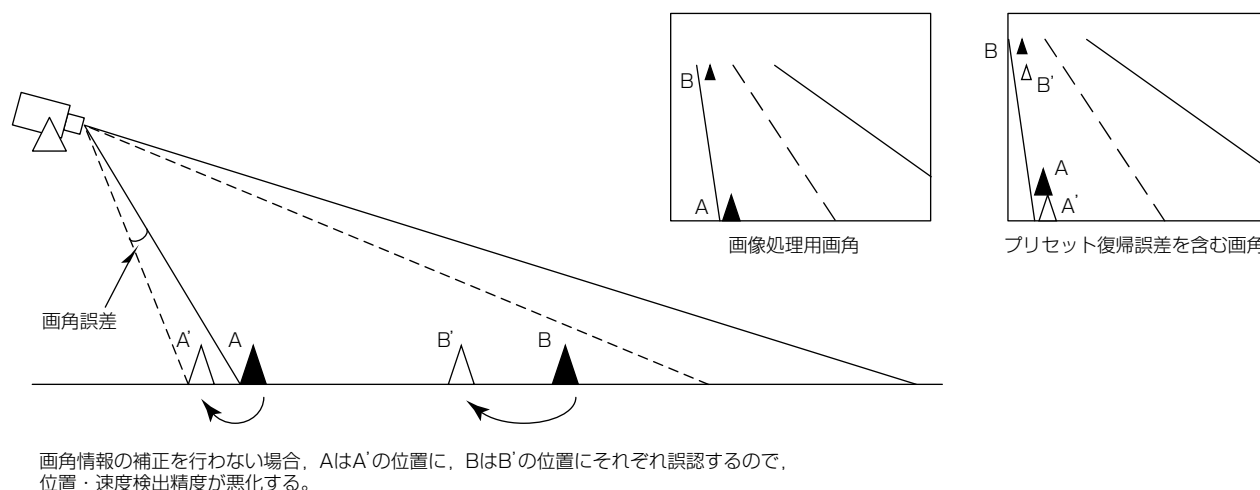


図2. カメラ画角の誤差の影響

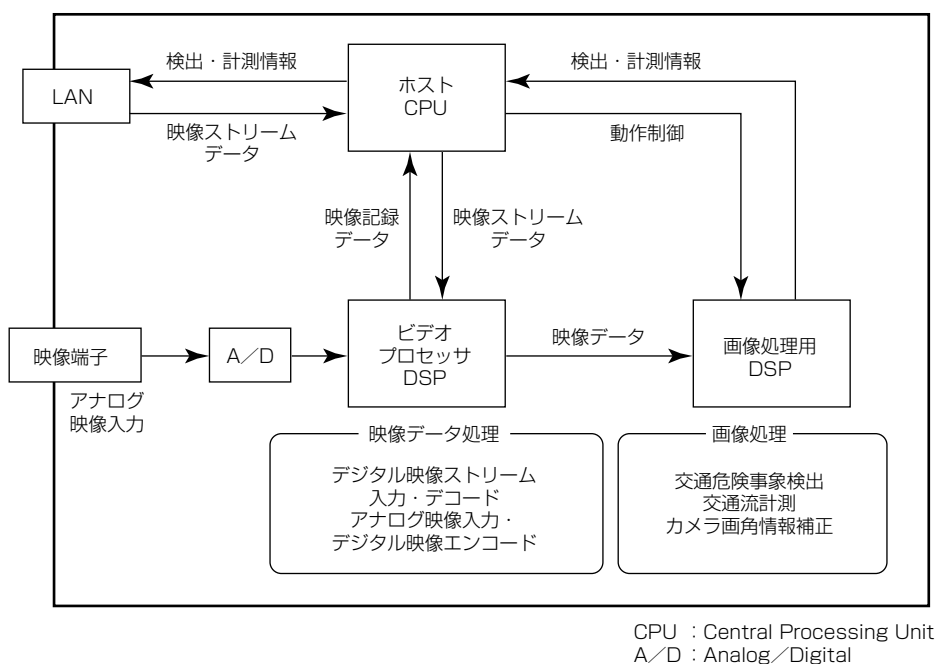


図3. 多機能集約型画像処理応用道路監視装置のハードウェア構成

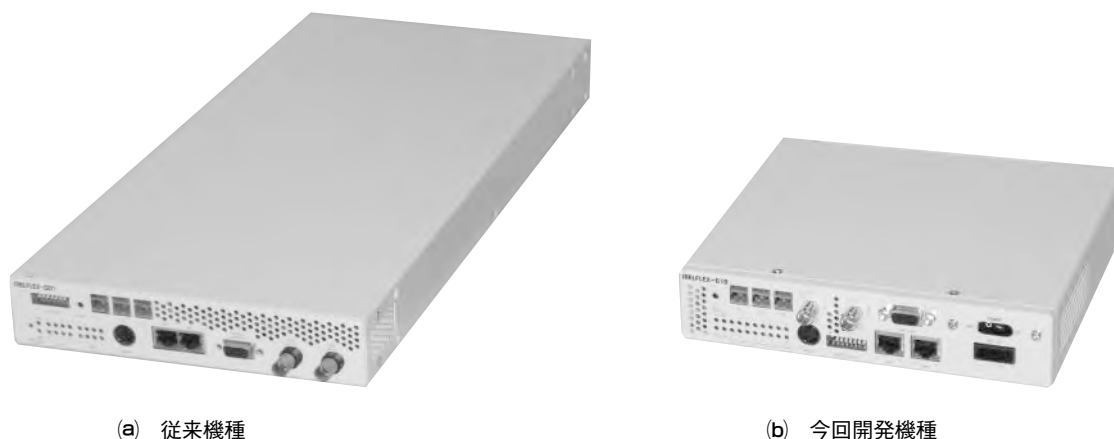


図4. 画像処理ハードウェアの外観

来の約470mmから約200mmに小型化した(図4)。あわせて、消費電力量についても交通危険事象検出・交通流計測を同時に実施する条件で従来比60%の削減を実現した。

#### 4. む す び

カメラ映像を用いた道路監視の多目的化に対応し、ズーム旋回カメラに対応した画像処理アルゴリズム及び、複数機能の集約処理・先進の映像符号化技術・屋外設置に対応した画像処理ハードウェアを開発し、多機能集約型画像処理応用道路監視装置として製品化した。

今後、更なる市場要求の多様化に対応し、アルゴリズムの改良とハードウェアの高性能化・低価格化を進めていく。

#### 参 考 文 献

- (1) 藤原秀人, ほか: テクスチャ背景差分とシルエットモデルを用いた車両追跡手法, 画像センシングシンポジウムSSII, 17~22 (2000)
- (2) 関真規人, ほか: トンネル監視技術の開発, 画像センシングシンポジウムSSII, 233~238 (2001)

# 高効率・省スペース型オゾン発生装置

尾台佳明\* 江崎徳光\*\*\*  
和田 昇\*\* 竹田智昭\*\*\*  
中谷 元\*

## High Efficiency Space-saving Ozone Generator

Yoshiaki Odai, Noboru Wada, Hajime Nakatani, Norimitsu Esaki, Tomoaki Takeda

### 要 旨

オゾンは自然界ではフッ素に次ぐ強い酸化力を持ち、反応後は酸素に戻るため環境に優しい酸化剤として期待され、水処理、脱臭、脱色、殺菌等をはじめとし、広い分野で利用されている。三菱電機は1968年のオゾン発生装置の販売開始以来、これまで1,700台以上の装置を納入しており、国内上下水向けでトップシェアを維持している。

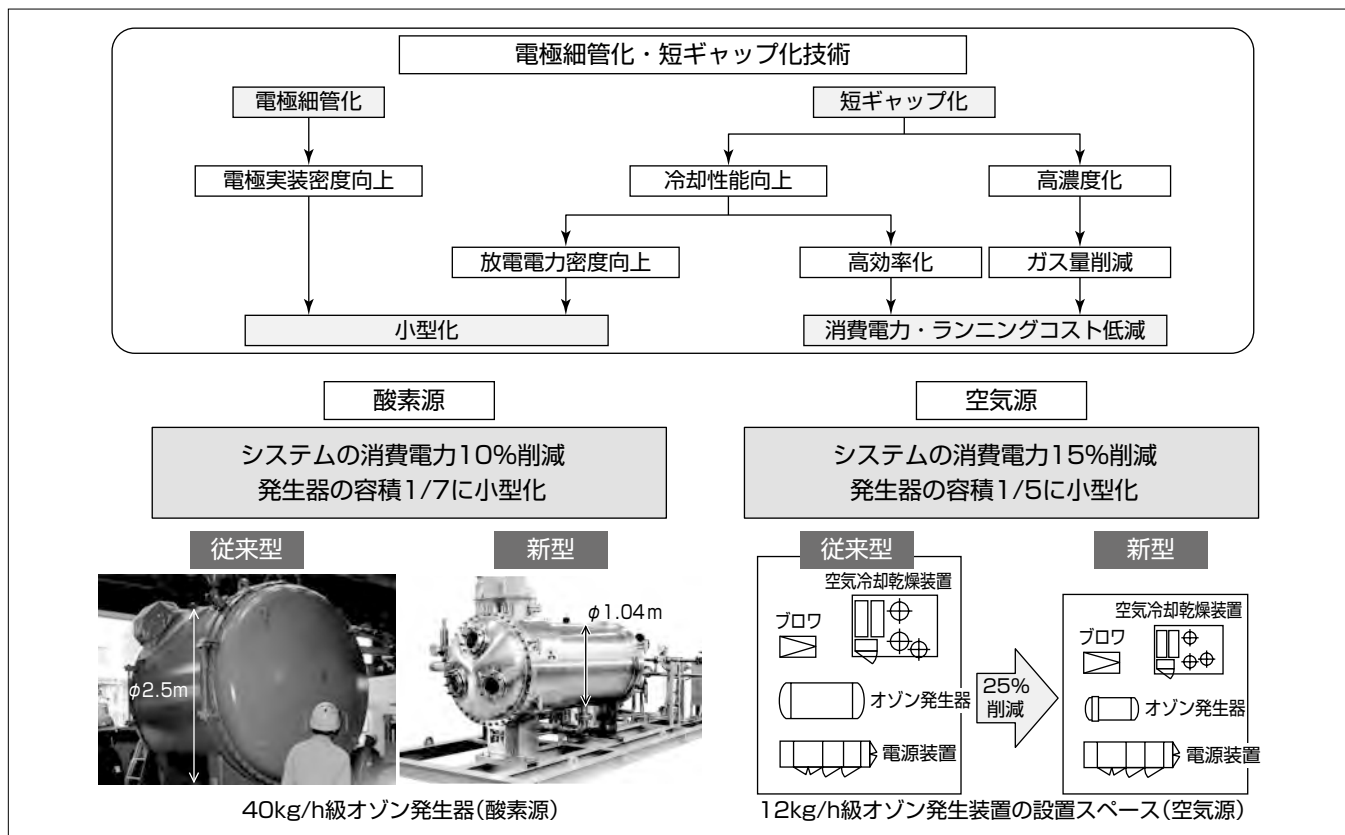
近年の当社オゾン発生装置の開発は電極の細管化と短ギャップ化に特徴づけられる。細管化は電極の実装密度向上を可能とし、装置の小型化に大きく貢献する。また、短ギャップ化は冷却性能の向上につながるため、高効率化すなわちランニングコストの低減に寄与する。

海外水処理分野を中心に広く用いられている、酸素を原

料とするオゾン発生装置において、細管・短ギャップ化の開発によって当社従来比で消費電力10%削減と発生器の容積1/7への小型化を実現し、北米・中国の浄水場、下水処理場に多数納入している。また、短ギャップ化によって高濃度オゾン(180g/m<sup>3</sup>(N))を高効率で安定的に発生できるようになり、上下水道用に比べて数十倍のオゾンを必要とする紙パルプ漂白用として大規模オゾン発生装置(総発生量400kg/h)が採用された。

一方、国内水処理で広く用いられている空気を原料とするオゾン発生装置についても、細管化及び短ギャップ化の開発を完了した。オゾン濃度の最適化によってシステムの消費電力を15%削減し、発生器の容積を1/5に小型化した。

特集  
I



### オゾン発生装置の細管化、短ギャップ化技術

オゾン発生装置の細管化、短ギャップ化が、小型化及び消費電力削減につながる過程を示した。写真は、発生量40kg/h級の酸素源オゾン発生器の新旧比較である。電極の細管化と短ギャップ化による放電電力密度向上によって、従来比で直径1/2.4、長さ4/5、容積1/7に小型化を実現した。設置面積でも2/3に小型化、消費電力も10%削減されている。

一方、空気源では設置スペースの削減例を示した。オゾン発生器の小型化のほか、高濃度化による原料空気量低減によって空気冷却乾燥装置も小型化できるので、システム全体で25%の削減が可能となる(当社従来比)。

## 1. ま え が き

オゾンは3つの酸素原子が結合した分子であり、オゾン( $O_3$ )という状態で長い間存在できず、酸素原子1個を放出して酸素( $O_2$ )に戻ろうとする性質がある。この放出された酸素原子は非常に活性が高いため、オゾンは自然界ではフッ素に次ぐ強い酸化力を持ち常温で各種有機物を瞬時に酸化分解する。脱臭、脱色に効力を発揮するとともに、病原性微生物・ウイルスなどの殺菌効果もある。また、塩素を用いた酸化剤は使用後も塩素が残留するため環境に悪影響を及ぼすのに対して、オゾンの場合は使用後にオゾンが酸素に戻るため二次汚染を引き起こさないという特長がある。

オゾンの利用分野を図1に示す。オゾンは、その強力な酸化力、殺菌力、脱色力、脱臭力を生かして、様々な分野で利用されており、今後も発展が期待されている。

当社は1968年のオゾン発生装置の販売開始以来、これまで1,700台以上の装置を納入しており、国内上下水向けでトップシェアを維持している。

本稿では、当社の特長である細管化、短ギャップ化技術を中心に最近の技術開発の成果について述べる。

## 2. オゾン発生とオゾンの原料

### 2.1 オゾン発生原理

オゾン発生にはいくつかの方法があるが、工業用のオゾン発生器では一般的に無声放電方式が用いられている。これは、図2に示すように、ガラスなどの絶縁物を挿入した電極間に交流高電圧を印加し、空間的に均一な放電を得る方式である。この放電空間に原料である酸素または空気を供給することによってオゾンが生成される。

オゾン発生器の電極基本構造を図3に示す。片端が封止されたガラス管の内側に高压電極となる金属導電膜が形成されている。ガラス管は、接地電極となる金属管の中に均一なギャップを維持した状態で挿入されている。接地電極の外側は冷却水が流れ、放電による発熱を冷却している。オゾン発生器は、図4に示すように、タンク内に電極が複

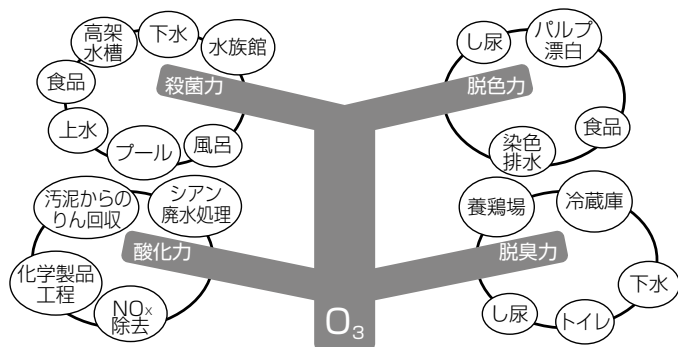


図1. オゾンの利用分野

数本収納された構造をしており、大容量機(発生量約40kg/h超)の場合は電極本数は1,000本以上となる。

### 2.2 酸素原料と空気原料

オゾンの原料としては酸素源と空気源がある。酸素源オゾン発生装置の構成を図5に示す。海外の水処理を中心に幅広い分野で利用されている。酸素供給源として、海外では液体酸素が、国内では空気中から酸素を取り出す酸素発生装置が使われることが多い。

一方、主として国内の高度浄水処理やし尿・下水処理に用いられている空気源のオゾン発生装置の構成を図6に示す。この装置では、オゾン発生器の中で、空気中の酸素からオゾンが生成される。室内空気の圧送には、圧力や流量に応じて空気圧縮機またはブロウが用いられる。オゾン発生に使われる空気は超低露点( $-60^{\circ}C$ 以下)の乾燥空気である必要があるため、空気冷却装置と空気乾燥機が用いられる。

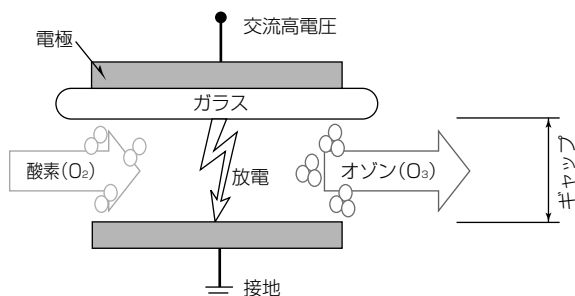


図2. オゾン発生原理

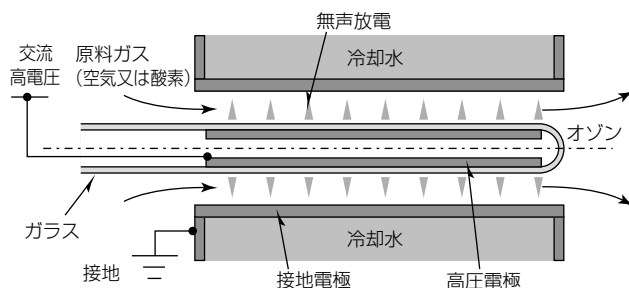


図3. オゾン発生器の電極基本構造

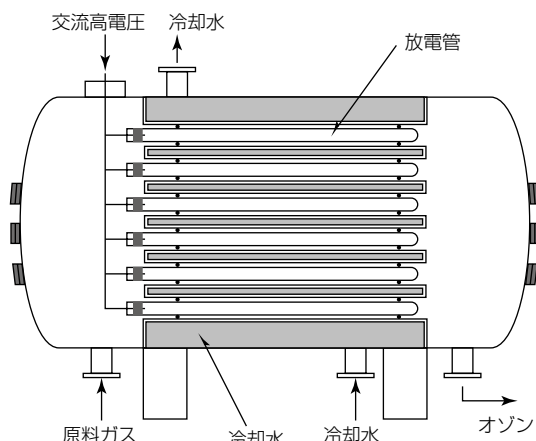


図4. オゾン発生器の構造



### 3. 酸素源オゾン発生装置

#### 3.1 当社の酸素源オゾン発生装置の技術的特長

##### 3.1.1 電極細管化

電極細管化によるオゾン発生装置小型化の原理を図7に示す。電極の直径を当社従来比で約1/4に小型化した。電極長さはほぼ同じであるため、電極表面積が約1/4となり、電極1本あたりのオゾン発生量は約1/4に減少する。しかし、電極の断面積は約1/16となるため、同じタンク径の場合は電極実装本数が約16倍となる。よって、 $1/4 \times 16 = 4$ より、同一タンク径の場合は、オゾン発生量が約4倍になり、同一発生量の場合は、タンク断面積が1/4(タンク径が1/2)に小型化が可能である。

##### 3.1.2 短ギャップ化

オゾン発生器の進歩の歴史は短ギャップ化の歴史と言っても過言ではなく、常に当社が業界をリードしてきた<sup>(1)(2)</sup>。オゾンは高温で熱分解しやすい性質があるため、短ギャップ化により冷却性能を向上させることによってオゾン発生効率を高めることが可能となる。また、冷却性能の向上によって、放電電力密度を上げることが可能となり小型化にも寄与する。

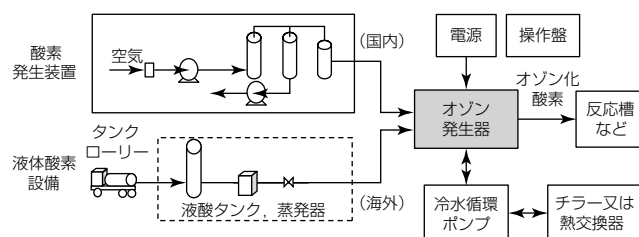


図5. 酸素源オゾン発生装置の構成

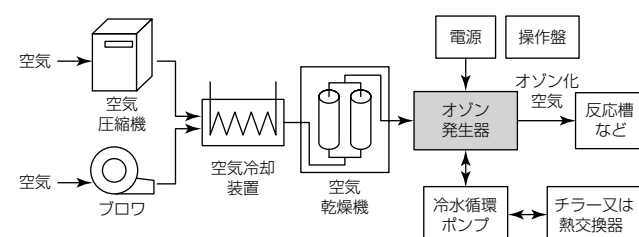


図6. 空気源オゾン発生装置の構成

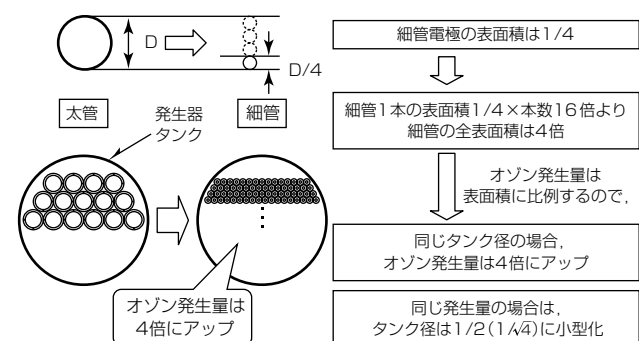


図7. 電極細管化による小型化

短ギャップ化のもう1つの重要な効果が高濃度化である。長年の研究によって、高濃度化を妨げるオゾンの分解は低エネルギー電子が支配的であることがわかってきた。電子のエネルギー分布は放電空間の電界強度と相関がある。電界強度を上げると電子エネルギー分布は高い方に移行し、オゾンの分解を生じる低エネルギー電子が減少し(図8)、高濃度オゾンを効率よく発生できる。ここで、電界強度を上げるのにもっとも有効な方法がギャップを狭くすることである<sup>(3)(4)</sup>。

当社では、高精度の電極製造技術、高精度ギャップ保持技術等を開発することによって、従来比1/5以下の短ギャップ化を実現した。その結果、相対的にオゾンを分解する電子が減少、オゾンを生成する電子が増加し、オゾン発生の高濃度化と高濃度領域での高効率化が実現でき(図9)、製品で業界最高レベルの240g/m<sup>3</sup>(N)を達成した。

#### 3.2 小型化と消費電力の削減

図10に発生量40kg/h級の酸素源オゾン発生器の新旧比較を示す。電極の細管化と短ギャップ化による放電電力密度向上によって、従来比で直径1/2.4、長さ4/5、容積1/7への小型化を実現した。設置面積でも2/3に小型化、消費電力も10%削減されている(当社従来比)。

#### 3.3 納入事例

現在の細管短ギャップ仕様の機種は2007年から市場投入しており、国内のほか北米、中国にも多数の納入実績がある。

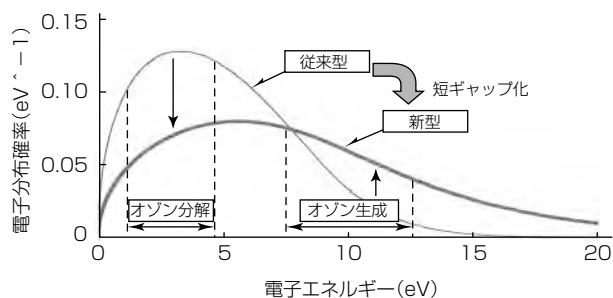


図8. 短ギャップ化による電子エネルギー分布

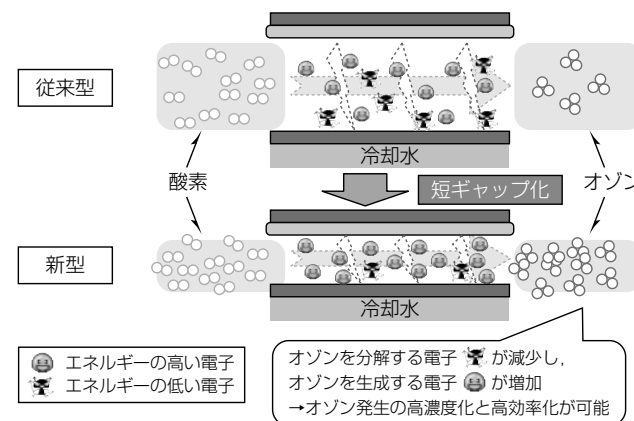


図9. 短ギャップ化による高濃度化

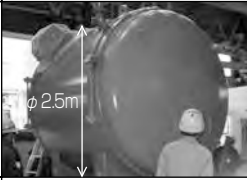
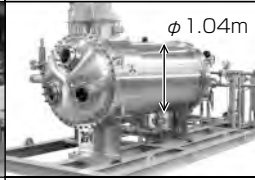
	従来型	新型
写真		
設置スペース	100%	約 35%
容積	100%	約 13%
消費電力	100%	約 90%

図10. 40kg/h級酸素源オゾン発生器の新旧比較

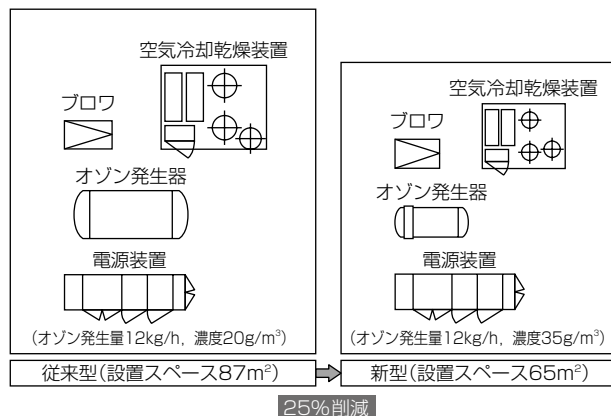


図11. 空気源オゾン発生装置の設置スペース比較

特に、短ギャップ化によって高濃度オゾン(180g/m<sup>3</sup> (N))を高効率に安定的に発生できるようになり、紙パルプ漂白用として総発生量400kg/hの大規模オゾン発生装置が採用された。

#### 4. 空気源オゾン発生装置

##### 4.1 電極細管化と短ギャップ化

3.1節で述べた細管、短ギャップ化技術を空気源にも適用した。空気源は酸素源と比較して原料ガスに多量の窒素を含むことから、電子エネルギー分布が異なるとともに放電に伴い生成される窒素酸化物の影響もあり、オゾン発生特性が酸素源とは大きく異なる。このため、放電ギャップ長、ガス圧力、放電電力密度、オゾン濃度等のパラメータの最適化や電極寿命評価を行った。その結果、空気源オゾン発生装置でも細管電極の採用が可能となるとともに、短ギャップ化による高濃度化が可能となった。

##### 4.2 オゾン発生器及びシステムの小型化

酸素源と同様空気源でも、電極細管化による実装密度の向上及び放電電力密度向上によって、発生器容積を当社従来比1/5に小型化できた。また、高濃度化によって原料空気を低減でき、空気冷却乾燥装置も小型化できるので、設置スペースを削減できる。メンテナンスも考慮した機器配置の一例を示したのが図11である。対象システムとして、比較的大規模な国内浄水場を想定し、ブロワ及び加熱再生式の空気乾燥機を採用し、オゾン発生量は12kg/hとした。設置スペースとして25%の削減が可能となる。

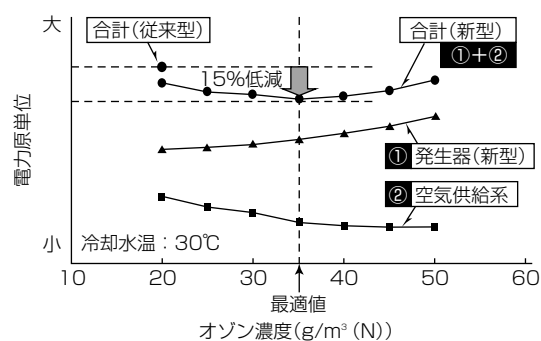


図12. オゾン濃度に対する電力原単位  
(電力原単位：1 kgのオゾンを生産させるのに必要な電力量)

#### 4.3 消費電力の削減

一般的にオゾン発生器単体の消費電力はオゾン濃度の向上とともに増大する。一方、同じオゾン発生量を得る場合、オゾン濃度の増加に伴い原料空気が減少するため、空気供給系(ブロワ及び空気冷却乾燥装置)の消費電力は低下する<sup>(5)</sup>。すなわち、オゾン発生器の消費電力と空気供給系の消費電力とはトレードオフの関係にあるので、システムの消費電力を最小にするためにオゾン濃度を最適化することが重要である。

4.2節と同様の対象システム(12kg/h)について、オゾン濃度に対する単位発生量あたりの消費電力(電力原単位)を示したのが図12である。放電ギャップ長、運転ガス圧力、オゾン濃度等を最適化することによって、システムの消費電力を当社従来比で15%低減することが可能となる。また、最適濃度は35g/m<sup>3</sup> (N)である。

#### 5. む す び

当社の特長である細管化、短ギャップ化技術を中心に最近の技術開発成果について述べた。環境に関する関心が世界的に高まる中で、オゾン発生装置についても消費電力の低減や小型化は今後も引き続き進めていく必要がある。また、オゾンの特長を生かせる利用分野はまだまだ広がると考えられるため、用途開発にも注力したい。今後も鋭意研究開発を進めることによって、水処理分野さらには広く環境問題に対して、微力ながら貢献できるよう努力する所存である。

#### 参 考 文 献

- (1) 特許第3545257号
- (2) 特許第3592700号
- (3) 和田 昇, ほか: 円筒多管式短ギャップ高濃度オゾン発生器, 三菱電機技報, **81**, No.6, 429~432 (2007)
- (4) 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)
- (5) 北山二郎, ほか: 円筒多管式オゾン発生器の性能進捗, 三菱電機技報, **73**, No.4, 429~432 (1999)

# 受配電システム技術における“捕雷役電”

Control of a Thunderbolt in Power Receiving and Distributing Equipments

小林信一

Shinichi Kobayashi



埼玉大学電気電子システム工学科の会議室に、我が国の電気事業や電力システム構築に尽力され、名古屋帝国大学の初代総長を務められた故澁澤元治先生が昭和45年、95歳のときに揮毫(きごう)された“捕雷役電”(実際は右から書かれている)の扁額(へんがく)がある。この文言の扁額は東京大学と名古屋大学にもあると聞いている。これを文字どおりに受け取れば、雷を電気の役に立てようということになるが、必ずしもそれだけではなく、雷のような自然現象を理解し、電気を通して社会の人々の生活に役立てるようにしたいという先生の思いも伝わってくる。この号で特集となっている受配電システムで主要機器として使用される遮断器・開閉器、並びに関連した絶縁技術では、アーク現象や絶縁破壊というある限られた空間における雷現象をいかにコントロールするかがその研究・開発課題であり、まさに“捕雷役電”そのものである。

これまで、高電圧絶縁やアーク消弧媒体として、さまざまな点で多くの利点を有するSF<sub>6</sub>ガスが広く使用され、多くの努力によって超高電圧領域の受変電システムへも応用されている。我が国の高度な電力伝送システムは、このSF<sub>6</sub>ガスの存在なしには考えられないと言っても過言でない。しかしながら、SF<sub>6</sub>ガスは高い温暖化効果を持つため(炭酸ガスの約23,900倍)、1997年12月の京都議定書で排出量の削減対象となるガスに指定され、そのため、代替の媒体を開発することが社会的に要請されるようになった。このような経緯から、SF<sub>6</sub>に代わるアーク消弧・絶縁媒体として真空が改めて注目されるようになり、多くの国で、また企業で研究開発の動きが加速している。具体的には、真空遮断器の高電圧化、真空バルブ大気側周囲の絶縁の高度化等である。真空遮断器は、真空中間へのアークの拡散によるアーク消弧作用を利用しており、構造が簡単で接点材料の消耗が少なく保守に手間がかからない等の利点から、低電圧、中電圧領域では広く使用されている。しかし、真空ギャップの絶縁破壊電圧がギャップ長の約0.5乗に比例すること、真空容器内面の沿面放電電圧が低いことが高電

圧化を図る上で大きな障害となっている。この真空側の問題点については、電極・誘電体材料の選択、材料表面処理法の開発、電界分布の詳細な計算等で着実な進歩が見られている。また、真空バルブ大気側周囲の絶縁の高度化については、その高度化に向けて多くのアプローチがなされている。

受配電システムの中で、遮断器はその長い製品寿命のうちで限られた回数しか稼働しない。すなわち、稼働するのは事故時のみである。そしてそのときには必ず所期の性能で動作することが要求される。このような装置の動作上の特異性は、いつ起きるか分からない自然災害に対して十分な備えを怠ってはならないことと共通するものがある。2011年3月11日の東日本大震災では、多くの局面で電力伝送システムの重要性が改めて浮き彫りになった。今後、太陽光など自然(再生可能)エネルギーによる分散型電源がこれまで以上に系統に接続されるようになると、系統の不安定要因が増大する。また、自動車を駆動するエネルギー源がガソリンなどから電気にシフトするようになると、我が国のエネルギーフローの形態が大きく変化する。このような電力伝送を取り巻くパラダイムシフトは、電力系統の健全性を維持する上で、受変電システムの果たす役割と重要性がこれまで以上に増すことを示している。ややもすると、このような保護・保安・保全の重要性は、直接的に目に触れることが少ないために見過ごされがちである。しかしこの部分がしっかり機能しなければ、社会の足腰を弱めることになる。

電力伝送システムに対する社会的な要求の変化と高度化の要請に対応し、優れたシステムを維持するためには、高等教育を受けた人材を継続的に輩出する必要があるが、近年、電気電子系を志望する学生が減少していることは切実である。大学に身を置き真空中の放電現象を研究している者として、人材育成も含めて改めて“捕雷役電”に努めなければならないとの思いを強くしている。



酒井道雄\*

# 受配電システム機器の技術展望

Technological Aspects of Power Receive and Distribution Systems Apparatus

Michio Sakai

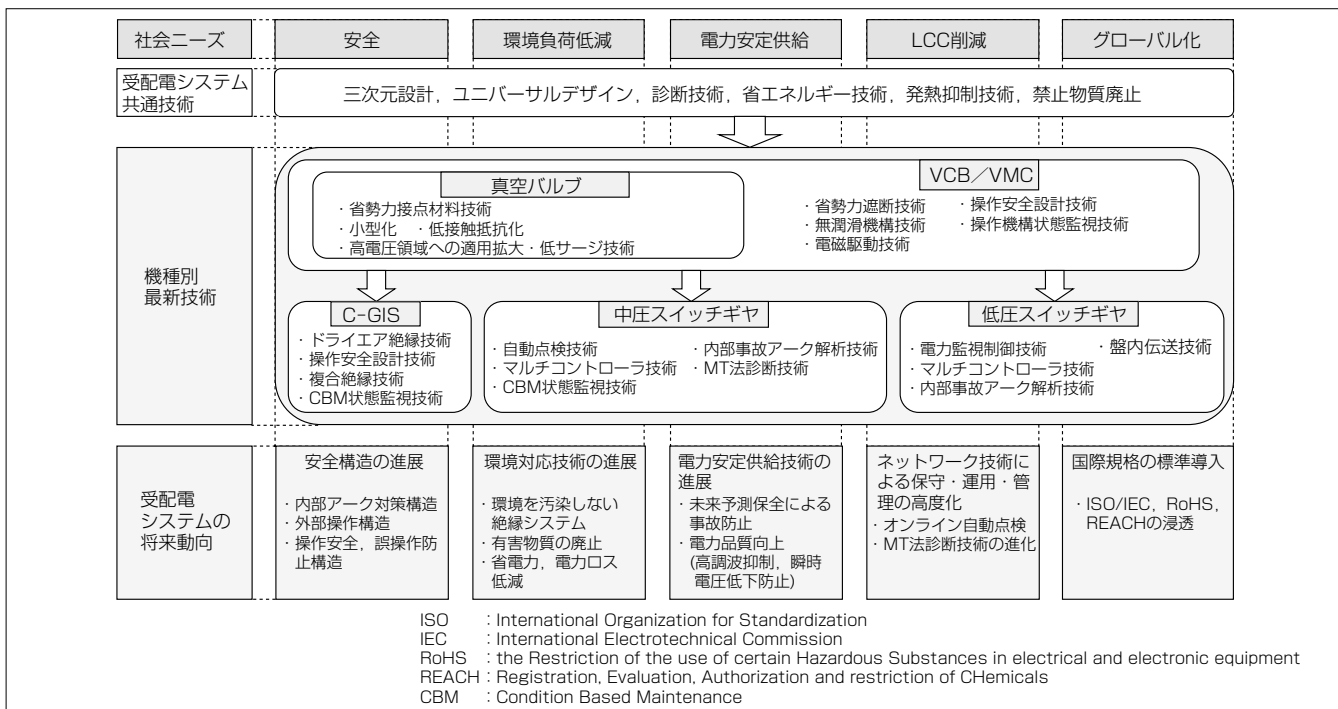
## 要 旨

受配電システム機器は、社会ニーズ(地球環境負荷低減、安全性向上、ライフサイクルコスト(LCC)削減)に対応した絶縁技術、遮断技術、監視制御技術等の進展によって、安全性・信頼性の、より一層の向上、小型・軽量化、省エネルギーの推進、運用保守の改善がなされてきている。

- (1) 環境負荷低減対策の重要性が更に高まっている中で受配電システム機器の技術・製品が進化を遂げている。
  - ①配電電圧の昇圧化は線路ロス削減の観点で大きな省エネルギー効果があり、昇圧化対応の製品化を進めている。
  - ②温室効果ガス削減を目的とし、ドライエアを使用したガス絶縁スイッチギヤ(C-GIS)を製品化しているが、固体絶縁との複合絶縁技術の開発によって、更なる小型軽量化や適用電圧の拡大を図っている。
  - ③有害物質の含有規制強化の中で、真空遮断器(VCB)・真空コンタクタ(VMC)は、RoHS指令の特定六物質を使用しないことをコンセプトにし、かつ小型軽量化真空バルブを開発・適用した新製品化を順次進めている。

- (2) 製品の更なる安全化と言う観点からは、スイッチギヤの内部アーク時の現象解析技術の進歩による安全性の追求や、操作時の安全性を配慮した新製品化を進めている。
- (3) 製品LCC削減のため、各種の技術・製品開発を進めている。

- ①現地施工の工期短縮・費用削減・信頼性向上などを目的として、パッケージ化やグローバル汎用フィールドバスに適合した製品化を行っている。
- ②保守・点検の効率化・高度化のために、状態監視保全(CBM)技術では監視方式の信頼性向上や遠隔監視を可能とする伝送端末機能付加等の改善が図られている。また、三菱電機が開発した、マハラノビス・タグチ法(MT法)による沿面絶縁の余寿命推定技術は、診断対象をブッシングや77kV用絶縁物に、適用拡大している。今後の更なる社会ニーズの変遷に的確に対応することを念頭に、基礎研究開発から応用・製品化・運用までの一貫した最適な受配電システム機器の技術・製品開発を行い、社会に貢献していく。



## 受配電システム機器の技術展望

受配電システム機器の社会ニーズに基づく技術マップと将来動向を示す。



# 1. ま え が き

受配電システムは、電力供給源より電力を受ける受電点から、分散した動力や照明等の負荷消費端へ各回線を通じて電力を供給する事を目的とした電力設備であり、電力流通を安定して行うために、受電・配電の電力流通状態を計測・監視するとともに、各回線に設けた開閉器による通常開閉制御や異常状態発生時の保護開閉制御を行うシステムである。

この受配電システムは、発電所(構内電源系統)や変電所、及び水処理施設、交通施設、製造業等、電力の受電・配電を行うシステムであり、社会インフラを形成する上で重要な基幹システムと位置付けられる。受配電システム機器(スイッチギヤ)は、その製品の根幹を成す絶縁技術・開閉(遮断・駆動)技術の進歩とともに進化を遂げて、社会ニーズの変遷にこたえた製品作りや、安全性・信頼性の更なる向上、小型・軽量化、監視制御の高度化が図られてきている。

本稿では、社会ニーズである①地球環境負荷低減、②安全性向上、③LCC削減要望に基づく受配電システム機器の技術開発や製品化動向を述べる。

## 2. 地球環境負荷低減を実現する受配電システム機器

環境負荷低減に関して、温暖化防止のための省エネルギーの推進、温室効果ガス削減、投入資源抑制のための機器の小型軽量化に関して次に述べる。

### 2.1 省エネルギー化を指向した配電電圧昇圧化

受配電システムの省エネルギー化は、変換(昇圧・降圧用変圧器)ロス及び線路ロスの削減が重要なポイントであり、変圧器の効率化がトップランナ方式などで進められている。一方、線路ロス削減の有効な手法として受配電システムの系統電圧の昇圧が挙げられる。

日本における広域配電系統昇圧化は、中電圧を6kV級から20kV級、低電圧を200V級から400V級へ昇圧する方式で、地域開発区域などの特定地域で行われている。このような広域配電系統の昇圧化需給は、トータルの電力損失で20%、機材投入を含めたCO<sub>2</sub>総量削減で20~30%程度の削減効果があると試算されている<sup>(1)</sup>。

一方、海外での最近の動向として、中国の一部の省・市等で中電圧配電網(10kV級)の昇圧化(20kV級)の試行・運用評価が進められている(低圧は既に400V級で完備されている)。中国の当社関連会社でも、このような昇圧動向に対応した中国仕様20kV級スイッチギヤの製品化を行っている。また、この動向に加え、発電所の所内電源系統電圧の6kVから10kV級への昇圧化も一部行われている。

また、東南アジアの石油・化学関連プラントでの構内低圧系統の電圧を460Vから550/690Vへ昇圧化する計画も進められている。当社ではこのような低圧配電系統の昇圧

化動向に対応して、低圧スイッチギヤ“B形MCC”の、製品シリーズを拡大し、“B形ワイドMCC”を製品化した(図1)。この製品は、IEC規格への適合と、最高使用電圧690V(従来480V)・最大遮断電流80kAまでの高電圧化・大容量化へ適合させた製品である。

### 2.2 温室効果ガスを使用しない技術

中電圧クラス(定格電圧1~54kV)及び72kV級のスイッチギヤは、国内の多くの受電点に使用されているが、高電圧域(24~72/84kV)では、環境劣化因子の排除や縮小化等のニーズに呼応して1980年代から六フッ化硫黄ガス(SF<sub>6</sub>ガス)を使用したキュービクル式ガス絶縁スイッチギヤ(C-GIS)が多く適用されてきている。昨今の更なる温暖化抑制の必要性から、当社ではSF<sub>6</sub>ガスを使用しないC-GISの開発を進め、ドライエア絶縁のC-GISを製品化してきた。この製品は軽量化を指向し、低ガス圧(0.2MPa-G以下)ドライエア絶縁で従来容積レベルを実現するために固体絶縁との複合絶縁の構造としている。

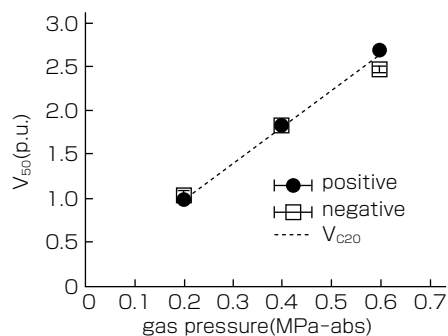
図2に不平等電界下(先端R加工丸棒電極対平板)における、不平等電極側への被覆絶縁のあり・なしでのドライエア放電電圧の圧力特性(プロット)及び放電電圧値推定特性(破線)を示す<sup>(2)</sup>。放電経路は、絶縁被覆端部から平板電極へ橋絡する形態となっている。図2から、低ガス圧領域(0.2MPa-abs)では、放電モデル推定式(図中の破線)より高い放電電圧値となっており、被覆絶縁による放電電圧値上昇の効果が顕著な領域であり、被覆絶縁が耐電圧値を高める有効な対策となる。

このような被覆絶縁による放電電圧特性の改善効果を、更に解明・評価し単純放電モデル化するなどによって、被覆絶縁の有効性評価技術を進化させ、更なる製品の小型・軽量化に向けた開発を進めている。

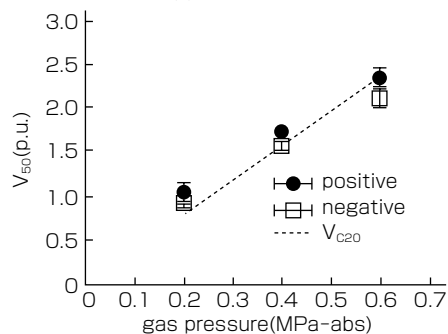


図1. 低圧690V(昇圧化)対応低圧スイッチギヤ“B形ワイドMCC”





(a) 被覆絶縁なし



(b) 被覆絶縁あり

図2. ドライエアガス圧力依存性

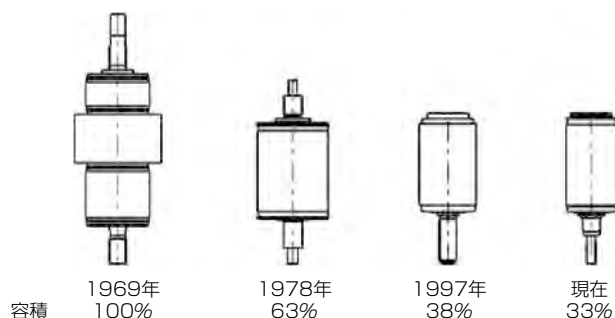


図3. 7.2kV・40kA用真空バルブ小型化の変遷

対する放熱・換気を目的にした開口部を部分的に設けている場合がある。通常は、放圧カバーなどを構造物の天井部に設けて高温膨張空気を放出する構造としているが、換気口のような小開口部からの高温・高压ガスの漏洩(ろうえい)は、近接する人へ安全上問題となる。したがって、人への安全を確保するためには、換気開口部を初期空気膨張過程で閉鎖し、意図して天井に設けた開放開口部のみでガスを放出させる必要がある。高温・高压ガスの挙動を解析・解明するために、当社ではCIP(Cubic Interpolated Propagation)法を適用・応用した二次元流動解析評価に基づき<sup>(3)</sup>、換気開口部の高速閉鎖構造のスイッチギヤを製品化している。図4は、スイッチギヤ下部に設けた換気開口部を初期の圧力波伝播(でんぱ)過程で閉鎖した後の放出流れ図を示している。

また、操作時の安全性に関して、遮断器などの“引き出し形機器”操作時の安全性を更に確保する目的で、スイッチギヤの盤外で引き出し・挿入操作ができる仕様の要求も拡大している。2.3節で述べた新形真空コンタクトでは、このような要求に対応可能なメニューを設けて製品化を行っている(図5)。また、この真空コンタクトは、グローバル国際規格整合化を図る目的で、定格電圧7.2kV(従来6.6kV)まで適用できる製品にするとともに、保守時の重要な給油部位となるラッチ構造を永久磁石保持構造とすることで、保守作業の軽減化を実現している。

#### 4. LCC削減に向けた技術動向

##### 4.1 イニシャルコスト削減

###### 4.1.1 パッケージ化

スイッチギヤは機能ユニット単位での製品を現地で据え付け・連結(配列)するとともに、スイッチギヤ相互間や外部との配結線作業、及び現地調整試験に多大な人工と期間を要している。したがって現地工期・費用削減や工場品質作り込み範囲を拡大する目的で、各種電機品を単位区分ごと一括にしてパッケージに収納して現地発送する方式がある。

この方式は、古くから海外の配電系統に採用されている需要家端の変電所パッケージ<sup>(4)</sup>や、高層ビルと併設したモ

### 2.3 有害指定物質の削減と小型・軽量化

欧州でのRoHS指令・REACH規則施行などの動向に対応して、特定六物質を使用しない7.2kV及び10kV級の新形真空遮断器(VCB)を順次製品化している。亜鉛めっきに使用する六価クロメート処理の三価クロメート処理化や操作基板の鉛フリー化を図ったVCBを、2004年の8/12.5kA用VCBを初めとして、2007年に20kA級VCB、2009年に31.5/40kA用VCBと適用拡大し、2010年には新形真空コンタクトの製品化を行っている。

これら真空遮断器・開閉器に使用する真空バルブ小型化の変遷を7.2kV・40kA用の例で図3に示す。

真空バルブは、銅クロム系や銀系接点を使途に応じて適用するとともに、添加元素による投入時の接点溶着力の軽減や、アーク挙動解析に基づく最適な接点・電極構造とする製品開発によって小型・省勢力化を実現させてきている。また、真空バルブの省勢力化によって、操作機構部への無潤滑軸受適用や給油周期延長、保守省力化等の市場ニーズに呼応した製品化も進んでいる。

### 3. 安全性の追求

スイッチギヤの閉鎖構造物に要求される安全対策として“内部でのアーク短絡事故時の高温・高压膨張ガスの放出によってスイッチギヤの周囲に居る保守・操作員へ危害を及ぼさない”構造とすることが注目され、国際規格のIEC62271-200で内部アーク事故を模擬した試験・評価方法が更に拡充され、規定化されている。

大気絶縁スイッチギヤの金属閉鎖構造物は、内部発熱に

ジュール化<sup>(5)</sup>等で適用されているが、最近は発電所などの大規模プラントでも、この方式を採用する傾向にある。発電プラントでは、例えばタービン制御用、発電機制御用、スイッチギヤ用等というような各単位区分で、電機品をパッケージに搭載する形態となっており、パッケージ収納に適合化を図ったスイッチギヤの改良・改善が図られている。

#### 4.1.2 汎用フィールドバスへの適合化

先に述べたパッケージ化によって製品完成度を上げた現地搬入・施工が実現できるが、パッケージ内外の配結線作業とその調整試験も、現地施工・調整作業で大きなウェイトを占めている。したがって、現地配線工事を大幅に削減するための監視・制御システムへの多重伝送方式の適用が拡大している。スイッチギヤでも、既にフィールドバスとして当社“MELSEC”ネット伝送端末を備えた監視制御コントローラを製品化し適用しているが、汎用的に採用されているModbus<sup>(注1)</sup>-RTU(Remote Terminal Unit)対応の低圧スイッチギヤ用マルチモータコントローラ“EMC-B形”を製品シリーズ化した(図6)。このコントローラは、Modbus-RTU 二重化方式に対応し、さらに、伝送強制出

力信号への対応化及び内部自動試験(保護・計測)機能による現地調整試験・定期点検試験の効率化を可能としており、かつループバック機能付加による運転時の伝送状態を容易に監視できることから、より一層のLCC削減に寄与する製品となっている。

(注1) Modbusは、Schneider Electric SAの登録商標である。

#### 4.2 保守・点検の高効率・省力化

今や高度経済成長期に納入し稼働している多くのスイッチギヤが更新時期になってきている状況にあり、寿命部品・ユニットの適切な部分更新などの要望が多くある。このような状況にあって、日本電機工業会では保守・点検指針の制定(モータコントロールセンタ)や改定(高圧遮断器)が検討されている。また、IEC-61439審議機関(SC17D)では、低圧スイッチギヤの主要機器の部分更新を行うための互換ユニットに関して、温度上昇や短絡電流強度についての性能評価基準を制定するためWG(Working Group)で検討が進められている。当社でも、スイッチギヤの部分更新用として旧形互換遮断器や、旧形互換引き出しユニットを製品化し、部分更新需要にこたえている。

一方、保守・点検の効率化のニーズも大きく、今後の方向性は、①TBM(Time Based Maintenance)からCBMへの移行による事故の未然防止精度の向上や、②ネットワーク技術によるオンライン状態監視、及び③更新時期を的確に判断する余寿命診断技術の高度化であると言える。

##### 4.2.1 CBM状態監視技術の進歩

スイッチギヤの状態監視技術は、既にドライエア絶縁C-GISで開閉動作特性変動を電磁操作機構の駆動電流波形で監視診断する開閉動作特性監視、コンデンサ容量監視、磁石劣化監視及びノイズ性高周波電磁波による部分放電・真空劣化監視を行うCBMコントローラを製品化している。部分放電監視に関しては、放電現象の分析・研究によって、更なる信頼性向上を図るために検出高周波帯域を上げ、さらに検出部をタンク内部とし外来伝搬ノイズの低減化を図った検出方式としている。また、CBMコントローラにデータ伝送端末機能を設け、遠隔状態監視を可能としている。

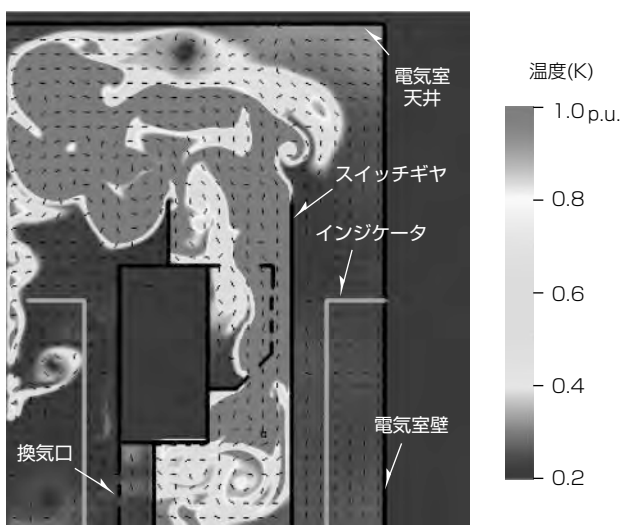


図4. 盤内アーク発生時の高温ガス分布



図5. 真空コンタクタ(盤外引き出し機構)



図6. Modbus-RTU(二重化)対応EMC-B形マルチモータコントローラ

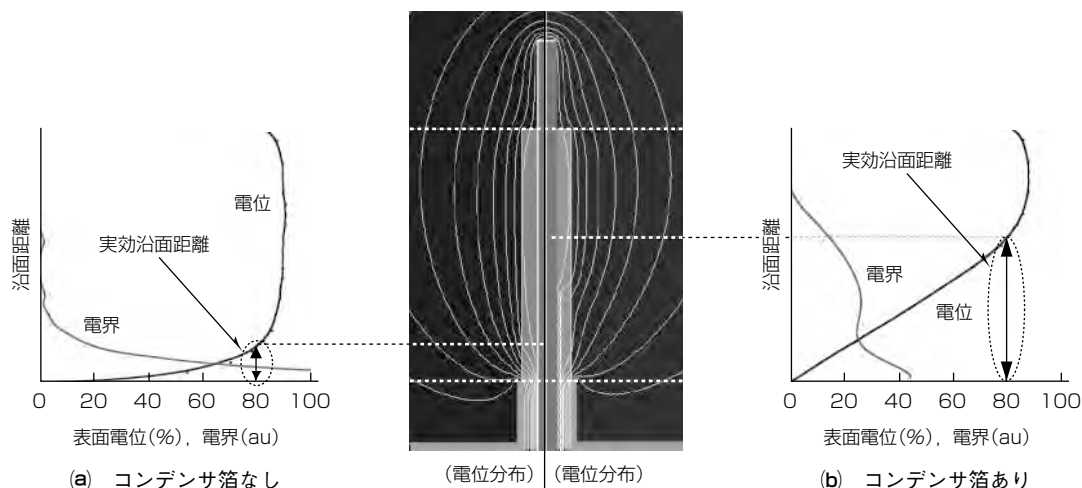


図7. 樹脂製ブッシングの実効沿面距離

#### 4.2.2 余寿命推定技術の適用拡大

2000年に評価技術を確立したMT法による有機絶縁物の劣化診断(余寿命推定)技術は、フェノール樹脂、ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂と診断対象材料の拡大を図っており、現在は約300件に及ぶ診断実績を得ているが、さらに診断対象範囲を拡大する技術開発が進められている。絶縁支持板や碍子(がいし)などの絶縁支持構造物に関する寿命判定閾値(しきいち)は影響因子となるイオン濃度・放電開始電圧・絶縁距離等の沿面劣化を左右するパラメータから導出し従前診断データとの整合性確認によって診断精度の向上を図っている。また診断対象は低圧から33kVまでの絶縁物としていた。

その後、77kV用絶縁物でも、絶縁支持物に関しては距離パラメータを沿面距離とすることで閾値を決められることが診断データなどによって確認されたが、ブッシングのような沿面が不平等電界となる絶縁物に関しては距離パラメータを沿面距離から減補正する必要があることを見だし、診断アルゴリズムを構築した。図7にブッシングの沿面距離を減補正した実効沿面距離を示す。電界集中するブッシングでは距離の減補正が大きく(同図(a))、コンデンサ箔によって電界緩和したブッシングでは距離の減補正は小さくなる(同図(b))ことを示しており、電界集中度に距離減補正度が依存していることが分かる。これは、湿潤状況下での部分放電後の荷電粒子が電界によって沿面へドリフトしやすく劣化を加速する要因となることでの減補正である。

これらの現象解明と補正方式を確立し、現在は診断対象範囲を使用電圧77kVまで適用を拡大している。

#### 5. む す び

受配電システム機器の技術展望を、最近の技術・製品動向を主体に述べた。受配電システム機器では、地球環境問題への対応や、より一層の安全性・信頼性向上、及びLCC低減等の社会的ニーズは、グローバル化する市場の中でもますます重要性が高まると考えられる。

また、昨今では、“スマート”の冠称の各種新語が生み出され利便性・効率性・人に優しいシステム構築が提案され、実現しつつある。このような社会変動の中にあって、受配電システム機器は形態の変動こそあれ今後とも社会インフラの基盤であることから、更なる技術の深化・拡大を図り、技術応用した製品作りによって社会に貢献していく所存である。

#### 参 考 文 献

- (1) 20kV級/400V 配電方式の普及拡大技術，電気協同研究，**56**，No.3 (2000)
- (2) 武輪知明，ほか：乾燥空気インパルス破壊電圧に対する絶縁被覆効果，平成23年電気学会全国大会，I-088 (2011)
- (3) 堀之内克彦，ほか：CIP法による配電用スイッチギヤ内部事故アーク現象の解析，電気学会開閉保護装置研究会資料，SP-08-18 (2008)
- (4) 墨 義人，ほか：パッケージ形ユニットサブステーション，三菱電機技報，**53**，No. 4，281～285 (1979)
- (5) 原 啓治，ほか：香港上海銀行納めガスタービン発電モジュール，三菱電機技報，**59**，No.12，850～853 (1985)

# 受配電設備の最新技術

小鶴 進\*  
 笹川 悟\*  
 堀之内克彦\*\*

Latest Technologies of Medium-voltage Switchgear

Susumu Kozuru, Satoru Sasakawa, Katsuhiko Horinouchi

## 要 旨

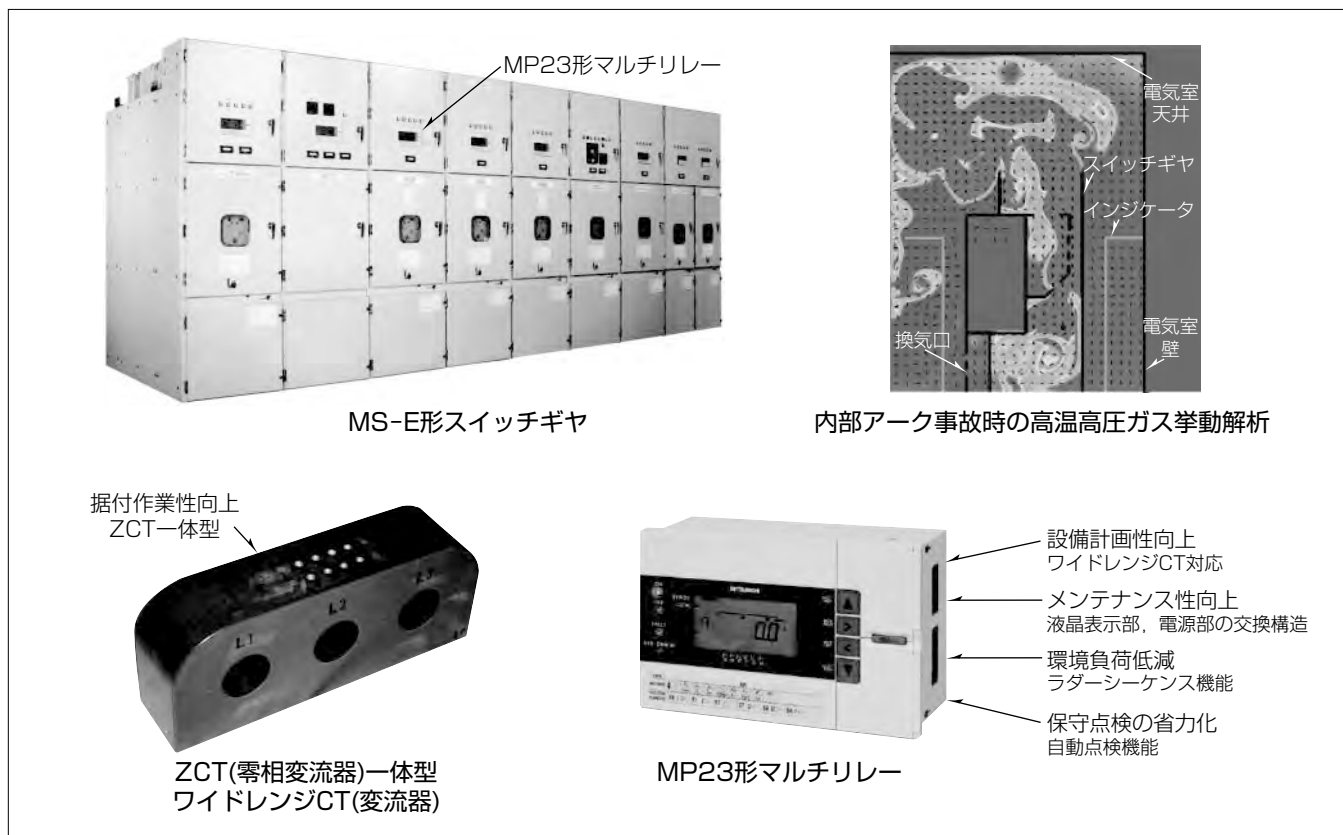
受配電設備は安定した電力供給を担うことが重要な責務である。良質な電気エネルギーへの依存が高くなっている今日では、その社会的貢献度も大きくなる一方で、それに伴い社会的責任も大きくなっている。

受配電設備には“操作性”“信頼性”及び“安全性”等従来求められていた基本性能に加え、地球環境保護及び低炭素化社会への関心の高まりなどによって“環境負荷低減”“ライフサイクルコスト(LCC)の低減”等が求められている。

さらに、スマートグリッドに代表されるような、送配電

網に情報通信技術を付加し、電力需給全体の利便性及び効率性を向上させるといった新たな市場要求にも対応していく必要がある。

本稿では、これらの要求を満足する受配電設備の最新技術の中で、安全性の向上に寄与する“スイッチギヤの内部アークブローフ構造に関する最新技術”及び受配電設備の環境負荷低減やLCC低減に寄与する“保護制御に関する最新技術”について述べる。



## “MS-E形”スイッチギヤと“MP23形”マルチリレー

MS-E形スイッチギヤは、スイッチギヤの国際規格IEC62271-200に準拠しており、内部アークブローフ構造、扉を閉めた状態での遮断器の“運転位置”“断路位置”間の引き出し挿入操作機構、及び接地開閉器を備えている。内部アーク事故発生時の高圧・高温ガス対策及びスイッチギヤ保守点検時の感電防止等、海外市場の要求を反映した製品である。

MP23形マルチリレーは、計測、保護、制御の機能を一体化したマルチリレーである。最新機種のMP23ではラダーシーケンス機能を搭載しており、外部シーケンスの一部をMP23の内部に取り込むことを可能とした。また寿命部品(電源部及び液晶表示部)は、当該部品のみ交換可能な構造とした。

# 1. ま え が き

国内外で、変電所から送られる電力を安定的に分配・供給する金属閉鎖形スイッチギヤ(以下“スイッチギヤ”という。)は、社会インフラを支える必要不可欠な受配電設備機器である。国際規格IEC62271-200で規定される内部アーク事故試験では、スイッチギヤから放出される高圧・高温ガスが電気室の天井及び壁に反射して周囲の人まで達する影響についても評価することを義務付けている。日本国内でもスイッチギヤにおける内部アーク事故についての関心は徐々に高まってきている。また、近年はスイッチギヤを初めとする受配電設備でも、従来要求されてきた基本性能に加え、環境負荷低減及びLCC低減が求められている。

本稿では、まず、IEC62271-200に準拠したMS-E形スイッチギヤ<sup>(1)(2)</sup>で適用している内部アークプルーフ構造に関する最新技術について述べる。次に、受配電設備の環境負荷低減及びLCC低減に貢献するMP23形マルチリレーについて述べる。

## 2. スイッチギヤの内部アークプルーフ構造に関する最新技術

### 2.1 換気開口部を持つスイッチギヤの内部アークプルーフ構造

IEC62271-200に準拠したMS-E形スイッチギヤは天井に放圧板を設け、そこから内部アーク事故で発生した高圧・高温ガスを放出する構造を採用している。一方で、大容量の電流を通電させるためには、内部発熱に対する温度上昇抑制の施策の一つとして、スイッチギヤの正面に換気を目的とした開口部(排気口)を設けることがある。内部アーク事故発生時には換気口から放出される高圧・高温ガスを抑制し、天井の放圧部から高圧・高温ガスを放出させる構造を採用することで、内部アークプルーフ構造を実現している。

図1は前面扉に換気口を設けたMS-E形スイッチギヤの正面図及び側面からの断面図を示している。内部アーク事故時には、正面扉の換気口と併せて、内部アーク事故時に換気口を塞ぐ内部シャッターを設けていることを特徴としている。

この内部シャッターの動作原理について、スイッチギヤのモデルで比較的小規模の事故を模擬した実験例<sup>(3)</sup>を基に説明する。図2は筐体(きょうたい)内圧力と高温ガス放圧口部の空気温度を測定したものである。筐体内圧力は、事故電流が通電開始後、事故電流によって発生したアーク周辺の空気が瞬時に加熱され急激に膨張し、通電開始後約7msに圧力上昇の最高値に達している。その後、事故電流が遮断され、高圧ガスが放圧口より筐体外部へ排出されるため、通電開始後26msには圧力は0になり、その後若干

の負圧になっていることがわかる。また放圧口部の空気温度は、事故電流通電開始後、徐々に上昇して、筐体内圧力のピークから約23ms遅れて、通電開始後約30msで最高温度になっている。

図1の換気口部と併せて設けられた内部シャッター構造は、この圧力上昇と温度上昇の時間差を利用し、内部アーク事故初期に発生する圧力上昇で内部シャッターを動作させ換気口を閉鎖することで、遅れて発生する高温ガスが換気口からスイッチギヤの外部へ排出されることを低減するものである。

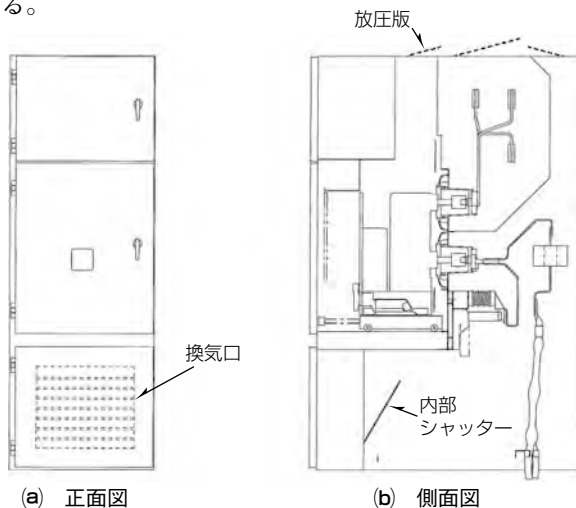


図1. MS-E形スイッチギヤ換気口付き正面扉構造

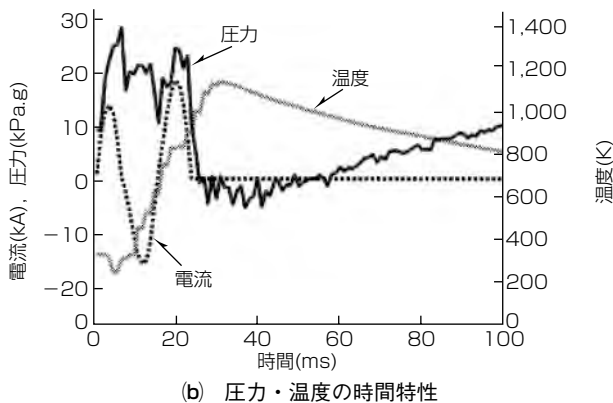
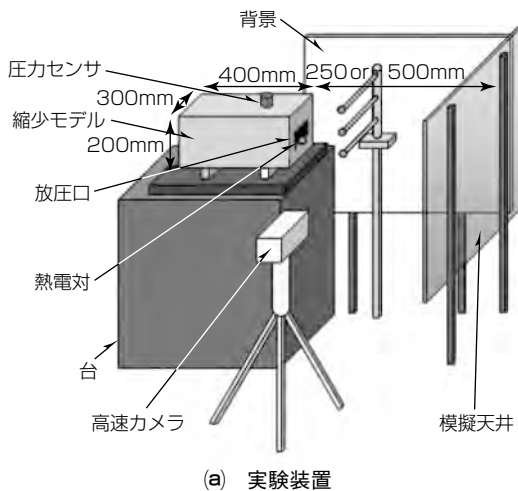


図2. 内部アーク事故基礎試験結果



## 2.2 内部アーク事故時の高圧・高温ガス挙動解析

内部アーク事故時の高圧・高温ガス挙動については、CIP(Cubic Interpolated Propagation)法を用いた解析手法を適用している。この解析手法の特徴は、スイッチギヤ内部の三次元の構造を流路断面積の変化として一次元でモデル化し、基礎となる流体方程式を流路断面積を考慮した一次元の方程式として定式化し、それをCIP法を用いて解くことである。ここで、エネルギーの入出力項は定式化にあたりその係数は小型スイッチギヤモデルの温度計測実験<sup>(3)</sup>の結果に基づいて求められている。次に、一次元の計算結果から得られた情報を初期条件として、二次元の高圧・高温ガス挙動の解析を行う。スイッチギヤ内部と外部を二次元でモデル化し、一般的な流体方程式を二次元のCIP法を用いて解くものである。

この技術を応用し、図1で示すような前面扉に換気口を設けたMS-E形スイッチギヤの高圧・高温ガス挙動解析を行った。解析に際しては、基礎実験によって得られた内部シャッターの動作時間の結果から、一次元CIP法解析の流路断面積を時間変化させることで、内部シャッターの動作による流路断面積の変化を反映しており、二次元の内部シャッターの動作を反映することで、換気口を設けたスイッチギヤの高圧・高温ガス挙動の解析を実現している。

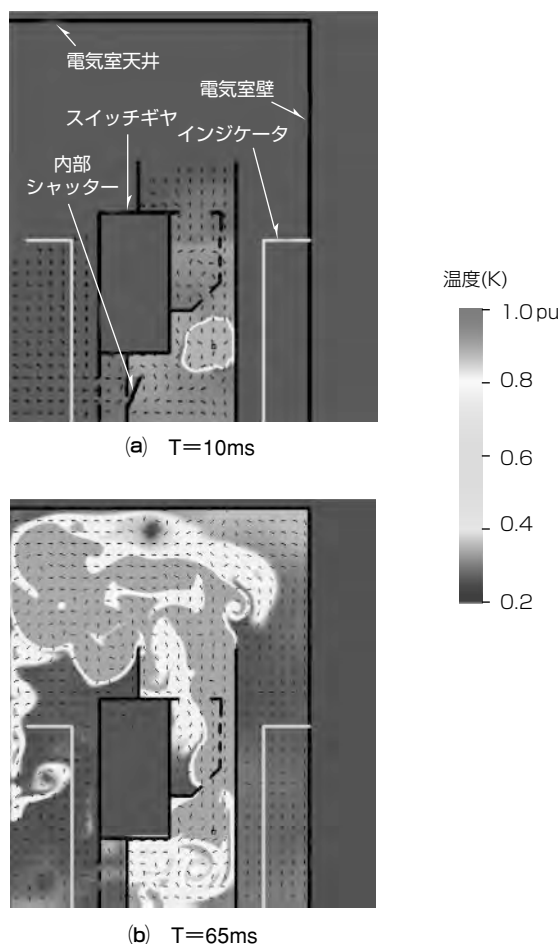


図3. 高圧・高温ガス挙動解析結果

図3に内部アーク事故(短絡電流40kA)におけるアーク点弧後10msと65msでの解析結果をそれぞれ示す。解析モデルは図1で示すような前面扉に換気口を設けた構造である。スイッチギヤの正面側(図3(a)(b)左側)と背面側(図3(a)(b)右側)にそれぞれスイッチギヤ周囲に立っている人を模擬したインジケータを配置している。

T=10ms(図3(a))では、アーク点弧によって発生した衝撃波がスイッチギヤ内部に伝播(でんぱ)しているが、高温ガスの発生は、アーク点弧点付近に限定されている。内部シャッターは開状態のままである。T=65ms(図3(b))になると、内部シャッターは換気口を閉鎖しており、高温ガスはスイッチギヤの天井部に設けられた放圧口から外部へ放出され、正面扉に設けられた換気口からの放出は抑制されるため、正面扉側に配置されたインジケータに与える影響が抑制されている。

この解析技術を更に応用することで、遮断器が一つの筐体の中に複数台収納した多段積みのスイッチギヤなど、内部アーク事故時の高温ガスの放出経路が複雑となるスイッチギヤの内部アークプルーフ構造を構築する上で、大規模な実験を行わずとも、その影響を検討することができる。

## 3. 保護制御に関する最新技術

MP23形マルチリレー(以下“MP23”という。)は保護、計測、制御機能を一体化したデジタル式のマルチリレーである。三菱電機では1998年に“MP11形”マルチリレーを販売開始して以来、市場の要求にこたえるために“MPシリーズ”の機能向上を行ってきた。

近年、受配電設備に対しては給電信頼性や保守省力化の要求に加えて、環境負荷やLCCの低減が求められている。これらの要求にこたえるため、MP23を開発し、スイッチギヤの保護・計測・制御の機能向上による給電信頼性の向上、保守省力化、環境負荷低減及びLCC低減を実現した。今回開発した製品の特長を次に示す。

### 3.1 設備計画・据付け作業性の向上

ZCT一体型ワイドレンジCTとは2個のワイドレンジCTと1個のZCTを一体化したCTである。

図4にZCT一体型ワイドレンジCTを適用したスイッチギヤを示す。ZCT一体型ワイドレンジCTとMP23との組合せによって、配電系統に接続される負荷設備の変更(容量変更など)に対してMP23のCT一次定格の設定変更のみで対応可能である。このZCT一体型ワイドレンジCTの適用によって、設備計画(CT選定)容易化、据付け時におけるケーブル貫通作業の不要化、据付け時/改造時における設定・調整の容易化など作業性が大幅に向上している。

### 3.2 保守点検の省力化

自動点検システムは、受配電監視制御システムに付加される受配電設備の保守・点検業務を効率化するシステムで

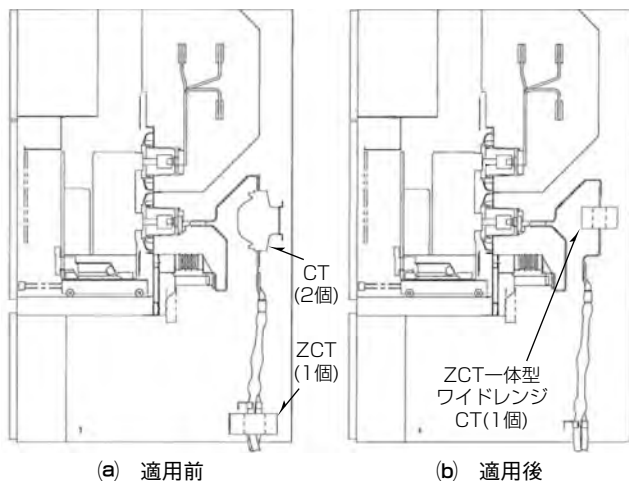


図4. ZCT一体型ワイドレンジCT

表1. 自動点検システムの試験メニュー

試験項目	内容
操作連動試験	MP23の遮断器制御回路から遮断器を動作させ、遮断器動作時間を計測し、良否を判定する。
停復電連動試験	商用停電を模擬した信号を、電力監視装置PLC、及びMP23で発生させる。停電時に働く自動回路が、停復電フロー通りの順序・時間で動作を行うことを確認し、シーケンス回路の健全性の確認を行う。
保護連動試験	MP23の内部機能によって、保護特性試験信号を内部で発生させ、MP23の保護機能を動作させる。この試験では、MP23の動作時間を計測して保護特性の良否判定を行うとともに、遮断器の連動トリップ動作の確認を行うことで、定期点検の効率化及び周辺補助リレーの動作を含めたシーケンス回路の健全性の確認を行う。
保護特性試験	MP23の内部機能によって、保護特性試験信号を内部で発生させ、MP23の保護機能を動作させる。併せてトリップ接点の動作時間を計測し、動作時間の良否判断を行う。定期点検で実施している保護継電器の特性試験を内部模擬信号で実施することができるため、試験用の電源装置が不要となり、定期点検作業の効率化が図れる。

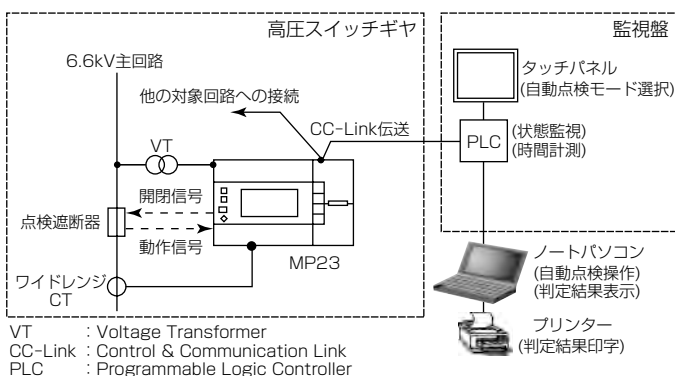


図5. 自動点検システム

ある。自動点検システムの構成を図5に、自動点検システムの試験メニューを表1に示す。

この自動点検システムによって、保守点検時における停電時間の短縮や、試験員の技量に左右されない点検作業が可能となっている。これによって保守コストの低減、LCC低減に大きく貢献できる。

MP23を10台使用した設備で表1の項目を実施した場合の試算結果では、停電時間が従来時間に対して1/10以下に短縮可能となっている。

### 3.3 環境負荷低減

MP23はラダーシーケンス機能(シーケンサと同等のラダーシーケンスソフトウェアを使用)を搭載し、従来は補助リレーと外部配線で構成していたスイッチギヤ内部シーケンスをソフトウェアによって実現可能としている。この結果、スイッチギヤ内の制御電線数及び制御器具数を削減したことで環境負荷低減に貢献している。

当社の2段階積みフィーダ盤における標準的な自動回路での試算結果では、ラダーシーケンスを適用することによって盤内配線全体で20%程度、自動回路に限っては約90%が削減可能である。また、盤内配線及び機器の削減によって、定期点検時の点検時間が削減できるため、メンテナンス費用も削減することができる。

### 3.4 メンテナンス性の向上

従来のマルチリレーで使用しているアルミ電解コンデンサや液晶表示器のような寿命部品の故障時には、本体ごと交換する必要があった。この対策としてMP23では、寿命部品を使用する電源部や液晶表示器を含む液晶表示部を交換可能なユニット構成とすることで、当該部分のみの交換を可能とした。機器全体をスイッチギヤから取り外す必要がないため、部品交換時の解線が不要となり、停電時間の短縮を可能とした。

## 4. む す び

“スイッチギヤの内部アークブローフ構造に関する最新技術”及び“保護制御に関する最新技術”について述べた。

内部事故アークなど異常時を想定した安全性確保の要望及び受配電機器の環境負荷低減やLCC低減の要望は、今後ますます高まってくると思われる。

当社は、本稿で述べた技術を更に発展させていくとともに、変動していく市場要求を満足するための最新技術を常に開発していくことで、社会に貢献していく所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 佐野幸治, ほか: 海外市場向けスイッチギヤ“MS-E”, 三菱電機技報, **82**, No.11, 685~688 (2008)
- (2) 佐野幸治, ほか: IEC規格対応メタルクラッド形スイッチギヤ, 平成20年電気学会電力エネルギー部門大会, 4029 (2008)
- (3) 堀之内克彦, ほか: CIP法による配電用スイッチギヤ内部アーク事故現象の解析, 電気学会開閉保護研究会資料, SP-08-18 (2008)

# 7.2～72kV脱SF<sub>6</sub>ガス絶縁スイッチギヤの最新技術

矢野知孝\*  
竹内 靖\*

Latest Technologies of 7.2～72kV Dry Air Insulated Switchgear

Tomotaka Yano, Yasushi Takeuchi

## 要 旨

国内外の電力会社・電力需要家の送配電・受変電設備には、化学的に安定であり無毒・無臭で電気絶縁性能・電気遮断性能(消弧性能)に優れた六フッ化硫黄ガス(SF<sub>6</sub>ガス)が1960年ごろから採用されている。SF<sub>6</sub>ガスの適用によって受配電設備は開放形(空気絶縁)から、三相分離形GIS(Gas-Insulated Switchgear)(高圧力SF<sub>6</sub>ガス絶縁)、三相一括形GIS(高圧力SF<sub>6</sub>ガス絶縁)、C-GIS(低圧力SF<sub>6</sub>ガス絶縁)へと発展移行し、受配電設備の設置面積は開放形に比べ、約1/10にまで縮小された。また、受配電設備は小型・軽量化のみでなく信頼性の向上、ライフサイクルコスト(LCC)削減及び環境負荷低減が図られてきた。しかしながら、SF<sub>6</sub>ガスの地球温暖化係数は非常に高く(CO<sub>2</sub>の23,900倍)、1997年の地球温暖化防止京都会議以降はSF<sub>6</sub>ガスの排出量削減とともに、SF<sub>6</sub>代替ガスの開発が活発に行

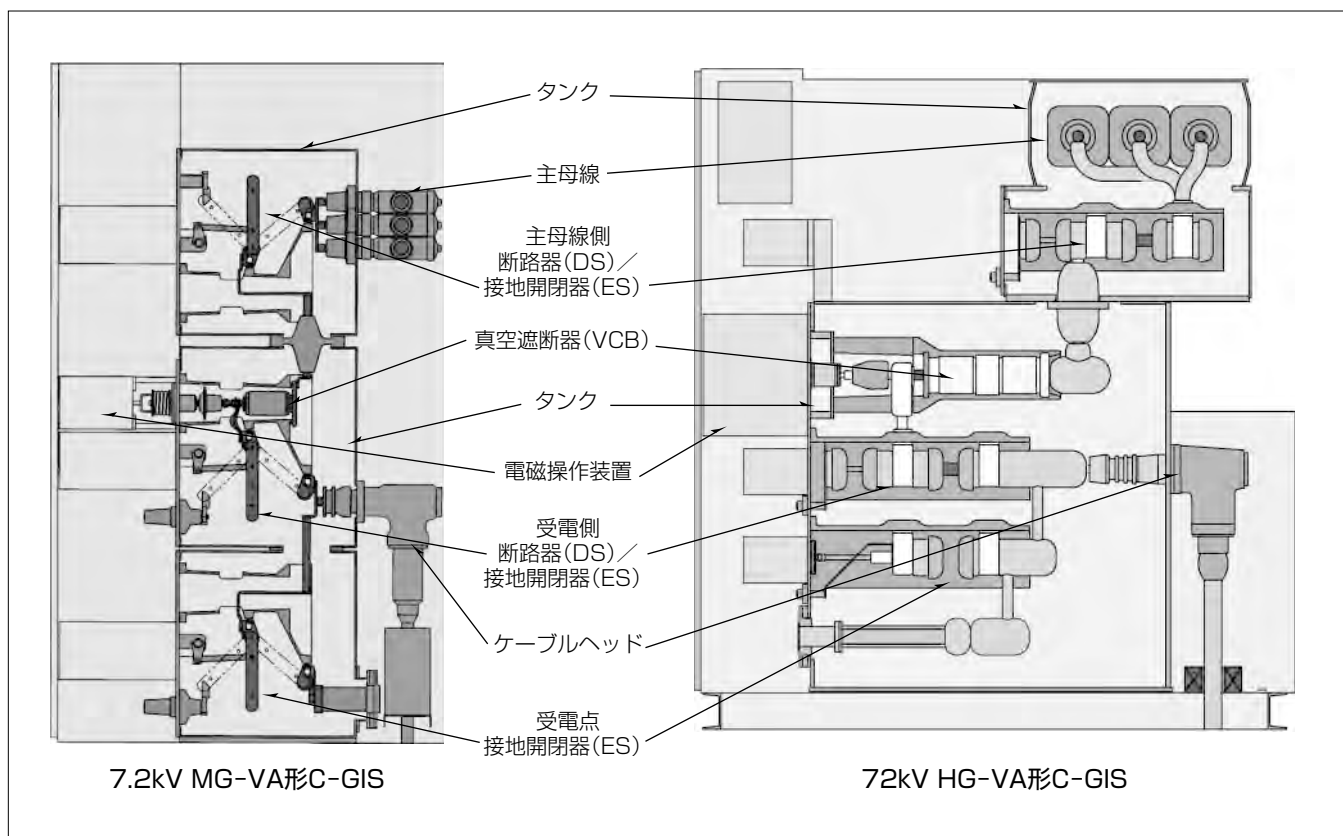
われている。

三菱電機では、消弧媒体として真空を用い、絶縁媒体としてドライエアを採用したC-GISを2000年以降に順次製品化を行い、脱SF<sub>6</sub>ガスによる環境負荷低減対策を図ってきた。現在では、受配電設備に必要な7.2kVから72kVまでのC-GISのシリーズ化を完了している。

これらの製品シリーズは、環境負荷低減とLCC削減の目的のため、遮断器の操作装置として永久磁石と電磁コイルを用いた電磁操作方式を採用し、さらに、遮断器の状態監視技術、タンク内部の絶縁監視技術を組合わせたC-GISのトータルCBM(Condition Based Maintenance)を可能とし、LCCの削減に貢献している。

本稿では、ドライエア絶縁技術、電磁操作装置及びCBMの最新技術について述べる。

特集  
II



## “MG-VA形”C-GIS及び“HG-VA形”C-GISの内部構造

7.2kV MG-VA形C-GIS(7.2kV三菱密閉形複合絶縁スイッチギヤ)及び72kV HG-VA形C-GIS(72kV三菱密閉形複合絶縁スイッチギヤ)の内部構造を示す。タンク内部はドライエアを充填、遮断器は真空遮断器、遮断器操作装置は電磁方式を採用している。

## 1. ま え が き

近年の地球温暖化抑制のニーズに対応するため、当社は六フッ化硫黄ガス(SF<sub>6</sub>ガス)を使用しないC-GISとして、7.2kVから72kVまでのクラスでドライエアを絶縁媒体として真空遮断器を用いたC-GISを製品化している。これらの製品シリーズは、環境負荷低減とLCC削減の目的のため、遮断器の操作装置として永久磁石と電磁コイルを用いた電磁操作方式を採用し、さらに、遮断器の状態監視技術、タンク内部の絶縁監視技術を組み合わせたC-GISのトータルCBMを可能とし、LCCの削減に貢献している。

本稿では、ドライエア絶縁技術、電磁操作装置及びCBMの最新技術について述べる。

## 2. ドライエア絶縁C-GISのシリーズ化

表1に7.2~72kVドライエア絶縁C-GISのシリーズ構成を、表2に製品シリーズのコンセプトを示す。この製品シリーズは、従来の当社C-GIS(低圧力SF<sub>6</sub>ガス絶縁)で高い評価を得ている“小型”“軽量”“高信頼性”、及び様々な受電形態と電気室に対応できる“配置計画の柔軟性”等の特長に加え、一層の“環境負荷低減”と“LCCの低減”を目的とし製品化を行っている。そのため、このシリーズすべての製品で、真空遮断器・低ガス圧ドライエア絶縁・電磁操作方式・CBM機能を採用している。

表1. ドライエア絶縁C-GISのシリーズ構成

製品形名	項目	仕様
MG-VA	定格電圧 (kV)	7.2
	定格電流 (A)	630/1,250
	定格遮断電流 (kA)	25
	定格ガス圧 (MPa-G at 20℃)	0.03
HS-X	定格電圧 (kV)	12/24
	定格電流 (A)	630/1,250
	定格遮断電流 (kA)	25
	定格ガス圧 (MPa-G at 20℃)	0.07
HG-VA	定格電圧 (kV)	72
	定格電流 (A)	800/1,200
	定格遮断電流 (kA)	25/31.5
	定格ガス圧 (MPa-G at 20℃)	0.15

表2. 製品シリーズのコンセプト

コンセプト	新技術/対策
環境に優しく	地球温暖化抑制
	省エネルギー
	安全性
人に優しく	省力性
	高信頼性
	電磁操作方式VCB(操作エネルギー低減)
	主回路導体の最短化(発熱量低減)
	電磁操作機構部のメンテナンスフリー化
	CBM機能ユニット搭載
	母線接続時のガス処理レス化
	構造の単純化
	部品点数の削減
	電磁操作装置による主接点直動化
	操作装置部の損耗部品レス化

## 3. ドライエア絶縁技術

### 3.1 絶縁技術

ドライエアは地球温暖化係数がゼロである反面、絶縁耐力がSF<sub>6</sub>ガスの約1/3しかなく、SF<sub>6</sub>ガスと同等の絶縁耐力を得るためには、SF<sub>6</sub>ガスの約3倍のガス圧力または、絶縁距離の拡張などによって設計電界をSF<sub>6</sub>ガスの1/3程度に低減する必要がある。しかし、ドライエアのガス圧を上昇させた場合は、タンク・絶縁物等の機械的強度を増強する必要があり、また、ガス漏れ時の耐電圧性能低下が大きい。このため、ドライエアと固体絶縁物を組み合わせた複合絶縁技術を開発させ、7.2~72kVの製品シリーズで、0.2MPa-G以下の低ガス圧力で、従来のSF<sub>6</sub>ガスを適用したC-GISと同等以下の外形寸法での製品化を達成している。

上記の複合絶縁は、バリヤ絶縁及び被覆絶縁にドライエア絶縁を組み合わせた方式である。図1にドライエア中の不平等電界下(棒-平板電極)における、被覆絶縁ありでの放電電圧の圧力特性(プロット)、及び被覆絶縁なしでの放電モデル推定式(図中の破線)を示す。

図1から、0.1MPa-G以下の低ガス圧力領域では、絶縁被覆によって放電電圧が被覆絶縁なしでの推定式に対して同等以上の放電電圧値となっており、被覆絶縁が低ガス領域で、耐電圧値を高める有効な対策となる。

### 3.2 電流遮断技術

SF<sub>6</sub>ガスより約1/100の消弧性能であるドライエアの適用で、C-GISの内部機器である断路器/接地開閉器によるドライエア中でのループ電流/誘導電流開閉性能の向上が重要である。図2にドライエアとSF<sub>6</sub>ガスの圧力とアーク時間の関係、及びドライエア0MPa-Gの永久磁石を用いた磁界駆動方式におけるアーク時間を示す。ドライエア中では圧力の上昇に伴って遮断性能が上昇するのに対し、SF<sub>6</sub>ガスでは圧力依存性がない。また、磁界駆動方式では低圧力領域でもSF<sub>6</sub>ガスと同等以上の遮断性能が確保可能である。今後、さらに遮断現象の理解と評価を行い、遮断性能の向上、開閉機器の小型・軽量化を行う。

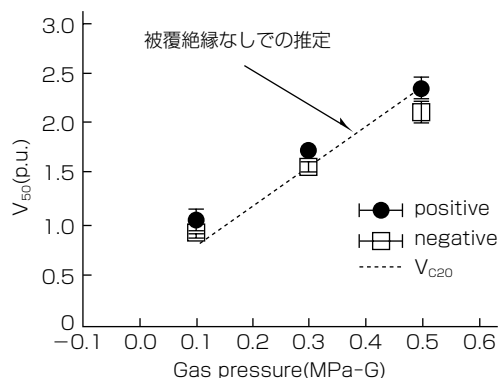


図1. ドライエア放電電圧の圧力特性<sup>(3)</sup>

#### 4. 電磁操作装置

遮断器を駆動する電磁操作装置(図3)は、7.2~72kVの製品シリーズで、永久磁石を用いた電磁操作装置を採用、開閉操作は電流コイルの電磁力で行い、投入状態は永久磁石の磁力によって保持することによって、ラッチレバーなどの消耗部品を廃止して、部品点数及び操作エネルギーを従来のバネ操作式VCB(Vacuum Circuit Breaker)に比べ約30%低減した。この電磁操作機構は、過渡電磁界解析と駆動部の運動解析の連成解析手法、及び品質工学を適用することで操作装置の各構成要素の最適化を行い、駆動ばらつきの抑制を行った。

#### 5. CBM機能

ドライエア絶縁C-GISでは保守の省力化を目的として、駆動監視機能、絶縁劣化監視機能を搭載したCBM機能に通信機能を搭載し、上位システムでの状態監視を可能とした。

##### 5.1 駆動監視技術

遮断器を駆動する電磁操作装置は、電気エネルギー注入によって駆動するため、電流波形を観測することで遮断器

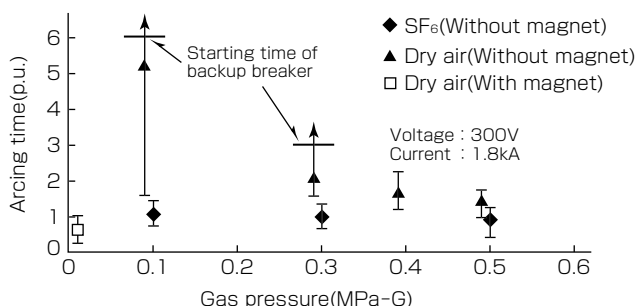


図2. 電流遮断性能の圧力特性<sup>(4)</sup>

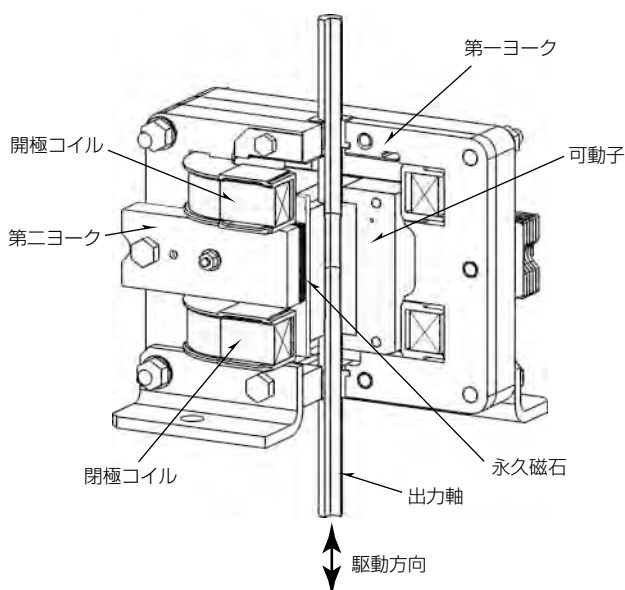


図3. 電磁操作装置

の動作特性を監視することが可能となっている。図4に開極駆動時の励磁電流と動作特性を示す。図4で、実線は正常時の電磁操作VCBの開極駆動時の電磁コイルへの励磁電流波形と動作特性の例を示したものである。また、図の破線は、主接点の消耗量が過大になった場合の励磁電流波形と動作特性の例を示したものである。動作特性で速度が大きく変化する接点开離点A、動作完了点Bでは、同時に励磁電流にも変化点が発生しており、動作特性と励磁電流波形には関連性があることが分かる。このことから、励磁電流波形を分析することによって、VCBの電磁操作装置の状態検知を実現した。

##### 5.2 絶縁劣化監視技術

CBM機能で実現する絶縁劣化監視は、活線時に部分放電検出ユニットを用いて、部分放電発生時の電磁波を検出し、検出した放電レベルがある閾値(しきいち)を越えた回数をカウントし、部分放電の放電レベルと継続性を合わせて絶縁劣化の診断を実施する。図5に主回路電圧と部分放電発生特性を示す。部分放電は印加電圧の正極/負極のいずれか、または両方の特定の位相で発生する。また、検出する部分放電の周波数帯はケーブルなどの静電容量による減衰が大きいMHz帯を使用し、外部からノイズ信号がC-GIS内に侵入することを抑制する。

##### 5.3 通信機能の搭載

CBMユニットに通信機能(“CC-Link(Control & Communication Link)”伝送)を搭載し、状態監視したデータをシーケンサを用いて上位システムに上げることが可能とした。図6にシステムの構成を示す。

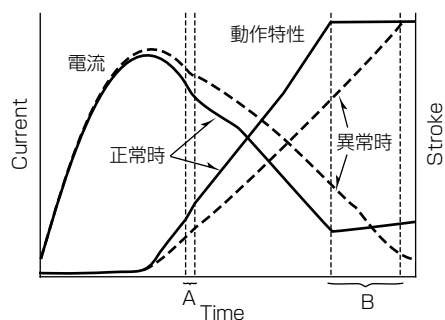


図4. 開極駆動時の駆動電流特性

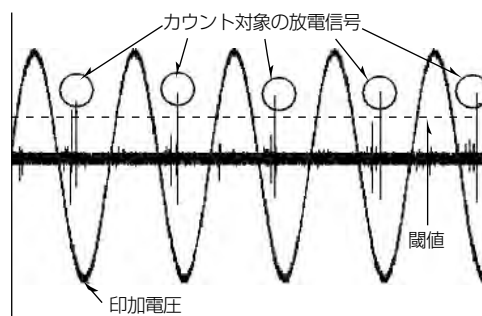


図5. 部分放電特性



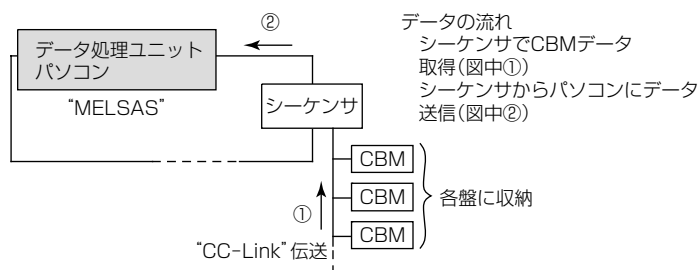


図6. CBM通信システムの構成



図7. 絶縁劣化監視の長期トレンドデータ

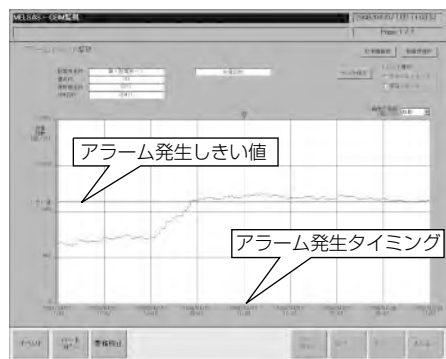


図8. 絶縁劣化監視のアラーム発生時データ（前後1日分）

図6の構成では、上位システムとして“MELSAS”（三菱受配電監視制御システム）を使用した例である。各盤に収納されたCBMユニットから、シーケンサに監視データを取り込み、“MELSAS”のデータ処理ユニットパソコンで各監視データのトレンドを見ることを可能としている。

絶縁劣化監視の部分放電回数長期トレンドデータを図7に示し、アラーム発生時のデータを図8に示す。

トレンドデータやCBM監視状態を上位システムで確認可能となり、盤面での監視項目確認が不要となることで、CBM機能で監視している項目に対するメンテナンス時間を削減している。

#### 5.4 CBM機能によるライフサイクルコスト低減

従来のVCB、またはVCBを搭載したスイッチギヤの定期点検項目には、運用状態で日常的に目視で実施する巡視点検、2～3年に1回、設備を短時間停電して行う普通点検、6～12年に1回、設備を停止して行う細密点検がある。

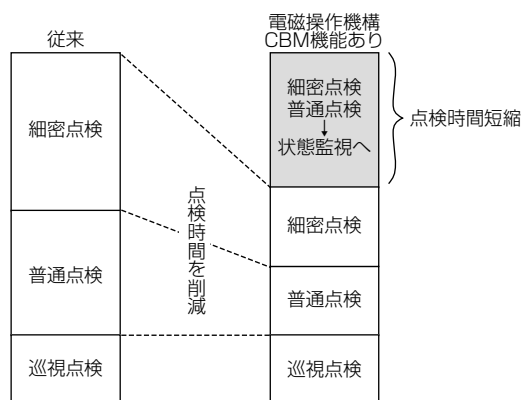


図9. CBM機能と点検時間の変化

電磁操作方式とCBM機能ユニットを組み合わせることによって、これら定期点検項目の一部を省略し点検作業時間を短縮することが可能である。図9にはVCBを搭載した標準的なC-GISで、電磁操作方式とCBM機能を搭載した場合の点検時間の概要を示す。電磁操作方式とCBM機能を搭載した場合の点検時間は、従来の定期点検方式に比べて大幅に削減できる。このような効率的な点検によって停電時間の短縮や、定期点検時間の短縮が可能となり、C-GISのライフサイクルコストの削減に貢献する。さらに、常時監視機能によって、従来、定期点検でしか発見できなかった部位の異常を早期に発見できるため、事故や故障を未然予知する効果がある。

## 6. む す び

低ガス圧ドライエア絶縁、電磁操作装置、CBMを採用した、7.2～72kV脱SF<sub>6</sub>ガス絶縁スイッチギヤの最新技術について述べた。世界的な環境問題への取組みが活発化している中、地球温暖化係数の高いSF<sub>6</sub>ガス排出の規制強化の動きがあり、特に72kV以下の脱SF<sub>6</sub>ガス化のニーズが高まっている。今後ともドライエア絶縁・電流遮断・電磁操作装置・CBMの各機能の技術を更に深め、小型・高信頼性のガス絶縁スイッチギヤの開発を進めていく。

## 参 考 文 献

- (1) 有岡正博，ほか：72kV脱SF<sub>6</sub>ガス絶縁スイッチギヤ“HG-VA”，三菱電機技報，80，No.7，455～458（2006）
- (2) 有岡正博，ほか：7.2～72kV脱SF<sub>6</sub>ガス絶縁スイッチギヤ，三菱電機技報，82，No.11，681～684（2008）
- (3) 武輪知明，ほか：乾燥空気インパルス破壊電圧に対する絶縁被覆効果，平成23年電気学会全国大会，1-088（2011）
- (4) 中田勝志，ほか：ドライエア中の電流遮断性能に関する基礎検討，平成23年電気学会全国大会，6-304（2011）

# 海外向けB形ワイドモータコントロールセンタ

中谷 篤子\*  
岩澤 頼晃\*

Type-B Wide Motor Control Center for International Market

Atsuko Nakatani, Yoriaki Iwazawa

## 要 旨

新規設備投資が活発な中東、東南アジアなどの海外市場でシェア拡大を図るためには、IEC (International Electrotechnical Commission) 規格に対応することはもちろんのこと、様々な国、プラントの電源仕様に対応する必要がある。そのため、海外特有のAC460V/50kAを超える高電圧・高遮断仕様、大容量母線などに対応し、かつ、実装効率の高い盤が求められる。

また、海外プラントの伝送バスはデファクトスタンダードバスが採用されており、上位バスにダイレクトに接続できるように、標準搭載する必要がある。

本稿では、このような海外市場向けに三菱電機が開発した、B形ワイドモータコントロールセンタについて述べる。

### (1) B形ワイドモータコントロールセンタ

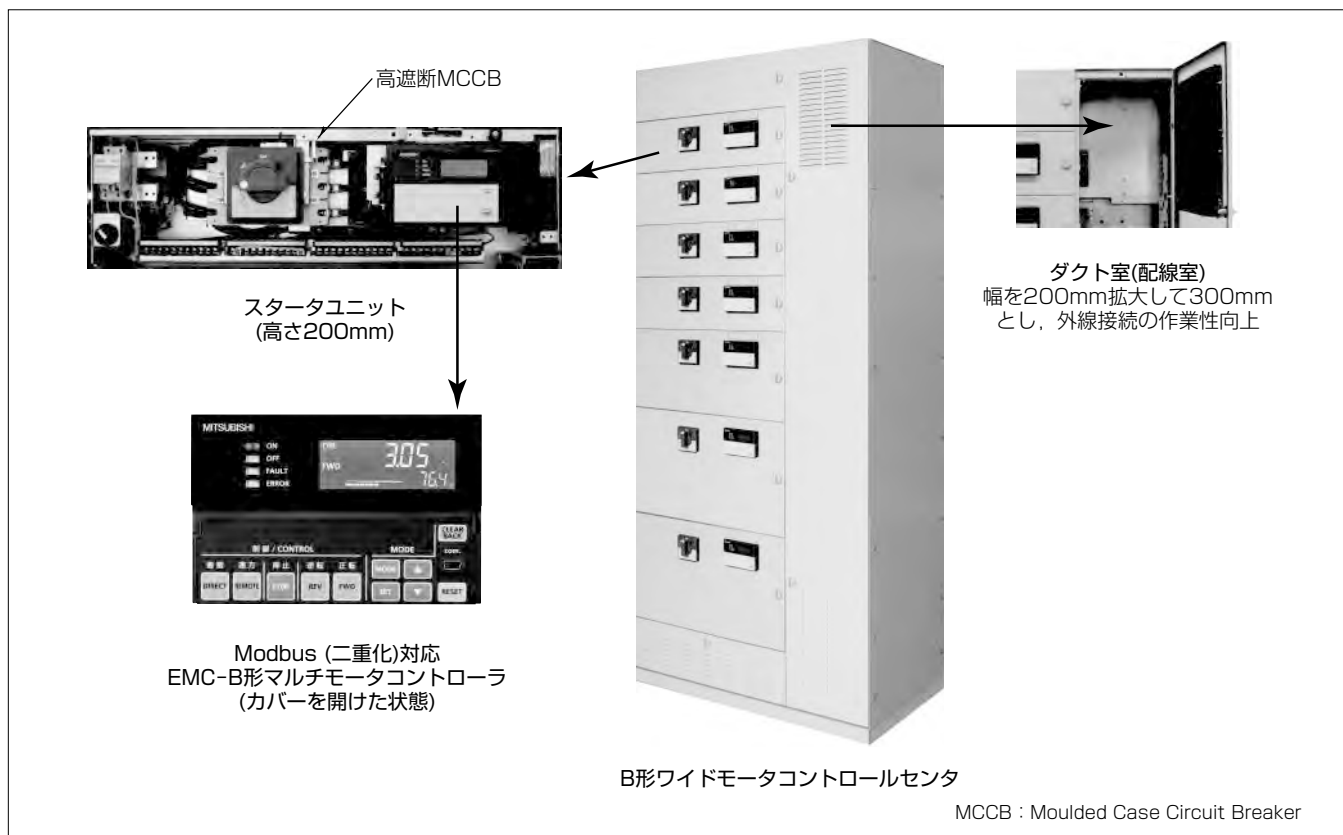
海外市場における高電圧・高遮断のニーズに対応するため、AC460V/50kAを超える高遮断配線用遮断(以下“高遮断MCCB”という。)及びヒューズを適用し、さらに高収納化を実現した。その他にも、海外市場のニーズを反映して、母線の大容量化と作業性の向上を図った。

### (2) EMC(Electronic multi-functional Motor Controller) - B形マルチモータコントローラ

国内向けモータコントロールセンタ(MCC)に標準的に搭載している、EMC-B形マルチモータコントローラに、デファクトスタンダードバスの一つである、Modbus<sup>(注1)</sup>-RTU(Remote Terminal Unit)を搭載し、これに関連する種々の機能を備えることで、海外競争力を強化する。

(注1) Modbusは、Schneider Electric SA の登録商標である。

特集  
II



## B形ワイドモータコントロールセンタ

高電圧・高遮断要求のある海外向けに特化した盤幅1,000mmのモータコントロールセンタである。外形が大きい高遮断MCCB、使用電圧AC690Vに対応可能なヒューズを高収納で実装可能にし、さらに、ダクト室を広くして海外市場で要求の高い外線接続作業性にも配慮している。また、高機能・耐環境性が高いEMC-B形マルチモータコントローラに、デファクトスタンダードバスの一つであるModbus-RTUを搭載している。

## 1. ま え が き

国内での新規設備投資が減少している中、中東、東南アジアなどでは新規設備投資が活発であり、海外での市場拡大が急務である。

海外では使用電圧AC480Vが主流となっている国や、配線ロス低減のために使用電圧としてAC690Vを採用するプラントもあり、AC460V以下が一般的な国内向けと同じ仕様では対応できない場合がある。また、配電用トランスを複数配置ではなく一括配置とするために、1台のトランス容量を大きくし、短絡電流50kA超過の高遮断が必要となるプラントもある。

これらの高電圧・高遮断要求に対応しようとすると、外形が大きい短絡保護装置を採用する必要があるが、従来のB形MCCでは、ユニット収納効率が悪化し、面数増加につながることから、価格面で不利となっている。

また、海外プラントの伝送バスはデファクトスタンダードバスが採用されており、従来の国内向け伝送バスでは、ダイレクトに上位バスに接続できないため、ゲートウェイを介したシステム構成が必要となり、仕様・価格の面で不利となっている。

そこで、多様な海外市場の要求に対応した価格競争力の高いMCCとして、海外向けB形ワイドMCCを開発した。

## 2. B形ワイドMCCの仕様と特長

### 2.1 B形ワイドMCCの仕様

表1にB形MCCとB形ワイドMCCの仕様比較を示す。なお、太字は、B形MCCからB形ワイドMCCへの変更点を示す。

表1. B形MCCとB形ワイドMCCの仕様比較

項目	B形MCC	B形ワイドMCC
適用規格	JEM1195 IEC60439-1	IEC60439-1 <b>IEC61439-1, 2</b>
絶縁電圧	AC690V	AC690V
使用電圧	～AC480V	～ <b>AC690V</b>
水平母線電流	～3,500A	～ <b>4,000A</b>
垂直母線電流	～900A	～900A
短時間耐電流	～75kA/秒	～ <b>80kA/秒</b>
短絡保護装置	MCCB	MCCB, ヒューズ
外形(H×W×D) (mm)	2,300×600×550 ユニット幅: 445 ダクト幅: 100	2,300× <b>1,000</b> ×550 ユニット幅: <b>645</b> ダクト幅: <b>300</b>
箱体保護構造	IP20～IP42	IP20～IP42
内部仕切り	標準: 3b～4a 自動連結: 4b	標準: <b>4b</b>
接続方法	主回路 標準: ねじ止め オプション: 自動連結	標準: <b>自動連結</b>
	制御回路 標準: 1Pファストン オプション: 一括コネクタ	標準: <b>一括コネクタ</b>
伝送(EMC-B)	CDL, CC-Link	<b>Modbus-RTU,</b> CDL, CC-Link

JEM : 日本電機工業会 (the Japan Electrical Manufacturers' association) 規格  
CDL : Control center Data Link  
CC-Link : Control & Communication Link

### 2.2 B形ワイドMCCの特長

#### (1) 高電圧・高遮断容量化

海外案件で要求の高い高電圧・高遮断仕様に対応するため、表2の短絡保護装置を選定している。

短絡保護装置(高遮断MCCB, ヒューズ)の外形が大きくなるAC460V/50kAを超える領域に対して、海外向けB形ワイドMCCを開発した。

また、B形MCCでは使用電圧がAC480Vまでであったが、B形ワイドMCCではAC690Vまで対応可能とした。

#### (2) 高電圧・高遮断ユニットの収納効率の向上

高遮断MCCBは、汎用のMCCBよりも外形が大きいため、B形MCCに収納すると最小ユニット高さが300mmとなり、収納効率が悪く面数増となっていた。そこで、盤幅1,000mmを採用し、ユニット幅をB形MCCよりも200mm広げ、MCCBやリレーなどの機器及び端子台の配置を見直し、加えてインターロック機構を内蔵した専用のMCCB操作ハンドルを開発したことによって、高遮断MCCBを収納して最小ユニット高さ200mmを実現した。これによって、トータル面数及び設置スペースの削減を可能とした(図1)。

#### (3) 作業性の向上

海外メーカーのMCCは盤幅1,000mmが一般的であり、ダクト室(配線室)のスペースが広い。そのため、広いダク

表2. 短絡保護装置の選定

短絡電流 使用電圧	～50kA	～75kA	～80kA
～460V	汎用MCCB	高遮断MCCB	ヒューズ
～480V	B形ワイドMCC対応領域		
～690V			

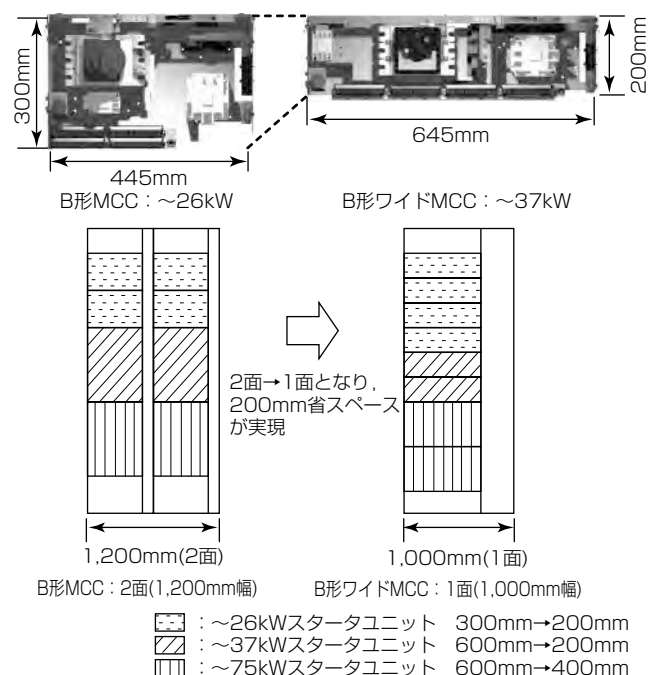


図1. B形ワイドMCCにすることによる省スペース化

ト室での作業に慣れている海外ユーザーには、国内で一般的な盤幅600mmのB形MCCのダクト室は狭く、作業がしづらいという声があった。そこで、B形ワイドMCCではダクト室の幅をB形MCCよりも200mm広げ、外線接続の作業性を向上させている(図2)。

また、ユニットと母線及び負荷側外線との接続は自動連結方式、制御回路の接続は一括コネクタ方式とし、容易にユニット着脱ができる構造としている。

#### (4) 水平母線の大容量化

水平母線の大容量化を図り、4,000Aまで対応可能とした。またヒューズの適用で80kA短絡電流遮断を可能としたことから、80kA/秒の短絡電流に耐えられる母線構造を開発した。

#### (5) IECの安全要求に対応

##### ①インターロックの信頼性向上

扉インターロック(主回路が閉路でユニット扉を開放不可、かつユニット扉が開放状態で主回路を閉路不可)に加え、主回路が閉路状態ではユニット着脱不可となるインターロックを標準適用している。

##### ②盤内部仕切り

母線室、ユニット室、ダクト室を各々分離させることで、IEC規格で規定されている盤内部仕切りレベルは、最も厳しいForm 4bを実現している。

#### (6) インバータ盤などとの列盤が可能

B形ワイドMCCはB形MCCをベースに開発しているため、盤奥行き及び母線配置はB形MCCと同じであり、B形MCCや、MCCの関連機種である“LIM-B形”インバータ盤、“CNF-B形”分電盤との列盤が可能となっている。

### 3. EMC-B形マルチモータコントローラ

当社では、MCCで行うモータの制御や保護、計測、監視等の機能を集約した電子式マルチモータコントローラを業界に先駆けて搭載してきた。B形ワイドMCCに搭載するEMC-B(Electronic multi-function Motor Controller type B)<sup>(注2)</sup>は、海外向けとして、デファクトスタンダードバスであるModbus-RTU伝送を標準搭載している。

EMC-Bの仕様を、表3に示す。

(注2) モータの制御(運転、停止)・保護、運転状態の計測・監視等をオールインワンで実現した複合電子装置

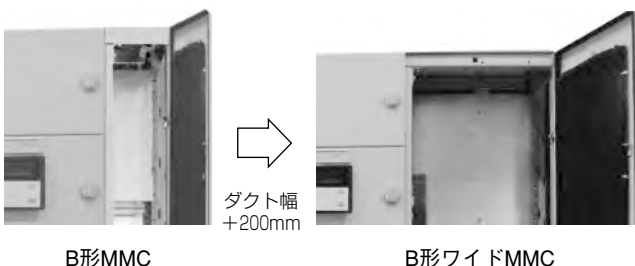


図2. B形MCCとB形ワイドMCCとのダクト室の比較

### 4. Modbus-RTU伝送機能

#### 4.1 Modbus-RTU通信パラメータ

表4に、EMC-B Modbus-RTUの通信パラメータを示す。なお、太字は標準的なModbus-RTUに対するスペックアップ項目を示す。

#### 4.2 EMC-B Modbus-RTU二重化伝送システム

EMC-B Modbus-RTU二重化伝送システムの概念を図3に示す。

この二重化システムでは、A系、B系のマスタがそれぞれ独立して、スレーブであるEMC-Bと通信を行うダブルマスタ方式となっている。常時は、両系のマスタからそれぞれの伝送路を介してEMC-Bにポーリング(定期的な問い掛け)を送信することで、受信の有無によって各系の健全性を監視する。また、制御信号の送信時には、EMC-B側で最終的に受信した系の制御を優先させる処理としているため、いずれかの系に異常が発生したとしても運転を継続でき、信頼性の高いシステムとなっている。また、マスタ側/EMC-B側でそれぞれ、受信データの監視を行っており、マスタや伝送路、EMC-Bのいずれで異常が発生しても、マスタ又はEMC-Bで検知可能である。

なお、この二重化システムは、主系/待機系の2台のマスタで構成しており、常時は主系マスタによって運転し、

表3. EMC-Bの仕様

項目	仕様
使用周囲温度	−10〜60℃(年間平均電気室温度が35℃(EMC-B周囲温度50℃)を超えないこと)
使用周囲湿度	10〜90%RH
雰囲気(塵埃)	著しい塵埃(じんあい)のないこと(盤取り付け状態でIP53レベル)
雰囲気(腐食性ガス)	H <sub>2</sub> S 50ppb以下(ISA規格G3クラス)(その他のガス・混合ガスは対象外)
雷インパルス	端子一括―大地間(伝送ラインを除く) 5kV(1.2×50μs)
耐ノイズ	2kVp-p, 1μ/100ns (電源ノーマル/コモン, ノイズシミュレータによる)
耐電波障害	150M/470M/900MHz 5Wのトランシーバ:密着使用可能 携帯電話:密着使用可能(2010年調べ)
静電気	15kV(IEC61004-2 Class4準拠)

表4. EMC-B Modbus-RTUの通信パラメータ

通信パラメータ	EMC-B
伝送速度 <sup>(注3)</sup>	24/48/9.6/19.2/38.4/57.6/115.2(Kbps)
パリティ <sup>(注3)</sup>	Non/Odd/Even
ビット長	8ビット固定
ストップビット長 <sup>(注3)</sup>	1/2
ノードアドレス	1〜247
接続可能台数	64台
最大伝送距離	1,200m
物理層	RS-485
終端抵抗	120Ω

(注3) これらのパラメータは、上位コントローラの仕様に合わせてフレキシブルに設定可能である。

主系に異常があった場合に待機系マスタに切り替える方式である、待機マスタ方式と呼ばれる二重化システムも想定した設計となっており、ユーザーサイドでシステムを自由に選択することができる。

### 4.3 EMC-B Modbus-RTU伝送の特長

EMC-B Modbus-RTU伝送機能は、次の特長を持つ。

- (1) 伝送速度設定の拡張  
標準的なModbus-RTU伝送に加えて、比

較的早い伝送速度にも対応しており、最大で115.2Kbpsの通信が可能である。B形ワイドMCCでは19.2Kbpsを標準使用している。

- (2) 応答性能

伝送速度によらず、10ms以下の応答性能を実現した。

- (3) 接続端末局の拡張

Modbus-RTU標準の32台に対し、最大64台までの接続を可能とした。

- (4) ループバックテスト

マスタからの受信に対して、受信データをそのまま返送するループバックテストが行えるため、運用開始後であっても、伝送路の負荷への影響を極力抑えた、伝送路の健全性確認に使用できる。

- (5) マスタ局応答なし検出時間

マスタからの受信が一定時間途絶えた場合に、マスタの異常と判断し、マスタ局応答なし異常を検出ができる。検出までの時間はEMC-B本体で設定でき、1～300s(1s刻み)の範囲で設定可能である。

- (6) シングル／二重化仕様の切替え

シングル仕様と二重化仕様の切替えは、EMC-BのB系伝送基板の着脱によって容易に行うことができる。EMC-Bの内部で自動的にハードウェアを判別し、仕様の切替えを行うため、B系伝送基板が接続されない場合はシングル仕様、接続される場合には二重化仕様として機能する。また、シングル仕様として納入後、信頼性向上の目的で二重化仕様に変更したい場合、現地におけるB系伝送基板の追加によって、二重化仕様へのバージョンアップが可能となっている。さらに、A系伝送基板の交換によって、CC-Link伝送などの、その他の伝送仕様にも、切り替えが可能である(図4)。ただし、別途、EMC-Bの形名の変更、

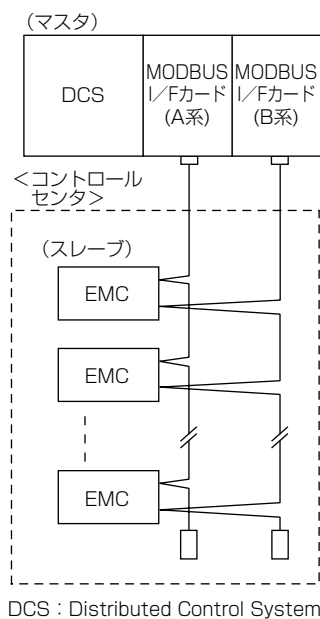


図3. 二重化伝送システム

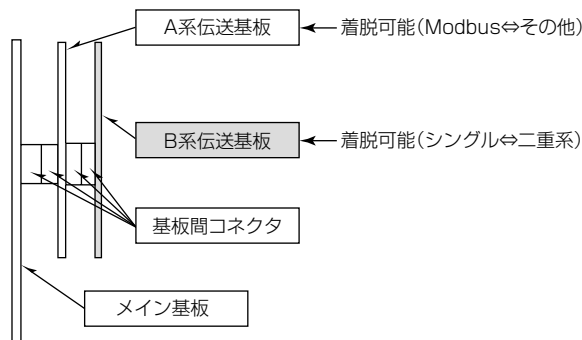


図4. EMC-B基板断面図

アプリケーションを含めたシステムの変更が必要となる。なお、現在の仕様は、EMC-Bの表示(液晶ディスプレイ)で確認することができる。

## 5. テスト機能

近年、一段と短縮化する工期の影響で、稼働までの時間がほとんど取れないケースが増えてきている。EMC-Bのテスト機能を用いることによって、プラント立ち上げ時の試験を効率的にサポート可能である。例えば、伝送システム試験においては実電流を入力し、入力に対する伝送データが正常に上位に上がっているかどうかを確認する必要がある、EMC-Bのシステム異常を模擬した試験を行うには、実際にEMC-Bのシステム異常を、ハードウェア的に発生させなければならなかったが、次のテスト機能を利用することで、試験期間の短縮が期待できる。

- (1) CPU(Central Processing Unit)異常操作モード

EMC-Bのシステム異常時の内部信号を模擬的にONすることを可能としたため、実際にシステム異常を発生させることなく、異常時の模擬試験が実施できる。

- (2) 伝送強制出力モード

主回路電流値の伝送データを模擬出力できる。0%→50%→100%→150%と、出力レベルを変化させることができる。EMC-B内部に模擬電流を発生させることで、実電流の入力が不要なため、伝送システム試験の効率化が図れる。

## 6. む す び

今後は、多様化する海外市場での要求にこたえるべく、まずは、MCC本体についてはコーディネーションTYPE2<sup>(注4)</sup>への対応、EMCについては各種デファクトスタンダードバスへの対応を進めていく。並行して、エンドユーザーのニーズを見極めつつ、必要とされる機能を取捨選択し、ユーザー／当社ともにメリットのある製品を追求していく所存である。

(注4) IEC60947-4-1で規定されている短絡保護装置とスタータの保護協調



# 高圧真空コンタクタ・コンビネーションユニット “VZ-Eシリーズ”

後藤圭二\*  
越智 聡\*  
遠矢将大\*

High-voltage Vacuum Electromagnetic Contactors and Combination Units "VZ-E Series"

Keiji Goto, Satoshi Ochi, Nobumoto Toya

## 要 旨

高圧真空コンタクタ・コンビネーションユニット(VMC)は、主として高圧モータの制御、進相用コンデンサ等の開閉に適用され、電力エネルギー安定供給に欠かすことのできない開閉器である。このため、国内では安全・安心、環境汚染防止など多種多様なニーズが存在する。一方、海外では近年の急激な経済成長による広範囲な電力不足の顕在化以降、積極的な発電所建設、電力網整備が行われており、海外仕様対応のVMCが必要となってきた。海外市場ではIEC(International Electrotechnical Commission)規格への対応が必要となるが、2000年に改定されており、国内に比べ、定格電圧や短時間耐電流性能が異なり、高電圧化・性能向上が必要である。このような背景の中、VMCで国内業界をリードしている三菱電機は、海外市場への展開を見据えた海外仕様への対応や、安全・安心・環境負荷低減の顧客ニーズを追求した3.6/7.2kV用VMC“VZ-Eシリーズ”を新規開発した。

### (1) 海外仕様に対応した真空バルブの開発

- ・電気的性能を改良した新接点材料を開発することで接

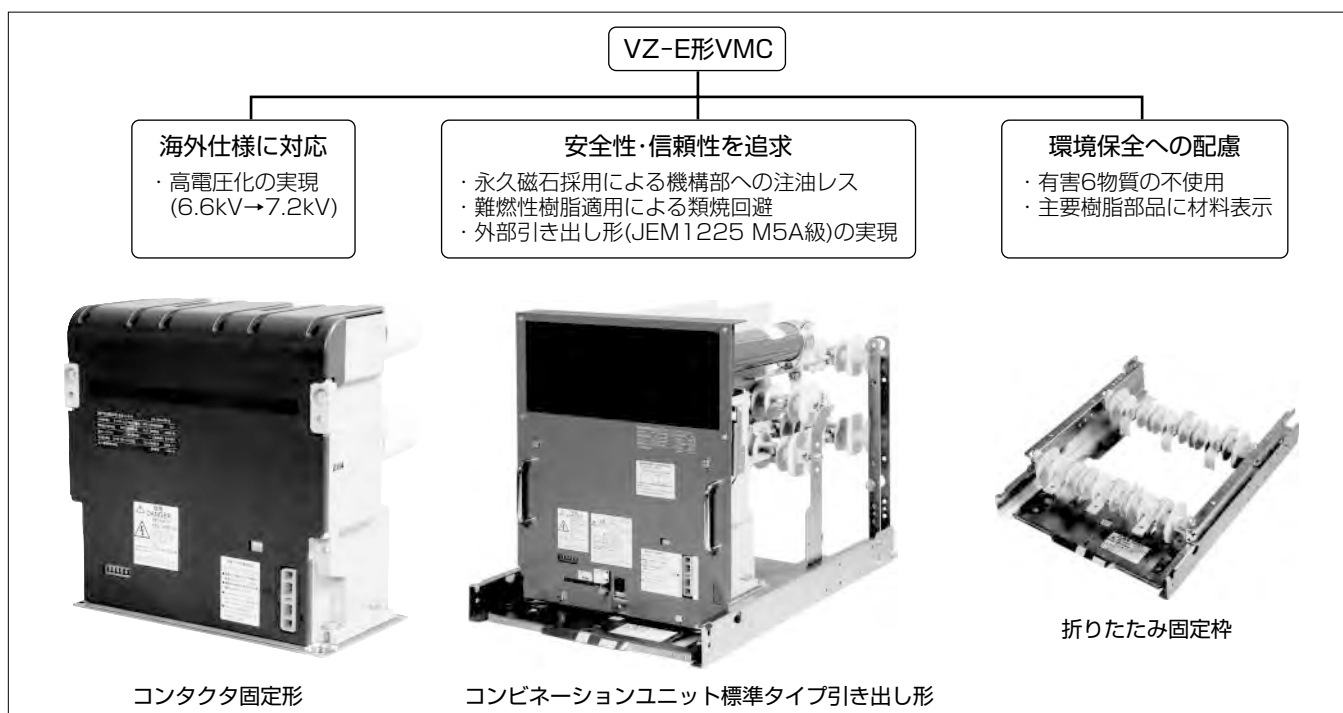
点径の約15%縮小が可能となり、高電圧化(6.6kV→7.2kV)を実現した。

### (2) 安全性・信頼性の追求

- ・ラッチ機構に永久磁石を採用することで、機構部への注油が不要となり、省メンテナンスを実現した。
- ・主要部品へ難燃性UL(Underwriters Laboratories)94(V-0)樹脂を適用することで、類焼被害の未然防止に配慮した。
- ・外部引き出し形(JEM(日本電機工業会)1225 M5A級)にも対応可能(オプション)とし、作業への安全を配慮した。

### (3) 環境保全への配慮

- ・有害6物質(水銀、カドミウム、鉛、六価クロム、PBB(ポリ臭化ビフェニール)、PBDE(ポリ臭化ジフェニルエーテル))の使用を廃止した。
- ・リサイクル及び廃棄を容易にするため、主要樹脂部品に使用材料を表示した。



## 3.6/7.2kV用VMC“VZ-Eシリーズ”

安全性・信頼性の追求、環境保全の配慮など多種多様な顧客ニーズに対応しただけでなく、固定枠とVMC本体の分離梱包(こんぼう)を可能にした折りたたみ固定枠採用による据付け作業時間の短縮、正面のフェースプレートのフラット構造による保護板配置の容易化など盤への施工性も配慮したデザインを追求した。

\*受配電システム製作所

## 1. ま え が き

高圧用受電設備に設置されているVMCは、電磁石の吸引力を利用し、接触部(遮断部)を動作させる開閉器であり、主として高圧モータの制御、進相用コンデンサ等の開閉に適用され、電力エネルギーの安定供給に欠かすことができない開閉器である。このため、国内では安全・安心、環境汚染防止、点検費用削減など社会動向に合わせた多種多様なニーズが存在する。一方、海外では電力需要拡大に対応するため、中国などのアジア地域では、近年の急激な経済成長による広範囲な電力不足の顕在化以降、積極的な発電所建設、電力網整備が行われており、海外仕様対応のVMCが必要となってきた。海外市場ではIEC規格への対応が必要となるが、VMCに関するIEC規格が2000年に改定されており、国内に比べ、定格電圧や短時間耐電流性能が異なり、高電圧化・性能向上が必要である。このような背景の中、VMCで国内業界をリードしている当社は、海外市場への展開を見据えた海外仕様への対応や安全・安心の追求・環境負荷低減の顧客ニーズを追求した3.6/7.2kV用VMC“VZ-Eシリーズ”を新規開発した。

本稿ではVZ-E形VMCの概要と特長について述べる。

## 2. VZ-E形VMC

VZ-E形VMCの定格事項を表1に、VMC(コンタクタ固定形)の構造を図1に示す。三相一体に構成された絶縁モールドフレーム内部に真空バルブを懸垂支持している。真空バルブの可動部は、絶縁ロッドを介して上下に駆動される。開閉操作機構(電磁ソレノイド)及び制御装置などは、モールドフレームの底面に取り付けられた鉄鋼製フレームに組み込まれ、ユニット構成されている。前面の充電部は、防塵(ぼうじん)を兼ねた保護カバーで覆われている。

## 3. 海外仕様に対応した真空バルブの開発

### 3.1 真空バルブ

当社は1965年に最初の真空バルブとしてVMC用真空バ

表1. VZ-E形VMCの定格事項

項目	コンタクタ	コンビネーションユニット
定格使用電圧	kV	3.3/6.6
定格使用電流	A	200/400
短絡遮断電流	kA	40(電力ヒューズ)
短時間耐電流	kA-S	4-2(200A), 4-10, 8-0.5(400A)
操作方式	常時励磁式、ラッチ式	
開閉容量	AC4 <sup>(注1)</sup>	
耐電圧値	kV	22(AC), 60(Imp), VST <sup>(注2)</sup> 極間40(Imp)
準拠規格	JEM1167, IEC60470	

(注1) AC4: 定格使用電流の10倍投入/8倍遮断

(注2) VST: 真空バルブ

kA-S: kA-Second

Imp: Impulse

ルブの製造を開始してから、45年以上の経験を重ね、累積生産本数は300万本を超えている。真空バルブの用途は主に真空遮断器やキュービクル形ガス絶縁スイッチギヤ(C-GIS(Gas Insulated Switchgear)), VMC, 真空負荷開閉器など多岐にわたり、多年にわたる豊富な使用実績を設計・製造・品質管理に生かし、さらに応力解析・電界解析・磁界解析などのCAE(Computer Aided Engineering)技術や、当社研究所との高性能接点材料の共同開発、アーキ挙動観測などの遮断現象の基礎的な研究を実施し、小型で高信頼性のある真空バルブを開発してきた。

### 3.2 接点材料の開発

この開発の背景として、VMCについてのIEC規格が2000年に改定され、定格電圧が従来の6.6kVから7.2kVへ格上げされており、短時間通電性能における電流波高値が従来の2倍から2.6倍へと大電流化している(表2)。この開発ではこれらの海外仕様に対応するため真空バルブの接点材料の開発検討を行い、高性能化を図った。

接点材料への要求性能としては次の項目が挙げられる。

- ①大電流を遮断できること
- ②高電圧に耐えられること
- ③遮断電流が低いこと
- ④耐溶着性に優れること
- ⑤接触抵抗が低いこと
- ⑥耐消耗性に優れること

従来VMCの真空バルブ用接点材料としては、遮断電流が低く、耐消耗性に優れている銀系接点が使われていたが、一般的に遮断電流特性と遮断性能は相反する関係にあり、遮断電流が低い銀系接点については遮断性能が低いと

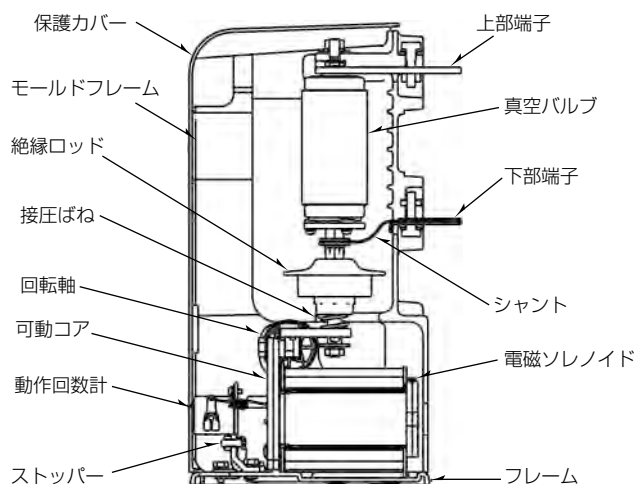


図1. VZ-E形VMC(コンタクタ固定形)の構造

表2. IEC規格とJEM規格の相違点

規格	JEM1167(2007)	IEC60470(2000)
定格使用電圧(JEM)/定格電圧(IEC)	3.3/6.6kV	3.6/7.2kV
短時間耐電流試験時波高値(60Hz時)	実効値×2.0	実効値×2.6
極間衝撃周波耐電圧値	規定なし	40kV

いう特徴があった。今回はこの銀系接点材料に添加元素を追加して遮断電流及び耐消耗性などの基本性能を維持した上で、遮断性能の向上を達成することができた。この接点材料を使用することによって、接点径を従来より約15%縮小することが可能となり、その結果、真空バルブ外径を大きくすることなく真空バルブ内部の電界緩和構造で高電圧化を実現した。さらに、この新接点を採用し、IEC規格に規定されている短時間耐電流試験及びAC 4級の開閉容量試験を実施し、性能を満足することができた。

#### 4. 安全性・信頼性の追求

##### 4.1 新形電磁操作機構による信頼性向上

VZ-E形VMCは操作機構部も従来の操作機構から一新し、ラッチ式の機械的ラッチ機構自体をなくすため永久磁石を採用した。永久磁石の採用によって、従来機種種の注油部位であるラッチ機構部への注油が不要となり保守省力化に貢献できる。更には注油忘れや劣悪な環境が重なった場合に稀(まれ)に発生するグリース固化⇒ラッチ機構の固渋⇒引き外し不能⇒引き外しコイル焼損といった事象が発生しないようにし、信頼性を向上させた。

図2に永久磁石によるVZ-E形VMCラッチ式の動作原理を示す。

- ①切断状態：VMC内部に配置された引き外しばね力によって可動子と永久磁石が開離している状態。
- ②投入動作過程：投入コイルに電流を通電し永久磁石と同方向に磁束を発生させることで、可動子を吸引する。

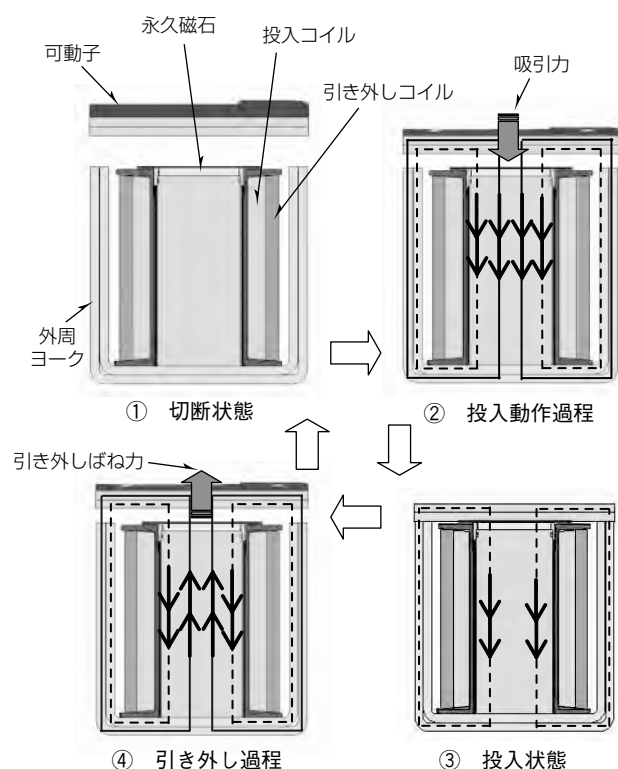


図2. ラッチ式の動作原理

- ③投入状態：可動子が外周ヨークと接触した状態で投入コイル電流を遮断し、永久磁石の吸引力のみで投入状態を保持する。

- ④引き外し過程：引き外しコイルに電流を通電し、永久磁石と逆方向に磁束を発生させることで、永久磁石の吸引力を低減させ、引き外しばね力によって外周ヨークと可動子を分離する。

永久磁石採用にあたり次に示す課題などを解決し、新形操作機構による信頼性向上を達成した。

##### (1) 永久磁石の最適配置

永久磁石は磁気特性の優れたネオジム磁石を採用し、電磁界解析を用いることで、ネオジム磁石の磁石吸引力が最大限発揮できる最適配置構造を実現した。図3に電磁操作機構のカットモデル、図4に開極位置から電磁コイルに電流を通電し、電磁力によって可動子を吸引して投入動作が完了するまでの電磁界解析結果を示す。

##### (2) 永久磁石減磁評価

永久磁石を採用する上で永久磁石の減磁を評価することが重要である。次の例に挙げるように永久磁石の減磁評価に対し、実測及び理論的に評価し、製品期待寿命で問題ないことを確認した。

##### (a) 経年変化

永久磁石は微量ながら経年変化し時間の対数に比例す

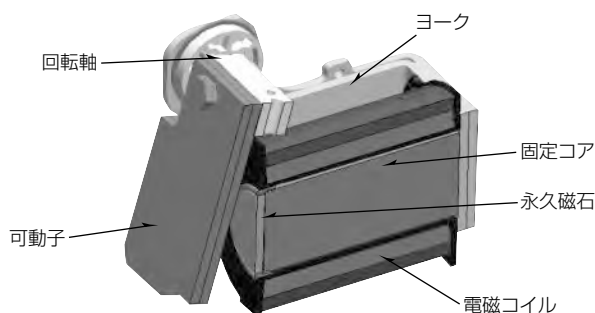


図3. 電磁操作機構

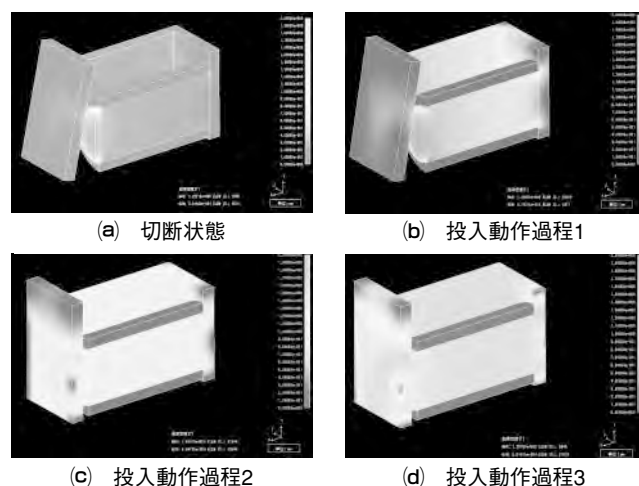


図4. 電磁界解析結果の一例



図 5. 経年劣化試験状態



図 6. コンビネーションユニット(外部引き出し形)

ることが一般的に知られている。また、経年変化は周囲温度及び磁気抵抗に依存し、周囲温度及び磁気抵抗に比例して劣化の傾向が高くなる。よって、劣化傾向が最も高くなる状態(高温、高磁気抵抗)で劣化程度を測定し、設計に反映することで期待寿命(15年)に対し十分な保持裕度を持った製品とした。図 5 は経年劣化試験状態を示す。

#### (b) 逆励磁

引き外し過程で、永久磁石には引き外しコイルによる逆励磁が発生する。ただし、永久磁石を逆励磁しても屈曲点を越えない限り永久磁石の不可逆減磁は発生しない。永久磁石の逆励磁の影響は電磁界解析と永久磁石の特性表より明らかにし、連続開閉試験で永久磁石の逆励磁の影響がないことを確認した。

#### 4.2 難燃性樹脂適用による安全性の向上

保護カバーや主回路端子管など充電部付近や電磁ソレノイド付近の主要部品に難燃性UL94(V-0)グレードの樹脂を採用し、万一の類焼、延焼を回避することに配慮した。また焼損試験(トリップコイル/投入コイルの連続通電)を実施し、類焼及び延焼しないことを確認し、安全性の向上を図った。

#### 4.3 外部引き出し形による安全性の向上

JEM1225 M5A級に対応したコンビネーションユニットの外部引き出し形(プッシング形のみ)を開発した(図 6)。これは安全性を重視したタイプであり、盤扉を閉めた状態で、盤扉正面より専用ハンドルでVMC本体を試験位置⇄接続位置へ移動が可能である。VMC本体が接続位置の場合、盤扉が開かないインターロック機能を付しており、充電部へ不用意に接近できないように、作業者への安全を配慮した製品になっている。また、操作電圧がない状態でも、緊急で手動引き外し操作が可能な構造(ラッチ式)や盤扉内面の制御機器が配置できるスペースを確保するなど様々な特長も持っている。年々、安全に対するニーズが増加する中、このような作業者への安全を配慮した製品が求められている。

### 5. 環境保全への配慮

#### 5.1 有害 6 物質の全廃

今回開発したVZ-E形VMCは、欧州RoHS(The Restriction of the use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment)指令 6 物質の内、従来機種で使用していた六価クロムと鉛を廃止し、欧州RoHS指令 6 物質の使用を全廃した。六価クロムは従来、亜鉛めっきの防錆(ほうせい)処理剤として広く使用されていたが、近年欧州を中心に環境への影響が指摘され、使用禁止物質に指定された。今回、ボルト、ピン、ねじ類の亜鉛めっき表面上の六価クロメート処理を廃止し、三価クロメート処理を採用した。三価クロメート処理の採用にあたっては、耐食性など各種評価試験を行い、長期信頼性を確認した。また、制御基板に使用されていた鉛はんだに対しても耐久性など各種評価試験を行い、作業性や長期信頼性を確認し、錫(すず)-銀-銅系鉛フリーはんだに変更した。

#### 5.2 材料表示によるリサイクル、廃棄の容易化

VMC本体に使用されている保護カバーや主回路端子管などの主要樹脂部品に対し、使用材料を表示することでリサイクル、廃棄時の分別容易化に配慮した。

### 6. む す び

今回開発したVZ-E形VMCの海外仕様に対応した真空バルブの高電圧化の技術、永久磁石を採用した新形電磁操作機構の技術、M5A級外部引き出し形や環境保全に対する取組みについて述べた。今後も国内外問わず顧客ニーズは多様化され、高度化されるものと考えられる。電気設備に対する一層の省力化、省メンテナンス化、環境負荷低減に貢献していく所存である。

### 参 考 文 献

- (1) 中田高義, ほか: 有限要素法による交直電磁石の設計と応用, 森北出版(株) (2005)

# MT法による特別高圧の劣化診断・余寿命推定技術

岡澤 周\* 松木寿夫\*  
三木伸介\*\* 大塚康司\*  
梅村園子\*\*\*

Remaining Service Life Diagnostic Technology of Insulators Using MT Method

Hiroshi Okazawa, Shinsuke Miki, Sonoko Umemura, Hisao Matsuki, Yasushi Otsuka

## 要 旨

受配電設備を構成する要素の一つとして、電路を支える絶縁物は重要な機能を持つが、時間とともに周囲環境(内部環境・外部環境)の影響を受け劣化し絶縁機能を低下させていく。その結果、設備全体の信頼性を損ない、地絡・漏電や短絡等の事故・故障につながる。

三菱電機では、測定時の周囲環境の影響を受け難い化学的計測による複数の情報を、品質工学の技術(MT法<sup>(注1)</sup>)で解析し高精度の劣化度評価を行うと同時に、絶縁物の表面抵抗の湿度依存性を考慮した劣化診断を行い、さらに、劣化によって絶縁物表面で放電が開始されるまでの寿命を推定する技術“MT法による絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術(MT法診断)”を確立し、2003年より市場展開している。

実機を用いた試験でも診断精度の高さが確認されているこのMT法診断技術は、ほかの機器や、トラブル発生時の障害の影響が大きい、より高い電圧への適用を期待されており、2011年9月より絶縁劣化診断・余寿命推定の適用範囲を33kVから77kV<sup>(注2)</sup>にまで拡大した。

受配電設備の信頼性を確保し今後予想される故障・事故といったトラブルに対して確実な保守・保全につながる劣化診断として、又は的確な設備更新の時期を計画し立案できる余寿命推定として、そして更に広い視点での保全用ツールとして高い評価を受けている診断技術について述べる。

(注1) 「マハラビス・タグチシステム」と呼ばれる、品質工学の多変量解析/パターン認識手法

(注2) 77kVクラスは現在のところ、当社製のみ対象

特集  
II

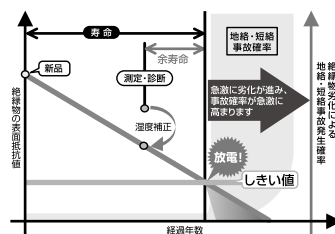
## 測定 絶縁物表面のイオン付着量と色彩を測定



イオン付着量測定



色彩測定



診断・推定概念図

## 診断 現地での測定データから、任意の湿度(使用最高湿度)での余寿命(放電開始時間)を推定

劣化診断・余寿命<sup>(注3)</sup>推定 早見表 (2007年2月測定の場合の結果例 1985年製スイッチギヤ 経過年:22年)

測定箇所	湿度	表面抵抗値	余寿命	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
スイッチギヤ	遮断器	モールドフレーム 1次側	100%	28.2MQ/□	0.9年															
		2次側	100%	22.4MQ/□	0.4年															
	筐体	絶縁ロッド	100%	16.2MQ/□	-0.2年															
		上段	100%	275.4MQ/□	14.0年															
		中段	100%	169.8MQ/□	11.8年															
		下段	100%	102.3MQ/□	9.8年															
母線支持板	右側	100%	46.8MQ/□	8.0年																
	左側	100%	44.7MQ/□	7.2年																

遮断器の寿命

母線支持板の寿命

導体支持棒子の寿命

2008年 日本電気協会 渋澤賞 受賞

2011年 日本電気工業会 電気工業技術功績者表彰 ものづくり部門優秀賞 受賞

2011年 日本電気学会 電気学術振興賞 進歩賞 受賞

(注3) 余寿命の値は絶対値ではなく推定値であり、保障するものではない。

## 最新保全技術：MT法による絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術

MT法診断は、絶縁物表面を直接計測するため、停電などの操作が必要となる。

劣化評価の対象は、配電盤で使用されている電圧235V~77kVがかかる有機絶縁物(エポキシ・フェノール・ポリエステル樹脂)であり、磁器棒子(がいし)・トランス・回転機などの機器は対象外となる。



# 1. ま え が き

電気設備は建物・工場等の基幹部分であり、不測の事態による支障の影響が非常に大きい。ことに、受変電設備のトラブルによる障害は建物・工場等の構内にとどまらない場合もある。この受変電設備も使用年数(経過時間)とともに筐体(きょうたい)や内部機器が老朽化(劣化)し、安全性を低下させていくと同時にトラブルが発生する危険性をゆっくりと上昇させる。このような“老朽化”による受変電設備の事故・故障は要因の中で32.7%を占めている<sup>(1)</sup>(図1)。

しかし、このような老朽化の兆候を事前に知ることは難しく、設備の危険性に気付かないまま運用を続け、社会に大きな影響を与える事故・故障に至ることも珍しくはない。

また最近では保守・保全の省力化や費用低減、保全周期や設備寿命の長期化等が望まれることも少なくないが、適切な保守・保全を損なった場合には、電力の安定供給や設備の安全確保が厳しくなってしまう。このような保全不備・不全による事故・故障は要因のうち22.5%を占めており、今後、受変電設備の老朽化や保全不備・不全による事故・故障が増加することが予想される。このような情勢の中で設備管理者は保守・保全管理手法の高度化を志向しており、今後予想される設備のトラブルに対して確実な保守・保全につながる劣化診断や、的確な設備更新の時期を判断する余寿命推定技術が強く求められている。

# 2. 絶縁劣化と従来の絶縁診断

老朽化による事故・故障は地絡・漏電、破損・焼損、短絡といったものが多く、絶縁性能の低下が何らかの関係していることが多いと考えられる。特に有機絶縁物は内部環境(発熱・振動等)や外部環境(湿度・塩害等)の影響で劣化し、時間とともに絶縁性能を低下させる。しかし、絶縁の劣化兆候はほかの機器と比べても五感(目視・異音・異臭等)で知ることが大変に難しく、受変電設備の有機絶縁物に対する有効な診断手法があまりないのが実情である。

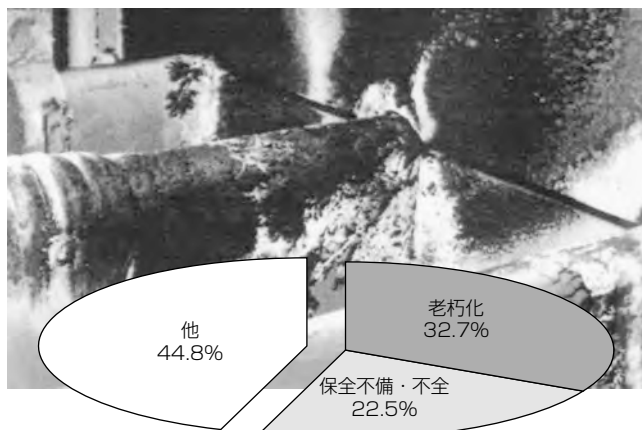


図1. 受変電設備の事故・故障の要因

受変電設備の絶縁診断手法の代表的なものとしてメガー測定や部分放電測定等電氣的測定がある。しかし、これらの手法は湿度の影響(表面抵抗の湿度変化)を受けやすく、測定時(瞬時)の周囲環境に結果が大きく左右される。

その他の診断手法も含め瞬時的又は事後的な異常診断レベルのものが多く、設備の劣化(危険性)の兆候に気付かないまま事故・故障に至ることも少なくない(図2)。

これらの問題に対処するため、当社では受変電設備で使用されており電圧235V～33kVがかかる有機絶縁物の表面劣化を評価し、微小放電が始まるまでの余寿命を推定する技術“MT法による絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術”<sup>(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)</sup>(以下“MT法診断”という。))を開発した(図3)。

従来の放電測定では図4の③可視放電又は④炭化路の危険領域～末期での判断であった。MT法診断では①未放電又は②初期(微小)放電の劣化診断・余寿命推定であり、“〇〇年”と明確な数値で示すため、事故・故障といったトラブルが発生する前に保全計画を行い対処することが可能である。

実機を用いた試験でも診断の精度の高さが確認されているMT法診断技術は、ほかの要素機器や、より高い電圧への応用が期待されており、2011年9月より適用範囲を77kVまで拡大した。

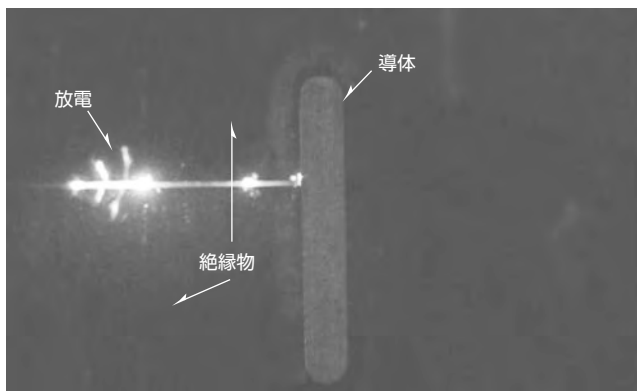


図2. 受変電設備の絶縁トラブル

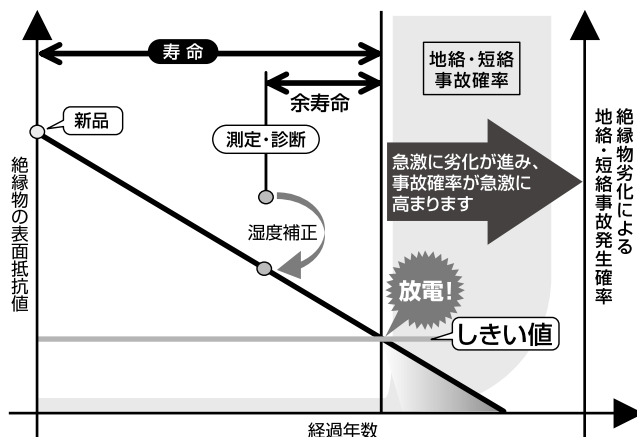


図3. MT法診断の概念図

### 3. 77kV特別高圧のMT法診断技術

MT法診断による評価技術は、従来の電氣的計測による絶縁劣化評価<sup>(10)(11)</sup>と異なり、測定時の周囲環境の影響を受け難い化学的計測による情報を基に評価を行う。計測し取得された複数の情報は品質工学の1手法であるMT法<sup>(12)(13)(14)(15)(16)</sup>で解析し、絶縁劣化を評価するにあたり各情報の有効性を明確にする。同時に、有効な情報のみをまとめて一つの指標をMD(マハラノビスの距離)として表す。このMDと表面抵抗率実測値(一定湿度環境下の破壊試験)は相関性をマスターカーブとする。これにより、現地での化学的計測情報を解析することで破壊試験相当の絶縁表面の劣化評価を可能とした。さらに、湿度と絶縁表面抵抗率の関係について湿度依存曲線を数式化し、任意の湿度における表面抵抗率を求めること(劣化診断)を可能としている。

また、絶縁物の材質・形状・使用電圧等から求められる、微小放電が開始する表面抵抗率を放電閾値(しきいち)とした。これによって、絶縁トラブルが発生する確率が急激に高まり始める点(放電が開始する点:寿命)を明確にし、余寿命推定までを可能としている。

今回、適用範囲を拡大したのはトラブルによる障害がより大きい特別高圧(10~77kV)で使用されているコンデンサブッシング(図5)である。この適用に際し、①表面抵抗

率とMDの相関性確認(図6)、②湿度依存性(図7)、③放電閾値(しきいち)の検討及び確認(図8)を実施した。

マスターカーブ及び湿度依存性の式は、既存のMT法診断技術の延長で劣化診断が可能であった。しかしながら、放電閾値については77kVでは既存のMT法診断技術の延長による閾値と理論検討値との誤差が大きく、閾値の見直しが必要となった。

### 4. 特別高圧閾値と確認試験

図5にあるようなブッシングのような構造では、絶縁物の静電容量(C)、表面抵抗(R)のほかには背後電極との静電容量(Cb)も影響した表面電位分布となる。このような構造の場合は導体(E)端部に電界が集中するため、実効沿面距離は高い電圧になるほど短くなり、汚損吸湿時のドライバンド形成はこの端部から生じる可能性が高くなる。

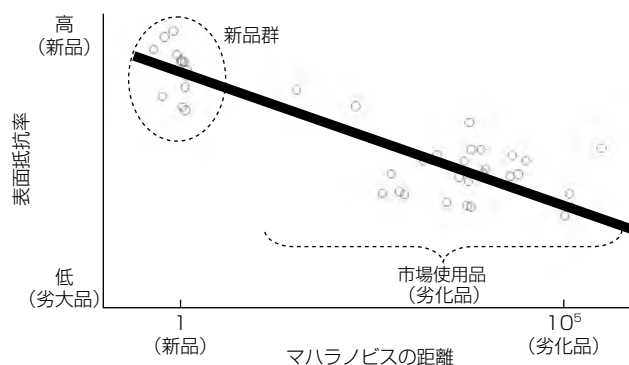


図6. 特別高圧のマスターカーブ

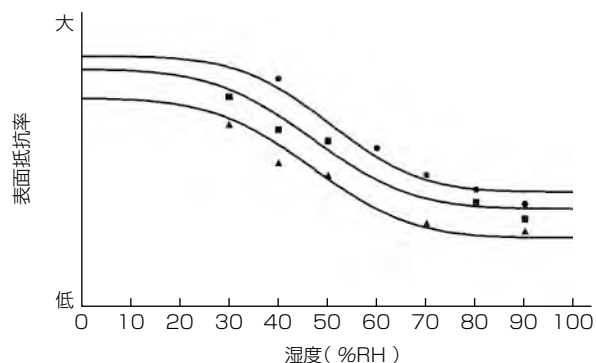


図7. コンデンサブッシングの湿度依存性

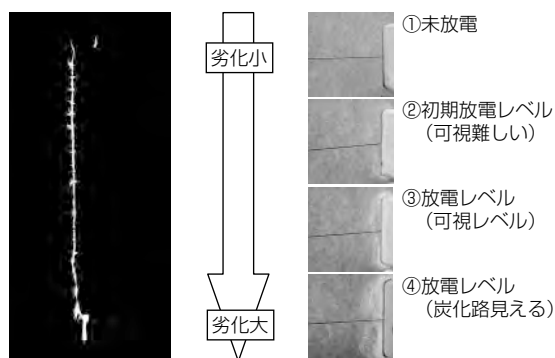


図4. 劣化と放電痕

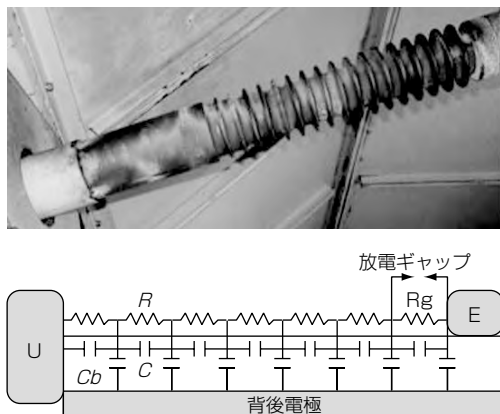


図5. コンデンサブッシング

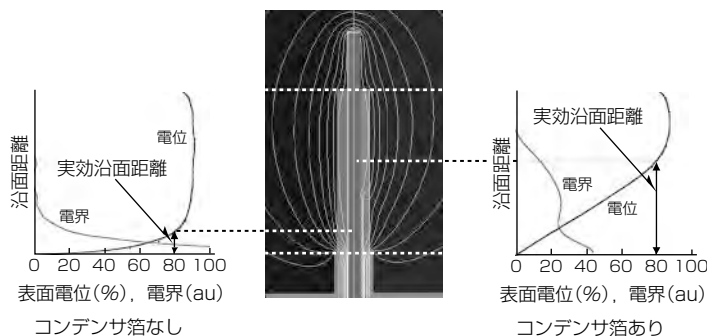


図8. 77kVコンデンサブッシングの電界分布

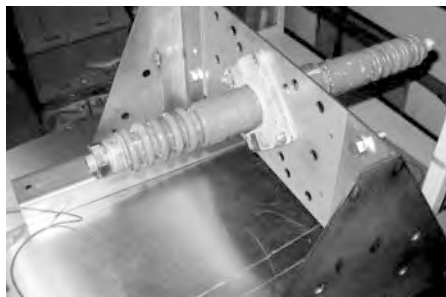


図9. 77kVコンデンサブッシング

77kVではこの実効沿面距離と漏洩(ろうえい)距離が顕著な差となったことが、既存のMT法診断技術の延長での閾値と理論検討値の誤差が大きくなった要因の一つである。

もう一つは、コンデンサブッシングはその電界の集中を緩和するために、絶縁物の内部に薄箔(はく)の電極を配置し、C分担することによって表面電位を均一化している。この効果として、コンデンサ箔なしに比べると実効沿面距離が長くなる(しかしながら漏洩距離よりは当然短く、構造によっては実効沿面距離は漏洩距離の半分程度にまでなる)。

コンデンサブッシングの場合での放電について理論閾値を検討し、また市場で適用する前に実際にプラントで使用されていた実機コンデンサブッシング(図9)で放電確認試験を行い、理論での閾値が正しいことを確認した。

## 5. む す び

MT法診断は235V～33kVの範囲で2003年4月から適用が開始され、2011年3月時点で既に175企業(291事業所)、1,134配列での診断を実施している。設備の劣化の状態を的確に把握できるため、大きな事故・故障等トラブルを未然に防ぎ、保全活動や更新計画等を支援する劣化評価手法の一つとして活用され高い評価を受けている。

また、今回の報告にある77kVについては既に3件のMT法診断を実施し、さらに稼働時に放電測定を実施したところ、特別高圧のMT法診断の結果通りの放電が発生していたことが確認できている。

今後、特別高圧のMT法診断を加え広く市場に展開していくとともに、実機での試験を継続的に実施し診断精度の確認・精度向上を図っていく。また、受変電設備のほか要素機器の劣化診断・余寿命推定についても検討を進めていく。

## 参 考 文 献

- (1) 日本電機工業会：「産業事故における電気設備の影響に関する調査研究」からのお知らせ (2006)
- (2) Miki, S., et al.: Remaining Service Life Diagnostic Technology of Phenol Insulators for Circuit Breakers, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., **15**, No.2, 476～483 (2008)
- (3) 三木伸介, ほか：受変電機器絶縁物の劣化診断・余寿

命推定技術, 技術総合雑誌OHM, 12月号, 40～45 (2007)

- (4) Miki, S., et al.: Remaining Service Life Diagnostic Technology of Phenol Insulators for Power Distribution Equipment, IEEE Conference on Electrical and Dielectric Phenomena (CEIDP), 41～44 (2007)
- (5) Miki, S., et al.: Deterioration diagnosis of insulators for breakers using chemical evaluation and Mahalanobis-Taguchi(MT) method, IEEE Conference on Electrical and Dielectric Phenomena (CEIDP), 473～476 (2006)
- (6) Miki, S., et al.: Evaluation of the Deterioration Degree of Insulators for Breakers Using Chemical Analysis and the Mahalanobis-Taguchi (MT) Method, IEEJ Trans. PE, **127**, No.9, 1033～1040 (2007)
- 三木伸介, ほか：化学的分析とマハラノビス・タグチ(MT)法の適用による遮断器用絶縁物の劣化評価, 電気学会論文誌B, **127**, No. 9, 1033～1040 (2007)
- (7) Miki, S., et al.: Remaining service life diagnosis technology of insulators for power distribution equipment, IEEJ Trans. PE, **127**, No.7, 863～869 (2007)
- 三木伸介, ほか：受変電設備絶縁物の余寿命診断技術, 電気学会論文誌B, **127**, No.7, 863～869 (2007)
- (8) 岡澤 周, ほか：MT法によるスイッチギア絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術, 電気学会公共施設研究資料, PPE-06-11, 19～24 (2006)
- (9) 三木伸介, ほか：MT法による受変電機器絶縁物の劣化診断, 電学放電・開閉保護・高電圧合同研究資料, ED-05-121, 49～54 (2005)
- (10) 河村達雄, ほか：電気設備の診断技術, 電気学会編, オーム社 (2003)
- (11) 設備診断更新技術調査専門委員会編：工場電気設備の診断・更新技術, 電気学会技術報告, No.831 (2001)
- (12) 田口玄一：コンピュータによる情報の技術開発—シミュレーションとMTシステム—, 品質工学応用講座, 日本規格協会 (2004)
- (13) 鴨下隆志, ほか：おはなしMTシステム, 日本規格協会 (2004)
- (14) 長谷川良子：マハラノビス・タグチ(MT)システムのおはなし, 日科技連出版社 (2004)
- (15) 田口玄一, ほか：MTシステムにおける技術開発, 品質工学応用講座, 日本規格協会 (2002)
- (16) Jugulum, R., ほか：マハラノビス・タグチ・システムとニューラルネットワークとの比較, 品質工学, 10, No.1, 74～83 (2002)