昭和 40 年 6 月 3 日　第三種郵便物認可　平成 18 年 3 月 10 日発行（年 6 回 1，3，5，7，9，11 月の 10 日発行）富士時報　第 79 巻　第 2 号（通巻第 837 号）　ISSN 0367-3332

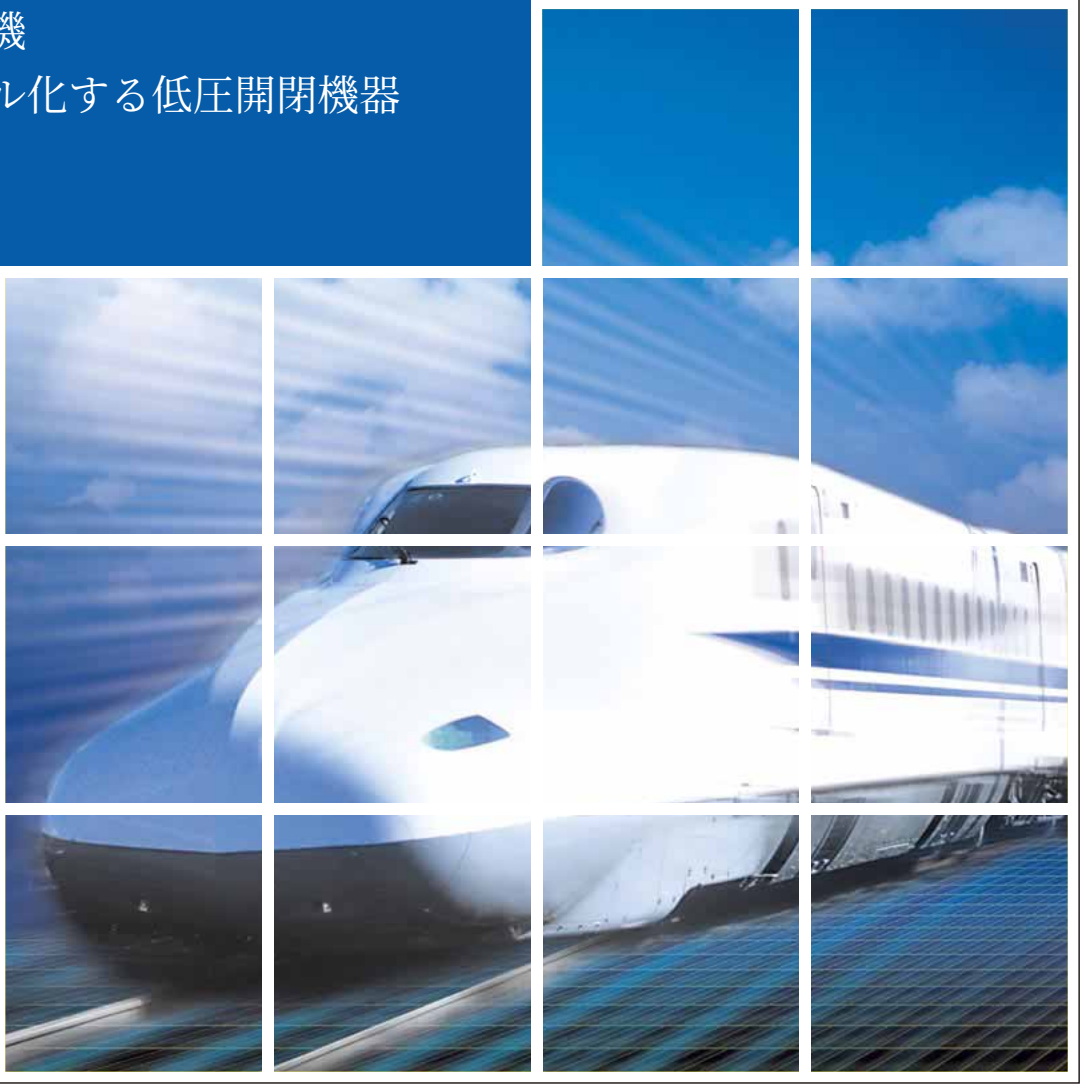
e-Front runners

富士時報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

3
Mar. 2006
Vol. 79 No. 2

特集 1　交通・特機
特集 2　グローバル化する低圧開閉機器



富士電機グループ

富士時報
FUJI ELECTRIC JOURNAL

3
Mar. 2006
Vol. 79 No. 2

特集１　交通・特機
特集２　グローバル化する低圧開閉機器

目　次

特集１　交通・特機

完全電化社会の到来 105（１）
河村　篤男

交通・特機分野における最新技術と取組み 106（２）
田中　滋夫

N７００系新幹線車両用主回路システム 110（６）
井上　亮二　・　坂本　　守　・　神田　　淳

在来線車両用補助電源装置 118（14）
大庭　政利　・　青柳　嘉木　・　阿部　　康

リニアモーターカー「リニモ」の磁気浮上システム 123（19）
岩谷　　満　・　尾崎　　覚　・　田村　浩明

リニアモータ式側引戸用戸閉装置 128（24）
梅澤幸太郎　・　辻村　　勲　・　高橋　　弘

最近の電気鉄道地上設備用パワーエレクトロニクス装置 134（30）
山本　光俊　・　大宮司　充　・　鈴木　明夫

環境対応・省保守・小型化を追求した最新の直流変電設備 139（35）
粟飯原一雄　・　小林　正明　・　野尻　　尚

列車無線高度化システム 145（41）
新井　　隆　・　永井　義久

交流電界による電気集じん装置の高性能化 149（45）
安本　浩二　・　瑞慶覧章朝　・　河野　良宏

特機分野におけるパルスチューブ冷凍機の適用 153（49）
竹内　孝行　・　松下　智行　・　大嶋　恵司

特集２　グローバル化する低圧開閉機器

低圧遮断器の動向と富士電機の対応 156（52）
内田　直司　・　小塙明比古

新グローバルMCCB/ELCB「G-Twin」シリーズ 160（56）
久保山勝典　・　小塙明比古

新グローバルMCCB/ELCBの要素技術開発 167（63）
中野　雅祥　・　恩地　俊行　・　杉山　修一

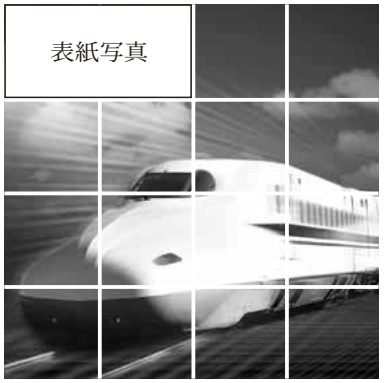
新グローバルMCCB/ELCBの環境対応技術 172（68）
潮崎　克郎

新グローバル電動機制御方式 177（73）
永廣　　勇

低圧配電システムのネットワーク化と省エネルギー支援機器 184（80）
鹿野　俊介　・　高島　敏和　・　大石　晴信

エネルギー管理システム用機器 190（86）
吉田　　隆　・　谷　　敏明　・　高橋　文人

表紙写真



電気鉄道は大量輸送の柱として安全性，信頼性，経済性，高速性，快適性，利便性に優れ，さらには省電力，保守および環境保護に利点を持ち，日本のみならず諸外国においても人と環境に優しい公共輸送手段として，ますます期待されている。

東海旅客鉄道株式会社と西日本旅客鉄道株式会社は，次世代新幹線車両として数々の利点を持つN７００系新幹線車両を開発した。２００５年４月から量産先行試作車で本線走行試験中である。

表紙写真はスピード感あふれるN７００系新幹線車両をイメージ的に表現している。

（原写真提供：東海旅客鉄道株式会社）

完全電化社会の到来

河村　篤男（かわむら　あつお）
横浜国立大学大学院工学研究院教授 工学博士

品川に新幹線駅が開業して，運行列車の総数は増加させたが，列車運行の消費電力量は減少したと，1年後にJR関係者から聞いた。現在の状態を維持しながら，消費エネルギー量を減少させる。これこそ，持続可能な発展の典型と言える。この技術は，列車の運動エネルギーを発電して，パワーエレクトロニクスにより電気エネルギーとして回生して，再利用するという技術による。新型車両など実際に目に触れる部分のほうが華やかで目立つが，この回生の実効をあげているのは，人目には触れにくい，地上の電力設備である。N700系導入後のき電電圧変動などへの対応はパワーエレクトロニクスの進展に期待するところが大きい。

これらの電気エネルギーの有効利用技術は省エネ技術と言われ，後ろ向き技術の印象を与える名称であるので，我々パワエレエンジニアを自負するものは肩身の狭い思いをしてきた。しかし，異常気象が地球温暖化のために起きているという説が，体感できるような現実があるので，いまや，地球クリーン技術と呼んだほうがいいほど，省エネ技術は世間一般に浸透している。そして，その技術を支えているのがパワーエレクトロニクスである。しかし，こちら（パワエレ）は，あまり知名度が高くない。インバータ電車や「リニモ」の方が名前が売れている。

資源エネルギー庁の資料によれば，ここ数年の日本における電力化率（一次エネルギー供給量のうち発電用に投入されたエネルギーの割合）は40％を超えている。先進国の中ではこの比率は高いほうで，フランスやスウェーデンでは50％に近いが，アメリカ，ドイツ，イギリスよりははるかに高く，イタリアでは25％程度である。これらのエネルギーを有効に利用する技術がパワーエレクトロニクスである。このエネルギーの消費分野を見ると，産業用と民生用（家庭内消費）が圧倒的に多くて，運輸分野では鉄道分野以外は皆無と言っていいような状態である。なるべく車に乗らないで，電車を使い，断熱効果の高い住まいで過ごすのが省エネ生活であり，地球に優しいことはわかっているが，そうならないのが，現実である。大型車でコンビニに買い物に行き，家中のエアコンをすべて入れて快適生活をしているほうが気楽である。スーパーでの数円単位の割引よりも，電気やガソリンの節約の方が地球に優しい行動であるのに，実感がわかない。いっそ，リビングルームの真ん中に，“現在の電気使用量は○○円/時間です”，などの電費表示するほうが効果があるかもしれない。

電化住宅は，家庭内エネルギー源を電気に頼るものと定義されているが，電化社会の定義はあいまいなようである。電化率なるものは，例えば，開発途上国の集落でどの程度の比率で電気が供給されているかの指標に使われている。国や地域によって，エネルギー資源の使い方はずいぶん違う。仮に，1次エネルギーをすべて発電用に消費し，すべての社会活動は電気エネルギーをエネルギーメディアとして営まれる社会を，完全電化社会と定義しよう。このような社会の形態は，エネルギー資源に乏しく，かつ，環境問題に国民の関心が高いわが国で世界最初に実現すると思われる。これを達成するためのポイントは，2つで，自動車での電気駆動化と自然エネルギーの利用である。HEV，FCEVやPureEVの普及が進めば，完全電化社会へかなり近づく。その時，忘れてはならないのが，鉄道での地上設備ならぬ，車での道路電力設備であろうと思われる。回生しきれない運動エネルギーをどう処理するか，バッテリーだけで対応可能かなど，地味ではあるが，核となる基礎技術が必要でパワエレの出番となる。また，Renewable Energyでも同様なことが言え，美しく回っている風車よりもエネルギー処理をしている部分こそが大事である。

2006年の初夢を紹介して終わりにしたい。“20XX年に電気エネルギーにタグをつける画期的な技術革新がある。つまり，北海道で風力発電したエネルギーに印をつけることが可能となる（偽造できない印でエネルギーと分離できない）。この新技術によれば，例えば，鹿児島産の電気は，質がいいよとして，売り出せることになるし，また，エネルギーのインターネット売買は個人レベルで可能になる。”なんてできないかと夢の中で考えていたら，目が覚めた。

交通・特機分野における最新技術と取組み

田中　滋夫（たなか　しげお）

1　まえがき

地球温暖化対策の国際的な枠組みとして 1997 年 12 月に採択された京都議定書は 2005 年 2 月に発効に至り，正式に国際法としての効力を持つようになった。

鉄道は図 1 から分かるように圧倒的にエネルギー効率が高く，大量・高速・安全かつ経済的な輸送手段であり，高速化・快適性・利便性の向上を目指した各種政策の実行により都市圏の混雑率は図 2 のように着実に低下してきている。これらに加えて少子高齢化社会への対応などニーズが多様化する中で，欧州風で快適な低床形 LRT（Light Rail Transit）の都市部への導入も交通政策の一環に加えられたり，あるいは貨物輸送の自動車からの利用転換，いわゆるモーダルシフトもバブル期のそれとは異なる時代背景のもとで改めて提唱される中で，鉄道は環境保護というゆるぎなく太い基軸の中で今後とも持続的に発展を続けていくであろう。

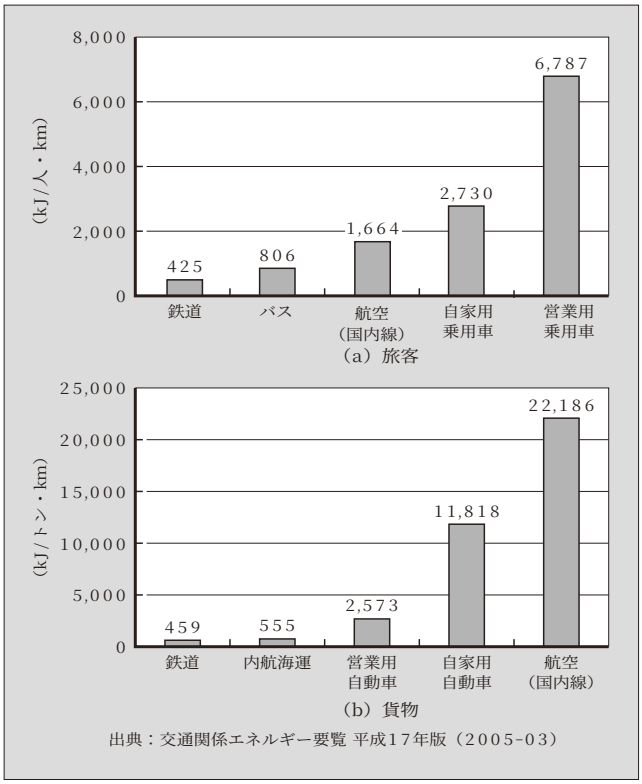
道路交通分野の要件は環境基準の達成である。今後の都市部における高速道路は環状道路の整備によりトンネルが多く，その延長は長くなるが，環境基準達成のためにトンネル換気塔からの排出空気による周辺の二酸化窒素などの濃度を軽減する局所対策技術が注目される。

本稿では，交通・特機分野における富士電機の最新技術と取組みについて概括する。

2　鉄道車両システム

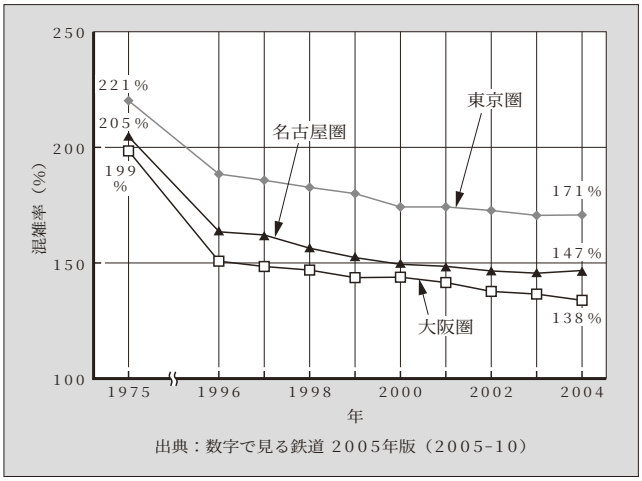
鉄道車両システムは，図 3 に示すようにその飽くなきニーズを実現するために，パワーエレクトロニクス技術とマイクロエレクトロニクス技術を中核とし，変圧器や電動機の小型軽量化技術，ならびにその最適設計を実現するための高度なシミュレーション技術が求められる。

図 1　輸送機関別エネルギー消費原単位



出典：交通関係エネルギー要覧 平成17年版（2005-03）

図 2　最混雑区間におけるピーク時の混雑率



出典：数字で見る鉄道 2005年版（2005-10）

田中　滋夫

電気鉄道電力システムの技術企画業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部交通・特機統括部長。電気学会会員。

2.1　新幹線車両システム

富士電機は，新幹線の初代営業車である東海道新幹線0系から，現在試作車両が連日試験走行している東海道・山陽新幹線直通用次世代車両であるN700系に至るまで，主回路電気品（主変圧器，主変換装置，主電動機）を納入してきた。

N700系の主回路システムは，パワーデバイスの主流であるIGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）を適用した3レベル制御PWM（Pulse Width Modulation）コンバータ・インバータ方式を核として高性能・高機能・低騒音化を図ることによって乗り心地・車内静粛性などを向上させるとともに，環境適合・省エネルギーを実現している。主変換装置には64ビットマルチCPU構成の制御装置を搭載し，多岐にわたる制御演算処理を高速・高精度で実行している。この制御では，加速性能を確保しながら乗り心地の向上を可能とする新開発の複数電動機駆動ベクトル制御と空転再粘着機能を搭載，また騒音・振動を抑制するためのキャリヤ周波数変調機能を付加した新PWM方式を採用している。

2.2　在来線車両システム

直流電車の駆動・補助電源システムはインバータ技術としての共通性が高く，双方とも架線電圧に最適な電圧のIGBTを適用した2レベルインバータ方式としている。補助電源システムは近年その重要性がますます高まっており，小型軽量・高信頼・高効率・省メンテナンスに加えて冗長性や静粛性が要求される。今後，さらなる省エネルギー・車内快適性を目指して，高周波スイッチングと低損失という二律背反をクリアする新しい回路方式による補助電源装置を提供していく計画である。

また，2005年に開催された日本国際博覧会（愛知万博）へのアクセス線として，日本で初めて営業運転された愛知高速交通株式会社東部丘陵線用リニアモータ車両には磁気浮上システムを納入し，万博中およびその後の安定輸送に貢献している。

2.3　リニアモータ駆動ドアシステム

永久磁石可動コイル型リニア同期モータを適用した安全性・高信頼性・保守性に優れたドア駆動システムを東日本旅客鉄道株式会社（JR東日本）に累積1万台以上納入し，またニューヨーク市交通局向けにも鋭意納入中である。閉動作時の戸挟み検知機能により乗客の安全性を高めるとともに，冗長式システムによりきわめて高い信頼性を実現している。

2.4　鉄道車両分野における先進技術

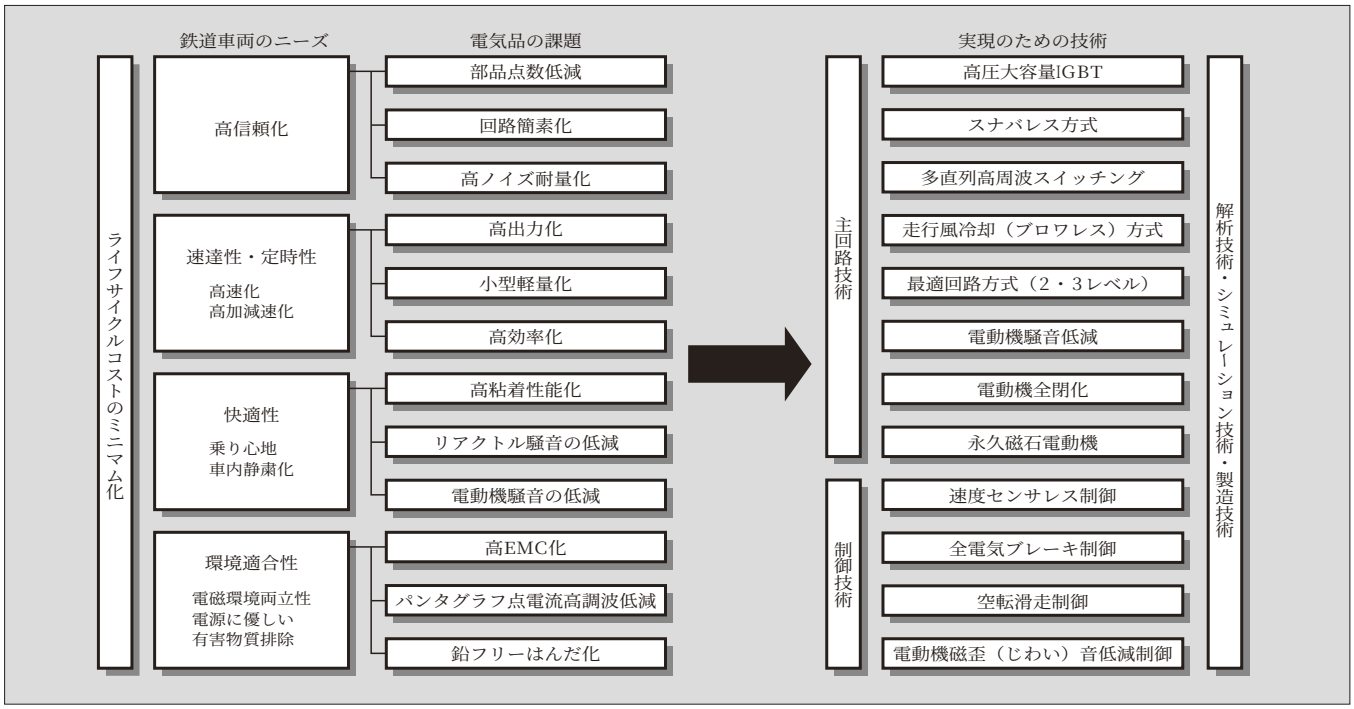
鉄道車両分野では，多くの技術開発に取り組んでいるが，以下にその代表例について紹介する。

(1)　速度センサレスベクトル制御技術

誘導電動機のベクトル制御が車両駆動に導入され，きめ細かいトルク制御を高速に行うことが可能となった。最近では，電動機の小型軽量・全閉化，速度センサ・ケーブル削除による省メンテナンス・コスト低減を可能とする速度センサレス化への取組みが進んでいる。

速度センサレスベクトル制御では，図4に示すように，インバータ出力電圧と電動機電流から速度推定を行っている。このため，インバータオフ時の速度推定ができない，インバータ出力電圧の小さい低速では精度よく速度を推定するのが難しい，複数台の誘導電動機を駆動する場合は

図3　鉄道車両のニーズと実現のための技術

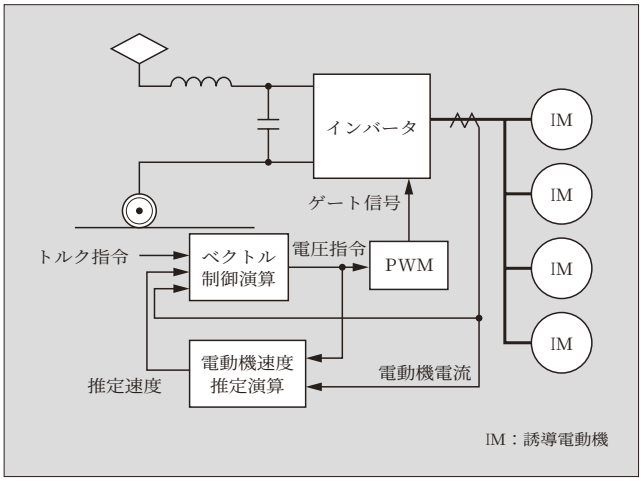


平均速度・平均加速度しか推定できないなどの制約があり，車両駆動分野への適用においては，これらの課題を克服する必要がある。富士電機では，高速に速度推定を行うことが可能な誘起電圧に基づく速度推定方式と，速度推定誤差の少ない電流・磁束オブザーバに基づく速度推定方式とのハイブリッド方式を採用し，両方式それぞれの長所を生かすことで，表1に示すとおりその課題解決に取り組んでいる。

(2)　主電動機システム技術

現在主流の誘導電動機は冷却のために外気を取り入れるため内部に金属粉やじんあいが堆積（たいせき）し，かつファンや回転子バーの風切り音が大きい。分解周期の延長によるライフサイクルコストの低減と静粛性の向上を目指して密閉型誘導電動機を開発している。

図4　速度センサレスベクトル制御系構成



さらに高効率・小型軽量化するために，近い将来，永久磁石同期電動機駆動システムが実用化されるであろう。永久磁石同期電動機は，誘導電動機より高効率・軽量化を図ることができるため，環境に最適合のシステムとして期待されるが，個別インバータ方式となることによるパワーデバイスの増加や，惰行時の誘起電圧対策などが必要となり，これらをクリアし，小型軽量化を目指した最適システムを研究している。

3　鉄道地上システム

鉄道電力分野で取り組んでいる代表的なシステムや新鋭製品について紹介する。

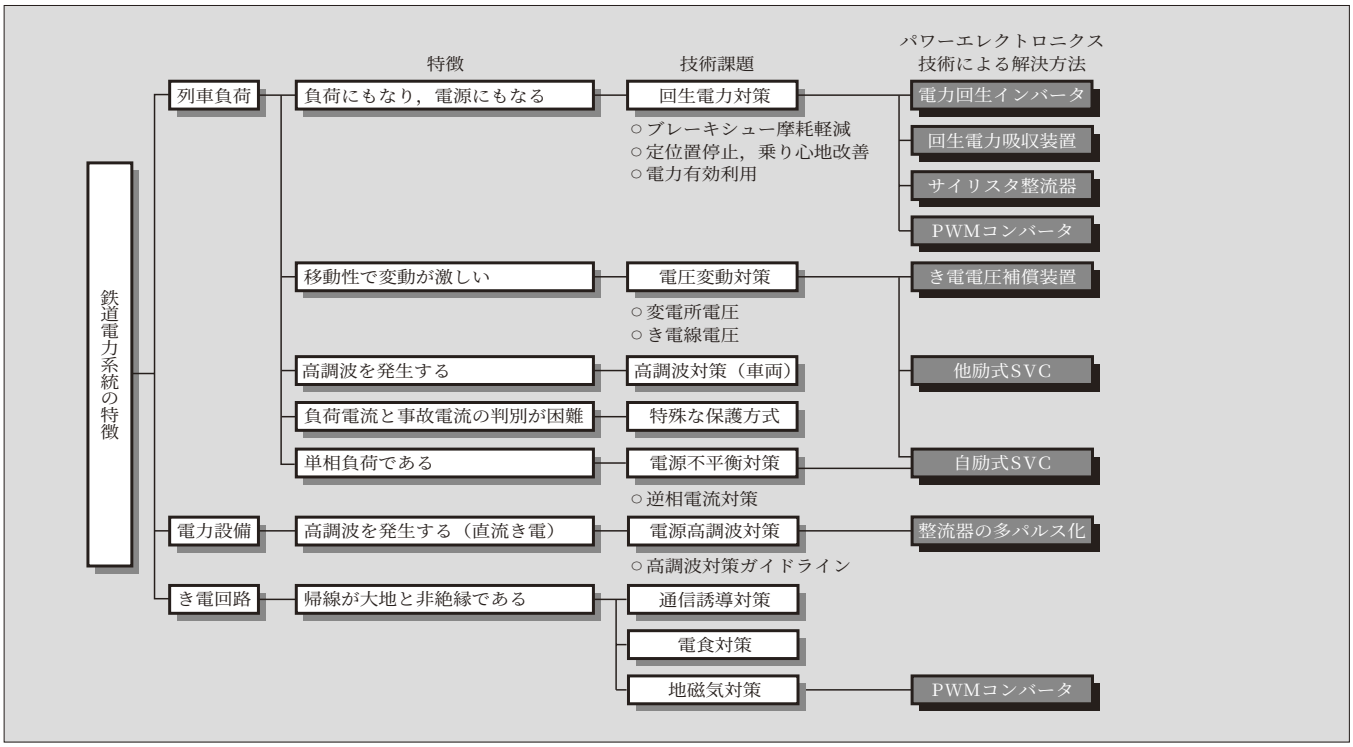
3.1　パワーエレクトロニクス技術応用システム

電気鉄道電力システムのニーズとしては，図5に示すように移動性重負荷であることに起因する電圧変動や回生電力対策，あるいは交流き電システムにおいては単相負荷に起因する電源不平衡対策などがあげられる。また，2005年の夏に開業した秋葉原－つくば間を最速45分で結ぶつ

表1　速度センサレスベクトル制御方式の課題と解決方法

課　題	解決方法
惰行再起動時の速度推定	誘起電圧に基づく速度推定方式による励磁通流直後の高速・高確度速度推定
後退起動・全電気ブレーキ	電流・磁束オブザーバに基づく速度推定方式による極低速での高精度速度推定・高精度トルク制御
複数台駆動時の空転抑制・再粘着	オブザーバ電流・磁束，誘起電圧の変動に基づく高速・高感度加速度演算

図5　鉄道電力系統の特徴とパワーエレクトロニクス技術応用システム



くばエクスプレスではレールから大地への漏れ電流が茨城県にある地磁気観測所のデータにじょう乱を与えないように，漏れ電流を局所化する目的できわめて高精度な直流電圧制御機能を有し，かつ力行・回生の可逆変換機能を持つPWM コンバータがわが国で初めて採用された。これらはすべて IGBT を適用した自励式パワーエレクトロニクス技術がベースとなっている。

3. 2　直流変電設備

直流変電所の機器は小型軽量・省メンテナンス・省エネルギーに加え環境対応へのニーズがきわめて強い。代表的な新鋭製品としては，京都議定書に呼応して脱六フッ化硫黄（SF_6）化を実現したドライエア式スイッチギヤや脱フロン化を実現した純水沸騰冷却式半導体変換装置があげられ，また小型軽量・省保守の観点からは直流高速度真空遮断器があげられる。この遮断器は従来 50 kA 遮断形が主流であったが，規格最大容量でありながらさらに小型化を図った 100 kA 遮断形を開発し，2005 年から納入している。

4　道路環境設備

富士電機は道路環境の改善を目指して約 30 年前に電気集じん装置の実用化研究に取り組み多くの実績をあげてきたが，従来の直流集じん方式では再飛散により大粒径粒子の集じん性能が低下することをつきとめ，再飛散防止に注目して研究を重ねてきた。この結果，2002 年に独創的な交流集じん方式を考案し，2004 年には世界で初めて再飛散を防止した交流電気集じん装置の製品化に成功した。この集じん装置はトンネルの換気塔から排出される自動車排出ガスを含むトンネル内空気から浮遊粒子状物質を除去するもので，集じん部に交流電界を印加することにより高い集じん効率とともに大粒径粒子の再飛散が防止できるものである。

さらなる道路環境改善を目指し，生態系への影響が懸念されている 100 nm 以下のナノ粒子を効率的に集じんできる方法などの研究開発を進めている。

5　新しい取組み

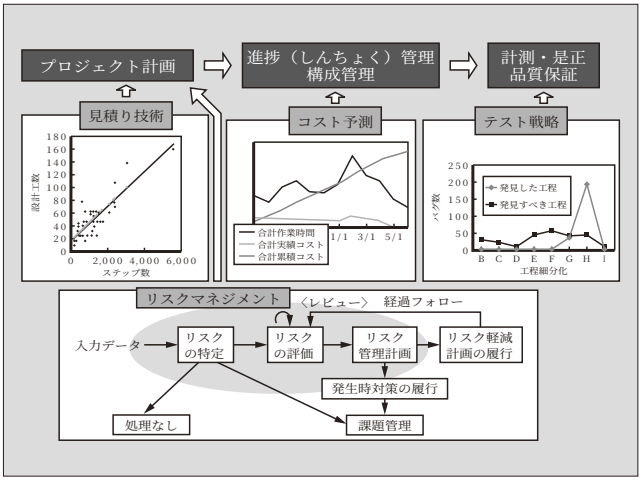
交通分野における新しいシステムや品質管理への取組みについて紹介する。

5. 1　列車無線システム

鉄道の使命は安全・安定輸送であり，その中で列車の運行を管理する指令センターと列車乗務員との連絡業務は重要な役割を持つ。近年の列車の高速化・高密度化により，指令と列車の通信量は増加する傾向にあり，限られた既存通信インフラストラクチャー（インフラ）の中で，情報交換が迅速かつ正確に行われることが重要となる。一方，無線通信技術は携帯電話に代表されるように急速な技術進歩が見られるが，在来鉄道においては既存の線路に沿った通信エリアを実現する必要から，多数の駅無線装置を保有しており，近年の高度化されたデジタル通信への移行は新線以外では投資対効果面から難しい実情にある。

富士電機では，既存のアナログ音声による列車無線通信インフラを活用する中で，通信品質の改善と迅速化，運用の高機能化を実現した経済的な列車無線システムに取り組んでいる。

図 6　プロセス管理ドキュメント例



5. 2　組込形ソフトウェア品質の向上

パワーエレクトロニクス製品の組込形ソフトウェアの品質向上を目的として，米国が提唱するソフトウェア開発プロセスの成熟度モデルである SW-CMM（Software Capability Maturity Model）をベースとしたプロジェクトプロセス技術を開発した。

この手法をニューヨーク市交通局の地下鉄車両用ドアコントローラ開発プロジェクトに適用し，図 6 に示す活動によりわずか 1 年で第三者である米公認エバリュエーターから CMM レベル 2 の認定を受けた。国内では第三者監査による認定取得例は少ない。

6　あとがき

交通・特機分野における最新技術と取組みについて紹介した。この分野は最先端のパワーエレクトロニクス技術とマイクロエレクトロニクス技術をベースとして小型・高性能・省エネルギー・省メンテナンス・快適性に加えて環境対応が今後ますます強く求められていくであろう。富士電機は市場ニーズを先取りして積極的に研究開発を推進し，これからも真にユーザー本意の製品を提供していく所存である。

参考文献

(1)　国土交通省総合政策局情報管理部．交通関係エネルギー要覧 平成 17 年版．国立印刷局．2005-03.
(2)　国土交通省鉄道局．数字で見る鉄道 2005 年版．運輸政策研究機構．2005-10.

N700 系新幹線車両用主回路システム

井上　亮二（いのうえ　りょうじ）　　坂本　　守（さかもと　まもる）　　神田　　淳（かんだ　じゅん）

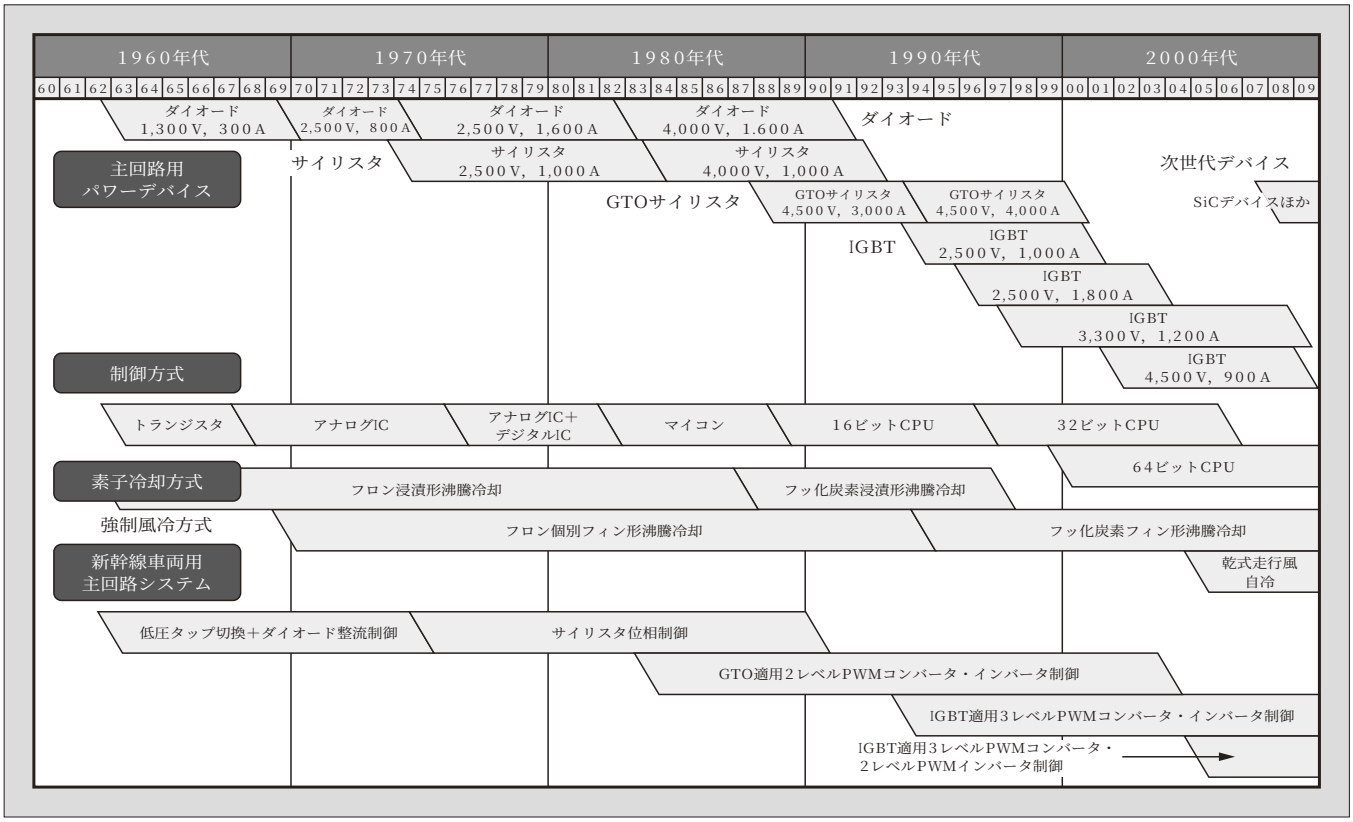
1　まえがき

新幹線車両用主回路システムは，1964 年に開業した東海道新幹線において，210 km/h での営業運転が開始された 0 系新幹線車両に始まり，安全性，信頼性，経済性に対する要求はもちろんのこと，その後のさらなる高速化，省エネルギー化，省メンテナンス化，乗り心地・快適性の向上，環境調和への対応といった時代の要請に応えながら，技術革新を実現してきた。図 1 に新幹線車両用主回路システム技術の変遷を示す。

1960 年代から 1980 年代に採用されてきた直流電動機駆動方式から発展して，1990 年代に新幹線営業車として初めて，300 系新幹線車両で採用された PWM（Pulse Width Modulation）コンバータ〈注〉・インバータによる交流誘導電動機駆動方式が主流となった。高速化・大容量化を実現しつつ，交流回生ブレーキ方式の採用による省エネルギー化と主回路システム電気品の小型軽量化，主電動機の無整流子化と主回路の無接点化による保守省力化を実現してきた。

〈注〉コンバータ：交流から直流に電力を変換するシステムとしては，順変換器，電源側コンバータ，整流器などが一般的な技術用語であるが，本稿では慣用に従い，単に「コンバータ」と記す。

図 1　新幹線車両用主回路システム技術の変遷



井上　亮二

鉄道車両用電気品のエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部交通・特機統括部車両技術部担当部長。

坂本　　守

鉄道車両用パワーエレクトロニクス応用機器の開発・設計に従事。現在，富士電機システムズ株式会社機器本部神戸工場パワエレ技術部課長補佐。

神田　　淳

鉄道車両用パワーエレクトロニクス応用機器の開発・設計に従事。現在，富士電機システムズ株式会社機器本部神戸工場パワエレ技術部課長補佐。

新幹線車両用主回路システムにおける技術進歩は，主電動機を駆動制御する主変換装置（コンバータ・インバータ：CI）の主回路パワーデバイスの高性能・高耐圧・大容量化とそれらを制御するマイクロプロセッサの高性能・高機能・高速化といったパワーエレクトロニクス技術およびマイクロエレクトロニクス技術の目覚ましい進歩に負うところが非常に大きい。

今後，さらにより高速，快適でかつ環境性の高いシステムが追求されていくと考えられる。

以下に新幹線車両用主回路システムの技術変遷と，これまでの蓄積技術と最新技術の融合により，東海旅客鉄道株式会社（JR東海）と西日本旅客鉄道株式会社（JR西日本）で共同開発され，量産先行試作車が2005年3月に完成したN700系新幹線車両の主回路システムについて紹介する。

2 主回路システム

2.1 主回路システムの変遷

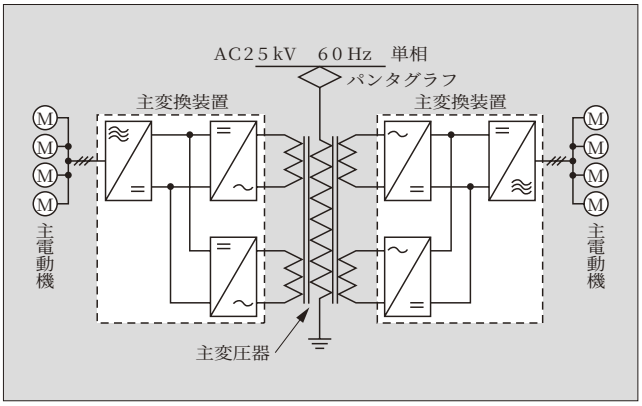
交流25kVき電の新幹線車両において，1964年の東海道新幹線開業から最高速度210km/hで運用された初代新幹線車両である0系は，主変圧器二次側のタップ切換により交流電圧を制御し，ダイオード整流器により直流電動機を駆動する方式で，ブレーキは抵抗器で制動エネルギーを消費する発電ブレーキ方式であった。その後，パワーデバイスの進歩により，ダイオード整流器からサイリスタ整流器へと移行し，1981年に開業した東北・上越新幹線用車両として開発された200系では，主変圧器二次巻線を不等6分割としたサイリスタ整流器によるバーニア位相制御方式が採用された。

さらに，1985年に営業運用後約20年を経過していた東海道・山陽新幹線の0系の後継車両として，また日本国有鉄道（国鉄）最後の新幹線車両として開発された100系主回路システムには，サイリスタの高耐圧・大電流化（4,000V，1,000A）により実現された主変圧器二次巻線を4等分割した連続位相制御方式が採用された。

1980年代後半に新幹線車両の高速化の研究が進められ，その中で，高速安定走行および騒音，振動などの環境対策のために主回路システムへは，より一層の大容量化・小型軽量化が要求された。これらの要求を実現するためにGTO（Gate Turn-Off）サイリスタを適用したPWM制御コンバータ・インバータによる誘導電動機駆動方式と交流回生ブレーキ方式が開発され，国鉄分割民営化（1987年）後のJR東海にて1990年に開発された300系で新幹線車両として初めて実用化され，270km/hでの営業運転が実現された。

300系の主回路システムは，図2に示すように主変圧器二次巻線4分割で4,500V，3,000A GTOサイリスタを適用した2レベルコンバータが4台接続され，2台のコンバータ出力を並列接続し，フィルタコンデンサを有する直流回路を介して，GTOサイリスタインバータに電力を供給し，並列接続された4台の誘導電動機を駆動している。PWMコンバータ方式により，回生ブレーキと力率1制御が可能になり，効率向上により省エネルギー化を図るとともに，各コンバータ間でのPWMキャリヤ位相差運転により，高調波電流がサイリスタ位相制御方式に比べ大幅に低減された。

図2　300系新幹線車両用主回路システム



300系の実用化以降，新幹線車両用主回路システムとしてGTOサイリスタの2レベルコンバータ・インバータ方式が各JR新幹線車両に適用されてきた。さらなる高速化のために主回路システムの大容量化が求められ，JR東海が高速走行試験用として1995年に開発した300X系試験車両には，高速走行性能を満足するために主電動機が大出力化され，4,500V，4,000AのGTOサイリスタが適用された。300X系試験車両は1995年から7年間にわたり，350km/h以上での高速領域における鉄道の諸現象を解明するため走行試験が行われた。

このように，新幹線車両用主回路システムの技術革新は，主回路素子，つまりパワーデバイスの高性能化・大容量化・低損失化などの技術進歩によるところが非常に大きい。1990年代後半から，GTOサイリスタに比べ，より高速スイッチングが可能で，より低損失なパワーデバイスである高耐圧・大電流IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）が開発され，新幹線車両用主回路システムへの適用が可能となった。

2.2 主回路システムの現状

新幹線車両の質的向上を目指すために，PWM制御の波形ひずみの影響による主変圧器，主電動機の電磁騒音の低減が課題とされ，富士電機は，1996年，JR東海と共同で300系車両用に2,500V，1,000A平形IGBTを適用した3レベル主変換装置を試作開発し，世界で初めて本線走行試験を行い，波形改善効果による電磁騒音低減と高調波電流抑制の効果が確認された。

その成果をベースとして，現在のJR東海の主力新幹線車両である700系の先行試作車が1997年に開発された。700系の主回路システムは，パワーデバイスにIGBTを適用した3レベル制御方式を採用したことにより，高調波損失の低減が図れ，主回路機器の低損失化が可能となった。

図3　N700 系新幹線車両（写真提供：JR 東海）

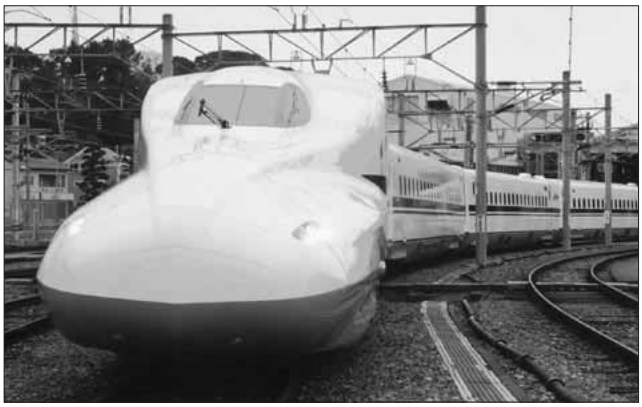
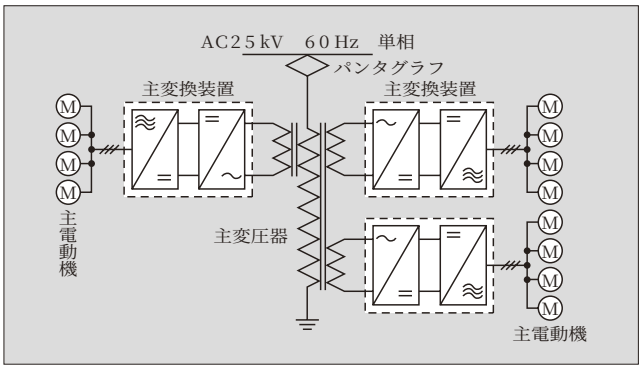


図4　N700 系新幹線車両用主回路システム



また，4 両で 1 ユニットを構成し，16 両編成内で 4 ユニット構成とし，主変圧器の大容量化と集約化が可能となった。その結果，編成内の主変圧器台数が 300 系の 5 台から 4 台に減り，主回路システムの一層の軽量化を達成している。ユニットの中で主変圧器二次巻線を 3 分割して 3 台の IGBT 適用 3 レベルコンバータが接続され，フィルタコンデンサを有する直流回路を介して，IGBT 適用 3 レベルインバータに電力を供給し，並列接続された 4 台の誘導電動機を駆動している。

JR 東海と JR 西日本は，東海道・山陽新幹線直通車両として，700 系をベースにさらに進化させた N700 系を共同開発した。N700 系新幹線車両の外観を図 3 に示す。加速性能・曲線通過速度を向上させた最速車両で，かつ，乗り心地・車内静粛性に配慮した快適性の向上，さらに，環境への適合，省エネルギー化という環境性能の向上をコンセプトとし，これらを実現するために主回路システムは，編成出力を向上するため，機器の大容量化を図っている。同時に，客室車内静粛化のために機器の騒音低減に配慮しつつ，最適軽量化設計により，主回路システムの大幅な軽量化が図られている。

3　N700 系主回路システム電気品

3.1　主回路システム

新幹線車両における主回路システムの課題は，高速安定走行のために大容量化と小型軽量化という相反する要求を同時にバランスよく実現することにある。これらを達成するために，1990 年代に PWM コンバータ・インバータシステムが実用化され，さらなる大容量化と小型軽量化および機能・性能向上が図られた。さらに N700 系では質的な向上を目指し，環境への適合と省エネルギー化を推進し，さらに車内快適性の向上を達成している。N700 系主回路システムを図 4 に示す。

N700 系主回路システムにおける 700 系からの変更点は，次のとおりである。

(1)　車両性能（起動加速度・最高速度）の向上に伴う編成最大出力の増加とユニット構成の変更

起動加速度を 2.6 km/h/s（700 系：2.0 km/h/s），最高運転速度を山陽区間で 300 km/h（700 系：285 km/h）へ性能向上させるため，編成出力を 30 % アップの 17,080 kW（700 系：13,200 kW）としている。それに伴い，電動車（M 車）と付随車（T 車）の比率を向上させ，14M2T 編成（700 系：12M4T 編成）としている。主回路システムは，14M2T 編成の中で，4 両を 1 ユニット構成とし，4M ユニットと 3M1T ユニットの 2 種類のユニット構成としており，編成出力を向上するため，機器の大容量化を図っている。主回路システムのパフォーマンス（出力質量比）を 300 系の約 2 倍，700 系の 1.2 倍とし，大幅な軽量化を達成している。

(2)　省エネルギー化による電力消費量の低減

走行抵抗の低減や，編成全体のブレーキ力を 14 両の電動車で負担することによる回生電力の増加などにより，東京ー新大阪間の走行で電力消費量を 700 系よりも 10 % 程度低減できる見込みである。

N700 系新幹線車両用主回路システムを構成する主変圧器，主変換装置（PWM コンバータ・インバータ），制御装置および主電動機のそれぞれの特長，小型軽量化，低騒音化技術などについて以下に説明する。

3.2　主変圧器

主変圧器は，二次多分割巻線と三次巻線を有し，パンタグラフにて集電した電力を降圧して，車両を駆動制御する主回路システムと，補助電源装置や空調装置などの補助回路システムへ供給する。

新幹線車両に適用される PWM コンバータ用主変圧器としては，PWM 制御の安定性および高調波抑制の面から以下に記すような特性・設計を考慮しなければならない。

(1)　二次巻線の高インダクタンス化

(2)　二次巻線間の疎結合化

(3)　高調波損失の考慮

上記の特性および二次多分割巻線のリアクタンスマトリックスの所要値を確保するために，最適なコイル配置にするとともにギャップ鉄心やセパレート鉄心をコイル間に設置している。

また，300 系，700 系で適用されたさまざまな軽量化技術に加え，編成内主回路ユニット数の集約化に伴う主変圧器の集約・大容量化により編成内主変圧器総質量の低減を

図っている。

具体的には，二次巻線の分割数の異なる2種類の主変圧器が1編成につき2台ずつ，計4台搭載されており，それぞれの容量は，5,600 kVA（TTM4形，二次巻線4分割），4,350 kVA（TTM5形，二次巻線3分割）となっている。

最終的に，変圧器容量あたりの質量としては，編成全体につき0.71 kg/kVAを達成している。これは700系（0.75 kg/kVA）に対し，約5％の質量性能の向上を意味している。主変圧器軽量化の推移を図5，TTM5形主変圧器の外観を図6に記す。

以下に適用された主な軽量化技術を記す。

(1) アルミコイル使用
(2) コイル素線絶縁へのポリイミドフィルム使用
(3) ガラスエポキシ材使用
(4) 外装部材への一部アルミ材使用

また，騒音低減対策としては，励磁騒音低減のため，鉄心材に低磁歪（じわい）材を使用しているほか，IGBTによるキャリヤ周波数の高周波化と3レベルPWM化による波形改善により，低次高調波成分を低減し，聴感上耳触りとなる1～2 kHz付近の騒音周波数成分を抑制している。

3.3 主変換装置

3.3.1 TCI3形主変換装置

主変換装置は，PWMコンバータとVVVFインバータから構成され，インバータには主電動機4台を並列接続し，コンバータおよびインバータ制御を行う制御装置が内蔵されており，基本的な回路構成は700系と同じである。主回路部はコンバータ部，フィルタコンデンサ部，インバータ部で構成され，コンバータ，インバータともに3レベル方式を採用している。また主半導体素子は，高耐圧，大容量かつ低損失のモジュール形IGBT（3,300 V，1,200 A）を採用し，コンバータは2並列，インバータは1並列接続で構成している。

図5　新幹線車両用主変圧器軽量化の推移

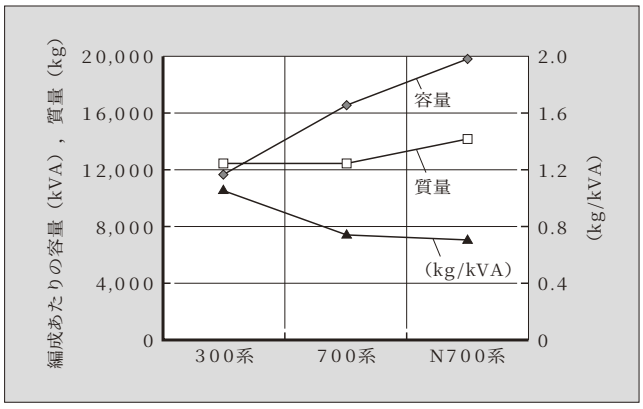
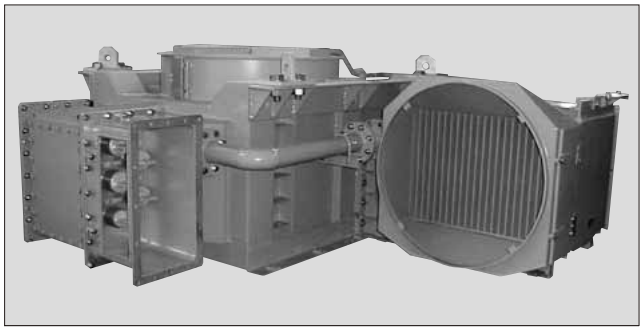


図6　N700系新幹線車両用TTM5形主変圧器



(1) 小型軽量化

次に述べる施策を盛り込み，約10％の出力向上を図りながら，700系主変換装置に比べ体積で約3％，質量で約15％の小型化を実現している。

(a) コンバータ部，インバータ部は主回路構成部品をそれぞれ一つのユニットに集約し，またフィルタコンデンサはコンバータユニットとインバータユニットに分割して組み込む構成とした。
(b) フィルタコンデンサは従来，オイルコンデンサを適用していたが，オイルレスコンデンサを採用し，内部構成の最適化を図った。
(c) 主半導体素子の冷却には沸騰冷却強制通風方式を採用し，装置あたり2個の冷却体に主半導体素子を集約して取り付けた。
(d) IGBTモジュールに接続する導体は，独自の低インダクタンス配線方式を開発適用することにより，従来付属していたスナバ回路を省略することを可能にした。

(2) 高効率化

スナバ回路の省略，低損失IGBTの採用により装置の変換効率を向上させた。

(3) 保守性の向上

コンバータユニットおよびインバータユニットの交換作業は車両側面に引き出す方式とし，ゲートアンプ，制御コネクタ，主半導体素子チェック端子は車両側面に配置し保守作業性の向上を図った。

TCI3形主変換装置の外観を図7，装置内部構成を図8，パワーユニットの外観を図9に示す。

3.3.2 ブロアレス主変換装置（TCI905C形主変換装置）

富士電機はJR東海と共同で，主変換装置のさらなる軽量化を目的として，主半導体素子の冷却用ブロアモータを廃止したブロアレス主変換装置（TCI905C形主変換装置）を開発した。この装置はTCI3形に比べて約12％の軽量

図7　N700系新幹線車両用TCI3形主変換装置

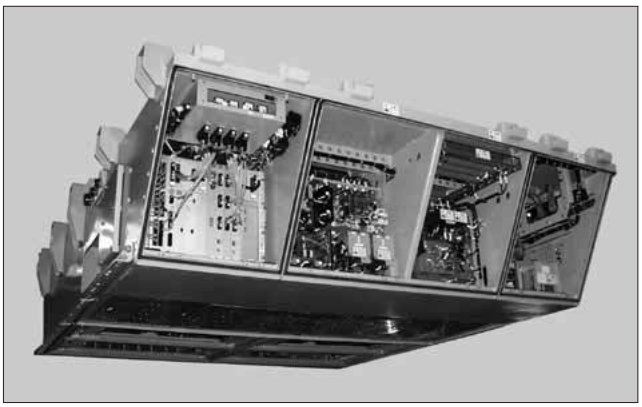


図8　N700 系新幹線車両用 TCI3 形主変換装置の構造

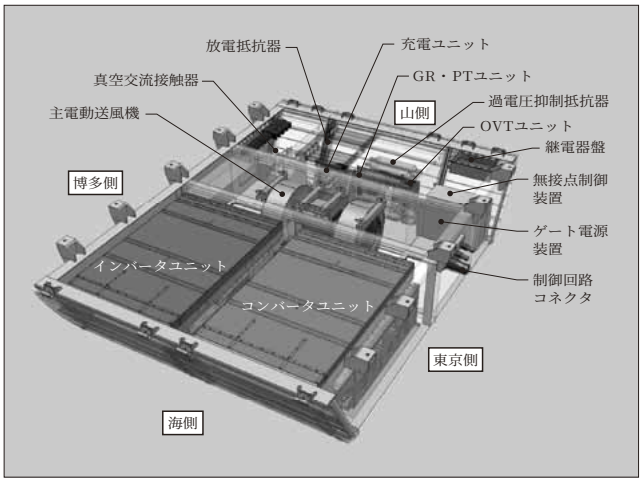
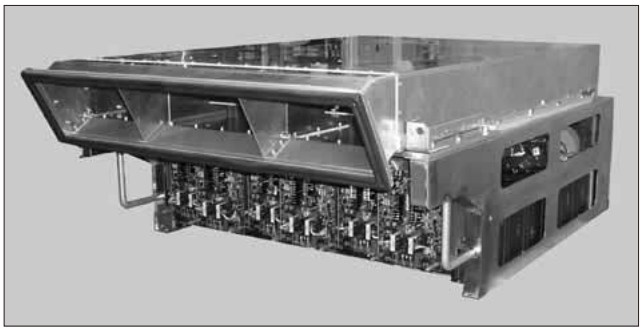


図9　パワーユニット



化を実現した。主半導体素子の冷却は装置底面に冷却フィンおよびスロープを設け，車両走行時に車両床下に発生する走行風を冷却フィンに取り込むことにより行うものである。装置底面の走行風の流れを図10に示す。

主半導体素子の冷却は新幹線車両用主変換装置では沸騰冷却方式が主流であったが，ブロアレス CI では冷媒や凝縮器が不要で形状がシンプルなアルミフィンとしている。主半導体素子冷却方式の変遷，構造および特徴を表1に示す。アルミフィンは冷却性能と軽量化を両立するために熱流体解析およびモックアップによる性能検証を行い，形状

図10　ブロアレス CI 外観と冷却メカニズム（走行風の流れ）

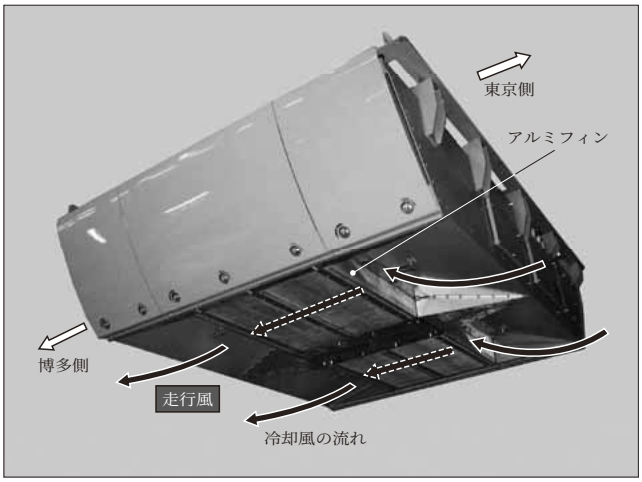
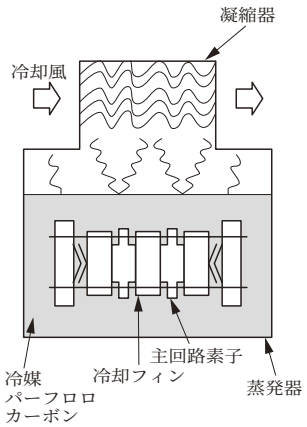
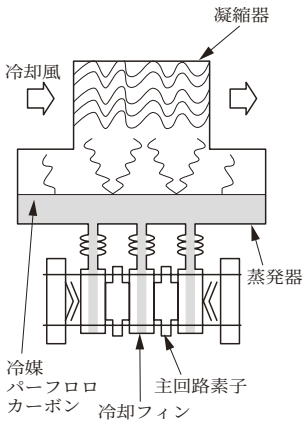
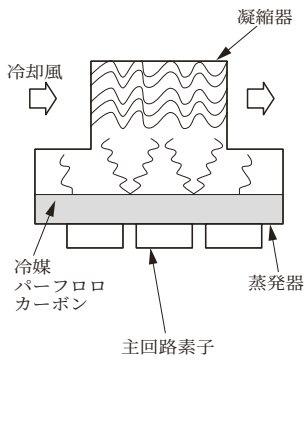
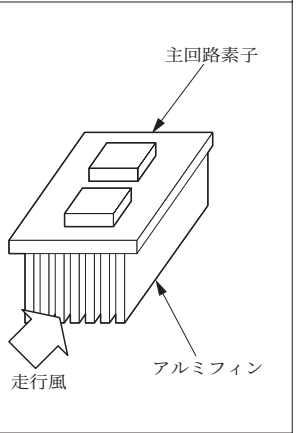


表1　主半導体素子冷却方式の変遷

車両形式	300系	700系	N700系	
CI 形 式	TCI1A	TCI2A	TCI3	TCI905C
CI 出 力	300kW×4=1,200kW	275kW×4=1,100kW	305kW×4=1,220kW	
冷却方式	沸騰冷却 ＋ 素子：タンク浸漬方式 ＋ ブロア強制風冷	沸騰冷却 ＋ 素子：個別冷却フィン方式 ＋ ブロア強制風冷	沸騰冷却 ＋ 素子：冷却板上取付け方式 ＋ ブロア強制風冷	アルミフィン冷却 ＋ 素子：冷却板上取付け方式 ＋ 走行風自冷
主回路素子	GTOサイリスタ （平形・非絶縁構造）	IGBT （平形・非絶縁構造）	IGBT （モジュール形・絶縁構造）	
構造				
特徴	○冷却器が小型	○冷媒が少量 ○冷却器が小型	○主回路素子の取付け構造がシンプル	○主回路素子の取付け構造がシンプル ○ブロアの保守が不要 ○ブロア分質量の軽減 ○温室効果ガスの不使用

を決定した。

3.3.3　無接点制御装置

N700系主変換装置に搭載している無接点制御装置は，64ビットCPUをコアとしたマルチプロセッサ構成とすることで，多岐にわたる制御演算処理を高速・高精度で実行可能とし，データ通信技術・回路集積化技術を盛り込み，部品点数の削減を図り，多機能化・高信頼性化を図っている。

入出力機能として，運転指令などの伝送による入力，運転状態のモニタ情報の伝送による出力にも対応している。制御ブロック図を図11に，無接点制御装置の外観を図12に示す。

3.3.4　コンバータ・インバータ制御

無接点制御装置では，モニタ通信・シーケンス制御のほか，直流電圧制御・交流電流制御・中性点電位制御・モータトルク制御などのコンバータ・インバータ制御を行っている。ここでは，特徴的な中性点電位制御とモータ制御について説明する。

(1)　中性点電位制御

3レベル変換器では，運転条件によっては直流中性点に対して正側と負側のフィルタコンデンサへ還流する電流に差が生じると中性点電位が変動し，特定の素子に過大な電圧が印加されるおそれがある。これを防ぐための中性点電位の制御に対して，さまざまな方式が提案されている。富士電機は主回路素子のスイッチング休止期間での中性点電位の挙動に着目し，電力や電流の極性に依存しない中性点電位制御方式を開発し，その有効性を実機組合せ試験で確認した。

この方式は，正負のフィルタコンデンサの充放電電荷量を直接制御するため，中性点電位の制御応答の高速化が可能となり，中性点電位の変動幅を低減することができる。さらに，コンバータ・インバータが扱う電力や交流電流の極性による制御系の切替動作がなく，交流電流のゼロクロス付近でも安定した制御を実現している。

(2)　モータトルク制御

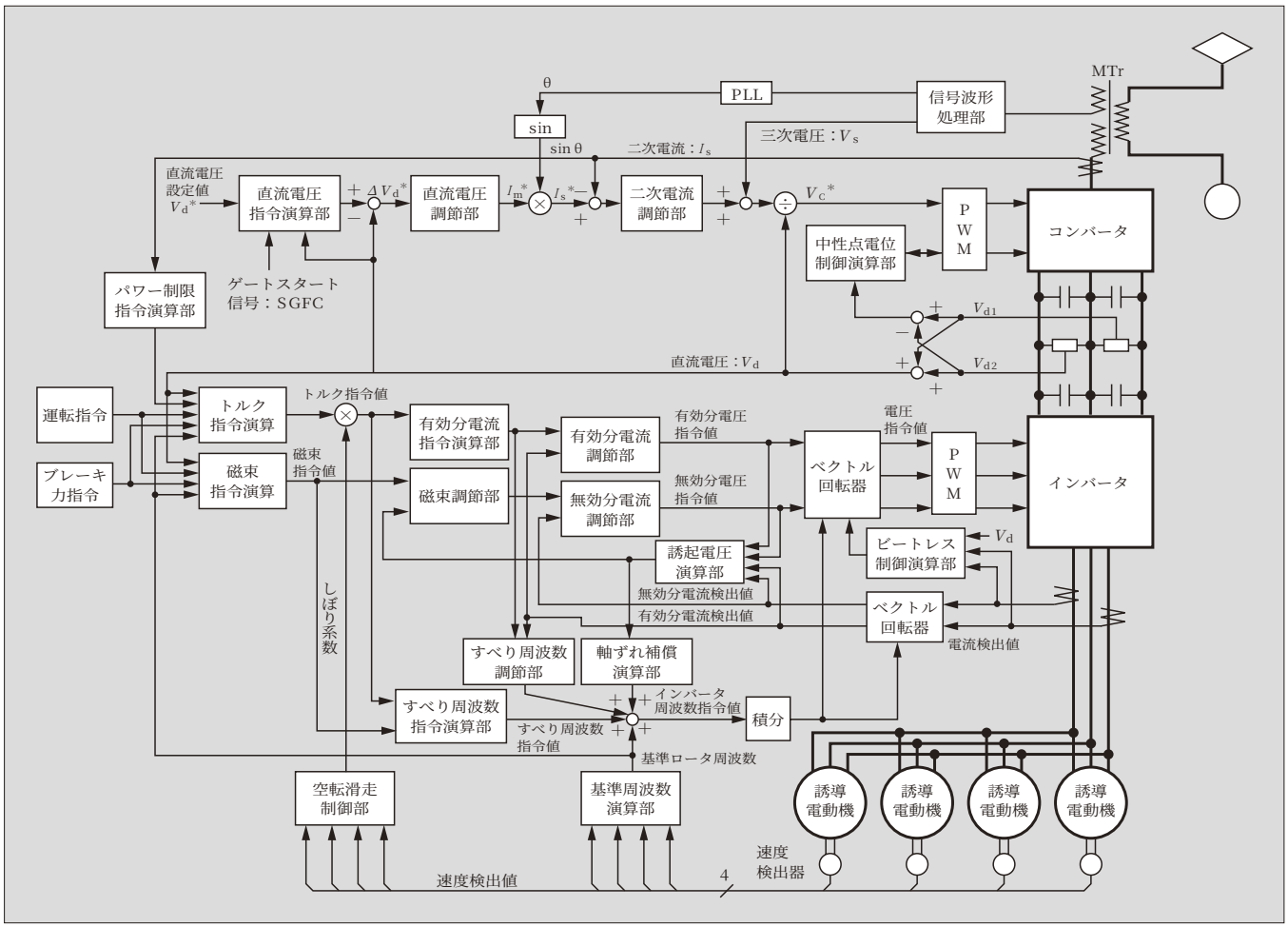
安定したトルク出力を実現するためには，主電動機の力行・回生トルクを高速応答・高精度で制御する必要がある。

富士電機は，産業分野での豊富な実績をもとに，従来はベクトル制御の適用が困難であるとされていた1インバータ4モータ制御においても良好な制御特性を発揮するベクトル制御を実用化した。以下にこの制御方式の概要を述べる。

(a)　1インバータ4モータ制御への適用

従来のすべり周波数形ベクトル制御は，1インバータ1モータ制御において，空間ベクトルとして互いに直交関係にある励磁電流成分とトルク電流成分を誘導電動機

図11　制御ブロック図



の等価モデルとすべり周波数に基づいて，独立に制御する方式である。これに対して，一般的に新幹線車両の主回路システムは，1インバータ4モータ制御方式であり，これに対応するために富士電機はモータの並列台数に関係なく，共通の状態量と見なせる磁束の位相角を基準にして制御を行っている。

(b)　1パルスモード制御

車両駆動用制御には，インバータの電圧利用率が最大となる1パルスモード運転を含んでいる。1パルスモードでは，電圧振幅の調節ができず，従来のベクトル制御をそのまま適用することができない。これに対して，このベクトル制御方式では，1パルスモードの領域においても，電圧振幅制御が可能な1'パルスモードとすることで励磁電流とトルク電流とを独立に制御し，ベクトル制御の本質を損なうことなく優れた特性を実現している。

(c)　モータ二次抵抗の温度変動補償

モータ二次抵抗は運転中の温度変化により大きく変化するが，ベクトル制御を行ううえでモータの等価モデルの二次抵抗との乖離（かいリ）が大きくなると電圧ベクトル管理を正しく行うことが困難となる。ベクトル制御では，二次抵抗誤差が，モータ誘起電圧の無効分として現れることを利用し，これをゼロにするようにすべり周波数を補正することで，モータ二次抵抗の温度変動分を補償している。

(d)　モータ電磁音の低減

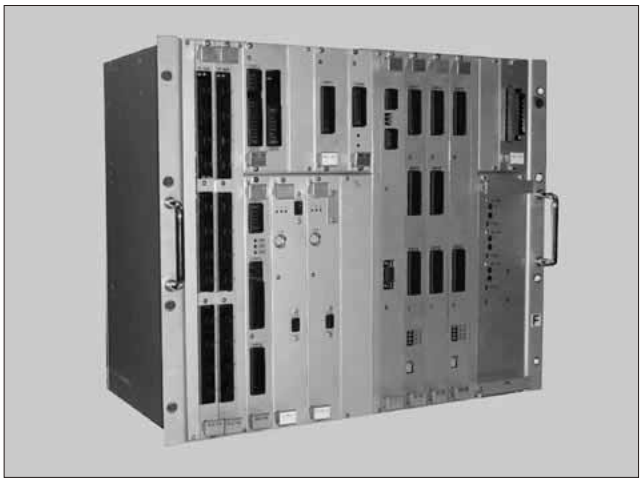
PWMスイッチング周波数によりモータからその周波数の電磁音が発生し，周波数によっては非常に耳障りな音になる。今回このモータの耳障り音を低減するために，一部の速度帯でキャリヤ周波数を変化させる機能を追加した低騒音PWM方式を採用している。

3.4　主電動機

新幹線用主電動機の最重要課題は，軽量化であり，従来の新幹線用主電動機においては以下に示す施策を実施している。

○フレームレス構造

図12　無接点制御装置



○アルミブラケット構造

○軸受小径化

N700系においては，さらなる小型軽量化に加えて低騒音化による乗り心地の向上を目指し，以下に述べる内容を実施した。

(1)　コイルエンド部ふさぎ構造

誘導電動機の場合，高速時に主電動機の騒音値が大きくなる。特に回転速度が高くなるとかご形回転子のバーによる風切り音が顕著になり，耳障り音を発生する。この音を低減するために回転子バーからの風が当たる固定子のコイルエンド部を絶縁シートで平滑化し騒音低減を図った。

図13に5,000 r/minにおける700系とN700系用主電動機の騒音周波数分析結果の比較を示すが，この施策により回転子バーの風切り音が大幅に低減したことが分かる。

(2)　鉄心背面通風構造

従来の主電動機は空げき面および回転子風穴に大部分の風を流す構造としていたが，この主電動機では鉄心背面4か所に通風経路を構成した。この通風経路を構成することにより主電動機の冷却風は固定子コイルエンド部背面にも流れ，固定子コイルの冷却効率を向上するとともにコイル内のローカルヒートを抑える構造とした。

(3)　回転子バーへの低抵抗材料の採用

回転子バーに低抵抗材料である銅クロム合金を採用することにより二次銅損を低減し，回転子バーの温度上昇を抑えた。

以上の施策を実施することにより，700系用主電動機に比べほぼ同一質量で10％の出力アップを実現し，さらに

図13　新幹線車両用主電動機の騒音周波数分析結果の比較

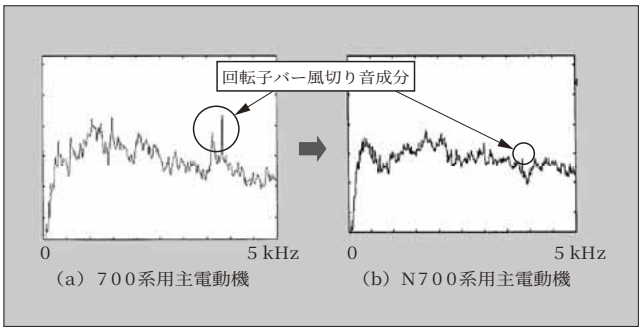


図14　N700系新幹線車両用TMT9形主電動機の構造

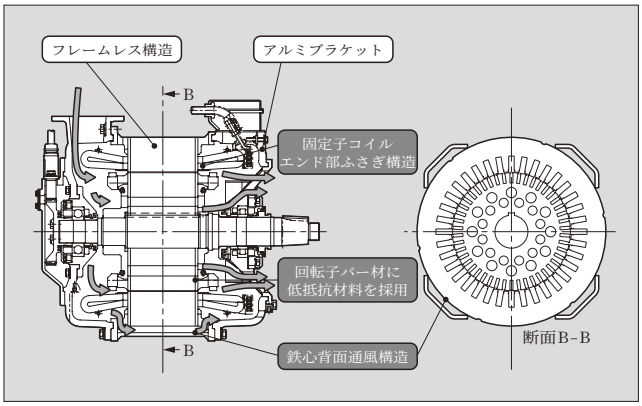


図15　N700系新幹線車両用TMT9形主電動機

3～4dBの騒音低減を実現した。TMT9形主電動機の構造を図14，外観を図15に示す。

4　主回路システムの将来動向

新幹線車両用主回路システムは，パワーデバイスの高機能・高性能・大容量化とそれらをきめ細かく高速に制御するパワーエレクトロニクス技術の進歩とともに進展してきた。車両用主回路システムのパワーデバイスの主流となったIGBTは，さらに低損失化，高周波スイッチング化され，より一層の主回路電気品の小型軽量化，高効率化，低騒音化，省エネルギー化，高調波電流低減などの環境性能向上が図られると考えられる。また，新幹線車両において，前述の走行風を利用したブロアレス方式の主変換装置が実用化されることも遠くないと考えられる。さらに低損失な高耐圧IGBTの開発により，主回路半導体素子数が少なく，主回路がシンプルな2レベル制御方式をインバータ部に適用した主変換装置も実用化されていくと考えられる。

環境性能をさらに向上させるために徹底した軽量化とさらなる高効率化を目指して，主回路システムの方式変更も視野に入れた永久磁石同期電動機駆動システムの実用化も今後進んでいくと考えられる。

5　あとがき

新幹線車両用主回路システムの技術開発経緯と最新のN700系主回路システム電気品の概要および今後の動向について紹介した。

今後とも先進のパワーエレクトロニクス技術を適用して，将来を見据えた地球環境に優しく，信頼性に優れた新幹線車両用主回路システムの開発を強力に推進していく所存である。

これらの開発において，ご支援・ご指導・ご協力を賜わったJR東海，JR西日本ほか関係各位に深く感謝する次第である。

参考文献

(1)　森村勉，関雅樹．東海道新幹線 全編成270km/h化への技術の歩み（その1）．JREA. vol.46, no.5, 2003, p.20-24.
(2)　田中守，吉江則彦．東海道・山陽新幹線直通用次世代車両N700系量産先行試作車の概要．JREA. vol.48, no.6, 2005, p.48-51.
(3)　萩原善泰ほか．東海道・山陽新幹線直通用次世代車両N700系量産先行試作車の概要（3）．R&M. 2005-8, p.4-8.
(4)　萩原善泰，福島隆文．新幹線電車用走行風冷却（ブロアおよび冷媒レス）方式主変換装置の開発．JREA. vol.48, no.10, 2005, p.45-48.

在来線車両用補助電源装置

大庭　政利（おおば　まさとし）　　青柳　嘉木（あおやぎ　よしき）　　阿部　　康（あべ　やすし）

1　まえがき

鉄道車両は省エネルギー，二酸化炭素（CO_2）排出量が少なく，環境に優しい移動手段として関心が高い。富士電機は鉄道車両用電機品メーカーとして駆動用電機品，補助電源装置，側引戸駆動装置などを製作・納入し，なかでも最重要機器の一つである補助電源装置を多数納入してきた。

以下にパワーエレクトロニクスの技術革新とともに歩んできた在来線車両用補助電源装置の最新技術と今後の技術動向について紹介する。

2　補助電源装置の変遷と技術的特徴

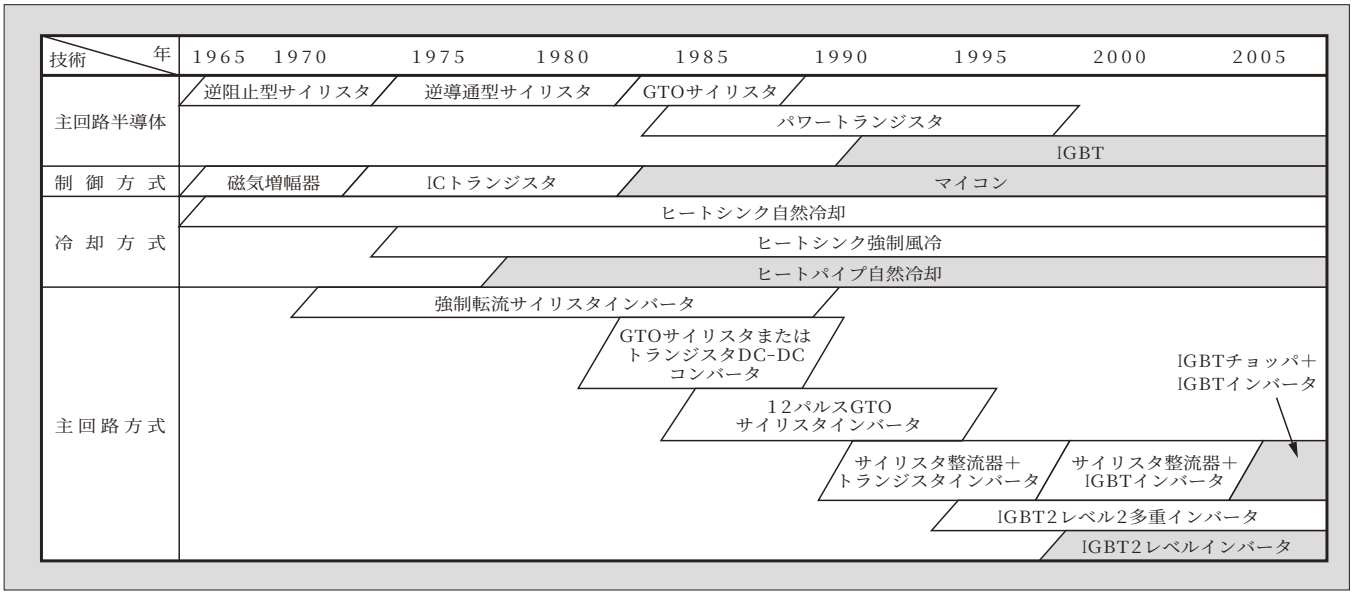
2. 1　適用技術の変遷

1970 年以前は，室内灯，制御電源などのサービス電源は電動発電機によって供給されていた。しかし，電動発電機は回転機構を持つため騒音が大きく，また定期的に保守を必要とする整流子，ブラシほか，交換を必要とする部品も多く存在していた。そこで，保守の省力化，低騒音化を可能とするパワーエレクトロニクス技術の進展に伴い，富士電機は 1970 年に逆阻止型サイリスタを用い，強制転流タイプの単相インバータを開発，納入した。その後，補助電源装置は GTO（Gate Turn Off）サイリスタ，パワートランジスタ，IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）へとパワー半導体デバイスを進化させ，主回路方式も単相インバータ，DC-DC コンバータ，三相インバータと用途に合わせ多くのバリエーションを持つようになった。また，マイコン制御へと進化し，高精度に，かつ入力電圧や負荷の急変に対しても安定した制御が可能となっている。図 1 に補助電源装置の技術の変遷を示す。

2. 2　最新システム

鉄道車両用き電方式には，直流き電と交流き電があるため，補助電源装置も直流車両用と交流車両用の 2 種類に大別される。富士電機は各種車両・顧客ニーズに合わせて両システムに適合した装置の系列化を図り，最適な装置を提

図 1　補助電源装置の適用技術の変遷



大庭　政利

鉄道車両用電機品のエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部交通・特機統括部車両技術部担当課長。

青柳　嘉木

鉄道車両用補助電源装置の設計に従事。現在，富士電機システムズ株式会社機器本部神戸工場パワエレ技術部。

阿部　　康

パワーエレクトロニクス製品の開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社エレクトロニクス技術研究所。電気学会会員。

供することができる。

(1)　直流車両用補助電源装置

直流き電には架線電圧 DC1,500 V，DC750 V，DC600 V があり，架線電圧および回路構成に合わせ主回路に適用する IGBT の最適な電圧・電流を選定している。回路構成を工夫して架線電圧と素子電圧の整合を図った代表的な装置として 2 多重方式がある。基本となる 1.7 kV 耐圧の IGBT を適用したインバータユニットを二組直列に接続し，それぞれのインバータユニットの出力を出力変圧器で結合させることで，DC1,500 V の架線電圧に対応している。この構成はキャリヤ周波数を上げることが可能となり，より低騒音化を図ることができる。この構成は東日本旅客鉄道株式会社（JR 東日本）E231 系電車用補助電源装置ほかに適用されている。DC750 V，DC600 V の架線電圧に対しては，2 多重方式に適用しているインバータユニットの一組を適用し，また二組のインバータユニットを並列接続することにより大容量要求への対応を可能としている。一方，DC1,500 V の架線電圧用インバータユニットとして，3.3 kV 耐圧の IGBT を適用し，多重接続することなく，一組のインバータユニットで構成し，部品点数の低減，信頼性の向上を図った装置もある。この装置は東京地下鉄株式会社東西線 05 系 6・7 次車更新用補助電源装置ほかに適用されている。それぞれの主回路構成を図 2，図 3 に示す。

(2)　交流車両用補助電源装置

交流車両の架線電圧には新幹線の AC25,000 V，在来線の AC20,000 V がある。交流車両では一般的に冷房装置などの大容量負荷は直接主変圧器から電力が供給されているため，補助電源装置の負荷はそれ以外の小容量負荷となる。しかし，その負荷は表示灯，室内灯，制御電源などであり，最重要負荷である。代表的な装置として，主変圧器三次巻線の単相交流電源をダイオード整流器と IGBT チョッパを用いて整流して直流電源とし，直流負荷へはここから供給，交流負荷へはその直流電源を IGBT インバータ装置と出力変圧器により単相交流として給電する構成がある。この構成は JR 東日本 E721 系電車用補助電源装置に適用されている。この装置の外観を図 4 に，主回路構成を図 5 に示す。さらに，この装置では最新の待機冗長システムを適用し，旅客サービスの向上を追求している。

2.3　特　徴

富士電機が製作している在来線車両用補助電源装置の最新の適用技術と特徴を以下に述べる。

(1)　冗長システム

鉄道車両は公共性が高く，車両故障などが社会や人に与える影響は少なくない。そこで従来から車両用電機品は編成内の冗長性を高くとっており，補助電源装置も例外ではない。補助電源装置の場合，一般的に 1 編成で 2 台の補助電源装置に負荷を分担し，1 台が故障した場合は回路を切り換え，冷房装置の負荷を半減させて，1 台の補助電源装置でも運転が継続できる延長給電システムを採用している。しかし，近年，価値観・ニーズの多様化に伴い，補助電源装置の故障時にもサービス・性能を低下させないシステムが求められるようになってきた。また，地方線区を走行する短編成車両では，補助電源装置を 2 台搭載するスペースはなく，故障時には車両運休となることは必至であった。そこで，E721 系電車では装置単体として冗長性を向上させた待機冗長システムを適用した。このシステムはインバータ装置，制御装置などを二重系にしている。単系とした部位，二重系とした部位は，故障率の計算値，また実績データを基に選定した。この補助電源装置は，通常時は二重系の部位の片側だけで運転し，もう片側は休止している。

図 2　E231 系電車用補助電源装置の主回路構成

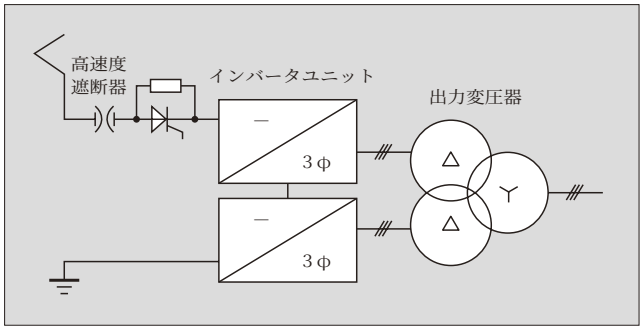


図 3　東西線 05 系 6・7 次車更新用補助電源装置の主回路構成

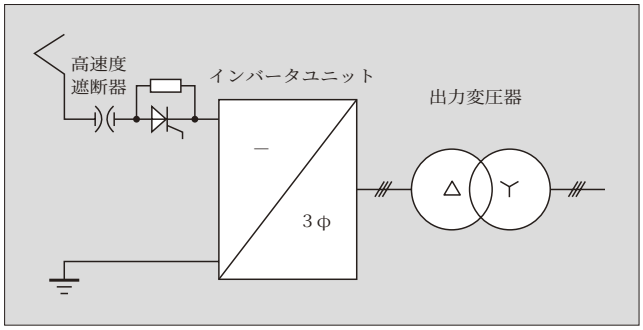


図 4　E721 系電車用補助電源装置の外観

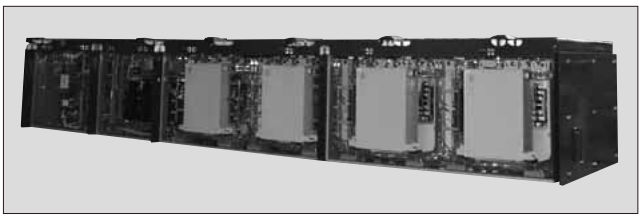
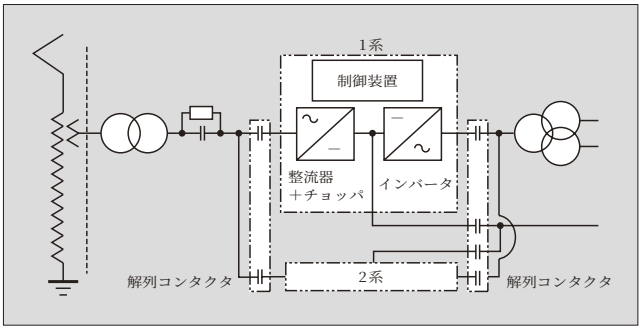


図 5　E721 系電車用補助電源装置の主回路構成



故障発生時には故障部位と休止部位が切り換わり，休止していた部位で運転を開始する。小型軽量化が強く要求される車両用電機品の冗長性を向上させる最も適したシステムの一つである。

(2)　高機能

一定の電圧・周波数の交流電力を出力する補助電源装置には，架線電圧の急変や負荷として接続されるエアコンディショナ，コンプレッサなどの投入・遮断時の出力電流の急変，単相負荷のような三相不平衡負荷に対しても，波形ひずみ，電圧アンバランス，変動の少ない安定した電圧の出力が求められる。

これに応えるために，東西線 05 系電車用補助電源装置の出力電圧制御に三相個別波形制御を採用した。制御ブロック図を図 6 に示す。この制御は三相出力電圧を検出し，各相の電圧実効値を一定に制御する三相個別実効値制御を行い，さらに負荷急変などにおける出力電圧の過渡変動を抑制するため，三相個別瞬時制御を併用した構成としている。これにより，出力電圧を高精度の正弦波に制御でき，架線電圧や負荷の急変が発生した場合にも出力電圧変動はほとんどなく，安定した電圧制御性能を実現している。また，三相電圧を各相個別に制御するため，出力に不平衡負荷が接続された場合でも三相出力電圧を平衡させることができる。

図 7 に評価試験機における定格出力時の三相出力電圧波形例を示す。出力電圧誤差は±1%以下，波形ひずみ率は約 1 %であり，高精度な正弦波電圧となっている。

図 8 は負荷急変時の動作波形例であり，定格の 70 %→100 %，100 %→70 %の負荷急変を行ったものである。負荷急変時，出力電圧にもほとんど過渡変動はなく，良好な過渡応答特性が得られている。

図 6　制御ブロック図

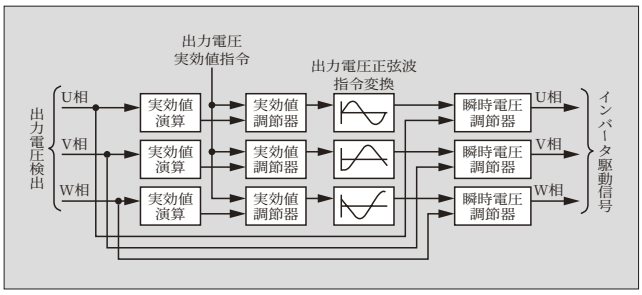
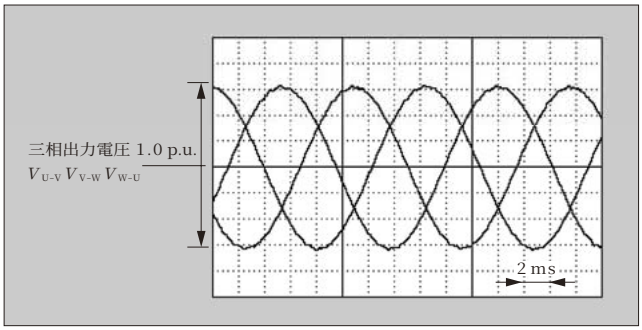


図 7　三相出力電圧波形



また，図 9 は三相不平衡負荷接続時の動作波形例として，図示のタイミングにおいて 1 相のみ＋30 %負荷を増大させた場合を示している。負荷不平衡発生時においても出力電圧に変動はなく，また三相個別波形制御により，出力電圧が平衡した良好な結果が得られている。

(3)　高機能ワンボード制御装置

現在の鉄道車両用補助電源装置は，顧客の用途・ニーズが多種多様である。今回，さまざまなニーズに対応可能であり，かつコストパフォーマンスに優れた制御装置を開発した。これまでは交流車両用，直流車両用とシステムに応じた制御装置を適用していたが，今回制御装置の共通化を図り，ソフトウェアの一部を変更することにより，すべての車両に対応できる制御装置とした。E721 系電車用補助電源装置へ適用した高機能制御装置の外観を図10に示す。待機冗長システムを採用している補助電源装置には，高機能制御装置を 2 台搭載している。

ハードウェアは 32 ビット CPU を 2 個搭載し，多岐にわたる演算処理を高速・高精度で実現可能とした。一方で制御演算，他方でシーケンス制御・モニタ機能・車上伝送

図 8　負荷急変時の動作波形

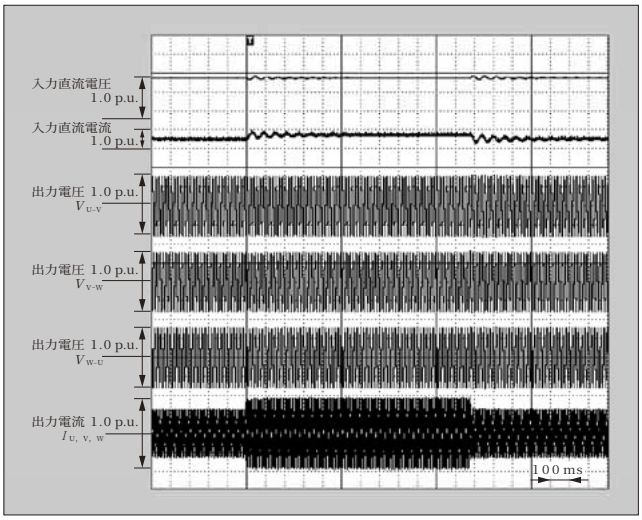
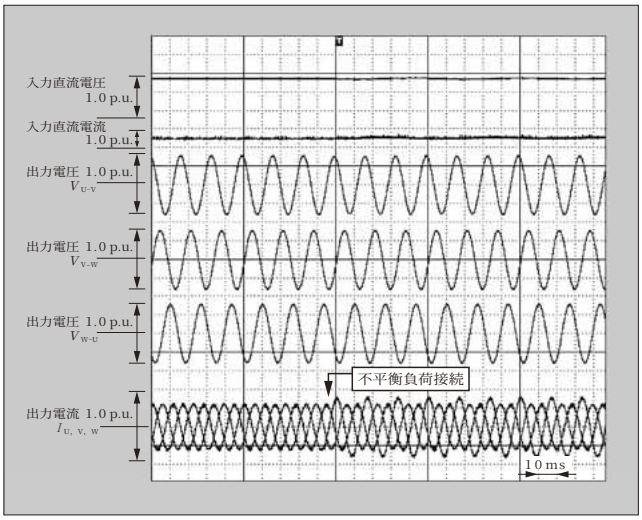


図 9　三相不平衡負荷接続時の動作波形



機能などの処理を実行している。また，二つのCPU間のデータ伝送には，高速伝送可能なクロック同期式シリアル通信を用いて，直接伝送している。このように，データ通信技術，回路集積化技術を駆使し，部品点数の大幅な削減を実現させ，従来のラック・カード式からワンボードタイプとし，高信頼化を図っている。また，オプションとして，車上伝送基板，表示操作パネル基板の取付けができるように準備して複数系統の車上伝送に適用できるようにし，さまざまな顧客のニーズに対応可能としている。

制御機能としては，制御応答性，制御安定性の向上を図るため，標準機能として三相個別波形制御，三相個別瞬時制御，デッドタイム補償制御などを有している。また，単相・三相PWMインバータの制御はもちろんのこと，チョッパ制御やPWMコンバータ制御，さらには，並列冗長制御や2多重構成のインバータ制御にも対応可能としている。

(4)　有限要素法解析

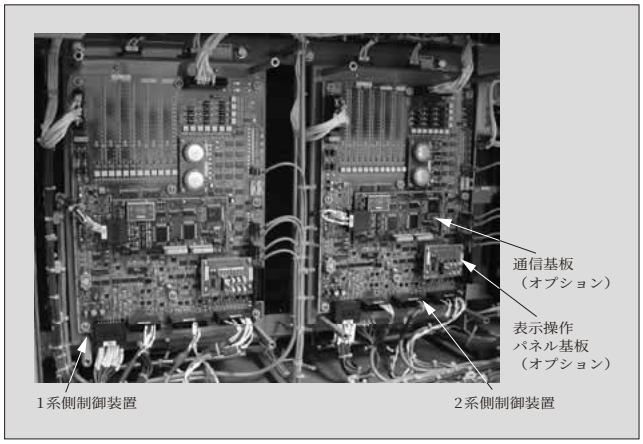
移動体である車両に搭載される電機品は，十分な耐振強度を有していなければならない。耐振強度は車両用電機品として最も重要な要求性能の一つであり，適用規格のJISでも新設計品には振動試験の実施が要求されている。従来は，これまでの経験の積み重ねによるノウハウをベースにして新製品の設計を行い，振動試験を実施し，耐振性能の確認を行ってきた。しかし，車両用電機品は小型化・軽量化の要求が厳しく，従来どおりの設計手法の踏襲では，その要求を満足させることができない。そこで，有限要素法（FEM：Finite Element Method）解析を用い，設計段階で十分な耐振強度を持たせつつ，かつむだのない構造であることを確認している。

3　新技術に対する取組み

DC1,500V架線用の補助電源装置では，スイッチング素子として3.3kV耐圧のIGBTが広く用いられている。IGBTは高耐圧化するにつれてスイッチングに伴う素子発生損失が飛躍的に増加するため，キャリヤ周波数を高くすることが困難である。この制約のために，3.3kV耐圧IGBTを用いた補助電源インバータのスイッチング周波数は1kHz台に抑えられており，出力側に設けるフィルタが大きくなり，またフィルタから耳障りな電磁騒音が生じている。

このような背景のもと，富士電機は低損失，小型，低騒音を課題として，補助電源装置の技術開発に取り組んでいる。以下にその概要を紹介する。

図10　高機能制御装置の外観



3.1　インバータの構成

1.2kV耐圧など低圧のIGBTを複数個直列に接続して一つのスイッチング素子として動作させ，高耐圧IGBTの代わりとする技術開発に取り組んでいる。図11にDC1,500V，出力容量170kVAの装置適用時におけるインバータの構成を示す。このインバータでは，1.2kV耐圧IGBT（Q1，Q2，Q3）を3直列接続して，3.3kV耐圧IGBTからの置換えを図っている。1.2kV耐圧IGBTは3.3kV耐圧IGBTに比べてスイッチング時の発生損失が非常に少ないので，冷却体を小さくすることができる。また，スイッチング周波数を高めることも可能であり，フィルタの小型化や低騒音化を実現することが可能となる。

IGBTを直列接続したときの最大の問題点は，個々のIGBT素子特性や周辺回路定数のばらつきによって，IGBT素子のスイッチング動作にばらつきが生じ，スイッチング動作時の素子電圧 V_{CE1}，V_{CE2}，V_{CE3} がアンバランスし，素子印加電圧が素子耐圧を超えることである。これによって素子破壊を招く可能性があるため，スイッチングタイミングをバランスさせることが最も重要な課題となる。

この課題に対し，図11に示すように，各ゲート信号線をゲートバランスコアによって磁気的に結合し，ゲート信号を同期させる方式を開発した。

3.2　インバータの性能

図11に示すインバータのプロト機を用いて，性能評価を実施した。その結果について述べる。

図11　170kVAインバータの構成

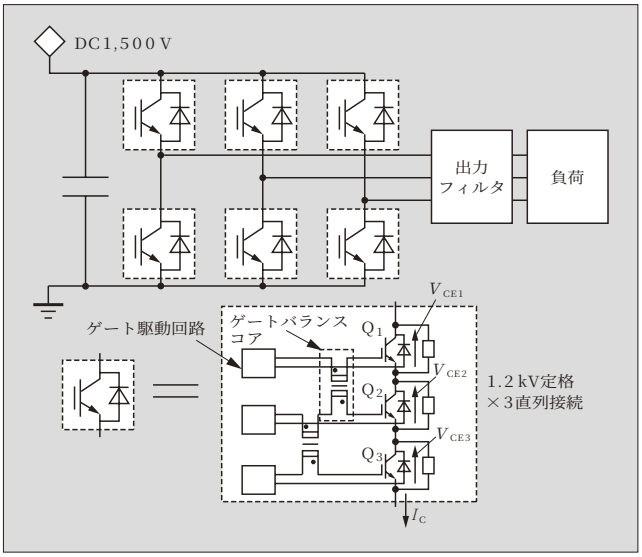
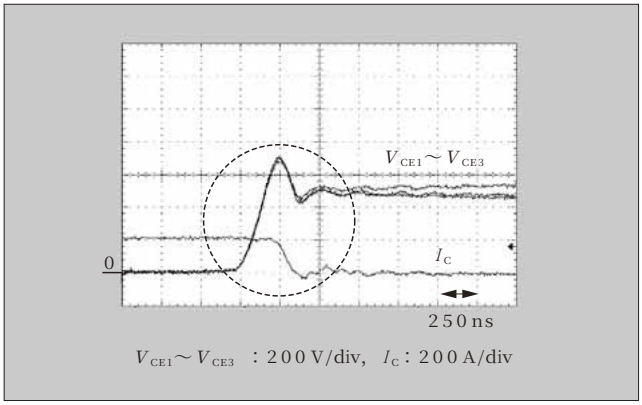


図12　ターンオフの波形



(1)　素子電圧バランス性能

図12にターンオフ波形を示す。これらは，素子3直列分の各素子電圧 V_{CE1}，V_{CE2}，V_{CE3} とコレクタ電流 I_C の波形である。この結果から，素子過渡期間の素子電圧は非常によくバランスしていることが分かる。

(2)　素子発生損失

図13に，図11のインバータにおける素子3直列分の発生損失と，この損失から算出したIGBTチップのジャンクション温度の特性を示す。ここでは比較のため，素子3直列接続の代わりに3.3kV耐圧IGBTを適用した場合の各特性も示す。これにより，高耐圧素子を直列接続した低耐圧素子に置き換えることで，低損失化が図れ，例えばキャリヤ周波数2kHzの条件では，素子発生損失を半減することができる。よって，冷却体の体積も単純に半減できることが分かる。また，素子ジャンクション温度の最大値を125℃とすると，図13の①ではキャリヤ周波数の最大値が2kHz程度であるのに対し，図13の②では8kHz程度まで増加できることが分かる。キャリヤ周波数を2kHzから8kHzまで増加させた場合には，フィルタの体積はおよそ半分となる。

(3)　騒音測定

図14にキャリヤ周波数に対する出力フィルタの電磁騒音測定結果を示す。これにより，キャリヤ周波数を増加させると，2kHz時をピークとして，電磁騒音のレベルが低減する傾向にあることが分かる。キャリヤ周波数を2kHzから8kHzに増加させると，電磁騒音レベルは約8dB低減でき，大幅な低騒音化が実現可能である。

4　あとがき

鉄道車両用補助電源装置の技術動向および富士電機の取組みについて紹介した。今後，ますます多様化，高度化するニーズに対応するため，一層の技術開発に取り組んでいく所存である。

図13　素子発生損失・温度特性

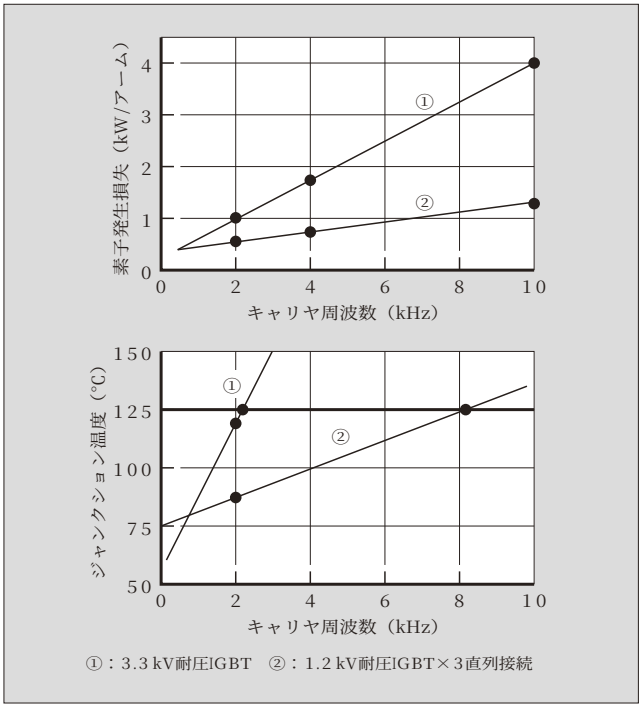
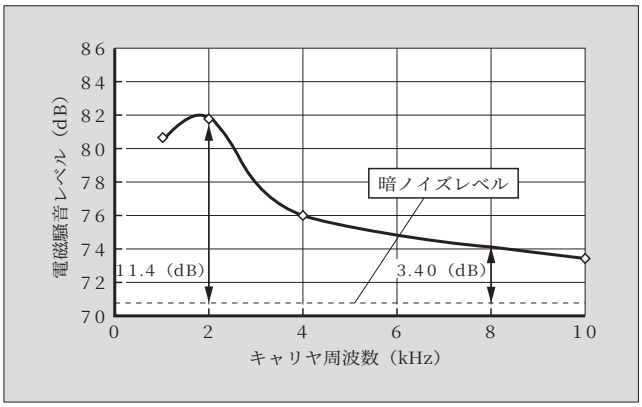


図14　フィルタ電磁騒音測定結果



参考文献

(1)　阿部康ほか．IGBT直列接続による高圧インバータの損失低減法．平成16年電気学会産業応用部門大会．no.3-80, 2004.

(2)　Abe, Y. et al. A Novel Method for Loss Reduction in High-Voltage Inverters. IEEE Industry Applications Conference 40th IAS Annual Meeting. 2005, p.1849-1854.

リニアモーターカー「リニモ」の磁気浮上システム

岩谷　満（いわや　みつる）　　尾崎　覚（おざき　さとる）　　田村　浩明（たむら　ひろあき）

1　まえがき

2005年のビッグイベント，日本国際博覧会（略称：愛知万博）は最終入場者数2,200万人余りを数え，好評のうちに閉幕した。この博覧会のもう一つの大きな話題は，動くパビリオンともいわれ，同博覧会の主要アクセスとして，日本で初めて実用化された磁気浮上式鉄道・愛知高速交通株式会社東部丘陵線（愛称：リニモ）の開業であった（図1）。リニモは愛知万博開幕直前の3月6日に開業し，万博開催期間中に1,969万人を輸送し，万博閉幕後も地域の足として活躍している。

富士電機は中部エイチ・エス・エス・ティ開発株式会社（CHSST社）の支援の下，リニモの主幹機器である磁気浮上ユニットを開発し，製作・納入した。本稿では，HSST（High Speed Surface Transport）開発の経緯を背景に，リニモの磁気浮上系の概要を紹介する。

2　HSSTと開発の経緯

HSSTは，日本航空株式会社が空港用高速アクセスとして1970年代に開発を開始した常電導磁気浮上式のリニアモータ駆動の輸送システムである。1975年の浮上実験成功から，1985年の国際科学技術博覧会（科学万博－つくば'85）での展示走行などを経て，1989年に愛知高速交通株式会社東部丘陵線での実用化を目的としたCHSST社が設立された。1991年からは実用化に向けた本格的な実験車両HSST-100S型を用いて，名古屋市大江の実験線で走行試験と改良を重ねてきた。さらに1995年からはリニモの原型となるHSST-100L型が完成し，長期走行試験を開始した。この実績に基づいて1999年に東部丘陵線導入機種選定委員会から最適との評価を得て，採用が決定した。

表1にHSST開発の流れを示す。

図1　万博会場駅に進入するリニモ第9編成

3　リニモの概要

表2にリニモの主要諸元を示す。

リニモは名古屋市営地下鉄東山線の藤が丘駅から万博会場駅を経て愛知環状鉄道株式会社八草駅（愛知万博開催期

表1　HSST開発の歴史

年	主要記事
1972	日本航空株式会社が研究開発に着手
1975	実験1号機（HSST-01）で浮上実験成功
≈	
1985	科学万博-つくば '85でHSST-03運行
1988	埼玉博覧会でHSST-04展示走行
1989	中部エイチ・エス・エス・ティ開発株式会社設立
1991	大江実験線完成，HSST-100S試験開始
1995	HSST-100L完成，走行試験開始
1999	東部丘陵線への導入答申
2002	リニモ第1編成完成
2004	東部丘陵線完成，全線走行開始
2005	東部丘陵線開業，愛知万博開催

HSST-100S

HSST-100L

リニモ

岩谷　満

日本航空株式会社および中部エイチ・エス・エス・ティ開発株式会社でHSST技術，特に浮上技術の開発に従事。現在，伊藤忠商事株式会社HSSTプロジェクトチーム主幹技師。

尾崎　覚

パワーエレクトロニクス制御の開発，車両用電機品のエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部交通・特機統括部車両技術部長。電気学会会員。

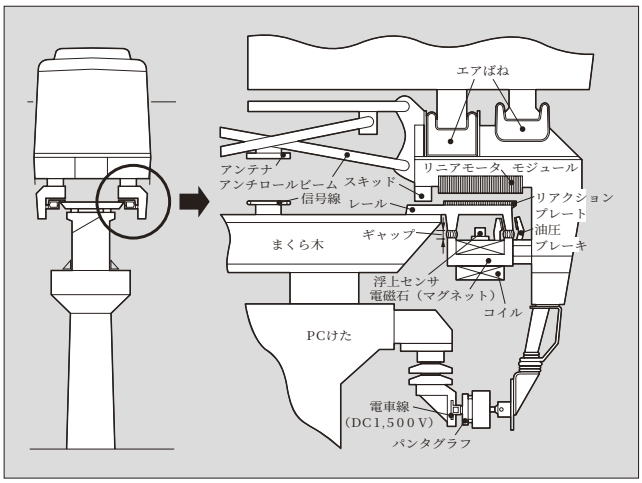
田村　浩明

鉄道車両用パワーエレクトロニクス機器の開発・設計に従事。現在，富士電機システムズ株式会社機器本部神戸工場パワエレ技術部。

表2　リニモの主要諸元

編成・定員	編成	3M（Mc1＋M＋Mc2）
	車体寸法	列車長　（先頭車　＋中間車）　幅　高さ 43.3m（14.0m×2＋13.5m）×2.6m×3.45m
	質量	空車：17t/両，満車：27t/両
	定員	編成：244人（座席定員104人）
主要装置など	車体構造	アルミ合金製半張殻構造
	車体支持装置	ペアモジュールによる可撓（かとう）台車方式
	浮上案内装置	浮上・案内兼用U形常電導電磁石（10台/1両） （標準浮上高さ8mm，省電力浮上高さ6mm）
	推進装置	VVVFインバータ制御リニアインダクション モータ方式
	制動装置	常用：電気（回生/逆相）ブレーキ，油圧ブレーキ 非常用：油圧ブレーキ
車両制御	保安装置	ATOによる無人運転 ATCによる車上信号，速度制限
	監視・制御	TIMSによる車上機器の集中監視・制御
電源	電気方式	DC1,500V
走行性能	最高速度	100km/h
	加速度	最大4.0km/h/s
	減速度	常用（最大）：4.0km/h/s 非常用：4.5km/h/s
	最大登坂こう配	60‰（大江実験線の最大登坂こう配は70‰）
	最小通過曲線	75m

図2　浮上系の構成



間中は万博八草駅）までの9駅8.9kmを17分で結んでいる。沿線には半径75mの急カーブや1,000分の60の急こう配などがあるが，通常の鉄輪式鉄道には実現困難な線路条件も浮上式鉄道であるリニモには可能である。(1)

4　磁気浮上システムの概要

リニモは電磁石によってレールとの間に発生する吸引力を利用して浮上する常電導吸引式磁気浮上方式を採用している。通常の鉄輪式鉄道車両の台車に相当する浮上モジュールは浮上力を発生する電磁石と浮上量を管理するための浮上センサの各2群とその制御装置から構成されてお

図3　磁気浮上システムのシステム構成

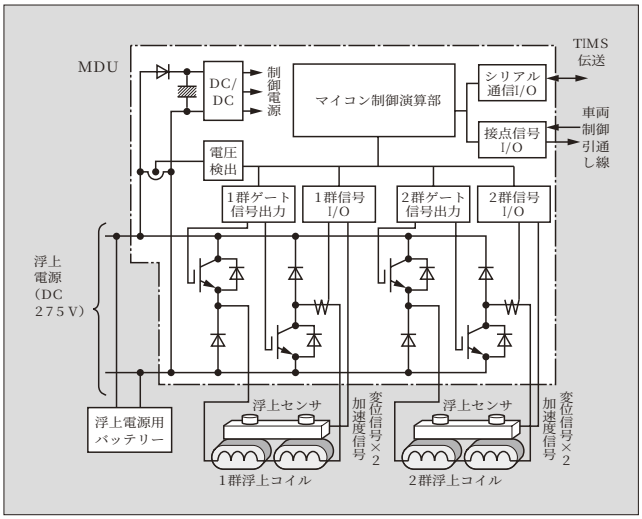
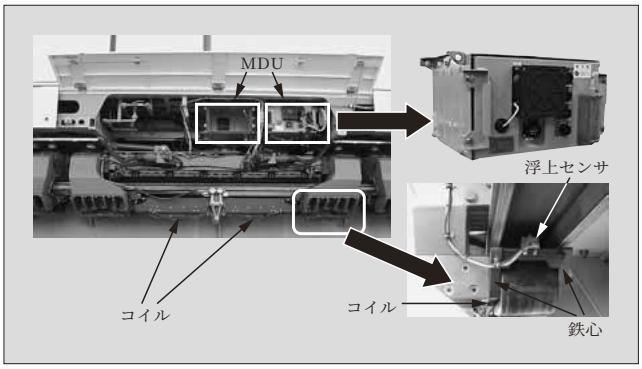


図4　磁気浮上システムの製品外観



リ，1両あたり最大28トンの車両を10台のモジュールで浮上させる。図2に浮上系の構成を示す。

4.1　システム構成と諸元

磁気浮上システムのシステム構成を図3，製品外観を図4に示す。

1台の浮上モジュールには，二つの浮上コイルと鉄心，浮上センサから構成される浮上ユニット2群が搭載されている。浮上ユニットを制御するマグネットドライバユニット（MDU）は，1両あたり10台，1編成3両で合計30台が車体床下にぎ装されており，MDU 1台で浮上モジュール1台（2群の浮上ユニット）を制御する。

2群の浮上ユニットは1台のMDUの中でおのおの独立に制御されるが，制御周期を互いに半周期ずらすことで，電源負荷を軽減するようにしている。

4.2　MDUの制御技術

表3に浮上コイルとMDUの主要諸元を示す。

(1)　マグネット電流の制御

直列に接続された二つの浮上コイルは，IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）を使用した2象限動作のチョッパにより制御される。図5にIGBTのスイッチングモードを示す。

(2)　浮上センサ

浮上センサはレールからの距離を検出する変位センサと，鉛直方向の加速度を検出する加速度センサから構成される。

変位センサはレール中央の下部と浮上ユニットの上部に設けられた浮上センサ上部との間のギャップ量を計測することで，レールからの浮上量を間接的に検出している（図2参照）。変位センサは高周波磁束がレールに誘起する渦電流の大きさがレールとの距離に比例することを利用してギャップ量を非接触で検出する。なお，変位センサはレール継目のすきまで浮上量を誤検知することを避けるため，二組のセンサを一定の間隔を隔てて設置し，そのうちの最小値をギャップ検出値として制御に使用する。

(3)　MDUの浮上制御アルゴリズム

吸引式の磁気浮上では，電磁石の励磁電流が一定であれば，浮上量，すなわち電磁石とレールとのギャップと吸引力が反比例（ギャップ小：吸引力大，ギャップ大：吸引力小）の関係にあり，外乱などでギャップが変動するとそれを助長する方向に働く。このため，浮上モジュールが落下やレールへ吸着しないよう適切な制御を施す必要がある。MDUでは，変位センサで検出したギャップ量が指令したギャップ値に一致するよう高速でPID（比例，積分，微分）制御を行い，吸引力を制御している。さらに，加速度センサで検出された浮上モジュールに生じている加速度情報に基づく補償制御を行って，制御の安定性を確保している[2]。

HSSTでは車体と軌道系の各種構造物との相互作用で振動モードが発生することが判明している。そこで，大江実験線で観測された以下の振動モードに対する周波数選択型の補償制御を行っている。

(a)　けた振動：十数Hz

(b)　まくら木振動：70～75 Hz

(c)　レール振動：125 Hz近傍

また，これらの制御系のダイナミクスは車両の走行速度に大きく依存していることから，車両制御伝送システム経由で得られる車両速度情報に基づいて制御パラメータのゲインスケジューリングを行って，最適な制御特性を実現している。

図6に浮上制御系の制御ブロック図を示す。

4.3　保護技術

磁気浮上鉄道では浮上機能を安定かつ確実にすることが最重要である。このため，リニモ特有の運用環境を踏まえ以下の保護対策を行った。

(1)　IGBTの過負荷耐量

リニモの場合，両端駅における折返し時を除いて，常時浮上していること，また愛知万博開催期間中の利用者の集中による連続的な過負荷を考慮して，チョッパ用IGBTの過負荷耐量はコイルの連続定格に比べても十分大きなものとした。

(2)　ブレーカのトリップ抑制

浮上用電源としては架線から供給されるDC1,500 Vを補助電源装置で降圧したDC275 Vが供給される。浮上用電源には配電系の保護協調のためブレーカが設けられているが，ATO（Automatic Train Operation）による自動（無人）運転を基本とするリニモでは，手動操作が必要なブレーカのトリップ発生は，運行に重大な支障を生じるお

表3　浮上コイルとMDUの主要諸元

	項　目		仕　様
浮上コイル	起　磁　力		8,700 AT
	定 格 電 圧		DC280 V
	定 格 電 流		DC28.6 A
MDU	搭 載 方 式		つり下げ式
	主　素　子		IGBT（600 V，300 A）
	制 御 方 式		2象限チョッパ制御
	出力電流	定　格	45 A
		短時間耐量	50 A（10 min）
		瞬 時 耐 量	150 A（10 s）

図5　MDUチョッパのスイッチングモード

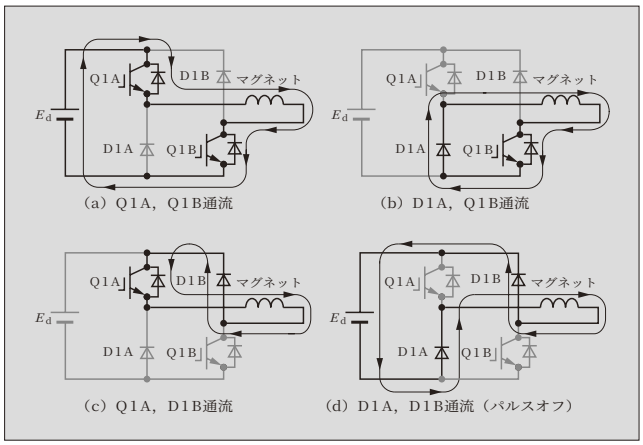
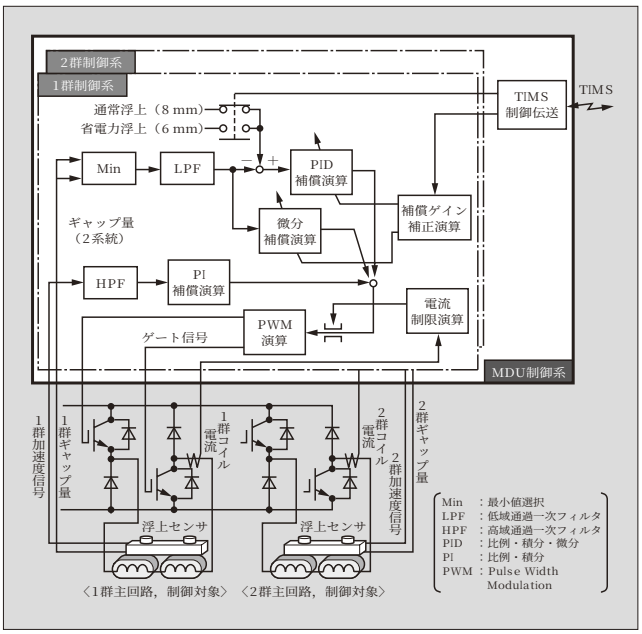


図6　MDU浮上制御系の制御ブロック図

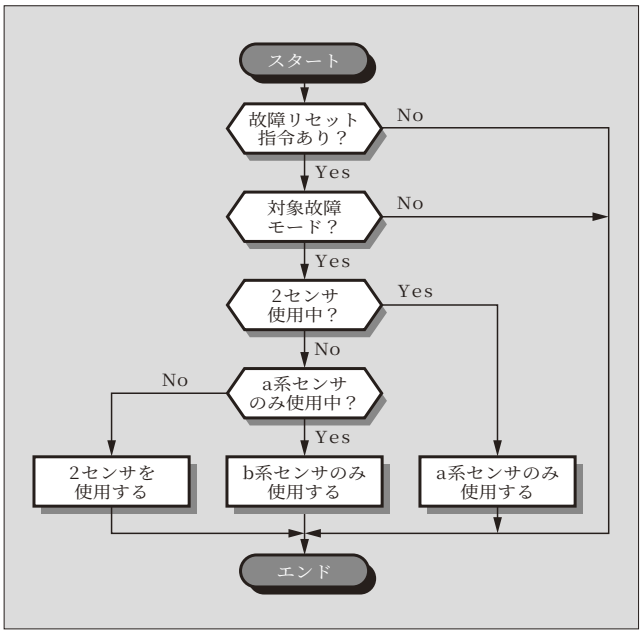


それがある。このため，MDU でブレーカ特性に基づいた電流制限を行って，ブレーカのトリップを抑制するようにしている。

(3)　停電時の運転継続

浮上走行中に架線停電が発生した場合，浮上状態を停車まで維持する必要があり，リニモはこの間の浮上電力を供給するためのバッテリーを装備している。有限なバッテリー電力の消費を低減するため，架線停電の発生により車両制御伝送システム経由で与えられた省電力浮上モード指令または浮上電源電圧低下の検知に基づいて，浮上量（ギャップ値）を通常の 8 mm から 6 mm に切り替えて消費電力の低減を行う。さらに，MDU 制御電源の停止による制御不能と制御停止時にコイルに蓄積された磁気エネルギーの還流による過電圧を回避するため，コイルの励磁電流を制御して浮上電源の下限値まで制御を継続できるようにしている。

図 7　シングルセンサオペレーションモードの管理アルゴリズム



4. 4　高信頼度化技術

リニモ 1 編成には 30 台の MDU が搭載されているが，この数は信頼性における冗長性には寄与しない。むしろ，磁気浮上鉄道であるリニモの浮上系は，MDU1 台の不具合が直ちに列車の運行に影響を与えかねない最重要機器である。そこで，浮上系の信頼性向上のため，以下の対策を行った。

(1)　変位センサの縮退運転

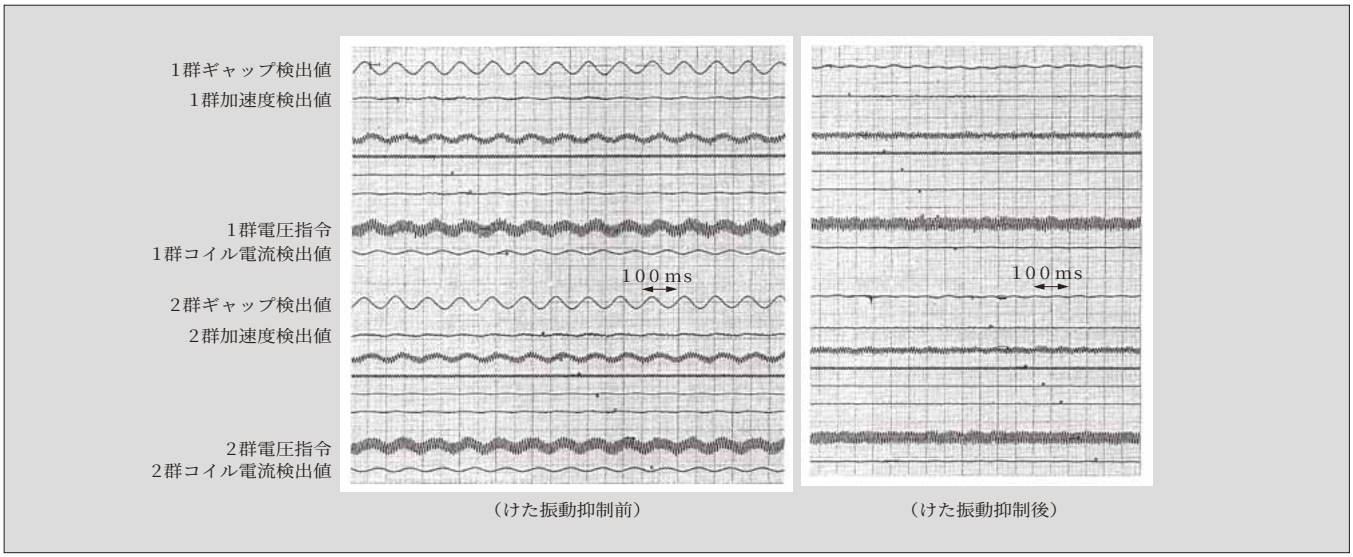
浮上センサはリニモの浮上制御の根幹をなす重要部品である。変位センサはレール継目における誤検知回避のため二重系となっているが，レール継目部以外では単一の変位センサでも十分制御可能である。また，一定速度以上で走行中であれば，浮上量検出値にレール継目部通過による一時的な外乱を受けても，浮上制御品質を大きく損なうことなく，乗り心地にも影響ないことが分かっている。このことを利用して，変位センサの一方に問題が生じた場合は，他方の変位センサのみを使用するシングルセンサオペレーション（縮退運転）モードを設けて，万が一のセンサ不具合においても極力運転を継続可能とした。

変位センサの切替は，変位センサの不具合に起因する故障モードに応じて，運転台または運転指令所からの故障リセット指令を使用して変位センサを切り替える図 7 に示す半自動方式とすることで，複雑な切替アルゴリズム適用によるシステムの信頼性低下を回避した。

(2)　システム情報

MDU の制御情報は，シリアルデータ通信機能により，列車情報管理システム（TIMS：Train Information Management System）に通知され，運転状況の管理に使用されるほか，MDU 単体でも故障ログ機能および主要な制御量をトレースバックデータとして蓄積して，万が一の不具合発生における要因解析を容易にしている。

図 8　満車試験データ（けた振動の抑制）



4.5　現車試験

リニモの浮上制御は，リニモの原型となった100L型車両およびリニモ第1編成（プロト編成）を使用した大江実験線での延べ1年有余にわたる浮上走行試験，および大江実験線での貴重なフィールドデータに基づき軌道特性を改善した営業線（東部丘陵線）での走行試験で磨きをかけた。

図8に車両質量が満車の場合のけた振動の発生状況と，その抑制制御を行った現車試験結果を示す。

現車試験では光シリアル伝送機能を利用して，MDU制御系の各種制御量を測定器端まで取り込むことで，一般車両に比べて厳しい電磁環境にあるリニモにおいても良好な試験評価を実施することができた。

5　あとがき

磁気浮上式鉄道として，わが国ではじめて実用化されたリニモの磁気浮上システムの概要を紹介した。

リニモにはじめて乗車されたお客様の多くが，藤が丘駅ーはなみずき通駅間の地下区間走行中の静粛性に驚く。

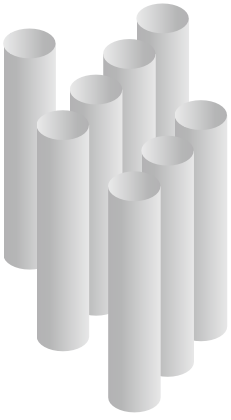
今後，磁気浮上鉄道が普及し，騒音レベルのバロメーターの一つである「地下鉄の車内騒音」が死語になる時代もそう遠い話ではないかもしれない。

それを実現するためにも，HSSTの生命線ともいうべき磁気浮上制御品質と信頼性の一層の向上に努める所存である。

参考文献

(1)　石本俊三ほか．日本初の常電導磁気浮上鉄道の実用化．Maglev. 2004.

(2)　Morita, M. et al. The Characteristics of The Levitation System of Linimo（HSST System）. Maglev. 2004.



リニアモータ式側引戸用戸閉装置

梅澤 幸太郎（うめざわ　こうたろう）　辻村　勲（つじむら　いさお）　高橋　弘（たかはし　ひろし）

1　まえがき

車両の側引戸用戸閉装置（がわひきどようとじめそうち）は，日本国内では，主として圧縮空気で空気シリンダを駆動する方式が使用されている。しかしながら，空気式戸閉装置は高度な制御ができないために乗客が扉に挟まれたときなど，安全性への対応が難しく，また，空気配管の設置やそのメンテナンス作業が発生する。このことから，近年では乗客への安全性の高いシステム，また，メンテナンス費用が低減できる方式が求められるようになってきた。

富士電機は東日本旅客鉄道株式会社（JR 東日本）との共同開発を経て，リニアモータ駆動による側引戸用戸閉装置（リニア式戸閉装置）を製品化し，JR 東日本の首都圏で運用される E231 系電車および E531 系電車に採用された（図 1）。また JR 東日本での採用に続き，ニューヨーク市交通局（NYCT）の最新鋭の R160 電車にも採用された（図 2）。本稿では，その開発の経緯と仕組みなどについて紹介する。

2　開発と経緯

JR 東日本は，国内の他の鉄道事業者同様，車両用側引戸用戸閉装置には圧縮空気で空気シリンダを駆動する方式を採用していた。しかしながら高機能，省メンテナンスを志向し，まず 209 系電車で電気式戸閉装置を採用し，さらに安全性，信頼性の高い電気式戸閉装置の導入を検討していた。そこで，JR 東日本とリニアモータ技術の製品化を模索していた富士電機は，リニア式戸閉装置の共同開発を 1989 年にスタートさせた。駆動方式の評価，各種施錠方式の試作と評価，戸挟み安全機能の評価，軽量化，消費電力の低減，信頼性・耐久性向上，コストダウンなどの多岐にわたる項目について開発を推進し，1998 年に 209 系 950 番代（その後，E231 系 900 番代に改称）に正式採用され，その後，E231 系の東北・高崎線，東海道線，湘南新宿ライン，常磐快速線，E531 系常磐線に順次採用されている。

一方，NYCT は 6,000 両以上もの車両を保有する世界有数の鉄道事業者である。元々 NYCT の車両は側引戸に電気式戸閉装置を採用していたが，さらに高品質，高信頼化のニーズがあった。そんな折，JR 東日本で採用された富士電機製品を知り，採用を検討することとなった。NYCT

図 1　JR 東日本の E531 系電車

図 2　NYCT-R160 電車

梅澤 幸太郎

鉄道車両用電機品のエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部交通・特機統括部車両技術部主任。

辻村　勲

リニアモータの開発設計に従事。現在，富士電機モータ株式会社リニアプロジェクト室マネージャー。電気学会会員。

高橋　弘

パワーエレクトロニクス関連の研究・開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社エレクトロニクス技術研究所。電気学会会員，電子情報通信学会会員，情報処理学会会員。

表1　開発と製品化の経緯

年　次	車　両	経　緯
1989年		JR東日本との共同開発スタート
1991年	103系	試作装置評価（JR東日本 大船工場内）
1993年	183系	客室仕切引戸（JR東日本 房総地区試験運用）
1995年	701系	側引戸（JR東日本 仙台地区試験運用，2開口，2年間）
1997年	E217系	側引戸（JR東日本 横須賀・総武快速線試験運用，3両，1年間）
1998年	E231系900番代	営業運転（JR東日本 総武緩行線）
1999年	E231系	営業運転（JR東日本 東北・高崎線，以降常磐快速線，東海道線ほかで採用）
2002年	NYCT-R143	営業運転での評価試験（約2年間）
2004年	NYCT-R160	正式採用決定（2006年から営業運転予定）
2005年	E531系	営業運転（JR東日本 常磐線）

で製品が採用されるためにはNYCTのメーカー認定を受ける必要があり，数々の設計評価，試作品の評価などを経て，2002年6月から既存車1編成（8両，64開口に装置を搭載し1年間の走行を行うQualification Test（認定試験）を受検した。この試験でMDBCF（Mean Distance Between Component Failure：平均故障間走行距離）や稼動率で規定されている要求レベルを大きく上回る成績を達成し，Qualified Supplierとして認定された。

表1に開発と製品化の主な経緯を示す。

3　電気式ドアおよびリニアモータの長所

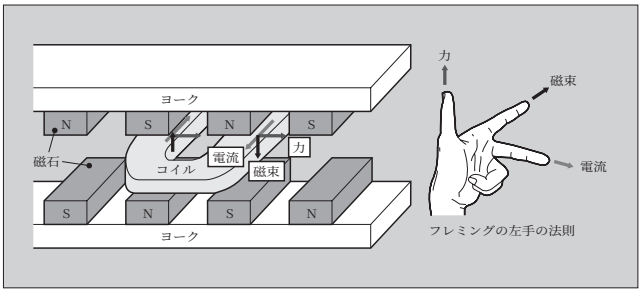
電気式ドアの利点の一つは，電気電子制御により高機能で高速なドア制御が実現できる点にある。乗客が扉に挟まれたときの戸挟み安全機能は，電子制御ならではの，きめ細かな動作により乗客への安全性を確保している。

また，車両の空気配管がなくなることで，車両システムとしてのイニシャルコストやメンテナンスコストの低減が可能である。従来の空気式ドアは経年変化に対して当初の戸閉力や開閉時間という基本性能を維持するために空気配管の定期点検や保守が必要であったが，電気式はデジタル制御の採用で，トルクや開閉時間に関する再現性が確保され，保守点検が容易である。

また，自己診断機能や故障記録機能を行うことでの，省メンテナンス，さらに車両制御伝送システムと連携した車両システムのインテリジェント化にも容易に対応可能である。現在，リニア式戸閉装置を装備した車両は，車上試験や出庫点検時に運転台から全ドアの点検を実施することで省力化を実現している。

さらにリニア式戸閉装置は上記電気式ドアの一般的な長所に加えて，ドアの直線運動をリニアモータ自身の直線運動で実現していることから，動力の機械的な変換機構を必要としないことも特長である。この結果，機械系の摩擦を小さくすることが可能であり，回転式モータにおけるボールねじしゅう動部への頻繁な給油が不要なほか，戸挟み検知の感度を高くし，高い安全性を実現することが可能である。

図3　リニアモータの原理



4　リニア式戸閉装置の原理と仕組み

4.1　リニアモータ

リニアモータには，大きく分けて同期式（リニアシンクロナスモータ）と誘導式（リニアインダクションモータ）の2方式がある。リニア式戸閉装置では，磁界を作る励磁電流が不要で，戸閉装置に要求される推力の発生に適している永久磁石を使用した可動コイル形の永久磁石界磁リニア同期モータを採用した。図3にリニアモータの動作原理を示す。

4.2　インバータ

交流モータであるリニアモータの駆動には，高速スイッチングの可能なIGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）を適用したインバータを採用し，サーボ技術によるリニアモータの高性能制御とインバータ動作時の静粛性を実現している。

電車用側引戸は，低電圧の制御電源から給電されるのが一般である。バッテリー給電時は大きな電源変動を受けるため，通常の電気機器よりも許容電源電圧変動範囲を広くとった設計となっている。また，NYCTは給電電圧がDC37.5 Vであるため，ケーブルのインピーダンスによる電圧ドロップの影響を考慮し，インバータの前段に電源電圧の昇圧回路（双方向）を設けて安定化を図るとともに，昇圧することで，リニアモータ可動子巻線の最適化を行っている。

4.3　コントローラ

高性能なマイクロプロセッサを用いて高性能・高機能なサーボ制御を実現している。また，車両内の情報伝送装置との連携により，ドアの状態，装置への入力信号の状態などをモニタする機能や，開閉時間などによる開閉動作の自己診断結果を運転台から確認する機能などを実現し，点検作業の省力化と高機能化を実現している。また，故障記録機能により，万が一の不具合発生に対しても，故障要因の解明を容易にしている。

4.4　施錠装置

施錠装置は戸閉状態を確実なものとし，ドアの安全性を確保する要として，戸閉装置の構成要素の中でも最重要なものの一つである。開発当初は永久磁石を使用した方式なども検討されたが，最終的には信頼性の高い機械式を採用した。施錠状態はラッチに連動したセンサによって制御装置に通知される。施錠装置の解錠動作は，JR 向けではリニアモータの推力を利用した方式，NYCT 向けではソレノイドにより行っている。いずれの方式も非常時に制御電源がない状態でも手動で解錠できるようにハンドルが設けられている。

4.5　ドア駆動

電車の側引戸はその運用中，扉の開閉方向および横方向に大きな荷重を受ける。特に首都圏で運用される電車のドアは，ラッシュアワーの過酷な条件下での使用に耐えることが不可欠である。

図4　JR 東日本のリニアモータ式戸閉装置の構成

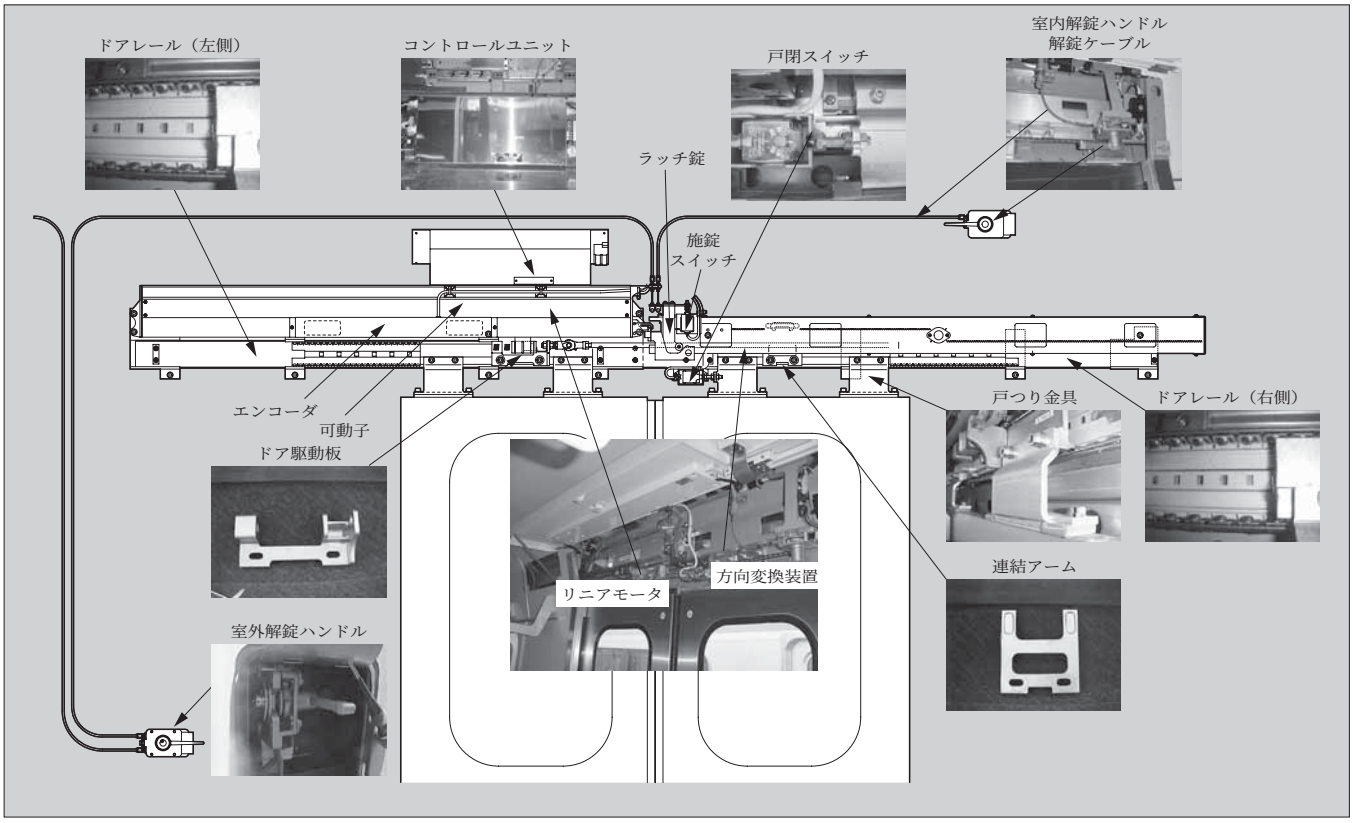
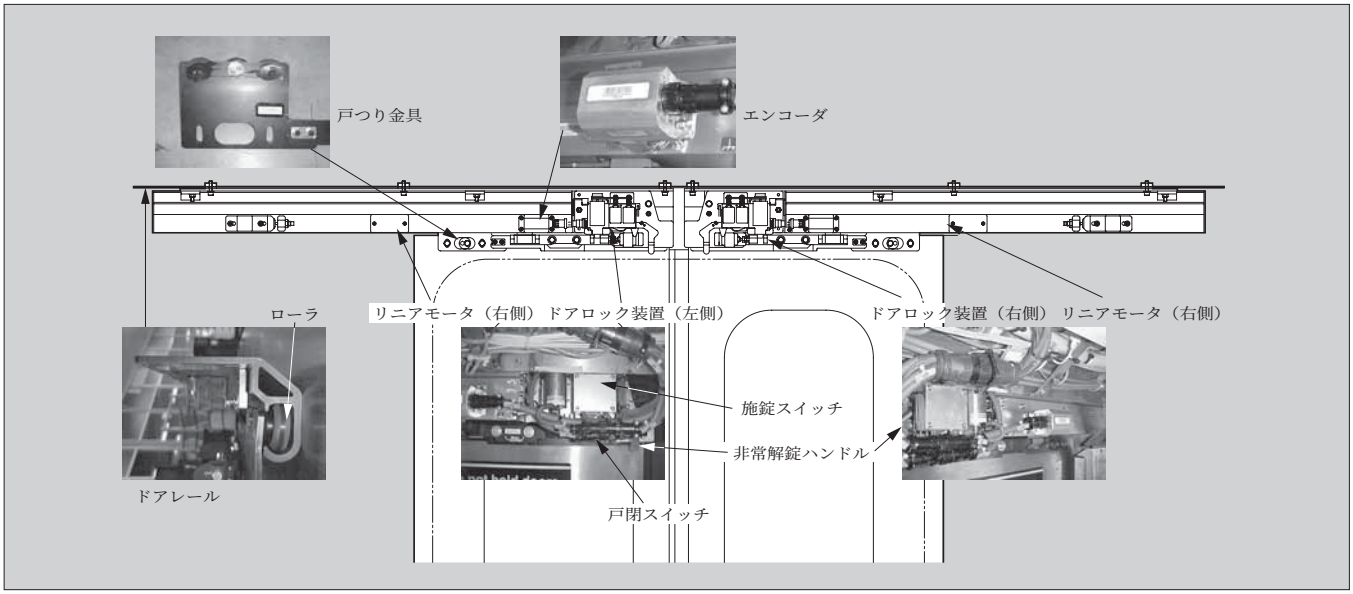


図5　NYCT-R160 のリニアモータ式戸閉装置の構成



従来の回転式モータを使用した電気式ドアでは，回転力をドアの直線運動に変換するボールねじを介してモータと扉が機械的に直結しているため，扉に加わる衝撃や応力がモータに伝わり，モータや軸受の寿命に影響することがあった。リニア式戸閉装置では，モータが扉と同じ直線運動をする特長を生かし，モータと扉を機械的に直結させることなく，駆動アームによる自由継手を介して駆動する方式を採用することで，モータに横荷重が直接負荷されないようにした。

JR 東日本の通勤・近郊形電車のドアはほとんどが両開きである。このためリニア式戸閉装置も当初は各扉ごとに1台のリニアモータ，すなわち1開口を2台のリニアモータで駆動する方式を採用していたが，軽量化およびコストダウンの観点からラックアンドピニオンによる動力反転機構（方向変換装置）を利用し，1台のリニアモータで両開きの扉2枚を駆動する方式を開発した。図4に全体システム構成を示す。ここで，ドアを開閉する推力は，リニアモータからドアレールの可動部に伝達される。ドアレールの可動部には方向変換装置のラックにつながる連結棒が取り付けられており，推力は連結棒に結合されたラックからピニオンを介して他方のラックに伝えられ，リニアモータを装備しない側のドアに逆向きの運動方向を与える。

NYCT では，ドアシステムの運用効率を高めるため，両開きの左右の扉をそれぞれ独立に駆動することが仕様で求められていることから，1開口を2台のリニアモータで駆動する方式を採用している。図5に NYCT-R160 の全体システム構成を示す。

5　高信頼度化

車両の側引戸用戸閉装置は乗客の乗降にかかわるとともに，車両走行中はその安全を確保する重要な機器である。このため，その動作には高度の信頼性が要求される。

5.1　制御の高信頼度化

側引戸で最も避けるべき事故は車両の走行中に扉が開くことである。JR 東日本の E231 系，E531 系では，引通し線による開許可信号と，車両情報制御装置経由の制御伝送線で伝達される開指令との論理積に基づいて開動作を行うことで制御信号の二重化を図り，信頼性を確保している。

NYCT では，歴史的に有接点のリレーシーケンスの信頼性を尊重する設計思想があるため，制御伝送を用いたドア制御は行われていない。その代わり，Single Point Failure（単一故障）では，安全にかかわる機能上の支障をきたさないことが求められており，側引戸を閉状態で保持する施錠装置の解錠機構を，ドア駆動用のリニアモータとは別に設け，解錠とドアが別々の指令によって駆動される。

また，戸閉状態の安全確保のため，施錠状態にある場合はモータの電源をオフして，万が一の誤動作による開動作を防止する。さらに，何らかの原因で解錠されたことを検知すると，制御伝送経由で運転台に通知するとともに，モータが閉方向の推力を発生して，戸閉状態を維持するようにしている。

5.2　安全性の確保

(1)　設計時の安全性評価

車両の側引戸用戸閉装置は，乗客と直接接する機会の多い電車搭載機器の一つである。このため設計審査の過程で FMECA（Failure Mode and Effects Critical Analysis：故障モード影響解析）や Hazard Analysis（危険分析）などによってその安全設計思想が厳しく吟味される。また，耐 Vandalism（バンダリズム）として，強引な操作やいたずらに対しても，ドアシステムやその機能に影響がないことが求められる。安全性解析のフォーマット例を図6に示す。

(2)　乗客への安全性考慮（戸挟み安全機能）

閉扉時に乗客の身体や荷物が挟まった状態を“戸挟み”と称している。扉で荷物やベビーカーを挟んだまま発車する事故や，乗客のけがを防ぐためにも戸閉装置は感度よく戸挟みを検知し，素早く反応することが必要である。

リニア式戸閉装置は，動力の機械的な変換機構が少ないため機械的摩擦が少なく，他の方式よりも戸挟み検知の感度を高めることが可能であるという特長がある。さらに，最新のパワーエレクトロニクス技術を応用したサーボモータの制御技術を駆使し，高性能の戸挟み安全機能を実現した。それによりベビーカーなどの戸挟みに対しても安全性を十分に確保できることを確認している。

戸挟み検知時の具体的な動作は，長年にわたる運用実績を踏まえ，鉄道事業者ごとに決められている。JR 東日本の E231 系などでは，従来方式のドアとの整合を考慮し，戸挟み状態を検知すると，ドアの推力の強弱を繰り返す方式としている。

NYCT では，戸挟み検知後，規定量だけ扉を開方向に

図6　安全性解析のフォーマット例

Hazard Rate	Hazard Category			
	Category Ⅰ: Catastrophic	Category Ⅱ: Critical	Category Ⅲ: Marginal	Category Ⅳ: Negligible
A Frequent	Unacceptable	Unacceptable	Unacceptable	Acceptable with Review
B Probable	Unacceptable	Unacceptable	Undesirable	Acceptable with Review
C Occasional	Unacceptable	Undesirable	Undesirable	Acceptable without Review
D Remote	Undesirable	Undesirable	Acceptable with Review	Acceptable without Review
E Improbable	Acceptable with Review	Acceptable with Review	Acceptable with Review	Acceptable without Review

各故障モードについて，故障の頻度と発生したときの障害の重大性でマトリックス化して評価

移動し，改めて閉動作する再開閉動作を規定回数だけ行い，その後も戸挟み状態が解消されない場合は閉動作状態を継続することになっている。図7に通常の開閉動作パターン，図8にJR東日本の戸挟み安全動作，図9にNYCT-R160の戸挟み安全動作を示す。

5.3　ハードウェアの高信頼度化

電車の側引戸は乗客の安全確保のために高度な信頼性が要求されるとともに，1台のドアの不具合が列車遅延などの要因となることから，運用上の信頼性も重要である。JR東日本では，次世代の通勤電車としての要素技術を開発・検証するためのプロトタイプ車両であるACトレイン（Advanced Commuter Train，E993系）の開発にあたり，ドアシステムの信頼性向上のため，ドアコントローラの万が一の不具合に対して，隣接するドアのコントローラがバックアップする相互バックアップ方式のドアシステムを採用した（図10）。富士電機は，相互バックアップを行うドアとして，対向（車両の海山側）と同側の2方式のドアシステムを納入した。

さらに東海道線から投入されたE231系用リニア式戸閉装置では，相互バックアップのための機器間配線が不要であり，ぎ装やコストを含めトータルで優位性の高い，完全二重化されたコントローラによる待機冗長方式のドアシステムを採用した（図11）。ここではドア1開口ごとにインバータ用IGBTを含めて二組のコントローラから構成されている。一方を常用系，他方を待機系として運用し，入力信号は常に両系で監視するが，通常のインバータ出力と信号出力は常用系が担当し，常用系に問題が発生した場合に待機系へ切り替える。これにより，ドアシステムの可用性（Availability）を大幅に改善することができた。

5.4　ソフトウェアの高信頼度化

前述のような電車の側引戸用戸閉装置の特異性から，当然ながらソフトウェアにも高信頼性が要求される。NYCTのコントローラ開発プロジェクトでは，SW-CMM（Software Capability Maturity Model）をベースとしたプロジェクトプロセス技術を適用した。SW-CMMは米カーネギーメロン大学ソフトウェア工学研究所〔Carnegie

図7　通常の開閉動作パターン

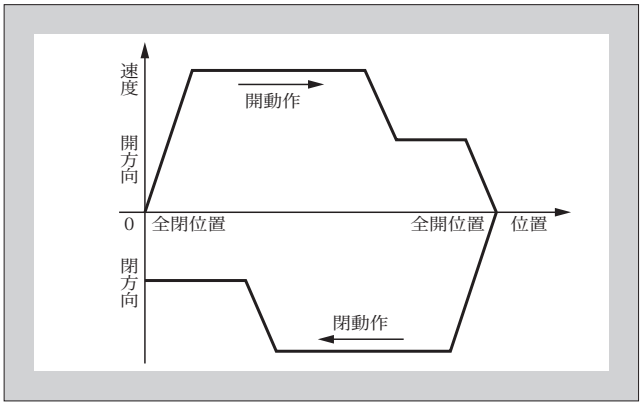


図8　JR東日本の戸挟み安全動作

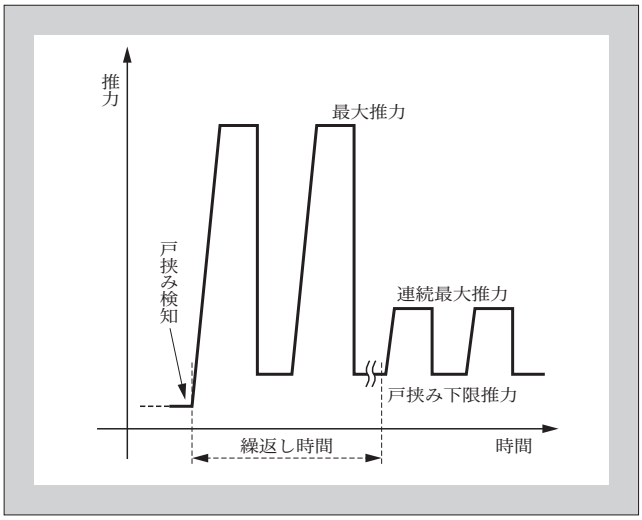


図9　NYCT-R160の戸挟み安全動作

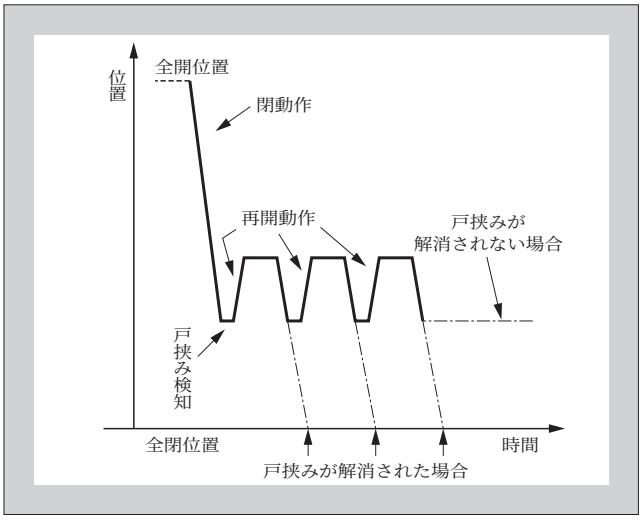


図10　ACトレインで採用された相互バックアップ方式

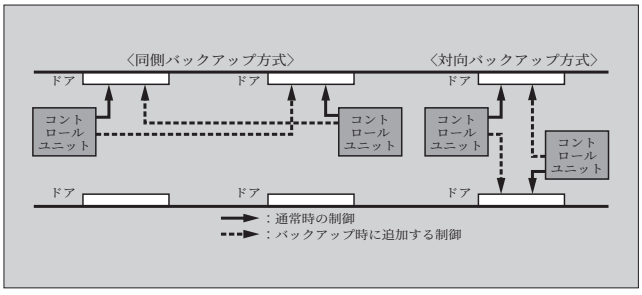
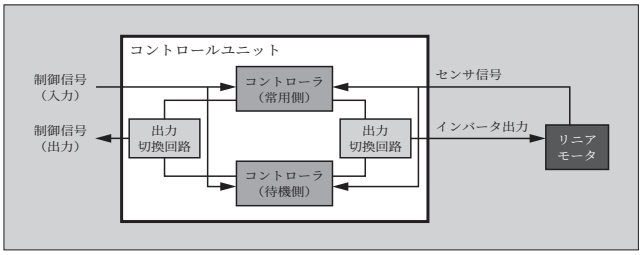


図11　待機冗長バックアップ方式の構成



Mellon University/Software Engineering Institute（SEI）〕が提唱するソフトウェア開発プロセスの成熟度モデルで，ソフトウェア品質管理手法のデファクトスタンダードとして米国を中心に急速に普及しつつある。このプロジェクトでは新規プロセスの適用により，国内では取得例の少ない第三者監査手法（Software Capability Evaluation）による，米国 SEI 公認エバリュエーターによる CMM レベル 2 認定をわずか 1 年という，通常の半分の期間で取得した。

6 あとがき

リニア式戸閉装置は，JR 東日本の E231 系および E531 系で採用され，2005 年度末時点で合計 1 万開口以上が運用中である。また，海外では NYCT の R160 形で採用され，それを足掛かりに，さらに海外市場へリニア式戸閉装置を展開すべく車両メーカーと連携して推進中である。これからも車両用ドアシステムの供給メーカーとして，今後ともより高品質のドアシステムを提供していく所存である。

リニア式戸閉装置の製品化にあたり，ご指導いただいた JR 東日本および川崎重工業株式会社の関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

(1) 佐藤芳信ほか．通勤電車用リニアモータ駆動ドアシステムの開発．平成 11 年電気学会産業応用部門大会．no.114, 1999, p.359-362.
(2) 佐藤芳信ほか．リニアモータを用いた鉄道車両用ドア駆動システム．平成 15 年電気学会産業応用部門大会．no.3-66, 2003, p.III-297 〜III-298.
(3) 長倉孝行ほか．電流センサレス方式回生機能付き昇圧コンバータ．平成 14 年電気学会産業応用部門大会．no.80, 2002, p.383-384.
(4) 尾崎覚，針江博史．側引き戸用リニアドアの開発と概要．鉄道車両工業．no.431, 2004.

最近の電気鉄道地上設備用パワーエレクトロニクス装置

山本　光俊（やまもと　みつとし）　　大宮司　充（だいぐうじ　みつる）　　鈴木　明夫（すずき　あきお）

1　まえがき

近年，電気鉄道分野において，き電電力の品質向上・維持を目的として，パワーエレクトロニクス技術を利用した製品の適用が広がっている。

富士電機の電気鉄道地上設備用パワーエレクトロニクス装置としては，従来から新幹線用無効電力補償装置，直流回生インバータなどを製品化し，納入実績をあげている。

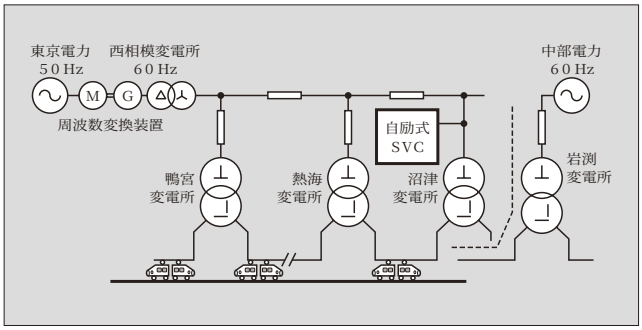
今回，より高度な技術を適用したパワーエレクトロニクス製品として，東海旅客鉄道株式会社（JR 東海）沼津変電所向け自励式無効電力補償装置（自励式 SVC）と首都圏新都市鉄道株式会社秋葉原変電所向け PWM（Pulse Width Modulation）変換装置を相次いで開発，納入したのでその技術的な内容について紹介する。

2　JR 東海沼津変電所向け自励式 SVC

2.1　目　的

東海道新幹線は 60 Hz の三相交流をスコット結線変圧器により M 座，T 座の単相交流に変換して，電車線に電力を供給している（図 1）。このため，50 Hz 地区では，専用の周波数変換所を設置して 60 Hz を作り出して供給している。この末端では片座供給となるために，列車走行時には三相不平衡による逆相電流が発生し，電圧不平衡，電圧低下の要因となっていた。沼津変電所に，この逆相電流に起因した電圧不平衡の補償を主な目的として，60 MVA の自励式 SVC を導入し，2003 年から運転している。

図 1　新幹線の電力系統構成



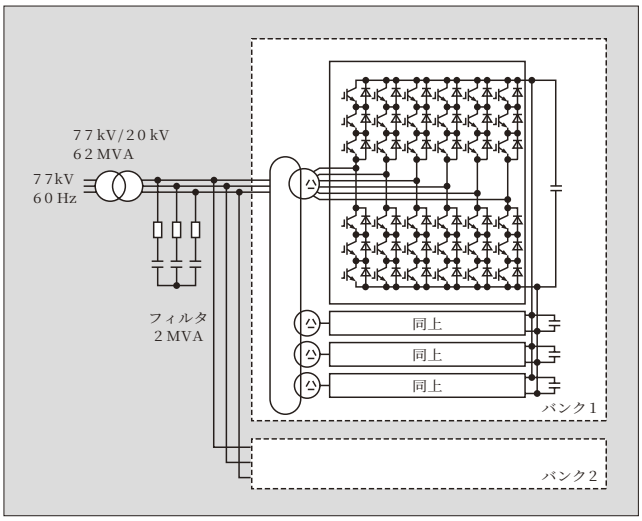
2.2　自励式 SVC のシステム構成

自励式 SVC の仕様を表 1，構成を図 2 に示す。この自

表 1　自励式SVCの仕様

項　目		仕　様
系　統　電　圧		三相，77 kV，60 Hz
システム容量		進相62 MVA～遅相58 MVA
インバータ	容　　量	30 MVA×2バンク
	構　　成	単相インバータ×三相×4多重
	PWM方式	12パルス（擬似台形波，三角波変調）
	冷　　却	純水水冷
多重変圧器	容　　量	30 MVA×2バンク
	構　　成	20 kV/1,920 V（Y/オープンΔ）
降圧変圧器	容　　量	62 MVA
	構　　成	77 kV/20 kV（Δ/Y）
高調波フィルタ	容　　量	2 MVA

図 2　自励式 SVC の構成



山本　光俊

電気鉄道用変電・制御システムの技術企画業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部交通・特機統括部交通技術部グループマネージャー。電気学会会員。

大宮司　充

パワーエレクトロニクス製品の開発，設計に従事。現在，株式会社日本 AE パワーシステムズ変圧器事業部変換装置部アシスタントマネージャ。

鈴木　明夫

パワーエレクトロニクス製品の開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社エレクトロニクス技術研究所。電気学会会員。

励式 SVC システムは 62 MVA の降圧変圧器，2 MVA の高調波フィルタ，および ± 30 MVA × 2 バンクの自励式 SVC で構成している。各バンクは IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）を 3 直列接続した 2 レベル単相インバータ 3 台で三相 1 多重インバータを構成し，この三相 1 多重インバータ 4 台を多重変圧器で直列多重化することにより 30 MVA のインバータを実現している。図 3 にインバータ盤の外観を示す。

2. 3　IGBT 直列接続技術

IGBT 3 直列接続モジュールの回路構成を図 4 に示す。IGBT モジュールには直列接続された素子間の電圧分担不平衡を均一化するため，素子と並列に小容量の RC スナバと，素子のコレクターゲート間に電圧クランプ素子を取り付けている。上下アーム一括の RCD クランプスナバは主回路配線インダクタンスによる跳ね上がりを抑制するために設けている。

また，ゲート駆動回路（GDU）の電源は，分圧抵抗を用いて主回路から非絶縁で電力を供給する自己給電方式としている。これらの技術を適用することにより，従来の GTO（Gate Turn Off）サイリスタ式自励式 SVC に対して大幅な小型化を実現している。

2. 4　制御技術

図 5 に自励式 SVC の制御ブロック図を示す。自励式 SVC は受電点電流から *dq* 変換により逆相電流と，正相無効電流を抽出している。抽出した電流を自励式 SVC の補償電流指令として，系統に逆位相で注入することにより逆相電力補償，無効電力補償を行う。また，自励式 SVC が負荷突入時などに系統に流れる直流分を補償しようとすると多重変圧器が偏磁するため，デジタルフィルタにより電流検出から直流分を除去して補償電流指令を生成している。

2. 5　試験結果

自励式 SVC は工場試験での電圧発生，電流通流試験を行ったのち，現地フィールドで 100 % 負荷通流試験などを行い，目標性能を満足することを確認している。電圧発生，電流通流試験に加えて，現地にて実負荷状態での運転・補償性能を確認後，実運用に入っている。主な試験内容と結果を表 2 に示す。

図 3　自励式 SVC インバータ盤の外観

3　つくばエクスプレス秋葉原変電所向け PWM 変換装置

3. 1　目　的

2005 年 8 月 24 日に開業したつくばエクスプレスは，秋葉原と茨城県つくば市とを最短 45 分で結ぶ線路である。このルートの延長には地磁気観測所が近接しており，直流電化方式を採用している秋葉原ー守谷間のレールから漏えいする大地帰路電流が，地磁気観測に与える影響を可能な限り小さくする必要があった。

この大地帰路電流は路線沿線に設けた変電所間の電圧差により発生するため，それぞれの変電所の出力電圧を一定に制御できる PWM 変換装置を採用してレール漏えい電流を抑制することとなり，富士電機は，秋葉原変電所に PWM 変換設備一式を納入した。

3. 2　全体構成

PWM 変換装置の仕様を表 3，主回路構成を図 6，インバータ盤の外観を図 7 に示す。PWM 変換装置は，スイッチングデバイスとして IGBT を採用した電力変換装置と多重変圧器により構成している。

また，PWM 変換装置は二重系としており，万が一 1 台の PWM 変換装置に故障が発生した場合でも，短時間で予備系に切り替えて運転を継続できるように配慮している。

図 4　自励式 SVC インバータユニットの回路図

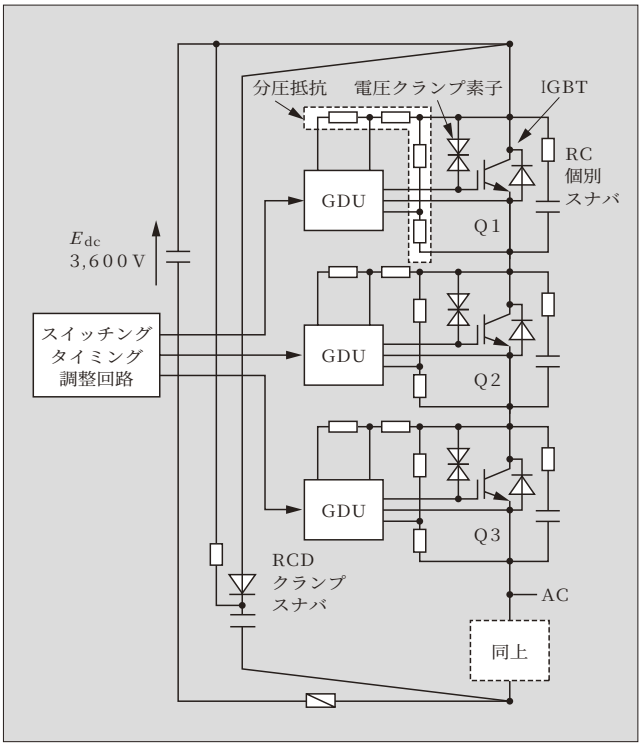


図5　自励式 SVC の制御ブロック図

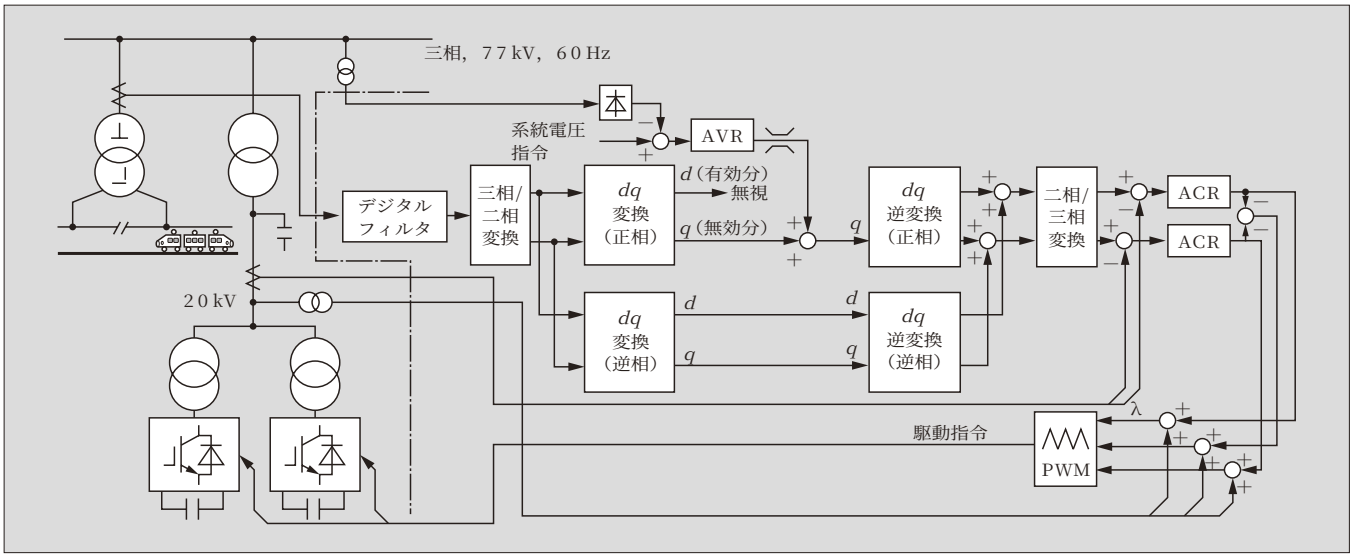


表2　自励式SVCの試験項目

試験項目	目標性能	評価結果
総合高調波	2%以下	1.5%以下
無効電力補償精度	±5%以下	±4%以下
実負荷試験	無効電力補償精度 ±5%以下	±4%以下
	突流などで停止なきこと	異常なし

表3　PWM変換装置の仕様

項目		仕様
定格容量		3,000kW S種（100%：連続，200%：2時間， 300%：1分間）
定格直流電圧		1,500V±0.5%（定常）
受電電圧		三相，22kV，50Hz
インバータ	容量	力行：3,000kW，回生：2,100kW（S種）
	構成	三相インバータ×6多重
	PWM方式	9パルス（450Hz）
	冷却	強制風冷方式
多重変圧器	容量	3,124kVA（S種）
	構成	22kV/6×850V

図6　PWM 変換装置の主回路構成

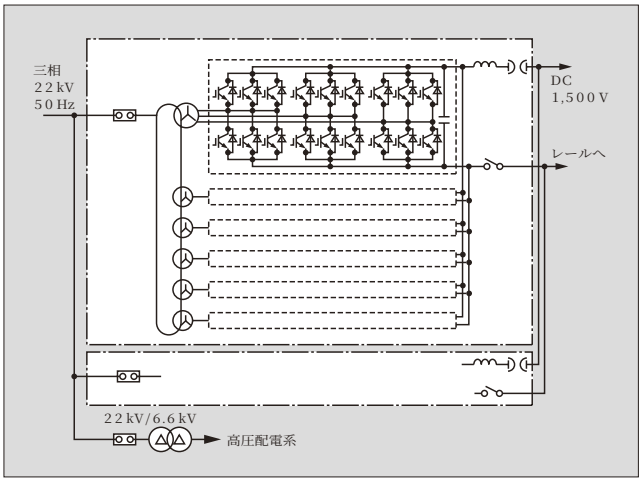


図7　PWM 変換装置インバータ盤の外観

3.3　PWM 変換装置の主回路技術

変換装置は三相変換器 6 多重構成とし，1 多重は IGBT を 3 個並列接続した上下アーム 1 相分のユニット 3 台で構成している。

単位インバータユニットの回路構成を図 8 に，外観を図 9 に，変換装置の仕様を表 4 に示す。以下にユニットの特長を述べる。

(1)　IGBT のスナバレス 3 並列接続

今回開発したユニットは，IGBT を 3 並列接続して単位インバータの大容量化を図ることと，素子過電圧保護のためのスナバ回路を省略することにより，変換装置の小型化を実現した。

IGBT を並列接続する場合，相互の電流分担の均等化が課題となる。今回，この課題を解決するために IGBT3 並列間の特性をバランスさせることに加え，部品配置や主回路およびゲート接続の配線長を考慮している。また，

IGBT の特性は温度によっても変化するため，IGBT のケース温度がバランスするよう冷却にも配慮し，並列接続を実現した。

主回路配線技術として，IGBT や直流コンデンサなどの部品配置を適正化するとともに，対向する導体と絶縁物が一体となったラミネートタイプのバーを適用し，低インダクタンス構造としている。この低インダクタンス構造とゲート駆動条件の最適化により，IGBT をスナバレスで使用することが可能となった。

また，直流コンデンサは，モールドタイプとすることにより，軽量化，安全性の向上を図った。

(2)　短絡保護

今回使用したユニットでは，万一，ユニット内で短絡故障が発生した場合，IGBT のゲート駆動回路において短絡電流を検知し，IGBT 自身でソフト遮断を行い，短絡電流を抑制する保護方式を採用している。ゲート駆動回路では，この短絡保護を行うと同時に，制御装置へ異常状態を伝送し，変換装置システムを安全に停止させている。

また，ヒューズによる保護を併用することで，短絡保護回路が動作しない場合でも安全に停止するように信頼性の向上を図っている。

(3)　ユニット構造

図 8　PWM 変換装置インバータユニットの回路図

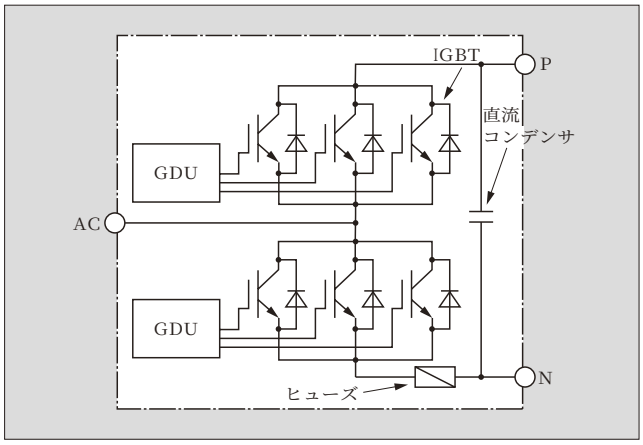
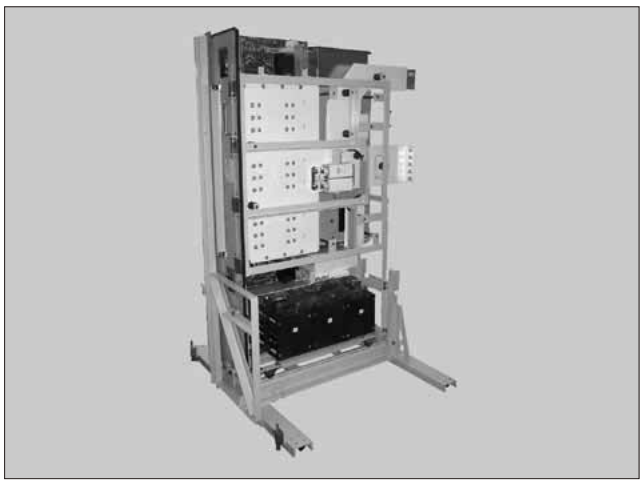


図 9　PWM 変換装置用インバータスタックの外観



ユニットは，引出し可能となるようにキャスタを取り付け，盤体から引き出す際に，昇降リフタを不要とし，ユニット交換や保守・点検時の作業性・安全性を向上させた。

また，ユニットを薄型形状とし，部品を平面状に配置して，部品へのアクセスを容易にし，保守・点検作業を容易に行えるようにした。

(4)　冷　却

ユニット冷却は，強制風冷方式を採用した。

前述したように，IGBT のケース温度がバランスするよう，個々の IGBT 用ヒートシンクへの冷却風量をバランスさせる構造としている。また，冷却風の流路を冷却が必要な箇所に限定することにより，じんあいがユニット内や盤内に拡散することなく，清掃を容易に行えるよう配慮した。

冷却ファンは，3 ユニットで 1 台取り付けることにより，使用個数を減らし，交換や保守・点検作業を簡素化した。

3. 4　制御技術

PWM 変換装置の制御装置には，全体制御用の 64 ビット RISC（Reduced Instruction Set Computer）プロセッサと，変換器制御用の 32 ビット DSP（Digital Signal Processor）の 2 種類の浮動小数点プロセッサを採用している。これらのプロセッサは，並列演算を行い，高速・高精度制御を実現している。また，自己診断機能やアナログ信号・ゲートパルスのトレースバック機能を備え，信頼性の向上と故障解析の迅速化を図っている。

図10に PWM 変換装置の制御ブロック図を示す。

(1)　直流出力定電圧制御

直流出力電圧指令（力行時：1,500 V，回生時：1,530 V）と直流出力電圧検出の偏差をなくすように定電圧制御（AVR）を行い，この AVR の出力と直流出力電流検出を加算した値を，PWM 変換装置の有効電流指令としている。AVR は，約 100 μm 周期での高速演算を行うことにより，微小な直流出力電圧変動に対する追従を可能にしている。また，あらかじめ直流出力電圧検出器の特性を測定し，検出器のオフセットや検出誤差を自動的に補正することにより，直流出力電圧検出精度± 0.5 % 以下を実現している。

(2)　過負荷制限制御

上記のように生成した有効電流指令を，力行時 300 %・回生時 210 % の過負荷制限を行い，負荷が過大となった場合においても過負荷容量内での安定した運転を実現している。

表 4　PWM変換装置インバータユニットの仕様

項　目	仕　様
定格出力電圧	1,500 V
適 用 素 子	モジュール型IGBT3.3 kV　1.2 kA
素 子 構 成	1S3P2A
スイッチング	450 Hz
点 消 弧 信 号	光絶縁方式
冷 却 方 式	強制風冷

図10　PWM 変換装置の制御ブロック図

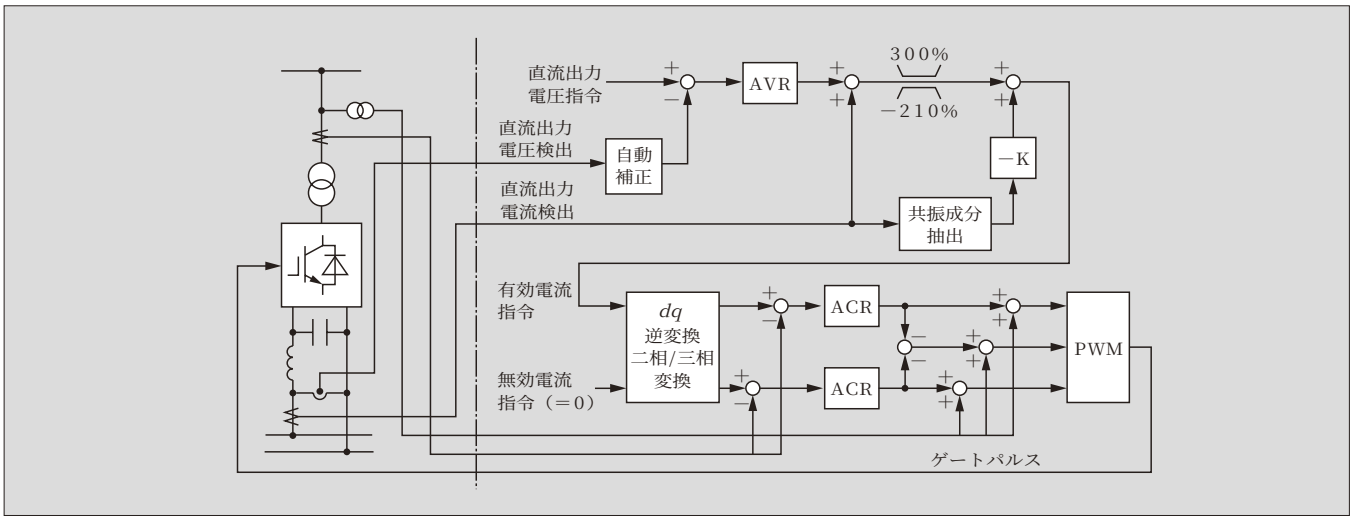
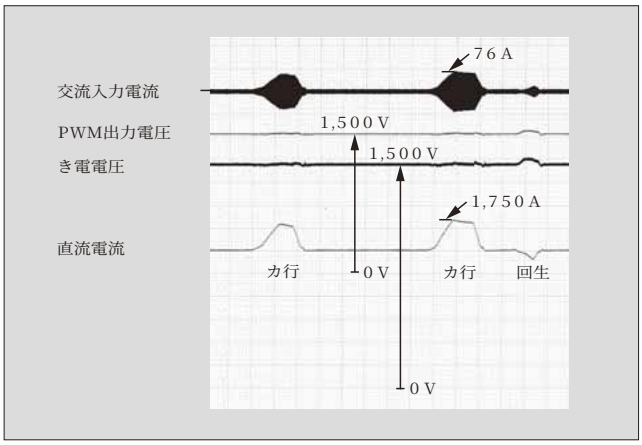


図11　PWM 変換装置の実負荷試験結果



(3)　共振抑制制御

車両や隣接変電所の PWM 変換装置との共振を抑制する必要がある。そのため，直流出力電流検出から共振電流分だけを抽出し，抽出した共振電流分と逆極性の電流指令を有効電流指令に加算することにより，共振抑制を行っている。

(4)　力率 1 制御

有効電流指令と無効電流指令を交流の電流指令に変換して，約 100 μs 周期での高速な電流制御（ACR）を行うことにより，力行・回生時とも力率 1 運転を実現している。また，PWM パルス数として 9 パルス，6 多重構成とすることにより，発生高調波の低減も実現し，フィルタレスで高調波規制値をクリアしている。

3. 5　フィールド試験結果

PWM 変換装置の直流電圧の制御性能を評価するために実施した実負荷試験結果を図11に示す。車両力行時には直流電圧を 1,500 V に，車両回生時には 1,530 V に制御する仕様に対して，直流電流の変動によらず，力行，回生の各モードで直流電圧が仕様どおりに制御していることを確認した。

4　あとがき

電気鉄道地上設備用パワーエレクトロニクス装置としてスイッチングデバイスに IGBT を適用した自励式 SVC と PWM 変換装置について，システム構成，主回路技術，制御技術などの特長およびフィールド試験結果について紹介した。電力の高信頼性，高安全性の要求に応えるため，パワーエレクトロニクス技術を利用した高性能な電力変換装置の適用拡大が期待されており，新しい電力変換装置の開発などを推進していく所存である。

最後に，自励式 SVC および PWM 変換装置の開発・運用にあたり，ご指導・ご協力をいただいた関係各位に深く感謝する次第である。

参考文献

(1)　Takahashi, Y. et al. The Power Pack IGBTs（High Power Flat-Packaged IGBTs）. IPEC Tokyo. 2000, p.269-274.
(2)　鈴木明夫ほか．大容量 SVC 用平形 IGBT 直列スタックの開発．電気学会産業応用部門全国大会．2001.
(3)　丸山宏二ほか．IGBT 直列接続時の電圧クランプ回路の検討．平成 11 年電気学会全国大会．no.1008, 1999.
(4)　Fujii, K. et al. Self-commutated Flicker Compensator applying Flat-packaged IGBT. EPE-PEMC2002.

環境対応・省保守・小型化を追求した最新の直流変電設備

粟飯原 一雄（あいばら　かずお）　　小林　正明（こばやし　まさあき）　　野尻　　尚（のじり　ひさし）

1　まえがき

電気鉄道はエネルギー効率がきわめて高く，最も地球環境に優しい大量輸送機関である。

鉄道用電力設備に関連した環境関連の動きとしては，半導体冷却媒体であるフロン系物質に関しては1987年のモントリオール会議（オゾン層破壊防止）におけるクロロフルオロカーボン（CFC）と，1997年の京都会議（温暖化防止）におけるパーフルオロカーボン（PFC）の規制あるいは削減，また絶縁消弧媒体である六フッ化硫黄（SF_6）ガスについては京都会議において削減がうたわれている。

富士電機では，以上の地球環境保護に加えて鉄道用電力設備として必須要件である「ライフサイクルコストの低減」「環境調和・省エネルギー」「安全性・信頼性の向上」「小型軽量」の実現を目指して各種製品を開発し，ラインアップしている。本稿では，直流き電変電設備で採用されている最新鋭製品である24kVドライエア絶縁スイッチギヤ（C-GIS），純水沸騰冷却式シリコン整流器・電力回生インバータ，100kA直流高速度真空遮断器（HSVCB）ならびに回線単位形主制御用配電盤を紹介する。

図1　ドライエア絶縁C-GISの外観

2　24kVドライエア絶縁C-GIS

特別高圧用スイッチギヤは，信頼性・安全性・小型軽量・省保守とともに耐環境性が求められ，従来，主としてSF_6ガス絶縁C-GISが適用されてきたが，脱SF_6ガス化を実現したドライエア絶縁C-GISを開発・製品化し，2003年から納入している。装置の外観を図1に示す。

大気圧近傍でのドライエアの絶縁耐力はSF_6ガスの1/3程度である。装置をSF_6ガスと同等の小型軽量で実現するために，最適圧力の選定，絶縁構造の最適化ならびに複合絶縁化を行っている。仕様を表1に示す。

この装置の主な技術的特長は以下のとおりである。

(1)　主回路絶縁は，合理的な電界緩和や絶縁距離，被覆絶縁などにより確保している。

(2)　ドライエアはアークによる圧力上昇がSF_6ガスより大きいため，万が一の内部事故時の拡大防止を目的として放圧装置を具備している。

表1　ドライエア絶縁C-GISの仕様

項　目			内　容
定格ドライエア圧力			0.09MPa（G）
定格電圧			24kV
定格電流（JEM/IEC）			600/630A，1,200/1,250A
定格遮断電流			25kA
定格短時間電流			25kA，1秒
定格周波数			50/60Hz
耐電圧	商用周波		50kV
	雷インパルス		125kV
	零気圧（ゲージ圧）		運転電圧に耐える
母線構造			固体絶縁
標準寸法	幅		600mm
	奥行	正面保守	1,315mm
		正背面保守	1,750mm
	高さ		2,300mm
準拠規格			JEM1425，IEC60298

粟飯原 一雄

電気鉄道用変電・制御システムの技術企画業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部交通・特機統括部交通技術部グループマネージャー。電気学会会員。

小林　正明

電気鉄道用変電・制御システムの技術企画業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部交通・特機統括部交通技術部。

野尻　　尚

高圧遮断器の開発設計に従事。現在，富士電機機器制御株式会社器具事業部技術開発・生産センター開発部。

(3)　ドライエア中の酸素成分は期待寿命以上にわたって絶縁物に悪影響を及ぼさないことを確認している。

(4)　拡張性

切離しが容易な絶縁母線の採用により，増設の拡張性に富んでいる。

構造を図2に示す。

3　純水沸騰冷却式シリコン整流器・電力回生インバータ

半導体変換装置においては，地球環境保護の観点から冷媒をCFCやPFCから純水に切り替え，これをシリコン整流器はもとより電力回生インバータにも適用し，2001年以降数多く納入し，特徴的な製品として好評を博している。装置の外観を図3，図4，特長とコンセプトを図5に示す。

(1)　地球環境対応

図2　ドライエア絶縁C-GISの構造（正面保守形）

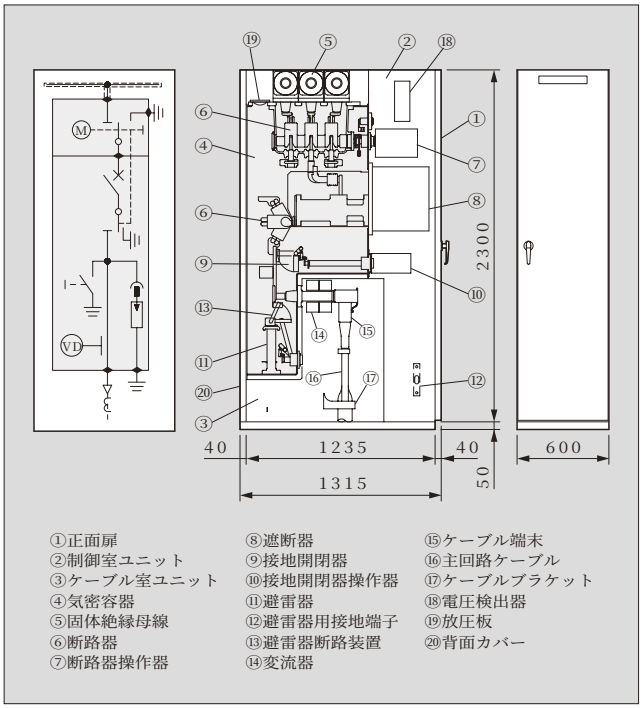
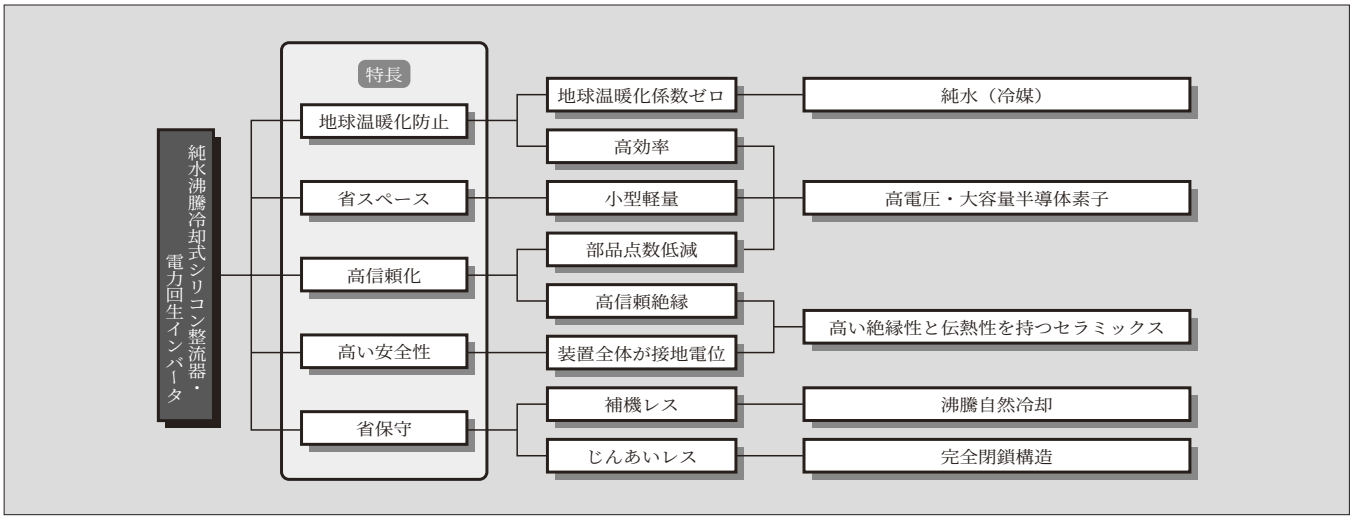


図3　純水沸騰冷却式シリコン整流器の外観

図4　純水沸騰冷却式電力回生インバータの外観

図5　純水沸騰冷却式シリコン整流器・電力回生インバータの特長とコンセプト



純水冷媒・小型軽量・高効率の3点から地球環境に優しい製品である。ダイオード素子は自社生産品で国内最大容量（5,000 V/3,200 A）であり1,500 V/3,000 kW 6パルス整流器を1直列1並列で構成できる。これに伴い付帯部品も大幅に低減する結果，発生損失は40％減（当社従来比）となる。

(2)　省スペース

部品点数の大幅な低減は小型軽量化につながり，容積40％減，据付け面積30％減（当社従来比）となる。

(3)　高い安全性

水は導電性のため，充電部と冷却体間を強度・伝熱性・絶縁性すべてに優れたセラミックス板によって絶縁し，装置全体を大地電位として高い安全性を実現している。

(4)　高信頼・省保守

半導体素子に加えてスナバ抵抗器類も沸騰冷却するという斬新な設計思想により，主回路部の温度上昇を低減して完全閉鎖構造を実現している。また，絶縁設計はJR基準である沿面50 mm以上，空間30 mm以上を適用している。上記により直流高電圧に起因する集じん作用や建屋換気などに伴う内部汚損がなく，かつ十分な絶縁余裕により長期信頼性の実現とともに内部清掃を不要化している。

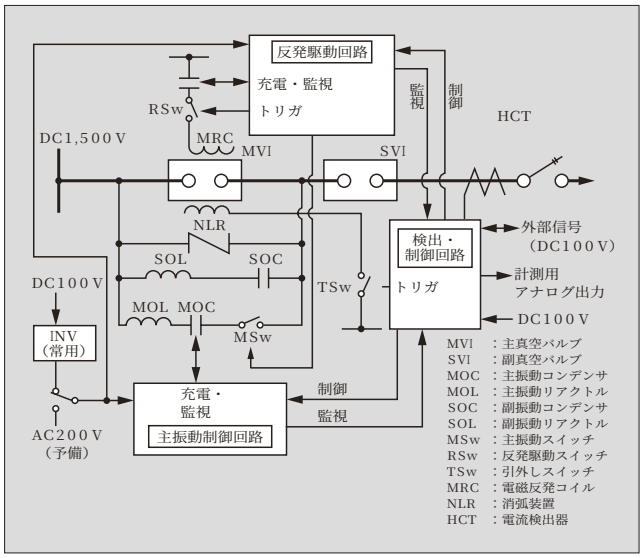
4　100 kA直流高速度真空遮断器

き電回路の開閉・保護機能を担う直流高速度遮断器は旧来気中遮断器（HSACB）が使われてきたが，アークによる各部の損耗に起因して頻繁な保守点検を要し，かつ小型軽量化が困難であった。

これらの課題を解決するために，省保守・小型軽量の50 kA遮断形直流高速度真空遮断器（HSVCB）を製品化し，1998年以降数多く納入しきわめて安定した運転実績を有している。

以下にHSVCBの基本事項や設計思想，ならびに近年の変電所容量の増大と保安性向上のニーズに応えて製品化した100 kA遮断形について紹介する。基本構成を図6に示す。

図6　HSVCBの基本構成



4.1　省保守・小型軽量を実現する原理

HSACBとHSVCBの遮断エネルギー処理の原理を図7に示す。HSVCBは高速動作ゆえに処理エネルギーが小さいことに加え，HSACBがエネルギーを爆発的なアークで処理するのに対し，HSVCBはそのほとんどを消弧装置（NLR）で熱エネルギーとして処理する。この結果，真空バルブ接点の消耗がきわめて小さく，保守点検が不要であることやアークスペースが必要ないことから省保守・小型軽量が実現できるものである。

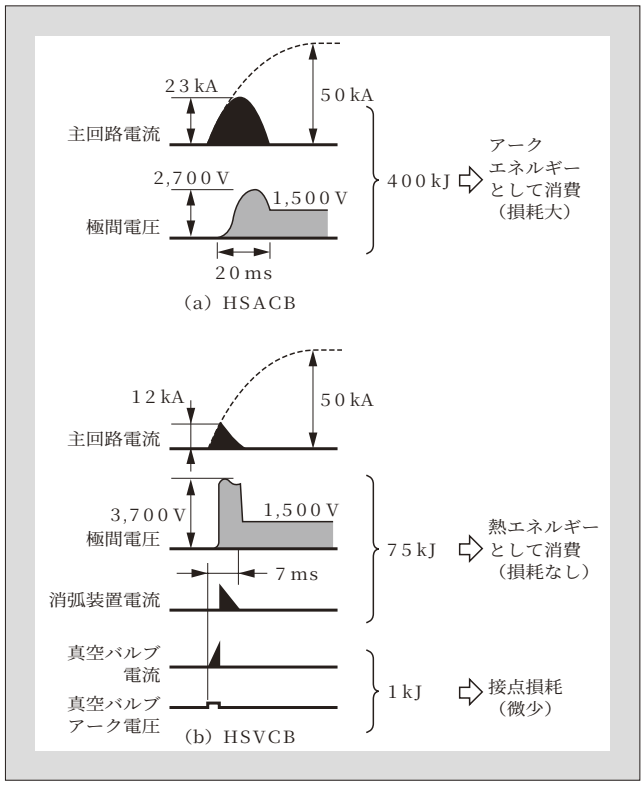
4.2　全領域遮断性能

遮断器は規格値とともに実用上必要なすべての電流領域を確実に遮断できることが求められる。HSVCBの挙動面から遮断電流領域をモード別に区分してみる。これらのモードの挙動を表2，その範囲を図8に示し，各領域の考え方について以下に述べる。

(1)　モード1：副振動領域

鉄道では毎日開閉される運用が多いため，そこで頻繁に遭遇する小電流遮断は非常に重要であり，HSACBでは空気吹付け機構などにより実現している。HSVCBでの小電流遮断は，主振動コンデンサ（MOC）の放電が非常に少ないため，大半の電圧が電源と加極性に残存することや回路エネルギーが小さいためにNLRが動作しないという点から，電源電圧を上回る逆電圧を発生し得ないために電流の減衰に長時間を要したり遮断できない領域が存在する。

図7　限流値とエネルギーの比較



富士電機ではこの対策として，シンプルな副振動回路を付加することで電流を確実に素早く減衰させる方式を採用している。

小電流遮断は電気鉄道用直流遮断器の規格（JEC7152）で「5 ～ 500 A，回路インダクタンス 15 mH 以上」と規定されているが，インダクタンスの最大値は規定されていない。富士電機では負荷となる列車の補機特性などからその最大値を考察し，さらに十分な余裕をとって 100 A 未満では 150 mH，500 A 未満では 100 mH と規定している。

(2)　モード 2：自然転流領域

列車の負荷電流領域である。

(3)　モード 3：強制転流領域

列車の負荷電流やその重畳による過電流および変電所直下短絡領域である。過電流領域は JEC7152 により最大目盛電流値 8,000 A 以下の場合 8 mH，8,000 A を超える場合 5 mH と規定され，短絡領域は推定短絡電流 100 kA および電流突進率 10×10^6 A/s，すなわち 0.15 mH と規定されている。

4.3　100 kA 形の適用技術と製品仕様

JEC7152 では推定短絡電流 100 kA の場合，電流突進率は 10×10^6 A/s である。50 kA 器に対し推定短絡電流 2 倍，電流突進率 3.3 倍と大幅に増大するが，これを以下の技術により実現している。この装置の外観を図 9，仕様を表 3 に示す。

(1)　高電流突進率に対応するため電磁反発機構を高速化し，真空バルブを 1 ms 以下で開極している。これは電力用交流遮断器の数十倍の速度である。

(2)　真空バルブの電極構造の改良により遮断性能を大幅に向上させている。

(3)　VCB 本体は操作器の小型化，自動連結機構などの改良により大幅に小型化し，投入操作器は高速巻上げ（約 2 秒）とし低操作エネルギー・低騒音化している。

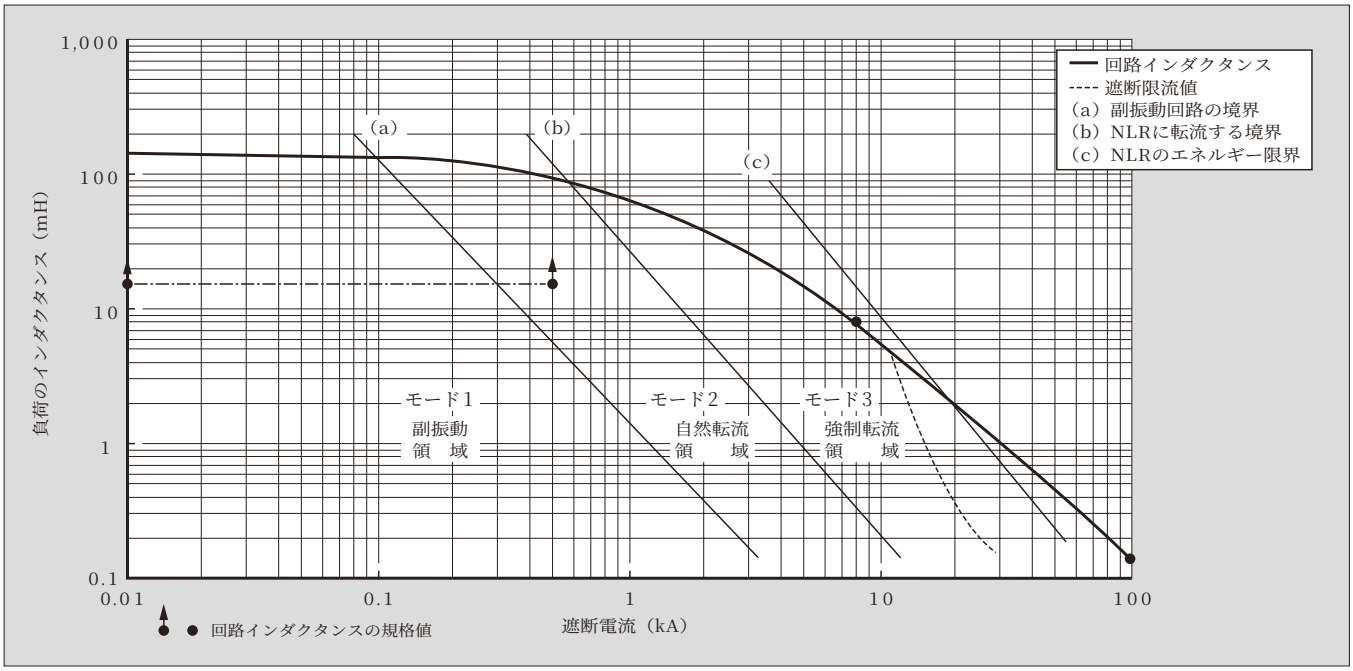
(4)　装置の容積は VCB 本体，MOC，NLR などを含む全体の最適化により 50 kA 器の約 90 % に縮小化した。ま

表 2　各モードの挙動

モード		説　明
1	副振動領域	小電流領域での動作モードである。主真空バルブ遮断後，主振動回路から副振動回路に転流させることによって確実に遮断性能を確保する。
2	自然転流領域	負荷電流領域での動作モードであり，MOCと負荷の抵抗 R，インダクタンス L の間に $2\sqrt{L/C} > R$ が成立する場合である。負荷電流は自然にゼロ点を迎えて遮断する。
3	強制転流領域	大電流領域での動作モードである。回路エネルギーが大きいため，MOCは十分に充電され，NLRが動作して遮断する。

図 9　100 kA HSVCB の外観

図 8　各モードの範囲



た，引出し・放電接地機構を大幅に改良し，保守点検時においてきわめて高い安全性を確保している。

4.4　性能検証結果

大電流遮断試験と小電流遮断試験の結果について述べる。

(1)　大電流遮断試験

性能検証結果の例を図10に示す。

推定短絡電流 100 kA，電流突進率 10.3 × 10^6 A/s の回路条件で限流値約 30 kA で遮断している。

(2)　小電流遮断試験

性能検証結果の例を図11に示す。

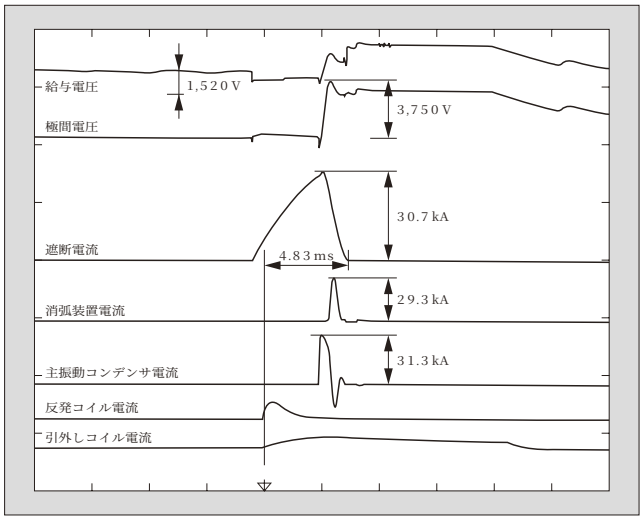
副振動回路の効果により，すべての回路条件において100 ms 以下で遮断している。

以上の性能検証結果から，この装置は小電流領域から大電流領域までの全領域遮断性能を有しているといえる。

表3　HSVCBの仕様

項　目		内　容	
定格電圧		DC1,500 V	DC750 V
定格電流		2,000 A/3,000 A/4,000 A	
定格遮断容量		100 kA（突進率10×10^6A/s）	
定格遮断電流		36 kA以下	
動作責務		O-10秒-CO	
電流目盛		4～12 kA，2～6 kA，1～3 kA	
定格制限電圧		4,000 V以下	2,500 V以下
動作方式	投入操作方式	電動・スプリング	
	開極方式	電磁反発	
	転流方式	コンデンサ転流	
	消弧方式	酸化亜鉛素子	
雷インパルス耐電圧		20 kV	
交流耐電圧		AC5,500 V　1分間	
電流検出方式		正方向または両方向	
選択率		50 %（使用/除外設定可能）	
保証動作回数	機械的開閉	1万回	
	短絡電流遮断	100回	
定格操作・制御電圧		DC100 V/DC110 V	
定格補助電源電圧		AC200 V	

図10　短絡試験オシログラム



5　回線単位形主制御用配電盤

監視・制御・保護の要である主制御用配電盤として，従来の 1/2 幅の 350 mm 回線単位形主制御用配電盤（回線単位制御盤）をラインアップしている。

電磁リレーに代わり，デジタル形保護継電器や汎用プログラマブルコントローラ（PLC）を採用したマイクロエレクトロニクス（ME）形配電盤が実用化されて十数年が経過した。この間の数多くの実績と経験，電力会社向け回線単位制御盤の実績，ならびに PLC やリレーの小型・高性

図11　小電流遮断試験結果

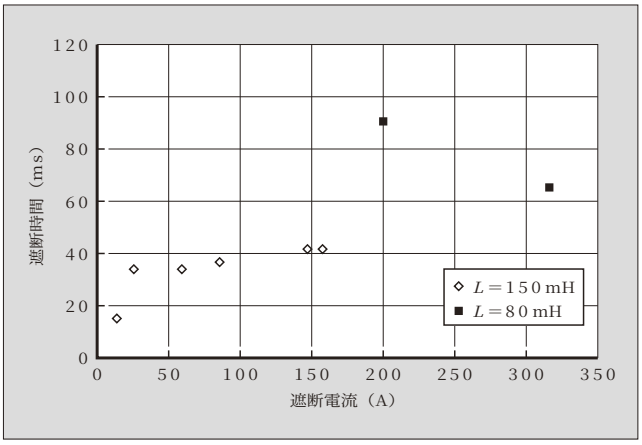
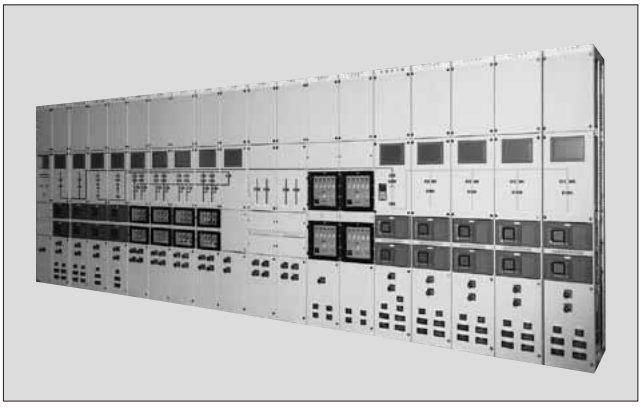


図12　回線単位制御盤の外観

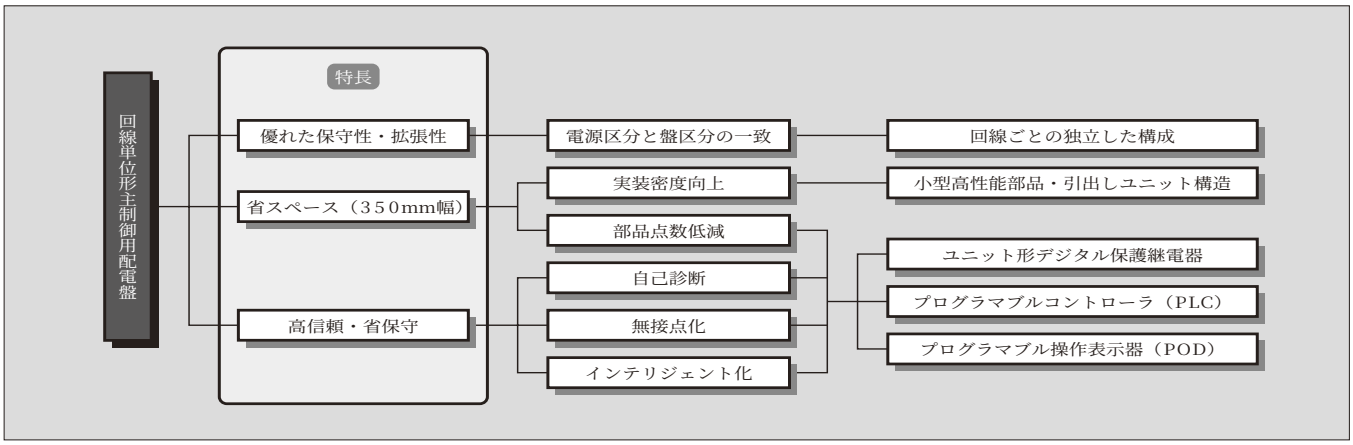


N99-2583-2

表4　回線単位制御盤の仕様

項　目		内　容
制御電圧		DC100 V/DC110 V
耐電圧	商用周波	1,500 V
	雷インパルス	4,500 V
標準寸法	幅	350 mm
	奥行	600 mm
	高さ	2,300 mm

図 13　回線単位制御盤の特長とコンセプト



能化を背景に電気鉄道用回線単位制御盤を 2003 年に製品化し，急速に普及しつつある。これは ME 形のみならず電磁リレー形配電盤にも適用できる。外観を図12に，仕様を表 4 に示す。

特長とコンセプトを図13に示す。

(1)　高い保守性・拡張性

回線ごとの独立構成であるために制御電源と盤区分が一致し，盤単位で確実に停電させることが可能となり，点検作業が安全かつ容易に行える。また，設備の部分更新や増設を効率的に行うことができる。

(2)　省スペース

小型・高性能部品の採用とユニット構造による高密度実装により幅 350 mm を実現し，設置スペースを大幅に縮小できる。

(3)　高信頼・省保守・インテリジェント化

デジタル保護継電器は，内部回路の冗長化と自己診断機能によりきわめて信頼性が高く，かつ設備の重要性から一重系・二重系を選定できる。さらに ME 形では PLC やプログラマブル操作表示器（POD）によりさらなる高信頼化や操作性向上，あるいは計測・履歴記憶機能の充実や汎用 LAN による遠方監視制御装置との結合により，システム全体としてインテリジェント化が図れる。

6　あとがき

地球環境対応・省保守・小型軽量を三本柱とした最新の直流変電機器のラインアップについて紹介した。これらの機器の基本設計思想には富士電機の長年の経験に基づく知見が包含されているが，例えば省保守という観点からはフィールドでの実運転状況下での部品特性の定期的確認による劣化状況の把握とそれに基づく交換周期の合理的な延長なども重要な課題と認識し積極的に取り組んでおり，部品によっては設定した交換周期を大幅に延長することが可能であるという知見も得られつつある。

今後とも富士電機は時代のニーズにマッチした製品開発に積極的に取り組むとともに，フィールド実績に基づいた最適化などを加味した真にユーザー本位の製品を提供していく所存である。

参考文献

(1)　小薗秀明ほか．24 kV 脱 SF_6 形ガス絶縁スイッチギヤ「C-GIS2100」．富士時報．vol.75, no.8, 2002, p.485-490.
(2)　津田信吾ほか．電気鉄道変電所用純水沸騰冷却式シリコン整流器．富士時報．vol.74, no.5, 2001, p.316-321.
(3)　粟飯原一雄ほか．電気鉄道変電所用新形直流高速度遮断器．富士時報．vol.72, no.2, 1999, p.111-117.
(4)　昆野康二ほか．直流遮断器の小電流遮断に関する検討．平成 9 年電気学会全国大会．no.1599, 1997.
(5)　昆野康二ほか．電鉄変電所用のアークレス形直流高速度真空遮断器．OHM. vol.1096, no.10, 2000.
(6)　藤城智ほか．100 kA 直流高速度真空遮断器の開発．平成 18 年電気学会全国大会．no.6-201, 2006.

列車無線高度化システム

新井　　隆（あらい　たかし）　　永井　義久（ながい　よしひさ）

1　まえがき

鉄道分野では，列車運行を管理する指令所と列車乗務員との連絡手段として列車無線を用いてきた。近年は携帯電話などの急速な普及もあるが，専用回線で通信を行う列車無線システムは，安全安定輸送を担うための保安通信設備として，ますます重要な位置づけとなってきている。

無線システムは，電波型式によりアナログ方式とデジタル方式に大別されるが，すでにアナログ方式を敷設している線区へ容易に導入できるといったコストパフォーマンスを考え，アナログ方式での機能向上策を検討してきた。

本稿では，アナログ無線電波を使用した列車無線高度化システムの構成・機能について紹介する。

2　システムの概要

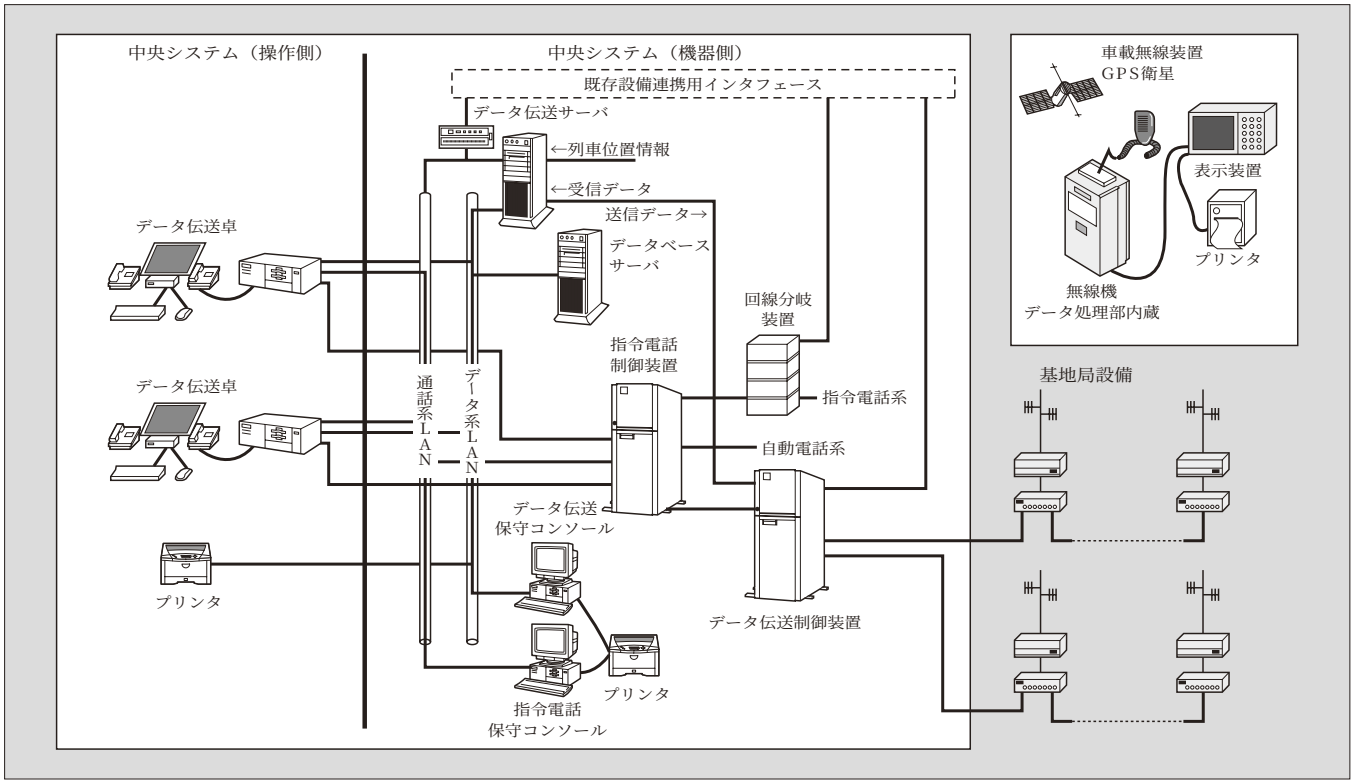
列車無線高度化システムは，指令所へ設置する中央システムと，沿線の信号通信機器室などに設置する基地局設備，および車両運転台に設置する車載無線装置により構成する。システム構成を図1に示す。

2.1　中央システム

(1)　データ伝送卓

液晶ディスプレイ，キーボード，マウス，通話機などで構成し，列車への伝達情報作成や，列車無線・鉄道電話などの音声通話を行う。操作画面は，伝達情報の作成・送信状況監視・履歴画面，列車無線画面，鉄道電話画面，メン

図1　システム構成



新井　　隆

電気鉄道変電設備，電気鉄道用情報処理システムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部交通・特機統括部交通技術部担当課長。

永井　義久

電気鉄道用情報システムの技術企画業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部交通・特機統括部交通技術部。

テナンス画面があり，用途に応じた画面で操作する。伝達情報の作成を含めた主な操作は，マウス操作のみで行える。路線・区間別や，担当指令業務別に複数卓設置する。

(2)　データ伝送サーバ

情報伝達に必要な各種制御・表示・履歴データの一元管理を行う装置で，制御系の伝送サーバと，データベースサーバで構成する。冗長性の確保は，予備サーバを設け，起動時の選択によりどちらのサーバとしても起動可能にして，設置スペースの削減も両立する。また，LAN インタフェースを設け，列車無線システムを部分更新する際の既存設備情報入力や，指令の関連システムと連携し，データ共有などを行うことができる。

(3)　データ伝送制御装置

列車無線回線の回線制御と，車載無線装置との送受信信号を音声部，データ部へ分離・合成する装置である。音声回線に不要なデータ音のミュート処理もこの装置で行う。

主な中央システムの仕様を表 1 に示す。

2.2　基地局設備

無線部，線輪部，およびデータ伝送付加装置で構成し，車載無線装置と無線での信号送受信，中央システムと有線での信号送受信を行う装置である。

基地局は，ゾーンと呼ばれる最大 10 局単位で中央システムと芋づる式に接続する。

2.3　車載無線装置

無線機，表示装置，プリンタなどから構成され，運転台や車掌室ごとに 1 セット設置する。無線機は，事故・故障時の車外持出し運用を考え，屋外仕様・携帯型とした。表示装置は，操作部と一体とし，表示を確認しながら，列車番号の設定や伝達情報の表示，印字操作が行える。また，伝達情報は 80 件まで蓄積できる。

車載無線装置の仕様を表 2 に示す。また，列車に搭載した車載無線装置を図 2 に示す。

表 1　中央システムの仕様

項　目		仕　様
共　通	収容回線	指令電話系最大128回線
		列車無線最大64回線
		データ伝送卓最大16卓（各2者扱い）
データ伝送卓	制御装置	32ビットCPU制御
	インタフェース	列車無線回線，指令電話回線，録音装置起動
	通話機	2台，モニタボリューム付
	ディスプレイ	15型TFT液晶
	操作装置	汎用キーボード，マウス
データ伝送サーバ	構　成	制御サーバ，データベースサーバ
	形　状	タワー型
	メモリ	512Mバイト以上
	HDD	RAID構成
	電　源	冗長化
データ伝送制御装置	形　状	ロッカ型
	入出力インピーダンス	600Ω±20％以内
	周波数特性	300～3,400 Hzにて±3dB以内
	ひずみ率	3％以下
	SN比	50dB以上
	送受信信号	DTMF，プレス，MSKデータ

表 2　車載無線装置の仕様

項　目			仕　様
無線機	空中線電力		1 W
	空中線インピーダンス		50Ω　不平衡
	周波数		400 MHz帯3波
	電波型式		F3E，F2D
	通信方式		単信
	発振方式		水晶発振による周波数シンセサイザ方式
	受信方式		ダブルスーパーヘテロダイン方式
	電源電圧		公称電圧　7.2 V
	データ送信方式	変調方式	MSK
		通信速度	1,200ビット/秒
表示装置	LCD方式		3.8型STNカラー
	表示文字数		10文字×7行（全角）
	表示文字		英数字，仮名，漢字
	操作ボタン		15個（テンキー＋機能キー）
プリンタ	印字方式		サーマルラインドット方式
	印字幅/紙幅		48 mm/58 mm
	最高印字速度		50 mm/s max
	最大印字けた数		20けた
	データ入力形式		シリアル入力
	文字種類		漢字（JIS第1，第2水準）

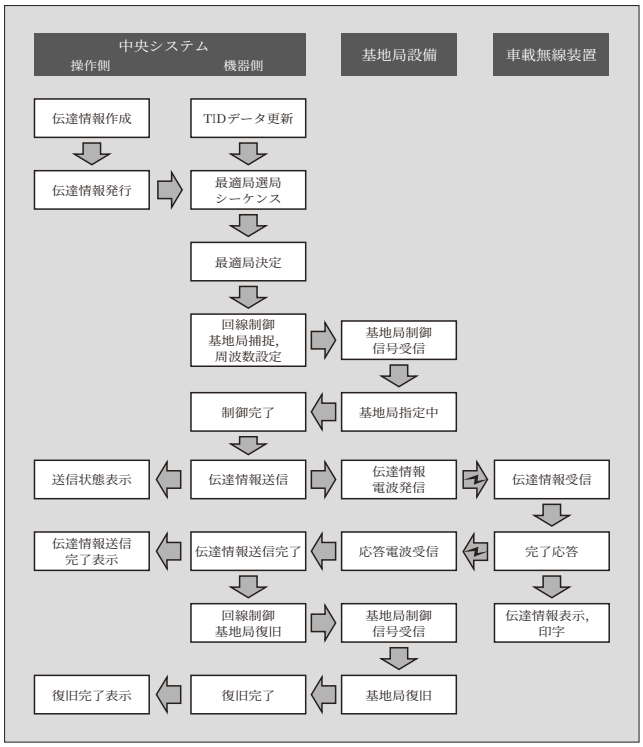
図 2　列車に搭載した車載無線装置

3　機　能

3.1　伝達情報データ送信機能

伝達情報（運転変更事項の連絡や乗客案内のための気象・事故情報など）を指令員が作成し，必要な列車乗務員に対し，データとして送信する機能である。車載無線装置で受信されたデータは，表示装置への表示やプリンタへの印字が行われる。図3に送信シーケンスを示す。

図3　伝送情報の送信シーケンス



音声で連絡する場合と比べ，次のメリットがある。

○情報伝達までの時間短縮

音声では必要であった復唱での内容確認や，その内容の筆記といった時間が不要となり，情報伝達までの時間が短縮される。その結果，電波の有効利用が図れる。

○事前連絡が可能

列車乗務員が無線を扱えない状態（運転操作中や，検札などで運転室不在時）でも，前もって連絡しておき，乗務員は都合に合わせた情報確認ができる。

また，重要な内容の情報では，列車乗務員が確実に受け取ったことを確認するため，乗務員へ受領確認を要求し，指令でその受領応答を確認できる，という機能も付加できる。このデータ送信では，列車（移動体）という時々刻々と変化する電波状況での通信のため，次のようなエラー修正処理やリトライ処理技術を用いている。

(1)　ビットエラー自動修正処理

一つの伝達情報は，4～6文字ごとにブロック化し，そのブロックごとに符号化を行い，車載無線装置に向け送信する。車載無線装置で受信後，復号時に6ビットのエラーまでは自動修正できる技術を用いた。これにより，パルス状ノイズや，複数の電波伝搬経路による電界強弱の発生によるエラーを修復できる。

(2)　ブロックリトライ処理

数ビットのエラー修正では対応できないエラーに対しては，エラーとなったブロックを，指令に対し再送要求を出し，そのブロックのみを送信する処理を追加した。これにより，高架下や短いトンネルの通過による短時間のデータ欠落を補償することができる。

電文を送信した際のエラー修正処理の概要を図4に示す。

図4　伝送情報のエラー修正処理の概要

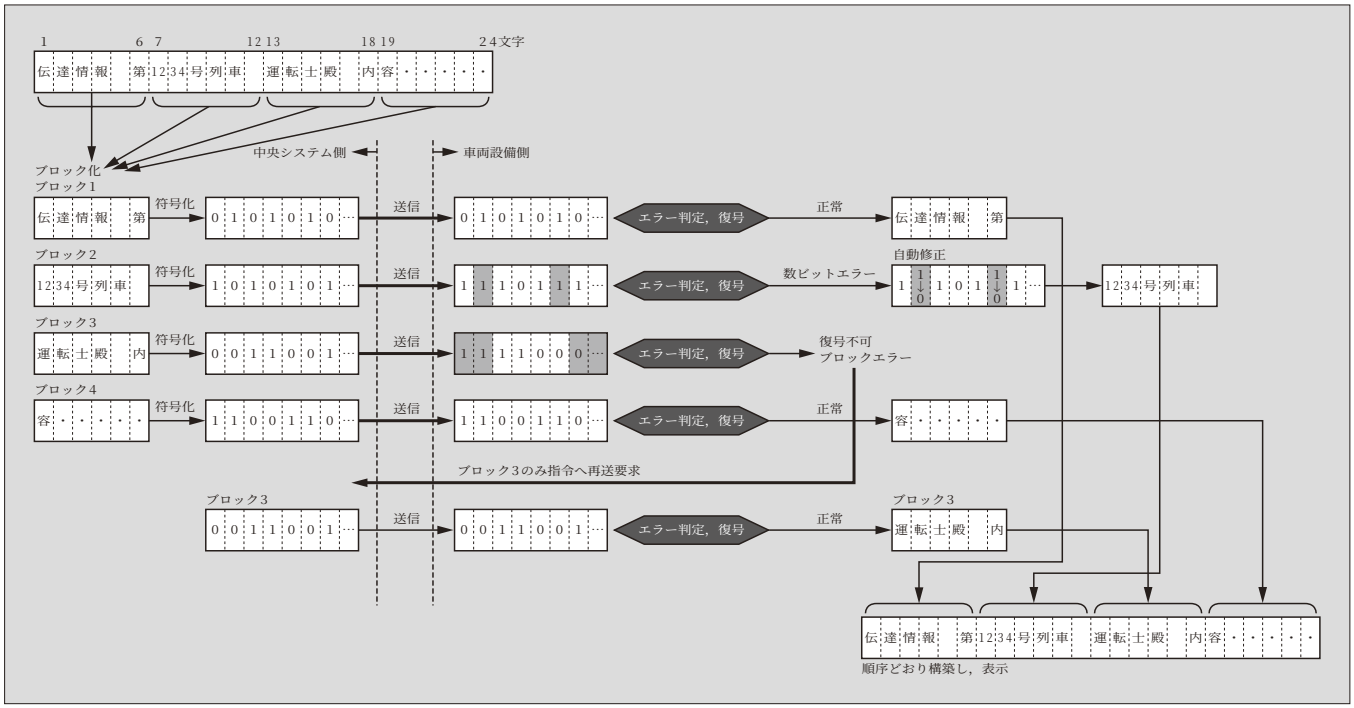


図5　最適局選局ロジックの概要

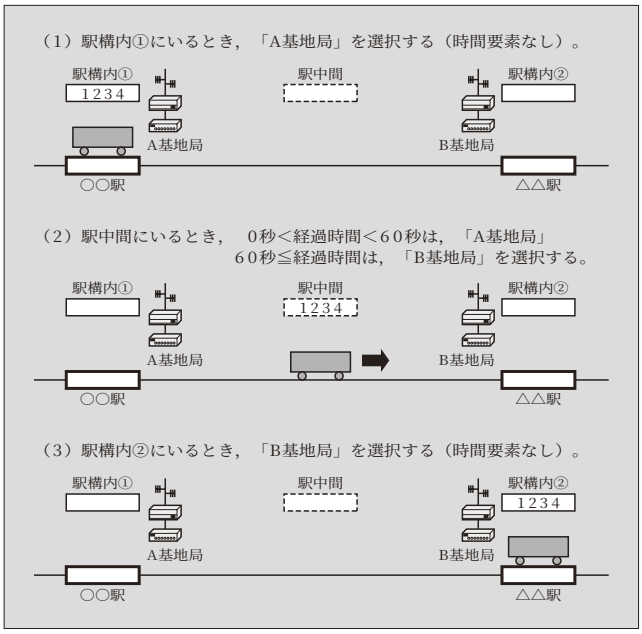
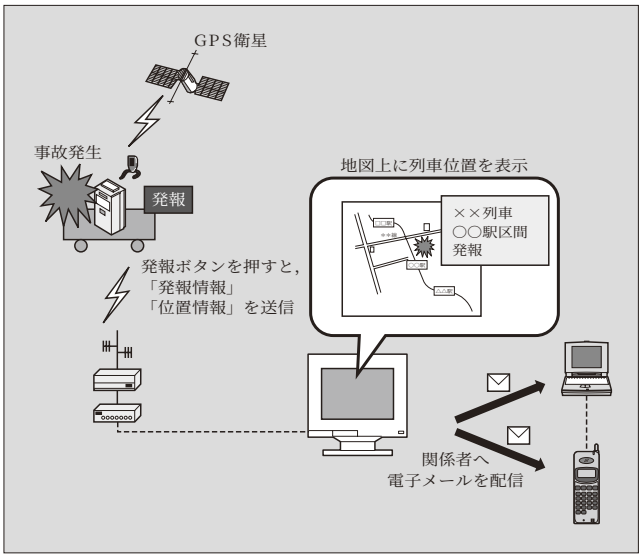


図6　GPS 情報の活用例



3.2　最適基地局選局機能

中央システムでの列車位置は，駅構内および駅中間の2種類というあいまいな把握しかできない路線もある。駅中間では，基地局の電波エリアが換わるため，従来は，指令員の経験に基づいて基地局を選択し，列車の捕捉（ほそく）を行っていた。そこで駅構内や駅中間の列車番号に対して，標準運転時分に基づくタイマ値を割り付け，経過時間に応じて最適な基地局を選択するロジックを作成した。伝達情報の送信や，列車番号選択による音声通話のときに利用できる。また，送信周波数設定も列車位置データをもとに自動的に切り換えるようにした。

図5に最適局選局ロジックの概要を示す。

3.3　音声通話の利便性向上機能

(1)　呼出し時の列車番号データ付加

従来，列車からの呼出しは，音声を聞いてどの列車かを判断しており，聞き取りづらい場合には判断に時間がかかっていた。そこで列車からの呼出しには，自動的に列車番号データを付加した伝送を行い，データ伝送卓には列車番号を表示させた。これにより，どの列車からの呼出しか即座に判断でき，その列車番号を選択すれば，通話開始できるようにした。

(2)　後呼出し列車への無応答対策

1ゾーンに対しては，1列車との通話しか行えず，新たな列車から呼出しがきても，指令はその呼出しは不明，列車は指令無応答という状況になっていた。そこで，回線使用中に新たな列車呼出しがあった場合は，基地局にて列車番号をいったん記憶し，その列車に対しては話中音を発信する。記憶された列車番号は，通話の空きタイミングを利用し，中央システムに送信する。データ伝送卓の画面には，通話中のゾーンで新たな呼出しがあったことと，その列車番号が表示される。先の通話終了後に，その列車番号を選択し，その列車と通話を開始できる。

3.4　GPS 情報処理機能

車載無線装置は，現在位置を経度・緯度情報で指令に送信するGPS（Global Positioning System）機能を追加することが可能で，以下の用途に利用できる。

(1)　最適基地局の選択

最適基地局選局ロジックにGPS情報を活用し，平常運行時のみならず，運行が乱れているときの選局精度向上を図り，さらなる安定した無線通信が可能となる。

(2)　防護無線と連動させた指令への情報通知

事故時などに周辺列車へ危険信号を発信する防護無線との連動により，周辺列車のみならず指令でもすぐに防護発報列車の列車番号および位置を把握でき，影響範囲の詳細な把握により，事故の早期対策・復旧に貢献できる。GPS情報活用例を図6に示す。

4　あとがき

列車無線システムの機能向上策について述べた。公共交通機関への安全・安定性のさらなる向上を求められる中で，指令員と列車乗務員間の連絡手段として，列車無線システムは重要な設備であり続けると考える。将来的には，指令員と列車乗務員間の通信以外に，列車乗務員同士や，列車乗務員と駅務員間のデータ通信へと広がりをみせるだろう。今後も各位のご指導を仰ぎながら，さらなる機能向上を図っていく所存である。

このシステムの設計・製作にあたり多大なご指導・ご協力をいただいた関係各位に深く感謝する次第である。

参考文献

(1)　濱田高史ほか．Cタイプ列車無線を利用したデータ伝送システム．第42回鉄道サイバネ・シンポジウム．no.802, 2005.

交流電界による電気集じん装置の高性能化

安本　浩二（やすもと　こうじ）　瑞慶覧 章朝（ずけらん　あきのり）　河野　良宏（こうの　よしひろ）

1　まえがき

今後の都市部の高速道路は，環状道路などの整備によりトンネルとなることが多く，その延長も長くなる。このため，トンネル換気排出ガス中の浮遊粒子状物質（SPM：Suspended Particulate Matter）を除去する電気集じん装置（ESP：Electrostatic Precipitators）が採用される。換気所に設置される ESP には，高風速，低圧損，コンパクト化が求められている。換気所用 ESP のシステム構成を図 1，ESP の仕様を表 1 に示す。

図 1　換気所用 ESP のシステム構成

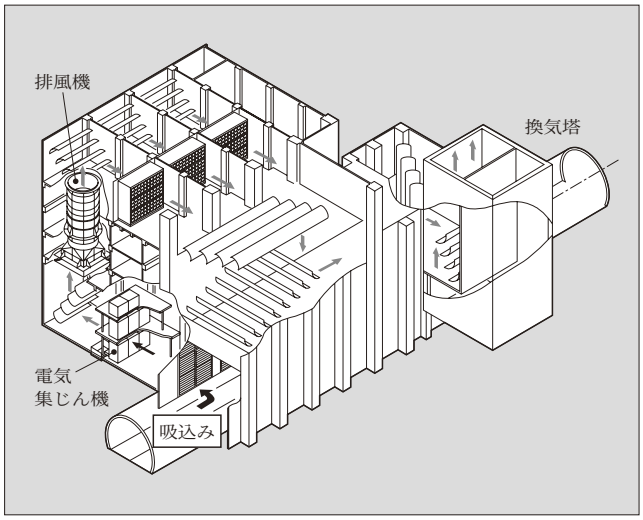


表 1　ESPの仕様

項　目		処理風速（m/s）			
		7	9	11	13
処理風量（m^3/s）		31	40	48	57
集じん率（%）		80	90	80	80
圧力損失（Pa）		120	200	250	350
寸　法（8ユニットタイプ）	幅　（mm）	2,000			
	高さ（mm）	3,230			
	奥行（mm）	1,700			

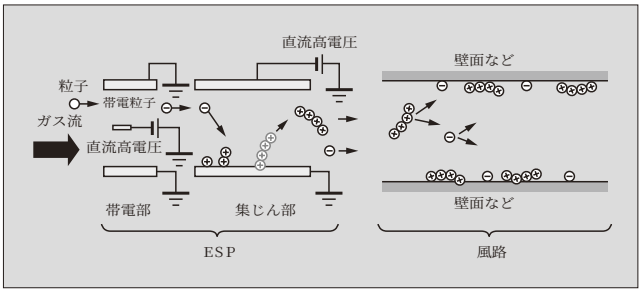
これまで山岳部のバイパストンネル，海底トンネルの天井部，都市部の換気所などに数多く ESP の納入実績があるが，集じん率，外形寸法を維持（コンパクト化）し，風速を 13 m/s（高風速），圧力損失を 350 Pa 以下（低圧損）とした ESP を開発した。さらに長年 ESP の課題であった再飛散現象[(1)]を防止する交流電界形 ESP の開発に成功した。再飛散を防止することにより，大粒径粒子の集じん率が維持され長時間の運転が可能となる。また，荷電した大粒径粒子の再飛散が少ないため壁面などへの付着が少なく環境に優しい。交流電界形 ESP の開発テーマは，微粒子の集じん率向上と交流高電圧発生装置の開発であった。また，PM2.5（粒径 2.5 μm 以下の粒子）で評価される粒径粒子よりも生体系への影響が懸念されている粒径 100 nm 以下のナノ粒子の集じん率について評価を行った。これらの研究・開発で得られた結果を紹介する。

2　交流方式による再飛散の防止[(2)]

2.1　目　的

従来の直流 ESP の課題には，再飛散防止と ESP 下流壁面汚染の防止がある。直流 ESP における再飛散発生と下流壁面への粒子付着のモデルを図 2 に示す。自動車排出ガス中の粒子は低抵抗率のカーボンが主成分であるため，帯電部で負極性に帯電した粒子が集じん部で集じんされる

図 2　直流 ESP における再飛散発生と下流壁面への粒子付着のモデル



安本　浩二

電気集じん装置に関する研究・開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部交通・特機統括部道路・空港施設技術部マネージャー。

瑞慶覧 章朝

電気集じん装置に関する研究・開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部交通・特機統括部道路・空港施設技術部。博士（工学）。電気学会会員，IEEE 会員。

河野　良宏

電気集じん装置の研究・開発，集じん装置の企画・設計に従事。現在，富士電機システムズ株式会社発電プラント本部川崎工場特機部。

と，直ちに正極性に誘導帯電する。このため集じん粒子の近傍は電界が強くなり，数珠状の凝集粒子を形成する。集じん粒子は凝集肥大化するとともに風速などの影響を受けて再飛散するため，大粒径粒子の集じん率が著しく低下する。また，再飛散粒子は，静電誘導により帯電しているため ESP 下流壁面などに付着し汚染する。

再飛散の防止による集じん率向上を目的として誘電体被覆型，水分の噴霧，正弦波交流電界の研究を行ってきたが，集じん部に正弦波交流電界を印加することで再飛散が著しく防止されることが明らかとなった[(2)]。交流電界形 ESP における効果のモデルを図 3 に示す。交流電圧を印加することで，極板凝集粒子の形状は数珠状から球状となり，極板との接触面積が増えるとともに風速などの影響も受けにくくなる。このため再飛散が防止される。しかし，平均印加電圧（電界）が小さくなるため，微粒子の集じん率は低下する。そこで，直流電界時と同等の集じん率を得るため，集じん部に矩形（くけい）波交流電圧を採用することで，集じん率を向上できると考えた。

2.2　実験装置および方法

実験装置の概略を図 4 に示す。トンネル内の浮遊粒子状物質を模擬するため，ディーゼル自動車排出ガスを大気で混合希釈しサンプルガスとした。サンプルガスはブースタファンによりダクト内へ送り込まれ，ESP を通過し吸引ファンによりダクト外へ排出される。また，ダクト内の平均風速は 7 m/s とした。ESP は帯電部と集じん部から構成されている。電極構造を図 5 に示す。帯電部は接地平板電極と放電線電極から構成されている。集じん部は同一サイズの高電圧用平板電極と接地用平板電極が交互に並んだ構造となっている。帯電部の電極間に DC−11 kV を印加しコロナ放電を発生させた。一方，集じん部の電極間に DC−7.5 kV または矩形波交流 7.5 kV を印加し静電界を形成した。粒子濃度はパーティクルカウンタ（リオン株式会社製，KC-01）を用いて粒径別に測定した。

図 3　交流電界形 ESP における効果のモデル

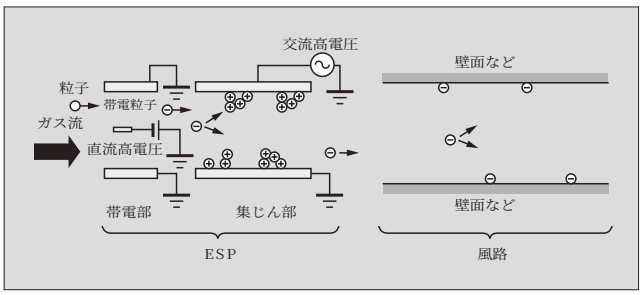
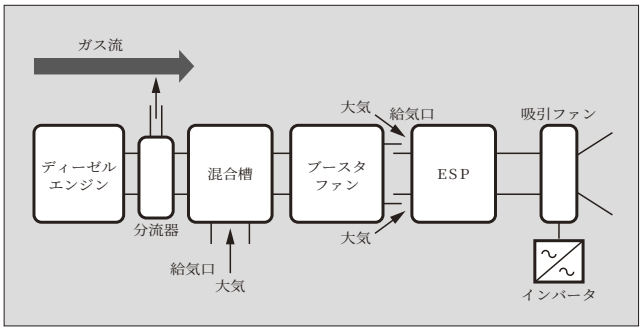


図 4　実験装置の概略



2.3　測定結果

直流印加時における集じん率の時間特性を図 6 に示す。粒径 0.3 ～ 0.5 μm の集じん率は，80 % 程度を維持している。しかし，粒径 2 ～ 5 μm では負の集じん率となっており，ESP 上流よりも下流の粒子濃度が増加している。この大粒径粒子の集じん率低下は稼動約 5 分後から始まっており，これはこれまでの研究結果により再飛散が原因であることが分かっている。

交流印加時における集じん率の時間特性を図 7 に示す。0.3 ～ 0.5 μm および 2 ～ 5 μm のいずれの粒径においても集じん率は 80 % 程度を示し，300 min 以上においても著しい低下は見られず，再飛散現象が効果的に抑制されているのが明らかである。

以上の結果から，集じん部に矩形波交流電界を形成することで，微粒子である 0.3 ～ 0.5 μm の集じん率は直流電界時と同等に維持される。また，再飛散が効果的に防止されるため粒径の大きい 2 ～ 5 μm の粒子も高い集じん率が維持される。

図 5　電極構造

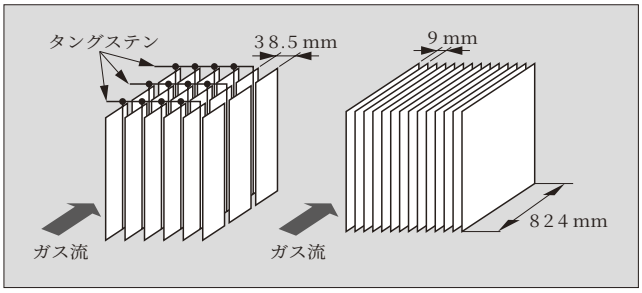


図 6　直流印加時における集じん率の時間特性

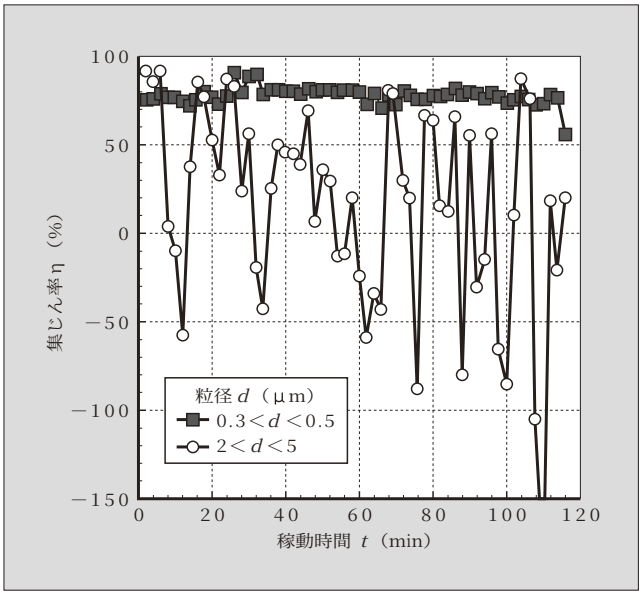


図7　交流印加時における集じん率の時間特性

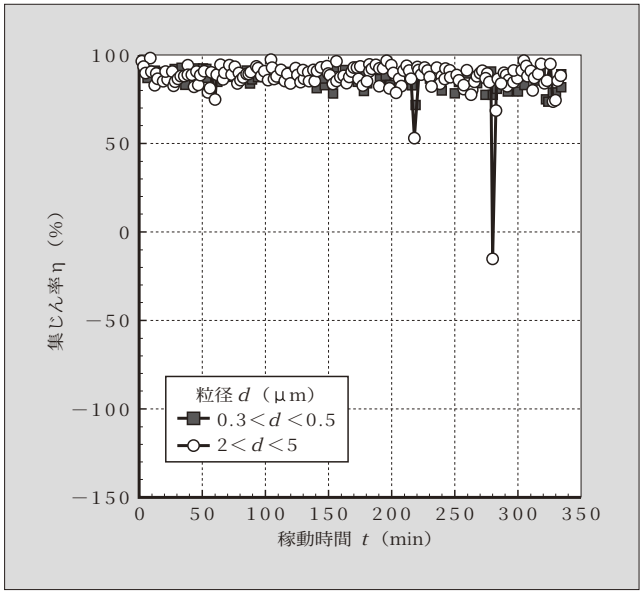


表2　集じん部の電源仕様

項　目	帯電部	集じん部
整　流　方　式	商用周波倍電圧整流	高周波インバータおよび昇圧整流回路
変圧器入力周波数	商用周波数	20 kHz
定　格　電　圧	−9.5 kV	±8 kV
定 電 圧 精 度	±3 %以下	±5 %以下
定 電 流 精 度	±3 %以下	±5 %以下
リ プ ル 電 圧	±5 $\%_{rms}$以下	±5 $\%_{rms}$以下

3　高電圧発生装置の開発

高電圧発生装置は，帯電部と集じん部に個別に高電圧を印加するため2電源で構成されている。帯電部は負極性直流電源を得るため，従来技術のサイリスタ制御方式とした。集じん部は正極性と負極性の直流電源を得るため，高周波インバータによるPWM（Pulse Width Modulation）制御とした。

3.1　回路構成

集じん部の電源仕様を表2，概略回路構成を図8に示す。また，高電圧発生装置の外観を図9に示す。

回路構成は，正極性直流電源と負極性直流電源の一端を接続して出力端とし，それぞれの電源の出力端に設けたスイッチを介して共通の負荷に接続している。正極性直流電源および正極性直流電源側スイッチと負極性直流電源および負極性直流電源スイッチを交互に動作させることにより負荷に矩形波電圧を出力する。

正極性直流電源または負極性直流電源は，整流器，コンデンサ，IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor），減流リアクトル，昇圧変圧器，高圧整流回路で構成し，高速半導体デバイスであるIGBTをスイッチング素子とした PWM 制御高周波インバータを採用している。電源の出力端に設けたスイッチは，高速開閉が可能な MOSFET（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）を採用し直列に接続している。スイッチに印加される電圧を均等に分担させるスナバ回路と過電圧抑制素子を並列に接続する。また，短絡保護の抵抗，ESP の電荷を放出させるダイオードにより構成する。

図8　集じん部の概略回路構成

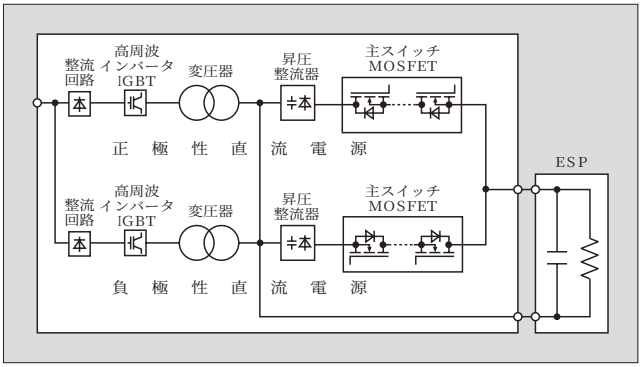


図9　高電圧発生装置の外観

3.2　特　長

従来，正極性直流電源と負極性直流電源を直列に接続し，それぞれの出力端に設けたスイッチを交互に開閉するため，オフ状態のスイッチには2倍の電圧が印加され，2倍の耐電圧が必要であった。今回は，正極性直流電源および正極性直流電源側スイッチと，負極性直流電源および負極性直流電源スイッチとを交互に動作させるため従来に比べてスイッチの耐電圧が低く抑えられ経済的である。

直流電源の電圧および出力時間を任意に変更することが可能であり，ESP の集じん効率が最大となる条件に設定することが可能である。

4　ナノ粒子の集じん性能

近年，ディーゼル自動車排出ガスのクリーン化技術の進歩に伴って，ディーゼル自動車排出ガス中で質量濃度の大部分を占める粗大粒子は著しく減少している。一方で，質

図10　実験に用いているディーゼル自動車排出ガスの粒径分布

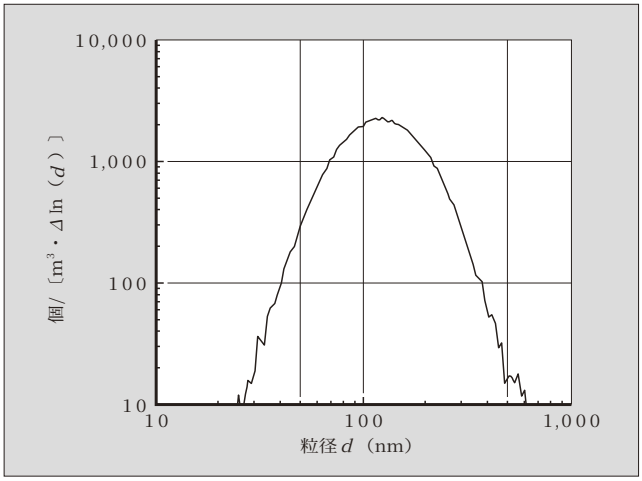
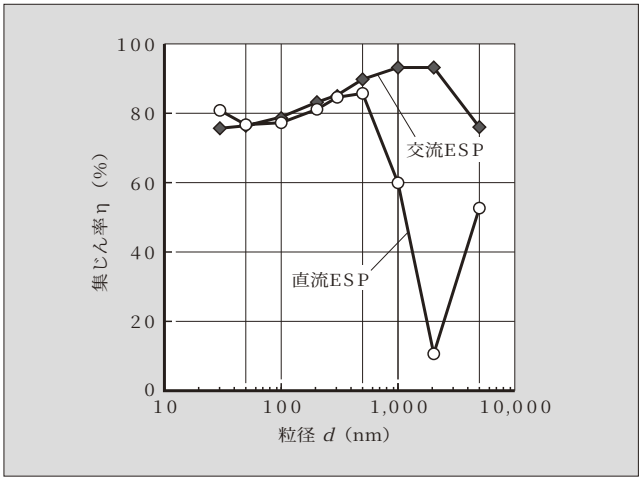


図11　交流電界形ESPのナノ粒子に対する集じん率



量濃度は少ないが個数濃度が圧倒的に多いナノ粒子の生体に対する影響が問題視されている。ナノ粒子は大粒径粒子に比べ粒径が小さいため肺の細胞をすり抜けて血管に入り込むなど人体に悪影響を与えることが懸念されている[4]。このため，今後のトンネル換気排出ガスにおいては，ナノ粒子の高効率の除去が望まれる。

ディーゼル自動車排出ガスの粒子濃度は，20～500 nmのナノ粒子の計測が可能で，荷電粒子の電気移動度を利用したScannig Mobility Particle Sizer（SMPS，TSI社製，MODEL3080）を用いて測定した。実験に用いているディーゼル自動車排出ガスの粒径分布を図10に示す。粒径分布は，約100 nmを最頻値としており，サブミクロンおよびナノ粒子が多く存在しているのが分かる。一方，ESPの集じん率は帯電理論上，粒径100～300 nmが極小値となる。以上のことから，個数濃度が多い粒径100 nm以下のナノ粒子の集じん率向上が重要であるといえる[3]。そこで，ESPにおけるナノ粒子の集じん率を測定しその性能を評価した。

実験装置および方法は2. 2節と同様であるが，ダクト内風速5 m/s，帯電部の電圧はDC−10 kV，集じん部の電圧はDC−8 kVまたは矩形波交流8 kVとした。また，粒子濃度は，SMPSおよびパーティクルカウンタ（300 nm以上）を用いて測定した。

交流電界形ESPのナノ粒子に対する集じん率を図11に示す。直流印加時において，粒径約500 nmまでは，粒径が大きくなるに従い，集じん率が向上する傾向を示す。しかしながら，粒径500 nm以上においては，著しく集じん率が低下している。これは再飛散の影響である。一方，交流印加時においては再飛散の抑制効果によって，直流印加時に比べ粒径500 nm以上の大粒径粒子の集じん率が飛躍的に向上している。この結果，サブミクロンやナノ粒子の集じん率は相対的に低い値となっている。

ナノ粒子の集じん率向上のためには，電極形状，電極構造，電極配置，印加電源波形などの最適化を図る必要がある。

5　あとがき

交流電界形ESPの開発に成功し，長い間未解決であった再飛散を防止することが可能となった。今後，特に都市部トンネル換気塔からの排出ガスのSPM除去用として活躍が期待されている。さらにナノ粒子の集じん率向上やその他環境汚染物質の低減の開発を進めていく所存である。

この研究は武蔵工業大学との共同研究による成果であり，ご指導いただいた伊藤泰郎名誉教授，高橋武男教授，江原由泰助教授，大学院博士課程高木康裕氏ならびに関係各位に感謝する次第である。

参考文献

(1)　瑞慶覧章朝ほか．環境対策用電気集じん装置に関する最近の技術動向．富士時報．vol.75, no.2, 2002, p.129−134.

(2)　Zukeran, A. et al. Performance of electrostatic precipitator applied rectangular AC electric field for prevention of re-entrainment phenomene. SAFETY IN ROAD AND RAIL TUNNELS. 2003, p.307−315.

(3)　Parker, K. R. Applied electrostatic precipitation. Blackie Academic & Professional. 1997, p.65.

(4)　大聖泰弘ほか．自動車排出ナノ粒子およびDEPの測定と生体影響評価．第3編 生体影響．株式会社エヌ・ティー・エス．2005, p.159−164.

特機分野におけるパルスチューブ冷凍機の適用

竹内　孝行（たけうち　たかゆき）　　松下　智行（まつした　ともゆき）　　大嶋　恵司（おおしま　けいし）

1　まえがき

富士電機のパルスチューブ冷凍機の基礎技術は，1970年代に国内初の赤外線暗視装置用小型スターリング冷凍機の製品化によって築かれた。その実績とその後の継続した技術開発により，国内初を含めた三つの地球観測用衛星に搭載され，そのミッションにおいて，高い品質と信頼性に裏づけされた小型スターリング冷凍機が数万時間にわたる長時間運転を実証できた。

その後，その技術がより多くの低温応用システムへ適用されることを狙って，新たにパルスチューブ冷凍機を開発し，2005年6月，製品化を完了し，販売を開始した。

本稿ではパルスチューブ冷凍機の特機分野における適用要件について紹介する。

2　パルスチューブ冷凍機の概要

パルスチューブ冷凍機は，図1の外観に示すように圧縮機，膨張機および位相制御機構から構成される。冷凍機内部は高圧のヘリウムガスが封入されており，圧縮機ではピストン運動によりガスを圧縮し，膨張側へ送出する。膨張機にはスターリング冷凍機と異なり，寒冷発生用の機械的ピストンを持たず，ガス塊（仮想ピストン）の位置移動と圧力変動がパルス管および位相制御機構により適正な位相差を設けることによって冷却し，蓄冷器に冷熱を蓄えるようになっている。図2にスターリング冷凍機と比較した原理図を示す。

スターリング冷凍機では，膨張機側のピストン運動がシリンダとの接触や気密シールの摩耗を生じ，寿命が短くなるという欠点があったが，パルスチューブ冷凍機は，膨張機側に機械的可動部品がないために，高い信頼性と長時間の無保守運転が可能である。

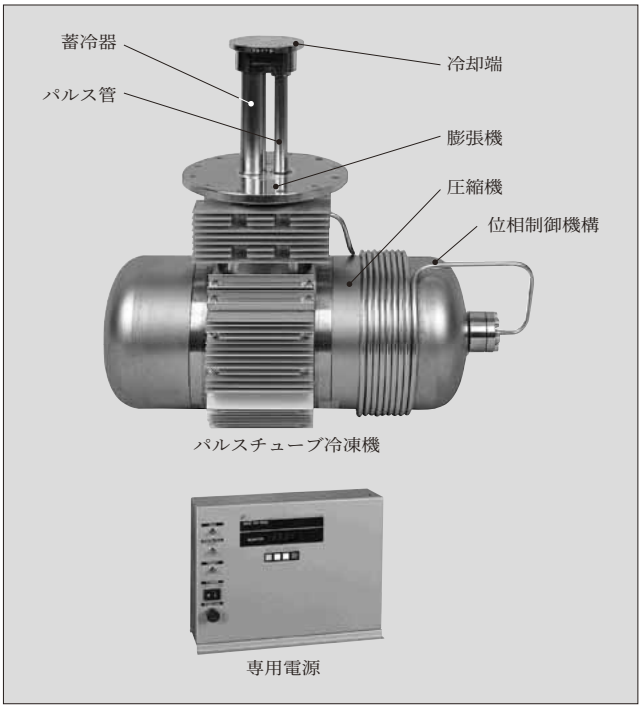
表1にスターリング冷凍機とパルスチューブ冷凍機の比較を示す。スターリング冷凍機は，寿命は短いものの，パルスチューブ冷凍機より熱効率がよいため，小型にできるという利点がある。特機分野における両冷凍機の使い分けは，信頼性を重視するか，小型化を志向するかによって決められる。衛星搭載のように長時間無保守が必要なものにはパルスチューブ冷凍機が優位であり，赤外線暗視装置のように運用時間は限られるが，小型化が要求されるものにはスターリング冷凍機が採用される。

3　特機分野における用途とその要件

パルスチューブ冷凍機は，汎用分野または特機分野にかかわらず極低温の用途で無保守運転を必要とする冷凍機に最適である。

ここで，環境温度や外部振動などの冷凍機が使われる環境仕様比較において，主に室内環境で外部振動が地震レベルであるものを汎用分野とし，それ以外のものを特機分野と定義する。

図1　パルスチューブ冷凍機と専用電源の外観



竹内　孝行

交通システム，特機システムなどのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部交通・特機統括部防衛技術部担当課長。

松下　智行

極低温小型冷凍機の開発・設計に従事。現在，富士電機システムズ株式会社機器本部東京工場ファインテック機器部主任。

大嶋　恵司

極低温小型冷凍機（スターリング，パルスチューブ）およびその応用機器の開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社機器技術研究所主任研究員。日本機械学会会員。

図2　パルスチューブ冷凍機の原理図

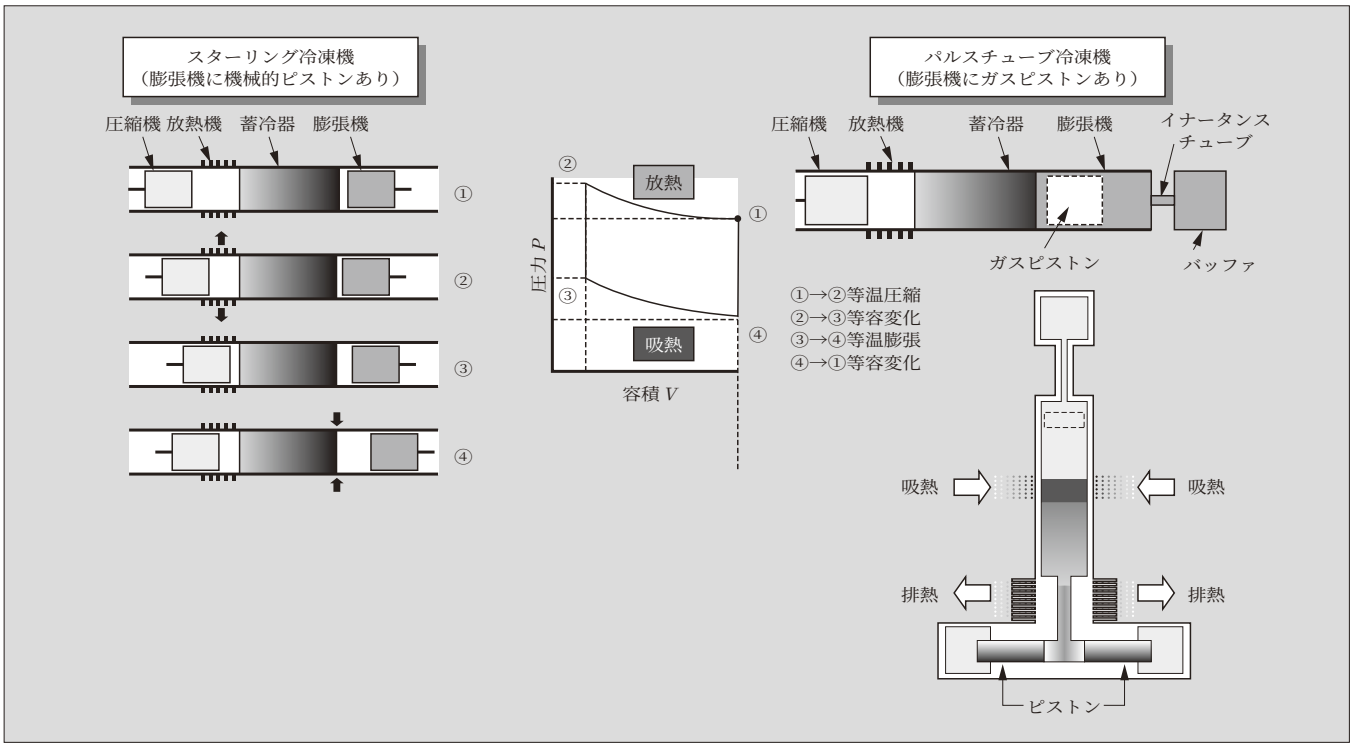


表1　スターリング冷凍機とパルスチューブ冷凍機の比較

比較項目	スターリング冷凍機	パルスチューブ冷凍機
大きさ 質　量	○小型 ○軽量	○スターリング冷凍機よりやや大きい ○スターリング冷凍機よりやや重い
冷凍能力	○15W以下	○10W以下
発生振動	○やや大きい ○制振制御が必要	○小さい
寿　命 信頼性	○やや長い（1年） ○部品点数がやや多い	○特に長い（6年以上） ○部品点数が少ない
保　守 点　検	○1回/年 ○膨張機のシール交換	○6年以上無保守 ○部分交換できない
温度環境影響	○パルスチューブ冷凍機より小さい	○高温時に大きい
取付け姿勢影響	○小さい	○小さい
運　転	○制振制御が複雑	○容易
ライフサイクルコスト	○やや安価	○安価

汎用分野におけるパルスチューブ冷凍機の適用分野としては，高温超伝導材料を使った研究設備，蛍光X線分析装置などのセンサやデバイスの冷却における液体窒素装置との置換え，また，移動通信設備において隣接周波数帯の干渉防止を目的とした超伝導フィルタ冷却の用途が考えられる。特に移動通信設備は，日本において数万局，世界中では数百万局といわれる通信中継局への設置を考えるとその数も多く必要である。

特機分野では，例えば衛星搭載の場合の特殊仕様として以下のことが要求される。

○打上げ時の大きな機械力に耐えること
○宇宙環境における放射線影響と排熱機構
○長期運用に耐える運転寿命
○冷凍機が発生する機械力やトルク抑制
○小型・軽量
○低消費電力
○地上試験における設置姿勢

世界における衛星搭載用小型冷凍機は，発生振動や高信頼性の観点からパルスチューブ冷凍機になる傾向にある。富士電機は，衛星搭載用スターリング冷凍機の実績からこれらの仕様を満たすパルスチューブ冷凍機を開発することができる。衛星における小型冷凍機の発生振動は，精密測定の検出器の“揺らぎ”の影響や照準設定，また衛星の姿勢にも影響する課題であり，パルスチューブ冷凍機の採用により0.1N以下の機械的じょう乱力にすることが期待されている。この要求の達成のためには，圧縮機側のピストン運動を対向ピストン配置で相殺したリ，可動質量を均一にしたりするほか，ピストン位置検知による振動抑制運転などが考えられている。

パルスチューブ冷凍機の信頼性は，圧縮機における可動部品の耐久性と封入されたヘリウムガスの汚染による冷凍能力低下，および製造時のコンタミネーションによる偶発故障などの管理によって確保される。

2006年3月現在，パルスチューブ冷凍機は，屋外を含め，複数台の冷凍機を連続運転を継続しており，3万時間以上経過している。

4　富士電機のパルスチューブ冷凍機の性能と適用

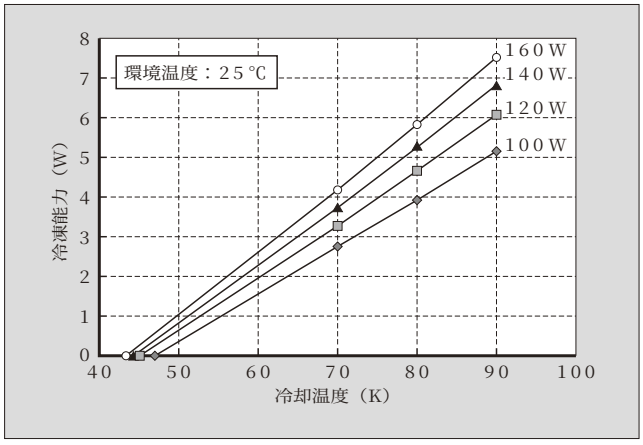
富士電機のパルスチューブ冷凍機の仕様を表2，冷凍能力を図3に示す。

図3において，標準仕様の冷凍能力は，2.5 W 以上（環境温度 25 ℃，冷却端温度 70 K，入力電力 100 W 時）である。冷凍能力は，入力電力が一定であれば，所要冷却温度が高くなるほど大きくできる。また，入力電力を大きくしても大きな冷凍能力を得ることができる。富士電機のパルスチューブ冷凍機では，最大入力電力（160 W）時に液体窒素温度（77 K）において 5 W 以上の冷凍能力が得られる。なお，室温（25 ℃）における最低冷却温度は 45 K である。

表2　パルスチューブ冷凍機の標準仕様

冷却温度	70 K
冷凍能力	2.5 W以上
温度安定度	±0.5 K
消費電力	100 W
質　　量	10 kg
寸　　法	最大W266×D121×H251（mm）
設計寿命	5万時間以上
環境温度	0～40 ℃

図3　パルスチューブ冷凍機の冷凍能力特性



パルスチューブ冷凍機は，高温環境では著しく能力が低下するため，環境温度を考慮した設計が必要である。

パルスチューブ冷凍機の冷却端を上下および左右の全方向に設置姿勢を変えた場合の冷凍能力の変化は 3 % 以下であり，冷凍機の取付け自由度が高い。これは GM（ギフォード・マクマホン）方式の冷凍機が 10 %の変化があることと比較して優位である。

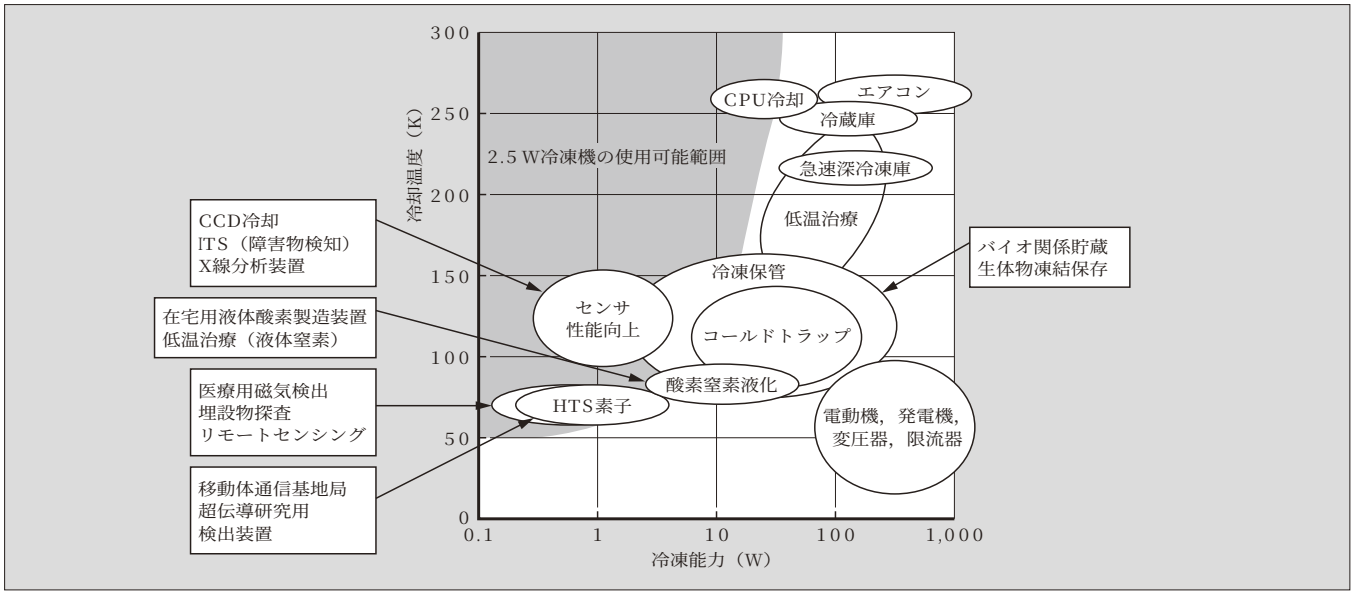
図4に富士電機のパルスチューブ冷凍機の用途を示す。横軸は冷凍能力，縦軸は冷却温度を示し，網掛け部分（2.5 W 冷凍機の使用可能範囲）の領域が用途となる。標準仕様の冷却温度 70 K，冷凍能力 2.5 W 付近では，移動通信の超伝導フィルタ冷却，赤外線センサ冷却，高温超伝導材料の冷却などのセンサやデバイス冷却に適用できる。この温度より高い 80 ～ 150 K の領域では，CCD などの環境温度による熱雑音の抑制や，有害ガス除去を目的としたガスの液化，レーザ用希ガスの液化などの用途がある。さらに高い温度では，サーバ CPU の冷却用が考えられる。

5　あとがき

超伝導材料によるシステムの高精度化は今後の新しい装置として期待が高かったが，ヘリウム温度に冷却する必要があり，その侵入熱対策が必要であったり，冷凍装置の寸法が大きくなるため，普及するまでには至っていない。高温超伝導材料が登場する段になり，冷凍装置の小型化，容易な侵入熱防護が可能となり，超伝導でないシステムと比較しても小型で高性能なものが出来上がりつつある。その役割の一助となる冷凍機が小型パルスチューブ冷凍機である。

富士電機は，汎用のシステムにおいてはもちろん，環境仕様や振動仕様が厳しい特機分野の冷凍機であっても，高信頼性の要求に応えられるパルスチューブ冷凍機を今後とも提供していきたい。

図4　パルスチューブ冷凍機の用途



低圧遮断器の動向と富士電機の対応

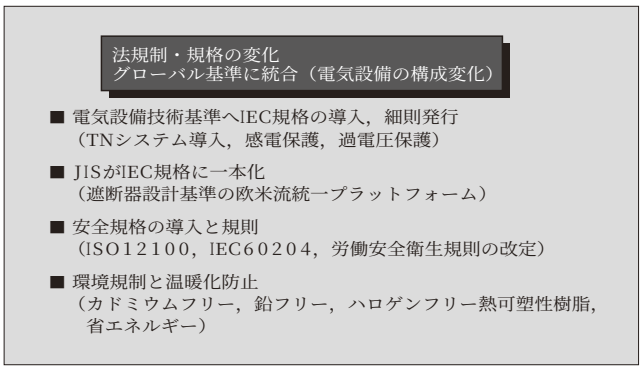
内田　直司（うちだ　なおし）　　小塙 明比古（こはなわ　あきひこ）

1　まえがき

わが国では，世界貿易機関（WTO）の TBT（Technical Barriers to Trade）協定受入れ決定を受けて，現在，国内低圧電気設備および使用部品の国際規格（IEC 規格や ISO 規格）への整合化が急速に進行している。1999 年，「電気設備の技術基準の解釈について」（以下，電技解釈と略す）に第 7 章「国際規格の取リ入れ」（IEC60364 の適用）第 272 条が追加され，国内電気設備に IEC 規格による工事が認められた。併せて，IEC 規格に整合した JIS C 0364 シリーズも発行された。また，産業用の機械制御盤の電気設備に関する規格 JIS B 9960 も IEC60204 との整合化として改訂されている。

このように，電気設備や機械制御システムの規格が国際規格である IEC 規格との整合を加速することによって，わが国では，在来の「電気設備技術基準」をベースとした電気・機械システムと IEC 規格をベースにした電気・機械システムが過渡的に併存することになる。本稿ではこうした状況を前提に，設備に使用される主要部品である配線用遮断器（MCCB）および漏電遮断器（ELCB）の動向と富士電機の対応の基本的な考え方を述べる。

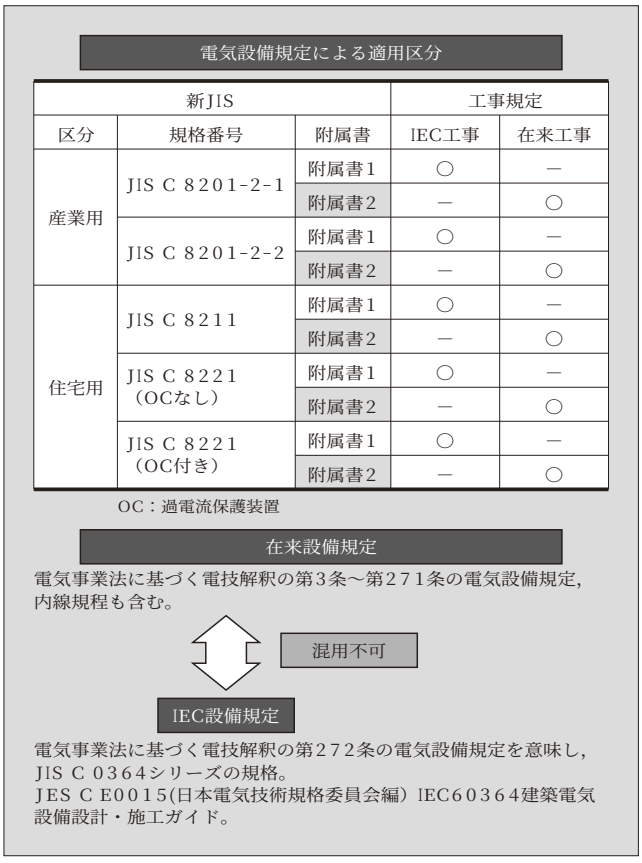
図 1　低圧電気設備を取り巻く最近の変化



2　低圧電気設備を取り巻く変化

低圧電気設備を取り巻くわが国の変化を図 1 に示す。上述したように，電技解釈において在来方式と IEC 方式の 2 系列存在することになる。同一設備内での混用は禁止されているが，おのおのの方式に合った MCCB/ELCB の適用が要求されている。また，従来の MCCB/ELCB の JIS に替わって，これらを包含し，IEC60947 シリーズに整合化した新 JIS C 8201，8220 シリーズが発行された（図 2）。新 JIS C 8201 シリーズでは，特に ELCB においては，漏電保護特性や，主回路欠相時の保護能力に関して規定上大

図 2　低圧遮断器から見た設備への適用



内田　直司

低圧遮断器の開発設計，低圧機器全般の商品企画に従事。現在，富士電機機器制御株式会社器具事業部技術開発・生産センター開発部担当課長。

小塙　明比古

低圧遮断器の開発設計，低圧機器全般の商品企画に従事。現在，富士電機機器制御株式会社器具事業部技術開発・生産センター開発部長。電気学会会員，電気設備学会会員。

図３　市場の変化と低圧遮断器の変化

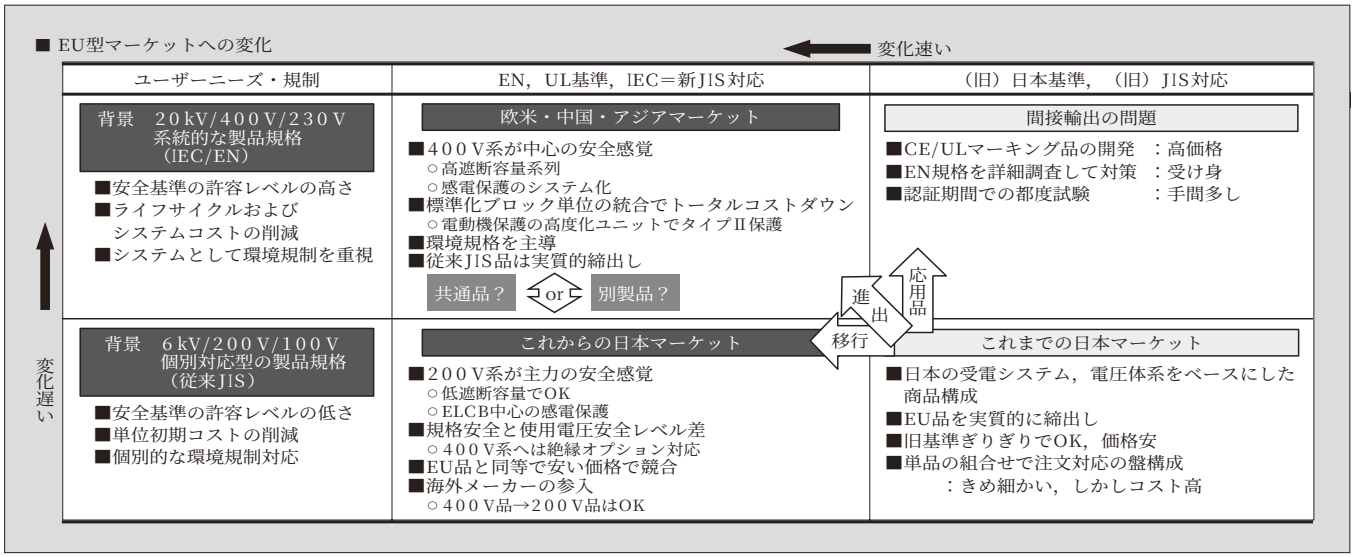
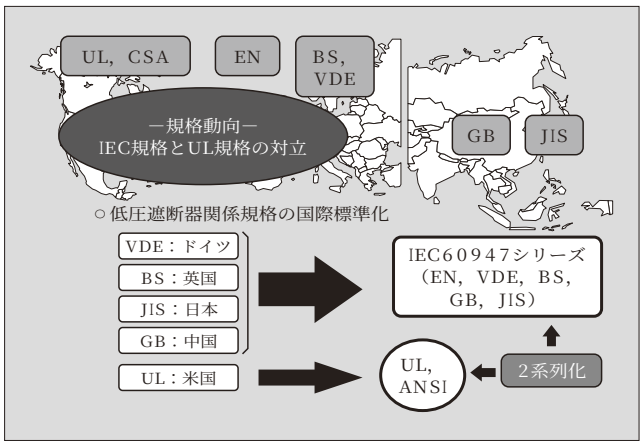


図４　低圧遮断器の規格動向

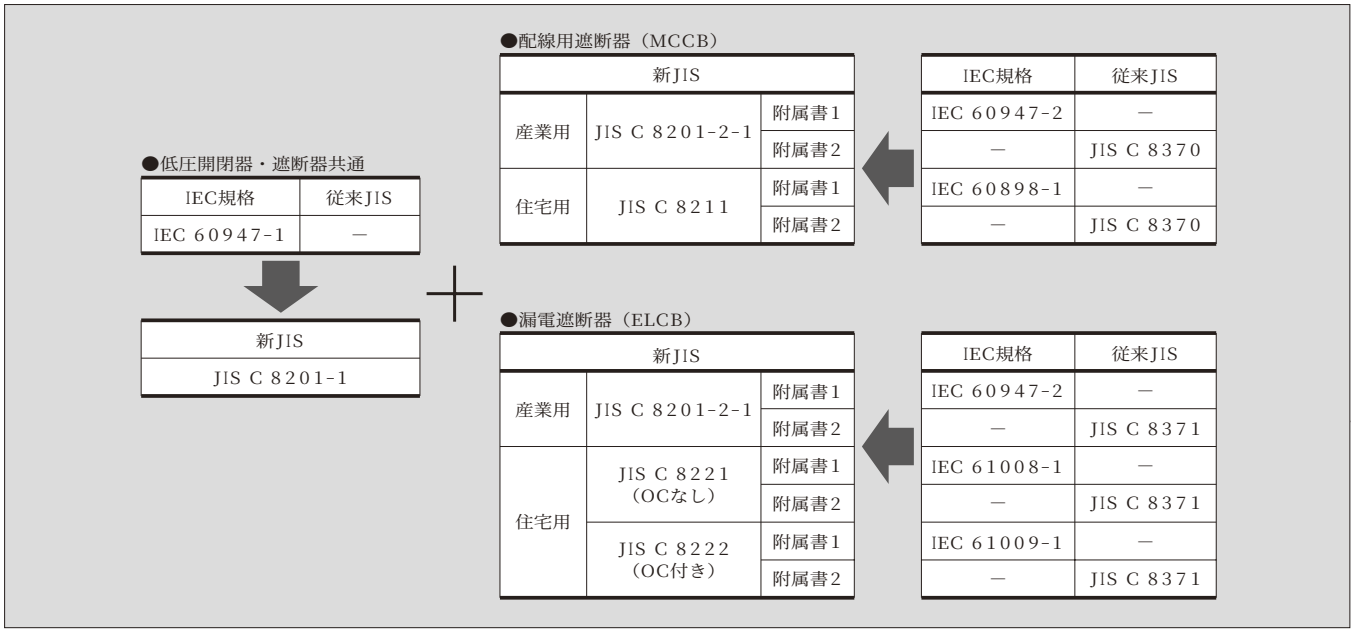


きな変化がある。また，電気安全に関しても充電部接触事故に対する感電防護手段や，電動機に対する保護手段の規定においても大きな変化がある。

一方，地球温暖化防止に関する，いわゆる京都議定書の発効により，わが国は，厳しい二酸化炭素（CO_2）削減義務を負っている。CO_2 削減の手段の一つとして，「エネルギー使用の合理化に関する法律」（省エネルギー法）の適用の拡大が強力に進められており，現在は商用ビルや中小工場にまで電気エネルギー管理の報告が義務づけられている。

需要家においても省エネルギーを目的として，電力エネルギーの計測・管理を簡単に構築したいとの要求も高まっている。こうした要求に応えるために，富士電機ではエネルギー管理機器のシリーズ化を進めるとともに，低圧設備の主要機器である低圧遮断器にエネルギー監視機能を組み

図５　JIS の IEC 規格整合内容



込むなどの対応を行っている。

3　低圧遮断器へのニーズの変化

2章の低圧電気設備を取り巻く状況の変化を受けた，低圧遮断器に対する主な要求事項は，次のとおりである（図3）。

(1)　IEC 規格整合化 JIS に対応する低圧遮断器の製品化
(2)　省エネルギー監視・制御を容易にする電気エネルギー計測機能を持つ遮断器の系列化
(3)　電動機回路の短絡保護における，より高い安全保護レベル確保のための遮断器の系列化（JIS B 9960 の要求）
(4)　地球環境保護へ寄与する指定有害物質のない低圧遮断器の開発

要約すると「国内外の規格を 1 台で満たす真のグローバル遮断器の実現」といえる（図 4）。こうした顧客ニーズを満足するには，低圧遮断器においても現製品系列について発想を大きく転換することが必要である。新しい発想の基本は，従来の JIS 対応遮断器のよさ（コンパクト，高品質，多様なバリエーション）を堅持しつつ，IEC 規格の背景にある 400 V 配電レベルの要求性能を具体化することにある（図 5）。富士電機では，このニーズの実現のために4章のような対応を行っている。詳細は本号の別稿（新グローバル MCCB/ELCB「G-Twin」シリーズ）を参照願いたい。

4　低圧遮断器へのニーズに対する富士電機の対応

富士電機では，低圧遮断器に対するニーズに応えるために，先行して多くの要素技術開発を行った。

例えば，① UL489 と IEC 規格，JIS の遮断責務を同時に満足するアーク制御技術，②モールド材や接点材の材料技術，③漏電検出に関する技術進化，④電力計測機能付遮断器に関する構造上の検討，などである。

そして，これら要素技術開発の成果を注入して，①世界中の電気設備向に同一製品で適用可能な「G-Twin ブレーカ」，②新しい電動機保護を実現する小型モータブレーカ「マニュアルモータスタータ」（MMS），③省エネルギー電力監視制御に最適な「FePSU ブレーカ」，などの開発を行った。要点は以下のとおりである。

(1)　MCCB/ELCB の新シリーズ開発

図 6 に，IEC 整合化新 JIS と従来 JIS 廃番スケジュールを示す。現在は，規格の移行期であり，低圧遮断器についても，「在来電気設備」と「IEC 電気設備」に対応して製品を使い分ける必要がある。この問題を解決する新グローバル遮断器「G-Twin ブレーカ」のコンセプトを図 7，250 A フレーム（AF）の外観を図 8 に示す。

G-Twin ブレーカは，わが国ではじめて，従来 JIS 遮断器の寸法をキープしつつ，一つの遮断器で新 JIS/IEC（日本・欧州），GB（中国），UL（米国）の規格認証を取得し

図 6　JIS の整合スケジュール

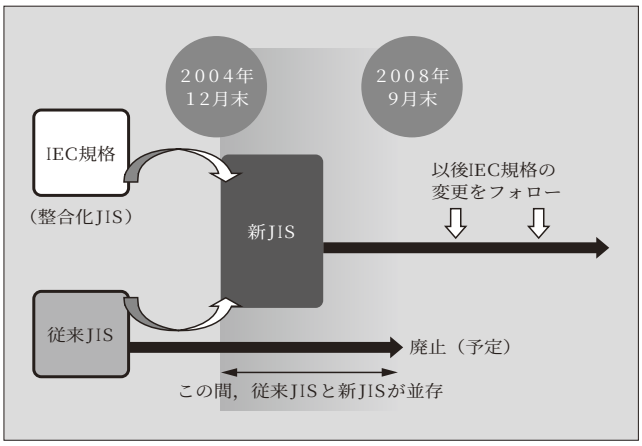


図 7　新グローバル MCCB/ELCB のコンセプト

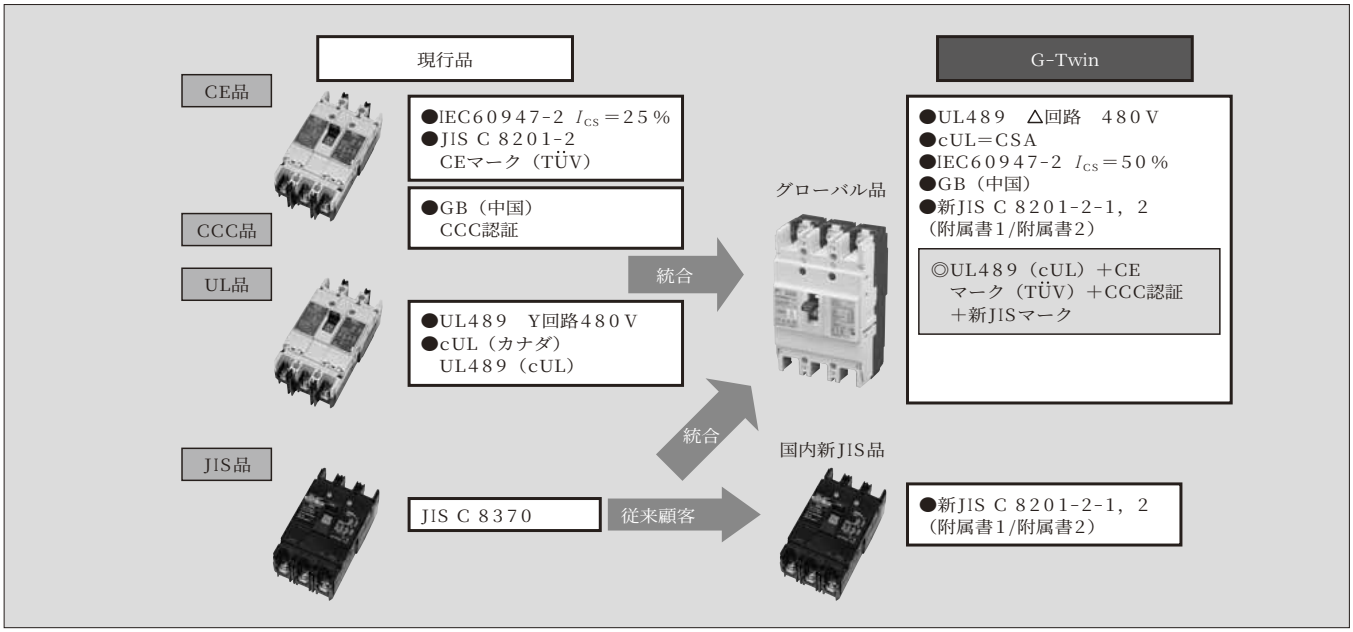


図 8　G-Twin 低圧遮断器の外観

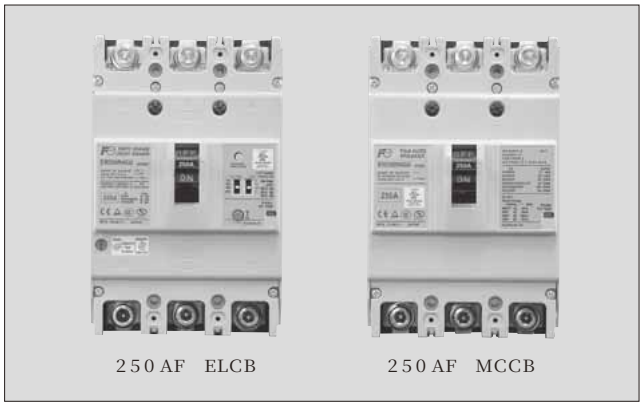
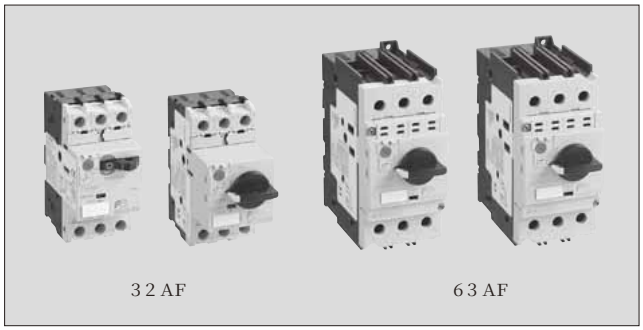


図 9　MMS の外観



た画期的な製品である。特に両立が困難であった 480 V Δ 回路系統（UL）へも同一の遮断器で適用可能であることは大きな利点である。

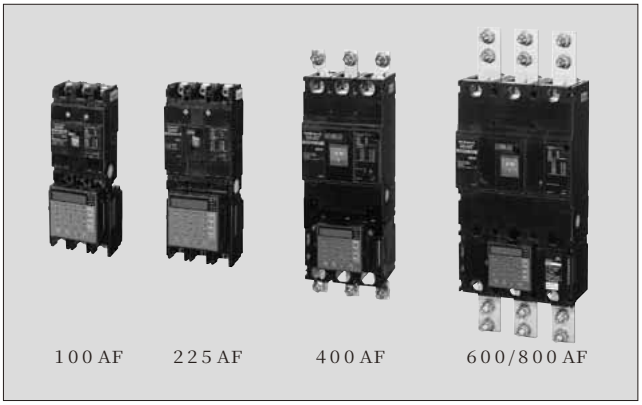
(2)　新しい電動機保護を提案する MMS

電気設備に対する IEC 規格要求レベルの国内浸透に伴って安全に関する種々の性能要求が出てきている。MMS は電動機回路ごとの過電流保護を実現する小型モータブレーカである。最小フレームサイズは 32 AF で，幅 45 mm と新しい寸法基準のもとコンパクト性を追求しつつ，定格遮断容量は 50 kA（AC460 V）と高く，かつヒューズに近い限流性能を有している（図 9）。この製品の使用により，下位の直列機器，例えば電磁接触器や電線保護についてランクアップしたバックアップ保護が可能である。

(3)　電力量計測機能付遮断器「FePSU ブレーカ」シリーズ

需要家において電気量を計測して，これを削減する努力

図 10　FePSU ブレーカの外観



は，省エネルギー法への対応だけでなく，生産活動におけるコスト低減としての使用エネルギー削減意識の高まりにもつながっている。富士電機では，このニーズを踏まえて，低圧設備の電力監視・制御に適した「F-MPC シリーズ」を整備・提供しており，好評を得ているが，図10に示す新設の設備に適したブレーカ一体形の電力量計測機能付遮断器「FePSU ブレーカ」を系列化した。これにより本号の別稿「低圧配電システムのネットワーク化と省エネルギー支援機器」の図 6 に示すように，エネルギー監視・制御分野で多様なニーズに対応して適材適所の製品選定ができる体制となっている。

5　あとがき

本稿では，低圧遮断器を取り巻く環境の変化を概説し，それに伴う顧客ニーズの分析と富士電機の対応例を述べた。低圧遮断器は，WTO の TBT 協定による IEC 規格整合化の影響を最も多く受ける機種である。今後，需要家各位が実際の適用を深める中で発生する適用上の問題に対しても，積極的に解決の検討を進めていく所存である。本稿がわが国の低圧電気設備の真のグローバル化に役立てば幸いである。

参考文献

(1)　小塙明比古．低圧開閉機器の技術動向と富士電機の対応．富士時報．vol.74, no.11, 2001, p.596-603.

新グローバルMCCB/ELCB「G-Twin」シリーズ

久保山 勝典（くぼやま　かつのり）　　小塙 明比古（こはなわ　あきひこ）

1　まえがき

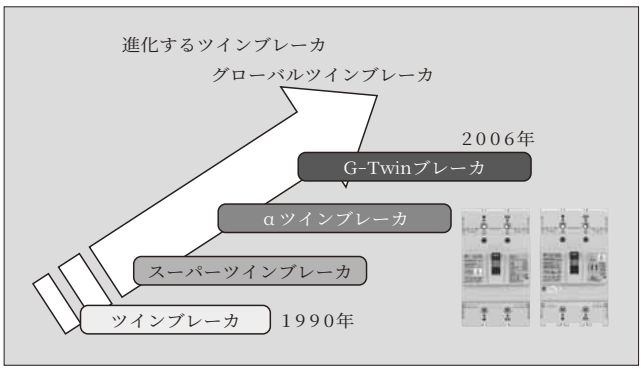
富士電機は，1990年に世界で初めて配線用遮断器（MCCB）と漏電遮断器（ELCB）の外形寸法を統一した「ツインブレーカ」を発売し大きな反響と支持を受け，この考え方がわが国の「デファクトスタンダード」として定着した。その後1992年「スーパーツインブレーカ」でわが国では初めて内装附属品のユーザー取付けを可能とし，1995年には「スーパー60シリーズ」を発表し，外形寸法のモジュール化を進めた。

さらに，2001年に「αツインシリーズ」を発売して経済形100Aフレーム（AF）以下の一層の小型・モジュール化を進め，かつわが国初の国内外の規格に適用するマルチスタンダード品として上市するなど常に市場の変化を先取りしてきた。

最近，市場のグローバル化は一層加速しており，2004年末には，MCCB/ELCBの従来JISがIEC規格に整合化された新JISとして発行され，グローバル化がより明確になった。この間，富士電機は前述の「ツインブレーカ系列」をベースに，グローバル顧客を対象に各規格に準拠・認証を取得した製品バリエーションの拡大を展開し，市場ニーズに応えてきた。しかしバリエーションの拡大は，一方で選定や購入の際の煩雑さを生み，改善要求も上がっている状況でもあった。富士電機では，こうした状況を踏まえ，各要素技術の革新的開発を進め，真のグローバルMCCB/ELCBシリーズとして「G-Twin」125～400AFを開発した（図1）。

本稿では，G-Twinの特長，仕様，構成についてその概要を述べる。

図1　ツインブレーカの歴史



2　G-Twin MCCB/ELCB開発の背景と狙い

2.1　開発の背景

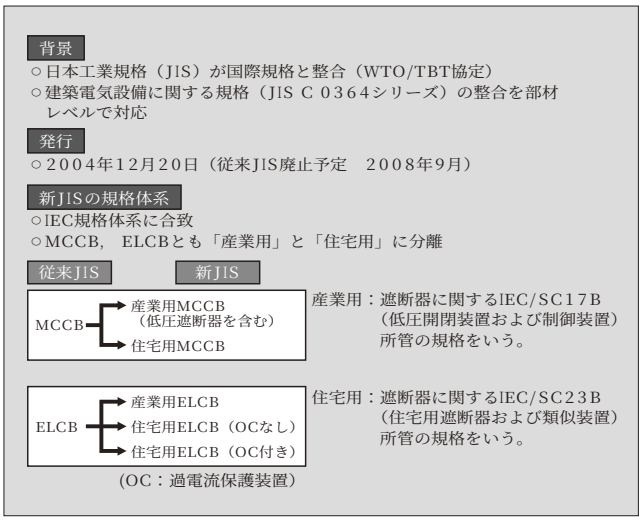
JISのIEC規格整合化の推進を受けて，低圧遮断器のJISも図2に示すように整合された。従来JISは2008年度をめどに廃番となり，新JISに統一される予定である。主な改訂項目は以下のとおりである。

(1)　従来の配線用遮断器，漏電遮断器，低圧遮断器の3規格が共通通則1規格，回路遮断器2編，漏電遮断器3編に分割再編された（図3）。

(2)　上記5編の中で遮断器は，在来電気設備用の附属書1とIEC設備用の附属書2に分類される。

(3)　電気熟練者が扱うことを前提とした産業用遮断器と，一般人も扱うことを前提とした住宅用遮断器に区別され

図2　新JISの体系



久保山 勝典

低圧遮断器およびマニュアルモータスタータの開発設計に従事。現在，富士電機機器制御株式会社器具事業部技術開発・生産センター開発部グループマネージャー。

小塙 明比古

低圧遮断器の開発設計，低圧機器全般の商品企画に従事。現在，富士電機機器制御株式会社器具事業部技術開発・生産センター開発部長。電気学会会員，電気設備学会会員。

図３　新 JIS の内容区分構成

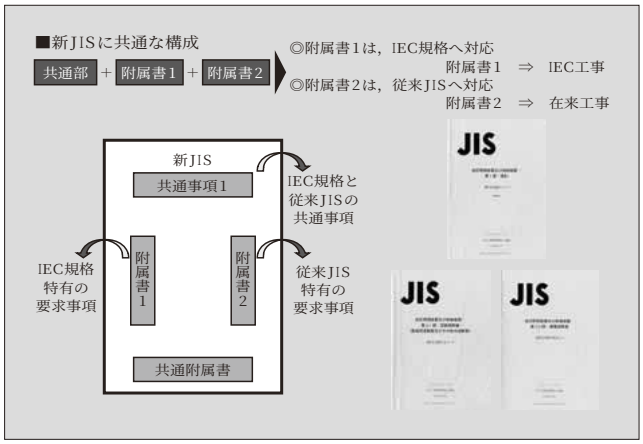
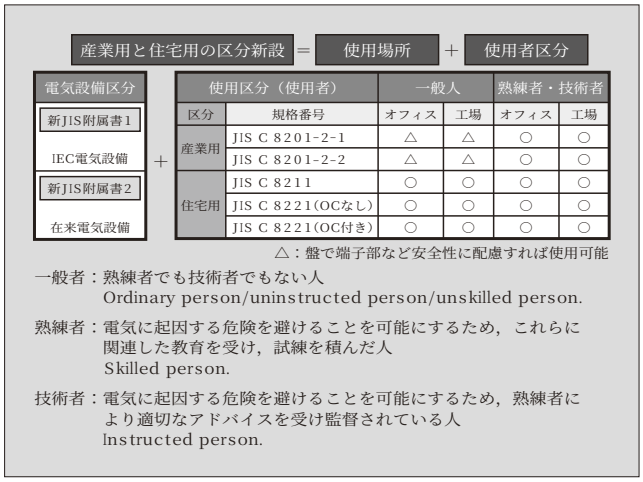


図４　低圧遮断器の適用区分



る（図 4）。

(4)　産業用 ELCB については，IEC 規格では IEC60947-2 の附属書 B であるが，新 JIS では，独立した規格 JIS C 8201-2-2 としている（図 4）。

(5)　ELCB の新 JIS ではさらに IEC60947-2 Edition III（Ed. III）（欠相時の動作）を一部取り入れている（図 5）。

上述の新 JIS により今後は，低圧遮断器は設備に応じた製品を使用する必要があり，遮断器の形式表示なども明確に区分することが求められている。

2.2　開発の狙い

富士電機では，低圧遮断器を取り巻く状況の変化を分析した結果，今後要求されるであろう顧客ニーズを先取りして対応するためには，真の意味でのグローバル MCCB/ELCB の開発が必要であると判断し，要素技術開発を先行させ，真のグローバルブレーカ「G-Twin」を開発・製品化した（表 1）。G-Twin 開発の狙いを要約すると以下のとおりである。

(1)　世界の低圧遮断器規格へ適合

従来，地域別規格対応は，バリエーションとして個別対応であったが，より合理的な 1 台での全規格認証取得の実現

図５　IEC60947-2 Ed. III ELCB の三相電源対応

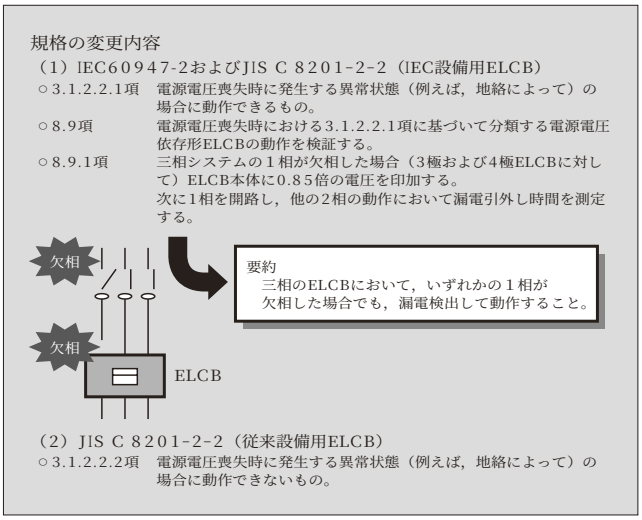
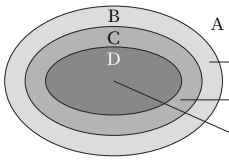


表１　G-Twin MCCB/ELCBの顧客別適用の考え方

シリーズ	G-Twin（グローバルスタンダード）	G-Twin（マルチスタンダード）	αツイン
規格表示	UL/CE/CCC/新JIS	CE/CCC/新JIS	新JIS
機種系列	富士グレー色 端子カバー標準装備	富士グレー色	ブラック色
区　分	A B C（D）	A（B）C（D）	D
お客様の選択		A 海外顧客 B グローバル顧客 C 輸出顧客 D 国内専用顧客	

(2)　IEC 規格整合化に伴う IEC 規格の改訂に同期した技術対応

最新の IEC 規格に対応する遮断器基本性能の見直しとブラッシュアップ

(3)　EU（欧州連合）の RoHS〈注 1〉規制，国内の各環境規制のクリア

指定有害金属を除去し，かつ価格アップのない材料の見直し

(4)　新 JIS/IEC 規格と UL489 遮断器の統合

現行のコンパクトサイズを維持しつつ UL489 認証の 480 V 品と IEC60947-2 認証の 400 V 品の同時実現とシリーズ化（世界初）

(5)　グローバル流通が容易な遮断器本体，附属品の構成

遮断器の附属品の統一とお客様取付けの実現

JIS が IEC 規格に整合されたことにより，上記の狙いを

〈注 1〉RoHS：電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限

具体化した遮断器は，今後わが国の標準になると考えている。

3　G-Twin の特長

図 6 に G-Twin ブレーカの外観を示す。モールドカバーの色彩は，“真のグローバル”を表すものとして富士グレー色（ライトグレー）に統一し，斬新なイメージとした。

一方，現在の黒色カバーの**α**ツインブレーカは，国内の既存設備との整合や，すでに採用いただいている顧客の運用を考慮して継続させ，G-Twin と合わせて 2 系列構成とした。すなわち，

① 世界各地（含む日本）の設備に適用できるオールマイティーの MCCB/ELCB G-Twin シリーズ

② 国内向けの電気設備を中心に適用する MCCB/ELCB **α**ツインシリーズ

の 2 系列で，需要家の選択の自由度を拡大している。

G-Twin の 5 大特長は次のとおりである。

(1) 国内標準寸法をキープしたマルチスタンダード品

図 7 に G-Twin シリーズの機種統合を示す。業界で初めて，国内標準寸法をキープして，新 JIS，IEC，GB，UL（480 V Δ系統）の認証を取得し，一つであらゆる地域への適用を可能とした。従来同一機能の装置・盤で，指定地別に遮断器を選択していた手間を，この製品は完全に省くことができる画期的なグローバル製品である。

(2) IEC60947-2 Ed. Ⅲの取入れと保守性向上

EU 圏への輸出では，CE マーク〈注 2〉の貼付（ちょうふ）が義務づけられている。CE マークを付す遮断器は，IEC60947-2 系列の最新版の技術的要求を満足する必要がある。特に ELCB では，配電電圧や接地系統の違いから，新 JIS 準拠品であっても IEC60947-2 の技術的要求を満たしているわけではない。そこで G-Twin では，

① ELCB の検出回路電源を三相入力化して，欠相時の確実な動作を実現

② ELCB の負荷側配線や機器の対地絶縁抵抗のチェック試験を簡単にするメガーチェック用切換スイッチの付与（業界初）（図 8）

により完全に IEC60947-2 に準拠し，CE マークに対応するとともに保守作業性の向上を図った。

(3) 米国 UL489 の AC480 V Δ結線系統への対応

低圧遮断器の真のグローバル化にとって，最大の技術的

〈注 2〉CE マーク：欧州の製品安全規格に合格していることを認証するマーク

図 6　G-Twin MCCB/ELCB の外観

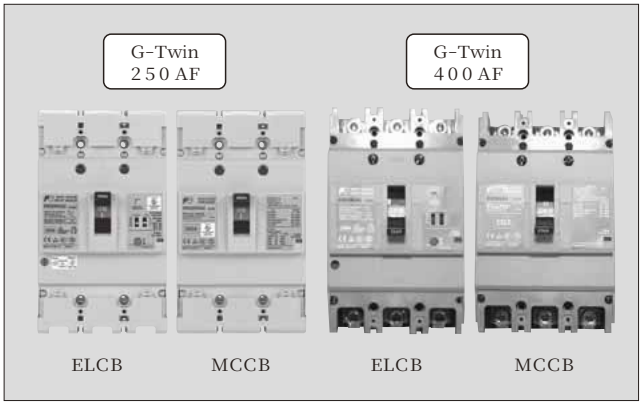


図 7　G-Twin 機種統合の考え方

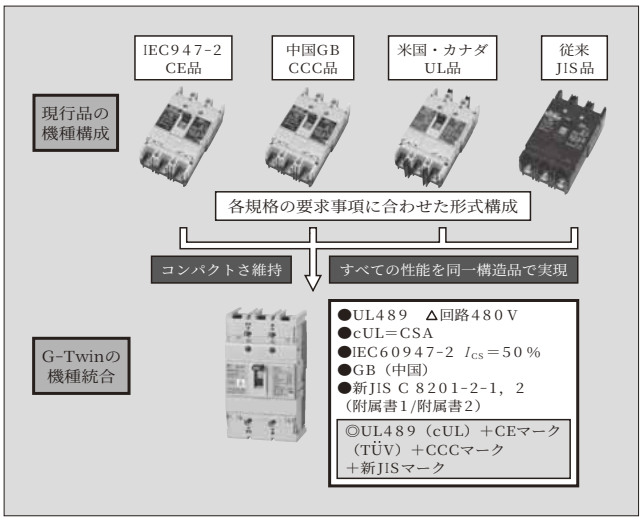


図 8　保守用メガーテストスイッチの機能と構成

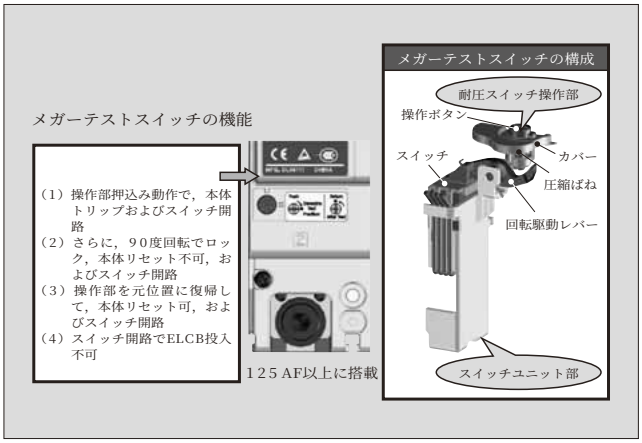


図 9　UL489 Δ系統の遮断責務と絶縁距離

UL489　Δ系統遮断（480 V）		UL489　絶縁距離（480 V）	
三相遮断	480 V 50 kA “O-CO”	沿面	極間　50.8 mm
単極遮断	各極間 480 V 10 kA “O-CO”	空げき	極間　25.4 mm
課題	単極480Vは，三相830V（480×$\sqrt{3}$）遮断に相当するのでコンパクトなMCCB/ELCBでは非常に難しい	課題	IEC/新JISの規準に対して3倍以上の距離が必要
G-Twinでの対応	■基本技術として樹脂細げき消弧方式を開発して採用 ■国内基準寸法品にてUL489 480 Vの単極遮断をクリア	G-Twinでの対応	■端子カバーを標準装備 ■UL489適用のときは端子カバーを装着して絶縁距離を確保

O：遮断責務　　CO：投入遮断責務

図 10　400 AF の端子バリエーション拡大

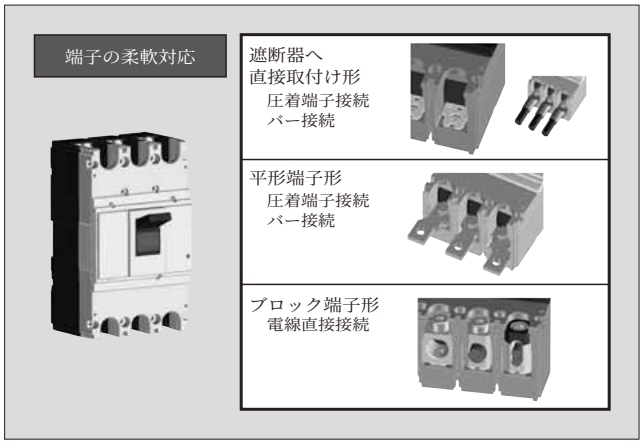


図 11　G-Twin の電力監視機能付 FePSU ブレーカ

課題は，旧 JIS 対応形のコンパクトサイズ遮断器で UL489 の AC480 V Δ結線の責務を満足することができるか否かにある。G-Twin ブレーカは，MCCB と ELCB を同一寸法とするツインブレーカ思想を維持しつつ，この課題をクリアした世界で初めての真のグローバル MCCB/ELCB である（図 9）。

(4)　ユーザーフレンドリーな構成

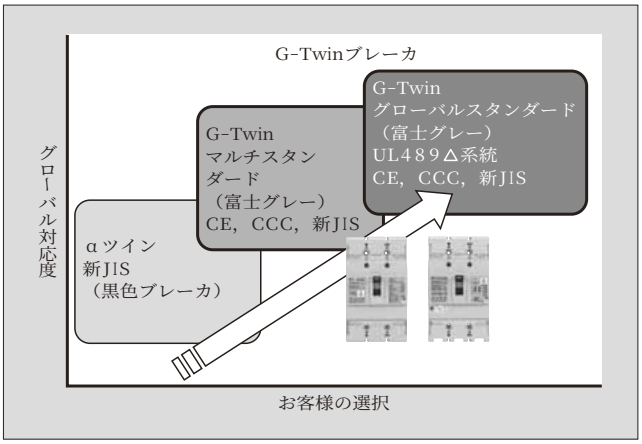
遮断器フレームサイズを世界標準である 125 AF および 250 AF とした。また 400 AF は，接続端子のバリエーションを増やし盤への適合性を高めた（図10）。遮断器内部に取り付ける内装附属品（補助・警報スイッチ，電圧引外しコイルなど）は，125 ～ 250 AF 用の共通附属品と 400 AF 以上の共通附属品の 2 系列とシンプルなものにし，ユーザーインストール性の向上を図った。

(5)　業界最高レベルの環境・省エネルギー対応

G-Twin ブレーカは，本体・附属品も含めて，EU 環境規制である RoHS 指令を完全に満足している。

さらに，バリエーション機種として，分岐回路レベルでの電力量の監視機能およびデータの伝送機能を持った G-Twin FePSU ブレーカをラインアップし，省エネルギー支援機器シリーズの拡充を行った（図11）。

図 12　MCCB/ELCB のシリーズ概念



4　G-Twin の定格・仕様の概要

G-Twin MCCB/ELCB の完成により，富士電機のツインブレーカのシリーズ構成は図12のようになる。すなわち，

(1)　ハイエンドシリーズとして，全世界の規格に同一形式で対応できる最高の「グローバルブレーカ」シリーズ（富士グレーカバー品）

(2)　ミドルクラスシリーズとして，国内および IEC 規格圏をカバーする「マルチスタンダードブレーカ」シリーズ（富士グレーカバー品）

(3)　主として国内電気設備に最適な「新 JIS 準拠ブレーカ」シリーズ（黒カバー品）

需要家においては，MCCB/ELCB の規格別（IEC 規格，UL 規格，新 JIS）の使用の割合に応じて，上述の(1)～(3)のいずれかのツインブレーカシリーズを標準として採用すれば，従来のように規格によって MCCB/ELCB を使い分ける手間が省け，設備設計・手配（在庫）の簡素化に大きく寄与する。

表 2 にグローバルツインブレーカの概略仕様，図13に主銘板の表示例を示す。

5　G-Twin ブレーカの構造と技術

G-Twin の基本構造の決定にあたっては，ツインブレーカの思想をキープしつつ，いかに高性能化を実現するかが最大のテーマであった。

図14に示すように，特にアブレーション技術を追求した新消弧原理，漏電引外し部の全面見直しによる技術の深化，新素材開発から進めた環境技術など要素技術のブレークスルーを実現しワンランクアップの商品化を行った。以下にその要点を述べる。

5. 1　IEC 規格遮断責務と米国 UL 規格 480 V Δ系統の遮断責務の両立

(1)　IEC60947-2 および UL489 両立の難易度

表2　G-Twin MCCB/ELCBの仕様概要

(a) MCCB

フレーム			125AF		250AF		400AF		
極　数			2，3，4		(2)，3，4		(2)，3，4		
定格電流（A）			15，20，30，40，50，60，75，100，125		100，125，150，175，200，225，250		250，300，350，400		
形　式			BW125JAGU	BW125RAGU	BW250JAGU	BW250RAGU	BW400SAGU	BW400RAGU	BW400HAGU
絶縁電圧（V）			690		690		690		
外形寸法（mm）		2極	W：60，H：155，D：68	W：90，H：155，D：68	W：105，H：165，D：68		W：140，H：257，D：103		
		3極	W：90，H：155，D：68		W：105，H：165，D：68		W：140，H：257，D：103		
		4極	W：120，H：155，D：68		W：140，H：165，D：68		W：185，H：257，D：103		
遮断容量（kA）	JIS C 8201-2-1 附属書1，附属書2 IEC60947-2 GB14084.2 I_{cu} / I_{cs}	690V	ー	5/3	ー	5/3	10/5	15/8	20/10
		440V	30/15	50/25	30/15	50/25	36/18	50/25	70/35
		400V	30/15	50/25	30/15	50/25	36/18	50/25	70/35
		240V	50/25	100/50	50/25	100/50	85/43	100/50	125/63
	UL489 Δ 系統 cUL	480V	25	50	30	50	35	50	65
		240V	50	100	50	100	85	100	125

(b) ELCB

フレーム			125AF		250AF		400AF		
極　数			3，4		3，4		3，4		
定格電流			15，20，30，40，50，60，75，100，125		100，125，150，175，200，225，250		250，300，350，400		
形　式			EW125JAGU	EW125RAGU	EW250JAGU	EW250RAGU	EW400SAGU	EW400RAGU	EW400HAGU
定格電圧　AC（V）			100-230-440　共用		100-230-440　共用		100-230-440　共用		
高速形	定格感度電流（mA）		30，100/200/500切換		30，100/200/500切換		30，100/200/500切換		
	動作時間（s）at I/Δ_n		0.1以内		0.1以内		0.1以内		
外形寸法（mm）		3極	W：90，H：155，D：68		W：105，H：165，D：68		W：140，H：257，D：103		
		4極	W：120，H：155，D：68		W：140，H：165，D：68		W：185，H：257，D：103		
遮断容量（kA）	JIS C 8201-2-2 附属書1，附属書2 IEC60947-2 GB14084.2 I_{cu} / I_{cs}	440V	30/15	50/25	30/15	50/25	36/18	50/25	70/35
		400V	30/15	50/25	30/15	50/25	36/18	50/25	70/35
		240V	50/25	100/50	50/25	100/50	85/43	100/50	125/63
	UL489 Δ系統 ＋UL1053 cUL	480V	25	50	30	50	35	50	65
		240V	50	100	50	100	85	100	125

図13　G-Twin MCCBの主銘板表示例

250 AFの例

新JIS/IEC規格とUL規格の違いを表3に示す。この表からUL489の要求事項がより厳しいことが分かる。従来のUL規格品はIEC規格品に対して外形寸法を大きくした北米向けを別シリーズとして系列化せざるを得なかった。

特にΔ結線の480V 1線接地系統での1線地絡事故を想定した単極遮断責務のクリアおよび絶縁距離寸法の確保が製品設計の大きな壁となっていた。

(2)　アブレーション遮断技術によるIEC/UL遮断責務の両立の技術

可動接触子の初期の開極加速度を上げるために，磁気ヨークと固定接触子を組み合わせて配置し，その形状の最適化に三次元シミュレータを多用した。さらにグリッド消弧室に，アークを冷却するアブレーションガス効果を重畳し限流性能の革新的向上を図り，IEC規格AC440V/50kA遮断時の通過エネルギー（I^2t）を従来の

図 14　G-Twin ELCB の構造断面と開発技術

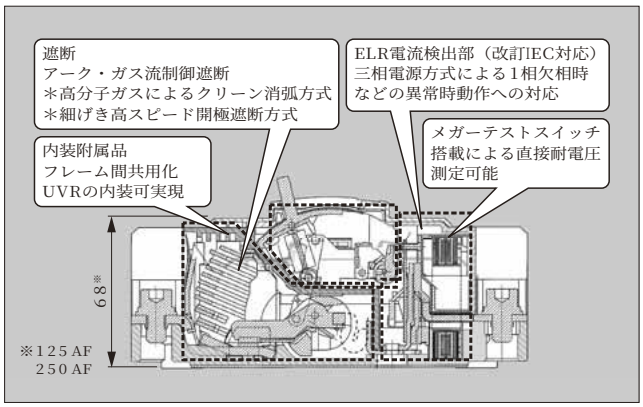


表 3　UL489とIEC60947-2の要求事項の相違

主な要求事項			UL489	IEC60947-2，新JIS
定格電圧			AC480 V， △接地系の要求	AC400 V， Y接地系の要求
構造	沿面絶縁距離	極　間	50.8 mm	10 mm
		対地間	25.4 mm	10 mm
	空げき絶縁距離	極　間	25.4 mm	5.5 mm
		対地間	12.7 mm	5.5 mm
	二重絶縁		要求されない	必要
	アイソレーション		要求されない	必要
電気的	インパルス耐電圧		要求されない	6 kV
	電気的耐久（250 A）		4,000回at I_n （機械的4,000回）	1,000回at I_n （機械的7,000回）
	過負荷開閉		50回at $6I_n$	12回at $6I_n$
	端子温度上昇		50　deg以下	70　deg以下
短絡遮断	限界遮断（I_{cu}）		480 Vで“O”-“CO” （2回）	400 Vで“O”-“CO” （2回）
	サービス遮断（I_{cs}）		要求されない	400 Vで“O”-“CO”-“CO”（3回）
	地絡単極遮断		各極ごと480 Vで “O”-“CO”	要求されない （メーカー値）
	遮断後の耐電圧		960 V　1分間	1,380 V　1分間

225 AF 比 70 %に低減した。

限流性能向上と同時に，消弧室から遮断器の負荷側へ向かう排出ガス流をケース・カバーの構造で制御し，アークが確実にグリッド上で電流ゼロ点を迎えるようにした。この効果により，UL 規格 480 V 単極遮断責務をクリアした（図15）。

5. 2　漏電引外し部の技術深化

(1)　IEC60947-2 Ed. Ⅲに適合する漏電引外し部の実現

漏電引外し部は一定の漏電電流が発生した場合に，検出回路の信号出力でトリップコイルを動作させ，本体の接点を引き外す機能を有している。IEC60947-2 Ed. Ⅲでは，過電流保護器としてヒューズを使用した場合などを想定して，三相のうち 1 相が欠相した場合でも，漏電を検出して引外しができることを要求している。これに対応するため

図 15　G-Twin ブレーカの遮断部構成

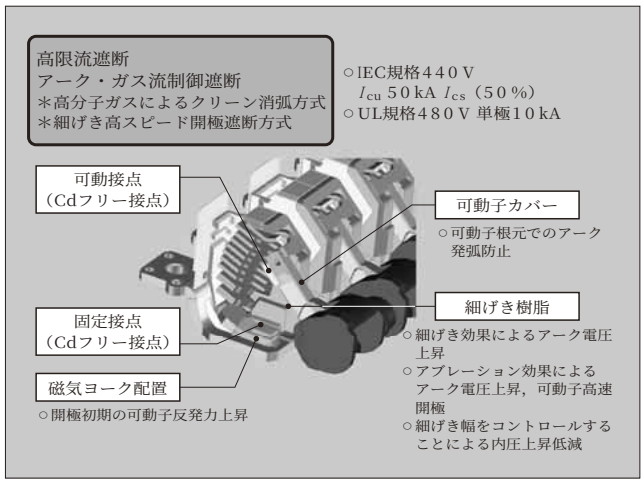


図 16　G-Twin 内蔵漏電リレー部の構成

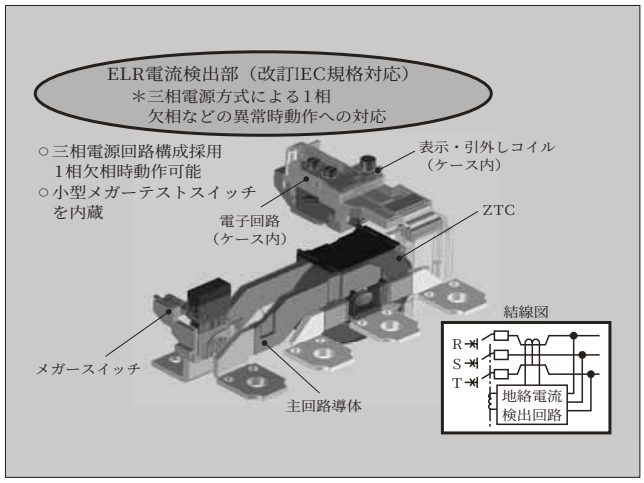
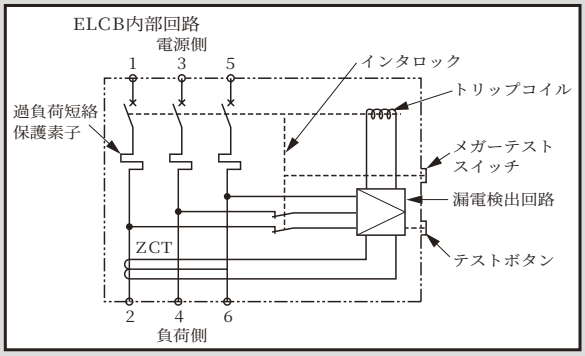


図 17　メガーテストスイッチ回路と仕様



仕　様

○定格電圧　100～480 V
○定格電流　1～30 mA
○接触抵抗　100 mΩ以下
○耐電圧　AC2,500 V
○絶縁抵抗　100 MΩ以上
○雷インパルス耐電圧 U_{imp} 6 kV
○電気的耐久　100回
○機械的耐久　1,000回

動　作

○主回路耐圧試験時にボタンを押し込み，スイッチオフにする。
○機械的に自己保持する。
○遮断器と機械的インタロックする。

新しい小型電源回路を開発し採用した。さらに，トリップコイルの超小型化および動作を伝達する機構部品のユニット化により，小型の漏電引外し部を開発した（図16）。この結果，従来品に対して外形寸法を変えることなく製品化を実現した（250 AF 以下業界初）。

(2) 保守用メガーテスト切換スイッチの搭載（業界初）

漏電引外し部の電源回路は ELCB 内部の主回路に接続されている。このため電路のメガーテスト時には ELCB の相間に高電圧が印加され，回路素子を破壊してしまうおそれがある。このため，従来の ELCB では相間のメガーテストをしないよう注意を促すとともにメガーテスト時は，ELCB の配線を取り外すよう指導していた。こうした不便を解消するため，G-Twin ELCB では漏電引外し部と内部主回路導体間に耐電圧性能を有した切換スイッチを設けた。このメガーテストスイッチは，特に配線取外し作業が困難な 125 AF 以上の G-Twin ELCB に標準装備した（図17）。

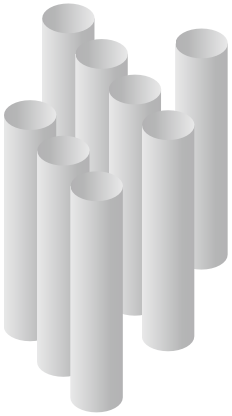
これによりメガーテスト時はこの切換スイッチを操作するだけで済むため，保守点検時の作業性が大幅に向上した。

6 あとがき

G-Twin の開発背景，特長，仕様について紹介した。今後，国内の電気設備を含めてグローバル品の使用が，装置設計・生産の効率化にとってますます重要となってくると考える。G-Twin はこうしたニーズを先取りした顧客各位の多様な要求に応え得るものと確信している。こうした考え方の低圧遮断器が次世代のデファクトスタンダード製品であると考えている。今後とも顧客各位のご批判を仰ぎ，より一層の充実を図っていく所存である。

参考文献

(1) 朝日信夫ほか．新しい小型配線用遮断器・漏電遮断器「α-TWIN シリーズ」．富士時報．vol.74, no.11, 2001, p.604-610.



新グローバル MCCB/ELCB の要素技術開発

中野　雅祥（なかの　まさあき）　　恩地　俊行（おんち　としゆき）　　杉山　修一（すぎやま　しゅういち）

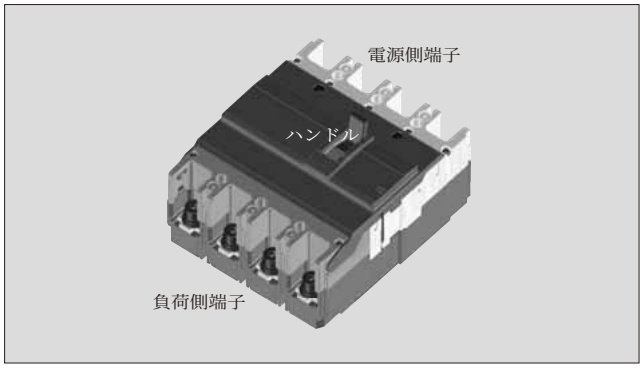
1　まえがき

配線用遮断器（MCCB）や漏電遮断器（ELCB）は，過電流や地絡電流の発生時に配線，機器，人体などを保護する役割を果たすことから，電気を使用するすべての機器，装置，設備，建造物に設置されており，世界の至る所で使用される製品である。しかし，その性能については，国あるいは地域により規格で規定されているが，歴史的な背景や系統の構成による考え方の違いなどもあり，内容は異なっている部分もある。

現在，規格を統一しようという動きはあるものの，実際には，世界を見渡すと，IEC（欧州，アジアなど），UL（米国など），GB（中国：IEC とほぼ同じ），JIS（日本：IEC とほぼ同じ内容と日本固有の内容の 2 本立て）などの規格が存在しており，例えば，IEC 仕様，UL 仕様，JIS 仕様など，それぞれの規格に合致した製品群を準備し，供給しているのが実情である。そこで，今回，新グローバル MCCB/ELCB として，真のグローバル製品群を目指し，これらの規格に対応する性能を 1 機種にて満足することを基本コンセプトとして開発を行った。

本稿では，従来の JIS 規格品の寸法をキープして，かつ世界の規格を同時に満足する製品を実現するための基本的な技術を述べる。

図 1　新 MCCB/ELCB の外観



2　新開発した MCCB/ELCB の構造

開発品は現行品と同じツインブレーカ（MCCB と ELCB が同一寸法）である。図 1 にその外観を示す。

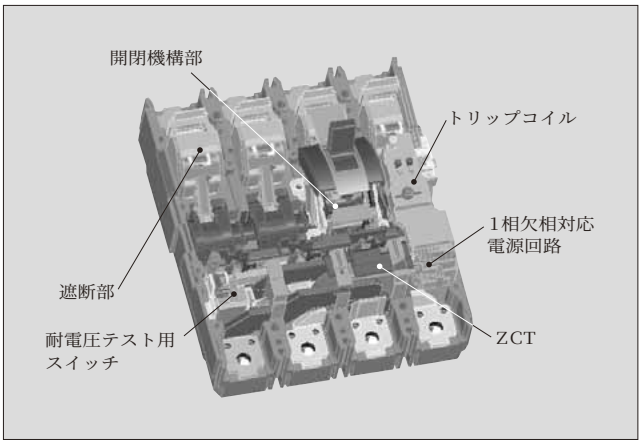
図 2 には新 ELCB の構造を示す。IEC60947-2 附属書 B Ed. Ⅲに対応し，3 相のうち 1 相が欠相しても漏電保護動作が可能となるように，漏電電流の検知回路に各相から電源を供給する新しい電源回路を開発し搭載している。また，通常は機器や配線の異常の有無を回路の耐電圧の測定により確認するが，その際に印加する電圧は，ELCB の内蔵回路素子には過大となり，故障の原因となることがある。これを防止するため，点検時に回路素子を通電部から切り離す耐電圧テスト用スイッチも新たに開発し ELCB に搭載している。

なお，MCCB の構造は，ELCB の構成機器から漏電の検知や動作に関係するユニットや部品を除いて構成されており，筐体（きょうたい）をはじめ，遮断部や開閉機構部などは同一構造としている。

3　新 MCCB/ELCB に採用した要素技術

ここでは代表例として，高遮断性能，1 相欠相対応の漏

図 2　新 ELCB の構造



中野　雅祥

低圧遮断器の研究開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社機器技術研究所。電気学会会員。

恩地　俊行

低圧遮断器の研究開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社機器技術研究所。電気学会会員。

杉山　修一

低圧遮断器の研究開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社機器技術研究所副所長。電気学会会員。

電保護動作，筐体構造の高強度化に関する要素技術について紹介する。

3.1 高遮断性能

低圧遮断器の遮断責務は，IEC 規格に I_{cs} 責務（O-CO-CO〈注〉）が規定され，UL 規格では，極間に大きな回復電圧が印加される 1 線地絡時の単極遮断が規定されている。1 機種でこれらの責務すべてに対応するものは，外形寸法が大きくなり，顧客要求に合致するには困難であった。この解決には遮断技術の深化がきわめて重要な課題である。以下，遮断時のガス流制御および細げき構造の最適化について紹介する。

3.1.1 ガス流制御

従来，短絡電流など大電流遮断時には，固定接触子や可動接触子の周囲に設置したグリッドや磁気ヨークなどの磁性体を介してアークに磁界を加え，アークに流れる電流との相互作用で発生する電磁力によりアークを駆動し，グリッドに押し込み冷却し電流を遮断していた。このとき，アークにより遮断部は高温高圧となり，圧力の低い周囲に向かってガス流が生じる。今回の開発では，前述の電磁力に加えこのガス流を利用することにより高遮断性能化を図っている。図 3 にはこのときのガスの流れを示す。図に示すように，ガスの流れはグリッドを介して電源側に向かう流れと，逆に開閉機構部や過電流・漏電検知部を介して負荷側に向かう流れとに分かれ，前者のガス流を増大させることによりアークをグリッドに向かって駆動させることができる。

図 4 には，グリッドにアークが押し込まれているかどうかを検証するために，各グリッドの電位を測定した例を示す。検証は，回復電圧が高く過酷な UL489 に規定されている定格電圧 480 V/Δ結線の単極遮断条件にて実施した。測定結果から各グリッドの電位から何枚のグリッドにアークが押し込まれているかを判定し，遮断の成否との関係を求めた結果を図 5 に示す。この図に示すように，電源側と負荷側に排出されるガス流量の比が一定以上必要なことから，電源側と負荷側の排気形状を最適化しアークに吹き付けるガス流を制御することにより，アークが押し込まれるグリッド枚数を増加でき，遮断が可能となることが判明した。

3.1.2 遮断部の細げき構造

遮断部ではアークの周囲をプラスチック製の樹脂で囲う細げき構造を用い，樹脂のアブレーション効果によりアークを冷却する方法が採られている。限流性能を向上し高遮断性能化を図るには，樹脂とアークとの距離を狭くしアブレーション効果を高めることが必要である。しかし，逆に樹脂から蒸発するガス量の増加や冷却によるアーク電圧の増加により，内部圧力が上昇[(1)][(2)]し，筐体が損傷するおそれがある。今回の開発では，細げき形状を最適化することによ

〈注〉O-CO-CO：遮断－投入遮断－投入遮断

図 3　電流遮断時の模式図

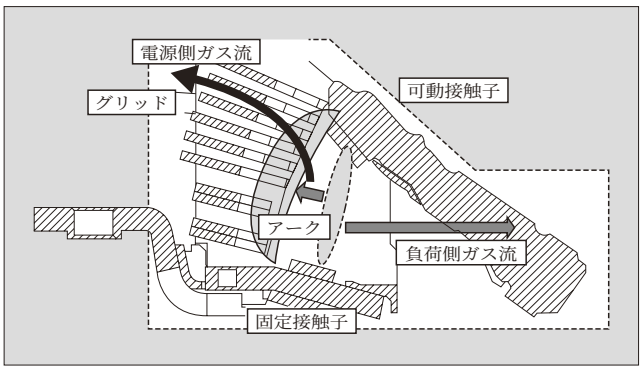


図 4　グリッド電圧の測定例

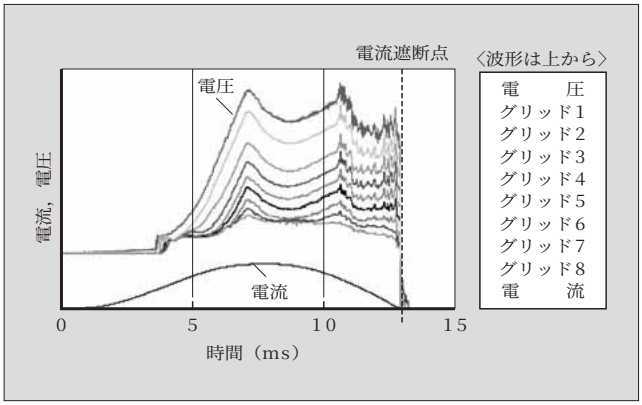


図 5　アークが押し込まれたグリッド枚数と遮断性能

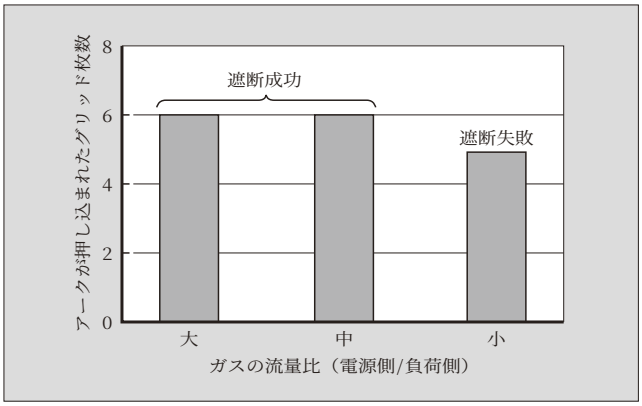
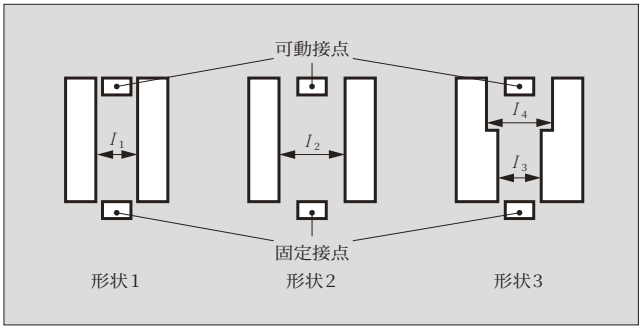


図 6　細げき樹脂の形状



リ，内部圧力の上昇を抑えながら高遮断性能を実現した。

短絡電流遮断時のオシログラムを見ると，まず電流が最初にピーク値に到達し，ある時間をおいてアーク電圧と内部圧力の上昇がほぼ同時か内部圧力の上昇がやや遅れてピーク値に到達している。今回の開発では，この時間差に着目し，遮断初期，すなわち可動接触子が固定接触子に近い範囲では細げき幅を狭くし，アブレーションにより限流性能を高めることにより電流ピーク値を抑え，遮断後期，すなわち可動接触子が固定接触子から離れた位置では細げき幅を広くしアブレーションガスの発生やアーク電圧の増加を抑えることにより内部圧力の上昇を抑制することを可能とした。

図 6 に細げきの形状，図 7 に検証試験結果を示す。これらの図から，細げき幅を固定子に近い範囲では狭く，離れた位置では広くすることにより，細げき幅の狭い場合（形状 1）と同等に電流ピークを抑え，かつ，内部圧力の上昇を抑制できることが分かる[(3)]。

以上，ガス流制御と細げき形状の最適化について述べたが，ほかにも，遮断シミュレーション[(4)]を適用し，固定接触子，可動接触子，グリッド，磁気ヨークなど遮断部の形状を最適化し，高遮断性能化を図ることにより，IEC 規格や JIS だけでなく，従来困難であった UL489 に規定されている定格電圧 480 V/Δ結線の電流の遮断を 1 機種にて可能とした。

図 7　細げき形状が電流および内部圧力上昇に与える影響

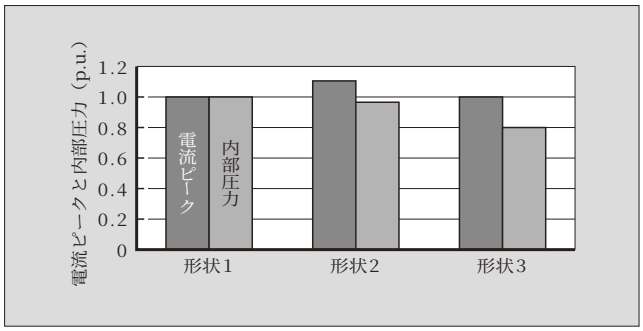
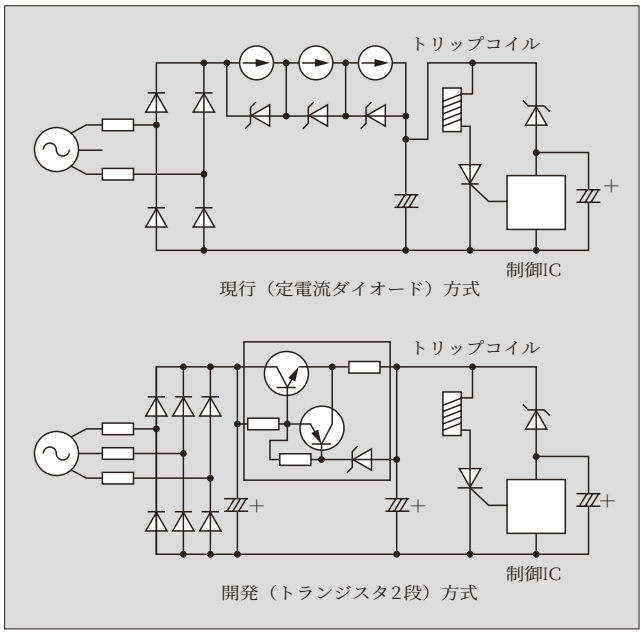


図 8　電源回路の比較



3.2　1 相欠相対応の漏電保護動作

IEC60947 では，3 相のうち 1 相が欠相した場合でも漏電保護動作ができることを要求している。また，JIS C 8201 にも同様のカテゴリー規定が追加されている。

ここでは，これに対応して開発した漏電検知部に電源を供給する電源回路とトリップコイルに適用した要素技術を紹介する。

3.2.1　電源回路

1 相欠相時にも漏電引外し用のトリップコイルに電源供給を可能とするためには，検出・引外し回路への電源供給を 2 相から 3 相へ変更する必要がある。これは 2 相方式では 1 相が欠相すると電源供給ができなくなるが，3 相方式では 1 相が欠相しても残りの 2 相から電源供給が可能となるためである。3 相方式において，1 相欠相時は通常時と比較し電源電圧が低下する。その場合でもトリップコイルに安定的に電源を供給する必要があることから，高電圧を低電圧化するための高耐圧トランジスタと負荷電流を定電流化するための低耐圧トランジスタの 2 種類を組み合わせたトランジスタ 2 段方式を採用した。

図 9　電源回路の特性比較

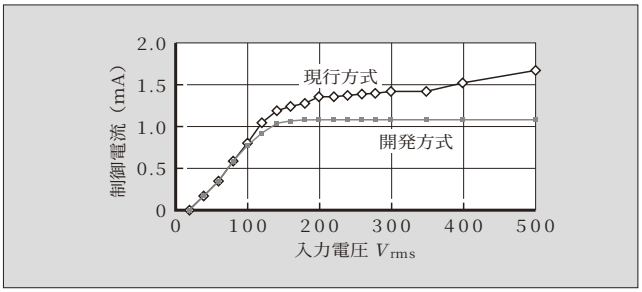


図 10　トリップコイルの構造

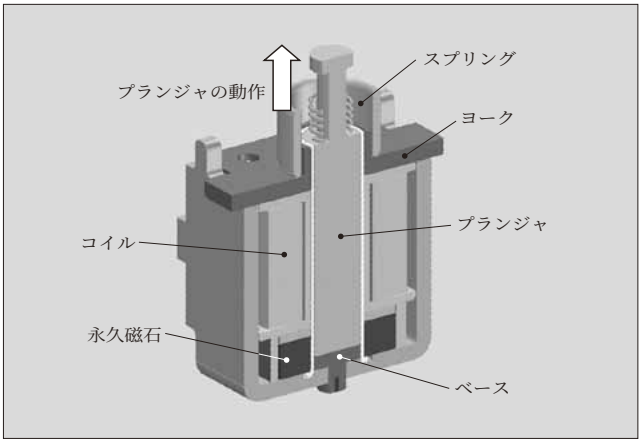


図 11　トリップコイルの動作解析例

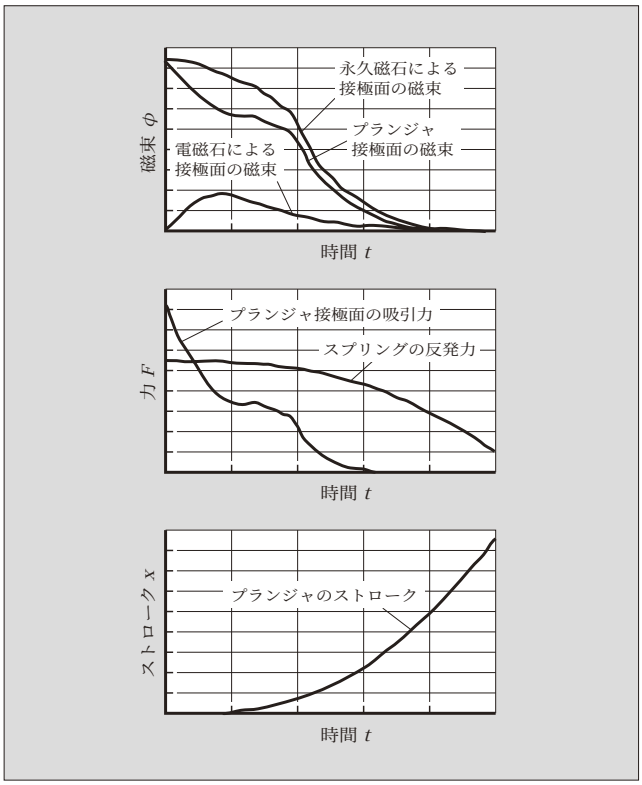


図 12　筐体のひずみの解析例

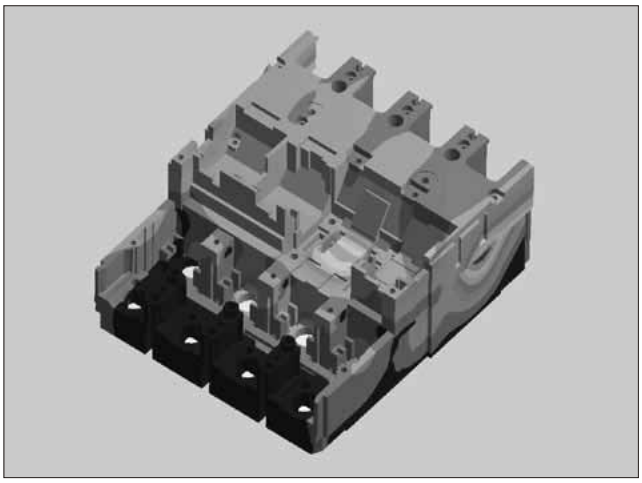


図 8 には現行方式と開発方式との回路構成の比較を，図 9 には同じく電流ー電圧特性の比較を示す。図から分かるように，従来に比較し，定電流特性が大幅に向上している。さらに，現行比で実装面積は 71 %に，消費電力は 43 %と，それぞれ大幅に低減した。

3. 2. 2　漏電引外し用トリップコイル

トリップコイルの構造を図10に示す。トリップコイルは，漏電を検知した場合に検知回路からの出力を受けてプランジャを動作させ，図にはないが開閉機構部のラッチを外すことにより ELCB をトリップさせる役割を持っている。通常は永久磁石の吸引力によりスプリングを圧縮し，プランジャを下方に保持している。漏電発生時にはコイルに電流を流し，永久磁石とは逆向きの磁束を発生させ，スプリングの反発力によりプランジャを上方に動作させて，ELCB をトリップさせる。

今回の開発においては，前述の欠相動作が可能な電源回路の内蔵化に伴う内部スペースの減少に対応するため，トリップコイルの動作解析シミュレータを開発して最適化を図った。その結果，従来のほぼ 1/2 の容積まで縮小することができた。

対象となるトリップコイルは ms レベルの短時間で動作することが求められる一方，プランジャの位置により磁気回路や電気回路のパラメータが相互に依存しかつ大幅に変化することなどから，計算ステップを細かくする必要があり，動作解析に有限要素法を利用した汎用の解析手法を適用すると膨大な手間や解析時間を要するため実用的ではない。そこで，磁気回路系，電気回路系，および機械系をそれぞれ定式化し，連成させることにより，動作を解析するシミュレータを開発した[5][6]。

図11に動作解析例を示す。このシミュレータの解析誤差は最大でも 10 %程度であり，実用上問題のないことを確認するとともに，品質工学の手法を利用したロバスト性の検討にも利用し，トリップコイルの形状や図 8 に示した制御電源回路の最適化を図った。

3. 3　筐体構造の高強度化

3. 1. 2 項でも述べたように，今回の開発では，遮断部消弧室の細げき形状の最適化を図ることにより，筐体内部の圧力上昇を抑制している。さらに，以下に述べるように，筐体の強度解析を行い構造を最適化することにより圧力上昇による破損を防いでいる。

今回適用したシミュレータ解析では，事前の検証実験にて得た結果を筐体内部の圧力分布のパラメータとして入力するとともに，分割して構成している筐体同士を締結しているねじを考慮して一体解析するなどの工夫をしている。図12に短絡電流遮断時のひずみ解析の一例を示す。

結果を基に，短絡電流遮断時などの実験との比較検証を行い筐体構造の高強度化を図った。

4　あとがき

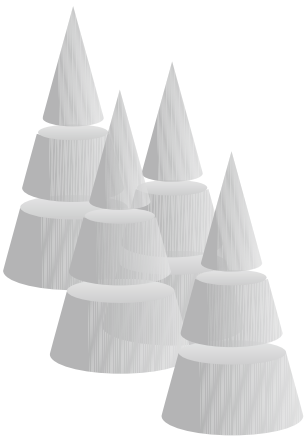
低圧遮断器の開発は，相互に関連した事象（特性あるいは性能）をいかにうまくコントロールするかにかかっている。例えば構造を左右する最も大きな要因である短絡電流遮断時を想定すると，数 ms ～ 10 ms 程度のごく短時間で，温度はアーク中心で 10,000 K にも達する高温に，圧力は大気圧から最大で数 MPa という高圧力に上昇する状態となっており，それらが互いに影響しながら最終的に遮断の成否が決まる。従来は，電流，電圧など性能に直結する事象を対象に遮断器の外面に現れる特性を測定していたが，ブレークスルーには，遮断器の内部で発生している現象であるガス流や温度，圧力分布などを把握し，コントロール

することがさらなる性能向上には不可欠となる。その場合には数値計算の手法も有力な武器となり，それを裏付けるデータの取得もより重要となる。そのためには，上記のような通常では考えられない高温・高圧の条件で，しかも短時間の現象を精確に測定する技術の開発も必要不可欠となる。

今回の開発に適用した要素技術は，その第一歩を踏み出したに過ぎず，今後も関係各位のご指導・ご支援をお願いする次第である。

参考文献

(1)　磯崎優ほか．密閉容器における大電流気中アークの特性．平成 13 年電気学会電力・エネルギー部門全国大会．no.416, 2001.
(2)　磯崎優ほか．内における大電流アーク特性の検討．電気学会合同研究会資料．ED-04-48/SP-04-05/SA-04-31, 2004.
(3)　秦淳一郎ほか．配線用遮断器における短絡電流遮断時における内部圧力上昇の検討．平成 17 年電気学会全国大会．no.6-202, 2005.
(4)　恩地俊行ほか．配線用遮断器の遮断シミュレーション技術．富士時報．vol.76, no.4, 2003, p.217-220.
(5)　工藤高裕ほか．コンデンサ動作形リニア電磁ソレノイドの吸引力解析．第 28 回日本応用磁気学会学術講演概要集．no.20aE-1, 2005.
(6)　工藤高裕ほか．コンデンサ動作形リニア電磁ソレノイドの動的応答簡易解析．日本応用磁気学会論文誌．vol.29, 2005, p.41.



新グローバル MCCB/ELCB の環境対応技術

潮崎　克郎（しおざき　かつろう）

1　まえがき

RoHS 指令（特定有害物質使用禁止指令）が 2003 年 2 月 13 日に発効し，EU（欧州連合）官報で公示された。この指令により 2006 年 7 月 1 日までに，6 種類の特定有害物質〔(鉛，水銀，カドミウム，六価クロム，ポリ臭素化ビフェニル（PBB)，ポリ臭素化ジフェニルエーテル（PBDE)〕の使用禁止が義務づけられた。

この RoHS 指令は EU 域外にも影響を及ぼし，中国，韓国などでも同様の規制を制定する動きがある。また，日本でも「電気・電子機器の特定の化学物質の含有表示方法」が JIS C 0950 として制定された。

新グローバル MCCB/ELCB（配線用遮断器・漏電遮断器）は，これらの内外環境規制に十分配慮して開発したものである。

新商品開発において材料の果たす役割はますます大きくなっている。本稿では新グローバル MCCB/ELCB を開発するにあたって，その開発を支えた材料面からの幾つかの環境対応技術を紹介する。

2　環境対応の規制動向

2.1　EU の主要な環境規制

電気電子機器を直接規制するという点で RoHS 指令は電機メーカーにとって最も注目すべき規制であるが，このほかにも EU では電気電子機器に関する幾つかの規制が施行または施行予定である。表 1 に主要な環境規制を示すが，すでにパッケージ指令，ELV 指令が施行され，EuP 指令も 2005 年 7 月 22 日に EU 官報に掲載された。

以下に EU の代表的な環境規制を紹介する。

表 1　EUの主要な環境規制

環境規制	～2003年	2004年	2005年	2006年	2007年～
(1) パッケージ指令（包装廃棄物指令）	2001年7月1日以降　①鉛，②水銀，③カドミウム，④六価クロムの合計が100 ppm以下				
	回収率60％，リサイクル率55～80％を達成。～2008年12月31日				
(2) ELV指令（廃自動車指令）	2002年5月22日採決	2003年7月1日以降の販売車は原則として，①鉛，②水銀，③カドミウム，④六価クロムの使用を禁止			
	ただしバッテリーなどは除外，部品により規制開始時期の延期措置がある。				
(3) WEEE指令（廃電気電子機器指令）	回収・リサイクルシステム構築		2005年8月13日ラベル対応，リサイクル費用負担		
	再生率，リサイクル率の達成			2006年12月31日	
	ほぼすべての電気電子機器が対象				
(4) RoHS指令（特定有害物質使用禁止指令）	6種類の物質の含有を禁止 ①鉛，②水銀，③カドミウム，④六価クロム，⑤PBB，⑥PBDE			2006年7月1日以降の販売商品に適用	
	医療機器，監視・制御機器は対象外 ⇨				
(5) REACH規則案（化学物質規則案）	▼7月インターネットコンサルテーション締切り		施行⇨登録期限：2008～2016年		
	化学物質の登録（リスク評価含む），評価，認可を義務づけ				
(6) EuP指令（エコデザイン指令）	▼6月公表	最終採択	2005年7月22日EU官報掲載		
	エネルギー使用機器のエコデザインを要求。環境分野で初めてのニューアプローチ指令				

潮崎　克郎

受配電機器，制御機器の新商品開発を経て，材料および環境対応の要素技術開発に従事。現在，富士電機機器制御株式会社器具事業部技術開発生産センター開発部担当部長。電気学会会員。

(1)　パッケージ指令（包装廃棄物指令）

EU 域内で上市されるすべての包装物に適用される。加盟国は包装材に含まれる鉛，水銀，カドミウム，六価クロムを段階的に削減することを求められており，2001 年 7 月 1 日以降の合計含有量規制は 100 ppm 以下となっている。

(2)　ELV 指令（廃自動車指令）

自動車メーカーに廃自動車の解体とリサイクルコストの負担を義務づけるものであるが，電機メーカーにとって重要なことは，2003 年 7 月 1 日以降に販売される自動車には原則として鉛，水銀，カドミウム，六価クロムの使用が禁止されたことである。これら 4 物質のいき値は鉛，水銀，六価クロムが 1,000 ppm，カドミウムが 100 ppm である。

(3)　RoHS 指令（特定有害物質使用禁止指令）

この指令の対象製品には次のカテゴリーがある。

①大型家電 ，②小型家電，③ IT・通信機器，④ AV 関連機器，⑤照明機器，⑥電動工具，⑦玩具，⑧医療機器，⑨監視・制御機器　⑩自動販売機類。

現時点において，⑧医療機器，⑨監視・制御機器は対象外であるが，EU 委員会はこれらの見直しを推進中である。

この指令において，前述の 6 物質が使用禁止とされており，そのいき値は鉛，水銀，六価クロム，PBB，PBDE が 1,000 ppm，カドミウムが 100 ppm である。

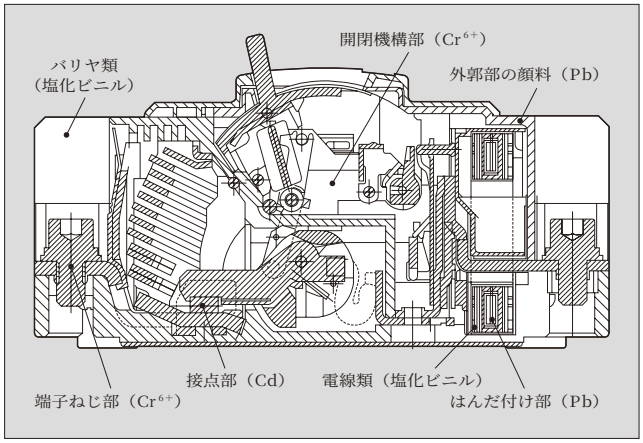
2. 2　国内の主要な環境規制

国内においては「労働安全衛生法施行令」「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」などに加えて，「建築基準法等の一部を改正する法律」により揮発性有機化合物（VOC）の排出規制が強化された。

また，前述の「電気・電子機器の特定の化学物質の含有表示方法」の制定により，パソコンなどの 7 品目について特定化学物質の含有率が基準値以上の場合は表示が義務づけられることになった。

一方，先進的なグローバル企業は環境配慮の動きを強化し，独自のグリーン調達基準を制定している。これらの基準は 2. 1 節で述べた RoHS 指令をにらんで制定されたものであり，EU 指令がグローバルスタンダードとして機能していることを示している。

図 1　従来の MCCB/ELCB における環境管理物質の使用例



3　低圧器具における環境対応

3. 1　対応の基本原則

これまでに述べたような内外の状況を踏まえ，新グローバル MCCB/ELCB などの低圧器具商品は，環境対応において下記を基本原則として開発している。

○国内外法規の順守
○製品開発アセスメントに基づいた開発
（減量化，再資源化，環境保全化，安全性，処理容易化，包装の合理化）
○環境管理物質の管理体制の構築

3. 2　対象となる環境管理物質とその適用部位

これまでの MCCB/ELCB には，図 1 に示すような部位に各種の環境管理物質が適用されている場合があった。

○カドミウム（Cd）：電気接点，各種樹脂材の顔料など
○鉛（Pb）：はんだ接合部，顔料，各種添加剤など
○六価クロム（Cr^{6+}）：亜鉛めっきのクロメート処理など
○塩化ビニル：各種電線，可撓（かとう）性樹脂など

また，快削黄銅棒には微量のカドミウムが不純物として含有されていることもよく知られている。

上記の環境管理物質は工業的には非常に有用な物質であり，代替には新しい適用技術が必要となる。以下に環境対応を支える個別の材料技術の一端を紹介する。

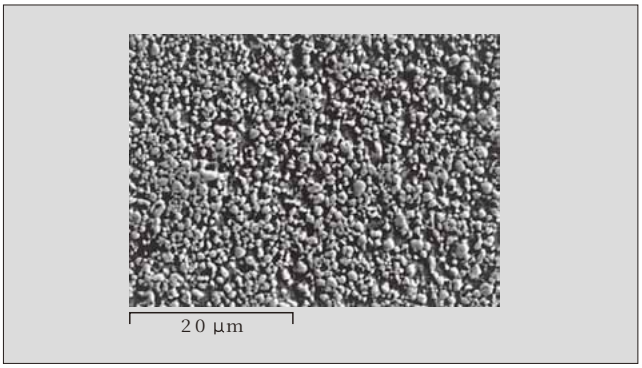
3. 3　カドミウムフリーの電気接点

電気接点は温度，消耗，耐溶着のバランスが重要である。そのバランスのよさのために銀酸化カドミウム（AgCdO）系接点は幅広い電流領域にわたって適用されていた。しかしカドミウムは，慢性中毒の場合は腎臓・肝臓障害や骨軟化を引き起こすとされており，RoHS 指令における禁止物質である。

そのため AgWC 系，AgSn 系，AgC 系など幾つかの銀合金が代替接点材料として開発されているが，ここでは主として AgWC 系接点の消耗対策について述べる。

電流遮断時の接点消耗は MCCB/ELCB 本体の消弧室構造と密接な関係を持つが，AgWC 系接点は AgCdO 系接

図 2　AgWC 系接点の組織写真



点に比べて電流遮断時の消耗がやや多い。図 2 は AgWC 系接点の顕微鏡写真であるが，粒径の微細化，均一分散化により接点自体の結合力を高めた。一方，MCCB/ELCB 本体の消弧室構造の工夫によりアークが接点上に停滞する期間を短縮した。その結果，図 3 に示すように消耗量を AgCdO 系接点とほぼ同程度に抑制し，AgCdO 系接点の代替を実現した。

3.4　六価クロムフリーのクロメート処理

金属材料の耐食性向上などを目的として各種表面処理が施されている。亜鉛めっき上には不働態皮膜を形成し自己修復性のある六価クロム含有のクロメート処理が施され，白さびの発生を抑えている。

しかし六価クロムは長期にわたって皮膚に触れると皮膚炎，潰瘍（かいよう）などが起きるとされており，RoHS 指令における禁止物質である。

富士電機は，めっき液メーカーとの技術協力を推進し，同等の防せい力のある六価クロムフリーめっき液を適用した。塩水噴霧試験方法（JIS Z 2371）に基づいて 72 時間の塩水噴霧試験を実施した供試品を図 4 に示すが，ほぼ同等の耐食性を示す。

一方，器具商品にとってねじのトルク特性は非常に重要であるが，図 5 に示すように部品レベルではほとんど有意差は見られず，端子部締付け強度，電線引抜き強度，振動試験，衝撃試験など各種の製品評価を行い，問題のないことを確認し切替を実現した。

これらの結果をめっきの管理基準に反映し，社内のめっき工場にも新しい自動化ラインを構築した。

3.5　塩化ビニルフリーの可撓性材料の開発

塩化ビニルは安価で成形性もよいが，不適切に焼却するとダイオキシンが発生するといわれている。また，安定材として鉛化合物が配合されている場合がある。この材料は器具商品において各種の電線類や可撓性を必要とするバリヤ類に使用されていた。

塩化ビニルは禁止物質ではないが，新グローバル MCCB/ELCB においてはその使用を削減するため，材料メーカーと協力し代替材料の開発に着手した。

樹脂材料の開発において可撓性と難燃性はトレードオフの関係であるが，アロイ成分の工夫などを盛り込み二つの特性を両立する材料を開発し，塩化ビニルの代替材として適用した。

表 2 に開発材と従来品（塩化ビニル）の物性を示すが，開発材はハロゲンフリー，鉛フリーで UL94V-1 を実現した。

3.6　自己消火・高強度ポリエステルプレミックスの開発

中型以上の MCCB/ELCB の筐体（きょうたい）には，異常過熱時などにも形状安定性のある熱硬化性材料がよく使用されている。熱硬化性材料においてもグローバル化にあたっては，安全上の要求から自己消火性はきわめて重要な材料特性である。また JIS と IEC 規格の統合において，グローワイヤ性能や耐トラッキング性能が特に重視されるようになった。一方，MCCB/ELCB の筐体には短絡電流遮断時に発生する大きな内部圧力が荷重され，機械的な高強度と自己消火性が要求される。

図 3　短絡電流遮断時の接点消耗改良の工夫

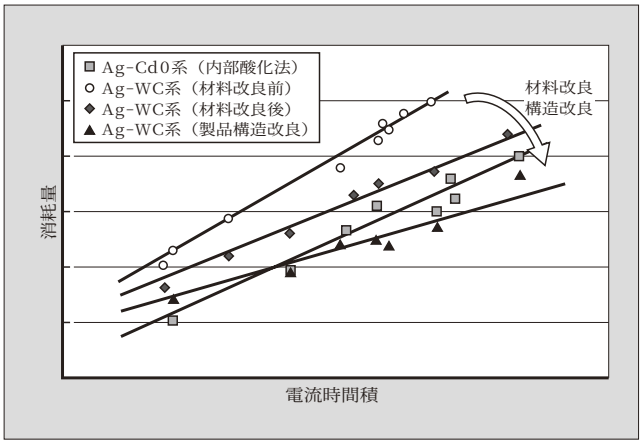


図 4　耐食性の比較（塩水噴霧 72 時間後）

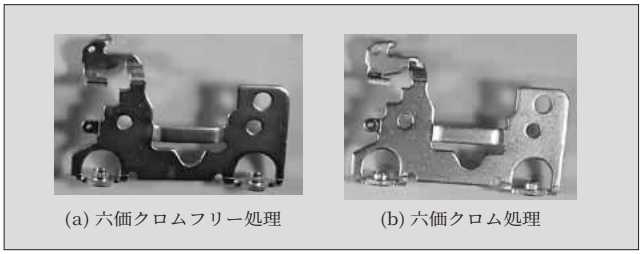


図 5　トルク特性の比較

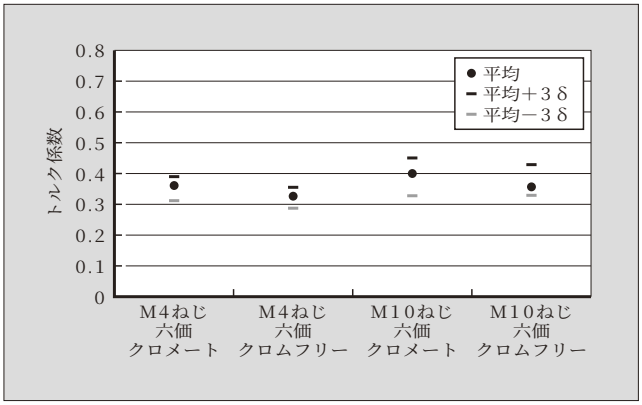


表 2　新開発の可撓性材料と塩化ビニルの物性比較

項　目	新規開発材料	従来材料（塩化ビニル）
難　燃　性	V-1	HB
難　燃　剤	非ハロゲン系	—
柔　軟　性	合格	合格
成　形　性	良好	良好
VOC　対　応	問題なし	問題なし
耐トラッキング	175 V以上	175 V以上

新グローバル MCCB/ELCB においては，充填（じゅうてん）材の種類，粒径の工夫，材料混練粘度の適正化などにより UL94V-1（1.2 mm），耐トラッキング性 600 V 以上，グローワイヤ 960 ℃と優れた熱的特性と，従来比 1.35 倍のシャルピー衝撃強さを持つポリエステルプレミックスを開発した。表 3 にその物性を示すが，この材料を筐体に適用し，短絡電流遮断試験など各種製品評価を行い，問題のないことを確認した。

表 3　新開発のポリエステルプレミックス材の物性

項　目		新規開発材料	従来材料
UL94　燃焼グレード		V-1	HB
相対温度指数（RTI）	電気的	105 ℃	105 ℃
	機械的	130 ℃	130 ℃
ホットワイヤ着火性		120秒以上	60秒以上
高電流アーク着火性		120回以上	120秒以上
比較トラッキング指数		600 V以上	600 V以上
グローワイヤ燃焼性		960 ℃	960 ℃
曲げ強さ（p.u.）		1.15	1.0
シャルピー衝撃強さ（p.u.）		1.35	1.0

3.7　共重合タイプポリカーボネート材の適用

最近の MCCB/ELCB にはトップカバー（化粧カバー）が装着され，従来の黒色だけでなくグレー色が多用されるようになってきた。トップカバー用の材料には外観や寸法安定性がきわめて重要な特性である。また，短絡電流遮断時に発生する内部圧力の一部が荷重され，耐衝撃性の要求も強い。

新グローバル MCCB/ELCB においては，寸法安定性と耐薬品性に優れた共重合タイプのポリカーボネートを適用した。

また図 6，図 7 に示すように部品の落錘衝撃試験を行い，遮断容量との関係を把握し，開発のスピードアップと部品の日常管理に活用している。

図 6　部品衝撃強度試験の状況

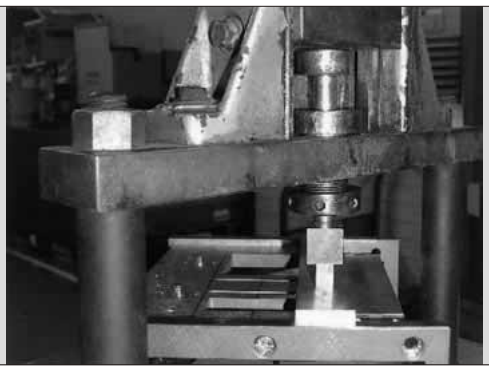


図 7　MCCB/ELCB 遮断容量と部品衝撃強度の関係

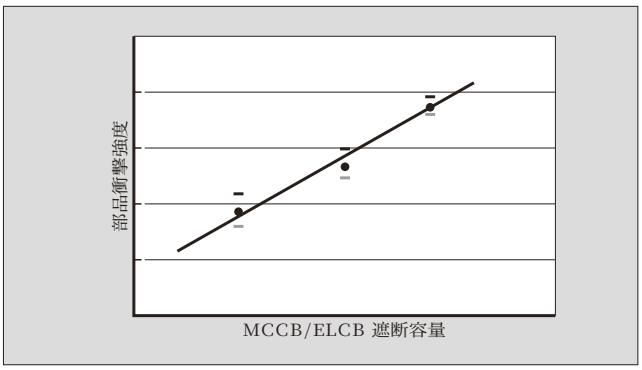


図 8　環境管理物質の管理フローチャート

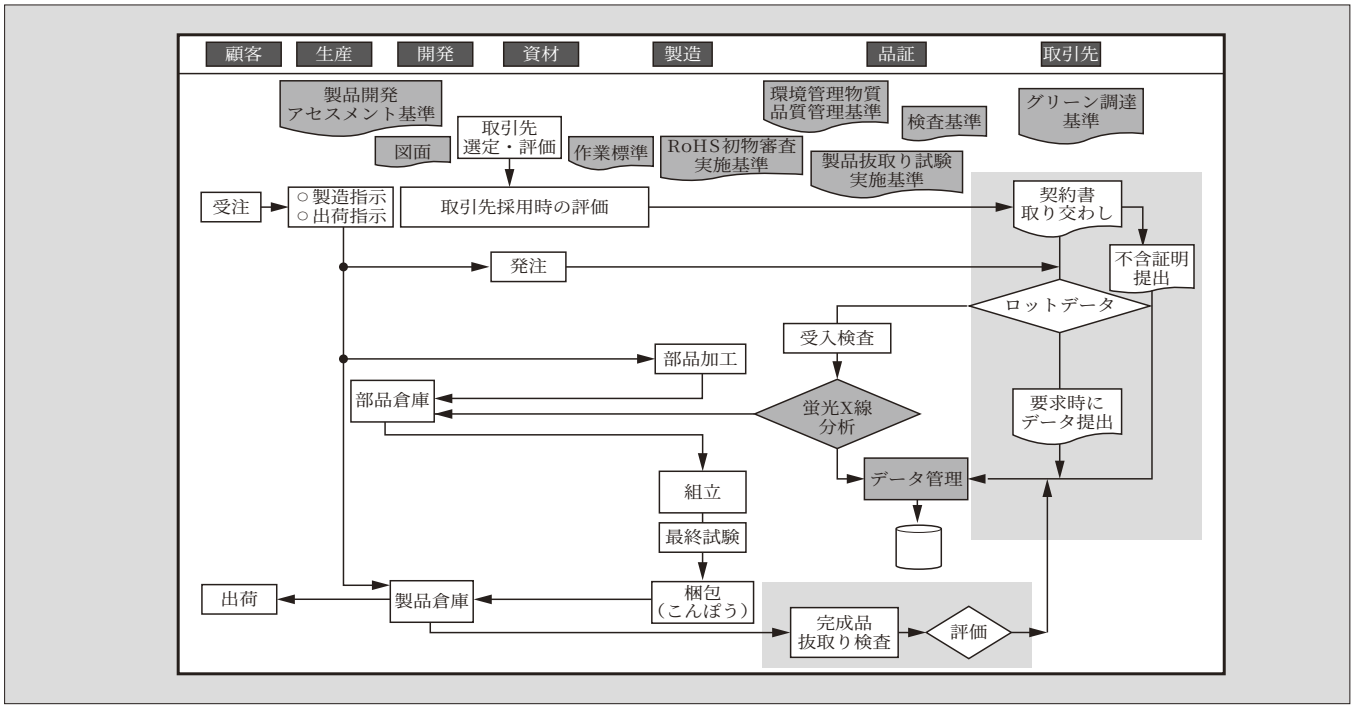
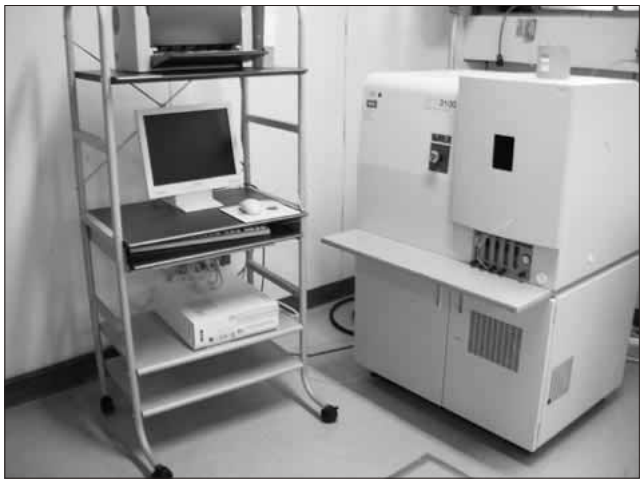


図 9　環境管理物質の分析装置の例（ICP-AES）



4　環境管理物質の管理体制

これまでの章で開発段階での環境対応技術について述べてきた。この章では開発段階での技術を維持管理していくための体制について記す。

富士電機グループは，2005 年 10 月に「富士電機グループグリーン調達ガイドライン」の第 2 版を制定した。これは欧州の RoHS 禁止物質や国内法の製造禁止物質，難分解性物質を禁止物質と定め，また JIG（Joint Industry Guideline）にのっとって改正されたものである。取引先にはこのグリーン調達ガイドラインに従って，禁止物質の不含証明，管理物質の含有量データなどを求める。

また，社内においては受入れから出荷までの検査体制を充実し，蛍光 X 線分析装置をスクリーニング装置として活用している。蛍光 X 線分析装置でグレーゾーンと扱われたものは，誘導結合プラズマ発光分光分析装置（ICP-AES）などの高感度な分析装置により判断している。

さらにこれらをデータベースとして管理し，異常処置や是正処置にも活用している。図 8 に環境管理物質の管理フローチャートを，図 9 に社内の分析装置の一例を示す。

上記のように，富士電機では禁止物質を含有した商品が販売ルートに乗らないよう万全の体制をとっている。

5　あとがき

新グローバル MCCB/ELCB の環境対応を支える材料技術とその管理体制の一端を紹介した。この新商品がグローバル市場のさらなる発展に貢献できることを確信するが，今後とも関係各位のご指導・ご協力を仰いで環境適用技術のレベルアップに努めていく所存である。

参考文献

(1)　井出稔．富士電機 Gr の環境への取り組み．日本機械輸出組合．environment Update. vol.7, no.3, 2005 年度．

新グローバル電動機制御方式

永廣　　勇（ながひろ　いさむ）

1　まえがき

現在，グローバル市場の時代に突入したことによって，電動機制御分野の環境に大きな変化が起きている。それらの変化の中で，特に顧客の設備設計や機器購入に対して影響の大きい変化として次のものがある。

① JIS と IEC 規格の整合が進んでいること
② 顧客設備のグローバル統一仕様化
③ 設備メンテナンスの簡易化要求の強まり

電磁開閉器や電動機保護兼用配線用遮断器などに代表される富士電機の電動機制御機器は，常に市場要求や技術動向を先取りした特長ある商品シリーズを生み出し，提供することによって，わが国のこの分野の技術発展に貢献してきた。

本稿では，①～③の変化に触れながら，グローバル化に対応した新商品であるマニュアルモータスタータ（MMS）やコンビネーションスタータ（MMS と電磁接触器とを組み合わせたもの）を適用した，新しい電動機制御方式について紹介する。

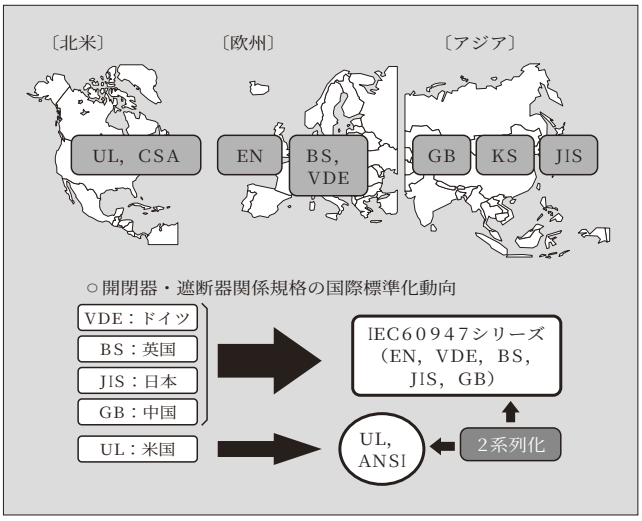
2　規格の統合と電動機制御方式の変化

近年，電気設備に使用されるコンポーネントに関して，各国個別規格は IEC 規格との整合が行われてきた。これはわが国でも同様であり，電磁開閉器や電動機保護兼用配線用遮断器についても IEC60947 シリーズと整合した JIS C 8201 シリーズが制定された。この変化の影響は，工業用機械設備だけではなく，船舶用の電気設備にも波及し，例えば，NK（財団法人日本海事協会）などの船舶規格でも遮断器に対する要求性能として，従来の JIS C 8370 ではなく JIS C 8201-2-1 を満足させることが規定事項になっている。上述のように，各国個別規格の IEC 規格との整合は，日本だけではなく，世界共通の動向である（図1）。これは欧州地域だけではなく，われわれに身近なアジア地域でも同じであり，例えば，中国の GB 規格や韓国の電気用品安全管理法も IEC60947 シリーズとの整合を図っている。したがって，図 1 に示すように米国の UL 規格を除けば，主要な国々における規格は IEC 化されており，世界は，IEC 規格と UL 規格の二つの系列に統合整理されたことになる。

前述の JIS と IEC 規格の整合によって，図 2 に示すように電動機制御方式が変化してきている。例えば，Safety of machinery － Electrical equipment of machines（機械類の安全性－機械の電気装置）に関して規定している IEC60204-1 が JIS B 9960 として制定されたことにより，電動機回路の電源接続点に過電流保護器の設置が規定された。これは，電気設備技術基準第 65 条「電動機の過負荷保護」の基本要求事項に合致するものであり，これにより，従来の電動機制御方式（図 2 の A 方式）のように過電流保護器が電動機回路ごとに設置されていない方式から，電動機回路ごとに過電流保護器を設置する B 方式や C 方式が要求される。

この新しい電動機制御方式において，MMS やコンビネーションスタータを適用すると「省スペース」「省配線」「高いレベルの短絡保護協調」を実現する非常に効率のよい電動機制御方式になる。以下，MMS の特長や構造につ

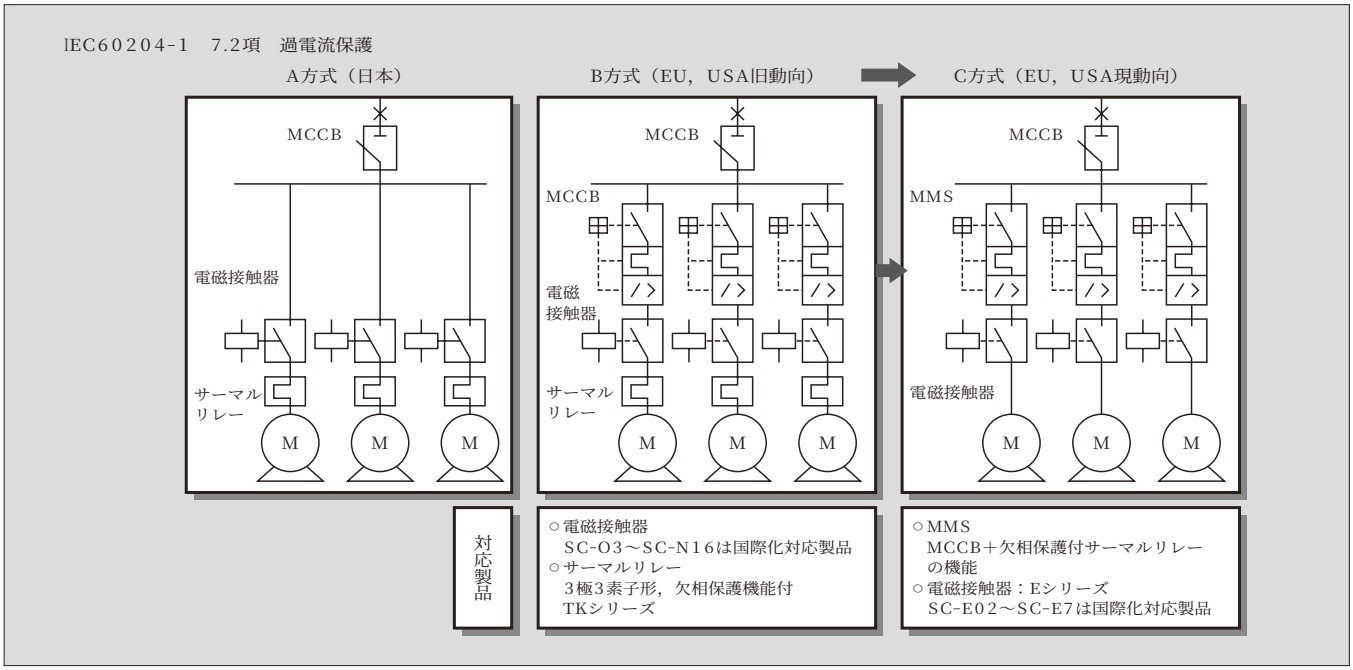
図 1　低圧開閉器の規格動向（IEC 規格と UL 規格の 2 系列化）



永廣　　勇

MMS，コンビネーションスタータの開発業務に従事。現在，富士電機機器制御株式会社器具事業部技術・開発生産センター開発部主任。

図2　電動機の制御方式の変化と対応製品



いて述べる。

3　MMS およびコンビネーションスタータの特長

MMS は，回路遮断器の短絡保護機能とサーマルリレーの過負荷・欠相保護機能を一つの機器にコンパクトにまとめたものである（図 3）。MMS の主な仕様を表 1 に示す。

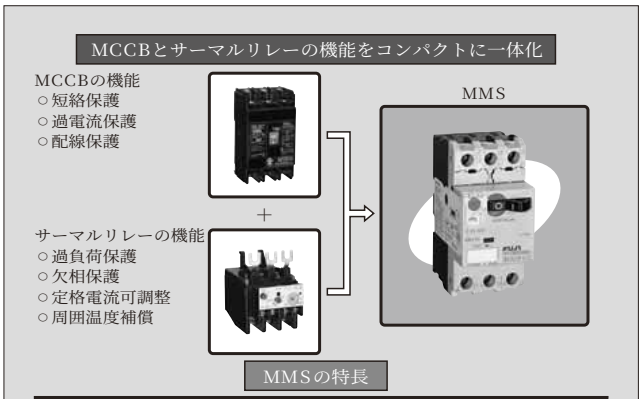
開閉器としての性能は，AC3 級（15 kW AC230 V，30 kW AC400 V）に適合しているため，電動機回路の直入れ開閉が可能である。また，高頻度の開閉や遠隔操作による制御が要求される回路への適用には，電磁接触器と組み合わせてコンビネーションスタータを構成することによって容易に行える。図 4 にコンビネーションスタータの外観を示す。コンビネーションスタータは，電動機回路の短絡保護・過負荷保護・開閉のすべてを満足しているため，IEC60204-1 や JIS B 9960 で規定されている電動機回路保護の要求に対して，適用が容易にできることになる。

MMS およびコンビネーションスタータの一番大きな特長は，短絡電流遮断における限流性能が非常に優れていることである。この限流性能によって，例えば BM3RH 形で，AC230 V 100 kA，AC415 V 50 kA の短絡電流を遮断することができる。以下，MMS の遮断部の構造について述べる。

4　遮断部の構造と限流特性

図 5 に MMS の構造例を示す。MMS は，長年培ってきた電磁接触器と電動機保護兼用配線用遮断器（MCCB）の開閉・遮断技術を融合した 2 接点開極機構（ダブルブレーク）を採用している。この 2 接点開極機構は，短絡電流アークを効率よく駆動できる構造を採用しており，開閉に

図3　MMS の機成と特長



MMSの特長

小型化	取付床面積　MCCB＋サーマルリレー：100％ →MMS：43％
高遮断容量化	AC400 V（32 A定格）25 kA（標準型） 50 kA（高性能型）
短絡保護協調	IEC 60947-4-1 タイプ1，2
配線工数低減	MCCB＋電磁接触器＋サーマルリレー：100％ →MMS＋電磁接触器：50％
規格対応	国内規格：JIS C 8201-1，JIS C 8201-2-1，JIS C 8201-4-1，電気用品安全法 海外規格：IEC60947-1，IEC60947-2，IEC60947-4-1，UL508，CSA C22.2 No.14，中国GB

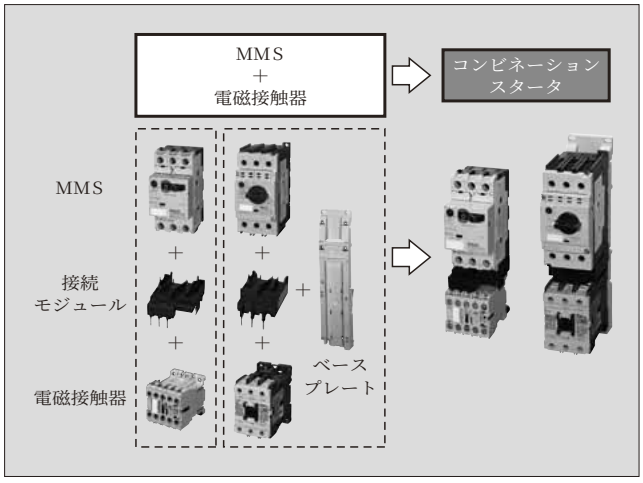
おける接点消耗や通過電流時間積（I^2t）を低減できる最適な方法である。次に MMS の遮断原理について説明する。

短絡電流が流れた場合，MMS の可動接触子には，固定接触子と可動接触子の平行部分に流れる異方向の電流により電磁反発力が作用する。この電磁反発力によって開極動作を始めた可動接触子は，転流板に設置された磁気ヨークの磁力によりさらに加速され，瞬時に開極位置に移動する。可動接触子が開極した後，固定接触子で発生した磁界

表1　MMSの仕様

フレーム（A）		32				32				63			
基本形式		BM3RSB（標準型） BM3RSR（標準型）				BM3RHB（高性能型） BM3RHR（高性能型）				BM3VHB（高性能型）			
極　数		3				3				3			
操作ハンドルのタイプ		ロッカー				回転ハンドル				回転ハンドル			
定格電流（A）		0.16～32				0.16～32				10～63			
定格絶縁電圧 U_i（V）/ インパルス耐電圧 U_{imp}（kV）		AC690/6				AC690/6				AC1,000/8			
使用カテゴリー	IEC60947-2, JIS C 8201-2	Cat.A				Cat.A				Cat.A			
	IEC60947-4-1, JIS C 8201-4-1	AC-3				AC-3				AC-3			
UL規格カテゴリー	UL508,UL508E	グループインスタレーション適合				グループインスタレーション適合				グループインスタレーション適合			
過負荷・欠相保護		有				有				有			
瞬時引外し特性		最大設定電流の13倍				最大設定電流の13倍				最大設定電流の13倍			
耐久性	機械的（回）	100,000：I_n＝0.16～25A 70,000：I_n＝32A				100,000：I_n＝0.16～25A 70,000：I_n＝32A				50,000			
	電気的（回）	100,000：I_n＝0.16～25A 70,000：I_n＝32A				100,000：I_n＝0.16～25A 70,000：I_n＝32A				25,000			
定格限界遮断容量 I_{cu}（kA） IEC60947-2 JIS C 8201-2	定格使用電流 I_e（A）	240V	415V	460V	690V	240V	415V	460V	690V	240V	415V	460V	690V
	1.6以下	100	100	100	100	100	100	100	100	—			
	1.6～2.5				3				8				
	2.5～4.0												
	4.0～6.3			50					6				
	6.3～10			15				50		100	100	50	6
	9～13		50	10									
	11～16		25				50	35	4		50		5
	14～20	50								100		35	
	19～25												
	24～32												
	28～40	—				—							
	35～50												
	45～63												
外形寸法（mm）	W×H×D	45×90×68				45×90×79				55×110×96			

図4　コンビネーションスタータの外観



とアークの自己電流によって，駆動力（ローレンツ力）が作用し，アークは，転流板へ転流する。このアークは，グリッドの中へ駆動され，短時間で消弧される。

上述のアークを駆動・消弧する過程では，十分な開極距離を安定的に保つことが重要である。MMSでは，短絡電流を検出する瞬時引外しコイルの可動鉄心の動作を直接，可動接触子に伝える直動方式の構成としている。この直動方式では，短絡電流の検出と開極を同時に行うことができ，電流が増大する前に開極を開始する。しかも，電流が流れている間，可動鉄心が瞬時引外しコイルに吸引されて固定されるため，直動方式は可動接触子を開極位置で固定できる。この特長ある構成によって，遮断が完了するまで開極距離を安定的に保つことができる。

上述の遮断構造により，現在のMCCBに比較して，優れた限流性能により全遮断時間を大幅に低減できる。図6に遮断オシログラムでの比較を示す。図6は，400V/50kA回路におけるMMSとMCCBの遮断電流波形を比較したものである。MMSの遮断完了時間はわずか3msであり，MCCBの10msと比較して大幅に短いことが分

図5　MMS の構造例

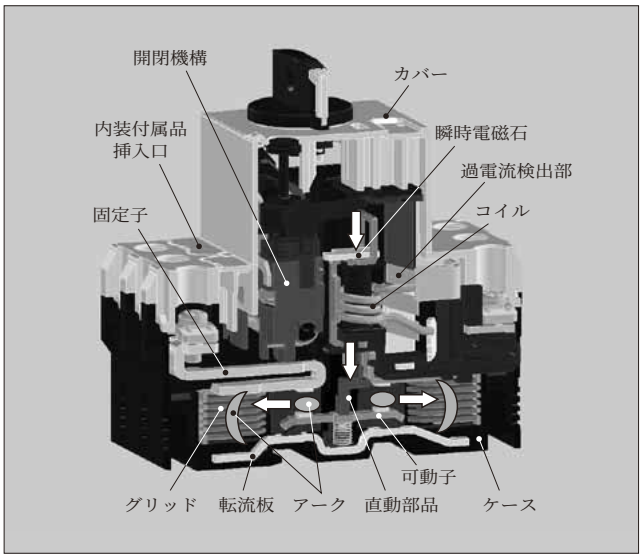
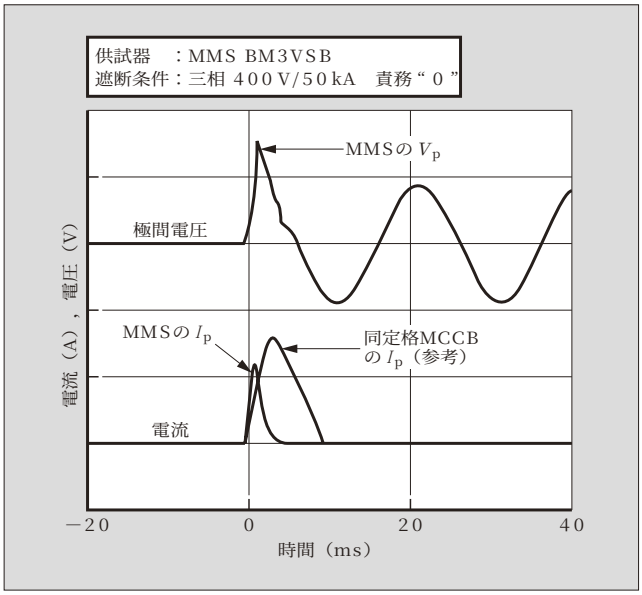


図6　MMS と MCCB の遮断オシログラムの比較



かる。また，遮断電流ピーク（I_p）については，約 12 kA であり，MCCB の 75 % 程度に限流している。

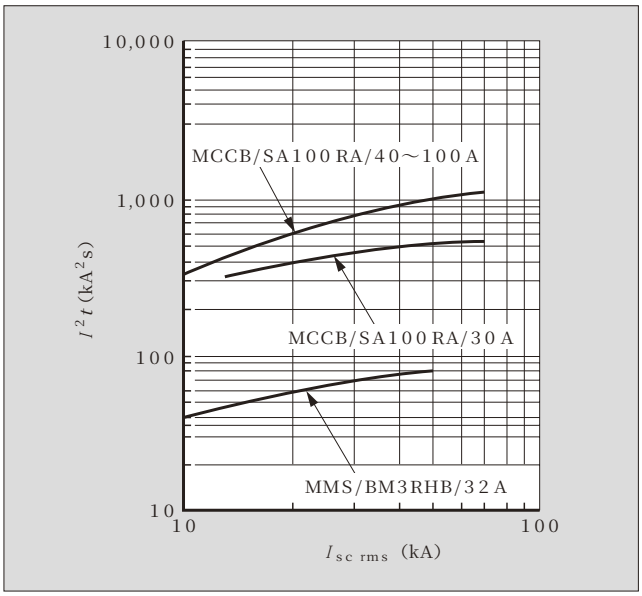
遮断時間が短く，遮断通過電流が小さいと，遮断時の通過エネルギー（I^2t）も小さくなる。I^2t が小さいということは，MMS の負荷側に設置された電磁接触器などに対する熱負荷が小さいことになる。図 7 に富士電機の MMS と MCCB の遮断時の I^2t の比較を示す。図 7 から，MCCB と比較して MMS の I^2t は 1/5 以下であり，非常に小さいことが分かる。

以上により，モータコントロールセンタのような短絡容量の大きな回路にコンビネーションスタータとして適用することが可能になる。

5　MMS と電磁接触器の短絡保護協調

グローバル市場の時代に入って，国内顧客の工場設備が

図7　遮断 I^2t（MCCB との比較）



世界各地に設置される結果，設備メンテナンスの簡易化要求が強まってきている。このため，万一，短絡事故が発生したとしても，製造設備の停止時間をできるだけ短くするために，復旧が迅速に行える電気設備が必要となっている。電動機制御方法において，上記ニーズを満足させるために，短絡保護器と電磁接触器間の短絡保護協調の等級として IEC60947-4-1 のタイプ 2 保護協調を満たすことが重要である。

IEC60947-4-1 では，ヒューズや MCCB などの短絡保護機器と電磁接触器との協調について，保護レベルによりタイプ 1 とタイプ 2 に分類している。タイプ 1 は，短絡遮断後の点検時に電磁接触器の部分的あるいは全体の交換を必要とするレベルで，電磁接触器の損傷（接点溶着）を認めている。タイプ 2 は，点検時に電磁接触器を交換することなく，引き続き使用できなければならないレベルで，電磁接触器の接点の回復可能な軽い溶着を除くいかなる損傷も認めない組合せである。

富士電機のコンビネーションスタータは，400 V 18.5 kW までタイプ 2 に対応したシリーズである。表 2 に機種一覧を示す。

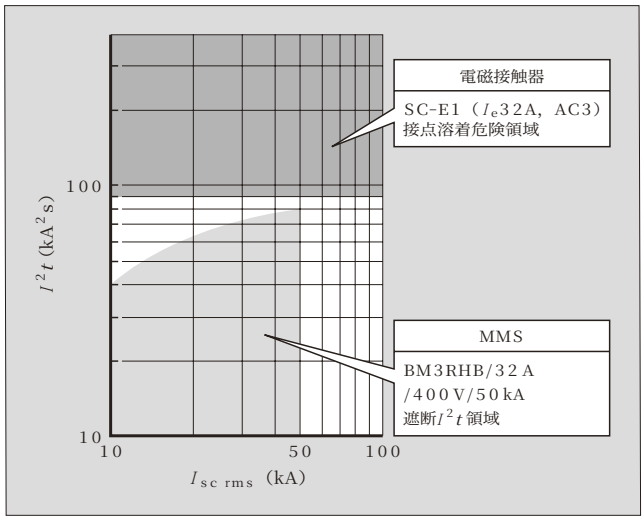
従来の MCCB では，短絡電流が流れたときの I^2t が比較的大きいため，タイプ 2 の組合せを構成することは困難であったが，I^2t が非常に小さい MMS を使ったコンビネーションスタータでは，短絡電流 50 kA（400 V）の回路でも短絡保護協調が可能である。図 8 に 400 V 50 kA における MMS の I^2t と電磁接触器の接点溶着限界点との対比を示す。MMS の I^2t は 80 kA^{2}s であり，電磁接触器の限界である 90 kA^{2}s に対して小さい値になっている。この性能は，4章で説明した富士電機独自の遮断技術を適用した結果である。これにより，グローバル市場での設備メンテナンス性の向上に貢献できる。

タイプ 2 の要求は，従来の JIS や JEM にはない要求であったが，IEC 規格と統合した新 JIS C 8021-4-1 では，

表2　コンビネーションスタータの機種一覧

AC400V	BM3R + SC-M	BM3R + SC-E02～E05	BM3R + SC-E1	BM3V + SC-E1,E2,E2S
外　観				
容量+ タイプ1 全負荷 電流	0.06～ 4kW 0.23～9A	0.06～11kW 0.23～22A	15kW 30A	18.5～22kW 37～48A
容量+ タイプ2 全負荷 電流	0.06～ 1.1kW 0.23～ 2.5A	0.06～7.5kW 0.23～16A	11kW 22A	15～18.5kW 30～37A

図8　MMS の I^2t 性能と電磁接触器の耐溶着危険性能の関係



明確に規定されている。したがって，今後，タイプ2要求の適用が高まることが予測され，富士電機のコンビネーションスタータは，時代のニーズを先取りしたシリーズといえる。

6　コンビネーションスタータによる合理化例

図9にコンビネーションスタータシステムを示す。このシステムは，電源入力端子ブロック，ブスバー，接続モジュールなど，配線工数を大幅に削減するための各種配線部材で構成している。具体的な効果を図10に示す。図10は，AC400V 2.2kW の電動機8回路（うち可逆1回路）で構成された回路である。ここにコンビネーションスタータを適用すると，取付床面積で52%，配線工数で90%削減することができる。以上から，このシステムが電動機回路構成の合理化に非常に有効なものであることが分かる。

図9　コンビネーションスタータシステム

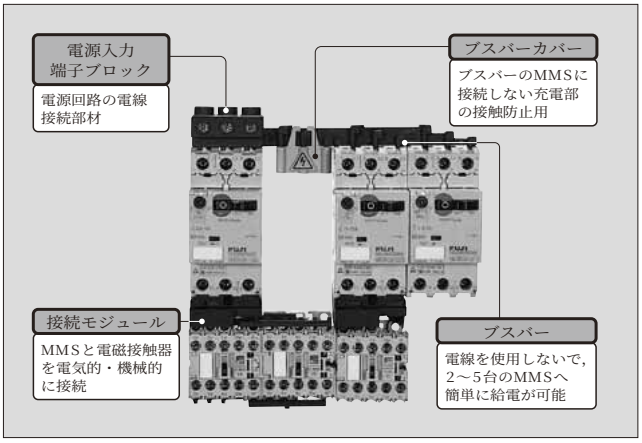
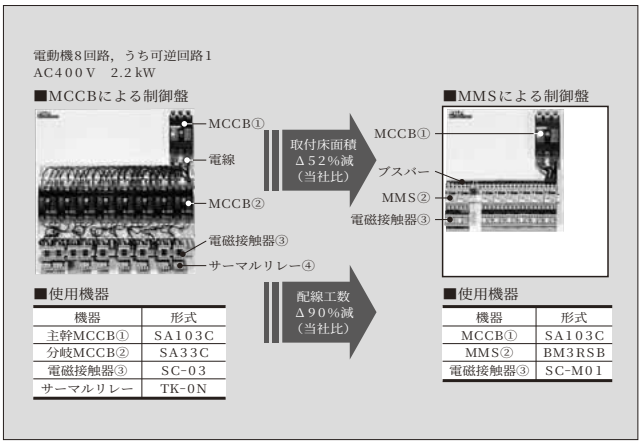


図10　MMS を使用した合理化例（試算）



7　北米設備への適用

MMS は，UL 規格では，電磁接触器やサーマルリレー，押しボタンスイッチなどと同じ工業用制御装置（UL508）に該当する機器で，マニュアルモータコントローラに分類される。北米では米国電気工事基準（NFPA70）で規定されているように，分岐回路の先頭に必ずヒューズや回路遮断器（UL489）のような短絡保護器の設置が義務づけられている。なお，この短絡保護器との保護協調や電線の長さ，太さなどの特定の条件を満足し，さらに制御装置（UL508）がグループインスタレーションの認証を取得している条件で，上位の回路遮断器（UL489）の負荷側から複数回路の MMS および負荷を接続することが可能となる。図11に回路例を示す。

図11において，回路 A は NFPA70 で規定している電動機回路の基本構成であり，負荷に対して1対1で回路遮断器（UL489）を接続したものである。これに対して，回路 B および回路 C は，グループインスタレーション認証機器で構成した場合である。回路 C は，MMS を適用した場合であり，MMS はグループインスタレーション認証取得かつ過負荷保護機能が搭載されているため，サーマルリレーを省略でき，コスト削減および省スペース化に有効で

図11　北米における電動機制御回路例

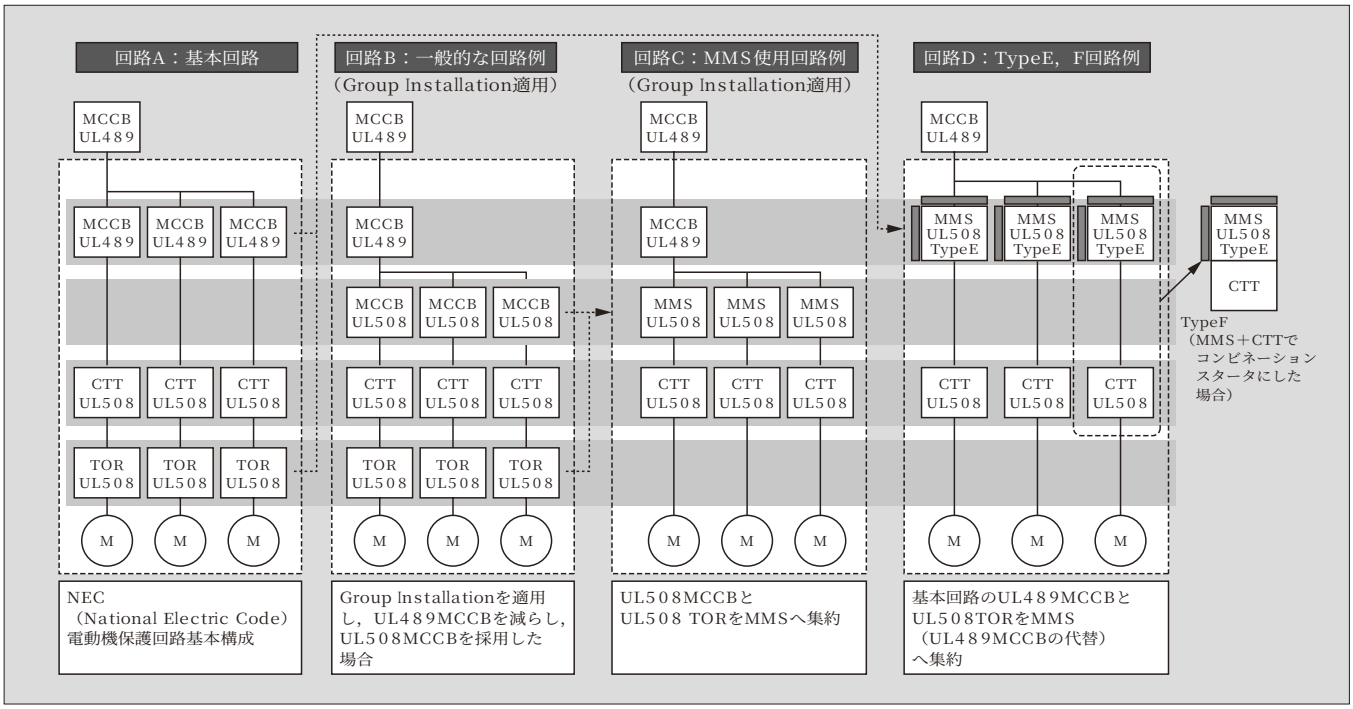


図12　UL508 タイプ E の MMS の外観

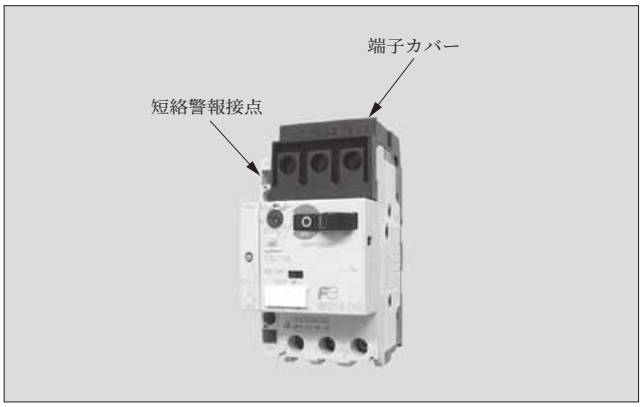
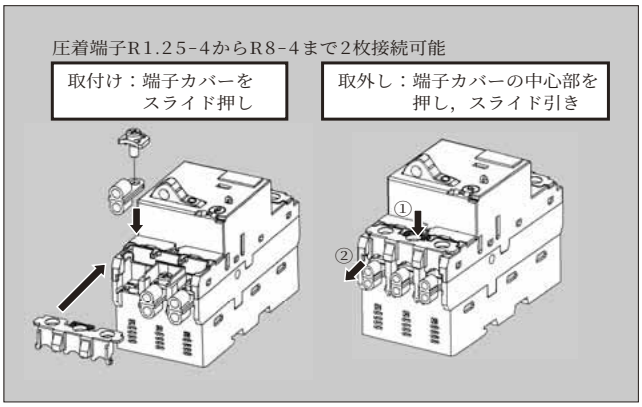


図13　MMS と丸形圧着端子の取付け



あることは6章で述べた。

グループインスタレーションには，通常のものと Suitable for tap conductor protection（タップ導体保護）の二つの分類がある。通常のグループインスタレーションでは，分岐回路電線導体断面積を幹線の 1/3（配線長 7.6 m 以内）にまでしかできないが，タップ導体保護の認証を受けた場合，分岐回路電線導体断面積を 1/10（配線長 3 m 以内）にまで小さくすることが可能である。これは，電源側の回路遮断器（UL489）が同じ定格の場合，より多数の負荷を接続できるため，さらに，効率よく回路が構成できる。このタップ導体保護の認証を取得するためには，厳しい短絡遮断試験条件をクリアする必要があるが，MMS は，前述の高い限流遮断性能により，タップ導体保護認証を取得している。

北米の電動機分岐回路において，MMS を回路遮断器（UL489）の代わりに短絡保護器として使用できる特別な条件がある。それは，富士電機の MMS やコンビネーションスタータのように UL508 のタイプ E やタイプ F の機器認定を受けた場合である。回路 D は，タイプ E やタイプ F の機器を適用した構成を示す。UL508 タイプ E の MMS を用いた場合，分岐回路に設置された回路遮断器 UL489 が省略できるため，さらに効率のよい回路が構成できる。図12に UL508 タイプ E の MMS の外観を示す。タイプ E は，回路遮断器（UL489）規格の絶縁距離やトリップ表示の明確化要求に対応するため，標準の MMS に端子カバー，および短絡警報接点を装着する構成としている。タイプ E のメリットは，①保護機器数を最少にできること。②グループインスタレーション適用のような，電線の長さや太さ，短絡保護協調などの複雑な適用のための計算を必要とせず，電動機の馬力で MMS を選定すればよいことである。

MMS をグループインスタレーションやタイプ E として適用することにより，IEC 規格と UL 規格の違いで別の機器を選定する必要がなくなる。すなわち，MMS やコンビネーションスタータは，IEC 規格，UL 規格両方に対応で

きる真のグローバル製品といえ，制御盤のグローバル共通化に大きく貢献するものである。

8　グローバル製品とローカルニーズの対応

7章までに述べたように，MMS やコンビネーションスタータは，グローバル化に対応した製品である。ただし，グローバル製品であっても，個別要求（特別な構造など）に応えていくことが重要である。これに対応するため，国内固有の配線方式に対応した，丸形圧着端子形 MMS やコンビネーションスタータもシリーズ化している。

このシリーズ（BM3R □ R）は，400 V 15 kW まで対応したものであり，特長は，端子カバーの取扱い性向上を考えてスライド方式にした点である（図13）。本シリーズのように，今後もローカルニーズへ対応していきたいと考えている。

9　あとがき

設備のグローバル化に伴う電動機制御分野に関する環境の変化と，MMS やコンビネーションスタータのような，環境変化に対して適切に対応した電動機制御機器について紹介した。今後も，蓄積してきた技術と経験をベースにグローバルユーザーにとって顧客価値に合致した商品を提供する所存であり，引き続き顧客各位のご指導をお願いする次第である。

低圧配電システムのネットワーク化と省エネルギー支援機器

鹿野　俊介（しかの　しゅんすけ）　　高島　敏和（たかしま　としかず）　　大石　晴信（おおいし　はるのぶ）

1　まえがき

地球温暖化現象やオゾン層の破壊など，現在の環境問題の解決は地球規模の課題であり，国際的な環境保護活動として地球環境の保全，および改善に対する関心はますます高まっている。代表的な国際環境保護活動として，「気候変動に関する国際連合枠組条約締約国会議」（COP）があり，1997年12月の京都会議（COP3）における京都議定書に基づき，1999年の「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（省エネルギー法）の改正による行政指導の強化に始まり，さらに2005年2月の京都議定書発効を踏まえ，2006年4月には省エネルギー法が再改正・施行される運びとなっている。この改正においては，運輸・住宅・建築分野におけるエネルギー使用の合理化を一層進めるとともに，工場・事業所分野においては，従来の熱エネルギー・電気エネルギーの分離区分を廃止し，熱・電気エネルギーを合算した規制となった。これは，従来に比べて第一種・第二種エネルギー管理対象工場，事業所数を拡大させるものであり，産業部門におけるエネルギー消費のカバー率は約70％から約80％に拡大する。図1に省エネルギー法の変遷を示す。

この間における，これまでのエネルギー消費傾向は，産業部門製造業では生産量の増加を消費原単位の削減でカバーしおおむね横ばいとなっているが，民生・運輸部門での推移は一貫して増加傾向にある。国際公約の削減目標である2008年から2012年の間で1990年比で6％削減のためには，産業部門および民生部門とも今後一層のエネルギー消費の削減努力が課せられている。

一方，保護にかかわる社会的責任の重要性の認識が高まり，国際規格ISO14000シリーズに基づく「環境マネジ

図1　省エネルギー法の変遷

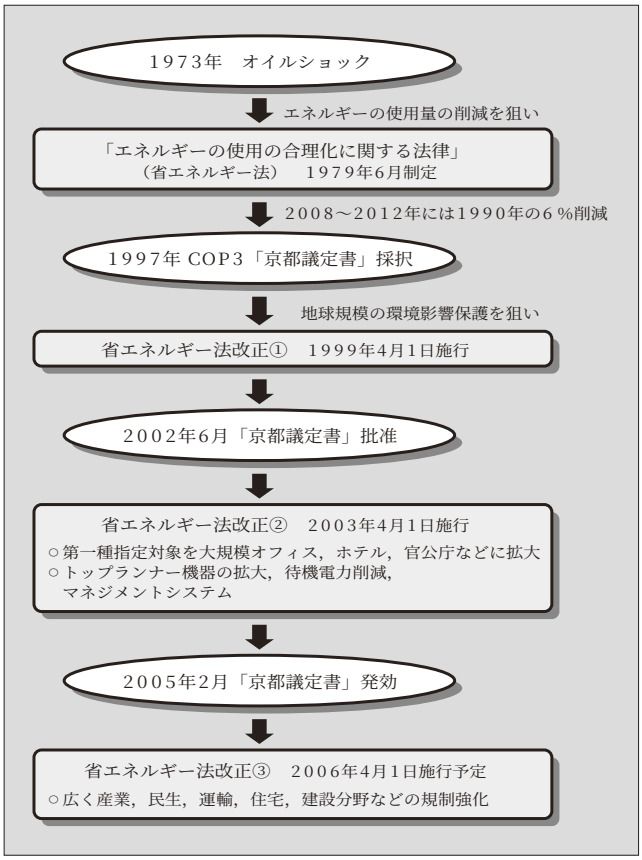
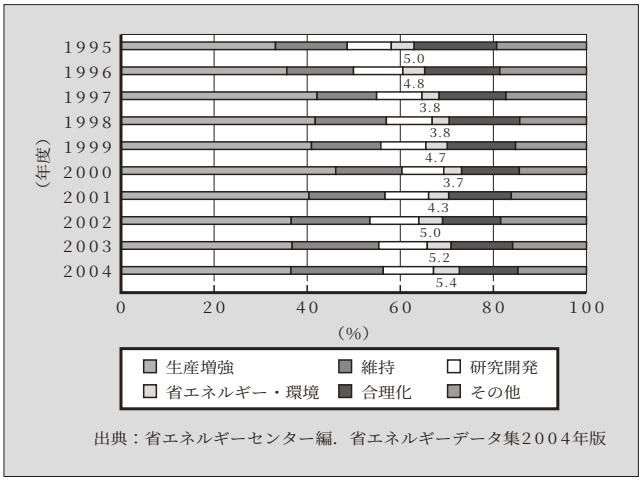


図2　製造業における設備投資比率の推移



出典：省エネルギーセンター編．省エネルギーデータ集2004年版

鹿野　俊介

アナログ回路，デジタル回路の設計に従事。現在，富士電機機器制御株式会社器具事業部技術開発・生産センター開発部マネージャー。

高島　敏和

電力監視機器，デジタル保護継電器の開発に従事。現在，富士電機機器制御株式会社器具事業部技術開発・生産センターネットワーク機器開発部マネージャー。

大石　晴信

産業用システム，制御装置の設計に従事。現在，富士電機機器制御株式会社器具事業部営業技術部主任。

メントシステム」の認証取得を行う事業所は拡大している。今や，企業の社会的責任も含め，地球環境への取組みは経営の重要課題の一つとして位置づけられている。図2に製造業における投資目的別構成比における省エネルギー・環境保全投資のウエート比の推移を示す。この図から分かるとおり，漸増ではあるが着実に対応の拡大を見ることができる。

省エネルギー法規制対象事業所やISO14000シリーズ導入事業所における省エネルギー活動への取組みにおいては，電気施設における電気使用量の計測・記録が必須であり，取組みのPDCA（Plan-Do-Check-Action）を回す仕組みづくりが求められるとともに，省エネルギー法におけるエネルギー管理指定事業所においては，5年に1回の経済産業局の立入り検査も行われる。

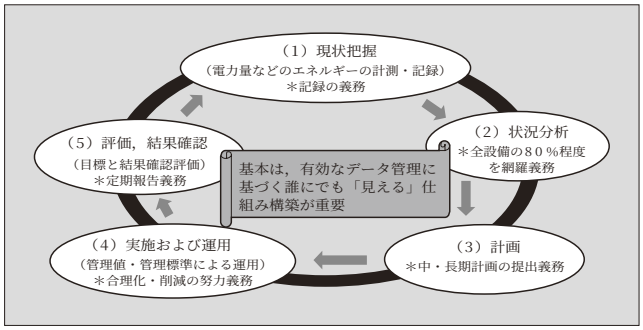
上述の背景から，特別高圧・高圧受配電設備のみならず，低圧配電設備においても，省エネルギーサポート機器やシステム商品の普及が進み，従来の電力設備保全にエネルギー管理を含めたシステム融合も行われている。今後さらに，リモート監視・制御・診断なども含め，インテリジェント化とネットワーク化が加速することが予測される。

本稿においては，低圧配電設備におけるエネルギー管理システムの動向を述べるとともに，そのシステムへの適用普及が著しい低圧配電設備用の省エネルギー支援機器およびそのネットワーク化につき，配電設備の監視・制御システムへの適用も含めその動向を述べる。

2　受配電設備における省エネルギー活動の推進

省エネルギー法やISO14000シリーズにおける省エネルギーへの取組みの基本は，現状把握に基づく継続的な改善の推進である。取組みにおいては図3に示すPDCAサイクルをきめ細かく回し，見える仕組みの構築が重要となっている。見える仕組みづくりの第一歩は現状把握であり，その状況分析と可視化ができれば，それに基づく実現性と期待値も踏まえた目標・計画の設定，実施・運用のための管理値や管理標準の作成が可能となる。管理標準とは，事業者が設備単位で管理方法を自ら定めるマニュアルであり，基準値の遵守，計測・記録，保守・点検，更新時の処置などの盛込みが義務づけられている。有効な管理標準とは，

図3　省エネルギー法における活動サイクル



設備の運用において，それを用いればエネルギーの使用量をほぼ最小に抑えたうえで，保安の確保，操業の安定化を図ることができるマニュアルといえる。

省エネルギー法における現状把握・状況分析においては，電気使用量の計測・記録を義務づけている。その対象は全電気使用量の80％程度を網羅する電力負荷で，従来ほとんど行われていなかった低圧配電系の分岐回路ごとや大型設備機器単体に対して個別の計測記録も要求している。こうした要求に対応する計測機器構成を図4に示す。従来の計測は月単位の使用電力契約や電気料金にかかわるものだけであったが，見える仕組み構築のための有効なデータ取得においては，

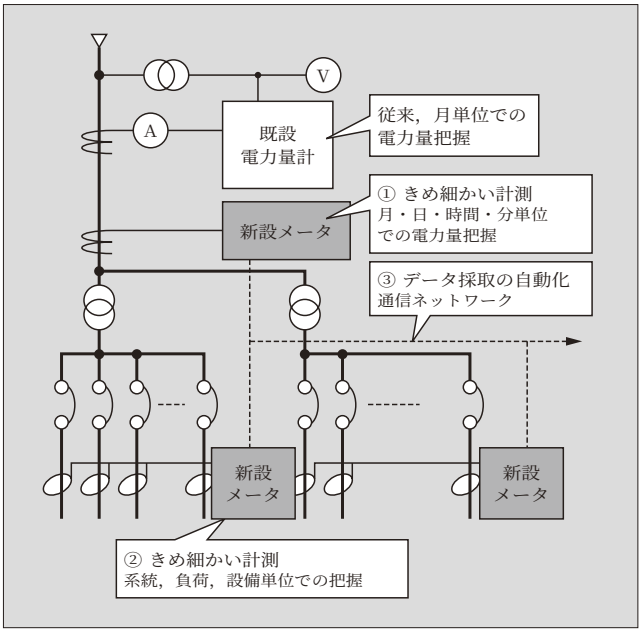
① 系統，負荷，設備単位ごとの使用電力の把握
② 月，日，時間単位での使用電力量の定期データ把握
③ 定期データ収集における作業者負担の増大防止のため，データ採取の自動化

を図ることが重要である。

さらに，得られた計測データを広範囲，効果的に活用するため，普及著しい構内LANを活用したデータ閲覧により，全員参加による改善推進を，工場・企業全体に普及させることも既存の通信インフラストラクチャー（インフラ）を用いて見ることができる。この対応システム形態については5章で述べる。

省エネルギー支援計測機器の導入運用に際し，当然のことながら可能投資額，設備の老朽化状況，リプレース時期，省エネルギーの効果などを踏まえ，計画的にシステムを構築していくことが重要である。計測の理想は，各負荷ごとの自動計測・記録であるが，リニューアル投資導入可能時期や，レイアウト変更などに伴うメンテナンス変動要因も多々あることから，実行においては将来の統合化される姿を描きつつ，実態に沿った地道な対応が現実的である。ま

図4　省エネルギー支援のための現場機器構成



た，初期投資の絞込みといった観点では，モデルラインなどにおける限定投資により，その成果を水平展開することも有効である。ミニマム投資から得られるデータでも，そのデータ分析やビジュアル化，活用などの工夫により，効果をあげることが可能である。

3　受配電設備機器のリニューアル

1970 年代以降の，高度成長期下に設置された電力設備は，リニューアルの時期に入っているといえる。リニューアルの第一の目的は，摩耗故障期の機器・設備を新品状態に戻すことであるが，併せて，過去の実運用に基づく課題の改善，合理化やリニューアルにおける制約条件を踏まえたうえで，時代のニーズ，新技術，新機能の取込みが肝要である。図 5 にリニューアルに期待する効果を示す。

既設設備に対する省エネルギー支援機器の導入は，リニューアルなどの設備更新に際しては，時代のニーズとして多くの事業所で併せて取り込まれている。富士電機は，受配電システムにおける省エネルギー支援機器のシリーズ整備において，省エネルギー支援機能に加え，リニューアルにおける高圧から低圧の期待する効果に応えることを狙いとして機種・機能整備を進めてきた。図 6 にシリーズ機器の一覧を示す。これらの機器は，エネルギー計測のほか，電気設備保全機能なども複合化しており，省エネルギー活動の推進支援に加え，保全業務も含めた保守の省力化，運転信頼性向上などに貢献できるものである。また，通信は汎用インタフェースである RS-485 を標準装備し，ネットワーク化も容易である。

4　エネルギー管理システムの現場機器

エネルギー管理システムの構築においては，できるだけ

図 5　リニューアル時に期待する効果

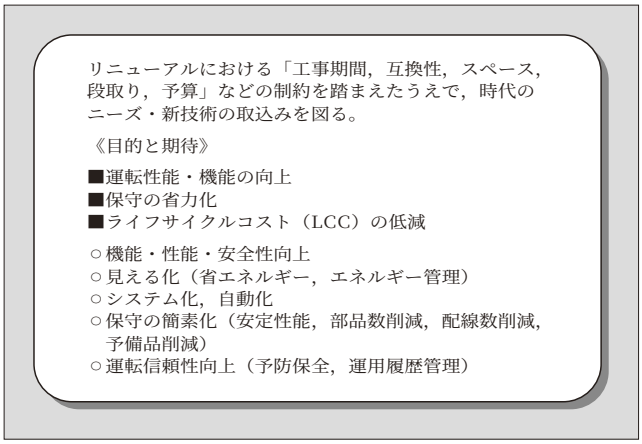
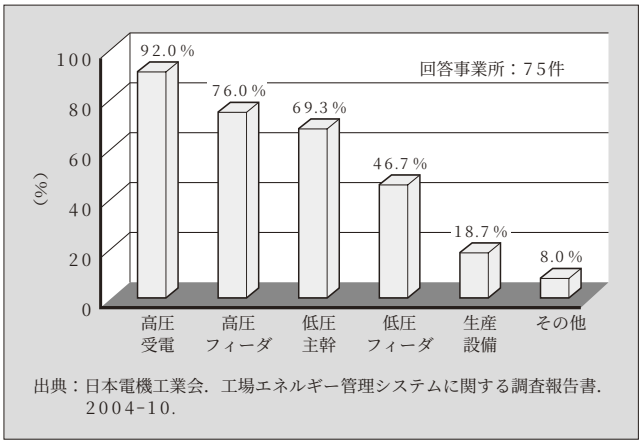


図 7　工場における電気エネルギー管理状況



出典：日本電機工業会．工場エネルギー管理システムに関する調査報告書．2004-10.

図 6　高・低圧受配電監視システム機器のラインアップ

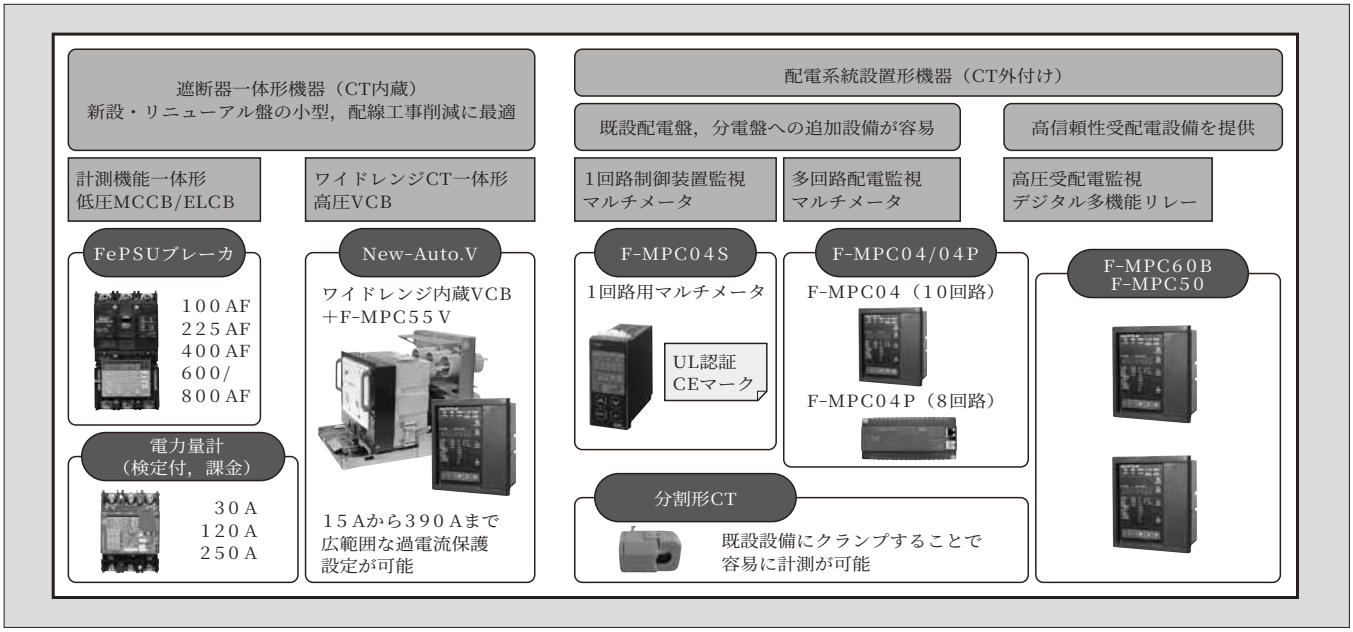


図８　受配電設備監視における現場機器の適用事例

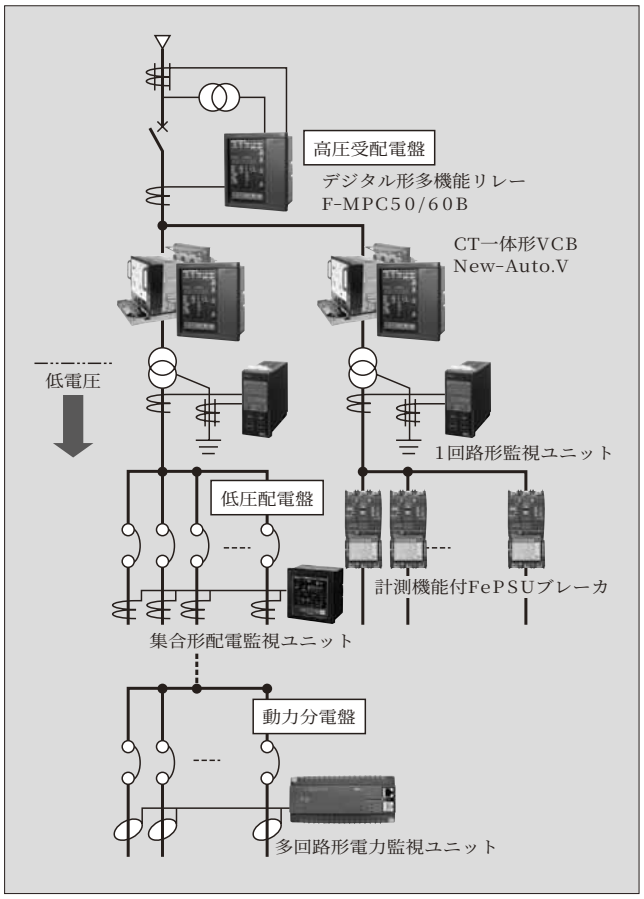
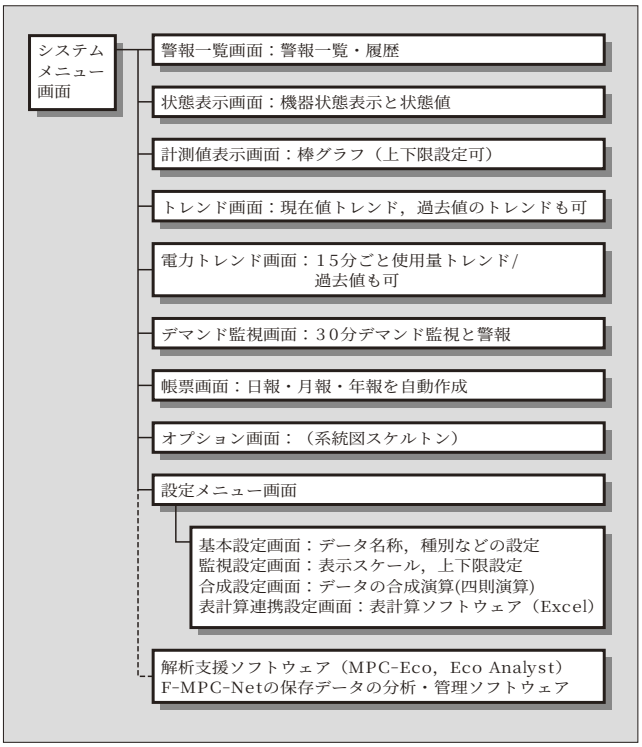


図９　F-MPC-Net パッケージソフトウェアの機能構成



細かい区分での現場計測器の設置と，細かい頻度での測定が必要となる。

工場における電気エネルギーの計測・管理状況の実態調査例を図７に示す。高圧受配電設備はもとより，低圧主幹回路などの配電設備までは，すでに多くの工場で管理対象としていることが分かる。一方，モータ負荷などの生産設備の計測・管理までは一部の工場でしか実施されていない。しかし，低圧フィーダ，さらには溶接機負荷なども含めた動力分電盤も計測対象とすることにより，生産台数とリンクした原単位管理により，大きな省エネルギー経済効果をあげている事例もある。この点から，今後，エネルギー使用状況と，生産台数や生産設備の稼動状況の連携把握により，エネルギー使用の合理化，最適化，さらには生産原単位管理による原価低減活動に進むことが予想される。

図８に受配電設備における富士電機の省エネルギー支援機器の適用事例を示す。高圧受配電盤部は，デジタル形多機能リレーや CT（Current Transformer）一体形 VCB（Vacuum Circuit Breaker）「New-Auto.V」により保護と省エネルギー支援を一体化し，高信頼性受配電設備を提供している。低圧回路部においては，低圧監視対象点数の増大に対する設備費用の増加を極力抑さえるため，多回路集合形から１回路形のマルチメータ，MCCB（Molded-Case Circuit Breaker）や ELCB（Earth Leakage Circuit Breaker）との機器一体形，および分割形 CT により，既設盤改造から新設・リニューアル盤対応まで，目的，用途に応じた経済的な機種選定を可能としている。これらにより，低圧フィーダや動力分電盤にまで管理範囲を広げ，棟・部門・ラインなどきめ細かい区別集計対応を経済的に対応可能としている。

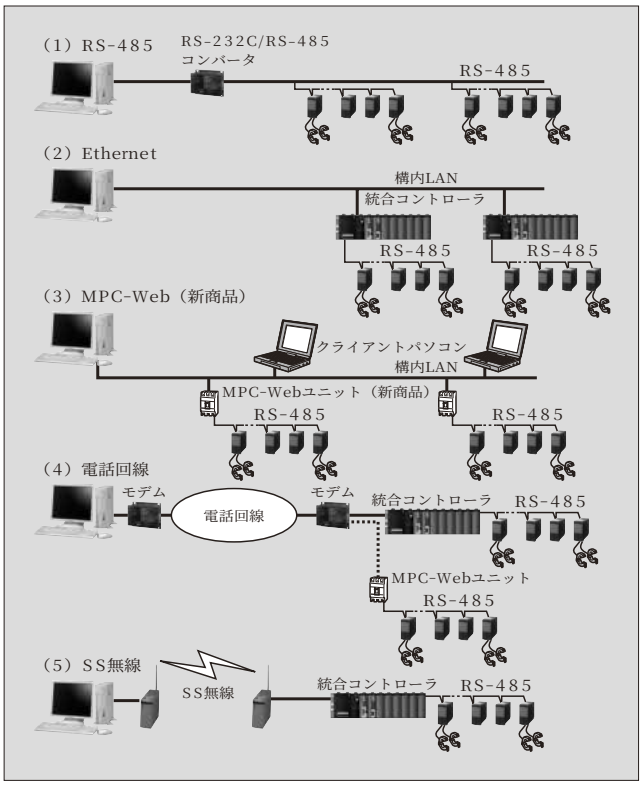
これら機器の基本動作は，CPU を用いたデジタル演算処理となっており，多機能化も容易なことから，ネットワーク端末としての通信機能，電力設備のデマンド監視，安定運転のための予防保全，高調波計測による電力品質管理なども併せ持った機器とし，一層の付加価値向上を図っている。

5　エネルギー管理システム

エネルギー管理システムは管理点数・規模・用途などに応じ各種ある。オフラインによるデータロガーから，デマンド監視制御，スケジュール制御といったスタンドアローンシステムとして単独運用を行うもの，サーバパソコンによるデータ管理システム，さらに通信インフラとして普及著しい Ethernet〈注1〉，イントラネット・インターネットと連携した，サーバクライアントシステムなどが行われている。また，システムの導入に際しては，オフラインによる部分導入から始め，その後の更新により設備を拡大し，上位サーバの導入や，オンラインシステムによる中規模システム，大規模システムへと段階的に計画成長させることも行われている。

〈注 1〉Ethernet：米国 Xerox Corp. の登録商標

図10　通信形態による電力監視システムの構成例



「F-MPC-Net」は，汎用パソコンを用いたパッケージソフトウェアにより，経済的にエネルギー管理システムを構築することを狙いとしたものである。中・大規模のエネルギー管理システムとして，工場設備のほか，店舗，公共施設など多数の稼動実績を有しており，その経験とノウハウの積み重ねに基づくブラッシュアップにより，各種用途や規模などに即したシステム提供を行っている。以下にパッケージソフトウェア機能および通信形態によるシステムのハードウェア構成例を述べる。

図9に「F-MPC-Net」のソフトウェア機能構成を示す。標準パッケージ化により，導入計画ユーザーに対するシステム機能や画面メニューの事前確認を容易化するとともに，設備導入時のエンジニアリングや現地調整の時間も大幅に短縮でき，経済的なエネルギー管理システムを短期間で対応可能としている。

さらに，収集データは Excel〈注2〉へ連携されており，解析支援ソフトウェアによるエネルギー使用状態の分析管理機能を標準装備するとともに，固有フォーマット要求が多い日報・月報といった帳票は，ユーザーにてユーザーフォーマットでの作成も容易に対応可能となっている。

通信形態別のシステム構成例を図10に示す。現場省エネルギー支援機器間の通信プロトコルは RS-485 で統一している。RS-485 は汎用性が高く，経済的で小型化が可能なことから，機器組込み用として最適である。さらに汎用パソコンとの接続も簡単なコンバータで容易にできる。また，プロトコルについては，RS-485・MODBUS RTU プロトコルが，受配電設備におけるデファクトスタンダードとして広く世界的に普及しており，低圧配電設備においてもネットワークプロトコルはその流れを踏襲している。

大規模や広域となるシステムにおいては，プログラマブルコントローラ（電力監視システムでは統合コントローラと称す）や新商品 MPC-Web ユニットを介し Ethernet や電話回線への接続を行う。Ethernet は構内 LAN システムやイントラネット・インターネット通信としてあらゆる事業所においてインフラ整備が最も進んでおり，各社共通のオープンネットワークとして最も一般的となってきている。

これら通信形態の実適用においては，規模，監視点数，取込みデータの種類，通信線敷設の制約事項，コストなどにより形態を選定するとともに，部分適用による小規模なスタンドアローンシステムとして構築し，その後のそれらを統合拡張していくことも行われている。

5.1　工場における実施事例（大規模システム）

計測する対象が広域となることや，電力のほか，ガス，水道の流量，圧力や温度といったアナログ量など多岐にわたり，監視点数も多くなることより，ネットワークは図10における統合コントローラや MPC-Web ユニットを用い，コントローラ間は Ethernet や電話回線接続としている。統合コントローラ側でのデータ保持や制御機能などにより，万一のシステムダウンなどにおいても信頼性を確保するとともに，各種センサ信号対応や盤内設置などの環境対応も実現している。

5.2　中・小規模監視・スタンドアローンシステム

中・小規模システムでは，現場機器の RS-485 通信をコンバータを介して直接パソコンと接続する，シンプルで経済的なシステム構成を一般に用いている。さらに，チェーン店などにおいては，個々の中・小規模スタンドアローンシステムを，統合監視する本部センターサーバへ連携することにより，情報の一元化や水平展開，保守管理・補用部品の一元管理など，統合化による合理化メリットを出すこともできる。

図10の MPC-Web システムにおける MPC-Web ユニットは，Ethernet や電話回線接続において，小型・経済的適用を狙いとしたもので，盤内への DIN レールやねじ取付けを可能としている。この機器は電気室，変電所単位で分散設置することにより，ローコスト電力監視サーバとしての適用が可能である。また，長期間のデータ蓄積機能も有しており，例えば，1時間ごとの日報データであれば最大 256 点・40 日間までのデータ保存が可能なので，センター装置の負担軽減を図ることもできる。異常検出などの緊急時には，登録アドレスへの電子メール発信や関連データの送信も可能なため，電気エネルギー監視に限らず，受配電設備のリモートメンテナンスや設備監視，故障原因解析など，今後新たな適用方法も含め，アプリケーションの拡大を図っていく所存である。

〈注2〉Excel：米国 Microsoft Corp. の登録商標

⑥ あとがき

ISO14000 シリーズ導入における環境活動の拡大や，改正省エネルギー法による規制強化などの社会的背景から，今後とも，省エネルギー機器，システム商品の拡大は続くと推定される。一方，工場電気設備管理技術者との意見交換において，1960 ～ 1970 年代の設備が更新時期を迎え，そのリニューアルと連携して，最新技術の取込み，機能向上による管理の改善，ランニングコストの低減，それに省エネルギーも含めて，リニューアルの期待が多く聞かれる。また，構内配線も敷設後 20 年以上経過してきたものに関しては，電力監視に加え，漏れ電流（絶縁劣化）のトレンド監視による，傾向診断の要望も多く聞かれる。

このような背景を踏まえ，受配電設備機器，監視機器においては，エネルギー監視に加え，電力の安定供給を基本とした信頼性向上のための，現場監視端末としてのセンシング機能の拡充と通信ネットワークによるシステム連携を図る方向に進んでいくことが想定される。現場機器と通信ネットワークを介したシステム連携により，センターにおける分析・解析により，事故の未然防止，保守データ管理，保全の省力化・容易化など，受配電設備の保守管理に対する社会的ニーズに対応した商品化を一層進めていく所存である。

参考文献

(1)　省エネルギーセンター編．省エネルギーデータ集 2004 年版．

(2)　日本電機工業会．工場エネルギー管理システムに関する調査報告書．2004-10.

エネルギー管理システム用機器

吉田　　隆（よしだ　たかし）　　谷　　敏明（たに　としあき）　　高橋　文人（たかはし　ふみと）

1　まえがき

2006年4月に「エネルギー使用の合理化に関する法律」（省エネルギー法）が改正・施行される。このような背景の中，富士電機では低圧配電設備においてエネルギー管理や設備管理システムに適用できるネットワーク化が可能な多数の機器をシリーズ化している。

センサ〔CT（Current Transformer），VT（Voltage Transformer）〕別置形のエネルギー監視機器「F-MPCシリーズ」（Fuji-Multiple function Protectors and Controllers）をは

図1　FePSUブレーカ・ELCBの外観

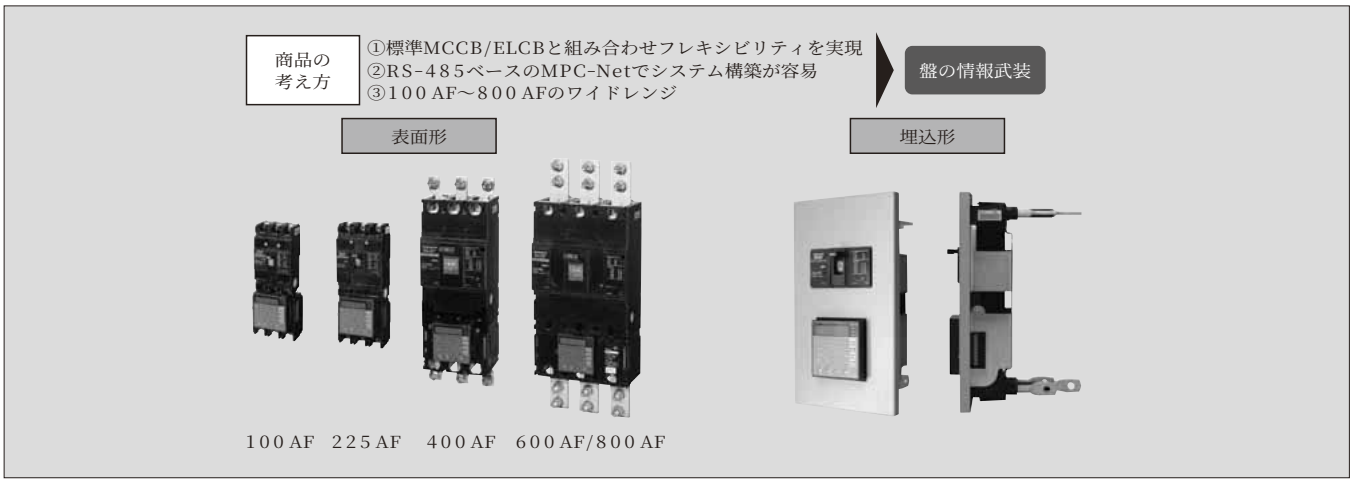
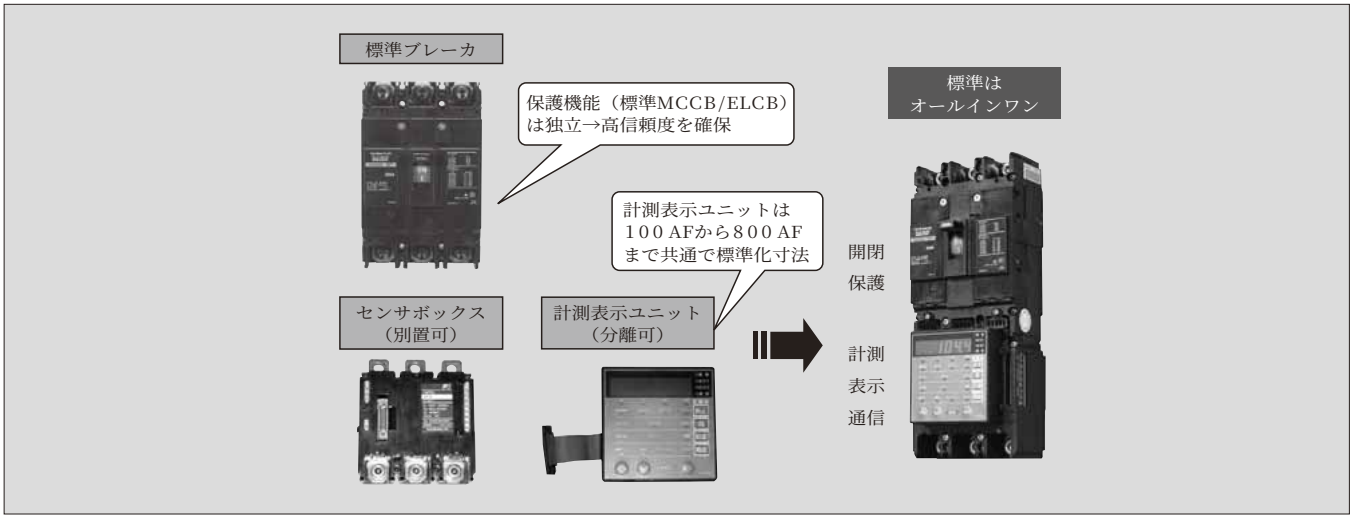


図2　FePSUブレーカの機器構成



吉田　　隆

電子機器・ネットワーク機器の開発に従事。現在，富士電機機器制御株式会社器具事業部技術開発・生産センター開発部主任。電子情報通信学会会員。

谷　　敏明

電力監視機器の開発に従事。現在，富士電機機器制御株式会社器具事業部技術開発・生産センター開発部。電子情報通信学会会員。

高橋　文人

エネルギー監視機器の開発に従事。現在，富士電機機器制御株式会社器具事業部技術開発・生産センターネットワーク機器開発部主任。

じめ，計測・状態データを汎用パソコンで収集管理する汎用エネルギー管理システム「F-MPC-Net」などが好評を得ている。

一方，エネルギー管理システムの普及と多様化に伴い，近年は機器が使用される用途や設置スペースに応じて，より最適な機器の提供を求める市場ニーズがある。今回，F-MPC シリーズに加え，より最適なエネルギー管理システムの構築が可能となるエネルギー監視機器シリーズを開発したので紹介する。

なお，省エネルギー法の概要および低圧配電設備における省エネルギーシステムの動向は，本号の別稿「低圧配電システムのネットワーク化と省エネルギー支援機器」を参照いただきたい。

2　センサ（CT，VT）内蔵形エネルギー監視機器

通常のエネルギー監視機器は，監視機器本体に加えて CT，VT などのセンサを設置する必要がある。これらセンサは設置スペースを必要とし，かつ工数がかかるだけでなく，まれに配線ミスの発生などの課題を持っており，改善が望まれていた。そこでこうしたニーズに応えるため，センサ内蔵形の機器として以下のものを開発した。

図3　FePSU ブレーカの計測機能構成

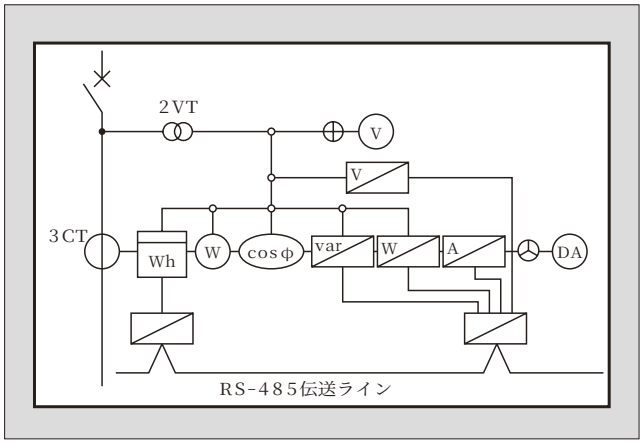
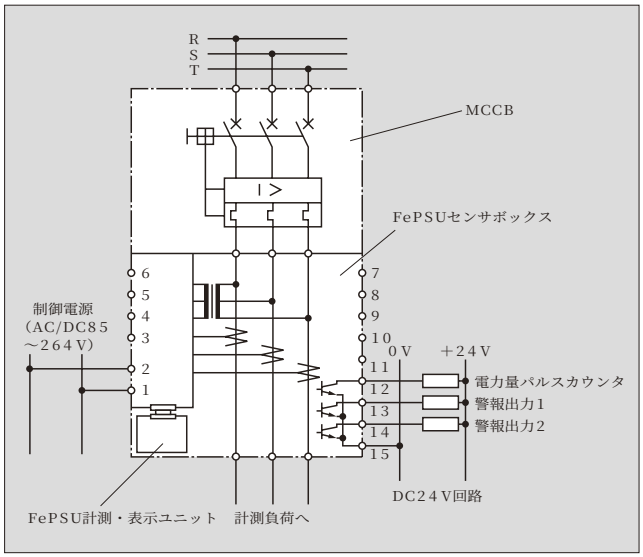


図4　FePSU ブレーカの概略回路構成



2.1　FePSU ブレーカ

「FePSU ブレーカ」（Fuji electric Power Surveillance Unit）はセンサ類（CT，VT）を遮断器と一体化したエネルギー監視機能付ブレーカで，低圧配電設備の保護監視・保全・省エネルギー支援用途に適している。標準ブレーカと計測表示ユニットとを一体化取付けしたもので，計測表示ユニットにセンサを内蔵している。100 ～ 800 A フレーム（AF）を系列化しており，機器の適用条件や用途に応じて F-MPC シリーズとの使い分けによる最適な機種の選定が可能である。新設設備の計測と保護とを行う遮断器の適用では FePSU ブレーカがより適している。

FePSU ブレーカの外観を図 1，機器構成を図 2 に示す。主な特長は以下のとおりである。

(1)　ブレーカの過電流検出部と計測用の CT はおのおの独立しており，高い保護信頼性を確保している。

(2)　計測項目として電流，電圧，電力，電力量，高調波，力率および漏れ電流〔ZCT（Zero-phase-sequence Current Transformer）付 MCCB（Molded-Case Circuit Breaker）との組合せ時〕を備えている。全計測項目を F-MPC シリーズと同じ RS-485 で送信できるので，同一のエネルギー管理システム内で F-MPC シリーズとの併用が可能である。なお，電力量はパルス出力機能も標準装備している。

(3)　センサ内蔵で省施工，省スペースである。

表1　FePSUブレーカの主な仕様

区　分	項　目	内　容
組合せMCCB/ELCB	種　別	配線用遮断器，ZCT付配線用遮断器，漏電遮断器
	フレーム	100 AF，225 AF，400 AF，600 AF，800 AF
	相線式	三相3線，単相3線，単相2線
PSU一般仕様	制御電源	AC/DC　100～240 V（85～264 V）
	使用周囲温度	－10～+40 ℃　平均35 ℃以下
PSU計測機能	負荷電流	±1.5 %FS（現在値，デマンド値）
	線間電圧	±1.5 %FS（現在値，デマンド値）
	有効電力	±1.5 %FS（現在値，デマンド値）
	有効電力量	±2 %（積算値）
	高調波電流	±2.5 %FS（3次～19次現在値，デマンド値）
	力率	±5 %（現在値）
	漏れ電流	±2.5 %FS（I_0, I_{0b}現在値，デマンド値）
	無効電力	±3 %FS（現在値）
	無効電力量	±3 %（積算値）
保守機能，保全機能	警報	プレアラーム：電流，漏電 アラーム：電力，漏電 トリップ：過電流，漏電
	事故原因	過負荷，過電流，短絡，漏電（表示，通信）
	出力	トランジスタオープンコレクタ：2点
通信機能	標準装備	Whパルス，RS-485（最大31台/系統）

(4) 表示部は両方向に90°回転して装着できるので，ブレーカが横方向取付けされた場合でも正視できる。また，延長ケーブルを使用することにより表示部を分離してパネル表面に取り付けることもできる。

(5) ブレーカ動作時に計測表示ユニット部で，事故原因（過負荷，過電流，短絡，漏電）別表示を行うとともに，トリップ，アラーム履歴を不揮発性メモリに保存するので，事故後の解析に利用できる。

FePSU ブレーカの計測機能構成を図3，概略回路構成を図4，主な仕様を表1に示す。

2.2 OCR 機能付 FePSU ブレーカ

低圧配電設備ではブレーカ定格が工事日程の最終段階で決定することも珍しくない。このような場合やブレーカ設置後の負荷増設時などにブレーカ定格電流が可調整式となっていると便利である。そこで FePSU ブレーカ計測表示ユニット部の前述機能に加え，長限時・短限時特性を備えた電子式 OCR（Overcurrent Relay）機能を内蔵化したものを系列化した。標準ブレーカ（100 ～ 800 AF）との組合せで計測表示ユニットでの計測はもちろん，フレーム最大定格の 50 ～ 100 %〔100 AF は 15 ～ 100 %〕の範囲で電子式 OCR の定格電流を調整し，ブレーカをトリップさせることができる。なお，標準ブレーカは電子式 OCR の後備保護としても機能する。

また，ZCT 付ブレーカと組み合わせることにより，漏電警報か漏電遮断のいずれかを選択できる ELR（Earth Leakage Relay）として機能する。これにより，例えば半導体製造設備など即時に漏電遮断すると影響が大きい設備では漏電警報機能を選択して，設備の運転を継続することも可能である。また，遮断を優先させたい回路では漏電遮断するなど，回路の状況に応じた適切な保護機能を選択使用することができる。

OCR・ELR 機能が動作した場合，遮断直前にブレーカを流れていた事故電流を表示するので，事故後の原因究明に有効である。

OCR 機能付 FePSU ブレーカの過電流動作特性を図5，電子式 OCR の特性を表2，漏電警報・漏電遮断特性を表3に示す。

2.3 電子式電力量計「JF シリーズ」

寮などの集合住宅やテナントビルの電力課金システムは親メータで電力会社との包括取引をして，子メータで分岐セクションごとに個別課金する方式が一般的に行われている。この場合，建物の受電部分の主配電盤と電力量計盤とが別物として製作されているため，コストおよび設置スペースの面で難がある。JF シリーズはこれらの課題解決に適している。

JF シリーズは富士電機の分電盤用ブレーカ「αツインシリーズ」と主要外形寸法，端子寸法を統一した（JIS 協約寸法）電力量計で，取付けスペースを大幅に削減することができる。分電盤において分岐回路ごとに電力量を計量するのに最適で，「検定付」も用意しているので，テナント盤などでの課金用途にも適用することができる。

図5　FePSU ブレーカ組合せ動作特性

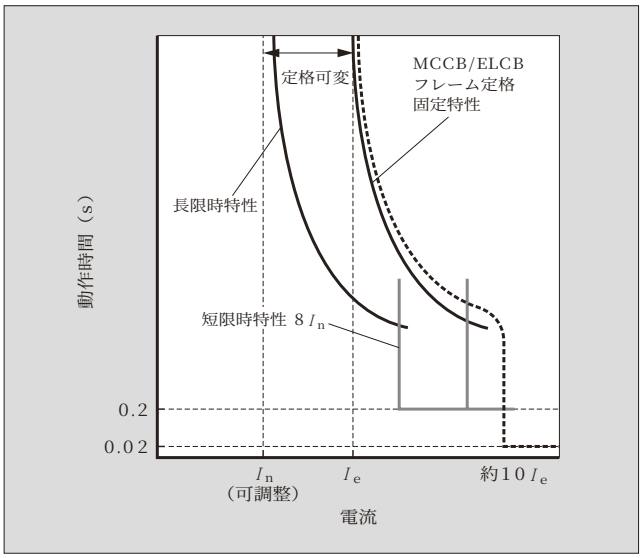


表3　漏電警報・漏電遮断特性

項　目	整定値	特　性
感度電流値	Lock，100，200，500 mA	整定値の70～80 %
動作時間（時延形）	0.3，0.5，0.8，1.0，2.0 s	整定値の70～80 %（整定値1.0 s以上） 整定値の75 %±50 ms（整定値0.8 s以下）
慣性不動作時間	ー	（動作時間/2）印加時不動作
動作（出力）選択	トリップ・警報	ー

表2　電子式OCRの特性

項　目		100 AF	225 AF	400 AF	600 AF	800 AF
過負荷・過電流動作特性	定格電流可調整値 I_n（A）	15，20，30，40，50，60，75，100	75，100，125，150，175，200，225	200，225，250，300，350，400	300，350，400，500，600	400，450，500，600，700，800
	長限時動作値誤差（%）	I_n（A）×（115±e %） ① 定格電流設定がフレーム電流の50 %以上では，e =5 %（110 %不動作，120 %動作） ② 定格電流設定がフレーム電流の50 %未満では，e =10 %（105 %不動作，125 %動作）				
	長限時動作特性（動作時間）	$t=K/(i^2-1)$　K=210/525　（超反限時特性）i は定格電流に対する倍率 定格電流の600 %で6 s（デフォルト）/15 sの設定可能。なお，最小動作時間0.2 s以上				
	短限時動作値	I_n（A）×（800±10 %）				
	短限時動作時間	0.2 s以下				

図6　JFシリーズの外観

ブレーカタイプの電力量計でαツインブレーカと一体型で使用可能→電力量計盤の小型化，コストダウン
① ブレーカと組み合わせ最適（幅・深さ・端子ピッチ），② 250AもCT内蔵タイプ（検定更新時期10年）

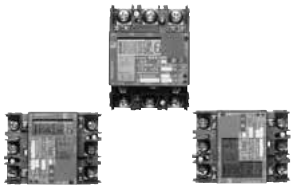
定格	100V/200V，－/110V	30A，120A（CT内蔵）	250A（CT内蔵）	－/5A（CT外付）
相線式		単相2線，単相3線，三相3線	単相3線，三相3線	単相2線，単相3線，三相3線
対応αツインブレーカ		EA103C/100A	EA203C/225A	400AF，600AF/800AF
外観	LCD表示方向　正面・左・右 ワンタッチ変換OK				
寸法＊：ブレーカと同一		W75mm（＊）×H100mm×D60mm	W105mm（＊）×H120mm×D60mm（＊）	
検定	検定付（課金用）	○	○	○
	検定なし	○	○	○
出力	パルス	○	○	○

図7　JFシリーズの特長

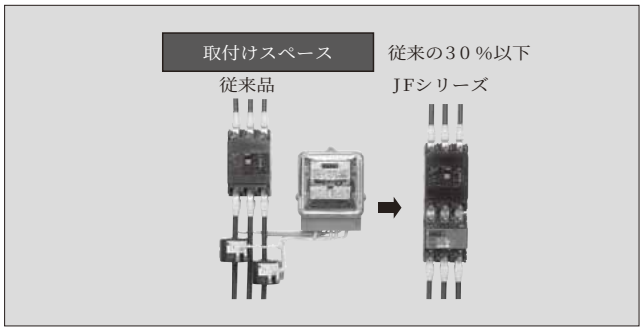
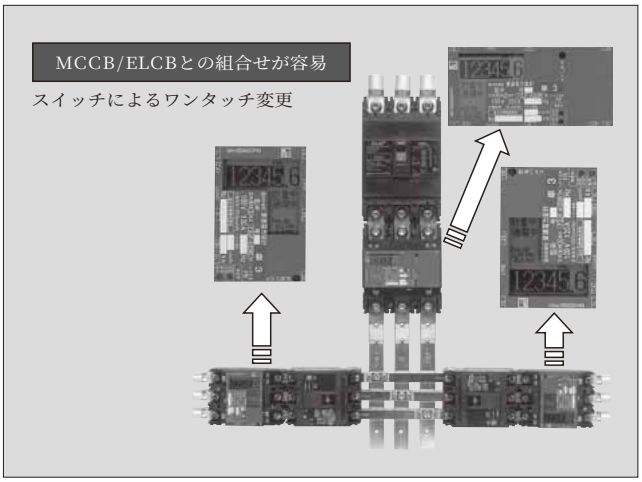


図8　ブレーカと一体形の適用例



JFシリーズの外観を図6に示す。

単独計器としては単相2線式（100V，200V），単相3線式（100V），三相3線式（200V）があり，変成器付計器（変成器と組み合わせて使用する計器）として単相2線式（100V，200V，－/110V），単相3線式（100V），三相3線式（200V，－/110V）を系列化している。

主な特長は次のとおりである。

(1)　αツインシリーズブレーカと主要外形寸法，端子寸法を統一（JIS協約寸法）。従来品と比較して取付けスペースを大幅に削減できる。αツインシリーズとの組合せ取付け例を図7に示す。

(2)　定格電流は30A，120Aおよび250A品を用意変成器（CT，VT）なしで250Aまで適用できる。

(3)　ドットマトリックス液晶の採用により高い視認性取付け方向に応じた表示方向の変更が可能である。表示方向の変更例を図8に示す。

(4)　通信機能としては，電力量のパルス出力付きとRS-485による電力量，電圧，電流，電力および力率データ送信機能付きの2種類を用意しており，エネルギー管理システムへの組込みが容易である。

3　エネルギー監視用ネットワーク機器

3.1　MPC-Webユニット

エネルギー監視機器などの現場設置機器を接続するフィールドネットワークは，耐ノイズ性やコストなどの観点からRS-485などの通信方式を用いるのが一般的である。パソコンを用いたエネルギー管理システムにフィールドネットワークからのデータを取り込むためには，コンバータを使ってRS-485↔RS-232C変換するなどの方法が用いられていた。現在はEthernetを使用した基幹系のネットワークが著しく発達しており，エネルギー管理システムの情報・データをパソコンで取り込むにはEthernet〈注〉を用いるのが最も容易かつ安価であり，システム利用上の利

表4　機能仕様

項　目		機　能	仕様・補足
通信	Ethernet 10/100 base-T（オートネゴシエーション）	Webサーバ	電力監視画面 IPアドレスなどの各種設定
		FTPサーバ	蓄積データをCSVファイル形式で送信
		ゲートウェイ (TCP)	Ethernet-RS-485通信変換機能
		時刻合わせ (SNTP)	内蔵時計を自動的に指定パソコンと同期
	RS-485	F-MPC-Net	最大31台 （F-MPCシリーズ・FePSU）
	RS-232C	PPP	モデムを使ったダイヤルアップ通信
データ蓄積	データ点数	最大256点	
	日　報	40日間の時間電力量	1時間周期の指定計測値 （960時間分）
	月　報	13か月間の日間電力量	1日周期の指定計測値 （400日分）
	蓄積媒体	内蔵不揮発性メモリ	フラッシュROM
	時　計	定時蓄積の時計機能	月誤差±1分／月以内 リチウム電池バックアップ （総停電時間1年）

便性も高いといえる。このような市場動向から RS-485 のフィールドネットワークを Ethernet に変換・接続し，エネルギー管理システムの構築を容易にするネットワーク機器として，MPC-Web ユニットを開発した。このユニットは通信方式の変換に加え，エネルギー管理データの蓄積機能とサーバ機能をも有しており，特に中小規模におけるエネルギー監視用途において有効である。

MPC-Web ユニットの主な特長は次のとおりである。

(1)　Web サーバ機能

エネルギー監視画面・各種設定 Web 画面を装備し，小規模のエネルギー管理システムでは Web ブラウザのみの最小構成で電力量，電流，電圧，力率，無効電力などの監視が可能である。

(2)　Ethernet 通信機能

RS-485 を Ethernet に変換し，エネルギー監視データを通信するのでパソコンベースの上位管理システム「F-MPC-Net」または「PF-Eye」との組合せで，中規模エネルギー管理システムに適用可能である。

(3)　データ蓄積機能

エネルギー監視データを内部メモリに蓄積し，CSV（Comma Separated Value）ファイル形式で上位システムへ出力できる。

(4)　コンパクト形状

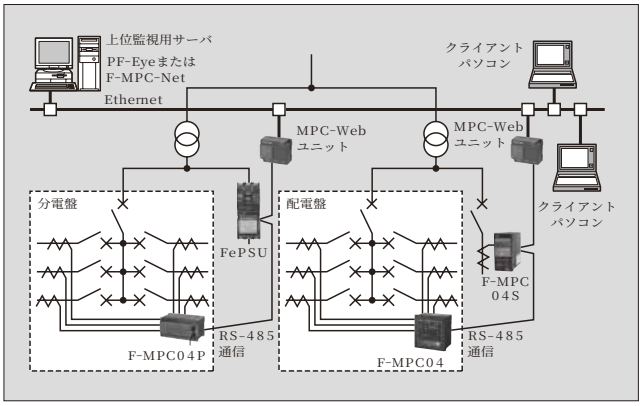
W100 × H70 × D56（mm）で標準分電盤への取付けも可能である。DIN レールにも対応している。

主な機能仕様を表 4 に示す。

3. 2　エネルギー管理システム

MPC-Web ユニットを用いた中規模エネルギー管理システムの構成例を図 9 に示す。この場合，上位機器であるパソコンがサーバ機能を持ち，MPC-Web ユニットは RS-485 と Ethernet を接続するゲートウェイ機器として機能する。エネルギー監視用途のみの場合では，MPC-Web ユニットを用いて一定単位ごとのエネルギー監視機器を統括し，容易にエネルギー管理システムを構築することができる。複数設備機器との連携制御などを必要とする場合はプログラマブルコントローラ（PLC）などを用いることもできる。一方，小規模のエネルギー管理システムでは専用アプリケーションを必要とする上位監視サーバを持つことは設備投資上の問題などから困難である。このような場合では，図 9 の上位監視サーバを除いたシステム構成とし，MPC-Web ユニットがサーバ機器として機能する。クライアントパソコンでは専用アプリケーションソフトウェアを必要とせず，Web ブラウザさえあれば MPC-Web ユニット以下に配置されたエネルギー監視機器の計測データを Web 画面として見ることができる。

図 9　中規模エネルギー管理システムの構成例



他設備との連携制御を必要としない小規模工場でのエネルギー管理用途では，設備導入費用の点で MPC-Web が最適である。また，チェーン展開の各種店舗でもエネルギー管理システムの導入が進展しており，この分野においても MPC-Web が最適である。

4　あとがき

工場におけるエネルギー管理システムの導入は約 9 %，一部導入の約 35 %を加えても全体の 44 %程度にとどまっている。エネルギー管理システム未導入の要因としては，管理システムを導入したくても適合する機器がなく，システムが複雑になり設備導入費用が問題となる場合や，導入効果が分かりづらいことなどを挙げることができる。

今後ともエネルギー監視機器の機種整備と系列の充実拡大を進めるとともに，エネルギー管理システムの普及を図り，省エネルギーと受配電設備管理の効率化に貢献していく所存である。

参考文献

(1)　日本電機工業会．第 3 回重電セミナー．省エネルギー関連施策講演会テキスト．2006.

もっと豊かな明日のために。

私たち富士電機グループは，グループ各社が「業界最強の専業」として，
それぞれの事業分野で，つねに最先端を走りつづけます。
同時に，集合体としての総合力を発揮し，お客様によりご満足いただける
ソリューション，サービス，商品を提供していきます。
豊かな暮らしと社会の実現を目指す富士電機グループに，どうぞご期待ください。

富士電機グループ
e-Front runners

主要営業品目

富士電機システムズ株式会社

情報・通信・制御システム，水処理・計測システム，電力システム，放射線管理システム，FA・物流システム，環境システム，電動力応用システム，産業用電源，車両用電機品，クリーンルーム設備，レーザ機器，ビジョン機器，電力量計，変電システム，火力機器，水力機器，原子力機器，省エネルギーシステム，新エネルギーシステム，UPS，ミニUPS

富士電機機器制御株式会社

電磁開閉器，操作表示機器，制御リレー，タイマ，ガス関連機器，配線用遮断器，漏電遮断器，限流ヒューズ，高圧受配電機器，電力制御機器，電力監視機器，交流電力調整器，検出用スイッチ，プログラマブルコントローラ，プログラマブル操作表示器，ネットワーク機器，インダクションモータ，同期モータ，ギヤードモータ，ブレーキモータ，ファン，クーラントポンプ，ブロワ，汎用インバータ，サーボシステム，加熱用インバータ

富士電機デバイステクノロジー株式会社

磁気記録媒体，パワートランジスタ，パワーモジュール，スマートパワーデバイス，整流ダイオード，モノリシックIC，ハイブリッドIC，半導体センサ，サージアブソーバ，感光体，画像周辺機器

富士電機リテイルシステムズ株式会社

自動販売機，コインメカニズム，紙幣識別装置，貨幣処理システム，飲料ディスペンサ，自動給茶機，冷凍冷蔵ショーケース，カードシステム

富士時報	第 79 巻　第 2 号	平成 18 年 2 月 28 日　印刷 平成 18 年 3 月 10 日　発行 定価 735 円（本体 700 円・送料別）
編集兼発行人	原嶋孝一	
発行所	富士電機ホールディングス株式会社 技術企画部	〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目 11 番 2 号 （ゲートシティ大崎イーストタワー）
編集室	富士電機情報サービス株式会社内 「富士時報」編集室	〒151-0053 東京都渋谷区代々木四丁目 30 番 3 号 （新宿コヤマビル） 電話（03）5388－7826 FAX（03）5388－7988
印刷所	富士電機情報サービス株式会社	〒151-0053 東京都渋谷区代々木四丁目 30 番 3 号 （新宿コヤマビル） 電話（03）5388－8241
発売元	株式会社オーム社	〒101-8460 東京都千代田区神田錦町三丁目 1 番地 電話（03）3233－0641 振替口座 東京 6－20018

© 2006 Fuji Electric Holdings Co., Ltd., Printed in Japan（禁無断転載）

富士時報論文抄録

交通・特機分野における最新技術と取組み

田中　滋夫
富士時報　Vol.79 No.2 p.106-109（2006）

2005 年 2 月に京都議定書が発効に至り，国際法としての効力を持つようになった。鉄道は最もエネルギー効率が高く，経済的で環境に優しい大量輸送機関であり発展を続けるものと考えられるが，今後は小型軽量・省エネルギー・省メンテナンスに加えて車内静粛性や高齢化対応などの快適性がますます求められるであろう。道路分野では環境基準の達成に向けて二酸化窒素濃度の軽減技術が求められる。これらの分野を総括するとともに，富士電機は今後ともさまざまな新しい取組みや新技術への挑戦によって貢献していく。

N７００系新幹線車両用主回路システム

井上　亮二　　坂本　守　　神田　淳
富士時報　Vol.79 No.2 p.110-117（2006）

新幹線車両用主回路システムは，東海道新幹線の 1964 年開業以来，安全性，信頼性，経済性に対する要求とその後の高速化，省エネルギー化，環境問題への対応などの時代の要請に応えながら，技術革新を実現してきた。その技術進歩は，主電動機を制御する変換器の主回路用パワーデバイスの高耐圧・大容量化と，マイクロプロセッサの高性能・高速化といったパワーエレクトロニクス技術の目覚ましい進歩に負うところが大きい。新幹線車両用主回路システムの技術変遷における現状と最新新幹線車両である N700 系の主回路システム電気品および今後の技術動向について紹介する。

在来線車両用補助電源装置

大庭　政利　　青柳　嘉木　　阿部　康
富士時報　Vol.79 No.2 p.118-122（2006）

富士電機では，在来線車両用補助電源装置への高度化する要求に対応するために開発された三相個別瞬時制御，高機能ワンボード制御装置を適用した付加価値の高い製品を製作している。現在主流となっている 3.3 kV 高耐圧 IGBT では素子発生損失が大きくキャリヤ周波数を高くすることができないため，フィルタリアクトルの小型軽量化，騒音の低減に限界があるが，それらの課題を克服し，さらなる高付加価値化を図る IGBT の多数個直列接続技術を開発したので紹介する。

リニアモーターカー「リニモ」の磁気浮上システム

岩谷　満　　尾崎　覚　　田村　浩明
富士時報　Vol.79 No.2 p.123-127（2006）

2005 年日本国際博覧会（愛知万博）の主要アクセスとして，日本で初めて実用化された常電導磁気浮上鉄道「リニモ」の磁気浮上システムを開発・納入した。本質的に不安定な制御系である吸引式磁気浮上系に対して，最新の制御技術を駆使することで安定な浮上特性を実現した。また，リニモの生命ともいえる浮上系の信頼性を確保するためさまざまな対策を実施した。

リニアモータ式側引戸用戸閉装置

梅澤 幸太郎　　辻村　勲　　高橋　弘
富士時報　Vol.79 No.2 p.128-133（2006）

車両の側引戸用戸閉装置（がわひきどようとじめそうち）は，乗客と直接接する装置であること，一つ一つが独立したシステムであること，また，その数が多いことから，安全性，信頼性，機能性が高く，また，省メンテナンスであるシステムが求められている。富士電機はリニアモータの直線動作を側引戸の直線動作に適用した戸閉装置を開発，製品化し，東日本旅客鉄道株式会社，ニューヨーク市交通局向けに納入している。本稿では装置についての開発の経緯，およびそれらの概要について紹介する。

最近の電気鉄道地上設備用パワーエレクトロニクス装置

山本　光俊　　大宮司　充　　鈴木　明夫
富士時報　Vol.79 No.2 p.134-138（2006）

電気鉄道（電鉄）地上設備にパワーエレクトロニクス応用製品の適用が拡大している。不平衡負荷の補償を目的とした新幹線電鉄変電所用自励式無効電力補償装置（自励式 SVC）およびつくばエクスプレスの直流変電所に採用された PWM 変換装置を取り上げ，適用の目的から技術内容の詳細，現地測定データによる効果などを紹介する。電鉄地上分野においても，パワーエレクトロニクス技術の適用により，変電システムの小型化，高機能化，高性能化がさらに加速すると考える。

環境対応・省保守・小型化を追求した最新の直流変電設備

粟飯原 一雄　　小林　正明　　野尻　尚
富士時報　Vol.79 No.2 p.139-144（2006）

富士電機では地球環境保護に加えて鉄道用電力設備として必須要件であるライフサイクルコストの低減，省保守，小型軽量の実現を目指して各種製品を開発しラインアップしている。本稿では直流き電変電設備で採用されている最新鋭製品である 24 kV ドライエア絶縁スイッチギヤ，純水沸騰冷却式シリコン整流器・電力回生インバータ，100 kA 直流高速度真空遮断器ならびに回線単位形主制御用配電盤を紹介する。

列車無線高度化システム

新井　隆　　永井　義久
富士時報　Vol.79 No.2 p.145-148（2006）

列車無線システムは，列車運行を管理する指令所と列車乗務員間を結ぶ保安通信設備である。従来は音声通話のみを行ってきたが，指令業務効率の改善や乗客向け案内サービスの拡充などの顧客ニーズに対応するため，データ伝送を主とした高機能化技術を検討してきた。本稿では，列車という移動体に対する通信環境で，列車無線機能の高度化を実現した技術，中央システム・車載無線設備の概要について紹介する。

Abstracts (Fuji Electric Journal)

Propulsion System for Series N700 Shinkansen

Ryoji Inoue Mamoru Sakamoto Jun Kanda
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.110–117 (2006)

Since the start of the Tokaido Shinkansen in 1964, the propulsion systems for Shinkansen trains have realized technical innovation while responding to requests for greater stability, reliability, economical efficiency, and to subsequent requests for higher speed, energy savings, and the support of environmental-related issues. Such technical advances are greatly indebted to the remarkable breakthroughs in power electronics technology, which include higher voltage and larger capacity power devices for the propulsion system that controls the main motors, and the higher performance and high speed of microprocessors. This paper describes the technical changes that have occurred in Shinkansen propulsion systems, and the present status and future trends of electronic products for the propulsion system of the latest Shinkansen, the Series N700.

Magnetic Levitation System for Linear Motor Car "Linimo"

Mitsuru Iwaya Satoru Ozaki Hiroaki Tamura
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.123–127 (2006)

Fuji Electric has developed and delivered a normally-conductive magnetic levitation system for Linimo, which was put into practical service as the main access to the Expo Aichi 2005 as Japan's first magnetically levitated train. Fuji's newly developed magnetic levitation system adopts several novel control technologies in order to achieve stable levitation and comfortable ride quality, while the attracting magnet type levitation control system is inherently unstable. Various measures have been adopted to ensure the reliability of the levitation system which is key to Linimo.

Application of Recent Power Electronics Technology to Railway Ground Systems

Mitsutoshi Yamamoto Mitsuru Daiguji Akio Suzuki
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.134–138 (2006)

Power electronics equipment is increasingly being applied to electric railway ground systems. This paper describes the self-commutated Static Var Compensator (Self-commutated SVC) to compensate for unbalanced loads at Shinkansen Railway substation and PWM converters adopted at Tsukuba-Express DC feeding system, and also discusses technical details of theses applications and their effectiveness based on onsite data measurements. The application of power electronics technology to railway ground systems will further accelerate the trends toward smaller size, higher functionality and higher performance of those systems.

Highly Advanced Train Radio System

Takashi Arai Yoshihisa Nagai
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.145–148 (2006)

A train radio system is a secure communications system linking a railway traffic control room with attendants on a train. Previously, such systems were implemented with voice communications only, but in response to customer needs for improved operational efficiency and a wider range of passenger assistance services, data transmission and other advanced technologies have been considered. This paper discusses the technology for realizing advanced train radio functions, and presents an overview of central systems and onboard radio equipment in the communications environment of a moving train.

The Latest Electrical Equipment Technology for Transportation Systems

Shigeo Tanaka
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.106–109 (2006)

The Kyoto Protocol entered into force in February 2005 and became binding as international law. As the most efficient, economical and environmentally-friendly means of mass transportation, railroads will continue to develop, but will be subject to increasing requirements in the future for smaller size, lighter weight, energy savings, less maintenance, quieter operation, and increased comfort for the elderly. To meet the environmental standards for roadways, technology to reduce the concentration of nitrogen dioxide is required. Fuji Electric intends to collectively address the needs of these fields and to continue to make positive contributions by developing new technology for transportation systems.

Auxiliary Power Supply Equipment for Conventional Trains

Masatoshi Oba Yoshiki Aoyagi Yasushi Abe
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.118–122 (2006)

Fuji Electric manufactures high value-added equipment incorporating instantaneous control for each phase and a high performance one-board controller that have been developed to satisfy the increasingly sophisticated requirements for auxiliary power supply equipment in an electrical multiple unit. For the 3.3 kV high-voltage IGBT, the mainstream device at present, the generated loss is large and the carrier frequency cannot be increased to a high frequency, and thus there are limitations in the degree to which the filter reactor can be made smaller and lighter and the noise reduced. This paper describes voltage-balancing technology for IGBTs connected in series that was developed to overcome the above challenges and to achieve even higher value-added performance.

Linear-motor-driven Side Door System for Rolling Stock

Kotaro Umezawa Isao Tsujimura Hiroshi Takahashi
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.128–133 (2006)

The side door systems of a train car must be safe and reliable with high performance requiring least maintenance because of the following reasons: the systems have direct contact with train passengers, each system is independently operated, and a number of systems are installed on a train. Fuji Electric has developed and commercialized the door operating systems that apply the linear motion of the linear motor to the linear movement of a side door. These systems have been delivered to the East Japan Railway Company and to the Metropolitan Transportation Authority New York City Transit. This paper describes the history of development and presents an overview of the system.

The Latest Environment-friendly, Low-maintenance and Small-size Equipment for DC Electric Railway Substations

Kazuo Aibara Masaaki Kobayashi Hisashi Nojiri
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.139–144 (2006)

Fuji Electric has developed a line of various products, which in addition to protecting the global environment, also aim to realize the requirements of railway electric power systems of low lifecycle cost, low-maintenance, small size and light weight. This paper introduces the following state-of-the-art products used in DC traction power systems: a 24 kV dry-air insulated switchgear, a water vaporization-cooling silicon rectifier and regenerative power inverter, a 100 kA DC high-speed vacuum circuit breaker, and a unit-type control switchgear.

交流電界による電気集じん装置の高性能化

安本　浩二　　瑞慶覧 章朝　　河野　良宏
富士時報　Vol.79 No.2 p.149-152（2006）

電気集じん装置の長年の課題であった再飛散現象を抑制する交流電界形電気集じん装置の開発に成功した。交流電界による微粒子の集じん率向上と高電圧発生装置の開発について報告する。ディーゼル自動車排出ガス粒子を電気集じん装置で集じんした場合，再飛散現象により集じん率が低下する。矩形（くけい）波交流電圧を印加することにより，微粒子については直流形と同等の集じん率が，大粒径粒子については再飛散を抑制し集じん率が長時間維持することが可能となった。また，矩形波交流電源の高電圧発生装置を開発し製品化した。さらに今後生体系への影響が懸念されるナノ粒子の集じん率についても評価した。

特機分野におけるパルスチューブ冷凍機の適用

竹内　孝行　　松下　智行　　大嶋　恵司
富士時報　Vol.79 No.2 p.153-155（2006）

富士電機は，約 30 年前にスターリング冷凍機の製品化を進め，赤外線暗視装置用として完成させた。また，その実績と継続的な開発により，地球観測用人工衛星に搭載され，赤外線センサ冷却用として高い評価が得られた。さらに，2005 年 6 月，5 万時間の高信頼性を有するパルスチューブ冷凍機の販売を開始したので，製品を紹介するとともに，その用途として通信設備，半導体製造装置などのセンサ冷却に適用されるだけでなく，衛星搭載など環境仕様が厳しい特機分野へ適用する際の特徴を紹介する。

低圧遮断器の動向と富士電機の対応

内田　直司　　小塙 明比古
富士時報　Vol.79 No.2 p.156-159（2006）

世界貿易機関（WTO）の TBT（Technical Barriers of Trade）協定の受入れにより，低圧電気設備の IEC 規格への整合化が急速に進行している。一方，地球温暖化防止に関する京都議定書の発効により，二酸化炭素の削減を目的とした省エネルギー法の適用の拡大が図られている。低圧遮断器でもこうした状況の変化を受けて，新しい動向に添う製品化，例えば，グローバル規格対応の遮断器，より過電流保護の安全性を向上させた小型モータブレーカ，電力計測機能付ブレーカなどを製品化している。本稿では，低圧遮断器を取り巻く動向の分析と富士電機の対応について述べる。

新グローバル MCCB/ELCB「G-Twin」シリーズ

久保山　勝典　　小塙 明比古
富士時報　Vol.79 No.2 p.160-166（2006）

低圧電気設備の主要な部材である配線用遮断器（MCCB）・漏電遮断器（ELCB）について，顧客のグローバル化，および国内電気設備への IEC 規格の取入れの流れを受けて，IEC 規格に整合した新 JIS が発行された。富士電機では，この流れを分析した結果，市場ニーズを実現する次世代の低圧遮断器として新グローバル MCCB/ELCB が必要であるとの結論を出し，要素技術から開発を進めた。本稿では，全世界の規格に適合する新グローバル MCCB/ELCB「G-Twin」シリーズの特長，仕様の概要，開発技術などを紹介する。

新グローバル MCCB/ELCB の要素技術開発

中野　雅祥　　恩地　俊行　　杉山　修一
富士時報　Vol.79 No.2 p.167-171（2006）

新グローバル MCCB/ELCB として，IEC，JIS，UL，GB など世界の主要な規格に規定されている性能を 1 機種で満足させることを基本コンセプトに開発を行った。本稿では，開発にあたって適用した，ガス流制御および細げき構造の最適化による高遮断性能，電源回路およびトリップコイルの小型化による 1 相欠相時の漏電保護動作，短絡電流遮断時の圧力上昇を考慮した筐体（きょうたい）の高強度化に関する要素技術について紹介する。

新グローバル MCCB/ELCB の環境対応技術

潮崎　克郎
富士時報　Vol.79 No.2 p.172-176（2006）

「RoHS 指令」（特定有害物質使用禁止指令）が 2003 年 2 月 13 日に発効した。この RoHS 指令は EU 域外にも影響を及ぼし，中国，韓国などでも同様の規制を制定する動きがある。また日本でも「電気・電子機器の特定の化学物質の含有表示方法」が制定された。新グローバル MCCB/ELCB はこれらの内外の環境規制に十分配慮して開発したものである。本稿では新グローバル MCCB/ELCB を開発するにあたって，その開発を支えた材料面からの幾つかの環境対応技術を紹介する。またこの環境対応技術を維持するための，受入れから出荷までの管理体制についても紹介する。

新グローバル電動機制御方式

永廣　　勇
富士時報　Vol.79 No.2 p.177-183（2006）

IEC60947 シリーズと JIS C 8201 の整合を発端として，電動機制御分野では，コンポーネントのグローバル仕様への要求が強まってきている。本稿では，富士電機独自の遮断技術を応用したことによって，「省スペース化」「高遮断化」「タイプ 2：短絡保護協調」などを達成したマニュアルモータスタータ（MMS）やコンビネーションスタータに代表される，新しい電動機制御機器について，規格の動向を交えて紹介する。

低圧配電システムのネットワーク化と省エネルギー支援機器

鹿野　俊介　　高島　敏和　　大石　晴信
富士時報　Vol.79 No.2 p.184-189（2006）

ISO14000 シリーズ（環境マネジメントシステム）導入企業における環境活動の拡大や，改正省エネルギー法による規制強化などにより，省エネルギーシステム支援機器の導入は急速に拡大するとともに，省エネルギー支援システムのネットワーク化により，低圧配電設備へのネットワーク適用も進んでいる。本稿では，省エネルギー法対応を踏まえた，省エネルギー支援機器および省エネルギーシステムの機器の動向や，省エネルギー監視システムとして普及が著しい低圧配電設備のネットワークの内容を紹介するとともに，今後の低圧配電設備への適用動向について述べる。

Application of Fuji's Pulse Tube Cryocooler in Special Machines

Takayuki Takeuchi Tomoyuki Matsushita Keishi Ohshima
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.153–155 (2006)

Fuji Electric has advanced the commercial development of the Stirling Cryocooler, which was first used for infrared night-viewer cooling 30 years ago in Japan. Building on that accomplishment and subsequent continued development, the cryocooler has been installed in earth observation satellites, and is highly regarded as a device for infrared sensor cooling. Fuji Electric's commercially produced pulse tube cryocooler has a high reliability of 50,000 hours, which is used for special machines mounted on satellites in severe space environment as well as for sensor cooling of communication facilities and semiconductor manufacturing equipment. This paper introduces the pulse tube cryocooler and its various applications.

New Global MCCB/ELCB G-Twin Breaker Series

Katsunori Kuboyama Akihiko Kohanawa
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.160–166 (2006)

In response to an increasingly globalized customer base and the adoption of IEC standards by domestic Japanese electric equipment manufacturers, IEC-compliant new JIS standards have been issued for molded case circuit breakers (MCCBs) and earth leakage circuit breakers (ELCBs), which are main components of low-voltage electric equipment. By analyzing these trends, Fuji Electric has concluded that new global MCCBs/ELCBs are needed as next-generation low-voltage circuit breakers to satisfy market needs, and has moved ahead with technical development. This paper introduces the features, main specifications and technical developments of Fuji Electric's new global MCCB/ELCB G-Twin series that complies with global standards.

Environmentally Responsive Technology for New Global MCCB and ELCB

Katsuro Shiozaki
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.172–176 (2006)

The RoHS Directive (restriction on use of certain hazardous substances directive) came into effect on February 13, 2003. The impact of the RoHS directive extends beyond the EU's borders, and movements are underway to establish similar regulations in China, South Korea and other countries. In Japan, a law requiring that electrical and electronic equipment be labeled to indicate the presence of specific chemical substances has been established. The new global MCCB and ELCB were developed in consideration of such domestic and overseas environmental regulations. This paper introduces several environmentally responsive technologies for materials that supported development of the new global MCCB and ELCB. Additionally, the control system – from material receipt to product shipping – that sustains these environmentally responsive technologies is also described.

Low-voltage Switchgear Networking and Energy-saving Support Equipment

Shunsuke Shikano Toshikazu Takashima Harunobu Oishi
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.184–189 (2006)

As a result of the expanded environmental activities of companies which have installed ISO14000 series-compliant environmental management system and the tightening of regulations in accordance with revised energy-savings laws, a rapid installations of energy-saving system support equipment is increasing; and as the result of introducing the greater networking of energy-saving support systems, low-voltage switchgears are also increasingly being applied to networked systems. This paper describes trends of energy-saving support devices and energy-saving system devices based on compliance with energy conservation laws, introduces low-voltage switchgear networks which are widely used as energy monitoring systems, and discusses future trends of low-voltage switchgear applications.

Use of AC Field to Enhance Performance of Electrostatic Precipitator

Kouji Yasumoto Akinori Zukeran Yoshihiro Kouno
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.149–152 (2006)

Fuji Electric has succeeded in developing an AC electrostatic precipitator that suppresses the phenomenon of reentrainment, which has been a longstanding problem for electrostatic precipitators. This paper reports the improvement in particle collection and the development of a high-voltage transformer assembly enabled by the use of an AC field. When particles in the diesel exhaust gas from a vehicle are collected in an electrostatic precipitator, the phenomenon of reentrainment causes the collection efficiency to decrease. By applying a square wave AC voltage, it became possible to realize high particle collection efficiency comparable to that of a DC system for fine particles, and to maintain a longer time of particle collection for large particles by suppressing the reentrainment of particles. Fuji has also developed and commercialized a high-voltage transformer assembly that uses a square wave AC power source. We also evaluated the efficiency of collecting nano-particles, for which the future impact on the human body is a concern.

Technical Trends of Low-voltage Circuit Breakers and Fuji Electric's Efforts in this Field

Naoshi Uchida Akihiko Kohanawa
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.156–159 (2006)

With acceptance of the World Trade Organization (WTO) TBT (Technical Barriers to Trade) agreement, harmonization toward IEC standards for low-voltage electric equipment is advancing at an accelerated rate. However, with the entry into force of the Kyoto Protocol, which concerns the prevention of global warming, the application of energy-savings laws is being expanded to reduce carbon dioxide emissions. Impacted by these changing circumstances, low-voltage circuit breakers are being transformed into commercial products that reflect new trends, such as global standard-compliant circuit breakers, small motor breakers providing safer overcurrent protection, and breakers equipped with a power metering function, for example. This paper analyzes the technical trends concerning low-voltage circuit breakers, and describes Fuji Electric's efforts in this field.

Technical Development for New Global MCCB and ELCB

Masaaki Nakano Toshiyuki Onchi Shuichi Sugiyama
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.167–171 (2006)

An underlying concept for the development of new global MCCBs and ELCBs is to provide a single machine that satisfies the performance requirements provided in IEC, JIS, UL, GB and other major global specifications. This paper describes elemental technology developed and applied by Fuji Electric, relating to the optimization of gas flow control and the plastic plate structure in breaking units to realize higher breaking performance, miniaturization of the power supply circuit and the trip coil to provide earth leakage protection when one phase is open, and a reinforced enclosure in consideration of the pressure increase during breaking of short-circuit current.

Fuji Electric's New Global Motor Control Series

Isamu Nagahiro
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.177–183 (2006)

The trend toward unified global standards, such as conformity between Japanese JIS C 8201 series and IEC60947 series, has triggered the need for globally standardized components. In this paper we will introduce new motor control components such as manual motor starters and combination starters that utilize Fuji's proprietary circuit breaking technology to achieve space savings, higher circuit breaking performance, and type 2 coordination for short-circuit protection.

エネルギー管理システム用機器

吉田　隆　　谷　敏明　　高橋　文人

富士時報　Vol.79 No.2 p.190-194（2006）

最適な機器選択によるエネルギー管理システムを構築するため，遮断器一体形シリーズの電力監視機器を開発した。「FePSU」は主に新設設備用途に最適な機器で，電子式電力量計「JF シリーズ」はテナント盤での課金用途，分電盤に最適な機器である。また，F-MPC シリーズおよび FePSU を Ethernet に接続するためのネットワーク機器として「MPC-Web ユニット」を開発したので，これらの機器について紹介する。

Devices for Energy Management Systems

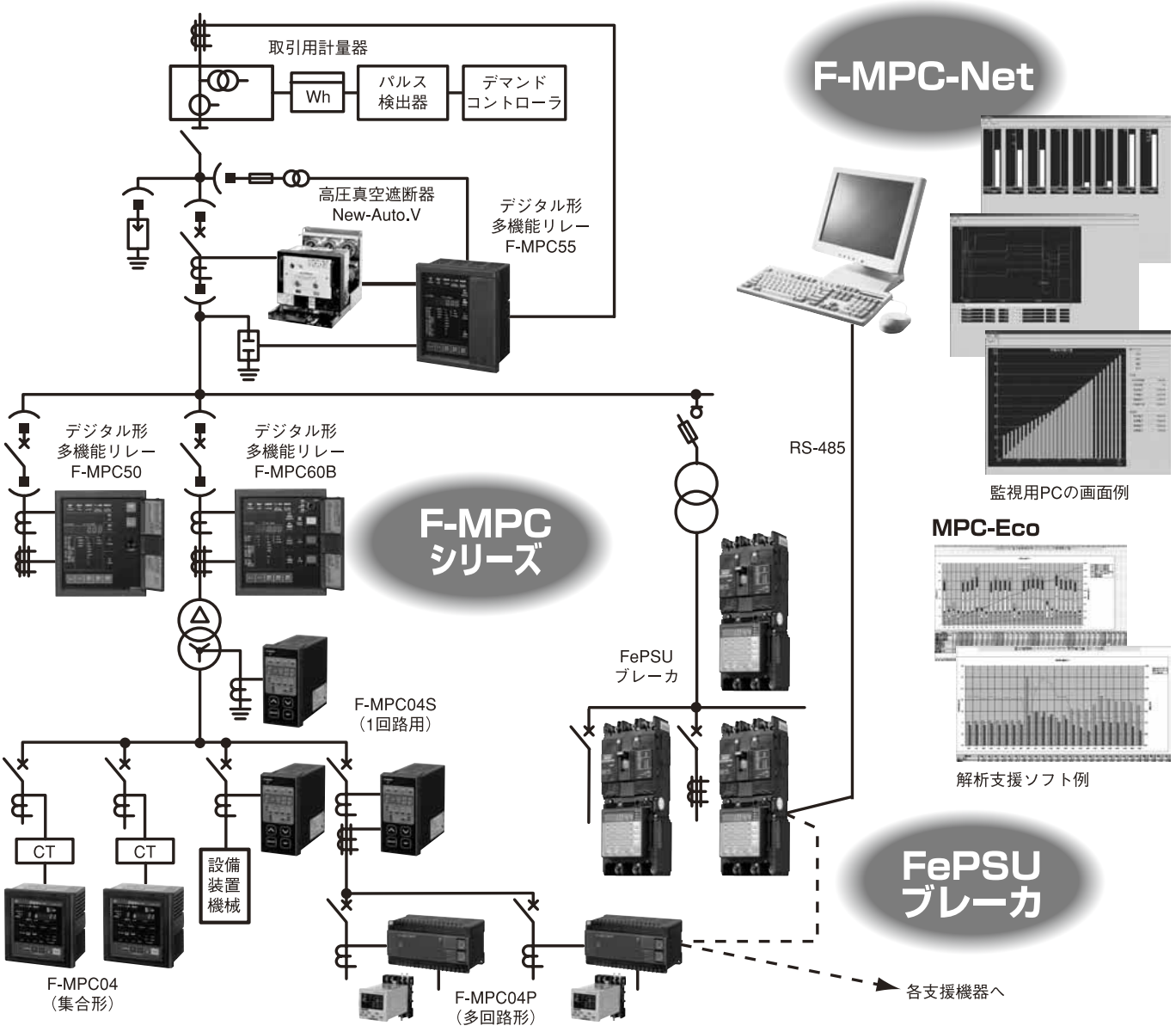
Takashi Yoshida Toshiaki Tani Fumito Takahashi
Fuji Electric Journal Vol.79 No.2 p.190–194 (2006)

Fuji Electric has developed a series of power monitoring devices with integrated circuit breakers to provide a selection of optimal devices for the configuration of energy management systems. The FePSU is an optimal device for newly constructed facilities and the JF-Series of electronic power meters is optimal for distribution boards, or for billing use with a tenant board. Moreover, an MPC-Web unit has been developed as a network device for connecting the F-MPC series and the FePSU to an Ethernet. This paper introduces these devices.

e-Front runners

「高圧から低圧まで快適省エネ」をサポートします。

～ 改正省エネ法は,平成18年4月1日から施行 ～



富士電機の省エネルギー支援機器・システム

お問合せ先：富士電機機器制御株式会社 器具事業部 事業企画部 電話(03)5847-8060, 営業技術部 電話(048)547-1143

昭和 40 年 6 月 3 日　第三種郵便物認可　平成 18 年 3 月 10 日発行（年 6 回 1，3，5，7，9，11 月の 10 日発行）富士時報　第 79 巻　第 2 号（通巻第 837 号）

本紙は再生紙を使用しています。

雑誌コード 07797-3　　定価 735 円（本体 700 円）