

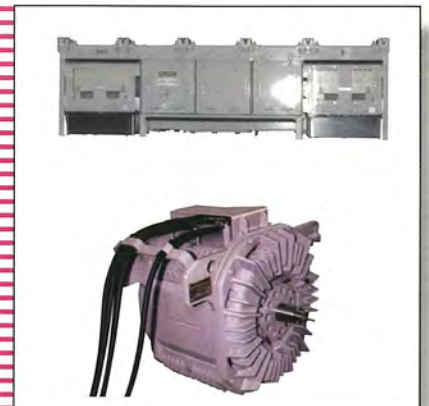
MITSUBISHI

三菱電機技報

Vol.80 No.12

2006 **12**

特集Ⅰ「開閉極位相制御技術」
特集Ⅱ「交通システム」



目次

特集I「開閉極位相制御技術」

開閉極位相制御技術特集号に寄せて……………1
Klaus Fröhlich

開閉極位相制御技術の現状と将来動向……………2
伊藤弘基

開閉極位相制御技術の試験規格に準じた遮断器の特性評価 ……6
木下定之・香山治彦・伊藤弘基

開閉極位相制御装置の制御アルゴリズム ……………10
葛田広幸・平位隆史・香山治彦

開閉極位相制御の調相設備用途への適用と運用実績 ……14
香山治彦・森 智仁・鳥井宣尚

変圧器用途への開閉極位相制御システムの適用 ……………18
亀井健次・香山治彦・伊藤弘基

開閉極位相制御用センサ技術 ……………22
中島利郎・西浦竜一・白附晶英

開閉極位相制御を利用した遮断器のCBM管理……………26
藤井茂雄・山本 綾・大藤健司

配電系統への適用：電磁操作真空遮断器を用いた閉極位相制御 ……30
堀之内克彦・佐藤伸治・丸山昭彦

特集II「交通システム」

次世代の交通システムに望む
—鉄道システムにおける第3の波— ……………34
中村英夫

交通システムの動向と展望 ……………35
四方 進・金田順一郎・駒谷喜代俊

統合化車両制御システムの動向と展望 ……………39
本間英寿・角南健次

車両推進システムの動向と展望 ……………43
菊池高弘・寺澤英男

水冷主変換装置 ……………47
山崎尚徳・東矢和義・中山 靖

鉄道車両用駆動機器の低騒音化 ……………51
原田博志・兼井延浩・坂根正道・濱名宏彰

車上—地上間連携による情報システムの動向 ……………55
竹山雅之・大橋 聡・出口生滋

異常時における交通情報システムの新しいサービス ……59
沖 雅雄・玄田和行・中桐慶之

普通論文

IP対応衛星通信小型可搬局装置 ……………63
木村敏章・今井 徹・田中秀幸・渡辺真木子

特許と新案

「電力開閉装置」……………67

「変圧器励磁突入電流抑制装置」……………68

三菱電機技報80巻総目次……………69

Controlled Switching System

Opening Remarks : Special Issue on Controlled Switching
Klaus Fröhlich

Current Status and Future Trend of Controlled Switching System
Hiroki Ito

Circuit—Breaker Characteristics in Accordance with IEC Standard Proposed for Controlled Switching System
Sadayuki Kinoshita, Haruhiko Koyama, Hiroki Ito

Control Algorithm of Controlled Switching System
Hiroyuki Tsutada, Takashi Hirai, Haruhiko Koyama

Field Experience of Controlled Switching for Reactor and Capacitor Switching
Haruhiko Koyama, Tomohito Mori, Nobuhisa Torii

Applying Controlled Switching System to Power Transformer
Kenji Kamei, Haruhiko Koyama, Hiroki Ito

Sensors for Controlled Switching System
Toshiro Nakashima, Ryuichi Nishiura, Akihide Shiratsuki

Condition Based Maintenance of Gas Circuit Breaker Using Synchronous Switching Control
Shigeo Fujii, Aya Yamamoto, Kenji Ofuji

Applying to Power Distribution System : Synchronous Control Closing using Electromagnetically Actuated VCB
Katsuhiko Horinouchi, Shinji Sato, Akihiko Maruyama

Transportation Systems

Expectation for Next Generation's Transportation System
“The Third Wave in Railway System”
Hideo Nakamura

Overview of Transportation Systems
Susumu Shikata, Junichiro Kaneda, Kiyotoshi Komaya

Trend and Prospect of Train Integrated Management System
Hidetoshi Homma, Kenji Sunami

Trend and Prospect of Traction Systems
Takahiro Kikuchi, Hideo Terasawa

Converter/Inverter with Water Cooling System
Hisanori Yamasaki, Kazuyoshi Toya, Yasushi Nakayama

Noise Reduction of Driving Equipments for Railway Rolling Stock
Hiroshi Harada, Nobuhiro Kanei, Masamichi Sakane, Hiroaki Hamana

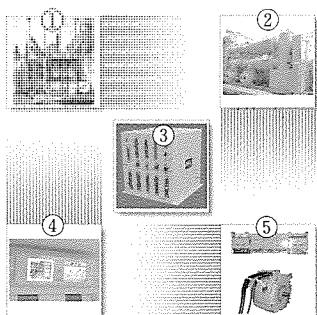
Trend of Information System between Rollingstock and On—ground
Masayuki Takeyama, Satoshi Ohashi, Seiji Deguchi

Advanced Service of Transportaion Information System for Irregular Train Operation
Masao Oki, Kazuyuki Genda, Yoshiyuki Nakagiri

Portable Satellite System for IP Data Transmission
Toshiaki Kimura, Tooru Imai, Hideyuki Tanaka, Makiko Watanabe

スポットライト

開閉機器用センサ技術—センサが拓く保守の新時代—



表紙：開閉極位相制御装置

この特集は、開閉極位相制御システムの最新技術と技術動向について述べたものである。表紙の写真は、①操作箱内に位相制御装置を内蔵した電力用コンデンサ開閉用のガス遮断器、②集中制御箱内に位相制御装置を内蔵した分路リアクトル開閉用のガス遮断器、③変圧器の残留磁束に応じた位相制御を行う開閉極位相制御装置を示す。

表紙：鉄道の価値向上を担う車両システム機器

三菱電機は、鉄道事業において、より快適で信頼性の高い安全・安定輸送を実現する様々な車両システム機器を供給している。表紙の写真は、乗客サービス向上を目的とし、ドア上に設置され、広告や行先案内、運行情報等を表示するトレインビジョンシステム(④)と、推進駆動装置の代表である主電動機と推進制御装置(⑤)である。

！ 開閉極位相制御技術特集号に寄せて

Opening Remarks : Special Issue on Controlled Switching



Klaus Fröhlich

Although transmission and distribution systems of electric energy can be claimed to be mature and extremely reliable, research and development efforts aimed at further improvement have never ceased, even in the difficult days of liberalization and cutting of funds for new investments in the utilities. The search for new solutions has been focussed towards reduction of maintenance costs by introduction of new procedures and employment of intelligence for the equipment provided by modern information technology tools.

Controlled switching of HVAC circuit-breakers, which is already widely applied for applications such as switching of capacitive and small inductive currents, is one of these solutions that can provide several technical and economical benefits. Avoidance of high inrush currents and serious temporary switching overvoltages as well as the reduction of the stress on an adjacent equipment or the maintenance burden on a frequently switched circuit-breakers are one of the most important advantages. The overall benefits were summarised in detail in a series of documents issued by CIGRE WG A3.07.

Japan has extensively developed controlled switching for a long time, thus having a long tradition in the subject. A new application to transformer energization considering the residual flux in the transformer core was

realized and successfully demonstrated in a practical field. Controlled switching of power transformers can be a cost effective solution to mitigate the problem of high inrush currents, the latter may lead protective relay mal-operation and power quality reduction. The rapid advances in the use of digital equipment will soon open new possibility for series compensated line, load & fault switching and circuit-breaker up-rating.

The special issue covers the basics of controlled switching and introduces the more common applications for capacitor and reactor switching and more recent developments for a state-of-the-art technology transformer switching. Testing requirements and the benefits of controlled switching will also be summarized based on the survey of CIGRE WG A3.07.

I gratefully acknowledge the contributors, who evolve in promoting research, design and testing of controlled switching systems at Mitsubishi Electric Corporation, presented an updated technical view of controlled switching systems. No doubt, these following series of technical papers will give guidance to the users on how to study, specify and test the controlled switching system and assist them to assess the effectiveness of the system in Japan.

〈抄訳〉

電力自由化及び電力会社の設備投資抑制という困難な状況下にあっても、信頼性が非常に高く成熟した技術とされている系統変電システムの研究開発は、決してその歩みを止めることはない。現在、その研究は、ITなど先端機器を応用した保守コストの削減に関する新技術開発に注力されている。

開閉極位相制御技術は、進み・遅れ小電流開閉に広く適用され、過酷な突入電流や過電圧の回避のほか、変電機器へのストレスや保守作業の軽減など数多くの技術的・経済的利点があることが示されている。これら位相制御の導入メリットについては、CIGRE(Conseil International des Grands Reseaux Electriques) WGA3.07から発行された文書に詳しくまとめられている。

日本は、古くから位相制御の開発に精力的に取り組み、最近では、変圧器鉄心の残留磁束を考慮した開閉極位相制御システムの実系統での運用に成功している。変圧器用開閉極位相制御

システムは、過大な励磁突入電流の緩和と、これに伴う保護リレーの誤動作を防止、及び電力品質の向上を達成する経済的な解決策として期待されている。

また、デジタル機器の急速な進歩に伴って、補償線路開閉、負荷電流及び故障電流遮断への適用、さらには、遮断器の格上げ適用としての位相制御の実用化が進められている。

今回の開閉極位相制御技術の特集号では、位相制御の基本原則、コンデンサ、リアクトル、変圧器開閉などの分野への適用実績、試験要求などが述べられている。

三菱電機において開閉極位相制御システムの研究開発・設計・試験に携わり、その成果に基づき、最新位相制御技術の執筆に取り組んだ諸氏に敬意を表する。また、この特集論文が、開閉極位相制御システムの適用、仕様、試験及び導入効果を検討しようとする日本の電力関係者の良き手引きとなることを確信している。



伊藤弘基*

開閉極位相制御技術の現状と将来動向

Current Status and Future Trend of Controlled Switching System

Hiroki Ito

要旨

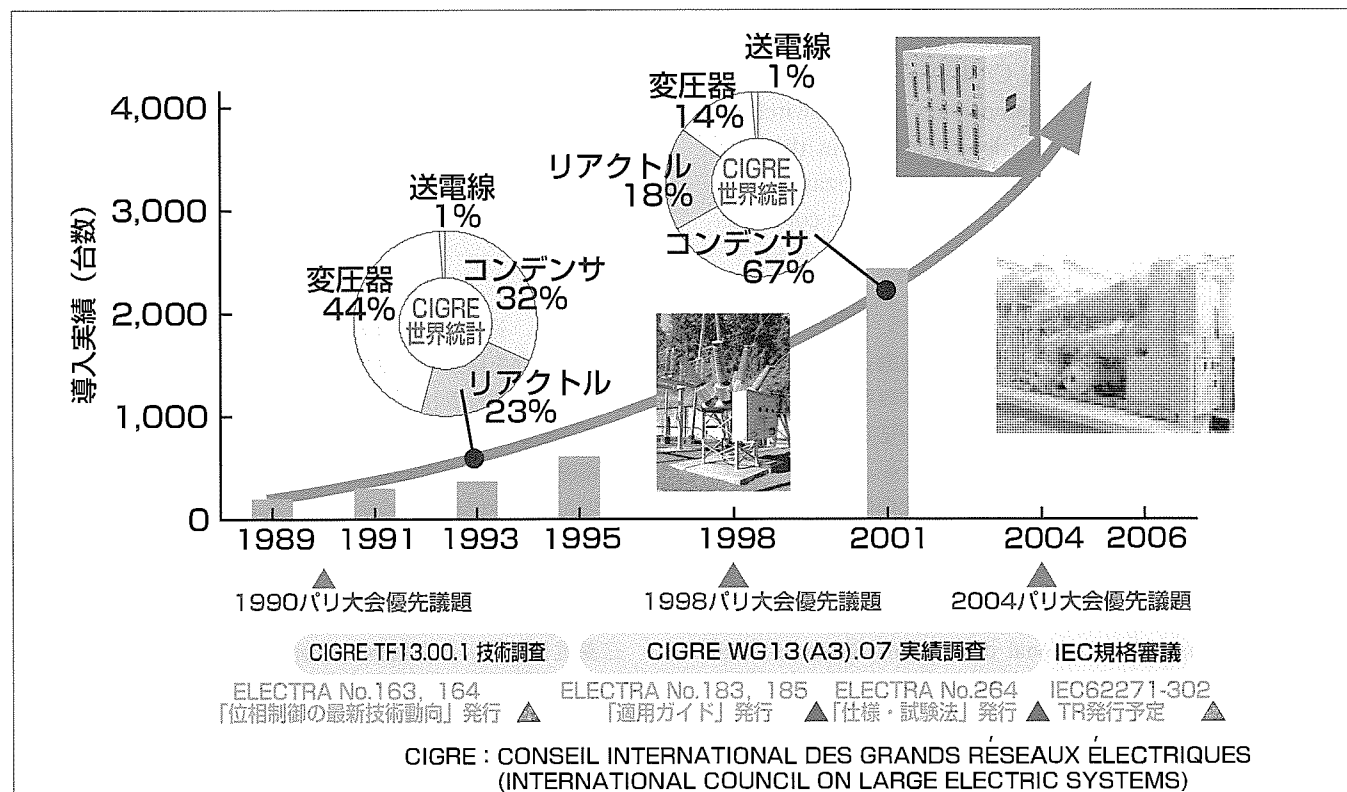
電力の自由化・規制緩和の進展，地球環境問題への意識の高まり，IT化を始めとする新しい技術の適用により，電力流通システムを取り巻く環境は大きく変貌（へんぼう）を遂げ，電力流通システムのライフサイクルコスト低減がより重要視されている。また，変電設備に対するニーズも大きく様変わりして，電力市場の競争激化に対応した変電機器のコストパフォーマンスに対する関心が高まってきている。

このような変化に対応して，電力流通システムの中で重要な役割を担っている変電機器の開発・研究の主題が1980年代後半ごろから“機器の大容量化・性能向上”から“システム信頼性の向上及び保守の最適化”に移行してきた。特に，デジタル制御，位相制御及び監視診断技術が実用レベルとなり，CIGRE（国際大電力システム会議）において，開閉極位相制御及び変電機器の信頼性・保守方法の実態調査や見直し議論が実施された。1990年代後半になると，“開閉変電機器の寿命延長”及び“ライフサイクルコスト低

減”の市場要求が強まり，変電機器の“コンパクト化”“高信頼性”“低操作力”に主眼を置いた研究開発が進み，日本では550kV 1点切り遮断器やUHV（Ultra High Voltage）開閉装置（2点切り）が製品化された。

開閉極位相制御方式は，遮断器の投入抵抗に代わり，開閉サージを抑制できる経済的な手段として，1990年代後半から欧米を中心に急速に普及が拡大し，海外における電力用コンデンサ及び分路リアクトル用途の遮断器は位相制御が仕様化される事例が多くなっている。また，電源の開閉動作時における電力品質確保の重要性が高まり，変圧器の残留磁束を考慮した位相制御投入も実用化され，頻繁な開閉が行われる発電所近傍の開閉機器への適用が増加している。

開閉極位相制御システムに関する試験方法を規定する国際規格（IEC62271-302）の制定により，既存開閉機器への適用基準も明確になり，開閉極位相制御方式の普及が更に増加するものと思われる。



CIGREにおける開閉極位相制御システムの実績調査

導入実績は，世界累計で4,000台を超えていると推測される。用途別では，電力用コンデンサ投入時の突入電流抑制を目的とした適用が最も多く，7割を占める。日本では，分路リアクトル遮断時の再発弧防止を目的とした適用が多く，約30台が実運用されている。

1. ま え が き

CIGRE調査によると、開閉極位相制御システム(Controlled Switching System: CSS)の導入実績は、世界累計で4,000台を超えていると推測される。用途別では、電力用コンデンサ投入時の突入電流抑制を目的とした適用が最も多く、全実績の7割を占める。日本では、分路リアクトル遮断時の再発弧防止を目的とした適用が多く、約30台が実運用されている。また、電力用コンデンサバンクは、第5調波抑制を目的として挿入されている直列リアクトルにより突入電流が抑制されているため、国内の適用実績は見られない。

CIGREでは、1990年にTF13.00.1が設立され、位相制御の実用化に向けた当時の技術課題などを取りまとめている⁽¹⁾。実システムへの導入が急増した1995年にWG13.07(CIGRE組織再編に伴い2002年にWGA3.07へ改称)が設立され、実システムでの運用実態を詳細に調査⁽²⁾して、CSSに必要な推奨形式試験項目と試験手順を取りまとめている⁽³⁾。文書では、高い動作安定性が要求されるCSSでは遮断器の動作時間の変動に対する補正機能が重要であり、実態調査に基づき、その変動量が各動作条件(周囲温度、制御電圧、操作圧力など)の独立の関数として近似できるという前提でその試験法が取りまとめられている。また、遮断器の休止時間に依存して最大数msの動作時間遅れが発生することが観測され⁽³⁾⁽⁴⁾、位相制御の長所を引き出すためには、この特性を補正する重要性を指摘している。

最近では、電力自由化に伴う多様な電源の運用制御に対応する頻繁な遮断器の開閉動作に対応して、残留磁束を考慮した変圧器投入時の励磁突入電流抑制技術⁽⁵⁾、送電線の残留電荷、又は補償度の高い線路投入時の過電圧抑制技術⁽⁶⁾も実用化され、その適用が拡大している。

2. 開閉極位相制御アルゴリズム

開閉極位相制御システム(CSS)は、三相が独立操作可能な遮断器、系統電圧、主回路電流、周囲温度、主接点の動作行程などを計測するセンサ、遮断器の開閉極動作時間を予測するとともに、開閉極タイミングを制御する位相制御コントローラから構成される。

CSSは、任意時刻に入力される遮断器の開閉極指令に対して、遮断器各相の開閉極動作時間を予測し、系統電圧・電流を参照しながら、開閉サージを抑制できる目標開放・投入位相点から予測開閉極動作時間を差し引いたタイミングにおいて、遮断器各相に開閉極信号を出力する。図1は、電圧波高点において投入する閉極制御シーケンスを示す。目標となる開閉極位相は、遮断器の適用対象により異なる。図2には、適用責務別(無負荷変圧器、無負荷送電線、分路リアクトル、電力用コンデンサ)の開閉時の問題点と、

それを解決する最適開閉極目標を示す。

3. 適用責務

3.1 調相設備における開閉サージの抑制

電力用コンデンサバンク(以下“コンデンサバンク”という。)の開閉において、系統電圧の波高値付近でコンデンサを投入すると、過大な突入電流が発生する場合がある。また、累積遮断回数が多い遮断器が最小アーク時間で進み小電流を遮断する場合に、再点弧による事故発生確率が高まるという問題点が指摘されている。

コンデンサバンク用途の遮断器にCSSを適用すると、閉極時における突入電流及び過電圧の低減、開極時における無再点弧信頼性が向上するという技術的長所に加えて、直列リアクトル装置の排除、遮断器及びコンデンサバンクの寿命が延長できるという経済的利点が期待できる。

分路リアクトルバンク(以下“リアクトルバンク”という。)の開閉において、最小アーク時間より短い遮断時間で遅れ小電流を遮断すると、再発弧による過酷な過電圧が発生する場合がある。一方、最大アーク時間付近で遮断すると、遮断性能が高まるため、電流遮断による過電圧の発生が問題となる場合もある。

リアクトル遮断現象は、電流零点における遮断器接点の極間距離に応じて、①極間絶縁耐力が系統電圧を上回り再

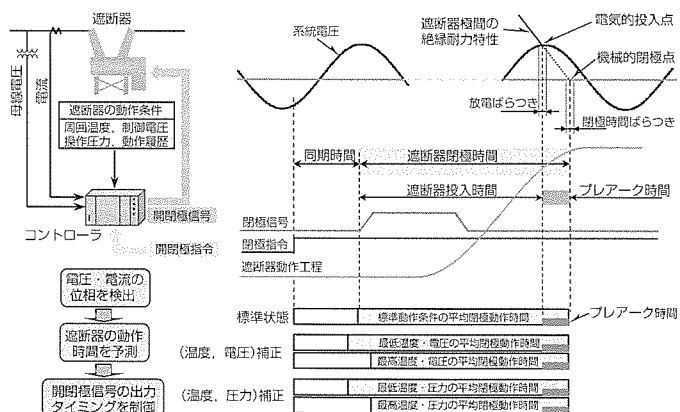


図1. 開閉極位相制御のシーケンス

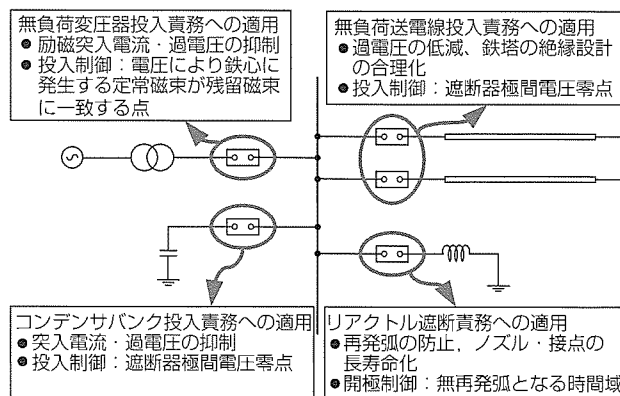


図2. 開閉サージの問題点とその解決策

発弧を生じない場合、②極間距離が短く再発弧を生じる場合、③更に極間距離が短く熱的な再発弧を生じる場合がある。熱的な再発弧が発生しても系統や機器に悪影響を与えるような現象は発生せず、極間絶縁耐力が高まる半サイクル後の電流零点において遮断できるため、①と③を合わせた時間域が開極目標となる(図3)。再発弧過電圧は、裁断過電圧より過酷となるケースが多いため、アーク時間を長くする位相制御が一般的である。

リアクトルバンク用途の遮断器にCSSを適用して無再発弧となる時間域で開極すると、再発弧の防止、ノズル・接点損傷の回避という技術的長所(CIGRE調査によると、調相用途の多頻度開閉となる遮断器の接触子及びノズルの交換周期が約2~3倍延長できると報告されている)に加えて、遮断器保守周期の延長、事故確率の低減という経済的利点が期待できる。

3.2 変圧器励磁突入電流の抑制

無負荷変圧器を投入すると、数千Aに達する励磁突入電流と過酷な電圧変動が発生する場合がある。

変圧器用途の遮断器にCSSを適用すると、励磁突入電流及び過電圧の抑制、リレー誤動作の防止という技術的長所に加えて、変圧器余寿命の延長、需要家の電力品質向上という経済的利点が期待できる。海外では、過負荷状況下で多頻度開閉される変圧器の絶縁劣化に伴う事故が問題視されており、変圧器へ電氣的・機械的ストレスを低減する方策として、位相制御の導入事例が増加している。

変圧器の鉄心に過渡的な磁束が発生すると、磁気飽和により励磁突入電流が過大となるため、投入時には変圧器各相の残留磁束を把握して過渡磁束を発生させないタイミングで遮断器を投入する必要がある(図4)。残留磁束は、変圧器に接続した遮断器を開放した際の電圧挙動を測定して、この値を積分することにより、精度良く求めることができる。

3.3 送電線過電圧の抑制

無負荷送電線を投入すると、過酷な過電圧が発生する場合がある。送電線用途の遮断器にCSSを適用すると、過電圧の低減、無再点弧信頼性の向上という技術的長所に加えて、抵抗投入の削除、避雷器・鉄塔の絶縁レベルの低減による建設コスト削減という経済的利点が期待できる。

送電線に巻線形変成器が設置されている場合、送電線の切り離し後、100ms程度⁽²⁾で電荷が放電されるため、電源電圧零点が投入目標となる。一方、電荷が残留する場合には、残留電荷と同極性の電源電圧波高点が目標となる(図5)。海外では、一線地絡時に三相再閉路を実施する場合がありますが、リアクトル補償された線路の健全相において遮断器の極間に発生する周期的なビート波形の振幅が小さい時間帯に投入制御が実施される例がある⁽⁶⁾(図6)。

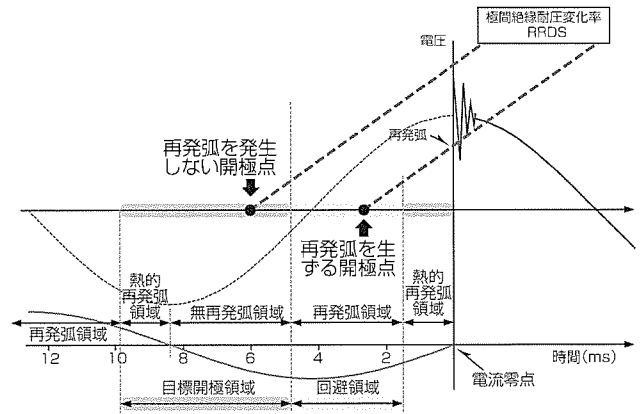


図3. 閉極位制御による再発弧の防止

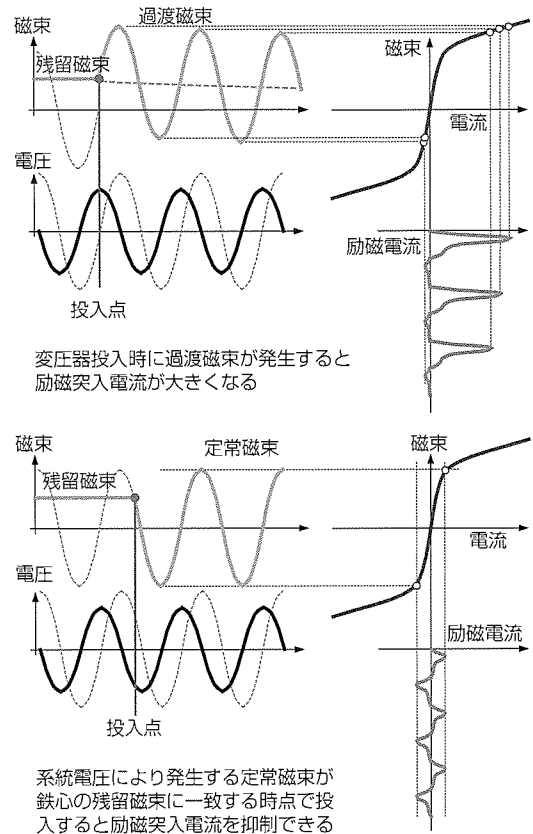
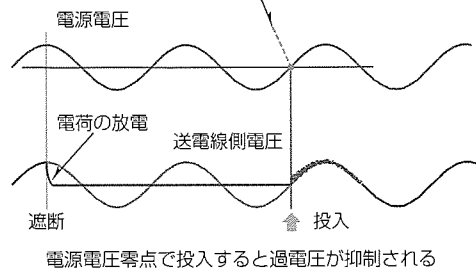


図4. 変圧器鉄心の過渡磁束と励磁電流

4. む す び

CSSが急速に普及した理由として、①実系統においてシステムの信頼性が確保されたこと、②形式試験項目と手順が取りまとめられたこと、③電力自由化に伴い系統における遮断器の制御開閉動作が増加したことなどが挙げられる。CSSは、主器の保守周期延長や投入抵抗の削除という経済的な利点だけでなく、電力品質の向上、運用自由度の拡大などの利点をもたらすため、既設開閉機器を含めて今後ますます普及が増加して将来的には遮断器の制御回路に標準的に取り込まれてくる可能性も考えられる。また、技術開発の進展に伴い、故障電流遮断制御による電氣的耐久性の

(a) 巻線形変成器により送電線の電荷が放電される場合



(b) 送電線の電荷が残留する場合

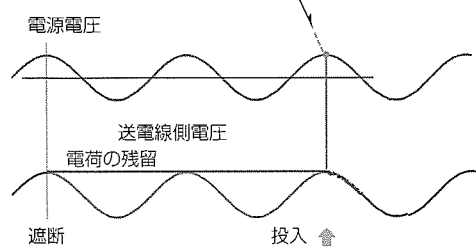


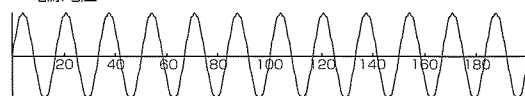
図5. 無負荷送電線の投入目標点

延長，線路開閉への適用による避雷器配置及び絶縁設計合理化，さらに，CSSに記録される遮断器動作履歴の情報を利用した遠隔診断やCBM(Condition Based Maintenance：状態監視保全)への応用が実用化されることにより更なる機器信頼性の向上も期待されている。

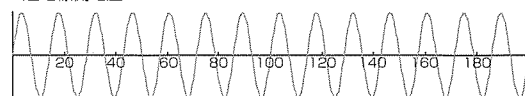
参考文献

- (1) CIGRE TF13.00.1 : Controlled Switching, State-of-the-Art Survey, Part 1 ; ELECTRA, No.162, 65~96, Part 2 ; ELECTRA No.164, 39~61 (1995)
- (2) CIGRE WG13.07 : Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers ; Guide for Application, Part 1 ; ELECTRA No.183, 43~73, Part 2 ; ELECTRA No.185, 37~57 (1999)
- (3) CIGRE WG13.07 : Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers : Planning, Specification and Testing of Controlled Switching Systems, ELECTRA, No.197, 23~733 (2001)
- (4) CIGRE 2004 Session A3-114 : Factory and Field

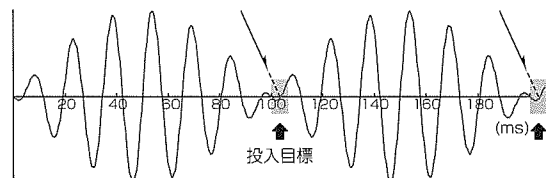
電源電圧



送電線側電圧

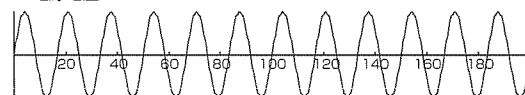


CB極間電圧

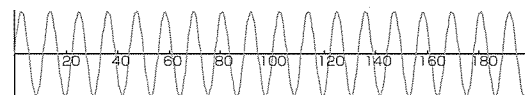


(a) 線路の補償度が大きい場合

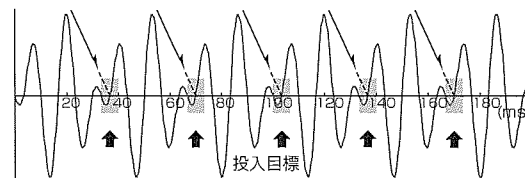
電源電圧



送電線側電圧



CB極間電圧



(b) 線路の補償度が小さい場合

図6. 補償線路の投入目標点

Testing of Controlled Switching Systems and their Service Experience.

- (5) CIGRE 2005 Colloquium A3&B3-209 : Application of Controlled Switching System for Transformer Energization taking into account a Residual Flux in Transformer Core.
- (6) Fröhlich, K., et al. : Controlled closing on shunt reactor compensated transmission lines, IEEE Transactions on, Power Delivery, **12**, 734~740 (1997-4)

開閉極位相制御技術の試験規格に準じた遮断器の特性評価

木下定之*
香山治彦*
伊藤弘基**

Circuit-Breaker Characteristics in Accordance with IEC Standard Proposed for Controlled Switching System
Sadayuki Kinoshita, Haruhiko Koyama, Hiroki Ito

要旨

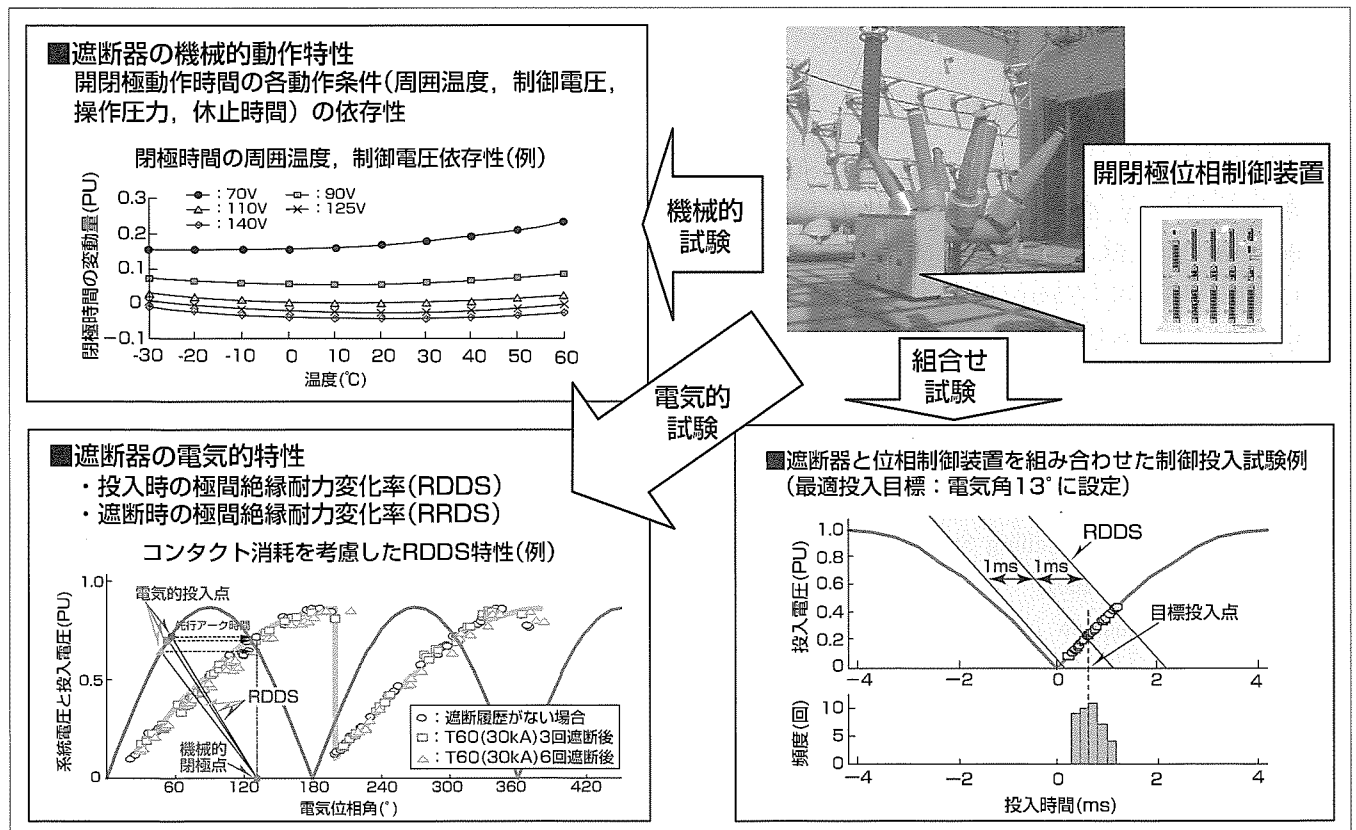
開閉サージが最小となる最適位相で遮断器を開閉極させる開閉極位相制御では、周囲温度、制御電圧、操作圧力、及び動作履歴に対する遮断器の開閉極動作時間の変動を正確に予測することが重要となる。

CIGRE(Conseil International des Grands Reseaux Electriques)は実系統における位相制御の運用実態を調査して、推奨形式試験項目と試験手順の検討を行い、この提案に基づき、IEC(International Electrotechnical

Commission)では試験規格を取りまとめ、間もなく規格文書IEC62271-302が発行される。この試験規格においては、開閉極位相制御システム(CSS)では開閉極動作時間の変動に対する補正機能が重要となることが強調されている。

本稿では、国際規格IEC62271-302に規定されている形式試験項目と試験手順について述べるとともに、この規格に準じて行った遮断器の動作特性及びCSSの組合せ試験について述べる。

特集
I



開閉極位相制御技術の試験規格に準じた特性評価例

開閉サージが最小となる最適位相において遮断器を開閉する開閉極位相制御技術は、遮断器開閉時の極間絶縁耐力特性、及び動作条件に依存する開閉動作特性を正確に把握することが重要である。IEC規格に準拠して試験を実施した開閉極位相制御システムは、試験により評価された動作特性データに基づく動作補正機能により、任意の電気位相角において開閉極制御できることを確認した。

1. ま え が き

CIGREは、実系統におけるCSSの運用実態を詳細に調査して、CSSに必要とされる形式試験項目と試験手順を提案している⁽¹⁾。この提案に基づき、試験規格IEC62271-302が取りまとめられ、間もなく規格文書が発行される。

本稿では、新規規格IEC62271-302の形式試験内容に準じて実施した遮断器とCSSの組合せ試験結果を述べる。

2. 形式試験項目と試験手順

IEC62271-302に規定されるCSSに適用する遮断器に要求される形式試験項目と試験内容を表1に示す。この規格では、従来からの交流遮断器規格IEC62271-100に準じた試験に加えて、以下の試験項目が追加される。

- 遮断器の特定動作条件に対する開閉極動作時間を評価する機械的特性試験
- 遮断器の開閉極時における極間絶縁耐圧の変化を評価する電気的特性試験
- 遮断器、開閉極位相制御装置、センサ等を組み合わせたCSSを特定位相で開閉極する位相制御開閉試験

2.1 遮断器の機械的特性試験

遮断器の開閉極時間は、周囲温度、制御電圧、操作油圧力等の動作条件に依存して変化するだけでなく、遮断器の動作履歴及び休止時間(前回動作から次回動作までの時間間隔)によっても変化するため、規格では、その変動量の動作条件及び動作履歴に対する依存性を評価する試験が規定された。

表1. CSSに適用する遮断器の形式試験(抜粋)

項目	試験内容	
機械的試験	開閉動作時間のばらつき測定	標準動作条件(各動作条件の定格値)下で無負荷開閉操作を100回
	開閉動作時間の周囲温度依存性	-10~40℃の範囲において、15℃間隔で無負荷開閉操作を各10回
	開閉動作時間の制御電圧依存性	定格制御電圧の70%, 85%, 100%, 110%で無負荷開閉操作を各10回
	開閉動作時間の操作圧力依存性	定格制御電圧の85%, 93%, 100%, 110%で無負荷開閉操作を各10回
	開閉動作時間の休止時間依存性	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 168hを空けて無負荷開閉操作を行う
電気的試験	投入時のRRDS特性	遮断履歴がない遮断器及びT60(短絡試験3号)を3回実施した遮断器について、試験電圧の1周期(電気角0~360°)にわたって15°間隔で閉極操作を各4回 試験電圧: 定格電圧/ $\sqrt{3}$ の1.5倍 試験電流: 400A以下
	遮断時のRRDS特性	RRDS試験と同じ。ただし、試験電流は315A
組合試験	位相制御投入	目標投入点を電圧零点、又は電圧波高点に設定した開閉試験を行う
	進み電流開閉 短絡責務T100a	試験電圧: 定格電圧/ $\sqrt{3}$ 又は 定格電圧/ 3の1.5倍

遮断器の操作装置は、開閉極指令により電磁コイルを励磁して係止装置の係合を解除して、油圧又はばねエネルギーを開放することにより、遮断器消弧室の主接点を駆動する。この掛け金の係合を解除する電磁石の動作特性は、コイル電流を変える制御電圧及びコイル抵抗に影響を与える周囲温度に依存する。また、その構造に多くの機械的摺動(しゅうどう)部を持つ遮断器の開閉動作特性は、摺動面の潤滑又は摩擦係数を変える周囲温度、過去の動作履歴及び遮断器の動作時間に依存する。さらに、油圧操作又は空気操作の場合には、油圧及び空気圧も動作特性に影響を与える。

遮断器の繰り返し開閉極動作に伴う摺動部品の磨耗等に起因した動作特性の変動量は、最近10回程度の開閉極動作時間実績と予測時間との比較から平均動作時間を補正する適合補正が有効であることが実証されている⁽²⁾。

一方、遮断器の休止時間に依存した動作特性は、摺動面の潤滑特性の経時変化及び油圧操作装置の油圧回路における気泡の発生により変化する。開極状態の低圧油圧回路中に発生した気泡は、閉極動作の初期において油が高圧状態へ移行する際に圧縮されるため、ピストンへの圧力伝搬が遅れる原因となる。この休止時間に依存した動作遅れを発生する操作装置では、その遅れが休止時間の数時間程度から顕著になり、100時間までに最大3ms程度で飽和する傾向が観測されている⁽²⁾。

開閉極位相制御は、これらの機械的動作特性試験によって得られた各種動作条件(状態量)における開閉極動作時間の変動量を開閉極位相制御装置内のプログラムに、1ないし2つの状態量の関数として記憶させることにより、開閉動作直前に計測された各状態量又は前回動作からの休止時間に対する開閉極時間の変動量を予測して、次回動作時間を補正する。

2.2 遮断器の電気的特性試験

遮断器の開極過程では極間距離の減少に伴い極間の絶縁耐力が低下するが、この絶縁耐力が極間に加わる系統電圧の波高値以下になった時点で、アーク接触子間の絶縁破壊に伴う先行アークが発生して電氣的に投入される。一方、開極過程では極間距離の増大に伴い極間の絶縁耐力が上昇していくが、この絶縁耐力が遮断後に極間に加わる過渡回復電圧を上回れば遮断が完了する。

開極位相制御は、アーク接触子間が絶縁破壊する投入位相を制御するため、遮断器閉極過程における極間絶縁耐力変化率(Rate of Decay of Dielectric Strength: RRDS)を把握する必要がある。また、遅れ小電流遮断制御は、遮断時の極間距離に対する絶縁耐力が過渡回復電圧の波高値を上回れば再発弧を防止できるため、遮断器開極過程における極間絶縁耐力変化率(Rate of Rise of Dielectric Strength: RRDS)を把握する必要がある。

RDDS及びRRDS特性は、遮断履歴による接触子等の消耗程度により若干変化すると考えられるため、交流遮断器規格(IEC62271-100)に規定されたC2クラスの遮断器に対する進み小電流開閉試験と同様に、プレコンディショニング試験(定格遮断電流60%の電流を3回遮断)を実施した後の特性を評価する形式試験が要求されている。

2.3 遮断器, センサ及び開閉極位相制御装置を組み合わせた位相制御開閉試験

遮断器(以下“GCB”という。), センサ及び開閉極位相制御装置を組み合わせたCSSの健全性を確認するために、所定の電圧又は電流位相角でGCBを投入あるいは遮断制御する試験が要求される。閉極位相制御の目標投入位相角は電圧零点及び電圧波高点で、最大20回の投入位相制御を実施して投入電圧を確認する。

3. 代表的な形式試験の実施結果

3.1 機械的動作特性試験

(1) 開閉極動作時間の動作条件依存性

145kVばね操作GCBを用いて制御電圧及び周囲温度を変化させて閉極動作時間を評価した結果を図1に示す。閉極動作時間は、電磁コイルに制御電流が流れ始めて係止装置の係合が解除されるまでの時間(以下“係合解除時間”という。)と、係合解除から操作装置によって遮断器主接点に接触するまでの時間(以下“接点動作時間”という。)に分けて測定した。この測定から、係合解除時間は制御電圧及び周囲温度に依存すること、また、接点動作時間は主に周囲温

度に依存することが分かる。接点動作時間への制御電圧依存性が小さい理由は、係合解除後には電磁石の動作が遮断器主接点の動作に影響を与えないためである。この係合解除時間に関する変動量の周囲温度依存性が各制御電圧に対して同程度と見なせる場合は、閉極動作時間の変動量は、周囲温度及び制御電圧の独立な関数の和として近似することが可能となる。

油圧操作GCBの場合、係合解除時間は制御電圧及び周囲温度に依存し、接点動作時間は操作圧力及び周囲温度に依存する。同様に、係合解除時間に関する変動量の周囲温度依存性が各制御電圧に対して同程度であり、また、接点動作時間に関する変動量の周囲温度依存性が操作圧力に対して同程度と見なせる場合は、閉極動作時間の変動量は、周囲温度、制御電圧及び操作圧力の独立な関数の和として近似することが可能となる。

(2) 開閉極動作時間の動作履歴依存性

図2は、300kV油圧操作GCBと145kVばね操作GCBについて閉極時間の休止時間依存性を測定した結果を示すものである⁽²⁾。油圧操作GCBは、低圧油圧回路中に発生した気泡により、休止時間数時間程度から動作遅れが観察され、休止時間100時間になると、その変動量が2msで飽和している。このように休止時間依存性は、明確な再現性があるGCBでは、休止時間依存性に基づいた閉極動作時間の変動を補正することにより、精度の高い閉極位相制御が可能となる。

一方、ばね操作GCBでは、一般的に、休止時間に依存した閉極動作時間の変動が比較的少ない。特に、このばね操作装置は、主な摺動部の潤滑にグリースを用いるのではなく、潤滑性を持つ化学的皮膜を適用しているため、休止時間が約1,000時間に至るまでほとんど動作遅れが生じないという非常に優れた特性を示している。

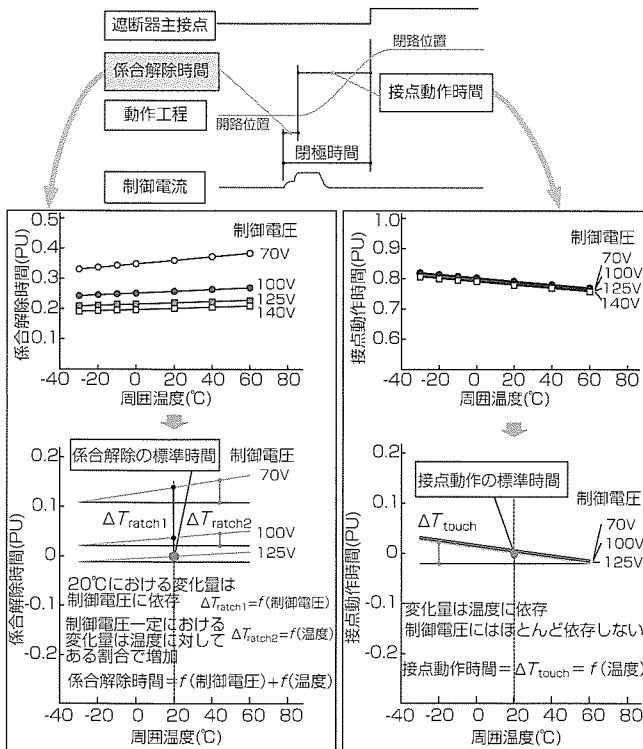


図1. 閉極時間の動作条件依存性

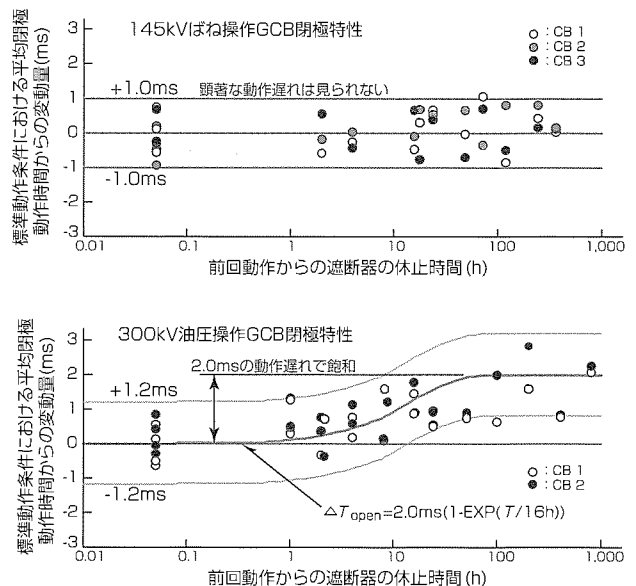


図2. 遮断器の休止時間に対する閉極時間の変化

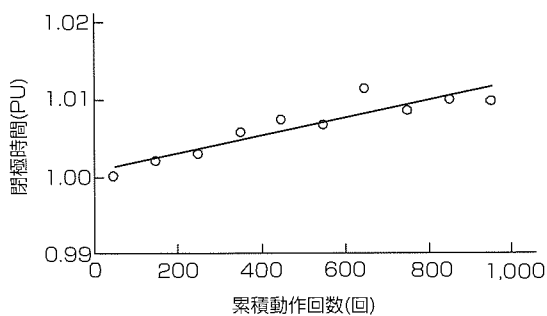


図3. 閉極時間の経時変化

図3は、多数回の連続開閉動作試験を実施したときに計測した閉極動作時間を標準動作条件に換算して、その平均閉極動作時間に対する変化量を評価した結果である。動作回数の増加によって平均閉極動作時間が変化しているが、この変動量は、ある一定のばらつき範囲にあるため、過去の動作履歴に基づき閉極動作時間を補正すれば、動作時間の予測精度を高めることが可能となる⁽³⁾。

3.2 電気的特性試験

図4は、電流遮断の履歴がない新品のノズル及び接触子を持つGCB、規格に準じたプレコンディショニング試験による遮断履歴を与えたGCB、及び試験規格より更に過酷な遮断履歴(定格遮断電流60%の電流を6回遮断)を与えたGCBについて、RDDS特性を評価した結果を示す。試験は極間電圧波形の1周期(電気角0~360°)にわたって、投入位相を15°ずつ変化させて行い、各試験時の先行アーク発生電圧を測定して閉極点における試験電圧に対してプロットしたものである。

この測定結果によると、定格遮断電流60%の電流を6回遮断した後のRDDS特性は、遮断履歴がない場合に比べて、最大10%程度変化するが、規格に決められた定格遮断電流60%の電流3回遮断後の特性は、2%程度の低下にとどまっている。

3.3 位相制御開閉試験

図5は、GCB、センサ及び開閉極位相制御装置を組み合わせた電圧零点を目標投入点とした投入位相制御試験の結果を示す。40回の投入位相制御の結果、動作時間±1msのばらつきの範囲でほぼ安定して投入されている。

4. むすび

開閉極位相制御の目標開閉極位相を決定する上で重要と

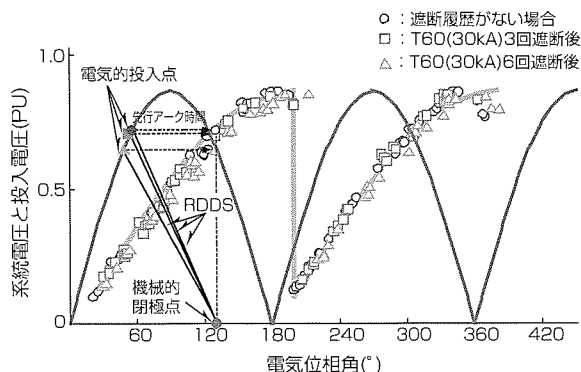


図4. RDDS特性(245kV GCBを用いた実験結果)

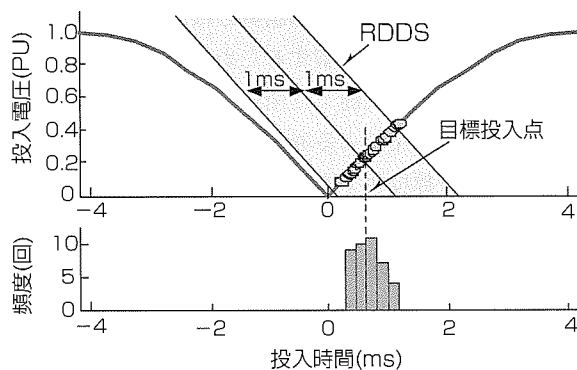


図5. 制御投入試験結果

なる遮断器の機械的動作特性試験、電気的特性試験などについて、IEC62271-302に準じた形式試験手順に従って評価した。その結果、規格の要求事項に準じて評価された開閉極位相制御システムは、その動作特性データに基づく動作補正機能により、任意の電気位相角において開閉極制御できることを確認した。

参考文献

- (1) CIGRE Working Group 13.07: Controlled Switching of HVDC circuit breakers, ELECTRA, No.197, 23~33 (2001-8)
- (2) Ito, H., et al: Factory and Field Testing of Controlled Switching Systems and Their Service Experience, CIGRE, A3-114 (2004)
- (3) 蔦田広幸, ほか: ガス遮断器開閉極位相制御装置の開発, 電気学会論文誌B, 121-B, No.7, 822~829 (2001)

開閉極位相制御装置の制御アルゴリズム

蔦田広幸*
平位隆史*
香山治彦**

Control Algorithm of Controlled Switching System

Hiroyuki Tsutada, Takashi Hirai, Haruhiko Koyama

要旨

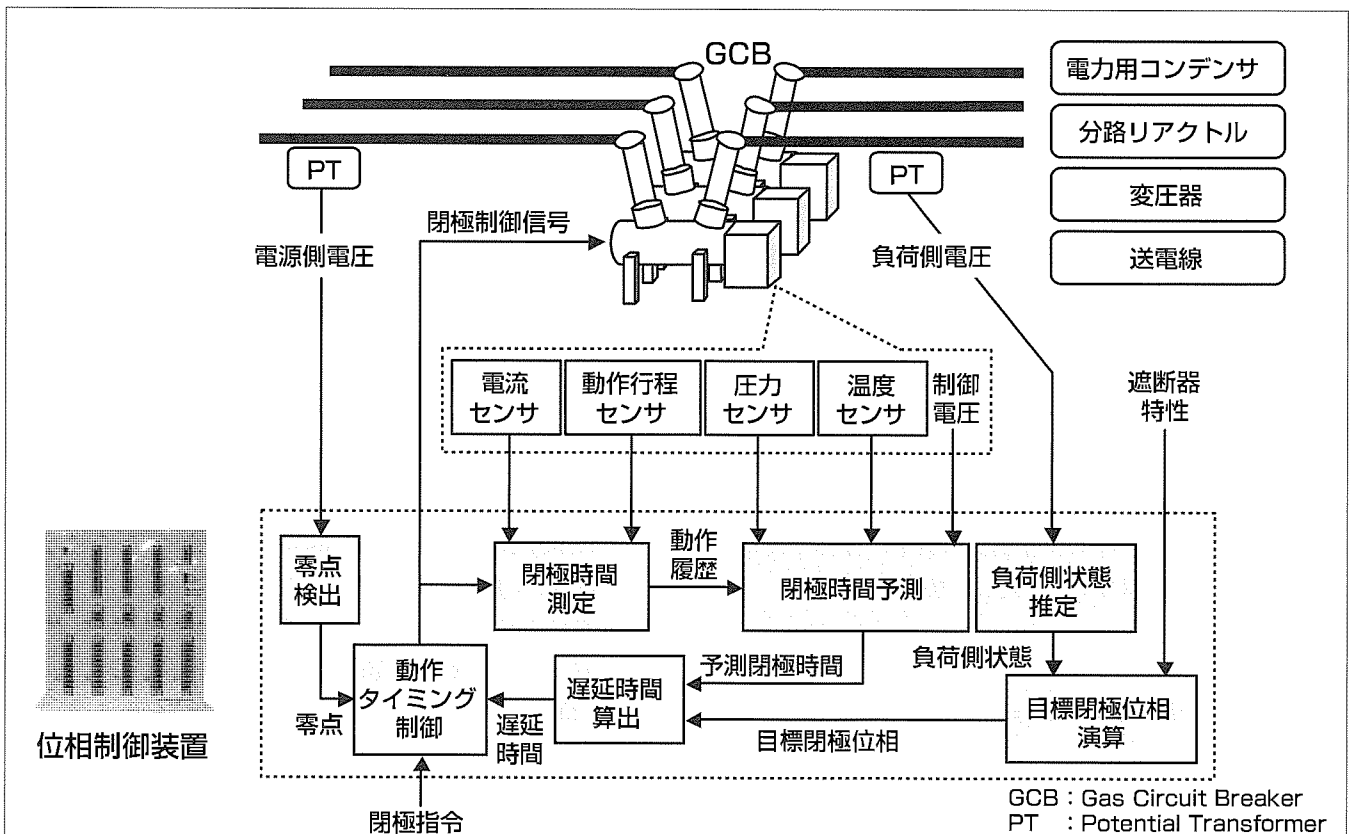
ガス遮断器の開閉動作時に発生する過電圧・過電流は機器の寿命・絶縁耐力・系統電圧の安定性に影響を及ぼすことが知られている。開閉極位相制御とは、これらの過電圧又は過電流の最過酷値を抑制するために、系統電圧の特定位相において遮断器を開極又は閉極させるものである。

開閉極位相制御適用による過電圧・過電流の抑制効果は、①いかに正確に目標位相で開閉極させるか、②開閉極すべき目標位相をどこに設定するか、によって決定される。このうち、本稿では①に焦点を当てている。

①を達成するための様々な要因のうち、特に開閉極時間を精度良く予測することが重要な課題となっている。三菱電機では、動作環境条件・過去の動作履歴・休止時間に基づいた補正方式を開発し、開閉極時間の予測精度を向上させることに成功した。

そこで本稿では、当社の開閉極位相制御装置の動作原理について述べた上で、開閉極時間の予測方法の詳細について述べる。また、遮断器との組合せ試験により、この方式の有効性を検証した結果についても述べる。

特集
I



開閉極位相制御装置の構成

開閉極位相制御装置は、遮断器の電気的特性・機械的動作ばらつき・負荷側状態を考慮した上で目標閉極位相を決定し、遮断器に設置された各種センサから得た動作環境条件や動作履歴・休止時間に基づいて次回の閉極時間を予測した上で、電源側電圧の目標閉極位相で閉極させるように、遮断器へ閉極制御信号を出力するタイミングを制御する。

1. ま え が き

開閉極位相制御装置における過電圧・過電流の抑制効果は、開閉極時間の予測精度に大きく依存している。そこで本稿では、当社の開閉極位相制御装置の動作原理について述べた上で、開閉極時間の予測精度を向上させる取り組みについて述べる。

2. 開閉極位相制御装置の動作原理

開閉極位相制御装置の動作原理について、閉極位相制御を例として、図1のブロック図及び図2のタイミングチャートを用いて述べる。

閉極位相制御では、系統電圧の特定位相において、遮断器極間を電氣的に通電開始(投入)させるために、遮断器極間の機械的接触(閉極)のタイミングを制御する。以下のステップによりこの機能を実現している。

- (1) 遮断器の電氣的特性や機械的動作ばらつき、負荷側状態を考慮した上で、目標閉極位相を決定する。
- (2) 遮断器の動作環境条件や動作履歴に基づいて、次回閉極時間(閉極制御信号をオンしてから遮断器が閉極するまでの時間)を予測する。
- (3) 遅延時間を計算し、タイマにセットする。遅延時間は、目標閉極位相から予測閉極時間だけさかのぼった時点と直前零点との差分時間である。
- (4) 閉極指令が入力されると、零点を検出してタイマをス

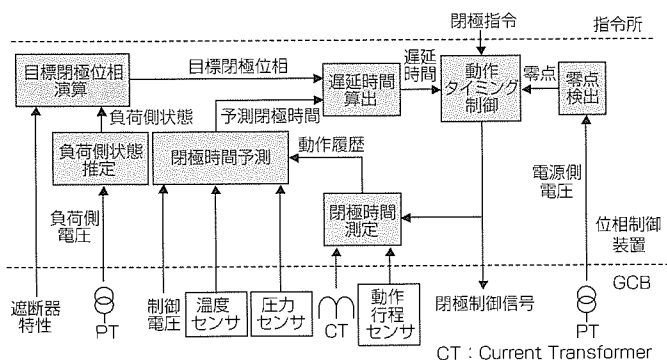


図1. 開閉極位相制御装置ブロック図(閉極位相制御時)

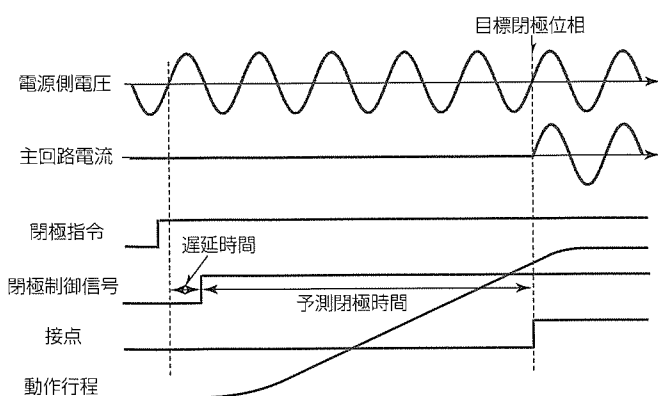


図2. 閉極位相制御タイミングチャート

タートする。遅延時間経過した時点で閉極制御信号を出力し、遮断器の閉極動作を開始させる。

- (5) 閉極時間経過後に、遮断器が閉極される。主回路電流又は動作行程センサから実際の閉極時間を測定し、次の閉極時間予測へ反映する。

3. 開閉極時間の予測方法

3.1 予測方法の概要

前章で述べた方法で制御を行っているため、実際の開閉極時間が予測閉極時間とずれていた場合、目標開閉極位相と異なるタイミングで開閉極されることになる。したがって、制御精度を向上させるには、開閉極時間を精度良く予測することが重要な課題となる。

遮断器の開閉極時間は、制御電圧・周囲温度・操作圧力・累積動作による接点磨耗・経時変化・休止時間・個別の特性差、等の要因により中心値が変化することが知られている^{(1)~(3)}。そこで、標準環境条件における平均開閉極時間 T_{std} に以下の補正(a)~(c)を行い、式(1)により予測開閉極時間を求めている。

- (a) 動作環境条件に基づいた補正時間 ΔT_{env}
- (b) 過去の動作履歴に基づいた補正時間 ΔT_{const}
- (c) 休止時間に基づいた補正時間 ΔT_{idle}

$$\text{予測開閉極時間} = T_{std} + \Delta T_{env} + \Delta T_{const} + \Delta T_{idle} \dots\dots(1)$$

以下に各補正の詳細について述べる。

3.2 動作環境条件に基づいた補正

制御電圧と周囲温度の各条件において平均閉極時間を計測し、 T_{std} に対する差を二次元的にプロットした例を図3に示す。遮断器の型式によっては、図のように高温域や低温域の領域で、制御電圧-閉極時間特性のカーブ形状が異なることがある。動作環境条件の変動幅が小さい場合には閉極時間に対する制御電圧及び周囲温度への依存性は独立とみなしても実用上問題ないと思われるが、比較的大きな変動が予想される場合には二変数関数として扱うことが必要であると考えられる。

したがって、開極・閉極それぞれに対し、あらかじめ図に示すような二次元マップ形式で補正時間関数を作成しておく。この二次元マップは同型遮断器に対して共通の変化

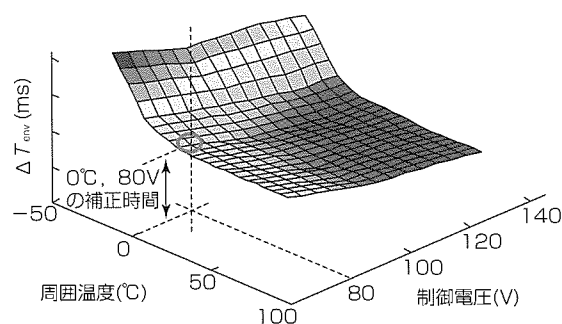


図3. 動作環境条件に基づいた補正時間の二次元マップ

特性として使用することができる。

運用時には、遮断器に設置されたセンサにより制御電圧・周囲温度を逐次モニタリングし、二次元マップを内挿して補正時間 ΔT_{env} を算出する。なお、油圧操作又は空気操作式遮断器の場合は、更に操作圧力をモニタリングし、操作圧力-周囲温度の二次元マップによる補正も行う。

3.3 過去の動作履歴に基づいた補正

動作履歴に基づいた補正を行うためには、運用時の開閉極時間を正確に知る必要がある。そこで、閉極時には主回路電流、開極時には遮断器接点の動作行程センサ信号から開閉極時間を算出する。例えば、電力用コンデンサ投入時の主回路電流波形は図4のようになる。投入点で波形が不連続となることを利用して、不連続部分を強調する信号処理を行うことで投入点を検出する。そして、零点と投入点の時間差からプレアーク時間を算出し、投入時間にプレアーク時間を加えた値として閉極時間を求める。

以上のようにして各動作ごとに開閉極時間 T_{meas} を測定し、最近10回の動作履歴に基づいて、開極・閉極それぞれに対して、式(2)により補正時間 ΔT_{const} を算出する。

$$\Delta T_{const} = \sum w(n) \{ T_{meas}(n) - (T_{std} + \Delta T_{env}(n) + \Delta T_{idle}(n)) \} \quad \dots(2)$$

ただし、 n は0~9の整数値、 $w(n)$ は重み係数。重み係数は直近の動作時データほど重みを大きくし、総和が1となるように設定する。

3.4 休止時間に基づいた補正

遮断器によっては、前回動作と次回動作との時間間隔である休止時間に依存して、次の開閉極時間の中心値が変動するものがある。

そこで、あらかじめ休止時間による平均開閉極時間の変動量を測定し、休止時間と補正時間の関係をマップ形式で作成しておく。このマップは同型遮断器に対して共通の変化特性として使用することができる。

運用時には、前回の遮断器動作からの経過時間に応じて、上記マップを参照して、逐次補正時間 ΔT_{idle} を更新する。

4. 動作検証結果⁽²⁾

4.1 位相制御装置単体での制御誤差

位相制御装置単体の機能を確認するため、遮断器模擬回路を用いて試験を行った。あらかじめ遮断器模擬回路の開閉極時間ばらつきが $1 \mu s$ 以下であることを確認した。目

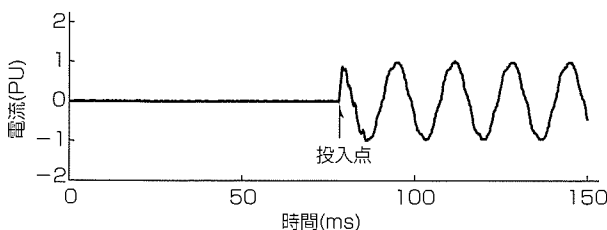


図4. 電力用コンデンサ投入時の主回路電流波形

標開閉極位相を電気角 0° とし、ランダムなタイミングで開閉極指令を入力して制御誤差を調べたところ、零点検出基準となる電圧又は電流信号にノイズがない条件下での制御誤差は $\pm 10 \mu s$ 程度であった。

4.2 無負荷開閉試験

次に、遮断器と組み合わせた状態で動作環境条件の変動に対する制御精度を評価するため、145kV 40kAばね操作ガス遮断器を用いて無負荷開閉試験を行った。主回路には制御の基準電圧としてAC125Vを印加した。制御電圧一定条件として周囲温度を $-30 \sim +60^\circ C$ で変化させたときの制御誤差を図5、図6に示す。図中左側のプロットは誤差の平均値、上下のバーは誤差の標準偏差を示し、図中右側は全測定における誤差分布を示している。目標開閉極位相は電気角 0° とした。周囲温度の変動にかかわらず、予測誤差は0を中心に正規分布状となっており、定常誤差もなく良好に位相制御できていることが分かる。なお、制御電圧を変化させた条件においても、同様の結果を確認した。

各動作条件における誤差の標準偏差値は遮断器単体での開閉極時間ばらつきとほぼ一致していることから、同一環境条件において制御誤差が発生する要因の大半は遮断器本体の機械的な動作ばらつきに起因していると考えられる。この遮断器との組合せでは標準偏差 σ は0.5ms以下であり、CIGRE(Conseil International des Grands Réseaux Électriques)の指針である許容動作ばらつき $\pm 1.5ms$ を 3σ で満足していることから⁽¹⁾、開閉極位相制御を実施するための十分な性能を持っていると言える。

次に、制御電圧一定・常温条件下(DC125V、 $10 \sim 30^\circ C$)で多数回動作させたときの予測誤差(閉極時)を図7に示す。動作履歴補正適用前と適用後の比較を示した。経時変化に

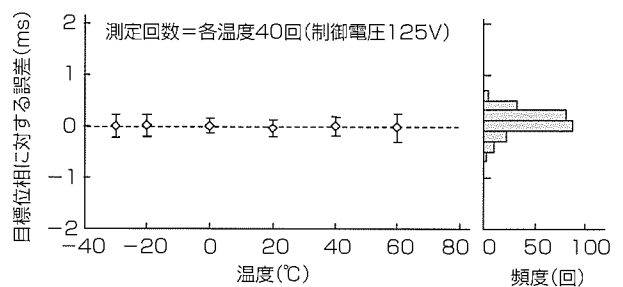


図5. 周囲温度変化時の開極位相制御誤差

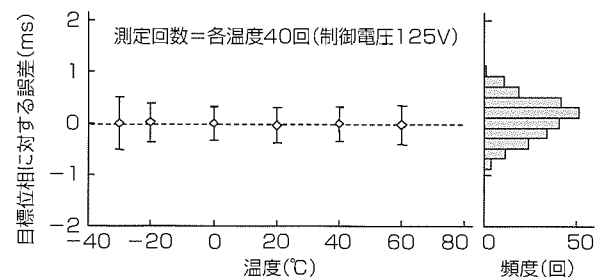


図6. 周囲温度変化時の閉極位相制御誤差

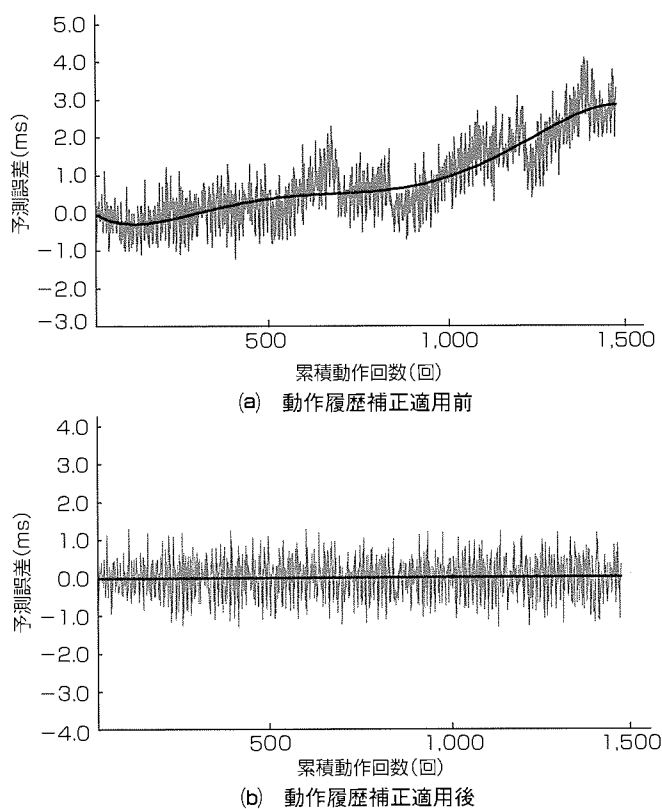


図7. 動作履歴補正の効果

より閉極時間中心値が変動するため、動作履歴補正を行わない場合は動作回数が増加するにつれて定常誤差が増大している。動作履歴補正を行うことで、定常誤差なく制御できることが分かる。なお、開極位相制御についても同様の傾向を確認した。

5. むすび

本稿では、開閉極位相制御装置の制御アルゴリズムについて述べた。今後も更なる適用範囲の拡大、制御精度の高精度化、制御アルゴリズムの高速化等について検討していく予定である。

参考文献

- (1) CIGRE Working Group 13.07 : Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers-Guide for Application, Part 1 : Electra, No.183, 43~73 (1999), Part 2 : Electra, No.185, 37~57 (1999)
- (2) 蔦田広幸, ほか: ガス遮断器開閉極位相制御装置の開発, 電気学会論文誌B, **121-B**, No.7, 822~829 (2001)
- (3) 香山治彦, ほか: ガス遮断器の開閉極位相制御による開閉サージの抑制, 電気学会論文誌B, **124-B**, No.2, 267~273 (2004)

開閉極位相制御の調相設備用途への適用と運用実績

香山治彦*
森 智仁*
鳥井宣尚*

Field Experience of Controlled Switching for Reactor and Capacitor Switching

Haruhiko Koyama, Tomohito Mori, Nobuhisa Torii

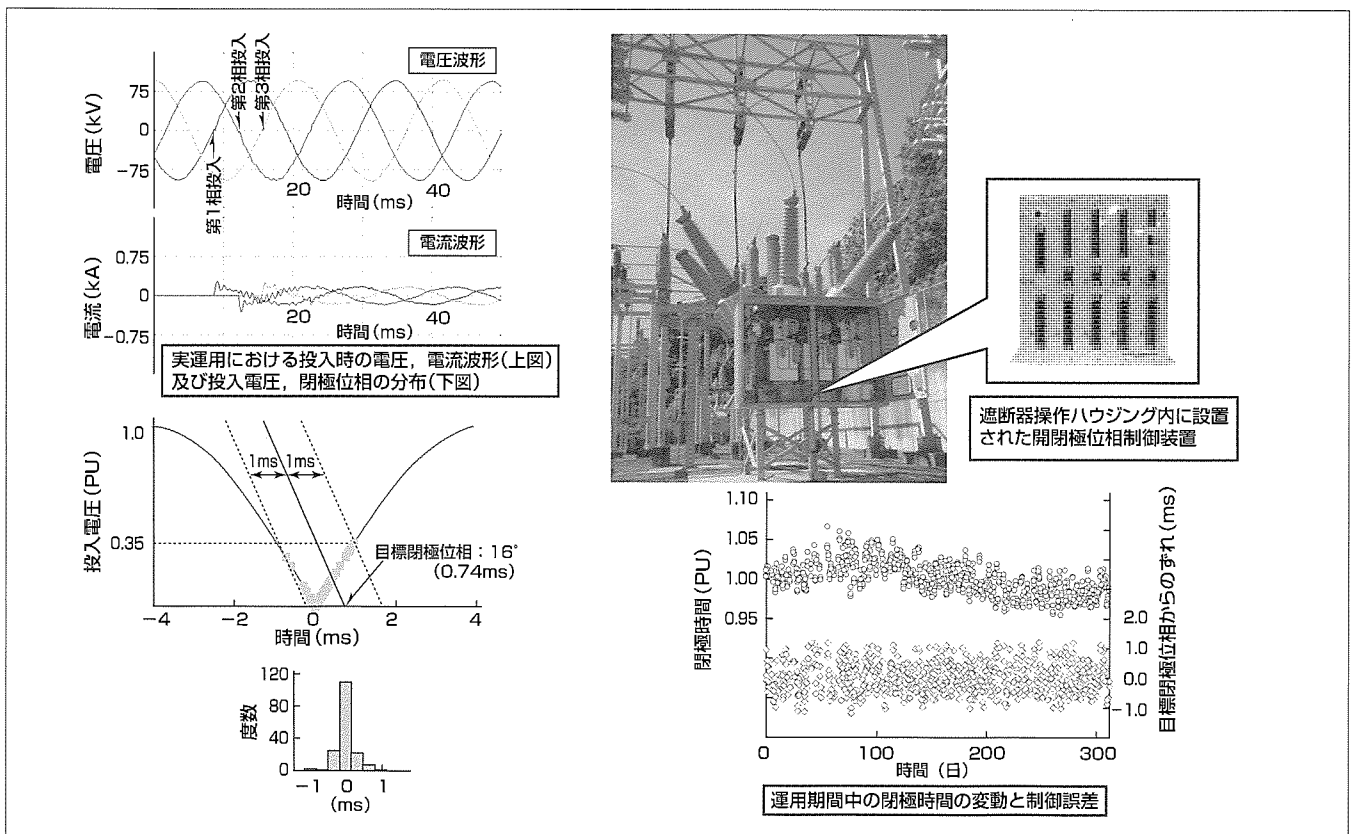
要 旨

開閉極位相制御における理想的な開閉極位相は、負荷の種類、接地状態に応じてそれぞれ回路理論的に決定できるが、実システムへの適用に際しては、遮断器の電氣的及び機械的特性による制約を受けるため、個々の適用に対して目的に応じた最適な目標開閉極位相を設定する必要がある。目標開閉極位相を求める方法として、例えばCIGRE (Conseil International des Grands Reseaux Electriques) WG 13.07の報告書では、実課電における投入、遮断試験結果から直接的に求める手法が紹介されているが、既設遮断器への適用など実電圧での多数回試験が困難な場合が予想される。また、例えば中性点非接地の電力用コンデンサの投入など、第1相若しくは第2相投入後に未投入相の極

間電圧振幅が変化する場合、又は変圧器の投入など負荷の状態に応じて目標開閉極位相が変化する場合などについては、目標開閉極位相を実験的に求めることは現実的ではない。

本稿では、遮断器の極間絶縁耐力減少率(RDDS)などの電氣的特性、及び開閉極時間のばらつきなどの機械的特性を基に、目標開閉極位相を簡便に決定できる手法について述べ、この手法を適用した遮断器の実システムでの投入・遮断結果から、その妥当性を検証する。また、電力用コンデンサ及び分路リアクトルに適用した遮断器の長期にわたる運用結果に基づき、遮断器動作特性の補正機能を含めた、開閉極位相制御システムの良好な運用実績について述べる。

特集
I



電力用コンデンサに適用された開閉極位相制御システム(右上)と長期間の運用実績(左・右下)

開閉極位相制御システムは、調相用設備の開閉に伴う突入電流、及び再発弧過電圧などの有害サージの抑制に対する効果、安定した運用実績が認められ、特に海外において急速に普及しつつある。制御に必要な遮断器の電氣的・機械的特性についても、簡便な検証手法が開発されており、新設のみならず既設機器への柔軟な対応も可能である。

1. ま え が き

開閉極位相制御において、例えばコンデンサバンク等の容量性負荷の場合には電圧の零点、シャントリアクトルなどの誘導性負荷の場合には電圧のピーク点が理想的な投入位相となる。ただし、目標として設定できる投入位相は、RDDS及び動作ばらつき等、適用する遮断器の特性により制約を受ける。ここでは、これら遮断器の特性に基づき目標投入位相及び予想投入電圧分布を求める方法について述べる。また、これら検討結果を基に調相設備開閉に適用した開閉極位相制御遮断器の運用実績を分析し、動作特性補正の効果を確認する。

2. 目標投入位相の設定⁽¹⁾

目標投入位相は、遮断器閉極位相をパラメータとした実電圧での投入試験から投入電圧が最小又は最大となる点として直接求めることができるが、例えば、既設遮断器に位相制御機能を追設する場合のように、実電圧での多数回の投入試験の実施が困難な場合が考えられる。

一方、遮断器の動作ばらつき及びRDDSが既知の場合には、目標投入位相はこれらの関数として算出が可能である。図1に、目標投入位相と遮断器動作ばらつき、及びRDDSの関係を表す概念図を示す。例えば、投入電圧を最小とする目標投入位相は、分布中の最大投入電圧値を最小化する位相として与えられる。RDDSをパラメータとし、投入電圧の最小化を目標とした場合の動作ばらつきと目標投入位相の関係を図2に示す。目標投入位相は、RDDSが大きくなるに従い、また、動作ばらつきが小さくなるに従って、電圧零点に近づくことができる。

3. 調相設備の開閉への適用

コンデンサバンク又は鉄心付き分路リアクトルなど調相設備の投入においては、大きな突入電流が発生し、遮断器接点類の損耗増大、系統電圧の変動などが問題となる。また、分路リアクトルの遮断に際しては、一般的にアーク時間が短い領域での再発弧が発生し、高い再発弧過電圧の発

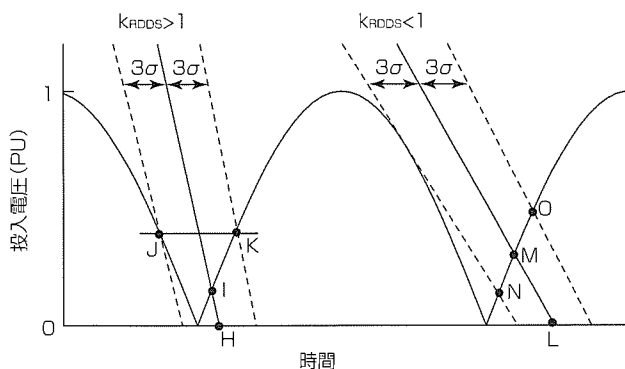


図1. 目標投入位相の概念図(投入電圧最小目標)

生、及び遮断器接点類の損耗増加などが問題となる。コンデンサバンクの遮断に際しては電圧エスカレーション防止のために無再点弧が要求されるが、これは、多数回の電流開閉を行う遮断器として、非常に過酷な責務となっている。これらの諸問題に対する効果的・経済的解決策として、開閉極位相制御が広く認知され、その適用が急速に進みつつある⁽²⁾。

3.1 コンデンサバンク開閉への適用例

図3に、121kVコンデンサバンクに適用した際の、現地

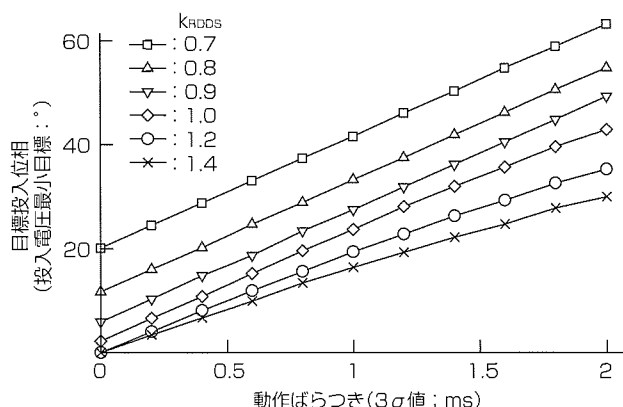
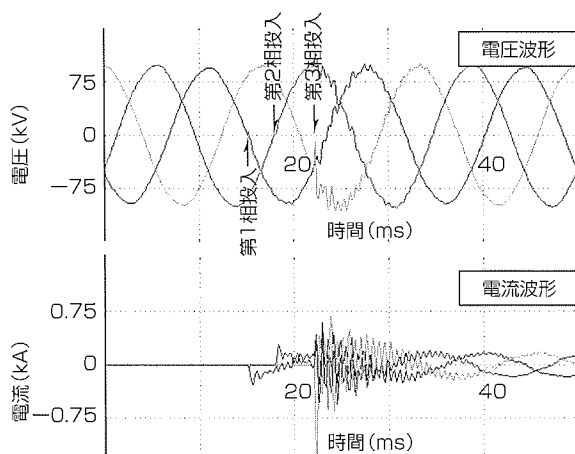
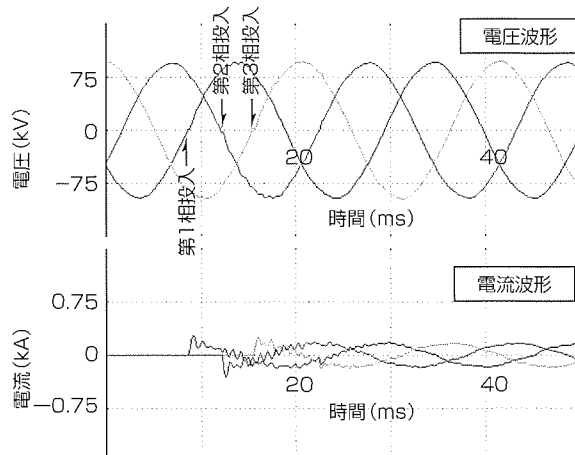


図2. RDDSと目標投入位相の関係



(a) 第1回目操作



(b) 第10回目操作

図3. コンデンサバンク投入時の電圧・電流波形

受入試験結果を示す。(a)に示す第1回目の投入では、RDDSの微小な個体差の影響等により第3相の投入が遅れ、予測値を若干上回る突入電流が発生しているが、位相制御装置のフィードバック制御の効果により、(b)に示す第10回目の投入では各相とも目標範囲内で投入され、突入電流は十分に抑制されていることが分かる。

ここで用いた位相制御装置は、制御結果である投入時間を主回路電流の開始時刻から直接測定しているため、上に述べた遮断器の電気的特性の個体差を動作履歴に基づくフィードバック制御⁽³⁾により補正することができる。

次に、約半年間の実運用における投入電圧及び閉極位相の分布を図4に示す。図の上半分には投入電圧の分布を、下半分には閉極位相の度数分布を示している。閉極位相のばらつきは非常に少なく、目標投入位相である 16° を中心に分布している。また、投入電圧の最大値は約0.35PUと、動作ばらつき及びRDDSから予測された値である0.4PUに対しやや小さくなっているが、これは実運用における動作ばらつきが工場での検証試験に比べ小さくなっているためと考えられる。

3.2 分路リアクトルの開閉への適用⁽⁴⁾

分路リアクトルの投入において、閉極位相制御を行った場合の電圧・電流波形を図5に示す。当該分路リアクトルを閉極位相制御を行わず投入する場合には、最大で約3.0PUの励磁突入電流が発生することを確認しているが、閉極位相制御を実施した場合にはほとんど励磁突入電流が発生していないことが分かる。

次に、分路リアクトルの負荷電流を遮断したときの電圧・電流波形を図6に示す。各相の電流はその相順に従って第1相→第3相→第2相の順に遮断されており、かつ、電流波形には再発弧の発生を示す高周波の再発弧電流が見られないことから、このGCB(Gas Circuit Breaker)が再

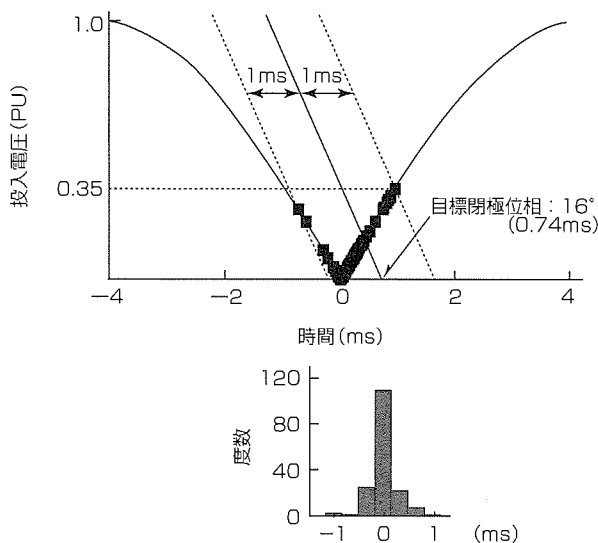


図4. 投入電圧及び閉極位相の分布

発弧を伴わず遮断に成功していることが分かる。

次に、約1年間の実運用における投入電圧及び閉極位相の分布を図7に示す。図の上半分には投入電圧の分布を、下半分には閉極位相の度数分布を示している。

閉極位相は、目標として与えた電圧零点後 152° 、すなわち約7msを中心に分布しており、そのばらつき目標位相に対し約 $\pm 1.2\text{ms}$ と十分に小さく、工場での検証試験で得られた値とほぼ同等であった。

また、適用した開閉極位相制御装置は、想定される電流遮断時刻を1/4サイクル以上超えて電流が継続している場合には、再発弧の発生と判断し警報を出力する機能を持っているが、運用期間における警報出力はなく、開極位相制御も良好に機能していると判断できる。

3.3 開閉極位相制御における動作誤差の評価

ここでは、実フィールドでの約1年間にわたる運用における各動作条件下での開閉極時間の測定値、及び開閉極位相制御の精度を評価することにより、工場で検証した動作特性の妥当性を検討する。

図8に、各閉極動作時の周囲温度を示す。周囲温度は 4°C から 33°C まで約30Kの幅で変動し、連続する2回の閉極動作間の温度差は最大で8Kであった。なお、操作油圧

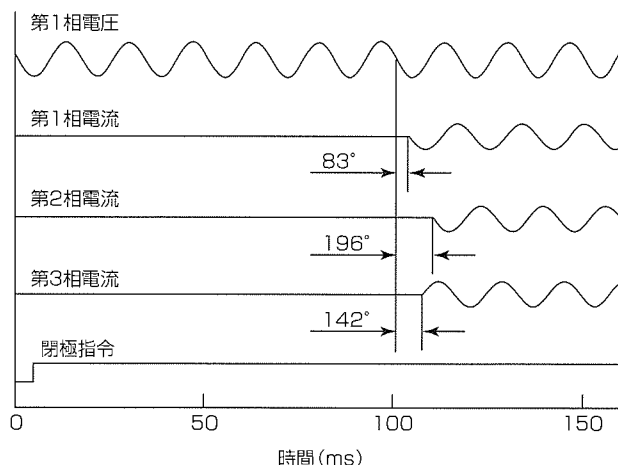


図5. 分路リアクトル投入時の電圧・電流波形(位相制御)

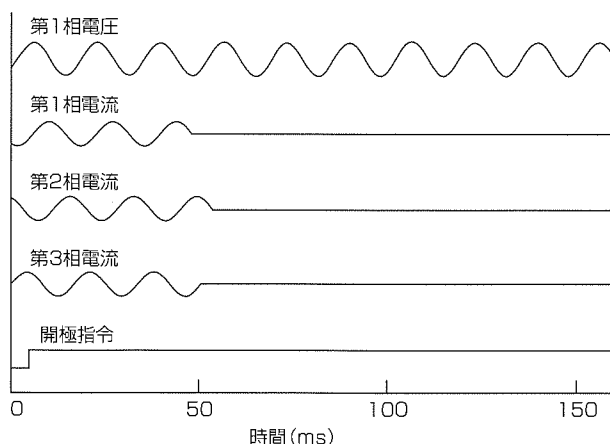


図6. 分路リアクトル遮断時の電圧・電流波形(位相制御)

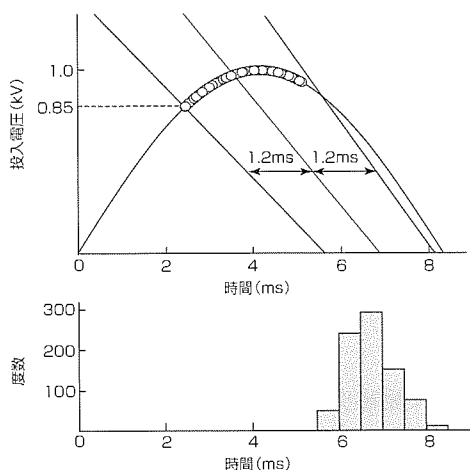


図7. 投入電圧及び閉極位相の分布

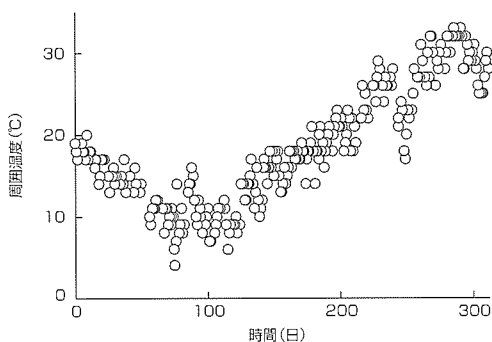


図8. 遮断器動作時の周囲温度

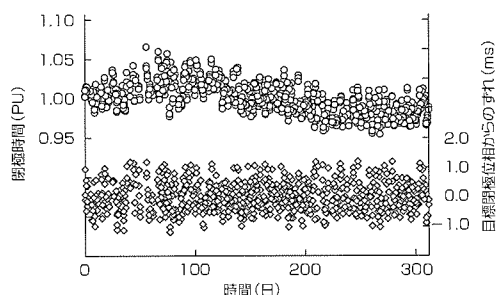


図9. 閉極時間変化及び閉極位相誤差

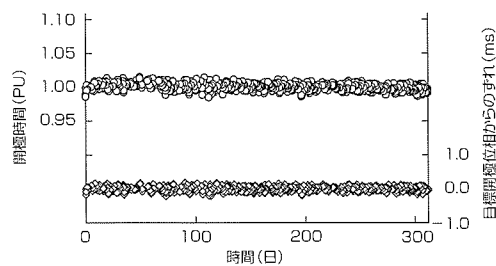


図10. 開極時間変化及び投入位相誤差

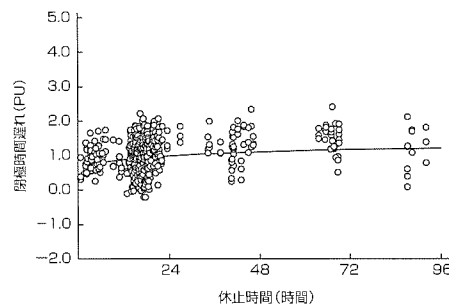


図11. 実運用における閉極時間と休止時間の関係

約1年間の運用における休止時間は最小で0.05時間、最大で92時間であったが、それぞれの閉極時間遅れは工場検証値を中心に ± 1.2 PUの範囲に分布していることが分かる。

4. む す び

開閉極位相制御方式において、遮断器の極間絶縁特性及び無負荷開閉試験により得られた機械的動作ばらつきから目標開閉極位相を設定する方法について述べた。また、得られた目標開閉極位相に基づき、電力用コンデンサ及び分路リアクトルの開閉に位相制御方式を適用し、実系統における課電開閉により、突入電流の抑制及び再発弧の防止に対し効果的であることを確認した。

さらに、動作条件による開閉極時間の変動についても、工場試験により得られた特性を基に、長期にわたって動作特性を安定して補正できることを確認した。

参 考 文 献

- (1) 香山治彦, ほか: 550kVガス遮断器の閉極位相制御に関する検討, 電気学会論文誌B, **121-B**, No.7, 860~866 (2001)
- (2) CIGRE WG 13.07: Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers-Guide for Application, Part1: Electra, No.183, 43~73 (1999), Part2: Electra, No.185, 37~57 (1999)
- (3) 蔦田広幸, ほか: ガス遮断器開閉極位相制御装置の開発, 電気学会論文誌B, **121-B**, No.7, 822~829 (2001)
- (4) 香山治彦, ほか: ガス遮断器の開閉極位相制御における開閉サージの抑制, 電気学会論文誌B, **124-B**, No.2, 267~273 (2004)

力はポンプの正規運転圧力範囲である31.5~32.5MPaと変化が少なく、制御電圧については、変電所の電源が安定していたため、ほぼ一定値であった。

次に、各開閉極動作における開閉極時間の変化及び制御誤差を図9並びに図10に示す。閉極時間及び開極時間ともに動作条件の変化に依存して変動しているが、それぞれの目標位相に対する誤差は閉極で ± 1.2 ms、開極で ± 0.2 ms以内に収まっており、工場試験で検証し、開閉極位相制御に使用した動作条件依存性が妥当であったこと、及びこれに基づく開閉極時間の予測が正確に実施できていることが確認できる。

次に、実フィールドにおける休止時間特性の検討を行う。図11に、計測した休止時間と閉極時間遅れの関係を示す。各点が実フィールドにおける3相それぞれの閉極時間遅れであり、実線が工場試験で得られた休止時間特性を示す。

変圧器用途への 開閉極位相制御システムの適用

亀井健次*
香山治彦*
伊藤弘基**

Applying Controlled Switching System to Power Transformer

Kenji Kamei, Haruhiko Koyama, Hiroki Ito

要旨

無負荷変圧器の励磁投入時には、変圧器鉄心の磁気飽和特性に起因して、定格電流の数倍もの励磁突入電流が流れることが知られている。この電流によって系統電圧が変動するため、需要家の機器動作への影響や近傍電気所の保護継電器の不要動作が発生する可能性がある。一方、最近のパワーエレクトロニクス応用機器や電子機器などの電源電圧の変動に敏感な負荷機器が急増していることから、励磁突入電流による電圧変動を抑制することは、電力品質を維持・向上する上での重要な課題である。

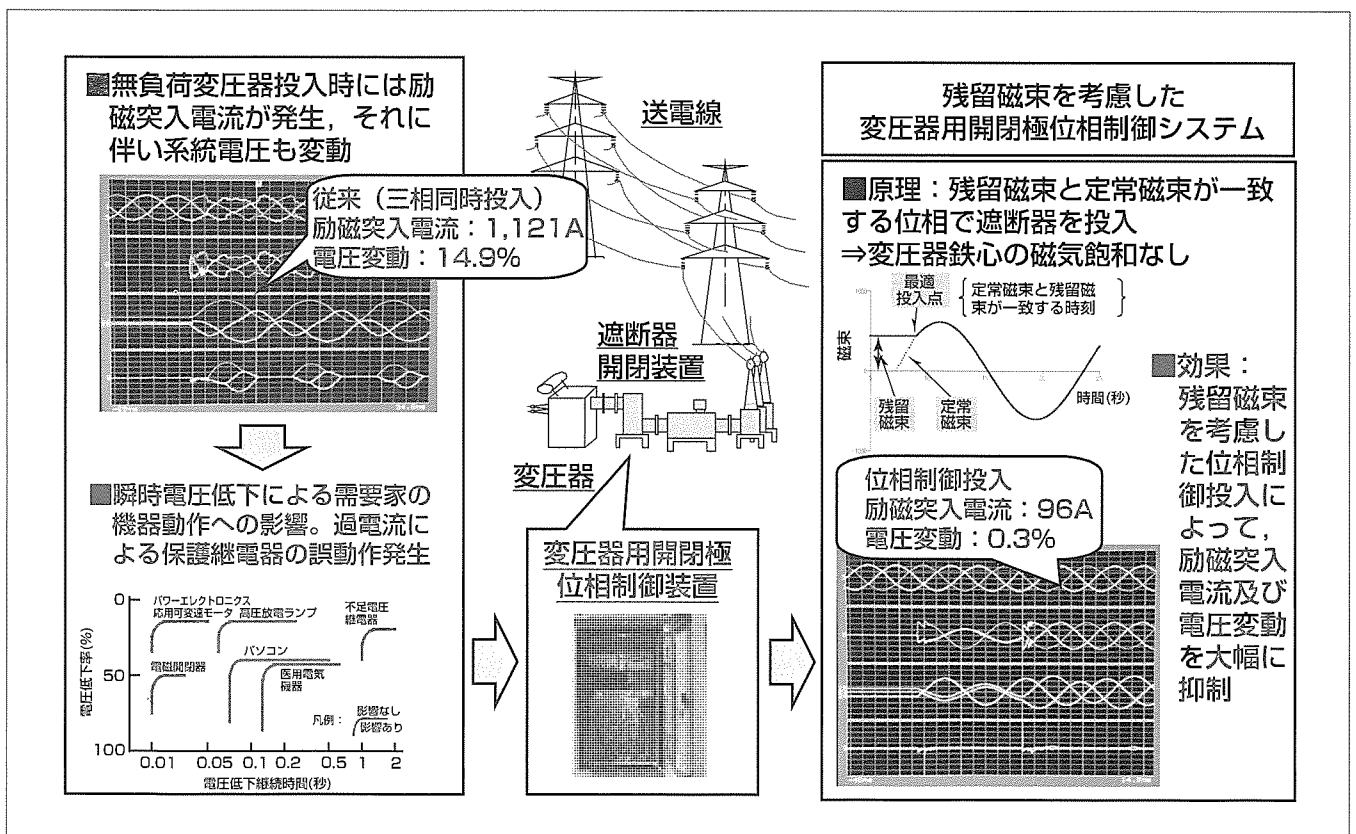
このような励磁突入電流の抑制は従来から抵抗投入方式遮断器の採用などによって行われてきたが、電力機器制御の電子化と遮断器の動作信頼性の向上に伴い、遮断器をある特定の位相で開閉する開閉極位相制御システム(CSS)

の適用によって励磁突入電流の抑制が可能となってきた。

これまで変圧器鉄心の残留磁束を考慮しない位相制御投入が行われてきたが、通常、無負荷変圧器回路を遮断すると、定格磁束の数十%程度の残留磁束が残る。残留磁束を考慮しない位相制御投入では、励磁突入電流を、位相制御投入を適用しない場合の約60%程度にしか低減できなかったが、残留磁束を考慮した位相制御投入を行うことによって、その値は10~15%程度に抑制できる。

三菱電機は、世界に先駆け、残留磁束を考慮した開閉極位相制御装置を開発し、実フィールドに適用した。その結果、従来の位相制御を適用しない場合に発生する数千Aに達する励磁突入電流と10%を超える電圧変動が大幅に抑制できていることを確認した。

特集
I



無負荷変圧器投入時の励磁突入電流による影響(左)と変圧器用開閉極位相制御システム適用効果(右)

当社が開発した変圧器鉄心の残留磁束を考慮した変圧器用開閉極位相制御システムは、投入抵抗付き遮断器等に代わる効果的な励磁突入電流抑制手段として、新設のみならず、既設機器への柔軟な対応も可能である。

左下図は、電気協同研究会報告書：瞬時電圧低下対策、46巻3号からの抜粋である。

1. ま え が き

分路リアクトル又は無負荷変圧器のような鉄心入り機器の場合には、鉄心の磁気飽和が発生しない電圧位相で遮断器を投入すればよい。分路リアクトルには一般的にギャップ付き鉄心が採用されていることから、残留磁束は極めて小さい。そのため、定常磁束(定格電圧が印加された状態で発生している交番磁束)が零になる時刻、すなわち電源電圧の波高点で遮断器を投入すれば、磁束の過渡現象が発生せず、鉄心が磁気飽和しないことから励磁突入電流は流れない。変圧器についても、残留磁束がない場合には、分路リアクトルと同様に、電圧波高点で投入すればよい。しかしながら、無負荷変圧器遮断時には、定格磁束の数十%程度の残留磁束が残る場合があるため、励磁突入電流を効果的に抑制するためには、残留磁束を考慮した位相制御投入が必要となる⁽¹⁾。

本稿では、開閉極位相制御による無負荷変圧器の励磁突入電流の抑制法と、実システムへの適用例及び今後の適用範囲拡大のための課題について述べる。

2. 無負荷変圧器の励磁突入電流の発生と抑制法

2.1 励磁突入電流の発生

図1は、三相同時投入及び従来の残留磁束を考慮しない位相制御投入による変圧器投入現象をEMTP(Electro-

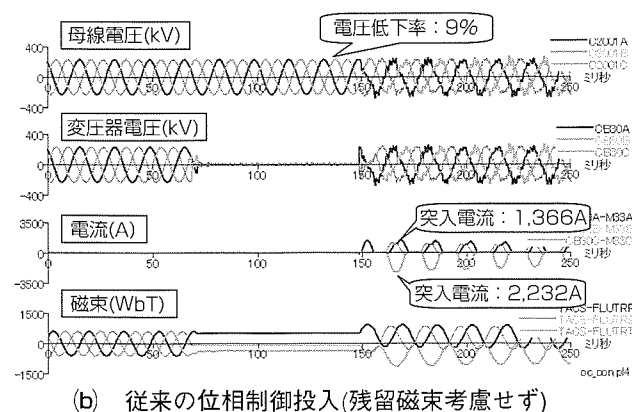
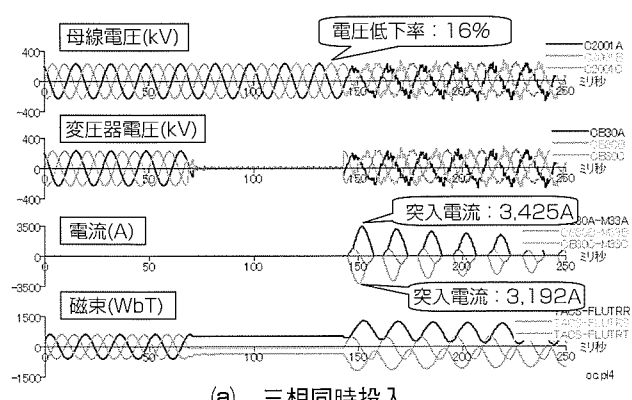


図1. 無負荷変圧器投入時の励磁突入電流と電圧変動 (EMTP 解析波形)

Magnetic Transients Program)により解析したものである。この例では、三相同時投入では3,000Aを超える励磁突入電流が流れて、16%の電圧低下が発生している。また、従来の位相制御投入においても三相同時投入の60%程度しか励磁突入電流を低減できないことが分かる。

したがって、励磁突入電流、電圧変動を効果的に抑制するためには、残留磁束を考慮した位相制御投入が必要となる。

2.2 残留磁束を考慮した位相制御投入法

残留磁束を考慮した最適投入点は、残留磁束と定常磁束が一致する時刻である。この最適投入点で遮断器を投入すれば、磁束の過渡現象が発生しないため、励磁突入電流は流れない。

実際の遮断器では閉極過程における極間絶縁耐力変化率(RDDS)及び遮断器動作時間のばらつきが存在するため、それらを考慮した位相制御投入を行う。

図2は、残留磁束： -40% (-0.4PU)、電圧零点の傾きで正規化したRDDS(KRDDS)： $0.7 \pm 10\%$ 、及び閉極時間ばらつき： $\pm 1\text{ms}$ を考慮したときの目標閉極位相の決定方法を示すものである。この図では、定常磁束と残留磁束とが一致する交点Rが最適投入位相である。しかしながら、遮断器の電気的特性や機械的動作ばらつきを考慮した場合には、想定される投入点の分布の範囲において、発生し得る定常磁束と残留磁束の差異が最小となる点を目標位相に設定するのがより効果的に励磁突入電流を抑制できる⁽²⁾。図2の条件において各閉極位相における投入磁束誤差を算出した結果を図3に示す。この例では、投入磁束誤差が最小となるP点を目標閉極位相に設定すればよいことが分かる。

2.3 三相変圧器の投入シーケンス

三相変圧器の場合、各相ごとの磁束に応じた最適投入点で各相の遮断器を投入すればよいが、三相の鉄心構成、結線状態によって第1相投入後の残り2相の磁束が変化するため、残り2相の最適投入点は残留磁束だけでは決まらない⁽³⁾。

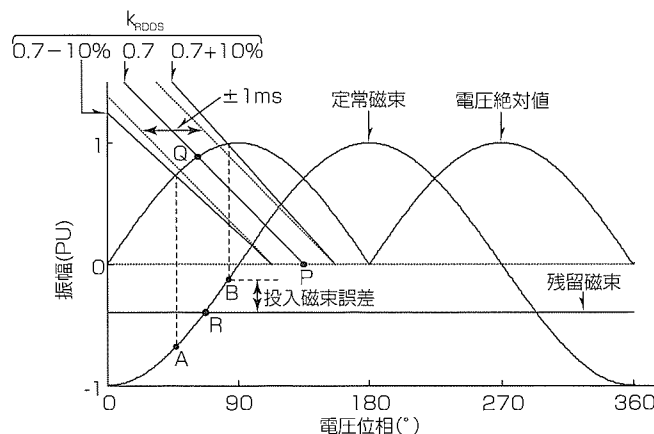


図4は、三相鉄心又はデルタ結線を持つ三相変圧器における残留磁束を考慮した位相制御投入シーケンスを示す。

この図において、

- (1) 第1番目に、残留磁束最大相(図の場合はU相)について、残留磁束と定常磁束が一致する電圧位相で投入する。

U相を投入すると、残り2相(V相、W相)の磁束は、三相鉄心又はデルタ結線の影響によって、U相とは逆極性ではほぼ1/2の振幅で振れながら同一値に収束していく。

- (2) V相とW相の磁束がほぼ同一となった時刻以降において、U相磁束の波高点でV相とW相を投入する。

U相磁束の波高点はV相とW相の磁束が定常磁束と一致する位相である。

上記のようなシーケンスで遮断器を投入すれば、励磁突入電流を抑制できる。

2.4 残留磁束を考慮したCSSの実系統への適用例

図5は、超高压系統の変圧器に適用された、残留磁束を考慮した投入位相制御を行うCSSの構成図である⁽⁴⁾。この構成において、残留磁束は遮断器開放時における変圧器端子電圧を巻線形電圧変成器(VT)で計測し、その電圧波形を積分することによって求めている。この例では、約40%

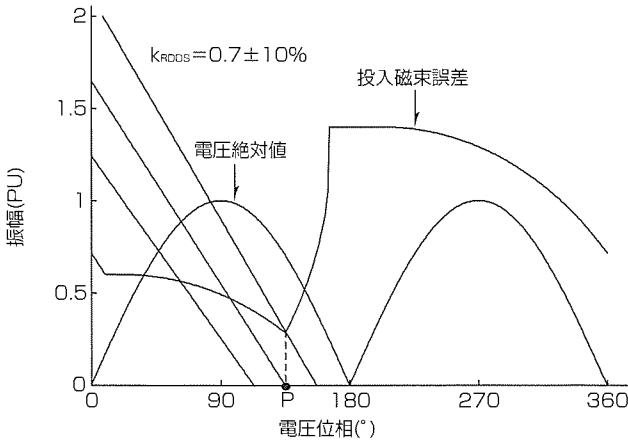


図3. 閉極位相と投入磁束誤差の関係

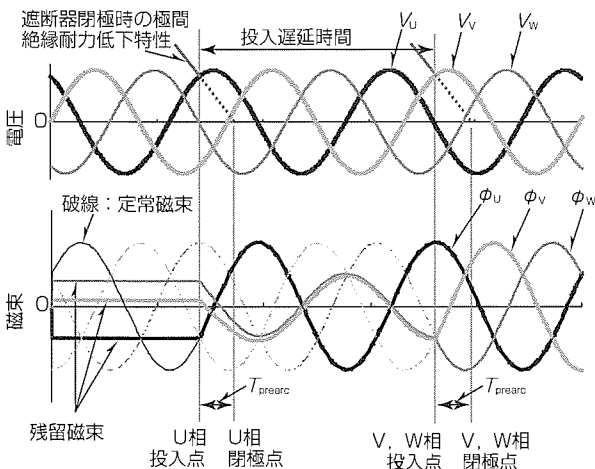


図4. 残留磁束を考慮した位相制御投入シーケンス

近くの残留磁束が発生している。図6(b)のように、第1番目に、残留磁束最大相(V相)を、定常磁束と残留磁束が一致する時刻で投入し、残り2相(U相、W相)をV相投入の約1.5サイクル後においてV相磁束の波高点付近で投入している。

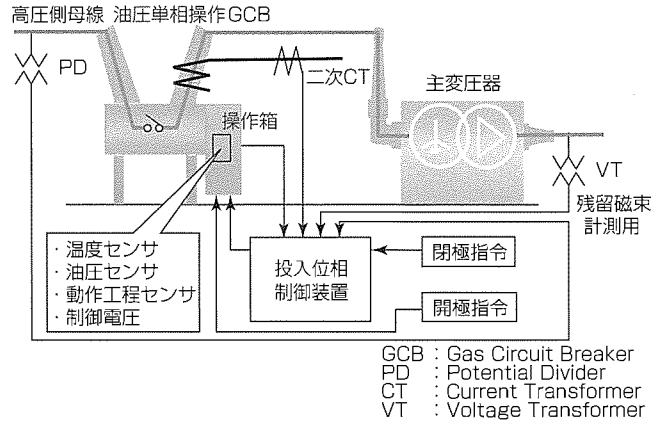


図5. 残留磁束を考慮した変圧器用CSSの構成

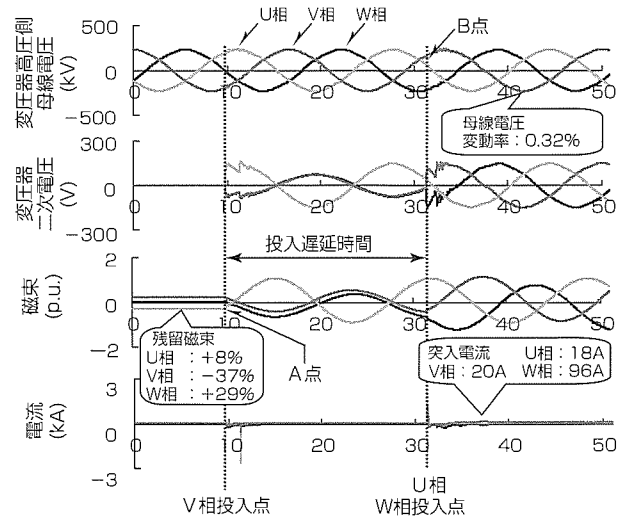
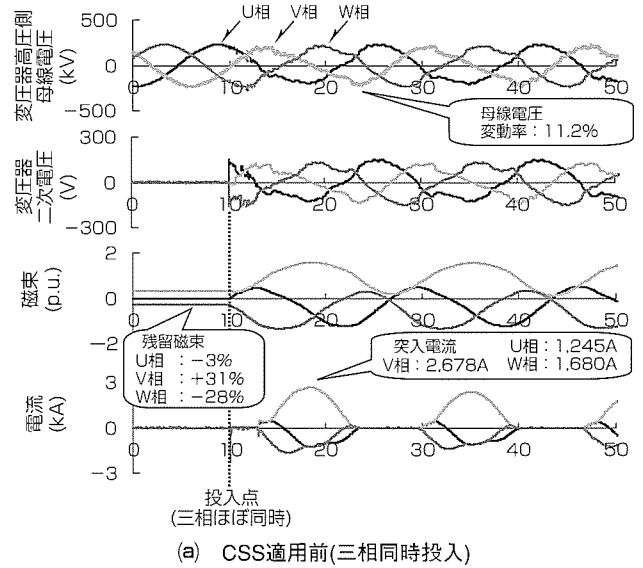


図6. 変圧器回路投入時の実測オシロ例

このような投入制御を行うことによって各相とも磁束の過渡現象を低減でき、図6(a)に示す位相制御を適用しない場合に発生する数千Aに達する励磁突入電流と10%を超える電圧変動率が、大幅に抑制できていることが分かる。

3. 極間コンデンサを装備した遮断器へのCSS適用時の課題

遮断性能の向上や多重切り遮断器におけるユニット間の電圧分担の改善を目的に、遮断器の極間にコンデンサ(Cp)が取り付けられる場合がある。このような遮断器で無負荷変圧器回路を遮断すると、遮断器を開放してもCpと変圧器回路のインピーダンスの分圧で決まる商用周波の交流電圧が変圧器端子に現れる。この電圧の振幅は変圧器定格電圧の数%程度と見積られるが、この電圧によって変圧器鉄心が磁化されるため、微小なヒステリシス損失が常時発生することになる(微小なヒステリシスループをマイクロヒステリシスループと呼ぶ)。

また、遮断器開放中に、遮断器の電源側で地絡、短絡事故などの系統擾乱(じょうらん)が発生すると、電源側電圧が過渡的に変動するため、その過渡電圧の周波数によっては大きな電圧が変圧器端子に現れる。

図7は、小容量変圧器(6.6kV-50kVA)を用いた実験によって得られた、無負荷変圧器回路遮断時の変圧器端子電圧と変圧器端子電圧を積分した磁束波形である。Cpの影響によって無負荷遮断後の磁束波形が脈動していることが分かる。また、図上のA-B間で与えた、系統擾乱を模擬した電圧変動によって残留磁束が低下していることが分かる。

図において、B点以降、数時間電圧を印加し続け、その後、C点付近の残留磁束を基に位相制御投入を行ったが、励磁突入電流はほとんど流れなかった。これは、C点の残留磁束が数時間後においても変わらなかったことを示すものである。以上の結果から、実験の範囲において、マイクロヒステリシスループは残留磁束の減衰に影響しないこと、過渡的な電圧変動によって残留磁束が変化することが明らかとなった。

このように、極間コンデンサを装備した遮断器へのCSS

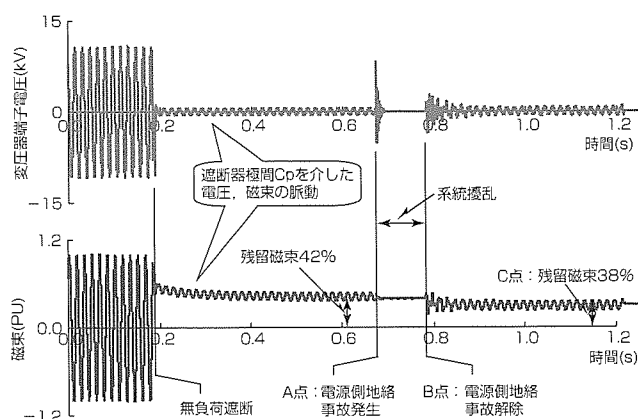


図7. 極間コンデンサ付き遮断器による無負荷変圧器遮断時現象(実測波形)

の適用に当たっては、系統擾乱時の過渡電圧による残留磁束の変化を計測し得る機能が必要である。

4. むすび

残留磁束を考慮した変圧器用投入位相制御システムを開発し、実フィールドにおいて励磁突入電流及びそれに伴う電圧変動が十分に抑制できていることが確認できた。また、極間コンデンサを装備した遮断器へのCSS適用時の課題を示した。

参考文献

- (1) CIGRE WG13.07: Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers: Guide for Application Lines, Reactors, Capacitors, Transformers (2nd Part): ELECTRA No.185 (1999)
- (2) 蔦田広幸, ほか: 残留磁束を考慮した変圧器位相制御投入に関する基礎検討, 電気学会論文誌B, 123-B, No.6, 765~771 (2003)
- (3) CIGRE WG13.07: Controlled Switching of Unloaded Power Transformers: ELECTRA, No.212 (2004)
- (4) 亀井健次, ほか: 残留磁束を考慮した変圧器投入位相制御の適用, 平成17年電気学会全国大会, No.6, 372~373 (2005)

開閉極位相制御用センサ技術

Sensors for Controlled Switching System

Toshiro Nakashima, Ryuichi Nishiura, Akihide Shiratsuki

要旨

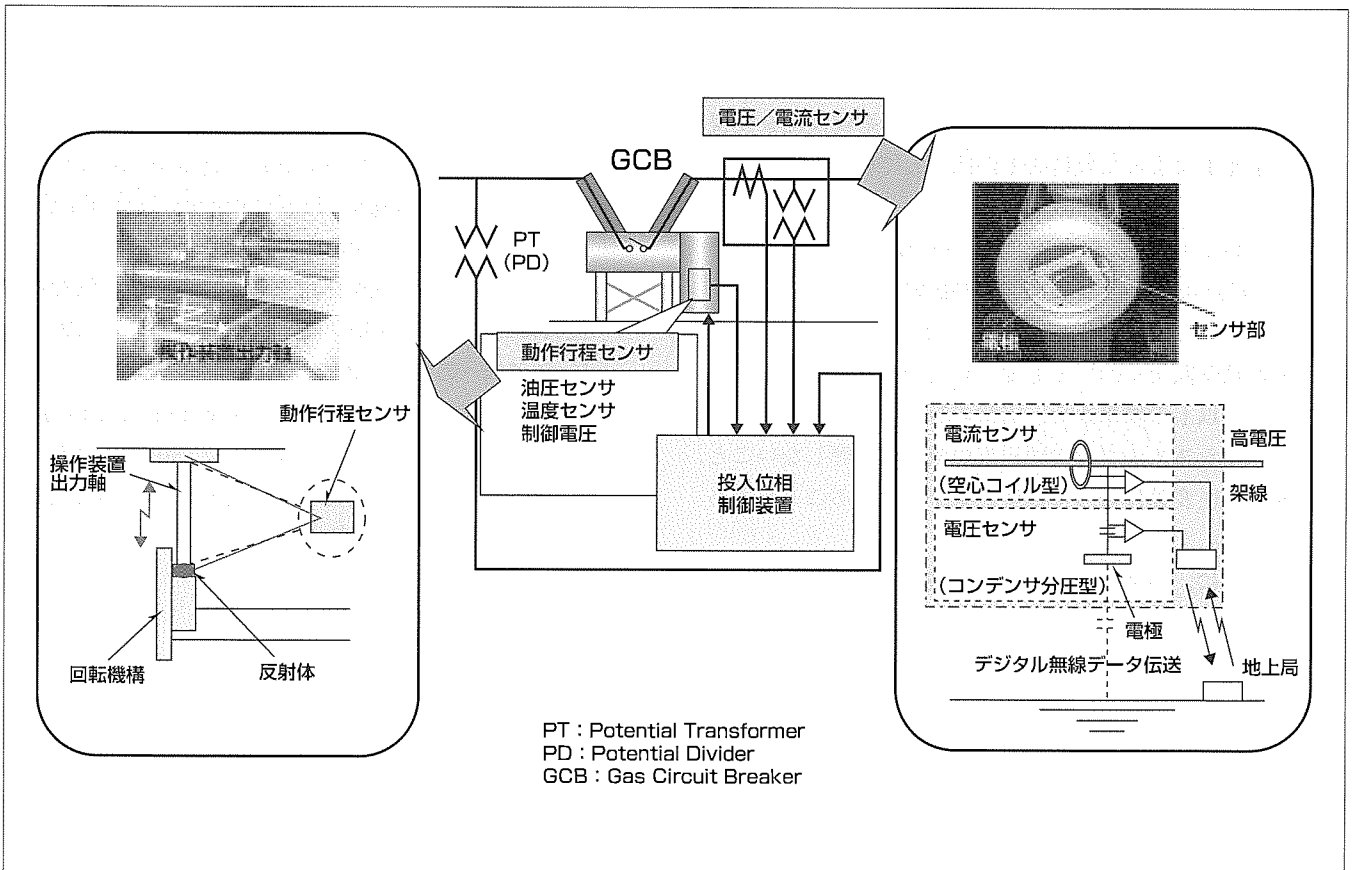
開閉極位相制御システムの開閉サージの抑制手段としての定着化に伴い、既設機器への適用など適用範囲拡大の要望が高まってきている。また、位相制御に必要な情報は機器にあらかじめ組み込まれた専用センサによって得られており、適用範囲拡大に向けては、情報入力手段として、簡便なセンサの実現が課題の一つになっている。

本稿では、この課題解決に向け開発した、容易に後付け可能なコンパクト非接触式動作行程センサと、位相制御に必要な情報を得ることに機能特化し、従来必要であった対地絶縁用碍子(がいし)を不要とする完全非接地で測定可能な電圧／電流センサについて述べる。

従来、動作行程は、操作装置に組み込んだ専用センサによって測定していた。これに対し、操作装置出力軸に反射体を取り付け投光部と受光部を一体化したセンサヘッドにより、非接触で電極位置を検出する動作行程センサを開発した。

また、電圧／電流に関しては、大気を仮想コンデンサとみなすコンデンサ分圧方式電圧センサと、時刻同期性を保持するデジタル無線通信を新規開発し、これに空心コイル型電流センサを付加することにより、高電圧架線の電圧／電流を完全非接地で測定し、装置コスト低減を実現する電圧／電流センサを開発した。

特集
I



開閉極位相制御用センサ(非接触動作行程センサ, 電圧／電流センサ)

開閉極位相制御用センサとして、電極の動作行程を設置が容易でかつ非接触で測定可能な非接触動作行程センサと、完全非接地で測定可能な電圧／電流センサを開発した。

1. ま え が き

開閉極位相制御は、開閉サージの抑制手段として定着してきており、変圧器や送電線等の開閉用途への適用が具体化されている。また、これに伴い、既設機器への適用など適用範囲拡大の要望が高まってきている。一方、位相制御では、各種センサ情報が必要であるが、適用範囲拡大に向けては、従来の機器組み込みの専用センサではなく、簡便・容易に測定可能なセンサの実現が重要な課題の一つになる。位相制御に必要なセンサ情報としては、電流遮断後の送電線、変圧器等の負荷側の電圧、電極の開閉極動作行程、油圧、温度、制御電圧等が挙げられる。

本稿では、簡便でかつ低コストで測定可能なセンサとして、開閉極位相制御用の非接触で電極動作行程を検出する動作行程センサと、完全非接地で測定可能な電圧／電流センサについて述べる。

2. 動作行程センサ

2.1 開発背景と動作原理

開閉極位相制御では、動作行程センサによる開閉極時間の実測値を基にパラメータを補正し、次の開閉極時間の予測を行っており、動作行程センサはキー技術の一つと言える。従来の開閉極位相制御システム⁽¹⁾では、開閉時における接点の動作行程の検出に回転センサ(エンコーダ)⁽²⁾が用いられていたが、既設機器への取付けには連結駆動系への大幅な改造が必要であり、適用が困難という問題があった。このような既設機器への適用、多機種への展開といった適用範囲拡大に向け、エンコーダに代わる後付け設置が容易な新方式の動作行程センサが求められている。

電極の動作行程を検出する方法として、電極が接続された操作装置出力軸に反射体を取り付け、操作装置出力軸とともに移動する反射体の位置を光学的に非接触で検出する方式を提案した。

図1に、開発した動作行程センサの原理図を示す。操作

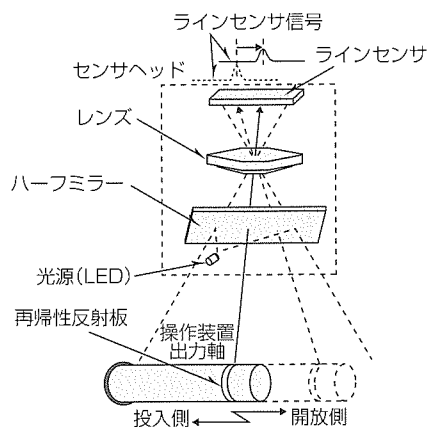


図1. 動作行程センサの原理

装置出力軸に取り付ける反射体として、光の入射方向と同方向に光を反射させる再帰性反射板を適用する。反射体の位置を検出する動作行程センサのセンサヘッドは、一次元の画像素子であるラインセンサ、反射体からの反射光をラインセンサ上に結像する撮像レンズ、光源として用いるLED(Light Emitting Diode)からなり、ハーフミラーによってラインセンサの視野とLED光の照射面が同一平面となるよう同軸光学系が構成されている。操作装置出力軸の移動に伴い反射体が移動すると、ラインセンサ上における反射体の結像位置も対応して変化する。ラインセンサから出力される電気信号は、この結像位置をピークとする輝度信号となるため、信号強度のピークを示す画素位置を検出することで、反射体の動き、つまり、電極の動きを検出することが可能となる。このようにセンサを構成することにより、遮断器本体に対して操作装置出力軸に反射体を取り付け、かつ、測定視野に反射体が入るようセンサヘッドを設置するだけで、電極の動作行程を非接触で検出する動作行程センサが実現可能となる。このセンサの測定仕様を表1に示す。

2.2 動作試験

動作行程センサに用いるラインセンサは2,500画素以上を持っており、目標仕様を実現できる分解能を持っている。また、光源のLEDはラインセンサのブランキング時間でパルス発光(パルス幅6.6 μ s)させており、操作装置出力軸の移動時でも像ぶれによる検出誤差の発生がない構成としている。センサの諸元を表2に示す。

製作した試作機を遮断器実機に取り付け、遮断及び投入動作時における操作装置出力軸の位置の変化を測定するとともに、比較のため、従来のエンコーダを用いて同時に測定した。図2に、100回の投入試験における動作行程センサ出力及びエンコーダ出力について測定した結果を示す。

図に示すように、100回の繰り返し測定において再現性の良い測定結果が得られている。測定開始後30msから60msの領域で、エンコーダ出力値と動作行程センサ出力値に差が発生している。動作行程センサの出力データそのものの再現性は高いことから、エンコーダとは異なった動

表1. 測定仕様

項目	仕様値
測定範囲	300mm
精度	± 1 mm
サンプリング時間	0.5ms

表2. 動作行程センサの諸元

ラインセンサ	画素数	2,660画素
LED	パルス幅	6.6 μ s
結像光学系	画角	60°

きを測定したものと考えられる。これは、エンコーダが操作装置出力軸の移動の基となる回転運動を測定しているのに対し、動作行程センサは操作装置出力軸の動きを直接測定しており、エンコーダでは検知できない、駆動機構の遊びなどによる操作装置出力軸移動時におけるぶれを検出したものと考えられる。言い換えると、操作装置出力軸の動きを忠実に検出しているものと言える。

また、動作行程センサとエンコーダとで出力値がほぼ一致する測定開始時から75msの位置において、動作行程センサとエンコーダの出力の差分値を求め、ばらつきを算出した。その結果、標準偏差(σ)で0.14mmとなった。この値にはエンコーダ出力のばらつきも含まれることを考慮すると高い再現性が得られていることになり、電極動作行程のセンサとして十分な性能を持っていることが確認された。

3. 電圧/電流センサ

変圧器及び送電線を対象とした開閉極位相制御において、負荷側の電圧波形を測定しかつ電流波形をモニタする電圧/電流センサを開発した。開閉極位相制御では、電圧波形を規格化し制御パラメータとして用いることから、電圧センサとしては相対出力信号が得られれば、位相制御用として十分に機能するものと位置付けられる。

従来の装置は、対地絶縁を確保するための絶縁装置が不可欠で高コストの大きな要因になっていた。今回開発のセンサは、装置コスト低減を第一目標として、絶縁装置を不用とし、完全非接地で測定可能なセンサをねらったものである。このセンサは、大きく電圧測定部、電流測定部と無線データ伝送部とからなる。センサイメージを図3に、また測定仕様を表3に示す。

上記電圧センサのうち、電流測定部は、従来からある空心コイル型電流センサを適用したもので、以下には、新規開発した電圧測定部及び無線データ伝送部の詳細を述べる。

3.1 電圧測定部

架線の対地間電圧を測定するに当たり、電圧センサを対地に接地する方法では、耐電圧の問題から碍子などの高価

な部材が必要となる。そこで、図4に示すように、大気を誘電体としたコンデンサを用いたコンデンサ分圧方式を考案した。

この方式では、大地と対をなす電極(中間電極)を設けることでコンデンサを形成した。この大気コンデンサと計測用コンデンサで分圧し、計測用コンデンサの両端の電位を差動計測することで電圧計測を行う。また、高電圧架線にセンサ回路のグラウンドを接続することで、センサと高電圧架線を同電位とし、耐電圧を考慮する必要をなくした。

原理検証を行うため試作器を製作し、高電圧検証試験を実施した。試験状況を図5に示す。検証試験の結果、図6に示すように、350kVrmsまでリニアリティ $\pm 1.6\%$ FSで高電圧架線にかかる電圧が計測できることが確認でき、開閉極位相制御用電圧センサとして有用であることを実証した。

3.2 無線データ伝送部

測定対象が高電圧架線(318kVrms)の電圧であるため耐電圧の問題から有線部分を削除する必要があり、データ転

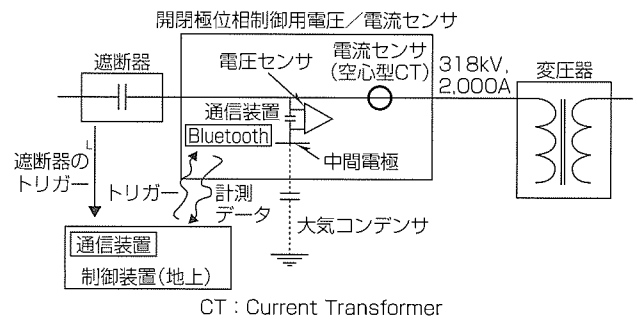


図3. 電圧/電流センサのイメージ

表3. センサの測定仕様

項目	仕様
測定範囲	~318kVrms
周波数特性	0.02~800Hz
出力	相対出力
動作温度範囲	-40~60℃
計測時間	開閉極の前後250ms

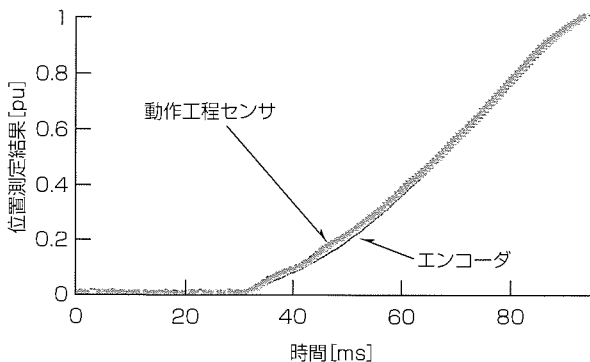


図2. 動作行程センサとエンコーダ出力結果

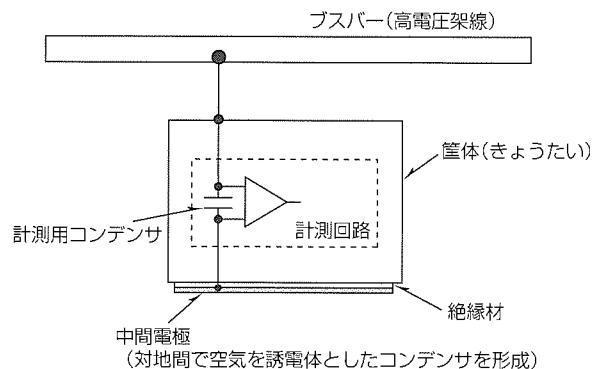


図4. 電圧センサの構成

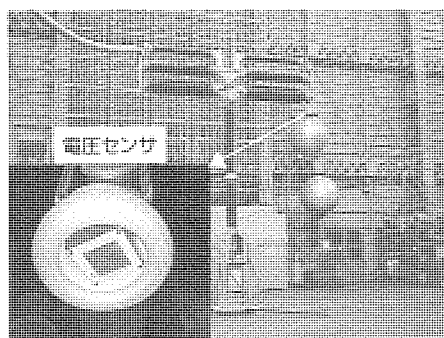


図 5. 実験状況

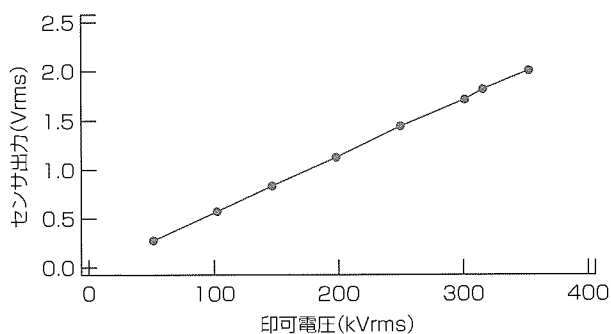


図 6. 高電圧測定結果

送に無線通信を採用した。データ転送に無線通信を使用する場合、高電圧架線におけるコロナ放電等の電磁波ノイズの影響が懸念されるためデジタル通信が不可欠条件となるが、電磁波ノイズの影響でデータ転送のリトライによる遅延現象が起きるためリアルタイム計測は困難である。そこで、デジタル無線通信装置で、かつ、同期通信モードを持つBluetooth^(注1)を用いて、制御装置(地上)-センサ間の時刻同期性を確保できるデジタル無線通信装置を開発した。

具体的には、図7に示すように、Bluetoothの同期通信モードでは、送受信モード(スロット)を交互に切り換えて通信を行っており、このスロット切換えタイミングをポーリングすることにより同期させている。このスロット切換えタイミングを検出しタイムテーブルの更新周期を補正することで、制御装置-センサ間において同一タイミングでタイムテーブルの更新を実現している。これにより、制御装置側の処理に対し、計測時刻の補正が可能となる。

この時刻同期方式の原理検証するため、試作器を製作し検証試験を実施した。検証試験は、2台の同期通信装置のタイムテーブルをロジックアナライザで計測し、更新時間をモニタした。検証試験の結果、2台のタイムテーブルの値は一致しており、その更新時間差は6μsであった。

(注1) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標である。

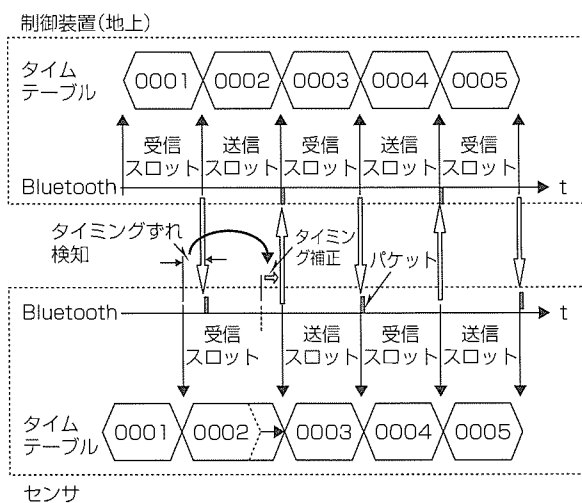


図 7. 計測時刻補正処理

これにより、この方式で6μs以下の時刻同期性を確保できることが検証できた。また、この方式を搭載したデジタル無線データ伝送を適用することで、制御装置-センサ間の時間的整合性を保持することが可能となる。

4. むすび

開閉極位相制御用センサとして、新規に開発した動作行程センサと電圧/電流センサについて述べた。

動作行程センサは、非接触検出が可能で遮断器本体への取付けが容易な新方式を開発したもので、実遮断器を用いた開閉試験により、基本動作を確認し再現性の高い測定を実現できることを実証した。

また、電圧/電流センサに関しては、大気を仮想コンデンサとみなすコンデンサ分圧方式電圧センサと時刻同期性を保持するデジタル無線データ伝送の新規開発及び空心コイル型電流センサの適用により、完全非接地で高電圧架線の電圧/電流測定を実現した。これにより、絶縁装置を不要とし、大幅なコスト低減が見込まれる。

これらセンサの適用により、開閉極位相制御システムの適用範囲拡大が期待される。

参考文献

- (1) 香山治彦, ほか: 開閉極位相制御遮断器, 三菱電機技報, 75, No.8, 527~532 (2001)
- (2) 川村達雄, ほか: 電気設備の診断技術 改訂版, オーム社 (2003)

開閉極位相制御を利用した遮断器のCBM管理

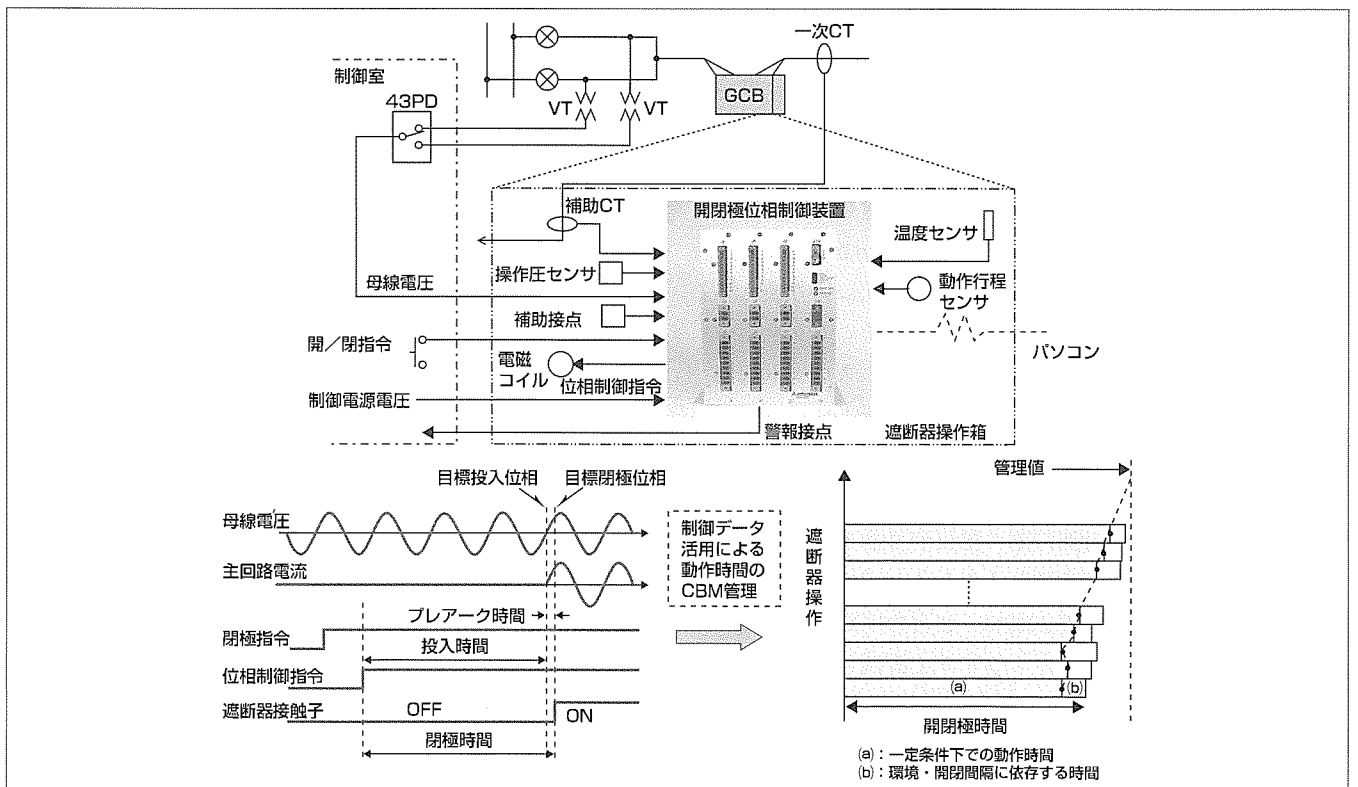
Condition Based Maintenance of Gas Circuit Breaker Using Synchronous Switching Control

Shigeo Fujii, Aya Yamamoto, Kenji Ofuji

要 旨

電力機器の保守コストの低減が要求される中、CBM (Condition Based Maintenance: 状態監視保全) 管理が注目を集めている。機器監視データのトレンドから、管理値に至るまでの時期を推定し中長期の保守計画に反映することで、ガス絶縁開閉装置のように信頼性の高い機器では保守時期の延長や更新時期延長時の機器の健全状態確認効果が期待されている。ガス絶縁開閉装置は、基本性能として、絶縁特性と通電特性が重要視されており、さらに、SF₆ガスリーク特性を合わせてCBMの主要3項目とされている。一方、ガス遮断器は機構部分が多いため、その他の項目管理も必要となっている。開閉極位相制御装置は、ガス遮断器操作時の開閉サージを抑制するよう、最適なタイミングでガス遮断器に制御信号を出力する。想定どおりのタイミングで動作するために、開閉極位相制御装置はガス遮断器

の動作時間を正確に予測する必要がある。ガス遮断器の開閉極位相は動作条件、開閉動作間隔で変化するため、開閉極位相制御装置に動作環境や開閉動作間隔による動作時間特性が組み込まれており、この特性を考慮して動作時間を予測している。また、制御後には、各センサ信号を基に実動作時間を計測するとともに、動作環境や開閉動作間隔の特性を一定条件下での動作時間に換算し、そのトレンドを次の開閉動作時の制御予測データとして保持している。これらのデータは、CBMの観点からはガス遮断器の状態履歴そのものである。これらのデータの活用により、開閉極位相制御装置は開閉サージ抑制による変電機器の延命効果と同時に、内部保有データの活用によりCBM管理効果も期待できる。



開閉極位相制御装置のシステム構成とGCB開閉動作時間管理

開閉極位相制御装置は開閉サージを抑制するタイミングでGCBが動作するように制御信号を出力しているが、その制御データを活用して遮断器の開閉特性のCBM管理に適用が可能で、制御/監視の両面から変電機器の延命化に役割を担うことができる。

1. ま え が き

電力機器の保守コストの低減が要求される中、CBM管理が注目を集めている。CBM管理は、機器監視データのトレンドから管理値に至るまでの時期を推定し、必要な時期に必要な保守を行うことを中長期の保守計画に反映するもので、ガス絶縁開閉装置(Gas Insulated Switchgear : GIS)のように信頼性の高い機器では、保守時期の延長や、更新時期延期に伴う機器の信頼性の変化確認などの効果が期待されている。GISは基本性能として絶縁特性と通電特性が重要視されており、さらに、これら性能を維持しているSF₆ガスのシール特性(リーク状態)を合わせてCBMの主要3項目⁽¹⁾とされている。一方、ガス遮断器(Gas Circuit Breaker : GCB)では機構部分が多いため、CBM実現のために3項目以外にも追加監視項目が必要となってくる。

本稿では、開閉極位相制御装置が制御に使用しているデータを活用することにより、GCBに適用可能なCBM管理の実現について述べる。

2. CBM管理

2.1 GISのCBM管理

変電所や開閉所における電力の開閉用途に、GISやGCBが古くから使用されている。これら機器は、金属製の容器内に絶縁性に優れたSF₆ガスを密封しており、高い信頼性を持つ機器として1960年代末から導入が進んできた。一方、時代の要請として設備関連費用の低減検討が進められており、現状の電力供給の信頼度を維持しながらいかにコストを低減するかに高い関心が寄せられている。なかでも、機器のライフサイクルコスト(Life Cycle Cost : LCC)低減や今後増加する高経年機器(納入後25~30年以上経過した機器)の更新時期延期要請は大きな課題とされている。これら課題への共通の解決策として注目されているのがCBMの導入によるメンテナンススタイルの見直しである。CBMの概念は、変電機器のLCCの内訳において保守費用が一定の割合を占め、特に先進国ではその比重が増加しているという傾向を基に、1996年CIGRE(Conseil International des Grands Réseaux Électriques)のWG23.05, 23.10, 23.11で報告がまとめられたもので、従来は一定の経過年月、又は機器の動作回数によって点検時期を決定/実施するTBM(Time Based Maintenance : 時間基準保全)であったのに対し、機器が現在どのような状態にあるかというセンシング情報を基に、状態に即した合理的なメンテナンスを計画/実施

していくことを提案している⁽²⁾。また、CBMの導入効果として次のようなことをねらっている。

- (1) より少ない予算で効率的な電力の供給品質の維持
- (2) 必要最低限のメンテナンスの計画的な実施
- (3) 故障の未然防止による修理費用の削減
- (4) 機器寿命の十分な利用

CBMを説明するには、従来のTBMとの対比が最も分かりやすい。両者の対比を図1に示す⁽¹⁾。これまでのTBMでは、機器の状態があらかじめ設定した管理限界を越えているか否かの定点管理を行っていた。これら変電機器にセンサを実装し、なんらかの異常を管理限界より前に検知する試みも行われてきたが、TBM管理下で高い信頼性を持つGIS/GCBにおける動作事例は当然少なく、部分放電、事故位置標定等の一部監視項目を除いて評価が定着していない。これに対しCBM管理では、機器の健康状態のトレンドを数値管理することで、機器がどの程度正常であるか表現し、中長期の保守計画に反映することで、表1のように巡視作業の合理化、点検の延期や高経年機器の更新時期延期の担保として具体的な経済効果を持つことが期待できる。

2.2 GIS/GCBの主なCBM管理項目⁽¹⁾

2.2.1 ガススロリーク

Oリング等のシール機能の経年劣化をSF₆ガス密度の微小低下傾向として検出し中長期の保守計画に反映するもので、巡視点検におけるガス密度監視の省略効果もねらうことができる。性能的には0.04%/年のリーク検出能力を実フィールドで証明している。

2.2.2 絶縁性能特性

GIS/GCBの主要性能である絶縁については絶縁劣化に伴って発生する部分放電の監視が最も直接的なセンシング手法とされており、検出した部分放電信号の周波数、強度、位相特性、信号発生頻度などから部分放電発生要因、発生位置、活性度などを知り中長期の保守計画に反映することでCBM化への移行を促進できる。

2.2.3 通電性能特性

GIS/GCBにおいて絶縁と並んで重要な性能が通電であり、主回路接触部の接触不良に伴う局部過熱を分解ガスで

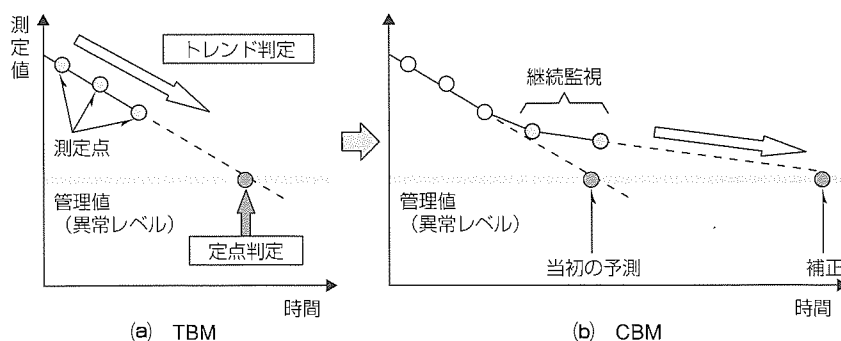


図1. TBM/CBMの処理概念

検出する方法が有力とされている。特にHF(フッ化水素)ガスは、現在進行中の異常を表現できる指標として、そのトレンド管理によって通電性能についてもCBM管理が可能となる。

2.2.4 開閉特性⁽³⁾

ガスローリーク、絶縁性能特性、通電性能特性が、GIS/GCBのCBM管理の主要項目である。さらに、GCBは可動機構を持ちアーク接触子の損耗も発生するため、経年劣化以外に動作状況に伴う特性変化をいかに管理するかの視点が重要となる。また、他の診断対象と違って特性に影響する構成部品の中に制御回路や操作機構などの気中部品も存在するため、一定のインターバルでの予防保全とセンサによる診断の併用が好ましいとされている。

センサによる診断としては、制御指令が与えられてから主接触子の開閉が完了するまでの時間管理、制御電流波形や動作行程波形の変化認識による潤滑剤の劣化、制御回路異常、操作機構異常認識、及び累積遮断電流の演算によるアーク接触子の損耗診断などがある。

3. 開閉極位相制御装置とCBM

3.1 開閉極位相制御装置の用途とセンサ信号

開閉極位相制御装置は、開閉サージを抑制する最適点での開閉制御を目的として適用されている。図2に閉極制御時のタイミングシーケンス例を示す。閉極指令を入力した後、投入時の過電圧、過電流が抑制できる目標位相でGCBが投入されるように位相制御指令を出力する。

図3に開閉極位相制御装置のシステム構成例を示す。また、表2に入出力信号とその制御用途を示す。補助CT(Current Transformer)から主回路電流信号を入力して、開極制御時の基準位相と、閉極制御時の投入点検出に用いている。また、VT(Voltage Trans-

former)から母線電圧信号を入力して、閉極制御時の基準位相としている。動作行程信号からは、GCBの動作時間を計測している。また、制御時の動作条件である操作機構部の温度、制御電源電圧、操作圧力も検出している。

閉極制御時に取り込んだ波形例を図4に示す。主回路電流、補助接点、動作行程信号、母線電圧信号を同時に取り込み保存している。

3.2 開閉極位相制御装置データによるCBM管理

開閉極位相制御装置において、目標どおりにGCBを制御するためには、GCBの動作時間を予測、算出する必要

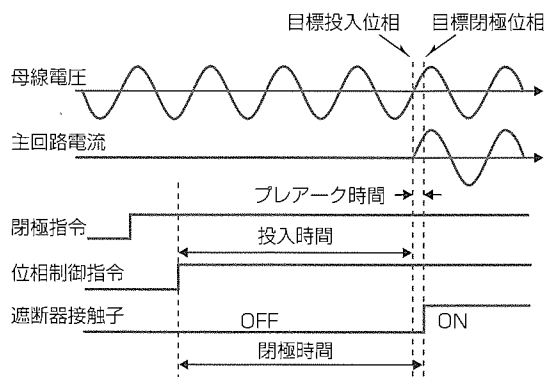
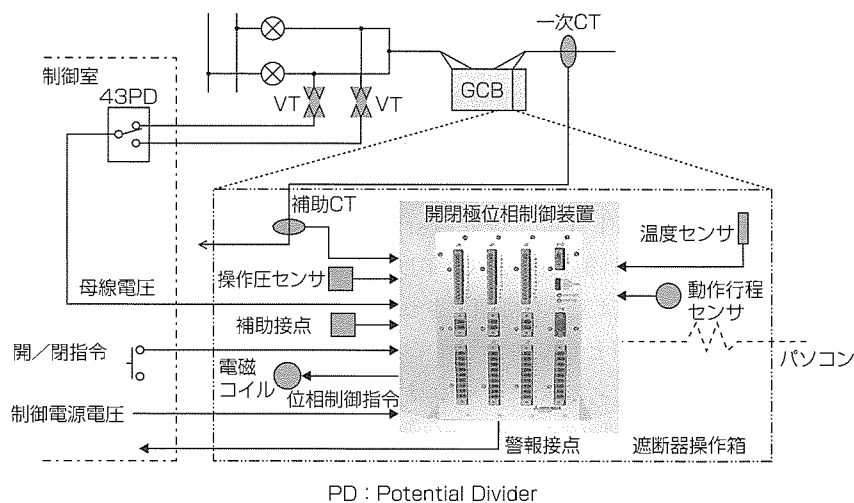


図2. 閉極位相制御タイミング



PD : Potential Divider

図3. 開閉極位相制御装置のシステム構成例

表1. CBMセンサ適用目的

対象機器 適用目的	新設機器	中経年機器 (25年以下)	高経年機器 (25~30年以上)
巡視点検の合理化	◎	◎	○
定期点検の合理化 (内部点検延長)	◎	◎	○
延命化支援	-	○	◎
無人化支援	○	○	○
事故時対応性向上	○	○	○

(◎は主目的を示す)

表2. 入力信号の制御用途

入力信号	制御用途
主回路電流	● 遮断制御時の基準位相 ● 投入点検出
母線電圧	電圧基準位相検出
動作行程	開動作時間計測
制御電源電圧	予測動作時間電圧補償
温度	予測動作時間温度補償
操作圧力	予測動作時間操作圧補償
補助接点	遮断器状態検出

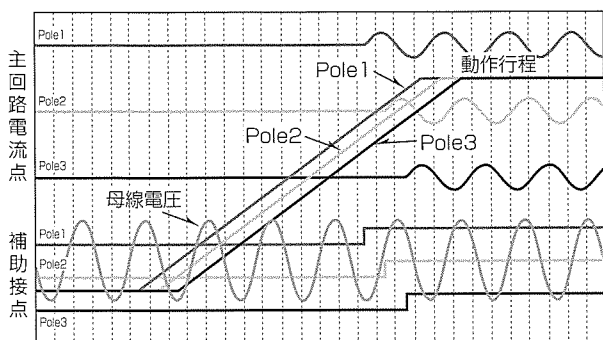


図4. 取り込み波形

がある。このために、開閉極位相制御装置には、演算補正として、GCB開閉動作時間の動作条件特性、稀頻度特性を組み込んでいる。動作条件特性としては、制御電源電圧(=電磁コイル駆動電圧)、操作圧力、温度等の要因を設定し、制御の時点での各要因のデータに基づき動作時間を予測して、制御信号を電磁コイルに出力する。また、制御後は、開極、閉極別に実動作時間を計測している。この実測された動作時間は、周囲環境条件や動作頻度によって変動する時間成分と、GCB機構そのものの状態によって決定される時間成分(以下“一定条件下での開閉極時間”という。)に分けられる。開閉極位相制御では、測定した動作条件、動作間隔と、組み込まれている動作条件特性、稀頻度特性を基に、一定条件下での開閉極時間に換算している。この一定条件下に換算した開閉極時間のトレンドを経年変化要因とすることにより、動作条件に左右されない精度の良い予測を実現している。

CBM管理の対象は、この一定条件下での開閉極時間である。このトレンドを基にGCB操作機構の監視に適用する事例を図5に示す。動作条件や稀頻度条件の要因を差し引いた同一条件下での開閉極時間トレンドがGCBの劣化指標である。

そのほかにも、開閉極位相制御装置が取り込んでいるデータを利用したCBM管理への展開を表3に示す。遮断動作時の主回路電流データを用いた累積遮断電流演算によるアーク接触子の損耗診断、操作圧力データを用いて操作圧力リークのトレンド管理が、制御電源電圧監視ではバッテリー低下、動作行程信号波形監視からは機構系の固渋(グリス劣化など)診断、温度監視からは制御回路異常検知ができる。

4. むすび

開閉極位相制御装置は、GCBを最適位相で動作するよ

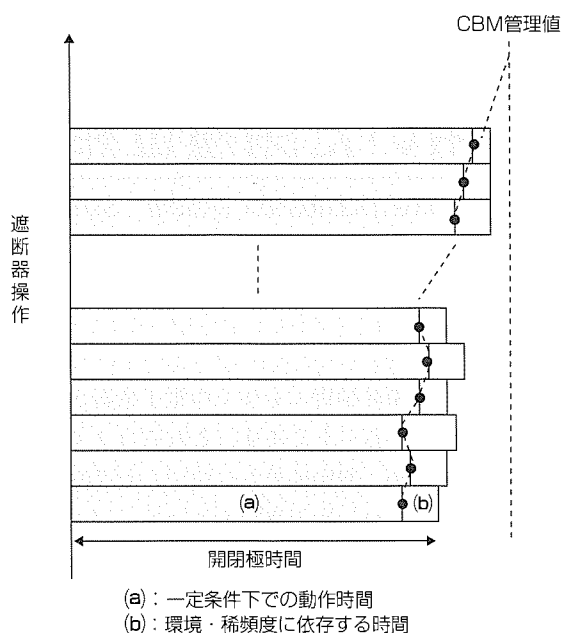


図5. GCB開閉極時間のCBM管理

表3. 入力信号のCBM展開

入力信号	CBM展開用途
主回路電流	累積遮断電流演算によるアーク接触子の損耗診断
動作行程	機構系の固渋(グリス劣化ほか)診断
制御電源電圧	バッテリー劣化
温度	制御回路異常
操作圧力	操作圧力リーク

う制御を行うことにより、開閉サージを抑制することができる。また、開閉サージ抑制により、GCBの主回路接触部磨耗の抑制ができ、機器への過電圧印加を防ぐことで、遮断器の寿命延長が期待できる。さらに、制御を実施する上で算出している一定条件下でのGCB動作時間のトレンドをCBM管理項目に加えていくことで、より精度の良いGCBのCBM管理が期待でき、制御/監視両面から変電機器の延命化に役割を担っている。

参考文献

- (1) 西田智恵子, ほか: GIS/GCBのCBM化を推進する高機能センサの開発, 電気学会論文誌B, 121-B, No.9, 1193~1198 (2001)
- (2) Kopejtkova, D., et al: Strategy for Condition Based Maintenance and Updating of Substations, CIGRE23-105 (1996)
- (3) 亀井光仁, ほか: 開閉機器, GISの診断技術, 電気評論, 23~28 (2003-7)

配電系統への適用：電磁操作真空遮断器を用いた閉極位相制御

堀之内克彦*
佐藤伸治**
丸山昭彦*

Applying to Power Distribution System : Synchronous Control Closing using Electromagnetically Actuated VCB
Katsuhiko Horinouchi, Shinji Sato, Akihiko Maruyama

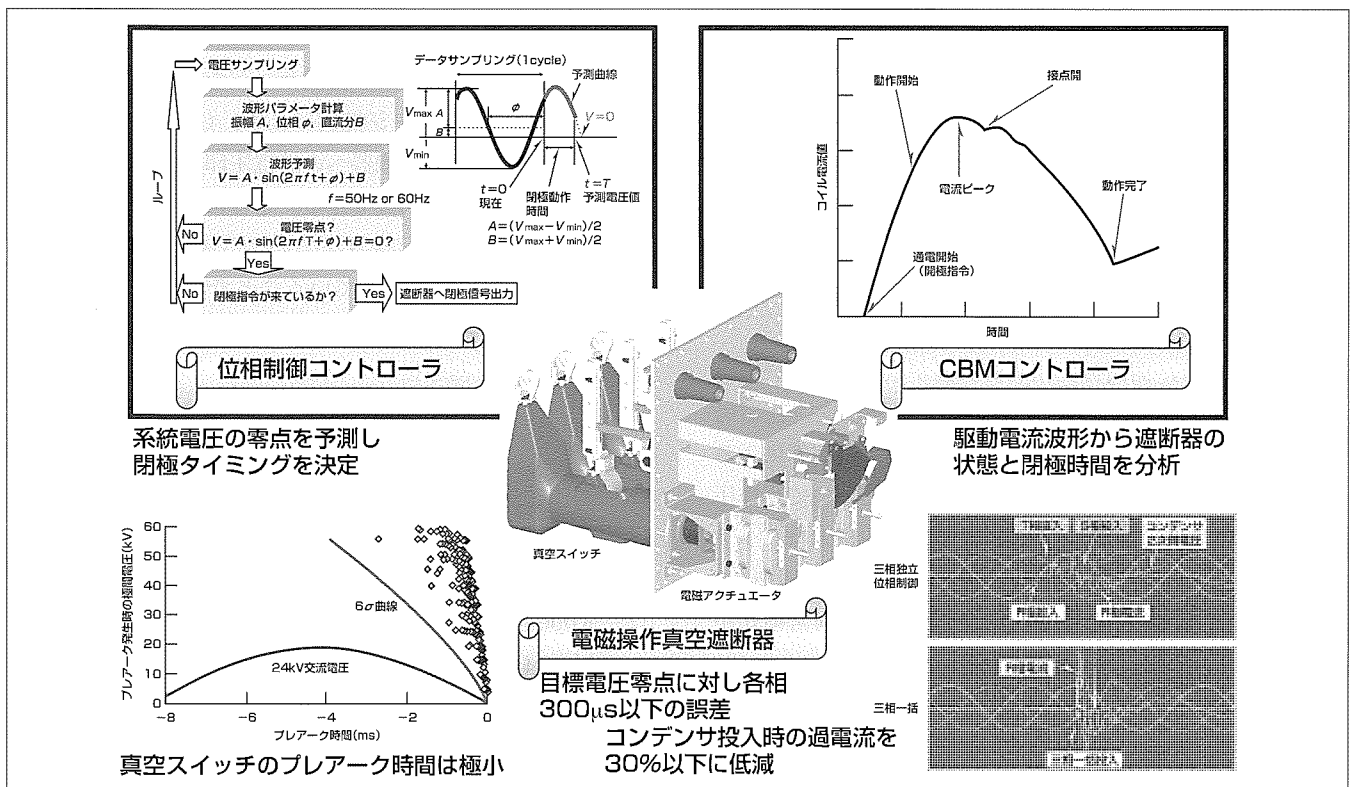
要旨

近年、受配電設備の制御にも多くの電子機器が使われるようになってきている。ところが、これらはノイズやサージに比較的弱いので、誤動作のない安定した受配電システムを構築するためには、電力機器からのサージ発生を抑制する技術が必要である。開閉動作によって発生する過渡的な過電圧・過電流を抑制することのできる位相制御技術は、電力機器自体の責務低減だけでなく、制御機器などの誤動作を低減することができ、より安定性・信頼性の高い受配電システムの構築を可能にする。

筆者らは、配電系統、すなわち中電圧クラスの変電システムや受配電設備に使用することを目的として、電磁操作装置を用いた24kV真空遮断器(VCB)の位相制御技術開発を進めている。この位相制御遮断器は、三相独立に駆動する電磁操作真空遮断器と、この遮断器に適応した位相制御

コントローラ、及びCBM(Condition Based Maintenance)コントローラによって構成されている。CBMコントローラでは、電磁操作装置の駆動電流波形から遮断器の状態及び閉極時間が得られる。位相制御コントローラでは、その閉極時間(遅延)を考慮した上で、系統の電圧波形の電圧零点で閉極が完了するように閉極信号の出力タイミングを決定する。ところで、正確な電圧零点での閉極にはブレイクについて考慮することが欠かせないが、真空スイッチでは短ギャップでの高耐圧特性から24kVにおいては問題とならない程度である。実電圧である22kVを印加して行った三相位相制御によるコンデンサ投入実験の結果から、目標投入零点に対し300μs内の誤差で投入できること、過電流を三相一括投入に比べて30%以下に抑えられることが分かっている。

特集
I



電磁操作真空遮断器の閉極位相制御技術

24kV電磁操作装置を用いた真空遮断器と位相制御コントローラ及びCBMコントローラにより、位相制御遮断器は構成されている。

1. ま え が き

最近のエレクトロニクスやIT技術の高度化に伴い、変電システムや受配電設備の制御に電子機器が使われるようになってきている。また、制御機器が相互に通信機器によって接続されることで、制御情報や状態情報を授受するインテリジェント化されたシステムも現れている。しかも、それらの制御機器や通信機器は受配電盤のコンパクト化に伴い、従来以上に開閉装置に近接して配置されるようになってきている。ところが、このような制御機器や通信機器は、ノイズやサージに比較的弱いため、誤動作のない安定したシステムを構築するための対策が必要である。このような状況において、開閉器の開閉動作によって発生する過渡的な過電圧・過電流を抑制する技術は、電力機器自体の責務低減だけでなく、制御機器や通信機器における誤動作を低減することができ、より安定性・信頼性の高い電力システムの構築を可能とする。

さて、位相制御技術はそのような開閉動作による過電圧・過電流を抑制する技術であるが、筆者らは、中電圧クラスの変電システムや受配電設備に使用することを目的とした位相制御遮断器を開発中で、電磁操作装置を用いた24kV真空遮断器の位相制御技術の開発を進めている⁽¹⁾。

本稿では、過電圧・過電流が発生するケースとして電力用コンデンサの投入を取り上げ、これに対して閉極位相制御を行う真空遮断器について述べる。この位相制御遮断器は、電磁操作真空遮断器と、系統の電圧波形から閉極のタイミングを決定する位相制御コントローラ及び電磁操作装置の駆動電流波形から遮断器の状態を調べるCBMコントローラによって構成される。両コントローラは電磁操作真空遮断器に適応したものとなる(図1)。本稿では、まずこれらについて述べ、次に、正確な電圧零点での閉極に欠かせない真空スイッチのプレアーク特性について述べる。最後に、実電圧である22kVを印加して行った三相位相制御によるコンデンサ投入実験について述べる。

2. 位相制御真空遮断器の構成

2.1 電磁操作真空遮断器

本稿における電磁操作真空遮断器は図2のような構成となっている。電磁操作装置であるアクチュエータは開極用と閉極用のコイルを持っており、あらかじめ充電されたコ

ンデンサを放電することでコイルに駆動電流を流し、それによって得られる電磁力で接点を駆動する。操作装置と接点の間はワイブ機構以外のラッチやリンク機構などがない直動式であるため、部品点数が少ないことなどから機械的な動作ばらつきが少なく、閉極時間のばらつきは、一般的に電力用コンデンサの閉極位相制御に対して要求される1.5msよりも小さいものになっている。この電磁操作装置を三相独立に持っている真空遮断器を図3に示す。

2.2 位相制御コントローラ

本稿で扱う図4のような電力用コンデンサ投入の場合には、各相の投入タイミングの条件は、遮断器の上位側とコンデンサ側との接点間の電圧差が零になったタイミングでの投入である。これを各相の相電圧の位相を基に考えると、図5に示すように

- 投入第1相(R相)：電気角 0°
- 投入第2相(T相)：電気角 30°
- 投入第3相(S相)：電気角 120°

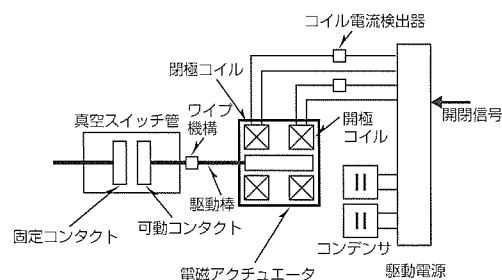


図2. 電磁操作真空遮断器

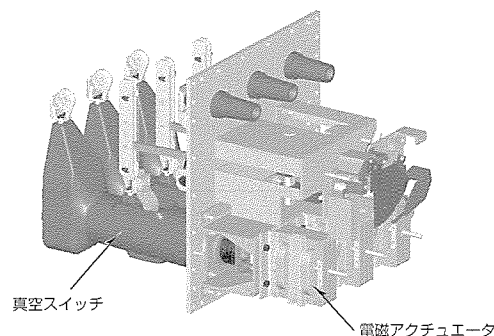


図3. 三相独立に電磁操作装置を持つ真空遮断器

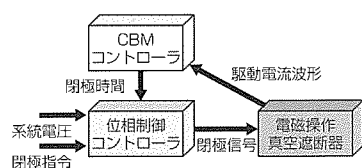


図1. 電磁操作真空遮断器を用いた位相制御遮断器の構成

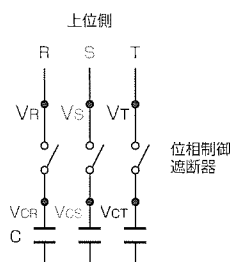


図4. 位相制御遮断器による電力用コンデンサの投入

となる。このように投入第1相と第2相との間の時間及び第1相と第3相との間の時間は固定されているので、第1相のタイミングが決まれば、第2相、第3相については単に時間をずらして投入すればよい。

第1相の投入タイミングは相電圧の零点である。目標とする電圧零点で閉極を完了するために遮断器に与える閉極信号は、遮断器が閉極信号を受けてから完全に接点間が閉じるまでにかかる閉極時間という遅延を考慮する必要があるため、図6に示すように、現時点までに得られた電圧波形から閉極時間後の電圧値を常に予測しておいて、上位からの閉極指令を受けた後、その予測した電圧値が零であるときに遮断器に対して閉極信号を出力するようにする。

これを行う位相制御コントローラは、一般に入手可能なA/D変換器内蔵型の市販のマイコンで実現可能である。マイコンに実装するアルゴリズムを図7に示す。まず、最初に電圧をサンプリングしてメモリに蓄える。次に、現在までに得られている過去1サイクル分の電圧サンプリングデータから振幅A、位相φ、直流分Bをデータの最大値と最小値及びそれらを与える時刻から求める。周波数fは60Hzであると決めておくと、閉極時間T秒後の電圧は $V = A \sin(2\pi f T + \phi) + B$ として予測することができる(図6の予測電圧波形に当たる)。この電圧VがV=0であればT秒後が電圧零点となるので、もし上位から閉極指令が来れば、遮断器に対して閉極信号を出力する。そうでなければ、最初の電圧サンプリングに戻り、これを繰り返す。こうすることで、電圧零点において閉極を完了することができる。

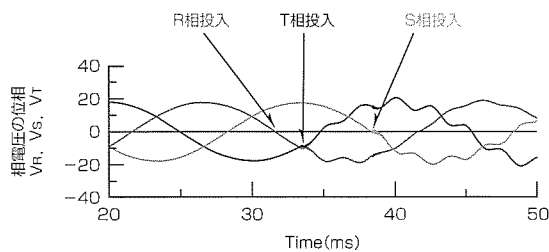


図5. コンデンサ投入時の閉極タイミング

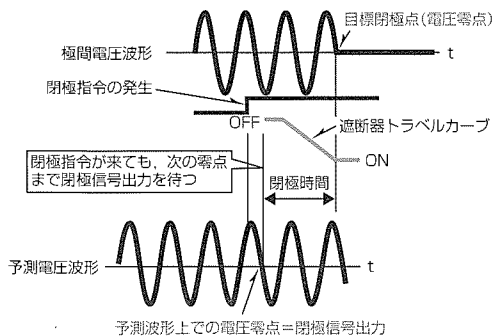


図6. 電圧零点予測

2.3 CBMコントローラ

前節で述べたように、位相制御による投入では、電圧零点時刻を予測するために遮断器の閉極時間が必要となる。閉極時間は、遮断器の摩擦や接点消耗などの機械的特性や、温度などの環境変化によって変動する。この変動量を、CBMコントローラでは、電磁操作装置の駆動電流波形を分析することによって求める。電磁操作装置の開極時の駆動電流波形は図8に示すような波形をしているが、この波形の持つ変曲点の位置から摩擦力や接点消耗量を求めることができる。さらに、この開極時の波形から閉極時間を求めることができる。

電磁操作装置の電流波形は、駆動用コンデンサから駆動コイルへの放電電流波形に駆動部の機械的な駆動特性を重畳した波形となっている。これは、駆動部の動作速度やポジションに応じて駆動コイル上に速度起電力が発生するためである。例えば、図の開極動作時の電流波形では、駆動部の動作開始直後に、急激な速度起電力の上昇によって電流極大点が生じている。また、ワイプ機構部の特性により接点開のタイミングでは電流極小点が生じ、電磁操作装置の動作完了時にも同様に電流極小点が現れる。電磁操作装置の駆動特性が変化すれば、これらの極大点や極小点の発生タイミングやその電流値が変化する。

上述のように駆動特性の主な変動要因は摩擦力や接点の損耗であり、これらの変動要因は閉極動作にも同様な影響を及ぼす。このような電流波形の特徴的な点の情報と摩擦

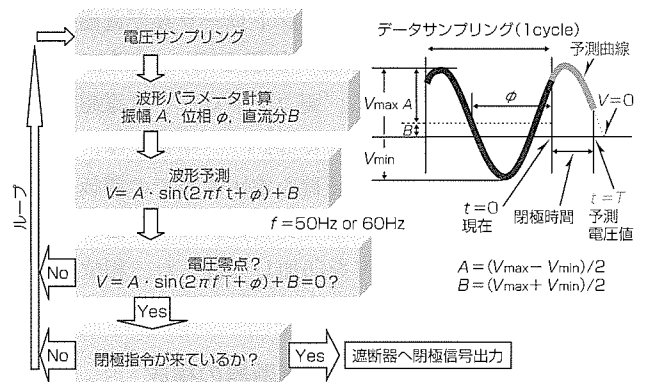


図7. 電圧零点検出アルゴリズム

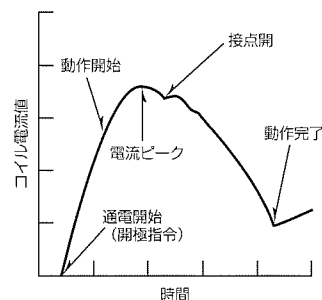


図8. 駆動電流波形による状態分析

力や接点の損耗量などの機械特性の変化の関係は、電磁界と運動を連成した解析手法を用いて精密に調べられ、実測においても良い一致が得られた。CBMコントローラ内部では、このような解析手法に基づいた信号処理を行うことにより、各相ごとの摩擦力や接点損耗を算出し、同時に次の閉極時の閉極時間を推定している。また、環境温度の変動は、コンデンサ容量やコイル抵抗を変化させ、電流波形へ影響を及ぼす。このため、CBMコントローラでは、温度センサを用いて閉極時間推定値の補正を行うことにより推定精度を更に向上させている。

3. 真空スイッチにおけるプレアーク時間

実際の真空スイッチの閉極過程におけるプレアーク発生タイミングを測定し、位相制御コントローラで電圧零点予測時に考慮すべきプレアーク時間について検討した。

図9は、24kV定格の真空スイッチの接点間に直流電圧を印加しながら投入速度一定下で閉極した場合に、接点の機械接触の何ms前からプレアークが点弧するかについて、印加電圧を変えて測定した結果である。同図の横軸のプレアーク時間は、接点の機械接触時刻をゼロとした時間で表記した。

プレアーク時間のばらつきは、接点間への印加電圧が高いほど大きくなっている。そのばらつきから計算した 6σ 曲線と接点間に24kV交流電圧が印加された場合の電圧曲線を比較すると、十分な差を持って(6σ 曲線) $>$ (24kV曲線)の関係が成立している。したがって、24kV定格では、プレアーク時間は極めて短く、問題とならない程度である。

4. 三相位相制御によるコンデンサ投入実験

前章までで述べた位相制御遮断器を用いて電力用コンデンサの投入実験を行った。実験の回路は、図10に示すような、三相のコンデンサ投入回路である。位相制御遮断器によって2.2節で示したタイミングで各相独立に投入を行う。

実験の結果を図11に示す。図は、位相制御遮断器の上位側の各相の電圧及び投入第1相に当たるR相の電流を示している。また、この図には、比較のため、三相一括投入の場合も示してある。この結果から、目標投入零点に対し、各相すべて300 μ s内の誤差で投入できることが分かる。また、位相制御を行うことにより三相一括投入に比べて過電流を30%以下に抑えられることが分かる。

5. むすび

本稿では、配電システムへの位相制御技術の適用として、電磁操作装置を用いた真空遮断器による位相制御技術について述べた。機械的ばらつきの少ない電磁操作装置、電圧零

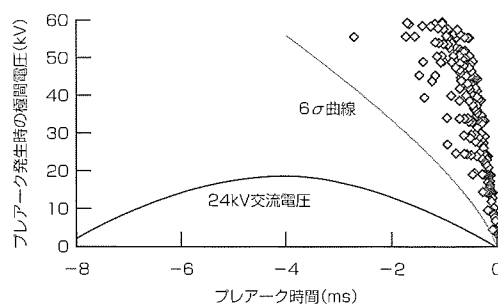


図9. 真空スイッチのプレアーク時間

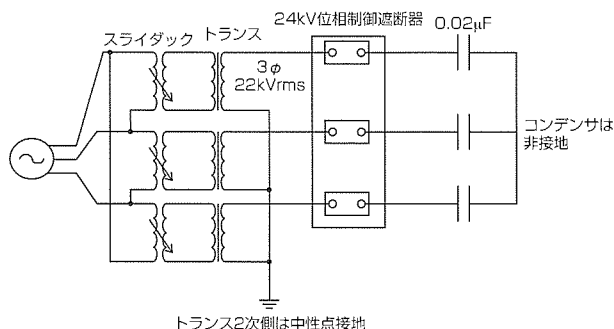


図10. コンデンサの三相位相制御投入実験回路

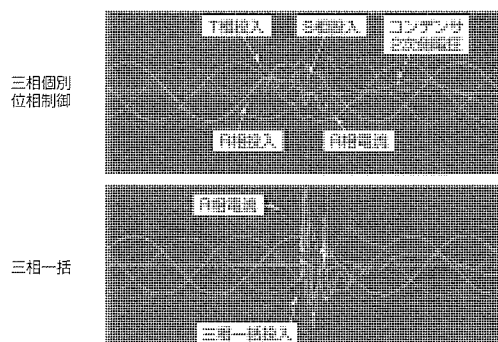


図11. 三相位相制御投入の実験結果

点で投入するための閉極タイミングを決定する位相制御コントローラ、開極時の駆動電流波形から遮断器の状態を求め摩擦力や接点消耗から閉極時間を求めるCBMコントローラについて述べた。そして、電圧零点で正確に投入するためのプレアーク時間の特性について述べた。最後に、三相位相制御によるコンデンサ投入実験について述べ、目標投入零点に対し300 μ s内の誤差で投入できること、過電流を三相一括投入に比べて30%以下に抑えられることを示した。

参考文献

- (1) 堀之内克彦, ほか: 電磁駆動真空遮断器を用いた投入位相制御, 電気学会論文誌B, 126, No.5, 550~555 (2006)

II 次世代の交通システムに望む—鉄道システムにおける第3の波—

Expectation for Next Generation's Transportation System
"The Third Wave in Railway System"中村英夫
Hideo Nakamura

1964年(昭和39年)東海道新幹線の開業という世紀の大事業を成功裏に成し遂げた国鉄は、1968年(昭和43年)10月に在来線のダイヤ改正を行った。いわゆる4310(よんさんとう)と呼ばれる白紙ダイヤ改正である。荒廃した戦後社会の復興に鉄道が大きく貢献したことは承知のとおりである。そのほぼ20年後の4310白紙ダイヤ改正は、鉄道自身の再生と飛躍を意図したもので、我が国の鉄道史に燦然(さんぜん)と輝くマイルストーンとなった。これを期に、我が国の鉄道システムは大きく質的変貌を遂げ、世界に冠たる今日の地位を築くに至った。4310は単なる運転ダイヤの大規模改正ではなかった。これを契機に実施されたCTC(Centralized Traffic Control)を含む自動信号化や交流電化、そして継電連動装置の大量投入、前後して実施されたATS(Automatic Train Stop)の全国展開といった設備面での施策が、その後の安定した鉄道輸送の礎となったのである。

今日の鉄道技術を眺めると、保安制御分野へのコンピュータ・情報化技術の導入も大きな意味を持つ。1985年の電子連動装置実用化がその嚆矢(こうし)となったが、この技術は、機器、デバイスのコンピュータ化を超え、鉄道のシステム化や制御の仕組みそのものの変革を促した。安全に直接関与しない部分へのコンピュータ技術の導入は早く、1978年には稲沢ヤードでマイコン利用による貨車自動仕訳装置が実稼働をしている。しかし、列車制御という視点では、保安制御を核にしたシステム技術を抜きには語れない。それまで、劣悪な電磁環境を前提に、高いエネルギーを利用した論理構成が必然として用いられてきた。コンピュータ制御では、符号という概念がエネルギーに取って代わり、しかも、情報とインテリジェンスを駆使した制御は、電子閉塞(へいそく)や様々なATSを生み出し、多様、多彩な

運行管理のトータルシステムの出現を可能とした。

振り返ってみると、戦後から大きな波が約20年ごとに到来したことになる。そして、コンピュータ式信号装置時代から20年を経た。今あえて第3の波は?と問われれば、移動体通信技術に依拠した新たな鉄道システムの創世、“モバイル通信時代”の幕開けと答えたい。既に、無線を使った列車制御システムATACSが実用に向けて動き出した。たしかに、踏切、閉塞、連動、ATS、ATC(Automatic Train Control)は今日の鉄道の保安制御を構成する中心システムである。しかし、列車という制御対象の実体と直接情報交換を行うモバイル通信という手段を得たとき、これまでのフレームに束縛される理由もない。列車を運転するために営々と築き上げたシステムの根本的変革を可能とするこの技術は、フレキシブルで強靱(きょうじん)な鉄道システム実現の力となり得る。移動閉塞の実現や踏切制御の最適化、単線並列運転、少両編成高頻度運転、省エネルギー運転などこれまで机上の理想解であったものの実現が合理的に視野に入る。サンフランシスコ湾岸高速鉄道BARTで開発中の無線利用列車制御システムAATCでは、車上のノッチを直接地上から制御する省エネルギー運転を試みている。

モバイル通信時代の鉄道システムは、ハードウェアや制御の仕組みの変革のみにとどまらない。コンピュータや無線といったハードウェア技術の進歩が華々しいが、むしろ、鉄道が抱える課題解決の多くはソフト技術に期待するところが大きい。モバイル技術は情報の発生源と受信基地の地理的自由度を増大させる。その効果をより有効に利用するには、シミュレーション技術、予測技術の充実が不可欠であり、輸送乱れからの迅速な回復など強靱な鉄道システム実現への努力を望みたい。

交通システムの動向と展望



四方 進*



金田順一郎**



駒谷喜代俊***

Overview of Transportation Systems

Susumu Shikata, Junichiro Kaneda, Kiyotoshi Komaya

要 旨

鉄道は、環境負荷が少なく安全で安定した大量輸送が可能な交通システムとして、日本のみならず世界各国で社会インフラの根幹に位置付けられている。また、21世紀に入り、人と物の移動手段としてだけではなく、情報通信技術を取り入れることにより、個々の鉄道利用者にとって、より安全、円滑、快適なサービスを提供することが重要な課題となってきた。

三菱電機は“Better Mobility”を交通事業のスローガンとして、次の2点に焦点を絞り、鉄道の価値向上につながる製品を提供することを目指して努力している。

まず、当社は、車両システム(推進駆動装置、制動保安装置、情報制御装置、空調装置)のすべてを供給できる国内唯一のメーカーとして、“安全・安定輸送の確保”“環境への適合”“快適性・サービス水準の向上”“ライフサイクルコストの低減”をコンセプトとした製品を提供してきた。現在、国内はもとより、世界21か国で当社製品が活躍している。今後は、グローバル化を加速して、世界No.1メーカーを目指して更なる努力を重ねていく所存である。

また、当社は、車両システムを基幹製品としつつ、移動体通信システム(列車無線、無線LAN(Local Area Network)、ミリ波)と地上系システム(信号、変電、基地、運行管理、輸送計画)についても豊富な実績を積み重ねて、基本計画から設備運用・保守までの総合エンジニアリング力を蓄積してきた。今後は、この総合エンジニアリング力に裏付けされた交通システムプロバイダーとして、情報通信技術を用いた地上と車上の情報連携による交通システムの革新をリードしていく所存である。

この特集号では、車両システムを構成する推進駆動装置、制動保安装置、情報制御装置について、最新の技術動向と今後の展望を詳細に述べる。また、地上と車上の情報連携による新たなソリューションとして、車両情報のリモートモニタリングシステムとタイヤ乱れなどの異常時対応システムについても述べる。

本稿では、先進的な製品例を中心に、交通システムに対する当社の取り組みを述べ、将来展望についても述べる。

車両システム
推進駆動装置／制動保安装置／
情報制御装置／空調装置

移動体通信システム
デジタル列車無線／無線LAN／
ミリ波通信システム

地上系システム
信号／変電／基地／
運行管理／輸送計画

安全・安定輸送の確保
環境への適合
快適性・サービス水準の向上
ライフサイクルコストの低減

世界No.1の
車両用電機品メーカーへ

Better Mobility

次代をになう
交通システムプロバイダーへ

地上と車上の情報連携による
交通システムの革新

交通システムの事業ビジョン

車両システム(推進駆動装置、制動保安装置、情報制御装置、空調装置)で世界No.1メーカーを目指すとともに、総合エンジニアリング力を持つ交通システムプロバイダーとして、情報通信技術を用いた地上と車上の情報連携による交通システムの革新をリードする。

*交通事業部長 **伊丹製作所長 ***同製作所 主管技師長(工博)

1. ま え が き

当社は“Better Mobility”を交通事業のスローガンとして、鉄道事業者との共同開発に取り組み、社会インフラの根幹である鉄道の価値向上につながる製品を提供することを目指して努力している。このために、当社の基幹製品である車両システム(推進駆動装置、制動保安装置、情報制御装置、空調装置)を更に進化させるとともに、移動体通信システム(列車無線、無線LAN、ミリ波)と地上系システム(信号、変電、基地、運行管理、輸送計画)を含めた交通システムのプロバイダーとして、情報通信技術を用いた地上と車上の情報連携による交通システムの革新をリードしていく所存である。

本稿では、先進的な製品例を中心に、交通システムに対する当社の取り組みを述べ、将来展望についても述べる。

2. 車両推進駆動装置

主電動機と推進制御装置に代表される車両推進駆動装置は成熟期の製品ではあるが、信頼性の向上及び環境負荷の低減に対するニーズは尽きることがない。

当社は、こうしたニーズに適合するため、従来から交流駆動化を率先して推進し、これまでに32,000台の誘導電動機と7,500台のVVVF(Variable Voltage Variable Frequency)インバータを世界21か国へ提供してきた。また、沿線周辺での環境問題に対応して、全閉形主電動機の採用により大幅な低騒音化を達成した。推進制御装置では、主回路半導体素子の開発・チップ製造・組立て試験を自社内で一貫して実施している点を活用して、高耐圧・低損失化とモジュール化を追求したHV-IPM(High Voltage Intelligent Power Module: 6.5kV, 600A)を適用した先進的な製品を提供してきた。さらに、走行風利用の冷媒レスドライパネル冷却やりサイクル可能なアルミ材の活用についても積極的に取り組んできた(図1)。今後は、世界No.1の車両用電

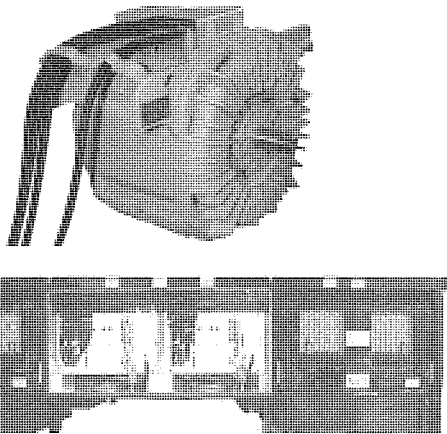


図1. 全閉形主電動機と冷媒レスドライパネル冷却式推進制御装置

機品メーカーを目指して、信頼性の向上と環境負荷の低減に向けた先進的な製品を開発していく所存である。

また、世界基準での物作りを目指して、設計段階ではビルディングブロック法やリアルタイムシミュレータの適用、試験段階では環境試験室での性能検証や大型電波暗室でのEMC/EMI(Electromagnetic Compatibility/Electromagnetic Interference)検証を実施できる体制を整えている。製作段階においても、従来の“個別生産”から“準量産(繰り返し生産)”へ転換を図り、部品の標準化・共通化はもとより、工場内での部材管理から部品供給方法の見直しまで、繰り返し生産に適した工場を再構築している。これは、米国で最大の輸送量を持つニューヨーク近郊のロングアイランド鉄道へ1,200両分の推進駆動装置を納入する機会をとらえ、取り組んできた。現在、国内外において大型受注が続いており、メキシコを始め米国、中国での製造拠点立ち上げも順調に進んでいる。

3. 超電導磁気浮上式鉄道システム

超電導磁気浮上式鉄道(超電導リニア)システム(図2)は、次世代の超高速、大量輸送機関として期待されている。当社は、超電導リニアの開発当初から一貫して、キーコンポーネントである超電導磁石を始め、浮上・案内地上コイル、推進用地上コイル、電力変換器などの主要機器の開発を担当してきた。また、山梨リニア実験線においても実用化開発の一翼を担ってきた。

山梨リニア実験線(先行区間18.4km)では、1997年から種々の走行試験が繰り返されてきたが、2005年には“実用化の基盤技術が確立した”との評価がなされている。今後は、実験線の延伸(総延長42.8km)及び設備・機器のリニューアルが計画されており、当社としても更なる技術開発に注力していく所存である。



図2. 超電導磁気浮上式鉄道システム

4. 車両情報制御装置

当社は、1979年から車両情報制御装置のパイオニアとして、常に先進的な製品を提供してきた。これらの製品は、海外向け5,000両を含め、19,000両の車両に搭載されている。現在は、東日本旅客鉄道㈱のE231系電車(1999年運用開始)に採用されているTIMS(Train Information Management System)に代表される列車情報管理装置が主力製品である。列車情報管理装置は、車載機器のモニタリングを基本機能とし、運転支援、検修支援、制御指令伝送、編成・統合制御、乗客サービスなどの多様な機能を持ち、安全・安定輸送の確保、ライフサイクルコストの削減、サービス水準の向上を実現している。TIMSはE231系に引き続きE233系電車(中央快速線用)への採用が決まり、現在は更なる信頼性の向上を目指した冗長性設計に取り組んでいる。

列車情報管理装置では、伝送路を編成内の各車両をつなぐトレインバス(10Mbps)と車両内の各種機器をつなぐローカルバス(1Mbps)の2階層で構成している。さらに、伝送データの構造を標準化して、各車両の伝送装置が自立的に必要な情報を受け渡すことにより、応答性の確保と処理性能の向上を両立させている。こうした基本構成の上に、運転阻害要因の排除を目指して、制御伝送部の二重化及びラダー形伝送方式の採用により高信頼化を図っている。こうして実現された制御指令の伝送化により、車両間の電線本数は大幅に削減された。また、各種制御機能の集約化により、部品点数と車両内配線が削減された。これらは、質量の軽減による省エネルギー化とブレーキの編成ブレンディングなど制御の高度化を可能にするとともに、信頼性向上による安定輸送の実現に貢献している。

このように、列車情報管理装置は、高信頼化と機能の集約化を目指して、鉄道事業者と共同で開発を進めてきた。今後は、これらの深度化を図る統合化車両制御システムの開発に加えて、地上と車上で容易に情報を共有できるオープンな情報プラットフォームの構築を目指す所存である。情報プラットフォームの理想像は車両に関するすべての情報を容易に発信・受信できるものであり、図3に示すように、車載機器に関する情報を受信し、車両状態に関する情報と運行状況に関する情報を発信することを考えている。車載機器管理サーバと車両状態管理サーバは車両状態をより効率的に管理しようとするもので、その一部は既にリモートモニタリング機能として実用化されつつある。運行状況管理サーバは、列車の位置、速度、又は乗車率などの情報を車上からリアルタイムに取得することにより、従来の運行管理システムや輸送計画システムとは異なり、直接的な情報により安全・安定輸送を実現しようとするものである。これらにより、車上主体による列車運行が可能となり、地上設備の削減・簡素化が期待される。

また、当社は、乗客への新しい情報サービス装置として、トレインビジョンを開発した。これは車内の乗客が必要とする情報を地上から車上へ配信し、車内に設置された液晶ディスプレイに表示するシステムで、東日本旅客鉄道㈱のE231系電車を始めとし、大都市圏を中心に、既に1,000両の車両に搭載されている。最新の製品では、映像データのデジタル伝送(100Mbps)が可能となり、高画質・高解像度のコンテンツを19インチ液晶ディスプレイに表示できるようになった。現在、地上デジタル放送への対応、駅旅客案内システムとの連携を目指して開発を進めている。

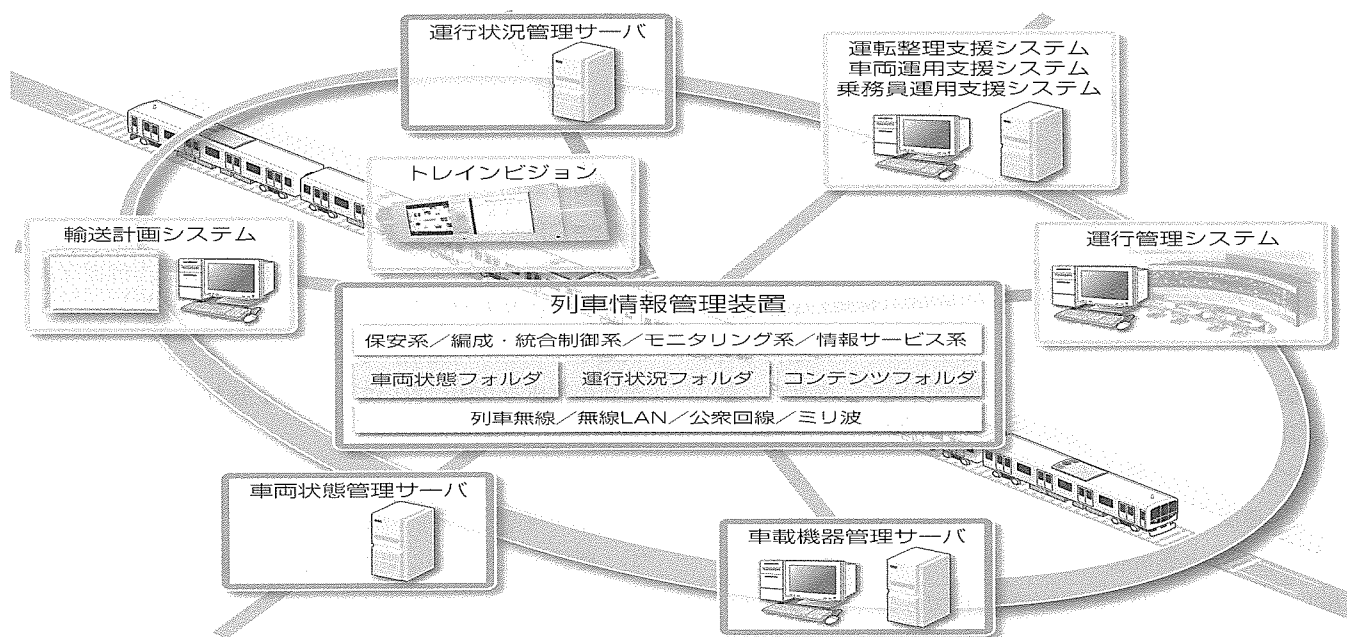


図3. 地上と車上の情報共有に適した情報プラットフォームとしての列車情報管理装置

5. 信号システム

信号システムでは、デジタル化とソフトウェアによる高機能化が進み、車上主体の列車速度制御が実用化されている。当社は、車上の制動保安装置で長年培われたDual-CPU(Central Processing Unit)に代表されるフェイルセーフ技術を基に電子連動装置を開発し、西日本旅客鉄道(株)へ初号機を出荷(2005年)した。

電子連動装置に続き、デジタルATC(Automatic Train Control)システムの地上装置と車上装置を横浜市交通局から一括受注(2004年)し、現在は走行試験を開始している。地上装置は、電子連動装置の高い演算能力を生かして、連動論理とATC論理を同一のCPUで実行できるよう設計した。さらに、最新のデジタル信号処理技術を適用して、ATC電文と列車検知波の送信器を共用可能に設計し、小型でシンプルな装置構成を実現している。また、車上装置と地上装置の設計を並行して進め、それぞれの処理内容とデータの整合性を確認しつつ開発した。そして、地上-車上の統合シミュレーション環境を用いて、ソフトウェアとデータを一括して管理・試験できる体制を構築した。これらは、総合エンジニアリング力を持つ交通システムプロバイダーとしての活動の一例である。

さて、信号システムは、鉄道における安全のかなめであり、そのデジタル化とソフトウェアによる高機能化は安全性評価の重要性を増大させている。国際的にもIEC61508, IEC62278など安全性に関する規格が制定されており、当社では、これらの規格に適合した製品を提供するため、第3者機関の安全性審査に基づいて製品を開発している。

6. ITソリューション

当社は、移動体通信システムの分野でも常に先進的な製品を提供するとともに、地上と車上の情報連携による新たなソリューション開発にも積極的に取り組んでいる(図4)。

列車無線は地上と車上をつなぐ連続的な通信手段として広く普及しているが、当社は、適応等化技術⁽¹⁾の開発により高品質なデジタル化への道を開いた。デジタル化により、トンネル区間を含む全線で高速かつリアルタイムなデータ通信が可能となってきた。また、汎用の無線LAN又はDopa^(注1)網などの公衆回線を用いたリアルタイム通信も可能となってきた。こうした通信手段を用いて、当社は、鉄道事業者と共同で、地上から車上へは運行情報、変更ダイヤなどの情報を、車上から地上へは車両故障、列車情報(位置・速度・乗務員データ)などの情報を直接伝送し、ダイヤ乱れ時など異常時の業務を革新するシステムを開発し

(注1) Dopaは、(株)NTTドコモの登録商標である。

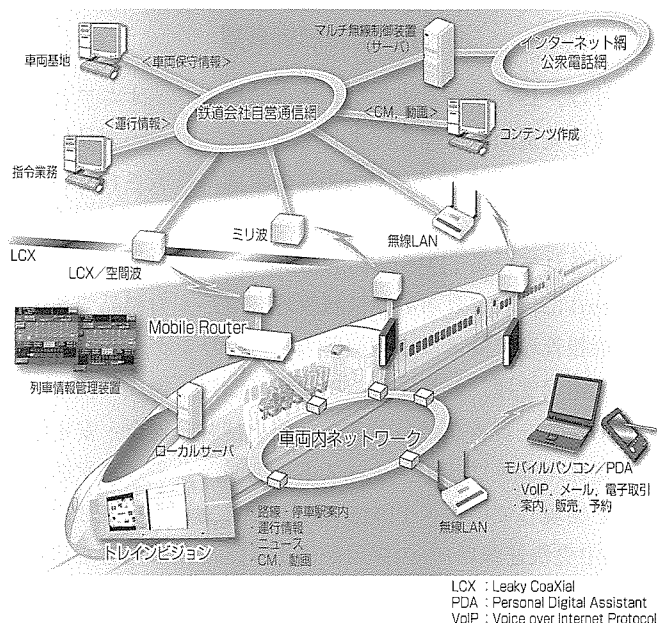


図4. 移動体通信システムとITソリューション

ている。既に、車両故障情報の伝送は、東日本旅客鉄道(株)のE231系電車向けにRIMS(Remote Information Monitoring System)として実用化されており、安全・安定輸送の確保に貢献している。また、ダイヤ乱れ時の乗務員運用整理支援にも取り組んでおり、異常時対応力の強化として期待されている。一方、東海旅客鉄道(株)で予定されている新幹線車内でのインターネット接続においても、一部装置の製作を担当している。

さらに、100Mbps以上の大容量スポット伝送が可能なミリ波通信システムの開発にも当社はいち早く取り組み、ドレインビジョンのコンテンツ配信に利用されている。また、今後は、列車情報管理装置の車載機器管理サーバにおいても、地上と車上の情報伝送に適用する予定である。

7. むすび

当社は、鉄道事業者との共同開発を通して、他社にない先進的な製品を提供してきた。それらは、“走る”“停まる”といった鉄道の基本機能だけにとどまらず、“つなぐ”という情報通信技術によって地上と車上の情報連携機能を実現するものに及んでいる。今後も、利用者には安全、円滑、快適なサービスの提供、事業者には安全・安定輸送と業務革新の達成を念頭に置いて、更なる努力を重ねていく所存である。

参考文献

- (1) 藤岡 滋, ほか: 東北・上越新幹線デジタル列車無線システム, 三菱電機技報, 78, No.2, 148~151 (2004)

統合化車両制御システムの動向と展望

本間英寿*
角南健次*

Trend and Prospect of Train Integrated Management System

Hidetoshi Homma, Kenji Sunami

要旨

鉄道車両の中核となる車両制御システムは、従来は、その代表機能である走行制御を行う推進制御装置を指すことが多かった。また、鉄道事業における基本原則となる安全輸送のかなめである地上系を含む信号保安装置を、車両(列車)制御システムと呼ぶことも多い。

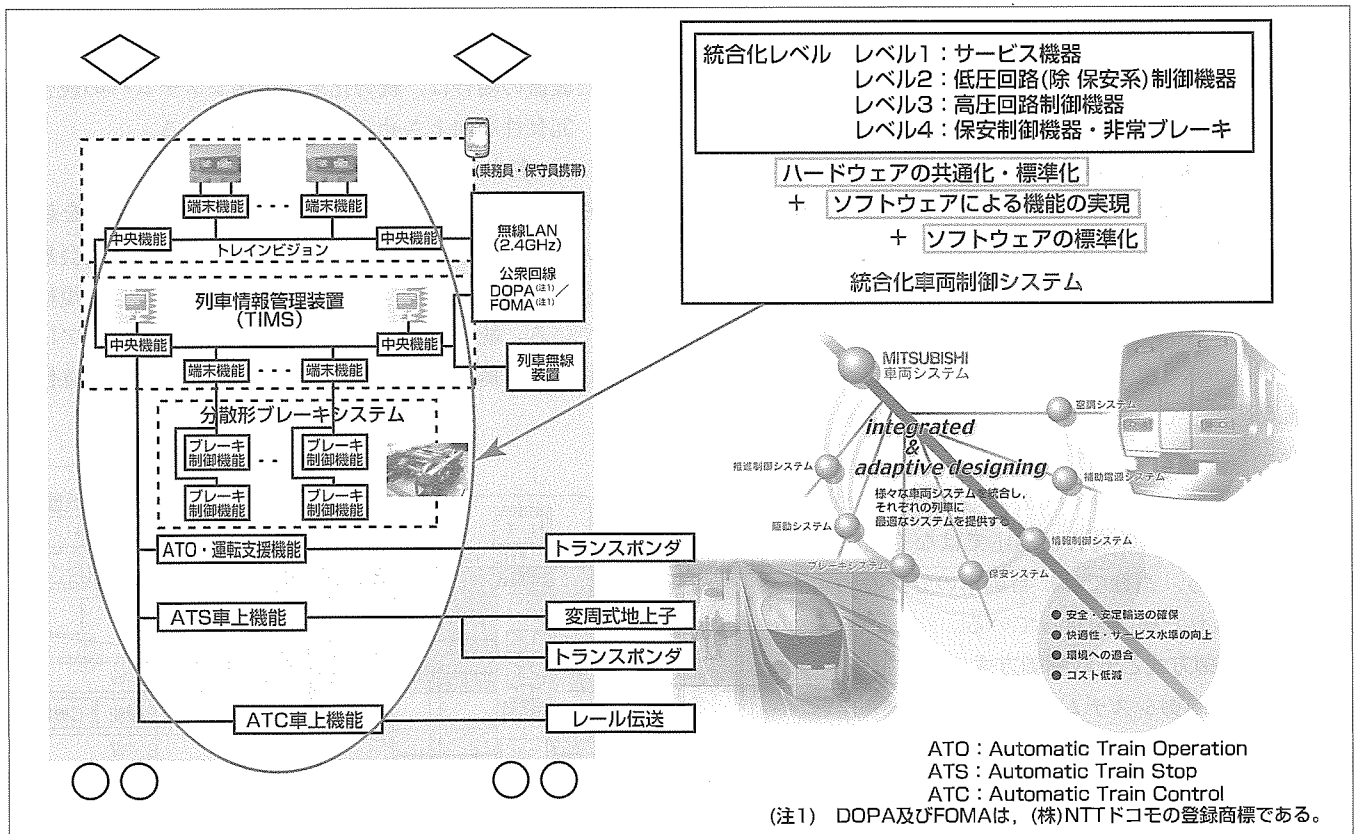
三菱電機は、国内外で実績豊富な列車情報管理装置を基本として、車両システムを構成する駆動装置、推進制御装置、制動保安装置、空調装置のトータルサプライヤーとしての総合技術力を駆使し、統合化車両制御システムの開発を進めている。開発に当たっては、従来からの個別装置の枠を打破し、これらの機能の集約化と車両システム全体としての最適化を念頭に置いている。これは車両システムを

再構築するもので、今後は統合化車両制御システムが鉄道車両の中核になるものと考えられる。

統合化車両制御システムでは、従来の各装置における専用マイコンのハードウェア仕様を共通化・標準化したプラットフォーム上に、各装置の機能をソフトウェアにより実現する。ハードウェアでは信頼性と冗長性の確保に、ソフトウェアでは品質と生産性の向上に向けた標準化の推進を基本として、システムとしての安全性の確保には最大限の注力を図っている。

このシステムは、“安全・安定輸送の確保”“快適性・サービス水準の向上”“環境への適合”“コスト低減”といった鉄道事業者の要求に大きく貢献できるものである。

特集
II



統合化車両制御システムの概念及び統合化レベル

当社は、車両システムのトータルサプライヤーとして、統合化車両制御システムによる車両システムの最適化に取り組んでいる。統合化車両制御システムは、冗長性・信頼性の高い標準ハードウェアと列車内ネットワークにより構成され、従来の各装置の機能をソフトウェアにより実現している。また、車両システムの各装置の統合化難易度に応じてレベル1(易)からレベル4(難)に分類し、レベルに応じた検討を行っている。

1. ま え が き

パワーエレクトロニクス及び情報処理技術の著しい進歩に伴い、鉄道車両においても主電動機が直流電動機から交流電動機に置き換わり、制御方式はチョップ制御からVVVF(Variable Voltage Variable Frequency)制御、主回路半導体素子はGTO(Gate Turn Off thyristor)からIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)／IPM(Intelligent Power Module)を適用した2レベル変調方式となる等、車両システムの各構成部位は大幅な進化を遂げてきた。特に最近では環境問題に対する関心が社会的に高まっており、鉄道車両は他の交通機関より環境面で優れているものの、更なる省エネルギー化、低騒音化及び省保守化に対する改善の声は尽きることがない。

一方で、鉄道事業における安全・安定輸送に対する要求は最近の社会情勢の影響からも非常に厳しくなっており、大幅な進化を図るためには、従来の推進制御装置、ブレーキ装置、運転支援・保安制御装置及び空調装置といった個別装置のシステム化による改善に加えて、車両システム全体としての大幅な改革が期待されている。

本稿では、統合化車両制御システムの動向及び将来的な展望について述べる。

2. 統合化車両制御システムの動向

2.1 自動車の分野における統合制御化の流れ

鉄道車両と同様の環境にある自動車の分野でも、環境問題の改善のために電子制御が積極的に採用され、中型車クラスではECU(Electronic Control Unit)が最大50個程度搭載されている。さらに、制御の最適化のために、車載ネットワークのデファクトスタンダードであるCAN(Controller Area Network)によりECU同士を連携させ、従来の個別制御から複数のECU機能の一つにまとめた統合制御に順次進化している。また、指令系は油圧制御指令からネットワーク指令に移行しており、これらの状況が鉄道車両の分野における状況と同様(ただし、鉄道の場合は油圧ではなく電圧)であることから、当社では、自動車の分野の動向も視野に入れた検討を行っている。

2.2 集中制御方式と分散制御方式

統合化車両制御システムではハードウェア仕様を共通化・標準化し、各装置の機能は、ソフトウェアにより実現することにより、車両システムを再構築するものである。ただし、統合化に当たっては、一つのユニットに機能を集中させるいわゆる集中制御方式ではなく、現状の装置のハードウェアを必要に応じて分割するとともに、同種のハードウェアは統合して最適化を

図る分散制御方式を採用した。集中制御方式では各処理を行うための入出力信号線が膨大となり、入回路数の増加によるユニットの大型化、処理能力不足は避けられない。また、集中制御部の故障によりシステム全体が停止する可能性もある。このため、機能を分散させて冗長性を向上させる一方で、同種ハードウェアは従来の装置範囲を越えて統合するとともに、各ユニット間のインタフェースは、配線ではなく列車内ネットワークを活用する分散制御方式とした。これにより、各ユニットの小型化、処理能力不足解消、さらにはソフトウェアの生産性向上及び品質向上が可能となる。この傾向は、2.1節の自動車の分野においても同様である。

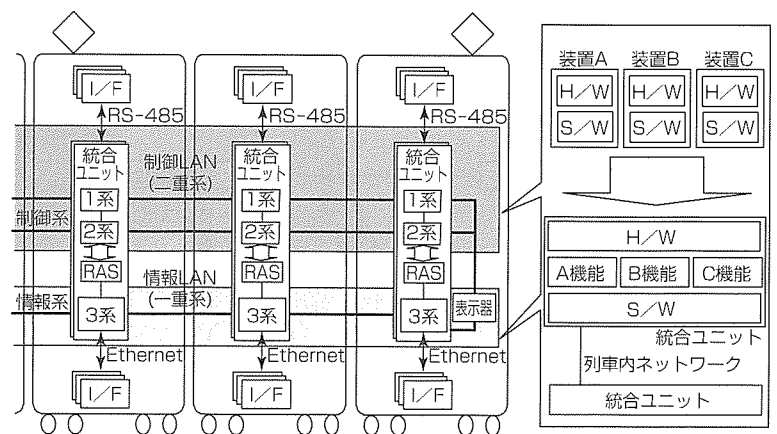
2.3 システムの基本構成

統合化車両制御システムの基本構成を図1に示す。列車内ネットワークは、制御LAN(Local Area Network)(二重系)と情報LAN(一重系)で構成され、現時点の最大伝送速度は制御LANが10Mbps、情報LANが100Mbpsである。各車には統合ユニットが搭載され、各ユニットは車両制御機能を持つ制御系(二重系)と情報サービス機能を持つ情報系(一重系)に分類される。制御指令情報等の高い信頼性と冗長性が必要なデータ処理には制御系を、映像情報・音声情報等の情報量の大きいデータ処理には情報系を使用する。

制御系のハードウェアは電源系、伝送系を含めて完全二重系で構成されている。このため、従来一重系で構成されていた装置の場合は、統合化車両制御システムへの統合により、冗長性を向上させることが可能である。

2.4 ハードウェア

当社の列車情報管理装置は既に国内外で3,000両を超える納入実績があり、その仕様は(株)日本鉄道車輛工業会規格「JRIS D 1001 鉄道車両用列車情報管理装置」として規格化されている。統合化車両制御システムのハードウェアは、この規格に準拠するとともに、標準化及び信頼性の確保を



LAN: Local Area Network I/F: InterFace unit
 RAS: 自己診断機能(Reliability, Availability and Serviceability)
 H/W: HardWare S/W: SoftWare RS-485/Ethernet^(注2): 車両内伝送
 (注2) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

図1. 統合化車両制御システムの基本構成

図った⁽¹⁾。また、機能統合によりハードウェア不良発生時の影響が大きくなるため、下記の自己診断機能を強化した。

- 電源監視
- 伝送監視
- 温度監視
- 機器制御ログ採取

さらに、グローバルゼーション(海外市場と国内市場の統一化)を考慮し、以下の国際規格に準拠している。

(1) 列車内ネットワーク

列車情報管理装置の制御LANをTIMNet(Train Information Management Network)として国際規格IEC61375-1改定案に含めるよう提案している。

(2) EMC(Electro Magnetic Compatibility)

国際規格IEC 62236-3-2に準拠している。

(3) 試験規格

国際規格 IEC 60571/61373に準拠している。

(4) RAMS(Reliability, Availability, Maintainability and Safety)

国際規格 IEC62278が制定されている。この規格は包括的なものであり、この中の安全性に関する規格に対応している。詳細は2.7節に述べる。

2.5 ソフトウェア

列車情報管理装置のソフトウェアでは、応答性の確保と処理性能の向上を両立させることが重要である。また、品質に対する鉄道事業者の要求が高いため、ソフトウェアの動作が詳細に分析可能な構造となっていることが必要である。こうした観点から、ミドルウェア、アプリケーションの部品化を進め、それを流用して短期間で高品質のソフトウェアを製作してきた。さらに、車両システムにおいて共通化できる部分と、機器ごとの仕様に依存する部分とに分離したソフトウェアフレームワークPLATINA(PLatform for TIms Nucleus with Advanced technology)を開発⁽¹⁾⁽²⁾し、車両システムの構成に応じてミドルウェアを自動的にカスタマイズできるようにした。

2.6 統合化レベル

車両システムの各装置を統合する際の難易度は装置ごとに異なる。そこで、統合化レベルを以下のようにレベル1(易)からレベル4(難)に分類した。

(1) 統合化レベル1

トレインビジョン、自動放送装置、各種データ設定器等の車両運行に直接影響を与えないサービス機器の機能統合

(2) 統合化レベル2

コンプレッサ同期制御、デッドマン機能による非常ブレーキ指令、ドア開閉制

御指令、パンタグラフ上下指令、延長給電指令、編成制御等、車両運行に直接影響を与える保安系を除く低圧回路制御機器の機能統合

(3) 統合化レベル3

推進制御装置、補助電源装置及び空調装置等、高圧回路制御機器の機能統合

(4) 統合化レベル4

保安制御装置、非常ブレーキ等、車両の安全運行を行うためのかなめとなる機器の機能(国際規格IEC61508のSIL(Safety Integrity Level)4に相当)統合

2.7 システムの安全性

安全性については、2.4節のRAMSに準拠し、安全性の検証手法としてのハザード予測分析、FMECA(Failure Mode Effect and Criticality Analysis)及びFTA(Failure Tree Analysis)を活用した分析を行っている。

さらに、安全性審査を第三者機関に依頼し、客観的な評価に基づいて製品開発を進めている。また、地上の信号保安装置でも同様の安全性審査を受けており、地上装置と車上装置で相互に改善ポイントの展開を図っている。

3. 統合化車両制御システムにおける機能統合例

統合化車両制御システムにおいて統合化レベル2以上の機能統合を行った具体例を図2に示す。

3.1 保安制御車上装置の集約(統合化レベル4)

変周式ATS、トランスポンダ式ATS-P、ATC及びデジタルATC等、異なる信号方式の信号保安装置に対応可能な集約形保安制御車上装置を製品化⁽³⁾した。

この装置は、高速デジタル信号処理回路及び各種機能のソフトウェアによる実現により、従来は個別であった各種保安制御車上装置のハードウェアを共通化したもので、連続誘導受信機能、変周式受信機能、トランスポンダ送受信機能等がソフトウェアとして実現されている。これにより、

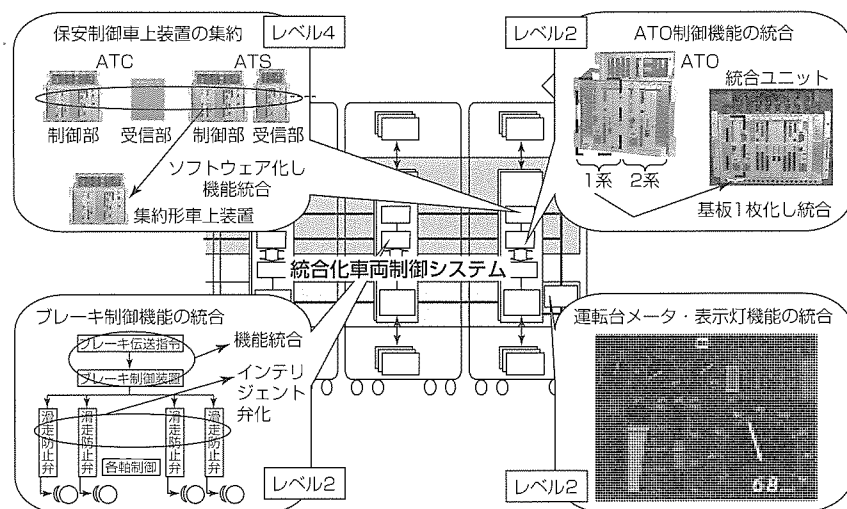


図2. 統合化車両制御システムによる機能統合例

信号保安装置が異なる鉄道事業者間の相互乗り入れ時にも、個別の装置を搭載するのではなく、1台の装置で対応が可能となる。なお、統合化車両制御システムの中で安全性を保証するため、集約形保安制御車上装置は保安系以外の制御処理部と完全に独立させている。

3.2 ATO機能の統合(統合化レベル2)

列車運行時に乗務員の運転支援を行うATO装置の持つ機能を統合化車両制御システムの個別制御処理部として基板1枚に集約・製品化し、一部ハードウェアを独立させて統合した。なお、下記理由により、統合化車両制御システムの共通制御処理部にATO機能を統合することは、現時点では保留としている。

- (1) 乗り心地及び停止精度に優れた当社エキスパートATOの豊富な実績に基づくソフトウェアを流用することにより、生産性及び品質を向上させる。
 - (2) いずれか片方の先頭車ユニットの制御系各系に基板を挿入すれば簡単に2重系構成となり、上記(1)項のメリットを生かした小型・軽量化が可能である。
- ただし、将来的には、他の装置との統合を検討していく中で、共通制御処理部での機能統合を検討する。

3.3 ブレーキ制御機能の統合(統合化レベル2)

ブレーキ制御及び滑走制御を行うブレーキ制御装置の機能を統合化車両制御システムの共通制御処理部でソフトウェアにより実現するとともに、電磁弁に伝送機能を持たせて伝送指令/空気圧力変換を行うインテリジェント弁を開発し、ハードウェア構成を最適化することを検討中である。

この構成により、ブレーキシュー及び台車単位の磨耗のばらつき防止が可能となる編成制御を、車両システムの構成に応じた最小限のハードウェア構成により実現することが可能となる。編成制御は、ブレーキ制御時に運転指令(マスコン/ATO・ATC指令等)と各車の荷重情報、回生ブレーキフィードバック情報から、空気ブレーキと回生ブレーキのブレンディング演算を編成全体として行うものである。

3.4 運転台メータ・表示灯機能の統合(統合化レベル2)

運転台周辺の配線を削減するため、運転台の表示灯及びメータ類の表示を、液晶画面表示に集約・統合した運転台メータ表示器の開発を東日本旅客鉄道㈱と行った。メータ表示器に速度計等の計器類や表示灯類が表示されない場合は車両運行ができなくなるため、メータ表示器は各運転台に2台設置し冗長性を持たせている。万一、片方のメータ表示器で故障が発生した場合には、他方の正常なメータ表示器に情報を集約して表示する。この際、計器類の配置が

通常の画面と大きく変わらないように工夫し、切り換えても違和感がないような構成とした。今後、統合化車両制御システムの表示器においても活用していく予定である。

3.5 統合化レベル3の機能の統合

類似したシステムである推進制御装置と補助電源装置のゲート制御ユニットのハードウェア共通化に対して、当社では既に製品化を完了している。ただし、高圧機器については、装置固有のものが多く統合化の検討は進んでいない。

4. 統合化車両制御システムの展望

統合化車両制御システムは、エレクトロニクス技術とネットワーク技術を融合して高度な機能を可能とする一方で、システムの故障が車両運行そのものに大きく影響する可能性がある。このため、むやみにハードウェアを一体化するような統合化ではなく、各装置のハードウェア構成の見直しによる類似機能部の統合・標準化、及び列車内ネットワークを用いた各機能部間の結合による最適化が必要であり、3章で紹介したように、統合化の方法も一様ではないものとする。最近のIT(Information Technology)進化による一般社会での著しい各種変化を顧みれば、従来の車両システムの構成にとらわれずに確実に安全性、信頼性、冗長性を検証しながら新たな構想による統合化車両制御システムが鉄道車両に順次展開される日は、余り遠くはないものとする。

5. むすび

統合化車両制御システムの動向及び将来的な展望について述べた。このシステムにより、“安全・安定輸送の確保”“快適性・サービス水準の向上”“環境への適合”“コスト低減”といった鉄道事業者の要求に大きく貢献できるものと確信している。今後も、鉄道事業者と協力して積極的に開発・検討を進め、最新の技術を駆使して種々なニーズに対応させることにより、公共交通機関にふさわしい最適なシステムとして確立させていきたい。

参考文献

- (1) 角南健次, ほか: 車両情報システムの将来展望, 三菱電機技報, 77, No.11, 719~722 (2003)
- (2) 吉田 実, ほか: 列車情報管理装置のソフトウェアプロダクトライン, 三菱電機技報, 77, No.7, 479~482 (2003)
- (3) 飛岡正己, ほか: 集約形の列車保安車上装置, 三菱電機技報, 78, No.12, 821~824 (2004)

車両推進システムの動向と展望

菊池高弘*
寺澤英男*

Trend and Prospect of Traction Systems

Takahiro Kikuchi, Hideo Terasawa

要旨

鉄道は、大量輸送が可能な交通機関として、都市間、都市内における人の移動手段という役割を果たしている。鉄道への市場の期待は大きく、従来から、速く、定刻に、安全に、安価に移動することが求められてきた。近年はさらに、より速く、より快適に、環境に優しくなどのニーズが出ており、これらのニーズに対応することが必要となっている。

三菱電機では、これらニーズへの対応として、安全安定輸送の確保、環境への配慮、LCC(Life Cycle Cost)低減を基本コンセプトとし、様々なニーズを満足するために、各機器の技術開発や検証試験を徹底して行っている。

安全安定輸送の確保は運行車両を常に確保することであり、信頼性向上、誘導障害の排除、機器の保守期間短縮、

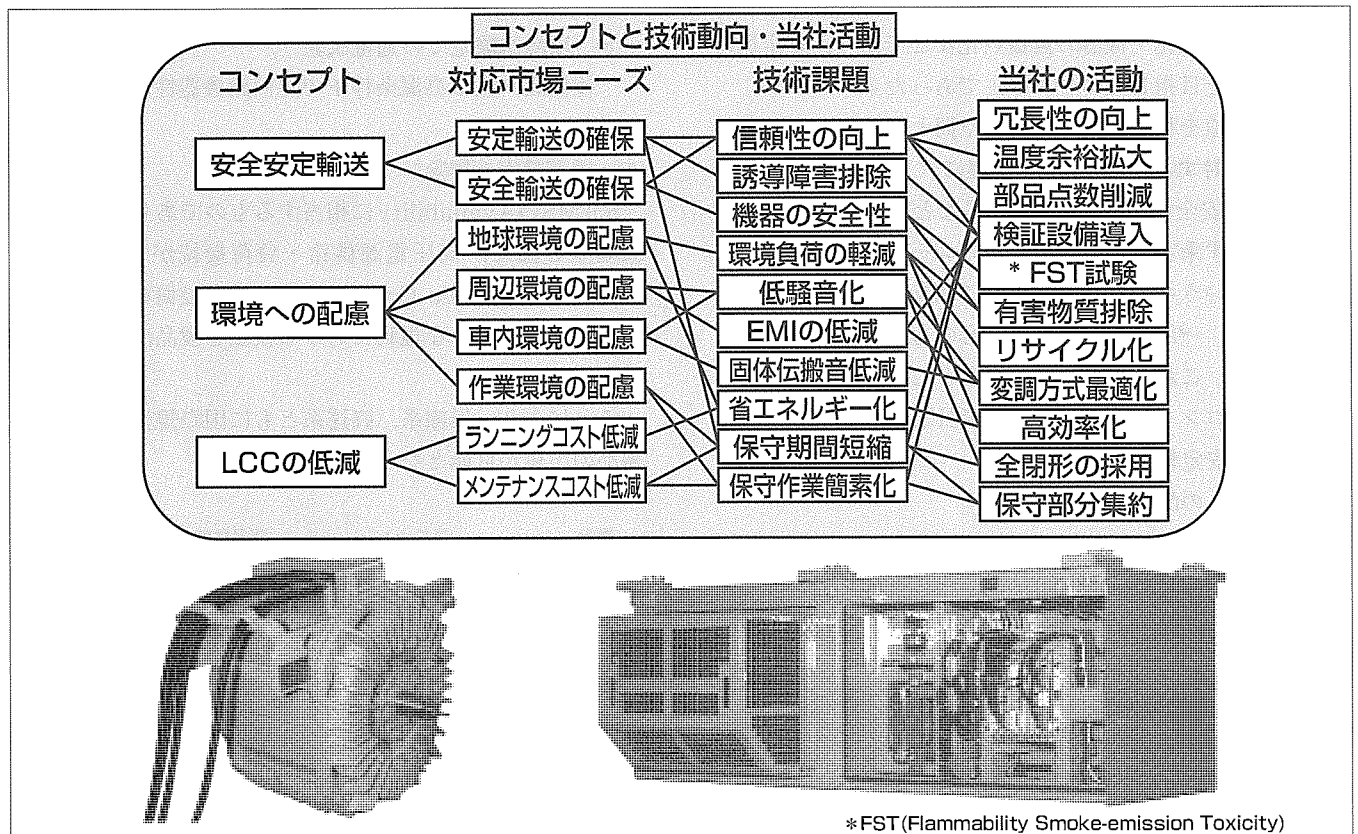
機器の安全性確保を目指した活動を行っている。

環境への配慮には地球環境保護の観点と人への優しさの観点があり、機器の高効率化・リサイクル化(地球環境)、低騒音化・EMI(Electro-Magnetic Interference)低減・保守の簡素化・容易化(人への優しさ)を徹底している。

LCC低減は、ランニングコスト低減のための機器の高効率化、メンテナンスコスト低減のための保守の簡素化・容易化を行っている。

機器に適用される技術は市場ニーズを満足するように発展してきており(ニーズ・開発のループ)、技術開発を一層加速化してタイムリーなシーズ提供により、更なる高度化と顧客満足を提供していく所存である。

特集 II



車両推進システム機器のコンセプトと技術動向

車両推進システム機器のコンセプトと対応する市場ニーズ、それらを達成するための技術課題と当社の活動内容の関係をブロック図で示した。また、車両推進システム機器の代表例として、全閉形主電動機と推進制御装置の外観を示す。

1. ま え が き

鉄道は、大量輸送が可能な交通機関として、都市間、都市内における人の移動手段という役割を果たしている。鉄道への市場の期待は大きく、従来から、速く、定刻に、安全に、安価に移動することが求められてきた。近年はさらに、より速く、より快適に、環境に優しくなどのニーズが出ており、これらのニーズに対応することが必要となっている。

鉄道における車両推進システムには車両を駆動するための主電動機、及びこれを推進制御するためのインバータ装置(推進制御装置)があり、これら車両推進システムも上記の市場ニーズを反映したものとなっている。

本稿では、市場ニーズを満足するための当社の考え方、それらを達成するための各機器の技術動向と検証試験における当社の活動を述べるとともに、今後の展望についても述べる。

2. 車両推進システムの現状と動向

2.1 鉄道における市場環境

車両推進システムは、顧客(鉄道事業者)のニーズにより発展してきたと言っても過言ではない。省エネルギーに関しては回生ブレーキ適用・回生電力増大、省保守に関しては電動機の交流化・機器の無接点化などであり、安定運行と経費削減を目指したニーズが主であった。

近年、鉄道を移動手段から居住空間とする考え方が生まれ、鉄道に対する期待が“より正確に”“より速く”“より快適に”“より安全に”“環境に優しく”などになり、鉄道事業者のみならず乗客や社会全般からのニーズに変化している。特に環境というキーワードを中心に様々な方面からのニーズが発生し、一部法令化しているものもある。

当社では、これらニーズへの対応として、車両推進システムの基本コンセプトを以下の3項目としている。

- 安全安定輸送の確保
- 環境への配慮
- LCCの低減

これらの3項目を達成し様々なニーズを満足するための各機器の技術動向や当社の活動の概要を、各項目ごとに述べる。

2.2 安全安定輸送の確保

鉄道の基本的な役割は、乗客を安全に、しかも定刻に輸送すること(安全安定輸送)である。車両推進システムにおける安定輸送の確保は鉄道車両をいつでも運行可能な状態に保持することであり、システムとしての冗長性の確保、機器の信頼性向上(故障しない)、誘導障害の排除(保安機器への影響排除)、機器の保守期間短縮(運行停止期間短縮)などが必要である。

また、鉄道車両の安全性を確保するためには、車両推進システム機器にも火災時の延焼防止、発煙量軽減、毒性排除が要求されてきている。

これらは、海外においては一般的に適用されているRAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety)の考えに基づいている。

(1) 信頼性向上

RAMSのReliabilityに相当し、設計品質の向上とともに十分な検証試験により信頼性を確保している。

設計品質の向上は、以下の3項目を考慮している。

- システムの冗長性向上 : 製品故障低減
- 部品温度余裕の向上 : 長寿命化
- 部品点数削減(類似機能集約) : 故障率の低減

いずれも、MTBF(Mean Time Between Failure) / MDBF(Mean Distance Between Failure)の大幅な向上に貢献している(図1)。

十分な検証試験実施については、上記の設計品質向上が正しく反映されたものであるかどうかを確認するため、種々の検証設備を導入している。

(a) リアルタイムシミュレータ

主回路と負荷をリアルタイムにシミュレートでき、従来、工場での高圧印加試験又は現車試験でしかできなかった確認事項を設計段階で可能とした。

(b) 環境試験室での通電試験

極低温、又は高温条件下で主回路機器性能の確認を可能とした。

(2) 誘導障害の排除

RAMSのAvailabilityに相当するものであり、大型の電波暗室を備え、高圧電源供給・負荷接続が可能なEMC(Electro-Magnetic Compatibility)試験設備を用いて、信号機器からの様々な規制に対する検証を製品出荷前に実施している。

これにより、帰線系、直達系ともに国際規格に適合した製品の出荷が可能となった。

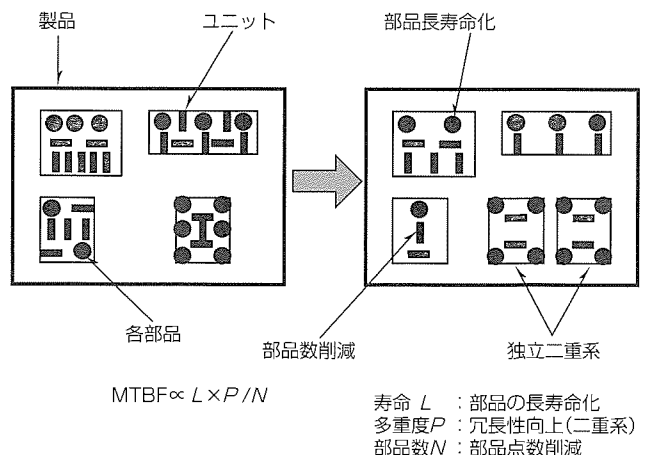


図1. 信頼性向上のイメージ

(3) 保守期間短縮

RAMSのMaintainabilityに相当するものであり、車両推進システムを健全な状態に保つための定期的な保守を、より短期間に行えるようにしている。

主電動機については、全閉形の採用により内部清掃作業をなくしたほか、軸受部の温度低減やグリース最適化により潤滑寿命を改善し、主要保守の周期を延長することにより1回当たりの平均保守期間の短縮を図った。

推進制御装置については、自己診断機能を持たせるほか、部品点数を大幅に削減(当社比で、主回路部80%、制御部20%の削減)するとともに、保守が必要な部分を前面に集約させる構造上の配慮により大幅に保守作業を軽減した(図2)。

(4) 機器の安全性

RAMSのSafetyに相当するものであり、各機器に使用される材料(金属材料以外)の安全性を大幅に向上している。有害物質の排除は日本でも一般的になっているが、当社では、海外での安全性要求事項も満足するため、ゴム類、有機材料、塗料などの材料に対し、IEEE等の国際規格に規定された以下の試験を第三者研究機関に依頼して厳しい安全基準に合格することを確認した(FST試験)。

- Flammability(可燃性) : 高温下での燃焼状態
- Smoke Emission(発煙性) : 発煙量
- Toxicity(毒性) : 規制物質の排出量

2.3 環境への配慮

鉄道車両が移動手段から居住空間へと見方が変化してきたこと、地球温暖化防止に始まった地球環境保護に対する要求が強くなったことから、車両推進システム機器に対しても環境への配慮が不可欠となっている。車両における環境には以下の側面があり、これらを満足するための技術や当社の活動について述べる。

(1) 地球環境

地球環境への配慮とは、環境負荷を低減することであり、

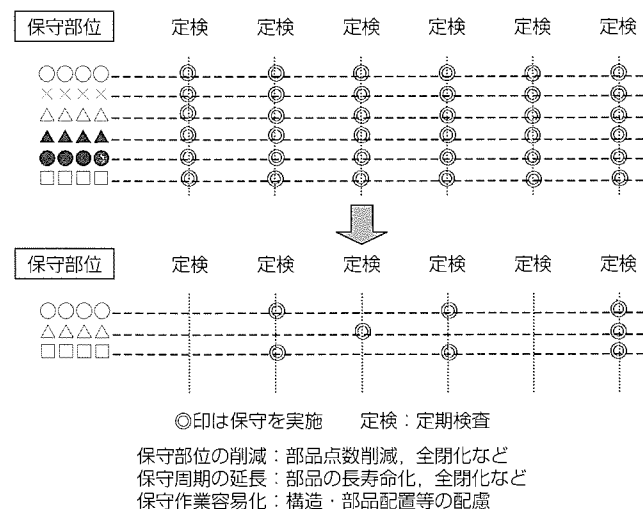


図2. 保守作業の軽減

地球温暖化防止と環境破壊物質(有害特定化学物質)排除が含まれる。

地球温暖化防止は省エネルギーリサイクル推進であり、主電動機の高効率化、純電気ブレーキ等による回生電力量の増大、リサイクル可能なアルミ材使用などを行っている。

環境破壊物質排除は、循環型社会形成のため有害特定化学物質を含まない材料の使用(グリーン調達)を徹底している。また、海外案件では、2.2節(4)に述べたように、火災時の毒性を規定した国際規格に適合する材料の適用を図っている。

(2) 周辺環境

周辺環境への配慮には、主電動機における低騒音化、推進制御装置における低騒音化とEMI低減がある。

主電動機の低騒音化は、従来からファンや排風口の形状最適化、サイレンサ適用等で取り組んできた。主電動機内部で発生する騒音を外部に漏らさない全閉形を採用するに至り、大幅な低騒音化を達成することができた。

推進制御装置の低騒音化は、変調方式の最適化や特定周波数の騒音ピークを分散する好音質化で達成している。また、EMI低減については、高圧電源供給や負荷接続が可能な大型のEMC試験設備により検証評価を行い、EMC国際規格に適合した製品としている。

(3) 車内環境

車内環境への配慮とは、車内の快適性であり、車内騒音の低減である。車内騒音には、ファンなどの回転体による風切音と電磁振動による磁歪(じわい)音が直接車内に入る透過音、伝達振動で車体が共鳴体となる固体伝搬音がある。

主電動機及び推進制御装置の低騒音化は風切音と磁歪音の低減であり、(2)で述べたとおり、両者ともに低騒音化を達成している。固体伝搬音の振動源は、回転体のアンバランスとトルクリプルであり、駆動系のカップリングのアンバランス低減と制御装置の変調方式最適化、及び車体側との協調による伝達振動低減が効果的である(図3)。

(4) 作業環境

作業環境への配慮は、主として機器の保守作業の簡素化・容易化である。

保守の簡素化は、部品点数の削減、電子機器や軸受等の長寿命化、内部汚損防止(全閉形化)等による保守作業の排除と保守周期の延長である。保守の容易化は、保守を必要とする部分の機器前面への集約、取付け・取外し方法の改善等の構造上の配慮である。

2.4 LCCの低減

車両推進システム機器を満足して使用するためには、車両の寿命期間中に発生する各種の経費を軽減することが必要である。LCC低減の考え方に基づくトータルコストの低減である。

主要な経費には、車両を走行させるためのランニングコ

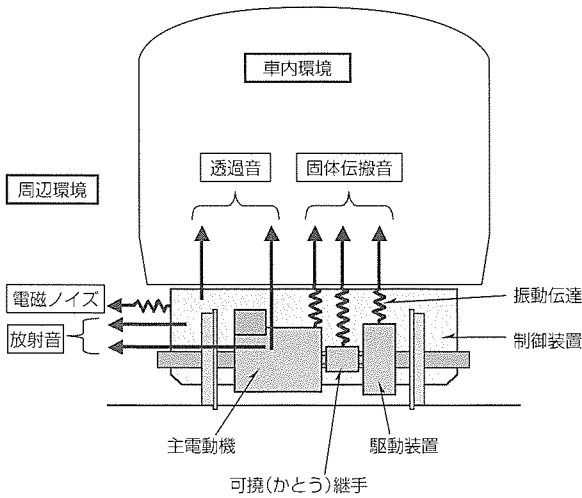


図3. 周辺環境と車内環境

スト(電気料金)と、機器の良好な状態を維持するためのメンテナンスコスト(保守費用)がある。

(1) ランニングコスト低減

ランニングコストの低減は、機器の高効率化と回生電力量の増大による実消費電力量の低減であり、地球環境を考慮した省エネルギー化にも貢献している。

- 主電動機は、導体サイズの適正化による銅損失低減及び鉄心形状最適化による鉄損失低減を図り、当社比で効率を約2%向上した。
- 推進制御装置では、遅れ込めや純電気ブレーキ等の最新技術により回生電力量の増大を図っている。

(2) メンテナンスコスト低減

メンテナンスコストの低減は、定期的保守の必要日数の短縮、消耗部品数削減、及び不定期保守(故障対応)の撲滅であり、保守期間短縮にもつながるものである。

- 定期保守のコスト低減は、保守作業項目の軽減(保守期間短縮)及び消耗部品の点数削減と交換周期の延長である。
- 不定期保守の撲滅は、定期保守以外の保守作業を行わないように、機器の信頼性を向上している。

2.5 海外の車両推進システム

当社は、海外の鉄道における車両推進システム機器も手掛けており、国内と同一のコンセプトに基づいて製品を納入している。

海外での商談では、現地メーカーでの国産化や、顧客により近い地域での生産が必要になっており、海外に4か所の生産拠点を構築している。

メキシコでは、従来から直流主電動機の実施していたが、現在、誘導主電動機と推進制御装置の実施している。中国では、合弁会社により、推進制御装置の生産を今年から開始している。そのほか、米国、オーストラリアでも各プロジェクトに対応した生産・保守を行っている。

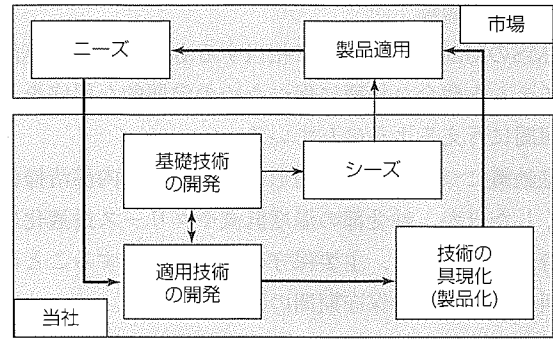


図4. 市場ニーズ・開発のループ

る。

いずれの生産拠点も日本での生産ラインと同等の設備を導入し、同等の作業を行うことにより、日本と同等の品質を確保している。

3. 車両推進システムの今後の展望

車両推進システム機器に適用されている現状の製品・技術は、2章に述べたように、市場のニーズを満足するように発展してきたものである。その対応として当社は3項目の基本コンセプトを掲げ、その達成のために設計技術・製造技術・各種材料の適用技術の開発に取り組んできた。

今後も、基本方針は同じであるが、安全安定輸送確保のための高信頼性、安全性、環境への配慮をより一層追及することが不可欠であると考えます。したがって、次の2項目を今後の取り組み方針として製品を納入していく所存である。

(1) 各種技術開発の一層の加速化

従来実施してきた各種の技術開発をより一層加速化してシーズをタイムリーに提供する(図4)。

(2) 製品の幅広い観点からの検証試験の実施

前述のように、従来から機能・品質ともに市場ニーズに確実に対応したものであるかを十分に評価する検証試験を実施してきたが、今後は、より多様なニーズに対応した幅広い視野に立って十分な検証評価を行う。

従来、加速試験が困難と言われてきた潤滑に関しても、極低温・高温における潤滑寿命評価を確実に実施する予定である。

4. む す び

車両推進システムに適用されている製品・技術の現状と今後の展望を述べたが、技術の発展は、市場ニーズへの対応とシーズの提供の繰り返しであると考えている。

今後も、市場の動向を見ながら、ニーズへの対応とシーズの提供をタイムリーに実現するため技術開発に取り組み、より環境に優しい製品、より人に優しい製品を目指す所存である。

水冷主変換装置

山崎尚徳*
東矢和義*
中山 靖**

Converter/Inverter with Water Cooling System

Hisanori Yamasaki, Kazuyoshi Toya, Yasushi Nakayama

要 旨

次世代高速新幹線車両向けの主回路電機品には、大容量化、小型軽量化だけでなく、高まる環境適合性のニーズを踏まえ、更なる省エネルギー化、環境汚染物質の使用低減、リサイクル性の向上などが要求される。このたび、東日本旅客鉄道(株)E954形式新幹線高速試験電車用として、上記要求の実現に向け、水冷主変換装置を開発した。

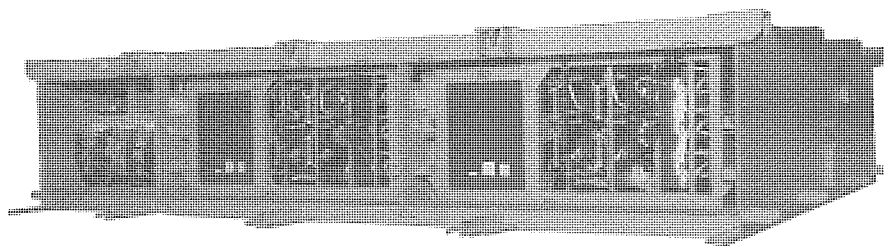
この装置では、中間直流電圧を従来より10%高圧化することで主回路全体の損失を低減・最適化しつつ、新開発の6.5kV HV-IPM (High Voltage-Intelligent Power Module, ゲートドライバ・保護機能内蔵IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)) を適用することでインバータ回路を2レベル化し、主回路部品点数を低減した。

また、大容量化に伴い増大する主回路素子損失を適切に処理しつつ装置を小型軽量化するため、強制循環式水冷システムを適用した。これら諸策により、従来車両に比べて、最大出力を44%増加させつつ、出力当たりの質量18%減、同体積28%減を達成した。また、冷媒をエチレングリコール水としたことで、環境負荷低減を達成している。

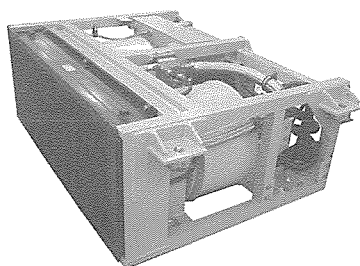
そして、高性能・低損失を指向した新シリーズの無接点制御装置を採用し、速度センサレス制御、帰線電流高調波抑制など制御の高機能化・高品質化に対応した。

この装置は2005年6月から各種性能試験を実施し、所期の性能を満足することを確認した。

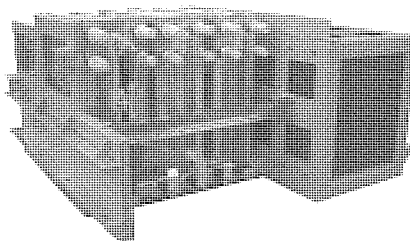
特集
II



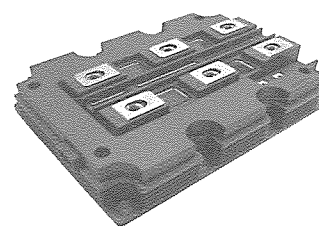
(a) 水冷主変換装置の外観



(b) 水冷ユニット



(c) パワーユニット (一群分)



(d) 6.5kV HV-IPM

高速新幹線用水冷主変換装置

(a) 装置外観：350kW誘導電動機×2台×2群用。中間直流電圧3,300V。3レベルコンバータ、2レベルインバータで構成。(b) 水冷ユニット：ラジエータ、フロア(×2)、ポンプで構成。(c) パワーユニット：主回路素子、水冷プレート、乾式コンデンサ、ブスバー等で構成。(d) 6.5kV HV-IPM：自己保護機能内蔵。高耐圧化によりインバータの2レベル化に寄与している。

1. ま え が き

整備新幹線の延伸計画などを背景に、更なる高速化を指向した次世代新幹線用車両が計画されている。搭載される電機品には、大容量化、小型軽量化だけでなく、高まる環境適合性のニーズを踏まえ、更なる省エネルギー化、省メンテナンス化、環境汚染物質の使用低減、リサイクル性の向上などが要求される。このたび、東日本旅客鉄道㈱ E954形式新幹線高速試験電車用として、上記要求の実現に向け、水冷主変換装置を開発した。

この装置は2005年6月から各種走行試験に供されており、現在稼働中である。

本稿では、装置の設計思想と特長について、試験結果も交えて述べる。

2. 水冷主変換装置の概要

E954形式新幹線高速試験電車向けに製造した水冷主変換装置の主要諸元を表1に、また主回路構成を図1に示す。東北新幹線の代表的車両であるE2系1000番代向けの主変換装置と比較し、力行最大出力は44%増であるが、出力当たりの質量を18%、同体積を28%減じており、大容量化と小型化とを両立した。また、中間直流電圧を10%高圧化し、主回路全体の損失を最適化することで省エネルギー化を図っている。

3. 水冷主変換装置の特長

3.1 6.5kV HV-IPM採用 2レベルインバータ

業界最大級の耐圧となる6.5kVのIPM(ゲートドライバ・保護機能内蔵IGBT)を開発・採用することで、主回路の高圧化とインバータの2レベル化を達成し、これにより、部品点数の削減、小型軽量化を達成した。一方、コンバータは3レベルとし、キャリア周波数を最適化することで、低損失化と高調波抑制を図っている。

3.2 強制循環式水冷システム

大容量化・高圧化に伴って増加する素子損失を効率的に

表1. 主要諸元

架線電圧	AC25kV 50Hz
電動機定格 (最大出力)	350kW (457kW) × 4台 / 1装置箱
主回路方式	保護機能付きIGBT(IPM)適用 3レベルコンバータ / 2レベルインバータ 中間直流電圧2,900~3,300V
コンバータ制御	3レベル変調 コンバータ間キャリア位相差制御 キャリア周波数最大 850Hz 3.3kV 1,200A IPM採用
インバータ制御	2レベル変調VVVFインバータ制御 キャリア周波数最大 750Hz 6.5kV 600A IPM採用
外形寸法	(W)2,400 × (L)3,000 × (H)650 (mm)
質量	2,085kg

VVVF : Variable Voltage Variable Frequency

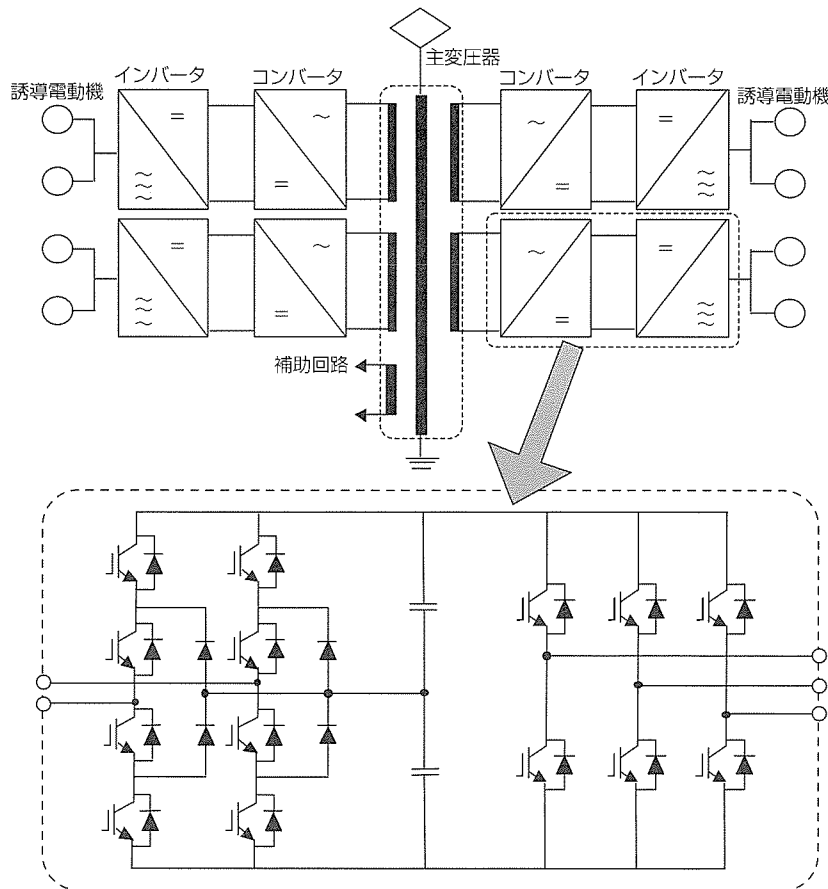


図1. 主回路構成

処理するため、高効率の水冷システムを採用した。素子発熱を吸収する水冷プレートから、ポンプ駆動によって冷却水をラジエータまで循環させ、ブローにより冷却水の温度を下げ再び水冷プレートに循環する。E2系などに採用されている沸騰冷却式と比較し、水冷方式では、冷却水配管を利用して冷却機器のレイアウト自由度を高められる(表2)。このメリットを最大限活用し、装置の小型化を図っている。

3.3 新シリーズ無接点制御装置

高性能・低損失を指向した新シリーズの無接点制御装置を採用した。32ビットDSP(Digital Signal Processor)と大容量FPGA(Field Programmable Gate Array)を使用した高集積・高速演算マイコン基板を搭載し、速度センサレス制御、帰線電流高調波抑制など制御の高機能化・高品質化に対応しただけでなく、部品集約化・省電力化によって動作周温を低減し、信頼性を向上させている。

3.4 台車制御

1車両の主変換装置でコンバータ/インバータ主回路を2群搭載とし、1群当たりの制御単位を電動機2台(1台車分)とした。制御・開放を台車単位とすることで、空転制御性向上、運行冗長性向上に対応した。

3.5 機器配置

ラジエータ、ブロー、ポンプからなる水冷ユニット、及び主回路とフィルタコンデンサからなるパワーユニットは、すべて車体側方に引き出す構成とし、メンテナンス性を向上した。また、冷却水配管にはワンタッチコネクタを採用し、水冷系の省メンテナンス化を図った。

3.6 フィルタコンデンサ

乾式フィルタコンデンサを採用し、オイルコンデンサと比べて液漏れのリスクを軽減することで信頼性向上を図っている。

ている。

4. 試験結果

図2に、最大ノッチによる力行・回生運転の確認試験結果図を示す。このほか、定速運転、速度センサレス制御、停止電気ブレーキなど、制御機能に関しても所期の性能が得られていることを確認した。図3に、走行試験時における素子サーミスタ温度の推移を示す。吸気温度からの温度

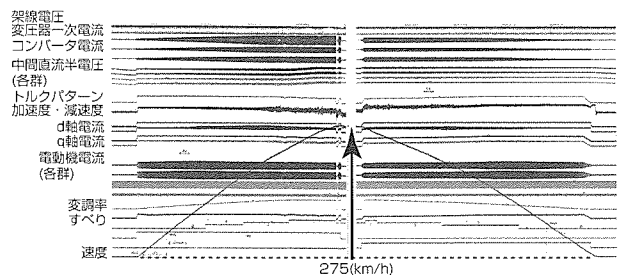


図2. 力行・回生試験(最大ノッチ)

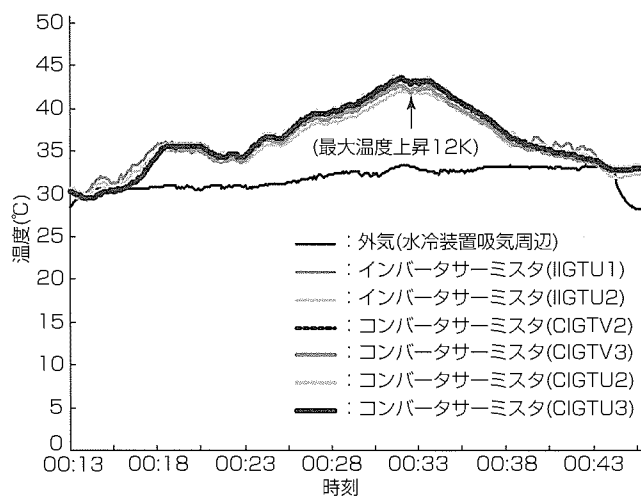


図3. 走行試験時の素子サーミスタ温度推移

表2. 大容量機器向け冷却方式の比較

方式	沸騰冷却方式(E2系適用)	水冷方式(E954形式適用)
動作原理	<p>半導体素子の発熱により冷媒(フッ素系)を沸騰させ素子の発熱を蒸発器で奪う。沸騰による蒸気は凝縮器へ導かれ、凝縮器部分でフィンにより冷却され液化し熱を外気に放出する。液化した冷媒は重力により蒸発器に戻る。</p>	<p>ポンプにより強制的に冷媒(エチレングリコール水)を循環させることにより、水冷プレートで半導体素子から熱を奪い、ラジエータ部まで冷媒により熱を移動させ、強制風冷のラジエータ部で放熱。</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸発器と凝縮器が一体構成 ・蒸発器と凝縮器の配置が限定的(重力による冷媒循環) ・中容量冷却システムでは最も小型化可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ユニット配置自由度大 ・冷却容量が大きい場合、装置の小型化が可能(複数の冷却プレートを1台のラジエータに接続可能) ・環境負荷が小さい(冷媒:エチレングリコール水[=不凍液]) ・ポンプと配管が必要

上昇が設計内の12Kとなっており、水冷装置が正常に機能していることを確認した。

5. む す び

以上、E954形式新幹線高速試験電車向け水冷主変換装置の構成、特長、及び試験結果について述べた。所期の性能を確認したが、今後、より一層の軽量化・低騒音化、リサイクル性・メンテナンス性改善などを引き続き検討していく所存である。開発・試験に当たり多大なるご尽力をい

ただいた関係各位に深謝する。

参 考 文 献

- (1) 岡山秀夫：鉄道車両に適用されるパワーデバイスの進展，三菱電機技報，**80**，No.6，377～380（2006）
- (2) Eckel, H., et al.: A New Family of Modular IGBT Converters for Traction Application, EPE 2005 Dresden (2005)

鉄道車両用駆動機器の低騒音化

原田博志* 濱名宏彰**
兼井延浩*
坂根正道*

Noise Reduction of Driving Equipments for Railway Rolling Stock

Hiroshi Harada, Nobuhiro Kanei, Masamichi Sakane, Hiroaki Hamana

要 旨

近年の鉄道輸送事業において、新形車両へ搭載される機器に望まれる性能の多くは乗客へのサービス向上に深く関係しており、その一つとして、快適性向上を目的とした機器の低騒音化が求められている。

本稿では、主電動機、ギヤカップリングで行った低騒音化の概要について述べる。

(1) 主電動機の低騒音化

全密閉形自己通風式を採用し、以下の方策をとった。

- 全閉化に伴い、従来の開放型に比べると、放熱能力が落ちるため、冷却効率の向上や発熱量低減を図った。
- 外扇による風切り音を低減するため、外扇の羽根形状及び外扇風量の適正化により低騒音化を図った。

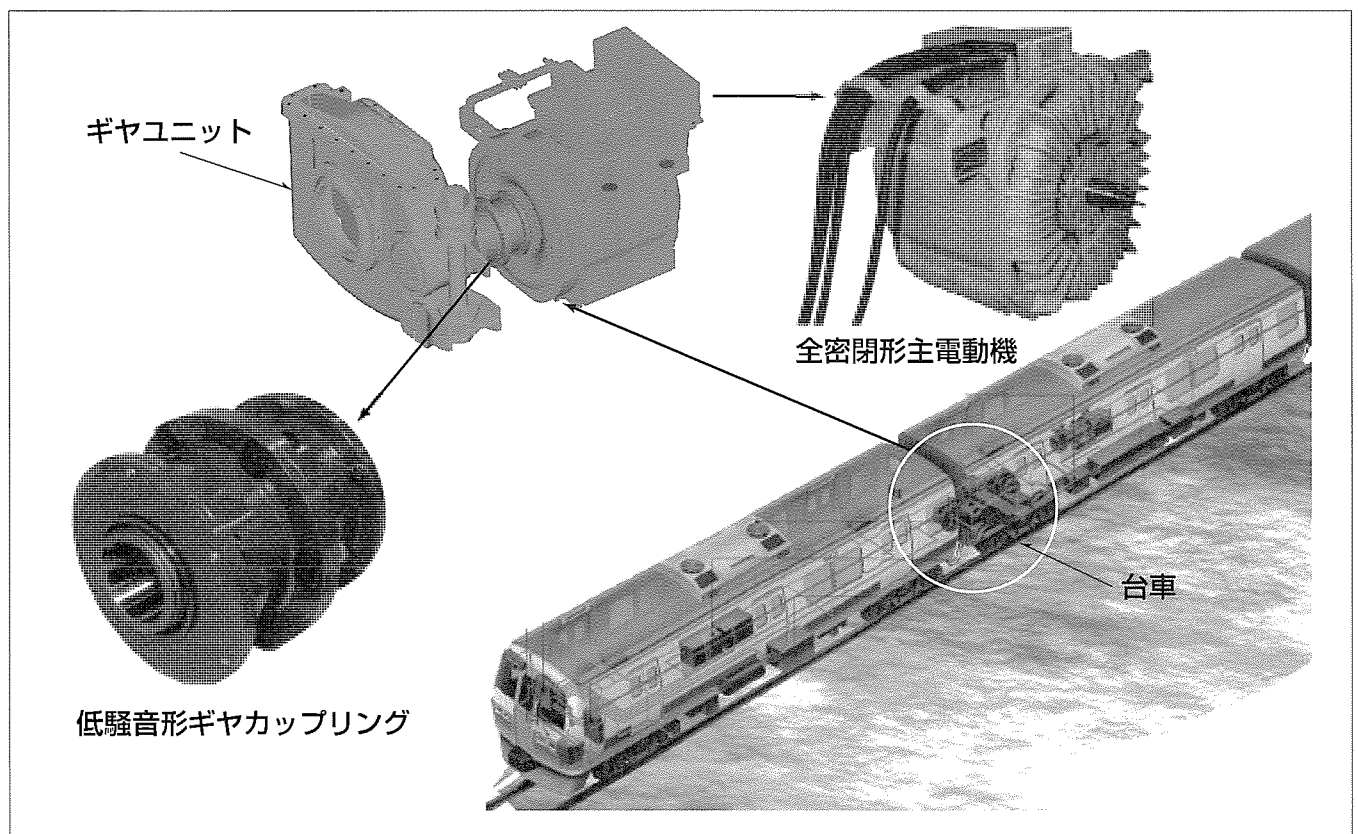
主電動機単体の騒音測定の結果、既存の開放形と比較して、110km/h相当時で約16dBA程度の低減が図られた。

(2) ギヤカップリングの低騒音化

ギヤカップリングの騒音はスリーブの偏心に伴う振り回り振動により発生することから、以下のスリーブの振り回りエネルギーの低減を行った。

- 小型化による軽量化
- 歯形の改良によるスリーブ偏心量の低減

現車試験の結果、だ行移行時や力行移行時の騒音及び振動に変化が見られなくなり、従来品と比較して、だ行時、台車直上1,200mmの車内騒音で、5 dBA程度の低減が図られた。



全密閉形主電動機と低騒音形ギヤカップリング

最近の駆動システムの低騒音化要求に対して低騒音化を行った主電動機(全密閉形主電動機)、及びギヤカップリング(低騒音形ギヤカップリング)の外観写真を示す。なお、主電動機は、単体の騒音測定の結果、既存の開放形と比べて、110km/h相当時で約16dBA程度の低減が図られ、また、ギヤカップリングは、現車試験の結果、従来品に比べて、だ行時、台車直上1,200mmの車内騒音で5dBA程度の低減が図られた。

1. ま え が き

最近の鉄道車両用駆動システムには、車両の高速化、主電動機の高出力化に伴う高トルク／高速回転性能に加えて、快適性の向上を目的として、車内外騒音低減の要求があることから、低騒音化が求められている。なお、駆動機器の方向性は図1に示すとおりである。

上記の低騒音化要求に対して、主電動機、ギヤカップリングは、以下で低騒音化を行っており、本稿では、その構造の特長、及び試験結果の概要を述べる。

- (1) 主電動機：低騒音化とライフサイクルコストの低減を両立した全密閉形自己通風式を採用した。
- (2) ギヤカップリング：低騒音化のため、スリーブの振れ回りエネルギーの低減を行った。

2. 主 電 動 機

2.1 全密閉形主電動機の概要

全密閉形主電動機では、低騒音化・省メンテナンス化という利点が期待できるが、従来の通風冷却方式に比べて放熱性が悪くなるため、冷却効率の向上、及び発熱量の低減を行う必要がある。

小田急電鉄(株) 50000形ロマンスカー(図2)へ搭載した全密閉形主電動機の外観写真を図3に示す。

この全密閉形主電動機は、外扇ファン付きの自己通風式である。冷却方式は全閉外扇付き内気循環方式を採用しており、内部の内扇ファンによる冷却風循環経路と外部の外扇ファンによる冷却風循環経路を構成して、内部と外部の冷却風循環により冷却効率を高めるとともに、図3に示すように、表面に冷却フィンを設け、さらに、冷却効率を高めた構造としている。また、回転子の発熱量の低減も図っている。

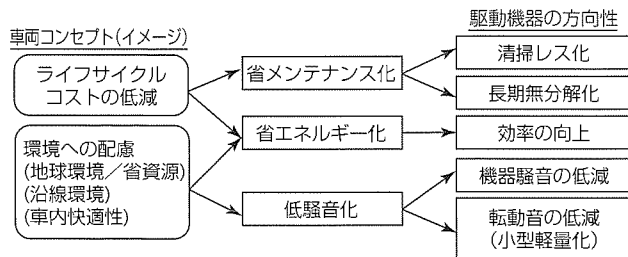


図1. 駆動機器の方向性

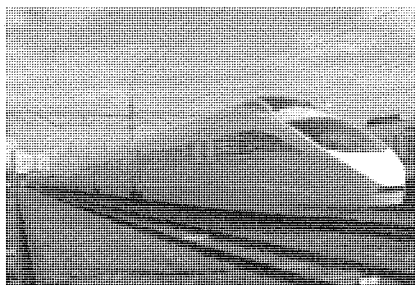


図2. 小田急電鉄(株) 50000形ロマンスカー

なお、冷却構造では通風／熱解析を用いて最適化を行っており、図4に、通風／熱解析モデルを示す。

2.2 全密閉形主電動機の低騒音化構造

前節で述べたように、主電動機内に内扇ファンがあるが、内扇ファンの風切り音は、外部と遮蔽(しゃへい)されることから騒音の点で有利になる。また、外扇ファンによる風切り音を低減するため、外扇の羽根形状、及び吸気口形状の適正化により低騒音化を図っている。さらに、前節で述べた冷却効率を高めた通風路構造を採用することにより、外扇ファン風量の適正化を行って、低騒音化と小型軽量化の両立を図っている(図5)。

2.3 騒音測定結果

全密閉形主電動機単体による騒音測定結果を表1に示す。測定は無負荷運転とし、主電動機端面から1m離れた位置5点でAスケールにより測定し、その平均値を示したもので、規格JIS E 6102の試験方法に基づいて実施している。

騒音測定結果は、110km/h相当の2,960r/min(歯車比4.16)時で78dBAであり、既存特急車の開放形主電動機と比較して、約5dBA程度の低減が達成できている。

また、歯車比の低減を加えた場合の既存特急車との騒音比較のため主電動機単体の騒音レベルを車両速度ベースに換算した比較(図6)で見ると、110km/h相当時で約16dBA程度の低減が可能となる。

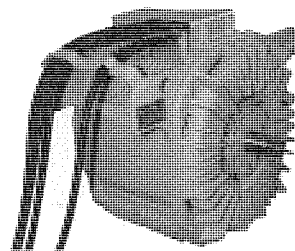


図3. 全密閉形主電動機の外観

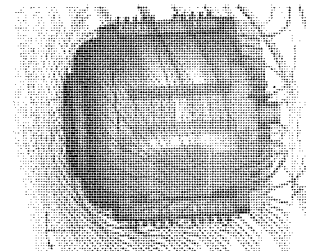


図4. 全密閉形主電動機の通風／熱解析モデル

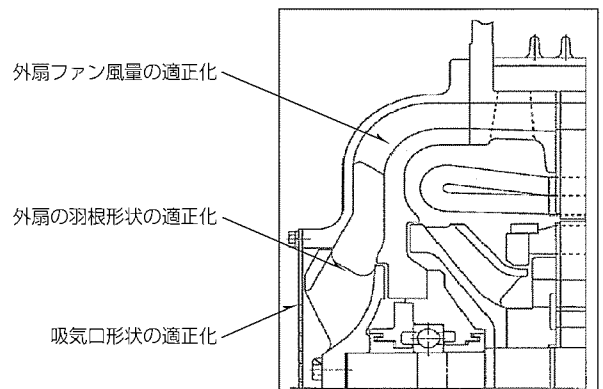


図5. 低騒音化

表1. 騒音測定結果

回転速度 (r/min)	全密閉形 主電動機	既存特急車 開放形主電動機	差 分
2,960	78.0dBA	83.2dBA	-5.2dBA

3. ギヤカップリング

3.1 ギヤカップリングの構造

図7に示すように、主電動機は、台車の横梁(はり)に車軸と平行に固定され、ギヤカップリングを介して、車軸に搭載されたギヤユニットの小歯車軸に連結されている。台車の軸ばねたわみや軸箱の左右移動による車軸と主電動機軸の相対的な動きを許容してトルクを伝達することが、ギヤカップリングの役割となっている。

図8に示すように、ギヤカップリングは、内歯、外歯歯車方式であり、スリーブ(内歯歯車)の内側に配置されたピニオン(外歯歯車)は定められた範囲内で自由に回転できるように外歯に特殊なクラウニングを施してその歯先を曲面に丸めているので、左右2軸に相対位置差があっても、トルク伝達しながら回転できるものとなっている。

3.2 だ行時の車内騒音発生の経路

電車が力行している際には、図9(a)に示すように、トルク負荷により、180°対称位置にある歯が強制的に接触させ

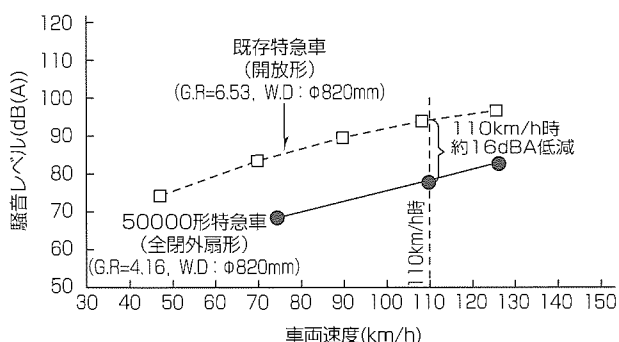


図6. 単体騒音レベルの比較(小田急電鉄(株)各車両用主電動機)

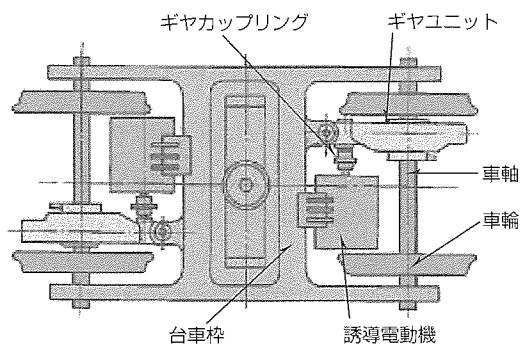


図7. 台車機器配置図

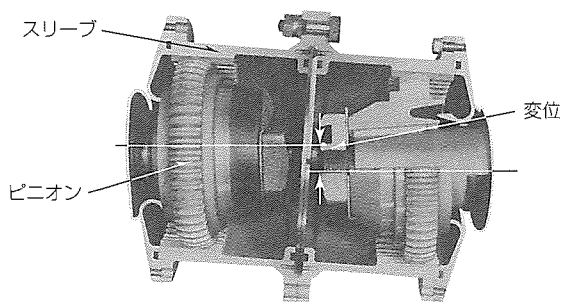


図8. ギヤカップリングの構造

られるため、バックラッシュなどの遊びはなくなり、回転軸を中心とした振れ回り振動などの発生はない。

しかしながら、電車がだ行で走行する場合、図(b)に示すようにバックラッシュなどの遊びの分(バックラッシュの1/2だけ)、スリーブが偏心して回転する(振れ回りする)場合がある。この場合、振れ回りによるアンバランスにより、カップリングの回転が起振源となり、駆動システム機器(主電動機、ギヤユニット)及び台車を介して、車体床面などを振動させ騒音が発生する場合がある。

3.3 ギヤカップリングの低騒音化

3.3.1 低騒音化の考え方

前節で述べた騒音発生に対して、低騒音化のため、以下の方策をとった。

(1) 軽量化による振れ回り質量の低減

指数関数曲線に基づくクラウニングを歯形に適用することで偏角時における接触歯数減少状態での歯面接触面圧を最適化し、歯数を低減することで小型軽量設計を実施した。軽量化によりスリーブの振れ回り質量を低減することで、騒音の発生源である偏心に伴う振れ回りエネルギーを低減する。

(2) 歯形の改良によるスリーブ偏心量の低減

従来の歯形を改良し、スリーブの偏心量がバックラッシュの大小に依存しない歯形を採用した。図10に歯形の改良と機能を示す。新型の歯形は、図の(b)に示すようにスリーブの歯底を円筒の内径に見立て、ピニオンの歯先と円筒内径の隙間(すきま)の頂隙(げき)を極力小さくすることによってバックラッシュの大小に関係なくセンタリング効果を発揮できるようにしたものであり、回転時の偏心によるスリーブの振れ回りを抑制し、騒音の発生を低減する。

3.3.2 現車試験による振動騒音低減効果の検証

前項の考え方により試作したギヤカップリングの低振動/低騒音化効果の検証のため、現車での比較試験を行った。表2に供試品の諸元を示す。振動騒音の測定は、力行からだ行の切り換わり部分について実施し、振動騒音の変化の有無を確認した。測定項目を表3に示す。主電動機電流は、力行-だ行切換え状況の把握のため測定した。

各測定項目の力行-だ行の切り換わり(主電動機電流0)に対する変化を図11に示す。

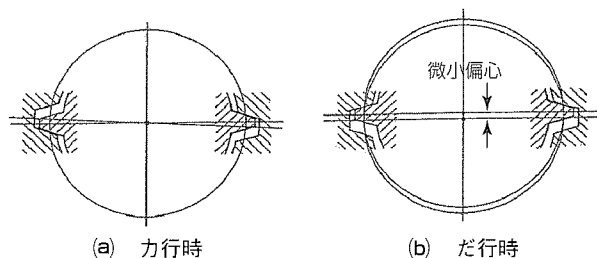


図9. ギヤカップリングの動作状況

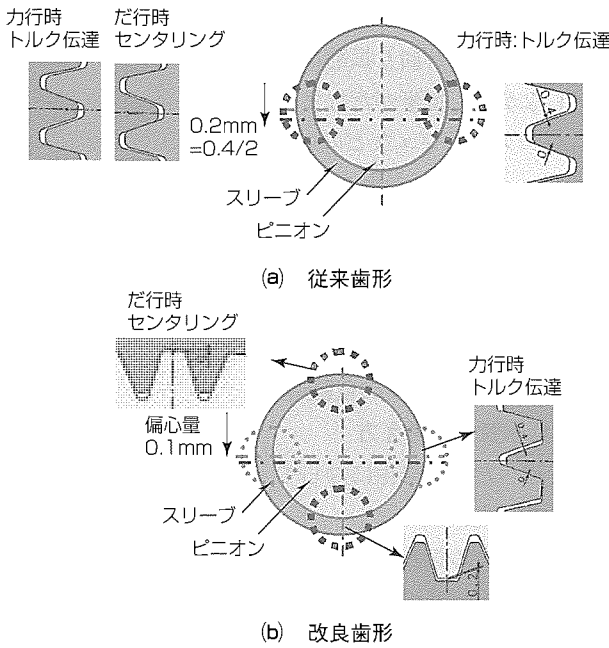


図10. 歯車の改良と機能

表2. 現車試験供試品諸元

	開発品	従来品
クラウニング	指数関数	単一曲率
頂隙縮小	○	-
外形寸法 (mm)	φ245×215	φ245×215
質量 (kg)	28	28
バックラッシュ (mm)	0.4	0.61
偏心量 (mm)	0.1	0.305

従来品の場合、主電動機電流が0(だ行)になると、騒音と床面振動が増大し、また、主電動機及びギヤユニットの振動も同時に大きくなっている。

一方、開発品の場合、だ行移行時や力行移行時に騒音及び振動は変化が見られなくなり、従来品に比べて、だ行時、台車直上1,200mmの車内騒音で5 dBA程度の低減が図られることがわかる。したがって、開発品は、従来品に比べて、指数関数曲線に基づくクラウニングを歯形に適用するとともに、頂隙縮小によるスリーブ偏心量の低減も実施しており、同一質量のギヤカップリングでありながら、偏心に伴う振れ回りエネルギーを小さくするこれらの方策が振動/騒音に非常に有効であることが示された。また、駆動システム機器の回転に伴う振動が台車を介して車両に伝搬し、これに伴う床面振動の増大が騒音の要因であることも示すことができた。

4. むすび

最近の駆動システム構成部品への要求である低騒音化に対し、主電動機は、全密閉形自己通風式の採用により、既存開放形と比較して、110km/h相当時で約16dBAの騒音低減が図られた。

ギヤカップリングは、低騒音化のため、振れ回りエネルギー

表3. 振動騒音測定項目

測定項目	部位	備考
車内騒音 N1	台車直上100mm	
車内騒音 N2	台車直上1,200mm	
車体振動 A1	台車直上床面振動	上下方向
主電動機振動A2	駆動側主電動機フレーム上部	上下方向
ギヤユニット振動A4	小歯車側ギヤケース上部	上下方向
速度	—	
主電動機電流	—	力行-だ行判定

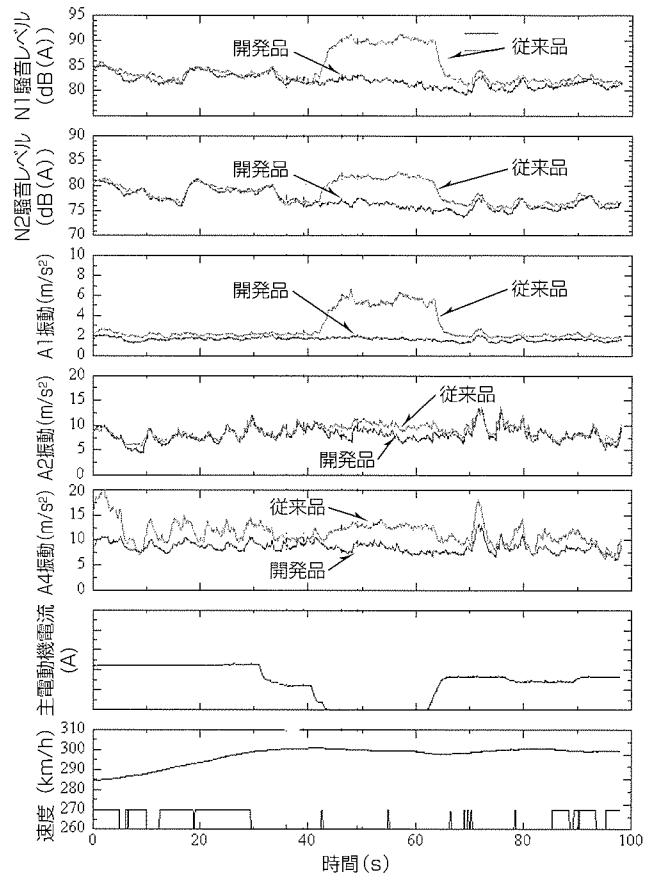


図11. 各測定項目の時間波形(試験最高速度:300km/h)

ギヤ低減を行うことにより、だ行移行時や力行移行時の騒音及び振動に変化が見られなくなり、従来品に比べて、だ行時、台車直上1,200mmの車内騒音で5 dBA程度の低減が図られた。

今後、車両の高速化、主電動機の高出力化を進める一方で、快適性の向上の要求はますます高まるものと考えられるため、主電動機、ギヤカップリングの機器単体の更なる低騒音化を目指した取り組みを進めていきたい。

参考文献

- (1) 赤木秀成, ほか: 低騒音形小形軽量ギヤカップリング, 第41回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 1~4 (2004)
- (2) 加藤 肇, ほか: 小田急50000形特急車向け全密閉形自己通風式主電動機, 第42回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 1~4 (2005)

車上-地上間連携による情報システムの動向

Trend of Information System between Rollingstock and On-ground

Masayuki Takeyama, Satoshi Ohashi, Seiji Deguchi

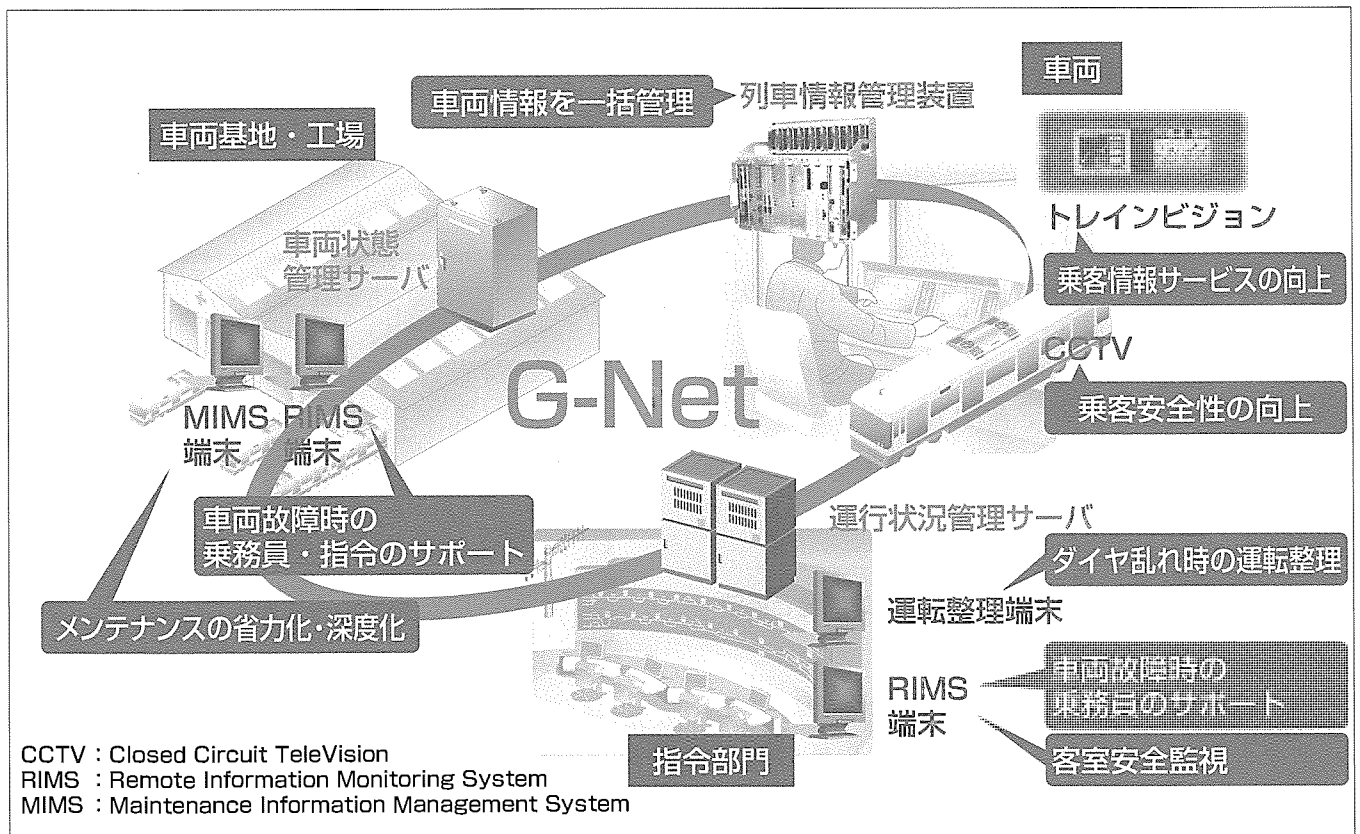
要 旨

近年、鉄道車両には、列車情報管理装置やトレインビジョンが搭載されている。列車情報管理装置は、車載機器の監視、運転支援、検修支援、制御指令伝送、編成・統合制御、乗客サービスなどの多様な機能を持つシステムである。トレインビジョンは、乗客が必要とする情報を車内の液晶ディスプレイに表示するシステムである。

三菱電機は、鉄道車両向け情報装置のパイオニアとして、列車情報管理装置やトレインビジョンなど、常に先進的な製品を開発・提供することで、鉄道交通の安全・安定輸送及び乗客サービス向上に貢献している。さらに、列車情報管理装置と地上の情報システムの連携による新たなソリューション開発にも積極的に取り組んでいる。

今後、列車情報管理装置は、車両システムの情報中枢として、地上情報システムと容易に情報を共有できるオープンな情報プラットフォームとしての機能が重要になると考えている。

本稿では、車両状態情報を活用したソリューション開発の事例として車両故障時の迅速な復旧支援と車両メンテナンスの省力化・深度化を、運行状況情報の活用事例として乗務員支援と乗客情報サービスについて述べる。今後、車両故障時の地上からの復旧処置、予防保全やダイヤ乱れに対応した列車自動運転制御への取り組みを進めていく。課題としては、情報システム間のデータ共有、鉄道事業者間でのデータ共有や情報セキュリティの強化がある。



車両と地上をシームレスにつなぐ情報制御ネットワーク (G-Net)

G-Netは、オープンな情報プラットフォームとしての列車情報管理装置を中心に、地上に設置された車両状態管理サーバ、運行状況管理サーバとネットワークを構築し、車上と地上(計画部門、指令部門、車両基地)をシームレスにつなぐ。

*Gは、Ground to on-board, General-purpose, Globalを意味する。

1. ま え が き

近年の情報技術の発展に伴い、新たに導入される車両には、当社の列車情報管理装置やトレインビジョンが積極的に導入されている。また、地上でも、車両基地や指令所など列車運行を支える様々な部門において、当社のリモートモニタリングシステム(Remote Information Monitoring System : RIMS)や、検修管理システム(Maintenance Information Management System : MIMS)を始めとする情報システム⁽¹⁾が導入されている。特にリモートモニタリングシステムは、国内外で標準装備になりつつある。

今後、列車情報管理装置は、車両システムの情報中枢として、車両状態及び列車の運行状況に関する情報を一括管理するだけでなく、地上の情報システムと容易に情報を共有できるオープンな情報プラットフォームとしての機能が重要になると考えている。

本稿では、まず、車上と地上をつなぐ情報システムの構築を可能とした近年の移動体通信技術の発展について述べる。次に、車上-地上間の情報連携による新たなソリューション開発の事例と展望を述べる。最後に、今後の課題について述べる。

2. 最近の移動体通信技術

車上の情報システムと地上の情報システムの連携が可能になった背景には、車上-地上間伝送に使用される移動体通信の著しい発展⁽²⁾がある。

移動体通信は、場所は限定されるが高速な伝送が可能な高速スポット伝送と、広域での伝送が可能だが余り高速でない広域リアルタイム伝送に大別することができる。

表1に、車上-地上間伝送で使用される移動体通信の性能、データの種類などを記す。

それぞれに得失があるため、車上-地上間伝送ではどれか1つを導入するのではなく、無線LAN(Local Area Network)とPDC(Personal Digital Cellular)の組合せなど、高速スポット伝送、広域リアルタイム伝送を共に導入して、用途に応じて使い分けられることが多い。

3. 車両状態情報を活用したソリューション開発と展望

3.1 車両故障時の迅速な復旧

鉄道事業者にとって、車両故障が発生した場合は、迅速

な復旧により安定輸送を確保することが最も重要である。このためには、乗務員のみならず、車上と地上で情報を共有して、地上から迅速な復旧を図れるように乗務員を支援するヘルプデスク機能を指令所と車両基地に設けることが有効である。当社は、以下の4つの機能を持つRIMS⁽³⁾を開発し、このヘルプデスク機能を実現した。

- 列車情報管理装置が持つ車両状態情報や故障情報のリアルタイムな監視・表示
- 列車情報管理装置が持つ故障データ、故障トレースデータなどのダウンロード
- 故障事象に応じた応急処置フローチャートの表示
- 営業運転継続が困難な場合、代替の車両運用、ダイヤ変更の検討

RIMSは、列車情報管理装置と地上側のサーバ・端末で構成され、車上-地上間は広域リアルタイム伝送で接続されている。RIMS端末での画面表示例を図1に示す。運転台表示器の画面表示と同一のデザインにすることによって、乗務員との意思疎通を容易に図れるようにしている。

これらの機能により、指令所では、列車情報管理装置からの故障情報を受けた後、車両状態情報を把握し、応急処置に必要な指示や取り扱いを乗務員に指示することが可能である。また、車両基地では、指令所と協力して復旧を支援するとともに、ダウンロードされた故障トレースデータを用いて詳細な故障の原因分析を行い、入庫後のメンテナンスに備えることが可能である。

車両故障発生時の列車情報管理装置の動作例を表2に示す。ここでは、各故障を営業運転に対する影響度により3つの

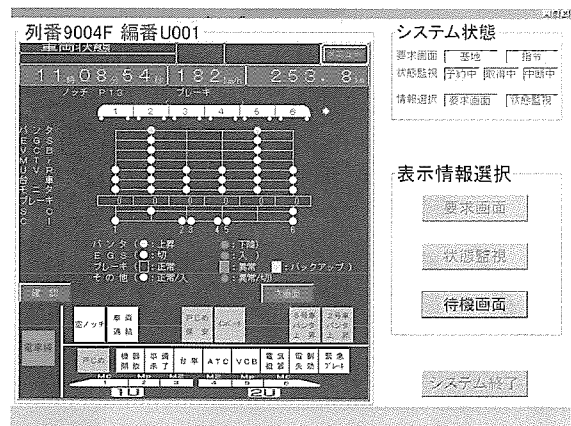


図1. RIMS端末での画面表示例

表1. 車上-地上間伝送で用いられる移動体通信の種類

種類	使用場所	送信データの種類	通信媒体	伝送速度	伝送距離
高速スポット伝送	駅構内、車両基地など	故障トレースデータ、広告コンテンツなど	ミリ波通信	100Mbps	~20m
			無線LAN	256kbps~11Mbps	~250m
広域リアルタイム伝送	沿線	車両状態情報、故障情報、運行状況情報	列車無線(空間波、LCXなど)	~9,600bps	全エリア
			2G携帯電話(PDCなど)	9,600bps~115kbps	全エリア
			3G携帯電話(FOMA ^(注1) など)	~384kbps	全エリア

LCX : Leaky CoaXial

(注1) FOMAは、(株)NTTドコモの登録商標である。

レベルに分け、それぞれのレベルにおいて、故障が発生した場合の画面表示や地上の情報システムへの通知方法を定義している。例えば、レベル1の故障が発生した際に、列車情報管理装置は、車上-地上間伝送によって、故障発生を指令所と車両基地に対して通知する。これに対して、レベル2では車両基地にのみ通知し、レベル3では入庫後に検修員が情報を収集する。

今後の展望としては、乗務員に必要な処置を指示するだけでなく、RIMS端末から遠隔で処置を行っていくことも必要と考えている。列車が立ち往生したときには乗務員は冷静でいられない状況が考えられるが、その場合のヒューマンエラーを防止するためである。具体的には、故障機器のリセットや開放などをRIMS端末から遠隔で制御することが考えられる。

3.2 メンテナンスの省力化・深度化

列車情報管理装置は、故障、車上試験、積算電力など様々なデータを記録している。現在のところ、これらのデータは検修員が車両に乗り込んで、ICカードやノートパソコンを用いてダウンロードしている。また、ダウンロードされたデータは列車情報管理装置の地上装置に格納されるが、機器ごとの故障トレンドなど詳細な分析を行うためには、ダウンロードしたデータを編集する必要がある。

これに対して、当社は、MIMSを開発し、車上-地上間伝送により、列車情報管理装置の記録データを自動的にダウンロードして、データベースで一元管理できるようにした。検修員は、列車に乗り込んで記録データをダウンロードする必要はなく、MIMSのデータベースにアクセスすることで、常に最新のデータを読み出すことが可能になる(図2)。また、これらのデータは、車両・機器台帳管理、故障実績管理、検修計画・実績管理に活用される。今後は、これらのデータをMIMSで自動的に分析して、機器の異常な兆候の検出、部品の交換周期の最適化、さらには予防保全に取り組んでいくことが考えられる。

4. 運行状況情報を活用したソリューション開発と展望

4.1 乗務員支援

乗務員は、列車ダイヤと乗務員運用計画に基づいて日々の業務を遂行する。これらは輸送計画システムによって事前に作成されているが、事故や災害などの発生による異常時には、運行管理システムによって変更される。現在では、

作成された列車ダイヤや乗務員運用計画を乗務員が持つICカードや車上-地上間伝送などを介して列車情報管理装置に送信し、運転台表示器に表示できるようになっている。さらに、異常時には、変更情報を広域リアルタイム伝送により列車情報管理装置に送信して運転台表示器に表示し、乗務員が確認・返信することにより、変更情報を迅速・確実に伝達できるようになっている。

4.2 乗客への情報提供サービス向上

トレインビジョンは、図3に示すように、2台の液晶ディスプレイを一对として、乗客情報画面と広告表示画面とに使い分けている。通常は、乗客情報画面には次駅案内、路線・乗換え案内、駅設備案内などを、広告表示画面には広告、ニュース、天気予報やイベント情報などを表示して

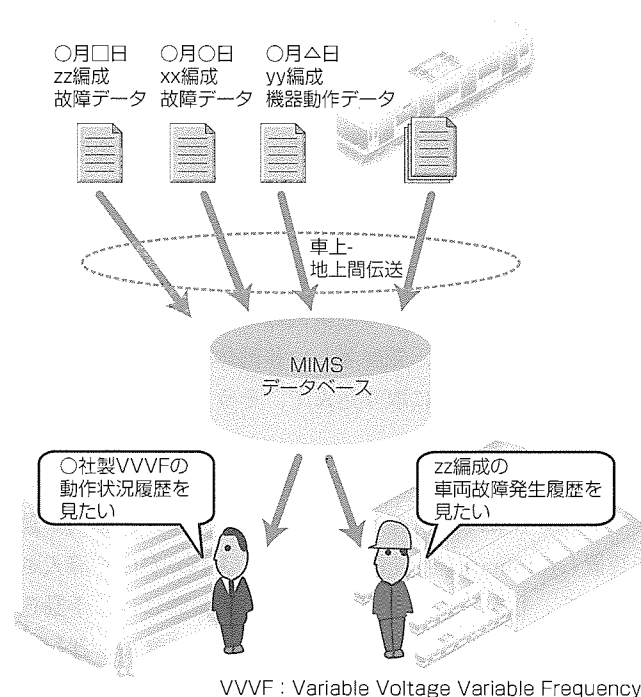


図2. MIMSデータベース

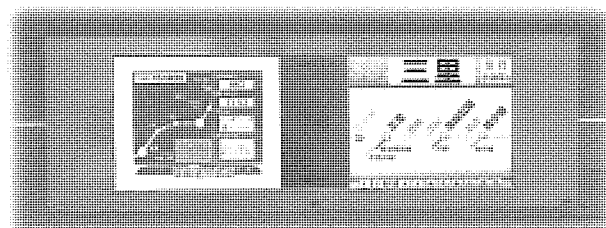


図3. トレインビジョン

表2. 故障発生時の列車情報管理装置の動作例

故障レベル	レベルの定義	画面表示			対地上伝送	
		故障発生画面 (ブザー鳴動)	故障発生画面 (ブザー非鳴動)	出庫点検画面	指令所	車両基地
レベル1	次駅での車両交換など、迅速な対応が必要な重大故障	×		×	×	×
レベル2	当日の営業運転が終了次第、検査が必要		×	×		×
レベル3	営業運転終了後、検修員が見ればよい故障			×		

いる。

運行状況情報を活用したソリューションとして、異常時に広域リアルタイム伝送により地上から最新の運行情報を受信・表示し、乗客への迅速な情報提供を図っている。具体的には、乗客情報画面に列車の遅延や運休などの運行情報を表示させている。また、広告表示画面に不通(運転見合わせ)区間などのマップコンテンツを運行情報と同期させて表示させることも可能となってきた。

さらに、トレインビジョンはデジタル映像をデジタル伝送しデジタル表示する“オールデジタル”化により、表示品質の向上を図っている。これにより、今後はよりきめの細かい情報を視認性の高い動画・静止画で表示することが可能となる。

4.3 車内セキュリティ

国内での導入例は少ないが、海外では客室監視カメラを鉄道車両に搭載することが一般的になっている。また、通常は客室監視画像を表示しているが、駅に接近した際には、自動的にホーム画像に切り換えて、乗務員に注意を喚起する例もある。

現在は運転台で客室映像を監視する程度であるが、ワンマン運転、ドライバーレス運転の導入を指向する鉄道事業者では、指令所においても客室画像を監視したいというニーズがある。今後は、発展著しい移動体通信技術や動画圧縮技術などを積極的に取り込んで、そうしたニーズにもこたえていく必要がある。

4.4 ダイヤ乱れに対応した列車自動運転制御

ワンマン運転や定時運転を促進するために、自動列車運転装置(Automatic Train Operation:ATO)が広く導入されている。しかし、ダイヤ乱れなどの異常時には、手動運転で対処しなければならないことが多い。今後は、運行管理システムからの変更情報を乗務員支援機能として運転台表示器に表示するだけでなく、列車自動運転制御にも用いることが考えられる。つまり、変更情報を車上-地上間伝送で車上に送信し、ATOは変更情報を基に最適な運転パターンを演算し、自動運転を継続することで、遅延の早期回復を図ることが可能と考えている。

5. ソリューション開発における課題

今後も車上と地上の情報連携によるソリューション開発

を積極的に進めていく上で、情報の共有にかかわる3つの課題について述べる。

5.1 情報システム間のデータ共有

車上と地上の情報連携を進めていくには、各情報システム間の情報の共有が不可欠である。そのためには、XML(eXtensible Markup Language)、HTML(Hyper Text Markup Language)、TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)といったオープンなデータフォーマット、伝送プロトコルを、地上情報システムのみならず、車上情報システムにも取り込んでいく必要がある。

5.2 鉄道事業者間でのデータ共有

車両に搭載されている機器は、鉄道事業者ごとにすべて新規に設計・製造されているわけではない。したがって、ライフサイクル管理として機器の動作履歴の分析や不具合情報の水平展開を考えると、鉄道事業者間でのデータ共有を行うことも必要であると考えている。

5.3 情報セキュリティの強化

一方、上述したデータ共有を進めていくには、情報セキュリティの強化が不可欠である。また、4.3節に記した車両の客室監視画像の指令所での監視や、4.4節に記したダイヤ乱れに対応した列車自動運転制御といった新しいソリューション開発にも、データの漏洩(ろうえい)や悪意あるデータ改竄(かいざん)への対策が必要である。このためには、暗号技術の適用が有効であると考えている。

6. む す び

鉄道交通システムにおける車上と地上の情報連携による新しいソリューションについて、現在実用化されている事例、今後の展望と課題を述べた。今後も、車上と地上が連携して安全・安定輸送及び乗客サービス向上に貢献できる情報システムの構築を検討していく所存である。

参考文献

- (1) 長島 真, ほか: 今後の車両基地システムへの取り組み, 三菱電機技報, 77, No.11, 697~700 (2003)
- (2) 鉄道車両における情報技術調査専門委員会: 鉄道車両とIT, 電気学会技術報告, No.886 (2002)
- (3) 出口生滋: E231系TIMS車両情報の地上への伝送とその活用, 鉄道車両工業, No.439, 40~44 (2006)

異常時における交通情報システムの新しいサービス

沖 雅雄*
 玄田和行*
 中桐慶之*

Advanced Service of Transportation Information System for Irregular Train Operation

Masao Oki, Kazuyuki Genda, Yoshiyuki Nakagiri

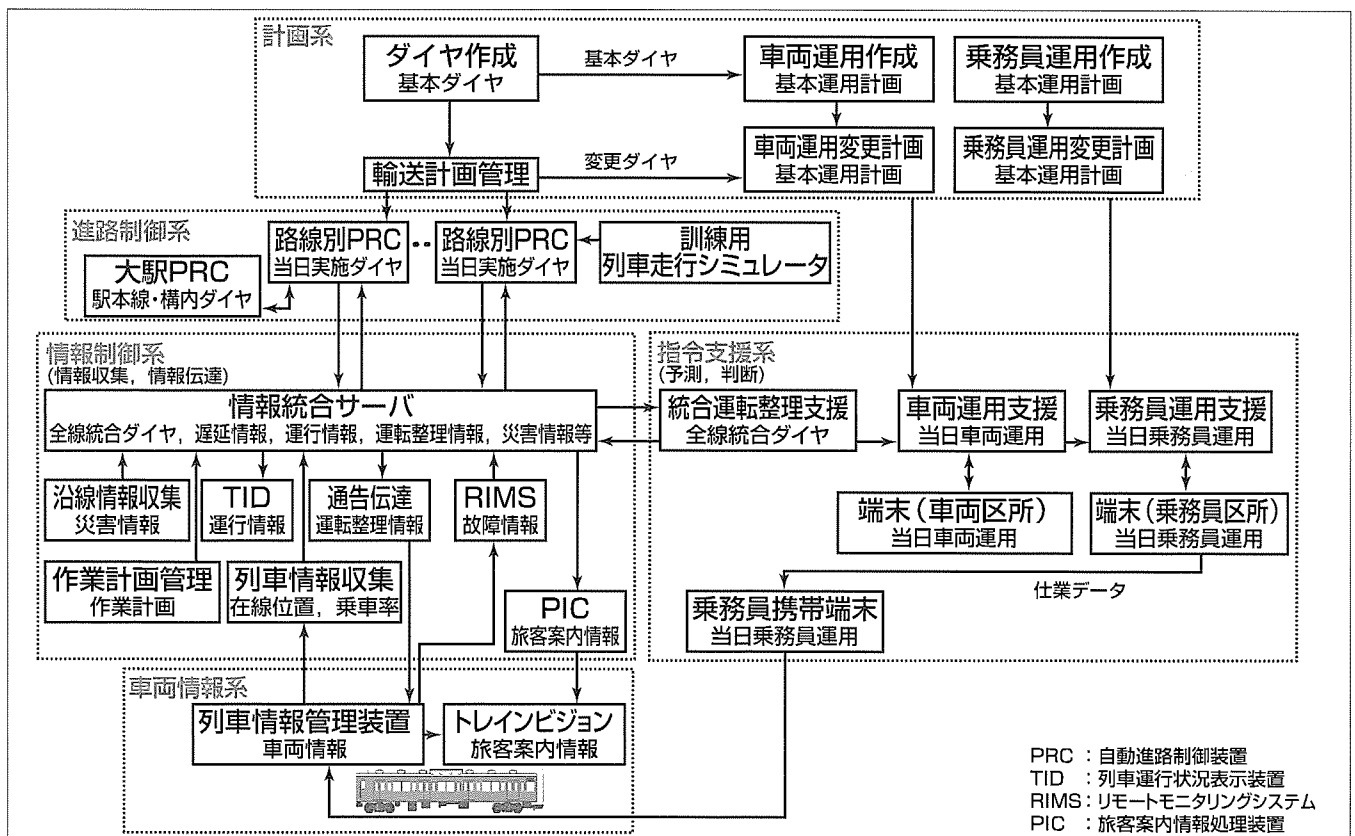
要 旨

日本の鉄道は需要に応じて停車駅の異なる列車の設定と割合、他路線への乗り入れ、接続など利便性を考慮してダイヤが作成されており、路線の選択や乗換えなどスムーズに移動ができる。近年では、インターネットにダイヤが公開されており、“目的地に目的の時間に安全・確実に到着できる”交通手段となっている。一方で、事故や災害等の影響でダイヤが乱れると、その路線の乱れが乗り入れ路線に波及し、車両・乗務員運用にも乱れが生じ、拡大する。乗客は、目的地までの運行状況や不通区間の提供、早期回復を期待する。

このような異常時への期待にこたえるためには、①ダイヤ乱れの原因を素早く把握すること(情報収集)、②ダイヤ乱れの状況と影響範囲を未来も含めて把握すること(予測)、

③原因を取り除くとともにダイヤの復旧案を作成すること(判断)、④把握した情報とともに、復旧案を関係各所、乗客に伝達する(情報伝達)が必要である。

下記の図は三菱電機の考える交通情報システムである。計画系は、列車ダイヤ、車両・乗務員運用の作成を担う。進路制御系は、自動進路制御に加え、列車遅延や信号機、軌道回路等の設備状態の監視を担う。情報制御系は、ダイヤ乱れの原因の収集、進路制御系から得られる運行状況の収集と関係各所、乗客への情報伝達を担う。指令支援系は、収集されたダイヤ乱れの原因、運行状況からダイヤの復旧案、車両・乗務員運用の変更などの支援を担う。車両情報系は、運転士への情報伝達や乗客への不通区間などの案内を担う。



交通情報システムの構成と異常時に関する情報の流れ

当社は、計画系、進路制御系、情報制御系、指令支援系、車両情報系の各システムが連携を強化して、異常時に重要となる①情報収集、②予測、③判断、④情報伝達の各役割を担い、ダイヤ乱れの早期回復及び乗客への情報サービスの向上を実現する交通情報システムの開発を進めている。

1. ま え が き

交通情報システムを構成する各システムの役割について述べる。計画系は、列車ダイヤ、車両・乗務員運用を作成し、進路制御系の路線別PRCに供給する。進路制御系の路線別PRCは、列車がダイヤどおりに運行できるよう信号を制御し、信号機や軌道回路等の設備の状態や列車遅延等を監視する。車両情報系は、無線等の伝送手段を通じてリアルタイムに車両の状態を通知し、沿線に設置したセンサを通じて、災害状況を把握する。これらの情報は、情報統合サーバに集め、指令支援系やPIC、TID等必要とする各システムに伝送する。指令支援系は、情報制御系が収集したダイヤ乱れの原因や列車の運行状況に基づき、ダイヤの復旧案や車両・乗務員運用の変更案を作成し、進路制御系や情報制御系に伝送される。情報制御系は、PICやTID、情報制御系を通じて、関係各所、乗客に復旧案を通知する。

本稿では、異常時に大きな役割を担う進路制御系、情報制御系、指令支援系、車両情報系のシステムを対象に当社の取り組みの現状と今後の展望について述べる。

2. 進路制御系システム

当社のPRCは、対象路線の規模や列車ダイヤの密度等にに応じて、駅分散型や集中型、分散・集中型のハイブリッド型等、柔軟なシステム構成が可能で、支線、複々線、単線等の路線形状に対応して自動的に進路を構成することができる。異常時への対応については、列車遅延の把握や列車遅延の原因となる信号機や軌道回路の状態を監視し、異常を検知すれば指令員に報告することができる。

また、運用系のPRCで取得した軌道回路や信号機の変化の記録を活用した再現シミュレータや、軌道回路の短絡不良や徐行規制などによる遅延走行等の異常を設定できる列車走行シミュレータを活用し、運用系とは別に試験系のPRCを用意することで、異常時における指令員の入力訓練に活用することができる(図1)。

3. 情報制御系システム

情報制御系システムは、列車運行にかかわるスピーディ

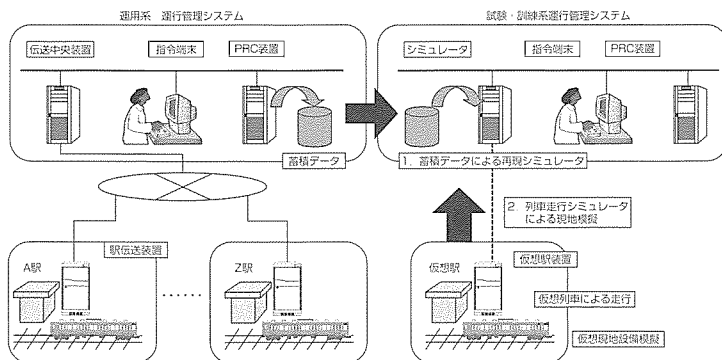


図1. 訓練用列車運行シミュレータ

な情報収集、情報伝達の機能を担う。その実施例を述べる。

- (1) 路線別PRCのダイヤを統合し、路線別PRCから当日の実施ダイヤ、運転整理による変更ダイヤ及び列車遅延情報を収集する。別々に管理されていた乗り入れダイヤに対して同一列車番号のダイヤを併合し、全線統合された当日の最新の実施ダイヤと列車遅延情報を管理する(図2)。
- (2) 列車運行にかかわる情報収集として、①沿線の災害情報(風速、雨量、水位、地震等)、②故障を含む車両状態、③作業計画等を収集する。
- (3) 指令支援系システムへの上記(1)(2)の情報提供とダイヤ乱れの波及予測、復旧案等指令支援系からの情報収集を行う。
- (4) 全線統合されたダイヤ、列車の運行にかかわる情報、ダイヤ乱れの波及予測等を生かした駅でのTID及び旅客案内を行う。
- (5) 乗務員に向けた通告伝達を行う。
- (6) 車内乗客に向けたトレインビジョンへの案内情報の伝達を行う。

上記(2)の②故障を含む車両状態、(5)通告、(6)車内案内情報については、デジタル無線技術(列車無線、携帯電話等)の発達により、車両と地上間でリアルタイムで確実な情報のやり取りが可能になっている。

今後の展望として、異常時における乗客への案内を一層強化するべきであると考えており、上記(4)(6)の駅及び車内での旅客案内機能について、図3の実施例のように、運転見合わせ区間、迂回(うかい)ルート、振替え輸送、運転再開見込み時刻、ダイヤ乱れの復旧見込み時刻等を、マルチメディア技術を応用し、ビジュアルで、かつ、スピーディ

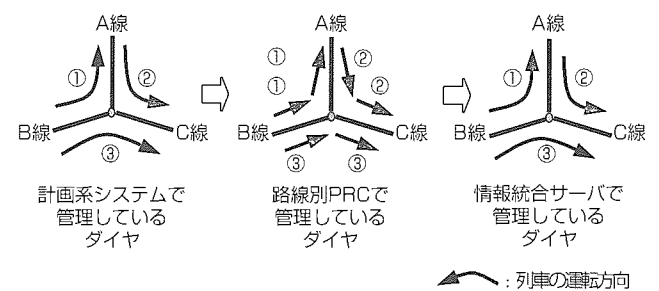


図2. 情報統合サーバにおける管理ダイヤ

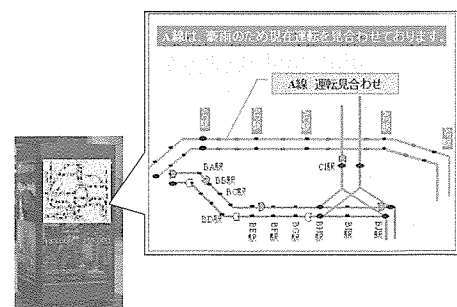


図3. マルチメディア型旅客案内システム実施例

に情報提供できる仕組みを検討していきたいと考えている。

4. 指令支援系システム

従来の指令支援系システムは、路線別PRCに接続され、その路線にかかわる部分的なダイヤ乱れや車両・乗務員運用の乱れに対応して開発されてきた。そのため他路線への乗り入れのダイヤが生まれ、車両や乗務員が他路線を行き来するケースでは、システムの支援に限界があった。当社では、全線、全区所を対象とした指令支援系システムの開発を進めている。情報制御系システムが収集した全線統合された当日の最新の実施ダイヤ、列車遅延及び列車運行にかかわる情報を取り込み、全線区を対象に数時間先までのダイヤ乱れや車両・乗務員運用の乱れを予測することで、他路線へのダイヤ乱れの波及の予測や区所間の車両・乗務員運用の過不足等をスピーディに把握することが可能になる。

指令員は、システムと対話形式で復旧案を作成し、その実施ダイヤの変更結果を路線別PRCやPIC、通告伝達システムなどに伝達することができる。

4.1 統合運転整理支援システム

統合運転整理支援システムは、以下の特長を持っている。

- (1) 全線統合された当日の最新の実施ダイヤに基づき、全線を対象に数時間先までの列車ダイヤの乱れを予測する。
- (2) 最小走行時分、最小運転時隔、最小停車時分、最小折り返し時分等を使って予測する駅単位予測方式がある。
- (3) 駅間が長い、駅間での列車の輻輳(ふくそう)等を正確に予測したい場合は、軌道回路や信号システム条件を使って予測する軌道回路単位予測方式がある。
- (4) 駅単位予測方式と軌道回路単位予測方式は、現在時刻からの時間帯別、駅別等ハイブリッド型で構築することができる。
- (5) 列車運行にかかわる沿線災害情報、車両状態等の情報から駅間の制限速度、列車の遅延を自動で設定し、予測の条件として取り込むことができる。

図4は、その実施例である。E線区内を走行する列車の遅延が乗り入れ先のD線区及びF線区まで波及することを

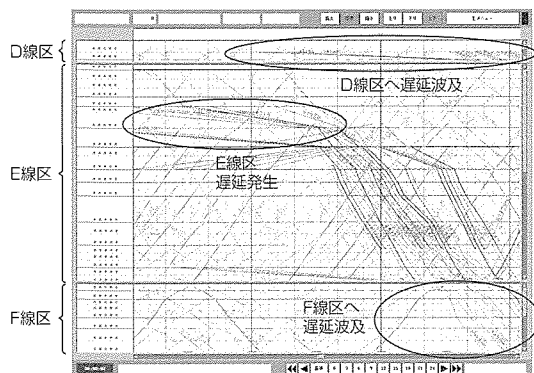


図4. 統合運転整理支援システムの実施例

予測している。

4.2 車両運用支援システム

車両運用支援システムは、以下の特長を持っている。

- (1) “輸送力の確保”と“計画への戻し”を行う観点から、統合運転整理支援システムが作成した全線を対象とする予測結果を活用し、車両の充当の過不足、滞泊場所不一致等の運用乱れを予測する。
- (2) 車両運用復旧案の作成時には、車両編成ごとの運転可能線区や併結運転時の連結可不可等の運用ルールに基づいて、システムが復旧案を提案する。これにより、車両運用復旧案の立案にかかる時間を短縮し、かつ、担当指令員の経験の差による復旧結果のばらつきを極力少なくする。
- (3) 車両運用復旧案の検討に当たっては、指令所で集中的に対応する形態に加え、各現業区(車両区所)に端末を設け、指令所と各現業区で運用情報を共有し、協調して復旧案の検討を行う形態も可能である。

4.3 乗務員運用支援システム

乗務員運用支援システムは、以下の特長を持っている。

図5にシステム概念を示す。

- (1) 統合運転整理支援システムが作成した全線を対象とする予測結果を活用し、乗務員の充当の過不足、計画上の最終行路との不一致等の運用乱れを予測する。
- (2) 乗務区所や駅詰所等、乗務員の立ち寄り箇所に無線LAN(Local Area Network)のアクセスポイントを設置し、乗務員が所持している携帯端末からのデータをアクセスポイントがとらえている場合、その乗務員を“在場”として管理する。アクセスポイントからとらえられなくなった場合、その乗務員を“移動”として管理する。乗務員運用の復旧案検討の際に、この位置情報を基に乗務可

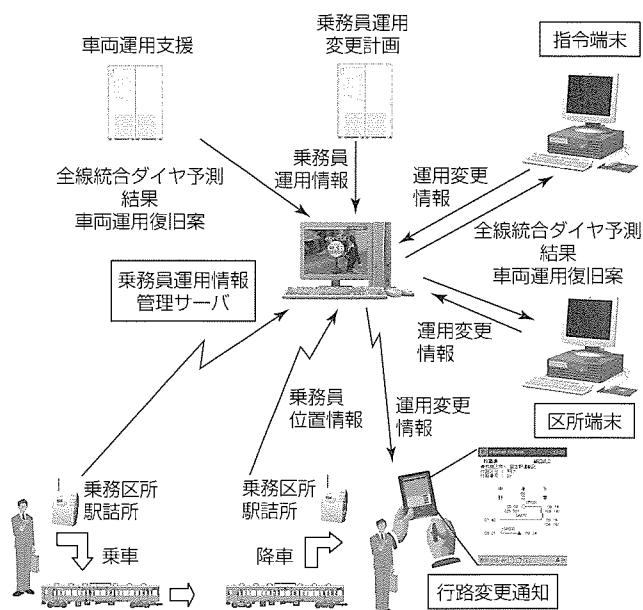


図5. 乗務員運用支援システムの概念

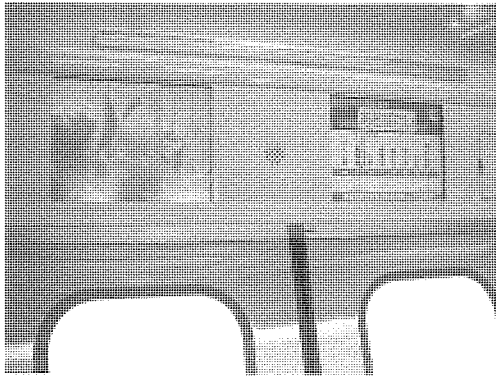


図 6. トレインビジョン実施例

能な乗務員を見付け出し利用する。

- (3) 乗務員運用復旧案の作成時には、労働条件や運用上のルール等に基づいて、システムが復旧案を提案することで、担当指令員の経験の差による復旧結果のばらつきを極力少なくする。
- (4) 復旧案により運用の変更が生じた乗務員に対し、携帯端末にリアルタイムに変更運用情報を送信する。また、各乗務員の変更内容の確認状況が指令所、各乗務区所で把握でき、従来の電話やFAXなどによる手段と比較し、連絡漏れや連絡ミスを防ぐ。

5. 車両情報系システム

従来から、車両情報系システムは、車両の状態監視や車内の乗客への情報サービスの提供などの役割を果たしてきた。今後は、異常時における車両状態、より詳細な乱れ状況と復旧案などを車上-地上間で迅速に伝達することが必要とされている。当社では、デジタル無線技術を利用した車上-地上間のリアルタイムな情報伝達システムの開発を進めている。

5.1 列車情報管理装置

デジタル列車無線を利用して通告伝達システムから運転整理情報を受信し、運転台表示器に表示することにより、乗務員への通告伝達作業を大幅に軽減する。また、故障を含む車両状態を地上のシステムに伝達し、車両故障時に指令員が車両の状態に応じた応急処置を乗務員に指示することが可能である。

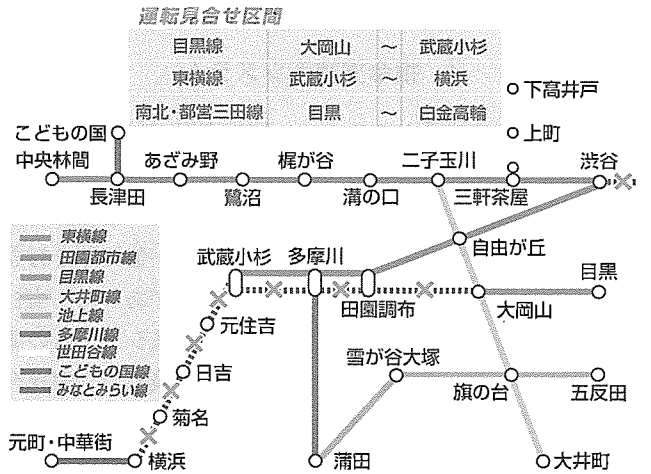


図 7. 不通区間情報表示例

5.2 トレインビジョン

パケット無線などの広域リアルタイム伝送により運行情報等の案内情報をリアルタイムに受信し、液晶ディスプレイによる動画及び静止画のコンテンツ情報提供により、乗客への異常時の迅速な情報提供を図っている(図6)。

また、情報制御系システムから受信した速度規制区間や不通(運転見合わせ)区間の情報を利用し、そのマップコンテンツを運行情報案内と同期させて表示させ、迂回ルート検討などの判断材料を迅速に乗客へ提供できる(図7)。

今後は、情報制御系システムから受信した列車ごとの遅延情報等、より詳細な情報を乗客に提供できるシステムの構築をしていきたいと考えている。

6. むすび

ダイヤ乱れなどの異常時における当社の交通情報システムの取り組みについて述べてきた。今後も、乗客サービスの向上及び事業者の業務革新と効率化に貢献するため、最新の情報・通信技術を適用し、関係するシステムの連携を生かしたトータルシステムの提供を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 本間英寿, ほか: 運行情報制御システムの現状と今後の展望, 三菱電機技報, 77, No.11, 691~696 (2003)

IP対応衛星通信小型可搬局装置

木村敏章* 渡辺真木子*
今井 徹*
田中秀幸*

Portable Satellite System for IP Data Transmission

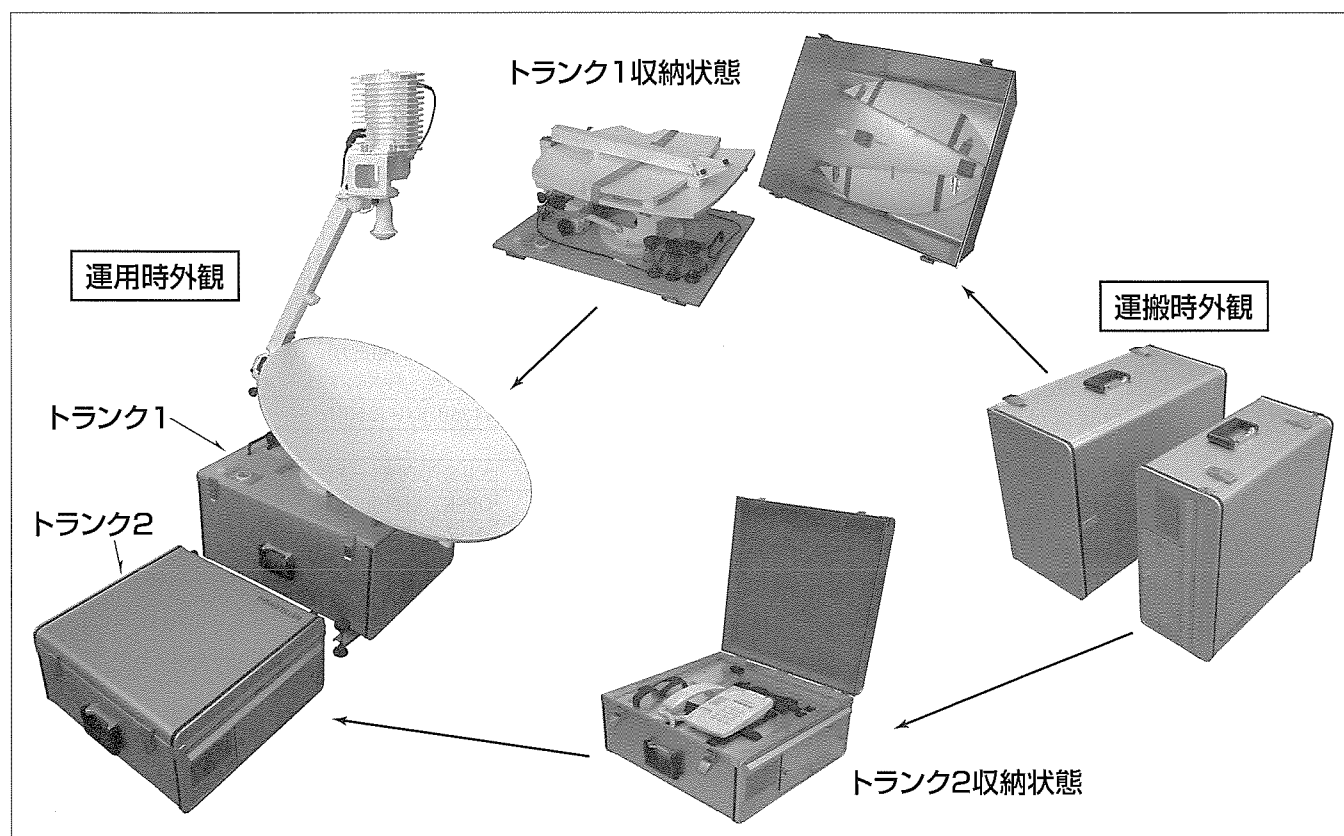
Toshiaki Kimura, Tooru Imai, Hideyuki Tanaka, Makiko Watanabe

要 旨

衛星通信システムはアナログからデジタルへと変遷し、さらに、IP(Internet Protocol)化移行の過程にあり、各ユーザーシステムにおいても、デジタル・IP化による第二世代化への移行が進んでいる。三菱電機は、2002年からIP型データ伝送が可能な実用地球局の開発に取り組んできているが、その中で、市場動向を考慮し、機動性の高い地球局の需要が高まる状況を踏まえて、2006年3月に音声、ファクシミリとIPデータ伝送が可能な小型軽量の可搬局を開発した。

この可搬局は、主にアンテナ(公称75cmφ)、送受信装置(飽和電力4W)を収納しているトランク1と、主に端局装置(2ch実装)、IPデータ伝送用アダプタを収納しているトランク2から構成されている。当社の従来製品と比較

すると、質量が約50%低減されており、自家用車のトランクに設備機材を搭載し、現場で持ち運びできる大きさと質量を実現している。また、従来製品の欠点を補い運用性を向上させるために構造的工夫を各部位に施しており、短時間での組立て、運用が行える構造となっている。さらに、この可搬局は、地域衛星通信ネットワークにおいて、一般的に情報速度384kbpsでのIP型データ伝送可能な性能を持ち、他のネットワークでは、1Mbps程度でのIP型データ伝送も可能な地球局であり、現場から生の映像をIP形式の動画で配信できることも大きな特長である。今後、この可搬局は、防災、官公、民需の各種ネットワークでIPデータ伝送が可能な機動性に優れた地球局として幅広く活用されていくものと考えている。



小型可搬局の外観

トランク1(アンテナ装置)及びトランク2(端局装置)は、基本的な付属品をすべて収納して運搬が可能な構成となっている。

1. ま え が き

(財)自治体衛星通信機構(LASCOM)が運営・管理している地域衛星通信ネットワークは、第一世代の音声、ファクシミリ、デジタル準動画のサービスに新たにIP型データ伝送サービスを加えた第二世代システムを2003年4月から運用を開始している。また、宇宙通信(株)が運営・管理しているEsbird^(注1)サービスは、音声、ファクシミリ、データ伝送をすべてIP形式で運用するIP型統合ネットワークサービスを2006年3月から始めており、市場の動向は、サービスの主流がIP型データ伝送に移りつつあることを示している。このような状況で、可搬局の特長である機動性を生かしながら、かつ現場映像等をIP型データ伝送で配信できる特長を持つ可搬局の需要が高まってきており、構造、機能、性能においてトータルバランスの良い可搬局の開発が必要となった。

(注1) Esbirdは、宇宙通信(株)の登録商標である。

2. 概 要

表1に小型可搬局の主要諸元を示す。また、図1にこの可搬局のブロック図を示す。

この可搬局は、主にアンテナ、送受信装置を収納しているトランク1と、主に端末装置、データ伝送アダプタ(データ伝送アダプタ)を収納しているトランク2から構成されている。アンテナは直径75cm相当の4分割型鏡面に軽量素材を採用しており、軽量でかつ小型化を実現している。

データ伝送アダプタは、端末装置からのIP接続要求に対して自動的に発呼・接続する機能に加えて、衛星回線上的伝送遅延による影響を軽減するスループット改善機能も内蔵している。

トランク1とトランク2は送信と受信の同軸ケーブルで接続する。送受信装置の電源は、送受信の同軸ケーブルに重畳してトランク2から供給しているため、トランク1には電源供給用のケーブルを必要としない。

またトランク2では、周辺装置の収納スペースがあり、電話機、パソコン、ケーブル等を収納して運搬することが可能である。

3. トランク1(アンテナ・ODU)

トランク1には、アンテナ鏡面、ステー、ODU(Out Door Unit)、受信ボックスを収納する(図2)。分割鏡面にはアルミハニカム構造の素材を採用し、ステーなどにはマグネシウム合金を採用するなど、材料の軽量化にも注力した。

また、トランク1には、方位磁石、水準器及び水平調整用具を収納しており、衛星捕捉(ほそく)までの時間短縮を

図る工夫をしている。

また、オプションの三脚を取り付けることにより、設置条件の悪い環境下での長期運用にも適用できる構造としている。

トランク1は、JIS防水保護等級5を採用しており、雨天時における運用や長期屋外設置にも対応できる。

アンテナの展開、方向調整には工具類は一切不要であり、簡単にセッティング可能な構造となっている。さらに、内蔵されている受信ボックスは、設定した周波数のCSC(Common Signaling Channel)キャリアの受信レベルをインジケータ表示で表示するとともに、トーン音の高低でレベルを判断する。これにより、測定器を用いずに目的の衛星方向に方向調整が可能である。

4. トランク2(IDU(InDoor Unit)・データ伝送アダプタ)

トランク2には、データ伝送アダプタ、モデムカード、送信IF合成部、受信IF分配部、その他共通部で構成される。

(1) データ伝送アダプタ

表1. 小型可搬局製品仕様

項目	仕様・性能	
1	システム	
1.1	利用周波数帯	送信：14.00~14.50 GHz 受信：12.25~12.75 GHz
1.2	機能	IPデータ通信
1.3	回線制御方式	DAMA方式、PAMA方式
2	送受信装置	
2.1	アンテナ	0.75mφパラボラアンテナ(輸送時は4分割して収容)
2.2	衛星捕捉	受信信号強度(LED及び音で表示)による手動捕捉 LED表示は精粗2段表示
2.3	偏波	送受直交直線偏波(XPD:30dB以上(主ビーム方向±0.1°)) 送信：V(H)偏波、受信：H(V)偏波 切換え可能
2.4	利得	送信：38.0dB(@14.25GHz) 受信：36.9dB(@12.50GHz)
2.5	広角指向特性	無線設備規則第54条の3に準拠
2.6	EIRP	44.0dBW(飽和出力) SB-B2 #21トランスポンダにおいて384kbpsデータが送信可能(地域差あり)
2.7	G/T	14.2dB/K(@12.5GHz)
3	端末装置	
3.1	実装モデム数	2CH(音声/可変レートデータモデム・CSC専用モデムに設定可能)
3.2	変復調方式	QPSK/同期検波
3.3	誤り訂正方式	畳込み符号/軟判定ビタビ復号(符号化率1/2, 拘束長7)
3.4	情報速度	32~2,048 kbps(10段階切換え)
3.5	音声伝送方式	32kbps ADPCM, 16kbps LDCELP
3.6	回線品質	Eb/N ₀ =5.9dB(符号化率1/2), 7.9dB(符号化率3/4)で1×10 ⁻⁵ 以下
3.7	スループット改善	回線速度に対して85%以上(256kbps以上において)
3.8	端末コネクション数	80コネクション(最大)
3.9	端末インタフェース	音声：2W/4W IPデータ：10BASE-T, 100BASE-TX
4	その他	トランク1(ANT+ODU) トランク2(IDU)
4.1	電源条件	AC100V 50/60Hz単相, 250W
4.2	環境条件	-20~+50℃/RH100%以下 0~+40℃/RH 95%以下(結露なし)
4.3	耐風速	平均風速 14m/s
4.4	防水性	防水JIS保護等級5 防水JIS保護等級2
4.5	寸法・質量	500×650×320(mm)/約20kg 500×520×240(mm)/約18kg

EIRP : Equivalent Isotropically Radiated Power
G/T : Gain over Temperature ratio
LED : Light Emitting Diode
RH : Relative Humidity
XPD : Cross Polarization Discrimination

地上IPネットワークを衛星回線に接続するためのプロトコル／インタフェース変換処理を行う。詳細は次章で述べる。

(2) 音声／データモデム

データ伝送アダプタから送られてくるデータを衛星回線フォーマットに変換し、1GHz帯のQPSK (Quadrature Phase Shift Keying)変調波を生成する。2W音声信号／4W音声信号はITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector) G726(32kbps ADPCM(Adaptive Differential Pulse Code Modulation))又はITU-T G728(16kbps LDCELP(Low Delay Code Excited Linear Prediction))で符号化した後、衛星回線フォーマットに変換する。また、1GHz帯受信信号に対して周波数変換、レベル調整を行った後、IFサンプリングでA/D変換し、復調処理を行う。復調処理におけるAGC(Automatic Gain Control), CR(Carrier Recovery), BTR(Bit Timing Recovery), AFC(Automatic Frequency Control)は、デジタル信号処理で実現し、FPGA(Field Programmable Gate Array)に実装することで小型化を実現した。

(3) 送受信IF合成分配部

送信部はモデムカードからの2チャンネル分の送信IF信号を合成し、さらに、受信ボックス、送受信装置への供給

電源、10MHz基準信号を重畳させて送信出力端子に出力する。

受信部は、受信IF信号を2分配し各モデムカードに送出する。また、受信IF端子に受信レベル値、送信機制御信号を重畳させて受信ボックスに送出する。

5. データ伝送アダプタ

データ伝送アダプタは、衛星回線経由のIPデータ伝送を実現する以下の機能を持っている。

(1) DAMA/PAMAシステムに対応

DAMA(Demand Assignment Multiple Access)システムでは、データ伝送アダプタは、IPデータを検出すると宛先(あてさき)局を割り出し、回線割付けの要求を行う。宛先がマルチキャストアドレスの場合には、宛先局群を表すグループ番号を割り出し、回線割付けの要求を行う。回線接続時には、IPデータを適切な局へルーティングする。データの流量監視を行うことで、適切な速度の要求をDAMA装置に対して行うこともできる。回線割付けの要求を行った場合には、回線接続後、宛先局とのIPデータの無通信を一定時間検出すると、切断する。回線割付け方式は、予約系・即時系割付け機能に対応している。

PAMA(Pre-Assignment Multiple Access)システムでは、設定された速度内でIPデータの送受信を行う。

(2) スループット改善機能

衛星回線を介してTCP/IP通信を行う場合、衛星通信区間の伝搬遅延によるTCP(Transmission Control Protocol)のラウンドトリップ時間が大きいため、TCPデータ転送のスループット性能が上がらない。データ伝送アダプタはこれを解決するスループット改善機能を持ち、その効果は、256kbps以上の場合85%以上を上げている。

(3) 優先伝送制御

データ伝送アダプタは、送信元や宛先のIPアドレス・ポート番号により、優先伝送制御を行う機能を持っている。例えば、割り当てられた帯域のうち50%はVoIP(Voice over IP)データに確保するといったことが可能である。これにより、リアルタイム性が要求されるデータ通信の品質(Quality of Service: QoS)を向上させることが可能となっている。

(4) パケットフィルタリング

データ伝送アダプタは、あらかじめプロトコル種別、IPアドレス、ポート番号を設定しておくことで、選択したIPパケットのみを送受信することができる。

(5) 保守性

データ伝送アダプタは、衛星回線を経由した監視制御・パラメータ設定・プログラムのリモートダウンロードなどに対応し、優れた保守性を備えている。

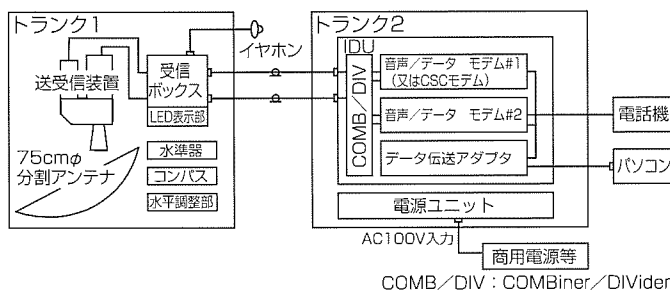


図1. 小型可搬局ブロック図

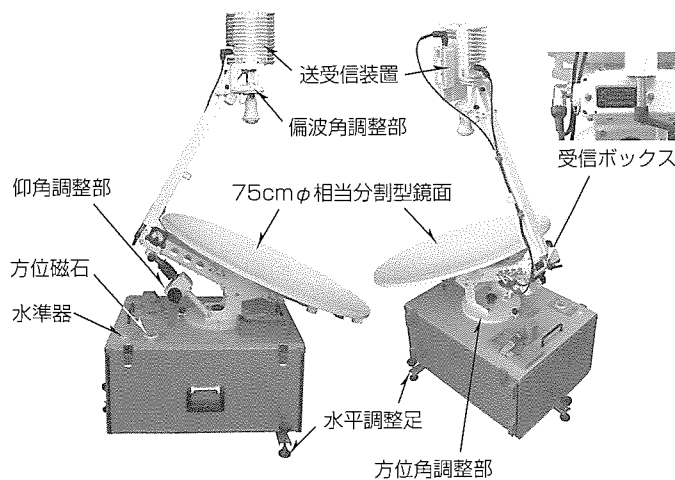


図2. 小型可搬局 トランク1

6. 運用操作

この可搬局の標準的な運用は次の手順で行う。

- ①トランク2に電源を投入する。
- ②トランク1に水平調整足を取り付け、水平を確保するとともに、磁北を確認する。
- ③アンテナステーを展開し、仰角調整ジャッキ、送受信装置、分割鏡面を取り付ける。
- ④現在の緯度経度から、衛星方向(仰角・方位角・偏波角)を確認し、およその調整を行う。
- ⑤トランク1とトランク2間のケーブルを接続し、送受信装置に電源を供給する。
- ⑥受信ボックスのレベルが最大になるところに方位角と仰角を微調整する。
- ⑦衛星管制局と連絡をとり、使用システムに応じたアップリンクテストを実施する。
- ⑧運用開始。

可搬局の展開から方向調整(上記①から⑥まで)に要する時間は10分以下であり、これは、従来の可搬局の展開時間と比較しても半分以下となっている。

また、仰角及び偏波角は設定した状態を保持したまま収納が可能となっており、前回と同じ地域で運用する場合は上記④の調整は不要となる。

LASCOM及びEsbirdサービスでは、アップリンクテストは管制局からのリモートで制御が可能であり、運用者の

負担を更に軽減することができる。

これにより、従来必要であった周波数設定や送信キャリア制御などが不要となるため、ヒューマンエラーの低減に役立っている。

7. むすび

この可搬局の開発に当たっては、IP型データ伝送サービスに使用できる機能を持ち、かつ、小型・軽量であることをテーマにし、トランク1とトランク2の質量を各20kg以内とするために、アンテナ鏡面にハニカム構造を採用したこと、及び端局装置とデータ伝送アダプタの一体化を採用したことで、全体としてのコンパクト設計に注力した。さらに、仰角、偏波角も構造的に記憶できる“作り”にしており、衛星捕捉時間の短縮化を図った。

このような効果は、ユーザーの運用訓練等においても、その機動性の良さや現場状況の詳細把握に役立っており、今後のIP型データ伝送システムにおいて幅広く利用されていくと考える。

参考文献

- (1) 高橋 司, ほか: 地域衛星通信ネットワーク用 DAMA装置, 三菱電機技報, 77, No.8, 547~550 (2003)
- (2) 西村修司, ほか: 超小型衛星通信用端末装置, 三菱電機技報, 71, No.9, 826~830 (1997)



特許と新案 * * *

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

電力開閉装置 特許第3716691号(特開2001-135205)

発明者 蔦田広幸, 平位隆史

遮断器の開閉動作時に発生する過電圧・過電流は機器の寿命・絶縁耐力・系統電圧の安定性に影響を及ぼすことが知られている。この発明は、遮断器を系統電圧又は電流の目標位相において開閉することにより、過電圧・過電流の発生を抑制する電力開閉装置に関するものである。

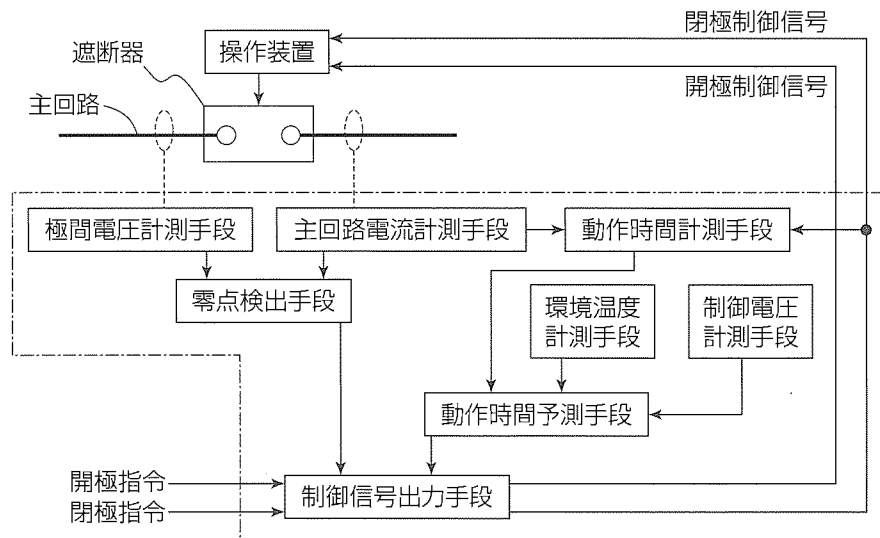
遮断器には、閉極制御信号を出力してから実際に接点が閉じるまでに遅れ時間が存在しており、これを閉極時間と呼んでいる。したがって、このような電力開閉装置においては、目標位相から閉極時間だけさかのぼった時点で閉極制御信号を出力するような制御を行っている。

しかし、従来装置では、経時変化や環境条件などによる閉極時間の変動に対応する機能を持たないため、常に所望のタイミングで遮断器を閉極させることが困難であるという問題点があった。

この発明は、閉極動作時における実測閉極時間を求め、実測閉極時間及び環境温度・制御電圧といった環境条件に基づいて次回の閉極時間を予測した上で、閉極制御信号の出力タイミングを制御するように構成したものである。

実測閉極時間の求め方には、主回路電流の立ち上がり時刻を検出し閉極制御信号出力からの経過時間にプレアーク時間を加算する方法、又は、閉極制御信号出力から接触子同士が機械的に接触するまでの時刻を補助スイッチやエンコーダ等を用いて検出する方法、により正確な測定を可能としている。

これにより、常に所望のタイミングで遮断器を閉極させることができる。





特許と新案***

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

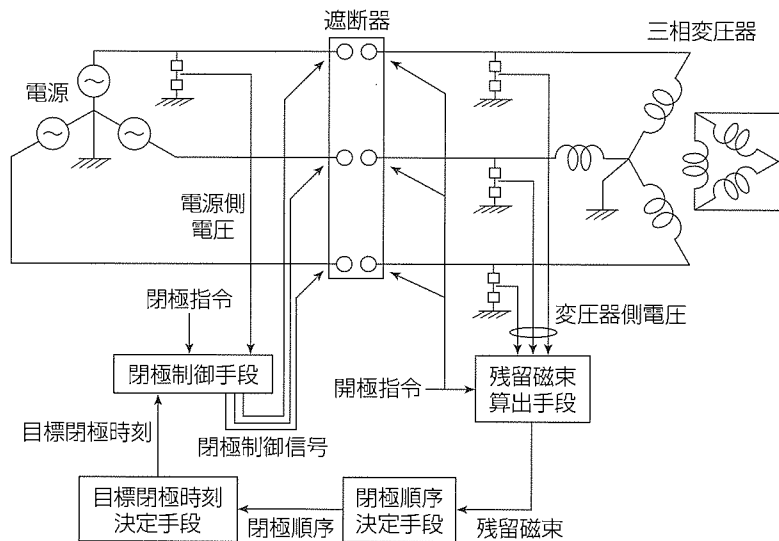
変圧器励磁突入電流抑制装置 特許第3804606号(特開2004-208394)

この発明は、三相変圧器を三相電源に投入する際に発生する励磁突入電流を抑制するために、遮断器の投入タイミングを制御する装置に関するものである。

従来の装置では、第一相投入後の残り二相に関して、二次巻線等の三角結線により生じる変圧器鉄心の直流磁束分の減衰現象が考慮されていないため、残り二相の最適投入位相が適切でなく、過大な励磁突入電流が発生してしまうという問題点があった。また、遮断器の機械的及び電気的特性が考慮されていないため、最適投入位相からずれた点

発明者 蔦田広幸, 平位隆史, 伊藤弘基, 香山治彦
で投入が行われることがあり、その際に過大な励磁突入電流が発生してしまうという問題点があった。

この発明は、第一相投入後の残り二相に関して、直流磁束分がゼロに減衰するまで遅延させてから投入を行うようにするとともに、遮断器の動作時間ばらつき、プレアーク特性、極間電圧、及び投入時における変圧器の直流磁束分を考慮して遮断器を閉じる位相を決定するようにしたので、励磁突入電流を抑えることができる。



〈本号記載の商標について〉

本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標である。

〈次号予定〉三菱電機技報 Vol.81 No.1 特集「技術の進歩」

三菱電機技報編集委員 委員長 三嶋吉一 委員 小林智里 増田正幸 山木比呂志 佐野康之 糸田敬 世木逸雄 岡本尚郎 河合清司 長谷勝弘 木槻純一 逸見和久 光永一正 河内浩明 赤川正英 事務局 園田克己 本号取りまとめ委員 吉村文男 浅野裕美子	三菱電機技報 80巻12号 2006年12月22日 印刷 (無断転載・複製を禁ず) 2006年12月25日 発行 編集人 三嶋吉一 発行人 園田克己 発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&サービス事業部 〒102-0073 東京都千代田区九段北一丁目13番5号 日本地所第一ビル 電話 (03)3288局1847 印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス 発売元 株式会社 オーム社 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 電話 (03)3233局0641 定価 1部945円(本体900円) 送料別
三菱電機技報 URL 三菱電機技報に関するお問い合わせ先	URL http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/ URL http://www.MitsubishiElectric.co.jp/support/corporate/giho.html
英文季刊誌「MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE」をご覧ください	URL http://global.mitsubishielectric.com/company/r_and_d/advance/

三菱電機技報 (2006年 第80巻) 総目次

1号 技術の進歩	6号 「パワーデバイス応用システム」	11号 「FA機器」
2号 「光アクセス技術」	7号 「開閉装置技術」	「家電機器」
3号 「新たな時代の電力ビジネスに 対応したシステムソリューション」	8号 「最新のディスプレイ技術」	12号 「開閉極位相制御技術」
4号 「快適・安心・発展の共創を 目指すITソリューション」	9号 「近距離無線/無線LANシステム」	「交通システム」
5号 「光・高周波デバイス」	10号 「情報セキュリティシステム/サービス基盤」	
	「設計・開発手法の革新」 (フロントローディング型開発設計)	

技術の進歩特集

	号	ページ
巻頭言・カラートピックス	1	3
1. 研究・開発	1	35
2. 社会環境・交通システム	1	52
3. 発電・系統変電・産業・電力情報システム	1	56
4. 昇降機及びビル設備	1	59
5. 宇宙・衛星及び電子応用	1	63
6. 通信	1	66
7. 情報	1	69
8. 映像情報	1	77
9. 住環境	1	80
10. FA及び産業メカトロニクス	1	85
11. 自動車機器	1	90
12. 半導体・電子デバイス	1	93
社外技術表彰・詳細目次	1	96

Advance of Technology

Foreword・Colored Topics
Research & Development
Public-use Systems and Transportation Systems
Energy & Industrial Systems
Elevator, Escalator & Facilities for Building
Space Systems and Electronic Systems
Communication
Information Systems and Network Service
Visual Information
Living Environment
Industrial Automation Systems
Automotive Equipment
Semiconductors & Devices
Technological Commendation List from Outside Corporation・Detailed Table of Contents

特集論文

特集「光アクセス技術」

光アクセス技術特集に寄せて 中村元行	2	111
光アクセスシステムのトレンドと発展 下笠 清・一番ヶ瀬 広・本島邦明	2	112
IPネットワークにおけるマルチメディア伝送の QoS評価と制御 田坂修二	2	117
光アクセスシステムにおける標準化動向 村上 謙・横谷哲也	2	121
トリプルプレーに向けたGE-PON技術 武元理矢・堀田善文・山中秀昭・中瀬卓也・小島洋之	2	125
B-PON相互接続とONU開発 上田広之・桶田幸成・横谷哲也・向井宏明	2	129
RPR対応光ネットワーク 曾田圭一・小林雅人・高橋克佳・北山健志	2	133
ケーブルテレビにおける放送・通信サービス 橋本孝治・岡畑英成・近藤清司・中澤宣彦・石野義行	2	137
光アクセス用光送受信器 中川潤一・野上正道・野田雅樹・片山政利・韓 昌一	2	141
光アクセス用光デバイス 金子進一・羽田英樹	2	145
FTTHにおけるVoIP実現技術 伏見 渉・鈴木茂明・小川 勇・矢島 久・鈴木克志	2	149
光アクセスシステム用オペレーションシステム 大田 聡・木田等理	2	153

Optical Access Technology

Survey of Optical Access Technology Motoyuki Nakamura
Trend and Advance of Optical Access System Kiyoshi Shimokasa, Hiroshi Ichibangase, Kuniaki Motoshima
QoS Assessment and Control of Multimedia Transmission over IP Networks Shuji Tasaka
Status Toward Standardization at Optical Access Systems Ken Murakami, Tetsuya Yokotani
Technologies for the Triple Play with Gigabit E-PON Systems Michiya Takemoto, Yoshifumi Hotta, Hideaki Yamanaka, Takuya Nakase, Hiroyuki Ojima
B-PON Interoperability and the ONU Development Hiroyuki Ueda, Kosei Oketa, Tetsuya Yokotani, Hiroaki Mukai
Optical Networks based on RPR Keiichi Soda, Masato Kobayashi, Katsuyoshi Takahashi, Kenji Kitayama
Broadcasting Program and Broadband Service over Cable Television Access Network Koji Hashimoto, Hidenari Okahata, Kiyoshi Kondo, Norihiko Nakazawa, Yoshiyuki Ishino
Optical Transceiver for Optical Access Systems Junichi Nakaqawa, Masamichi Nogami, Masaki Noda, Masatoshi Katayama, Han Changil
Optical Devices for Access Network Systems Shimichi Kaneko, Hideki Haneda
Technology of Voice over IP on FTTH Wataru Fushimi, Shigeaki Suzuki, Isamu Ogawa, Hisashi Yajima, Katsushi Suzuki
Operation System for Optical Access System Satoshi Ota, Toshimichi Kida

光ホームゲートウェイ 2 ...157 羽根稔尚・名取英男・横谷哲也	2 ...157
通信・放送融合端末技術 2 ...161 横山幸雄・牧野豊司	2 ...161
次世代ネットワーク(NGN)に向けた ネットワーク制御技術 2 ...165 土田 充・横谷哲也・佐藤浩司	2 ...165
次世代PONシステムにおける基盤技術 2 ...169 中川潤一・清水克宏・鈴木巨生・安部淳一	2 ...169
特集「新たな時代の電力ビジネスに対応したシステムソリューション」	
新たな時代の電力ビジネスに対応した システムソリューションに寄せて 3 ...175 岩本伸一	3 ...175
新しい電力市場に対応した三菱電機の取り組み 3 ...176 尼子量之・塚本幸辰	3 ...176
日本卸電力取引所向け卸電力取引所システム 3 ...181 谷本昌彦・マルミローリ マルタ・西岡篤史・吉川幸司	3 ...181
電力取引支援システム“BLEnDer”Trader 3 ...185 橋本博幸・広瀬公一・平野秀明	3 ...185
電力自由化環境下における自動給電システム 3 ...189 須藤剛志・福井伸太	3 ...189
電力託送料金調定システム 3 ...193 松原龍之介・永瀬貫之・新山カヨ	3 ...193
電力小売管理システム 3 ...197 塚田路治・田中俊行・井上俊宏	3 ...197
ユースケースモデルを活用した 業務システムの開発ライフサイクル 3 ...201 山岡孝行・石原 鑑・古田裕久	3 ...201
業務システムを支えるBPMの 電力市場関連システムへの適用 3 ...205 山足光義・五十嵐政志・砂田英之・北山泰英・茂木 強	3 ...205
マイクログリッド需給制御システム 3 ...209 古塩正展・小島康弘・片岡道雄	3 ...209
分散型電源に対応した配電系統解析システム 3 ...213 天満耕司・河野良之・合田忠弘・片岡道雄・下村 勝	3 ...213
太陽光発電の普及拡大に向けた課題と取り組み 3 ...217 岸添義彦・田中清俊・西尾直樹	3 ...217
電力市場に対応した電力計測システム 3 ...221 鎌田一郎・戸板滋人	3 ...221
電力自由化に対応したロードサーベイシステムと データ分析技術 3 ...225 水谷茂・深谷 満・北山匡史	3 ...225
海外の電力自由化動向 3 ...229 徳原克久	3 ...229
特集「快適・安心・発展の共創を目指すITソリューション」	
快適・安心・発展“DiamondSolution” 4 ...235 松田 章	4 ...235
インフォメーションシステム事業のねらいと展望” 4 ...236 高木正博・勝山光太郎	4 ...236
テレビ会議を活用した新金融リテールソリューション 三菱東京UFJ銀行向け“MUFGテレビバンクシステム” 4 ...241 福島 修・森垣 努・佐藤啓紀・伊藤俊之・大松史生	4 ...241
Web技術とリッチクライアント方式により 拡張性と高レスポンスを実現した 大規模酒類・食品流通業向けソリューション” 4 ...245 市村郁雄・高野謙司・南 英知・菊谷 淳	4 ...245

Residential Gateway for Optical Network
Toshihisa Hane, Hideo Natori, Tetsuya Yokotani

Integrated Communication and Broadcasting Terminal
Yukio Yokoyama, Toyoshi Makino

Network Control Technology for Next Generation Network
Mitsuru Tsuchida, Tetsuya Yokotani, Koji Sato

Technologies for Next Generation Optical Access Systems
Junichi Nakagawa, Katsuhiko Shimizu, Naoki Suzuki, Junichi Abe

System Solutions of Mitsubishi Electric for New Electricity Business Environment

System Solutions for New Electricity Environment
Shimichi Iwamoto

Mitsubishi Electric Activity in the Area of New Electricity Market
Kazuyuki Amako, Yukitoki Tsukamoto

Japan Electric Power Exchange System
Masahiko Tanimoto, Marta Marmiroli, Atsushi Nishioka, Koji Kikkawa

Electricity Trading Transaction System “BLEnDer” Trader
Hiroyuki Hashimoto, Koichi Hirose, Hideaki Hirano

An Energy Management System in Liberalized Environment
Takeshi Sato, Shinta Fukui

Billing Systems for Electric Transmission Charges
Ryunosuke Matsubara, Takayuki Nagase, Kayo Niyanama

Operational System for Power Producer and Supplier
Michiharu Tsukada, Toshiyuki Tanaka, Toshihiro Inoue

Model-based Software Development Process for Enterprise Systems
Takayuki Yamaoka, Akira Ishihara, Hirohisa Furuta

BPM Technology for Electric Power Trading Systems
Mitsuyoshi Yamatari, Masashi Igarashi, Hideyuki Sunada, Yasuhide Kitayama, Tsuyoshi Motegi

Control System for Micro-Grid Supplying Heat and Electricity
Masanobu Koshio, Yasuhiro Kojima, Michio Kataoka

Method for Power System Analysis Including Distributed Generator
Koji Temma, Yoshiyuki Kono, Tadahiro Goda, Michio Kataoka, Masaru Shimonmura

Issues and Activities for Diffusion of the Photovoltaic Power System
Yoshihiko Kishizoe, Kiyotoshi Tanaka, Naoki Nishio

Electric Power Measurement System Corresponding to the Electricity Market
Ichiro Kamada, Shigeto Toita

Load Survey System and Load Survey Data Analysis Techniques
for Deregulation in the Electric Power Industry
Shigeru Mizutani, Mitsuru Mitani, Masashi Kitayama

Trends of Overseas Electric Industry Deregulation
Katsuhisa Tokuhara

Co-Creation of Optimized, Secure and Progressive IT Solutions

DiamondSolution : Optimized, Secure and Progressive
Akira Matsuda

Scope and Vision of Mitsubishi Electric Group's Information Systems and Network Services
Masahiro Takagi, Kotaro Katsuyama

MUFG TV-BANK System for Bank of Tokyo-Mitsubishi UFJ, Ltd.
Osamu Fukushima, Tsutomu Morigaki, Hiroki Sato, Toshiyuki Ito, Fumio Omatsu

Distribution Systems Solution for Large-scale Liquor and Food Stores
Ikou Ichimura, Kenji Takano, Eichi Minami, Jun Kikutani

日本独自の業務形態に即応可能な

中堅製造業向けERPソリューション 4 ...249
鶴 雅春・関吉 隆・高椋佳夫・中村正一

映像によるリアルな情報提供を実現する地図映像連動

ソリューション“リアルマップシステム” 4 ...253
桑原昌人・根本 仁・浴町 栄・久永 聡・神田準史郎

安全、安心を実現する高レベル

Webサイト運用保守・監視ソリューション 4 ...257
磯西徹明・永沼和智・及川和彦

タイムリーな情報提供とデータ収集を連携させた

Webコンテンツマネジメントソリューション 4 ...261
竹林信博・安川恭介・松井 愛

SOA技術を実装したデータセントリックソリューション

..... 4 ...265
伊藤正裕・大江信宏・山永康昌

IP電話サービスの品質を維持する

VoIPネットワーク監視ソリューション 4 ...269
小林 敦・友枝憲彦・小杉英司・石塚秀樹・曾根太郎・岩谷朗好

お客様の利用感を監視し、快適・安心を提供する

新ネットワーク性能監視サービスソリューション 4 ...273
西宮哲進・高野 啓

情報セキュリティガバナンスを確立する

情報セキュリティマネジメントソリューション 4 ...277
遠藤 淳・鈴木 博・近藤誠一・相浦利治・今井 功

情報のリスク管理・内部統制を支援する

コンプライアンス推進ソリューション 4 ...281
藤村 隆・須藤純吾・中館穂積・郡 光則・石井 篤

機密文書の安全な公開を実現する電子文書

ライフサイクルマネジメントソリューション 4 ...285
森口 修・高木彰子・花崎芳彦・木村俊之・石川智子

サービスレベルと信頼性を向上させた新統合管制センターによる

ITILプロアクティブ運用管理サービスソリューション 4 ...289
猪股義晴・高井伸之・東郷吉伯・菅野幹人・大越冬彦

業務効率と成熟度向上を図る

ITサービスマネジメントソリューション 4 ...293
田嶋隆二・村澤 靖・金子洋介

特集「光・高周波デバイス」

半導体の新しい巨大市場—宇宙太陽発電衛星— 5 ...299
賀谷信幸

光・高周波デバイスの将来展望 5 ...300
三井康郎

高効率・高出力青紫色半導体レーザー 5 ...305
蔵本恭介・川崎和重・大野彰仁

スリム型DVD記録ドライブ用小型半導体レーザー 5 ...309
久 義浩

10Gbps小型プラグブル光トランシーバとその関連技術 5 ...313
小柳晴揮・柴尾新路・島田征明

10Gbps-80km伝送用高出力変調器付きLD 5 ...317
宮崎泰典・大和屋 武

10Gbps用低雑音AlInAsアバランシェ・フォトダイオード 5 ...321
石村栄太郎・柳生栄治・中路雅晴

FTTH用光半導体素子 5 ...325
羽田英樹

自己パルス発振半導体レーザー 5 ...329
西川智志・後藤田光伸・西村哲也・徳田安紀

Cat-CVD法により保護膜形成した

C帯100W超級GaN-HEMT 5 ...333
加茂宣卓・戸塚正裕・國井徹郎・山本佳嗣・奥 友希

Pre-WiMAX用S帯増幅器モジュール 5 ...337
小室勝哉・奥田敏雄・宇土元純一・橋高義典・松下 良

ERP Solutions for Mainstay Manufacturing

Masaharu Tsuru, Yoshitaka Seki, Yoshio Takamuku, Shoichi Nakamura

RealMap System : Visual Solution for Geographic Information System

Masato Kuwahara, Hitoshi Nemoto, Sakae Ekimachi, Satoshi Hisanaga, Junshiro Kanda

Secure Web Site Service Management Solution

Tetsuaki Isonishi, Kazutomo Naganuma, Kazuhiko Oikawa

Web Content Management Solution for Timely Integration of Information Posting and Data Collection

Nobuhiro Takebayashi, Kyousuke Yasukawa, Itsumi Matsui

Data-Centric Solution with SOA Technology

Masahiro Ito, Nobuhiro Ohe, Yasumasa Yamanaga

VoIP Network Monitoring Solution for IP Telephony Service as Public Communication Infrastructure

Atsushi Kobayashi, Norihiko Tomoeda, Eiji Kosugi, Hideki Ishizuka, Taro Sone, Akiyoshi Iwatani

MIND Network Performance Monitoring Service Solution for Reliable and Optimized Network System

Tesshin Nishimiyu, Akira Takano

Security Management Solution for Information Security Governance

Jun Endo, Hiroshi Suzuki, Seiichi Kondo, Toshiharu Aiura, Isao Imai

Solution to Promote Compliance with Information Risk Management and Internal Control

Takashi Fujimura, Junjo Sudo, Hozumi Nakadate, Mitsunori Kori, Atsushi Ishii

Lifecycle Management Solution for Confidential Electronic Documents

Osamu Moriguchi, Akiko Takagi, Yoshihiko Hanazaki, Toshiyuki Kimura, Tomoko Ishikawa

ITIL Proactive System Management Service Solution by New Integrated Control Center with High Service Quality and High Reliability

Yoshiharu Inomata, Nobuyuki Takai, Yoshinori Togo, Mikihito Kanno, Fuyuhiko Ohkoshi

IT Service Management Solution for Improved Business Efficiency and Greater Maturity

Ryuji Tajima, Yasushi Murasawa, Yosuke Kaneko

Optical and High Frequency Devices

New Huge Market for Semiconductor—Solar Power Satellite—

Nobuyuki Kaya

Future Perspective of Optical and High Frequency Devices

Yasuo Mitsui

High-Efficiency and High-Power Blue Violet Laser Diodes

Kyosuke Kuramoto, Kazushige Kawasaki, Akihito Ono

Small Size Semiconductor Laser for Slim-Type Recordable DVD Drive

Yoshihiro Hisa

10Gbps Small Pluggable Optical Transceiver and Related Technologies

Haruki Koyanagi, Shinji Shibao, Masaaki Shimada

High-Power EAM-LD for 10Gbps-80km Transmission

Yasumori Miyazaki, Takeshi Yamatoya

10Gbps Low Noise AlInAs Avalanche Photodiode

Eitaro Ishimura, Eiji Yagy, Masaharu Nakaji

Optical Semiconductor Devices for FTTH

Hideki Haneda

Self-Pulsating Laser Diodes

Satoshi Nishikawa, Mitsunobu Gotoda, Tetsuya Nishimura, Yasumori Tokuda

A C-Band AlGaIn/GaN HEMT with Cat-CVD SiN Passivation Developed for an Over 100W Operation

Yoshitaka Kama, Masahiro Totsuka, Tetsuo Kumii, Yoshitsugu Yamamoto, Tomoki Oku

S Band Power Amplifier Module for Pre-WiMAX Application

Katsuya Komuro, Toshio Okuda, Junichi Udomoto, Yoshinori Kittaka, Ryo Matsushita

海外向けW-CDMA方式携帯電話用電力増幅器の小型化…… 5 ……341 星 裕之・浅田智之・里田義仁・辻 将典	Size Reduced W-CDMA Mobile Phone Power Amplifier for Overseas <i>Hiroaki Hoshi, Tomoyuki Asada, Yoshihito Satoda, Masanori Tsuji</i>
高利得モールドHEMT …………… 5 ……345 相原育貴・北野俊明・宮勝勝巳	High Gain Plastic Mold Package HEMT <i>Yasuki Aihara, Toshiaki Kitano, Katsumi Miyawaki</i>
超広帯域・超小型マイクロ波集積チップセット …………… 5 ……349 山内和久・檜枝護重・山中宏治・宮口賢一・磯田陽次	Microwave Monolithic Integrated Circuit Chip Set for Active Phased Array Antennas <i>Kazuhisa Yamauchi, Morishige Hieda, Koji Yamanaka, Kenichi Miyaguchi, Yoji Isota</i>
光・高周波デバイス用パッケージと実装技術の動向 …… 5 ……353 高木晋一	Trend of Package and Jisso Technology for Optical and High Frequency Device <i>Shinichi Takagi</i>
エコプロダクツを目指した 特定化学物質削減の課題と解決策 …………… 5 ……357 谷野憲之・小崎克也・長谷川和義	The Problems and the Solutions to Reduce Specified Chemical Substances for Ecoproducts <i>Noriyuki Tanino, Katsuya Kosaki, Kazuyoshi Hasegawa</i>
特集「パワーデバイス応用システム」	System Application of Power Semiconductor Devices
パワーエレクトロニクスの進歩とパワーデバイス …… 6 ……363 由宇義珍	Advanced Power Electronics and Power Semiconductor Devices <i>Yoshiharu Yu</i>
SiC-MOSFETインバータによる3.7kW定格モータ駆動 …… 6 ……367 木ノ内伸一・中尾之泰	First Successful 3.7kW Motor Operation by SiC-MOSFET Inverter <i>Shinichi Kinouchi, Yukiyasu Nakao</i>
超薄型高効率階調制御型ラックマウントUPS …………… 6 ……372 岩田明彦・高橋広光	Super Thin and Super Efficient Rack Mount UPS with Gradationally Controlled Voltage Inverter <i>Akihiko Iwata, Hiromitsu Takahashi</i>
鉄道車両に適用されるパワーデバイスの進展 …………… 6 ……377 岡山秀夫	Progress of Power Devices for Train Propulsion Control System Application <i>Hideo Okayama</i>
鉄道車両用推進制御装置へのHVIPMの適用…………… 6 ……381 田中 毅	Application of HVIPM to the Railroad Vehicle Propulsion Systems <i>Takeshi Tanaka</i>
昇降機のパワーデバイス応用技術 …………… 6 ……385 堀崎一弘・高木宏之・妻木宣明	Power Device Application Technologies of Mitsubishi Elevators <i>Kazuhiro Horizaki, Hiroaki Takagi, Nobuaki Tsumagi</i>
汎用IPMのIHインバータへの適用 …………… 6 ……390 私市広康・文屋 潤・長原輝明・木下広一・小川智広	Application of General-Purpose IPM for IH-Inverter <i>Hiroyasu Kisaichi, Jun Bunya, Teruaki Nagahara, Hirokazu Kinoshita, Tomohiro Ogawa</i>
高性能汎用ACサーボシステムでの パワーデバイス応用による大容量化 …………… 6 ……396 大橋 学	Making to a Large Capacity by Power Device Application with High Performance and General Purpose AC Servo Systems <i>Manabu Ohashi</i>
超小型新世代DIP-IPM Ver.4 …………… 6 ……401 瀬尾 護・川藤 寿・岩上 徹	A New Version Super Mini DIP-IPM Ver.4 <i>Mamoru Seo, Hisashi Kawafuji, Toru Iwagami</i>
汎用インバータ用DIP-CIB …………… 6 ……405 田畑光晴・長原輝明	DIP-CIB for General-Purpose Inverter <i>Mitsuharu Tabata, Teruaki Nagahara</i>
高周波用IGBTモジュール“NFMシリーズ” …………… 6 ……411 宮崎裕二・村岡宏記・日吉道明	IGBT Module “NFM Series” for High Frequency Application <i>Yuuji Miyazaki, Hiroki Muraoka, Michiaki Hiyoshi</i>
特集「開閉装置技術」	Advanced Technologies of Switching Device
開閉装置技術特集号に寄せて …………… 7 ……425 日高邦彦	Foreword to Special Issue on Switchgear Technology <i>Kunihiko Hidaka</i>
開閉装置技術の最新動向 …………… 7 ……426 小山健一	Advanced Technology of Switching Device <i>Kenichi Koyama</i>
ガス遮断器におけるアークシミュレーション技術 …… 7 ……431 堀之内克彦	Arc Simulation Technology for Gas Circuit Breaker <i>Katsuhiko Horinouchi</i>
GIS用厚膜複合絶縁技術 …………… 7 ……435 井波 潔・吉村 学・清水芳則・大塚卓弥・永尾栄一・羽馬洋之	Hybrid Insulation Techniques Applying Thick Dielectric-Layered Electrode for Gas Insulated Switchgear <i>Kiyoshi Inami, Manabu Yoshimura, Yoshinori Shimizu, Takuya Otsuka, Eiichi Nagao, Hiroaki Hama</i>
電磁波モードを利用したGIS中部分放電源の同定技術…… 7 ……439 吉村 学・武藤浩隆・亀井光仁・岡部成光・金子周平	Technique of Location Identification of Partial Discharge by Electromagnetic Wave in GIS <i>Manabu, Yoshimura, Hirotaka Muto, Mitsuhiro Kamei, Shigenitsu Okabe, Syuhei Kaneko</i>
真空遮断技術と真空絶縁技術の変遷 …………… 7 ……443 佐藤伸治・吉田友和・三木真一・小山健一・竹内敏恵	Vacuum Interrupter and Vacuum Insulation Technology <i>Shinji Sato, Tomokazu Yoshida, Shinichi Miki, Kenichi Koyama, Toshie Takeuchi</i>
遮断器における電磁駆動設計技術 …………… 7 ……447 月間 満・竹内敏恵	Design Technique of Electromagnetic Driving for Circuit Breakers <i>Mitsuru Tsukima, Toshie Takeuchi</i>
電磁操作方式真空遮断器のCBM技術…………… 7 ……451 丸山昭彦・松永敏宏	Condition-Based Maintenance Technology for Electromagnetically Actuated Vacuum Circuit Breaker <i>Akihiko Maruyama, Toshihiro Matsumaga</i>
72kV 脱SF ₆ ガス絶縁スイッチギヤ“HG-VA” …………… 7 ……455 有岡正博・佐藤伸治・丸山昭彦・金 太炫・吉村 学	72kV Dry Air Insulated Switchgear “HG-VA” <i>Masahiro Arioka, Shinji Sato, Akihiko Maruyama, Tae Hyun Kim, Manabu Yoshimura</i>

低圧開閉機器の遮断技術の動向	7	459
三橋孝夫・幸本茂樹・関口 剛		
低圧遮断器における最近の規格動向と 新形ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器	7	463
細貝節夫・上元利和		
新形“W&WSシリーズ”遮断器の小型化技術	7	467
渡辺和昌		
三次元過渡電磁界解析を用いた開閉装置の高度設計技術	7	471
牧田 陽・竹内敏恵		
熱流体解析と渦電流解析を用いた開閉装置の設計高度化	7	475
稲口 隆・小倉健太郎・牧田 陽		
遮断器制御基板における耐ノイズ評価技術	7	479
白木康博		

特集「最新のディスプレイ技術」

近頃、テレビが面白い	8	485
御子柴茂生		
最新のディスプレイ技術—現状と展望—	8	486
杉浦博明・井上満夫・森田俊二		
屋内型超高精細オーロラビジョン	8	492
麻生英樹・伊尾木一裕		
見やすく高精細なスキャンバックライト立体LCD	8	496
結城昭正・小田恭一郎・岩崎直子・伊藤敦史・谷内 滋		
CLDD構造を用いた低温ポリシリコンTFT	8	500
中川直紀・豊田吉彦・須賀原和之・中畑 匠		
デュアルドメインベンドモードを用いた高速液晶	8	504
佐竹徹也		
6原色LEDバックライト液晶モニタ	8	508
香川周一・金子英之・柴谷 潤・杉浦博明		
レーザ光源プロジェクションテレビ	8	512
笹川智広		
遊技場向けオーロラビジョンシステム	8	516
室園 透・松本哲也・湯浅喜史		
レンズシフト機能付きフロントプロジェクタ	8	521
小島邦子・木田 博・堀 秀彦		
薄型リアプロジェクタ用超広角投写光学系	8	525
桑田宗晴		
液晶テレビ向け高画質映像処理“ダイヤモンドエンジン”	8	529
山川正樹・南 浩次・中村芳知		
マルチプロジェクタ制御技術	8	533
芦崎能広・原田雅之・鈴木靖子		

特集「近距離無線／無線LANシステム」

センサネットワークとアドホック、マルチホップ技術	9	539
仙石正和		
近距離無線アクセス技術の動向と今後の方向性	9	540
石津文雄・伊藤修治		
950MHz帯RFID技術とその応用	9	544
高畑泰志・亀丸敏久・飯塚 剛・宝来憲次		
センサネットワーク	9	548
稲坂朋義・平岡精一・齋藤 隆		
センサノードの低消費電力方式	9	552
西山博仁・徳永雄一・武田保孝		
ミリ波帯通信技術とその応用システム	9	556
山内高久・川浪正史・宮前靖彦		
Ultra Wide Band	9	560
平井博昭・Jinyun Zhang		

Current Interrupting Techniques for Low-Voltage Switching Devices
Takao Mitsuhashi, Shigeki Koumoto, Tsuyoshi Sekiguchi

Standard Trend in Low-Voltage Switchgear and New MCCBs and ELCBs
Setsuo Hosogai, Toshikazu Uemoto

Downsizing Technology for New Molded-Case Circuit Breaker “W&WS Series”
Kazumasa Watanabe

Advanced Design Technology of Switching Devices Using 3-D Transient Electromagnetic Analysis
Yo Makita, Toshie Takeuchi

Advanced Design of Switching Devices by Using 3-D Thermo-Fluid Analysis and Eddy Current Analysis
Takashi Inaguchi, Kentaro Kokura, Yo Makita

Noise Evaluation Technique for Breakers' PCB
Yasuhiro Shiraki

Current Display Technology

TVs are fun, recently
Shigeo Mikoshiba

Current Display Technology—Present and Future—
Hiroaki Sugiura, Mitsuo Inoue, Shunji Morita

Super Fine Pitch Diamond Vision for Indoor Type
Hideki Aso, Kazuhiro Ieki

The Scan-Backlight Stereoscopic LCD
Akimasa Yuuki, Kyoichiro Oda, Naoko Iwasaki, Atsushi Ito, Shigeru Yachi

CLDD Structure Low Temperature Poly-Si TFT
Naoki Nakagawa, Yoshitoko Toyoda, Kazuyuki Sugahara, Takumi Nakahata

A Fast-Switching Liquid Crystal Mode Using Dual-Domain Bend Alignment
Tetsuya Satake

Six-Primary-Color LCD Monitor Using Six-Color LEDs for Backlight
Shuichi Kagawa, Hideyuki Kaneko, Jun Someya, Hiroaki Sugiura

Projection TV Using Laser Light Source
Tomohiro Sasagawa

Diamond Vision System for Amusement Center
Toru Murozono, Tetsuya Matsumoto, Yoshifumi Yuasa

Lens-Shiftable Front Projector
Kumiko Kojima, Hiroshi Kida, Hidetoko Hori

Wide-Angle Projection Optical System for Thin Rear Projectors
Muneharu Kiwata

The “Diamond Engine” of High Quality Image Signal Processing for LCD-TV
Masaki Yamakawa, Koji Minami, Yoshitomo Nakamura

Multi-Projector with Planar or Curved Screen
Yoshihiro Ashizaki, Masayuki Harada, Yasuko Suzuki

Short Range Wireless Communication Systems

Sensor Networks and Adhoc, Multihop Technologies
Masakazu Sengoku

A Technical Trend and Prospect of The Short Range Wireless Access Systems
Fumio Ishizu, Shuji Ito

950MHz-band RFID Technologies and Their Applications
Yasushi Takahata, Toshihisa Kamemaru, Tsuyoshi Itzuka, Kenji Horai

Sensor Networks
Tomoyoshi Inasaka, Seiichi Hiraoka, Takashi Saito

A Method of Power Saving for Sensor Nodes
Hirohito Nishiyama, Yuichi Tokunaga, Yasutaka Takeda

Communication Technologies on Millimeter Wave and Its Application Systems
Takahisa Yamauchi, Masashi Kawanami, Yasuhiko Miyamae

Ultra Wide Band
Hiroaki Hirai, Jinyun Zhang

モバイルオフィス構築技術 9 ...564 渡辺 透・守川修平	Mobile Office Solutions <i>Tohoru Watanabe, Syuhei Morikawa</i>
構内無線LANシステム 9 ...568 夏川真二・中岡正喜・松原茂正・城倉義彦	Enterprise Wireless LAN System <i>Shinji Natsukawa, Masaki Nakaoka, Shigemasa Matsubara, Yoshihiko Shirokura</i>
無線LANメッシュネットワーク技術 9 ...573 八木章好・松川康一・田村智只・高田憲一・矢野雅嗣・吉田浩平	WLAN Mesh Network Technologies <i>Akiyoshi Yagi, Koichi Matsukawa, Satoshi Tamura, Kenichi Takada, Masatsugu Yano, Kohei Yoshida</i>
アドホックルーティング技術 9 ...577 石橋孝一・高田憲一・田村智只・矢野雅嗣	Ad Hoc Routing Technologies <i>Koichi Ishibashi, Kenichi Takada, Satoshi Tamura, Masatsugu Yano</i>
無線LANを用いた映像ストリーム伝送技術 9 ...581 井上禎之・志田哲郎	Video Stream Transmission Technologies for Wireless LAN <i>Sadayuki Inoue, Tetsuro Shida</i>
小電力セルラネットワーク技術 9 ...585 御宿哲也・渋谷昭宏	Low Power Cellular Network Technologies <i>Tetsuya Mishuku, Akihiro Shibuya</i>
高周波小電力EMC技術 9 ...589 岡 尚人	EMC Technologies for High Frequency—Low Power Electric System <i>Naoto Oka</i>
特集 I「情報セキュリティシステム／サービス基盤」	
三菱電機の暗号研究者たちとの思い出 10...605 太田和夫	Recollections on Collaborating with Cryptographers at Mitsubishi Electric <i>Kazuo Ohta</i>
情報セキュリティマネジメント基盤 10...606 茂木 強・今井直治・遠藤 淳	IT Platform for Information Security Management <i>Tsuyoshi Motegi, Naoharu Imai, Jun Endo</i>
セキュリティ運用を軽快に実現する “MistyGuard”ソリューション 10...611 青木隆之・田名網淳夫・羽山哲雄	“MistyGuard” Solution : An Information Security Software Easy to Use <i>Takayuki Aoki, Atsuo Tanaami, Tetsuo Hayama</i>
多種多様なログの統合管理を実現する “LogAuditor Enterprise” 10...615 郡 光則・森田 登・藤村 隆	“LogAuditor Enterprise” : Integrated Management System for Various Log Data <i>Mitsunori Kori, Noboru Morita, Takashi Fujimura</i>
統合セキュリティ管理サービス 10...619 太田 潔・田中 朗・藤井誠司・榊原裕之・平井規郎	MIND Integrated Security Management Service <i>Kiyoshi Ohta, Akira Tanaka, Seiji Fujii, Hiroyuki Sakakibara, Norio Hirai</i>
電子文書の長期原本性保証を実現する“EVERSIGN” 10...623 宮崎一哉・山中忠和・田中 学	EVERSIGN : Long—Term Storage System for Signed Documents <i>Kazuya Miyazaki, Tadao Yamanaka, Manabu Tanaka</i>
ユーザー情報の多様な変化に対応した アイデンティティライフサイクル管理技術 10...627 近藤誠一・鶴川達也	Identity Lifecycle Management Technology <i>Seiichi Kondo, Tatsuya Tsurukawa</i>
ユビキタスセキュリティ —監視映像情報セキュリティ— 10...631 山口晃由・山田敬喜・松井 充	Ubiquitous Security—Information Security for Surveillance Camera System— <i>Teruyoshi Yamaguchi, Keiki Yamada, Mitsuru Matsui</i>
特集 II「設計・開発手法の革新(フロントローディング型開発設計)」	
設計開発プロセスの革新における深層 10...635 藤田喜久雄	Innovation of Design and Development Process (Front—Loading Design and Development) Depth in Innovation of Design and Development Process <i>Kikuo Fujita</i>
フロントローディング型開発設計への取り組み 10...636 竹垣盛一・原島忠雄	Activities for Realization of Front—Loading Product Design <i>Moriakazu Takegaki, Tadao Harashima</i>
開発状況の見える化を実現する開発管理システム 10...639 長江雅史・今村 剛・篠崎順子・川北泰之	Development Management System : Visualization for Status of Development <i>Masashi Nagae, Tsuyoshi Imamura, Junko Shimozaki, Yasuyuki Kawakita</i>
社会インフラシステム開発における ソフトウェア開発プロセス改善 10...643 安江 悟・風間由美子・川端達明・田中隆行	Software Process Improvement in Social Infrastructure Systems Development <i>Satoru Yasue, Yumiko Kazama, Tatsuaki Kawabata, Takayuki Tanaka</i>
戦略的再利用に基づくソフトウェア開発 10...647 小島泰三・辰巳尚吾・原内 聡	Strategic Software Reuse <i>Taizo Kojima, Shogo Tatsumi, Satoshi Harauchi</i>
カーナビ開発におけるフロントローディング型実装設計 10...651 小林 孝・船場裕次・片岡秀康・山中康弘・堀越美香	Front Loading Design of Car Navigation System <i>Takashi Kobayashi, Yuji Funaba, Hideyasu Kataoka, Yasuhiro Yamanaka, Mika Horikoshi</i>
衛星開発における設計／製造品質の向上と効率化 10...655 川口浩知・佐藤 博・戸塚正弘・石井芳征	Improvement of Quality and Efficiency in Satellite Development <i>Hirochika Kawaguchi, Hiroshi Sato, Masahiro Tozuka, Yoshiyuki Ishii</i>
車両用モータの熱設計フロントローディング 10...659 羽下誠司・坂根正道	Front—Loading of Thermal Design for Motor of Railroad Car <i>Seiji Haga, Masamichi Sakane</i>
車載用アナログ混載LSI 10...663 田中淳也・岩上祐希	Digital—Analog Mixed Signal LSI for Automotive Equipment <i>Junya Tanaka, Yuki Iwagami</i>

大型映像装置におけるGbps高速信号設計技術10...667
島壽 睦・高島一樹・諸岡史久

ASIC/FPGAの機能検証技術10...671
上野 仁

特集 I「FA機器」

“ものづくり”とFAについて11...677
杉山 彰

FAシステム機器の将来展望11...678
山下昭裕・尼崎新一

MESインタフェース製品11...683
吉川 勉

“MELSEC-Qシリーズ”C言語コントローラ11...687
井上直丈・植木正史

絶縁多チャンネルアナログユニット11...691
野本浩主・斉藤成一

“MELSEC-Qシリーズ”位置決めユニット11...695
大西厚子・山本順司

“GOT1000シリーズ”の機種・機能追加11...699
藤野寛史

M700シリーズ画面開発ツール“NC Designer”11...703
田中貴久・清水敏男

低圧気中遮断器“AE-SWシリーズ”の大容量化11...707
福谷和則・原本賢一

特集 II「家電機器」

家電機器特集号に寄せて11...711
田代正登

家電機器の開発動向11...712
平原卓穂

ルームエアコン“霧ヶ峰ZW”シリーズ11...717
村上泰隆・日高 彰

空気清浄技術11...721
古橋拓也・森岡怜司・赤松久宇

“Wclass”冷蔵庫の新機能11...725
八木田 清・坂本克正

ジャー炊飯器のおいしさ向上技術
—“本炭釜”の炊飯特性—11...729
井坂久夫・久保田哲正

家庭用IHクッキングヒータ技術11...733
鈴木浪平・私市広康

掃除機の低騒音化技術11...737
藤原 奨・近藤大介

特集 I「開閉極位相制御技術」

開閉極位相制御技術特集号に寄せて12...743
Klaus Fröhlich

開閉極位相制御技術の現状と将来動向12...744
伊藤弘基

開閉極位相制御技術の試験規格に準じた遮断器の特性評価12...748
木下定之・香山治彦・伊藤弘基

開閉極位相制御装置の制御アルゴリズム12...752
葛田広幸・平位隆史・香山治彦

開閉極位相制御の調相設備用途への適用と運用実績12...756
香山治彦・森 智仁・鳥井宣尚

変圧器用途への開閉極位相制御システムの適用12...760
亀井健次・香山治彦・伊藤弘基

Gbps, High Speed Signal Integrity of Large Visual Display Controller
Musumi Shimazaki, Kazuki Takabatake, Fumihisa Morooka

A Functional Verification Method for ASIC and FPGA
Hitoshi Ueno

Factory Automation Devices

“Monozukuri” and FA
Akira Sugiyama

Future Perspective of FA System Equipments
Akihiro Yamashita, Shinichi Amasaki

MES Interface for Automation Systems
Tsutomu Yoshikawa

“MELSEC-Q Series” C Controller
Naotake Inoue, Tadashi Ueki

Channel Isolated Analog Module (Multi-channel)
Hirokazu Nomoto, Seiichi Saito

MELSEC-Q Series Positioning Module
Atsuko Onishi, Junji Yamamoto

New Models and New Functions of “GOT1000 Series”
Hirofumi Fujino

M700 Series Screen Drawing Software “NC Designer”
Takahisa Tanaka, Toshio Shimizu

Low Voltage Air Circuit Breakers “AE-SW Series” with High Current Ratings
Kazunori Fukuya, Kenichi Haramoto

Home Appliances

Foreword to Special Issue on Technology of Home Appliances
Masato Tashiro

Trend of Development for Home Appliances
Takaho Hirahara

Room Air Conditioner “Kirigamine ZW” Series
Yasutaka Murakami, Akira Hidaka

Indoor Air Cleaning Technologies
Takuya Furuhashi, Reiji Morioka, Hisayuki Akamatsu

New Functions of “Wclass” Refrigerator
Kiyoshi Yagita, Katsumasa Sakamoto

Characteristic of All Carbon Material Pot for IH Rice Cooker
Hisao Isaka, Tetsumasa Kubota

Technologies of Mitsubishi IH-Cooker
Namihei Suzuki, Hiroyasu Kisaichi

Noise Reduction Technologies for Vacuum Cleaner
Susumu Fujiwara, Daisuke Kondo

Controlled Switching System

Opening Remarks : Special Issue on Controlled Switching
Klaus Fröhlich

Current Status and Future Trend of Controlled Switching System
Hiroki Ito

Circuit-Breaker Characteristics in Accordance with IEC Standard Proposed for Controlled Switching System
Sadayuki Kinoshita, Haruhiko Koyama, Hiroki Ito

Control Algorithm of Controlled Switching System
Hiroyuki Tsutada, Takashi Hirai, Haruhiko Koyama

Field Experience of Controlled Switching for Reactor and Capacitor Switching
Haruhiko Koyama, Tomohito Mori, Nobuhisa Torii

Applying Controlled Switching System to Power Transformer
Kenji Kamei, Haruhiko Koyama, Hiroki Ito

閉極位相制御用センサ技術	12	764
中島利郎・西浦竜一・白附晶英		
閉極位相制御を利用した遮断器のCBM管理	12	768
藤井茂雄・山本 綾・大藤健司		
配電系統への適用： 電磁操作真空遮断器を用いた閉極位相制御	12	772
堀之内克彦・佐藤伸治・丸山昭彦		

特集Ⅱ「交通システム」

次世代の交通システムに望む —鉄道システムにおける第3の波—	12	776
中村英夫		
交通システムの動向と展望	12	777
四方 進・金田順一郎・駒谷喜代俊		
統合化車両制御システムの動向と展望	12	781
本間英寿・角南健次		
車両推進システムの動向と展望	12	785
菊池高弘・寺澤英男		
水冷主変換装置	12	789
山崎尚徳・東矢和義・中山 靖		
鉄道車両用駆動機器の低騒音化	12	793
原田博志・兼井延浩・坂根正道・濱名宏彰		
車上-地上間連携による情報システムの動向	12	797
竹山雅之・大橋 聡・出口生滋		
異常時における交通情報システムの新しいサービス	12	801
沖 雅雄・玄田和行・中桐慶之		

普通論文

40Gbps DPSK光通信用バランストフォトダイオード	6	415
中路雅晴・石村栄太郎・花巻吉彦		
超広色再現TFT-LCD	6	420
境 誠司・川戸富雄・米田俊之		
プロセス改善による高品質ITソリューションの 提供に向けたCMMIレベル5達成への軌跡	9	593
藤原良一・本間敏夫・細谷和伸・中前雅之・遠藤和彦		
衛星通信用高速デジタル変復調器	9	599
佐々木 源・西村修司・渡邊栄司・藤井秀奇・木村好信		
IP対応衛星通信小型可搬局装置	12	805
木村敏章・今井 徹・田中秀幸・渡辺真木子		

Sensors for Controlled Switching System
Toshiro Nakashima, Ryuichi Nishihara, Akihiko Shiratsuki

Condition Based Maintenance of Gas Circuit Breaker Using Synchronous Switching Control
Shigeo Fujii, Aya Yamamoto, Kenji Ofuji

Applying to Power Distribution System :
Synchronous Control Closing using Electromagnetically Actuated VCB
Katsuhiko Horinouchi, Shinji Sato, Akihiko Maruyama

Transportation Systems

Expectation for Next Generation' s Transportation System
"The Third Wave in Railway System"
Hideo Nakamura

Overview of Transportation Systems
Susumu Shikata, Junichiro Kaneda, Kiyotoshi Komaya

Trend and Prospect of Train Integrated Management System
Hidetoshi Homma, Kenji Sunami

Trend and Prospect of Traction Systems
Takahiro Kikuchi, Hideo Terasawa

Converter/Inverter with Water Cooling System
Hisanori Yamasaki, Kazuyoshi Toya, Yasushi Nakayama

Noise Reduction of Driving Equipments for Railway Rolling Stock
Hiroshi Harada, Nobuhiro Kanet, Masamichi Sakane, Hiroaki Hamana

Trend of Information System between Rollingstock and On-ground
Masayuki Takeyama, Satoshi Ohashi, Seiji Deguchi

Advanced Service of Transportation Information System for Irregular Train Operation
Masao Oki, Kazuyuki Genda, Yoshiyuki Nakagiri

40Gbps Balanced Photodiode
Masaharu Nakaji, Eitaro Ishimura, Yoshihiko Hanamaki

TFT-LCD with Improved Wide Color Reproduction
Seiji Sakai, Tomio Kawato, Toshiyuki Yoneda

Achievement of CMMI Maturity Level 5 for High Quality IT Solutions
Ryoichi Fujihara, Toshio Honma, Kazumobu Hosoya, Masayuki Nakamae, Kazuhiko Endo

High Speed Digital MODEM for Satellite Communication Systems
Gen Sasaki, Shuji Nishimura, Eiji Watanabe, Hideki Fujii, Yoshinobu Kimura

Portable Satellite System for IP Data Transmission
Toshiaki Kimura, Tooru Imai, Hideyuki Tanaka, Makiko Watanabe

高経年化したガス絶縁開閉機器(GIS)が年々増加している中で、高い信頼性を維持しながらも保守コストの低減と更新時期の延期を実現するために、保守スタイルの見直しが進んでいます。なかでも、機器の過去から現在に至る健全指標の変化を同一基準で継続管理し、“必要な時期に必要な保守”(又は更新)を計画するCBM(Condition Based Maintenance)は多くのユーザーが関心を持っています。

CBMを実現するためには、機器内部の絶縁劣化、接触不良、シール劣化によるガススローリーク等を高感度で検知し、かつ、長寿命の機器に対応できる長期の安定性・寿命を保有する高度なセンサによる情報管理が不可欠となります。

三菱電機は、高度センサ技術を生かしたCBM用センサのラインアップにより、新たな保守の時代を拓(ひら)きます。

特長

(1) 最適な高感度センサ技術の採用

機器内部異常を正確に代弁できる現象と最適なセンシング原理の同時選定。及び業界一の高感度センサの適用により、各種異常を高い信頼度を持って早期に発見します。

(2) 機器の状態変化を長期にわたって安定検知するセンサ

長期にわたって安定した性能を持つセンサ群。機器の過去から現在に至る健全指標の同一基準、継続管理を達成することで機器管理のCBM化を支援します。

(3) 既設機器への対応も可能

新設機器だけでなく、既設の機器に対しても設置が可能です。CBM化による保守合理化メリットを確保するために、早期の

センサ設置が有効となります。

機能

- (1) 機器異常の判定：機器の異常有無を判断します。
- (2) 巡視の省力化／高度化支援：機器動作情報収集(各種メータ点検等)の自動化による巡視の省力化、高度なセンサを利用したオフライン診断(機器高経年化時にはオンライン化を推奨)による巡視の高度化を支援します。
- (3) 変電所の無人化支援：遠隔地にある変電所の機器状態をオフィスからモニタ可能です。
- (4) CBM対応支援：機器の状態情報を長期にわたって高安定度で提供し、中長期保守計画への反映を支援します。
- (5) 高経年機器対応支援：機器劣化情報を提供し、高経年機器の健全運用を支援します。

表1. GIS/GCBに対応した高機能センサ

監視対象／センサ	機能
絶縁性能 ／部分放電センサ	タンク内部の異物、ボルト締結の緩み、絶縁物の劣化等、高経年機器に想定される絶縁性能の変遷に伴う微小放電を検知
通電性能(接触不良) ／分解ガスセンサ	HFなどのSF ₆ 分解ガスに反応するセンサで、SF ₆ ガス中のコンタクト部で発生する接触不良(局部過熱)を検知
気密性能(ガス漏れ) ／ガス圧力センサ	GIS専用開発したセンサ。高感度・長期安定性能を持ち、シール劣化等による微小ガス漏れを検知。 このセンサは事故点標定にも対応(抵抗接地系地絡の安定検出可)
遮断性能／動作時間センサ	GCBの動作時間をモニタし、初期状態と比較して時間の増大傾向により異常傾向を報知

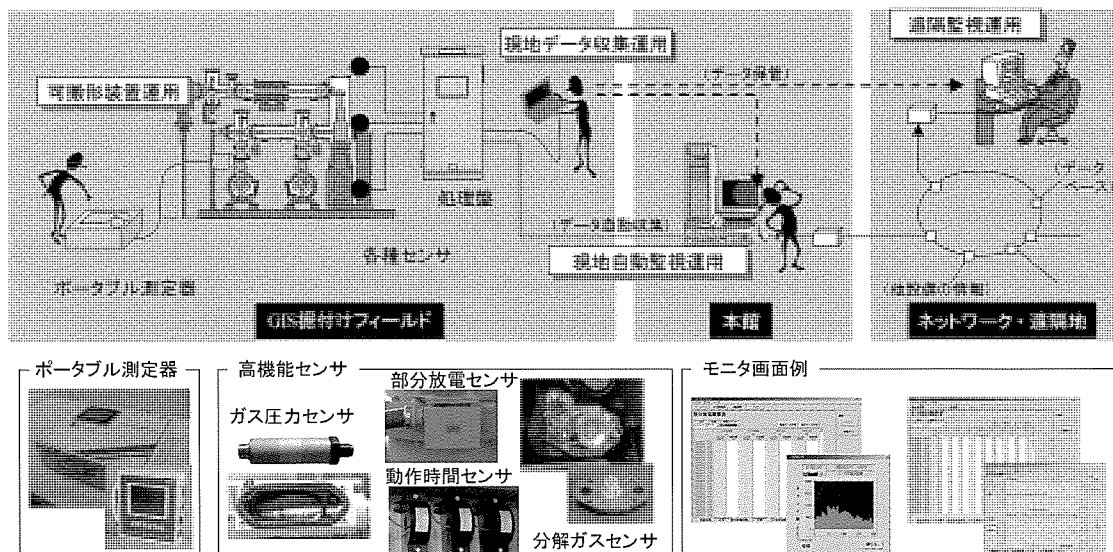


図1. センサを用いた変電所監視システム形態～ポータブル機器から遠隔監視まで