



家庭から宇宙まで、エコチェンジ 

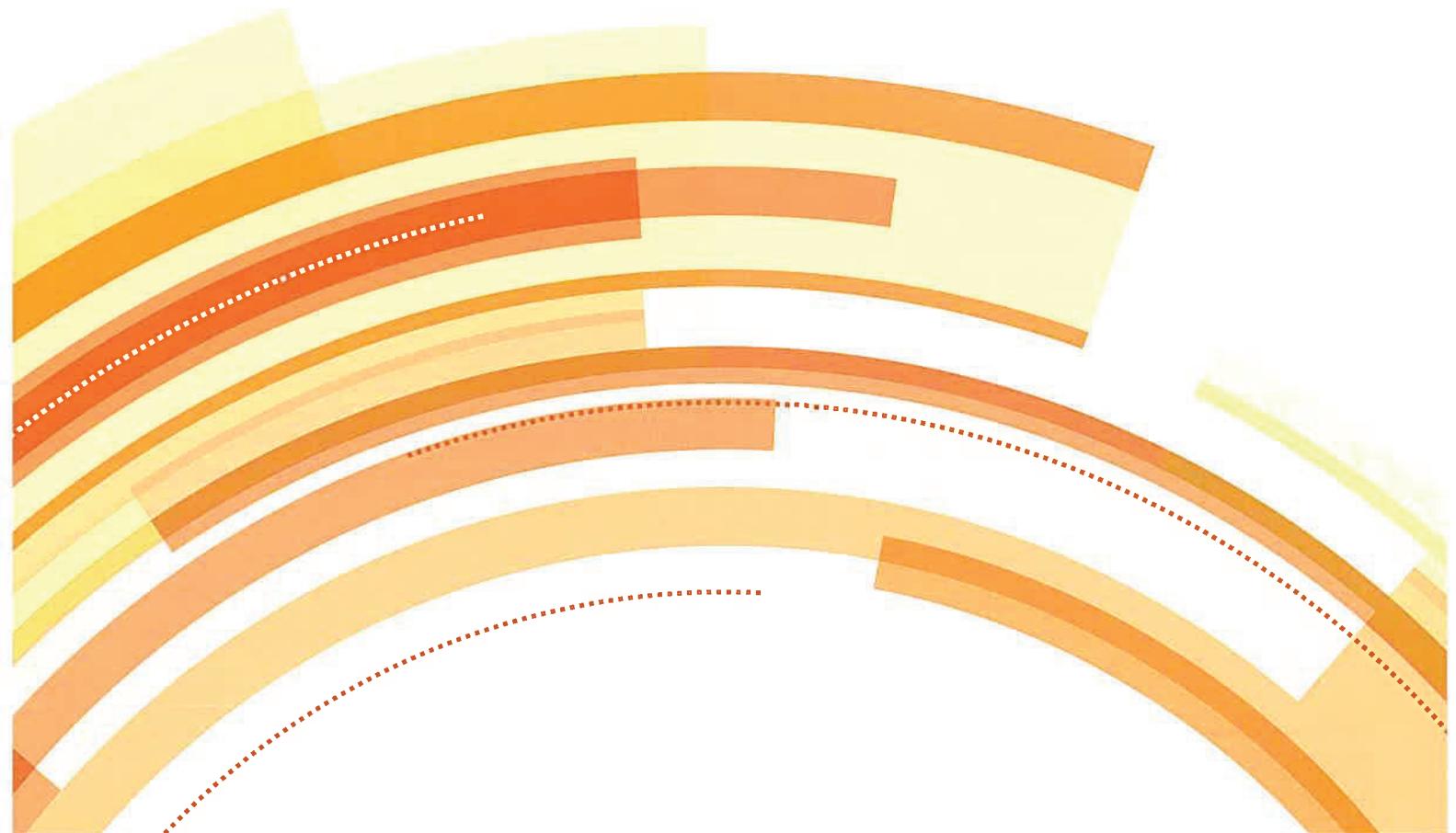
三菱電機技報

11

2014

Vol.88 No.11

「受配電システムの最新技術」



目 次

特集「受配電システムの最新技術」

電力機器・システム技術開発と人材育成 1
早川直樹

受配電システム機器の技術展望 2
七田浩一

72.84kVキュービクル型ガス絶縁開閉装置“HG-VG-A” 7
吉田忠広・森藤英二・黒明慎太郎

気中絶縁スイッチギヤ“MS-VC” 11
小鶴 進・筒川 悟・永易信和

24.36kV, 72.84kVタンク形真空遮断器 15
吉田 晃・三木真一・矢野知孝・高橋和希・有岡正博

海外向け12kV真空遮断器“10-VPR-Dシリーズ” 19
後藤圭二

真空開閉器用真空バルブ 23
古賀博美

新市場向け低圧配電盤 27
関 孝一郎・進藤久典・宮内俊彦

ユニバーサルデザイン対応受配電総合監視制御システム
“MELSAS-S” 31
越智良輔・平田陽介・今村圭子

一般論文

原子力プラント・関連設備向け計装制御システム
“MELTAC-CX” 35
谷口 学・田島宏史

放射能測定技術と適用製品 39
田室 勝・田口正樹・西沢博志

火力発電プラント向け電気制御・保護装置 43
柳川茂幸・井上智義・安藤聖人

駆動用モータを用いた振動モード測定技術 47
藤田智哉・長岡弘太朗

SF₆ガス 固体ハイブリッド絶縁によるGIS小形化技術 51
鈴木崇夫・吉村 学・海永壯一朗・山本茂之

中南米、インド市場向けエレベーター
“NEXIEZ-GPX LITE” 55
大津一宏・澤木泰司・馬場俊行・小出和諒

The Latest Technologies of Power Distribution Systems

Development of Technologies in Electric Power Apparatus & Systems and Human Resources
Naoki Hayakawa

Technological Aspects of Power Receiving and Distribution Systems Apparatus
Koichi Shichida

72/84kV Cubicle-type Gas Insulated Switchgear "HG-VG-A"
Tadahiro Yoshida, Eiji Moritoh, Shintaro Kuroaki

Air Insulated Switchgear "MS-VC"
Susumu Kozuru, Satoru Sasakawa, Nobukazu Nagayasu

24/36kV, 72/84kV Dead Tank Type Vacuum Circuit Breaker
Satoru Yoshida, Shinichi Miki, Tomotaka Yano, Kazuki Takahashi, Masahiro Arioka

12kV Vacuum Circuit Breaker "10-VPR-D Series" for Overseas
Keiji Goto

Vacuum Switch Tubes for Vacuum Switches
Hiromi Koga

Low Voltage Switch Boards for New Market
Koichiro Seki, Hisanori Shindo, Toshihiko Miyauchi

Universal Design Compliant Mitsubishi Electric Substation Administrative System "MELSAS-S"
Yosuke Ochi, Yosuke Hirata, Keiko Imamura

Instrumentation and Control System "MELTAC-CX" for Nuclear Power Plant and Nuclear-related Facilities
Manabu Taniguchi, Hirofumi Tajima

Radioactivity Measurement Techniques and Products
Masaru Tamuro, Masaki Taguchi, Hiroshi Nishizawa

Electrical Controller and Protection Unit for Thermal Power Station
Shigeyuki Yanagawa, Tomoyoshi Inoue, Masato Ando

Modal Analysis Method by Using Drive Motors
Tomoya Fujita, Kotaro Nagaoka

Down-sizing of Gas Insulated Switchgear with SF₆ Gas/Solid-hybrid Insulation
Takao Tsurimoto, Manabu Yoshimura, Soichiro Kainaga, Shigeyuki Yamamoto

Mitsubishi Elevator for Latin America "NEXIEZ-GPX", for India "NEXIEZ-LITE"
Kazuhiro Otsu, Taiji Sawaki, Toshiyuki Baba, Kazuaki Kojide

特許と新案

「ガス絶縁開閉装置」「電力開閉装置」 59

「真空バルブ」 60

スポットライト

「低圧瞬時切替装置“IS-B”」

表紙：受配電システムの最新技術

社会インフラを支える受配電システム機器は、社会環境変化に対し、脱SF₆ガス、省エネルギー、小型・軽量、保守性向上、安全性、長期信頼性など進化を遂げている。

①は72.84kVタンク形真空遮断器、②は12kV真空遮断器、③は7.2kVスイッチギヤである。



巻/頭/言

電力機器・システム技術開発と人材育成

Development of Technologies in Electric Power Apparatus & Systems and Human Resources

早川直樹
Naoki Hayakawa

ガス、水道や金融も停電によって機能しなくなるなど、現代社会の電気依存率は高く、国民総生産に基づいたある試算によれば、約80%と言われている。0.1秒以下の瞬時電圧低下によって、操業停止に至るハイテク工場も多くなってきた。このような社会活動のライフラインである電気エネルギーインフラを支えているのが、電力機器・システム技術である。発電用のエネルギー源は、化石燃料や水などの資源、太陽光や風力などの自然界からの恵みに由来するものが多いが、それらを“電気”として活用できるようになるためには、送変電、受配電という流通部門における電力機器・システムに関する“技術”が必要不可欠である。電力システム改革が議論されている中、昨今の技術開発課題のキーワードは、環境負荷低減、省エネルギー、安全性向上、低コスト化などの社会経済的な課題や、低損失・高効率化、小型・軽量化、脱SF₆ガス、直流給電、状態監視・診断、保守性・長期信頼性向上などの技術的な課題など、多岐にわたる。本号では、受配電システムにおけるこれらの諸課題に対する最新動向と将来展望が特集されており、持続可能社会を支える電力機器・システム技術の更なる研究開発に期待したい。

これらの電力機器・システムは、人類が“技術”によって築き上げてきたものであり、電気事業がエジソンによって創設されて以降約130年間、電気工学に携わる技術者・研究者によって高度化・拡張され、連綿と継承されるべきものである。このような“技術”を維持・発展させるために必要不可欠なものは、次世代への技術継承、すなわち人材育成である。ここでは、筆者の大学教員としての視点から、人材育成について述べてみたい。

多くの大学において、工学部4年生から大学院工学研究科博士課程前期課程(マスターコース)への進学率は高いが、前期課程から後期課程(ドクターコース)への進学率は低いという現状がある。これは、マスターコースの学生にとって、ドクターコース修了後のキャリアパスが描けず、“博士(ドクター)”の意義(特に、海外で顕著)を理解できてい

ないことが要因と考えられる。大学では、大学院重点化やグローバル化の流れの中で、ドクターコースの学生やポスドクに対してキャリア支援を実施するとともに、マスタークースや学部の学生に対してドクターコースへの進学を振興している。ドクターコースでは、研究計画・方法を立案する能力、グループでコミュニケーションとリーダーシップを発揮して研究を主導する能力、専門分野以外の研究テーマに対するフレキシビリティを具備した人材を育成し、“博士(ドクター)”という“武器”を携えて社会に輩出したいと考えている。企業側からもこのような人材を積極的に採用するという姿勢を示し、マスタークースや学部の学生にドクターコースへ視線を向けさせることに協力いただければ幸いである。

また、ドクターコース以前の問題として、より若年層を電気工学分野に誘導することが必要である。理科離れが叫ばれる中、特に“電気”は便利だが目に見えないからわかりにくい、という声もよく聞かれる。一つの対策として、小学校～高校の理科の教員には教育学部や理学部出身者が多いため、工学部出身の教員を増やし、理論や現象とともに工学や技術の観点からも指導できないだろうか。また、冒頭に述べたように、“電気”は自然界からの恵みではなく、人類が築き上げてきた“技術”であることを社会全体に主張すべきである。この意味において、GIS(ガス絶縁開閉装置)などの電力流通設備を紹介する某電力機器メーカーのテレビコマーシャルや、家庭のコンセントを開いた先に送電線が見えるという某電力会社の広報用DVDなどは、極めて印象的であった。外観的にブラックボックス化されているものが多いため電力機器・システムを“見える化”することによって、“技術”的プレゼンスを高めることが必要であろう。

電力システム改革が議論されている現在なればこそ、電力機器・システム技術に関する研究開発を推進するとともに、それらが次世代に継承される人材育成に注力することが重要であると考える。

卷頭論文



受配電システム機器の技術展望

Technological Aspects of Power Receiving and Distribution Systems Apparatus

Koichi Shichida

要 旨

受配電システム機器は、過去から社会のニーズに対応し、技術の進展によって、安全・信頼性の追求、小型・軽量化、運用・保守性が改善されてきた。また、近年でも、変化する社会ニーズ(高効率、更なる高信頼性、更なる安全性向上、ライフサイクルコスト(LCC)削減)に対応した技術の進展によって、次に示すような技術が開発され新製品が投入されている。

(1) 地球環境負荷の低減

- ①省エネルギー・省資源化を指向した製品技術
- ②温室効果ガスを使用しない開閉装置技術
- ③有害指定物質の削減と小型・軽量化技術

(2) 電力監視システムの高機能化と安全性・取扱い性の向上

(3) LCCの削減

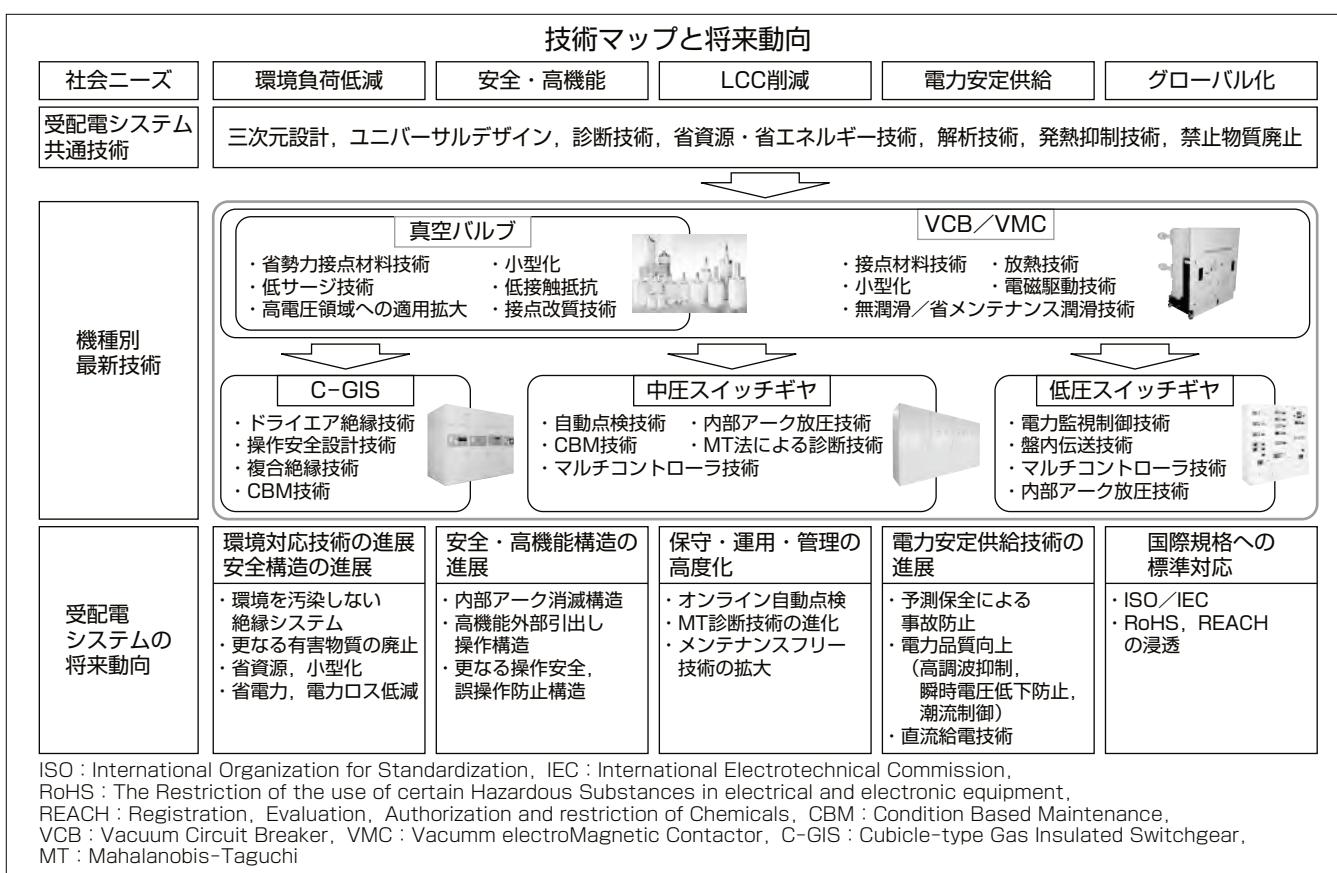
- ①製品のLCC削減技術
- ②保守・点検の効率化・省力化技術

(4) 電力の安定供給

- ①製品の信頼性向上技術
- ②安定供給を支える監視技術

(5) 國際規格への標準対応

今後も国内外を問わず顧客ニーズは多様化し、高度化するものと考えられる。先に述べた受配電システム技術を更に発展させ、製品開発を行い、受配電システム機器として付加価値の高い製品を提供することで社会に貢献していく。



受配電システム機器の技術展望

受配電システム機器の社会ニーズに基づく技術マップと将来動向を示す。

1. まえがき

受配電システムは、電力会社の配電線から電力を受ける鉄道・工場・ビル・店舗等の受電点から動力・照明等配電端負荷にいたるまでの電力供給用設備、保護・計測・監視・制御装置を構成要素としている。また、これらは、公共・民間を問わず、社会インフラにおける重要な基幹システムに位置付けられる。

受配電システム機器は、過去から社会のニーズに対応し、技術の進展によって、安全・信頼性の追求、小型・軽量化、運用・保守性が改善されてきた。また、近年でも、変化する社会ニーズ(高効率、高信頼性、安全性向上、LCC削減)に対応した技術の進展によって、安全性・信頼性の更なる向上、運用効率の改善、省エネルギーが推進されている。

本稿では、社会のニーズに対応することで発展している受配電システム機器の技術開発や製品化動向と展望について述べる。

2. 地球環境負荷の低減

2.1 省エネルギー・省資源化を指向した製品技術

我々人類は、過去の生活水準に後退することなく、産業活動を継続しつつ、子孫のためにも低炭素化社会実現に向けて努力する必要がある。この中で、エネルギーを消費する側の対応の1つとして省エネルギー・省資源化が重要である。

低圧スイッチギヤの領域では、直流給電技術が注目されている。情報通信技術システムは、経済活動を支える基幹システムとして役割を果たしており、その信頼性を確保する電源ネットワークとして直流給電が果たす役割は大きい。また、近年の情報通信量の高密度化、大量稼働に伴い、設備の消費電力がますます増加すると予想されている。電気通信用の直流給電は交流給電(UPS)に比較して電力変換回数が削減でき、原理的に高効率である。さらに、給電電圧を従来のDC48VからDC400V程度に昇圧する直流給電システムでは、電力供給に必要な電流を低減できるとともに、電力ケーブルの細量化による設備コストの低減も図れることから、DC380V直流給電は今後の方針として注目されている。これに対応して三菱電機は、従前から培った低圧分電盤技術を基に、DC380V直流給電用分電盤(図1)を製品化している。これは、他系統への給電を維持しながら安全に改修作業を可能にするとともに、分岐回路ごとにマルチDC計測装置を搭載可能とし、見える化の観点でも省エネルギーを実現する製品としている。

高圧気中絶縁スイッチギヤに関しては、省資源、省スペース、省力化の環境負荷低減ニーズに対応する製品が持続的に開発されている。当社でも、2013年には更なる小型・軽量化を指向して、需要の高い定格・仕様に限定すること

で、容積比で45%減、質量40%減(当社従来比)となる7.2kVスイッチギヤ“MS-VC”を製品化した。小型化を進めることによって、機器内スペースが減少し、メンテナンス性の低下を招くという課題に対し、ZCT(Zero-phase Current Transformer)一体型ワイドレンジCT(Current Transformer)の適用、制御機器類の集合化等ユニットを最適化することで省スペース化を図り、カラー化した液晶表示や視野角を拡大させたLED表示を採用して保守性向上を実現した。

キュービクル形ガス絶縁スイッチギヤ(C-GIS)に関しては、24~84kV級縮小形機器として1980年代に国内で製品化されて以来、省スペース、電力の安定供給に資する機器として発展してきた。近年までの約30年の間、技術開発が進み、SF₆ガス使用C-GISでは小型化・高機能化が進んでいる。表1に示すように、当社で1990年代に開発した72/84kV C-GIS“GX-70V”に対し、2013年に開発した“HG-VG-A”では2回線受電1VCT2バンク回路の設置面積比で31%減、総質量36%減に低減している。これは、84kV定格における固体絶縁母線の新規開発による母線系統の1系統増(2→3系統)実現とCTの小型化、接地断路器(EDS)ユニットの小型化によって配置構成を最適化(7→5面構成)した新技術によって実現している。今後も、新設、更新需要に対応する中で、低炭素化社会に向けた取組みによってコンパクト化を実現する技術開発を進める所存である。

2.2 温室効果ガスを使用しない開閉装置技術

SF₆ガスは絶縁性能、アーク消弧性能に優れたガスであるが、地球温暖化係数が高いことから排出量を制限する必要がある。

受配電システム機器の24~84kV領域では環境劣化因子の排除や縮小化等のニーズに呼応して1980年代からSF₆ガ

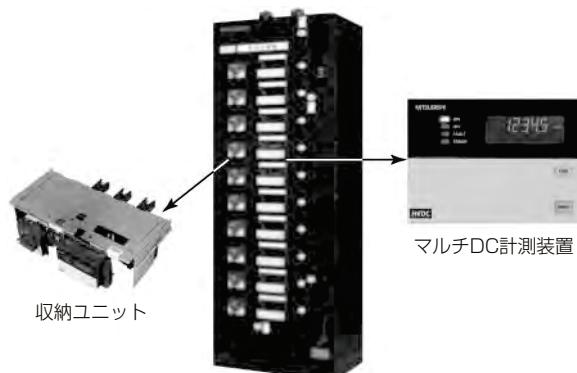


図1. DC380V直流給電用分電盤

表1. 設置面積、質量の比較(2回線受電1VCT2バンク回路)

項目	GX-70V(従来)	HG-VG-A(開発)
設置面積	19.2m ²	13.2m ² (▲31%)
総質量	21.0ton	13.5ton (▲36%)

VCT: Voltage and Current Transformer

ス絶縁によるC-GISが適用されてきた。さらに当社は、業界を先導する形でSF₆ガスを使用しないドライエア絶縁C-GISの製品化に取り組んでおり、近年の低炭素化への取組みから、密閉容器などが軽量化可能な低ガス圧技術と複合絶縁技術を追求している。一方、72/84kV級のタンク形真空遮断器(VCB)は、1980年に国内で、SF₆ガスを充填した接地タンク内に真空バルブ(VST)を設置し、空気操作式として製品化されている。その後、電動ばね操作化、小型化が図られている。当社は、環境負荷低減及び保守・点検の短縮を目的に、タンク形VCBについても、C-GISで培った脱SF₆ガス技術を展開することで、2010年に、定格電圧72/84kV級及び24/36kV級を製品化した。これらの製品ではドライエア絶縁と固体絶縁を合わせた複合絶縁を採用することによってドライエア中の最大電界値を半減化し、低ガス圧でのドライエア絶縁を実現している。図2にSF₆ガス絶縁構造と複合絶縁構造での等電位分布の比較を示す。同図(b)の複合絶縁構造で、SF₆ガスに比較し絶縁耐力の低いドライエア絶縁を適用する中で、磁気碍管(がいかん)はSF₆ガス機器に使用されている標準規格品を採用することから、エポキシ被覆絶縁によって最大電界部をドライエア絶縁の設計基準以下とする工夫をしている。

また遮断部であるVSTを駆動する操作装置には、直線駆動方式の電磁ばね操作装置を適用し、長寿命、省メンテナンス化を実現している。

2.3 有害指定物質の削減と小型・軽量化技術

欧州でのRoHS指令・REACH規制施行の動向に対応して、当社は特定6物質を使用しない真空遮断器、開閉器を順次製品化している。2004年に製品化した7.2kV-12.5kA VCBを始めとして、2007年に20kA級VCBを、2009年に31.5/40kA級を、2010年には新型VMCと適用を拡大してきた。さらに、当社ではグローバル化を進めるため、新製品開発に取り組み、最新の国際規格IEC-62271-100に標準適用できる海外向け12kV-31.5/40kA級のVCB“10-VPR-D”を製品化している。これは小型・軽量化、保守性向上、安全性向上、長期信頼性向上実現のために外部引

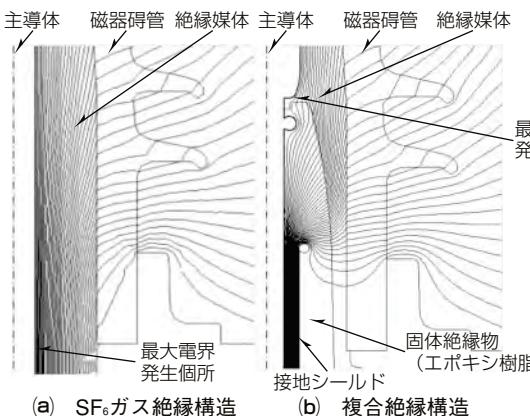


図2. 72/84kV-タンク形VCB磁気碍管周辺の電界解析

出し操作やアーシングスイッチなどのメニュー充実、部品点数の削減、注油周期の延長、低操作エネルギー化、特定6物質の廃止を実現している。また、このVCBは、主回路充電部への小動物進入による短絡事故防止のため、充電露出部を極小化した筒形状の絶縁モールド構造を採用し、安全性を追求した。また、粉塵(ふんじん)、水滴が内部に入りにくい構造とし耐環境性にも配慮している。この構造は、放熱性では不利な構造となるが、熱流体解析技術の進歩によって、筒形状内部の熱を効率良く放熱する形状にして定格電流3,150Aまで自冷式を実現している(当社評価基準に基づく)。図3に熱流体解析結果の一例を示す。

一方、受配電システム機器の領域における電圧級(3.6~84kV)の遮断器・開閉器の消弧ユニットについては、優れた開閉寿命、消弧部のメンテナンスフリー等の特長から真空バルブが揺るぎない地位を確保している。海外でも12kV定格を中心に高い比率で適用されており、高電圧化の開発も各国で進められている。

図4は当社製7.2kV-600A-12.5kA汎用遮断器用真空バルブの変遷で、約40年間で容積比にして6%まで小型化している。接点技術に関しては、当社は、平板・スパイラル・縦磁界の各接点の材料・形状の研究を進め小型化・高寿命化を図っている。スパイラル電極では接触点を外周部とする電極構造の改良によって接点開極直後から高速でアーケを駆動回転させ、24kV-25kA定格で、従来の電極構造の電極径に対し、27%減まで縮小している。一方、縦磁界電極ではアーケ電圧が低いという特徴から大容量多数回遮断用として適用しているとともに、低サージ品として、銀系接点材料と縦磁界電極構造を組み合わせて、7.2kV-

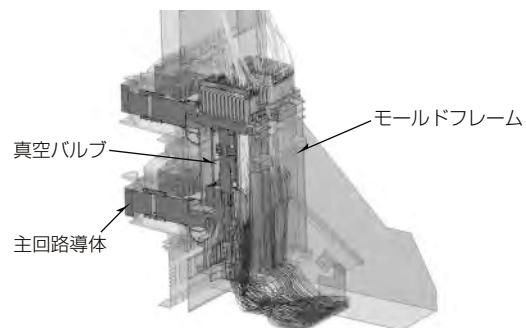


図3. 真空遮断器の熱流体解析結果例

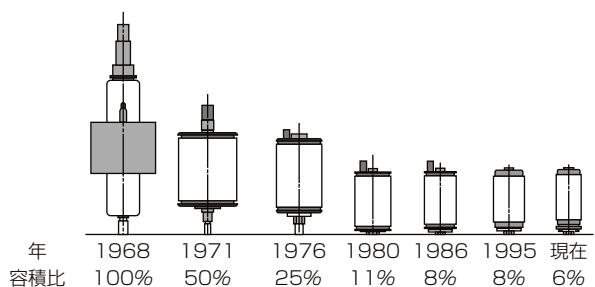


図4. 7.2kV-600A-12.5kA汎用遮断器用真空バルブの変遷

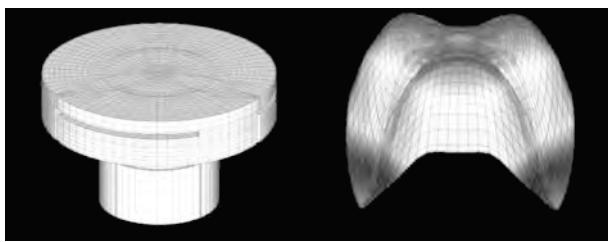


図5. 縦磁界接点真空バルブの磁界解析

40kAまでを製品化している。低サージ性と大電流遮断性能を両立させるために、接点材料に適した磁界強度と磁界分布の均一化を磁界解析(図5)及びアーク駆動観測によって実現している。さらに、VSTの最近における真空絶縁技術の研究で得られた接点表面粗さ、面積効果の研究成果を基に材料配合・製造プロセスの改良を進めている。VST技術は、精力的に小型化、高電圧化をしており今後も世界的に技術が発展する領域である。

3. 電力監視システム高機能化と安全性・取扱い性の向上

近年の受配電システムは、社会ニーズに呼応して、システムの複雑化に伴う視認性の向上、誤操作の防止、自動化を目的とした運転支援、保守支援技術が進歩している。

電力監視システムについては、環境に対する配慮が求められるようになり、受配電設備を管理するユーザーからも設備の省エネルギーに寄与できる機能が求められている。これに対応して、使用電力を監視して使用電力量を抑えるデマンド監視機能、コンデンサ開閉による制御で力率を100%に近づける無効電力制御機能が実用化されている。また、定期点検作業の省力化・短時間化を目的に、当社の独自機能であるリレーの自動点検機能が搭載されるとともに、遠隔で設備の状況を監視できるWeb監視機能、ユーザーが自由に名称やスケールを変更できるエンジニアリング機能が搭載されている。当社は、よりきめ細かな省エネルギー及び設備監視のニーズに応えるため、監視点数20,000点に対応できる電力監視システム“MELASAS-S”を製品化している。また、最近では、監視員の高齢化に伴い、見やすい画面構成、受配電設備監視業務経験の浅い監視員にも分かりやすい操作を目的に、UD(ユニバーサルデザイン)を画面構成及び操作に適用してデザインを一新するとともに、無停電でのリレーの自動点検を実現した電力監視システムを製品化している。

4. LCCの削減

4.1 製品のLCC削減技術

36kV級以下の遮断器として、中東を中心に当社が1980年代に納入したガス遮断器(GCB)が数多く稼働しているが、納入後30年以上の歳月が経過しており、設備更新の時期を迎えており。現在の顧客ニーズとして、環境負荷低減

という時代の流れやSF₆ガス処理や遮断部の清掃といった保守点検費用の問題もあり、LCCの面でメリットのあるVCBへの切換えが望まれている。当社は、最新型VCB“10-VPR-32/40D”を母体としたレトロフィットVCB“10-VPR-40D(GV)”を製品化した。また、LCCを低減する施策としてスイッチギヤ本体を残しながら、既納品であるGCBからVCBの更新の場合でも、既設スイッチギヤに対する出し入れ機構を同一にするとともに、VCBの開閉サージを抑制し、負荷を保護するためのサージ吸収装置をVCB本体に搭載している。これによって、スイッチギヤの現地改造を不要とする完全互換の製品化を実現しLCC削減に貢献している。停電時間の短時間化は顧客ニーズの重要な項目であることから、今後の更新製品の形態として配慮されるべきものと考える。

4.2 保守・点検の効率化・省力化技術

4.2.1 保守省力化

LCC削減を目的とした保守、点検の省力化ニーズに対応して、遮断器のVCB化、機構部のグリースレス化を理想とする省メンテナンス化が進んでいる。C-GIS搭載VCBやタンク形VCBでは、操作機構の機械保持を担うラッチ機構に永久磁石による保持方式を採用することで損耗部品を削減するとともに、グリス劣化による不具合に対して注油レスとした構造に進歩している。また、機械式ラッチ機構を持つばね操作装置でも、最新のVCBでは、三次元機構シミュレーションによる動作信頼性の向上を図るとともに、長寿命グリースの適用や微小力で駆動する部位の軸受にグリースの塗布が不要なPTFE(ポリテトラルオロエチレン)をベースとした無注油軸受を採用することで、安定した動作特性を実現し、注油間隔を従来の3年から6年に延長している。また、状態監視技術については、通信技術の高度化に伴い、劣化をセンシング・診断し、保守員に状態を提示する技術が進展している。

4.2.2 余寿命推定技術の進化

当社では2000年に絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術(MT法)を確立し、既に500件以上の診断実績を得ている。一方、従来のMT法診断に対して、①現状のオフライン状態での絶縁物表面データ取得から、リアルタイムでの機器の状態を監視したい。②現状の放電開始時期を寿命とする判定から更に、絶縁短絡時期を推定したい。③診断実施以降の周囲環境変化に対応できる配慮がほしいなどの更なる社会ニーズがある。これに対応して、近年では、機器の信頼性、余寿命診断の高精度化、省メンテナンス性の向上を目的に、オンラインの余寿命推定技術の確立を目指した技術開発も進めている。これは、フェノール樹脂、ポリエスチル樹脂、エポキシ樹脂等の絶縁物について、絶縁物が寿命にいたる劣化メカニズムを詳細解明するとともに、劣化メカニズムに基づいた“劣化監視センサ”を開発し、MT法

診断の考え方や実際の診断で得られた知見を取り入れた新しいCBMの確立を図っている。このセンサを適用することで、リアルタイムで絶縁物の劣化を計測し、絶縁物の寿命を常時監視するとともに、絶縁物の経年劣化に対して必要な保全情報を提供する予防保全システムへの展開を考えている。

5. 電力の安定供給

5.1 製品の信頼性向上技術

開閉装置全体構造は、C-GISの発展によって、容器外の環境に影響を受けない密閉主回路によって電力供給信頼性は向上している。一方、遮断器などの開閉器については、障害の65%は操作装置部で発生している。当社では、操作装置の信頼性向上技術として部品点数の削減、機械摺動(しゅうどう)部を削減した機構方式の電磁ばね操作装置をタンク形VCBに適用して製品化している(図6)。これは、真空バルブの可動導体と電動ばね操作装置の可動軸を直線上に配置し、また、電動ばね操作装置内に設けた永久磁石の磁束によって可動鉄心を開極位置に保持することで機械式ラッチなどの損耗部品を排除して信頼性を向上させている。

5.2 安定供給を支える監視技術

電力安定供給のためには設備異常や劣化を電力供給が絶たれる前にタイムリーに把握し、適切な処置を施すことが肝要である。この観点から、スイッチギヤの状態監視技術は、既に複合絶縁C-GISで開閉動作特性変動を駆動電流波形で監視診断する開閉動作特性監視、駆動コンデンサ容量監視、保持用永久磁石劣化監視、ノイズ性高周波電磁波による部分放電・真空劣化監視を行うCBMコントローラが製品化されている。近年では、予測保全による故障防止技術としてスイッチギヤ絶縁物に設置したセンサと漏れ電流検出器によってMT法による絶縁診断をオンラインでタブレット端末に伝送する絶縁余寿命推定システムの研究が進んでいる。さらには、巻線機器のレヤーショート、モータ軸受の劣化等の異常を負荷電流波形から監視・診断する研究も進んでおり、今後も持続的かつ勢力的に開発が進み、データ伝送機能を設けユビキタス社会に呼応した遠隔状態監視の進化・拡大へと発展していくと予想される。

6. 國際規格への標準対応

グローバル化の流れの中で、従来の日本の国内規格に重点を置いた製品開発から、国際電気標準会議(IEC)との整合が強く求められるようになってきた。遮断器の国際規格であるIEC 62271-100は2001年以降に2度の改定を経て、2008年にEdition2.0が発行された。IEC62271ではユーザーのニーズに合わせた遮断器を提供することを目的に、信頼性や用途からクラス分けが規定されている。これに対応し

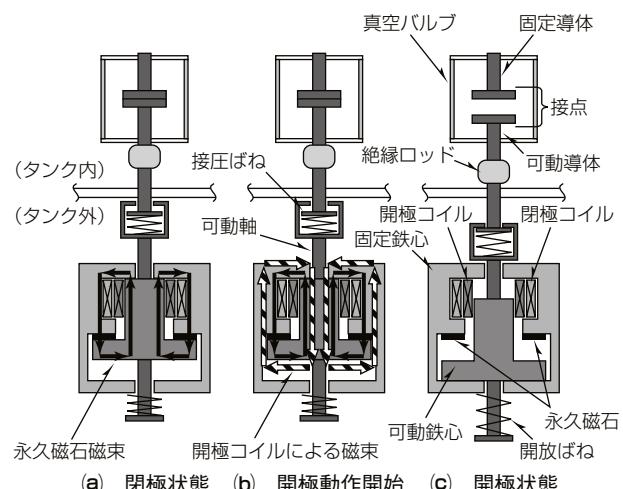


図6. 電磁ばね操作装置による真空バルブの直線駆動

て当社では、新規の海外向け開発でクラスE 2の実力を確認している。また、中電圧スイッチギヤでは、IEC-62271-200で規定されている内部アーカ対応の確認を行った製品で海外向けに対応している。モータコントロールセンタ(MCC)についても、IEC-61439に対応し、AC690V/80kAまでの高電圧・大容量化に対応するとともに、内部アーカ対応構造を実現している。さらに、IEC-60947に対応し、コーディネーションTYPE2要求にも対応している。今後も開閉装置共通規格の制定とIECを中心に、それぞれの改定に継続して注目・参加していく必要がある。

7. むすび

受配電システム機器の技術展望を、最近の技術・製品動向を主体に述べた。

受配電設備は社会インフラの基礎であることから、安全性、信頼性、環境負荷低減、LCC削減等の社会的ニーズは、グローバル市場の中で、ますます重要性が高まると考えられる。また最近では、太陽光発電や風力発電のような自然エネルギーを利用した分散型電源の普及が推進されており、直流給電を含む再生可能エネルギー拡大に基づく電源の多様化も進展すると予想されるなど、国内外を問わず顧客ニーズは多様化し、要求も高度化している。このような社会変動の中にあって、今後も当社は、技術開発を更に進め、受配電システム機器として付加価値の高い製品を提供することによって社会に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 次世代電力システムにおける直流給配電の研究動向, 電気学会技術報告, No.1215 (2011)
- (2) 真空遮断器・開閉器の技術動向, 電気学会技術報告, No.1278 (2013)
- (3) 密封形変電設備の劣化保全技術高度化, 電気共同研究, 61, No.3 (2005)

72/84kVキュービクル型ガス絶縁開閉装置 “HG-VG-A”

吉田忠広*
森藤英二**
黒明慎太郎**

72/84kV Cubicle-type Gas Insulated Switchgear "HG-VG-A"

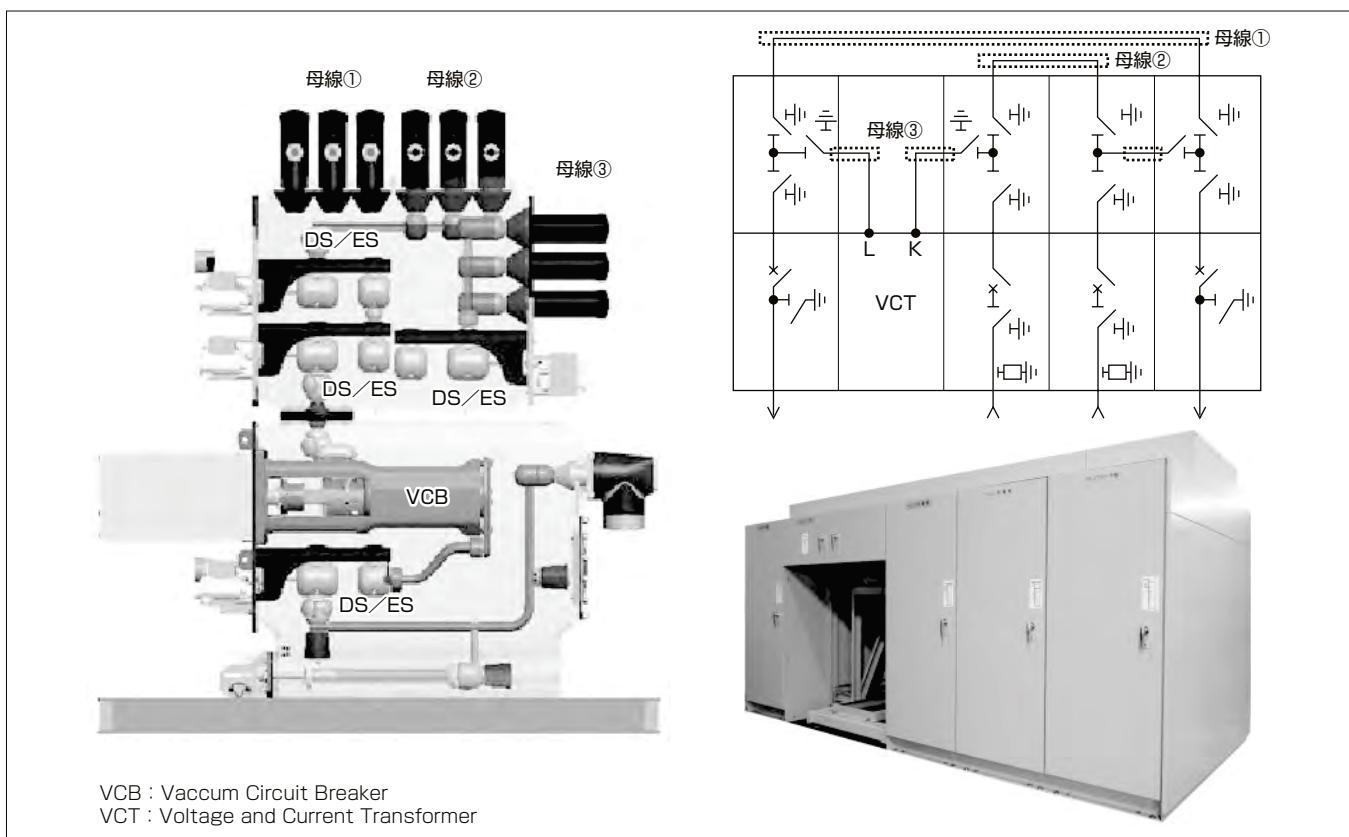
Tadahiro Yoshida, Eiji Moritoh, Shintaro Kuroaki

要旨

特高受配電設備に適用されるキュービクル型ガス絶縁開閉装置(C-GIS)の縮小化及び高集積化に対する電力需要家の要望を受けて、今回72/84kV C-GIS“HG-VG-A”を開発した。受配電設備に広く適用される2回線受電1VCT2バンク回路は、特高C-GISでは5面で構成されることが多い。また、運用中の停電時間短縮要求に対して、バイパス開閉器及び区分開閉器を追加した回路の特高C-GISでは7面で構成されていた。

今回の開発では、バイパス・区分開閉器付であってもバイパス・区分開閉器なしと同じ設置面積で構成できる高集積配列を開発コンセプトとして、開発に着手した。高集積配列を実現させるためには、C-GIS母線タンクに母線用、

バイパス用及び区分用の開閉器を最大3台収納し、かつ、隣接するC-GISと接続する母線を最大3系統配置する構造を実現することが必要であった。そのため、母線・バイパス・区分開閉器に用いられるDS/ES(接地装置付断路器)の縮小化に取り組むとともに、84kV定格の絶縁性能を持つ固体絶縁母線を開発・適用した。さらに受電部のDS, ES回路構成の見直し、圧力タンク構造の見直しを進めて、C-GIS全体の縮小化及び軽量化を実現した。この開発によって、バイパス・区分開閉器付2回線受電1VCT2バンク回路をバイパス・区分開閉器なし回路と同じ設置面積で構成することが可能となり、配列全体の設置面積及び質量を従来機種比で30%以上削減することができた。



縮小化と高集積化を実現した72/84kV C-GIS “HG-VG-A”

従来機種では7面で構成されていたバイパス・区分開閉器付2回線受電1VCT2バンク回路を、5面で構成できる技術を搭載したC-GIS “HG-VG-A”を新規開発した。左の図はHG-VG-A受電盤の構造、右上の図はHG-VG-Aで適用したバイパス・区分開閉器付2回線受電1VCT2バンク回路の配列(5面構成)、右下の図はHG-VG-Aの外観を示す。

1. まえがき

電力需要家の特高受配電設備には、複数の機器を1つの圧力タンク内に集約した三相一括構成のキュービクル型ガス絶縁開閉装置(Cubicle-type Gas Insulated Switchgear: C-GIS)を適用することが多い。近年のC-GISの更なる縮小化及び高集積化の要望を受けて、三菱電機ではC-GIS “HG-VG-A”の開発を行った。

本稿では、HG-VG-Aの概要及び採用した技術について次に述べる。

2. HG-VG-Aの概要

2.1 HG-VG-Aの配列構成

今回開発したHG-VG-Aは、特高受配電設備で採用されることが多い2回線受電1VCT2パンク回路のうち、特に運用中における停電時間短縮の要求が高い場合に適用されるバイパス開閉器及び区分開閉器付回路に対して、次の構想で構造面の検討を行った。

- (1) バイパス・区分開閉器付であっても、バイパス・区分開閉器なしの構成と同じ設置面積(5面構成)を実現する。
- (2) 2系統のうち片側の系統を運転しながら、もう片側の系統を更新できる配列構成にする。

また、受電部のDS、ESの構成を見直し、一部機能をケーブル終端部に持たせることで、受電点DSとESを統合して受電部の開閉器の削減を検討した(図1)。

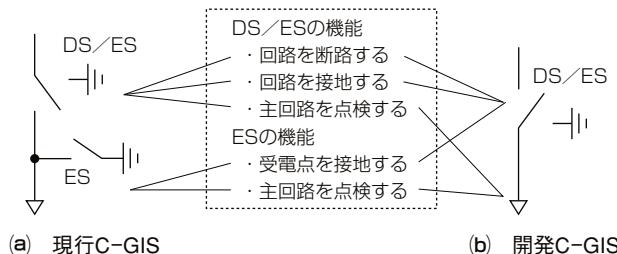


図1. 受電部DS/ESの構成

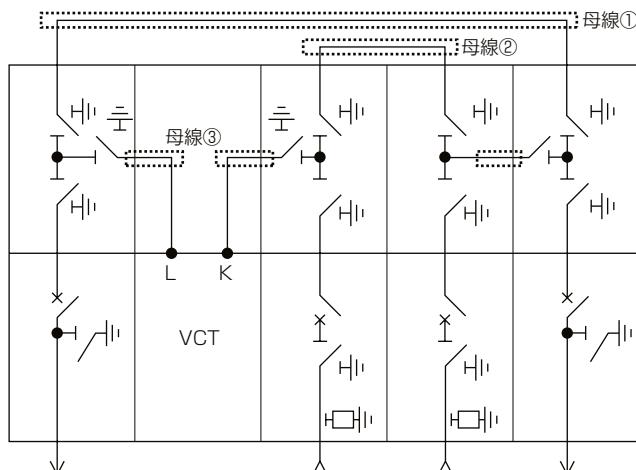


図2. HG-VG-Aの配列構成(バイパス・区分開閉器付2回線受電1VCT2パンク回路)

このように、開発コンセプトの段階で配列集約及び受電点DSとESの統合を考慮したC-GIS構成として図2に示す配列構成を設定し、この実現を念頭に開発着手した。

2.2 HG-VG-Aの構造

図2の配列構成に対して、従来機種“HG-VG”では実現できないのは次の2点である。

- (1) 母線タンク内に母線用開閉器及び区分開閉器を最大3台収納
- (2) 隣接するC-GISと接続する母線(図2の破線部)を最大3系統配置

(1)は、母線タンクに収納するDS/ES単体の縮小化とタンクの前面・後面の両方からDS/ESを収納する構造を採用することで実現した。

また、(2)を実現するために、従来24/36kV定格で適用事例が多い接地シース付の固体絶縁母線と同じコンセプトで72/84kV定格を新たに開発して採用した。

これらの対応を含めて図3に示すC-GIS構造を採用した。図3の母線①～③は、図2の母線番号と対応している。併せてHG-VG-Aの仕様を表1に示す。

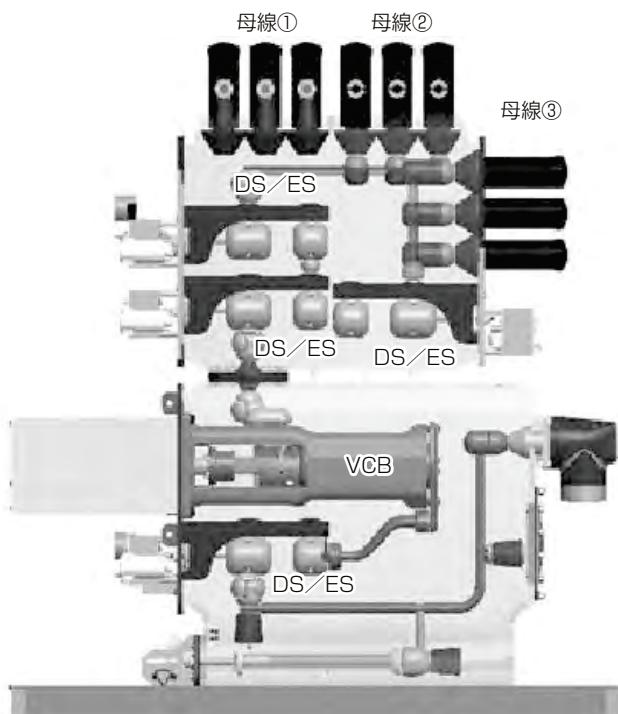


図3. HG-VG-Aの構造(受電盤)

表1. HG-VG-Aの仕様

項目	仕様
準拠規格	JEM-1499
定格電圧	72kV/84kV
定格電流	600A, 800A
定格周波数	50Hz/60Hz
定格短時間耐電流	25kA/31.5kA, 1s
封入ガス	SF ₆ ガス
ガス圧力(at 20°C)	定格: 0.05MPa 警報: 0.03MPa

3. HG-VG-Aの採用技術

今回開発したHG-VG-Aで採用した主要な技術は、①DS/ES単体の縮小化と母線タンクへの高集積化、②固体絶縁母線の採用、③圧力タンクの構造変更である。

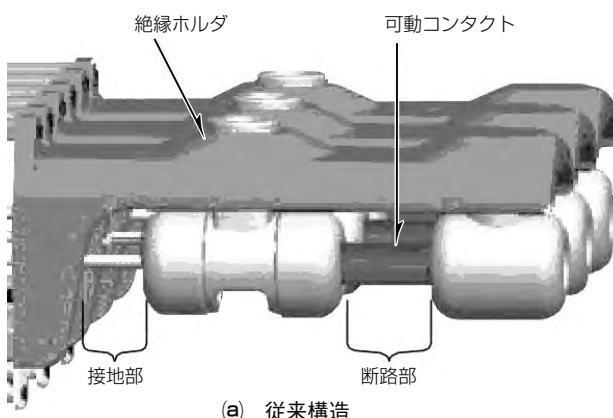
3.1 DS/ES単体の縮小化と母線タンクへの高集積化

母線タンク内に最大3台DS/ES(接地装置付断路器)ユニットを収納するため、主に長手方向(C-GIS奥行方向)の縮小を行った。まず、図4に示すように、複数の部品で構成されていた端子を一体構造に変更した。さらに部品一体化に伴う形状最適化に伴ってDS極間及びES極間の電界分布を見直し、それぞれの極間寸法を縮小した。これらの検討によって、約15%の全長縮小が可能となった。

さらに、従来は母線タンクの前面又は後面だけにDS/ESユニットを搭載していたが、前後面両方へのユニット搭載及びユニット間の接続を実現することで、母線タンクへの高集積化を実現した。

3.2 固体絶縁母線の採用

従来のHG-VGで採用していたガス絶縁母線では、相間及び対地間の絶縁距離確保が必要であるため、縮小化には限界があった。また、工場内の組立・解体及び客先の据付け作業・増設で、母線組立後のガス処理(ガス回収、真空引き、絶縁ガス封入)工程が必要となるため、作業時間の短縮が困難であった。これに対して、今回開発した固体絶縁母線は、シリコンゴムで形成された絶縁層、絶縁層内面に導電ゴムで形成した電界緩和シールド、絶縁層の表面に導電ゴムで形成した接地シースで構成しており、固体絶縁



(a) 従来構造



(b) 開発構造

図4. DS/ES主回路部の構成比較

母線間には絶縁距離を設ける必要がなく、母線の高密度配置が可能となる。図5に固体絶縁母線の適用事例を示す。固体絶縁母線は、C-GISへ設置されている専用ブッシングに接続アダプタを取り付け、接続アダプタ間に母線を設置する。ブッシングは図5のように相方向及び奥行方向に斜めに配置し、内部導体の電界配置最適化を考慮することで、母線タンク内のブッシング及び高電圧導体配置の集約化を実現している。最終的に、図3で示すように、固体絶縁母線を母線タンク上面に2系統、後面に1系統で最大3系統配置できる構成を実現した。



図5. 固体絶縁母線の適用事例



(a) 従来構造



(b) 開発構造

図6. DS/ES主回路部の構成比較

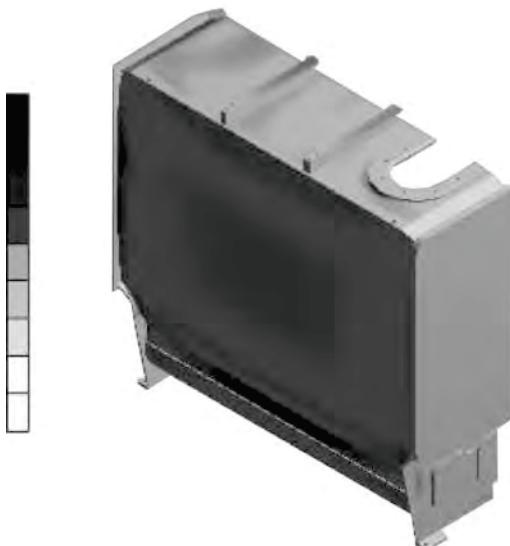


図7. 開発タンクの応力分布(1/2モデル)

表2. 設置面積と質量の比較(2回線受電1VCT2パンク回路)

項目	HG-VG(従来)	HG-VG-A(開発)
設置面積	19.2m ²	13.2m ² (▲31%)
質量	21.0ton	13.5ton (▲36%)



図8. HG-VG-Aの初号機

3.3 圧力タンクの構造変更

C-GISは、大気圧近傍の低い圧力の絶縁ガスを用いており、圧力タンクを軽量化できるメリットがある。図3下方に示すVCB(真空遮断器)やDS/ES、避雷器等を収納するタンクで所定の圧力強度を確保するため、従来機種では図6(a)のように、補強削減を志向した曲げ板構造をタンク側面板に採用していた。この構造では、側面板の奥行方向の剛性が高いため、真空引きや絶縁ガス封入時に側面板と接する前後の板との間に局部的な応力が発生することがあり、その対応で部分的な追加補強が必要であった。これに対して、今回の開発品は、図6(b)のように三次元曲げ加工した側面板を採用することで追加補強を適用しなくても局部的な応力を緩和できるため、タンク全体の部品点数を削減することができた。このように、圧力タンクの部品点数を削減することで、軽量化と加工時間短縮を実現している。今回の開発タンクの応力分布を図7に示す。

4. む す び

今回開発した72/84kV C-GIS“HG-VG-A”的仕様・構造及び技術を述べた。従来機種HG-VGから採用されている部品点数の削減及びメンテナンスの削減を志向した電磁ばね操作式真空遮断器や、DS/ES操作装置は引き続き継承し、DS/ES主回路部の縮小化、固体絶縁母線、三次元曲げ圧力タンク等を適用することで、バイパス・区分開閉器付2回線受電1VCT2パンク回路(現行7面)をバイパス・区分開閉器なしの回路と同じ据付け面積(5面)で実現した。これによって、表2のように配列全体の設置面積と質量はそれぞれ従来機種に対して大幅に削減することができた。この製品は、順次製作を進めている(図8)。

今回達成したDS/ESの縮小化、固体絶縁母線の採用を基本に、2回線受電1VCT2パンク構成以外のメニューぞろえを進めることで、72/84kV受配電設備への適用拡大を進めていく。

小鶴 進*
笹川 悟*
永易信和*

気中絶縁スイッチギヤ“MS-VC”

Air Insulated Switchgear "MS-VC"

Susumu Kozuru, Satoru Sasakawa, Nobukazu Nagayasu

要 旨

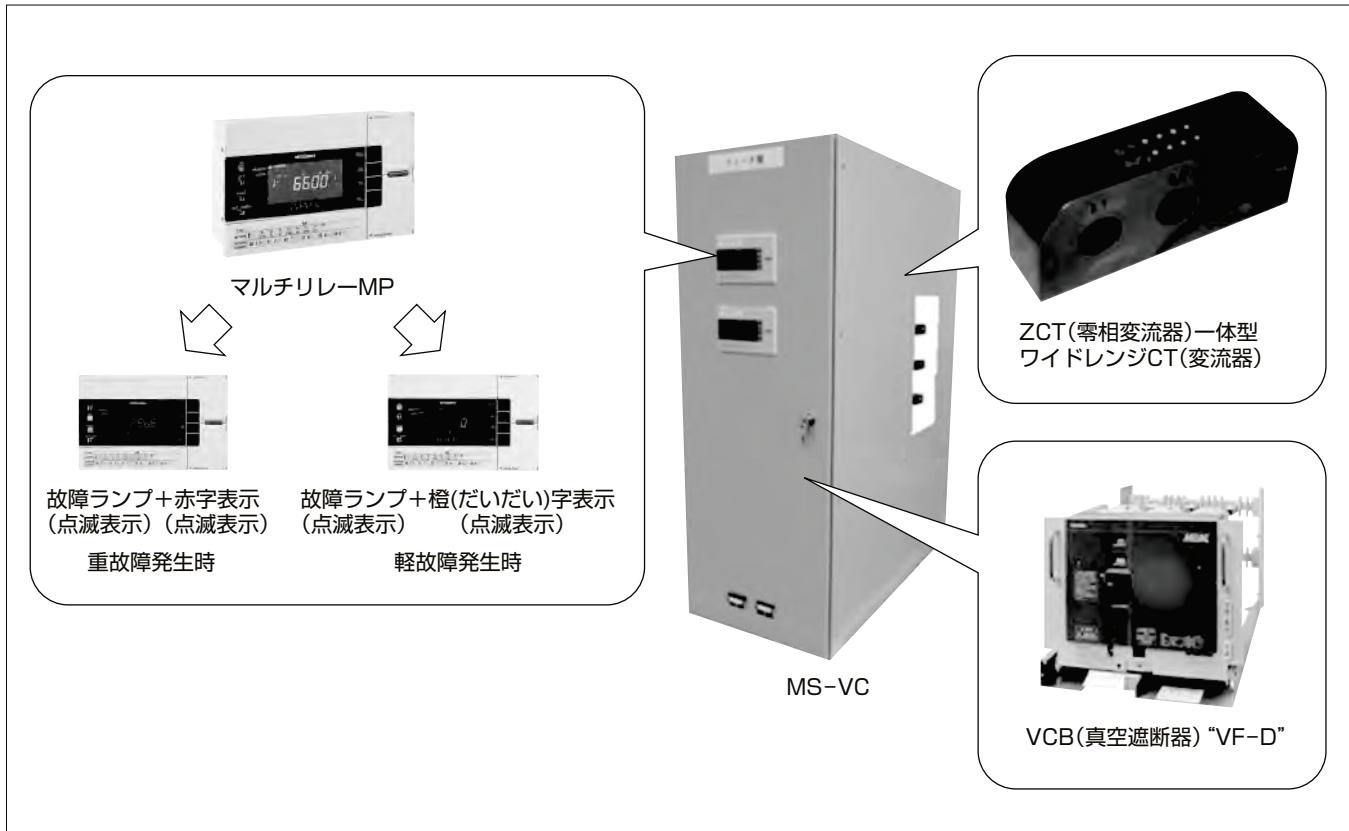
金属閉鎖形スイッチギヤ(以下“スイッチギヤ”という。)は安定した電力供給を担うことで社会インフラを支える重要な受配電機器である。近年、このスイッチギヤには“操作性”“信頼性”“安全性”など従来求められていた基本性能に加え、“環境負荷低減”“ライフサイクルコスト(LCC)の低減”などが求められるようになった。

このような市場のニーズに対応するため、省資源、省スペース、省力化に加えて環境負荷低減、及びLCC低減に貢献するコンパクトな気中絶縁スイッチギヤ“MS-VC”を開

発した。主な特長は次のとおりである。

- (1) 省資源化：“容積約45%減”“質量約40%減”及び“発熱量約15%減”(三菱電機従来比)
- (2) 省スペース化：“据付け面積約35%削減”(当社従来比)
- (3) 省力化：自動点検機能を持つマルチリレー“MP”的標準採用によって、保守点検時の停電時間の短縮及び保守点検の省力化

本稿では、このMS-VCのキーコンポーネント及び特長について述べる。



気中絶縁スイッチギヤ“MS-VC”

気中絶縁スイッチギヤMS-VCは、定格電圧7.2kV以下、定格母線電流2,000A以下、定格短時間耐電流25kA以下及びCW形に特化したコンパクトなスイッチギヤであり、省資源、省スペース、省力化に加えて環境負荷低減、及びLCC低減に貢献する。

1. まえがき

近年はスイッチギヤでも、従来要求されてきた基本性能に加え、地球環境保護及び低炭素化社会への関心の高まりなどによって“環境負荷低減”“LCC低減”といった性能が求められている。

これら市場のニーズに対応するため、定格短時間耐電流が25kA以下の系統に特化した、コンパクトな気中絶縁スイッチギヤ“MS-VC”を開発した⁽¹⁾。このMS-VCは省資源、省スペース、省力化に加えて環境負荷低減及びLCC低減に貢献できるスイッチギヤである。

本稿では、MS-VCのキーコンポーネント及び特長について述べる。

2. MS-VCの概要

2.1 汎用型スイッチギヤ“MS”との対比

図1に当社の汎用型スイッチギヤMSと開発品であるMS-VCの外観を示し、表1にそれぞれの定格事項を示す。

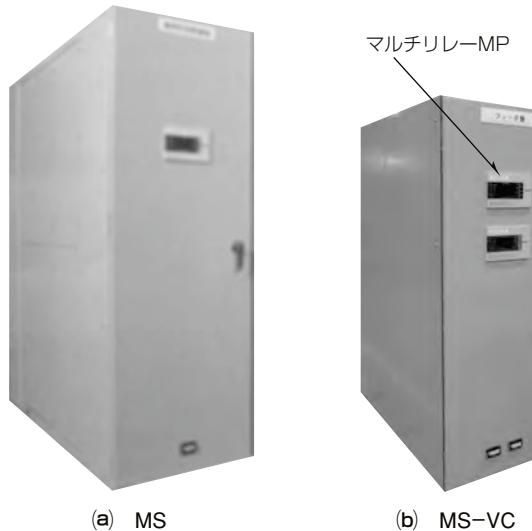


図1. スイッチギヤ

表1. スイッチギヤの定格事項

形名	MS	MS-VC
準拠規格	JEM1425	JEM1425
定格電圧(kV)	7.2	7.2
定格母線電流(A)	400, 600, 1,200, 1,600, 2,000, 2,500, 3,000	400, 600, 1,200, 1,600, 2,000
定格周波数(Hz)	50/60	50/60
主回路周波数耐電圧・1分間(kV, rms)	22	22
雷インパルス耐電圧(kV)	60	60
定格短時間耐電流・1分間(kV, rms)	8/12.5/20/25/31.5/40	8/12.5/20/25
スイッチギヤの形	CW, CWG, PW, PWG, MW, MWG	CW

MS-VCはMSと比較して、定格電圧7.2kV以下、定格母線電流2,000A以下、定格短時間耐電流25kA以下のビルディング及び工場向けの受配電設備に特化した製品とした。さらにスイッチギヤの形をCW形に特化することで、コンパクト化を図った。

図2にMS及びMS-VCの側面断面図を示し、表2にそれぞれの外形寸法、質量、発熱量を示す。

2.2 MS-VCを構成するキーコンポーネント

MS-VCはキーコンポーネントとして

(1) マルチリレーMP

(2) ZCT一体型のワイドレンジCT

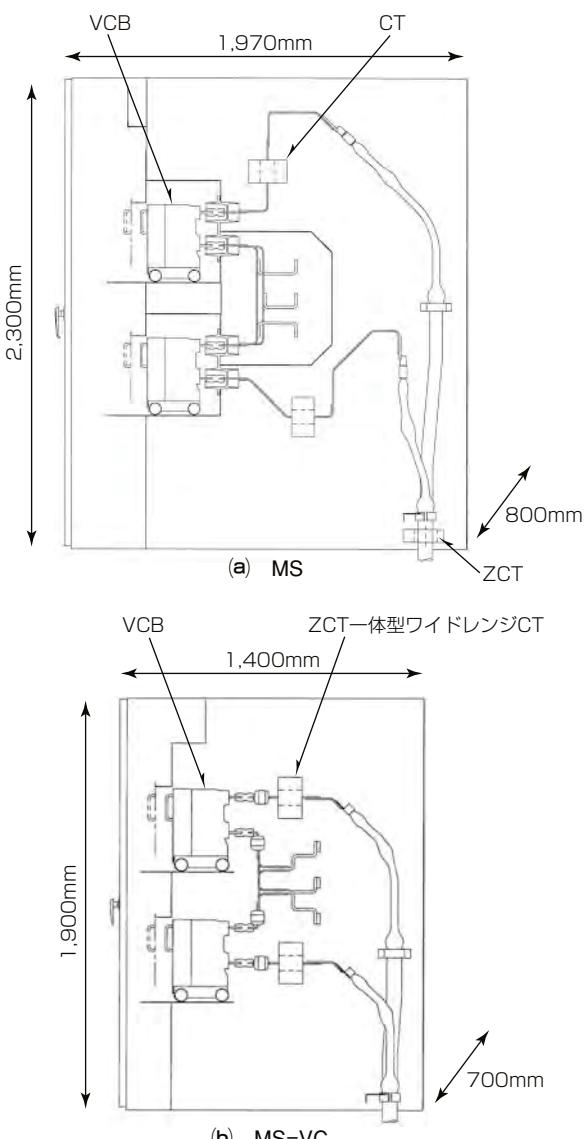


図2. スイッチギヤの側面断面

表2. スイッチギヤの外形寸法、質量及び発熱量
(VCB“VF-D”(定格電流600A)を2台収納)

	MS(当社従来機種)	MS-VC	当社従来比
外形寸法(W×D×Hmm)	800×1,970×2,300	700×1,400×1,900	据付面積: 約▲35% 容積: 約▲45%
質量(kg)	880	500	約▲40%
発熱量(W)	500	420	約▲15%

(3) VCB“VF-D”

を搭載した。

スイッチギヤをコンパクトにすることで、省資源化及び省スペース化を図ることができるが、一方でスイッチギヤの主回路機器及び補助回路機器を収納するスペースも減少し、メンテナンス性を損なうおそれがあった。この問題を解決するために、MS-VCにはマルチリレーMP及びZCT一体型のワイドレンジCTを標準搭載することで、メンテナンス性を損なわずに機器類を収納するスペースを縮小することを実現した。

さらにスイッチギヤを構成する主要な主回路機器であるVCBには、有害6物質^(注1)を使用していないことを特長とする当社製VCB“VF-D”を標準搭載し、環境保全に配慮した。

(注1) 水銀、カドミウム、鉛、六価クロム、ポリ臭化ビフェニル(PBB)、ポリ臭化ジフェニルエーテル(PBDE)

3. MS-VCのキーコンポーネント

3.1 マルチリレーMP⁽²⁾⁽³⁾

MPは保護、計測、制御機能を一体化したデジタル式のマルチリレーである。

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

また制御系の収納スペースを縮小し、コンパクト化した。盤内配線及び補助リレーやタイマなどの制御機器の削減によって定期点検時の点検時間が削減できるため、メンテナンス費用も削減可能である。

ラダーシーケンス機能のほかにも、MPには保守点検時に遮断器との“保護運動”及びリレー機能の“保護特性”等の試験を自動で行うことのできる自動点検機能を備えており、保守点検時における停電時間の短縮及び保守点検の省力化によるLCC低減も可能である。

MPは従来品に比べて視野角度を拡大したカラー液晶画面を採用することで、上下方向の視野角が従来品と比較して2倍以上に拡大した。また、図3で示すように、通常運転時の背景色を青色、文字色を白色で表示することによって、視認性を向上させた。加えて、MPは凸形の表示灯を採用することによって、スイッチギヤを横方向から確認した場合でもMPの表示灯を容易に確認することを可能とした。故障発生時には、表示灯(Fault)の点滅に合わせて液晶の表示画面を赤色(重故障発生時)又は橙色(軽故障発生時)で点滅させることで保守点検者が故障に気付きやすくなった。このように視認性に優れるMPを標準搭載することで、MS-VCのメンテナンス性を向上させた。

3.2 ZCT一体型ワイドレンジCT

ZCT一体型ワイドレンジCTとは2個のワイドレンジCT(変流器)と1個のZCT(零相変流器)を一体化したCTである。このCTはMPと組み合わせて使用することを前提と

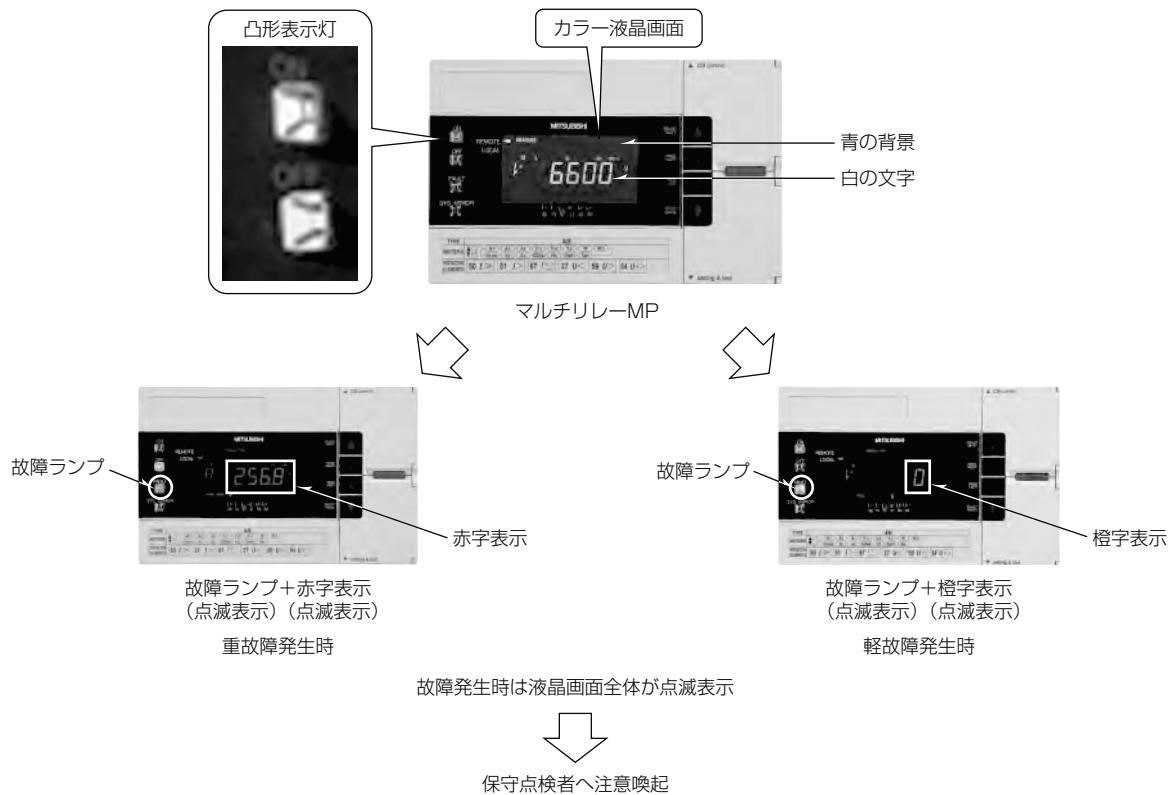


図3. マルチリレーMP(視認性向上対策)

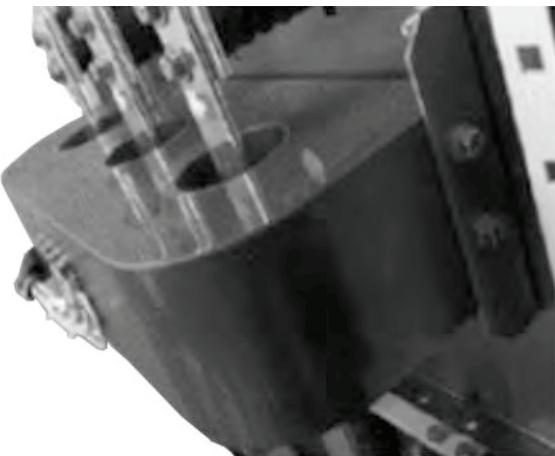


図4. ZCT一体型ワイドレンジCT

し、定格二次負担を最適な5VAとした。その結果、CTの鉄心の断面積を削減することが可能となり、CTの省資源化を実現した。

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

また、図2で示すように、MS-VCはZCT一体型ワイドレンジCTの配置と導体形状を工夫することで、従来機種のMSに比べスイッチギヤに用いる導体の長さを短くしている。このことによって、MS-VCをコンパクト化する際に生じる主回路機器収納スペースの縮小化の問題を解決した。加えて、導体配置及び機器配置の最適化によって、導体の長さを短くすることで、スイッチギヤ導体部の抵抗が小さくなり、スイッチギヤの発熱量を15%抑制することが可能となった。

4. MS-VCの特長

MS-VCは仕様の限定と3章で述べたキーコンポーネントの適用によって従来機種のMSに比較して、次の特長を持つ。

- (1) 据付面積約35%、容積約45%削減による柔軟な更新計画対応及び電気室の省スペース化を実現
- (2) 高さを1,900mmとして、スイッチギヤの上部に配置している機器類にアクセスする際の脚立作業を不要化することによる安全性の向上かつ施工性・保守性の向上
- (3) コンパクト化によってエレベーターを用いた搬入が可能
- (4) 軽量化によってハンドリフト、フォークリフト等を使用した移動が容易
- (5) 主母線回路を構成する機器及び導体の最適配置によって発熱量を15%抑制

5. む す び

省資源、省スペース及び省力化に加えて環境負荷低減及びLCC低減に貢献可能な気中絶縁スイッチギヤMS-VCについて述べた。

当社は、本稿で述べたMS-VCを構成するキーコンポーネントで用いられた技術を発展させ、更に環境負荷低減及びLCC低減可能なスイッチギヤを開発することで、社会に貢献していく所存である。

参 考 文 献

- (1) コンパクト形7.2kV気中絶縁スイッチギヤ、三菱電機技報、87, No.1, 53 (2013)
- (2) 配電盤、コントロールセンター用電子機器“MP23”“EMC-B”的視認性向上、三菱電機技報、87, No.1, 12 (2013)
- (3) 小鶴 進, ほか:受配電設備の最新技術、三菱電機技報、85, No.10, 593~596 (2011)

24/36kV, 72/84kVタンク形真空遮断器

吉田 晓* 高橋和希**
三木真一* 有岡正博*
矢野知孝**

24/36kV, 72/84kV Dead Tank Type Vacuum Circuit Breaker

Satoru Yoshida, Shinichi Miki, Tomotaka Yano, Kazuki Takahashi, Masahiro Arioka

要 旨

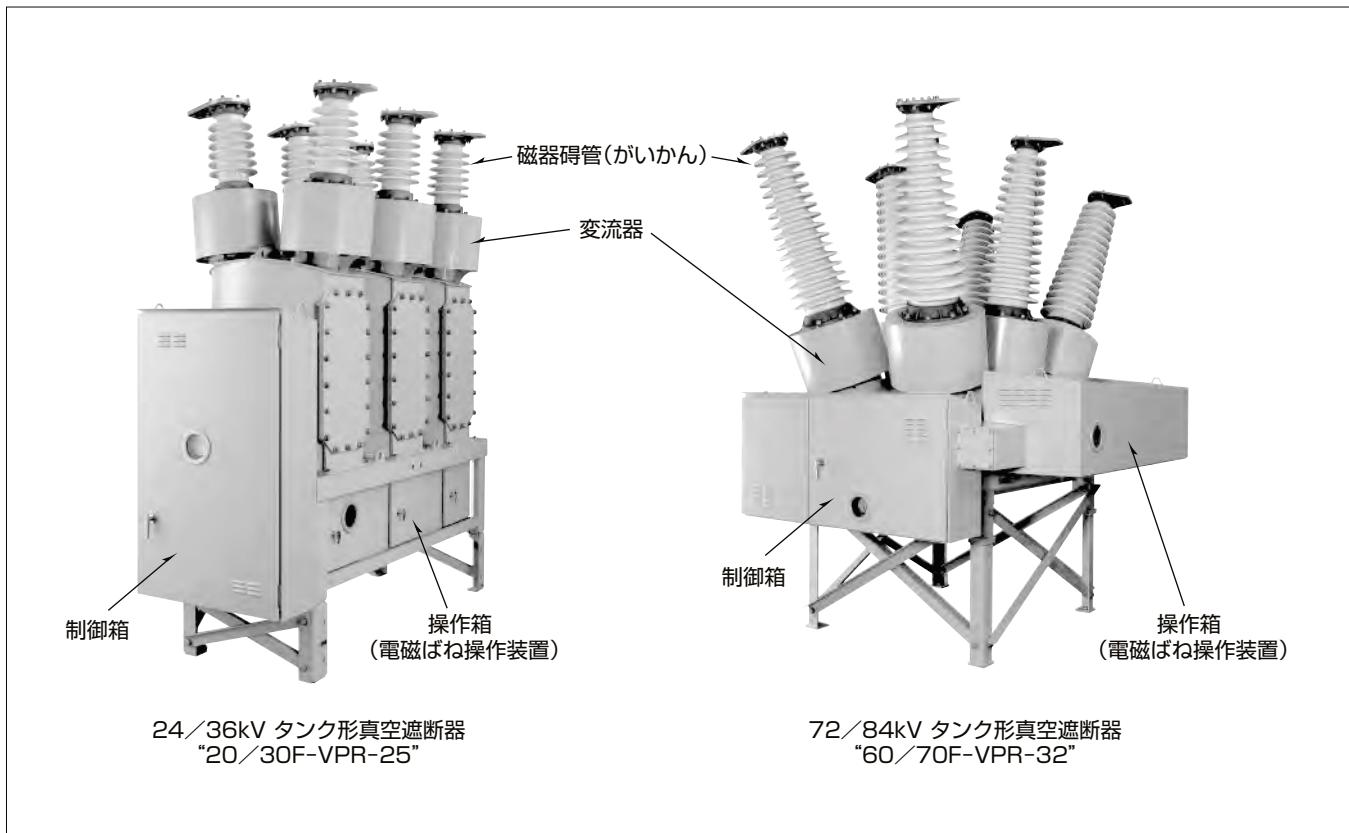
近年の定格電圧72/84kV以下の国内・海外の遮断器市場で、既設油遮断器・ガス遮断器の更新需要に対し、保守の省力化・保守時間の短縮を目的に多回数開閉が可能で、タンク開放前のガス回収が不要なSF₆ガスレスの真空遮断器が求められている⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾。

三菱電機では、2000年以降、絶縁媒体として低圧力のドライエアを用い、操作装置に電磁操作方式を採用した真空遮断器を搭載したC-GIS(Cubicle-type Gas Insulated Switchgear)を順次製品化し、2006年までに72kVクラス以下のC-GISの製品化を完了している。このC-GISで培った低圧力ドライエア絶縁、電磁操作方式を更に発展させ、

84kVクラスへの低圧力ドライエアによる複合絶縁の適用、直線駆動方式による電磁ばね操作装置を搭載した24/36kV, 72/84kVタンク形真空遮断器を製品化した。

これによって、既設遮断器に搭載されているばね操作装置では不可欠であった注油と損耗部品の交換を不要とした。また、脱SF₆化によって保守・点検・廃棄時のガス回収・管理が不要となり、開閉寿命の多回数化、保守作業の低減と長寿命化を実現した。

本稿では、24/36kV, 72/84kVタンク形真空遮断器の全体構造及び要素技術である真空バルブ、低圧力ドライエアによる複合絶縁、電磁ばね操作装置について述べる。



タンク形真空遮断器“20/30F-VPR-25”及び“60/70F-VPR-32”

24/36kVタンク形真空遮断器“20/30F-VPR-25”及び72/84kVタンク形真空遮断器“60/70F-VPR-32”の外観を示す。タンク内部は低圧力のドライエアを充填し、遮断部は縦磁界方式の真空バルブ、操作装置は直線駆動方式の電磁ばね操作装置を採用している。

1. まえがき

近年の国内・海外遮断器市場では、保守の省力化・保守時間の短縮が求められている。当社では、絶縁媒体にドライエア、遮断器の操作装置に永久磁石と電磁コイルを用いた電磁ばね操作方式を採用した24/36kV, 72/84kVタンク形真空遮断器を開発して製品化した。製品の特長を示す。

(1) 脱SF₆ガス化

地球温暖化係数の高いSF₆ガスを使用せず、低圧力ドライエア絶縁と固体絶縁物（エポキシ注型絶縁物）を併用した複合絶縁の採用と真空中の主接点で故障電流を遮断する真空バルブを用いることで、脱SF₆ガス化を達成した。

(2) 保守・点検の省力化

真空バルブの可動導体と電磁ばね操作装置の可動軸を直線上に配置し直線駆動することで回転軸受を削減した。また電磁ばね操作装置内に設けた永久磁石の磁束によって可動鉄心を閉極位置に保持することで機械式ラッチ等の損耗部品をなくした。これによって、既設遮断器に搭載されているばね操作装置では不可欠であった注油と損耗部品の交換を不要とした。

2. 定格及び構造

24/36kV, 72/84kVタンク形真空遮断器の定格を表1に示す。また外観と内部構造を図1, 図2, 図3に示す。この製品は既設ガス遮断器及び油遮断器のリプレースを考慮した構造としており、タンク、真空バルブ、変流器、電

表1. 24/36kV, 72/84kVタンク形真空遮断器の定格

定格電圧 (kV)	24	36	72	84
定格電流 (A)	600, 1,200		800, 1,200	
定格雷インパルス耐電圧 (kV)	150	200	350	400
定格商用周波耐電圧 (kV)	50	70	140	160
定格遮断電流 (kA)	12.5/20/25		20/25/31.5	
絶縁媒体	ドライエア			
定格ガス圧力 (MPa-g)	0.15 at20°C			
動作責務	A/B/R			
準拠規格	JEC-2300-2010			

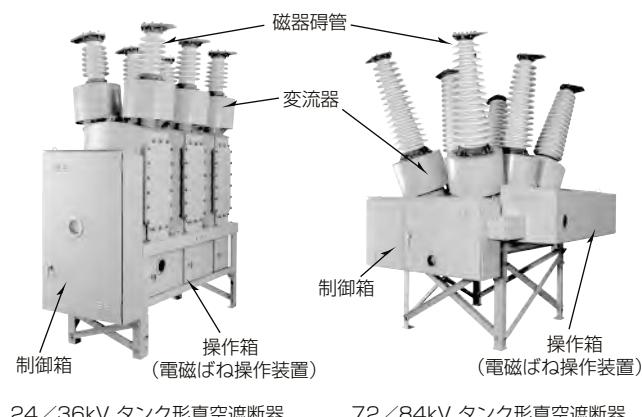


図1. 24/36kV, 72/84kVタンク形真空遮断器

磁ばね操作装置、磁器碍管で構成している。また、タンク内部に絶縁媒体として封入するドライエアの定格ガス圧力を低圧力（定格ガス圧力：0.15MPa-g）として、万一のガス圧力低下時（0.00MPa-g）でも常規使用電圧に耐えるものとした。

3. 要素技術

3.1 真空バルブ

この製品の真空バルブの電極は、高い耐電圧性能を持ち、大きな遮断電流に対応できる縦磁界電極を採用している。図4に72/84kVタンク形真空遮断器用真空バルブの縦磁界電極構造を示す。

縦磁界電極は対向する接点の背面に、電流を円周方向に流すコイルを持っている。円周方向に電流を流すことでアークと平行に磁界が発生するため、アークを構成する電子及び荷電粒子が接点面全体でらせん運動を行いながら拡散する。縦磁界方式の真空アークは磁束密度の高い箇所に拡

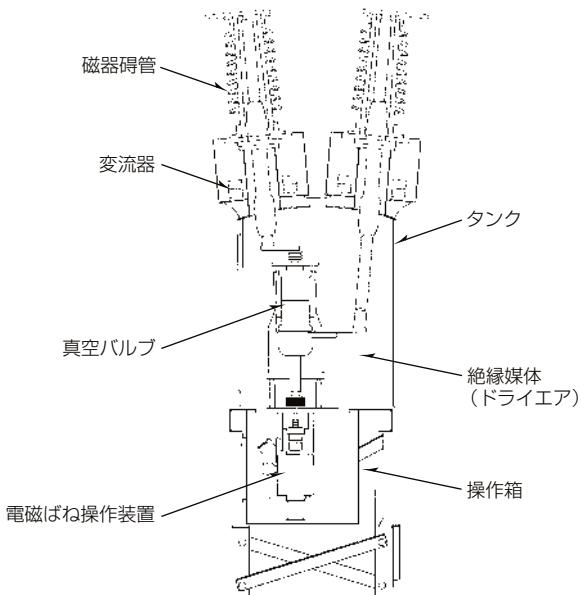


図2. 24/36kVタンク形真空遮断器の断面図

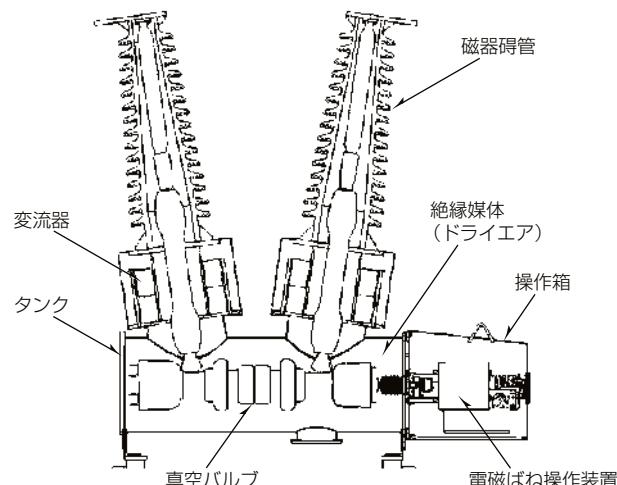


図3. 72/84kVタンク形真空遮断器の断面図

散する。磁束密度の高い面積が広いほど、真空アーケは広く拡散し、接点表面の温度が低くなるため、遮断性能が高くなる。そのため縦磁界電極の接点表面の磁束密度分布を知ることは重要である。

先に述べたとおり、遮断性能を向上させるには、磁束密度の高い面積を広く得る必要があるため、接点背面のコイル部の形状をパラメータとして電磁界解析を用い電極構造の最適化検討を行った。図5に、今回採用した電極の接点表面の磁束密度分布を示す。図の結果から、接点表面全体に磁束密度の高い領域が広がっていることが分かる。そして、定格電圧72/84kV用に必要な高磁束密度領域が確保できる電極構造を実現した。

3.2 低ガス圧力ドライエアによる複合絶縁

SF₆ガスは非常に高い絶縁性能と化学的安定性を持つ不燃性のガスであり、電力機器の絶縁媒体として広く使われている。しかし、地球温暖化係数が二酸化炭素の22,800倍と高く、SF₆ガスの排出量の削減が大きな課題となっている。SF₆ガスの代替ガスとしては、ドライエア、N₂、CH₄等が有望な絶縁媒体として研究されているが、今回の製品では地球温暖化係数がゼロであるドライエアを採用し、固体絶縁と合わせた複合絶縁を適用している。複合絶縁では、保守・点検・廃棄時のSF₆ガス回収・温室効果ガスの管理が不要であり各作業の省力化が可能である。また酸欠のおそれがなく、作業安全性も向上する。図6に、絶縁性能の

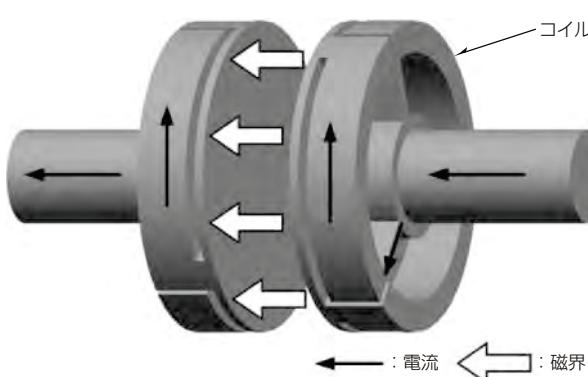


図4. 縦磁界電極構造

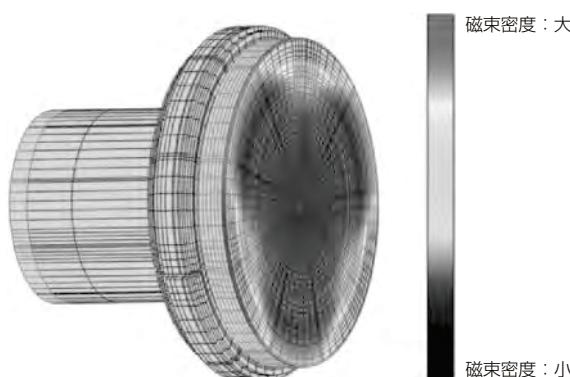


図5. 接点表面の磁束密度分布

ガス圧力依存性を示す。

図6に示すように、大気圧(0 MPa-g)でドライエアの絶縁性能は、SF₆ガスの絶縁性能のわずか1/3程度である。ドライエア単独でSF₆ガスと同等の必要な絶縁性能を確保するためにはガス圧力を高める必要があるが、次の問題がある。

- (1) 何らかの問題でガス圧力が低下した場合の絶縁性能低下が大きい。
- (2) 高ガス圧力に耐える圧力タンクが必要(質量が増大)。
- (3) 真空バルブ可動軸のガスシール構造が複雑化する(遮断器の大型化/ガスシール部の信頼性低下)。

この製品では、ドライエア絶縁と固体絶縁を合わせた複合絶縁を採用することによってドライエア中の最大電界値を半減させ、ドライエア圧力の低ガス圧力化を実現した。図7に複合絶縁の適用例、図8にガス絶縁構造と複合絶縁構造での磁気碍管周辺の等電位分布の比較を示す。

3.3 電磁ばね操作装置

表2に一般的な遮断器における部位別障害件数を示す。この表から遮断器における障害の65%は操作装置部で発生しており、遮断器の保守・点検作業の効率化には、操作装置部の信頼性向上が重要であることが分かる。

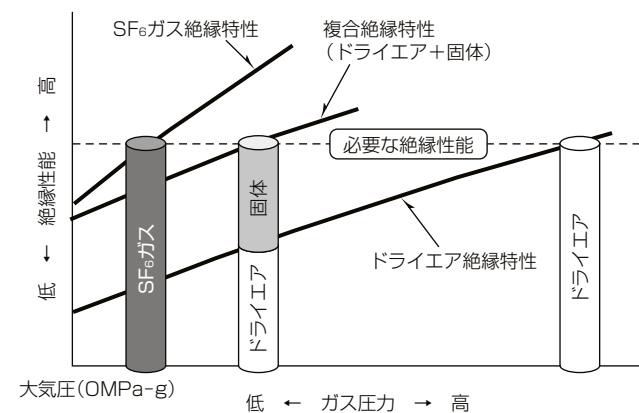


図6. 絶縁性能のガス圧力依存性

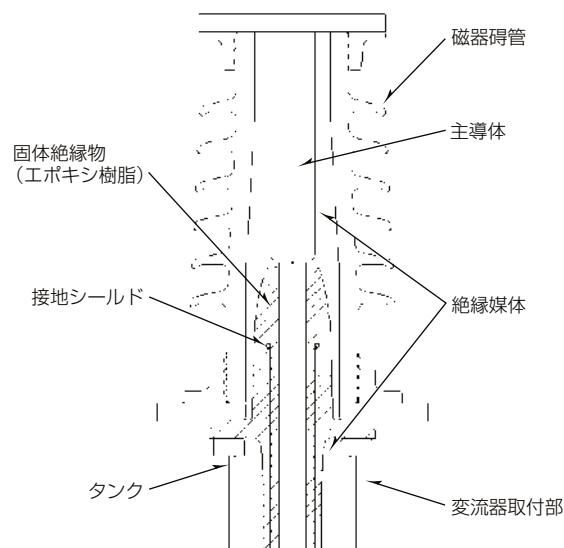


図7. 複合絶縁の適用例

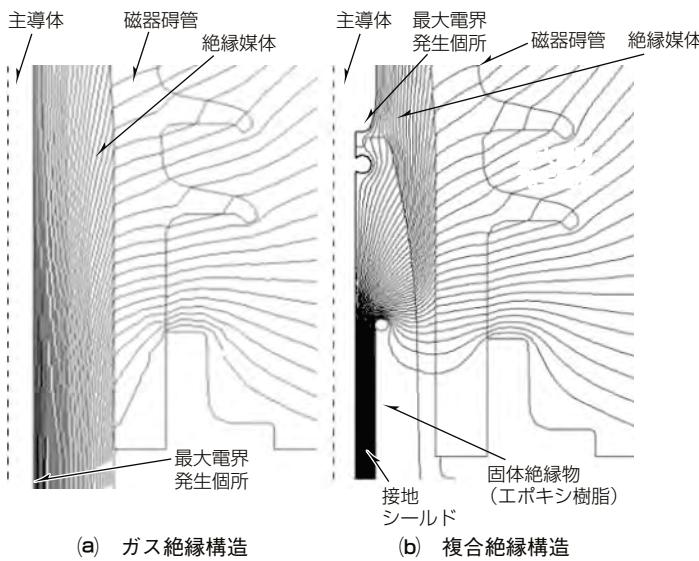


図8. 磁器碍管周辺の等電位分布

表2. 遮断器の部位別障害件数(総数519件)⁽³⁾

部位	操作装置	本体	その他
件数	337	125	57
割合	65%	24%	11%

この製品では、真空バルブの可動導体と電磁ばね操作装置の可動軸を直線上に配置し直線駆動することで回転軸受を削減した。また電磁ばね操作装置内に設けた永久磁石の磁束によって可動鉄心を閉極位置に保持することで機械式ラッチなどの損耗部品を削減し、信頼性の向上による保守作業の低減と長寿命化を実現した。

図9に電磁ばね操作装置の外観を、図10に電磁ばね操作装置の開極動作を示す。電磁操作装置は、可動鉄心、固定鉄心、可動鉄心を取り囲む開／閉極コイル、及び固定鉄心上の永久磁石によって構成している。開／閉極コイルへの通電によって発生する電磁力と開放ばね力及び接圧ばね力によって開／閉極操作を行う。

図10(a)は閉極状態を示しており、電磁操作装置内に設けた永久磁石の磁束によって可動鉄心を閉極位置に保持している。従来のばね操作装置で保持に必要であった機械式ラッチなどの損耗部品は不要である。同図(b)は開極コイルに制御基板から通電し、永久磁石の磁束を打ち消す方向に磁束を発生させた状態を示している。永久磁石による保持力が開放ばね力と接圧ばね力の合力より低下すると、可動鉄心は開極動作を開始する。開極動作は直線運動だけであり、歯車や回転軸受は使用していない。同図(c)は開極状態を示している。可動鉄心は固定鉄心の開極側に達しており、開極動作完了後も開放ばね力によって開極状態に保持されている。閉極動作時は閉極コイルに制御基板から通電し、可動鉄心を閉極側に吸引する磁束を発生させ、可動鉄心を駆動させる。

このように、構造・動作ともにシンプルな電磁ばね操作装置を実現してこの製品に適用した。

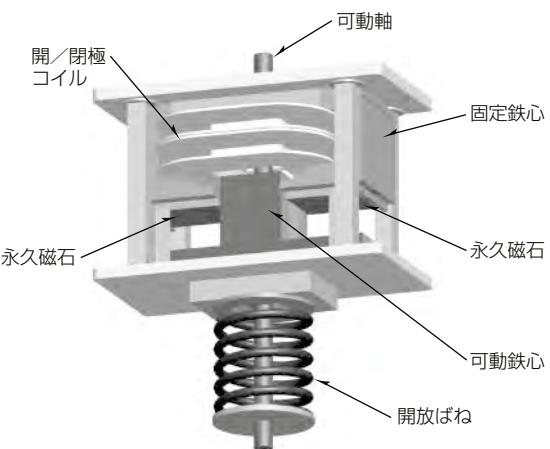


図9. 電磁ばね操作装置(開極状態)

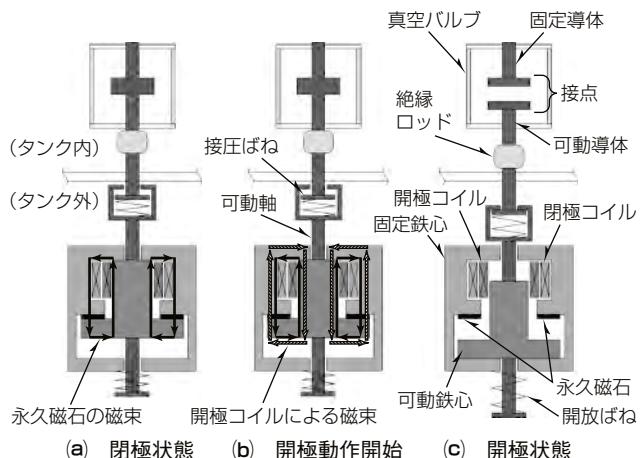


図10. 電磁ばね操作装置の開極動作

4. む す び

24／36kV, 72／84kVタンク形真空遮断器の定格・構造、及び要素技術である真空バルブ・低圧力ドライエアによる複合絶縁・直線駆動方式による電磁ばね操作装置について述べた。これらの技術の適用によって、生産から廃却まで脱SF₆ガス化を図り、保守・点検作業の省力化が可能な信頼性の高いタンク形真空遮断器を製品化した。

参 考 文 献

- (1) 高橋和希, ほか: 72／84kVタンク形真空遮断器の開発, 電気評論, 98, No.4, 61～63 (2013)
- (2) 矢野知孝, ほか: 24／36kVタンク形真空遮断器の開発, 電気評論, 99, No.4, 71～73 (2014)
- (3) 密封形変電設備の劣化保全技術高度化, 電気協同研究, 61, No.3 (2006)
- (4) 矢野知孝, ほか: 7.2～72kV脱SF₆ガス絶縁スイッチギヤの最新技術, 三菱電機技報, 85, No.10, 597～600 (2011)

海外向け12kV真空遮断器“10-VPR-Dシリーズ”

後藤圭二*

12kV Vacuum Circuit Breaker "10-VPR-D Series" for Overseas

Keiji Goto

要 旨

真空遮断器(Vacuum Circuit Breaker: VCB)は、小型、保守の容易性等の多くの特長から幅広く適用されている。VCBには操作性、信頼性、安全性等従来求められていた基本性能に加え、環境負荷低減、ライフサイクルコスト(LCC)削減等が求められている。また近年、遮断器を収納するスイッチギヤの国際規格IEC62271-200で、内部アーキ試験が拡充、規定化されており、今まで以上に安全に配慮した構造が求められる。

このような背景の中、環境負荷低減、安全性、保守・点検の省力化など多様化する顧客ニーズに対応した海外向け12kV用真空遮断器“10-VPR-32D/40D”及びガス遮断器(Gas Circuit Breaker: GCB)更新用真空遮断器“10-VPR-40D(GV)”を開発した。

それらの特長は次のとおりである。

(1) 環境負荷低減の追求

有害6物質の不使用及び真空バルブの小型化・省力化

(2) 安全性の追求

盤扉を閉めた状態でVCBの移動が可能な外部引出操作方式、主回路充電部の露出を極小化した絶縁モールド構造及び難燃性樹脂適用による類焼・延焼回避

(3) 保守・点検省力化の追求

長寿命グリースや無注油軸受適用による注油間隔の延長(3年→6年)

(4) オプションメニューの充実化

アーシングスイッチやキーインターロックの安全関連機器の充実

(5) ガス遮断器(GCB)互換機への拡充

GCB更新用として10-VPR-40Dを母体としたレトロフィットVCBの拡充

(2) 安全性への追求

- 盤扉を閉めた状態でVCBの移動が可能な外部引出操作方式
- 主回路充電部の露出を極小化した絶縁モールド構造
- 難燃性樹脂適用による類焼・延焼回避

(1) 環境負荷低減の追求

- 有害6物質の不使用
- 真空バルブの小型化・省力化

(3) 保守・点検省力化への追求

- 長寿命グリースや無注油軸受適用による注油間隔の延長(3年→6年)

(5) GCB互換機への拡充

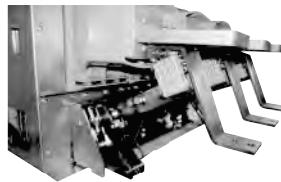
- 10-VPR-40Dを母体としたレトロフィットVCBの拡充



10-VPR-Dシリーズ

(4) オプションメニューの充実化

- アーシングスイッチやキーインターロックの安全関連機器の充実



海外向け12kV用VCB“10-VPR-Dシリーズ”の特長

海外向け12kV用真空遮断器“10-VPR-Dシリーズ”は、環境負荷低減、安全性、保守・点検省力化、オプションメニューなど多種多様な顧客ニーズに対応した製品である。さらにSF₆ガスを遮断媒体とするガス遮断器の更新用として“10-VPR-D”を母体とした新たな更新用GVレトロフィットVCB“10-VPR-40D(GV)”の拡充を行い、環境に配慮したVCB化へのニーズにも対応している。

1. まえがき

遮断器は負荷電流を通電させるとともに、回路、負荷機器の故障時にはその定格電流から数十倍の電流を安全に投入及び遮断できる性能を持っており、電力エネルギーの安定供給に欠かすことができない開閉器である。

遮断器の消弧媒体にSF₆ガス、油、真空などを用いた様々な遮断器が存在するが、中でも真空バルブを用いた真空遮断器(VCB)は、絶縁性、遮断性、保守性・安全性が高いなどといった多くの特長から、特高電圧まで幅広い分野で適用されている。また1997年の地球温暖化防止京都会議以降、SF₆ガスが温暖化ガスに指定されたことから、脱SF₆ガス化が望まれており、SF₆ガス遮断器(GCB)からVCBへの切換えの動きも加速しており、VCBの適用範囲が拡大している。

VCBには操作性、信頼性、安全性等従来求められていた基本性能に加え、地球環境保護及び低炭素化社会への関心の高まりなどによって環境負荷低減、LCC削減等が求められている。また近年、遮断器を収納するスイッチギヤの国際規格IEC62271-200に、内部アーク試験が拡充、規定化されており、VCBでも今まで以上に安全に配慮した構造が求められている⁽¹⁾。

本稿では近年の遮断器を取り巻く環境、技術動向とそれに対応した遮断器の一例として海外向け12kV用真空遮断器10-VPR-32D/40Dとその遮断器を母体としたGCB更新用真空遮断器10-VPR-40D(GV)について述べる。

2. 10-VPR-32D/40Dの定格事項

表1に10-VPR-32D/40Dの定格事項、図1にその外観を示す。

表1. 10-VPR-32D/40Dの定格事項

形名	10-VPR-32D	10-VPR-40D
準拠規格	JEC2300, IEC62271-100	
定格電圧 (kV)	12	
定格遮断電流 (kA)	31.5	40
定格電流 (A)	630/1,250, 2,000, 3,000/3,150	
定格周波数 (Hz)	50/60	



図1. 10-VPR-32D/40D

3. 環境負荷低減の追求

欧州でのRoHS(Restriction of the use of certain hazardous Substances)指令・REACH(Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemical substances)規制施行等の動きに対応して、特定6物質を使用しない定格電圧12kVの新形VCBを開発した。ボルト、ピン、ねじ類の亜鉛めっきに使用する六価クロメート処理を廃止し、三価クロメート処理を採用した。採用に当たっては、耐食性など各種評価試験を実施し、長期信頼性を確認した。

また主要樹脂部品に使用材料を表示することでリサイクル、廃棄時の分別容易化への配慮も行っている。

図2にVCBに使用する真空バルブ(12kV・40kA)小型化の変遷を示す。この真空バルブは、銅系接点を適用し、添加元素の効果による投入・通電時の接点溶着引外し力の軽減、耐電圧性能及び遮断性能の向上、アーク挙動解析に基づく最適な電極構造の開発によって小型・低操作力化を実現させてきている。

4. 安全性の追求

スイッチギヤに要求される安全対策として規格IEC62271-200に内部アーク事故を模擬した試験、評価方法が規定化され、操作・作業者への安全を配慮している。それに対応した外部引出操作方式を製品化し、スイッチギヤ扉を閉めた状態で挿入/引出ハンドルを操作することでVCBを試験位置から接続位置に移動することを可能にしている(図3)。

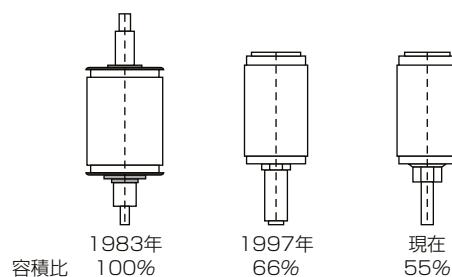


図2. 12kV・40kA用真空バルブ小型化の変遷

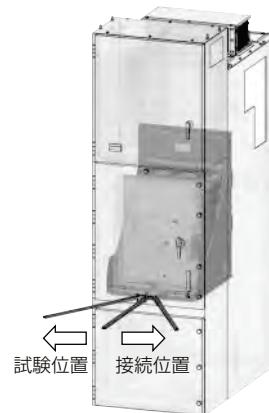


図3. 外部引出操作方式

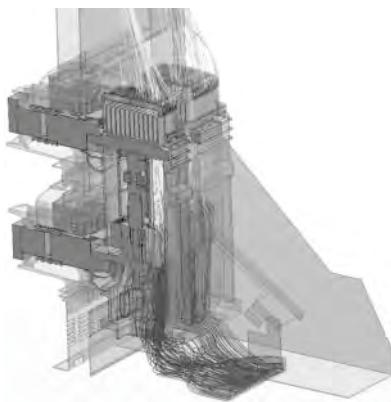


図4. 熱流体解析結果

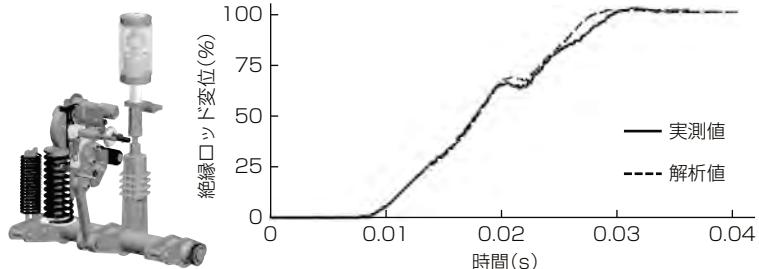


図5. 遮断器の操作機構と三次元機構シミュレーション結果

また主回路充電部への小動物進入による短絡事故防止のため、充電露出部を極小化した筒形状の絶縁モールド構造を採用し、安全性を追求するとともに粉塵、水滴が内部に入りにくい構造として耐環境性にも配慮している。さらに熱流体解析を行い、筒形状内部の熱を効率良く放熱する形状にし、定格電流3,150Aまで自冷式を実現した(三菱電機評価基準に基づく)。図4に熱流体解析結果の一例を示す。

その他、保護カバーなど充電部付近に使用している主要絶縁物に難燃性UL94(V-0)グレードの樹脂を採用することで万一の類焼、延焼を回避することにも配慮している。

5. 保守・点検省力化の追求

グリースの経年的な劣化によって、遮断器の操作機構が駆動する際、動作不具合を起こすことがある。そのため、遮断器の保守・点検として操作機構などの摺動(しゅうどう)部への注油が定期的に必要である。しかし、近年LCC削減を目的とした保守・点検の効率化が求められている。この要求に対し、図5に示す三次元機構シミュレーションによる動作信頼性の向上とともに、長寿命グリースの適用や微小力で駆動する部位の軸受にグリースの塗布が不要なPTFE(ポリテトラフルオロエチレン)をベースとした無注油軸受を採用することで、安定した動作特性を実現し、注油間隔を従来の3年から6年に延長した。

6. オプションメニューの充実化

キーインターロック、引外しコイルの二重化、断線監視、アーシングスイッチ(ES)など多くの安全関連機器や補助スイッチ増設などオプションメニューの充実を図り、多種多様なニーズに対応している。特にアーシングスイッチは海外市場からの要求が増えつつあり、保守・点検時に容易に安全が確保できる安全関連機器として多く使用されている。表2に10-VPR-D用アーシングスイッチの定格事項、図6にその外観を示す。

VCBが試験位置状態ではじめてアーシングスイッチが開閉できるインターロック機能も持っており、配電盤の前

表2. アーシングスイッチの定格事項

形名	10-ESV-M40D
準拠規格	IEC62271-102
定格電圧 (kV)	12/15
定格周波数 (Hz)	50/60
定格投入電流 (kA _p)	104
定格短時間耐電流 (kA)	40(3s)
短絡投入回数 (回)	5(クラス E2)

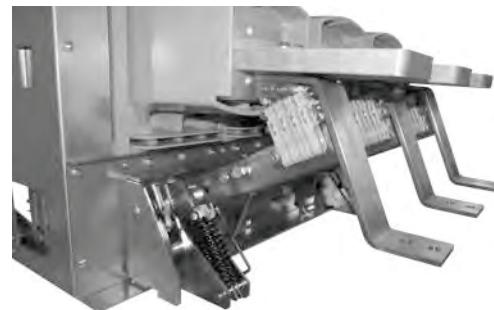


図6. アーシングスイッチ

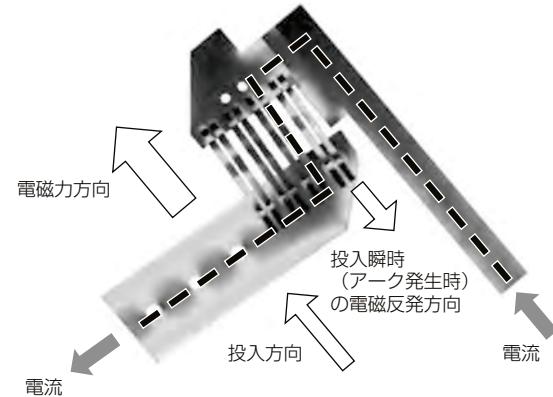


図7. 電磁力解析結果

面から付属の操作ハンドルで安全に入切操作ができる。また短絡電流を投入通電する責務があり、投入時のアーク電磁反発に打ち勝つよう投入方向と同じ方向に電磁力を発生させるよう通電経路を工夫し、図7に示す三次元の電磁力解析による最適配置検討を行い、短絡電流を連続5回投入できる最高クラスE2を取得した。

7. GCB互換機への拡充

GCBは、1970年代頃の遮断器として主流であり、現在、30年以上経過していることから更新時期にきている。しか

表3. 10-VPR-40D(GV)形VCBの定格事項

形名	10-SFG-40 (更新対象)	10-VPR-40D (GV) (更新用VCB)
準拠規格	IEC56 JEC2300	IEC62271-100 JEC2300
定格電圧 (kV)	12	
定格遮断電流 (kA)	40	
定格電流 (A)	630/1,250, 2,000, 3,000/3,150	
定格周波数 (Hz)	50/60	



図8. 10-VPR-40D(GV)形VCB

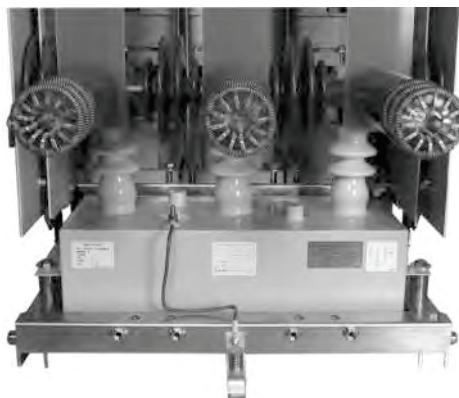


図9. サージ吸収装置

保護するためのサージ吸収装置(図9)をVCBに搭載したタイプもあり、サージ抑制が必要な回路に対しても、盤の改造なく、更新が容易にできるよう配慮している。

(2) 保守費用の削減

GCBでのガス処理や遮断部の清掃といった保守項目が不要となり、保守費用の削減に貢献できる。

(3) 環境負荷低減への貢献

GCBの消弧媒体である温暖化係数が高いSF₆ガスが不要となり、環境保全へ貢献できる。

8. むすび

受配電設備の重要な役割を担う遮断器に対する安全性、信頼性向上、環境負荷低減、LCC削減などの社会的ニーズは、グローバル市場の中で、ますます重要性が高まると考えられ、今回、そのニーズに対応した海外向け12kV真空遮断器10-VPR-32D/40D及びGCB更新用真空遮断器10-VPR-40D(GV)について述べた。今後も国内外問わず顧客ニーズは多様化され、高度化されるものと考えられる。電気設備に対する一層の省メンテナンス化、環境負荷低減など社会に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 小鶴 進, ほか:受配電設備の最新技術, 三菱電機技報, 85, No.10, 593~596 (2011)

し環境負荷低減の時代の流れやSF₆ガス処理や遮断部の清掃といった保守・点検費用の問題もあり、VCBへの切換えが望まれている。

そこで10-VPR-32D/40Dを母体としたレトロフィットVCB(10-VPR-40D(GV)を開発した。

7.1 定格事項

表3に10-VPR-40D(GV)の定格事項、図8にその外観を示す。

7.2 特長

10-VPR-40D(GV)は10-VPR-Dの特長に加え、次の特長がある。

(1) 互換性を確保した更新時間の大幅な削減

更新対象のGCBと同じ接続方式を実現することで、遮断器の抜き差しだけで更新が可能となり、長い停電時間が不要となる。さらにVCBの開閉サージを抑制し、負荷を

真空開閉器用真空バルブ

古賀博美*

Vacuum Switch Tubes for Vacuum Switches

Hiromi Koga

要 旨

三菱電機の真空開閉器用真空バルブは、1962年に当社で基礎研究を開始し、1965年に6.6kVのガラス容器タイプの真空バルブを開発した。1965年に真空バルブの1号機を製品化して以来、接点材料の開発、接点構造の開発及び構造の最適化設計によって真空バルブの小型化、高性能化を進めてきた結果、その用途は多方面に拡大し、国内外で幅広く使用されている。

真空バルブの用途としては、次のものがある。

- ・真空遮断器用
- ・真空コンタクタ用
- ・真空負荷開閉器用
- ・負荷時タップ切換器用、自動電圧調整器用

・鉄道車両搭載用(多頻度開閉遮断器)

・オートリクローザ用

当社では、市場ニーズに対応して、接点材料技術やアーク制御技術、絶縁技術などの最先端技術を駆使し、コンパクトで軽量な真空バルブを製品化しており、優れた製造プロセスと50年近くに及ぶ経験によって、高い信頼性を実現している。真空バルブのラインアップとしては、定格電圧1.5~84kV、定格電流最大4,000A、定格遮断電流最大63kAに対応した製品をそろえており、また、開閉寿命、多数回遮断寿命、低サージ性能、低操作力の各性能に優れた数々の特長を持つ製品群を用意している。



コンパクトで軽量

接点材料技術、アーク制御技術、絶縁技術などを駆使し、コンパクトで軽量な真空バルブを開発

高信頼性

優れた製造プロセスと50年近くに及ぶ豊富な経験によって高い信頼性を実現

幅広いラインアップ

定格電圧	1.5~84kV
定格電流	最大4,000A
定格遮断電流	最大63kA

真空バルブ

定格電圧1.5~84kV、定格電流最大4,000A、定格遮断電流最大63kAの幅広い定格の製品群をそろえており、国内の真空開閉器メーカーへもしくは欧米などの海外真空開閉器メーカーへの真空バルブ単品での販売、技術サポートにも力を入れている。

1. まえがき

電力の安定供給のため、発電所で作られた電気を需要家まで供給する回路網には、多くの開閉保護装置や開閉機器が組み込まれており、その役割は重要なものとなっている。

真空開閉器は、小型・軽量・高信頼性の特長によって早くから市場に受け入れられ、現在では、中電圧・高電圧の領域で最も適用されている。これら真空開閉器に搭載されている真空バルブは、国内では1960年代に製品化され市場に出荷された。

当社では、1962年に真空バルブの基礎研究を開始し、1965年に真空バルブの製品化に成功した。以来、真空バルブの小型化、高電圧化、大容量化技術を開発・製品化し、真空バルブを始め真空開閉器の適用拡大に貢献してきた。当社の真空バルブの累積生産本数は380万本を超えてい。

本稿では、今までの真空バルブの変遷、最新技術について述べる。

2. 真空バルブの概要

真空の絶縁耐力は、空気、SF₆ガス、絶縁油などの絶縁媒体よりも優れており、この真空が持つ高い絶縁耐力によって真空バルブはコンパクトになっている。また、真空中では電流遮断時の絶縁回復速度が速く、短いアーカ時間で大電流遮断が可能であり、アーカ電圧も低いため、電流遮断時の接点間のアーカエネルギーが小さくなり、接点消耗が少なく多数回の遮断が可能である。

図1に真空バルブの基本構造を示す。真空バルブは絶縁容器、フランジ、アーカシールド、ベローズ、固定電極棒、可動電極棒、及び接点などで構成されており、絶縁容器内は高真空に維持されている。接点は操作機構に接続された可動電極棒の動作によって、ベローズを介して真空密保持された状態で開閉動作するようになっている。接点の周囲にはアーカシールドが配置されており、電流遮断時に接点間で発生する金属蒸気を捕捉して絶縁容器内沿面の絶縁性能が損なわれないようになっている⁽¹⁾。

図2に当社製7.2kV-600A-12.5kA汎用遮断器用真空バ

ルブの小型化の変遷を示す。真空バルブの小型化は、遮断性能や耐電圧性能に優れた接点材料の開発とそれに適した接点構造の開発、真空中の絶縁破壊現象の研究、アーカ挙動観察や電磁界解析技術、製造プロセス技術等の技術開発によって実現してきており、約40年間で容積比にして6%にまで小型化されている。

3. 真空バルブの接点構造

当社では、真空バルブの接点構造として、平板接点構造、スパイラル接点構造及び縦磁界接点構造を採用している。

表1にそれぞれの接点構造について示す。真空バルブの電

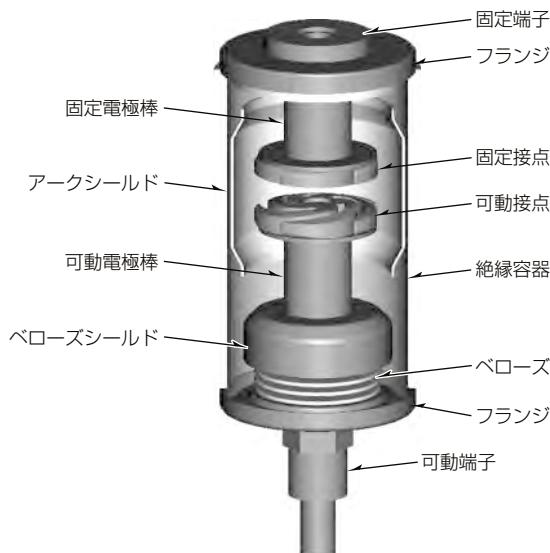


図1. 真空バルブの基本構造

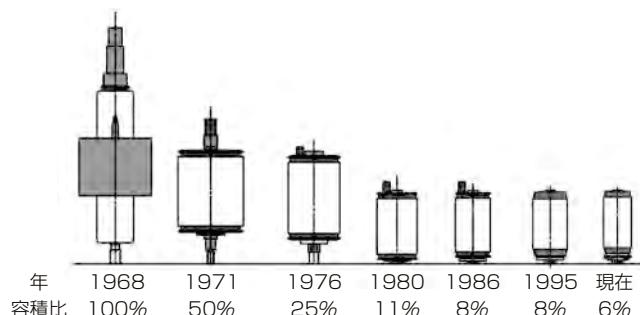


図2. 7.2kV-600A-12.5kA汎用遮断器用真空バルブの小型化の変遷

表1. 真空バルブの接点構造

接点構造	平板接点構造	スパイラル接点構造	縦磁界接点構造
形状			
適用例	<ul style="list-style-type: none"> 遮断電流12.5kA以下の遮断器及び負荷開閉器用 電磁接触器用 	<ul style="list-style-type: none"> 遮断電流16kA以上の遮断器及び負荷開閉器用 	<ul style="list-style-type: none"> 低サーボ遮断器用 大容量多数回遮断器用 高電圧遮断器用

流遮断時の現象は、電流通電状態から接点が開き始めると接点間にアーカーが発生し電流零点までアーカーが継続する。このアーカーによって、接点材料が溶融して金属蒸気が発生するが、電流零点を迎えるとこの金属蒸気は急速に拡散し接点間が高真空状態に戻り、接点間の絶縁耐力が回復して電流遮断が完了する。遮断電流が小さい場合は、アーカーは接点表面で自然に拡散するので平板接点構造でも電流遮断が可能であるが、遮断電流が大きくなるとアーカーは一部分に集中しやすくなり、接点の局部的な加熱によって多量の金属蒸気が発生して電流遮断が困難となる。電流遮断性能を向上させるためには、アーカーの挙動を制御して接点の局部的な加熱を抑制することが重要であり、この接点の局部的な加熱を抑制して遮断性能を向上させる接点構造として、スパイラル接点構造及び縦磁界接点構造がある。

3.1 スパイラル接点構造

スパイラル接点構造は、スパイラル接点を流れる電流によって発生する半径方向の磁界によってアーカーに対し円周方向に磁界が発生し、接点間のアーカーを接点表面上で円周方向に駆動回転させ、アーカーによる局部的な加熱を抑制する接点構造であり、主に銅クロム接点材料と組み合わせて適用している。電流遮断時のアーカーの挙動観測や磁界解析によってスパイラル接点構造の最適化を図っている。図3にスパイラル接点の磁界解析例を示す。図4に示すように、従来の接点中央部で接触する形状から接点外周部で接触する形状に改良することによって、接点が開極した直後から高速でアーカーを駆動回転させ(図5)、遮断性能を向上させた。これによって、接点径の小径化さらに真空バルブの小型化を実現した。この接点構造の改良によって遮断限界電流値を大幅に向上させ、24kV-25kAの真空バルブで、従来の接点構造の接点径に対して73%まで縮小することができた。また、アーカーの駆動速度を向上させた接点構造は、アーカー時間の短い領域の遮断性能にも優れており、真空バルブが持つ優れた高周波遮断性能と相まって、直流高速度真空遮断器のように、直流の事故電流を遮断する際、高周波電流を重畠させ強制的に電流零点を作りて短いアーカー時間で電流遮断する遮断器にも適用している。

3.2 縦磁界接点構造

アーカーと平行に外部から磁界を加えるとその磁界強度とともにアーカー電圧の異常な上昇をきたす電流値が増大し、遮断限界も同時に増大するという現象を発見し、当社が世界に先駆けて^(注1)24kV真空遮断器に適用した。その後、接点背部に構成したコイルによってアーカーに平行に磁界を加える縦磁界接点構造へと進化した。この縦磁界接点構造は、アーカーを接点表面全体に拡散させ接点の局部的な加熱を抑制することができ、アーカー電圧が非常に低いのが特長である。この接点構造は大電流の多数回遮断に優れており、大容量多数回遮断器用真空バルブの接点構造として採用して

いる。また、低サージ接点材料である銀系接点材料と縦磁界接点構造を組み合わせて、低サージ真空バルブを実現しており、7.2kV-40kAまでのシリーズ化を図っている。低サージ性と7.2kV-40kAの大電流遮断性能を両立させるために、接点材料に適した磁界強度と磁界分布の均一化を磁界解析(図6)及びアーカー挙動観測によって求めた。

縦磁界接点は、スパイラル接点に比べて接点表面部の絶縁性能に対する構造上の弱点が少なく72/84kVクラスの高電圧遮断器用の真空バルブにも適している。

(注1) 2014年7月4日現在、当社調べ

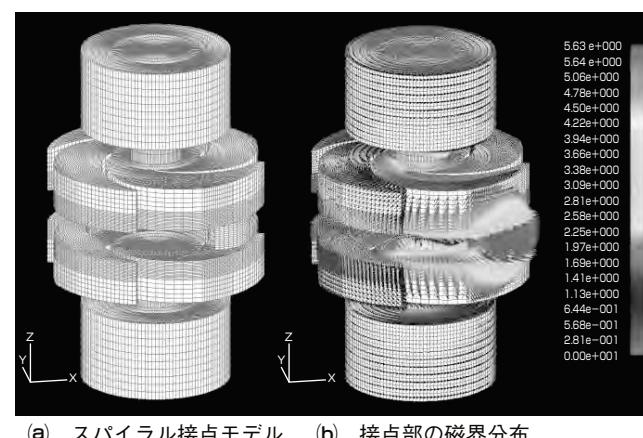


図3. スパイラル接点の磁界解析例

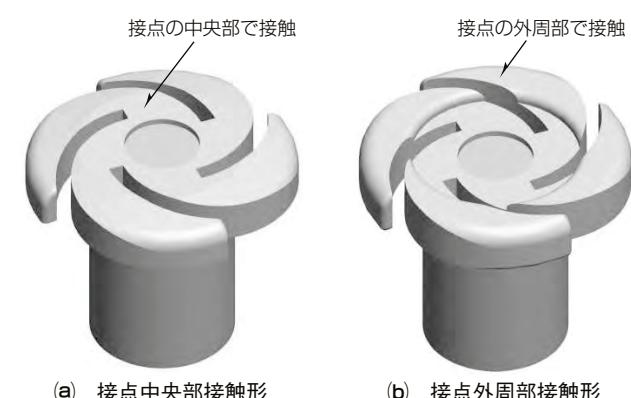


図4. スパイラル接点構造

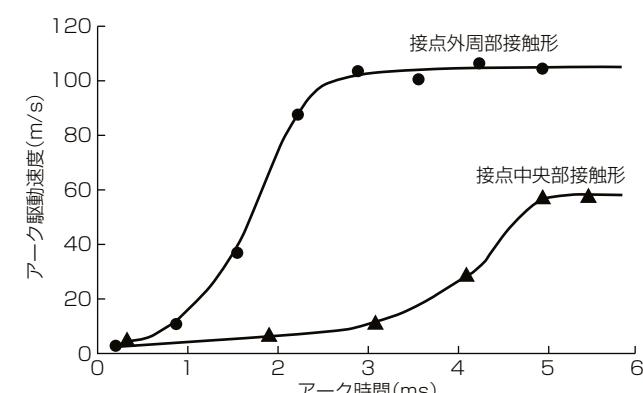
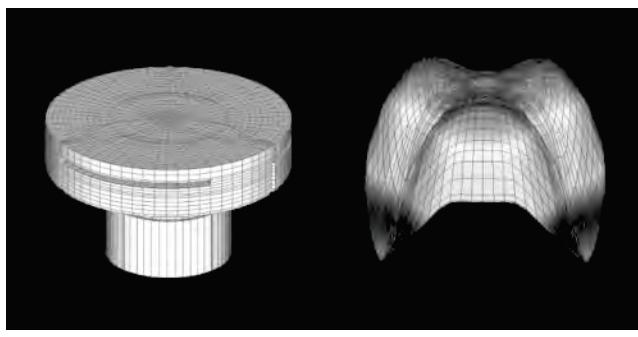


図5. スパイラル接点のアーカー駆動特性



(a) 縦磁界接点モデル

(b) 接点部の磁界分布

図6. 縦磁界接点構造の磁界解析

4. 真空絶縁技術

真空バルブの小型化を目的に行われてきた接点間距離や真空バルブ外径の縮小、さらに真空バルブの高電圧化では、真空ギャップの絶縁信頼性を確保しつつ実現することが重要である。

真空ギャップの破壊電圧は接点表面粗さに依存し、図7に示すように表面粗さによって破壊電圧は大きく変化する。また、真空中の絶縁破壊特性には面積効果がある。真空中の面積効果は、SF₆ガス中の面積効果や絶縁油中における体積効果に比べてより顕著である。図8は無酸素銅接点における有効面積と破壊電界の関係を示したもので、接点の有効面積が大きくなると絶縁破壊電界が低下する傾向にあることが分かる。これは、面積の増加に伴い、絶縁破壊の原因となる電子放出点などの弱点の数が増加するためと考えられる。このように有効面積で整理すると定量的に各部位の破壊電界を把握することができる。真空中の絶縁設計では、これら表面粗さ及び面積効果を考慮する必要がある^②。これら真空絶縁技術を駆使して真空容器内に、遮断・断路部と接地開閉部を収納した24kV複合絶縁多機能真空開閉装置用の真空バルブを製品化した(図9)。また、84kV定格までの真空バルブを製品群として用意している。

5. む す び

当社の真空バルブに関して、接点構造とアーク制御技術及び真空絶縁技術について述べた。今後も多様化する市場ニーズに応えるため、更なる技術開発に取り組んでいく。

また、当社真空開閉器に加え、国内の真空開閉器メーカー及び欧米などの海外真空開閉器メーカーへの真空バルブ単品での販売、技術サポートも強化しており、信頼性の高い当社真空バルブを搭載した真空開閉器が、世界中の電力の安定供給に貢献できれば幸いである。

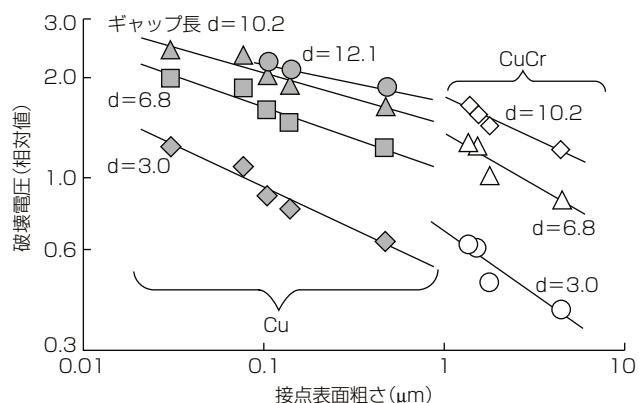


図7. 真空ギャップ(平板-平板)破壊電圧に対する接点表面粗さの影響

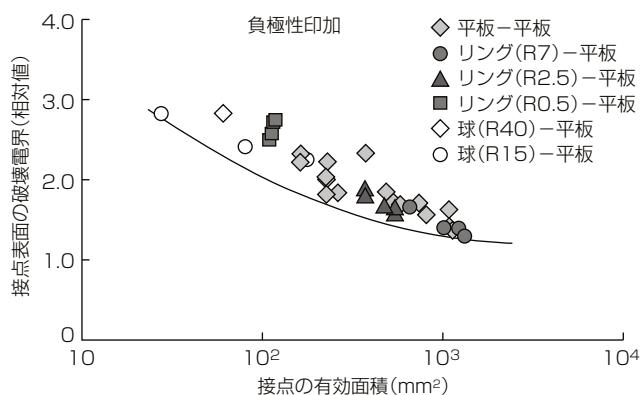


図8. 銅接点真空ギャップの破壊電界での面積効果

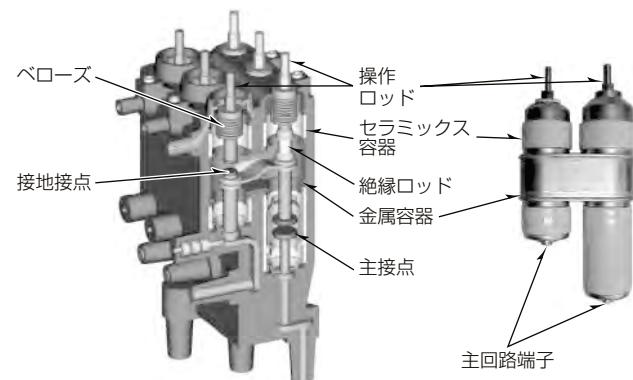


図9. 24kV複合絶縁多機能真空開閉装置の構造

参考文献

- (1) 大川義博, ほか: 環境保全に配慮した真空遮断器“VFシリーズ”とキーパーツ真空バルブ, 三菱電機技報, 82, No.11, 689~693 (2008)
- (2) 佐藤伸治, ほか: 真空遮断技術と真空絶縁技術の変遷, 三菱電機技報, 80, No.7, 443~446 (2006)

新市場向け低圧配電盤

関 孝一郎*
進藤久典*
宮内俊彦*

Low Voltage Switch Boards for New Market

Koichiro Seki, Hisanori Shindo, Toshihiko Miyauchi

要 旨

海外市場では、コーディネーションTYPE 2^(注1)（以下“TYPE 2”という。）などに対応したモータコントロールセンタ（MCC）の要求が増えている。それらの仕様要求の増加は、新規設備投資が活発な中東・東南アジアなどでも同様である。今後、海外市場でシェア拡大を図るには、これらの仕様に対応することが必須である。

一方、国内市场では新規設備投資が減少している中、データセンター市場では交流給電システムと比べて変換回数が少なく、DC48V直流給電システムよりも大容量化が容易なDC380V直流給電システムへの移行が注目されている。

本稿では、TYPE 2に対応させた海外市場向けB形ワイドMCC及び国内データセンター市場向けに開発した直流給電用分電盤について述べる。

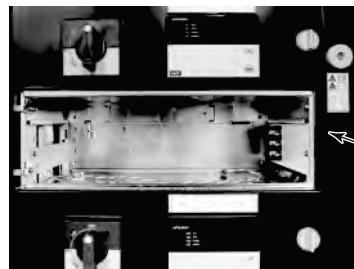
(1) TYPE 2 対応B形ワイドMCC

TYPE 2 対応の配線用遮断器（MCCB）及び電磁接触器（MC）を採用した。その採用した各機器をB形ワイドMCCに搭載するためのユニット設計を行い、B形ワイドMCCをTYPE 2に対応させた。

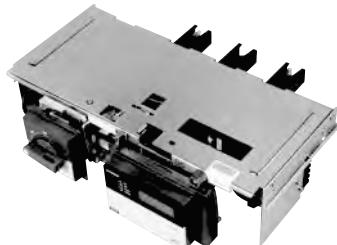
(2) 直流給電用分電盤

従来のMCCの構造を採用することで安全性を考慮し、各分岐にマルチDC計測装置（負荷・漏洩（ろうえい）電流、電力量等の計測・液晶表示が可能な電子式マルチ計測装置）を搭載可能とした。

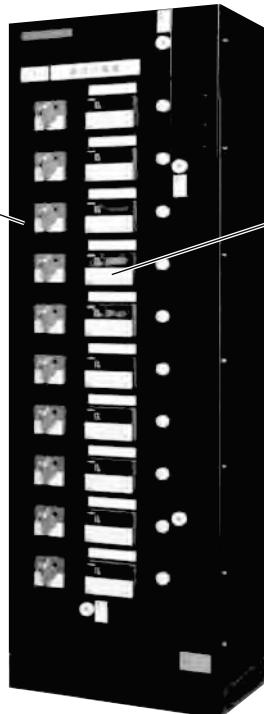
(注1) IEC60947-4-1で規定されている短絡保護装置とスタータの保護協調。短絡遮断後、モータスタータは交換することなく引き続き使用できなければならない。



ユニットを引き抜いた状態
(自動シャッタによって充電部の露出なし)



分岐MCCB収納ユニット



直流給電用分電盤



マルチDC計測装置

直流給電用分電盤

情報通信技術関連機器への給電を直流化し、システム全体の電力損失低減によって省エネルギーを実現するDC380V直流給電システム用の分電盤である。分岐MCCB収納ユニットにプラグイン構造を採用し、他系統への電源供給を維持しながら安全にユニットの追加、撤去、交換作業が可能である。各分岐に負荷電流、漏洩電流、電力量等の計測・液晶表示が可能な電子式マルチ計測装置を搭載可能とした。

1. まえがき

中東、東南アジアなどの海外市場では、新規設備投資が活発である。これらの海外市場でのシェア拡大を図るために、2010年に海外市場向けB形ワイドMCCの開発を行い⁽¹⁾、拡販に力を入れてきた。その結果、海外市場向けMCCの生産面数は増加してきている。今後も更なる海外市場への進出を目指していくため、大口案件である石油・天然ガス・肥料プラントなどからの受注が必須である。しかし、それらの案件の多くは、TYPE 2の要求があるため、その仕様に対応することが急務となっている。

B形ワイドMCCは、海外案件で要求される高電圧・高遮断仕様に対応するため、短絡保護装置に高遮断MCCBやヒューズを採用している。しかし、それらの短絡保護装置や開閉装置はTYPE 2に対応していなかった。今回、TYPE 2対応のMCCB及びMCを採用することで、TYPE 2に対応可能となったB形ワイドMCCについて2章で述べる。

国内では近年の情報通信技術(Information and Communication Technology: ICT)装置の高性能化や高密度化、大量稼働に伴う高発熱化によって、データセンターの消費電力量は今後ますます増加すると予想されていることから省電力化が求められており、その対策の1つとして直流給電システムへの移行が注目されている。DC380V直流給電システムがその1つであり、交流給電システムと比べて変換回数が少なく、DC48V直流給電システムよりも大容量化が容易といったメリットがある(同じ電流容量とした場合、約8倍の出力容量のシステムを構築することができる)。

三菱電機は2013年度、DC380V直流給電システム“MELUPS DECO”を発売開始しており、このシステム用の分電盤として他系統への給電を維持しながら安全に改修作業が可能、さらに分岐回路ごとにマルチDC計測装置を搭載可能とし、見える化によって省エネルギーを支援する直流給電用分電盤を開発した。これについて3章で述べる。

2. TYPE 2対応B形ワイドMCC

2.1 コーディネーションの定義

コーディネーションの定義を表1に示す。

2.2 TYPE 2対応B形ワイドMCCの仕様

B形ワイドMCCのTYPE 1からTYPE 2への変更点を表2に示す。

表1. コーディネーションの定義(IEC60947-4-1による)

コーディネーション	定義
TYPE 1	機器は、短絡時に人又は設備に危害を与える要因にならなければならない。ただし、部品の修理又は交換をしないで引き続き用いることができなくてよい。
TYPE 2	機器は、短絡時に人又は設備に危害を与える要因にならなければならない。かつ、引き続き用いることができなければならない。

2.3 TYPE 2対応B形ワイドMCCの機器構成

TYPE 2対応B形ワイドMCCの機器はTYPE 2対応のMCCBとMC、及びEMC-B形マルチモータコントローラ(以下“EMC-B”という。)の組み合わせで構成している(図1)。

2.4 選定

(1) 機器選定

MCCB、EMC-Bと電動機及びMCが協調を取れるように、MCCBとMCを選定した(図2)。

(2) 電線サイズ選定

①過負荷協調:図2に示すとおり、機器の変更によって協調曲線が変わる。そのため、過負荷電流との協調が可能な電線サイズを選定した(図3)。

②短絡保護:短絡電流によって発生する熱と電線被覆内の導体間に生じる機械的電磁反発によって電線被覆が

表2. B形ワイドMCCのTYPE 1とTYPE 2の仕様比較

項目	TYPE 1	TYPE 2
適用規格	IEC61439-1, 2	IEC61439-1, 2 IEC60947-4-1
定格使用電圧	AC690V	AC480V
定格遮断電流	~80kA	~80kA
短絡保護装置	MCCB(480V, 75kA) ヒューズ(690V, 80kA)	TYPE2対応MCCB (480V, 80kA)
開閉装置	MC	TYPE2対応MC

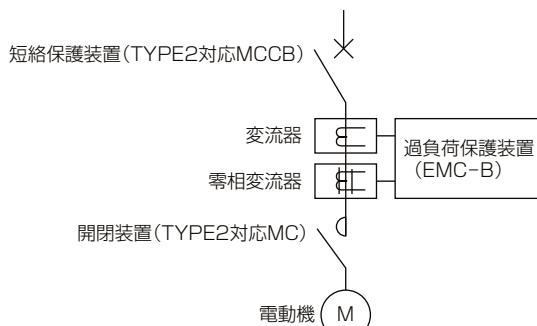


図1. TYPE 2の機器構成

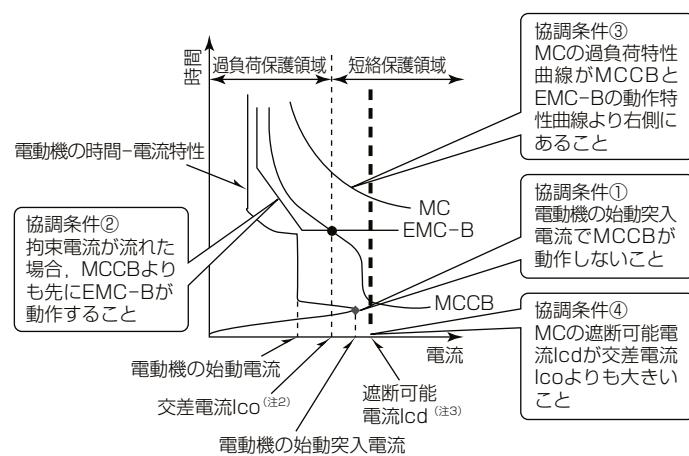


図2. MCCB, EMC-Bと電動機及びMCの協調

損傷しないよう、MCCBで電線を保護可能な電線サイズを選定した。

- ・熱的強度：電線の許容 $I^2 \cdot t > \text{MCCBの通過 } I^2 \cdot t$
- ・機械的強度：電線被覆の許容短絡電流 > MCCBの通過最大電流

2.5 ユニット設計

TYPE 2 対応のMCCB、MCの外形及び電線のサイズは、TYPE 1 対応品より大きいため、従来の機器配置ではユニット高さが高くなるが、ユニット内の機器配置を全体的に見直すことで、TYPE 1 同等のユニット高さ200mmでTYPE 2 を実現している(図4)。また、ユニットの幅は従来品と同一のため、B形ワイドMCCの筐体は、TYPE 1、TYPE 2 共用が可能である(図5)。

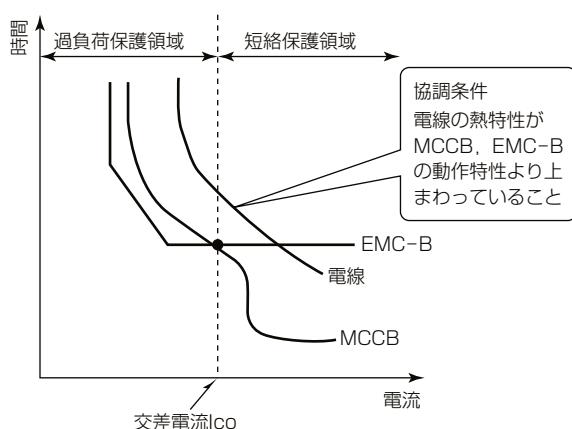


図3. MCCB, EMC-Bと電線の協調

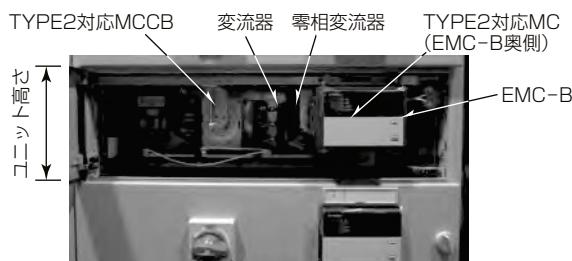


図4. TYPE 2 対応B形ワイドMCCユニット



図5. TYPE 2 対応B形ワイドMCC

3. 直流給電用分電盤

3.1 高機能型直流給電用分電盤の仕様

表3に高機能型直流給電用分電盤の仕様を示す。

3.2 高機能型直流給電用分電盤の特長

(1) 分岐MCCB収納ユニットのプラグイン構造

分岐MCCB収納ユニットにはプラグイン構造を採用し、主母線の停電なしに他系統への電源供給を維持しながら安全にユニットの追加・撤去・交換作業を可能とした(図6)。

(2) 安全性の確保

安全性確保のため、分岐MCCB収納ユニットに次のインターロック機能を採用した(図7)。

①分岐MCCBがON状態では扉を開けることができない

②扉を開けた状態ではMCCBをONすることができない

さらにオプション仕様として、MCCBがON状態のユニットを実装できない、MCCBがON状態ではユニットの

表3. 高機能型直流給電用分電盤の仕様

項目	仕様
定格絶縁電圧	600V
定格使用電圧	DC260~400V
定格遮断電流	標準: DC400V 10kA 最大: DC400V 40kA
最大短時間耐電流	標準: 30/50kA 0.5秒 最大: 75kA 1.0秒
母線定格電流	700A, 900A
外形(H×W×D)(mm)	1,900×600×550 (標準) 1,900×600×400 (薄型)
箱体保護構造	IP20~IP42
最小ユニット高さ	150mm
最大分岐MCCB収納数	20台(両面型) 10台(片面型)

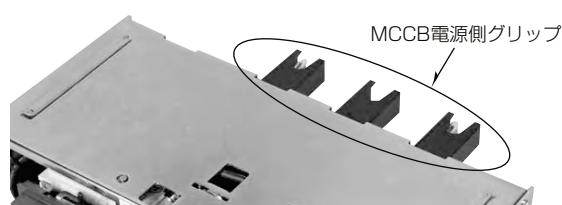
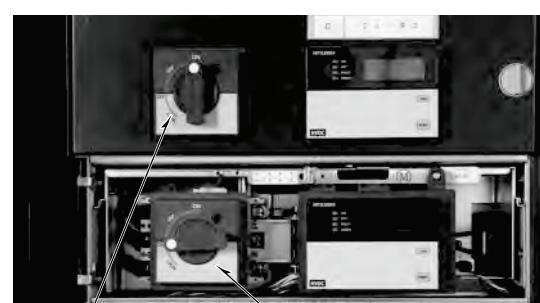


図6. 分岐MCCB収納ユニットのプラグイン構造



①MCCB-ON: 扉開閉不可
扉開閉状態ではMCCB-ON不可
②MCCB-OFF: 扉開閉可能
扉開閉可能ではMCCB-OFF不可

図7. 分岐MCCB収納ユニットのインターロック機能

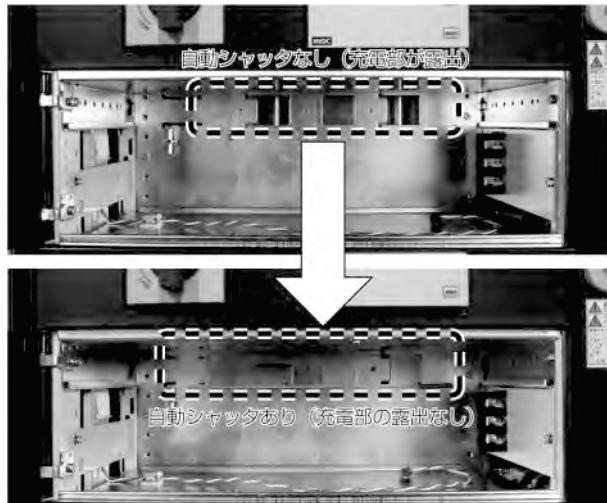


図8. 自動シャッタ機構

表 4. マルチDC計測装置の仕様

機能		測定・設定範囲
計測・表示	負荷電流	電流設定値の0～135%
	漏洩電流	0～250mA
	主回路電圧	0～440V
	電力	0～999,999kW
	電力量	0～9,999,999kWh
アラーム(表示)	過電流ブレアラーム	50～115%
	漏電ブレアラーム	0.2～50mA

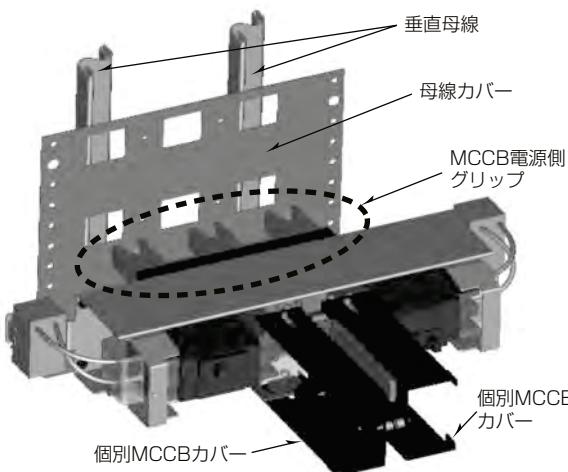


図9. 分電盤のユニット構造

引き抜きができない機能を追加した。また、分岐MCCB電源側グリップの差し込み部分に自動シャッタを採用することで、ユニットの引き抜き後に充電部が露出しない構造とした(図8)。

3.3 計測・表示機能

各分岐MCCB収納ユニットの負荷電流、漏洩電流、電力量等を計測・表示が可能な電子式マルチDC計測装置を開発し、搭載可能とした。このマルチDC計測装置の仕様を表4に示す。

3.4 汎用型直流給電用分電盤

マルチDC計測装置を搭載せずに、1面当たりの分岐

表 5. 汎用型直流給電用分電盤の仕様

項目	仕様
定格絶縁電圧	600V
定格使用電圧	DC260～400V
定格遮断電流	DC400V 10kA
最大短時間耐電流	標準：30kA 0.5秒
母線定格電流	700A, 900A
外形(H×W×D) (mm)	1,900×600×550(標準) 1,900×600×400(薄型)
箱体保護構造	IP20～IP42
最小ユニット高さ	100mm
最大分岐MCCB収納数 ^(注4)	24台(受電MCCBあり) 28台(受電MCCBなし)

(注4) 汎用型分電盤については片面型専用となる。片面型の盤を背面合わせにして1面構造とすることで、異系統入力・出力に対応した盤構成とすることが可能である(図10)。

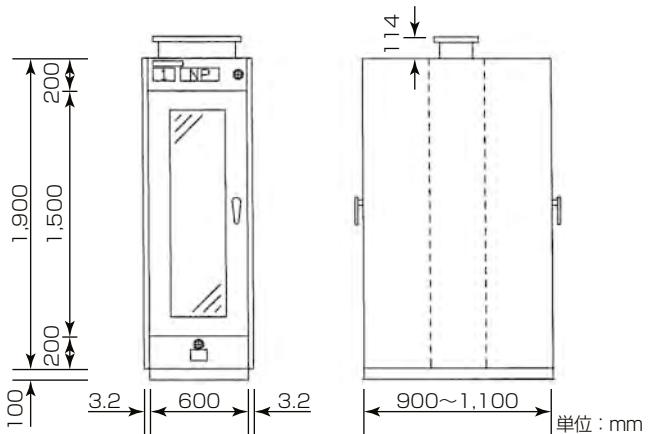


図10. 汎用型直流分電盤

MCCB実装台数をできる限り多く確保できる機種として、別構造の汎用型直流給電用分電盤も開発した。

この汎用型分電盤についても安全に配慮し、MCCBがON状態では開くことができないインターロック機構を持たせた個別MCCBカバーと、垂直母線カバーを採用した(図9)。この汎用型分電盤の主な仕様を表5に示す。

4. む す び

今後も海外市場での更なる競争力強化に向けて、TYPE 2 対応B形ワイドMCCのように、顧客の要求に対応可能な機能や性能を強化した製品を市場投入できるよう製品開発を進めていく所存である。

また、データセンター市場へのDC380V直流給電システムの適用は始まったばかりであり、今後のニーズを見極めながら、魅力的な製品の開発を進めていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 中谷篤子, ほか: 海外向けB形ワイドモータコントロールセンタ, 三菱電機技報, 85, No.10, 601~604 (2011)

ユニバーサルデザイン対応受配電総合監視制御システム“MELSAS-S”

越智良輔*
平田陽介*
今村圭子**

Universal Design Compliant Mitsubishi Electric Substation Administrative System "MELSAS-S"

Ryosuke Ochi, Yosuke Hirata, Keiko Imamura

要 旨

三菱電機は、これまでビルや工場の受配電設備を監視制御するための受配電総合監視制御システム(MELSAS-S)を進化させてきた。

これまでの開発では主に、Web監視を可能とする“Webサーバ機能”，故障の発生や復旧をメールで保守員に通知する“メール通報機能”の追加など“機能性”を向上させる開発を行ってきた。

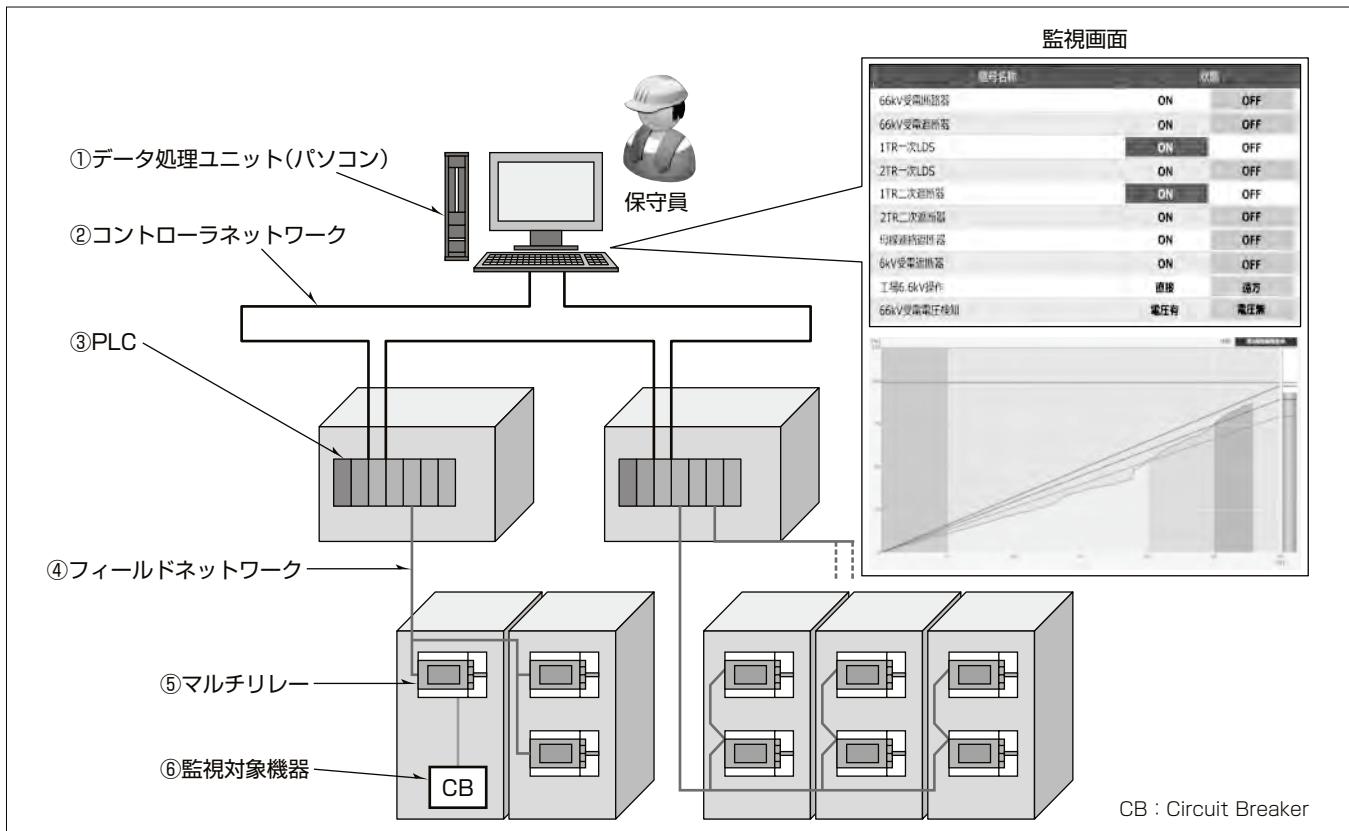
しかしながら近年、保守員の高年齢化が進んでおり、今まで以上に見やすく、使いやすいユーザーインターフェースが必要とされている。そこで当社では、ユニバーサルデザインを適用したMELSAS-Sを開発した。

ユニバーサルデザインとは、年齢・性別や、個々の能力

に依存せずに理解できるよう考慮されたデザインである。具体的にはフォント、背景色、操作手順などシステムに一貫性を持たせ、使用方法や表示している内容を直感的に理解できるデザインのことである。

この開発では、データ処理ユニットの監視画面に表示された情報を容易に読み取ることができるよう“視認性”を、操作方法を直感的に理解できるよう“操作性”を向上させた。今後は、データ処理ユニット以外の構成機器にもユニバーサルデザインを適用させていく予定である。

本稿では、ユニバーサルデザインを適用したMELSAS-Sの特長について述べる。



MELSAS-Sの全体構成

MELSAS-Sは、①データ処理ユニット(パソコン)、②コントローラネットワーク、③PLC(Programmable Logic Controller)、④フィールドネットワーク、⑤マルチリレー、⑥監視対象機器によって構成している。

1. まえがき

当社は、これまでビルや工場の受配電設備を監視制御するための受配電総合監視制御システムMELSAS-Sを進化させてきた。

これまでの開発では主に、Web監視を可能とする“Webサーバ機能”，故障の発生や復旧をメールでユーザーに通知する“メール通報機能”の追加など“機能性”を向上させる開発を行ってきた。

しかしながら近年、保守員の高年齢化が進んでおり、今まで以上に見やすく、使いやすいユーザーインターフェースが必要とされている。そこで当社では、ユニバーサルデザインを適用したMELSAS-Sを開発した。この開発では、監視画面に表示された情報を容易に読み取ることができるよう“視認性”を、操作方法を直感的に理解できるよう“操作性”を向上させた。

本稿では、ユニバーサルデザインを適用したMELSAS-Sの特長について述べる。

2. ユニバーサルデザイン適用のルール

ユニバーサルデザインとは、年齢・性別や、個々の能力に依存せずに理解することができるよう考慮されたデザインである。具体的にはフォント、背景色、操作手順などシステムに一貫性を持たせ、使用方法や表示している内容を直感的に理解することができるデザインのことである。

ユニバーサルデザインをMELSAS-Sに適用するに当たり、一貫性を持たせるため次のようなルールを設定した。

2.1 フォント

監視制御を行う上で、表示情報を素早く読み取ることは非常に重要な要件である。情報を素早く読み取るために、可読性が高いフォントが必要であり、フォントにはデザインが簡素化され、見やすく誤認識防止を考慮したユニバーサルデザインフォントを使用する。

また、様々なフォントサイズが混合する画面を長時間使用することによって、保守員は意識しない中で自然とストレスを感じてしまう。そこでフォントサイズは使用するディスプレイのサイズや、ディスプレイと保守員との距離から検討した結果、基本的に全画面フォントサイズを12ポイントとし、重要な通知や強調したい箇所は14ポイントとした⁽¹⁾⁽²⁾。

2.2 配色

文字の読みやすさにはフォントの他にも背景色と文字色とのコントラスト比が関係する。コントラスト比が小さいと文字が読みにくくなることが分かっており、保守員の高年齢化への対策が必要である。そこで、コントラスト比は全画面4.5：1以上とした⁽³⁾。コントラスト比を確保したことによって、文字を読み取りやすくすることができる

(図1)。

また、表示されている情報を直感的に把握できるよう、背景色の意味を全画面で表1のように統一した。これによって、ユーザーは通知を見た瞬間に通知内容の重要性を認識することができる。

2.3 画面配置

日本人の画面内の視線は、左から右、上から下の順に移動するのが一般的と言われている(図2)。操作ボタンについては、操作手順が視線移動に合うように配置した。

またユーザーの操作を円滑にするため、関連性の高いボタン同士の間隔を狭めてグループ化した。また、関連性の低いボタン同士の間隔は広げた。

3. ユニバーサルデザイン適用MELSAS-S

これまで、保守員の操作性を保つことを重視していたため、大幅なデザインの改良はしていなかった。しかし、この開発品ではユニバーサルデザインとすることを重視した。

また、保守員にとっては、従来品から開発品に変更した場合、操作性が一時的に低下することが懸念されるが、開発品は従来品より直感的に理解することができ、習得性の高いデザインであるため、慣れるまでにあまり時間はかかるないと考える。

ユニバーサルデザインを取り入れたMELSAS-Sの特長について次で述べる。

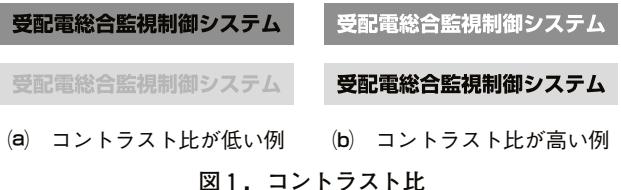


図1. コントラスト比

表1. 背景色の統一

通知内容	背景色
重度な故障	赤色
軽度な故障	黄色
故障の復旧	青色

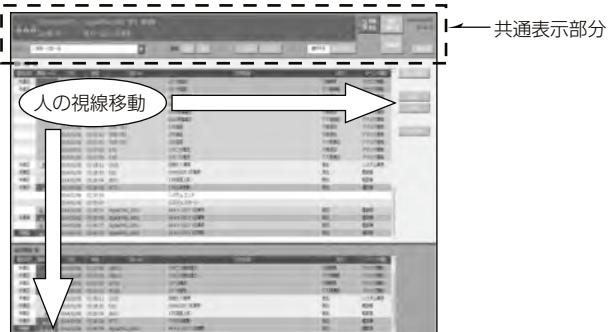


図2. 画面配置

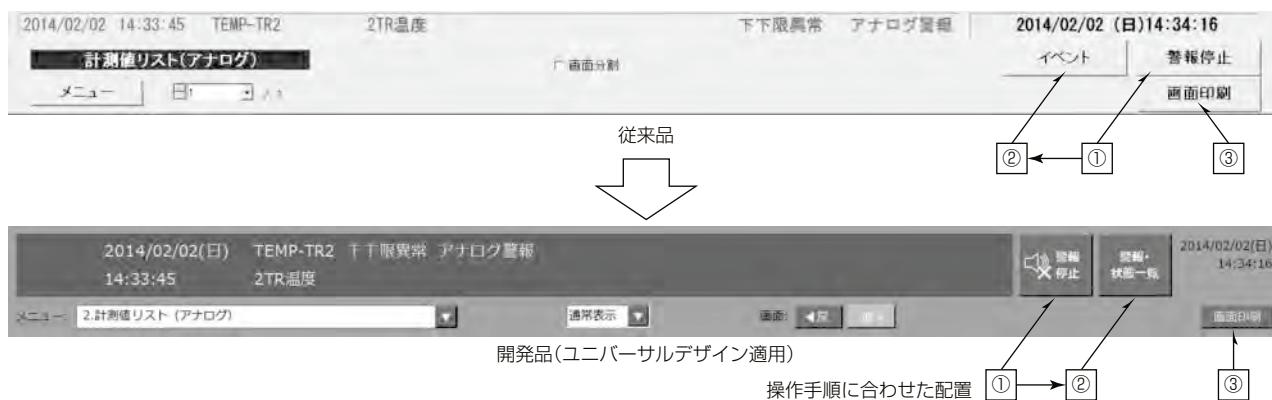


図3. 共通表示部分のユニバーサルデザイン

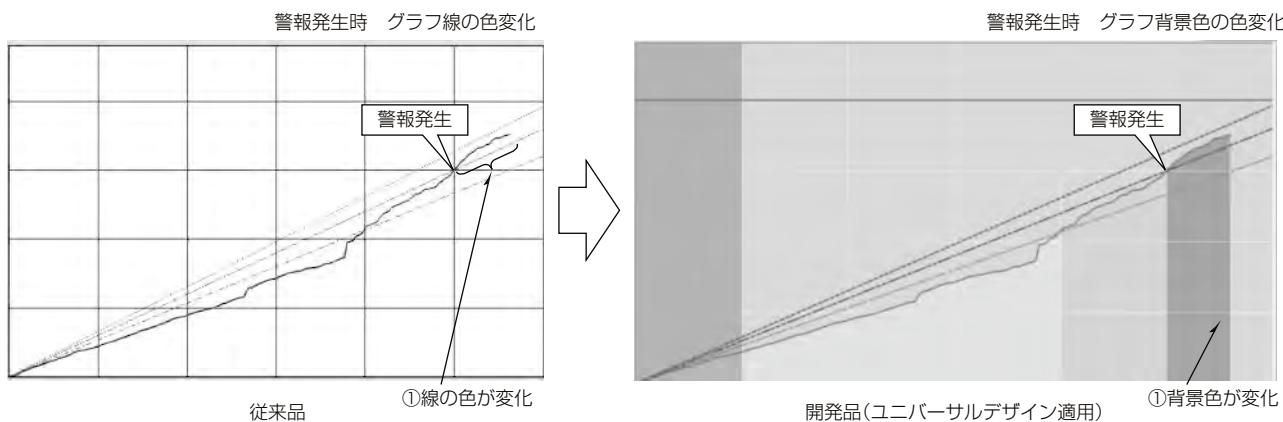


図4. グラフ画面のユニバーサルデザイン

3.1 共通表示部分

MELSAS-S全ての画面で使用している共通表示部分(図2)の特長は次のとおりである(図3)。

(1) レイアウト

操作手順が視線移動に合うように操作ボタンを左から右に配置した(図3の①, ②の順)。

また、操作ボタン同士の関連性を考慮し、関連性の高い操作ボタン①と②の間隔は狭め、関連性の低い図3の③の操作ボタンと①, ②の操作ボタンの間隔を広げた。

(2) 色

操作ボタンの背景色と操作ボタン色を異なる色にして、判別を容易にした。

(3) 表現

全画面でフォントサイズを12ポイントに統一している。ただし、警報(故障)の最新イベント表示は、ユーザーにとって重要な情報となるため14ポイントのボールド(太文字)を用いて強調している。

3.2 グラフ画面

電力使用量をリアルタイムに表示するグラフ画面の特長は次のとおりである(図4)。

(1) 色

従来品は、警報発生時にグラフ線の色を変化させて、警報発生の有無をユーザーに通知していたが、開発品はグラ

フ領域の背景色を変化させてユーザーに通知している。これによって瞬時に警報発生の有無を確認できる(図4の①)。

(2) 表現

開発品はグラフの線を太くし、グラフを読み取りやすくした。

3.3 リスト画面

発生した故障や、状態変化を一覧できるリスト画面の特長は次のとおりである(図5)。

(1) レイアウト

初めてのユーザーでも記載内容が分かるようにリスト画面にヘッダを配置した(図5①)。

(2) 色

リスト内の重要度を伝えるため、イベントの背景色を変化させコントラスト比を確保する。それによって、文字を読み取りやすくした(図5②)。

4. ユーザーインターフェースの評価

ユニバーサルデザインを適用した開発品の評価を行った。

4.1 評価方法

MELSAS-Sの操作経験者と未経験者からなる被験者には電力の監視制御を一任されているという前提を説明し、いくつかの監視業務を定義したシナリオを用いて評価を実施した。被験者に対し、従来品と開発品でリスト画面から

2014/01/23 23:17:47	50G	システムスタート
2014/01/23 23:18:24	51R	66kV電源電流
2014/01/23 23:18:41	260	TR温度上昇
2014/01/23 23:19:05	51R	66kV受電過電流
2014/01/23 23:19:19	70G	TR温度上昇
2014/01/23 23:19:21	63G	TR温度上昇
2014/01/23 23:19:27	63G	66kV電源電流異常
2014/01/23 23:19:30	63G	TR温度上昇
2014/01/23 23:19:41	260	TR温度上昇
2014/01/23 23:19:45	51R	66kV電源電流
2014/01/23 23:19:50	51G	TR温度上昇
2014/01/23 23:20:07	64G	66kV受電過電流
2014/01/23 23:20:16	67T1	TR温度上昇
2014/01/23 23:20:25	64G	66kV受電過電流
2014/01/23 23:20:43	21G	TR温度上昇
2014/01/23 23:20:49	21G	TR温度上昇
2014/01/23 23:20:49	260	TR温度上昇
2014/01/23 23:20:56	59G	66kV受電過電流
2014/01/23 23:20:59	59G	TR温度上昇
2014/01/23 23:21:06	51G	TR温度上昇

従来品

2014/01/23 23:17:47	50G	システムスタート
2014/01/23 23:18:24	51R	66kV電源電流
2014/01/23 23:18:41	260	TR温度上昇
2014/01/23 23:19:05	51R	66kV受電過電流
2014/01/23 23:19:19	70G	TR温度上昇
2014/01/23 23:19:21	63G	66kV電源電流異常
2014/01/23 23:19:27	63G	TR温度上昇
2014/01/23 23:19:30	63G	66kV受電過電流
2014/01/23 23:19:41	260	TR温度上昇
2014/01/23 23:19:45	51R	66kV電源電流
2014/01/23 23:19:50	51G	TR温度上昇
2014/01/23 23:20:07	64G	66kV受電過電流
2014/01/23 23:20:16	67T1	TR温度上昇
2014/01/23 23:20:25	64G	66kV受電過電流
2014/01/23 23:20:43	21G	TR温度上昇
2014/01/23 23:20:49	21G	TR温度上昇
2014/01/23 23:20:49	260	TR温度上昇
2014/01/23 23:20:56	59G	66kV受電過電流
2014/01/23 23:20:59	59G	TR温度上昇
2014/01/23 23:21:06	51G	TR温度上昇

従来品
②
文字色 赤・青
背景色 白

図5. リスト画面のユニバーサルデザイン

情報レベル	日付	時刻	TAG No.	信号名称
▲	2014/02/02	13:51:51		システムスタート
▲▲	2014/02/02	13:52:30	63G	66kVGISH*圧異常
▲▲	2014/02/02	13:52:36	51R	66kV受電過電流
▲▲	2014/02/02	13:52:43	26D1	1TR温度上昇
▲▲▲	2014/02/02	13:52:49	51R	66kV受電過電流
▲▲▲	2014/02/02	13:53:00	51GR	66kV受電地絡
▲▲	2014/02/02	13:53:16	26D2	2TR温度上昇
▲▲	2014/02/02	13:53:26	63G	66kVGISH*圧異常
▲▲▲	2014/02/02	13:53:33	87T1	1TR比率差動
▲▲▲	2014/02/02	13:53:39	26D2	2TR温度上昇
▲▲▲	2014/02/02	13:53:47	51S1	1TR上次過電流
▲▲▲	2014/02/02	13:54:26	51GR	66kV受電地絡

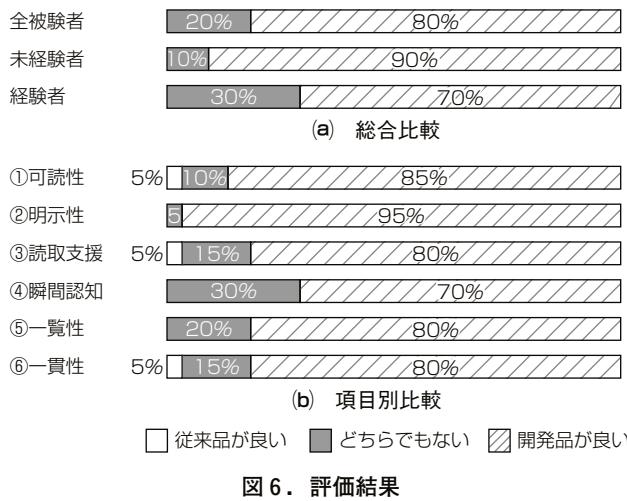
開発品(ユニバーサルデザイン適用)
②
文字色 黒
背景色 赤・黄・青

図6. 評価結果

計測値を読み取るタスクや、グラフ画面から計測値を読み取るタスクを実行してもらい、次の6つの項目からなる評価をしてもらった。

(1) 視認性についての評価項目

- ①可読性：文字の読みやすさ
- ②明示性：情報がはっきりと伝わるか
- ③読み取り支援：配色、アイコンの意味が分かるか
- ④瞬間認知：情報の読み取りやすさ

(2) 操作性についての評価項目

- ①一覧性：全体が見渡せるようまとまっているか
- ②一貫性：表現・配置のルールが統一されているか

4.2 評価結果

評価結果を図6に示す。

総合比較(図6(a))では8割の被験者が、開発品を分かりやすいと評価している。従来品を分かりやすいとした被験者は、経験者・未経験者ともにいなかった。また、項目別比較(図6(b))でも、全ての要素で7割以上の被験者が開発品を良い方向に評価していることから、ユーザーインターフェースの改善効果を確認できた。

5. むすび

受配電総合監視制御システムMELSA-Sにおける、“視認性”や“操作性”は監視業務を行う保守員にとって重要な要素となる。今回は保守員が監視・制御を行うデータ処理ユニットのユーザーインターフェース(画面)にユニバーサルデザインを適用して評価を行い、効果を確認した。

今後はその他の構成機器であるグラフィックパネルや、リモートステーション盤にもユニバーサルデザインを適用する予定である。

参考文献

- (1) JIS Z8513-1994, 2010確認人間工学—◆表示装置を用いるオフィス作業—◆表示装置の要求事項による日本語最小文字高：25
- (2) ISO 9241-303 : 2011 Ergonomics of human-system interaction-Part 303 : Requirements for electronic visual displaysによる日本語推奨文字高：25～35
- (3) JIS X 8341-3 : 2004, 高齢者・障害者等配慮設計方針－情報通信における機器ソフトウェアおよびサービス

原子力プラント・関連設備向け 計装制御システム“MELTAC-CX”

谷口 学*
田島宏史*

Instrumentation and Control System "MELTAC-CX" for Nuclear Power Plant and Nuclear-related Facilities
Manabu Taniguchi, Hirofumi Tajima

要 旨

国内原子力プラント・関連設備向け計装制御システム“MELTAC-700C”は開発完了から10年が経過しており，“より確実に、より使いやすく”をコンセプトとして新機種“MELTAC-CX”を開発した。MELTAC-CXの特長を示す。

(1) 安心

長期保守サポートによって、段階更新を含めた導入時期の柔軟性と安心を提供する。定期交換品であるAC/DC (Alternating Current/Direct Current) 電源のメニュー削減に加えて、更なる長寿命化によるランニングコスト低減を実現した。

(2) 効率

空間利用効率を大幅に向上させた端子台一体構造の多点

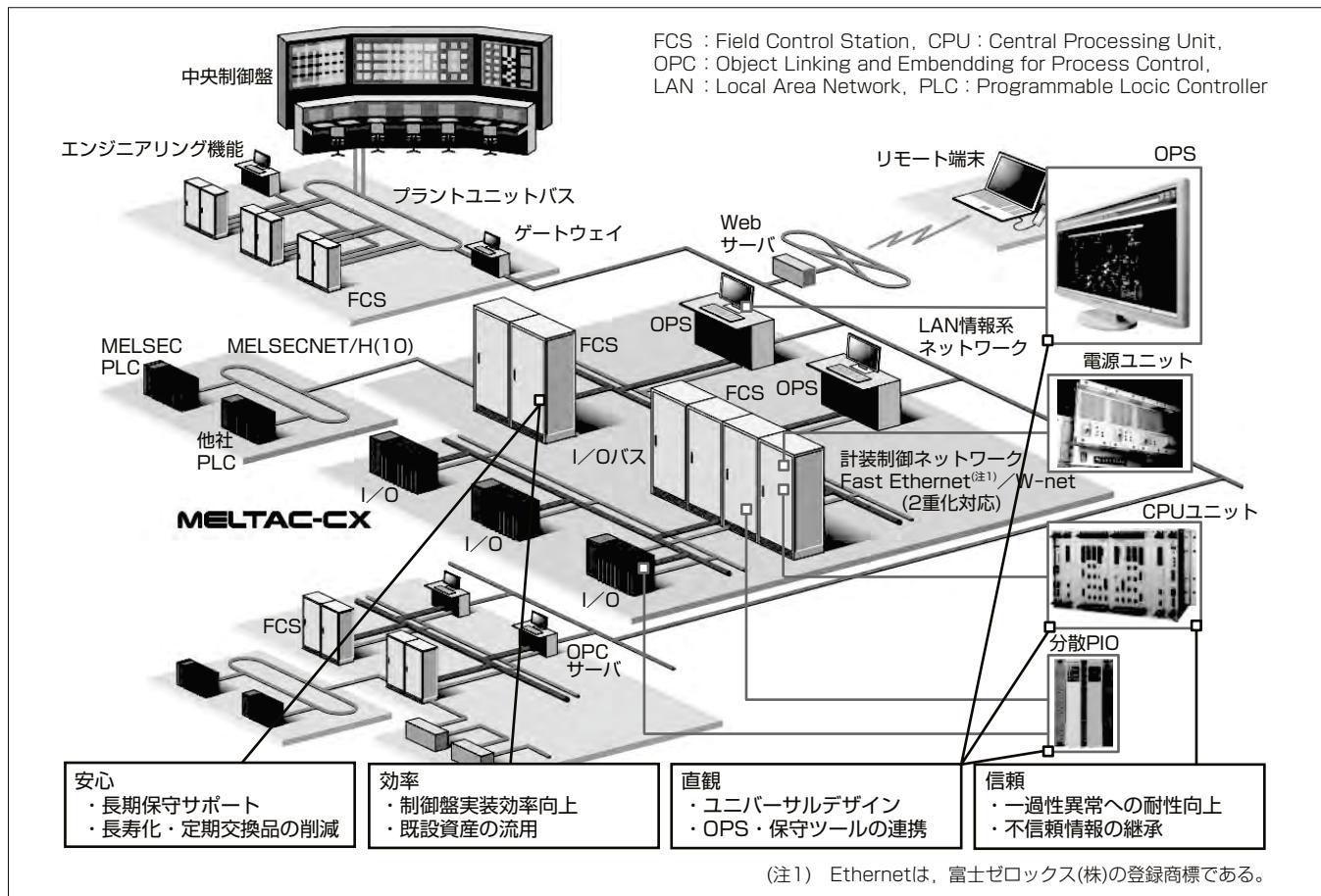
型分散PIO(Process Input Output)を新たにラインアップに加えることで、制御盤の実装効率を向上させた。

(3) 直観

オペレータステーション(Operator Station: OPS)画面やカード、ユニット前パネルにユニバーサルデザインを採用し、誤認識を削減して直観的に正しい識別・操作を可能とすることで、操作者・保守者の負担を軽減した。

(4) 信頼

近年、半導体の製造プロセスの微細化、低電圧化に伴う一過性異常の発生が無視できなくなっており、一過性異常に対する耐性向上と発生時の対策を実施し、最新デバイスを活用しつつ、原子力プラント・関連設備向け計装制御システムに求められる信頼性を確保した。



“MELTAC-CX”のシステム構成と特長

原子力プラント・関連設備向け計装制御システム“MELTAC-CX”の最新機種“MELTAC-CX”のシステム構成と特長を示す。“より確実に、より使いやすく”を開発コンセプトに掲げ、開発に取り組んだ。

1. まえがき

国内原子力プラント・関連設備向け計装制御システム“MELTAC-Cシリーズ”は、1980年代から開発・生産を開始し、国内原子力プラント補助・周辺設備、及び原子力関連設備に多数の納入実績を持つ。

国内原子力関連プラントにおける長期運用の中で、エンジニア、製品試験者、エンジニアリングユーザー、システム設計者等、各方面からの改善要望を収集してきた。

さらに、国内原子力プラント・関連設備向け計装制御システムの市場は、既設設備の更新工事が主体となっており、更新工事では次のニーズが存在する。

- (1) 現地工事期間の短縮
- (2) 更新後ソフトウェアの品質維持
- (3) エンジニアリングユーザーの負荷軽減

これら各方面からの改善要望と市場ニーズを満足させるため、最新技術を適用した新機種“MELTAC-CX”を開発した。

2. 開発コンセプトと特長

MELTAC-CXは、“より確実に、より使いやすく”を開発コンセプトとし、次の特長を持つ。

2.1 安心

- (1) 長期保守サポートと定期交換品の削減・長寿命化

長期保守サポートによって段階更新を含めた導入時期の柔軟性と安心を提供可能とした。定期交換品であるAC/DC電源のメニュー削減に加えて、更なる長寿命化によって安心とランニングコスト低減を実現した(AC/DC電源のメニュー削減の詳細は3.1.3項で述べる。)。

- (2) 既設資産の活用

MELTAC-CXでは、既設設備のPOL(Problem Oriented Language: 問題向き言語)演算ロジックのコンバート機能(自動変換・インポート機能)を開発し、ソフトウェアの品質維持とソフトウェア製作の効率化を実現した(ソフトウェアコンバート機能の詳細は3.3.1項で述べる。)。

また、既設PIOモジュールとのインターフェース機能を開発し、“MELTAC-Cシリーズ”的既設I/Oモジュールを流用した部分更新・段階更新を可能とした。

2.2 効率

- (1) 制御盤の実装効率向上

端子台一体構造の多点型分散PIOを新たにラインアップに加えた。当該PIOモジュールを制御盤に両面実装(片面あたり最大3列×8段まで実装可能)することで、盤内占有面積を約65%削減可能とした(図1)。

さらに、CPUシャーシ内のAC/DC電源ユニットに替えて、定期交換を不要としてスリム化したDC/DC変換カードを開発した。これによって、PIOドライバカード、ネットワークカードを1装置あたり7枚収容可能とするこ



従来機種“MELTAC-700C”

MELTAC-CX

図1. 制御盤実装効率の向上

とで、取扱い可能点数を約2倍に拡張した。

2.3 直観

- (1) ユニバーサルデザインの採用

プラントの監視・操作のためのOPS画面、制御盤のカード、ユニット前パネルにユニバーサルデザインを採用した。これによって、視認性向上と誤認識の削減を図り、直観的に正しい識別・操作を可能とすることで、操作者・保守者の負担を軽減した。

- (2) OPS・保守ツールの連携強化

OPSと装置メンテナンスを担う保守ツールはアプリケーションソフトウェアの製作段階と運用段階の双方で連携し、効率化・合理化を図った。

製作段階では統合データベースによる定義の合理化を、運用段階ではOPSから保守ツールのロジックモニタ・パラメータチューニング画面呼び出しを実現した(OPS画面へのユニバーサルデザイン採用、及び保守ツールとOPSの連携機能詳細は3.2節で述べる。)。

2.4 信頼

“MELTAC-Cシリーズ”は信頼性が求められる国内原子力プラント・関連設備の計装制御システム向けの機種であり、現行機種でもハードウェア・ソフトウェア両面で高信頼性に取り組んでいる。

MELTAC-CXでは、新たに一過性異常への耐性強化、不信頼情報継承の高度化によって、プラント監視制御における信頼性を向上させた(一過性異常への耐性強化と不信頼情報継承の高度化の詳細は3.1.1項と3.1.2項で述べる。)。

3. MELTAC-CX

3.1 制御装置

3.1.1 SEU対策強化

近年、半導体製造プロセスの微細化、低電圧化に伴い、メモリ等の半導体の電荷を反転させてビットエラーを引き起こすSEU(Single Event Upset)(図2)の発生確率が無視できなくなっている。

SEUは回路を破壊するものではなく、書き込みによる修復が可能であり、MELTAC-CXではSEUの対策として、次の2つの処理を実装しSEUに対する耐性を強化した。

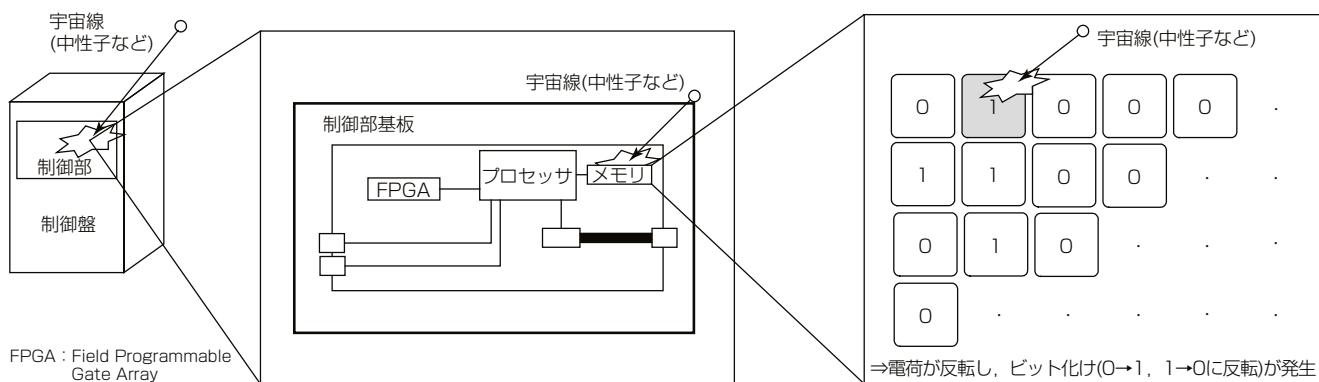


図2. メモリのSEUイメージ

(1) リカバリー処理(データ誤り訂正)

現行機種で採用しているECC(Error Checking and Correction)メモリによるデータの自動修復に加え、

- ①三菱電機独自技術によるキャッシュメモリの自動修復
- ②パリティエラー検知時の再送機能

を新たに追加し、データ誤り訂正機能を強化した。各メモリの高信頼化方法を表1に示す。

(2) リブート処理(自動復帰)

リカバリー処理で修復できない異常が発生した場合は、従来と同様に2重化CPUの自動系切換によって制御機能を維持する。MELTAC-CXではこれに加え、異常が発生したCPUを再起動させ、待機系として自動復帰させるリブート処理を追加実装した。これによって、片系CPUの制御状態から待機2重化の制御状態にすみやかに復帰させることを可能とした。

3.1.2 不信頼情報継承の高度化

MELTAC-CXには、当該信号が入力カード故障等を要因とした不信頼状態(正常ではない“不信頼”な演算であること)を信号点ごとに確認可能な“不信頼情報”を実装した。

“不信頼”な信号を入力とする演算では“不信頼情報”を継承し、演算結果が入力信号の“不信頼”的影響を受けている可能性があることを判別可能とするだけではなく、次の2つの対策によって、“不信頼情報”的継承を高度化し、監視・制御の改善を図った。

(1) 正常に確定する演算結果への継承抑制

OR演算を例とした場合、少なくとも1つの入力が正常なONである場合、他の入力が“不信頼”であっても演算結果はONに確定する。このように、入力に“不信頼”が含まれていても、演算結果が“正常”に確定する場合は、“不信頼情報”的継承を抑制するように改善し、“不信頼情報”を用いた監視・制御の改善を図った。

(2) ループを含めた継承の適正化

ループ状の演算ロジックでは、ループ内POLの出力は、結果的に当該POLの入力につながる。MELTAC-CXではこのようなループでも、起点となる信号の“正常／不信頼”的状態に対応して“不信頼情報”を正しく継承できるように

表1. メモリの高信頼化方法

リカバリー方法 部位	ECCメモリによる自動修復	キャッシュメモリの自動修復	パリティエラー検知+再送
メインメモリ	○		
プロセッサ	一次キャッシュ 二次キャッシュ	○	
その他(通信用メモリなど)	○		○

改善した。従来は、ループ内に“不信頼”が発生した場合に、永続的に“不信頼情報”が継承するのを防止するため、ループ内POLの一部で“不信頼情報”的継承を抑制する必要があった。MELTAC-CXでは、これを不要とし、起点の場所にかかわらず“不信頼情報”を正しく継承し、起点の“不信頼”が復帰した場合には継承が停止するように改善した。

3.1.3 電源モジュールの統一

MELTAC-CXではCPU部・PIO部に共用可能な大容量(400W at 60°C)・長寿命のAC/DC電源ユニットを開発した。共用化・大容量化によるAC/DC電源ユニット数の削減と、長寿命のアルミ電解コンデンサ採用による交換周期の長期化によって、定期交換費用低減を実現した。

3.2 OPS

3.2.1 ユニバーサルデザイン

プラントの監視・操作を支えるOPSでは、直観的な操作を支援し、誤操作を防止することが重要である。MELTAC-CXでは、視認性向上による負担軽減のため、OPS画面にユニバーサルデザインを採用した(図3)。

3.2.2 OPSと制御装置保守ツールの連携強化

MELTAC-CXでは、ユーザーエンジニアリングの効率化を目的としてOPSと制御装置保守ツールの連携機能を強化した。次に適用例を示す。

(1) 統合データベース

従来、OPSと制御装置で個別に定義していた項目に統合データベースによる一元管理を導入した。OPSと制御装置の製作作業、データ更新(改造)を同時に実施しない運用にも柔軟に対応可能のようにOPS側、制御装置側個別のデータ変更も可能な仕組みを取り入れた統合データベースを開発し

◇一般論文◇

た。これによって制御装置とOPS間のデータ呼び合いを自動化し、アプリケーションソフトウェア製作時間を短縮した。

(2) ロジックモニタ・パラメータチューニング機能

OPSの系統図画面や警報表示画面からダイレクトに制御装置の制御ロジックモニタ画面に遷移し、パラメータの調整・演算出力データ設定を可能とした(図4)。これによって、OPSの系統図、警報表示画面に対応した制御装置側のロジックやパラメータを即座に確認・変更可能であり、異常発生時の部位特定容易化を含めた作業の効率化を実現した。

3.3 保守ツール

3.3.1 既設ソフトウェアコンバート機能

MELTAC-Cシリーズの制御ソフトウェアは、POLで記



図3. OPSユニバーサルデザイン適用例

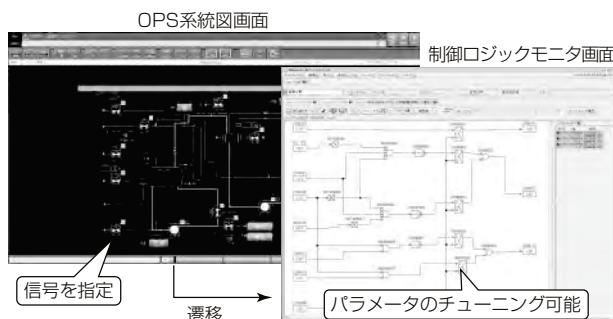


図4. 制御ロジックモニタ画面からのパラメータチューニング

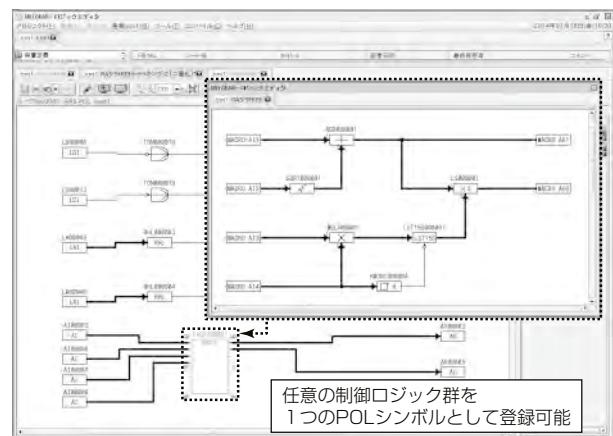


図5. マクロPOLのイメージ

述する。POLは、演算要素となるシンボルを接続・組合せ、制御ソフトウェアを構成する。MELTAC-CXは、更新工事への適用を見据え、MELTAC-Cシリーズ用の制御ソフトウェアをMELTAC-CX用に自動変換・インポートする機能を開発した。自動変換・インポート機能によって、シンボルの接続関係、演算順序、及びパラメータの互換性を保ったまま、変換可能である。これによって、ソフトウェアの品質を維持した上でエンジニアリングの合理化を実現した。

3.3.2 マクロPOL機能

制御ロジック作成時、同一の制御ロジック群を多数使用する場合が存在する。これを考慮し、作成した制御ロジック群を1つのPOLシンボルとして取り扱い可能なマクロPOL機能をサポートした(図5)。マクロPOLを構成する各制御ロジックの演算状態も通常の制御ロジックと同様にオンラインでモニタ可能とすることで、制御ロジック全体の可読性向上とマクロPOL内部の可読性を両立させつつ、エンジニアリング時間の低減を実現した。

4. 更新工事への適用計画

国内原子力プラント補助・周辺設備、及び原子力関連設備の更新工事へのMELTAC-CXの適用を計画している。昨今の更新工事では、設備構成の統合・合理化と機能拡張に伴う改造工事の同時実施によって工事規模が大きくなる方向で、現地工事期間の短縮についての要望は高まる傾向にある。

現行機種であるMELTAC-700CからMELTAC-CXへの更新工事では、既設資産を最大限に活用する方針である。MELTAC-CXの既設PIOとのインターフェース機能によって、現地工事期間に大きく影響する外部とのインターフェースに関しては、PIO盤、及び外部ケーブルをそのまま流用し、CPU盤内のCPUユニットだけを更新する。これによって、改造物量を最小化し、現地工事期間を大幅に短縮できる。また、既設の制御ソフトウェアの自動変換・インポート機能の活用によって、既設設備で運用実績のある制御ソフトウェアを流用可能である。これによって、更新工事で変更しない部分については、演算順序を含め、既設設備と同一の制御を維持できる。

一方、他社製の制御盤からMELTAC-CXへの更新工事では、多点型、かつ実装効率に優れる分散PIOの適用によって、機器追加を図ったうえで、既設設備と同一盤面数での更新に対応する計画としている。

5. むすび

現在、MELTAC-CX適用工事のシステム設計を実施中である。今後、保守ツール機能向上、OPS機能向上等を行い、更なるユーザーメリットを実現する製品開発を実施していく。

放射能測定技術と適用製品

Radioactivity Measurement Techniques and Products

Masaru Tamuro, Masaki Taguchi, Hiroshi Nishizawa

田室 勝*
田口正樹**
西沢博志**

要 旨

東日本大震災に伴う放射性物質の放出と拡散による汚染によって、食品や飲料水、及び土壌中に含まれる放射性セシウムの放射能濃度の把握が重要になっている。

放射性物質の精密分析(核種^(注1)同定、定量測定)には、放射能分析能力に優れたゲルマニウム半導体検出器が一般的に使用されているが、測定対象の放射性セシウムが微量な場合に測定時間がかかることに加え、検出器の冷却のために液体窒素が必要なこと等、運用に手間と時間がかかるため、短時間測定のニーズがあった。

三菱電機は、国内加圧水型原子力発電所の放射線モニタリングシステムを始めとした放射線測定器、及び放射能測定器の様々な製品ラインアップを備えており、これまで

培った技術を基に短時間測定のニーズに応えるため、次の放射能測定技術を開発した。

(1) 信号復元技術

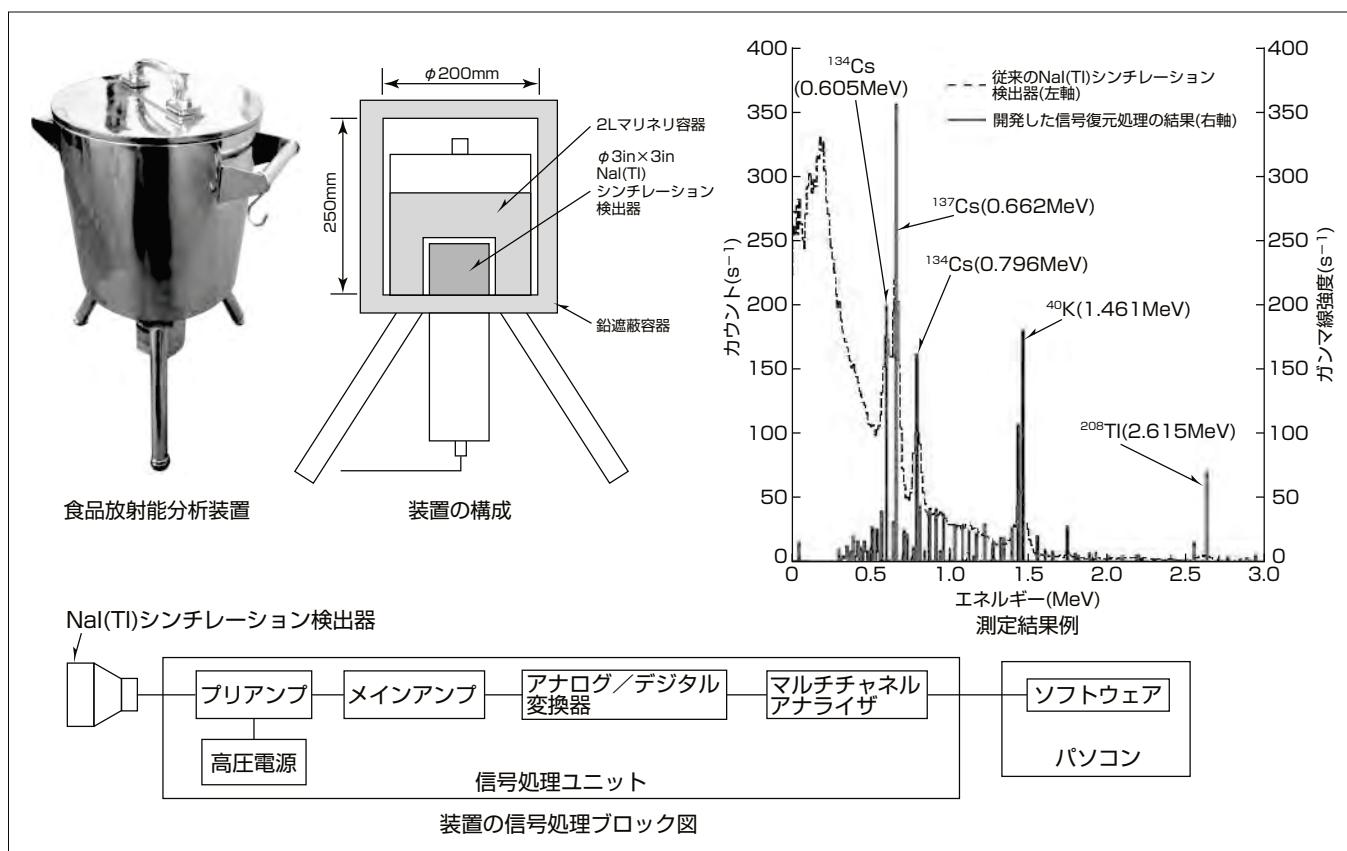
検出効率の高いNaI(Tl)^(注2)シンチレーション検出器の採用と定量分析可能なエネルギー分解能の設定、及び検出器のゆらぎを考慮した信号復元を行うことで、放射能分析装置の測定時間の短縮と軽量化、及び検出器冷却レスを実現した。

(2) 高感度検出技術

検出器を含めた計測系の分解能を向上させることで、放射能分析装置の短時間測定を実現した。

(注1) 原子の種類

(注2) タリウム活性化ヨウ化ナトリウム



食品放射能分析装置と測定結果例

NaI(Tl)シンチレーション検出器を使用して開発した食品放射能分析装置の外観、構成、信号処理ブロック図及び測定結果例を示す。信号復元技術と高感度検出技術の適用によって測定時間の短縮と軽量化、及び検出器冷却レスを実現し、また測定結果例に示すように核種¹³⁴Csと¹³⁷Csの分離測定を可能とした。

1. まえがき

2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う放射性物質の放出によって、空間放射線量率や人体が受ける積算線量の測定による放射線の把握が重要になっている。これまで、福島県を中心に全国的に環境の空間放射線量率を測定するモニタリングポスト(固定型、可搬型)や積算線量計が整備され、加えて航空機による広域モニタリングや海域モニタリング技術も確立され、環境のモニタリングが継続的に実施されている。

このような状況の中、空間線量率測定に加えて住民の安全・安心な暮らしを守る放射能測定が必要となっており、食品や飲料水、及び土壌中に含まれる放射性セシウムの放射能濃度の把握が重要になっている。

本稿では、今回開発した放射能測定・分析に必要な信号復元技術と高感度検出技術、及び適用例として食品放射能分析装置について述べる。

2. 放射能測定に必要な技術

当社は、国内加圧水型原子力発電所の放射線モニタリングシステムや自治体向けに環境放射線モニタリングシステムを納入した実績があり、大気・水中放射能レベルなどの測定技術を活用して様々な放射線測定器、及び放射能測定器の製品展開を図っている。

福島県を始めとした東北地方等では、食品や水などに含まれる放射性セシウムの放射能濃度をそれぞれの検査基準に従い測定している。放射性セシウムの測定対象は¹³⁴Cs^(注3)と¹³⁷Cs^(注3)としており、¹³⁴Csの光子エネルギーが605keV^(注4)、¹³⁷Csの光子エネルギーが662keVであることから放射能分析装置は両者の近接したエネルギーを分離して分析できる能力が必要である。また、食品の分析では25Bq/kg^(注5)の判定値に対して、試料に含まれる放射能濃度が非常に微量であるため、時間をかけて測定しており、測定時間の短縮が必要である。

当社では微量な放射能濃度の測定について、高い放射能分析能力、短時間測定、検出器冷却レスの3つの要素を同時に実現するために信号復元技術と高感度検出技術を開発し、軽量化・運用性の改善を含め食品放射能分析装置に適用した。

(注3) ウランなどの核分裂によって生成される放射性同位体の1つ

(注4) 電子、又は陽子を1ボルトの電位差で加速したときに与えるエネルギー

(注5) 単位質量当たりの放射性物質量

3. 信号復元技術と高感度検出技術

3.1 信号復元技術

3.1.1 開発目的

放射能を分析する代表的な検出器はゲルマニウム半導体検出器とNaI(Tl)シンチレーション検出器があり、2つ

表1. 検出器の特徴

	ゲルマニウム半導体検出器	NaI(Tl)シンチレーション検出器
放射能分析能力	エネルギー分解能 約0.001MeV ¹³⁴ Csと ¹³⁷ Csの分離可能	エネルギー分解能 約0.05MeV ¹³⁴ Csと ¹³⁷ Csの分離不可
測定時間	検出効率が低いため測定に時間がかかる	検出効率が高いためゲルマニウム半導体検出器に比べ測定時間が短い
運用性	検出器冷却要	検出器冷却不要

の検出器の特徴を表1にまとめた。

ゲルマニウム半導体検出器はエネルギー分解能が高く放射能分析能力が優れているため、一般的に放射能の核種分析などに使用されているが、測定対象の放射性セシウムが微量な場合に測定時間がかかることに加え、液体窒素による冷却が必要なため運用に手間と時間がかかっている。

一方、簡易分析として使用されているNaI(Tl)シンチレーション検出器は冷却の必要がなく、大型のNaI(Tl)結晶の製造が可能なため検出効率の高い検出器を製作でき、ゲルマニウム半導体検出器に比べて測定時間を短縮できる利点があるが、エネルギー分解能が粗く、近接する核種の放射能の分析ができなかった。

このことから開発条件を次のとおり設定した。

- (1) NaI(Tl)シンチレーション検出器を選択し、分解能の向上を図る。
- (2) 従来の信号復元技術を適用し、測定時間の短縮を図る。信号復元技術は検出器のパルス波高分布から線源スペクトルをソフトウェア演算処理によって復元する処理である。
- (3) NaI(Tl)シンチレーション検出器は、ゲルマニウム半導体検出器と比較してエネルギー分解能が粗く、¹³⁴Csと¹³⁷Csのような近接した核種の分離測定が困難であるため、放射能分析能力の向上を図った信号分析技術を新たに開発する。

3.1.2 開発内容

- (1) 従来の問題点

放射性核種から出る放射線(ガンマ線)のエネルギーは、本来は核種ごとに一定の値であるが、ガンマ線を放射線測定器で測定すると検出器の物理特性(ばらつき)によって測定結果にゆらぎがでる。NaI(Tl)シンチレーション検出器ではエネルギー測定結果のゆらぎ幅が大きいため、近接したエネルギーを分離して測定ができないという問題点があった。

エネルギー分解能を向上させる方法として、放射性物質からのガンマ線エネルギーと測定結果の関係を検出器の応答関数とし、この応答関数を用いてNaI(Tl)シンチレーション検出器のパルス波高分布から線源スペクトルを復元する信号復元技術が知られている。

しかし、この信号復元技術は、従来は空間線量率の測定を目的としており、応答関数のエネルギー・メッシュ幅は最も細かい場合でも0.05MeVであった。このため、従来の信号復元技術によって復元した線源スペクトルのエネルギー分解能は0.05MeVに制限されてしまい、放射性セシウムを正確に測定することができないという問題があった。

この問題を解決するために、核種のエネルギーが近接する¹³⁴Csと¹³⁷Csを分離して測定し、かつ正確に測定可能な応答関数を開発した。

(2) 応答関数の開発

¹³⁴Csと¹³⁷Csを正確に測定するためには線源スペクトルのエネルギー分解能を0.01MeV以下とする必要があり、応答関数は測定エネルギー0～3MeVの範囲で、0.01MeVの分解能とした。NaI(Tl)シンチレーション検出器での放射線の挙動(γ線・β線やそれに伴う相互作用で発生したX線・電子などの動き)は一般的にEGS(Electron-Gamma Shower)5を用いてシミュレーション解析しており、EGS5による計算結果から応答関数を算出した。

また、NaI(Tl)シンチレーション検出器の出力信号のゆらぎを考慮する必要がある。しかし、EGS5で算出した応答関数は、ゆらぎが含まれていないため、9核種混合体積線源の光電ピークの半値幅からNaI(Tl)シンチレーション検出器の出力信号のゆらぎを測定した。

この応答関数の算出結果とゆらぎの測定結果を組み合わせて最適値を算出し、ゆらぎを考慮した応答関数を決定した。

(3) ソフトウェア演算処理の開発

検出器のパルス波高分布から信号である線源スペクトルを復元する方法は、アンフォールディング手法として知られている。アンフォールディング手法とは、放射性物質から放出するガンマ線のエネルギーと測定結果の関係をあらかじめ応答関数データベースに記憶しておき、このデータベースを使って測定結果をガンマ線のエネルギーに戻す処理である。

測定試料に複数の放射性核種が含まれる場合、核種ごとに放出するガンマ線のエネルギーが異なるため、NaI(Tl)シンチレーション検出器で測定したパルス波高分布は図1に示すように、エネルギーごとのガンマ線強度と応答関数の重ね合わせとなる。NaI(Tl)シンチレーション検出器の応答関数があらかじめ分かっている場合、測定したパルス

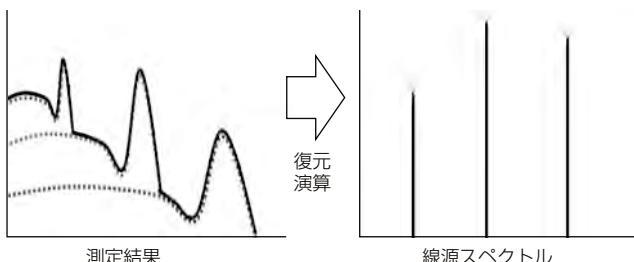


図1. 信号復元技術による線源スペクトル復元

波高分布と応答関数から線源スペクトルを復元することが可能である。

(2)で算出した応答関数を用いてアンフォールディング計算するソフトウェア演算処理を開発した。この結果、NaI(Tl)シンチレーション検出器を使用して¹³⁴Csと¹³⁷Csの核種の分離測定を可能とした。

3.2 高感度検出技術

NaI(Tl)シンチレーション検出器を使用した放射能測定の測定時間短縮には測定系の放射線収集効率を向上させる必要がある。

この実現手段として計測系の分解能を向上させる次の高感度検出技術を適用し、従来のNaI(Tl)シンチレーション検出器と比較して放射線を効率よく計測することを可能とし、測定時間の短縮を図った。

(1) 検出器単体の分解能向上

NaI(Tl)シンチレーション検出器と光電子増倍管接着面の光収集効率向上と量子効率の高い光電子増倍管を採用

(2) プリアンプ回路の雑音低減

プリアンプ回路コモンの安定化

(3) 低汚染(低バックグラウンド)部品の適用

光電子増倍管などの部品に低汚染品を選定

(4) 試料と検出器の配置構造最適化による収集効率向上

NaI(Tl)シンチレーション検出器及び試料の適切なサイズと相互位置の決定

4. 適用例

信号復元技術と高感度検出技術を適用した放射能分析装置は、食品や飲料水、土壌の分析に適用を予定している。この章では放射能分析装置の適用例として食品放射能分析装置について述べる。

図2に食品放射能分析装置の構成を示す。

食品放射能分析装置はNaI(Tl)シンチレーション検出器

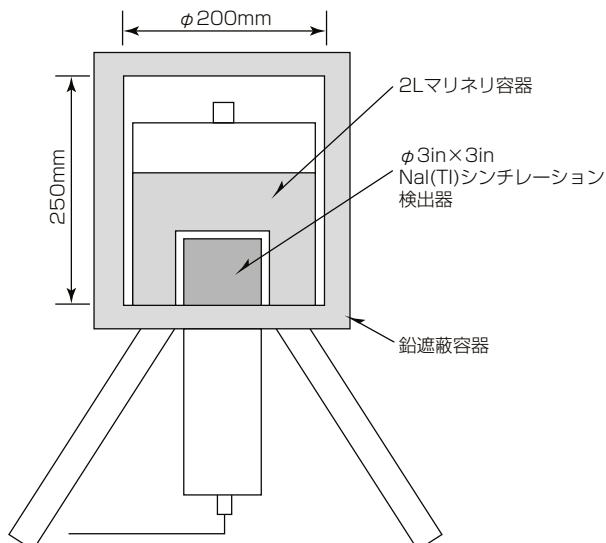


図2. 食品放射能分析装置の構成

◇一般論文◇

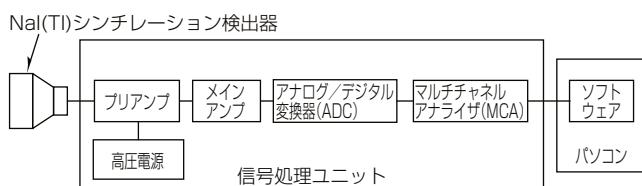


図3. 食品放射能分析装置の信号処理ブロック図

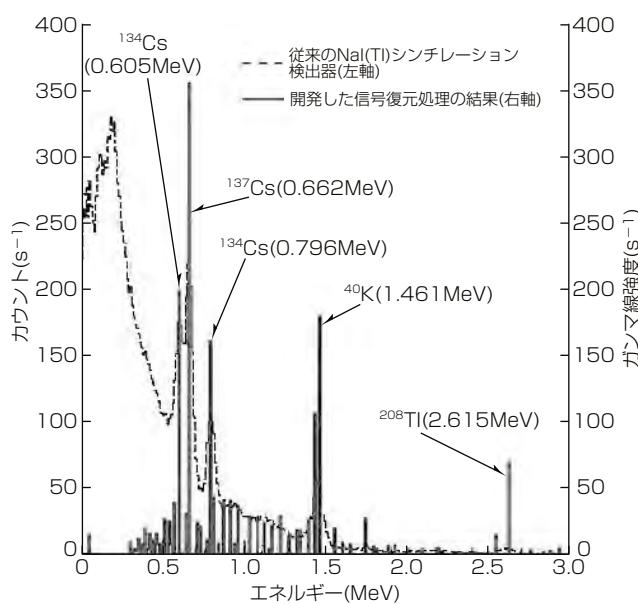


図4. 信号復元技術を適用した測定結果例

と鉛遮蔽容器で構成しており、試料は開発した2Lマリナリ容器に充填して測定する。NaI(Tl)シンチレーション検出器の出力信号は、高電圧ケーブルを介して信号処理ユニットに伝送する方式とした。

図3に食品放射能分析装置の信号処理ブロック図を示す。まず、NaI(Tl)シンチレーション検出器が出力するパルス信号を信号処理ユニットに伝送し、内蔵のプリアンプで増幅後、メインアンプで波形整形する。次に、ADCでパルスの波高をデジタル値(パルス波高値)に変換し、MCAによってパルス波高分布ごとのカウントを積算する。最後にMCAのパルス波高分布をパソコン上のソフトウェアによってアンフォールディング手法で計算し、線源スペクトルの復元を行う。

放射能分析用玄米認証標準物質をマリナリ容器に充填して測定を行った。図4に測定したエネルギースペクトルと信号復元技術によって復元した線源スペクトルの比較を示す。

信号復元技術の適用によって、¹³⁴Csと¹³⁷Csのピークがエネルギー幅0.01MeVの範囲内に収束しており、両者を分離可能であることを確認した。また、信号復元技術によって線源スペクトルを復元することで、光電ピーク以外の連続エネルギー部分も線源スペクトルとして回収されることによって、ピーク効率が高くなり、測定時間の短縮が図れることを確認した。

さらに信号復元技術に加えて高感度検出技術の適用に

表2. 従来の測定装置との比較

	従来のゲルマニウム半導体検出器を採用した装置	従来のNaI(Tl)シンチレーション検出器を採用した装置	開発した食品放射能分析装置(NaI(Tl)シンチレーション検出器+信号復元技術+高感度検出技術)
測定時間 ^(注6)	10~15分	2~5分	1分
核種分析	可	不可	可 ^(注7)
装置質量	1,500~2,000kg	150~250kg	30~160kg (設置環境による)
検出器冷却	必要	不要	不要

(注6) 試料質量2kg、検出下限25Bq/kgの場合
(注7) ¹³⁴Csと¹³⁷Cs

よって、食品放射能分析装置に使用するNaI(Tl)シンチレーション検出器の出力信号のゆらぎをハードウェア的に小さくし、測定時間の短縮を可能とした。

表2に従来のゲルマニウム(Ge)半導体検出器とNaI(Tl)シンチレーション検出器を採用した装置、及び開発した食品放射能分析装置の比較を示す。

開発した食品放射能分析装置は、信号復元技術と高感度検出技術を適用したことによって測定時間の短縮(1分)、¹³⁴Csと¹³⁷Csの分離測定が可能、装置の軽量化(30~160kg)、検出器冷却レスを実現した。

5. むすび

微量な放射能濃度の測定について、高い放射能分析能力、短時間測定、検出器冷却レスの3つの要素を同時に実現するため開発した信号復元技術と高感度検出技術、及びその適用例として食品放射能分析装置について述べた。

開発した技術を各製品に適用することで震災復興での住民の安全・安心な暮らしを守る一助となるよう貢献していく。

この放射能測定技術は独立行政法人科学技術振興機構の研究成果展開事業(先端計測分析技術・機器開発プログラム)による成果である。

参考文献

- (1) 東 哲史, ほか: アンフォールディング手法を用いたNaI(Tl)シンチレーション式食品放射能分析装置の開発, 日本原子力学会「2013年秋の大会」, E50 (2013)
- (2) 西沢博志, ほか: 環境放射線センシング技術, 三菱電機技報, 87, No.6, 349~352 (2013)
- (3) Minato, S., et al.: Evaluation of Exposure due to Terrestrial Gamma-Radiation by Response Matrix Method, Journal of Nuclear Science and Technology, 7, No.8, 401~406 (1970)
- (4) Hirayama, H., et al.: The EGS5 code system, SLAC-R-730 and KEK Report 2005-8 (2005)
- (5) 文部科学省: 放射能測定シリーズ20「空間γ線スペクトル測定法」, 日本分析センター (1990)

火力発電プラント向け電気制御・保護装置

柳川茂幸*
井上智義*
安藤聖人*

Electrical Controller and Protection Unit for Thermal Power Station

Shigeyuki Yanagawa, Tomoyoshi Inoue, Masato Ando

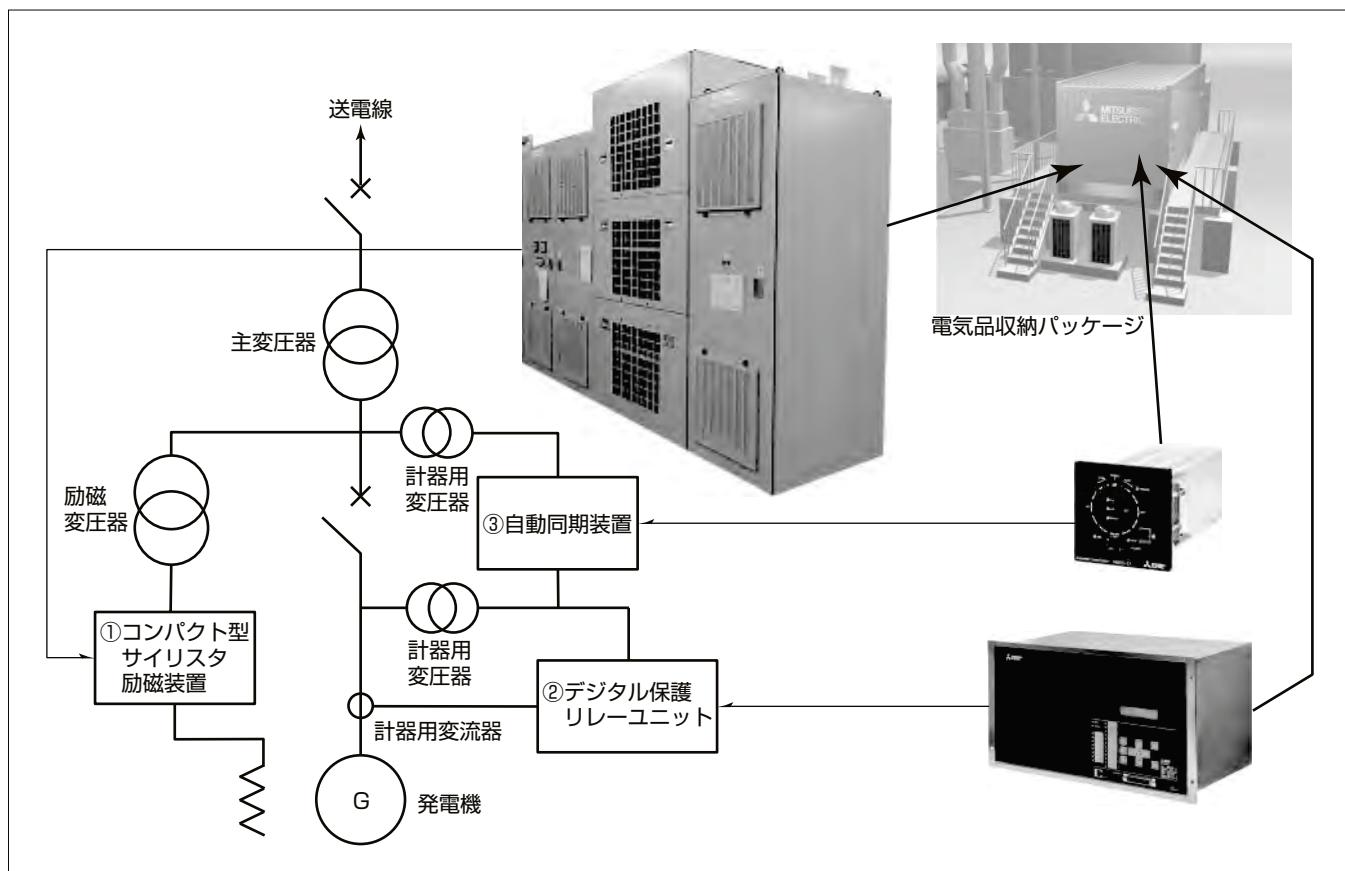
要 旨

近年の電力事業自由化の進展に伴い、一般電気事業者に限らず異業種から参入した新規事業者による電力販売が可能となり、電力事業を取り巻く市場環境は急速に変化している。現在、我が国の発電電力量の大部分は火力発電所から供給された電力が占めており、今後の新規入札電源も火力発電が主体的となることから、火力発電所に対する経済性評価に基づく建設・運用コストの低減検討が積極的に行われている。特に、三菱電機納入品が直接的にかかわる建設コストでは、大きなファクタを占める土建コストを低減するため、建屋に収納する電気品のコンパクト化への要求が多い。また、海外の発電事業者では電気品をコンテナタイプのパッケージに収納して屋外仕様化し、建屋そのもの

を設置しないケースも多い。

当社はこれら発電事業者の要求に応えていくため、主回路系統構成の合理化検討や電気品のコンパクト化に主眼を置いた開発に取り組んでいる。

本稿では、火力発電プラントに適用している電気制御・保護装置に注目して、ここ数年に当社が開発した製品群を述べる。これらの製品はいずれも従来品と同等以上の性能・信頼性を確保しながら優れたコストパフォーマンスとコンパクト化を実現しており、発電事業者の要求に応えられるものと考えている。また、本稿で述べる製品群の開発に際し、新規適用した技術に着目して開発フェーズでの当社の技術成果についても述べる。



火力発電プラントの電気制御・保護を担う当社製品群

火力発電プラントの主回路構成に①コンパクト型サイリスタ励磁装置、②デジタル保護リレーユニット“MELPRO-HA”，③自動同期装置“MEGPIC-II A”を示す。従来品と同等以上の性能・信頼性を担保しつつ、従来製品から大幅なコンパクト化設計を行うことで電気品の設置スペースの縮小に寄与している。図の右上に示す電気品収納パッケージに実装することも考慮し、建屋を設けない発電プラントへの対応も可能としている。

1. まえがき

近年の電力事業の自由化の進展に伴い、一般電気事業者に限らず異業種から参入した新規事業者による電力販売が可能となり、火力発電設備の建設コストの低減要求は厳しさを増している。当社はこれらの課題に対応していくため、火力発電設備の電気制御・保護装置の分野で、次の装置を新規開発して市場に投入している。

- (1) コンパクト型サイリスタ励磁装置
- (2) デジタル保護リレーユニット
- (3) 自動同期装置

本稿では、これら新機種の仕様を述べるとともに、高いコストパフォーマンスとコンパクト化を実現するためにクリアした技術課題について述べる。

2. コンパクト型サイリスタ励磁装置

2.1 パッケージ収納化への課題

当社では、発電所建設コストの削減や現地工程の短縮を目的として、特に海外向けガスタービン複合サイクル発電プラントを中心に電気品をパッケージへ収納する取組みを進めている。対象設備は保護リレー盤、監視盤等の制御盤が中心であったが、さらにサイリスタ励磁装置もパッケージへ収納しようとした場合、輸送制約から寸法制限があるパッケージに対して励磁装置の盤サイズが大きいほか、保守作業時のアクセスが前後面ともに必要となる点で、既存機種のパッケージ収納は困難であった。

2.2 基本仕様

現行機種と今回開発したコンパクト型サイリスタ励磁装置の仕様比較を表1にまとめる。表1に示すように、サイリスタ整流器1並列当たりの定格電流を従来比以上としながら、装置の奥行き寸法を従来比半分とし、パッケージへの収納に対応させている。

2.3 パッケージ収納化への取組み

(1) 盤内冷却方式の見直し

従来機種では、盤上部に配置した軸流ファンによってサイリスタ整流器を含めて盤内部を一括で冷却していたが、盤の上部にファン用モータが突出するため励磁装置の外形寸法が大きくなりがちであった。今回開発したコンパクト型サイリスタ励磁装置では、冷却ファンの取付け方法を工夫することによって、盤内の風量を均一化できるように改善した。さらに最適な風導設計を実施した結果、冷却効率の向上によって、1並列当たりの定格電流を10%程度増やせる効果が得られた。

(2) 盤裏面からの保守アクセスの廃止と奥行き寸法半減

パッケージ収納時、収納品はパッケージの壁面に接して配置されており盤裏面からのアクセスは不可能となる。従来は、保守作業として導体の増し締めを行う際に裏面からのアクセスが必要となっており、パッケージへの収納が困難であった。コンパクト型サイリスタ励磁装置では、導体の配置、盤内部品の配置、内部金具の取付け方法を見直すことで導体の増し締めも前面から実施できるようにして、盤裏面からの保守作業を不要とした。また、導体ルート、部品配置の見直しによって、従来機種の奥行き寸法2,000mmに対して1,000mmへ半減させることができた。励磁装置の奥行き寸法の比較を図1に示す。

表1. コンパクト型サイリスタ励磁装置の仕様比較

比較項目	現行機種	開発機種
盤サイズ	幅3.2×奥行2.0×高さ2.3(m) (14.72m ³)	幅4.6×奥行1.0×高さ2.3(m) (10.58m ³)
保守スペース	盤の前後面に必要	盤前面だけ
サイリスタ整流器 1並列当たり定格電流	2,064A	2,230A
冷却方式	盤一括冷却	サイリスタ素子ごとの冷却

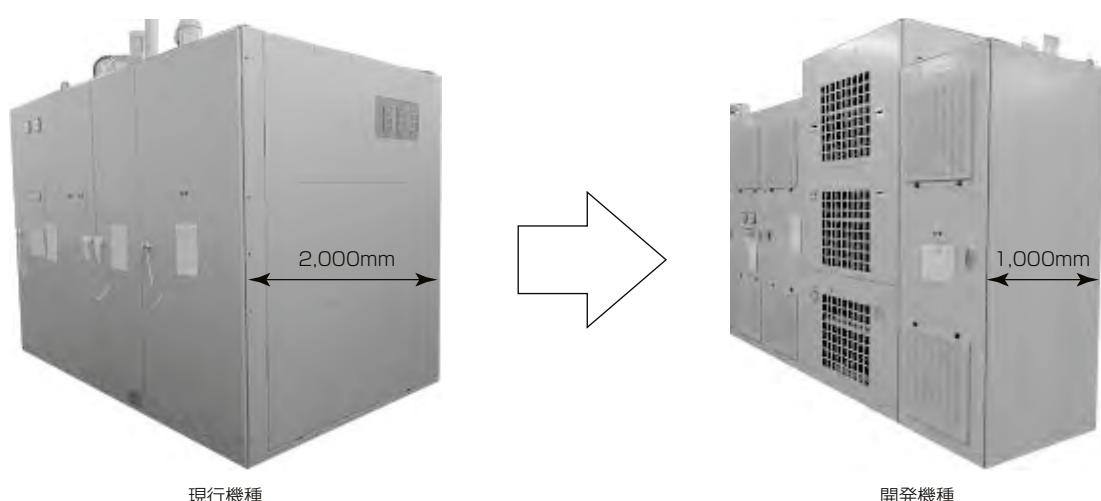


図1. コンパクト型サイリスタ励磁装置の奥行き寸法比較

3. デジタル保護リレーユニット

3.1 開発コンセプト

今回開発したデジタル保護リレーユニットの外観を図2に示す。従来、国内／外の向け先に応じて使い分けをしてきた保護リレー機種の統合を図るため、ハードウェアは海外系統・変電市場に投入済みの機種である“MELPRO-HAシリーズ”に新ユニットタイプを加える形でラインアップを拡大した。

保護リレーのハードウェア仕様はIEC60255／JEC2500シリーズに対応するとともに、北米市場への投入も考慮して、北米の安全規格であるUL(Underwriters Laboratories)認証も取得手続き中である。また、国内向け電力事業で培った豊富な保護制御技術も取り込んで保護アルゴリズムを構築しており、ハードウェア、ソフトウェアのどちらの観点でも、国内／外に共通して適用できる機種として開発した。

(1) ハードウェア構成

保護リレーを構成するプロセッサ、操作パネル、入力変換器、信号の入出力基板これらを接続する通信バス、及び電源装置を同一ユニットに収納した。火力発電所向けに定格周波数よりも低い周波数での運用(広帯域運用)を考慮するため、従来機種では入力変換器を特殊仕様品とする必要があり、保護リレー盤内の下部に別置きとしていたが、入力変換器も内蔵しオールインワンを実現した。

(2) ソフトウェア構成

国内電力会社向け保護リレー装置で適用してきたカスタマイズロジックを火力向けMELPRO-HAにも実装し、海外向け火力保護システムへの適用を可能とした。カスタマイズロジックは保護アルゴリズムソフトウェアとは別の領域で構成しており、保護リレー盤設計時に向け先に応じて専用ツールで構築する。また、この専用ツールは実装ロジックを視覚的に描画する機能を持っており、保護リレー盤の設計部門が実現するプラント保護インターロックと容易に整合性を確保できるようにしている。



外形寸法：幅483×奥行256×高さ266(mm)

図2. 火力向けデジタル保護リレーユニットMELPRO-HA

3.2 コンパクト設計の追求

当社では海外向け火力発電所を中心に標準単線結線図を適用しており、発電プラント仕様の最上流に当たる機器構成を標準化して下流側の機器仕様書のほか保護動作ロジック等の制御仕様も含めた標準化を行っている。今回開発した火力向けMELPRO-HAは、この標準単線結線図に基づいて計画した保護システムを最小構成で構築することを目的としており、標準的な火力発電所内の主回路機器である発電機、主変圧器、所内変圧器、励磁変圧器の保護を表2に示す2種類のユニットで対応可能である。表2に示すとおり、発電機保護にかかる全要素を発電機用リレーユニット“MGP-H1A”に、3台の変圧器(火力発電所内の主変圧器、所内変圧器、励磁変圧器)の保護を変圧器用リレーユニット“MGP-H2A”に高集約実装しており、リレー盤として構成した場合の保護システムの構成をシンプルなものとしている。なお、二重化の要求仕様がある場合には同一ユニットを重複実装して対応する。ユーザースペックとして最も指定が多いシステム構成であるMGP-H1A×2ユニットとMGP-H2A×2ユニットで構築したシステムと比較すると、従来機種“MELPRO-CHARGE”，又は汎用IED“Intelligent Electrical Device”を適用した保護リレー装置で盤2面を必要としていたところ、火力向けMELPRO-HA適用時は1面に実装することができ、装置面数を半減させている。

3.3 技術課題と克服に向けた取組み

火力向けMELPRO-HAの開発に際して取り組んだ技術課題は主に次の2点である。

(1) 広帯域対応

ガスタービン複合サイクル発電では発電機を同期電動機として運転し、原動機の起動用駆動源として使用するため、

表2. 火力発電プラント向けMELPRO-HA実装要素

発電機保護用ユニット (MGP-H1A)	変圧器保護用ユニット (MGP-H2A)
VT異常検出	変圧器比率差動-1
短絡距離	過電流(限時／瞬時)-1
過励磁	地絡過電流-1
不足電圧起動過電流	地絡差動-1
電圧抑制付過電流	変圧器比率差動-2
起動時過電流	過電流(限時／瞬時)-2
比率差動	地絡過電流-2
界磁喪失	地絡差動-2
周波数	変圧器比率差動-3
逆電力	過電流(限時／瞬時)-3
過電圧	過励磁
逆相過電流	地絡過電圧
地絡過電流	
地絡過電圧	
界磁地絡	
脱調検出	
地絡差動	
不足電圧	

◇一般論文◇

定格周波数よりも低い周波数での運用(広帯域運用)を考慮する必要がある。そこで、計器用変圧器(VT)及び計器用変流器(CT)信号に周波数検出機能を設け、広帯域で使用する要素に対して、フィルタゲインに補正をかける機能を付加している。

(2) 保護アルゴリズムの高集約実装

保護リレーシステムとしてのコンパクト設計を実現するため、單一リレーユニット内に保護アルゴリズムを高集約実装している。事故シミュレーション試験を含む総合的な検証を繰り返し実施し、集約実装した要素間の動作協調を確保するとともに、演算負荷が高まる事故除去中の動的な状態でも、種々の機能に支障がないことを確認して信頼性の高い保護システムに仕上げている。

4. 自動同期装置

4.1 開発コンセプト

自動同期装置とは発電機を電力系統へ併入する際に、発電機側の電圧・周波数・位相を系統側に合わせるよう自動的に調整し、併入時の過渡電流が最小となるタイミングで併入遮断器を投入させる装置である。当社は、国内事業用火力向け自動同期装置として、“MEGPICシリーズ”を2001年から市場投入してきた。海外を含め電力会社以外のユーザーに対しては過剰仕様となるケースもあることから、これらのユーザーも含めて幅広く適用できる機種として図3に示す“MEGPIC-II A”を開発した。従来機種であるMEGPICと比較したMEGPIC-II Aの特長は次のとおりである。

- (1) MEGPICと比較して、容積を20%以下に小型化した上で、電力規格B-402に対応した耐環境性能を実現した。
- (2) ユニット表面に保守ツール用インターフェースを装備し、整定作業のほか保守作業を外部パソコンから実施できるシンプルなマンマシンインターフェースを実現した。

4.2 コンパクト化

現行のMEGPICと比較して、次のとおり、容積で約80%のサイズダウンを実現した。

MEGPIC：幅280×高さ180×奥行270(mm) (0.0136m³)

MEGPIC-II A：幅110×高さ110×奥行200(mm) (0.0024m³)

コンパクト化に伴い、専用の自動同期盤を設ける必要がなくなり、他の機能を持つ制御盤(保護リレー盤など)との



図3. MEGPIC-II A

統合化を図ることが可能となった。また、盤実装時のパネルカット寸法を縮小化できるため、アナログタイプも含めた従来機種の更新に対しても、取り付けパネルを介することで短工期での更新を可能とした。

4.3 視認性と保守性の向上を実現

視認性と保守性を向上させるため、前面パネルにシンクロメータを採用した。従来機種のMEGPICでは、電力系統側・発電機側の電圧・周波数・位相の状態(同期がとれているかどうか)を装置で視認することができなかつたが、この機種では同期成立状態のほか、非同期状態から同期成立にいたる過程もシンクロメータで確認することができ、プラント試運転時の視認性向上へも寄与している。

また、保守点検機能を保守用パソコンに持たせることで、従来機種では装置前面パネルで実施していた整定作業の操作性を高めることができた。さらに、MEGPIC-II Aに付加したデータの蓄積機能と組み合わせて同期投入不成功時のMEGPIC-II Aの入出力状態を確認することができる。MEGPIC-II Aに実装しているデータ蓄積機能は次のとおりである。

(1) 投入ログ

同期投入前後のVT信号及びMEGPIC-II Aのデジタル入出力信号のON/OFF状態を同期点の前後1秒間(合計2秒間)にわたって5msサンプリングで蓄積できる。

(2) エラーログ

エラー発生要因をコード表示させ、コード一覧から装置故障(内部要因)／システム異常(外部要因)のどちらが発生したのか確認可能である。

4.4 技術課題と克服に向けた取組み

現行のMEGPICシリーズと比較して80%のサイズダウンを実現するにあたって取り組んだ技術課題は次の2点である。

(1) 基板実装時の機能集約

表示用、入出力用のように機能ごとにプログラム可能な集積回路を構成すると基板サイズが大きくなるため、機能ごとの集積回路構成を止め、CPU基板だけにピン数と容量の大きいFPGA(Field Programmable Gate Array)を採用した。

(2) 汎用通信モジュールの活用

保守作業用CPUに汎用の通信モジュールを適用することで実装部品数を低減した。

5. むすび

火力発電プラントの電気品の市場に対し、当社は本稿で述べた電気制御・保護装置を順次投入している。現在は海外向け火力発電プラントへの適用が中心であるが、国内の発電事業者のほか、装置の部分的なチューニングを施して火力発電プラント等、多用途向けに拡販を行い、国内外を問わず、合理的な発電システムの構築に寄与していく所存である。

駆動用モータを用いた振動モード測定技術

藤田智哉*
長岡弘太郎*

Modal Analysis Method by Using Drive Motors

Tomoya Fujita, Kotaro Nagaoka

要 旨

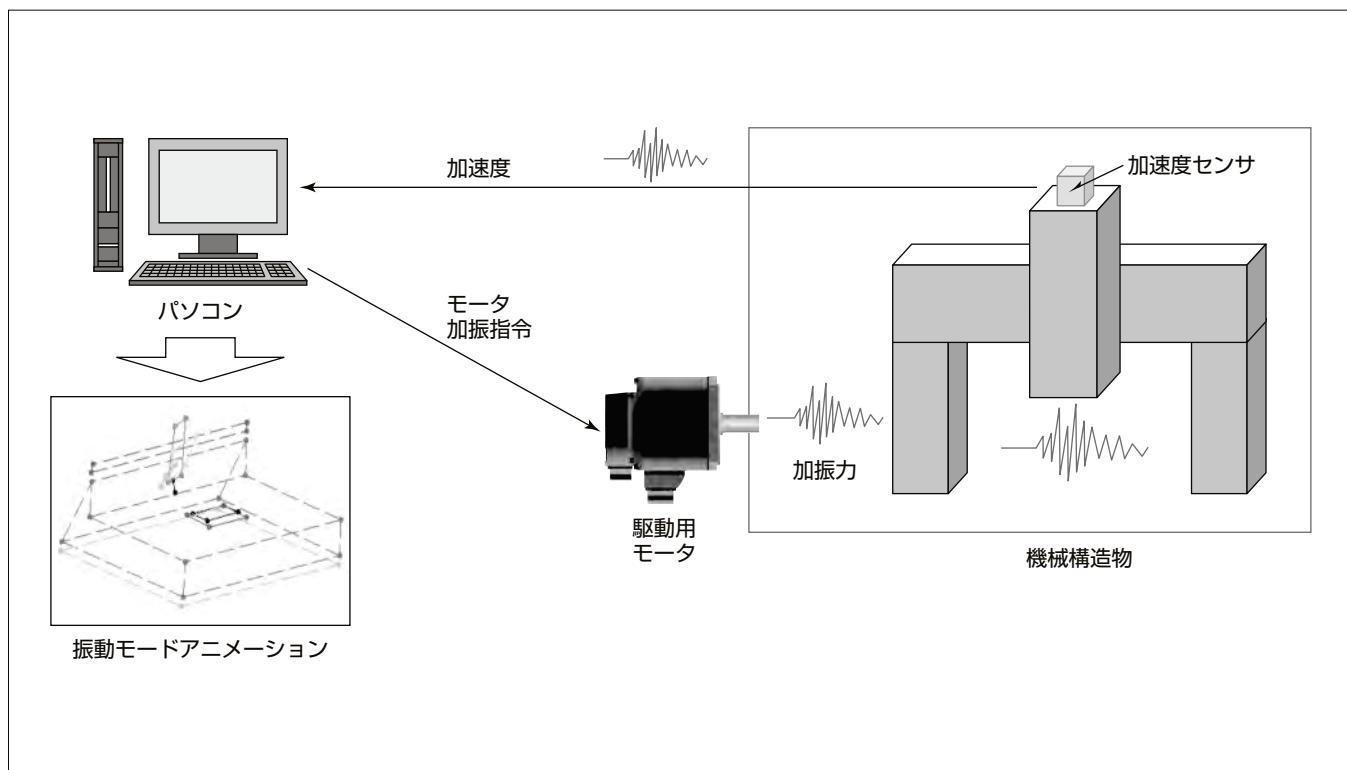
部品の搬送や加工、製品の組立に使用される産業用途の機械には、生産にかかる時間を短縮して高い生産性を実現することが求められている。そのため、機械を動かす駆動装置の高速化・高加速度化が図られているが、高速・高加速度駆動によって機械構造物が振動しやすくなるという問題がある。大きな振動が発生すると部品に傷をつけたり、組立て精度に影響を与えるりする。

機械構造物の振動の発生を防ぐためには、適切な振動対策を施す必要がある。そのためには、機械構造物全体がどのように振動しているか(振動モード)を正確に把握する必要がある。しかし、従来の振動モード測定方式を産業用途の機械に適用する際には、次のような課題があった。

- (1) 複数の機器やソフトウェアを用意する必要がある。
- (2) 機械振動を発生させる作業(加振)にノウハウが必要。
- (3) 駆動装置や機械位置によって振動モードが変わる。

そこで、これらの課題を解決するため、産業用途の機械向けの振動モード測定技術を開発した。開発した技術は、駆動用のモータを用いて機械構造物の振動を発生させることが特長である。これによって、振動を発生するために使用していた外部の加振装置が不要となる。また、駆動装置を用いて機械振動を発生させることで、加振にノウハウが不要となる。また、駆動装置の位置情報を用いれば、機械の位置による振動モードの違いを簡単に評価できるようになる。

開発した振動モード測定システムでは、従来の振動モード測定方式と比較して、測定時間を40%程度短縮することができる。また、機械位置と振動モードの対応関係を容易に比較できるようになるため、振動の発生原因に対して的確な振動対策を実施することができる。



駆動用モータを用いた振動モード測定技術

今回開発した振動モード測定技術では、パソコンからの指令で、駆動用モータを用いて機械構造物を加振し、振動を発生させることが特長である。この時、機械構造物上に取り付けた加速度センサ信号を用いて測定した振動特性を基に、機械構造物の振動モードアニメーションを描画する。

1. まえがき

近年、自動車部品や航空機部品、半導体などの生産現場で、生産性向上への要求が高まっている。作業時間を短縮するため、製品の搬送、加工、組立てなどを行う機械の駆動装置の高速化・高加速度化が進んでおり、数十m/minの最高速度と数Gの加速度を持つ駆動装置が採用されることも珍しくない。しかしながら、駆動装置の高速・高加速度化によって、機械振動が生じやすくなるという課題がある。大きな振動が発生すると、加工機であれば部品に傷をつけたり、組立てロボットであれば組立精度に影響を与えるため問題である。

機械振動の主な原因の1つは、駆動装置から発生する駆動力によって生じる機械構造物の変形である。そのため、駆動力が大きくなるにつれて、機械振動が大きくなる。機械振動を抑制するためには、駆動装置の制御系にフィルタを適用して駆動力の振動を引き起こしやすい成分の除去を行う制御面からのアプローチと、振動しやすい部材の補強や構造変更を実施する設計面からのアプローチの2通りの方法がある⁽¹⁾。どちらの方法を用いる場合でも、機械の振動モードを正確に把握する必要がある。振動モード測定では、ある基準となる力などの入力に対して機械構造物のそれぞれの部材がどのような振幅比と位相差(時間差)で振動するかを測定する必要がある。そこで、駆動装置を持つ機械の振動モードを簡単に測定するための測定技術を開発した。

本稿では、開発した振動モード測定システムの特長と、そのシステムを用いた加工機の振動モード測定の結果について述べる。

2. 従来の振動モード測定方式とその課題

2.1 振動モード測定方式

図1は、従来の振動モードを測定する方式であるインパルスハンマーを用いた測定システムの構成例である。振動モードを測定するためには、機械構造物の振動を検出するセンサ、振動を発生させるインパルスハンマー(以下“ハンマー”という。)と振動を測定するデータ計測装置(FFT

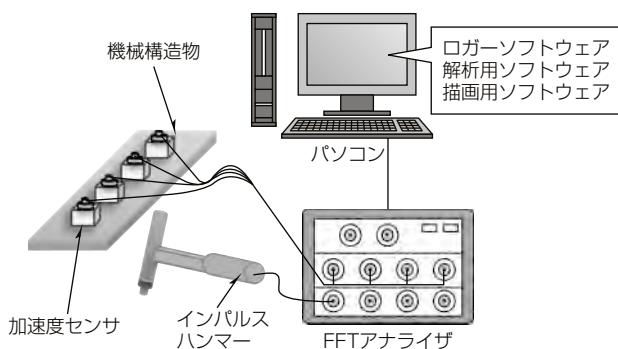


図1. 従来の振動モード測定方式

(Fast Fourier Transform)アナライザ)が必要である。ハンマーの代わりに、機械を振動させる装置(加振器)が使用されることや、加速度センサの代わりに、速度センサや変位センサが使用されることもある⁽²⁾。また、これらに加えてデータを測定するロガーソフトウェア、測定結果を解析し、振動モードを計算する解析用ソフトウェア、振動モードをアニメーションとして表示するための描画用のソフトウェアが必要となる。

図2は、振動モード測定の手順を示したフローチャートである。最初に、機械構造物上の振動を評価する点に加速度センサを貼付する。次に、ハンマーで機械構造物を打撃し、振動を発生させる(加振)。この時、ハンマーの加振力から機械構造物の加速度までの振動の伝達特性(伝達関数)を測定する。測定点が多数ある場合は、同様にセンサの貼付位置を変えながら、全ての測定点で伝達関数を測定する。全ての測定が終了したら、伝達関数から機械振動が特に強く表れる周波数(共振周波数)を抽出する。この時、共振周波数で、機械構造物上の全ての点でのハンマーの加振力に対する加速度の振幅比と振動が伝わるまでの時間差(位相差)を計算する。このようにして計算した機械構造物の振動の形態が振動モードであり、目視で確認しやすいように、アニメーションとして表示する。

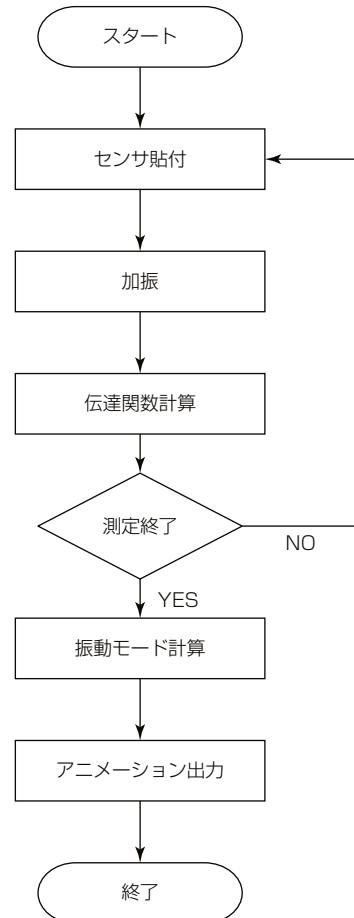


図2. 振動モード測定の流れ

2.2 従来の振動モード測定方式の課題

駆動装置を持つ機械の振動モード測定に、従来の振動モード測定方式を適用する場合、次のような課題がある。

- (1) 単純な構造部材と異なり、産業用途の機械は、多くの部材で構成されているため、測定点が多くなり、何度も測定を繰り返さなくてはならず、面倒である。
- (2) 人手で加振を行うため、加振力の再現性の確保が難しい。また、大型の機械では、数tの質量があるため、十分な機械振動を発生させることができない。
- (3) ハンマーの代わりに加振器を用いる場合は、取付け作業が面倒であるという課題と取付け場所が確保できないという課題がある。
- (4) 駆動する駆動装置ごとに振動モードが異なる場合や駆動装置の位置によって振動モードが変化するため、これらの情報と振動モード測定結果の関係を解析する必要がある。

これらの課題を解決するため、駆動用のモータを用いた振動モード測定技術を開発した。

3. 振動モード測定技術

3.1 システム構成

この開発で試作した振動モード測定システムの構成を図3に示す。このシステムは、機械構造物の機械振動を検出する加速度センサ、振動データを測定するデータ計測装置、駆動装置とそれを制御するコントローラ、測定とデータ解析を行う計測用ソフトウェアで構成している。計測用ソフトウェアは、コントローラ経由で駆動装置に機械振動発生指令(加振指令)の出力とデータ計測装置で測定した信号の取得を行う。

駆動用モータを用いた機械構造物の加振方式の詳細を図4に示す。コントローラは、加振指令に基づいてモータを駆動する。これによって機械構造物に加振力が伝わり、機械振動が発生する。この時、データ計測装置で、モータの駆動力の信号と機械構造物上に貼付した加速度センサの信号を同期して測定する。

3.2 ソフトウェア構成

パソコン上の計測用ソフトウェアでは、1つのソフトウェアで加振とデータの解析、振動モード測定結果の表示を一括して行う。

計測用ソフトウェアを用いた加振では、加振に用いる駆動装置とその時の平均の駆動力の大きさを入力する。これをコントローラで、使用しているモータに合わせて駆動装置の加振信号を自動で生成する。

計測用ソフトウェアを用いたデータ解析では、データ計測装置で測定したモータの駆動力と加速度から振動モードを計算する。この時、コントローラから測定開始時の位置情報や機械に生じている摩擦力、機械の温度情報などを受

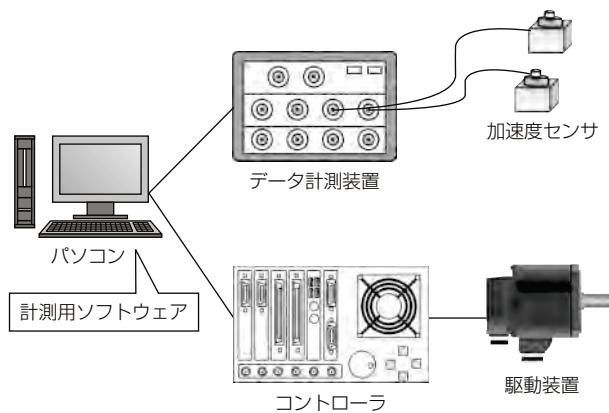


図3. 試作した振動モード測定システムの構成

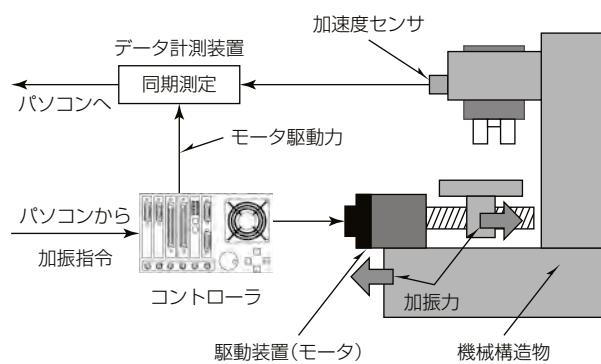


図4. 駆動用モータを用いた機械構造物の加振方式

け取り、これらの情報と振動モードの関係を保存する。これは、産業用途の機械は、次のような特性を持つことが多いのである。

- (1) 駆動装置の位置によって振動モードの形状や共振周波数が変化する。
- (2) 摩擦力の大きさによって共振周波数が変化する。
- (3) 温度によって振動モードが変化する。

計測用ソフトウェアを用いた測定結果の表示では、機械構造物の振動モードをアニメーションとしてモニタに表示する。

4. 小型加工機の振動モード測定

4.1 小型加工機の仕様

試作した振動モード測定システムを用いて、小型加工機の振動モードを測定する。実験に使用した小型加工機の仕様を表1にまとめる。この加工機は、作業机の上などに置いて使用が可能な実験用の卓上加工機であり、X軸、Y軸、Z軸の直交する3つの可動軸を持ち、各軸の駆動装置を駆動することで、部品を移動させたり、穴あけなどの簡単な加工を行うことができる。

測定実験では、最も可動質量の大きなY軸駆動装置を用いて機械構造物を加振した時に、この小型加工機に生じる振動モードを測定する。

表1. 小型加工機の仕様

本体寸法	W560×D810×H840(mm)
質量	約100kg
モータ	ACサーボモータ
駆動力伝達機構	ボールねじ
ストローク	X 270mm Y 170mm Z 150mm

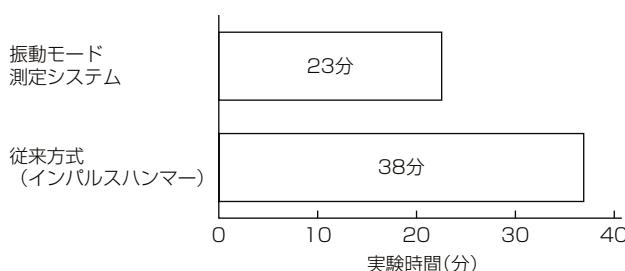


図5. 実験時間の比較

4.2 振動モード測定時間の比較

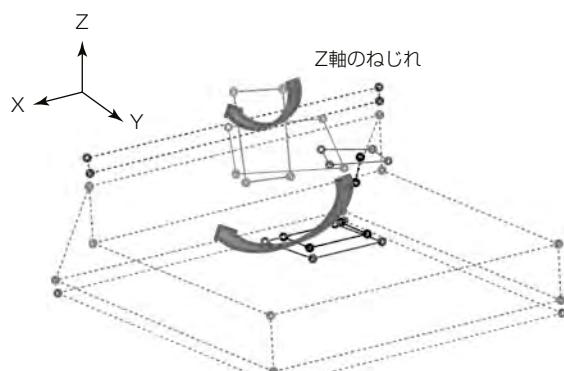
実験では、振動モードを評価する測定点として、機械構造物上の32点を抽出した。1回の測定で2個の加速度センサを使用し、加速度センサの位置を変えながら32点の機械構造物上の測定点を16回に分けて測定した。この時、試作した振動モード測定システムを用いた場合と従来の振動モード測定方式を使用した場合の測定時間を比較した。

図5は実験時間の比較の一例である。従来の振動モード測定方式では、ノイズによる測定の誤差を低減するために1回の測定について5回の打撃を行う必要があった。そのため、機械構造物の振動モードを測定するのに約38分の時間がかかった。これに対して、試作した振動モード測定システムでは、加振に用いる駆動力の再現性が確保できるため1回の加振を行うだけでよい。これによって、実験時間は、約40%減の23分となった。

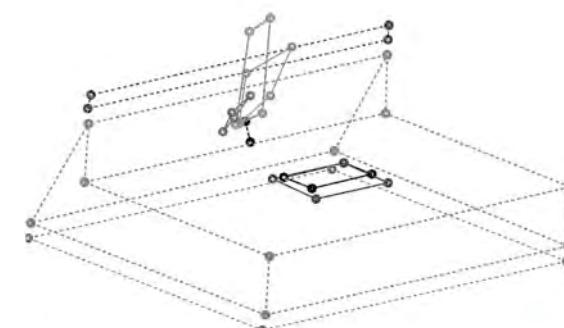
4.3 振動モード測定結果

振動モード測定の結果、この小型加工機は、周波数が約25Hzのときに最大の振動モードを持つことが明らかになった。図6は、最大の振動モードを模式的に表した図である。同図(a)は、小型加工機のY軸の正方向に最大振幅をとるときの、同図(b)はY軸の負方向に最大振幅をとるときの各測定点でのモータの駆動力に対する振幅比を表示している。この小型加工機で支配的な振動モードは、Z軸の機構が、XY平面内でねじれる振動モードであることが明らかになった。

また、この振動モードは、Z軸の駆動対象の位置によって共振周波数が変化するモードであることが明らかになった。そのため、駆動対象の位置と振動モードの共振周波数の関係を保存しておくことで、機械位置による振動モードへの影響が評価しやすくなる。



(a) Y軸正方向に最大振幅をとる時の振動モード



(b) Y軸負方向に最大振幅をとる時の振動モード

図6. 測定された最大の振動モード

このような振動を抑制するためには、例えば、次のような対策が考えられる。

- (1) Z軸の取付け部分の強度(剛性)を高くする。
- (2) Z軸から機械の先端までの距離を短くする。
- (3) X軸駆動時にフィルタを用いて共振周波数の振動成分をカットする。

このように、振動モードを正確に測定することで、適切な振動対策を実施することが可能となる。

5. む す び

駆動装置を持つ機械で、振動モードを簡単かつ高精度に測定するため、駆動用のモータを用いて機械構造物を加振する振動モード測定技術を開発した。開発では、振動モード測定システムを試作し、小型加工機の振動モード測定を行い、従来の振動モード測定方式より簡単かつ短時間で実験を終了できることが確認できた。また、駆動対象の位置による振動モードの違いを評価することができた。

今後も継続して開発を続け、生産現場の生産性向上に貢献できる技術開発に努めていく。

参 考 文 献

- (1) 松原 厚：精密位置決め・送り系設計のための制御工学，森北出版（2008）
- (2) 長松昭男：モード解析入門，コロナ社（1993）

SF₆ガス／固体ハイブリッド絶縁によるGIS小形化技術

釣本崇夫* 山本茂之**
吉村 学**
海永壮一郎**

Down-sizing of Gas Insulated Switchgear with SF₆ Gas/Solid-hybrid Insulation

Takao Tsurimoto, Manabu Yoshimura, Soichiro Kainaga, Shigeyuki Yamamoto

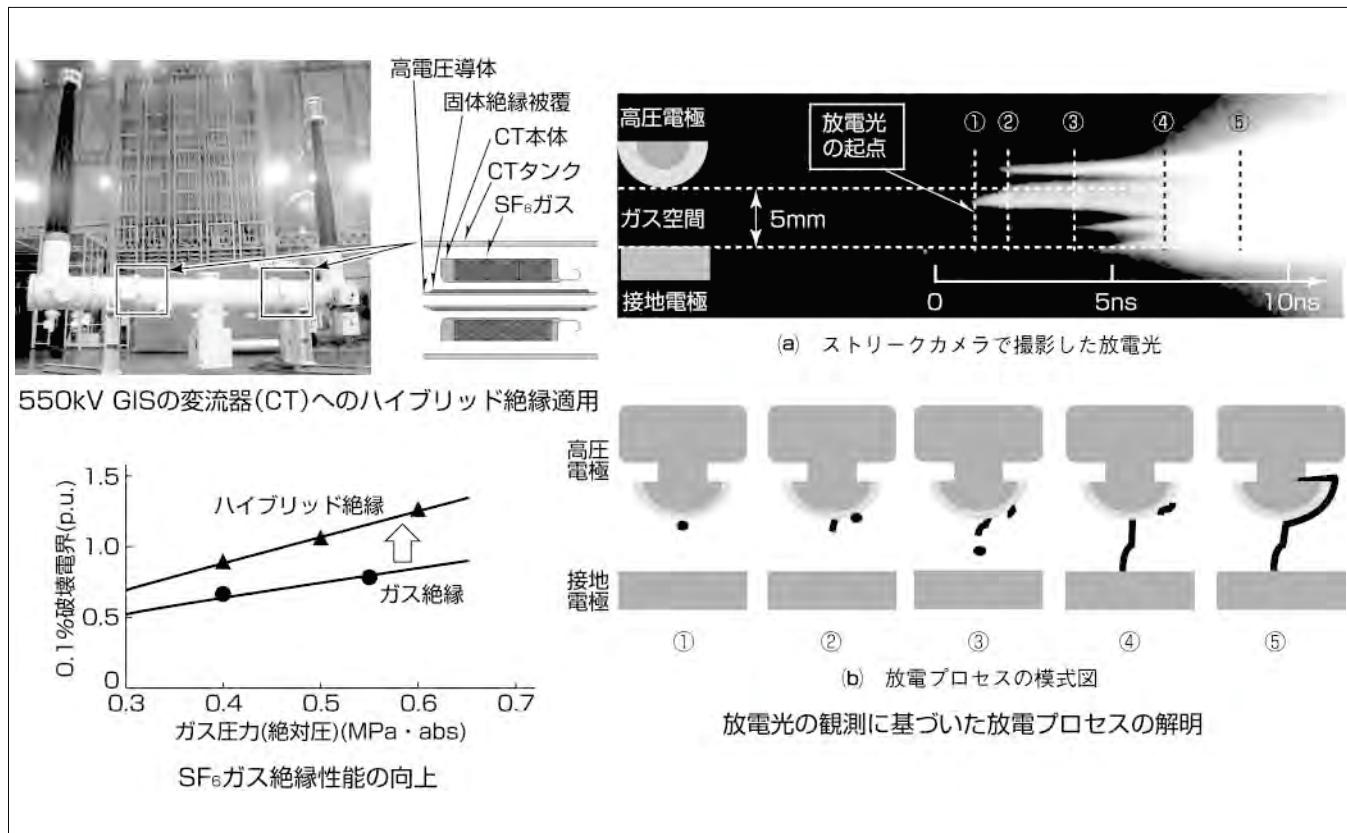
要 旨

ガス絶縁開閉装置(GIS)には、高い絶縁性能を持つSF₆(六フッ化硫黄)ガスが絶縁媒体や消弧媒体として使用されている。しかし、SF₆ガスは地球温暖化係数が高いため、世界規模での環境意識の高まりの中でガスの使用量や排出量の削減といった低環境負荷への対応が求められている。

これに対して、三菱電機ではガス絶縁性能を更に向上させて機器を小形化するためのハイブリッド絶縁技術を開発した。ハイブリッド絶縁は、高電圧導体表面に固体絶縁被覆を施したもので、ガス絶縁で弱点となる電極表面上を絶縁物で覆うことで放電を抑制するものである。これによっ

て、導体を被覆しない場合に比べて絶縁性能を50%向上させた。また、放電が発生して絶縁破壊するまでのプロセスを放電光の観測によって明らかにし、絶縁性能のばらつきが小さく信頼性の高い絶縁被覆を実現した。

この方式を550kV GISの変流器(Current Transformer: CT)部の導体に適用することで、接地電位となるCT収納ケースを小形化し、CT本体及びタンクの小形化とSF₆ガス使用量の30%削減を実現した。今後、ハイブリッド絶縁の適用範囲を拡大することによって、GISの一層の小形化を図る。



ハイブリッド絶縁によるSF₆ガス絶縁性能の向上と550kV GISへの適用

金属電極に絶縁被覆をしない従来のSF₆ガス絶縁に対して、絶縁被覆したハイブリッド絶縁の破壊電界は50%上昇する。ハイブリッド絶縁では、放電がガス空間を起点に発生して絶縁破壊する様子が確認でき、電極表面の微小突起など絶縁上の弱点の影響が抑制されたためと推定できる。550kV GISのCT部の導体を絶縁被覆してハイブリッド絶縁にすることで高電界絶縁設計を可能とし、CT本体とCTタンク径の小形化を実現した。

1. まえがき

ガス絶縁開閉装置(Gas Insulated Switchgear: GIS)は高電圧導体を絶縁特性の優れた六フッ化硫黄(SF₆)ガスが充填されたタンク内にコンパクトに配置した電力用の開閉装置である。GISのタンク径はガス絶縁設計と熱設計で決まる。このうち、絶縁設計については高ガス圧化等による高電界化が進められてきたが、既に限界に達しつつある状況である。

一方、高電圧導体の表面に絶縁物を被覆し、SF₆ガス絶縁と固体絶縁を複合させたハイブリッド絶縁にすることで、SF₆ガスの絶縁破壊電界が高くなることが知られている⁽¹⁾。この理由は次のように解釈される⁽¹⁾。金属導体の表面には $\square\text{m}$ オーダーの微小な突起が存在しているため、ガス空間には局部的に電界が集中し、この部位が放電の起点となる。導体面積が大きくなるに従い絶縁破壊を引き起こす微小突起の存在確率が高くなるため、破壊電界は低下する。これに対して、導体表面が絶縁被覆されていると、金属の微小突起によるガス空間の電界集中が生じなくなるため、破壊電界は上昇するのである。大面積領域(例えば実際のGISの導体面積)では破壊電界の低下が大きいため、絶縁被覆の効果は大きくなる。

当社はハイブリッド絶縁を実器に適用するため、厚膜の絶縁被覆形成が可能な樹脂注型による導体被覆⁽²⁾や、金型が不要で導体の形状に合わせてフレキシブルに被覆形成が可能な絶縁薄膜コーティング⁽³⁾による破壊電界上昇効果の確認を実器規模で行い、また、原理検証を進めてきた。

本稿では、当社が開発したSF₆ガス／固体ハイブリッド絶縁技術について述べる。

2. ハイブリッド絶縁による破壊電界上昇

2.1 絶縁被覆形成方法

導体に絶縁被覆を形成する方法として、樹脂注型と樹脂コーティングについて開発を行ってきた。樹脂注型は、厚膜形成が可能であるため被覆そのものの貫通耐電圧を高め、また、絶縁被覆が電圧の一部を分担するため電界不平等性の高い電極表面に適用するとガス空間の電界集中を緩和できるという利点がある。一方、被覆するためには金型が必要であるため、導体のサイズや形状などに制約がある。これに対して、樹脂コーティングは被覆厚さが薄くなるが、この制約を受けずに被覆できる方法である。ここでは樹脂コーティングで被覆を形成した薄膜ハイブリッド絶縁の破壊電界上昇効果について述べる。

2.2 破壊電界の上昇

図1に薄膜ハイブリッド絶縁の試験電極系を示す。高電圧電極としてアルミニウム製のリング形状の電極を用い、表面には厚さ数100 $\square\text{m}$ の絶縁被覆をコーティングによって

形成した。この電極を円筒タンク内に同軸に配置し、タンク内に所定のガス圧力のSF₆ガスを充填した。高電圧電極の最大電界に対して95%以上高い領域を電界解析によって求め、この面積を電極の有効面積とした。電極有効面積はリング形状の電極の数で変化させた。なお、ガス空間における電界の不平等性を示す電界利用率は0.58である。

印加電圧として負極性の雷インパルス電圧を用い、絶縁破壊するまで段階的に電圧を上昇させる昇圧法によって破壊電圧を測定した。絶縁被覆はガス空間で絶縁破壊すると同時に貫通破壊するため、その都度電極を交換しながら条件ごとに10点の破壊電圧を取得した。

図2にガス圧力0.4MPa・abs(絶対圧)における絶縁破壊電圧のデータに基づき算出した絶縁破壊確率が0.1%になる電界(以下“0.1%破壊電界”という。)と電極有効面積との関係を示す。電界はSF₆ガス0.4MPa・absでの臨界電離電界を基準(1.0p.u.)とした。

図2から、絶縁被覆していない裸電極の場合は電極有効面積が増加するにつれて絶縁破壊電界が低下することが分かる。特に実器設計上重要な面積 10^5mm^2 以上の領域では、SF₆ガスの臨界電離電界に対して破壊電界は64%に低下した。一方、樹脂コーティングによって絶縁被覆した電極の場合は、電極有効面積が大きくなるにつれて破壊電界が低下する現象が改善され、 10^5mm^2 以上の領域で臨界電離電界に対して破壊電界は89%であった。つまり、被覆によって破壊電界は40%上昇した。

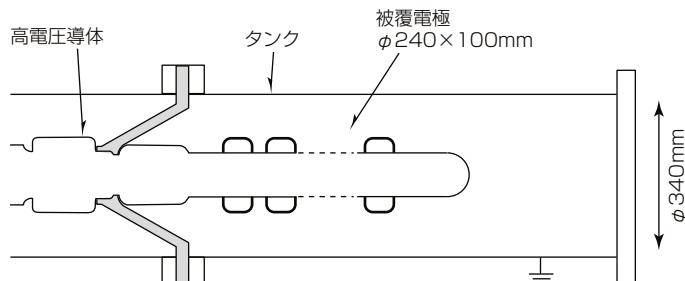


図1. 薄膜ハイブリッド絶縁の試験電極系

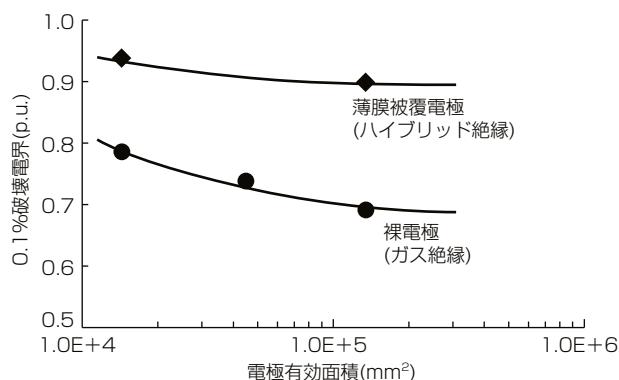


図2. 薄膜ハイブリッド絶縁による破壊電界の電極面積依存性
(ガス圧力0.4MPa・abs)

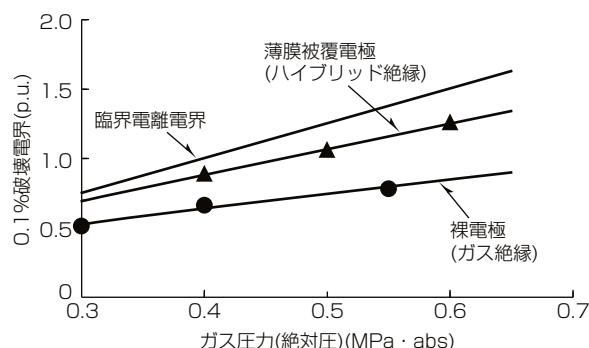


図3. 薄膜ハイブリッド絶縁による破壊電界のガス圧力依存性
(電極有効面積 10^5mm^2 以上)

図3に電極有効面積 10^5mm^2 の領域における0.1%破壊電界のSF₆ガス圧力依存性を示す。裸電極での破壊電界はガス圧力とともに上昇するものの、その上昇率はガス圧力が高いほど鈍くなり、ガス圧力の0.7乗に比例する結果が得られた。一方、被覆電極での破壊電界はガス圧力に対して0.85乗に比例した。この指數が示すように、ガス圧力が高いほど絶縁被覆による破壊電界の上昇効果は大きくなり、0.6MPa · absでは破壊電界は50%上昇した。

この結果から、薄膜ハイブリッド絶縁はGISの設計電界を飛躍的に高くできる優れた技術であるといえる。

3. 破壊電界上昇のメカニズム

3.1 ストリークカメラによる放電光の観測方法

ハイブリッド絶縁によって破壊電界が上昇する理由は1章で述べたが、これまで放電を直接観測して論じられた例はなかった。そこで、nsオーダーの非常に短い時間で完結する放電に対して、放電光が発生してから絶縁破壊するまでの様子をストリークカメラ(NAC社、ULTRANAC FS-501)で直接観測し、破壊電界が上昇するメカニズムを明らかにした。

図4に放電光観測の試験電極系を示す。被覆電極として、真空注型によってエポキシ樹脂を被覆したアルミニウム製の半球電極を用いた。被覆の厚みは2 mm又は4 mm、電極の半径は被覆を含めて10mmとした。また、裸電極として半径10mmのアルミニウム製の半球電極を用いた。これらの高電圧電極に対向して平板の接地電極を配置し、ガス空間距離は5 mmとした。この電極系におけるガス空間の電界利用率は0.74~0.77である。試験電極系をタンク内に設置して所定のガス圧力のSF₆ガスを充填した。負極性の雷インパルス電圧を繰り返して印加し、絶縁破壊時の放電光をストリークカメラで観測した。

3.2 放電進展プロセス⁽⁴⁾

図5に裸電極で観測されたストリークカメラの典型的な画像と、画像から推測される放電の挙動の模式図を示す。

横軸は時間、縦軸は位置を示し、電極先端の位置を破線で表した。図5から、放電光は高圧電極表面を起点に発生

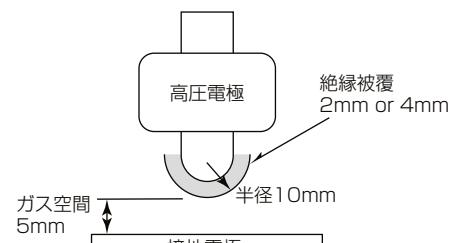
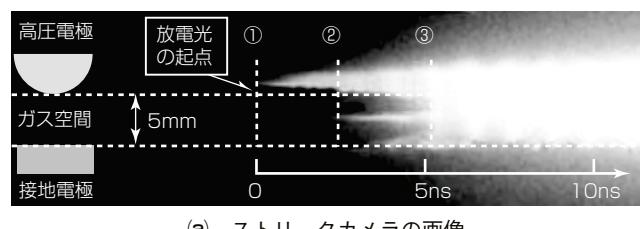
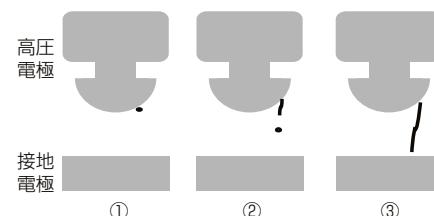


図4. 放電光観測の試験電極系

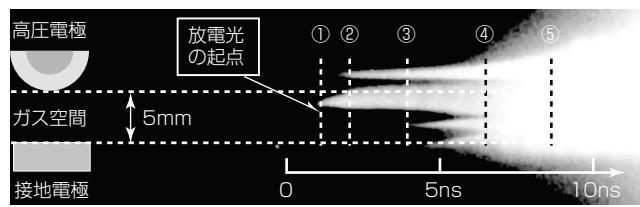


(a) ストリークカメラの画像

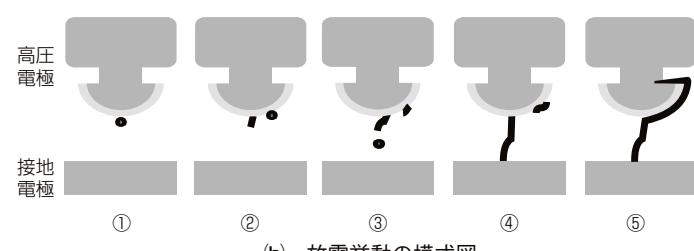


(b) 放電挙動の模式図

図5. 裸電極における放電光の開始と進展



(a) ストリークカメラの画像



(b) 放電挙動の模式図

図6. 被覆電極における放電光の開始と進展

し(①)、接地電極に向かって進展する過程でガス空間からも新たに放電光が発生し(②)、電極間を橋絡した(③)。一方、被覆電極の典型的な画像を図6に示すが、放電光は電極近傍のガス空間を起点に発生し(①)、被覆絶縁物上でも放電光が発生し(②)、さらに、ガス空間でも発生し(③)、これらがつながってガス空間を橋絡し(④)、被覆絶縁物上を放電光が進展して最終的に金属電極間を橋絡して絶縁破壊へと至った(⑤)。

◇一般論文◇

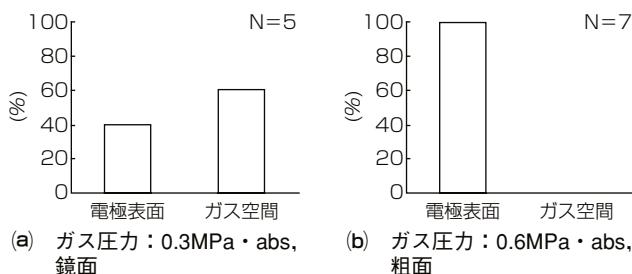


図7. 放電光の起点の位置(裸電極)

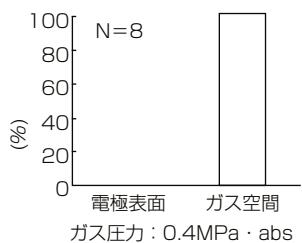


図8. 放電光の起点の位置(被覆電極)

ここで、最初に放電光が観測された“起点”に着目し、電極表面とガス空間のいずれを起点に放電光が発生したかをそれぞれの電極系について図7と図8にまとめた。観測数(N)は各条件でN=5~8点である。図7から、鏡面仕上げした裸電極ではガス圧力0.3MPa · absで放電光の起点は電極表面とガス空間がほぼ半々であった。これは、電極が放電の発生に影響を及ぼしていることを示唆している。またガス圧力を0.6MPa · absに高くし、電極表面を粗面仕上げした場合、放電光は全て電極表面が起点となった。一方、図8から被覆電極ではガス圧力0.4MPa · absで放電光の起点は全てガス空間であった。

このように、ストリーカカメラによる放電光観測によって、図2、図3に示したような電極の絶縁被覆による絶縁破壊電界の上昇の理由を実験的に裏付けることができた。つまり、裸電極の場合、電極表面の微小な突起が絶縁上の弱点として作用するのに対して、被覆電極の場合、電極表面が絶縁物で覆われることによって弱点として作用しなくなり、ガス空間を起点に放電が起こる。つまり、ガス本来の絶縁性能が発揮されるようになるのである。

4. GISへのハイブリッド絶縁の適用

図9にハイブリッド絶縁を適用した550kV GISの外観を示す⁽⁵⁾。主母線に架空線を用いるH-GISと呼ぶタイプである。遮断器、断路器、接地開閉器、変流器等は直線上に設置した。変流器の高電圧導体と変流器収納ケースの間に薄膜ハイブリッド絶縁方式を適用した。これによって変流器本体及びタンク径を小形化し、SF₆ガスの使用量を70%に削減した。



図9. 550kV GIS

5. むすび

当社が開発したGIS小形化のためのSF₆ガス絶縁と固体絶縁を組み合わせたハイブリッド絶縁技術について述べた。当社のハイブリッド絶縁は、従来のガス絶縁に対して破壊電界が40%以上上昇し、他の報告と比較しても高い絶縁性能を持っている⁽⁶⁾。この理由は、導体への絶縁被覆によってガス空間が放電起点となり、ガス本来の絶縁性能を発揮できているためであることを、放電光の発生から進展までの直接観測で明らかにし、実用的な絶縁技術として確立した。

参考文献

- (1) Honda, M., et al.: Impulse Breakdown Characteristics of Coated Electrodes in SF₆ Gas, IEEE Transaction on Power Delivery, **PWRD-2**, No.3, 699~708 (1987)
- (2) 吉村 学, ほか: SF₆ガス中エポキシ樹脂モールド電極のフラッショーバ特性と繰返し放電によるエポキシ樹脂の貫通破壊特性, 電気学会論文誌B, **134**, No.9, 820~825 (2014)
- (3) 吉村 学, ほか: 電極への薄膜絶縁被覆によるSF₆ガス絶縁システムの高耐電圧化, 平成22年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.326 (2010)
- (4) 海永壮一朗, ほか: SF₆ガス／固体ハイブリッド絶縁系における放電起点, 電気学会論文誌A, **134**, No.4, 285~290 (2014)
- (5) 貞國仁志, ほか: 新形ばね操作550kV GIS, 三菱電機技報, **86**, No.9, 490~493 (2012)
- (6) Hama, H., et al.: Cross-sectional Study between SF₆ and Eco-friendly Gases on Dielectric Coated Electrodes for Real-size Gas Insulated Switchgear, IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, **19**, No.1, 253~262 (2012)

中南米、インド市場向けエレベーター “NEXIEZ-GPX/LITE”

大津一宏* 小出和諒*
澤木泰司*
馬場俊行*

Mitsubishi Elevator for Latin America "NEXIEZ-GPX", for India "NEXIEZ-LITE"

Kazuhiro Otsu, Taiji Sawaki, Toshiyuki Baba, Kazuaki Koide

要 旨

新興国での建築需要増加に伴う昇降機需要の拡大と、地域ごとに多様化する昇降機ニーズに対応するため、2012年に中南米市場向けエレベーター“NEXIEZ-GPX”，2014年にインド市場向けエレベーター“NEXIEZ-LITE”を発売した。中南米市場、インド市場では特に中低層住宅やオフィスビル向け需要が増加している。NEXIEZ-GPX、NEXIEZ-LITEは、海外主力機種“NEXIEZ-MR”的仕様を中低層住宅やオフィスビルに適した仕様に絞り込むことで、価格競争力を強化した。主な開発内容を次に示す。

(1) 新デザインかご室の開発

中南米市場、インド市場それぞれの建築デザイン、色彩と親和性が高いデザインのかご室を新規開発した。

(2) 接点秤装置対応のための新起動制御方式の開発

従来機種で採用しているアナログ秤(はかり)装置より安価な接点秤装置(過負荷積載だけを検出)を適用し、かご荷重を認識できなくても滑らかな起動を実現する起動制御方式を新規開発した。

(3) 3台群乗合全自動方式“3C-2BC”的開発

インド市場向けに、従来の群管理方式“Σ AI-22”より安価な3台群乗合全自動方式“3C-2BC”を新規開発した。

(4) 新制御盤の開発

仕様の最適化で小型化とコスト削減を実現した。NEXIEZ-LITEでは、付加仕様で追加となる機器をユニット化することで生産性を向上させた。



NEXIEZ-GPX



NEXIEZ-LITE



“NEXIEZ-GPX/LITE”的かご室と操作機器

全世界を対象としたグローバルデザインで展開しているNEXIEZ-MRを基に、現地での受容性評価や現地デザイナーの起用によって中南米市場とインド市場の各地域の嗜好(しこう)に合わせたデザインのかご室を新規開発した。また、操作機器でも同様に受容性評価を実施してNEXIEZ-MRから仕様を絞り込むことでコスト削減を実現し、特にインド市場では点字付ボタンをラインアップに加えることで、より市場ニーズに対応した。

1. まえがき

新興国では経済発展による建設需要の拡大に伴い昇降機需要が拡大傾向にある。また、新興国市場で求められている昇降機は地域ごとにニーズが多様化している。三菱電機ではこのようなニーズに対応するため、2012年に中南米市場向けエレベーター“NEXIEZ-GPX”，2014年にインド市場向けエレベーター“NEXIEZ-LITE”的発売を開始した。これらは、海外市場向け主力機種である“NEXIEZ-MR”的プラットフォームを基に、各地域に適した仕様、デザインを採用している。

本稿では、NEXIEZ-GPX及びNEXIEZ-LITEの特長、及び主な開発内容について述べる。

2. 製品の特長と適用範囲

2.1 製品の特長

新興国市場向けの製品は、より一層の価格競争力が求められる。NEXIEZ-GPX、NEXIEZ-LITEでは、中低層の住宅やオフィスビル向けに適した仕様に絞り込むことで、快適性・安全性はそのままに価格競争力を強化した。例えば、NEXIEZ-MRで採用しているアナログ秤装置は採用せず、過負荷積載だけを検出する安価な接点秤装置を採用した。接点秤装置は、いたずら呼び自動キャンセル機能など、アナログ秤装置の機能で実現している付加仕様の市場ニーズがないため、適用が可能となった。

また、インド市場における中低層住宅やオフィスビルでは、最大3台のエレベーターを併設するニーズがある。NEXIEZ-MRで採用している群管理方式ΣAI-22より安価な方式として、3台群乗合全自動方式3C-2BCを新たに開発した。これも付加仕様の最適化によってΣAI-22に適用する機器の削減が可能となったため実現したものである。このほか、制御盤でもNEXIEZ-MRから仕様を最適化することで、小型化とコスト削減を実現した。

かご室に関しては、各地域の建築デザイン、色彩と親和性が高いデザインを新規開発した。

2.2 適用範囲

表1、表2にNEXIEZ-GPX/LITE/MRの製品仕様を示す。NEXIEZ-GPXやNEXIEZ-LITEでは、それぞれの市場ニーズに適した製品仕様とした。

なお、NEXIEZ-MRの定員、積載量、最大昇降行程、最大停止数は定格速度などによって異なるため、最大値を記載した。

3. 開発内容

3.1 デザイン

NEXIEZ-MRでは全世界を対象としたグローバルデザインで展開しているが、中南米市場とインド市場には、各地域の嗜好に合わせたデザインを新規開発した。

表1. NEXIEZ-GPX, NEXIEZ-LITEの製品仕様

	NEXIEZ-GPX		NEXIEZ-LITE	
定員(人)	6, 8, 10	8, 10	8, 10, 13	10, 13, 15
積載量(kg)	450, 550, 700	550, 700	544, 680, 884	680, 884, 1,020
定格速度(m/min)	60	105	60	105
最大昇降行程(m)	60		45	80
最大停止数(停止)	20		16	22
制御方式	VVVFインバータ方式			
操作方式	1C-2BC, 2C-2BC		1C-2BC, 2C-2BC, 3C-2BC	

VVVF: Variable Voltage Variable Frequency

1C-2BC: 乗合全自動方式

2C/3C-2BC: 2台/3台群乗合全自動方式

表2. NEXIEZ-MRの製品仕様

定員(人)	6 ~ 24
積載量(kg)	450~1,600
定格速度(m/min)	60, 90, 96, 105, 120, 150
最大昇降行程(m)	120
最大停止数(停止)	36
制御方式	VVVFインバータ方式
操作方式	1C-2BC, 2C-2BC, 3C~4C-ΣAI-22, 3C~8C-ΣAI-2200C

3C~4C-ΣAI-22: 3~4台群管理方式

3C~8C-ΣAI-2200C: 3~8台群管理方式

3.1.1 NEXIEZ-GPXのかご室

NEXIEZ-MRのかご室デザインを基に、中南米地域の建築デザインと親和性が高い新デザインかご室を採用した。この新デザインを作り上げるに当たって、現地デザイナーを起用し、南米地区販社で嗜好性アンケートやデザインヒアリングによる受容性評価を実施し、デザインコンセプトを決定した。そのデザインコンセプトは、“Modern(現代的デザイン)”, “Elegant(上品で洗練された空間)”, “Amplitude(広がった空間の演出)”と定義し、さらに中南米市場の嗜好を取り入れたラテンティストのデザインとした。かご室天井は4種類(L500, N510, N520, N530)をラインアップし、白、黒、シルバー色のコントラストや曲線と直線を調和させた立体的な造形を施し、LEDダウンライト照明や間接光を効果的に演出することで、立体感のあるかご室を実現している(図1, 図2)。特にN520天井では、デザインコンセプトの3要素を基調に、直線と曲線を調和させたエレガントな蝶をモチーフにした独創的なデザインとした(図2)。また、かご室壁パネルは、大理石調、木目調、塗装、ステンレスヘアライン等、多くのバリエーションをそろえ、天井と合わせて様々なコーディネートを可能とした。さらに、かご室鏡を組み合わせることで、かご室の奥行き方向への広がり感も演出可能としている。

3.1.2 NEXIEZ-LITEのかご室

かご室天井は3種類をラインアップした。NEXIEZ-MRからインド市場での要求が高い2種類(S00, L210)をラインアップし、さらに、インドは高温多湿な地区が多く、換気装置の風量が大きいかご室の要求が高いため、換気装



図1. 新デザインのかご室(左からL500, N510, N530天井)

図2. 蝶をモチーフにしたかご室
(N520天井)

図3. 新デザインのかご室(N600天井)



図4. かご操作表示器



図5. 乗り場操作表示器

置をかご室中央に配置し、かご室全体に風が広がるようにしたインド市場専用デザインのN600天井を新規デザインとしてラインアップした(図3)。このN600天井のデザインは、様々な建築デザインと親和性が高く、明るくシンプルでシャープなデザインとした。また、天井構造を簡素化することでコスト削減を実現した。

3.1.3 NEXIEZ-GPX/LITEの操作機器

かご操作表示器、乗り場操作表示器は、NEXIEZ-MRとデザインコンセプトを統一して現代建築に調和するデザインとした(図4、図5)。階床表示、ボタン文字種類等の仕様について中南米市場とインド市場の受容性評価を実施し、仕様を絞り込むことでコスト削減を実現した。NEXIEZ-LITEでは、インド市場で要求の高い点字付ボタンもラインアップに加えることで、より市場ニーズに対応している。

3.2 接点秤装置適用時のエレベーター起動制御

従来機種ではエレベーター起動(走行開始)時の起動ショック(かご振動)を小さくするため秤起動方式を採用し

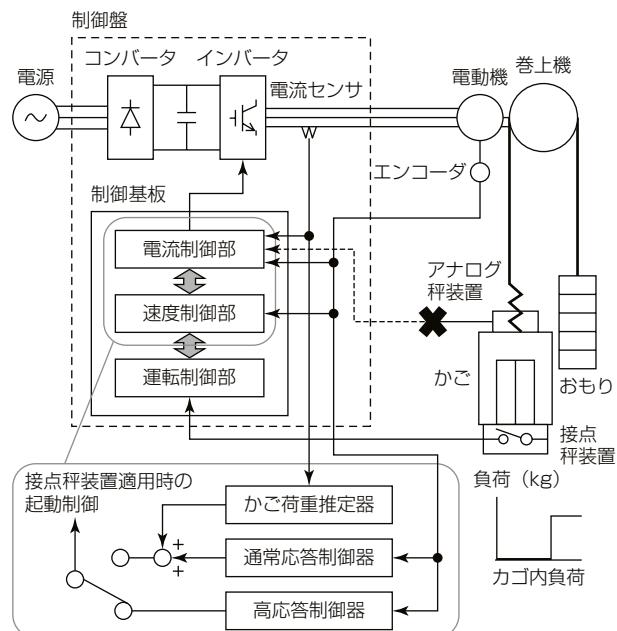


図6. 接点秤装置適用時のエレベーター起動制御方式

ている。この秤起動方式は、かご荷重(かご内の乗客の積載量)を連続的に検出するアナログ秤装置によって、巻上機のブレーキを開放する前に電動機にあらかじめ補償トルクを出力する方式で、エレベーターを滑らかに起動させることができる。

NEXIEZ-GPXとNEXIEZ-LITEでは過負荷積載(定格積載量比110%)だけを検出する接点秤装置を採用した。従来のアナログ秤装置と比較して安価であることや、エレベーター据付け時のかご荷重検出状態の調整作業が容易となるメリットがある。一方で、エレベーター起動時の補償トルクを出力することができないため、起動ショックが大きくなる問題がある。そこで、エレベーター起動時の速度制御を高応答化することで、起動ショックを低減する接点秤装置適用時のエレベーター起動制御を開発した。

この接点秤装置適用時のエレベーター起動制御方式(図6)は、ブレーキ開放直後の一定期間だけ速度制御系を高ゲイン(高応答)化して速度追従性を高くし、起動直後の電動機トルクをすみやかに補償トルクと同等値まで収束させ、秤起動と同様の制御を可能とするものである。また、起動直後の電動機トルクが補償トルクと同等値まで収束したタイミングを捉えて、速度制御系のゲインを通常レベルに切り換えることによって、エレベーター走行中における速度制御性能の安定性との両立を可能としている。これによって、接点秤装置適用時でも、従来機種のエレベーターと同等の滑らかな乗り心地を実現した。

3.3 3台群乗合全自動方式3C-2BC

インド市場のニーズに応えるとともに、今後の一般海外市場への投入を見据えた3台群乗合全自動方式3C-2BCを開発した。3台以上のエレベーターに適用される従来の群管理方式ΣAI-22では、群管理基板が必須であったが、3C-2BC

◇一般論文◇

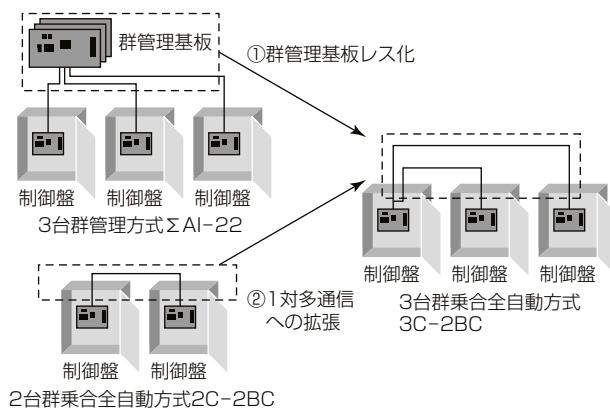


図7. ネットワーク構成の変更内容

システムでは、2台群乗合全自動方式2C-2BCをベースとして拡張することで群管理基板レスを実現した(図7①)。

3.3.1 通信システム

3C-2BCの制御盤間通信では、2C-2BCの1対1通信を1対多通信(マルチドロップ通信)へ拡張した(図7②)。拡張に当たっては、次の課題があった。

- (1) 時分割通信化によるネットワークの遅延
- (2) 通信異常時のバックアップ処理

これらの課題は次を実現することで解決した。

- (1) 仕様制限による伝送データ量の削減、及び帯域制限した周期通信による伝送タイミングの最適化
- (2) 通信異常による離脱、及び異常からの復帰を制御する通信プロトコルの構築

3.3.2 電源系統

3C-2BCでは、次の電源系統を設計することでΣAI-22で必要であった群管理電源装置を廃止した。

- (1) 制御盤共通機器(乗り場機器、制御盤共通基板)の電源を制御盤単独の電源から構築する(図8)。
- (2) エレベーターの据付け保守点検や停電によって、電源が遮断しても、エレベーターの運行の継続を可能とする。これらを満たすため、次の電源多重化を構成した。

 - (1) 乗り場機器の電源は、制御盤単独の電源装置から供給し、電源遮断時は、リレーによって他の制御盤単独の電源装置からの供給に切り換える。
 - (2) 制御盤共通基板の電源は、停電時にバッテリー電源に切換わる電源を全制御盤から並列に接続する。

3.4 制御盤

中南米市場、インド市場の中低層住宅やオフィスビルに適した仕様への絞り込みを実施したことで、制御盤に実装する機器の小型化や削減が可能となった。その結果、NEXIEZ-MRと比較し、制御盤の体積をNEXIEZ-GPXで約27%、NEXIEZ-LITEで約22%削減した。NEXIEZ-LITEの制御盤について詳細を述べる。

図9にNEXIEZ-MR用制御盤とNEXIEZ-LITE用制御盤の外形比較を示す。インドでは頻繁に停電が発生するた

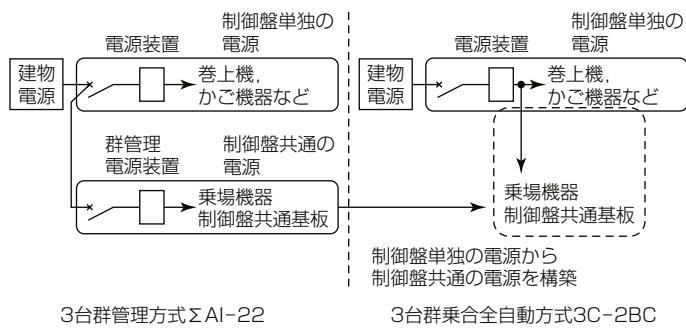


図8. 電源系統の変更内容

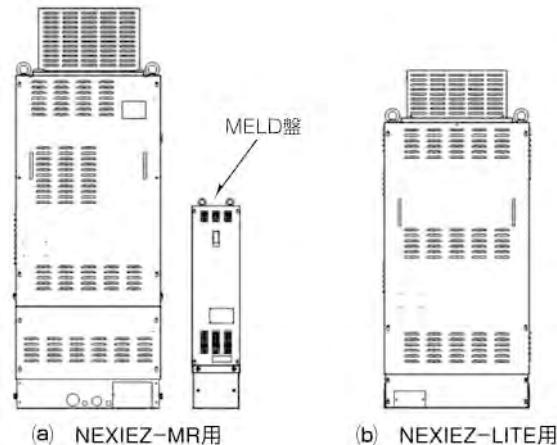


図9. 制御盤

め、停電時自動着床装置(MELD)の要求が多い。このため、NEXIEZ-MRでは付加仕様で別盤化していたMELD機能を、NEXIEZ-LITEでは基本仕様とし、必要機器を1つの制御盤内に実装している。

NEXIEZ-LITEの制御盤では、速度、積載量、最大昇降行程等の仕様を最適化することで、巻上機の駆動に関連する機器の削減、小型化が可能となった。また、3C-2BCシステムの開発によって、NEXIEZ-MRの群管理方式に必要であった基板などの部品が不要となり、これも制御盤の小型化に寄与している。

また、付加仕様もインド市場に適した仕様に絞り込むことで、基本仕様から追加する機器の種類を削減した。これによって、制御盤内の機器配置を工夫し、付加仕様で追加が必要となる機器をユニット化して基本仕様の制御盤とは別で製造し、要求仕様に併せてそれらを組み合わせることで制御盤を製造することが可能となり、生産リードタイムの短縮も可能とした。

4. むすび

中南米市場向けエレベーターNEXIEZ-GPX及びインド市場向けエレベーターNEXIEZ-LITEの特長、並びに主な開発内容について述べた。今後も多様化した市場ニーズに合致した昇降機を提供するため、日々技術開発に取り組んでいく所存である。