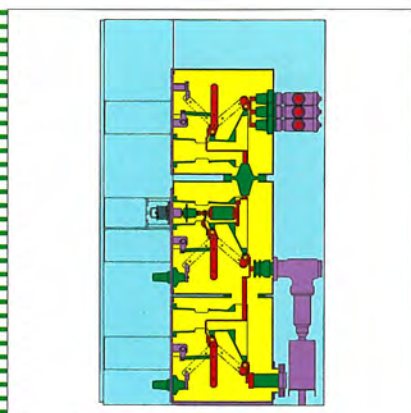


MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.79 No.12

2005 **12**

特集 「系統変電・受配電システム」



目次

特集「系統変電・受配電システム」

- 特集「系統変電・受配電システム」に寄せて 1
佐藤秀一
- SVGによる系統電圧安定度の向上 2
天満耕司・寺本仁志・新木依子・高山大輔・米沢比呂志
- 遮断器の開閉極位相制御技術による電力品質の向上 6
香山治彦・亀井健次・葛田広幸・藤井茂雄・杉山 勉
- 車両用変圧器の技術動向 12
中村賢一・見仁井克己・近藤博之・木庭 豊
- 変圧器内部診断用油中ガス分析装置 17
内藤貞夫・柏野敦彦・近藤大輔
- UHV系統保護リレーの実績 21
長澤 宏・野口秀夫・大谷則夫・尾田重遠・白井正司
- 関西電力(株)向け広域分散給電制御システム 25
伊東進治・丹下正純・野村洋一
- 次世代系統制御システムの基本フレームワーク 29
塚原 研・有本雅昭・堀内謙二・中田秀男・飯塚 剛
- ライフサイクルコストを低減する受配電システム技術 33
山田智博・松木寿夫
- 24kV低ガス圧ドライエア絶縁スイッチギヤ“HS-X” 39
有岡正博・吉村 学・竹内敏恵
- 3.6/7.2kV用真空遮断器
 (“VF-8/13D”電動ばね操作引出形) 43
菅 則雄・小林 稔・十鳥 洋・鳥羽慎司
- 低圧配電システムにおける環境負荷及び
ライフサイクルコスト低減の取り組み 47
林 和史・岩澤頼晃・大西健司

- Transmission & Distribution Systems and Power Distribution Systems for Buildings & Factories
- Forward to Special Issue on Transmission & Distribution Systems and Power Distribution Systems for Buildings & Factories
Shuichi Sato
- Improvement of Voltage Stability by SVG
Koji Temma, Hitoshi Teramoto, Yoriko Shinki, Daisuke Takayama, Hiroshi Yonezawa
- Improvement of Power Quality Using Controlled Switching System
Haruhiko Koyama, Kenji Kamei, Hiroyuki Tsutada, Shigeo Fujii, Tsutomu Sugiyama
- The Technical Trend of Traction Transformer
Kenichi Nakamura, Katsumi Konii, Hiroyuki Kondo, Yutaka Koba
- Dissolved Gas Analyzers for Diagnosis of Transformer
Sadao Naito, Atsuhiko Kashino, Daisuke Kondo
- The Experience of Protection Relays on UHV Power Systems
Hiroshi Nagasawa, Hideo Noguchi, Norio Otani, Shigetou Oda, Masaji Usui
- SCADA System Distributed on a Wide Area Network
Shinji Ito, Masazumi Tange, Yoichi Nomura
- Next Generation System for EMS/SCADA “Architecture Transparent Framework”
Ken Tsukahara, Masaaki Arimoto, Kenji Horiuchi, Hideo Nakata, Tsuyoshi Itzuka
- Power Distribution Systems and Equipments Contribute to Reducing Life Cycle Cost
Tomohiro Yamada, Hisao Matsuki
- 24kV Dry Air Insulated Switchgear Type “HS-X”
Masahiro Arioka, Manabu Yoshimura, Toshie Takeuchi
- 3.6/7.2kV Vacuum Circuit Breaker (“VF-8/13D” Draw Out Type)
Norio Kan, Minoru Kobayashi, Hiroshi Tottori, Shinji Toba
- Activity for Reducing the Environmental Impact and Life Cycle Cost of Low-Voltage Power Distribution Systems
Kazufumi Hayashi, Yoriaki Iwazawa, Kenji Onishi

特許と新案

- 「立体編集装置」
- 「チタン酸鉛系誘電体薄膜用
CVD原料およびメモリー用キャパシタ」 53
- 「微小異物の検出方法及びその検出装置」 54

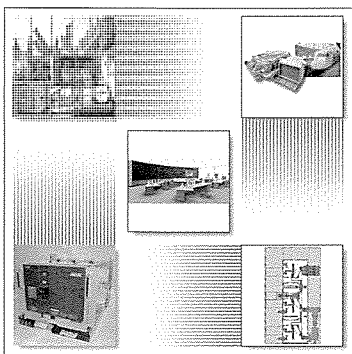
表紙

系統変電・受配電システム

この特集号は、電力関連機器の中で電力系統監視制御システムから変電機器に至る系統・変電システム、及び円滑な電力供給を目的とした受配電システム機器の最新技術と動向について述べたものである。

表紙の写真は系統・変電システムのうち、中央は電力系統監視制御システム、左上は変圧器の残留磁束に応じた位相制御装置を内蔵した“開閉極位相制御機能付きガス遮断器”，右上は大容量化と小型軽量化を図った新幹線搭載外鉄形変圧器を示す。

受配電システムとしては、左下が欧州RoHS指令で指定されている規制6物質を廃止した電動ばね操作引出形の3.6/7.2kV用真空遮断器，右下は温暖化ガス対策として脱SF₆ガス化を図った24kV低ガス圧ドライエア絶縁スイッチギヤHS-Xを示す。



特集「系統変電・受配電システム」に寄せて

Forward to Special Issue on Transmission & Distribution Systems and Power Distribution Systems for Buildings & Factories



佐藤 秀一
Shuichi Sato

我が国の電力事業を取り巻く環境には若干の明るさが見えてきた。

全般的には、BRICs諸国を中心に、経済の拡大傾向の続く中で海外需要の恩恵に浴するとともに、国内でも規制緩和に伴う自由化進展において、堅実なる成長への息吹を感じさせており、景気回復が緩やかに進行しつつあることが将来への期待を醸している。

一方、需要面では、規制緩和に始まる自由化の流れの中で、殊に国内市場を中心に保守費用等の抑制傾向がより鮮明になるとともに、欧州RoHS指令で指定されている規制6物質対策では、環境保護技術の対応を迫られるなど重電機器製造メーカーにとっては乗り越えるべきハードルは多く、厳しい環境は継続していると言わねばならない。

しかしながら、電力は社会インフラの維持に不可欠な存在であることから、こうした高いハードルを乗り越え更なる技術開発の中で需要動向に機敏に反応しつつ電力事業の安定的な発展を図る必要がある。

従来、電力関連機器へのニーズは安全で信頼性が高く、高品質、かつ低コストを求められたが、成長の屈折以降、ライフサイクルコストの低減が主要テーマとなり更なる設備点検・保守の省力化、また2005年2月に京都議定書が発効したことに見られるように先進各国は地球温暖化防止を義務付けられた(2010年のCO₂排出量は1990年の6%削減)結果、環境負荷低減も電力機器の開発目標として重要なテーマとなりつつある。

こうした傾向の中で、国内市場を維持しつつ、世界的な経済規模の拡大の中で確固たる地位を確立するために環境

に配慮した低コスト電力関連機器の開発と供給が三菱電機の大きな役割であると考えている。

この特集号では、新環境下における“系統変電・受配電システム”への取り組みの一端について述べたい。

電力系統監視制御から変電機器に至る系統変電システムにおける技術開発として、ライフサイクルコストの低減を考慮した電力流通設備の効率的運用を目指した給電制御システム、新たなニーズに柔軟に対応可能なオープン分散制御システムミドルウェア上に構築する電力系統監視制御システム、高度な電圧制御と送電容量アップを可能にするSVG(静止形無効電力補償装置)、最先端技術を取り入れたUHV保護リレー群、保守の省力化を追求した変圧器の内部診断用油中ガス分析装置などについて述べる。

また、ビルや工場などへの円滑な電力供給を可能とする受配電システム技術においても、設備点検・保守の省力化(保守支援技術)、ライフサイクルコストの低減(保守・運用コストの低減)、環境負荷の低減(地球温暖化防止、省資源、汚染防止)、高い地球温暖化係数(GWP)を持つSF₆ガスに代わるドライエア絶縁技術を導入したHS-X形高圧受配電盤、欧州RoHS指令で指定されている規制6物質を廃止した7.2kVの真空遮断器などについても述べる。

以上、電力事業を取り巻く目まぐるしい環境変化の中で、当社開発陣はそれぞれのニーズにこたえるため技術開発に真摯(しんし)に取り組んでいる。今後とも時代の要求を先取りし、顧客の信頼にこたえることを目標に努力を傾注していくことをマニフェストとして巻頭の言葉としたい。

SVGによる系統電圧安定度の向上

Improvement of Voltage Stability by SVG

Koji Temma, Hitoshi Teramoto, Yoriko Shinki, Daisuke Takayama, Hiroshi Yonezawa

要旨

静止形無効電力補償装置SVG(Static Var Generator)などのFACTS(Flexible AC Transmission Systems)機器は、1991年に運開した関西電力(株)犬山開閉所SVG以来、国内外で研究や開発が活発に行われ、現在では様々な方式のFACTS機器や自動式BTB(Back To Back)や自動式直流送電が考案され電力系統に適用されている。これらの機器は系統の柔軟な運用や既設送電設備の効果的活用が実現可能となる特長から、特に、北米など規制緩和の環境下における電力系統に適用されている事例が多い。

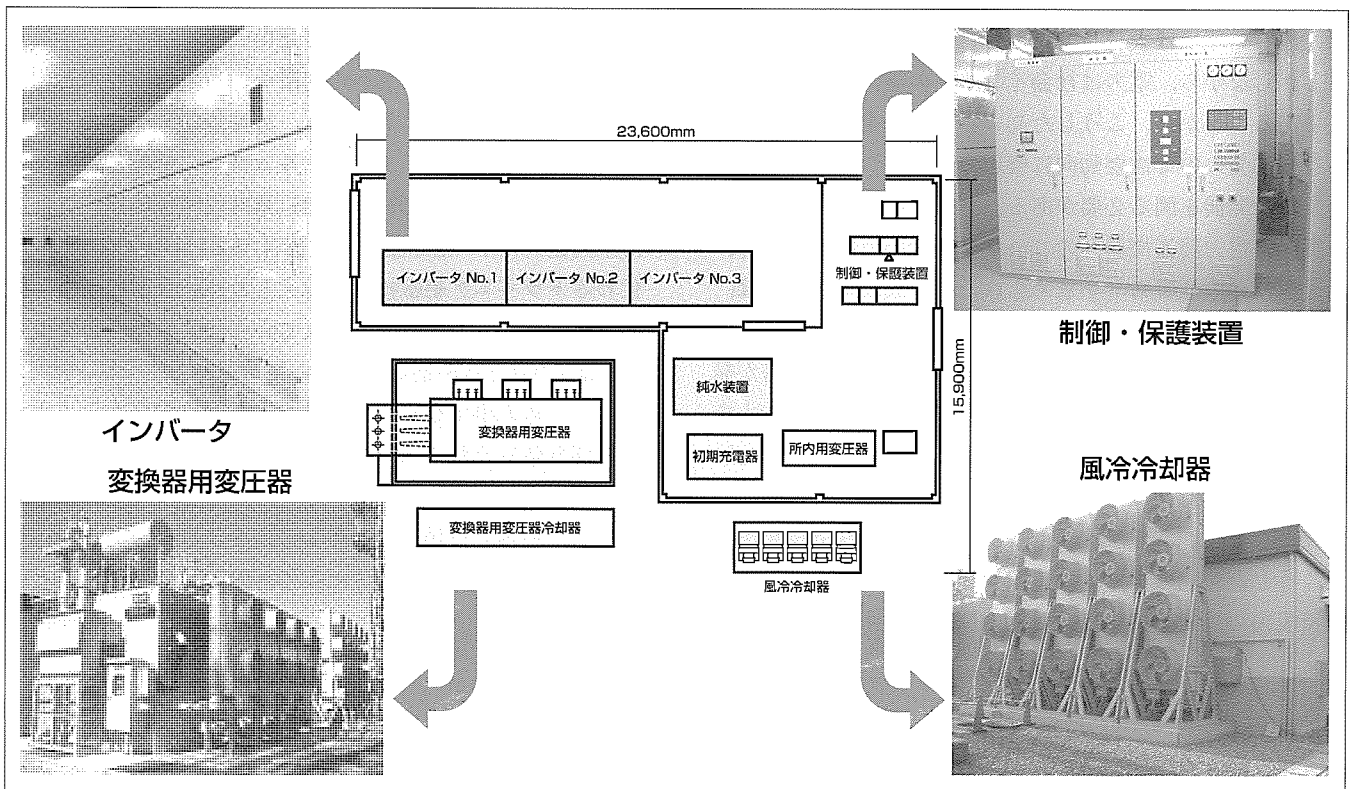
国内においても、新規設備への投資は抑制され、都市部近郊の老朽火力発電機は長期計画停止や廃止の傾向にある。都市部火力は、夏季重負荷時において負荷への電力供給だけでなく、無効電力供給面からも重要な役割を果たす。しかし、都市部火力が停止されると、無効電力供給は基幹系

統からとなり、負荷側の電圧低下を招いたり、電圧不安定現象や電圧崩壊が顕在化する可能性がある。

電圧安定度面で比較的弱いこのような系統に対して、SVGはその制御性、応答性から、電圧安定度向上に高い効果を発揮することが期待できる。

また、電力系統に適用される大容量変換器は、半導体素子の容量や変換器損失も重要な課題であり、主回路技術と制御技術両面からの検討が必要である。

本稿では、電圧安定度向上を目的として設置され2004年に運開した関西電力(株)神崎変電所SVGについて、適用した高効率な主回路技術及び制御技術について述べる。さらに、電圧安定度向上効果を最大限に引き出すことを目的とした既設の電圧制御装置である変圧器タップチェンジャとの協調制御についても述べる。



関西電力(株) 納め神崎変電所 ±80MVA SVG

GCT(Gate Commutated Turn-off)サイリスタを用いた±80MVA SVGである。SVGは、電圧安定度向上、電圧制御、系統への無効電力供給、送電容量向上など適用用途に応じて様々な効果を持たせることができる。また、SVGは、FACTS機器の基本構成要素であり、SVG技術の適用により自動式BTBや他のFACTS機器への展開を図ることが可能となる。

1. ま え が き

SVGなどのFACTS機器は、1991年に運開した関西電力(株)犬山開閉所SVG以来、国内外で研究開発や実機導入が進んでいる。SVGの適用により、電圧安定度向上、電圧制御、系統への無効電力供給、送電容量向上など用途に応じた効果が期待できる。SVGは都市部火力の廃止などで顕在化する電圧安定度の低下を向上させることができるが、その能力を最大限に発揮するためには、既設の電圧制御機器である変圧器タップ制御との協調制御を実現する必要がある。また、FACTS機器の基本構成要素であるSVGは、更なる高効率化や小型化が求められる。

2004年に運開した神崎変電所SVGは、電圧安定度向上のための協調制御を実現し、さらに、変換器主回路技術や制御技術の検討により高効率を実現しており、本稿では、これらについて述べる。

2. 変換器主回路技術

神崎SVGの主回路構成を図1に、主要仕様を表1に示す。変換器主回路は、構成や制御性の容易さなどから一般的に2レベル方式が多く使用されている。神崎SVGでは、ハーフブリッジ交流側出力電圧レベル数が3となる3レベル単相変換器を採用することで、従来の2レベル方式に比べ多重段数を半減することができ、変換器本体が小型化されている。また、半導体素子は6kV-6kAの大容量定格を持つ150mmGCTサイリスタを適用し、従来のSVGに比べ低損失化、素子数の低減や変換器の小型化を実現している。多重変圧器の多重段数も半減するため小型化や低コスト化を実現した。犬山SVG(80MVA)の設置面積は499m²とコンパクト性が高く、損失は2.0%と低損失なSVGが実現できているが、神崎SVGでは設置面積が約375m²であり一層のコンパクト化が図られ、損失についても実機測定結

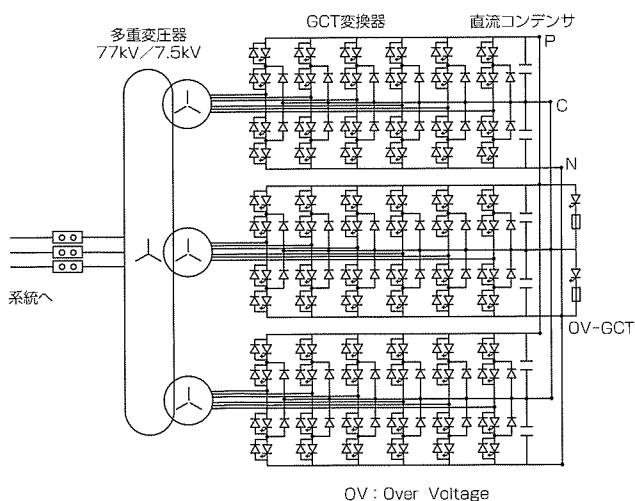


図1. 80MVA 神崎SVG主回路構成

果より1.2%と大幅な低損失化を実現している。

3. 制御技術

神崎SVGに適用した図2の高効率な特別3パルスPWM(Pulse Width Modulation)制御方式は、約1.2pu程度の高い電圧利用率を持ち、5次、7次などの低次高調波も抑制できる。この特別3パルスPWMを3レベル単相変換器の3段多重構成に適用し、所望の2つの次数の高調波を抑制することを実現している。

変換器ハーフブリッジ間の位相差を利用して、ある次数の高調波を抑制することができる。ある次数の高調波に対してハーフブリッジ間の位相差を逆位相とすると、各ハーフブリッジに出力される所望次数の高調波は互いに打ち消し合い、その次数の高調波は抑制されることになる。

さらに、多重化された多重段間の位相差を利用することで、別の次数の高調波を抑制できる。ある次数の高調波に対

表1. 神崎SVG仕様

GCT変換器	
定格容量	80MVA
定格電圧電流	4.336kV, 2.050A
定格直流電圧	6kV
変換器構成	単相3レベル×三相×3段多重
適用素子	GCT 6kV-6kA, 72個 2×1S1P4A×三相×3段
絶縁方式	屋内空気絶縁
冷却方式	純水循環風冷式
主要制御	電圧制御、バイアス制御 スローブリアクタンス三折制御 高調波低減パルス多重化制御 特別3パルス制御
制御・保護装置	デジタル1系列
変換器用変圧器	
方式	屋外、導油風冷式外鉄形
定格容量, %Z	80MVA, 13%
定格電圧	77kV/4336√3V
結線 一次/二次	星型3直列/開放星型3並列

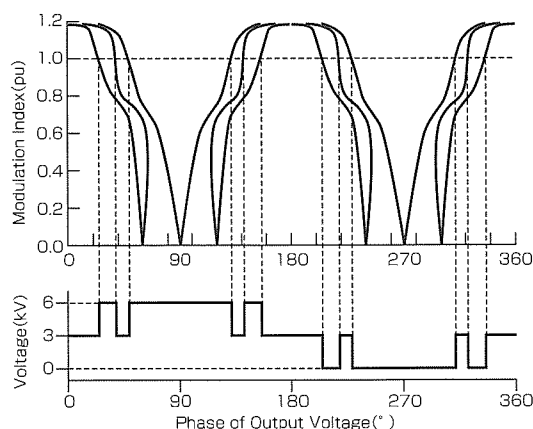


図2. 高効率な特別3パルスPWM制御方式

して各段で出力される所望の次数の高調波が多重化されて打ち消し合うためには、等間隔の位相差を持たせればよい。

この制御手法を用いると、抑制したい所望の高調波を選択することができ、系統のf-Z特性を考慮しながら、系統の持つ共振や反共振を避けた設定が可能となる。神崎SVGでは、この高調波低減パルス多重化制御に対し、系統のf-Z特性を考慮した結果13次、17次高調波を抑制する設定を選択し、フィルタレスSVGシステムを実現している。

また、犬山SVGでは、パルス数が1パルスであったが、高速・高効率のGCT適用によって3パルス化でき、3レベルや多重化の相乗的効果で高性能化を実現している。実運用時に計測された上位系事故時のSVG挙動波形を図3に示す。上位系の系統事故によって系統電圧低下が発生しても、SVGは運転継続し、電圧低下を抑制するようにほぼ定格の進相無効電流を供給している。

4. 電圧安定度向上効果

4.1 SVGによる電圧安定度向上効果

SVGの電圧安定度への寄与を解析検討するため、図4のような系統条件を想定する。E変電所から負荷系への154kV送電線が重潮流となる場合、D変電所-神崎変電所-B変電所を接続するF送電線1回線が開放されると、神崎変電所における77kV母線電圧が著しく低下する。潮流が更に増加する場合には電圧不安定現象や電圧崩壊が発生する可能性を持つ系統とした。電圧安定度対策として、神崎変電所77kV母線に、容量80MVA、スローブリアクタンス

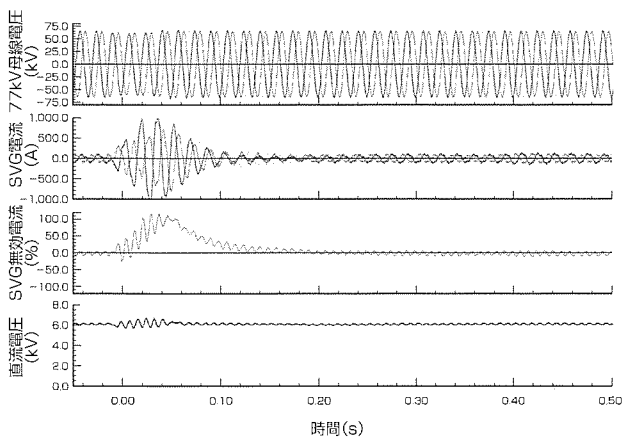


図3. 系統事故時実測波形

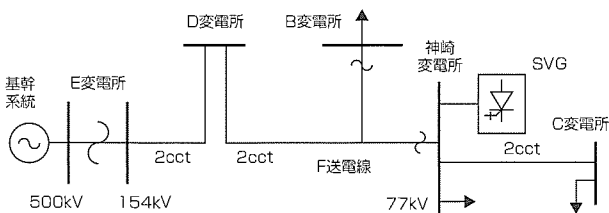


図4. 電圧安定度向上効果検討系統

3%のSVGを適用する。154kV送電線1回線開放時において、SVG有無による効果を解析した。

動的な負荷特性を考慮した電圧安定度解析結果(時間軸シミュレーション)を図5に示す。SVGなしの場合、送電線1回線が開放されると、77kV母線電圧は大幅な低下やタップ逆動作が生じている。SVGを適用した場合、77kV母線電圧はSVGによる高速な無効電力供給によって大幅な電圧低下がほとんど発生しない。図6に示す1回線開放後のP-VカーブからもSVGによる電圧安定度向上効果が分かる。SVG設置によりP-Vカーブの先端が伸び、1回線状態の非常に厳しい状態で潮流が増加したときも神崎変電所77kV母線電圧をほぼ一定に維持できている。また、SVG設置点からやや離れたB変電所にも、やや電圧安定度向上効果がある。これらの解析結果より、SVGは電圧安定度の厳しい系統に対して非常に有用性が高いことが分かる。

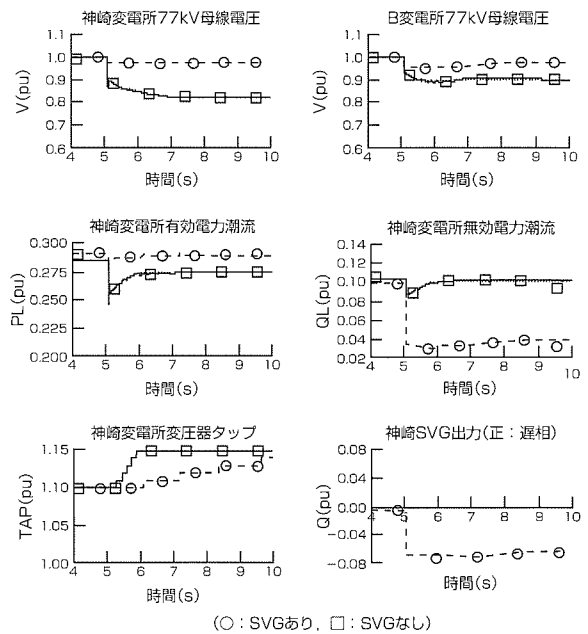


図5. 1回線開放時の電圧安定度解析結果

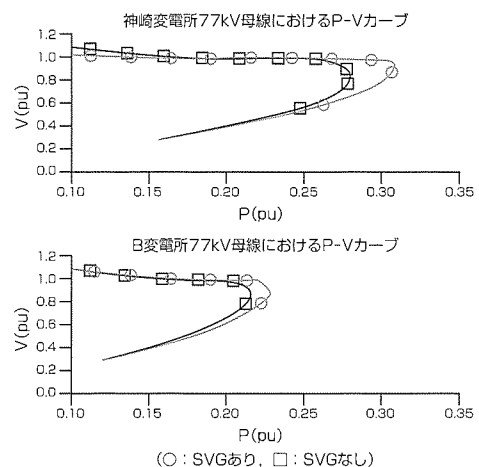


図6. SVG有無時のP-Vカーブ(1回線開放後)

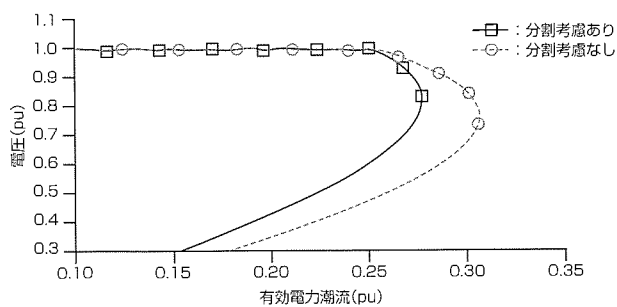


図7. 無効電力負荷の扱いによるP-Vカーブの差

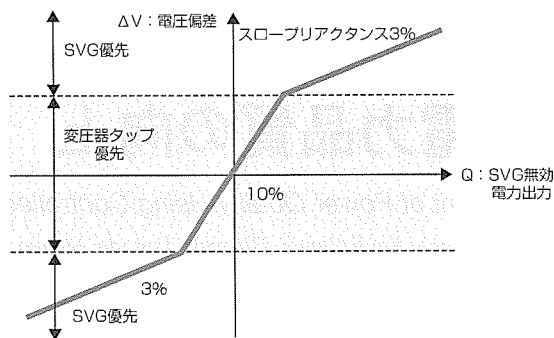


図8. スローリアクタンス三折制御方式

4.2 負荷特性を考慮した電圧安定度

電圧安定度を検討する上で負荷やその特性の模擬方法は非常に重要である。負荷を模擬する場合、一般的に変電所で測定した有効電力潮流や無効電力潮流を使用する。しかし、その無効電力は、実際の負荷で消費される無効電力 Q_L を調相設備 Q_{sc} で補償した差分が測定される。その差分の無効電力のみが動的応答特性を持っているとして解析すると、動的応答特性の影響を過少評価することになる。したがって、無効電力負荷のモデリングは実際の負荷で消費される無効電力と調相設備による無効電力に分類することが望ましいと考えられる。無効電力負荷の分割により系統に与える影響を検討した例を図7に示す。電圧がほぼ一定に保たれている場合は無効電力負荷の分割による影響は見られないが、変圧器タップが上限に達すると負荷増加による電圧低下が開始し、負荷の分割による影響が現れ始める。

4.3 変圧器タップとの協調制御

SVGは一般的にスローリアクタンスが数%程度に設定されており、タップ制御動作よりも非常に速い応答を持っている。そのため、SVGがタップ制御よりも先に動作し、本来タップ制御が持つべき定常的な電圧制御の役目をSVGが担うことになり、SVGが容量上限となって初めてタップ制御が動作する状態になってしまう。

しかし、SVGの設置目的が電圧安定度向上の場合、電圧不安定に陥る状態となるときに、系統に対して高速に無効電力を供給して電圧不安定を回避しなければならない。つまり、電圧安定度向上を図るには、定常時においてSVG出力を0 MVAR近辺に抑え、電圧安定度が低下した場合には高速に無効電力を供給する制御とする必要がある。

そこで、神崎SVGでは、既設の電圧制御機器である変圧器タップ制御との協調を図り電圧安定度向上機能を効果的に発揮させるため、定常時との電圧偏差によりスローリアクタンスを変化させる図8のスローリアクタンス三折制御を適用した。この制御を適用した運転結果を図9に示す。変圧器タップ制御と協調した所望の制御動作となっており、良好な運転実績が得られた。

(1) 電圧偏差が小さい場合

変圧器タップ制御の不感帯に対してやや幅を広げた電圧

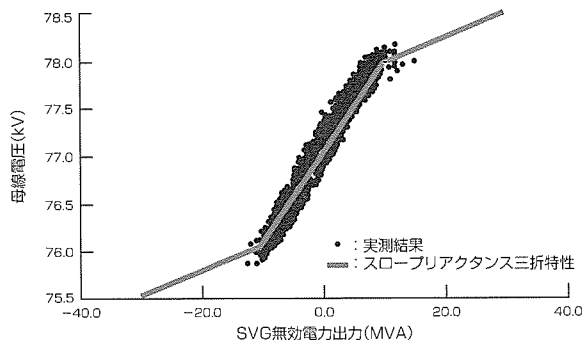


図9. スローリアクタンス三折制御の運転結果

偏差の範囲では、SVGスローリアクタンス特性の傾きを緩め10%とし、SVG出力を絞り、変圧器タップ制御を優先させて動作するように設定する。

(2) 電圧偏差が大きい場合

系統事故など偏差の大きな電圧変化に対しては、スローリアクタンスの傾きを3%とすることで、SVGが優先的に動作し高速に無効電力を出力する。これにより、電圧不安定や電圧崩壊が起きる場合においても、SVGにより電圧不安定や電圧崩壊が防止される。

このスローリアクタンス三折制御方式をSVGに適用することにより、変圧器タップ制御は定常時における電圧制御機器として動作し、SVGは低出力状態で待機することで電圧不安定や電圧崩壊に対して制御能力を温存する協調制御となり、電圧安定度向上を図ることが可能となる。

5. むすび

電圧安定度向上に寄与するSVGとして神崎SVGに適用した技術について述べた。顕在化する電力系統問題に対して柔軟な解決に貢献できるSVGなどのFACTS機器は今後も様々な用途で適用されていくものと思われる。

また、神崎SVGは良好な運転実績を積み上げており、更なる有効な運用方法なども検討し有用性を高めていきたい。

なお、このSVG研究及び製作に際し、東芝三菱電機産業システム(株)森島直樹氏、船橋眞勇氏、藤井俊行氏には多大な御助力をいただいた。ここに謝意を表したい。

遮断器の開閉極位相制御技術による 電力品質の向上

香山治彦* 藤井茂雄*
亀井健次* 杉山 勉*
蔦田広幸**

Improvement of Power Quality Using Controlled Switching System

Haruhiko Koyama, Kenji Kamei, Hiroyuki Tsutada, Shigeo Fujii, Tsutomu Sugiyama

要 旨

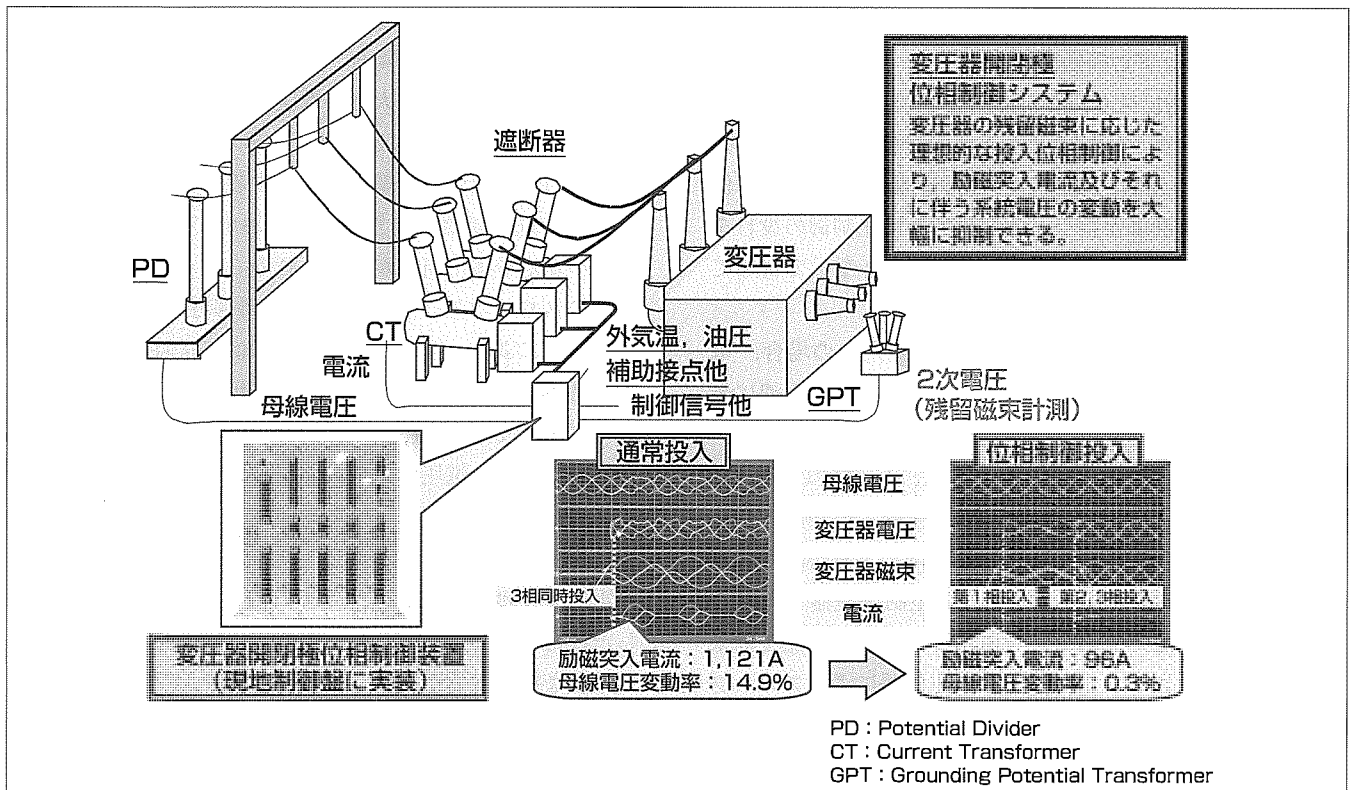
電力の規制緩和に対応し、電力機器の初期投資及び保守費用などの運用コスト削減の要求が高まる一方、電力の品質向上に対する要求が一段と厳しくなっている。電力品質の向上には、遮断器の開閉による過渡的な電圧/電流の変動を抑制することが重要となるが、それらは、コンデンサバンク、リアクトルバンク等の調相設備、又は無負荷送電線、無負荷変圧器等の容量性若しくは誘導性負荷の開閉など、通常の系統運用に伴い発生するものが多い。なかでも無負荷変圧器の励磁投入は短絡電流に近い過大な励磁突入電流を発生させ、これに伴う過渡的な系統電圧の低下は広範囲に及び、また、近傍電気所での保護リレーの誤動作を招くため、これまで抵抗投入方式の採用、又は機器開閉手順の規制などの対策が行われてきた。

一方で、遮断器を系統の電圧又は電流の特定位相で開閉することにより開閉サージを抑制する開閉極位相制御遮断

器は、開閉サージによる接点損耗低減の観点で、調相設備用遮断器の点検周期延長を主な目的として、特に欧米を中心とした海外で広く適用されるようになった。しかし、無負荷変圧器に関しては、励磁突入電流に大きな影響を及ぼす変圧器鉄心中の残留磁束の測定が困難であり、十分な効果が得られず適用は進んでいなかった。

このたび、無負荷変圧器の励磁突入電流抑制を目的として、変圧器鉄心中の残留磁束を測定し、その値に応じた理想的な位相で遮断器を開閉する“変圧器開閉極位相制御システム”を開発し、実系統において効果的に励磁突入電流及び電圧変動を低減できることを確認した。

開閉極位相制御遮断器は、保守費用の削減のみでなく、高い電力品質を確保する目的でも、経済的な系統運用を可能とする一手段として、今後更に適用が進むと考えられる。



変圧器開閉極位相制御システムの構成(上)と励磁突入電流抑制効果(右下)

無負荷変圧器の励磁投入に伴う励磁突入電流は、当該電気所周辺において大きな電圧変動を発生させるため、電力品質確保の観点で課題となる。変圧器開閉極位相制御システムは、抵抗投入方式等に代わる効果的な励磁突入電流抑制手段として、新設のみならず既設機器への柔軟な対応も可能である。

1. ま え が き

電力の規制緩和に対応し電力機器の初期投資及び保守費用などの運用コスト削減の要求が高まる一方、電力の品質向上に対する要求が一段と厳しくなっている。遮断器を系統の電圧又は電流の特定位相で開閉することにより、開閉サージを抑制する開閉極位相制御遮断器は、開閉サージ及びそれによる接点損耗低減の観点で、調相設備用遮断器の開閉制御に広く適用されるようになった。一方で、無負荷変圧器の励磁突入電流については、変圧器鉄心中の残留磁束の測定が困難であり、従来の位相制御技術では十分な効果が得られなかった。本稿では、変圧器鉄心中の残留磁束を測定し、その値に応じた理想的な位相で遮断器を開閉する“変圧器開閉極位相制御システム”について、開発の概要及び実系統における機能検証結果について述べる。

2. 励磁突入電流抑制における課題

無負荷変圧器の投入における励磁突入電流は定格電流の数倍に達することがあり、特に系統末端において変圧器周辺の過渡的な電圧低下が発生し、電力品質の低下を招く可能性がある。図1に、ある発電所における変圧器投入時の励磁突入電流及び電圧変動についてのEMTP (Electro-Magnetic Transients Program)による解析例を示す。実測により確認された残留磁束0.5PUが存在する場合、3相同時投入では20%近い電圧変動が発生し、近隣の需要家への影響が懸念される。これを防止するための手段として、従来は抵抗投入方式の採用、又は投入専用系統の構成などが一般的であった。

これに対し、遮断器の開閉極位相制御による励磁電流の抑制は、機器コスト及び運用自由度の面で利点がある。開閉極位相制御の効果を確認するため、3相同時投入、従来の開閉極位相制御、及び残留磁束を考慮した開閉極位相制御による変圧器投入現象をEMTPにより解析を行った。結果を図2に示す。98%確率値で評価した場合、残留磁束を

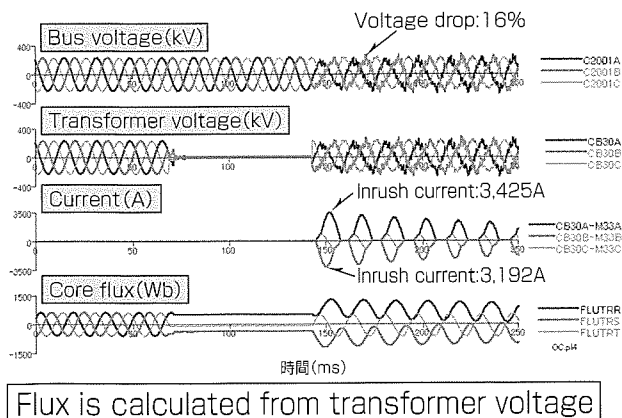


図1. 無負荷変圧器投入時の電圧変動解析結果

考慮した開閉極位相制御における励磁突入電流は、3相同時投入の1/30、従来の開閉極位相制御に対しても1/10であり、励磁突入電流及びそれに伴う電圧変動を目標とするレベルまで低減することが可能であるとの結論を得た。

3. 残留磁束測定法の開発

前章で述べたように、効果的な変圧器の開閉極位相制御を行うためには、鉄心中の残留磁束を考慮する必要がある。残留磁束の測定では、変圧器端子電圧の積分により磁束を求める方法が実用的かつ一般的であるが、この方法を電子装置による計測に適用する場合には、以下に示すように積分期間決定における課題がある。

- 電流遮断後の変圧器端子電圧は、変圧器及び電源回路の電氣的並びに磁氣的定数に応じた減衰振動を示す。このため、積分期間はこの過渡現象期間のすべてを包含するために、十分に長く設定する必要がある。
- 電圧測定系のノイズ又は電子回路の零値変動に伴う積分誤差を最小にするため、積分期間は可能な限り短くする必要がある。

これらの課題に対する解決策として、図3に示す測定ア

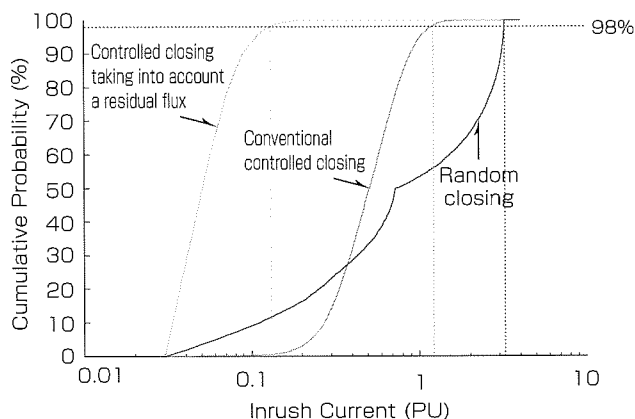


図2. 各方式による発生励磁突入電流

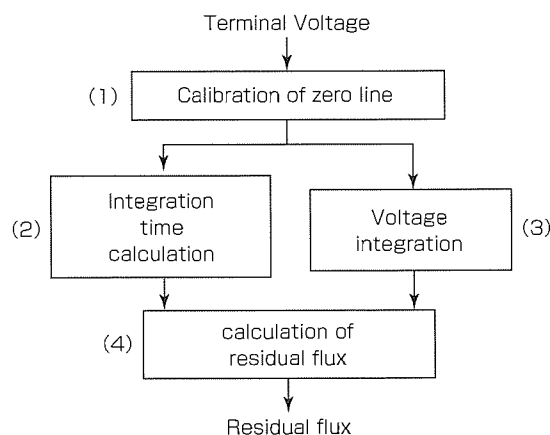


図3. 残留磁束測定アルゴリズム

ルゴリズムを開発した⁽¹⁾。

計算は下記の4段階から構成される。

- (1) 零点の校正：電流速断前の数サイクルの電圧積分波形から中央値を求め、積分処理における零点とする。
- (2) 積分期間の決定：電圧の振幅が一定値以下となった時点を積分の終了点とする。図4にその概念を示す。
- (3) 電圧の積分：上記(2)で決定した時間まで、電圧を積分する。
- (4) 残留磁束の決定：上記(3)と(1)の差を求め、残留磁束とする。

図5に、上記処理により求めた残留磁束と、投入時の電流波形実測値及び変圧器励磁特性から求めた残留磁束の比較を示す。両手法により求めた値はよく一致しており、今回開発した方法が変圧器の開閉極位相制御を実施するための十分な精度を持っていることが分かる。

4. 残留磁束に応じた最適投入点

実際の3相変圧器では、各相鉄心中の磁束は第1相投入後の励磁電流の影響を受け変化する。このため、残る2相の最適投入点は、これら2相の残留磁束値からは求めるこ

とができない。これを考慮し、以下に示す効果的な投入手順を採用した⁽²⁾⁽³⁾。

- (1) 第1相を、その相の残留磁束が投入後に発生する定常状態の磁束に一致する点で投入する。
- (2) 第2, 第3相を、第1相の投入から数サイクル後の、磁束変動の非対称性が減衰し、かつ、これら2相の磁束が投入後に発生する定常状態の磁束に一致する点である第1相の電圧ピークで投入する。ただし、2相投入後には各相の磁束が決定されるため、第2相と第3相は必ずしも同時である必要はない。

第1相の最適投入点は、残留磁束と遮断器の特性の関数として算出できる。図6に、残留磁束が-0.5PU、常規対地電圧の電圧零点における時間変化率で規格化した遮断器の投入時極間耐電圧値減少率が0.8、閉極動作ばらつきが±1.0msの場合の目標投入位相と発生する励磁突入電流の関係を示す⁽¹⁾。この図から、上記組合せでの最適投入点は電圧零点の116°後であることが分かる。また、遮断器動作時間のばらつきが同一である場合には、残留磁束が大きい領域に目標点が存在する方が、小さい領域に存在する場合に対して、励磁突入電流抑制効果に対する動作ばらつき

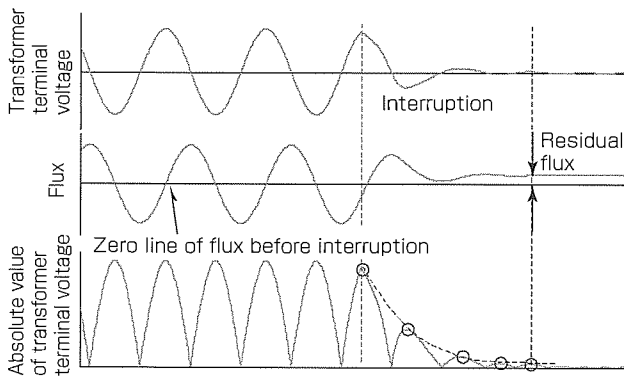


図4. 残留磁束測定時の電圧積分期間

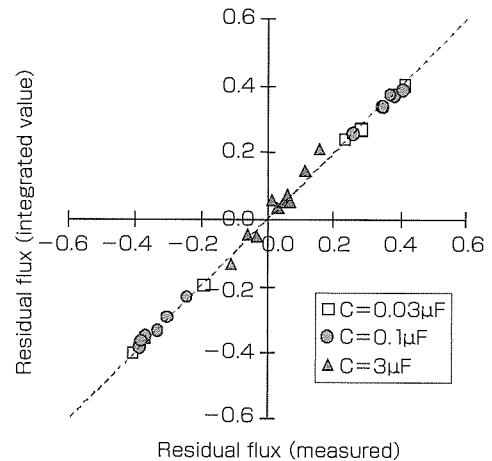


図5. 残留磁束測定誤差

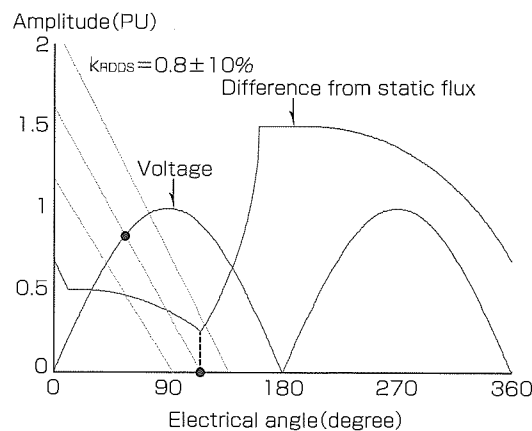


図6. 残留磁束に応じた第1相最適目標位相

の影響が小さくなる。

これは、定常磁束が正弦波を示すため、各領域における変化率が異なることによる。図7に、第1相の残留磁束が0.27PU及び0.73PUの場合の最大励磁突入電流値を示す。

5. 実フィールドでのシステム検証

励磁突入電流の抑制効果を確認するために、実フィールドでの投入試験を実施した⁽⁵⁾。図8に変圧器開閉極位相制御システムの構成を示す。変圧器の端子電圧は変圧器2次側のVT(Voltage Transformer)から供給され、残留磁束算出のために位相制御装置で $\Delta-Y$ 変換を行っている。検証は、CIGRE(Couseil International des Grands Reseaux Electriwues) WG A3.07によりまとめられた位相制御システムの適用ガイドに従い、下記の4項目を実施した⁽⁴⁾。

5.1 遮断器の機械的、電気的特性の検証

閉極時間の、周囲温度、操作油圧力、制御電圧及び休止時間依存性を、開発供試器を用いた工場試験で確認した。また、投入時間ばらつき、及び投入時極間耐電圧値減少率も工場で確認した。さらに、フィールドでの実運用条件を反映するため、現地における無負荷開閉試験を行い、平均動作時間を測定した。これらのパラメータはすべて遮断器直近の現地制御盤内に設置された投入位相制御装置に入力した。

5.2 位相制御を行わない投入試験

位相制御を行わない場合の励磁突入電流と電圧変動の発生状況を確認するため、3相同時のランダム投入試験を実施した。システムの電圧変動を極力抑制するために受電系統を構成して試験を実施し、参考として各開閉における残留磁束を測定した。

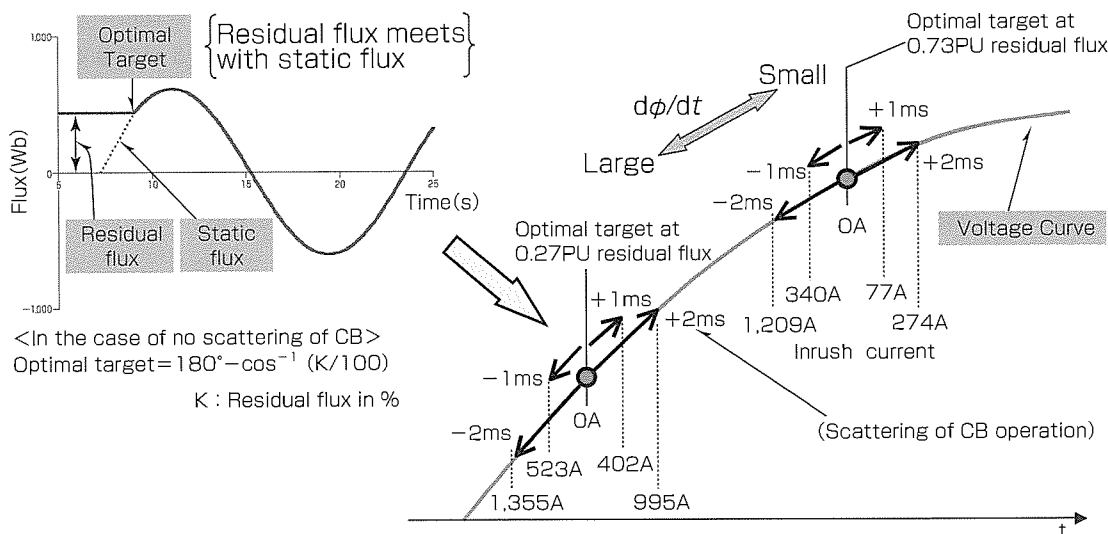


図7. 遮断器動作ばらつきを考慮した場合の残留磁束値と最大励磁突入電流の関係

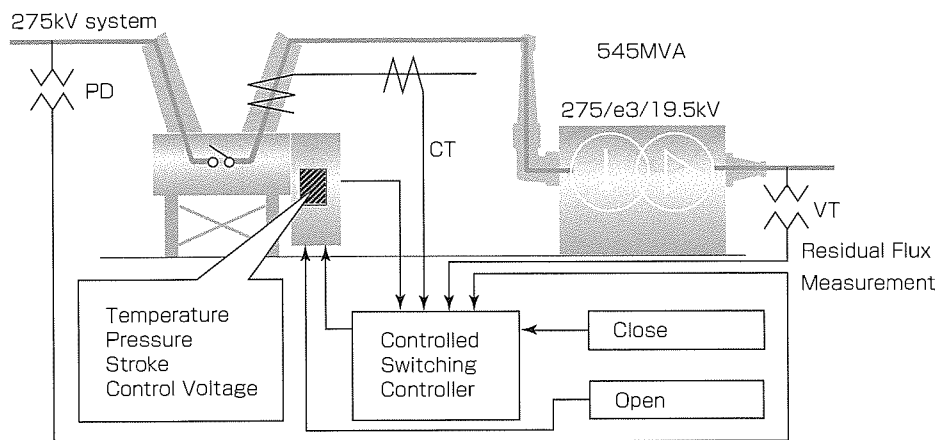


図8. 変圧器開閉極位相制御システムの構成

図9に3相同時投入を行った場合の電圧、電流磁束の測定結果例を示す。3相の鉄心はすべて飽和し、各相の励磁突入電流は1,245Aから2,678Aに達している。また、1次側母線電圧の変動率は11.2%であった。

5.3 位相制御による投入試験

開閉極位相制御システムの効果を確認するため、前章までに述べた位相制御方法を用いた投入試験を実施した。図10に変圧器の位相制御投入における電圧、電流、磁束の測定結果を示す。開閉極位相制御装置は、前回の遮断時で最大の残留磁束を持つ相(V相)を第1相に設定し、定常磁束と一致する点(図中A点)でV相を投入している。第2、第3相(U、W相)は約1.5サイクル後のV相電圧最大点で投入されている。発生した励磁突入電流は100A以下と非常に小さく、電圧変動はほとんど発生していない。合計10回の投入試験における投入点の目標点からのずれは±0.8ms以内と、良好に制御されていた。

5.4 フィールド試験による信頼性の検証

電磁サージ、動作環境等の実運用条件下での信頼性を確認するため、約半年間にわたり実フィールドでの試験を行った。毎回の動作における主回路の電圧、電流波形、遮断器の動作条件、及び残留磁束は位相制御装置に蓄積されており、これらのデータを工場で分析した。図11に、各投入動作における発生した励磁突入電流を基に算出した電圧変

動率を示す。遮断器の休止時間は最長で278時間であったが、実運用ではより長い休止時間が発生すると考えられることから、継続してデータの取得、分析を進めている。

5.5 残留磁束の分析

この制御方法は第2、第3相磁束の非対称性の減衰に期待したものであるため、残留磁束のパターンが制御結果に影響を及ぼす。今回測定した残留磁束を整理すると、以下の3パターンに分類できることが分かった。

- I) : 40%, -40%, 0%; (X, -X, 0)パターン
- II) : 40%, -30%, -10%; (X, -Y, Y-X)パターン
- III) : 40%, -20%, -20%; (X, -X/2, -X/2)パターン

図12に、各遮断時における残留磁束とそのパターンを示す。第2、第3相の残留磁束が近接し、かつ第1相投入後の磁束に近い値となっているパターンⅢは、第2、第3相の磁束が最も早く収束すると考えられるため、次回投入制御において有利であることは明らかである。このことは、遮断位相制御と組み合わせることにより、励磁突入電流抑制の効果をより一層高めることができるという可能性を示している。今回制御の対象となった変圧器と遮断器の組合せでは、ある相の電圧零点後101°~107°の間に遮断器を開極すれば、その相の残留磁束が最大となる上記磁束パターンⅢ)を得ることができる。

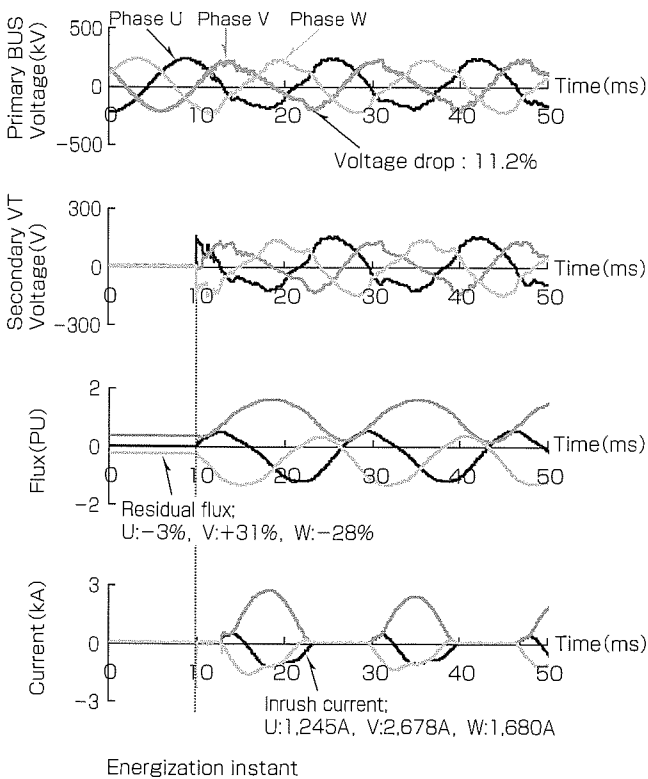


図9. 無負荷変圧器投入時の励磁突入電流と電圧変動測定値(3相同時投入の場合)

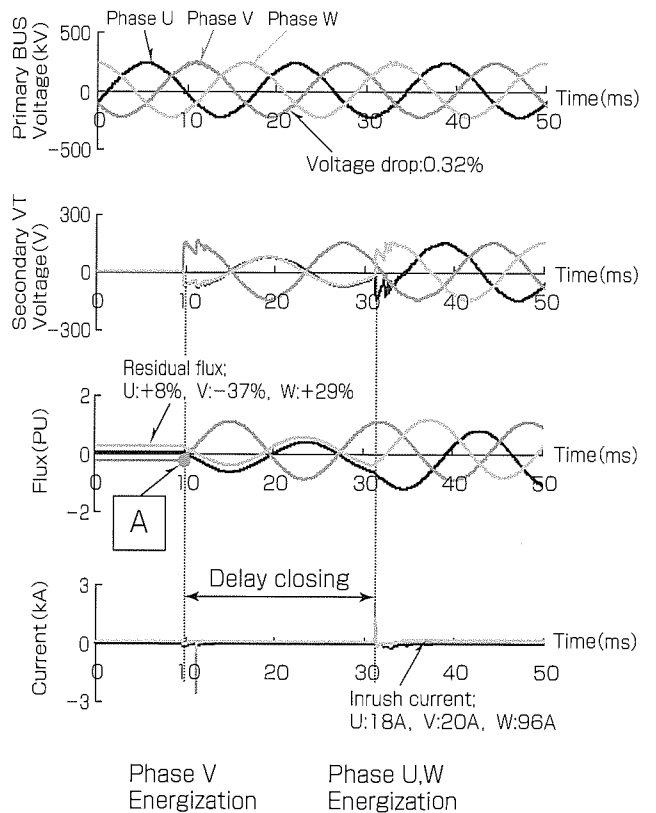


図10. 無負荷変圧器投入時の励磁突入電流と電圧変動測定値(残留磁束を考慮した位相制御の場合)

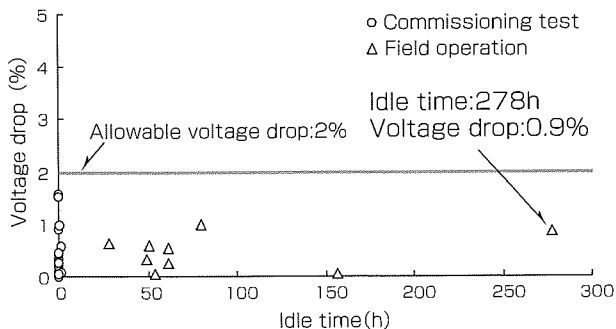


図11. 残留磁束を考慮した開閉極位相制御を行った場合の電圧変動率

6. む す び

電力品質に影響を及ぼす無負荷変圧器の開閉に対し、残留磁束を考慮した変圧器開閉極位相制御システムを開発し、実フィールドにおいてその効果を確認した。このシステムに採用した残留磁束測定手法は良好な測定精度を示し、励磁突入電流及びそれに伴う電圧変動が十分に抑制できていることが確認でき、さらに、遮断器動作の休止時間特性を始め、実運用条件でのシステムの健全性について、引き続き検証を進めている。また、残留磁束のパターンに着目した検討を行った結果、開極位相を制御することにより残留磁束のパターンを制御でき、より励磁突入電流抑制効果の高い制御を実現することが可能であることが分かった。

開閉機器側から電力品質向上に貢献できる一技術として、顧客に対する提案及び一層の機能拡充を進めていきたい。

参 考 文 献

(1) Tsutada, H., et al.: Controlled Switching System for Capacitor Bank and Transformer Switching, Proc. of

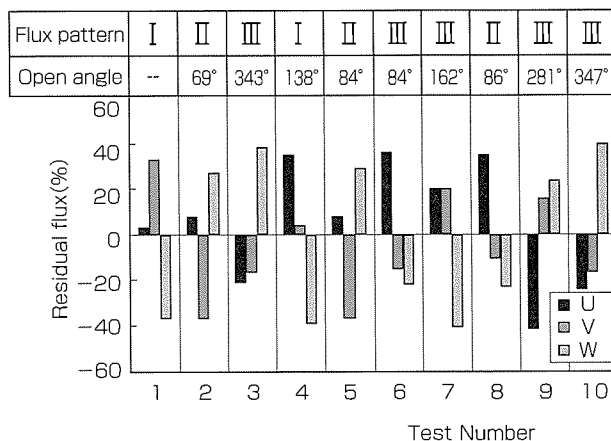


図12. 遮断器開極位相と残留磁束パターンとの関係

Int. Conf. on Electrical Engineering, **5**, 2125~2130 (2002)

(2) Mercier, A., et al.: Transformer Controlled Switching Taking into Account the Core Residual Flux a Real Case Study, CIGRE 2002 Session, 13~201 (2002)

(3) Brunke, H. J., et al.: Elimination of Transformer Inrush Currents by Controlled Switching-Part 1: Theoretical Consideration, Part 2: Application and Performance Consideration, IEEE Transactions on Power Delivery, **16**, No. 2, 276~285 (2001-4)

(4) CIGRE WG13.07: Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers: Planning, Specification and Testing of Controlled Switching Systems: ELECTRA No. 197, 23~33 (2001)

(5) 亀井健次, ほか: 残留磁束を考慮した変圧器投入位相制御の適用, 平成17年電気学会全国大会, **6**, 372~373 (2005)

車両用変圧器の技術動向

中村賢一* 木庭 豊*
 児仁井克己*
 近藤博之*

The Technical Trend of Traction Transformer

Kenichi Nakamura, Katsumi Konii, Hiroyuki Kondo, Yutaka Koba

要 旨

交流車の駆動システムには、PWM(Pulse Width Modulation)コンバータ/VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)インバータ方式が採用され、その中で、主変圧器の特性がシステムの安定運転のための重要な要素となっており、システム設計上、特に主変換装置との相互協調(高インピーダンス、巻線間の疎結合性)が必要である。また、主変圧器は、床下の限られたスペースに収められるため、車体臙(ぎ)装側との協調も重要である。最近の新幹線では、編成出力の増大、及びユニット数が集約される傾向にあり、車両の軸重を抑えるため、大容量化と小型軽量化はますますその重要度を増している。特に、車両用変圧器は、車両搭載機器の中で最も重い機器であることから、軽量化の追及は極めて重要である。次期新幹線の開発

も活発化しており、更なる大容量化と小型軽量化が求められている。

在来線では省メンテナンス化が進み、プロウレス化した走行風自冷式が主流となりつつある。この冷却方式は、車両走行時に発生する空気流(走行風)を有効活用したものである。従来の強制風冷式で必要である電動送風機が不要になるため、低騒音、省エネルギー、省メンテナンスといった利点を持っている。最近では、ふさぎ板の付いた車両への適用、自冷容量の拡大が求められている。

本稿では、PWM制御方式における車両用主変圧器の特長と大容量化、小型軽量化、そして走行風自冷に関する最近の適用技術について述べる。

PWMコンバータ制御方式と車両用変圧器

PWMコンバータ制御方式における主回路構成例と、新幹線用、在来線用それぞれの代表的な主変圧器の外観を示す。

1. まえがき

交流車の駆動システムには、PWMコンバータ/VVVFインバータ方式が採用され、その中で、主変圧器の特性がシステムの安定運転のための重要な要素となっており、システム設計上、特に主変換装置との相互協調が必要である。また、主変圧器は、床下の限られたスペースに収められるため、車体機装側との協調も重要である。最近の新幹線では、編成出力の増大、及びユニット数が集約される傾向にあり、車両の軸重を抑えるため、大容量化と小型軽量化はますますその重要度を増している。

在来線では省メンテナンス化が進み、プロウレス化した走行風自冷式が主流となりつつある。

本稿では、PWM制御方式における車両用主変圧器の特長と大容量化、小型軽量化、そして、走行風自冷に関する最近の適用技術について述べる。

2. PWMコンバータ制御方式との協調

新幹線などの交流車両に設置される主変圧器は、パンタグラフで受けた電力を、車両を駆動するための主回路と空調装置などを駆動するための補助回路とに供給する重要な機器である。2次巻線それぞれにはPWMコンバータがつながり、VVVFインバータを介して三相誘導電動機の制御が行われる。図1に新幹線電車で採用されている主回路構成の例を示す。

最近の交流車両の主回路方式で主流となっているPWMコンバータ方式では、主変圧器の特性とPWMコンバータの制御性能との間に密接な関係があり、システム設計において相互の協調を図っている。

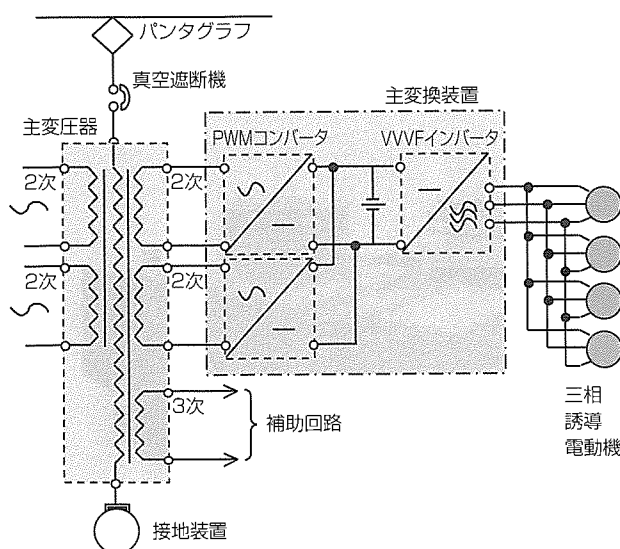


図1. 主回路構成例(300系)

PWMコンバータ制御方式における主変圧器の特長と最近の適用技術について以下に示す。

(1) 力率1制御による定格容量の最小化

以前のサイリスタ連続位相制御方式では力率負荷が0.7~0.8であるのに比べ、PWMコンバータ制御方式では、ほぼ力率1に制御できるため、一定の駆動パワーに対する主変圧器の負荷電流を小さくできる。これを考慮した走行シミュレーションによって最適容量を設定している。

(2) 高調波損失の発生

主変圧器の負荷電流には、半導体素子のスイッチング周波数に対応した高調波が重畳する。磁界解析によって発生損失及び局部過熱のチェックを行い、コイル配置や磁気シールドの設置を決定する。最近では、3レベル制御方式の採用及びスイッチングの高周波化によって、高調波損失の低減を図っている。

(3) 高インピーダンス化及び疎結合化

半導体素子のスイッチングに伴う高調波電流の発生は上記損失の問題や高調波の架線側への流出の問題があり、高調波抑制のため、主変圧器には高インピーダンスが要求される。また、同じ主変圧器につながる複数のPWMコンバータが相互に干渉を受けないよう、巻線間の疎結合性が要求される。こういった要求を満足するため、三菱電機では、コイル配置を工夫し、2次巻線数、システム側からの要求仕様に応じて、ギャップ鉄心^(注1)及びセパレート鉄心^(注2)をコイル間に設置することで、限られた質量、寸法制約の中で、これらの要求性能を実現している。

3. 大容量化と軽量化

最近の新幹線電車では、高速化による編成出力の増大、及びユニット数が集約される傾向にある。これに伴い、編成当たりの主変圧器台数は減り、主変圧器単体の容量はますます増大している。例えば、300系では16両の編成出力が12,000kWであったのに対し、500系では18,240kWに増えており、さらに、その電力を供給する主変圧器は、一編成当たり5台から4台に集約されたため、主変圧器容量は約2倍に増加している。

車両搭載機器の中で主変圧器は最重量物の一つであり、車両の軸重増加を抑えるためにも、その軽量化はますます重要度を増している。当社では、次の新技術の適用により、単位容量当たりの質量で30%の軽量化(300系を基準とした500系及び700系の比)を達成している。

(注1) ギャップ鉄心：1次巻線と2次巻線との間にギャップ付きの鉄心を設置し、漏れ磁束を増やすことでリアクタンスを高める。

『車両用変圧器』日本特許取得番号：2043048

(注2) セパレート鉄心：隣り合う2次巻線のために磁気遮蔽(しゃへい)のための鉄心を設置することで距離を離すことなく各2次巻線間を疎結合とする。

『車両搭載用主変圧器』日本特許取得番号：2923053

- コイル導体のアルミ化
- 高耐熱で薄葉のポリイミドフィルムによる
コイル素線絶縁
- 低比重ガラスエポキシ材の適用
- 冷却装置及び部品類の軽量化

また、次世代機種では、タンクの更なる軽量化に向けて、航空機の主翼、新幹線の先頭形状などを設計する際に用いられる生物の進化過程を模した計算手法である遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) をタンク構造解析に適用し最適化を図っている。図2、図3に計算例を示す。

表1に、最近の軽量化動向の一例として、主変圧器の容量と質量の比較を示す。

表1. 主変圧器容量と単位容量当たりの質量比較

50Hz			
適用線区 (新幹線)	車両形式	容量 (kVA)	kg/kVA
東北・上越	200系	2,350	1.32
東北・山形	400系	1,900	1.57
東北・長野・秋田・山形	E2,E3系	2,875	1.06
東北・長野	E2-1000	2,900	0.97
東北・上越	E4系	4,150	0.83
60Hz			
適用線区 (新幹線)	車両形式	容量 (kVA)	kg/kVA
東海道・山陽	0系	1,650	2.04
東海道・山陽	100系	2,500	1.01
東海道・山陽	300系	2,900	1.06
東海道・山陽	500系	5,400	0.74
東海道・山陽	700系	4,160	0.74

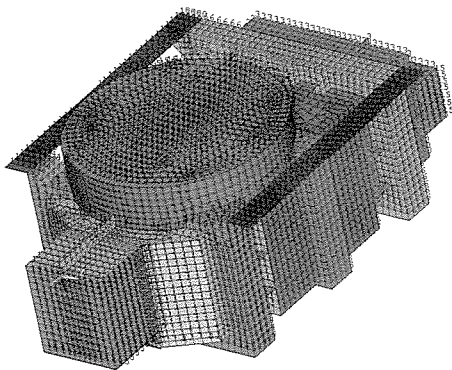


図2. 要素分割

また、図4に床下搭載用JR西日本500系用WTM205形、図5に床上変圧器室設置用JR東日本E4系用TM209A形主変圧器の外観を示す。

4. 走行風利用自冷式主変圧器

車両の走行時には、その周囲に相当量の空気流 (走行風) が存在する。従来、主変圧器の冷却方式は、電動送風機を用いた強制風冷式が主流であったが、最近の在来線車両では、この走行風を利用して電動送風機を不要とした走行風自冷式が主流となっている。

なお、新幹線車両では、主変圧器がカバーで完全に覆われることや、変圧器容量が大きいことなどから、走行風利用自冷式の適用は難しく、したがって、在来線車両への適用が主流となっている。

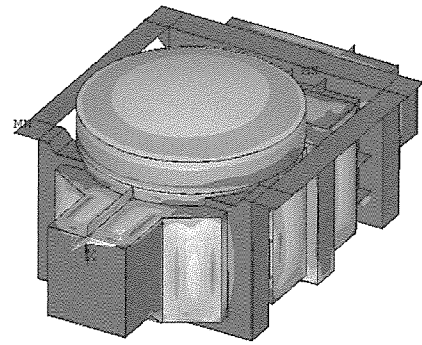


図3. 内圧上昇時の応力分布

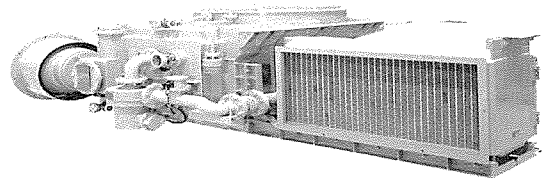


図4. 500系新幹線用WTM205形主変圧器 (床下搭載タイプ)

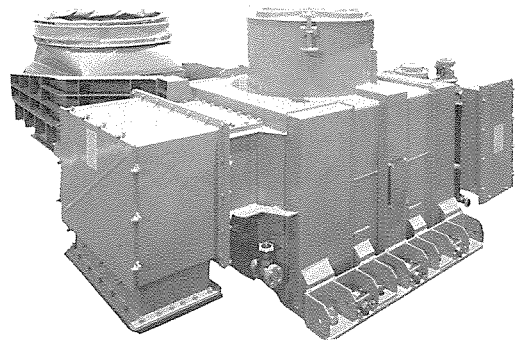


図5. E4系新幹線用TM209A形主変圧器 (床上変圧器室設置タイプ)

当社は国内で初めて走行風利用自冷式主変圧器を実用化し、JR東日本の701系交流電車において量産用として初めて採用された。図6にJR東日本での適用例として、701系TM29形主変圧器の外観を示す。

さらに、床下がふさぎ板で覆われる在来線においても走行風利用自冷式のニーズが高まり、JR西日本683系交流直流特急電車のWTM27形主変圧器(図7)では、図8に示すエアインテイク構造^(注3)を採用し、ふさぎ板で覆われる車両においても走行風自冷式の適用を可能とした。

最近では、JR北海道においても、走行風自冷式(エアインテイク構造+耐雪ガード)が採用され、降雪量の多い地域でも実績を積みつつある。図9に、JR北海道での適用例として、721系8次車N-TM721-AN形主変圧器の車両搭載状況を示す。また、冷却器の大容量化により、2,000kVAクラスまで走行風利用自冷式の適用が可能となった。

(注3) 日本特許取得番号：3373446

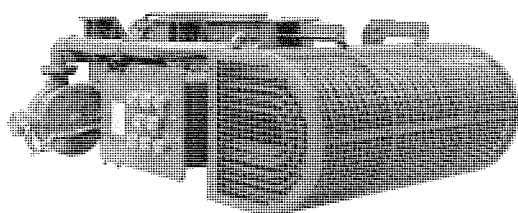


図6. 701系近郊電車用TM29形主変圧器

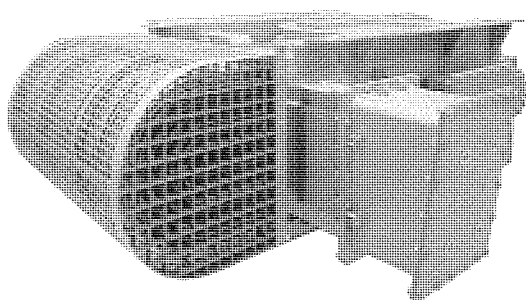


図7. 683系交流直流特急電車用WTM27形主変圧器

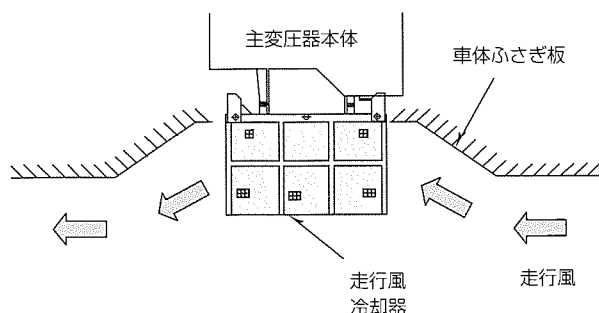


図8. エアインテイク構造



図9. エアインテイク構造+耐雪ガード

4.1 特長

走行風利用自冷式主変圧器には次のような特長がある。

(1) 保守の省力化

電動送風機を使用しないことで、送風機の点検及びベアリング交換などの保守が不要となる。また、冷却管間隔を広くとっているため、冷却器の目詰まりがなく、清掃も容易であり、保守の手間を軽減できる。

(2) 低騒音化

電動送風機による騒音がなくなり静かである。特に、従来の強制風冷式では吸排気の送風音がプラットホームでの周囲騒音に大きく影響しているが、これがなくなり、乗降客の周囲環境が改善される。

(3) 省エネルギー

自然の風を有効利用することで、電動送風機の運転に要していた電力が節約できる。

4.2 冷却設計の留意点

走行風利用自冷式は従来の強制風冷式とは異なる特質があり、冷却設計上、次のことを考慮している。

(1) 車両走行速度と冷却風速との関係

走行風利用冷却における最大の特質は、走行速度によって冷却風速が変わり、冷却性能が常時変化することである。実車で得られた走行速度と冷却風速との関係を基に冷却設計を行っている。

(2) 冷却性能と変圧器容量の算定

走行速度の関数で冷却性能が変化することを考慮して、所定の走行線区及び走行パターンについて走行温度シミュレーションを実施し、定格容量と冷却性能を設定する。

(3) 機装配置

走行風自冷方式は、冷却器を極力車体側面側に配置し、冷却器への走行風の流入を妨げないように、前後の機器との間に適度な間隔を確保する必要がある。前後の機器との間が狭い場合、走行風が妨げられるおそれがあるため、熱流体シミュレーションを実施し、他の機器配置も含めた最適化を図っている。図10、図11に、他の機器も含めた車両搭載状態での熱流体シミュレーションの例を示す。また、前述したエアインテイク構造でも熱流体シミュレーションを

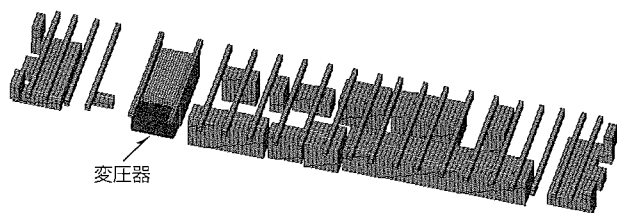


図10. 解析モデル(主変圧器搭載車1両を模擬)

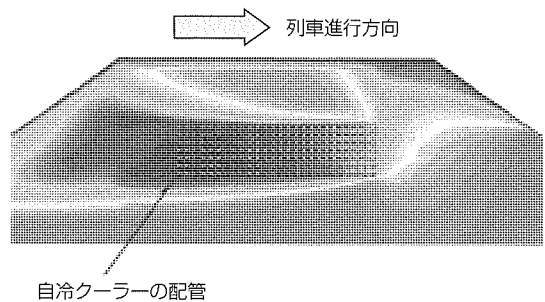


図12. エアインテイク構造(風速分布)

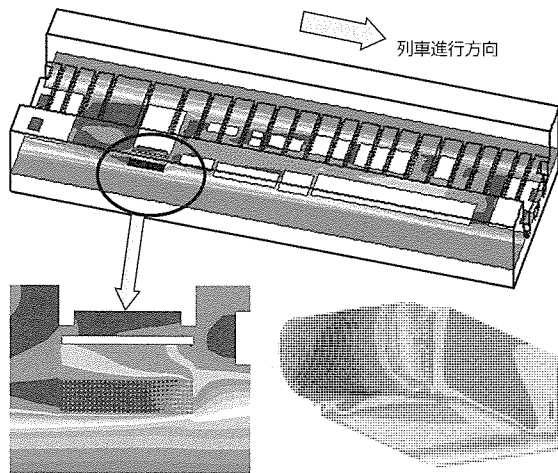


図11. 解析結果(風速分布)

実施し、実験的検討と併せて、冷却装置構造の最適化を図っている。図12にエアインテイク構造における熱流体シミュレーションの例を示す

5. む す び

以上、車両用主変圧器の技術動向について述べた。次世代新幹線では、更なる大容量化，小型軽量化，低騒音化，保守省力化が求められている。また，在来線では，走行風自冷化(プロワレス)はもちろんのこと，バリアフリー車両

で低床化の要求があり，主変圧器高さの低減(薄形化)が求められている。こういったニーズにこたえるために，最新のシミュレーション技術等を活用し，今後も積極的に開発を推進していく所存である。

6. 参 考 文 献

- (1) 小尾秀夫，ほか：インテリジェント車両推進制御システム，三菱電機技報，72，No.6，484～491（1998）
- (2) 横西登志雄，ほか：300系新幹線電車で主変圧器の開発，第29回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集，314（1992-12）
- (3) 畑 正，ほか：PWMコンバータ制御における主変圧器の高調波損失について，電気学会研究会資料（1995-12）
- (4) 畑 正，ほか：701系電車で走行風利用自冷式変圧器，第30回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集，408（1993-11）
- (5) 大島丈治，ほか：走行風を利用した車載用油冷却器の最適化，第36回日本伝熱シンポジウム講演論文集（1999-5）
- (6) 松岡成康，ほか：683系交直流電車で走行風自冷式変圧器，第38回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集，532（2001-12）

変圧器内部診断用油中ガス分析装置

内藤貞夫*
 柏野敦彦*
 近藤大輔*

Dissolved Gas Analyzers for Diagnosis of Transformer

Sadao Naito, Atsuhiko Kashino, Daisuke Kondo

要 旨

従来から油入変圧器の保守管理を油中溶解ガス分析により行う手法は広く一般的に実施されてきた。三菱電機は、1965年から変圧器の品質管理の一項目として油中ガス分析を採用し、1975年から自動分析装置の開発を開始した。その後、ガス分析室向け装置の製品化を皮切りに、オンライン装置、ポータブル装置と続けて開発し製品化した。

近年、変圧器異常の指標として微量のアセチレンを早期に発見し管理する動向にあり、1999年発行の電気協同研究第54巻第5号(その1)“油入変圧器の保守管理”において、アセチレンの要注意I判定レベルは0.5ppmと定められ、これに対応した感度を持つ製品の開発が要望されていた。

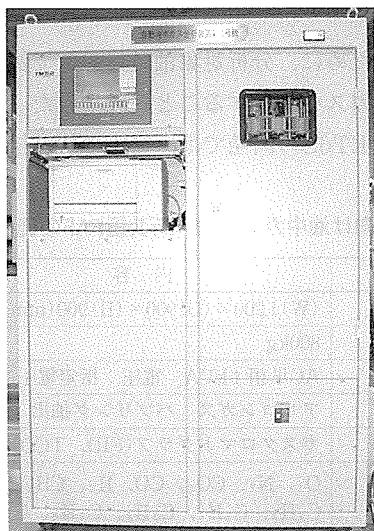
ガスクロマトグラフを搭載した分析室向け装置では、アセチレンの検出感度は、従来から0.5ppmを十分にクリアしていたが、ガスセンサを搭載したオンライン装置及びポ

ータブル装置では、0.5ppmのアセチレンを検出することは困難であった。

当社では、2000年からオンライン装置のアセチレン高感度分析方式の検討を始め、2002年に高感度アセチレン6成分ガス分析装置“N-TCG-6C”を開発し、2003年に製品化した。また、これに先行して、単一機能(TCG検出)装置“N-TCG”も開発し製品化した。

オンライン装置に続き、ポータブル装置のアセチレン高感度化も進め、2005年ポータブル分析装置でも0.5ppmのアセチレンを測定可能な装置を製品化した。

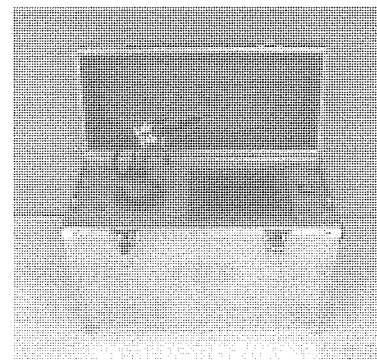
これにより、0.1ppmのアセチレン検出が可能な分析室向け油中ガス自動分析装置と合わせて、高感度にアセチレンを検出・分析可能な油中ガス分析装置のラインアップが完成した。



油中ガス自動分析装置



オンライン油中ガス監視装置



ポータブル油中ガス分析装置

変圧器内部診断用油中ガス分析装置のラインアップ

ガス分析室向け油中ガス自動分析装置FAF：最大12試料の油試料をセットした後は全自動で高感度・高精度な無人連続分析が可能である。
 オンライン油中ガス監視装置N-TCG/N-TCG-6C：変圧器に2本の油配管で直結し設定した周期で高感度な無人分析が可能である。
 ポータブル油中ガス分析装置PGA-300：12kgの軽量・小型の可搬装置であり現地で短時間、高感度な分析が可能である。

1. ま え が き

変圧器の内部に放電・過熱などの異常が発生した場合に、変圧器を構成する絶縁紙や絶縁油などの絶縁材料が分解し絶縁油中に溶解する。絶縁油中に溶解したガスを抽出・分析し、その成分及び濃度から、変圧器内部で発生した異常の大きさ及び種類を診断する手法が油中ガス分析である。現在、油中ガス分析のために様々な装置が開発されている。

ガス分析室向け油中ガス自動分析装置は、従来からガス分析室で実施されている採油分析を自動で分析する装置である。このために、高感度・高精度の分析を、専門的知識を余り必要とせず無人で自動的に分析できることが要求される。

一方、オンライン装置は、通常1～2年に1回の頻度で実施されている定期採油による油中ガス分析を補完し、重要変圧器などを多頻度で監視する要求に対応する。

また、ポータブル装置は、異常発生の懸念のある変圧器などを短時間に現場で分析し、迅速に結果を得ることを目的とした診断装置を提供することにある。

以下に、当社で開発した各ガス分析装置の特長を示す。

2. ガス分析室向け油中ガス自動分析装置

ガス分析室向け油中ガス自動分析装置“FAF”は、変圧器の油中に溶解している成分ガスの定性・定量分析を全自動で行う。同時に12個までの油試料をセットすることができ、装置に油試料をセットした後は、初期のスイッチ操作のみで採油から分析結果の表示までの全操作が自動的に行われ、初期に設定した順序で油試料が分析される。

油中ガス分析の技術は、絶縁油中に溶解しているガスを絶縁油中から抜き出す“ガス抽出”と、抜き出したガスを分析する“ガス分析”に大別される。FAF装置はガス抽出に当社独自の“バブリング法”を採用し、高抽出率を実現している。またガス分析には、FID(水素炎イオン化検出器)及びTCD(熱伝導度検出器)を搭載した自動ガスクロマトグラフを採用し、高感度・高精度分析を実現している。装置の仕様を表1に示し、特長を以下に示す。

(1) 低濃度ガスの分析が可能

大容量変圧器の内部異常を早期に検出するには、低濃度ガスを分析する必要がある。FAF装置は、0.1ppmのアセチレンガスなどを検出可能である。

(2) 油中ガスの高抽出能力

信頼度の高い変圧器内部診断を行うには、油中ガスをほぼ完全に抽出して分析することが重要となる。

FAF装置は、抽出能力の高いバブリング式抽出器を採用している。

(3) 多成分のガスを高精度に分析可能

異常の初期段階においては、異常によって発生した油中

ガスの濃度は低く、また、ガス分析の検出感度は各成分ガスによって異なるので、できるだけ多くの種類のガスを高精度に分析して総合的に診断することが重要である。

FAF装置は、最大11成分のガスを高精度に分析することが可能である。

(4) 連続無人運転が可能

変圧器の内部異常をできるだけ早期に検出するには、油中ガスの分析頻度を高くする必要がある。FAF装置は、高頻度分析、又は多数試料の分析を、連続無人運転することが可能である。

3. オンライン油中ガス監視装置

オンライン装置は、文字どおり油配管で装置と変圧器を直結して採油し分析する。多頻度で分析するためには、油を消費せず変圧器に安全に戻すことが重要である。このため、オンライン装置のガス抽出器には、当社独自のステンレスベローズ抽出器を採用している。

新型装置でアセチレンの高感度分析を行うために、二つの新規開発が重要なテーマであった。一つ目が、変圧器油から可燃性溶存ガスを効率良く抽出する新形抽出部“N-TCG-EC”の開発で、二つ目が高感度アセチレン検出センサ部“N-TCG-DET6C”の開発である。

図1にN-TCG-ECの外形図を示す。当社製油中ガス分析装置の特長として、分析対象の絶縁油を伸縮性のある金属ベローズ容器内に閉じ込め、ベローズを押し下げることで、容器内に減圧空間を生成し、ガス抽出を行う方式を採用している。

高感度分析を行うために、分析対象油量に対して減圧空間を小さくして濃いガスを抽出することに成功した。

一方、N-TCG-DET6Cの開発では、従来の約6倍のA

表1. ガス分析室向け油中ガス自動分析装置FAFの仕様

項目		内容
一般	寸法	(W)1,200×(D)900×(H)900(mm)
	質量	800kg
	電源	AC単相4kVA 電圧：指定電圧
ガス抽出方式		アルゴンガス バブリング抽出
ガス検出方式		ガスクロマトグラフ(FID, TCD)
検出対象ガス		O ₂ , N ₂ , CO ₂ , CO, H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₆ , C ₃ H ₈ の11成分及びTCG(C ₃ H ₆ とC ₃ H ₈ はオプション)
検出感度	O ₂ , N ₂	15ppm
	H ₂	2 ppm
	CO ₂ , CO, CH ₄	0.2ppm
	C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆	0.1ppm
	C ₃ H ₆ , C ₃ H ₈	0.1ppm
MMインタフェース		LCDタッチパネル, レーザプリンター
外部インタフェース		RS-232C(パソコン接続)

MM : Man Machine LCD : Liquid Crystal Display

セチレン感度を持った半導体ガスセンサ(CH-Aci)を採用することで、アセチレンの高感度分析が可能となった。

図2に従来形装置C-TCG-6Cと新型装置N-TCG-6Cのセンサ出力を示す。従来形装置では、2ppmのアセチレンは検出限界であったが、N-TCG-6Cでは十分な検出能力を持っていることが分かる。

新型オンライン監視装置N-TCG-6Cは、以上記述した2種の新規開発により、オンライン装置では初めてアセチレンを0.5ppmの低濃度から検出することを実現した。

表2に、N-TCG-6CとともにN-TCG装置の仕様を示す。両装置は同じガス抽出器を使用しているため外観は同様であるが、N-TCGは分析結果として油中総可燃性ガス濃度(Total Combustible Gas: TCG)のみを出力するタイプであり、一方、N-TCG-6Cは、TCGのみならず、CO, H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆の各ガス濃度を出力する機能を持っている。

4. ポータブル油中ガス分析装置

ポータブル油中ガス分析装置“PGA-300”は、オンライン装置で開発した高感度アセチレンセンサをポータブル形

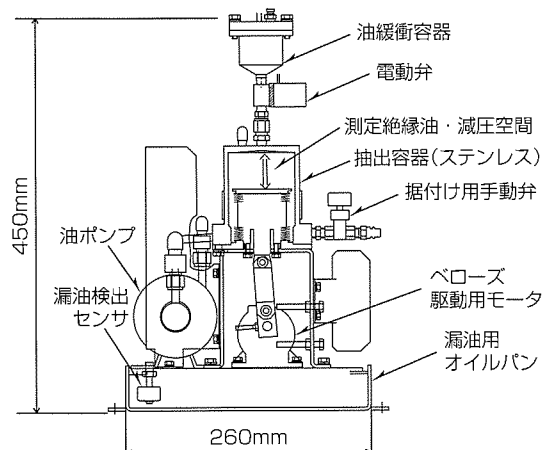


図1. 新形ガス抽出部N-TCG-EC

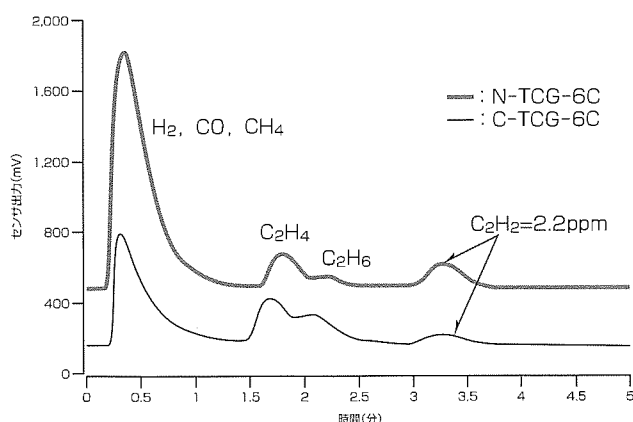


図2. ガスセンサ出力(アセチレン検出センサ)

装置に応用し、また、従来形装置“PGA-200”を全面的に見直し、再開発し製品化したものである。

この装置は、油入変圧器から採取した絶縁油を試料ビンにセットすることにより、溶解ガスの抽出、ガスの検出、及び定量等、一連の操作を自動的に実施し約15分で測定結果を得ることができる。装置は、表3に示すように、変圧器を現地で診断するのに十分な仕様及び以下の特長を持っている。

(1) 変圧器異常の診断に必要なガス検出能力

TCG及びCO, H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆の各ガ

表2. オンライン油中ガス監視装置N-TCG/N-TCG-6C形の仕様

項目		N-TCG	N-TCG-6C
一般	寸法	(W)500×(D)360×(H)630(mm)	
	質量	65kg	70kg
	電源	AC単相500VA 電圧:指定電圧	
ガス抽出方式		真空空間中への平衡抽出方式	
ガス検出方式		ガスセンサ	カラム+4種類ガスセンサ
検出対象ガス		TCG	CO, H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ 及びTCG
検出感度	TCG	20ppm	20ppm
	C ₂ H ₂	-	0.5ppm ※1
	C ₂ H ₄	-	10ppm ※2
	CO, H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆	-	20ppm ※2
制御部		32ビットCPU制御部	
通信方式		RS-232C/RS-485/RS-422モデム・PHS Ethernet ^(注1)	

※1: 0.5ppmから表示 ※2: 2ppmから表示
PHS: Personal Handy phone System
(注1) Ethernetは、Xerox社の登録商標である。

表3. ポータブル油中ガス分析装置PGA-300の仕様

項目		内容
一般	寸法	(W)450×(D)200×(H)355(mm)
	質量	12kg
	電源	AC100-120V又はAC200-240V, 200VA
ガス抽出方式		平衡抽出方式
ガス検出方式		カラム+4種類ガスセンサ
検出対象ガス		CO, H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ の6成分及びTCG(6成分の総和をTCGとする。)
検出感度	C ₂ H ₂	0.5ppm
	C ₂ H ₄	10ppm
	CO, H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆	20ppm
	MMインタフェース	LCDタッチパネル, グラフィックサーマルプリンター(オプション)
外部インタフェース		RS-232C(プリンター) USB(パソコン接続) CFカードインタフェース

USB: Universal Serial Bus CF: Compact Flash

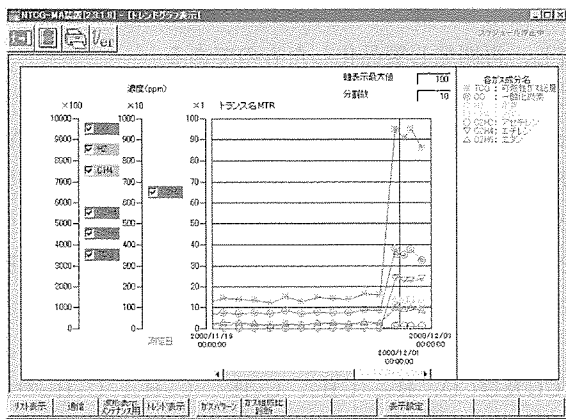


図3. 分析トレンドグラフ画面

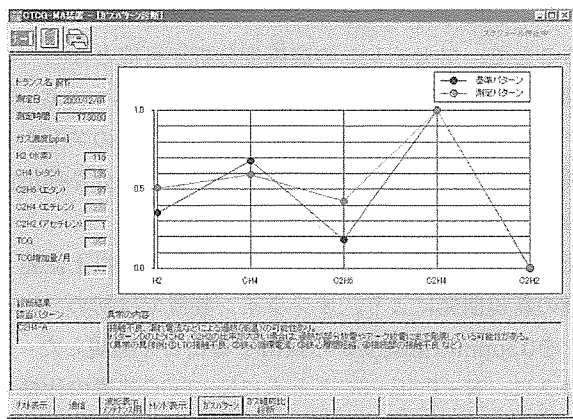


図4. ガスパターン診断画面

ス濃度を測定することができる。

(2) アセチレン (C₂H₂) を高感度に検出

変圧器内部の高温過熱や部分放電などにより発生し変圧器異常検知のために重要なキーガスであるC₂H₂を、0.5ppmの低濃度から検出可能である。

(3) 絶縁油の採油量が少量

分析に必要な採油量は50mlと少量である。

(4) 迅速な測定が可能

測定開始後約15分で測定結果を得ることができる。

(5) 高度なマンマシン・インタフェース

測定は、タッチパネル式の5.7インチ液晶ディスプレイとの対話形式により、簡単に実施することができる。

(6) 小型計量のため、現地への持ち運びが可能

従来の当社装置に比べ大幅な軽量化を行い、質量は12kg、また、容積の約30%減を実現した。

5. データ管理プログラム

ガス分析室向け装置、オンライン装置、及びポータブル装置のいずれにおいても装置内に一次保存している分析データをシリアル通信(ポータブル装置ではメモリカードによるデータ取り出しも可能)でパソコンに通信し、長期の履歴管理(10,000件)が可能となる。データ管理は専用のデータ管理プログラムを使用し、“測定データリスト”“分析トレンドグラフ”の表示、電気協同研究会編“油入変圧器の保守管理”⁽¹⁾に準拠した“ガスパターン診断”“ガス組成比診断”を行うことができる。以下に、データ管理プログラムの概要を述べる。

5.1 分析トレンドグラフ

図3に分析トレンドグラフの一例を示す。選択した変圧器の各ガス濃度値トレンドを表示させることができる。

トレンドグラフによりガス量の増加傾向を確認しながら次回の点検周期を決めることが可能となる。

5.2 ガスパターン診断及びガス組成比診断

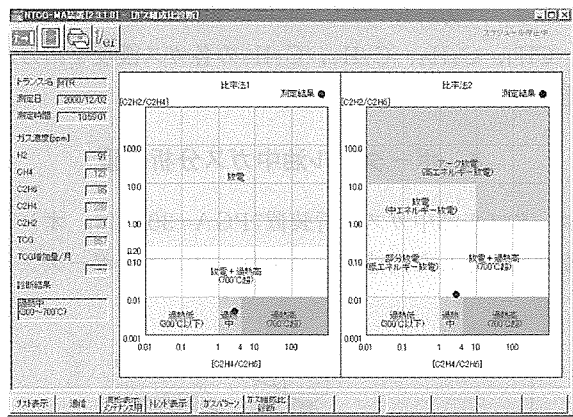


図5. ガス組成比診断画面

分析結果から異常内容を診断する方法として、ガスパターン診断及びガス組成比診断を自動的に実施可能である。

図4にガスパターン診断画面、図5にガス組成比診断画面を示す。分析結果からガスパターンや組成比を演算し、変圧器内部の放電異常、過熱異常など異常の種類を推定する。

6. む す び

以上述べたとおり、高感度化を実現した変圧器内部診断用油中ガス分析装置のラインアップが完成した。油中ガス分析は、変圧器異常を初期の段階で検出し事故を未然に防止する目的で実施されるが、この観点からは、ガス分析室向け装置、オンライン装置、及びポータブル装置の使用目的は同じである。しかし、油中ガス分析を効率的及び効果的に実施するために、これらの装置の目的を分担・階層化して適切に使用することが重要であり、推奨する。

参考文献

(1) 電気協同研究会：油入変圧器の保守管理，電気協同研究，54，No.5(その1) (1999)

UHV系統保護リレーの実績

長澤 宏* 尾田重遠*
野口秀夫* 臼井正司*
大谷則夫*

The Experience of Protection Relays on UHV Power Systems
Hiroshi Nagasawa, Hideo Noguchi, Norio Otani, Shigetou Oda, Masaji Usui

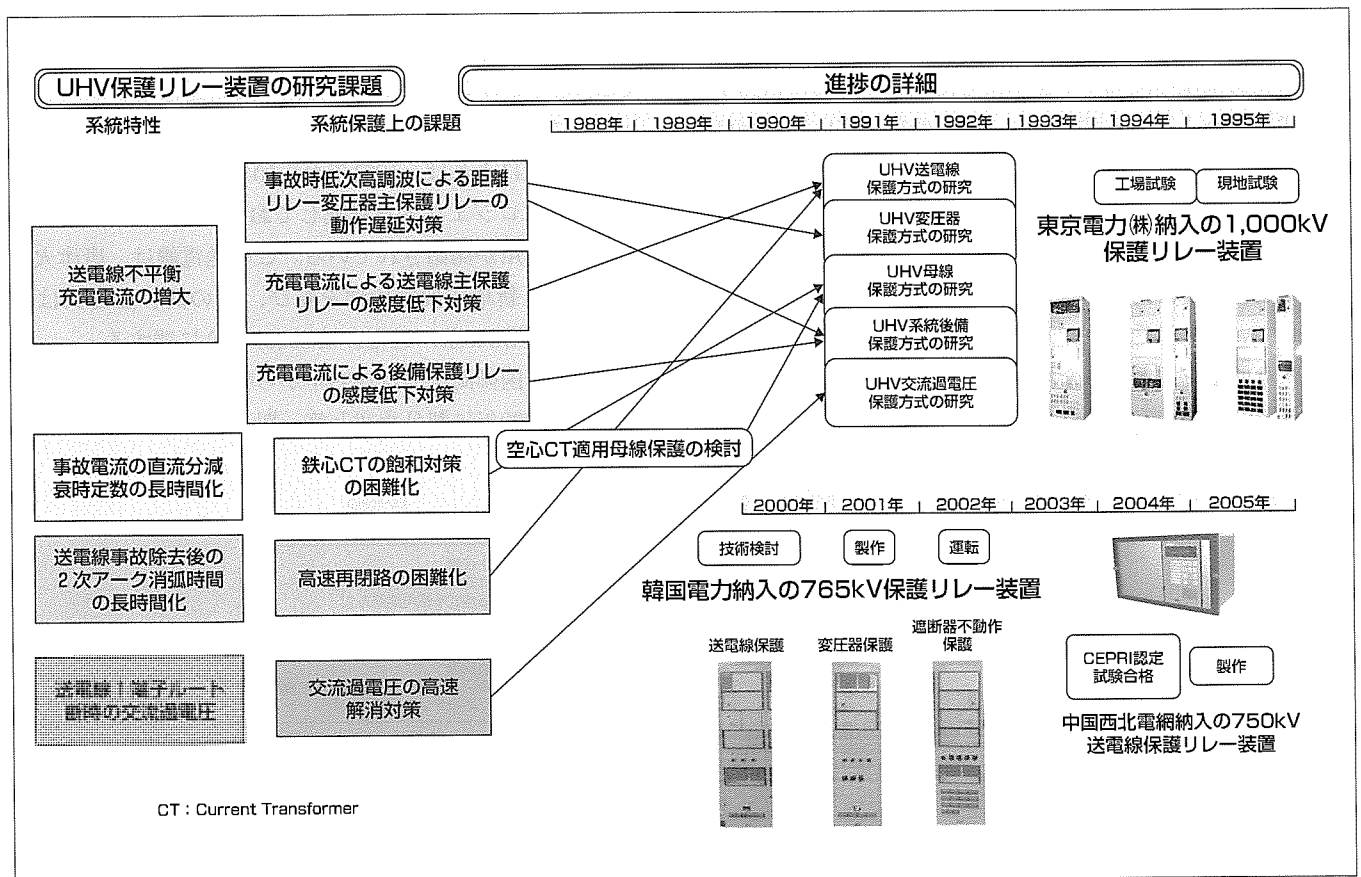
要 旨

三菱電機が東京電力㈱とUHV(Ultra High Voltage)系統保護リレー装置を開発してから既に10年を経過している。その間、保護リレーハードウェア技術は、第二世代からMelpro-Chargeへと変遷してきている。また、世界のUHV動向も進展しており、当社は韓国電力の765kV保護リレー認定試験、中国電力科学研究院(CEPRI)の750kV送電線保護リレーの認定試験に合格している。韓国柳湖電機が2000年及び2003年に韓国電力765kV保護リレー装置を納

入し順調に運転されており、また、中国上海継電器有限公司が中国西北電網750kV送電線保護リレー装置を納入した。

送電線主保護では充電電流補償方式の改善と高速接地開閉器対応の再閉路仕様、母線保護では高インピーダンス差動方式の採用、変圧器保護では並列運転変圧器間の電流比較方式及び単独運転時の対策等を実施している。

本稿では、この間の保護リレーのハードウェア技術の発展についても述べる。



UHV保護リレー装置開発の流れ

UHV送電の技術開発は、電気事業共同の研究体制の下で、1973年から、第1ステップ(基礎研究:1973~1978)、第2ステップ(開発研究:1978~1982)、第3ステップ(実証研究:1982~1985)の3段階に分けて推進されてきた。1991年からは東京電力㈱と共同で、当社を始めメーカー各社が変電機器の実用化に向けた技術開発を行った。上図では、左側にUHV系統の系統特性、系統保護上の課題を示している。右には、東京電力㈱、韓国電力(柳湖電機が納入)、中国西北電網(上海継電器有限公司が納入)での実績を年代的に示している。

*系統変電システム製作所

1. まえがき

当社が東京電力(株)とUHV系統保護リレー装置を開発してから既に10年を経過している。その間、保護リレーハードウェア技術は、第二世代からMelpro-Chargeへと変遷してきている。また、世界のUHV動向も進展しており、当社は韓国電力の765kV保護リレー認定試験、中国電力科学研究院の750kV送電線保護リレーの認定試験に合格している。韓国柳湖電機が2000年及び2003年に韓国電力765kV保護リレー装置を納入し順調に運転されており、また、中国上海継電器有限公司が中国西北電網750kV送電線保護リレー装置を納入したので、これらについて述べる。

2. UHV保護制御技術

UHV系統保護に関する課題、これらに対応した各方式の開発課題を図1に示す。

2.1 送電線主保護

送電線不平衡充電電流が増加すると、その補償誤差の増大により、電流差動リレーの感度が低下する。これに対して、充電電流補償方式を改善して、事故検出感度を高く設定することを可能とした。また、従来端子の電圧値から算出していた区間充電電流の100%を各端子で個別に補償していたものを、各端子で自端の電圧値により自端電流に区間充電電流の50%ずつを補償した後に相手端に伝送する方式とした。この方式により、より精度の高い補償が可能となった。また、送電線事故除去後の二次アーク消弧時間の長時間化によって高速再閉路が困難となるが、高速接地開閉器の投入により二次アークを瞬時に強制消弧して1秒程度的高速再閉路を確保する方式を採用することも可能としている。多重事故や追いかけて事故に対しても、極力再閉路可能な方式とするため、再閉路の条件確認、シーケンスなどを各相独立で制御している。

2.2 母線保護

事故時過渡直流分の長時間継続により、鉄心CT飽和に対する母線保護リレーの誤動作防止が困難となるため、原理的に磁気飽和のない空心CTを用いた方式が適用可能である。

1.5CB(Circuit Breaker)構成の母線の場合には、CT飽和に強い高インピーダンス差動リレーを採用している。

2.3 変圧器保護

事故時過渡高調波次数の低下で電流差動リレーの動作遅延が発生する可能性があるため、UHV変圧器のような大容量変圧器特有の2タンク構造を活用、又は同時に運転される2つの並列変圧器に対して、励磁突入電流の影響を受けない高感度・高速のタンク間電流比較リレー方式を採用した。2つの並列変圧器に適用する場合には、感度上の考慮が図られることと、並列運転しない場合の対策を施している。

2.4 系統後備保護

低次高調波の影響を受けない直接インピーダンス演算形距離リレーを採用することを前提としているが、負荷電流対策等を同時に検討している。

3. 韓国UHV検討の経緯

韓国電力の送電電圧は、基幹系345kV地域供給系154kV又は66kVである。そして、現在の最高送電電圧は765kVとなっている。

各種文献によれば、1991年から10年間にわたり超高压電力系建設プロジェクトを推進しており、2003年に765kV送電線の運用が開始されている。この送電線は、唐津火力と新安城・新瑞山変電所間を結び、その間の総延長は、176km、鉄塔349基、送電容量6,000MVAに達する。

当社と韓国柳湖電機は1999年から韓国電力と仕様打合せを重ね、2000年に製品承認と第一期工事対応の納入をし、

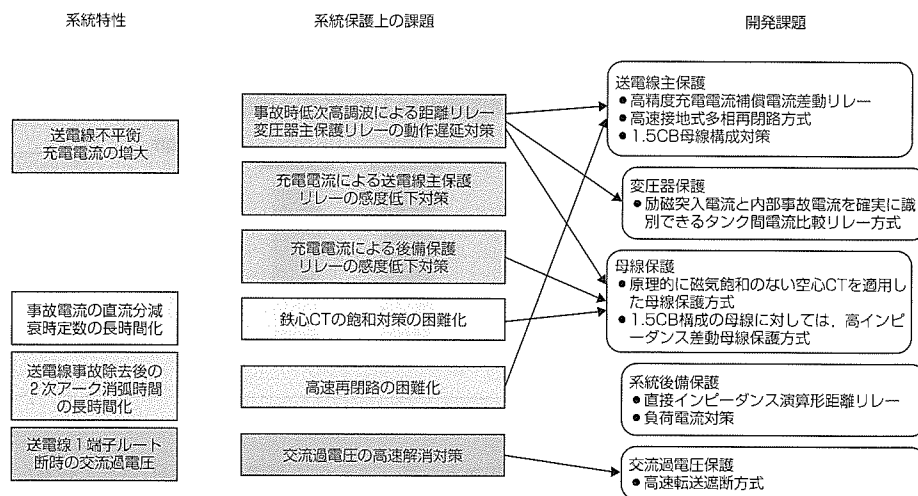


図1. UHV保護リレー装置の課題と対策

2003年に第二期工事対応の納入を果たした。これらの機器は、現在良好に運用されている。

韓国UHV保護リレーの特長としては、送電線保護で1.5CB対応、過電圧保護を内蔵、変圧器保護では並列運転変圧器の停止時の対応、母線保護は高インピーダンス差動を適用などがある。

図2は、第1期に柳湖電機が納入した、765kV送電線保護装置、765kV変圧器保護装置、765kV遮断器不動作保護装置の外観である。

4. 中国UHV検討の経緯

中国では、“西電東送”の計画により、現在の最高送電電圧500kVに対し、送電電圧AC750kV、AC1,000kV、DCなどが検討されている。既に送電電圧500kVでは、当社、三菱電機(香港)有限公司、中国上海継電器有限公司は、中国各省で保護リレーの技術検討をして製品の納入を行っている。

当社と三菱電機(香港)有限公司は、2000年から中国西北電網と仕様打合せを重ね、2004年に中国電力科学研究院で保護リレーの製品認定を取得し、2005年に中国上海継電器有限公司が納入を果たした。

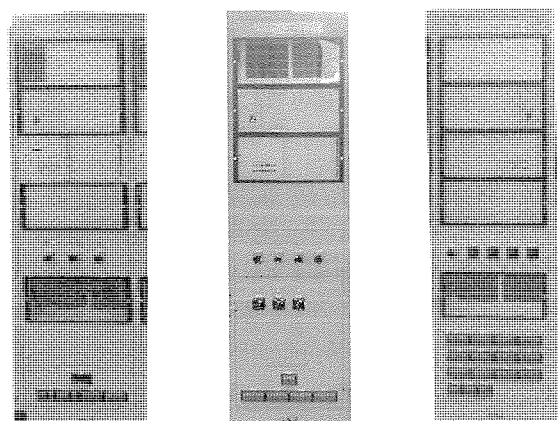
中国電力科学研究院での保護リレーの認定試験では、長距離送電線、短距離送電線など、実システムに対応した模擬送電線設備により、良好な結果を収めている。

図3に、納入された送電線保護リレーの外観を示す。

5. リレーハードウェア技術

当社では、2001年から保護リレーのハードウェアに“MELPRO-CHARGE”を採用している。

MELPRO-CHARGEは、高性能CPUの採用によってハードウェアを大幅に削減するとともにサーバ機能を標準装備することで、遠隔運用、保守、診断など多彩な機能を実現可能とした新しいデジタル保護制御ユニットである。



(a) 送電線保護装置 (b) 変圧器保護装置 (c) 遮断器不動作保護装置

図2. 韓国電力納入765kV保護リレー装置

5.1 開発コンセプト

MELPRO-CHARGEは、多様な要求仕様に最適システムでこたえるため、タイプ1、タイプ2、タイプ3と機能ごとに3種類を備えており、統一したコンセプトで製品シリーズ化がなされている。

このコンセプトは、CHARGEの6文字に代表され、下記のとおりである。

C: Compact; 従来の1/2に縮小し、据付場所や据付位置の自由度を上げ、作業工程の大幅な短縮や効率の大幅改善を可能とする。

H: Human-friendly; 使いやすいHMI(Human Machine Interface)を実現し、運用保守性を高めている。

A: Adaptive; 整定値のブロック化・多重化が可能となるなど、電力システムに容易にそして柔軟に対応することが可能となる。

R: Reliable; あらかじめパソコン上で装置の動作を総合的にシミュレーションできる“MELPRO-SAVE”など、ソフトウェアの生産環境を構築し、装置信頼度を高めた。

G: Growing; MELPRO-CHARGEをネットワークを介して連系(機能拡張)させたり、装置外へのI/Oの分散配置などを可能とする。多様な通信インタフェースをサポートしている。

E: Ecology; 低消費電力化を実現し、部品・材料の削減による省資源化など、環境面にも配慮している。

図4に、保護・制御システムを支える周辺技術の関係について示す。

5.2 ハードウェア技術の進歩

ハードウェア技術として、デバイス技術とその応用設計製造技術の進歩について述べる。

デバイス技術は、デジタルリレーを開発して20年余りが経過し、その間にマイクロプロセッサは、4ビット×4の16ビットから、時代とともに、32ビットCISCや32ビットRISCとなり、メモリの集積度向上とともに性能が格段に進歩している。

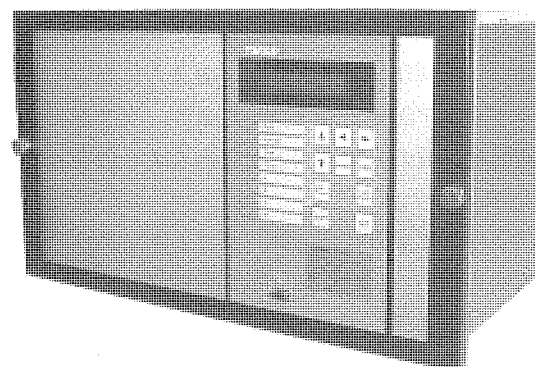


図3. 送電線保護リレー“MCD-H”

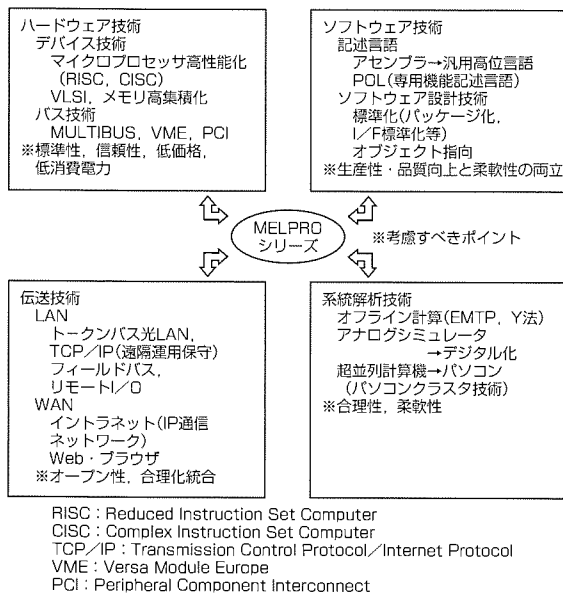


図4. 保護・制御システムを支える周辺技術

これら大幅なハードウェア性能向上は、リレーアルゴリズムの高度化のみならず、自動監視の高度化、ヒューマンインタフェースの高度化など保護・制御システムの機能向上に大きく寄与している。ハードウェアの高集積化・高速処理技術は、保護・制御システムのコンパクト化・高性能化を進展させていく。

デバイス技術を活用するハードウェア応用設計製造技術としてはバス技術がある。バスとはハードウェアアーキテクチャを決定する際の重要なファクタであり、キーポイントは標準性と信頼性である。保護・制御システムでは一般的にマルチバスⅠ／Ⅱ、VMEバスが主流であったが最近では、超高速汎用バスも採用されつつある。

5.3 ソフトウェアの進歩

ソフトウェア技術としては、記述言語と設計技術(構造化手法、オブジェクト指向等)とが挙げられる。

ソフトウェア記述言語については、保護リレーの場合、高速かつコンパクトな処理が必要であり、従来アセンブラ言語が使用されてきたが、シーケンスロジック部やヒューマンインタフェース部はグラフィカルな保護リレー専用の機能記述言語を用いていた。最近では、高性能マイクロプロセッサの登場やコンパイラ性能向上等で、C言語等の汎用高位言語を採用することができるようになった。これらのソフトウェア記述言語の進歩により、ソフトウェア全体の生産性や品質の大幅な向上が望めるようになってきている。

ソフトウェア設計技術では、ソフトウェアの生産性と品質を高めるための設計手法である構造化、オブジェクト指向等が挙げられる。構造化とは、機能単位にパッケージ化・階層化し、各ソフトウェア間のインタフェースを標準

化・明確化することで特定のソフトウェアモジュールの変更が他への影響を及ぼさないようにする考え方である。オブジェクト指向とは、更に発展させ、カプセル化、継承、階層化といった考え方で、ソフトウェアの再利用性と品質を更に高める特長を持っている。

5.4 系統解析技術の進歩

保護・制御システムの設計や試験のために、系統解析は不可欠な技術である。従来から、設計段階ではEMTP (ElectroMagnetic Transients Program)やY法などのプログラムを汎用大型計算機等を使ってオフラインで実行し、試験段階では、上記計算データをDA変換して再生するか専用のアナログシミュレータを用いて系統事故を模擬するのが一般的であった。

昨今のパソコンの高性能化は目覚しく、保護・制御システム用の比較的中小規模の系統規模であれば、パソコンを活用してリアルタイムなデジタルシミュレータが構築可能であり、保護・制御システムの検証や試験自動化に期待が持てる状況になってきている。

これらは、保護・制御システムを合理的かつ柔軟に生産する環境を構築する上で、今後とも重要な要素技術であると考えられる。

6. むすび

当社のUHV系統保護リレー装置のこの10年の実績について、韓国電力の765kV保護リレー、中国西北電網750kV送電線保護リレー装置について述べた。併せて、保護リレーの最先端技術について触れることができたと考えている。今後も、客先の要望にこたえるため、技術の進展を図る所存である。

最後に、UHV保護リレーの開発に協力いただいた東京電力(株)、韓国電力、韓国柳湖電機、中国国家電網公司、中国電力科学研究所、中国西北電網公司、三菱電機(香港)有限公司北京事務所など多くの方々へ御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 特集“1000kV変電機器及び技術”，三菱電機技報，69，No.10 (1995)
- (2) 東 信一，ほか：電力系統保護リレー技術の動向と革新，三菱電機技報，75，No.3，226～229 (2001)
- (3) 磯松信夫，ほか：MELPRO-CHARGEの基本構成，三菱電機技報，75，No.3，230～232 (2001)
- (4) Ootani, N., et al. : Application of PCM Current Differential Relays for Chinese Power Line Networks, L 5 2003 ACPSP and 9th The Chinese Conference on Power System Protection, 1, 91～95 (2003)

関西電力(株) 向け広域分散給電制御システム

SCADA System Distributed on a Wide Area Network

Shinji Ito, Masazumi Tange, Yoichi Nomura

要旨

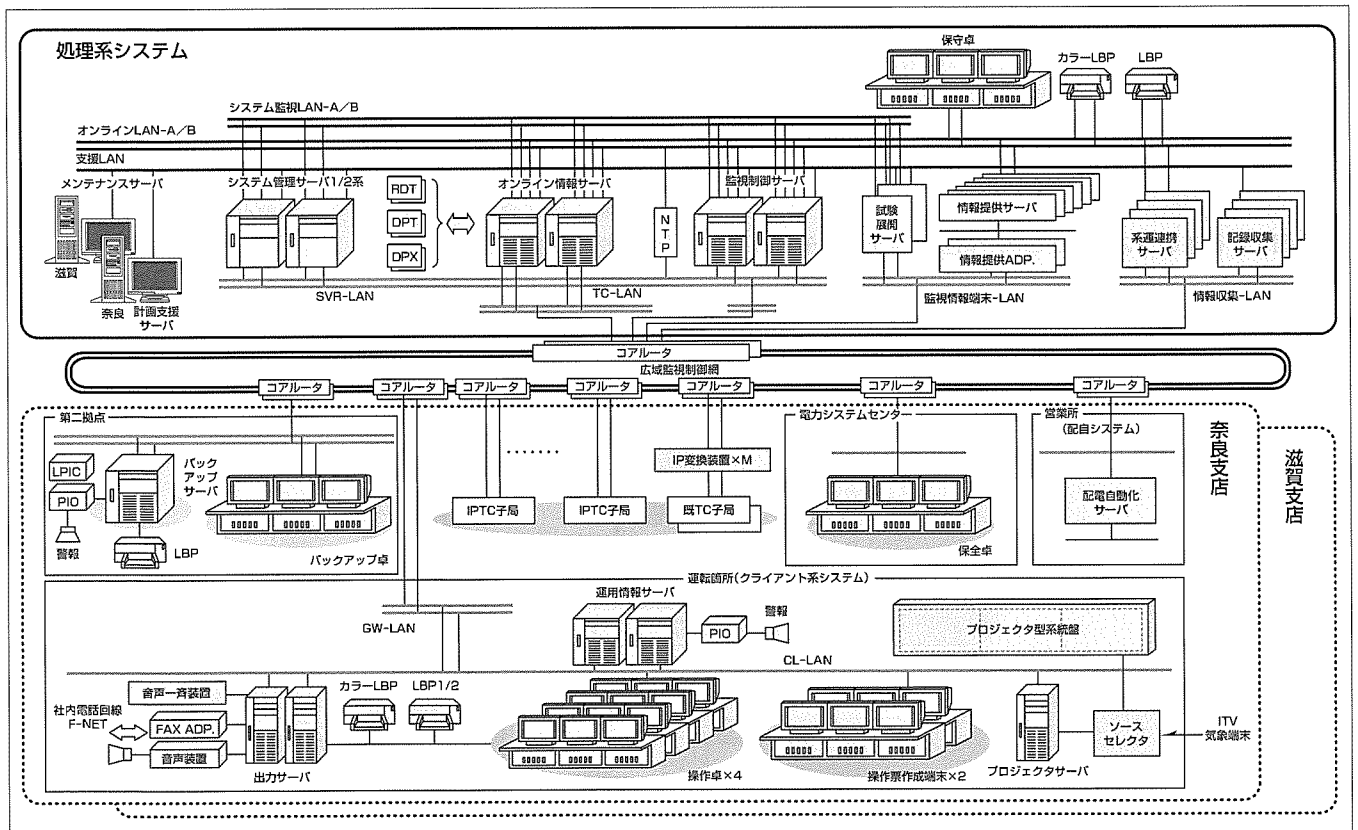
近年、電力流通設備の効率的運用とコスト削減を背景に、給電制御システムの統合化計画が進展している。

従来、給電制御所システムは、所管する地域ごとに1つのシステムで運用する構成を基本とした所管集中型システムの構成であった。これに対して、近年のITをベースとする技術的環境が整備される中、より効率的なシステム構築が可能になりつつある。従来レベルの複数の給電制御所システムを、社内インフラを活用し、1つのシステムに集約する広域分散システムが指向されるようになってきた。

今回の広域分散給電制御システムの開発では、社内インフラを利用した広域監視制御網により、給電制御所システムにおける計算機の拠点集約を実現することができた。こ

のシステムでは、従来の奈良と滋賀支店の2つの給電制御所システムを1つの計算機システムとして集約し、二重系サーバ(処理系システム)を両支店と別地点に設置した。

これに対して、運用する制御卓類(クライアント系システム)を奈良と滋賀支店にそれぞれ設置し、その間を広域インフラで接続した広域分散方式のシステムを開発している。このシステムでは、広域監視制御網を中心に各システム間を接続する形態を採用しているため、各システム間のシステム監視、システム間の情報共有、相互のバックアップ方式など、従来の所管集中型システムにないシステム要件があり、これらを満たす機能を開発することができた。



広域分散型監視制御システム

従来の監視制御システムにおける所管集中型構成(1所管に対し1拠点の計算機システム)とは異なり、広域監視制御網を介して分散された複数拠点のシステムを接続する形態を持つシステムである。複数システムの集約が可能なら、広域監視制御網があれば、システム設置場所を任意に想定できるなどのメリットがある。

システム開発に当たっては、分散された複数拠点にあるシステム間を広域監視制御網で接続するため、各拠点システム間の計算機モード、故障情報など、システム間の情報共有と故障時の計算機制御(構成制御)の実施、各拠点間での系統情報などリアルタイムで情報共有の実施などの広域分散化に特有な機能要件があり、それらの開発が必要となる。

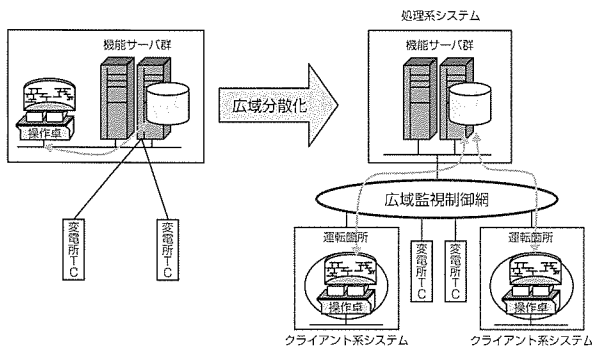
*系統変電システム製作所

1. ま え が き

将来の系統制御所システムでは、電力系統監視制御システムや変電所等の機器などが広域の電力系統監視制御専用のネットワーク(広域監視制御網)に結合され、各機器・装置とシステム間、異地点のシステム間の接続はこの広域監視制御網を介して行われる広域分散化が指向されている。図1に、広域監視制御網を軸としたシステムのモデルを示す。

2. 広域分散システムの概要

広域分散システムでは、従来、同一箇所に設置していたサーバ群についてシステム設置箇所を集約した処理系シ



- 【従来型 給電制御所システム】
 - 計算機と運転箇所が同じ拠点にある。
 - 外部システムとは分けてシステム内LANが閉じている。(変電所TCなど外部システムは専用線などで接続されている。)
 - 【広域分散型 給電制御システム】
 - 計算機と運転箇所が別拠点となる。
 - 運転箇所と処理系システムが広域監視制御網を介して接続されている。(変電所TCを含めて、広域監視制御網を中心に構築される。)
- TC : Tele Controller

図1. 従来のシステムと広域分散型システムのモデル

テムと運転箇所に設置するクライアント系システムのサブシステムに分割し、その間で広域監視制御網を用いて、情報の送受信を行う。

このようなシステム形態では、従来のシステムに加えて、広域監視制御網に接続される複数の拠点システムについてシステム情報を一元管理し、また、相互に情報共有する仕組みが必要となる。今回、これらのシステム要件に対して、図2に示す広域分散給電制御システムの開発を行った。

広域分散システムのシステム要件は次のとおりである。

- システム要件①：システムの運転状態の一元管理と遠隔操作の実現
 - 拠点にある複数のシステム状態を一元管理し、遠隔地にあるサーバの運転状態を操作可能とする。
- システム要件②：システム間の情報共有の実現
 - 処理系システムの情報(現在系統状態など)を各拠点システムへ配信し、リアルタイムに情報共有を図っている。
- システム要件③：相互バックアップの実現
 - システム間で相互にバックアップを行えるようにする。
- システム要件④：セキュリティ機能の実現
 - 操作卓の制御権付与時にセキュリティを確保するためユーザー認証を行えるようにしている。

3. 広域分散システムにおける開発

3.1 広域システム監視

従来の給電制御所システムでは、ヘルスチェックのための電文を用いて、個々のサーバに送信して、LANの状態監視、及び各サーバのモード、接続状態を取得し、システム監視を行ってきた。

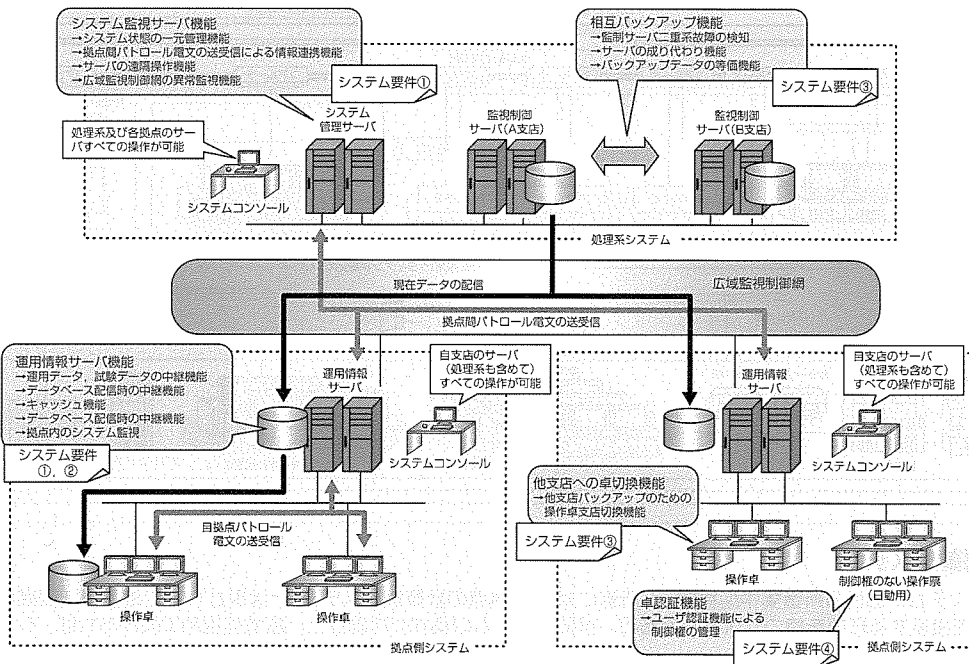


図2. 広域分散化実現のための開発概念

従来のヘルスチェック電文はブロードキャスト通信を使用するが、広域分散システムでは、ネットワークセグメントが分断されるため、ブロードキャスト通信は不可能である。このため、システム監視を拠点内のサブシステムと拠点間のサブシステムに分けて行い、拠点間のシステム監視として、拠点間でサブシステムの状態を相互に監視するヘルスチェック電文を設け、拠点間のシステム情報を共有している。

この方式では、拠点内のサーバの計算機状態、故障情報などのシステム情報をいったん拠点内のヘルスチェック電文で集約しシステム管理サーバに送信することで、システム監視情報を処理系システムのシステム管理サーバで管理している。また、システム管理サーバから拠点間のヘルスチェックを通じて、他拠点の情報を含めて送信・等価することで、システム情報を一元化する仕組みとなっている。

拠点間のヘルスチェックによるシステム監視の方法は次のとおりである(図3)。

- ① 拠点内の各サーバは、自サーバの状態(モード、データベースのバージョン、LANの状態)を拠点内のヘルスチェックの電文を送信するサーバに対して返信を行う。
- ② 拠点内のヘルスチェック電文送信元のサーバは、拠点内のその他サーバから送信されたヘルスチェックへの応答電文を集約し、拠点間のヘルスチェック情報として、システム管理サーバの方に送信される。
- ③ システム管理サーバは、他の拠点から送信されてきた拠点間のヘルスチェック電文の内容、及び拠点内のその他サーバから送信された電文の集約結果を、拠点内のその他サーバに対して送信を行う。

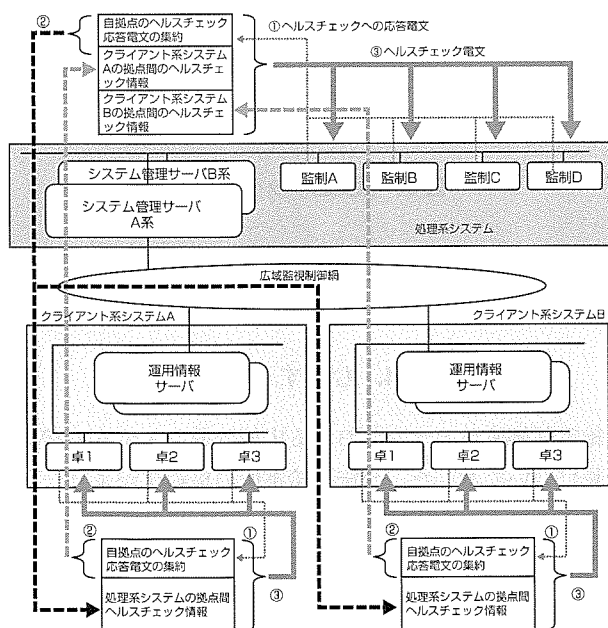


図3. 拠点間のヘルスチェックによるシステム監視の概要

3.2 運用情報サーバ機能

広域分散型システムでは、処理系システムとクライアント系システム間は広域監視制御網で結ばれ、様々なデータがこのネットワークを介して送受信される。広域監視制御網の使用については、従来のシステムと比較して以下の課題がある。

- ネットワーク帯域が制限されることから、データ送受信量を平準化する必要がある。
- 拠点間のネットワーク体系が異なり、ブロードキャスト通信を用いることができないことから、データの中継を行って従来のブロードキャスト通信と同等の機能を実現する必要がある。

これらのネットワーク上の課題に対処するため、負荷系広域分散システムでは、拠点側に運用情報サーバを配置し、データ中継及びキャッシュ機能を実現することで、従来どおりのデータ送受信が可能になるようにした。運用情報サーバの機能を以下に示す(図4)。

(1) 現在データベースの中継機能

従来はブロードキャストで行っていたリアルタイムの系統状態をデータ化した現在データベースの等価を、処理系システムのサーバ計算機をマスタデータとして、運転箇所クライアント計算機にレプリカを配置し、運用情報サーバを中継サーバとして、データを配信することにより、ブロードキャスト通信によるデータ配信処理と等価な機能を実現している。

(2) キャッシュ機能

クライアント計算機からサーバへのリモートデータアクセスは、広域監視制御網を介するため、不要なデータク

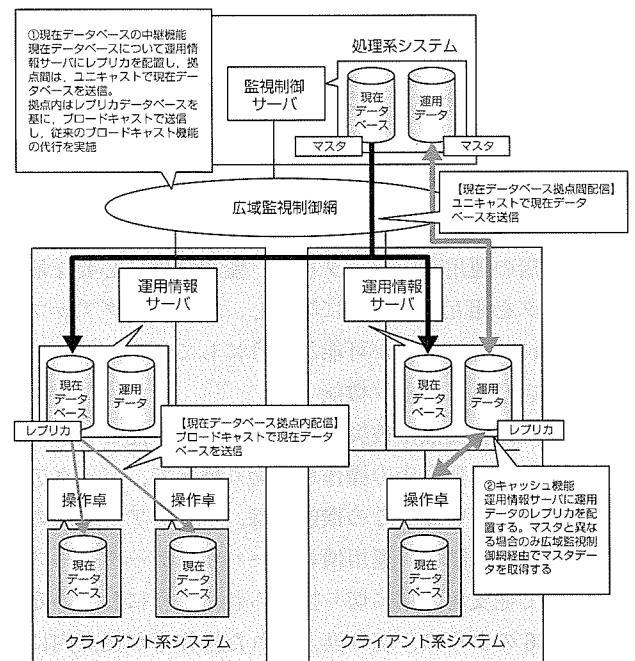


図4. 運用情報サーバの機能

セスがネットワーク負荷を高めるのを防ぐため、リモートデータアクセスを行う場合に、運用情報サーバを経由させるキャッシュ機能を実現した。これにより、処理系でデータ更新した場合のみ、クライアント計算機からアクセスするようにしている。

(3) データベース配信時の中継機能

従来のデータメンテナンスのように、大量のデータを一齐に送信することはネットワークの負荷を上げるため、運転箇所内の計算機に対して配信する設備データベースを運用情報サーバ上でいったん中継して、運転箇所内で各計算機に配信し、データベース配信時のネットワーク負荷を下げている。

(4) 拠点内のシステム監視

ヘルスチェック電文の送信サーバとして、拠点内のサーバに電文を送信し、各サーバの計算機モード、LAN状態などを監視する。得られたこれらのシステム情報については、拠点間で送受信される電文を用いてシステム管理サーバに送信し、他の拠点との情報を共有している。

3.3 バックアップ機能

このシステムのように複数の拠点の給電制御所システムを集約し、広域にわたってシステムが分散している形態では、1拠点に災害などによって制御不能に陥った場合は、従来システムよりも影響が大きくなる場合がある。また、処理系システムでは、システム集約により、2支店分の監視制御を実施しているため、故障時の影響が大きくなる可能性がある。

このように、集約化による故障時の影響範囲の拡大化を防ぐため、システム内でのバックアップが可能のように、以下のバックアップ機能を実装している。

(1) 相互バックアップ機能(図5)

1支店の二重系サーバ(この場合は主要サーバとして監視制御サーバ、オンライン情報サーバ)が両系停止に至った場合などを想定して、他支店の片系の環境をソフトウェア的に切り換え、バックアップ運転を実現している。

なお、他支店のバックアップ時に備えるように、通常時は、他支店の運用設定データなど、監視制御に必要な最低限のデータを相互に定周期に等価し、相互バックアップ時に、即時に、運転業務が可能ないようにしている。

(2) 他支店バックアップ機能

他支店の運転拠点が被災などにより使用不能となった場合を想定して、他支店の操作卓を切り換えて、バックアップが可能としている。この機能では、バックアップ時の操作卓の切り換えの際に、運用情報サーバからデータベースをコピーして他支店の卓に切り換えられるようにしている。また、図6のように、切り換えられた操作卓が拠点内にある場合は、運用情報サーバ経由で、他拠点の現在情報を受

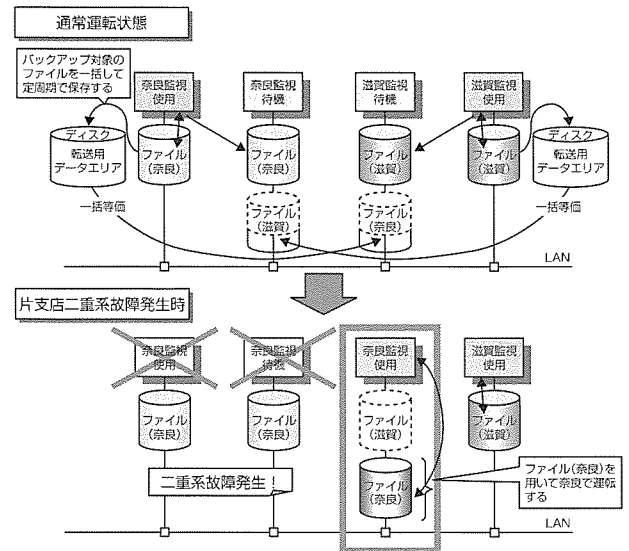


図5. 相互バックアップの仕組み

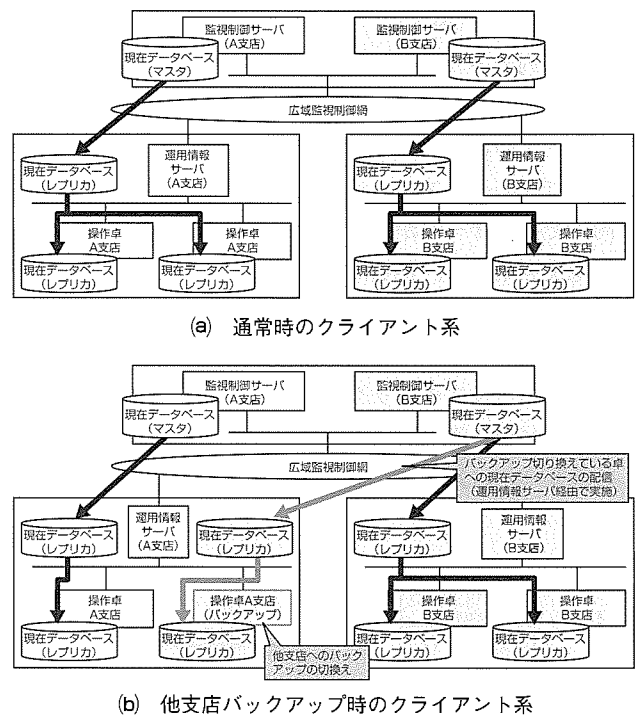


図6. 他支店バックアップ

信して、切り換えた操作卓に対する情報配信を行えるようにしている。

4. む す び

給電制御所システムにおける広域分散システムの機能と特長について示した。今後、給電所の集約化がより一層進む中でこのような広域分散型システムが標準的なシステム構成となっていくことが予想され、今回の開発技術をベースにより広域分散化されたシステムの開発を進めていく。

次世代系統制御システムの基本フレームワーク

塚原 研* 中田秀男**
 有本雅昭* 飯塚 剛***
 堀内謙二*

Next Generation System for EMS/SCADA "Architecture Transparent Framework"

Ken Tsukahara, Masaaki Arimoto, Kenji Horiuchi, Hideo Nakata, Tsuyoshi Iizuka

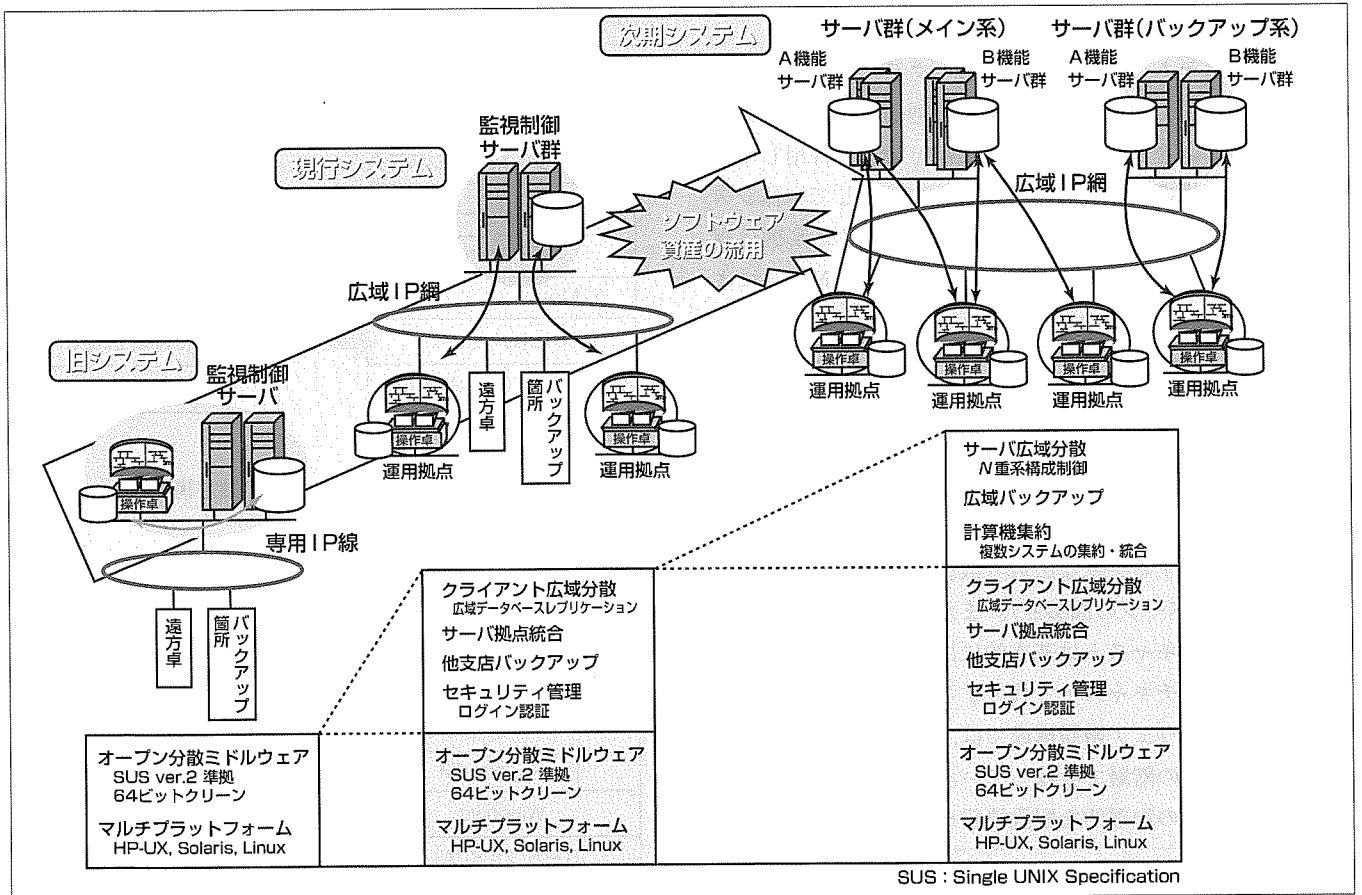
要 旨

次世代の系統制御システムは、複数拠点に分散配置した計算機群を広域IP(Internet Protocol)ネットワークで相互接続して多重系を構成する“サーバ広域分散型システム”である。次世代系統制御システム(EMS(Energy Management System)/SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition))のソフトウェア基盤となるミドルウェア及び構成制御ソフトウェアの総称を“アーキテクチャ透過フレームワーク”と名付けている。アーキテクチャ透過フレームワークは以下に挙げる特長を備えている。

- (1) サーバ広域分散に対応する構成制御方式を備える。
- (2) マルチキャスト通信技術をベースとするデータレプリケーション方式を備える。

- (3) マルチプラットフォームに対応するJava^(注1)ベースのリッチクライアントHMI(Human Machine Interface)を採用する。
- (4) 仮想化技術の適用により計算機集約を実現する。
- (5) 統合型システムを視野に入れたデータメンテナンス方式を備える。
- (6) オープンソースソフトウェアを積極的に活用する。
- (7) 既存業務アプリケーション資産活用への配慮から、従来のAPI(Application Program Interface)を可能な限りシームレスに拡張する。
- (8) アプリケーションの統合開発・試験環境を提供する。

(注1) Javaは、Sun Microsystems, Inc.の登録商標である。



次世代系統制御システムの基本フレームワーク開発への流れ

次世代系統制御システム(サーバ広域分散型システム)を実現するに当たり、複数システムの集約・統合、広域バックアップという新たな形態に適応する構成制御方式、新規作成するソフトウェアの効率的な開発、現行ソフトウェア資産の維持活用、といった各種の課題を解決するための基本フレームワークを提供する。

1. ま え が き

三菱電機が納入している中規模以上の電力系統監視制御システムに適用している自社製オープン分散ミドルウェアは、SUS Version 2 準拠・64ビットクリーン・マルチプラットフォーム対応(HP-UX^(注2)、Solaris^(注3)、Linux^(注4))という特長を持っている。このミドルウェアには、システムの高信頼性を保ちつつ分散システム向けのアプリケーションソフトウェアを効率良く開発するための技術が凝縮されている。現在、電力系統監視制御システムの形態が広域分散型に移行しつつあることを考えると、既存のUNIX^(注5)、X Window System^(注6)、LAN(Local Area Network)通信を前提としたソフトウェアの枠組みで対応を続けるには将来性から見て限界がある。このような背景の下に、筆者らは広域分散型システムに対する親和性がより高い次世代ミドルウェア(アーキテクチャ透過フレームワーク)の開発及びアプリケーションソフトウェア統合開発・試験環境の構築を進めており、本稿では、その概要について述べる。また、複数システムの集約・統合を実現する方式及び計算機仮想化技術を適用したシステム開発・保守についても述べる。

2. システム形態の変遷

従来のシステムは、サーバ計算機とクライアント計算機を専用のLANで接続し、計算機間の通信方式としては用途に応じてユニキャストとブロードキャストを併用していた。システム構成の1つのバリエーションとして本体システムから離れたロケーションに遠方卓を配置する形態は存在したが、ネットワークポロジ的にはLAN延長による同一サブネット内の計算機配置であった。近年実用化しつつある広域分散型システムは、サーバ計算機とクライアント計算機を別々の地域拠点に配置し、各計算機間を広域IPネットワークで接続する新しい形態をとるようになった。近い将来には、複数の拠点に分散配置した機能サーバ群で多重系システムを構成し、被災時等の相互バックアップ運用を可能とする柔軟な広域分散型システムの実現が不可欠となる(扉ページの図参照)。また、拠点間の通信方式としてブロードキャストは基本的には使用できず、ユニキャスト又はマルチキャストで代替する必要がある。

従来のソフトウェア階層構成では、システム形態の差異をミドルウェアの階層で吸収していた。これにより、プログラムとデータの物理的な配置情報を業務アプリケーション

ンプログラムのコーディングの段階では意識する必要がないという考え方を実現している(図1)。

アーキテクチャ透過フレームワークの基本設計に当たっては、従来ミドルウェアの特長を生かすためAPIをシームレスに拡張し、過去に蓄積してきた業務アプリケーション資産(1システム当たり数千KL規模)には変更を加えることなく活用できることを基本方針の1つとしている(図2)。

HMIの観点では、従来のシステムはUNIX標準のX Window SystemとCDE(Common Desktop Environment) Motif^(注7) WidgetをベースとしたHMIを適用してきた。国内向けのシステムでは、1システムで使用する業務画面が数百種類にも及び、かつ、各画面に持たせる機能が複雑・高度であるという特徴がある。ただし、高価なUNIX EWS(Engineering Work Station)ベースの専用端末を必要とするため、今後の方向性としては、Java又はWebベースの新しいHMIを、Windows^(注8) ベースの汎用パソコン端末を用いて閲覧・操作する(当面従来のHMIも併用する)ニーズが高まると想定している。

次章では、広域分散システムへの客先ニーズの変遷と計算機技術の動向を踏まえて、我々が現在開発を進めているアーキテクチャ透過フレームワークの詳細について述べる。

(注7) Motifは、Open Software Foundation, Inc. の登録商標である。
(注8) Windowsは、Microsoft Corp. の登録商標である。

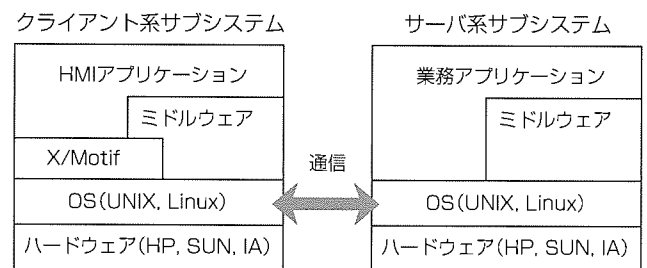
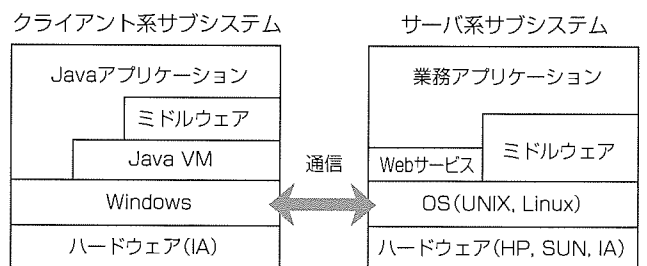


図1. 従来のソフトウェア階層構成



VM : Virtual Machine
IA : Intel Architecture

図2. アーキテクチャ透過フレームワーク階層構成

(注2) HP-UXは、Hewlett Packard Co. の登録商標である。
(注3) Solarisは、Sun Microsystems, Inc. の登録商標である。
(注4) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標である。
(注5) UNIXは、Open Software Foundation, Inc. の登録商標である。
(注6) X Window Systemは、X Consortium, Inc. の登録商標である。

3. アーキテクチャ透過フレームワーク

アーキテクチャ透過フレームワークは、以下の2つの特長を備えている。

- 広域分散型システム制御システム構築に不可欠な機能を備えたフレームワーク
- 汎用技術を最大限に利用したフレームワーク

3.1 広域分散型システム制御システムフレームワーク

(1) 広域分散型システムに対応する構成制御方式

広域分散型システムにおいて従来と遜色(そんしょく)ない処理性能と信頼性を確保するため、専用LANの利用を前提としていた従来のミドルウェア及び構成制御に以下の機能を追加し、広域分散親和性を高めている。

- 分散した拠点間の広域データレプリケーション
- 被災時の広域バックアップ運転
- 複数システムの集約・統合
- 広域イントラネット上でのセキュリティ確保

(2) HMIのマルチプラットフォーム対応

マルチプラットフォームに対応する次世代HMI技術としてJava(Swing)を選定し、Javaに対応するミドルウェア及びアプリケーション統合開発・試験環境を構築・整備する。既存HMI(X Window System/CDE Motif Widgetベース)の高度な操作性を維持するため、次世代HMIの外部仕様は既存のものを踏襲し、リッチクライアント方式の適用を基本とする。また、1つのシステム内で次世代HMIと既存のHMIとを併用する際の親和性の点からも、外部仕様を統一している。

(3) APIのシームレスな拡張

システム価格は年々低価格化が進んでおり、リプレース案件ごとに業務アプリケーションを新規開発することは現実的ではない。既存の業務アプリケーション資産を最大限に活用可能とすることを基本に、広域分散対応ミドルウェアのAPIは従来のミドルウェアのAPIをシームレスに拡張している。

(4) データメンテナンス方式

統合型システムを視野に入れ、以下の機能を取り入れたデータメンテナンス方式を備えるGUI(Graphical User Interface)エディタを開発した。

- 複数システム間でのデータベース連携
- 統合型システムにおけるメンテナンス

3.2 汎用技術を利用したフレームワーク

(1) オープンソースソフトウェアの適用推進

従来のソフトウェア開発にかかったコストを分析した結果、以下の3点を改善することが開発効率化に効果があると考えられる。

- 実機と同規模の開発システムが必要
- 商用ソフトウェアの利用(購入/保守)
- C/C++プログラマの不足

今後のソフトウェア開発にかかるコストを下げるための方策としてJavaを活用し、Linux、Webシステム、RDBMS(Relational Data Base Management System)、Java開発環境等のオープンソースソフトウェアを積極的に導入する。

(2) 最新ネットワーク技術の適用

広域IPネットワークで構成されるシステムに特有のニーズ及び制約事項に柔軟に対応するためには、マルチキャスト通信、ネットワークマルチパス、トンネリング(Virtual Private Network: VPN)、セキュリティ装置、トラヒック制御(Quality of Service: QoS)等の最新の汎用ネットワーク技術を組み合わせて適用する必要がある。また、過去に実績がある既存の通信ミドルウェアとシームレスに連携させることで、広域IPネットワーク対応システムの信頼性を確保する。

(3) 仮想化技術による計算機集約

近年、電力会社は、コストダウンを目的として、監視制御システムの拠点集約を進めている。例として別々の拠点で稼働している互いに独立したAシステムとBシステムを1拠点に集約・統合するケースを考えた場合、A・B両システムを構成する計算機をそのまま併設することは考えられず、計算機の集約が不可欠である。

近年ミッドレンジクラス以上のサーバ計算機に適用可能な仮想化技術(パーティショニング技術及び計算機リソース仮想化技術)が一般化してきたこと、及び計算機の性能が飛躍的に向上していること等を背景として、仮想化技術を利用した計算機集約を実現する方式が可能になってきた。この方式ではA・B両システムを大幅に設計変更することなくシステムの併設が可能となる。各システムの2台のサーバ計算機を1台に集約・統合する例を図3に示す。

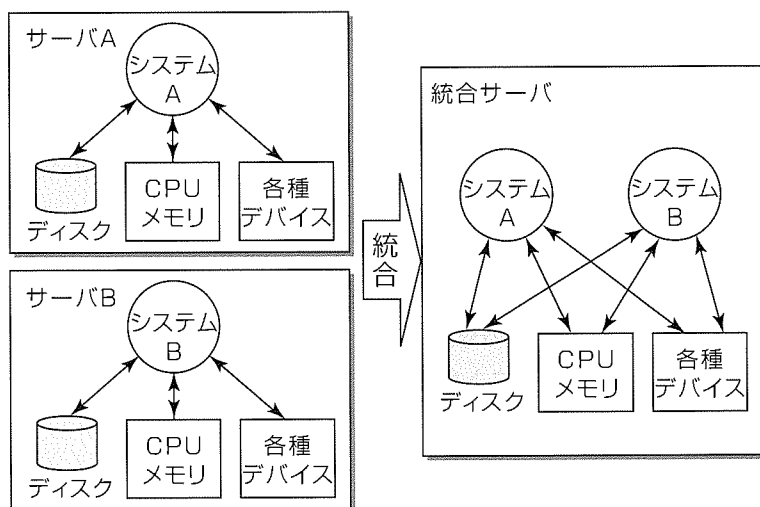


図3. 計算機集約によるシステム統合

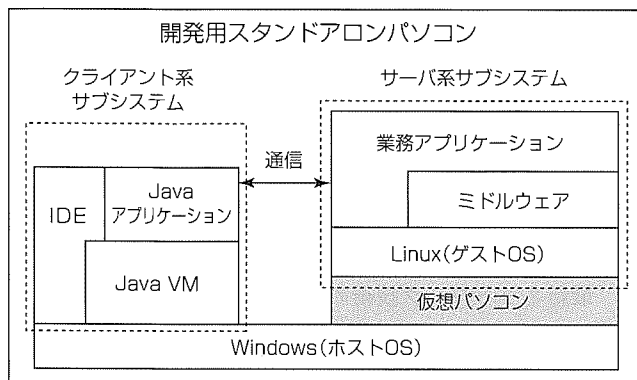


図4. アプリケーション開発環境

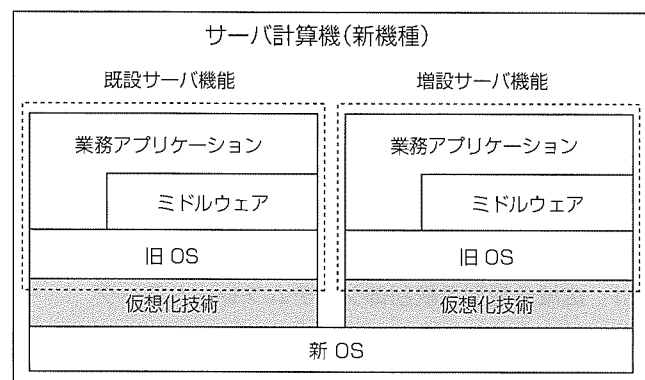


図5. 部分リプレースの想定ケース

4. 仮想技術を用いたシステム開発・保守

4.1 アプリケーション開発環境

これまでのアプリケーション開発は、ミドルウェアのマルチプラットフォーム対応という特長を活用して、アプリケーションの製作・単体試験はスタンドアロンのLinuxパソコン上で実施し、組合せ試験以降の作業を実機上で行っている。アーキテクチャ透過フレームワーク上のアプリケーション開発は、さらに仮想化技術を適用し、スタンドアロンパソコン上でクライアント/サーバアプリケーションの製作から組合せ試験までを可能とする。開発用パソコン上には、アプリケーション統合開発環境(IDE)を装備したクライアント系サブシステムとサーバ系サブシステムを構築し、両サブシステム間を仮想ネットワークで接続する(図4)。

これにより、従来は実機相当の分散システムを構築しないと実施できなかった試験項目を開発者個人のパソコン上で実施することが可能となり、ソフトウェア生産性の更なる向上が期待できる。

4.2 システムの部分リプレースの実現

従来、電力系統監視制御システムの運用期間は10年又はそれ以上の長期間にわたっている。しかし、汎用計算機で構成したシステムでは、各計算機及び周辺機器の製品サイクルが短く、長期保守が困難になってきている。そのため、計算機や周辺機器の増設工事又は部分リプレース工事において、システム運用時と同型機種を新規導入できないケースがあり、新機種・新OSを適用する必要がある。その際には、ソフトウェアの改造量を抑え、かつ、システム全体のバランスが崩れないように更新・保守する技術が不可欠である。仮想化技術をこの分野に応用することにより、新機種上で旧OSを含むソフトウェア一式を容易に動作させることが可能になる。

計算機集約による部分リプレースの適用例を以下に示す。この例では、既存システムに新機能を追加する改造工事に当たり新機種のサーバ計算機(新OS)を導入し、このサーバ上に既設サーバ機能(ソフトウェア改造小)と増設サーバ機能(業務アプリケーションのみ新規開発)を集約させている(図5)。仮想化技術を用いることで、ミドルウェアと新OSの間の結合度が緩くなるため、試験及びソフトウェア構成管理の効率化を図ることができる。

5. む す び

電力系統監視制御システムの今後のシステム形態の変遷を踏まえた上で、顧客とメーカーの双方にとってメリットが得られるシステム構築を目指している。本稿では、次世代の電力系統監視制御システムのソフトウェア基盤となるアーキテクチャ透過フレームワークの概要及び基本設計について述べた。また、最新の計算機トレンドである仮想化技術を適用したシステム開発・保守についても述べた。今後、フレームワークの開発・改善を継続し、実システム適用に向け検証を進める予定である。

参考文献

- (1) 武田邦義, ほか: 分散型系統制御システム, 三菱電機技報, 70, No.4, 355~358 (1996)
- (2) 上田昌広, ほか: 64ビットUNIXオープン分散ミドルウェア“MODERN”, 三菱電機技報, 74, No.2, 116~119 (2000)
- (3) 有本雅昭, ほか: フリーソフトウェア活用による電力系統監視制御システムのソフトウェア生産環境改善, 平成15年電気学会全国大会講演論文集, No.6, 297~298 (2003)

ライフサイクルコストを低減する 受配電システム技術

山田智博*
松木寿夫*

Power Distribution Systems and Equipments Contribute to Reducing Life Cycle Cost

Tomohiro Yamada, Hisao Matsuki

要 旨

社会活動の維持に不可欠な電力の供給設備である受配電システムは、これまで信頼性・安全性の追求、小型化・省エネルギーの推進、運用・保守性の改善がなされてきた。さらに今日では、地球温暖化などの環境問題への取り組みや、LCC(Life Cycle Cost: ライフサイクルコスト)の低減などのニーズが拡大してきている。三菱電機の受配電システムは、これらのニーズに対応した技術開発と製品化を行っている。

(1) 受配電システム技術

受配電システムに関する当社が蓄積してきたノウハウと、デジタル技術を活用したシステム技術により、保守点検時や事故時復旧操作に要する停電時間を短縮して電源供給の

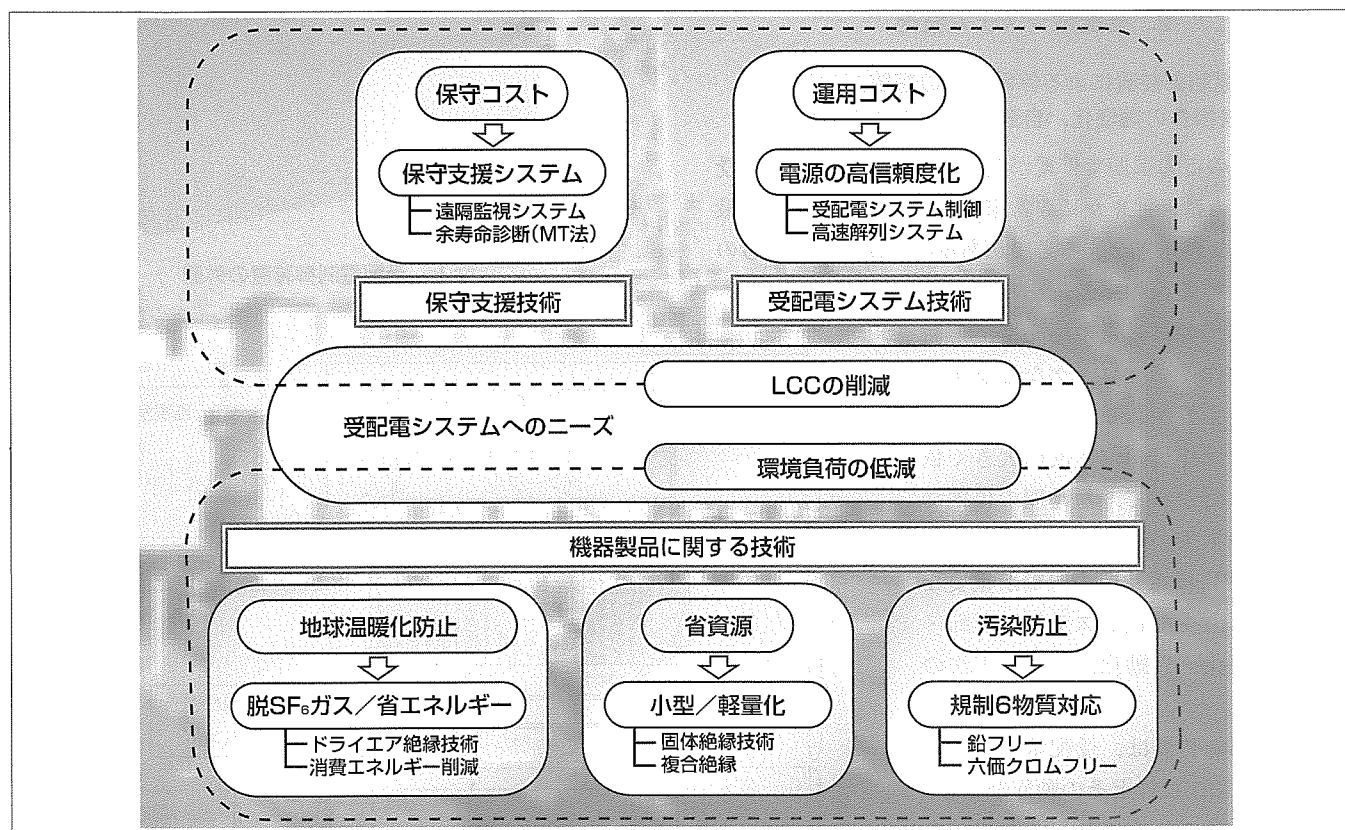
信頼性向上を図り、停電による生産停止などのロスコストも考慮した設備運用面からのLCC低減を実現している。

(2) 機器製品に関する技術

低ガス圧ドライエア絶縁技術、複合絶縁技術、規制6物質への対応を実現した製品技術により、小型・省エネルギーを含め設備・機器の製造から廃棄の全ステージにわたる環境負荷低減やLCC低減を実現している。

(3) 保守支援技術

IT活用による設備遠隔監視や品質工学を応用した設備の寿命診断といった保守を支援する技術により、設備点検・保守の省力化に貢献している。



受配電システムへのニーズと対応

LCCや環境負荷の低減といった受配電システムへのニーズに対し、当社は、受配電システム技術による電源の高信頼化、遠隔監視や寿命診断といった保守支援と省力化、低ガス圧ドライエア絶縁技術や複合絶縁技術、規制6物質への対応などの機器製品の環境負荷低減など技術開発・製品化を行っている。

*受配電システム製作所

1. ま え が き

社会活動の維持に不可欠な電力の供給設備である受配電システムは、社会インフラにおける重要な基幹システムであり、様々なニーズの変化に応じて、信頼性・安全性の追求、小型化・省エネルギーの推進、運用・保守性の改善がなされてきた。さらに今日では、地球温暖化、資源の枯渇、オゾン層破壊などの環境問題への取り組みや、LCC(本稿では停電による生産停止などのロスコストも考慮した)の低減などのニーズが拡大してきている。

当社では、長年の受配電システム設計のノウハウ蓄積とデジタル技術を応用したシステム技術、CAEなどの活用により絶縁性能や遮断性能の向上を実現した製品技術、品質工学を応用した設備の寿命診断やIT活用による設備遠隔監視といった保守支援技術により、これらのニーズにこたえてきた。

本稿では、受配電システムにおいて、保守点検や事故復旧操作に要する停電時間を短縮して電源供給の信頼性向上を図り、LCC低減を実現するシステム技術について述べるとともに、環境負荷低減やLCC低減に寄与する機器製品に関する技術、及び保守の省力化に寄与する保守支援技術についても述べる。

2. 受配電システム技術

2.1 受配電制御装置による停電時間の短縮 (系統操作の簡便化, 自動化)

電力会社の電力系統で停電が発生した場合、需要家の受配電システムは、速やかに非常用発電機を始動した後、最小限の時間で再送電をする必要がある。しかし、これらの操作には、停電前の系統運転状況の把握、各設備への再送電の優先度、遮断器の開閉操作インタロックなどをすべて確認する必要があり、再送電までの所用時間は操作員の習熟度に大きく依存する。したがって、短時間の停電でも、多額の損失が発生する設備では、LCCの低減に停電時間の短縮が重要な要素であり、受配電システムの運転・操作の簡便化・自動化が有効な方法の1つである。

受配電制御装置は、受配電システムの遮断器の開閉操作とその動作確認を、簡便かつ自動で行うことができるシステムである。図1に受配電制御装置の外観、図2にシステム構成例を示す。

受配電制御装置は、制御用PLC(プログラマブル・ロジック・コントローラ)

を搭載した受電制御操作盤と、入出力信号インタフェース用ユニットを搭載した受電制御リレー盤で構成される。操作及び表示は受電制御操作盤面上のコントローラ(タッチパネル方式)と操作表示パネルで行う。また、監視室にパソコンを設置することにより、遠方状態監視が可能である。以下に示す受配電制御装置の機能により受配電システムの自動運転、効率的な操作を行い、停電時間を短縮することが可能である。

(1) 監視機能

コントローラの画面上に系統図、開閉器の入切状態、故障表示を行う。また、点検時に開放が必要な遮断器を各点検パターンごとに判別表示し、操作員の開閉操作を支援する。

(2) 停復電制御機能

電力会社側系統の停電後は、非常用発電機の送電(発電機送電)を開始する。また、発電機送電から商用送電に切り換える場合には、電力会社側系統の健全性を一定時間の

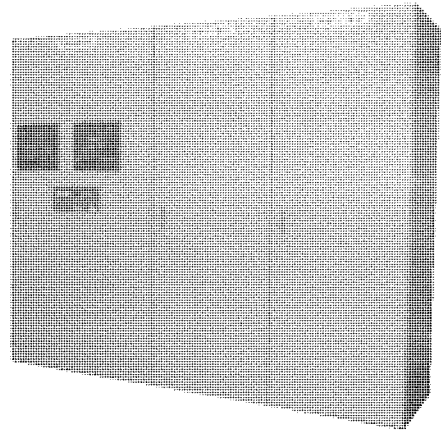


図1. 受配電制御装置の外観

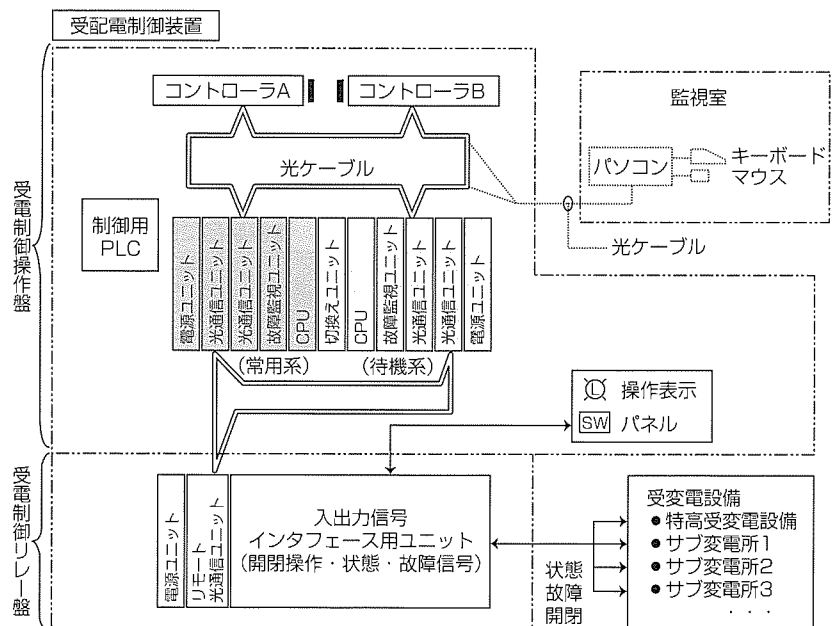


図2. 受配電制御装置のシステム構成例

電圧確認で行う。これらの停電、電圧復帰の確認時間は電力会社の系統や設備運用の条件に依存するため、画面操作で任意に設定・変更ができる。また、発電機送電では、運転している発電機が過負荷とならないように、発電機の容量、台数に応じた負荷投入制御をあらかじめ簡単に設定しておくことができる。

(3) 点検制御機能

点検・保守に必要な開閉操作手順をあらかじめ入力しておくことにより、スイッチ1つの簡便な操作で必要な遮断器を自動開閉することができる。また、停電、復電制御による自動開閉動作機能の点検では、受配電制御装置により開閉器を実際に自動開閉した結果が前回試験結果と比較表示され、異常や設定変更などが容易に確認できる。

2.2 自動点検システムによる停電時間の短縮
(点検の自動化による作業時間の短縮)

受配電システムの保守点検の省人化・省力化はLCC低減を考える上で重要である。しかし、点検に必要な保護継電器の特性確認、遮断器の動作確認、シーケンス自動回路の停復電動作の確認には、熟練技術と長時間の停電を伴う点検時間を必要としていた。

ここで述べるデジタル形保護継電器を適用した自動点検システムは、保護継電器の特性、遮断器の開閉動作、停電・復電時の自動シーケンス動作を簡単な操作で正確かつ自動的に点検するシステムである。

図3に機器の接続とシステム構成例を示す。システムは、スイッチギヤ搭載のデジタル形保護継電器、監視盤搭載のPLC、操作及び表示を行うコントロールパネル及び中央監視装置で構成する。以下にその機能概要を示す。

(1) 保護特性試験

デジタル形保護継電器にテスト動作指令を与え、故障信号出力までの時間が許容範囲内であること、及びその故障

信号により該当遮断器が確実に開放することを確認する。

(2) 停復電連動試験

商用電源の停電を模擬した模擬停電信号から、非常用発電機の起動、発電機遮断器の投入、母線電圧復帰までの一連の動作を確認する。

(3) 遮断器動作試験

盤内シーケンス回路を含めた遮断器の開閉制御回路の健全性を、遮断器本体の開閉動作により確認する。

図4に動作の仕組みを示す。中央監視装置又は監視盤に自動点検操作用パソコンを接続し、テスト動作指令を与える。デジタル形保護継電器は、内部で試験用電圧、電流を生成して保護動作を実行し、該当遮断器に開放信号を出力するとともに、故障信号出力までの時間を計測する。中央監視装置又は自動点検操作用パソコンは、保護継電器が計測した故障検出時間が許容範囲内であること、及び該当遮断器の開閉動作を確認・判定し、結果を表示・印刷する。

この自動点検システムの使用により、従来の点検方法に必要であった特性試験用電源装置を別途用意する必要がなく、パソコン画面を操作するだけで特性試験を自動実行するため、試験準備を含めても短時間で試験を完了することができ、簡単な操作で試験が行える。

2.3 高速解列システムによる停電時間の短縮
(瞬時電圧低下に対する対策)

送電線への落雷などにより電力系統に異常が発生した場合、異常を保護リレーで検出して、その系統を遮断器で切り離すまでの間は、瞬時的に電圧が低下する、いわゆる瞬時電圧低下が発生する。この瞬時電圧低下は、重要な負荷設備の損傷や停止を招き、下記のように、LCCに大きな影響を与える。

(1) 24時間の連続操業を主体とするような製造工場では、瞬時電圧低下による製造ラインの停止によって、多額の

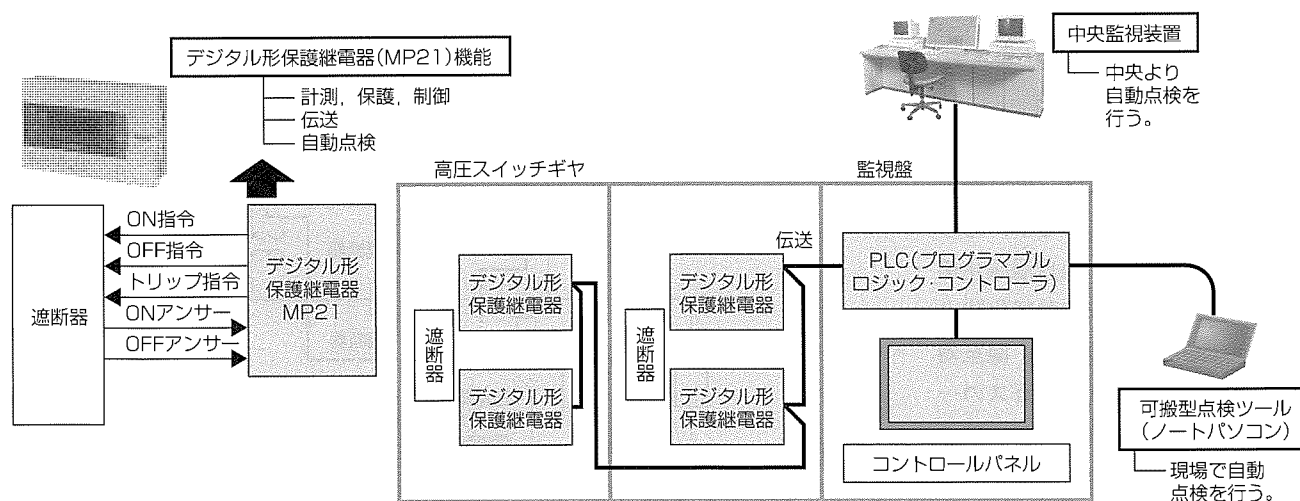


図3. 機器の接続とシステム構成例

操業被害を被る。

(2) コージェネレーション設備のガスタービンなどの回転機械軸系へ過渡的に過大な力が加わり、設備損傷などの悪影響を及ぼす可能性がある。

このような瞬時電圧低下に対する有効な方法の一つは、設備が悪影響を受ける前に電圧が低下した系統から切り離し、安定した電源で運転を継続することである。

高速真空遮断器と高速保護装置とからなる高速解列システムは、電圧が低下した系統から瞬時に設備を切り離し、運転を継続することができるシステムの一つである。図5にその構成例を示す。商用電源と常用自家発電機を高速解列システムにより連系運転させ、商用電源系統の瞬時電圧低下による電圧・電流の変化を高速保護装置で検出し、系統連系遮断器を開放する。この系統連系遮断器に使用する3.6kV/7.2kV 20kA高速真空遮断器“HSS”の外観を図6に示す。高速真空遮断器HSS形は、開閉極用反発コイルによって発生する高周波磁界と反発板に誘起される渦電流との相互作用で発生する力で皿ばねを動作させる独自の方式により、遮断器の電極を高速で開くことが可能となった。したがって、図7の高速解列システムのタイムチャートに示すように、電圧低下発生からわずか1サイクル以内で解列が可能な電源システムを構成することができ、重要設備停止の未然防止や自家発電機の保護に有効な電源供給システムとすることができる。

3. 最新製品技術と主要機器への取り組み

3.1 低ガス圧ドライエア絶縁技術

現在、中電圧クラス(24~84kV)のスイッチギヤで絶縁媒体として使用されているSF₆ガスは、優れた絶縁・遮断性能を持っているが、その化学的安定性から高い地球温暖化係数(GWP)を持ち、地球温暖化防止京都会議(COP3/1997)で、温室効果ガスとして排出規制対象ガスの一つに指定された。これに対し、ドライエア(乾燥空気: O₂ + N₂ 混合ガス)が大気中に存在する地球温暖化係数がゼロのガスであること

に着目し(表1)、この絶縁特性を当社の特長である低ガス圧(労働安全衛生法における第二種圧力容器の検定が不要な0.2MPa-G以下)領域において重点的に研究した。結果として各種不平等電界ギャップの圧力-破壊電圧特性、低ガス圧ドライエアと絶縁バリアの複合絶縁特性などの絶縁技術を業界で初めて確立した。

この成果を適用することで、2000年4月に世界で初めて完全脱SF₆ガスを実現しつつ業界トップレベルの小型・軽量化を達成した24kV/36kV低ガス圧ドライエア絶縁開閉装置(HS-X形)を開発し製品化した。

3.2 複合絶縁技術

受配電設備の小型・軽量化は、電気室の縮小化、設備搬入・据付工事の簡素化、リプレースや解体廃棄の容易化な

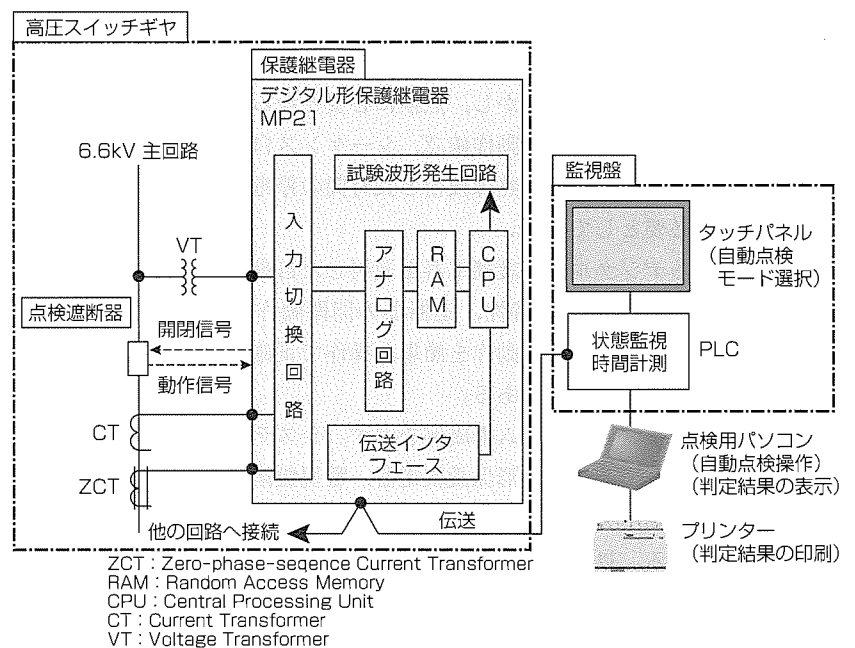
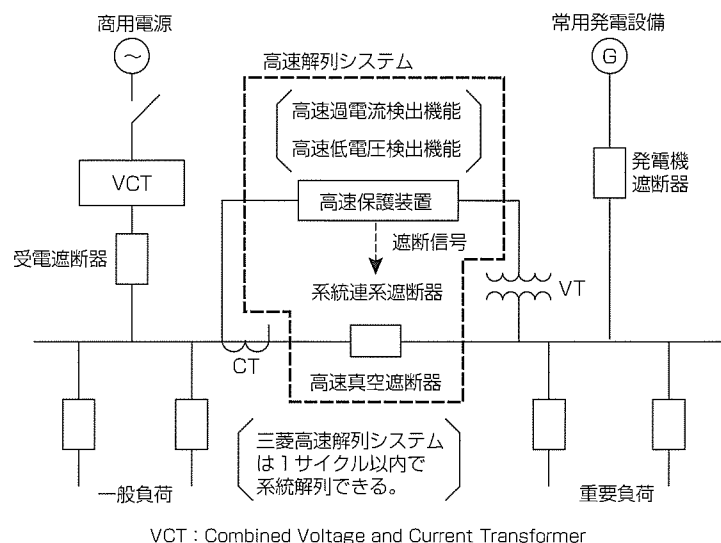


図4. 動作の仕組み



VCT: Combined Voltage and Current Transformer

図5. 高速解列システムによる構成例

どLCCの低減に大きく寄与する。2002年12月に業界一の小型・軽量品として開発し製品化した7.2kV複合絶縁開閉装置“MS-S”は、固体絶縁技術を真空遮断器及び主回路導体部に適用することで、従来の7.2kV気中絶縁スイッチギヤを大幅に縮小した。この装置は、当社従来品に比べて容積で30%、質量で60%（1面約250kg）を実現した。通常のエレベーターでハンドプラッタにより搬入出できるスイッチギヤとして新設設備ほかりプレース用として使用されている（図8）。

3.3 規制6物質への対応

規制6物質のうち当社の受配電システム構成機器で使用

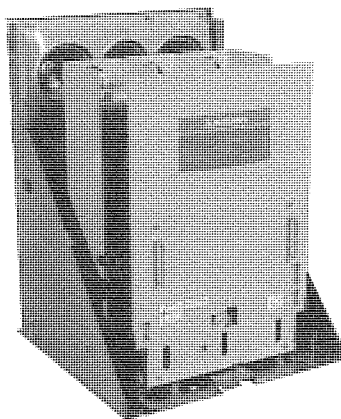


図6. 高速真空遮断器HSS形

しているものは主に六価クロムと鉛である。六価クロムは亜鉛めっきの防錆（ぼうせい）処理剤として銅板やボルトのクロメート処理に使用されてきた。これに対し、耐食性、摩擦係数など長期安定性を確認して代替処理を採用することが必要である。また、鉛はプリント基板への部品実装に鉛はんだとして使用されてきたが、同等の優れた機械的性質を持つ鉛フリーはんだの作業性や長期信頼性を確認しこれに変更しつつある。既に2004年11月には規制6物質を全廃した3.6kV/7.2kV真空遮断器VF8/13Dを発売開始した。

4. 保守支援技術

4.1 受配電リモート監視システム

受配電システムは、電力供給の安定性と信頼性を向上させるため、構成と機能が高度化する傾向にある。これに伴い、受配電システムの運用・保守に関して深い経験と高度な知識が必要となってきたが、熟練した設備管理者は不足してきており、保全業務の効率化が求められている。

三菱受配電リモート監視システムは、監視端末を各工場やビルごとに設置し、受配電設備の情報を各種センシング技術を駆使して監視端末に収集する。監視端末はインターネット/公衆回線で保守センターと接続されており、収集したデータを保守センターに送付する。センター側ではそのデータを分析・解析することで以下のサービスを提供する。

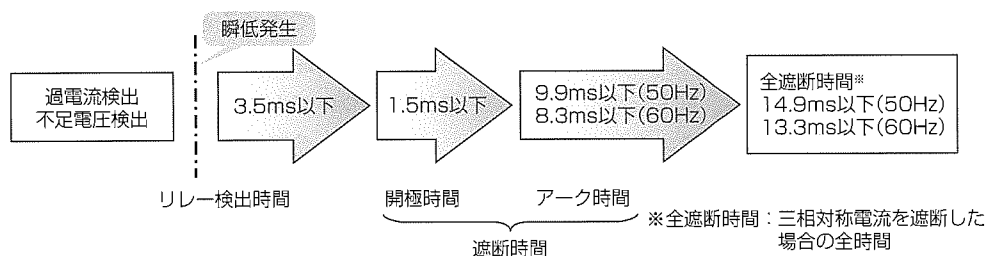


図7. 高速解列システムのタイムチャート

表1. 各種SF₆代替ガス絶縁方式の比較

代替ガス	地球温暖化係数(GWP)	長所	使用上の課題
ドライエア	0	<ul style="list-style-type: none"> ● 大気と同じ成分のため取扱い容易 ● 大気放出可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 破壊電圧がSF₆の約1/3 ● 加圧+バリア/被覆の複合絶縁技術
N ₂ ガス	0	<ul style="list-style-type: none"> ● 大気中成分のため取扱い容易 ● 大気放出可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 破壊電圧がSF₆の約1/3で、ドライエアより小さい ● 窒息性 ● 加圧+バリア/被覆の複合絶縁技術
CO ₂ ガス	1	<ul style="list-style-type: none"> ● 大気中成分のため取扱い容易 ● 大気放出可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 破壊電圧がSF₆の約1/3 ● 窒息性 ● 加圧+バリア/被覆の複合絶縁技術
SF ₆ /N ₂ 混合	23,900	<ul style="list-style-type: none"> ● 混合比と圧力の選定でSF₆と同等の破壊電圧値確保が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● ガス分離回収技術が不可欠
C ₃ F ₈	500	<ul style="list-style-type: none"> ● 絶縁耐力がSF₆の0.94倍でほぼ同等である 	<ul style="list-style-type: none"> ● ガス回収が必要 ● 高価

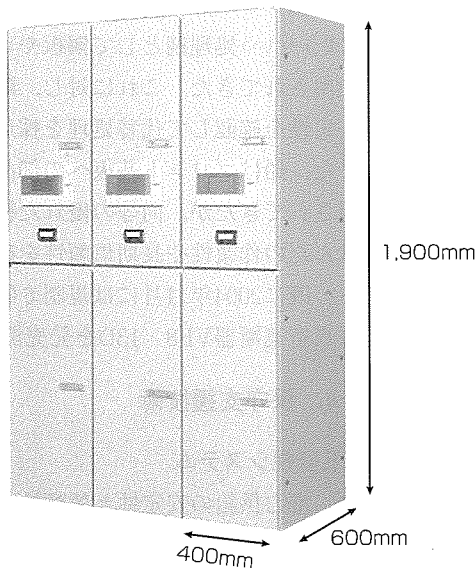


図 8. 7.2kV複合絶縁開閉装置MS-S

(1) 事故の未然防止

電流、トランスの温度等の設備状態のトレンド管理を行い異常兆候の検出を行う。

(2) 保全管理業務代行

事故・故障の報告及び監視端末で蓄積されている電気設備情報の日報／月報等、必要帳票を保守センターで作成し提出する。

(3) 監視業務の代行

(4) 事故時の早期復旧支援

4.2 MT法寿命診断

設備の延命・更新時期を見誤ることは、重大な事故を引き起し多大の損失をもたらしかねない。設備の老朽度合いによる残存余寿命を把握して設備の更新を計画的に実施することは、設備のLCCを考える上で不可欠の事項である。このため当社では、受配電設備の寿命に支配的となる絶縁物の余寿命を化学的測定とMTシステム(マハラノビス-タグチ・システム)、統計学的推定法により短時間で定量的かつ非破壊的に推定する方法で診断を行い、老朽化による事故防止のための設備更新提案を進めている。

数多くの経年設備を分析した結果、16項目の劣化要因を抽出し、各種絶縁物の劣化を支配する要因(各種イオンなど)の量や色調の変化と絶縁抵抗値低下の相関関係を精度良く求めた。このデータにより、個々の使用環境下での当該

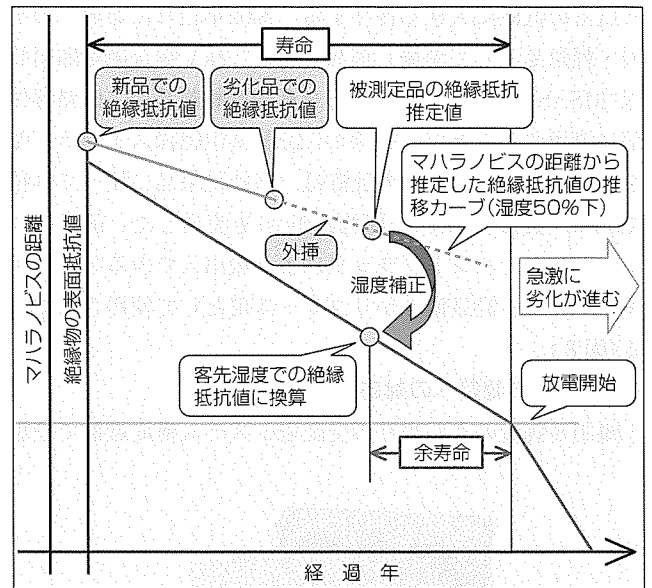


図 9. MTシステムを適用した絶縁物余寿命推定

設備余寿命(絶縁物が放電を開始する時間)を定量的に推定する。実際の診断に当たっては、イオン量や色彩の測定器をキット化し余寿命推定アルゴリズムをプログラム化していることから、現地で簡単に診断することができる(図9)。

5. む す び

以上、受配電システムにおいて事故発生時や保守点検時の停電時間を短縮してLCCの低減に寄与するシステム技術と製品について述べるとともに、環境負荷低減やLCC低減へ寄与する製品技術、及び保守の省力化に寄与する保守支援技術についても述べた。

今後とも、受配電システムに対する社会的ニーズに対応した技術開発と製品化を通して、社会への貢献を続けていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 藤本隆一, ほか: 受配電システムの技術展望, 三菱電機技報, 78, No.12, 768~772 (2004)
- (2) 山田智博: インテリジェントビルの受変電設備, 電気評論, 18~22 (2005)
- (3) 松木寿夫, ほか: 受配電設備の遠隔監視, 電気学会研究会資料, 一般産業研究会GIS-02-6~10, 13~16 (2002-10-18)

24kV低ガス圧ドライエア絶縁スイッチギヤ “HS-X”

有岡正博*
吉村 学**
竹内敏恵***

24kV Dry Air Insulated Switchgear Type “HS-X”

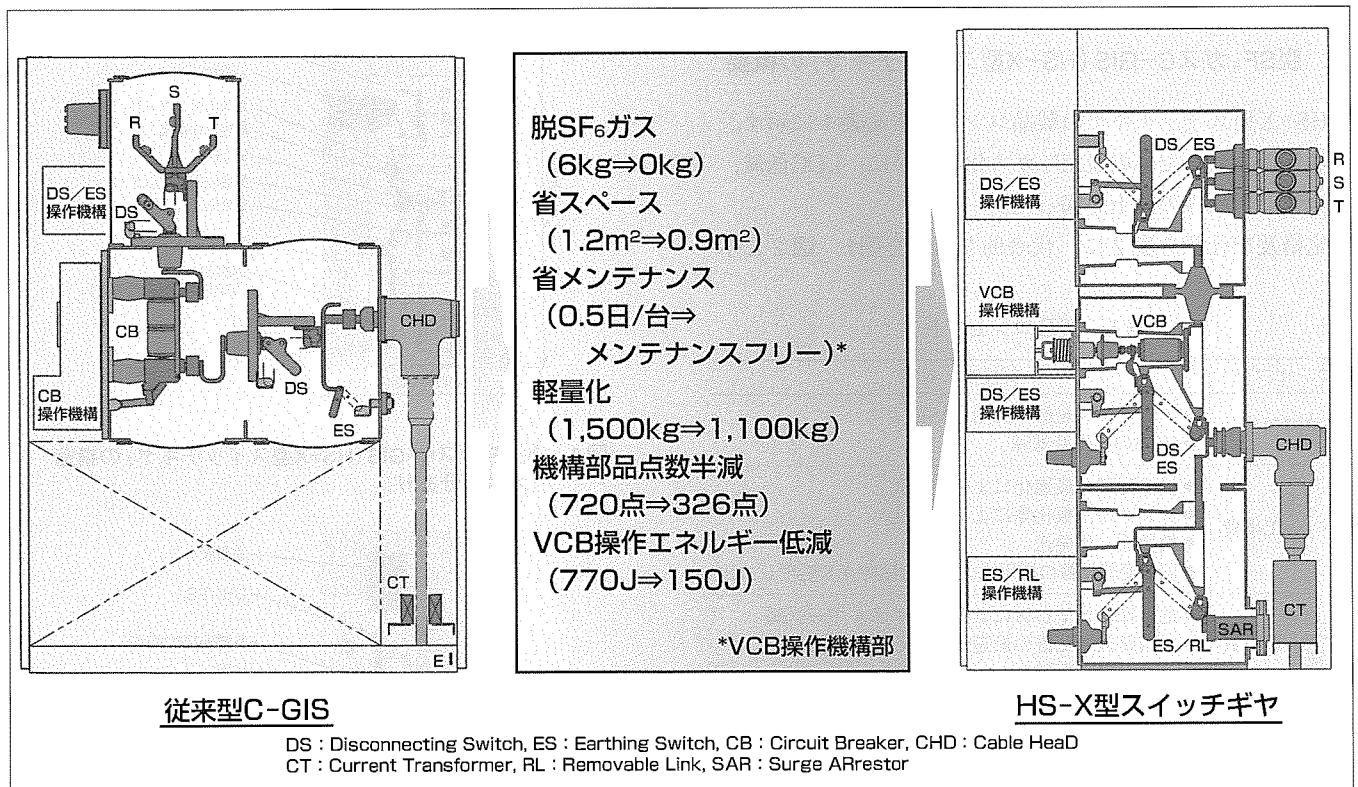
Masahiro Arioka, Manabu Yoshimura, Toshie Takeuchi

要 旨

国内外の送配電及び受配電で用いられているガス絶縁スイッチギヤ(GIS)は1970年ごろから採用され、三相分離型→三相一括型→キュービクル型へと移行し、小型・軽量化、信頼性向上、ライフサイクルコスト(LCC)低減、環境負荷低減が図られてきた。現在、中圧クラス以上のキュービクル型ガス絶縁スイッチギヤ(C-GIS)は、優れた絶縁性能・消弧性能と安全性を持つSF₆ガスを絶縁媒体としたものが主流であるが、1997年の地球温暖化防止京都会議以降、SF₆ガスの排出量削減とともに、脱SF₆ガススイッチギヤが望まれてきた。

24kV低ガス圧ドライエア絶縁スイッチギヤHS-X(以下、“HS-X型スイッチギヤ”という。)は、C-GISの脱SF₆ガス化による地球温暖化防止を目的とし、三菱電機が1999年に実用化したドライエア(相対湿度1,000ppm以下)と絶縁

バリアによる複合絶縁を適用することで、業界に先駆けて脱SF₆ガス化を実現した製品である。さらに、一層の環境負荷低減とLCC低減を目的として、真空遮断器(VCB)には、開極/閉極の両操作を電磁力によって行い、開極/閉極状態保持を永久磁石の磁力によって行うダブルヨーク式電磁操作機構を採用した。この特長として、ラッチ機構などの消耗部品レス化と、主接点を直動することにより中間連結機構をなくすことで部品点数半減を実現し、大幅に信頼性を向上するとともに、操作機構部をメンテナンスフリーとした。さらに、過渡電磁界と運動の連成解析手法を新規に開発・適用し、電源容量と構造の最適化を行うことで、従来の電動ばね操作方式VCBに比べ動作に必要な電気エネルギーを80%低減し、操作電源用バッテリー容量の大幅な低減を実現した。



従来型C-GISとHS-X型スイッチギヤの比較

24kV当社従来型C-GIS(SF₆ガス絶縁)とHS-X型スイッチギヤの比較を示す。

1. ま え が き

国内外の送配電及び需要家の受配電設備に用いられているガス絶縁スイッチギヤは1970年ごろから採用され、三相分離型→三相一括型→キュービクル型ガス絶縁スイッチギヤ(C-GIS)へと移行し、小型・軽量化、信頼性向上、ライフサイクルコスト(LCC)低減及び環境負荷低減が図られてきた。

現在、中圧クラス以上のC-GISは、優れた絶縁性能と安全性を持つSF₆ガスを絶縁媒体として用いたものが主流である。SF₆ガスは、無毒・無臭に加え絶縁性能・消弧性能に優れることから、1965年ごろから6.6~1,000kVのスイッチギヤ、遮断器、変圧器の絶縁媒体及び消弧媒体として幅広く用いられてきた。しかし、1997年の地球温暖化防止京都会議以降、SF₆ガスの排出量削減とともにSF₆ガスをを用いない脱SF₆ガススイッチギヤが望まれてきた。

このような背景から、当社は、1999年にドライエア絶縁とバリア絶縁を複合したC-GIS(HS-X型スイッチギヤ)を業界に先駆けて開発・適用し、2004年に更なる保守性・信頼性の向上を目的として電磁操作式VCB搭載タイプを開発した⁽¹⁾。このスイッチギヤは、SF₆ガスを全く使用せず、従来のC-GIS(SF₆ガス絶縁)より小型・軽量化を実現し、LCCの低減や安全性・信頼性の向上を図った環境負荷低減型のスイッチギヤである。本稿では、このスイッチギヤの概要と今後搭載予定の付加機能について述べる。

2. 脱SF₆ガスC-GIS(HS-X型スイッチギヤ)の概要

HS-X型スイッチギヤの製品コンセプトを表1に示す。環境負荷低減のための脱SF₆ガス化のほかに、LCC低減、安全性/信頼性の向上を図った。

定格及び仕様を表2に、代表的な構造を図1、図2に示

表1. 製品コンセプト

コンセプト	新技術/対策
環境調和	<ul style="list-style-type: none"> ●ドライエア絶縁の採用(脱SF₆ガス) ●VCBの操作音低減
LCC低減	工事費 <ul style="list-style-type: none"> ●機器配置の最適化による小型化 ●タンクの薄板化等による軽量化 ●複数面一体発送 ●固体絶縁母線の採用による据付け時ガス処理レス化
	運用費 <ul style="list-style-type: none"> ●電磁操作式VCBによる操作エネルギー低減 ●主回路機器配置の最適化による発熱量低減(電力ロス削減)
	保守費 <ul style="list-style-type: none"> ●電磁操作機構部のメンテナンスフリー化 ●気中しゅう動部位に長寿命グリース使用 ●操作部、試験用端子の前面配置
	廃却費 <ul style="list-style-type: none"> ●ドライエア絶縁の採用(ガス回収不要)
安全性/信頼性向上	<ul style="list-style-type: none"> ●構造を単純化 ●部品点数を削減 ●電磁操作機構による主接点直動 ●操作機構部の損耗部品レス化(8万回の単体開閉試験をクリア)

す。密閉容器内に主回路を収納し、大気圧近傍の低ガス圧ドライエア(乾燥空気)と多機能円筒ホルダ(樹脂)の複合絶縁により完全脱SF₆ガス化を実現した。さらに、VCBは各相ごとに電磁操作機構を搭載し、主接点を直動することにより、ラッチレバーレス化と部品点数半減を実現し、大幅に信頼性を向上するとともに、操作機構部のメンテナンスフリーを実現した。

3. CBM機能(2006年度上期から順次搭載予定)

以上、脱SF₆ガスC-GIS(HS-X型スイッチギヤ)の概要について述べたが、この製品の更なる信頼性向上を図るこ

表2. 脱SF₆ガスC-GIS(HS-X型スイッチギヤ)の定格及び仕様

項目	仕 様	
定格電圧 (kV)	24	
定格耐電圧	雷インパルス (kV peak)	125 (DS極間145)
	商用周波 (kV rms)	50 (DS極間60)
定格周波数 (Hz)	50/60	
定格母線電流 (A)	630/1,250	
定格電流 (A)	630, 1,250	
定格短時間耐電流 (kA)	25(3秒)	
定格ガス圧力 (MPa.G at 20°C)	0.07	
準拠規格	JEM, JEC, IEC	

JEM: Standards of the Japan Electrical Manufacturers' Association
 JEC: Standard of Japanese Electrotechnical Committee
 IEC: International Electrotechnical Commission

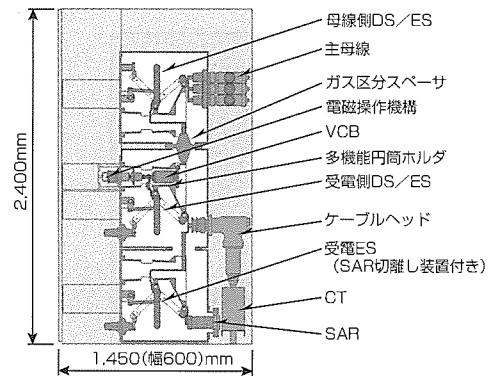


図1. 脱SF₆ガスC-GIS(HS-X型スイッチギヤ)の構造(ガス区分あり)

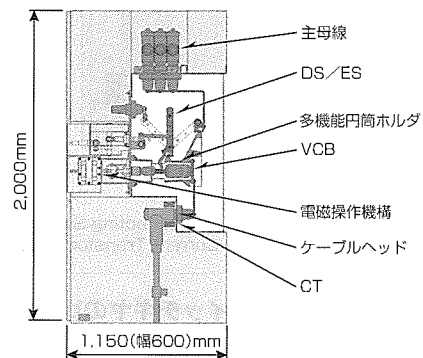


図2. 脱SF₆ガスC-GIS(HS-X型スイッチギヤ)の構造(ガス区分なし)

とを目的に、付加機能としてのCBM (Condition Based Maintenance) 機能について述べる。なお、この付加機能は、2006年度から順次C-GISに搭載していく計画である。

3.1 VCB用操作機構部の状態監視機能

図3に示すとおり、GISで発生している障害の約65%は操作機構部で発生しており、操作機構部の異常を検知し適切に保守を行うことは障害の未然防止に有効であると言える。

当社は、電磁操作方式VCBの特長である電磁操作機構のコイル電流波形と操作機構可動部の変位波形の特徴点が発生する時間が同じであるという現象に着目し、コイル電流の波形分析技術を用いて機器の状態を推定する技術を開発した。以下に概要について述べる。

VCBの高効率化と開閉極動作の安定性を実現するために、電磁アクチュエータの可動子周辺に発生する磁束、電磁力のコイル電流及び可動子間の位置依存性を三次元静電磁界解析により求め、式(1-1)、式(1-2)、式(2)を連成解析している⁽²⁾。ここで、式(1-1)に示す左辺第3項は式(3)のとおり電流微分による起電力項と速度による起電力項に分解される。つまり、式(3)右辺第2項は速度起電力項であり、駆動開始や駆動完了など動作途中で速度が急激に変化した場合に、電流波形が変曲するなど目立った特徴を示すことになる。

$$\frac{q(t)}{C} + I_{coil}(t) \cdot (R_{coil} + R_{out}) + \frac{d\phi(I_{coil}(t), z(t))}{dt} = E \dots (1-1)$$

$$\frac{dq(t)}{dt} = I_{coil} \dots (1-2)$$

$$m(z(t)) \frac{d^2z}{dt^2} = F_m(I_{coil}(t), z(t)) + F_s(z(t)) + F_{friction} \dots (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\phi(I_{coil}(t), z(t))}{dt} = \\ \frac{d\phi(I_{coil}(t), z(t))}{dI_{coil}} \frac{dI_{coil}}{dt} + \frac{d\phi(I_{coil}(t), z(t))}{dz} \frac{dz}{dt} \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

- ここで、 C ：コンデンサの静電容量 E ：電圧
 I_{coil} ：駆動コイル電流 M ：可動部の質量
 R_{coil} ：駆動コイル抵抗 F_m ：電磁力
 R_{out} ：回路抵抗 F_s ：接圧ばね力
 ϕ ：コイル鎖交磁束 $F_{friction}$ ：摩擦力
 z ：駆動方向

図4に初期状態と接点消耗を模擬した場合のコイル電流波形と操作機構可動部の変位の比較を示す。駆動開始時間、

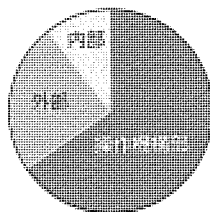


図3. ガス絶縁機器全体での障害発生状況 (電気共同研究会 第44巻 第2号 ガス絶縁機器の信頼性向上策より抜粋)

駆動完了時間、駆動途中の特徴点の発生時間が電流と変位で一致していることが分かる。この駆動途中の時間 t_{p1} はワイプばねの開放が完了し、接点が動き出す、すなわち、開極時間と一致している。このことから、電流波形が微妙に変化する時間や電流値を抽出して分析することにより、波形変化をもたらした要因を特定することが可能となる。

そこで、上記で述べた連成解析技術を用いて、VCBの経年的に変化する主要な要因である摩擦、コンデンサ容量及び接点消耗を、コイル電流波形の特徴点の変化から予測する技術を開発した。可動部の摩擦、コンデンサ容量及び接点消耗などの経年変化要素の予測は、図5に示すフローのように、CTと経年変化量を演算するための簡単な処理回路によって構成できる。つまり、VCB本体に種々のセンサを追加することなく、動作電流・時間分析により操作機構部の障害発生の予兆を常時監視できることになる⁽³⁾。

上述した電磁操作機構の電流波形分析による経年変化監視技術の確立により、従来のばね操作方式では機器の状態に関係なく定期的に保守を実施する必要があったTBM (Time Based Maintenance) の形態を、機器の状態に応じて実施するメンテナンス (CBM) に変更することが可能であり、今後の保守形態の革新をもたらすと考える。

3.2 絶縁劣化監視機能

スイッチギヤの絶縁劣化を監視する方法の一つとして部分放電検出による方法がある。部分放電発生時に放射される電磁波を検出する方法はGISのオンラインの絶縁診断方法として認知されており、CBM機能として使用すること

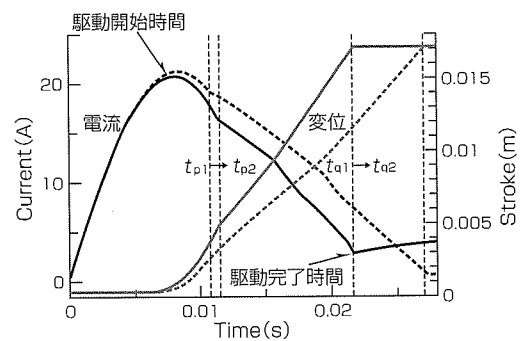


図4. 遮断器駆動時の電流と変位の波形変化

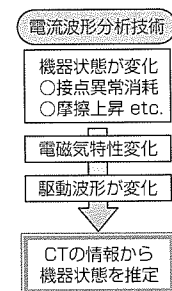


図5. 電流波形分析フロー

に適している。特にMHz帯の周波数を利用する検出方法は、kHz帯を使用する方法に比べノイズ成分が少ない周波数帯を利用するため、S/N比が高く検出能力に優れている⁽⁴⁾。

部分放電を電磁波で検出する方法においては、部分放電による電磁波と外来電磁波ノイズとを区別することが最も重要である。MHz帯の電磁波ノイズは、放送波(地上波TV, 衛星TV), 通信波(携帯電話, PHS)などの連続性ノイズや、モータやインバータ等の動作による単発性ノイズがある。これらの電磁波ノイズと放電とを分離する精度を高めることがシステムの誤動作を抑えるために重要となる。

図6にスイッチギヤ内部で発生させた部分放電による電磁波を内部に設置したアンテナで検出したときの部分放電信号と印加電圧の関係を示す。部分放電の発生が印加電圧の特定の位相に同期していること、及び、半サイクルの間に多頻度発生する特徴を持つことが分かる。また、周波数特性を見ると、図7に示すように、低い周波数から数百MHzの高い周波数まで、幅広い周波数帯を持つと同時に、特定の周波数帯域での強度が強くなる特徴を持っている。

以上のような部分放電の特徴を利用してノイズを分離、区別する方法には下記の方法があり、これらを適用することにより効果的にノイズ抑制が可能となる。

- ①ノイズの影響を受けにくいアンテナの適切な配置
- ②S/N比の高い周波数帯域のフィルタないし共振アンテナの適用
- ③部分放電の発生パターンを利用した放電とノイズの分離

①の方法は、金属筐体(きょうたい)による電磁シールド効果を期待する方法である。スイッチギヤではアンテナを内部に配置することで容易にノイズ強度を低減できる。②の方法は、検出する周波数帯域を制限してS/N比を向上させる方法である。図7のような周波数特性を利用して、S/N比が高い周波数帯域を選定すれば感度を高められる。③の方法は部分放電の発生パターンの特徴を利用する方法である。例えば、部分放電信号は図6で見られた印加電圧の交流サイクルに同期した信号、印加電圧の同じ位相で発生する特性を持つ。一方、ノイズは電圧位相とは無関係なランダム発生パターンや連続的なパターンを持つため、信号特性による放電判定アルゴリズムを適用することによりノイズとの区別が可能になる。

上記の方法を組み合わせることで適用することによりスイッチギヤ用の高感度な部分放電検出システムを構築することができる。

4. む す び

低ガス圧ドライエア絶縁スイッチギヤHS-Xは、環境負

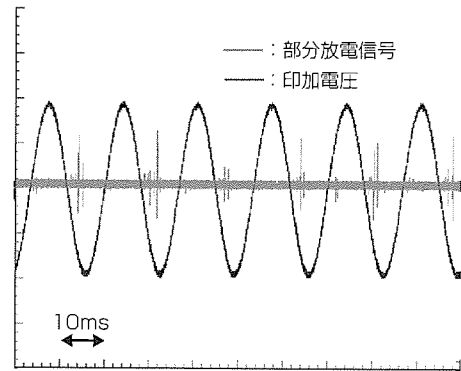


図6. 印加電圧と部分放電信号の関係

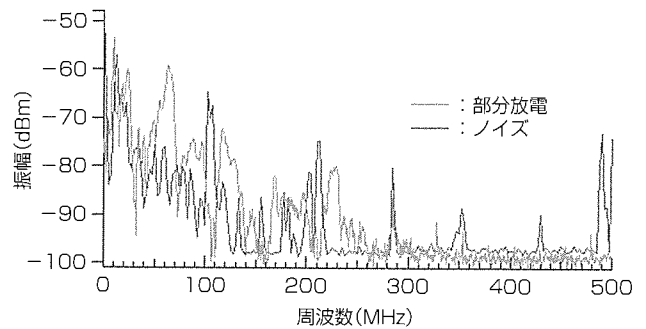


図7. 放電信号の周波数特性

荷低減を実現するスイッチギヤとして1999年の市場投入以来約800台を納入し運転中である。また、今回開発した電磁操作式VCBも市場で好評を得ている。

今後、VCB操作機構部の状態監視機能、絶縁劣化監視機能などを備えたCBM機能の付加など、スイッチギヤの高機能化を図るとともに、ドライエア絶縁技術及び電磁操作式VCBを、他の定格へ展開を図りシリーズ化を行っていく。

参考文献

- (1) 有岡正博, ほか: 24kV低ガス圧ドライエア絶縁スイッチギヤ, 三菱電機技報, 78, No.12, 773~776 (2004)
- (2) Takeuchi, T. et al.: An Electromagnetically Actuated Vacuum Circuit Breaker Developed by Electromagnetic Analysis Coupled with Motion, IEEJ Trans. PE, 124, No.2, 321~326 (2004)
- (3) 有岡正博: 電磁操作方式真空遮断器, 三菱電機技報, 79, No.11, 731~734 (2005)
- (4) CIGRE TF15/33.03.05: PD Detection System for GIS: Sensitivity Verification for the UHF Method and the Acoustic Method, ELECTRA, No.183, 75~87 (1999)

3.6/7.2kV用真空遮断器 (“VF-8/13D”電動ばね操作引出形)

菅 則雄* 鳥羽慎司***
小林 稔*
十鳥 洋**

3.6/7.2kV Vacuum Circuit Breaker (“VF-8/13D” Draw Out Type)

Norio Kan, Minoru Kobayashi, Hiroshi Tottori, Shinji Toba

要 旨

継続的に発展可能な社会が望まれる中、RoHS (Restriction of the use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment) 指令に代表される環境汚染防止や脱SF₆ガス化に代表される地球温暖化防止が強く求められている。こうした時代背景の中、真空遮断器で業界をリードしている三菱電機は、昨年11月に欧州RoHS指令で禁止される規制6物質を全廃した3.6/7.2kV用真空遮断器(VF-8/13D形 手動ばね操作固定形)を製品化し、今回、新たに電動ばね操作引出形においても環境・省エネルギーに配慮した新機種を市場投入した。

(1) 環境汚染防止

- 従来機種で使用していた六価クロム及び鉛の使用を廃止し、規制6物質を全廃した製品とした。

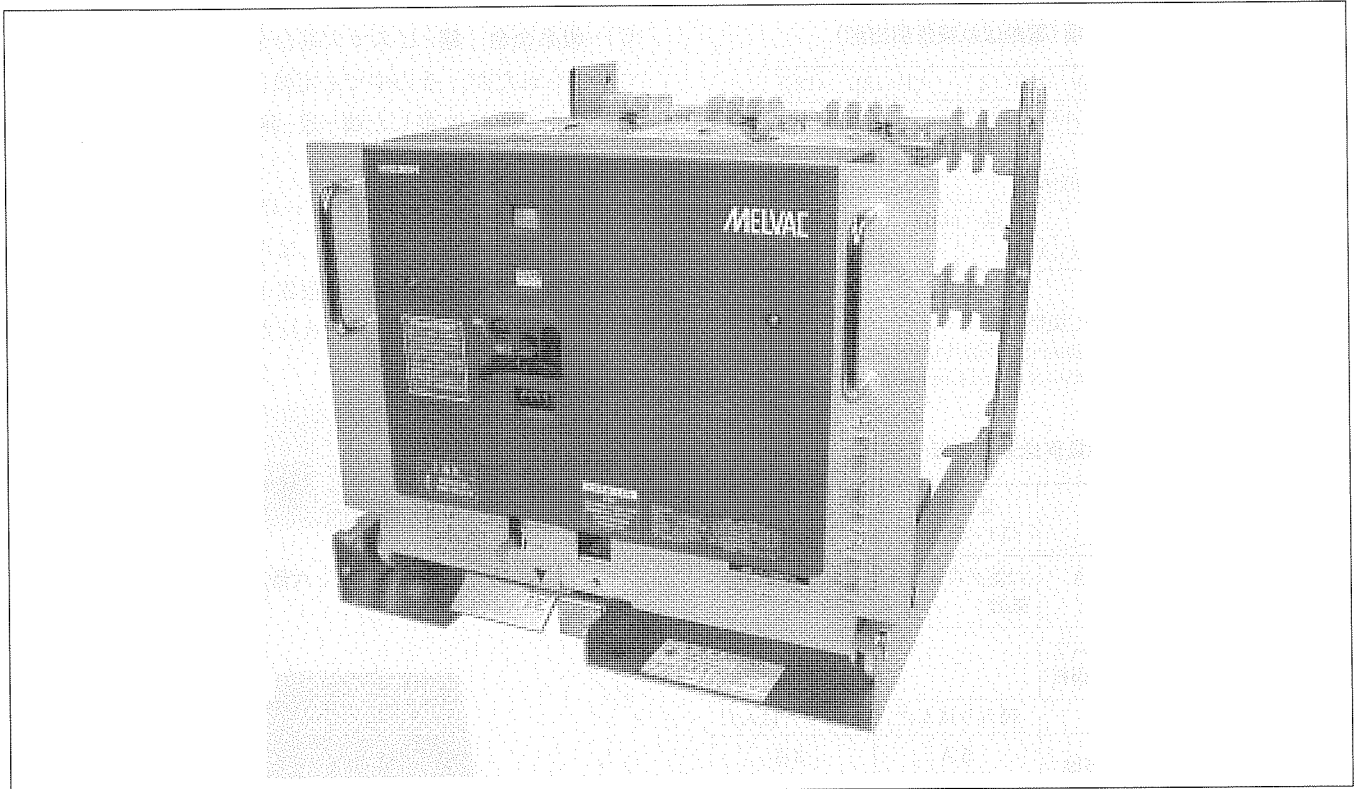
(2) 地球温暖化防止

地球温暖化防止を真空遮断器の動作エネルギー低減の観点から追求し、以下を実現した。

- 開路制御電流を従来機種5Aから3Aに低減
- 電動機操作電流を従来機種2Aから0.4Aに低減
- 電動機によるばね蓄勢時間を従来機種7秒から6秒に短縮

(3) 保守の省力化

微小力で駆動する引き外しラッチの軸受部に無潤滑軸受を採用し動作特性を安定化させ信頼性を向上させることで注油間隔を従来機種の3年から6年に延長可能とした。



VF-8/13D形 電動ばね操作引出形

盤との取り合い部は当社従来形真空遮断器“VF-8/13C”との互換性を重視し完全互換とした。すなわち、引出形では遮断器本体、固定枠、制御回路の取り合いに互換性を持たせる構造とした。

1. ま え が き

近年、欧州を初めとして世界規模で環境保全、環境負荷低減に対する取り組みが進められている。日本国内においてもISO14000や省エネルギー法、グリーン購入法が施行されるなど法的規制が整備されはじめ、社会的な要請も強まってきている。このような背景の中、受配電システム構成機器でも環境への取り組みが急務になってきている。今回開発した3.6/7.2kV用真空遮断器(VF-8/13D形電動ばね操作引出形) (以下“VF-8/13D形真空遮断器”という。) は手動ばね操作・パネル取付形のコンセプトである環境負荷低減を更に追求した製品とした。

2. VF-8/13D形真空遮断器の定格事項

表1にVF-8/13D形真空遮断器の定格事項を示す。

3. 環境負荷低減の追求

表2に今回開発したVF-8/13D形真空遮断器の環境負荷低減への取り組みについて示す。欧州RoHS指令で指定されている規制6物質のうち、従来機種で使用していた六価クロム、鉛の2物質を廃止することで、指定有害6物質を使用しない真空遮断器を製品化した。また、開路制御電流及び電動機操作電流を従来機種よりも大幅に低減し、電

表1. 定格事項 (電動ばね操作引出形)

項目	VF-8D/(DG)*1	VF-13D/(DG)
準拠規格	JIS C 4603, JEC2300, IEC62271-100	
定格電圧	3.6/7.2kV	
定格電流	400A	600A/630A *2
定格周波数	50/60Hz	
定格遮断電流	8 kA	12.5kA

*1 : (DG)は低サージ

*2 : 定格電流630AはIEC規格対応

JEC : Standard of The Japanese Electrotechnical Committee

IEC : International Electrotechnical Commission

表2. 環境負荷低減への取り組み

			従来機種 (VF-8/13C)	VF-8/13D
規制6 物質へ の対応	六価クロム 使用の廃止	めっき 仕様	六価クロメート 処理	三価クロメート 処理
		クロムフ リー鋼板	-	新規採用
	鉛使用の廃止		鉛入りはんだ	鉛フリーはんだ
省エネ ルギー	開路制御電流の低減		5 A (DC100V)	3 A (DC100V)
	電動機操作電流の低減 (DC100V時)		2 A	0.4A
	電動機によるばね蓄勢 時間の短縮		7 秒	6 秒
	注油間隔の延長		3 年	6 年

動機によるばね蓄勢時間も従来機種より短縮することで、大幅に盤の省エネルギー化を図った。

3.1 六価クロム使用の廃止

従来、六価クロムは亜鉛めっきの防錆(ぼうせい)処理剤として広く使用されていたが、近年、欧州を中心に環境への影響が指摘され、使用禁止物質に指定された。VF-8/13D形真空遮断器ではボルト、ピン、ねじ類の亜鉛めっき表面上の六価クロメート処理を廃止し、三価クロメート処理を採用した(図1)。また、VF-8/13D形真空遮断器では、操作機構カバーに耐食性に優れたクロムフリー鋼板を採用した(図2)。三価クロメート処理及びクロムフリー鋼板の採用に当たっては、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。

3.2 鉛使用の廃止

従来、制御基板の実装に使用されていたはんだには鉛成分が含まれている。しかし、近年、廃却された製品が雨水にさらされることより、鉛成分が溶け出す危険性が指摘され、各社、鉛フリーはんだへの移行が急速に進められている。当社でも、環境負荷低減の観点から、六価クロムの使用廃止と同様に全社的に取り組んでいる。

今回開発したVF-8/13D形真空遮断器の制御基板は、基板素子の実装に使用されるはんだの鉛成分だけでなく、基板表面処理、基板素子に使用される鉛に至るまで、鉛フリー化を実現した。鉛はんだの代替合金としては、錫(すず)-銀系合金、錫-ビスマス系合金等、数種類が候補として挙げられたが、その中でも実装後の信頼性に優れ、錫-銀系合金を更に改善した錫-銀-銅系の鉛フリーはんだを採用した。

一般に、錫-銀-銅系鉛フリーはんだは、従来の鉛はんだと比べ融点が高いことから、はんだ温度のプロファイル管理の強化が必要となり、基板素子の選定では、耐熱性に裕度のあるものを選択しなければならない。また、はんだ



図1. めっき(左:六価, 右:三価)

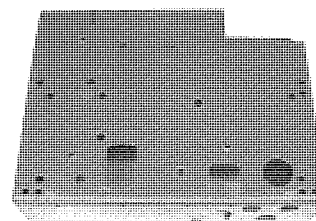


図2. 操作機構カバー(クロムフリー鋼板)

接合部は、基板素子実装時の冷却過程において、各部品の熱膨張差に起因する熱応力が発生し、残留応力として残る。さらに、使用環境に応じた繰り返し熱応力が加わるため、接合部には十分な評価が必要である。

このはんだ部分の接合信頼性に対する評価として、温度サイクル試験を実施した。温度サイクル試験とは、温度変化又は温度変化が繰り返し作用する場合の接合部への影響を調べる試験である。なお、製品寿命年数までの加速係数は、コフィン・マンソンの式が一般的に使用され、式(1)から算出した。試験後、接合部分の断面観察を行い、ランド剥離(はくり)やクラックが発生していないことを確認した。

$$AF = \left(\frac{F_t}{F_i}\right)^m \times \left(\frac{\Delta T_t}{\Delta T_i}\right)^{-a} \times e^{\frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_{maxf}} - \frac{1}{T_{maxi}}\right)} \dots\dots(1)$$

- AF: 加速係数, $m: 1/3$, $a: 1.9$
- F_i : フィールドにおける温度サイクル周波数
- F_t : 加速試験における温度サイクル周波数
- ΔT_i : フィールドにおける温度変化幅
- ΔT_t : 加速試験における温度変化幅
- E: 活性化エネルギー
- T_{maxf} : フィールドにおける最高温度(K)
- T_{maxi} : 加速試験における最高温度(K)
- R: ボルツマン定数

なお、鉛フリーはんだ採用に当たり上記の評価試験に加え、遮断器として開閉振動試験等各種試験を実施し、長期信頼性を確認した。

また、基板素子の配置に関しても、遮断器の操作回路に使用することを配慮し、耐電圧、耐環境性の面から更に信頼性を上げる改善を行った。図3にVF-8/13C用制御基板(左)とVF-8/13D用制御基板(右)を示す。VF-8/13D形真空遮断器の制御回路は従来機種のVF-8/13C用に比べて大幅に基板素子の使用数を減らし、また、各基板素子の間隔を十分確保した。

3.3 開路制御電流の低減

開路動作に関する操作機構の模式図を図4(投入ばねのリセット状態)、図5(投入ばねの蓄勢完了状態)に示し、図6に投入/引外しコイルを示す。駆動する際に、リンクの軸受部には摩擦力でエネルギーロスが生じる。このエネ

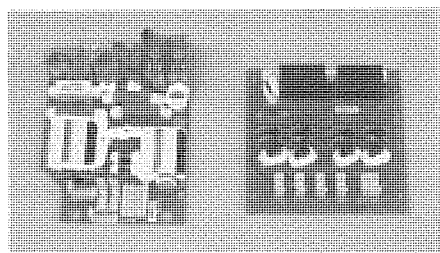


図3. 制御基板(左: VF-8/13C, 右: VF-8/13D)

ルギーロスはグリースの経年的な固化による粘度変化によって更に増加する。エネルギーロスに対して裕度を持たすには、リンクの減衰比を小さくし、軸受部の摩擦力に対して回転力を十分大きくすることが有効である。しかしこの場合、引外しラッチに加わる荷重も増加するため、引外しコイルの力を大きくしなければならず、この結果、引外しコイル操作電流が大きくなる傾向にある。VF-8/13D形真空遮断器では、この問題を解決するため、操

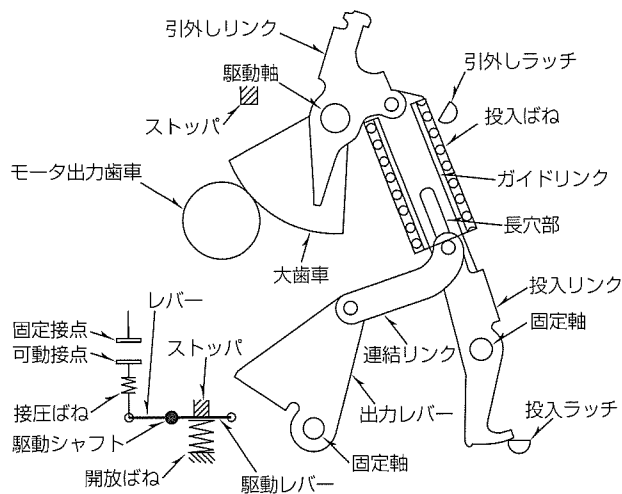


図4. 投入ばねリセット状態

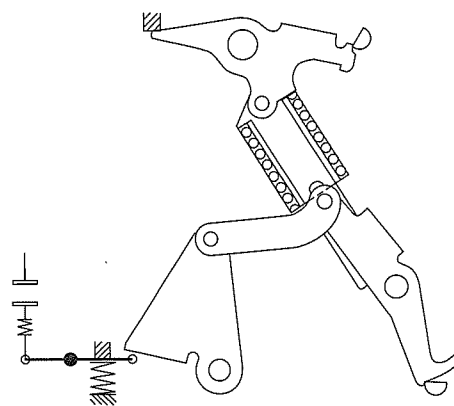


図5. 投入ばね蓄勢完了状態

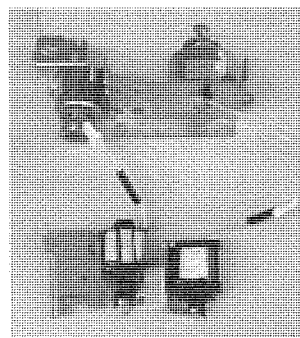


図6. 投入/引外しコイル(上: VF-8/13C, 下: VF-8/13D)

作機構を出力レバー、連結リンク、投入リンクからなる四節リンクと引外しリンク、ガイドリンク、投入リンクからなる四節リンクの2つのリンクを一体化した六節リンク機構を開発し製品化した。六節リンク機構で減衰比を各リンクで分担し合う構造とすることで、引外し力を小さくすることができ、開路制御電流を5Aから3Aに低減させた。

3.4 電動機操作電流の低減及び電動機ばね蓄勢時間の短縮

図7にVF-8/13C用電動機ユニット(上)及び今回開発したVF-8/13D用電動機ユニット(下)を示す。VF-8/13C用電動機ユニットは、電動機の回転駆動が台形ねじを用いて直線往復駆動に変換される構造である。台形ねじは回転駆動を小スペースで完全な直線駆動に変換できるメリットがある。この直線駆動方式の採用により、VF-8/13C用操作機構では蓄勢完了後の電動機ユニットと機構部の切り離しを容易に行うことができる。しかし、台形ねじを用いた場合、ねじ部の伝達効率が50%程度となり、ロスが大きくなる。また、VF-8/13C用操作機構は駆動軸を回転させることで投入ばねを蓄勢しており、電動機ユニットが行う直線往復駆動から回転駆動に変換する構造であった。

図4に示すように、今回開発したVF-8/13D用操作機構は、VF-8/13C用操作機構と同様、駆動軸を回転させ投入ばねを蓄勢する方式であるが、電動機ユニットと駆動軸までの伝達を伝達効率90%以上の平歯車のみで構成し伝達効率の向上を図った。さらに、VF-8/13D用電動機ユニットは、VF-8/13C用と比べ小型化し、かつ、減速比と電動機出力の関係を効率良く使用できるよう最適化し、電動機操作電流を2A→0.4Aに低減できた。

VF-8/13D用操作機構における蓄勢完了後の電動機ユニットと機構部の切り離しは、電動機ユニット出力軸の平歯車をダイレクトに切り離す構造とした。そのため、従来機種で行っていた直線往復運動の反転動作が必要なく、一方向回転運動による歯の切り離し動作のみとなり、動作ロスが低減され、電動機によるばね蓄勢時間を7秒→6秒に短縮できた。

3.5 注油間隔の延長

グリースの経年的な固化による粘度の増加は、引外しラッチ等の微小力で駆動する部位に対して特に影響が大きい。この問題に対してVF-8/13D形真空遮断器では、2つの四節リンクによる荷重分担方式でラッチ軸の面圧を下げ、微小力で駆動する部位の軸受をテフロン樹脂(PTFE)ベースでグリースの塗布が不要な無潤滑軸受とした。これにより、安定した動作特性を実現し、注油間隔を従来の

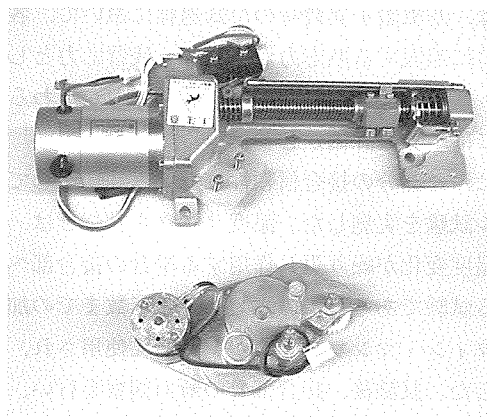


図7. 電動機ユニット(上:VF-8/13C, 下:VF-8/13D)

3年から6年に延長可能とした。

3.6 その他の環境負荷低減

主要樹脂部品には材料表示をすることにより、リサイクルを容易とし、環境負荷低減を図った。

4. む す び

業界に先駆け規制6物質を全廃した。六価クロムはめっき仕様の変更及びクロムフリー鋼板の採用で使用を廃止し、鉛は鉛フリーはんだを採用することで使用を廃止した。また、制御基板は製品寿命年数に対して十分な長期信頼性を確認している。

開路制御電流及び電動機操作電流を低減し、かつ、電動機によるばね蓄勢時間を短縮することにより一層の省エネルギー化を図った。

この遮断器では、操作機構の2つの四節リンク機構を一体化した六節リンク機構により、軸受に掛かる荷重を低減し無潤滑軸受を採用した。これにより、信頼性を向上させ安定した動作特性を実現することができ、注油間隔を従来の3年から6年に延長可能とした。

今回開発したVF-8/13D形真空遮断器は高い安全性・信頼性を持ち、さらに、環境にも配慮した製品であり、この製品が広く社会に貢献できれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 真空遮断器・開閉器の環境適合性および保全診断技術調査専門委員会：真空遮断器・開閉器の環境適合性および保全診断技術，電気学会技術報告第941号（2003）
- (2) 堀 克彦：電力利用技術の実践(5)，電熱設備における省エネルギー，電気技術者，99，No.6，5～18（1999）

低圧配電システムにおける環境負荷及びライフサイクルコスト低減の取り組み

林 和史*
岩澤頼晃*
大西健司*

Activity for Reducing the Environmental Impact and Life Cycle Cost of Low-Voltage Power Distribution Systems
Kazufumi Hayashi, Yoriaki Iwazawa, Kenji Onishi

要 旨

低圧配電システムは、コントロールセンタを主要機器として電子式コントローラ及び監視・制御システムから構成され、電動機や電灯などの負荷機器の制御・保護を行うものであり、公共・交通システム、電力システム、工場配電システムなどの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。

これまで、社会ニーズの変化に対応し、信頼性・安全性の追及、小型化・省エネルギーの推進、運用・保守性の改善がなされてきた。さらに今日では、地球環境問題への取り組みや、ライフサイクルコスト(Life Cycle Cost : LCC)の低減などのニーズが拡大している。

三菱電機の低圧配電システムは、これらニーズに対応した技術開発と製品化を行っており、本稿ではその成果について述べる。

(1) コントロールセンタ

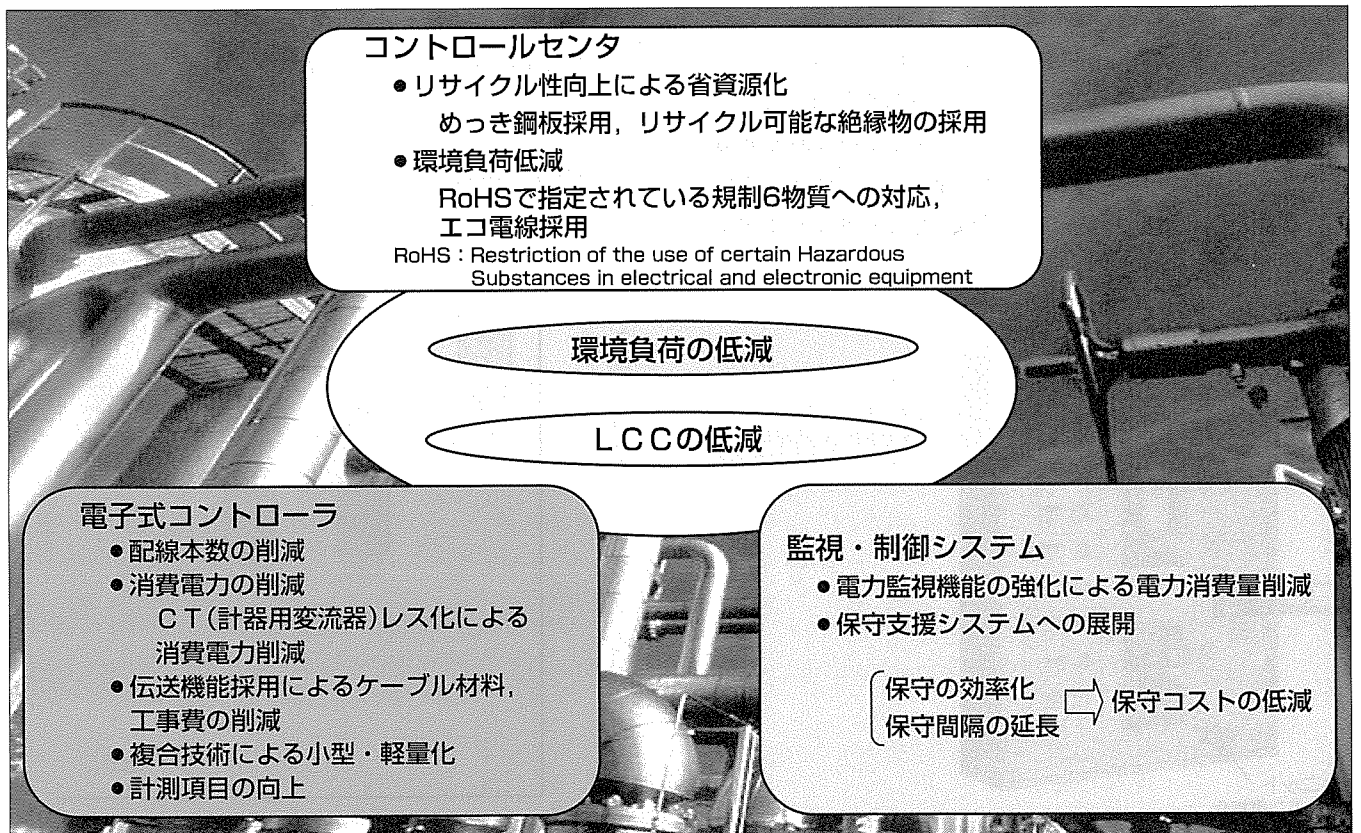
環境適応型のコントロールセンタを目指して、筐体(きょうたい)・機器・電線材料の見直しを行い、リサイクル性を向上するとともに環境負荷を低減した。

(2) 電子式コントローラ

電子式コントローラ搭載により、施工時のケーブル材料、工事費の大幅削減、また、ソフトウェアによるシーケンス変更への対応により、省資源化とLCCを低減した。

(3) 監視・制御システム

電圧・電流・電力量の常時計測及び原単位管理によりエネルギー監視システムを構築し、省エネルギー支援を可能とした。また、当社独自の“CDL”伝送と電子式コントローラのネットワークを使用した集中監視、巡視点検、定期点検、保守点検機能によりランニングコストを削減した。



低圧配電システムへのニーズと取り組み

昨今の環境問題に対する意識の高まりやLCC低減などのニーズが拡大する中で、コントロールセンタのみならず低圧配電システム全体として、これらのニーズに対応し技術開発と製品化を行っている。

1. ま え が き

低圧配電システムは、配電端の負荷に直接電力を供給する電力供給設備(コントロールセンタ、ロードセンタ、分電盤等)、保護装置(電子式コントローラ)、監視・制御装置を主要な構成要素としており、公共・交通システム、電力システム、工場配電システムなど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。

これらの低圧配電システムは、社会ニーズの変化に対応し、絶縁技術、監視制御技術の進展により、安全性、信頼性の追求、小型化・省エネルギーの推進、運用・保守性の改善がなされてきた。

さらに今日では、地球環境問題の深刻化に対応するため、①製品(生産及び運用上)が地球に与える環境負荷の低減、②安全性・信頼性を一層向上させつつ経済性と効率を追求する製品LCCの低減の2点に寄与する取り組みを強化している。

本稿では、低圧配電システムにおける最近の社会ニーズに対する当社の取り組みと成果について述べる。

2. コントロールセンタ筐体のリサイクル性向上及び省資源化、環境負荷低減への取り組み

コントロールセンタ筐体の環境負荷低減を目的として、A形コントロールセンタ(図1)では、構造体の一部に亜鉛めっき鋼板(以下“めっき鋼板”という。)を採用している。筐体部品は部材が大きいため、防錆(ほうせい)処理としては塗装を行うのが一般的である。塗装された鉄板とめっき鋼板は、共に鉄としてリサイクルすることが可能である。このとき塗装は鉄の溶解時に溶けてなくなりリサイクルできないが、亜鉛は鉄と分離して亜鉛としてリサイクルすることが可能である。

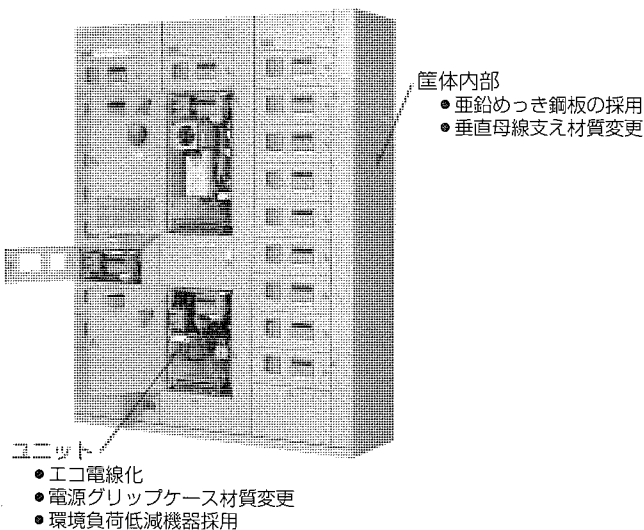


図1. A形コントロールセンタの環境負荷低減及びLCC低減の取り組み

また、めっき鋼板は塗装と比較して傷に強い性質があり、塗装は傷が下地に達した場合、直ちにその部分から腐食が始まるのに対して、めっき鋼板の場合は鉄よりもイオン化傾向が大きい亜鉛の流電防食作用により、鉄の腐食が進行しないという優れた特長を持っている。

従来機種では筐体部品はすべて塗装品であったが、A形コントロールセンタでは、意匠面を除く筐体部品にめっき鋼板を採用することにより、廃却時のリサイクル性の向上、省資源化(アクリル樹脂削減)を図っている。

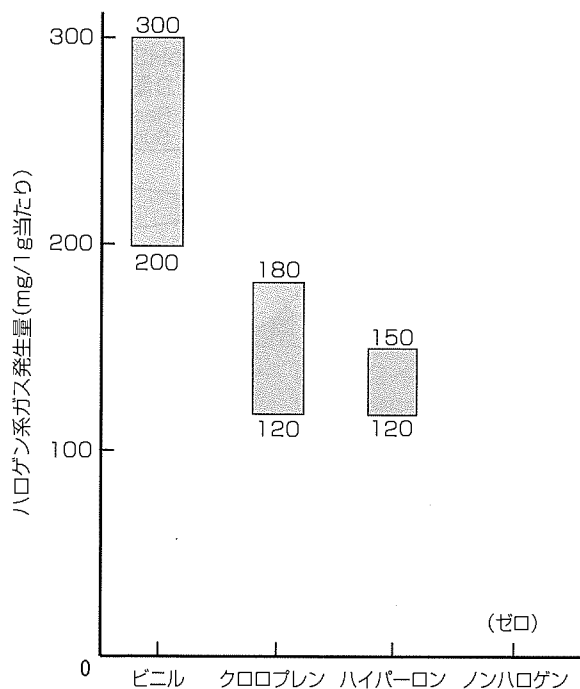
また、めっき鋼板の表面処理としてクロメート処理が一般的に施されるが、クロメート皮膜に含まれる六価クロムが欧州RoHS指令禁止6物質の一つに指定されており、三価クロムによる代替が進められている。めっき鋼板においては2006年3月クロムフリー化を目指して耐食性、摩擦係数など長期安定性を確認しつつあり、環境負荷の低減にも効果が見込まれる。

3. 電線の環境負荷低減及びリサイクル性の向上

A形コントロールセンタでは、ノンハロゲン電線を主回路に標準採用し、環境負荷の低減を図っている。

(1) ノンハロゲン電線の特長

- ハロゲンフリー材料を使用しているため、焼却時にダイオキシンやハロゲン系ガス(臭素ガス、塩素ガス)などの有害物質を発生しない(図2)。
- 環境負荷物質である鉛などの重金属類を含まない。
- 燃焼時の煙の発生が非常に少ない。



OHM(1998年12月号)東川善文 著:住友電気工業の「電線エコプロジェクト」活動から引用

図2. 電線材料別の燃焼時ハロゲンガス発生量

また、制御回路用電線では、エコ電線の採用が公共市場を中心に拡大しつつある。エコ電線(ポリエチレン樹脂被覆電線)は、心線をめっきなしの仕様とすることにより、被覆・導体ともにリサイクルを可能としている。

4. 成形材料の環境負荷低減とLCC低減

(1) 材料名の表示

絶縁物及びMCCB(配線用遮断器)、コンタクタなどの主回路機器のプラスチック材料については、部品に材料名を表示して廃棄時の分別を容易にし、リサイクル性の向上を図っている。

(2) 電源グリップケース及び垂直母線支えの材質変更

従来機種では電源グリップケース及び垂直母線支えに熱硬化性樹脂のBMC(不飽和ポリエステル樹脂)を使用していたが、A形コントロールセンタでは、熱可塑性樹脂であるPPS(ポリフェニレンサルファイド)に変更した。熱可塑性樹脂にすることでリサイクルが可能となり、これに加えて射出成形により薄肉化が可能となったため、樹脂使用量を削減(従来比約35%に軽量化)し環境負荷を大幅に低減することができた。また、PPSはBMCに比べ吸水率が低く、吸湿に伴う絶縁劣化が少ない。そのため、従来よりもライフサイクルの長期化を図ることができ、また、部品交換による廃棄物の発生量も少なくすることができた(図3)。

(3) 環境負荷低減機器の適用

A形コントロールセンタでは、垂直母線支えなどの絶縁物と同様に、コントロールセンタに収納するMCCBなどの機器についてもリサイクル可能材料の適用を進めている(図4)。

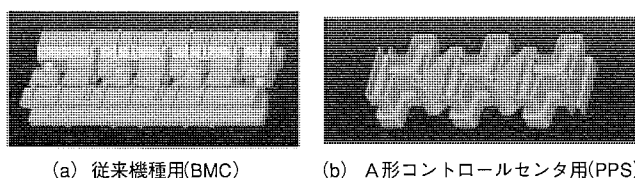


図3. 垂直母線支え用絶縁物

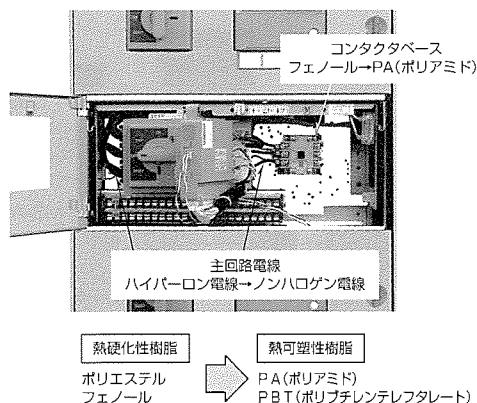


図4. A形コントロールセンタユニット

5. 規制6物質への対応

当社コントロールセンタに使用する機器、構成部品に対して、欧州RoHSで指定されている規制6物質(鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、ポリ臭化ビフェニール(PBB)、ポリ臭化ジフェニルエーテル(PBDE))の廃止を目指しており、順次切り換えが進んでいる。表1に規制6物質の主な使用用途と対策方針を示す。

6. 電子式コントローラの適用によるLCCの低減

6.1 EMC-A形マルチモータコントローラ

A形コントロールセンタに搭載するEMC-A形マルチモータコントローラ(Electronic multiple Motor Controller)を図5に示す。

表1. RoHS指令で指定される規制6物質と対策方針

規制6物質	主な用途	対策方針
鉛	はんだ	鉛フリーはんだの採用
	電子部品はんだめっき	はんだめっきからすずめっきへ変更
	塩ビ被覆電線	被覆中の鉛の廃止
	塗料	塗料中の鉛の廃止
水銀	適用なし	-
カドミウム	接点	カドミウムレス接点の採用
	ヒューズ	カドミウムレスエレメントの採用
六価クロム	板金・ねじなどのクロメート処理	六価クロメート処理から三価クロメート処理へ変更
	めっき鋼板のクロメート処理	ゼロクロメート処理への変更
	塩ビ被覆電線	被覆中の六価クロム廃止
PBB PBDE	適用なし	-

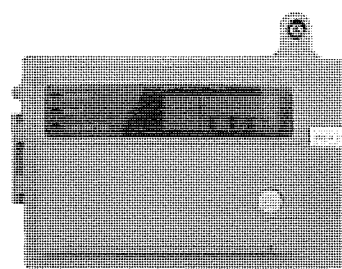


図5. EMC-A形マルチモータコントローラ

6.1.1 EMC-A形マルチモータコントローラの機能

EMC-A形マルチモータコントローラは、特長として以下の機能を備えている。

- モータの制御(正転/逆転/停止)機能
- 主回路電流値/漏電電流値の計測機能
- 主回路の保護機能(過電流/漏電など)
- 計測・保護状態の表示機能
- CDL伝送機能(オプション)
- プログラマブルシーケンス機能

6.1.2 環境負荷低減のメリット

EMC-A形マルチモータコントローラは、従来下記で構成されていた機器を集約し、また、保護設定変更時に必要であったリレーの交換・追加を不要とし、設定変更だけで様々な保護に対応することを可能とした。

- 保護リレー(過電流/漏電/不足電流/過電流瞬時)
- 瞬時停電時の再始動機能を持つためのリレー及びタイマ
- 電流計, 電力計, 積算計
- 運転/停止, 故障/状態表示ランプ
- 操作スイッチ
- 外部出力用の電流変換器(トランスデューサ機能)
- 外部リレー

このようにEMC-A形マルチモータコントローラを適用することで、機器の削減のほか、各種リレー間のユニット内部配線材料の削減が図れるため、下記のように環境負荷を大幅に低減することができる。

- (1) プログラマブルシーケンス機能により個々のケースに対応することで、従来に比べて機器・配線の使用量を大幅に削減でき省資源化が図られる。図6のケースの場合、メータ・トランスデューサ付きである場合を例にとると、300ユニット分の機器と配線が削減できる。
- (2) 内部計測回路を内蔵しているため、別置きCTが不要

となる。図6のケースの場合、CT取付け割合を50%とすると、試算で6,060kW・h/年の省電力となる。

- (3) 電力・電力量監視機能により、省エネルギーを実現できる。

6.1.3. EMC-A形マルチモータコントローラによるLCCの低減

更にEMC-A形マルチモータコントローラを適用することで、次のような効果により製品LCCを低減することができる。

- (1) 微小漏洩(ろうえい)電流計測機能により、定期点検期間の延長を図ることができる。
- (2) 自己診断機能により、EMC-A形マルチモータコントローラの交換時期の把握が適切に行える。

6.2 CDL伝送

6.2.1 CDL伝送の特長

当社独自の伝送システムであるCDL伝送(Control Center Data Link System)は、1984年の発売以来、250社以上にわたる豊富な納入実績があり、表2に示す特長を持っている。

6.2.2 CDL伝送システム構成

図7に、CDL伝送の基本的なシステム構成について示す。

表2. CDL伝送の特長

項目	特長
汎用性	市販のツイストペアケーブル(CPEV, SPEV等)が使用可能。
耐ノイズ性	電流方式採用による信頼性向上。
MELSECシーケンサとの親和性	ラダープログラムによるアプリケーションが作成可能。MELSEC 汎用入出力カードとの混在使用も可能。
長距離伝送	リピータなし: Max 2km (ありの場合, Max 8km)

CPEV: 市内対ポリエチレン絶縁ビニルスケープル
SPEV: 計装用ポリエチレン絶縁ビニルスケープル

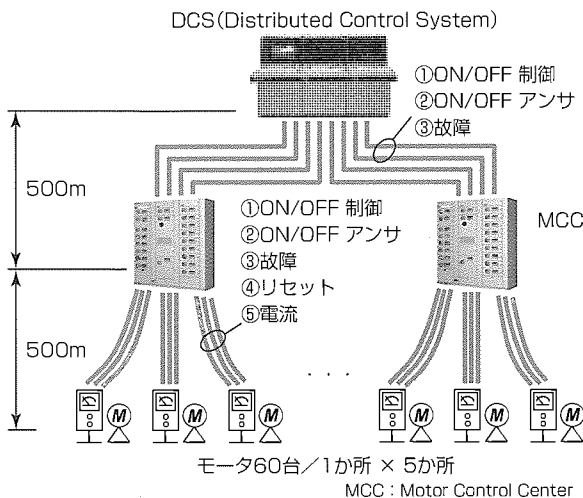


図6. 制御線すべてがI/O配線方式の場合

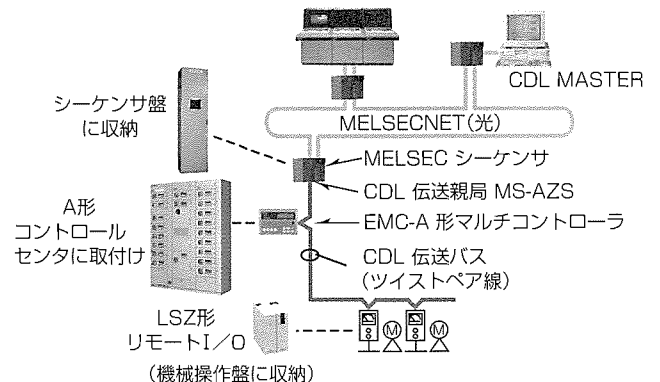


図7. CDL伝送基本システム構成

6.2.3 CDL伝送による環境負荷低減のメリット

図8に示すように、従来のI/O配線方式の場合(図6)、多心ケーブルを多数必要とするのに対し、CDL伝送に切り換えた場合(図9)、ツイストペアケーブル1本(内部信号線4本)で代替可能となる。

表3は、I/O配線方式(図6)とCDL伝送方式(図9)でのケーブル心数と総延長距離を比較したものである。このケースでは、合計でPVC(ポリ塩化ビニル):43.2トン、銅:42.5トンの電線使用量の削減が見込めることになる。

6.2.4 CDL伝送によるLCCの低減

(1) イニシャルコストの低減

単純なケーブル配線長の比較だけでも、表3中の①、②ともに約96%のケーブル使用量の低減が見込め、配線工事期間の短縮と併せ、設備ユーザーの工事費削減が可能である。

(2) ランニングコストの低減

CDL伝送方式を適用することで次の効果が得られる。

(a) 巡視点検

電流、故障状況等、ローカル側の状態を中央で集中監

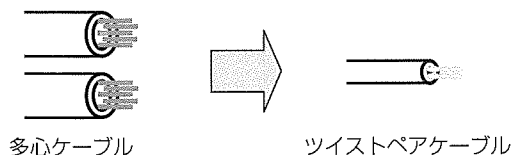


図8. ケーブルの削減

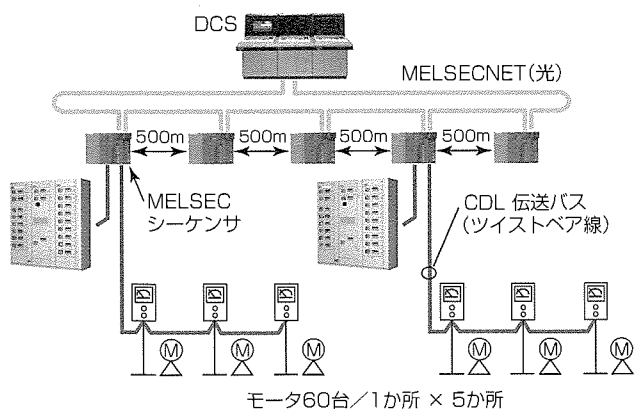


図9. CDL伝送方式を採用した場合

表3. I/O配線方式とCDL伝送方式の比較

	設置場所	方式	ケーブル心数	総延長距離
①	DCS-MCC間	I/O配線	CVV10C-2sq: 1,800心	90km
		CDL伝送	光ケーブル: 1対	3 km
②	MCC-モータ機側操作盤間	I/O配線	CVV10C-2sq: 3,000心	150km
		CDL伝送	CPEV φ1.2sqツイスト: 1対	5 km

CVV: 制御用ビニル絶縁ビニルシースケーブル(ジャケット形)

視することができ、人件費を削減できる。

(b) 保護リレー定期点検

EMC-Aに対し、中央から一括して特性自動点検を実施することで、点検作業の効率を向上できる。

(c) 保守点検

中央からEMC-Aの運転履歴データを管理することで、モータ/コンタクタの交換時期を適切に把握し、保守費用を抑制できる。また、微小漏洩電流を監視することにより、定期点検周期を例えば2年から4年に延長することで、点検費用の削減が図れる。

7. 省エネルギー対応監視制御システム

7.1 エネルギー監視システム(省エネモデル工場構築)

電圧・電流・電力量の常時計測による現状把握、及び工場、生産設備ごとの使用電力量と生産数量から原単位管理を行うことにより生産性を管理する。

当社受配電システム製作所内において、省エネルギー支援機器“MELSAS(三菱受配電総合監視制御システム)”の活用により省エネルギー改善を実施しており、今回、当社製省エネデータ収集サーバ“ECOSERVER”と組み合わせたエネルギー監視システムを構築した。

7.2 エネルギー監視システム概要

(1) 工場ごとの電力データと設備ごとの電力データ(生産数量を含む)を、構内LAN経由でリアルタイムに把握できるようにした。

- 電力トレンド(時, 日, 月)
- 原単位トレンド(1時間, 15分)

(2) MELSAS(受配電データ)とECOSERVER(設備ごとの電力データ)で収集したデータをリンクし、計測機器を削減した。

(ECOSERVERデータ数: 電気量92点, 生産数量25点, MELSASデータ数: 電気量43点)

図10に示すエネルギー監視システム(Energyloss Mini-

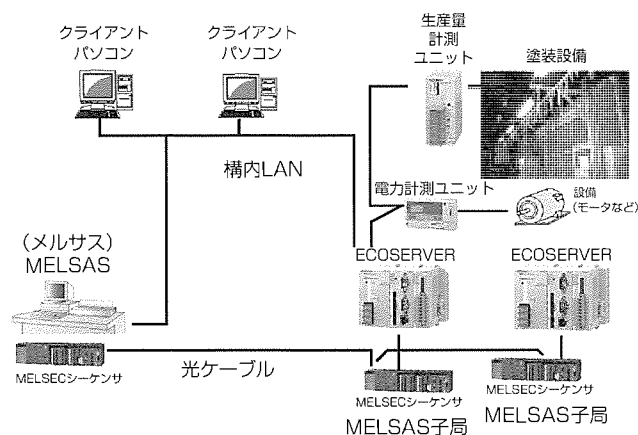


図10. エネルギー監視システム(EM)構成 (MELSASとECOSERVERのリンク)

mum:EM)は、工場省エネルギー管理の最先端モデルであり、工場の省エネルギー推進に活用するとともに、顧客にも紹介し、省エネルギーシステム提案を行っている。

8. む す び

低圧配電システムにおける環境負荷低減及びLCC低減への取り組みと成果について述べた。

今後の製品開発においても環境負荷低減、LCC低減にこたえとともに、低圧配電システムに対する新たな社会ニ

ーズに対応した製品開発を行っていく所存である。

なお、本文中で使用した CDL, MELSEC, MELSEC-NET, MELSAS, ECOSERVERは、三菱電機の登録商標である。

参 考 文 献

- (1) 藤本隆一, ほか: 受配電システムの技術展望, 三菱電機技報, 78, No.12, 768~772 (2004)





特許と新案 * * *

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

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

立体編集装置 特許第3086057号(特開平5-290127)

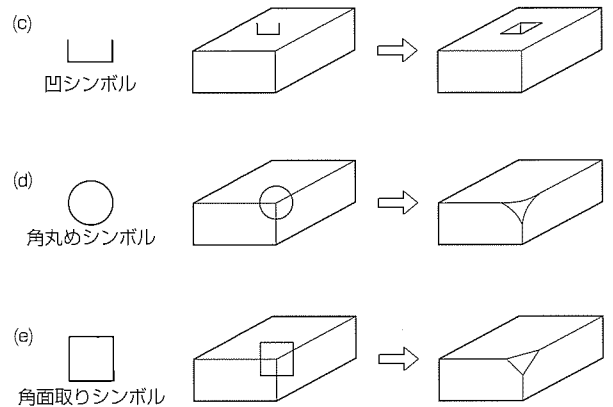
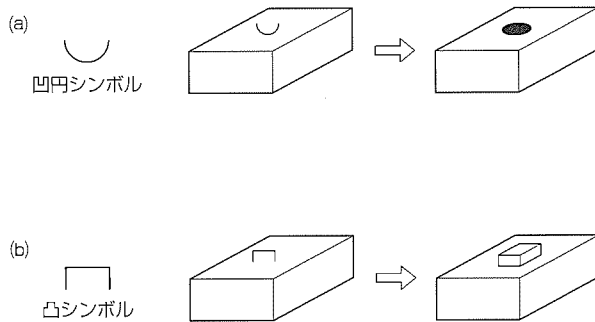
発明者 渡部秀雄

この発明は、三次元CAD等における二次元の表示画面上での立体形状の編集に関するものである。従来、立体形状の編集時には、メニュー選択と変種箇所の指示とを交互に繰り返したり、立体編集の前に編集する部分立体を定義し、この部分立体を回転移動して編集箇所に配置するという前処理をしたりする操作が必要であり、操作が煩雑であった。

この発明は、編集内容を図形によるシンボルで表す図形言語をあらかじめ用意し、この図形言語のシンボルを表示画面上に表示された編集対象立体の図形の所定位置に配置

し、シンボルとその配置位置から得た編集内容と編集対象要素に基づいて編集対象の形状データを編集する装置により、立体編集時の操作を簡略化するものである。

この発明により編集内容と編集箇所の指定を1操作で行うことが可能となるので、従来のメニュー選択操作を減らし、また、編集のための前処理が不要となり、ユーザーの思考を中断することがなくなる効果がある。



チタン酸鉛系誘電体薄膜用CVD原料およびメモリー用キャパシタ 特許第3054118号(特開平10-298762)

発明者 内川英興, 松野 繁, 木ノ内伸一, 渡井久男
題があった。

この発明は、強誘電体メモリーに用いられる、チタン酸鉛系誘電体薄膜を形成するためのCVD(化学気相堆積)原料、及び本原料を用いて製造したメモリー用キャパシタに関するものである。従来、この材料系のCVD成膜には固体のCVD原料が用いられてきたが、加熱による劣化で気化量が変化し、良好な強誘電体薄膜が得られないという問

題があった。この発明は、チタン酸鉛系有機金属化合物をテトラヒドロフランを含む溶媒中に溶解することで、低温で安定した気化が可能な液体CVD原料を得るものである。これにより、良好な特性を持つ強誘電体メモリー用キャパシタの製造が可能となる。



特許と新案** *

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

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

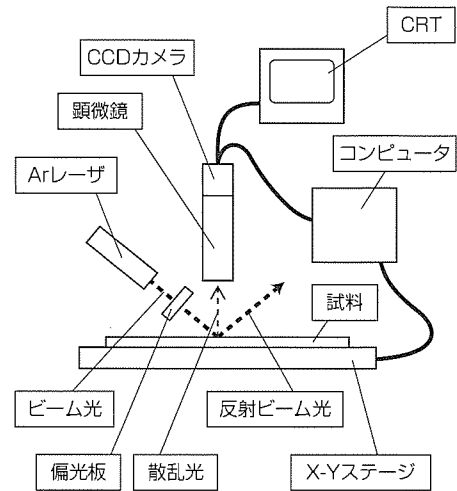
微小異物の検出方法及びその検出装置 特許第3287227号(特開平10-48145)

発明者 藤野直彦, 小林淳二

この発明は、試料表面にビーム光を照射し、微小異物によるビーム光の変化の観察により微小異物の位置を検出する方法及びその検出装置に関するものである。

従来のビーム光を試料表面で走査してその散乱光の観察により微小異物の位置を検出する方法では、高精度での位置検出にはビーム光スポットサイズを小さくする必要があり、その結果、試料全面での検出には長時間を要する問題があった。

この発明では、顕微鏡に接続されたCCDカメラにより、微小異物による散乱光の観察とCCDカメラの視野以下のピッチでの試料の間欠的な移動の組合せにより、短時間に試料表面全面の微小異物の検出ができる。



〈本号記載の商標について〉

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

〈次号予定〉三菱電機技報 Vol.80 No.1 特集「技術の進歩」

三菱電機技報編集委員 委員長 三嶋吉一 委員 小林智里 増田正幸 山木比呂志 佐野康之 長谷川裕 堤清英 浜敬三 村松洋 松本修 木槻純一 逸見和久 光永一正 黒畑幸雄 部谷文伸 事務局 園田克己 本号取りまとめ委員 長谷川裕	三菱電機技報 79巻12号 (無断転載・複製を禁ず) 2005年12月22日 印刷 2005年12月25日 発行 編集人 三嶋吉一 発行人 園田克己 発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&サービス事業部 〒102-0073 東京都千代田区九段北一丁目13番5号 日本地所第一ビル 電話 (03)3288局1847 印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス 株式会社 オーム社 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 電話 (03)3233局0641 定価 1部945円(本体900円) 送料別
URL http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/	三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep_m-giho@ml.hq.melco.co.jp
英文季刊誌「MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE」がご覧いただけます URL http://global.mitsubishielectric.com/company/r_and_d/advance/advance.html	

三菱電機技報 (2005年 第79巻) 総目次

1号 技術の進歩	6号 「最近の低圧遮断器の進歩」	11号 「最新の電磁駆動技術」
2号 「進化する携帯電話」	7号 「パワーエレクトロニクス技術」	12号 「系統変電・受配電システム」
3号 「最新のFA機器, 産業加工機」	「ユビキタスアクセスネットワーク技術」	
4号 「ユビキタス社会を支える ITソリューション」	8号 「利用される宇宙」	
5号 「環境技術-持続可能な 社会へのチャレンジ」	9号 「設備ネットワークと診断技術」 「薄型DLP™プロジェクタ」	
	10号 「昇降機・ビルシステム」	

技術の進歩特集

号	ページ	Advance of Technology
巻頭言・カラートピックス	1 ... 3	Foreword・Colored Topics
1. 研究・開発	1 ... 33	Research & Development
2. 発電・系統変電・産業・公共・交通システム・ 電力情報システム	1 ... 50	Public Utility Systems
3. 昇降機及びビル設備	1 ... 60	Elevator, Escalator & Facilities for Building
4. 宇宙・衛星及び電子応用	1 ... 64	Space Systems and Electronic Systems
5. 通信	1 ... 66	Communication
6. 情報	1 ... 68	Information Systems and Network Service
7. 映像情報	1 ... 76	Visual Information
8. 住環境	1 ... 79	Living Environment
9. FA及び産業メカトロニクス	1 ... 83	Industrial Automation Systems
10. 自動車機器	1 ... 88	Automotive Equipment
11. 半導体・電子デバイス	1 ... 91	Semiconductor & Device
社外技術表彰一覧表・詳細目次	1 ... 96	Technological Commendation List from Outside Corporation・Detailed Table of Contents

特集論文

特集「進化する携帯電話」

号	ページ	The Evolving Mobile Phone
進化する携帯電話特集に寄せて 室田和昭	2 ... 109	The Contribution to the Special Issue on Evolving Mobile Phone Kazuaki Murota
加速する携帯電話の進化—現状と展望— 広瀬健二・高瀬和彦・入野悦郎	2 ... 110	The Evolution of Mobile Phone : Current Status and Prospect Kenji Hirose, Kazuhiko Takase, Etsuro Irino
第三世代携帯電話“FOMA D900 i” 福井伸一・徳田 勉・小島景子・竹本 誠・樺沢昭史	2 ... 115	Third Generation Mobile Phone “FOMA D900 i” Shinichi Fukui, Tsutomu Tokuda, Keiko Kojima, Makoto Takenoto, Akifumi Kabasawa
ベースバンド変復調LSIの低消費電力化技術 山本正幸・石岡和明・武内良祐・川本浩司	2 ... 119	Low Power Technology of Base-band Modem LSI for W-CDMA Mobile Phone Masayuki Yamamoto, Kazuaki Ishioka, Ryosuke Takeuchi, Kohji Kawamoto
携帯電話を支える要素技術 清水浩一・井岡誠二・井上 勉	2 ... 123	New Technologies for Mobile Phone Hirokazu Shimizu, Seiji Ioka, Tsutomu Inoue
携帯電話のデザイン 谷田川智弘・樋口博彦	2 ... 127	Design of a Mobile Phone Tomohiro Yatagawa, Hirohiko Higuchi
携帯電話の入力インタフェース技術 石井 純・川又武典	2 ... 131	Input Interface Technology for Mobile Phone Jun Ishii, Takenori Kawamata
モバイルミドルウェア技術 清原良三・高橋克英・三井 聡・橋高大造・木野茂徳	2 ... 135	Mobile Middleware Technologies Ryozo Kiyohara, Katsuhide Takahashi, Satoshi Mii, Taizo Kittaka, Shigenori Kino
携帯電話の画像処理技術 杉山和宏・幡野喜子・安藤重男・杉浦博明	2 ... 139	Image Processing Technology for Mobile Phones Kazuhiro Sugiyama, Yoshiko Hatano, Shigeo Ando, Hiroaki Sugiyama
携帯電話のモバイルカメラ技術 道盛厚司・久野徹也・的場成浩・小守教之	2 ... 144	Camera Technology for Mobile Phones Atsushi Michimori, Tetsuya Kuno, Narihiro Matoba, Noriyuki Komori
携帯電話の画像活用技術 木村智広・山田悦久・松田幸成・浅井光太郎	2 ... 148	Technologies for Image Applications on Mobile Phone Tomohiro Kimura, Yoshihisa Yamada, Yukinari Matsuda, Koharo Asai
セキュリティ技術 (携帯個人認証, 携帯情報保護) 米田 健	2 ... 152	Information Security Technologies for Mobile Phones (User Authentication and Information Protection for Mobile Phones) Takeshi Yoneda

携帯電話の生体認証技術 2 ...156
橋本 学・田中昭二・笹川耕一・Jay Thornton

ブロードバンド化に向けた無線伝送技術 2 ...160
石津文雄・渋谷昭宏・中村隆彦

携帯電話標準の国際的高度化動向 2 ...164
佐藤一美・牧平経市・千葉喜代一

特集「最新のFA機器，産業加工機」

最新のFA機器，産業加工機について 3 ...171
杉山 彰

サーボ技術の将来展望 3 ...172
大西公平

新サーボネットワーク“SSCNETⅢ”対応
モーションコントローラ&ポジションボード 3 ...177
高久秀昭・牛尾裕介

新ACサーボアンプ“MR-J3シリーズ” 3 ...181
宮崎友宏・尾崎正則・寺田 啓・池田英俊

小型・高性能サーボモータ“HFシリーズ” 3 ...185
宮崎高志・菊池友弘・山口信一・木村康樹

次世代省エネインバータ“FREQROL-F700シリーズ” 3 ...189
白石康裕・池田克司・田村静里・金原義彦

“MELSEC-Qシリーズ”二重化システム 3 ...193
西雪 弘・那須威裕・塩谷圭介・板場雄介・山中孝彦

プログラマブル表示器“GOT1000シリーズ” 3 ...197
水澤賢剛・近藤剛義

放電・レーザ加工の技術動向と将来展望 3 ...202
小林和彦

新型ワイヤ放電加工機“FA-Sシリーズ” 3 ...207
木場亮吾・安達章人

超高精度ワイヤ放電加工機“PA05S” 3 ...211
石原秀一郎・林 英明・佐藤清侍

新型形彫放電加工機“EA12V” 3 ...215
塩谷利弘・榊田 中・加藤木英隆

ワイヤ放電加工機用小型多関節ロボットシステム 3 ...220
杉山和永・河合泰弘・加藤達也

コンパクト・高出力LD励起固体レーザ発振器“ML45LS” 3 ...224
藤川周一・渡辺俊昭・久場一樹

新型プリント基板穴あけ用レーザ加工機
“ML605GTW-5150U” 3 ...229
成瀬正史・菅原雅之・井嶋健一

特集「ユビキタス社会を支えるITソリューション」

ユビキタス社会を支えるITソリューション特集に寄せて 4 ...235
水野忠則

インフォメーションシステム事業のねらいと展望 4 ...236
下間芳樹・風間成介

お客様との共創を目指したエンタープライズアーキ
テクチャ(EA)に基づくソリューションサービス 4 ...241
松岡恭正・村田幸久・藤原良一・野村 徹・上野浩一郎

ERPビジネスプロセスエンジニアリングと
ワンストップソリューション 4 ...247
戒田 充・青野英樹・篠崎 衛

簡単・便利な電子タグを利用した各種応用ソリューション 4 ...251
福土豊世・高畑泰志・重野俊浩・上月敏信・清元俊晴

介護事業の経営効率化を支援する
介護サービス支援システム 4 ...255
富田佳司・杵淵義昭・中島克己

Biometrics Identification Technology for Mobile Phone
Manabu Hashimoto, Shoji Tanaka, Kouichi Sasakawa, Jay Thornton

Broadband Wireless Transmission Technologies
Fumio Ishida, Akihiro Shibuya, Takahiko Nakamura

Trend toward Enhancement of International Mobile Telecommunications Standardization
Kazuyoshi Sato, Tsuneichi Makihira, Kiyokazu Chiba

Latest Technologies of Factory Automation (FA) Devices and Mechatronics

Latest Technologies of Factory Automation (FA) Devices and Mechatronics
Akira Sugiyama

Future Prospects of Servo Technology
Kouhei Ohnishi

Motion Controller & Position Board for New Servo Network “SSCNETⅢ”
Hideaki Takaku, Yusuke Ushio

New AC Servo Amplifier “MR-J3 Series”
Tomohiro Miyazaki, Masanori Ozaki, Kei Terada, Hidetoshi Ikeda

Small-Size and High-Efficiency Servo Motor “HF Series”
Takashi Miyazaki, Tomohiro Kikuchi, Shinichi Yamaguchi, Yasuki Kimura

Next Generation Energy Saving Inverter “FREQROL-F700 Series”
Yasuhiro Shiraiishi, Katsushi Ikeda, Shizuri Tamura, Yoshihiko Kinpara

“MELSEC-Q Series” Redundant System
Hiroshi Nishiyuki, Takehiro Nasu, Keisuke Shiotani, Yusuke Itaba, Takahiko Yamanaka

Programmable Graphic Operation Terminal “GOT1000 Series”
Kengo Mizusawa, Takeyoshi Kondo

The Technology Trends of Electrical Discharge and Laser Beam Machining, and those Future Views
Kazuhiko Kobayashi

New-design Wire EDM “FA-S Series”
Ryogo Koba, Akihito Adachi

Ultra-high Accuracy Wire EDM “PA05S”
Shuichiro Ishihara, Hideaki Hayashi, Seiji Sato

New-design Die Sinking EDM “EA12V”
Toshihiro Enya, Naka Sakakida, Hidetaka Katongi

Introduction of Wire EDM Compact Robot Automation System
Kazuhisa Sugiyama, Yasuhiro Kawai, Tatsuya Katou

Compact High-Power Diode-Pumped Solid-State Laser “ML45LS”
Shuichi Fujikawa, Toshiaki Watanabe, Kazuki Kuba

New Laser Processing Machine for PCB Drilling “ML605GTW-5150U”
Masashi Naruse, Masayuki Sugawara, Kenichi Iijima

Solutions for the IT-Oriented Ubiquitous Society

Foreword to Special Issue on Solutions for the IT-Oriented Ubiquitous Society
Tadanori Mizuno

Scope and Vision of Mitsubishi Electric Group's Information Systems and Network Service
Yoshiki Shimotsuna, Shigeyuki Kazama

Customer Oriented Co-Creative Solution Service Based on Enterprise Architecture (EA)
Yasumasa Matsuoka, Yukihisa Murata, Ryouichi Fujiwara, Toru Nomura, Koichiro Ueno

Business Process Engineering and One-stop Solution for Enterprise Resource Planning (ERP)
Makoto Kaida, Hideki Aono, Mamoru Shinozaki

IT Solutions Using Convenient RFID Tags
Hosei Fukushi, Yasushi Takahata, Toshihiro Shigeno, Toshinobu Kouzuki, Toshiharu Kiyomoto

Long-Term Care Insurance Service Support System
Keiji Tomita, Yoshiaki Kinofuchi, Katsumi Nakajima

お客様の声を素早く・簡単に理解できる テキストマイニングソリューション 4 ...259 永沼和智・磯西徹明・相川勇之	
データ経営を効率的に実現する データセントリックソリューション 4 ...263 石川雅朗・山永康昌	
安全・快適な車社会を目指したVRMソリューション... 4 ...267 福地陽一・朱雀 健・原田忠尚・平井規郎・河野 篤	
安心ネットワーク環境を実現する マネジドセキュアネットワークソリューション ... 4 ...271 虎渡昌史・田中 朗・相浦利治	
いつでも、どこでも簡単・安心に利用できる モバイルネットワークサービスソリューション ... 4 ...275 工藤和仁・手束裕司・榎場純一・平川佳史	
個人情報保護法、e文書法にも対応可能な トータルセキュリティソリューション 4 ...279 青木隆之・佐伯正夫・長浜隆次・近藤誠一	
導入が簡単で安心な中堅企業向け 情報漏洩防止ソリューション 4 ...285 森口隆史・中村 稔・岡本 忍	
システム品質の向上、TCO削減を実現する ITサービスマネジメントソリューション 4 ...289 橋本 孝・田嶋隆二・中館穂積・森山令子・平井規郎	
EDIをベースとした電子情報交換・保存サービス ソリューション 4 ...293 吉田 稔・村木克己・角野章之・中村克己	

特集「環境技術—持続可能な社会へのチャレンジ」

環境適合型経営 5 ...299 松村恒男	
“持続可能な社会”へのチャレンジ 5 ...300 吉田敬史	
グリーン調達取り組み 5 ...305 池邨善満・河嶋康夫・深沢茂樹	
簡易DFDツール 5 ...309 藤崎克己・高橋徹也・坪井伸之	
ルームエアコンの環境適合型設計の事例紹介 5 ...313 田邊義浩	
プラスチックの自己循環リサイクル技術 5 ...317 高木 司・岩田修一・井関康人・松尾雄一・長谷部雄一	
持続可能な社会の実現を目指した指標 “ファクターX”の評価手法とその適用事例 5 ...321 高橋徹也・上野 潔・杉山陽一	
LCAによるパワーモジュールの環境負荷評価 5 ...325 廣瀬悦子・山田直志・福永匡則・吉田貴信	
ポキポキモータによる省エネルギー・省資源 5 ...329 秋田裕之	
リアルタイム計測・管理システム活用事例 —エネルギーロス見える化・解る化— 5 ...333 鶴岡達生・柴田輝幸・小野三喜男	
鉛フリーはんだ付への取り組み 5 ...337 村上光平・山口展弘・出田吾朗・村井淳一・東野義喜	
“エコ・ロジス”活動の推進 5 ...341 飯島康司	
環境適合包装技術 5 ...345 前沢英一	
環境とIT 5 ...349 東 辰輔・平岡精一・時盛孝一・高田雄二	

DIAMining : Text Mining Solution for Customer Relationship Management

Kazutomo Naganuma, Tetsuaki Isonishi, Takeyuki Aikawa

Data-centric Solution for Management Support through Effective Data Use

Masaaki Ishikawa, Yasumasa Yamanaga

VRM Solution for a Safe and Comfortable Automobile Society

Yoichi Fukuchi, Ken Sujaku, Tadahisa Harada, Norio Hirai, Atsushi Kohno

Managed Secure Network Solution for Reliable Networks

Masashi Torato, Akira Tanaka, Toshiharu Aiura

MIND Remote Access Services Solution : Easy and Safe Access Anytime, Anywhere

Kazuhito Kudo, Yuji Tetsuka, Junichi Haseba, Yoshifumi Hirakawa

Total Security Solution

Takayuki Aoki, Masao Saeki, Ryouji Nagahama, Seiichi Kondou

Solution for Information Leak Protection of Small – and Medium – sized Enterprises

Takashi Moriguchi, Minoru Nakamura, Shinobu Okamoto

IT Service Management Solution for Improvements in System Quality and TCO Reduction

Takashi Hashimoto, Ryouji Tajima, Hozumi Nakadate, Ryoko Moriyama, Norio Hirai

EDI Service Solution with Electronic Document Interchange and Preservation

Minoru Yoshida, Katsumi Muraki, Akiyuki Sumino, Katsumi Nakamura

Environmental Technology –Challenges toward a Sustainable Society

Environmental Conscious Management

Tsuneo Matsumura

Challenges toward a Sustainable Society

Takashi Yoshida

The Activity of Green Procurement

Yoshimitsu Ikemura, Yasuo Kawashima, Shigeki Fukasawa

Simple DFD Tool

Katsumi Fujisaki, Tetsuya Takahashi, Nobuyuki Tsuboi

A Case Study of Room Air Conditioner, DFD (Design for Disassembly)

Yoshihiro Tanabe

Material Recycling Technologies for Closed-Loop Recycle System of Plastics

Tsukasa Takagi, Syuichi Iwata, Yasuto Iseki, Yuichi Matsuo, Yuichi Hasebe

Evaluation Method and Case Study for “Factor X”

*— an Unique Indicator Aiming at Realizing the Sustainable Society
Tetsuya Takahashi, Kiyoshi Ueno, Yoichi Sugiyama*

Environmental Assessment of Power Modules Based on LCA

Etsuko Hirose, Naoshi Yamada, Masanori Fukunaga, Takanobu Yoshida

Energy and Resource Saving by Poki-Poki Motor

Hiroyuki Akita

Application of Real-Time Measurement and Management System

*—Visualization and Grasping of Energy Loss—
Tatsuo Tsuruoka, Teruyuki Shibata, Mikio Ono*

Production Innovation for Pb-Free Soldering

Kohei Murakami, Nobuhiro Yamaguchi, Goro Izuta, Junichi Murai, Yoshiki Higashino

“Economy & Ecology Logistics” Activity Promotion

Yasuji Iijima

Environmental Conscious Package Design

Eiichi Maezawa

Environment and Information Technology

Shinsuke Azuma, Seiichi Hiraoka, Koichi Tokimori, Yuuji Takata

下水汚泥からのエネルギー・りん同時回収システム … 5 …353 神谷俊行・古川誠司・廣辻淳二	5 …353
低濃度VOC処理技術 …………… 5 …357 葛本昌樹・太田幸治・廣辻淳二・中谷 元	5 …357
RoHS指令対応短時間分析技術——滴抽出法による臭素系難燃剤、六価クロムの分析—— …………… 5 …361 黒川博志・中 慈朗・平野則子	5 …361
三菱電機のエネルギーソリューションビジネス展開 … 5 …365 太田完治・森 健志・瀬川剛志・古田克哉	5 …365
特集「最近の低圧遮断器の進歩」	
低圧遮断器特集号に寄せて …………… 6 …371 杉山 彰	6 …371
低圧遮断器の現状と将来動向 …………… 6 …372 弥富 剛・矢木澤 守・小山健一	6 …372
新形低圧気中遮断器“AE-SWシリーズ” …………… 6 …377 岡下広史・福谷和則	6 …377
新形低圧気中遮断器“AE-SWシリーズ”の短時間通電性能向上 …………… 6 …381 牧田 陽・竹内敏恵・福谷和則・岡下広史	6 …381
新形低圧気中遮断器“AE-SWシリーズ”用アドオン方式引きはずしリレー …………… 6 …385 広常弘二・野村敏光・黒崎剛史	6 …385
新形低圧気中遮断器“AE-SWシリーズ”用ASIC …………… 6 …389 野村敏光・西村貢一	6 …389
UL489対応小形ノーヒューズ遮断器“SRU/HRUシリーズ” … 6 …393 谷辺俊幸・高橋 進	6 …393
UL489対応小形ノーヒューズ遮断器“SRU/HRUシリーズ”の遮断性能向上 …………… 6 …397 三橋孝夫・澤田 敦・伏見征浩	6 …397
IEC60947-2 Type A(半波整流漏電)対応漏電検出ASIC … 6 …401 土本雄二・杉本康浩	6 …401
UL489対応ノーヒューズ遮断器“NF50-SMUシリーズ” … 6 …405 石田 伸・山中 尚・芦刈康宏	6 …405
UL489対応ノーヒューズ遮断器“NF50-SMUシリーズ”の遮断技術 …………… 6 …409 三橋孝夫・池田龍典	6 …409
MDUブレーカ用計測ユニット …………… 6 …413 山崎晴彦・原本賢一・森 貢	6 …413
低圧遮断器のRoHS対応 …………… 6 …417 細貝節夫・伊藤仁志	6 …417
特集 I「パワーエレクトロニクス技術」	
パワーエレクトロニクス技術の発展に思う …………… 7 …429 赤木泰文	7 …429
パワーエレクトロニクス技術の現状と展望 …………… 7 …430 小山正人	7 …430
モータ制御における高精度モデル化技術 …………… 7 …435 木全政弘・米谷晴之	7 …435
階調制御型インバータとその応用 …………… 7 …439 岩田明彦・山田正樹・森 修・畠山善博・石井康裕	7 …439
電力変換回路からの電磁ノイズ発生メカニズムと抑制技術 …………… 7 …443 西沢昭則・東 聖・田邊信二	7 …443
パワーモジュールの信頼性評価・接合技術 …………… 7 …447 松永俊宏・上貝康己・吉原邦裕・須藤進吾	7 …447
SiCデバイスとその応用技術 …………… 7 …451 木ノ内伸一・中武 浩・今泉昌之	7 …451

Simultaneous Recovery of Energy & Phosphorus from Sewage Sludge
Toshiyuki Kamiya, Seiji Furukawa, Junji Hirotsuji

Abatement Technology for Low Concentration Volatile Organic Compounds
Masaki Kuzumoto, Koji Ohta, Junji Hirotsuji, Hajime Nakatani

Rapid Analytical Method for RoHS Directive Analysis of Brominated Flame Retardants and Hexavalent Chromium by One Droplet Extraction Method
Hiroshi Kurokawa, Ziroo Naka, Noriko Hirano

Development of Solution Business for Energy of Mitsubishi Electric Corporation
Kanji Ota, Takeshi Mori, Takeshi Egawa, Katsuya Furuta

Recent Progress of Low Voltage Circuit Breakers

To Feature Title About Low Voltage Circuit Breakers
Akira Sugiyama

Current Status and Future Trend of Low-Voltage Circuit Breakers
Takeshi Yatomi, Mamoru Yagisawa, Kenichi Koyama

Low Voltage Air Circuit Breakers “AE-SW Series”
Hiroshi Okashita, Kazumori Fukuya

An Optimum Design of Short-Circuit Electromagnetic Forces of Multi-Finger Systems in Low Voltage Air Circuit Breakers
Yo Makita, Toshie Takeuchi, Kazumori Fukuya, Hiroshi Okashita

Electronic Trip Relay for Low Voltage Air Circuit Breakers “AE-SW Series”
Koji Hirotsune, Toshimitsu Nomura, Takeshi Kurosaki

ASIC for Low Voltage Air Circuit Breakers “AE-SW Series”
Toshimitsu Nomura, Kouichi Nishimura

UL489 Listed Molded Case Circuit Breakers “SRU/HRU Series”
Toshiyuki Tamibe, Susumu Takahashi

Improvement in Breaking Performance of UL489 Listed Molded Case Circuit Breakers of “SRU/HRU Series”
Takao Mitsuhashi, Atsushi Sawada, Masahiro Fushimi

ASIC for Residual Current Detection of Type A
Yuji Tsuchimoto, Yasuhiro Sugimoto

UL489 Listed Molded Case Circuit Breakers “NF50-SMU Series”
Shin Ishida, Hisashi Yamanaka, Yasuhiro Ashikari

Breaking Technique for UL489 Listed Molded Case Circuit Breakers of “NF50-SMU Series”
Takao Mitsuhashi, Tatsumori Ikeda

Measuring Units for MDU Breakers
Haruhiko Yamazaki, Kenichi Haramoto, Mitsuji Mori

Responding to the RoHS Directive and Technology for Low Voltage Circuit Breakers
Setsuo Hosogai, Hitoshi Ito

Power Electronics Technology

A Thought of Developments in Power Electronics Technology
Hirofumi Akagi

Present State and Prospect of Power Electronics Technology
Masato Koyama

High-Precision Modeling Technique on Motor Control
Masahiro Kimata, Haruyuki Kometani

Gradationally Controlled Voltage Inverter and Its Applications
Akihiko Iwata, Masaki Yamada, Osamu Mori, Yoshihiro Hatakeyama, Yasuhiro Ishii

Electromagnetic Noises from Power Devices and Filter Design
Akinori Nishizawa, Satoshi Azuma, Shinji Tanabe

Evaluation of Fatigue Life Reliability and New Lead Bonding Technology for Power Modules
Toshihiro Matsunaga, Yasumi Uegai, Kunitiro Yoshihara, Shingo Sudo

SiC Devices and Their Application Technologies
Shin-ichi Kinouchi, Hiroshi Nakatake, Masayuki Imaizumi

空調・家電機器におけるパワーエレクトロニクス技術 … 7 … 455
川久保 守・矢部正明

特集Ⅱ「ユビキタスアクセスネットワーク技術」

ユビキタスアクセスネットワーク技術小特集に寄せて … 7 … 459
肥塚裕至

ユビキタスサービスに向けた
アクセスネットワークの構築について … 7 … 460
菊地克昭・安土哲次郎・横谷哲也

ギガビットイーサネットPON技術 … 7 … 465
山中秀昭・村上 謙・中川潤一・酒井謙行・山中重雄

メトロアクセス技術 … 7 … 469
八田竜夫・河村敦志・松本啓資・斎藤 健

大容量無線アクセス技術 … 7 … 473
城倉義彦・久保博嗣・永井幸政・東中雅嗣・平 明德・須賀寛祥

IPモビリティ技術 … 7 … 477
矢野雅嗣・伊藤一彦・鈴木由美子・堀 貴彦

ホームネットワーク技術 … 7 … 481
赤津慎二・松原雅美・加藤嘉明・松尾英治・小坂英明

ワイヤレスセンサネットワーク技術 … 7 … 485
平岡精一・三部 健・斎藤 隆

ユビキタスセキュリティ技術 … 7 … 489
松井 充・反町 亨・佐伯 稔・山田敬喜・時田俊雄

携帯電話アンテナ技術 … 7 … 493
深沢 徹・田中徹哉

特集「利用される宇宙」

利用される宇宙 … 8 … 499
岡崎健也

利用される宇宙産業化構想 … 8 … 500
永島敬一郎

位置情報ソリューションサービス“LBS” … 8 … 505
浜津享助・澤本 潤・岩橋 努

高精度GPS測位サービス“PAS” … 8 … 509
平野 剛・臼井澄夫・島 光秀

位置時間証明情報提供サービス“COCO-DATES” … 8 … 513
富樫昌孝・大野次彦・宮崎一哉・青柳秀典・小山幸春

静止衛星用標準バス“DS2000”のシステム技術 … 8 … 517
水溜仁士・野村高嗣

温室効果ガス観測技術衛星“GOSAT” … 8 … 521
長谷川 光・宮崎洋彰・駒形文博・岡田賢二・石津忠明

宇宙ステーション補給機“HTV” … 8 … 525
津屋直紀・名取直幸

超高速インターネット衛星“WINDS”搭載
Ka帯アクティブフェーズドアレーアンテナ(APAA) … 8 … 529
北尾史郎・針生健一・白松邦昭

衛星搭載用機器 … 8 … 533
森田直哉・石原 隆・郷内敏夫・大塚正人

注入ドーピングによるGaNトランジスタの高性能化 … 8 … 537
大石敏之・吹田宗義・南條拓真・阿部雄次

フォーメーションフライト … 8 … 541
吉河章二・小山 浩

小型衛星への取り組み … 8 … 545
小山 浩・武田宗久・吉河章二・尾崎毅志・宮崎守泰

分散型宇宙太陽光発電システム“Solar Bird” … 8 … 550
苗村康次・水野友宏・三神 泉・松岡知江・大塚昌孝

東京電力(株)向け新衛星通信システム … 8 … 554
石井克幸・白井 忠・石川佳史・菅林 剛・高田淳一

Technologies of Power Electronics for the Air Conditioner and Household Electric Appliances
Mamoru Kawakubo, Masaaki Yabe

Ubiquitous Access Networking Technology

On Ubiquitous Access Network Technologies
Hiroshi Koezuka

Next Generation Access Network toward Ubiquitous Services
Katsuki Kikuchi, Tetsujiro Yasushi, Tetsuya Yokotani

Gigabit Ethernet PON Technology
Hideaki Yamanaka, Ken Murakami, Junichi Nakagawa, Kaneyuki Sakai, Sigeo Yamanaka

Metro-Access Technology
Tatsuo Hata, Atsushi Kawamura, Keisuke Matsumoto, Takeshi Saitoh

Broadband Wireless Access Technologies
Yoshihiko Shirokura, Hiroshi Kubo, Yukimasa Nagai, Masatsugu Higashinaka, Akinori Taira, Hiroyoshi Suga

IP Mobility Technologies
Masatsugu Yano, Kazuhiko Itoh, Yumiko Suzuki, Takahiko Hori

Home Network Technologies
Shinji Akatsu, Masami Matsubara, Yoshiaki Kato, Eiji Matsuo, Hideaki Kosaka

Wireless Sensor Network
Seiichi Hiraoka, Ken Sanbu, Takashi Saito

Security Technology for Ubiquitous Network
Mitsuru Matsui, Tohru Sorimachi, Minoru Saeki, Keiki Yamada, Toshio Tokita

Antenna Technology for Portable Telephone
Toru Fukasawa, Tetsuya Tanaka

Space Solutions—Safe and Wealthy Society Solved by Space Utilization—

Space Solutions—Safe and Wealthy Society Solved by Space Utilization—
Kenya Okazaki

Space Industrialization Plan for Business Applications
Keiichi Eishima

Location Based Solution Services “LBS”
Kiyosuke Hamazu, Jun Sawamoto, Tsutomu Iwahashi

High-accuracy GPS Augmentation Service “PAS”
Takeshi Hirano, Sumio Usui, Mitsuhide Shima

Correct Coordinate and Date Stamp Service
Masataka Togashi, Tsuguhiko Ono, Kazuya Miyazaki, Hidenori Aoyagi, Yukiharu Koyama

Features of the DS2000 Bus System for Geosynchronous Satellite
Hitoshi Mizutamari, Takatsugu Nomura

Greenhouse Gases Observing Satellite “GOSAT”
Hikaru Hasegawa, Hiroaki Miyazaki, Fumihiko Komagata, Kenji Okada, Tadaaki Ishizu

H-II Transfer Vehicle “HTV”
Naoki Tsuya, Naoyuki Natori

Ka-band Active Phased Array Antenna (APAA) for Wideband InterNetworking engineering
test and Demonstration Satellite “WINDS”
Shiro Kitao, Kenichi Harui, Kuniaki Shiramatsu

Satellite Onboard Equipment
Naoya Morita, Takashi Ishihara, Toshio Gonai, Masato Otsuka

High Performance GaN Transistors with Ion Implantation Doping
Toshiyuki Oishi, Muneyoshi Suita, Takuma Nanjo, Yuji Abe

Formation Flight
Shoji Yoshikawa, Hiroshi Koyama

MELCO Activities for Futuer Small Satellites
Hiroshi Koyama, Munehisa Takeda, Shoji Yoshikawa, Tsuyoshi Ozaki, Moriyasu Miyazaki

Formation Type Space Solar Power Station —Solar Bird—
Koji Namura, Tomohiro Mizuno, Izumi Mikami, Tomoe Matsuoka, Masataka Ohtsuka

New Satellite Communication System for TEPCO
Katsuyuki Ishii, Tadashi Shirai, Yoshifumi Ishikawa, Tsuyoshi Sugabayashi, Jyunichi Takada

衛星開発における品質信頼性向上活動	8	559
稲川美之		
特集 I 「設備ネットワークと診断技術」		
コンテンツサービスメカトロ製品の創出	9	565
佐藤知正		
設備ネットワークと診断技術	9	566
杉本達彦・馬場文明		
冷熱システムにおける現状と展望	9	571
服部真司・田村和也		
照明制御システムにおけるネットワーク・ 診断技術の現状と展望	9	574
岩坪幸喜・久代紀之		
エネルギー管理システムの現状と展望	9	577
金川仁士		
ビル管理・保守システムにおける現状と展望	9	580
辻 弘之・田島広泰・久代紀之		
省配線設備ネットワーク構想	9	583
中田成憲・樋熊利康・樋原直之		
遠隔診断のためのインフラ技術	9	587
鈴木繁樹・向井卓也		
冷熱機器異常診断技術	9	591
山下浩司		
特集 II 「薄型DLP™プロジェクト」		
薄型DLPプロジェクト特集に寄せて	9	595
西田信夫		
リアプロジェクションディスプレイの動向と 薄型リアプロジェクタの展望	9	596
寺本浩平・中島義充		
業務用薄型DLPリアプロジェクタの光学システム	9	601
鹿間信介・鈴木浩志・遠藤貴雄・宮田彰久・寺本浩平		
薄型DLPマルチ画面の位置合わせ技術	9	607
芦崎能広・原田雅之		
薄型リアプロジェクタの高剛性構造設計	9	610
田中直也・松川公映・中津公秀・寺本浩平		
薄型DLPプロジェクト“LVP-60XT20”の市場展開	9	613
鳴海 真・岩永敏弥		
薄型DLPマルチ用システムソリューション	9	616
田中 敦		
直接投写方式薄型DLP光学エンジン技術と 民生用PTVへの新デザイン展開	9	619
笹川智広・中村泰久		
特集「昇降機・ビルシステム」		
昇降機・ビルシステム特集に寄せて	10	627
横田憲一		
三菱標準形エレベーター“AXIEZ(アクシーズ)”	10	628
吉川正巳		
三菱標準形エレベーター“AXIEZ(アクシーズ)” のデザイン	10	633
朝倉幸司・城戸恵美子・松田和子		
可変速エレベーターシステム及び電子化安全装置	10	637
飯屋佳孝・地田章博・釘谷琢夫・岡本健一・酒井雅也		
三菱標準形エレベーター“AXIEZ(アクシーズ)”の ドアの安全	10	641
額綱雅彦・増田壽雄・鹿井正博		

Reliability & Quality Improvement Activity for the Satellite Development <i>Yoshiyuki Inagawa</i>
The Network and Diagnostic Technologies for Facility Management Systems <i>Tomomasa Sato</i>
Creation of Contents Service Mechatronics Products <i>Tomomasa Sato</i>
Building Facility Management Network and Diagnosis Technology <i>Tatsuhiko Sugimoto, Fumiaki Baba</i>
The Present Situation and View of Air-Conditioning System <i>Sinji Hattori, Kazuya Tamura</i>
Network and Diagnostic Technologies in Lighting Control System <i>Kouki Iwatsubo, Noriyuki Kushiro</i>
Current Status and Future Prospect of Energy Management System <i>Htoshi Kanagawa</i>
Current Status and Future Prospect of Building Management and Maintenance System <i>Hiroyuki Tsuji, Hiroyasu Tabata, Noriyuki Kushiro</i>
Building and Home Network with No-Communication Lines and No-Installation Engineering <i>Masanori Nakata, Toshiyasu Higuma, Naoyuki Hihara</i>
Infrastructure Technologies for Remote Diagnosis <i>Shigeki Suzuki, Takuya Mukai</i>
Abnormality Diagnosis Technology of Refrigeration Machine <i>Koji Yamashita</i>
Ultra-Thin DLP™ Rear Projector <i>Nobuo Nishida</i>
Foreword to Special Issue on Ultra-Thin Rear Projector <i>Nobuo Nishida</i>
Trend of Rear Projection Display and Prospect of Ultra-Thin Rear Projector <i>Kohei Teramoto, Yoshimitsu Nakajima</i>
Optical System of Ultra-Thin DLP Rear Projector for Business Use <i>Shinsuke Shikama, Hiroshi Suzuki, Takao Endo, Akihisa Miyata, Kohei Teramoto</i>
Geometry Alignment for Ultra-Thin DLP Multi-Projector <i>Yoshihiro Ashizaki, Masayuki Harada</i>
Rigid Structure Design of Cabinet for Ultra-Thin Rear Projector <i>Naoya Tanaka, Koei Matsukawa, Kimihide Nakatsu, Kouhei Teramoto</i>
Market Development Situation of Ultra-Thin DLP Rear Projector “LVP-60XT20” <i>Makoto Narumi, Toshiya Iwanaga</i>
System Solutions for Ultra-Thin DLP Multi-Projector <i>Atsushi Tanaka</i>
Direct-Projection Type Ultra-Thin DLP Optical Engine and Evolution of New PTV Design <i>Tomohiro Sasagawa, Yasuhisa Nakamura</i>
Elevator, Escalator & Building System <i>Kenichi Yokota</i>
Invitation for Mitsubishi Elevator, Escalator & Building System <i>Kenichi Yokota</i>
Mitsubishi Standard Elevator “AXIEZ” <i>Masami Yoshikawa</i>
Industrial Design of Mitsubishi Standard Elevator “AXIEZ” <i>Koji Asakura, Emiko Kido, Kazuko Matsuda</i>
Elevator System with Variable Traveling Speed and Programable Electric Safety Device <i>Yoshitaka Kariya, Akihiro Chida, Takuo Kugiyu, Kenichi Okamoto, Masaya Sakai</i>
Safety of Doors for “AXIEZ” Mitsubishi Standard Elevators <i>Masahiko Kouketsu, Toshio Masuda, Masahiro Shikai</i>

エレコールシステム	10	645
山下桜子・濱地浩秋・小浦邦和・森 光正・塩崎秀樹		
アクティブローラガイド	10	649
宇都宮健児・岡本健一・佐久間洋一・妻木宣明		
エレベーター非常時応答シミュレータ	10	653
渡辺誠治・林 美克・瀧川行洋		
海外標準形縮小機械室エレベーター“NexWay-S”	10	657
久保田猛彦・西田隆雄・光井 厚・松田和子		
三菱エレベーターリニューアル海外向け“ELEMOTION”	10	661
福田正博・奥田清治・奈良貞 浩・金原義彦・小林貴彦		
エスカレーターにおけるバリアフリー化技術の動向	10	665
治田康雅		
最近の昇降機設備の施工例	10	670
野嶋和彦・藤田 薫		
指透過認証装置	10	674
藤原秀人・中村高宏・前田卓志・佐野恵美子・鹿井正博・石田晃三		
三菱統合ビルセキュリティシステム “MELSAFETY-S30”機能拡充	10	678
中村篤俊・栗山美樹		
入退室管理システムの動向	10	682
塩原義浩		
新型ホームエレベーター“スイ〜とホームファミリー”	10	686
永田陽一・岩田 賢・栗林輝佳		
特集「最新の電磁駆動技術」		
電磁駆動技術特集号に寄せて	11	693
大崎博之		
電磁駆動技術の現状と将来動向	11	694
小山健一		
電磁界運動連成解析による電磁駆動設計技術	11	699
竹内敏恵		
鉄心の詳細な磁気特性を考慮したモータ設計技術	11	703
大穀晃裕・山口信一・中野正嗣・谷 良浩・都出結花利・有田秀哲		
回転機の鉄損解析技術	11	707
米谷晴之・谷 良浩		
永久磁石モータの熱減磁評価技術	11	711
中野正嗣・米谷晴之・川村光弘・宮田浩二		
駆動制御機器の連成シミュレーション	11	715
寺田 啓・内田則行・原川雅哉・都出結花利		
オブザーバを利用した交流モータの可変速制御技術	11	719
金原義彦・志津圭一朗		
EGRバルブ用DCモータの電磁駆動技術	11	723
三宅俊彦・藤田陽一・藤村 哲・柳山盛幸		
ルームエアコン用ブラシレスDCモータの高性能化	11	727
馬場和彦・松岡 篤・及川智明		
電磁操作方式真空遮断器	11	731
有岡正博		
次世代高機能汎用インバータ “FREQROL-A700シリーズ”	11	735
池田克司・白石康裕・今中 晶・金原義彦		
省エネルギードライブ “FREQROL-FP500J+IPMモータ”	11	739
谷本政則・林 謙次・小島直樹・仲 興起		
M700対応駆動システム“MDS-D/DHシリーズ”	11	743
筒井和彦・佐野修也・田中利貴		
新型リニアサーボモータ“LM-H2シリーズ”	11	747
加藤和彦・仲 興起・伊藤一将・望月 大		

ELE-CALL System	Sakurako Yamashita, Hiroaki Hamaji, Kunikazu Koura, Mitsumasa Mori, Hideki Shiozaki
Active Roller Guide	Kenji Utsunomiya, Kenichi Okamoto, Youichi Sakuma, Nobuaki Tsumagi
Elevator Simulator for Emergent Behavior	Seiji Watanabe, Yoshikatsu Hayashi, Yukihiro Takigawa
Compact Machine Room Elevators “NexWay-S”	Takehiko Kubota, Takao Nishida, Atsushi Mitsui, Kazuko Matsuda
Mitsubishi Elevator Renewal “ELEMOTION”	Masahiro Fukuta, Seiji Okuda, Hiroshi Narasada, Yoshihiko Kinpara, Takahiko Kobayashi
Technology of Barrier-Free for Escalators	Yasumasa Haruta
Latest Supply Record of Mitsubishi Elevator and Escalator	Kazuhiko Nojima, Kaoru Fujita
Finger Identification Device By Penetrated Light	Hideo Fujiwara, Takahiro Nakamura, Takuji Maeda, Emiko Sano, Masahiro Shikai, Kouzou Ishida
Mitsubishi Building Security System “MELSAFETY-S30” Extension Services	Atsutoshi Nakamura, Miki Kuriyama
The Trend of Access Control System	Yoshihiro Shiobara
New Type Home-Elevator	Yoichi Nagata, Satoshi Iwata, Teruyoshi Kuribayashi
Latest Technologies of Electro-Magnetic Drive	
Foreword to Special Issue on Electromagnetic Drive	Hiroyuki Ohsaki
Current Status and Future Trend of Electro-Magnetic Drive Technology	Kenichi Koyama
Electromagnetically Actuator Design Technology Using Electromagnetic Analysis Coupled with Motion	Toshie Takeuchi
Motor Design Technologies Considering Detailed Magnetic Properties in Magnetic Core	Akihiro Daikoku, Shinichi Yamaguchi, Masatsugu Nakano, Yoshihiro Tani, Yukari Toide, Hideaki Arita
Technologies of Magnetic Power Loss Analysis for Rotating Machines	Haruyuki Kometani, Yoshihiro Tani
Estimation Technology of Thermal Demagnetization in Permanent Magnet Motors	Masatsugu Nakano, Haruyuki Kometani, Mitsuhiro Kawamura, Koji Miyata
Multi-Domain-Simulation of Drive Control	Kei Terada, Noriyuki Uchida, Masaya Harakawa, Yukari Toide
Variable Speed Control Technique of AC Motors Using Flux Observer	Yoshihiko Kinpara, Keiichiro Shizu
Electromagnetic Driving Technology of DC Motor for EGR Valve	Toshihiko Miyake, Youichi Fujita, Satoshi Fujimura, Moriyuki Haseyama
Performance Improvement of Brushless DC Motors for the Room Air Conditioner	Kazuhiko Baba, Atsushi Matsuoka, Tomoaki Oikawa
Electromagnetically Actuated Vacuum Circuit Breaker	Masahiro Arioka
The Next Generation High Performance Inverter for General Purpose “FREQROL-A700 Series”	Katsushi Ikeda, Yasuhiro Shiraishi, Akira Imanaka, Yoshihiko Kinpara
The IPM Motor and Driver for Energy Saving “FREQROL-FP500J and IPM Motor”	Masanori Tanimoto, Kenji Hayashi, Naoki Kojima, Kouki Naka
Driving System “MDS-D/DH Series” for M700	Kazuhiko Tsutsui, Synuya Sano, Toshiki Tanaka
New Linear Servo Motor “LM-H2 Series”	Kazuhiko Kato, Kouki Naka, Kazumasa Ito, Dai Mochizuki

リニア誘導形モータの技術動向	11	751
大掛忠雄・林 紘志		
特集「系統変電・受配電システム」		
特集「系統変電・受配電システム」に寄せて	12	757
佐藤秀一		
SVGによる系統電圧安定度の向上	12	758
天満耕司・寺本仁志・新木依子・高山大輔・米沢比呂志		
遮断器の開閉極位制御技術による電力品質の向上	12	762
香山治彦・亀井健次・葛田広幸・藤井茂雄・杉山 勉		
車両用変圧器の技術動向	12	768
中村賢一・児仁井克己・近藤博之・木庭 豊		
変圧器内部診断用油中ガス分析装置	12	773
内藤貞夫・柏野敦彦・近藤大輔		
UHV系統保護リレーの実績	12	777
長澤 宏・野口秀夫・大谷則夫・尾田重遠・臼井正司		
関西電力(株)向け広域分散給電制御システム	12	781
伊東進治・丹下正純・野村洋一		
次世代系統制御システムの基本フレームワーク	12	785
塚原 研・有本雅昭・堀内謙二・中田秀男・飯塚 剛		
ライフサイクルコストを低減する受配電システム技術	12	789
山田智博・松木寿夫		
24kV低ガス圧ドライエアー絶縁スイッチギヤ“HS-X”	12	795
有岡正博・吉村 学・竹内敏恵		
3.6/7.2kV用真空遮断器 (“VF-8/13D”電動ばね操作引出形)	12	799
菅 則雄・小林 稔・十鳥 洋・鳥羽慎司		
低圧配電システムにおける環境負荷及び ライフサイクルコスト低減の取り組み	12	803
林 和史・岩澤頼晃・大西健司		

普通論文

新形ソリッドステートコンタクタ “US-N/US-Hシリーズ”	6	422
山本京一		

Technological Trend of Linear Induction Motor
 Tadao Ogake, Kouji Hayashi

Transmission & Distribution Systems and Power Distribution Systems for Buildings & Factories

Forward to Special Issue on Transmission & Distribution Systems and Power Distribution Systems for Buildings & Factories
 Shuichi Sato

Improvement of Voltage Stability by SVG
 Koji Temma, Hirosi Teramoto, Yoriko Shinki, Daisuke Takayama, Hiroshi Yonezawa

Improvement of Power Quality Using Controlled Switching System
 Haruhiko Koyama, Kenji Kamei, Hiroyuki Tsutada, Shigeo Fujii, Tsutomu Sugiyama

The Technical Trend of Traction Transformer
 Kenichi Nakamura, Katsumi Konti, Hiroyuki Kondo, Yutaka Koba

Dissolved Gas Analyzers for Diagnosis of Transformer
 Sadao Naito, Atsuhiko Kashino, Daisuke Kondo

The Experience of Protection Relays on UHV Power Systems
 Hiroshi Nagasawa, Hideo Noguchi, Norio Otani, Shigetou Oda, Masaji Usui

SCADA System Distributed on a Wide Area Network
 Shinji Ito, Masazumi Tange, Yoichi Nomura

Next Generation System for EMS/SCADA “Architecture Transparent Framework”
 Ken Tsukahara, Masaaki Arimoto, Kenji Horiuchi, Hideo Nakata, Tsuyoshi Itzuka

Power Distribution Systems and Equipments Contribute to Reducing Life Cycle Cost
 Tomohiro Yamada, Hisao Matsuki

24kV Dry Air Insulated Switchgear Type “HS-X”
 Masahiro Arioka, Manabu Yoshimura, Toshie Takeuchi

3.6/7.2kV Vacuum Circuit Breaker (“VF-8/13D” Draw Out Type)
 Norio Kan, Minoru Kobayashi, Hiroshi Tattori, Shinji Toba

Activity for Reducing the Environmental Impact and Life Cycle Cost of Low-Voltage Power Distribution Systems
 Kazufumi Hayashi, Yoriaki Iwazawa, Kenji Onishi

New Solid State Contactors “US-N/US-H Series”
 Kyoichi Yamamoto