

受配電設備の最新技術

小鶴 進*
笹川 悟*
堀之内克彦**

Latest Technologies of Medium-voltage Switchgear

Susumu Kozuru, Satoru Sasakawa, Katsuhiko Horinouchi

要 旨

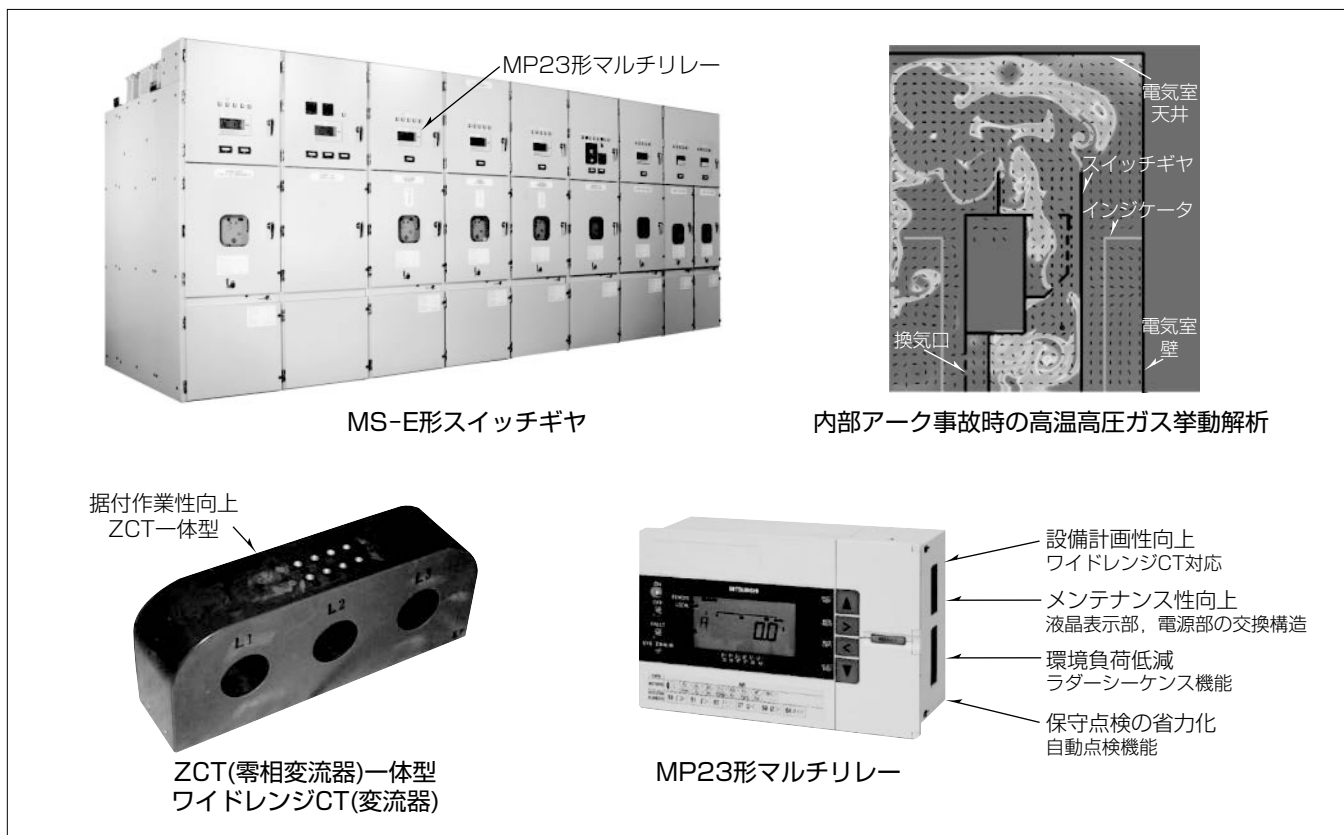
受配電設備は安定した電力供給を担うことが重要な責務である。良質な電気エネルギーへの依存が高くなっている今日では、その社会的貢献度も大きくなる一方で、それに伴い社会的責任も大きくなっている。

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

さらに、スマートグリッドに代表されるような、送配電

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

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



“MS-E形”スイッチギヤと“MP23形”マルチリレー

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

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

1. ま え が き

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

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

2. スイッチギヤの内部アークプルーフ構造に関する最新技術

2.1 換気開口部を持つスイッチギヤの内部アークプルーフ構造

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

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

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

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

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

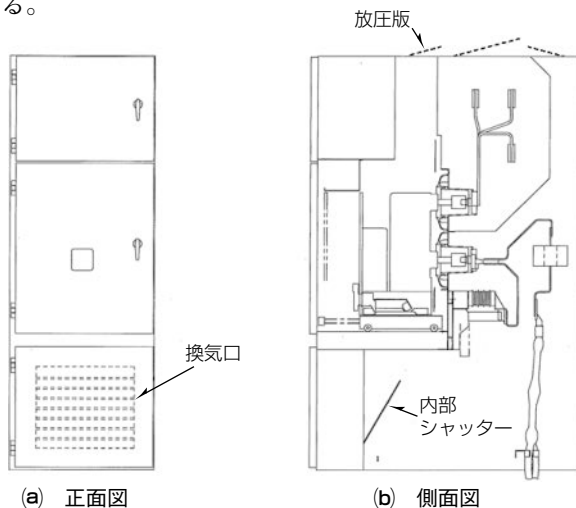
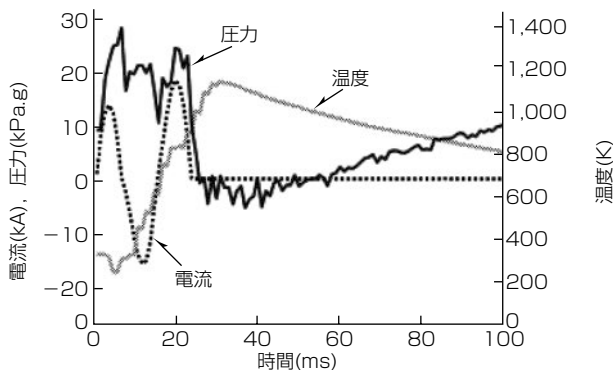
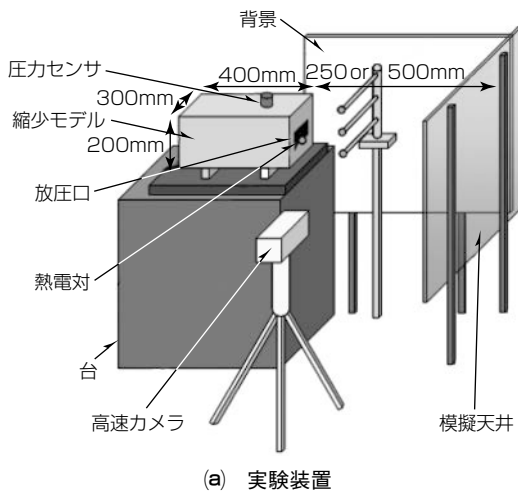


図1. MS-E形スイッチギヤ換気口付き正面扉構造



(b) 圧力・温度の時間特性

図2. 内部アーク事故基礎試験結果

2.2 内部アーク事故時の高圧・高温ガス挙動解析

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

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

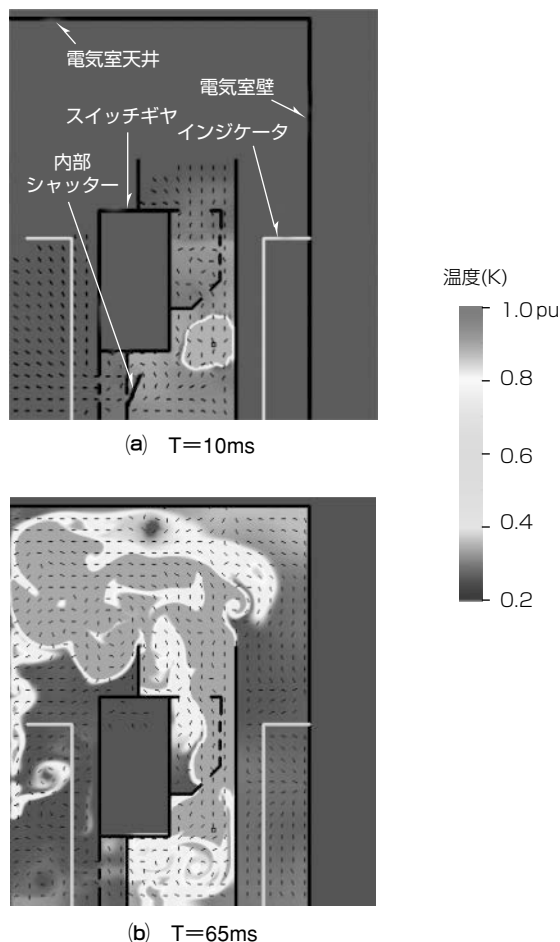


図3. 高圧・高温ガス挙動解析結果

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

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

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

3. 保護制御に関する最新技術

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

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

3.1 設備計画・据付け作業性の向上

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

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

3.2 保守点検の省力化

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

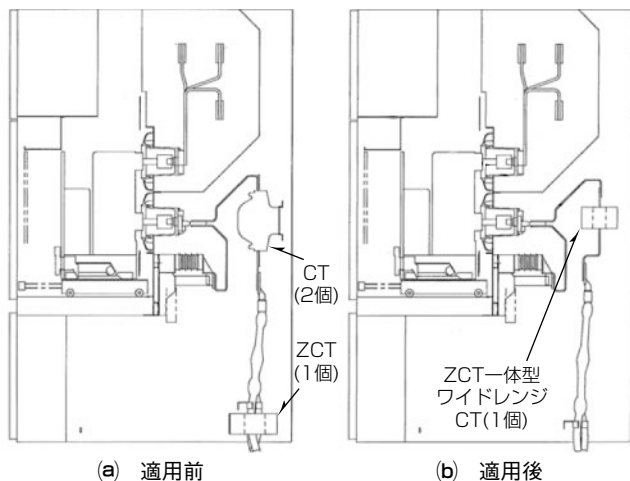


図4. ZCT一体型ワイドレンジCT

表1. 自動点検システムの試験メニュー

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

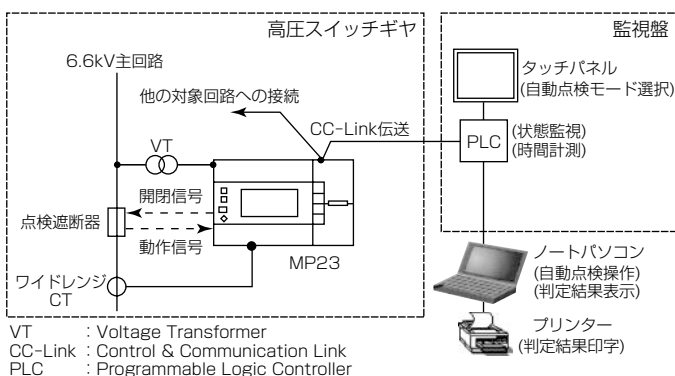


図5. 自動点検システム

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

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

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

3.3 環境負荷低減

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

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

3.4 メンテナンス性の向上

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

4. む す び

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

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

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

参考文献

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