

受配電システム機器の技術展望

Technology Outlook of Power Distribution Systems Equipment



長谷潤一郎*
Junichiro Hase

要 旨

受配電システム機器は、過去から社会のニーズに対応し、技術の進展によって、安全・信頼性の追求、小型・軽量化、運用・保守性の改善がされてきた。また、近年でも、変化社会ニーズ(安全性向上、電力安定供給、グローバル化・規格の国際化、IoT(Internet of Things)・高機能化・高信頼性、LCC(Life Cycle Cost)削減、省エネルギー・環境負荷削減、災害レジリエンス)に対応した技術の進展によって、次に示すような技術が開発され新製品が投入されている。

(1) 国際規格に準拠した内部アーク放圧技術の進展

- ①スイッチギヤVCB/VMC 2段積構造のIAC(Internal Arc Classification) AFLR対応技術
- ②低圧モータコントロールセンタへのIAC対応技術

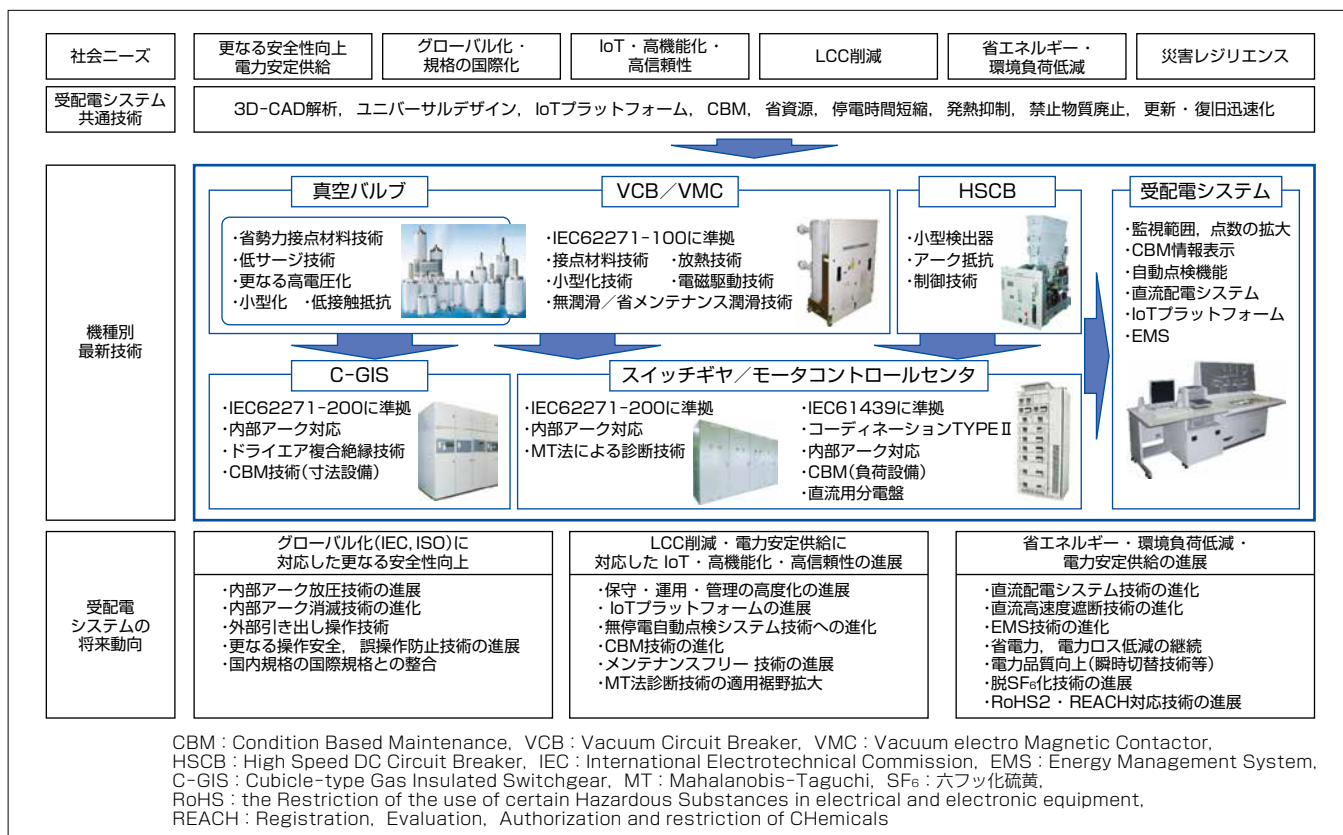
(2) IoT・高機能化・高信頼性技術の進展

- ①受配電システム機器の高度化技術
- ②IoTプラットフォームの機能性向上技術
- ③電子機器の高信頼化技術
- ④モータ負荷設備のCBM技術
- ⑤絶縁物余寿命診断の簡便化

(3) 直流配電技術の進展

- ①直流配電システムと当該EMS技術の進化
- ②直流高速度遮断技術の進化

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



受配電システムの技術マップと将来動向

受配電システムの社会ニーズに基づく技術マップと将来動向を示す。

1. ま え が き

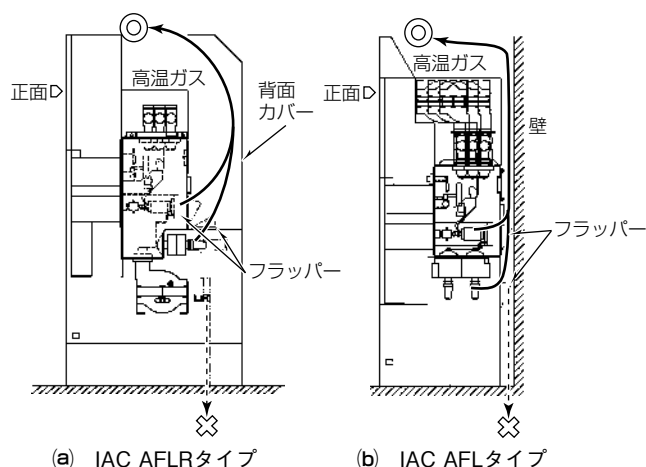
受配電システムは、電力会社の配電線から電力を受ける鉄道・工場・ビル・店舗等の受電点から動力・照明など配電端負荷に至るまでの電力供給用設備、保護・計測・監視・制御装置を構成要素としている。また、これらは、公共・民間を問わず、社会インフラでの重要な基幹システムに位置付けられる。

受配電システム機器は、過去から社会のニーズに対応し、技術の進展によって、安全・信頼性の追求、小型・軽量化、運用・保守性の改善がされてきた。また、近年でも、変化する社会ニーズ(更なる安全性向上、電力安定供給、グローバル化・規格の国際化、IoT・高機能化・高信頼性、LCC削減、省エネルギー・環境負荷削減、災害レジリエンス)に対応した技術の進展によって、国際規格に準拠した内部アーク放圧技術、IoT・高機能化・高信頼性技術、直流配電技術が進展してきている。

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

2. 国際規格に準拠した内部アーク放圧技術の進展

国際規格で、万一のスイッチギヤの内部アーク故障時の安全性に対し、クラス分けがされており、設置環境等も含め、顧客の要求クラスに応じた対策を要している。比較的容易な内部アークの放圧場所としてケーブルピットがあるが、図1に示すように、C-GIS下方にあるケーブルピットに向けて高温ガスが放圧した場合、ケーブルピット内の健全なケーブルも損傷してしまうことから、昨今、最新の解析技術の進展に伴って、より難しい天井部への放圧がな



A: 人の近接に関するクラス, F: 正面, L: 側面, R: 背面

図1. C-GISの断面図

されている。

また、国内規格でも、国際規格との整合化によって内部アーク性能の要求が規定されるようになっている。

2.1 2段積構造への対応技術

スイッチギヤを含む電気室設備全体の建設コストを抑制する目的で、配列サイズ縮小化の要求がある。この市場要求への対応として、図2に示すようなVCBやVMCの2段積化によって配列サイズ縮小を実現し、かつ、内部アーク対応では、最高クラスのAFLR 40kA-1secに対応する7.2/12kV定格の屋内気中絶縁スイッチギヤも製品化されている⁽¹⁾。

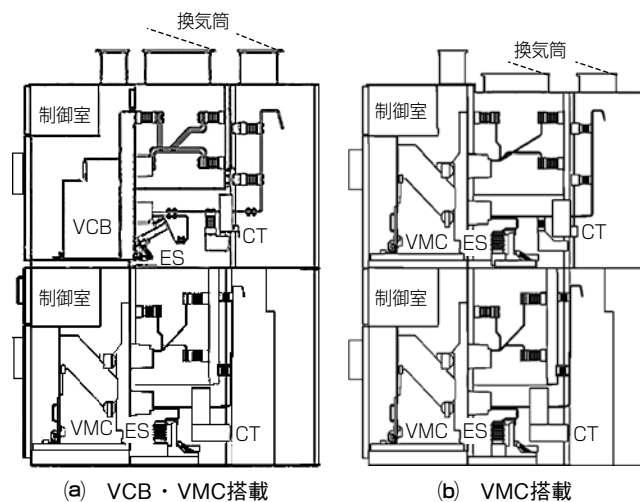
内部アーク対応設計を行う際には、上/下段のVCB/VMC室・母線室・ケーブル室といった各区画に対して、内部アーク発生時の圧力上昇に耐え得るように筐体(きょうたい)の強度設計を実施する必要がある。

筐体の強度検討を行うに当たっては、盤内でのアークの挙動を考慮する必要があるが、アークの挙動は電磁力による駆動力や電界強度などに影響されるため、必要十分な強度を持つ最適設計を行うためにはアークの挙動予測が重要である。

近年、図3に示すような、高温ガスの流れ、電磁力、筐体の形状といった因子をパラメータとしたアークの挙動を予測する解析技術も登場しており、今後ますます内部アーク対応技術も向上していくと推測する。

2.2 モータコントロールセンタへの対応技術

モータコントロールセンタ(MCC)には内部アーク規格が制定されていないものの、IEC/TR61641によって試験指針が示され、海外市場では内部アークに対応したMCCが求められてきている。



ES: Earthing Switch, CT: Current Transformer

図2. 2段積スイッチギヤ

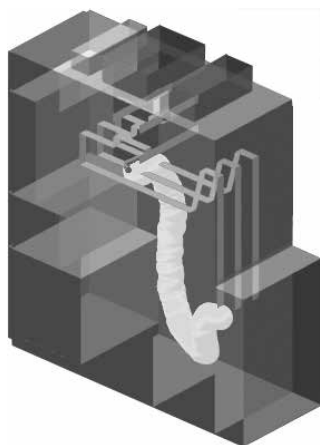


図3. 内部アーク時のアーク挙動解析

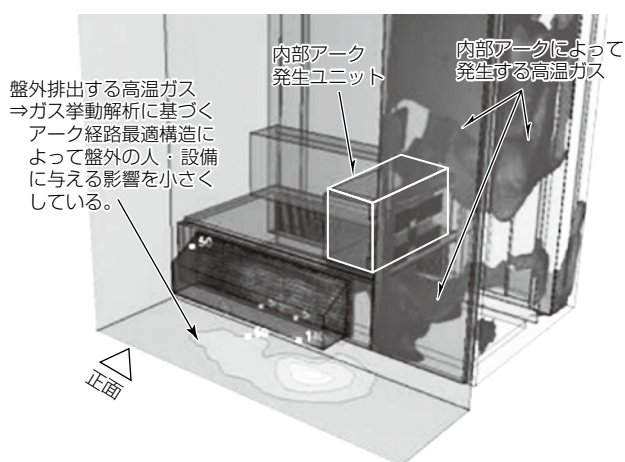


図4. D形MCCユニット内部アーク時の熱風流体解析例

MCCを内部アークに対応させるためには、高圧盤よりも過渡的に進む内部圧力変化と、事故点から移動するアークの経路を把握して、MCCの設計に反映することが必要になる。アーク挙動の知見蓄積と過渡現象の解析技術の向上によって、三菱電機の“D形”MCCを用いた実証試験では、IEC/TR61641の指針を満足するだけでなく、アーク挙動についても推測とよく一致していることが確認されている(図4)。MCCの内部アーク対応設計は、得られた知見の活用によって、より上流設計へのフロントローディング化が進むと推測する。

3. IoT・高機能化・高信頼性技術の進展

3.1 受配電システム機器の高度化

構成機器(遮断器、開閉器、変成器等)や、制御・保護・計装・表示を行うマルチリレーの進化によって、受配電システム機器は高度化してきた。次に、求められている機能と代表的な実現技術を挙げる。

- (1) 使い勝手の向上(ユニバーサルデザイン技術(図5))
- (2) 環境性能向上(脱SF₆ガス、腐食性ガス等の耐環境性能技術)
- (3) 高機能化(IoTによる設備劣化診断技術)
- (4) 収納効率・省スペース(小型化技術、熱設計技術)
- (5) 省メンテナンス(CBM, 自動点検システム技術)
- (6) 省エネルギー、環境への配慮(マルチリレーの集約技術)
- (7) 災害・事故への耐性(二重化、部品交換容易な構造)

国内でも現在、電気の小売自由化が進められている中、今後は国内外でLCC低減の要求が、ますます高くなると想定できる。保護・制御・監視に加え、クラウド上のアプリケーション(データ分析機能、学習機能等)を駆使したソリューション提供へと結びつけるために、IoTやクラウド環境にフレキシブルに対応可能な受配電システム機器が求められると推測する。

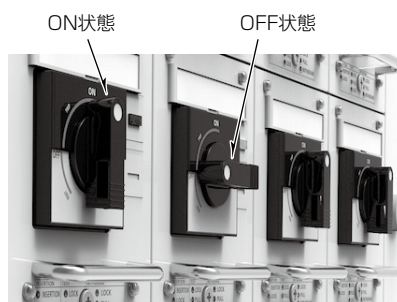
3.2 IoTプラットフォームの親和性向上技術

計装システムの構成機器であるコントローラとの接続を実現するため、受配電システム機器は、マルチリレーにオープンネットワークフィールドバスインタフェース(CC-Link等)を備え、受配電システムの監視・制御を可能にしてきた。

今後は、IoT技術がますます一般機器に展開される中、インテリジェント化機能によって得られたデータや、通常の監視・制御データをクラウドなどへ転送してビッグデータ分析へつなげる機能等が必要になる。そのために



(a) D形MCCの正面上部



(b) MCCBの操作ハンドル



(c) EMC-B形マルチモータコントローラ

MCCB : Molded Case Circuit Breaker

図5. ヒューマンエラー低減のためのユニバーサルデザイン例

は、受配電システム機器が、IoTプラットフォームにフレキシブルに対応する機能が必要になってくる。IoTプラットフォームの親和性向上のための主な機能は次のとおりである。

- (1) データ収集容易性実現のためにデータ通信機能の無線化や、既存設備活用に適したPLC(Programmable Logic Controller)通信サポート
- (2) データのセキュリティデータ圧縮機能
- (3) リアルタイム性とデータ信頼性の保証機能

今後、これらの機能を搭載したマルチリレーや、設備の状態を把握するためのセンサ類の技術開発が進められていくと推測する。

3.3 電子機器の高信頼化技術

スイッチギヤなど受配電設備の中でも、特に故障を検知するための保護リレーや系統を切り離すための遮断器に異常や故障が発生すると重大事故につながる可能性が高くなる。万が一の機器故障による重大事故を防ぐため、定期的に設備の健全性を点検する必要がある。点検の際、設備を停電させる必要があるが、設備によっては十分な停電時間を確保できない場合がある。

そこで、図6に示すように故障を検出する回路を二重化(A/B系)したシステムが実用化されている。常時はA/B系の二重化回路で設備保護を実施する。さらに、保護リレーの特性点検を実施する場合は、片方の回路(A系)で設備保護を実施しながらもう片方の回路(B系)で特性点検が可能なシステムにした。これによって設備運用中でも保護リレーの特性点検が可能になり、停電時に実施する作業が削減される。また、万が一、この点検によって故障が見つ

かった場合、保護リレーの故障検出回路が二重化されているため、健全な片側回路で保護リレー交換までの間、保護を継続できる。

今後、さらにメンテナンスフリーや自動点検化による省力化・無停電化が進むと推測する。

3.4 モータ負荷設備のCBM技術

工場の保全現場では、設備の老朽化等によるプラント障害の増加、及び保全熟練技能者の引退による素人化が進んでいるが、依然として保全活動の主体は定期点検と日常巡回点検に依存しており、設備の故障時期の予知を可能にするCBM技術のニーズが高まっている。

図7に示すようにMCC搭載のCBM技術では、モータへ供給する電流、電圧波形からFFT(Fast Fourier Transform)演算による特徴成分の検出及び逆相成分から評価式を用い、オンラインでモータの劣化度(寿命)を推定するシステムが実用化されている。

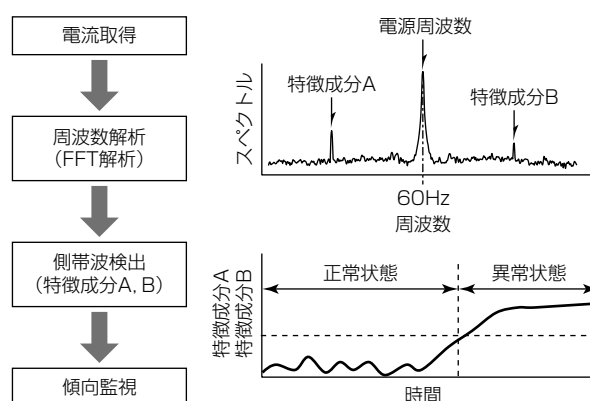


図7. モータCBM劣化診断技術の概念図

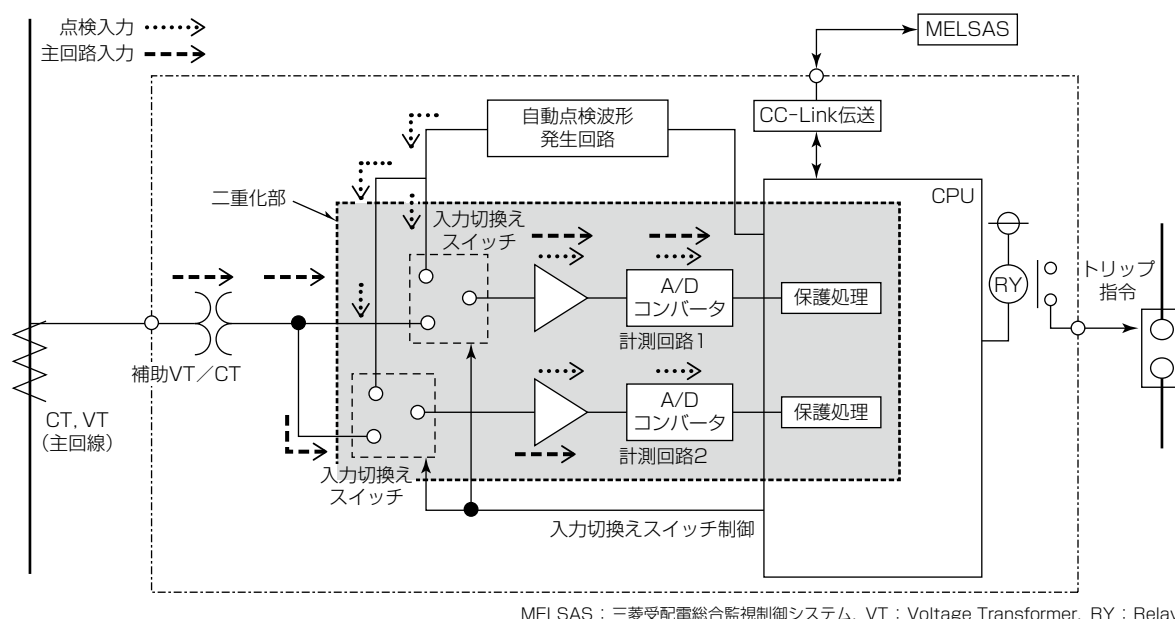


図6. 自動点検システムの構成と保護回路の二重化



図8. 劣化判定センサ

次に代表的なCBM技術を挙げる。

- (1) モータ機械系異常検出機能
- (2) レヤショート検出機能
- (3) モータ負荷トルク推定機能
- (4) 微少漏洩(ろうえい)電流検出機能

今後、診断信頼性の向上や診断対象負荷の拡大について、更に技術開発が進められていくと推測する。

3.5 絶縁物余寿命診断の簡便化

MT法に基づく絶縁物余寿命診断技術が実用化されて久しいが、LCCの最適化ニーズや設備更新による停電を計画的に実施するため、より信頼性を高め、かつ簡便に実施したいとの市場要求が高まってきている。そこで過去の診断結果と判定結果をデータベース化し、特定環境での絶縁物の劣化推定モデルを構築することによって、図8に示すような劣化判定センサを取り付けてデータ測定するだけで、技術者派遣不要で簡便に絶縁物余寿命診断を行う技術が実用化されている。今後、さらにIoTと融合したオンライン診断や、診断項目の拡大について技術が進展していくものと推測する。

4. 直流配電技術の進展

近年、地球温暖化対策の観点から、省エネルギーに対する需要が高まってきている。ビルや商業施設でZEB(net Zero Energy Building)を始めとした省エネルギー建築の市場が拡大し、太陽光、蓄電池といった直流由来の創蓄電源の導入が促進されている。

また、国内では2018年の北海道胆振東部地震による北海道全域の停電、2019年の台風15号による千葉県を中心とした大規模停電など度重なる自然災害を起因として、BCP(Business Continuity Planning: 事業継続計画)意識が高まってきている。BCP対策

のため、電源の安定供給(高信頼化)が求められるようになってきている。直流配電システムは、これらの課題を解決する配電方式として、注目を集めている。

4.1 直流配電システムの特長と保護技術

直流配電システムは、電源(商用、太陽光、蓄電池等)から負荷までを直流の配電網で結ぶ構成であり、従来の交流配電に比べ、電力の変換回数を抑えることができるためエネルギー損失を減らすことができる(図9)。また、交流特有の周波数や位相や無効電力に関する考慮が不要であるため、各種電源を並列運転する際に比較的簡素な設備構成で安定的な電源を供給できる。構成要素が減少することで、設備全体の故障率が下がり、信頼性向上にもつながる。

省エネルギーと設備の簡素化の実現を目指し、現在、鉄道会社と共に駅内配電システムの直流化に向けて取り組んでいる。まずは直流化することによる省エネルギー効果の定量的評価を行い、一例としてモデル駅での直流化による効果試算の結果、交流配電と比べて省エネルギー効果が見込めることを確認している。

今後、普及を進めていく上では、省エネルギーに加え、電源の信頼性向上に向けた短絡/地絡保護技術の確立が必要になる。

短絡保護では保護協調の確立に向け、充電状態の負荷内部コンデンサ容量や寄生容量に起因した放電電流による健全回線の配線用遮断器やヒューズが誤遮断しないかをシミュレーションで確認するため、所内人工短絡試験波形を基に等価回路モデルを作成し、短絡事故発生時の放電電流を模擬できるシミュレーションモデルを確立した(図10)。

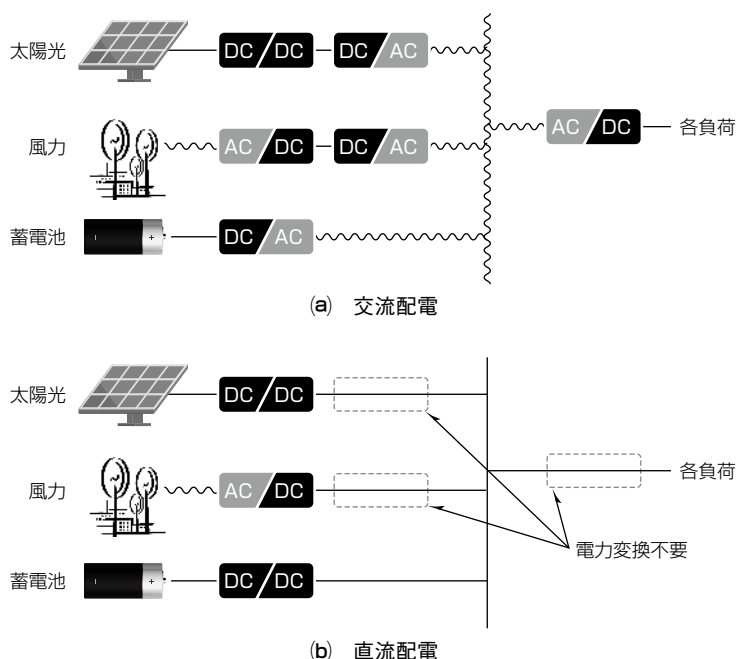
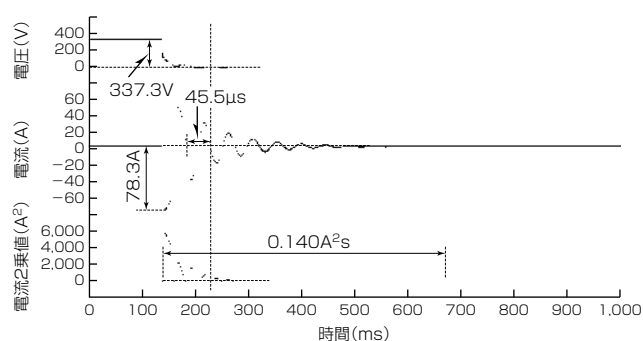
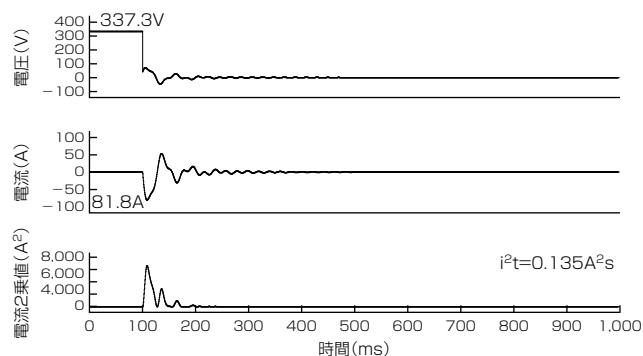


図9. 電力変換回数削減イメージ



(a) 所内人工短絡試験波形



(b) 短絡シミュレーション波形

図10. 短絡波形の一例

また、地絡保護では不平衡電流保護装置(51G)を適用した場合で地絡回線数による誤不動作、健全回線数による誤動作の発生を防ぐ最大分岐回線数の算出法を導出した。

今後、直流配電は保護技術の進展によって、データセンターのほか、ビル、駅、工場等へ適用されていくことが期待される。

4.2 直流高速度遮断技術の進化

スマートグリッドの進展によって、電源のベストミックスが必要になっている。太陽光発電などの再生可能エネルギーが直流であるのに対し、現状大部分の電力網は交流で構成されている。直流は交流に比べて遮断が難しく、これが直流の電力網が発展しにくい要因の一つになっている。電力損失の低減となる直流配電を進めるためには、直流遮断技術の革新が必要である。次に交流遮断と直流遮断の比較をして、今後の直流遮断技術を展望する。

交流回路の場合、電流ゼロ点があるため電極間に発生したアーク構成物質を拡散させることが容易であるのに対し、直流回路の場合は交流回路のように電流ゼロ点を持たないため、一旦発生したアークを拡散することがない。

そのため直流回路では電流ゼロ点を強制的に作って遮断することになる。図11に交流遮断と直流遮断の違いを示す。

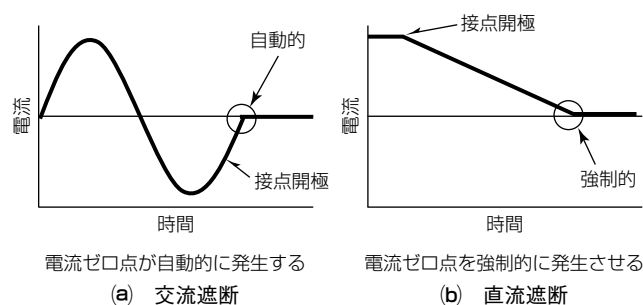


図11. 交流遮断と直流遮断の違い

強制的に電流ゼロ点を作る方法として、比較的回路電圧が低い領域では限流によって強制的に電流ゼロ点を作って遮断する気中遮断方式が主流であるが、真空バルブを使用して、コンデンサによって電流が流れる方向と逆方向に電流を流して電流ゼロ点を作って遮断する転流遮断方式もある。

今後、省エネルギーや災害レジリエンス等のニーズ増大によって直流配電や直流遮断器の適用拡大・規格化議論が進んでいくと思われ、これに対応した新技術開発・製品化が今後更に進んでいくものと推測する。

5. む す び

受配電システム機器の技術展望を、最近の技術・製品動向を主体に述べた。

受配電設備は社会インフラの基礎であることから、更なる安全性向上、省エネルギー・環境負荷削減、電力安定供給などの社会的ニーズは今以上に高まると考えられる。特に大型自然災害等による地域全体への電力供給停止は、LCP(Life Continuity Planning：生活継続計画)の中で、受配電設備の重要性を改めて認識させられた。また最近では、太陽光発電や風力発電のような自然エネルギーを利用した分散型電源の普及が進み、直流配電技術を活用した蓄電システムと再生可能エネルギー電源の併用による高効率運用・省エネルギーの促進が予想される。また、IoTプラットフォームの親和性向上によるCBMや自動点検による保守作業の省力化、停電時間の短縮も進展すると予想されるなど、国内外を問わず顧客ニーズは多様化し、要求も高度化している。このような社会変動の中にあって、今後も当社は、技術開発を更に進め、受配電システム機器として付加価値の高い製品を提供することによって、活力とゆとりある社会の実現に貢献していく。

参考文献

- (1) 木村 透：海外市場向け7.2/12kVスイッチギヤ“MS-E”，三菱電機技報，91，No.11，609～613（2017）