

巻頭論文

受配電システム機器の技術展望



城ヶ崎 亨*



香川和彦**



中村真人***

Technological Aspects of Power Distribution Systems Equipment

Toru Jogasaki, Kazuhiko Kagawa, Masato Nakamura

要 旨

受配電システム機器では、近年、更なる安全性向上、グローバル化・規格の国際化、省エネルギー・環境負荷削減、IoT(Internet of Things)・高機能化、LCC(Life Cycle Cost)削減、電力安定供給などの社会ニーズに対応した次に示すような受配電システム技術の進展によって、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

- ①IAC(Internal Arc Classified) AFLRへの対応技術
- ②狭隘(きょうあい)な空間設置への対応技術
- ③2段積構造への対応技術
- ④モータコントロールセンタへの対応技術

(2) IoT・高機能化の進展

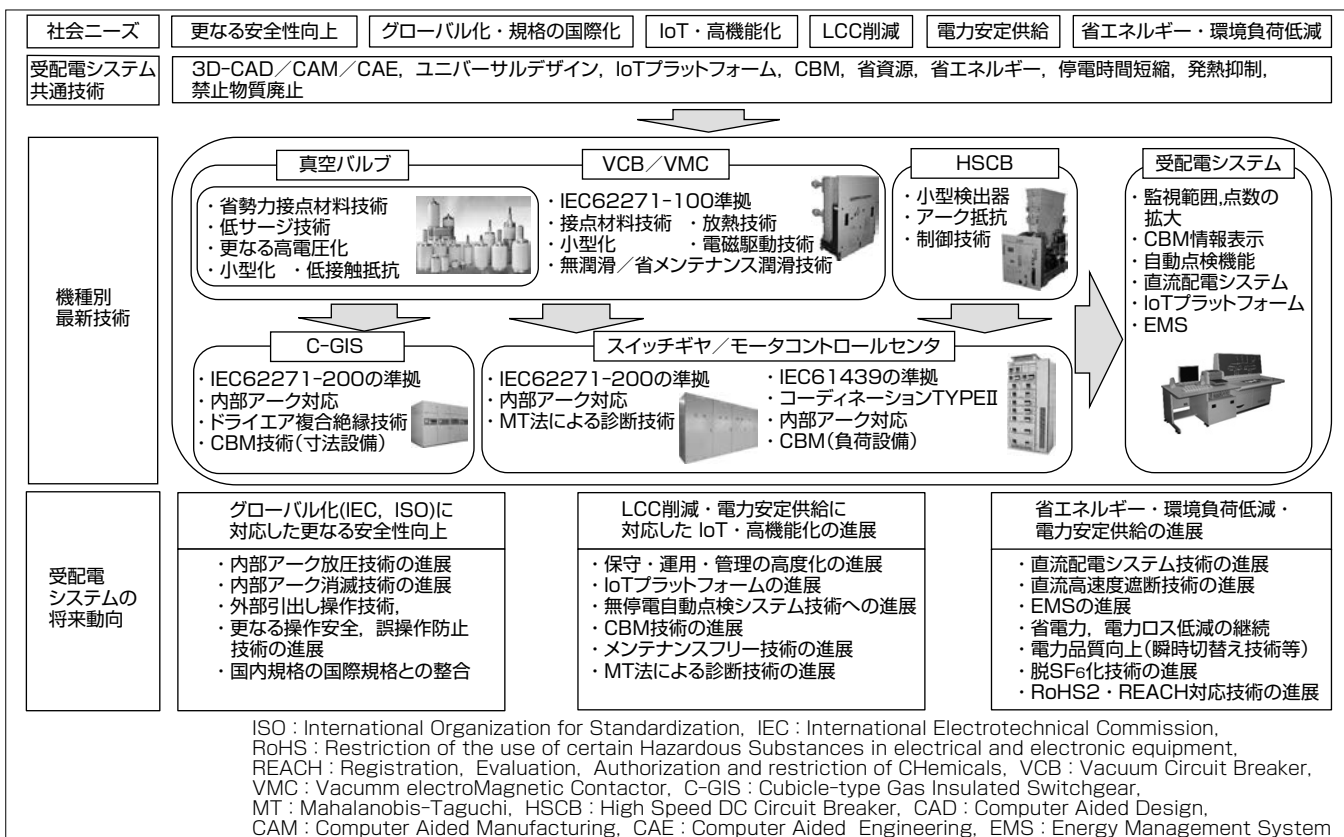
- ①受配電システム機器の高度化技術

- ②IoTプラットフォームへの親和性向上技術
- ③無停電による自動点検システム技術
- ④モータ負荷設備のCBM(Condition Based Maintenance)技術

(3) 直流配電技術の進展

- ①直流配電システムとEMS技術
- ②直流高速度遮断技術

今後も国内外を問わず顧客ニーズは多様化され、高度化するものと考えられる。三菱電機は、これらの受配電システム技術を更に発展させて製品開発を行い、受配電システム機器として付加価値の高い製品を提供することで社会に貢献していく。



受配電システムの技術マップと将来動向

受配電システム機器の社会ニーズに基づく技術マップと将来動向を示す。

1. ま え が き

受配電システムは、電力会社の配電線から電力を受ける鉄道・工場・ビル・店舗等の受電点から動力・照明など配電端負荷にいたるまでの電力供給用設備、保護・計測・監視・制御装置を構成要素としている。また、これらは、公共・民間を問わず、社会インフラ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では、近年、更なる安全性向上、グローバル化・規格の国際化、省エネルギー・環境負荷削減、IoT・高機能化、LCC削減、電力安定供給などの社会ニーズに対応して、国際規格に準拠した内部アーク放圧技術、IoT・高機能化、直流配電技術が進展してきている。

本稿では、社会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。

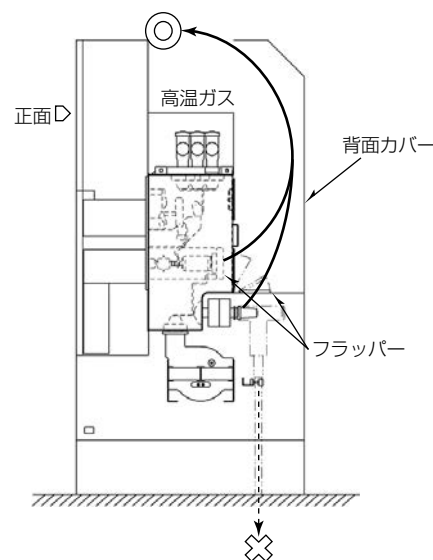
2. 国際規格に準拠した内部アーク放圧技術の進展

国際規格で、スイッチギヤの万一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されている。

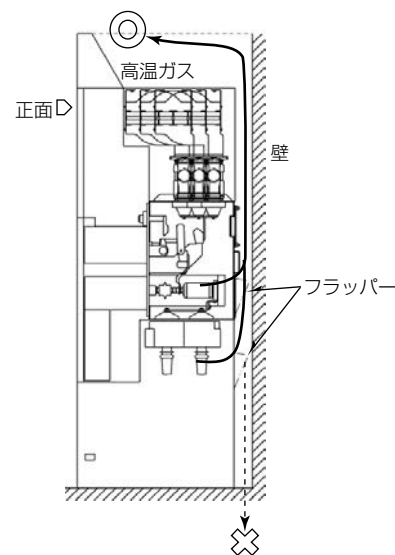
また、国内規格でも、国際規格との整合化が更に進み、国内も内部アーク性能の要求が高まると推測する。

2.1 IAC AFLRへの対応技術

世界的に配変電に採用される電圧は24kV、36kVが一般的で、その需要は非常に多く、海外市場では2,500Aの定格電流、31.5kA及び40kAの定格遮断電流が要求されるとともに、図1(a)に示すように最新の国際規格(IEC62271-200)に準拠した耐内部アーク性能の要求が高い。IEC規格では耐内部アーク性能のクラス分けが規定されており、クラスAFLRのアクセスビリティ(A)についてはC-GISを使用する許可を受けた人がC-GISに接近した場合の安全性が要求されており、FLRについてはC-GISの正面(F)、側面(L)、背面(R)の全ての方向に対して2mの高さまでの安全性が要求されている。形式試験ではC-GISの周囲に高温で着火するインジケータを配置した状態でC-GIS内部で内部アーク故障を発生させて周囲のインジケータが着火せず、またアークによってバーンスルーが生じないことなどが要求される。この性能を試験で確認する場合、供試器製作・試験に時間を要するだけでなく、試験後の供試器の再利用が難しく膨大な費用が必要となる。このことから、図2に示すように、内部アークに関する解析技術の高度化による試験回数の極小化が必要である。そ



(a) IAC AFLRタイプ



(b) IAC AFLタイプ

図1. C-GIS断面図

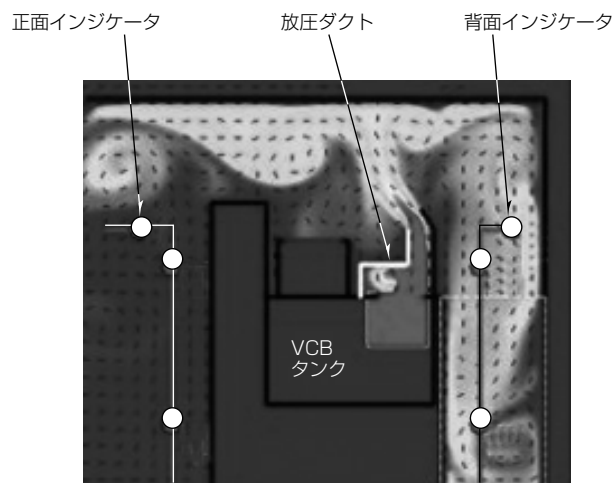


図2. VCBタンク内部アーク発生時の熱風流体解析結果

のため、内部アーク発生時のタンク内圧力上昇、及びタンクから放出される高温ガスの挙動を解析によって予測し、タンクの必要強度の確保、放圧ダクトから排出された高温ガスでインジケータが焼損しない構造とするためのガス流制御を行うようになってきている。

実際の試験でも高温ガスは解析結果と同様の傾向を示すまでに至っており、今後ますます解析精度が向上していくと推測する。

2.2 狭隘な空間設置への対応技術

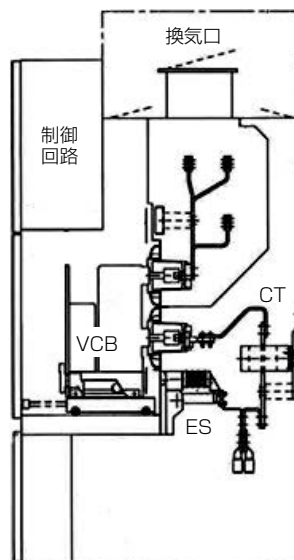
海外市場の12kVループ受電系統では、既設の分配用開閉器(RMU)が更新時期を迎えている。既設RMUは市街地地下などの狭隘な電気室に据え付けられている場合が多く、設置スペースの制約や既設ケーブルとの取り合いなど顧客ごとに要望が異なる一方で、先に述べた24kV、36kVクラスのC-GISと同じく、12kV RMU用C-GISに対しても耐内部アーク性能など最新の国際規格(IEC62271-200)にも準拠する必要がある。

12kV RMU用C-GISは既設更新のために、特に奥行き寸法の制約が大きい。この場合、作業者がC-GISの背面に回り込まないことを前提に、図1(b)に示すように内部アーク事故時の高温ガス放出に対する安全性の確保を正面(F)、側面(L)に限定すると、内部アーククラスをクラスAFLで対応できる。C-GISタンクから放出される高温ガスをC-GIS背面と電気室壁との隙間100mmのスペースを伝って上方へと排出させ、C-GIS天井、側面、正面に高温ガスの排出方向を制限する障壁を設けることで、電気室の高さも3,400mmから2,600mmに縮小できる。実際の試験でも性能が確認されており、狭隘な空間設置への内部アーク対応技術も向上していくと推測する。

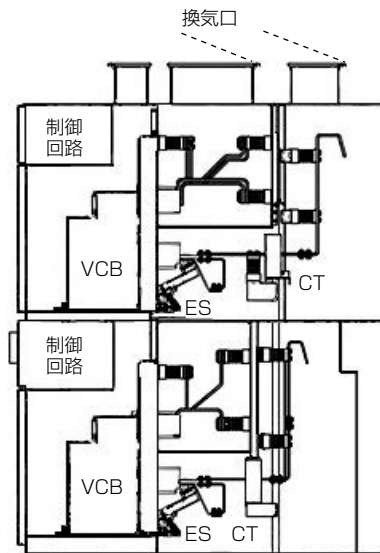
2.3 2段積構造への対応技術

海外市場では大規模な設備投資がある一方で、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3に示すようにVCBの2段積化によって配列サイズ縮小を実現した気中絶縁スイッチギヤも出てきており、7.2/12kV定格の屋内スイッチギヤで最高クラスのAFLR40kA-1sに対応している製品もある。

従来構造に比べ、VCBを2段積化することによってスイッチギヤに1台当たりの収納機器が増大、区画数は上/下段のVCB室・母線室・ケーブル室の計6区画となり、それぞれの区画で内部アーク発生時の圧力上昇、高温ガスの流れを検討し、筐体(きょうたい)の強度検討を実施する必要がある。強度検討には品質工学のパラメータ設計を導入し、あらかじめ製造条件・使用条件・使用環境のばらつき要素を解析に取り入れ、スイッチギヤから排出される高温ガスの流れを、図4に示すように熱風流体解析を実施し、これらの検討結果が2段積構造の製品開発に活用される。



(a) 従来構造



(b) 2段積構造

VCB : Vacuum Circuit Breaker
ES : Earthing Switch
CT : Current Transformer

図3. スwitchギヤの従来構造と2段積構造

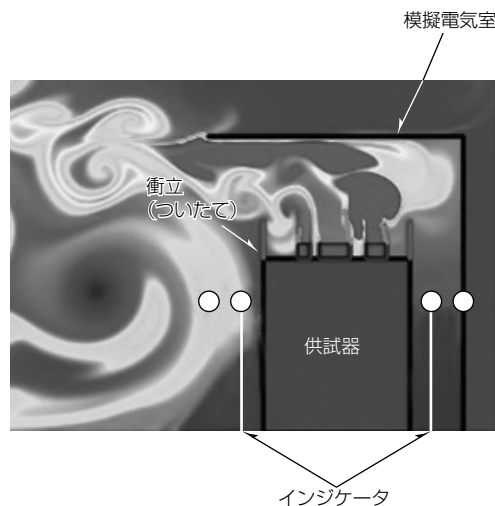


図4. 内部アーク時の熱風流体解析

2.4 モータコントロールセンタへの対応技術

高圧盤では、内部アークはIEC62271-200に定められており、内部アーク対応のための技術が進歩してきた。低圧盤に対しては、内部アーク規格が制定されていないものの、海外市場では内部アーク対応モータコントロールセンタ(MCC)が求められてきている。内部アーク対応MCCを製品化するには、高圧盤と比べ、盤内部空間が狭いことや、ユニット間の仕切りが多く盤外への放圧が難しいという問題がある。従来の高圧盤の内部アーク設計の延長上でシミュレーションを行うと、圧力変化が過渡的に起こるため、圧力ピークが捉えられなくなる。また、過渡現象の強度解析は解析工数が大幅に増加する。このため次のことを考慮して設計を進める必要がある。

- (1) ユニットに合わせた小さな分割単位での圧力解析
- (2) 急峻(きゅうしゅん)な圧力上昇を考慮した短い時間ステップでの圧力解析
- (3) 圧力ピーク、作用時間、力を受ける部品の質量から、過渡現象を静的なモデルに置き換え、シミュレーションの工数を低減

今後ますます、MCC内部アーク対応の解析技術が向上すると推測する。

3. IoT・高機能化の進展

3.1 受配電システム機器の高度化技術

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、求められている高度化ニーズと代表的な実現技術を述べる。

- (1) 使い勝手の向上(ユニバーサルデザインの導入(図5))
- (2) 環境性能向上
(脱SF₆(六フッ化硫黄)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)

国内でも現在、電力システムシステム改革が国主導で推進され、2016年4月1日に第2段階(電気の小売全面自由化)が制定された。今後、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中、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プラットフォームへの親和性向上技術

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



(a) D形MCCの正面上部



ON状態 OFF状態
MCCB : Molded Case Circuit Breaker
(c) EMC-B形マルチモータコントローラ
(b) MCCB操作ハンドル

図5. MCCのユニバーサルデザイン例

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・制御を可能としてきた。

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となる。そのためには、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プラットフォームへの親和性向上のための主な機能を示す。

- (1) データ収集容易性実現のためのデータ通信機能の無線化や、既設活用に適した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、これらの機能がマルチリレーに搭載されていくと推測する。

3.3 無停電による自動点検システム技術

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システムを切り離すための遮断器に異常や故障があると重大事故につながる可能性が高くなる。重大事故を未然に防ぐためには定期的に健全性を点検する必要があるが、点検には設備を停電させる必要があるため、設備によっては十分な停電時間の確保が難しい場合がある。

そこで、当社は、図6に示すようにマルチリレー“MP31”と受配電監視・制御システム“MELSAS-S”を組み合わせ、保護リレーの健全性を自動点検できるシステムを実現している。

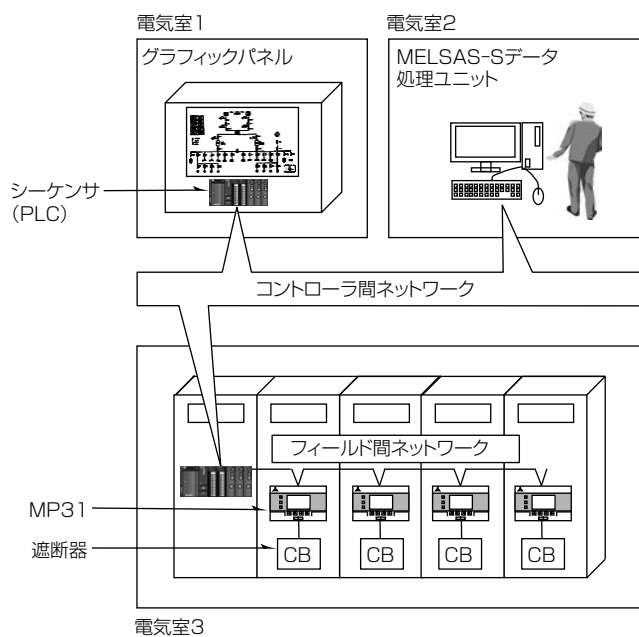


図6. 自動点検システム構成

保護リレーは信頼性を向上させるため計測回路を二重化(A/B系)している。常時はA/B系の二重回路で設備保護を実施するが、保護リレー点検の一つである保護特性試験では片方の回路(A系)で設備保護を実施しながらもう片方の回路(B系)で保護特性試験を実施できるようにした。これによって設備運用中でも保護リレーの保護特性試験が可能となり、停電時に実施する作業が削減される。また、万が一、この試験によって故障が見つかった場合、保護リレーの計測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、メンテナンスフリーや自動点検化による省力化・無停電化が更に進むと推測する。

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とする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の波形からFFT(Fast Fourier Transform)演算による特徴成分の検出及び電流、電圧波形の逆相成分から評価式を用いてオンラインでモータの劣化度(寿命)を推定する技術が確立されている。

次に代表的なCBM技術を述べる。

- (1) モータ機械系異常検出技術
- (2) レヤーショート検出技術
- (3) モータ負荷トルク推定技術
- (4) 微小漏洩(ろうえい)電流検出技術

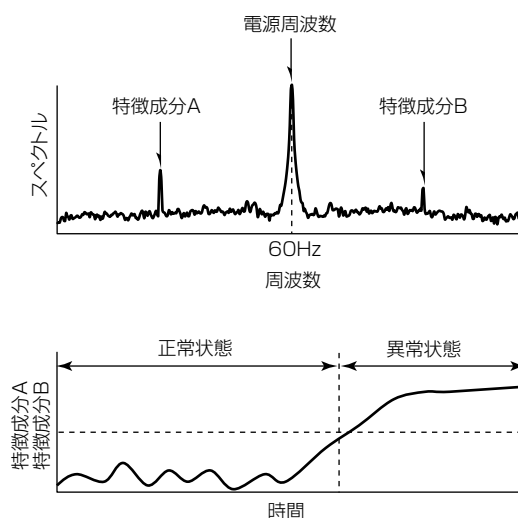
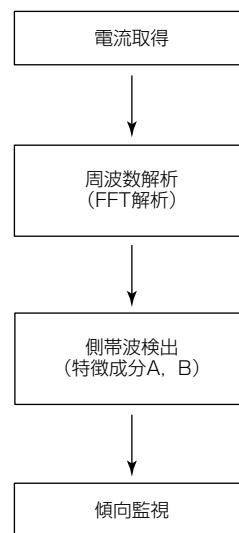


図7. 機械系異常検出手法

今後、これらの技術を取り入れた製品が出てくるものと推測する。

4. 直流配電技術の進展

地球環境問題や東日本大震災以降のBCP(事業継続計画)対策機運の高まり、電力自由化を代表とした市場環境の変化に伴い、電力インフラに対してスマート化・分散電源・エネルギーミックス等の新しい要求が増えている。

また、近年“建築物省エネ法”など省エネルギー規制強化の流れを受け、建設業界でのZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)実証設備の建設も増加し、従来の“エネルギー消費型”から自然光・周囲環境を利用した省エネルギー化に、自前の発電・蓄電設備に制御技術を応用する“エネルギーの地産地消型”へ変化している。

4.1 直流配電システムとEMS技術

このような背景の中、“省エネルギー”“創エネルギー”“蓄エネルギー”に対応した直流配電システムでは、今後の直流配電の普及促進に向けた技術力と製品力の強化が行われている。

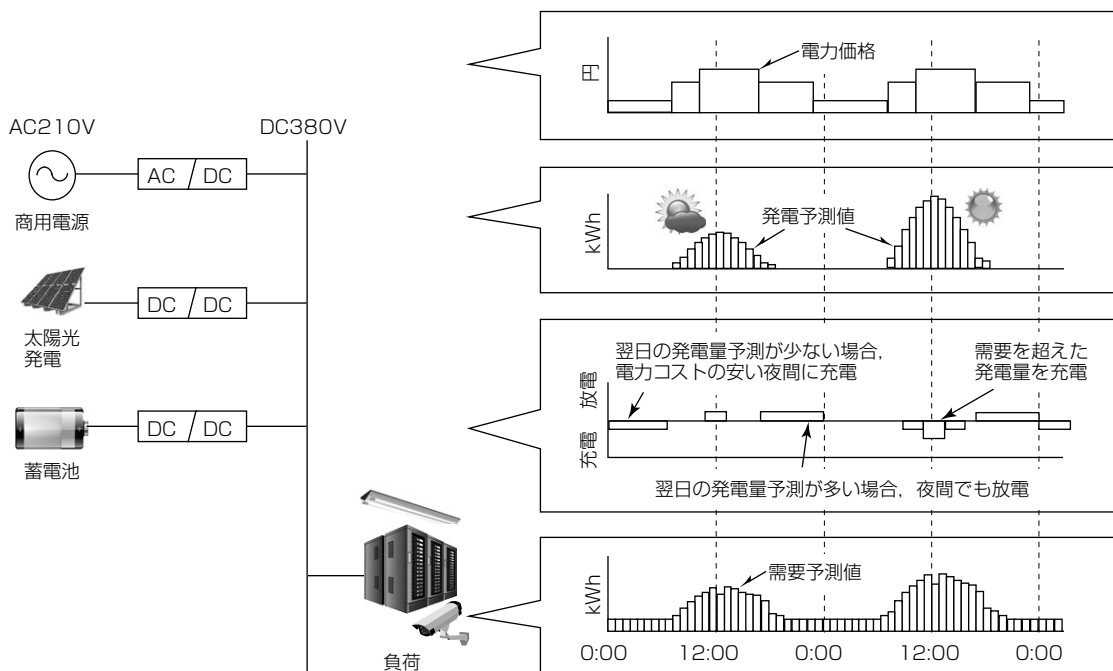


図8. 需要予測, 再エネルギー発電予測に基づく需給計画例

当社が開発したスマート中低圧直流配電ネットワークシステム“D-SMiree”ではエネルギーを無駄なく活用するため、エネルギーマネジメントシステム(EMS)の機能を持っている。EMSは主に需要予測機能、再生可能エネルギー(再エネ)発電予測機能、需給計画・制御機能の3機能で構成しており、再エネを最大限に活用するためには、需要予測、再エネ発電予測からの需給計画に基づいた蓄電池の有効活用が重要になる。電力需要は気象との相関性が高いため、気象予報データから過去の実績データを基に回帰分析を用いて48時間先までの需要を予測する。また、当日分に関しては直近の実績データを基に予測カーブを補正している。図8に示すように再エネ発電予測機能としては、太陽光発電予測機能と風力発電予測機能を開発中であり、気象予報データ(日射量, 風向, 風量)と発電出力特性モデルから、翌日の発電量を予測する。また、当日の発電予測は、過去の実績データを基に幾つかの予測モデルを組み合わせて予測精度を高めている。これらの予測を基に、蓄電池の有効活用と負荷制御を組み合わせ、ビル、工場などの設備運用に合わせた需給計画を行うことで、再エネ有効活用と商用電源からの給電を最小限にする運用を実現でき、今後市場に浸透していくと推測する。

4.2 直流高速遮断技術

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

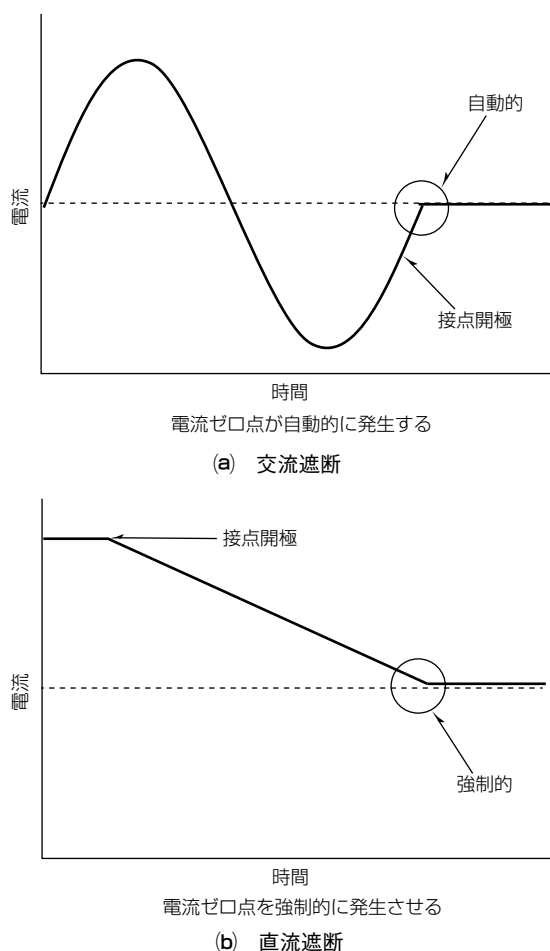


図9. 交流遮断と直流遮断

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、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

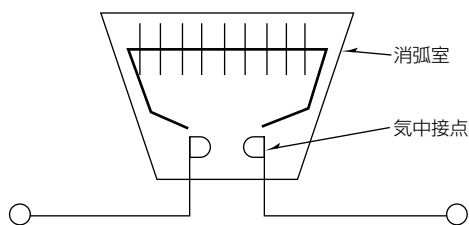


図10. 気中遮断方式

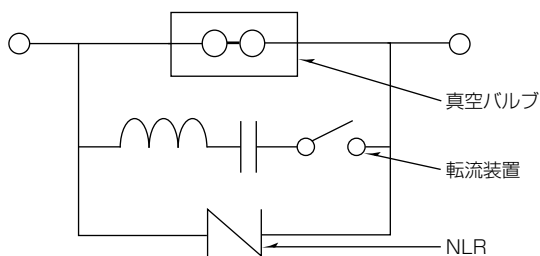


図11. 転流遮断方式

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、直流回路の場合は電流ゼロ点を持たないため、一旦発生したアークは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り遮断することになる。図9に交流遮断と直流遮断の違いを示す。

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で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。この方式はLCの振動電流で電流ゼロ点を作り、真空バルブで遮断して遮断後の回路エネルギーは非直線抵抗(NLR)で吸収する。図10に気中遮断方式、図11に転流遮断方式を示す。

真空バルブを使用した転流遮断方式は、気中アークが発生しないなどのメリットはあるものの、システムが複雑になることやユーザーサイドでのメンテナンスが容易でないことなどから最近では気中遮断方式の高速度遮断器(HSCB)への回帰も起きている。このような状況から高速検出、高速遮断などに新技術を適用して大容量化に対応した新形HSCBも開発されている。

また最近の直流配電の適用拡大に対応した直流遮断技術の開発も求められており、新技術の開発と要求にマッチした遮断器の製品化が今後更に進むものと推測している。

5. むすび

最近の技術・製品動向を主体にして受配電システム機器の技術展望を述べた。

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、グローバル化・規格の国際化、省エネルギー・環境負荷削減、IoT・高機能化、LCC削減、電力安定供給などの社会ニーズは、グローバル市場の中で、内部アーク対応などの重要性がますます高まると考えられる。また最近では、太陽光発電や風力発電のような自然エネルギーを利用した分散型電源の普及が推進されており、直流配電システムとこのEMSを含む再生可能エネルギー拡大に基づく電源の多様化による省エネルギーも進展すると予想される。また、IoTプラットフォームへの親和性向上によるCBMや自動点検による省力化、停電時間の短縮も進展すると予想されるなど、国内外を問わず社会ニーズは多様化し、要求も高度化している。このような社会変動の中にあって、今後も当社は、技術開発を更に進め、受配電システム機器として付加価値の高い製品を提供することによって社会に貢献していく。

参考文献

- (1) 次世代電力システムにおける直流給配電調査専門委員会：次世代電力システムにおける直流給配電の研究動向，電気学会技術報告，電気学会，No.1215 (2011)
- (2) 真空遮断器・開閉器の技術動向調査専門委員会：真空遮断器・開閉器の技術動向，電気学会技術報告，電気学会，No.1278 (2013)
- (3) 密封形変電設備の劣化保全技術高度化，電気協同研究会，61，No.3 (2014)
- (4) ガス絶縁開閉装置の保全高度化，電気協同研究会，70，No.2 (2014)
- (5) 中電圧スイッチギヤにおける絶縁方式の技術動向，電気学会技術報告，電気学会，No.1349 (2015)