

## 電力システム Power Systems

## HVDC検証棟の運転開始

## Starting Operation of High Voltage Direct Current Verification Facility

直流送電(High Voltage Direct Current : HVDC)は、交流送電より送電効率が高く、洋上風力発電や太陽光発電等再生可能エネルギーとの連系が容易なため、利用が拡大し、CO<sub>2</sub>排出量削減にも貢献している。HVDCの変換器方式としては、従来、他励式が広く用いられてきたが、近年になって系統条件の制約の少ない自励式の適用が増加している。自励式変換器は無効電力の独立制御、及びブラックスタートが可能という利点を持つ。

当社はMMC(Modular Multi-level Converter)方式を用いた自励式直流送電システム“HVDC-Diamond(HVDCダイヤモンド)”を開発した。また、MMC方式適用の自励式無効電力補償装置(STATic synchronous COMPensator : STATCOM)を既に実用化し、商用運転を開始している。MMC方式は、サブモジュール(SM)と呼ばれる小型変換器を複数個直列接続し、SMの半導体素子のスイッチングするタイミングを個別に制御することで、正弦波に近い電圧を発生させることができるため、高調波フィルタの削減を可能にする。また、直列接続するSM数を変えることで、直流電圧を容易に高くでき、幅広い用途に適用可能である。

当社は、実機と同じ変換器や制御保護装置等を用いてMMCシステム全体での運転検証及び性能確認を実施することを目的に“HVDC検証棟”を当社系統変電システム製作所(兵庫県尼崎市)内に建設し、2018年11月から運転を開始した(図1、表1)。

HVDC検証棟のシステムは、二組の変換器の直流出力端子を直流線路模擬装置を介して接続し、各変換器の交流端子は主変圧器を介して工場内の交流系統と接続した構成にしている(図2)。これによって、交流系統から変換器の運転損失電力を供給するだけで、SMに対して実機と同じ電流・電圧条件で検証を行うことができる。直流線路模



図1. 検証棟内のHVDCダイヤモンド(バルブホール)

表1. 検証棟の定格

定格事項	定格値
定格電力(連続定格)	50MW
定格DC電圧	±21kV
定格DC電流(連続定格)	±1,190A

擬装置は取り外し可能であり、直流線路を持たないBTB(Back To Back)構成の検証も可能である。また、実機では適用が難しい苛酷事故や機器故障なども模擬できる。

これまでに検証棟で定格運転(50MW融通)、過負荷運転、STATCOM運転、有効電力・無効電力同時出力運転、潮流反転、ブラックスタート等の各種検証試験を完了し、リアルタイムデジタルシミュレータでの測定結果との比較・検証によって、開発したこのシステムが実系統に適用可能であることを実証した。今後、長期運転試験による安定性試験等を実施予定である。

当社HVDCダイヤモンドの特長は次のとおりである。

- (1) 高速制御・保護システムによって、高信頼性を実現  
個々のシステム要件に最適な制御機能及びハードウェア構成によって安定した運転、高速応答の保護機能搭載によって、落雷等による交流送電系統事故発生時の運転継続、直流事故発生時の過電流等での設備損傷を防止し、高信頼性を実現した。
- (2) 当社製HV-IGBTの採用によって、省スペース・低コストを実現

産業・電力・交通用途で用いられ、高電圧領域での高信頼性から高いシェアを誇る当社製高耐圧・大電流パワー半導体モジュールの採用によって、変換器のSM数を削減し、電力変換所の小型化と低コスト化を実現した。

自励式直流送電システムは国内では周波数変換を含む交流系統間連系への適用、北米や欧州を中心とした海外では国際連系や再生可能エネルギーとの連系への適用が期待され、当社は国内外で多数の系統安定化装置のFTK(Full Turn Key)案件遂行実績に加え、今回の検証棟での実績を基に、自励式直流送電市場への参入を目指す。

また、更なる性能向上を目指し、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)素子の高耐圧・大電流化に加え、損失が低いSiC(シリコンカーバイド)の適用によるシステムの高効率・小型化の検討も進める。

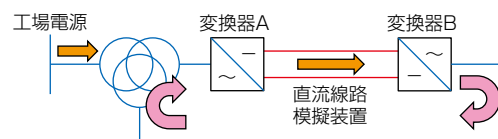


図2. 検証棟の結線図

## 電力システム Power Systems

## 関西電力(株)信貴変電所向け新形500kV変圧器の納入と工期短縮

Delivering New Type 500kV Transformer and Shortening Construction Period for Shigi Substation of Kansai Electric Power Co., Inc.

流動帯電現象の懸念がある高経年500kV第1世代変圧器(1976年納入)の更新工事に際し、最新技術を適用した500kV新形変圧器を関西電力(株)信貴変電所に納入した。新形変圧器には最新技術として、ポリマーガスブッシング、新形中容量真空バルブ式負荷時タップ切換器、防音タンクレス構造を適用した<sup>(\*)</sup>。主な特長は次のとおりである。

## (1) 変圧器用ポリマーガスブッシング

SF<sub>6</sub>ガスを封入したガス絶縁構造であり、従来の油浸紙コンデンサ(OIP)形に対して磁器がい管レス・オイルレス・コンデンサコアレス化を図っている。このため従来形に比べ、質量が1/5へ大幅に軽減され、内部構造が簡素なため信頼性が高く経済性向上が期待でき、火災発生リスク排除によって防災性も向上した。ポリマーがい管は電気協同研究(電協研)第72巻第4号<sup>(\*)</sup>で提示された漏れ距離を満たすものであり、等価霧中試験を実施して汚損耐電圧目標値を上回ることを確認済みである。耐震性能についても、最新の電協研第74巻第2号<sup>(\*)</sup>の変電耐震設計スペクトル2(JEAG5003<sup>(\*)</sup>の設計地震力の2倍レベル)の加振条件で解析の結果、ポリマーがい管の許容曲げ荷重に対して十分な裕度を持つことを確認している。変圧器油中側は、ブッシングタンクとエポキシ樹脂製の注型絶縁筒で油とガスを区画しており、将来のポリマー部分交換時でもブッシングタンクと注型絶縁筒は解体不要であり、変圧器の抜油は不要である。また油中側の寸法・取り合い構造は従来のOIPブッシングと互換性を持っており、油入磁器ブッシングのポリマー化が可能である。

## (2) 新形中容量真空バルブ式負荷時タップ切換器

従来の油中接点式から真空バルブ式が主流となっており、当社としては小容量形として“MVH形”、大容量形として“VRF形”を導入してきたが、今般、中容量形として“MVM形”を開発した。真空バルブ式は、油中でのアーク放電が生じず、絶縁油の劣化・汚損が少ないため活線浄油器が不要で、接点の長寿命化によって接点アンバランス消耗への配慮不要、メンテナンス周期の延伸、期待寿命の長期化等を実現した。また、油中接点式“MRM形”切換開閉器との互換性があるため、油中接点式の真空バルブ化(レトロフィット)が可能になった。

## (3) 防音タンクレス構造

鉄心に高磁束密度材を採用して磁束密度を低減することによって、60dB仕様での防音タンクレス構造の適用が可能になった。

## (4) 更新工事での優位性

経済性を考慮し、既設設備の流用が可能な元位置更新にし、単相CGPA(Coil Group Packed Assembly)方式(分解輸送・現地組立て方式)を採用した。本来、CGPA方式は三相器が有利であるが、変電所構内に空きスペースが少なく、長期の停止が難しい変電所では、既設と同じ単相器を採用することで、基礎や消火装置等の既設設備を有効に活用できる。従来、元位置での現地組立てであったものを、別位置で行って元位置へ構内搬送する方式にした。また、軽量のポリマーガスブッシングの適用によって低重心化し、ブッシングを取り付けた状態での構内移動を可能にした。その結果、従来、変圧器回線を長期停止して実施していた現地組立て作業で、停止する期間を最小限に抑えることが可能になり、5か月間の停電期間短縮を実現した。

\*1 小林翔悟, ほか: 国内初のポリマーガスブッシング適用500kV変圧器更新工事, 令和元年電気学会B部門大会, No.344 (2019)

\*2 一般社団法人 電気協同研究会: ポリマーがい管の設計基準・試験法の標準化, 電気協同研究, 72, No.4 (2016)

\*3 一般社団法人 電気協同研究会: 変電機器の耐震設計最適化, 電気協同研究, 74, No.2 (2018)

\*4 一般社団法人 日本電気協会: 変電所等における電気設備の耐震設計指針, JEAG5003 (2010)



別位置組立て完了後に構内仮置き中の新形変圧器



現地据付け・調整試験完了後の新形変圧器

# 原子力業界の将来動向を見据えた原子力向けDXシステムの開発コンセプト

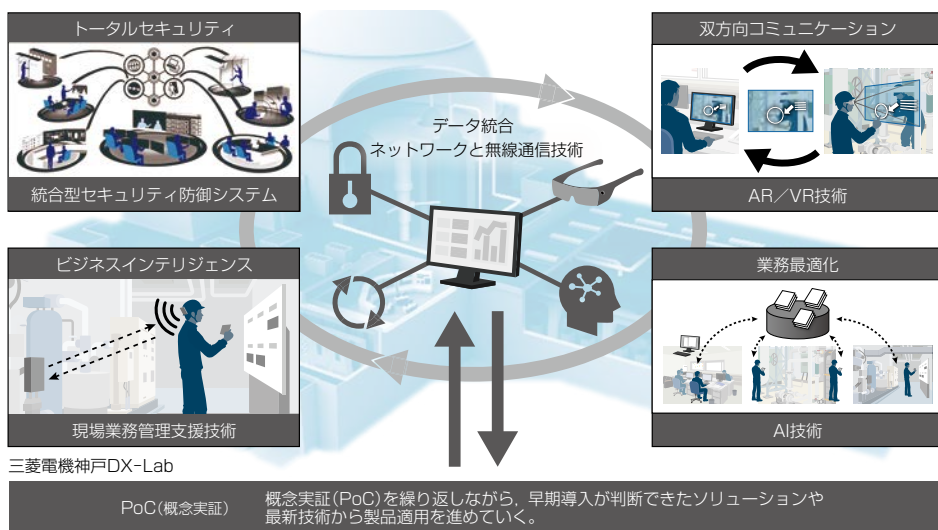
## Development Concept for Future-oriented Nuclear Digital Transformation Systems

エネルギー分野では、電力自由化、発送電分離、再生可能エネルギー事業者の参入等、事業環境の変化点を迎えており、新規参入を含めた事業競争の激化が予想される。また、原子力業界では、更なる安全性向上に向けた新検査制度の試運用が開始され、電力事業者は炉監督プロセス(Reactor Oversight Process:ROP)に対応した自主的な安全対策の強化に取り組んでいる。

一方、IT業界では、AI、ビッグデータ、AR/VR等の先端ICT(Information and Communication Technology)/IoT(Internet of Things)技術が急速に浸透し、クラウド技術を活用したサービス中心のビジネスへの移行など、ビジネスモデルの変革、事業構造のパラダイムシフトが世界的に加速している。このような状況で、経済産業省は国内企業の競争力維持の懸念から“DXレポート”(\*5)を公開し、各企業に対して、新たなデジタル技術を活用してビジネスモデルを創出・柔軟に改変するデジタルトランスフォーメーション(Digital Transformation:DX)への取組みを促している。

当社は、これらエネルギー分野を取り巻く社会変化、技術変化等の未来予測を行い、原子力事業でのDXの目指す姿を構想し、PoC(Proof of Concept)(\*6)に向けた施設“三菱電機神戸DX-Lab”を整備して、DXシステムの開発を推進している。

- \*5 経済産業省：DXレポート～ITシステム“2025年の崖”克服とDXの本格的な展開～：経済産業省デジタルトランスフォーメーションに向けた研究会(2018)
- \*6 概念実証。新たな概念やアイデアの実現可能性を示すために、簡単かつ不完全な実現化を行うこと。



AR: Augmented Reality, VR: Virtual Reality, AI: Artificial Intelligence

### 原子力DXの全体構想

# IEC62271-200対応真空遮断器(定格電流2,000A)“20-VPR-25D”

## Vacuum Circuit Breaker(Rated Current 2,000A) "20-VPR-25D" Complying with IEC62271-200

配電盤の安全性向上の観点から、IEC62271-200に沿った仕様を採用する機運が世界的に高まりつつある。当社では、2018年にこれに対応した24kV630A/1,250A定格の真空遮断器(Vacuum Circuit Breaker:VCB)を製品化したが、今回24kV2,000A定格のVCB“20-VPR-25D”を開発し、シリーズ化開発を完了した。新規開発器の主な特長は次のとおりである。

### (1) 安全装備の充実

金属シャッタを標準装備し、IEC62271-200が要求する最も安全性の高い運転連続性区分LSC2B-PMへの対応を可能にした。また、内部アーク仕様配電盤への搭載を可能にする外部引出操作機構、E2クラスアーシングスイッチ等の多彩なオプション群を準備し、幅広い顧客ニーズへの対応を可能にした。

### (2) 1,250A器との外形寸法の統一

2,000Aの大容量通電性能を定格電流1,250A器と同一の外形寸法で達成し、より広い定格領域で盤設計標準化を可能にする等、顧客メリットを高めた。

### (3) 軽量・高信頼化

熱流体解析に基づいて設計した高い放熱効率を持つ主回路構造を採用することで、主回路充電部を完全に覆うモールドタイプにし、絶縁信頼性を向上させながらも、遮断器全体として約10%の軽量化を達成した。



20-VPR-25D  
(定格電流2,000A)