

電力系統用パワーエレクトロニクスシステムの最近の更新技術

Latest Technologies for Replacement of HVDC Systems

村尾 武 島田 和義 相沢 仁士

■ MURAO Takeru ■ SHIMADA Kazuyoshi ■ AIZAWA Hitoshi

現在国内で稼働している電力系統用パワーエレクトロニクス設備では、高経年化に伴う運転上あるいは保守上の問題が発生してきており、システムの部分更新や一括更新が計画され、実施されてきている。これら高経年システムでの主な課題は、故障率の増加によるシステム稼働率の低下と、保守部品の枯渇及び専門技術者の減少に伴ってシステムの性能及び信頼性の維持のための保守が難しくなっていることである。

東芝はこれらを解決するため、制御保護システムに最新技術を取り入れるとともに、工期の短縮に配慮したシステムの更新を進めている。

Partial renewal or total replacement of aged power electronics facilities in currently operating domestic power transmission systems is planned and implemented to solve problems in operation and maintenance. The main issue with respect to these aged systems is the difficulty in sustaining system performance and reliability as a result of low utilization rates, due to an increase in the failure rate and the lack of maintenance parts and skilled engineers.

In response to this situation, Toshiba is making efforts to introduce the latest technologies for control and protection systems and to carry out the replacement of high-voltage direct-current (HVDC) transmission systems within the shortest possible time.

1 まえがき

現在国内で稼働している電力系統用パワーエレクトロニクス(以下、パワエレと略記)設備は、製造から15年以上を経過した設備が過半数となっている。最近、1970年代後期に建設した大型パワエレ設備の、制御保護システムの部分更新と、変換装置及び制御保護装置の一括更新という、異なる形態の更新工事を各々経験した。これらの事例を紹介するとともに、高経年パワエレ設備での課題と更新における技術ポイントについて述べる。

2 既設設備の状況と問題点

国内で稼働中のHVDC (High Voltage Direct Current Transmission: 直流送電設備), FC (Frequency Converter: 周波数変換設備), 及びBTB (Back-To-Back: 直流線路のない非同期連系設備)の運転開始年と主要技術要素であるサイリスタ及び制御保護装置の適用技術の変遷を図1に示す。

年代順に、第1のグループに分類される1977～1979年に建設された新信濃1号FC、北本(北海道-本州)HVDC(第1極)は、建設後30年を経過し、2007年から設備の更新が実施されている。

第2グループの新信濃2号FC、佐久間FC、北本HVDC(第2極)は、建設後15年を経過しており、主回路機器は依然として健全に運転しているが、主回路機器以外の部分で課題を抱えている。具体的には、デジタル制御保護装置が、その

運転開始年	1977 1979	1992 1993	1999 2000
設備名称	新信濃1号FC 北本HVDC(第1極)	新信濃2号FC 北本HVDC(第2極) 佐久間FC	南福光BTB 紀伊水道HVDC 東清水FC
	第1グループ	第2グループ	第3グループ
サイリスタ	電気点弧(ETT)	光点弧(LTT)	
制御保護装置	アナログ	16ビットデジタル	32ビットデジタル

ETT : Electrically Triggered Thyristor LTT : Light Triggered Thyristor

図1. パワエレ設備の運転開始年と適用技術 — 適用技術の変遷により、三つのグループに分けられる。

Trends in applied technologies for domestic HVDC, frequency converter (FC), and back-to-back (BTB) systems

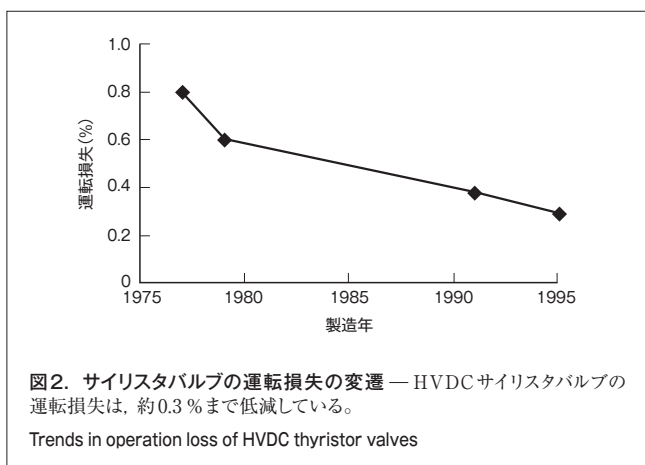
使用している電子部品の世代交代、例えば、16ビットCPU、電源電圧15Vの論理回路IC、などが市場から消滅したため保守用予備部品が枯渇し、また、専門の技術者の減少もあってその保守が年々困難になってきている。1987～1995年ころに建設された電力系統用SVC (Static Var Compensator: 静止型無効電力補償装置)でも同様の問題を抱えている。

第3グループの南福光BTB、紀伊水道HVDC、東清水FCは、建設後10年を経過しつつあり、建設時に策定した長期メンテナンス計画に準拠して制御回路電源装置などの部品交換やオーバーホールなどが計画され実施段階に移行しつつある。

3 設備更新時のシステム設計ポイント

パワエレシステムの設備更新検討において、システム設計の面から配慮すべきポイントは以下のとおりである。

- (1) 運転損失の低減 主回路機器の運転損失を低減することが重要であるが、更新時にサイリスタバルブを最新型とすることによる損失低減効果をもっとも期待できる。**図2**はサイリスタバルブ運転損失の推移を示している。1977～1979年製の装置を更新すれば運転損失は0.6～0.8%から約0.3%まで低減可能である。
- (2) 制御保護装置の高性能化と高機能化 更新により制御性能及びシステム稼働率の向上が図れ、また運転監視の高機能化も可能になる。旧式のアナログ方式や16ビットデジタル方式から、現在の高速な32ビットデジタル方式に変わり、各種制御性能の向上が図られる。システム状態をネットワーク経由で遠方監視する変電所の無人化や保守省力化に対応した新技術を導入することもできる。また、高信頼度の多重系システム構成とすることにより、単一の故障ではシステム停止に至ることのない高稼働率なシステムにできる。
- (3) 工期の短縮 既設システムの停止期間を最小限とすること、あるいは所与の停止期間で最大限の試験を行うことが更新時の重要ポイントである。電力系統用パワエレ設備は多数の装置が緊密に連携運転するシステムであり、様々なシステム総合試験が必要で、新設の場合では半年程度かかるこの試験期間を短くする工夫が重要となる。
- (4) 保守対応への配慮 将来の保守部品の入手性や技術者の確保に配慮することが重要である。更新時に適用するハードウェア、ソフトウェアともにこの点を重視して選定する。古い装置の一部だけ(例えば、3相中の1相など)を更新し保守用部品として転用する場合には、古い装置に関する知識と経験を持つ専門保守技術者を確保することの困難さを考慮しておく必要がある。



4 最近のシステム更新事例

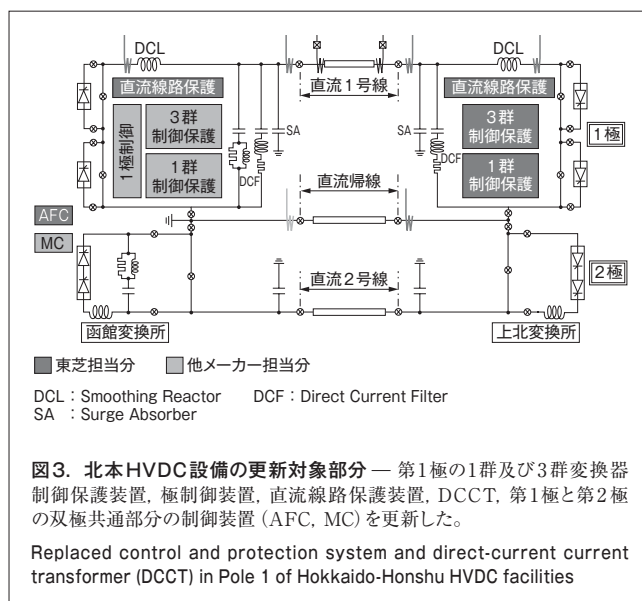
東芝は、前述した第1グループの電源開発(株)北本HVDCでは制御保護系の部分更新を、東京電力(株)新信濃変電所1号FCでは変換器と制御保護系の一括更新を、ともに2007年から実施している。それぞれのシステム更新の概要を以下に述べる。

4.1 北本HVDC第1極の制御保護システム更新

北本HVDC第1極は、1979年に運転を開始した、システム定格がDC250 kV - 1,200 A - 300 MWの設備である。サイリスタバルブの経年劣化は顕著ではないが制御保護装置の劣化と保守上の問題が顕著であった。このため、制御保護装置をアナログ1重系からデジタル2重系システムへ更新し、DCCT (Direct Current Current Transformer) も2重系システムに対応した装置へ更新する部分更新を行うこととなった。制御保護装置38面及びDCCT10台を更新して2008年4月25日に運転を開始した。

4.1.1 更新対象装置 更新対象範囲は、第1極の1群及び3群変換器の制御保護装置、極制御装置、直流線路保護装置、双極共通部分の直流AFC (Automatic Frequency Controller: 自動周波数制御装置)、MC (Master Controller: 共通制御装置)、DCCTである(図3)。

4.1.2 試験の効率的実施 システム総合試験を効率的に実施するため、制御保護装置をRTDS (Real Time Digital Simulator) と組み合わせる行うシミュレータ試験を2段階に分けて入念に行った⁽¹⁾。1回目は電源開発(株)茅ヶ崎研究所において約500ケース、2回目は電源開発(株)函館変換所において140ケースのシステム試験を行った。実設備とほぼ同じ形態で他メーカー装置と組み合わせられた状態で行うシミュレータ

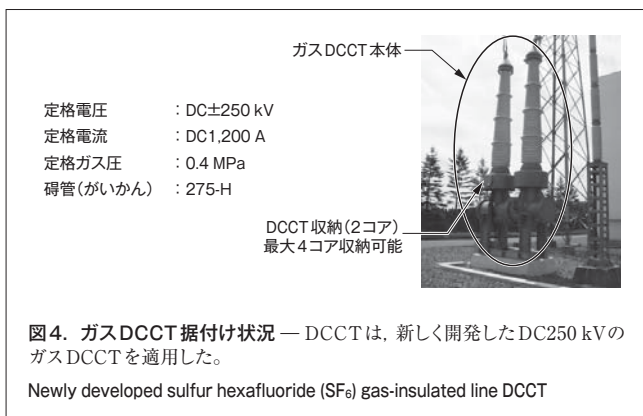


試験を実施することで、従来は数か月から半年以上を要していた系統連系試験を2か月弱の短期間で効率的に実施することができた。

4.1.3 新装置による高性能化 直流AFCは、北本HVDCを使って系統周波数安定化を図るための制御装置である。北海道と本州の周波数検出値と、制御装置内の系統モデルから推定した発電機の状態量とから、現代制御理論に基づく多変数制御にて系統周波数安定化に最適な運転指令値を演算し出力する。更新した装置では周波数検出と直流運転電力指令演算を高速化することにより、常時の周波数変動抑制（平常時AFC）、系統故障時の周波数変動抑制（緊急時AFC）の両機能で性能向上効果があった。2重系システムに対応してDCCTには新開発のDC250 kVガスDCCTを適用した（図4）。

4.1.4 部分更新における技術課題 パワエレシステムの本格的な部分更新を行うにあたっての技術上の課題は、更新装置と30年以上前に製造した更新対象外の古い装置とのインタフェースの確立と更新対象外装置の現地改造であった。

- (1) 更新対象外装置とのインタフェースの確立 直流高電圧が印加されたサイリスタ素子及び周辺電子回路と、大地電位にあるゲート信号発生装置とを接続するライトガイドは、確実な信号伝送とともに直流高電圧絶縁性能も要求される、非常に重要でしかも高度な技術が要求される部品である。更新対象外のサイリスタバルブが現在の標準とは異なる方式であるため、今回、専用の光信号伝送ライトガイドを新規開発した。現地から予備サイリスタモジュールを工場へ持ち帰り、開発したライトガイド及びゲート信号発生装置（更新対象）と組み合わせて動作検証を実施した。また、両変換所間の従来方式の通信インタフェースに合わせるため、制御ソフトウェア開発とインタフェース盤追加も行った。
- (2) 更新対象外装置の現地改造 制御保護システムには既設装置を流用するものも多数あり、これら装置では新しい2重系システムに対応する回路や、両変換所間で



の通信信号の再構築などのため、複雑かつ大規模な装置改造が必要であった。人的リソースを集中的に大量投入して、これらを短期間の停止期間中で確実に実施した。

4.2 新信濃変電所1号FCの一括更新

新信濃変電所1号FCは、1977年に運転を開始した、システム定格がDC125 kV-1,200 A×2群-300 MWの、50 Hzと60 Hz系統間を連系している設備である。変換装置と制御保護装置の一括更新工事が進行中で、2009年6月に運転再開予定である。設備の中核をなす電気点弧サイリスタを使用した油絶縁油冷却方式サイリスタバルブと、その点弧信号を生成するHFG (High Frequency Gate Pulse Generator) 及び制御保護装置において以下のような運転上及び保守上の問題点が顕在化してきたため、変換装置と制御保護装置を一括で更新することとなった（図5）。

- (1) チャンネル現象⁽²⁾によるサイリスタ素子の劣化が顕著に見られ、数年のうちに劣化素子数が冗長素子数を超えるおそれがある⁽³⁾。
- (2) 制御保護装置及びHFGの使用部品の特性劣化が激しく、点検周期短縮や点検項目強化をしてもカバーしきれない事象が増えている。
- (3) 数msオーダの制御特性管理をアナログ回路基板の調整で今後も維持していくのは困難である。
- (4) 同じ新信濃変電所に設置されている2号FC（1992年運転開始）の制御保護システムと比較して、特性維持や保守対応の点で劣る（表1）。

4.2.1 更新工事工程 今回の全面更新では、既設1号FCの隣の区画に新1号FCを建設し、屋内外機器の据付け及び無課電試験を完了させた後、変電所の275 kV回路を既設1号FCから新1号FCに切り替えて主回路受電する方法をとった。この回路切替えの直前まで既設1号FCを運転できるのは一括更新方式の大きなメリットである。

2006年から装置の設計製作を始め、2007年12月から2008

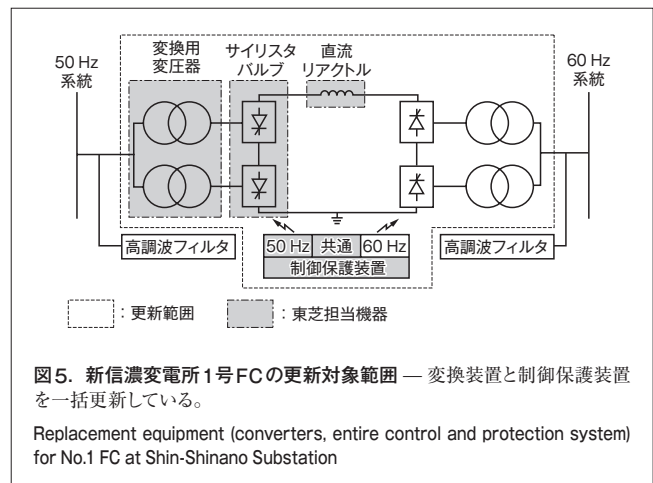


表1. 新信濃変電所FCの制御保護システムの比較
Comparison of control and protection systems in present No. 1 FC and No. 2 FC at Shin-Shinano Substation

項目	2号FC	1号FC	備考
方式	全デジタル制御2重系	アナログ制御1系列	
構成要素	16ビットCPU	HTL方式OPアンプ、IC・トランジスタ基板方式	予備入手には新規製作が必要
特性変動	なし	あり	点検時調整が不可欠
点検難度	容易	高難度	個人の技量に頼る
緊急対応	容易	即応困難	対応可能技術者が少ない 部品入手には新規製作が必要
保護方式	フェールセーフ構成	止め勝手思想のため、停止優先	
使用部品	汎用品、標準品が中心	専用部品、特殊品が多数	部品入手の困難さが増大
信頼度	高信頼度が容易(多重化、監視)	高信頼度が困難(部品レベルで決まる)	

HTL : High Level Transistor Logic OP : Operational



図6. 新信濃変電所 新1号FCの50 Hz側サイリスタバルブ — 無課電試験まで終了し、今後、系統連系試験を実施する。
50 Hz-side thyristor valve at Shin-Shinano Substation

年5月にかけて変換用変圧器、直流リアクトル、サイリスタバルブなど主要機器の据付けを完了した。制御保護装置は工場でのシミュレータ試験を実施した後、2008年4月から5月にかけて現地搬入し、現地での単体試験とシミュレータ試験を行った。10月末時点で主回路機器と制御保護装置を組み合わせた低圧通電試験まで終了している(図6)。

今後、既設機器との接続調整後、275 kV回路の切替えを行い、系統連系試験で最終的な調整を実施していく。

4.2.2 システム一括更新の特徴 既設2号FCとの仕様統一を図りつつ、2号FCと異なる合理的なシステム構成も採用した。

- (1) 既設2号FC設備との仕様統一 新1号FCの設計仕様は、2号FCとの統一性と整合性を重視して決定した。
- (2) 2号FCと異なるシステム構成 一括更新では部分更新と異なりシステム全体構成に変更の自由が効く。制御の高速性を生かし、直流リアクトルのインダクタンスを2号FCの約半分に低減して小型化した。また、2号FC

では50 Hz側と60 Hz側変換器に個別設置してあるサイリスタバルブ冷却装置を共通の1装置にするなど、合理的なシステム構成を採用している。

4.3 部分更新と一括更新の比較

部分更新の場合、1回の更新に要するコストを抑えることができ、更新コストの平準化が図れるメリットがある。しかし、部分更新、一括更新いずれの場合においても、更新対象外装置との特殊で非標準なインタフェースの構築や、更新対象外装置の現地改造が発生する。これらのインタフェース構築や改造は集中的なリソース投入が必要な作業であり、部分更新を逐次的に行う場合には、そのつど実施する必要がある。

一括更新では一度に実施できるため作業時間、コストともに少なくできる。また、一括更新では新しいシステム設計導入に自由度がある点も考えれば、一括更新のほうが技術的にはメリットが大きい方式であると言える。

5 あとがき

北本HVDC第1極の制御保護システム部分更新と、新信濃1号FCの一括更新の事例を紹介するとともに、高経年パワエレシステムでの問題点と更新における技術ポイントを述べた。両プロジェクトを通じて、システム更新における様々な実務上の問題に直面しこれを解決してきた経験から数々のノウハウが得られた。今後実施されるシステム更新プロジェクトでこれらのノウハウを生かしていく。

文献

- (1) 牧野芳範, ほか. 電力系統シミュレータによる制御保護装置の検証. 電気学会誌. 128, 5, 2008, p.299-302.
- (2) 電力系統用パワーエレクトロニクス機器専門委員会. 電力系統用パワーエレクトロニクス設備の現状と設計・保守基準. 電気協同研究. 57, 2, 2001, p.306.
- (3) Kobayashi, T., et al. "Operation experiences and replacement planning of Shin-Shinano frequency converter No.1". CIGRE Osaka Symposium. 大阪, 2007-11, CIGRE. 論文番号324. (CD-ROM).



村尾 武 MURAO Takeru

電力流通・産業システム社 電力流通システム事業部 電力変電技術部主務。電力系統用パワーエレクトロニクスシステムのエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。
Transmission & Distribution Systems Div.



島田 和義 SHIMADA Kazuyoshi

電力流通・産業システム社 電力流通システム事業部 電力変電技術部参事。電力系統用パワーエレクトロニクスシステムのエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。
Transmission & Distribution Systems Div.



相沢 仁士 AIZAWA Hitoshi

電力流通・産業システム社 電力流通システム事業部 電力変電技術部主務。電力系統用パワーエレクトロニクスシステムのエンジニアリング業務に従事。
Transmission & Distribution Systems Div.