

西日本旅客鉄道(株) 紀勢線 双子山変電所 受変電システム

Railway Power Supply System for Futagoyama Substation on Kisei Line of West Japan Railway Company

稲田 智成

菊池 紀之

福田 恭之

■INADA Tomonari

■KIKUCHI Noriyuki

■FUKUDA Yasuyuki

電気鉄道用変電所の受変電システムの更新にあたっては、環境調和型機器の採用、機器のコンパクト化、及びランニングコストの低減が求められている。

東芝は、これらの要求に応えるため、環境に配慮した液体シリコン変圧器、コンパクト化した整流設備、及びランニングコストを低減した新型監視制御盤など、これまで多くの変電所に納入した経験と技術を生かして在来線の直流単線区間向けに最適な受変電システムを構築し、今回、西日本旅客鉄道(株)紀勢線の双子山変電所に納入した。今後、このシステムは、中規模変電所に適用されていくことが期待される。

In the renewal of aging railway substations in recent years, requirements have come to include the adoption of environmentally friendly equipment, downsizing of equipment, and reduction of running costs through easy maintenance.

To meet these requirements, Toshiba has developed an optimal power supply system for substations in existing DC single-track regions based on our experience and technologies cultivated through the development of a large number of substations. The system consists of an environmentally friendly silicone-liquid-immersed transformer, compact rectifier equipment, and a new-type monitoring and control panel that can reduce running costs. We have delivered the new system to the Futagoyama Substation on the Kisei Line of West Japan Railway Company. This system is expected to be applied to medium-scale railway substations.

1 まえがき

西日本旅客鉄道(株)紀勢線は、比較的列車本数が少ない在来線直流単線区である。この線区は電化されてから約35年が経過しており、設備更新計画の対象となっていた。更新にあたり、環境調和型機器の採用、設置スペースの縮小、更に設備規模に合わせた最適システムの納入が求められた。

東芝は、これまでの経験と技術を生かし、この線区の子山変電所に対して最適な受変電システムを構築し、運用を開始させることができた。

ここでは、開発した機器の概要と特長について述べる。

2 システムの概要

2.1 双子山変電所の概要

西日本旅客鉄道(株)双子山変電所の受変電システムは、関西電力(株)から33kVを1回線で受電する特別高圧設備と、33kVの三相電力を直流1,500Vに変換する整流設備、直流き電設備、監視制御配電盤、及びこれらの付帯設備で構成されている。今回の更新対象はこれらの設備全てである。

2.2 双子山変電所の設備更新コンセプト

双子山変電所の設備更新にあたっては、次の3点をコンセプトとして仕様を検討した。

- (1) 環境対策 整流器用変圧器の冷却媒体には、環境汚染の心配がなく難燃性の液体シリコンを検討した。また、整流器は、環境調和型機器として十分な実績のある、純水を冷却媒体としたヒートパイプ整流器を検討した。
- (2) コンパクト化 更新にあたっては、既設設備を運用しながら狭小スペースでの切替えが必要であったため、機器のコンパクト化が求められた。そこで、実負荷パターンを考慮した定格の検討により変圧器の小型化を図り、更に、シリコン整流器と整流器用変圧器間を接続するバスダクトの長さを従来より短くしたショートダクトを検討した。
- (3) ランニングコストの低減 監視制御盤は設備規模に応じたシステム構成とすることで、電子部品などの交換推奨周期が比較的短い用品を削減し、ランニングコストの低減を検討した。

以下に、これらの検討の詳細を述べる。

3 変圧器冷却媒体への液体シリコンの採用

屋外設置の整流器用変圧器は、鉱油を冷却媒体とした油入変圧器が主流だが、今回は環境対策のため、冷却媒体に毒性がなく環境汚染の心配がない液体シリコン(JIS C 2320(日本工業規格C 2320)6種)を採用した。液体シリコン変圧器の特長は次のとおりである。

- (1) 無色透明で毒性がなく、環境汚染の心配がない。
- (2) 難燃性で、引火点が高く、かつ自己消火性がある。
- (3) 鉱油変圧器と同一構造で、設置場所は屋内か屋外かを選ばない。

液体シリコン変圧器は、新幹線など交流き電電車に搭載する車両用変圧器として、1970年代初頭に実用化され、近年では、環境調和型機器として、変電所での採用が増加している。西日本旅客鉄道(株)において、今回の液体シリコン変圧器は本運用の変電所に導入した初号機である。

各種の冷却媒体を用いた変圧器の比較を表1に、液体シリコン変圧器の外観を図1に示す。

表1. 各種冷却媒体を用いた変圧器の比較
Comparison of transformers using different refrigerants

項目	液体シリコン変圧器	油入変圧器	モールド変圧器	SF ₆ ガス変圧器
絶縁・冷却媒体	液体シリコン (JIS C 2320 6種)	鉱油 (JIS C 2320 1種)	エポキシ樹脂 (空気)	SF ₆ ガス
燃焼性	難燃性	可燃性	難燃性	不燃性
耐熱クラス	H種など	A種	B, F, H種	E種
屋内外仕様	屋内・屋外	屋内・屋外	屋内	屋内・屋外
耐塵(じん)性	○	○	△(盤収納により○)	○
耐湿性	○	○	長期休止時には吸湿対策要	○
保守点検	温度監視 油漏えい点検	温度監視 油漏えい点検	外観目視点検	温度監視 ガス漏えい点検
予防保全	油中ガス分析	油中ガス分析	コロナ測定	ガス分析
過負荷耐量	大きい	大きい	普通	普通
寸法	○	○	△ (搬入時は分割により○)	△
騒音	やや小さい	やや小さい	普通	やや小さい

○: 最良 ○: 良 △: 適用可能



図1. 液体シリコン変圧器 — 変圧器冷却媒体に液体シリコンを採用することで、環境対策と変圧器の小型・軽量化を実現した。
Silicone-liquid-immersed transformer

4 整流設備の設置スペースの縮小

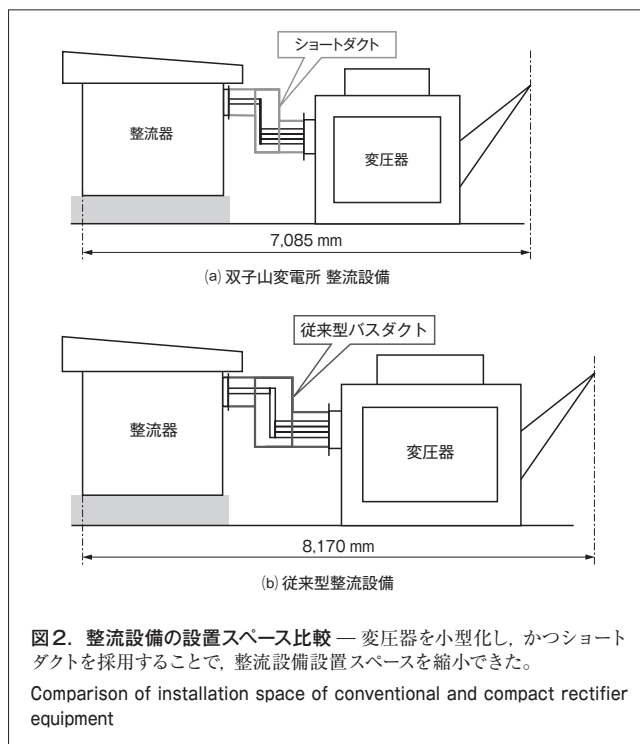
整流設備とは、交流の電力を直流に変換する設備であり、整流器用変圧器とシリコン整流器から成る。

鉱油と比較し、液体シリコンは引火点が300℃以上と高いため、通常絶縁材料に用いられるクラフト紙よりも耐熱性能の高いアミンを添加した、耐熱絶縁紙を巻線に使用することで、連続定格における変圧器の耐熱性能を上げ、変圧器の小型・軽量化を図った。

更に、紀勢線の実負荷パターンを検証し、従来の仕様では3,200 kVA-D種 (100%-連続, 150%-2時間, 300%-1分) となっていた変圧器の定格を、2,130 kVA-S種 (100%-連続, 150%-1時間, 400%-1分) へと容量を低減し、過負荷定格を見直すことで、外形寸法の縮小を実現した。

整流器用変圧器とシリコン整流器間の接続は、据付環境の状況によりバスダクト又はケーブルによる方法が選択されるが、設置スペースが狭い場合は、バスダクト接続が採用されるケースが多い。双子山変電所もバスダクトを採用したが、スペースが特に狭く、従来のバスダクトでは設置が困難であったため、今回は、より短いショートダクトを採用した。整流器用変圧器とシリコン整流器の間の主回路接続部は、取合い部の微調整ができるようフレキシブル導体で接続されるが、接続部の主回路導体の構造を見直すことで、寸法の縮小を図った。

従来と今回の整流設備について設置スペースの比較を図2に示す。従来が8,170 mmであるのに対し、今回は7,085 mmであり、変圧器の小型化とショートダクトの採用により、設置ス



ベースを1,085 mm 縮小することができた。整流設備の縮小により、狭小スペースでの切替えが可能になった。

5 新型監視制御盤の開発

5.1 従来の監視制御盤の特長と問題点

従来、西日本旅客鉄道(株)で採用されていたME (Micro Electronics) 形配電盤(以下、ME 盤と呼ぶ)は、プログラマブル ロジックコントローラ (PLC : Programmable Logic Controller) で制御と状態監視の機能を担っていた。従来のME 盤は、電子部品を実装し、機器操作と状態監視をソフトウェア化することでコンパクト化できるという特長を持っていたが、近年、次のような問題が顕在化してきた。

- (1) 保守・点検作業の増加 従来ME 盤は、PLCや電源装置(直流24 V)など各種電子部品を多数採用しており、用品交換など定期保守の頻度が増加し、ME 盤導入以前の電磁形配電盤と比較すると、作業費や用品費など保守・点検作業に掛かる費用負担が増加した。
- (2) シーケンスのブラックボックス化 制御回路をソフトウェア化したことで、従来の電磁形配電盤では容易に確認できたシーケンス回路がブラックボックス化され、ユーザー側でのシーケンスの確認が困難になった。

5.2 新型監視制御盤のシステム構成と機能

前節で述べた問題点を解決するため、在来線の直流単線区(中小規模システム線区)向けとして、仕様や装置の構成を最適化した監視制御盤を新たに開発した。この監視制御盤は、補助リレーを主体としたリレーシーケンス回路を採用することでPLCなど電子部品を大幅に削減し、ユーザーがシーケンスと動作を目視で確認できるようにした。

また、ME 盤以前に主流であった検出回路と同等のシーケンス点検機能を持つ、デジタル連動監視システム(DMS : Digital Type Monitoring System)を採用することで、従来のME 盤と同等の故障部位探索機能を実装し、リレーシーケンスの異常検出が可能になった。DMSの外観を図3に、新型監視制御盤の外観及びシステム構成を図4及び図5に示す。

新型監視制御盤は、リレーシーケンス回路からの機器の制御信号と状態信号をDMSに入力し、リレーシーケンスに異常が発生したときには、警報出力によりユーザーに知らせるシステムである。GPS(全地球測位システム)から時刻情報を受信し、機器の制御信号と状態信号にその時刻情報を付与する。また、保護回路は従来どおり、デジタル保護継電器を2重系とした。

新型監視制御盤の主な特長は、次のとおりである。

- (1) リレーシーケンスの回路構成 補助リレーを主体とした回路構成のため、シーケンス図により容易に回路の確認が可能になった。

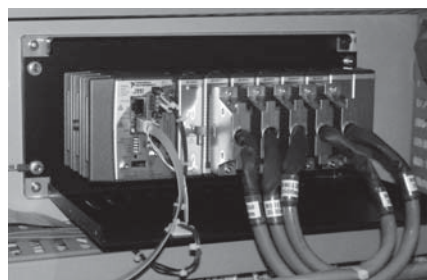


図3. DMS — DMSにより、従来のME 盤と同等のシーケンス点検機能を実装することができる。
Digital-type monitoring system (DMS)

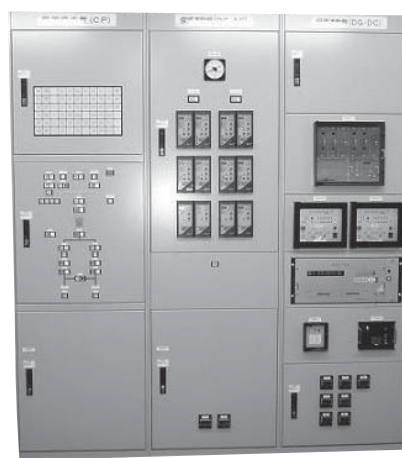


図4. 新型監視制御盤 — 双子山変電所はシンプルなシステム構成であるため、700(幅)×2,300(高さ)×700(奥行き)mmの盤が3面というコンパクトな外形寸法にすることができた。
New-type monitoring and control panel

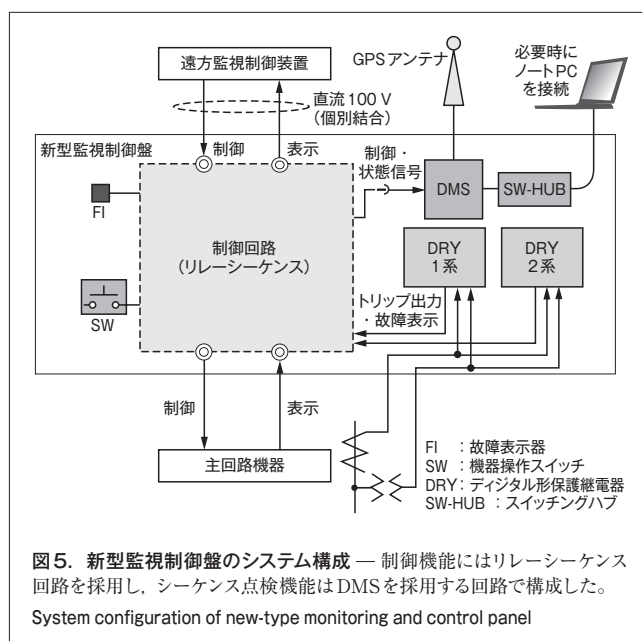


図5. 新型監視制御盤のシステム構成 — 制御機能にはリレーシーケンス回路を採用し、シーケンス点検機能はDMSを採用する回路で構成した。
System configuration of new-type monitoring and control panel

(2) DMSによる高精度点検機能 各機器の制御(投入, 開放)ごとに, 配電盤からの制御指令や機器動作のタイムチャートを1msサンプリングの高精度で記録し, 一定時間内に動作しない場合は異常として検出し, 動作時間の異常表示画面に表示する。また, 必要時にノートPC(パソコン)を接続することで, 記録データを保存することができ, 閲覧と解析を可能にした。タイムチャート表示画面例を図6に, 動作時間の異常表示画面例を図7に示す。

また, 遮断器と断路器から入力される入/切の状態信号の不一致を検出する背反異常検定など, 従来のME盤が備えていた点検機能もDMSに実装させ, 従来と同等の点検機能を実現した。

(3) DMS故障時の監視制御機能への影響回避 点検機能と監視制御機能を分けた構成にすることで, DMSの異常が発生した場合でも, 監視制御機能には影響を与えない設計とした。更に, 制御回路とDMS間をコネクタケーブルで接続し, 容易に分離できる構成とした。

(4) 電子部品など定期保守交換用品の削減 監視制御回路の短寿命電子部品を洗い出すとともに, 定期保守交換用品の削減を検討し実現した。更に, DMSの設計寿命は15年であるが, 従来のME盤に採用していた交換推奨時期が6~8年程度のPLCと比較して保守の省力化を実現し, ランニングコストを低減することができた。

これまで述べたように, 電子部品の少ないハードウェア主体の構成とすることでランニングコストを削減し, かつ従来のME盤で備えていた点検機能を持つDMSを実装した, 新型監視制御盤を開発した。

6 あとがき

今回, 西日本旅客鉄道(株)紀勢線の双子山変電所において, 環境に配慮した液体シリコン変圧器, コンパクトな整流設備, 及びランニングコストを抑え高精度な点検機能を実装した新型監視制御盤を適用することで, 設備規模に合わせた最適システムを実現することができた。2012年7月に実用運転が開始され, 順調に稼働している。

環境に配慮し, ランニングコストを抑えた中規模変電所向けモデルを構築することができた。今後, 同規模の変電所への展開を目指し, 提案を進める。



図6. タイムチャートの表示画面例 — 各機器の制御ごとにタイムチャートを1msサンプリングの高精度で記録し, タイムチャート画面で確認することができる。

Example of time chart display



図7. 動作時間の異常表示画面例 — 各機器が一定時間内に動作しない場合は異常として検出し, その内容を動作時間の異常表示画面に表示する。

Example of operation time anomaly display



稲田 智成 INADA Tomonari

社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 鉄道電力システム技術部。電鉄変電所のシステムエンジニアリング業務に従事。

Transmission & Distribution Systems Div.



菊池 紀之 KIKUCHI Noriyuki

社会インフラシステム社 府中事業所 社会インフラシステムソリューション部主務。電鉄受変電向け監視システムのソフトウェア設計に従事。

Fuchu Complex



福田 恭之 FUKUDA Yasuyuki

社会インフラシステム社 府中事業所 社会インフラシステムソリューション部主務。電鉄受変電システムの設計に従事。

Fuchu Complex