

新幹線車両基地向け 単相き電用静止形周波数変換装置

Electronic Frequency Converter Feeding Single-Phase Circuit for Shinkansen Railyard

宮嶋 宏樹

大槻 みどり

中島 直哉

久野村 健

■ MIYAJIMA Hiroki

■ OTSUKI Midori

■ NAKAJIMA Naoya

■ KUNOMURA Ken

東海道新幹線の車両は60 Hzの単相電力で走行しており、富士川以東の区間の電力供給にあたっては、電力会社からの電源周波数(50 Hz)を60 Hzに変換する設備が必要になる。東海道新幹線では、浜松町周波数変換変電所(以下、浜松町FCと呼ぶ)の老朽取替えに伴い、浜松町FCの周波数変換設備を大井車両基地内に移転し、大井周波数変換変電所(以下、大井FCと呼ぶ)を新設した。

東海旅客鉄道(株)及び東芝は、パワーエレクトロニクス及びマイクロエレクトロニクス(ME: Micro Electronics)技術を開発した新幹線車両基地向け単相き電用静止形周波数変換装置を開発した。大井FCは2012年3月から運転を開始し、東海道新幹線の電力安定供給に寄与している。

As the Tokaido Shinkansen trains run on 60 Hz single-phase electric power, equipment to convert the frequency from 50 Hz to 60 Hz is required when these trains run in areas east of the Fuji River. To replace the aging equipment at the Hamamatsucho Frequency Conversion Substation (FC), the Oi FC was newly constructed in the Oi Railyard.

Central Japan Railway Company and Toshiba have developed an electronic frequency converter for the Oi FC that applies the latest power electronics and microelectronics technologies to provide single-phase feeding to the Shinkansen. This frequency converter started operation at the Oi FC in March 2012, and is contributing to the stable supply of power to the Tokaido Shinkansen.

1 まえがき

東海道新幹線の車両は60 Hzの単相電力で走行しており、富士川以東の50 Hz地域では、電源周波数を単相60 Hzへ変換する周波数変換設備が必要である。

浜松町FCの老朽取替えに伴い大井車両基地に周波数変換機能を移転した工事において、東芝は単相き電用静止形周波数変換装置(EFC: Electronic Frequency Converter Feeding a Single-Phase Circuit)のほか、受電設備、き電設備一式を製作した。今回新設したEFCは、大井車両基地の車両き電用電源としての機能を持ち、三相50 Hzから単相60 Hzに電源を変換して次の電力供給を行うことを目的としている。

- (1) 車両基地内に単独で電力供給
 - (2) 既存電源設備に連系して、車両基地及び本線に電力供給
- 大井FCと既存電源設備を連系したき電系統構成を図1に示す。

2 装置構成

装置の容量は60 MVAである。冗長性とメンテナンス性を考慮して2台構成とし、1台当たりのEFC定格容量は30 MVAとしている。2台のEFCの主回路と制御装置は同一の構成に

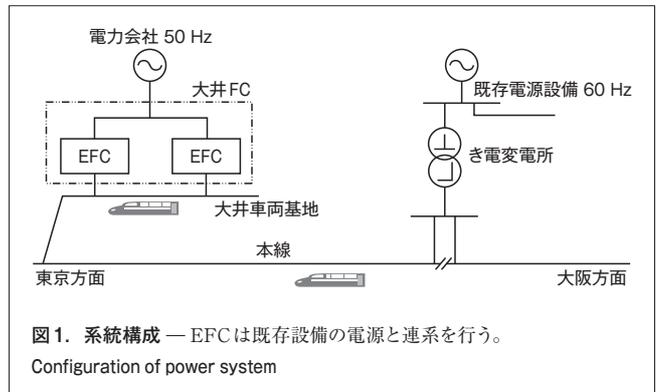


図1. 系統構成 — EFCは既存設備の電源と連系を行う。
Configuration of power system

している。

大井FCの複線結線図を図2に示す。三相66 kV-50 Hzで受電した電源を、単相30 kV-60 Hzに変換して出力する構成としている。受電設備及びき電設備には、キュービクル形ガス絶縁スイッチギヤ(C-GIS: Cubicle-Type Gas Insulated Switchgear)を採用し、従来のガス開閉装置(GIS: Gas Insulated Switchgear)に比べて、省スペース化を図っている。

EFCの主回路に使用しているスイッチング素子には、4,500 V-2,100 Aの電子注入促進効果型トランジスタ(IEGT: Injection Enhanced Gate Transistor)を用いており、3直列、1並列×4アームで単相ブリッジを構成する。コンバータは単相ブリッジ3台を3段直列多重に、インバータは単相ブリッジをリ

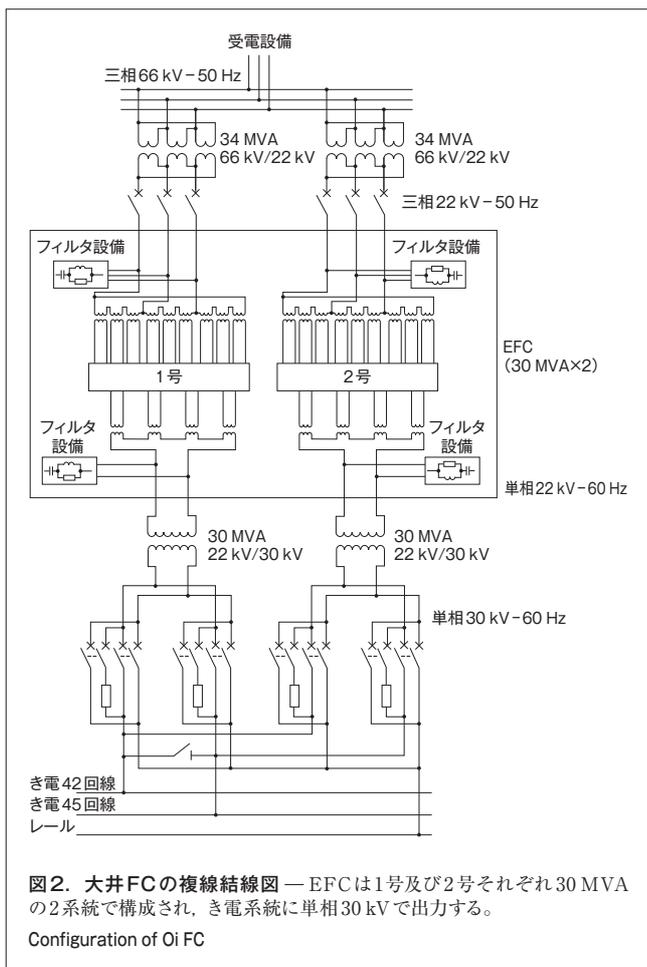


表1. EFCの定格諸元
Rated specifications of electronic frequency converter

項目	定格諸元
定格容量	60 MVA (定格有効電力: 60 MW) (30 MVA (30 MW) × 2系構成)
コンバータ交流定格電圧	2.2 kV - 50 Hz (三相)
コンバータ構成	4,500 V - 2,100 A IEGT 変換器 単相ブリッジ三相構成 3段直列多重
コンバータスイッチング周波数	等価 1.5 kHz
直流定格電圧	6,900 V
インバータ交流定格電圧	22 kV - 60 Hz (単相)
インバータ構成	4,500 V - 2,100 A IEGT 変換器 単相ブリッジ2並列 4段直列多重
インバータスイッチング周波数	等価 2.4 kHz

アクトル結合で2並列したものを4段直列多重にしている。
スイッチング方式は5パルス三角波キャリア比較PWM (Pulse Width Modulation) で、直列多重接続したブリッジ間でキャリア位相をずらし、高調波の低減を図っている。
EFCの定格諸元を表1に示す。
制御は全てデジタル制御装置で実現しており、主な制御はDSP (Digital Signal Processor)で行っている。また、並列

処理の適用により、列車負荷のように短時間で大きく変動する負荷に対してもより高速に制御できる。

3 運用形態と変換器制御

この装置の基本運用である車両基地への単独き電及び既存き電電源設備への連系運転について、それぞれの特徴を以下に述べる。

3.1 車両基地への単独運転による電力供給

EFCは単独で運転を行い、車両基地への電力供給を行う。この場合EFCは単独電圧制御モードで運転し、き電電圧が一定となるように制御する。2台並列運転時は、両方の出力が均等になるようバランス制御を行う。

また、車両基地には、留置車両が複数台存在するため、き電用遮断器投入時に複数台の車両変圧器による励磁突入電流が非常に大きくなる可能性がある。この場合、インバータが過電流を検知し停止することを防止するため、き電用遮断器投入時に抵抗を一時的に介在させることで、励磁突入電流を抑制している。

3.2 既存電源設備との連系運転による電力供給

EFCのメンテナンスなどで、1台のEFCを停止させた場合、車両基地内負荷への電源を確保するために、既存電源設備から車両基地に電力供給し、このEFCはその既存電源設備に対して、同期並入することで連系を行う。

既存電源設備への連系運転時には、固定力率出力方式の交流電圧制御による有効・無効電力供給により、有効電力消費の増加による電圧変動の抑制とき電電圧の維持を行っている⁽¹⁾。

また、既存の電源系統の容量が不足している場合は、EFCを2台連系させ、救済する運用も可能である。

4 制御・保護システムの構成

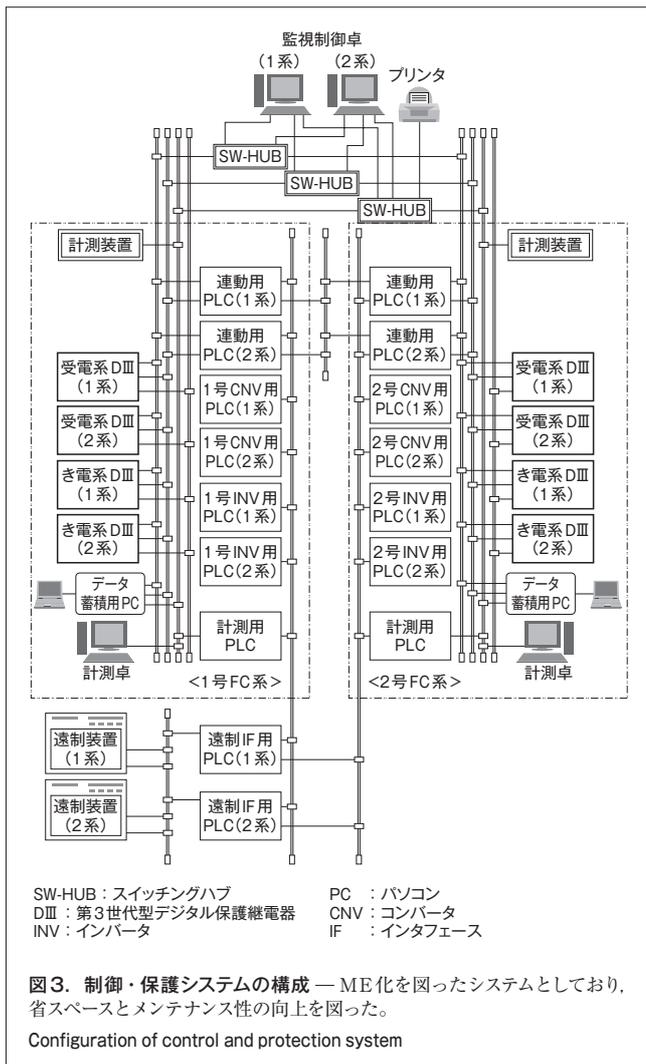
EFCは、通常運転時は電力指令からの遠方操作による運転及び監視を行っているが、現地におけるメンテナンス作業などを実施するときには、配電盤室からも運転及び監視が可能である。

EFCの制御・保護システムの構成を図3に示す。制御はPLC (Programmable Logic Controller) を使い、保護は集約形デジタル保護継電器を用いたME装置を採用し、省スペース化及びメンテナンス性の向上を図った。

EFC1台ごとに、制御・保護システムを2重化構成にしており、1台のEFCを停止させる際に、配電盤のメンテナンスも併せて行うことができる。

4.1 PLC

PLCは、遠方監視制御 (以下、遠制と略記) インタフェース用、制御用、及び計測用の用途ごとに設置し、かつ制御用は



連動用と、EFCのコンバータ用及びインバータ用に機能分散して設けている。

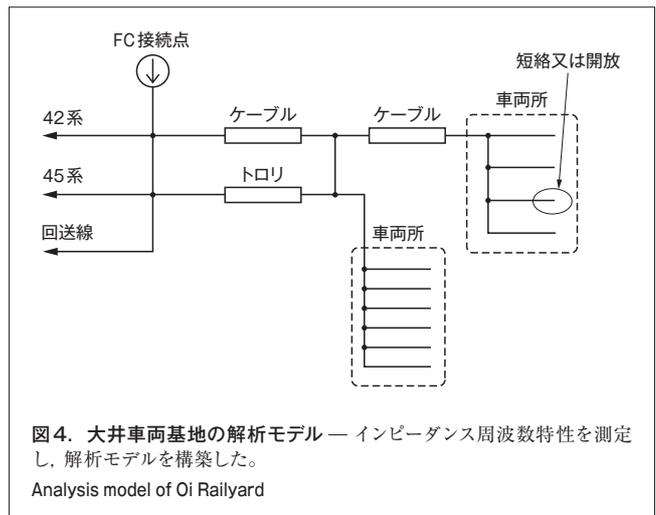
4.2 監視制御装置

EFCの機器状態は、監視制御卓の系統監視制御画面で確認でき、操作もこの画面から行うことができる。また、既存電源設備と連系する運用もあることから、連系する電源設備の状態及び電源ルートを把握する必要がある。そこで、光伝送装置を用いて、他ポストの機器状態の情報をPLCに取り込み、連系する電源設備の状態を把握して系統監視制御画面に表示できるようにしている。

5 インバータの高調波対策について

EFCを大井車両基地内に設置することから、インバータから発生する高調波が基地内にある既存信号設備に影響を与えないことを事前に確認しておく必要がある。

インバータはスイッチング方式により高調波の発生を低減しているが、更なる低減策として出力フィルタを設けることとし



た。フィルタ設置により電圧拡大及び共振現象による影響を発生させない適切なフィルタ定数を検討する必要がある。

フィルタ定数の検討にあたっては、大井車両基地内のインピーダンス周波数特性を把握する必要がある。大井車両基地内には多数の電車線路とケーブルがあるが、系統構成が複雑であるため、一括して末端開放及び短絡の場合の共振周波数を計測し、この結果から誘導性及び容量性インピーダンスを推定し、解析モデルを構築した。また、大井車両基地内には留置車両も数多くあり、車両内部の特高ケーブルなどの回路定数も無視できないので、解析モデルの構築に際して配慮した。大井車両基地の解析モデルを図4に示す。

この解析モデルを用いて、EFCからの系統流出高調波電流が、信号設備の高調波許容量に対して影響を与えないことを確認した。更に、高調波総量の面から評価した結果、高調波フィルタの同調次数が23の場合にもっとも電流高調波総量を抑えられることを確認した。

また、車両に搭載されているコンバータから発生する高調波電圧を考慮して、電圧高調波総量を評価した。その結果、フィルタの容量を1台当たり2MVAとすることで、電圧高調波の拡大現象及び電圧高調波総量をもっとも効果的に抑えられることも確認した。

これらの結果から、インバータ側フィルタの同調次数23、1台

表2. インバータ側フィルタの定格諸元
Rated specifications of inverter-side filter

項目	定格諸元	
定格容量	2 MVA	
同調次数	23	
尖鋭(せんえい)度	3	
RLC定数	R (電気抵抗)	31.6 Ω
	L (インダクタンス)	1.216 mH
	C (静電容量)	10.9 μF

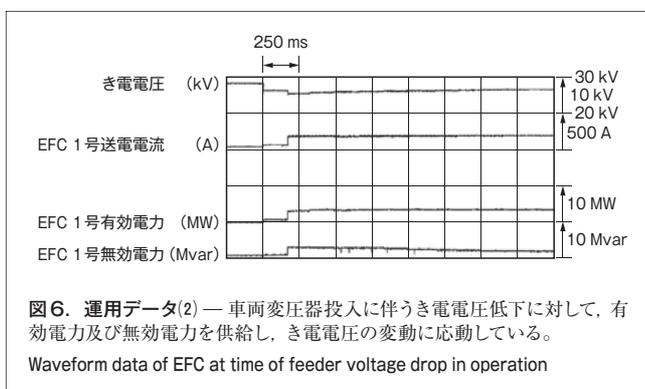
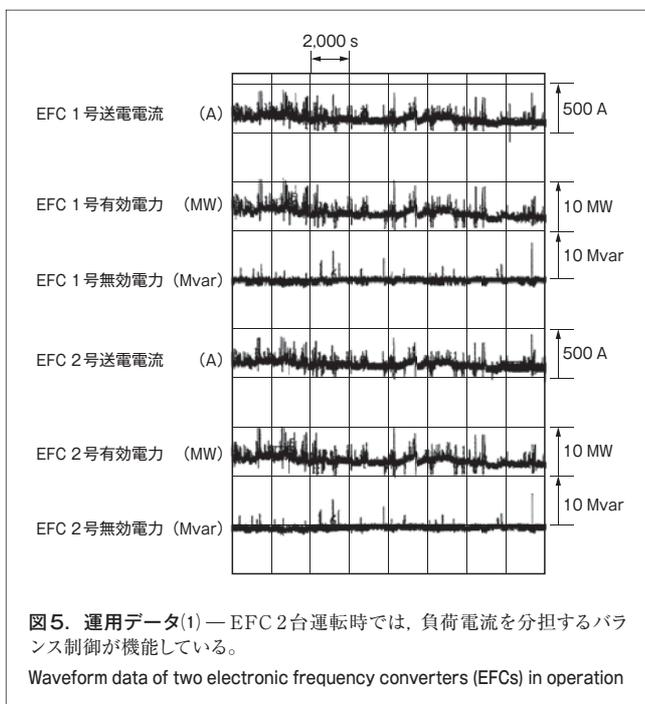
当たりの容量2 MVAのシステムとした。インバータ側フィルタの定格諸元を表2に示す。

6 実測による検証

EFCを2台並列運転したときの運用データを図5に示す。この運転方式は、3.1節で述べた車両基地への単独運転方式である。EFC 2台の各送電電流はほぼ同じで推移しており、バランス制御が機能していることが確認できる。

また、高調波電流値も併せて測定し、信号設備の高調波許容量に対して十分小さい値であることを確認した。

EFCを1台運転したときの、車両変圧器投入による交流電圧制御のデータを図6に示す。この運転方式は、3.2節で述べた既存電源装置との連系運転方式である。固定力率方式



の交流電圧制御において、車両変圧器投入に伴うき電電圧低下に対し、有効電力及び無効電力を供給してき電電圧の変動に応動していることが確認できる。

7 あとがき

今回、東海道新幹線の浜松町FCの老朽取替えに伴い周波数変換機能を大井車両基地構内に移転する工事において、当社は単相き電用静止形周波数変換装置を製作した。2012年3月に運転を開始し、順調に運転をしている。

大井FCは、大井車両基地内への単独運転と、既存電源と設備の連系運転を可能とした電源設備である。製作にあたっては、車両基地内の解析モデルを構築して適切な出力フィルタの仕様を決定し、既存の信号設備に影響がないことを確認した。

今後、運転実績を積み重ね、東海道新幹線の電力安定供給に貢献していく。

文献

- (1) 久野村 健. 固定力率出力方式の交流電圧制御を行う静止形周波数変換装置. 平成21年電気学会 産業応用部門誌. 129, 7, 2009, p.768-774.
- (2) 久野村 健. 新幹線単相き電用 静止形周波数変換装置. 東芝レビュー. 64, 9, 2009, p.45-48.
- (3) 大木正之. 他. 静止形周波数変換装置. 東芝レビュー. 59, 11, 2004, p.35-38.
- (4) 久野村 健. “静止形周波数変換装置”. 平成21年電気学会 全国大会. 札幌. 2009-03. 電気学会. 2009, p.237-238.



宮嶋 宏樹 MIYAJIMA Hiroki

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。電鉄用受変電システムのエンジニアリング業務に従事。

Transmission & Distribution Systems Div.



大槻 みどり OTSUKI Midori

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 電力蓄電ソリューション・配電システム開発部主査。電力システムの解析及び制御技術の開発に従事。電気学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



中島 直哉 NAKAJIMA Naoya

東芝三菱電機産業システム(株) パワーエレクトロニクスシステム事業部 パワーエレクトロニクス部主任。電鉄・電力大型システム装置の開発・設計に従事。

Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.



久野村 健 KUNOMURA Ken

東海旅客鉄道(株) 建設工事部電気工事課担当課長。東海道新幹線へのパワーエレクトロニクス機器の導入に関する研究・計画に従事。電気学会会員。

Central Japan Railway Co.