

新幹線単相き電用 静止形周波数変換装置

Electronic Frequency Converter Feeding Single-Phase Circuit for Shinkansen Trains

久野村 健 飯尾 尚隆 大槻 みどり 青山 文夫

■ KUNOMURA Ken ■ IIO Naotaka ■ OTSUKI Midori ■ AOYAMA Fumio

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)を変換する設備が必要となる。

東海道新幹線において車両に必要な電力を供給するき電システムの電圧降下対策を目的として、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)技術を駆使した国内初^(注1)の新幹線単相き電用 静止形周波数変換装置(以下、静止形FCと略記)を開発した。2009年2月から沼津周波数変換変電所(以下、沼津FCと略記)として運転を開始し、東海道新幹線の電力の安定供給に寄与している。

The Tokaido Shinkansen trains run on 60 Hz single-phase electric power. Therefore, frequency conversion is required when these trains travel in areas east of the Fuji River, where 50 Hz power is used.

To suppress feeder voltage drops, Central Japan Railway Company and Toshiba have developed Japan's first electronic frequency converter feeding a single-phase circuit for the new Numazu Frequency Conversion Substation of the Tokaido Shinkansen. This substation was completed and put into commercial operation in February 2009.

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、走行区間である東京～新大阪間において、富士川以東の区間の電力供給においては、電力会社の電源周波数を50 Hzから60 Hzに変換する設備が必要となる。

この周波数変換設備として、半導体パワーデバイスを用いた静止形FCを網島FCに新設し、2004年2月から運転を行っている。今回、ダイヤの高密度化、及び車両の加速性能の向上に伴う短時間で見た場合の列車負荷電力の増大によるき電システムの電圧降下対策を目的として、新たに沼津FCを設置し、国内初の新幹線単相き電用 静止形FCを新設した。

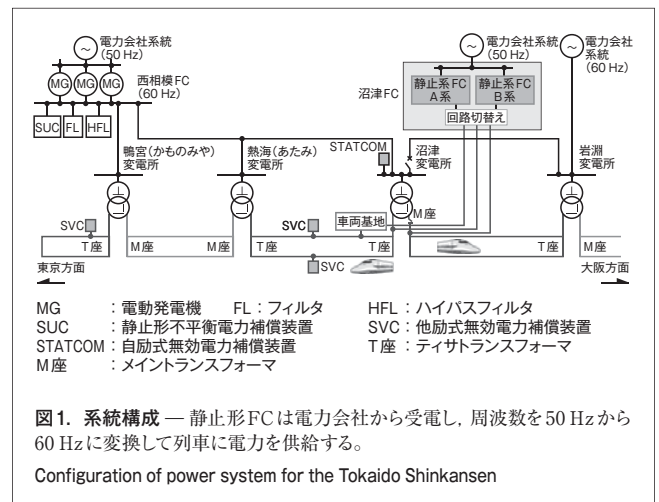
静止形FCの特徴は以下のとおりである。

- (1) き電システムに直接連系した電力供給
- (2) 車両基地に単独で電力供給

2 静止形FCの概要

沼津FCの静止形FCは単相出力であり、き電システムに直接連系して電圧を維持し、電力を供給する。インバータ側と連系するき電システムは、西相模FC電源と岩淵(いわぶち)変電所電源の2種の異電源システムがあり、運用では様々な構成となる。静止形FCは、これらの多様なシステム条件や既設設備との協調運転などに十分配慮した装置としている。

静止形FCの連系するシステム構成を図1に、システム複線結



線図を図2に示す。60 Hz側の出力を単相として、き電システムに直接連系することにより、スコット結線変圧器を必要としない構成となっている。

静止形FCは1系の容量を30 MVAとした2系構成で、合計容量を60 MVAとしている。両系は主回路、制御装置ともに同じ構成で、以下のように自由度の高い運用ができる。

- (1) 各系が独立して、東京方面又は大阪方面に連系
- (2) 静止形FC単独で、車両基地へき電

静止形FCの変換器本体の外観を図3に、定格諸元を表1

(注1) 2009年7月時点、新幹線単相き電用において、当社調べ。

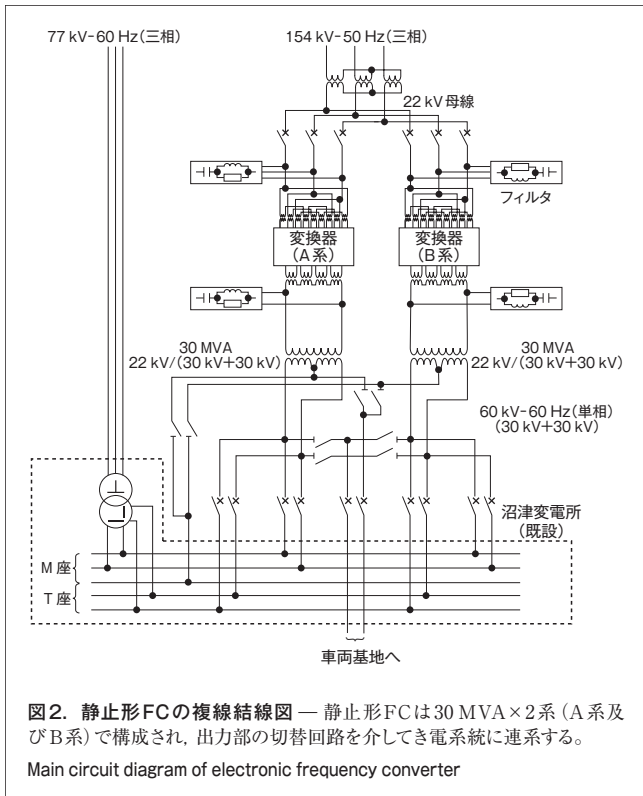


図2. 静止形FCの複線結線図 — 静止形FCは30 MVA×2系 (A系及びB系)で構成され、出力部の切替回路を介してき電系統に連系する。

Main circuit diagram of electronic frequency converter



図3. 静止形FC — 変換器本体の外観を示す。コンバータ盤、インバータ盤、コンデンサ盤、リアクトル盤などで構成される。

Electronic frequency converter

に示す。スイッチング素子に4,500 V-2,100 AのIEGT (Injection Enhanced Gate Transistor)を用い、素子構成は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段直列多重とし、インバータは単相ブリッジをリアクトル結合で2並列したものを4段直列多重としている。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。変換器制御系はすべてデジタル制御器で実現しており、主な制御はDSP (Digital Signal Processor)で実施している。

表1. 静止形FC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	22 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方式	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方式	等価 2.4 kHz

3 静止形FCの制御・保護システムの構成

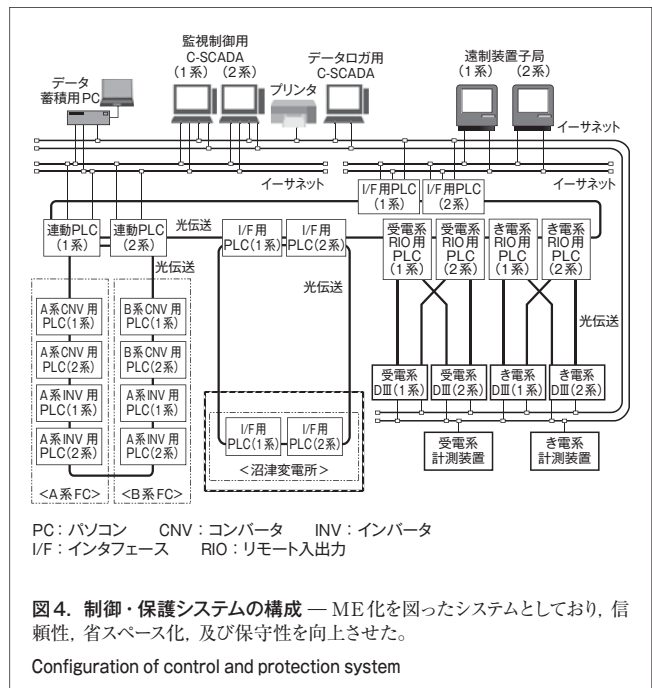
静止形FCの制御・保護システムの構成を図4に示す。システムはPLC (Programmable Logic Controller)を用いたME装置を採用し、信頼性、省スペース化、及び保守性の向上を図った。

3.1 コンパクト型監視制御装置 (C-SCADA)

静止形FCの機器操作は、図5に示す監視制御用モニタの系統監視制御画面からマウス操作により行う。また、故障表示やFC運転状態表示などの情報を表示する画面もあり、画面上で必要な情報を確認できる。

3.2 保護継電器

静止形FCの主回路保護には、第3世代型デジタル保護継電器 (DⅢ)を採用した。このデジタル保護継電器は、高速及



PC: パソコン CNV: コンバータ INV: インバータ
I/F: インタフェース RIO: リモート入出力

図4. 制御・保護システムの構成 — ME化を図ったシステムとしており、信頼性、省スペース化、及び保守性を向上させた。

Configuration of control and protection system

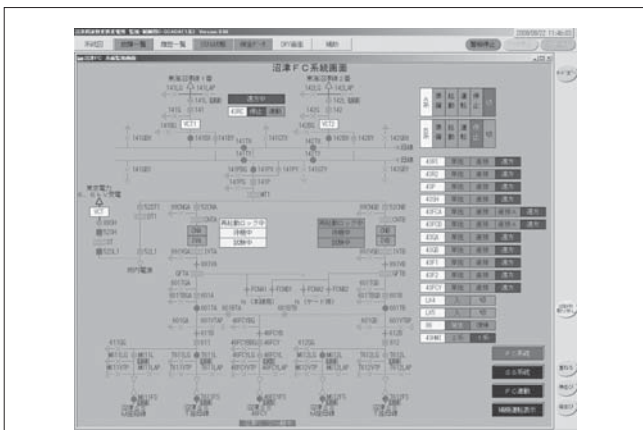


図5. 系統監視制御画面 — C-SCADAの系統監視制御画面から機器の操作や状態の確認を行う。

System monitoring and control display

び大容量の集約型デジタルリレーで、タッチパネルを採用したヒューマンインタフェースにより、保守性の向上を図っている。

3.3 データロガ装置

静止形FCの日々の運転状況及びデマンド監視を目的とした装置であり、以下のデータを一括監視し、保守及びメンテナンス時における情報をリアルタイムで確認できる。

- (1) 運用・運転状態
- (2) 機器の動作状況及び動作回数
- (3) オンデマンド計測情報及び日報，月報の作成

4 静止形FCの変換器制御

この装置の運用形態である，き電システムへの連系運転，車両基地への単独き電それぞれの変換器制御方式を以下に述べる。

4.1 き電システムへの連系運転

短時間で見た場合の列車負荷による有効電力は増加する傾向にあり，この有効電力に起因するき電電圧変動を抑制するために，静止形FCは固定力率出力の交流電圧制御により有効・無効電力を出力する方式を適用した⁽¹⁾。熱海変電所と沼津変電所間における静止形FCを設備しない場合の有効電力とき電電圧の関係の解析結果を図6に示す。有効電力が85 MW付近で急激に電圧が低下しており，静止形FCを設備しない場合には，この区間の有効電力の合計を85 MW以下に抑えなければ安定した電力供給ができないことを示している。

一方，この区間に静止形FCを設備した場合の有効電力とき電電圧の関係を解析結果から図7に示す。ここで，静止形FCの出力力率を考慮しており，出力力率を0.8で制御することがもっともき電電圧維持効果が高くなり，この区間の有効電力供給の限界を引き上げることができる。

この固定力率出力方式を適用した交流電圧制御のブロック図を図8に示す。上下限の幅を持たせた電圧指令値にき電電圧が

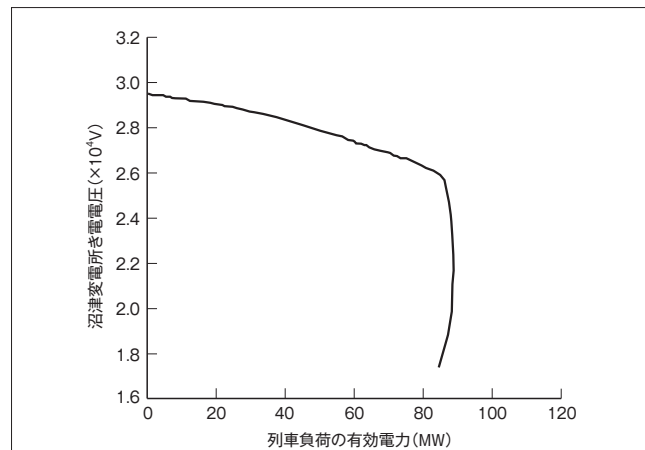


図6. 有効電力とき電電圧の関係（静止形FCなし）— 静止形FCを設置しない場合は85 MW付近で安定限界となる。

Load voltage curve (P-V curve) without electronic frequency converter

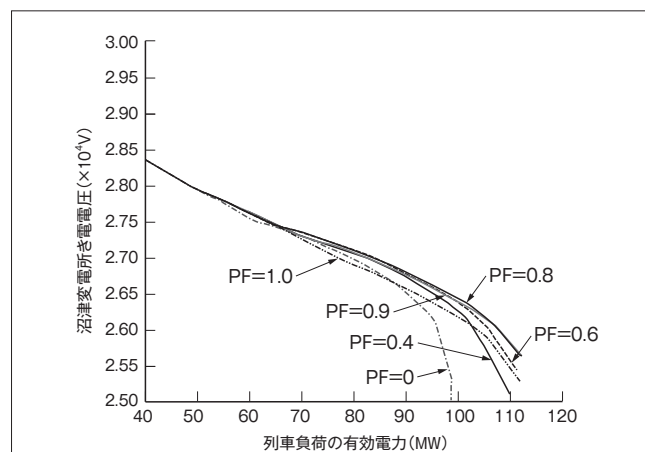


図7. 有効電力とき電電圧の関係（静止形FCあり）— 静止形FCの設置により，出力力率0.8でもっとも安定限界を高めることができる。

P-V curve with electronic frequency converter

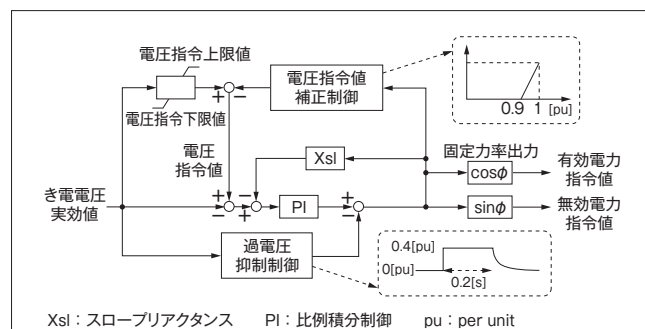


図8. 交流電圧制御のブロック図 — 変換器の出力電圧を適正に維持する交流電圧制御には，固定力率出力方式を適用した。

Block diagram of AC voltage control

追従するよう比例積分制御を行い，有効・無効電力指令とすることを基本としている。なお，以下の制御も併せて行っている。

- (1) 電圧指令値補正制御 静止形FCの出力が一定値を超えた場合、電圧基準を低減し定格出力でのリミット運転を防止することで、電圧変動抑制効果を維持する。
- (2) スロープリアクタンス特性 2.5%のスロープリアクタンス特性を持たせ、過出力を防止する。
- (3) 過電圧抑制制御 負荷急変などによりき電電圧が過渡的に上昇した場合、電力指令値を低減し電圧上昇を抑制する。

静止形FCの出力電力が、前述の有効・無効電力指令に追従するよう出力電圧を決定する。ここで、電圧基準下限値とスロープリアクタンスは、系統構成に応じて最適となる制御定数を設定することができる。

4.2 車両基地への電力供給

静止形FCが電圧源となり、単独で車両基地に電力を供給するため、固定の電圧基準に静止形FC出力電圧が追従するよう制御する。これに加え、負荷の急変による過電流を防止するため、出力電流の一次遅れ出力を指令値として、インバータ出力電流を制御する。更に、両系が並列での単独運転時は、両系の出力が均等になるよう、バランス制御を行う。既設電源による車両基地へのき電と静止形FCによるき電の切替え時は、既設電源電圧に対して、静止形FC出力を同期させる制御を行うことで、無瞬断での切替えを可能としている。

5 実測による検証

静止形FCは2009年2月に運転を開始し、順調に運転中である。静止形FC運転時の実測結果を図9に示す。静止形FC

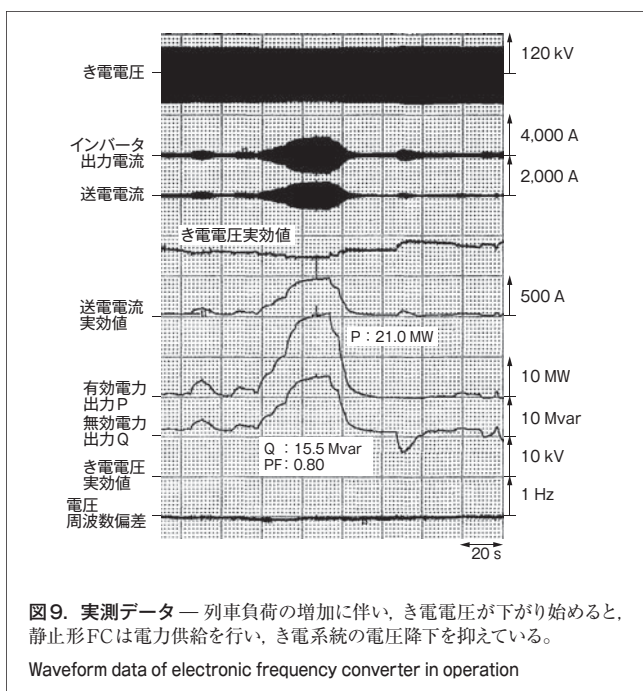


図9. 実測データ—列車負荷の増加に伴い、き電電圧が下がり始めると、静止形FCは電力供給を行い、き電系統の電圧降下を抑えている。

Waveform data of electronic frequency converter in operation

の電力供給により、列車負荷の増加に伴うき電電圧低下は抑えられ適正電圧(45～60 kV)に維持されている。また、出力電力は固定力率0.8となっており、運転点は解析結果との比較において妥当であることを確認している。

6 あとがき

東海道新幹線では、タイヤの高密度化や車両の加速性能の向上により、短時間で見た場合の消費電力は増大する傾向にある。この列車負荷の有効電力増大に伴うき電系統の電圧降下対策として、今回、沼津FCに静止形FCを新設した。

静止形FCは単相出力であり、き電系統に直接連系できることから、静止形FCの各系を方面別に振り分けることができる。今後、運転実績を積み重ね、東海道新幹線の電力の安定供給に貢献していく。

文献

- (1) 久野村健, ほか. 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) 大木正之, ほか. 静止形周波数変換装置. 東芝レビュー. 59, 11, 2004, p.35-38.
- (3) 久野村健, ほか. “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.



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.



飯尾 尚隆 IIO Naotaka

電力流通・産業システム社 電力流通システム事業部 交通電力システム技術部主務。電鉄用受変電システムエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。
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 エネルギーソリューション開発部主務。電力システムの解析、制御開発に従事。電気学会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center



青山 文夫 AOYAMA Fumio

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査。電鉄・電力大型システム制御装置の開発・設計業務に従事。
Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.