

電気鉄道向け ハイブリッドインバータシステム

Hybrid Inverter System for Railway Substations

宮嶋 宏樹 伊藤 房男

■ MIYAJIMA Hiroki

■ ITO Fusao

直流電源で走行する電気鉄道の変電所では、交流から直流に変換する整流器設備のほかに、電車の減速時に発生する制動エネルギーを交流電力に変換する回生インバータ装置を設けて、信号設備や駅配電設備の電源として余剰電力を有効活用している。

東芝は、従来のサイリスタ素子に替えてIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 素子を採用した電気鉄道用電力変換装置として、ハイブリッドインバータを開発した。サイリスタ素子を用いた従来の回生インバータに比べ、高調波電流の低減と力率の改善が図られ、省エネと省スペースを実現した。

今回、京都市交通局 天神川変電所の新設にあたり、このIGBT素子を用いたハイブリッドインバータの1号機を納入するとともに、環境負荷低減に配慮した機器の採用により環境調和型変電所を実現した。

Electric power has recently been more effectively utilized by applying inverter equipment, which converts DC power to AC power, to electricity substations for DC traction service where rectifier equipment is installed.

Toshiba has utilized insulated gate bipolar transistors (IGBTs) to develop a hybrid inverter system that reduces the harmonics current and improves the power factor compared with conventional regeneration inverters. The first hybrid inverter system using IGBTs was delivered to the Tenjingawa Substation of the Kyoto Municipal Transportation Bureau. This system realizes an environmentally harmonious substation by utilizing equipment that takes reduction of the environmental load into consideration.

1 まえがき

直流電源で走行する電気鉄道の変電所は、従来、交流商用電源から直流に変換する整流器設備が主な変換装置であったが、近年、電車の性能向上とともに、電車の制動時に発生する回生電力を交流電力に変換し駅配電設備などの電源として有効活用する、回生インバータ装置のニーズが増えつつある。この回生インバータには、従来サイリスタ素子が使われてきたが、高調波電流の発生や交流電力の力率低下に対する改善が求められていた。

東芝はこれらの問題を改善するために、回生インバータにIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 素子を採用したハイブリッドインバータを製品化し、京都市交通局の天神川変電所に1号機を納入したので、以下にその概要を述べる。

2 システムの概要

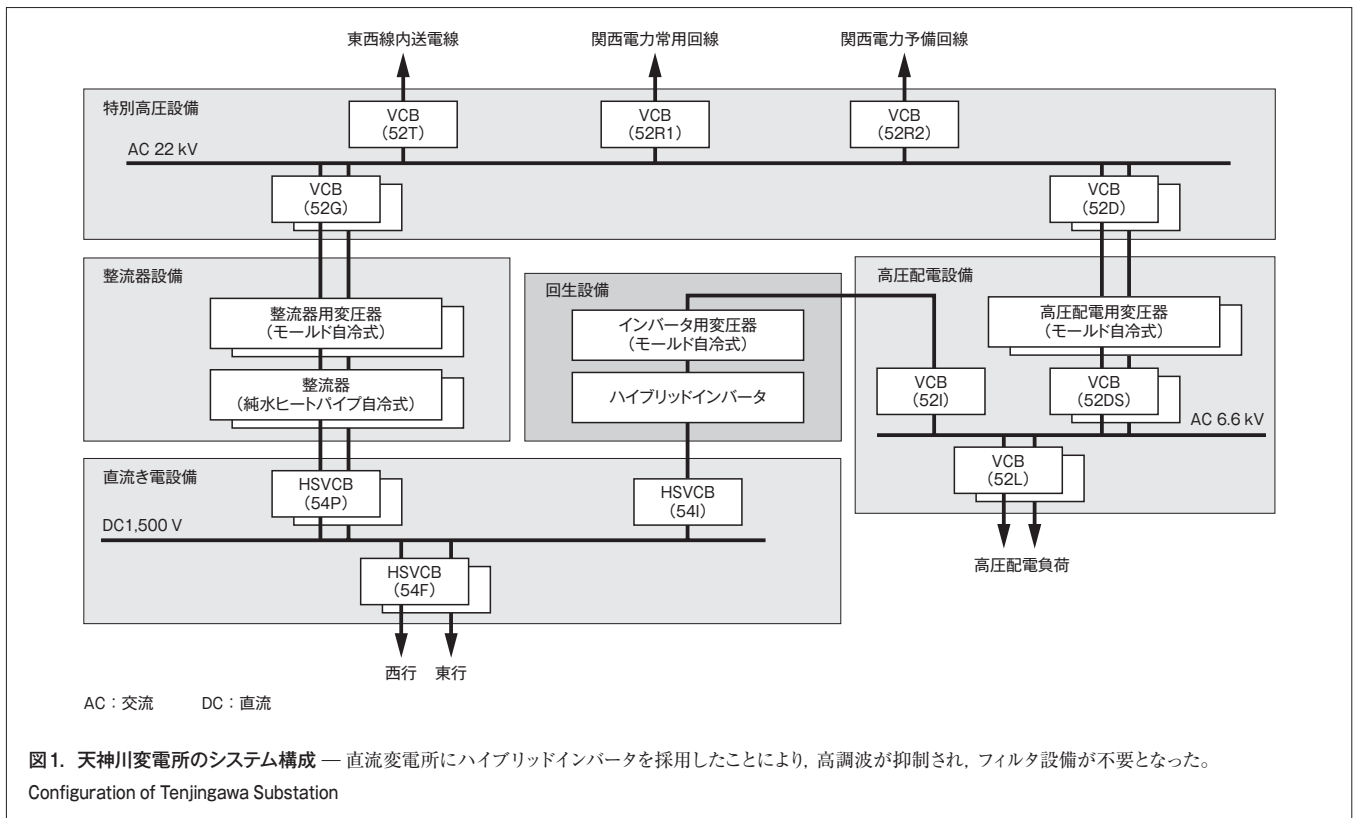
2.1 天神川変電所の概要

京都市交通局は、東西線の二条駅から太秦天神川駅間の約2.4 kmを延伸し、2007年度中に開業する計画である。この延伸計画に伴い、延伸部分の電源供給を担う直流変電所が太秦天神川駅の地下に新たに設けられた。

2.2 天神川変電所の構成

天神川変電所は、以下の五つのブロックで構成される(図1)。それぞれのブロックには、京都市交通局からのニーズもあり、環境調和型の機器を採用している。

- (1) 特別高圧設備 関西電力から商用電源を受けるための受電2回線と局内(東西線内)送電1回線で構成される。真空遮断器(VCB)などから成るスイッチギヤには、当社が開発した固体絶縁スイッチギヤを採用している。従来、スイッチギヤは絶縁媒体として六フッ化硫黄(SF₆)ガスを使用したガス絶縁スイッチギヤが主流であったが、SF₆ガスが地球温暖化防止京都会議において排出抑制対象ガスに指定されたため、SF₆ガスを使用せず、エポキシ樹脂で一体モールド絶縁にした。これにより、小型・軽量化を図ることができた。
- (2) 整流器設備 特別高圧電源を電車に適した直流電源に変換する設備であり、変圧器と整流器から成る2組の変換器設備で構成される。変圧器には、SF₆ガスを使用しないモールド自冷式を採用した。整流器には、冷却媒体を排出抑制対象ガスに指定されたパーフロロカーボン(PFC)から純水に替えた、ヒートパイプ冷却式を採用した。
- (3) 直流き電設備 整流器設備により変換された直流電源を電車線に供給する設備であり、上下線別の2回線で



構成される。

直流き電設備に使用する遮断器は、気中遮断器に比べて低騒音である直流高速度真空遮断器 (HSVCB) を採用した。

- (4) 高圧配電設備 特別高圧電源を駅配電・信号設備に適した高圧電源に降圧して配電する設備であり、変圧器2台と高圧配電線2回線で構成される。

変圧器は、整流器用変圧器と同様に、モールド自冷式の変圧器を採用した。

- (5) 回生設備 直流回生電力を交流電力に変換し、高圧配電設備に供給する設備であり、回生インバータと変圧器で構成される。

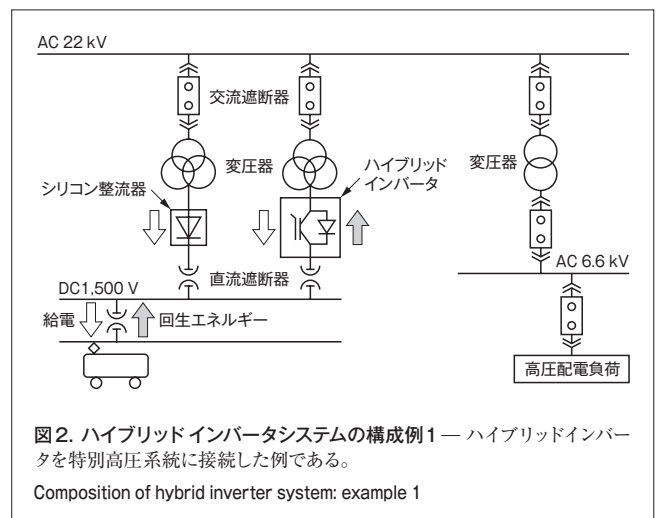
回生インバータは、先に述べた高調波電流の低減と力率の改善が可能となったハイブリッドインバータを採用した。

3 ハイブリッドインバータシステム

3.1 システムの構成

ハイブリッドインバータシステムの回路構成は、以下に示す2通りがある。

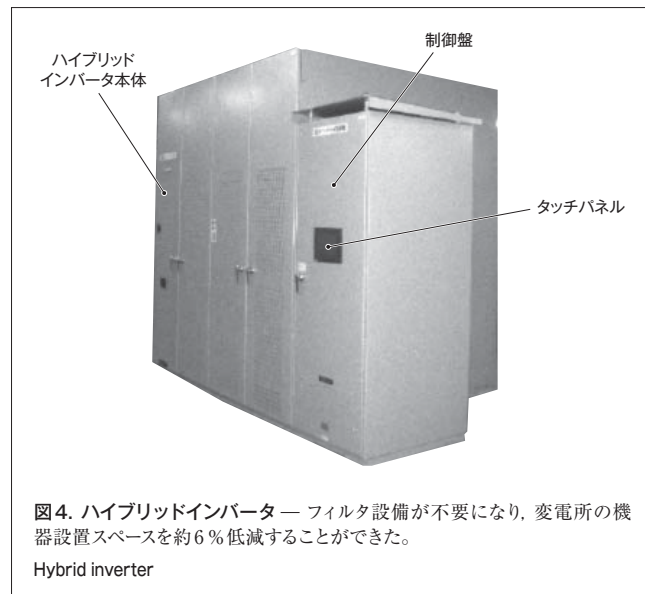
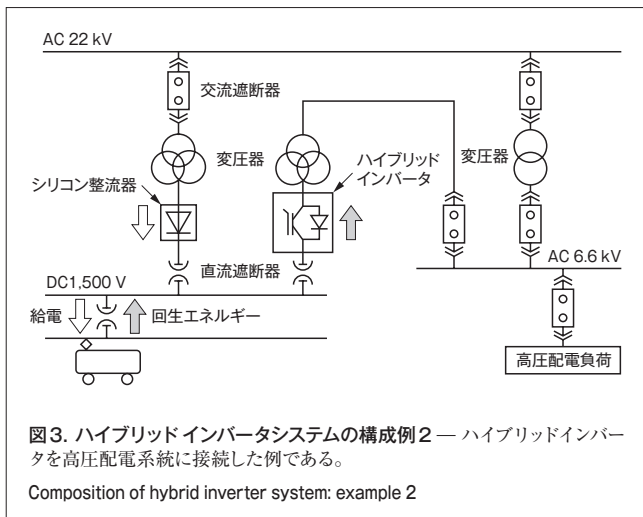
まず、ハイブリッドインバータを特別高圧系統に接続する回路構成例を図2に示す。ハイブリッドインバータは、従来の回生機能のほかに列車を走行させる力行(りっこう)機能を持っており、順逆両変換が可能である。この場合、力行時には整



流器設備 (1,000 kW) として機能し、回生時にはインバータ設備として機能する。

次に、ハイブリッドインバータを高圧配電系統に接続する回路構成例を図3に示す。力行は整流器設備にまかせ、ハイブリッドインバータは、従来の回生インバータだけの機能で運用する。

図2の方式では特別高圧に対応した変圧器や遮断器が必要なため、装置の規模が大きくなるのに対し、図3の方式では高圧用の装置だけでよく、装置スペースが低減できる。天神川変電所では、省スペース化を考慮して図3の回路構成を採用した。



3.2 仕様

天神川変電所に納めたハイブリッドインバータの定格仕様を表1に、外観を図4に示す。

3.3 特長

ハイブリッドインバータには、従来の回生インバータに比べて、以下のメリットが挙げられる。

- (1) 高調波電流の低減によりフィルタ設備が不要
- (2) 力率が改善

従来の回生インバータでは、サイリスタ素子を採用した他励式変換器という性質上、高調波が発生しやすい。この高調波電流が電源系統に流出すると、系統負荷にある電気・電子機器などに対して、誤動作や故障を招くおそれがあることから、高調波の抑止策として回生先の交流系統にフィルタ設備を付けてきた。

一方、ハイブリッドインバータはIGBT素子を使用した固定パルス制御方式を採用しており、直流電力を交流電力に変換

する際、より正弦波に近づけることができるため、高調波フィルタが省略できるレベルまで高調波電流を低減できる。フィルタ設備が不要になったことにより、変電所の機器設置スペースを約6%低減することができた。

また、交流電圧が低いときや高いときには、ハイブリッドインバータにより電圧を調整することで、回生先となる高圧母線電圧の電圧変動を小さくすることができる。

従来のフィルタ設備を備えた回生インバータと今回のハイブリッドインバータにつき、高調波含有率と力率をシミュレーションにより比較した結果を表2に示す。このシミュレーションから、6.6 kVの電圧と電流の高調波含有率は、従来の回生インバータとフィルタ設備を組み合わせた場合に比べ、ハイブリッドインバータのほうが小さく、より改善されていることを確認した。また、6.6 kVの力率についても、従来の回生インバータとフィルタ設備の組合せに比べ、ハイブリッドインバータのほうが改善されていることを確認した。

表1. ハイブリッドインバータの定格仕様

Ratings of hybrid inverter

項目	仕様	
定格直流電圧	力行側	1,500 V
	回生側	1,620 V
定格直流電流	力行側	667 A
	回生側	309 A
使用素子	型名	MG1200FXF1US53 (定格: 3,300V - 1,200 A)
	素子構成	2S×1P×6A×2ブリッジ
素子冷却方式	純水ヒートパイプ (自冷式)	
盤外形	変圧器本体	2,700 (幅)×2,300 (奥行き)×2,900 (高さ) mm (屋根含まず)
	制御盤	860 (幅)×1,000 (奥行き)×2,300 (高さ) mm (屋根含まず)
盤質量	変換器本体	5,000 kg
	制御盤	450 kg

S: 直列 P: 並列 A: アーム

表2. 高調波含有率と力率のシミュレーション結果

Results of quantitative simulations of harmonics outbreak and power factor

項目 (条件)	従来の回生インバータ+フィルタ設備			ハイブリッドインバータ			
	回生100%	回生200%	回生500%	回生100%	回生200%	回生500%	
高調波含有率 (%)	6.6 kV 電圧	2.40	2.48	2.53	1.46	1.42	1.47
	6.6 kV 電流	2.93	3.43	2.65	1.44	2.74	2.00
6.6 kV 力率	0.69	0.69	0.71	0.89	0.98	0.99	

3.4 操作性

制御盤には以下の七つの機能画面で構成されるタッチパネルを取り付け、ヒューマンインタフェースの充実を図っている。

- (1) 運用状態画面
- (2) 故障表示画面

- (3) 設定画面
- (4) 試験調整画面
- (5) 制御定数設定画面
- (6) 保護整定画面
- (7) 強制動作画面

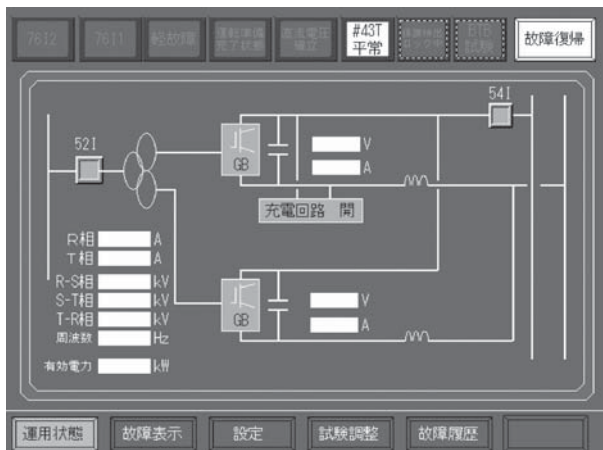


図5. 運用状態画面 — 装置内の運転状態を表示するとともに、各種の電圧・電流値も表示でき、装置全体の状態を把握できる。

Operating status display



図6. 故障表示画面 — 装置に異常が発生した場合、故障内容を表示するとともに故障履歴を残すことができる。

Failure indication display

画面例として、運用している装置の種々の状態を把握できる運用状態画面を図5に、故障発生時の原因究明に早急に対応するための故障表示画面を図6に示す。カラーディスプレイによる視覚性向上のほか、必要機能ごとに画面構成を分割することで操作性も向上している。

4 あとがき

ハイブリッドインバータの1号機を京都市交通局 天神川変電所に納入した。この装置は、従来の回生インバータの短所であった高調波電流の発生や交流電力の力率低下の改善を実現したものであり、回生電力の有効利用により省エネに大きく貢献できると確信している。

また、天神川変電所は、このほかにSF₆ガスフリーの固体絶縁スイッチギヤやモールド自冷式変圧器、純水自冷式ヒートパイプ整流器の採用など、地球温暖化防止に配慮したシステム構成となっている。

今後も、更なる環境調和型変電所を目指して、このような環境負荷の低減に有効な機器を提供できるよういっそう努めていく。

文献

- (1) 片岡秋久, ほか. 環境に優しく、省メンテナンスを実現した電気鉄道用ハイブリッドインバータ・コンバータ. 東芝レビュー. 61, 9, 2006, p.55-58.



宮嶋 宏樹 MIYAJIMA Hiroki

産業システム社 交通システム事業部 交通電力システム技術
部。電鉄変電所のシステムエンジニアリング業務に従事。
Transportation Systems Div.



伊藤 房男 ITO Fusao

産業システム社 交通システム事業部 交通電力システム技術
部。電鉄変電所のシステムエンジニアリング業務に従事。
Transportation Systems Div.