

# 1620 新幹線車両基地変電所への自励式電力補償装置の導入

非 ○出口 善高 正 [電] 久保田 智也 正 [電] 久野村 健 (東海旅客鉄道株)

## The introduction of single phase STATCOM to the substation of the rail yard for Shinkansen

Yoshitaka Deguchi, Non-member, Tomoya Kubota, Member, Ken Kunomura, Member (Central Japan Railway Company)

In the Tokaido Shinkansen, single phase STATCOMs which are called RPC (Railway static Power Conditioner) have been introduced in the single phase feeder side to compensate feeding voltage fluctuation and to control the leveling of the unbalanced power flow between two single phase power systems of Scott connected transformers. As a new RPC was installed in the substation of the rail yard of the Tokaido Shinkansen, which is interconnected with existing power system through long feeders, it was necessary to develop a new control and protect method for the power converter. In this paper, we describe the field test results of the RPC and the system of the new control and protect method in the RPC.

**Keywords :** Shinkansen, Feeding system, Railway static Power Conditioner, Feeding voltage fluctuation, Interlinked breaking equipment

### 1. はじめに

東海道新幹線で導入されているき電側電力融通方式電力補償装置 (RPC : Railway static Power Conditioner) は、単相自励式インバータを Back-to-back 構成にしたもので、き電系統の運用により、交流端子を片座のみと接続してき電電圧を制御するモード (SVC 制御モード) と、き電用変圧器二次側の M 座・T 座間の有効電力を融通して受電側の不平衡を補償するモード (RPC 制御モード) に切り替えることができるフレキシブルな電力補償装置である<sup>1)</sup>。2011 年に東海道新幹線の車両基地用の電源として新鳥飼変電所 (以下、「新鳥飼 SS」とする。) が新設され、この新鳥飼 SS に導入した RPC は、本線のき電電圧補償機能と車両基地負荷への電力供給機能を併せ持つ RPC である。また、東海道新幹線に導入している自励式電力変換装置の連系運転制御は電流制御が主体となっており、連系対象の電源が解列した場合は自励式電力変換装置の制御が発散する<sup>2)</sup>。連系対象電源が喪失して自励式電力変換装置の制御が発散すると、電力系統に周波数異常、過電圧、低電圧を発生させることとなり、他の電力機器や自励式電力補償装置自体に影響を及ぼす。このため、連系対象電源が喪失した場合は、自励式電力変換装置のゲートブロックをできるだけ早く行う必要がある。本論文では、この新鳥飼 SS に導入した RPC と、新たに開発した自励式電力変換装置の既存電源への連系に伴う制御保護技術について述べる。

### 2. 新鳥飼SSとRPCの概要

#### 2.1 新鳥飼SS関連電力系統の概要

新大阪変電所 (以下、「新大阪 SS」とする。) の老朽取替に伴い、新大阪 SS のヤードき電設備と電力補償装置を鳥飼車両基地構内に移転し、新鳥飼 SS として新設した。新幹線が本線を運転する時間帯は、新鳥飼 SS に導入した RPC にて、新高槻変電所 (以下、「新高槻 SS」とする。) の大阪方面のき電回路の電圧降下補償を行い、夜間は新鳥飼 SS の M 座ヤードき電設備で鳥飼車両基地の電力供給を行う (以下、車両基地給電時) とともに、RPC にて M 座及び T 座間の有効電力平衡化を行っている。図

1 に新鳥飼 SS の関連電力系統の概要を示す。

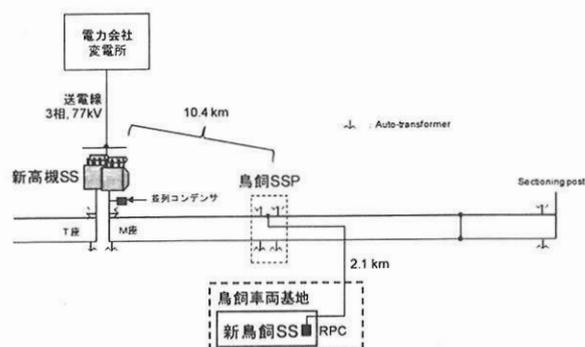


図1 新鳥飼SS関連電力系統

#### 2.2 車両基地電力供給時の制御

これまで東海道新幹線に導入してきた RPC は、き電構成に応じて本線のき電電圧補償や本線用電源の受電側不平衡補償を目的とするものであった。新鳥飼 SS に導入した RPC は、車両基地電源の不平衡電力及び無効電力を補償する<sup>3)</sup>。

車両基地給電時の系統構成を図2に示す。夜間に本線が運用を停止している時間帯では、本線側の電源は停止し、車両基地は専用の電源よりき電する。車両基地は本線とは異なり、き電用変圧器の M 座のみで負荷電力を供給するため、き電用変圧器の受電側の三相電力が不平衡となる。そこで、RPC をき電用変圧器の各座と接続し、T 座から車両基地の負荷電力の半分の有効電力を融通する。これにより、き電用変圧器の片座あたりの負担容量を軽減し、変圧器の容量を有効に活用することができる。また、き電用変圧器の各座の負荷有効電力を平衡化することにより、受電側三相電力の不平衡を補償することができる。同時に、負荷の無効電力を RPC より補償することで、受電側の力率を 1 に制御することができる。

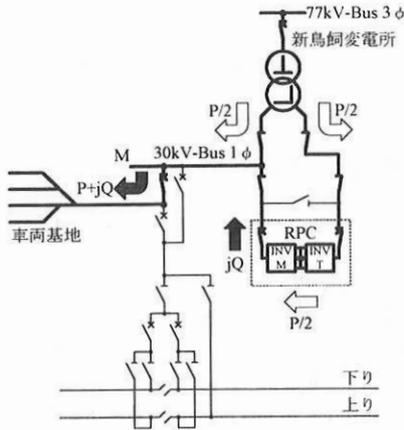


図2 車両基地給電時の系統構成

### 2.3 本線連系時の制御

本線運用時には車両基地は本線側よりき電される。このとき RPC の各インパクタの交流出力端子を本線のき電系統に連系することにより、本線き電系統の電圧変動を補償する。本線連系時の系統構成を図3に示す。

なお本 RPC は、車両基地電力供給時の制御と本線連系時の制御の切り替え期間中は、直流電圧を放電せずに保持している。これにより、切り替え後の再起動時間を短縮している。

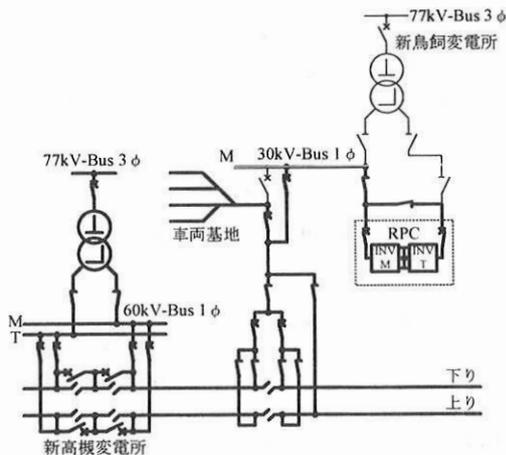


図3 本線連系時の系統構成

## 3. RPCのフィールド試験結果

### 3.1 車両基地電力供給時の制御の検証試験

図2のように、新鳥飼 SS よりき電し、基地内で車両を走行させて、RPC の有効電力融通機能、無効電力補償機能を確認した。図4に試験結果を示す。き電用変圧器の T 座が負荷の有効電力の約 1/2 を出力し、RPC が M 座側へ融通している。これにより、受電側の有効電力が各相平衡化されている。また、RPC は負荷の無効電力をキャンセルするように進みの無効電力を出力している。これにより、受電側の無効電力がほぼ 0 となり、力率を 1 に制御している。

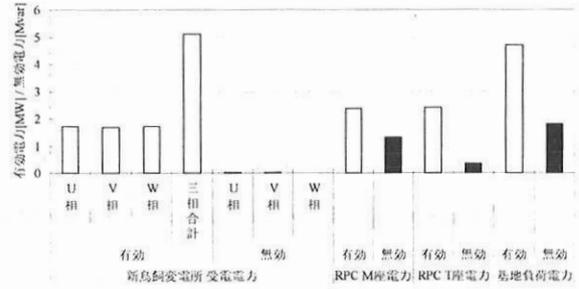


図4 車両基地電力供給時の制御の試験結果

### 3.2 本線連系時の制御の検証試験

図3のように、本線を新高槻 SS よりき電し、本線に列車を走行させて、RPC のき電電圧制御機能を確認した。このとき、き電電圧の検出値と電圧指令値の電圧偏差と RPC の出力の有効電力指令値の関係は図5の直線ようになる。これに対して、◆で示す点が実測値であり、実測値がこの特性と合致していることが確認できる。

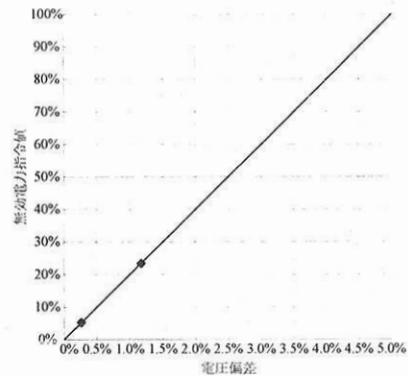


図5 本線連系時のき電電圧制御モード 試験結果

### 3.3 RPC出力高調波電圧の影響の確認

車両基地は電車線路の並列回路で構成されているため、全体のインピーダンスはインダクタンスよりも対地静電容量が支配的となる。また、車両にはパンタグラフをつなぐ特高ケーブルがあり、このケーブルの対地静電容量が車両基地の静電容量に加わる<sup>4)</sup>。これらの C 成分がき電用変圧器や電源の短絡容量の L 成分と並列共振回路を構成する。この回路の共振点に高調波電圧が一致すると、高調波電圧の拡大現象が起こる可能性がある。車両基地での実測と検討の結果、本車両基地における共振周波数帯域はおよそ 3 kHz 以下の領域にあると考えられる。一方、RPC の等価スイッチング周波数は 5.04 kHz であり、共振周波数に対して十分高い。試験においても、RPC が出力する高調波電圧の拡大現象は見られないことを確認した。

## 4. 自動式電力変換装置の制御保護技術

### 4.1 従来の制御保護技術とその課題

のぞみ本数増に対応するための電源設備増強で栗東変電所（以下、「栗東 SS」とする。）に導入した RPC は、栗東 SS 自体のき電母線に連系しているため、機器状態や遮断器開放指令、保護リレー動作などの情報は同一構内での信号受信が可能である。このため、従来の監視制

御技術の応用によるシステム構築が可能で、栗東 SS の RPC の事例では、伝送距離が短く、システム構築が比較的容易であった。また、伝送距離が短いことで信号の伝送遅れが課題になることはなかった。しかし、連系電源の位置と自励式電力変換装置の連系点の位置が離れている事例においては、これらの従来の制御保護技術の適用は伝送遅れの面から適用が難しいと考えられ、新たな制御保護技術の開発が必要となる。

新鳥飼 SS の RPC が新高槻 SS の大阪方面のき電回路に連系運転する場合は、新高槻 SS、鳥飼補助き電区分所（以下、「鳥飼 SSP」とする。）の電源の接続状態や機器の開閉状態を、新鳥飼 SS に伝送する必要がある。

図 1 に示すように、新高槻 SS から鳥飼 SSP の間は 10.4 km、鳥飼 SSP から新鳥飼 SS の間はヤードき電線で 2.1 km と離れており、新しい通信システムの構築が必要となった。

#### 4.2 新しい制御保護技術の概要

新鳥飼 SS の他にも、今後、東海道新幹線の他励式の静止形無効電力補償装置（SVC：Static Var Compensator）の老朽取替を行う場合に、自励式電力補償装置の導入拡大が想定されることから、全線に適用可能な自励式電力変換装置連系時の新しい制御保護技術を構築することとした。新しい制御保護技術の要件としては、以下の二点が考えられる。

まず、変電所等の間を広域で運用できる通信システムであることである。自励式電力変換装置が連系する電源の接続状態や機器の開閉状態を連絡するためには、変電所等の間を広域に、かつ、同一の通信システム内で通信する手段の構築が必要である。複数システム間に亘る通信手段であると、システム渡り時に伝送遅延や通信渋滞が生じる可能性があるからである。そこで、変電所等を広域に、かつ、同一システム内で通信できる手段として、遠方監視制御装置と連絡遮断装置のシステムを候補として考えた。

もう一つの要件は、保護における高速性を確保できることである。連系電源の解列直後にインバータの制御が発散する<sup>2)</sup>ことから、他の機器や電力変換装置自体の保護を行う上で、自励式電力変換装置のゲートブロックはできるだけ早く行うことが必要となる。連系電源解列から電力変換装置のゲートブロックまでの時間の目標値として、静止形周波数変換装置にて周波数異常を検出する保護装置の検出時限として整理している 100 ms 以内に信号伝達できる手段を考えることとした。

以上二点のシステム要件に基づき、新しい制御保護技術を以下のとおり構築することとした。

まず、制御技術は、保護技術に比較して高速性は要求されないことから、遠方監視制御装置と連絡遮断装置のシステムの両方に設けることとし、連絡遮断指令が常用を連絡遮断装置のシステム、予備を遠方監視制御装置のシステムを用いていることになり、制御技術についても連絡遮断装置のシステムを常用、遠方監視制御装置のシステムを予備とした通信システムを構築することとした。

次に、保護技術については、複数ポスト間の通信においても 100 ms 以内の信号伝達を目標値とすることから、遠方監視制御装置でのシステム構築は不可能と判断し、連絡遮断装置のシステムのみを用いることとした。連絡遮断装置を用いた制御保護システムの概念を図 6 に示す。

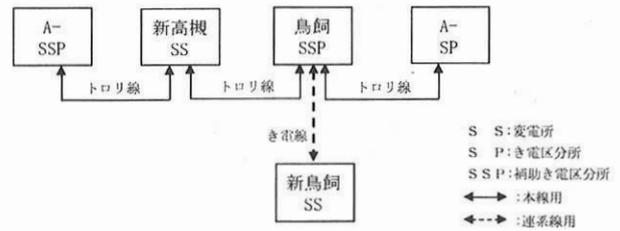


図 6 連絡遮断装置を用いた制御保護システムの概念

新鳥飼 SS の事例のように、自励式電力変換装置が連系線を経由して接続する事例が想定されるため、従来の本線のき電回路における連絡遮断システムとは別に、連系線用の連絡遮断システムを構築することとした。

#### 4.3 新型連絡遮断装置の開発

制御保護技術用の通信手段として連絡遮断装置のシステムを用いることとしたが、従来の連絡遮断装置では、1 変電所等を経由するごとに約 90 ms の伝送遅延が生じる可能性があったことから、保護技術面で目標としている 100 ms 以内でのゲートブロックは困難である。また、既に空きチャンネルがなく、新たな信号種別を付加する改造は難しいという課題もあった。このため、自励式電力変換装置の新しい制御保護技術の構築を機に、新型の連絡遮断装置を開発した。開発した新型連絡遮断装置の主な仕様を表 1 に、信号種別を表 2 示す。

表 1 新型連絡遮断装置の主な仕様

伝送方式	光ファイバーケーブル方式 波長分割多重(WDM)
通信方式	全二重非同期通信、サイクリック伝送
通信速度	1.578Mbps
伝送フォーマット	1フレーム76bit
最大連絡距離	40km
同時伝送信号数	21
連絡所要時間	対向連絡：～ 約 9.0ms (計算値) 2区間延長：～ 約 14.0ms (計算値) 3区間延長：～ 約 18.0ms (計算値) 4区間延長：～ 約 22.0ms (計算値)
配電盤とのインターフェイス	電圧信号(DC100V、電源は配電盤側)

WDM: Wave Division Multiplexing

表 2 新型連絡遮断装置の信号種別

No.	信号名	備考
1	連絡遮断指令(三位開放)	従来の 連絡遮断指令
2	連絡遮断指令(再投入)	
3	連絡遮断指令(故障)	
4	連絡遮断指令(三位開放)	
5	連絡遮断指令(再投入)	
6	連絡遮断指令(故障)	
7	連絡遮断指令(上下タイ開放)	電力変換装置を ゲートブロック するための信号
8	連絡遮断指令(GB)	
9	連絡遮断指令(一時停止)	
10	連絡状態指令1	連系対象電源の 系統状態を 連絡する信号
11	連絡状態指令2	
12	連絡状態指令3	
13	連絡状態指令4	
14	転送遮断指令1	ポスト 指定
15	転送遮断指令2	
16	転送遮断指令3	
17	転送遮断指令4	
18	連絡投入指令	試験
19	連絡遮断指令(EK)	
20	連絡起動指令	
21	試験	

GB:ゲートブロック EK:地震

