

電力融通装置を用いた 回生電力の有効利用

交流き電システムでは、各変電所のき電区間はデッドセクションで分離されており、各交流き電区間で余剰となった車両からの回生電力は電力系統に返還される。

この交流き電区間内の余剰回生電力を他のき電区間で有効に利用するため、日立は、き電区分所に設置する電力融通装置（SP-RPC）を製品化し導入を進めている。在来線区に導入した事例では、初期の予想量を上回る電力量を融通している結果が長期観測データで確認できしており、現在、新幹線システムへの導入を進めている。

青木 克成 | Aoki Katsushige

菊地 健作 | Kikuchi Kensaku

瀬谷 稔 | Seya Minoru

加藤 哲也 | Kato Tetsuya

1. はじめに

通常、ある交流き電区間内の列車負荷で発生した回生電力はそのき電区間の負荷以外では使用できず、当該き電区間では電力系統に電力の返還を行っていても、別の交流き電区間では電力系統から電力の購入を行う必要がある。

その対策として、き電区分所（SP：Sectioning Post）設置型のRPC（Railway Power Conditioner）であるSP-RPCを設置し、ある交流き電区間の鉄道車両の回生ブレーキで発生した回生電力を他の交流き電区間の負荷に供給することで、全体として電力系統から購入する電力量を低減するシステムが提案されている。

特に、全車両が回生ブレーキ装備であり、またき電区間中の駅が少なく同時走行列車数も比較的少ない路線の

場合、発生させた電力を他の列車で消費しづらい。このような交流き電路線に対してSP-RPCが有効であると論じられている¹⁾。

2. SP-RPCシステムの概要と効果

2.1

東日本旅客鉄道株式会社の在来線へのSP-RPC導入

交流き電の在来線き電区分所にSP-RPC初号機を納入して以来、約3年の稼働実績が得られてきている。本納入例の概要、効果について以下に説明する。

東日本旅客鉄道株式会社の常磐線牛久SPに22 kV交流き電用のSP-RPCを製作し、2015年に運用を開始した。RPCシステムとして、変電所に設置してスコット変圧器のM座、T座間の負荷不平衡を補償するシステムは以前から存在したが、交流き電区間の電力融通を目的とし

たSP-RPCを運用するのは、この常磐線牛久SP向けSP-RPCが世界初となった。

常磐線牛久SP向けシステム構成を図1に、SP-RPCの概略仕様を表1に、機器の外観例を図2に示す。

図1のように、SP-RPCは牛久SPに設置しており、単相22 kVの藤代SS (Substation:変電所) 側き電系統と、土浦SS側き電系統に対して、BTB (Back To Back) 方式の変換器をデッドセクションをまたいで接続している。

両SSには、三相受電点の消費・回生電力を演算する電力演算装置を設置している。各電力演算装置は牛久SPに設置しているSP-RPCの制御装置に対して三相受電点の電力を通信で送信する機能を持つ。

SP-RPCは、藤代・土浦両SSの三相受電点電力から、一方のSSで余剰となった回生電力をもう一方のSSのき電系統へ融通するように動作する。

システム容量の設定は短時間大電力が繰り返し発生す

る回生電力の特質から、定格容量を1.3 MWとし、5.3 MW 1分 (10分間隔) の過負荷仕様を設けることで、変圧器、冷却装置の容量を低減している²⁾。

2.2

電力融通効果

RPCがき電系統間を融通した電力量について、実測データの例として2015年4月19日～2015年4月25日の1週間分のデータを表2に示す。このデータより、SP-RPCは平均で1日当たり約7.9 MWhの電力融通を行っていることが分かり、RPCによる回生電力の有効利用の効果が1日当たり約7.9 MWhあったことを確認できる。導入前に東日本旅客鉄道において、余剰電力を測定し融通電力量の試算を行った際には7.3 MWh/日と予想されていたため、計画当初の期待を満足する導入効果が得られている²⁾。

図1 | SP-RPCシステムの概要

変電所間に位置するき電区分所に配置され、両側の変電所の三相受電点電力から、一方の変電所で余剰となった回生電力を、もう一方の変電所のき電系統へ融通するように動作する。

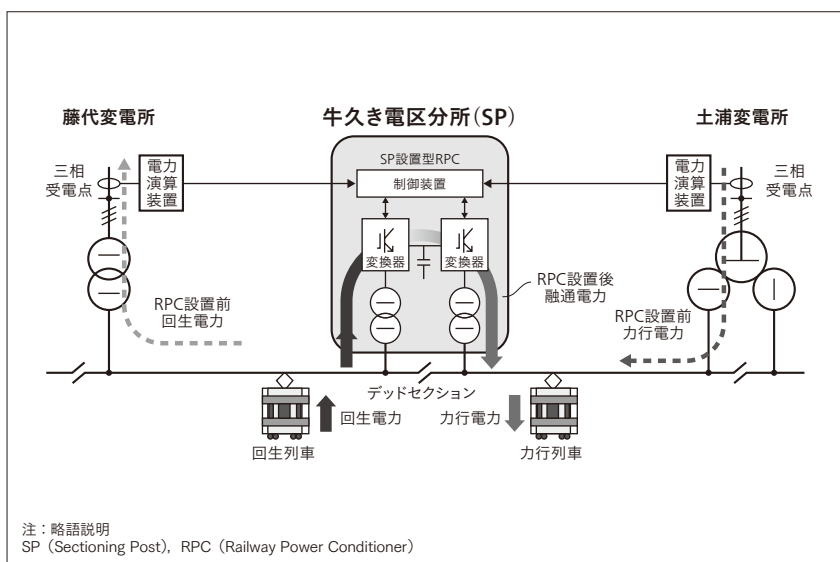


表1 | SP-RPCシステムの概略仕様例

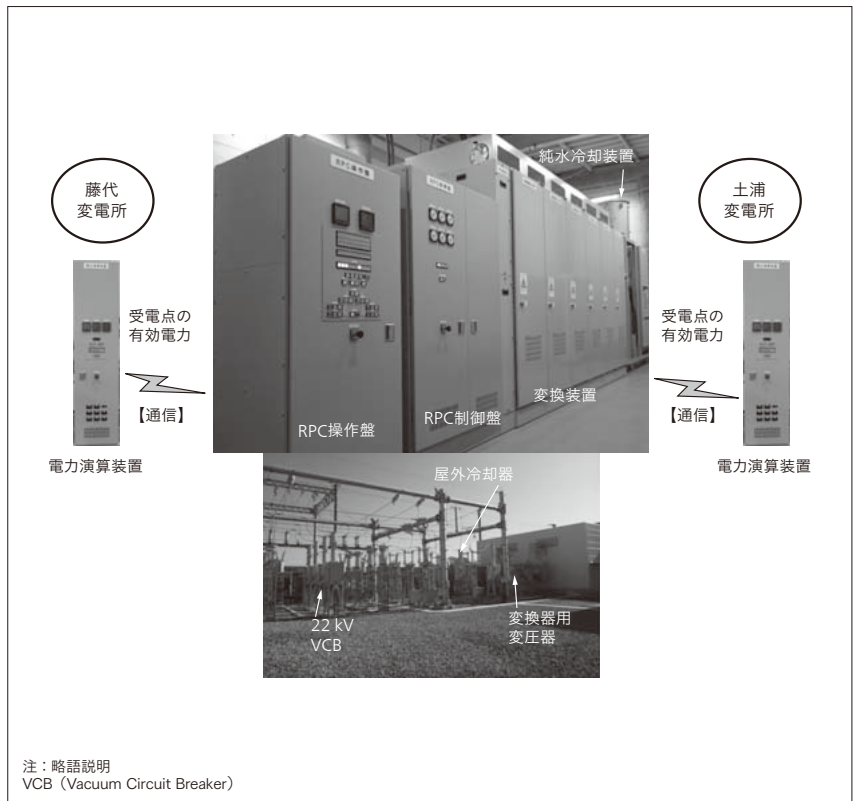
東日本旅客鉄道株式会社牛久き電区分所への納入を例に、SP-RPCの基本仕様を示す。隣接変電所との通信を行うことがSP-RPCの特徴であるが、各事業者ごとにメタル回線、光回線などに対応可能である。

項目	仕様	備考
定格電圧	22 kV	
定格容量	RPCモード	1.3 MW×2台 過負荷耐量5.3 MW 1分 (10分間隔)
	SVCモード	1.3 MVar×2台
定格周波数	50 Hz	
変換器	変換素子/構成	IGBT/単相3レベル3多重
	PWMパルス/DC電圧	15パルス×3多重/DC 6,000 V
	冷却方式	循環水冷風冷式
電力演算装置	演算方式	高速サンプリング デジタル有効/無効電力演算
	通信方式	DSL通信 伝送距離10~20 km

注：略語説明
SVC (Static Var Compensator), PWM (Pulse Width Modulation), DC (Direct Current), IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), DSL (Digital Subscriber Line)

図2| SP-RPCシステム設置例

変換装置、制御盤、操作盤、電力演算装置は屋内に設置し、変換器とき電系統をつなぐ変換器用変圧器および開閉器は屋外設置としている。



注：略語説明
VCB (Vacuum Circuit Breaker)

表2| 1週間分のRPC融通電力量実測値

東日本旅客鉄道でのSP-RPC動作実績を示す。平均して約7.9 MWh/日の電力量を融通している。

日付 (2015年)	4/19 (日)	4/20 (月)	4/21 (火)	4/22 (水)	4/23 (木)	4/24 (金)	4/25 (土)	平均	
融通電力量 [kWh]	土浦⇒藤代	3,092	3,281	3,423	3,271	3,252	3,166	2,961	3,207
	藤代⇒土浦	5,222	4,529	4,500	4,635	4,637	4,504	4,724	4,679
	上記の合計	8,314	7,810	7,923	7,906	7,889	7,670	7,685	7,885

3. 交流き電システム用電力シミュレータ

上述の交流き電における余剰回生電力の有効利用、SP-RPCの導入計画を進めるにあたり、交流き電用の電力シミュレータを開発した。交流き電には主に在来線などに使用されるBT (Booster Transformer) き電方式と、新幹線で使用されているAT (Auto Transformer) き電方式があるが、本電力シミュレータはどちらのき電方式にも適用できるものである。

以下に、ATき電方式を例にシミュレータの概要と実路線での実測電力との比較検証結果について説明する。なお、本件は九州旅客鉄道株式会社の協力を得て、2016年9月、九州新幹線における車両運行エネルギーの実態調査を行うために実施した、新鳥栖変電所と新玉東変電所における供給および余剰回生電力の調査結果を基に比較している。

3.1

交流き電シミュレーションの概要

SP-RPCシステムの導入においては、交流き電システムの駆動および回生電力をシミュレーションによって解析することで、現在の余剰電力を推定しておくことが重要である。解析には日立が独自開発した鉄道総合評価システムを使用している。本シミュレータは、実際の線路条件、き電条件、車両特性に加え、速度制限やダイヤグラムを入力することで、実際に車両が走行している状況下での電力を解析することができる (図3参照)。

以下は、九州旅客鉄道から提供を受けた、九州新幹線の新鳥栖変電所および新玉東変電所の供給電力量を用いて、シミュレーション結果との比較検証を行った例である。両変電所と隣接の区分開閉所までをシミュレーションモデル化して、変電所の供給電力を解析した。

3.2

実測データとの比較

実測データと同時期のダイヤに基づくシミュレーション

図3|シミュレータの概要

線路条件、運行条件を基に、車両側の力行、回生電力および変電所側の供給、回生電力をシミュレート可能であり、新規変電所建設時や省エネルギー施策の計画などに適用可能となっている。

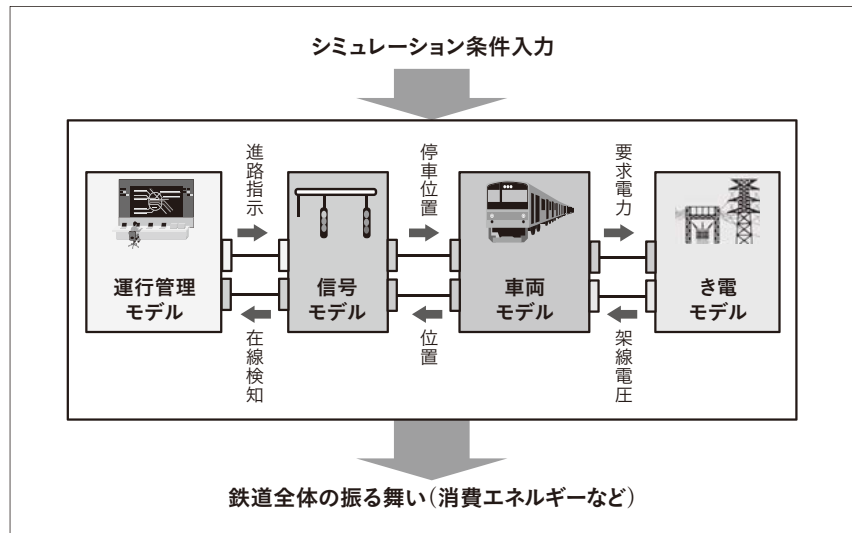


表3|シミュレーションと実測の電力量の比較

九州新幹線における比較を示す。結果は誤差3.7～6.5%の精度で供給電力量と余剰回生電力量を評価できることを確認した。

(a) 新鳥栖SS

	実測値	シミュレーション	誤差
供給電力量	91.9 [MWh]	88.0 [MWh]	4.2 [%]
余剰回生電力量	15.1 [MWh]	16.1 [MWh]	6.5 [%]

(b) 新玉東SS

	実測値	シミュレーション	誤差
供給電力量	104.4 [MWh]	100.6 [MWh]	3.7 [%]
余剰回生電力量	10.8 [MWh]	10.1 [MWh]	6.2 [%]

注：略語説明
SS (Substation)

ン結果の比較を行った。各変電所の供給電力量および余剰回生電力量の平均値とシミュレーション結果の比較を表3に示す。シミュレーション結果は、新鳥栖変電所の供給電力量の総和は4.2%、余剰回生電力量の総和は6.5%、新玉東変電所の供給電力量の総和は3.7%、余剰回生電力量の総和は6.2%の誤差であった。

列車の遅延や回送列車の走行タイミングなどの影響、乗車率など入力データに多少の誤差は発生しているが、おおむね一致した結果が得られており、SP-RPCの導入

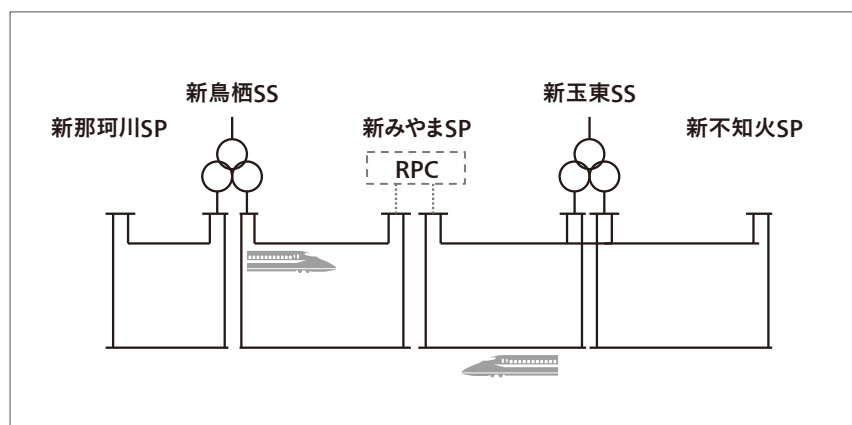
効果推定などの消費エネルギー低減検討にシミュレーション活用の見通しを得た³⁾。

4. 新幹線システムへの適用

3章で述べた九州新幹線での供給電力実測やシミュレーション結果から、新みやまSPにSP-RPCを導入すべく詳細設計を進めている。新みやまSPは図4に示すよう

図4|九州新幹線へのSP-RPC導入計画

新鳥栖変電所と新玉東変電所の中間である新みやま電区分所にSP-RPCを導入し、両変電所の余剰回生電力を削減する。



に上述の新鳥栖変電所と新玉東変電所の中間に位置しており、両変電所の供給または余剰回生電力を監視しながら電力を融通することにより、表3に記載した余剰回生電力量および供給電力量を削減することを目的に導入するものである。

5. おわりに

本稿では、き電区分所に設置する電力融通装置の導入、融通電力量の効果およびシミュレーションの活用について紹介した。

今後もシミュレーションを活用して、き電区分所に設置する電力融通装置の導入を進め、回生電力の有効利用に貢献していく。

謝辞

本稿で述べた常磐線牛久SPへのSP-RPC導入および測定データの提供には東日本旅客鉄道株式会社にご指導、ご協力を頂いた。また九州新幹線の測定データについては九州旅客鉄道株式会社にご協力を頂いた。深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 本田誠彦, 外: 常磐線における車両回生電力の測定とその有効利用の検討, 平成21年電気学会産業応用部門大会講演論文集, Vol.2009, No.3, III275-278 (2009)
- 2) 作地修, 外: 常磐線牛久き電区分所向けき電区分所設置型RPC (Railway Power Conditioner) の開発, 電子デバイス/半導体電力変換合同研究会, EDD-15-080, SPC-15-162 (2015)
- 3) 宮内努, 外: 交流ATき電シミュレーションモデルの開発, 平成30年電気学会全国大会予稿集, 5-229, 378-379 (2018)

執筆者紹介



青木 克成

日立製作所 鉄道ビジネスユニット 輸送システム本部
電力変電システム部 所属
現在, 鉄道事業者向け地上変電設備の取りまとめに従事



菊地 健作

日立製作所 鉄道ビジネスユニット 輸送システム本部
電力変電システム部 所属
現在, 鉄道事業者向け地上変電設備の取りまとめに従事



瀬谷 稔

日立製作所 鉄道ビジネスユニット 輸送システム本部
電力変電システム部 所属
現在, 鉄道事業者向け地上変電設備の取りまとめに従事



加藤 哲也

日立製作所 鉄道ビジネスユニット 輸送システム本部
電力変電システム部 所属
現在, 鉄道事業者向け地上変電設備の取りまとめに従事
電気学会会員