

蓄電池技術を応用した 車両用推進制御システム

北中英俊* 白木直樹**
石田貴仁* 竹田進治**
白木智之*

Propulsion Systems Using Energy Storage Technology

Hidetoshi Kitana, Takahito Ishida, Tomoyuki Shiraki, Naoki Shiraki, Shinji Takeda

要 旨

鉄道システムは、エネルギー効率が良く、地球環境への負荷が少ないシステムである。三菱電機はこれまでにパワーエレクトロニクス技術を駆使した回生ブレーキや、電力制御技術をベースとして数多くの車両用推進制御装置を実用化し、これらの要求にこたえてきた。

しかしながら、更なる省エネルギー化、環境負荷の低減、また安定輸送の向上への限りない要求がある。

電気鉄道の推進制御システムはこれまで、パンタグラフを通して架線から電力を受電して走行するシステムとして発展してきた。架線を通して容易に電気エネルギーを得ることができるため、車両にエネルギー源を搭載する必要がなく、軽量で大出力の車両を構成できるというメリットがある。

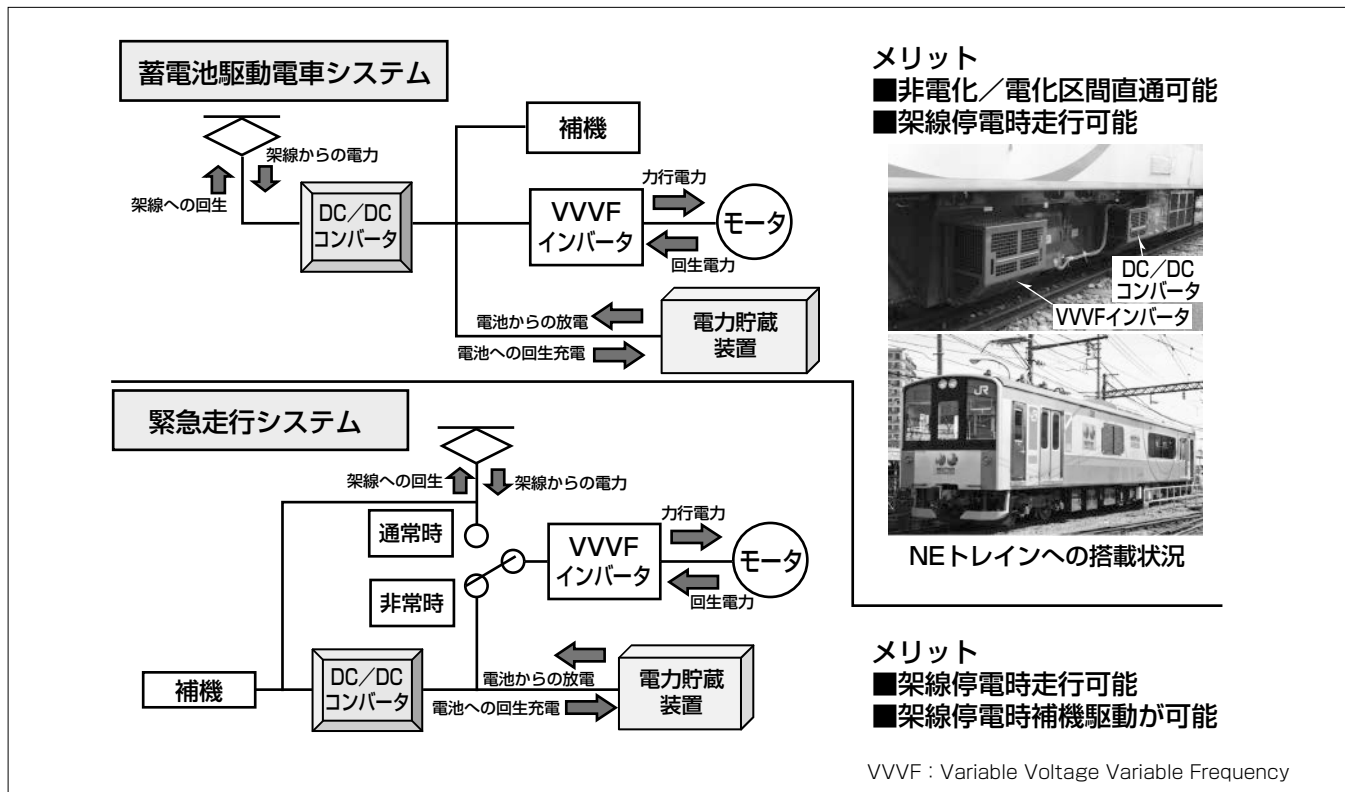
近年、リチウムイオン電池をはじめとする電力貯蔵デバイスの性能が向上し、産業用途でも適用され始めており、

回生エネルギーの吸収や架線電圧の補完用途など、電気鉄道への適用も検討されている。電力貯蔵デバイスを組み合わせることで、これまで不可能であった魅力ある推進制御システムを構築できる可能性がある。

今回、電力貯蔵デバイスとしてリチウムイオン電池を応用し、次の車両用推進制御システムを開発した。

- ①非電化区間の電気駆動化による環境負荷低減を可能とし、電化区間との直通走行が可能な蓄電池駆動電車システム
- ②架線停電時に、最寄り駅までの列車の自力退避を可能とする緊急走行システム

蓄電池駆動電車システムについては、2009年度下期から、東日本旅客鉄道㈱のNEトレインへ搭載し、システム評価を行う計画である。また、緊急走行システムについても、今後現車搭載して詳細検討を進める計画である。



蓄電池技術を応用した車両用推進制御システム

蓄電池技術を応用することで、電気エネルギーを貯蔵し必要なときに再利用することが可能となり、これまで不可能であった魅力ある推進制御システムを構成できる。上図は非電化区間と電化区間を直通可能な蓄電池駆動電車システムと、架線停電時に走行可能な緊急走行システムの構成を示す。

1. ま え が き

電気鉄道の推進制御システムはこれまで、パンタグラフを通して架線から電力を受電して走行するシステムとして発展してきた。架線を通して容易に電気エネルギーを得ることができるため、車両にエネルギー源を搭載する必要がなく、軽量で大出力の車両を構成できるメリットがある。一方、近年、リチウムイオン電池をはじめとする電力貯蔵デバイスの性能が向上し、産業用途でも適用され始めており、回生エネルギーの吸収や架線電圧の補完用途等の電気鉄道への適用も検討されている。電力貯蔵デバイス応用することで、これまで不可能であった魅力ある推進制御システムを構築できる可能性がある。

本稿では、大容量のリチウムイオン電池を使用して開発中の蓄電池駆動電車システムと、緊急走行システムについて述べる。

2. 蓄電池駆動電車システム

2.1 概 要

このシステムは非電化区間を走行する次世代形車両として、既存気動車と比較してCO₂の低減、排出ガスのゼロ化、低騒音化を図ることを目的としており、次の特長を持つ。

- ①非電化区間は蓄電池で走行し、電化区間／非電化区間の直通運転が可能
- ②電化区間では蓄電池と架線からの電力を併用する架線ハイブリッドシステムとして動作が可能
- ③蓄電池異常時は、蓄電池を開放して架線からの電力のみで走行可能な冗長性に配慮したシステム
- ④非電化区間でのシステム効率を高めた回路構成

2.2 主要諸元

表1に、今回開発した蓄電池駆動電車システムの主要諸元を示す。

2.3 主回路構成

図1に主回路構成図を示す。

パンタグラフ直下にDC／DCコンバータを配置し、

表1. 蓄電池駆動電車システムの主要諸元

電気方式	DC1,500V(架線)／DC600V(蓄電池)	
編成	0.5M0.5T	
DC／DC コンバータ	回路構成	昇降圧PWMチョッパ 600kW
	制御機能	架線／電池電流分担制御機能
		急速充電機能 定電圧出力機能(蓄電池開放時)
VVVF インバータ	回路構成	三相2レベルPWMインバータ
	制御機能	トルク制御(ベクトル制御)
主電動機	種類	三相誘導電動機 95kW×2
	種類	リチウムイオン電池
主蓄電池	システム電圧	605V
	システム容量	160kWh

PWM: Pulse Width Modulation

DC／DCコンバータの出力にVVVF(Variable Voltage Variable Frequency)インバータ、SIV(Static Inverter)装置、主蓄電池を並列に接続したシステム構成とした。

非電化区間では、主蓄電池をVVVFインバータとSIV装置へ直結する構成とし、損失低減を可能とした。

電化区間では、架線からのDC1,500VをDC／DCコンバータで降圧し、VVVF、SIVへの電力供給を行うとともに、主蓄電池への充放電を行うシステムとした。なお、主蓄電池には600V系のリチウムイオン電池を採用したが、これ以外の蓄電池との組合せも可能である。

2.4 制御系構成

このシステムは、表2に示す制御機能を実現している。

電化区間では、VVVFインバータからの回生電力は電池が過充電とならない範囲で極力電池へ回収し、非電化区間進入前の急速充電を不要とするよう構成した。なお、電池電圧が所定以上に上昇すると、回生電力の一部を架線へ回生して電池電圧の上昇を抑制する機能を持つ。

力行時は電池電流ゼロ制御とし、力行電力はすべて架線から供給する構成を基本とした。スイッチ操作で力行アシストモードを選択することで、例えば架線電圧低下時に力行電力の一部を電池から放電することも可能である。

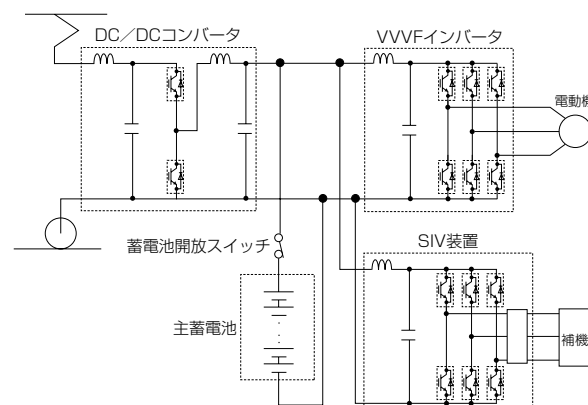


図1. 蓄電池駆動電車システムの主回路構成図

表2. システムの制御機能

運転区間		装置	制御状態	
非電化 区間		DC／DC	停止	
		VVVF	電池電圧リミット制御(過充電／過放電防止)	
電化 区間	電池健全時	DC／DC	力行時	電池電流ゼロ制御(力行電力は架線から供給) 力行アシスト放電制御、蓄電池調整充放電制御
			回生時	架線電流ゼロ制御(回生電力は電池に回収) ※電池電圧が高いときは過剰分を架線へ回生 蓄電池調整充放電制御
			惰行時	蓄電池調整充放電
		VVVF	トルク制御、電池電圧リミット制御(過充電／過放電防止)	
	電池開放時	DC／DC	出力定電圧制御(DC600V一定制御)	
		VVVF	トルク制御	
急速 充電時		DC／DC	蓄電池への充電電流制御 電池電圧リミット制御(過充電／過放電防止)	
		VVVF	停止	

VVVFインバータは、従来の制御機能に加え、力行時は電池電圧が規定値より低下しないように、また回生時は電池電圧が規定値を超えないようにパワー制限する電池電圧リミッタ機能を付加した。

なお電化区間では、主蓄電池異常時などに蓄電池を開放して架線からの電力でのみ走行することを可能とし、冗長性を確保した。

2.5 試験結果について

このシステムの工場での組み合わせ試験状況を図2に示す。電化区間／非電化区間走行とも、所望の性能を確認できた。

2.6 今後の展開

2009年度下期から、東日本旅客鉄道(株)のNE(New Energy)トレインにこのシステムを搭載し、現車走行試験を通してシステム評価を行う計画である。

3. 緊急走行システム

3.1 概要

このシステムは、架線停電時等において、蓄電池に貯蔵した電力を利用して車両を最寄り駅まで緊急退避走行させることを目的として開発したものであり、次の特長を持つ。

- ①架線停電時には、蓄電池の電力によって、10両編成を30km/h程度(平坦(へいたん)線)で走行可能
- ②蓄電池への充電は、架線からDC/DCコンバータを用いて行うことで、特別な充電作業は不要
- ③電池走行時の損失を最小限とし、走行距離を最大化できる構成
- ④既設SIV装置への給電を可能とし、走行に必要な補機を稼働させることが可能
- ⑤DC/DCコンバータ容量の最小化が可能な構成

3.2 主要諸元

このシステムの主要諸元を表3に示す。

3.3 主回路／制御系構成

図3に主回路構成図を示す。

既存の推進制御システムに、DC/DCコンバータ、主蓄電池、切替スイッチを追加した構成である。

蓄電池への充電は、DC/DCコンバータを電流制御モードで動作させ、走行中に架線からの電力で自動的に行う構成としたので、特別な充電作業等は不要である。

架線停電時には、蓄電池電圧を直接VVVFインバータに入力するので、電池走行時の電力損失を最小限にすることができる。

また、DC/DCコンバータを昇圧定電圧制御モードで動作させ、蓄電池電圧をDC1,500Vに昇圧してSIV装置へ電力供給するシステムとしたので、既存のSIV装置を使用して補機への電力供給が可能である。



図2. 組み合わせ試験状況

表3. 緊急走行システムの主要諸元

電気方式	DC1,500V	
編成	通常時 6 M 4 T 緊急走行時 1 M 9 T (1 M車のみ蓄電池で駆動)	
DC/DC コンバータ	回路構成	昇降圧PWMチョッパ
	制御機能	通常時 蓄電池充電制御 緊急走行時 昇圧定電圧制御 (SIV装置への供給)
主蓄電池	種類	リチウムイオン電池
	システム電圧	605V
	システム容量	36kWh

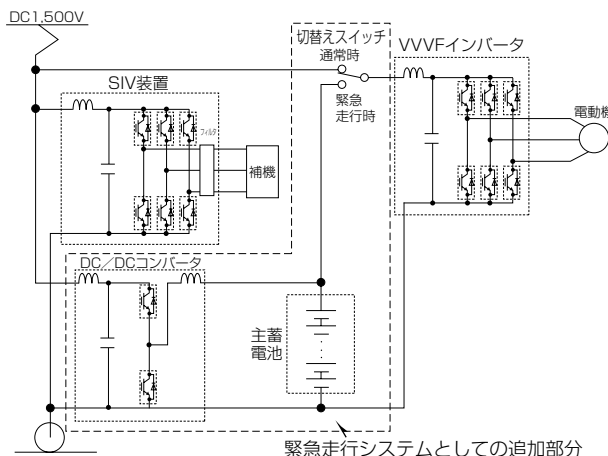


図3. 緊急走行システムの主回路構成図

充電電流は数時間で満充電とできる程度とし、停電時は重要負荷に限って電力供給することで、DC/DCコンバータ容量の最小化を可能とした。なお、主蓄電池には600V系のリチウムイオン電池を採用したが、これ以外の蓄電池との組合せも可能である。

3.4 試験結果について

台上試験で、電池駆動時のVVVFインバータの所望の動作を確認した。またDC/DCコンバータの昇圧機能によって、蓄電池でSIV装置の安定動作を確認した。

表3の構成で、補機を40kW/編成とした条件で、2 km程度の走行が可能であることを確認した。

3.5 今後の展開

今後、現車試験によって詳細検討を進める計画である。

4. む す び

電力貯蔵デバイスを応用した車両用推進制御システムの開発状況について述べた。今後は現車試験を通してシステムの評価と実用化を進める所存である。