

# 鉄道システムにおける環境負荷低減ソリューション

Environmentally-friendly Solutions for Railway System

和嶋 武典 Takenori Wajima

中村 恭之 Yasushi Nakamura

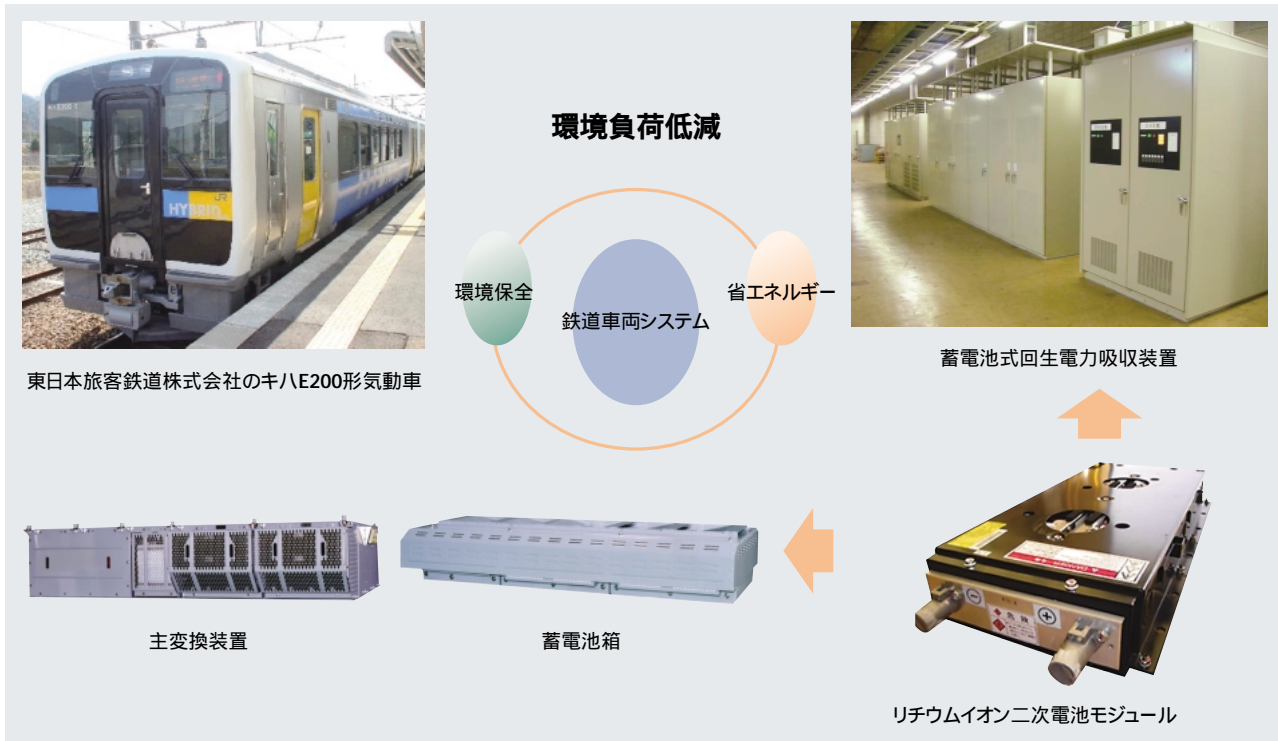


図1 リチウムイオン二次電池を応用したハイブリッド駆動システムと蓄電池式回生電力吸収装置  
営業車における世界初の実用化を達成したハイブリッド駆動システム搭載鉄道車両、および稼働を開始した蓄電池式回生電力吸収装置の外観を示す。

世界的に環境問題がクローズアップされ、輸送手段としての鉄道の役割が再び注目されている。鉄道分野においては、先進エレクトロニクス技術を用いて、より安全で安定した輸送を実現するとともに、いっそう環境に配慮した技術の重要性が今まで以上に増している。

日立製作所は、リチウムイオン二次電池を用いた鉄道用省エネルギーシステムの開発を進め、ハイブリッド駆動システム搭載鉄道車両、蓄電池式回生電力吸収装置の実現など、鉄道システムの発展に寄与すべく技術開発を行っている。

## 1. はじめに

現在、地球規模での化石燃料枯渇や温暖化対策が叫ばれ、運転時だけでなく、製造から保守、廃棄に至るまでトータルでのエネルギー低減、CO<sub>2</sub>排出量低減といった環境負荷の削減が求められている。

日立製作所は、このような社会的ニーズに応え、地球的環

境負荷低減の基本理念の下、鉄道システム用にリチウムイオン二次電池を適用した新技術を開発した。

車両では、ハイブリッド駆動システムの開発を、東日本旅客鉄道株式会社（以下、JR東日本と言う。）と共同で進め、営業車両として世界初の稼働を開始した。

また、変電システムでは、蓄電池式回生電力吸収装置を開発し、現在納入サイトにおいて順調に稼働中である。

ここでは、鉄道システムにおける環境負荷低減ソリューションの概要について述べる（図1参照）。

## 2. 二次電池ハイブリッドシステムの動向

### 2.1 ハイブリッド駆動システム開発の背景

近年、化石燃料枯渇などのエネルギー問題とともに、各種動力源から生じる排気ガスによる大気汚染や、CO<sub>2</sub>による地球温暖化などの環境問題が大きく取り上げられている。このような中、各自動車メーカーは、エンジンの環境性能を向上

するとともに、これに替わるクリーンな動力システムの開発を進めている。

一方、鉄道分野においては、非電化区間を走行する気動車はディーゼルエンジンで直接駆動する方式のため、電車で使用する回生ブレーキが適用できなかった。ハイブリッド駆動システムは、この回生ブレーキエネルギーを吸収可能として、燃料消費量を減らし、有害排出物低減をめざしている。

## 2.2 二次電池技術の応用展開

鉄道車両では、前/後進の走行性能を等しくするために、逆転機などが不要なシリーズハイブリッド方式を採用し、JR東日本の一般形電車で実績ある主変換装置をベースとして、主要部品共通化によるメンテナンス労力の低減を考慮した。また、電車の高加減速性能を継承するため、高エネルギー密度と高パワー密度を両立できるハイブリッド自動車用リチウムイオン二次電池を適用した。

さらに、現在は次の開発として、エンジンを燃料電池システムに換装した燃料電池車両の試験を行っている。

今後、ハイブリッド駆動システムの製品化拡大を進めるとともに、二次電池システムの応用により、これまででない付加価値を享受できる次世代鉄道システムの開発を進めていく。

## 3. キハE200形ハイブリッド駆動システム

### 3.1 ハイブリッド駆動システムの構成

シリーズハイブリッド方式を営業車両に導入するにあたり、乗客設備の確保や輸送障害対策が必要であることから、キハE200形ハイブリッド駆動システムでは、機器小型化やシステム冗長化を行った(図2参照)。

以下、主な構成機器について説明する。

#### (1) 主変換装置

主変換装置は誘導電動機を駆動させるインバータ回路、発

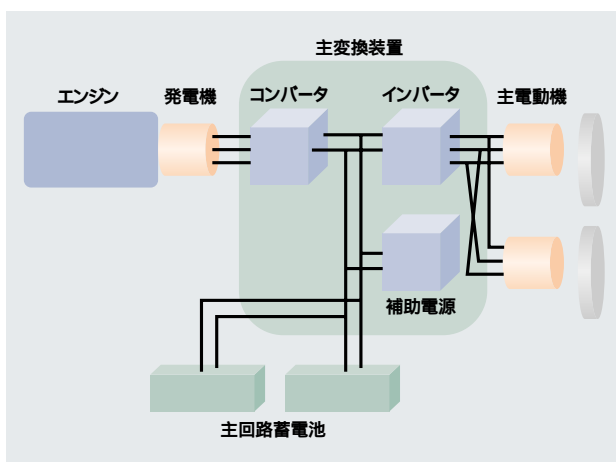


図2 キハE200形向けハイブリッド駆動システムの概要  
主変換装置でハイブリッド統括制御を行い、エネルギー管理制御によって省エネルギー化を図っている。



図3 主変換装置の外觀  
コンバータ装置、インバータ装置、およびSIV(静止型インバータ)装置を一体化して、小型軽量化を図っている。



図4 蓄電池箱の外觀  
車両の屋根上に搭載されるので、直射日光による機器の温度上昇抑止のために遮熱板を設けている。

電機からの発電電力を制御するコンバータ回路、空調などへ電力供給する補助電源回路で構成される(図3参照)。

#### (2) 蓄電池箱

蓄電池箱には、リチウムイオン二次電池モジュール8個を一群として1箱にまとめ、屋根上に2箱搭載した。2群構成として異常時に故障した群を開放する断流器を備えている(図4参照)。

#### (3) 主電動機

JR東日本の山手線などにも使われる一般形電車の三相誘導電動機をベースとして、主回路電圧に応じて回路を見直した。

#### (4) 発電機

三相誘導電動機をベースとし、低騒音化を目的にアルミニウムロータを採用した。なお、エンジン出力軸との接続は機器の小型化を考慮して直結方式とした。

### 3.2 ハイブリッド駆動システムの制御

#### (1) システム統括制御

システム各部における電力監視と蓄電池の充電量を管理し、状況に応じて各制御部に指令している。また、故障時の保護協調を行っている。

#### (2) エネルギー管理制御

車両の速度と蓄電池の蓄電量に応じてエンジン発電を制御することにより、適正な蓄電量を保ち走行性能を確保する。具体的には次のようにエンジン発電を制御する。

- (a) 停車中:騒音防止と燃費向上のためエンジンを停止
- (b) 駅発車時:約30 km/hまでは蓄電池のみで力行

- (c) 力行時:エンジン発電により出力を補足
- (d) 回生ブレーキ時:エンジンを停止して回生電力を吸収
- (e) 抑速ブレーキ時:SOC( State of Charge )が充電限界に達したときは,エンジンブレーキで回生電力を吸収して過充電を防止

(3) 勾配予見制御

エネルギー管理制御は燃費改善を図るために位置エネルギーの高効率利用をする勾配予見制御を行っている。これは、自列車の位置を認識し、線路勾配(上り勾配/平坦(たん)下り勾配)に応じてエネルギー管理する機能である。

- (a) 上り勾配,平坦区間:充電を開始する充電量の値をNE(New Energy)トレインより低い値とし,充放電域の拡大を図っている。
- (b) 下り勾配区間:力行/惰行時には蓄電エネルギーを優先して使う一方で,ブレーキや抑速時はより多くの充電をしてエネルギー回収率を上げている。

4.蓄電池式回生電力吸収装置の開発

日立製作所は,1985年から回生失効対策として,回生インバータ装置や抵抗式回生電力吸収装置を順次開発し,鉄道用変電所に納入してきた。

しかし,各装置とも長所短所があるため,どちらの長所も備え,省エネルギー効果が発揮できる蓄電池を使用した回生電力吸収装置を開発した(表1参照)。

表1 回生装置の比較

蓄電池式回生電力吸収装置は,回生インバータ装置と抵抗式回生電力吸収装置それぞれの持つ長所を備え,省エネルギー効果も大きい。

No	項目	回生インバータ装置	抵抗式回生電力吸収装置	蓄電池式回生電力吸収装置(今回開発装置)
1	回生方式(回生電力の利用可否)	回生電力は交流系統の付帯負荷に利用する。また,電力会社へ戻す。	回生電力は,抵抗器にて熱として消費する。回生電力の利用はできない。	蓄電池で回生電力を貯蔵する。貯蔵した電力は力行電力として再利用できる。
2	電圧降下対策への適用可否	(不可)	(不可)	(可) 貯蔵した電力を力行電力として供給
3	設置場所の制約の有無	(あり) 付帯設備を備えた変電所	(なし) 回生失効の多い場所に設置可能	(なし) 回生失効の多い場所や電圧降下の起きている場所に設置可能
4	付帯設備の要否	(要) ●インバータ用変圧器 ●高調波フィルタ ●進相コンデンサ	(不要)	(不要)
5	省エネルギー貢献度	●回生電力を付帯負荷などへの有効利用可能 ●機器損失比較的大 ●省エネルギー効果あり	●回生電力を熱として消費 ●省エネルギー効果なし	●回生電力を電車力行電力として利用 ●省エネルギー効果大

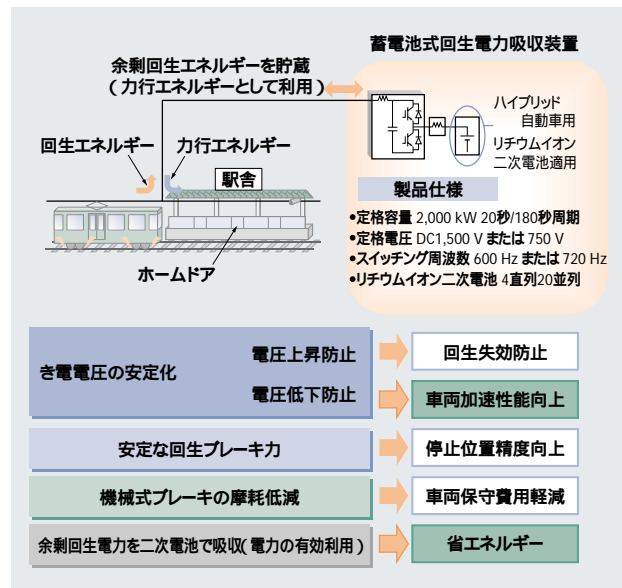


図5 蓄電池式回生電力吸収装置の概要

き電電圧の安定化による回生失効防止対策,電圧降下対策などの適用効果がある。

適用効果としては,き電電圧の安定化による回生失効防止対策とともに,電圧降下対策(車両加速性能向上)も実現できる装置とした。また,き電電圧の安定化によって回生ブレーキ力が安定となり,電車の停止位置精度の向上も可能となり,合わせて機械式ブレーキの摩耗低減などが期待できる。蓄電池式回生電力吸収装置の適用効果の概要を図5に示す。

5.製品仕様と適用

5.1 製品仕様

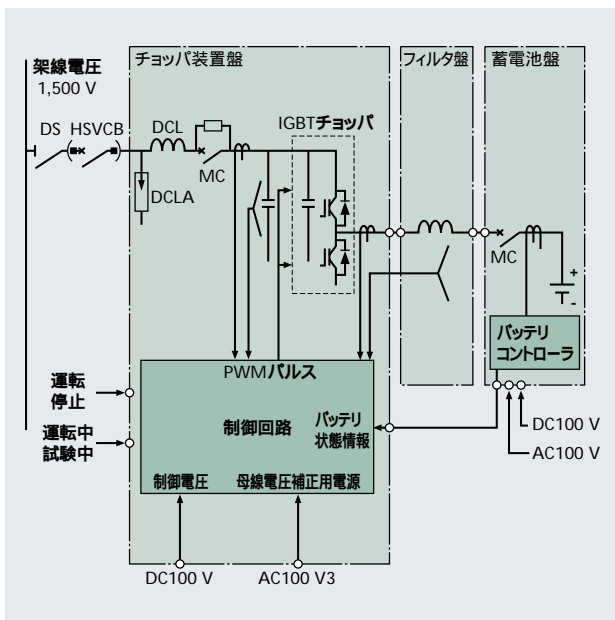
製品化した蓄電池式回生電力吸収装置の仕様は以下のとおりである。

- (1) 定格容量:2,000/1,000 kW(180秒周期で20秒運転)
- (2) 定格電圧:DC1,500/750 V(DC750 Vの場合の定格容量は1,000 kW)
- (3) スwitching周波数:600 Hz/720 Hz
- (4) リチウムイオン二次電池モジュール構成:4直列20並列(2,000 kW)

5.2 回路構成

蓄電池式回生電力吸収装置は,チョッパ装置盤,フィルタ盤,蓄電池盤の3ブロックで回路を構成している(図6参照)。また,1系が故障しても残り2系で運転継続が可能である。チョッピング周波数は抵抗式回生電力吸収装置でも実績のある12相整流器のリプル周波数と同じ50 Hz地域では600 Hz,60 Hz地域では720 Hzの周波数を標準とした。

変換器については,3,300 V 1,200 AのIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)素子を使用し,双方向チョッパを4多重構成として,き電線側と蓄電池側へのリプル電流の減少を



注:略語説明 HVCB( High-speed Vacuum Circuit-breaker )  
 DS( Disconnecting Switch ), DCL( Direct Current Reactor )  
 DCLA( Direct Current Line Arrester )  
 IGBT( Insulated Gate Bipolar Transistor )  
 MC( Mechanical Contactor ), PWM( Pulse Width Modulation )

図6 蓄電池式回生電力吸収装置の回路の概略  
 製品化した装置の回路構成を示す。

図っている。

蓄電池はリチウムイオン二次電池モジュールを、4直列20並列を標準とした。チョッパ装置の運転制御には、リチウムイオン二次電池の充放電により、き電線電圧を所定範囲内に制御するためのき電線電圧制御と、待機時には次の充電(回生電力吸収)のために充電率を下げておく充電率制御を組み込むことにより、き電電圧の一定制御と蓄電池の高効率利用および長寿命化を両立させている。

### 5.3 製品適用

この装置は、変電所に設置する場合と、電圧降下の大きい変電所の中間や路線末端の電圧降下が大きい場所に設置する場合のいずれでも効果を発揮する。

実機運用中のき電電圧、電流、電力の実用例を図7に示す。安定した回生電力吸収と貯蔵電力放電によるき電電圧の低下を抑制していることがわかる。

#### 執筆者紹介



**和嶋 武典**  
 1980年日立製作所入社、電機グループ 交通システム事業部 車両システム本部 車両技術部 所属  
 現在、車両システムのエンジニアリング取りまとめに従事  
 電気学会会員

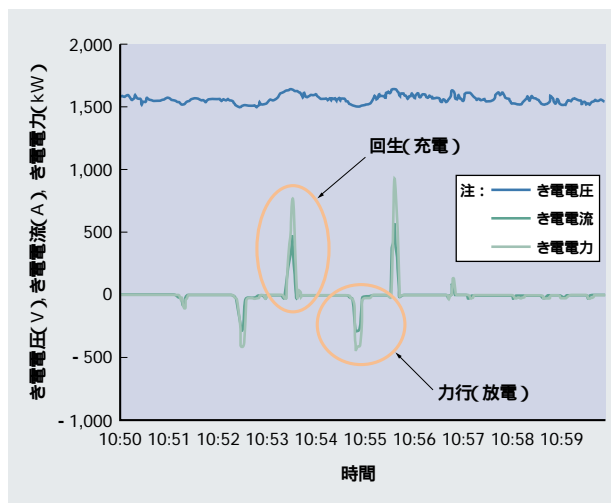


図7 現地測定1Sサンプリンググラフ

当初の性能とおりの充放電機能が働いている。き電電圧は回生電力を吸収し安定させている。電車の力行時に放電し、き電電圧の低下を抑制している。

また、変電所に設置する場合は、従来2バンク設置している整流設備のうちの1バンクをこの装置とすることで、整流装置の補完および回生電力の吸収が可能となる。

## 6. おわりに

ここでは、鉄道システムにおける環境負荷低減ソリューションの概要について述べた。

日立製作所は、今後も、全世界的課題である地球温暖化ガス排出削減の社会的ニーズに応えるため、さらに技術の向上を図り、さまざまな変化のスピードに対応する新しい鉄道システムをめざして研究開発に努めていく考えである。

#### 参考文献

- 金子, 外: 省保守で環境に優しい車両電気システム, 日立評論, 85, 8, 549~552(2003.8)
- 嶋田, 外: 燃料電池車両のエネルギー管理制御, 電気学会産業応用部門大会(2007.8)
- 高橋: 回生電力の有効利用, 鉄道と電気技術(2005.6)
- 伊藤, 外: リチウム電池式回生電力吸収装置の開発, 電気学会 交通・電気鉄道研究会(2005.9)
- 高橋, 外: 回生電力の有効利用方法の確立, 第42回サイバネ・シンポジウム, 606(2005.11)
- 井藤, 外: 蓄電池式回生電力吸収装置のフィールド試験の概要, 鉄道と電気技術(2007.1)
- 高橋, 外: 回生電力の有効利用方法の確立, 鉄道車両と技術(2007.2)



**中村 恭之**  
 1990年日立製作所入社、電機グループ 交通システム事業部 輸送システム本部 変電システム部 所属  
 現在、鉄道変電システムのエンジニアリング取りまとめに従事  
 電気学会会員