

環境負荷を低減するハイブリッド駆動システムの実用化

Commercialization of Hybrid Traction System with Eco-friendliness

徳山 和男 Kazuo Tokuyama

寺澤 清 Kiyoshi Terasawa

嶋田 基巳 Motomi Shimada

金子 貴志 Takashi Kaneko



図1 ハイブリッド駆動システム

営業車におけるハイブリッド駆動システムとしては、世界初の実用化を達成した。日立製作所は、これからも環境に配慮した鉄道車両システム技術の開発を進めていく。

日立製作所は、エネルギー問題や環境問題への取り組みとして、「軽量化」、「機器の高効率化」、および「回生ブレーキ」による消費電力の低減を積極的に進めている。しかし、非電化区間を走るディーゼルカーでは、ディーゼルエンジンで直接駆動する方式のため回生ブレーキが適用できないうえ、排気に含まれるNOx、CO₂の削減が課題であった。

そのため、日立製作所は、二次電池を応用して回生エネルギーを蓄電し、さらにエンジンを最も効率の高い回転数で運転して電気エネルギーに変換することで、環境負荷を低減できるハイブリッド駆動システムを実用化した。また、二次電池を応用した技術展開として、(1)長距離高速鉄道への展開をめざしたディーゼル高速車両用ハイブリッドシステムと、(2)電車用駆動システムの安定性能と省エネルギーを実現する蓄電型連続回生システムを開発した。

1. はじめに

日立製作所は、環境負荷低減をめざしたハイブリッド駆動システムの開発を、2001年から進めている。東日本旅客鉄道

株式会社(以下、JR東日本と言う。)と共同で、ディーゼルエンジンと、高エネルギー密度のリチウムイオン電池を組み合わせ、シリーズハイブリッド駆動システムを構成し、これを搭載した試験車両「NETレイン」により、燃料消費量低減効果の実証、蓄電池における寿命評価など、営業車両実用化をめざした検証を進めてきた。今回、試験車両NETレインでの成果を基に、JR東日本「キハE200形一般気動車用ハイブリッド駆動システム」を受注し製作した(図1参照)。

ここでは、キハE200形用ハイブリッド駆動システムと、(1)環境負荷の低減、(2)車両性能の向上、(3)メンテナンスの低減を高次元で実現する二次電池応用鉄道システム開発の一端について述べる。

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、CO₂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

ような社会からの要求に応えるため、各自動車メーカーは、従来からあるエンジンの環境性能向上とともに、これに代わるクリーンな動力システムの開発を進めている。

一方、鉄道分野では、これまでもエネルギー問題、環境問題に取り組むため、「軽量化」、「機器の効率化」、および「回生ブレーキ」による消費電力の低減を積極的に進めてきた。しかし、非電化区間を走行する気動車については、ディーゼルエンジンで直接駆動する方式のため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、気動車における回生ブレーキを可能として燃料消費量を低減するとともに、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、1車両あたり400 kW以上の駆動パワーが必要である。このため、NETレイン開発ではこの大パワーを二次電池でも負担するために有利な機器構成として、シリーズハイブリッド方式を採用した。JR東日本の一般形電車で実績がある主変換装置をベースとして、主要部品の共通化によるメンテナンスの低減を考慮した。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するハイブリッド自動車用リチウムイオン電池を適用した。NETレインは現在、開発の第2ステップとして、シリーズハイブリッド方式のままにディーゼルエンジンを燃料電池システムに換装した燃料電池車両として走行試験を行っている。

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、二次電池システム応用により、これまでになかった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形用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

基本部分は、NETレインで開発したシリーズハイブリッドシステムを踏襲した。しかし、営業車両としての使用を考慮すると、輸送障害対策や、乗客設備の確保が必要になった。このため、キハE200形用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)。

主な構成機器については以下のとおりである。

(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、発電機からの発電電力を駆動させるコンバータ回路、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(図4参照)。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。

(3) 主電動機

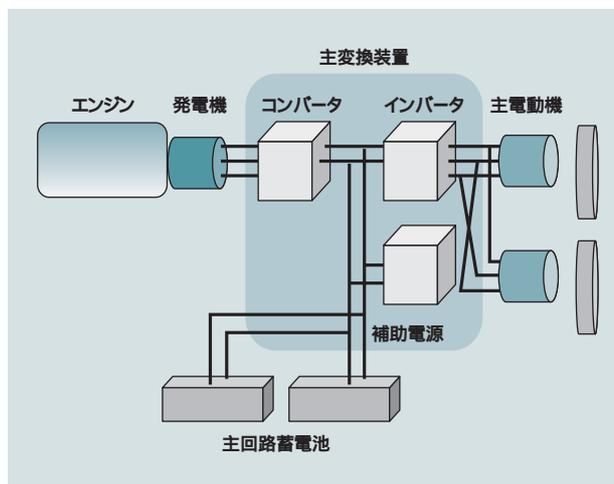


図2 キハE200形用ハイブリッド駆動システム
主回路蓄電池を二重系としてシステム冗長性を考慮した。



図3 主変換装置
インバータ装置、コンバータ装置、およびSIV(静止型補助電源用インバータ)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
車両の屋根上に搭載されるため、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。

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ている。低騒音化を目的にアルモコータを初めて採用した。なお、NETレインではエンジン出力軸との接続は継手方式としたが、キハE200形では機器の小型化を考慮してエンジン直結方式とした。

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

システム統括制御部では、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、故障時の保護協調モジュールシステム統括制御部で行っており、システムの重要な役割を担っている。

(2) エネルギー管理制御

車両の速度と主回路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: 駅構内の騒音防止と燃費向上のためエンジン発電を停止する。
- (b) 駅発車時: 約30 km/hまでは蓄電池のみで力行する。
- (c) 力行時: エンジン発電により出力を補足する。
- (d) 回生ブレーキ時: エンジン発電を停止して回生電力を蓄電池に吸収する。
- (e) 抑速ブレーキ時: SOC(State of Charge)が充電限界に達したときは、エンジンブレーキを用いて過充電を防ぐ。

(3) 勾配予見制御

基本的なエネルギー管理制御はNETレインを踏襲しているが、さらなる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新たに追加した。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) 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。
- (b) 上り勾配、平坦区間: 充電を開始する充電量の値をNETレインより低い値とし、充放電域の拡大を図っている。

4. 二次電池システム応用

4.1 ディーゼル高速車両用ハイブリッドシステム

英国の長距離高速鉄道などで主流のDEL(Diesel Electric Locomotive: 電気式ディーゼル機関車)やDMU(Diesel Multiple Unit: 動力分散型気動車)における燃費低減など環境性向上をめざし、高速DEL・DMUに対応した大容量ハイブリッドシステムを開発した。これにより、従来不可能だった電力回生ブレーキを実現し、回生エネルギー再利用による省エネルギー化、蓄電池アシストによる加速性能向上を可能とした。

(1) 駆動システム

現行のディーゼルエンジン、発電機、整流装置から成る発電システムの構成は変わらず、これらから得られる直流電力をVVVF(Variable Voltage Variable Frequency)インバータで交流電力に変換して誘導電動機を駆動する(図5参照)。

(2) 蓄電システム

ブレーキ時の電力回生を実現するため、主回路に蓄電システムを追加し、ブレーキ電力を蓄電池に回収して、これを力行電力の一部として再利用する。蓄電池はリチウムイオン電

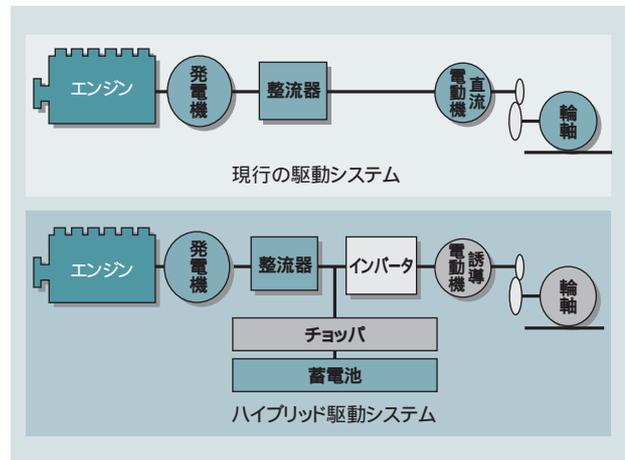


図5 開発したハイブリッド式の駆動システム
主回路蓄電池により、ブレーキ時の電力回生および力行時の電力アシストを可能としている。



図6 試験車両「HAYABUSA」
ハイブリッドシステムを搭載した試験車両は、英国内で既存編成に組み込まれ走行試験が繰り返されている。

池を採用し、小型・軽量化を図っている。

現行車両と同等の出力を確保するため、直流部(整流器出力)の電圧はDC1,400 V程度とする必要がある。このため、昇降圧チョッパ装置により、蓄電池電圧(約700 V)と主回路電圧(約1,400 V)に対応した。

(3) 試験車両「HAYABUSA」

開発したハイブリッドシステムを、英国の鉄道事業者と共同で既存のHST(High Speed Train)に搭載した。この試験車両は「HAYABUSA」と命名され、既存編成に組み込まれて、英国内全土で走行試験が繰り返されている(図6参照)。

4.2 蓄電型連続回生システム

ハイブリッド駆動システム開発で培った二次電池応用技術を活用して、省エネルギー、低メンテナンスな電車用駆動システムの開発を進めている。

蓄電型連続回生システムは、これまでの電車用駆動システムに対して、次の機能を付加することを目的としている。

(1) 安定した走行性能の実現

集電装置からの電力が瞬間的に断たれると、直流電圧低下による加速性能低下や、回生ブレーキ失効による減速度変動が発生する。連続回生システムは、蓄電装置で電源バックアップして、直流電圧低下、回生失効を防ぐ。

(2) 省エネルギーの向上

回生ブレーキは、同じ給電区間に力行する車両がないと、回生電力を架線に戻せないため回生率が低下する。連続回生システムは、架線などに戻せなかった分の回生電力を蓄電装置に吸収して、回生率を向上する。

(3) 機動性の向上

車両基地などでは、整備作業の安全を確保するため、架線などの給電設備がない区間を設ける場合がある。連続回生システムは、蓄電電力によって給電設備がない区間も走行を可能とする。これにより、レールがあればどこでも走行できる機動性の高い鉄道システムをめざす。

インバータの主回路電圧を高压側として、低压側である蓄電装置の端子電圧を昇降圧チョップ装置で調整して、蓄電装置の充放電を制御するシンプルな構成である。上記(1)~(3)の各場面に応じて、蓄電池の充放電制御を適切に行い、連続回生システムの機能を実現する(図7参照)。

連続回生システムは、十分な電力回生効果が期待できない路線の中でも、特に比較的低速で運行される路線に適用する電源補助システムと考えている。

5. おわりに

ここでは、鉄道車両における環境負荷低減技術として、

執筆者紹介



徳山 和男
1992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、車両システムの取りまとめに従事



嶋田 基巳
1995年日立製作所入社、電機グループ 交通システム事業部 水戸交通システム本部 交通システム開発センター 所属
現在、車両用制御システムの開発に従事
日本機械学会会員



寺澤 清
1993年日立製作所入社、電機グループ 交通システム事業部 水戸交通システム本部 車両電気システム設計部 所属
現在、電車駆動用インバータの設計に従事
電気学会会員



金子 貴志
1993年日立製作所入社、電機グループ 交通システム事業部 水戸交通システム本部 車両電気システム設計部 所属
現在、電車駆動用インバータの設計に従事

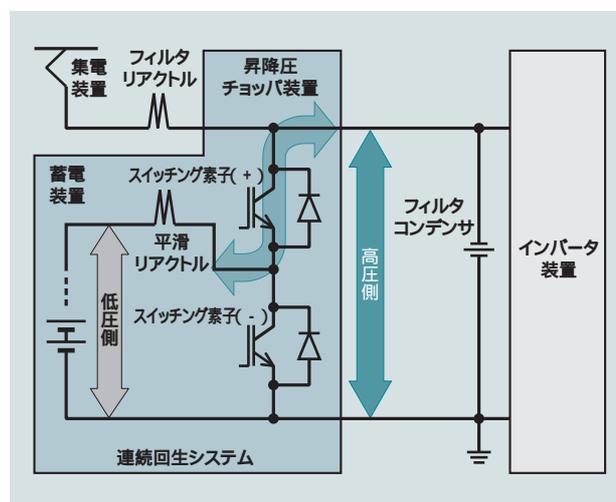


図7 蓄電型連続回生システム

蓄電装置の端子電圧を昇降圧チョップ装置で調整して、蓄電装置の充放電を制御する。

ディーゼルハイブリッド駆動システムと二次電池の応用技術について述べた。

日立製作所は、地球環境問題について、鉄道車両に求められるニーズを先取りする技術開発に取り組み、クリーンな鉄道交通システムの実現に努力していく所存である。

参考文献

- 1) 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)
- 2) 嶋田, 外: 燃料電池車両のエネルギー管理制御, 電気学会産業応用大会(2007.8)