

蓄電デバイスの 車両推進制御システムへの応用

根来秀人* 北中英俊*
 島中啓太* 岡田万基*
 山崎尚徳**

Application of Energy Storage Device for Traction System

Hideto Negoro, Keita Hatanaka, Hisanori Yamasaki, Hidetoshi Kitanaka, Yuruki Okada

要旨

近年、リチウムイオン電池を始めとする電力貯蔵デバイスの性能が向上し、自動車分野はもとより、鉄道分野でも、回生電力の吸収や架線電圧の補完用途など、実用化にむけた開発が進められている。

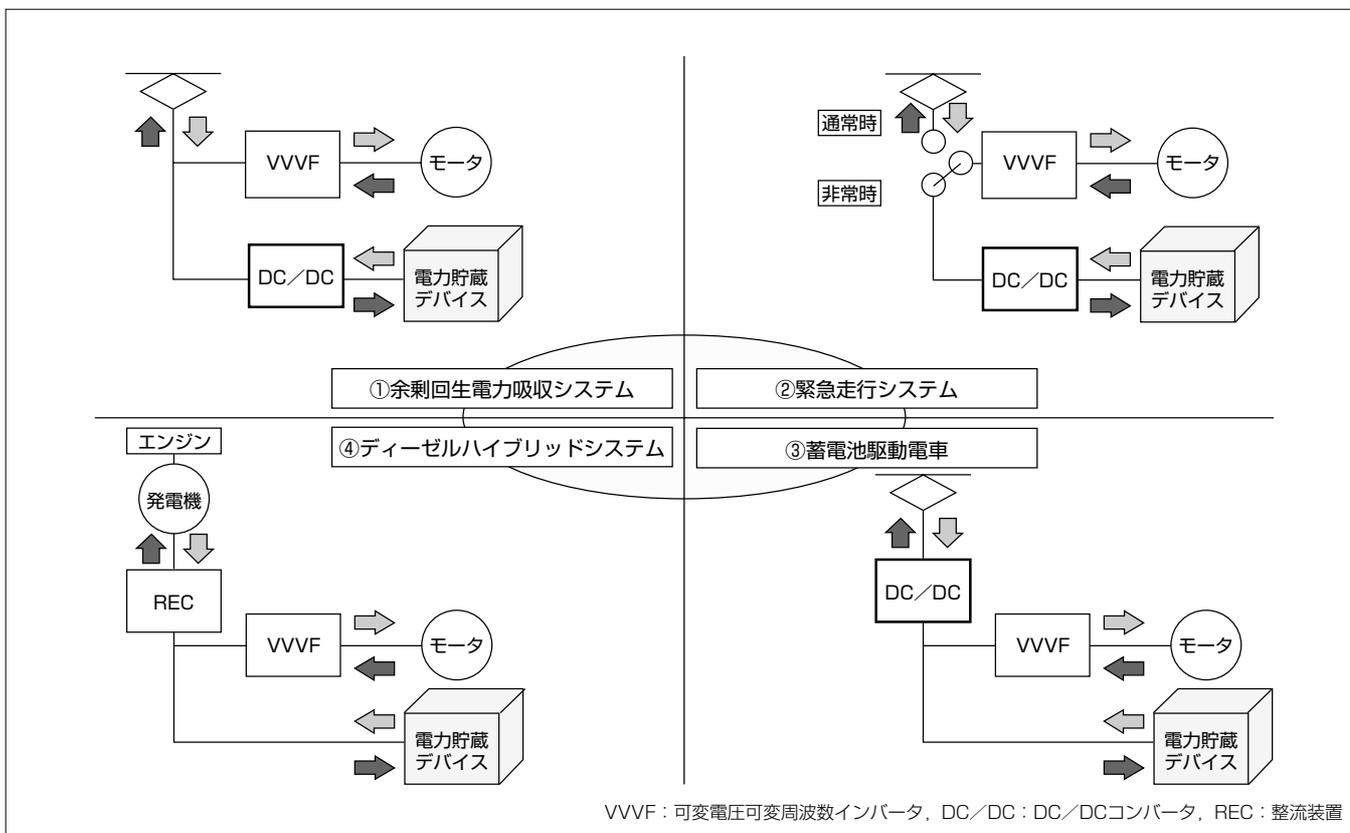
三菱電機は、車両エネルギー管理システム(TEMS)の構成要素の一つとなる電力貯蔵デバイス応用の車両推進制御システムを開発し、その一部は、既に、東日本旅客鉄道株と小田急電鉄株の協力を得て、実車両での試験を終了し、営業投入が可能な段階へと進んでいる。

電力貯蔵デバイス応用の車両推進制御システムとしては、基本的に、①既存の電車システムに電力貯蔵デバイスを追設し余剰な回生電力を吸収することで回生率向上を図る余剰回生電力吸収システム、②架線停電時に電源を電力貯蔵

デバイスに切り換えて最寄り駅までの走行を可能にする緊急走行システム、③非電化区間でのCO₂の低減、排出ガスのゼロ化、低騒音化を実現する蓄電池駆動電車、④気動車の燃費向上、排ガス及び騒音の低減を実現するディーゼルハイブリッドシステムの4つの方式がある。当社はこの4つの全ての方式について開発を推進し、今回、それぞれ実車両に適用可能な状態まで仕上げた。

今後、これらシステムの実用化を推進していくとともに、電力貯蔵デバイスとディーゼルエンジンとの組合せなどによる更なる高効率システムを提案していく。

本稿では、TEMSにおける上記の各種電力貯蔵システムの紹介と、それら各方式の詳細及び開発状況について述べる。



電力貯蔵デバイスを応用した車両推進制御システム

電力貯蔵デバイスを応用した車両推進制御システムは大きく4つに分類される。①余剰回生電力吸収システム、②緊急走行システム、③蓄電池駆動電車、④ディーゼルハイブリッドシステムである。①は車両がブレーキをかける際に発生する回生電力を、路線上に負荷がない場合に電力貯蔵デバイスに蓄え、力行時に使用するもの、②は架線停電時等の非常時に、電力貯蔵デバイスを利用して最寄り駅までの車両の移動を確保するものである。③は電力貯蔵デバイスを利用して非電化区間を走行するためのシステムであり、④は電力貯蔵デバイスの利用によって気動車の省エネルギー化、低排出ガス化、低騒音化を図るシステムである。

1. ま え が き

近年、地球温暖化対策として、CO₂排出量削減や、化石燃料消費量低減が求められている。その対策の1つとして環境負荷の少ない移動輸送手段である鉄道の重要性が高まり、国内外で鉄道インフラの整備が進んでいる。

一方で、リチウムイオン電池を始めとする電力貯蔵デバイスの性能が向上し、自動車分野では既に実用化が進められ、鉄道分野でも、回生電力の吸収や架線電圧の補完用途等への期待が高まっており、開発が急ピッチで進められている。

そのような状況の下、当社は、東日本旅客鉄道㈱と小田急電鉄㈱の協力を得て、電力貯蔵デバイスを応用した車両推進制御システム開発を推進してきた。

本稿では、それらの開発内容を述べるとともに、今後の展望として、車両編成全体の情報を管理する車両情報統合管理装置(Train Integrated Management System : TIMS)が、電力貯蔵デバイスやディーゼルエンジンを統合管理し車両編成内のエネルギーを高効率に制御する方式について述べる。

2. 電力貯蔵デバイスを応用した車両推進制御システム

電力貯蔵デバイス応用の車両推進制御システムとして、以下の4つの用途で、実車両での開発検証を行ってきた。

- (1) 余剰回生電力吸収システム
- (2) 緊急走行システム
- (3) 蓄電池駆動電車
- (4) ディーゼルハイブリッドシステム

以下に、それぞれの詳細について述べる。

2.1 余剰回生電力吸収システム

電車が減速する際にモータが発電する電力を架線に戻す回生ブレーキで、例えば同じ線区内を走る車両が少なく、使用される電力が少ない場合、回生電力は一部しか利用されずに減速時のエネルギー(回生エネルギー)の多くが機械ブレーキによって熱として消費される。

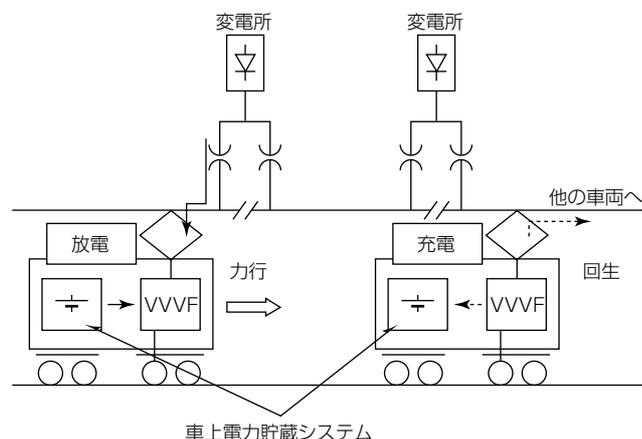


図1. 車両への電力貯蔵デバイスの搭載

図1は、この回生エネルギーの有効活用のために、車両内に電力貯蔵デバイスを搭載したものであり、この電力貯蔵デバイスによって、ブレーキ時の回生電力の一部を吸収し、加速(力行)時にその電力を消費することでトータルでエネルギー消費量の削減を可能とする。また、安定した回生ブレーキの確保によって、車両性能の向上を図ることができる。

今回、実車両に電力貯蔵デバイスとその蓄電電力を制御(充放電制御)する電力変換装置とを搭載し、走行試験を実施した結果、回生率2~5%の改善が得られることを実証した。

なお、今回は、電力貯蔵デバイスとして、エネルギー密度、出力密度の大きいリチウムイオン電池を採用したが、これ以外の電力貯蔵デバイスの使用も可能であり、今後、最適な電力貯蔵デバイスの選択を行っていく。

2.2 緊急走行システム

緊急走行システムの構成を図2に示す。このシステムは、架線停電時に本線上で車両が立ち往生することを防ぐため、最寄り駅まで自力回送するためのバックアップ電源として、電力貯蔵デバイスを利用することを目的としている。

このバックアップ電源を用いた主回路システムの動作確認として、実車両でパンタグラフを下ろし、電源を電力貯蔵デバイスのみとした状態で走行試験を実施した。その結果、編成の消費電力を制限した状態で、10両編成が約800m移動できることを確認した。

2.3 蓄電池駆動電車

蓄電池駆動電車の構成を図3に示す。これは、非電化区

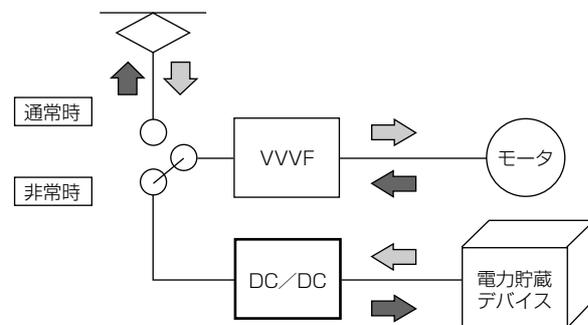


図2. 緊急走行システム

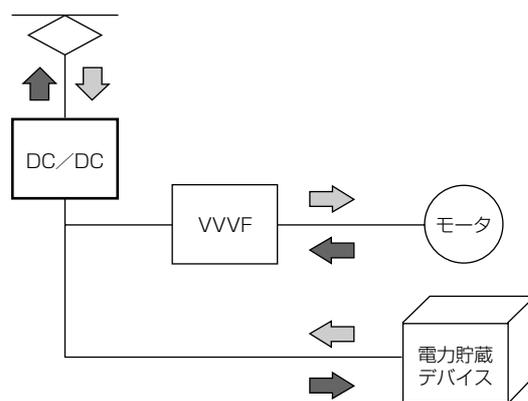


図3. 蓄電池駆動電車

間の走行で、既存の気動車と比較してCO₂排出量の低減、燃費向上、低騒音化を目的としたシステムであり、以下の特長を持つ。

- (1) 非電化区間は電力貯蔵デバイスを電力源として走行
- (2) 電化区間は電力貯蔵デバイスと架線からの電力を併用。架線の電圧低下を補償
- (3) 電化区間／非電化区間の直通運転が可能
- (4) 非電化区間でのシステム効率を高めた回路構成

この蓄電池駆動電車では、実車両で検証を実施し、電化区間走行や地上側バッテリーポストへの充電、非電化区間での電力貯蔵デバイスのみを用いた走行等、各種機能の性能検証を終えている。図4に実車両の写真を示す。

2.4 ディーゼルハイブリッドシステム

ディーゼルハイブリッドシステムとは、ディーゼルエンジンで駆動する発電機と電力貯蔵デバイスを電力源として、車両駆動用電動機を駆動するシステムである。従来の気動車に比べ、ブレーキ時の回生電力を電力貯蔵デバイスで吸収できること、さらに、エンジン稼働中も、電力貯蔵デバイスを電力のバッファとして利用することで、エンジンの高効率運転を実現できる。このシステムでは、エンジンの高効率運転による燃料費の低減や排ガスの削減、エンジン稼働タイミングの最適化による駅周辺での低騒音化等が見込める。

今回、表1に示す検証設備で、このディーゼルハイブリッドシステムの動作検証を実施した。その結果を図5に示す。起動時には電力貯蔵デバイス(蓄電池)から電力が放出され、定常運転時にはディーゼル発電機がほぼ一定の定速運転を実施しながら充電、さらに減速時には回生電力が充電されることを確認した。この検証によって、ディーゼルエンジンの高効率運転と電力貯蔵デバイスとの併用による省エネルギー運転の実現を実証した。

また、このシステムでは、発電機から送出する電力と電力貯蔵デバイスから送出する電力の2つの電力が存在するため、それらの電力分担の最適化が重要なポ



図4. 蓄電池駆動電車

イントとなる。具体的には、以下の条件に基づいて、電力分担が決定される。

- (1) 電力貯蔵デバイスの充電量の使用範囲(寿命を考慮した充電量の使用範囲を設定)
- (2) 路線情報(連続勾配, 駅間距離等)
- (3) 車両性能(最高速度, 加速度等)
- (4) 運行情報(特急, 各駅停車等)

図6で、この電力分担の最適化について述べる。例えば特急車両①の場合、ブレーキの頻度が少なく電力貯蔵デバイスによる回生電力吸収がほとんど期待できないため、電力貯蔵デバイスの効果が小さくなる。この場合、エンジン出力を大きく取り、電力貯蔵デバイスの容量を小さくする方が価格的に好ましい。

逆に、近郊一般車両②の場合、ある程度の頻度で回生電力の吸収が期待できるため、電力貯蔵デバイスの出力を大きく取り、エンジンの出力を小さくすることによって、回生電力を効率的に吸収・利用して、省エネルギー化、低騒音化、低排ガス化を図ることができる。

表1. 検証設備の仕様

駆動用電動機	60kW × 2台
発電機	330kW
蓄電池容量	18kWh

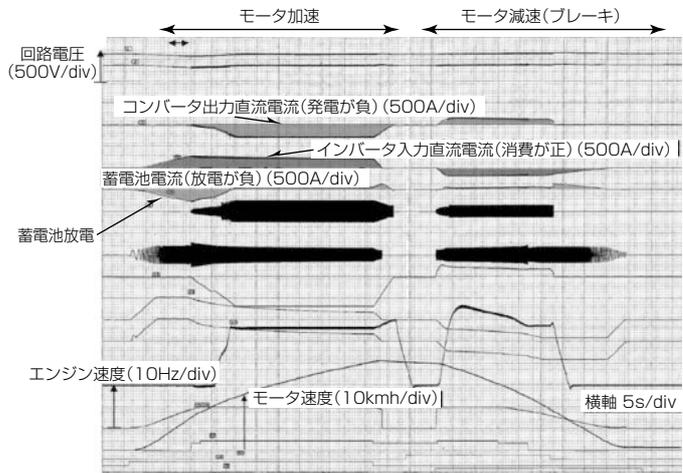
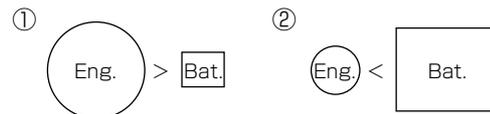


図5. ディーゼルハイブリッドシステムの動作



	①	②
適用する用途	特急車両	近郊一般車両
連続勾配／連続走行	有利	不利
エンジン運転の高効率化	可能	可能
省エネルギー効果	小	大
低騒音／低排ガス効果	小	大

Eng.: Engine, Bat.: Battery

図6. ディーゼルハイブリッドシステム内での電力分担

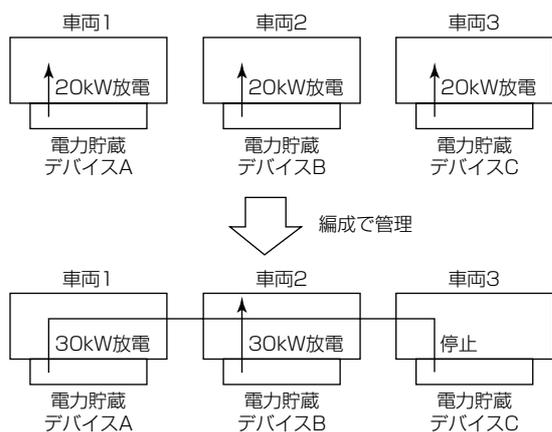


図7. 使用する電力貯蔵デバイスの限定による充放電回数低減, 長寿命化

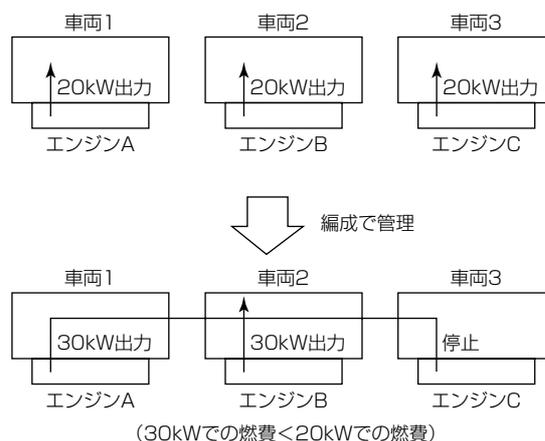


図8. 使用するエンジンの選択による編成での燃費最小化

3. 電力貯蔵デバイスを用いたシステムの更なる効率化

電力貯蔵デバイスを用いたシステムの更なる効率化・安定化を考えた場合、車両内での効率化を図るだけでなく、もう一段上位の視点に立ち、TIMSの利用によって、編成内の複数の電力貯蔵デバイス及びエンジンを統合的に管理し、編成全体での効率化、又は電力貯蔵デバイスの長寿命化を図る必要がある。その手法として、以下の2つが挙げられる。

(1) 編成全体での電力貯蔵デバイスの長寿命化

図7に示すように、編成内に複数の電力貯蔵デバイスが存在する場合、車両の使用条件によっては、デバイスごとに同一電力で充放電を行うのではなく、使用する電力貯蔵デバイスを限定し、残りのデバイスの充放電回数を抑制することで、長寿命化を図ることができる。

(2) 編成全体でのエンジン燃費の最小化

図8に示すように編成内に複数のエンジンが存在する場合、それぞれが同一の出力で運転するのではなく、車両の使用条件によっては、編成全体でエンジンの燃費が最小となるよう、動作させるエンジンとその出力を選択することによって、更なる効率化を図ることができる。

4. む す び

車両エネルギー管理システム(TEMS)として、電力貯蔵デバイスを車両推進制御システムに応用し、以下の点で、更なる環境負荷の低減と利便性の向上を図るシステムを確立した。

- (1) 省エネルギー化
- (2) 低騒音化及び低排ガス化
- (3) 架線停電時などの緊急時における最寄り駅までの退避

や、電化/非電化区間直通運転等の利便性の向上

具体的には、余剰回生電力吸収のため電力貯蔵デバイスを導入することによる回生率の向上、また、架線停電時における最寄り駅までの自走や非電化区間の電力貯蔵デバイスの電力を用いて走行することによる、CO₂の低減、排出ガスのゼロ化、低騒音化及び電化/非電化区間直通運転、さらに、気動車の省エネルギー化、低騒音化、低排ガス化である。

加えて、編成内の電力貯蔵デバイスやエンジンの統合制御で、車両の使用条件によっては、電力貯蔵デバイスの充放電回数抑制による長寿命化や、編成全体でのエンジンの燃費最小化によって、更なる効率化を図ることができる。

今後、ここで得た実証結果を基に、電力貯蔵デバイスの車両推進制御システムへの適用を拡大していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 山田健一, ほか: 車上用電力貯蔵システムの開発, 第46回 鉄道サイバネシンポジウム論文集, 514 (2009)
- (2) 北中英俊, ほか: 蓄電池技術を応用した車両推進制御システム, 三菱電機技報, 83, No.11, 650~652 (2009)