

# 環境配慮型鉄道システムの開発と グローバル展開

Development of Environmentally-friendly Railway System and Globalization

横須賀 靖 長洲 正浩 小田 哲也

Yokosuka Yasushi Nagasu Masahiro Oda Tetsuya

坂本 博文 和嶋 武典

Sakamoto Hirofumi Wajima Takenori

環境問題がクローズアップされるとともに、本質的に環境負荷が小さい鉄道システムは交通手段として活躍が期待されている。

日立グループは、低環境負荷の特性をさらに進める技術開発に取り組んでいる。ディーゼル車両用には、ハイブリッド駆動方式を開発し、現状のディーゼル方式に比べ最大20%程度省エネルギー化できる見通しを得て、国内で実用化あるいは開発を進めている。また、電化区間でも回生電力を有効利用するため、消費されない回生電力をリチウムイオン電池へ蓄電し、力行時に供給するシステムを開発し、その有効性を確認した。車体では、アルミ構体を用いた軽量省エネルギー化やアルミの再利用による省資源化にも取り組んでいる。さらに、これらの技術を搭載した、環境負荷の小さい車両の海外展開を進めている。

## 1. はじめに

鳩山政権が、前提条件付きではあるものの、2020年までに1990年比で温室効果ガスを25%削減するという目標を表明するなど、近年、地球環境問題のクローズアップとともに、本質的に環境負荷が小さい鉄道輸送への期待が高まっている。

この期待に応えるために、発達したシステム制御技術や電力貯蔵技術を利用して、さらに消費エネルギーを抑える技術開発が活発になっている。また、製品のリサイクルや保守の効率化などへの注目度も高まっている。

このような期待や要望に応えるため、日立グループでは鉄道輸送の環境性を高める環境負荷低減技術の開発を精力的に進めている(図1参照)。例えば、消費エネルギーの低減を図る技術の中には、ディーゼル車両のハイブリッド駆動システムや電化区間での回生電力の有効利用システムなど回生電力の有効利用があり、車両のリサイクルに関する技術にはアルミ材料の再利用がある。軽量車体とアルミ材料の再利用技術は、従来から日立グループが提唱してい

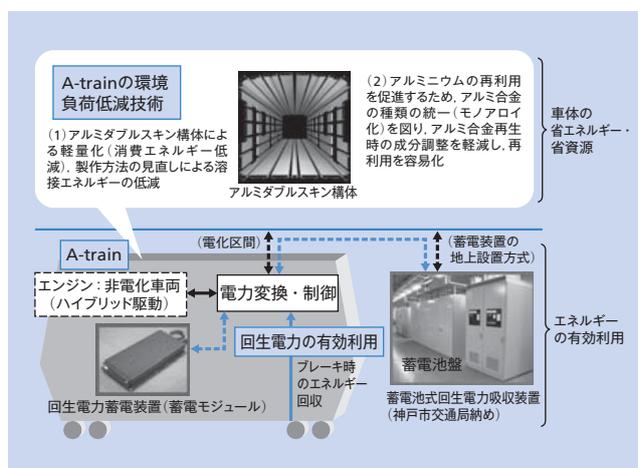


図1 | 開発した主要な環境配慮型鉄道システム技術

日立グループは、鉄道システムの環境性をいっそう向上させる技術開発をさまざまなシステムで行っている。

るA-trainコンセプトの一つの特徴である。このほかの環境配慮技術についてもさまざまな取り組みを行っており、これらの技術をベースにした日立製車両は英国など海外でも採用されている。

ここでは、鉄道システムの特性をさらに向上させる環境負荷低減技術の中から、回生電力有効利用システム、環境性に配慮したA-train技術、およびグローバル市場への展開について述べる。

## 2. 回生電力有効利用システム

日立グループは、ユーザーニーズに合わせて回生電力を有効利用するために、リチウムイオン二次電池を用いたシステムを開発している。

### 2.1 気動車用ハイブリッド駆動システム

ディーゼルエンジンで駆動される気動車のハイブリッド駆動方式は、大きく2種類に分けられる。一つは、機械部

品がシンプルで、保守が容易なことを特徴とするシリーズハイブリッド駆動方式であり、他方は、エンジンの出力と電動モータ出力の両方を車輪の駆動力として用いることができ、エネルギーの効率向上と少容量の電気部品が使用できることを特徴とするパラレルハイブリッド駆動方式である。それぞれユーザーニーズに合わせて、システム開発を行った。

### (1) シリーズハイブリッド駆動システム

シリーズハイブリッド駆動システムを東日本旅客鉄道株式会社と共同で開発し、キハE200形に搭載して実用化している(図2参照)。開発したシリーズハイブリッド駆動方式の特徴として、エンジンの低燃費回転域を避けることによる排出ガス低減、電車の電気品との共通化や機械部品の削減による保守の容易化などが挙げられる。

制御では、蓄電池の蓄電量を監視し、停車中から一定の速度に達するまではエンジン発電を停止して静粛性を向上させたり、蓄電池の長寿命化をねらい、蓄電量と速度の関係から適切に蓄電量を管理する制御技術を開発した。また、コンバータ・インバータ間の直流部のエネルギー収支を電力で管理する定電力型コンバータ制御を開発し、適切な充放電制御も可能にした。線区や走行条件にも依存するが、約10%程度の燃料消費低減が期待できる。

### (2) ハイブリッドアクティブシフトトランスミッション

エンジン出力とモータ動力の両方を車輪の駆動力として用いる方式であるパラレルハイブリッド駆動を実現するために、ハイブリッドアクティブシフトトランスミッション〔以下、「HAST(Hybrid Active Shift Transmission)ドライブ」と記す。〕を北海道旅客鉄道株式会社と共同開発した(図3参照)。この変速機は、動力性能向上と高効率化を実現した環境負荷の小さい次世代ディーゼルハイブリッド車両用変速機であり、従来の気動車と比較して15~20%の燃費改善が期待できる。

HASTドライブは噛(か)み合いクラッチとモータ動力

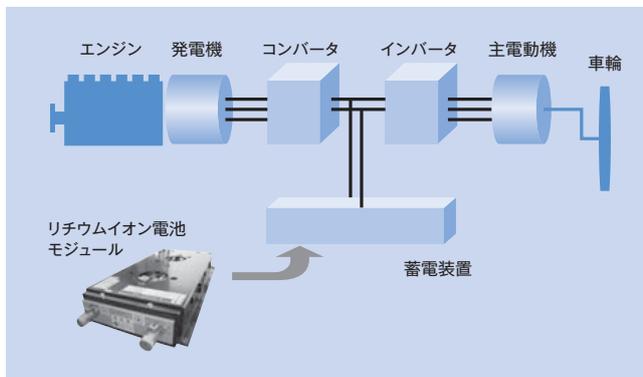


図2 | シリーズハイブリッド駆動システムの基本構成

車輪は主電動機で駆動する。蓄電装置には必要に応じて電圧を調整するチョッパ装置や補助電源装置を付随させる。

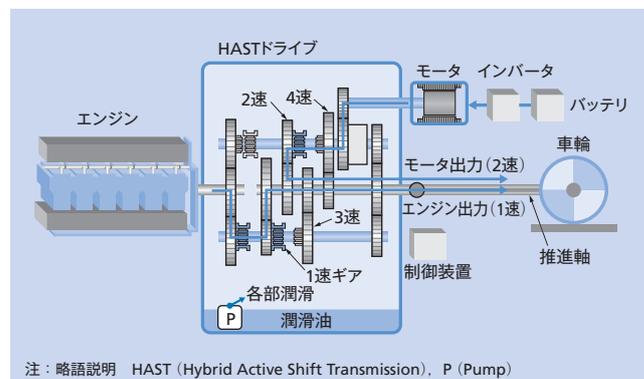


図3 | HASTドライブ方式の構成

エンジン出力とモータ動力の両方を車輪の駆動力として高効率利用を実現し、従来の気動車と比較して15~20%の燃費改善が期待できる。

の組み合わせ制御により、従来の液体変速機に比べて高効率化できる。停車時は、シリーズハイブリッド方式と同様にエンジンを停止させて低騒音化を実現した。走行時には、一定速度に達した時点でエンジンを起動し、エンジンにモータ動力を加勢することで、エンジン動力以上の動力性能が得られる。また減速時は、モータを発電機として使用する回生ブレーキによってバッテリーに蓄電する。モータ制御によりエンジンと推進軸を同期させて、円滑な速度段の切り換えが可能である。

既存車両の液体変速機をHASTドライブに取り替え、モータ、バッテリーおよびインバータを追加するとハイブリッド車両に改造可能であり、現在、実用化に向けて試験中である。

## 2.2 電化区間での回生電力有効利用システム

電化区間では、列車の走行状況によっては回生電力が他車で消費されず、むだになるという課題があった。そこで、電化区間でも二次電池を用いて回生電力を有効利用するシステムを開発した。ここでも、地上に二次電池を設置する方式と、車上に設置する方式の2種類の方式が考えられ、それぞれの特徴を生かし、ユーザーニーズに合わせてシステムを開発した(表1参照)。

### (1) 蓄電池の地上設置タイプ：B-CHOPシステム

B-CHOPシステムと命名し、地上に蓄電池を設置する蓄電池式回生電力吸収装置を開発した。開発したシステム

表1 | 蓄電装置の設置方式比較

二次電池を地上に設置する方式と車上に設置する方式のそれぞれの特徴を示す。

項目	地上設置	車上設置
回生吸収機能	他車で消費されない回生電力を蓄電	
設置の容易性	沿線に空き地があれば設置は比較的容易	車上の設置スペースに制約があり、列車ごとに蓄電装置の設置が必要
離線時の連続回生	対応不可	回生電力蓄電により実現

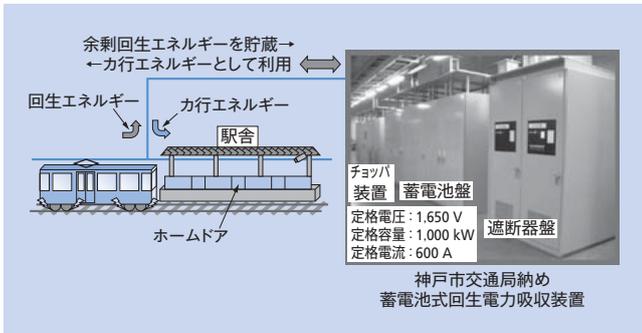


図4 | 開発した蓄電池式再生電力吸収装置

地上に蓄電装置を設置し、吸収しきれない再生電力の吸収と、吸収したエネルギーの力行電車への供給を行い、再生電力を有効利用する。

の概要を図4に示す。

装置は、チョップ装置、蓄電池盤、遮断器盤の3ブロック回路で構成している。システムの冗長構成、き電線側と蓄電池側へのリプル電力の抑制などを図っている。

蓄電池は、コストの抑制を意図し、自動車用と同じリチウムイオン電池モジュールを使用した。チョップ装置には、き電電圧の一定制御と、蓄電池の待機時には次の充電のために充電率を下げておく充電制御を組み込み、高効率利用と長寿命化を実現した。

本装置は製品として神戸市交通局に納入し、現在稼働中である。長い急勾(こう)配がある区間に装置を設置することにより、358 MWh/年もの省エネルギー効果を実現した。

#### (2) 蓄電池の車上設置タイプ：連続再生システム

連続再生システムの機器構成を図5に示す。連続再生装置は、電車線へ戻せない再生電力を蓄電装置に充電し、エネルギーを有効利用するものである。蓄電装置側とインバータ側の電圧が違っていても、昇降圧チョップによって充放電電流を制御できる。

通常の停止ブレーキ時(B5S)に、蓄電装置だけで再生電力量を吸収できる蓄電容量を確保した。定格電圧は、試験電車線供給電圧750Vの半分程度の340Vとした。これは、昇降圧チョップの通流率(スイッチング素子のオンオ

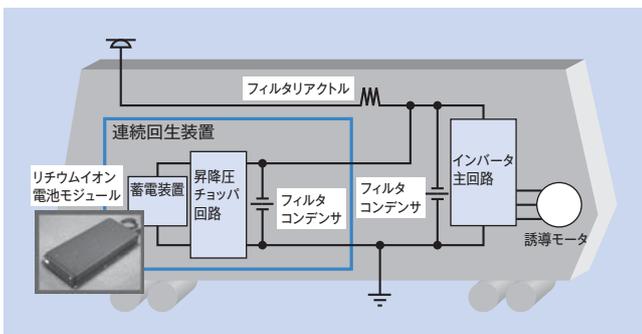


図5 | 連続再生システムの機器構成

電車線へ戻せない再生電力を蓄電装置に充電して、これを次の加速時に再利用することで消費エネルギーを低減する。

フの比)を50%付近で制御することで、電池電流のリプル率抑制をねらったものである。

2007年度に大阪市交通局の協力により、確認試験を本線にて実施した。再生した電力を使用する他車両が近くに在線していない軽負荷状態で、この装置の再生吸収機能によって再生率が11.6ポイント向上し、44%の再生率を実現できることを確認した。

### 3. 環境性に配慮したA-train技術

#### 3.1 A-trainの特徴

「A-train次世代アルミ車両システム」は、環境負荷の低減やライフサイクルコストの削減、および今後予想される熟練就業人口の減少への対応をコンセプトに、材料・構造および生産方法を抜本的に見直した車両であり、通勤電車から特急電車に至る各車種に適用させ、着実にファミリーを増やし、現在約1,500両を納入している。

車両の骨格となる構体は、ダブルスキン構体を特徴としている。FSW (Friction Stir Welding: 摩擦かくはん接合) による製作方法を採用し、溶接エネルギーの低減に加え、接合部のひずみを少なくでき、リサイクルに適した無塗装車両の製作に大きく寄与している。また、天井内装部品などをはじめ、機能単位ごとのモジュール構造と施工を採用したことで、効率的な車両づくりを実現するだけでなく、車両のリニューアルや廃車時の解体分別が容易に行える特徴を持つ。

#### 3.2 軽量化とアルミ部材の再利用技術

A-trainのアルミダブルスキン構体は、中空トラスのアルミ押し出し型材の組み合わせで構成されており、強度上必要最小限の板厚さ、および形状とすることにより、軽量化が図れ、あわせて材質をアルミ合金とすることで、リサイクル性にも優れている。

現在、アルミ車両のリサイクルは各鉄道事業者によって行われ始めたところであり、車両の大部分を占める構体を、車両解体後にシュレッドスクラップ化し、材料メーカーで構体材料への再利用をめざした研究が行われている。

A-trainではアルミダブルスキン構体だけでなく、梁(はり)・柱などの強度材料も含め、アルミ合金の種類を「亜鉛」などの異種合金元素を含まないものに統一(モノアロイ化)し(図6参照)、アルミ合金再生時の成分調整を軽減し、再利用時の容易化を図っている。

### 4. 鉄道車両のグローバル展開

これまで培ってきた車両技術に加えて、先述のような環境負荷低減に寄与する技術を開発し、グローバル市場へ製

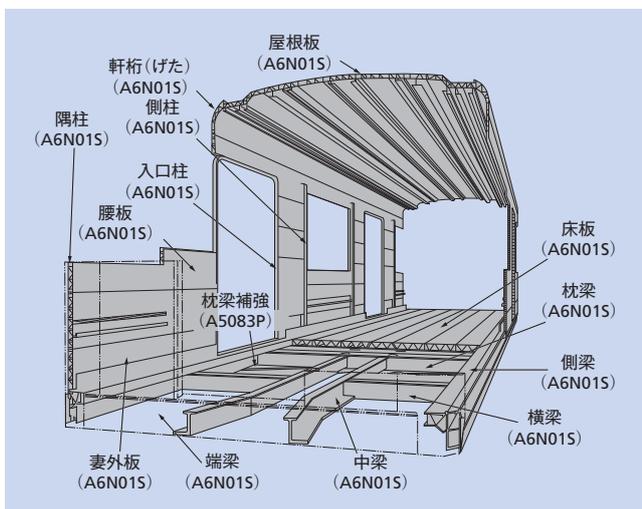


図6 | 構体に使用するアルミ合金の材質を統一  
ダブルスキン構体をはじめ、梁（はり）・柱など使用するアルミ合金の材質をA6N015/A5083Pに統一している。



図7 | 鉄道車両の海外展開  
2009年12月から本格営業運転を開始した英国向けClass395車両 (a) と、Palm Jumeirah Transit System向けモノレール車両 (b) を示す。

品展開を図っている。

英国鉄道での高速線と在来線の両方を走行する車両であるClass395車両を2005年に受注し、2009年12月から正式な営業運転が開始されている。この車両は、A-train関連技術をベースに開発したものである〔図7 (a) 参照〕。

さらに、英国のディーゼル駆動による長距離高速車両の置き換え計画に対しては、エネルギーの大幅な削減、現行車両からの大幅な軽量化などの要求に応えるため、開発した種々の技術をアピールするとともに、英国でのClass465向けの電気品の高信頼性やClass395での実績などの技術が評価され、優先交渉権を獲得し交渉中である。

その他、モノレール車両の車体にもアルミダブルスキン構体を採用して、中東ドバイのPalm Jumeirah Transit System向けに車両を開発した〔図7 (b) 参照〕。2009年4月の開業以来、Palm Jumeirah（パーム・ジュメイラ）島の新たなシンボルとして、島内を訪れる観光客や島内住民の移動手段として活躍している。

## 5. おわりに

ここでは、鉄道システムの特徴をさらに向上させる環境負荷低減技術の中から、回生電力有効利用システム、環境性に配慮したA-train技術、およびグローバルな事業展開について述べた。

環境負荷低減技術は、輸送機関としての鉄道の活躍を支える重要な技術の一つである。日立グループは、鉄道システムの総合インテグレータとして、グループ各社のさまざまな技術を結集し、この期待に応えるために、今後も技術開発に取り組んでいく考えである。

### 参考文献

- 1) 徳山, 外: 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, 日立評論, 89, 11, 830~833 (2007.11)
- 2) 高橋, 外: 電力貯蔵鉄道用変電システム, 日立評論, 89, 11, 834~837 (2007.11)
- 3) 嶋田, 外: 電化区間で回生電力を有効利用する省エネルギー蓄電システム, 日立評論, 92, 2, 164~167 (2010.2)
- 4) 用田, 外: 英国High Speed 1向け高速車両Class395の開発とメンテナンスサービス, 日立評論, 92, 2, 180~185 (2010.2)
- 5) 君島, 外: 中東の新しい都市交通ドバイPalm Jumeirah Transit System向けモノレールシステム, 日立評論, 92, 2, 186~189 (2010.2)

### 執筆者紹介



#### 横須賀 靖

1984年日立製作所入社, 社会・産業インフラシステム社 交通システム事業部 所属  
現在, 鉄道の国際標準化活動や鉄道技術の取りまとめ業務に従事  
電気学会会員, 電子情報通信学会会員



#### 長洲 正浩

1992年日立製作所入社, 社会・産業インフラシステム社 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, 鉄道駆動システムおよび信号システムの研究開発業務に従事  
博士(工学)  
電気学会会員



#### 小田 哲也

1979年新潟コンバーター株式会社入社, 株式会社日立ニコトランスミッション 加茂事業所 設計部 所属  
現在, 変速機の開発, 設計に従事



#### 坂本 博文

1992年日立製作所入社, 社会・産業インフラシステム社 交通システム事業部 笠戸交通システム本部 車両システム設計部 所属  
現在, 公民鉄車両の設計取りまとめに従事



#### 和嶋 武典

1980年日立製作所入社, 社会・産業インフラシステム社 交通システム事業部 車両システム本部 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