

蓄電池駆動電車EV-E301系(ACCUM)の概要

Overview of Series EV-E301 Catenary and Battery-Powered Hybrid Railcar



滝口 裕之*

Series EV-E301 is equipped with a battery of large capacity, and can be run in a non-electrified section. In electrified sections, the car can run just like ordinary EMUs by raising the pantograph, and it can charge batteries from catenaries. When moving into non-electrified sections, the pantograph is lowered and the car runs on power from the batteries. When braking, regenerative power charges the batteries so as to make effective use of electric power. Also, the car performs a quick charge by charging facility installed in the station. Series EV-E301 achieves to eliminate exhaust gases from diesel engines, and to reduce CO₂ emissions and noise.

●キーワード：蓄電池駆動電車、主回路用蓄電池、急速充電、架線認識装置、環境負荷低減

1. はじめに

鉄道はほかの交通機関と比較してエネルギー効率が非常に高く省エネルギーと言われているが、列車運転用エネルギーの占める割合は、業務運営されるエネルギーの中でも大きい。そのため、そのエネルギー消費の抑制とCO₂排出量削減を図ることは重要な課題であり、車両の省エネルギー化のために、「軽量化」「動力装置の高効率化」「回生ブレーキの有効活用」等の方策がとられてきた。

非電化区間を走行する気動車は、原理上回生ブレーキが構成できないこともあり、電車に比べてエネルギー効率が劣っており、排気ガス・騒音の発生の点でも、電車に比べて課題があった。このため、試験車両としてNETレイン(New Energy Train)を開発し、動力システムの革新による非電化区間を走行する車両の環境負荷低減を目指すこととした。このNETレインの成果として、2007年7月にキハE200形車両を小海線に導入し、ディーゼルハイブリッド車両の実用化を果たした。その後も、リゾートハイブリッド車両として、2010年10月から12月にかけて、長野、秋田、青森地区にHB-E300系車両を導入した。

一方で、自動車業界におけるハイブリッド自動車や電気自動車の開発の進展に伴い、蓄電池の出力や容量などの性能が著しく向上し、価格が低下している。これを背景として、鉄道車両に大容量の主回路用蓄電池(以下、蓄電池)を搭載して非電化区間を蓄電池の電力のみで走

行できる可能性が見えてきた。このため、ディーゼルハイブリッド車両の開発で得た知見を踏まえながら、2008年より地上充電設備を含めた蓄電池駆動電車システムの開発に着手した。また、これに合わせて、NETレインを蓄電池駆動電車に改造(試験車愛称「スマート電池くん」)し、技術的な検証、

走行試験による性能評価等を行った。この蓄電池駆動電車システムによって、電化区間と非電化区間の共通運用が可能となり、車両の運用効率向上に加え、エンジン・変速機などの機械部品の削減などによるメンテナンスの省力化や、エンジンからの排気ガスの解消、CO₂排出や騒音の低減が可能となる。2012年3月までの開発期間を通じ、蓄電池駆動電車システムの実用化の目途が立ったことから、EV-E301系量産先行車(図1)を製作し、2014年3月に宇都宮線の一部区間(宇都宮～宝積寺間)及び烏山線に導入した。



図1 EV-E301系(ACCUM)

2. 蓄電池駆動電車システム

EV-E301系の走行線区のうち、電化区間は宇都宮線の宇都宮～宝積寺間(約11.7km)であり、宝積寺から烏山線に入る。そして終点の烏山までの烏山線内(約22.4km)が非電化区間となる。烏山駅には、地上充電設備を設置している。

蓄電池駆動電車システムの概要を図2に示す。電化区間、非電化区間、充電設備のある折り返し駅の各々場面に分けて説明する。

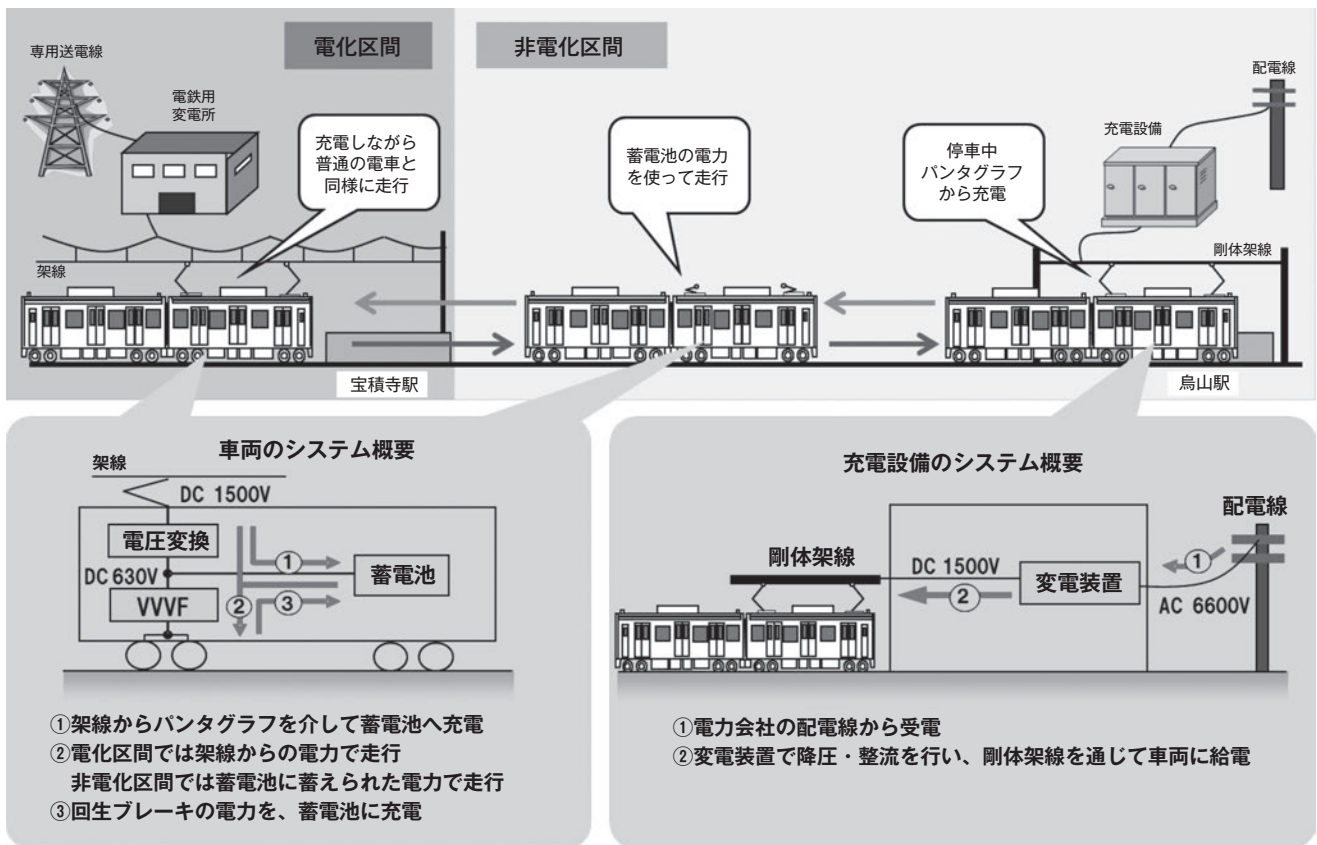


図2 蓄電池駆動電車システムの概要

(1) 電化区間

電化区間では通常の電車と同様にパンタグラフを上昇させ、架線からの電力により走行する。また、蓄電池のSOC（充電率：State of Charge）が低い場合は、架線からの電力やブレーキ時の回生電力で蓄電池の充電を行う。

(2) 非電化区間

非電化区間ではパンタグラフを降下させ、蓄電池からの電力のみで走行する。ブレーキ時の回生エネルギーを蓄電池に充電し、エネルギーを有効活用する。

(3) 充電設備（折り返し駅）

充電設備下では、パンタグラフを上昇させ、充電時間の短縮を図るために大きな集電電流による充電（以下、「急速充電」）を行う。これに対応するため、パンタグラフもすり板を強化したタイプのものを採用し、また、地上設備は剛体架線を採用している。

3. 蓄電池駆動電車の特徴的な仕組み

3.1 主回路構成

EV-E301系の主回路は、架線電圧DC1500Vを蓄電池電圧であるDC630Vに降圧するためのDC/DCコンバータ、及び蓄電池電圧を入力電圧として主電動機を制御するVVVF

インバータを組み合わせた一体型の電力変換装置を搭載している。一体型とすることで、装置の小型化や装置間の配線の削減が可能となり、車両床下の限られた機器スペースの効率化を実現している。DC/DCコンバータ、VVVFインバータ装置は2レベルインバータを採用し、素子数の低減による品質向上を図っている。また、インバータ装置は走行風により冷却する方式であるが、DC/DCコンバータは停車中の急速充電を考慮し、走行風を考慮しなくても十分冷却ができるような冷却フィンとしている。

EV-E301系の主回路と一般的な直流電車的主回路を比較すると、DC/DCコンバータと蓄電池が追加になった構成となっている。（図3）

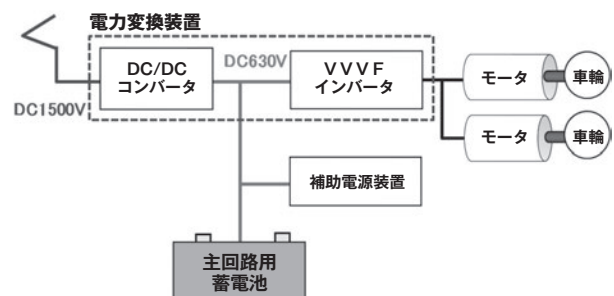


図3 EV-E301系の主回路構成

ブレーキ時の回生エネルギーは、基本的に蓄電池にて回収するが、満充電に近い充電状態の場合は架線に戻すシステムとしている。

3.2 主回路用蓄電池

蓄電池駆動電車は、非電化区間を蓄電池からの電力のみで走行するため、大容量の蓄電池を車両に搭載する必要がある。一方、搭載できるスペースや重量には制限があり、合わせて急速充電への対応も必要となる。これを実現するため、EV-E301系ではリチウムイオン蓄電池を採用している。リチウムイオン蓄電池は、小型、軽量という特徴を持ち、急速充電にも対応が可能である。

蓄電池の搭載場所については、当初客室内も検討したが、客室のスペースを確保すること、蓄電池の保守作業性、そして安全性確保を考慮して、専用の機器箱（以下、「主回路用蓄電池箱」）に収納し、客室とは完全に隔離した床下に搭載することとした。（図4）

また、主回路用蓄電池箱は、運用中における蓄電池の充放電時の温度上昇や留置中の同一箱内にある蓄電池間の温度差の低減など、蓄電池に関する温度条件に対し最適化を図った構造としている。



図4 主回路用蓄電池箱

蓄電池容量については、編成あたり190.1kWhとした。これは、走行時の消費電力（車両を駆動するための負荷+空調などのサービス機器を稼働するための負荷）に加え、輸送障害等に対する余裕分、経年劣化による蓄電池容量の減少分を考慮した結果である。蓄電池容量の考え方を図5に示す。また、搭載する蓄電池は、冗長性をもった2群構成としている。

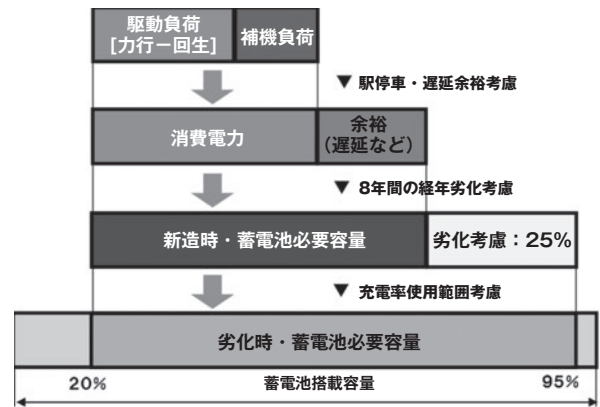


図5 蓄電池容量の設定

3.3 架線認識装置

EV-E301系は、図2のように電化区間、非電化区間を直通して運用するため、走行区間の架線有無に合わせてパンタグラフの上昇、下降の扱いが発生し、その頻度が通常の電車よりも多くなる。また、充電設備下で行う急速充電では、通常架線下よりも大きな集電電流で充電を行うなど架線条件によって、電流の制限値が異なる。

このため、EV-E301系では、地上から送信される地点情報を受信し、車両が自在に線路している場所の架線状態を自動的に認識させる「架線認識装置」を搭載している。

「架線認識装置」によって認識した架線条件により、以下の切替を行う。また、その概略図を図6に示す。

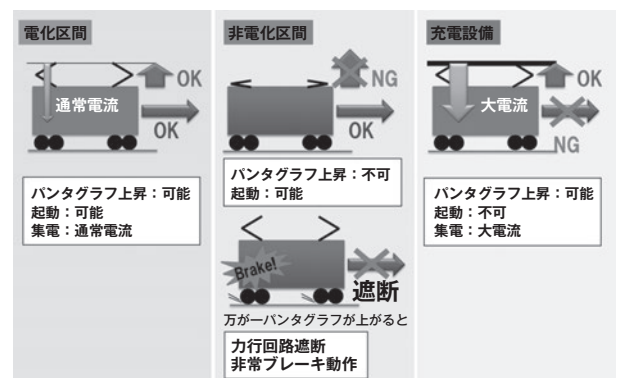


図6 架線認識装置による架線状況把握と制御

(1) パンタグラフ制御

- ・非電化区間において、パンタグラフの上昇防止
- ・充電設備下において、パンタグラフ及び架線の保護のため、急速充電中のパンタグラフの上昇・下降を制限

(2) 車両移動制御

- ・パンタグラフ上昇のまま非電化区間への進入防止
- ・非電化区間において、パンタグラフが上昇した場合に力行回路の遮断、非常ブレーキの動作
- ・急速充電中の車両の起動防止

- (3) パンタグラフの集電電流制限
 ・架線条件に合わせた集電電流値の制御
 (パンタグラフ損傷防止、架線溶断防止)

3.4 車内情報表示器

車両が架線もしくは蓄電池どちらからの電力で走っているのかなどをお客さまにご案内する「車内情報表示器」を客室後位寄りの妻上部に設置した。画面には、力行、惰行、ブレーキ中などの車両の状態に応じた各装置間における電気の流れを矢印で示す他、蓄電池の充電量、充電状態をアニメーションにて表示する。車内案内表示器の写真を図7に示す。



図7 車内案内表示器

4. 編成と主要諸元

EV-E301系は、宇都宮寄りが1号車でEV-E300形、パンタグラフのある烏山寄りが2号車でEV-E301形とし、2両固定編成とした。

車両形式には、蓄電池駆動電車であることを表すEV (Energy storage Vehicle) を付与した。

性能上の最高速度は100km/h、加速度は2.0km/h/s、減速度は3.6km/h/sである。最高速度については、烏山線内は、最高速度が65km/hであるが、宇都宮線内の走行を考慮して設定した。

また、各車両ともに前位台車を従台車、後位台車を動台車としている。

EV-E301系の主要諸元を表1に示す。

表1 EV-E301系の主要諸元

	EV-E300形(1号車)	EV-E301形(2号車)
編成		
最高速度	100km/h	
定員(座席)	133人(48人)	133人(48人)
重量	37.7t	40.2t
主要寸法	車体長 19,570mm 車体幅 2,800mm 屋根高さ 3,620mm 床面高さ 1,130mm	
冷房装置	集中式冷房装置	
保安装置	ATS-P、デジタル列車無線、EB・TE装置、防護無線	
制御方式	VVVFインバータ制御方式、回生ブレーキ付	
ブレーキ装置	回生ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキ、直通予備ブレーキ、耐雪ブレーキ、抑速ブレーキ	
主回路用蓄電池	リチウムイオン蓄電池 DC630V (95kWh)	リチウムイオン蓄電池 DC630V (95kWh)
運転室構造	非貫通、全室運転台、ワンマン対応	
座席配置	ロングシート、車いすスペース	
側出入口	片側3扉(両開き)、半自動機能付、空気式戸閉装置	
その他設備	ワンマン機器、セラミック噴射装置	

5. デザイン

EV-E301系は、「人に優しい未来につなぐ、次世代車両」を全体的なコンセプトとし、蓄電池駆動電車の「先進性」を表現するとともに烏山線沿線のイメージも取り入れた車両とした。

(1) エクステリア

・キーワード1: 「先進性」

前頭形状とストライプを用いたカラーリングでシャープな印象を創出し、先進性を表現した。

・キーワード2: 「環境へのやさしさ」

シルバー／グリーンの配色比率で、沿線風景との調和・環境に対する配慮・さわやかさを表現した。

・キーワード3: 「蓄電池駆動電車」

床下の主回路用蓄電池箱とパンタグラフにもグリーンを配色し、外観上の特徴とすることで、EV-E301系の最大の特徴である「蓄電池駆動電車」を訴求した。

(2) インテリア

・キーワード1: 「先進性」

連続性をもたせたLED間接照明や新たな天井の断面形状、お客さまへの情報表示スペースを明確化するため妻上部を黒色とした客室内の配色など、先進的で今までの通勤車両にない客室イメージの構築を目指した。

・キーワード2: 「次世代サービス」

E233系で採用したユニバーサルデザインの考え方を踏襲しながら、車椅子スペースを充実するなど、誰もがより利用しやすい車両を目指した。

・キーワード3:「烏山線のポテンシャル」

四季を感じられる沿線の景観、和紙に代表される伝統工芸、烏山が活気づく「山あげ祭」などの「緑」「彩り」「活気」を感じられる要素を、腰掛や床材デザインで表現した。

6. 車両概要

6.1 車体構造

車体は特に強度を要する台枠の一部を除きステンレス材により構成する軽量ステンレス構体とし、前頭部は踏切事故対策として前面を強化した。また、EV-E301系は車体質量が増加することから、車体強度を向上させるため、必要な補強を追加した。一方で、蓄電池の電力消費を抑制するためには、車両の軽量化が求められる。このため、車体強度への影響を確認したうえで、材料の変更（アルミ化）や軽量穴の追加などの可能な限りの軽量化を図った。

車体の形状はストレート車体とし、車体の主要な寸法については、車体長19,570mm、車体幅2,800mm、車体高さ3,620mmとした。パンタグラフ折りたたみ高さは、狭小トンネル対応の3,980mmとしている。また、床面高さは1,130mmとした。

6.2 客室

EV-E301系の客室は2両ともに共通の見付とし、座席配置はロングシート、後位寄りに機器室を設けている。片側3扉の各ドア間に12人掛けの腰掛を配置し、1両あたり48席を確保している。客室の写真を図8に示す。

腰掛は片持ち式構造とし、シート下にヒーターや空制・電気機器が納められるよう独立したカバー状のけ込みを設けている。腰掛座面にはSパネを採用し、座布団の座り心地向上を図っている。また、Sばねと取付枠を一体化し、枠の取付・取り外しの作業性向上を図っている。座布団及び背ずりはバケット形で有効幅を460mmとし、一人ひとりの着席区分を明確化した。

室内灯は、LED式の間接照明（図9）とし、消費電力の低減を図るとともに、客室全長にわたって切れ目のないように連続的に配置することで、今までにない客室イメージを実現している。また、側天井も新規となる3面折りの断面形状とし、1面を和紙調の黒色とすることでデザイン上のアクセントとしている。客室内の化粧板はメラミン樹脂化粧板を基本として構成している。

バリアフリーに対する機能の拡充として、次駅名などの車内案内表示を兼用した液晶式運賃表示器を運転室背面の上部中央に設置した。また乗降口は、開閉時にチャイム音



図8 客室

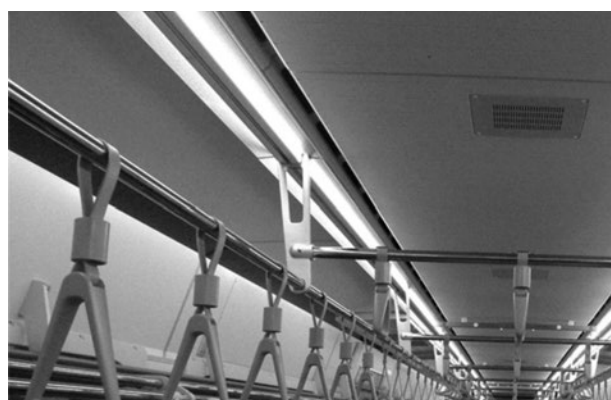


図9 室内灯LED照明

を鳴らすとともに赤色のランプが点滅し、目や耳の不自由なお客さまへの案内機能を持たせるとともに、ドア先端の戸先ゴムを黄色とすることで車内外からのドア自体の視認性向上を図っている。

吊手及び荷物棚の高さは、優先席を含む先頭寄12人掛け部を一般部より50mm低くすることで身長の高いお客さまに対応した。また、優先席部のスタンションポールは、湾曲した形状に加え、表面に滑り止め加工を施すことでより扱いやすい構造としている。荷物棚は、軽量化のためアルミ製丸パイプを使用している。

後位寄りには車いすスペースを設けており、車いすに着座した状態で使用可能な高さに乗務員と通話ができる非常通報装置を設けている（図10）。また、連結妻部の貫通路は、傾斜式戸閉装置により自然に閉扉する構造の貫通引戸を設けているが、ワンマン時の限定したドア扱いを考慮して車いすでも通り抜け可能な有効幅800mmを確保している。

6.3 運転室

運転室は、ワンマンに対応した非貫通の全室運転台とした（図11）。衝突時における乗務員の保護のため、車体前面部の強化構造を図るとともに、運転室背面には救出口を設け



図10 車いすスペース



図11 運転室

ている。また、前部標識灯にはLEDを採用した。

EV-E301系では、急速充電や架線認識装置など蓄電池駆動電車として新たに必要となったスイッチ類を運転室に配置している。これらは、操作する場面や手順、誤扱い防止等に配慮して運転室内に配置した。その例として、助手側に設置した急速充電を行う際に扱うスイッチ類の写真を図12に示す。

また、運転台モニタ装置には、従来からの機能（運転情報や車両情報の表示、ワンマン装置制御などの乗務員支援機能や冷暖房などのサービス機器の制御機能、故障記録



図12 助手側機器配置

や試験関係の検修機能など)に加え、新たに蓄電池の充電量や各機器間のエネルギーの流れ、車両が認識している架線状態等を表示する機能を設けた。

6.4 機器配置

(1) 床下機器配置

1号車に補助電源装置及び関係機器を設置し、2号車に電力変換装置などの主回路関係機器を設置している。主回路用蓄電池箱は各車両に1群単位(5台)ずつ、編成で10台を設置している。

(2) 屋根上機器配置

急速充電に対応するため、すり板を強化したパンタグラフを2号車に2台搭載している。また、各車両共通の機器として、空調装置、列車無線アンテナを配置している。

7. おわりに

EV-E301系は、性能試験や充電試験等で機能確認するとともに乗務員の訓練運転を行い、2014年3月15日から量産先行車1編成が烏山線で営業運転を開始し、お客様に大変好評を得ている。今後とも、ご利用されるお客さまや地域の皆さまに末永く愛される車両となっていくことを願っている。合わせて、蓄電池のさらなる技術向上とともに蓄電池駆動電車への取り組みがさらに加速し、蓄電池駆動電車が大いに発展することを期待する。



図13 烏山駅で充電するEV-E301系

参考文献

- 1) 神孫子博:「ハイブリッド車両と蓄電池駆動電車システムの開発」JR EAST Technical Review-No.40
- 2) 真保光男、神孫子博、菌田秀樹、柴沼健一:「蓄電池駆動電車システムの実用化に向けて」平成25年電気学会産業応用部門大会 4-S7-9
- 3) 長谷部和則、白木直樹、滝口裕之:「蓄電池駆動電車EV-E301系の概要」日本鉄道車輛工業会 車両技術248号。