

架線・蓄電池ハイブリッド電車システムにおける地上充電設備の開発

真保 光男 · 野元 浩 正月 一郎 徳廣 真一郎* (東日本旅客鉄道株式会社)

Development of the battery charging facilities on the ground for the catenary and battery powered hybrid train system

Mitsuo Shinbo, Hiroshi Nomoto, Ichiro Masatsuki, Shinichiro Tokuhiro* (East Japan Railway Company)

JR East has been developing "catenary and battery powered hybrid train" to decrease negative environmental impact by diesel trains that have been operated in non-electrified lines. This year, we decided the outline of the facilities and the charging method.

キーワード：蓄電池駆動電車，地上充電装置，蓄電池，急速充電

(Keywords, Battery powered train, Battery charging facilities, Storage battery, Quick charge)

1. はじめに

JR 東日本では非電化区間においてディーゼル車両が排出する CO₂ を削減することを目的として、これまでディーゼルハイブリッド車両、燃料電池ハイブリッド車両を開発してきた。そして 2008 年からは架線の電力と車両に搭載した蓄電池の電力によって走行する「架線・蓄電池ハイブリッド車両」の開発に取り組んでおり、2009 年度には試作車を開発して 2010 年 3 月にかけて試験走行を実施してきた。

蓄電池駆動電車を非電化区間で走行させるにあたっては、車両の蓄電池の充電方法が課題となる。充電の方法については、電化区間だけで充電を完了して非電化区間は無充電で走行する方法と、非電化区間の一部の駅に充電装置を設けて充電する方法がある。前者は非電化区間の長さに対応して車両に搭載する蓄電池の容量が多くなり、車両重量や運転エネルギーの面で不利である。一方、後者は急速充電時の大電流に対応するため運転用変電所と同等の大きな電力を供給できる設備が必要であり、付近の電源環境によっては大きな設備増強が必要となるという課題がある。

このため、地上の充電装置にも蓄電池を設置することを検討した。車両がない間は地上の蓄電池に充電し、車両が到着したら地上の蓄電池から車両の蓄電池に急速充電を行うことで、受電電力の低減と負荷平準化が期待できる。

このシステムの概要図を図 1、充電装置の概要図を図 2 および図 3 に示す。車両はパンタグラフと蓄電池の両方を搭載しており、電化区間ではパンタグラフを上げ、架線から供給される電力によって走行し、非電化区間ではパンタグラフを下げ、車上蓄電池の電力によって走行することができ、電化区間と非電化区間の直通運転が可能となる。

本稿では、地上充電設備の開発概要について報告する。

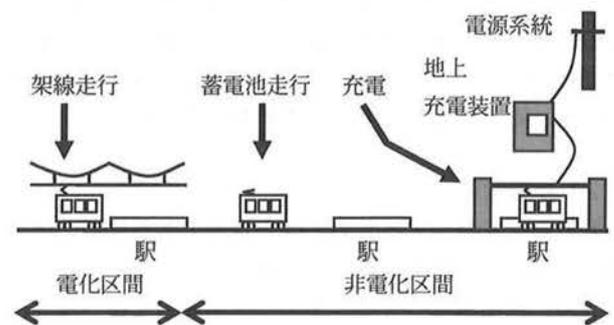


図 1 架線・蓄電池ハイブリッド電車システムの概要
Fig.1 The catenary and battery powered hybrid train.

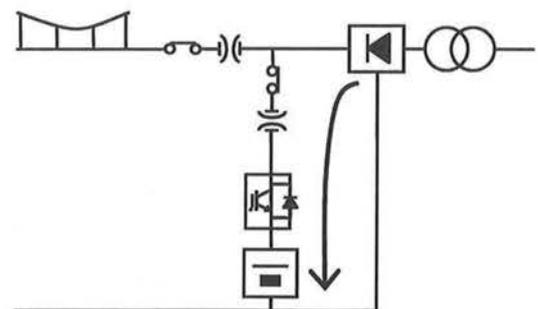


図 2 地上充電設備の概要 (地上装置充電時)
Fig.2 Battery charging facilities
(Charging battery of the facilities on the ground)

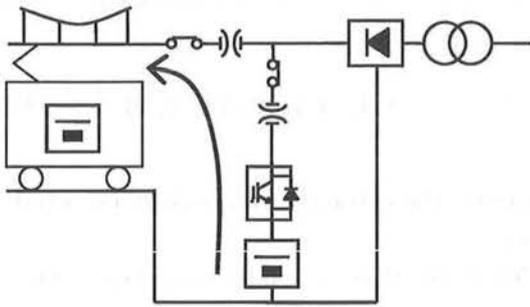


図 3 地上充電設備の概要 (車両充電時)

Fig.3 Battery charging facilities
(Charging battery on the train from the facilities)

2. 開発内容

(2.1) 前提条件

(1) 充電時間

今回の開発品は概ね 1 時間に 1 本程度の運用を行うローカル線区への導入を想定している。車両運用を考慮し、折返し時間で充電を完了させるため、車両蓄電池の充電時間を 10 分以内とした。また、残りの 50 分から 5 分の裕度を考慮し、地上蓄電池の充電時間を 45 分以内とした。

(2) 受電電圧

鉄道車両を駆動するためには大容量の蓄電池が必要であり、また短い停車時間の中で急速に行う必要がある。したがって、充電箇所の付近に相応の送電能力を持った電源設備が設置されている必要がある。しかし、線区周辺の条件によっては十分な容量を確保できない場合もあり、電源系統に対する負担の軽減が課題となっている。

そこで、受電電力低減を目的として、特高受電ではなく高圧 6.6 kV で受電できることを今回の目標と定めてシステムを構築することとした。

(2.2) 回路構成案

表 1 地上充電装置の前提条件

Table 1. Preconditions of the battery charging facilities on the ground.

項目	条件
車両蓄電池の充電時間	10 分以内
地上蓄電池の充電時間	45 分以内
受電電圧	6.6 kV

今回検討している地上充電装置は、大きく分けると整流器出力回路、蓄電池回路、き電回路から構成される。各回路に使用する電圧について、直流高圧、直流低圧を組み合わせることによって、回路電圧の組合せ案を 4 案作成した。その内容を表 2 に示す。

表 2 回路電圧の組合せ案

Table 2. Plans of circuit voltage combinations.

	整流器出力	蓄電池回路	き電回路
案 1	DC1500V	DC600V	DC1500V
案 2	DC600V	DC600V	DC1500V
案 3	DC1500V	DC1500V	DC1500V
案 4	DC600V	DC600V	DC600V

案 1 の構成を図 4 に示す。この案は、整流器出力回路とき電回路を直流 1,500 V、蓄電池回路を 600 V として構成した案である。

この案では蓄電池回路を低圧で構成することができる。また、DC/DC コンバータ故障時は、充電速度は遅くなるが、予備の充電手段として直接整流器から車両を充電することが可能である。

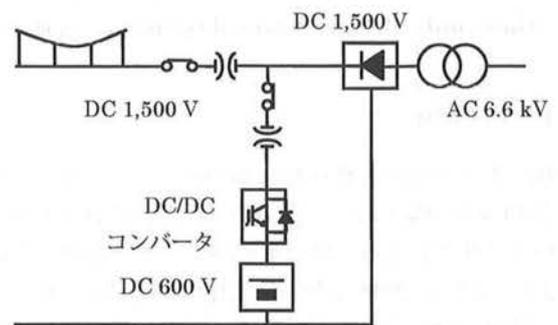


図 4 案 1

Fig.4 Plan No.1.

案 2 の構成を図 5 に示す。この案は、整流器出力回路と蓄電池回路を直流 600 V、き電回路を 1,500 V として構成した案である。

この案では、整流器出力回路と蓄電池回路を低圧で構成することができる。しかし、蓄電池の充電制御のために整流器で出力電圧制御を行う必要がある。また、DC/DC コンバータ故障時は、車両を充電することが不可能となる。

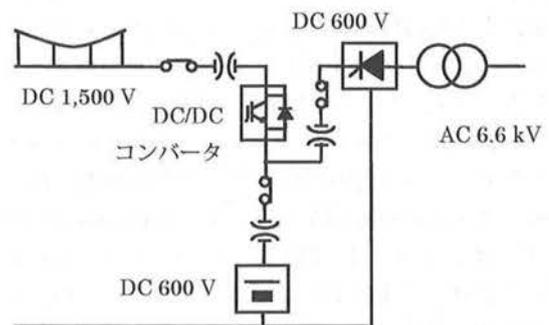


図 5 案 2

Fig.5 Plan No.2.

案 3 の構成を図 6 に示す。この案は、整流器出力回路、蓄電池回路、き電回路をすべて 1,500 V として構成した案

である。

この案では、DC/DC コンバータが不要となる。しかし、蓄電池回路を高圧で構成する必要がある。また、整流器で出力電圧制御を行う必要がある。

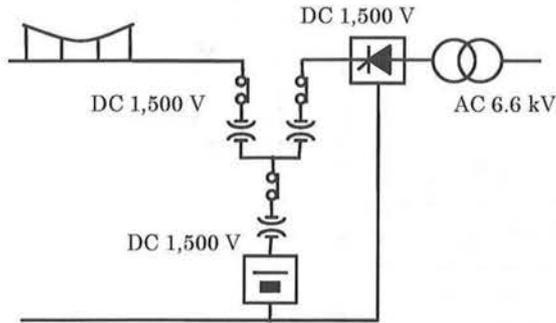


図 6 案 3

Fig.6 Plan-No.3.

案 4 の構成を図 7 に示す。この案は、整流器出力回路、蓄電池回路、き電回路をすべて 600 V として構成した案である。

この案では、整流器出力回路と蓄電池回路を低圧で構成することができ、DC/DC コンバータが不要となる。しかし、車両を充電するために他案と比べ大きな電流が必要となり、架線とパンタグラフ接触部の温度上昇が課題となる。また、整流器で出力電圧制御を行う必要がある。

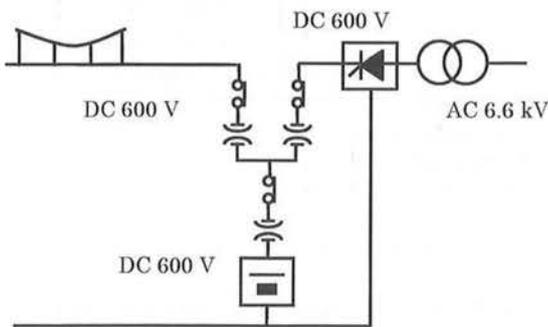


図 7 案 4

Fig.7 Plan-No.4.

〈2.3〉 比較検討

以上の 4 案について、最適な回路案を見極めるため、表 1 の条件をもとに絞込みを行った。

(1) 蓄電池回路の電圧に関する検討

一般的には、蓄電池回路は低圧で構成されている。このため、蓄電池メーカーと打合せで直流 1,500 V の高圧蓄電池回路について実現性を検討した。

その結果、高圧蓄電池は市場性等の課題が多いことから、案 3 を候補から外した。

表 3 回路案 1、2 の比較

Table 3. Comparison of Plan-No.1 and No.2.

項目	回路案 1	回路案 2
地上充電装置の充電方法	整流器出力を DC/DC コンバータで降圧して充電	整流器出力で直接充電
車両蓄電池の充電方法	地上蓄電池からの放電を DC/DC コンバータで昇圧して充電	地上蓄電池からの放電を DC/DC コンバータで昇圧して充電
エネルギー変換回数	2 回	1 回
整流器出力電圧制御	不要	必要
整流素子	ダイオード	IGBT (PWM 制御用)
充放電制御システム	簡素	複雑 地上充電装置用蓄電池の充電時に整流器出力の制御が必要
DC/DC コンバータ故障時の予備的充電手段	あり 充電電流を絞ることで整流器から直接充電することが可能	なし

(2) 架線の電圧に関する検討

案 4 の回路は架線電圧を低圧とするため、高圧の案に比べて電流が大きくなる。

地上充電装置から蓄電池駆動電車を充電する際、架線とパンタグラフは同じ箇所では接触し続けるため、充電電流による発熱に耐える架線を使用しなければならない。

このため、充電電流を検討したところ、1,000 A を超える結果となった。

架線構造の中で特に放熱性能の高い剛体架線について調査、検討を行ったところ、剛体架線を使用しても許容電流は最大 900 A 程度であるとの結果に至った。

したがって、600 V での充電は許容電流を超えてしまうため、案 4 も候補から外した。

(3) 整流器の出力電圧に関する検討

残された回路案 1、2 については整流器の出力電圧が異なるが、いずれも実現可能性が高いと考えられ、この 2 案について詳細な比較、評価を行った。その内容を表 3 に示す。この結果、案 1 は以下の点で案 2 よりも優れている。

- 蓄電池を充電する際には、蓄電池の端子電圧の変動に応じて充電電圧を制御する必要がある。案 1 は蓄電池の充電制御を DC/DC コンバータ 1 台で行うこと

ができ、整流器にダイオードを使用することができる。一方、案 2 は整流器の出力電圧制御が必要であり、IGBT を使用して PWM 制御を行う必要がある。このため、案 1 の整流器の方が簡素で安価となる。

- ・ コンバータの故障が発生した際、予備的手段として、電流は制限されるが整流器から直接車両を充電することが可能である。

一方、案 2 の優位点は、

- ・ 案 1 では地上蓄電池の充電時、放電時ともに DC/DC コンバータ使用時に損失が発生する。一方、案 2 は地上蓄電池の放電時にのみ DC/DC コンバータを使用するため、電力変換の回数が少ない。

以上の結果について検討した結果、エネルギー効率の違いはわずかであり、案 1 の方が信頼性が高く優位であると判断し、案 1 で開発を進めることとした。

(2・4) 充電制御方法

案 1 の回路構成にしたがって蓄電池駆動電車を充電するシステムの制御方法について検討する。

今回のシステムでは、車両側の蓄電池の制御と地上充電装置側の制御を組合せて充放電制御を行うものとした。そのフローを図 8 に示す。

- ① 充電システム起動時、地上充電装置は自らの蓄電池を充電する。この際、電源システムに対する負担を平準化するために、低速充電を行う。(約 45 分間)
- ② 蓄電池の充電が完了した後、地上充電装置は待機状態となる。
- ③ 車両が入線してパンタグラフを上昇すると、車両は架線の電圧を検知したのち、まず低速充電を開始する。(地上側の急速充電の準備が未完のため)
- ④ 地上充電装置は車両の充電開始を検知し、車両を急速充電する制御に移行する。
- ⑤ 車両の DC/DC コンバータは急速充電を開始し、所定 SOC に達すると、充電を完了する。
- ⑥ 車両の充電完了を検知し、地上充電装置は自らの蓄電池を充電する制御に戻る。

以上の制御を行うことで、車両への円滑な急速充電を行うことができる。

3. まとめ

以上が、電化区間は架線からの電力により、非電化区間は蓄電池の電力により駆動するハイブリッド電車システムの地上充電装置の回路構成および充電制御方法の概要である。

今後は、本検討に基づいて地上充電装置を試作し、剛体架線とともに車両基地の一部に仮設して、蓄電池駆動電車と組合せた充放電試験を行うことにより、性能の検証を進めていく予定である。

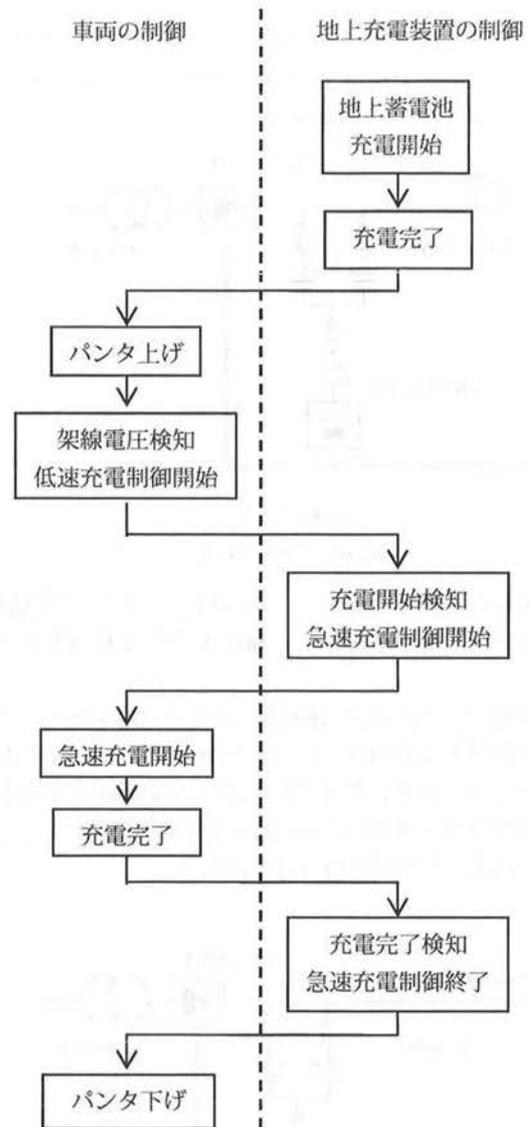


図 8 充電制御方法の概要

Fig.8 Flow chart of charging control method.