

## 蓄電池駆動電車システムの 地上充電装置の開発



飯野 友記\*



正月 一郎\*\*



徳廣 真一郎\*\*\*

蓄電池駆動電車システムの実現には、車両の蓄電池を充電する地上側の設備が必須である。電化区間と非電化区間を直通運転する場合、電化区間走行中に架線からの電力で充電し、非電化区間は充電した電力だけで走行することは可能である。しかし、車両に搭載する蓄電池が過大になってしまうことから、本システムは地上側に専用の充電設備を設けることとして開発を行った。また、受電電力低減を目的として試作した充電設備にも大容量の蓄電池を設置することを決定した。2010年に地上充電設備の試作に着手し、2011年～2012年にかけてフィールドで車両と組み合わせた充放電試験を実施し、実用化に必要な機能と設備仕様を検証・評価した。

●キーワード：蓄電池駆動電車システム、地上充電装置、蓄電池、急速充電

### 1. はじめに

蓄電池駆動電車システムは、直流電化区間と非電化区間の直通運転を行えるシステムとして2008年度に開発に着手した。車両の充電方法には、電化区間だけで充電し、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点が、後者は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、電力会社の電源環境によっては大きな設備増強が必要となる点が課題であった。

そこで、これらの問題点を解決するため、地上の充電装置への蓄電池設置を検討した。車両がいない間に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により、受電電力の低減と負荷平準化が期待できるため、このシステムを開発することとした。

### 2. 地上充電装置の要件

#### 2.1 変電設備

充電設備は車両へ直流電力を供給するため、運転用直流変電所と同等の性能が求められる。しかしながら、ローカル線区では列車の運行本数が少ないため、地上充電設備の稼働率は低くなる。その一方で、車両の到着時には短時間で車両の蓄電池を充電する必要があるため、充電装置の最大受電電力や設備容量を小さくすることはできないといった問題がある。

この問題を解決するため、地上充電装置に蓄電池を設置して車両が到着するまでの間に自分の蓄電池を充電し、車

両が到着したら蓄えた電力を使用して車両の蓄電池を短時間で充電することとした。これにより急速充電に必要な出力を確保しながら、地上充電装置の受電電力や設備容量を低減することが可能となる。

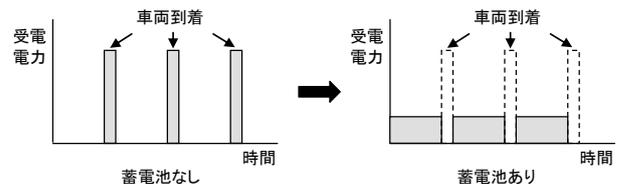


図1 蓄電池の有無による受電電力の低減効果

#### 2.2 充電用架線

充電設備から車両への充電は、電化区間と同様にパンタグラフと架線を使用する。停車状態で充電を行うが、大電流により架線の温度上昇値が許容値を越えるおそれがあるため、架線とパンタグラフの接触点の温度上昇を測定し、適用可能な架線の検証を行った。結果については4章に記載する。

### 3. 地上充電装置の開発

#### 3.1 回路構成

地上充電装置は、図2に示すように、受電した電力を直流に変成する変成回路、電力を充放電する蓄電池回路、車両に電力を供給するき電回路に分けられる。



図2 地上充電装置の回路の基本構成

このうち、蓄電池回路は適用可能な蓄電池の標準電圧にもとづき、DC600Vとした。また、き電回路は車両が電化区間と非電化区間を直通運転するため、電化区間の電圧と同じDC1500Vとした。変成回路は、DC600V、DC1500Vのどちらも実現可能なため、この2つについて回路案を作成し、比較検討をいった。回路案を図3、4に、比較結果を表1に示す。

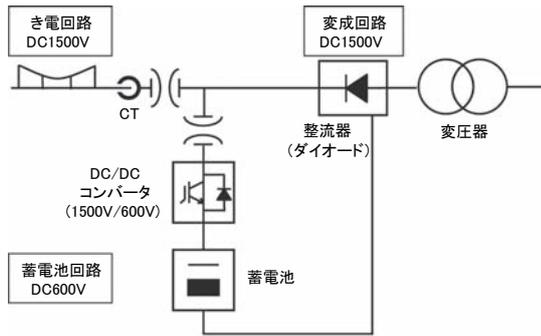


図3 回路案1 (変成回路 DC1500V)

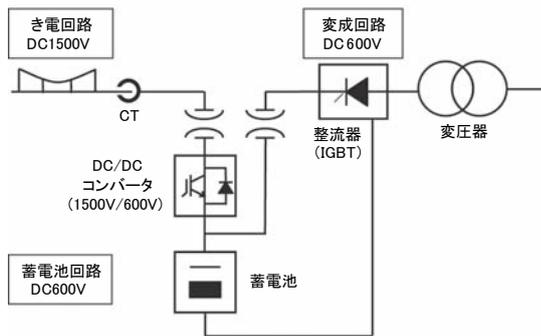


図4 回路案2 (変成回路 DC600V)

表1 案1および案2の比較

項目	回路案1	回路案2
エネルギー変換回数	2回 (蓄電池充電時および放電時)	1回 (蓄電池放電時)
整流器出力電圧制御	不要 (ダイオード)	必要 (IGBT)
充電制御	DC/DCコンバータ	整流器 (PWM制御)
放電制御		DC/DCコンバータ
時	充電可能	不可能

2つの案を比較した結果、エネルギー変換回数による効率の違いはあるが、案1は制御装置が一つで信頼性が高いことや冗長性があることから、本開発では案1を採用することとした。

## 3.2 充電制御方法

車両側へ充電を行う際は、車両の到着や発車など状態に応じた制御が必要となる。今回の開発では、車両側蓄電池の制御と地上充電装置側の制御を組合せた以下の①から⑤のフローにより実現している。

- ①システム起動。地上充電設備の蓄電池を充電。充電完了後、整流器出力で架線を加圧して待機。
- ②車両が到着しパンタグラフを上昇。車両は架線電圧ありを検知し、低電流充電を開始する。
- ③地上充電装置は車両の充電開始をCTで検知し、出力電圧を上げ、大電流放電（蓄電池出力）に切替える。
- ④車両は蓄電池出力をパンタグラフ電圧の違いで検知し急速充電を開始する。所定の充電率に達すると充電を終了する。
- ⑤車両の充電終了をCTで検知する。

このように電流検知および架線電圧の制御を行うことで、専用の通信設備などを使用せずに車両への急速充電を実現した。

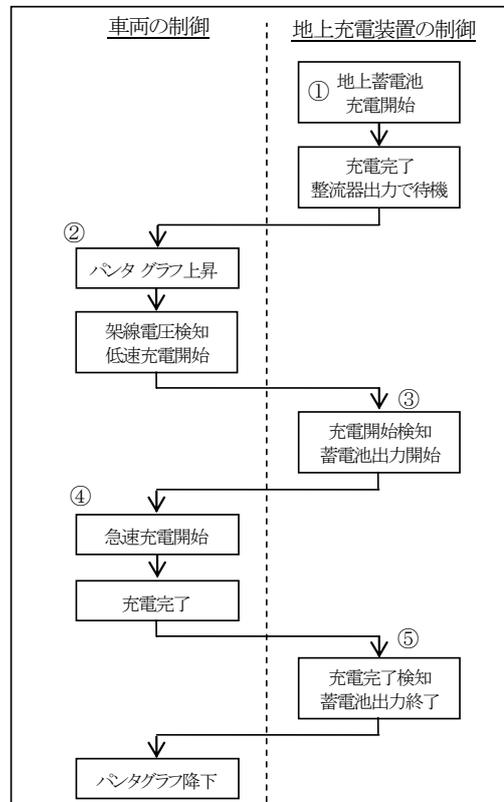


図5 充電制御フロー

## 3.3 異常時などの制御方法

異常時などにおける地上充電装置の制御方法については、以下のロジックにもとづき開発した。

①地上蓄電池故障制御

地上蓄電池から車両蓄電池を急速充電時に地上蓄電池側の故障が発生した場合には蓄電池回路をトリップさせ、整流器からの直接充電に切替える。

②過放電防止制御

地上蓄電池から車両蓄電池へ急速充電中に、地上蓄電池の充電率が下限値に達した場合、蓄電池の放電を停止し、整流器からの直接充電に切替える。

③車両充電優先制御

地上蓄電池充電中でも、車両が到着した場合は地上蓄電池の充電を中止し、車両への急速放電に切替える。

4. 充放電試験

これまで述べてきた機能を持つ試験用地上充電装置を試作し、蓄電池駆動電車との組合せ充放電試験を実施した。

4.1 試験状況

試験は宇都宮運転所構内および烏山線烏山駅にて実施した。図3の案1をもとに試作した地上充電装置を図6に、充電用架線および試験車両を図7に示す。

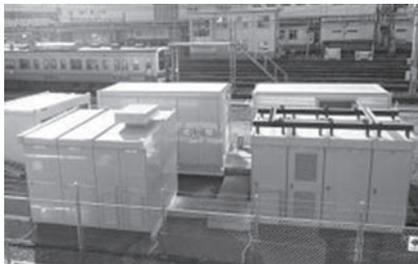


図6 地上充電装置



図7 充電用架線および試験車両

4.2 制御確認試験

試作した地上充電装置において、3.2節で述べた充電制御方法の確認試験を行い、地上蓄電池への充電制御および車両への急速放電について、フローで示したとおりの制御

が行われることを確認した。

次に、3.3節で述べた異常時などの制御の確認試験を行い、異常時などの制御もすべて設定どおり制御できることを確認した。

4.3 架線温度上昇測定試験

4.3.1 試験内容

車両への急速充電に適用可能な架線を見極めるため、シンプルカテナリ (Cu110mm<sup>2</sup>、170mm<sup>2</sup>) および剛体架線の3種類について、車両走行に必要となる電力量を考慮しパンタ点電流を500A、300A、150A、通電時間をそれぞれ10分、20分、35分として、熱電対を用いてパンタグラフとの接触点における架線の温度上昇値を測定した。試験概要を図8に、試験項目を表2に示す。

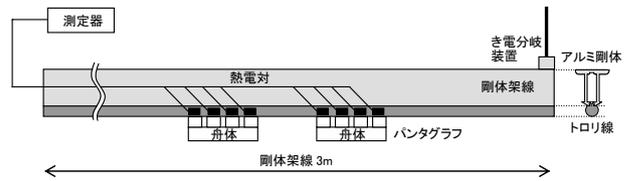


図8 架線温度上昇測定試験概要 (剛体架線)

表2 架線温度上昇試験項目

試番	架線種別	電流値	時間
1-1	シンプルカテナリ Cu110mm <sup>2</sup>	500A	10分
1-2		300A	20分
1-3		150A	35分
1-4	シンプルカテナリ Cu170mm <sup>2</sup>	500A	10分
1-5		300A	20分
1-6		150A	35分
1-7	剛体架線	500A	10分
1-8		300A	20分
1-9		150A	35分

4.3.2 試験結果

試番1-1から1-3までの結果を図9に、1-4から1-6までの結果を図10に、1-7から1-9までの結果を図11に示す。

地上充電装置における充電用架線はパンタグラフによる摩擦がないことから、判定基準値は新設時のカテナリの基準を準用し、許容温度上昇値 $\Delta T$ を60K以下とした。

車両への急速充電の電流値は最大で1パンタグラフあたり最大500A程度と想定しており、シンプルカテナリ (Cu110mm<sup>2</sup>、170mm<sup>2</sup>) は共に $\Delta T$ が60Kを超える結果となった。一方剛体架線は $\Delta T$ が60K以下であったため、急速充電に適用可能な架線は剛体架線のみであるということが分かった。

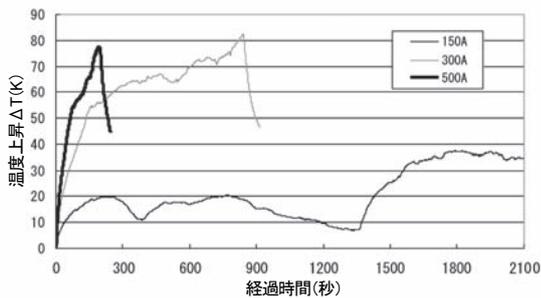


図9 シンプルカテナリCu110mm<sup>2</sup>における温度上昇

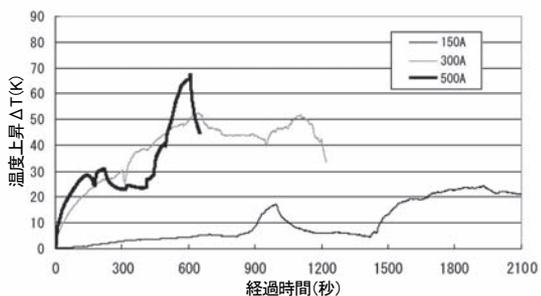


図10 シンプルカテナリCu170mm<sup>2</sup>における温度上昇

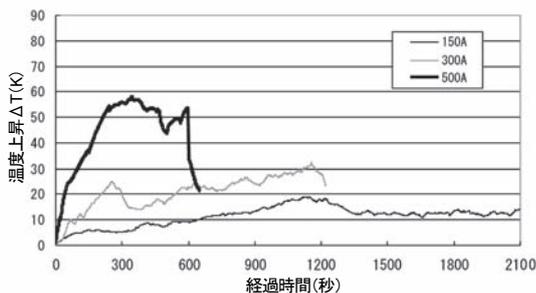


図11 剛体架線における温度上昇

## 4.4 剛体架線評価試験

### 4.4.1 試験内容

トリ線の経年劣化による温度上昇への影響を評価するため、剛体架線において1年程度経過したもの（新）と、少なくとも10年程度経過したもの（旧）の2種類を各1.5mずつ設置した。また、剛体架線へのき電分岐装置の数により架線の温度上昇に違いがでるかを評価するため、き電分岐装置を1ヶ所（剛体架線の片端）および2ヶ所（剛体架線の両端）の2種類の切替えを断路器で行うことにより、4通りのパターンで試験を実施した。なお、パンタ点電流は500A、通電時間を10分とした。試験概要を図12に、試験項目を表3に示す。

### 4.4.2 剛体架線評価試験結果

試番2-1から2-4までの結果を表4に示す。

判定基準値は前述と同様、 $\Delta T$ が60K以下である。試験において温度上昇値は剛体架線（旧）を含めすべて判定基準値以下であり、10年程度の経年劣化では使用に問題な

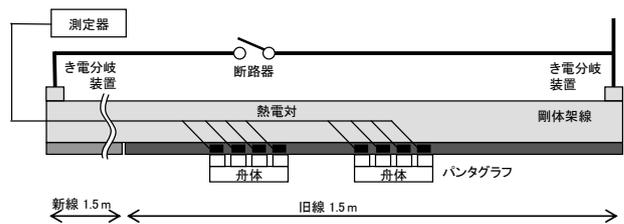


図12 剛体架線評価試験概要

表3 剛体架線評価試験項目

試番	架線種別	き電分岐装置	電流値	時間
2-1	剛体架線（新）	1ヶ所	500A	10分
2-2		2ヶ所		
2-3	剛体架線（旧）	1ヶ所	500A	10分
2-4		2ヶ所		

表4 剛体架線評価試験結果

試番	温度上昇値	
	1回目	2回目
2-1	28 K	31 K
2-2	27 K	26 K
2-3	35 K	34 K
2-4	43 K	36 K

いことを確認した。

き電分岐装置については、特に2ヶ所にした場合においても温度上昇を低減する効果は特に見られなかった。

## 5. まとめ

蓄電池駆動電車の急速充電システムについて、蓄電池を用いた専用の充電装置を試作し、車両への充電制御方法、異常時などにおける制御方法を開発した。また、試作した地上充電装置により、充電用架線の温度上昇試験を実施し、急速充電に適しているのは剛体架線であるとの結果を得た。

今後は、試験データを評価し、実用化に向けた機器仕様決定にあたっての提言を行っていく予定である。

### 参考文献

- 1) 真保光男, 野元浩, 正月一郎, 徳廣真一郎; 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, 第17回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, S-3-3-3, 2010.12.
- 2) 正月一郎, 徳廣真一郎, 飯野友記; 蓄電池を用いた地上充電装置の充放電制御, 第48回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, P625, 2011.12.
- 3) Ichiro Masatsuki; Development of the battery charging system for the new hybrid train that combines feeder line and the storage battery, IPEC2010 International, P3128, 2010.6.
- 4) Ichiro Masatsuki; Development of Catenary and Battery-powered hybrid railcar system, 9th World Congress on Railway Research, Challenge B, 2011.5.