

リチウムイオン電池による無給電区間の車両移動

村尾 浩司 (大阪市交通局) 植村 康弘 (交通サービス)

○ [機] 嶋田 基巳 (日立製作所) 大石 亨一 (日立製作所)

佐藤 忠則 (日立製作所) 佐藤 伸次 (日立製作所)

Battery-powered running in depot facility

Koji Murao (Osaka Municipal Transportation Bureau),
Yasuhiro Uemura (Transportation service),
Motomi Shimada, Ryoichi Oishi, Tadanori Sato, Shinji Sato (Hitachi)

Battery powered running system in depot facility using lithium ion battery was developed.

For some urban rail systems such as underground in Osaka area, power-feeding system using the third rail has been applied. But, in depot facility, some maintenance spot or line without the third rail has been equipped in consideration of safety and efficiency of maintenance job.

Our battery powered running system will make it possible to move train easily and safely if the third rail as power line is not equipped. On trial run in depot facility, performance of 90m over moving (beyond a train length) by 7.5kWh capacity of batteries without outer power feeding had been confirmed.

キーワード：都市鉄道，高品質化，安全性，信頼性，車両，軌道

Key Words：Urban rail, Quality improvement, Safety, Reliability, Vehicle, Track

1. はじめに

都市圏の地下鉄道の一部は、第三軌条による給電方式を採用している。第三軌条による給電方式は、走行レールの直近に電車線に相当する電力供給レールを敷設し、台車側面にある集電靴を接触させて車両機器に電力を供給する。

ところで、第三軌条方式の場合、検修場内における床下機器へのアクセスを容易にして、作業の安全・効率を確保するため、第三軌条を敷設しない区間を設ける場合がある。このような区間で車両を移動させる場合、車両側の受電端子に挿し込み電力を供給するジャンパ線を、作業者が手持ちで支持したまま徐行する必要があり、危険を伴う。

今回、蓄電技術を利用して、検車場内でも安全かつ簡便な車両の移動を実現する、無給電区間の車両移動方式を検討した。蓄電池には出力密度が高く、大電力が必要な鉄道車両の駆動用に適するリチウムイオン電池を採用した。

検車場内で大阪市交通局 10A 系車両による走行試験をおこない、まず、第三軌条がある給電区間で蓄電池を充電し、この蓄電エネルギーにより第三軌条のない無給電区間でも車両を移動できることを確認した。

本報告では、バッテリー走行による検修場内の車両移動の実現可能性について、走行試験結果をもとに検討する。

2. 連続回生システム

2.1 システムの概要⁽¹⁾

今回おこなった無給電区間の車両移動試験は、インバータ制御車両の回生効率向上をおもな目的に開発した「連続回生システム」を利用し、その一機能として実現したものである。以下、連続回生システムの機能を説明する。

(1) 回生失効防止機能

回生ブレーキは、主電動機を負荷として車両を減速し、



図1 大阪市交通局 10A 系車両

その時の回生電力を第三軌条に戻し、同じき電区間を走行する他車両が力行電力として消費することで実現する。このため、集電靴が第三軌条から離線したときは、回生電力を消費できず回生ブレーキを継続できない(回生失効)。

回生失効防止機能は、離線が瞬時であるならば、回生電力を蓄電池で吸収して回生ブレーキの継続を可能とする。

(2) 軽負荷回生抑制機能

早朝・深夜など、同じき電区間を走行する他の車両がないとき、回生電力が十分に消費されない(軽負荷回生)。その場合、インバータの回生ブレーキ力を絞ることで回生失効を防止するが、不足するブレーキ力を空気ブレーキで負担するため、回生率が低下してしまうことが課題である。

軽負荷回生抑制機能は、負荷車がない状況でも電力を蓄電池に蓄えることで軽負荷回生を防ぎ、回生率を向上する。

(3) バッテリ走行機能

バッテリ走行機能は、第三軌条の代わりに蓄電池からインバータ消費電力を供給して、車両の力行を可能とする。

この機能は本来、上記(1)(2)により蓄電池に蓄えられたエネルギーを力行中に放電することが目的である。今回の無給電区間の車両移動(バッテリ走行)は、この機能を独立に稼働することで実現した。

図2にバッテリ走行を実現する連続回生システムの構成と制御方式の概略図を示す。

2.2 無給電区間の車両移動

図3に検修線における車両移動の現状を示す

- ① まず地上に待機した作業員が電力線を車両側の受電端子にジャンパ線で接続する。
- ② 電力線から車両に電力供給して車両を力行させる。
- ③ 車両が動いたら作業員はジャンパ線を支持したまま車両に合わせて移動し、受電端子からジャンパ線を外す。

これらは、走行車両近傍での作業となるため危険を伴う。無給電区間の車両移動は、前項(3)の機能を活用することにより、第三軌条が敷設されていない検修線でも、敷設されている区間と同様、安全な車両走行を可能とする。具体的な手順は次の通りである。

(1) 蓄電池充電

まず給電区間で、蓄電池充電モードによる充電を行う。

(2) 無給電区間への進入

給電区間で力行して、惰行にて無給電区間に進入する。

(3) 無給電区間内の車両移動

バッテリ走行モードを起動し、蓄電池からインバータ装置に電力を供給して力行する。給電区間まで走行した後は、給電モードに切りかえて走行を続ける。

3. 走行試験

3.1 試験の概要

無給電区間におけるバッテリ走行の実証、および走行性能を確認するため、構内線における走行試験をおこなった。

- (1) 試験時期：2007年10月

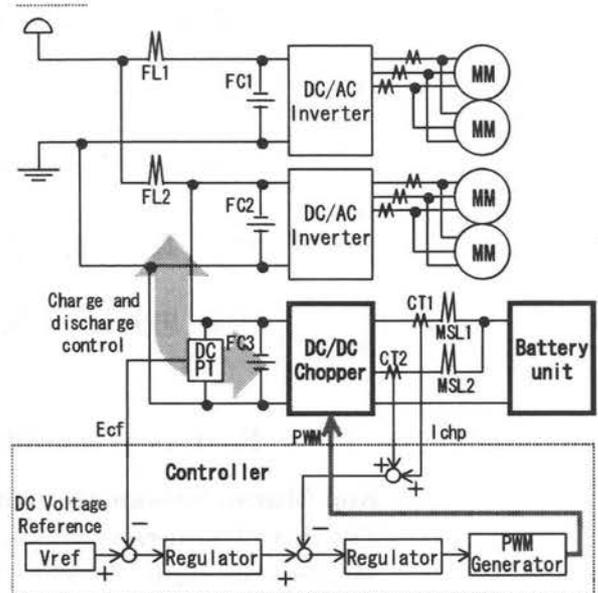


図2 システム構成と制御方式



図3 検修線における車両移動

表2 試験諸元

No.	項目	仕様
1	車両編成	1M4T(4MM 駆動)
2	車両重量	148ton (空車条件)
3	蓄電池容量	7.5kWh
4	充放電電力	250kWh (定格)

- (2) 試験場所：大阪市交通局中百舌鳥検車場内
- (3) 供試編成：大阪市交通局 10A 系 B 編成 (5 両)
- (4) 試験諸元：表 2 に示す。
- (5) 確認内容：
 - (a) 蓄電池充電試験：第三軌条からの充電試験
 - (b) 検修線内移動試験：平坦区間の小移動試験
 - (c) 構内線走行試験：勾配区間(10%)の連続走行試験
 本試験では、5両編成のうち電動車1両(電動機4台)を駆動するインバータ装置に連続回生システムを接続し、蓄電池からのインバータ装置への電力供給を可能とした。すなわち、電動機4台で5両編成を牽引する条件とした。

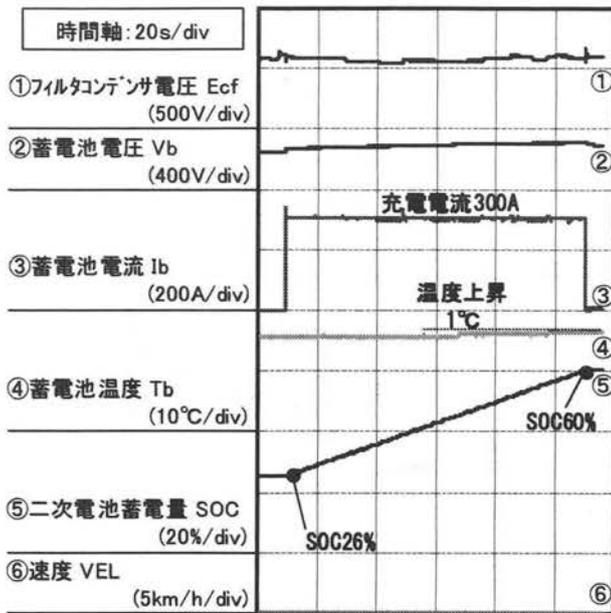


図 4 試験オシロ (蓄電池充電試験)

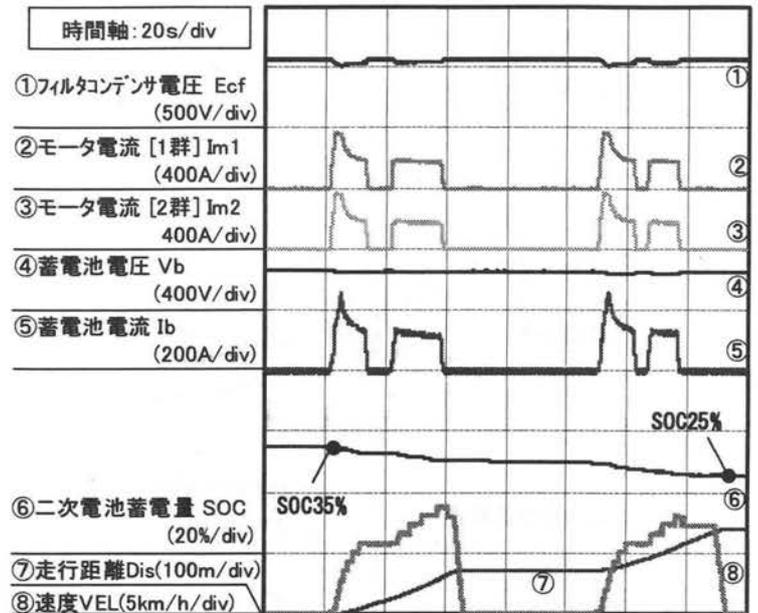


図 5 試験オシロ (検修線内移動試験, 試番 2)

3.2 試験結果

3.2.1 蓄電池充電試験

第三軌条の設備がなく、車両に外部から電力が供給されない検修線に進入する際は、まず、第三軌条が設備されている区間で蓄電池を充電しておく。今回、蓄電池充電機能を確認するため、第三軌条が設備されている区間に車両を停車させて蓄電池の充電試験をおこなった。

図 4 に蓄電池の充電試験の結果オシロを示す。

蓄電池充電時は、バッテリーチャージャ装置により 300A の定電流制御を行っている。図 4 より、二次電池蓄電量 SOC が 60% に達するまで、蓄電池電流 Ib が 300A 一定で流通し充電を続けていることを確認できる。

また、蓄電池充電時の蓄電池温度 Tb の上昇値は約 1℃ であった。このことから、バッテリー走行時の蓄電池充電では、特別なバッテリー冷却は必要ないと考えられる。

3.2.2 検修線内移動試験

バッテリー走行時の制御動作確認と、搭載蓄電量に対する走行可能距離の関係を把握するため、第三軌条から電力が供給されない検修線で走行試験をおこなった。

走行試験では、実際の検修線内での車両移動を想定して、

- ① 力行 1 ノッチで加速。
- ② 時速 10km/h まで加速してノッチオフ。
- ③ 2 両分の距離を移動して停止。

①～③を一動作として、この動作を数回繰り返した。

なお、検修場内は低速で走行するため、基本的に回生ブレーキが動作しない設定としている。このため、本試験では回生ブレーキによる蓄電池の充電は行わなかった。

表 3 に試番毎の走行距離、放電電力量を示す。

検修線は通常、平坦であるため勾配の影響がない。このため、蓄電エネルギーが車両の運動エネルギーに変換される効

表 3 試験結果 (検修線内移動)

試番	試験内容	力行ノッチ	最高速度 [km/h]	走行距離 [m]	放電電力量 [kWh]
1	検修線内走行 (平坦)	P1N	9	127	0.69
2	検修線内走行 (平坦)	P1N	9	139	0.58
3	検修線内走行 (平坦)	P1N	7	91	0.54

率を精度よく測定できると考えられる。今回の試験結果では、ノッチ扱いにより多少の変動はあるが、1kWh の電力量で 200m 程度走行できることを確認できた。

図 5 に検修線内移動試験の結果オシロ (試番 2) を示す。

6km/h まで力行して一旦ノッチオフ、その後再力行で 9km/h に達した時点でブレーキ投入する運転扱いである。この扱いを 2 回繰り返すことにより、138m の距離を移動した。このとき SOC8% の蓄電量を消費していることを確認できる。

3.2.3 構内線走行試験

検修線以外での走行性能を確認するため、本線と検修線を結ぶ構内線における走行試験をおこなった。

約 500m の構内線のうち、両端部を除いた区間は 10% 勾配 (最大 20%) であり、この区間を往復する試験とした。

表 4 に試番毎の走行距離、放電電力量を示す。

試番 4, 6 は勾配を降る方向に、試番 5, 7 は勾配を登る方向に走行している。試番 4, 6 では、0.3kWh 未滿の力行電力量で 500m 強の試験区間を走破したのに対し、試番 5, 7 では、同区間の走破に 10 倍程度の蓄電エネルギーが必要なことを確認できる (試番 5, 7 は区間途中で試験終了した)。

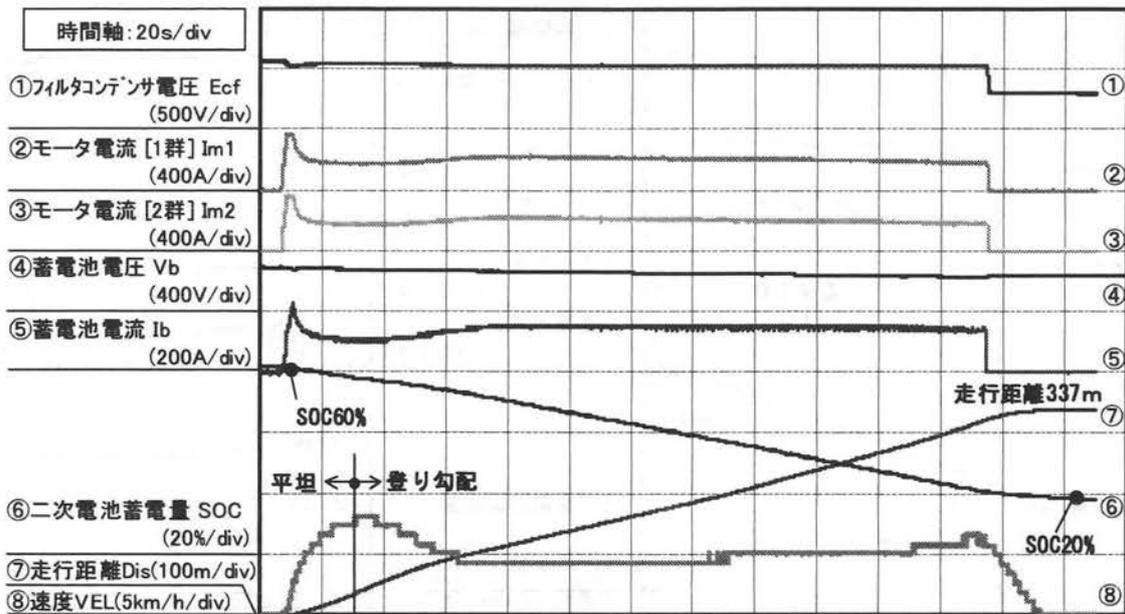


図 6 試験オシロ (構内線走行試験, 試番 5)

図 6 に構内線走行試験の結果オシロ (試番 5) を示す。

試番 5 は、登り勾配方向での走行試験である。力行開始時点は平坦なので、力行 1 ノッチで 8km/h まで加速している。その後、勾配区間に入ると勾配抵抗とのバランス速度まで減速し、約 5km/h で走行を続ける。力行開始時の SOC は 60%、停止時は 20% であり走行距離は 337m だった。

3.2.4 バッテリ走行性能の評価

図 6 に今回の検修線内移動試験、構内線走行試験で、停止から力行を開始してノッチオフした速度と、その速度までに放電した蓄電電力量の関係を力行ノッチ毎に示す。

2 ノッチは 1 ノッチと比べて同じ速度に到達までの放電電力量が若干少ない。これは、加速度が高い 2 ノッチは走行(起動)抵抗の影響を受け難いことが一因と考えられる。

また、図 7 で細線(青)はその速度での運動エネルギー、太線(赤)はさらに速度毎の機器動作損失を加えた加速必要エネルギー(走行抵抗損失分は除く)を参考に示した。構内線は低速度で走行するため、機器損失や走行抵抗の影響を受けやすい。このため、バッテリー構内走行では走行抵抗の大きい極低速での走行時間を抑えることが重要であるとともに、将来的には機器動作損失の低減が課題と考えられる。

4. まとめ

検車場内の無給電区間でも安全かつ簡便に車両を移動できる、リチウムイオン電池を用いたバッテリー走行方式を検討し、構内線を時速 8km/h で一編成長 (90m) 以上移動できることを確認した。

今回の試験により、バッテリー走行の有用性を検討する基礎データを収集できたと考えている。

ご協力いただきました方々に深く感謝いたします。

参 考 文 献

表 4 試験結果 (構内線走行)

試番	試験内容	力行ノッチ	最高速度 [km/h]	走行距離 [m]	放電電力量 [kWh]
4	構内走行 (降り10%勾配)	P2N	20	540	0.28
5	構内走行 (登り10%勾配)	P1N	8	337	2.83
6	構内走行 (降り10%勾配)	P1N	20	513	0.23
7	構内走行 (登り10%勾配)	P2N	8	132	1.06

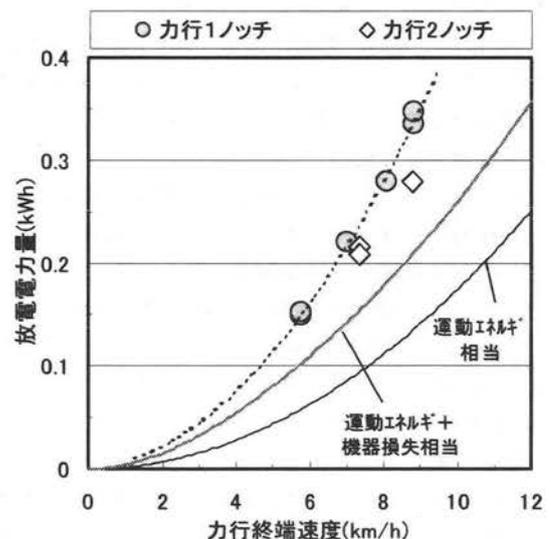


図 7 力行終端速度と放電電力量の関係

- 1) 大石, 嶋田他 4 名: 「連続回生装置による離線時の回生失効防止」, 第 45 回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, (CD-ROM) (2008) .