

3211 ハイブリッド電池駆動 LRV による走行特性と省エネ効果

[材] ○萩原 隆 (福井大) [材] 松尾 博 (福井大)
[材] 山中 重宣 (大研化学工業) [材] 愛清 仁 (大研化学工業)

Energy-saving effect and running performance of LRV by hybrid battery driving system

Takashi OGIHARA, Univ. of Fukui, 3-9-1, Bunkyo, Fukui City

Hiroshi MATSUO, Univ. of Fukui

Sigenobu YAMANAKA, Daiken Chemical Co., Ltd

Hitoshi AIKIYO, Daiken Chemical Co., Ltd

The running test was examined using VVVF inverter type railcar with lithium ion battery and supercapacitor. 45kWh of Mn type lithium ion battery was used. The relation between running time and voltage, current and integrating watt was investigated in detail. The railcar was run when the lithium ion battery module was discharged between 660V and 480V. On one charge, it was also found from the running test that the railcar could run more than 40km. The mileage of railcar improved 22% by charging the regenerative energy with regenerative braking system.

Keywords : battery, railcar, contactwire-less, zero emission, energy saving

1. はじめに

本研究グループは、これまでにリチウムイオン電池を鉄道車両の走行源として活用し、DC 及び VVVF の路面電車、鉄道車両の走行実験を行ってきた。その結果、リチウムイオン電池の使用により、架線車両と同等の走行性能、走行時の電圧変動の改善、走行時の省エネ効果に改善が見られた¹⁾³⁾。また、リチウムイオン電池を現在の VVVF 車両へ適用することで、回生失効の改善にも有効である。

しかしながら、高頻度の回生エネルギーをリチウムイオン電池に充電することは、電池寿命の観点からは好ましくないと考えられる。そこで、回生ブレーキ時のエネルギーを一端、キャパシタへ充電することで、リチウムイオン電池への負担を軽減することができないかとの視点に立ち、新たに、キャパシタとリチウムイオン電池によるハイブリッド駆動での鉄道走行試験を行い、走行性能と省エネ効果について検討した。

2. 実験方法

本実験では、45kWh のマンガン系リチウムイオン電池とキャパシタとのハイブリッド機構を LRV に積載した。マンガン系リチウムイオン電池の L 型シートセル (Fig.1(a)) を作製し、これを 3 直列したものを 6 並列に接続し、アルミニウム製ケースに収納してサブモジュール電池を得 (Fig.1(b)) た。L 型シートセル (D323mm × W130mm × h7.2mm) の電気容量は 16Ah、電圧は 3.8V、重量は 570g である。また、サブモジュール電池 (D323.2mm × W240mm × h323.2mm) の電気容量は 96Ah、電圧は 11.4V、重量は 10kg である。各サブモジュール電池に、過充電・過放電保護回路を取り付け、サブモジュールの電圧管理を行った。これを 40 個直列接続して 45kWh モジュール電池 (700kg) を構成した (Fig.2)。モジュール電池は専用のラックに収納して、福井鉄道 VVVF インバータ型 LRV

車両 (DC600V、重量 25t) 車両の中央に配置した。また、回生時の充電用スーパーキャパシタ (12F, 750V) は車両前方に設置し、リチウムイオン電池とスーパーキャパシタを接続した。

走行実験は、力行ー隋行ー減速ー停止のパターンを繰り返しながら各駅を停車して連続走行を行い、その時の各サブモジュール電池の電圧、電流及び温度の変化はデータロガーを介してパソコンへ 1 秒間隔でデータを取り込んだ。電池の温度はサブモジュールの中央内部へ熱電対を挿入して測定した。

3. 結果及び考察

実験に使用したマンガン系リチウムイオン電池の充放電特性を Fig.2 に示す。これまでの DC 車両による走行実験から、車両の加速に必要な放電特性は最大で 3C であったことから、3C 以下で充放電試験を行った。DOD20% で 3C の充放電を 3000 サイクルまで行った。3000 サイクルまでの容量維持率は 90% であった。

リチウムイオン電池による往時における走行試験結果を Fig.3 に示す。車内の空調は使用せずに実験を行った。VVVF インバータにリチウムイオン電池を適用することで、回生ブレーキ時のエネルギーをリチウムイオン電池

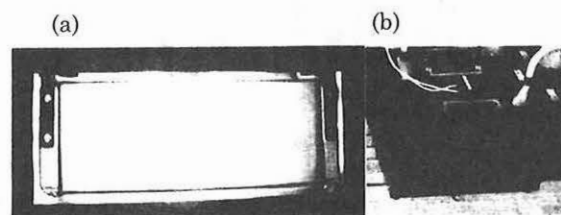


Fig.1 L type lithium ion sheet cell (a) and lithium ion battery submodule (b)

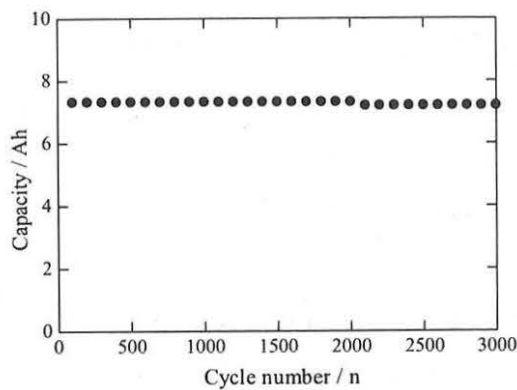


Fig.2 Cycle life of submodule at 3C

へ充電することができる。実験ではリチウムイオン電池による走行を福井鉄道西武生駅ー福井新駅間(20km)の往復走行試験を行った。走行前に 100%充電を行い、走行中に回生エネルギーを充電しながら 60 分間の走行を行った結果、全駅を停車させながら 40km の走行が可能であった。ここで、リチウムイオン電池による走行性能を比較するために、回生ブレーキを動作させずに電池走行を行った時の走行による消費エネルギーの変化を併せて示す。どちらの走行においても、60km/hr までの加速毎に 300A 程度の電流が流れており、加速時は 3C 程度で放電していることがわかった。本実験では、使用した車両の回生ブレーキの仕様から時速 60km/hr から時速 40km/hr まで減速する際に発生する回生エネルギーをリチウムイオン電池へ充電した。その結果、リチウムイオン電池へは 1C(150A)で充電することがわかった。

ここで、電池のみの走行と回生エネルギーの充電による走行の消費電力を比較すると、電池のみの走行では往時の走行で 24.8kWh を消費したのに対し、回生エネルギーの充電による電池走行では 19.5kWh であった。この結果から、回生エネルギーをリチウムイオン電池に充電することで、約 22%の省エネ効果が確認された。このとき、回生エネルギーをリチウムイオン電池へ充電した際の各サブモジュールの電圧のバラツキは 0.2V 以内であり、サブモジュール電池毎の温度の上昇は 5℃であった。次に、スーパーキャパシタを併用した電池システムによる走行

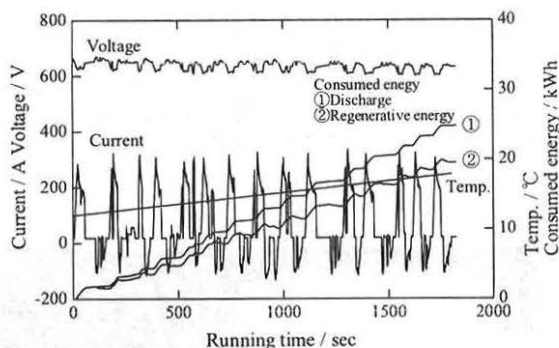


Fig.3 Running characterization of VVVF type railcar powered by lithium ion battery

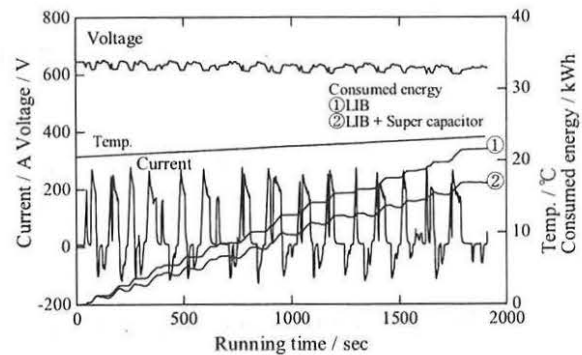


Fig.4 Running characterization of VVVF type railcar powered by lithium ion battery and supercapacitor

試験結果を Fig.4 に示す。本試験では車内の空調もリチウムイオン電池から供給した。走行特性はリチウムイオン電池のみの時と同じであった。回生エネルギーの充電をリチウムイオン電池のみで行った時の消費電力は 21.5kWh であった。一方、スーパーキャパシタを併用した時の消費電力は 16.8kWh であった。このことから、スーパーキャパシタの併用で LRV の省エネ効果がさらに 10.3%高められることがわかった。また、サブモジュール電池毎の温度の上昇は 3.7℃となり、モジュール電池の温度上昇も低いことがわかった。これは、スーパーキャパシタによりリチウムイオン電池への負担が若干軽減されているためではないかと考えられる。今回の走行実験では使用した LRV 車両の回生機構が 40km/hr までであったため、省エネ効果はキャパシタの併用でも約 30%であったが、数 km/hr まで回生エネルギーを充電することができれば、省エネ効果はさらに向上するものと考えられる。

4. まとめ

リチウムイオン電池による鉄道走行試験を行った結果、回生エネルギーを充電しながらリチウムイオン電池で走行させた場合、回生エネルギーを充電しない時に比べて、22%の省エネ効果があった。加速毎にモジュール電池には 300A が流れたが、温度上昇は比較的少なく安全であった。また、スーパーキャパシタを併用することで、リチウムイオン電池のみの走行よりも 10.3%の燃費向上が見られた。

5. 謝辞

本研究はNEDOエネルギー使用合理化技術戦略的開発「2次電池駆動式車両導入による私鉄省エネルギー技術の研究開発」により行われた。また、鉄道走行試験に協力を頂いた福井鉄道の関係各位に深く感謝する。

参考文献

- 1) H.Ozawa, T.Ogihara, I.Mukoyama, K.Myojin, H.Aikiyo, T.Okawa and A.Harada, W.E.V.A.J., 1, pp.19-23, 2007.
- 2) H.Ozawa, T.Ogihara, T.Okawa and H.Ozawa, Electrochemistry, 76, pp.184-187, 2008.
- 3) H.Ozawa and T.Ogihara, IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 3, pp.360-362, 2008.