

S3-1-8. NE Train (ハイブリッド車両) の開発
(第 2 報 : ハイブリッド車両の走行試験結果)

[電] ○ 大村 哲朗 [機] 島宗 亮平 [機] 野元 浩 (JR 東日本)
[電] 豊田 瑛一 [電] 金子 貴志 [電] 嶋田 基巳 (日立製作所)

Development of the "New Energy Train"
Second report, results of test run

Tetsuro Omura, member, Ryohei Shimamune, member, Hiroshi Nomoto, member (East Japan Railway Company)
Eiichi Toyota, member, Takashi Kaneko, member, Motomi Shimada, member (Hitachi LTD.)

East Japan Railway Company has been working to develop railcars that have lower environmental impact. We have developed the world's first prototype of a hybrid electric-diesel railcar, called the "NE Train (New Energy Train)" and we are checking performance of the hybrid system and railcar on test runs. This paper provides information about the train, mainly about the energy management system and the results of test runs.

キーワード : ハイブリッド, リチウムイオン電池, ディーゼルエンジン
Keywords: hybrid, Lithium-ion secondary battery, Diesel engine

1. はじめに

列車運転用のエネルギーは、鉄道会社の企業活動における消費エネルギーの約 7 割を占めている。そのエネルギー消費をいかに減らすかは、グループビジョンで「環境との共生」を掲げる当社としては大きな課題である。

車両の省エネルギー化はこれまでに主に「軽量化」「動力装置の高効率化」そして「ブレーキエネルギーの再利用(回生ブレーキ)」によって進められてきた。しかし、非電化区間を走るディーゼル車については、この回生ブレーキが構成できないため、電車に比べて 30%程度エネルギー効率が劣っていると考えられている。

そこで、ディーゼル車のエネルギー効率向上を目指すため、動力システムの革新により車両の環境負荷低減を目指した NE Train (New Energy Train) (図 1) の開発を進めてきた。

(1)

その第 1 ステップとして、鉄道車両としては世界で初めてのハイブリッドシステムを搭載した試験車を開発した。2003 年 4 月の落成より、日光線・東北線・陸羽東線・釜石線等の線区において、車両の基本性能・ハイブリッドシステム性能・省エネルギー効果等を確認するための試験走行を実施してきた。その結果について報告する。



図 1 NE Train

2. 走行試験

<2.1> 走行試験の概要

NE Train の走行試験の概要を図 2 に示す。試験車両の落成後にハイブリッドシステムの基本動作の確認を 2003 年 5 月から 9 月にかけて宇都宮地区で行い、その結果を反映した各種改良の確認を 11 月から 12 月に宇都宮地区で行った。また、冬季の低温下での性能確認など 2004 年 1 月から 3 月に宮城県および岩手県などの東北地方で行った。

2003年						2004年				
5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
日光線 (宇都宮～日光) 烏山線 (宝積寺～烏山) 東北線 (宇都宮～黒磯)			日光線 (宇都宮～日光) 東北線 (蓮田～宇都宮)			陸羽東線 (小牛田～鳴子温泉) 釜石線 (花巻～釜石) 東北線 (盛岡～北上)				
ハイブリッドシステム 動作確認			発電機改良後の 性能確認 走行安全性確認			低温下での性能確認				

図2 NE Train走行試験概要

<2.2> ハイブリッドシステムの機能確認

駅発車時の動作、加速時の動作、惰行時のエンジンから蓄電池への補充電、ブレーキ時の回生エネルギーの蓄電池への充電など、ハイブリッドシステムの制御システムが当初想定した通りに動作することを確認した。

実際の走行試験のデータの例として宇都宮線 (西那須野～野崎間)のデータを図3に示す。

西那須野駅、野崎駅発車時の「エンジン回転速度」の曲線から、駅停車時においてはエンジンが停止しており、25km/h 以上においてエンジンが始動していることが判る。また、約 80km/h 以上になって初めてエンジンが「2ノッチ (1700rpm)」から「3ノッチ (2100rpm)」に出力アップしていることが判る。その後、エンジンが蓄電池の充電量に応じて「アイドリング」、「2ノッチ」「3ノッチ」と段階的に発電出力を切り替えていることが判る。

また、野崎停車時のブレーキ時において、回生ブレーキにより約 1.5kwh 程度の電力が蓄電池に充電されていること

が「2次電池蓄電量」の曲線から読み取ることが出来ます。なお、回生ブレーキは微量ながら停止直前の 5km/h 程度まで動作していることも判る。このことより蓄電池が回生エネルギーを吸収しきれていることがわかる。

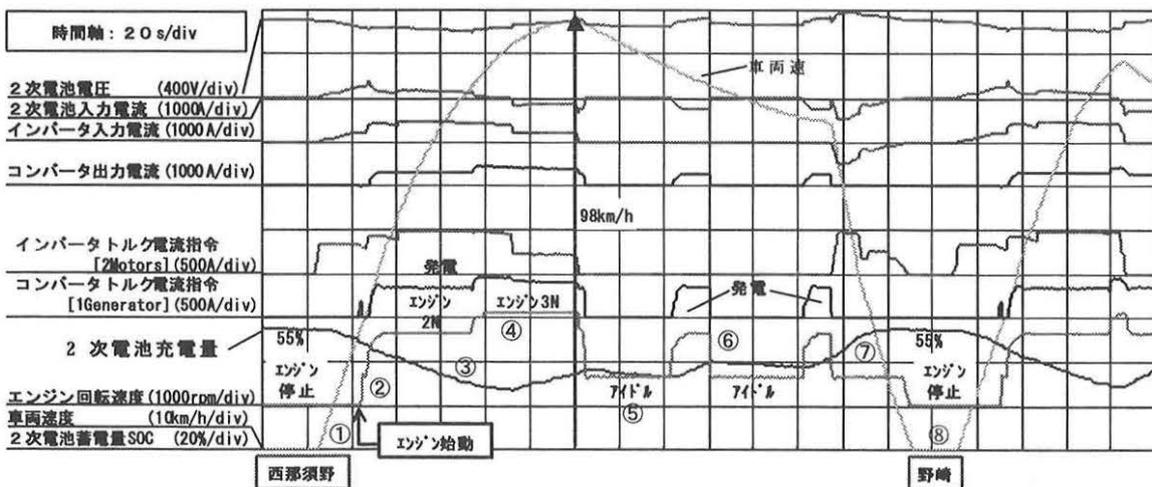
図4は、日光線 (日光～今市)での測定データである。この区間は約 25%の下り勾配が続く場所である。

NE Train は、下り勾配において速度を一定以下に抑える「抑速ブレーキ」機能を有している。

抑速ブレーキの制御は2段階に分けることができ、第1段階は、バッテリーにおいて回生エネルギーの吸収を行う。第2段階として、バッテリーの充電状態が充電限界まで上昇すると、エンジンの排気ブレーキによりブレーキエネルギーを消費する。このチャートを見て判るように、抑速ブレーキを動作してしばらくは、エンジンアイドリング状態で「2次電池蓄電量」が上昇して、その後、蓄電量が一定水準に達するとエンジン回転数が勾配変化に応じて小刻みに変化していることが判る。これがエンジン排気ブレーキを行っていることを示している。このように、まず蓄電池への充電を充電限界まで行うことで、最大限エネルギーの回収を行うようにしている。

このハイブリッドシステムの機能確認の走行試験においては、異常時模擬試験として、エンジン開放走行と蓄電池開放走行を行なった。

エンジン開放走行では、蓄電池のみで約 70km/h まで加速可能 (走行距離 2～3km) であることを確認できた。なおこの場合には、連続放電電流の制限より力行ノッチの制限がかかる。また、蓄電池の充電率が 15%まで低下するとシステム停止となる。



- ① 起動時はエンジンを停止してバッテリーだけで走行
- ② 速度 25km/h でエンジン始動
- ③ 加速に伴いバッテリーの充電量は低下する
- ④ エンジン3ノッチに出力アップ、蓄電池は充電を開始
- ⑤ 惰行になるとともにエンジンはアイドリング
- ⑥ バッテリーの充電量に応じて間欠的にエンジンがノッチアップして充電する
- ⑦ ブレーキ時に回生電力でバッテリーを充電する
- ⑧ 停車とともにエンジンは停止

図3 走行試験チャート例 (西那須野→野崎)

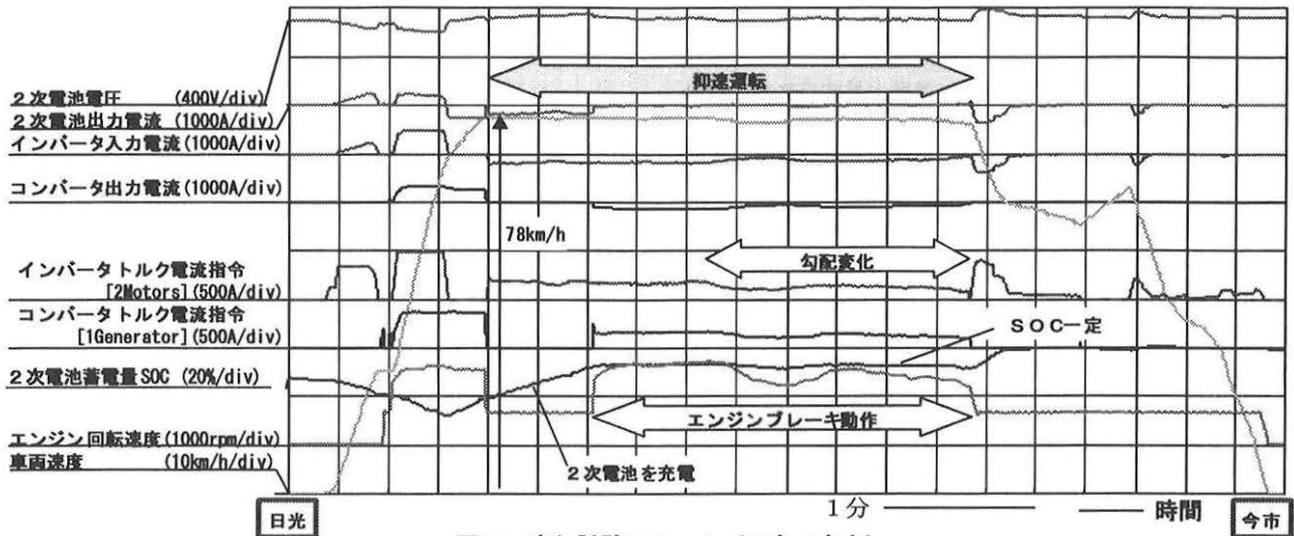


図5 走行試験チャート (日光⇒今市)

蓄電池開放走行では、蓄電池異常が発生した際に自動的に蓄電池を開放しエンジンのみによる走行に切り替わること、また、以降の走行は制限をかけることなく継続できることを確認した。

<2.3> 蓄電池の温度上昇確認

蓄電池の温度が上昇すると、電極の劣化等により寿命が短くなる。また、外気温が上昇すると、充放電電流による温度上昇に外気温の上昇分が加わるため、蓄電池の温度が高くなることが予想される。そこで、蓄電池の温度上昇を測定し、盛夏期の高温下でも蓄電池の温度が60℃まで上昇しないことを確認した(表1)。なお、蓄電池の温度が過度に上昇しないようにするために、蓄電池の温度が57℃以上になると充放電電流を抑えて温度上昇を抑制する制御を行なうようにした。

表1 走行試験時の蓄電池温度変化 (最高値)

9月17日 東北線	箱外温度 平均値	蓄電池温度 最高値	蓄電池温度 上昇値
	31℃	56℃	+25K

(測定期間中の外気温最高温度=35℃)

<2.4> 低温下での性能確認

低温下ではリチウムイオン電池の内部抵抗が増大(-10℃時の内部抵抗は20℃時の約4倍) するため、充放電性能の低下やエンジン起動性能の低下が懸念される。そのため、低温下での性能試験を行なった。

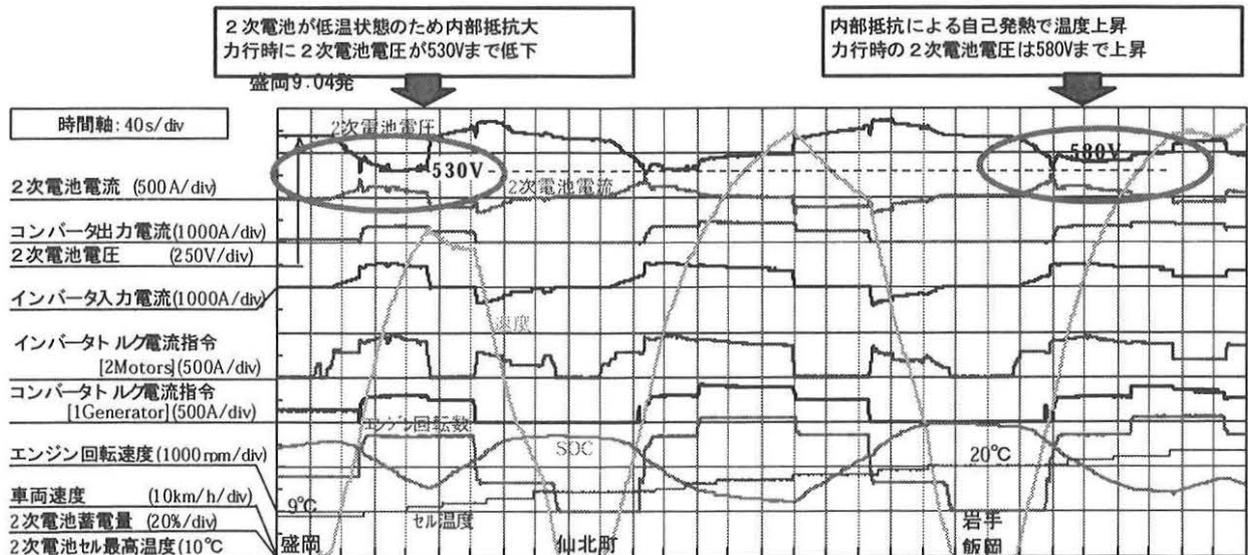


図7 低温下での走行試験データ (2004年3月2日 試9643D 東北本線 盛岡→花巻)

その結果、低温下においては、使用開始時には内部抵抗の増加が認められるものの、システムが動作し始めると、蓄電池の内部抵抗に伴う発熱で速やかに温度上昇するため、低温下でも通常の充放電性能を確保できることを確認した。

それを示すデータとして、東北線（盛岡～花巻間）での走行試験のデータを図7に示す。

「2次電池電圧」の曲線を見ると、盛岡発車時には蓄電池が放電すると電圧が530Vまで低下している。図3の西那須野発車時に比べて大きく電圧が低下している。これは蓄電池が低温状態のために内部抵抗が大きくなり力行電流による電圧低下が大きくなっていることを示す。これに対し、岩手飯岡発車時には「2次電池電圧」は580Vまでしか低下しなくなっている。これより、岩手盛岡では既に蓄電池の温度が上昇して内部抵抗が小さくなっていることがわかる。

また、エンジンの起動についても試験期間中を通じて安定した起動性能を得た。これは、NE Trainではエンジン起動に、発電機をセルモータとして、また主回路用蓄電池をセルモータ起動用の蓄電池として使用するため、通常のエンジン起動用のセルモータおよび蓄電池に比べてはるかに容量が大きく、温度低下の影響が出にくいためである。

以上の結果より、低温下においても蓄電池の充放電性能およびエンジンの起動性能に問題ないことが確認できた。

5. おわりに

NE Trainは車両落成後これまでの走行試験により、力行時、ブレーキ時などでのハイブリッドシステムの動作に問題がないこと、盛夏期にも蓄電池の温度上昇が問題とならないこと、車両走行性能、低温時の蓄電池の充放電性能が悪化しないこと、低温時にも良好なエンジンの起動性能をもつことなどの確認を行った。これらより、鉄道車両としてのハイブリッドシステムの基本性能の確認を行った。今後は、エンジン制御の改良や、蓄電池の改良による長寿命化などを図り、車両としての完成度を高め、環境にやさしい車両「NE Train」の早期実現に取り組んでいく。

文献

- (1) 大澤，寺谷，藤井，豊田，嶋田，金子：「NE トレイン（ハイブリッド車両の開発）」，J-Rail2003