

マイルドハイブリッド気動車の開発

小林 誠* 児玉 佳則 八野 英美 (西日本旅客鉄道)

Development of diesel hybrid railcar

Makoto KOBAYASHI, Yoshinori KODAMA, Hidemi YANO
(West Japan Railway Company)

The diesel railcar used in non-electrified section is powered by diesel engine, and the reduction of the energy consumption is demanded in late years. We developed the diesel hybrid system from the energy transmission effectively point of view, use regenerative energy to axially machine. And we confirmed the effect by a running test..

キーワード: ハイブリッド 気動車 蓄電池 回生ブレーキ

(Keywords: hybrid, diesel railcar, battery, regenerative brake)

1. 開発の目的と開発方式

1.1. 気動車の環境性能の現状

主に非電化区間で使用されている気動車は、VVVF インバータ制御の電車のような回生ブレーキが使用できない等の理由により、VVVF インバータ制御の電車より車両キロ当たりのエネルギー消費量が多くなっている。また化石燃料である軽油を使用する動力システムを有しているため、二酸化炭素排出量は更に多くなっている。そこで気動車の環境対策として、ハイブリッド気動車の開発が行われている⁽¹⁾⁽²⁾。JR 西日本においても気動車のエネルギー消費を削減することを目的としてハイブリッド気動車の開発を行った。

1.2. ハイブリッドシステムの効果向上の考え方

JR 西日本の気動車は、直結多段式液体変速機などにより駆動系（力行側）のエネルギー効率を改善してきた。また空調、照明等の補機側は、電車との標準化を図るため電気を動力源とした方式を採用してきた。

ハイブリッド気動車ではエネルギー源として従来のエンジンの他に新しく蓄電池からの電力を使用することができる。JR 西日本の気動車システムの特徴を生かしながら、エネルギー効率を向上させることを主眼として、回生エネルギーとエンジンのエネルギーの使用方法を考えると次のようになる。

- ・回生エネルギー(蓄電池の電氣的エネルギー)は、補機（電気エネルギー）へ優先的に利用する。
- ・エンジンエネルギー(エンジン出力軸の機械的エネルギー)は、力行（運動エネルギー）へ優先的に利用する。

つまり fig.1 に示すように 2 つのエネルギー源の変換効率を考慮して役割分担を行うことで、車両効率の向上を図ることができると考えた。

このようにエネルギー源の役割分担を行うと、エンジン側では補機負荷が削減され、速度・引張力曲線は補機出力に関わらず最高性能（補機最小の状態）にできるため、力行時間を削減することができる。また停車中には蓄電池から補機に電力供給するため、エンジンのアイドルストップを行うことができる。その結果、エンジン使用時間を削減することで、省エネルギー効果を発揮することができる。⁽³⁾

以上の考え方のように、回生エネルギーを力行側に利用することを極力控え、主にアイドルストップのために利用するハイブリッド方式として、「マイルドハイブリッド」⁽⁴⁾という分類として考えることができる。

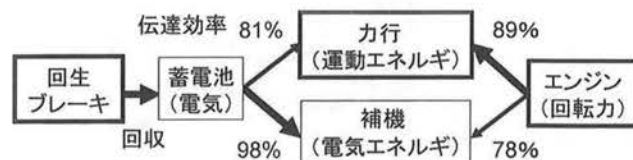


fig. 1 エネルギーの使用法

1.3. システムのハードウェア構成

上記の考え方を実現するために、現状の気動車システムの変更を検討する。

fig.2 に示すように、現状の気動車の発電システムは、変動するエンジン回転数から一定の回転数を取り出す定速回転装置 (CSU) と三相交流を発生する発電機から構成されている。この発電システムを変更し、エンジン直結の発電機兼モータ (以下、モータ) インバータ、蓄電池、SIV により構成する。これによりブレーキ時の回生エネルギーの回収、補機への電力供給、モータによる力行アシストなどのハイブリッドシステム特有の動作を可能とする。

またモータをエンジンに直結しているため、エンジン始動機能を持たせることができ、従来のセルモータ、セルモータ用 24V 蓄電池を省略することもできる。

1.4. システムの特徴

提案したハイブリッドシステムの特徴について以下に示す。

①シンプル・コンパクト

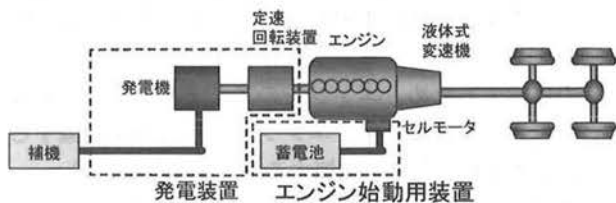
気動車の補機発電機とモータを併用できるため、機器の利用効率が高く、追加機器が少なく良い。また蓄電池から出入りする電力量 (充放電量) が少ないので蓄電池容量が小さくて良い。

②高効率

インバータ発電のため、CSU 発電と比較して発電効率が向上する。また回生エネルギーを補機に優先利用できるためアイドルストップを長時間実施できる。

③高信頼性

蓄電池を開放しても同等の走行性能を確保し、補機発電可能であり従来気動車として走行できる。



【ハイブリッド気動車】
fig. 2 ハードウェア構成

2. 動作モード

2.1. 動作モードの定義

ハイブリッド気動車では、各走行状態と蓄電池の充電状態に応じて、各機器を適切に動作して連携する必要がある。そのため各車両状態を「動作モード」として、このモード名と機器の動作を関連付けした。以下に動作モードとその際の各機器の動作状況を示す。

①停車モード(fig.3): アイドルストップを行い、蓄電池から補機電力を供給する。

②力行モード(fig.4): エンジンを力行に利用し、蓄電池から補機電力を供給する。但し SOC に余剰分がある場合や排出ガスを削減したい場合は、エンジン出力を抑え、モータでアシストすることもできる。

③減速モード(fig.5): 変速機を直結段に投入して、モータで発電して回生ブレーキとする。

④惰行モード(fig.6): エンジンをアイドルとして補機出力分の発電を行う。蓄電池電力に余裕がある場合は蓄電池から補機電力を供給する。

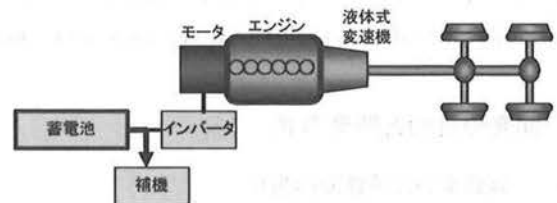


fig. 3 停車モード

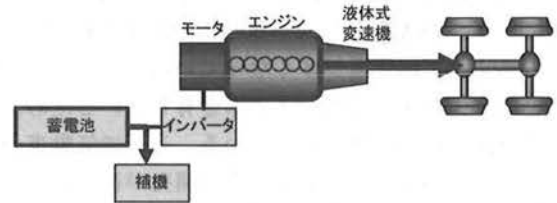


fig. 4 力行モード

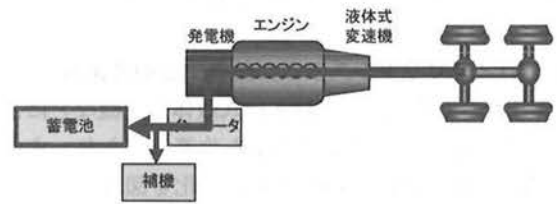


fig. 5 減速モード

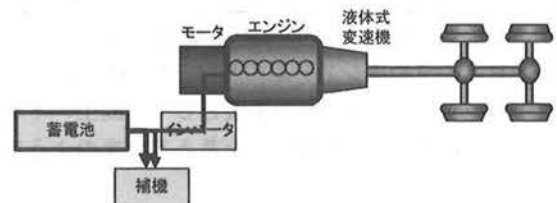


fig. 6 惰行モード

3. 本線走行試験

3.1. 試験の目的

ハイブリッドシステムを車両に搭載して本線走行試験を実施することで車両システムとしての機能確認、省エネ効果の測定などを行った。(fig.7)

3.2. 試験の概要

試験期間：平成 21 年 11 月～12 月

試験区間：山陰線 米子～安来駅間

試験項目：

定置機能試験・・・調整充電、アイドルストップ

構内走行試験・・・力行・ブレーキ性能、モード制御

本線走行試験・・・電空ブレーキ、燃費測定

供試車両：キハ 122

試作機器：誘導電動機 120kW

リチウム電池 600V・30Ah

車両重量：キハ 122 より 2t 増加

本線走行試験の燃費測定における試験条件については、table1.に示すように機器の動作パターンを変えて燃料消費量を測定した。

表中の「通常給電」とは、モータから補機へ給電し蓄電池電流を 0A にするモードである。

また「補機アシスト」とは、前述の改善のポイントである効率の良い補機に電力を利用することを実現するため、蓄電池から補機へ給電しモータを無負荷にするモードである。

3.3. 試験結果

米子～安来駅間を 1 往復した結果を fig.8 に示す。

試番 1 の「従来気動車の想定」では、補機負荷を従来の CSU 発電方式と同じになる様に設定して走行した。ハイブリッド関連機器を搭載したことによる重量増加の影響により 5%程度燃料消費量が増加した。

試番 2 では発電方式をインバータ発電に変更したことによる発電効率の改善効果を確認した。発電効率が向上しエンジンに対する負荷が減少したため、3%程度の省エネ効果が現れた。

試番 3 では蓄電池から補機に電力供給する「補機アシスト」と、アイドルストップによる省エネ効果を確認した。エンジンの補機負荷がなくなったことと、エンジンの稼働時間が削減されたことにより省エネ効果が 24%程度となった。ただし、この試番では補機アシストをするための電力量が回生ブレーキによる電力量だけでは不足していた。いわば蓄電池にある貯金を使用した分、燃料消費が減り、省エネ効果が向上したように見えているといえる。



Fig.7 供試車両と室内の仮設

table1. 燃費測定試験条件

試番	走行条件	ねらい	力行	惰行	減速	停車
事前	現状 キハ 122	現状気動車の 燃費測定	通常給電 (CSU 発電)			
1	従来気動車の想定	重量増加の影響測定	通常給電 (インバータ発電で CSU 相当の負荷)			
2	補機アシストなし	インバータ発電の効果測定	通常給電 (インバータ発電)			
3	全域で補機アシスト	ハイブリッドの効果測定	補機アシスト	回生 B	IS	

回生 B：回生ブレーキ

IS：アイドルストップ

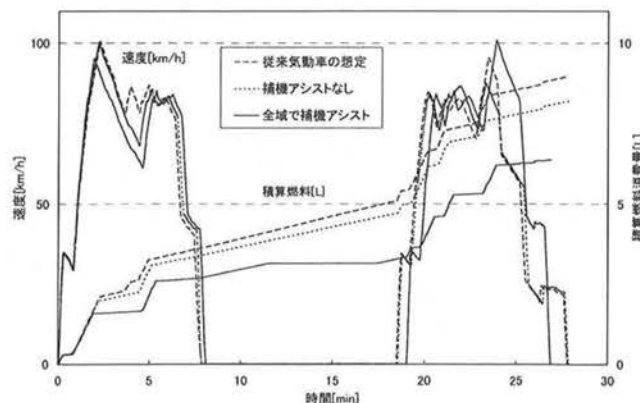


fig.8 本線走行試験結果

4. 走行シミュレーション

4.1. シミュレーションによる効果検証

本線走行試験では一駅間における効果測定であり、また補機アシストをするための電力量が回生ブレーキによる電力量だけでは不足しており、エネルギーの不均衡が生じているなど、本来の省エネ効果を測定できているとは考えにくい。そこで財団法人鉄道総合技術研究所が開発したディーゼルハイブリッドシミュレータ⁽⁵⁾⁽⁶⁾を用いて評価を行った。

始めに今回の本線試験条件におけるシミュレーションを行った。その結果シミュレーション結果と走行試験結果がほぼ同一となり、シミュレータの妥当性を確認することができた。

続いて一般的な走行線区を走行しエネルギーの収支を合わせた場合の省エネ効果を試算するためのシミュレーションを行った。

4.2. シミュレーション条件

走行線区：姫新線 姫路～上月 駅数 14

走行距離：約 50km

走行時間：約 1 時間

搭載機器：誘導電動機 200kW

リチウム電池 600V・30Ah

車両重量：ハイブリッド気動車は現状より 2t 増加

走行前後で蓄電池充電率(SOC)が 1%以内の変化となるように設定して、エネルギーの均衡を図った。

4.3. シミュレーション結果

シミュレーション結果を図.9 に示す。ハイブリッド気動車では力行中に補機電力を蓄電池から供給する「補機アシスト」をしているため、エンジンの補機負荷がなくなり動力性能が向上しているため、駅間での加速が良く、エンジン稼働時間が削減されている。また駅停車時にはアイドルストップを行うことで合わせて燃料消費を削減している。この結果、キハ 122 現状気動車と比較して 12～13%の省エネ効果となった。

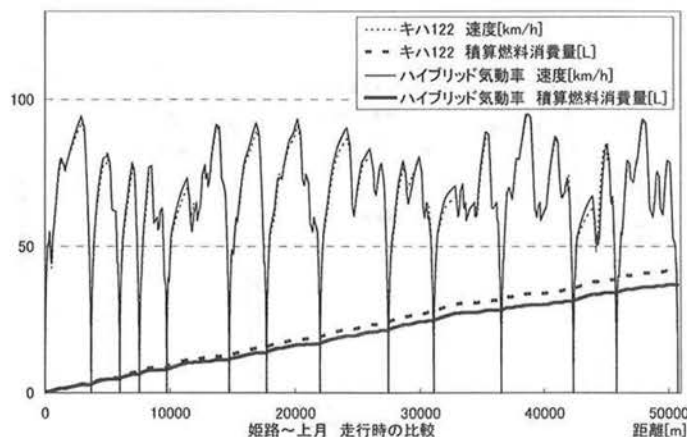


fig. 9 シミュレーション結果

5. まとめ

エンジン直結モータによって構成し、エネルギー伝達効率を向上させる観点に着目して回生電力を主に補機電力として使用する「マイルドハイブリッド」方式によるハイブリッド気動車システムを提案した。

また、提案したシステムによる本線走行試験を実施し、力行・ブレーキにおける協調制御、モード制御を確立した。

さらに本線走行試験の結果からディーゼルハイブリッドシミュレータの妥当性を確認し、このシミュレータを用いた将来効果予測により姫新線において省エネ効果 12%～13%を達成できる見込みを得た。

文 献

- (1)砂澤：「JR 東日本 キハ E200 形ハイブリッド車両」、車両技術 234 号, pp.12-25, (2007)
- (2)H. IHARA, H. KAKINUMA, I. SATO, T. INABA, K. ANADA, M. MORIMOTO, Tetsuya ODA, S. KOBAYASHI, T. ONO and R. KARASAWA : "Development of Motor-Assisted Hybrid Traction System" World Congress on Railway Research (WCRR), R.2.2.3.4 (2008).
- (3)小林・可児・山下・田仲：「気動車の省エネルギー運転に関する一考察」, 第 15 回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-rail2008), pp.587-588 (2008)
- (4)L.Guzzella, A.Sciarretta : "Vehicle Propulsion Systems Introduction to Modeling and Optimization Second Edition" Springer, (2010)
- (5)小川・中村・近藤・山下・大塚・御木：「ディーゼルハイブリッド車両のシステム構成に関するシミュレーション検討」, 電気学会研究会資料, TER-09-67, ITS-09-28
- (6)中村・近藤・小川・山下：「ハイブリッド車両用走行シミュレータの開発」, JREA Vol.53 No.9, pp.11-14, (2010)