

## マイルドハイブリッド気動車の開発

(新型変速機の適用試験)

○ [電] 川村 淳也 小林 誠 児玉 佳則 八野 英美 (西日本旅客鉄道)

## Development of diesel hybrid railcar

(Application test of the new-type transmission)

○Junya Kawamura, Makoto Kobayashi, Yoshinori Kodama, Hidemi Yano

(West Japan Railway Company)

The diesel hybrid system has been developed with the aim of reducing energy consumption, use regenerative energy to auxiliary machine. However, to increase the regenerative braking time was point of a problem. Therefore, we are considering application of new-type transmission. In this paper, we describe the verification result of running test.

キーワード：変速機，回生ブレーキ，ハイブリッド，気動車

Key Words : transmission, regenerative brake, hybrid, diesel railcar

## 1. はじめに

主に非電化区間で使用している気動車は、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使用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各社にて行われている。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、現在マイルドハイブリッド気動車の開発を行っている<sup>1)2)3)</sup>。

これまで各種検証を行い、ハイブリッドシステムの省エネルギー効果を確認してきた。しかし、ブレーキの際に、変速段を切換えるために回生ブレーキを止める必要があり、回生ブレーキ時間が短くなるという課題があった。そのため、回生ブレーキを更に有効に利用するために、新たな方式であるツインクラッチ式変速機の適用を検討している。

そこで本論文では、ツインクラッチ式変速機の概要と検証試験結果について報告する。

## 2. これまでの開発状況と改善点

## 2.1 マイルドハイブリッド気動車の概要

## (1) エネルギー使用方法の考え方

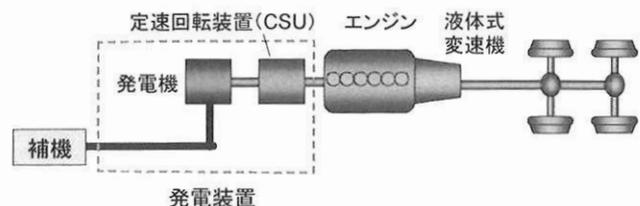
回生エネルギーとエンジンの 2 つのエネルギー源の変換効率

を考慮して、以下のとおり役割分担させることとした。

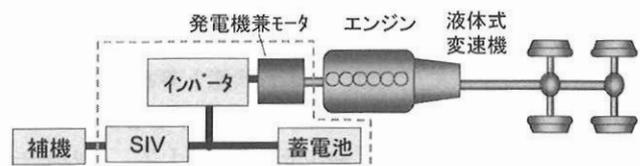
- ・ 回生エネルギーは、補機へ優先的に利用する。
- ・ エンジンエネルギーは、力行へ優先的に利用する。

## (2) システム構成

前項の考え方を実現するために、現行の気動車システムをベースとして、システム構成を検討した。Fig.1 にハード構成、Fig.2 にソフト構成を示す。Fig.2 において、BCU・EMS・SIV・INV は新たに追加する機器、モータおよび変速機は、諸元や機構を見直したものに交換した機器である。

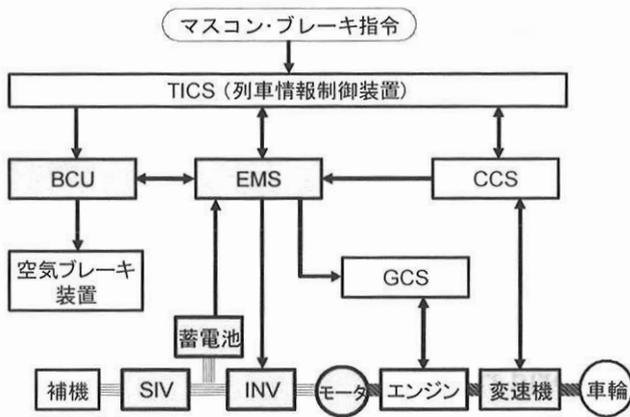


(a) 現行の気動車



(b) ハイブリッド気動車

Fig.1 システム構成 (ハード構成)



BCU:ブレーキ制御器, EMS:エネルギー管理システム, CCS:変速機制御装置  
 GCS:ガバコントロールシステム, SIV:静止形補助電源装置  
 INV:VVVF インバータ装置

Fig.2 システム構成 (ソフト構成)

Table.1 動作モード一覧

| モード   | 内容   |
|-------|--|
| 停車モード | 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。                            |
| 力行モード | 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。                            |
| 減速モード | 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。                        |
| 惰行モード | 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。 |

(3) システムの特徴

本システムの特徴について、以下に示す。

- ① シンプルでコンパクト  
 気動車の補機発電機とモータを併用できるため、機器の利用効率がよく、追加機器が少なくよい。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よい。
- 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、補機発電可能であるため従来気動車として走行できる。

(4) 動作モード

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。Table.1 に動作モードとその際の各機器の動作状況を示す。



Fig.3 開発の流れ (1)2)3)

2.2 開発の流れ

開発は、H19年に開始し、H20年に機器を試作して定置試験を行い、システムの機能を確認した。

そして、H21年にキハ122系を改造してハイブリッドシステムを搭載し、本線走行試験を行った。そして、車両システムとしての機能を確認した。さらに、本線走行試験での燃費測定結果を基に、ディーゼルハイブリッドシミュレーターを用いて、一般的な走行線区を模擬した走行シミュレーションを行った。その結果、現行の新型気動車と比較して12~13%の省エネルギー効果を確認した。

H22年からは、H21年の取組みで明らかとなった改善点を解決するため、新たな変速機の適用を検討している。そこで、この明らかになった改善点を次項にて述べる。

2.3 ハイブリッドシステムの改善点

今回のハイブリッドシステムは、エンジン直結のモータを搭載している。そのため、ブレーキを扱った際に、エンジンが直結段に投入された後でなければ回生ブレーキを使用することができない。

Fig.4にブレーキ試験結果を示す。ブレーキを扱った後、変速機が直結4段に投入され、その後回生ブレーキが作用している。速度が低下するに伴ってエンジンの回転数が低下すると、直結3段に切り替えるため一旦回生ブレーキを止め、直結4段のクラッチを切り離してエンジンを吹き上げて、直結3段のクラッチを投入し、その後回生ブレーキを再度立ち上げている。この動作を繰り返すため、回生ブレーキ時間の割合は45%程度であり、結果として多くの回生エネルギーを回収できていなかった。

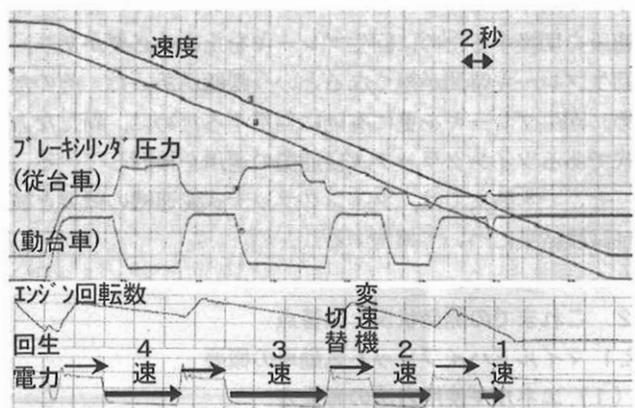


Fig.4 ブレーキ試験結果 (従来変速機)

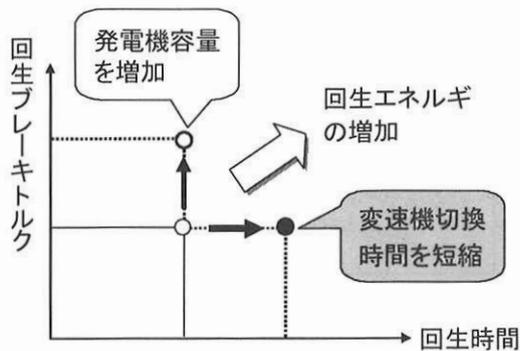


Fig.5 回生エネルギーの増加方策

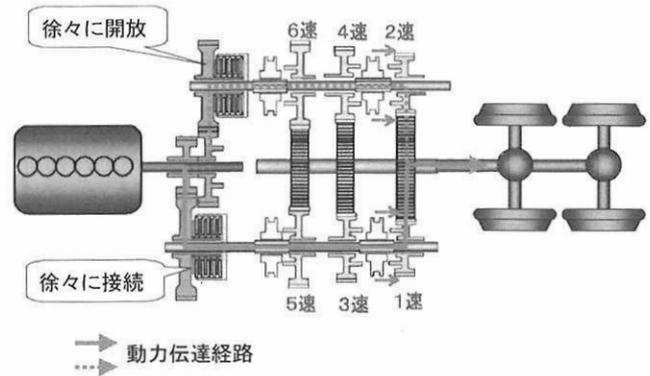


Fig.7 ダウンシフト動作 (2速→1速)

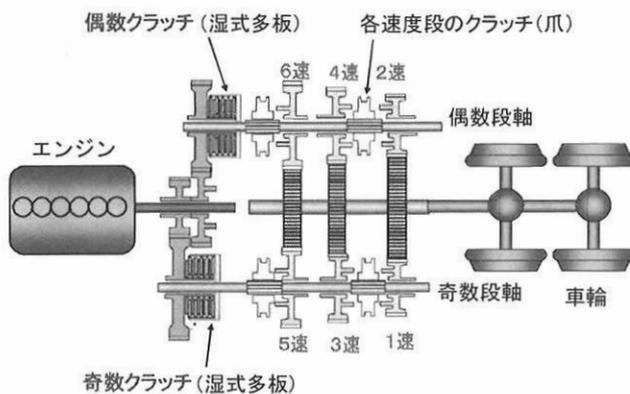


Fig.6 ツインクラッチ式変速機の構造

そこで、Fig.5 に示すように変速機の切換時間を短縮することで回生エネルギーを増加させる方法を検討した。

その結果、近年自動車分野での開発が進んでいるツインクラッチ式変速機の適用を検討することとした。次章からは、このツインクラッチ式変速機について述べる。

### 3. ツインクラッチ式変速機の概要

#### 3.1 変速機の構造

ツインクラッチ式変速機の構造を Fig.6 に示す。エンジンからの出力は奇数クラッチ、偶数クラッチに分岐する。奇数クラッチ側には 1,3,5 速の奇数ギアが接続され、偶数クラッチ側には 2,4,6 速の偶数ギアが接続される。これらは、各段の爪クラッチを投入することで選択される。

変速の際には奇数、偶数クラッチを交互に切り替えることで、瞬時に変速切換を行うことができる。

#### 3.2 変速機の特徴

ツインクラッチ式変速機の特徴を以下に示す。

##### ① 変速切換が早い

2 つのクラッチを交互に使用して切換するため、Fig.7 に示すように、2 速のクラッチをつなぎながら 1 速のクラッチを同時に接続できる。これにより切換時間が 0 秒 (パワーオンシフト) にすることができ、改善点であった回生ブレーキ時間の増加が期待できる。

##### ② 変換伝達効率が高い

従来変速機はトルクコンバータを使用して発進していたが、ツインクラッチ式変速機は奇数クラッチを半クラッチ制御として発進することができる。これにより発進時の効率を高めることができる。

さらに、従来は 4 段変速であったものが 6 段以上の多段変速にすることができる。これによりエンジンの使用回転数域を狭くすることができ、高効率な回転数にて集中して使用することにより、エンジン効率を向上させることができる。

##### ③ その他の効果

油圧制御をしながらクラッチを切り替えるため、切換ショックが少なく、乗り心地の向上が期待できる。また、液体式変速機との取替え互換性もあるため、既存車両の改造によって導入することも容易である。

## 4. 走行試験による効果確認

### 4.1 試験目的

鉄道分野において、ツインクラッチ式変速機の適用検討は初めてであり、その機能や制御性能を確認する必要がある。これらを確認した上で、3.2 項で述べたエンジン動力の変換伝達効率の向上効果や、回生ブレーキ時間の増加効果を確認する。

### 4.2 試験概要

試験概要を Table.2 に示す。本試験では、現行の気動車の変速機のみを変更しており、ハイブリッド関連機器 (蓄電池や SIV, INV) は搭載していない。

### 4.3 試験結果

#### (1) ブレーキ試験結果

ツインクラッチ式変速機を用いたブレーキ試験結果を Fig.8 に示す。これより、速度段の切換が連続してスムーズに行われていることがわかる。その結果、回生ブレーキ時間の割合は、従来変速機の 45% から 60% まで向上しており、ツインクラッチ式変速機の効果を確認した。

Table.2 試験概要

| 項目   | 内容   |
|------|--|
| 試験期間 | 平成 23 年 1 月 10～2 月 10 日  |
| 試験区間 | 構内試験：後藤総合車両所<br>本線試験：伯備線 伯耆大山～上石見<br>山陰線 米子～浜村   |
| 試験車両 | キハ 122 系 (1 両編成)   |
| 試験項目 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・力行性能</li> <li>・切換制御</li> <li>・勾配起動</li> <li>・パワーオンブレーキ</li> <li>・燃費測定</li> </ul> |

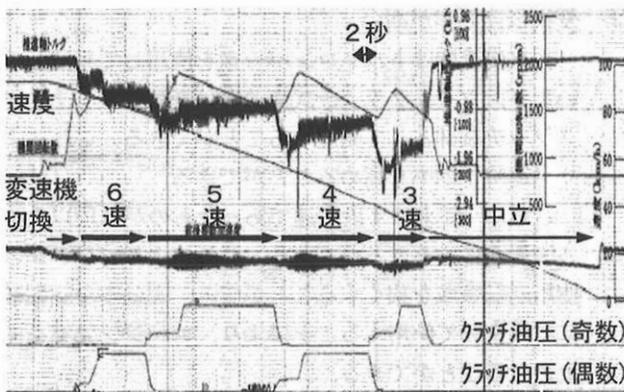


Fig.8 ブレーキ試験結果 (ツインクラッチ式変速機)

(2) 発進時の燃料消費量測定結果

発進時の燃料消費量測定結果を Fig.9 に示す。ツインクラッチ式変速機では、半クラッチ制御によってトルクコンバータと比較し、必要なエンジン出力が低下した。また、直結多段化したことによりエンジン最高回転数が低下し、効率が改善した。これらによって、発進時の燃料消費量は従来変速機より 8%低減した。

(3) シミュレーションによる省エネルギー効果試算

燃料消費量測定結果を用いて、姫新線走行時の省エネルギー効果をディーゼルハイブリッドシミュレータ<sup>4)</sup>によって試算した。その結果を Table.3 に示す。従来の新型気動車 (キハ 122 系) の燃費を基準とした場合、ハイブリッド気動車 (新型変速機) は 17%の省エネルギー効果を達成できる見込みを得た。これは、ハイブリッド気動車 (従来変速機) より、更に 5%向上している。

5. まとめ

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気動車において、従来変速機で課題であった、回生時間の増加について、ツインクラッチ式変速機の適用を検討した。

その結果、変換伝達効率向上による省エネルギー効果を確認した。さらに、変速機切換時間短縮によって回生エネルギーが増加し、従来の新型気動車 (キハ 122 系) の燃費を基

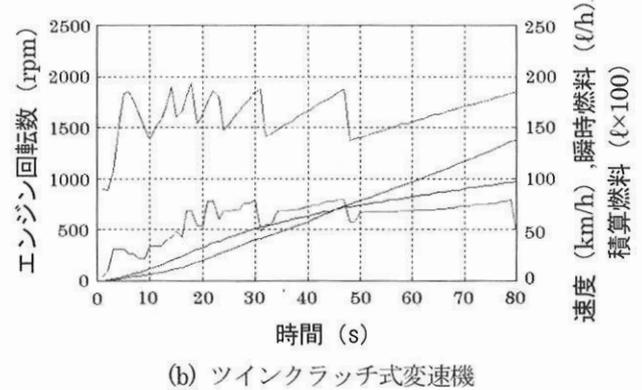
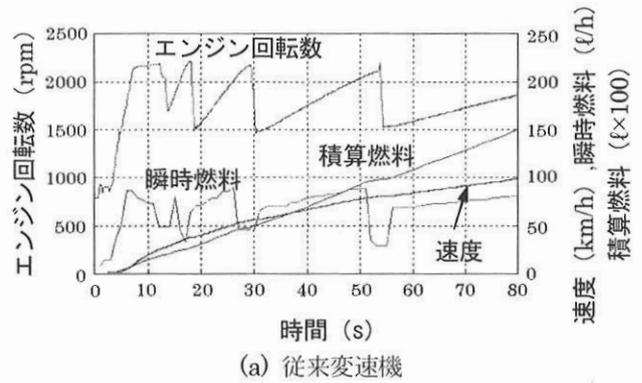


Fig.9 発進加速時の燃料消費量比較

Table.3 省エネルギー効果

| 計算条件 <sup>1)</sup> | 車両                | キハ 122 系      |
|--------------------|-------------------|---------------|
|                    | 線区                | 姫新線<br>姫路～上月間 |
|                    | 最高速度              | 100 km/h      |
| 燃費計算結果             | 従来気動車             | 基準            |
|                    | ハイブリッド気動車 (従来変速機) | △12%          |
|                    | ハイブリッド気動車 (新型変速機) | △17%          |

準とした場合、ハイブリッド気動車 (新型変速機) は 17%の省エネルギー効果を達成できる見込みを得た。

本取組みを進めるにあたりご協力いただいた、株式会社日立ニコトランスミッション殿に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小林誠, 児玉佳則, 八野英美: マイルドハイブリッド気動車の開発, 第 17 回鉄道技術連合シンポジウム論文集, pp. 405-408, 2010.
- 2) 小林誠, 可児周博, 山下高賢, 田中文郎: 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論文集, pp. 587-588, 2008.
- 3) A.TANIMOTO, M.KOBAYASHI, Y.KODAMA and H.YANO: "Development of Diesel hybrid vehicle braking systems", WCRR, A14P, 2011
- 4) 中村英男, 近藤稔, 村上浩一, 小川智行, 熊澤一将, 山下修: ディーゼルハイブリッド車両用運転シミュレータの開発, 鉄道総研報告, Vol.25, No.1, pp. 37-42, 2011.