

ハイブリッド気動車のブレーキシステムの開発

○谷本篤嗣 小林誠 児玉佳則 八野英美 (西日本旅客鉄道)

Development of Diesel hybrid vehicle braking systems

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

In West Japan Railway Company “JR West”, braking systems of diesel vehicle consist of pneumatic brake, engine brake. Regenerative brake and engine brake act because the diesel hybrid vehicle is directly connected of an engine and an induction motor. Therefore, we developed new diesel hybrid vehicle braking systems cooperated with pneumatic brake and regenerative brake and engine brake. Diesel hybrid vehicle braking systems developed by authors allowed smooth braking with small longitudinal vibration acceleration of the body.

キーワード：ハイブリッド，気動車，回生ブレーキ，ブレーキシシステム

Key Words：Hybrid, Diesel vehicle, Regenerative brake, braking system

1. はじめに

鉄道は自動車に比べ地球に優しい乗り物である。しかしながら更にその優位性、経済性を高めるために、JR西日本では鉄道車両の省エネルギー化に取り組んでいる。特に気動車は、回生ブレーキを使用しないため、電車に比べ車両キロ当たりのエネルギー消費量が多く、改善の必要性が大きい。そこで、気動車をベースにリチウムイオン電池を用いたハイブリッド気動車の開発を行った。

開発したハイブリッド気動車は、エンジンにモータを直結したシリーズハイブリッド方式を採用した。この方式は、エンジンとモータを直結しているため、回生ブレーキを使用する場合にエンジンブレーキが同時に作用する。そのため、空気ブレーキと回生ブレーキ、エンジンブレーキを協調させたハイブリッド気動車用の新しいブレーキシシステムを構築した。本稿では、本方式用のハイブリッド気動車の新しいブレーキシシステムの制御性能や各ブレーキの動作状態を確認するために実施した走行試験の結果を報告する。

2. 気動車のブレーキシシステム

2.1 従来気動車のブレーキシシステム

Fig.1 に JR 西日本の気動車のブレーキ装置の構成を示す。ブレーキ装置は、踏面ブレーキ、ディスクブレーキ、エンジンブレーキと排気ブレーキを作用させるエンジンから構成される。全ての車輪には空気ブレーキ装置により制御される踏面ブレーキ装置が装備されている。次に、台車は、動台車と従台車という 2 種類の台車を装備している。動台車は、両軸ともエンジンと繋がっているため、空気ブ

レーキ（踏面ブレーキ）に加えて、エンジンブレーキを使用することを可能としている。従台車は、空気ブレーキ（踏面ブレーキおよびディスクブレーキ）のみ使用できる。

Fig.2 にブレーキ時のブレーキ配分を表示する。Fig.2 の必要ブレーキ力は運転士からのブレーキ力指令、空気ブレーキ力（従台車）は従台車に作用する空気ブレーキ力、空気ブレーキ力（動台車）は動台車に作用する空気ブレーキ力、エンジンブレーキ力と排気ブレーキ力は動台車に作用するブレーキ力を示している。この設定した必要ブレーキ力は、空気ブレーキ力により全て負担できるようにしている。しかし、全ての必要ブレーキ力が空気ブレーキ力で負担していると制輪子等の摩耗が多くなる。そのため、空気ブレーキ力を小さくする必要がある。そこで、エンジンブレーキと排気ブレーキを作用させることで、増加したブレーキ力分を空気ブレーキ力から減少させる。ギアシフト時はエンジンブレーキと排気ブレーキを使用できないため、必要ブレーキ力は全て空気ブレーキ力となる。また、気動車のブレーキシシステムは、運転士がブレーキ設定器により設定した必要ブレーキ力を走行速度に関わらず一定に保つように制御している。

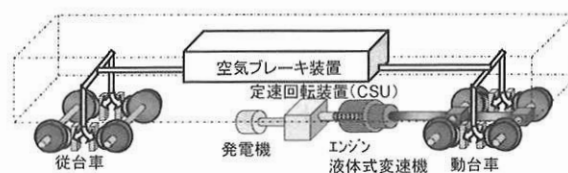


Fig.1 従来気動車のブレーキシシステム

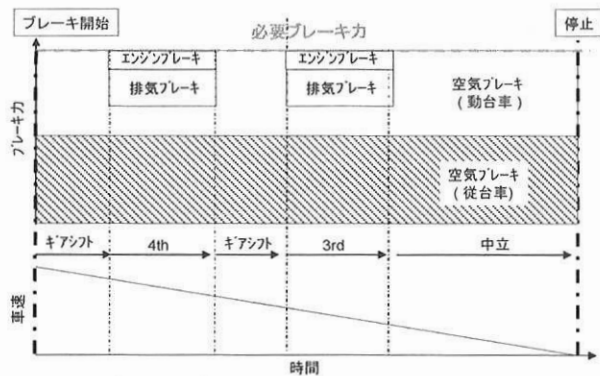


Fig.2 ブレーキ力配分

2.2 ハイブリッド気動車のブレーキシステム

ハイブリッド気動車は、従来の気動車のブレーキシステムを基本として構成した。回生エネルギーを吸収するためにエンジンと直結するモータを装備し、回生ブレーキの使用を可能にした。

3. ハイブリッド気動車システム

3.1 ハードウェア構成

(1) 動力システム

今回開発したハイブリッド気動車の動力装置に関するハードウェア構成を説明する。Fig.3 に従来の気動車システムと今回開発したハイブリッド気動車システムを示す。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している。ハイブリッド気動車システムでは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により構成している。これによりブレーキ時の回生エネルギーの回収、補機への電力供給などのハイブリッド気動車システムの動作が可能になる。

またモータをエンジンに直結しているため、このモータと蓄電池を用いてエンジン始動を行うことができ、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が可能になる。

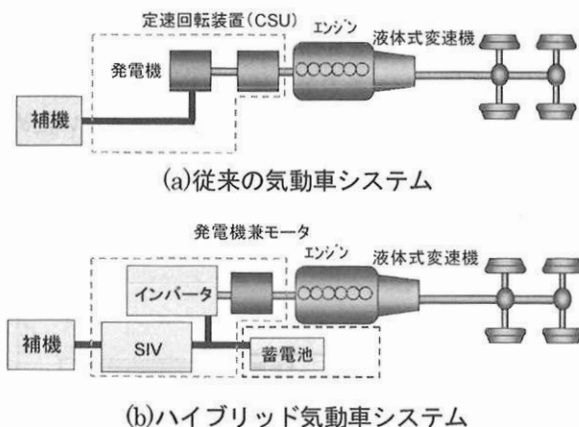


Fig.3 ハードウェア構成 (動力システム)

(2) ブレーキシステム

今回開発したハイブリッド気動車のブレーキシステムに関するハードウェア構成を説明する。Fig.4 に今回開発し

たハイブリッド気動車のブレーキ装置の構成を示す。ブレーキ装置は、踏面ブレーキ、ディスクブレーキ、エンジンブレーキを作用させるエンジン (排気ブレーキは回生ブレーキを使用するため使用しない)、回生ブレーキを作用させるモータから構成される。全ての車輪には空気ブレーキ装置により制御される踏面ブレーキ装置が装備されている (従台車にはディスクブレーキが装備されている)。次に、台車は、動台車と従台車という2種類の台車を装備している。動台車は、両軸ともエンジンと繋がっているため、空気ブレーキに加えて、エンジンブレーキや回生ブレーキを使用することを可能としている。従台車は、空気ブレーキのみ使用できる。開発したハイブリッド気動車は、空気ブレーキと回生ブレーキ、エンジンブレーキを協調させて、車両前後動揺が小さい滑らかなブレーキ動作を可能とする。

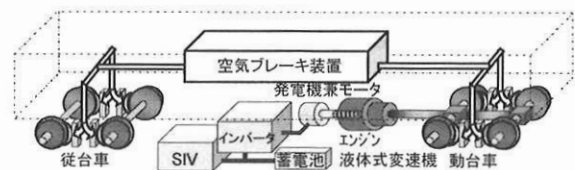


Fig.4 ハードウェア構成 (ブレーキシステム)

3.2 ソフトウェア構成 (ブレーキシステム)

Fig.5 に今回開発したハイブリッド気動車のブレーキシステムのソフトウェア構成を示す。ブレーキの制御を行う制御装置として、空気ブレーキ装置、変速機制御装置 (以下、CCS)、エネルギー管理システム (以下、EMS)、それぞれを統括するブレーキ制御器 (以下、BCU) で構成されている。「空気ブレーキ装置」は、BCU からのブレーキ力指令により多段式中継弁を制御して踏面ブレーキおよびディスクブレーキを動作させる。「CCS」は、BCU からのブレーキ指令により変速機を制御してエンジンブレーキを動作させる。「EMS」は、BCU からのブレーキ力指令によりインバータを制御して回生ブレーキを動作させる。その後、作用した回生ブレーキ力と回転数から演算されるエンジンブレーキ力を BCU に送る。「BCU」は空気ブレーキ装置や CCS、EMS を制御して、必要なブレーキ力を確保する。従来の気動車のように、運転士がブレーキ設定器により設定した必要ブレーキ力を走行速度に関わらず一定に保つように制御する。また、この設定した必要ブレーキ力は、空気ブレーキ力により全て負担できるようにしている。

次に、ハイブリッド気動車のブレーキシステムの空気ブレーキ、回生ブレーキ、エンジンブレーキの協調制御について説明する。Fig.5 にブレーキ時のブレーキ配分を表示する。Fig.5 の回生ブレーキ力は動台車に作用するブレーキ力を示しており、ブレーキスタートから停止するまでの間の空気ブレーキと回生ブレーキとエンジンブレーキのブレーキ力配分を表している。ハイブリッド気動車のブレーキシステムは、空気ブレーキ力を調整することによりブレーキ力を制御している。BCU は、必要ブレーキ力と回生ブレーキ力およびエンジンブレーキ力から、不足したブ

ーキ力を演算する。そして、この不足したブレーキ力を空気ブレーキ力指令として空気ブレーキ装置に送る。しかし、空気ブレーキは応答が遅いため、空気ブレーキの応答を考慮した制御を行うことで、車体前後動揺の小さいブレーキ作用を可能とした。

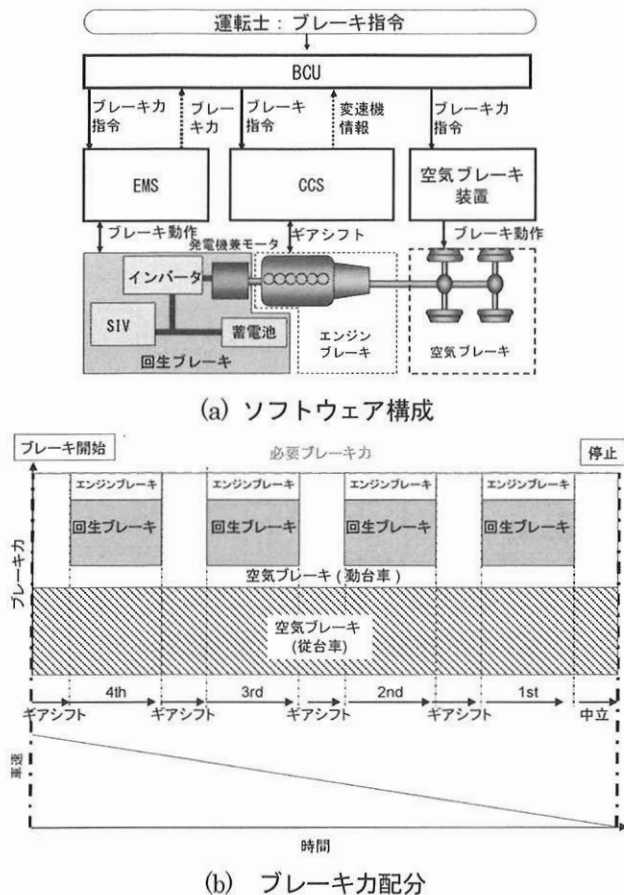


Fig.5 ソフトウェア構成 (ブレーキシステム)

4. ハイブリッド気動車のブレーキシステムフロー

今回開発したハイブリッド気動車のブレーキシステムのシステムフローについて説明する。Fig.6 にはブレーキシステムのシステムフローを示す。各行程でのブレーキ力の割合を、必要ブレーキ力: Brq 、空気ブレーキ力: Ba 、回生ブレーキ力: Bre 、エンジンブレーキ力: Be を使用して表す。

【Phase1】: 運転士がブレーキハンドルを扱うと始めに空気ブレーキが動作する制御を行う。Fig.6 に Phase1 のシステムフロー図を示す。

①BCU は、空気ブレーキ装置にブレーキ力指令を出し空気ブレーキを動作させる。

②BCU は、CCS にブレーキ指令を出し、変速機の直結段を投入する動作を行う。

※この行程でのブレーキ力の配分は式(1)のようになる。

$$Brq = Ba \quad \dots(1)$$

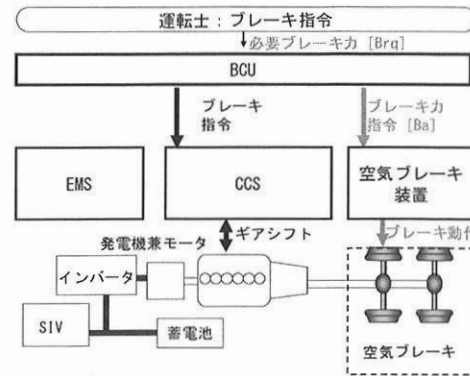


Fig.6 システムフロー【Phase1】

【Phase2】: 直結段が投入されると回生ブレーキを動作させて空気ブレーキ、エンジンブレーキとの協調制御を行う。Fig.7 に Phase2 のシステムフロー図を示す。

①CCS は、変速機の直結段が投入されたことを確認後に BCU に「直結段投入完了」信号を送る。

②BCU は、「直結段投入完了」信号を確認後に EMS にブレーキ力指令を出し回生ブレーキを動作させる。

③EMS は、実際に作用している回生ブレーキのブレーキ力を BCU に送る。

④BCU は、回生ブレーキ、エンジンブレーキが動作することで作用するブレーキ力が大きくなるため、空気ブレーキ装置に超過しているブレーキ力分を空気ブレーキ力から軽減するように指令を出す。

※この行程でのブレーキ力の配分は式(2)のようになる。

$$Brq = Ba + Bre + Be \quad \dots(2)$$

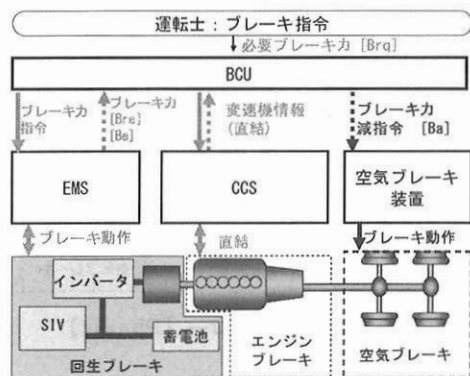


Fig.7 システムフロー【Phase2】

【Phase3】: ブレーキが作用し走行速度が低下してくるとエンジン回転数が低くなり変速機のギアシフトを行うため、回生ブレーキを停止させて空気ブレーキのみが動作する制御を行う。Fig.8 に Phase3 のシステムフロー図を示す。

①CCS は、「ギアシフト」信号を BCU に送る。

②BCU は、「ギアシフト」信号を確認後に EMS に出していたブレーキ力指令を止めて、回生ブレーキを停止させる。

③CCS は、ギアシフトを行う。

④BCU は、回生ブレーキとエンジンブレーキが停止したため、空気ブレーキ装置に不足しているブレーキ力分を空

