

FV-E991系(HYBARI)のハイブリッドシステムの開発



光本 寛*¹



三村 健登*¹



飯田 隆幸*²

Development of hybrid system for FV-E991 series (HYBARI)

Hiroshi MITSUMOTO*¹, Kento MIMURA*¹, and Takayuki IIDA*²

*¹ Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

*² Chief Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

Aiming to realize future energy diversification and reduce carbon dioxide emissions, we have developed a hybrid test vehicle (fuel cell) that uses hydrogen. The fuel cell mode of operation is based on diesel hybrid vehicles. However, the fuel cell output is limited to a maximum of 120 kw/vehicle compared to the diesel hybrid vehicle's engine output of 331 kw/vehicle. In the normal cycle of acceleration (powering), deceleration (regeneration), and stopping, the power generated by the fuel cell is preferentially use during powering in order to compensate for the consumption of SIV and the decrease in SOC. As a result, the load on the main circuit storage battery is minimized during discharge, and the regenerated power is used as the main power supply during charging, and the shortfall is supplemented by power generation from the fuel cell. During regeneration, the SIV consumption is covered by the fuel cell, and all of the regenerated power is collected in the main circuit storage battery to prepare for the next power run.

●**Keywords:** Fuel cell, Power conversion device, Main circuit storage battery

*¹JR東日本研究開発センター 環境技術研究所 研究員
*²JR東日本研究開発センター 環境技術研究所 主幹研究員

1. 緒言

環境技術研究所では、将来のエネルギーの多様化や二酸化炭素排出量の削減をめざし、水素をエネルギー源とする燃料電池と主回路蓄電池のハイブリッドシステム(以下、燃料電池ハイブリッドシステム)を活用した水素ハイブリッド電車FV-E991系を開発した。本編ではこの試験車両に搭載する主回路システムについて、燃料電池装置、電力変換装置、主回路蓄電池などで構成した燃料電池ハイブリッドシステムの制御方法について述べる。

2. 燃料電池ハイブリッドシステムの構成

燃料電池ハイブリッドシステムの仕組みを図1に示す。

水素タンクに充填された水素は、燃料電池装置へ供給され、空気中の酸素との化学反応により発電する。主回路蓄電池は、燃料電池装置からの電力と、ブレーキ時に発生する回生電力により充電される。VVVF (Variable Voltage Variable Frequency control) インバータ装置は、燃料電池装置と主回路蓄電池の両方からの電力で主電動機を駆動させる。また、補助電源装置 (SIV: Static InVerter) もVVVFインバータ装置と同様に、燃料電池装置と主回路蓄電池の両方からの電力により三相440Vを作り出し、空気調和装置や電動空気圧縮機などに供給する。

FV-E991系の力行性能は、鉄道用ディーゼルハイブリッドシステムであるHB-E210系相当として設計した。図2に力行引張力特性(満車:16t/両)を示す。3%の上り勾配における均衡速度は、100km/h以上を確保した。また、25%上り勾配における均衡速度は約65km/hである。

主回路システムは、燃料電池装置、燃料電池高速度遮断器 (FCHB)、主回路蓄電池、VVVFインバータ装置および補助電源装置 (SIV+トランス・フィルタ回路) などから構成される。主回路構成は、冗長性を考慮し、群ごとに独立の1C2M×2群構成

とした。1群分の主回路構成の主回路ツナギを図3に示す。また、SIVは、機器故障が発生した場合にも車両の運行および車内サービスを継続可能とするため、待機二重系方式とした。SIVの群切替は、三相切替器(3phCGS)で行う。稼働群のSIVからインバータトランス(IvTR)を介して各機器へ電力を供給する。なお、VVVFインバータ装置とSIVのフィルタコンデンサ間における共振電流対策として、充電回路を共有化して両装置を直結させる構成とした。燃料電池装置は、燃料電池高速度遮断器を介して主回路に接続される。燃料電池装置回路で過電流が発生した場合、燃料電池システムの保護動作により燃料電池高速度遮断器を遮断して回路を保護する。

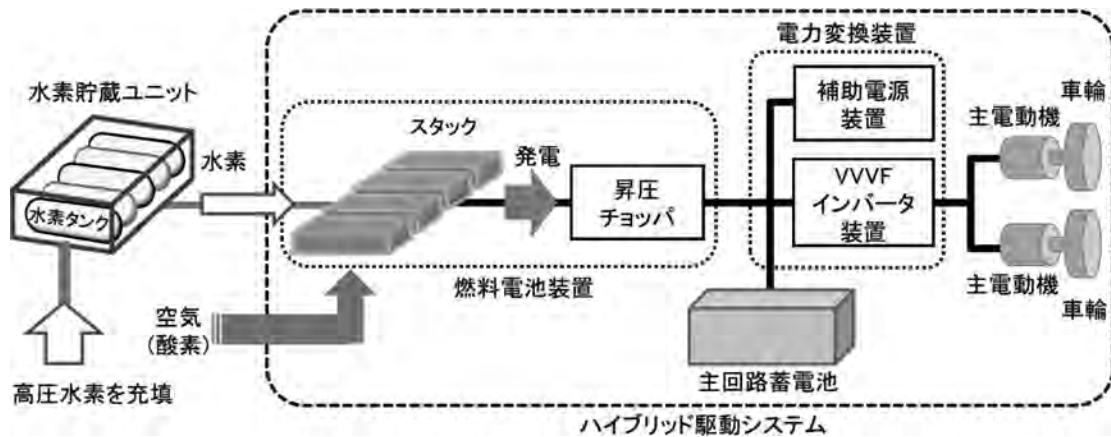


図1 燃料電池ハイブリッドシステムの仕組み

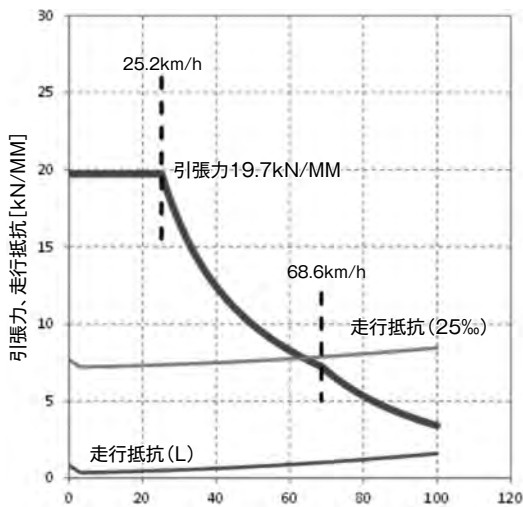


図2 力行引張力特性

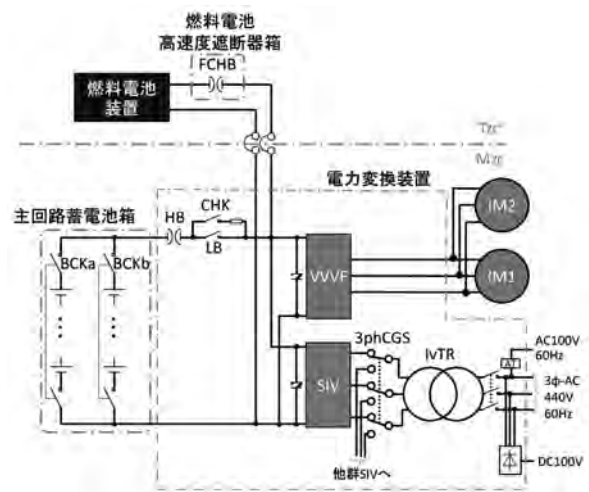


図3 主回路ツナギ(1群分)

3. 燃料電池ハイブリッドシステムの制御

3.1 エネルギー管理制御

ハイブリッド車両は、力行により主回路蓄電池に蓄えた電力を放電し、回生ブレーキにより主回路蓄電池を充電する。つまり、力行時は蓄電エネルギーを運動エネルギーに変換、回生ブレーキ時は運動エネルギーを蓄電エネルギーに変換する。運動エネルギーの不足分および補機分を燃料電池による発電で補う制御を基本としている。

この充放電で増減する蓄電状態(SOC: State Of Charge)を指標として、補機類の電力消費や長時間の力行により減少する蓄電エネルギーを燃料電池による発電で補充するエネルギー管理制御を採用している。

3.2 発電制御の概要

通常の加速(力行)～減速(回生)～停車のサイクルで、SIVの消費分とSOCの減少分を補うため、力行時は燃料電池の発電電力を優先的に使用する。これにより、主回路蓄電池は放電時において責務を最小化し、充電時は回生電力を主要な電力供給

源としつつ、不足分を燃料電池による発電で補足する。また、回生時は、SIV消費分は燃料電池で負担し、回生電力はすべて主回路蓄電池に回収し、次の力行に備える。

3・3 燃料電池ハイブリッドシステム動作の概要

ハイブリッドシステム動作の考え方は、3・2節で述べたように燃料電池の発電電力を優先的に使用することで主回路蓄電池の放電時は責務を最小化し、充電時は回生電力を主要な電力供給源としつつ、不足分を燃料電池による発電で補足する構成することで、燃料電池ハイブリッドシステムを実現した。

・力行時

車両は、燃料電池システム・主回路蓄電池両方からの電力で加速する(図4(a))。

・回生時

インバータの回生電力は、主回路蓄電池に吸収される。燃料電池システムは、SIV消費分を発電する。ただし、コンプレッサ起動時など負荷が急激に変化する場合の変動分は回生電力で負担する。これにより、運動エネルギーから変換された回生電力をできるだけ多く主回路蓄電池へ回収する。また、SIV待機群の出力は、無負荷のため、0kW(無負荷アイドル運転)とする(図4(b))。

・惰行時

燃料電池システムは、SIV消費分を発電する。ただし、コンプレッサ起動時など負荷が急激に変化する場合の変動分は主回路蓄電池で負担する。これにより、主回路蓄電池の充電率を極力維持する(図4(c))。なお、SOCが低下した場合には燃料電池システムは、SIVの消費分に加えて主回路蓄電池を充電するための電力を上乗せして発電する(図4(d))。

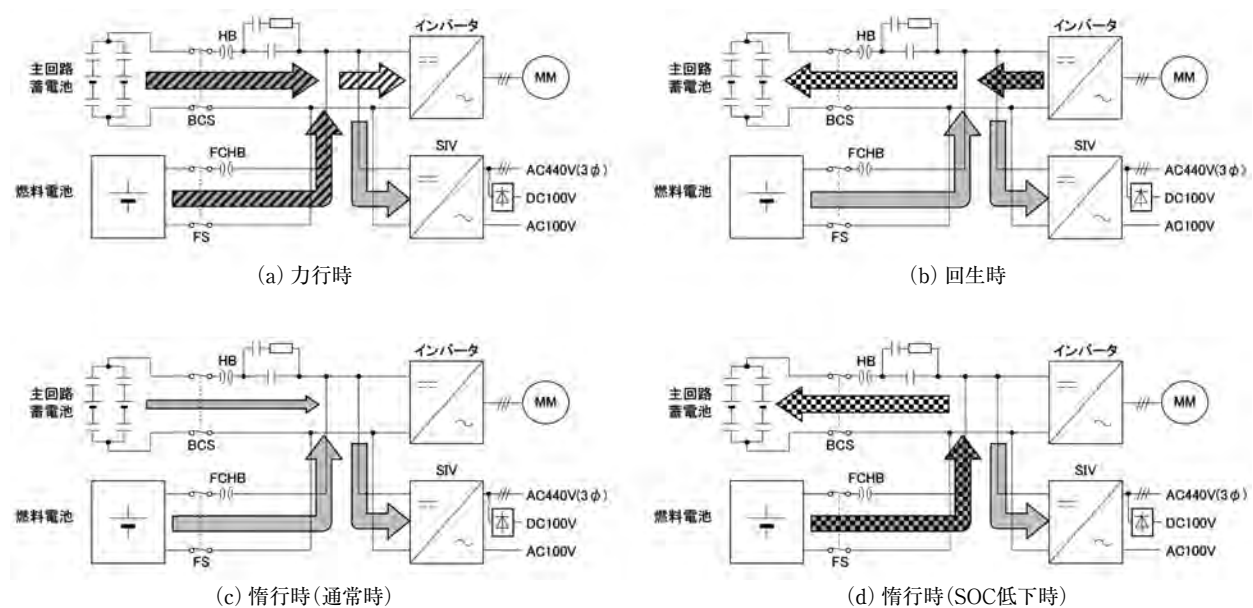


図4 ハイブリッドシステムの動作概要

4. 結言

FV-E991系用主回路システムとして、車両に適した燃料電池装置を含む各機器を製作し、ハイブリッドシステムを構成することができた。今後は、走行試験を重ねて燃料電池ハイブリッドシステム制御としての完成度を高めていく。

参考文献

- 1) 大竹泰弘他、JR東日本FV-E991系向け燃料電池応用主回路システム、第59回鉄道サイバネ・シンポジウムNo.502(2022)