

水素ハイブリッド電車FV-E991系(HYBARI)の開発



岡本 秀一*¹



久保田 康介*²



石川 勝宏*²



飯田 隆幸*³

Development of FV-E991 hybrid (Fuel Cell) railway test vehicles

Shuichi OKAMOTO*¹, Kousuke KUBOTA*², Katsuhiro ISHIKAWA*², and Takayuki IIDA*³

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

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

*³ Chief Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

In a world striving toward a more sustainable society, we have developed the FV-E991 hydrogen-hybrid train series (HYBARI) in response to demand for next-generation vehicles running on cleaner energy, including mass transportation systems such as railways. The FV-E991 Series "HYBARI" is to be the world's first fuel cell train equipped with a hybrid system using two power sources (a CO₂-free hydrogen fuel cell unit and a main-circuit storage battery) using high-pressure (70MPa) hydrogen, with which the train can travel longer distances difficult with a 35MPa fuel cell.

●**Keywords:** Fuel cell, Hydrogen tank unit, Safety device, Hybrid

*¹JR東日本研究開発センター 環境技術研究所 副主幹研究員

*²JR東日本研究開発センター 環境技術研究所 研究員

*³JR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

JR東日本は2022年7月に、「エネルギービジョン2027～つなぐ～」を策定し、2050年度までにJR東日本グループ全体のCO₂排出量を「実質ゼロ」にする「ゼロカーボン・チャレンジ2050」に取り組んでおり、その一環として水素エネルギーの利活用を進めている。

水素をエネルギー源とする燃料電池は、エネルギー変換効率が高く、かつ発電時のCO₂排出がなく環境負荷への影響がたいへん小さいため、燃料電池自動車やバスで実用化されている。この自動車やバスの燃料電池の技術を鉄道車両の技術と融合・応用することにより、水素ハイブリッド電車FV-E991系 (HYBARI) を開発し、実証試験を開始した。本稿では、FV-E991系の車両概要と今後の実証試験の予定について紹介する。

2. 車両構造

FV-E991系の車両諸元を表1に示す。FV-E991系は2両構成とし1号車は制御電動車 (Mzc)、2号車は制御付随車 (Tzc) である。車体長さは19,570mm、車体幅は2,800mmであり、床面高さはE233系やE235系等の営業車両と同等の1,130mmとした。車体は、特に強度を要する台枠の一部を除き、ステンレス材により構成する軽量ステンレス構体である。また、2号車は屋根上に水素貯蔵ユニットを搭載しているため、水素貯蔵ユニット・屋根上配管ユニット搭載部は低屋根構造とした。

表1 車両諸元

編 成			
	凡例 ●：駆動軸 ○：付随軸 ▽：密着連結器 -：半永久連結器		
最高運転速度	100 km/h		
形 式	FV-E991-1 Mzc	FV-E990-1 Tzc'	
車体寸法	車体長さ	19,570 mm	
	車体幅	2,800 mm	
	屋根高さ	3,620 mm	
	床面高さ	1,130 mm	
	台車中心間距離	13,800 mm	
台車	ボルスタレス台車	ボルスタレス台車	
主要機器	電力変換装置	3相電圧形2レベルPWMインバータ 1C2M×2群	-
	燃料電池装置	-	固体高分子形 60kW×4
	主電動機	三相かご形誘導電動機 95kW×4台/両	-
	主回路蓄電池	リチウムイオン電池 120kWh×2	-
	補助電源装置	3相電圧形2レベルPWMインバータ 60kVA 440V	-
	電動空気圧縮機	-	往復形単動 2段圧縮方式 1200L/min
ブレーキ方式	回生ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキ、 直通予備ブレーキ、耐雪ブレーキ		

3. 機器配置

3・1 ハイブリッド駆動システム機器配置

FV-E991系のハイブリッド駆動システムの主要機器を図1に示す。水素燃料の供給から発電までを1両で完結させるシステムとするために、燃料電池システム関連機器と水素関係機器は2号車へ集約し搭載した。また、屋根上に水素関係機器を複数搭載するため、転覆限界風速等を考慮して機器配置を検討した。



図1 ハイブリッド駆動システム機器配置

3・2 床下機器配置

1号車には、VVVFインバータ装置と補助電源装置を一体化した電力変換装置や主回路蓄電池等の主回路関係機器を集約した。電力変換装置を図2に、主回路蓄電池を図3に示す。2号車には燃料電池2台を1箱にまとめた燃料電池装置及び水素充填口を内蔵する床下配管ユニットや、電動空気圧縮機等の補機類を搭載した。燃料電池装置を図4に、床下配管ユニットを図5に示す。また、燃料電池装置と電力変換装置を切り離して開放するための燃料電池装置用の断路器を搭載した。なお、各機器間には離隔を設けて、メンテナンススペースを確保している。



図2 電力変換装置 (1号車)



図3 主回路蓄電池 (1号車)



図4 燃料電池装置 (2号車)



図5 床下配管ユニット (2号車)

3・3 乗務員室機器配置

燃料電池装置を搭載する車両特有のスイッチ類としては、通常取り扱うシステム起動スイッチ、システム停止スイッチのほか、異常時に取り扱うシステム非常停止スイッチ、メンテナンスや試験で取り扱う燃料電池開放スイッチを新たに設置した。また、主回路蓄電池の強制充電スイッチも乗務員室内に配置している。

ATSP車上装置を乗務員室背面に配置した。

3・4 屋根上機器配置

屋根上機器配置については、1号車、2号車ともに列車無線アンテナ、空気調和装置を搭載した。2号車の屋根上には、水素タンク5本が1ユニットとなった水素貯蔵ユニットを4台、並びに高圧関連の水素機器等を収納した屋根上配管ユニットを設置した。水素貯蔵ユニットを図6に、屋根上配管ユニットを図7に示す。水素貯蔵ユニットおよび屋根上配管ユニットは、水素の漏洩があった場合や水素システムに異常があった場合、水素貯蔵ユニットおよび屋根上配管ユニットから水素を放出する機能を有している。



図6 水素貯蔵ユニット (2号車)



図7 屋根上配管ユニット (2号車)

4. 客室構造

FV-E991系の客室は、1号車および2号車で共通の見付とし、座席配置はロングシートを採用した。また、戸閉装置は単気筒複動式で、半自動機能付きである。客室の後位寄りには、車いすスペースを設け、車いすに着座した状態で使用可能な高さに非常通報装置（通話形）を設置するなど営業列車と同等の設備を有している。客室後部に機器室を搭載し、ブレーキ制御装置や供給空気タンク等を搭載した。

5. 水素システム

水素システムは、地上に設置する水素充填設備から充填される圧縮水素ガスを最高充填圧力70MPa以下の高圧で水素容器内に貯蔵した後、燃料電池装置の運転に適した圧力まで減圧し、燃料電池装置に供給するシステムである。高圧配管システムを含む部分は、経済産業省所轄の高圧ガス保安法に適用した構成としている。水素システム内の各種センサ類の故障や異常時はインターロック機能を有している。水素充填口は車両側面の両側から充填可能な構造とした。また、水素システムは水素充填時に車両が無加圧の状態でも電源を供給して、水素システムを起動するために外部電源から接続できる構造とした。外部電源装置を図8に示す。



図8 水素システム用外部電源装置

5・1 高圧配管系統

床下に設けられた2箇所充填口から水素容器までのラインおよび水素容器から減圧弁までのラインで構成される。

5・2 低圧配管系統

減圧弁により燃料電池装置の稼働に適した圧力に減圧された後、燃料電池装置に供給されるまでのラインで構成される。最大圧力が1MPa未満である。

5・3 放出管系統

高圧配管系統、低圧配管系統に設けられた安全弁や手動弁により配管内の水素を放出する場合、安全を考慮し、放出口から放出する。

水素システムを管理する水素システム制御装置は、電力変換装置等と連携して水素システム全体の状態管理を行うとともに、水素タンクバルブの開閉制御や保護動作の機能を有する。また、水素システム制御装置によって取得された情報はタブレット装置で表示することが可能である。水素システムで取得した情報の表示例を図9に示す。また、高圧ガスの機器は高圧ガス保安法に準拠したシステムであるため、一般高圧ガス保安規則等に基づく法定検査等を実施する。



図9 水素充填用タブレット装置画面

6. モニタ装置

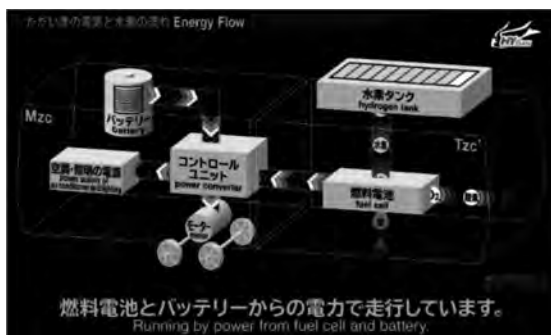
FV-E991系のモニタ装置については水素を燃料とする燃料電池を搭載する車両特有の機能として、水素圧力を常時表示するとともに、水素システム制御装置および燃料電池装置の状態を表示する。モニタ画面の水素圧力表示を図10に示す。蓄電池の充電量や水素・電気の供給状態については、エネルギーフロー画面を開くことで総括的に表示され、走行中・停車中の任意のタイミングで乗務員が確認できる機能を有している。また、万が一水素漏洩が発生した場合には2段階の検知機能を設け、モニタ装置に警報表示、および警報ブザーを鳴動する機能を有している。さらに、水素システムについては各種機器の温度や水素圧力などを確認する車上試験機能、燃料電池装置については燃料電池の動作を確認する車上試験機能を設けている。



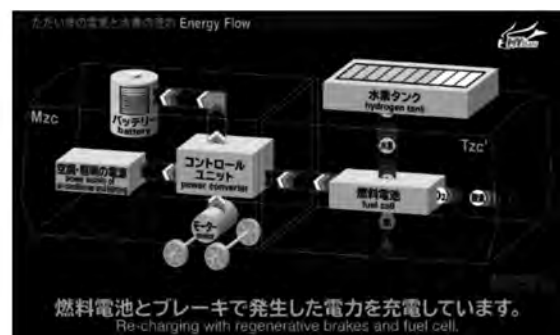
図10 水素圧力表示

7. 車内情報表示器

水素タンクから燃料電池装置への水素の流れや主回路蓄電池の充放電の状況、および各機器の使用状態を表示する目的で、車内情報表示器を1両に1台設置した。本画面には、力行・惰行・ブレーキ中(回生中)・停車中・停車中(充電中)のそれぞれの状態に応じ、各装置間における水素と電力の向きを矢印で示すほか、主回路蓄電池の充電量、水素タンクの水素残存量などをアニメーションにて表示できるようにした。これらの情報は、電力変換装置からモニタ装置を経由して車内情報表示器に入力され、リアルタイムで表示にする。車内表示器のエネルギーフロー画面の表示例を図11に示す。



(a) 走行時



(b) 回生ブレーキ動作時

図11 車内情報表示器のエネルギーフロー

8. 水素充填

70MPaの水素充填は移動式水素ステーションを使用してFV-E991系に水素を充填する。2022年11月の水素充填試験にて、鉄道車両へ初めて70MPaの水素を充填した。70MPaの水素充填時の構成を図12に示す。カードル内の19.6Mpaの水素は移動式水素ステーションを使用して、80MPaまで昇圧させてから圧力差でFV-E991系へ充填を行う。水素充填試験の状況を図13に示す。



図12 70MPa水素充填時の構成



図13 70MPa水素充填試験

9. 結言

現在、FV-E991系は南武線、南武線尻手支線、鶴見線において実証試験を実施している。実証試験では、水素ハイブリッド電車の燃費を計測するための本線における走行性能試験および燃料電池制御試験、水素ハイブリッド電車に必要な水素ステーションを検討するために車両基地等における水素充填試験など水素をエネルギー源とする水素ハイブリッド電車としての様々な技術と安全性の検証を積み重ねていく。

参考文献

- 1) 村山健、岡本秀一、飯田隆幸、水素ハイブリッド電車FV-E991系(HYBARI)の概要、JREA(日本鉄道技術協会)、Vol.65.No.9(2022)、P27-30(46357-46360)