

水素ハイブリッド電車FV-E991系(HYBARI)の保守・検査



中野 彰^{*1}



八重樫 徹郎^{*1}



久保田 康介^{*1}



水野 司^{*2}

Inspection and maintenance of hydrogen hybrid train FV-E991 series (HYBARI)

Akira NAKANO^{*1}, Tetsuro YAEGASHI^{*1}, Kosuke KUBOTA^{*1}, and Tsukasa MIZUNO^{*2}

^{*1} Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory of Research and Development Center of JR East Group

^{*2} Chief Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory of Research and Development Center of JR East Group

Abstract

The utilization of hydrogen energy is one of the ways to diversify energy sources and reduce carbon emissions in the future. The development of the hydrogen hybrid train FV-E991 series (HYBARI) is aimed at demonstrating the utilization of hydrogen energy in railway vehicles and various experiments have been carried out. This vehicle is equipped with the system that supplies hydrogen gas filled in a high-pressure tank at 70 MPa to fuel cells by reducing the pressure to less than 1 MPa. Thus, this vehicle must be inspected in accordance with the High Pressure Gas Safety Act which regulates the handling of various types of high-pressured gas in Japan. Furthermore, to ensure the safe use of hydrogen gas, a variety of hydrogen-related equipment (i.e., gas detector, safety valve, and pressure gauge, etc.) is installed on this vehicle. Hence, the maintenance methods for these devices should also be considered. This paper provides the overview of the inspections based on the applicable law responsible for handling high-pressure hydrogen gas and the study for maintenance method for hydrogen related equipment on FV-E991 series vehicle.

●**Keywords:** Maintenance and inspection, Maintenance cycles, Hydrogen-related equipment, High pressure gas

^{*}JR東日本研究開発センター エネルギー・環境ユニット 研究員

^{*}JR東日本研究開発センター エネルギー・環境ユニット 主幹研究員

1. 緒言

将来へ向けたエネルギーの多様化への対応や、二酸化炭素排出量の削減を実現する方法の一つとして、水素エネルギーの利活用があげられる。JR東日本では、鉄道車両における水素エネルギーの利活用を実証するため、水素ハイブリッド電車FV-E991系(HYBARI)を開発し、各種検証を実施している。本車両は、70 MPaの高圧容器に貯蔵された水素ガスを1 MPa未満に減圧して燃料電池に供給するシステムを搭載している。そのため、高圧ガスの各種取扱い等について規制している高圧ガス保安法の適用を受け、同法により定められる各種検査を実施する必要がある。さらに、従来の鉄道車両にはない、水素ガスを安全に取扱うための水素関連機器(水素検知器や水素用の安全弁、圧力計等)を搭載するため、これら機器に対するメンテナンスに関する知見を得る必要がある。本稿ではFV-E991系の保守・検査の概要として、高圧水素ガスを扱う鉄道車両特有の検査内容、および水素関連機器のメンテナンスに関する検証内容について述べる。

2. FV-E991系(HYBARI)の検査体系について

FV-E991系は、他の鉄道車両と異なり、水素ガスを用いる特別な車両である。そのため、従来の鉄道事業法における鉄道に関する技術上の基準を定める省令を元とした社内規程である実施基準に則った検査とは別に、高圧ガス保安法に基づく検査を実施する必要がある。高圧ガス保安法に基づく検査として、日常点検、定期自主検査、容器再検査、附属品再検査がある。一方で、実施基準に則った検査では、他の鉄道車両と同様に、仕業検査、機能保全(月検査、年検査)を実施する必要があるが、今回は割愛する。上述のいずれの検査も、FV-E991系の配置箇所である鎌倉車両センター中原支所で実施している。また、今後の水素関連機器のメンテナンス周期を確立するにあたり、水素関連機器の機能・性能の確認を行っている。

3. 高圧ガス保安法に基づく検査

3・1 高圧ガス保安法とFV-E991系の関係

高圧ガス保安法では、高圧ガスとは「常用の温度において圧力（ゲージ圧力をいう。以下同じ。）が1 MPa以上となる圧縮ガスであって現にその圧力が1 MPa以上であるもの」と定義される。FV-E991系で扱われる水素ガスは、水素容器の最高充填圧力が70 MPaであることから示されるとおり、圧力が1 MPa以上に相当するため高圧ガスに該当する。さらに水素ガスは、「高圧ガスの消費に際して災害の発生を防止するために特別の注意を要するガス」と定義され、FV-E991系が貯蔵する高圧水素は高圧ガス保安法施行令で定める数量以上であるため「特定高圧ガス（圧縮水素）」に該当する。また、高圧ガス保安法においては、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱い、および消費並びに容器の製造および取扱いを規制対象としている。FV-E991系の場合、70 MPaの高圧容器で貯蔵された水素ガスを燃料電池装置に供給するシステムを有している。そのため、FV-E991系は、高圧ガス保安法に基づく高圧水素の貯蔵・消費を行う設備であるため、表1、3・2節、3・3節、および3・4節に示す各種検査を実施する必要がある。

表1 主な対象機器における高圧ガス保安法、一般高圧ガス保安規則、容器保安則に則った各種検査内容

主な対象機器	日常点検	定期自主検査	容器再検査・附属品再検査
水素容器	—	—	外観検査（塗装剥がれ、腐食、損傷の有無の確認） 漏気検査（水素圧力を一定以上に保持しての圧力降下・ガス漏れの確認）
水素容器主止弁	状態検査（作動および表示状態の確認）		
	外観検査（発錆、腐食、損傷の有無、取付状態の確認）		
	気密試験（ガス漏れの無いことを確認）		
水素配管等	外観検査（発錆、腐食、損傷の有無、取付状態の確認）		—
	漏気検査（ガス漏れの無いことを確認）	気密試験（水素圧力を一定以上に保持しての圧力降下・ガス漏れの確認）	
水素検知器	状態検査（作動および表示状態の確認）		—
	—	外観検査（発錆、腐食、損傷の有無、取付状態の確認）	
	—	検知・警報検査（警報状態の確認）	
温度センサ	状態検査（作動および表示状態の確認）		—
	—	外観検査（発錆、腐食、損傷の有無、取付状態の確認）	
	—	比較検査（基準計器との比較による確認）	
圧力センサ・圧力計	状態検査（作動および表示状態の確認）		—
	漏気検査（ガス漏れの無いことを確認）	気密試験（水素圧力を一定以上に保持しての圧力降下・ガス漏れの確認）	
	—	比較検査（基準計器との比較による確認）	
	—	外観検査（発錆、腐食、損傷の有無、取付状態の確認）	
低圧電磁弁	状態検査（作動および表示状態の確認）		—
	—	外観検査（発錆、腐食、損傷の有無、取付状態の確認）	
	—	気密試験（水素圧力を一定以上に保持しての圧力降下・ガス漏れの確認）	

3・2 日常点検

日常点検とは、一般高圧ガス保安規則第55条第2項第3号に基づき、特定高圧ガス設備の使用開始時および使用終了時に異常の有無を点検することであり、特定高圧ガス設備の使用時は1日に1回以上実施する必要がある。FV-E991系の場合は、特定高圧ガス設備の使用時とは燃料電池システムを起動する時に相当する。水素容器主止弁、低圧電磁弁、圧力センサ、温度センサ、水素検知器、水素システム制御装置等の機器に対しては、状態検査として、作動および表示状態の確認を行う。これら状態検査は、各機器の動作情報をリアルタイムで取得可能な専用タブレット端末を用いても行われる。屋根上配管ユニットおよび水素貯蔵ユニット、床下配管ユニット内の水素配管や各種弁類に対しては、目視での外観検査、および携帯用ガス検知器を使った漏気検査、各種コック類の定位確認、圧力計の目視確認を行う。上述の各種機器は図1に示した箇所に搭載されている。2022年2月のFV-E991系落成後から3年間にわたり、燃料電池システムを起動する都度日常点検を行ってきており、高圧水素関連機器の安全性を確認できている。

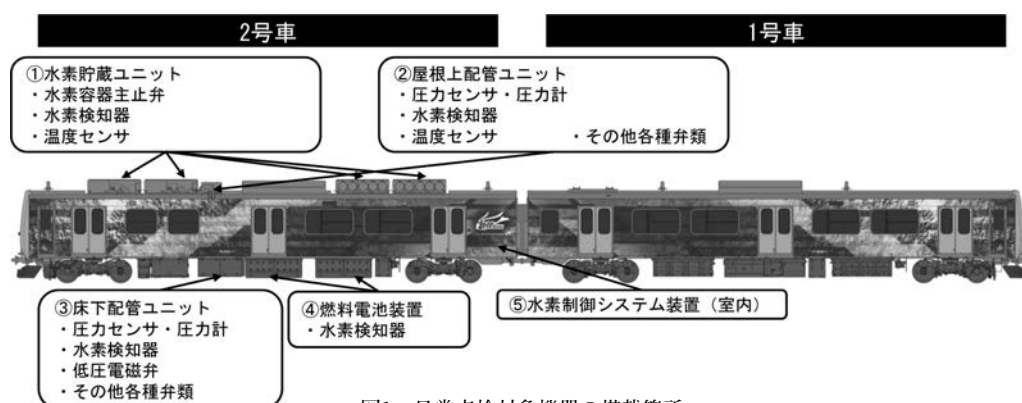


図1 日常点検対象機器の搭載箇所



図2 日常点検の実施（水素貯蔵ユニット・水素配管等に対するガス検知器を用いた漏気検査）

3・3 定期自主検査

定期自主検査とは、高圧ガス保安法第35条の2に基づき、1年に1回以上実施する、保安のために行う自主検査である。定期自主検査では、日常点検の項目の内容を実施することに加えて、水素配管等の気密試験（水素圧力を一定以上に保持し、圧力降下が無いことを確認する）、各種弁類および水素検知器の動作試験等を実施する。FV-E991系に対しても定期自主検査を実施し、各種機器が健全な状態であることが確認できた。



図3 定期自主検査の実施（屋根上配管ユニットに対する外観検査）

3・4 容器再検査・附属品再検査

FV-E991系は、屋根上の水素貯蔵ユニットに20本の水素容器を搭載しているため、高圧ガス保安法第49条に基づき、容器再検査を実施する必要がある。期間については、容器保安規則第24条第1項第4号により、3年を超えない範囲と定められている。また容器再検査の実施にあたっては、容器保安規則第30条により容器再検査実施箇所が容器検査所として登録を受ける必要がある。附属品再検査については、水素容器の附属品である水素容器主止弁が該当し、検査周期は容器再検査と同様である。JR東日本では、鎌倉車両センター中原支所を容器検査所として登録し、FV-E991系に搭載された容器および附属品に対して本検査を実施した結果、合格した。



図4 容器再検査の実施（水素貯蔵ユニット内の水素容器および附属品に対する外観検査）

4. 水素関連機器の検証

水素ハイブリッド電車を営業線に投入するためには、各水素関連機器について適切なタイミングでメンテナンスを実施し、健全な状態を保つ必要があるため、最適なメンテナンス周期を定める必要がある。2022年度および2023年度の2回にわたり水素関連機器の検証を行った。

4・1 検証内容

2022年度の水素関連機器の検証対象としては、高圧安全弁、低圧安全弁を選定した。選定した理由として、新保全体系の電車では機能保全（年検査）にて安全弁の機能確認をしていることから、FV-E991系でも同様に落成から1年で検証をすることとした。2023年度の水素関連機器の検証対象としては、2022年度に行った高圧安全弁、低圧安全弁に加え、水素検知器、圧力計、圧力センサ、温度センサを追加した合計6種類を水素関連機器の検証対象とした。高圧安全弁、低圧安全弁、圧力計、圧力センサおよび温度センサは、車両から取り外し各部品メーカーの工場へ持ち込み検証を行った。水素検知器は車両に取り付けられた状態で検証を行った。

4・2 検証結果

(1) 高圧安全弁・低圧安全弁

安全弁の性能劣化の判断としては、出荷検査における吹始め圧力、吹止り圧力および弁座気密性の検査結果と比較した。高圧安全弁、低圧安全弁共に、工場出荷時に比べ2022年度の検証で吹始めおよび吹止り圧力の変化がみられたが、出荷基準と比較して許容範囲内であった。2023年度の検証では、2022年度の検証結果と比較して高圧安全弁、低圧安全弁共に、吹始め圧力、弁座気密性について変化は見られず、吹止り圧力については出荷基準と比較して許容範囲内であったため、継続使用することとした。

(2) 水素検知器

水素検知器に関しては、警報設定値(1 vol%^{*1}=25 %LEL^{*2})の1.6倍(1.6 vol%=40 %LEL)の校正ガスを用いて検査したところ、31～37 %LELの間で検出された。水素検知器の応答速度は現状5秒（基準30秒以内）で良好であったことから、基準検出濃度からの変化の傾向を把握するために、校正して継続使用することとした。

※1: vol%とはガスの濃度を体積の100分の1で表した単位。

※2: %LELとは可燃性ガスの爆発下限値濃度を100として可燃性ガスの濃度を100分の1で表した単位。水素の爆発下限界濃度は4 vol%である為、1 vol%=25 %LELとなる。

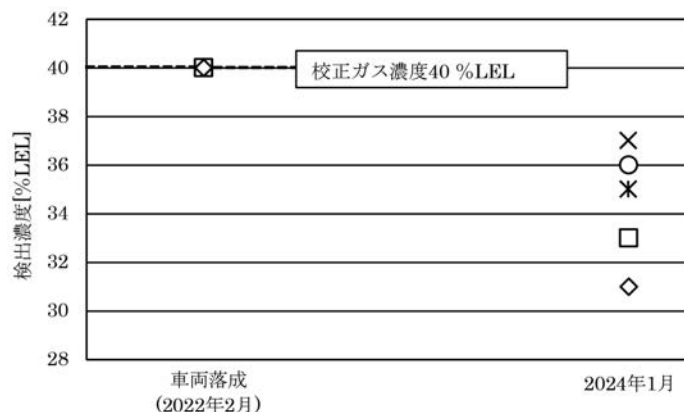


図5 水素検知器検証結果

(3) 圧力計

圧力計はスケールの異なるすべてがJISの判定基準を満たす結果となった。

(4) 圧力センサ

高圧用圧力センサ、低圧用圧力センサ共に誤差が拡大傾向にあることが分かった。水素システムの制御への影響や車両の取扱い、運用への影響が生じる可能性は無いと判断し、メンテナンス周期検証の為、継続使用し検出圧力の精度の変化を追跡調査することとした。

(5) 温度センサ

温度センサについて、誤差が拡大傾向にあることが分かった。圧力センサの場合と同様の理由から、継続使用し変化の傾向を追跡調査することとした。

4・3 検証結果まとめ

2022年度は安全弁、2023年度は安全弁、水素検知器、圧力計、圧力センサおよび温度センサの検証を実施した。安全弁および圧力計については判定基準内であり、水素検知器については校正を行った。分解、取替えを行わず2年以上継続使用できることが分かったため、引き続き性能の変化の傾向を確認していく。圧力センサおよび温度センサについては、誤差が拡大していることが分かった。水素システム制御への影響や車両の取扱い、運用への影響が生じる可能性は無いことから継続して使用し、継続調査とした。

すべての機器で分解、取替えを伴うような結果にはならなかったが、一部の機器で誤差が拡大していることが分かった。2024年度においても同様の検証を引き続き行い、性能の変化の傾向を確認していく。

5. 結言

高圧水素ガスを扱う鉄道車両であるFV-E991系に対し、高圧ガス保安法に基づく検査を行い、対象機器が安全な状態であることが確認できた。さらに、水素ガスを安全に取扱うための水素関連機器の検証を行い、これら機器のメンテナンスに関する知見を得ることができた。今後は、水素ハイブリッド電車の営業線投入に向けて、安全性を担保しつつ、より効率的な保守・検査の仕組みを目指していくと共に、走行試験を重ねて各機器のメンテナンス周期を確立していく。

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)