

燃料電池鉄道車両実用化に向けた安全性検証



村山 健*¹



飯田 隆幸*²



藺田 秀樹*³

A Safety verification of hydrogen fuel cell train for practical use

Ken MURAYAMA*¹, Takayuki IIDA*² and Hideki SONODA*³

*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

*³ Director, Koriyama General Rolling Stock Center of Sendai Branch (previously at Environmental Engineering Research Laboratory)

Abstract

In order to put into practical use of fuel cell trains, in addition to examining the applicability of hydrogen container for automobiles to trains, it is necessary to design a large-capacity hydrogen storage system that can be installed in trains as a fuel cell trains design. It is important to reflect. In this paper, utilizing a hydrogen container for automobiles to construct a hydrogen storage system for trains, we verified safe methods to be mounted on trains by combining many hydrogen containers and evaluated safety.

●**Keywords:** Hydrogen-powered train, Hydrogen tanks, Safety verification

1. 緒言

当社では、JR東日本グループ経営ビジョン「変革2027」を策定し、環境面において鉄道を質的に変革するスマートレインの実現に向けて、将来のエネルギー源の多様化を見据えた水素エネルギーによる燃料電池車両の開発に取り組んでいる。燃料電池は、ディーゼルエンジンと比較してエネルギー効率が高く、かつ走行時のCO₂やNO_x等の排出ガスが発生しないため、燃料電池車両が実現できれば、気動車に対して大幅な省エネと環境負荷低減が可能となる。

水素を活用した燃料電池鉄道車両は、一定の航続距離を確保するために大容量の水素容器システムを車上で構成する必要がある。当社においては、2005年～2008年の間、燃料電池試験車両を開発し、走行試験等による評価を実施した。しかしながら、実用化に向けては燃料電池や周辺機器が高コストであったこと、および水素搭載量が少ないことが課題として残った。

そこで、本研究では、上記の課題を解決するために、自動車用水素容器の鉄道車両への適用性を検討し、鉄道車両に搭載可能な大容量の水素貯蔵システムを開発することを目的とした。本論文では、自動車用水素容器を活用し、鉄道車両用水素貯蔵システムを構築するにあたり、水素容器を多数組み合わせる鉄道車両に搭載する安全な方法を検証するとともに、メンテナンスの容易性等についての評価を行った。

2. 鉄道車両に効率的に水素を搭載する方法の検討と水素貯蔵ユニットの設計

2005年に開発した燃料電池試験車両は、水素容器を車両の床下設置としたが、既存の床下搭載機器の制約もあり、多数の容器を配置することは難しかった。そこで、今回開発する試験車両は、比較的搭載機器の制約の少ない屋根上に水素容器を配置することにした。鉄道車両の屋根上に水素容器を効率的に搭載する方法として、枕木方向に容器5本を並列配置した水素貯蔵ユニットを1車両に4ユニット搭載することとした。また、各ユニットは、ユニット下部を側ハリ、横ハリによる強固なフレーム構成とし、そのフレームに対して容器1本あたり、固定バンド2本を使用して固定することで、車両走行中に想定される振動・衝撃等により水素容器や配管類等の破損、水素漏洩等に至ることを防止できるようにした。水素容器の固定には、容器胴部を絶縁・滑り止めゴム付金属ブラケットでフレームに固定するサドルマウント方式を採用した。なお、水素貯蔵ユニットは、容器、容器固定バンド、配管等は図のように構成され、以下について考慮するとともに、有限要素法（FEM）による振動解析を実施して設計した。

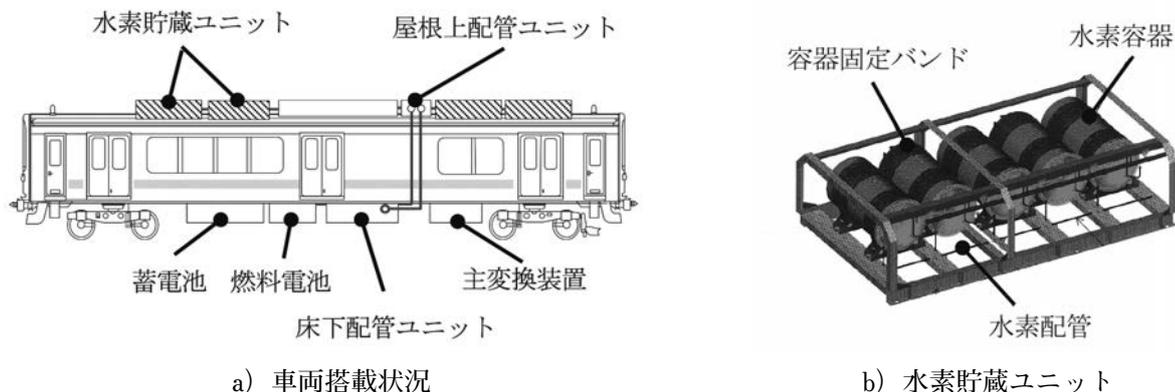


図1 燃料電池車両の主要機器配置

(1) 車体振動

使用する水素配管材料は、鉄道車両の空気配管として使用される炭素鋼管と比較して強度が高いものを選定した。また、水素配管の車体取付に関しては、通常の空気配管と同等とすることにした。1MPa以上の圧力に耐用できる高圧配管に使用する継手は、コーン・スレッド継手と比較して、振動による漏洩のリスクが低いメタルガスケット継手を使用した。

(2) 車体変位

車体変位への対応としては、水素貯蔵ユニットを4ユニット構成として、1ユニットの全長を2m程度とすることで、空調装置等の通常の屋上機器と同程度の大きさとし、主に車体の長手方向（レール方向）の曲げに対しても追従可能とした。

(3) メンテナンス

メンテナンス等の際に着脱が必要な箇所、および現車での接続作業が必要な箇所が生じる高圧配管については、着脱容易化のため、メタルガスケットを使用した。また、低圧配管については、ユニオン継手等を使用した。なお、メンテナンス等において着脱が必要のない箇所には、高圧配管については溶接継手、低圧配管についてはネジ込み継手を使用することにした。

3. 水素貯蔵ユニットの試作

3.1 水素貯蔵ユニットの試作

上記設計仕様をもとにして、実機評価のために試作した水素貯蔵ユニットの外観と主要仕様を図2、表1に示す。水素貯蔵ユニットは、ユニットフレーム、容器配管、容器、容器附属品から構成されている。なお、配管については仮設とし、バルブと結合部の評価、メンテナンス性等の評価に留めた。水素貯蔵ユニットを構成する容器には、70MPa用国際圧縮水素燃料電池自動車用容器TypeIV、容器附属品には、70MPa用国際圧縮水素燃料電池自動車用容器附属品を使用した（表2）。なお、容器固定方法としては、容器固定バンドを用いて各容器の胴部を2箇所固定したサドルマウント方式で行い、容器固定バンドの台座を容器フレームにボルトで緊縮した。

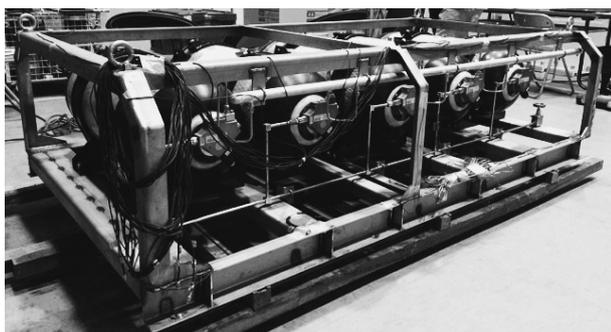


図2 試作した水素貯蔵ユニット

表1 水素貯蔵ユニットの主要仕様

外形寸法	2000×900×400 mm
フレーム材質	SUS304
高圧配管 材質	SUS316
高圧配管 呼び径（肉厚）	呼び径 3/8 2.0 mm
ユニット総重量	約 400kg

表2 水素容器及び容器附属品の基本緒元

	容器		容器附属品
使用圧力	70.0MPa	使用圧力	70.0MPa
最高充填圧力	87.5MPa	設計圧力範囲	1.4MPa～87.5MPa
外径	350 mm	概略寸法	φ 180 mm×35 mm
全長	900 mm	本体部材	A6061
重量	36kg	重量	1.6kg

4. 水素貯蔵ユニットの安全性評価

4・1 水素貯蔵ユニットの振動試験

試作した水素貯蔵ユニットが、鉄道車両への搭載に適しているかの安全性評価を行うために、鉄道車両に搭載される機器、部品類に対して実施する振動および衝撃試験（JIS E4031：鉄道車両用品-振動及び衝撃試験方法）を実施して評価した。

(1) 試験条件

水素貯蔵ユニットは、車体の屋上に搭載されるため、JIS E4031「区分 等級A」を適用した。

前後、上下、左右の3方向について、振動耐久試験（5時間）及び衝撃試験（+方向及び-方向各3回の計6回）をセットで実施した。上記の1セットの試験の実施前及び実施後に、短時間の加振を実施して伝達関数の測定を実施した。伝達関数の測定とは、周波数を徐々に変化させながら、代表点の測定点で加振変位に対応する応答変位を測定し、その倍率を算出するものである。実施前と実施後の伝達関数の測定結果を比較し、顕著な変化が見られないことを確認することにした。

(2) 試験方法

(1)の試験条件に基づき、振動耐久試験及び衝撃試験を実施した。試験装置の概要を表3、供試体の振動試験装置設置状況を図3に示す。

表3 振動試験装置主要項目

型式	TS-9600-40L (6自由度大型振動台)
振動台寸法	3000×3000 mm
最大積載荷重	2500kg
周波数範囲	2～150Hz



図3 供試体の設置状況

振動加速度の計測は、供試体の各部に加速度ピックアップを取り付けて行った。なお、ピックアップの取付位置は、規定通りの加振確認ための制御用に加え、水素容器、フレーム上部、横はり、配管に挙動計測用として取付けた。

(3) 試験結果

左右・前後・上下方向における加振前と加振後に測定した伝達関数の比較結果より、加振前と加振後で顕著な差が見られないことから、加振中に亀裂発生等の問題は発生していないと推定した。

(4) 加振後の機能評価

振動耐久試験及び衝撃試験後の評価方法を表4に示し、その評価結果を表5に示す。

表4 振動耐久試験及び衝撃試験後の評価方法

確認項目	方法	
外観検査	目視により変形・亀裂等の発生、締結品の脱落・緩み等の有無を確認	
締結品の緩み	固定バンドと容器	試験終了後にデジタルトルクレンチで残留締付トルクが変わらないことを確認
	固定バンドとフレーム	残留締付トルク及び合マーク確認
	配管とフレーム	締付ナット部の合マークを確認
配管気密試験	He ガスで配管内を加圧し、10分保持後、継手に漏洩検査液を塗布し、漏洩検査液の発泡により外部リークの有無を確認	
非破壊検査	フレーム	FEM解析上、高い応力が発生すると想定される部位（約30箇所）の溶接部に染色浸透試験を実施
	固定バンド	全溶接部に染色浸透探傷検査を実施
	配管	全溶接部に染色浸透探傷試験及び放射線透過検査を実施

表5 振動耐久試験及び衝撃試験後の評価結果

確認項目	判定基準	合否
外観検査	・異常が無いこと	合格
締結品の緩み	・残留締付トルクに変化がないこと ・合マークずれが無いこと	合格
配管気密試験	・圧力低下が無いこと ・発泡リークが無いこと	合格
非破壊検査	・割れ及び欠陥指示模様が無いこと	合格

5. 結言

鉄道車両への搭載を想定した水素貯蔵ユニットのモックアップを試作し、鉄道の使用環境を考慮した振動・衝撃試験を実施して安全性を検証した。試験後に水素貯蔵ユニットの外観検査、配管の気密試験、フレーム・固定バンド・配管の非破壊検査を実施し、健全性が確保されていることを確認した。今後、今回得られた知見を燃料電池鉄道車両の設計に活かしていく。