

水素吸蔵合金タンクの安全性評価試験^{*1}

—火災試験法および落下試験法の調査—

Safety Evaluation of Metal Hydride Hydrogen Storage Tanks

—Investigation of Fire Test and Drop Test—

高橋 昌志^{*2}

Masashi TAKAHASHI

三石 洋之^{*2}

Hiroyuki MITSUISHI

渡辺 正五^{*2}

Shogo WATANABE

Abstract

In this study, we performed safety evaluation tests on high-capacity hydrogen-storage tanks, referring to the safety evaluation test method for transportable MH tanks, ISO/TS16111, established in ISO TC197/WG10. In the fire test, a cylindrical tank, which may be used in any position, was tested in the vertical and horizontal positions. In addition, a rectangular tank was tested in the horizontal position. The pressure-relief device was activated in both types of tanks, confirming the suitability of this test method for these tanks. In the drop test, almost no damage was observed to the cylindrical tank after the drop test, partially because of the effect of the valve protector. The rectangular tank has a hydrogen pipe welded to it, and the valve is attached to the tip of the pipe. Therefore, the valve-mounting position is sensitive to the drop test.

1. はじめに

燃料電池自動車など水素を燃料とする車両の水素貯蔵方法として容器製造コストや水素充填放マネジメントの容易さなどから圧縮水素方式が現在の主流となっている。しかし、高圧化による安全性の実証や容積貯蔵密度の低さなど課題もあり、他の水素貯蔵方法も各方面で活発に研究開発がなされている。その様な中で、低圧での貯蔵が可能なため安全性に優れ、容積貯蔵密度の高い水素吸蔵合金を利用した水素貯蔵方法も有望な一つの選択肢として研究開発が進められている。(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)によるプロジェクト「水素安全利用等基盤技術開発」(H15～H19年度)などでは質量貯蔵密度の向上を目指し、材料開発が行われているが、同時に同プロジェクトでは水素吸蔵合金タンク(以下、「MHタンク」という)の安全性評価をJARIが担当し実施したので、本報ではその研究成果の一部を紹介する。

現在、MHタンクの安全性評価試験法が検討されているのは、ISO TC197(水素技術)/WG10において可搬型MHタンクを対象とした試験法が唯一のものである。そこで、ISO TC197/WG10にて策定された安全性評価試験法ISO/TS16111¹⁾を参考として以下の試験を実施し、MHタンクの試験法への適応性を調査した。

①水素サイクル試験法の調査²⁾

②水素漏れ試験法の調査

③火災試験法の調査

④落下試験法の調査

本報では、火災試験法および落下試験法に関する結果を報告する。

2. 火災試験法の調査

火災などでMHタンクが火炎に暴露されると、温度上昇によってMHから水素が放出されることによる内圧上昇やタンク強度低下により破裂に至る可能性がある。そこで、MHタンクの火災試験を実施し、タンクに設置された安全弁(PRD)によりタンクが破裂することなく内部の水素を安全に放出するか確認した。

*1 原稿受理 2008年5月26日

*2 (財)日本自動車研究所 FC・EVセンター

2.1 試験方法

本試験で用いた2種類のMHタンク諸元をTable 1に示す。角型タンクは水素ステーションや車両などでの水素貯蔵を目的として開発されたものである。熱交換方法としては、タンク内部に複数の熱媒流路があり、熱媒を流して熱交換することにより水素を吸蔵・放出させる構造となっている。円筒型タンクは可搬型として開発されたものであり、外面のみで熱交換するタイプである。どちらのタンクにも圧力作動式と温度作動式の2種類の安全弁が付いている。Table 2に試験条件を示す。使用時の姿勢を問わない円筒型タンクは、水平姿勢で安全弁を上向きと下向きとした2条件および垂直姿勢の計3条件を実施した。また、角型タンクは水平姿勢のみとし、熱媒配管に熱媒（本試験では水を使用）が入っていない状態と、実使用時に近い熱媒が入った状態で試験した。なお、試験時のタンクは水素吸蔵状態とした。Fig. 1に火災試験の装置概略図を示す。試験では火源としてプロパンバーナを使用した。安全弁不作動時の対処として緊急放出弁を設けた緊急放出ラインをタンクに接続し、このライン中に圧力計を設置しタンク内圧力を計測した。また、安全弁には直接火災が当たらない様にシールドを設置した。

Table 1 MH tank specifications

	Rectangular tank	Cylindrical tank
MH type	BCC type (TiVCrMn)	AB5 type (MmNiMnCo)
Tank dimension	80×120×670mm	φ50.8×363mm
Operating pressure	<1MPaG	
MH weight	4.8kg	1.3kg
Total weight	11.7kg	2.2kg
Hydrogen capacity	1m ³ (Normal)	200L (Normal)
Pressure-activated PRV	1.4MPaG	8MPaG
Thermally-activated PRD	110℃	138℃

Rectangular Tank

Cylindrical Tank



Table 2 Test conditions

Test No.	MH tank	Test position	Heat exchange pipe
1	Cylindrical tank	Horizontal (PRD:upward)	-
2		Horizontal (PRD:downward)	-
3		Vertical	-
4	Rectangular tank	Horizontal	without water
5			with water

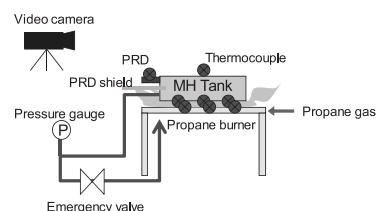


Fig. 1 Schematic of testing diagram

2.2 試験結果

円筒型タンク（安全弁上向きとした水平姿勢、垂直姿勢）と角型タンク（熱媒配管内水無し）の温度と水素圧力をFig. 2に、安全弁作動直後の画像をFig. 3に示す。

円筒型タンクは、安全弁上向きとした水平姿勢では、バーナ点火約60秒後に水素圧力3.3MPaGで安全弁が作動した。安全弁下向きは、約50秒後に水素圧力2.3MPaGで安全弁が作動した。垂直姿勢では、156秒後に圧力作動式安全弁が約8.5MPaGで作動し、その後温度作動式安全弁が170秒後に作動した。温度作動式安全弁作動直後は、断続的に水素が放出されたが、火源と安全弁の距離が離れているため、安全弁近傍に火炎が連続的に当たらず、可溶栓が一気に溶けなかった影響と考えられる。安全弁作動直後の画像より、水平姿勢としたタンクでは、水素は安全弁の放出口からタンクと水平に噴出して噴出火炎となっており、火炎の長さは1m未満であった。垂直姿勢では、安全弁作動時の圧力が約8.5MPaGと高いため、水素噴出時の火炎の勢いや音は最も大きかった。

角型タンクでは、熱媒配管に水を入れたタンクおよび水を入っていないタンクともに、水素圧力0.8MPaGで安全弁が作動し、その後約0.2MPaGでしばらく圧力が安定しながら水素を放出し、450～480秒後に0MPaG近くまで圧力が降下した。熱媒配管の水の有無で水素放出挙動にほとんど違いがない結果となった。また、安全弁作動時の水素圧力が低いため、安全弁作動直後の水素火炎の規模は小さかった。

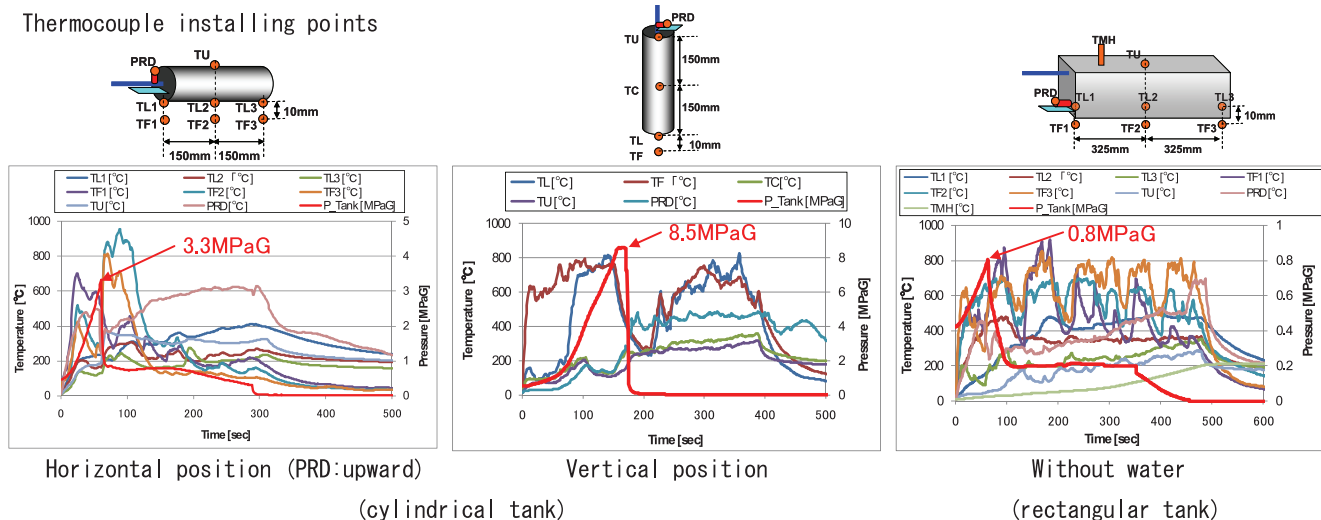


Fig. 2 Temperature and hydrogen pressure

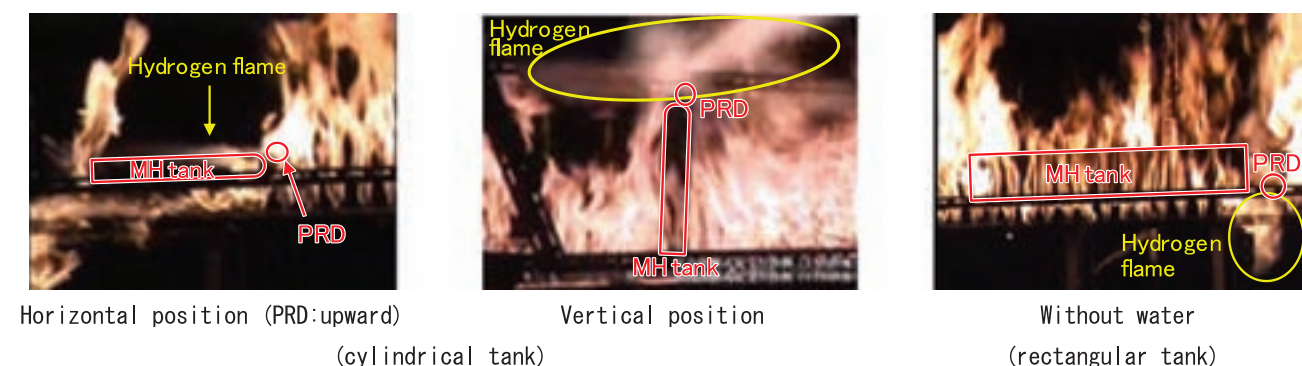


Fig. 3 Picture of PRD activation

3. 落下試験法の調査

ISO/TS16111の落下試験法を参考としてMHタンクの落下試験を実施し、タンクへのダメージを調査した。

3.1 試験方法

試験には活性化していない水素吸蔵合金粉を入れた円筒型タンク（バルブ保護付）と角型タンクを用いた。試験装置には、タンクの落下姿勢に影響を及ぼしにくい専用の装置を使用した。試験は以下に示すISO/TS16111の落下試験方法に準じて実施した。

- 主止弁側および主止弁と反対側の端部を下に向けて1.8m以上の高さより垂直落下
- 45°の角度で重心高1.8m以上より落下
- 水平姿勢で1.8mの高さから鋼製の突起物（Steel apex）に向けて落下

【合格基準】

主止弁が正しく機能し、漏洩がないこと。その後、静水圧により破裂試験を行う。すべてのタンクは漏洩試験の合格基準を満たし、かつ破裂圧がタンクの設計の際に準拠した規格の最小破裂圧力の85%を超えていること。

3.2 試験結果

円筒型タンクは1台で水平落下、45°落下および垂直落下を行った。Fig. 4に水平落下時の画像、Table 3に損傷状況を示す。水平落下で1mm程度へこんだ以外、外観上ほとんどダメージを受けない結果となった。落下試験後に静水圧による破裂試験を実施した結果、破裂はタンクの胴部から起こり、破裂圧力は約53.7MPaGであった。また、落下試験未実施のタンクの破裂圧力は52.4MPaGであったことから、落下の損傷による破裂圧力への影響はほとんど見られない結果となった。

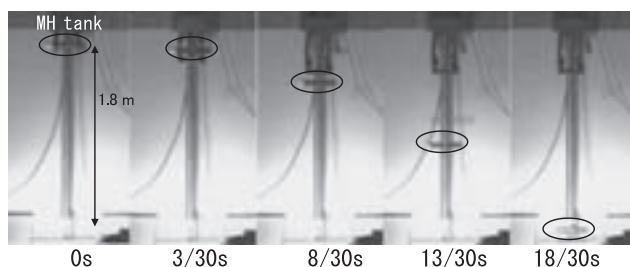


Fig. 4 Horizontal drop test (cylindrical tank)

Table 3 Damage condition of cylindrical tank

Drop position	Damage condition	
	Picture	Damage
Vertical (Valve:Upward)		No damage
Vertical (Valve:Downward)		No damage
45° angle		Slightly dent
Horizontal		Depth of 1mm

角型タンクは、試験に2台のタンクを使用した。タンクAは面積の広い側面を下にしての水平落下と45°落下および垂直落下を行った。タンクBは面積の狭い側面を下にしての水平落下と45°落下を行った。なお、バルブを設置した面を下にしての垂直落下は水素配管の破断が起こる可能性があるため実施しなかった。Table 4に落下時の損傷状況を示す。水平落下では、衝撃面が0.5～2mm程度へこむ結果となった。また、タンクBの水平落下でバルブの自重により水素配管が曲がる結果となった。このことから、バルブを接続した配管部が落下試験に対して弱いことを確認した。落下試験後の破裂圧力は、タンクAが18.9MPaG、タンクBが20.5MPaGとなった。落下試験未実施のタンクの破裂圧力は約21MPaGであるので、今回実施した落下の損傷による破裂圧力への影響はほとんど見られない結果となった。

Table 4 Damage condition of rectangular tank

No.	Drop position	Damage condition	
		Picture	Damage
A	Horizontal		Depth of 0.5mm
	45° angle		Slightly dent
	Vertical (Valve:Upward)		6mm of pipe contracted
B	Horizontal		Depth of 1-2mm Pipe bended
	45° angle		Slightly dent

4. まとめ

今回、MHタンクの火災試験および落下試験を調査した結果、以下の知見を得た。

- ・垂直姿勢による火災試験では、火源と安全弁の距離が離れるため、試験時の火災規模の調整が重要となる。
- ・内部に熱媒流路を有するタンクの火災試験では、熱媒配管内の水の有無による試験結果への影響はほとんど無い。
- ・ISO/TS16111の火災試験法では、タンク内圧力が0PaGとなった時点を試験終了としているが、MHタンクの場合、0PaG近くになっても水素放出が継続される可能性があるため、終了判断が難しいケースが出てくることが考えられる。
- ・専用の落下試験装置を用いることにより、再現性のある落下試験が実施でき、信頼性の高いデータが取得できる。
- ・落下試験法の問題点として、現時点では国内にMHタンクの設計基準が無いことなどから、合格基準である破裂圧力の定義が不明確であり、今後の検討が必要である。

なお、本研究は（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）による委託研究の中で実施した一部である。

参考文献

- 1) ISO/TS16111 "Transportable gas storage devices—Hydrogen absorbed in reversible metal hydride", First edition 2006-10-15
- 2) 高橋昌志ほか：水素吸蔵合金タンクの安全性評価試験—水素サイクル試験法の調査—，自動車研究，Vol.29, No.7, p.307-310（2007）