

# ハイブリッド貯蔵タンクの安全性

布浦達也・角掛繁

日本重化学工業株式会社

〒999-1351 山形県西置賜郡小国町232

## The safety of hybrid hydrogen storage tank

Tatsuya Fuura, Shigeru Tunokake

Japan Metals & Chemicals Co.,Ltd.

232 Oguni-machi, Nishiokitama-gun, Yamagata, 999-1351

Hydrogen attracts attention as clean energy of the next generation. In order to put a hydrogen energy system to practical use, the technical development of safe and efficient storage/transportation media is one of the most important subjects. On board hydrogen tank which is under development can be classified into following two types: 1) high pressure hydrogen tank, 2) metal hydride storage tank. However, metal hydride storage tank do not meet the requirement for on board storage of hydrogen in weight densities. Many fuel cell vehicles adopt a high pressure hydrogen tank (35MPa, 70MPa), but have a problem to volumetric density now. This research is the development of a “hybrid hydrogen tank” which is a combination of type 3 high pressure hydrogen tank and metal hydride. “Hybrid hydrogen tank” is superior to a high pressure container of 70MPa in volumetric density. In this paper, the safety of hybrid hydrogen tank will be introduced.

**Keywords:** Hydrogen, Metal hydride, Fire test, Drop test, Cycle test

### 1. はじめに

燃料電池自動車の開発、普及に際して、水素の搭載方法が大きな開発課題としてあげられている。低圧で水素を貯蔵でき、体積貯蔵密度に優れる水素吸蔵合金が燃料電池自動車の開発初期には、検討されていた。しかし、重量貯蔵密度が低い、低温で水素を放出できない課題を有していたため、現在、水素貯蔵タンクとしては、CFRPで補強した高圧複合容器 (Type-3, Type-4) が採用されている。しかし、高圧複合容器は重量貯蔵密度に優れるが、体積貯蔵密度が低く、5kgの水素を貯蔵するための内容積として、約200L(35MPa)あるいは約120L(70MPa)が必要となる。小型車から大型車にいたる乗用車への搭載を考慮すると、よりコンパクトな水素貯蔵タンクの開発が望まれており、体積貯蔵密度に優れる水素吸蔵合金と高圧複合容器を組み合わせたハイブリッド貯蔵タンクの開発[1]~[4]が推進され

ている。

### 2. ハイブリッド貯蔵タンクについて

図1にハイブリッド貯蔵タンクの概略図を示す。ハイブリッド貯蔵タンクは、熱交換機能を有し水素吸蔵合金を収めるカートリッジ部 (MHカートリッジ) と高圧複合容器 (広口高圧容器) から構成されている。通常のVH3容器

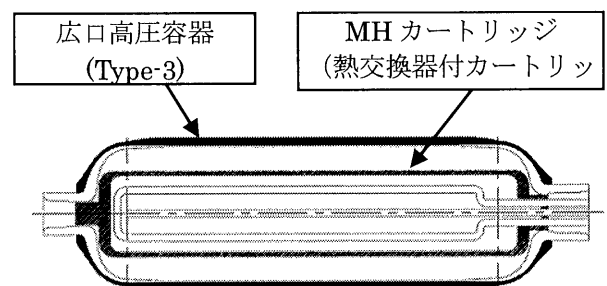


図1. ハイブリッド貯蔵タンクの概略図

と同じ継ぎ目なし構造としていることが、我々が開発したハイブリッド貯蔵タンクの特徴の一つである。

試作したハイブリッド貯蔵タンクの仕様を表1に、カットモデルを図2に示す。内容積30.5Lの通常の高圧複合容器の水素貯蔵量0.77kg(35MPa)に対し、水素吸蔵合金と組み合わせることにより、約1.4倍の水素の貯蔵が可能となる。試作したハイブリッド貯蔵タンクでは、高圧ガスによる貯蔵量とMHによる貯蔵量の比は、およそ50:50としている。MHの充填量には余裕があるため、MHによる貯蔵の分担率を増やすことにより、水素貯蔵量を増やすことが可能である。しかし、現状の水素吸蔵合金の貯蔵量(2.2mass%)では、タンク重量が重くなってしまいう問題があり、タンクの軽量化には高容量な水素吸蔵合金の開発が必要とされている。

表1. ハイブリッド貯蔵タンクの仕様

項目	仕様
内容積	30.5L
充填圧力	35MPa
外径	247mm
全長	1050mm
容器重量(広口高圧容器)	61kg
MH量	21.6kg
水素貯蔵量	1.07kg

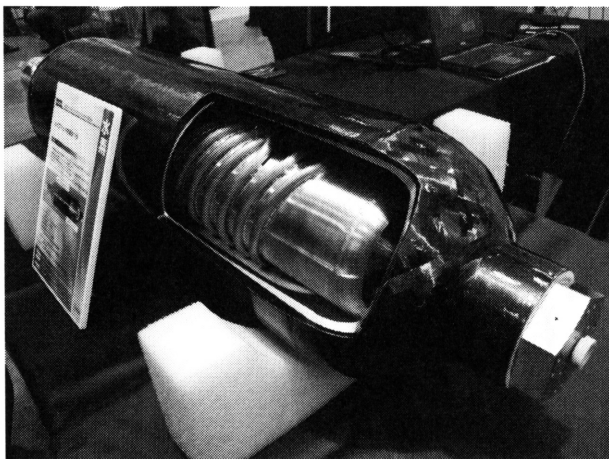


図2. ハイブリッド貯蔵タンク (カットモデル)

### 3. ハイブリッド貯蔵タンクの安全性について

ハイブリッド貯蔵タンクの安全性の基準・標準は現時点においては制定されていない。今後、実車への搭載を目指すには、高圧ガス保安法への対応や道路運送車両法への対応が必要であり、まずは、将来の基準策定に資する安全性

データの取得が必要とされている。

我々は、開発したハイブリッド貯蔵タンクに対して、現状の圧縮水素自動車用燃料装置用容器の技術基準(JARIS 001)[5]に基づいた安全性試験を実施し、既存の基準を適用した場合の課題・問題点を確認した。

また、振動試験については、JARIS 001では規定されていないが、容器内部にMHカートリッジが内蔵されているため、自動車の振動による水素漏洩などが発生する可能性があり、自動車燃料ガス容器取付部試験方法(TRIAS 7-1996)[6]に基づいた振動試験を実施した。

### 4. 安全性試験結果

安全性試験の結果について表2に示す。落下試験を除くJARIS 001で規定されている試験については、全ての試験に合格したが、火炎暴露試験については、試験終了後に安全弁の出口から長時間水素の放出が継続するなどの課題が明らかになった。また、落下試験については、タンク重量の増加による影響が大きく、落下試験後のタンク性能への影響が大きい事が明らかとなった。これらの結果の詳細について次に述べる。

表2. 安全性試験結果

試験項目	内容	結果
破裂試験	破裂圧力が最高充填圧力の225%以上	破裂圧112MPa : 合格
常温圧力サイクル試験	11,250回以下で漏れ、破裂なきこと	25,226回でリーク : 合格
環境温度圧力サイクル試験	指定サイクルで漏れなきこと	リークなし : 合格
火炎暴露試験	破裂なく、安全弁より排出されること	安全弁作動 : 合格
振動試験	40Hzまでの範囲で共振のなきこと、振動試験中および試験後に漏れのなきこと	共振なし、漏れなし : 合格
落下試験	漏れ、破裂のなきこと	—

#### (1) 安全性試験結果

破裂試験・サイクル試験・環境サイクル試験については、JARIS 001の基準をクリアした。広口高圧容器の構造は、通常のVB容器と同じで継ぎ目なし構造となっている。異

なる点は、MHカートリッジを保持するためにアルミライナーの厚肉化、および熱媒体の取出しのために口金口径を大径化している点が上げられる。これらの点に留意して設計した結果、上記の安全性試験については全てクリアすることができた。

(2) 火炎暴露試験結果

圧力作動式の安全弁(PRV)および温度作動式の安全弁(PRD)をハイブリッド貯蔵タンクの配管に設置し、火炎暴露試験を実施した。安全弁作動直後の写真を図3に示す。試験開始時のタンク圧力は17.4MPaで、バーナー点火120秒後にタンク圧力18MPaでPRDが作動した。ハイブリッド貯蔵タンクの構造は2重構造となっていることから、MHカートリッジへの熱の流入は広口高压容器からの伝熱、タンク内部の水素ガスによる対流や熱伝導、ライナーからの輻射によって伝わるため、MHの温度上昇にはタイムラグが生じる。したがって、ハイブリッド貯蔵タンクが火炎に暴露されても、タンク内圧は急激に上昇しないことが確かめられた。しかし、この2重構造であるがゆえに、火炎暴露試験終了後もPRDの水素放出口から水素の放出が長時間継続するという現象が確認された。通常の高圧容器の場合はPRDが作動し、内圧が大気圧となれば、水素の放出は終了するが、ハイブリッド貯蔵タンクの場合には、タンク内圧が大気圧まで減圧しても、水素吸蔵合金中の水素が空になるまでは水素の放出が継続する。水素吸蔵合金からの水素放出は、タンク外部から流入する熱量に応じた水素しか放出されないため、水素の放出が長時間継続することに留意する必要がある。一方で、タンクの安全弁作動時に急激に放出される水素は高压ガスの状態で貯蔵されている水素であり、水素吸蔵合金部に貯蔵されている水素は緩やかに放出されることから、より安全サイドの現象と解釈する事もできる。



図3. 火炎暴露試験 (安全弁作動直後)

(3) 振動試験

図4、図5に振動試験時のタンク設置状況を示す。試験装置への固定はタンクの両端部で行い、両端および胴部中央、MHカートリッジ表面(カットモデル)に加速度計を設置して試験を実施した。カットモデル、実タンクを用いた振動試験を行い、周波数40Hzまでの共振試験で共振の無いことを確認した。

共振の確認試験後に、表3に示す条件で耐久試験(上下単振動のみ)を計20.8時間実施した。タンク内の水素圧力を大気圧より若干高い状態で試験した結果、振動試験中水素が漏洩することは無かった。また、試験後に圧力35MPaで水素充填を行った結果、同様に水素漏洩は確認されなかった。以上により自動車燃料ガス容器取付部試験方法(TRIAS 7-1996)に基づいた振動試験については問題ないことが確認できた。

表3. 耐久試験(疲れ試験)条件

プログラム 順序	加速度 [m/s <sup>2</sup> ]	繰返し数 [回]	振動数 [Hz]
1	19.6	1×10 <sup>3</sup>	40
2	14.7	9×10 <sup>3</sup>	
3	9.8	9×10 <sup>4</sup>	
4	5.9	29×10 <sup>5</sup>	

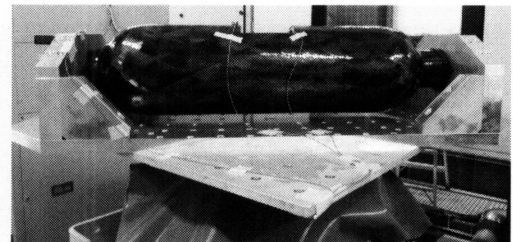


図4. 振動試験時タンク設置状況 (カットモデル)

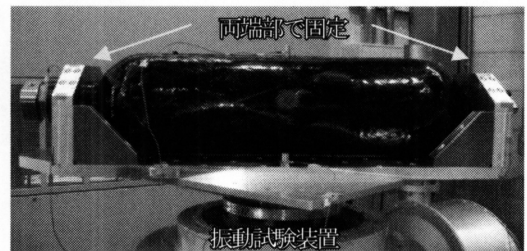


図5. 振動試験時のタンク設置状況

(4) 落下試験

ハイブリッド貯蔵タンクの落下試験、および比較のために実施した広口高压タンク単体での落下試験の結果を以下に示す。落下方法は、JARIS 001に従い、水平、垂直

および斜め45°落下を実施した。垂直落下に関しては、位置エネルギーが488J以上となる高さで実施するよう規定されているため、落下高さをハイブリッド貯蔵タンクでは0.75m、広口高压容器では、1.78mで実施した。図6、図7に落下試験時の写真を示す。

落下試験後の広口高压タンクとハイブリッド貯蔵タンクの損傷について、容器を耐圧試験圧力まで加圧し、その際のひずみ測定を行なうことにより評価した。評価は水平落下試験を実施した容器を対象に評価した。その結果、落下した事で、広口高压タンクの接触部と非接触部のひずみが約6%増加、ハイブリッド貯蔵タンクは約14%増加した。Manson-Coffin則でひずみ増加を疲労寿命に換算すると、広口高压タンクの疲労寿命は約25%減、ハイブリッド貯蔵タンクの疲労寿命は約45%減となり、ハイブリッド貯蔵タンクの損傷が非常に大きい事がわかった。これらの結果より、重量の重いハイブリッド貯蔵タンクの耐衝撃性の評価として、通常の高圧タンクと同じ評価方法をそのまま適用する事は、困難であると考慮される。

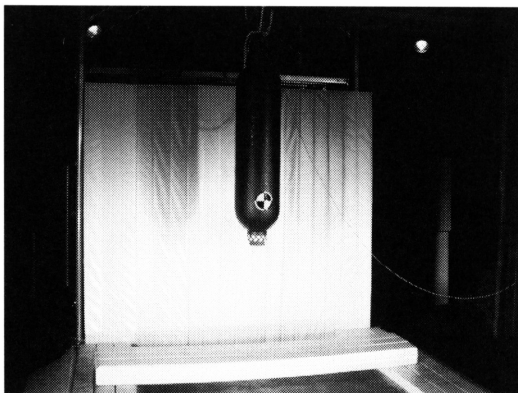


図6. 落下試験の状況 (垂直落下)

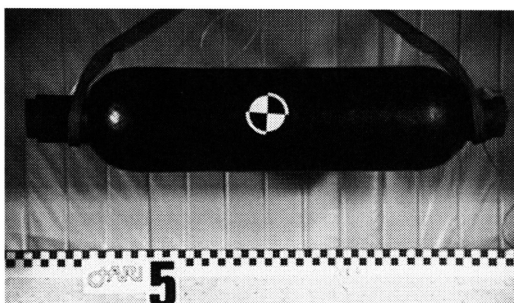


図7. 落下試験の状況 (水平落下)

## 5. まとめ

開発したハイブリッド貯蔵タンクを既存の圧縮水素自動車用燃料装置用容器の技術基準JARI S 001に準じて評

価した。破裂試験や常温サイクル試験、環境サイクル試験については、既存の基準をそのまま適用しても問題ないと考えられるが、火炎暴露試験後に安全弁からの水素の放出が長時間継続するなど、ハイブリッド貯蔵タンク特有の現象も明らかとなった。また、落下試験については、そのままJARIS001を適用した場合、損傷が非常に大きいことが明らかとなり、同じ評価方法をそのまま適用することは好ましくない結果となった。ハイブリッド貯蔵タンクの安全性については、今後も継続して、安全性データの取得を行う予定である。また、水素充填速度のさらなる向上 (MHカートリッジの熱交換性能改善)、低コスト化 (製作工程の改善) および軽量化 (MHの高容量化) が課題であり、これらの課題解決に向けて開発を継続している。

## 謝辞

本研究は (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構からの委託により日本重化学工業 (株)、サムテック (株)、(財) 日本自動車研究所が共同で実施した「水素安全利用等基盤技術開発-車両関連機器に関する研究開発」(H17~19年度) [7]の成果の一部と、日本重化学工業 (株)、サムテック (株)、(独) 産業技術総合研究所、佐賀大学 (再委託) が共同で実施している「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発/システム技術開発/車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発」(平成20年度~平成24年度)の成果の一部である。ここに感謝に意を表す。

## 参考文献

- 1 森ほか: 水素貯蔵材料を利用した車載水素貯蔵システムの研究 高压型水素吸蔵合金タンク, 日本金属学会誌, 第69巻, 第3号, p.308-311 (2005)
- 2 藤田ほか: ライナー分割構造を有するCFRP製高压型水素吸蔵合金タンク, 燃料電池, Vol.7, No.3, p.73-76 (2008)
- 3 布浦ほか: ハイブリッド貯蔵タンクの開発, 自動車研究, 第28巻, 第7号, p.63-68 (2006)
- 4 布浦ほか: ハイブリッド貯蔵タンクの開発 (第2報), 自動車研究, 第30巻, 第6号, p.37-42 (2008)
- 5 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準, JARIS001 (2004)
- 6 自動車燃料ガス容器取付部試験方法, TRIAS 7-1996
- 7 NEDO成果報告書「水素安全利用等基盤技術開発 水素に関する共通基盤技術開発 高容量水素吸蔵合金と貯蔵タンクの開発,」 2008年3月