

水素利用の規制緩和と鉄道による水素輸送に関する基礎的検討

中内 正彦* 岩松 勝*

Basic Study on Deregulation for Use of Hydrogen and Hydrogen Transport by Railway

Masahiko NAKAUCHI Masaru IWAMATSU

Technological development using hydrogen, such as fuel cells, is a focus of attention as one of the solutions to global environmental and energy problems. In the railway sector, railway vehicles using fuel cells are being developed. However, equipment that requires handling of high-pressure gases is still rare in the railway sector. This paper reports the findings of an investigation of the restrictions on the handling of high-pressure gases relating to the development of fuel cell vehicles and railway transport of liquid-hydrogen.

キーワード：液体水素，貨物輸送（鉄道輸送），コンテナ輸送，燃料電池，高圧ガス保安法

1. はじめに

近年，地球温暖化防止やエネルギーの安定供給化の観点から世界規模で水素エネルギーが脚光を浴びている。

我が国では，2002年に「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議」が発足し，その結果，関係法令の整備・見直しによりこれらの法改正が実施された。そうした状況の中，当研究所で進めている燃料電池車両の開発においても新しい法令等の規制や解釈などの整理，法的手続きを進めながら，予定通り2005年度に燃料電池車両に水素タンクを取り付け，2006年度に構内での走行試験が実施できる環境を整えることができた。

一方，今後の水素社会を見据えた場合，水素の新たな輸送手段として鉄道輸送が考えられ，その可能性について検討することは重要であると考えられる。

そこで，現行法と照らし合わせながら，その可能性や他の輸送方法との有利性について調査・検討を行った。

本報告では，近年進められてきた各種の規制緩和について，主に高圧ガス保安法からみた鉄道分野における法的規制と解釈について述べ，併せて水素鉄道輸送についての基礎的な検討を行ったのでこれらを紹介する。

2. 水素の特徴^{1) 2)}

水素は，可燃性で爆発限界が広く，発火エネルギーが小さいことでよく知られている。他の物質より分子が小さいので漏れやすく，一旦ガスが漏れ引火すると火災や爆発に繋がるので，一般的に火災・爆発の危険性の大きいガスと言われている。

無色，無臭，無味，無毒という性質を有しているため漏れていても気がつきにくいという特徴をもっており，また，最も軽い物質であり拡散性も有することからプロパンやガソリンのように地表面に滞留しない。

液体水素の特性としては，水素ガスと同様な性質の他，沸点 -253°C という低沸点であることと，液化することによって約 $1/800$ の体積になることである。

従って，同じ量を運ぶために必要な容器の大きさを考えた場合，液化して輸送する方法が効果的と考えられる。また，液化することによって軽量化やコスト面からも優位になる反面，容器の断熱性能を高める工夫や容器へ充填する際の効率向上を求められることになる。現段階でも，燃料電池自動車において燃料としては高圧水素ガスを利用する場合と液体水素を気化して利用する場合の事例がある。

3. 燃料電池実用化に関連する規制緩和

水素の製造，貯蔵，輸送を行う過程においては，大抵の場合，高圧ガスとして取り扱うことになることから，高圧ガス保安法の規制を受けることになり，その中でも可燃性ガスである水素は，さらに様々な規制が施されている。

高圧ガスの水素を利用している燃料電池自動車や燃料電池の周辺設備においても例外ではなく，例えば容器の例示基準がないことや水素供給スタンドの保安距離，用途地域規制などにより，燃料電池普及の妨げになっていたのが現状であった。

そこで燃料電池実用化に関して，当時の小泉首相の指示を受けて内閣官房に内閣府及び関係省庁で構成される「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議」が設置され，実用化へ向けての安全性の確保を前提とした包括的な再点検が決定された。2005年にその報告³⁾を受けて各種

* 浮上式鉄道技術研究部（低温システム）

特集：車両技術

の規制緩和が実施された。関連する主な法令は、高圧ガス保安法、電気事業法、消防法、建築基準法などである。なかでも最も見直しが行われたのが高圧ガス保安法である。

3.1 高圧ガス保安法の法改正

高圧ガス保安法の燃料電池普及に関連する主な改正内容を表1に示す。

圧縮水素スタンドに関する技術基準および圧縮水素燃料装置用容器に係る新たな定義と規定が加わった。

高圧水素容器については、表2に示すよう4種類に類別される。

圧縮水素スタンドおよび高圧容器については、これより以前に天然ガス自動車(CNGV)の普及に伴うCNGV用スタンドや燃料用高圧容器の技術基準が整備された経緯があるが、それに追従する形で、燃料用水素に関して法令等の整備がなされている。これらの改正により、燃料電池自動車用の高圧容器およびスタンド(水素ステーション)の技術基準が明確になった。

その他、保安距離の見直し、車検周期と容器検査周期を一致させることや水素スタンドにおける保安統括者の選任の一部不要などの内容が盛り込まれた。

表1 高圧ガス保安法の改正内容

項目	内容
圧縮水素スタンドに関する技術基準及び検査方法	「特定圧縮水素スタンド」定義新設 高圧ガス設備の敷地境界までの距離6m以上に変更 ディスプレイ本体の外面から道路境界線まで6m以上の距離に変更 その他構造上の技術基準、完成検査・保安検査の規定
圧縮水素自動車燃料装置用容器に係る新たな定義と規定	圧縮水素自動車燃料装置用容器、圧縮水素運送自動車用容器及び液化水素運送自動車用容器の定義 容器再検査期間の変更等 圧縮水素自動車燃料用容器の再検査方法

表2 高圧容器の種類

型式	特徴
Type1	鋼製容器 引張強度900N/m ² クラスのクロムモリブデン鋼
Type2	鋼製ライナー胴部の周方向をガラス繊維強化プラスチックで強化した容器
Type3	アルミ合金ライナーの全周を炭素繊維強化プラスチックで強化した容器(C-FRP容器)
Type4	高密度ポリエチレン製ライナーの全周を炭素繊維/ガラス繊維強化プラスチックで強化した容器

3.2 その他の法改正

その他の燃料電池普及に関連する主な法令の改正内

容を以下に示す。

- 消防法・・・ガソリンスタンドの併設等
- 建築基準法・・・水素供給スタンドの設置場所拡充等
- 電気事業法・・・家庭用燃料電池の取扱資格の適用外等

4. 鉄道と高圧ガス保安法

4.1 鉄道からみた高圧ガス保安法

高圧ガス保安法においては、鉄道車両のエアコンディショナー内における高圧ガスが高圧ガス保安法の適用除外となっているが、その他の高圧ガスにおいてはすべて適用範囲となっている。

現在、鉄道車両においては、高圧ガス保安法で規制を受けるものも僅かながらあり、その代表的なものがコンテナ車・タンク車における低温容器である。

今後、高圧水素ガスを搭載している燃料電池鉄道車両や水素の鉄道輸送を行おうとすると、現段階では高圧ガス保安法の規制を受けることになる。

高圧ガスを充填・貯蔵するための貯槽・容器は、一般高圧ガス保安規則において、地盤面に対して移動することができるかどうかで、「容器」と「貯槽」に分けて定義されている。

燃料電池鉄道車両に搭載される高圧水素タンクなどは、地盤面に移動できることから「容器」に属する。

燃料電池鉄道車両の容器をはじめとする車両搭載の高圧ガス設備については、法令等において鉄道車両における高圧ガスの製造行為や搭載容器など想定されていないのが現状であるため、各種の技術上の基準等の規制も含めて法令の見直しが必要となってくる。

一方、鉄道による水素輸送を想定した場合、タンク車またはコンテナ車で輸送が考えられるが、どちらの場合も容器保安規則の規制を受けることになる。

4.2 燃料電池鉄道車両に関する法規制

営業線での燃料電池鉄道車両を考えた場合、車両側には高圧ガス製造設備や高圧容器が必要であり、地上側には水素を貯蔵し、車両に供給するための設備、いわゆる「水素ステーション」が必要となる。

一つの開発事例として当研究所で開発した燃料電池鉄道車両について以下に述べる。

車両に搭載する設備については、できるだけ法的制約を受けない構成とした。その結果、移動式製造設備に該当しないように、また軽量化を図る目的で、圧縮機非搭載かつ1段減圧で高圧でない圧力(1MPa未満)で消費するようなシステムを構築することにした。

搭載する高圧水素容器(図1参照)については、重量等を考慮して前項で述べたType3(アルミニウム合金ライナー炭素繊維複合容器)を使用することにした。ただ

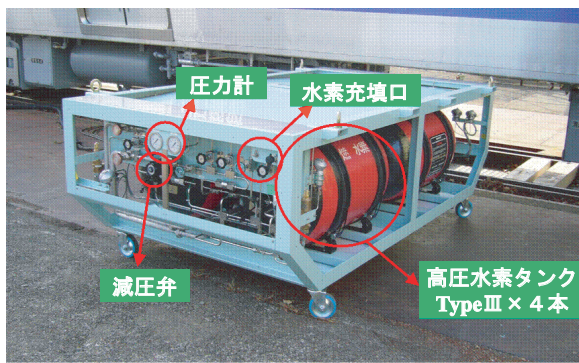


図1 燃料電池車両搭載の高圧水素タンクシステム

し、そのまま鉄道車両に使用することは例示基準 (JARI S001 (2004)) に規定されていないため事前評価申請を行い、許可を得たものを搭載した。

一方、燃料電池鉄道車両へ高圧ガスの充填する行為については、試験車ということもあり、水素ステーションのような設備を設けず、ガスメーカーのトラックに搭載されている「移動式製造設備」より高圧ガスを直接車両へ供給する方法を採用した。この方法であれば、一般高圧ガス保安規則第12条の届出により可能となり、その手続きを行って試験を実施した。

5. 鉄道における水素輸送

5.1 水素の輸送

海上輸送においては、高圧水素を搭載する高圧水素タンク方式、水素化・脱水素化反応をする有機系材料を用いた有機ハイドライド方式、水素吸蔵合金方式などの検討・開発がなされているがまだ実用化されていない²⁾。

鉄道輸送を考えた場合、やはり重量や有効スペースなどを考慮すると水素ガスでの輸送は非効率であり、液体として輸送することが現実的である。また、海上コンテナ輸送との連携を考えた場合、充填せずに容器だけを載せ換えられるコンテナが有効であり、よって、液体水素をタンクコンテナにて輸送することが最も効率がよいと考える。現在、自動車輸送においても液体水素の輸送としてはタンクローリーが主流であるが、2005年に川崎重工業(株)製の液体水素用タンクコンテナが開発・実用化された⁴⁾ ことにより、今後はタンクコンテナでの輸送も実施されていくと思われる。

5.2 LNG 輸送と液体水素輸送

近年、地球環境負荷低減やクリーンエネルギーであることなどから脚光を浴び、普及が著しい液化天然ガス (LNG) においては、各種の需要者に対応して、様々な輸送手段で供給されている。2000年より、新潟～金沢間において鉄道輸送が開始されたのもそのひとつである。

鉄道が利用された背景には、トラック輸送より有利になる

中距離輸送で、しかも製造所と貨物駅との距離が短く、コンテナ取扱貨物駅の整備により効率よく荷揚げ作業ができる環境を得られたということがある。また、輸送事業者としては複数の輸送手段を取り入れることにより燃料を安定供給したいという考えがあることも後押ししている。その結果、図2のとおり、2007年現在で4路線に拡大されている。

LNGと液体水素は、ともに可燃性の液化ガスであることや低温容器で輸送・貯蔵されていることなど、また高圧ガス保安法においても製造・移動・貯蔵における基準など、類似するところが多くある。すでに鉄道輸送が行われているLNG輸送を参考にして法的解釈や技術基準、輸送方法などを検討していくことは、有効な手段といえるので、LNG鉄道輸送の現状とこれらの輸送に関連する高圧ガス保安法等の規制についてまとめながら、水素の鉄道輸送の検討を行うことにした。

水素の蒸発潜熱は、LNGの主成分であるメタンに比べて液体の単位面積で1/7である。またLNGは、液体水素と同様に低沸点であるが、 -162°C と水素よりかなり高い温度のため、LNG容器の断熱性能を維持するのは液体水素容器よりかなり容易である。

現在、LNG鉄道輸送で採用されている方式は、タンクコンテナ方式(コンテナ構造基準ランク I に該当)で、30ftコンテナに属するコンテナであり、一般的なLNGタンクローリー車に匹敵する約10tonのLNGを積載できる⁵⁾。

LNGタンクコンテナは、高圧ガス保安法の移動、貯蔵にあたるため、貨物ターミナルにおいて高圧ガス保安法に定められた諸届出が必要となる。



図中のLNG供給基地については、資源エネルギー庁 ガス市場整備基本問題研究会報告書を参考にして作成。

図2 LNG供給基地とLNG鉄道輸送路線

特集：車両技術

既に LNG コンテナを取り扱っている日本貨物鉄道株式会社（JR 貨物）の姫路貨物駅や苫小牧駅においては、「第一種貯蔵所」の届出を行って事業を開始している。

第一種貯蔵所は、一般高圧ガス保安規則23条「容器により貯蔵する場合の技術上の基準」に適合する必要があるが、具体的には、容器置場の指定と置場距離の確保、漏洩滞留防止措置、警戒標識の掲示、消火設備の設置などである。

両駅とも貨物駅構内の一角を容器置場として指定しているが、フェンス等の設置など、大規模なインフラ整備などを行わずに対処しているのが特徴である。

高圧ガスの移動に係る保安上の措置等としては「車両に固定する容器の移動」に該当しないため、同規則第50条が適用される。このためタンクコンテナには、警戒標識の掲示、バルブ損傷防止措置、応急措置に必要な資材工具（例示基準有り）などを装備している。

最近の貨物駅は本線にて荷役作業が可能な E & S (Effective & Speedy Container Handling System) を採用している。

これにより、従来に比べ作業時間が大幅に改善され、例えば、本線脇にコンテナ置場（高圧ガス貯蔵所）を設けることにより、コンテナ1基の積み込み時間は4～5分程度と非常に短時間で積み込みが可能となっている。

5.3 鉄道における水素輸送の形態

LNG 鉄道輸送をそのまま液体水素輸送として考えた場合においても、鉄道輸送が最も効率が良くなると考えられるのは、やはり製造工場と貨物駅が近いことと輸送距離が200～400km程度であることである。また、貨物駅からサテライト（供給地）を近くすることやタンクコンテナ方式にすることなどによりさらに向上すると考えられる。液体水素の場合は、LNGより充填効率が低いため、製造箇所から消費者までの間、液体水素でのタンクコンテナへの充填回数を最小限にすることが大切である。その意味においても高断熱性能を有するタンクコンテナの開発が急がれるところである。

タンクコンテナ方式を採用することのもうひとつの利点は、構造の標準化を図ることにより、供給手段の多重化も実現することである。例えば、ルート上で、事故災害・天災等が起きても他のルートへの載せ替えや、ト

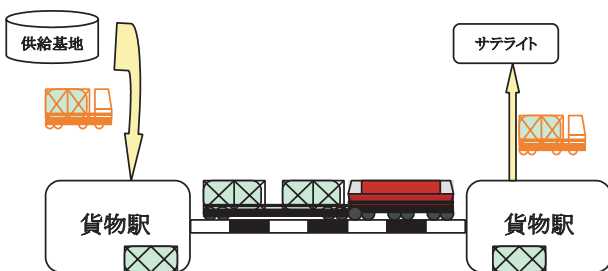


図3 鉄道による液体水素の輸送概念図

ラック輸送への転換、または港の船から直接タンクコンテナを積み出すということも可能となり、輸送手段の多重化により災害時等での安定供給が期待できる。

6. 鉄道車両等における高圧ガスの法的整理と技術基準作成に当たっての整理事項

今後、水素等、高圧ガスを燃料とした鉄道車両の普及や水素の鉄道輸送を勘案した場合に、高圧ガス保安法及び関連法の改正や鉄道に関する技術上の基準への追記が必要になると考えている。列車編成、架線、集電装置の存在など、鉄道固有の事象を考慮しながら、下記に示した内容を鉄道事業者並びに関係省庁等と議論を深めていくようにしたいと考えている。

【必要と考えられている検討内容例】

- (1) 燃料電池車両の高圧水素タンク等に係る技術基準の作成、検査周期と検査方法
- (2) 燃料電池車両等の高圧ガスの「貯蔵」「移動」の解釈
- (3) 水素ステーションの技術基準
- (4) 液体水素を輸送する際の技術上の基準

7. おわりに

ここでは、燃料電池自動車の普及を目的にした法規制の見直しや鉄道分野における高圧ガスの取り扱いの現状などを報告するとともに、鉄道輸送による液体水素の基礎的な検討を法規制から行った。

本来、地球温暖化防止に優位に立つと言われている鉄道分野においては、燃料電池鉄道車両をはじめとする水素エネルギーを利用した技術開発や、燃料としての輸送が期待される。

鉄道の歴史が物語っているように、それぞれの時代の最も要の物質である「石炭」、「鉱石」、「石油」の輸送を担ってきた鉄道によって、次世代の燃料「水素」もまた、輸送されることを願う次第である。

文献

- 1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：水素の物性と安全ガイドブック，2003.2
- 2) (株)エヌ・ティ・エス編：水素利用技術集成，2003.11.1，(株)エヌ・ティ・エス
- 3) 燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議：燃料電池の実用化に向けた包括的規制の再点検の実施結果について，2005.4.28
- 4) 川崎重工業(株) HP
http://www.khi.co.jp/khi_news/2005data/c3050126-1.htm
- 5) 豊崎昌男：LNGのタンクコンテナ輸送，配管技術，2000.5