

水素燃料鉄道車両の社会実装に向けて



長谷川 均
Hitoshi Hasegawa

研究開発推進部
次長



小川 賢一
Kenichi Ogawa

車両技術研究部
水素・エネルギー研究室
主任研究員



門脇 悟志
Satoshi Kadowaki

車両技術研究部
駆動システム研究室
主任研究員



宮崎 佳樹
Yoshiki Miyazaki

浮上式鉄道技術研究部
電磁気研究室
主任研究員



上妻 雄一
Yuichi Kozuma

鉄道国際規格センター
主査

はじめに

2050年カーボンニュートラルの実現に向け、鉄道の脱炭素化に関する技術開発が進められています。鉄道システムでは、車両運行時のエネルギー消費に伴うCO₂排出量が大きな割合を占めます。このため、電化区間では、供給電力の再生可能エネルギーの主力電源化、非電化区間では、脱化石燃料化、気動車の電動化などがCO₂削減のカギとなってくると考えています。鉄道全体に占める非電化区間でのCO₂排出量は割合としては非常に小さいですが、カーボンニュートラルという目標に対しては排出量ゼロを目指す必要があります。気動車の脱化石燃料化としてのバイオ燃料への転換、電動化としては、蓄電池電車の導入、水素燃料電池鉄道車両（以下、燃料電池電車）の導入などが考えられます。このうち、燃料電池電車には、高圧の水素ガスを車両に搭載する必要があります。日本国内では、高圧の水素ガスは、[高圧ガス保安法](#)[®]や関連法規の規制を受けますが、鉄道システムに合わせてこれらの法規制の見直しを行わないと、燃料電池電車を営業線で走らすことが難しいと考えられます。

自動車では、過去に法規制などの見直しが行われ、2014年頃に水素燃料電池自動車が市販

されました。燃料電池電車については、自動車をお手本として、これらの法律や省令の見直しが進められています。ここでは法規制の見直しの動向を説明するとともに、国際規格についても検討が行われているのでこの状況について紹介します。

燃料電池電車

燃料電池電車は、燃料電池が主な動力源です。燃料電池は、電車に搭載した水素燃料と空気中の酸素による化学反応から直接電気を取り出す装置です。簡単に言うと水の電気分解の逆の反応となります。このため、反応後に出てくる物質は、H₂Oすなわち水のみとなり、車両からのCO₂の排出はありません。[図1](#)に燃料電池電車の特徴を示します。ディーゼル気動車に比べて、エネルギー変換効率が高い、可動部分が少ないので振動や騒音が小さい、メンテナンスが

[®] 高圧ガス保安法

高圧ガスによる災害を防止し、公共の安全を確保することを目的として制定されました。35℃で1MPa（約10気圧）以上の圧縮ガスなどを高圧ガスと定義しています。高圧ガスは取扱いを誤ると重大事故につながるため、製造、貯蔵や容器などを規制しています。また、高圧ガス保安協会等による保安に関する自主的な活動の促進も定められています。

- ・内燃機関に比べ変換効率が高い
- ・一次エネルギー多様化
- ・排気ガスがグリーン
車両からのCO₂排出がない
- ・可動部分が少ない
- ・中長距離走行用途では蓄電池電車
に比べ、エネルギー密度が高い

省エネ、環境負荷低減

リスク対策、燃料枯渇問題の回避

カーボンフリー、SO_x、No_x、ばいじんレス

省力化、メンテフリー、振動騒音低減

航続距離長い

図1 燃料電池電車の特徴

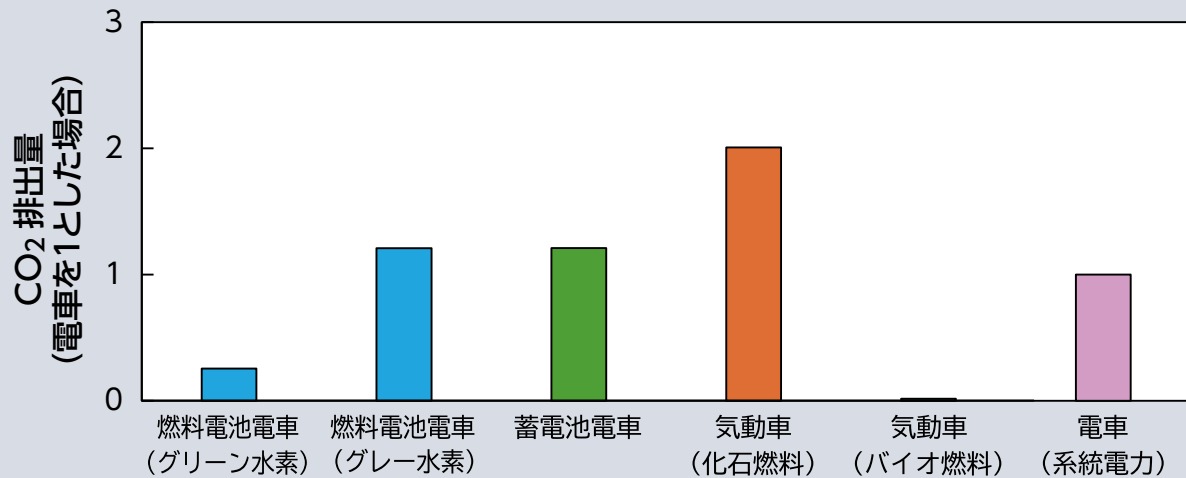


図2 CO₂削減試算例 文献1より筆者作成

容易などの特徴があります。また、蓄電池電車は、今のエネルギー密度の蓄電媒体では1回の充電で走行できる距離に制約がありますが、燃料電池電車は、水素のエネルギー密度が蓄電媒体よりも高く、水素搭載量の増加に伴う質量増加の割合が小さいため、中長距離の路線に向いています。

CO₂排出量に目を向けてみます。電化区間の電車や蓄電池電車は、車両からはCO₂を排出しませんが、電力会社などで発電するときにCO₂を排出しています。また、燃料電池電車においても、水素を作るときにCO₂が排出されます。このため、トータルでのCO₂排出を考えなくてはなりません。このトータルでのCO₂排出量を試算したのが図2です。燃料電池

電車は車両からのCO₂の排出がゼロであるとともに、**グリーン水素**^⑤などを使うことによりトータルで見たCO₂排出量も化石燃料によるディーゼル気動車に比べ少なくなることがわかります。

水素ガスは非常に軽い分子であるため、大量に車両に搭載しようとするとかさばります。そ

⑤ グリーン水素, グレー水素

水素に色がついているわけではなく、水素を何から作っているかを示しています。グリーン水素は再生可能エネルギーによる水電気分解などから水素が作られているため、製造時のCO₂の排出がきわめて少ないという特徴があります。グレー水素はCO₂の排出が少ない天然ガスなどからの改質による水素です。また、CO₂貯留により水素製造時のCO₂を削減した水素をブルー水素と呼ぶこともあります。

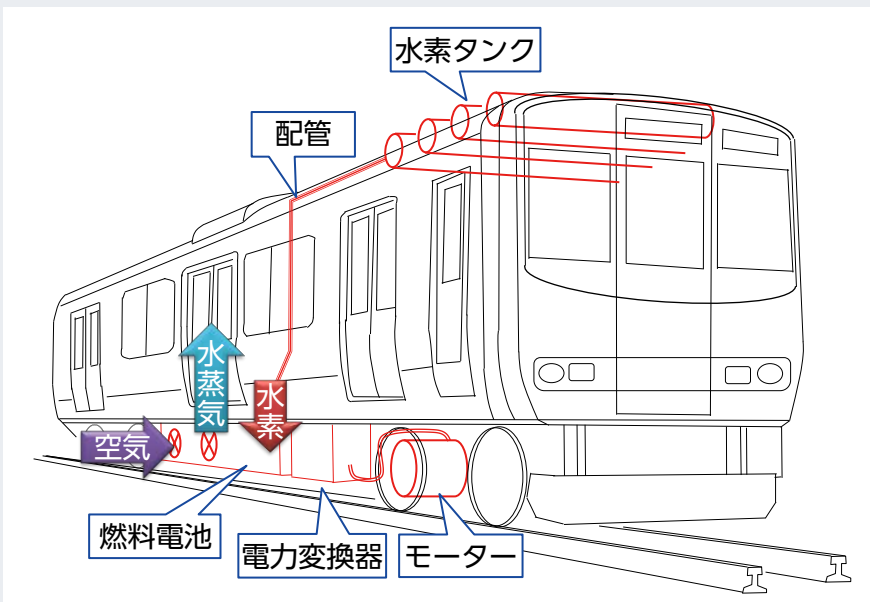
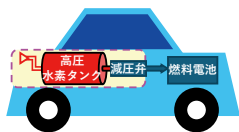


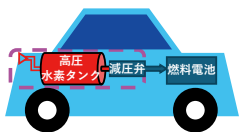
図3 燃料電池電車の構造、水素タンクの搭載イメージ

(1)燃料電池自動車開発当初



高圧ガス・高圧ガス関連機器は全て高圧ガス保安法(法律)で規制

(2)燃料電池自動車(一次化前)



高圧ガス・容器関連機器は高圧ガス保安法(法律)および関連省令で規制
その他は、道路運送車両法(法律)および関係省令で規制

(3)燃料電池自動車(現在)



高圧ガス・高圧ガス関連機器は全て高圧ガス保安法から除外
(道路運送車両法および関係省令で規制)

図4 燃料電池自動車の法規制の変遷



・試験電車のため、水素タンクは床下に搭載しています。
・本研究は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

図5 R291試験電車

のため、高圧に圧縮して蓄えるなどの工夫が必要です。現在検討している車両では、35MPa(約350気圧)や70MPa(約700気圧)といった非常に高い圧力に圧縮して搭載しようとしています。このような高圧に耐えられる、軽量で丈夫な水素タンクが必要となります(図3)。単純に鉄などの金属でタンクを作ってしまうと非常に重くなってしまいうため、強靱な炭素繊維とプラスチックや軽金属などの複合材料で作ったタンクが自動車用に開発されています。燃料電池電車においてもこのようなタンクを搭載することを考えています。

国内の法規制状況

日本では、高圧ガス保安法の定義で35℃において、1MPa(約10気圧)以上の圧力になるガスを高圧ガスと呼んでいます。高圧ガスを安全に使うために、取り扱いやタンク(以降、容器と呼びます)の構造などを省令などで細かく定めています。高圧ガス保安法や関連法規などでは、地上に設置した設備を対象とした規定が多数あるため、自動車や電車などの移動体に高圧ガスを搭載する場合にはこの規定と合わないことが生じます。そこで、自動車においては、使用実態に合わせて、安全を考慮したうえで、法規制の見直しが段階的に行われました(図4)。

現在、鉄道総研やJR東日本で、燃料電池試験電車による試験走行を行っています。いずれも、特

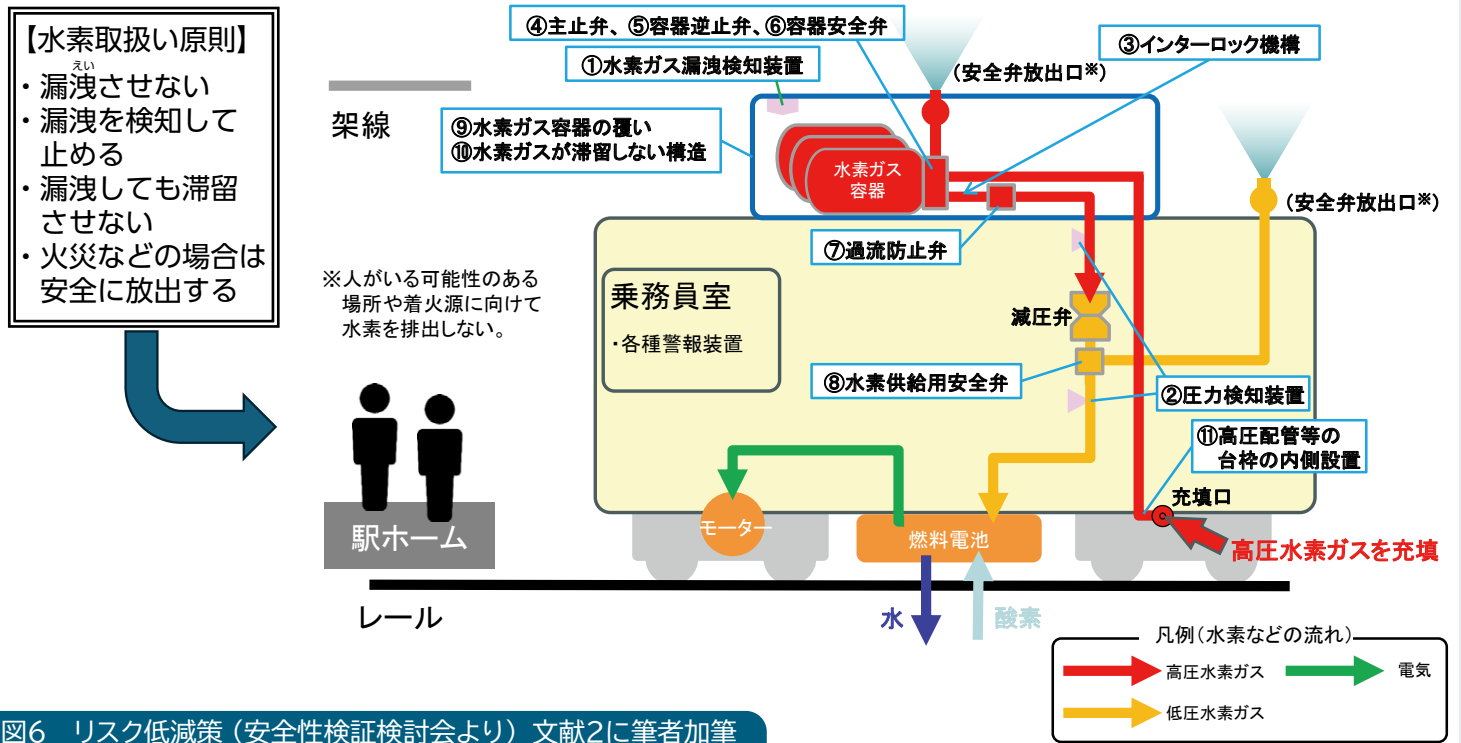


図6 リスク低減策(安全性検証検討会より) 文献2に筆者加筆

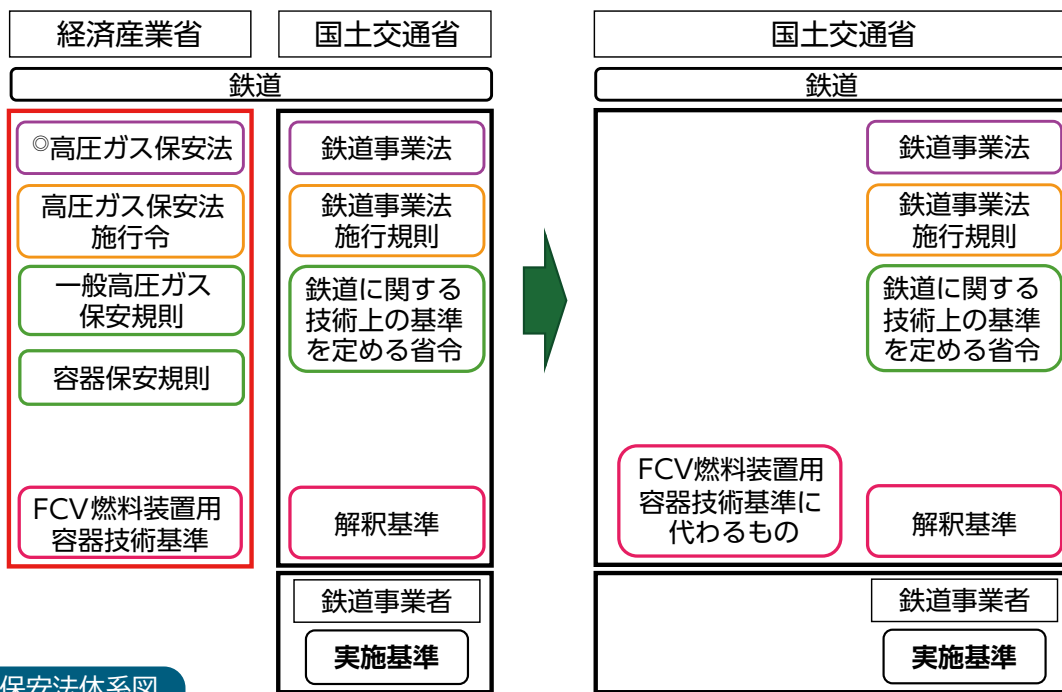


図7 高圧ガス保安法体系図

別な許可などをもって、水素を試験電車で搭載しています(図5)。営業線で使用する車両について、1両1両特別な許可をもらうことは現実的でないため、2024年度から国土交通省を中心に鉄道総研が事務局となり、有識者、関係省庁、関係協会、鉄道事業者などで構成する安全性検証検討会を開催し、燃料電池電車の安全性

を検討して、リスク低減策や技術基準の提案を行いました(図6)。この検討会の結果を元に、国土交通省、経済産業省で、2025年4月、省令の改正等が施行されました(図7)。

なお、この検討会では、技術基準を提案するにあたり、リスクアセスメントによる安全性検証を行うなど、新たな試みが行われました。

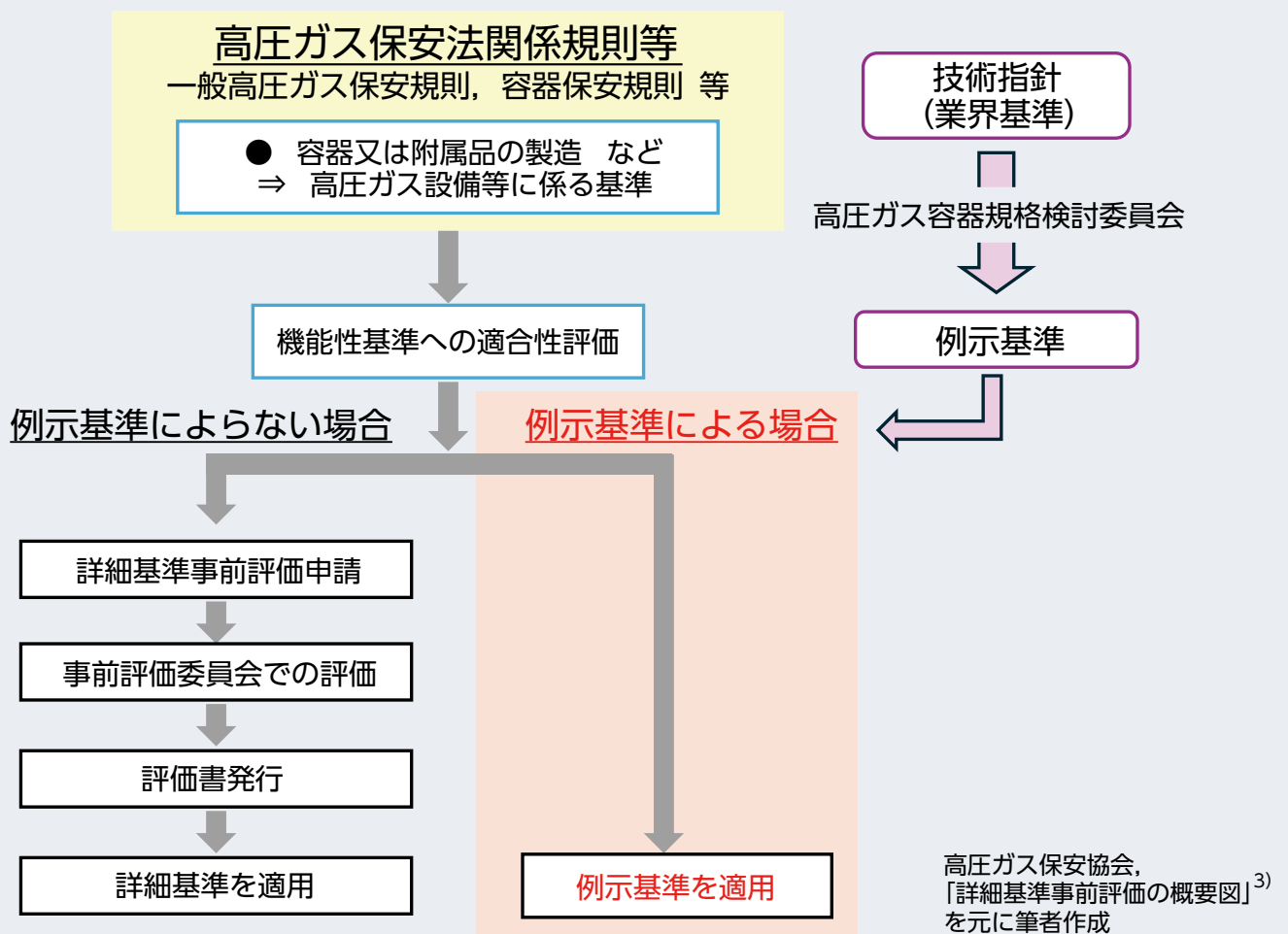


図8 鉄道車両用水素容器の基準

高圧ガス設備等に係る基準

高圧ガスの設備や容器は、欠陥などがあると重大な事故につながるため、高圧ガス保安法で規制が定められています。この規制に対し、経済産業省では例示基準を定めており、例示基準通りであれば法令に適合するものとして認められます。

鉄道用の水素容器やその附属品については、例示基準がありませんでしたので、例示基準を作る必要があります。図8に機能性基準への適合性評価の流れを示します。例示基準になる元の基準（技術指針と呼んでいます）を鉄道事業者などの合意で作成し、高圧ガス容器規格検討委員会にて審議していただきます。審議の結果、一般詳細基準として認められた場合、高圧ガス保安協会が報告を受けて、経済産業省により「容器保安規則の機能性基準の運用について」の別表に記載され、例示基準となり、これに適合して

製作された水素容器などは合格となる仕組みです。

燃料電池電車に搭載する水素容器やその附属品については、鉄道総研が中心となり、技術指針を作成し、2025年4月にこれを一般詳細基準として認めていただけました。

国際規格の開発状況

前述のように、日本国内では、燃料電池電車の営業線走行に向けて、法規制の見直しが進んでいます。世界的にみると、ドイツのハンブルク近郊の路線ではアルストム社製のiLintが2022年から運行をすでに開始し、世界初の燃料電池電車による営業運転となっています。今後も欧州や北米など複数の地域で営業運転が開始される見込みです。

このような背景のもと、燃料電池電車に関する国際規格の策定が進められています。図9に

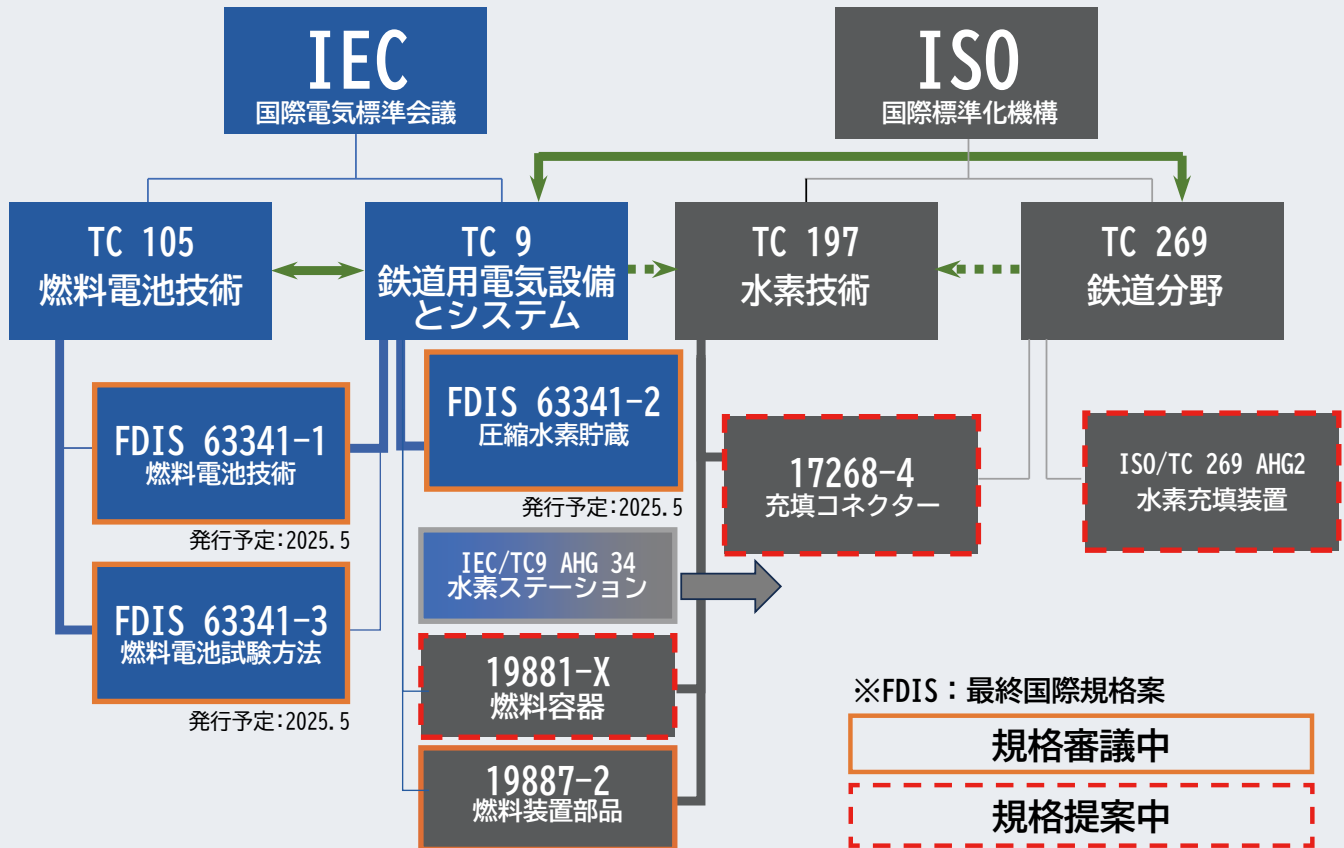


図9 燃料電池電車関係のIEC-ISO関連図

燃料電池電車に関連する国際規格の関連図を示します。

これらの国際規格の策定には、日本の技術者がエキスパートとして多数参加し、日本の主張が取り入れられるように議論が行われました。

国際的に合意された初の技術基準が定められることで、まずは、技術面でのよりどころができ、普及につながっていくことが期待されます。

おわりに

もともと鉄道システムは、環境に優しい乗り物と言われてきておりますが、2050年のカーボンニュートラルに向けては、さまざまな方策や新たな車両の導入が必要です。特に水素エネルギーを活用したCO₂削減、省メンテナンス化は、持続可能な鉄道のためには必須の技術と考えられています。水素を安全に車両に搭載するためには、技術的な開発はもちろんのこと、

法規制の見直しや技術基準の策定など制度の整備なども必要です。ここでは、燃料電池電車の営業線運転に向け、高圧ガス保安法関連の見直しなどに関する最新の情報を概説いたしました。また、国際規格の動向についても、簡単に述べました。

法規制や国際規格については、技術開発に合わせてブラッシュアップを進める必要があるため、今後も、鉄道業界をあげて、対応していかなければならないと考えています。【RRR】

文献

- 1) 長谷川均：鉄道運行エネルギーの脱炭素化, RRR, Vol. 80, No. 4, pp. 8-13, 2023
- 2) 国土交通省：「水素燃料電池鉄道車両等の安全性検証検討会とりまとめ」より, 2024年11月25日, https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr7_000055.html (入手日: 2025年2月13日)
- 3) 高圧ガス保安協会：詳細基準事前評価の概要図, https://www.khk.or.jp/inspection_certification/machine_facility/spcl_std_eval.html (入手日: 2025年2月13日)

■ 2025年5・6月号の訂正とお詫び

RRR誌2025年5・6月号に誤植がございました。ここに訂正してお詫び申し上げます。

頁	箇所	訂正内容
7	右段 4行目	<p>誤 令の改正等が施行されました (図7)。</p> <p>正 令の改正等が施行されました (図7左)。</p>
7	図7	<p>誤</p> <p>正</p>