

報告

リージョナルステート研究委員会
積み重ねられた開発、そして

鉄道総研における燃料電池鉄道車両の取組み

武 智 弘 明

1. はじめに

私たちリージョナルステート研究委員会(以下、RS 研究委員会と略称する)は、「北海道自律と活性化へ向けた提言と技術士の役割の研究」を活動目的として水素・循環システム研究分科会と地域主権分科会の 2 つの分科会で活動しており、水素を生かした地域づくりを柱として様々な観点から研究してきております。

今回は令和元年 11 月 19 日に会員等 18 名が参加し、公益財団法人鉄道総合技術研究所 車両制御技術研究部 水素・エネルギー研究室 主任研究員の米山 崇様を講師にお迎えし、鉄道総研での先進的な燃料電池鉄道車両開発の取組み等を拝聴しましたので、報告します。



写真-1 講師 米山様

以下は、ご講演の内容をまず記述し、さらに、後段では私の考えを合わせて付け加えさせていただきます。

2. 講演の概要

(1) 燃料電池車両開発を巡って

鉄道総研は『鉄道に関する基礎から応用にわたる研究開発』を行う組織。そこで、地球環境問題への取組みから、

- ・エネルギー効率が高く

- ・CO₂ や NO_x 等を排出しない車両
- ・化石燃料のみに依存しない
- ・車両のエネルギー源の多様化

という命題に対応するため、『水素を燃料とした』燃料電池を電源とする鉄道車両の開発を実施中。

鉄道車両は自動車と異なり、走行時のエネルギー使用パターンは独特である。

- ・加速、減速時間が短い
- ・加速時には大きな動力が必要
- ・惰行運転時には不使用
- ・ブレーキ時には回収できる

そもそも『燃料電池は一定の出力を連続する』ことは得意だが、鉄道車両に求められる特性は『短時間で大電力を入出力する装置』であり、それへの対応が不可欠である。

また、燃料電池から発生するのは水と空気だけでなく、付随して熱が生まれる。100W の電力を発電すれば、100W の発熱を伴うため放熱が必要。また、燃料電池よりも補機や燃料タンク、バッテリーが大きな空間を占める。

このような諸課題に対して、鉄道総研がたどった開発経過を述べる。

(2) 鉄道総研での開発経過

①1990 年代

開発中のリニアモーターカーは浮上式鉄道であり、車内用電源確保方策の一つとして燃料電池活用が検討。

②2000 年

在来方式鉄道への応用検討開始

③開発 Phase I (2001 ～ 2003)

30kW の燃料電池による台車駆動試験。

④開発 Phase II (2004 ～ 2006)

R291 電車で 100kW 燃料電池を搭載し、1 両で試験走行。

⑤開発 Phase III (2007 ～ 2008)

リチウムイオン蓄電池を搭載した車両を増結し、2 両編成で試験走行

⑥2012 年

液体水素タンク試作

⑦2019 年

実用を想定した燃料電池ハイブリッド電車の開発

ここで、燃料電池を生かした鉄道車両では、エネルギー使用特性から、バッテリーを組み合わせたハイブリッド化が重要となる。

(3)実用化への課題

こうして実験車両により判明した主な課題は次のとおりである。

① 水素の安全性と量の確保

- ・ 高圧水素ガスを 4.5kg 充填するタンクを 4 本セットで得られた、「満タンで 78km」という航続距離を延ばす必要がある
- ・ 水素の充填所は用途地域により制限
- ・ 水素自動車が本格的に普及し、利用されると製造量は不足(付随的な生産だけではやがて確保困難に)

② 電池や部品の寿命が短い

- ・ 自動車での燃料電池は 15 年程度の寿命であり、5000 時間/15 年の稼働と考えられている
- ・ 鉄道車両は 25 ～ 35 年使用され、約 4000 時間/1 年の稼働が想定され、高い耐久性が不可欠

③ 装置の床下化

- ・ 客室の 3/4 が機器に占められており、小型化しなければ客室空間を確保できない
- ・ Phase III では気体の水素ガスを高圧タンクに充填していたが、航続距離延長のため容量アップや貯蔵装置の小型化が必要
- ・ その他の補機も小型化して、高さ 70cm の床下空間に収容する必要がある

④ 加速性能の向上

- ・ 気動車並みの性能はあるが、電車には及ばない

⑤ 電池の寿命

- ・ 炭素電極の酸化、ガス化による劣化不純物での

発電不能が観察された

- ・ 10 年間という長期での劣化特性を評価した
- ・ 触媒や高分子膜の劣化が発電を電圧低下させる
- ・ 出力電圧は 10 年間で 5%低下に留まった

⑥ 電池の故障リスク

- ・ 車両の振動で水素配管が緩む→微量の漏れ
- ・ フィルタ目詰まりで、空気供給を阻害
- ・ 冷却水不足で温度上昇

について、注意が必要である。

⑦ 水素貯蔵

営業車で 500km 走行を目標とした場合、高圧水素タンクでは嵩張る。液体水素タンクでは

- ・ 小型軽量となる
- ・ タンク形状の自由度が大
- ・ 極低温液体の扱いとなる

したがって、蒸発を防ぐ断熱性能が重要であり、現状では 15 時間経過で圧力上昇は 1MPa 未満である。



写真-2 参加者

3. さらに

現在、実用を想定した燃料電池ハイブリッド鉄道車両の走行試験を始めている。主要な機器は床下に設置した。

この段階で想定した営業車両のイメージは

○客室空間確保

○電車相当の加速性能であったが、現在は、

① 燃料電池出力 目標値 150 ～ 300kW
試験車両 180kW

② リチウムイオンバッテリー 目標値 500kW
試験車両 500kW

③ 加速性能 目標値 試験車両 2.5km/h/s

④ 機器の床下収容

は達成した。

燃料タンクについては 20kg に留まっているが、こうした『客室空間を確保したプロトタイプの実験電車走行』を始めたところであり、詳細は今後報告する予定。

改めて、燃料電池は高価であり、寿命も短い。また、これまで日本に鉄道車両のような大容量移動体向けの燃料電池を、鉄道に供給する製造メーカーが存在していないことも課題である。

CO₂ 削減のための燃料電池導入であるが、水素の由来や電源構成により CO₂ 発生量が様々である。自然エネルギー由来の水素であれば自動車よりは CO₂ が少なくて済むが、それでも電車よりは多いと想定されている。

【諸外国での開発状況】

すでに海外では燃料電池鉄道車両が実用化されている。

《ヨーロッパ》

- ◎仏アルストム製の 2 両編成電車がドイツで走行中
- ・ 最高速度 140km/h で、航続距離は 600 ～ 800km
- ・ 水素タンクは 94kg
- ・ 定員は 300 名で、2018 年から通勤電車として運行されている

《中国》

- ◎青島と唐山の 2ヶ所で実用化されたと報じられている
- ・ 青島では 2 両編成の LRT 車両が運航中と報じられた
- ・ 燃料電池出力 200kW で航続距離 100km
- ・ 唐山市では 3 両編成の LRT 車両が、2017 年



写真-3 質問時の様子

に世界初の運行と報じられた

- ・ 燃料電池出力 300kW で航続距離 40km

【質疑】

Q：鉄道総研の燃料電池鉄道車両の研究体制は？

A：3 ～ 4 人で 20 年間研究してきた

Q：寒冷地での問題点はあるか

A：冷却水は不凍液とする必要がある

4. 私見

これ以降は講演内容ではなく、武智の私見です。

(1) 参考図等

以下の 3 枚は公益財団法人鉄道総合技術研究所発行の RRR2009 年 3 月号から、同財団の許諾を得た転載した図等です(複製は禁止されています)。



写真-4 2.(2)⑤で述べた試験電車の外観

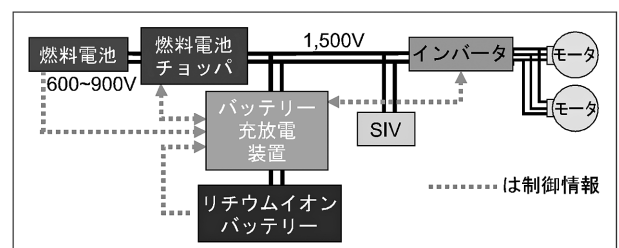


図-1 2(2)末尾に述べたハイブリッド化において現在採用されたシステム構成

すなわち

- ・ 加速時：燃料電池＋バッテリーで駆動
- ・ 減速時：燃料電池＋回生ブレーキで充電
- ・ 惰行時と停止時：燃料電池で充電

という組み合わせで、効率化を図っているとのこと です。

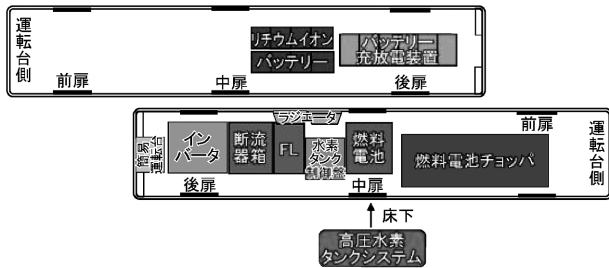


図-2 2. (3)③で述べた「客室内の 3/4 を機器が占めている」状況の模式

(2) 宗谷線での水素列車走行を目指したい

JR 宗谷線は

- ・乗客が少なく、赤字路線
- ・2019 年 4 月～9 月期の営業損益は▲1077 百万円(日経新聞 2019 年 12 月 5 日)
- ・旭川～名寄間のみが高速化済み
- ・駅間距離は長く、高い加速性能は要しない
- ・非電化区間であり、気動車だけが運行
- ・降雪地域であり、一定以上の軸重が歓迎される
- ・寒冷な地域の走行であり、冬期は熱源が必要

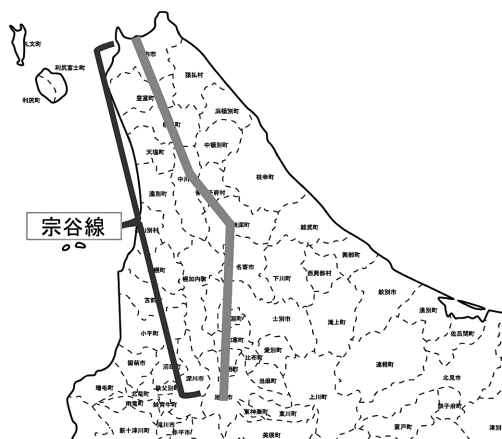


図-3 宗谷線の概観

宗谷線の位置する稚内地域は

- ・なによりも、再生エネルギーのポテンシャルが高い地域で自給率は 100%と推定されている
- ・発電した電力を消費するような産業は未立地であり、道央圏への送電線の能力も余裕がない
- ・したがって風力発電のような不安定な電力を利用しやすい形状とすることは重要で、その観点から水素として製造・貯蔵することはメリットある
- ・小規模ではあるが、すでに燃料電池導入も進んでおり、水素に関する理解がある

2019 年 6 月の報道では、宗谷線沿線自治体は 790 万円を負担し、道がその 2 倍を合せて JR の運



写真-5 キハ 261 系特急列車

行を支援しているとのこと。かつて、宗谷線のキハ 261 系特急列車導入に際しても、車両費 21 億円のうち 6.4 億円を地元自治体が負担と報じられています。現知事は打ち切る旨公表しましたが、鉄道を守るための地域負担はこれまでも、今後も続けざるを得ないと想像されます。

そこで、金銭面での支援ではなく、再生エネルギーから製造された水素を供給することでの支援を検討すべきと考えます。

《試算》

- ・稚内～名寄 $L=160\text{km}$ であり、水素 1kg で 8km 走行可能とすると、片道 20kg が必要
- ・現行ダイヤでの各駅停車日間 3 往復分では、 120kg の水素を提供するというイメージ
- ・札幌地域での販売予想価格は水素 1kg で $1,500$ 円とされているので、年額では 65 百七十万円

- ・仮に経済産業省が目標としている $20\text{円}/\text{Nm}^3$ が実現するとすれば、960 万円程度の地元負担

このほか、水素列車の購入費用(既存キハ 40 系等との更新費用での差額)や水素ステーション(電力→水素→車両)設置費用、あるいは運転費用の増嵩分等は別途検討が必要ですが、いずれにしても水素列車が再生エネルギーで運行されることはエネルギー地産地消の一つの新しい形態となり、本道全体、特に宗谷地域にとって貴重な資産になると考えます。

武 智 弘 明 (たけち ひろあき)

技術士(建設/上下水道部門)

リージョナルステート研究委員会 幹事長
地域主権分科会 座長
株式会社リブテック

