

## 海外における燃料電池鉄道車両の開発動向

米山 崇\* 小川 賢一\* 柏木 隆行\*  
山本 貴光\*\*

### Development Trend of Fuel Cell Trains in Overseas

Takashi YONEYAMA Kenichi OGAWA Takayuki KASHIWAGI  
Takamitsu YAMAMOTO

The fuel cell is drawing attention as a clean power source that utilizes hydrogen as fuel to create electricity. In Japan, household-use fuel-cell systems have been sold since 2009, and fuel cell automobiles have come onto the market since 2014. In the field of railway vehicle, we, RTRI, are researching and developing a railway vehicle where fuel cells are used as a traction power source. In addition, Alstom, a French railway manufacturer, released a fuel cell railway vehicle in 2015, and an affiliated company of CRCC released a fuel-cell Low-floor trams in 2015. Recently, research and development of fuel cell trains has been initiated. So, we report on development trend of fuel cell trains in overseas.

キーワード：燃料電池，鉄道車両，海外，開発

### 1. はじめに

燃料電池は水素を燃料として発電を行うため、発電の際の二酸化炭素の排出がゼロのクリーンな電源として注目されている。また、燃料となる水素は、石油、石炭、天然ガスなどの化石燃料のほか、水力・風力・太陽光など多様な一次エネルギーから製造できるため、将来にわたり、安定した供給が期待できる。

国内では家庭用燃料電池（エネファーム）が2009年から、燃料電池自動車（FCV）が2014年から市販が開始された。鉄道でも、鉄道総研が燃料電池鉄道車両の開発を行っており、2006年に試験車両を鉄道総研の所内試験線で走行させている。

一方、海外の鉄道に目を向けると、2015年にヨーロッパの鉄道メーカーであるアルストムが燃料電池鉄道車両を公開し、中国の鉄道車両メーカーの中国中車（CRCC）のグループ企業が低床路面電車のプロトタイプを公開を行っている。本稿ではこれらの海外の燃料電池鉄道車両の動向について報告を行う。

### 2. 燃料電池鉄道車両の構成

燃料電池鉄道車両は、多くの場合、水素を燃料とする発電装置である燃料電池と、制動時の回生電力や燃料電池が発電した電力を蓄えたバッテリーとの電力によって駆動するハイブリッド車である。一例として、鉄道総研が開発した燃料電池鉄道車両の主回路概要を図1に示す。

\* 車両制御技術研究部 水素・エネルギー研究室

\*\* 車両制御技術研究部

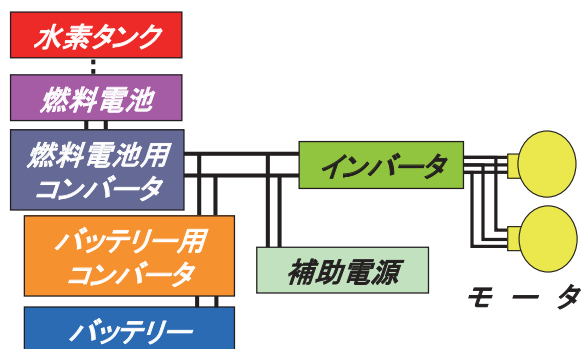


図1 燃料電池鉄道車両の主回路概要

燃料電池には常温で起動可能な固体高分子形の燃料電池が使用されており（図2に100kW級固体高分子形の燃料電池の外観を示す）、バッテリーにはリチウムイオンバッテリーやニッケル水素バッテリーが使用されている。燃料電池とバッテリーにそれぞれDC/DCコンバータが接続されており、燃料電池に接続されたDC/DCコンバータは燃料電池の出力電力を制御し、バッテリーに接続されたDC/DCコンバータはバッテリーへの充放電電力の制御を行う。この回路において、バッテリーの電圧、モータ駆動用インバータの電源電圧、及び補助電源装置の電源電圧を統一し、燃料電池用コンバータおよびインバータにバッテリー充放電を制御する機能を付加した場合、バッテリー充放電用のDC/DCコンバータを省略することができる。

燃料電池車両では燃料である水素を貯蔵するために水素タンク（容器）を搭載する必要がある。タンクには鋼製の容器（Type1）、アルミのタンクをカーボンファイバー

で補強した複合容器 (Type3), プラスチックのタンクをカーボンファイバーで補強した複合容器 (Type4) などがある。鉄道総研の燃料電池車両では Type3 のタンクを採用し, 35MPa (約 350 気圧) 程度で水素ガスを貯蔵している (図3)。

なお, 本車両開発の一部は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。



図2 100kW 級の固体高分子形燃料電池の外観



図3 水素タンクの外観 (Type3)

### 3. 海外の燃料電池鉄道車両の動向

海外の燃料電池鉄道車両の開発動向として, 現在運行中のものを含め 4 件の最近の開発事例について以下に述べる。

#### 3.1 アルストムの燃料電池車両

ヨーロッパの鉄道車両メーカーのアルストムは 2016 年 9 月 20 日～9 月 23 日にドイツのベルリンで開催された InnoTrans の会場内の屋外車両展示場にて, 燃料電池車両 iLINT の公開を行った。その際の車両の外観等を図 4 に示す。また, 2017 年 3 月 14 日に, ドイツのザルツギッターの試験線で 80km/h での走行に成功したことをプレスリリースしている<sup>1)</sup>。

文献 1) 及び文献 2) によると, この燃料電池車両 iLint はアルストムの気動車 Coradia LINT54 をベースと

しており, 内装は LINT54 と変わらない。また, 燃料電池 (ハイドロジェニクス社製) と水素タンク (XPERION COMPONENTS 社製: 燃料電池や天然ガス自動車・バス用のガスタンクを製作しているメーカー) は屋根上に搭載され, リチウムイオンバッテリーや電力変換装置は床下に搭載されている。各車両の先頭側の台車が動力台車であり, 車両を駆動する主電動機は気動車のエンジンと同様に床下に吊り下げられ, 推進軸とギアにより動台車の 2 本の車軸へとつながっている。また, 連結面側の台車は付随台車となっている。車両・燃料電池・水素タンクの主な仕様を表 1 に示す。

アルストムによると, 今後, ヴェリム (チェコ) の試験線で最高速度 140km/h までの試験を実施し, 2018 年にはドイツのハノーファー周辺で営業路線 (ブクステフーデからブレーマーフェルデ, ブレーマーハーフェンを経てクックスハーフェンへ至る路線) での試験を予定している。また, 今後, ドイツ国内の 4 州 (ニーダーザクセン州, ノルトライン・ヴェストファーレン州, バーデン・ヴュルテンベルク州, ヘッセン州) で 60 両 (30



図4 アルストムの燃料電池車両の外観

表1 アルストムの燃料電池車両の主な仕様

車両	メーカー	アルストム
	形式名	Coradia iLINT
	最高速度	140km/h
	定員	300 名
	モータ出力	320kW (連続) 400kW (回生時)
	航続距離	600 ~ 800km (走行線区により変わる)
燃料電池	メーカー	HYDROGENICS 社 (カナダ)
	出力	1 両あたり 200kW 程度 (HyPM HD 30 モデルがベース)
水素タンク	メーカー	XPERION COMPONENTS
	形式名	X-STORE
	種別	Type4 (プラスチックの容器を炭素・ガラス繊維で補強)
	貯蔵圧力	35MPa
	貯蔵量	1 両あたり 94kg 程度 (水素タンク 24 本搭載により)
バッテリー	メーカー	AKASOL 社 (独)
	種別	リチウムイオンバッテリー
	電圧	800V
	容量	111kWh
	出力	221kW (連続) /450kW (40 秒)

編成)の燃料電池車両の投入の計画を明らかにしている。なお、このプロジェクトはドイツの連邦交通・建設・都市開発省の補助を受けて実施しているとのことである<sup>1)</sup>。

### 3.2 TIG/mの燃料電池路面電車

TIG/mはアメリカ合衆国カリフォルニア州の架線レス路面電車メーカーであり、燃料電池を搭載した観光用路面電車の開発を行っている。

文献3)によると、TIG/mがアルバ(カリブ海に浮かぶ西インド諸島の島で、オランダ王国を構成する4つの構成国の一つ)に納入した燃料電池路面電車は2012年12月から運行を行っている(図5)。

この路面電車は、燃料電池をいわゆるレンジエクステンダーのシステム(電気自動車の航続距離を延長するために搭載する小型発電機からなるシステム。プラグインハイブリッド自動車(PHEV)などで採用されている)として搭載しており、車載の大容量リチウムイオンバッテリーに充電した電力と、走行中に11kWの燃料電池により発電される電力により、16時間以上の運転が可能となっている。リチウムイオンバッテリーは低重心化のために車両の床下に搭載されており、充電は夜間に系統電力から行う。燃料電池は約2kgの水素を消費することで8時間発電する。車両の主な仕様を表2に示す。

アルバでは車庫に水の電気分解により水素を得る水素発生装置を設置し、現地で35MPaに昇圧して、車庫で充填している。

また、文献4)によると、TIG/mの路面電車は、2015年4月19日から、アラブ首長国連邦のドバイのダウントウン・ドバイ地区を取り巻く環状道路でも運行を開始



図5 TIG/mの燃料電池燃料電池の外観(TIG/m提供)

表2 TIG/mの燃料電池路面電車の主な仕様

項目	仕様
車両メーカー	TIG/m
燃料電池メーカー	Plug Power
燃料電池出力	11kW
水素貯蔵圧力	35MPa

している。現在は、環状道路南部の1kmほどの区間で停留場は3箇所とのことであるが、今後、ダウントウン・ドバイ地区を取り囲むように全線7kmで開業する予定とのことである。

### 3.3 中国での開発事例

中国では青島四方機車車輛および唐山軌道客車の2社の燃料電池路面電車の開発事例が報告されている。前者は旧中国南車、後者は旧中国北車のグループ企業であったが、現在はどちらも中国中車のグループ企業である。

#### 3.3.1 青島四方機車車輛の燃料電池路面電車

文献5)では、青島四方機車車輛が、2015年の3月に中国の青島(チンタオ)で行われたイベントで、燃料電池路面電車(図6)の走行を実施したと報告している。このイベントに仏山(フォーシャン)市(CRCCの路面電車の顧客:香港・マカオの近くにある中国広東省広州市の川向かいの市)の高官らが招待客として出席・試乗したとのことである。

なお、文献6)によると、使用される燃料電池は100%低床車両用にカスタマイズされた専用モジュールではなく、バス用に設計された既存のバラード社製の燃料電池モジュールを使用し、出力は200kW(net値)とのことである。また、この路面電車は最高速度70km/hで100kmの走行ができ、水素の充填時間は3分とのことである。車両の主な仕様を表3に示す。この燃料電池路面電車は仏山市で2017年に運航開始した路面電車8編成に使用される予定である。



図6 青島四方機車車輛の燃料電池路面電車試作車の外観(Image provided by Ballard Power Systems)

表3 青島四方機車車輛の燃料電池路面電車の主な仕様

車両	メーカー	青島四方機車車輛
	最高速度	70km/h
	航続距離	100km
燃料電池	メーカー	Ballard Power Systems社(カナダ)
	出力	200kW(net値) (FCveloCityをベースにカスタマイズ)

### 3.3.2 唐山軌道客車の燃料電池路面電車

中国中車唐山軌道客車も燃料電池の低床路面電車の開発を進めている。図7に試作車両の外観を示す。

文献7)では、燃料電池メーカーの巴拉ード社が、唐山軌道客車会社が燃料電池低床路面電車の試験を行ったことを報告している。これによると、この路面電車は巴拉ード社の燃料電池FCveloCityを搭載しており、3両編成(336人乗り)の車両で構成され、1回の充填で水素12kgを搭載でき、最高速度は70km/h、航続距離は40kmとのことである。車両には、燃料電池のほかに、バッテリーとスーパーキャパシタを組み合わせて搭載している。車両の主な仕様を表4に示す。

なお、唐山市の新しい14kmの軌道は、4つの駅と水素100kgの容量を持つ水素充填ステーションから構成されているとのことである。



図7 唐山軌道客車の燃料電池路面電車試作車の外観 (Image provided by Ballard Power Systems)

表4 唐山軌道客車の燃料電池路面電車の主な仕様

車両	メーカー	唐山軌道客車
	最高速度	70km/h
	定員	336人(3両編成)
	航続距離	40km
燃料電池	メーカー	Ballard Power Systems社(カナダ)
	型式	FCveloCityをベースにカスタマイズ
水素	貯蔵量	12kg

## 4. おわりに

本報告では、海外における燃料電池鉄道車両の開発動向を紹介した。アメリカの路面電車メーカーのTIG/m社製がPlug Power社製の小出力の燃料電池をレンジエクステンダーのシステムとして搭載した路面電車がアルバとドバイで走行しているほか、アルストムの燃料電池車

両や、中国中車の路面電車が試験走行を実施し、数年以内の営業運転を目指している。

鉄道車両の駆動電源としての燃料電池はバス向けの燃料電池をカスタマイズしたものが採用されている例が複数あり、水素タンクは燃料電池や天然ガス自動車・バス用のガスタンクを製作しているメーカーのものが採用されている。

また、燃料電池メーカーの巴拉ードはドイツの鉄道メーカーのジーメンスと、通勤・近郊型の燃料電池車両の開発のための複数年契約を結び、2021年に公開する予定を発表しており<sup>8)</sup>、ますます燃料電池鉄道車両の開発が活発化すると考えられる。

これらの状況を踏まえ、今後も国内外の燃料電池自動車・鉄道車両の開発動向に注視していく。

この他に、世界共通の課題として、燃料である水素の製造・輸送・貯蔵に関する技術的な課題や、高圧のガスを取り扱うための法的課題(技術基準の整備、国際基準化)もある。これらがいかに解決されていくかにも注目していきたい。

## 文献

- 1) Alstom <http://www.alstom.com/press-centre/2017/03/alstoms-hydrogen-train-coradia-ilint-first-successful-run-at-80-kmh/> (参照日:2017年11月16日)
- 2) Hondius, H, "iLint targets the regional railway," *Railway Gazette International*, pp.58-61, March, 2017.
- 3) Wahnsiedler, J, "IS HYDROGEN THE HOLY GRAIL FOR OFF WIRE OPERATION?" *Tramways & Urban Transit*, pp.27-29, January, 2015.
- 4) 稲見眞一:中東の国/アラブ首長国連邦ドバイに開通した燃料電池トロリー, 路面電車EX, Vol.09, pp.92-95, 2017.
- 5) Ballard Power Systems <http://www.ballard.com/about-ballard/newsroom/news-releases/2015/04/07/ballard-customer-demonstrates-world-s-first-hydrogen-fuel-cell-tram> (参照日:2017年11月16日)
- 6) Zemek K, "Developing alternative traction in China," *Railway Gazette International*, pp.44-45, March, 2016.
- 7) Ballard Power Systems <http://www.ballard.com/about-ballard/newsroom/market-updates/tangshan-railway-vehicle-company-commences-hydrogen-powered-tram-trial> (参照日:2017年11月16日)
- 8) Ballard Power Systems [http://www.ballard.com/about-ballard/newsroom/news-releases/2017/11/14/ballard-and-siemens-sign-\\$9m-multi-year-development-agreement-for-fuel-cell-engine-to-power-cutting-edge-mireo-commuter-train](http://www.ballard.com/about-ballard/newsroom/news-releases/2017/11/14/ballard-and-siemens-sign-$9m-multi-year-development-agreement-for-fuel-cell-engine-to-power-cutting-edge-mireo-commuter-train) (参照日:2017年11月16日)