

水素技術と鉄道分野への展望の概要

Summary of Hydrogen Technology and Prospect of Application to the Railway Field



中平 雅士*



藺田 秀樹*

Recently, the hydrogen attracts attention as measures of resources energy and global environment problem. In the background, the fuel cell technology has been used closely by the spread and the expansion of such as stationary fuel cells (Ene-Farm).

This report describes a fuel cell and neighboring techniques as utilization of the hydrogen technology, and shows the prospect summary about the application of the railway field for hydrogen community in the future.

●キーワード：水素、燃料電池、水素供給、エリアマネジメント

1. はじめに

昨今、水素が注目されている。その背景には、家庭用燃料電池（エネファーム）の普及や燃料電池自動車の一般向け販売など、燃料電池が身近に実用化したことにある。その普及とともに、水素を活用するための周辺技術も進展し、水素の優れた特性に社会の期待が寄せられているためである。

本稿では、燃料電池ほか、水素が普及するための周辺技術を紹介し、水素技術活用によるこれからの水素コミュニティと鉄道分野への展望について述べる。

燃料電池は、電解質の材質によって固体高分子形、りん酸形、熔融炭酸塩形、固体酸化物形に分類されている。家庭や自動車に使用されているのは、作動温度の低い固体高分子形である（表1）。

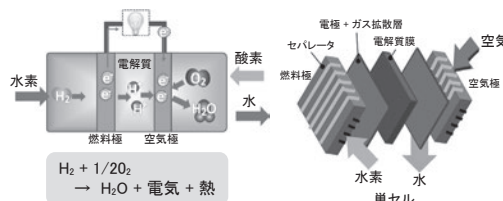


図1 燃料電池の発電の仕組みとセル構造

2. 燃料電池

2.1 燃料電池の概要

水素技術の代表的な活用として、燃料電池が挙げられる。水素と酸素のもつ化学エネルギーを電気エネルギーと熱に変換させる装置である。

火力発電所の場合では、化石燃料のもつ化学エネルギーから熱エネルギー、さらにタービンによる運動エネルギーを通して電気エネルギーに変換するため、エネルギー変換ロスが多く発生するが、燃料電池は化学反応によって直接電気エネルギーを得るため効率のよい特徴がある。また、発電過程においては、CO₂や大気汚染物を排出しないため、環境にとっても有益である。

2.2 燃料電池の仕組みと特徴

発電の仕組みと構造を図1に示す。燃料電池は、水素と酸素から水と電気と熱を発生するものである。水素と酸素で発電する燃料電池の心臓部が“電解質”と呼ばれる部分である。電解質の両側を白金などの触媒を塗布した電極でサンドイッチしたワンセットを“(単)セル”と呼ぶ(図1)。このセルをセパレータで区切りながら何層にも積重ねたもの(スタック)が基本構造となっている。

表1 燃料電池の分類と主な特徴

| 種類 | 固体高分子形 PEFC | りん酸形 PAFC | 熔融炭酸塩形 MCFC | 固体酸化物形 SOFC |
|------|-----------------|--------------|-------------------------|----------------|
| 電解質 | 高分子電解質膜 (固体) | リン酸 (液体) | Li/K, Li/Na系 炭酸塩(液体) | セラミック (固体) |
| 作動温度 | 常温~90℃ | 150~200℃ | 650~700℃ | 750~1000℃ |
| 主な用途 | 家庭用自動車 携帯など | 産業・業務用 | 産業用、分散電源 | |
| その他 | 実用化 | 実用化 | 研究段階 | 開発段階 |

2.3 燃料電池実用化

2.3.1 自動車用燃料電池

自動車用燃料電池は、使用条件や環境が鉄道車両に近く、その開発状況に注視している。下記に自動車とバスの開発状況をまとめる。

(1) 燃料電池自動車

日本を始めとして、ドイツ、韓国など世界の自動車メーカーが開発にしのぎを削っている。特に日本の自動車メーカーの取組みは早く、世界に先駆けて一般向けの販売を開始した。表2にトヨタ自動車(株)MIRAIの性能と2008年モデルからの進化を示す¹⁾。燃料電池は起動性等を考慮し、固体高分子形を採用している。セルスタックの電極や流路構造の革新により出力密度が2倍以上に向上している他、酸素加湿器の撤廃など小型化を図り、セダンタイプの構成を可能としている。また、

水素タンクの開発などにより水素搭載圧力が70MPaになり、一般的な使用に耐えうる稼動距離となっているほか、寿命やコストについても大幅な改善が図られている。他に本田技研工業(株)や日産自動車(株)なども、市販に向けた準備を進めており、自動車用燃料電池の更なる進化が期待される。

表2 MIRAIの性能進化¹⁾

| 車種 | 2008年モデル | MIRAI |
|---------------|----------|-------|
| 最大出力(kW) | 90 | 114 |
| 電流密度 | — | 2.4倍 |
| 体積出力密度(kW/L) | 1.4程度 | 3.1 |
| 質量出力密度(kW/kg) | 0.9程度 | 2.0 |
| 加湿器 | あり | なし |
| 水素搭載圧力(MPa) | 35 | 70 |

(2) 燃料電池バス

日本のほか欧州や北米カリフォルニア州などで実用化に向けた実証試験が進んでいる。特に欧州においてはCHICプロジェクトなど規模の大きい複数のプロジェクトが並行的に進んでいる。複数の国、バスメーカー、燃料電池メーカー等が参加しており、バスの開発実績は80台を超える。技術的には適用可能な領域に達しており、コストや運営面の課題のみを残す状況である。日本では規模こそ大きくないが、日野自動車がMIRAIの燃料電池を搭載したバス(図2)を開発して実証試験²⁾を行うなど最新技術を導入した開発を行っており、2016年度市販開始を目標に開発を進めている³⁾。

燃料電池バスの仕様は、燃料電池や二次電池の性能等が鉄道車両の要求に比較的近いいため、国内外を問わず開発状況に注視したい。



図2 日野自動車の燃料電池バス 【出典】 日野自動車ニュースリリース

2.3.2 エネファーム

家庭用燃料電池(エネファーム)は世界に先駆け我が国で販売開始された。導入目標としては、2020年140万台、2030年530万台とされている。2015年現在では約10万超が普及し、価格も2009年の販売当時の約1/2となっている⁴⁾。エネファームは都市ガスやプロパンガスを改質して水素を取り出しているため、CO₂が排出されている。今後は製造過程でCO₂の排出しないクリーンな水素をどのように提供するかが重要である。

3. 水素の製造と供給技術

3.1 水素製造方法⁵⁾

燃料電池の燃料となる水素の製造について、現在の主な水素製造方法について示す(図3)。

(1) 化石燃料改質

天然ガスなどの化石燃料を改質して製造される。

(2) 副生水素

多様な工業プロセスから副産物として生産される水素であり、ソーダ産業や製鉄所から副生される。

(3) バイオマス

木材等のバイオマスを無酸素化下で熱分解(乾留)させ、水素を含む乾留ガスから水素を分離させる。また、発生したメタノールやメタンガスを、触媒等を用いて改質しても製造される。

(4) 自然エネルギー

自然エネルギーを活用した水電気分解による製造。

自然エネルギーは不安定な電源であるため、買取りが制限されている事例もある。そういった制限されている余剰電力に対して、エネルギーの貯蔵先として水素活用が考えられている。

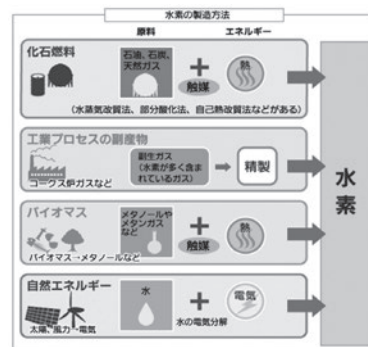


図3 水素の製造方法
【出典】水素エネルギー白書, P5 (NEDO)⁵⁾

3.2 水素供給方式と効率の比較

3.2.1 水素供給方式

水素は体積あたりのエネルギー密度が低いため、効率的な輸送・貯蔵が課題である。さらに、主な方式の概要は以下の通りである。

(1) 液体化

水素を-235℃まで冷却することで液体化させる。体積は1/800に減少する。

(2) 高圧(圧縮)ガス化

水素を圧縮して輸送する。陸上での水素輸送として、技術基準の改正により、圧縮水素運送自動車用容器の最高充填圧力を45MPa級に引き上げられた。最終的な水素ステーションでは70MPa級に昇圧される。

(3) 有機ケミカルハイドライド化

水素をトルエンと化学反応させることで、「メチルシクロヘキサン」と呼ばれる常温液体となる。水素体積は1/500となり、常温で取り扱いできるため、輸送・貯蔵に有効である。一方、水素として利用するには、化学反応により水素を分離する必要があり、水素ステーションなど水素利用箇所まで水素に分離させる設備が必要となる。

3.2.2 供給方式の比較

水素供給には、水素ステーションの外で製造された水素をトレーラーなどで輸送・供給するオフサイト型と、原料をもとに水素ステーション内の水素製造措置で製造・供給するオンサイト型がある。

オフサイト型の供給方式として、表3に輸送方式と輸送量を示す。現状では、高圧ガスは細長く重いポンベに水素を詰込み、そのポンベを束ねるため、陸上輸送においてはポンベが嵩張り、かつ重量物となることから、液化水素の方が約10倍の輸送が可能といわれ、液化水素に優位性がある。ところで、高圧ガスはシンプルな方式であるため、燃料電池自動車には高圧ガスが燃料源として採用されている。

また、液化水素に比べ、輸送量は減少するがその取扱い易さから常温液体が目されている。

表3 水素輸送方式別の輸送量

| 方式 | 液化水素 | 高圧(圧縮)ガス | 常温液体 |
|-----|--------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| | 液化水素ローリー (-253°C) | 高圧ガストレーラー (20MPa) | ケミカルローリー (メチルシクロヘキサン) |
| 輸送量 | 20,000~30,000m ³ /台 | 2,300~3,000m ³ /台 | 10,000m ³ /台 |

【出典】水素エネルギー白書, P120 (NEDO)⁹⁾より作成

4 鉄道分野への展望

4.1 燃料電池電車の開発

燃料電池は、ディーゼルエンジンと比較してエネルギー効率がが高く、かつ走行時のCO₂やNO_x等の排出ガスが発生しないため、燃料電池車両が実現できれば、気動車に対して大幅な省エネと環境負荷低減が可能となる。また、自動車等の開発状況に鑑みると蓄電池電車の航続距離という課題を克服できることや、エンジン等の機械部品の削減によってディーゼルハイブリッド車に対してメンテナンス性が良くなるなど、他の種類のハイブリッド車と比較しても、総合的なメリットが高いといえる(表4)。これらのメリットを活かし、環境を阻害せずに架線レス運転による地上設備の簡素化などが可能となる。また、将来の化石燃料枯渇に対する代替エネルギーとなり得る。

表4 動力方式による比較

| 車種 | 省エネ性能 | 環境性能 | 航続距離 | メンテナンス |
|-------------|-------|------|------|--------|
| 燃料電池車 | ◎ | ◎ | ○ | ○ |
| 気動車 | △ | △ | ○ | △ |
| ディーゼルハイブリッド | ○ | ○ | ○ | △ |
| 蓄電池車 | ◎ | ◎ | △ | ○ |

当社では2005年~2008年の間、燃料電池試験車両を開発し、走行試験等による評価を実施した(図4)。最高速度100kmでの走行を実現したが、実用化に向けて以下の課題

が判明した。

- ・燃料電池や周辺機器が高コスト
- ・水素搭載量が少ない
- ・燃料電池の寿命が短い
- ・法規、技術基準等への適合

しかしながら、燃料電池自動車の市販が開始されるなど、近年の燃料電池や水素タンクの開発は速く、技術的な課題をクリアできる可能性が高い。燃料電池車両はそう遠くなく、実用化される可能性があると考えられる。



図4 燃料電池試験車両 (NEトレイン)

4.2 その他の展望

4.2.1 地上設備の電源への活用

(1) 駅等の非常・予備(補助)電源としての活用

駅等への活用として、非常・予備電源として活用が考えられる。大型のタンクにより、エネルギー源として貯蔵させることで、非常時対応としてBCP (Business Continuity Plan)の機能を持たせることができる。また、重負荷時における負荷ピークカット対策として、予備(補助)電源としての活用できる。

(2) 詰所、事務所、寮等への適用

一般家庭で普及している家庭用燃料電池(エネファーム)は、社員詰所、事務所、寮などの適用がある。エネファームは家庭用サイズの需要電力と温水熱量を考慮しているので、発電量は0.7kW程度と出力が小さいことに注意が必要である。

4.2.2 タービン発電への活用

JR東日本では発電設備も所有していることから、水素は燃料電池以外にも発電所への用途も挙げられる。

(1) ガスタービン発電(図5)

燃料と空気について、予め混合噴射する方式(予混合方式)と別々に噴射する方式(拡散方式)がある。

予混合方式の場合、高効率ながらも火炎が不安定なため可能な水素混焼率は数%程

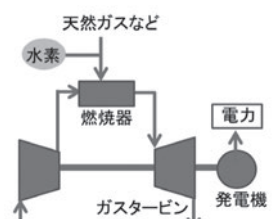


図5 ガスタービン発電方式

度である。また、拡散方式は、局所的な高温スポットが生じて、 NO_x が発生のため、水・蒸気噴射により温度低減させることから発電効率が低下するが、従来の燃料噴射方式はそのまま活用でき実績も多い。

(2) 汽力発電 (図6)

水素をボイラー燃料として利用し、ボイラーより発生した蒸気でタービンを回転させて発電する。ボイラー燃焼のため、通常の汽力発電効率は変わらない。

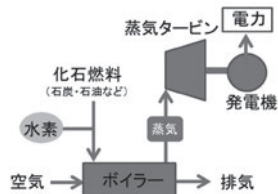


図6 汽力発電方式

(3) トリプルコンバインド (図7)

固体酸化化物形燃料電池 (SOFC) とガスタービン発電を併用する発電である。高温の排熱と反応しきれなかった水素を利用し、ガスタービンで発電させ、さらにガス排熱で蒸気タービンを回転させる高効率な発電システムである。

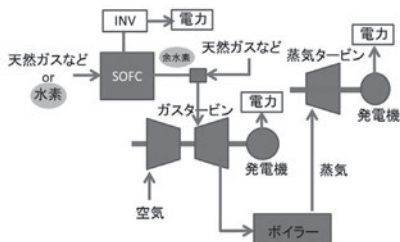


図7 トリプルコンバインド発電方式

5.2 鉄道分野の果たす役割

4章の鉄道分野での利用について図8にイメージした。環境にやさしいといわれる鉄道ではあるが、依然として鉄道分野の消費エネルギー量は大きい。消費されるエネルギー源の一部を水素に置換え、図8に示すような水素の供給フローが確立されて水素の特徴を活かすことで、資源エネルギー問題対策、環境問題対策、BCPの機能を維持する活用への展開が期待できる。

また、鉄道事業は地理的な広がりがあるため、水素供給の進むエリアにおいては、水素コミュニティの中の大口需要先として、水素利用の拡大をはかる役割が考えられる。

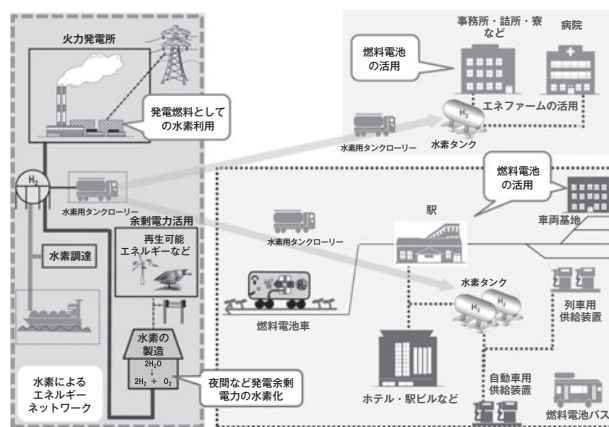


図8 鉄道分野の水素利用

5. エリアマネジメントの展望

5.1 水素コミュニティへの見通し

これまで水素の活用を技術面の動向から述べてきた。

これらの技術が成熟しても、水素が将来的に普及していくためには、製造・供給についてエネルギー活用の場面で、各分野のプレイヤーがビジネスとしてつながり、プレイヤー同士の連携するモデルを構築する必要がある。

例えば、北九州市ではスマートコミュニティのなかで、水素タウンに関わる実証試験⁶⁾が実施された。試験では、製鉄所からの副生水素を、パイプラインによって消費者へ水素供給するものである。この事例は、エリアでのインフラ整備による水素需給システムを成立させたもので、水素の活用促進につながるものである。このようなモデルを継続的に成立させるには、需要拡大のほか、製造、貯蔵や輸送などの供給側でビジネスモデルが構築される必要がある。そして、水素価格が高価であったり、補助金頼りの取組みであったりすると、長期的な継続性は期待できない。

6. おわりに

水素は、無尽蔵な資源であることから資源エネルギー問題や低炭素社会の実現に向けての環境問題の対策、そして、エネルギー貯蔵や運搬の可能な有効な媒体として期待は高い。一方、それらがいつビジネスとして成立するかは現時点では不透明である。

今後の業界や社会動向、及び技術開発の進展により課題が解決され、水素コミュニティのなかで鉄道分野と上手くつながることで、水素がエネルギー・環境問題の有効なソリューションとして期待されている。

参考文献

- 岡部裕樹、水野誠司、中路広弥；高性能・コンパクトFCスタックの開発、第22回燃料電池シンポジウム(2015)
- 日野自動車ニュースリリース「トヨタ、日野、新燃料電池システムを搭載したバスを豊田市での営業運行向けに提供」、2015.1
- 第4回水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ日野自動車資料、2014.3
- 「水素社会の幕開け」経済産業省資源エネルギー庁FC EXPO2015 第11回国際水素・燃料電池展
- 水素エネルギー白書 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) 2015.3
- 「北九州市スマートコミュニティ創造事業」パフレット 北九州スマートコミュニティ創造協議会事務局