

# 水素貯蔵・輸送媒体の現状と当社の取り組み

水素吸蔵合金を用いた低圧水素サプライチェーン

木村 通<sup>\*1</sup>・酒井 佳人<sup>\*2</sup>・本岡 功成<sup>\*2</sup>・上野 純<sup>\*2</sup>・鈴木 伸之<sup>\*3</sup>・川原 正人<sup>\*4</sup>・  
立田 紘章<sup>\*2</sup>

Keywords : Hydrogen, Hydrogen Storage Materials, Hydrogen Storage Alloys, Renewable Energy  
水素, 水素貯蔵材料, 水素吸蔵合金, 再生可能エネルギー

## 1. はじめに

地球温暖化に基づく海面上昇や異常気象等の対策として、化石燃料主体社会からの脱却が叫ばれている。我が国では、2050年カーボンニュートラルの達成に向けて、輸入エネルギーのカーボンフリー化や再生可能エネルギーの活用拡大をはじめとした水素社会の実現を目指している。本稿では、国内にて水素製造～利用までを行う、いわゆる地産地消を目的とした水素の貯蔵・輸送技術に焦点を当て、当社の取り組みを含めて紹介する。

## 2. 水素エネルギー

これまで水素は、産業分野にて還元用途や化学原料、添加材などの「化学品」として幅広い用途で利用されてきた。現在流通している水素は、苛性ソーダ製造等により発生する副生水素や、化石燃料の改質により得られる、いわゆるグレー（一部ブルー）水素が大半である。

一方で近年水素は、質量当たりのエネルギー密度が高く、多量に存在する水から生成可能で燃焼後はまた水に戻るため、環境負荷が小さいクリーンな「エネルギー媒体」として注目されている。風力や太陽光など変動が大きい再生可能エネルギーを利用し製造するグリーン水素は、運用時のCO<sub>2</sub>排出量がゼロとなるため、地球温暖化対策のキー物質とされている。

現在では燃料電池やガスタービン技術の向上により、水素からエネルギーを取り出す利用技術は実用的なレベルに達している。一方で水素は、常圧気体状態の体積エネルギー密度は小さいため、貯蔵・輸送技術においては様々な手法が必要である。

## 3. 水素輸送・貯蔵

多くの水素貯蔵・輸送媒体が存在するがそれぞれ一長一短の性質を持つため、用途に応じた使い分けが必須である。本節では、国内での水素輸送方法並びに建

物での水素利用を目的とした各水素輸送・貯蔵媒体の特徴を示す。

### 3.1 高圧水素

減圧（流量制御）のみで水素が得られる最も簡便な貯蔵方法であるため、産業ガスとしての小口利用においては最も利用される形態である。小規模輸送では、一般的な産業ガスと同様のシリンダー（14.7 MPa, 7 Nm<sup>3</sup>）が最も一般的で、これらを数十本連結させたカードル（14.7~20 MPa）、や長尺容器を連結させたセルフローダが存在する<sup>1)</sup>。また近年、燃料電池自動車用として、軽量かつ超高压（70 MPa）の水素タンクが実用化されている<sup>2)</sup>。

貯蔵用途として使用する場合、現法上では高圧ガス保安法や建築基準法（可燃性ガスの貯蔵量）などを遵守する必要がある。

### 3.2 液体水素

液体水素は、水素を20 Kまで冷却することで得られ、標準状態（0 °C, 0.1 MPa）の約800倍<sup>3)</sup>の体積密度となる。国内では、高圧水素と比較し多量の輸送手段として用いられ、主にタンクローリー車やコンテナで輸送される。

貯蔵用途として使用する場合、高圧水素と同様の法規制が生じるため、現状では隔離距離の確保可能な工場や港湾などの工業地域のみで利用されている。エネルギーとしての利用は実証段階であり、昨年度開所したパナソニック株式会社の「H2 KIBOU FIELD」は、世界発の工場RE100化として注目を集めている<sup>4)</sup>。

高密度で水素貯蔵が可能となる一方で、製造・保管時には20 Kまで冷却する必要があるため、エネルギー媒体としてエネルギー収支を向上させるためには、利用時の冷熱回収・利用が検討すべき課題と言える。

### 3.3 パイプライン

インフラ整備完成後は、他の輸送方法と比較しランニングコストが抑えられるため、流体の供給方式として利便性が高く、都市ガスでは既に確立されている方式である。水素は金属脆化の性質を持つことが古くから認知されており、水素パイプライン部材には特殊金属の使用が求められていたが、最近の研究にて常温・

\*1 技術センター 先進技術開発部 新領域技術開発室

\*2 クリーンエネルギー・環境事業推進本部 次世代エネルギー部

\*3 サステナビリティ経営推進本部 カーボンニュートラル推進部

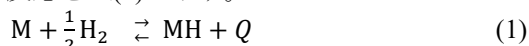
\*4 エンジニアリング本部 エネルギー・インフラプロジェクト部

低圧ならばほぼ影響がないことが確認されており<sup>5)</sup>、東京・晴海地区にて国内初の水素パイプライン供給の商業化が東京ガスグループ主導のもと計画されている<sup>6)</sup>。

一方で、現在のガス事業法では、容易にガスを感知できるように付臭が求められており、この付臭剤が純水素燃料電池に悪影響をもたらすため、水素パイプライン普及の課題となっている。現在では、水素検知等、付臭に代わる安全対策が多方面で検討されている。

### 3.4 水素吸蔵合金

水素吸蔵合金とは、常温・常圧付近にて水素を吸蔵／放出可能な合金である。合金中の水素は原子状に解離し金属と化学結合するため、コンパクト（水素標準状態の約1,000倍の体積密度）に貯蔵される。一方で金属を用いるため水素重量密度は、大きいもので約3 wt%<sup>7)</sup>、一般的な合金であるLaNi<sub>5</sub>では約1.4 wt%となる。水素の反応を式(1)に示す。



金属(M: Metal)との水素化物を形成するため、水素吸蔵合金はMH: Metal Hydrideとも表記される。以降水素吸蔵合金、並びに水素吸蔵合金タンクをMH、並びにMHタンクと表記する。式(1)の通り、MHに水素を貯める際には発熱反応を示し、水素を放出する場合には熱の供給が必要となる。つまり、MHを活用するためには、熱のマネジメントが必要となる。

MHを建物に利用する際、対象となる法規は存在しないため、各自自治体の建築指導課の判断に委ねるものとなる。多くの場合MH中の水素は、分子としての性質を失った状態であり、可燃性ガスではないと判断されている。また万が一MHタンクが損傷し水素が流出する事故が起きた際は、式(1)の通り吸熱反応による自己冷却作用により、水素放出が抑制されるため、安全性の高い貯蔵媒体と言える。

## 4. MHを用いた当社の取り組み

### 4.1 2018-2021年度環境省委託事業

本実証は、環境省「地域連携・低炭素水素技術実証事業」の委託を受けて、室蘭市、九州大学、室蘭工業大学、株式会社巴商会、株式会社北弘電社、株式会社日本製鋼所<sup>注1)</sup>と共同で行われたものである。北海道室蘭市を実証フィールドとして、水素の地産地消モデルを実証した。本実証では、水素の建物での利用、並びに街区での水素輸送を目的としている。そのため、多量の水素を、高圧ガス保安法や建築基準法等の制約を受けることなく、安全に貯蔵・輸送することが重要である。本実証では、水素貯蔵・輸送媒体としてMHを用いることで、水素配送システムを構築した。

水素配送方式は、利用施設にてMHタンクの交換ではなく、水素のみを移送する方式を採用した。これは北海道では、住宅備え付けのタンクに灯油を配送する文化が根付いており、本実証が実用に至った際には、エネルギー媒体を灯油から水素にスムーズな燃料移行を期待するためである。また、タンク交換方式では、需要先に交換スペースが必要となるため、水素需要先

の省スペース化に貢献していることも理由の一つである。

またMHから水素を得るためには、3.4の通り、熱が必要となる。そこで、2018-19年度までは建物未利用排熱が存在する温浴施設（むろらん温泉「ゆらら」）を水素利用施設として実証を行った。一方2020-21年度では、建物排熱が存在しない施設（生涯学習センター「きらん」）を加えて実証を行った。

#### 4.1.1 2018-21年度室蘭PJシステム概要

図-1に、水素サプライチェーンのシステム全体図を示す。

##### ① 水素製造／貯蔵

室蘭市所有の祝津風力発電所（定格1,000 kW）の電力にて水素製造（PEM型水電解装置、1 Nm<sup>3</sup>/h）を行った。当風車は系統接続されているため、水素製造に必要な電力を上回る50 kW以上の発電がなされた時のみ、水電解装置が稼働するようにし、疑似的にグリーン水素が得られるシステムとした。また、製造された水素は車載型MHタンクに無人で自動充填されるシステムのため、タンクが満充填になった際、水素製造は自動的に停止されるシステムとした。

##### ② 水素輸送

水素充填された車載型MHタンクは、コンテナ脱着式配送車に積載され、水素利用施設を巡回し、定置型MHタンクに水素を移送する。水素移送の際、式(1)の通り、車載型MHタンクでは吸熱、定置型MHタンクでは発熱が生じるため、両タンクを熱媒にて連結することにより定置型MHタンクの反応熱を車載型MHタンクの加温に利用する、熱のカスケード利用を行った。なお配管等の熱ロス分は、建物未利用熱やFC排熱を利用することで補った。

##### ③ 供給／貯蔵、④ 利用

2018-19年度は、建物未利用熱が存在する温浴施設「ゆらら」のみで実証を行った。定置用MHタンクに温浴施設から発生する未利用低温排熱を供給することで、純水素燃料電池（FC）に水素を供給した。発生した電力と温水熱は「ゆらら」に供給し、温水熱の一部は定置型MHタンクに供給した。

2020-21年度は、建物排熱が存在しない生涯学習センター「きらん」を含めて実証を行った。定置型MHタンクから水素を得るために、純水素FCの排熱を利用し、建物に電力を供給した。また、当FCは自立型であるため、災害時や停電時のBCPとしての意義も高い。

#### 4.1.2 結果

本実証により、建物や街区における安全な低圧水素サプライチェーン技術の構築ができた。さらに、様々なデータ収集とケーススタディにより、今後の水素利用普及に向けての課題も明らかとなった。本項では全体の結果を示すが、その他詳細な結果は、日本エネルギー学会機関誌えねるみくす102巻4号、pp.457~464を参照されたい。

### 全体システム概要図

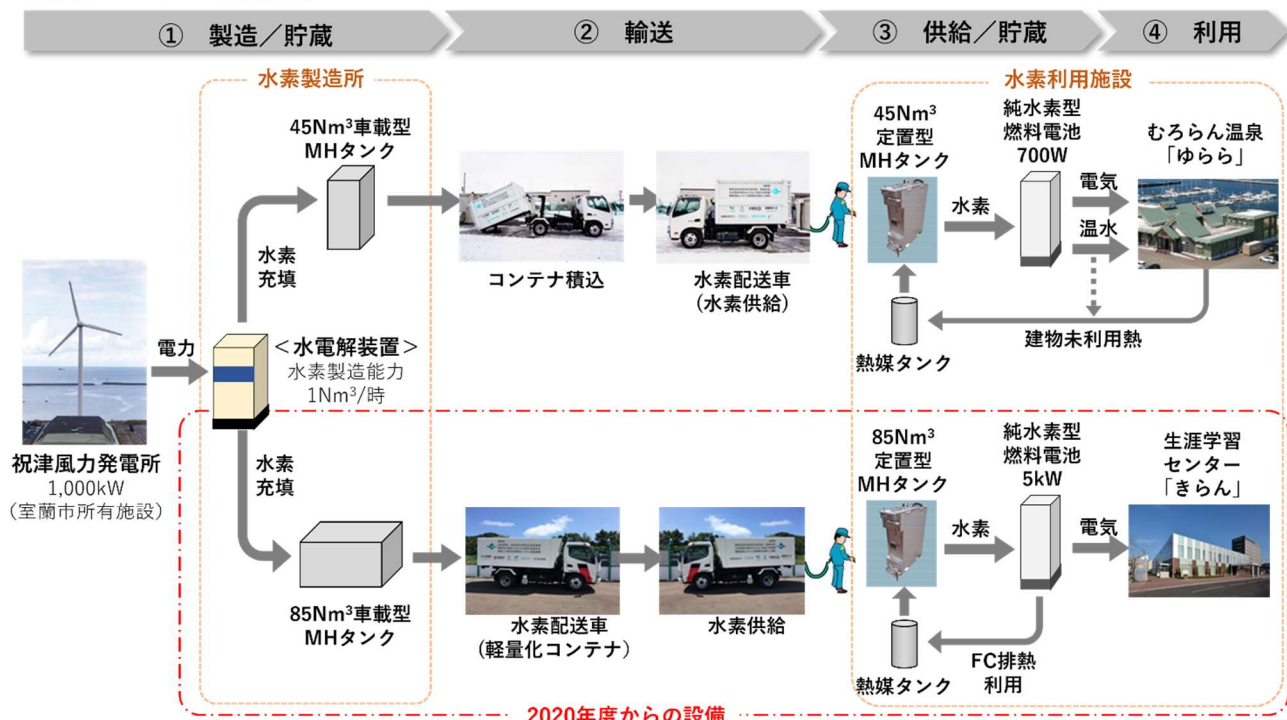


図-1 室蘭PJ全体システム概要図

MH：水素吸蔵合金

#### ① 水素製造量，移送量

本実証システムでは、風力発電量が 50 kW を超えた際に、水電解装置が稼働することで、疑似的にグリーン水素が製造される。表-1 に、メンテナンス時間を除く全時間に対しての 4 年間の水素製造の運転状況を示す。水素製造装置の稼働率は、4 年間の平均が 3 割程度となった。これは風況に加えて、MH タンク満充填時、並びに水素配送時には水素が製造されないことが主な原因である。総水素製造量は約 7,000 Nm<sup>3</sup>であり、これは本実証で使用した 5 kW 純水素燃料電池を約 100 日間連続運転可能な量である。

表-1 4年間の水素製造装置稼働状況

		単位	H30年度	H31年度	R2年度	R3年度	合計、平均
水電解装置の稼働率		%	36.8	37.5	24.5	29.6	30.7
水素製造	製造日数	日	61	213	199	217	690
	日平均製造量	Nm <sup>3</sup> /日	6.9	8.4	8.8	12.5	9.9
	製造総量	Nm <sup>3</sup>	430	1,780	1,932	2,832	6,974

#### ② エネルギー収支

図-2 に電力，並びに熱の収支を示す。エネルギー単位は kWh/Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub> で統一し、エネルギーフローを、電力：黒，水素：緑，熱：オレンジ，燃料：グレーで示した。

水素輸送，特に定置用 MH タンクから FC に水素供給する際に必要となる熱は，秋・冬期に増加する傾向であり，特に「きらん」ではその傾向が顕著であった。「きらん」の水素関連施設は屋外設置のため，外気温低下による熱損失の影響と考えられる。その他は気温の変化にほぼ影響を受けず安定した数値を示した。また，別途試験より，定置型 MH タンクで発生する熱を

カスケード利用することで，車載型 MH タンクでの水素放出に必要な熱のおよそ 8 割を補うことが確認された。

水素製造から利用までの全工程におけるエネルギー平均収支を表-2 に示す。「ゆらら」は，FC から建物へ電気と熱の供給を行い，エネルギー収支平均は 18% となった。一方「きらん」では，電気のみ建物に供給し，熱は定置型 MH タンクからの水素放出に利用したため，エネルギー収支平均は 14% となった。「ゆらら」では，秋・冬期の収支が低下する傾向が見られた。これは，図-2 に示す様に投入熱量の増加，及び回収時の熱ロスが原因と推測される。一方「きらん」では，秋・冬期に投入した熱量が増加する傾向にあったが，トータル収支としてはほぼ影響がなく安定した収支であった。

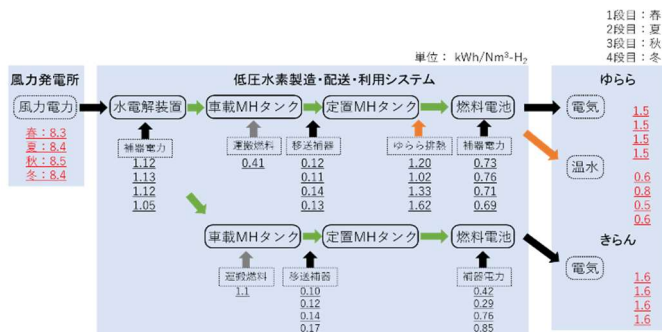


図-2 季節別の平均エネルギー収支

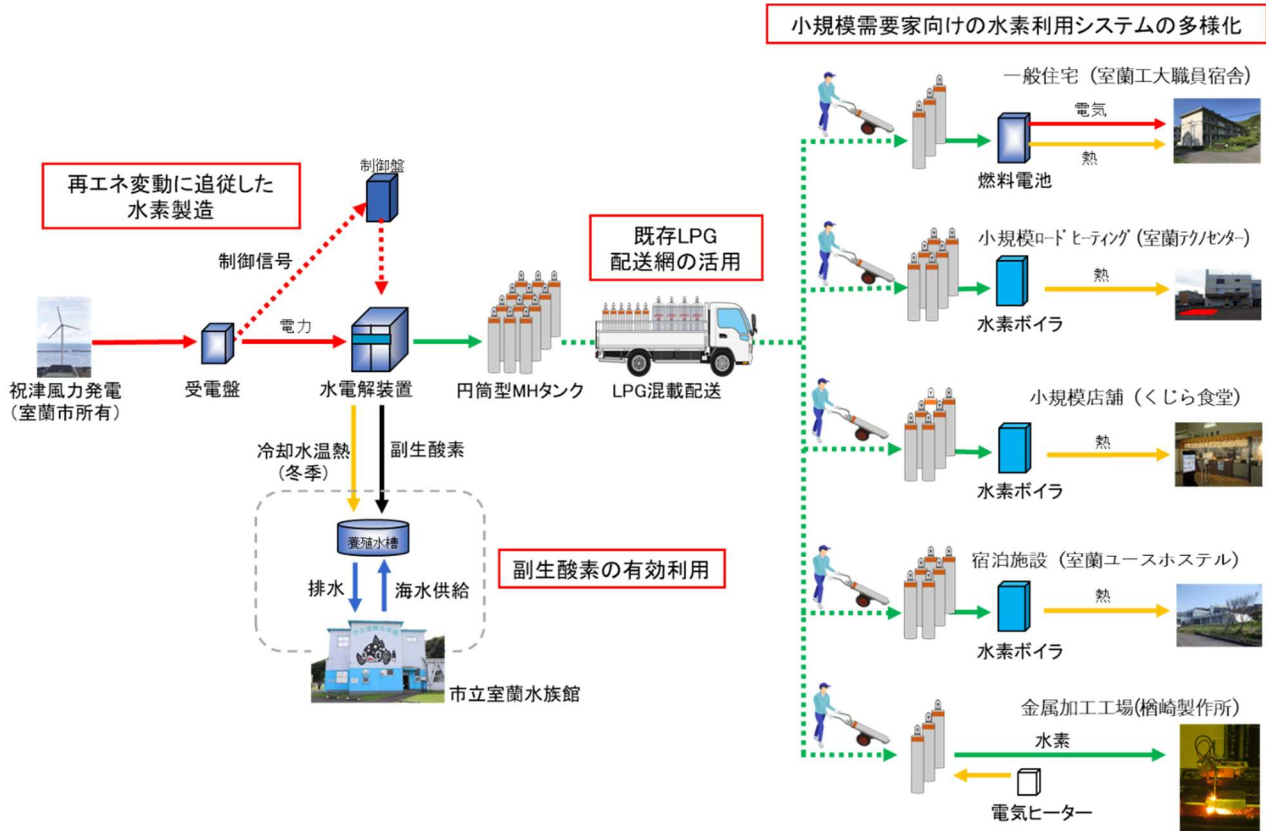


図-3 既存ガス配送網を活用した低圧水素サプライチェーン概要図<sup>8)</sup>

表-2 水素製造～利用までの季節別平均エネルギー収支 (単位：%)

	春	夏	秋	冬
ゆらら	18	19	16	17
きらん	14	14	14	14

#### 4.2 2023年度からの環境省実証事業

2023年度より室蘭市をフィールドとして新たな水素利活用実証をスタートした。これは、環境省が公募した「既存のインフラを活用した水素供給低コスト化に向けたモデル構築・実証事業」において、室蘭ガス株式会社を代表企業として採択されたものである。

全体概要を図-3に示す<sup>8)</sup>。2018-21年度の実証でも使用したMHを、既存のLPGガスシリンダーと混載可能な容器に封入し、小規模水素需要家を対象とした低圧水素配送モデルの実証を行う。当実証では、水素コストの低減を目的として以下の項目に着目し、実証を行う予定である。

- ①既存のLPG配送網を活用することによる配送コストの低減
- ②再エネ変動に追従した水電解装置の稼働率向上
- ③水素利用方法の多様化による水素需要の創出
- ④水素製造時の副生成素の有効利用による水素製造コスト低減

## 5. おわりに

水素コストの問題は、燃料電池自動車と水素ステーションの関係からも分かるように、「需要の創出」が鍵である。当社では、水素吸蔵合金を用いることで安全に水素を供給・利用できるシステムを構築し、2018-21年度は街区における水素供給及び建物での利用、2023年度からは既存のガス供給網を利用した燃料電池以外の水素利用実証を行うことで、需要創出や副生成素利用による水素コスト低減を検証している。

中学校の理科実験を通じて、水素は爆発する危険な物質であるという認識が刷り込まれている。水素は、爆発限界範囲が広い一方で拡散速度が早いため、吹き溜まりにさえ注意すれば、一般的な燃料として普及しているガソリンより安全な物質であると筆者は常々感じている。この事業を含めた水素事業を通じてより多くの人々が水素と触れ合い、安全でクリーンな燃料として認識を改め、水素社会が実現することを期待する。

### 注

注1) 20年度からは協力企業として参加

### 参考文献

- 1) 神鋼エアテック株式会社：水素ガスの供給形態、[https://shinko-airtech.com/gasliquid\\_H2.html](https://shinko-airtech.com/gasliquid_H2.html)
- 2) トヨタ自動車株式会社：第2世代燃料電池システムの開

- 発,  
<http://www.jspmi.or.jp/system/file/3/1381/N56-07.pdf>
- 3) NIST Chemistry WebBook : Thermophysical Properties of Fluid Systems,  
<https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>
- 4) Panasonic Group プレスリリース : 純水素型燃料電池を活用した実証施設「H2 KIBOU FIELD」稼働,  
<https://news.panasonic.com/jp/press/jn220415-1>
- 5) 田畑健 : 水素社会と都市ガス事業, 水素エネルギーシステム, Vol. 35, No. 4, pp. 77-80, 2010
- 6) 東京ガス株式会社 プレスリリース : 選手村地区エネルギー事業に係る基本協定の締結について,  
<https://www.tokyo-gas.co.jp/Press/20180228-01.html>
- 7) 岡田益男 : 水素の有効機能と超高压法による新規水素化物・新規金属間化合物の合成, まてりあ, Vol. 55, No. 5, pp. 199-206, 2016
- 8) 大成建設株式会社 プレスリリース : 北海道室蘭市で水素サプライチェーンを構築する実証事業を開始,  
[https://www.taisei.co.jp/about\\_us/wn/2022/221124\\_9169.html](https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2022/221124_9169.html)