

TODAY

水素エネルギーの利用と SIP 「エネルギーキャリア」

内閣府イノベーション創造プログラム (SIP)
「エネルギーキャリア」サブ・プログラムディレクター
塩沢 文朗



【「エネルギーキャリア」とは】

水素は、地球上に豊富に存在する水と、太陽や風力エネルギーなどの再生可能エネルギーから作ることができる。水素は、エネルギーとして利用することが可能であり、その水素エネルギーは、CO₂を排出しないクリーンなエネルギーである。水素エネルギーの利用拡大によって、私たちが直面しているエネルギー・環境制約を克服できる可能性がある。

水素自体はもちろん水素エネルギーであるが、ご承知のとおり水素は、常態では体積エネルギー密度が大変に小さい気体で、-253℃という超低温まで冷却しないと液化しないなどの物性をもつ物質であることから、その輸送、貯蔵が大変に難しい物質である。このために水素を輸送、貯蔵の容易な状態や別の物質に変えて、水素エネルギーを利用するというアイデアが生まれた。「エネルギーキャリア」とは、そうしたもののことである。後述するように SIP「エネルギーキャリア」では、液体水素、メチルシクロヘキサン (MCH)、アンモニアをエネルギーキャリアの候補として取り上げ、その開発利用に向けた取組みを進めている。

【日本のエネルギー・環境制約】

日本は、現在、一次エネルギー供給の80%以上を化石燃料に依存している。原子力発電所のほとんどが止まっていた2012年度には、化石燃料への依存度は92%を超えた。今後、世界の化石燃料の消費は増加の一途をたどり、世界の化石燃料の消費量は2035年には現在の約1.5倍に増加すると見られている¹⁾。いずれはエネルギーの消費国間で化石燃料資源の確保競争が一層熾烈化し、価格が上昇していくことは必至と考えられる。日本の将来を考えるならば、今から化石燃料への依存を大きく減らすための準備を進めていく必要がある。

加えてCO₂の排出量も大幅に減らしていかなければ

ならない。2050年までにCO₂排出量を先進国全体で80%またはそれ以上削減する、世界全体で50%削減するという目標は、G8の首脳間で共有し²⁾日本も堅持している目標³⁾である。

しかし、日本のエネルギー需給に関する中長期の予測などを参考に推計してみると、今後とも原子力発電を相当程度(発電電力量の十数%程度)維持し、現時点で考えられる規模で再生可能エネルギーを導入したとしても、2050年においてもなお、一次エネルギー供給の8割程度を化石燃料に依存せざるを得ないという日本の姿が見えてくる。一次エネルギーは、化石燃料と原子力エネルギーと再生可能エネルギーから構成されるので、原子力エネルギーの割合を大幅に増やすことが現実的な解とはなりにくい状況の下では、日本は再生可能エネルギーを大量に導入しない限り、将来にわたってエネルギー・環境制約を克服することはできない。ましてや、2050年においてCO₂排出量を80%削減するなどということは不可能である。

【海外からの再生可能エネルギーの大量導入の必要性】

日本は、しかしながら、日本が置かれている地理的環境(日射量、日射強度、風況等)から、質的にも量的にも国内の再生可能エネルギー資源には恵まれていない。この事実は、再生可能エネルギーからの発電に要するコストにも如実に表れている。現に日本の太陽光発電のコストは世界の約2倍、風力(陸上風力)発電のコストは世界の約3倍高い⁴⁾。太陽エネルギー資源に恵まれた地域における、最も発電効率の良い太陽光発電コスト情報を見ると、日本の発電コストはその約6倍にも上る。

国内の再生可能エネルギー資源の活用を図ることは重要であるが、日本経済に大きな負担を強い

ることなく導入できる国内の再生可能エネルギーの量は限られている。大量導入を図るためには、資源に恵まれた海外の再生可能エネルギー資源の利用を図ることが不可欠である。なお、海外への依存は日本のエネルギーセキュリティを損なうのではないかと懸念が呈されることがあるが、太陽、風力エネルギー等の再生可能エネルギーは無尽蔵に存在し、その賦存地域も政情の安定している地域も含めて広範囲に存在していることから、そうした懸念は当たらないと思う。

資源に恵まれた海外の再生可能エネルギー資源の利用を図ることが不可欠という認識に立つならば、再生可能エネルギーを大量に、長距離運び、かつ、長時間貯蔵できるようにするための手段を開発することが重要な取組み課題となる。

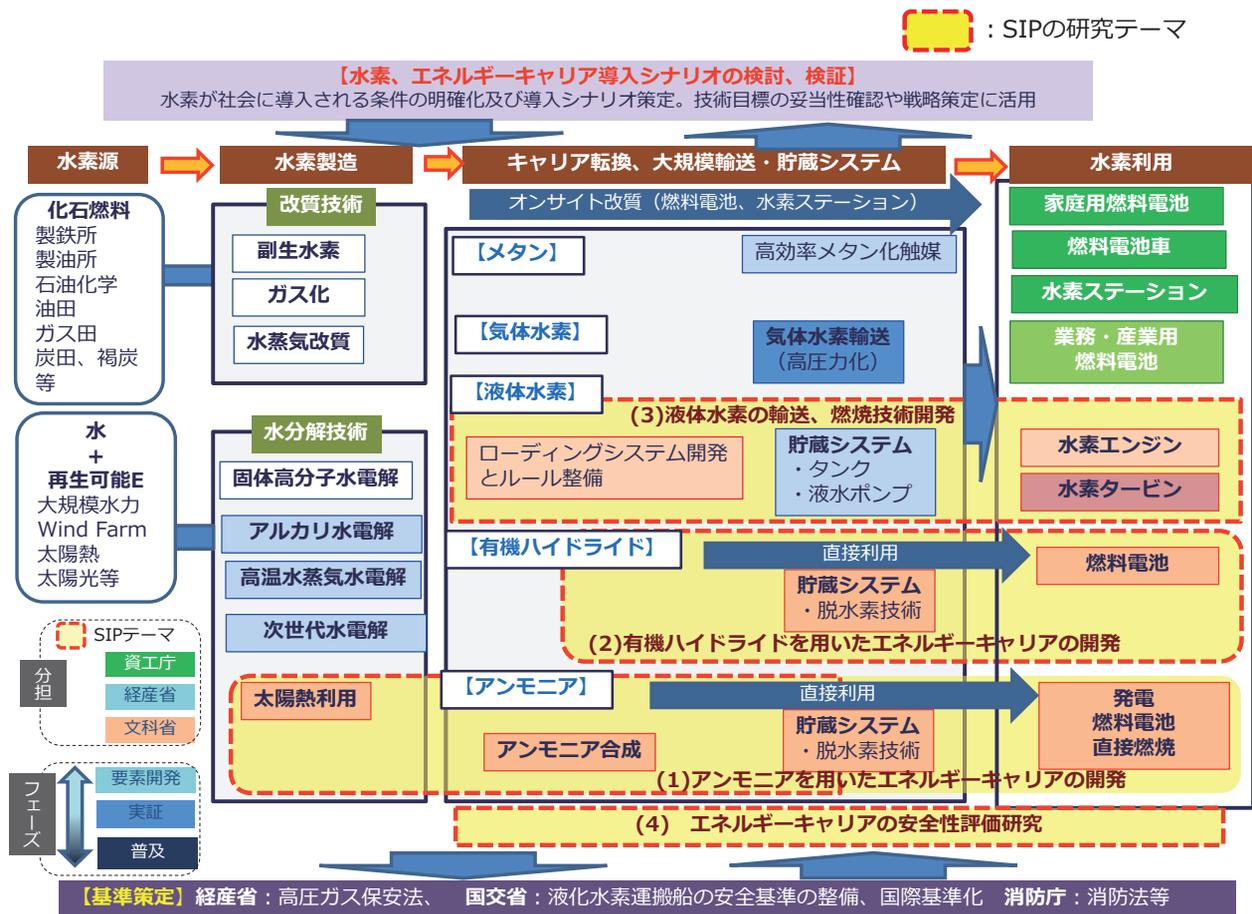
太陽、風力エネルギー等の再生可能エネルギーは、ふつう電気や熱エネルギーに変換されて利用されるが、これらのエネルギーは長距離輸送、長時間貯蔵することは困難である。さまざまなエネルギー形態の中で、長距離輸送と貯蔵に優れたエネルギー形態は化学エネルギーであり、化学エネルギーとしての水素は、冒頭に述べたように地球上に豊富に存在する水と再生可能エネルギーから製造できる。その水素をさらに輸送、貯蔵の容易

な状態や別の物質に変えて、再生可能エネルギーの大量導入手段とする。こうしたことがSIPのテーマの一つとして、「エネルギーキャリア」の開発利用が取り上げられた理由である。

【SIP「エネルギーキャリア」】

2014年6月から始まったSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）は、府省・分野の枠を超えたイノベーション創造プログラムで、内閣府総合科学技術・イノベーション会議が課題を特定し、予算を重点配分するものである。課題ごとに総理大臣により任命されたプログラム・ディレクター（PD）が課題分野の基礎研究から出口（実用化、事業化）までを見据え、関係省庁の施策を糾合して同分野のイノベーションを創造する役割を負っている。「エネルギーキャリア」のPDは村木茂氏（東京ガス（株）副会長）が務めている。

SIP「エネルギーキャリア」では、「エネルギーキャリア技術」を、「水素の製造・輸送・貯蔵・利用技術（液化水素・有機ハイドライド・アンモニア等へ変換する技術を含む）」として、年間約33億円の予算で施策の対象を水素製造、利用技術の開発にまで広げ、活動している。これは「エネルギーキャリア」の社会実装を進めるためには、安価に水素



【基準策定】 経産省：高圧ガス保安法、 国交省：液化水素運搬船の安全基準の整備、国際基準化 消防庁：消防法等

【図1】水素エネルギー及びエネルギーキャリア関連の研究開発プロジェクト

を製造することや、従来の燃料に代えて水素、または、エネルギーキャリアを燃料として利用するための技術開発を、輸送・貯蔵技術の開発と一体となって実施することが重要だからである。

SIP では、以下のような研究開発等を支援している：

1. 太陽熱を利用した水素製造
 - ① 太陽熱集光システム開発
 - ② 太陽熱利用水素製造
2. アンモニアの製造利用技術
 - ① アンモニア水素ステーション向け脱水素システム開発
 - ② アンモニア燃料電池の開発
 - ③ アンモニア直接燃焼（発電、工業炉）技術
 - ④ 分散型エネルギー利用アンモニア合成システム開発
3. 有機ハイドライドの製造・利用技術
 - ① 有機ハイドライド電解合成
 - ② メチルシクロヘキサ（MCH）ン水素ステーションの開発
4. 液化水素の利用技術
 - ① 液化水素ローディングシステムの開発
 - ② 燃焼技術の開発（水素専焼タービン、水素エンジン）
5. エネルギーキャリアの安全性評価

なお、このほかに水素エネルギー関連の研究開発プロジェクトとしては、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）のものがあり、水素エネルギー

及びエネルギーキャリア関連の公的機関による研究開発プロジェクトの全貌は【図 1】のようになる。加えて、エネルギーキャリア関連の取組みのうち、液体水素、MCH に関するものは、一部、実証段階にあり、これらについては、それぞれ川崎重工業（株）、千代田化工建設（株）などの民間企業が独自に開発に取り組んでいる。

【エネルギーキャリアの候補物質】

SIP「エネルギーキャリア」でその開発利用が進められているものは、液体水素、MCH、アンモニアである。その物性値と主な特徴を【表 1】と【表 2】に示す。

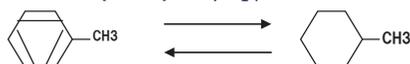
現在 SIP においては、研究の進捗状況をにらみつつ、水素エネルギーの導入が見込まれる分野（発電分野、燃料自動車（FCV）用燃料、定置型燃料電池、工業炉等）ごとに、それぞれのエネルギーキャリアによって導入される可能性のある水素エネルギーの量的、時間的シナリオ、コスト、その技術的フィージビリティ等について調査研究し、研究テーマ等の優先順位や研究開発目標に反映するための努力を行っている。これまでの検討では、まず水素エネルギーの導入はエネファーム（家庭用燃料電池コジェネレーション・システム）、FCV 燃料の分野で始まるが、発電分野への水素エネルギーの導入が進むかどうかは日本のエネルギー・環境制約を克服できるかどうかの大きな鍵を握ること、そして、個々のエネルギーキャリアの優位性は、

【表 1】エネルギーキャリアの種類と物性

| | 水素含有率 (重量%) | 水素密度 (kg-H ₂ /m ³) | 沸点 (°C) | 水素放出 エンタルピー変化* (kJ/molH ₂) | その他の特性*** |
|-----------------------|----------------|--|------------|--|------------------------------------|
| アンモニア | 17.8 | 121 | -33.4 | 30.6 | 急性毒性、腐食性 |
| メチルシクロヘキサン** (MCH) | 6.16 | 47.3 | 101 | 67.5 | 引火性、刺激性 |
| メタノール | 12.5 | 99.5 | 64.7 | 43.8 | CO ₂ 発生 引火性、刺激性、神経毒性 |
| ジメチルエーテル | 12.1 | 98.6 | -25.1 | 45.6 | CO ₂ 発生 引火性、強可燃性 |
| 液体水素 | 100 | 70.8 | -253 | 0.899 | 強引火性、強可燃性、爆発性 |
| 圧縮水素（350気圧） | 100 | 23.2 | - | - | |
| 圧縮水素（700気圧） | 100 | 39.6 | - | - | |

* 水素放出エンタルピー変化： 水素を取り出す際に必要となるエネルギー。

** メチルシクロヘキサン(MCH) (C₇H₁₄) は、トルエン (C₇H₈) との水素の差を利用して水素を輸送。



*** 「その他の特性」の記載事項は、MSDSの「危険有害性情報」のサマリーから引用。各物質の正確な特性については、それぞれの物質のMSDSを参照のこと。

用途や利用環境（例えば利用場所までのエネルギーキャリアの輸送距離、利用場所における利用可能な熱源の有無等）によって異なる可能性が高いことなどが見えてきている。

【エネルギーキャリアとしてのアンモニア利用】

このニュースレターの読者には、鉄鋼業関係者の方が多いと思うので、エネルギーキャリアの鉄鋼業分野における利用の可能性について触れておこう。鉄鋼業分野では水素エネルギーとして既にコークス炉からの副生水素の利用が進んでいるが、それに加えてアンモニアがCO₂の排出削減に寄与できる水素エネルギーとなる可能性がある。

【表1】に示されるように、アンモニアは体積水素密度の大きい物質である。そして燃焼してもCO₂は排出しない。さらにアンモニアは、プロパンガスとほぼ同様の条件で液化するため、既存のインフラを利用して輸送、貯蔵することが可能である。また、アンモニアは火が付きにくい、一旦着火すると安定的に燃焼し、N₂とH₂O（水）になること、アンモニアには還元作用があるために、燃焼条件

を制御することによって通常の脱硝装置でNO_xの発生も除去できることがSIPにおけるこれまでの研究によって確認されている（上記2③の研究テーマの成果）。現在、同研究では実際の発電タービンを使ったアンモニアを燃料とするCO₂フリー発電の可能性の検証と、工業炉やセメントキルンにおいてアンモニアをCO₂フリー燃料として利用する可能性を検証すべく実証実験の準備を進めている。

最後に本稿に記した見解や意見にわたる部分は、筆者の個人のものであることをお断りしておきたい。

引用文献

- 1) IEA（国際エネルギー機関）のEnergy Outlook 2012.
- 2) 2009年のイタリア、ラクイラで開催された「G8首脳宣言」パラグラフ65。
- 3) 2014年末に開催された国連気候変動枠組み条約締約国会議COP21においても、望月環境大臣がこの目標を再度提案した。
- 4) NEDO再生可能エネルギー白書（第2版）、表2-4及び表2-3

【表2】主なエネルギーキャリアの特長

| | 温室効果ガスの排出 | 体積水素密度 (kg-H ₂ /m ³) | 必要なインフラ | その他 |
|-------------------|--|--|-------------------|-------------------|
| 液体水素 | 燃焼時にCO ₂ を排出しない | 気体水素の1/800の容積で、同重量の水素の輸送・貯蔵が可能 (-253℃) | 液体水素用のインフラが必要。 | 小規模では、既に実用化されている。 |
| MCH* (メチルシクロヘキサン) | 燃焼時にCO ₂ を排出しない (トルエンからはCO ₂ 排出) | 気体水素の1/500の容積で、同重量の水素の輸送・貯蔵が可能 (常温) | ガソリン用のインフラの利用が可能。 | 実証段階 |
| アンモニア | 燃焼時にCO ₂ を排出しない | 1/1,200の容積のアンモニアで、同重量の気体水素の輸送・貯蔵が可能 (-33℃または10atm) | 既存のインフラの利用が可能。 | 一部、研究開発段階 |

* : MCH トルエン (C₇H₈) とMCH (C₇H₁₄) の水素の差により水素を運ぶ



※表中の記述は、主として各エネルギーキャリアの水素輸送、貯蔵能力等について、その概要を記したものである。

※エネルギーキャリアの候補物質は、上記に限られるものではない。

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第342号

内容に関するご意見、ご質問はJRCM総務企画部までお寄せください。本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2015年4月1日

発行人 小紫正樹

発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター

〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11東洋海事ビル6階

TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285

ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>

E-mail jrcm@oak.ocn.ne.jp