

TED Plaza

IHIにおけるカーボンフリーエネルギーの実現に向けた取組み



松尾 貴寛

株式会社 IHI  
 技術開発本部基盤技術研究所  
 カーボンフリーエネルギープロジェクト部  
 matsuo\_takahiro@ihi.co.jp

1. はじめに

地球温暖化問題の克服と脱炭素社会の実現に向けて、再生可能エネルギー（以下、再エネ）の導入が世界的に加速しており、メガソーラーやウィンドファームも次々と実現している。しかしながら、太陽光発電に代表される再エネは時間や季節による変動が大きいため、大規模な再エネ導入のためにはエネルギーの需要と供給のバランスが課題となっている。当社ではこの課題に対して、①再エネを貯蔵・輸送するためのエネルギーキャリアとしてのアンモニア、②スマートコミュニティによる再エネの地産地消に着目し、図1に示すカーボンフリーエネルギーサプライチェーンを目指して技術開発・事業構築に取り組んでいる。本報では、アンモニアを燃料としてガスタービン、微粉炭焚ボイラ、固体酸化物形燃料電池で利用するための技術開発および地産地消型エネルギーマネジメントシステムへの取組みについて紹介する。

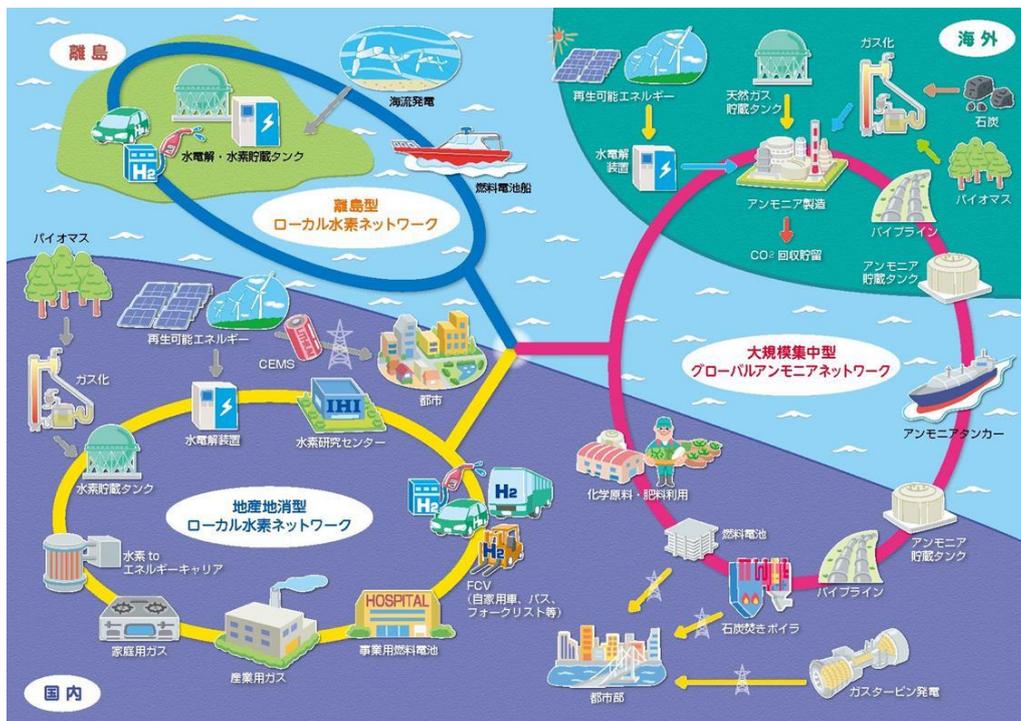


Fig. 1 Carbon-free energy supply chain targeted by IHI

## 2. アンモニア利用技術の開発

### 2・1 エネルギーキャリアとしてのアンモニア

現在、エネルギーキャリアとしては、図 2 に示す液体水素、有機ハイドライド（メチルシクロヘキサン：MCH）、アンモニアなどが提案されている(塩沢, 2014)。各キャリアはそれぞれ独自の特徴を持っているが、その中でもアンモニアは、表 1 に示す通り、製造・輸送・貯蔵・利用全ての領域において優れた特徴を持っており、早期に社会実装することが可能と考えられる。特に、水素に変換することなく直接燃料として利用可能なことは大きなメリットとなる。

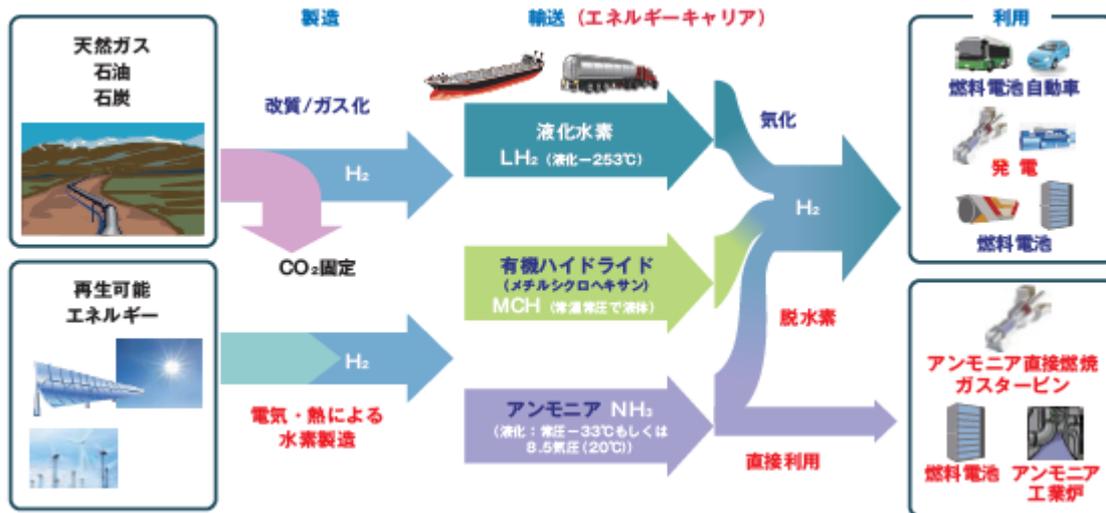


Fig. 2 Type of energy carriers

Table 1 Characteristics of ammonia as an energy carrier

目的	特徴
製造	<ul style="list-style-type: none"> <li>天然ガスからの高効率製造方法が確立されている (ハーバー・ボッシュ法)</li> <li>再生可能エネルギーからの水素 (水電解) から製造が可能</li> </ul>
貯蔵・輸送	<ul style="list-style-type: none"> <li>単位体積当たりの水素含有重量が大きい (121kg-H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>)</li> <li>容易に液化できる (-33℃)</li> <li>肥料や化学原料, 脱硝設備などに広く利用されており, インフラがそろっている</li> </ul>
利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素に再変換することなく, 直接燃料として利用可能である</li> </ul>

### 2・2 アンモニアを燃料として利用する上での課題

アンモニアは、エネルギーキャリアとして表 1 に示すアドバンテージを持つ一方で、燃料として利用する場合はいくつか課題もある。アンモニアは可燃性ガスだが、天然ガス等に比較して燃焼速度が遅く (約 1/5) (Hayakawa, et al., 2015)、断熱火炎温度も低いため、火炎の安定性や伝熱特性に配慮する必要がある。燃焼条件によってはアンモニア中の窒素による Fuel-NO<sub>x</sub> を排出するため、低 NO<sub>x</sub> 燃焼法を開発する必要もある。また、固体酸化物形燃料電池にアンモニアを直接供給する場合、アンモニアの熱分解の吸熱反応により電池温度が低下してしまうため、電池を熱自立させるための放熱量低減が課題となる。その他、劇物としての取り扱いや、安価なカーボンフリーアンモニアの入手方法など、様々な検討を実施しているところである。

### 2・3 微粉炭焚ボイラ

微粉炭焚ボイラでアンモニアを混焼 (熱量で 20%) するに当たり、火炉へのアンモニア投入方法や、ボイラとしての性能の検討を実施している。低 NO<sub>x</sub> 燃焼方法として、バーナー中心から炉

内の低酸素領域にアンモニア吹き込むことで酸化反応を抑制する手法を開発し、10MWth の燃焼試験装置（図 3）にて確認試験を行った。その結果、安定した火炎を達成するとともに（図 4）、微粉炭専焼時とほぼ同等の NOx 濃度を達成することに成功した。

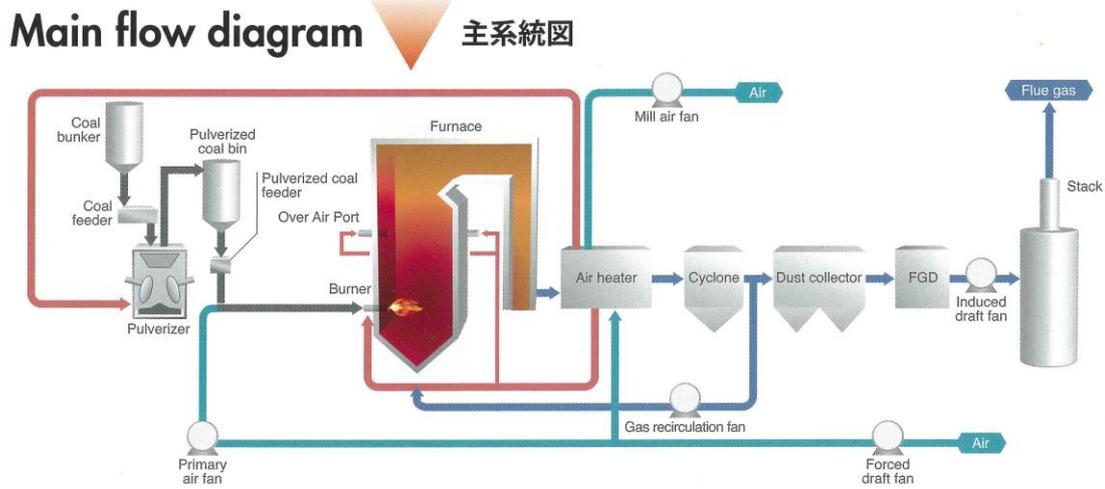


Fig. 3 Coal combustion test furnace



Fig. 4 Flame of ammonia co-firing with pulverized coal

## 2・4 ガスタービン

ガスタービンで用いられる希薄予混合燃焼をアンモニアに適用すると過大な Fuel-NOx を生成する恐れがある。そこで、微粉炭燃ボイラの場合と同様、火炎の低酸素領域にアンモニアを吹き込むバーナーを開発し、実機ガスタービンを用いた試験を実施した。IHI 製 2MWe 級ガスタービンである IM270 を用い（図 5）、燃焼器のみをアンモニア/天然ガス混焼用燃焼器に換装した、高圧のアンモニアガスを安定して供給するため、液化アンモニアのままポンプで加圧し、気化器で気化させたのち燃焼器に供給する供給システムを設置した（図 6）。

天然ガスと混焼試験の結果（熱量で 20%）、安定した発電に成功するとともに、NOx は天然ガス専焼よりは増加するものの、標準的な脱硝装置により環境規制を満たすことに成功した（図 7）。

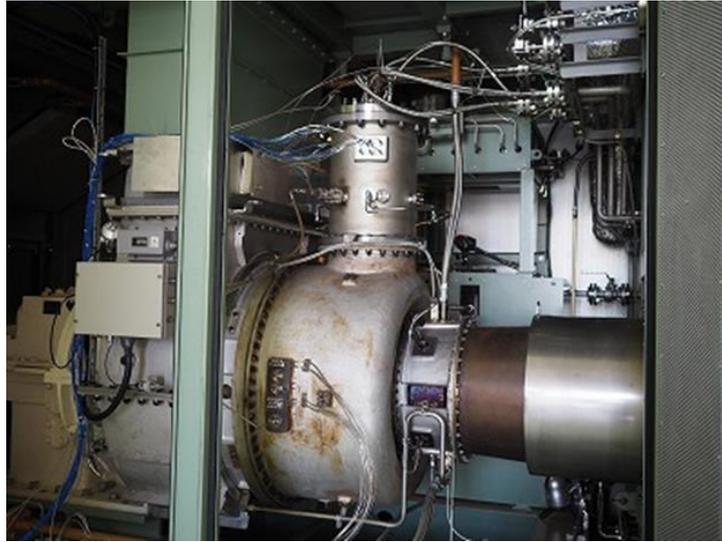


Fig. 5 Appearance of IM270 gas turbine



Fig. 6 Ammonia supply unit

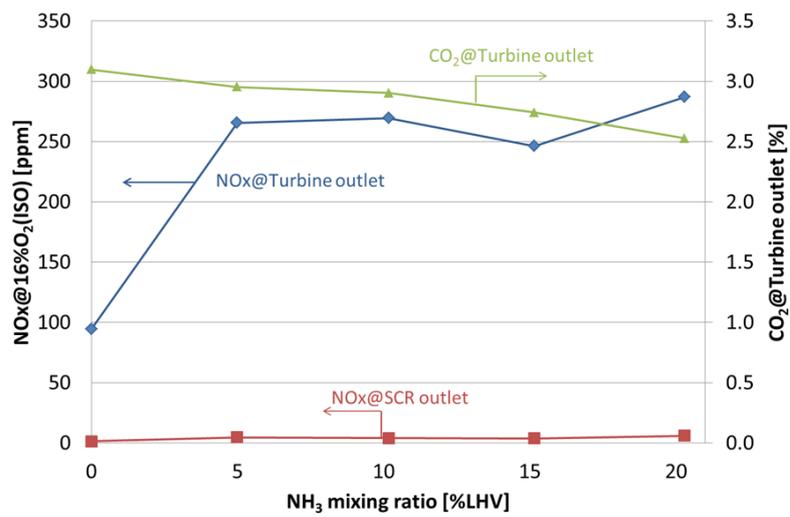


Fig. 7 Effect of ammonia co-firing ratio on NOx emission

2・5 固体酸化物形燃料電池 (SOFC)

アンモニアからの高効率発電技術として、100%アンモニアを燃料として直接供給する SOFC 発電システムの開発を実施している。アンモニア直接供給型システムでは、燃料処理装置等が不要になるメリットがあるものの、アンモニアを燃料電池内で分解するため分解時の吸熱反応により電池温度が低下し、電池電圧の低下さらには熱自立運転ができない可能性がある。そこで燃料電池、熱交換器等の高温機器を収納したホットモジュール (図 8) の断熱性能を確保するため、熱流体解析ソフトを用いた 3次元熱解析を行い、設計に反映した (図 9)。そして、ホットモジュールの要素試験結果を基に発電システムを試作した (図 10)。性能評価の結果、システムの熱自立を達成するとともに、起動や停止も含めた安定した発電試験に成功し、DC 発電出力として 1,370W、DC 発電効率 56%を確認した。

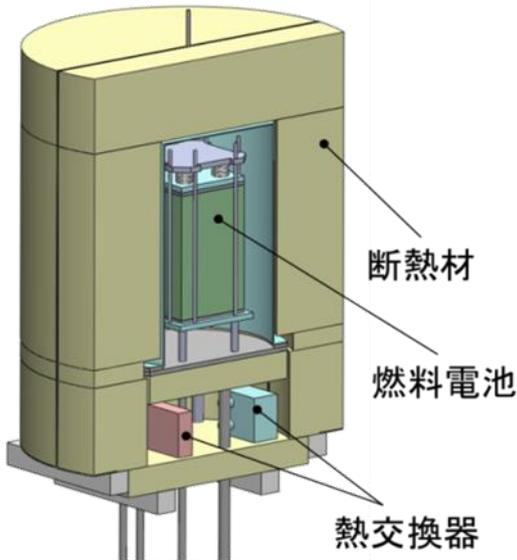


Fig. 8 1kW class SOFC hot module

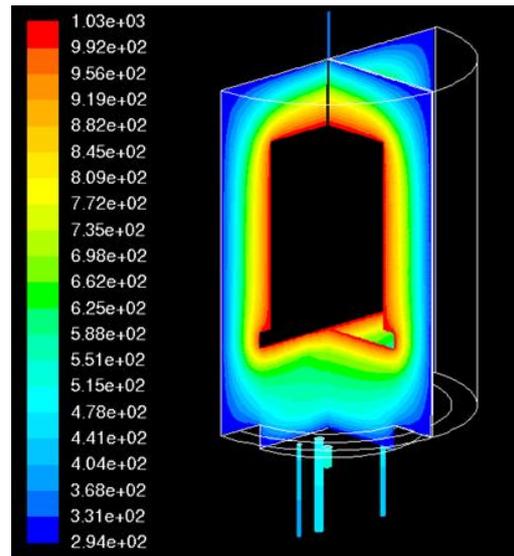


Fig. 9 Heat transfer calculation in hot module



Fig. 10 Appearance of SOFC system

### 3. 福島県相馬市における地産地消型スマートコミュニティ事業

再エネの電力を既存システムに供給せずに、地域社会のなかで最大限消費する「再エネの地産地消」を実現すると同時に、地域振興に寄与することを目指して福島県相馬市に、そうま IHI グリーンエネルギーセンター（広さ約 54,000 m<sup>2</sup>）を 2018 年 4 月に開所した（図 11）。



Fig. 11 Equipment composition of soma smart community

出力 1,600kW の太陽光発電設備を設置し、太陽光発電からの電力を下水処理場等で利用しつつ、余剰電力は水電解によって水素を製造・貯蔵するとともに、電気ボイラからの蒸気によって汚泥の乾燥・減容化・再資源化に利用している（図 12）。本事業の特長は、太陽光発電量の変化に応じて水電解水素製造装置負荷・電気ボイラ負荷・大型蓄電池の充放電量・太陽光発電設備自体の発電量を制御する地産地消型エネルギーマネジメントシステムを導入し、太陽光発電設備からの発電量全量を一般送配電系統へ送ることなく地域で消費することである。今後予想される分散電源型再生エネルギーの大量導入時にも電力系統安定化に適用できるシステムとなる。製造・貯蔵した水素は、将来の水素社会を見据えた水素利用・エネルギーキャリア転換技術研究・実証試験等に使用する計画である。

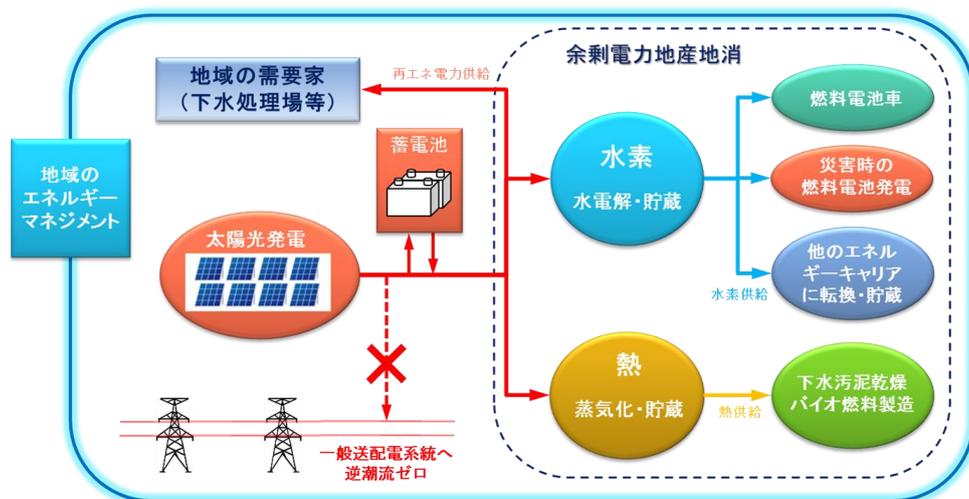


Fig. 12 Soma smart community model

#### 4. おわりに

脱炭素社会の実現のためには、アンモニアの燃料利用技術と同様に CO<sub>2</sub>フリー水素/アンモニアサプライチェーンの確立が重要である。短期的には化石燃料や CCS の組合せにより CO<sub>2</sub>フリー水素/アンモニアを大量製造する方法が考えられるが、最終的には再生可能エネルギーから製造するのが望ましい。IHI では、バイオマスからの水素製造技術については二塔式ガス化炉 TIGAR<sup>®</sup>の開発を行っており、現在商用段階に入っている。さらに、太陽光発電からの電力による高効率水素製造技術についても研究開発を行っているところである。また、再生可能エネルギーの地産地消の実現と地域主導の新たな自律事業モデルを広く普及させるため、相馬で構築したモデルを他の近隣自治体へも展開していく予定である。カーボンフリーエネルギーサプライチェーンの構築を目指し、早期の技術確立・社会実装に挑戦していく。

#### 謝 辞

本研究の一部は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「エネルギーキャリア」(管理法人: 国立研究開発法人 科学技術振興機構 (JST)) によって実施されました。ここに謝意を表します。

#### 文献

Hayakawa, A., Goto, T., Mimoto, R., Arakawa, Y., Kudo, T. and Kobayashi, H., Laminar burning velocity and Markstein length of ammonia/air premixed flames at various pressures, Fuel, 159(2015), 98-106.

塩沢文朗, 「水素社会を拓くエネルギー・キャリア」, IEEI 解説記事

(<http://ieei.or.jp/2014/09/expl140916/>), 2014

内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「エネルギーキャリア」資料より