

# 水素社会に向けた SIP エネルギーキャリアの取り組み



特集 2

内閣府SIPエネルギーキャリアプログラムディレクター  
東京ガス株式会社 アドバイザー

村木 茂氏

## SIP とエネルギーキャリア

日本では政府並びに産業界が低炭素社会構築に向けた水素の活用に向けた取り組みを積極的に進めている。政府は2017年12月に水素基本戦略を策定し発表しており、この中で2030年には水素コストとして30円/m<sup>3</sup>を目指し、最終的には20円/m<sup>3</sup>までコストが削減できれば、水素発電コストは12円/kWhと天然ガス発電と同等になり、水素が発電用燃料として大きく導入される可能性がある。

この戦略の中では液化水素、有機ハイドライド、アンモニア、CO<sub>2</sub>フリー水素由来のメタンを4つの水素キャリアとして掲げ、その中で特にアンモニアは低炭素社会に向けた最も経済的なオプションの1つであると述べている。

また2014年には総合科学技術イノベーション会議が戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) をスタートさせている。このSIPでは社会に不可欠で日本の経済・産業競争力にとって重要なテーマ11課題が選定され、年間325億円の予算で5年間のプログラムとして進められている。このテーマの1つとして水素関連技術を対象とするエネルギーキャリアが選定され、私、村木がプログラムディレクターを務めている。

図1にエネルギーキャリアの概要を示す。エネルギーキャリアとして、液化水素、有機ハイドライドの中ではメチルシクロヘキサン、アンモニアを対象として、再生可能エネルギーからの水素製造、エネルギーキャリアとその脱水素、そしてアンモニアの燃料としての直接利用に関する技術開発を進めるプログラムである。

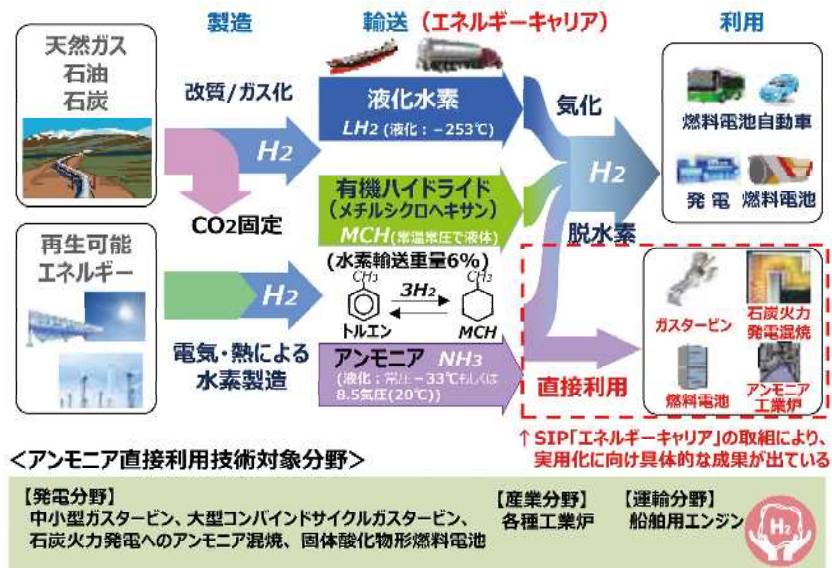


図1. エネルギーキャリアの概要

3つのエネルギーキャリアの特徴を簡単に述べる。液化水素はマイナス253°Cの極低温液体であり、小規模にはロケット燃料や工業用ガス、水素自動車用の水素の輸送・貯蔵に使われており、高純度・高圧の水素が得やすい特徴を有しているが、大型化には



講師 村木 茂氏

更なる技術開発が必要である。

メチルシクロヘキサンは常温常圧で液体であり、既存の石油関連施設を活用できる利点がある。しかし輸送効率の低さと脱水素にエネルギーを必要とするため、サプライチェーンの効率が低くなるという課題を有している。

アンモニアはマイナス 33℃か 8.5 気圧で液体となる、プロパンに似た液体であり、すでに世界で大量に輸送・貯蔵され、使用されている。アンモニアの最大の特徴は CO<sub>2</sub> を発生することなく直接燃焼できることであり、エネルギーキャリアプログラムではその特徴に着目して重点的に取り組んできている。但しアンモニアは劇物であり、人の集まる市街地などでの利用を避けるなど、その取り扱いには注意が必要である。

### SIP エネルギーキャリアの主な取り組み

次にこの SIP エネルギーキャリアの主な取り組みとその成果を紹介する。トヨタエナジーソリューションズ社製の 50kW、300kW タービンについてアンモニア専焼試験を実施し、天然ガス専焼と同等の効率と脱硝前で NO<sub>x</sub> を 100ppm 以下に抑えることに成功している。トヨタエナジーソリューションズ社ではこれらのアンモニア専焼タービンを 2020 年までに商用化する計画である。また、IHI の 2,000kW のタービンで 20% までのアンモニア混焼試験を実施し、低 NO<sub>x</sub> で安定した燃焼を確認している。これら小型・中型タービンでのアンモニア利用についてはその実現性が極めて高いと言える。(図 2)



図 2. アンモニア直接燃焼小型・中型タービンに関する取り組み

また、大型のコンバインドサイクルガスタービン (ACCGT) でのアンモニア利用の開発を進めている (図 3)。ACCGT の燃焼温度は 1,600℃ 以上と高温で、アンモニア燃焼の場合の NO<sub>x</sub> 制御の難しさが想定されること、また、ACCGT は 600℃ のタービン排熱が得られることから、この排熱の一部を利用して 500℃ で熱分解できるアンモニアを脱水素して、水素をタービンに供給するシステムを前提に開発を進めている。このシステムの場合、アンモニアは液体で圧縮できて圧縮動力が少なく済むことと、脱水素で熱ロスはあるもののその一部は高温水素としてタービンに供給されることから ACCGT でのアンモニア利用の場合、天然ガス専焼と比べて発電効率の低下は 0.5% 以下に抑えられるものとみている。この ACCGT ではアンモニアはまさに水素エネルギーキャリアとして機能している。

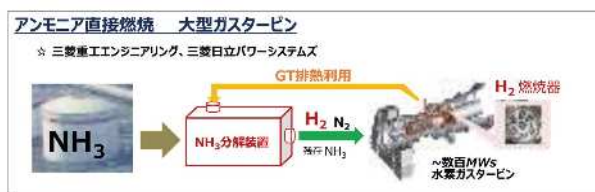


図 3. アンモニア直接燃焼大型タービンに関する取り組み

さらには、アンモニア SOFC の開発も進めている。ノリタケ製のセルスタックを使って、IHI がパッケージした 1 kW のシステムで発電試験に成功し、現在 1,000 時間までの連続運転を実施している (図 4)。SOFC は反応温度が 700℃ 以上であるため、内部でアンモニアを熱分解し、水素を発生させ発電することができ、天然ガス SOFC と同等以上の発電効率が見られる。マーケットとしては中小規模の工場やデータセンターなどが想定されることから、システム規模としては数十 kW から 200 kW クラスを目指している。



図 4. アンモニア直接供給型 SOFC に関する取り組み

上記開発と並行して石炭発電でのアンモニア混焼にも取り組んでいる。電力中央研究所でのシングルバーナー試験とIHIのテストボイラーで20%までの混焼試験を行い、アンモニアの注入を適切な場所に行うことでNOxの排出量がむしろ減少し、安定的な燃焼が得られることが判明した(図5)。2017年には中国電力の水島火力の156 MWの石炭発電所でアンモニア混焼試験を実施している。発電所にある脱硝用アンモニアを利用した混焼試験で、アンモニア供給量に制約があり、最大1%までの混焼であったが、NOxの上昇もなく安定した燃焼が観察された(図6)。こうした結果を得て、現在は石炭発電でのアンモニア混焼についてFSを実施している。

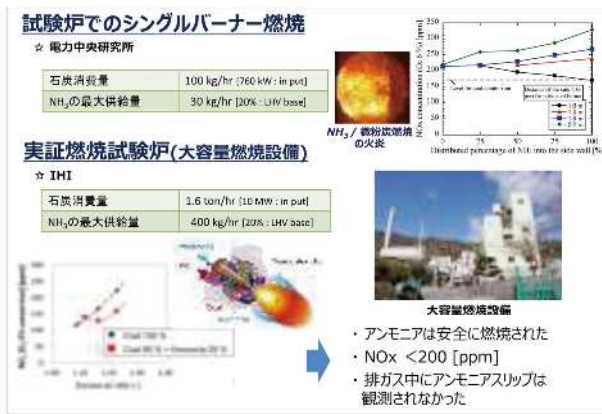


図5. 石炭火力ボイラーでのアンモニア混焼に関する取り組み

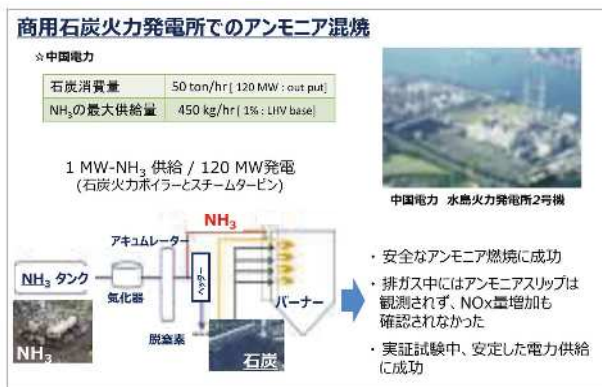


図6. 商用石炭火力発電所でのアンモニア混焼に関する取り組み

CO<sub>2</sub>フリーアンモニアの供給については、天然ガスを原料とする既存ハーバーボッシュ法のアンモニアプラントと排出CO<sub>2</sub>をCCSで固定化するアンモニア供給について中東のサウジアラビアとカタール、そして米国メキシコ湾岸を対象にスタディしている。

利用側は国内の規模の異なる3か所の石炭火力でスタディしている。石炭発電所の改造はボイラーのバーナーの改造に留まるため、主な追加コストはアンモニア供給設備となる。上記2件に関するプレFSは2018年末までに終了する予定である。

アンモニアの工業炉での利用については、大陽日酸、日新製鋼、宇部興産と実証試験を行っており、試験炉で環境規制以下にNOxを制御して安定した燃焼を得ることに成功している(図7)。今後は実機での燃焼試験を通じて実用化を目指していく。

加えて、2018年から新たに船舶用エンジンでのアンモニア利用に関する開発を立ち上げている(図7)。この分野の技術的ハードルはそれほど高くはないと見ている。これら工業用市場と海上輸送市場におけるCO<sub>2</sub>フリー化ではアンモニアが最も実現性の高い燃料であると見ている。



図7. アンモニアの工業炉での利用、アンモニア直接燃焼船用エンジン、CO<sub>2</sub>フリーアンモニア製造用触媒に関する取り組み

CO<sub>2</sub>フリーアンモニアの製造分野では、再生可能エネルギーからのCO<sub>2</sub>フリー水素を原料とするアンモニア製造に関する新触媒の開発を日揮を進めている。ハーバーボッシュ法より低い温度と圧力で水素供給量の変動に対しても活性が維持できる触媒の開発に成功し、現在実証試験をパイロットプラントで実施している(図7)。

その他アンモニアとメチルシクロヘキサンから水素ステーションで脱水素するシステムの開発、液化水素のローディングシステムの開発、水素を燃料に用いる中型タービンの低NOxドライ燃焼用燃焼器の開発を実施してきている。



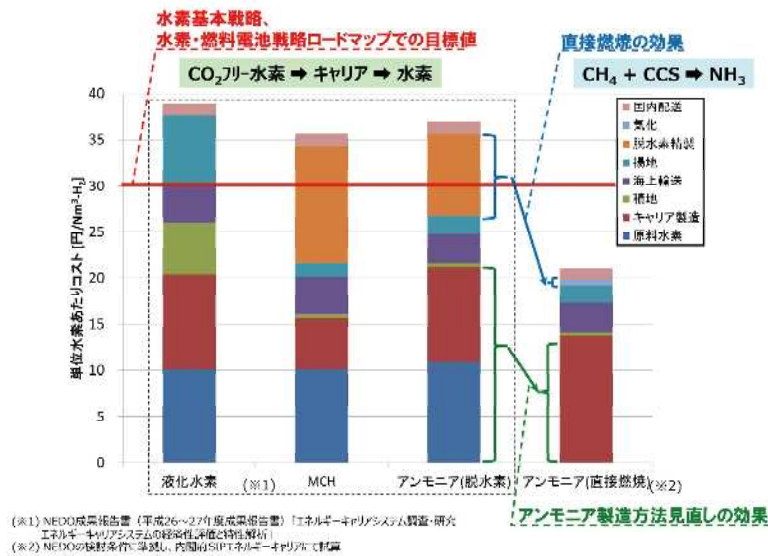


図8. エネルギーキャリアのコスト比較

### エネルギーキャリアのコスト比較

現状のエネルギーキャリアのコスト比較を図8に示す。左の3本のグラフはCO<sub>2</sub>フリー水素からエネルギーキャリアを製造し、最終的に水素として利用する場合について、現状見通せる技術開発の実現を前提に推定したものである。

3つのエネルギーキャリアについて水素コストはほぼ同等で35～38円/m<sup>3</sup>となっている。これは2030年の価格目標である30円/m<sup>3</sup>を上回っており、更なる技術開発が必要であることを示している。一番右側のグラフは現状のハーバーボッシュアンモニアプラントとCCSを組み合わせたCO<sub>2</sub>フリーアンモニアを直接利用するケースで、CCSコストを20ドル/t-CO<sub>2</sub>として算定している。この場合、水素換算コストは21円/m<sup>3</sup>となり、水素戦略の最終目標価格の20円/m<sup>3</sup>と同等で、アンモニアが現状において経済性に優れたCO<sub>2</sub>フリー燃料となりうる事が示されている。

### グリーンアンモニアコンソーシアムの活動

SIPエネルギーキャリアでは、2017年7月にグリーンアンモニアコンソーシアムを設立した。現在28社・機関が参加している。このコンソーシアムはCO<sub>2</sub>フリーアンモニアバリューチェーンの実用化に向けた産官学連携のプラットフォームとして、技術評価、経済性評価、低炭素化評価、技術基準、国際標準化などの重要課題を協議する。更に、実用

化ロードマップ策定や国への提言などを実施し、国際連携の窓口としても機能することを目指している。

SIP第一期終了後の2019年4月には一般社団法人として独立し、会費制会員組織として国内外の企業・機関への参画を呼び掛けていく。現在既に国内外の約40の企業・機関から参画の意向が示されている。

SIP終了後は、テーマ別に関係官庁とも連携して技術開発を継続するとともに、アンモニア利用を通じた低炭素社会構築に向けた貢献と、産業界の連携組織として水素社会に向けて大きく扉を開く役割に取り組んでいく予定である。

コンソーシアムで策定した現在のロードマップを図9に示す。

現在のCO<sub>2</sub>フリーアンモニア利用のFSを進め、2024年を目標としてCO<sub>2</sub>フリーアンモニアの導入とその石炭発電、中小型タービンでの利用を開始し、約50万トンのCO<sub>2</sub>フリーアンモニア導入を目指している。その後、大型タービン、工業炉、SOFCなどでの利用拡大も進め、2030年には300万トン（100万kW石炭発電20%混焼6基分）の利用を目指している。また、2020年までの小型タービンの実用化に向けて、再生可能エネルギー由来水素からのCO<sub>2</sub>フリーアンモニアを少量導入して利用し、グリーン電力を供給するパイロットプロジェクトの検討を行っている。

こうした成果やロードマップを海外にも発信して

- ①CCSや再生可能エネルギー利用と組み合わせた製造段階でのCO<sub>2</sub>フリー化、②直接燃焼利用時のNO<sub>x</sub>低減、③可燃性劇物に係る安全性確保の課題解決に向けた技術開発・検討等を進め、**2020年代半ばまでのCO<sub>2</sub>フリーアンモニアの導入・利用開始を目指す\***
- アンモニアはキャリアの直接利用が可能である。アンモニアについては、**2020年頃までに石炭発電所でのアンモニア混焼発電の開始、2030年頃までにガスタービン等への利用拡大を目指す\***

\*平成29年12月26日発表 再生可能エネルギー・水素等供給関係会議(水素基本戦略)より抜粋

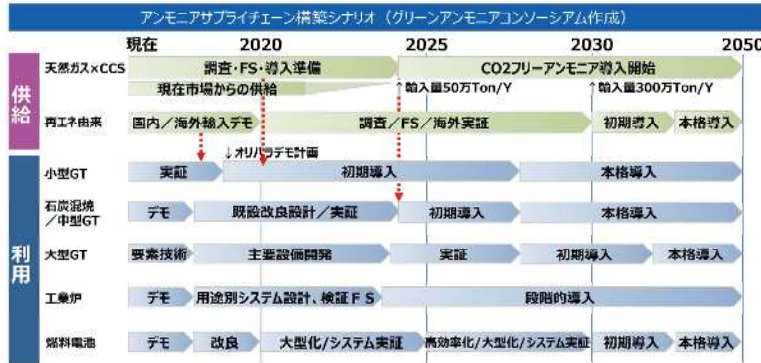


図9. アンモニアサプライチェーン構築に向けたシナリオ

きており、海外からの関心も高まってきている。ノルウェー、米国、オーストラリア、サウジアラビア、カタール、南アフリカなどと積極的に情報交換を行っている。

こうした中で、再生可能エネルギー由来の水素を活用するCO<sub>2</sub>フリーアンモニアの供給の可能性の検討もいくつかの国で始まっている。

### まとめと今後の展望

こうした状況から、CO<sub>2</sub>フリーアンモニアの供給はもうそう遠くない時期に開始できる可能性が強まっており、アンモニア直接利用の実証から実装に向けた取り組みを加速していきたいと考えている。

これからの低炭素社会に向けてアンモニアがCO<sub>2</sub>フリー燃料として、また水素エネルギーキャリアとして大きく役割を果たしていくであろうことを確信している。

