

燃料アンモニアのサプライチェーンについて



中山 伸一郎

三菱商事株式会社

次世代発電燃料事業部 燃料アンモニア・水素導入室

1. はじめに

我が国は、エネルギー調達を海外からの石油・天然ガス・石炭等の輸入に大きく依存しており、2010年代のエネルギー自給率は10%前後で推移している。エネルギー政策の基本方針であるS+3Eの実現にあたっては、再生可能エネルギーの導入を積極的に進めつつ、海外から安定的に競争力のあるエネルギー調達を継続する必要があると考えられる。特に、気候変動対策としての温室効果ガス排出量削減は、速やかな対応が求められており、新たなエネルギー源として水素利用の検討が行われてきた。水素の大規模利用にあっても国内水素供給は限定的である為、海外から調達する必要があるため、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）ではエネルギーキャリアに関する検討が実施され、その中でアンモニアにも注目が集まった。

アンモニアは、①水素の効率的なキャリアであること、②物性が安定しておりエネルギーとして直接利用できること、③製造技術が確立し年間約2億トンの生産が有ることから、次世代

エネルギーとしての期待が高まっている。エネルギー輸入国である我が国にとって、脱炭素社会における有効な手段、また、ゼロエミッション火力としてのアンモニアを利用した発電、船舶燃料としての検討が進められており、その検討状況について報告する。

2. エネルギー基本計画におけるアンモニアの位置付け

先般公表された第6次エネルギー基本計画の素案²⁾において、既存のエネルギー源に加えて水素・アンモニアが新たに言及された。2030年度に向けた温室効果ガスの新たな削減目標の達成に向けて野心的な見通しが示され、総発電量9,300～9,400億kWhに対して、水素・アンモニアで電源構成1%程度を賄うことが想定されている。アンモニアに関しては既設の石炭火力への混焼技術の導入・普及により2030年時点で年間300万トンの需要が想定されている。さらに、2050年のカーボンニュートラルの実現に向け、水素・アンモニア発電が電源構成の10%程度を占めることが参考値として公表されている。

同素案において、火力発電は安定供給を前提とし、再エネの瞬時的・継続的な発電電力量の変化にも対応可能な設備容量を確保する一方、調達リスク・発電量当たりのCO₂排出量の観点や、備蓄性/保管の容易性といったレジリエンス向上への寄与度等の観点を踏まえ、LNG・石炭・石油における適切な火力のポートフォリオを維持するとされている。また同時に、火力発電の継続と脱炭素を並行して実現させ得る燃料アンモニアの導入検討が進められている。

仮に、石炭火力発電において20%のアンモニア混焼を行うと、CO₂排出は20%抑制される。国内大手電力会社の保有する全石炭火力発電において20%混焼を実施した場合、約4,000万トンのCO₂排出抑制

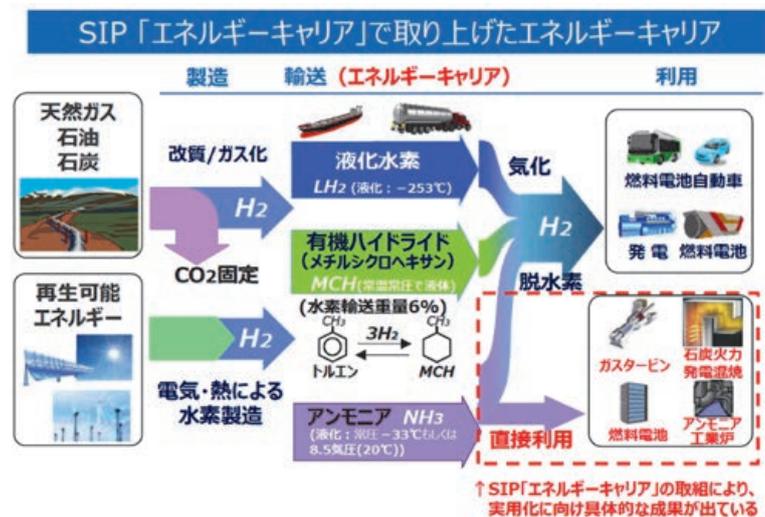


図1 SIP「エネルギーキャリア」で取り上げたエネルギーキャリア¹⁾

となるが、これは国内電力部門からの排出量の約1割を削減することになる。また、国内大手電力会社の保有する全石炭火力発電をアンモニア専焼にリプレースした場合、約2億トンのCO₂排出抑制効果が有り、これは現在の国内電力部門のCO₂排出量を半減することになる。

国際海事機関 (IMO) は2008年を基準年とし、2030年までに国際海運全体の平均燃費を40%以上改善、国際海運からのGHG総排出量を2050年までに50%以上削減、早期にGHG排出ゼロの目標を掲げている。アンモニアは船舶燃料としての活用も検討されており、国際海運分野における脱炭素対応において、船舶用燃料としての活用も期待されている。

3. 既存のアンモニア市場規模と 燃料アンモニアの導入に向けた課題

現在アンモニアは、肥料用途を中心とした市場で取引されて

おり、全世界生産量は約2億トン/年である。その中で、貿易量は1割程度の約2千万トン/年に留まり地産地消の傾向がある。

アンモニアの取引価格は基本的に需給に影響される。熱量換算価格で他燃料と比較すると、基本的に他燃料よりも価格は高く、かつ変動が大きいことがわかる。(図4参照) 従って、アンモニアを燃料用途で活用する際には、安定的かつ競争力ある価格で調達可能な仕組みを作る必要がある。

アンモニアは冷凍品・中圧品・高圧品の3形態にて輸送され、LPG等その他ガス系貨物と同型の物流設備が使用されるが、アンモニアは金属腐食性を持つ為、焼鈍等の特殊加工を追加で施す必要がある。設備投資・運賃の高額化並びに設備のアンモニア専用化が進む傾向にある。

国内では宇部興産、三井化学、昭和電工、日産化学がアンモニアを製造しており、中圧品内航船(1,000トン以下)・高圧品ローリー(約10トン)等により輸送される。一方、輸入品は、

燃料アンモニア利用によるCO₂削減と消費量

- 将来的なアンモニア専焼(アンモニア火力発電)へのリプレースによって電力部門の5割のCO₂排出削減。石炭火力での20%混焼によっても、電力部門の1割の削減が可能。
- 他方、石炭火力1基(100万kW)で年間50万トンの燃料アンモニアが必要となる。

| ケース | 20%混焼 ^(※1) | 50%混焼 ^(※1) | 専焼 ^(※1) | (参考) 1基20%混焼 |
|---------------------------------------|--|-----------------------|--------------------------------------|-----------------|
| CO ₂ 排出削減量 ^(※2) | 約4,000万トン 電力部門のCO ₂ 排出の約1割 | 約1億トン | 約2億トン 電力部門のCO ₂ 排出の約5割 | 約100万トン |
| アンモニア需要量 | 約2,000万トン | 約5,000万トン | 約1億トン | 約50万トン |

※1 国内の大手電力会社が保有する全石炭火力発電で、混焼/専焼を実施したケースで試算。

※2 日本の二酸化炭素排出量は約12億トン、うち電力部門は約4億トン

図2 燃料アンモニア利用によるCO₂削減と消費量³⁾

- 現在、世界の原料用アンモニア生産は年間約2億トン程度。そのうち貿易量は1割(約2000万トン)に留まり、ほとんどが地産地消されている。
- 日本の原料用アンモニア消費量は約108万トン(2019年)。うち、国内生産は約8割、輸入は約2割(インドネシア・マレーシアより)。

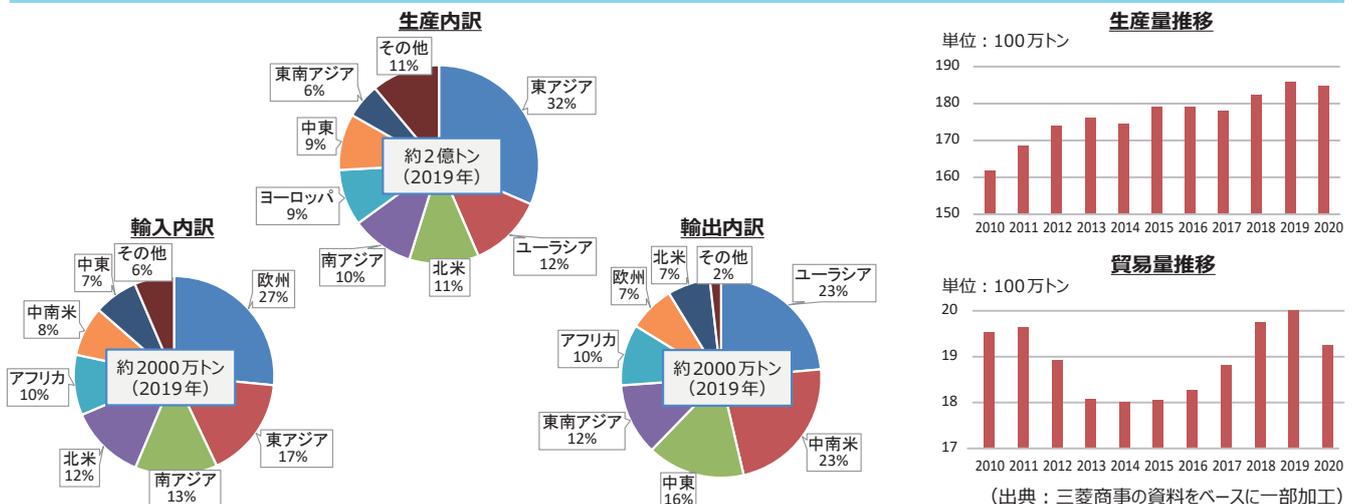


図3 アンモニア市場に関する現状³⁾

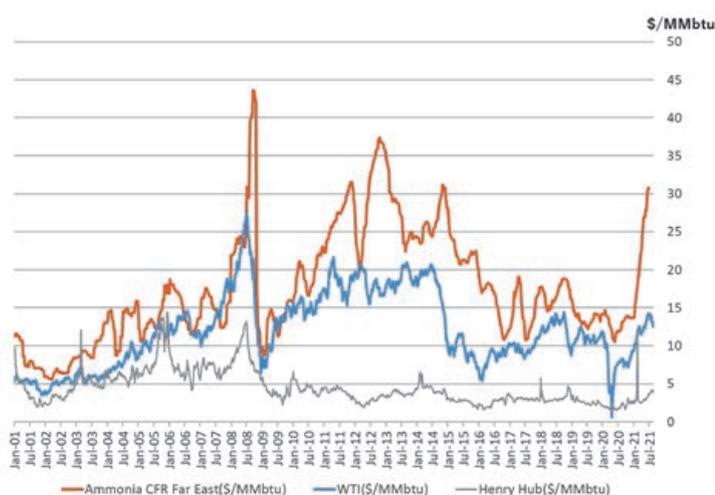


図4 アンモニアと原油・天然ガスの価格推移（三菱商事調べ）

表5 アンモニア輸送形態⁴⁾

| 輸送形態 | 圧力 | 温度 | ロット | 輸送方法 |
|------|------------------------|--------------|-------------------|-----------------|
| 冷凍品 | 常圧 | 摂氏 -33.3度 | 15,000トン 以上 | 大型船 |
| 中圧品 | 約3~4kg/cm ² | 摂氏±0度 | 200トン~ 1,000トン | 小型船 |
| 高圧品 | ~18kg/cm ² | 常温 | 10トン前後 | ローリー・ パイプライン |

冷凍品大型船で輸送され、本邦3拠点及び韓国1拠点の輸入タンク（新居浜/住友化学、水島/旭化成、名古屋/東レ、韓国麗水/南海化学）において一時受入された後、中圧・高圧品として二次転送されている。

我が国では国内品の物流が太宗を占めてきた歴史から、タンク容量及び受入栈橋は小規模である傾向にある。対して韓国・台湾は比較的早い時期に輸入品への切替を行った経緯もあり、比較的大規模設備で輸入されている。

燃料用途のアンモニア消費が想定される既存石炭火力発電所では、現在は脱硝用途でアンモニアを消費しており、概ね小型

（約1千トン未満）の受入設備にて内航船やローリー等による小口配送・納入（約10~数百トンロット）が行われている。

石炭火力発電プラント1基（100万kWh）への20%混焼を行う場合、50~60万トン/年のアンモニア使用が想定されるが、中圧・高圧での小規模物流は現実的でなく、大規模物流インフラ構築が必要となる。

4. 供給拠点の開発

(1) 燃料アンモニア製造方法

アンモニア（NH₃）の一般的な製法は、水素（H₂）と窒素（N₂）の二種類の原料をハーバー・ボッシュ法により化学合成して製造される。窒素源は空気中に約8割存在する窒素が使用され、水素源は経済合理性の観点から大半が天然ガス、石炭等の化石燃料（=炭化水素）が使用されている。この化石燃料の改質反応による水素製造時に、CO₂が同時に発生するが、CCS（EORを含む）やカーボンリサイクルにより処理することで、化石燃料由来のアンモニアの低炭素化が図られる。

また、別のアンモニアの低炭素化の方法として、再生可能エネルギーを用いた水（H₂O）の電気分解による水素製造がある。水の電気分解では、水素（H₂）と酸素（O₂）が発生し、CO₂は発生しない。

現在の技術と再生可能エネルギーのコストからすると、化石燃料（天然ガス）由来のアンモニア製造はCO₂処理コストを勘案してもコスト競争力に優れ、導入時期に於いては天然ガス由来+CO₂処理したアンモニアの検討が主になされている。燃料アンモニアの社会導入促進に当たっては、燃料アンモニアの低炭素の価値が担保される様、一般社団法人クリーン燃料アンモニア協会が中心となり、ライフサイクルCO₂排出量評価を考慮した形での、化石燃料由来のアンモニア(+CO₂処理)や、再生可能エネルギー由来のアンモニア等の定義・認証システムについての議論が進められている。

<燃料アンモニア製造方法>

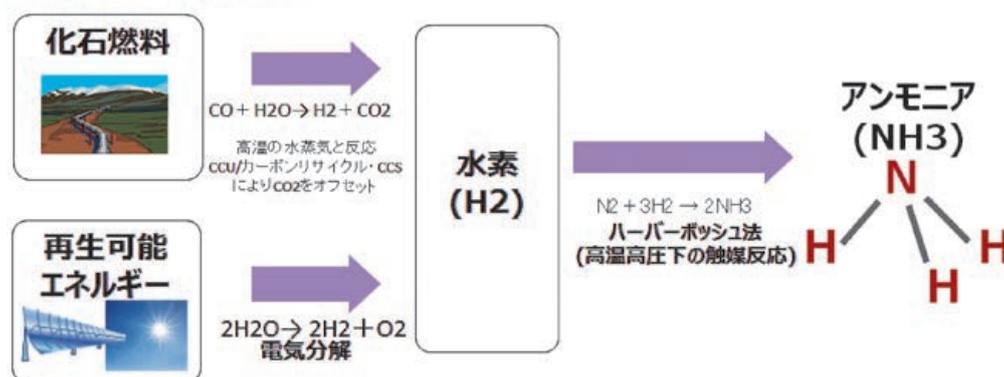
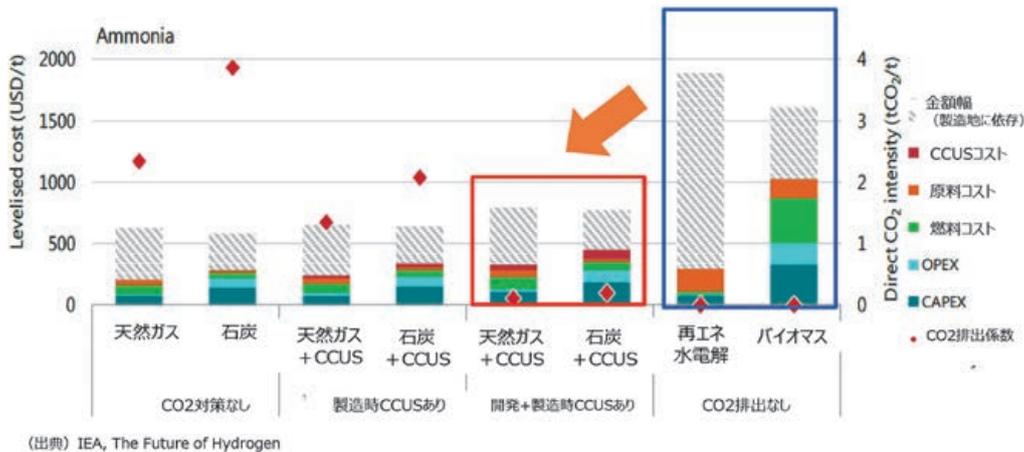


図6 アンモニアの製造方法⁵⁾

<製造方法毎のコスト比較（2018年）>

図7 製造方法毎のコスト比較⁵⁾

(2) 生産の適地

生産地においては、産油・ガス国/再生可能エネルギー生産やCO₂処理方策等の観点から踏まえて経済性を担保していく必要がある。

北米は豊富な天然ガス埋蔵量に加え全国にパイプライン網が整備されており、また、天然ガス市場 (Henry Hub) が存在する。原料ガスのインフラが充実していることに加えて、CO₂パイプライン網が存在、商業ベースでCO₂ EORが行われ、CO₂販売の蓋然性が高い為、有力な供給候補地と考えられる。同様に豪州、中東諸国もガス埋蔵量、CO₂をCCS処理する適地が存在するという観点から、有力な供給候補地と考えられる。

また、2020年には日本エネルギー経済研究所が、サウジアラビアでのブルーアンモニア製造、本邦向けに輸送し、サプライチェーン実証を行っており、斯様の知見活用も重要となる。

(3) 米国における燃料アンモニア製造・供給の考察

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「CO₂フリー水素利用アンモニア製造・貯蔵・輸送関連技術の開発」(三菱商事研究開発期間：平成29年11月1日～平成31年3月31日)において、米国における既存インフラを利活用する形での、燃料アンモニア生産コスト及びCO₂処理についての考察を紹介する。

①生産コスト

ルイジアナ州Geismerに於いて、天然ガスからアンモニアを製造し、プロセスから回収したCO₂をDenbury社 (CO₂パイプラインを所有するEOR油田・ガス田開発会社)へ販売するケースを想定して生産コストの考察を行った。

・諸前提条件に基づき算出した米国CO₂フリーアンモニアの日本着 (CFR Japan) コストは、IEEJが推定している\$350/MT程度に収まる可能性があるとの検討結果となった。

表8 プラント検討前提条件の主要項目/コスト試算前提条件⁴⁾

| 項目 | 詳細 |
|------------------------|--|
| 立地 | Geismer, ルイジアナ州 |
| 生産能力 | 3,300MTPD. 1系列 |
| 稼働時間 | 8,000時間/年 |
| CO ₂ 回収率 | プロセス：全量、排ガス：90%。 合計：>95% |
| 天然ガス調達 | プラントBLで天然ガスグリッド (SONAT or TETCO)へ接続 |
| CO ₂ パイプライン | プラントBLでDenbury社CO ₂ パイプラインへ接続 |
| 出荷 | 隣接するミシシッピ川より出荷 |

・比較的低炭素で同じ天然ガス由来燃料のLNGは、日本着コストはアンモニア換算で約\$200~250/MTの水準であるが、天然ガスを直接-162°Cに冷却し、液化するLNGに比し、天然ガスを化学的に (エネルギーを消費して) 加工し、炭素 (CO₂) を除いた形で-33°Cで液化するアンモニアは、製造工程における消費エネルギー見合いの経済性が劣後するため。アンモニアの燃料使用実現に際しては、この経済性の溝を埋め合わせる政策支援 (補助金乃至はCO₂チャージ等) の設計・導入が重要である。

②CO₂処理

・米国では過去約40年間に亘りCO₂ EORが実施されており、2016年時点で約145のCO₂ EORプロジェクトが稼働し、0.3MMbbl/日の原油が生産されている。米国CO₂ EOR市場は、Permian (TX,NM州) /Gulf Coast (TX,LA州) /Rocky Mountain (WY州) /Midcontinent (TX,KS州) の主要4地区に分布し、これらの地区合計で米国市場の約90%を占める。

・2016年時点のCO₂供給量は約76Mil MT/年あり、内、天然由来 (CO₂田からの産出) が54Mil MT/年 (72%)、工業由来 (排ガス、化学工業等由来) が22Mil MT/年 (28%)を占める。CO₂の潜在的な供給量は両ソース合計で33.5Tcf (≒32年間

