

カーボンニュートラルの実現に向けたアンモニア活用

Ammonia Utilization to Achieve Carbon-neutral

吉 成 翔

要 約 カーボンニュートラルの実現に向けて、化石燃料に代わる新たなエネルギー供給源が求められる中で、アンモニアは輸送や貯蔵が容易であること、既に肥料として世界的に利用されていることなどから、比較的早い段階から社会実装が可能な代替燃料として期待されている。アンモニアの燃料としての活用は大きく発電分野、輸送分野、産業分野に分けられ、それぞれ適用に向けた取り組みが進められている。

BIPROGY は再エネ由来電気のトラッキングシステムの構築や非化石電源の認定業務・非化石証書のトラッキング業務を実施している。これらのアセットや知見を活かし、クリーンなアンモニアのトラッキングや環境価値の証明を実現することで、アンモニア燃料の普及に貢献できると考える。また、アンモニアは再生可能エネルギーと組み合わせることで地域エネルギー課題の解決につながる可能性がある。BIPROGY は、アンモニアがクリーンな燃料として社会実装され、普及・拡大されることに貢献すべく、新たなサービスや取り組みを今後も検討していく。

Abstract As a new energy resource to replace fossil fuel is required toward the actualization of carbon neutrality, ammonia is expected to be an alternative fuel that can be implemented in society from a relatively early stage because it is easy to transport and store and is already being used as a fertilizer worldwide. The use of ammonia as a fuel can be largely divided into power generation, transportation, and industrial fields, and the effort to apply it is underway in each of these fields.

BIPROGY Inc. has established a “Tracking System for Renewable Energy Derived Electricity” and is conducting certification work for non-fossil power sources and tracking of non-fossil certificates. By utilizing these assets and knowledge to realize tracking of clean ammonia and certification of its environmental value, we believe it is possible to contribute to the spread of ammonia fuel. In addition, ammonia has the potential to solve regional energy issues when combined with renewable energy. BIPROGY will continue to study new services and initiatives in order to contribute to the social implementation, diffusion and expansion of ammonia as a clean fuel.

1. はじめに

2020年10月、日本政府は、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするカーボンニュートラルを目指すことを宣言した^[1]。カーボンニュートラルを実現するための方策の一つとして、アンモニアの活用が注目されている。アンモニアはすでに生産・運搬・貯蔵などの技術が確立しており、安全性への対策やガイドラインが整備されている。さらに、肥料用途を中心として世界中で消費されており、サプライチェーンが確立されている*1。これらのことから、アンモニアは初期投資をあまりかけずにエネルギーに転用することができるとも考えられている。

本稿ではアンモニアをクリーンな燃料として普及させるための BIPROGY 株式会社（以下、当社）のアセットと取り組みについて述べる。2章でアンモニアの概要について紹介した後に、3章で今後カーボンニュートラルを実現するための方策として期待される利用用途について述べる。そのうえで、4章ではアンモニアをクリーンな燃料として活用できる分野について、5章では当社が貢献できる機会や提供できる価値の可能性を、当社のアセットや取り組みと関連付けて述べる。

2. アンモニアとは

本章ではアンモニアの概要と、現在の主な用途や市場規模について述べる。

2.1 アンモニアの概要

アンモニアは常温では無色透明の気体であり、低温（ -33°C ）・常圧、もしくは、常温・高圧（10気圧程度）で液化する。特有の強い刺激臭があり、毒性があるために「劇物」に指定される。アンモニアは加圧または冷却により液化して輸送する機能を持つアンモニア船やLPG船（液化石油ガス）によって、世界各地域で海上輸送されている。アンモニアは一般に流通しているLPGと液化条件がほぼ同じであるため、アンモニアの輸送にはマルチパーパス船（LPG等の多目的ガス船）が利用されている^[2]。

アンモニア（ NH_3 ）は窒素（ N_2 ）と水素（ H_2 ）を反応させて合成する。窒素は大気中に含まれる窒素分を固定化して利用する。水素は、天然ガス中のメタンから生成することが主流であり、中国では石炭から生成することが主流となっている。窒素は豊富に存在するため、水素をいかにして生成するかが現在におけるアンモニア合成の鍵となる。ただし、カーボンニュートラルの実現に向けてアンモニアを活用する場合は、生成過程で温室効果ガスを排出しないクリーンな水素が求められる。

2.2 アンモニアの現在の主な用途

アンモニアは従来から肥料の原料として利用されている。また、アンモニアは、火力発電所が排出する煤（スス）に含まれる、大気汚染物質「窒素酸化物（ NO_x ）」の対策にも利用されている。 NO_x にアンモニアを結びつけることで化学反応を起こし、窒素と水に還元する「還元剤」として利用する。さらにアンモニアは化学製品の基礎材料としても利用されている。世界全体でのアンモニアの用途を図1に示す。約8割が肥料として消費されているが、残りの2

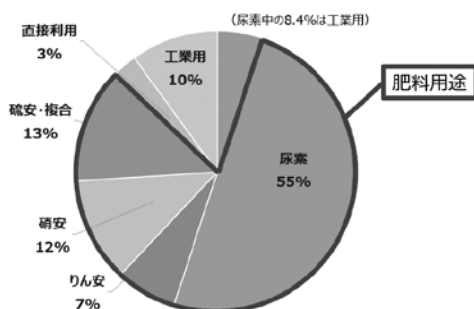


図1 世界全体でのアンモニアの用途^[3]

割は工業用で、メラミン樹脂や合成繊維のナイロンなどの原料となる^[3]。

2.3 アンモニアの市場規模

アンモニアの市場は、既に肥料用途や工業用途といった原料用で確立している。世界の原料用アンモニア生産は2019年で年間約2億トン程度であり、そのうち貿易量は1割（約2,000万トン）で、ほとんどが地産地消されている（図2）^[4]。日本国内で見ると、原料用アンモニア消費量は約108万トン（2019年）であり、国内生産は約8割、輸入は約2割（輸入元はインドネシア及びマレーシア）と、小規模な市場となっている。

既にこうした原料用市場が国内外に存在している一方、その規模が限られる中で、今後新たな用途でアンモニアの活用を進めていくにあたっては、市場価格の高騰を防ぎつつ、安定的に必要な量を確保していくことが先決である。

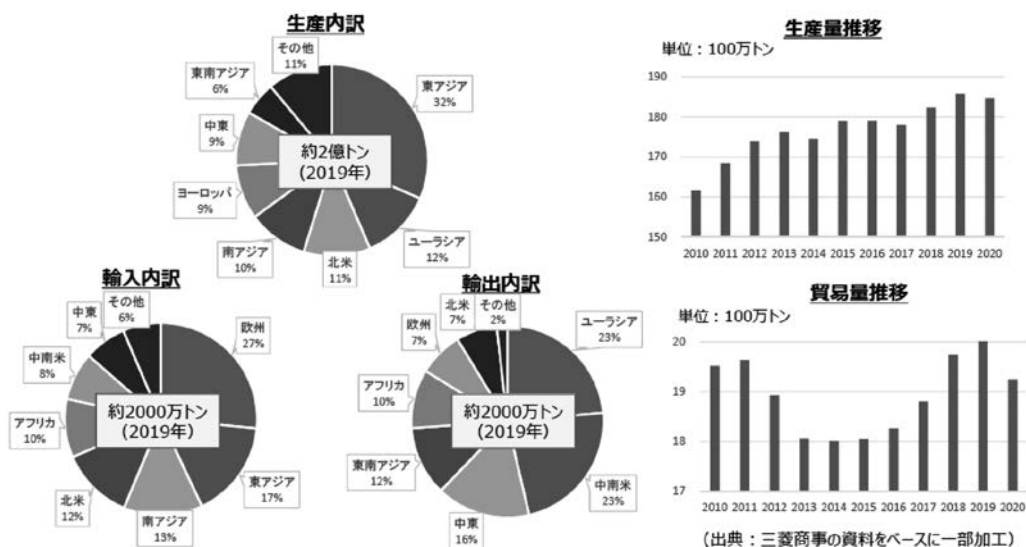


図2 アンモニアの市場規模^[4]

3. カーボンニュートラルを取り巻く状況とアンモニアへの期待

カーボンニュートラルの実現に向けて、現在のエネルギー供給源の大半を占めている化石燃料（石油・石炭・天然ガス）に代わる新たな供給源が模索されている。日本では、原子力の利用が安全面への懸念から厳しい状況にある中、再生可能エネルギー（以下、再エネ）の導入が推進されている。しかしながら、再エネ電力を担う太陽光発電や風力発電は発電量が季節や天候に左右され、コントロールが困難であるため、クリーンな燃料による安定的かつ大規模な電源が切望されている。加えて、電力のほか、輸送用や工業用の燃料を含む一次エネルギー供給においても、同様にクリーンな燃料への変換が求められる。本章では、まずクリーンな燃料の代表格である水素への期待と課題を述べ、次にそれを補えるアンモニアについて触れる。

3.1 水素エネルギーへの期待と課題

カーボンニュートラルの実現に向けた新たなエネルギー供給源として、利用時にCO₂を排

出しない水素エネルギーの推進が重要と考えられている。水素は自然からは直接採取できない2次エネルギーであり、化石燃料から変換するか、太陽光・風力発電などの再エネを利用した水の電気分解により製造するしか方法がない。日本は1次エネルギーの90%以上を海外の化石燃料に依存しており、海外でCO₂フリー水素を製造し日本に輸入・利用することで、国内利用時のCO₂を直接的に削減できる。加えて、海外の再エネを水素の形で輸入できるため、エネルギーセキュリティの向上（供給構造の多様化）にも寄与すると考えられる。

一方で、水素は以下に示す特徴から、貯蔵コスト及び輸送コストが大きい。水素エネルギーを新たなエネルギー供給源として確立するには、効率的に水素を貯蔵・輸送できる方法（水素キャリア*2）の確保が課題である。

- 1) 可燃性で爆発の危険性がある
- 2) 気体時の体積が大きい
- 3) 液化するには極低温にしなければならない
- 4) 金属を腐食する性質がある

3.2 水素キャリアとしてのアンモニアへの期待

前節の通り、効率的に水素を貯蔵・輸送できる水素キャリアが求められる中で、アンモニアは、以下に示すような利点から、比較的早く社会実装可能な水素キャリアとして期待できる。

- 1) 単位体積当たりの水素含有量が大きく貯蔵・輸送が容易
- 2) 液化しやすく既存の製造・輸送・貯蔵の技術やインフラを活用できる
- 3) 世界的に大量に生産され商取引されているため、コスト構造が明確
- 4) 化学品合成に使用されており、安全に利用するためのガイドラインが整備済みである

3.3 直接利用への展開

アンモニアは前節で述べた特徴に加えて、水素へ再変換をせずとも直接燃焼してエネルギー源として活用することができ、燃焼時にはCO₂を排出しないという特徴がある。そのためアンモニアは、当初は水素キャリアとしての優位性に着目されたが、現在は直接利用するクリーン燃料としても期待され、その活用方法が注目を集めている。

4. アンモニアの燃料としての活用

アンモニアのクリーン燃料としての活用方法は、大きく「発電分野」、「輸送分野」、「産業分野」に分かれる。本章では、それらの活用方法について具体的に述べ、各活用方法に対する日本政府の導入・拡大ロードマップについても合わせて紹介する。

4.1 発電分野での活用

発電分野では、「石炭火力発電（アンモニアの混焼）」、「ガスタービン発電（アンモニアの直接燃焼）」へ利用することが考えられている。

アンモニアは燃焼速度が遅いため、同様に燃焼速度が遅い石炭との相性が良く、「石炭火力発電（アンモニアの混焼）」の技術開発が進んでいる（図3左）。現在では、アンモニアを20%混焼する実証実験が進められている。また、アンモニアは直接燃焼して利用することも可能であるため、現在は天然ガス（LNG等）を燃料としている「ガスタービン発電」の燃料を

アンモニアへ置き換えることも検討されている (図3右).

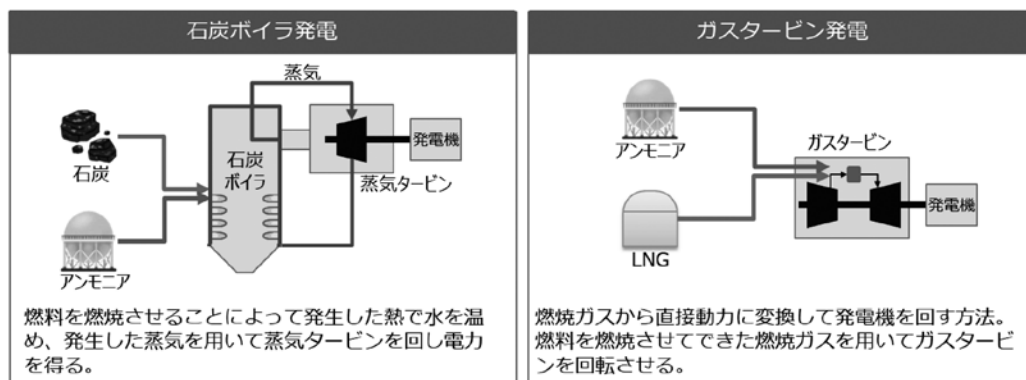


図3 アンモニアを活用した石炭ボイラ・ガスタービン発電

仮に国内の大手電力会社が保有するすべての石炭火力発電所で20%混焼を行えば、CO₂排出削減量は約4000万トンになる。さらに今後は、混焼率を向上させる技術を確認させるとともに、アンモニアだけを燃料として使用する「専焼」も将来的に始まる見通しとなっている。もし、こうした石炭火力がすべてアンモニア専焼の発電所にリプレースされれば、CO₂排出削減量は約2億トンになると試算されている (表1)^[5]。

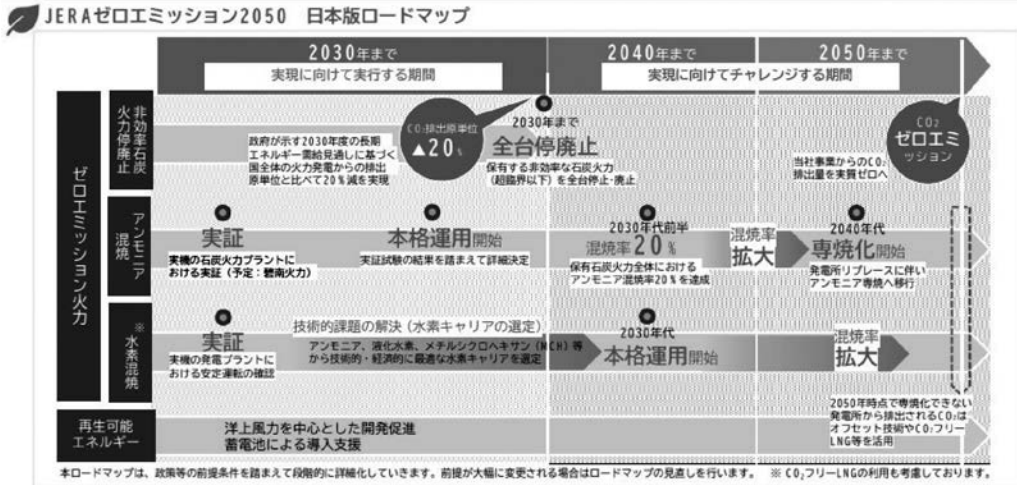
加えて、火力発電におけるアンモニアは、国内最大の火力発電事業者である株式会社JERAにおいても採用する動きがあり、2050年におけるゼロエミッションへの挑戦「JERAゼロエミッション2050」のロードマップ (図4) の中で、燃料アンモニアの火力発電への混焼、専焼へのリプレースを明記している^[6]。

表1 燃料アンモニア利用によるCO₂削減と消費量^[5]

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	約1億トン	約2億トン	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。



JERA環境コミット2030

JERAはCO₂排出量の削減に積極的に取り組みます。国内事業においては、2030年度までに次の点を達成します。

- 石炭火力については、非効率な発電所(超臨界以下)全台を停止します。また、高効率な発電所(超々臨界)へのアンモニアの混焼実証を進めます。
- 洋上風力を中心とした再生可能エネルギー開発を促進します。また、LNG火力発電のさらなる高効率化にも努めます。
- 政府が示す2030年度の長期エネルギー需給見通しに基づく、国全体の火力発電からの排出原単位と比べて20%減を実現します。

「JERAゼロエミッション2050 日本版ロードマップ」、「JERA環境コミット2030」は、脱炭素技術の着実な進展と経済合理性、政策との整合性を前提としています。当社は、自ら脱炭素技術の開発を進め、経済合理性の確保に向けて主体的に取り組んでまいります。

図4 JERA ゼロエミッション 2050^[6]

4.2 輸送分野での活用

輸送分野では、船舶の燃料としてアンモニアを利用する取り組みが進められている。船舶燃料については、重油からLNGへの移行が既に始まっており、特にヨーロッパでは82隻の船がLNGを燃料として航行している^[7]。しかし、LNGへの転換では重油利用時に比較しておよそ20%の温室効果ガス削減となるだけであり、カーボンニュートラルの実現に向けた対策としては不十分である。将来的にGHGゼロを目指すためには炭素を含まない燃料が必須となり、アンモニアが有望な燃料として考えられている。

2026年からアンモニア燃料船の実証運行が開始され、早ければ2028年から商業運航が始ま

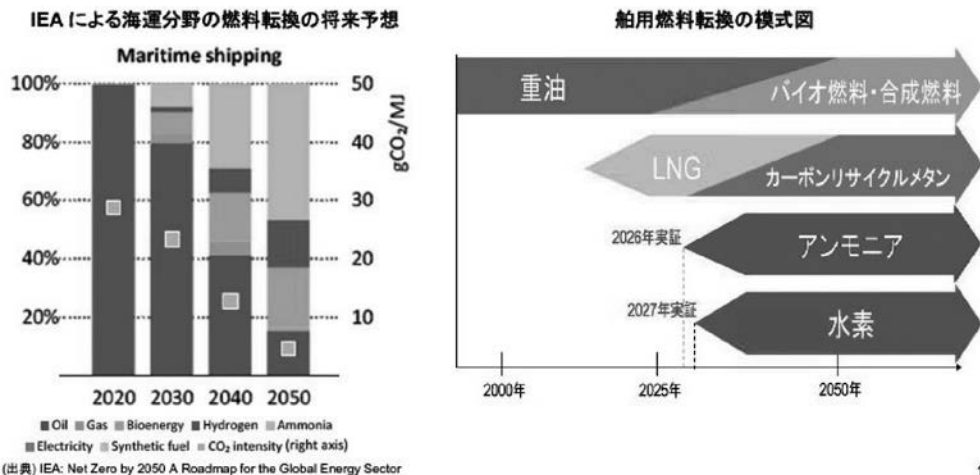


図5 船舶用燃料の転換について^[8]

5.1 アンモニアの見える化・トラッキング

カーボンニュートラル社会の実現に向けて、エネルギー消費者（企業、自治体等）は、自身の活動と関連するサプライチェーン全体において、温室効果ガスを排出していないことを社会に証明するよう求められる。証明にあたっては、例えば温室効果ガスの排出量を算定・報告する際の国際的な基準として「GHG プロトコル」が策定されている。

アンモニアがクリーンな燃料として普及していくためには、温室効果ガスを排出しない方法で生成されたクリーンなアンモニアを燃料として利用したことを、エネルギー消費者が証明することが望ましい。現在ではアンモニアの生成時における CO₂ 排出量に注目した「グリーンアンモニア^{*3}」、「ブルーアンモニア^{*4}」という考えが生まれている。「グリーンアンモニア」・「ブルーアンモニア」をサプライチェーン全体に渡ってトラッキングし、エネルギー消費者がクリーンなアンモニアによる電力を利用したことを証明できる仕組みの整備が待たれる。

当社は再エネ電力の発電から使用までをトラッキングできる「再エネ由来電気のトラッキングシステム」を構築している^[10]。このトラッキングシステムの仕組みを応用・発展させることにより、クリーンなアンモニア由来の電力消費を証明することができる。

また、アンモニア由来の電力における環境価値は、これまでの非化石電源と同様に管理していくことが求められる。当社は経済産業省資源エネルギー庁の委託を受けて、非化石電源の認定業務や非化石証書のトラッキング業務を実施してきた^[11]。このノウハウ・知見を活かしてアンモニアの非化石価値の管理を推進することができる。

以上により、当社はアンモニアをクリーンな燃料として普及させることに貢献できると考える。

5.2 再生可能エネルギー×アンモニアによる地域課題解決の構想

4章で述べた通り、今後は石炭火力発電といった大規模発電の燃料をアンモニアに転換していくことが考えられている。他方で近年、地域に存在するエネルギー資源（再エネ、蓄電池等の分散エネルギー）を地域内で安定的かつ効率的に活用し、エネルギー事業とまちづくりを一体とした地域エネルギー事業が進められている。大規模な集中型電源に対するアンモニアの普及に加えて、地域の分散型電源に対してもアンモニアを活用することで、電力システム全体に貢献できる可能性がある。そこで本節では、地域エネルギー課題解決に向けた取り組みにおけるアンモニアの活用構想について紹介する。

図7は再エネとアンモニアを組み合わせて、再エネの地産地消を実現し、地域経済循環を促進させる社会の構想を示したものである。この構想では地域内の再エネ（太陽光発電など）の余剰電力を活用し、水素生成・窒素生成後、再エネ由来のグリーンアンモニアを合成する。そして、合成したアンモニアを地域内のアンモニア発電に用いることで、カーボンニュートラルな電力を地域住民・地域企業へ供給する。加えて、合成したアンモニアを原料にクリーンな肥料を生成し、地域農業で活用する。これらの取り組みにより得られる効果として以下1)～5)が挙げられる。

1) 再エネの地産地消

地域内で産出した再エネを地域で消費することができる。

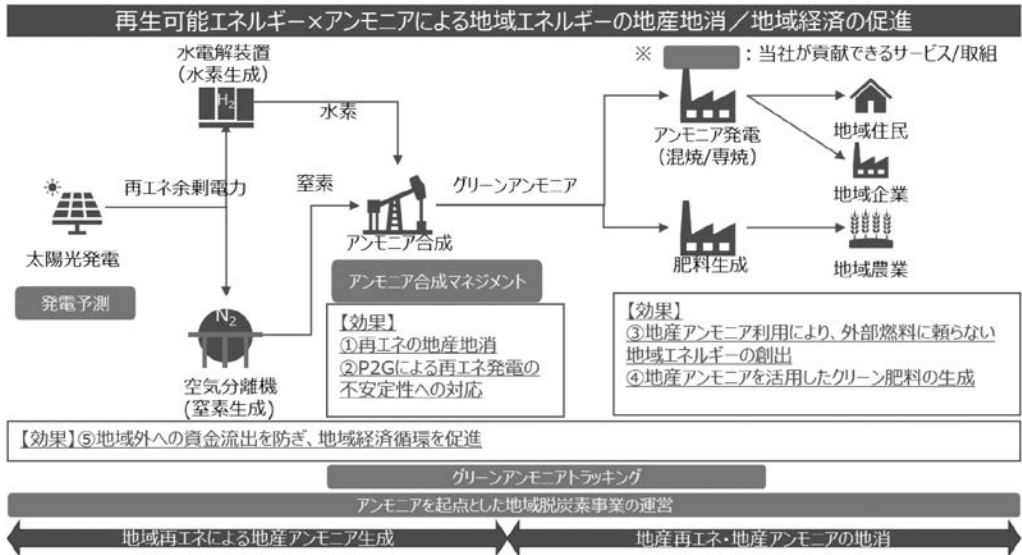


図7 再生可能エネルギー×アンモニアによる地域課題解決の構想

2) P2G^{*5}による再生可能エネルギーの不安定性への対応

再生可能エネルギーの出力不安定性への対応として、アンモニア燃料へ変換することで、再生可能エネルギーを有効活用し、地域の電力需給バランスの安定化に寄与することができる。

3) 地産アンモニア利用による外部燃料に頼らない地域エネルギーの創出

火力発電は燃料を地域外・国外へ依存しており、原油等のエネルギー価格高騰の影響を受けてしまう。地産再生可能エネルギーや、地産アンモニアを利用した発電により地域へ電力供給することで、外部燃料に依存しないエネルギーセキュリティの高い地域を実現することができる。

4) 地産アンモニアを活用したクリーン肥料の生成

地産アンモニアを用いてクリーンな肥料を生成し、それらを地域農業で活用することにより、農業の脱炭素化を実現することができる。

5) 地域外への資金流出を防ぎ、地域経済循環を促進

エネルギーの地産地消により、地域外電力の購入による資金の地域外流出を防ぎ、地域経済循環を促進することができる。

上述の通り、地域の再生可能エネルギーを用いた地産アンモニアを地域電力、肥料として地産地消することにより、外部エネルギーに依存しない地域エネルギーの地産地消、地域経済循環の促進ができると考えられる。

図7で述べた構想において、当社が貢献できるサービスとして、「再生可能エネルギーの発電予測/余剰予測」、地域の電力需給状況に応じたアンモニア合成量を管理する「アンモニア合成マネジメント」、「グリーンアンモニアのトラッキング」が考えられる。そしてこれらの仕組みを有効に活用しつつ、自治体、地域新電力、地元企業等と連携しながら、「地域脱炭素事業を運営」していくことで、クリーンなアンモニア燃料の普及を促進しつつ、地域エネルギー課題を解決していくことに貢献できる。

6. おわりに

カーボンニュートラルの実現という難題に対して、解決策となるエネルギー源は一つではなく、様々なエネルギー源を適材適所で組み合わせて解決していくことが重要である。本稿で取り上げたアンモニアは、このような複数の解決策の一つとして有力だと考えている。アンモニアがクリーンな燃料として社会実装され、普及・拡大することに貢献できるように、当社のこれまでの知見・アセットを活かした新たなサービス・取り組みを今後も検討していきたい。

-
- * 1 ただし、燃料用途としてアンモニア需要が拡大する場合は、大規模サプライチェーンの追加構築を要する。
 - * 2 水素は貯蔵コスト及び輸送コストが大きいため、貯蔵や運搬時に「水素キャリア」という別の状態や材料に変換し、利用時に再び水素に戻して使う方策が考えられている。水素キャリアの候補としては液化水素、有機ハイドライド（メチルシクロヘキサン）、アンモニア、メタネーションなどが挙げられる。
 - * 3 グリーンアンモニア：原料は主に「空気」と「水」であり、再エネ電力を用いて製造されたアンモニア。
 - * 4 ブルーアンモニア：化石燃料由来であるが、製造時に排出されるCO₂を分離・回収し、大気へのCO₂排出を抑制して製造されたアンモニア。
 - * 5 Power to Gas：再エネの余剰電力を気体燃料（水素、アンモニア）に変換して貯蔵する方法。天候によって発電量が変動することで発生する余剰電力を貯蔵するにあたり、蓄電池に代わる貯蔵方法の一つとして検討が進められている。

- 参考文献**
- [1] 第二百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説, 首相官邸, 2020年10月26日, https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html
 - [2] 注目されるアンモニア 知っておきたい5つの事, BLOG, 商船三井, 2021年10月12日, <https://www.mol-service.com/ja/blog/ammonia>
 - [3] アンモニアが“燃料”になる?! (前編) ~身近だけど実は知らないアンモニアの利用先, 経済産業省資源エネルギー庁, 2021年1月15日, https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ammonia_01.html
 - [4] 水素・アンモニアを取り巻く現状と今後の検討の方向性, 総合資源エネルギー調査会 第1回 省エネルギー・新エネルギー分科会 水素政策小委員会/資源・燃料分科会 アンモニア等脱炭素燃料政策小委員会 合同会議 (資料3), 経済産業省資源エネルギー庁, 2022年3月29日, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/001_03_00.pdf
 - [5] 我が国の燃料アンモニア導入・拡大に向けた取組について, 第6回 グリーンイノベーション戦略推進会議 (資料3-6), 経済産業省資源エネルギー庁, 2021年5月21日, https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/gi_006_03_06.pdf
 - [6] 2050年におけるゼロエミッションへの挑戦について, 株式会社JERA, プレスリリース, 2020年10月13日, https://www.jera.co.jp/information/20201013_539
 - [7] 欧州におけるLNG等新燃料を使用する船用エンジンに関する開発動向及び使用環境調査, 一般社団法人日本船用工業会・一般財団法人日本船舶技術研究協会, 2018年3月, https://www.jstra.jp/html/PDF/research2017_05.pdf
 - [8] 国際海運2050年カーボンニュートラルに向けた取組, 国際海運2050年カーボンニュートラルに向けた官民協議会 (資料2), 国土交通省海事局, 2022年4月19日, <https://www.mlit.go.jp/common/001480247.pdf>
 - [9] 燃料アンモニア導入官民協議会 中間とりまとめ, 燃料アンモニア導入官民協議会, 経済産業省資源エネルギー庁, 2021年2月, https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/nenryo_anmonia/pdf/202002_08_1.pdf
 - [10] 青木宣明, 行木弥鈴, 「分割可能NFTを使った再エネ由来電気のトラッキングシステムの構築事例」, BIPROGY 技報, BIPROGY, Vol.42 No.3 通巻154号, 2022年12月, P1~12, https://www.biprogy.com/pdf/tec_info/15401.pdf

- [11] 安藤慎也, 「実践カーボンニュートラル経営 ——脱炭素経営の実現に向けた進め方と非化石証書の活用」, 別冊技報, BIPROGY, Vol.43 No.1 通巻 156 号, 2023 年 6 月, P39 ~ 47, <https://www.biprogy.com/pdf/15604.pdf>

※ 上記参考文献に含まれる URL のリンク先は, 2023 年 7 月 6 日時点での存在を確認.

執筆者紹介 吉 成 翔 (Sho Yoshinari)

2010 年日本ユニシス(株)入社. 電力会社を中心としたシステム開発業務に従事. 現在は地域マイクログリッド事業や地域脱炭素事業における企画検討に従事.

