

再生可能エネルギーのグリーン水素および e-methane への変換のための Power to Gas 技術



企業レポート

泉屋 宏一*

Power to Gas technologies for conversion of renewable energy into green hydrogen and e-methane

Key Words : Power to Gas, e-methane, green hydrogen, water electrolysis, methanation

1. はじめに

温室効果ガス (Green House Gas、以下 GHG) 削減に向けた取り組みが全世界的に行われている。我が国では「地球温暖化対策計画¹⁾」にて、2050年 GHG 排出量の実質ゼロを実現するための次期 NDC (National Determined Contribution) 達成に向け、2030年度、2035年度、2040年度の GHG 排出量を2013年度からそれぞれ46%、60%、73%削減するという野心的な目標を掲げている (図1)。目標達成のためのエネルギー転換として、再エネや原子力などの脱炭素電源の活用、トランジションとして LNG 火力活用および火力の脱炭素化、水素等、CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) の活用などが対策として挙げられている。



図1 我が国の GHG 排出量削減目標¹⁾

我が国の GHG 排出量は2022年度で10.8億 ton で

あり、一次エネルギー供給の約8割が化石燃料で占められている²⁾。そこで、再エネを有効に活用するためには、太陽光や風力など大規模かつ季節変動を伴う出力変動を貯蔵して安定的に利用する必要がある、再エネ余剰電力をガス体燃料に変換する Power to Gas 技術が重要となる。さらに、中東やオーストラリアなどの海外から大量かつ安価な再エネ電力の長距離送電は困難なため、海外にて電力をグリーン水素に変換し、輸送可能なエネルギーキャリアーとして、液体水素、MCH (Methylcyclohexane: メチルシクロヘキサン)、e-methane、グリーンアンモニア、e-fuel などに変換する必要がある。

2. 再エネからのグリーン水素製造

再エネからグリーン水素を製造する水電解は重要な技術である。水電解にはアルカリ水電解 (AWE: Alkaline-type Water Electrolysis)、固体高分子型水電解 (PEMWE: Polymer Electrolyte Membrane-type Water Electrolysis)、アニオン交換膜型水電解 (AEMWE: Anion Electrolyte Membrane-type Water Electrolysis)、固体酸化物型水電解 (SOE: Solid Oxide-type Electrolysis) があるが、再エネからの水電解装置の社会実装は AWE と PEMWE に絞られている。PEMWE は AWE に比べて水のみを扱うため操業時の管理が容易で、電流密度を大きくできるためコンパクトであり、かつ電力変動に対応する稼働範囲が広いという特長を有する。カナデビアは PEMWE の開発を1980年代から始め、2000年にオンサイト型水素製造装置「HydroSpring」として販売している。2010年代後半から脱炭素化および水素社会形成にむけた機運が急速に高まり、水電解装置の大容量化が求められた。そこで、MW 級に対応するため大型セルスタックの開発を行い、セル大面積化および高積層化を図ることでスタック1台当たりの水素製造能力

* Koichi IZUMIYA

1970年6月生まれ
 東北大学大学院 工学研究科 材料物性学専攻博士後期課程 (1998年)
 現在、カナデビア株式会社
 脱炭素事業本部 事業戦略部 部長
 博士 (工学)
 専門/電気化学、材料化学
 TEL: 080-5774-9691
 E-mail: izumiya@kanadevia.com





図2 大面積セルスタック

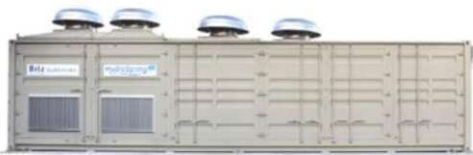


図3 MW級大型水電解装置

は0.5MW（水素製造量100 Nm³/hに相当）程度まで増大させた。併せて、パッケージ型水電解装置として0.5MWスタックを2台含む電解槽及び40フィートコンテナに収納したMW級大型水電解装置も上市した（図2および図3）。可搬可能なパッケージ型とすることで現地工事を簡便化した。水素製造能力は200 Nm³/h、1MWの再エネ電力をグリーン水素に変換する能力を有している。

2020年には0.5MWスタック3系列で構成される1.5MW規模の大型水電解装置を山梨県米倉山で実施された国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「CO₂フリーの水素社会構築を目指したP2Gシステム技術開発委託事業」の委託事業先に納めた（図4参照）³⁾。この事業では、既存の米倉山10MW太陽光発電所の余剰電力を活用して水素を製造、貯蔵、出荷まで実施し、実証試験終了後も、同装置で製造された水素は山梨県内の企業や東京都などに出荷されている。



図4 1.5MW水電解装置

2021年度より2030年での100MW規模の装置大型化やコストダウンを目指し、グリーンイノベーション基金事業「グリーンイノベーション基金事業におけるカーボンニュートラル実現へ向けた大規模P2Gシステムによるエネルギー需要転換・利用技術開発」⁴⁾に参画し、2MWのモジュール型電解槽の開発並びにスケーラブルな水電解装置の開発を行っている（図5）。事業工程は2021年から約1年半で装置設計を完了し、2025年度に実証試験を行なう計画である。実証試験サイトは、山梨県にあるサントリーホールディングス白州工場であり、実用化に向けた取り組みを加速している。

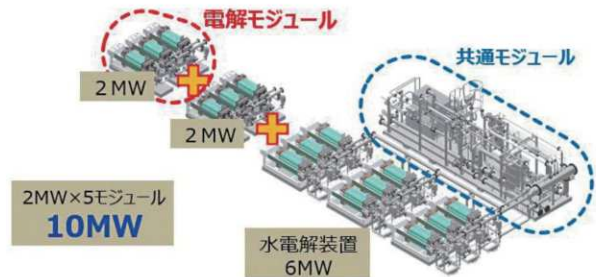


図5 連結式モジュール装置のイメージ

今後の展開として、大型水電解装置の供給および量産化によるコストダウンを行うため、経済産業省「GXサプライチェーン構築支援事業」の採択を受け、水電解スタックの量産工場を山梨県都留市に建設することを計画している（図6参照）。新工場は、山梨県都留市厚原地内の新工業団地に建設予定で、水電解スタックの生産能力は年産1GW（電解効率5 kWh/Nm³として製造水素換算15万7千トン/年）となり、2029年度に操業開始を予定している⁵⁾。



図6 量産工場イメージ図⁵⁾

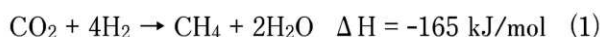
3. グリーン水素の e-methane への変換

前章では、再エネからのグリーン水素社会実装に

むけた取り組みを説明した。現状の化石燃料中心の社会から段階的に脱炭素化を図る上では、化石燃料利用時に排出したCO₂を回収して再利用するCCU (Carbon dioxide Capture and Utilization) も必要となる。CCUの中でも、CO₂とグリーン水素をe-methaneに変換することは、天然ガスと同様、火力発電、工業炉、ボイラー、都市ガス、自動車、船舶等用途が最も広く大量利用が可能であることからCO₂を有効に活用できる。さらに、e-methaneは世界中に普及している貯蔵・輸送・利用に関するLNGインフラへの適用が可能であり、新たなインフラ投資を最小限に抑えることができる。また、e-methaneは水素に比べて単位体積当たりのエネルギー密度が約3倍であり、液化も容易であることから、グリーン水素の効率的な輸送を可能とし、再エネおよびグリーン水素の利用拡大に寄与する。水素基本戦略や第7次エネルギー基本計画⁶⁾でも水素利用の一形態と位置付けられ、社会実装にむけた促進が行われており、e-methaneは化石燃料中心の社会から段階的に再生可能エネルギー社会への移行に寄与するものである。

3.1 メタネーション反応および触媒

メタネーション反応は、以下の反応式に示すように触媒を介してCO₂とH₂がCH₄とH₂Oに変換される「サバティエ反応」として知られている。



メタネーション反応は発熱反応である。よって、触媒が充填された反応器に原料のCO₂とH₂を供給することで、外部からのエネルギー投入を必要とせず自律的に反応が進行する。当社が開発したニッケル系触媒HiMethztzは式(1)の反応に極めて高活性であり、常圧および200℃以上で作動し、不均化反応によるCOの副生や炭素析出は生じずメタンへの反応選択性も100%である⁷⁾。メタネーションシステムは、ほぼ理論効率に近いエネルギー変換効率を示しており、20000時間以上の耐久性を有している。また、式(1)の反応における理論エネルギー変換効率は低位発熱量基準で約83% (LHV: Lower Heating Value) であり、残りの約17%は反応熱であり、この反応熱を回収して有効利用することによりさらなる効率的運用が可能である。

3.2 メタネーションプロセス

高性能メタネーション触媒・メタネーションプロセスの開発およびフィールド実証を行ってきた。2014~2017年度NEDO委託事業「水素利用等先導研究開発」では、一般的な熱交換器として知られているシェルアンドチューブ反応器を採用した。シェル内にメタネーション触媒が充填された反応管を複数設け、反応管内側に原料ガス(CO₂およびH₂)、反応管外側に熱媒を流通させる構造である。各反応管内に供給された原料ガスはメタネーション触媒により式(1)の反応で、メタンと水蒸気に変換される。反応時に生じた反応熱は熱媒によって回収される。図7は実証試験用メタン製造設備を示しており、定格のメタン製造量は12.5 Nm³/hである。反応器は2段で構成されている。投入された原料ガスは1段目反応器内にて化学平衡に達するため、メタン濃度は約90 vol%-dryとなる。1段目反応後の生成ガスを熱交換器によって冷却して生成水を凝縮分離した後、2段目反応器に通じることでさらにメタン化が進行し、メタン転換率99.2%、生成メタン濃度98 vol%-dryおよび反応熱回収率73.2%を示し、CO₂から高濃度メタンを高効率に製造することが可能であることを実証した⁸⁾。



図7 メタネーション実証設備

シェルアンドチューブ型反応器は反応管の本数を増やすことで大型化が容易である。2020年に環境省委託事業「二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業」にて10倍の規模で実ガス実証を行なった。廃棄物処理施設から排出するCO₂をメタンに再資源化して地域エネルギーに活用する炭素循環モデルの構築を目的とし、清掃工場から排出されるCO₂から天然ガスの代替となるメタンの製造を商用規模で実証した。図8に



図8 メタネーション実証設備⁹⁾

125Nm³/h メタネーション実証設備を示す。小田原市の清掃工場からの排ガスから分離回収したCO₂と水素製造設備からの水素を図8のメタネーション設備に供給することにより、CO₂の99%以上がメタンに変換され、定格125 Nm³/hのメタンを安定して製造できることを確認した⁹⁾。

今後のe-methaneの社会実装に向けては、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」¹⁰⁾では、e-methaneの導入目標が掲げられており、2030年度において都市ガス供給量の1%相当分を、2050年に都市ガス供給量の90%分をe-methane又はバイオガスに注入する目標が掲げられており、安価な再エネ電力が入手可能な海外で大規模のe-methane製造にむけた調査検討が実施されている。当社は2024年3月にKanadevia Inova社およびOman LNGとメタネーションの事業化にむけた協力覚書を締結し、Oman LNGが保有するLNGプラントにメタネーションを実装し、e-methane製造に関する検討を行っている¹¹⁾。

謝辞

本研究の一部は、経済産業省、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）お

よび環境省の支援で実施したものであり、関係者の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 地球温暖化対策計画、内閣官房・環境省・経済産業省
<https://www.env.go.jp/content/000291668.pdf>
- 2) https://www.env.go.jp/press/press_03046.html
- 3) 坂本正樹他、水素エネルギーシステム Vol.47, No.1 (2022)
- 4) <https://www.nedo.go.jp/content/100980857.pdf>
- 5) <https://www.kanadevia.com/newsroom/news/assets/pdf/FY2024-84.pdf>
- 6) エネルギー基本計画、令和7年2月、資源エネルギー庁
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20250218_01.pdf
- 7) Takano, Y. Kirihata, K. Izumiya, N. Kumagai, H. Habazaki, K. Hashimoto, Applied Surface Science, 388 (2016) pp. 653–663
- 8) 平成26年度～平成29年度成果報告書「水素利用等先導研究開発事業 エネルギーキャリアシステム調査・研究 高効率メタン化触媒を用いた水素・メタン変換」(2018)、新エネルギー・産業技術総合開発機構
- 9) 坂元真理子他、清掃工場の排ガス中二酸化炭素を用いたメタネーション実証事業、環境技術、150 (2023)
- 10) 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略、令和3年6月18日、
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf
- 11) <https://www.kanadevia.com/newsroom/news/release/assets/pdf/FY2023-96.pdf>