

日本のグリーン水素製造技術の情勢

◆安価・安定的なグリーン水素供給に向けて期待される水電解技術

2025年9月に、国際エネルギー機関（IEA）が発表した「Global Hydrogen Review 2025」によると、30年までに世界で生産される低炭素水素（グリーン水素＋ブルー水素）の量は、技術開発・実装の遅れ、政策の不確実性などを反映して、23年予想の年間4,900万トンから約3,700万トンに予想が引き下げられた。グリーン水素は、再生可能エネルギーを使って水電解により製造される水素で、ブルー水素は、CCS（二酸化炭素回収・貯留）によりCO₂を大気放出せずに回収して地中深くに貯留することにより製造される水素である。

低炭素水素は、一般的にコスト低減が課題である。現在、化石燃料から作られるグレー水素に比べて、グリーン水素の製造コストは概ね2～3倍高価とされる。グリーン水素製造は水電解による方法が主流だが、水電解は、大量の電力を必要とするうえ、白金やイリジウムといった高価な材料が電極や電解質膜に使われるため、コストがかさむ。今後は、水電解技術の進歩や生産規模の拡大によって、より安価で安定した水素供給の実現が期待されている。

◆新技術PEM型・AEM型・SOEC型の開発に期待

水の電解方式には主に4つのタイプがある。①アルカリ型：歴史が長く、相対的に低コストで大規模な水素製造に適しているが、設備が大きく起動に時間がかかるため、変動電源との相性はやや劣る。②PEM（プロトン交換膜）型：起動停止が速く再生可能エネルギーとの連携に優れているが、貴金属触媒によりコストが高めである。③AEM（アニオン交換膜）型：水素製造のエネルギー効率がよく、応答性が高い（起動・停止時間が短い）PEM型の長所と、安価な材料が使えるアルカリ型の長所を融合した新技術で、低コスト・高性能を目指しているが、まだ開発段階である。④SOEC（固体酸化物電解セル）型：高温で水蒸気を電解し、水素製造のエネルギー効率がよく、将来の大規模利用が期待されているが、耐久性や材料面で課題がある。

表 1. 各電解方式のシステム効率と耐久性の現在と将来の目標

電解方式	①アルカリ		②PEM		③AEM		④SOEC	
電解質	濃厚KOH溶液		プロトン交換膜		アニオン交換膜		固体酸化物	
動作温度[°C]	70 - 90		50 - 80		40 - 60		700 - 850	
特徴	技術が成熟 応答性低い		実証~商用化段階 応答性高い		開発中 (非貴金属触媒が 使える可能性)		実証段階 高効率	
用途分野	大規模		小中規模 再エネ連携		小中規模 再エネ連携に向けて		大規模	
現状と 普及時期の見通し	商用化		実証~商用化段階 (2030年代普及見込み)		開発段階 (2030年代以降商用化)		実証段階 (2030年代商用化期待)	
システム効率[%]	現状 43 - 67	2050年目標 >74	現状 40 - 67	2050年目標 >74	現状 48 - 59	2050年目標 >74	現状 67 - 84	2050年目標 >84
装置耐久性[hr]	60,000	100,000	~80,000	120,000	5,000	100,000	20,000	80,000

出所：NEDO水素・アンモニア成果報告会2025のアイシン発表資料などを参考に作成

水電解による水素製造技術の中で、最も商用化が進んでいるのはアルカリ型だ。長年の運用実績があり、構造がシンプルでコストも他の方式よりは比較的安価なことから、国内外で大規模な水素製造装置として広く導入されている。ただし、装置の応答性が低いため、太陽光や風力といった出力変動の大きい再生可能エネルギーとの連携には課題がある。また、アルカリ性の液体電解質の取り扱いや安全性にも注意が必要だ。

こうした課題を解決するために、PEM型・AEM型・SOEC型といった新しい方式の技術開発が進められている。PEM型は実証・商用化が進みつつある。SOEC型やAEM型は30年代以降の商用化が期待される次世代技術だ。それぞれに特長があり、使用環境や目的に応じた適材適所の導入が求められる。たとえば、再生可能エネルギーの変動に対応するにはPEM型やAEM型が有利であり、産業用途など大規模での安定供給が重視される場面ではアルカリ型やSOEC型が適している。今後は、コスト削減を含む技術革新が普及の鍵となる。

◆PEM型水電解装置の設備コスト削減や触媒開発が進展

PEM型は、高い電流密度での運転が可能で、装置がコンパクトで起動・停止が迅速なため、太陽光や風力など出力が変動する再生可能エネルギーとの親和性が高い。こうした特性から、PEM型は再エネ由来のグリーン水素製造に非常に適しており、現在、実用化と大規模化に向けた開発が急速に進められている。例えば、

住友商事と東京ガスは、23年に神奈川県横浜市で、英国ITM Power製のMW級PEM型装置を使い、再生可能エネルギー由来の電力を用いて水素を製造・供給する実証プロジェクトを開始している。

また、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）のグリーンイノベーション基金事業のもと、30年までに100MW級のPEM型水電解装置の実現を目指し、装置の大型化・モジュール化や、高性能な膜・触媒材料の開発が進められている。特にコスト削減の観点からは、イリジウム使用量を大幅に削減する新規触媒の開発が重要なテーマとなっており、技術革新が期待されている。

25年12月9日、東京ガスとSCREENは、PEM型水電解装置の中核部品であるCCM（触媒層付き電解質膜）「PEXEM（ペクセム）」の量産受注体制を確立したと発表した。CCMは電解質膜に直接触媒層を形成した部材で、従来のように膜と触媒を別工程で組み立てる必要がなく、製造工程の簡略化と性能の均一化が可能になる。SCREEN、東京ガスは、21年から水電解用CCMの共同開発に取り組んでいた。NEDOの支援により開発された燃料電池用CCM製造向けの触媒塗工技術を水電解用に転用する際、電極のクラックや触媒の凝集といった課題があったが、製造プロセスと触媒インク配合を水電解用に最適化することで、これらの課題を克服し、量産化技術を確立した。これによりスタックの製造コストが大幅に削減され、装置全体のコスト低減につながる大きな成果とされている。今回の量産設備導入により、最大5,000cm²の大面積CCMを年産2GW相当で安定供給できる体制を整え、将来的には6GW規模への量産体制の拡張も視野に入れている。

田中貴金属工業は25年6月14日、「PEM型水電解用電極触媒の開発と実用化」で25年度の触媒工業協会技術賞を受賞した。この技術は、水電解の課題である「水素クロスオーバー現象（生成された水素が膜をすり抜けて酸素側に漏れ出す現象）」を解決するために、効率よく酸素を発生させる酸素発生触媒と漏れてきた水素を再び水に戻す再結合触媒の2元機能を持つ新しい触媒を開発したことが重要ポイントだ。これにより、より安全かつ効率的な水素製造が可能になると期待されている。

◆AEM型水電解技術についても研究開発が進められている

AEM型は、陰イオン交換膜を用いて水を分解する。現在、国内外で研究開発が

進められており、日本ではJST（科学技術振興機構）の支援のもと、東京大学や理化学研究所などが連携し、AEM型水電解の高性能化と耐久性向上に向けた研究を進めている。特に、電解質膜の高い導電性と耐久性を両立させる材料開発が目されている。また、住友ベークライトはAEM型水電解に用いる高性能なアニオン交換膜の開発に取り組んでおり、膜の安定性や量産性の向上を目指している。AEM型は開発段階で、まだこれからの技術だが、30年代以降の商用化が期待されている。

◆高温環境下でも安定して動作する高効率SOEC型水電解技術開発が進展

SOEC型水電解は、高温の水蒸気（600～850℃）を電解する技術で、反応に必要な電力を大幅に削減でき、理論上は他方式より約30%高い効率を実現できるとされている。また、貴金属の使用量が少ない点もコスト低減に貢献する。高効率かつ大規模・定常運転に適しているため、特に工業地帯での活用が期待されている。

25年10月15日には、NEDOがグリーンイノベーション基金事業の一環として、SOECの大型化・モジュール化、耐熱材料の開発を含む研究開発・実証事業の公募を開始した。この事業は最大8年間にわたり、商用化を見据えた技術確立と社会実装を目的としている。

25年9月25日、デンソーとJERAが共同で、JERAの新名古屋火力発電所で国内初のSOEC水素製造実証を開始すると発表した。デンソーが開発したSOECは、自社の自動車向け熱マネジメント技術を応用し、高温環境下でも安定して動作する高効率な水電解装置SOEC（電解電力：200kW）を実現した。JERAはゼロエミッション火力発電の実現に向けて、SOEC技術の導入を進めている。このほか三菱重工も、NEDO事業の一環としてSOEC型水電解の水素製造技術の開発に取り組んでいる。

25年3月27日、日本特殊陶業など森村グループ4社が出資する森村SOFCテクノロジーは、高効率な固体酸化物型燃料電池（SOFC）を開発したと発表した。SOFCは水素などの燃料から電気を生む高温作動型の燃料電池で、同じく高温作動型のSOECと構造が似ており、電極材料やセラミック電解質（例：安定化ジルコニア）の技術が相互に応用可能だ。25年4月9日には、小型・高効率のモノジェネレーションSOFCシステムの第一号機を日本特殊陶業の小牧工場に設置し、実証運転を開始した。日本特殊陶業は、SOFCとSOECの両機能を1台で実現する「リバーシブ

ルSOC (RSOC) システム」を開発しており、再エネの余剰電力で水素を製造し、必要に応じて電力を供給することで、長期のエネルギー保管や地産地消、カーボンニュートラル社会の実現を目指している。

◆世界のPEM型・SOEC型・AEM型水電解技術開発と日本の立ち位置

世界で見ると、中国で既存のアルカリ型での商用化事例が多いが、水素製造技術開発は全体として欧米の企業が先行している。

PEM型水電解の分野では、英国のITM PowerやドイツのSiemens Energyは、大規模装置や再エネとの統合でリードし、米国のPlug Powerもグローバル展開を進めている。一方、日本は装置全体の開発ではやや後れを取っているものの、田中貴金属工業による触媒の開発や、東京ガスとSCREENによる大面積CCMの量産技術の確立などの例に見られるように、高性能な触媒や部材、量産プロセスといった中核技術の分野で国際競争力の強化を図っている。

SOEC技術では、ドイツのSunfireやイタリアのSolidPowerなど欧州のベンチャー企業がすでに数百kW級の実証設備を稼働させており、Siemens Energyも商用化を見据えた大規模実証を進めている。一方、日本ではJERAやデンソー、三菱重工などが参入しているものの、実証段階にはまだ一部しか到達しておらず、多くは基礎開発や小規模な試験段階にとどまっている。ただし、日本はセラミック電解質の耐熱性や長寿命化といった材料技術において高い技術力を有しており、たとえば高温下でも安定動作する電解質や電極材料の開発で有望な成果が出始めている。こうした高性能部材の品質と信頼性を武器に、日本は30年代のSOEC実用化に向けて巻き返しを狙っている。

AEM型は、欧米ではEnapter（ドイツ）などが先行しており、日本でもJST・東京大学・理化学研究所や住友ベークライトなどが開発を進めている。今後、AEM型が商用化に向けて進展すれば、PEM型・SOEC型と並ぶ第3の選択肢として、水素製造技術の多様化とコスト低減に貢献する可能性がある。

産学官の連携により、日本発のPEM型・SOEC型、そしてAEM型の水電解技術が着実に進展し、再生可能エネルギーとの連携をさらに深めながら、持続可能な社会の実現と世界の脱炭素化に貢献し、次世代のエネルギー転換を力強くリードしていく未来に希望を持ちたい。

【野沢将胤】