

AEM 水電解水素製造装置

三田 逸郎^{*}

1・はじめに

AEM とはAnion Exchange Membrane の略でマイナスイオンを透過させる膜を持つ水電解装置のことである。構造的には PEM と同じ固体高分子型の水電解装置であるが、アルカリ水電解と PEM 水電解のいいとこ取りともいわれ、優れた点が多い。特に PEM に必要な貴金属が不要で、コストを PEM に比べて大幅に下げられる。

2・AEM の開発背景

まずそもそも「なぜ水電解による水素生成が必要なのか」という疑問があるが、これまで世界各国は再生可能エネルギーに投資をして主に電力部門の脱炭素化に取り組んできた。そして 2050 年までには電力部門の脱炭素化は目途が立ち始めている。しかしながらカーボンニュートラルの実現には電力以外の部門による化石燃料消費を削減しなくてはならない。燃焼、動力や加工に使用される化石燃料の消費量は電力の3倍はある。これらの化石燃料の代替手段となると考えられているのが、再生可能エネルギーで水を電気分解して生成した水素、つまりグリーン水素、あるいはそのグリーン水素を元に作るグリーンアンモニアなどである。したがって水電解水素生成がカーボンニュートラル実現には必須と目されている。

現状普及している水電解方式のアルカリ水電解(AWE)は、大型化され数百 MW のものもあるが課題も多い。水素はアルカリ水溶液と共に電解スタックから排出されるため、高純度の水素を得るた

めには、複雑な補機による水素精製プロセスが不可欠である。(図 1 参照) この複雑な補機システムのため、負荷応答性に劣る。つまり太陽光のような再生可能エネルギーは負荷変動が激しいため、これに追随することが難しい。また加圧化が比較的困難で大気圧で生成した水素を昇圧するためのコンプレッサなど多くの補機が必要である。さらに強アルカリ液である 30%程度のKOH 溶液を大量に使用する必要があり、腐食の問題と設置場所が限定される。

3・AEM の優位性とは

こうした課題をクリアし、小型で水素の生産効率が比較的高い水電解方式が PEM 水電解である。生成される水素の純度も高く、加えて 30Bar ほどに昇圧されているため後段のコンプレッサなどの省力化が図れる。しかしながら、プラチナやイリジウムのような貴金属材料が使用されていて、AWE 方式の数倍の価格となる。PEM ではプロトン (H^+) が電極間を動くために、電極が強い酸性にさらされる。したがって、酸に強い金属でないで溶けてしまうためこうした貴金属を使用している。特にイリジウムは採掘量が少なく、資源制約の問題があり、近年価格が 10 倍近く高騰している。1 kg のイリジウムは 2500 万円以上で売買されている。複極板にはチタンが使われており、コストを更に上昇させている。また純水を供給するために水を精製するためのイオン交換器や逆浸透膜浄水器といった補機が必要になる。更にカソード(陰極、水素発生側)から水素と水が出てくるため、水分除去の高性能な除湿器も必要となり、これらの補機用の電力も消費される。

AEM(Anion Exchange Membrane)は、還元極(カソード)と酸化極(アノード)が伝導膜で隔てられ、カソードで水(H_2O)を分解して H_2 を取り出す技術である。PEM と同様に固体高分子型水電解方式であるが、(図 2 参照) PEM は水素イオン (H^+)

^{*} MITA Itsuro : 三國機械工業株式会社
環境プロジェクト本部 プラント営業部
TEL : 03-5624-6534
E-mail : mita.i@mikunikikai.jp

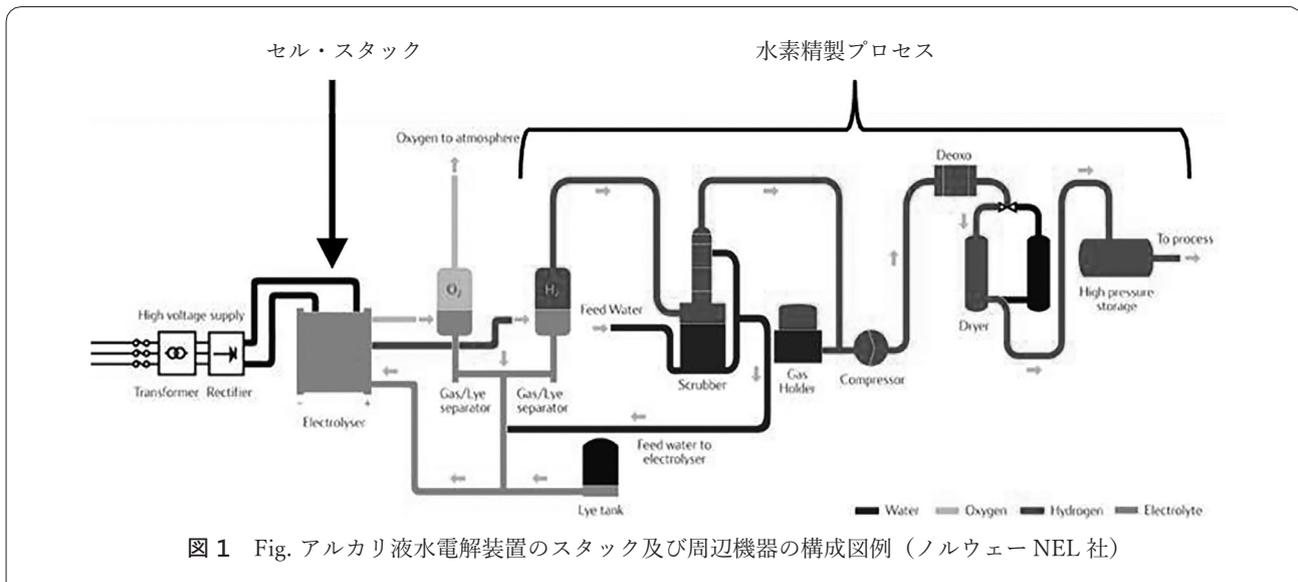
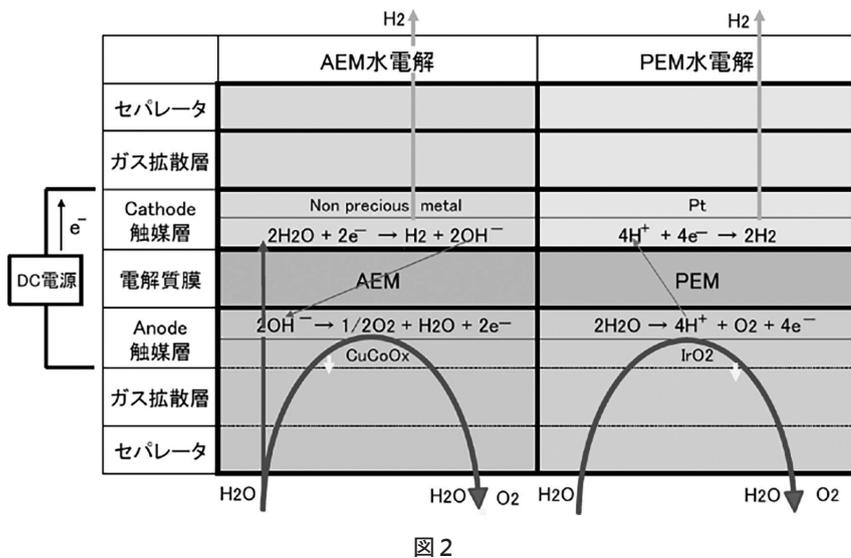


図 1 Fig. アルカリ液水電解装置のスタック及び周辺機器の構成図例（ノルウェー NEL 社）



求される。一方で AEM ではナトリウムイオン (Na⁺) やカルシウムイオン (Ca⁺) などの侵入による膜の劣化が起きず、導電率 5 μS/cm ほどの不純物混合でも許容できるため、純水装置も PEM より安価なものとなる。

さらに PEM では、水素と共に水も大量にカソード側に出てくるため、気液分離し水を回収

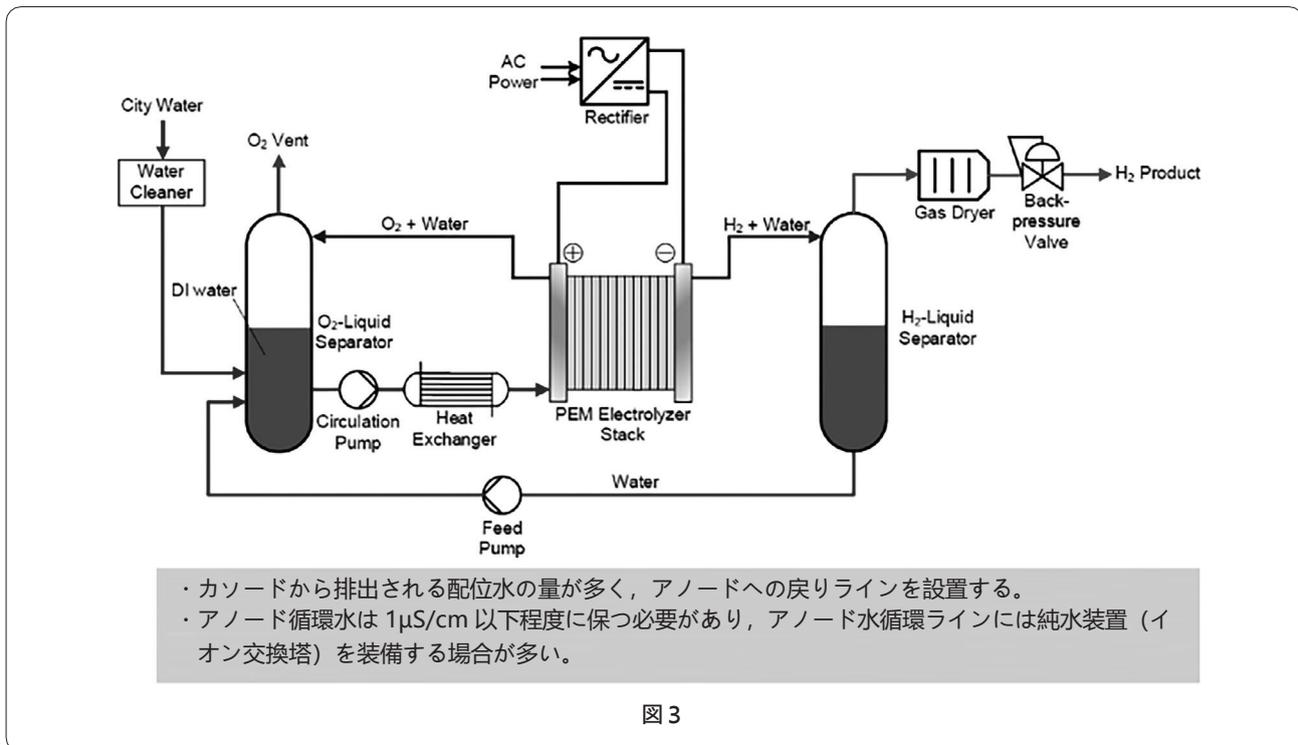
が移動するのに対して、AEM 伝導膜では水酸化物イオン (OH⁻) がカソードからアノードへ移動するため電解スタック内は酸性環境にならない。アルカリ水電解と同様、水酸化カリウム (KOH) などのアルカリ性の水溶液を用いるが、その濃度はずっと低いため、腐食の心配が軽減される。アルカリ水電解で使用される KOH は濃度 30% 前後であるが、AEM では 1% 前後である。このため、比較的安価な触媒が使える。例えばカソードではニッケル (Ni) とモリブデン (Mo) の合金 NiMo、アノードではクロム (Cr) を含む NiCrMo などである。

また PEM ではカチオン (プラスイオン) を透過させるため、純水に少しでもナトリウム、マグネシウム、カルシウムなどの不純物が含まれるとこれらがカチオンとなり膜へ侵入し劣化の原因となるため、純度の高い純水 (導電率 1 μS/cm 以下) が要

するプロセスや高性能な除湿器が必要である。一方で AEM はカソード側には水素のみが出てくるのでこのような補機が簡略化できる (図 3)。これらを総合すると、200KW 級の AEM は補機だけでも PEM から 2 割ほど製造コストを下げられるという試算もある。

4・AEM の課題と今後の展望

以上から全ての面において AEM・PEM より優れていると期待されている AEM であるが、唯一の課題は機器の長期安定性、つまり寿命である。現在世界で最も普及している AEM 水電解装置は Enapter 社のものである。同社は電解スタックの寿命を 35000 時間 (約 4 年) と表明していたが、構造上 PEM と同等であるため、PEM と同様の寿命が確保できると言い換えている。PEM は寿命 50000 ~ 60000 時間と言う主張もあるが、実際にそれだ



けの長期間稼働している実績は世の中に無く、どれも理論上の値である。寿命は電源の安定性・環境温度などの稼働条件によって大きく左右される。Enapter 社の AEM はスタックコストが PEM よりかなり割安なのでスタック交換による長期的なメンテナンスコストも優位性を保てるであろう。Enapter 社はこの課題の一つの解としてスタックの標準化に注力している。すなわち、小型から大型まで全て同一の電解スタックによって構成することで品質の均一化と量産によるコストダウンの両立を図っている。また例えば 1 MW の電解装置ではこの小型の電解スタック 420 個を繋ぐことでシステム

の多重化を実現している。つまりどれか一つの電解スタックが故障あるいは寿命を迎えても、その他の電解スタックに影響はないため、電解装置全体（水素プラント）は停止しないのである。同様にメンテナンスも電解スタック毎に交換していくこととなるため、その他補機の一斉メンテナンス時以外はプラントを止めずにメンテナンスしていくことが可能である。

更に、各電解スタックには 4 つのセンサーが装備されており、常にスタックの状況を監視している。異常を即座に Cloud 経由遠隔でも検知でき、的確なメンテナンスが可能である（図 4）。

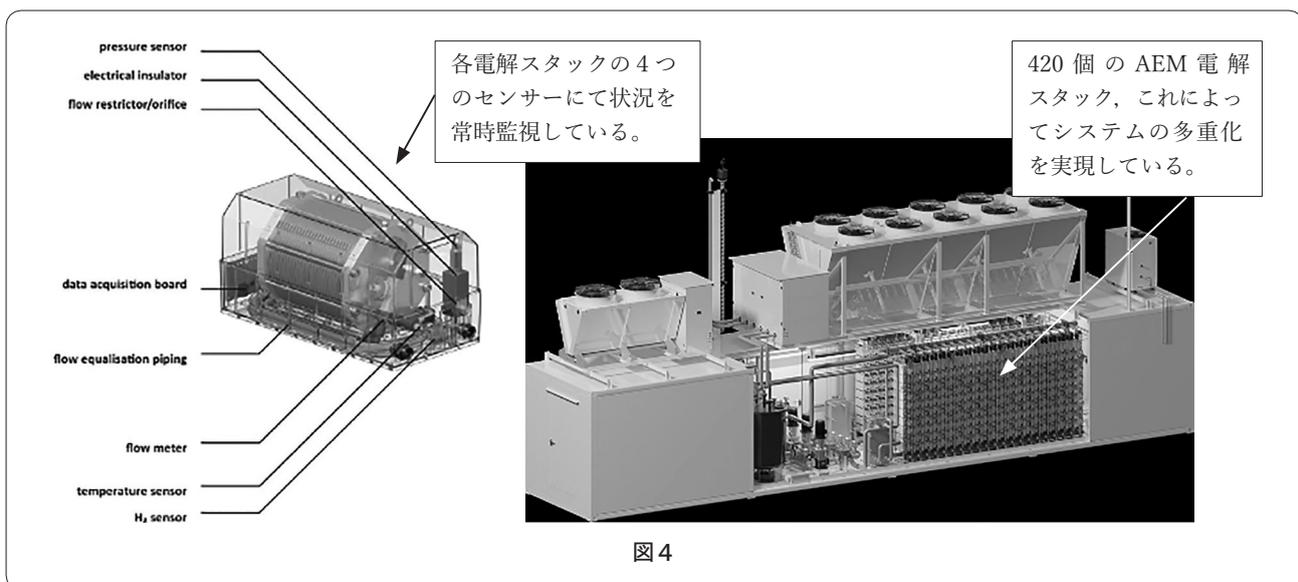




写真1



写真2

Enapter 社のAEM はすでに世界 52 カ国 340 ユーザーに使用されている。米国では GW 規模の AEM を製造する予定のEvolOH 社がある。また日本では東京ガスの千住水素ステーション(写真1)、ヤンマーのエネルギー機器実証サイト(写真2)、そして各大手メーカーの研究設備で稼働している。

大林組技術研究所に設置されている 1 Nm³/h の AEM は 2023 年 9 月より稼働しており、補機を含めた消費電力は 5 KW ほどで高い性能を保持している。本機は三國機械工業株式会社がデモ機としても利用しているので同社のプラント営業部(slb@mikunikikai.jp)へ依頼することで見学が可能である。

る。写真3のように非常にコンパクトで本体だけであれば 1 m²のスペースに設置が可能である。

AEM は日本でもパナソニック、住友電工などが開発しており、数年後には市場投入されると予想される。また欧米・中国でもすでに発売されている AEM があり、中国では MW 級のものも SINOPEC に設置され稼働を開始した。今後同種の競合も増えることで各メーカーが切磋琢磨し、高品質・低価格のものが普及することで、水素の単価も下がることが期待される。先行している Enapter 社は数年かけてコストを現状の 1/4 に下げることが目標としている。



写真3

AEM に限らず水電解装置を含めた水素事業の一つの課題は、高圧ガス保安法の見直しである。現状の規則のままでは、35Bar で水素を生成できる Enapter の AEM 水電解装置も日本では使用できない。結局日本市場向けに 8Bar まで減圧した装置を用意し、その後段でまたコンプレッサにより昇圧するという無駄なプロセスを踏まざるをえない。

高圧ガス保安協会(KHK)では、この規則を簡略化させるための法案申請を今年後半に行うために準備中である。この法案が可決して水素生成全体のコストが下がることを期待している。