

(解説)

# HHOGユーティリティレス機「オールインプラン」の開発

高雄 悟<sup>\*1</sup>・中尾末貴<sup>\*1</sup>

## Development of HHOG Utility-Less machine, “All-in-Plan”

Satoru TAKAO・Sueki NAKAO

### 要旨

2050年カーボンニュートラル達成に向けて、今後、グリーン水素、および水素を製造する水電解装置市場の拡大が予想される中、我が国は水素社会の実現に向けて主に技術面で世界をリードしてきた。(株)神鋼環境ソリューションは、高純度水素発生装置HHOG<sup>®</sup>を1996年に上市して以来、固体高分子電解質膜を用いる水電解方式として国内最多となる250基以上の納入実績がある。今般、装置の運転に必要なユーティリティを最小限とするオールインプラン機（AP機）を商品化し、2024年10月に一号機をお客様へ納入した。今後もお客様の要望を先取りし、大容量ラインアップの拡充、コストダウンや耐久性向上を継続し、水素エネルギー社会の未来に貢献していく。

### Abstract

As the market for green hydrogen and water electrolyzers that produce hydrogen is expected to increase in the future with the goal of achieving carbon neutrality in 2050, Japan has been leading the world primarily in terms of technology, mainly for the realization of a hydrogen society. Since the launch of the HHOG<sup>®</sup> high-purity hydrogen oxygen generator in 1996, Kobelco Eco-Solutions Co., LTD. has delivered more than 250 units, the largest number in Japan for a water electrolysis system using a polymer electrolyte membrane. We recently commercialized an all-in-plan unit (AP machine) that minimizes the utilities required to operate the equipment and delivered the first machine to a customer in October 2024. Going forward, we will continue to anticipate customer demands, expand our lineup of large-capacity options, pursue cost reductions and durability improvements, and contribute to the future of a hydrogen energy society.

### 検索用キーワード

水素、水電解、脱炭素、カーボンニュートラル、気候変動、再生可能エネルギー、固体高分子電解質膜、PEM、HHOG

ま え が き = 2017年、我が国は水素の国家戦略「水素基本戦略」を世界に先駆けて策定<sup>1)</sup>し、水素社会の構築に向けて世界をリードしてきた。この後の大きな節目として2020年10月の「2050年カーボンニュートラル宣言」<sup>2)</sup>があり、これを実現する国家戦略「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」<sup>3)</sup>では、2050年の水素供給コストを20円/Nm<sup>3</sup>程度以下にするとの目標が掲げられたほか、上記戦略を推し進めるための「グリーンイノベーション基金」<sup>4)</sup>が造成されるなど、経済支援政策も整備が進んできた。また、2024年10月に施行された「水素社会推進法」<sup>5)</sup>では、事業者が計画認定を受けることで、「価格差に着目した支援制度」、「拠点整備支援」の助成金交付に加え、高圧ガス保安法などの規制に対する特例適用を受けることができ、低炭素水素の導入を促進する制度設計となっている。このような国家戦略や各種支援制度を受け、脱炭素化に向けて水素が担う期待と役割は今後より一層色濃く、注目されると考えられる。

(株)神鋼環境ソリューション（以下、当社という）は水素基本戦略が策定される以前の1996年から水素社会の到来を見据え、水電解式水素発生装置（High-purity Hydrogen and Oxygen Generator、以下HHOG<sup>®</sup>）を商品化し、固体高分子電解質膜（Polymer Electrolyte

Membrane、以下PEM）を用いた電解方式として国内最多となる250基以上の納入実績を有している。納入実績の例として、大手メーカ工場での再エネ活用実証、小規模事業所での金属熱処理用途、水素ステーション用途などがあり、多様な用途と規模のお客様の要望に応えてきた。

今般、さらなる商品価値向上のため、HHOGの運転に必要なユーティリティを最小限とするオールインプラン機（以下、AP機）を開発・商品化<sup>6)</sup>し、2024年10月に商用一号機をお客様へ納入した。本稿ではその概要を報告する。

## 1. 開発コンセプトと装置仕様

### 1.1 HHOGの概要

HHOGは、PEM型の水電解方式を採用している。図1に純水の電気分解の原理を示す。本方式は、PEMが電解質として機能して純水を直接電気分解するという原理のため、発生する水素に不純物が含まれにくく、高純度（99.999%以上）の水素ガスの製造・供給が可能である。また、水素ガスの一般的な供給方式である圧縮水素の場合と比較して、供給ガスが高圧ガス保安法の定める高圧ガスに該当しないことや、ガスボンベなど空容器の交換作業の手間が不要であること、容器交換の際の不

<sup>\*1</sup> (株)神鋼環境ソリューション プロセス機器事業部 水素事業推進部

純物混入のリスクがないことなどの特長も有する。このほか、原料が純水のため危険な化学物質や薬品などを一切使用しないこと、装置内の水素保有量が少ないことから安全性が高いこともHHOGの特長である。HHOGの運転に必要なユーティリティは「水道水・電気・窒素ガス・冷却水・計装空気」の5点であり、水道水・電気はPEM型水電解の原理上欠かせない要素である。窒素ガスは装置停止時の配管パージガス用途、冷却水は装置の冷却用途、計装空気は空圧弁への供給用途として用いる。

1.2 コンセプト

当社HHOGのこれまでの主要なお客様は、大手製造メーカーなどの事業所から、小規模な研究施設まで様々である。ここで、お客様の設置環境によっては、必要ユーティリティのうち複数が不足する事例も少なくない。この場合、お客様でのユーティリティ整備が必要となるため、付帯設備の新規導入コストに加え、それらの維持管理作業が必要であり、お客様にとって大きな負担となる。

このような背景から、お客様からは必要最低限のユーティリティのみで水素発生可能な装置の開発が求められてきた。そこで、「水道水と電気のみで水素発生可能」をコンセプトとしたAP機を開発し、脱炭素に向けて水素を活用したい事業者にとって導入しやすいシステムとした。

1.3 装置仕様

水素発生量10 Nm<sup>3</sup>/hの従来機「CH-10D」, およびAP

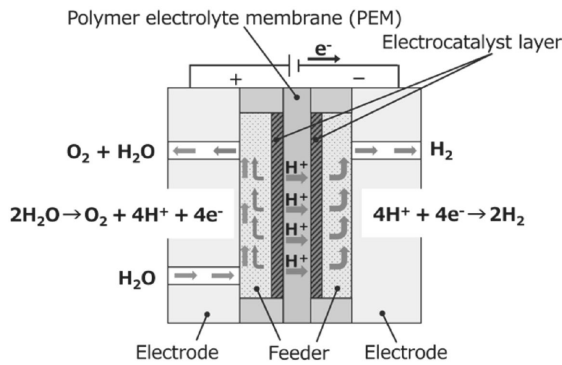


図1 純水の電気分解の原理  
Fig.1 Principle of electrolysis of pure water

機「CH-10D-AP」の装置仕様を表1に示す。変更点は、主にユーティリティ削減に伴う仕様と屋外設置を念頭にした局舎仕様の標準化である。AP機の水素ガス純度は従来機と同様に、PEM型水電解方式の長所として99.999%以上の高純度としているほか、除湿方式は当社にて実績豊富な温度スイング吸着（Thermal Swing Adsorption：TSA）方式としており、露点は-70℃以下である。また、供給圧力も従来機と同様に0.82 MPa(ゲージ圧)としており、高圧ガス保安法の定める高圧ガスに該当しない。

2. ユーティリティ削減のための機器選定と局舎設計

従来機種に必要なユーティリティのうち、窒素ガス・冷却水・計装空気を不要とするための要素機器を選定した。以下に各要素機器の概要を紹介する。

2.1 窒素富化膜

HHOGの安全対策として、装置内部で酸素と水素が混合することを防止するため、運転停止後の容器および配管内部に残存するガスを不活性ガスである窒素でパージする設計としている。従来機種では、パージ用ガスの供給源として、窒素ポンプをお客様にて準備する必要があった。AP機ではこれを不要とするため、窒素富化膜、およびコンプレッサの圧縮空気を用いて所定圧力の窒素ガスを装置内で生成する設計とした。

パージ用ガス用途として用いる窒素ガスは必要な純度が求められ、装置運用時の安全に関わる重要な要素である。可燃性ガスである水素で満たされた空間に対し、不活性ガスとして窒素を添加してパージする際の支燃性ガスを酸素と想定した場合、爆発限界酸素濃度は2%である<sup>7)</sup>ため、当社では1%以下（窒素濃度99%以上）を基準と定め、窒素富化膜の性能確認試験を行った。図2に窒素富化膜の性能確認試験装置を示す。本装置では、窒素富化膜入口の圧縮空気圧力に応じて酸素濃度が1%（≒窒素濃度99%）となるようニードル弁で流量調整し、流量および窒素濃度が安定した時の窒素流量を計測した。図3に入口空気圧ごとの窒素流量の計測結果を示す。コンプレッサで生成する圧縮空気の最低圧力

表1 装置仕様  
Table 1 Equipment specifications

| Device name                      |                   | High-purity Hydrogen Oxygen Generator (HHOG®)                                   |                              |
|----------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Model                            |                   | CH-10D                                                                          | CH-10D-AP                    |
| H <sub>2</sub> generation method |                   | Polymer Electrolyte Membrane Water Electrolyzer (PEM-WE)                        |                              |
| Dehumidification method          |                   | Thermal Swing Adsorption (TSA)                                                  |                              |
| H <sub>2</sub> gas               | Generation amount | Max 10.0Nm <sup>3</sup> /h                                                      |                              |
|                                  | Purity            | More than 99.999%                                                               |                              |
|                                  | Pressure          | 0.82MPa (Gauge pressure)                                                        |                              |
|                                  | Dew point         | Less than -70°C (Under atmospheric pressure)                                    |                              |
| Required utilities               |                   | Power supply<br>Water supply<br>Cooling water<br>Instrument air<br>Nitrogen gas | Power supply<br>Water supply |
| Enclosure                        |                   | Optional                                                                        | Standard specifications      |

0.4 MPaGに対し、濃度99%以上の窒素流量が10L/min以上得られることを確認した。本流量は、運転準備段階において窒素用バッファタンクを必要圧力まで昇圧する際や、運転中の消費量に対して十分な流量である。

以上の結果から、パージガスとして必要な濃度および流量の窒素を、選定した窒素富化膜にて精製可能であることを確認した。

## 2.2 エアフィンクーラ

装置の冷却のため、従来機種では電解モジュールで発生する最大熱量以上の熱交換能力を有する熱交換器を備え、所定仕様の冷却水を供給することで、装置内の循環水温度を一定値以下に保つ設計としている。ここで、冷却水はお客様にて準備が必要であるが、AP機では冷却方式を水冷から空冷へと変更することで、冷却水を不要とする設計とした。空冷機器の選定にあたっては、交換熱量を従来機の水冷方式と同等として算出し、これを満足するエアフィンクーラを選定した。

最低限必要な冷却能力は、電解モジュールの単位時間あたりの最大発生熱量  $Q_{max}$  に安全率を乗じて算出される。 $Q_{max}$  は、電解モジュール内の触媒温度（≒装置内循環水温度）、水素および酸素の分圧により若干の差異が生じるものの<sup>8)</sup>、以下の（1）式にて実用的に十分な精度をもって見積もることができる。

$$Q_{max} = N_m N_c I (V_{cell} - V_d) [W] \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

- $N_m$ ：モジュール数 [-]
- $N_c$ ：モジュールあたりの電解セル数 [-]

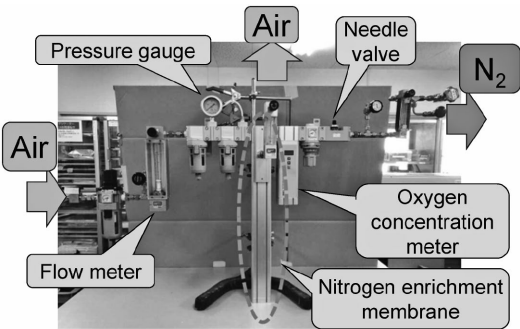


図2 窒素富化膜の性能確認試験装置  
Fig.2 Performance test apparatus of N<sub>2</sub> generation unit

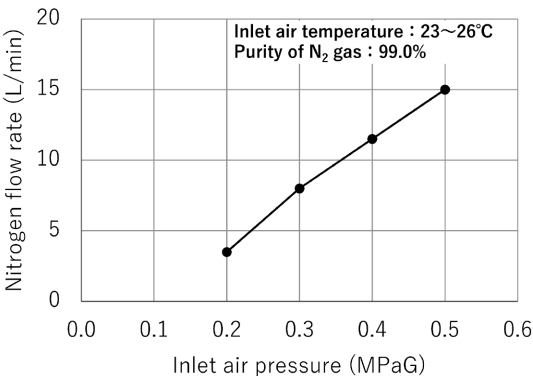


図3 入口圧ごとの窒素流量の計測結果  
Fig.3 Measured N<sub>2</sub> flow rate under different inlet air pressure

- $I$ ：セル電流 [A]
- $V_{cell}$ ：セル電圧 [V]
- $V_d$ ：理論電解電圧 [V]（≒1.48）

上記（1）式を踏まえて必要な冷却能力を算出し、表2に示すエアフィンクーラを採用した。

## 2.3 コンプレッサ

従来機種では、装置内エアー弁などの駆動に必要な計装空気はお客様からの供給を必要とするが、AP機では装置内で計装空気を生成するためのコンプレッサを搭載した。コンプレッサの仕様として必要な容量は、エアー弁や窒素富化膜の空気消費量、および装置起動後のバッファタンク内圧を運転可能圧まで昇圧するのに要する時間を考慮して選定した。

## 2.4 局舎

AP機では屋外設置に対応できるよう、局舎付きを標準仕様とした。図4に局舎の外観図を示す。局舎の外部に設置する機器は、放熱のためのエアフィンクーラ、および整流器（屋外仕様）であり、その他の機器は全て局舎内に収納した。局舎には換気ダクトおよび換気ファンが付属し、常時換気を行うことにより、夏場の炎天下においても局舎内の空調は不要としている。

また、メンテナンススペースを考慮したAP機の設置エリアを図5に示す。メンテナンス時は局舎の扉を開けた状態で作業する場合があるため、両開き扉のサイズを考慮して装置周辺1,000 mm以下の範囲をメンテナンスエリアとし、さらに外側900 mmの範囲を通路エリアとした。

表2 エアフィンクーラ仕様（抜粋）  
Table 2 Air fin cooler specifications (extraction)

| Item                               | Specification                             |
|------------------------------------|-------------------------------------------|
| Heat exchange method               | Air-fin cooling                           |
| Piping material                    | SUS316L                                   |
| Fin material                       | A1050P                                    |
| Power supply                       | Φ 3-200V                                  |
| External dimensions<br>(Unit : mm) | W875×D875×H750<br>(Excluding protrusions) |

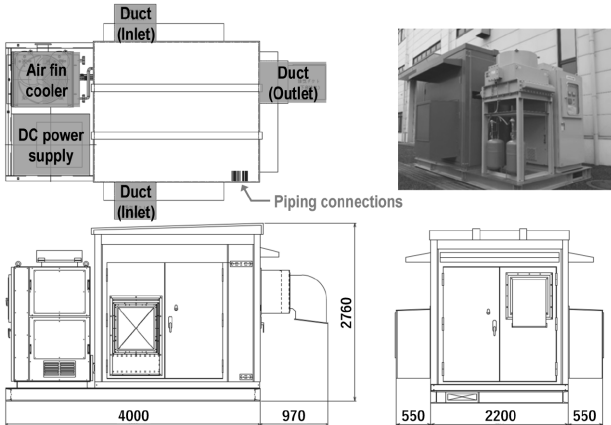


図4 局舎  
Fig.4 Station housing



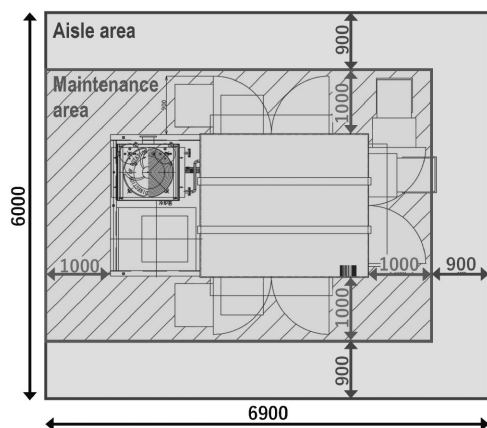


図5 AP機の設置エリア  
Fig.5 Installation area of AP-model

### 3. 試運転評価

AP機の性能評価のため、2022年8月～10月の3箇月にわたり、当社の技術研究所にて実証機による試運転評価を実施し、いずれの機器も問題なく動作することを確認したほか、本装置にて生成する水素ガスが表1に示す仕様を満足する品質であることを確認した。

また、本実証機は2023年1月に神戸製鋼所高砂製作所へ移設したのち、長期運転性能の評価を実施した。HHOGの一般的な運用を想定した運転サイクルとして、平日の就業時間帯に連続運転を行い、夜間および休日に停止する運用方法とした。その結果、一年以上にわたって大きな問題なく継続的に稼働できており、長期運転性能についても問題のないことを確認したため、試運転評価の結果も受けてAP機の実証を完了した。商品化後に受注した商用一号機は、2024年10月に無事お客様へ納入された。

むすび＝水素基本戦略が策定される以前の1996年から水素社会の到来を見据え、水素発生装置HHOGを商品化して以来、当社は業界と規模の異なる様々なお客様へ納入し、その実績は合計250基を超えた。今般、ユーティリティ削減に対する根強いお客様のニーズを実現する最新機種として、「水道水と電気のみで水素発生可能」としたオールインプラン機を開発・商品化した。開発にあたっては、ユーティリティ削減のための補器選定や要素試験を行い、実証機を用いた社内試運転評価、および神戸製鋼所高砂製作所での長期運転性能の評価を行い、いずれも問題のないことを確認した。上市後の商用一号機は2024年10月に納入され、引続き拡販が期待される状況である。今後もお客様の要望を先取りし、HHOG大容量ラインアップの拡充、装置コストダウン、消費電力低減や耐久性向上を継続し、水素エネルギー社会の未来に貢献していく所存である。

### 参考文献

- 1) 内閣官房.水素基本戦略. 2017-12-26  
[https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisei\\_energy/pdf/hydrogen\\_basic\\_strategy.pdf](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisei_energy/pdf/hydrogen_basic_strategy.pdf), (参照2024-12-23)
- 2) 首相官邸. 第二百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説. 2020-10-26  
[https://www.kantei.go.jp/jp/99\\_suga/statement/2020/1026s\\_hoshinhyomei.html](https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026s_hoshinhyomei.html), (参照2024-12-23)
- 3) 経済産業省. 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略. 2021-06-18  
[https://www.meti.go.jp/policy/energy\\_environment/global\\_warming/ggs/pdf/green\\_honbun.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf), (参照2024-12-23)
- 4) 経済産業省. グリーンイノベーション基金事業の基本方針. 2024-06  
[https://www.meti.go.jp/policy/energy\\_environment/global\\_warming/gifund/09.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/gifund/09.pdf), (参照2024-12-23)
- 5) 経済産業省. 水素社会推進法について. 2024-06-07  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/suiso\\_seisaku/pdf/014\\_01\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/014_01_00.pdf), (参照2024-12-23)
- 6) 株式会社神鋼環境ソリューション. 2023-03-09  
<https://www.kobelco-eco.co.jp/topics/pdf/2022/20230309.pdf>, (参照2024-12-23)
- 7) 柳生昭三. 安全工学. 1986, Vol.25, No.4. P.194.  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/safety/25/4/25\\_194/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/safety/25/4/25_194/_pdf)
- 8) 平井清司ほか. 神鋼パンテック技報. 1998, Vol.42, No.1. P.61.  
[https://www.kobelco-eco.co.jp/development/docs/140\\_09.pdf](https://www.kobelco-eco.co.jp/development/docs/140_09.pdf)