



コンパクトな水素製造装置 HYSERVE の開発 とカーボンニュートラルへの取り組み

大阪ガス株式会社

ガス製造・エンジニアリング事業部

エンジニアリング部

水素・CO₂分野オソリティー 池田 耕一郎

1. はじめに

水素は、無色・無臭・無毒の気体、地球上で最も軽い分子で、気球への充填ガスとしての利用が水素利用の始まりと言われている。その後、工業原料や還元剤として幅広い用途で利用されるようになった。また、水素は、燃焼時にCO₂を排出しないことから、地球環境保護の観点から今後の利用拡大が期待されている。

パッケージ化されたコンパクトな水素製造装置は、2000年頃に開発が始まり、商品化が行われている。輸送分野でのCO₂排出量削減のための水素ステーションでも、燃料電池自動車（FCV）用の高純度水素燃料の製造装置として採用されている。また、最近では、半導体等の電子部品工場や水素発電を行う工場での水素製造装置やカーボンニュートラル関連の研究開発用の水素製造装置として需要が増加している。

本稿では、Daigas グループ（2018年から使用している大阪ガスグループの新名称）が開発したコンパクト水素製造装置「HYSERVE」、その新機種である「HYSERVE-300X」、これらの装置を用いた低・脱炭素化への取り組みなどについて述べる。

2. コンパクト水素製造装置「HYSERVE」の紹介

2-1 開発経緯

大阪ガスは、1905年の開業当時、石炭乾留時に発生したガスを供給していた。その後、重油、ナフサ、LPGなどをガス化/改質し都市ガスを製造してきた。1975年の液化天然ガス（LNG）導入を受けて、これまでの都市ガス製造で培った触媒技術を活用し、ナフサ、石炭ガス、重質油から代替/合成天然ガスを製造する装置を開発した。これらの技術が、「HYSERVE」や「家庭用燃料電池」などにも活用されている。また、近年、話題のカーボンニュートラルへの取り組みの一つである「メタネーション」にもこれらの技術を用いている。

HYSERVEは、2000年頃から水素ステーションや水素を中小規模（概ね1000 m³N/h以下）で使用する工場などでの使用を想定して開発した装置で、都市ガスやプロパンなどから高純度水素を製造することができる。2004年度までに、水素製造能力30m³N/h、100m³N/hのラインナップを整え、2013年には、水素製造能力300m³N/hのHYSERVE-300を商品化した。これにより、標準的な商用水素ステーションに対応可能となるだけでなく、従来よりも水素使用量の多い工業用途の需要に対しても適用可能となった。

その後、2023年9月には大幅なコストダウンとコンパクト化を実現したリニューアルモデル「HYSERVE-300X」を開発した。

2025年6月現在、工業用途や水素ステーション用途として、44基の納入実績がある。2003年発売以降、コストダウンと信頼性向上、不具合改善に努めてきた。現在では、遠隔監視による故障予兆監視等も駆使し、高い運転信頼性を維持している。

2-2 プロセス概要

13A 都市ガスあるいはプロパンなどを原料として水蒸気改質反応により水素リッチな改質ガスを生成する

改質部と、この改質ガスから不純物を除去し高純度水素ガスを得る水素精製部から成る。更に、改質部は、脱硫工程、水蒸気改質工程、CO 変成工程の3つの工程で構成される。次に各工程について述べる。(図1、2)

① 脱硫工程

最初に改質触媒の硫黄被毒の防止のため、原料ガス中の硫黄分を取り除く脱硫操作を行う。HYSERVEでは、一般的な吸着脱硫剤 (ZnO) に加えて、当社独自開発の超高次脱硫剤を用いることで、硫黄成分をppbレベルまで除去することができ、改質触媒の寿命延長を図っている。

② 水蒸気改質工程

脱硫された原料ガスは水蒸気と混合され、所定の温度まで加熱された後、改質器に導入される。改質器では水蒸気改質反応により水素濃度約 70vol%の改質ガスが製造される。HYSERVE では当社独自開発の水蒸気改質活性が高くかつ炭素析出のリスクが低い触媒を採用している。

③ CO 変成工程

改質ガス中の CO と水蒸気を反応させ、改質ガス中の水素濃度を約 75vol%まで向上させる。この反応は発熱反応であり、HYSERVE では、化学平衡上有利な低温 CO 変成触媒を採用している。

④ 水素精製部

CO 変成後の改質ガスは、常温まで冷却され、凝縮したドレン水を分離した後、水素精製工程へ導かれる。水素精製工程では、圧カスイング吸着法 PSA (Pressure Swing Adsorption) により改質ガス中の不純物である H₂O、CO₂、CH₄、CO などが除去され、高純度の水素が製造される。吸着-脱着-洗浄等の操作を複数の吸着塔で順次繰り返すことにより、連続して高純度の水素を得る。吸着された不純物成分と脱着工程開始時に吸着塔内に残留していたガスや吸着塔の洗浄に用いられた水素は、オフガスとして排出され、改質器のバーナー燃料として有効利用することで、システム全体の効率向上を図っている。

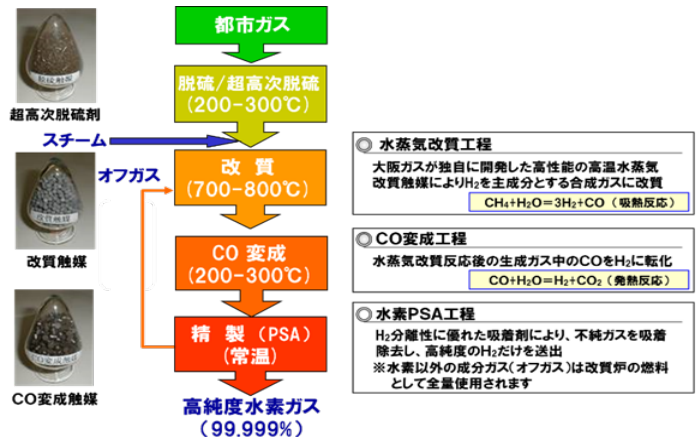


図1 水素製造ブロックフロー

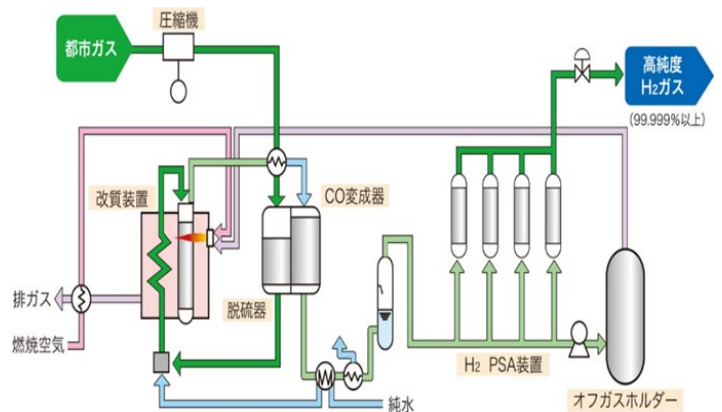


図2 水素製造フロー

2-3 特長

HYSERVE の主な特長を以下に記す。

- ① コンパクト：改質部及び水素精製部の構成機器のコンパクト化および最適配置により、世界最小クラスのユニットサイズを実現
- ② 低コスト：機器仕様を標準化、一体パッケージ化すること等で製作コスト、現地工事コストを削減
- ③ 全自動運転：自動プログラムにより、安全かつ容易に起動・停止・負荷変更が可能
- ④ 水素循環による温間待機運転：高頻度の起動停止を行う場合、温間待機運転を行い、触媒の粉化を抑制、水素供給までの時間を短縮
- ⑤ 燃焼機器の安全性：改質炉にバーナーマネジメントシステムを採用し、より高度な安全性を有す
- ⑥ 遠隔監視システムやAIによるトラブル予兆診断 (オプション対応)

トラブル発生時に遠隔での情報収集や迅速なトラブル対応などが可能、また、緊急停止の回避に貢献。運転データの監視により、時間基準保全から計画的な状態基準保全が可能で、保全費用の削減に貢献。

2-4 新機種「HYSERVE-300X」

2023年9月、大阪ガスは、コンパクト水素製造装置「HYSERVEシリーズ」の中で最大製造能力を有する「HYSERVE-300」のリニューアルモデルである「HYSERVE-300X」（図3）を新たに開発した。表1に最新のHYSERVEラインナップを示す。

今回新たに開発した「HYSERVE-300X」は、水素の製造フローを抜本的に見直し、改質器と熱交換器の一体化、反応管やバーナーの本数の削減などによって、イニシャルコスト並びにメンテナンスコストを抑えつつ、従来モデルと比較して約40%のコンパクト化（設置面積縮小）を実現した。



図3 HYSERVE-300Xの完成イメージ

表1 HYSERVEラインナップ

| 機種 | HYSERVE-30 | HYSERVE-100 | HYSERVE-300X |
|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 原料 | 都市ガス(13A)、プロパンガス、バイオガス等 | | |
| 水素製造能力 ^{※1} | 30m ³ N/h | 100m ³ N/h | 300m ³ N/h |
| 水素純度 | 99.999vol%以上 | | |
| 水素供給圧力 | 0.7MPaG以下 | | |
| 操作性 | ワンタッチ自動運転 負荷調整(40~100%)、待機運転 | | |
| 最小ユニットサイズ ^{※2} (補機等を除く) | 3,600W×2,000L×2,950H | 5,300W×2,600L×3,300H | 8,000W×3,000L×3,700H |
| 装置オプション | 遠隔監視システムなど | | |

3. カーボンニュートラルに向けての取り組み

再生可能エネルギーで発電した電力で、水電解装置で水素製造を行うと、グリーン水素を製造できるのと同様に、再生可能エネルギーであるバイオガスを原料としてHYSERVEで水素製造を行うとグリーン水素を製造することができる。

京都市上下水道局鳥羽水環境保全センター（写真1）と富士市東部浄化センター（写真2）の2か所にて、下水汚泥由来のバイオガスを原料にHYSERVEを用いてグリーン水素を製造した事例がある。燃料電池自動車へ充填可能な高品質の水素製造が可能であること、バイオガスを用いた場合も、都市ガスを用いた場合と同等の水素製造効率で運転できることを確認した。¹⁾²⁾また、下水処理場のバイオガスを都市ガス導管に受け入れ、そのガスを原料として、環境にやさしい水素を製造するという事例もある。

バイオガス以外の方法として、天然ガスの採掘からその利用に至るまでの工程で発生する温室効果ガスをCO₂クレジットで相殺し、燃焼しても地球規模ではCO₂が発生しないとみなすカーボンニュートラルな都市ガスを原料に用いるとより環境にやさしい水素を製造することもできる。

また、Daigasグループは、近年の地球温暖化対策への社会的要請の一層の高まりを受け、2050年のカーボンニュートラル実現を目指し、2021年1月に「カーボンニュートラルビジョン」³⁾、2023年3月に「エネルギーtransition 2030」⁴⁾、2025年2月に「エネルギー



写真1 HYSERVE-30（鳥羽水環境保全センター）



写真2 HYSERVE-30（富士市東部浄化センター）

ランジション 2050」⁵⁾を策定、公表している。その中で、2030 年度までに、非化石エネルギー由来のグリーン水素等と CO₂ を原料として製造された合成メタンである e-methane を 1%導入することを宣言し、その具体的な方策、ロードマップを示しており、現在、様々な検討を進めている。将来、この e-methane を原料に用いるとクリーンな水素製造が可能となる。e-methane を原料に用い、更に水素製造装置に CO₂ 分離回収を付加した装置で水素製造を行うとネガティブエミッションになる。

4. 水蒸気改質法と水電気分解法の比較

炭化水素の水蒸気改質法と水電解法でどちらがより環境にやさしい水素製造プロセス化かと問われることがあるが、プロセス自体の差異ではなく、使用する電力を発電する際に発生させた CO₂ 量や使用する原料ガスがカーボンニュートラルなものかどうかによる。

現在、我が国の一般的な電力の発電時の CO₂ 発生量を 0.453kg-CO₂/kWh とし、水電解装置での消費電力を 5kWh/m³N-H₂ と仮定すると、1m³N の水素製造時に 2.265kg の CO₂ を発生させることになる。一方、都市ガスからの水素製造時の都市ガス使用量を 0.42m³N/m³N-H₂、消費電力を 0.3kWh/m³N-H₂、都市ガス 1m³N を使用時の CO₂ 発生量を 2.29kg と仮定すると、1m³N の水素製造時に 1.098kg の CO₂ を発生させることになる。したがって、都市ガスから水素を製造する際の CO₂ 発生量が、一般的な電力を使用して水素を製造する際の CO₂ 発生量の約半分となることから、グリーン電力やカーボンニュートラルな都市ガスが十分には供給されない脱炭素社会へのトランジション期には、都市ガス等からの水素製造が低炭素化に貢献できると考える。

5. 終わりに

Daigas グループでは、創業以来培ってきた都市ガス製造技術などを駆使し、コンパクト水素製造装置を開発してきた。この装置は、半導体製造や鉄鋼業など様々な産業分野や水素ステーションなどで採用頂いている。水素製造装置からの CO₂ 分離回収やバイオガスを原料とすることで、CO₂ 排出量を削減することも可能である。また、HYSERVE は、将来的に e-methane を用いることで装置はそのままクリーンな水素製造が可能で、低・脱炭素に向けたトランジション期に適した装置であると考えている。

私は、入社以来、エンジニアリング部門一筋で、1000℃を超える高温（改質装置関連）から約-200℃の低温（LNG 冷熱利用設備など）、真空から約 100MPaG（水素ステーション関連）の高圧まで様々な設備の設計から建設までを担当してきた。最近の 10 年は、主に、HYSERVE の開発や水素ステーション関連業務を担当している。今後、より CO₂ 排出量の少ない新たな水素製造プロセスの開発や社内でも推進されている e-methane プロジェクトにも参画し、持続可能な低・脱炭素社会の実現に貢献したいと考えている。

<参考文献>

- 1) 宮本博司、佐藤朋弘、小野田草介：バイオ天然ガス化装置を利用した水素製造実証、
神鋼環境ソリューション技報, Vol. 16 No. 1 (2019/9)
- 2) 小野田草介、佐藤朋弘、渡邊航介、宮本博司：富士市東部浄化センターにおける高濃度消化・省エネ型
バイオガス精製による効率的エネルギー利用技術実証研究（B-DASH プロジェクト）、
神鋼環境ソリューション技報, Vol. 17 No. 1 (2020/9)
- 3) Daigas グループ カーボンニュートラルビジョン
https://www.daigasgroup.com/sustainability/valuecreation/carbon_neutral_vision.html
- 4) Daigas グループ エネルギートランジション 2030
https://www.osakagas.co.jp/sp/company/press/pr_2023/1720418_54097.html
- 5) Daigas グループ エネルギートランジション 2050
https://www.daigasgroup.com/studio/topics/1787918_47681.html