

高純度水素発生装置 HHOG[®] の CO₂排出削減用途への適用

— TOTO 株式会社における衛生陶器焼成工程の水素混焼の取り組み—

Application of the HHOG[®] High-purity Hydrogen Oxygen Generator for CO₂ Emissions Reduction

— Hydrogen Co-firing in the Sanitary Ware Firing Process at TOTO Ltd. —

氏林亮太*・田平智哉**

Ryota Ujibayashi・Tomoya Tahira

当社の高純度水素発生装置 HHOG は、水と電気から高純度水素を製造し、供給する水電解式水素発生装置である。近年、CO₂排出量削減に向けた取り組みの一環として、再生可能エネルギー由来の電力を利用して製造したグリーン水素の利活用が拡大している。

TOTO 株式会社では衛生陶器の焼成工程において都市ガスと水素を併用する水素混焼技術確立し、HHOG（SH-100D-G II）により製造したグリーン水素を活用している。同取り組みにより、年間140 t（7 % 相当）の CO₂排出量削減効果が見込まれている。

The HHOG[®] High-purity Hydrogen Oxygen Generator is a water electrolysis system that produces and supplies high-purity hydrogen using water and electricity. In recent years, the utilization of green hydrogen produced by electricity from renewable energy sources has expanded as part of the efforts to reduce CO₂ emissions. TOTO Ltd. has established a hydrogen co-firing technology that utilizes both piped gas and hydrogen in the sanitary ware firing process. The green hydrogen utilized in the process is produced by the HHOG[®] (SH-100D-GII) system. The initiative is expected to contribute to the reduction of CO₂ emissions by approximately 140 tons per year, equivalent to about 7 % of the current emissions.

Key Words :

水	電	解	Water electrolysis
プ	ロ	ト	Proton exchange membrane
ン	交	換	
膜			
高純度水素発生装置			High-purity Hydrogen Oxygen Generator
水	素	混	Hydrogen co-firing
焼			
再生可能エネルギー			Renewable energy
カーボンニュートラル			Carbon neutrality

【セールスポイント】

- ・純度99.999 % 以上の水素ガスを簡単に安定供給できる。
- ・主なユーティリティは水と電気であり化学薬品を使用しないこと、そして水素製造工程における副産物は酸素ガスのみであることから、安全で環境負荷が低い。
- ・国内外における HHOG の納入実績は約260台（2026年 4 月時点）であり、固体高分子電解質膜を用いる水素発生装置の国内トップシェアを有する。

*プロセス機器事業部 水素事業推進部 エンジニアリング室

**プロセス機器事業部 水素事業推進部 営業室

まえがき

近年、地球温暖化の進行に伴う異常気象の増加や環境問題の深刻化を背景として、世界各国で温室効果ガス排出量の削減に向けた取り組みが加速している。日本においても2050年カーボンニュートラルの実現を国家目標として掲げており、産業部門を中心にCO₂排出量削減が求められている。このような状況の中、既存のエネルギー利用プロセスへ水素を導入し、化石燃料の使用量削減を図る取り組みが広がっている。

TOTO株式会社（以下、TOTO）では衛生陶器の焼成工程におけるCO₂排出量削減を目的として、都市ガスとグリーン水素を混ぜて焼成する水素混焼技術確立し、世界で初めて*水素混焼での衛生陶器の生産を開始した。本取り組みでは当社製高純度水素発生装置（High-purity Hydrogen Oxygen Generator, HHOG）のSH-100D-G IIにより製造された水素ガスが使用されている。

本事例は、将来の水素社会を見据えた先進的な取り組みの一つである。本稿では、当社水素発生装置の特徴と、TOTOが推進する水素混焼の取り組みの概要について紹介する。

1. 高純度水素発生装置 HHOG¹⁾

1.1 プロトン交換膜による水電解の原理

HHOGはプロトン交換膜（Proton Exchange Membrane, 以下 PEM）を用いた水の電気分解により水素を発生させる。

PEM型水電解は、純水を直接電気分解して水素と酸素を発生する方式である。固体高分子膜を用いるため、アルカリ水電解のように電解液を循環させる必要がなく、水以外の原料を必要としない。そのため、水素の発生工程において不純物の混入が生じにくく、精製工程を経ることなく、高純度の水素を安定的に得ることができる。

さらに、副生成物が酸素のみであるため、廃液が発生しない環境負荷の低い水素製造方式であるといえる。

1.2 システムフロー

HHOG内のシステムフローを図1に示す。

装置内の純水装置で製造された純水は、循環水ポンプによって電気分解モジュールへ供給される。電気分解モジュールに整流器から直流電流を印加することで水の電気分解が生じ、水素と酸素が発生する。電気分解に使用されなかった純水は純水タンクに戻り、再度フローを循環する。

循環経路に配置されたイオン交換樹脂、ファイナルフィルター、および熱交換器により、循環水の水

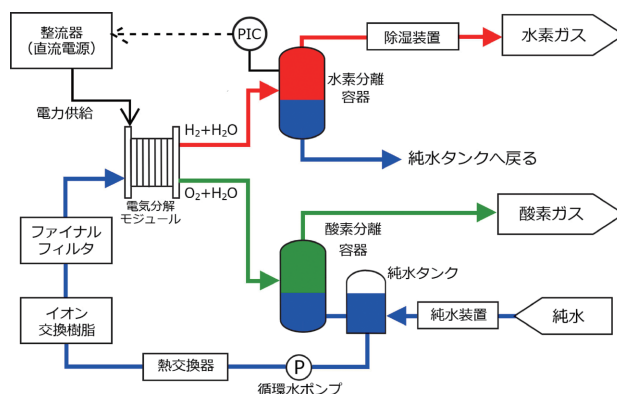


図1 HHOG システムフロー

質および水温は適切な状態に維持される。

電気分解モジュールで発生した水素は、水素分離容器において同伴する水分と分離された後、除湿装置において十分に乾燥され、供給される。

水素と同時に発生した酸素は、酸素分離タンクへ送られ、同伴水分と分離されて大気へ放出される。

HHOGの水素発生量は、水素分離タンクの圧力を指標として制御されている。水素分離タンクの圧力が一定となるよう電解モジュールへの供給電流を調整することで、水素消費量の変動に応じた運転を可能としている。

このように、利用側での水素需要に追従して水素発生量をコントロールできるため、装置内に保有される水素量を最小限に抑えることができる。

1.3 装置ラインナップ

HHOGでは、水素発生量5~100 Nm³/hをカバーする機種ラインナップを有している。

装置様式で大きく2つの型があり、小型のパッケージ型（5 Nm³/hおよび10 Nm³/h、写真1）と、大型のスキッドマウント型（20~100 Nm³/h、写真2）が存在する。

また、HHOGの運転に必要なユーティリティ設備を標準装備したオールインプラン機（5 Nm³/hおよび10 Nm³/h、写真3）もラインナップしている。オールインプラン機では、計装空気、窒素ガス、冷却水の供給装置を内包しており、必要なユーティリティを電気と水道水のみに削減している。

今回、TOTOへ納入した設備は、スキッドマウント型のSH-100D-G IIであり、水素発生量は100 Nm³/hである。SH-100D-G IIは、近年の水素需要の拡大に対応するべく、大容量化を追求して2021年にラインナップへ追加した当社最大容量の高純度水素発生装置である。従来のSH-50D-G II（50 Nm³/h）2台の構成と比較して、コストを約26%、設置スペースを約40%削減しており、導入における経済性と設



写真1 パッケージ型 HHOG (5 Nm³/h)

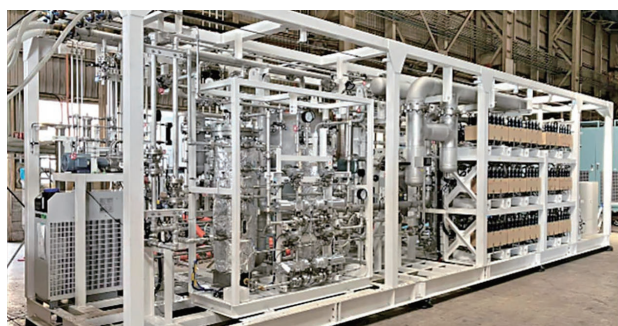


写真2 スキッドマウント型 HHOG (100 Nm³/h)



写真3 HHOG オールインプラン (10 Nm³/h)

置スペース効率の向上を実現している。

供給する水素の純度および圧力は、いずれの機種においても99.999%以上、0.82 MPaGである。この高純度水素は、燃料電池用途に加え、半導体製造工程など高い純度が求められる用途に適用可能である。

また、供給圧力が1 MPaG未満であることから、高圧ガス保安法において定められる許可申請や、保

安管理体制の設置が不要である。

さらに、HHOGでは、水素製造設備として必要な機器を内包したパッケージ構造を採用しており、現地据付後は電力および水道水などの各種ユーティリティを接続することで水素製造を開始できる。このため、現地工事を簡素化でき、導入時の負担を低減することができる。

近年は、再生可能エネルギー由来の余剰電力活用など、カーボンニュートラルを目的とした水素利用への関心が高まっている。こうした背景のもと、水素をオンサイトで製造・利用するシステムの需要が拡大しており、HHOGは従来の研究用途や工業用途に加え、新たな水素活用に向けた事業・実証案件においても引き合いが増加している。

2. TOTOのカーボンニュートラルに向けた取り組み²⁾とHHOGの用途

2.1 背景

製造業は国内のエネルギー消費およびCO₂排出量の大きな割合を占めることから、脱炭素社会の実現に向けた重要な対象分野となっている。

特に、窯業・陶磁器産業では、製品の品質や強度を確保するために高温焼成工程が不可欠である。そのため、焼成工程は製造工程全体の中でもエネルギー負荷が大きく、CO₂排出の主要因となっている。陶器製造分野における脱炭素化を実現するためには、この焼成工程におけるエネルギー利用の改善が不可欠である。

TOTOが製造する衛生陶器においても同様の課題が存在している。同社の発表によると、衛生陶器製造におけるScope 1排出量（企業が事業活動で直接的に排出するCO₂排出量）の約70%を焼成工程が占めており、工場全体のCO₂排出量削減を進める上で焼成工程の改善が極めて重要であることが示されている。

これまでTOTOでは、焼成工程におけるCO₂排出量削減を目的として、燃料転換や設備改善などの取り組みを継続的に実施してきた。創業当初は石炭を燃料として使用していたが、よりCO₂排出量の少ない都市ガスへの転換を進め、2007年までに国内外の全ての窯で燃料転換を完了している。さらに、生産設備の高効率化にも取り組み、小倉工場では2022年に断熱性能の高いファイバー窯を導入した。この設備更新により、1971年から使用していたレンガ窯と比較して約40%のCO₂排出量削減を達成している。

これらの取り組みにより一定のCO₂排出量削減効果が得られていたものの、2050年のカーボンニュー

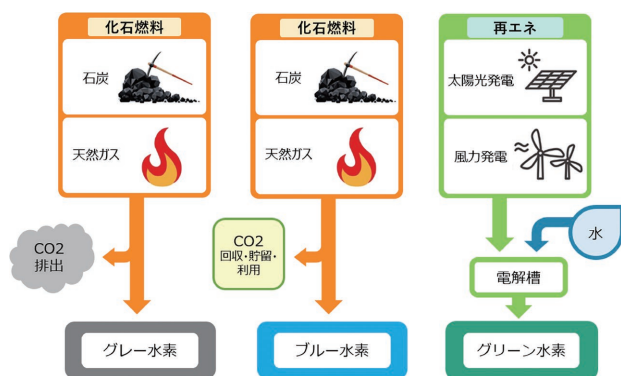


図2 グリーン水素製造プロセス³⁾
(出典：経済産業省資源エネルギー庁)

トラルの実現に向けては従来の燃料転換や省エネルギー化のみでは十分ではなく、さらなる排出量の削減を可能とする革新的な技術の導入が必要であった。特に高温熱源を必要とする製造プロセスでは、電化のみで対応することが難しい。

この課題に対する有力な解決手段の一つとしてエネルギー源としての水素の利用が注目されている。水素は燃焼時にCO₂を排出せず、高温燃焼が可能であることから、従来の化石燃料に代わる次世代エネルギーとして期待されている。さらに、再生可能エネルギー由来の電力を用いて水を電気分解することで製造されるグリーン水素（図2）は、製造から利用までの過程においてCO₂排出を大幅に抑制できるため、カーボンニュートラル実現に向けた有力な手段として位置付けられている。

このような背景のもと、TOTOでは焼成工程の脱炭素化を実現する有効な手段として水素に着目し、焼成工程における都市ガスと水素の混焼を開始した。

2.2 グリーン水素混焼技術

水素混焼とは、従来の都市ガスを主燃料とする焼成窯に、水素を一定割合混合して燃焼させる焼成技術である。従来の燃焼設備を活用しながら燃料の一部を水素に置き換えることで、燃焼時に排出されるCO₂の削減を図ることができる点が最大の特長である。

TOTOは2023年より小倉工場において衛生陶器生産における水素混焼技術の実用化検証を進めており、2024年には水素試験窯を導入した。さらに2025年には、再生可能エネルギー由来の電力を利用してグリーン水素を製造する拠点「Sui Station」（写真4）を建設し、当社製高純度水素発生装置（SH-100D-G II、写真5）を導入した。設備で製造したグリーン水素を用いて実生産を想定した検証を重ねた結



写真4 Sui Station



写真5 SH-100D-G IIの設置状況

果、水素混焼技術を確立し、2026年1月から実際の衛生陶器製造窯での運用を開始している。

現在は体積比約20%の水素混焼率で稼働しており、この取り組みによって年間約140トン、約7%のCO₂排出量削減が見込まれている。

本取り組みは製造業の脱炭素化に向けた有効な手段として位置づけられ、「北九州市低炭素水素認証制度」を取得している。今後は混焼率の向上及び他工場への展開が計画されている。

むすび

今後、産業用途に加え、燃料用途など幅広い分野での水素利用拡大が見込まれており、水素は脱炭素社会の実現を支える重要な要素として、その役割を一層高めていくものと考えられる。その中で、水電解装置メーカーには、単なる装置供給だけではなく、顧客のCO₂排出量削減やカーボンニュートラル実現に貢献するソリューションを提供していくことが求められる。このような多様化する市場のニーズに応えるためには、当社はHHOGの性能向上、省エネルギー化、高効率化、信頼性および保守性の向上といった技術開発を継続するとともに、水素の活用シーンやシステム全体を踏まえたソリューション提案に取り組んでいく必要がある。

当社は今後も、市場ニーズを的確に捉えた HHOG の技術革新と製品価値の向上を継続し、水素の活用を支える基盤技術の提供を通じて、再生可能エネルギーとグリーン水素を活用した脱炭素化の推進に貢献するとともに、持続可能なカーボンニュートラル社会の実現に寄与していく。

* ユーロモニター・インターナショナル調べ。2026 年 2 月～3 月に実施したカスタム調査による。
本クレームは、2023 年の衛生陶器生産量（100 万个単位）に基づく世界の衛生陶器メーカー上位 20 社および中国の衛生陶器メーカー 3 社を対象に検証されたものである

[参考文献]

- 1) 小野田草介：エネルギー・資源学会会誌第 46 巻（水電解式高純度水素発生装置 HHOG[®]），Vol. 46, No.6（2025）pp.29-32
- 2) TOTO 株式会社：「衛生陶器製造における水素混焼を開始」，TOTO 株式会社ニュースリリース，https://jp.toto.com/company/press/2026_02_06/，（2026/2/6）
- 3) 経済産業省資源エネルギー庁：「次世代エネルギー「水素」，そもそもどうやってつくる？」，https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/suiso_tukurikata.html，（2026/7/27）