

バイオ天然ガス化装置を利用した水素製造実証

Demonstration of Hydrogen Production Combined with Sewage Biogas Upgrading



宮本博司*
Hiroshi Miyamoto



佐藤朋弘*
Tomohiro Sato



小野田草介*
Sosuke Onoda
博士（工学）

バイオ天然ガス化装置と水素製造装置との組合せによる水素製造プロセスを実証し、製造された水素ガスの品質、水素製造効率、ライフサイクルコスト（LCC）を検証した。その結果、燃料電池自動車（FCV）に供給可能な品質の水素を、都市ガス原料の場合と同等の効率で製造できることを実証したほか、従来の水素製造プロセスに対してLCCで有利な試算結果が得られ、本プロセスがバイオガスからの水素製造に適用可能であることが分かった。

We demonstrated the hydrogen production process combined with sewage biogas upgrading to verify the quality of produced hydrogen, production efficiency, and life cycle cost (LCC). As a result, we confirmed that hydrogen with adequate quality for supplying fuel cell vehicles (FCV) can be produced with the efficiency equivalent to that of the production from natural gas, and that the LCC is lower than that of the conventional process. The result indicates that the process we demonstrated is applicable to hydrogen production using biogas.

Key Words :

水素製造
バイオ天然ガス化
高圧水吸収法
水蒸気改質
燃料電池自動車

Hydrogen Production
Biogas Upgrading
Pressurized Water Scrubbing
Steam Reforming
Fuel Cell Vehicle (FCV)

【セールスポイント】

- ・水素製造に必要な前処理をバイオ天然ガス化装置で一括して行うため、プロセスを簡略化できる。
- ・バイオ天然ガス化装置との組合せにより、実績のある都市ガス向け水素製造装置を適用できる。

まえがき

再生可能エネルギーの一層の利用拡大が求められている中、多量の温室効果ガス（国内排出量約621万t-CO₂/年、平成26年度¹⁾）を排出している下水道分野において、下水汚泥や下水熱といったカーボンニュートラルなエネルギー資源の有効利用が期待されている。

下水汚泥は発生量・性状が安定したバイオマスであり、そのエネルギー利用に向け様々な取組みが行われてきた。これまでは消化タンクからのバイオガスをそのまま有効利用してきた例が多いが、近年は、バイオガスを精製し、メタン濃度を高めることで、更なる利用用途拡大を図る取組みも行われている。

さらに、水素社会の実現に向けて国をはじめとした取組みが進む中、バイオガスから水素を製造する技術も実用化されている。しかし、水素製造にはバイオガスを精製する前処理が必要であり、これは従来、バイオガス中の不純物を成分ごとに除去する複数のプロセスが必要という課題があった。

そこで、我々は水素製造に必要なバイオガス精製（前処理）を、高圧水吸収法によるバイオ天然ガス化装置で一括して行うプロセスを検討した。これにより、煩雑であったプロセスが簡略化でき、水素製造コストの低減も期待できる。また、高圧水吸収法

はメタン回収率が高く（98 %程度）、水素製造原料ガスのロスも低減することができる。

本研究では、バイオ天然ガス化装置と水素製造装置との組合せによる水素製造プロセスを実証し、製造された水素ガスの品質、水素製造効率、LCCを検証した。なお、本研究は実証フィールドをご提供いただいた京都市、日本下水道事業団および当社の3者共同で実施したものである²⁾。

1. 実証方法

実証場所である京都市上下水道局鳥羽水環境保全センターでは、京都市内の5つの処理場から発生する汚泥を集約処理しており、主に重力濃縮された初沈汚泥を消化タンク（高温消化5 500 m³×2基）に投入し、発生したバイオガス全量をバイオ天然ガス化装置にてメタン濃度98~99 %に精製し、都市ガス代替燃料として汚泥焼却炉などで利用している。

図1に実証フローを示す。既設バイオ天然ガス化装置で精製したガスの一部を、今回設置した水素製造装置に供給した。バイオ天然ガス化装置は、加圧下でのバイオガス各成分の水への溶解度差を利用してメタン濃度を高めると同時に、硫化水素、シロキサンなどの不純物を除去する装置であり、高いメタン濃度（97 %以上）およびメタン回収率（98 %程度）を得ることが可能である。水素製造装置（大阪

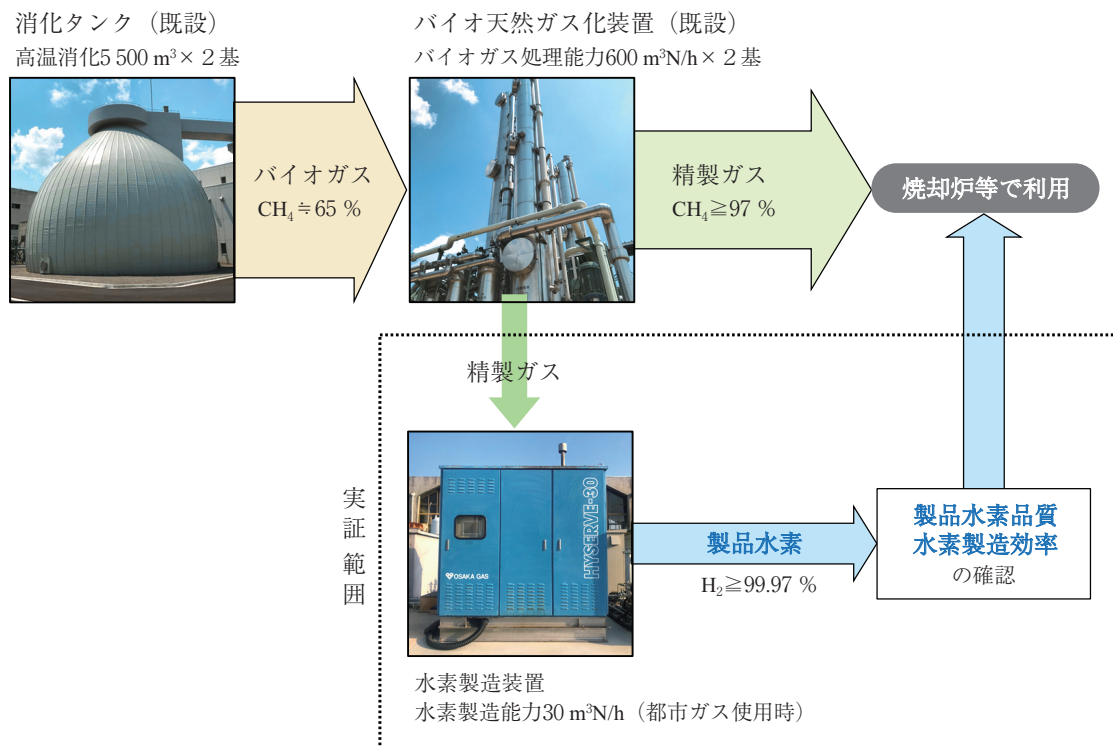


図1 実証フロー

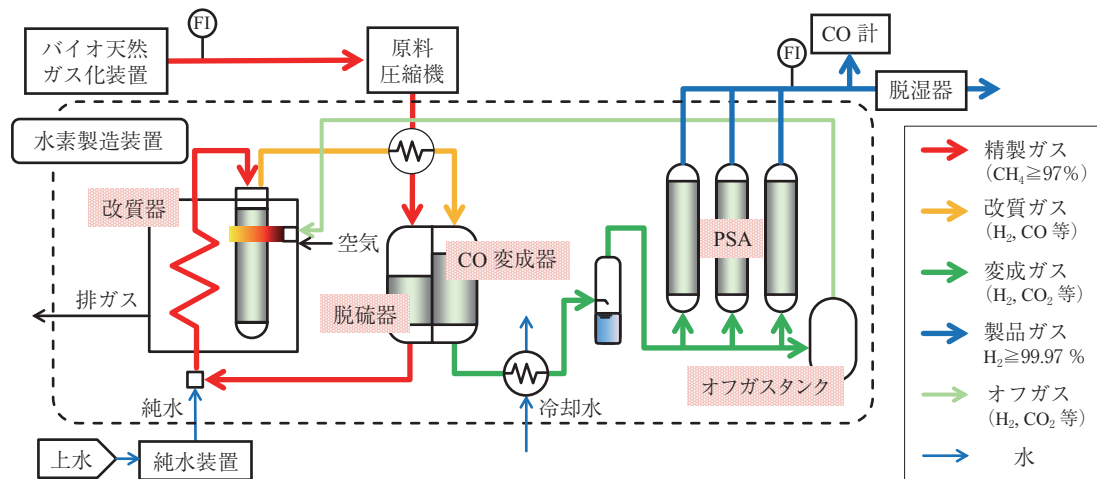


図2 水素製造フロー

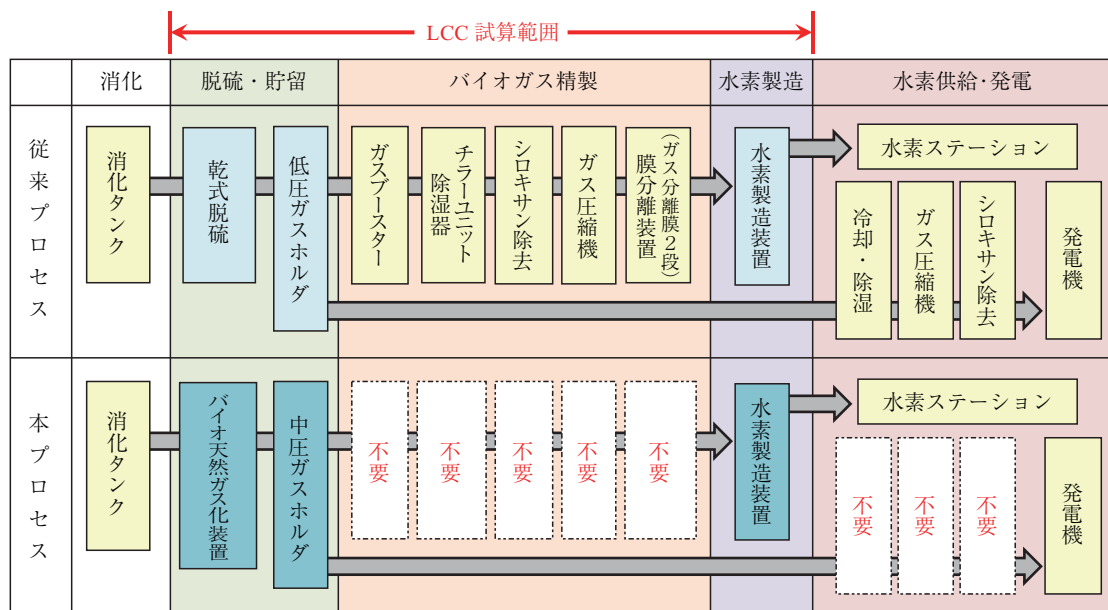


図3 LCC 試算範囲

ガス(株)開発品 HYSERVE-30) は、水蒸気改質反応および CO 変成反応により水素を含む改質ガスを生成させた後、圧力変動吸着法 (PSA) で水素を高純度 (バイオガス原料での本研究目標値は99.97%以上) に精製する装置 (図2) であり、都市ガスからの水素製造で多くの実績がある。

本実証設備を用いて、2017年秋から2018年夏にかけて四季データを取得し、以下を検証した。

(1) 水素ガス品質

水素ガス品質については、定格負荷時に製品水素をサンプリング、分析し、FCV 用水素燃料規格値を満たしているか確認した。

(2) 水素製造効率 (精製ガス原単位)

水素製造効率については、精製ガス原単位 (= 製

品水素 1 m³N 当たりの精製ガス使用量) で評価した。都市ガス原料の場合の同規模機種におけるメーカー実績が0.42 m³N-都市ガス/m³N-H₂ (定格負荷時) であることから、熱量換算 (精製ガス39 MJ/m³N, 都市ガス45 MJ/m³N) により0.48 m³N-精製ガス/m³N-H₂を目標とした。

(3) LCC 比較

平成26年度 B-DASH プロジェクト*で実証された水素製造技術³⁾を組込んだプロセスと、LCC (建設費年価+維持管理費) を比較した。図3に試算範囲を示す。試算規模としては、バイオガス発生量17 000 m³N/d、うち2 700~2 800 m³N/d を用いて3 300 m³N/d の水素を製造する条件とした。また、水素製造時間は12 h/d、水素製造日数は345 d/年とした。

2. 結果および考察

(1) 水素ガス品質

各季、定格負荷時に採取した製品水素の分析結果とFCV用水素燃料規格値（ISO14687-2）を表1に示す。

春季、夏季において、規格値を全て満足する結果が得られた。これに先立ち実施した秋季、冬季の製品水素分析において水分の規格値を満足できなかったのは、当初、水素製造装置の後段に脱湿器を設置していなかったこと、また、サンプリング方法にも不備があったためと判断した。この対策として、脱湿器の設置、サンプリング方法の見直し（サンプリング配管のパージ時間延長など）を実施した結果、水分値を含め全ての規格値を満足することができた。

なお、不純物濃度上昇の指標となる一酸化炭素濃度のオンライン連続監視も行ったところ、製品水素の一酸化炭素濃度は常に規格値0.2 ppmを下回っていた。

(2) 水素製造効率（精製ガス原単位）

表2に精製ガス原単位の結果を示す。定格負荷時の精製ガス原単位は、0.47~0.49 m³N-精製ガス/m³N-H₂（四季平均0.48 m³N-精製ガス/m³N-H₂）で、目標と同等の原単位が確認された。

なお、本実証では定格負荷（水素製造量約26 m³N/h）に加え、70%（同18 m³N/h）、40%（同10 m³N/h）の部分負荷におけるデータ取得も実施した。表2に示すように70%負荷では定格負荷と同等の原単位を維持したが、40%負荷では原単位が高く（効率が低い）、また、冬季など低温期の効率低下が

表1 製品水素分析結果^{注1)}

項目	単位	ISO規格値 (ISO14687-2)	秋季 2017/11/21	冬季 2018/2/21	春季 2018/4/19	夏季 2018/8/31
水素	vol%	≥99.97	>99.97	>99.98	>99.98	>99.98
全炭化水素	ppm	≤2	<1	<1	<1	<0.6
水分	ppm	≤5	17 ^{注2)}	8.6 ^{注2)}	1.5	0.75
酸素	ppm	≤5	<1	<1	<1	<0.05
ヘリウム	ppm	≤300	<100	<100	<100	<100
アルゴン	ppm	≤100	<100	<10	<10	13.6
窒素	ppm			<10	<10	16.7
二酸化炭素	ppm	≤2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05
一酸化炭素	ppm	≤0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05
全硫黄化合物	ppm	≤0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
ホルムアルデヒド	ppm	≤0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.005
ギ酸	ppm	≤0.2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.1
アンモニア	ppm	≤0.1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.04
ハロゲン化物	ppm	≤0.05	<0.001	<0.001	<0.001	<0.03
微粒子	mg/kg	≤1	<1	<1	<1	非測定

注1) 分析方法はISO14687-2に示された方法に準じた。

注2) 脱湿器なし（秋季）、サンプリング方法見直し前（秋季、冬季）におけるデータのため参考値とする。

表2 精製ガス原単位（単位：m³N-精製ガス/m³N-H₂）

負荷	秋季	冬季	春季	夏季	平均
定格負荷	0.48	0.48	0.49	0.47	0.48
部分負荷	70%	0.49	0.49	0.47	0.48
	40%	0.50	0.58	0.50	0.52

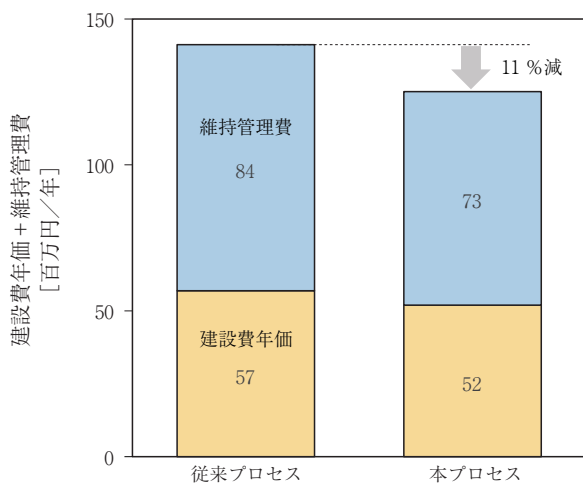


図4 LCC比較

目立った。これは、旧型の試験機（2005年製造）を使用したことに起因するもので、現行機種では制御性の向上などによる改善が図られている。

なお、精製ガスのメタン濃度（通常98～99%）を変更した条件で水素製造を行ったが、異なるメタン濃度（96.4～99.3%）でも水素製造装置のパラメータ調整により効率を落とすことなく水素製造が可能であった。

(3) LCC比較

2項で述べた条件に基づき試算した結果、従来プロセスに対しLCC（建設費年価+維持管理費）で11%程度の削減ができる見込みがあることが分かった（図4）。

むすび

鳥羽水環境保全センターをフィールドとして、バイオ天然ガス化装置と都市ガス向け水素製造装置を組合わせたプロセスを実証したところ、以下の結果が得られ、バイオガスからの水素製造に適用可能であることが分かった。

(1) 水素製造装置後段での脱湿器の追加によりFCVに利用可能な品質の水素を製造できることを確認した。

バイオガス発生量	17 000 m ³ N/d
水素製造量	3 300 m ³ N/d
水素製造時間	12 h/d
水素製造日数	345 d/年
建設費補助率	55 %
耐用年数	機械電気設備15年 土木建築設備50年
利率	2.3 %
参考資料	B-DASH No.11 ガイドライン (H28) 下水汚泥エネルギー化技術ガイド ライン (H29) など

(2) 都市ガス原料の場合と同等の効率（熱量換算ベース）で水素製造が可能であることを確認した。
(3) 従来水素製造プロセスに対してLCCで有利な試算結果が得られた（水素製造量3 300 m³N/d規模）。

これらの結果を踏まえ、再生可能エネルギーの利用拡大に寄与するバイオガスの多面的利活用を可能とする技術としてPRしていきたい。

謝辞

最後に、共同研究者である京都市、日本下水道事業団および関係各位の多大なるご協力に深く感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部：下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン—平成29年度版一，平成30年1月
 - 2) 太田ら：精製消化ガスを用いた水素製造プロセスに関する研究，第56回下水道研究発表会講演集，令和元年7月
 - 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：B-DASH プロジェクト No.11下水バイオガス原料による水素創エネ技術導入ガイドライン（案），平成28年10月
- *）国土交通省 下水道革新的技術実証事業（Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project）