

特 集 論 文

潜熱回収ボイラを配した高効率下水汚泥ガス変換発電システムの実証

Demonstration of High Efficient Power Generation System Using a New Boiler Recovering Latent Heat from Sewage Sludge Gasification Gas



星 要 之 介^{*1}
Younosuke Hoshi

石 川 出^{*2}
Izuru Ishikawa

貝 原 裕 二^{*3}
Yuji Kaihara

工 藤 弘 文^{*4}
Koubun Kudou

笹 谷 史 郎^{*5}
Sirou Sasatani

永 山 敬 一^{*6}
Keiichi Nagayama

1. は じ め に

地球温暖化対策の一つの手段として、バイオマスの有効利用が必要とされている。下水汚泥は、下水処理プロセスで発生するバイオマス系高含水率の廃棄物であり、従来その処理におけるエネルギー有効利用は十分とはいえない⁽¹⁾。下水汚泥処理をエネルギー消費型からエネルギー自立型に転換し、地球環境保全に寄与するために、当社は、平成15年度から開発に着手し、平成17年度から実証試験を実施中である。なお本開発は、(財)エネルギー総合工学研究所、日本ガイシ(株)、三菱重工業(株)の3社が、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受け、東京都下水道局との共同研究として実施している。

2. ガス変換システムと特長

システムの構成を図1に示す。下水汚泥を熱分解ガス化して、ガスエンジンにて発電する高効率発電シ

テムである。下水汚泥を水分率約30%に乾燥した後、流動床式ガス化炉で酸素と水蒸気を用いて熱分解ガス化し、その後約1000℃で H_2 、COを主体とするガスに改質する。改質ガスは、廃熱ボイラで顕熱を回収し、その後、潜熱回収ボイラで潜熱も回収される。脱水汚泥の水分率は、約70～80%と高く、低発熱量であるため、低出力でも発電効率の高いガスエンジンの適用と熱回収技術が重要である。

廃熱ボイラで得られた高圧蒸気を蒸気圧縮機駆動用蒸気タービンに供給する。潜熱回収ボイラで得られた低圧蒸気は、上記の蒸気圧縮機で昇圧し、蒸気タービン排気(中圧蒸気)と合流して乾燥機の熱源として用いる。潜熱回収ボイラで回収される熱量は、全回収熱量の約16%である。また洗浄水等の排水は、水処理を施した上で排出される。従来は、下水汚泥をメタン発酵させ、燃料ガスを得てガスエンジンで発電する消化ガス発電と汚泥焼却廃熱発電システムが主流の処理技術であった。脱水汚泥処理量300t/d規模で、従前

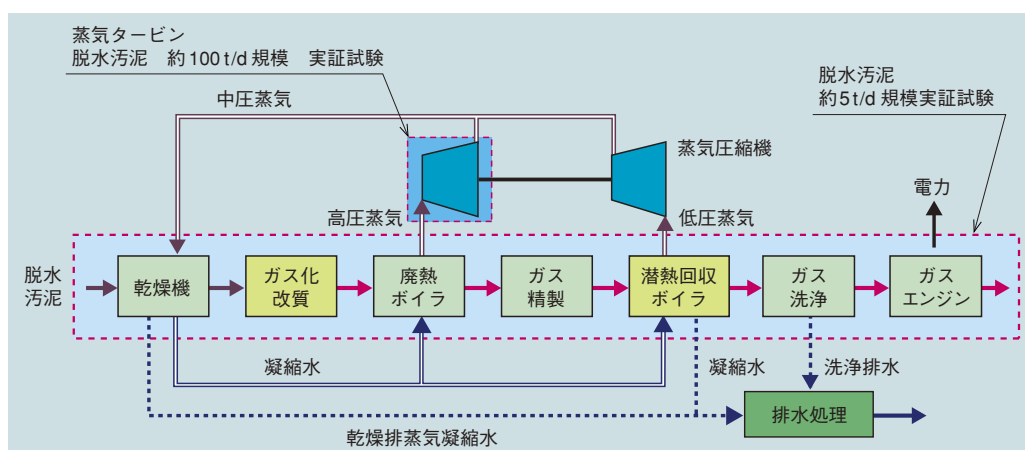


図1 高効率ガス変換システムの構成 下水汚泥を熱分解ガス化して高効率で発電するシステムの構成を示したブロック図。

^{*1} 技術本部横浜研究所・化学研究室主席 工博

^{*2} 技術本部横浜研究所・化学研究室

^{*3} 横浜製作所環境ソリューション技術部主幹

^{*4} 横浜製作所環境ソリューション技術部水システム設計課主席

^{*5} 横浜製作所環境ソリューション技術部水システム設計課

^{*6} 横浜製作所原動機技術部タービン設計課

表1 本開発システムと従来システムのエネルギー自給率の比較 (熱量単位 kW)

	発電方式	既存システム		開発システム
		消化ガス発電	焼却廃熱発電*1	高効率ガス変換発電
消費エネルギー (kW)	機械濃縮設備*2	350	80	80
	消化槽設備	250	—	—
	脱水設備*3	210	600	600
	焼却(ガス変換)設備*4	2590	1200	1720
	その他*5	470	480	290
	消費量合計 (A)	3870	2360	2690
発生エネルギー (kW)	発電	1240	800	2630
	発生量合計 (B)	1240	800	2630
自給率	エネルギー自給率 (B/A)	0.32	0.34	0.98

*1: 年間平均値から算出した平均値。起動・停止時の消費電力を含む

*2: 消化ガス発電については受泥設備を含む

*2,3: 焼却廃熱発電と高効率ガス変換発電は同一設備とした

*4: 消化ガス発電については、助燃料を含む

*5: 消化ガス発電については、消化槽加温等の熱量、その他設備は、機械設備、照明等の電力の和

のシステムと本システムとのエネルギー自給率の比較を表1に示す。汚泥濃縮～脱水～ガス変換まで含めた一連の汚泥処理としての本システムのエネルギー自給率は約98%である。汚泥濃縮～脱水のエネルギーを除くと、ガス変換以降のエネルギー自給率は100%以上となり、余剰電力を汚泥濃縮～脱水設備へ供給可能である。

3. 潜熱回収ボイラの構成と単体試験結果

改質ガス中の水蒸気の凝縮熱伝達は、不凝縮ガスの影響を受けるため、純蒸気の凝縮熱伝達よりも桁違いに低い。したがって通常は、フィン付き伝熱管を用いるなどの工夫を行うが、改質ガスは、 H_2S や HCl などの腐食性のガスを含むため、通常の炭素鋼は適用できないので、オーステナイト系のステンレス鋼を用いる。さらに、腐食成分が濃縮しない単純な構造にする必要がある。

そこで図2に示すような凝縮槽と蒸発器から構成される潜熱回収ボイラの開発に着手した。凝縮槽では、循環水中に改質ガスを微小気泡で供給して、改質ガス

中の水蒸気を凝縮させ、循環水を加熱する。平滑管から構成されるシェルアンドチューブ型の熱交換器の管内側に循環水を供給して、管外側を流下するボイラ水を加熱し、低压蒸気を発生する。ボイラ水は、ヘッド差の影響を受けないように管外面に水膜を形成する。

凝縮槽と蒸発器に関して要素実験を実施し、実証試験装置の設計を行った。凝縮槽に関しては、スケールアップの影響を考慮して、実証装置の約1/2の大きさの装置を製作し、加温された空気中の水蒸気の凝縮性能を測定した。水位0.25～1.0mの範囲で、凝縮槽出口ガス温度は、 $\pm 0.1^\circ C$ の範囲で凝縮槽内水温度と一致した。

この場合のガスの露点は、ガス温度と等しいと考えられるので、改質ガス中の水蒸気は、十分凝縮していると評価された。蒸発器に関しては、単管伝熱試験を実施した。この要素試験では、目視観察により管外面に安定した水膜が得られる条件を明らかにするとともに、図3に示すように、形成された水膜の熱伝達は、Chun-Sebanの測定結果⁽²⁾とほぼ一致することを確認した。

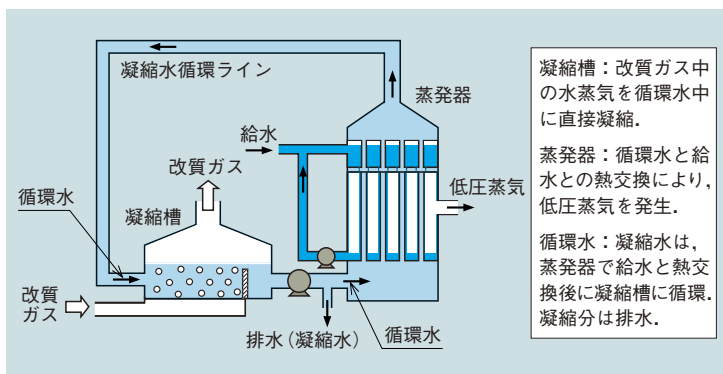


図2 潜熱回収ボイラの構成 潜熱回収ボイラの構成を示した概略図。

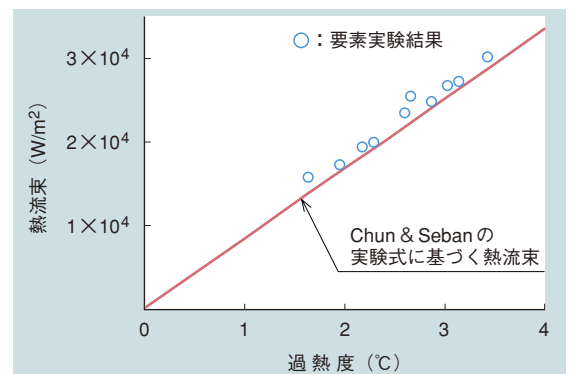


図3 蒸発器要素実験結果 蒸発器の流下水膜の沸騰熱伝達特性を示した。

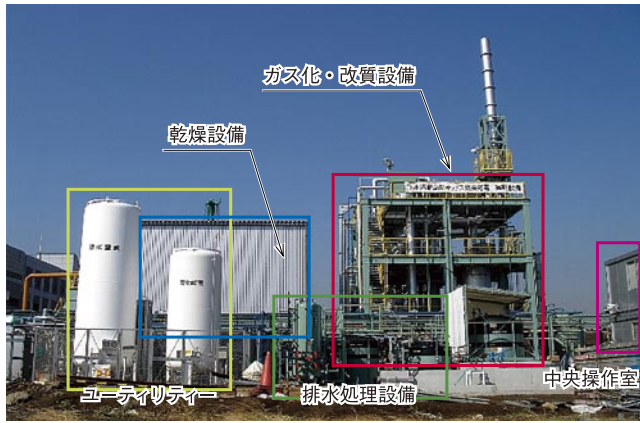


図4 実証設備外観 東京都砂町水再生センター内に設置された実証試験設備外観。

4. 実証試験設備と運転状況

東京都砂町水再生センター内に設置した下水汚泥処理量約5t/dのガス化実証試験設備の外観写真を図4に示す。本設備に潜熱回収ボイラを組み込み、実証試験を実施した（なお廃熱ボイラの代わりに、ガス冷却装置を設置）。表2に実証試験結果例を示す。改質ガスのLHVは $6.55\text{MJ}/\text{m}^3_{\text{N}}$ と都市ガスに比較して低いが、ガスエンジンの安定運転を確認した。

潜熱回収ボイラは約 $205\text{m}^3_{\text{N}}/\text{h}$ の改質ガスから、 30kPa の蒸気を $90\text{kg}/\text{h}$ で安定して発生した。潜熱回収ボイラの伝熱性能は、設計仕様を満足していた。また試験後の凝縮槽開放点検で異常は見られなかった。今後も運転データを蓄積していく予定である。

また蒸気タービンは、小型の高速回転タイプとなるため、別設備にて脱水汚泥処理量約 $100\text{t}/\text{d}$ 相当の規模の実証試験を実施中である。

5. おわりに

下水汚泥を熱分解ガス化して、ガスエンジンにて発電するシステムにおいて、いわゆる地球環境にやさしい技術として、改質ガスの顕熱を廃熱ボイラで回収し、改質ガス中の水蒸気の凝縮潜熱を潜熱回収ボイラで回収する高効率発電システムを示した。また東京都砂町

表2 実証試験結果例

項目	実測値	
乾燥汚泥LHV ($\text{MJ}/\text{kg-dry}$)	16.9	
乾燥汚泥水分率 (%WB)	30.7	
乾燥汚泥処理量 (kg/h)	74	
改質ガス流量 ($\text{m}^3_{\text{N}}/\text{h}$)	205	
改質ガス組成	H_2	27.3 %-dry
	CO	19.0
	CO_2	32.5
	N_2	16.2
	H_2O	67.2 %-wet
改質ガスLHV ($\text{MJ}/\text{m}^3_{\text{N-dry}}$)	6.55	
発生蒸気圧力 (kPa)	30	
発生蒸気流量 (kg/h)	90	

水再生センター内に設置した実証試験設備（脱水汚泥処理量約5t/d）に、潜熱回収ボイラを組み込み、十分な性能が得られることを実証した。現在蒸気タービンの実証試験を実施しており、その結果を反映して、最適な高効率下水汚泥ガス変換発電システムを構築する予定である。

参考文献

- (1) 浅見直人ら、バイオマスエネルギー高効率転換技術の開発、月刊エネルギー、1月号（2004）p.84
- (2) Chun, K. R. & Seban, R. A., Heat transfer to evaporating liquid films, Trans. ASME, Ser. C, 93 (1971) p.391



星要之介



石川出



貝原裕二



工藤弘文



笹谷史郎



永山敬一