

〈論文〉

下水汚泥ガス変換発電システムの実用化検証

並木 圭治<sup>1)</sup>, 渡邊 正人<sup>2)</sup>, 三島 俊一<sup>3)</sup>

東京都下水道局 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿 2-8-1, E-mail: Keiji\_Namiki@member.metro.tokyo.jp)<sup>1)</sup>

東京都下水道サービス㈱ (〒100-8699 東京都千代田区大手町 2-6-2, E-mail: ma-watanabe@tgs-sw.co.jp)<sup>2)</sup>

メタウォーター㈱ (〒475-0825 愛知県半田市前潟町 1, E-mail: mishima-syunichi@metawater.co.jp)<sup>3)</sup>

概要

下水汚泥の有効利用手段の一つとして、ガス化発電システムが挙げられる。本システムは、下水汚泥中の可燃分をガス化、改質し、CO や H<sub>2</sub> を主体とする可燃性ガスを生成させて、ガスエンジン等により発電する技術である。本方式によれば温室効果ガスである N<sub>2</sub>O 排出量を大幅に低減できるうえ、下水処理場の電力使用量の削減に寄与できる。メタウォーター株式会社、東京都下水道サービス及び東京都下水道局は、平成 18～19 年度にかけてノウハウ+フィールド提供型共同研究を実施し、下水汚泥ガス変換発電システムの安定性向上と本システムによる導入効果の精査を図ったので報告する。

キーワード: 下水汚泥, ガス化, 発電, 一酸化二窒素, アースプラン 2004

1. はじめに

我が国は、1997年の京都議定書に基づき、温室効果ガスの排出量を2008年から2012年の間に、1990年比で6%削減することとなった。この目標を達成するため、東京都下水道局は、2004年に「アースプラン2004」を策定し、下水道事業から排出される温室効果ガスを1990年度比で6%以上、2009年度までに削減することを目標に、温暖化対策に取り組んできた。また、東京都は、2006年に「10年後の東京」を策定し、この中で、2020年までに2000年比25%の温室効果ガス排出削減を目指し、最先端の環境技術を駆使しながら、「カーボンマイナス東京10年プロジェクト」を展開することとした。

東京都の下水処理工程の中で、汚泥焼却由来の温室効果ガス排出量は、下水処理全体の47%を占めており(Fig.1)、これまでも、汚泥の高温焼却、バイオマス発電や汚泥の炭化に取り組んできた。今後も、さらなる削減が求められており、新技術の開発・導入が必須となっている。

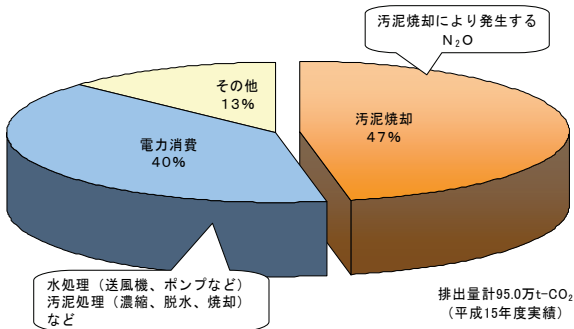


Fig.1: Breakdown of greenhouse gas emission in Tokyo Sewage treatment process

下水汚泥ガス変換発電システム(以下「本システム」という)は、下水汚泥中の可燃分をガス化後、酸素(O<sub>2</sub>)および水蒸気と反応させ、一酸化炭素(CO)、水素(H<sub>2</sub>)やメタン(CH<sub>4</sub>)、などの燃料ガスに改質し、ガスエンジンにより発電するシステムである。自らの運転に必要な電力の一部を発電で賄うことができ、さらに、低酸素状態で汚泥を熱分解・ガス化することから一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)の発生が非常に少ないという特徴を持つため、温室効果ガス排出量の削減に大きく貢献できる技術である。

本研究は、メタウォーター株式会社と東京都下水道サービス株式会社が東京都下水道局とノウハウ+フィールド提供型共同研究として実施したものである。また東京都下水道局砂町水再生センター内に設置した実証試験設備は、H17年度に新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受け実施した「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発」で用いた実証試験設備を継続して使用した<sup>1)</sup>。この試験設備で、H18～H19年度にかけて行った、安定性の更なる向上と本システム導入効果の検討を目的とした実験結果について報告する。

2. 実証試験の概要

2.1 試験設備の仕様及びフロー

実証試験設備の基本仕様を(Table.1)に示す。

Table.1: The basic specifications of gasification pilot plant

機器名称	機器仕様
乾燥機	水蒸気間接加熱式
乾燥汚泥ホツパ	サークルフィーダ
ガス化炉	循環流動床式
改質炉	縦型円筒型
ろ過集塵器	セラミックフィルタ

また、概略フローを(Fig.2)に示す。本システムは、脱水汚泥を既存の搬送ラインから中継ポンプを用いて、日量 5~10t(高分子系混合汚泥)を受入れ、水蒸気を熱源とした間接加熱乾燥機に供給して脱水汚泥の含水率を 20~30%程度に乾燥する。乾燥汚泥は、ホップを経て、コンベアにより循環流動床式ガス化炉へ投入され、約 750~850℃にて部分燃焼しガス化する。ガス化ガスは、高温サイクロンで灰分を粗取りした後、改質炉で 1000~1100℃にて酸素と水蒸気により H<sub>2</sub>, CO を主体とする燃料ガスに変換(ガス改質)する。燃料ガスは、冷却塔で約 200℃まで、冷却後、セラミックフィルタで灰分を除去する。冷却したガスは、ヒータにより 400℃まで昇温後、触媒反応塔へ供給する。触媒反応塔では、硫化カルボニル(COS), シアン化水素(HCN)等の有害物質を分解し、2段のガス洗浄塔により塩素(Cl)分、窒素(N)分、硫黄(S)分の有害物質を除去する。精製された燃料ガスは、ガスエンジン発電もしくはガス燃焼炉で燃焼して大気へ放出される。本システムは、汚泥中の窒素分(-CN 基)を空気過剰下で燃焼しないため N<sub>2</sub>O の排出量を極力低減できる特徴を有する。

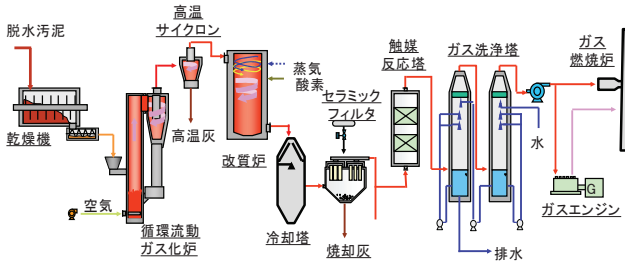


Fig.2: General flow of gasification pilot plant

2.2 本システムの特徴

本システムの主要機器である循環流動ガス化炉と改質炉の概念図を(Fig.3)に示す。

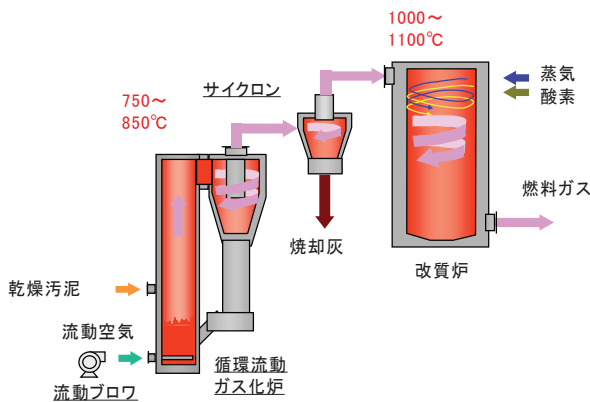


Fig.3: Concept of circulation fluidized bed gasification furnace and reforming furnace

循環流動床式ガス化炉は、空気を流動媒体とし、投入された乾燥汚泥を約 750~850℃の高温化において、

H<sub>2</sub>, CO、炭化水素(CmHn)を主成分とする熱分解ガスに分解する。循環流動床式ガス化炉は、流動媒体と乾燥汚泥が高速で拡散しながらガス化するため均一温度下で安定したガス化が達成できる。ガス化炉で生成した残渣(チャー)は、サイクロンにより高温下で捕集し、低沸点重金属の少ない焼却灰と共に回収する。

改質炉では、熱分解ガス中のタール分を十分に低分子化(改質)する為、酸素と蒸気の混合ガスを供給し、約 1000℃において燃料ガスに改質する。

2.3 実証試験

H18年度とH19年度は、本システムの安定性確認と信頼性向上を目的として、5回に分け延べ 91 日の実証試験を行った。(Fig.4)

また、試験の緒元を(Table.2)に示す。

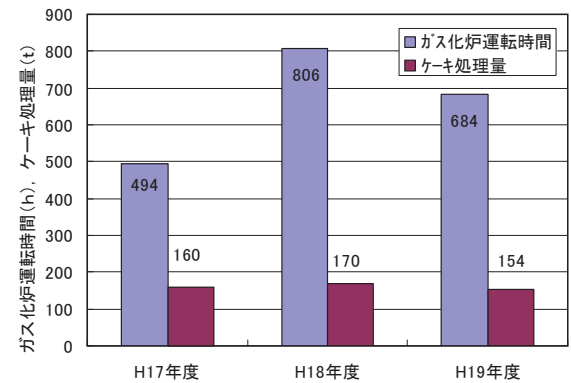


Fig.4: Result of operation in pilot teste

Table.2: Characteristics of dried sludge and experimental conditions

乾燥汚泥性状	粒状	汚泥投入量	乾燥汚泥65~85kg/h (脱水汚泥5~6.5t/日相当)
灰分	17%(D.B)	ガス化	ガス化温度 750~850℃
含水率	30%(W.B)		ガス化炉供給ガス 空気+酸素
炭素	43%(D.B)	改質	改質温度 1,000℃
低位発熱量	18MJ/kg-DS		改質炉供給ガス 酸素+水蒸気

3. 試験結果と考察

3.1 システムの安定性評価

実証試験で得られたガス組成の推移を(Fig.5)に示す。実証運転を通じて、安定した汚泥のガス化処理及び燃料ガスの安定回収が確認できた。また、燃料ガスの発熱量は、スケールアップ効果等により、ガスエンジン発電機の運転に支障がないことを確認した。更に安定運転を継続するために必要な技術的課題を抽出し、その対策の効果を検証した。

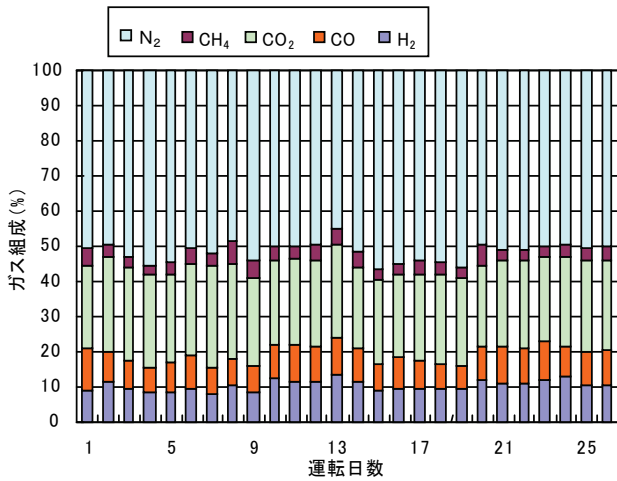


Fig.5: Composition of reformed gas in pilot tests

### 3.2 高温集塵灰評価

ガス化温度の高温化により、高温サイクロンでの集塵温度をあげた場合における回収灰組成を評価した。(Table.4)にガス化炉温度 850℃で回収された高温サイクロン灰、CF 集塵灰の量および性状を、ガス化炉温度が 800℃の場合と比較して示す。ガス化炉高温化により高温サイクロン灰中の可燃分比率が減少し、CF 灰中の可燃分比率が増大した。これは、高温サイクロンの集塵効率が向上し、炭素含有量が高い微粒灰のみが CF にて回収されたためと考えられる。また、システム全体から回収される灰中可燃分の量としては大差ないことが確認できた。

Table.4: Characteristics of high-temperature cyclone ash and filter ash

		ガス化炉温度800℃		ガス化炉温度850℃	
		高温集塵灰	CF灰	高温集塵灰	CF灰
回収灰比率	%	91.1	8.9	87.9	12.1
灰分	%	95.6	85.1	99.6	46.8
炭素 (C)	%	3.77	13.4	1.31	53.3
水素 (H)	%	<0.01	0.14	<0.01	0.75
窒素 (N)	%	0.30	0.14	0.09	0.17
硫黄 (S)	%	0.49	0.21	0.09	1.00
塩素 (Cl)	%	0.03	0.17	0.06	0.35
平均粒径	μm	27.7	5.1	—	—

### 3.3 触媒による HCN 分解性能評価

下水汚泥には、N 分と S 分が比較的多く含まれているため、ガス化、改質反応において HCN や硫化水素 (H<sub>2</sub>S)、アンモニア (NH<sub>3</sub>) が副生する。そこで HCN については、触媒を用い、350~400℃で反応させ、NH<sub>3</sub> に分解し、処理することとしている。(Fig.8)に触媒反応塔での HCN 分解率を示す。

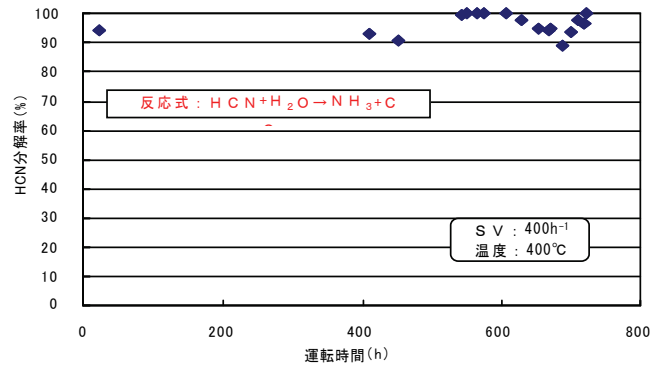


Fig.8: Result of the catalyst activity

触媒反応塔での HCN 分解率は、HCN 濃度の変動に関わらず、概ね 90%以上の安定した分解率を示した。また、約 700 時間経過しても触媒の HCN 分解活性は、若干の変動が見られるものの、不可逆的な触媒の劣化が見られないことから、燃料ガス中に含まれる塩化水素 (HCl) や S 分等の成分に対しても耐性を有していることが確認できた。

### 3.4 N<sub>2</sub>O 排出量調査

(Table.5)に実証設備におけるガス燃焼炉排ガス及びガスエンジン排ガス中の N<sub>2</sub>O 濃度を示す。ガス燃焼炉は、実規模設備における乾燥蒸気製造のための燃焼ボイラに相当し、燃焼炉温度は 800℃で操炉した。ガス燃焼炉排ガス中の N<sub>2</sub>O 濃度は、当初 8ppm 程度であったが、ガス精製系における洗浄塔の最適化により、燃料ガス中の N 分が十分除去されたため、検出限界である 5ppm 以下まで低減が可能であることが確認できた。

Table.5: Results of N<sub>2</sub>O measurement

測定日	ガス燃焼炉排ガス	ガスエンジン排ガス	
H18.5.17	8ppm	/	
H18.9.26	7ppm		
H18.10.27	<5ppm		
H18.12.20	<5ppm		
H18.12.21	<5ppm		
H18.12.22	<5ppm		
H19.2.6	<5ppm		
H19.2.7	<5ppm		
H19.2.8	<5ppm		
H19.2.9	<5ppm		<5ppm

### 3.5 導入効果

本システムを脱水汚泥 300t/日（脱水汚泥含水率 78%）の実規模設備に導入した場合の温室効果ガス排出量を試算した。なお、燃料ガスは、間接加熱乾燥機に供給する蒸気の製造とガスエンジン発電に使用する。

本システムの  $N_2O$  排出量は、(Table.5)の測定結果より  $N_2O$  濃度=5ppm として算出し、焼却(800℃)及び高温焼却(850℃)による  $N_2O$  排出量は既往の報告書より算出した<sup>2)3)</sup>。算出した結果(Fig.9)により、従来の流動焼却炉(焼却温度 800℃)と比較して、温室効果ガス排出量は 90%以上の削減が見込まれることが確認できた。

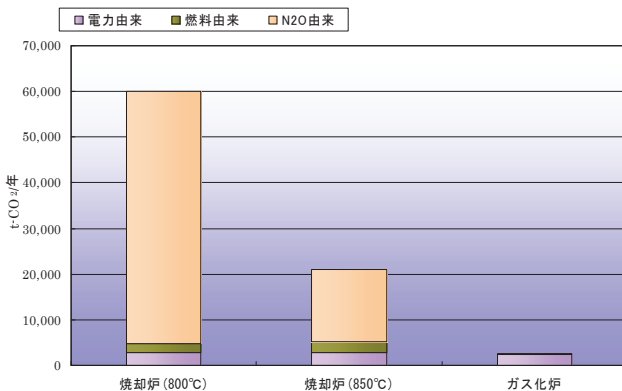


Fig.9: The comparison of the greenhouse gas emissions

### 4. おわりに

実証試験の結果により、実規模設備における安定した汚泥処理と燃料ガスの回収が可能であると判断できた。また、本システム導入時の温室効果ガス排出量を試験結果に基づき推算した結果、従来技術と比較して、大幅に削減可能であることが示された。今後も、実証試験で得られた知見を活かし、温室効果ガス排出量削減対策の開発を推進する所存である。

#### [参考文献]

- 1)宮本、福松他「下水汚泥のガス変換発電システム実証試験結果報告」第43回下水道研究発表会 pp.43-45(2006)
- 2)宮本、原島、坂巻「汚泥処理における温室効果ガス排出量削減」第41回下水道研究発表会 pp.38-40(2004)
- 3)「下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き」社団法人日本下水道協会(2001)