

特集：下水道における地球温暖化対策

# 過給式流動炉を用いた草木バイオマスと下水汚泥の混合燃焼

宮本豊尚\*岡本誠一郎\*\*落 修一\*\*\*長沢英和\*\*\*\*小関多賀美\*\*\*\*\*鈴木善三\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

下水道整備の進捗に伴って、発生する汚泥も年々増加しており、現在発生量ベースで約5億m<sup>3</sup>/年の下水汚泥が発生している<sup>1)</sup>。わが国では、下水汚泥は減量化のために脱水処理後に焼却される場合が多い(図-1)が、含水率が70~80%と高いために焼却処理は容易ではない。このため、焼却の際には多くの重油を必要としている。一般的な焼却炉として普及している流動床式焼却炉は、さらに炉内の多量の砂を流動させるための動力として多くの電力を必要とする。流動床式焼却炉は、含水率の高い汚泥を焼却することには優れているものの、多くのエネルギーを消費する問題点がある。

下水処理場では、その他にも、水処理、汚泥処理プロセスに多くの電力や重油などを消費しておりCO<sub>2</sub>排出量が多い。さらにN<sub>2</sub>Oなどの温室効果ガスの発生も多い。地球温暖化への対応を強化するためにも、省エネルギー型の汚泥処理プロセスを開発し、温室効果ガスの排出を抑制することが望まれている。

この問題に対する一つの解決策として、東京都多摩川上流水再生センターでは、処分されている剪定枝や杉チップを焼却炉にて混焼し、助燃材として活用している<sup>2)</sup>。東京都の試算によると本事業により約543,000m<sup>3</sup>/年の都市ガスを削減し、

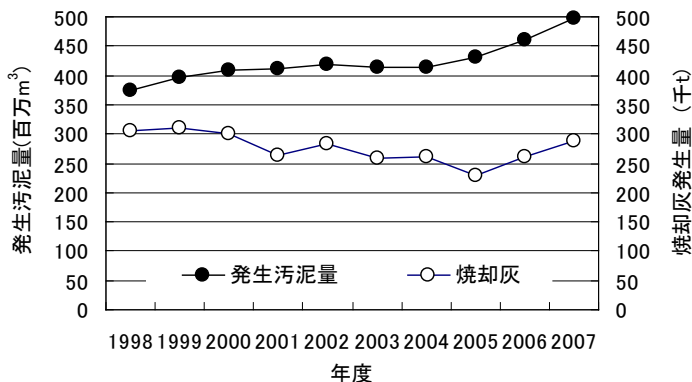


図-1 下水汚泥と焼却灰の発生量<sup>1)</sup>

温室効果ガスを約1,000t-CO<sub>2</sub>/年削減すると試算されている<sup>2)</sup>。

我々は、省エネルギー型の燃焼システムとして、加圧流動炉と過給機を組み合わせた新たなシステム(過給式流動燃焼システム)を開発した<sup>3),4),5),6),7)</sup>。開発したシステムでは、木材廃棄物や刈草を下水汚泥に混合して燃焼することも可能であり、省エネルギー効果をさらに高めると考えられる。日本国内では、街路樹の剪定木材や、公園、河川敷などの刈草が利用されずに、焼却などにより処分されている。本システムは、これらのバイオマスのエネルギー利用により、地球温暖化対策に寄与することが可能である。

本稿では、パイロットプラントにおいて、下水汚泥と木材廃棄物や刈草を混焼した場合の燃焼特性やその効果について報告する。

## 2. システムの概要

### 2.1 開発したシステムの概要

開発した燃焼システムの概要を図-2に示す。

汚泥や他のバイオマスを供給ポンプで圧送し、炉へ投入する。投入されたバイオマスが加圧下で燃焼して発生した排気ガスは、空気予熱器を通った後、高温集塵機により灰が分離される。その後、加圧状態の排気ガスが過給機のタービン側を駆動して、排気される。一方、過給機のコンプレッサー側で加圧された空気は、熱交換器を通過して加温された後に、燃焼用空気として炉に供給される。

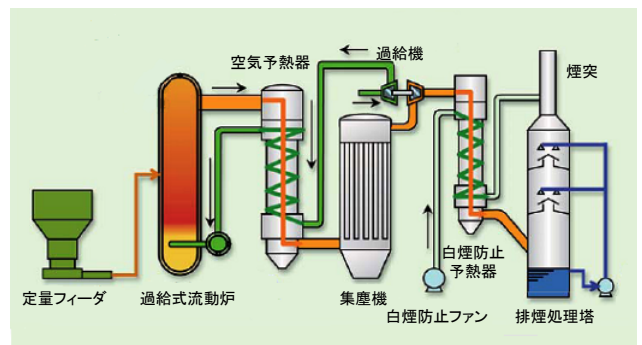


図-2 開発した過給式燃焼システム

この加圧流動炉と過給機を組み合わせた新たなシステムでは、以下の効果が期待できる。

- i) 加圧下で燃焼するため、誘引ファンが不要
- ii) 過給機による圧縮空気を燃焼用空気として利用するため、流動ブロワが不要（ただし、起動用の簡易なブロワは必要）
- iii) 過給機による圧縮空気のうち、炉に使用する燃焼用空気の他に余剰空気が発生する。この空気を他の用途（例えば水処理のエアレーション）に利用することが可能。
- iv) 加圧下で燃焼するため、炉の容積を小さくすることが出来る。この効果と i),ii)の効果により、本システムのコストを安くすることが期待できる。
- v) 加圧下で燃焼するため、燃焼速度が速くなり、高密度、高温の燃焼が行われる。このため、 $N_2O$  の発生も抑制することが可能。

## 2.2 パイロットプラントの概要

開発したシステムの省エネルギー効果やコスト削減効果を検証するため、北海道長万部終末処理場内にパイロットプラント(汚泥焼却量4.32wet-t/day)を建設して実証実験を行ってきたており、今回木材チップ及び刈草と下水汚泥の混合バイオマスによる燃焼実験に適用し、その省エネルギー効果等を検証した。

なお、パイロットプラントは、主に加圧流動床炉、空気予熱器、高温集塵器、過給機で構成されている（図-3）。実施設では、パイロットプラントの施設に白煙防止器と排煙処理塔が加わる。



(加圧流動炉本体)



(過給機)

図-3 実証プラントの加圧流動炉本体と過給機<sup>4)</sup>

## 3. 混合バイオマス燃焼実験

### 3.1 実験試料

燃焼実験では、下水汚泥のほか、草木系のバイオマスを補助燃料として利用して混焼した。

実験に用いた下水汚泥は、長万部終末処理場の脱水汚泥である。実験に用いた脱水汚泥の性状を表-1に示す。当処理場では下水はオキシデーションディッチ(OD)法により処理されており滞留時間が長いため、含水率が高い燃焼しにくい汚泥となる。

混合したバイオマスは、木質チップ、樹皮(パーク)、牧草、自生の草の乾燥物及び無乾燥のものである。これらの成分分析結果を表-2に示す。なお、以下の表記で”DS”(Dry Solidの略)は、バイオマスや汚泥が、水分を含まない乾燥状態であることを示している。

### 3.2 燃焼実験結果

#### 1) 燃焼特性

混合バイオマスの実験条件を表-3に示す。いずれの条件による実験でも、本システムは混合バイオマスを安定的に燃焼することができた。混合バイオマスの燃焼試験結果の例として、図-4に脱水汚泥と牧草Aの混合物の燃焼試験結果を示す。

なお炉内温度の測定は図-5に示すポイントで実施した。脱水汚泥と牧草を乾燥重量に換算して2.1対1で混合して、この混合バイオマスを燃焼し

表-1 汚泥性状<sup>3)</sup>

水分	86.1 %	組成	C	44.9 %(DS)
強熱減量	87.2 %(DS)		H	6.7 %(DS)
高位発熱量	20.3 MJ/kg(DS)		O	26.4 %(DS)
低位発熱量	18.8 MJ/kg(DS)		N	8.2 %(DS)
			S	1.05%(DS)

表-2 バイオマス性状<sup>3)</sup>

バイオマス種類	草類				木類		
	牧草A	牧草B	刈草	オイ外リ	チップ	パーク	
含水率[%]	14.6	23.0	18.3	86.6	31.0 ~33.8	23.0 ~27.9	
強熱減量 [%-DS]	90.2	92.9	94.1	94.8	99.6	96.5	
高位発熱量 [MJ/kg-DS]	16.9	18.8	17.2	18.8	19.4	19.1	
組成 [%-DS]	C	40.6	44.5	43.1	45.8	47.5	47.4
	H	5.5	6.0	5.7	5.6	6.0	6.0
	N	1.7	1.8	0.87	0.33	<0.1	0.17
	O	48.5	42.3	45.2	48.3	45.7	45.0
	S	0.21	0.13	0.08	0.04	<0.01	0.02
	Cl	0.37	0.38	<0.01	0.38	<0.01	0.03

表-3 バイオマス混合比率<sup>3)</sup>

バイオマス種類	供給量 [kg/h]		混焼DS比 汚泥:バイオマ	燃焼時間	
	汚泥	バイオマス			
草類	牧草A	184.2	31.8	0.9 : 1	6h
		181.3	14.4	2.1 : 1	6.5h
	牧草B	159.7	28.4	1 : 1	12h
	刈草	186.4	27.7	1.7 : 1	8h
	オオイトドリ	148.6	43.9	1.5 : 1	7h
木類	チップ	180.8	27.5	1.5 : 1	7h
		185.0	49.5	0.7 : 1	7h
		176.3	35.7	1 : 1	24h
	パーク	157.8	~73.5	~0.45 : 1	12h
		181.0	20.9	1.2 : 1	6h
		73.4	28.6	0.5 : 1	7h

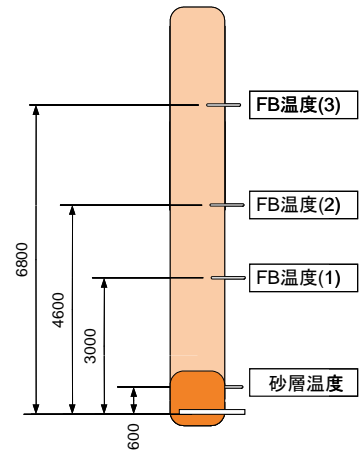


図-5 炉内温度の計測位置<sup>3)</sup>

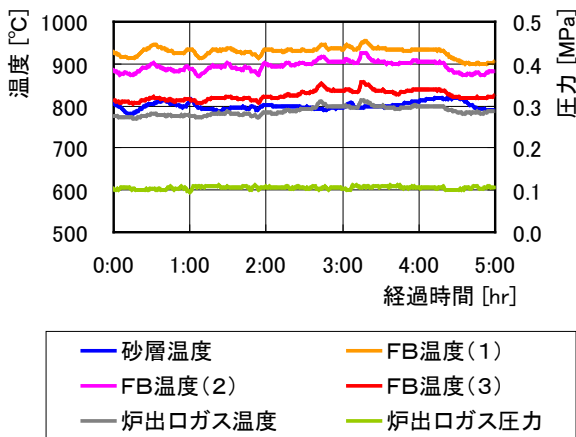


図-4 混合バイオマスの燃焼試験結果<sup>3)</sup>

た。本ケースの単位時間当たりのバイオマス供給量は、汚泥が約181.3kg-Wet/h、牧草が約14.4kg-Wet/hとなる。

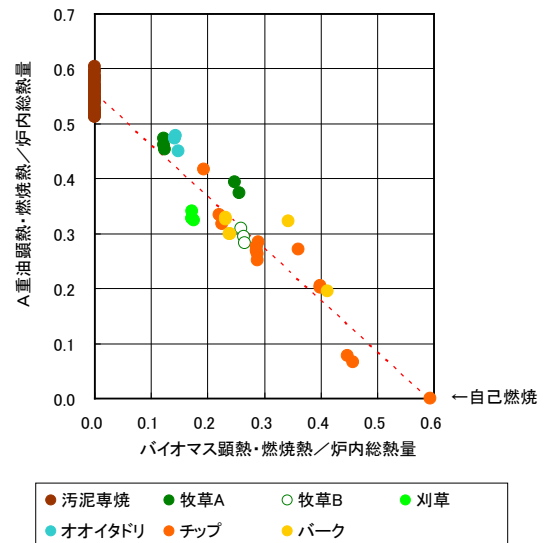
砂層温度は800°C程度で安定しており、フリーボード温度も中部、下部では900°C程度で安定していた。また、排気ガス温度、炉の出口圧力も非常に安定していた。

混合燃焼時の排気ガスの性状は、CO、NO<sub>x</sub>、N<sub>2</sub>Oともに、汚泥のみの燃焼時とほぼ同様だった。また、ばいじん、SO<sub>x</sub>も日本国内の基準値を下回っていた。これらの結果から、汚泥とその他のバイオマスの混焼による排気ガス成分への影響はほとんど無いことが分かった。

## 2) 補助燃料の削減効果

下水汚泥と木片や刈草などのバイオマスを混合して燃焼すると、草木バイオマスの比率が大きくなるに従って、補助燃料の重油を削減することが出来る。

混焼により補助燃料が削減される状況を図-6に示す。縦軸は炉内の総熱量に対する重油の熱量の



注： 炉内総熱量とは、下水汚泥、草木バイオマス、補助燃料の顕熱量及び燃焼熱量と、炉に供給される燃焼用空気、水、機器冷却用空気の燃焼熱量の合計である。重油の熱量、草木バイオマスの熱量とは、それぞれの顕熱量と燃焼熱量の合計である。

図-6 混焼による補助燃料の削減効果

比率、横軸は炉内総熱量に対する草木バイオマスの熱量の比率を示している。

下水汚泥のみの燃焼では、炉内の総熱量と重油の熱量の比率は0.5-0.6である。草木バイオマスの熱量比率が高くなるにつれて、言い換えれば下水汚泥に混合する草木バイオマスの比率が高くなるにつれて、補助燃料と炉内総熱量の比率は小さくなる。このことから、下水汚泥と草木バイオマスの混合燃焼によって、補助燃料として用いる重油量を削減できるといえる。チップを使用した実験系では、補助燃料使用せず自燃することも確認している。

#### 4. まとめ

開発した過給式流動燃焼システムは混合バイオマスの燃焼時においても炉内の燃焼温度は安定しており、圧力もきわめて安定していた。

混合燃焼時の排気ガスの性状は、CO、NO<sub>x</sub>、N<sub>2</sub>Oともに、汚泥のみの燃焼時とほぼ同様であった。汚泥とその他のバイオマスの混焼による排気ガス成分への影響はほとんど無いことが分かった。

このことから、下水汚泥と草木バイオマスを混合燃焼することに問題はなく、これらの補助燃料として利用することにより重油量を削減できることを明らかとした。

#### 追記

本技術開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）と三機工業株式会社、月島機械株式会社、独立行政法人土木研究所並びに独立行政法人産業技術総合研究所による共同研究「都市バイオマス収集システムを活用するためのエネルギー転換要素技術開発」により実施されたものである。

本実証実験の実施に当たっては、北海道庁と長万部町の多大な支援と協力を得た。ここに記して謝意を表する次第である。

#### 参考文献

- 1) 社団法人下水道協会：下水道統計
- 2) 東京都パンフレット：「下水汚泥と木質系バイオマスの混合焼却設備」
- 3) NEDO：平成17年度～平成19年度成果報告書「都市バイオマス収集システムを活用するためのエネルギー転換要素研究開発」、平成20年3月
- 4) 落修一、岩井良博、寺腰和由、鈴木善三、大庭賀夫：過給式（加圧）流動炉の開発、土木技術資料第50巻、第6号、pp.32～35、2008
- 5) S.Okamoto, T.Miyamoto, S.Ochi, H.Nagasawa, H.Kihara, Y. Suzuki : Demonstration of Power-Saving Sewage Sludge Combustion System Composed of Pressurized Fluidized Bed Incinerator and Turbocharger, The 12th IWA-Sludge Conference –Sustainable Management of Water & Wastewater Sludges
- 6) 小関多賀美、廣瀬均、長沢英和、岡本誠一郎、村上高広：過給式流動炉による下水汚泥とバイオマスの焼却、流動化・粒子プロセッシングシンポジウム講演論文集、Vol.14、pp.113～116、2008
- 7) 山本隆文、岡本誠一郎、小関多賀美、村上高広：過給式流動炉の実証運転、学会誌EICA、Vol.13、No.2.3、pp.187～190、2008

宮本豊尚\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム 研究員  
Toyohisa MIYAMOTO

岡本誠一郎\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム 上席研究員  
Seichiro OKAMOTO

落 修一\*\*\*



財団法人下水道新技術推進機構資源循環部副部長(前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム 総括主任研究員)、工博  
Dr. Shuichi OCHI

長沢英和\*\*\*\*



月島機械株式会社 研究開発部プロジェクトグループ 副主事  
Hidekazu NAGASAWA

小関多賀美\*\*\*\*\*



三機工業株式会社技術開発本部研究開発部環境システムグループ担当課長、工博  
Dr. Takami KOSEKI

鈴木善三\*\*\*\*\*



独立行政法人産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門クリーンガスグループ グループ長、工博  
Dr. Yoshizo SUZUKI