

過給式（加圧）流動炉の開発

落 修一* 岩井良博** 寺腰和由*** 鈴木善三**** 大庭賀夫*****

1. はじめに

循環型社会の創造や地球温暖化対策に寄与する新しい技術が求められている。筆者らは環境保全、エネルギー開発、廃棄物管理と資源化を専門分野とするメンバーからなる共同研究により従来のエネルギー消費型の焼却炉に替わる新しい省・創エネルギー型の燃焼炉を開発した^{1), 2), 3)}ので報告する。

開発した技術は、下水汚泥等の有機性スラリーや緑地等の管理から発生する草木材を対象として、これらを効率良く燃焼させる過給式(加圧)流動炉と称するものである。

2. 背景と目的

都市基盤としての下水道からは、汚水の収集、処理に伴い安定した汚泥の発生があり、さらに、河川敷はじめ道路や街路、公園などの公共緑地の管理からは大量の刈草や剪定枝葉、伐採木などが発生している。これらはその保有する熱量からみて石炭に類する有用なバイオマスエネルギー資源といえるものであるが、その利用は進んでいないのが実情である。

全国で発生する下水汚泥の乾燥固形物重量換算約210万トンのうち、おおよそ7割相当が焼却処理されている。そこでは、実際には水分を重量で約80%ほどを含む高含水の脱水汚泥が炉に投入されているために多くの燃料や電力を必要としている。図-1は我が国における下水汚泥焼却炉の形式別の推移をみたものである。近年は多段式に替わって流動床式の炉が主流となってきている。流動床式が今後多段式及び回転炉床式と同じ推移を示すと仮定した場合、流動床式は間もなく更新の時期を迎えると考えられた。そこで、現在主流の流動床式の更新に当り、従来のエネルギー消費型に替わるエネルギー生産に繋がる新しいタイプの炉の開発を行うこととした。開発に当たっては、未利用となっている緑地管理から発生する草木系バイオマスも一緒にエネルギー利用することが可能な炉とすることを条件とした。

ギー消費型に替わるエネルギー生産に繋がる新しいタイプの炉の開発を行うこととした。開発に当たっては、未利用となっている緑地管理から発生する草木系バイオマスも一緒にエネルギー利用することが可能な炉とすることを条件とした。

3. 開発技術の特徴

3.1 基本的なプロセス構成

開発した過給式（加圧）流動炉技術の基本的な構成及びフローを図-2に示す。下水汚泥または下水汚泥と草木との混合物は定量フィーダから加圧流動炉に供給され約0.2MPaの圧力下で燃焼させられる。そこで発生した燃焼ガスは加圧流動炉に供給するための空気予熱器を経て集塵装置に送られ燃焼残渣の灰分が回収される。除塵され高温高压の状態を維持した燃焼ガスは過給機に送られ、ファンを100,000rpmほどに高速回転させて対応量の大气を自給し、圧縮空気を産する。得られた圧縮空気は加圧流動炉に対して流動床の維持と燃

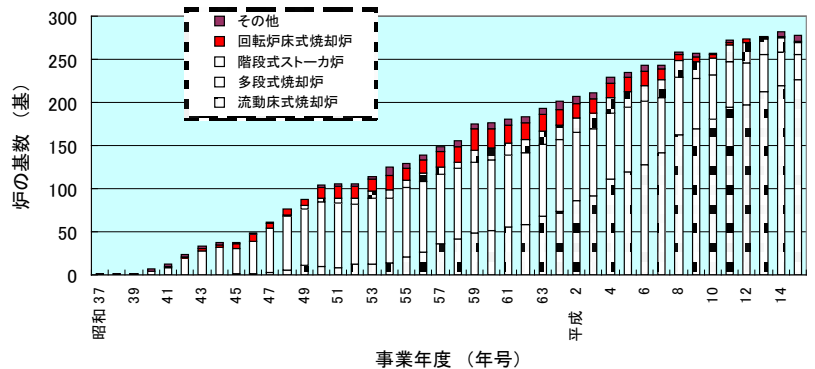


図-1 下水汚泥焼却炉の形式別推移

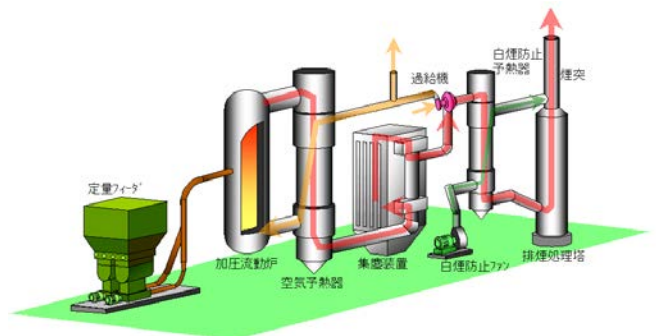


図-2 開発技術の設備構成及びフロー

焼に必要な分が空気予熱器を介して送られる。余剰となった圧縮空気は他に有効利用される。過給機を稼動したのちの燃焼ガスは従来の焼却設備と同様に白煙防止予熱器および排煙処理塔を介して大気放出される。

3.2 開発技術の特徴

3.2.1 加圧燃焼の特徴

通常よりも圧力が高い場での燃焼は、例えば燃料の炭素と空気中の酸素の接触距離が通常よりも近づき、酸素と炭素の関係が高密度になっている。つまり、加圧燃焼は高密度燃焼を起こしていると言える。

高密度燃焼の効果は大きく2つある。ひとつは、燃焼速度が高まることであり、これは安定した燃焼をもたらし、具体には炉の燃焼制御がし易くなる効果がある。他の1つは、高温高压の燃焼ガスが発生することである。これは、開発抽出できるエネルギー量が大きくなることを意味する。具体の効果としては、従来の汚泥焼却では実現できない炉に投入する汚泥中の水分を高温高压蒸気として取り出せることにあり、そのエネルギーを動力に変えられる。

3.2.2 加圧燃焼にともなう装置上の特徴

加圧状態の大きさ0.2MPaは、炉構造材の強度を考慮した実用的な耐圧構造と、そこから得られる高温高压ガスを動力に変換する機器の関係から決定付けられた。動力変換機には過給機が選ばれた。過給機は乗用車から大型船舶用のエンジンまで幅広く採用され、実績ある汎用機器として流通していることから安価に導入、装備できる。

これによる装置上の特徴として次が挙げられ、従来の流動床式よりもコンパクトな燃焼システムとなる。

- ① 炉の容積が従来の1/3となり、更新に際しての配置、施工が容易となる。また、炉表面からの放熱量も少なくなり熱効率が高まる。
- ② 過給機が圧縮空気を生産することから従来装備していた流動ブロウが不要となる。
- ③ 炉から過給機までのラインの内圧が高く維持されているために、従来、円滑な燃焼維持のために装備されていた誘引ファンが不要となる。
- ④ 前述の汚泥中水分が動力として利用できるように、過給機で生産される圧縮空気に炉供給用以外に余剰が生じる。これを他の用途とするこ

とができる。例えば、水処理施設のエアレーションタンクに供給することなどが考えられる。

4. 実証研究

開発技術の性能を検証するために、実証用のプラントを北海道長万部町長万部終末処理場内に設置して、平成19年1月から平成19年11月の間に実際の下水の脱水汚泥や各種のバイオマスを用いた燃焼実験を行った。

4.1 実証プラントの概要

実証プラントの構成及びフローを図-3に示す。また、加圧流動炉本体の概観と過給機を写真-1に示す。加圧流動炉は処理能力:180kg-脱水汚泥/hで設計され、大きさは外径:1,200mm(内径:700mm)、高さ:9,200mmである。流動媒体として硅砂5号と4号の混合物が流動部分の初期量として530kg封入された。また、炉内温度をモニターするために、流動用分散管の中心線(0mm)から炉頂方向に温度センサーを砂層温度(1):300mm、砂層温度(2):600mm、砂層温度(3):1,300mm、FB(フリーボード)温度(1):3,000mm、FB温度(2):4,600mm、FB温度(3):6,800mmの6点に装備している。

過給機は、小型船舶用のものを適用した。大きさは外径:約250mm、重量:約10kgほどである。

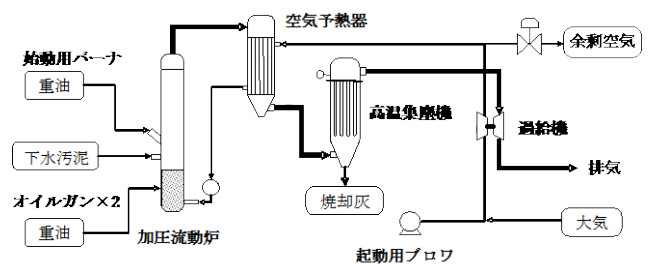
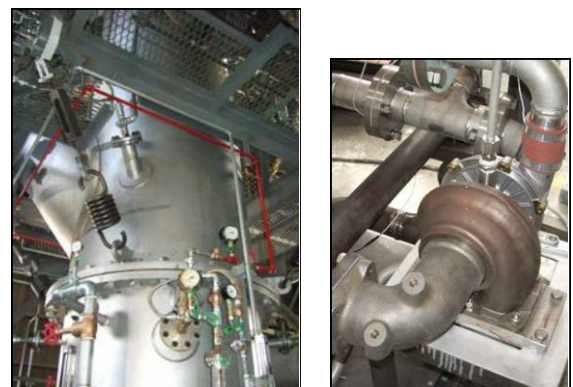


図-3 実証プラントの構成及びフロー



(加圧流動炉本体) (過給機)
写真-1 実証プラントの加圧流動炉本体と過給器

4.2 下水汚泥専焼実験

下水汚泥は高含水で粘性が高いため、加圧炉内への密封投入が容易であり、常に安定した燃焼を示した。一例として、水分:86.1%、強熱減量:87.2%-dry、高位発熱量:20,300kJ/kg-dryの脱水汚泥を用いた燃焼実験における炉内燃焼状況のモニター結果を図-4に示す。いずれの指示値も非常に安定したものである。

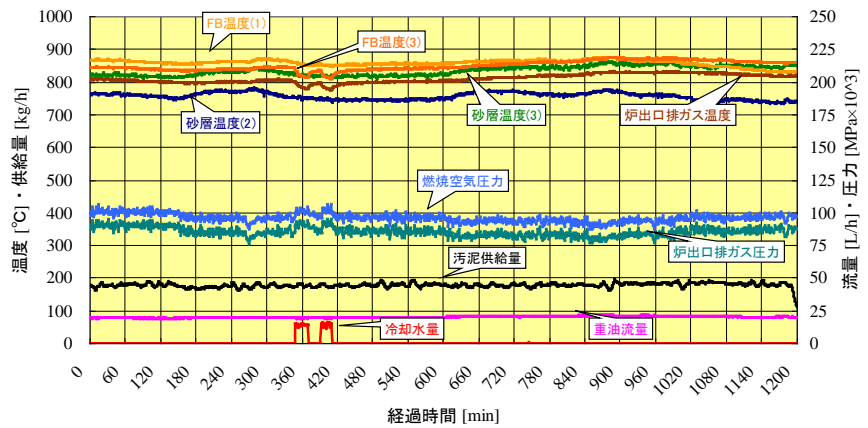


図-4 下水汚泥専焼時の炉内燃焼指示値のモニター例

実験では低負荷運転や負荷変動運転等を行い、いずれにおいても良好な燃焼成績を示すことを確認した。また、自動立ち上げ運転法についても検討し、効果を確認した。

4.3 下水汚泥とバイオマスの混焼実験

草木系バイオマスは、その形状から投入に際して空隙ができる粗な性状であることから、加圧状態にある炉への投入方法について綿密な検討を必要とした。木質系はチップ化することにより汚泥と馴染み易くなり円滑に投入できるものであったが、草本系は破碎する必要がある。このために加圧流動炉投入に適した破碎機としてカッティングナイフ付ダブルミキシングスクリー式破碎機を選定適用し、良好な投入を確認した。

下水汚泥とバイオマスの混焼実験は表-1に示すケースを実施し、いずれも良好な成績を得た。

表-1 実施した下水汚泥とバイオマスの混焼実験

日付	バイオマス種類	供給量(kg/h)		混焼DS比 汚泥:バイオマス	焼却時間
		汚泥	バイオマス		
7月4日	枯草	184.2	31.8	0.9 : 1	6h
7月5日	枯草	181.3	14.4	2.1 : 1	6.5h
7月19日	チップ	180.8	27.5	1.5 : 1	7h
7月20日	チップ	185.0	49.5	0.7 : 1	7h
8月23日	チップ	176.3	35.7	1 : 1	24h
9月5日	パーク	181.0	20.9	1.2 : 1	6h
9月6日	刈草	186.4	27.7	1.7 : 1	8h
10月17日	イタドリ	148.6	43.9	1.5 : 1	7h
10月18日	パーク	73.4	28.6	0.5 : 1	7h
11月14日	干草	159.7	28.4	1 : 1	12h
11月29日	チップ	157.8	~73.5	~0.45 : 1	12h

4.4 エネルギー効率

実証プラント実験から得られたデータをもとに、投入エネルギーが圧縮空気の動力エネルギー（圧力エクセルギー）に変わった変換率を求めた結果、高温集塵機以降のプロセスの規模が大きかったために過給機入口温度が低くなったことが起因して、汚泥専焼時で6.9%、バイオマスとの混焼時で5.4%と低い転換率であった。実験データをもとに実用機の平均的な規模である100t-脱水汚泥/日の規模について試算した結果、汚泥専焼時で12.5%、バイオマスとの混焼時で15%の結果が得られた。この約1/4相当が余剰圧縮空気の分と試算された。

また、実用規模:100t-脱水汚泥/日における従来の流動床炉の消費電力:355kWに対して開発技術では168kWの削減が可能と試算され、40%以上の省エネルギーが達成できるものと思われた。

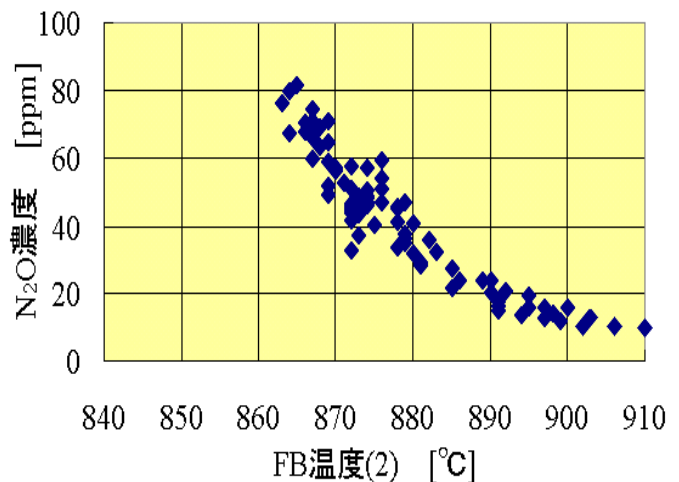


図-5 汚泥専焼時のフリーボード温度(FB温度(2))と排ガス中N₂O濃度の関係

4.5 排ガス性状

下水汚泥には窒素が多く含まれているため、焼却処理では酸化態窒素の発生が重要視される。特に近年は地球温暖化ガスであるN₂Oの発生を抑制するための高温燃焼に取り組まれてきている。

汚泥専焼実験において最も高い温度を示したフリーボード温度（FB温度(2)）と排ガス中の N_2O 濃度の関係を図-5に示す。これらを汚泥中の窒素からの転換率で表すと0.3～3.0%（ $gN \cdot N_2O/gN$ -汚泥）となり、通常の流動床炉に比べて濃度ともに非常に小さい値である。これは、高密度燃焼による速い燃焼速度がもたらす安定した高温領域の形成にあると解析している。また、これらの値はバイオマスが混合投入されると更に低減した。他の排ガス規制項目も問題となるような排出はなく、本開発技術は環境負荷の低い燃焼が得られていた。

5. まとめ

開発技術の過給式（加圧）流動炉に関する実証実験を行い、以下の成果を得た。

- ① 開発技術は燃焼排ガスによって過給機を駆動して圧縮空気を取り出し、その圧縮空気を燃焼空気として炉に供給するという加圧流動炉と過給機を組み合わせたシステムであるが、このシステムが問題なく稼働することが確認できた。
- ② 下水汚泥専焼、下水汚泥とバイオマスとの混焼においても、各部温度や圧力に大きな変動はなく、安定運転が行える。
- ③ 開発技術は排ガス中の N_2O 発生が抑制され、他の排ガス項目を考慮しても従来炉にみられない環境負荷の低い技術といえる。
- ④ 平均的な実用規模:100t/日における圧縮空気生産のためのエネルギー変換効率は12～15%と見積もられた。

謝 辞

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。

本技術開発の実証実験には北海道庁と長万部町の多大なご支援とご協力得た。また、開発は共同研究機関関係者の支援を頂くとともに、8名の有識者からなる技術委員会を設けて助言を仰いだ。

ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Y. Suzuki, S. Ochi, K. Terakoshi, Y. Iwai : A New Sewage Sludge Incineration System by Using Pressurized Fluidized Bed Combustion, Proc. 19th Int. Conf. on FBC, 2006
- 2) 木原均、長沢英和、落修一、鈴木善三：高含水バイオマスの熱化学的エネルギー直接変換技術に関する研究報告、学会誌EICA、Vol.11、No.2.3、pp.189～196、2006
- 3) 山本隆文、小関多賀美、落修一、村上高広：下水汚泥とバイオマスの加圧流動燃焼によるエネルギー回収、日本エネルギー学会・三部会合同シンポジウム講演集、pp.15～20、2007

落 修一*



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

岩井良博**



三機工業株式会社環境システム事業部環境事業推進室長
Yoshihiro IWAI

寺腰和由***



月島機械株式会社水環境事業本部技術部熱技術グループリーダー
Kazuyoshi TERAKOSHI

鈴木善三****



独立行政法人産業技術総合研究所つくば西事業所エネルギー技術研究部門クリーンガス研究グループ長 工博
Dr. Yoshizo SUZUKI

大庭賀夫*****



独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー技術開発部バイオマス、廃棄物グループ 主査
Yoshio OHBA