

流動床焼却炉の燃焼性の改善について

Experimental Study of Improvement on Combustion Control of Fluidized Bed Combustion Chamber

泉屋 亨^{*(1)}
Toru IZUMIYA

上谷 順一^{*(2)}
Junichi UETANI

馬場 健志^{*(1)}
Kenji BABA

古田 雅一^{*(3)}
Masakazu FURUTA

越田 仁^{*(1)}
Hitoshi KOSHIDA

抄 録

新日本製鐵では流動床焼却炉の燃焼性を改善する目的で八幡製鐵所内焼却炉を使用した実験を行ってきた。ダイオキシンの生成を抑制する意味でも燃焼管理は従来に増して重要になってきている。燃焼性の改善に関して二つの研究内容を報告した。第一の研究ではフリーボード部のガス流れを改善することにより燃焼性の改善を行った。実験で得られた結果を焼却炉の数値的モデルを使い検証し、フリーボード部のガス流れを改善することで流動床焼却炉をコンパクトな設計にすることができることがわかった。第二の研究では一般廃棄物と汚泥を混焼する際の燃焼性の改善を行った。一般廃棄物と一緒に汚泥を混焼するには燃焼管理に特に入念な配慮を行う必要がある。実験では適切な燃焼管理のために新たな汚泥供給装置を開発し、燃焼性とダイオキシン低減に対する有効性を実証した。

Abstract

Nippon Steel Corporation has carried out an experimental study using the Yawata waste incinerator plant in order to improve combustion control of a fluidized bed combustion chamber. For controlling the forming of dioxin, combustion control is very important in addition to conventional methods. In this paper, we report two studies about improvements on combustion control. In the first study, we verified improvement on combustion control by modifying gas flow at the freeboard. The operational results of the experiments were studied using the numerical model of the combustion chamber. The modification of gas flow at freeboard was confirmed to be effective to obtain a compact design of fluidized bed combustion chamber for municipal waste. In the second, study we improved combustion control for sewage combustion with municipal waste. In burning municipal waste and sewage, it is especially required to take combustion control into careful consideration. In this experiment, we developed a new device for supplying sewage for the appropriate controlling combustion, and verified its effectiveness to combustion control and an effective reduction of dioxin.

1. 緒 言

一般廃棄物を流動床焼却炉で焼却する方法は全国の自治体で多く採用されている。又、下水汚泥を一般廃棄物と共に流動床焼却炉で焼却する方法も、単にごみを完全燃焼させるだけではなく、発生熱を有効利用する一つの方法として注目されている。一般に、下水汚泥の専焼炉では重油等の補助燃料などを熱源にするのに対し、一般廃棄物との混焼は、ごみ自体の熱量を熱源にする点でごみのリサイクル的な側面を持っている。

一般廃棄物の焼却あるいは汚泥との混焼では、環境保護上、大気汚染物質の発生を極力低減させ、且つ、最終処分が必要な灰の発生量を極力少なくするために、従来から完全燃焼を維持するための燃焼技術の開発が続けられてきた¹⁻³⁾。さらに新ガイドラインの施行により、有害物質であるダイオキシンの発生量を低減するための燃

焼技術の開発が従来に比べて一層重要になってきている。廃棄物の焼却を流動床焼却炉で行う場合に最も配慮すべきことは、廃棄物燃焼において避けたい廃棄物性状の変化に対応して、流動層内部での燃焼を適正に保ち、さらにフリーボード部において有害物質の発生を抑える様な燃焼状態を維持することである。

本報は、流動床焼却炉の燃焼性を改善するための二つの研究内容について報告する。まず第一の研究として、フリーボード部のガス流れを制御し燃焼性を改善するためのいくつかの方策について、実際の焼却炉で方策の有効性を確認し、流動床焼却炉に採用可能なガス流れ及び燃焼性の改善方法を考案した。これについて、実際の焼却炉での燃焼改善の測定結果と数値解析モデルによる確認結果を併せて報告する。次に第二の研究として、汚泥等を一般廃棄物と混焼する際にも燃焼制御に関して十分な配慮が必要となることから、

^{*(1)} 環境・水道事業部 環境エンジニアリング部
福岡県北九州市戸畑区中原46-59 ☎804-8505 ☎(093)872-7020

^{*(2)} 環境・水道事業部 環境プラント営業部 マネジャー

^{*(3)} 環境・水道事業部 環境エンジニアリング部長

燃焼制御を完全に行うための汚泥供給方法について独自の装置を考案した。これについても、実際の焼却炉で燃焼制御とダイオキシン削減の有効性を確認したので報告する。

2. 八幡製鐵所内の流動床焼却炉

新日本製鐵では北九州市に環境開発センターを設置し、環境関連の技術開発に取り組んでいる。当センターには、ごみや焼却残渣を溶融処理する試験設備、産業廃棄物を焼却処理する試験設備、石炭、ごみ固形燃料(RDF)等を高効率燃焼する試験設備、及び八幡製鐵所内には流動床焼却炉を設置し、各種の試験を実施している。

このうち流動床焼却炉は、八幡製鐵所で発生する1日約30tの事業系一般廃棄物を焼却処理するために設置した設備であり、操業開始以降、通常操業に並行して下水汚泥を含む各種廃棄物の焼却テストや技術開発に使用している。本焼却炉は、民間の設備でありながら自治体向けと同様の技術基準で建設し、北九州市より一般廃棄物処理施設として認可されたユニークな設備である。又、製鐵所で発生する廃棄物は平均発熱量が4 560kcal/kgと高く、一般自治体の一般廃棄物の約1.5倍以上あり、この点でもユニークな運転条件となっている。表1に本流動床焼却炉の設備概要を、図1に設備フローを記す。

表1 設備概要

1. Incinerator type	Fluidized bed
2. Refuse	Industrial waste
3. Refuse throughput	30t/24h
4. Lower calorific value of refuse	4 560kcal/kg-wet
5. Exhaust gas treatment	Scrubber + bag filter

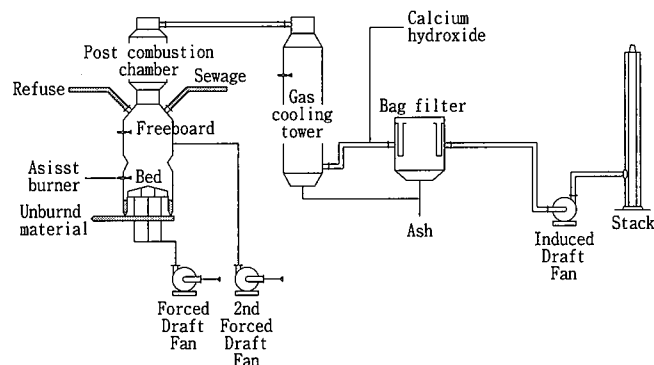


図1 設備フロー図

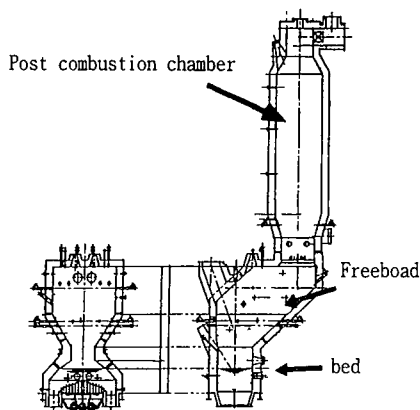


図2 焼却炉断面図及びCO濃度分布(改善前)

3. フリーボード部のガス流れと燃焼性の改善

3.1 流動床焼却炉の構造と燃焼状況

八幡製鐵所内の流動床焼却炉(以下、八幡焼却炉)本体の断面構造と、八幡焼却炉で都市ごみを焼却した際のCO濃度減衰グラフを図2に示す。焼却炉は下部の流動床部、フリーボード部、後燃焼部の三つの部分で構成されており、炉へ投入された廃棄物は初めに流動床部で一次燃焼及び熱分解され、熱分解により発生したガスの殆どはフリーボード部で燃焼される。後燃焼部はフリーボード部で完全燃焼出来なかったガス中の未燃焼成分を完全燃焼し、且つダイオキシンの発生抑制のために、ガスを850℃以上の条件に十分な時間保持するための燃焼部である。ガスの完全燃焼とダイオキシン発生抑制のために後燃焼部は重要な機能を持っているが、図2の未燃焼COの分布に見られるように、燃焼はフリーボード部で殆ど終了しており、燃焼全体に占める後燃焼部の貢献度が低いことが分かる。

一方、後燃焼部は設備としては焼却炉全体高さの約半分をしめる大きなものとなっており、設備全体をコンパクト化するためには一つの制約条件となる。後燃焼部は、前述の様にガス中の未燃分の完全燃焼とダイオキシン発生抑制のために、フリーボード部から排出されるガスを所定の温度に十分な時間維持するために設置された燃焼部である。従来は、ガス燃焼の基本挙動を確認し設備全体の信頼性を向上させるために極めてシンプルな円筒構造としてきた。

しかし、燃焼促進のためには未燃ガスと燃焼空気との混合性を向上させることが基本的な方策であると考えられ、本検討では、円筒構造の後燃焼部に混合性を強化するための工夫を加え、八幡焼却炉で有効性を確認することとした。

3.2 後燃焼部の混合性強化の方策と実験結果

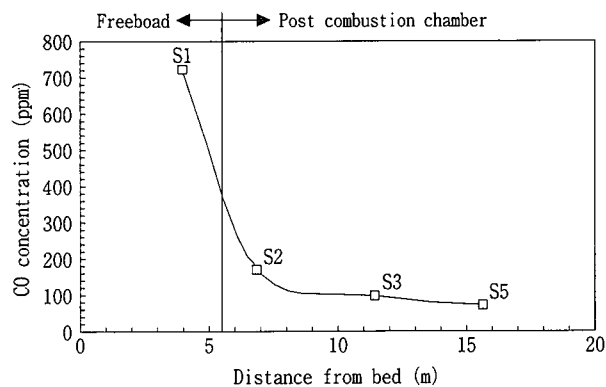
3.2.1 混合性強化の方策

混合性強化の方策の検討に当たっては、図2に示す焼却炉内ガス流れ方向の未燃焼COの分布が、フリーボード部から後燃焼部への接続部で大きく減衰していることに注目した。接続部での未燃焼分の減少は流動床部から上昇したガスがフリーボード上部の天井部に衝突してガスが攪拌される上に、接続部のガス流路の絞り効果によりガスがさらに攪拌されるためと解釈される。

そこで本推論を確認するために、図3に示すような衝突及び絞り効果を与えるバツフル板を積極的に後燃焼部に設置し、バツフル板の前後での未燃焼分の挙動を確認することとした。

3.2.2 八幡焼却炉での実験結果

実験には北九州市の一般都市ごみを使用した。主な実験条件を表



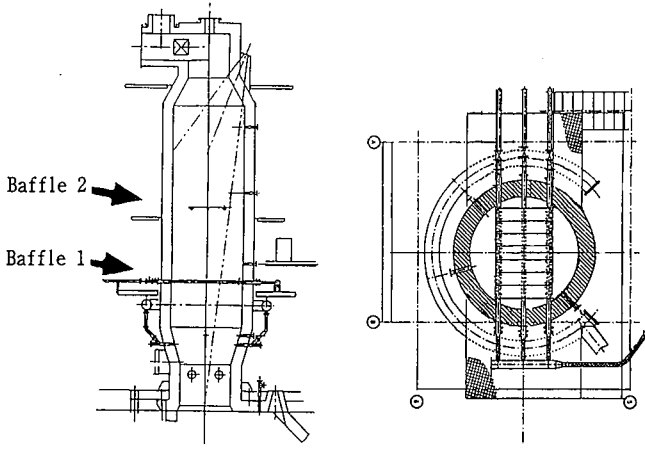


図3 後燃焼部に設置したバッフル板

表2 第一実験の主な実験条件

1. Refuse	Municipal waste
2. Refuse throughput	1 944kg/h
3. Lower calorific value of refuse	2 240kcal/kg-wet
4. Bed temperature	600℃
5. Freeboard temperature	850℃

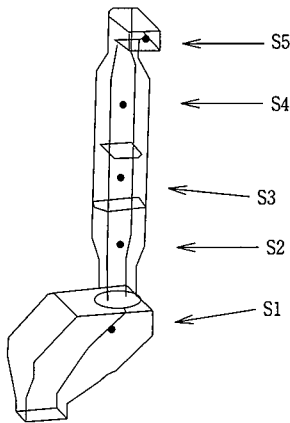


図4 サンプル位置

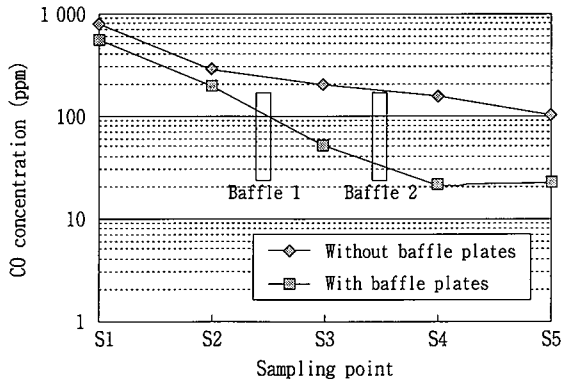


図5 CO濃度分布

2に、サンプリング位置を図4に示す。実験から得られたCO濃度分布を図5に記す。実験の結果から下記のことが理解される。

(1) 未燃焼COの減衰の比較

図5に示すようにバッフル板設置後は、バッフル板前後でのCO濃度の減衰が顕著で、そのため、バッフル板設置前に比べ、後燃

焼部出口のCO濃度が低下している。これは、通常燃焼時の平均的なCO濃度の低下はもちろんのこと、廃棄物性状の変化あるいは短期的なごみ供給量の変化による燃焼変動時にも安定した混合攪拌効果を発揮し、CO濃度のピーク発生を抑えた結果である。

(2) バッフル板の効果

実験で用いたバッフル板は、バッフル板設置断面の断面縮小率を0.5とし、断面通過時の排ガス流速が従来の2倍になるように設置した。

実験結果からも明らかのように、従来設計の2倍の通過流速と、板への衝突、分岐、縮流、合流の現象を2回繰り返すガス流れの効果により、このバッフル板は後燃焼部の燃焼性を十分に改善できることがわかった。

3.3 数値解析モデルでの確認

実験で明らかになったバッフル板による燃焼性の改善効果を数値解析により確認した。

3.3.1 数値解析モデル

解析は汎用ソフトウェアFluent(Ver.4)を用いた三次元定常有限差分法で行い、初期条件として、

- (1) 可燃ガスはモル重量を都市ごみ相当とした1成分ガス
- (2) 可燃ガスは急激燃焼時を想定し、流動層部中心から通常の上昇流で噴出する

と仮定し、その他空気比等の設定は実験条件と同じとした。用いた数値解析モデルを図6に示す。

3.3.2 数値解析結果と実験結果との比較

数値解析によるバッフル板設置前後でのCO濃度分布の違いを図7に示す。実験での測定結果と同様に、バッフル板設置前には後燃焼部でのCO濃度の減衰が緩やかに進み、後燃焼部入口の絞り部と比較してその後の後燃焼部での燃焼性が低いのに対して、バッフル板設置後には2段目のバッフル板通過前に1ppmの濃度までCO濃度が急激に減衰しており、バッフル板を設置することで燃焼性が改善されていることがわかる。これにより、数値解析上でもバッフル板を設置することで燃焼性が改善されることが確認できた。

次に、バッフル板設置後の数値解析の結果と実験での測定結果を比較し、両者の整合性を検証する。表3、図8に、数値解析と測定結果のそれぞれのCO濃度、O₂濃度の値、分布を示す。図8から、数値解析と測定結果のCO濃度分布は、絶対値は異なるものの、S1からS2の急激な低下と、S3前後にあるバッフル板による更なる低下など、減衰の傾向としてはよく一致している。O₂濃度も同様に絶対値が異なるものの傾向はよく一致している。両者の絶対値が多少

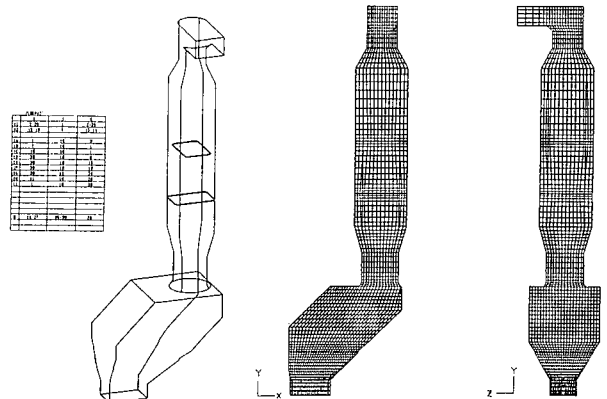


図6 数値解析モデル

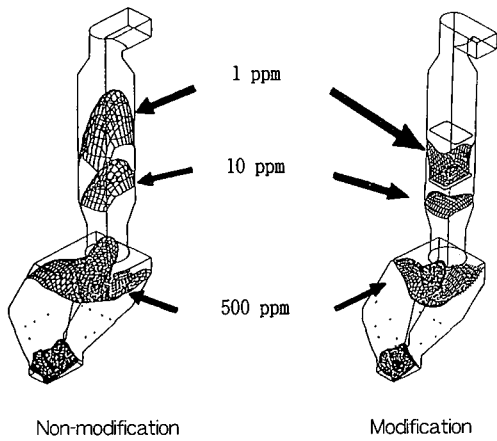


図7 改善前後の数値解析結果の比較

表3 実験結果と数値解析結果との比較

Sampling point	Simulation		Experiment	
	CO (ppm)	O ₂ (%)	CO (ppm)	O ₂ (%)
S1	596.5	10.56	539.0	8.37
S2	41.6	10.24	190.7	8.36
S3	1.8	10.25	50.0	8.92
S4	0.18	10.24	21.3	9.03
S5	0.06	10.24	7.0	8.06

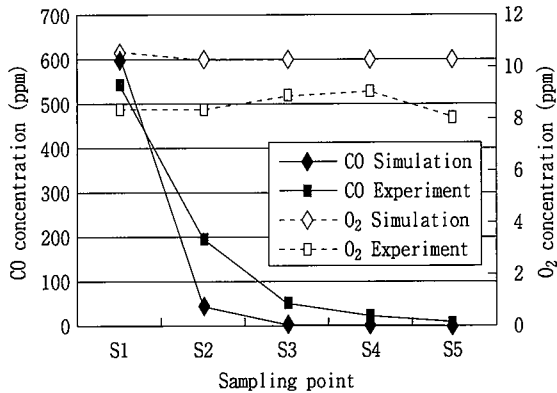


図8 実験と数値解析におけるCO濃度分布とO₂濃度分布

異なっているのは、数値解の初期条件、境界条件に実際の現象を表しきれていない部分があるのと、実験ではごみ質の変化や測定誤差などが発生しているためと考えられる。この結果を元に、数値解析条件の精度向上、測定誤差の低減に努力していきたい。

4. 下水汚泥混焼における燃焼性の改善

4.1 汚泥供給方法と燃焼状況

4.1.1 炉内への供給方法

八幡焼却炉の汚泥供給方法を図9に示す。ホッパーに投入された汚泥は底部のスクリーコンベヤで切出され、定容積式一軸ねじポンプへ送られ、炉内へパイプ圧送される。炉内への投入には、投入部に単管を取り付けたポンプ圧送方式と汚泥塊を切断、解砕、分散投入する機械的方式がある。機械式方式では、切断・解砕部に汚泥が付着することで分散効果を充分発揮できないと同時に、一度切断された汚泥が合体、大塊化する可能性がある。一方、ポンプ圧送方式では、汚泥の分散効果は期待できないが、汚泥の付着が少なくメンテナンス性が高い特徴がある。

4.1.2 燃焼状況

実験には、一般都市ごみと下水汚泥(汚泥混焼率：23.8%)を使用した。又、汚泥はポンプ圧送方式により炉内に供給した。主な実験条件を表4に、実験から得られた炉床の温度変化を図10に記す。図10に示すように、都市ごみのみを燃焼させた場合、炉床温度は650℃±2℃で安定した状態を維持していることがわかる。これに対して、都市ごみと汚泥を混焼した場合、汚泥供給直後、炉床温度は大きく振れながら急激に600℃以下まで下がっている。さらに、炉床に数か所設置された温度計間の偏差が発生したこと、汚泥供給が相当径100mm程度の大塊による間欠投入となっていたことから、炉床部では局部的な汚泥供給の増加による炉床温度の局部的低下、炉床部流動状態の悪化を引き起こしていたと考えられる。

汚泥供給停止後、炉床温度は数分から数十分低下を続けた後上昇した。又、20分にも渡り炉床から汚泥のガス化によるものと思われるブルーフレームが観察された。これは汚泥塊が炉床部下方へ沈降、堆積し、滞留時間の長い燃焼をしているものと推定される。

4.2 汚泥投入装置の開発と流動状態改善の方策

4.2.1 汚泥投入装置の開発

汚泥投入装置の開発に当たって、前述の課題を解決するために汚泥塊の微細化、分散化に着目した。これは、焼却炉内での汚泥の燃焼を安定にすると共に、処理負荷の均一性を向上させ安定かつ高負荷処理を可能とすることを目的としている。

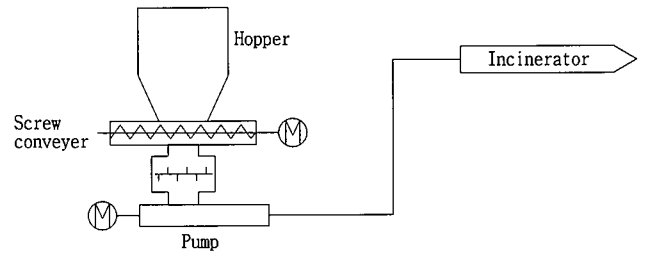


図9 汚泥供給フロー図

表4 第二実験の主な実験条件

1. Refuse	Municipal waste	Sewage
2. Lower calorific value of refuse	2 240kcal/kg-wet	220kcal/kg-wet
3. Water	40.6%-wet	83.7%-wet
4. Bed temperature	650℃	
5. Freeboard temperature	850℃	

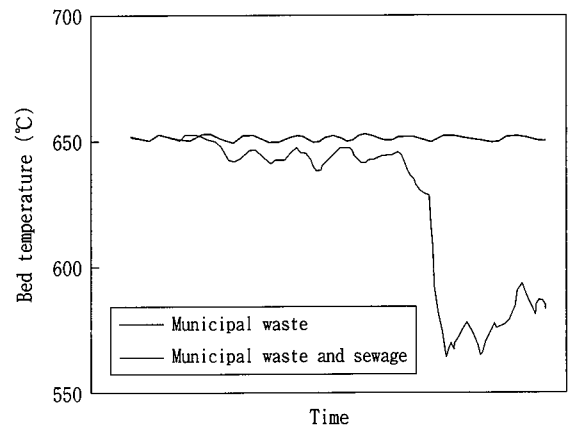


図10 炉床温度の変化

これらのことを考慮して図11に示す汚泥投入装置を考案した。この装置は、汚泥噴出口においてその内外から空気を吹き出すことで汚泥塊を空気圧でせん断し、粒径の微細化、汚泥の分散化を期待するものである。

4.2.2 流動状態改善の方策

考案した汚泥投入装置の性能を把握するために、オフラインでの供給テストを行った。内外の空気量に対する汚泥塊の粒径の変化を図12に、全空気量と分散性の関係を図13に示す。ここでの分散性とは、汚泥塊が八幡焼却炉の炉床面積に落下した割合及びその四分の一の面積に落下した割合を表している。図12に示されるように、内外の空気量を変えることで汚泥塊を様々な粒径に変化させることがわかる。又、内側あるいは外側の空気量の供給バランスにより汚泥塊がせん断されていることもわかる。図13からは、全空気量を増大させると落下範囲が大きくなることわかる。

以上のことより、フリーボード部での急激な燃焼を起こさず、且つ炉床部の流動性を損なわないような汚泥塊の粒径を選定し、炉壁部への付着の生じない適度な分散性を維持できるような空気量、内外空気バランスを求めることで流動状態の改善が期待できると思われる。

4.3 八幡焼却炉での燃焼テスト結果と登別市の新ごみ処理施設への採用

上記のようにオフラインテストで汚泥塊の粒径を任意に設定でき

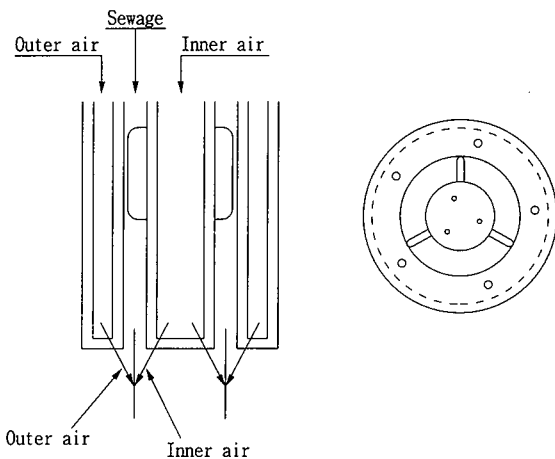
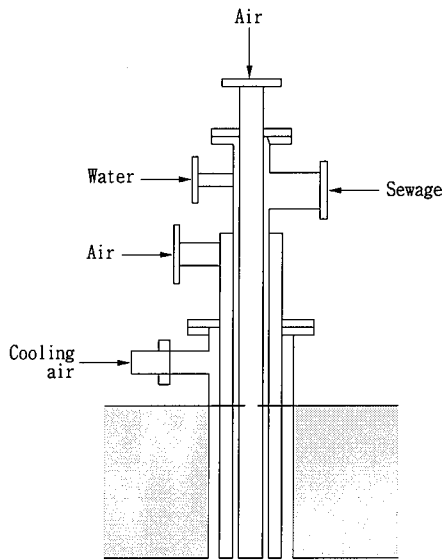


図11 汚泥投入装置断面図

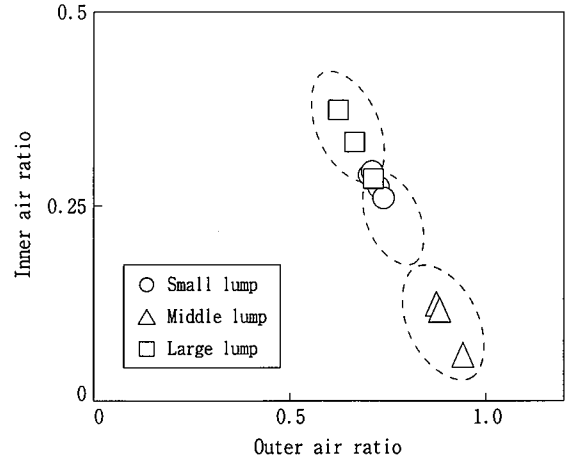


図12 空気供給量と汚泥塊の粒径との関係

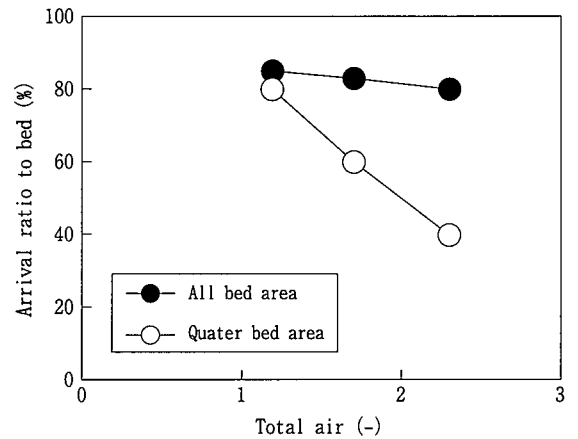


図13 全空気量と落下範囲の関係

ることを確認した。燃焼テストに先立ち行った予備実験で炉頂温度及び炉床温度を維持可能な最適な粒径を求め、都市ごみと下水汚泥の燃焼実験を行った。助燃バーナを使わない状態での、都市ごみ専焼時のCO濃度と各混焼率におけるCO濃度の比を図14に示す。混焼率32%程度まで都市ごみを専焼したときと同レベルのCO濃度を維持できているのがわかる。また混焼率32%は、熱バランス上、助燃が必要とされるための混焼上限と設定した。さらに、ダイオキシンの発生量も都市ごみ専焼時と同レベルの値となったことも確認できた。この結果より、登別市の新ごみ処理施設での最大汚泥混焼率18.3%(想定値)における炉床部の良好な流動状態及び安定燃焼が実現可能と考えられる。

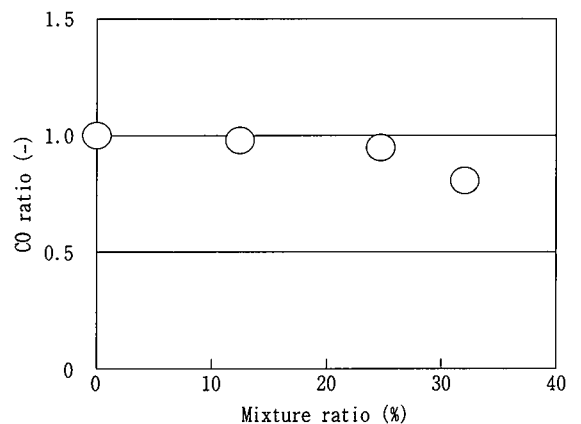


図14 CO濃度比と混焼率との関係

5. 結 言

本報では、流動床焼却炉の燃焼性を改善する二つの研究内容について報告した。

まず、フリーボード部のガス流れを制御し燃焼性を改善する方策として、燃焼全体に占める貢献度が低い後燃焼部に、衝突及び絞り効果を与えるバップル板を積極的に設置することを考案し、バップル板の前後での未燃焼分の挙動を八幡焼却炉での実験と数値解析によって確認した。

まとめると、

- (1) 八幡焼却炉における実験結果では、バップル板前後で未燃焼分が大幅に低減しており、バップル板設置により後燃焼部の燃焼性を改善できる。
- (2) 数値解析においても、バップル板設置による燃焼性の向上が確認でき、八幡焼却炉における実験結果と数値解析による結果はよく一致している。

との結果が得られた。又、燃焼実験におけるCO濃度の減衰結果から、この燃焼性改善効果により従来炉と比較して焼却炉容積を30%程度低減できる見通しが得られた。

次に、都市ごみと下水汚泥を混焼したときの炉床温度、炉床部流動状態を改善する方策として、汚泥噴出部の内側と外側での空気量を変えることで汚泥塊の粒径を任意に設定できる汚泥投入装置を考案し、八幡焼却炉での燃焼テストでは、高い混焼率においても都市ごみ専焼時と同等のCO値、ダイオキシン発生量を確認した。

まとめると、

- (1) 燃焼制御を完全に行うために、汚泥塊の粒径を任意に変化させることのできる汚泥投入装置を考案した。

(2) 八幡焼却炉における燃焼テストにおいて、助燃バーナを使用せず都市ごみ専焼時と同等の燃焼状態を実現することができた。

現在、登別市向けに新しいごみ処理施設(2000年3月竣工予定)を建設中である。本施設は、1998年施行された新ガイドラインに準拠したものであり、さらに、都市ごみの焼却熱を利用したサーマルリサイクルの観点にたち、汚泥を高い混焼率で安定燃焼できる特徴を持っている。

表5に本施設の概要を示す。さらに新日本製鐵では、この焼却炉内の燃焼性改善技術に加えて、新日本製鐵独自の給じん装置によるごみ定量供給技術、バグフィルタ前の活性炭供給や触媒分解塔などの排ガス処理技術等により、規制が強化されたダイオキシンガイドラインに対応する体制を整えており、今後も設備全体のコンパクト化を図りつつダイオキシン排出量も抑えたクリーンな流動床焼却設備の開発に努力していく所存である。

表5 新処理施設の設備概要

1. Incinerator type	Fluidized bed
2. Refuse	Municipal waste, sewage
3. Refuse throughput	2.56t/h
4. Lower calorific value of refuse (standard)	2 000kcal/kg-wet
5. Exhaust gas tretment	Scrubber + bag filter
6. Mixture rate of sewage	18.3%

参考文献

- 1) 角田 ほか、第6回廃棄物学会研究発表会講演論文集、1995、p.316-318
- 2) 高橋 ほか、環境工学総合シンポジウム'93講演論文集、1993、p.130-133
- 3) 内藤 ほか、第2回流動層シンポジウム、1996、p.170-177