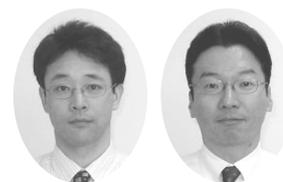


大型循環流動層焼却炉稼働実績

Performance of Large-scale Circulating Fluidized Bed Sewage Sludge Incinerator



技術本部
水処理第一技術部技術室
和 泉 一 也
Kazuya Izumi
矢 部 幸 彦
Yukihiko Yabe

循環流動層炉は、下水汚泥焼却の分野において従来の気泡流動層炉より高効率な焼却炉として近年注目を浴び、採用実績が増加している。当社は2005年3月、稼働している循環流動層炉では国内最大規模となる120 t/d 炉を納入し、その立ち上げ、引渡しを完了した。高分子系ケーキ、石灰系ケーキの混焼、さらに沈砂、し渣の混焼での運転確認をおこない、同じ処理場に建つ既設36 t/d 循環流動層炉および120 t/d 気泡流動層炉とくらべ、排ガス性状において同等以上の性能を発揮した。

Circulating fluidized bed incinerators (CFBI) get a lot of attention and are often applied to the sewage sludge incineration recently because they have higher combustion efficiency than existing bubbling fluidized bed incinerators (BFBI). Kobelco Eco-Solutions delivered 120t/day CFBI, the nation's largest scale, in March 2005, and completed its start-up. Test runs were conducted using mixed sludge cakes of different combinations such as polymeric cake and lime cake, grit and screenings. This CFBI showed better performance than 36t/day CFBI and 120t/day BFBI installed in the same sewage treatment plant.

Key Words :

下 水 汚 泥
汚 泥 焼 却
循 環 流 動 層
汚 泥 溶 融

Sewage sludge
Sludge incineration
Circulating fluidized bed
Sludge melting

まえがき

下水道の整備は年々拡大を続け、私たちの生活や産業活動にともなって発生する下水は、下水処理場において適正処理されている。その処理過程で発生するスラリー状の下水汚泥は一般に、濃縮・脱水工程を経て半固体状の脱水ケーキとなる。汚泥発生量は、2002年度には全国で年間約210万トン（乾物ベース）に達しており、そのうち73.7%が焼却処理によって減容化・安定化されている。

汚泥の焼却処理においては、現在気泡流動層焼却炉が主流であるが、より効率的な焼却が可能で、沈

砂（下水処理場の入口で沈殿する砂を主成分とした沈殿物）、し渣（下水処理場の入口スクリーンで除去されるゴミ）との混焼率が高く、幅広い性状の汚泥に対応可能な焼却炉として、近年、循環流動層焼却炉が注目を集めている。

循環流動層炉は石炭を燃料とした循環流動層ボイラとして発展してきた技術を応用したもので、気泡流動層炉とくらべ、炉内のガス流速が4～6倍と速く、高温の流動媒体が炉内を循環するため、炉内温度が均一化され、幅広い性状の焼却物を安定して燃焼できるという特長がある。

当社では、これまで培ってきた気泡流動層焼却炉の技術を基礎とし、循環流動層ボイラで豊富な実績を有するフォスター・ウィラ(株)と共同で、1998年に下水汚泥循環流動層焼却炉を開発・実用化し、2001年5月には1号機となる36 t/d 炉を納入、以降順調に稼働を続けてきた。さらに2005年3月、稼働中の炉としては、日本最大規模となる120 t/d 規模の循環流動層炉を納入し実稼働を開始したところである。

本稿では、120 t/d 循環流動層炉の試運転時における運転データを基に、大型循環流動層炉の性能について報告する。

1. 循環流動層焼却炉の概要と特長

1.1 循環流動層焼却炉の概要

当社の循環流動層焼却炉の概要図を図1に示す。本炉は、炉本体(ライザー)および、ホットサイクロン、ループシールで構成されている。循環流動層焼却炉は、気泡流動層焼却炉と比較して炉内のガス流速が4~6倍速く、炉内に充てんされている流動砂が、燃焼排ガスとともに炉本体から飛び出し、ホットサイクロンにて燃焼排ガスと分離され再び炉下部に循環される。脱水ケーキはループシール出口のリターンシュート部から炉内に投入される。炉内を循環している流動砂とともに炉下部に流入した脱水ケーキは、炉底からの1次空気により激しく流動する高温の流動砂によって短時間に解砕され、次いで乾燥、熱分解する。さらに炉内を上昇しながら、炉側面から吹込まれる2次空気、3次空気によって、再度激しく攪拌、混合され、完全燃焼する。

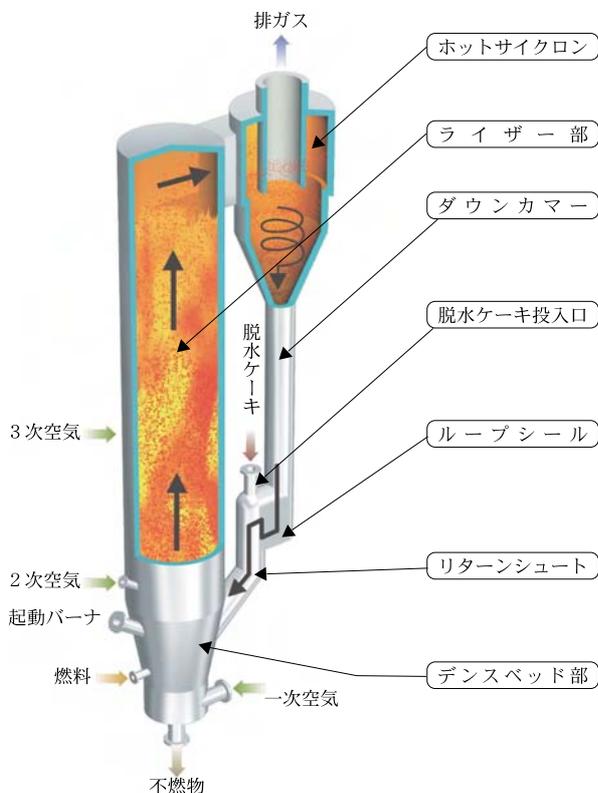


図1 循環流動層炉概要図

キは、炉底からの1次空気により激しく流動する高温の流動砂によって短時間に解砕され、次いで乾燥、熱分解する。さらに炉内を上昇しながら、炉側面から吹込まれる2次空気、3次空気によって、再度激しく攪拌、混合され、完全燃焼する。

燃焼ガスに同伴して炉本体から飛び出した流動砂は、ホットサイクロンにおいて遠心力によって捕集され、ループシールに落下する。ループシールは、そのUトラップ形状により炉下部とホットサイクロン間の圧力差をシールするとともに、流動砂を炉本体に戻す役割を果たしている。

1.2 循環流動層焼却炉の特長

1) 高効率燃焼

循環流動層炉では投入脱水ケーキ量に対し約40倍の流動砂が常時循環しており、高温の砂が熱を炉底から炉頂、ループシールまで運ぶため、炉内温度が均一となり、焼却物の性状変動に対しても安定した燃焼が可能である。

2) コンパクト

気泡流動層炉とくらべて、炉内流速が4~6倍と速いため、炉径を小径化できる。その結果、炉の断面積で約60%減、重量で約30%減となり、設置スペースの低減、土木基礎への荷重低減が可能となる。



写真1 循環流動層炉全体

3) ブロワ動力の低減

循環流動層炉では、高温の流動砂を循環により炉下部を高温に保つことができるため、気泡流動層炉とくらべて流動砂の充てん量が少なく1次空気の圧損が小さい。また2次・3次空気は炉側から吹込むため、流動砂の影響を受けにくく、1次空気より低圧となる。1次空気と2次+3次空気の割合は50:50程度であり、各々専用のブロワを設置することにより、2次+3次空気用ブロワの容量を小さくできるため、燃焼空気ブロワの動力が流動ブロワ1台設置の気泡流動層炉に対して40%程度低減可能となる。

1.3 当社の循環流動層焼却炉の特長

1) 1次空気吹込み方式

当社の循環流動層炉は空気分散板に配置したノズルから1次空気を吹込んでおり、ノズルの圧損を適切に設定することによって、ノズルごとの空気量を均等にしているほか、空気の吹出し方向を炉の中心方向とすることで、流動砂の流動を垂直方向だけで



写真2 空気分散板



写真3 120 t/d 汚泥溶融設備全景

なく水平方向へも活発化させている。(写真2参照) これにより、炉床全体で、常に良好な流動状態が保たれるので、安定した燃焼が可能となっている。

2) 汚泥投入方式

当社は、汚泥をループシール出口から炉内に投入している。これにより、汚泥と高温の流動砂との接触時間を長くとることができる。炉下部に流入するまでに汚泥は予備乾燥されるので、炉底部から炉頂部までを燃焼空間として有効に活用できるため、2.5秒程度の炉内滞留時間で燃焼を完結させることができる。

2. プラントの概要

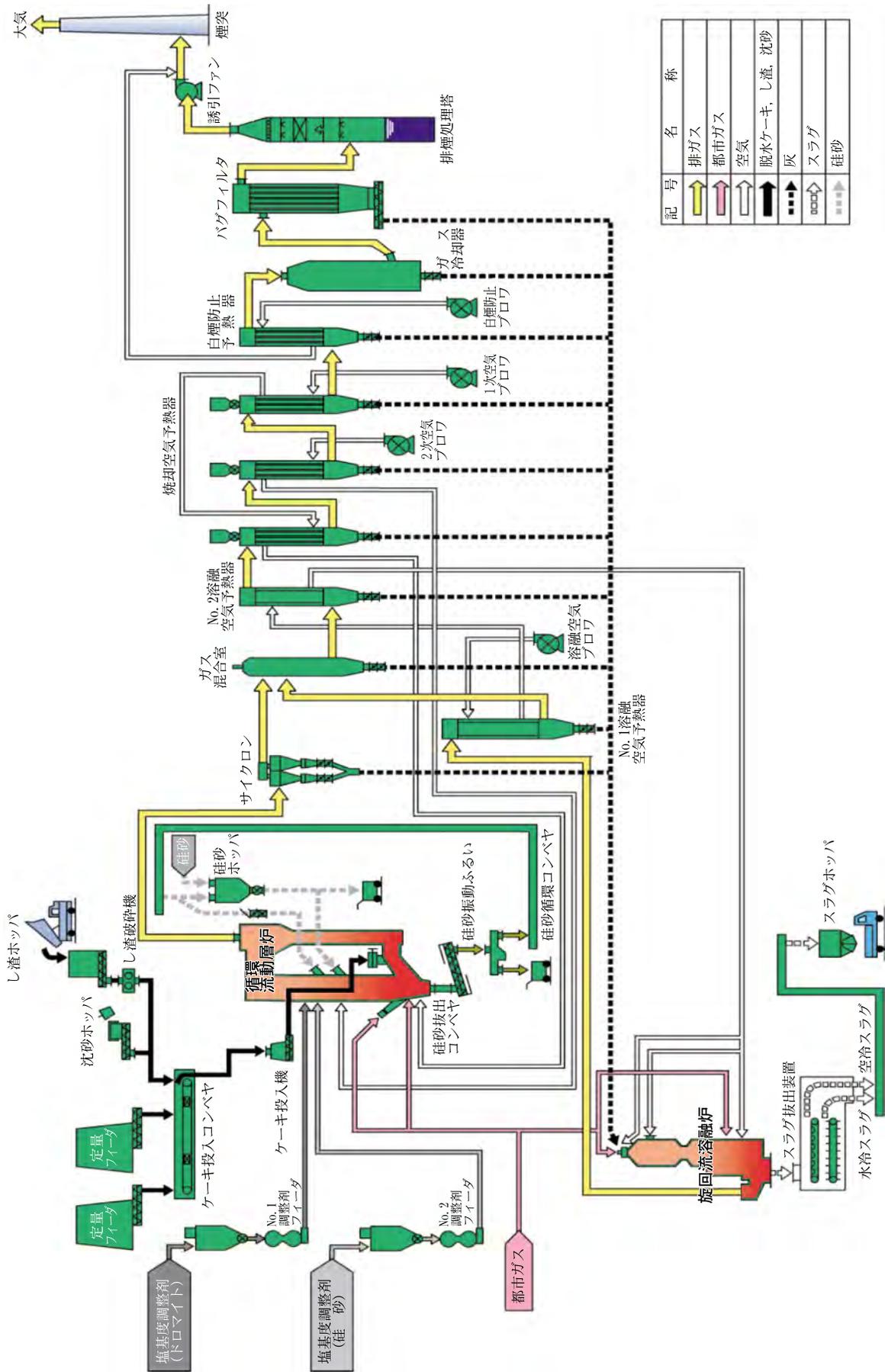
120 t/d 循環流動層炉を含む汚泥溶融設備の外観を写真3に、フローシートを図2に、設備の仕様を表1に示す。

脱水ケーキはケーキホッパに貯留され、定量的に切り出されてベルトコンベヤでケーキ投入機に運ばれ、ケーキ投入機から循環流動層炉へ投入される。ケーキ投入機は2軸スクリー式で、脱水ケーキを圧密することにより炉内の正圧をシールしながらの投入を可能としている。同下水処理場内で発生する沈砂、し渣は、専用のホッパに受け入れられ、脱水ケーキの搬送工程に合流してケーキ投入機で混練され、脱水ケーキとともに炉内に投入される。

循環流動層炉に投入された脱水ケーキ等は、激しく流動・循環する高温の流動砂によって短時間で蒸発・熱分解・焼却され、微粒子状の無機分となった焼却灰は、燃焼ガスとともにホットサイクロンで流動砂と分離され炉外へ排出される。焼却灰は、後段のサイクロンおよびバグフィルタにて集塵された後、溶融炉に供給されて約1400℃の高温下で溶融し、スラグとなる。焼却排ガスと溶融排ガスはガス混合室にて混合され、廃熱を各空気予熱器にて燃焼用空気の加温に利用された後、バグフィルタを経て排煙処理塔でSOx、HClなどを吸収除去され、煙突から大気放散される。

表1 設備仕様

項目	仕様
システム	循環流動式焼却炉+旋回流溶融炉
処理汚泥	高分子系および石灰系脱水ケーキ
規模	焼却炉: 120 t/d 溶融炉: 550 kg/h
補助燃料	都市ガス (13 A)
スラグ	空冷および水砕スラグ



記号	名称
↑ (Yellow)	排ガス
↑ (Pink)	都市ガス
↑ (White)	空気
↑ (Black)	脱水ケーキ、し渣、沈砂
↑ (Dotted)	灰
↑ (Green)	スラグ
↑ (Grey)	硅砂

図2 120 t/d 汚泥溶融設備フローシート

循環流動層炉での燃焼用空気は1次および2次、3次空気に分けられるが、1次空気および2次+3次空気用にそれぞれ専用のブロワを設けるとともに、流量制御をインバータにておこなうことにより電力消費の低減を図っている。

本プラントにおいて循環流動層炉は、溶融システムの前処理設備に位置付けられ、脱水ケーキを無機化し、溶融炉におけるスラグの原料である焼却灰の製造を担っている。また、高温下での焼却灰の融点、粘性を低下させ溶融スラグの安定製造をおこなうためには、塩基度調整剤の灰への混合が必要となるが、

本プラントでは循環流動層炉に調整剤を投入することにより、焼却灰との均一な混合を図っている。

3. 運転データ

3.1 焼却物性状

表2に性能確認運転にて焼却をおこなった脱水ケーキ、沈砂、し渣の性状を示す。処理ケーキについては、本設備は高分子ケーキ対応で設計しているが、下水処理場での発生ケーキの都合により高分子系2.1 t/h、石灰系2.9 t/hの比率で混合した。

3.2 排ガス性状

表3に120 t/d 循環流動層炉および既設36 t/d 循環

表2 焼却物性状

分析の対象	単位	汚泥ケーキ			沈砂	し渣
		高分子系	石灰系	混合ケーキ		
含水率	% wet	78.2	65.2	70.7	37.7	75.9
熱灼減量	% dry	83.3	63.1	71.6	34.1	91.0
灰分	% dry	16.7	36.9	28.4	65.9	9.0
高位発熱量	J/g dry	18 800	13 700	15 842	11 800	19 000
低位発熱量	J/g wet	1 820	2 720	2 342	6 100	2 310
C	% dry	43.1	32.1	36.7	29.3	44.4
H	% dry	6.4	5.2	5.7	2.2	6.7
N	% dry	5.3	3.8	4.4	1.2	2.4
O	% dry	27.91	21.88	24.41	1.19	37.06
S	% dry	0.54	0.10	0.28	0.21	0.37
Cl	% dry	0.05	0.02	0.03	0.06	0.05

表3 運転データの比較

ケーキ種類	—	120 t/d 循環炉			36 t/d 循環炉		120 t/d 気泡炉
		脱水ケーキ専焼	沈砂混焼	し渣混焼	脱水ケーキ専焼	し渣混焼	脱水ケーキ専焼
		高分子・石灰混焼			高分子系		石灰系
ケーキ処理量	t/h	5.0	4.5	4.5	1.35	1.21	5.0
沈砂処理量		—	0.06	—	—	—	—
し渣処理量	t/h	—	—	0.5	—	0.14	—
灯油量	L/h	—	—	—	0	12	0
都市ガス量	m ³ /h	56	47	50	—	—	—
砂層温度	°C	848	849	851	855	851	773
炉上部温度	°C	880	872	883	871	867	854
炉頂温度	°C	879	871	881	867	864	862
SOx	ppm*	1	<1	4	<1	<1	12
NOx	ppm*	84	88	64	46	49	55
HCl	mg/m ³ _N *	8	5	3	<2	3	<5
DXNs	ng-TEQ/m ³ _N *	0.0041	0.00046	0.0013	0.0076	0.00036	0.07
CO	ppm*	3	3	3	35	37	21
N ₂ O 排出係数	kg-N ₂ O/t-DS	0.73	0.85	0.91	2.03	2.23	1.25

*O₂-12%換算値

流動層炉，120 t/d 気泡流動層炉の運転データおよび排ガス性状の比較を示す。排ガス性状は各項目とも規制値を十分下回っており，沈砂混焼，し渣混焼時においても良好な値を示している。とくに不完全燃焼の指標となるCOについては，3 ppm という非常に優秀な値がえられた。

焼却ケーキ性状が異なるため単純に比較はできないものの，CO，DXNs等のデータからみると，同規模の気泡炉とくらべ燃焼効率に優れているといえ，スケールアップにおいても問題なく完全燃焼がおこなわれていることがわかる。

また，温室効果ガスであるN₂Oの排出係数（単位固形分当りの発生量）についても，温度条件が若干異なるものの，気泡流動層炉や小規模循環流動層炉にくらべて低く，温室効果抑制にも寄与しているといえる。

3.3 排水性状

表4に性能確認運転における，排煙処理塔および全排水のシアン，ダイオキシン類濃度を示す。これらの排水は場内の返流水となり系外へ排出されるものではないため，実際に規制がかかる訳ではないが，シアンは不検出，ダイオキシン類は排水基準の10 pg-TEQ/Lを十分下回る値であり，良好な燃焼状態であったことが裏付けられた。

3.4 電力使用量

表5に120 t/d 循環流動層炉および既設36 t/d 循環流動層炉，120 t/d 気泡流動層炉の定格負荷時における電力使用量の比較を示す。新設炉は，既設炉にくらべて十分低い電力原単位がえられている。同規

表4 排水データ

計量の対象	単位	排煙処理塔排水	全排水
全シアン ダイオキシン類	mg/L pg-TEQ/L	<0.01 2.1	<0.01 1.3

表5 電力使用量

		120 t/d 循環炉	36 t/d 循環炉	120 t/d 気泡炉
電力原単位 (全体)	kWh/t- ケーキ	121	144	167
電力原単位 (焼却用ブロウ)	kWh/t- ケーキ	15.2	23.3	21.0

模の気泡炉にくらべ，燃焼空気用ブロウの1次，2次+3次空気での分離により，燃焼用ブロウ部分にて約30%の電力低減を実現した。また，スケールアップに関しても，スケールメリットおよびブロウの分離の効果により電力使用量は低減できたといえる。

むすび

国内最大規模の循環流動層炉を含む下水汚泥溶融プラントの立ち上げは円滑に完了した。その性能についても，処理能力，排ガス性状とも設計条件，規制値を満たし，十分満足できるものであった。今後は実稼働において長期に渡る安定運転を確認するとともに，様々な運転データを取得することで技術のブラッシュアップをおこない，よりいっそう経済的で環境負荷の低い焼却システムを実現すべく取り組んでいきたい。