

JFE 次世代ストーカー炉「ハイパー 21 ストーカーシステム」

JFE Advanced Stoker System “Hyper 21 Stoker System”

西野 雅明 NISHINO Masaaki JFE エンジニアリング 環境設計部 燃焼機器設計室 課長
立福 輝生 TATEFUKU Teruo JFE エンジニアリング 環境システム研究部 副課長
宮越 靖宏 MIYAGOSHI Yasuhiro JFE エンジニアリング 環境開発部 開発推進室 副課長

要旨

JFE エンジニアリングでは、余剰電力増加、環境負荷低減、運転コストの低減など現在の廃棄物焼却施設に要求される課題に応える 21 世紀のストーカー式廃棄物焼却システムとして、高温空気燃焼技術を応用した低空気比燃焼と焼却炉と灰処理炉の高度一体化を実現した JFE 次世代型ストーカー式焼却炉「ハイパー 21 ストーカーシステム」を開発した。廃棄物の基礎燃焼特性の解析を行った上で、JFE エンジニアリング環境 R&D センター内に建設した 12 t/d 規模の試験プラントにおいて実証試験を実施した。さらにその結果に基づき、稼働中の 105 t/d 規模の都市ごみ焼却炉において実炉適用試験を行い、ほぼ目標通りの結果を得た。ここでは、その概要および試験結果について報告する。

Abstract:

JFE Engineering has developed an advanced stoker-type incineration system “JFE Hyper 21 Stoker System”. It is equipped with some new technologies to meet requirements to the municipal solid waste (MSW) incineration system in the 21st century ; minimization of environmental pollution, more effective use of energy, applicability to various MSW and reduction in the cost of operation. The low excess-air combustion applied high temperature combustion technology and the ash treatment system integrated with the incinerator are the features of the system. This paper describes the results of the fundamental study carried out in the test plant (12 t/d) constructed in JFE Engineering R&D Center, and the practical operation test carried out in the MSW incinerator (105 t/d) under commercial operation.

1. はじめに

当社は、1971 年にストーカー式廃棄物焼却炉（以下ストーカー炉）の初号機を受注して以来、低質ごみに対応した回転キルン付きの GR 型炉をはじめとして、高質ごみに対応し、CO、NO_x の排出抑制に有効な 3 段ストーカー式二回流ガス流れ炉の DG 型炉など、市場・ニーズの変化に対応したストーカー炉を開発・建設してきた。1989 年にはアルミニウム、プラスチックなどの混入の多い現代のごみに対応し、燃焼安定性・燃焼効率に優れた JFE ハイパー火格子を採用した二回流式ハイパー火格子焼却炉（HDG 型炉）を稼働し、10 数年にわたる実炉での稼働実績を有している。

しかし、近年の廃棄物焼却処理においては、環境負荷の一層の低減、エネルギー利用の高効率化、さらに設備費、維持費の低減が強く求められている。当社では特別な前処理を必要とせず、性状が不均質かつ変動のあるごみを安定に中間処理できる優れた特長を有し、国内一般廃棄物処理施設の 8 割以上（処理能力ベース）を占め、今後も我国の

廃棄物処理において中心的な役割を担うと考えられるストーカー炉に関して、高性能化および経済性の両面から、より優位性の高い次世代型ストーカー炉の開発を推進してきた¹⁾。

まずストーカー炉における廃棄物の基礎燃焼試験を行い、燃焼特性を明らかにした。その上で、当社環境 R&D センター内に焼却規模 12 t/d の実証プラントを建設し実証試験を実施した。さらに、それらの結果に基づき、稼働中である 105 t/d 規模の都市ごみ焼却施設において実炉試験を行った。

本稿では、この JFE ハイパー 21 ストーカーシステムの実証プラントでの試験結果、および実炉試験の結果について報告する。

2. JFE ハイパー 21 ストーカーシステムの概要

JFE ハイパー 21 ストーカーシステムの基本コンセプトは、長年の実績により信頼性が高く、運転安定性に優れたストーカー炉において、

- (1) 熱回収効率の大幅向上
- (2) 環境負荷の低減
- (3) 設備のコンパクト化
- (4) 低コスト化
- (5) 幅広いごみ質に対応

を実現することである。本システムでは二回流式焼却炉²⁾やハイブリッド ACC (自動燃焼制御) システム³⁾などの既存技術と、排ガス再循環システム、火格子水冷技術⁴⁾、飛灰ダイオキシン揮発脱離分解システム⁵⁾などの新技術を高度に組み合わせることにより上記コンセプトの達成を図っており、特に高温空気燃焼技術を応用した低空気比燃焼技術と、焼却炉と灰処理の一体化システムを採用して

いることを特徴としている。これらの対応技術と期待される効果について Fig. 1 に示す。

本システムの概念図を Fig. 2 に示す。本図に示すように、本システムでは高温空気と排ガスを混合させた高温混合気を、二回流式焼却炉の燃焼開始領域に供給している。これによりごみの初期燃焼領域での燃焼を安定化させ、従来のストーカ炉では達成できない低空気比条件 (空気比 1.3) 下での安定燃焼を実現している。

従来の燃焼方法にて低空気比条件下で運転した場合には、燃焼開始点が大きく変動し、焼却炉内での燃焼が不安定になる。そのため、焼却炉内広域での高温が維持できなくなり、排ガスや灰中の未燃成分や有害成分が急増し、連続運転が困難な場合も生じる。高温混合気吹き込みによる焼却炉の燃焼開始領域での火炎安定化のイメージ図を Fig. 3 に示す。炉の両側壁から高温混合気を高速で吹き込むことにより、ごみ層直上の空間に安定燃焼領域 (流れがせき止められるため、火炎が吹き飛びにくい) を形成させ、ここに安定な拡散火炎を定在させる。その結果、従来技術

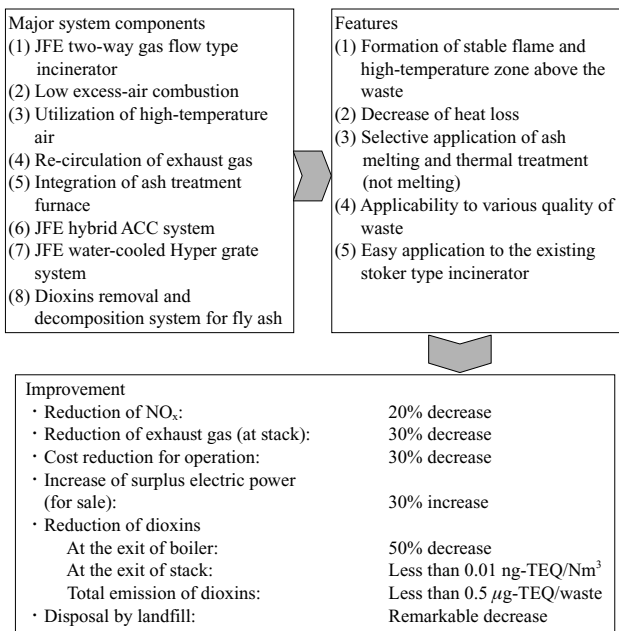


Fig. 1 Expected effect of advanced stoker system

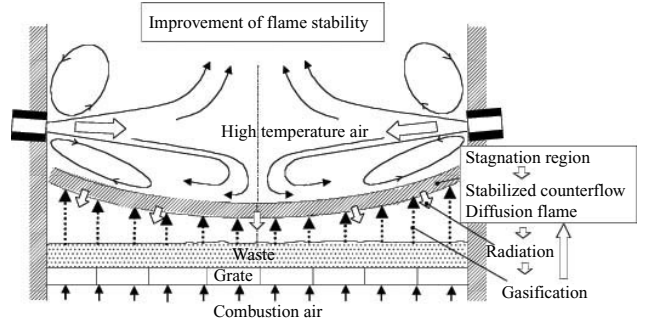


Fig. 3 Flame stabilization image in the combustion beginning space

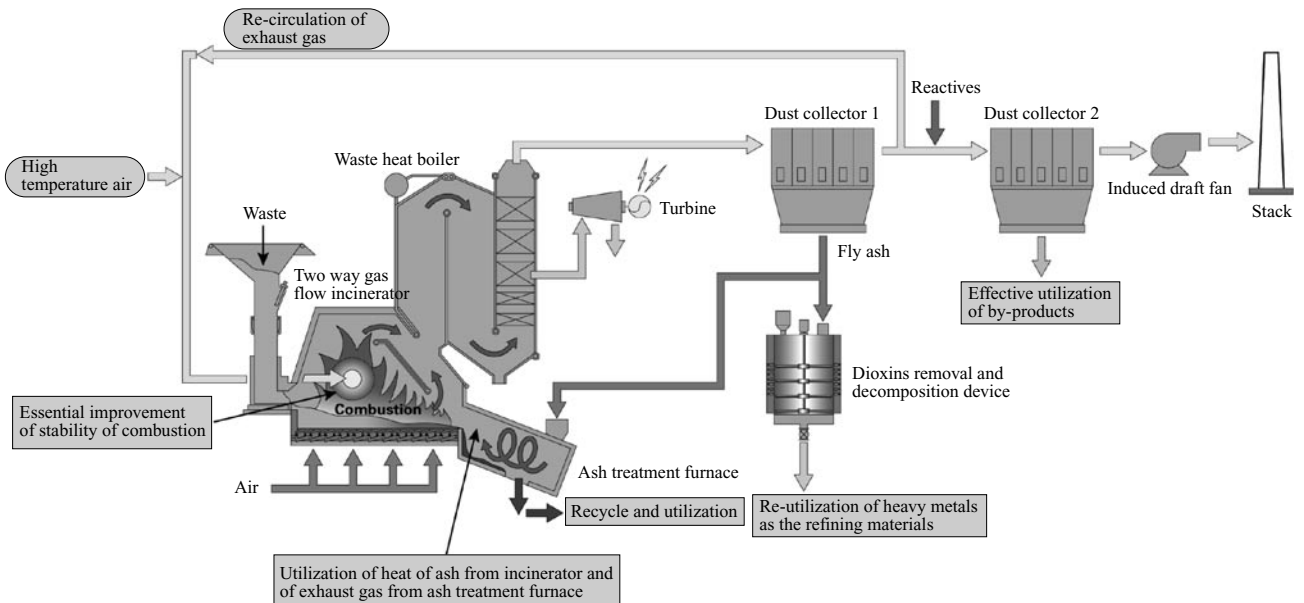


Fig. 2 Conceptual system flow of JFE advanced stoker system

とは異なり、低空気比燃焼条件下でも燃焼開始領域での燃焼の不安定性が増幅されず、煤などの発生が抑制され、均一で安定した燃焼が期待できる。

また、本システムにおける焼却炉と灰処理炉との一体化の特長は、焼却炉から排出される焼却灰を複雑な前処理設備や搬送設備を介することなく灰処理装置に投入可能であること、さらに灰処理炉の排ガスを焼却炉に付帯したボイラにより熱回収するとともに、排ガス処理設備により処理可能であることである。これらにより灰処理炉設備の簡素化が図られ、設備費および設置面積の低減に有効であるだけでなく、ランニングコスト削減や運転要員の削減につながる。さらに焼却灰の持込み熱および灰処理炉の廃熱を有効に利用することが可能となり、システム全体としての熱効率向上の面でも大きな効果が得られる。

3. 開発経緯

当社では廃棄物の多様性・不均一性に起因する本質的な燃焼不安定性を改善する目的で、工業炉の高性能化に有効である高温空気燃焼技術を廃棄物焼却炉へ適用することに着目し基本検討を行った。1999年、通商産業省（現経済産業省）の補助のもと特殊法人（現独立行政法人）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から委託を受けた（財）省エネルギーセンターから再委託を受け、高温空気燃焼技術を応用した焼却炉への高温混合気吹込み低空気比安定燃焼技術について開発研究を開始し、廃棄物の焼却から灰処理まで一貫した高効率・環境負荷低減型の廃棄物処理システムを開発することを目的として系統的な試験を実施した⁶⁻¹⁰⁾。

廃棄物の基礎燃焼特性に関する研究はそれまでほとんど実施されていなかったことから、まず一般廃棄物を固形燃料化した試料（RDF（refuse derived fuel））を用い廃棄物の基礎燃焼特性を調査し、ストーカ炉のごみ層直上付近での熱分解ガス組成、濃度および温度分布などの基礎データを取得した。

次に、高温混合気の吹込み効果や適正な吹き込み条件を詳細に調べるためにガス燃焼試験を実施し、高温混合気吹き込みによる燃焼改善効果を確認した。

これらの基礎的試験の結果を踏まえ、12 t/d 規模の実証試験プラントにおいて、性状が均一な RDF（一般廃棄物の水分率と同等の水分を添加）、さらに性状が不均一である一般廃棄物を試料とし、灰処理炉を焼却炉へ一体化した焼却試験を実施した。これにより低空気比条件下においても高温混合気の吹き込みにより安定燃焼を実現するとともに、環境負荷物質の低減を実現し、本システムの実用化への見通しをつけた。

4. 実証試験概要および成果

4.1 試験装置

実証試験装置の概略を Fig. 4 に示す。本装置では、炉幅 1.6 m、長さ 3.7 m、高さ 6.8 m の焼却炉本体（二回流式ストーカ炉、処理能力：都市ごみ換算 500 kg/h）に、焼却炉から排出される焼却灰を熱処理する内径 300 mm、長さ 2.4 m のロータリーキルン式灰処理炉が連結されている。さらに、排ガスの冷却を行うガスクーラー・減温塔、排ガス中の飛灰を除塵するバグフィルタ、誘引ファン（I. D. F）などが設置されている。高温混合気は、蓄熱式高温空気製造装置（高温空気流量：100 Nm³/h、最高温度 1 000℃）により発生させた高温空気と除塵した後の排ガスを混合して焼却炉内に供給した。

試験は、バーナーにより焼却炉内を予熱・昇温させた後、試料を焼却炉内へ供給した。試験に用いた試料は、事業系から排出される一般ごみを破碎して使用した。また、今回用いた一般ごみは事業系のごみであるため、家庭から排出されるそれと比較して、幾分低位発熱量が高い。このため、試験ではあらかじめ試料に水分を添加し、水分を 40% に

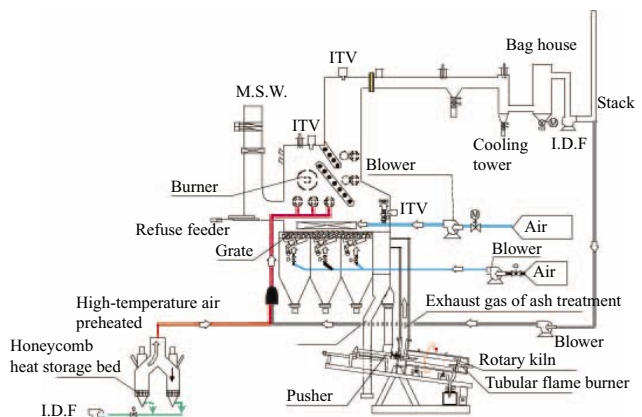


Fig. 4 MSW incineration test plant of pilot scale

Table 1 Chemical composition of the material used in pilot scale test

		Tested material	MSW
Proximate analysis	Moisture (%)	40	49.5
	Ash (Dry wt%)	13.8	13.9
Ultimate analysis	Combustibles (Dry wt%)	86.2	86.1
	C (Dry wt%)	47.9	47.8
	H (Dry wt%)	6.6	7
	N (Dry wt%)	0.8	0.9
	S (Dry wt%)	0.1	0
	Cl (Dry wt%)	0.5	0.6
	O (Dry wt%)	30.3	29.8
Low heat value (MJ/kg-wet)		10.4	8.9

調整した。使用した試料の組成を **Table 1** に示す。

4.2 試験条件

試験は、ストーカ炉出口における空気比 λ を 1.3-1.7 と変化させ、空気比 1.3 と 1.7 で高温混合気吹き込みを適用しない条件（従来型燃焼）、および空気比 1.3 において高温混合気吹き込み（温度 600℃、酸素濃度 12%）を適用した条件（次世代型燃焼）で実施した。

採取した燃焼排ガスは連続分析計にて O_2 、 CO 、 CO_2 および NO_x を計測した。炉内温度の計測には、保護管付きの K 熱電対を用いた。

4.3 試験結果および考察

4.3.1 燃焼生成ガスの化学種濃度変化

従来型燃焼において空気比 1.3 とした場合には、ガス濃度（特に CO 濃度）が大きく変動した。そこで、このような燃焼の不安定性を改善するために、高温混合気を炉の側壁から吹き込む方法（次世代型燃焼）により燃焼の改善を図った。それぞれの場合における燃焼生成ガス中化学成分濃度の経時変化の測定結果を **Fig. 5, 6** に示す。高温混合気の吹き込みにより、吹き込まない場合（100 ppm を超える CO 濃度瞬時値のピークが発生）と比較して、燃焼状態が格段に改善された。

これは 2 章で述べたように、ストーカ炉の両側壁から高温混合気を吹き込むことにより、ごみ層直上の空間によ

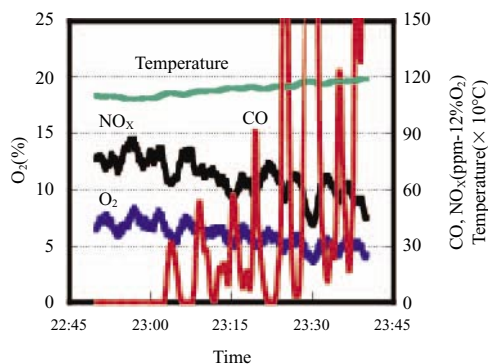


Fig. 5 Changes in O_2 , CO , NO_x and gas temperature with time in test plant under conventional combustion at $\lambda = 1.3$

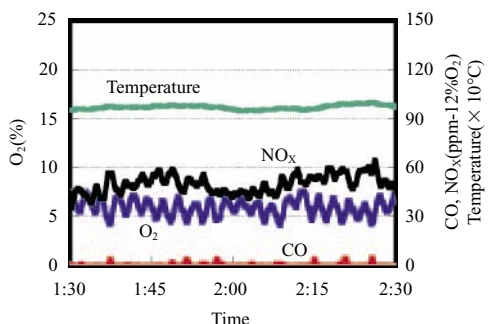


Fig. 6 Changes in O_2 , CO , NO_x and gas temperature with time in test plant under advanced combustion at $\lambda = 1.3$

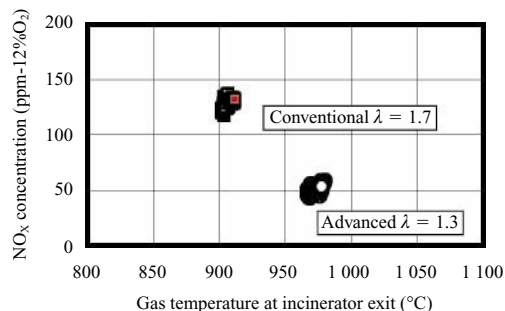


Fig. 7 NO_x concentrations at incinerator exit in test plant

み領域が形成され、ここに安定な火炎が定在化したためと推測される。

4.3.2 炉出口における NO_x 濃度の比較

空気比 1.7（従来型）で燃焼させた時と、高温空気・排ガス混合気を吹き込んだ空気比 1.3（次世代型）で燃焼させた時の NO_x 濃度を比較した結果を **Fig. 7** に示す。高温混合気を吹き込んだ空気比 1.3（次世代型）の条件で、 NO_x 濃度が低い値を示している。その理由としては、ごみ層上での熱分解ガスの主成分は CO 、 H_2 および炭化水素類であり、燃焼室内の空気比を低く抑えることにより、燃料中の窒素分の NO_x への転換率が低く抑えられたこと、また、高温混合気の吹き込みにより均一・混合燃焼が促進（局所高温・過剰酸素雰囲気回避）され、不安定燃焼が解消されたことなどによるものと考えられる。

4.3.3 排ガス中ダイオキシン類濃度

炉出口におけるダイオキシン類濃度の実測値は、 0.76 ng-TEQ/Nm^3 、煙突では 0.13 ng-TEQ/Nm^3 であり、高温混合気吹き込みを適用することにより、小型焼却炉のダイオキシン類濃度を大幅に低減できる結果が得られた。これは高温混合気の吹き込みにより、焼却炉内で均一・混合燃焼が促進されたことにより、未燃炭素およびその関連物質の発生が抑制されたことが一因として考えられる。

4.3.4 焼却灰中ダイオキシン類濃度

焼却炉から排出された焼却灰をロータリーキルンで代表炉内温度 1150°C にて溶融処理したときの焼却灰中ダイオキシン類濃度は 0.0001 ng-TEQ/g 以下と極低濃度に抑制できることが分かった。また、より低温側の 950°C で加熱処理した場合でも同様に 0.0001 ng-TEQ/g 以下であった。

4.3.5 溶出試験結果

Table 2 に加熱／溶融処理した焼却灰の溶出試験結果を

Table 2 Leaching test result for treated ash in test plant

Treatment	Heating	Melting
Furnace temperature ($^\circ\text{C}$)	900	1 150
Pb (mg/ℓ)	< 0.005	< 0.005
Cr ⁶⁺ (mg/ℓ)	< 0.02	< 0.02
pH	12.5	11.1

示す。試料はダイオキシン類の分析と同様に、900℃における加熱処理物と、1150℃における溶融物であり、通常のごみ焼却灰で特に問題とされているPbとCr⁶⁺について判定した。結果は代表炉内温度900℃、および1150℃のいずれの場合においても、Pb、Cr⁶⁺とも土壤環境基準値（環境庁告示第46号法）以下であった。

4.4 実証試験結果まとめ

焼却量12t/dの処理能力を有するストーカ炉と灰処理炉を一体化した試験装置において、高温空気燃焼技術を適用した一般廃棄物の低空気比燃焼試験を実施した。その結果、高温混合気吹き込みを適用することにより、空気比1.3の低空気比条件下でも燃焼を安定させ、COおよび有害物質であるNO_x、ダイオキシン類を同時に低減できることを実証した。また、焼却灰中のダイオキシン類および重金属類の溶出についても、一体化処理により極低濃度に抑えることができ、焼却灰の無害化を達成した。

5. 実炉適用試験概要および成果

5.1 試験概要

上述の一連の研究成果に基づき、実際の焼却炉における効果の実証と操業上の知見を得ることを目的として、次世代ストーカ炉技術を105t/d規模の実炉へ適用し検証を実施した。

実炉適用試験は当社が建設し、1999年から稼動している苫小牧市沼ノ端クリーンセンターで実施した。同クリーンセンターの設備概要をTable 3に、試験設備を含むフローをFig. 8に示す。実炉適用試験設備は、ストーカ炉、廃熱ボイラ、減温塔、バグフィルタ、誘引ファン、灰押出し装置などから構成されていた従来の設備に、排ガス再循環（EGR）ラインと高温混合気発生装置および灰処理設備を追加して次世代型に改造したものである。また、本設備には火格子水冷化技術も付設している。

5.2 試験方法および試験内容

5.2.1 高温混合気吹き込み低空気比燃焼試験

従来の燃焼方法において燃焼用の空気は、(1) 燃焼室（一次燃焼用および炉温制御用）と(2) ガス混合室（二次燃焼用）に供給されているが、高温混合気の吹き込みを適用した次世代型低空気比燃焼試験（以下、低空気比燃焼試験）においては、炉温制御用空気に替えて集じん後の再循環排ガスを供給するとともに、灯油バーナー燃焼ガスと再循環排ガスおよび空気を混合して製造した高温混合気を燃焼室の両側面からごみ層直上に吹き込んだ。燃焼室に吹き込んだ高温混合気の性状は、温度400℃、酸素濃度12%である。

試験は、従来燃焼（空気比λ≒1.6、炉内水噴霧あり）

Table 3 Specifications of the commercial plant

Plant	Numanohata Clean Center, Tomakomai City
Furnace type	JFE Hyper stoker-type incinerator
Capacity	105 t/d×2 lines
Flue gas cooling	Heat recovery boiler (2.8 MPa, 300℃) and cooling tower
Flue gas treatment	Bag house with lime and activated carbon supply
Heat utilization	Steam turbine (2.6 MPa, 295℃) and generator (2 000 kW)

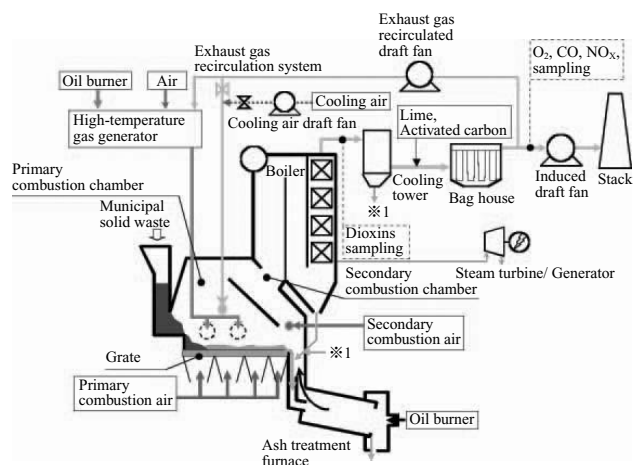


Fig. 8 Schematic flow of the commercial plant with advanced stoker system

と低空気比燃焼（空気比λ = 1.3、炉内水噴霧なし）の条件で実施し、低空気比燃焼時の排ガス性状（CO濃度、NO_x濃度、排ガス中のダイオキシン類濃度）、排ガス量、熱回収率（蒸気量）について従来燃焼時と比較した。また、排ガス中のO₂、CO、NO_xの各濃度は煙突に常設されている連続分析計で計測し、排ガス中のダイオキシン類濃度はボイラ出口で計測した。

5.2.2 焼却炉一体型灰処理試験

焼却炉と灰処理の一体化の狙いはストーカ炉における灰処理の省スペース、低コスト化とエネルギー効率の向上にある。そこで、試験設備は灰の連続溶融の実現に必要な最小限の機器構成とし、既設の灰コンベヤ室という限られたスペースに配置した。主要機器は焼却炉の焼却灰シュートに直結した灰供給装置、バーナー加熱式のロータリーキルン、スラグ水砕コンベヤである。また、焼却炉と灰処理装置の直結により灰の搬送とその間に生じる熱損失を大幅に低減するとともに、灰処理排ガスの廃熱を焼却炉ボイラで回収することでエネルギー効率を向上し、環境負荷の低減とともにランニングコストの削減を図っている。



(a) Conventional combustion



(b) Advanced combustion

Photo 1 Flame photographs in incinerator

5.3 低空気比燃焼試験結果および考察

5.3.1 焼却炉内の火炎形態

Photo 1 に燃焼室内の火炎の形態を従来燃焼時と次世代型低空気比燃焼時を比較して示す。燃焼室の状況は、低空気比燃焼時には高温混合気吹き込み位置より下部では比較的輝度の高い安定火炎が定在化し、上部ではごみ供給部の状況が目視で確認できる程に輝度が低下し、燃焼室全体に輝度の高い火炎が存在する従来燃焼とは火炎形態に特徴的な差異が確認された。このような火炎輝度の違いは、主燃焼領域に吹き込んだ高温混合気と再循環排ガスにより、燃焼場が均一な低酸素濃度雰囲気となり、かつ燃料(ごみの熱分解による可燃性ガス)が希釈されたことで、高温混合気吹き込み位置から上方に輝度の低い拡散火炎を形成したことによるものと考えられる。

5.3.2 排ガス組成の経時変化

従来燃焼時と低空気比燃焼時の排ガス濃度の経時変化を Fig. 9 に示す。従来燃焼時の炉出口 O₂ 濃度が平均 8.1% (空気比 $\lambda = 1.6$) に対して、低空気比燃焼時の炉出口 O₂ 濃度は平均 4.8% であり、空気比 $\lambda = 1.3$ を達成していることが分かる。低空気比燃焼時の CO 濃度は、平均値 5 ppm 未滿かつ 20 ppm を超えるピークもなく従来燃焼時と同様に低く抑えられており、低空気比燃焼時においても完全燃焼が達成できていることが確認できる。また、NO_x 濃度に関しては従来燃焼時の NO_x 濃度は平均 86.3 ppm であるのに対して、低空気比燃焼時は炉内水噴霧を行わないで平均 46.2 ppm とほぼ半減している。これは、前章で示した試験プラントにおける結果と同様であり、主燃焼領域への高温混合気および再循環排ガスの吹き込みによる均一・混合燃焼の促進と低空気比化による主燃焼領域での NO_x 発

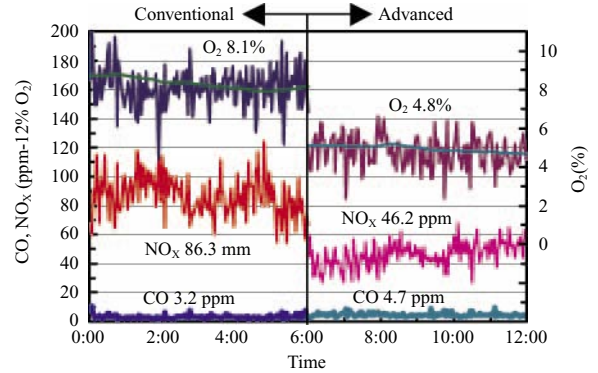


Fig. 9 Changes in O₂, CO and NO_x in flue gas with time

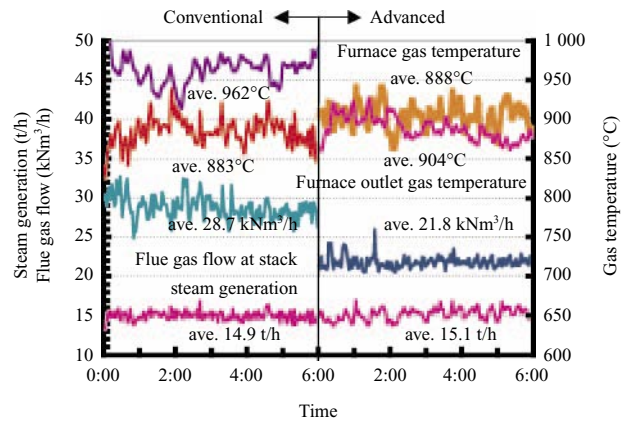
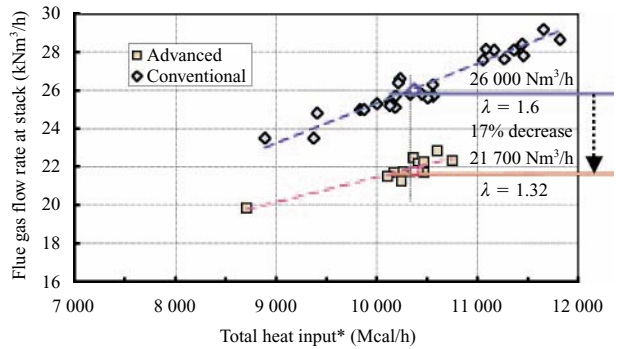


Fig. 10 Changes in steam generation, flue gas flow rate and gas temperatures with time



*Including high temperature air fuel

Fig. 11 Relationship between total heat input and flue gas flow rate at stack

生抑制効果が実炉試験においても確認された。

5.3.3 排ガスの量

煙突における排ガスの量の経時変化を Fig. 10 に示す。この図において、低空気比燃焼時は従来燃焼時と比べて煙突排ガス量が大きく低減していることが分かる。従来燃焼時と低空気比燃焼時の総入熱量を同じとした場合の煙突排ガス流量の関係を Fig. 11 に示す。この図より、総入熱量を 10 370 Mcal/h (低空気比燃焼で蒸発量 15 t/h 運転時) とした場合、低空気比燃焼時の煙突排ガス量は従来燃焼比で 17% の低減となった。このとき、従来燃焼の空気比 λ が 1.6、排ガス量が 26 kNm³/h であることから、空気比

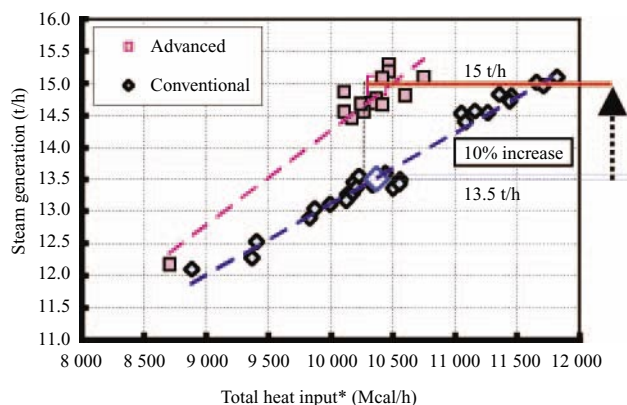


Fig. 12 Relationship between total heat input and steam generation

$\lambda = 1.7$ で運転している焼却炉の場合は約 25%、同空気比 1.8 の焼却炉の場合は約 30%の排ガス量の削減が見込める試算となる。

5.3.4 熱回収率（蒸気量の増加）

高温混合気吹き込み低空気比燃焼による熱回収の向上効果を Fig. 12 に示す。たとえば総入熱量を排ガス削減の試算と同じ 10 370 Mcal/h とすると、低空気比燃焼時の蒸気量は従来燃焼と比較して約 10%の増加となる。これは、排ガスの持ち去り熱が削減されたことに加え、燃焼室内の均一・混合燃焼の促進により燃焼状態が改善されたことによるものである。

この熱回収率向上の効果に基づき、100 t/d × 2 炉規模の焼却炉に 4 MPa、400℃のボイラタービンを有する施設での発電量を試算すると、従来比で約 670 kWh の発電増が見込め、発電端効率は 17%となる。

5.3.5 排ガス中のダイオキシン類濃度

ボイラ出口排ガス中におけるダイオキシン類濃度の計測結果を Table 4 に示す。主燃焼領域への高温混合気および再循環排ガスの吹き込みによる燃焼改善が行われた結果、ダイオキシン類濃度も従来燃焼時と比較して約 40%低下した。これは、低空気比条件下においても高温混合気吹き込みにより安定した火炎が形成され、完全燃焼が達成されていることを表している。なお、バグフィルタ出口のダイオキシン類濃度は従来燃焼時および低空気比燃焼時ともに 0.001 ng-TEQ/Nm³ 台の十分に低い値であった。

5.4 灰処理試験結果

灰の溶融処理運転時の主な運転条件を Table 5 に示す。溶融処理の対象は、焼却炉より排出される焼却灰、ボイラ灰および減温塔灰とし、破碎などの前処理なしで灰処理炉に連続供給した。ただし、溶融不適物である大塊物などは灰供給装置前で分離した。スラグ温度は、灯油バーナーで 1 300-1 400℃に加熱保持し、灰処理炉排ガスは焼却炉内に

Table 4 Dioxins concentration in flue gas at boiler exit of the commercial plant

	Conventional combustion	Advanced combustion
Dioxins concentration (ng-TEQ/Nm ³)	0.71	0.43

Table 5 Ash treatment furnace operation data

Treated ash	Bottom ash Boiler bottom ash Gas cooler bottom ash
Ash throughput (kg/h)	200 - 400
Melted slag temperature (°C)	1 300 - 1 400

Table 6 Leaching test result for slag

Element	Leachate concentration (mg/ℓ)
Pb	< 0.005
Cr ⁶⁺	< 0.02
Cd	< 0.005
T-Hg	< 0.000 5
As	< 0.005
Se	< 0.005

導入した。その結果、同時に行った低空気比燃焼の安定性を損なうことなく、焼却炉一体型灰処理装置による灰の連続溶融が可能であることを確認した。

水砕コンベヤ出口より採取した溶融スラグの外観は従来の灰溶融炉やガス化溶融炉のスラグとほぼ同等であった。また、水砕スラグのかさ比重は 1.5（真比重は 2.8）で、かさ比重約 1.0 の焼却灰に対して約 60%の減容化を確認した。

溶融スラグの溶出試験結果例を Table 6 に示す。各項目とも「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施の促進について（平成 10 年 3 月 26 日厚生省通達，生衛発第 508 号）」を満足しており、本溶融処理によって利材化可能な性状とすることが確認された。

5.5 実炉適用試験結果まとめ

苫小牧市沼ノ端クリーンセンターにおいて実炉への適用試験を実施し、以下の結果が得られた。

- (1) 高温空気燃焼技術を応用して、燃焼室内に高温混合気と再循環排ガスの吹き込んだ実規模のストーカ炉において、空気比 1.3 で安定した低空気比燃焼の運転が可能であることを実証し、排ガス中の NO_x 濃度を平均 50 ppm 未満に抑制可能であることを確認した。
- (2) 低空気比燃焼により、従来の空気比 1.6 の燃焼と比較して排ガス量を約 17%削減した。

- (3) 低空気比燃焼により、ボイラ発生蒸気が従来比 10% 増加し、熱回収率向上の効果を確認した。
- (4) 燃焼室への高温混合気と再循環排ガスの吹き込みにより、排ガス中のダイオキシン濃度はボイラ出口で約 40% 減少した。
- (5) 焼却炉に直結した灰処理装置において焼却灰の溶融処理が可能であることを確認した。

6. おわりに

本稿では、JFE ハイパー 21 ストーカシステムの開発経緯と実証プラントにおける実証試験結果、および実炉における適用試験結果を報告した。

実証試験の結果に基づいた実炉での適用試験の結果、当社の次世代型ストーカシステムの中心技術である、高温空気燃焼技術を応用した低空気比安定燃焼の実現および焼却炉一体型灰処理システムについて、105 t/d 規模の実炉において実施が可能であることが確認できた。これは、これらのシステムを適用することにより、環境負荷の低減とエネルギー回収の向上、さらにランニングコストの低減を実現した、運転安定性に優れ運転操作が容易である次世代のストーカ式廃棄物焼却システムを提供できることを示したものである。

本システムは新設の焼却炉のみならず、既設の焼却炉に適用することにより熱回収効率の増加が可能であり、現在稼働中の焼却炉の多数を占めるストーカ炉に適用が可能である。ごみカロリーの上昇とごみ発生量の増加を想定して大きな廃熱回収システム（廃熱ボイラ、蒸気タービン、発電機）を備えた工場においては、近年のごみの減量・分別・リサイクルの進捗により、その設備容量に対して比較

的余裕の大きい操業を行っている場合も多い。そのような工場に適用した場合には、熱回収効率の向上効果をそのまま電力として利用することが可能であり、有効なシステムであると考えられる。今後増加すると考えられる既設ストーカ炉の延命化・機能向上案件に対しても積極的に提案をしていきたい。

実炉適用試験の実施に際し、設備の使用および試験の実施についてご理解とご協力をいただいた、苫小牧市殿と同市沼ノ端クリーンセンターの職員、運転員の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 公共投資ジャーナル社、環境施設、no.88, 2002, p.18-21.
- 2) 永関三千男ほか、NKK 技報、no.147, 1994, p.25-26.
- 3) 藤井聡ほか、NKK 技報、no.159, 1997, p.21-25.
- 4) 土井茂行ほか、NKK 技報、no.176, 2002, p.11-15.
- 5) 塩満徹ほか、NKK 技報、no.176, 2002, p.6-10.
- 6) 立福輝生ほか、第 39 回燃焼シンポジウム講演会、2001, p.105-106.
- 7) 鈴木実ほか、高温空気フォーラム講演会、2001, p.53-68.
- 8) 鈴木実ほか、第 12 回廃棄物学会研究発表会、2001, p.576-578.
- 9) 立福輝生ほか、第 24 回全国都市研究発表会、2003, p.177-179.
- 10) 松井聡ほか、第 23 回全国都市研究発表会、2002, p.156-158.



西野 雅明



立福 輝生



宮越 靖宏