

ハイパー 21 ストーカーシステム —沼ノ端クリーンセンターにおける実証試験結果—

Hyper 21 Stoker System

—Demonstration Test at Numanohata Clean Center—

西野 雅明 NISHINO Masaaki JFE エンジニアリング 環境技術部計画室 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
山本 浩 YAMAMOTO Hiroshi JFE エンジニアリング 環境システム研究部 副課長

要旨

ハイパー 21 ストーカーシステムは、本システムの特長である「高温空気燃焼制御技術」を世界に先駆けて廃棄物処理分野へ適用し、低空気比安定燃焼実現による大幅な排ガス量低減および NOx とダイオキシン類の同時低減を実現し、焼却から灰処理まで一貫した高効率化・環境負荷物質低減を可能にする廃棄物処理システムである。JFE エンジニアリングは、苫小牧市殿のご協力のもと、本システムの実証試験を実施してきた。本報では、実炉において優れた操業安定性、環境負荷物質の低減、エネルギー回収率の向上、さらにランニングコストの低減を実現する結果が得られたので、その試験内容について報告する。

Abstract:

JFE Engineering's advanced stoker type incinerator "Hyper 21 Stoker System" is the first municipal solid waste incinerator which has adopted the new technology called "High-temperature air combustion technology." With this technology, the system realizes stable combustion under low excess air condition, which results in reduction of NOx, dioxins and flue gas. The system also treats waste from combustion to ash melting with high efficiency and a low pollutant emission. This Hyper 21 Stoker System described in this paper demonstrated excellent operational stability and easy operating features, while also minimizing environmental pollutants, improving energy recovery, and reducing operational costs.

1. はじめに

環境やエネルギー問題に対する関心の高まりの中で、廃棄物の焼却処理に求められる役割は年々高度、かつ多様化している。特に、有害物質であるダイオキシン類や NOx などの排出量削減、エネルギー利用の高効率化、ライフサイクルコストの低減は重要課題として、さまざまな技術的取り組みがなされている。JFE エンジニアリングでは、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、高い信頼性を有するストーカー式焼却炉において、上記課題を解決すべく、低空気比安定燃焼技術と焼却炉一体型灰処理技術の確立による、環境負荷物質の排出低減と廃熱回収率の向上を目指した次世代型ストーカー式焼却炉の開発に取り組んできた¹⁻⁴⁾。本報では、前報⁴⁾で一部紹介した焼却量 105 t/d 規模の苫小牧市沼ノ端クリーンセンターにおける低空気比燃焼試験結果および灰処理試験結果について、その後の運転状況および最新の試験結果について報告する。

2. 試験概要

2.1 試験設備

試験を実施した苫小牧市沼ノ端クリーンセンターは、当社が苫小牧市殿より受注し建設した（1999 年稼働）設備であり、設備概要およびフローはそれぞれ **Table 1**, **Fig. 1** に示すとおりである。試験設備は、焼却量 105 t/d のストーカー式焼却炉（二回流式焼却炉、炉幅：約 3.2 m、炉高：約 6.2 m、炉奥行き：約 8.0 m）、廃熱ボイラ、減温塔、ろ過式集じん器、誘引ファン、灰押し出し装置などから構成されていた従来の設備に、高温混合気発生装置および再循環ファンと、主灰シュートから直結した灰処理炉を追加設置し、次世代型に改良したものである。また、火格子も従来の空冷式から水冷式に改造している。

2.2 試験内容

筆者らは、前報⁴⁾にて、高温混合気温度 400°C の吹き込み条件において、従来燃焼時に対する、煙突排ガス量低減、

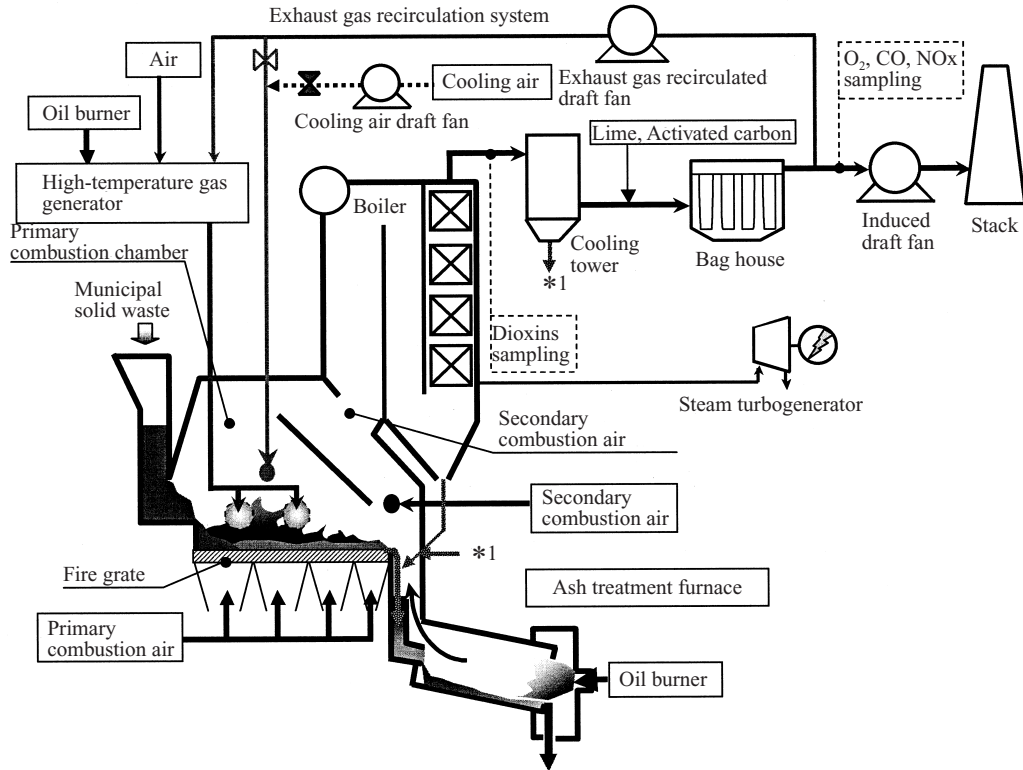


Fig. 1 Schematic flow of the commercial plant with an advanced stoker system

Table 1 Specifications of the commercial plant

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

環境負荷物質の低減（NO_x 濃度および排ガス中のダイオキシン類濃度低減）、熱回収率（蒸気量）向上の効果を報告した。

そこで、本報の低空気比燃焼試験においては、環境負荷物質の低減と熱回収効果の一層の向上を主な目的として、以下に示す改良を行い、試験を実施した。

- (1) ランニングコスト改善のため高温混合気吹込み条件を 400°C から GAH や SAH などの既存の熱交換器で得ることができる 250°C に低温化
- (2) 低空気比燃焼時の焼却炉の制御性向上のため、ボイラ出口に O₂ 計を設置し制御へ反映
- (3) 一次燃焼領域での燃焼の変動を極小化するなどの自動燃焼制御（以下、ACC）の改善

灰溶融試験は、前報⁴⁾と同様、焼却炉から排出される主灰とボイラ灰および減温塔灰を処理対象とし、破碎などの前処理はせずに、溶融不適物である大型不燃物のみを灰供

給装置前で除去した後、灰処理炉に連続供給した。前報では灰溶融炉としての基本性能について報告した。本報では、さらに投入熱量と熱回収率向上効果および処理灰（スラグ）のより詳細な性状について検証した結果について報告する。

3. 試験結果

3.1 低空気比燃焼試験

3.1.1 排ガス性状

空気比 $\lambda = 1.3$ 、吹込み高温混合気温度 250°C の条件における煙突での CO 濃度、NO_x 濃度およびボイラ出口における O₂ 濃度のトレンドを Fig. 2 に示す。本図に示されるように、高温混合気吹込み温度 250°C においても、CO 濃度は従来燃焼と同様に極低濃度であり、安定燃焼を実現していることが分かる。NO_x 濃度は平均 43.9 ppm であり、従来燃焼時⁴⁾と比較すると、40%以上の削減となる結果を得た。また、蒸発量も ACC の改善などの効果により、低空気比条件下においても長期安定化を実現した。

3.1.2 ボイラ内燃焼挙動

低空気比燃焼は、従来燃焼と比較して低空気比化にともない焼却炉からの未燃ガスの排出量の増大が懸念されたため、本試験ではガス混合室からボイラ出口にかけての CO 濃度の計測・調査を実施した。その結果を Fig. 3 に示す。従来燃焼時にはガス混合室内では CO はおおむね 0 ppm と完全燃焼しているのに対して、低空気比燃焼時には数十

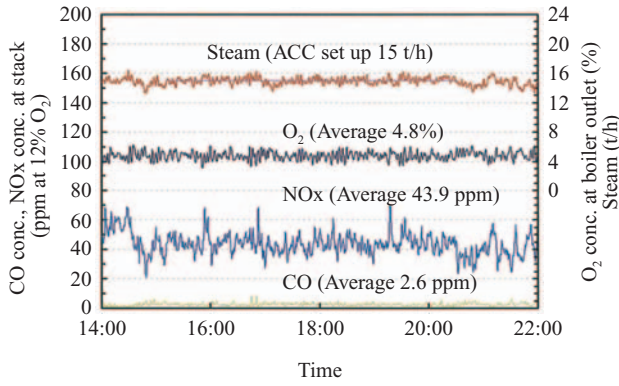


Fig. 2 Changes in O₂, CO₂, and NO_x in flue gas and steam with time

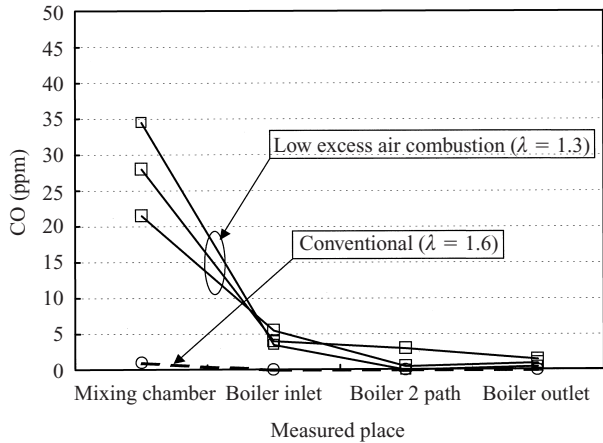


Fig. 3 CO concentration in boiler

ppm の CO が残存している。しかし、これら残存 CO はボイラ入口に至るまでに燃焼し、5 ppm 以下に低濃度化しており、ボイラ出口では従来燃焼時と大きな差がないことを確認した。ガス混合室において、CO 濃度が従来と比較して高い理由として、低空気比燃焼時には焼却炉に供給する O₂ 量が限られ、主燃焼室への高温混合気の吹き込みにより主燃焼域における O₂ 濃度が従来燃焼時より低く、燃焼が緩慢となるため、従来燃焼時に比べてガス混合室における CO 濃度が高くなると考えられる。

3.2 灰処理試験結果

3.2.1 水砕スラグの性状

本熔融試験で得られた水砕スラグの性状を Table 2 および 3 に示す。なお、スラグは磁選後粒度調整を行った。水砕スラグの性状は、「道路用溶融スラグの骨材」(TR A 0017) の規格および重金属類などの含有量基準のいずれについても満足しており、路盤材やコンクリート二次製品などへの再利用が可能な性状であることが確認された。

3.2.2 処理燃費

スラグ排出量と灰処理炉投入熱量の関係を Fig. 4 に示す。灰処理炉に投入される主灰は、焼却炉からの直投式である、スラグの排出量は焼却炉からの主灰排出量により変動するが、灰処理炉の定格であるスラグ排出量 420 kg/h

Table 2 Slag properties

Item	Result	Regulation TR A 0017 FM2.5
Unit weight (kg/l)	1.77	—
Dry density (g/cm ³)	2.88	> 2.45
Absorption ratio (%)	0.16	< 3.0
Metallic iron (%)	< 0.7	< 1.0
Size distribution percentage passing	4.75 mm	100
	2.36 mm	90
	0.075 mm	2
Leaching test (mg/l)	Cd	< 0.005
	Pb	< 0.005
	Cr ⁶⁺	< 0.04
	As	< 0.005
	Total Hg	< 0.000 5
	Se	< 0.005
		< 0.01
		< 0.01
		< 0.05
		< 0.01
		< 0.000 5
		< 0.01

Table 3 Heavy metal contents in slag

Element	Content (mg/kg)	
	Result	Regulation*
Cd	< 5	≦ 150
Pb	31	≦ 150
Cr ⁶⁺	< 2	≦ 250
As	< 5	≦ 150
Total Hg	< 0.05	≦ 15
Se	< 5	≦ 150
Cyanogen	< 5	≦ 50
F	36	≦ 4 000
B	150	≦ 4 000

* The Soil Pollution Control Law

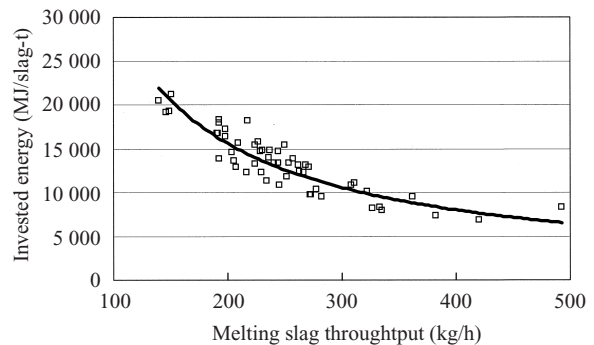


Fig. 4 Relationship between slag throughput and invested energy

の時の投入熱量は約 8 000 MJ/ スラグ-t となった。

3.3 ダイオキシン類排出量

高温混合気吹き込みを適用した低空気比燃焼と灰処理炉を同時運転した時の、各排出物のダイオキシン類濃度を Table 4 に示す。低空気燃焼時のボイラ出口排ガスのダイオキシン類濃度は、低空気比燃焼用 ACC 改良によりさらに低減し、従来燃焼時 (0.78 ng-TEQ/Nm³)⁴⁾ に対し 70% 低減した。これらの濃度からごみ焼却量当たりのダイオキシン類総排出量を求めると、約 1.5 μg-TEQ/ ごみ-t であった。ダイオキシン類揮発脱離分解⁵⁾ などの飛灰のダイオキシン

Table 4 Dioxin emissions

	Flow/Feed rate	Dioxins concentration	Amount of dioxins
Flue gas at boiler outlet	—	0.17 ng-TEQ/Nm ³	—
Flue gas at stack	20 300 Nm ³ /h	0.000 15 ng-TEQ/Nm ³	3 ng-TEQ/h
Fly ash	34.2 kg/h	0.18 ng-TEQ/g	6 156 ng-TEQ/h
Fly ash (De-dioxins)	(34.2 kg/h)	(0.01 ng-TEQ/g)	(342 ng-TEQ/h)
Melting slag	281.6 kg/h	N.D.	0 ng-TEQ/h
Unsuitable for melting	39 kg/h	0.000 5 ng-TEQ/g	20 ng-TEQ/h
Total (After fly ash de-dioxins treatment)			6 179 ng-TEQ/h (365 ng-TEQ/h)
Waste throughput	4.27 t/h	Amount of dioxins per waste throughput (After fly ash de-dioxins treatment)	1.45 μg-TEQ/t-waste (0.09 μg-TEQ/t-waste)

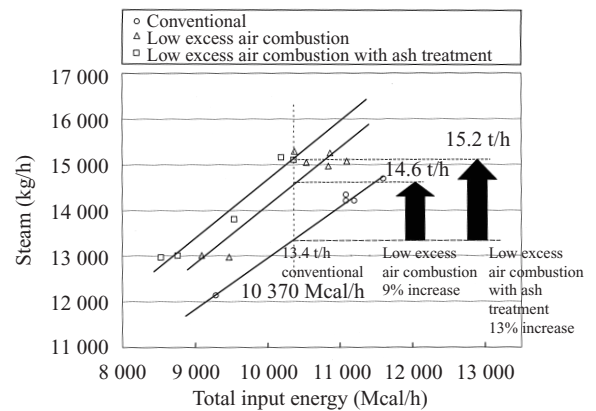
類処理を実施し、その濃度を 0.01 ng-TEQ/g に低減したと仮定した場合には、約 0.09 μg-TEQ/ごみ-t となる。

3.4 廃熱回収量

焼却炉単独運転（低空気比燃焼時）および焼却炉と灰処理炉の同時運転における焼却炉ボイラによる廃熱の回収結果を Fig. 5 に示す。従来燃焼時に比べて低空気比燃焼時には蒸気回収量が約 9% 増加しているが、焼却炉と灰処理炉同時運転時には低空気比燃焼による焼却炉単独運転時より蒸気回収量がさらに約 4% 増加し、合計約 13% 増加する結果を得た。これは熱量に換算すると約 1 400 × 10³ MJ/h となり、灰処理炉への投入熱量の約 40% が蒸気として回収されていることになる。

3.5 経済性試算

ハイパー 21 ストーカシステムにおける高温混合気製造に関わる経済性の試算結果を Table 5 に示す。高温混合気の吹込み温度を 250°C に低温化した低空気比安定燃焼の実現



Note: Heat value of kerosene for manufacturing the high-temperature mixed gas is included, but that of kerosene for ash treatment is not included.

Fig. 5 Relationship between total energy input and steam recovery

により、蒸発量（熱回収）増加による売電収入の増加が、高温混合気製造用燃料代を上回る収支結果を得た。高温混

Table 5 Economic estimation

		Test result			Design standard for new plant
		Conventional combustion	Low excess air combustion		
Energy resource	Burner	—	Oil burner	Oil burner	
	Steam heating	—	SAH	—	SAH
Gas temperature	(°C)	—	400	250	250
Steam recovery	(t/h)	13.5	15	15	15
Increased steam recovery	(t/h)	—	1.5	1.5	1.5
Oil (kerosene) consumption	(l/h)	—	27.3	14	0
Preheating	(t/h)	—	0.16	0	0.11
Increased sales of electricity*	(yen/h)	—	822	1 003	885
Oil (kerosene) expense**	(yen/h)	—	-1 010	-518	0
Profit	(yen/d)	0	-4 506	11 640	21 237

* Average of day price and night price: 6.8 yen/kWh

** Price: 37 yen/l

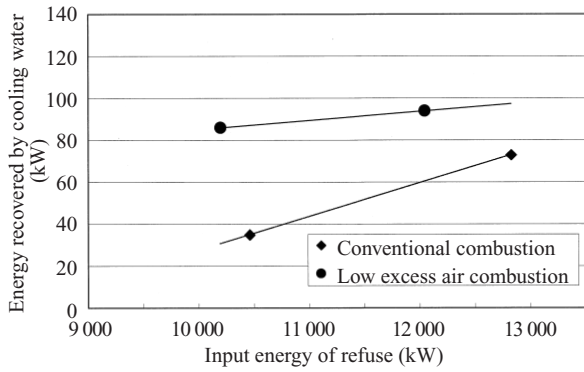


Fig. 6 Tendency of heat load to the grate

合気を本システムで回収した蒸気加熱のみで製造した場合は、さらに大きな収入増加となる。

3.6 水冷火格子稼働状況

火格子は全 18 段で構成されており、このうち上流 12 段を水冷化構造とした。火格子の温度は最も熱負荷の高い No. 2 風箱部において最高温度に達するが、従来燃焼時：85～110℃、低空気比燃焼時：85～130℃といずれの場合にも安定した結果を得た。これは、火格子の水冷化により耐久性が向上することを示している。Fig. 6 に火格子への熱負荷の指標として、従来燃焼時と低空気比燃焼時の火格子冷却水の回収熱量を示す。本図より低空気比燃焼時には冷却水の回収熱量が従来燃焼時と比較し約 2 倍となっていることがわかる。これは、低空気比燃焼時には高温混合気の吹込みによりごみ層上に定在化した火炎の効果により、ごみ層への火炎輻射が増加していることを示唆している。

4. おわりに

本稿では、JFE ハイパー 21 ストーカシステムの実炉試験の結果について報告した。本試験結果から、当社独自技術である高温空気燃焼制御技術を応用した低空気比安定燃焼技術により、環境負荷物質の低減とエネルギー回収率の向

上、さらにランニングコストの低減を実現した。これら一連の成果が認められ、日本燃焼学会より平成 15 年度技術賞を受賞した。焼却炉一体型灰処理技術についても、焼却炉から発生する焼却灰を低コストで熔融処理することにより利材化することが可能であることを実証した。このことは、運転安定性に優れかつ運転操作が容易な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。なお、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も可能である。

JFE エンジニアリングでは、今後も継続してハイパー 21 ストーカシステムのブラッシュアップを図り、技術力向上に努めていく所存である。

末筆ながら、本研究の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「産業技術実用化開発助成事業」の一環として実施されたことを記すとともに、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きました。苫小牧市殿と同市沼ノ端クリーンセンターの職員の方々、運転員の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) NEDO. 高温空気燃焼制御技術研究開発成果報告書. 2000-03.
- 2) NEDO. 高温空気燃焼制御技術研究開発成果報告書. 2001-03.
- 3) NEDO. 高温空気燃焼制御技術研究開発成果報告書. 2002-03.
- 4) 西野雅明, 立福輝生, 宮越靖宏. JFE 技報. no. 3, 2004, p. 6-13.
- 5) 塩満徹, 平山敦, 岩崎敏彦, 明石哲夫. NKK 技報. no. 176, 2002, p. 6-10.



西野 雅明



立福 輝生



山本 浩