

# 対向流燃焼方式を適用した廃棄物焼却炉

## Stoker Type Incinerator Utilizing Counter Flow Combustion

狩野 真也 KANO Shinya JFE エンジニアリング 環境本部 エンジニアリングセンター 装置設計部  
傳田 知広 DENDA Tomohiro JFE エンジニアリング 技術本部 総合研究所 主任研究員

### 要旨

廃棄物焼却炉に求められる役割は年々高度化、多様化している。JFE エンジニアリングは、これらのニーズに応えるために、長年の実績により高い完成度が裏付けられている JFE ハイパー 21 ストーカーシステムに採用している高温空気燃焼技術（高温空気と再循環排ガスを混合させた高温混合気を吹き込むことで、ごみ層直上の空間に平面状燃焼領域を形成する技術）をベースに、対向流燃焼方式を世界で初めて廃棄物焼却炉に適用し、排ガス中の NOx 濃度を従来比で 22% 低減し、同時に CO 濃度も従来同等以下まで抑制できることを実証した。

### Abstract:

JFE Engineering has developed the advanced stoker-type incineration system utilizing counter flow combustion based on “JFE Hyper 21 Stoker system”, which has been proven its superiority by long term accomplishment. In this system, high temperature air counter flow is used to stabilize waste combustion. This system was developed to meet varied requirement and function such as high efficiency of power generation and minimization of environmental pollution. In this paper, the combustion stability demonstrated by the first facility with this forefront technology is reported. In particular, the combustion with both low NOx and low CO emission is confirmed.

## 1. はじめに

近年の廃棄物焼却炉には、発電量増加、環境負荷低減、運転コスト低減等、様々な課題への対応が強く要求されている。これらの要求に応えるためには、安定した低空気比燃焼の実現（排出ガス削減による環境負荷低減、低公害化による薬剤コスト低減、熱回収効率向上による高効率発電）が不可欠であるが、低空気比下での燃焼は廃棄物の多様性・不均一性に起因して不安定となりやすい。そこで JFE エンジニアリングでは、低空気比下でも安定した燃焼を実現するため、高温空気燃焼技術（HiCOT: High-temperature Air Combustion Technology<sup>1)</sup>）を適用した JFE ハイパー 21 ストーカーシステムを開発し、2009 年以降、次世代ストーカー炉として多数の導入実績を積み重ねてきた。本稿では、JFE ハイパー 21 ストーカーシステム（以下、従来型装置）を改良し、更なる安定燃焼性能の実現に成功した、対向流燃焼方式を適用した廃棄物焼却炉（以下、新型装置）について紹介する。

## 2. 装置の説明

### 2.1 装置の特徴

本節では新型装置の紹介の前に、まず従来型装置の特徴

について紹介する。従来型装置は、高温混合気（高温空気 + 再循環排ガス）を炉の側壁から吹き込むことを特徴としている（図 1 参照）。本要素技術により、ごみ層からの熱分解ガスと左右側壁から吹き込まれた高温混合気を衝突させ、安定した平面状燃焼領域をごみ層上部に定在させることで、ごみ層への放射熱により燃焼効率が向上し、不安定となりやすい低空気比下での安定燃焼を可能としている（CO、NOx の同時抑制）。一方、処理規模が大きくなると炉幅拡大により、炉の中央付近では熱分解ガスと高温混合気との衝突が弱まるため、海外案件に代表される大型炉では、炉幅

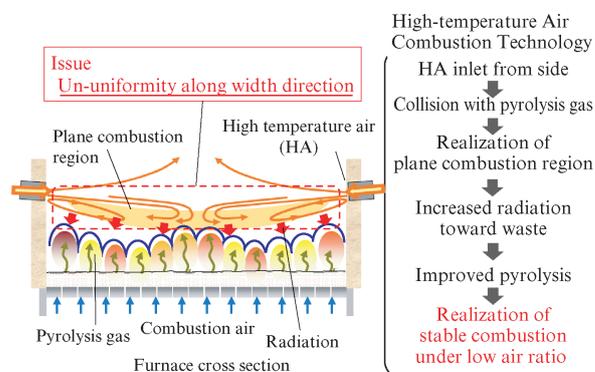


図 1 高温空気燃焼技術を適用した従来型装置の燃焼形態概念図

Fig. 1 Schematic configuration of High-temperature Air Combustion Technology (HiCOT) in conventional equipment

2022 年 3 月 18 日受付

方向の均一性が確保しづらいという課題があった。

それに対し、新型装置はさらなる安定燃焼と NOx 低減および大型炉への適用性向上を目指し、前述の高温空気燃焼技術を発展させた対向流燃焼方式を世界で初めて廃棄物焼却炉に適用したものである。新型装置における燃焼形態概念図を図 2 に示す。

新型装置は、焼却炉天井より高温混合気を吹き込むことによりごみ層からの熱分解ガスと高温混合気を対向して衝突させ、炉幅方向により均一な平面状燃焼領域の形成、ならびに燃焼安定性の向上 (CO, NOx の同時低減) を実現している。さらに、均一な燃焼領域の形成および天井からの供給ガス適正化による二段燃焼を実現することで、下記の機構により NOx を低減している (図 3, 図 4 参照)。

- (1) 焼却炉天井からの高温混合気供給量および高温混合気酸素濃度を適切に調整することで、焼却炉内上流部 (図 3, 炉内中央部) に還元性雰囲気、炉内下流部に酸化性雰囲気の燃焼場を形成
- (2) これにより一段目の還元性雰囲気の燃焼場で生成するアンモニア、シアンなどの窒素化合物が、二段目の酸化性雰囲気の燃焼場で NOx の還元剤として作用することで、二段燃焼を実現
- (3) 焼却炉内下流部付近の焼却炉天井から再循環排ガスを

積極的に供給し、ここでの排ガスの攪拌・混合を促進させて二段燃焼時の炉内脱硝効果を高める (図 4 参照) また、新型装置は、高温混合気吹込み部を焼却炉天井としたことで炉幅方向の拡張性が向上し、小型炉から大型炉まで幅広い範囲で適用できるという特長も有している。

## 2.2 開発経緯

以下、新型装置の開発経緯をまとめる。

- 1999 年: 高温空気燃焼技術の基盤研究を、実証試験プラント (12 t/d) で開始
- 2002 年: 高温空気燃焼技術を適用した試験実炉 (従来型装置, 105 t/d) が稼働
- 2009 年: 従来型装置初号機 (117.5 t/d) が竣工, 以降実績多数
- 2012 年: 高温空気燃焼技術を更に発展させた新型装置「対向流燃焼方式」の基盤研究を、実証試験プラント (3 t/d) で開始
- 2016 年: 新型装置初号機 (60 t/d) が竣工
- 2020 年: 新型装置 2 号機 (55 t/d) が竣工
- 2021 年: 新型装置 3 号機 (60 t/d) が竣工
- 2022 年: 新型装置 4 号機 (100 t/d) が竣工

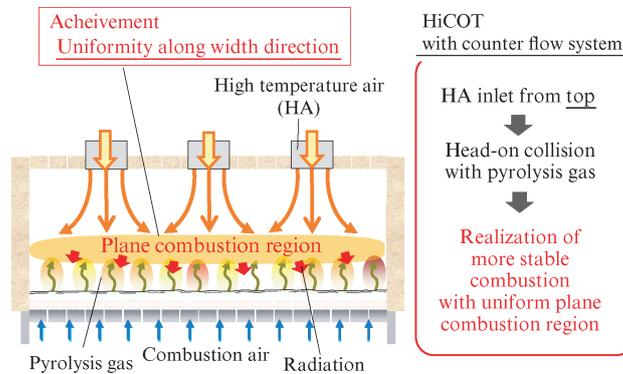


図 2 対向流燃焼方式を適用した廃棄物焼却炉 (新型装置) における燃焼形態概念図

Fig. 2 Schematic configuration of HiCOT with counter flow system

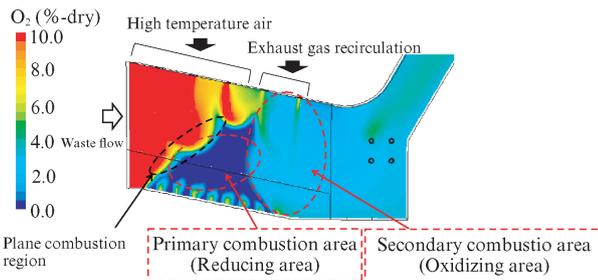


図 3 炉内酸素濃度分布 (焼却炉を側面より見る)

Fig. 3 O<sub>2</sub> concentration distribution

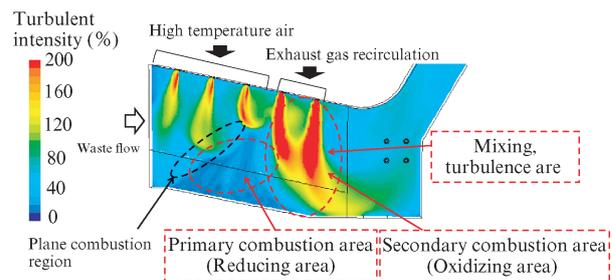


図 4 炉内乱流強度分布 (焼却炉を側面より見る)

Fig. 4 Turbulence intensity distribution

### 2.3 実機化プラントの設備概要とフロー

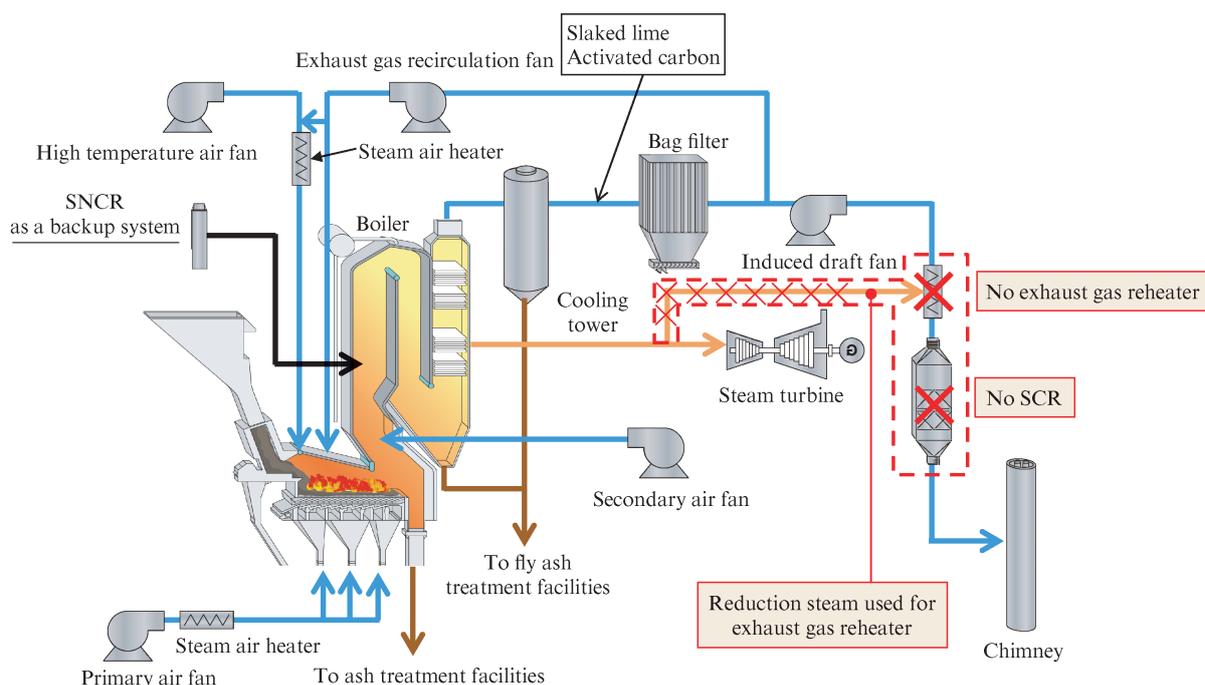
新型装置を実機化したプラント設備（60 t/d）の概要とフローを図5に示す。対向流燃焼方式の要素技術となる焼却炉天井からの高温混合気吹込みのため、ろ過式集じん器で除じんされた排ガスを、再循環排ガス送風機により焼却炉へ還流している。本排ガスは2系統に分岐されており、一方は高温空気送風機より供給される空気と混合し所定のO<sub>2</sub>濃度に調整され、蒸気式空気予熱器により昇温された後、高温混合気として焼却炉天井へ吹き込まれる。もう一方は、再循環排ガスとして単独で焼却炉天井へと吹き込まれている。また、本プラントでは、多くの廃棄物焼却施設で採用されている触媒脱硝反応塔を廃止することで、従来反応塔入口で低温排ガスの昇温に使用していた蒸気を不要とし、余剰蒸気によるタービン発電量の増加を実現している。ただし、バックアップ用として焼却炉出口に無触媒脱硝設備（アンモニア噴霧）を設置している。

### 2.4 装置の性能

表1に、同規模工場における従来型装置と新型装置の設備概要と運転状況を示す。従来型装置の場合は、CO濃度3 ppm、NO<sub>x</sub>濃度53 ppm（脱硝前）であるが、新型装置を実機化したプラント設備では、CO濃度1 ppm、NO<sub>x</sub>濃度41 ppm（脱硝なし）となっており、COとNO<sub>x</sub>の同時抑制を実現している。なお、本プラントでは、触媒脱硝設備の廃止によって発生する余剰蒸気の活用による売電量の増加（+17%）と、無触媒脱硝設備も使用しない運転による脱硝用薬剤使用量の大幅な削減（▲99%）も実現している。

### 2.5 将来性

環境省の統計によると2015年度末の廃棄物焼却施設は1141施設で、うち発電設備を有する施設は348施設にとどまる。廃棄物発電量増加への社会的要求が高まる中で、このような状況となっている一因として、約半数の施設規模100 t/d未満の小型施設では発電効率が低く、発電設備導入によるメリットが小さいことが挙げられる。本新型装置は、



Furnace type	Continuous stoker type furnace (HiCOT with counter flow system)
Capacity (t/d)	60 x 2
Exhaust gas cooling system	Natural circulation boiler 3.0 MPa, 300 degree Cooling tower
Exhaust gas treatment system	SNCR BF with slaked lime and activated carbon
Power generation system	Steam turbine 2.8 MPa, 295 degree 1 550 kW

図5 実機化プラントの概要とフロー

Fig. 5 Schematic flow of the first plant with counter flow system

表 1 従来装置と新型装置の性能比較

Table 1 Performance comparison between JFE Hyper 21 Stoker System and Counter Flow System

Furnace type		Continuous Stoker type furnace (HiCOT)	Continuous Stoker type furnace (HiCOT with counter flow system)
Capacity	(t/d)	70×2	60×2
Air ratio		1.3	1.3
High temperature air flow rate	(kNm <sup>3</sup> /h)	1.2	0.9
Exhaust gas recirculation flow rate	(kNm <sup>3</sup> /h)	2.6	1.7
NOx concentration	(ppm)	<u>53</u> (before denitration)	-22% ➡ <u>41</u> (without denitration)
CO concentration	(ppm)	3	<u>1</u>
Exhaust gas flow rate	(kNm <sup>3</sup> /h)	16.5	15.4
Electricity	Generation (%)	100	+8% ➡ 108 <sup>(1)</sup>
	Consumption (%)	53	53 <sup>(1)</sup>
	Selling (%)	47	+17% ➡ 55 <sup>(1)</sup>
Used amount of NH <sub>3</sub> for denitration	(Nm <sup>3</sup> )	9 400 per year of NH <sub>3</sub> gas (SCR) 8 050 per year equates to 60 t/d capacity	-99% ➡ 40 per half year of NH <sub>3</sub> gas (SNCR) as a backup system
Exhaust gas treatment device		BF with slaked lime and activated carbon exhaust gas reheater SCR	BF with slaked lime and activated carbon SNCR

(1) When power generation with JFE Hyper 21 Stoker system is regarded as 100%

触媒脱硝反応塔および排ガス再加熱器の廃止により大幅な発電量の増加が見込める（触媒脱硝設備を有する施設に比べ、売電17%増）ことから、小型施設にとっても発電設備を導入するメリットが大きくなり、発電設備を有する廃棄物焼却施設の増加への貢献が期待される。

また、従来型装置では触媒脱硝反応塔がない場合（NOx規制値が比較的高い地域）に常用設備であった無触媒脱硝設備を、新型装置ではバックアップ設備とすることができ、大幅な薬剤使用量削減が見込まれる。さらに、設備機器点数削減（触媒脱硝反応塔、排ガス再加熱器）によるライフサイクルコスト低減ならびに施設機器配置のコンパクト化が期待できる。一方、焼却炉設計の観点では、本装置は大型化が容易という特徴がある。ストーカ式焼却炉のスケールアップには炉幅の拡張を伴うが、本新型装置は焼却炉天井から高温混合気を供給する吹込みノズルのピッチ毎（炉幅方向）に炉幅方向のモジュール化設計が可能であることから、ストーカ炉の大型化が容易である。

以上のとおり、本新型装置はJFEエンジニアリングの主力装置となるだけでなく、今後の廃棄物処理業界に多大な貢献が期待できる装置である。

### 3. おわりに

廃棄物焼却炉に求められる役割が年々高度化、多様化し

ている中、長年の実績により高い完成度が裏付けられているJFEハイパー21ストーカシステム（従来型装置）をベースに、対向流燃焼方式を世界で初めて廃棄物焼却炉に適用した（新型装置）。初号機性能確認結果を以下に述べる。

- (1) 同規模工場で性能を比較した結果、従来型装置と同等以上のCO、NOxの同時抑制性能を有していることを確認した。
- (2) 初号機プラントでは、触媒脱硝設備の廃止によって発生する余剰蒸気の活用による売電量の増加（+17%）と、無触媒脱硝設備も使用しない運転による脱硝用薬剤使用量の大幅な削減（▲99%）を実現した。
- (3) 新型装置は、炉幅方向の拡張性が高く、小型炉から大型炉まで幅広い範囲で適用できる特長を有す。

#### 参考文献

- 1) NEDO. 平成13年度高温空気燃焼技術研究開発成果報告書. 2001, p. 235-295.



狩野 真也



傳田 知広