

HPCC21型ストーカ式焼却技術と今後の展望

塚本輝彰* 櫻井清之* 井口哲治*
 岡武裕* 佐々木稔* 市川淳一*

The HPCC21 Stoker and Prospects for the Development of Waste to Energy Technology

by Teruaki TSUKAMOTO, Kiyoyuki SAKURAI, Tetsuji IGUCHI, Takehiro OKA, Minoru SASAKI, & Junichi ICHIKAWA

Circumstances regarding the treatment of municipal solid waste have undergone drastic changes in the last 2 decades. The technology demanded in such treatment is also undergoing changes and includes factors such as efficient energy use, reduction in dioxin emission, reduction in final waste disposal amounts and slag melting techniques, as well as the reuse of waste as a resource. Corresponding measures and policies have also caused changes in the properties of waste to be treated and the public demand in waste treatment processes. Ebara Environmental Plant Co., Ltd. has made effective use of its abundant experience in the field and its exquisite technological expertise to develop the HPCC21 (High Pressure Combustion Control 21) type stoker, capable of versatile and safe municipal waste treatment. Its stable operation has been proven and it fulfills the diversified demands in present and future waste treatment. Concepts and the element technology encompassing the HPCC21 type stoker are introduced and discussed in the following.

Keywords: Municipal solid waste, Incinerator, Stoker, Fire grate, Auto combustion control, Gas treatment, Waste to energy, Forcible air-cooling

1. はじめに

1-1 国内及び海外廃棄物処理事情と技術の変遷

近年、日本の廃棄物処理事情は大きな転換期を迎え、経済発展中心の社会から環境保全との調和を目指した循環型社会の形成を推進する基本法が発令され、社会システム構築に様々な施策が取られてきた。処理技術もダイオキシン類対策、3R（リデュース、リユース、リサイクル）イニシアティブ、溶融処理、高効率発電へと社会ニーズに合わせて推移してきている。

廃棄物を取り巻く状況として、一般廃棄物発生量は1999年から2009年の11年間で約14%程度減少したが¹⁾、2013年から2018年においては循環利用量は30%程度増加する反面、廃棄物発生量は約4%減程度にとどまるとの予測もある。

廃棄物の性状は、リサイクル政策に大きく左右される。ごみ発熱量の全国平均は約9000 kJ/kg（2004年時）で微増傾向にはあるが安定しつつ一方、プラスチック類の

分別を進めた横浜市では3年間で約10%の減少、プラスチック類の混焼を進めた東京二十三区清掃一部事務組合では約20%の上昇となっており（図1）、各自治体で求める処理プロセスもおおのずと異なったものとなっている。

そのため、処理技術やプロセスも高性能高機能化に加え、処理対象物に対する順応性、安定性が強く求められている。

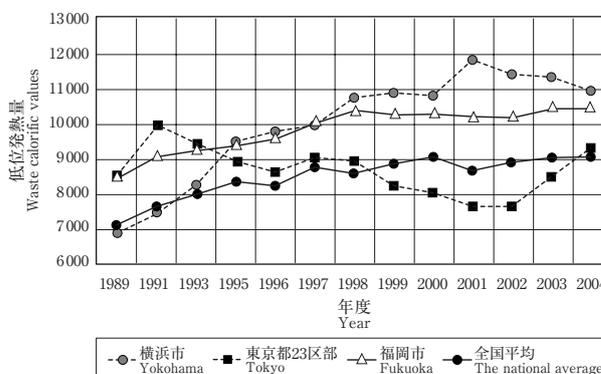


図1 ごみ発熱量の変遷²⁾

Fig. 1 Changes in waste calorific values

* 荏原環境プラント(株)

日本の廃棄物分類は、排出者責任を明確にするため、一般廃棄物と産業廃棄物に区分されているが、海外では、有害廃棄物と非有害廃棄物に分類され、廃棄物形態に合わせた処理方法がとられている。行政方針の変化により、量、質ともに更なる変化が伴うことも想定される。

1-2 社会が求めている廃棄物処理技術

廃棄物処理に対する社会ニーズは、安全、安定、環境負荷軽減、エネルギー有効利用、施設のコンパクト化であり、これをテーマに、様々な技術開発が進められてきた。また、廃棄物処理技術の高性能高機能化だけではなく、多様化するニーズに合わせる事ができる処理技術の順応性、安定性を高めることが求められている。

当社〔荏原環境プラント㈱〕では、その施策の一つとして、2002年から次世代ストーカ技術の開発を進め、HPCC21 (High Pressure Combustion Control 21) 型ストーカ1号機を2008年に納入し、現在まで安定稼働している。ここにHPCC21型ストーカ技術について紹介する。

2. HPCC21型ストーカ技術の概要

2-1 HPCC21型ストーカのコンセプト

HPCC21型ストーカのモデルフローを図2に、HPCC21型ストーカのコンセプトを次に示す。

- (1) 環境負荷低減；有害ガス物質濃度，排ガス量の低減
- (2) エネルギー有効利用；高効率発電，最適プロセス
- (3) 長期安定稼働；容易かつ安定，安全な運転

- (4) 経済性；イニシャル，ランニングコストの削減
 - (5) 廃棄物順応性；幅広いごみ質，形状，変化への適応
- HPCC21型ストーカシステムは、これらのコンセプトを各個別かつ包括的に実現している。

環境負荷低減の具体的施策として、ダイオキシン類排出量に対しては高温燃焼技術、NOx抑制に対しては、低空気比排ガス再循環システム、SOx、HCl等の有害ガス排出量の削減へは高度乾式排ガス処理システムを採用している。また、エネルギー有効利用の具体的施策としては、高温高压ボイラやエネルギーロス低減した排ガス処理プロセスを採用することで、エネルギー有効利用の最大化を達成している。各設備は常に安全に運用される必要があり、材料、構造、機能に加え、その耐久性や制御性も重要な要素である。

一方、社会インフラとして構築されることから、施設の建設、稼働に対するコストや、限られたスペースで建設するためのコンパクト化も重要な要素となっている。HPCC21型ストーカは、前述の各技術の完成度を高め、シンプルなプロセスを採用することで、各設備のコンパクト化、LCC (Life Cycle Cost) の低減を実現した。また、建設段階においては蓄積した実績を活かし、3Dモデルによる最適空間設計を行い、運転管理、メンテナンスが容易なレイアウトを実現している。

ストーカ式焼却炉は、小型から大型炉、低質から高質ごみ、ごみ形状に対し幅広い対応が可能であり、これら

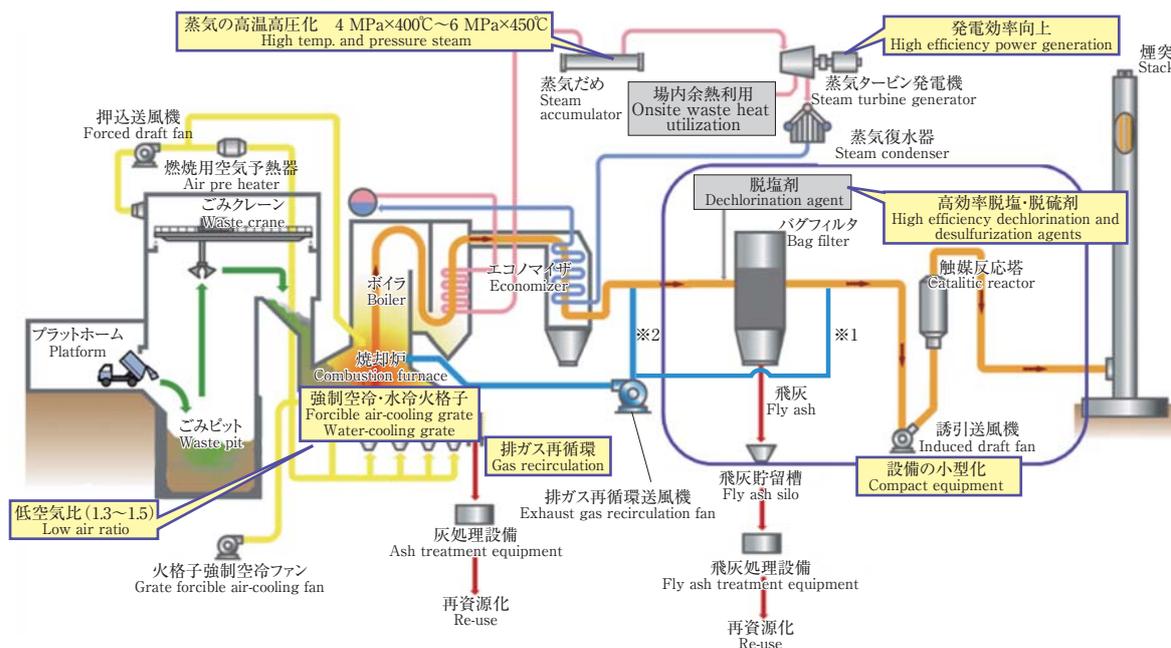


図2 HPCC21型ストーカシステムフロー (例)
Fig. 2 Flow chart of HPCC21 stoker system

の要素技術を組み合わせることで、よりニーズに合わせたプロセス構築を可能とし、安全かつ安心な最適処理を実現している。

2-2 HPCC21型ストーカシステムを構成する要素技術

2-2-1 ストーカ式焼却炉及びボイラ

高温燃焼技術は、ダイオキシン類対策、熱灼減量の低減及び低空気比燃焼による高効率発電に必須の技術であり、その長期安定運転技術は最も重要な要素である。ここでは、HPCC21型ストーカ技術のコアとなる、焼却炉本体、最新火格子技術及びボイラ技術を紹介する。

当社のストーカ炉の特徴は、炉出口位置を燃焼ゾーンを中心に配置し、ごみ本来の火炎形成を阻害することなく燃焼させ、二次燃焼空気による混合かくはんを加えることでごみの質による燃焼速度の変化が生じても完全燃焼を達成できることである。ストーカ駆動部は、乾燥、燃焼Ⅰ、燃焼Ⅱ、後燃焼ストーカに分割された独立駆動型のため、燃焼状況に応じて作動スピードを制御し、適切な燃焼完結点を維持することができる。更に、各ストーカの長さ、分割数、段差構成、炉幅は処理対象物の性状や処理量に応じて設計し、順応性を高めている³⁾。図3にストーカ炉の模式図を示す。

次にストーカ炉の燃焼シミュレーション解析の結果を図4に示す。各帯から排出された燃焼ガスは、二次燃焼空気により適切に混合され、未燃炭素が完全に除去されている様子が見られる。低質、高質ごみ時においては、この燃焼ガスの排出位置が前後に変化し、いずれも炉出口範囲において適切な火炎形成と混合かくはんが達成される。

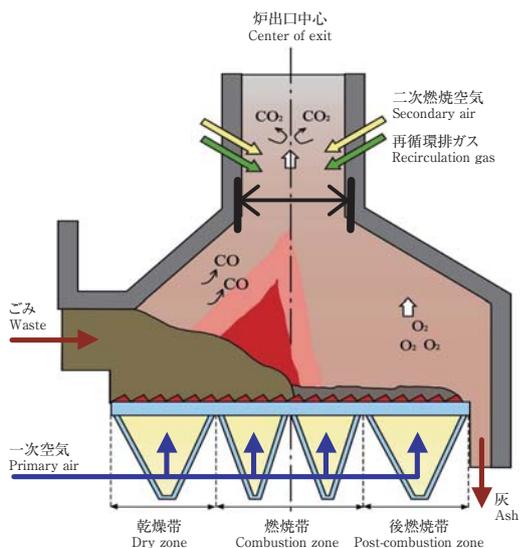


図3 HPCC21型ストーカ炉模式図
Fig. 3 Schematic view of HPCC21 stoker furnace

(1) 火格子冷却技術

HPCC21型ストーカでは、高温燃焼に対する施策として、次の二つの要素技術を採用している。

①強制空冷ストーカ

低空気比高温燃焼運転では、火格子の冷却にも使用される一次燃焼空気を減量する必要がある、少量の空気で効果的な火格子冷却が要求される。本システムは冷却空気を火格子高温部だけに少量で効率よく集中的に吹き当てるものである⁴⁾。強制空冷ストーカを写真1に示す。

本システムを採用した「福島市あらかわクリーンセンター」では、竣工後約3年(約20000時間以上)経過した。従来方式のストーカと比較して、火格子温度は約150～200℃低減し、焼損減肉がほとんど進行しておらず、火格子寿命が大幅に向上している。

②水冷ストーカ

高発熱量ごみの場合、主燃焼部の火格子については一

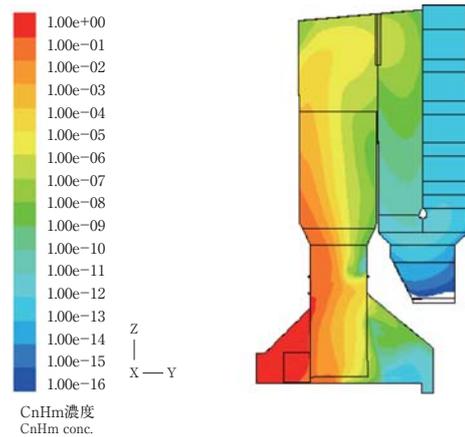


図4 炉内燃焼シミュレーション
Fig. 4 The CnHm conc. by flow analysis



写真1 強制空冷ストーカ
Photo 1 Forcible air-cooling type stoker

11-73 01/233



11-73 02/233

写真2 水冷火格子構造

Photo 2 The structure of the water-cooling fire grate



11-73 03/233

写真3 G-S (F) 型火格子 (ピン拘束型)

Photo 3 G-S (F) Type fire grate (pin bound type)

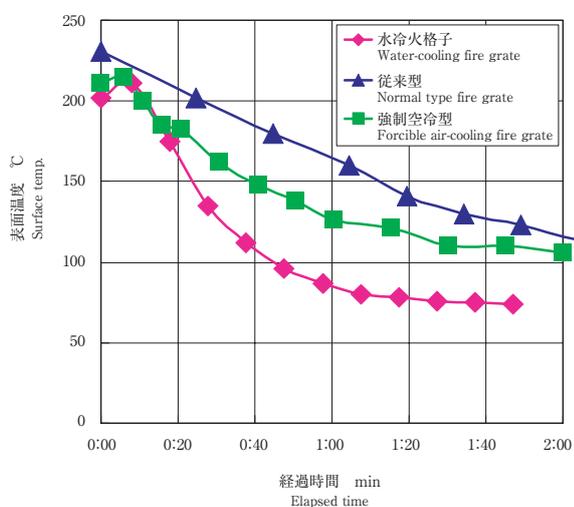


図5 水冷火格子冷却実証試験結果

Fig. 5 Cooling test results of water-cooling fire grate

層，耐高温耐久性が要求され，部分的に水冷構造を必要とすることがある。本システムは火格子下側に水冷ブロックを別置した間接冷却システムで，強制空冷システムより更に火格子冷却効果が高いものである。写真2に水冷火格子構造を示す。

図5のとおり，実機スケールのモデルによる冷却実証試験で，水冷火格子は従来型・強制空冷型と比較して応答性が良く，冷却効果が高いことが確認された。

(2) 火格子組構造及び火格子材料

廃棄物処理施設は，発電所として，今後更なる長期安定運転が必要であることから，メンテナンスフリーで長期連続運転が可能で，写真3に示す半固定型火格子〔G-S (F) 型火格子〕を開発した。

また，火格子材料についても，従来材に耐高温腐食性向上に有効な元素を添加し，従来材に比べ1.5倍以上の

寿命をもつ新材料を開発し，更なるLCCの削減が可能となった。

(3) ボイラ延命化対策

近年のボイラ高効率化・高温化に伴いボイラ蒸発管及び過熱器管の高温腐食による腐食速度の増加が見られ，また低空気比運転による還元腐食についても懸念される。

その対策として，ボイラチューブへの溶射が試みられており，当社においてもNiCr系合金を用いたガスワイヤー溶射，超音速フレイム溶射 (HVOF) 等様々な方法での溶射を行っている。溶射後3年経過の状態を確認したところ，膜厚減少は見られるものの，大きな皮膜の剥離もなく，良好な耐久性を示していた。

また，懸念された低空気比の還元腐食については従来空気比と比較しても減肉速度に大きな差が見られなかった。

2-2-2 排ガス再循環システム

低空気比高温燃焼を行うためには，燃焼空気を削減させつつ二次燃焼域での積極的な混合かくはんを維持することが必要である。排ガス再循環システムは，排ガスを再循環させて混合かくはんを利用する(図2)ことで，空気比を削減しつつ3T(温度，かくはん，時間)を確保することができる。また，局所的な高温酸化部を軽減することで，NO_x発生量の低減にも大きく効果を発揮している。本システムを採用することで，NO_x排出量は約37%，排ガス排出量は約15%，DXNs濃度は約50%程度削減することが可能となった⁴⁾。バグフィルタ出口排ガスによる排ガス再循環システム(図2※1)は，2施設で安定稼働している。また，ボイラ出口排ガスによる排ガス再循環システム(図2※2)についても実証を行い実用化の目処がついており，現在同システムを採用した新施設の建設が進められている。

2-2-3 乾式排ガス処理プロセス

エネルギー有効利用が重視される中，乾式による高度

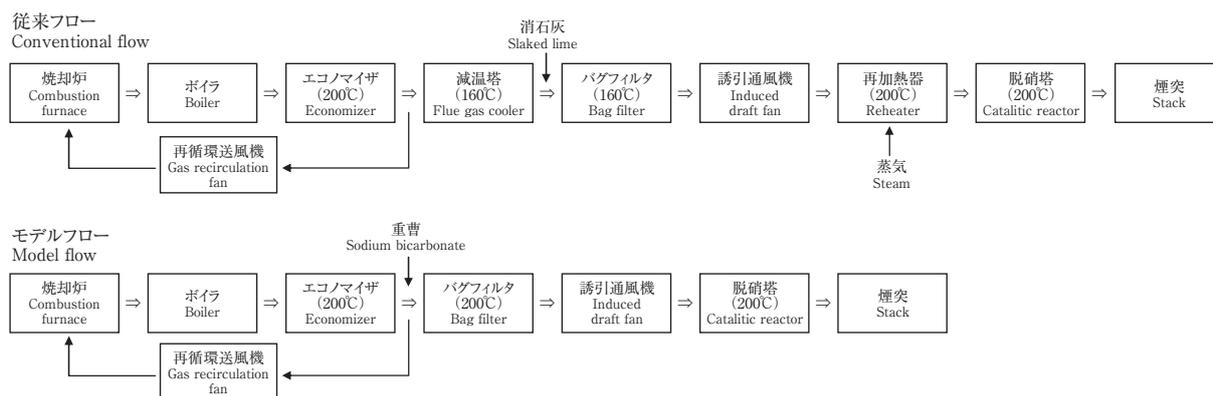


図6 乾式排ガス処理プロセスフロー
Fig. 6 Dry type gas treatment process flows

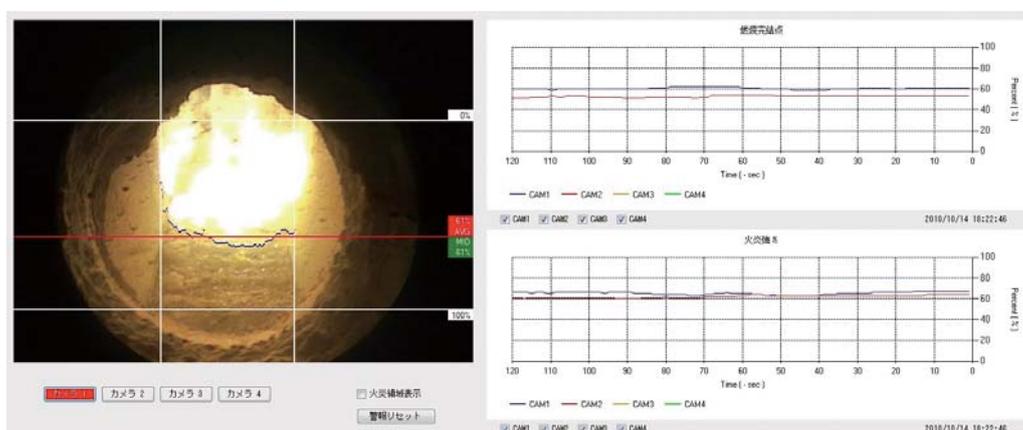


図7 燃焼完結点監視システム
Fig. 7 Combustion completion point control system

排ガス処理システムが望まれてきた。HPCC21型ストーカにおけるSOx, HCl除去方法として、重曹を用いた排ガス処理システムを紹介する。

従来、乾式排ガス処理には消石灰等が広く活用されてきたが、その高反応域は150～160℃程度と低温域に存在するため、ボイラから発生した排ガスを減温するプロセスが必要とされていた。一方、重曹によるナトリウム系薬剤の反応は、温度依存性が低く、エコノマイザ出口温度の約200℃付近でも十分な脱塩、脱硫効果が発揮される。このことから、排ガス処理プロセス上での減温、加温等の処理を行わず、後段の触媒脱硝装置を含めたエネルギーロスの少ないプロセスになっている。発生蒸気の積極的な発電利用を行うことで、中規模施設においても、発電端効率を約20.2%まで高めることができる。また、エネルギー有効利用だけでなく、シンプルな施設を構築することで、維持管理も容易となり、全体的なLCC削減効果を得ることができる。図6に乾式排ガス処理プロセスフローを示す。

2-2-4 燃焼制御技術

HPCC21型ストーカ炉は、最新ハード技術、プロセス技術に加え、ソフト面としても最新制御技術を採用している。自動燃焼制御 (ACC) を構成するシステムとして、炉内監視カメラの映像から約5秒ごとに燃焼完結点の位置を検知する最新式燃焼完結点監視システムにより、リアルタイムに補正できる応答性の早い制御を可能にした。それにより、非定常時の炉内燃焼変化時の状況も適切に把握し、安定した自動燃焼制御による運転を継続している。図7に燃焼完結点監視システム画面例を示す。

蒸発量一定制御機能としては、完全燃焼かつ有害ガス抑制を原則とし、ごみ質変化に応じた独立駆動式ストーカ制御、燃焼状況に応じた可変ロジックでより安定した燃焼制御を実現している。図8に運転データを示す。

自動燃焼制御装置は、DCS (Distributed Control System) とは独立したシステムで構築し、長期運営におけるごみ質の変化、収集形態の変化に応じて常に最新システムにアップグレードするサービスも準備している。

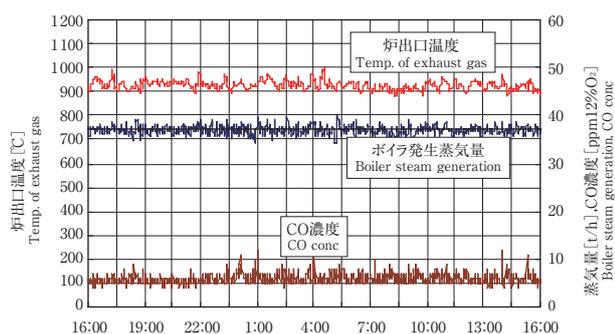


図8 自動燃焼制御運転トレンド
Fig. 8 The trend of ACC driving

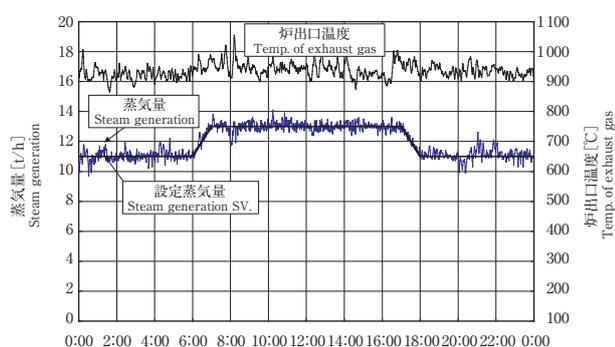


図9 負荷追従運転トレンド
Fig. 9 Trends in load drive by ACC

また、電力需要の増減に応じ、昼は蒸発量（即ち焼却炉負荷）を増加させ、夜は負荷を下げることを目的とし、可変時にも安定した運転を継続できる負荷追従制御を開発し、昨今求められているピーク時電力削減に対しても効果を発揮するものとなっている⁵⁾。

図9に負荷追従制御による運転トレンドを示す。

3. 近年の主な実施例

近年、HPCC21型ストーカ技術は広く活用され、様々な要素技術の組み合わせで最適なプロセスを提案している。最近の事例としては、あらかわクリーンセンター（福島市）；110 t/d × 2基、4.0 MPa × 400°C、が2008年に稼働

し、約3年の安定稼働を行っている。また、2012年3月竣工予定のリサイクルパークあさお整備事業（川崎市）150 t/d × 3基においても最新技術を導入し現在建設中となっている。

海外事例としては、中国で、現在4案件を受注し建設中である。NEDO技術実証事業として、内モンゴル自治区呼和浩特市（フフホト）市；500 t/d × 1基では、高効率エネルギー回収を実現する6.0 MPa × 450°Cの高温高压ボイラを採用したHPCC21型ストーカ炉を建設中である。

4. まとめと今後の展望

HPCC21型ストーカ技術は、当社の独自開発技術であり、長い経験により確立された技術として、衛生処理及びエネルギー有効利用のインフラ設備として、都市ごみ焼却プラントへ広く貢献している。東日本大震災後、跡地を埋め尽くす廃棄物の処理、原子力発電所事故による日本の電力供給施策の見直し等により、廃棄物処理施設の位置づけは、新たな転換期を迎えようとしている。処理形態の再構築、様々な社会的ニーズにより、今後とも、その多様性が増すことが予想される。

当社のHPCC21型ストーカ技術は、そのいかなる変化に対しても、柔軟かつ安全に対応できる処理システムとして開発し確立してきた。今後は、より適切なニーズの把握とそれに対する最適なシステムの提案を行うことにより、更に社会に貢献しうる技術として推進していきたい。

参考文献

- 1) 環境省、日本の廃棄物処理、平成21年度版、2011
- 2) 全国都市清掃会議、ごみ処理施設整備の計画・設計要領2006改訂版
- 3) Yoji Sato, Teruaki Tsukamoto, Operation status of MSW incinerator and development trend of new incineration technology, 4th i-CIPEC, P53-56, 2006
- 4) 岡、塚本ほか、排ガス再循環を用いたストーカ式焼却プラントにおける低空気比燃焼、第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集、P641-643（2003）
- 5) 佐藤、塚本、効果的なごみ発電プラント事例紹介、都市清掃第60巻278号、P363-367（2007）