

CKKシステム（新型ごみ処理システム） —ごみの減量化・エネルギー利用・再資源化を同時達成—

CKK System

— New Waste Treatment System that Achieves Waste Reduction, Energy Use and Recycling



片畑	正①*	Tadashi Katahata
大澤	弘明②	Hiroaki Osawa
加藤	定史③	Sadafumi Katoh
吉川	充④	Mitsuru Kikkawa
橋元	篤志⑤*	Atsushi Hashimoto
利弘	淳⑥	Jun Toshihiro

当社は中国合弁パートナーである安徽海螺集団と共同で新型ごみ焼却システム（CKKシステム）を開発した。このシステムは、低コストで衛生的なごみ処理を実現できるとともに、「廃棄物が保有するエネルギーおよび灰分をセメント製造設備の燃料および原料として有効利用できる」画期的なものであり、中国国内で順調に受注を拡大している。

The CKK System is a new waste incineration system jointly developed by Kawasaki and the Anhui Conch Group, its joint venture partner in China. This innovative system achieves hygienic waste treatment at low cost, and also makes effective use of the energy and ash content of waste as fuel and raw material for cement production. Orders for the CKK System are steadily increasing in China.

まえがき

中国では急速な経済発展に伴い、深刻な環境汚染およびごみ処理の問題が顕在化している。中国政府は国策として「衛生的なごみ処理を低コストで実現できるシステム」を最優先で構築しようとしているが、当社の新型ごみ処理システムは、この国策に対応する製品である。

1 背景

当社は、中国合弁パートナーである安徽海螺集団（CONCHグループ）と共同で、衛生的なごみ処理を低コストで実現できる「セメント製造設備と廃棄物焼却設備を融合した新型ごみ焼却システム」（CKKシステム：CONCH Kawasaki Kiln System）を開発し、中国安徽省銅陵市の銅陵海螺水泥股份有限公司のセメント製造設備に隣接して初号機（300t/d・炉×1炉）を建設した（以下、本プラントと称す）。本プラントは2010年4月より、ごみ処理を開始し、現在も順調に稼働している。

2 CKKシステムの特徴

CKKシステム（図1）は、流動床式のガス化炉で廃棄

物をガス化し、発生した熱分解ガス、未燃チャーを灰分とともにセメント製造設備側の分解炉に供給して、廃棄物が保有するエネルギーおよび灰分をセメント製造設備の燃料および原料として有効利用するものである。CKKシステムの特徴を以下に示す。

① 燃料使用量の削減

廃棄物が保有するエネルギーをセメント製造設備側で有効利用することにより、セメント焼成のための燃料使用量が削減できる。

② クリンカ品質の確保

廃棄物に含まれる重金属類は、セメント焼成反応の過程で塩化物としてクリンカから分離されるので、廃棄物を混焼しても、クリンカ中の重金属類濃度はほとんど増加しない。

③ 燃焼ガス中の有害物質の低減

廃棄物の燃焼ガスは、セメント製造設備側で十分な高温滞留時間が確保できるので、ダイオキシン類などの有害物質の発生を極小化できる。燃焼ガス中のHCl、SO_xはセメント原料中のCa分と反応して分離できる。

④ 初期投資費用の抑制

セメント製造設備の構成機器を有効活用することにより、新規に廃棄物焼却設備を建設する場合と比較して、初期投資費用を大幅に抑制することができる。

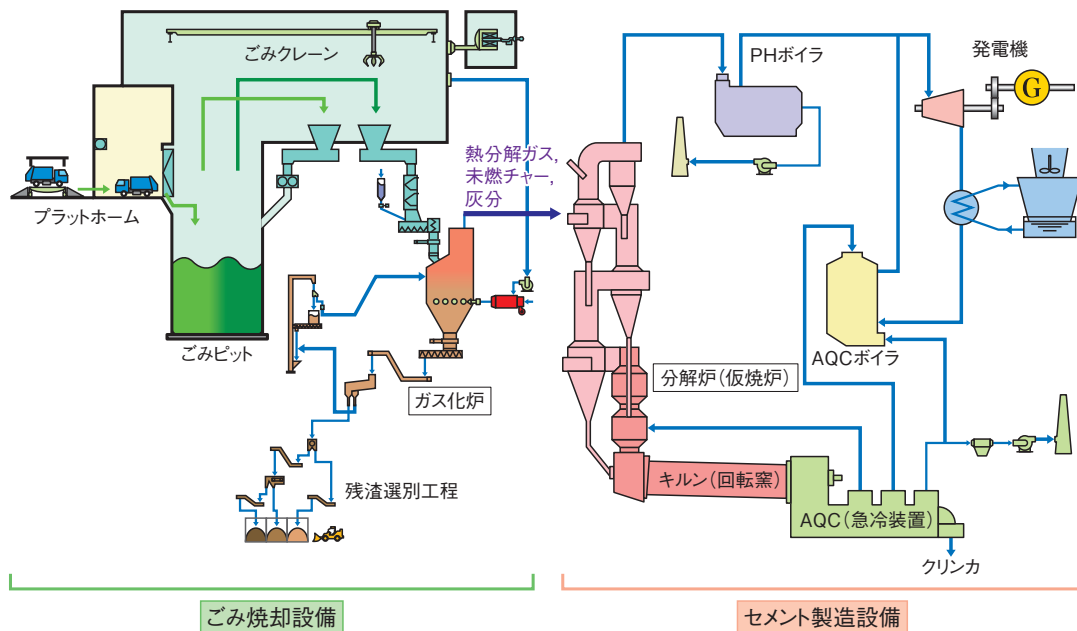


図1 CKKシステムフロー
Fig.1 CKK system flow

3 CKKシステムの開発

(1) 基本コンセプト

- ・セメント製造設備に併設してごみ焼却設備を建設するが、セメント（クリンカ）の製造は継続
- ・ごみ焼却設備の建設にあたってはセメント製造設備の構成機器を最大限に有効活用
- ・ごみ焼却設備を併設することによるセメント（クリンカ）品質への影響の極小化

(2) ごみ焼却処理技術の選定

ごみ焼却処理技術の選定にあたっては、当社の保有技術を踏まえて焼却炉形式を検討した。

その結果、焼却炉出口ガス量が少なく、かつ、炉出口温度も低いために炉のコンパクト化が図れる流動床式ガス化炉を焼却炉形式として採用した（表1）。

(3) 熱分解ガス投入位置の決定

流動床式ガス化炉で発生する熱分解ガスのセメント製造設備への投入箇所としては、分解炉（仮焼炉）とキルン（回

転窯）の二つが候補となる。表2に示すように、分解炉の炉内負圧度が大きく熱分解ガスの誘引に有利であることや、ごみ中水分がクリンカ性状に影響しない分解炉を投入箇所として選択した。

また、セメントキルンからの排ガスは、キルン入口部で水平方向から垂直方向上向きにガス流れを変えて分解炉へ流入している。このガス流れに熱分解ガスを供給して分解炉内で十分に燃焼させるための最適投入位置および投入角度をシミュレーションにより検証した。

具体的には、分解炉の上向きのガス流れに熱分解ガスを水平方向から供給する解析モデルを作成し、熱分解ガスの投入位置・角度を数条件変化させて、ガス温度、酸素濃度、ガス流速がどのようなパターンとなるかを検討した。

解析形状モデルを図2に、ガス温度分布と酸素濃度分布のシミュレーション結果の例を図3にそれぞれ示す。図3の①～④は次の各領域を示している。

- ① ごみ熱分解ガスの燃焼によって発生する高温領域
- ② 微粉炭の燃焼によって発生する高温領域
- ③ 燃焼用空気通過による酸素濃度の高い領域
- ④ キルンガス通過による酸素濃度の低い領域

表1 ごみ焼却処理技術の比較
Table 1 Comparison of waste incineration system

焼却炉形式	流動床式 ガス化炉	流動床式 焼却炉	ストーカ式 焼却炉
焼却炉出口 ガス量	小	大	大
焼却炉出口 ガス温度	低	高	高
焼却灰取扱	容易	容易	複雑（乾灰取出）
評価	◎	○	△

表2 熱分解ガス投入箇所の比較
Table 2 Comparison of pyrolysis gas injection positions

熱分解ガス 投入位置	分解炉	キルン本体
ガス温度 (最高温度)	約900℃	約1,800℃
炉内圧力	-0.8~-0.9kPa	約-0.2kPa
クリンカ性状への ごみ中水分の影響	影響なし	影響あり
評価	◎	△

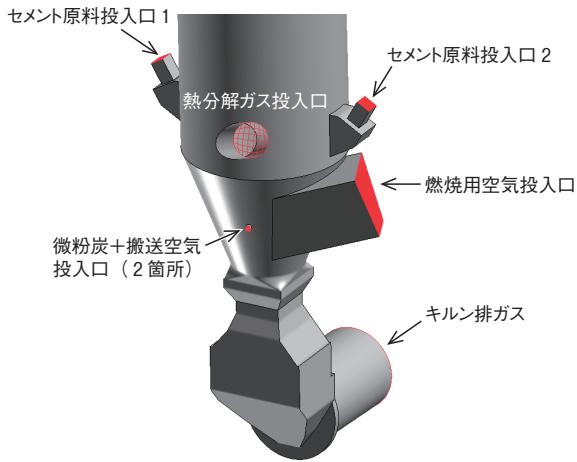


図2 解析形状モデル
Fig. 2 Geometric model for analysis

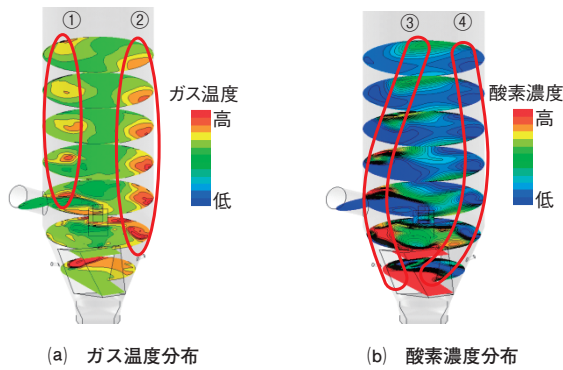


図3 シミュレーション結果
Fig. 3 Simulation results

- このようなシミュレーションにより、次の二点がわかった。
- ・分解炉内には燃焼用空気による旋回流と酸素濃度の分布があり、熱分解ガスの燃焼に最適な高酸素濃度域が存在する。
 - ・旋回流の効果により、熱分解ガスが分解炉内で攪拌／混合されるため、分解炉頂部断面でのガス温度と酸素濃度の分布が、おおむね均一になる。

以上を踏まえて、分解炉内の高酸素濃度領域へ熱分解ガスを供給でき、かつ分解炉内での熱分解ガスの混合が促進できるように、熱分解ガスの投入位置および投入角度を決定した。

(4) セメント製造設備の安定操業とクリンカ品質の確保

セメント製造設備の安定操業とクリンカ品質の確保のためには、「塩素（およびアルカリ）濃縮によるコーティング（固着層形成）発生を抑制すること」が重要である。

そこで、既設セメント製造設備のクリンカ中塩素濃度、および、ごみ中塩素濃度に基づき、クリンカ焼成系統における塩素濃縮の抑制策について検討を行った。その結果、コストおよびコーティング発生とクリンカ中塩素濃縮の抑制効果を考慮して、CKKシステムでは塩素濃縮対策設備と

して、塩素バイパス設備を採用することとした（塩素バイパス設備の特許は太平洋セメント(株)が保有）。

(5) ごみ処理に伴う臭気とごみ污水対策

ごみ処理に伴い、ごみからの臭気対策およびごみ污水处理が必要となるので、それぞれについて対応を検討した。

(i) 臭気対策

- ・密閉式のごみピットを採用し、流動用空気をピットから吸引してピット内を負圧にすることにより外部への漏洩を防止する。なお、流動化空気中の臭気は分解炉で燃焼、分解する。
- ・ガス化炉停止時の対策としては、脱臭装置を設置する、あるいはごみピットから吸引した空気をAQC（急冷装置）のクリンカ高温部に吹き込んで分解・脱臭する。

(ii) 污水対策

- ・ごみから発生する污水については、ガス化炉空塔部へ噴霧供給して、蒸発処理する。

(6) ごみ混焼による環境影響の極小化

セメント製造設備でごみを混焼することによる、環境影響の主なものとして、以下の二つがある。

- ① 排ガス中のCOおよびダイオキシン類濃度の増加
 - ② ごみ中重金属類によるクリンカ中重金属類濃度の増加
- 上述した二点について、理論的検討により、いずれも問題のないことを確認できた。

- ・ガス化炉で発生した熱分解ガスおよび未燃チャーはセメント製造設備の分解炉で燃焼するが、分解炉ではセメント原料の脱炭酸反応（吸熱反応）を行うため、ガス温度は約900℃ではほぼ一定であり、かつガス滞留時間が4秒以上確保できるので、COおよびダイオキシン類濃度の増加は極小化できる。
- ・ごみに含まれる重金属類の大半が焼成工程で塩化物の形でクリンカから分離するので、クリンカ中の重金属濃度はほとんど増加しない。

4 銅陵CKKプラント運転結果

銅陵CKKプラントの運転結果¹⁾の概要を以下に示す。

(i) ごみ実態調査

銅陵市のごみ分析結果を表3に示す。低位発熱量は約5,900kJ/kgで、計画時の基準ごみ相当であった。なお、元素組成の硫黄分濃度が基準ごみに比べて大幅に高いが、これは中国において家庭の燃料として、石炭を原料とした練炭が多量に使われていることが主因であると推定している。

(ii) ごみ処理量

運転開始後約1年間経過した2011年3月のごみ処理量の推移を図4に示す。ごみ処理量は300t/d前後で推移しており、安定したごみ処理が達成できていることがわかる。

表3 銅陵市のごみ分析結果
Table 3 Analysis results of waste in Tongling city

項目	夏ごみ	冬ごみ	基準ごみ	
低位発熱量 (kJ/kg)	5,760	5,920	5,900	
三成分	水分 (%)	56.34	57.11	60.18
	可燃分 (%)	30.93	34.18	34.30
	灰分 (%)	12.73	8.71	5.51
可燃分 元素組成	炭素 (%)	60.88	57.85	52.94
	水素 (%)	8.52	8.08	7.82
	酸素 (%)	25.49	30.72	37.62
	硫黄 (%)	2.97	1.68	0.08
	塩素 (%)	1.08	0.84	0.70
	窒素 (%)	1.06	0.84	0.85

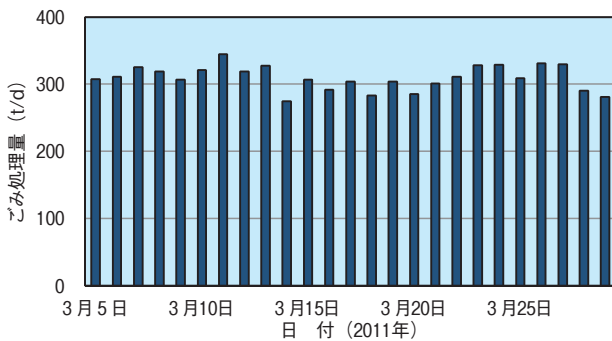


図4 ごみ処理量の推移
Fig 4 Amount of waste treated

表4 ダイオキシン類の測定結果
Table 4 Analysis results of dioxins

測定結果 (煙突入口)		規制値
1回目	2回目	
0.008	0.033	0.1

単位: ng-TEQ/m³N: O₂11%換算値

(iii) 排ガス中ダイオキシン類濃度

表4に示すセメント製造設備の煙突入口におけるダイオキシン類濃度の測定結果より、規制値を十分満足していることがわかる。なお、本プラントでは排ガス中ダイオキシン類を低減するための活性炭噴霧は行っていない。

(iv) ガス化炉下部排出物

図5(a)に示すガス化炉底部から排出された不燃物は、セメント原料として利用可能であること、および鉄分は図5(b)のように未酸化の状態では回収できることが確認できた。

(v) クリнка品質

本プラントでは、ごみの混合焼却処理開始以降、クリンカの品質悪化を原因とするセメント製造設備の休止といった事態は発生しておらず、ごみの混焼がクリンカ品質に悪影響を及ぼさないことが確認できた。

(vi) 脱水汚泥混焼

中国では下水処理設備の普及に伴い、大量に発生する下水汚泥(脱水汚泥)の無害化処理も重要な課題となっている。そこで、CKKシステムでの脱水汚泥混焼の可能性を確認するために、本プラントでは、2011年11月より、脱水



(a) 不燃物



(b) 磁選機回収品

図5 ガス化炉下部排出物

Fig. 5 Non-combustibles discharged from gasification furnace

汚泥の混焼運転を行った。その結果、脱水汚泥のごみに対する混焼率が10~20%程度であれば、問題なく運転できることを確認できた。

あとがき

CKKシステムは、中国国内で順調に受注を拡大しており、2015年6月末現在で、稼働中5プラント、建設中14プラントとなっている。

さらに、東南アジア、インド、ブラジルなどの新興国では、人口増加および経済発展に伴う生活レベルの向上に伴い、都市ごみの衛生処理に対する要求が高まってきている。CKKシステムは低コストで本要求に対応できるため、これら新興国にも適合したシステムである。

また、CKKシステムは世界的に喫緊の課題となっている地球温暖化ガス排出量の削減に対しても有効なシステムである。地球環境保全への貢献という観点からも、CKKシステムのさらなるブラッシュアップを図っていく所存である。

参考文献

1) 橋元, 村田, 白井, 吉川, 片畑: “既存セメント製造設備と一般廃棄物焼却設備を融合した新型ごみ焼却システムの開発”, 第25回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp.303-304 (2014)



片畑 正



大澤 弘明



加藤 定史



吉川 充



橋元 篤志



利弘 淳