

ストーカ式焼却炉とプラズマ式溶融炉の 実用運転結果（下関市環境部奥山工場）

Actual Operation Data of Shimonoseki MSW Incineration Plant with Plasma Ash Melting Sytem



技術本部
環境プラント技術部技術室
島倉久範
Hisanori Shimakura
(技術士)

近年、循環型社会の形成に向けた様々な取組みがなされている中、都市ごみの焼却においては、ダイオキシン類をはじめとする有害物質のより一層の排出抑制とともにエネルギー回収・残さの資源化等リサイクル技術の適用が推進されている。当社は、2000年下関市より都市ごみ焼却施設を受注し、2002年11月の竣工以来、実用運転を継続している。本施設は高温燃焼・高度排ガス処理・高温高圧ボイラと残さの溶融処理による総合的な環境対策技術を適用したものである。この結果、ごみ1tあたりのダイオキシン類総排出量は国のガイドラインでうたわれている $5\mu\text{g-TEQ}$ を大きく下回る $0.4\mu\text{g-TEQ}$ を達成した。

A municipal solid waste incinerator with ash melting furnace was delivered to Shimonoseki City. The plant is composed of a grate incinerator featuring high-temperature incineration with low air ratio for reduction of dioxins emission, a high-pressure boiler for high-efficiency heat recovery, etc. Bottom ash and fly ash derived from the incineration system are vitrified in the plasma melting furnace to make slag recyclable as cement aggregate. The practical operation started in November 2002 has been successful in achieving total dioxins emission of $0.4\mu\text{g-TEQ/waste ton}$ against the national guideline of $5\mu\text{g-TEQ}$, which was achieved with combined technologies as a total process.

Key Words :

都市ごみ	Municipal solid waste (MSW)
ストーカ式焼却炉	Grate incinerator
プラズマ式溶融炉	Plasma melting furnace
低空気比	Low air ratio
ダイオキシン類総排出量	Total dioxins emission

まえがき

都市ごみ焼却施設から排出されるダイオキシン類については、排ガスとともに残さからの排出を抑制し、総排出量を低減することが求められている。排ガス中のダイオキシン類抑制のためには、低空気比により燃焼温度を安定的に高温化し、炉内での分解を促進するとともに、ボイラ内での再合成を抑制す

ることが重要である。また、焼却残さに含まれ排出されるものについては、溶融処理により高温分解することが最も有効である。残さの溶融処理により生成されたスラグは土木資材等に有効利用が可能であり、埋立処分場負荷の低減に有効で資源循環に寄与する。

当社は1999年ドイツのルルギ社から低空気比・

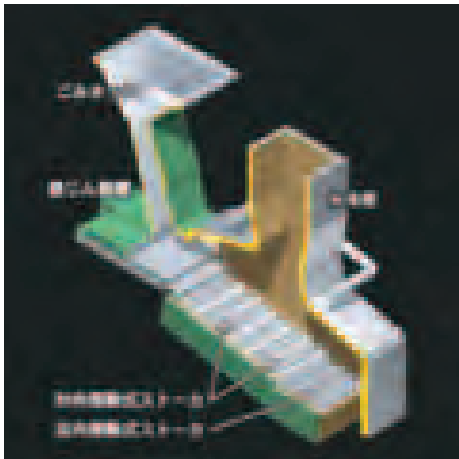


図1 焼却炉模式図

高温燃焼で実績のあるストーカ式焼却炉技術を導入した。溶融炉については、当社の独自技術にくわえ、2000年にフランスのユーロプラズマ社からプラズマ式灰溶融技術を導入した。同年には下関市より都市ごみ焼却施設（下関市環境部奥山工場、以下本施設と称する）を受注し、2002年11月の竣工以来、実用運転を継続している。本施設はストーカ式焼却炉およびプラズマ式溶融炉の導入技術と排ガス処理等の当社独自技術を融合し、プラント全体の構成を最適化したものである。

本施設において長期にわたり運転データを取得し、適用技術の有効性を確認したので報告する。

1. ストーカ式焼却炉の概要

ストーカ式焼却炉はごみを炉内に供給する給じん装置、投入されたごみを攪拌・移送し下部から供給される空気と混合しごみを燃焼させる火格子、火格子上で発生する可燃ガスを燃焼する燃焼炉および燃焼ガスを冷却し廃熱を回収するボイラから構成される。図1に焼却炉の模式図を示す。

1.1 火格子の特長

火格子は、投入されたごみを乾燥する乾燥帯と、下部から供給される燃焼空気によって燃焼させる燃焼帯、および主燃焼が終わった後の残留固定炭素を「おき燃焼」させる後燃焼帯により構成される。乾燥帯・燃焼帯は燃焼空気との接触効率を高めるため攪拌効果の高い対向摺動式火格子をもちい火格子面に10°の傾斜を持たせている。後燃焼帯は攪拌効率をおさえ滞留時間を確保する並向摺動式火格子をもちい火格子面を水平に配置している。図2、3に火格子の構造図を示す。

1.2 燃焼室の特長

燃焼段階でのダイオキシン類分解を促進するためには一般的に3T（Temperature：温度、Time：滞留

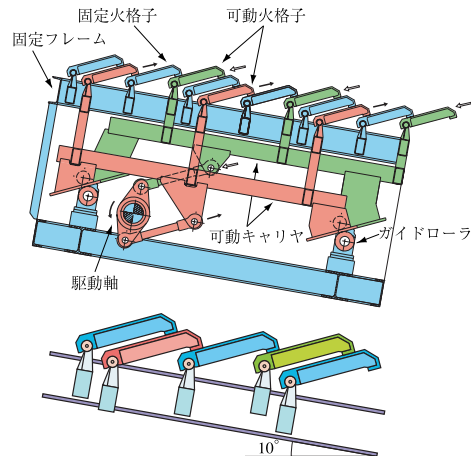


図2 対向摺動式火格子の構造図

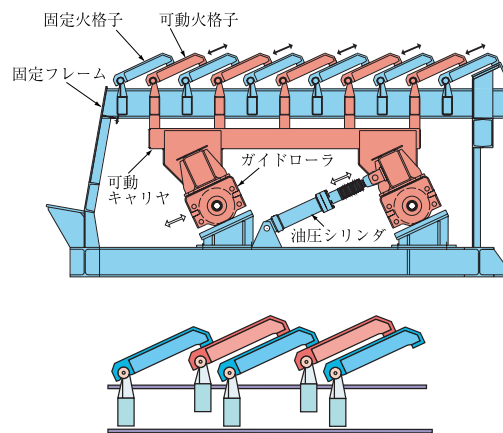


図3 並向摺動式火格子の構造図

時間、Turbulence：混合）の確保が必要といわれている。当社の焼却炉においては、燃焼空気比を従来の1.8から1.6に低減することにより燃焼温度を高温化するとともに十分な滞留時間を確保し、ダイオキシン新ガイドラインである「燃焼温度850℃以上にて滞留時間2秒以上」を上回る900℃・2秒以上を実現している。また、未燃COの発生を抑制するため二次空気を吹き込み、燃焼ガスを攪拌・混合し完全燃焼を図っている。これらの機能を発揮できる燃焼室形状・二次空気吹き込み方法を決定するため燃焼シミュレーションをおこない最適化している¹⁾。

1.3 廃熱ボイラの特長

ボイラは自然循環式水平煙道型（テールエンド型）ボイラを採用している。テールエンド型ボイラは第三煙道が水平で過熱器管等が垂直に配置され、槌打式の灰落とし装置により水管表面が常に清浄であることから、ボイラ内でのダイオキシン類再合成抑制効果が高い。主燃焼室は、全メンブレン水冷壁構造とし、熱回収を最大化するとともに、高温燃焼を実現しながらもクリンカの発生を抑制している。

2. プラズマ式溶融炉の概要

当社のプラズマ溶融炉は炉天井に設置したプラズマトーチで加熱した溶融浴に残さを連続的に供給し、出滓口から溶融したスラグを連続的に排出するものである。プラズマトーチの方式はノントランスファー式をもちいている。図4にトランスファー式とノントランスファー式プラズマ溶融炉の概念図を示す。トランスファー式では溶融浴を介して炉底電極に通

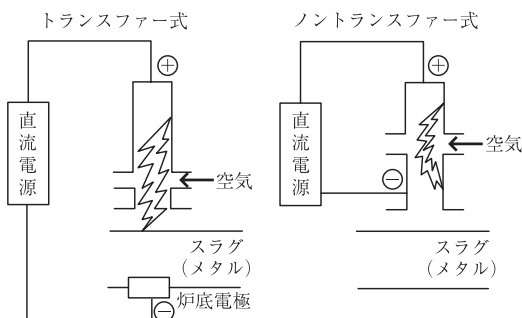


図4 プラズマ溶融炉概念図

電するのに対し、ノントランスファー式ではトーチ自身に陽極と陰極を備えるため、溶融浴の状態（溶融状態か固化状態か、溶融塩の有無、溶融メタルの有無等）の影響を受けずに任意の出力での加熱が可能である。

3. 下関市環境部奥山工場の概要と特長

本施設の概要を表1に、処理フローを図5に、また施設外観写真を写真1に示す。



写真1 施設外観写真

表1 施設概要

項	目	内 容
焼却設備	処理能力	180 t/24 h × 1 炉
	焼却炉形式	神鋼・ルルギ式ストーカ焼却炉
	ボイラ形式	自然循環式水平煙道型ボイラ
	最大蒸発量	32 t/h
	常用蒸気圧力	3.92 MPa
溶融設備	蒸気温度	400 °C
	処理能力	41 t/24 h (既設からの受入灰20 t/24 hを含む)
	溶融炉形式	プラズマ式

記号	内 容
	ごみの流れ
	空気の流れ
	排ガスの流れ
	水・汚水の流れ
	主灰・飛灰の流れ
	スラグの流れ
	蒸気の流れ
	薬品の流れ

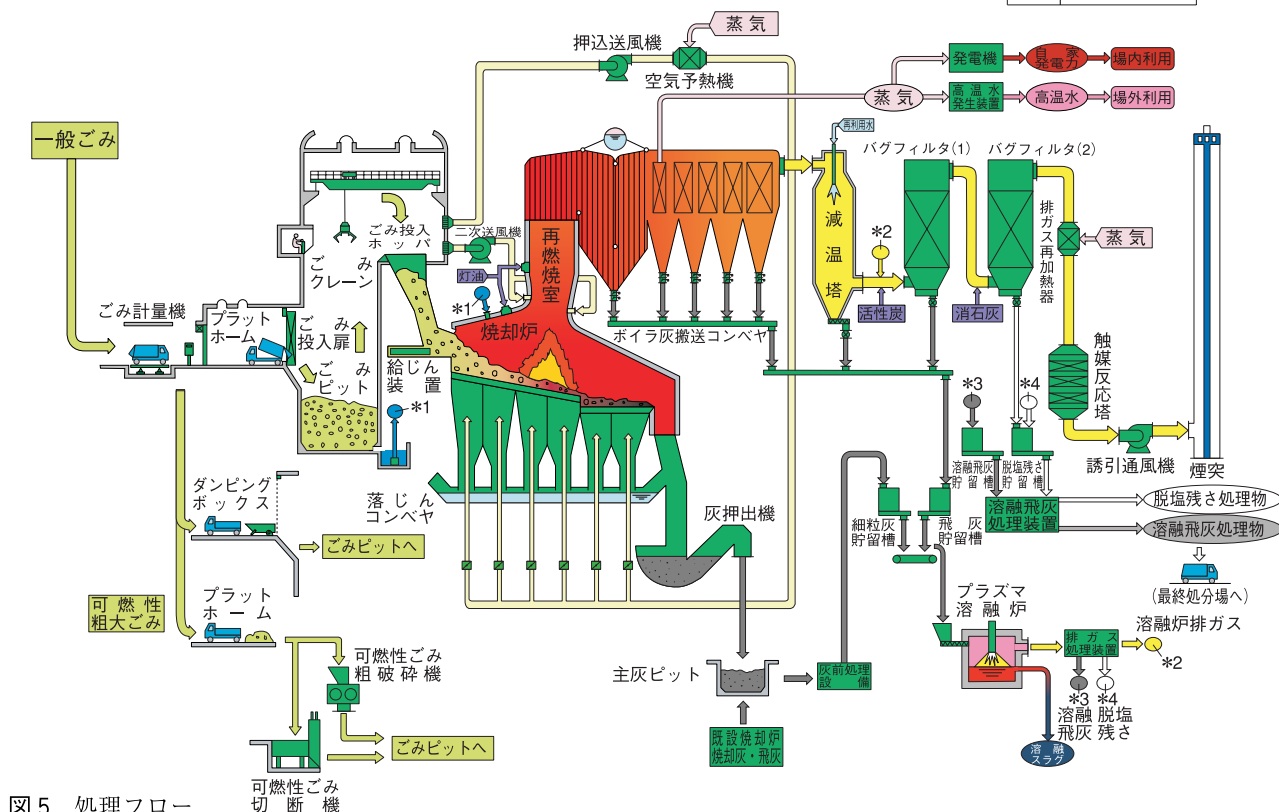


図5 処理フロー

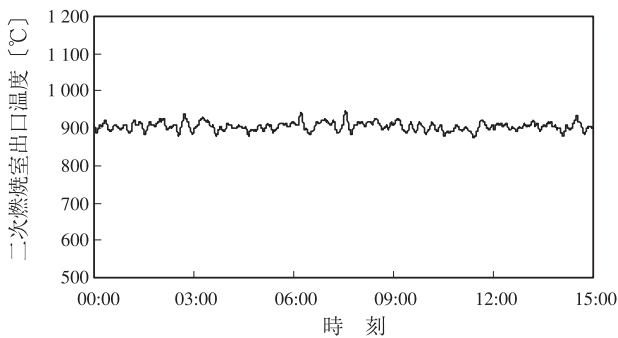


図6 二次燃焼室出口温度

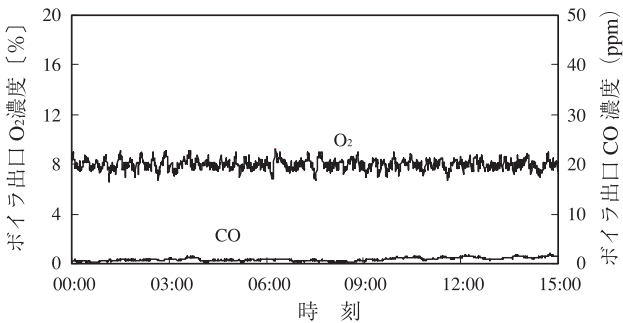


図7 ボイラ出口 O₂・CO 濃度

焼却炉の能力は180 t/24 h×1 炉で、灰溶融炉は本施設および隣接する既設炉（ストーカ式220 t/24 h×1 炉）で発生する焼却灰および飛灰を全量処理する能力（41 t/24 h×1 炉）を有している。焼却灰は選別・磁選・乾燥等の前処理を施し溶融炉に投入される。前処理にて選別された不適物・鉄分は埋め立て処分される。灰は炉内にて1 400 °C 程度の高温と十分な滞留時間で溶融され、ダイオキシン類を分解するとともに塩類・重金属類を揮散させる。排ガスは減温塔にて1 300 °C から200 °C 以下に急冷された後バグフィルタで溶融飛灰の除去と乾式脱塩をおこない焼却設備のバグフィルタ前に合流し、焼却炉排ガスと合わせて再度脱硝等の処理を施し煙突から排出される。焼却炉排ガス処理設備にはダブルバグフィルタ方式を採用し、第一バグフィルタにてばいじん・ダイオキシン類等を除去し、第二バグフィルタで消石灰を吹き込み塩化水素と硫酸化物を除去している。第一バグフィルタで捕集される飛灰は溶融処理し、カルシウム・塩素を多量に含む第二バグフィルタの捕集残さは脱塩残さとして薬剤処理を施し最終処分するものとし、溶融プロセスへの塩素・カルシウムの混入を抑制している。

4. 運転データ

4.1 焼却炉運転データ

焼却炉の二次燃焼室出口温度（滞留時間2 秒経過後の温度）を図6 に、ボイラ出口O₂およびCO濃度

表2 排ガス分析結果（乾きガス基準O₂ 12 % 換算値）

項目	保証値	分析結果
ばいじん	0.01 g/m ³ N	< 0.001
塩化水素	70 mg/m ³ N	18
硫酸化物	100 ppm	4
窒素酸化物	0.50 ppm	26
一酸化炭素	30 ppm	10

表3 ダイオキシン類分析結果（活性炭吹き込み時）

測定場所	ダイオキシン類濃度 (ng-TEQ/m ³ N)		
	粒子状	ダス状	トータル
二次燃焼室出口	0.59	0.011	0.61
ボイラ出口	1.2	0.25	1.5
第二BF 出口	0.0000011	0.0000063	0.0000075
煙突	—	—	0.00019

表4 ダイオキシン類分析結果（無活性炭運転57日）

測定場所	ダイオキシン類濃度 (ng-TEQ/m ³ N)		
	粒子状	ダス状	トータル
ボイラ出口	0.63	0.41	1.0
第二BF 出口	0.00	0.018	0.018
煙突	—	—	0.0000036

の推移を図7 に示す。ボイラ出口O₂濃度は安定して8 % を維持している。その結果、二次燃焼室出口温度は850 °C より十分高い900 °C 程度を維持している。燃焼室は全メンブレン水冷壁構造としているため、高温燃焼を維持しながらもクリンカの発生は少ない。表2 に煙突での排ガス分析データを示す。いずれも保証値を十分下回る結果である。表3 に各所でのダイオキシン類分析データを示す。高温燃焼の効果により二次燃焼室出口ダイオキシン類濃度は1 ng-TEQ/m³N を下回る値となっている。また、ボイラ出口でのダイオキシン類濃度は1 ~ 2 ng-TEQ/m³N 程度で水平煙道型ボイラの再合成抑制効果が確認できた。ボイラ出口では粒子状の割合が多く、活性炭を吹き込まなくてもバグフィルタの除じん効果のみでダイオキシン類の除去が可能である。表4 に活性炭の吹き込みを長期間停止した時の各所でのダイオキシン類濃度を示す。ボイラ出口と第二バグフィルタ出口のデータは57日間にわたって吹き込みを停止した後のもので、煙突でのデータは97日間停止後のものである。活性炭吹き込みを長期間停止しても第二バグフィルタ出口にて0.02 ng-TEQ/m³N を下回る結果がえられている。なお、バグフィルタ下流の触媒反応塔でのガス状ダイオキシン類分解効果により、活性炭吹き込み無しでも煙突でのダイオキシン類濃度は0.0000036 ng-TEQ/m³N と十分低い値となっている。

4.2 燃焼シミュレーション結果

本施設の燃焼室形状等の条件を合わせ、燃焼シミュレーションをおこない、実機での運転データとの比較をおこなった。図8に空気比 $\lambda=1.6$ としたときの温度および O_2 濃度コンター図を示す。燃焼帯の火格子近傍が高温となり、下流の二次燃焼室乾燥帯側も高温となっていることがわかる。 O_2 濃度分布としては、乾燥帯から燃焼帯中央までの主燃焼室で O_2 は見られず、燃焼帯の中央から後燃焼帯で急激に O_2 濃度の高い領域が広がっている。

図9に主燃焼室の火格子中心断面の温度分布を示す。横軸は火格子の上流端からの無次元距離であり、火格子からの高さが実炉と同じ高さの温度をプロットしている。解析結果より空気比が高くなるとピーク温度が乾燥帯側へ移動することがわかる。また、特に燃焼帯の後半および後燃焼帯は測定結果と解析がよく一致している。

図10に火格子中心軸断面での O_2 濃度分布を示す。測定結果および解析より燃焼帯の前半で急激に酸素濃度が変化している様子がわかる。

実炉においては、非定常なごみ性状の変動などの要因、ストーカ炉内の三次元的な現象の影響を含むものである。解析と測定結果の比較において火格子近傍の温度、ガス組成の定量的な予測を目指した改良は必要であるが、ごみ層を含む熱流動解析を構築し、実炉の定性的な傾向を予測することができた。

4.3 熔融炉運転データ

本熔融炉では、焼却設備で発生する焼却灰と飛灰および隣接する既設炉で発生する焼却灰と飛灰の全

量を混合溶融処理している。図11に、連続運転中の焼却灰と飛灰の処理量の推移を示す。連続運転日数は119日である。運転開始当初は、停止中にピット

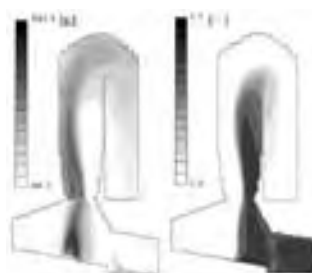


図8 温度および O_2 濃度コンター図

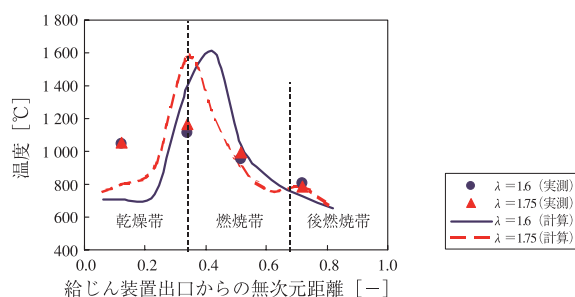


図9 火格子中心断面の温度分布

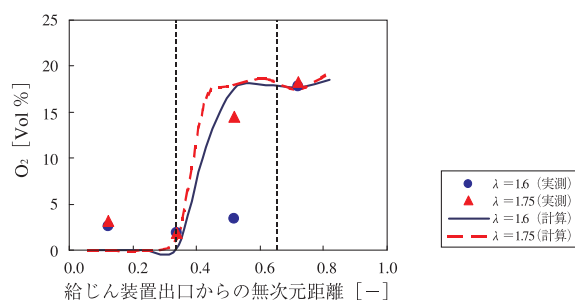


図10 火格子中心断面の O_2 濃度分布

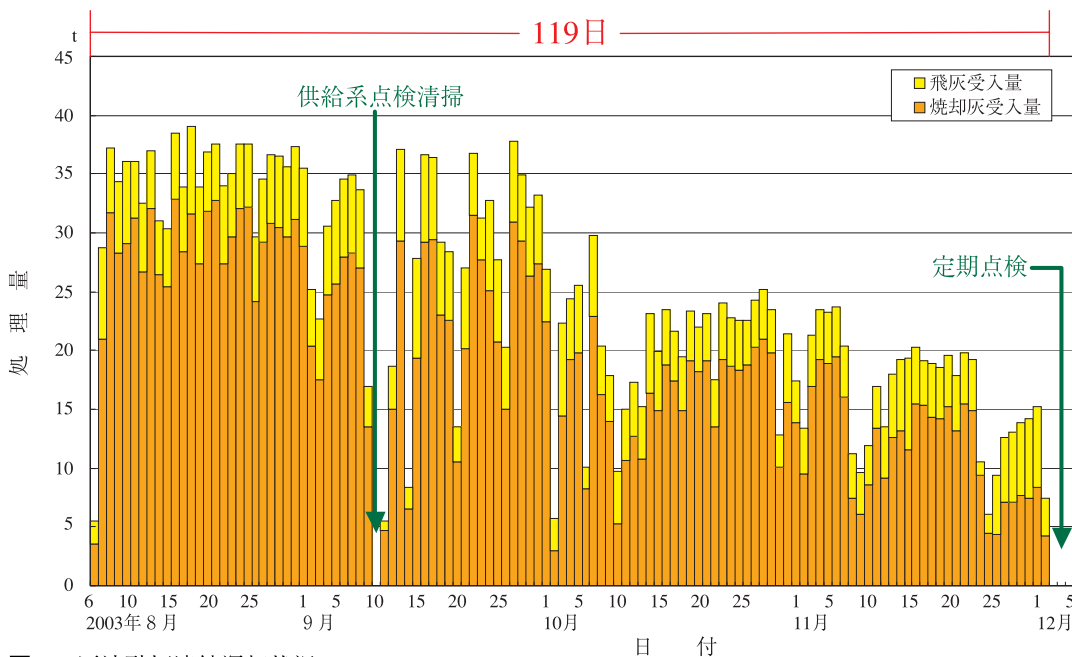


図11 灰熔融炉連続運転状況

に貯留された灰を処理するために定格処理量近くで運転し、残量が少なくなると本施設および既設炉で発生する灰を処理する量で操業している。

また、図12に溶融炉内の温度を示す。処理する灰の性状にあわせ、おおむね1 300～1 400℃程度で操業し、出滓状況も安定している。

表5に溶融排ガス中のダイオキシン類濃度について示す。溶融排ガスは焼却炉の排ガス処理設備に合流させ、再度処理しているが、溶融のバグフィルタ出口における排ガス中のダイオキシン類濃度についても0.000071 ng-TEQ/m³Nと十分低い値となっている。

4.4 スラッグの性状

表6に本施設における原灰、スラッグの化学組成と各種元素のスラッグ移行率を示す。これより、灰中の

表5 溶融バグフィルタ出口におけるダイオキシン類濃度

単 位	溶解排ガス ng-TEQ/m ³ N
PCDDs	0
PCDFs	0
Co-PCBs	0.000071
Total-DXNs	0.000071

表7 溶融スラッグ溶出試験結果

成 分	単 位	溶 出 値	土 壌 環 境 基 準
T-Hg	mg/L	≦0.0005	≦0.0005
Cd	mg/L	≦0.005	≦0.01
Pb	mg/L	≦0.005	≦0.01
Cr ⁶⁺	mg/L	≦0.01	≦0.05
As	mg/L	≦0.005	≦0.01
Se	mg/L	≦0.005	≦0.01

Si, Ca, Al, Fe分は大半がスラッグ中に移行していることがわかる。また、スラッグ中の金属鉄の濃度も十分に低く、鉄は酸化物としてスラッグ中に移行していると考えられる。

表7, 8に溶融スラッグの溶出試験結果、物理試験結果をそれぞれ示す。溶融スラッグからの対象6物質の溶出値は「一般廃棄物の溶融固化物に係わる目標基準値」を全て満足している。また、物理試験結果においても溶融スラッグの性状は、道路用溶融スラッグ骨材TRA0017 FM-2.5を全て満足しており、有効利用可能であることが確認された。

4.5 ダイオキシン類総排出量

本施設が竣工した後の2002年12月から2003年4月までの5ヶ月にわたる残さの排出量とダイオキシン

表6 灰溶融炉における各種元素収支

	原 灰	スラッグ	スラッグへの移行率
Si (%)	18.46	20.67	96.7
Ca (%)	14.07	16.72	102.7
Al (%)	8.27	10.13	105.8
Na (%)	2.68	2.38	76.7
K (%)	2.27	1.19	45.3
Cl (%)	2.42	0.002	0.1
Fe (%)	1.9	2.03	92.3
M-Fe (%)	—	0.10	—

表8 溶融スラッグ物理試験結果

項 目		溶融スラッグ	基 準*
絶 乾 密 度 (kg/L)		2.655	2.45以上
吸 水 量 (%)		2.22	3 以下
ふるいを通る物の質量百分率 (%)	ふるい目		
	4.75 mm	100	100
	2.36 mm	95.3	85-100
	0.075 mm	3.0	0-10

*TRA0017FM-2.5

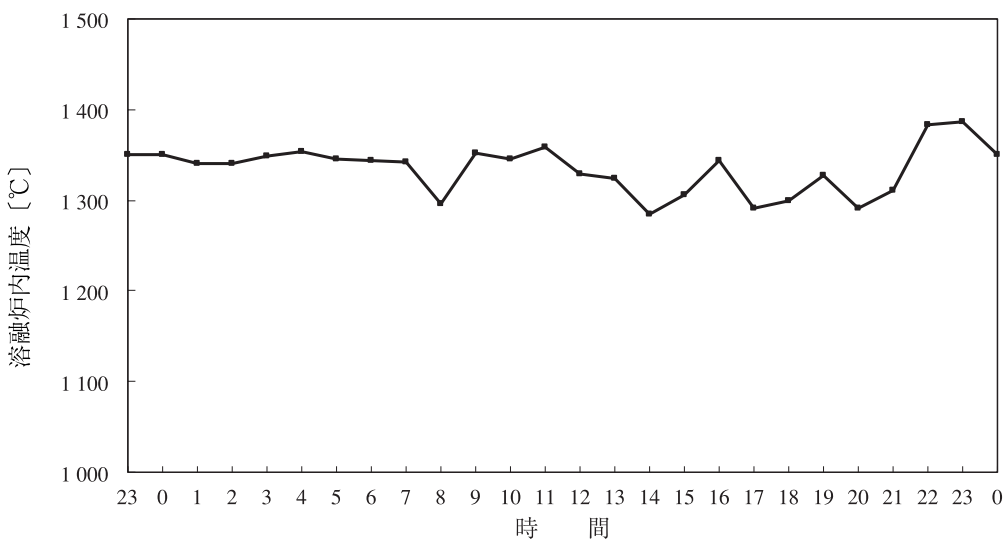


図12 溶融炉内温度

表9 ごみ1tあたりの残さ・ダイオキシン類排出量

項目	排出量 (kg/ごみt)	割合 (%)	ダイオキシン類濃度 (ng-TEQ/gまたはng-TEQm ³ N)	ダイオキシン類排出量 (μg-TEQ/ごみt)	割合 (%)
不適物	21	14.6	0.000048	0.0010	0.25
鉄分	6.7	4.6	0.0013	0.0085	2.1
スラグ	88	60.6	0.000026	0.00023	0.058
溶融飛灰固化物	12	9.2	0.019	0.23	58
脱塩残さ固化物	18	12.1	0.0088	0.15	38
排ガス	—	—	0.00019	0.0013	0.33
合計	146 58 (スラグを除く)	100	—	0.40	100

ン類排出量の平均値をごみ1tあたりに換算した値を表9に示す。本施設から排出されるダイオキシン類は5μg-TEQ/ごみtを大きく下回る0.4μg-TEQ/ごみtである。排出量のうち約95%が溶融飛灰・脱塩残さに由来するもので、排ガス・スラグ等の寄与は少ない。溶融炉内での高温によるダイオキシン類分解と溶融減温塔での排ガス急冷による再合成抑制により、溶融飛灰中のダイオキシン類濃度を低く維持できる効果によるものである。

むすび

高温燃焼型ストーカ式焼却炉+プラズマ溶融炉の適用によりダイオキシン類総排出量0.5μg-TEQ/ごみt以下を達成できた。ダイオキシン類総排出量の

90%以上が溶融飛灰・脱塩残さ由来のものであり、その低減によりさらに排出量を下げることが可能である。

低空気比運転により排ガス中のダイオキシン類濃度：0.01ng-TEQ/m³N以下を達成できた。高温を安定して維持することによって炉内でのダイオキシン類発生を抑制し、活性炭を吹き込まずとも0.01ng-TEQ/m³N以下を達成できることを確認した。

[参考文献]

- 1) 西村真, 樋口豪, 島倉久範, 伴浩之, 八十格, 鈴木富雄: 日本機械学会環境工学シンポジウム'03 講演論文集p.118-130