

(技術資料)

低レベル放射性廃棄物の焼却処理技術

An Incineration Technology for Low Level Radioactive Solid Waste



須鎗 護*
Mamoru Suyari



中西良太*
Ryota Nakanishi



能浦 毅**
Tsuyoshi Noura



藤富昌志**
Masashi Fujitomi



阿野晋太郎**
Shintaroh Ano

Low-level radioactive solid waste, mainly consisting of rag paper and cloth, is usually incinerated. However, polymeric waste, including rubber and polyvinyl chloride plastic, is securely stored in view of safe treatment. Kobe Steel has developed a new kind of incinerator which can be used for polymeric waste. It has the following characteristics:

- a) A controlled air type furnace with a unique grate design
- b) In order to control dioxin emissions, the furnace wall is refractory-lined to maintain furnace temperatures at 900 °C or higher
- c) Secondary combustion air is injected into the furnace to mix with gas from the primary combustion zone. In this paper, the following non-radioactive test results using an actual incinerator, (feed rate: 130 kg/hr.) are presented:
 - 1) Polymeric waste, including rubber, polyethylene and polyvinyl chloride plastic, was incinerated under stable operation;
 - 2) Design specifications including treatment capacity, emission limits were satisfactorily achieved.

まきがき = 国内においてはこれまで、低レベル放射性可燃廃棄物は焼却処理を行ってきたが、ポリエチレン、ゴム及び塩化ビニルなどの高分子系廃棄物は未処理のまま保管されている場合が多い。減容化の観点からこれらの廃棄物に対し、焼却処理のニーズがでてきているが、従来の紙類、布類などを主体とする可燃性廃棄物とは燃焼特性が大きく異なることが、保管処理してきた主原因である。具体的には、これら高分子系廃棄物を燃焼させた場合、急速な燃焼に伴う圧力変動が大きいと予想されること、プラスチック類が燃焼する際に液化化が予想されること、ダイオキシンの生成が懸念されることなど解決すべき開発課題が抽出された。

当社では、以下の特徴を有する独自の低レベル放射性可燃廃棄物の焼却設備を提案し、処理量が16kg/hのパイロット実験装置を使用して開発を行い、その可能性を確認した¹⁾。

- 1) 特殊な火格子構造を持つ抑制燃焼方式の竪型炉
- 2) 耐火物炉として炉上部温度を900 °C以上に維持することによるダイオキシン類分解促進
- 3) 空気を火格子部と2次燃焼部の2個所に分けて吹込む空気2段燃焼方式の採用による、ダイオキシン発生と関連のあるCO発生の抑制

本報告では、パイロット実験結果を反映した実炉において模擬可燃廃棄物を用いたコールド試験(処理量: 130kg/h)を行い、その性能を検証したので報告する。

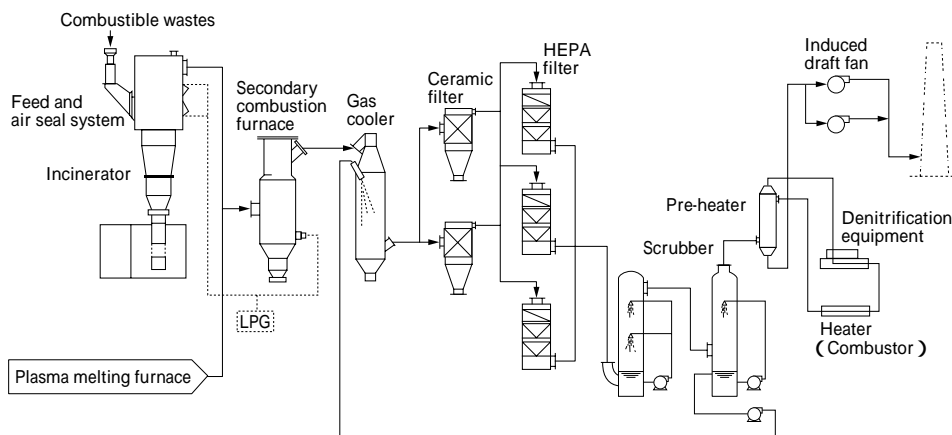
1. 実炉の主仕様

本炉は、日本原子力研究所東海研究所に納入した可燃廃棄物焼却設備であり、同時に納入した熱プラズマによる不燃物溶融処理設備(本号P.61、放射性雑固体廃棄物のプラズマ溶融技術参照)とともに高減容処理施設の焼却・溶融設備を構成している。主要な設備仕様を以下に示す。

- ・被焼却物 : セルロース系 : 10%
- (標準組成) ポリエチレン : 40%
- 塩化ビニル : 20%
- ゴム類 : 30%
- 含水分 : 15%
- 灰分 : 10%
- ・処理能力 : 130kg/h, 6時間投入, 780kg/d
- ・炉形式 : 抑制燃焼竪型固定床炉
- ・供給設備 : 二重ダンパ間欠投入方式
- ・排ガス冷却 : 完全蒸発型直接熱交換器
- ・排ガス処理 : セラミックフィルタ + HEPA フィルタユニット + 排気洗浄設備 + 脱硝・ダイオキシン除去装置
- ・大気放出排ガス :
 - 放射性物質除染係数 : HEPA フィルタユニットで 1×10^6 以上
 - 塩化水素 : 40mg/Nm³ 以下
 - 窒素酸化物 : 60ppm 以下

*技術開発本部 機械研究所 **エンジニアリングカンパニー 原子力本部 技術部

図1 プロセスフロー
Fig. 1 Process flow diagram of commercial plant



硫黄酸化物 : 6ppm 以下

ダイオキシン類 : 0.1ng-TEQ/Nm³ 以下

焼却設備としては都市ごみ焼却炉に比べ小規模である。しかし、この処理量でダイオキシン排出濃度が大規模都市ごみ焼却炉に匹敵するレベルの要求仕様であり、しかも、被焼却物中にダイオキシン生成の塩素源となり得る塩化ビニルが20%も含まれていることが技術的ハードルを高くしている。

同時に、加熱により液状化するポリエチレンが多く含まれること、間欠投入方式であることなど、この種の焼却炉で不可欠な負圧維持に相反する仕様を同時に満足する必要があった。

2. プロセス概要

低レベル放射性可燃廃棄物を焼却処理する場合、ボトム灰、飛灰は嚴重に分離・管理されるが、それ以外の部分は一般廃棄物の焼却プロセスと似通っている。図1に実プラントのフローを示す。被処理物には塩化ビニル混

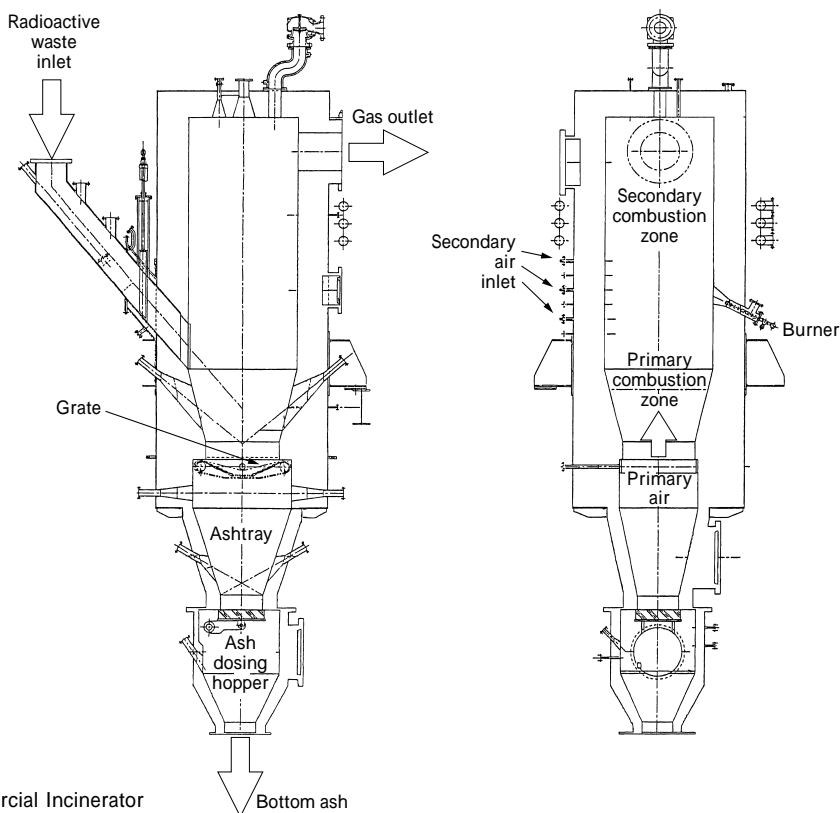
入量が多いことから、焼却炉の後に2次燃焼炉を設け1000で2秒間の滞留時間を維持すること、2次燃焼炉の後流に設置した排気冷却器により燃焼ガスを180まで急冷することにより、ダイオキシン類の分解促進と再合成の抑制を行っている。その後セラミックフィルタ、HEPAフィルタにより飛灰を分離し、後流の排気洗浄設備でHCl、SO_x除去を、脱硝・ダイオキシン除去装置でNO_x、ダイオキシン類の除去を行い、外気に放出される。

このシステムで最も重要なことは、系内の負圧を維持することである。系内が正圧になることによる放射性物質の系外への漏洩を避けるために、焼却炉においても気密性を有する供給系、灰出し装置などのハード類に配慮するとともに、焼却炉内を-1.5kPa程度の深い負圧に維持した運転としている。

3. 焼却炉の特徴

図2に実炉断面構造図を示す。放射性可燃廃棄物はカートンボックス詰めの状態、あるいはバラの状態の間欠

図2 実炉断面構造
Fig. 2 Cross sectional view of commercial Incinerator



的に焼却炉に投入される。これら投入の間欠性と急激な燃焼が予想される被焼却物熱分解ガスによる炉内圧力変動を抑制するために、また、炉内での完全燃焼を目的として、炉の基本的な燃焼方式を1次燃焼空気量制御により燃焼を制御する抑制燃焼方式(Controlled air incineration)とした。すなわち、1次燃焼空気を絞り、火格子上、炉下部において廃棄物を熱分解し、発生した熱分解ガスを焼却炉の2次燃焼空気中で燃焼させる方式である。これにより、1次燃焼空気量により燃焼量を制御でき、急激な炉圧上昇を抑制することが可能となる。また、都市ごみ焼却のダイオキシン抑制技術の一つとして確立した2次燃焼空気と炉下部でガス化した揮発分の混合方法を採用することと、2次燃焼領域における高温と滞留時間維持により、未燃分排出を防止するとともにダイオキシン類の分解を促進している。

被焼却物の中に熱分解時に液状化するポリエチレン(PE)、消炎性を持ちDXN合成の可能性がある塩化ビニルが含まれることから、炉の構造は以下の特徴を有するものとなっている。

液状化するポリエチレンを完全に燃焼させ、なおかつ、灰出し室への滴下を防止するために特殊な火格子構造を考案し、適用している。すなわち、火格子上に液状化したポリエチレン、酢酸ビニルなどをプール状に溜めることのできる構造を付与することにより、灰出し室への滴下を防止している。

火格子構造とすることにより、廃棄物の下から空気供給が可能となり、燃焼の完結性向上と残燃焼時間の短縮を狙っている。

4. 焼却炉の性能

実プラントは、低レベル放射性可燃廃棄物を130kg/h処理可能である。2002年に建設され、コールド運転試験は2002年11月から実施された。

焼却炉には、炉下部、上部を加熱できるバーナを取付けているが、今回の運転では、炉内を十分な高温に維持できるため、いずれのバーナも昇温運転以外は使用していない。

4.1 処理能力

計画時に想定した被焼却物とコールド運転試験に使用した被焼却物の性状を、表1に示す。計画時と比べて試

験運転の被焼却物は水分量、灰分量が低く、発熱量として約25%高めとなっている。

供給は一つのカートンボックスの重量を6.8kgとし、3分間隔で行い、各カートンボックスには木とポリエチレン、ゴム、塩化ビニルをそれぞれ計量、配合した試料を詰めている。

実運転に基づいた処理量のトレンドを図3に示す。計量されたカートンボックスが一定周期で供給されるので、供給量としては定格の130kg/hを維持した運転を行っているが、炉内でどれほど焼却処理されているかを焼却炉出口酸素濃度から算出したものである。

4.2 圧力変動

炉内圧力変動の様子を図4に示す。このときの炉内圧

表1 被焼却物性状
Table 1 Waste properties

	Surrogated	Designed
Mixture ratio (wood/rubber/PE/PVC)	14.5/28.5/38/19	14.5/28.5/38/19
Moisture (%)	7.79	15.00
Ash (% in DS)	7.99	10.00
LHV (MJ/kg)	30.03	23.83
Ultimate analysis		
C (% in DS)	61.67	56.85
H (% in DS)	8.81	8.12
N (% in DS)	0.10	0.09
S (% in DS)	0.33	0.30
Cl (% in DS)	9.29	8.56
O (% in DS)	12.01	11.07

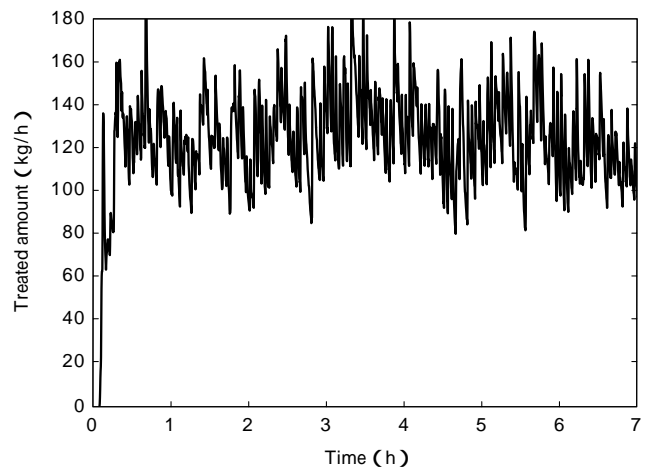


図3 処理量の経時変化
Fig. 3 Trend of treated amount

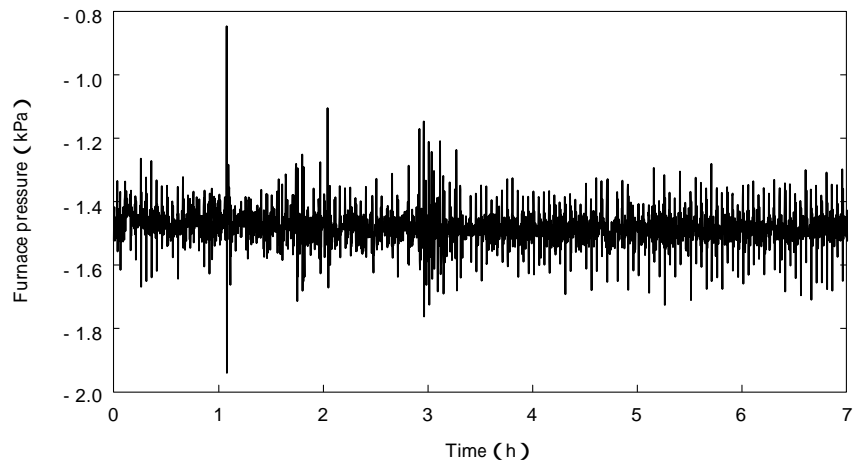


図4 焼却炉内圧変動
Fig. 4 Incinerator pressure fluctuation

力設定値は - 1.50kPa であり、変動幅約 0.5kPa の間で振れている。このデータ取得時の取込み速度は 10 秒間隔であったが、投入個数が 120 個のデータであることから、十分に最大値をも取込んでいると考えられる。

1 秒間隔で取込む DCS で調べる限り、投入直後数秒で - 1.50kPa から - 1.10kPa 程度にまでなり、その後炉圧制御による振れで - 1.70kPa 程度になって、- 1.50kPa に戻る状況が繰返される。

投入直後に被焼却物の揮発分がガス化して着火燃焼するため、このように投入間隔（3 分間に 1 度）に合致した周期の炉圧変動になっている。このような間欠投入運転であっても、炉内最大圧力を - 1.0kPa 以下に抑え込む運転ができていていることを確認した。

4.3 排ガス性状

図 5 に、焼却炉出口におけるガス性状の経時変化を示す。間欠投入の影響で投入ごとにガス濃度は細かく変動する（以下、NO、CO、DXN はいずれも 12% O₂ 換算値で示す）。CO は処理開始直後から数 ppm を維持し、炉内での燃焼性の良さを証明している。炉下部でガス化した

揮発分と 2 次空気の良い混合により、焼却炉出口で燃焼を完結している結果である。O₂ と CO₂ はそれぞれ 8 ~ 16%、4 ~ 10% である。NO は、40 ~ 70ppm であった。

図 6 に 2 次燃焼炉出口のガス性状を示す。図 5 とは異なる日の同一運転条件でのデータである。全体的に変動幅は小さくなっていくが、絶対値としては焼却炉出口と大きな差はない。NO がわずかに増えているようであるが、Thermal NO_x 分の増加によるものと考えられる。この NO_x 値も排ガス処理系を通過した後の煙突入口では 10ppm 以下であり、仕様値の 60ppm をクリアしている。排気洗浄設備出口における硫酸化合物、塩化水素濃度は 0.3ppm 以下、0.27mg/Nm³ であり、仕様値を満足している。

ダイオキシン類の煙突前の測定結果は 0.0017ng-TEQ/Nm³ (JIS K 0311:1999 に準拠) と低く、このように小規模な焼却炉でありながら、また間欠投入でありながら、なおかつ、塩化ビニル 20% の被焼却物で達成できたことは、初期のコンセプトの妥当性を証明しているものと考えられる。

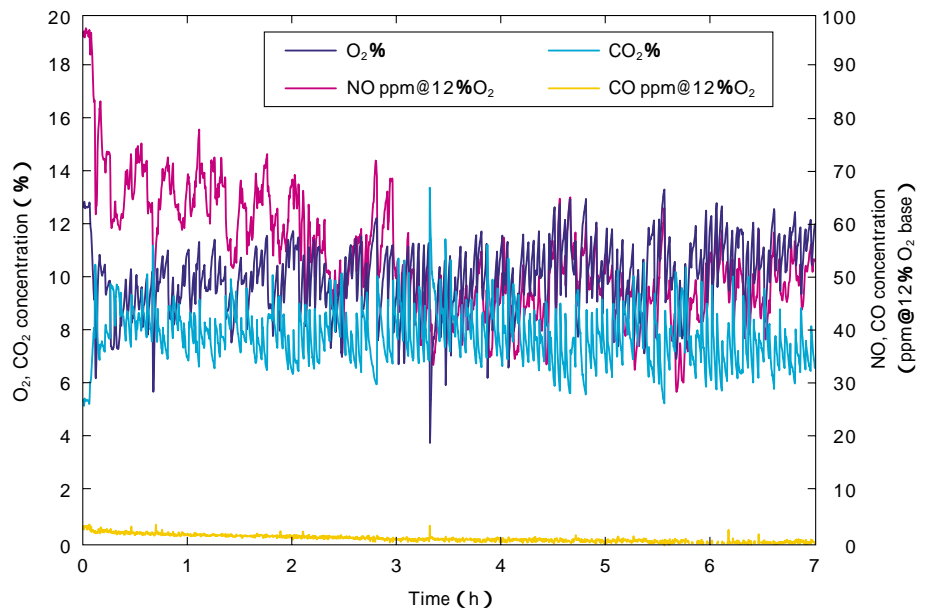


図 5 焼却炉出口ガス性状
Fig. 5 Trend of gas composition at incinerator outlet

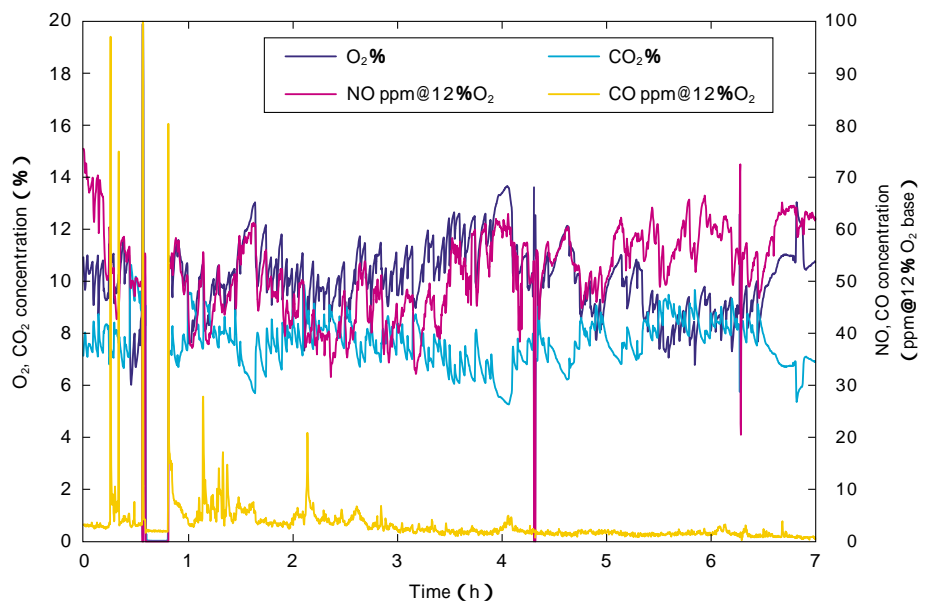


図 6 2 次燃焼炉出口ガス性状
Fig. 6 Trend of gas composition at secondary furnace

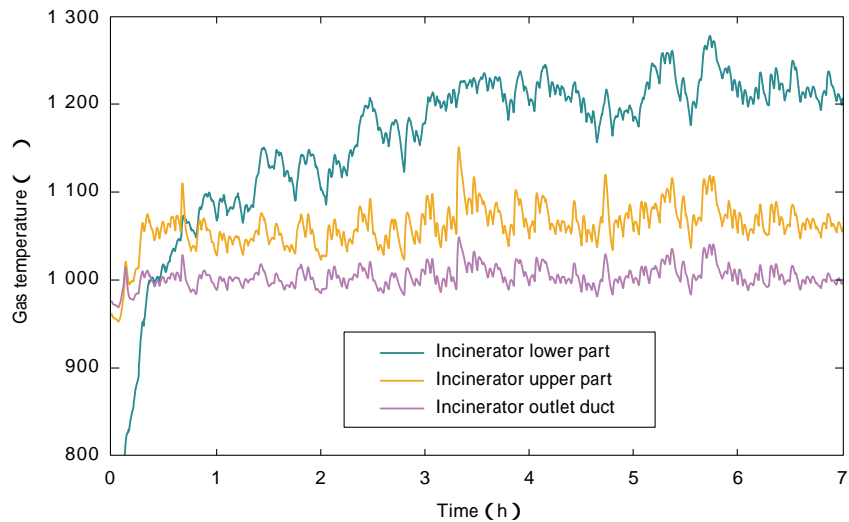


図7 炉内軸方向温度分布
Fig. 7 Gas temperature distribution in incinerator

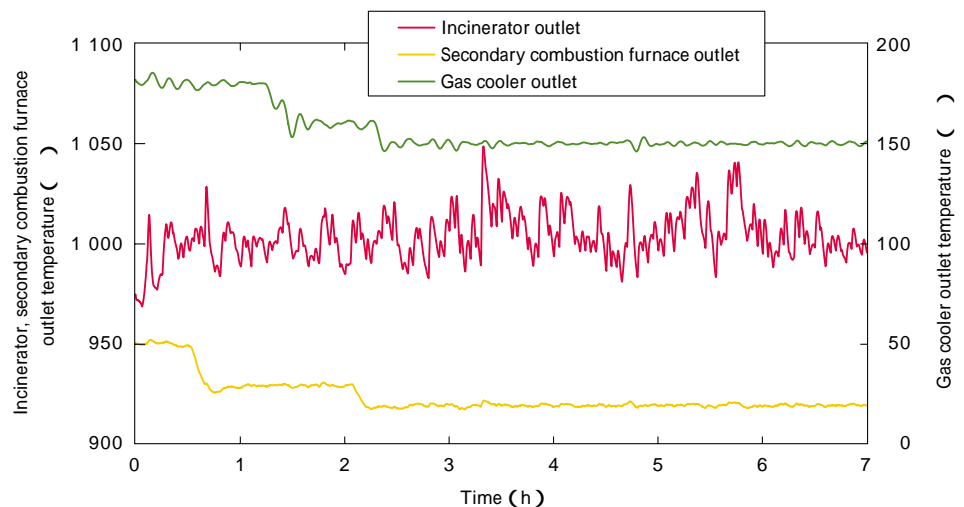


図8 各部の温度
Fig. 8 Gas temperature

4.4 灰の性状

ボトム灰の性状については、未燃炭素分は0.88%と一般的な値である5%を十分にクリアしている。焼却灰は不燃物としてプラズマ溶融炉で溶融処理される予定である。

4.5 運転安定性

図7に炉内温度の経時変化の例を示す。炉下部で1000を越える温度になるのは、火炎温度を計測しているものと考えられる。この運転条件では炉出口温度制御を作動させていないが、ほぼ1000前後で運転できている。出口温度は補助バーナを使用すれば、その焚き量により一定に維持することが可能である。

4.6 2次燃焼炉・排気冷却器性能

焼却炉における滞留時間が短いにもかかわらず、被焼却物は焼却炉内で十分に燃焼を完了しているが、ダイオキシン類の分解をより完全なものとするために、2次燃焼炉を設置している。

2次燃焼炉において1000以上を維持しながら、2秒以上の滞留時間を確保することを目標に形状決定している。プロセス各部の温度測定結果を図8に示す。投入開始後2時間までに、2次燃焼炉出口、排気冷却器出口温度設定値を2度変更している。2次燃焼炉出口、排気冷却器出口とも、それぞれの設定値920、150どおり良好に温度制御されていることが確認された。

むすび=ポリエチレン、ゴム、塩化ビニルを含む模擬可燃廃棄物を用いたコールド焼却試験により、固定床焼却炉の設計検証データを取得し、以下のことが確認された。炉内圧を安全な領域の負圧に維持した運転が可能である。

処理量、排ガス性状を含めた仕様を満足する。

これにより、低レベル放射性可燃廃棄物の固定床焼却処理に関する基本的な技術を確立できたと考えられる。

最後に、本試運転データ取得にあたり、原子力研究所東海研究所の多大なご協力をいただいたことに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) R. Nakanishi et al. : WM'01 Conference, February 25-March 1, 2001, Tucson, AZ.