

平成15年度中小企業地域新生コンソーシアム研究開発事業

島嶼など隔絶地域対応の小型、低D X N s 医療廃棄物処理炉の開発

成果報告書

平成15年11月

委託者	内閣府沖縄総合事務局
委託先	スリーアールシステムズ株式会社

目 次

第1章 平成15年度 研究開発の概要 (執筆 矢崎)	1
第2章 平成14年度成果に基づく小型焼却炉の改造 (執筆 玉寄/中村)	3
2-1 平成14年度開発の成果	3
2-2 平成15年度の試験炉改造	3
2-3 改造後の試験炉	3
2-4 まとめ	4
第3章 改造小型焼却炉の試運転と基本データ採取および評価 (執筆 肥田)	6
3-1 平成15年度燃焼実験の基本方針	6
3-2 燃焼確性実験結果	6
3-2-1 温度およびガス組成の測定	6
3-2-2 バーナー灯油燃焼流量の確認 (無負荷試験)	7
3-2-3 エジェクター設置効果の確認結果	7
3-2-4 燃焼確性実験結果	8
3-3 まとめ	13
参考資料	14
第4章 実機規模小型医療廃棄物処理炉の設計 (執筆 玉寄/中村)	20
4-1 設計基本方針	20
4-1-1 処理能力200kg/H未満の医療廃棄物処理炉の具備すべき機能	20
4-1-2 シリーズ化	20
4-1-3 製作、輸送、設置対策	21
4-1-4 その他	21
4-2 設計焼却炉概要	21
4-2-1 本開発小型医療廃棄物処理炉の特徴	21
4-2-2 仕様	21
4-2-3 焼却炉外観	21
第5章 燃焼シミュレーション (執筆 杉山)	26
5-1 本研究の位置づけ	26
5-2 試験炉の概要	26
5-3 装入条件	28
5-4 装入物の成分	28
5-5 シミュレーションモデルの概要と入力条件	28
5-6 シミュレーション結果	29
5-6-1 装入物の燃焼曲線	29
5-6-2 各ZONEの温度変化	29
5-6-3 ガス組成	30
5-6-4 通過ガス流量	30
5-6-5 冷却風量の影響	30
5-7 まとめ	38

第6章 燃焼プロセスの理論解析 (執筆 屋良/比嘉/壹岐)	39
6-1 はじめに	39
6-2 解析結果	39
6-3 まとめ	43
第7章 システム統合化 (執筆 壹岐)	44
7-1 はじめに	44
7-2 プロジェクト全体における本研究開発の位置づけ	44
7-3 目的と目標	44
7-4 前年度の研究概要	44
7-5 本年度の研究成果	46
7-5-1 統合化対象の小型ガスタービンとその性能	46
7-5-2 統合化システムの構成	48
7-5-3 統合化システムの性能	50
7-6 今後の課題と取組	52
第8章 市場開拓戦略 (執筆 玉寄/中村)	53
8-1 はじめに	53
8-2 市場	53
8-3 処理炉のシリーズ化	53
8-4 事業化計画	54
8-4-1 焼却炉の製造と販売	54
8-4-2 排ガス測定	54
8-5 販売目標	54
第9章 プロジェクト全体のまとめ (執筆 矢崎)	55
9-1 研究開発の目的	55
9-2 実行体制と開発スケジュール	56
9-3 研究開発成果	57
9-3-1 平成14年度成果	57
9-3-2 平成15年度成果	58
9-3-3 プロジェクト成果の総括 (平成14、15年度)	61
9-3-4 今後の課題	61
第10章 アドバイザーからのコメント	62
10-1 東北大学 流体科学研究所 新岡 嵩 教授	62
10-2 法政大学 工学部 直井 久 教授	63
10-3 琉球大学 工学部 屋良 秀夫 教授	63

第1章 平成15年度研究開発の概要

共同研究開発コンソーシアム（略称：**COP Clean Okinawa Project**）は平成14年度地域新生コンソーシアム研究開発事業「島嶼など隔絶地域対応の小型、低 **DXNs** 医療廃棄物処理炉の開発」助成金により経済産業局（内閣府沖縄総合事務局）の委託を受けて、平成14年—平成16年の2年間に亘って医療廃棄物焼却炉の開発を進めてきた。

沖縄県の離島など、人口過疎町村（広域化困難な地域）では廃棄物の移動が困難になってきた現在、独立して操業できる小型医療廃棄物処理炉は不可欠な設備である。基本的には低ダイオキシン高効率焼却処理のために、主燃焼室と大きな再燃焼室を有する構造を考え、両室の燃焼状態の管理を適正に行うことにより、ダイオキシン類（**DXNs**）発生を **0.5ng-TEQ/Nm³** 以下および、煤塵の発生 **0.1g/Nm³** 以下を開発目標とした。

具体的目標は下記の通りである。

- (1) 燃焼効率を最大 **200kg/H**、将来は **2t/H** まで拡大することも視野に入れ確認。燃焼効率：時間当たりの処理量、**DXNs** など有害物の発生のない燃焼。
- (2) 主燃焼室、再燃焼室の燃焼パラメーターの把握（排ガス速度、雰囲気、温度）
- (3) 燃焼条件と **DXNs**、**NOX**、**SOX**、**CO** の発生状況の確認。
ダイオキシン類（**DXNs**）発生を **0.5 ng-TEQ/Nm³** 以下および、煤塵の発生 **0.1 g/Nm³** 以下を開発目標とする。**DXNs** の発生状況は **CO** で追跡。
- (4) 理論解析およびシミュレーションによる確性
- (5) システム統合化の検討
- (6) 以上から小型医療廃棄物焼却炉の設計指針を確立する。

H14 年度実施した開発の結果判明したこと、および **H15** 年度の開発の方向は以下の通りである。

- (1) 排ガス中の **DXNs** は投入した模擬医療廃棄物中の塩素量と密接な関係にある。極端に塩素量を増やした廃棄物の燃焼では **DXNs** の発生は多く、一方通常の医療廃棄物を模した燃焼実験では **DXNs** は十分目標の **0.5ng-TEQ/Nm³** 以下に収まる。したがって実験で投入する廃棄物の塩素含有量は実際の条件に合わせたものを使用する。
- (2) 紙類を含まない、プラスチック **100%**（内塩化ビニル **5%**）を含む廃棄物の場合、**0.5ng-TEQ/Nm³** 以下を達成することは困難で、排気塔（煙突、スタック）内での **DXNs** の再合成抑制対策が必要である。したがって、**H15** 年度は再燃焼室出口に直接排気塔（煙突）とブロワーを設置し、排ガスの急冷化を図る。また煙突の空気吸引効果が風の影響を受け

ないようにエジェクターを設ける。

- (3) 再燃焼室で完全燃焼させるためにはバーナー空気量を増やす必要がある。**H15**年度は**B2**バーナーの空気量を増やす。
- (4) **CO**、**NOX**、**SOX** はいずれも低く問題なく、**H15**年度はとくに対策を講ずることなく、発生状況だけを確認する。
- (5) サイクロンで集塵される粉塵は軽微である。したがってサイクロン撤去の方向で検討する。
- (6) 実際の医療廃棄物焼却炉では密閉容器に格納された廃棄物を燃焼させることになり、密閉容器の使用を想定して、主燃焼室で容器を熱分解させるためロストル（火格子）を撤去する。
- (7) 密閉容器投入のため二重扉式投入口を設置する。

以上のように **H15** 年度は前年度の開発で明らかになった性能上の問題点を詰めるとともに、商業化のために密閉容器に収納された廃棄物を容器ごと炉内投入できる機構を設けるなどエンジニアリングにも重点を置いた。

また **H15** 年度も **H14** 年度と同様に実験で確認出来ない現象についてはシミュレーションを行った（**H15**年度はエジェクターの付加効果の確認）。また理論解析も実施した。

同じように、今プロジェクトでは実験は行わないが、焼却炉廃熱の有効利用を考えた将来のプロビジョンとしてのシステム統合化を検討した。この統合化は若干のコストアップにはなるが、省エネルギー効果を考えると十分引き合うもので、かつ国内外他社の技術との差別化には決定的な役割を果たすと考える。

第2章 平成14年度成果に基づく小型焼却炉の改造

2-1 平成14年度開発の成果

平成14年度の試験炉では廃棄物の構成、投入量及び燃焼条件により5回の確性試験を実施した。その結果燃焼プロセスの解明および基本設計に必要なデータの採取ができ、以下が判明した。

- (1) 排ガス中のDXNsは投入塩素量と密接な関係にある。
- (2) NOX、SOXはいずれも低く問題ない。
- (3) 通常の医療廃棄物を模擬した試料は低DXNs(0.5ng-TEQ/Nm³以下)を達成できる。
- (4) ただしプラスチック100%、塩化ビニル5%程度含むものでは燃焼技術のみで0.5ng-TEQ/Nm³以下を達成することは困難で、排気塔内でのDXNsの再合成抑制対策が必要である。
- (5) 作業の安全性確保の観点から、既存の密閉型プラスチック製医療廃棄物容器を直接投入できる投入装置が必要である。

2-2 平成15年度の試験炉改造

今年度は昨年度の成果を踏まえ、さらに当初目標を達成するため、試験炉に以下の改造を加え確性試験を実施した。

またこの試験結果を判定し本プロジェクト終了後の事業化時に供する実機小型医療廃棄物処理炉の基本設計に反映させた。

- (1) 排ガスの急冷化によりDXNs再合成性の抑制を目的として、再燃焼室出口直後に排気塔とブロワーの設置。
- (2) 風の風速によって煙突の吸引効果が妨げられないようにエゼクター装置の追加。
- (3) 再燃焼室での完全燃焼を促進させるために、B2バーナー空気量の増加。
- (4) サイクロンの撤去。
- (5) 医療廃棄物密閉容器の使用を想定してロストルの撤去。
- (6) 二重扉式投入口の設置。

2-3 改造後の試験炉

改造後の試験炉を図2-1に示す。また昨年度得られた燃焼データおよびシミュレーション結果より最適燃焼パターンを想定して、燃焼制御シーケンスソフトを改良した。

2-4 まとめ

今年度の改造は2回に分け実施し、6月と8月の確性試験により以下が確認できた。

- (1) サイクロンを外しブロワーによる冷却装置を追加したことにより、DXNs再合成の抑制効果が現れた。またエジェクター効果も得られ炉内圧力が常に負圧に保たれるため、再燃焼室に燃焼空気量を多く挿入できることになり黒煙の発生を抑えることができた。
- (2) 二重扉式投入口により廃棄物投入時の燃焼室と外気の遮断ができ、作業の安全性を確保した。また廃棄物密閉容器のバッチ投入から連続投入が可能となった。
- (3) サイクロンの撤去によるコスト低減と軽量化が可能となり、実機設計に反映できた。

第3章 改造小型焼却炉の運転と基本データ採取および評価

3-1 平成15年度燃焼実験の基本方針

昨年度は本プロジェクトの初年度として、実態とは大きくかけ離れた“塩化ビニルを約7%含有するプラスチック100%”までの3種の模擬医療廃棄物試料を用いて燃焼試験を実施した。その結果、現状に類似の模擬医療廃棄物では排ガス中DXNsを規制値“5 ng-TEQ/Nm³”以下に抑える見通しを得たが、プラスチック100%では排ガスの冷却能の不足も影響して規制値の達成は難しいことが判明した。

そこで本年度は、前記第2章のように排ガス冷却能向上を主体とする装置改造を実施すると共に、現在の医療廃棄物処理の実態（巻末の参考資料参照）と本プロジェクトで開発の処理炉の外販を配慮した表3-1-1に示す模擬医療廃棄物を用いて実験に取り組むことにした。

表3-1-1 実験に使用する模擬医療廃棄物の構成

試料	模擬対象	構成 (mass%)				水分 (%,外数)
		紙	木綿系布	プラスチック	化繊系布	
A	D市民病院の 感染性医療廃棄物	0	25	50	25	10
B	低発熱量の 老人医療廃棄物	50	30	20	0	20

なお、実際の医療廃棄物ではラテックスが多く使用されているが（巻末の参考資料参照）、ここではプラスチックで代替した。また、ガーゼ・包帯類は木綿系布に置き換えた。

3-2 燃焼確性実験結果

上記の実験計画に従い、2期に分けて実施した。即ち、第Iは6月に行い、その排ガス中DXNs濃度が目標値を達成していることを確認後、第II期実験として8月に塩化ビニルを添加し、投入塩素濃度を上げた実験を実施した。以下にその結果について述べる。

3-2-1 温度およびガス組成の測定

設備改造に伴い、温度測定およびガス採取位置を変更した。温度測定およびガス採取・分析の系統図を図3-2-1-1に示す。

変更の主要点は排ガスの温度測定、ガス採取位置の変更であり、新しい測温箇所は炉出口の燃焼炉と煙突のつなぎ部（フランジ部）(TI-3)と煙突上部(TI-4)であり、各熱電対はそれぞれフランジおよび煙突の中心部に設置した。煙突ガ

スは煙突上部 (TI-4) から採取した。その他の計測位置は H14 年度と同じである。

3-2-2 バーナー灯油燃焼流量の確認 (無負荷試験)

昨年度の実験では、バーナー灯油燃料の消費量が計器の精度が悪くて把握できなかった。そこで、6月25日に無負荷運転により、各バーナーでの灯油流量を確認した。その結果を表3-2-2-1に示す。灯油消費量はバーナーによって大きく異なり、No.3バーナーではNo.2バーナーの2倍の量を燃焼することが明確となった。

表3-2-2-1 バーナーでの灯油消費量

バーナー	灯油量
No.1	0.17 L/min
No.2	0.10
No.3	0.21

3-2-3 エジェクター設置効果の確認結果

本年度のプロジェクトにおける最大の改良点はエジェクターの設置による排ガスの急速冷却にある。そこで、6月25日(第1回)および8月20日(第2回)に無負荷実験を実施し、炉出口温度(TI-3)、排ガス温度(TI-4)および排ガス組成を連続的に測定してエジェクター設置による排ガスの冷却効果を確認した。

エジェクターの設置効果は表3-2-3-1の如くまとめられ、かなり大きな冷却効果のあることが確認された。さらに、横吹きダンパー開度はできるだけ開くことが望ましいことが明らかとなった。

表3-2-3-1 エジェクターの排ガス冷却等の効果 (煙突排ガスの測定)

エジェクター条件		冷却効果
①	エジェクター: OFF→ON (エジェクター開度30%, 横吹きダンパー開度100%)	第1回; 555℃→237℃ (-318℃)
		第2回; 355℃→143℃ (-212℃)
②	横吹きダンパー: 100%→0% (エジェクター開度30%)	第1回; 237℃→262℃ (+25℃)
		第2回; 257℃→281℃ (+24℃)
③	エジェクター: OFF→ON	第2回 O ₂ 濃度; 17.8%→20.3% CO ₂ 濃度; 1.6%→0.4%
④	横吹きダンパー: 100%→0% (エジェクター開度30%)	第2回 O ₂ 濃度; 19.1%→19.0% CO ₂ 濃度; 1.0%→1.1%

また、煙突排ガス中のO₂及びCO₂濃度変化から、エジェクター使用後の煙突風量は使用前に比較して4倍になることが求められた。さらに、エジェクター稼動によってバーナー吸引空気量が増加することも認められた。

3-2-4 燃焼確性実験結果

本年度は6月の第1期に2回(H15-1, H15-2)、8月の第II期に2回(H15-3, H15-4)実施した。以下に各実験結果について述べる。

(1) 燃焼用試料(模擬医療廃棄物)

使用した試料を一括して表3-2-4-1に示す。計画通りに、上記の試料Aおよび試料Bを用いた。プラスチックはポリプロピレンおよびポリエチレンが主体の家庭回収廃棄物を当てた。市中回収プラスチックには塩化ビニルが4~5 mass%含まれているとされているが、第I期実験結果から塩素の含有量は比較的低くて塩素投入量は増加できると判断されたため、第II期ではプラスチック中の5 mass%を塩化ビニルに置き換えることにした。さらに、実際の医療廃棄物は密閉容器に入れて処理されるため、実験H15-3では実際に使用される密閉容器に試料を入れて炉に投入することにした。

表3-2-4-1 使用した燃焼用試料

実験 No.	試料	塩化ビニルの添加 (ビニル中での置換)	密閉容器に 封入有無	排ガス中 HCl 濃度 (mg/Nm ³)	
				予測 *1	実績
H15-1	A	なし	なし	—	11
H15-2	B	なし	なし	—	23
H15-3	A	プラスチックの5 mass%	有り	136	143
H15-4	B	プラスチックの5 mass%	なし	39	38

*1 第I期実験結果からの予測

なお、密閉容器は内容積47LのTENSHO製のMippail(45)(本体:W475xD330xH364,ふた:W461xD329xH124mm)で、質量は1.55kgであった。また、本体、ふた、ふたのパッキングの材質はそれぞれポリプロピレン(C3H6)n, ポリエチレン(C2H4)n, 合成ゴム(EPDM)でいずれも着火性、燃焼性に優れるものとなっていた。

しかし、8月20日の無負荷実験時に容器のみを投入して燃焼性について調査すると、容器は1.55kgと比較的重いため、炉内の温度が低い場合(一気に燃焼のためB1およびB2温度が急上昇してバーナーが自動的に停止し、炉内温度が低下する場合が発生)には黒煙を発生することが判明した。

(1) 燃焼操作および試料の投入

(a) バーナー制御

バーナー等の操作は昨年度の最終採用基準と同じとした。また、設定温度は燃焼状態をみて高目に調整することとした。バーナー制御を詳述すると以下の通りである。

- (i) B-2バーナー
 - (a) TC-2 熱電対温度で ON, OFF。1000°C以上で OFF, 900°C以下で ON。
(ただし、燃焼状況が悪い場合には、ON-OFF 温度を共に上昇する。)
 - (b) プレパージ 5sec, ポストパージ 0sec。
- (ii) B-3バーナー
 - (a) スタートから全停止まで連続運転とする (触媒加熱のため)。
TC-2 熱電対で異常高温 (1050°C→1200°Cに修正) となったときに停止し、警報。自動復帰なし。
 - (c) TC-2 熱電対で、低温設定値 (800°C) 以下で手動復帰可能。
 - (d) プレパージ 5sec, ポストパージ 0sec。
- (iii) B-1バーナー
 - (a) TC-1 熱電対で ON, OFF。900°C以上で OFF, 800°C以下で ON。以後、自動 ON, OFF 制御 (ただし、燃焼状態が悪い場合には温度を上昇する)。
 - (b) 原料投入扉開で OFF, 閉で ON。
 - (c) TC-1 熱電対が 700°C以下で青ランプ (パイロット) 表示のみ。
 - (d) TC-1 熱電対が 770°C以下が 15min 以上で自動運転全停止 (燃焼完了と判定)。

(b) 試料の投入

医療廃棄物の処理では、密閉系の投入装置を使用することが義務付けられている。先の第2章にて詳述されているように、第1期終了後、投入装置が密閉方式に改造された。

密閉式装入装置では、炉内の燃焼状態を投入扉を随時開けて直接観察することが不可能になる。そこで、1回に投入する試料量は昨年度の実験結果を基に **2kg-dry** とし、投入間隔は自動化することを想定して出来るだけ一定にて行う方針とした。

(3) 実験 H15-1 (2003.06.26) の結果

- ① 投入はできるだけ一定間隔になるように努めたが、予想以上に燃焼が遅く、後半は 6min 間隔をベースとし、安定した燃焼状態が得られた。
- ② その結果、投入速度の実績は、0.2-0.4(0.3)kg-dry/min (平均: 2kg-dry/6.2min) となった。
- ③ バーナーは、試料投入開始 60min 後に B-1 が ON/OFF 制御に入って殆ど OFF 状態となり、145min 後からさらに B-2 が ON/OFF 制御に入った。
- ④ 炉出口温度 (TI-3) は、777°Cから 885°Cまで上昇し、試料投入開始後 20min 以降、DXNs 発生抑制に必要な 800°C以上を維持していた。
- ⑤ この間、煙突排ガス温度は 256°C~311°Cの範囲で変化し、比較的よく冷却されていた。
- ⑥ 排ガスの色調は無色で良好であった。しかし、実験終了近くで炉内の燃焼状態確認のために 1次空気吸引口を開けると、黒煙が発生した。このように第

一室ではプラスチックの分解を促進させ、燃焼させないことが DXNs との関連が深い黒煙発生の抑制に重要であることを再確認した。

(4) 実験 H15-2 (2003.06.27) の結果

- ① 上記の実験 H15-1 では燃焼速度が予想以上に遅かったため、本実験ではさらに高水分試料であることを考慮して 10min 間隔にて投入することにした。
- ② その結果、燃焼状態は極めて安定であり、全自動化の可能性を確認できた。
- ③ バーナーは、試料投入開始 35min 後に B-1 が ON/OFF 制御に入り、130min 後から B-2 が ON/OFF 制御に入った。
- ④ 炉出口温度 (TI-3) は、783 から 845°C まで上昇し、上記実験 H15-1 と同様に試料投入開始後 20min 以降、DXNs 発生抑制に必要な 800°C 以上を維持していた。
- ⑤ 煙突排ガス温度は 270 ~ 295 の範囲で変化し、300°C 以下に冷却されていた。
- ⑥ 排ガスの色調は無色で極めて良好であった。

(5) 実験 H15-3 (2003.08.21) の結果

実験結果を図 3-2-4-1 と図 3-2-4-2 に示す。

- ① 実験 H15-2 を参考にして投入は 10min 間隔と計画して開始したが、密閉容器は試料の 2kg-dry (2.2kg-wet) に対して 1.55kg と重く、容器を合わせた試料 3.75kg-wet/回の投入は 10min 間隔では燃焼室の能力が不足であり、1min 前後経過後において黒煙が発生した。そのため、15min 間隔の装入に改めた。
- ② 黒煙発生が活発な場合は、排ガス中の CO 濃度が瞬値として 100~150ppm に上昇した。
- ③ また、TI-1 部 (B-2 バーナー後) の CO 濃度は、高い場合には 500~600ppm となっており、第 1 室での分解と B-2 バーナーによる完全燃焼が充分でなかったことを示していた。
- ④ 黒煙抑制対策として、B-2 の ON/OFF 制御設定温度を 950°C/1050°C と上昇し、かつ B-2 および B-3 バーナーの吸引空気量を増加した。
- ⑤ 炉の予熱は充分であったため、密閉容器入り試料投入開始から B-1 が ON/OFF 制御に入って殆ど OFF 状態となった。B-2 は設定温度を上げたため、殆ど ON の状態であった。
- ⑥ 炉出口温度 (TI-3) は、試料投入開始から 800°C 以上であり、最高 875°C まで上昇していた。
- ⑦ 煙突排ガス温度は 286°C~351°C の範囲で変化し、320°C 前後とやや高い状態であった。
- ⑧ 以上のように黒煙抑制対策を講じたが、時折黒煙が発生した。
- ⑨ 黒煙発生時は密閉容器が燃焼室底部に落ちず、途中で引っかかったまま、不十分な分解の状態にて燃焼を開始していた。密閉容器は今回使用の装置には

やや大きすぎた。小さな容器（2.2L, 6L, 20L がある）とするか、あるいは燃焼室の拡大と投入装置の改善が必要と考えられた。

（6）実験 H15-4（2003.08.22）の結果

実験結果を図 3-2-4-3 と図 3-2-4-4 に示す。

- ① 安定燃焼が維持できた上記実験 H15-2 と同様に、10min 間隔で投入した。
- ② 燃焼状態は図 3-2-4-4 の如く、極めて順調であり、黒煙も認められなかった。
- ③ 燃焼状態の良好さは TI-1 部（B-2 バーナー後）の CO 濃度の低いことからよく分る。
- ④ 炉の予熱時間がやや短かったこともあり、バーナーは、試料投入開始 75min 後に B-1 が ON/OFF 制御に入った。B-2 は 1050℃で OFF となるように高目に設定した為、常時 ON の状態であった。
- ⑤ 炉出口温度（TI-3）は、720℃から 855℃まで上昇した。また、試料投入開始後 90min 以降、DXNs 発生抑制に必要な 800℃以上を維持していた。
- ⑥ 煙突排ガス温度は 255 ~ 311 の範囲で変化し、概ね 300℃以下に冷却されていた。
- ⑦ 15ch 目に、炉内残留試料は投入口レベルとなった（紙、布の多い場合の課題）。

（7）煙突排ガスの分析結果

表 3-2-4-2 から以下のことが分る。

- (a) 排ガス量は、実験 H15-3 で多くなっている。これは、燃焼改善を目的に B-2 及び B-3 バーナーの空気取入れ開度を開けたことによる。
- (b) 昨年度の排ガス量は 560~763Nm³/h であり、今年度はその 2.7~4.8 倍、平均的には約 4 倍となっており、無負荷実験でのエジェクター設置効果確認結果と合致している。
- (c) 水分は大気からの吸引空気量が多い結果、比較的低い値で実験による差は小さい。
- (d) 試料 A を用いた実験 H15-1 と実験 H15-3 の CO₂ 濃度は試料 B の実験 15-2 及び実験 15-4 よりも高い。この違いは、試料構成物質の差によるものである。
- (e) CO、NO_x および SO_x はいずれも低レベルであり、問題ないと言える。
- (f) 煤塵濃度は全体に低値であるが、黒煙が発生した実験 H15-3 では、他の場合に比較して高くなっている。
- (g) HCl 濃度は塩化ビニル添加量に対応して大きく変化している。
- (h) DXNs 濃度は HC 1 濃度、即ち投入塩素濃度と密接な関係のあることが明瞭である。
- (i) 塩化ビニルを添加した実験 H15-3 および実験 H15-4 では、DXNs は環境規制値の 5 ng-TEQ/Nm³ を大きくクリアしたが、目標の 0.5 ng-TEQ/Nm³ 以下”にはもう 1 歩であった。

(j) 本年度の実験ではエジェクターの使用によって排ガスの O₂ 濃度は 18-19% という極めて高いものとなり、O₂ 濃度は O₂12%換算 DXNs 濃度に大きく影響することとなった。一方、模擬試料投入前後では大きく異なっており、どの時点の O₂ 濃度を適用するのか、多少問題が残った。即ち、実験 15-4 では、表 3-2-4-2 のオルザット分析値に比較して、連続分析の全実験間の平均値は約 1%ほど低かった。この 1%の違いで DXNs 濃度は “1/1.5 となる。

表 3-2-4-2 煙突排ガス分析結果

測定項目	実験 H15-1 (6/26)	実験 H15-2 (6/27)	実験 H15-3 (8/21)	実験 H15-4 (8/22)
排ガス量 *1 (Nm ³ /h)	2130 1980	2220 2120	2710 2590	2070 1980
水分 (vol.%)	7.2	4.4	4.3	4.4
CO ₂ (%) *2	2.8	1.8	2.3	1.8
O ₂ (%) *2	17.6	18.7	18.6	19.1
CO (ppm)	0.0	0.0	0.0	0.0
SO _x (ppm)*3 (Nm ³ /h)	3 <0.1	1 <0.1	<1 <0.1	1 <0.1
NO _x *4 (ppm)	14 37	14 55	10 36	7 33
ばいじん量*4 (g/ Nm ³)	0.004 0.011	0.003 0.012	0.009 0.034	0.004 0.019
HCl *4 (mg/m ³)	4 11	6 23	38 143	8 38
DXNs (ng-TEQ/Nm ³)	0.16	0.087	1.6	1.6

*1 ; 上段:湿り状態,下段:乾き、*2 ; オルザット式、

*3 ; 上段:実測値,下段:排出量

*4 ; 上段:実測値,下段:O₂ 12%換算値

(8) 燃え殻 (残留灰) 中の DXNs 濃度

昨年度は、サイクロン式集塵機を設置したがダストが殆ど認められなかったため、今年度は、上記第 2 章にて述べたように集塵機は取り外した。それ故、残留ダストとしては、燃焼炉内に残留する燃え殻 (灰) が唯一とみなせる。

本燃焼炉では上述の自動運転によって停止し、主として燃焼第 1 室に灰が残留する。そこで、実験 H15-4 の残留灰を採取して DXNs を分析した。今回の

燃え殻の **DXNs** は、実測濃度で **1500ng/g**、毒性当量で **27ng/g** とやや高いものであり、実験終了後の燃焼がまだ充分でなかったと推察される。本プラントを販売する場合には、焼却後のバーナー燃焼管理、とくに **B1** バーナーの燃焼管理について高温での状態を長時間維持するなど、きちっとした基準を設ける必要がある、と言える。

3-3 まとめ

本プロジェクトでは第 1 章に明記のように、**DXNs** 濃度を“**0.5ng-TEQ/Nm³**以下”とし、ばい塵濃度も低レベルに維持することが目標とされた。

今回の結果と目標値および環境規制基準値の対比を表 3-3-1 に示す。

表 3-3-1 排ガス中 **DXNs** とばい塵及び燃え殻中 **DXNs** の基準値との比較

項 目	目標値	基準値	実 績
排ガス中 DXNs (ng-TEQ/Nm ³)	0.5 以下	5	0.087~1.6
排ガス中媒塵濃度 (g/Nm ³)	0.1 以下	0.1	0.011~0.034
燃え殻中 DXNs (ng-TEQ/g)		3	27

表 3-3-1 から明らかなように、通常の医療廃棄物では、本研究で使用の装置と運転操作を採用する事によって規制値を大きく達成できることが確認できた。しかし、塩化ビニル含有率が比較的高い場合には、基準値の **1/10** の毒性当量である“**0.5ng-TEQ/Nm³**”以下に抑えることは難しく、水冷等による更なる冷却能の向上、燃焼改善が必要と考えられた。

また、**47L** 密閉容器 (**20kg** 程度の廃棄物を収納) は、今回使用の装置には大きすぎると判断され、小さい容器とするか、燃焼室の拡大が必要と考えられた。

燃え殻の **DXNs** については、表 3-3-1 では基準値以上となっているが、昨年度の研究において医療廃棄物投入終了後に燃え殻を十分に燃焼すれば基準値以下の低値となることを確認している。従って、表 3-3-1 の結果は本質的な問題ではなく、投入後の燃焼管理を確実にすれば、基準値を十分に満たすものと判断された。

参考資料：

感染性医療廃棄物処理の現状（文献調査）

① 我国における医療廃棄物排出量

(a) 感染性； 162,000 t (15%)

(b) 非感染性； 918,000 t (85%)

② 適正に処理されている感染性廃棄物

発生量の 20%

③ 大阪・D 市民病院における感染性医療廃棄物例

1. 医療製品別分類

(a) ガーゼ・包帯類 (73%), (b) ドレープマスク類 (14%), (c) 輸液・輸血・廃液パック (5%),

(d) 手袋類 (3%), (e) 針・注射器類 (2%), (f) 紙・テープ類 (2%), (g) カテーテル類 (1%)

2. 素材別分類（容積比率）

(a) テックス (51%), (b) 綿 (23%), (c) 不織布 (12%), (d) 塩ビ (7%), (e) 紙 (2%),

(f) ポリプロピレン (2%), (g) レヨン (2%), ポリエチレン (1%)

(* 重量比率では塩ビは 9%)

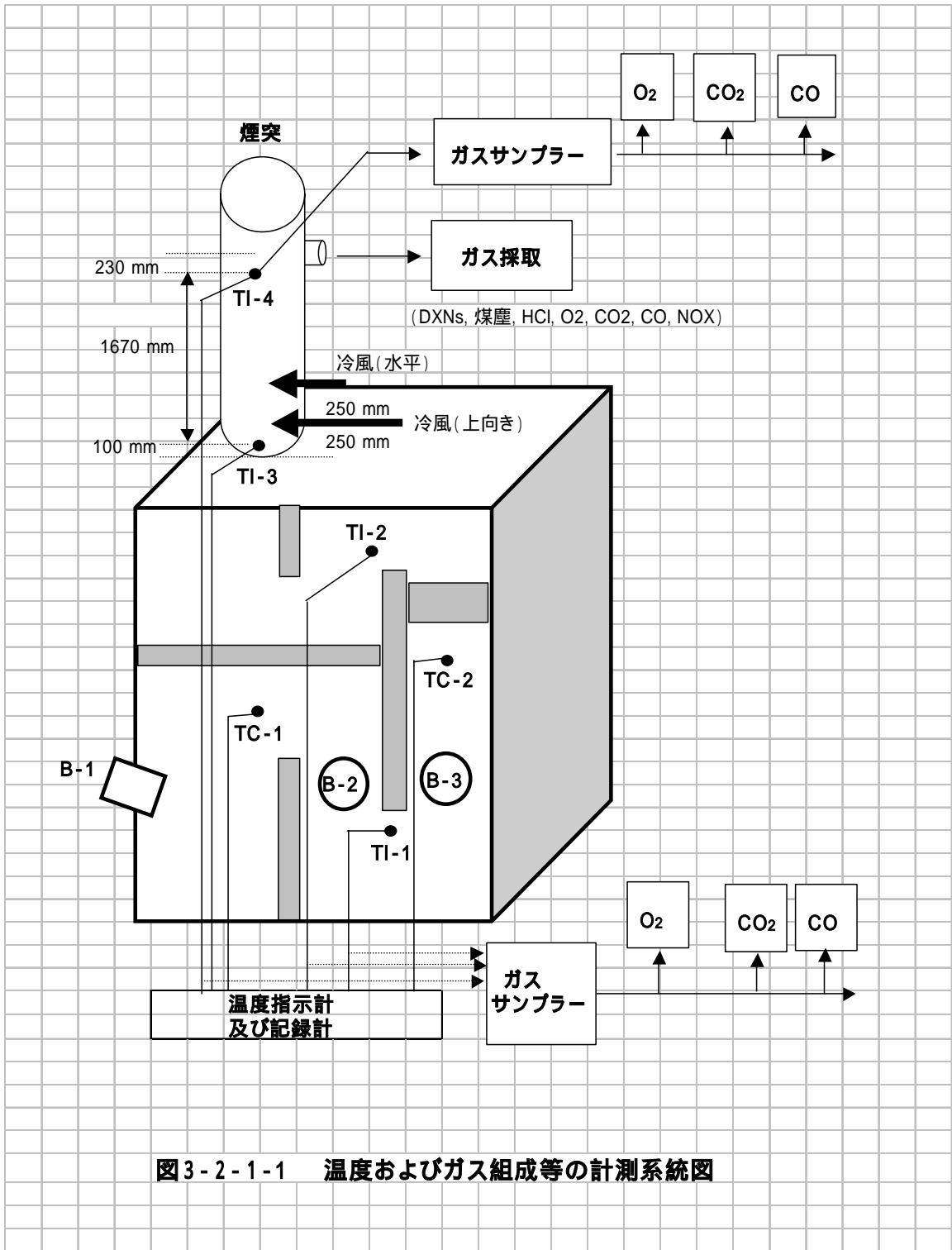


図3-2-1-1 温度およびガス組成等の計測系統図

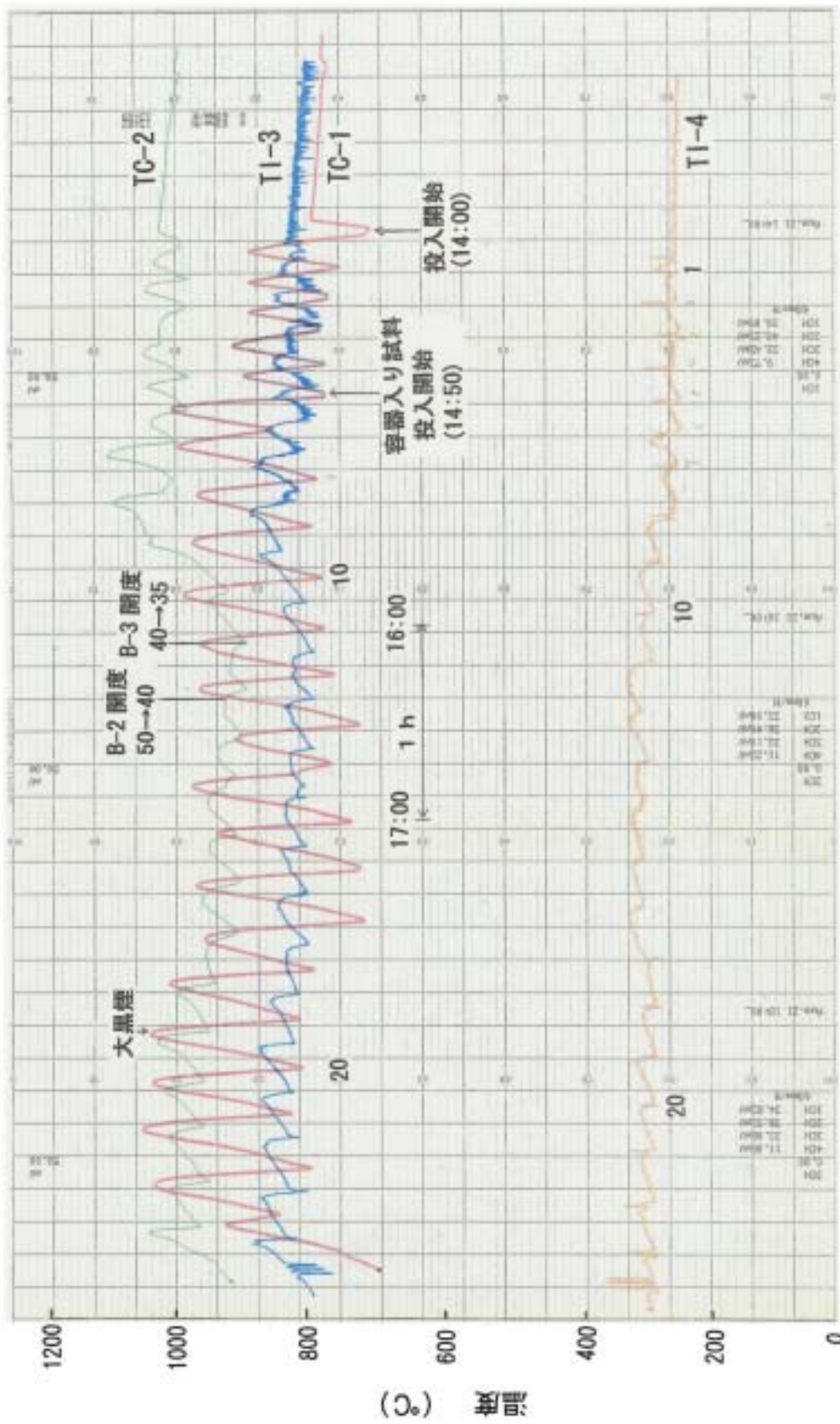


図 3-2-4-1 実験 H15-3 (2003.08.21) における炉内及び排ガス温度変化

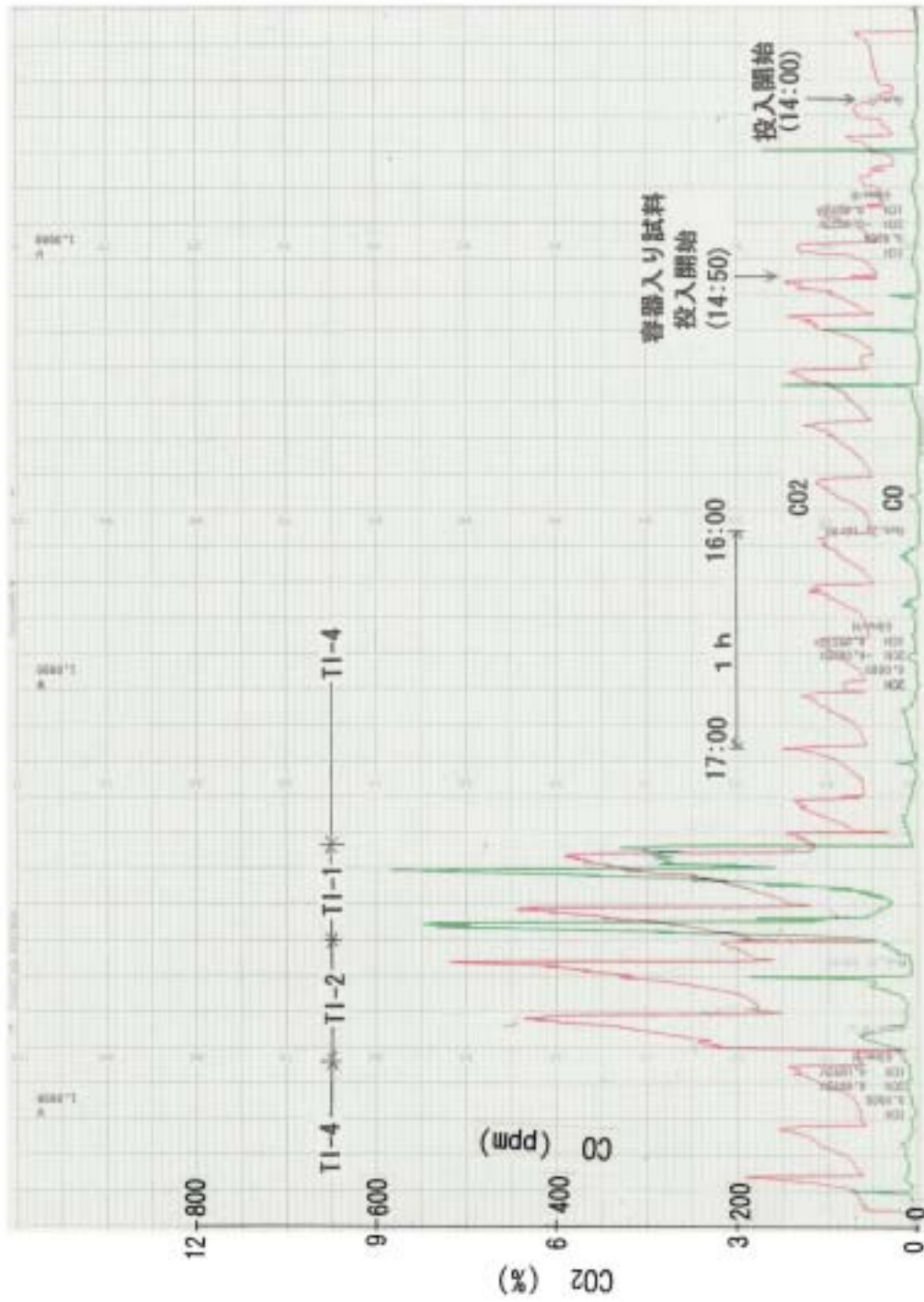


図3-2-4-2 実験H15-3 (2003.08.21) における炉内及び排ガスのCO₂,CO濃度変化

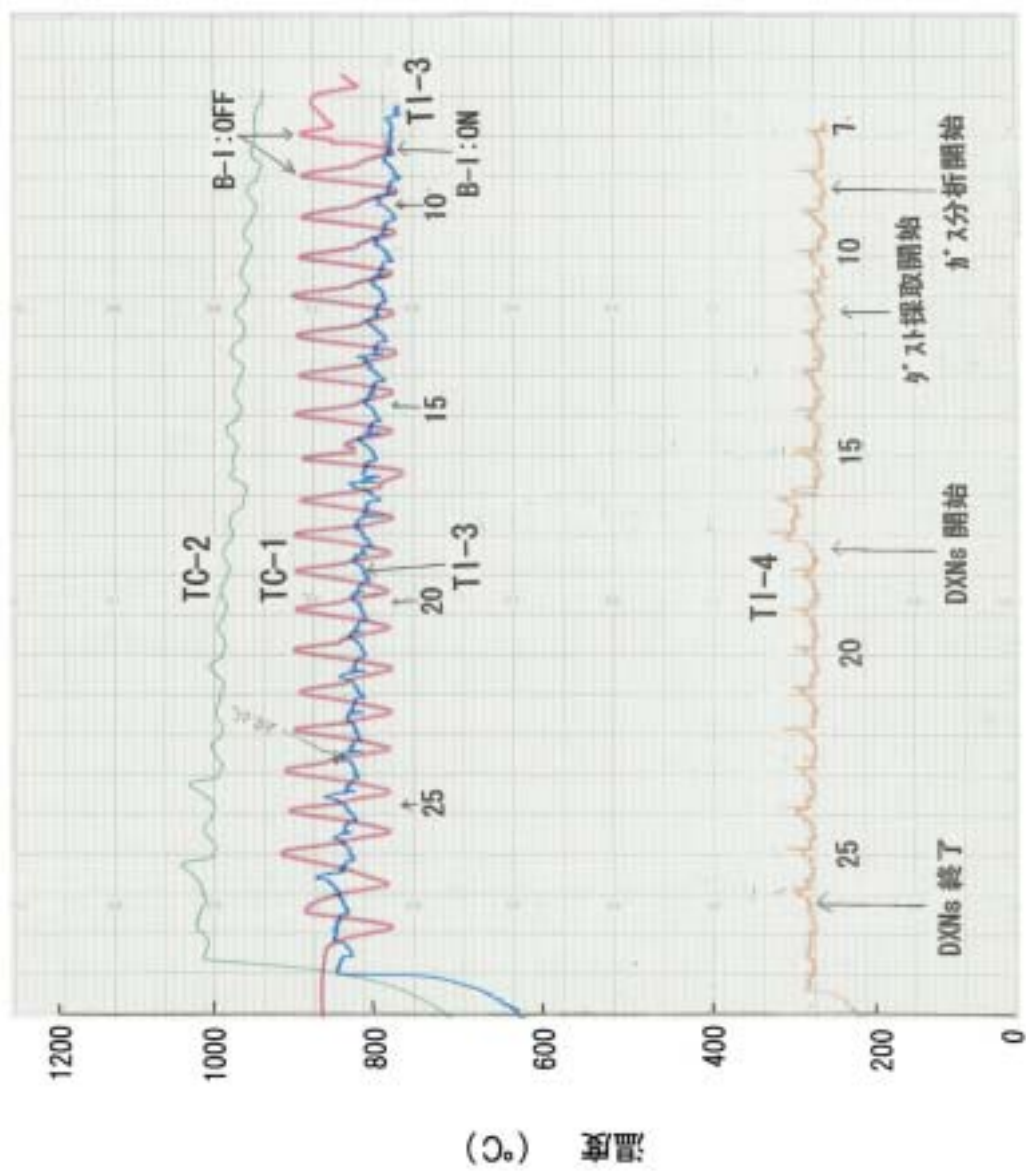


図 3-2-4-3 実験 H15-4 (2003.08.22) における炉内及び排ガスの温度変化

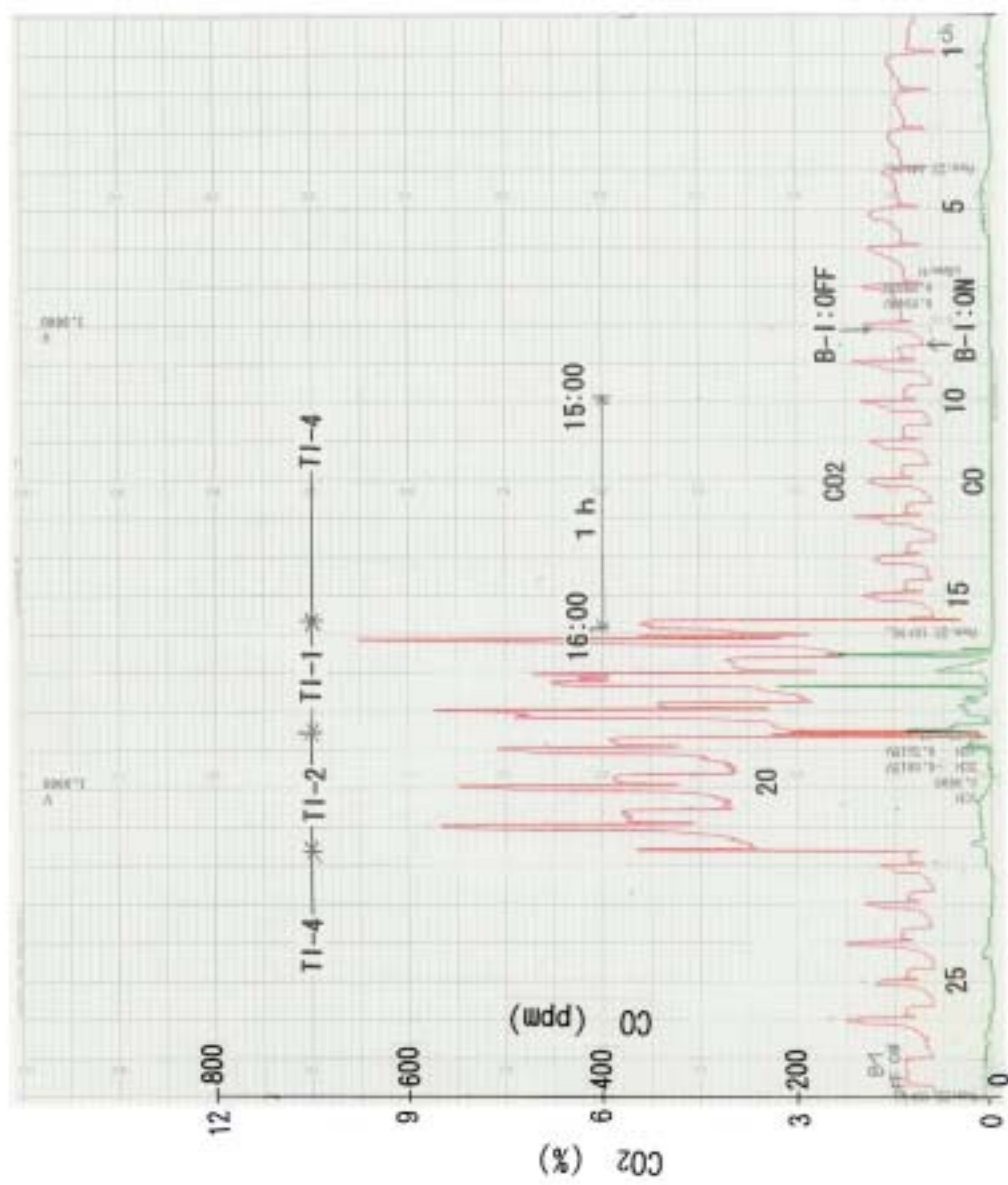


図 3-2-4-5 実験 H15-3 (2003.08.22) における炉内及び排ガスの CO₂, CO 濃度変化

第4章 実機規模小型医療廃棄物処理炉の設計

4-1 設計基本方針

4-1-1 処理能力200kg/H未満の医療廃棄物処理炉の具備すべき機能

平成14年度、15年度の研究開発成果をもとに商品化のための実機設計を行った。設計した処理炉は小規模病院、都市郊外や辺地にある老人福祉、保健施設等を販売対象先に想定、そこで廃出される感染性医療廃棄物および紙おむつ等の施設内処理を目的とする簡易型の医療廃棄物処理炉である。設計に当たり本焼却炉の具備すべき機能として以下を考慮した。

- (1) ダイオキシシン類排出5ng-TEQ/N m³以下を達成する燃焼管理
- (2) ダイオキシシン類の再合成を抑制するため排ガス急冷装置の設置
- (3) 一般廃棄物焼却設備の構造も遵守
 - ① 空気取入れ口及び煙突の先端以外に燃焼設備内と外気が接することなく、燃焼室において発生するガスの温度が摂氏800度以上の状態で廃棄物を焼却できること。
 - ② 燃焼に必要な空気の通風が行われること。
 - ③ 外気と遮断された状態で、定量ずつ廃棄物を燃焼室に投入できること。
 - ④ 燃焼中の燃焼ガスの温度を測定するための装置の標準装備。
 - ⑤ 燃焼ガスの温度を保つために助燃バーナー、再燃バーナーの設置。
- (4) 医療廃棄物の安全な取り扱いのための装入設備
 - ① 医療系廃棄物からの二次感染を防ぐために、収集ボックスごと直接投入ができること。
 - ② 外気遮断のための二重扉構造。

4-1-2 シリーズ化

医療廃棄物にはさまざまなものが含まれ、発生する熱量も大きな違いがあり、また発生量も施設により異なる。従って設置する施設により最適な能力の処理炉を選択出来る様、設計に当たり処理対象である感染性医療廃棄物および紙おむつ等について、以下の様に発熱量と処理量で分類した。

廃棄物低位発熱量	構成、内容等	処理量	シリーズ名称
高熱量型 7,500kcal/kg	注射針・筒・チューブ等	15kg/hr	高熱量0型
	(密閉容器入り)	30kg/hr	〃 1型
	検体、血液等(赤ビニール袋入り)	60kg/hr	〃 2型
	その他		
低熱量型 2,500kcal/kg	ガーゼ・包帯等 紙おむつ等(産廃分類)	45kg/hr	低熱量0型
		90kg/hr	〃 1型
		180kg/hr	〃 2型

4-1-3 製作、輸送、設置対策

本焼却炉は、事業化段階に於いても（株）開邦工業が沖縄県内で製作し県内を始め将来的には全国へ販路を広げる計画である。従って製作と輸送および設置工事に関し以下を考慮する。

- (1) 製作コストの低減
特殊材料・部品を極力廃し、共通部品・部材化によるシリーズ対応。
- (2) 輸送・設置コスト低減
設置先には完成品をトラックで輸送、最小限の設置・組立工事で運転可能な構造とシステムの構築。
4トン低床トラック使用を想定し焼却炉の最大外形、重量を以下とする。
外形：2m幅×4m長さ×3.7m高さ（煙突部分離後）
重量：4トン

4-1-4 その他

本プロジェクトではシステム統合化の課題で焼却炉の廃熱利用の可能性を検討している。解析結果から、2基の再燃焼用バーナーをガスタービン発電機＋アフターバーナーに代替することで、焼却炉使用電力を賄うことが可能であることが得られた。省エネおよび技術の複合化の観点からも極めて効果的で有望なシステムであるため、オプション仕様として技術提案する。

4-2 設計焼却炉概要

4-2-1 本開発小型医療廃棄物処理炉の特徴

- (1) ダイオキシン類排出は5 ng-TEQ/Nm³以下である。
- (2) 特別な集塵機不要で煤塵排出量は0.09 g/Nm³以下である。
- (3) 6機種をシリーズ化して、廃棄物の種類と排出量に対応している。
- (4) 内外気の遮断およびプラスチック製密閉容器ごと投入可能な二重扉式投入口を設け、二次感染の防止を図っている。

4-2-2 仕様

- (1) 高熱量型 表4-1
- (2) 低熱量型 表4-2

4-2-3 焼却炉外観

- (1) 高熱量型 図4-1
- (2) 低熱量型 図4-2

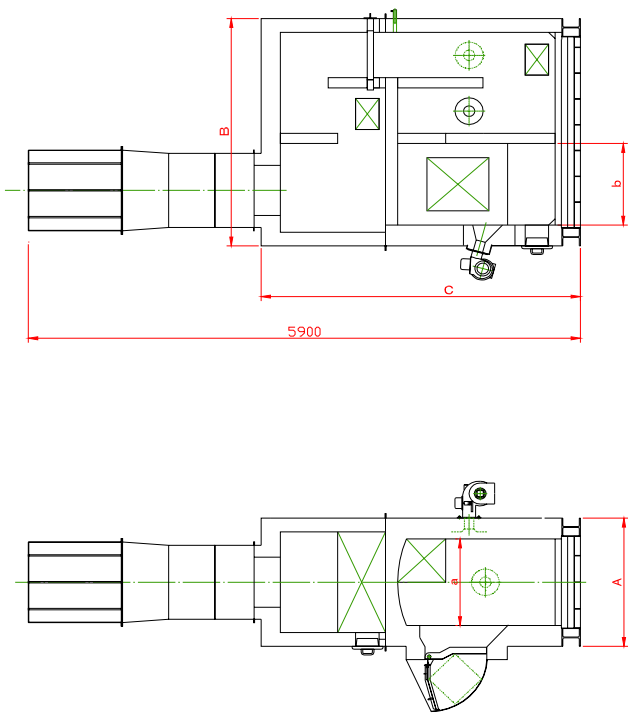
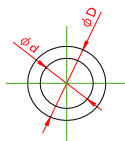
表 4-1 高熱量型仕様 (廃棄物発熱量 7,500kcal/kg)

諸元	単位	高熱量0型	高熱量1型	高熱量2型
焼却能力	kg/H	15	30	60
ダイオキシン 限界値	ng-TEQ /Nm ³	0.5	0.5	0.5
排ガス量	Nm ³	800	1600	3200
排ガス温度	°C	850	850	850
炉体寸法 巾	mm	1160	1446	1851
長	mm	2400	2564	3369
高	mm	2830	3412	3686
灰突出口 高		5900	5900	5900
基本炉構造		鋼板製耐火張	鋼板製耐火張	鋼板製耐火張
焼却室容積	m ³	0.63	1.41	3.16
二次燃焼室容積	m ³	2.29	4.64	9.21
炉内滞留時間	sec	2.5	2.5	2.5
火床面積	m ²	0.45	0.9	1.8
燃焼方式		酸化燃焼	酸化燃焼	酸化燃焼
材質 ロストル		ハリアルミナ	ハリアルミナ	ハリアルミナ
内 壁		シャモット	シャモット	シャモット
触 媒		ハリアルミナ	ハリアルミナ	ハリアルミナ
燃料の種類		灯油又は重油	灯油又は重油	灯油又は重油
燃料消費量	l/H	16	20	40
設備電力量	kw	2.8	4.5	6.0
灰出し機		真空吸引式	真空吸引式	真空吸引式

表 4-2 低熱量型仕様 (廃棄物発熱量 2,500kcal/kg)

諸元	単位	低熱量0型	低熱量1型	低熱量2型
焼却能力	kg/H	45	90	180
ダイオキシン 限界値	ng-TEQ/ Nm ³	0.5	0.5	0.5
排ガス量	Nm ³	800	1600	3200
排ガス温度	℃	850	850	850
炉体寸法 巾	mm	1160	1446	1851
長	mm	2400	2564	3369
高	mm	2830	3412	3686
灰突出口 高	mm	5900	5900	5900
基本炉構造		鋼板製耐火張	鋼板製耐火張	鋼板製耐火張
焼却室容積	m ³	0.63	1.41	3.16
二次燃焼室容積	m ³	2.29	4.64	9.21
炉内滞留時間	sec	2.5	2.5	2.5
火床面積	m ²	0.45	0.9	1.8
燃焼方式		酸化燃焼	酸化燃焼	酸化燃焼
材質 ロストル		ハイアルミナ	ハイアルミナ	ハイアルミナ
内 壁		シャモット	シャモット	シャモット
触 媒		ハイアルミナ	ハイアルミナ	ハイアルミナ
燃料の種類		灯油又は重油	灯油又は重油	灯油又は重油
燃料消費量	l/H	16	20	40
設備電力量	kw	2.8	4.5	6.0
灰出し機		真空吸引式	真空吸引式	真空吸引式

COP 炉 高熱量型焼却炉



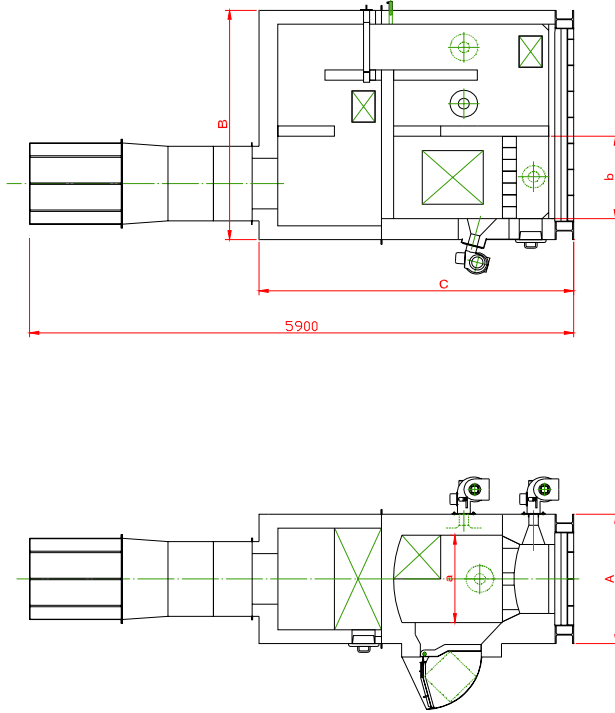
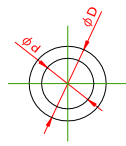
炉床面積及び燃焼室容積

型式	炉床面積(m ²)	主燃焼室(m ³)	再燃焼室(m ³)	燃焼室合計(m ³)
0 型	0.45	0.63	2.29	2.92
1 型	0.90	1.41	4.64	6.05
2 型	1.80	3.16	9.21	12.37

寸法表

型式	A	a	B	b	C	D	d
0 型	1,160	675	2,400	665	2,830	719	450
1 型	1,446	977	2,564	921	3,412	836	567
2 型	1,851	1,382	3,369	1,302	3,686	1,169	900

COP炉 低熱量型焼却炉



炉床面積及び燃焼室容積

型式	炉床面積(m ²)	主燃焼室(m ³)	再燃焼室(m ³)	燃焼室合計(m ³)
0 型	0.45	0.63	2.29	2.92
1 型	0.90	1.41	4.64	6.05
2 型	1.80	3.16	9.21	12.37

寸法表

型式	A	a	B	b	C	D	d
0 型	1,160	675	2,400	665	2,830	719	450
1 型	1,446	977	2,564	921	3,412	836	567
2 型	1,851	1,382	3,369	1,302	3,686	1,169	900

図 4 - 2

第5章 医療廃棄物焼却炉の燃焼数値シミュレーション解析

5-1 本研究の位置づけ

COP (Clean Okinawa Project) の活動の一つとしてスリーアールシステムズにおける沖縄の実験用焼却炉を用いて医療廃棄物の焼却試験を行っているが、平成14年度に熱移動と物質移動を中心とする炉内現象を数値的に把握するためのシミュレーションモデルを開発した。平成15年度では従来の実験用焼却炉の排気口の上部に新たに煙突および冷却用空気導入部を設置して排ガスを急冷するシステムを付加している。

平成15年度のシミュレーション解析は開発したモデルを使ってこの煙突部と冷却用空気のガス濃度およびガス温度に及ぼす効果を明らかにした。

5-2 焼却試験炉の概要

今回の焼却実験に用いた焼却試験炉の機能図を図1に、焼却試験炉の概略寸法を図2に示した。装入物は投入口より、適宜装入され下部からのガス、および投入口ゾーンのガスによって燃焼し、灰は下部に落下する。ガスはさらに再燃焼され、炉を加熱して排気口から抜ける。シミュレーションモデルでは平成14年度では廃棄物処理焼却炉の中を Zone-1~Zone-6 の6つのゾーンに分けた。現実には Zone-1 と Zone-2 は結合されていて一つの Zone として機能している。平成15年度では新たに Zone-7 のガス冷却部を増設した。したがって

- Zone-1 ; 焼却灰回収部
- Zone-2 ; 廃棄物装入部
- Zone-3 ; 燃焼ガス加熱部-1、飛灰回収部
- Zone-4 ; 燃焼ガス加熱部-2
- Zone-5 ; レンガ蓄熱部・触媒装置
- Zone-6 ; 排ガス生成部
- Zone-7 ; ガス冷却部

燃焼バーナは Zone-1 から Zone-4 まで設置されており、空気吹き込み量の調節も可能であるとしている。Zone-7 では Max 40Nm³/min の送風機を設置して開度を変えて排ガスの冷却を行っている。

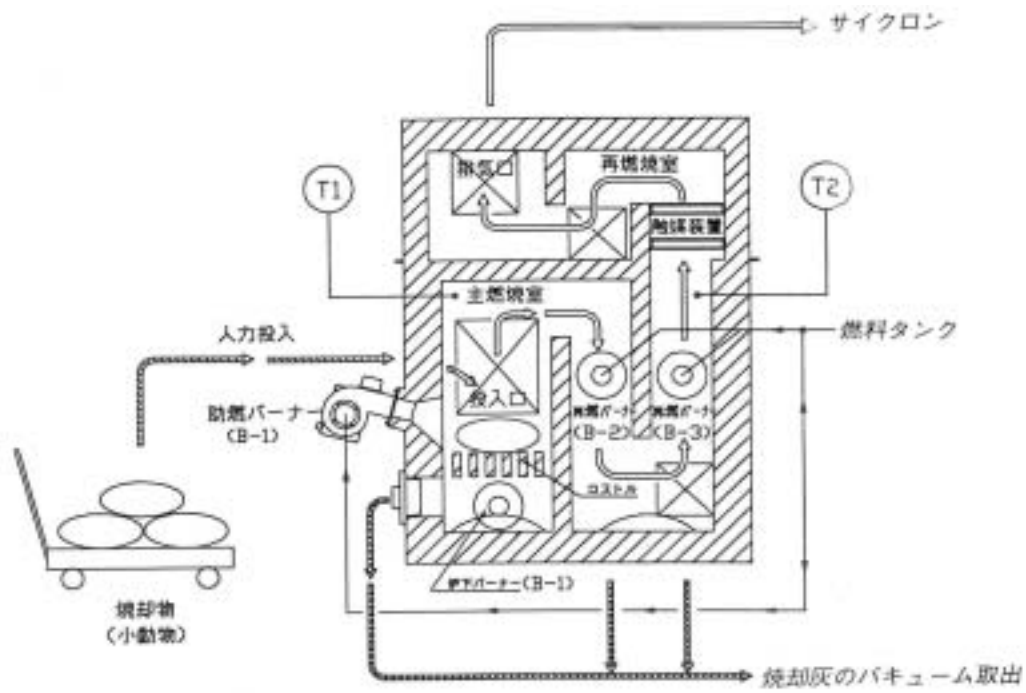


図1 試験炉の機能図

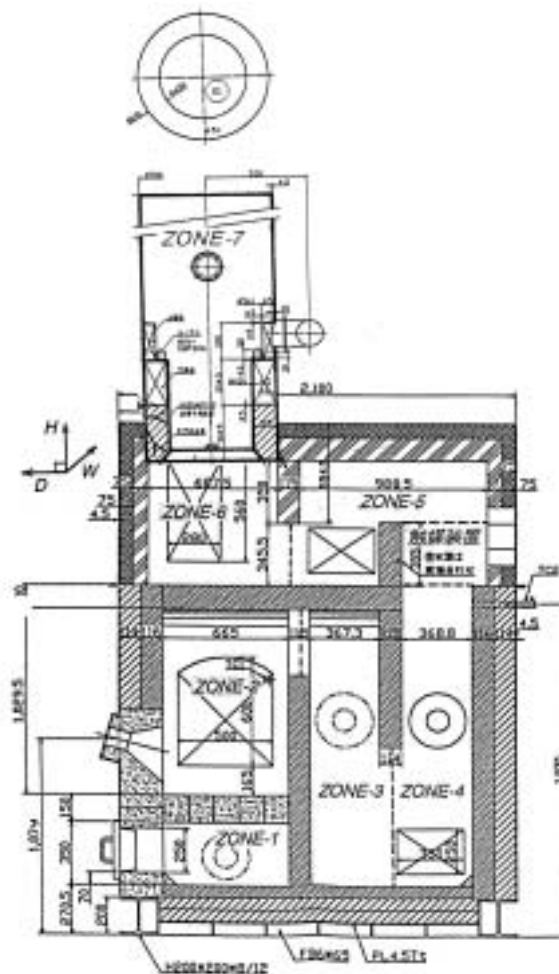


図2 試験炉のモデル領域の分割

5-3 装入条件

本シミュレーションは2003年6月26日に行った実験条件にあわせ実施した。表1、表2にその実験データを示す。実験の概要は

装入物 : 試料-A プラスチック主体 水分 10%(外数)

試料-B 紙類主体 水分 20%(外数)

装入重量 : 試料-A : 2.0kg/回 + 試料-B : 0.2kg/回

装入回数 : 10 回/Hr

5-4 装入物の成分

装入物の成分についてはプラスチック主体および紙類主体であることを考慮してごみの各々の成分を表3のように与えている。これは乾ベース、可燃物ベースの値であり、このほか水分を考慮して湿ベースの表記がある。ごみの水分は外数で与えているがモデル入力の都合上内数に変換して与えている。さらに装入ごみの平均成分と低位、高位発熱量を表4に示した。

発熱量に関して、高位発熱量 H_h (kcal/kg) は可燃物ベースの値を用いて、Scheurer-Kestner の式によって計算した。また低位発熱量 H_l (kcal/kg) は高位発熱量から湿ベースの水分、水素補正を行って計算した。紙類主体の試料-B は C の含有量が多く、したがって発熱量も多い。

5-5 シミュレーションモデルの概要と入力条件

Zone-2 においては廃棄物の装入が考慮され、各ゾーンにおいて Oil 吹き込み量 (Nm³/Hr) と送風量 (Nm³/min)、その他の吹き込み緒言が定義される。装入物は感染性廃棄物、非感染性廃棄物、動物の死体、その他副原料を設置できるようにしたが、実際にはプラスチックなどが入るため、その成分設定のところで対応している。モデルは基本的に非定常モデルとした。シミュレーションに用いた数式その他の理論に関しては平成14年度の報告書を参照されたい。

シミュレーションに用いたモデルの入力条件を表5のように与えた。

Oil 量は各部で比較的正確に設定されているが、各部の送風量が明らかではない。そこで実測温度 (TI-1~4) をみながら計算温度が実測温度に近くなる風量を与えている。あとは Oil が完全燃焼するために必要な空気量を算出して送風空気量がそれ以上になることを条件として設定した。Zone-7 の冷却空気量は排ガス温度をみながら設定し、実測温度が 270°C~300°C になるように設定した。その結果ブロワー能力 Max 40Nm³/min の 50%、20Nm³/min の送風量をもっとも排ガス温度を表わしていることがわかった。この時のブロワーの開度は 30% であった。

5-6 シミュレーション結果

計算条件および結果のアウトラインとして表5に示した通り装入物は22kg/Hrの速度で投入され、2.2kg/Ch ずつ1時間に10回の投入を行っている。装入物成分は各廃棄物の成分から集計される。

ガス諸元はガスの物質バランスから計算される。理論燃焼温度はOilが燃焼した後のガスの顕熱を表わしており、この計算ではらみい Zone2~4 まで600~1000℃となっている。焼却灰の成分は装入物の化学成分から計算されるがこれは装入物の成分に強く依存しているので正確な入力が必要であろう。塩基度 $CaO/SiO_2=0.47$ と酸性側にあり、焼却灰を再利用することを考えれば石灰石の量で調整されるべきであろう。

以下にシミュレーションから明らかとなった現象の総括を行う。

5-6-1 装入物の燃焼曲線

Zone-2では装入物成分ごとの燃焼量、残留量が計算される。

図4は1時間に2.2kg/Ch ずつ装入したときの残留成分の時間変化を示している。装入されてから最初の2,3分は装入物の加熱に使われるため装入物の減量はほとんどなく、ついでH₂Oの蒸発、C, H₂の燃焼が起こる。H₂Oは100℃を超えたところで蒸発を開始するが蒸発の潜熱を奪うため固体の温度が上がりにくいことや、表面の水分は飛ぶが、中の水分は飛びにくいなどの分布の問題もあり、かなり高温まで水分は残る。各チャージの中で最も変化が激しいのはCであり常に残留Cが存在する。図4は残留物が完全に焼失する前に次のチャージが入ってきており、火入れから約30分間は残留量は上昇しつづける。その後温度の上昇によって滞留量は徐々に減少する。常に3~5kgの滞留量が存在する。

H₂Oの蒸発速度、C, H₂の燃焼反応速度を調整することにより、実態により近い状態にシミュレートすることが可能であろう。

5-6-2 各 Zone の温度変化

各 Zone 毎に ガス温度(T_g)、固体温度(T_s)、炉壁温度(T_w)の時間変化が計算される。図5はZone-2の投入室における3つの温度変化を示している。時間は火入れから最初の60分間である。

ガス温度に関しては最初はC, H₂の燃焼によって起こりH₂Oの蒸発が盛んなために温度上昇はゆるやかである。さらにH₂Oの減少によって温度は急上昇する。さらに次の装入によって温度が下がり、再びガス温度は上昇する。いづれにしてもDXNの分解に必要な1000℃以上の温度はコンスタントではないが確保できている。

固体温度はガスより遅れて投入時の25℃から徐々に上昇し、燃える物質の減少に因って温度が下がる。固体温度は常にガスより低い。

炉壁温度はが火入れから徐々に長い時間をかけて上昇する。煉瓦は保熱の役割をしており、定常になるまでにはかなり長い時間を要することがわかる。各室のガスの出口の温度変化を図 6 に示す。従来の排ガスの温度は Zone-6 であったが今回は Zone-7 である。Zone-6 までは従来のシミュレーション理論がそのまま踏襲されるためと温度傾向は変わっておらず、冷却空気が導入された Zone-7 ではかなりの温度低下がある。かなり下流ではあるが装入のサイクルで変化している。また温度は徐々に上昇しているがこれは炉壁の温度が上昇していることによる。排ガス温度は 270℃～300℃の間で変化し、これは実測値と同様の傾向を示している。

5-6-3 ガス組成

各 Zone 毎に CO, CO₂, H₂, H₂O, N₂, O₂ の 6 成分のガス組成と流量の時間変化が計算される。図 7 は Zone-6 出口の排ガス濃度の時間変化を示している。装入の周期で変化している。O₂ 濃度は 7～15%で残留しており、これも実測結果と良く一致している。最も変化しているガス組成は H₂O であり、上昇している要因は H₂O の蒸発、 $H_2+1/2O_2=H_2O$ による反応のモル数増加による。O₂ 濃度の低いところは反応が盛んに起こっているところであり、ガス温度が高い時間帯と一致している。

CO₂ の増加は C+O₂ の反応の増減にリンクしている。装入直後を除いて C が常に存在していることから CO₂ も常時ある。

図 8 は冷却空気を導入した Zone-7 の出口の排ガス濃度の時間変化である。相対的に O₂ と N₂ 濃度が上昇し、その他のガスが薄められていることがわかる。

5-6-4 通過ガス流量

ガス流量の変化を図 9 に示す。従来の Zone-6 の排ガス量 1000Nm³/Hr に対し、冷却空気を導入した Zone-7 では 2200Nm³/Hr と 2 倍以上の増加を示している。ガス流量は周期的に変化しているが、増加の要因は H₂O の蒸発と固体からガスへ変化する H₂ のためである。 $H_2+1/2O_2=H_2O$ の反応により、ガス量が 1/2 モル増加するためである。

5-6-5 冷却風量の影響

Zone-7 における冷却風量と排出ガス温度の関係を図 10 に示す。またブロー一開度と冷却風量との関係は図 11 のようになる。開度 30%は風量 50%に相当した。

表1 燃焼試験の結果-1(2003.06.26)

時間 (H:M)	投入 (min)	B-1 Oil	B-1 Air	B-2 Oil	B-2 Air	B-3 Oil	B-3 Air	1次 Air	Oil		炉圧 (Pa)	冷却風		煙色 (黒煙)	TC-1 ()	TI-1 ()	TC-2 ()	TI-2 ()	TI-3 ()	TI-4 ()	
									(L)	(L/min)		(開度%)	(横向%)								
9:30	0	0.17		0.10		0.21		閉	10	0.48		0	100	なし	183		175				
45	15							-	18	0.48		0	100	なし	443	446	485	502	494	425	
50	20							-		0.48		0	100	なし	454		501				
10:00	30							-	24	0.48		0	100	なし	477		541				
15	45							-	31	0.48		0	100	なし	500		576				
30	60							-	38	0.48		0	100	なし	524		604				
45	75							-	46	0.48		0	100	なし	543		627				
11:00	90							-	53	0.48		0	100	なし	558		643				
15	105							-	60	0.48		0	100	なし	576		660				
30	120							-	67	0.48		0	100	なし	587		674				
45	135							-	75	0.48		0	100	なし	605		690				
12:00	150							-	81	0.48		0	100	なし	614		700				
15	165							-		0.48		開	100	なし	555		672				
30	180							-	96	0.48		開	100	なし	537		665				
40	190							-		0.48	開					604		730	680	266	
45	195							-		0.48		開	100	なし							
55	205							-		0.48		開	100	なし		633		756	704		
13:00	210							-		0.48	-35	30	100	なし	512		834				
15	225							-	117	0.48	-35/40	30	100	なし	637		862				
30	240							-	125	0.48	-35/40	30	100	なし	657		880				
45	255							-	132	0.48	-35/40	30	100	なし	668		891				
50	260							-	134	0.48	-35/40				724			852	769	256	
55	265							-	136	0.48	-35/40				727			856	769	256	
14:00	270	2.0+0.2kg						-	139	0.48	-35/40	30	100	なし	679	731		860	775	257	
5	275	03						-	141	0.48	-35/40	30	100	なし		747		868	777	256	
10	280							-	143	0.48	-35/40	30	100	なし		777		879	786	261	
15	285							-	146	0.48	-35/40	30	100	なし	763	768		881	788	261	
20	290	15						-	148	0.48	-35/40	30	100	なし		796		892	795	266	
25	295							-	150	0.48	-35/40	30	100	なし	835	805		899	802	293	
30	300	25						-	153	0.48	-35/40	30	100	なし	866	821		907	805	268	
35	305	33						-	155	0.48	-35/40	30	100	なし		820		910	806	271	
40	310	39						-	157	0.48	-35/40	30	100	なし	789	795		906	799	268	
45	315	45						-	159	0.48	-35/40	30	100	なし	869	835		920	813	273	
50	320	50						-	161	0.48	-35/40	30	100	なし	792	815		918	808	272	

表2 燃焼試験の結果-2(2003.06.26)

時間 (H:M)	投入 (min)	B-1 Oil	B-1 Air	B-2 Oil	B-2 Air	B-3 Oil	B-3 Air	1次 Air	Oil		炉圧 (Pa)	冷却風		煙色 (黒煙)	TC-1 ()	zone					
									(L)	(L/min)		(開度%)	(横向%)			2	4	6	7		
14:55	325	55	0.17	0.10		0.21		閉	163	0.48	-35/40	30	100	なし	843	840	974	928	813	266	
15:00	330							-	165	0.48	-35/40	30	100	なし		836		929	817	274	
5	335	03	x					-	167	0.30	-35/40	30	100	なし	837	834	982	930	820	270	
10	340	08	x					-	169	0.30	-35/40	30	100	なし	832	830	984	932	823	276	
15	345	15	x					-	170	0.30	-35/40	30	100	なし	824	848	985	943	827	273	
20	350	20	x					-	172	0.30	-35/40	30	100	なし	825	852	992	947	835	311	
25	355		x					-	173	0.30	-35/40	30	100	なし	816	856	993	948	832	277	
30	360	26	x					-	174	0.30	-35/40	30	100	なし	837	857	998	949	832	276	
35	365	32	x					-	176	0.30	-40	30	100	なし	862	872	1005	956	838	279	
40	370	43	x					-	177	0.30	-35/40	30	100	なし	864	873	1007	958	843	285	
45	375		x					-	179	0.30	-35/40	30	100	なし	856	876	1010	962	844	287	
50	380	48	x					-	180	0.30	-35/40	30	100	なし	835	873	1012	961	844	280	
55	385	54	x					-	182	0.30	-35/40	30	100	なし	838	873	1012	962	844	292	
16:00	390	00	x					-	183	0.30	-35/40	30	100	なし	810	874	1008	966	844	281	
5	395	05						-	178	0.48	-35/40	30	100	なし	799	869	1008	967	845	282	
10	400	10	x					-	180	0.30	-35/40	30	100	なし	871	894	1022	976	851	280	
15	405	15	x					-	181	0.30	-40/45	30	100	なし	836	889	1018	976	853	288	
20	410	20	x					-	183	0.30	-40	30	100	なし	811	885	1016	977	855	300	
25	415	25						-	184	0.48	-40	30	100	なし	796	882	1017	976	856	287	
30	420	30	x		x			-	186	0.21	-40	30	100	なし	944	837	1021	984	854	282	
35	425		x					-	188	0.30	-40	30	100	なし	899	799	998	974	841	277	
40	430	36	x					-	189	0.30	-40	30	100	なし	916	911	1031	991	862	283	
45	435	42	x		x			-	190	0.21	-40	30	100	なし	940	933	1022	999	865	284	
50	440	47	x		x			-	192	0.21	-40	30	100	なし	993	833	1017	985	859	281	
55	445	52	x		x			-	194	0.21	-40	30	100	なし	949	828	1007	983	859	281	
17:00	450	58	x		x			-	195	0.21	-40	30	100	なし	1015	817	1013	969	845	277	
5	455	03	x		x			-	197	0.21	-40	30	100	なし	965	804	1005	962	838	267	
10	460	08	x		x			-	198	0.21	-40	30	100	なし	960	825	1005	987	855	275	
15	465	14	x		x			-	200	0.21	-40	30	100	なし	949	791	1004	958	844	275	
20	470	18	x		x			-	201	0.21	-40	30	100	なし	946	802	1001	962	841	280	
25	475	23	x					-	201	0.30	-38/40	30	100	なし	931	886	1001	977	860	291	
30	480		x					開	201	0.30	-40/45	30	100	黒煙	964	926	1041	1014	872	282	
35	485	33	x		x			-	189	0.21	-38	30	100	なし	992	888	1021	1012	885	293	

*17:29 黒煙 17:30 DXNsガス採取停止

表3 COP燃焼試験使用ごみ質の成分表

ごみの種類	ベース	灰分	C	H	N	O	S	CL	Total	備考
		%	%	%	%	%	%	%	%	
紙	乾ベース	9.25	41.14	5.80	0.16	43.55	0.02	0.08	100	
	可燃分ベース		45.33	6.39	0.18	47.99	0.02	0.09	100	
プラスチック	乾ベース	2.13	78.44	9.35	0.19	6.23	0.03	3.64	100	
	可燃分ベース		80.15	9.55	0.19	6.37	0.03	3.72	100	
化繊	乾ベース	0.20	60.95	9.78	11.87	16.96	0.03	0.21	100	ナイロン
	可燃分ベース		61.07	9.80	11.89	16.99	0.03	0.21	100	
木綿	乾ベース	0.80	44.67	6.67	0.00	47.36	0.30	0.21	100	
	可燃分ベース		45.03	6.72	0.00	47.74	0.30	0.21	100	

出典:東京都清掃研究所年次報告書(平成9年度)

表4 ごみの平均組成と発熱量の計算

	項目	記号	単位	SAMPLE-A	SAMPLE-B	備考
				プラ主体	紙主体	
ごみ組成	プラスチック		%	50	20	
	木綿		%	25	30	
	化繊		%	25	0	
	紙		%	0	50	
	Total		%	100	100	
	水分(外数)		%	10	20	
平均化学成分	C	WETC	%	47.20	53.17	個々の組成より算出
	H	WETH	%	7.28	6.98	湿りBASE
	N	WETN	%	5.44	2.10	
	O	WETO	%	28.40	16.32	
	S	WETS	%	0.09	0.03	
	CL	WETCL	%	0.16	1.57	
	H2O(内数)	WETH2O	%	9.10	16.60	
	灰分(内数)	WETASH	%	2.37	3.23	
	Total			100.00	100.00	
高位発熱量	Hh	Kcal/kg	5802	7513	Scheurer Kestnerの式	
低位発熱量	Hi	Kcal/kg	5356	7038	水分・水素補正	

表5 医療廃棄物操業の操業条件一覧表

(操業データ: 2003年6月26日)

項目	データ名	記号	単位	ZONE-1	ZONE-2	ZONE-3	ZONE-4	ZONE-5	ZONE-6	ZONE-7
				灰回収部	装入部	飛灰回収	蓄熱-1	蓄熱-2	ガス排出	煙突
装入	感染性医療廃棄物 (プラスチック主体)	WKANSN	kg/Hr		20.00					
	非感染性医療廃棄物	WHIKAN	kg/Hr		2.00					
	動物の死体	WDOBUT	kg/Hr		0.0					
	石灰石	WLIME	kg/Hr		0.0					
	装入回数	CHGPHR	Ch/Hr		10.0					
装入物成分	灰分(Ash)	WASH0	kg/CH		0.6100					
	水分(H2O)	WH2O0	kg/CH		0.2120					
	炭素(C)	WCBN0	kg/CH		1.3990					
	水素(H2)	WHYD0	kg/CH		0.2150					
	窒素(N2)	WAN20	kg/CH		0.0113					
	酸素(O2)	WOXG0	kg/CH		0.1900					
	Total装入量	WMAT0	kg/CH		2.0880					
ガス諸元	送風量	VB	Nm3/min	0.0	7.0	4.0	5.0	0.0	0.0	20.0
	OIL吹き込み量	VOIL	L/Hr	0.0	10.2	6.0	12.6	0.0	0.0	0.0
	酸素	VO2	Nm3/Hr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	送風湿分	WST	g/Nm3	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	吹き込み温度	TB		25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
	理論燃焼温度	TF		0.0	628	644	1008	0.0	0.0	0.0
	ボッシュガス co	BSETCO	(-)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
通過ガス量 (T=2分)	VTTLZN	Nm3/Hr	0	433	680	991	991	991	2210	
焼却灰	焼却灰量	WASH0	kg/Hr		6.100					
	焼却灰成分									
	CaO	FCaO	(-)		0.212					
	SiO2	FSiO2	(-)		0.448					
	Al2O3	FAI2O3	(-)		0.208					
	MgO	FMgO	(-)		0.001					
	K2O	FK2O	(-)		0.029					
	Na2O	FNa2O	(-)		0.066					
	P2O5	FP2O5	(-)		0.023					
	S	FSLF	(-)		0.012					
塩基度	CBS	(-)		0.472						

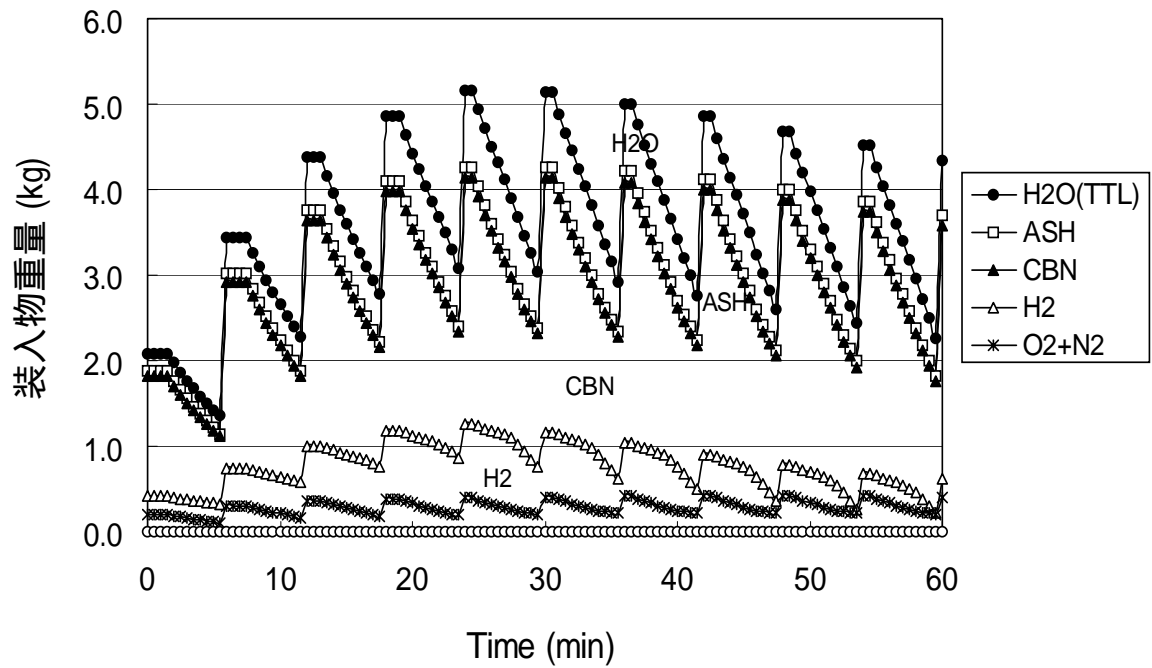


図4 装入物の燃焼曲線

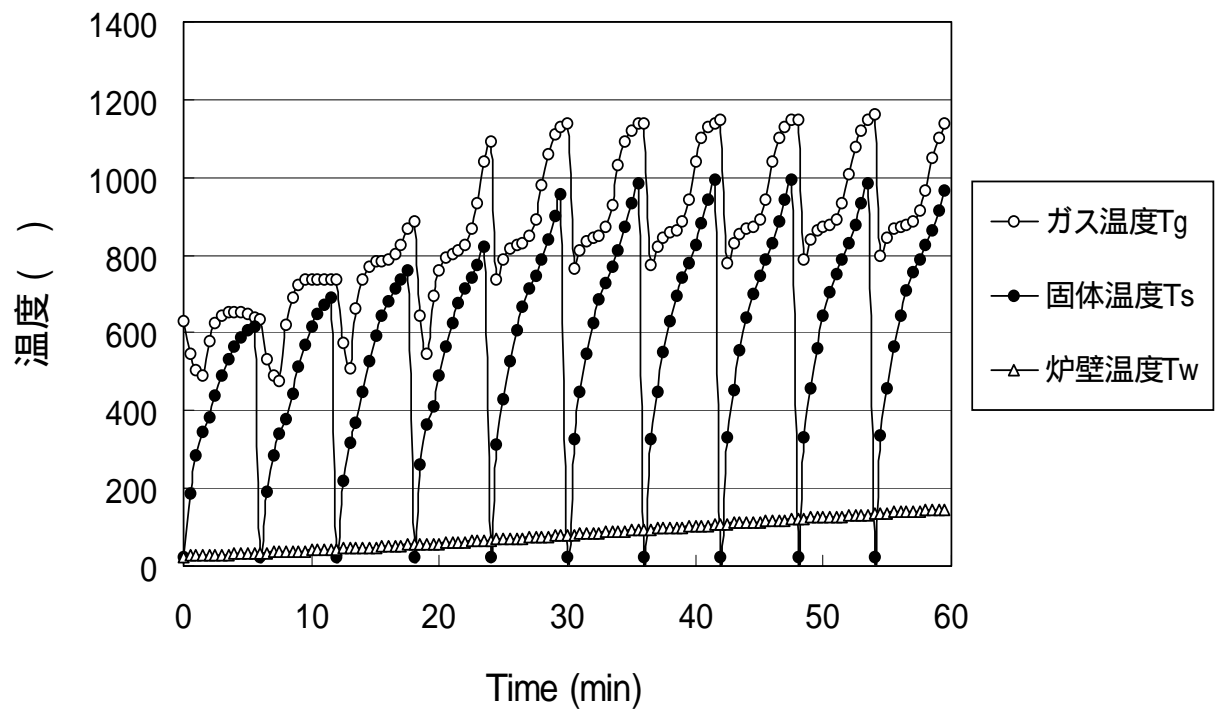


図5 スタートアップからの温度変化 (投入口)

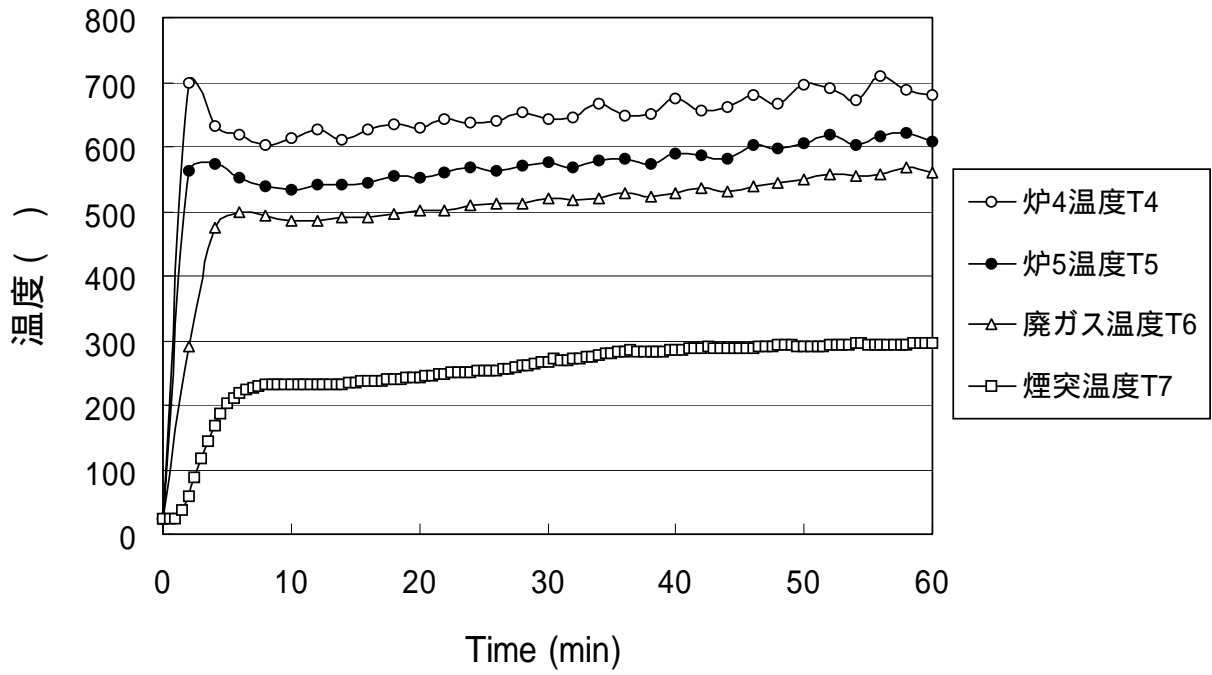


図6 スタートアップからの温度変化 (T4, T5, 排ガス, 煙突)

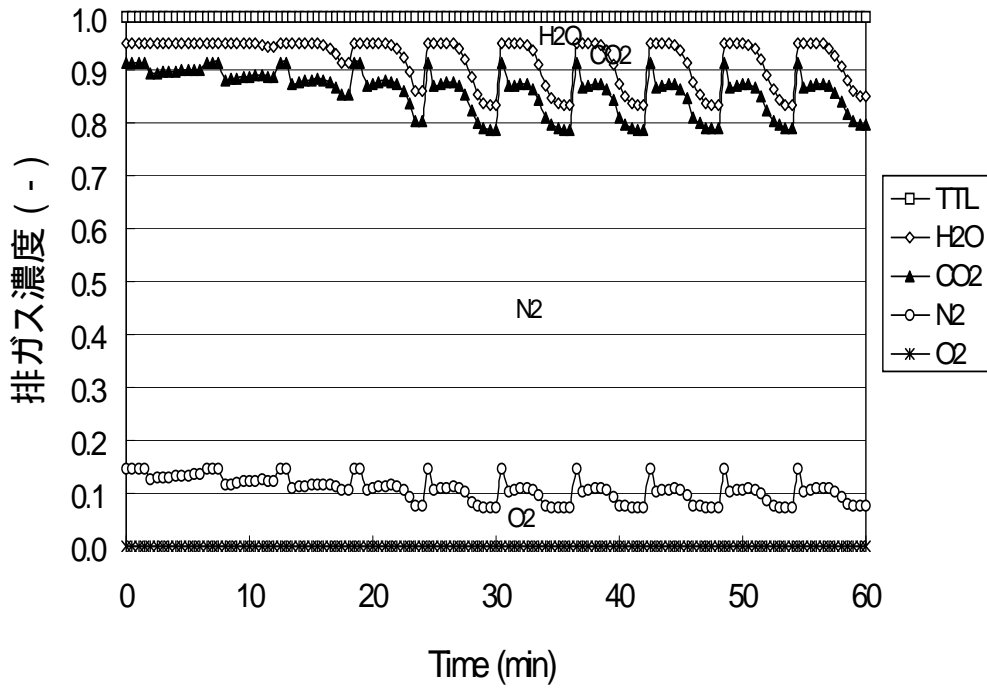


図7 廃ガス濃度 (Zone=6)

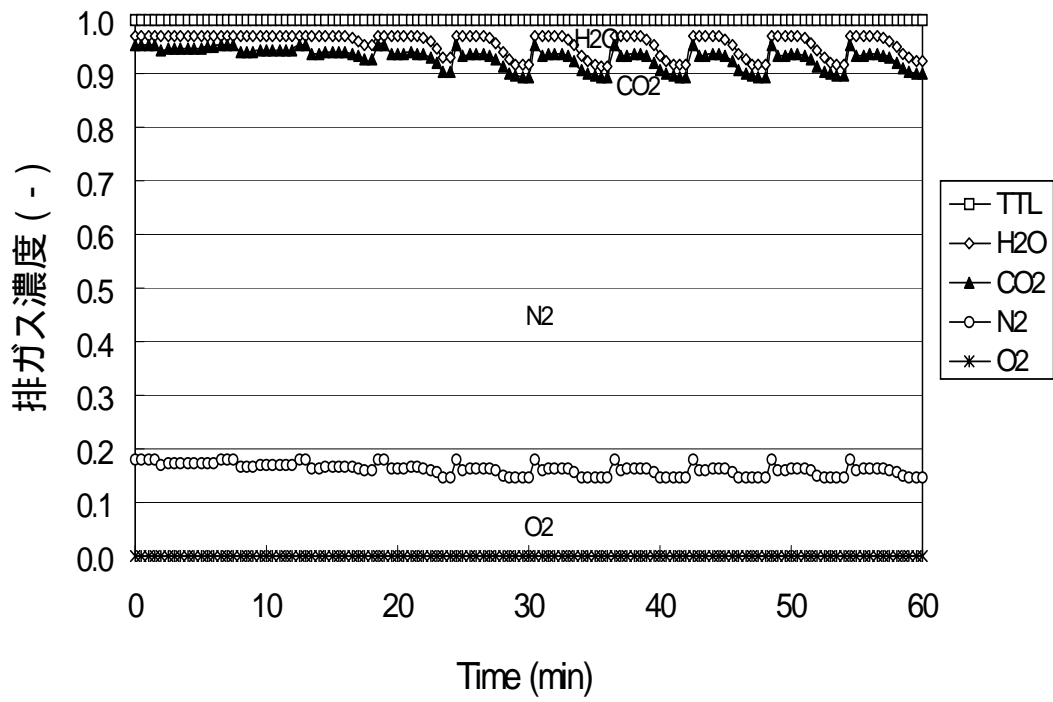


図 8 廃ガス濃度 (Zone=7・煙突)

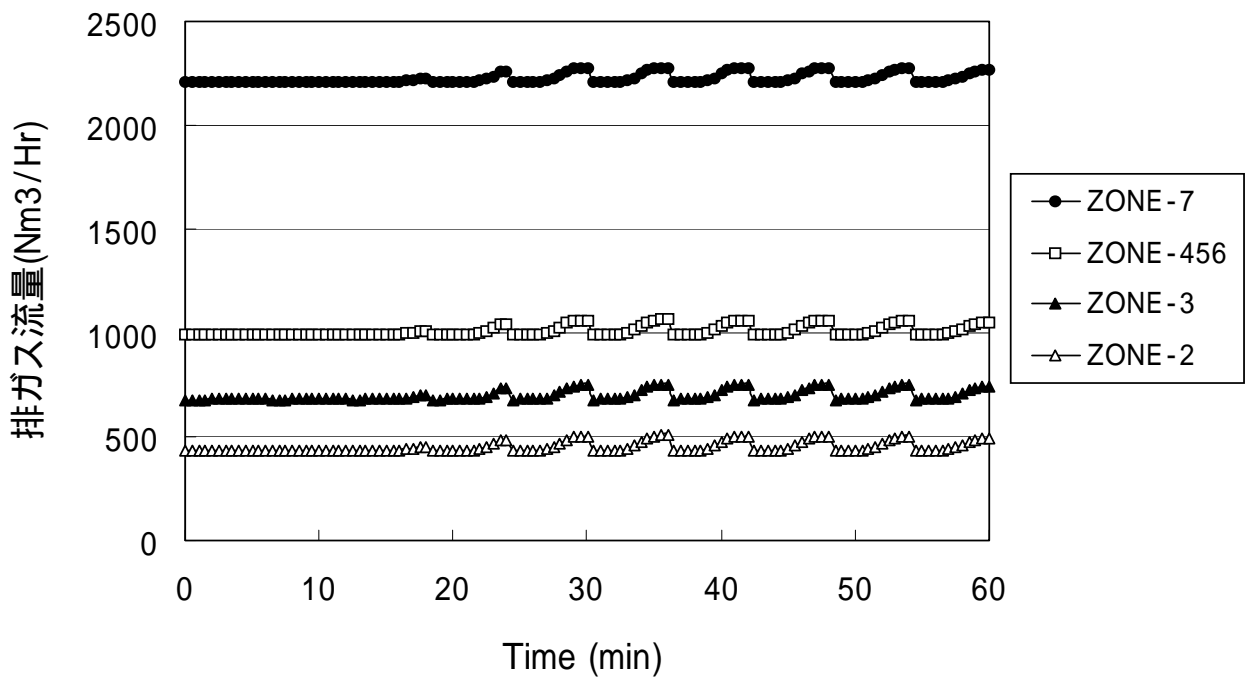


図 9 各 ZONE の排ガス流量

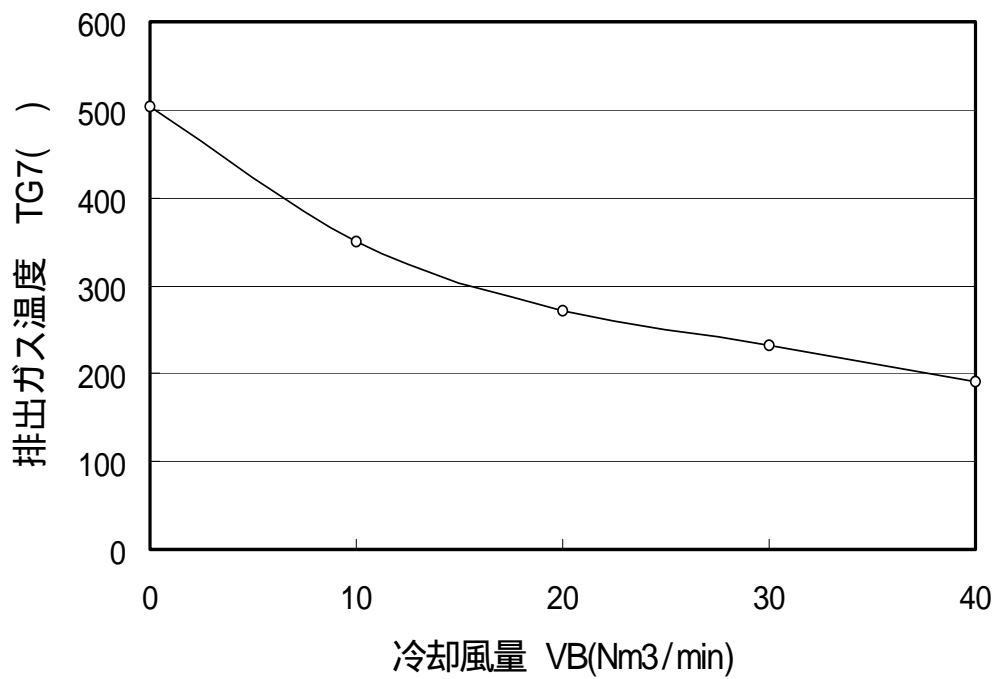


図 10 冷却風の流量と排出ガス温度の関係

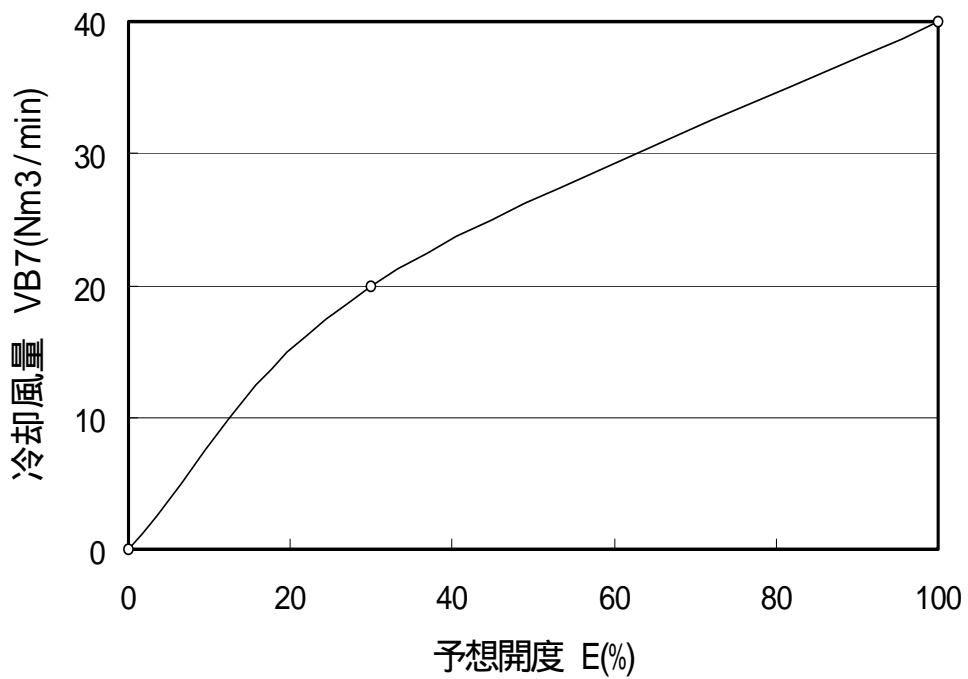


図 11 予想開度と冷却風の流量との関係

5-7 まとめ

以上の結果のようにシミュレーションモデルの構築によって、医療廃棄物処理炉冷却空気量の影響の非定常シミュレーションを行うことができた。このモデルは反応・伝熱・物質移動を考慮して構築されている。計算結果から次のような情報を知ることができる。各 Zone, 各時間毎に

- 1) 装入物各成分ごとの燃焼量、残留量
- 2) ガス温度 (T_g)、固体温度 (T_s)、炉壁温度 (T_w)
- 3) CO, CO₂, H₂, H₂O, N₂, O₂ の 6 成分のガス組成と流量
- 4) 冷却風量の影響

このモデルを使いこなすことによってチャージの条件や吹き込み条件をコントロールすることにより今後現在行っている操業諸元に近いデータを与えることによってこの炉の評価を的確におこなえることができるであろう。

第6章 燃焼プロセスの理論解析

6-1 はじめに

前年度は、焼却炉の基本特性を理論的に解明するとともに、炉各部の昇温特性、伝熱特性の理論解析を行った。ごみを投入しないいわゆる無負荷状態での基礎的な操業データをベースと、伝熱の各要因が炉の昇温特性にどのように影響するかを解析した。その結果、

- 1) 炉の昇温特性は火入れ当初と定常状態では伝熱のメカニズムが大きく異なり、前者はレンガの加熱、後者はガスの昇温が主体である。
- 2) 空気吸引開度、Oil量と空気量の関係が示された。

ただし、各バーナーのON/OFFの影響は複雑で、空気流量を把握するには少なくとも燃料流量を正確に計る必要があることもはっきりした。

以上の結果を踏まえると、廃棄物の特性に合わせて、廃棄物の投入タイミング調整し、廃棄物の燃焼状態を調整しなければ、局所的な空気不足が起こり、COが発生する可能性がある。ダイオキシン対策の基本¹⁾は、

- ・ ごみの均質化に留意（ごみ質変化への対応）
- ・ CO濃度を低減しガス冷却負荷を増加させないため過負荷運転しない
- ・ 炉出口温度 **800℃**以上（**850℃**以上が望ましい）
- ・ CO濃度を考慮した燃切り点管理

等となっており、負荷を過大にせず、CO濃度を低く保つことが重要であることが明らかとなっている。本年度は、前年度の成果を踏まえ、炉の改造を行い、実験を進めたので、実験結果を理論的に解析していく。

6-2 解析結果

本年度の改造のポイントは

- ・ 再燃焼室出口後の急冷化
- ・ サイクロンの撤去
- ・ ロストルの撤去

であり、再燃焼室出口に直に煙突を設置し、煙突内にエジェクターを設置した。このエジェクターの送風機は風量 **42m³/min**、風圧 **3.34kPa** の能力を有している。

改造前の炉において昨年度推定された空気流量は図6-1のように、運転条件によるが、最大で **15Nm³/min** であるので、本送風機は3倍程度の能力があることがわかる。

本プロジェクトの燃焼シミュレーション結果では、表6-1のように滞留時間が求められている。**Zone-3~Zone-6**が再燃焼領域であると考え、滞留時間は**2.5~2.6**秒あり、十分であった。改造後の**6月26日**の操業データについて、ガス流量を表のように推定し、**16:00**のデータを参考に**Zone-2,3,4,5,6**の

温度をそれぞれ 810℃, 874℃, 1008℃, 966℃, 844℃として、試算してみると、滞留時間は 1.59 秒となって 2 秒に足りない。操業条件により空気流量が変化し、各 Zone のガス流量も変化するので、一概にはいえないが、エジェクターを設置したことにより、空気流量が増加して滞留時間が短い条件も、操業条件として含まれるようになった。6/26 の条件では昨年度の条件よりも Zone-2 への空気の吹き込みが 4 Nm³/min から 7 Nm³/min に増大し、空気流量が 13 Nm³/min から 16 Nm³/min に増大すると推定されているが、このことが滞留時間不足の原因である。

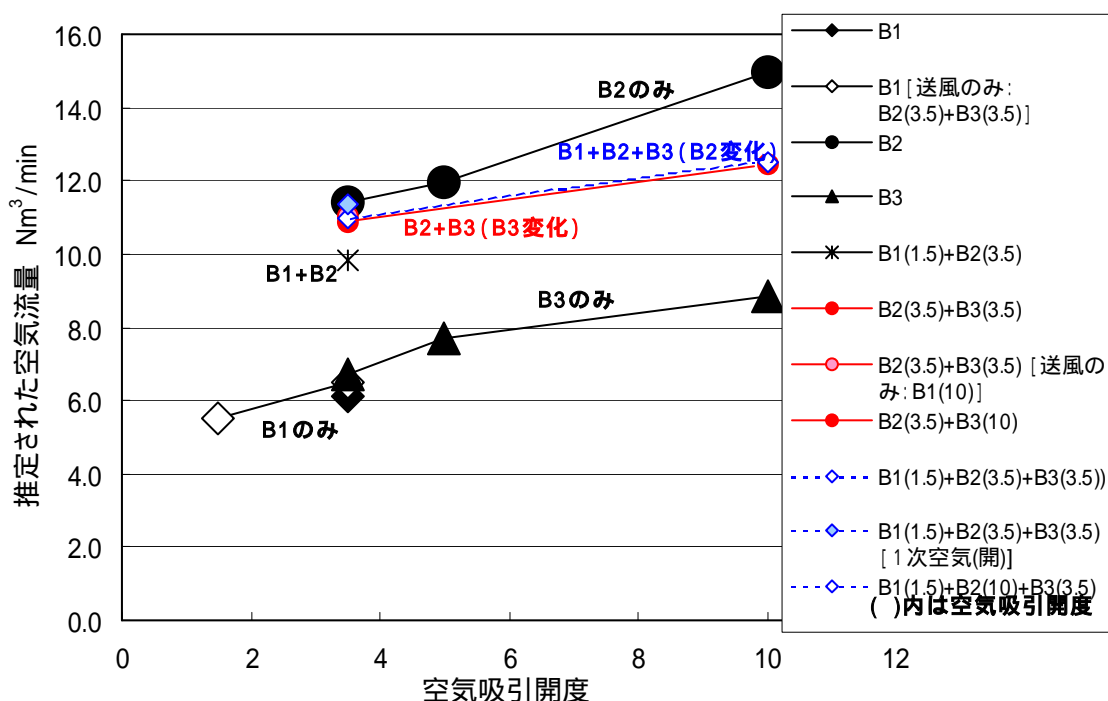


図 6 - 1 推定された空気流量の比較 (改造前)

表 6 - 1 炉内滞留時間 (推定値)

操業データ	各 Zone のガス流量 Nm ³ /h						各 Zone の滞留時間 sec						
	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7	3-6
2002/10/17	249	497	807	807	807	-	1.88	0.72	0.51	0.72	0.55	-	2.5
2002/10/18	248	495	806	806	806	-	2.48	0.81	0.53	0.73	0.55	-	2.62
2002/11/15	280	527	838	838	838	-	1.67	0.73	0.52	0.74	0.54	-	2.53

表6 - 2 第2回機能確認無負荷試験結果 (2003.08.20)

時間		投入	B1		B2		B3		灯油	イジェクタ-	O2(%)	CO2	CO	煙	空気比	空気流量
(h:m)	(min)	(kg)	Oil	Air	Oil	Air	Oil	Air	L/min	開度/向	TI-4	(%)	(ppm)	有無		(Nm ³ /min)
13:50	0		○	○	○	○	○	○	0.47	0	11.9	4.90	18		2.16	9.4
55	5		○	○	○	○	○	○	0.47	0	12.0	4.8	15		2.18	9.5
14:00	10		○	○	○	○	○	○	0.46	0	12.0	4.9	14		2.19	9.5
5	15		○	○	○	○	○	○	0.49	0	11.8	4.8	11		2.14	9.3
10	20		○	○	○	○	○	○	0.48	0	11.9	5.0	11		2.17	9.4
15	25		○	○	X	○	○	○	0.38	0	11.9	5.9	14		2.19	7.6
20	30		○	○	X	○	○	○	0.375	0	13.8	3.8	14		2.70	9.3
25	35		○	○	X	○	○	○	0.375	0	13.8	3.7	8		2.69	9.3
30	40		○	○	X	○	X	○	0.17	0	13.8	3.7	9		2.69	4.1
35	45		○	○	X	○	X	○	0.16	0	17.8	1.6	11		5.89	9.0
40	50		○	○	X	○	X	○	0.16	0	17.9	1.6	11		6.10	9.3
45	55		○	○	X	○	X	○	0.16	30%横向	17.8	1.6	4		5.90	9.0
50	60		○	○	X	○	X	○	0.165	30%横向	20.3	0.4	3		26.68	40.9
55	65		○	○	X	○	X	○	0.16	30%横向	20.3	0.4	8		26.68	40.9
15:00	70		○	○	X	○	○	○	0.40	30%横向	20.3	0.4	7		26.68	92.3
5	75		○	○	X	○	○	○	0.385	30%横向	19.2	0.9	8		10.36	35.9
10	80		○	○	X	○	○	○	0.38	30%横向	19.3	0.9	4		11.03	38.2
15	85		○	○	○	○	○	○	0.475	30%横向	19.3	0.9	5		11.03	47.9
20	90		○	○	○	○	○	○	0.475	30%横向	18.8	1.1	6		8.51	37.0
25	95		○	○	○	○	○	○	0.48	30%横向	18.8	1.1	10		8.51	37.0
30	100		○	○	○	○	○	○	0.475	30%横向	19.1	1.0	4		9.88	42.9
35	105		○	○	○	○	○	○	0.48	30%横向	19.1	1.0	7		9.88	42.9
40	110		○	○	○	○	○	○	0.48	30%上向	19.0	1.1	7		9.44	41.0
45	115		○	○	○	○	○	○	0.48	30%横向	19.1	1.0	12		9.88	42.9
50	120		○	○	○	○	○	○	0.48	30%横向	19.1	1.0	14		9.88	42.9
55	125		○	○	○	○	○	○	0.48	30%横向	19.2	1.0	10		10.49	45.6
16:00	130		○	○	○	○	○	○	0.48	30%横向	19.2	1.0	9		10.49	45.6
5	135		○	○	○	○	○	○	0.48	30%横向	19.2	1.0	11		10.49	45.6
10	140		○	○	○	○	○	○	0.48	30%横向	18.6	1.4	15		7.95	34.5
15	145		○	○	○	○	○	○	0.475	30%横向	17.9	1.8	23		6.18	26.8
20	150		○	○	○	○	○	○	0.475	30%横向	18.1	1.7	18		6.58	28.6
25	155		○	○	○	○	○	○	0.475	30%横向	17.9	1.8	14		6.18	26.8
30	160		○	○	○	○	○	○	0.48	30%横向	19.4	0.9	2		11.80	51.2
35	165		○	○	○	○	○	○	0.475	30%横向	18.5	1.4	5		7.60	33.0
40	170		○	○	○	○	○	○	0.475	30%横向	18.7	1.2	3		8.18	35.5
45	175		X	○	○	○	○	○	0.305	30%横向	19.2	1.0	9		10.49	29.5
50	180	容器	X	○	○	○	○	○	0.305	30%横向	18.7	1.3	13	黒煙	8.26	23.2
55	185		X	○	X	○	○	○	0.21	30%横向	18.5	1.5	14		7.66	14.8
17:00	190	容器	X	○	○	○	○	○	0.31	30%横向	19.2	1.0	8		10.49	29.5
5	195		X	○	X	○	○	○	0.205	30%横向	18.9	1.2	8		9.04	17.4
10	200		X	○	○	○	○	○	0.305	30%横向	19.2	1.0	5		10.49	29.5
15	205		X	○	X	○	○	○	0.2	30%横向	19.0	1.2	9		9.54	18.4
20	210		X	○	○	○	○	○	0.305	30%横向	19.2	1.1	16		10.61	29.8
25	215		X	○	○	○	○	○	0.305	30%横向	19.5	0.9	15		12.67	35.6

* 密閉容器質量:1.55kg

ダイオキシン類は、3Tの原則（Temperature=800℃以上の高い燃焼温度、Time=高温で2秒以上の十分な滞留時間、Turbulence=未燃ガスと空気との良好な乱流混合拡散燃焼によりCO濃度を100ppm以下にする）を守ることで、熱分解するとされている²⁾。従って、ダイオキシン類の排出が多い場合の対策としては、

- ・ 再燃焼室内での乱流混合を促進する。
- ・ エジェクターで急冷する。

という方法以外に

- ・ 空気流量を減らす。

という方法も検討する必要がある。もし空気流量を減らすことで廃棄物を燃焼するための酸素が不足するのであれば、処理量の見直しも必要である。

そこで、8/20の無負荷運転のデータをもとに空気流量を推定すると、表6-2のようになる。運転条件を変更した後は排気ガス成分がやや遅れて変化するので、排ガス濃度が変動した条件を無視すると、本焼却炉への空気供給は9~47.9Nm³/minとなっている。エジェクターを起動しない場合が、9~9.5Nm³/minであるので、エジェクターを開度30%で運転することで、空気流量を4倍まで増大できることが確認できた。また、この運転条件であれば、表6-1の条件よりも空気流量が少ないので、滞留時間が不足することはないと考えられる。

一方、サイクロンを廃止した影響についてであるが、微粒子の排出が問題となる。そこで、本焼却炉の再燃焼室における燃焼ガスの流速と微粒子の沈降を検討する。再燃焼室の容積は2.23m³で滞留時間は設計では2秒以上である。この操業条件が守られるとして、滞留時間を2秒とすると、再燃焼室内の平均流量は1.12m³/s、流路の断面は851mm×345.5~368.8mmとなっているので、断面積は0.294~0.314m²で、平均速度は3.79~3.55m/sと推定される。一方、表6-1のZone-6についてみると、流路の断面は狭いところが851mm×345.5mmで断面積は0.294m²なので、2.34~3.83m/sと推定される。

大気中において10μmの粒子がほぼ終末沈降速度に達するのに要する時間は、0.0014s、そのときまでに沈降した移動距離は3.29μmとなり³⁾、重力による自然沈降速度は約0.6cm/sである⁴⁾。この沈降速度はガスの粘性に反比例するが、20℃の空気の粘性は約1.9kgs/m²で800℃の燃焼ガスは4.3~4.5kgs/m²であるので、10μmの粒子の沈降速度はmm/sオーダーである。このことから、2.3m/s以上で2秒ほどで通過すると推定される再燃焼室の燃焼ガス流に10μm程度の粒子は追随し、再燃焼室を通り抜けるものと推測される。ただし、遠心力場においては遠心力により沈降速度が大きくなるため、流路が曲がっているところでは粒子の一部が燃焼ガス流から分離されることが考えられる。粒子径が100μm程度になると、100倍の0.1m/sオーダーの沈降速度となるため、遠心力場の効果も考慮すると、ほとんどの粒子が沈降するものと考えられる。しかし、本焼却炉の再燃焼室構造から考えて煤などの微粒子はそのまま排出されると推測される。このことから、操業条件としては、微粒子が発

生しないように設定する必要がある。

6-3 まとめ

サイクロンを撤去し、エジェクターを設置した今回の改造に伴い、燃焼ガスの炉内滞留時間が2秒に足りない操業条件が設定できることが、明らかとなった。また、本焼却炉の構造では $10\mu\text{m}$ 程度の粒子は容易に排出されることが、推測される。いずれも操業条件を適切に設定すれば問題がないので、自動操業を行う際には不適切な操業条件に陥らないように注意する必要がある。

引用文献

- 1) 石川禎昭編著：ダイオキシン類法規制対応廃棄物処理施設の運営・維持管理マニュアル，オーム社，東京，(2001)，57
- 2) 石川禎昭編著：ダイオキシン類の法規制と対策技術，オーム社，東京，(2001)，35
- 3) 柳田博明監修：微粒子工学大系第 I 巻基本技術，フジテクノシステム，東京，(2002)，206
- 4) 柳田博明監修：微粒子工学大系第 I 巻基本技術，フジテクノシステム，東京，(2002)，1078

第7章 システム統合化

7-1 はじめに

焼却炉では燃料を使用しているが、その目的はエネルギーを取り出すことではないため、エンジンやボイラーなどのエネルギーを取り出すことを目的とした他の燃焼装置と統合化することで、エネルギーを有効に利用できるようになる。理想的には、別の燃焼装置との排熱のみで焼却炉が運転できれば統合化により焼却炉分の燃料は不要となる。もしくは焼却炉の排熱が他の燃焼装置装置の熱源として燃焼器の代わりとなっても、同様に統合化により燃料が節約できる。プロセスシミュレーターを用いたサイクル計算を行い、『どの程度の燃料を節約できるか』という観点で統合化のメリットを検討していく。

7-2 プロジェクト全体における本研究開発部分の位置づけ

今回の小型炉では一応除外しているが、廃熱利用の可能性など将来に向け、幾つかのシステムを統合したプラントの効率向上策を検討し、将来の焼却炉統合化システムを検討する。

7-3 目的と目標

小型焼却炉の廃熱利用など幾つかのシステムを統合することで、プラントの効率を向上させることを目的として、システム統合化することで、それぞれのシステム単体の組み合わせよりもシステム導入のメリットが得られるシステム統合化の方法を提案することを目標とする。

7-4 前年度の研究概要

平成14年度は検討内容をまとめると、以下の通りである。

- (1) 統合化の相手のシステムとして、汎用性がある普及の可能性があるもので、焼却炉と同様に軽油・灯油が適用できるものを想定した結果、発電用のガスタービン、発電用のディーゼルエンジン、排熱回収ボイラーを候補とした。
- (2) 更に焼却炉のバーナーの代用としての利用を考え、ガスタービンと排熱回収ボイラーに検討対象を絞り込み、次の利用法を提案した。
 - (a) ローエンド:排熱(顕熱)を蒸気に変換し有効利用
 - (b) ハイエンド:タービン、ジェネレーターを組み合わせた理想プロセス
- (3) 焼却炉の処理能力 **50kg/h**、国産 **50kW** ガスタービンを想定し、灯油を模擬した燃料を用いて、プロセスシミュレーター**HYSYS 3.01**で、理論的な解析を行った。

(4) 解析の結果は、表 7-1 のようになった。統合化すると全体の燃料使用量が増加するため、ガスタービン単体の場合よりも発電効率は低下する。しかし、実際にはガスタービン排熱が焼却炉の燃料を節約しているので、燃料の増加分に対して、得られた出力の増分を考えて、増加分の効率を計算すると、ガスタービンとの統合化は発電効率が **28.8%** の発電設備を追加したのと同等の効果がある。ボイラーを大きくして、ガスタービンの排気ガスを全量利用することになると、ボイラーの効率が **38.4%** に高まり、総合効率が **48.9%** となる。増加分でみると、総合効率 **68.6%** のコージェネを増設したのと同等である。アフターバーナーでボイラーへ供給する排気ガスを暖めると、更に、ボイラーの効率が向上し、総合効率 **63.5%**、増加分でみると、総合効率 **84.6%** のコージェネ増設と同等である。

表 7-1 統合化システムの比較

	炉のみ	炉+ボイラー	ガスタービン+炉	ガスタービン+炉+ボイラー	ガスタービン+炉+ボイラー (全排気利用)	ガスタービン+炉+ボイラー (アフターバーナー付)	
吸気温度 °C	25	25	25	25	25	25	
燃料流量 L/h	30.0	30.0	47.1	47.1	47.1	66.8	
空気流量 Nm ³ /min	15.0	15.0	20.4	20.4	20.4	20.4	
排気温度 °C	450	450	150	150	150	150	
排気ガス流量 kg/h	1159	1159	1160	1160	1569	1585	
ピッチポイント温度差 °C	56.4	56.4	57.2	57.2	69.6	125.0	
発生水蒸気温度 °C	—	152	—	152	152	152	
発生水蒸気量 kg/h	—	146	—	148	234	484	
温度効率 %	—	70.6	—	70.8	73.9	84.7	
相当蒸発量 kg/h	—	172	—	175	276	571	
熱出力 kW	—	109	—	111	174	361	
発電出力 kW	—	—	47.5	47.5	47.5	47.5	
燃料発熱量 kW	—	289	454	454	454	643	
ボイラー効率 %(LHV)	—	37.6	—	24.4	38.4	56.1	
発電効率 %(LHV)	—	—	10.5	10.5	10.5	7.4	
総合効率 %(LHV)	—	37.6	10.5	34.8	48.9	63.5	
増加分	燃料増加分	—	—	17.1	17.1	17.1	36.8
	燃料発熱量 kW	—	—	165	165	165	355
	ボイラー効率%(LHV)	—	—	—	1.1	39.8	71.2
	発電効率 %(LHV)	—	—	28.8	28.8	28.8	13.4
	総合効率 %(LHV)	—	—	28.8	29.9	68.6	84.6

7-5 本年度の研究成果

7-5-1 統合化対象の小型ガスタービンとその性能

前年度は国産 **50kW** ガスタービンを想定してシステムの統合化を行ったが、本年度は、より小型のガスタービンを用いて、システムの統合化を図る方法を検討する。前年度の結果において、アフターバーナー付のボイラーを組み合わせたシステムの効率が高かった。このことから、新たに燃料を追加してもガスタービン排気を全て利用することで、システム全体の効率を高めることが可能であることが判った。このことから、ガスタービン排気をバーナー代わりに利用する目的でガスタービンを設計すれば、バーナー利用の場合よりもシステムの効率が上がる事が推測される。一方、焼却炉に対して、排熱回収ボイラーを統合化することについては、耐食性が向上した排熱回収ボイラーの実用化を待つ必要がある。更に、本プロジェクトの焼却炉について排熱回収ボイラー統合化時のダイオキシン排出に関して推測が困難であり、早期の実用化は困難である。

このことから、排熱回収ボイラーは用いずに、現在市販のガスタービンを改造してバーナーを代替すれば、統合化システムの早期実用化が期待できる。本焼却炉で使用しているガンタイプバーナーの容量は最大 **15l/h** であり、**6~12l/h** で運転されている。ガスタービンは部分負荷の性能が一般に低下するので、運転条件が定格に近いことが望ましい。そのようなガスタービンの候補として、表2のものがある。ダイナジェット **2.6** は世界最小のガスタービン発電機であり¹⁾、発電効率の向上を目指して改良が進められている。一方、マイクロガスタービンの研究素材として、大学・研究機関ではソフィアプレジジョン製の模型飛行機用ジェットエンジンが使われており、東京大学では **5kW** システムが開発されている²⁾。

表7-2 ガスタービンの比較

	IHI エアロスペース		ソフィアプレジジョン
	ダイナジェット 2.6	改良型	J850
発電出力 kW	2.6		発電機無し
燃料流量 L/h	4.5 (灯油)		16.2 (白灯油 70%+ホワイトガソリン 30%)
タービン入口温度 °C	800~900		900°C程度
排気温度 °C	330		700
発電効率 %(LHV)	10%未満	15~18%	
備考	オープン価格	開発中	

ダイナジェット 2.6 については排熱利用を前提とした場合の性能について発表されており³⁾, それを元に排気の流量を推算すると, 表 7-3 のようになる。インバーターで変換後の発電出力は定格出力で **2.6kW** であるが, 変換前の軸出力は **3.3kW** であり, 総出力は定格出力時に **46kW** となる。灯油は低位発熱量 **36.7MJ/l** なので⁴⁾, **4.5l/h** の定格出力時には **46kW** でほぼ熱損失がない状態となっている。また, 灯油の比重は **0.792** であるから, 定格出力時の流量 **4.5l/h** は質量流量で **0.99g/s** となる。排熱利用の際に, 排気圧力が **10kPa** 上昇した場合, 再生熱交換器を無くした場合の性能についても報告されている。一方, およびこのガスタービンを用いた乾燥トイレシステム「ナイスレット」の仕様では, 燃料流量は **6.5l/h** で, 燃料の発熱量が **66kW** である。これらのことから, 排熱利用の際に燃料の発熱量 **66kW** で総出力は **61kW** と推察した。この場合, 総合効率 **92%** となる。そこで, 総合効率 **92%** のガスタービン発電機で, 表 7-3 の運転条件を想定して, システム統合化の検討を進めた。

表 7-3 小型ガスタービン排気のエネルギー

	ダイナジェット 2.6				ナイスレット		システム統合化で想定したガスタービン発電機	
	有	有	無	無	無	無	有	無
再生熱交換器	有	有	無	無	無	無	有	無
排気圧力 kPa	0	10	0	10			10	10
発電出力 kW	2.6	2.3	2.6	2.4			2.3	2.4
排気温度 °C	330	410	550	620			410	620
排気熱エネルギー kW	43	46	51	58			46	58
軸出力 kW	3.3	2.9	3.3	3.0			2.9	3.0
総出力 kW	46	49	54	61			49	61
燃料流量 l/h	4.5				6.5	13	5.2	6.5
燃料流量 g/s	0.99				1.43	2.86	1.14	1.43
排気流量 g/s (推算)	134	113	87	86			113	86
空気流量 g/s (推定)	133	112	86	85			112	85
燃料発熱量kW (LHV)	46				66	133	53	66
備考	定格				2 トイレ室	4 トイレ室		

7-5-2 統合化システムの構成

統合化システムの焼却炉を処理能力 **20kg/h** のシステムした場合、助燃バーナー 1 基、再燃焼バーナー 2 基が設置されている。助燃バーナーは **ON/OFF** の切り替えがあるので、これをガスタービン発電機に置き換えると、発電出力が変動するが、再燃焼バーナーの 2 基は本試験の結果、ほぼ常時燃焼させたままで、焼却炉の運転を行うことが明らかとなっている。このことから、再燃焼用バーナーをガスタービン発電機+アフターバーナーのシステムで代替しても発電出力はほぼ一定の状態を保つことができる。このことから、図 7-1 のようなシステム統合化について検討した。本統合化システムにおける電気設備容量は表 7-4 の通りである。アフターバーナーや制御盤の消費電力はわずかと考えられるので、ガスタービン発電機 1 台でブロワーの電力を賄い、もう 1 台がバーナー等その他の機器の電力を賄うことができる。

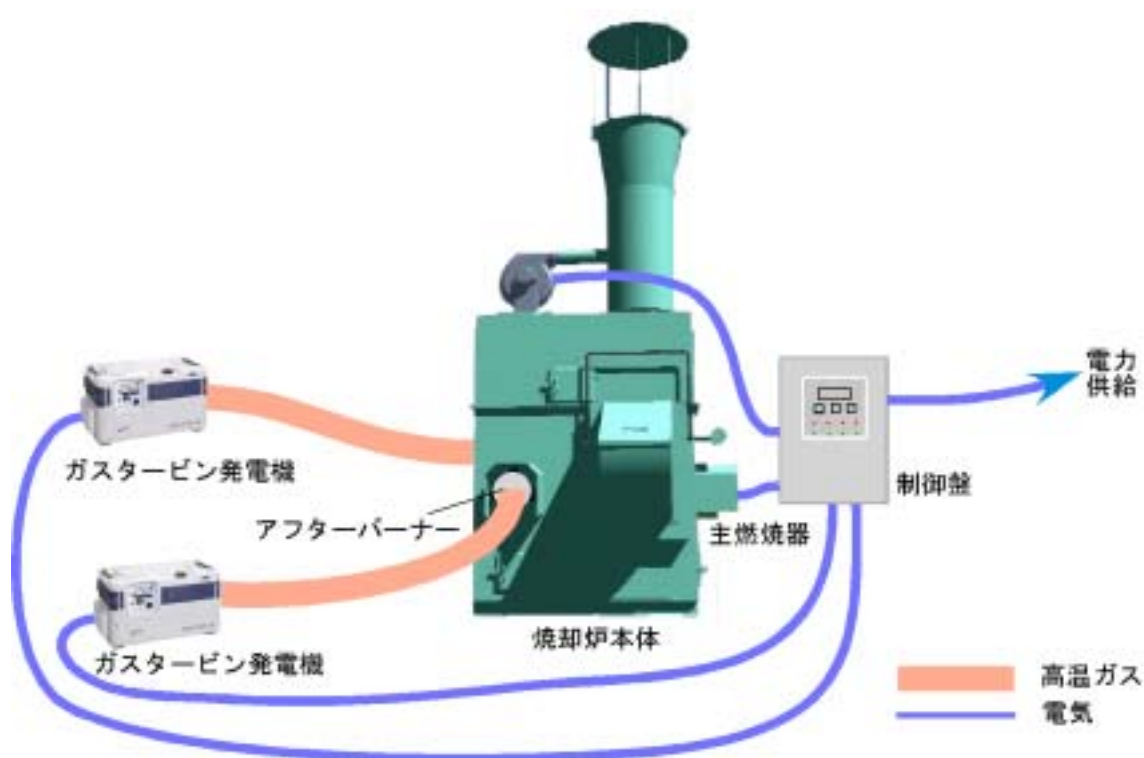
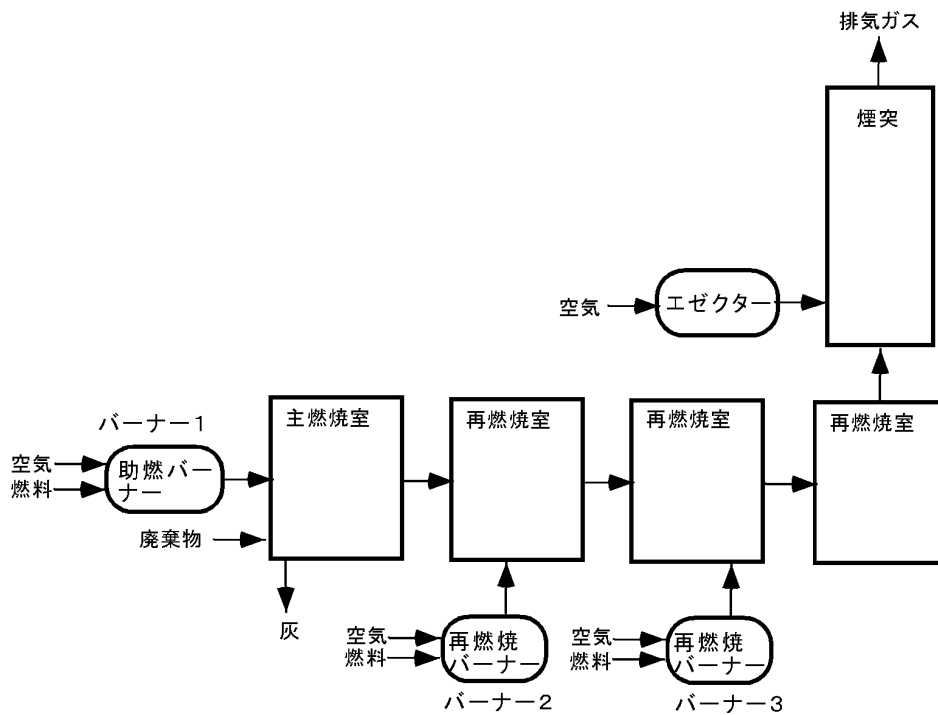


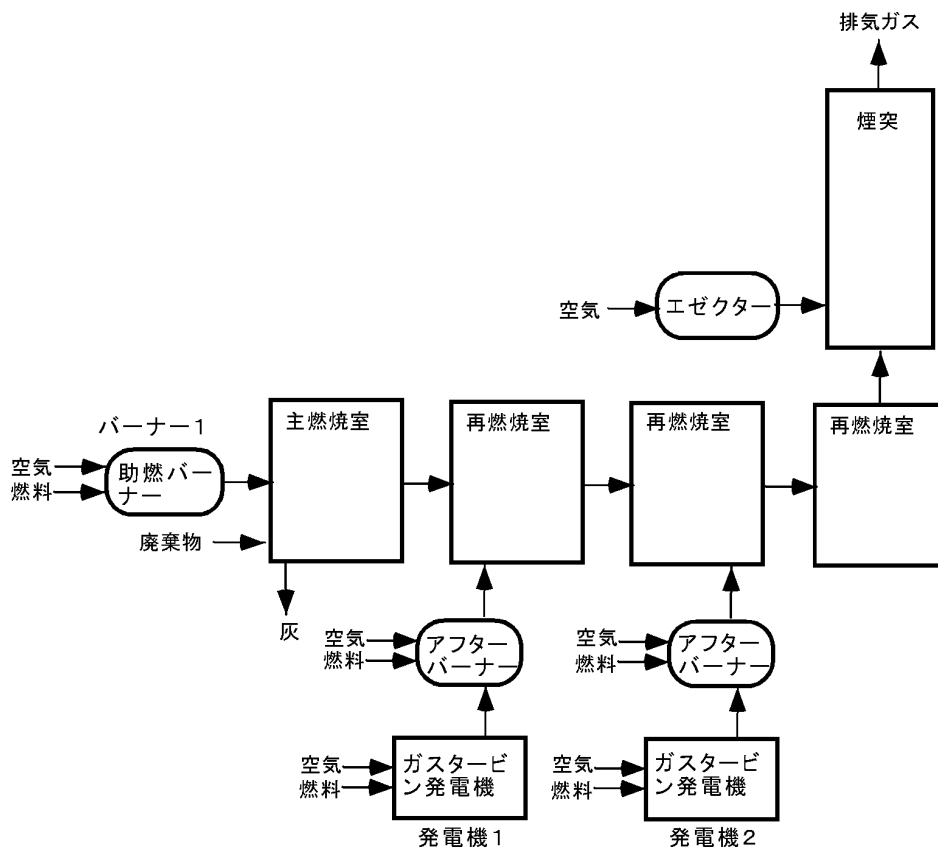
図 7-1 ガスタービン発電機との統合化イメージ図

表 7-4 電気設備容量

容量 kW	ガンタイプバーナー		可搬式バキューム式 吸塵機	ブロワー	アフターバーナー, 制御盤等
	助燃バーナー	再燃焼バーナー			
	0.25	0.25×2 基	1.2	2.2	未定



(a) COP焼却炉のバーナー構成



(b) 統合化システムのバーナー・発電機構成

図7-2 焼却炉のバーナーとガスタービン発電機の構成

7-5-3 統合化システムの性能

図7-2のように再燃焼バーナー（バーナー2，バーナー3）をガスタービン発電機およびアフターバーナーで代替することにより，システムを統合化する。この統合化システムの性能を検討するために，焼却炉の運転条件を6月26日の操業に合わせて比較を行った。システムを全負荷で運転すると，再生熱交換器がついた発電機の場合，発電機の排気ガス流量がバーナー2，バーナー3の燃焼ガスの流量を上回っている。また，再生熱交換器が無い発電機の場合，発電機の排気ガス流量がバーナー2のみ燃焼ガスの流量を上回っており，バーナー3の燃焼ガス流量は発電機の排気ガス流量にほぼ等しい。その結果，再生熱交換器の無い発電機を用いた場合の方が，発電効率が低いにもかかわらず，排気ガスをアフターバーナーで加熱する際の燃料消費が少なく，増加分でみた発電効率が表7-5のように高くなる。

表7-5 統合化システムの性能

	炉のみ	全負荷				部分負荷				
再生熱交換器の有無										
発電機1	—	有	無	無	有	有	無	無	有	
発電機2	—	有	無	有	無	有	無	有	無	
吸気温度 °C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
燃料流量 L/h	28.8	32.7	30.3	31.1	31.9	29.3	30.0	29.7	29.6	
空気流量 Nm ³ /min	36.0	37.9	36.2	36.6	37.4	36.0	36.0	36.0	36.0	
アフターバーナー 空気流量 Nm ³ /min	—	0	0.8	0	0.8	0	0.8	0	0.8	
発電出力 kW	—	4.6	4.8	4.7	4.7	3.8	4.2	3.9	4.1	
発電機1出力 kW	—	2.3	2.4	2.4	2.3	1.7	1.8	1.8	1.7	
発電機2出力 kW	—	2.3	2.4	2.3	2.4	2.1	2.4	2.1	2.4	
燃料発熱量 kW (LHV)	297.5	338.2	312.9	321.7	329.4	302.9	309.9	306.7	306.1	
発電効率 % (LHV)	—	4.3	3.6	3.9	3.9	4.3	3.6	3.9	3.9	
増 加 分	燃料増加分 L/h	—	3.94	1.50	2.34	3.09	0.52	1.21	0.89	0.84
	空気流量 Nm ³ /min	—	1.9	0.2	0.6	1.4	0	0	0	0
	燃料発熱量 kW(LHV)	—	40.7	15.5	24.2	31.9	5.4	12.5	9.2	8.6
	発電効率 % (LHV)	—	11.3	31.1	19.4	14.7	70.3	33.3	41.9	47.3
	発熱量(ごみ込み)kW		207.2	233.2	220.2	220.2	188.7	215.6	198.2	206.1
	発電効率 % (LHV)		2.2	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	2.0	2.0

一方、部分負荷でも発電効率が低下しないとすれば、バーナーの燃焼ガス流量と等しい排気ガス流量になるように発電機の出力を抑えて運転することにより、再生熱交換器付の発電機を用いた方が増加分でみた発電効率も高くなる。バーナー 2、バーナー 3 の両方とも再生熱交換器付の発電機を用いれば増加分でみて **70%** の高い発電効率となるので、部分負荷時の発電効率が低下し、全負荷時の半分の発電出力になったとしても、増加分でみた発電効率では半分の **35%** は期待できる。実際には、効率低下の分だけ排気温度が高まるので、燃料の増加分が少なく済むため、増加分でみた発電効率はもっと高くなる。ところが、再生熱交換器無しの発電機では、効率低下を見込まない部分負荷の計算でも、増加分でみた発電効率が **33.3%** にしかならない。このことから、再生熱交換器付発電機を採用した方がよいと考えられる。

部分負荷とした場合の問題点は、ブロワーの容量が **2.2kW** であり、再生熱交換器付発電機では **2.1kW** としか出力がないことであるが、本操業ではブロワーが最大風量ではなかったことを考慮すれば、ブロワーの運転可能が可能であるといえる。また、アフターバーナーの空気は、発電機 2 に再生熱交換器無し発電機を用いた場合に、**0.8 Nm³/min** 必要となるだけなので、送風機を新設せずに、不足する時はブロワーから分岐して供給すればよい。運転条件を調整すれば、アフターバーナー用の空気は不要とできる可能性がある。この場合、燃料のみ供給するアフターバーナーをシステムに取り付ければよい。

以上の検討結果から、再生熱交換器付の発電機 2 台にアフターバーナー付の排気ダクトを取り付けて、再燃焼バーナー 2 基を代替することで、システム統合化を図り、焼却炉に要する電力を賄い、分散型電源とすることができるとわかった。その際の燃料増加分でみた発電効率は、**35%** を超えるものと考えられる。これは焼却炉と発電機と別々に用意した場合よりも極めて高くなる。

一方、高効率ごみ発電についての **600t/d** 規模で試算結果を見ると、通常のごみ発電では **17.4%** の発電効率であったものが、ガスタービンと組み合わせたスーパーごみ発電では **33.0%**、GT コンバインド型では、**34.5%** と高まっている⁵⁾。この場合、ごみの発熱量を含めた形で効率を出している。本プロジェクトの試験炉では、**20kg/h**、**4350kcal/kg** の処理能力であるので、**101.2kW** の熱入力に相当する。従って、ごみも燃料として考慮した場合の効率は **1.9~2.2%** となる。このことから、燃料増加分でみた発電効率が **35%** を超えるといっても、大規模なごみ発電施設と同じ基準で比べると約 **2%** と一桁低い効率であり、本統合化システムは大型焼却炉のごみ発電の代替とはならない。排熱利用が困難な小型焼却炉に適用することに価値があるシステムである。

7-6 今後の課題と取組

今回の解析結果から、現在市販されているガスタービン発電機にベースとしたシステム統合化でも、発電効率の面からみてメリットがあることが明らかとなった。ガスタービン発電機本体の改造は、排気ダクト部分だけであることから、実際に開発する際の重点はアフターバーナー開発になる。ただし、汎用のバーナーでも適合する可能性がある。その場合には、焼却炉、発電機、アフターバーナーの運転条件の調整と改造が主たる作業となり、開発コストは低く抑えられるものとする。

小型のガスタービン発電機は効率が低いものの、単独で非常用電源としても使用でき、焼却炉運転時には焼却炉の電力をまかなえるため、本統合化システムは離島用の焼却炉として適切なものと考えられる。しかし、焼却炉運転時にはブロワーの消費電力が大きいため、供給電力がわずかしか得られない。このことから、発電機自体の効率向上と高出力化が必要であり、改良型の導入が待たれる。また、電力に余裕がないので、ブロワーにはインバーター付のモーターを採用することが望まれる。このことから、コストアップが避けられない。高コストに見合う利便性をどの様に付加するかが、普及に向けた課題となる。

引用文献

- 1) 日刊工業新聞 2003年2月17日付
- 2) <http://knock.t.u-tokyo.ac.jp/lab/pbl.html>
- 3) 前川裕彦ほか：第31回ガスタービン定期講演会講演論文集，(2003)，13-17
- 4) 資源エネルギー庁の総合エネルギー統計の「エネルギー源別標準発熱量表」および解説（経済産業研究所・戒能著）
- 5) 柳田博明監修：微粒子工学大系第Ⅱ巻応用技術，フジテクノシステム，東京，(2002)，399

第8章 市場開拓戦略

8-1 はじめに

医療廃棄物は院外感染防止対策上から自己処理が原則とされといるが、その廃棄物組成の複雑さや排出量の増大により院内処理が難しくなっており、また焼却処理時のダイオキシン類対応が必要とされ、現在では90%以上の病院が処理を外部に委託していると言われている。一方増大しつつある老人福祉施設から排出される紙おむつ等は一般廃棄物に分類され、処理は市町村や産業廃棄物処理業者への委託が主体であるが、処理困難物として扱わないところが増えてきている。

委託の処理費用については、一般廃棄物・産廃の20～30円/kgに対して感染性医療廃棄物:150～200円/kg、紙おむつ(産廃):50円/kg、と言われているが年々上昇の傾向にあり、処理費用の低減も大きな課題である。

このような状況に対応して、本プロジェクトでは病院・施設から排出される廃棄物を低ランニングコストで院内(施設内)処理するための小型焼却炉として開発を進めてきた。

開発した医療廃棄物処理炉は本プロジェクトの終了後直ちに事業化のために以下の戦略で市場開拓を行う。

8-2 市場

想定する市場は「島嶼などの隔絶地域」であり、先ず沖縄県内の離島や都市郊外の小規模病院、老人福祉施設への販売を目標とし、次の段階で全国に展開する。

8-3 処理炉のシリーズ化

医療廃棄物は病院・施設の形態により様々であり、施設内処理する廃棄物に適した処理炉の提案が出来ることが必要である。感染性医療廃棄物および一般廃棄物・産廃の発生熱量と処理量により、顧客のニーズに合わせた規模で以下の様にシリーズ化した。

発生 熱量 型	高熱量型(発熱量 7,500kca/kg)	低熱量型(発熱量 2,500kcal/kg)
		対象：感染性廃棄物 (注射針、筒、チューブ、 検体、血液等)
0型	処理量 15 kg/hr	処理量 45 kg/hr
1型	30	90
2型	60	180

8-4 事業化計画

事業として開発焼却炉の製造・販売を行う。

8-4-1 焼却炉の製造と販売

(株)開邦工業が主体に進める。

(1) 製造

本プロジェクトの成果に基づき、販組織と体制が確立するまでは主として(株)開邦工業具志川事業所で製造する。シリーズの共通部品化と製品の輸送方式および現地での設置工事の簡易化を進めコストダウンを最大課題とする。

(2) 販売

(株)開邦工業の営業部門が担当し以下の方針とする。市場情報、顧客紹介、改善・改良提案等はコンソーシアムメンバーも参加する。

販売地域

- ①当面(1~2年)は沖縄県内をメインとする。
- ②平成16年下期から東京支社を窓口として県外へ拡販する。
- ③国外販売は技術移転の場合のみ考える。

メンテナンス・サービス技術員

沖縄県内は現有社員で対処し平成16年上期から2~3人育成する。

販売体制

代理店網を整備し、自社販売員は置かない。

販売価格

0型で500万~700万円、1型で700万~900万円、2型で1200万~1500万円前後を予定。国外生産の場合は今後調整。

8-4-2 排ガス測定

本開発焼却炉はその処理容量から、設置者は年1回以上排ガス中のダイオキシン類の濃度を測定し、かつ記録することが義務づけられている。従って焼却炉の販売時に、DXNsの継続的な測定・評価請負契約を締結し事業の一環とする。測定は(株)日鐵テクノリサーチが担当する。

8-5 販売目標

目標基数を以下とする。

年 度	販売基数
平成16年度	5
17	10
18	20

第9章 プロジェクト全体のまとめ

9-1 研究開発の目的

沖縄県の離島など、人口過疎町村の廃棄物の移動は困難になってきている。特に医療廃棄物処理は発生源近くで無害化処理すること、すなわち焼却処理することが必須である。このような焼却炉で重要なことは優れた性能と初期投資額および運転費用が抑えることである。性能はいうまでもなく、ダイオキシン類（以下 DXNs）の最大発生量が法基準以下であること、医療廃棄物を迅速に処理できる時間当たりの焼却能力を有すること、操作性が優れていることである。コストに関しては経済的基盤が弱い沖縄にあっては特に重要である。初期投資を抑えるためには、他の方法でカバーできるなら極力不必要な機能を外すべきである。これは保守点検、運転費用の低減にもつながる。小型焼却炉が具備すべきこととして、操作が簡単で一人のオペレーターで必要な作業を処理できなくてはならない。

以上のコンセプトを基準に処理量 200 kg/H 未満の小型医療廃棄物処理の開発に取り組んだ。

基本的には低ダイオキシン、高効率焼却処理のために、主燃焼室と大きな再燃焼室を有する構造を基本として、両室の燃焼状態管理を適正に行うことにより、DXNs 発生を 0.5 ng-TEQ/Nm³ 以下、および煤塵の発生 0.1 g/Nm³ 以下を開発目標とした。

上記の目標実現のため、研究のアプローチとして、

- (1) H14 年度に引き続き、主燃焼室と再燃焼室の各燃焼帯における燃焼パラメーター（燃焼ガス流速、雰囲気、温度など）の把握
- (2) 模擬医療廃棄物の構成要素が DXNs 発生に及ぼす影響の把握
- (3) DXNs の再発生を抑えるための再燃焼室出口から煙突入口における燃焼ガス急冷効果の確認。具体的には H14 年度の開発で集塵効果が認められなかったサイクロンを撤去し、再燃焼室出口に煙突を直結し、この部分にブロアーとエゼクターを設けた。
- (4) 燃焼条件とダイオキシン類、CO、NOX、SOX の発生状況の連続確認
- (5) その他 ブロアー供給油量の確認など

開発は試験炉を用い実験を主に行うが、実験で確認出来ない部分は計算シミュレーションを行う。また燃焼現象の正確な把握のため実験データをベースにして理論的解析も行った。

また今回の開発では実験は行わないが、近年技術開発の進歩が目覚しい、小型タービンなどの周辺技術を取り込んで、医療廃棄物処理炉の排熱有効利用を考え、将来のプロビジョンとしてシステムの統合化を検討した。

以上の結果から最終的な設計図を完成させ、上市を図る。

9-2 実行体制と開発スケジュール

実行体制は以下の通りである。

管理法人：スリーアールシステムズ株式会社

代表取締役社長	矢崎 陽一	プロジェクト総括(医療廃棄物焼却技術)
専務取締役	新井 仁	プロジェクト事務局

株式会社 開邦工業

代表取締役社長	玉寄 英一	総括研究代表者
	中村 豊	実証試験、実機設計
	神谷 啓太	実機設計
	玉城 信隆	実機製作

株式会社 日鐵テクノリサーチ

かずさ事業所所長	肥田 行博	副総括研究代表者
	杉山 喬	数値シミュレーション
	馬場園 浩二	実証試験
	入田 俊幸	実証試験
	佐藤 公隆	実証試験

独立行政法人 産業技術総合研究所

部長	高橋 三餘	理論指導
主任研究員	壹岐 典彦	理論指導

琉球大学

教授	屋良 秀夫	理論指導
----	-------	------

沖縄県工業技術センター

次長	國吉 和男	理論指導
部長	比嘉 眞嗣	理論指導

アドバイザー

東北大学	流体科学研究所	教授	新岡 崇
法政大学	工学部	教授	直井 久

9-3 研究開発成果

2年間の研究開発成果を以下にまとめる。

9-3-1 平成14年度成果

まず主燃焼室と再燃焼室の燃焼帯からなる機構をもとに燃焼炉-煙突-サイクロン集塵器から構成される実験燃焼炉を作った。当該実験炉はメンバーの開邦工業が所有する炉をリース受けして改造した。実験およびシミュレーションおよび理論解析から判明したことは以下である。

まず試験廃棄物の構成、投入量および燃焼条件を変えて6回実施した模擬医療廃棄物を投入した試験炉による燃焼確性実験の結果以下が確認された。

- (1) DXNs (ng-TEQ/Nm³) は0.027から190の範囲であった。さらにDXNsは排ガス中に含まれるHCL濃度と相関が高いことが分かった。実験では実際の医療廃棄物に含有される以上のPVCを混入したことが原因で、このことから模擬医療廃棄物の投入塩素を実情通りに管理すれば十分に目標を達成することが分かった。
- (2) CO、NOX、SOXはいずれも低く問題は無い。
- (3) 燃焼技術
 - ①プラスチック分解・ガス化ゾーンと燃焼ゾーンを明確に分離する。すなわち第1室をガス化専用として、その出口以降で積極的に燃焼。
 - ②プラスチックのガス化は遅いために、実験では炉能力に合わせ投入量を抑える。
 - ③B-1、B-2バーナーの下限設定温度を上げる。
- (4) 炉本体から出る高温排ガスの急冷が必要である。

次にシミュレーションおよび理論解析を行い、以下を明らかにした。

- (1) 燃焼条件をシミュレーションした結果、炉の昇温特性は火入れ当初と定常状態では伝熱のメカニズムが大きく異なり、前者はレンガの加熱、後者はガスの昇温が主体である。
- (2) 空気吸引開度、オイル量、空気量の関係が明らかになった。
- (3) 解析結果を確性試験結果と突き合わせ、数値シミュレーションにフィードバックし燃焼室、再燃焼室基本設計諸元の確定に利用した。

以上要約したH14年の結果から次の開発ステップとして以下が提案された。

- (1) DXNsの再発生を抑えるための再燃焼室出口から煙突入口における燃焼ガス急冷効果を確認する。具体的には煙突下部にエジェクターを取付ける。エジェクターから煙突への空気強制吹き込みは弁の開度を変えることで調整する。
- (2) サイクロン集塵器を外す。理由はこれまでの実験からサイクロン下部のダストが極端に少なく集塵効果からは撤去可能と判断されたため。
- (3) 廃棄物投入口の設計製作。操作容易なダブルアクション方式を採用し、

- 投入口カバーの開け閉めと廃棄物の炉内への送り込みを滑らかに行う。
- (4) 完全密閉型の医療廃棄物収納プラスチックボックスに入れた燃焼実験を実施する。この容器は実際の医療廃棄物処理で法的規制を受け、これを用いることで感染性廃棄物も安全に処理することが可能である。

9-3-2 平成15年度成果

9-3-2-1 燃焼実験

上述のような実験炉の改造を行ってから、2期に分けて（2キャンペーン/期）燃焼実験を行った。

模擬医療廃棄物は感染性医療廃棄物（プラスチック50%）と低発熱量の老人医療廃棄物（プラスチック20%）を模擬した2種類を取り上げた。

*プラスチックはポリプロピレンおよびポリエチレンが主体。

実際の燃焼実験に先立って無負荷運転を行い、バーナー灯油燃焼流量とエジェクター効果を確認した。

さらにエジェクター開度と横向きダンパー開度を変えてエジェクターの効果を調べた結果、予想通り再燃焼出口の高温ガスが急冷され（▲200～300℃）、かつCO2濃度も低下することが確認できた。さらにエジェクター稼働によってバーナー吸引空気量が増加することが認められた。

無負荷実験後2期に分けた燃焼実験を行った。

第I期試験（第1回キャンペーン）

- ① 投入間隔は予想以上に燃焼が遅いため6分間隔にした結果、安定した燃焼状態が得られた。
- ② 炉出口温度(TI-3)はスタートの777℃から885℃まで上昇し、試料投入開始20分以降、DNXs発生抑制に必要な800℃以上を確保できた。煙突排ガス温度は256℃～311℃の範囲で変化し、ほぼDNXs再合成抑制に必要な300℃以下に冷却できた。結果DNXsは十分に目標をクリアする0.16ng-TEQ/Nm³であった。
- ③ 炉内燃焼状態確認のため1次空気吸引口を開けると黒煙が生じた。第1室でプラスチックを完全に分解させ、ここでは燃焼させないことが黒煙発生の抑制に欠かせないことが確認された。

同（第2回キャンペーン）

- ① 投入間隔を10分とした。燃焼状態はきわめて安定であり、全自動化の可能性を確認できた。
- ② 炉出口温度(TI-3)はスタートの783℃から845℃まで上昇し、第1回キャンペーンと同様DNXs発生抑制に必要な800℃以上を確保できた。
- ③ 煙突排ガス温度は270℃～295℃の範囲で変化し、DNXs再合成抑制に必要な300℃以下に冷却できた。結果DNXsは十分に目標をクリアする0.087ng-TEQ/Nm³であった。
- ④ 排ガスの色調は無色で良好だった。

第Ⅱ期試験（第1回キャンペーン）

- ① 密閉容器に入った試料を燃焼させたが、容器込みの重量が増え、燃焼室能力が不足になったため、15分間隔の投入とした。
- ② 燃焼室能力の不足から時には黒煙が出ることがあったが、この場合排ガス中のCO濃度が瞬間的に100～150ppmに上がった。
- ③ 黒煙抑制のためB2およびB3バーナーの吸引空気量を上げ、かつB2の設定温度を上げた。
- ④ 炉出口温度（TI-3）はスタートの800℃以上が確保できた。
- ⑤ 煙突排ガス温度は286℃～351℃の範囲で変化し、DXNs再合成抑制のためにはやや高かった。結果DXNsは1.6ng-TEQ/Nm³で、目標には未達だったが、基準値はクリアできた。
- ⑥ 黒煙が発生したときは密閉容器が下まで落下しないで、高温分解が十分でない状態で燃焼が始まったためである。今後燃焼室の拡大と投入装置の改造が必要と考えられる。

同（第2回キャンペーン）

- ① 投入間隔は10分とした。燃焼は安定していた。また黒煙発生も認められなかった。
- ② 炉出口温度（TI-3）は720℃から855℃まで上昇した。投入開始90分後は800℃以上が確保できた。
- ③ 煙突排ガス温度は255℃～311℃の範囲で変化し、概ね300℃以下に冷却された。結果DXNsは1.6ng-TEQ/Nm³で、第1回キャンペーン同様目標には未達だったが、基準値はクリアできた。

第Ⅰ期試験、第Ⅱ期試験で共通した観察結果は、

- ① CO、NOXおよびSOXはいずれも低レベルだった。
- ② 煤塵濃度も概ね低値だった。
- ③ HCL濃度は塩化ビニル添加量に対応して大きく変化した。
- ④ XNs濃度はHCL濃度、すなわち投入塩素濃度と密接な関係にある。
- ⑤ 燃え殻（残留灰）中のDXNs濃度は平均27ng-TEQ/gとやや高かった。B1バーナーを強化して焼却作業後高温、長時間で残渣を燃焼し尽くすことが重要と考えられた。

9-3-2-2 燃焼シミュレーション

H15年度の試験炉の改造、すなわち再燃焼室排気口上部に煙突を設け、さらにこの部分にエジェクターとブロワーをつけて排ガス急冷化を意図した構造をシミュレーションのモデルに新たに組み込んだ。このモデルを使って煙突部と冷却用空気のガス濃度および排ガス温度に及ぼす影響を調べた。シミュレーションで燃焼させる模擬医療廃棄物は実験で用いたものと同じにし、その構成成分と特性値を計算に取り入れた。シミュレーションで判明したことは、

- ① 炉内部およびガス冷却部の各ゾーンごとのガス組成と流量の時間変化。ガスはCO、CO₂、H₂、H₂O、N₂、O₂の6成分である。
- ② 通過ガス流量

③ 冷却風量と排ガス温度の関係

解析結果は実験結果と良い対応を示し、チャージの条件や吹き込み条件をコントロールし、その他操業諸元にあったデータをインプットすれば炉の評価を的確に行えるツールとなる。今後は実験で指摘された、容器に納めた医療廃棄物が十分燃焼できる燃焼室拡大などの検討で、最適サイズ決定に有効となる。

9-3-2-3 理論解析

今年度の改造のポイント、①再燃焼室出口後の急冷化 ②サイクロンの撤去 ③ロストルの撤去 を所与の条件として、各ゾーンの空気量およびゾーン別ガスの滞留時間を評価した。

まず H14 年度の場合で、再燃焼室の対流時間推定値は、2.5~2.62 秒と見積もられた。今年度の改造後のケースでは、第 I 期の操業データについて、ガス流量を推定し、Zone-2, 3, 4, 5, 6 の温度をそれぞれ 810°C, 874°C, 1008°C, 966°C, 844°C として、試算してみると、滞留時間は 1.59 秒となって 2 秒に足りない。操業条件により空気流量が変化し、各ゾーンのガス流量も変化するので、一概にはいえないが、エジェクターを設置したことにより、空気流量が増加して滞留時間が短い条件も、操業条件として含まれるようになった。第 I 期の操業データでは昨年度の条件よりも Zone-2 への空気の吹き込みが 4 Nm³/min から 7 Nm³/min に増大し、空気流量が 13 Nm³/min から 16 Nm³/min に増大すると推定されているが、このことが滞留時間不足の原因である。排ガス急冷と再燃焼室滞留時間 2 秒以上の確保はある意味では相反する要求なのでこのバランスを如何にとるかが課題であろう。

また煤塵微粒子の挙動についても検討を加えた。100 μm 程度の微粒子は沈降速度が 0.1m/s のオーダーで、一方 10 μm 程度のさらに細かい微粒子の場合の沈降速度は自然沈降で約 0.6cm/s、燃焼ガスの粘性を考慮するとさらに mm/s のオーダーになり、後者は前者に比べ緩慢な挙動をとり、燃焼ガス流に乗って煙突を経由して系外に排出される可能性がある。100 μm オーダーになると自然落下してボトムアッシュの一部になると考えられる。このことから今後微粒子が発生しないまたはこれを補足する手段を検討する必要がある。

9-3-2-4 研究成果に基づく小型医療廃棄物処理炉の設計

実験結果およびシミュレーション結果にも基づいて炉の詳細設計を行った。詳しくは第 2 章で述べたとおりである。

9-3-2-5 システム統合化

今回プロジェクトでは実験は行わないが開発の一環として、ガスタービンを併置させ、その排熱をバーナーへ利用する可能性を検討した。近年性能とコストで躍進の進歩が見られる小型タービンを組合せ、発電を行い、補機の駆動に役立てる可能性を検討し、さらに排熱でブロワーを代替させうるかを調べた。H14 年度は国産の 50 kW ガスタービンでシステムの統合化を検討した。すなわち、排熱利用の有効度のレベルに応じ、ローエンド(ガスタービン+焼却炉)、ハイエンド(ガスタービン+焼却炉+ボイラー)の 2 ケースで検討したが、今年度はガスタービンを回し発電を行い全体の効率を上げる試みを行った。小型

ガスタービン「ダイナジェット 2.6」をシステムに組み込めるかを検討したが、可能性として焼却炉補機を駆動させるレベルの発電が可能なが分かった。さらにタービン排熱はブロワーとして利用可能なことがわかった。詳細は第7章に譲る。

9-3-3 プロジェクト成果の総括（平成14-15年度）

2年間行った開発により、当初の目標どおりに小型医療廃棄物処理炉の詳細設計を完成させることが出来た。

性能として DXNs 発生を $0.5\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$ 以下、および煤塵の発生 $0.1\text{g}/\text{Nm}^3$ 以下を目標としたが、新しい処理炉では基本的に目標機能を保証することが可能である。

ただし、これまでの開発でなお課題として残る点は以下である。

- ① 投入口サイズと燃焼室サイズの最適化：現状では内容積 4.7% の密閉容器には小さすぎる。
- ② 主燃焼室サイズとバランスさせた再燃焼室サイズ。
- ③ 燃え殻（残留灰）中の DXNs 濃度を下げる検討。B1 バーナーの強化による焼却残渣の高温完全燃焼。
- ④ 微細煤塵（ $10\mu\text{m}$ オーダー）を空中拡散させない処置。

9-3-4 今後の展開

経済産業省の予算を得、多くの専門家を集め、2年間に亘って、最大能力 $200\text{kg}/\text{H}$ 未満の小型医療廃棄物処理炉の開発を進めてきた。残された課題は有るがいずれも実機製作時に解決出来るものであり、当初予定通りの開発成果が得られたといえる。今後の展開は早急に市場開拓を行い、成果を着実に事業化に結びつけて具体的な受注に繋げる事である。

その市場開拓戦略は以下とする。

- ①市場ターゲット：沖縄県内の離島や都市近郊の小規模病院、老人福祉施設を当面の対象とし、体制が整い次第、全国に展開する。
- ②コスト低減：シリーズの共通部品化・ユニット化等による製造方式、製品輸送方式、現地での設置工事の簡易化等によるトータルコスト低減を図り、競争力の強化。
- ③サービス・販売体制：代理店網の整備、メンテナンス・サービス要員の教育・育成、および定期的ダイオキシン測定込みの販売。
- ④可搬方式処理炉：バリエーションの一つとして、廃棄物発生場所に持込み、その場処理が出来るような可搬可能な車載式処理炉の検討と開発。

事業化に於いても（株）開邦工業が主体に進め、本プロジェクトメンバーは協力体制を維持する。

第10章 アドバイザーからのコメント

10-1 東北大学流体科学研究所 新岡 嵩 教授

最初にプロジェクト課題の選定についてであるが、小型廃棄物焼却処理炉の開発は、沖縄の島々など、隔絶地域の低公害処理炉として緊急性の高いものである。とり分け医療廃棄物は感染性が憂慮されるため身近な場所で速やかに処理する必要がある、これらに対応する技術開発としての的を得た課題選定である。しかも、沖縄にある企業が培った技術を発展改善させることで沖縄の活性化の一助にも配慮するなど種々の点で優れた課題選定である。研究開発チームも、産官学それぞれの発想を組み込むように構成されており、また、参画する方々の役割分担も明確である。

最終的に完成させた炉は、後述するようにいくつかの残された問題がない訳ではないが、短い期間内で限られた経費の範囲内で所期の目的を達成したと考えられる。すなわち、**200kg/hr**の処理炉について、サイクロン不要、低**NO_x**、低**DXN**、**4**トントラックによる可搬式、であるほか、特段に訓練を受けなくとも運転できることなど、十分満足すべき成果と言える。しかも、燃焼シミュレーションによる実験結果の裏付けと一層の改善点の探索を可能にしている。最終的に製造すべき炉の設計、事業化計画、販売戦略、更には発電を視野に入れた統合システム案を検討しており、プロジェクトとして完成度の高いものになっている。

いくつかの課題も若干残されている。(1) 低**DXN**化を図ることを可能にしたエジェクターについて、最適条件を見出し、更なる低**DXN**化ができないか。

(2) いくつかのバーナの空気比の組合せの最適条件が存在する可能性がある。

(3) 密閉廃棄物の重量と投入時間間隔についてマニュアル化ができないか。

(4) 密閉容器の場合は塩化化合物が予想外に混入される場合も想定されるので、炉の運転基準の中にどのように盛り込むか。(5) 灰処理をどうするか。(6) 当面は問題ないが、販売代理店の整備が重要ではないか。(7) 国外販売は技術移転だけで良いか。等々の課題の解決は本焼却炉の一層の発展を促すと考えられる。

以上、総じて本プロジェクトは、所期の目的を達成した完成度の高いプロジェクトであったと考える。諸般の事情もあろうが、本プロジェクトを基盤にして次の高度のプロジェクト立ち上げを企画して戴きたい。より処理量の大きな炉への展開、高塩化物対応型低**DXN**の炉の開発、小型炉では困難な発電設備システムも付設して必要な電力を賄うようにする、など次期プロジェクトへの期待感がある。しかし、現時点での極めて重要なことは、本プロジェクトで培った技術を基に卓越した小型医療廃棄物焼却処理炉第**1**号を作製し販売することであろう。

10-2 法政大学工学部 直井 久 教授

沖縄県の離島用に小型の医療廃棄物焼却炉を開発するための研究プロジェクトにおいてアドバイザーとして参画して、2年間の研究活動に対する私の印象を述べたいと思います。

本プロジェクトは医療福祉、環境、エネルギーにかかわる研究するためのもので、これらアイテムは今世紀の主要な技術課題であります。

本プロジェクトの拠点を沖縄県工業技術センターに置き、琉球大学による燃焼理論を活用しながら、地元の焼却炉設備メーカーの(株)開邦工業がその試験設備の設計、試作と試験運転に当たっており、また(株)日鐵テクノリサーチは世界最高レベルの鉄鋼製造プロセスの研究開発で得られた技術をベースにして焼却燃焼炉のシミュレーションを実施するとともに試験操業データを高度に解析して新しい設計による小型の医療廃棄物焼却炉の設計指針を創案しており、これらは十分に評価できます。更に国レベルでは産業技術総合研究所が、本燃焼炉設計において高効率燃焼サイクルのプロセスを検討しており将来ビジョンを明らかにしております。このような組織体の中で、スリーアールシステムズ(株)は全体総括推進とともに、日本のみならず世界の医療廃棄物燃焼炉の情報を入手して研究プロジェクトの高度化を狙って、調査活動を実施しておりました。これら全員の力が結集した結果、本報告書に記述されるすばらしい成果が得られたものと思います。

本プロジェクトによって得られた技術による焼却炉は沖縄県の離島のみならず多くの対象となる地域に適用されると確信しております。今後、炉への装入物の種類や量の操業条件の変化に応じてのソフトウェアの進歩改善や、また、寿命や作業性を考慮したハードウェアの工夫改良が引続き行われ、また焼却炉設備の製作コストの更なる低減がなされること等により、更なる本技術の発展があるものと考えております。

最後に本プロジェクトは、運営を受託したスリーアールシステムズ(株)によって沖縄県を主体としながら日本全国の知力を結集し、且つすばらしい管理・運営がなされたことが、成功につながったと思います。

10-3 琉球大学工学部 屋良 秀夫 教授

- (1) 委員全員のご協力により、1年半でよくまとめられたものと思う。
- (2) 離島県である沖縄にとって、「島嶼など隔絶地域対応の小型、低D X N s 医療廃棄物処理炉の開発」というテーマでコンソーシアム研究開発事業が採択されたことは、国もこのような問題の解決に前向きになっている証拠ではないかと考えられる。
- (3) 廃棄物の移動が困難になってきた現在、独立して操業できる処理炉として、沖縄県にはなければならぬものである。
- (4) しかも、小型で可搬式となっているため、小スペースに対応でき使い勝手がよい。
- (5) D X N s も目標値以下に押さえられている。
- (6) 従来の小型式に比べて、廃棄物投入のために二重扉投入式になっているため、燃焼室と外気の遮断ができるため投入時に熱等の逆流がなくなり安全性が確保できる。
- (7) 廃棄物の投入方式が連続投入式のため作業効率がよい。
- (8) コスト低減と軽量化が見られる。
- (9) エネルギーの有効利用の立場から、燃焼装置とシステムの統合化を行うことにより燃料の節約や維持費の低減を考えるとよい。