

## 第2章 パイロットプラントの概要と実験の条件

### 1. パイロットプラント

設置場所： 株式会社タクマ 播磨工場実験センター内

#### (1) ロータリーキルン+ストーカ炉

##### 1) 処理能力

ロータリーキルン+ストーカ炉の仕様を以下の表に示す。

表 2-1 ロータリーキルン+ストーカ炉 仕様表

機器名称	機器仕様
廃棄物供給方法	固形物：ホッパー→二重ダンパ+プッシャ
ロータリーキルン	炉内径 900 mm×長さ 3400 mm 熱量換算出力 450,000 kcal/hr
ストーカ	幅 550 mm×長さ 約 2000 mm 火床面積 約 1.1 m <sup>2</sup>
二次燃焼室	炉内積 約 8 m <sup>3</sup>
ガス冷却室	水噴霧冷却 約 7 m <sup>3</sup>
集塵装置	バグフィルタ (入口活性炭吹込)
洗煙装置	ガス減温塔+ガス吸収塔 (活性炭注入)
主灰取出	乾式バッチ取出
飛灰取出	乾式コンテナ

注記：活性炭注入は RUN によって異なる

##### 2) 設備概要

以下に実験に使用したパイロットプラントの概観を示す。

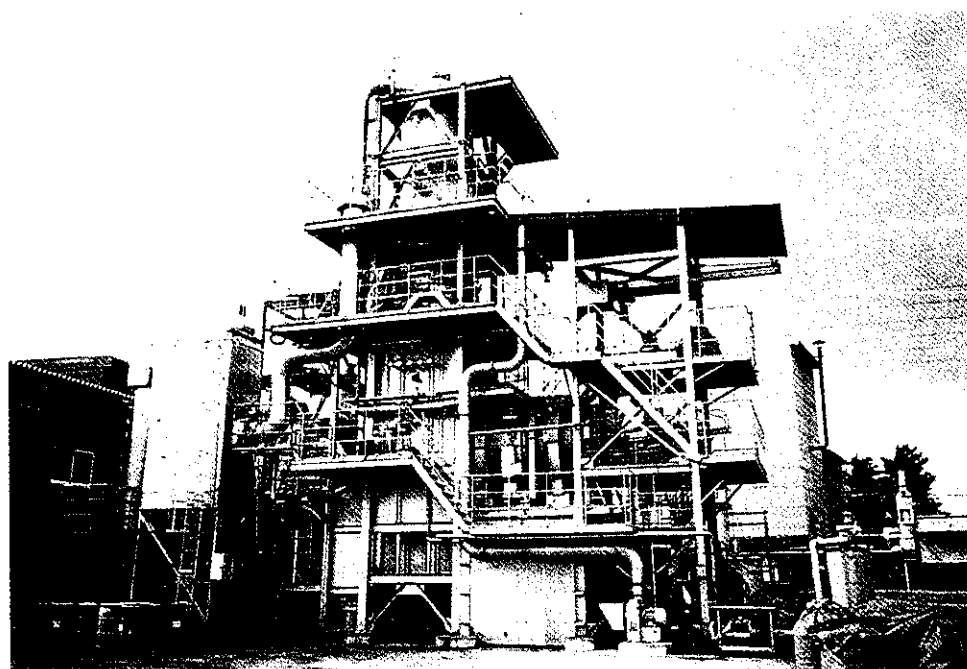


写真 2-1 ロータリーキルン+ストーカ炉

以下に実験に使用したパイロットプラントの測定位置を示す。

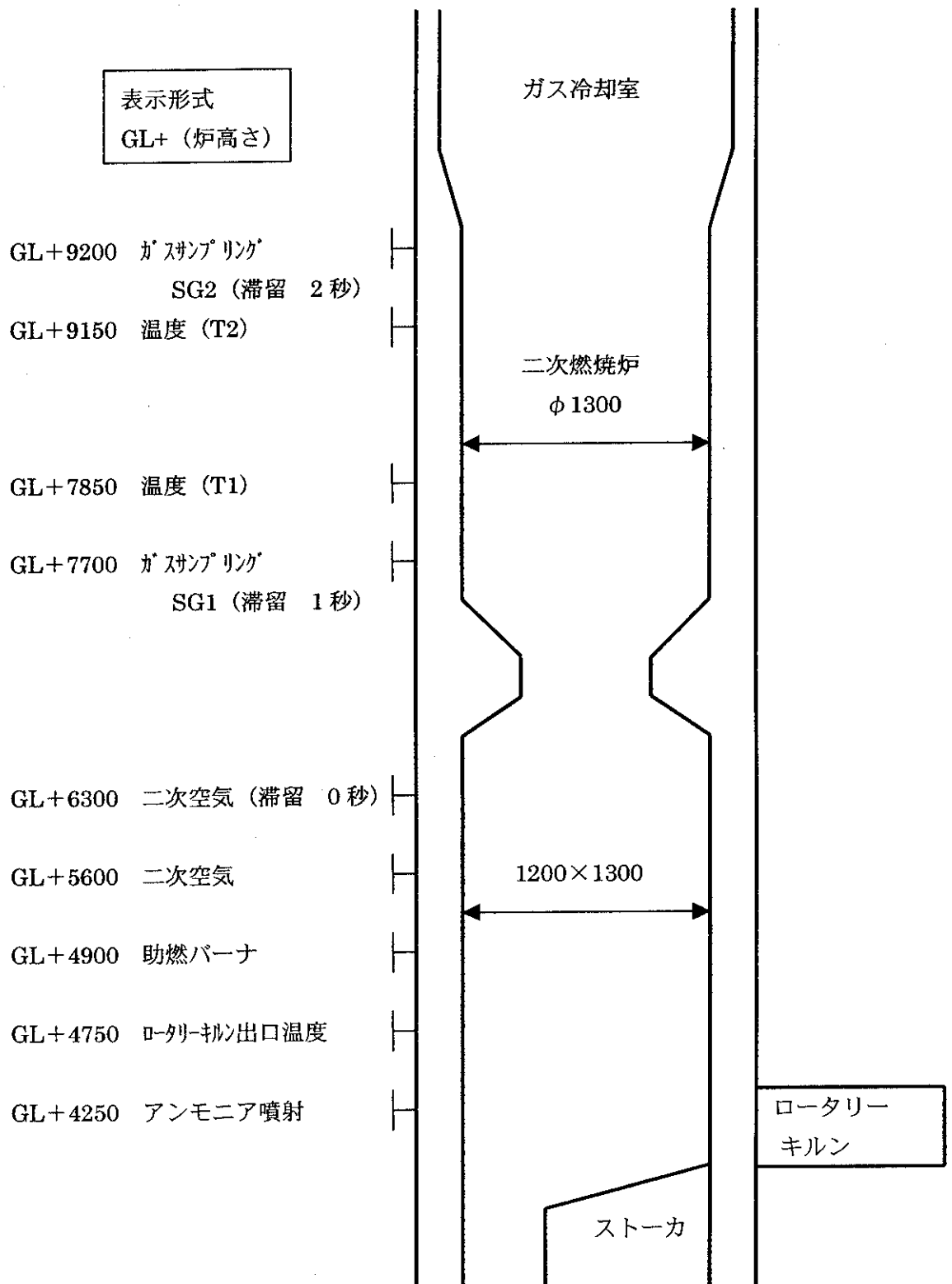
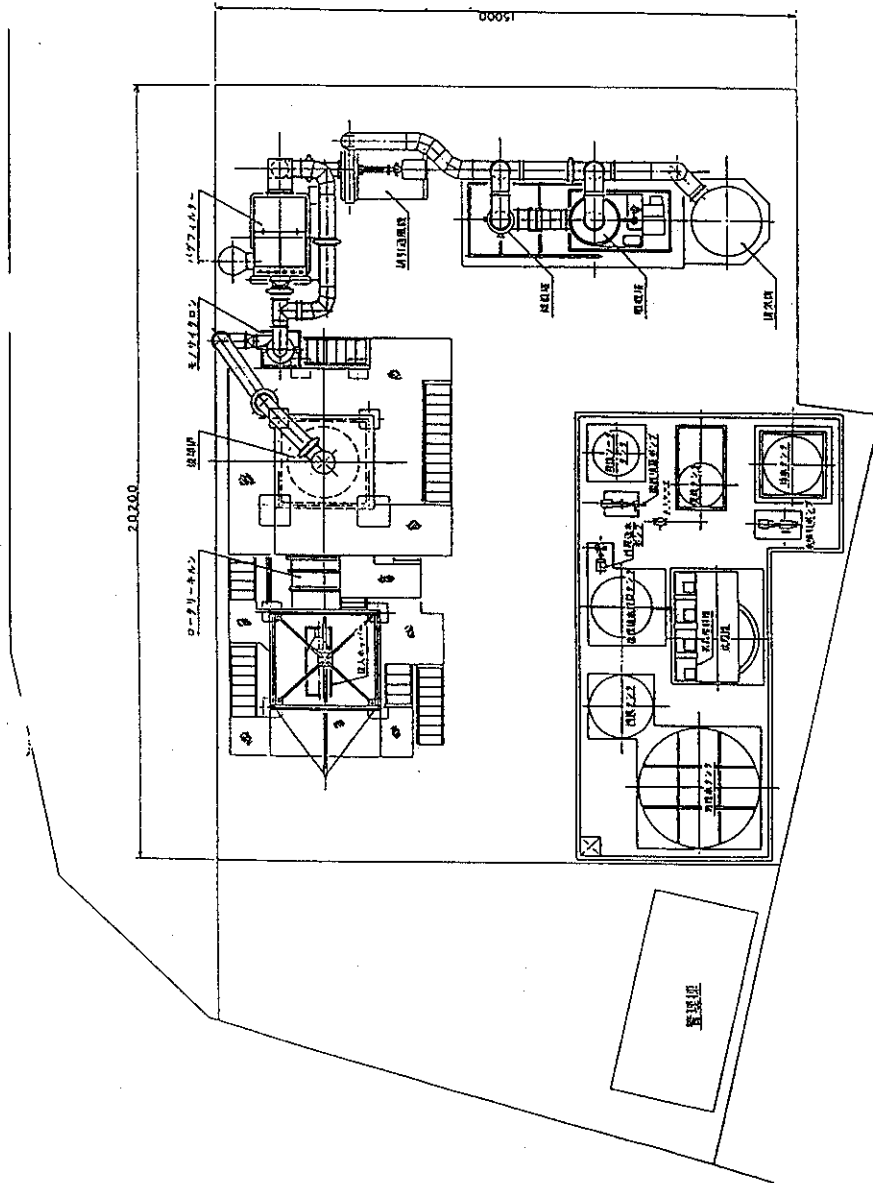


図 2-1 ロータリーキルン+ストーカ炉本体測定位置概要図

以下に実験に使用したパイロットプラントの配置図を示す。



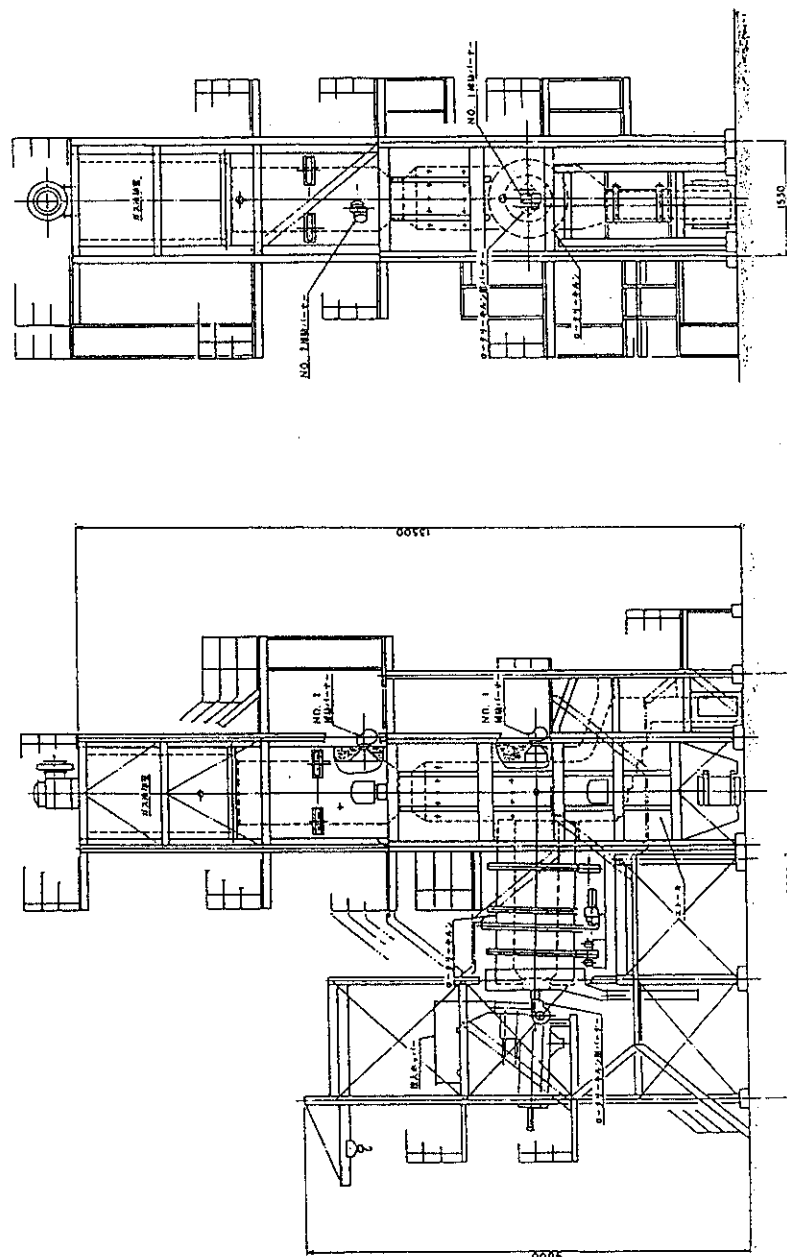
廃棄物焼却処理実験プラント

全体配置図 (平面)

図 2-2 ロータリーキルン+ストーカ炉配置図

以下に実験に使用したパイロットプラントの組立図を示す。

廃棄物焼却処理実験プラント



焼却設備 全体組立図 (側面)

図 2-3 ロータリーキルン+ストーカ炉組立図

3) フローシート

以下に実験に使用したパイロットプラントのフローシートを示す。

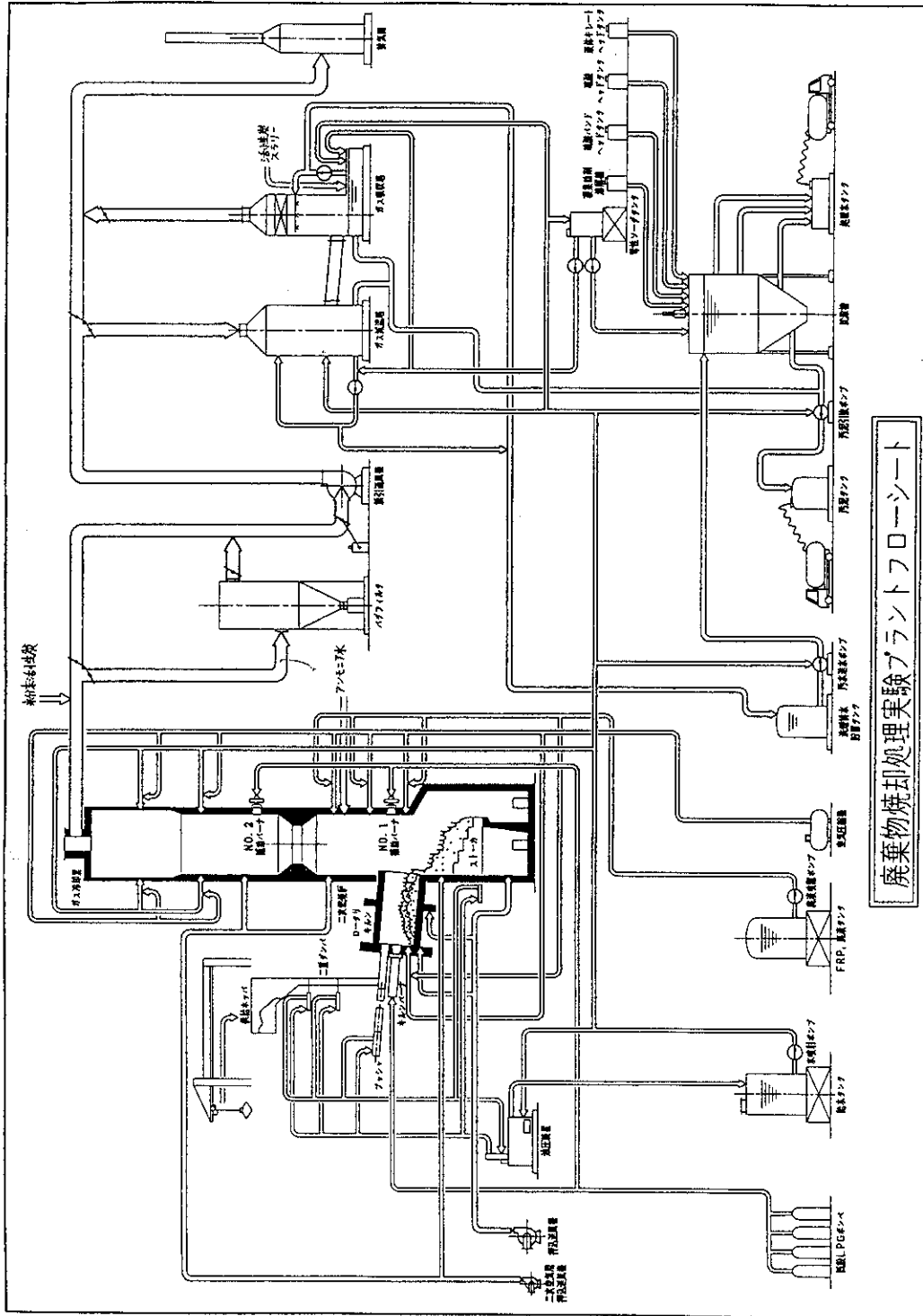


図 2-4 ロータリーキルン+ストーカ炉フローシート

(2) 流動層炉

1) 処理能力

流動層炉の仕様を以下の表に示す。

表 2-2 流動層炉 仕様表

機器名称	機器仕様
廃棄物供給方法	固形物：チェーンコンベヤ+計量コンベヤ
流動層炉 および二次燃焼室	バブリング型 ベッド部 内径 800 mm×高さ 2500 mm フリーボード部 内径 1200 mm×高さ 4000 mm 熱量換算出力 400,000 kcal/hr
ガス冷却室	水噴霧冷却 約 3.5 m <sup>3</sup>
集塵装置	バグフィルタ
有害ガス除去方式	消石灰+活性炭吹込
飛灰取出	乾式コンテナ

注記：活性炭吹込は RUN によって異なる

2) 設備概要

以下に実験に使用したパイロットプラントの概観を示す。

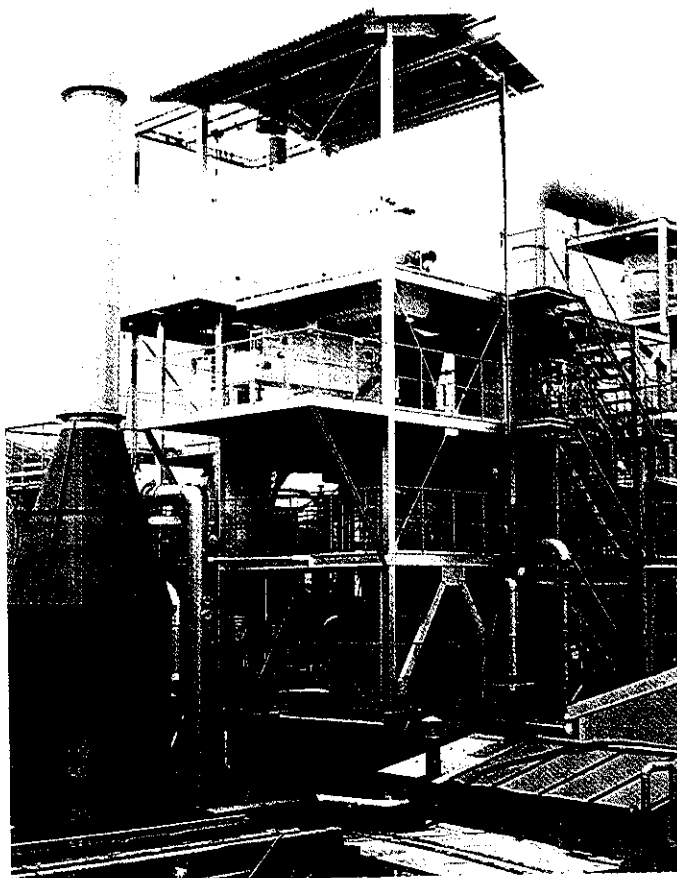


写真 2-2 流動層炉

以下に実験に使用したパイロットプラントの測定位置を示す。

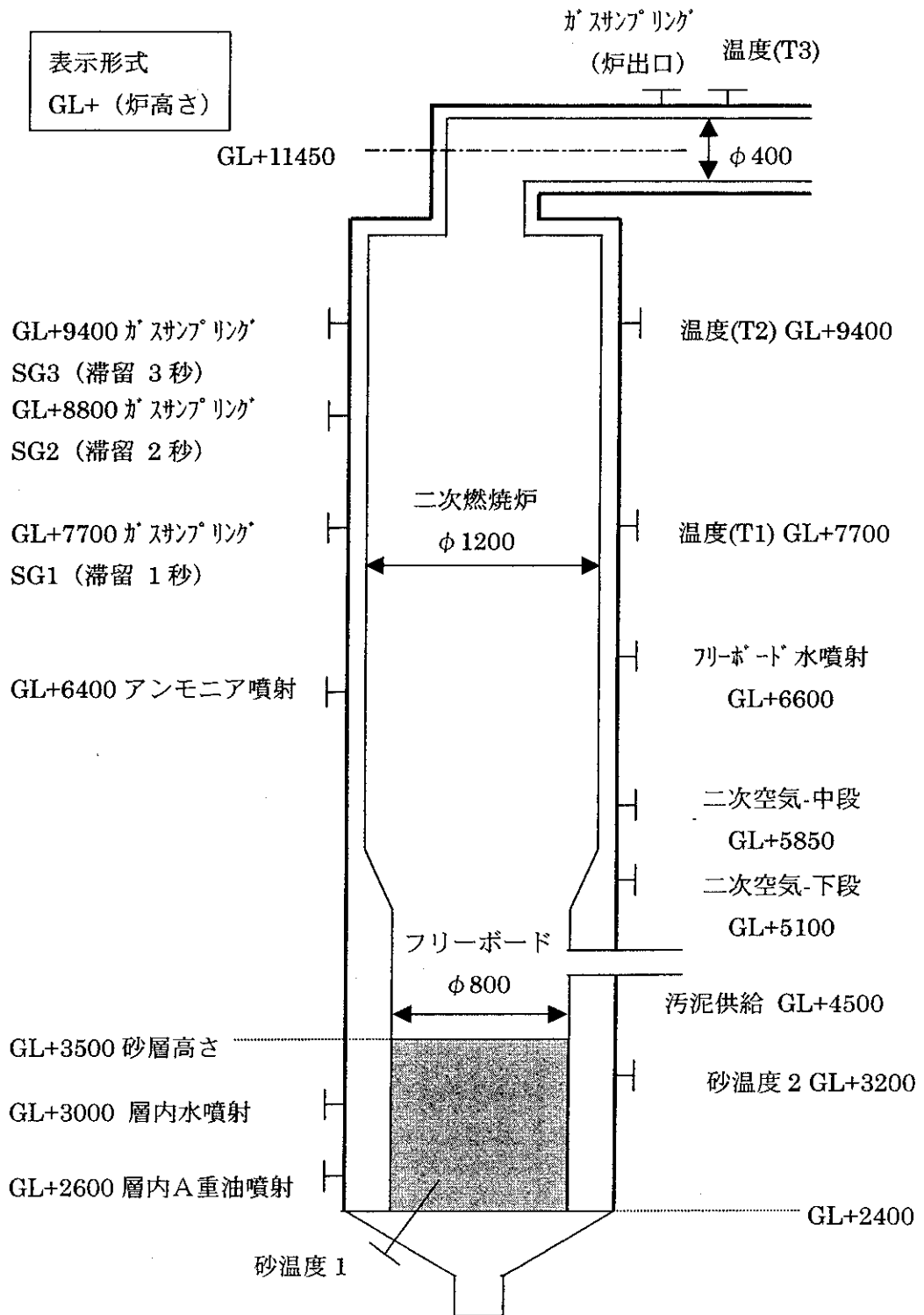
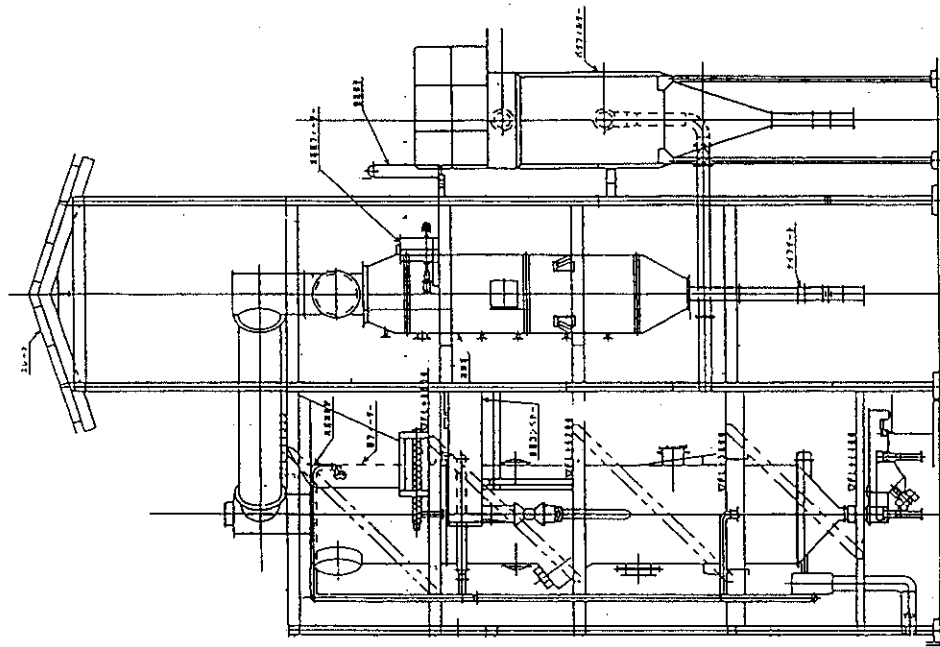
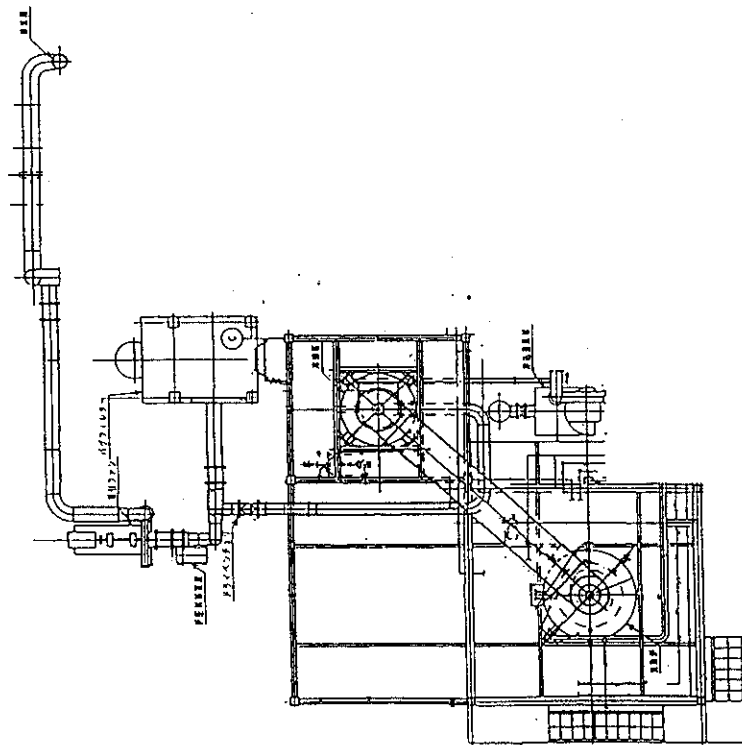


図 2-5 流動層炉本体測定位置概要図

以下に実験に使用したパイロットプラントの配置図を示す。



全体配置図 (側面)



全体配置図 (平面)

図 2-6 流動層炉配置図



### 3) フローシート

以下に実験に使用したパイロットプラントのフローシートを示す。

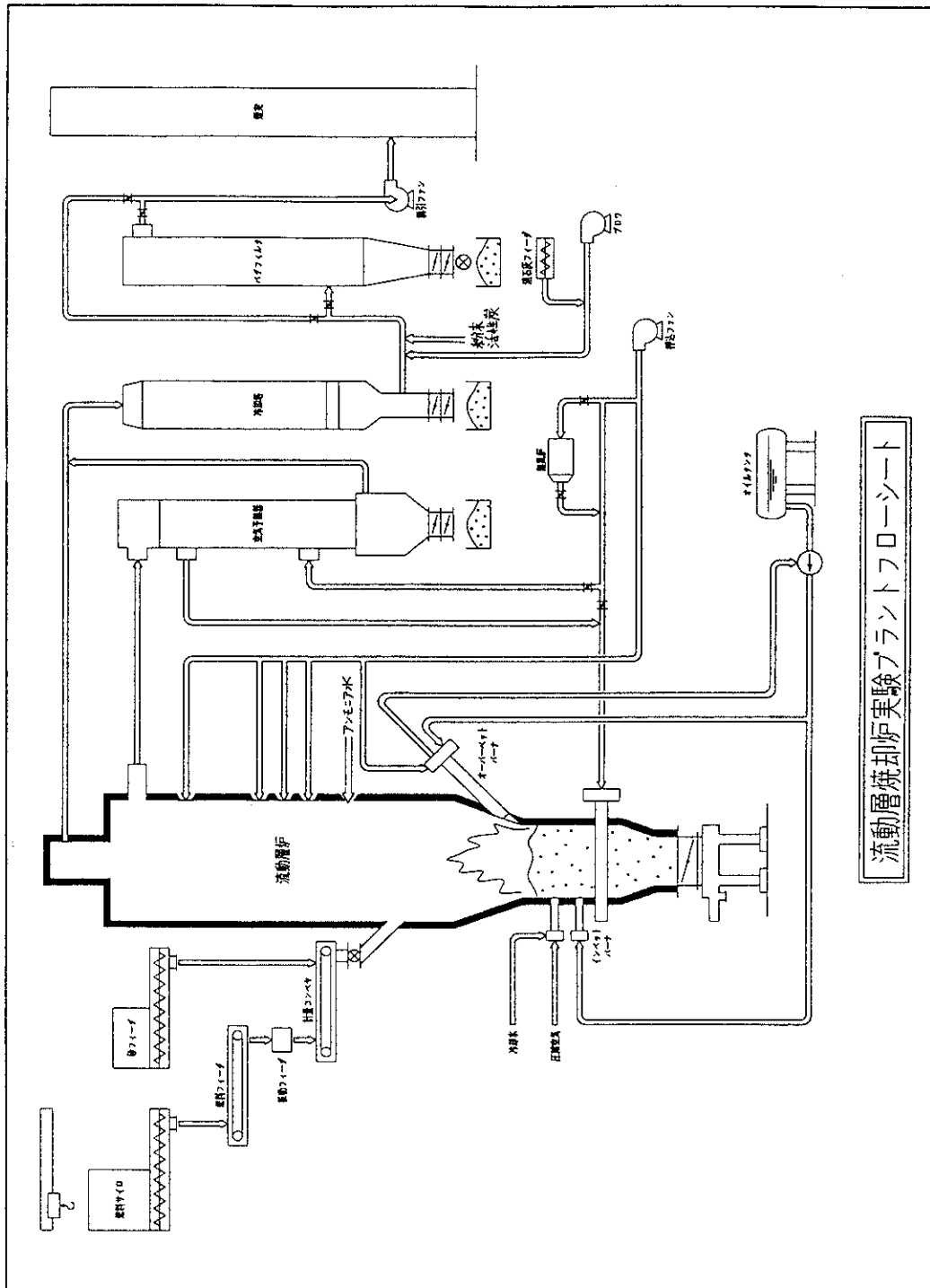


図 2-7 流動層炉フローシート

## 2. 実験の条件

### 1) 焼却対象廃棄物の種類と焼却量

焼却対象廃棄物の種類と焼却量を以下の表に示す。

表 2-3 焼却対象物の種類および焼却量一覧表

廃棄物種類	廃棄物の詳細	焼却量 [kg/h]	
		ロータリーキルン+ストーカ炉	流動層炉
木くず	解体木くずのチップ	45	—
廃油系廃棄物	解体木くずチップ + 廃溶剤	210	—
食品残渣	コーヒーかす	240	170
廃プラスチック	工場系廃プラ (PE) / 塩ビ (PVC)	48/3.9 (塩ビ含有率 7.5%)	36.5/3.5 (塩ビ含有率 8.8%)
ブランクテスト	(焼却物投入せず)	0	—

注記 1: ロータリーキルン+ストーカ炉では温度を保つために助燃剤として LPG と灯油を使用

注記 2: ロータリーキルン+ストーカ炉ではバックグラウンド濃度を測定するため、廃プラスチックテストの後に焼却物を入れずに炉を運転させるブランクテストを行った。

### 2) 燃焼管理温度

- ① 700℃
- ② 800℃ (廃プラスチックテストのみ)
- ③ 900℃

注記 1) 上記各温度は、二次燃焼炉ガス温度の平均値とする。

注記 2) 実験順序は、炉内への DXN の蓄積が少ないように 900℃→800℃→700℃の順で実施した。

### 3) 滞留時間 (計画値) (詳細は p.7 および 12 の測定位置概要を参照)

測定場所による滞留時間の計画値を以下の表に示す。

表 2-4 滞留時間表

測定管台	炉形式	
	ロータリーキルン+ストーカ炉	流動層炉
SG1	1 秒	1 秒
SG2	2 秒	2 秒
SG3	—	3 秒
炉出口	—	5 秒

4) 薬品 (廃プラスチックテスト時のみ)

①活性炭吹き込み

- ・ 燃焼管理温度 700℃

(DXN がより多く発生する条件下のほうが、活性炭の効果が明確に現れることを予想して設定した)

- ・ 活性炭吹き込み 0.3 kg/h (ロータリーキルン+ストーカ炉)  
0.1 kg/h (流動層炉)

(注入量 0.15 g/ m<sup>3</sup><sub>Ndry</sub>)

②アンモニア吹き込み

- ・ 燃焼管理温度 900℃

(高温であれば NO<sub>x</sub> 濃度が高くなり、NH<sub>3</sub> による分解の効果が明確に現れることを予想して設定した)

- ・ アンモニア吹き込み量 0.9 kg/h (ロータリーキルン+ストーカ炉)  
0.3 kg/h (流動層炉)

(NO<sub>x</sub> 150 ppm の等量比 1.0 で注入)

アンモニア吹き込みテスト、活性炭吹き込みテストともに、ロータリーキルン+ストーカ炉と流動層炉の両プラントで行った。

5) その他

- ・ 除じん器入口温度  
180℃



### 3. 分析項目

#### 1) 焼却対象物

焼却対象廃棄物の分析項目とその方法を以下の表に示す。

表 2-6 分析方法一覧表

分析項目	分析方法
かさ比重 水分 灰分 可燃分	環整第 95 号
炭素 水素	JIS M 8813 準拠 (燃焼-重量法)
酸素	計算による
窒素	JIS M 8813 準拠 (ケルダール法)
燃焼性硫黄 燃焼性塩素 燃焼性臭素	JIS M 8813 準拠 (燃焼-イオンクロマトグラフ法)
全硫黄 全塩素 全臭素	JIS Z 7302 準拠 (ボンベ燃焼法-イオンクロマトグラフ法)
発熱量	JIS M 8814 準拠 (ボンベ燃焼法)
クロム 銅	JIS Z 7302 準拠 (ICP 発光分析法)
砒素	JIS Z 7302 準拠 (水素化物発生-ICP 発光分析法)
実測発熱量 高位発熱量 低位発熱量	JIS M 8814 準拠
PCP	メタノール抽出-ガスクロマトグラフ/質量分析法

#### 2) 排ガス

前節 6) 条件設定一覧 を参照のこと

#### 3) 焼却灰、ばいじん

前節 6) 条件設定一覧 を参照のこと

4) 分析項目と分析方法

分析項目と分析方法を以下の表に示す。

表 2-7 分析項目および分析方法一覧表

分析項目	分析方法
ダイオキシン(PCDD)及びジベンゾフラン(PCDF)の分析	平成9年2月 厚生省生活衛生局水道環境部環境整備課 「廃棄物処理におけるダイオキシン類標準測定マニュアル」による排ガス、主灰、飛灰(*)
コプラナーPCB	同上に準ずる方法
CO 濃度 連続測定	排ガス JIS B 7951 自動計測器
CO <sub>2</sub> 濃度 連続測定	排ガス JIS B 7951 自動計測器 準拠
O <sub>2</sub> 濃度 連続測定	排ガス JIS B 7983 自動計測器
ばいじん濃度	排ガス JIS Z 8808
THC	排ガス JIS B 7956 自動計測器及び JIS K 0114 ガスクロマトグラフ(検出器 FID)分析法
HCl	排ガス JIS K 0107 イオンクロマト法
ばいじん中の未燃カーボン	飛灰 JIS Z 8808 及び JIS M 8813 リービッヒ法準拠
CB クロロベンゼン	排ガス 上記(*)に準ずる方法
CP クロロフェノール	排ガス 上記(*)に準ずる方法
PAH 多環芳香族炭化水素(16種)	排ガス 上記(*)に準ずる方法
TOX	排ガス 燃焼イオンクロマト法
焼却物の組成分析 三成分分析 水分 灰分 可燃分	解体木くず、油性汚泥、食品汚泥、廃プラスチック等実験の焼却対象物 環整第95号 環整第95号 環整第95号(計算)
見かけ比重	環整第95号
低位発熱量(実測)	JIS M 8814 石炭類及びコークス類発熱量測定方法
元素分析 (C, H, N, O)	JIS M 8813 石炭類及びコークス類元素分析法準拠
燃焼性 S	JIS M 8813 (エシュカ法)
揮発性 Cl	JIS M 8814 及び JIS K 0101

#### 4. 実験（運転）工程

実験工程を以下に示す（表 2-8）。

表2-8 実験工程表

実験工程 項目	18日 9月10日		28日 9月20日		38日 9月30日		48日 10月10日		58日 10月20日		68日 10月30日		78日 11月10日		88日 11月20日		98日 11月30日		108日 12月10日		
	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時	
RUN-1.2																					
機油物																					
準備・片づけ	8:00	11:00																			
立ち上げ	8:00	11:00																			
予備テスト			17:00																		
ハーアによる運転確認			8:00	17:00																	
500℃運転																					
800℃運転																					
700℃運転																					
アンモニア吹き込み																					
活性炭吹き込み																					
DXH測定																					
RUN-3.4(RUN-5.6も同様の工程)																					
RUN-3.4																					
RUN-5.6																					
機油物																					
準備・片づけ	8:00	17:00																			
立ち上げ	8:00	17:00																			
予備テスト			17:00																		
ハーアによる運転確認			8:00	17:00																	
500℃運転																					
800℃運転																					
700℃運転																					
アンモニア吹き込み																					
活性炭吹き込み																					
DXH測定																					

前の実験の影響が残らないように、  
DXH測定が少ないと思われるものから  
実施した。

RUN-3.4(RUN-5.6も同様の工程)

実験工程 項目	18日 9月10日		28日 9月20日		38日 9月30日		48日 10月10日		58日 10月20日		68日 10月30日		78日 11月10日		88日 11月20日		98日 11月30日		108日 12月10日		118日 12月20日	
	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時	9時	17時
RUN-3.4																						
RUN-5.6																						
機油物																						
準備・片づけ	8:00	17:00																				
立ち上げ	8:00	17:00																				
予備テスト			17:00																			
ハーアによる運転確認			8:00	17:00																		
500℃運転																						
800℃運転																						
700℃運転																						
アンモニア吹き込み																						
活性炭吹き込み																						
DXH測定																						

RUN-4: 炭プラスチック  
(RUN-5: 食品残渣)

RUN-3: 廃油系廃棄物  
(RUN-5: 食品残渣)

### 第3章 実験結果と考察

#### 1. 各条件下における実験結果及び考察

- (1) RUN 1-1 および 1-2 … 木くず … ロータリーキルン+ストーカ炉  
実験結果を以下の表に示す。

表 3-1 実験結果表 (RUN 1)

実験データ		RUN 1-1 700℃運転	RUN 1-2 900℃運転
実測温度	SG1	712.0	1007.0
	SG2	598.0	739.0
実滞留時間	SG1	0.6764	0.3937
	SG2	1.7211	1.1204
炉内ガス DXN-WHO ng-TEQ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	SG1	0.70	3.9
	SG2	0.12	7.8
CO ppm	SG1	<10	24
	SG2	<10	10
主灰 DXN-WHO ng-TEQ/g		0.19	0.40
飛灰 DXN-WHO ng-TEQ/g		1.3	0.66
飛灰 未燃カーボン %		15.7	40.9
温度分布	℃	500~800	600~1100
ガス流速	m/s	2~5	2~10
HCl (カッコ内の数値は燃料投入量から 計算した値) mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>		36 (13)	80 (8)

#### 1) 燃焼温度 VS DXN 濃度

- ①700℃ (以下特記なき時は燃焼管理温度 700℃での実験を示す) に比べ、900℃の炉内ガス中の DXN 濃度 (以降、特記なき時は DXN 濃度とは炉内ガス中のものを指す) は予想に反し増加している。
- ②700℃に比べ 900℃の主灰の DXN 濃度が予想に反し増加している。  
また、飛灰の DXN 濃度は 900℃の方が減少している。

#### 2) CO 濃度 VS DXN 濃度

- ①CO 濃度と炉内ガス中の DXN 濃度は、相関が見られなかった。
- ②CO 濃度と飛灰 DXN 濃度の相関は見られなかった。

#### 3) 滞留時間 VS DXN 濃度

- ①700℃では、滞留時間が長いほど DXN 濃度が減少しているが、900℃では予想に反し増加している。

#### 4) DXN 濃度の挙動について考えられる原因

700℃に比べ、900℃で HCl 濃度、DXN 濃度共に増加しているためこの原因を調査した。

- ①バックグラウンドの影響を調べるため焼却物を投入しないで炉を運転するブランクテスト (RUN 0-1 および 0-2) を実施した。

(詳細は(7)追加試験参照)

その結果、ブランクテスト (900℃) で HCl 58 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>、DXN 1.6 ng-TEQ/m<sup>3</sup><sub>N</sub>の発生が認められたため、RUN 1 の前に実施した予備テストあるいはそれ以前のテストの影響で、HCl 濃度、DXN 濃度共高い値が出たことが最大の原因と予測される。これは、900℃運転で特に顕著である。但し、



炉内での HCl の蓄積量予測は困難であり、定量的な影響は今回テストでは把握できなかった。

- ②木くずは見掛比重が 0.2 程度と非常に小さいため、700℃に比べ 900℃では、ロータリーキルンのガス流速の増加により木くず粉の飛散量が増加し、2次燃焼室で木くず粉の燃焼が有り、一部未燃状態となったことも DXN 濃度増加の一因と考えられる。
- ③RUN 1 実験時にコンプレッサートラブルが発生し、圧縮空気が不足し、ガス冷却室の水噴射不良により、燃焼を阻害したことが DXN 濃度増加の一因と考えられる。
- ④主灰の DXN 濃度が増加した原因は、HCl 濃度の増加が考えられる。

- (2) RUN 2-1 および 2-2 … コーヒー粕 … ロータリーキルン+ストーカ炉  
実験結果を以下の表に示す。

表 3-2 実験結果表 (RUN 2)

実験データ		RUN 2-1 700℃運転	RUN 2-2 900℃運転
実測温度	SG1	739.0	940.0
	SG2	586.0	775.0
実滞留時間	SG1	0.5462	0.4011
	SG2	1.4478	1.0447
炉内ガス DXN-WHO ng-TEQ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	SG1	0.052	0.067
	SG2	0.028	0.82
CO ppm	SG1	18	23
	SG2	<10	<10
主灰 DXN-WHO	ng-TEQ/g	0.095	0.26
飛灰 DXN-WHO	ng-TEQ/g	1.7	0.058
飛灰 未燃カーボン	%	7.26	10.4
温度分布	℃	500~800	650~1000
ガス流速	m/s	2~7	2~9
HCl (カック内の数値は燃料投入量から 計算した値) mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>		18 (9)	55 (6)

1) 燃焼温度 VS DXN 濃度

①700℃に比べ、900℃の炉内ガス中の DXN は予想に反し増加している。

②700℃に比べ 900℃の主灰の DXN が予想に反し増加している。

また、飛灰の DXN 濃度は 900℃の方が減少している。

2) CO 濃度 VS DXN 濃度

①CO 濃度と DXN 濃度は、相関が見られなかった。

3) 滞留時間 VS DXN 濃度

①700℃では、滞留時間が長いほどが DXN 濃度が減少しているが、900℃では  
予想に反し増加している。

4) DXN 濃度の挙動について考えられる原因

RUN 1 と同様に 700℃に比べ、900℃で HCl 濃度、DXN 濃度共に増加して  
いるためこの原因を調査した。

①ブランクテストの結果より、RUN 1 同様にバックグラウンドの影響が現れた  
と考えられる。RUN 5 と比較すると、同じ焼却物でも HCl 濃度、DXN 濃  
度の値が異なるのは明らかに炉内に蓄積された HCl の影響である。

②主灰の DXN 濃度が増加した原因は、HCl 濃度の増加が考えられる。

(3) RUN 3-1 および 3-2 …廃油系廃棄物 (木くず+廃溶剤)

…ロータリーキルン+ストーカ炉

実験結果を以下の表に示す。

表 3-3 実験結果表 (RUN 3)

実験データ		RUN 3-1 700℃運転	RUN 3-2 900℃運転
実測温度	SG1	809.0	998.0
	SG2	662.0	783.0
実滞留時間	SG1	0.6482	0.4531
	SG2	1.6877	1.2270
炉内ガス DXN-WHO ng-TEQ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	SG1	0.53	0.21
	SG2	16.0	0.023
CO ppm	SG1	36	36
	SG2	21	<10
主灰 DXN-WHO ng-TEQ/g		0.096	0.045
飛灰 DXN-WHO ng-TEQ/g		6.5	0.96
飛灰 未燃カーボン %		25.8	14.8
温度分布 °C		550~850	750~1000
ガス流速 m/s		2~6	2~8
HCl (カッコ内の数値は燃料投入量から 計算した値) mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>		300 (176)	200 (114)

1) 燃焼温度 VS DXN 濃度

- ①700℃に比べ900℃の炉内ガス中に DXN 濃度は減少している。
- ②700℃に比べ900℃の主灰・飛灰 DXN 濃度は減少している。

2) CO 濃度 VS DXN 濃度

- ①CO 濃度が減少した時、炉内ガス中の DXN 濃度も減少している。
- ②CO 濃度が減少した時、飛灰 DXN 濃度も減少している。

3) 滞留時間 VS DXN 濃度

- ①700℃では、滞留時間が長い方が炉内ガス中の DXN 濃度が増加している。
- ②900℃では、滞留時間が長い方が炉内ガス中の DXN 濃度が減少している。

4) DXN 濃度の挙動について考えられる原因

- ①木くずに廃油が混ぜられた状態なので、比重が大きくなり飛散が少なく、従来の考え方(燃焼温度が高い程 DXN 発生量は少ない)に沿った結果が得られた。
- ②HCl 濃度については焼却物から発生する分が多く、バックグラウンドの影響は数値には現われなかった。  
DXN 濃度は HCl 濃度に関連して、HCl 濃度が高いと DXN 濃度も高くなった。
- ③700℃ 2秒で DXN 濃度が増加した原因は、飛灰の未燃カーボンも多いことから、焼却物の粒径が小さいためロータリーキルンから飛散したと考えられるが、データが1点だけであるため特定できない。

(4) RUN 4-1~4-5 … 廃プラ + 塩ビ … ロータリーキルン+ストーカ炉  
 実験結果を以下の表に示す。

表 3-4 実験結果表 (RUN 4)

実験データ		RUN 4-1 700℃運転	RUN 4-2 700℃運転	RUN 4-3 800℃運転	RUN 4-4 900℃運転	RUN 4-5 900℃運転
実測温度	SG1	693.0	—	855.0	1013.0	959.0
	SG2	593.0	576.0	718.0	760.0	765.0
実滞留時間	SG1	0.8798	—	0.5488	0.4344	0.4848
	SG2	2.2081	2.0408	1.4056	1.2169	1.2947
炉内ガス DXN- WHO ng-TEQ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	SG1	77.	—	420.	210.	310.
	SG2	3.7	38.	79.	100.	170.
炉内ガス DXN- WHO ng-TEQ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	BF入	10.	13.	—	—	—
	BF出	0.14	0.14	—	—	—
	SC出	2.0	0.49	—	—	—
CO ppm	SG1	70.	—	69.	18.	21.
	SG2	63.	97.2	60.7	17.3	27.
主灰 DXN-WHO ng-TEQ/g		0.14	—	1.5	2.1	—
飛灰 DXN-WHO ng-TEQ/g		5.6	6.1	22.	26.	37.
飛灰 未燃カーボン %		53.	52.1	59.5	56.9	56.4
温度分布 ℃		550~720	—	630~870	620~1030	650~1030
ガス流速 m/s		0~5	—	0~6	0~7	0~6.5
HCl(カッコ内の数値は燃料投入量から計算した値) mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>		590(1090)	—(1085)	650(843)	820(610)	890(637)
条件		—	活性炭	—	—	アンモニア

1) 燃焼温度 VS DXN 濃度

① 炉内ガス中の DXN 濃度は、700℃に比べ 800℃、900℃で予想に反し極端に増加している。

炉内ガス中の DXN 濃度は、800℃、900℃では飛灰の未燃カーボンが増加するほど、増えている。

②700℃に比べ 800℃、900℃の主灰・飛灰の DXN 濃度が予想に反し増加している。

2) CO 濃度 VS DXN 濃度

①CO 濃度と炉内ガス中の DXN 濃度の相関は見られなかった。

②CO 濃度と飛灰 DXN 濃度の相関は見られなかった。

3) 滞留時間 VS DXN 濃度

温度に関わらず、滞留時間が長い方が CO 濃度、DXN 濃度とも減少している。

4) 活性炭注入効果はバグフィルタでは現れていないが、スクラバでは効果が出ている。

5) アンモニア注入効果は出ていない。

6) DXN 濃度の挙動について考えられる原因

①各実験とも、廃プラの粒径が小さく、また見掛比重も 0.3 と小さく飛散し易いため、ロータリーキルンのガス流速の増加により飛散量が増加し、2次燃焼室で浮遊燃焼が起こり、未燃状態となったことが DXN 濃度増加の原因と