

茨城県神栖市における有機ヒ素汚染土壌等の
焼却処理に関する実証実験報告書

平成18年2月

目 次

第1編 実験概要

． 実験の概要	．．．．．	1
． 実験結果のまとめ	．．．．．	2

第2編 実験結果

． ラボテスト		
1. 実験方法	．．．．．	3
2. 実験結果および考察	．．．．．	4
． ベンチスケールテスト		
1. 調査目的	．．．．．	6
2. 実験概要	．．．．．	6
3. 実験結果および考察	．．．．．	7
． パイロットスケールテスト		
1. 調査目的	．．．．．	9
2. 実験概要	．．．．．	9
3. 実験結果および考察	．．．．．	11
． パイロットスケールテスト (運転条件確認実験)		
1. 調査目的	．．．．．	15
2. 実験概要	．．．．．	15
3. 実験結果および考察	．．．．．	16

第1編 実験概要

実験の概要

茨城県神栖市における掘削調査により発生した有機ヒ素による汚染土壌、コンクリート様の塊等について、鹿島共同再資源化センターにおける焼却処理を検討するにあたり、有機ヒ素化合物の分解(無機化)、混焼による燃焼への影響および処理時の安全性を確認することを目的として、同形式の実証設備による実証実験を実施した。

実証実験(パイロットスケールテスト)を実施する前に、ラボテスト、ベンチスケールテストを実施し、実証実験に資するデータの取得および検討を行った。また、実証実験の結果を踏まえ、廃棄物と汚染土壌との混合焼却の割合(以下、混焼率という)、ヒ素負荷の変化による運転条件を確認するための運転条件確認試験を実施した。

各実験での確認事項は以下のとおりとした。

(1) ラボテスト

1) 加熱実験(高濃度ヒ素汚染土壌およびコンクリート様の塊の加熱)

- ・加熱処理により無機化した土壌・コンクリート様の塊中ヒ素化合物の溶出挙動

2) 不溶化処理実験

- ・加熱処理により無機化した処理物の薬剤添加による不溶化処理

(2) ベンチスケールテスト(ヒ素汚染土壌および10 mm以下に破砕したコンクリート様の塊の加熱)

- ・バグフィルター(BF)による排ガス中ヒ素化合物の捕捉
- ・加熱後残渣およびバグフィルター捕集灰(以下BF灰)中のヒ素含有量、溶出量

(3) パイロットスケールテスト(廃棄物とヒ素汚染土壌またはコンクリート様の塊(30 mm以下の破砕物)との混合焼却(混焼)実験)

1) 汚染土壌およびコンクリート様の塊との混焼による燃焼への影響

- ・キルン・ストーカ炉および二次燃焼炉における燃焼温度の挙動
- ・キルン・ストーカ炉および二次燃焼炉出口における排ガスの挙動

2) 汚染土壌およびコンクリート様の塊との混焼率(ヒ素負荷率)の影響

- ・産廃およびRDFとの混焼による有機ヒ素の無機化
- ・排ガス処理による排ガス中ヒ素化合物の捕捉
- ・焼却主灰(残渣)およびBF灰中のヒ素含有量および溶出量の確認

(4) パイロットスケールテスト(運転条件確認実験)

処理時の安全性を維持するためのクリティカル領域(炉内温度、ヒ素負荷率の臨界領域)を見極める運転条件の確認を目的として、パイロットスケールテストと同様に、燃焼およびヒ素の挙動、影響を確認する。

・ 実験結果のまとめ

(1) 汚染土壌等の焼却処理について

- ・ 混焼率（廃棄物と混焼する汚染土壌等の割合）を最大 10%まで変化させたが、主灰及び飛灰（バグフィルター（BF）灰）の有機ヒ素の含有量は不検出であり、焼却処理により汚染土壌等に含まれる有機ヒ素は確実に無機化された。
- ・ 主灰及び飛灰の無機ヒ素の溶出量はいずれも埋立基準値（0.3mg/L）未満であった。
- ・ 排ガス中の有機ヒ素はBF 前後および煙突のいずれの箇所でも不検出であった。
- ・ 排ガス中の無機ヒ素濃度はBF 出口では粒子状及びガス状のいずれも不検出となり、煙突からのヒ素の排出は無いことが確認された。

(2) 実処理設備における作業上配慮すべき事項について

- ・ 混焼率を上げると、主灰の熱しゃく減量が若干増加するケースも見られるが、いずれの混焼率（2～10%）でも埋立基準値（10%）以下であった。
- ・ 混焼率を5%以上に上げると、キルン内部の被処理物温度が低下する傾向にあり、二次燃焼炉での燃焼状態を保つためには、二次燃焼空気の制御が必要となり、その結果、二次燃焼炉温度の上昇などにつながる。
- ・ 混焼率が3%を超えると、二次燃焼炉の一酸化炭素(CO)濃度が変動し、上昇する傾向が見られた。

第2編 実験結果

ラボテスト

1. 実験方法

(1) 加熱実験

汚染土壌およびコンクリート様の塊の還元加熱実験には、ラボテスト用の小型ロータリーキルン（以下、マイクロキルンという。）を使用した。また、キルン後のストーカを再現した空気雰囲気中の加熱処理にはマッフル炉を用いた。還元加熱実験のフローを図1-1に示す。またフロー中にサンプリング箇所を示す。図1-1の装置により、窒素（ N_2 ）気流中において試料50gを30分間加熱処理した。この実験における残渣（以下、加熱処理物（ N_2 ）という。）と排ガス吸収液中のヒ素含有量を測定することにより、ヒ素化合物の残存量と揮散量を確認した。また、溶出試験および固定化処理実験の試料とするため、加熱処理物（ N_2 ）のうち1/2量をマッフル炉によりAir雰囲気中で30分間加熱した残渣（以下、加熱処理物（Air）という）を作成した。

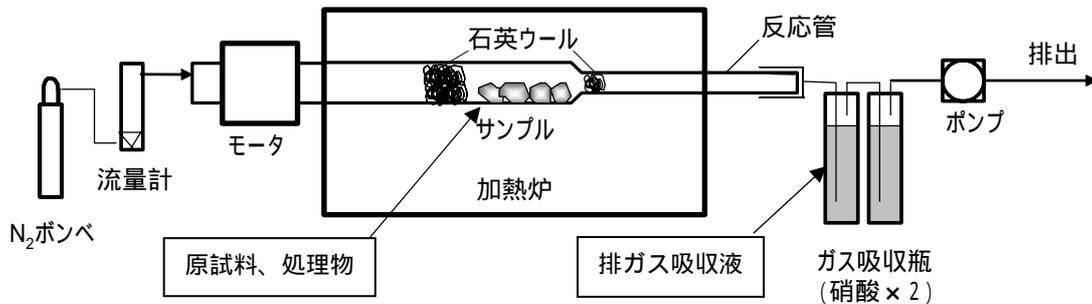


図1-1 還元加熱実験のフロー

(2) 固定化実験

ラボテストで作成した加熱処理物（Air）に対し、重金属固定薬剤添加による固定化処理実験を行い、その効果を確認した。薬剤にはヒ素の固定効果が認められるポリ硫酸第二鉄を使用した。

実験は、加熱処理物（Air）を入れたポリ瓶に水、固定化薬剤およびpH調整用の水酸化カルシウム $Ca(OH)_2$ を入れ、混練した後24時間空気雰囲気中で養生し、溶出試験に供した。なお、加熱実験においてコンクリート様の塊は径10～30mmのものを使用し、不溶化試験もその形状のまま薬剤を添加して行った。その後、それらを2mm以下に砕き、溶出試験に供した。

2. 実験結果および考察

加熱処理実験の結果を表 1-1 に、固定化実験の結果を表 1-2 に示す。

表 1-1 加熱処理実験結果

試料種類	試料名	処理温度	処理時間 h	T-As 分析結果		
				元試料、加熱処理後試料		排ガス吸収液
				含有試験*1 mg/kg	溶出試験*2 mg/L	含有試験 mg *3
土 壌	H1-0	-	-	440	27	
	H1-1 N ₂	850	0.5	440	0.005	
	H1-2 N ₂	900	0.5	420	<0.005	
	H1-3 N ₂	950	0.5	420	<0.005	
	H1-1 Air	850*	0.5		0.25	
	H1-2 Air	850*	0.5		0.16	
	H1-3 Air	850*	0.5		0.31	
	H1-1 G					0.27
	H1-2 G					0.23
H1-3 G					0.15	
コ ン ク リ ー ト 塊	H2-0	-	-	490	69	
	H2-1 N ₂	850	0.5	2600	0.09	
	H2-2 N ₂	900	0.5	730	0.011	
	H2-3 N ₂	950	0.5	270	0.006	
	H2-1 Air	850*	0.5		0.02	
	H2-2 Air	850*	0.5		<0.005	
	H2-3 Air	850*	0.5		0.012	
	H2-1 G					1.1
	H2-2 G					0.1
H2-3 G					4.4	

* Air雰囲気での処理では、番号に対応するN₂処理後残査の半量を試料として使用

*1 底質調査法による

*2 廃掃法による

*3 試料50g-wetから揮散した絶対量

表 1-2 薬剤処理実験結果 (T-As 溶出量)

試料	分析サンプル名	ポリ硫酸第二鉄 添加量 (%)	T-As (mg/L)
950 N ₂ + 850 Air 処理 土壌	S1	1	0.16
	S2	3	0.082
	S3	10	0.016
950 N ₂ + 850 Air 処理 コンクリート様の塊	S4	1	0.01
	S5	3	0.016
	S6	10	0.021

(1) ヒ素の溶出状況

1) 土壌

土壌原試料からのヒ素溶出濃度は、27 mg/L と高かった。これを還元加熱処理すると、ヒ素溶出量は 850 で 0.005mg/L、900 および 950 ではともに不検出 (<0.005mg/L) と大きく低下した。しかし、それら還元処理土壌を Air 雰囲気 850 で再処理すると、ヒ素溶出量はそれぞれ 0.25、0.16 および 0.31 mg/L と増加した。

2) コンクリート様の塊

加熱処理がコンクリート様の塊中ヒ素の溶出に及ぼす影響については、原試料からのヒ素溶出量は、69 mg/L と土壌の場合と同様に高かった。850 ~ 950 の還元加熱処理によりヒ素溶出量は 3 ~ 4 桁のオーダーで下した。ただ、その後の Air 雰囲気です再処理した試料では、ヒ素溶出量が土壌のように増加することは無かった。

(2) 薬剤処理による金属固定効果

ポリ硫酸第二鉄によるヒ素固定では、添加前の土壌試料はヒ素溶出量が 0.31 mg/L であったが、1、3、10 wt.% の薬剤添加により、ヒ素溶出量はそれぞれ 0.16、0.082、0.016 mg/L と低減され、薬剤によるヒ素溶出抑制効果が確認できた。

コンクリート様の塊については、添加前試料のヒ素溶出が 0.01 mg/L と低かったこともあり、効果の判定が困難であった。

ベンチスケールテスト

1. 調査目的

パイロットスケールテストに先立ち、ベンチスケールテストにより以下の事項を確認する。

- ・ バグフィルター（BF）前後および排気ガス中のヒ素化合物の挙動
- ・ 加熱後残渣および捕集灰中のヒ素化合物の挙動

2. 実験概要

(1) 実験方法

実験には、電気加熱式小型間接加熱キルンを使用した。装置フローを図 2-1 に、装置写真を写真 2-1、2-2 示す。

試料（ヒ素汚染土壌またはコンクリート様の塊）を間接加熱キルンに連続投入し、還元雰囲気（ N_2 パージ）下で 800 に加熱した。コンクリート様の塊はあらかじめ径 10 mm 以下に粉砕したものを使用した。試料加熱中はキルン出口において酸素濃度の測定、二次燃焼炉出口において酸素濃度および一酸化炭素濃度の測定を行った。

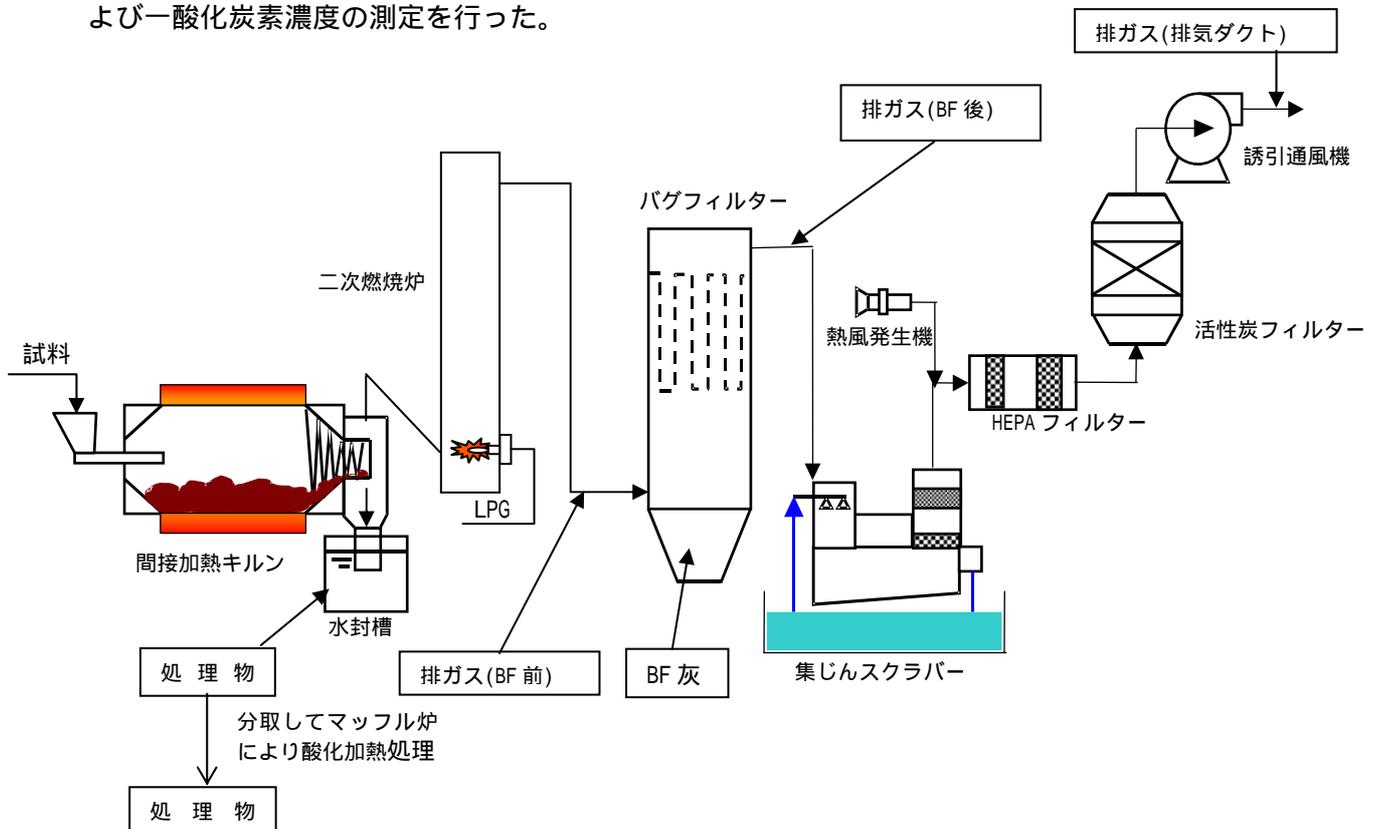


図 2-1 ベンチスケールテスト装置フロー

(2) 実験条件

実験における運転条件は以下のとおりである。

- 処理能力 : 10 kg/h
- 加熱温度 : 800 (キルン出口土壌温度)
- 滞留時間 : 1 時間
- 処理量 : 80 kg/回



写真 2-1 装置写真（投入装置～二次燃焼炉）



写真 2-2 装置写真（BF、排ガス処理設備）

3. 実験結果および考察

(1) 供試土壌の性状等

供試土壌等の性状を表 2-1 に、試料写真を写真 2-3、2-4 示す。

水分は、土壌と比較してコンクリート様の塊の方がやや高かった。

表 2-1 ベンチスケールテストの供試土壌等の性状

項目	平均水分 %	T-As 含有量 mg/kg
土壌	15.1	490
コンクリート様の塊	22.2	550



写真 2-3 試料写真 (土壤)



写真 2-4 試料写真 (コンクリート様の塊破砕物)

(2)測定結果および考察

各項目の測定結果および排出量を表 2-2 に示す。

表 2-2 測定結果

Run	B1 (土壤)		B2 (コンクリート様の塊)	
	T-As 含有量 mg/kg	T-As 溶出量 mg/L	T-As 含有量 mg/kg	T-As 溶出量 mg/L
処理前 (汚染物)	490	-	550	-
処理物 (N ₂)	350	1.7	660	0.093
処理物 (Air)	310	1.5	480	0.040
BF 灰	520	0.29	1,500	3.0
排ガス(BF 前)粒子状	0.34 mg/m ³	-	0.32 mg/m ³	-
排ガス(BF 前)ガス状	0.001 mg/m ³		0.001 mg/m ³	
排ガス(BF 後)粒子状	<0.001 mg/m ³	-	<0.001 mg/m ³	-
排ガス(BF 後)ガス状	<0.001 mg/m ³		<0.001 mg/m ³	
排ガス(排気ダクト)粒子状	<0.001 mg/m ³	-	<0.001 mg/m ³	-
排ガス(排気ダクト)ガス状	<0.001 mg/m ³		<0.001 mg/m ³	

1) ヒ素の挙動

加熱処理によりほとんどのヒ素が処理物に残存する結果となった。

2) BF でのヒ素の除去

Run B1 における BF 後ガスのヒ素濃度は不検出 (<0.001mg/m³) であり、ヒ素はバグフィルター (BF) で捕集されたと考えられる。

Run B2 においても、BF 後の排ガス中にはヒ素は検出されておらず、BF 前の排ガスで検出されたヒ素は、Run B1 と同様、BF で捕集されたと考えられる。

BF 前の排ガス中ヒ素の形態を見ると、Run B1 では粒子状のヒ素が 0.34 mg/m³、ガス状のヒ素が 0.001 mg/m³ であり、粒子状のヒ素はヒ素総量の 99.7% 程度を占めていた。また、Run B2 では粒子状のヒ素が 0.32 mg/m³、ガス状のヒ素が 0.001 mg/m³ であり、粒子状のヒ素はヒ素総量の 99.7% 程度を占めていた。

3) ヒ素溶出量について

土壤専焼の場合、N₂ 雰囲気下、Air 雰囲気下ともに処理物は埋立基準値(0.3 mg/L)を超過した(1.7mg/L(N₂)、1.5 mg/L(Air))。一方、コンクリート様の塊の専焼では、処理物はいずれの雰囲気でも基準値以下(0.093mg/L(N₂)、0.04mg/L(Air))となり、土壤とコンクリート様の塊では加熱によってヒ素の挙動が変化することが示唆された。BF 灰では土壤専焼で基準値をわずかに下回ったが(0.29 mg/L)、コンクリート様の塊では 3 mg/L となり基準値を超過した。

．パイロットスケールテスト

1. 調査目的

パイロットスケールテストによって、有機ヒ素汚染土壌およびコンクリート様の塊（径 30 mm 以下の破砕物）との産廃・RDF の混合焼却（混焼）による以下の影響の確認を目的として実施した。

- 1) 汚染土壌およびコンクリート様の塊との混焼による燃焼への影響
 - ・ キルン・ストーカ炉および二次燃焼炉における燃焼温度の挙動
 - ・ キルン・ストーカ炉および二次燃焼炉出口における排ガスの挙動
- 2) 汚染土壌の混焼率（ヒ素負荷率）およびコンクリート様の塊との混焼によるヒ素の挙動および影響
 - ・ 産廃および RDF との混焼による有機ヒ素の無機化
 - ・ 排ガス処理による排ガス中ヒ素化合物の捕捉
 - ・ 焼却主灰（残渣）および飛灰（BF 灰）中のヒ素含有量および溶出量の確認

2. 実験概要

(1) 実験装置及び実験方法

実験には、中間吹込み式キルン・ストーカ炉を使用した。装置のフローを図 3-1 に、装置写真を写真 3-1、3-2 に示す。

本実験では、汚染土壌およびコンクリート様の塊との混焼による影響を確認するため、ヒ素汚染土壌および、あらかじめ径 30 mm 以下に粉砕したコンクリート様の塊をビニール袋および紙袋で二重に梱包し、実験条件（混焼率）に合わせ定量供給を行った。

燃焼実験中の排ガス性状は、キルン出口において O_2 濃度を、二次燃焼炉出口において O_2 、 CO 、窒素酸化物(NO_x)、硫酸酸化物(SO_2)濃度を、BF 出口においては塩化水素 (HCl) 濃度を監視した。

燃焼温度は、キルン内温度 2 はおおむね 1,000 ~ 1,100 となるよう運転を行った（図 3-2）。

二次燃焼炉以降の排ガスは、ガス冷却塔および調温塔により 170 まで急速に冷却し、BF では、排ガス中の酸性物質の中和を目的で吹込まれた消石灰とともにガス中のダストを捕集した。

捕集したダストは飛灰（BF 灰）として、定量後に採取して分析に供した。BF を出た排ガスは、触媒反応塔前の灯油バーナにより再加熱し、触媒反応塔を経て大気へ放出した。なお、BF 入口、BF 出口および煙突入口において採取したガスをそれぞれガス試料として分析に供した。

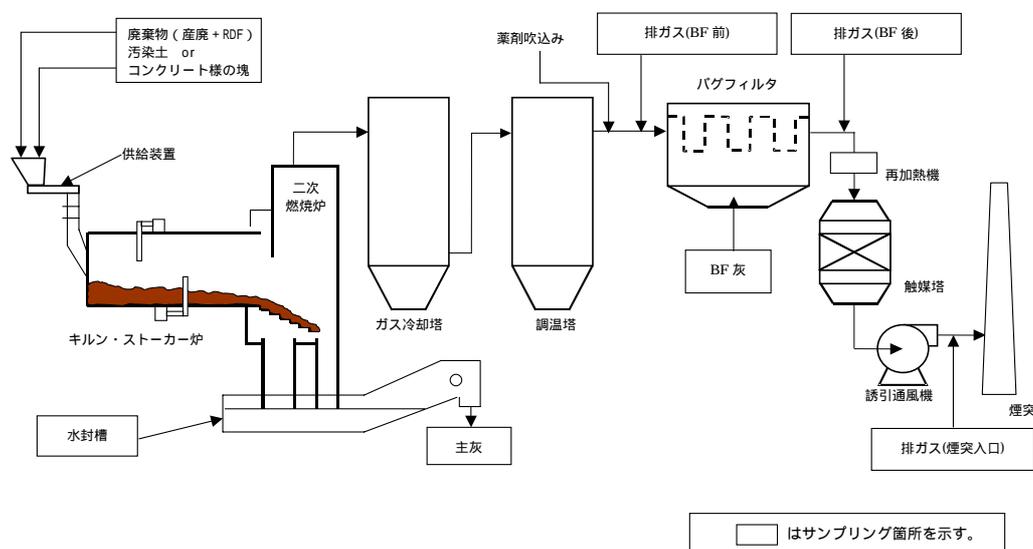


図 3-1 パイロットスケール実験装置概略フロー

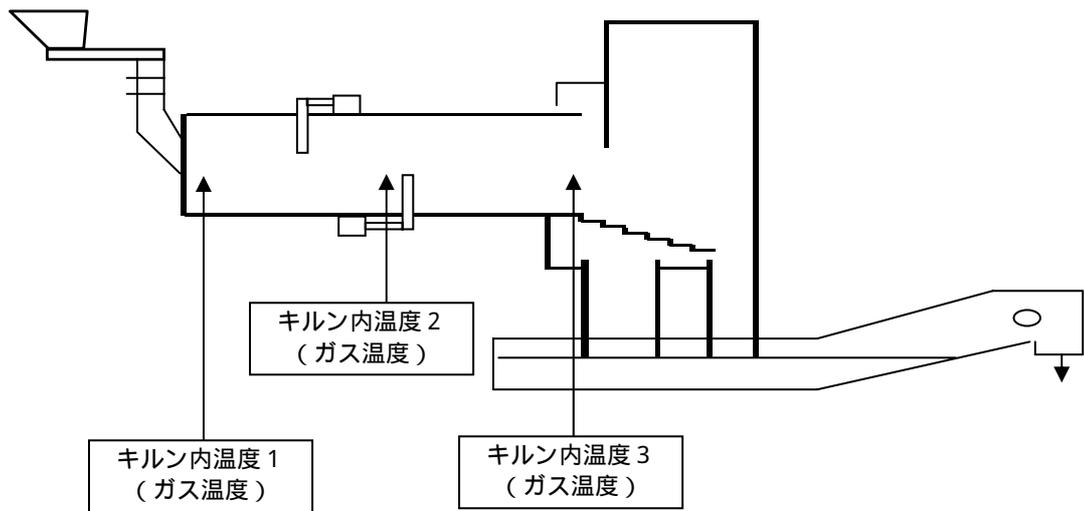


図 3 2 温度測定位置



写真 3-1 装置写真 (ロータリーキルン炉)



写真 3-2 装置写真 (二次燃焼炉、ガス冷却塔)

(2) 実験条件及び測定項目

事前に採取した産廃、RDFの分析結果を表3-1に示す。

廃棄物混合比率（産廃：RDF = 60 %：40 %）で発熱量を算出した結果、想定よりも発熱量が低いことが判明したため（計画時：17,160 kJ/kg）、廃棄物の供給量を変更（計画時：275 kg/h 実験時：350 kg/h）して実験を実施した（表3-2）。

表 3-1 廃棄物の性状（事前調査）

廃棄物	三成分			元素組成								低位発熱量 kJ/kg (kcal/kg)
	水分	灰分	可燃分	C	H	O	N	S 燃焼性	S 不燃性	Cl 揮発性	Cl 不揮発性	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
産廃	28.5	26.0	45.5	37.3	4.0	21.8	0.22	0.09	0.07	0.27	0.04	8,130 (1,940)
RDF	4.3	15.2	80.6	47.6	6.4	28.4	1.06	0.03	0.01	0.66	0.06	18,820 (4,500)

表 3-2 パイロットスケールテスト実験条件

Run	混焼率 (%)	ヒ素負荷 (倍率)	ヒ素汚染物		産廃 + RDF (kg/h)	汚染物 (kg/h)	ヒ素量 (mg/h)	汚染物 総量 (kg)	キルン 熱容量 負荷 (Mcal/m ³ h)
			ヒ素含有量 (目標) (mg/kg)	種類					
P1	0	1			350	0	350	0	121
P2	2	11.0	500	土壌	343	7.0	3,843	55	118
P3	5	25.2	500	土壌	333	17.0	8,833	138	115
P4	10	48.0	500	土壌	315	35.0	16,815	275	108
P5	5	25.2	500	コンクリート塊	333	17.0	8,833	138	115

3. 実験結果および考察

(1) 供試土壌の性状等

供試土壌の性状を表3-3に示す。なお供試土壌は、ベンチスケールテスト用試料と同一の掘削物を用いた。

汚染物中の総ヒ素含有量をみると、土壌およびコンクリート様の塊ともに濃度のばらつきは少なく、土壌の平均濃度は490 mg/kg、コンクリート様の塊の平均濃度は550 mg/kgであった。

水分は、土壌よりコンクリート様の塊の方がやや高かった。

表 3-3 パイロットスケールテストの汚染物の性状

項目	水分 (%)	総ヒ素含有量 (mg/kg)
土壌	15.1	490
コンクリート様の塊	22.2	550

(2) 産廃、RDF の性状等

各 Run の廃棄物（産廃と RDF の混合試料）の性状を表 3-4 に、廃棄物に状況を写真 3-3 に示す。廃棄物の低位発熱量は 16,660 ~ 20,090 kJ/kg であり、三成分、元素組成等、各条件ともおおよそ均一の値であった。また、前述の表 3-1 に示す事前調査結果（12,400 kJ/kg）より、低位発熱量は若干高かった。



写真 3-3 廃棄物（産廃と RDF の混合廃棄物）

表 3-4 廃棄物の性状

Run No.	三成分			元素組成								As	低位発熱量 kcal/kg (kJ/kg)
	水分	灰分	可燃分	C	H	O	N	S 燃焼性	S 不燃性	Cl 揮発性	Cl 不揮発性	含有量	
	wt%			wt% - dry								mg/kg	
P1	11.6	14.8	73.6	49.2	7.4	25.5	0.7	0.02	0.08	0.5	0.1	0.74	4,450 (18,630)
P2	8.5	10.7	80.8	50.4	7.6	26.5	0.2	0.04	0.04	3.5	0.0	0.47	4,800 (20,090)
P3	9.6	12.7	77.7	52.0	7.7	25.2	0.8	0	0.13	0.2	0.2	0.41	4,580 (19,170)
P4	8.6	10.4	81.0	52.5	7.5	27.5	0.5	0.03	0.15	0.5	0.1	0.54	4,730 (19,800)
P5	10.6	12.9	76.5	47	7.1	30.6	0.6	0.03	0.12	0.3	0.0	<0.5	3,980 (16,660)

(3) 汚染土壌混焼による廃棄物燃焼状況への影響

Run P1 ~ Run P5 における主灰の熱しゃく減量結果を図 3-3 に示す。主灰の熱しゃく減量は、土壌の混焼率の増加に伴い、増加する傾向を示したが、いずれも埋立基準値（10%）以下であった。

温度チャートを図 3-4 に示す。P1（廃棄物のみ）および P2（土壌混焼 2%）の温度分布は同様の傾向となったが、P3（土壌混焼 5%）、P4（土壌混焼 10%）と土壌混焼率を増加させるに伴い、キルン内の炉内温度は低下し、ストーカ（二次燃焼室火格子）温度が上昇した。

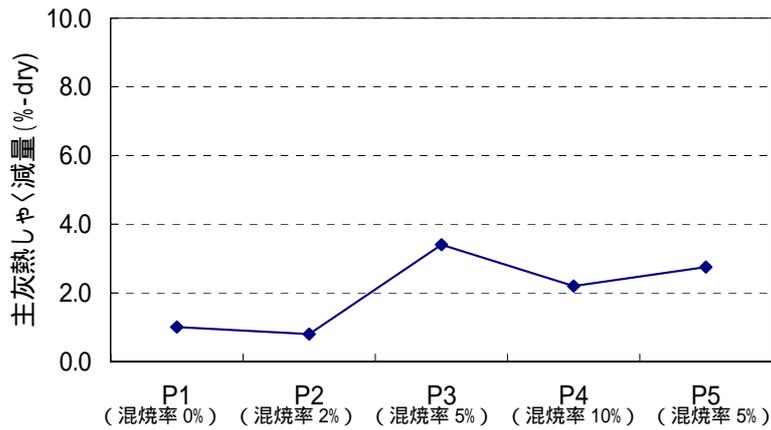


図 3-3 主灰熱しゃく減量結果

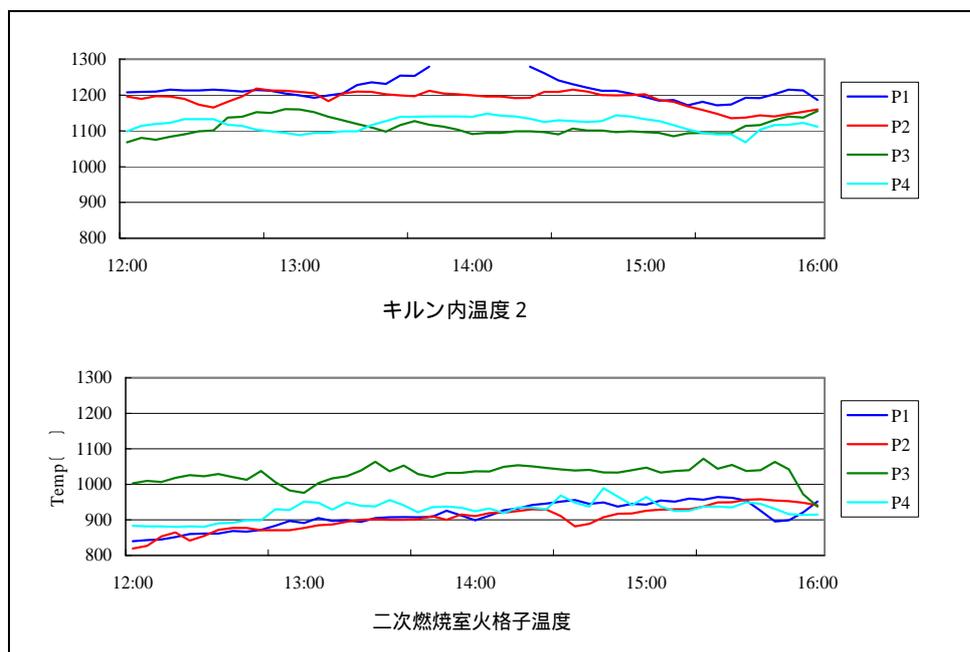


図 3-4 キルン内の温度チャート

以上の結果より、土壌混焼率 2%程度までは廃棄物の燃焼状態への影響は少なく、5 %以上となった場合に、キルン内での廃棄物の燃焼に影響を与えることが把握できた。

排ガスについては、土壌混焼率の増加に伴う影響は見られなかった。

CO 濃度は表 3-5 に示すように、混焼率を上げると CO 濃度が上昇する傾向が見られた。

表 3-5 混焼率の変化と平均 CO 濃度

RUN	CO 平均値 (ppm)
P1	38.3
P2	96.9
P3	359.8
P4	230.8
P5	415.7

(4) ヒ素の挙動

各 Run において有機ヒ素（DPAA、PAA を個別に測定）の含有量はいずれも全ての検体で不検出であり、無機化されていることが確認された（表 3-6）。

表 3-6 全検体中の有機ヒ素測定結果（ヒ素換算値）

検体	単位	Run P1	Run P2	Run P3	Run P4	Run P5
主灰	mg/kg	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
BF 灰	mg/kg	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
灰汚水（液体）	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
灰汚水（汚泥）	mg/kg	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
排ガス（BF 前）	mg/m ³	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
排ガス（BF 後）	mg/m ³	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
排ガス（煙突入口）	mg/m ³	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

（注）有機ヒ素：DPAA、PAA を個別に測定

(5) バグフィルター（BF）でのヒ素の除去

Run P1～Run P5 における BF 後の排ガス中の有機ヒ素は全て不検出であった（表 3-6）。また、BF 後の総ヒ素濃度は、粒子状、ガス状とも不検出（<0.001mg/m³）であったことから、BF でヒ素が除去されたことが確認された（表 3-7）。

表 3-7 排ガス中のヒ素測定結果

検体	状態	単位	Run P1	Run P2	Run P3	Run P4	Run P5
排ガス（BF 前）	粒子状	mg/m ³	0.054	0.051	0.76	1.6	0.84
	ガス状		0.024	<0.001	0.082	<0.001	<0.001
排ガス（BF 後）	粒子状	mg/m ³	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	ガス状		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
排ガス（煙突入口）	粒子状	mg/m ³	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	ガス状		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

(6) ヒ素含有量及び溶出量

ヒ素溶出量は各条件とも埋立基準値（0.3mg/L）未満であった（表 3-8）。ただし、主灰については土壌混焼率の増加とともに溶出量も増加する傾向が見られた。

表 3-8 主灰および BF 灰のヒ素測定結果

検体	項目	単位	Run P1	Run P2	Run P3	Run P4	Run P5
	混焼率	%	0	2	5	10	5(コンクリート)
主灰	含有量	mg/kg	2.2	4.9	47	310	340
	溶出量	mg/L	<0.005	<0.005	0.008	0.011	0.006
BF 灰	含有量	mg/kg	21	110	220	310	340
	溶出量	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005

．パイロットスケールテスト （ 運転条件確認試験 ）

1 ． 調査目的

これまで実施した実証実験（ラボテスト、ベンチスケールテスト、パイロットスケールテスト ）の結果、以下に記載する事項が確認され、有機ヒ素汚染土壌等を焼却施設により焼却処理できる可能性が示された。

- 1) 汚染土壌およびコンクリート様の塊との混焼による燃焼への影響
 - ・ 混焼率を上げると、キルン・ストーカ炉における燃焼温度の低下および熱しゃく減量の増加傾向が確認された。
 - ・ 混焼率を上げると、キルン・ストーカ炉で燃焼が遅れ、二次燃焼炉出口における未燃分(CO) および温度上昇が確認された。
- 2) 汚染土壌およびコンクリート様の塊との混焼率（ヒ素負荷率）の影響
 - ・ 全ての条件で有機ヒ素は完全に無機化した。
 - ・ ガス側に揮散したヒ素はバグフィルターにより確実に除去された。
 - ・ 全条件での主灰およびバグ灰の総ヒ素溶出量は埋立基準値未満であった。

この結果から、焼却処理を前提とした場合の検討事項（混焼による燃焼への影響、ヒ素負荷率の影響）が明確となった。よって本実験では、安全性を維持するためのクリティカル領域（炉内温度、ヒ素負荷率の臨界領域）を見極める運転条件の確認を目的として、パイロットスケールテスト と同様に、燃焼およびヒ素の挙動、影響を確認した。

2 ． 実験概要

(1) 実験装置及び実験方法

実験には、パイロットスケールテスト と同じ中間吹込み式キルン・ストーカ炉を使用した。

本実験では、汚染土壌およびコンクリート様の塊との混焼による影響を確認するため、ヒ素汚染土壌および、あらかじめ 30 mm 以下に粉碎したコンクリート様の塊をビニール袋および紙袋で二重に梱包し、実験条件（混焼率）に合わせ定量供給を行った。

燃焼実験中の排ガス性状、二次燃焼炉以降の排ガス、ガス中のダスト捕集などは基本的にパイロットスケールテスト と同様とした。

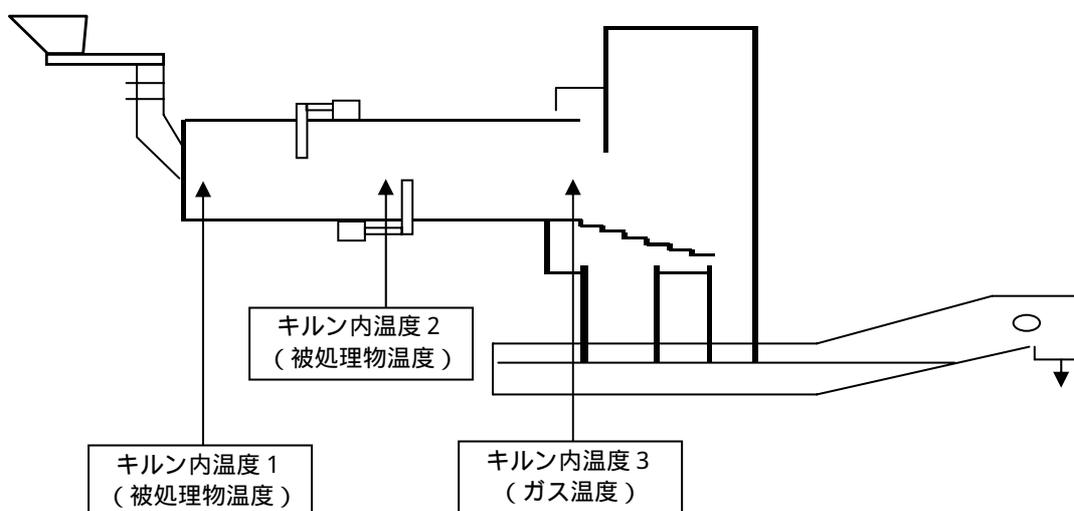


図 4 1 温度測定位置

(2) 実験条件及び測定項目

混合焼却に使用する産廃、RDFの分析結果を表4-1に示す。廃棄物の投入量は、廃棄物混合比率(産廃：RDF=60%：40%)で算出した発熱量(18,550 kJ/kg)をもとに算出した(表4-2)。

条件設定は混焼率とともに、操業条件での低温域(クリティカル領域)を見極めるものとした。温度条件は、主燃焼領域における被処理物温度をキルン内温度2、キルン内出口ガス温度をキルン内温度3とし、これらを指標に実機での操業条件に合わせた運転を行った。

表4-1 廃棄物の性状(事前調査)

廃棄物	三成分			元素組成								低位発熱量
	水分	灰分	可燃分	C	H	O	N	S 燃焼性	S 不燃性	Cl 揮発性	Cl 不揮発性	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	kJ/kg (kcal/kg)
産廃	24	5.1	70.9	46.1	7.5	16.9	0.3	0.07	0.06	0.04	0.01	18,951 (4,523)
RDF	6.1	11.5	82.4	45.5	7.3	27.6	1.1	0.01	0.09	0.47	0.39	17,954 (4,285)

表4-2 運転条件確認実験条件

Run	混焼率 (%)	キルン 温度 ()	ヒ素負荷 (倍率)	ヒ素汚染物		産廃 + RDF (kg/h)	汚染物 (kg/h)	ヒ素量 (mg/h)	運転 時間 (h)	産廃 + RDF 総量 (kg)	汚染物 総量 (kg)	キルン 熱容量 負荷 (Mcal/m ³ h)
				ヒ素含有量 (目標) (mg/kg)	種類							
AP1	0	900	1			300	0	300	10	3000	0	142
AP2	2	900	11.0	500	土壌	294	6.0	3,294	10	2940	60	140
AP3	3	900	16.0	500	土壌	291	9.0	4,791	10	2910	90	138
AP4	4	900	21.0	500	土壌	288	12.0	6,288	10	2880	120	137
AP5	3	950	16.0	500	土壌	291	9.0	4,810	10	3100	90	138
AP6	2	900	21.0	1000	コンクリート塊	294	6.0	6,294	10	2940	60	140

キルン温度は「キルン内温度2」の初期設定温度

3. 実験結果および考察

(1) 供試土壌の性状等

供試土壌の性状を表4-3に示す。供試土壌中の総ヒ素含有量は、土壌、コンクリート様の塊ともに濃度のばらつきは少なく、平均濃度は810 mg/kg(土壌)、1,600 mg/kg(コンクリート様の塊)であった。水分は、土壌よりコンクリート様の塊の方がやや高かった。

表 4-3 運転確認実験の供試土壌等の性状

Run No.	汚染物	水分 wt%	T-As mg/kg
AP2	土壌	16.1	750
AP3	土壌	13.8	820
AP4	土壌	15.2	950
AP5	土壌	16.1	720
AP6	コンクリート様の塊	17.0	1,600

(2) 産廃、RDF の性状等

各 Run の供試廃棄物（産廃と RDF の混合試料）の性状を表 4-4 に示す。

供給口で 1 時間おきに採取した廃棄物を均等混合後、測定した低位発熱量は 15,800 ~ 18,100 kJ/kg であり、三成分、元素組成等、各条件ともおおよそ均一の値であった。また、表 2-2 に示す事前調査結果と比較して、低位発熱量は若干低かった。

表 4-4 運転条件確認実験の供試廃棄物の性状

Run No.	三成分			元素組成								T-As	低位発熱量 kJ/kg (kcal/kg)
	水分	灰分	可燃分	C	H	O	N	S 燃焼性	S 不燃性	Cl 揮発性	Cl 不揮発性	含有量	
	wt%			wt% - dry								mg/kg	
AP1	13.3	11.4	75.3	48.9	7.6	29.5	0.5	0.03	0.13	0.33	0.07	1.7	16,700 (3,976)
AP2	15.9	12.9	71.2	47.8	7.0	28.8	0.7	0.02	0.15	0.35	0.11	<0.5	15,800 (3,762)
AP3	17.8	12.6	69.6	49.5	7.7	26.4	0.6	0.04	0.19	0.50	<0.01	<0.5	17,300 (4,119)
AP4	11.4	15.5	73.1	50.7	8.3	22.6	0.5	0.03	0.18	0.39	0.17	0.69	18,100 (4,310)
AP5	11.7	12.7	75.6	46.1	7.0	30.7	1.5	0.01	0.16	0.31	0.14	<0.5	16,700 (3,976)
AP6	12.3	10.9	76.8	49.3	7.7	29.6	0.6	0.03	0.17	0.40	0.19	<0.5	17,700 (4,214)

(3) 汚染土壌混焼による廃棄物燃焼状況への影響

Run AP1 ~ Run AP6 における主灰の熱しゃく減量結果を図 4-2 に示す。混焼率を上げると、熱しゃく減量が若干増加するケースも見られるが、いずれも埋立基準値（10%）以下であった。

キルン内温度 2、二次燃焼室火格子温度のチャートを図 4-3 に示す。

被処理物温度を 900 で設定した条件（Run AP1 ~ Run AP4、Run AP6）では、土壌混焼率が増加（Run AP1 ~ Run AP4）するに伴い、キルン内温度 2 は低下し、ストーカ（二次燃焼室火格子）温度が上昇した。これは、投入した土壌（灰分）の増加により、キルン内における廃棄物の主燃焼が所定の位置よ

り後流側に移動したことが原因であると推察される。また、Run AP3、Run AP4 では、土壌混焼率の増加に伴い、ストーカ火格子全面で火炎の噴出が目視によって確認された。このことから、混焼率の増加は燃焼の後段への遅れに影響していると判断できる。

また、Run AP1 ~ Run AP6 における CO 濃度を表 4-5 に示す。土壌混焼率の増加に伴い、二次燃焼炉における CO 濃度の上昇傾向が見られた。

なお、排ガスについては、土壌混焼率の増加に伴う影響は見られなかった。

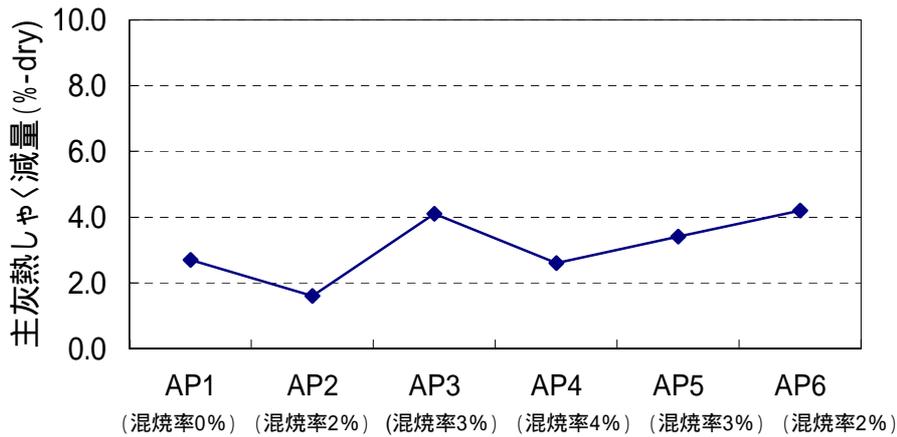


図 4-2 主灰熱しゃく減量結果

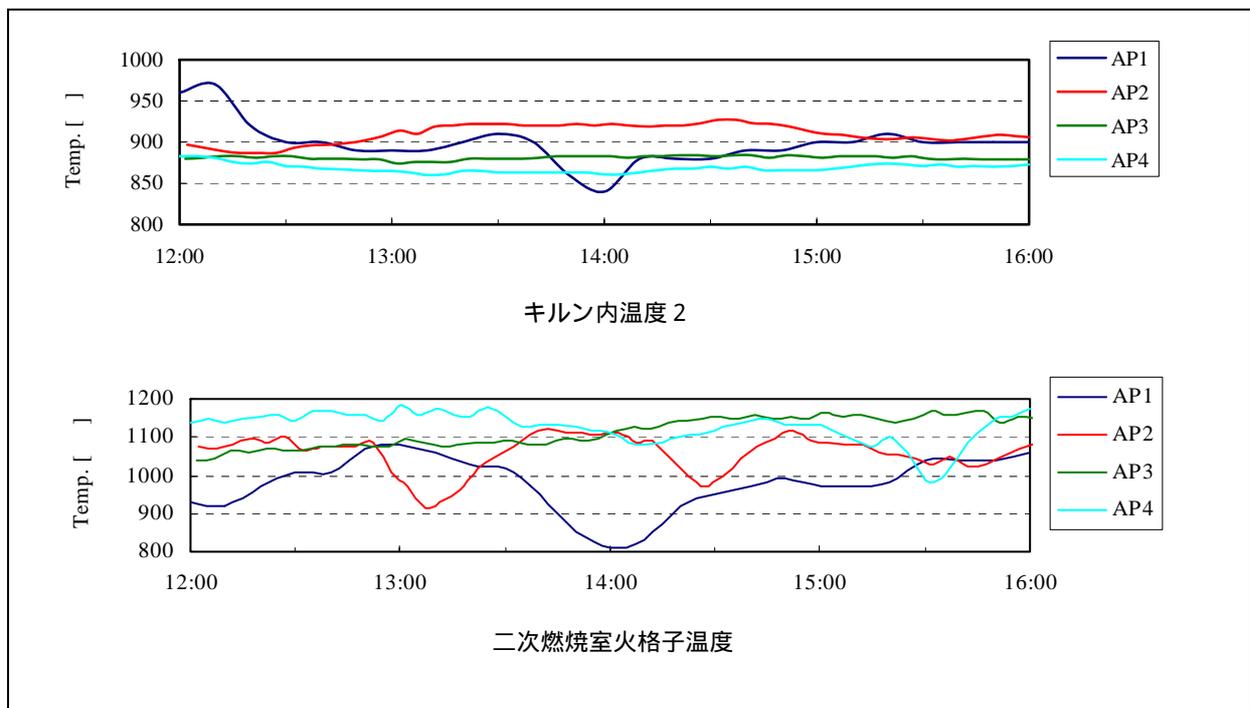


図 4-3 Run AP1 ~ AP4 の温度チャート

表 4-5 混焼率の変化と平均 CO 濃度
(パイロットスケールテスト)

RUN	CO平均値 (ppm)
AP1	63.2
AP2	31.9
AP3	65.3
AP4	75.2
AP5	65.3
AP6	47.4

(4) ヒ素の挙動

各 Run において有機ヒ素 (DPAA、PAA を個別に測定) の含有量はいずれも全ての検体で不検出であり、無機化されていることが確認された (表 4-6)。

表 4-6 全検体中の有機ヒ素測定結果 (ヒ素換算値)

検体	単位	Run AP1	Run AP2	Run AP3	Run AP4	Run AP5	Run AP6
主灰	mg/kg	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
BF 灰	mg/kg	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
灰汚水 (液体)	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
灰汚水 (汚泥)	mg/kg	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
排ガス (BF 前)	mg/m ³	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
排ガス (BF 後)	mg/m ³	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
排ガス (煙突入口)	mg/m ³	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

(注) 有機ヒ素 : DPAA、PAA を個別に測定

(5) バグフィルター (BF) でのヒ素の除去

Run AP1 ~ Run AP6 における BF 後の排ガス中の有機ヒ素は全て不検出であった (表 4-6)。また、BF 後の総ヒ素濃度は、粒子状、ガス状とも不検出 (<0.001mg/m³) であった (表 4-7)。パイロットスケールテスト と同様に、本実験においても、BF でヒ素は除去されたことが確認された。

表 4-7 排ガス中のヒ素測定結果

検体	状態	単位	Run AP1	Run AP2	Run AP3	Run AP4	Run AP5	Run AP6
排ガス (BF 前)	粒子状	mg/m ³	0.11	0.62	0.56	0.28	1.1	0.82
	ガス状		<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.012	0.018
排ガス (BF 後)	粒子状	mg/m ³	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	ガス状		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
排ガス (煙突入口)	粒子状	mg/m ³	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	ガス状		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

(6) ヒ素含有量及び溶出量

主灰、BF 灰のヒ素含有量のばらつきの有無を確認するため、主灰および BF 灰を各条件とも 5 検体ずつ採取して分析に供した。その結果、時間ごとのヒ素含有量のばらつきは見られず、安定した実験が実施されていたものと判断できる。ヒ素溶出量は各条件とも埋立基準値 (0.3mg/L) 未満であった (表 4-8)。

表 4-8 主灰および BF 灰のヒ素測定結果

検体	項目	単位	Run AP1	Run AP2	Run AP3	Run AP4	Run AP5	Run AP6
	混焼率	%	0	2	3	4	4	2(コンクリート)
主灰	含有量	mg/kg	18	45	66	69	77	76
	溶出量	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
BF 灰	含有量	mg/kg	29	105	138	130	204	176
	溶出量	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005

各検体のヒ素含有量は 5 検体の平均

(以上)