

テクニカルレポートVOL.3

POLYURETHANES RECYCLE & RECOVERY

日本ウレタン工業協会

ウレタンフォーム工業会TEL (03) 3504-1828
ウレタン原料工業会 TEL (03) 3591-1855

1. はじめに	1
---------------	---

2. サーマルリサイクルの実施例	
2-1 廃プラスチックの 燃焼基礎技術調査研究	2
2-2 分別廃プラスチック 混合ペレットの燃焼実験	3
2-3 ドイツ・プラスチック 製造工業協会の例	5
2-4 ヨーロッパPWWI との共同燃焼実験	6
2-5 廃家電プラスチックの 焼却・エネルギー回収実験	7

3. 流動床式焼却炉の概要	9
---------------------	---

4. 焼却炉の全景と使用した ウレタンフォームのサンプル写真	10
---	----



資源保護のため再生紙を使用しております。
00.02.

POLYURETHANES THERMAL RECYCLE

1. はじめに

本資料では、ポリウレタンのサーマルリサイクルについてご紹介します。

使用済みのウレタンフォームは、金属あるいは他のプラスチックと混在して排出される場合がほとんどであり、ウレタンフォームのみを集めることは極めて困難であります。サーマルリサイクルは、燃焼により発生する熱を回収する技術であり、燃えるものであれば何でも応用できます。したがって、一般廃棄物の処理方法として適しており、通産省の「廃プラスチック21世紀ビジョン」によれば、21世紀初頭には廃プラスチックのうち、70%をサーマルリサイクル、20%をマテリアルリサイクルするという目標が掲げられております。

ポリウレタンは、石油から合成された物質であり、高い発熱量を持っています。(表1参照)したがって、使用が終わり廃棄されるときに、ポリウレタンを燃焼し、その熱(化学的エネルギー)を電気又は蒸気の形で回収することは意義あることと思われまます。

一般にプラスチックは、ほとんどがC・Hおよび少量のOから成り、完全に燃焼させるには、多量の空気(又は酸素)を必要とします。焼却炉が不適当な場合、酸素不足により不完全燃焼となり、黒煙を発生させることがあります。

ポリウレタンは、C・H・Oの他にN及び触媒や発泡剤として少量のClやFを含んでおります。したがって、燃焼に当たっては、これらのN、Cl、Fがどのような挙動を示すかについて注意する必要があります。

また、ウレタンフォームは発泡体であり、低密度品であるので、焼却炉へのフィードが問題となることが予想されます。

これらのことを考えると、どのような焼却炉を選ぶかが大切となります。

表1 プラスチックの発熱量

プラスチックの種類	低位発熱量 (kcal/kg)
ポリウレタンフォーム	
軟質フォーム	6,680
硬質フォーム	6,160
イソシアヌレートフォーム	6,410
ポリエチレン	11,000
ポリ塩化ビニル	4,300
ポリアクリロニトリル	8,000
ナイロン	7,500
A B S 樹脂	9,200

ポリウレタンのサーマルリサイクルの実施例を以下にご紹介します。

2. サーマルリサイクルの実施例

2.1 廃プラスチックの燃焼基礎技術調査研究

1. 燃焼条件

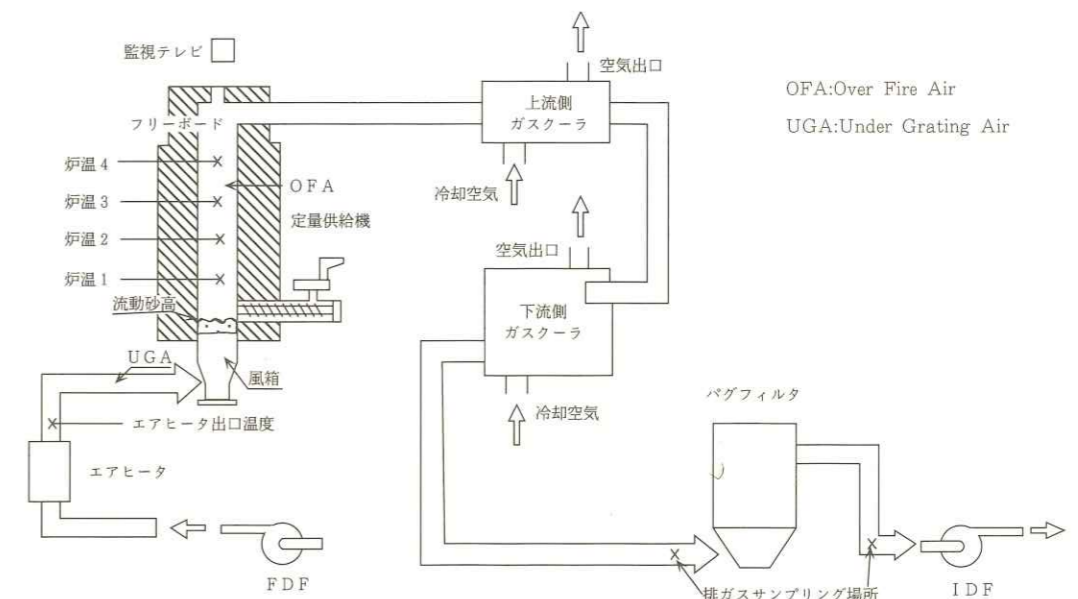
1.1 実験団体 社団法人プラスチック処理促進協会

1.2 被燃焼物 ポリウレタンの粉碎チップ

樹脂の種類	性状	低位発熱量 (kcal/kg)	元素分析 (wt%)						組成 (%)	
			C	H	O	N	Cl	その他	可燃分	灰分
ポリウレタン	粉碎チップ	6,500	62.7	8.7	23.1	5.5	0.0	0.0	100	0

1.3 焼却設備 三菱重工業(株) 流動床式焼却炉

1.4 フローシート



2. 燃焼結果

2.1 最適燃焼条件

樹脂の種類	最適燃焼条件				
	空気比	砂層温度 (°C)	フリーボード温度 (°C)	OFA比	滞留時間 (sec)
ポリウレタン	2.50	624	1,047	30.1	2.49

2.2 排ガス状況

樹脂の種類	有害物質濃度 (ppm)							
	一酸化炭素	シアン化水素	アンモニア	ホルムアルデヒド	メタノール	アクロレイン	アクリロニトリル	ホスゲン
ポリウレタン	16	トレース(0.13)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

出典：社団法人プラスチック処理促進協会
 廃プラスチックの燃焼基礎技術調査研究報告書(平成5年3月)

2. 2 分別廃プラスチック混合ペレットの燃焼実験

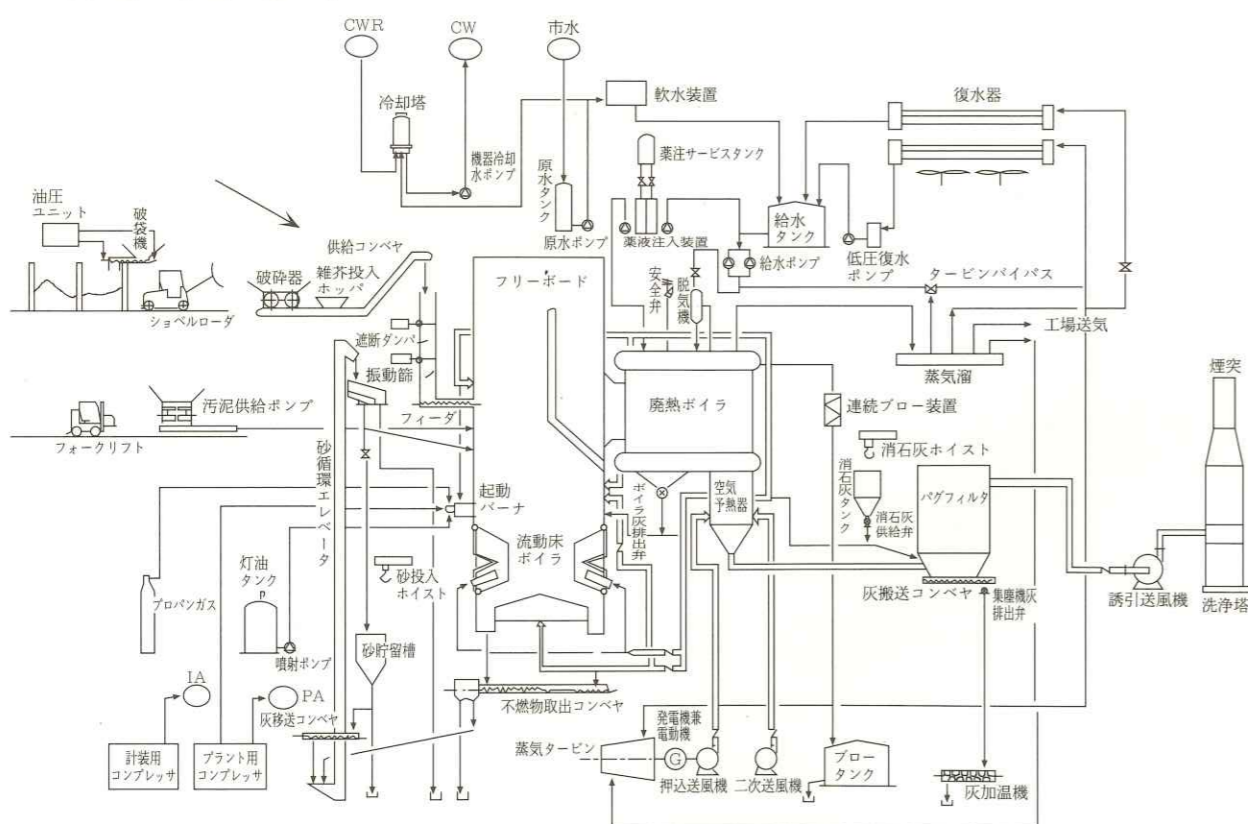
1. 燃焼条件

- 1. 1 実験団体 社団法人プラスチック処理促進協会
- 1. 2 被燃焼物 各種プラスチックの混合物 ポリウレタンは0.6%
都市ゴミ分別廃プラスチックの組成とほぼ同じになるように各プラスチックを混合しペレット化したもの

樹脂名	割合(%)
PE	47.5
PP	15.8
PS	22.2
PVC	9.5
PET	3.2
PUR	0.6
ABS	0.6
PAN	0.6

組成	割合
C	81.8
H	11.5
O	1.24
N	0.17
Cl	5.29
低位発熱量(kcal/kg)	9,740

- 1. 3 焼却設備 ㈱荏原製作所 旋回流型流動床式焼却炉
- 1. 4 フローシート



2. 燃焼結果

2. 1 最適燃焼条件

項目	単位	試験 I	試験 II
焼却量	kg/hr	500~550	500~550
流動空気量	Nm ³ /hr	3,000	3,000
循環空気量	Nm ³ /hr	1,000	1,000
二次空気量	Nm ³ /hr	3,700	6,000
炉床温度	°C	700~750	700~750
炉頂温度	°C	800~900	800~900
空気比	—	1.6	1.8

2. 2 排ガス状況

排ガス分析結果 (測定位置: 洗浄塔出口, 単位: 特記せざるものppm)

排ガス	試験 I	試験 II
SOx	0~2	0~2
NOx	60	70
HCN	<0.08	<0.08
NH ₃	<1	<1
HCl	<0.6	<0.6
Cl ₂	<0.2	<0.2
煤塵(mg/Nm ³)	<1	<1
ホルムアルデヒド	<1	<1
アセトアルデヒド	<0.1	<0.1
メタノール	<1	<1
ベンゼン	<0.1	<0.1
アクロレイン	<0.1	<0.1
アクリロニトリル	<0.1	<0.1
ホスゲン	<0.1	<0.1
全炭化水素	24	28

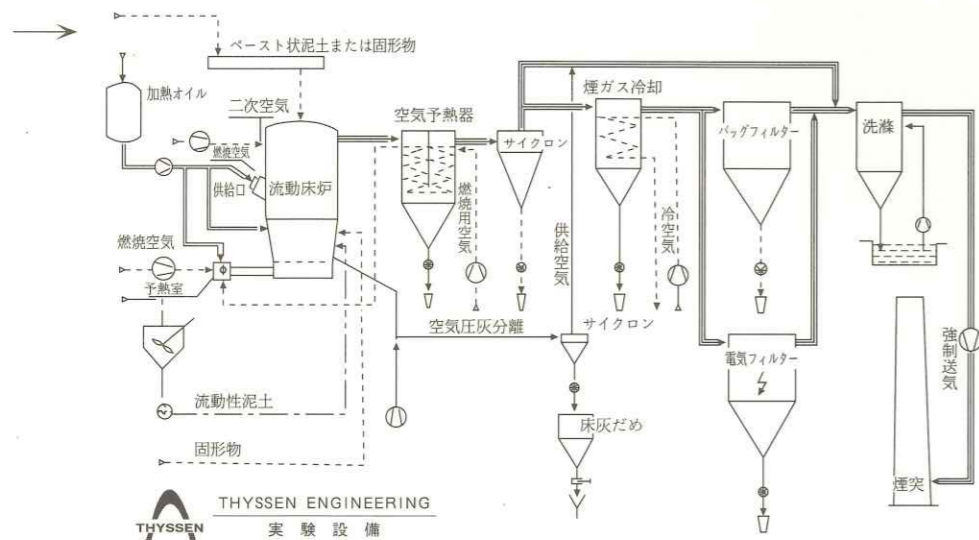
出典: 社団法人プラスチック処理促進協会
 廃プラスチック専焼エネルギー回収方式の実証実験
 (第一報/無公害燃焼と高効率エネルギー回収) 平成6年3月

POLYURETHANES THERMAL RECYCLE

2.3 ドイツ・プラスチック製造工業協会の例

1. 燃焼条件

- 1.1 実験団体 ドイツ・プラスチック製造工業協会
- 1.2 被燃焼物 硬質ウレタン 古い冷凍装置の廃棄物を想定
- 1.3 焼却設備 Thyssen社 流動床式焼却炉
- 1.4 フローシート



2. 燃焼結果

2.1 最適燃焼条件および排ガス状況

硬質ウレタンフォームは低密度のため燃焼室から未燃焼パーティクルが排出されるため、単独での燃焼は難しかったが、微細泥土と混焼することにより解決している。

項目	単位	実験 I	実験 II	実験 III	実験 IV
燃焼試料					
破砕品 (<30mm)	%	20.0	15.0		
粉碎品 (<1mm)	%			20.0	28.6
泥土	%	80.0	85.0		42.8
水	%			80.0	28.6
フィード条件					
混合被燃物	kg/hr	72.2	107.8	104.7	161.5
燃料油	kg/hr	6.9	7.0	5.1	4.2
フロンフィード量	%	1.8	1.3	0.14	0.20
燃焼条件					
最高燃焼温度	°C	859	863	843	903
空気比	—	2.0	2.0	1.7	1.5
排気ガス					
CO	mg/m ³	649	436	29	43
HCl	mg/m ³	147	127	54	44
HF	mg/m ³	0.6	1.3	0.7	0.6
CCl ₂ F	mg/m ³	9.1	0.1	0.02	0.01

燃焼試料：硬質PURフォーム、微細な泥土及び水との混焼
 PURフォーム
 密度…30kg/m³
 フロン含有率…破砕品 (<30mm) 8.8%、粉碎品 (<1mm) 0.7%

2.4 ヨーロッパPWMIとの共同燃焼実験

1. 燃焼条件

- 1.1 実験団体 日本ウレタン工業協会 (ヨーロッパPWMIとの共同試験)
- 1.2 被燃焼物 軟質ポリウレタンフォーム、硬質ポリウレタンフォーム
 軟質ポリウレタンフォームは直接ホッパーへ、硬質ポリウレタンフォームは破砕機を介してホッパーに供給した。

サンプルフォームの元素分析

	C	H	O	N	Cl	P
軟質フォーム	61.1	8.8	23.5	5.3	0.8	0.5
硬質フォーム	60.4	7.0	24.5	7.2	0.7	0.2

- 1.3 焼却設備 (株)荏原製作所 旋回流型流動床式焼却炉
- 1.4 フローシート 2.2と同じ

2. 燃焼結果

2.1 最適燃焼条件及び排ガス状況

項目	単位	軟質PUR	硬質PUR
フォームの密度	kg/m ³	16~20	30~50
フロン含有量	%	0	4.8
投入量	kg/hr	400~700	600~700
燃焼条件			
燃焼温度	°C	1,060	1,000
砂層温度	°C	620	740
空気比	—	2.1~2.2	2.1~2.2
排気ガス分析値			
CO	ppm	1	3~5
NOx	ppm	350	200
HCl	mg/Nm ³	0.55	0.6~1.3
HF	mg/Nm ³	<0.2	<0.2
HCN	mg/Nm ³	<0.01	<0.01
フロン	mg/Nm ³	—	0.202
フロン分解率	%	—	99.99

試験試料：軟質フォーム…リボンデッドフォーム用スクラップ
 硬質フォーム…スラブフォーム用端材をクラッシャを通して連続投入

出典：(株)荏原製作所 ポリウレタン燃焼試験結果報告 (1994年 8月)

POLYURETHANES THERMAL RECYCLE

2. 5 廃家電プラスチックの焼却・エネルギー回収実験

1. 燃焼条件

1. 1 実験団体 社団法人プラスチック処理促進協会（財団法人家電製品協会の協力の下に実施）
1. 2 被燃焼物 家電4品目（テレビ、冷蔵庫、洗濯機、エアコン）のシュレッダーダスト
冷蔵庫のその他は断熱用のポリウレタンフォームが主体と推定される。

廃家電製品の構成

	台数	%	製品重量 (kg/台)	プラスチック (%)	プラスチック類の構成比 (%)					
					PP	PS	ABS	AS	PVC	その他
テレビ	213	37	25.0	23	20	70	10	-	-	-
冷蔵庫	138	24	59.0	40	26	18	21	2	9	24
洗濯機	144	25	25.0	36	80	5	-	-	-	15
エアコン	81	14	46.4	19	10	45	19	18	2	6
合計	576	100	20.8t	6.49t 31.2%	2.20 34.0	1.83 28.1	0.94 14.5	0.18 2.9	0.31 4.7	1.02 15.8

1. 3 焼却設備 (株)荏原製作所 旋回流型流動床式焼却炉
1. 4 フローシート 2. 2に同じ

2. 燃焼結果

2. 1 最適燃焼条件

運転設定条件と運転データ

項目		設定条件	範囲	平均
供給量		kg/h	700~900	800
供給温度	炉床	°C	650~700	635~662
	炉頂	°C	850~900	866~902
	フリーボード	°C		898~931
風量	流動空気量	Nm ³ /h	3,000	2,980~3,022
	循環空気量	Nm ³ /h	1,000~1,500	1,345~1,390
	二次空気量	Nm ³ /h	2,000~6,000	2,340~5,050
	戻し灰空気量	Nm ³ /h	350	328~333
	空気比	Nm ³ /h	1.8~2.5	
蒸気	主蒸気流量	t/h		3.5~4.1
	ドラム圧力	kgf/cm ²		17.7~18.0
	タービン蒸気流量	t/h		2.9~3.1
	発電機出力	kW		78~85

2. 2 排ガス状況

排ガス中の有毒ガスなど

(単位: ppm)

項目	測定場所	範囲	平均値
CO	バグフィルタ出口	8~13	10
NOx	バグフィルタ出口	125~210	168
SO ₂	バグフィルタ出口	0~0	0
HCl	バグフィルタ入口	708~867	793
	出口	50~65	61
T-HC	バグフィルタ出口	0.0~16.6	0.8

排ガス中の特定有毒ガスなど

(バグフィルタ出口)

項目	単位	測定結果	検出限界値
Cl ₂	mg/Nm ³	N.D	<1
HCN	mg/Nm ³	N.D	<0.1
NH ₃	ppm	N.D	<1
ホルムアルデヒド	ppm	N.D	<1
アセトアルデヒド	ppm	N.D	<0.1
メタノール	ppm	N.D	<1
ベンゼン	ppm	N.D	<0.1
アクロレイン	ppm	N.D	<0.1
アクリロニトリル	ppm	N.D	<0.1
ホスゲン	ppm	N.D	<0.1
フラン	ppm	N.D	<0.1
HBr	ppm	0.80	-
Br ₂	ppm	N.D	<1
HF	mg/Nm ³	0.69	-
COS	ppm	N.D	<0.5

出典: 社団法人プラスチック処理促進協会

廃家電プラスチックの焼却 エネルギー回収実験報告書 (平成6年12月)

これまでポリウレタンのサーマルリサイクルの実施例をご紹介しましたが、この5例全ての焼却炉が流動床式焼却炉でありますので、ここで流動床式焼却炉についてご説明します。

3. 流動床式焼却炉の概要

1. 原理

焼却炉の底部に流動媒体（砂）を充填し底部より気体（空気）を供給すると、その供給量の増加に従って、流動媒体は静止した状態の固定層、あたかも液体状態を呈する流動層、さらに層表面から流動媒体が飛び出し気体に同伴されて系外に輸送される空気輸送の状態へと変化していく。

流動床式焼却炉は、この流動層の状態を使って、高温の流動媒体の中でごみの乾燥・ガス化及び燃焼を行わせるもので、ごみ中の不燃物は流動媒体と共に炉底より抜き出され、流動媒体と分離されて系外に排出され、流動媒体は循環使用される。

流動床式焼却炉は流動層を形成保持させるための空気分散装置と、不燃物の抜き出し方法により図1のように分類される。

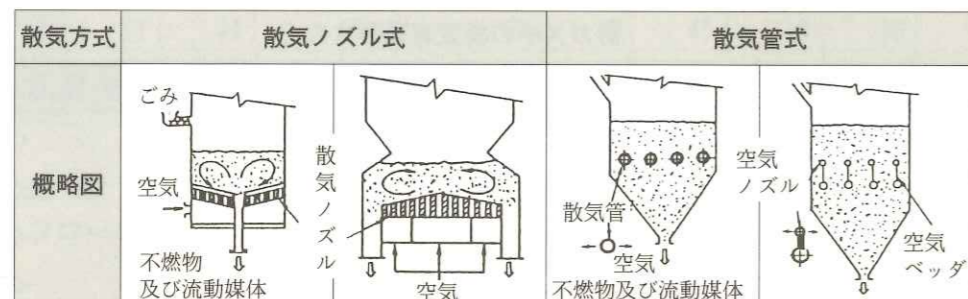


図1 流動床の分類

2. 特長

流動床式焼却炉は膨大な保有熱量を有する流動媒体の中で燃焼を行わせるため、次の特長を持つ。

- 1) 低カロリーの各種汚泥から高カロリーのプラスチックまで幅広い原料の焼却及びこれらの混焼が可能である。
- 2) 不燃物は炉底から乾燥状態で排出されるため取り扱い及び有価物の回収が容易である。
- 3) 焼却灰は灼熱減量が0.5%以下と燃焼効率が高い。
- 4) これらの結果埋め立て容量が小さく埋立地の延命を図ることができる。
- 5) 起動停止が容易である。
- 6) 焼却炉内部に可動部が無く装置の信頼性が高い

一方、その欠点は焼却速度が速いため、原料性状変動により燃焼状態が変動し易いことが挙げられるが、炉形状や制御の開発により都市ごみ焼却施設においても厚生省の“ダイオキシン類発生防止等ガイドライン”に示されるCO濃度50ppmを充分下回る安定燃焼が実証されている。

4. 焼却炉の全景と使用したウレタンフォームのサンプル写真

〈第1図〉



〈第1図〉
流動床式焼却炉全景

〈第2図〉
実験に使用した
硬質ウレタンフォーム

〈第3図〉
焼却炉投入直前の
硬質ウレタンフォーム

〈第2図〉



〈第3図〉

