固形産業廃棄物のスラリー化焼却処理実験

—昭和 49 年 1 月 12 日 受理—

三井造船株式会社 北 岡 洋 治
弘 津 幹 夫
山 畑 祐 哉

1. ま え が き

固形産業廃棄物の焼却処理は、直接投入による床燃焼タイプの焼却炉、またはロータリーキルンなどで行なわれているのが普通である。しかし、液状物の噴霧燃焼法に比べて、次の理由で不便であり、操作は困難となる。

- (1) 一般に固形物はサイズ不同で、安定したフィードと、フィードのシールがむづかしく、機械的に工夫を要する。
- (2) 燃焼は、揮発分のガス化燃焼と、残留するチャーの表面燃焼の 2 段階より成る。ガス化は、炉内の温度、流速、および固形物の表面状態に著しく支配されるので、たとえ、連続の定量フィードが実現したとしても、定常燃焼が得られるとはかぎらない。局部的な黒煙の発生、あるいは融着などによる運転自身の続行に悩まされることが多い。特に、固形物が多種にわたるときは、なおさらである。
- (3) 床面燃焼のため、床面積あたりの炉負荷で設計しなければならず、焼却量が多くなると、炉が非常に大きくなる。
- (4) 固形物の表面が炭化してガス化を妨げるときなど、床面のかきまぜを必要とすることが多く、機械的、材質的に工夫を要する。
- (5) 機械的に灰を連続してかき出すと、未燃分を多く含むやすい。

さらに、固形物にはそれぞれ個性があるので、一般性のある焼却炉の開発は非常にむづかしい。

もし、固形物を熔融するか、液状物に溶解、または分散させるなどの前処理を行なって、液状化できるならば、焼却処理は非常にやさしくなる。たとえ、一部の固形物の直接燃焼が避けられないときでも、液状物の比率を高めた混焼方式をとることができるならば、焼却はよりやさしくなると考えられる。

筆者らは、液状化の方法として、部分溶解を含めた

スラリー化をとりあげ、ペイントかす、廃化成品、反応器から取り出される残渣、フィルターケーキ、スラッジなどの各種固形産業廃棄物の焼却処理に適用する研究を行なった結果、ほぼ満足できる成果を得ることができた。一例として、ペイントかすのスラリー化焼却法の実験結果について、ここに報告する。

2. ペイントかす

アルキド系とメラミン系の 2 種類のペイントかすを対象にした。水に浮かびながら排出してくるのを引き上げて集めるので、水を多く包含しており、概してガム状で、容器に入れられたものは、その容器の大きさに相当する半流動性の塊になるのが特徴である。アルキド系の方がメラミン系に比べてやわらかいが、両者とも時間の経過によってかたくなるので、これは絶対的な差ではない。

Table 1 にペイントかすの物性値を示す。工業分析値は到着ベースで、発熱量は恒湿ベースで表わした。

Table 1 Analytical Results of Paint Waste
(As Received)

Item	Alkyd Base	Melamine Base
Water Content [wt %]	34.0	23.1
Volatile Matter [wt %]	54.0	56.3
Fixed Carbon [wt %]	5.7	6.1
Ash Content [wt %]	6.3	14.5
*Higher Calorific Value [kcal/kg]	4,500	6,000
Specific Gravity [—]	—	1.19
Cone Penetration Value [—]	300	148

* Constant Moistened Base

針入度は、JIS にもとづくグリース稠度試験法の結果で、100 g の針が 5 秒間に侵入した距離の 10 倍の値を示す。

3. スラリー化実験

3-1 スラリー化の様子

ペイントかすスラリーの様子、およびより良いスラリーを得るための条件をみいだす実験を行なった。装置は、普通の家庭用ジュースミキサー（容量 800 ml）を用いた。全量 500 g の試料をミキサーに入れて 5 分

間作動させ、できたスラリーの様子、および時間による性状の変化を観察した。廃油としては船舶廃油を用いた。結果を Table 2 に示す。スラリーの判定は、目視により分散性、流動性、沈降分離性、および再分

Table 2 Evaluation of Various Slurries Prepared

Test No.	Ratio [wt %]					Additives		Evaluation of Slurry
	Paint Waste	Waser	Heavy Oil	Toluene	Waste Oil	Oil Detergent	Ca(OH) ₂	
1	50 (M)	50						Bad
2	50 (M)		50					Bad
3	50 (M)		50			○		Fairly Good
4	50 (M)	25	25			○		Good
5	25 (M)	25	25	25				Good
6	50 (M)		50				○	Fairly Good
7	50 (M)		50			○	○	Fairly Good
8	50 (M)				50			Good
9	50 (M)	25			25			Excellent
10	50 (A)	25			25			Excellent

※ (M) : Melamine Base
 ※ (A) : Alkyd Base
 ※ Heavy Oil : B Class (JIS)

散性を観察してきめた。良、優、特優のスラリーは、実用可能とみなし得るスラリーである。良のスラリーは、ミキサーから移し出した後数分で、一部のペイントかす粒が沈降分離するが、攪拌すると容易に再分散する。特優のスラリーは、静置してもほとんど沈降分離せず、長時間均一で安定な状態を呈する。

この実験により、つぎのことがわかった。

- (1) 水には全く分散しない (Test No. 1)。
- (2) B重油には分散するが、良好なスラリーを得ることができず、実用化に問題がある (Test No. 2)。
- (3) しかし、油清浄剤を添加すると、良好なスラリーを得ることができる (Test No. 3)。
- (4) 水を加えるとさらに良くなり、十分実用化できるスラリーになる (Test No. 4)。これは、油と水の混合によって、母液が網目構造のエマルジョンに近い形をとるため、安定したスラリーになるものと考えられる。
- (5) 油清浄剤のかわりに、溶剤トルエンを加えても良く分散する (Test No. 5)。これは、ペイントかすの一部が溶剤に溶けて、粘稠な液になるためである。
- (6) 消石灰の添加は、分散の悪い場合は効果がある

が、すでに良くスラリー化している場合は効果が少ない (Test No. 2, 6, 7)。

- (7) 廃油は、B重油より良く分散させる (Test No. 2, 8, 9)。これは、廃油中に油清浄剤が添加されていること、および含水によって、すでに強力なエマルジョン構造を一部に形成しているためと考えられる。
- (8) アルキド系とメラミン系では、分散性に大差はない (Test No. 9, 10)。しかし、スラリーの様子は全く異なる。やわらかいアルキド系は、溶剤で溶かしたような均一で粘稠なスラリーになり、かたいメラミン系は、液体中に固体粒子が浮遊した固液スラリーのようになる。
- (9) 別実験において、油清浄剤は、ペイントかすの乳化分散機能を持ち、アルキド系に比較的有効に働き、消石灰は、ペイントかす粒子の再融着を防止して、パサパサのスラリーにする機能をもつことがわかった。

3-2 廃油とのスラリー化特性

水を加えた廃油中にペイントかすを分散させると、安定した良好なスラリーになることがわかったので、つづいて、これら 3 成分の量比とスラリーの性状特性を調べる実験を行なった。実験装置および手順は、前

項と同様である。

ペイントかすの試料として、アルキド系とメラミン系を等量ずつ混ぜて用いた。また、廃油として、Table 3 に示すAとBの等量混合物を用いた。Aは廃潤滑油、Bは廃切削油の静置浮上油で、いずれも実際に産業廃棄物として排出されているものである。

Table 3 Analytical Results of Waste Oil

Item	A	B
Water Content [wt %]	0.46	0.14
Ash Content [wt %]	0.05	0.07
Higher Calorific Value [kcal/kg]	10,950	10,880
Specific Gravity [—]	0.87	0.87
Viscosity at 50°C [cst]	21.0	14.3

前項と同様に、得られたスラリーの性状を、分散性などについて判定して3段階に分けた。結果を Fig. 1 に3成分図で示す。多少の重複はあるが、A（○印）、B（●印）、およびC（●印）の三つの領域に区別することができた。Aは、分散したペイントかす粒子の

Fig. 1 Stability Diagram of Paint Slurry

沈降がほとんど起らず、流動性も良好なスラリーの領域である。Bは、静置後数分でペイントかす粒子の沈降が起るが、再分散性が良く、十分実用できるスラリーの領域である。Cは、分散しなかったり、分散しても沈降分離後の再分散性が悪いなどのため、実用において問題のある領域である。

この結果から、ペイントかすと廃油の2成分系でも50%以上の廃油があれば、なんらかのスラリーを得る

ことができるが、水を加えると、より安定した良好なスラリーになることが再確認できた。また、この良好なスラリーを得るための条件として、ペイントかす、廃油、水がそれぞれ50%以下、15%以上、20~60%の範囲にあることが必要とわかった。

4. 粗碎実験

ペイントかすは、大きな容器に集められて、一体化したかたまりになって排出されてくる。したがって、これを一挙に破碎し、微粒化して、大量のスラリーを得ることは非常にむづかしいので、前処理として、こぶし大以下の大きさに粗碎する必要がある。

ペイントかすは、変形性および付着性が大きいため、破碎はかなりむづかしい。筆者らは、つぎの市販の4機種についてそれぞれ破碎実験を行ない、最終的には新機種を開発した。

(1) 押出型破碎機

生野菜などを処分するときの前処理機として、開発されたものである。往復動、回分式で、原理的には「ところん押出機」と同じ機構である。実験の結果、プッシャーのすべり面にペイントかすがかみ込んで、往復運動を妨げたり、やわらかいアルキド系は、押出された直後に、再び一体化してしまうなど、原理的に問題があった。

(2) 一軸型破碎機

ホッパーから投入された固形物を、高速回転している回転刃でかじり碎き、出口スクリーンで破碎物の最大寸法を制限する機構である。これは、スクリーン目の調節により、希望どおりの破碎物を得ることができたが、投入直後の瞬間電流と、騒音が大きかった。

(3) 二軸型破碎機A

つめのついた二つのローラーが、内巻きにゆっくり回転して破碎する機構で、アイスクラッシャーと呼ばれているものである。破碎物は大きく、しかも長くつながってでてきた。また、布などが混入していると、ローラーに巻きついたりして、良好な破碎が得られなかった。

(4) 二軸型破碎機B

かん、プラスチックなどの破碎を目的として開発されたもので、両軸の回転刃が互いにかみあう構造である。刃の厚さは30mmで、両軸の回転数は異なる。メラミン系はなんとか破碎できたが、粘着性の強いアルキド系は、刃と刃の間などに付着して、全く破碎できなかった。

これらの試験の結果、破碎物だけについてみると、

一軸型破砕機が最も良かった。しかし、所要馬力、騒音、および大きさの点で問題があった。

筆者らは、原理的に問題のない二軸型破砕機 B を改造して、新しい破砕機を開発した。この構造を Fig. 2 に示す。おもな改造点は、回転刃の形を変えたこと、回転刃と他軸の回転刃、およびスペーサーとのすきまを小さくしたことなどである。これらの改造によって、完全に切断することができるようになり、メラミン系はもちろん、アルキド系も、やや丸みをおびるが、適当な大きさのもの (約 50mm) が得られるようになった。破砕片の大きさは、(刃間隔)×(刃高さ)×(刃厚)でできる。

5. 焼却実験

総合的に、ペイントかすのスラリー化燃焼の実用性を調べるために、焼却実験プラントで実験した。実験プラントは、Fig. 3 に示すように、スラリー化、燃焼、排ガス処理の工程から成っている。

5-1 スラリー化工程

基礎実験では家庭用のジュースマキサーを用いていたが、実験プラントでは、開発した破砕機、および湿式破砕機を採用した。湿式破砕機は、液体中に浮遊する固形物を液体と同時に吸い込み、破砕しながら送液する一種のポンプである。回転する 4 枚羽根の破砕

Fig. 2 Crusher Developed for Paint Waste

Fig. 3 Block Diagram of Incineration Test Plant

刃、格子、および送液羽根から成っている。

スラリー化装置の概略を Fig. 4 に示す。スラリー化タンクに所定量の廃油と水を入れたのち、湿式破砕機を運転して液を循環させる。つぎに、ペイントかす

Fig. 4 Apparatus for Making Slurry

を破砕機で粗砕しながらタンクに供給すると、粗砕片は液に同伴されて湿式破砕機を通り、微小な粒子になって、スラリーが得られる。Fig. 4 に示すように、湿式破砕機を通る循環液の一部を、破砕機のホッパーに供給することによって、ペイントかすの破砕機への附着を完全に防止することができた。

実験プラントに採用した破砕機と、湿式破砕機の要目はつぎのとおりである。

破 砕 機	
馬 力	2.2kW
能 力	1t/h
回転数	A 軸 20rpm, B 軸 25rpm
湿式破砕機	
馬 力	7.5kW
処理量	12m ³ /H

揚程 15m
入口径 125mmφ
5-2 燃焼工程

スラリーバーナーの構造を Fig. 5 に、焼却炉の構造を Fig. 6 に示す。スラリーバーナーは二流体型で、霧化媒体のスチームまたは空気が、接線方向にあけた小穴から高速でスラリー流路に入り、スラリーに

Fig. 5 Slurry Burner

Fig. 6 Incinerator

旋回流を与えて、霧化、分散する構造になっている。このバーナーで、スラリー中の液状物は微粒化され、固形物は炉内に分散される。

焼却炉は、一次燃焼室と二次燃焼室から成る固定炉で、定格 $7.5 \times 10^3 \text{kcal/H}$ の能力がある。一次燃焼室には、昇温および点火用のロータリーバーナーと、スラリーバーナーが備えてある。一次空気は、スラリーバーナーの周囲から入るが、二次空気は、反対側の傾斜壁に沿って高速で入り、炉内に旋回流を起して混合を良くする構造になっている。二次燃焼室は、排ガスの素通りがないように三つに仕切り、滞留時間の増加と、赤熱したれんが壁への接触効果による完全燃焼を目的とした構造になっている。

5-3 焼却実験

スラリーの調合割合を Table 4 に示す。廃油Cは、便宜上採用した廃潤滑油で、約 10% の水分を含有している。このスラリーは、Fig. 1 の三成分図の⊗印の

位置に相当し、A領域に属する。

アルキド系のペイントかすは、きめ細かく分散され、均質な溶液に近いスラリーであったが、メラミン系の一部は、約 2mm 以下の粗粒子状となって懸濁していた。Table 5 にスラリーの物性に関する測定値を示す。高位発熱量が $4,830 \text{kcal/kg}$ で、十分自然限界に入っているの、水を加えたことは負担にならない。

Table 5 Analytical Results of Slurry Prepared for Incineration Test

Water Content	42.0 [wt %]
Ash Content	3.13 [wt %]
Sulfur Content	0.26 [wt %]
Chlorine Content	0.27 [wt %]
Higher Calorific Value	4,830 [kcal/kg]
Specific Gravity	0.987 [—]

焼却実験の条件と結果を Table 6 および Table 7 に示す。実験は、一次燃焼室の温度と燃焼状況を見ながら、空気量などを調節して行ない、定常状態になったときの値を示す。運転中、懸念されたポンプ、バー

Table 4 Mixing Ratio for Slurry Preparation

	[kg]	[%]
Paint Waste (Alkyd Base)	160	16.7
Paint Waste (Melamine Base)	120	12.5
Waste Oil A	150	15.6
Waste Oil B	150	15.6
Waste Oil C	180	18.8
Water	200	20.8
	960	100.0

Table 6 Flow Rate of the Incineration Test

Slurry	185 [l/H]
Atomizing Steam	103 [kg/H]
Primary Air	480 [Nm ³ /H]
Secondary Air	600 [Nm ³ /H]

Table 7 Local Temperature inside the Incinerator

	[°C]
Primary Combustion Chamber	
Gas Temp.	1,160
Brick Wall Temp.	950
Secondary Combustion Chamber	
Gas Temp. at the First Section	1,130
Gas Temp. at the Second Section	1,000

ナーなどのつまりは一度も起らなかった。

スラリー中の液状物は、バーナー直後で火炎を形成して燃焼していたが、ペイントかす粒子の大部分は、バーナー対向壁に到達して表面燃焼した。しかし、燃焼時間が短いので、れんが表面におけるカーボンの堆積は見られなかった。また一部のペイントかす粒子は、火の粉となって炉内を舞い上がりながら燃焼していた。二次燃焼室にも火の粉は飛び込むが、途中で完全に燃え尽きていた。

ガス処理工程に入る前の排ガスの測定結果を、計算値とともに Table 8 に示す。NO_x の計算値は、NO

Table 8 Observed and Calculated Concentration Values in the Exit Gas

Item	Observed	Calculated
Dust [g/Nm ³]	2.12	5.17
HCl [ppm]	242	275
SO ₂ [ppm]	276	265
NO _x [ppm]	360	392

の平衡値である。灰分の 40% が、ばいじんとして排ガスに伴われて出ていることがわかる。炉内に堆積した灰分と、排ガス中のばいじんの粒度分布を Fig. 7 に示す。粒径が 500 μ 以上のものは、炉内に堆積することがわかる。スラリーの様子からみて、アルキド系の灰分の大部分はばいじんとして飛散し、メラミン系の灰分の大部分は炉内に堆積するものと推定される。炉内堆積灰は、小砂状でさらさらしているため、扱いやすい。これは、ペイントかすのスラリー化燃焼の特徴の一つである。物性測定によると、真比重が 4.06、

a) Ash in Primary Combustion Chamber
b) Ash in Secondary Combustion Chamber
c) Dust in Exit Gas from Incinerator

Fig. 7 Size Distribution of Ash and Dust

かさ比重が 0.428、熱灼減量が 0.13% であり、完全燃焼していることが確認できた。

6. むすび

このように、扱いにくいペイントかすも、スラリー化することによって、液状物と同様に容易に焼却処理することが可能になった。スラリー化に使う液状物も廃棄物の中から供給でき、しかも、スラリーになったときの発熱量が約 4,800kcal/kg で、焼却に望ましい値である。

普通、工場全体の廃棄物をみた場合、全く液状物がないことはまれであり、液状物のないときでも、水でスラリー化できることもある。

スラリー化において水を添加することは、一見熱的損失のように考えられるが、次の理由により、必ずしも損失とはならない。すなわち、炉温の過度の上昇を大過剰の空気でもって調節するかわりに、燃料中に水を添加して調節しているにすぎない。また、筆者らの試算によると、炉温の低下を大過剰の空気供給で行なう場合よりも、燃料中への水添加で行なう場合の方が、若干ガス量が少なくなり、ガス処理装置への負担が軽くなる傾向にある。

これまで、各種工場の固形廃棄物の焼却処理法を研究してきて、数多くのものにスラリー化法を適用して成功している。

A New Incineration Technique of Industrial Solid Wastes

—A Special Slurry Preparation Method—

Yōji Kitaoka, Mikio Hirotsu & Yūsai Yamahata

(Mitui Shipbuilding & Engineering Co.)

SYNOPSIS:— A new technique of burning industrial solid wastes has lately been developed in our laboratory. Floor firing furnaces or rotary kilns are usually used to incinerate solid wastes, but there is a difficulty to control the combustion mainly due to the direct feeding of solids and this problem is not yet completely solved. On the other hand, liquid wastes can be burnt more easily and completely by means of pumps and burners.

An investigation has been made to convert solid wastes to slurry by mixing with some liquids, such as oil and water. Some of these slurries prepared were found to have been dealt with like a homogeneous liquid, that is to say, ordinary pumps and burners can be used with little modification.

In this paper, the treatment of paint wastes is described in details. The mixture of three components, an approximately same quantity of paint, waste oil and water, has produced a good quality slurry with respect to stability, fluidity and calorific value. Based on this experimental result, we have constructed a pilot plant for slurrification of solid wastes. Hereby we could keep on running the incineration test of slurry prepared without mechanical trouble and get a good result of combustion performance as we have anticipated.

正 誤 表

53巻 564号, 223頁 岩本氏論文中下記のごとく訂正させていただきます。

		誤	正
223 頁	左側	記号中 y, i (イタリック)	Y, i (小文字)
226 頁	左上 3 行	ThC_2	ThC_2
"	右上 17 行	軸方向の	(ダブリ除く)
228 頁	表 2. 6)	W/o U, Th	w/o U, Th
231 頁	左 8 行	前は近く臨界に達する予定であり,	前者は1974年1月末に臨界達し,
232 頁	英文要旨下 2 行	an imp improvement	an improvement