

北海道工業開発試験所報告

REPORTS OF THE GOVERNMENT INDUSTRIAL
DEVELOPMENT LABORATORY, HOKKAIDO

第52号

平成3年3月

特別研究報告書

シュレッダーダストの処理法及び有効利用に関する研究

目 次

序		
第1章	シュレッダー設備の現状と問題点	(1)
第2章	廃車中の各成分組成とシュレッダーダストの性状	(6)
第3章	ガス発熱量の連続測定器の検討	(9)
第4章	小型基礎試験炉による実験	(13)
第5章	塩化水素乾式吸収の基礎実験	(17)
第6章	パイロットプラントの設計・製作	(21)
第7章	シュレッダーダスト流動層ガス化試験装置による実験	(26)
第8章	ガスエンジン発電試験	(33)
第9章	シュレッダーダスト処理トータルシステムとコスト試算	(38)
第10章	本研究の総括	(42)
	研究成果	(44)

工業技術院

北海道工業開発試験所

特別研究報告書

シュレッダーダストの処理法及び有効利用に関する研究

ラスト①

研究期間

昭和62年度～平成元年度

研究マネジャー

鈴木 智 (昭和62年度～63年度)
前河涌典 (平成元年度)

研究担当者

新川一彦 (昭和62年度～平成元年度)
出口 明 (昭和62年度～平成元年度)
三浦正勝 (昭和62年度)
細田英雄 (昭和63年度～平成元年度)
武内 洋 (昭和63年度～平成元年度)

シュレッダーダストの処理法及び有効利用に関する研究

序

わが国の年間廃車発生台数は、昭和40年代より増加し始めたが、近年の新車ブームによりますます増え続けており、昭和43年に103万台であったものが、平成元年度には500万台となり、その増加率は実に4.9倍にもなっている。一方、家電製品などの粗大ごみの増加も急ピッチである。鉄屑業界では、これらから高品質の資源を回収するため、大量破砕処理をするシュレッダー処理方式を導入し不純物の少ない良質の鉄屑を回収している。鉄屑処理をシュレッダー化することにより、処理工程より不純物としてゴム、繊維、プラスチック類を主体とするダストが発生する。発生率は処理対象によって異なり、廃自動車の例ではシュレッダーへの投入重量の約30%であるが、この比率も最近では車体軽量化に伴うプラスチック部品などの増加で高まる一方である。平成元年度におけるこれらダストの発生量は約100万トンと推定され、その容積は莫大な量となっている。このダストは環境問題などから焼却処理が困難となっているため、全国的に埋立処理を行っているのが現状であるが、埋立処分地の確保難等から年々処理費が高騰の傾向にあり、また、全国的に産業廃棄物の受け入れ規制が強化されてきたことから、その無公害処理が緊急の課題となっている。シュレッダー工場は、通常、それぞれ隣接しておらずダストをそれぞれの工場から収集して一括処理するには運搬方法等の問題があるため、単一工場からのダスト発生量に相当する処理システムでなければならない。また、シュレッダー工場は中小企業であるため、初期コスト、ランニングコストの安い処理システムでなければ採用できないので、既存の廃棄物処理システムの適用は不可能である。

本研究は経済的に可能な処理方法を開発するため、シュレッダー工場が電力多消費型であることに着目し、ダストを空気で部分燃焼ガス化する無公害簡易ガス化プロセスと生成するガスを燃料とするガスエンジン発電プロセスを組み合わせることによりダストから電力を回収する総合的なダスト処理システムを確立することを目標に、環境庁公害防止特別研究として昭和62年度から平成元年度までの3ヵ年計画で実施したものである。

研究は、次の項目を重点に進めた。

1. シュレッダーダストの無公害簡易ガス化法の確立
2. 低カロリーガス燃料によるガスエンジン発電技術の確立
3. シュレッダーダストの無公害処理及び有効利用のためのトータルシステムの設計及び総合評価

本報告は、これらの研究成果をまとめたものである。廃自動車は今後も年々増加が予想され、さらに家電製品、OA機器などのシュレッダー処理も含めるとダストの発生量は相当なものとなろう。これらの埋立処理地の確保は現在でも難しくなっており、近い将来、埋立処理法に代わってエネルギーを回収する方法が採用されることは間違いないものと思われる。提案したトータルシステムは、これら廃棄物の適正な処理とエネルギー変換に対応できるものと思われるので、早期に実証化のプラントが建設されることを期待するものである。

本研究を進めるにあたり寄せられた環境庁、工業技術院をはじめ関係各位の助言、協力に心から感謝する次第である。

シュレッダーダストの処理法及び有効利用に関する研究

第1章 シュレッダー設備の現状と問題点

新川一彦, 出口 明, 細田英雄, 武内 洋

1.1 シュレッダー化の経緯

わが国の自動車産業の生産量は飛躍的に増加し、昭和61年度には1,370万台に達している¹⁾。また、国内保有台数及び年間廃車発生台数も急激に増加しており、表1-1に示すように昭和55年には保有台数約3,800万台であったものが平成元年には約5,500万台に、廃車台数は昭和55年に約347万台であったものが、平成元年には約500万台と10年間に約1.4倍の伸びとなっている。保有台数からみた廃車発生率は、平成元年で約9.1%となっており、概ね1割近い車がスクラップとなっている計算になる。

廃車の増加に伴って昭和40年代半ばから「廃車公害」が叫ばれるようになり、公害防止、環境保全、資源リサイクルの観点から適正な処理対策の確立が望まれるようになった。米国では、1958年頃大都市近郊に廃車が発生し路上放棄が大きな社会問題となったため、社会環境保全と資源リサイクルを目的として、シュレッダーによって大量破碎処理をする、いわゆるシュレッダー事業が誕生した。一方、わが国の鉄屑処理業界に初めてシュレッダー処理方式が導入されたのは昭和45年であり、関東地区でスタートした。

シュレッダーが普及する以前の処理方式は、できるだけ不純物を取り除いた状態でプレスまたはシャーリング処理し製鋼原料として電炉メーカーへ納入されていたのがほとんどであった。しかし、手作業による除去では不純物を十分に分別できないため内蔵された可燃性不純物が電炉メーカーの電気炉で燃焼し、大量の煤塵、有害ガスが発生する。その結果、電炉メーカーは多くの公害防止設備費、エネルギーコストの負担を強いられた。昭和53年頃から、折からのエネルギーコストの高騰で電炉メーカーは不純物の少ない原料鉄屑を選択

表1-1 わが国の自動車保有と廃車台数の推移

昭和	保有台数(千台)	廃車台数(千台)
48	25,135	2,553
49	26,900	2,575
50	28,366	2,900
51	30,258	2,315
52	32,163	2,325
53	34,328	2,706
54	37,333	3,126
55	37,915	3,472
56	39,598	3,484
57	41,348	3,600
58	43,148	3,800
59	44,000	3,900
60	45,000	4,000
61	48,045	4,021
62	49,978	4,215
63	52,000	4,500
平成元年	55,100	5,000

(資料：通産省・自工会・鉄屑工業会)

する傾向を強め、クリーンなスクラップを産出できるシュレッダー化が一気に促進された。

1.2 シュレッダーによる処理方式

シュレッダーで処理されるものは、解体ずみの廃車ボディ、廃家電製品、自転車、事務機、空缶、その他下級屑となっている。処理プロセスはシュレッダーメーカーによって多少異なるが、一例として久保田鉄工(株)の加工工程を紹介すると図1-1の通りである。

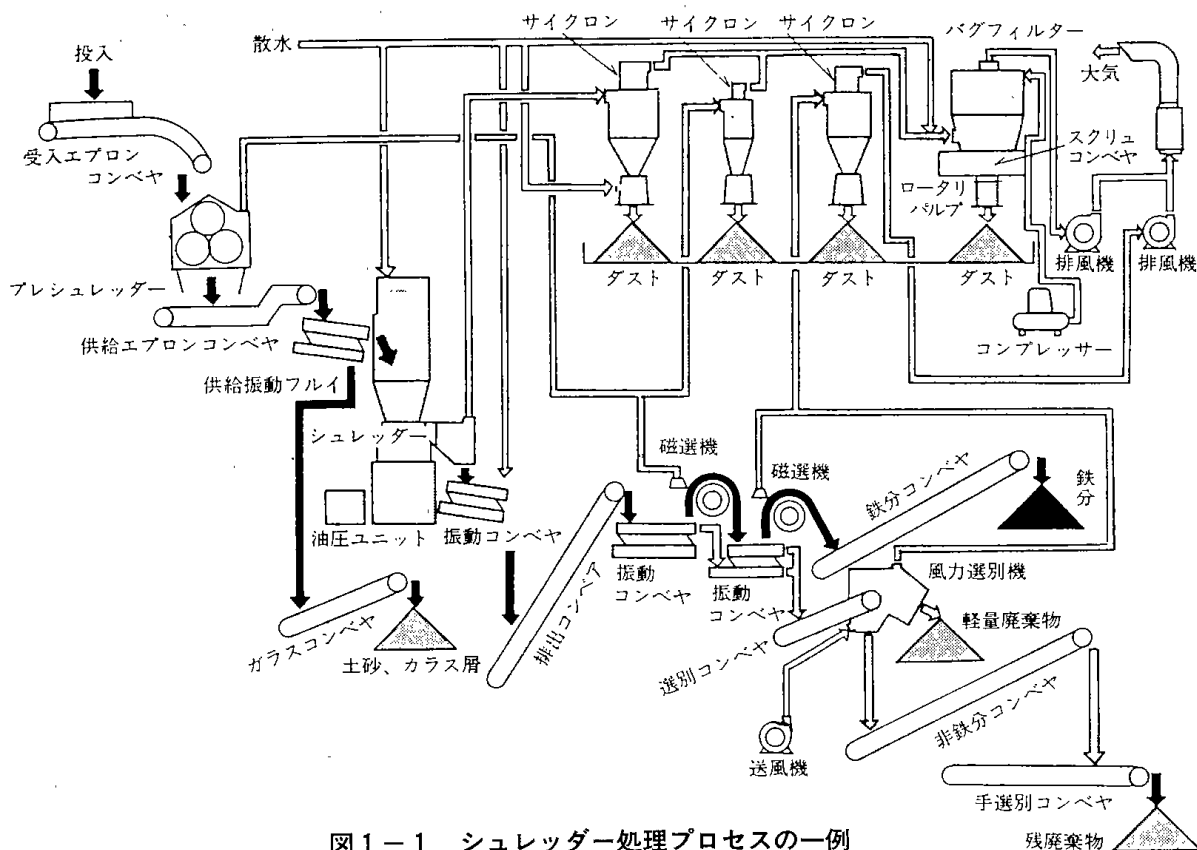


図1-1 シュレッダー処理プロセスの一例

(1) 投入及び前処理（第一段破碎）

原材料は旋回クレーンで受け入れエプロンコンベヤに順次供給し、プレシュレッダーへ送られる。プレシュレッダーでは回転する強靱な破碎刃で、廃車などを突き破り引き裂いて粗破碎する。破碎物は供給振動ふるいに搬送して土砂、ガラス屑を取り除き、シュレッダーへ送る。

(2) 破碎

粗破碎した原材料は、アイダル形シュレッダーで細破碎する。衝撃、せん断、圧縮、摩砕処理を行うので、破碎物の形状は塊状となる。破碎物は排出コンベヤで選別設備へ送られる。

(3) 選別

破碎物は、各2台の振動コンベヤ、磁選機と風力選別機を組み合わせた装置により鉄分、非鉄金属、廃棄物に選別される。

(4) 輸送

選別した破碎物は、各ベルトコンベヤでそれぞれ別々に貯蔵される。

(5) 集塵

プレシュレッダー、シュレッダー、選別装置で発生するダストはサイクロンとバグフィルターで

集塵される。

1.3 シュレッダー設備の設置状況

わが国には昭和45年にシュレッダーが導入され関東地区でスタートしたが、その後、シュレッダー化が促進され平成元年には146基²⁾が稼働している。平成元年現在の各地区別のシュレッダー工場の現況を表1-2に示した。

平成元年における全国のシュレッダーによる推定処理量は約380万トン²⁾とみられている。

1.4 シュレッダーダストの推定発生量

大型シュレッダーの加工処理原材料は廃車が主体となっている。廃車はエンジン、バッテリー、車輪、トランスミッションなどを取り外したあと、ソフトプレスされてシュレッダー工場へ搬入される方式が多い。

平成元年の廃車は500万台とされている。1台平均の重量を950kgとして試算すると年間廃車総重量は4,750千トンである。1台平均950kgのうち、エンジン等300kg、車輪、トランスミッション、バッテリー等を150kgとして、これらを除いた

表1-2 地区別のシュレッダー設置台数

地域別	設置台数	推定処理量 (トン/年)
北海道	8	174,000
東北	18	385,500
関東	52	1,335,540
中部	29	889,220
関西	20	513,000
中国・四国	3	42,990
九州	16	440,490
全国	146	3,780,740

(資料：日本鉄屑工業会，平成元年現在)

シュレッダー材として試算すると年間に発生するシュレッダー材は約2,500千トンである。

廃車ボディには、主製品である鉄分以外に非鉄金属と各種の非金属類（ダスト：各種プラスチック、ゴム、繊維類、塗料、ガラス、土砂など）が含まれる。それぞれの分布は、解体段階での取り外しの程度、あるいはメーカー、車種、年式によりバラツキがあるが、平均すると鉄：68～73%、非鉄金属：1～2%、ダスト：26～30%とされている。³⁾したがって、平成元年には廃車より650千トン～750千トンのダストが発生した計算になる。その他、廃家電製品、事務機などを含めたダストの総発生量は約100万トンと推定されている。

表1-3にシュレッダーダストの推定発生量の推移を示した。廃車となるまでの平均寿命(車令)は8年以上になっていることから、これらダストの発生量は56～57年式までの車について推定した値である。今後、廃車としてスクラップダウンされる車は、自動車の素材革命が急ピッチに進んでいるため、鉄の歩留低下が加速度を増すと思われる。

表1-4に乗用車の平均的な原材料構成比を示した。構成比の変化をみると、10年前に比較し、鉄材の占める割合が減り、非鉄金属、非金属の割合が増えてきている。とくに、非金属材料では塩化ビニール、ポリウレタン、ポリプロピレンなど樹脂の使用が増えている。このように、樹脂化が進む中で、廃車ボディの鉄の歩留まりは70%を切り、ダストの比率が30%を越えていると云われて

表1-3 シュレッダーダスト発生量の推移(推定値)

昭和	ダスト量×1,000トン/年
48	32.5
49	47.4
50	66.0
51	102.6
52	130.0
53	165.1
54	216.7
55	346.7
56	486.2
57	575.7
58	633.3
59	656.7
60	678.2
61	675.0
62	732.0
63	847.0
平成元年	990.0

(資料：日本鉄屑工業会)

いることから、今後、ダストの発生量はますます増大するものと思われる。

1.5 シュレッダーダスト処理の現状と処理費

シュレッダーダストの処理は環境問題等から焼却処理が困難となっているため、全国的に埋立処理を行っているのが現状である。埋立処理の方法は、産業廃棄物業者が所有する埋立て場(一部シュレッダー業者のものもある)または、地方自治体の埋立て場へ自社運搬または、運送業者委託によって埋立て場へ搬入したあと、埋立費用を負担して埋立処理を行っている。

埋立処分のコストは、日本鉄屑工業会の調査²⁾によると、平成元年現在、関東地区で平均トン当たり8,500円となっているが、これら処理費は埋立処分地の確保難から年々、高騰し特に関東地方の事態が深刻で平成2年には13,000円、一部では17,000円となっている。また、処理業者のアンケート結果によれば、現在確保している用地の寿命は地域格差はあるが、あと1～5年といわれシュレッダー業界にとって重大な問題となっている。

表1-4 乗用車の原材料構成比(単位%)

原 材 料		1980年	1989年
鉄鉄	鉄 鉄	2.8	1.7
普通鋼材	棒 鋼	1.0	0.8
	熱 延 薄 板	6.9	6.3
	” 中 板	5.9	4.8
	” 厚 板	0.8	0.4
	冷 延 薄 板	33.8	22.5
	高 張 力 鋼 板	1.4	6.4
	垂 鉛 め っ き 鋼 板	5.7	10.0
	その他表面処理鋼板	1.5	2.9
	鋼 管	2.3	2.4
	その他普通鋼材計	1.2	0.4
		60.5	56.9
特殊鋼材	炭 素 鋼 鋼 材	6.1	6.0
	合 金 鋼 鋼 材	3.8	3.5
	被 削 性 改 善 鋼 鋼 材	1.0	1.9
	ス テ ン レ ス 鋼 ・ 耐 熱 鋼	0.9	1.0
	ば ね 鋼 鋼 材	1.5	1.4
	軸 受 鋼 鋼 材	0.9	0.7
	その他特殊鋼材計	0.5	0.6
	14.7	15.1	
非鉄金属	電 気 銅	0.8	1.3
	鉛 地 金	0.8	0.6
	垂 鉛 地 金	0.3	0.4
	ア ル ミ 地 金	3.3	4.9
	その他の非鉄金属計	0.4	0.2
	5.6	7.4	
非金属	塗 料	1.8	1.4
	ゴ ム	3.7	2.7
	ガ ラ ス	3.1	3.0
	フ ェ ノ ール 樹 脂	0.1	0.1
	ポ リ ウ レ タ ン 樹 脂	0.8	1.0
	塩 化 ビ ニ ール 樹 脂	1.4	1.6
	ポ リ エ チ レ ン 樹 脂	0.3	0.4
	ポ リ プ ロ ピ レ ン 樹 脂	0.9	2.4
	A B S 樹 脂	0.5	0.8
	(汎用樹脂計)	4.7	6.6
	(高機能樹脂計)		0.9
	[合成樹脂計]	4.7	7.5
	織 維	1.2	1.2
木 材	0.2	0.4	
そ の 他	1.7	2.7	
計	16.4	18.9	
合 計		100.0	100.0

(資料：日本鉄屑工業会)

1.6 まとめ

シュレッダー化の進展にともなって発生するシュレッダーダストの処理対策は、(1)最終埋立て地の確保対策(生き残り対策)、(2)最終処分量の減量化対策を踏まえて、シュレッダー化に不可欠の重要な課題となり、日本鉄屑工業会では、ダストの処理法及び有効利用について経済的に可能な手段を見いだすべく、研究開発を要請している。

シュレッダーダストは多くの有価成分を含んでいるにもかかわらず廃棄処分されているのが現状である。このため、ダストを未利用有効資源としての観点から活用できるシステムを考える必要がある。すでに、都市ごみ等を対象として焼却・熱分解、減容固化等の処理技術ならびに廃棄物資源化のプロセスが開発されており、そのうちの幾つかはシュレッダーダストの処理に適用できるものがある。しかしながら、既存の幾つかの処理システムについて、(財)クリーン・ジャパン・センターがシュレッダーダストを適用した場合の処理コストについて調査³⁾を行った結果、いずれもトン当たり2万円以上の処理コストとなり、埋立処分費よりかなり高くなることが明かとなった。

再資源化を経済的に成立させるためには、ある程度の規模が必要である。したがって、企業単独事業よりは協同組成的なシステムが望ましい。しかし、シュレッダー工場の場合はそれぞれが隣接していないため、ダストをそれぞれの工場から収集して一括処理するには運搬方法等の問題があり、既存の処理システムは適用できない。

再資源化・処理システムが成立するためには、再資源化製品の利益と最終処分コストを加えたものが、全く再資源化することなく最終処分したコストより安くなければならない。

このことから、本研究ではシュレッダー処理の単一工場を対象とし、これより発生するダスト発生量に見合った経済的な処理システムとして、シュレッダー工場が電力多消費型であることに着目し、ダストの簡易ガス化プロセスと生成ガスを燃料とするガスエンジン発電プロセスを確立し、現行の埋立処分費以下のコストでダストより電力を回収するシステムを開発することを目標とした。

引用文献

- 1) 日本鉄屑備蓄協会編:”鉄くず関係統計集” 昭和62年度版
- 2) 日本鉄屑工業会編:”鉄屑ニュース” No.85
- 3) クリーン・ジャパン・センター編:”廃棄物の処理及び再資源化推進のための技術部会シュレッダーダスト分科会報告書” 昭和56, 57年3月

第2章 廃車中の各成分組成とシュレッダーダストの性状

細田英雄, 出口 明, 新川一彦, 武内 洋, 三浦正勝

シュレッダーダストは、廃車をシュレッダー処理プロセスで破碎し、金属類を選別回収した残りの各種プラスチック、ゴム、繊維類および塗料片、ガラス片、砂泥などを組成とする廃棄物である。鉄、非鉄金属、ダストの組成率はメーカー、車種、年式によって違いがあり、ダストの性状も季節によって水分含有率が異なる。また嵩密度が小さい軟質ウレタン、繊維類は破碎によって莫大な量になることが特徴的である。

シュレッダーダストの有効利用と処理法の研究を進める上では、これらのダストの性状把握が不可欠である。そこで廃車1台中の各成分組成分析を行う一方、シュレッダー工場より排出されるダストを収集し、水分、灰分、揮発分、炭素分などの工場分析および元素分析、さらに嵩密度、発熱量などの測定を行った¹⁾。

本章では、これらの結果について述べる。

2.1 廃車1台中の各成分組成

稼働している自動車が廃車となるまでの耐用年数(車令)は約8年といわれており、現在、廃車となってシュレッダー処理工程で処理されるものは昭和58年、59年式が対象となっている。シュレッダーに投入される廃車の鉄、非鉄金属類、プラスチック類の組成は、メーカー、車種、年式あるいは解体段階でエンジン、ラジエータなどを取外すか否かによって異なる。そこで、ダストの主成分となるプラスチック類の成分を正確に把握するために、廃車1台を解体して各組成を分解した。供与試料とした自動車は、排気量1,400cc、車体総重量830kgの乗用車で、年式はスクラップダウンされている使用年数8年を経た昭和54年式のものを用いた。表2-1に廃車1台中の各成分組成分析値を示す。車体、エンジン本体、車軸などの金属類が79.5%、タイヤ、チューブ(スペアタイヤ含)、マット、ブッシュ、シール材などのゴム類が6.8%、ウィンドガラス、シールドビーム、ミラーなどのガラス類が3.6%、塩化ビニール樹脂被覆電線が0.7%、木粉加工したドア内張材の木質系材料が0.5%、軟・硬質ウレタン、コン

ソールボックスなどに使用されているABS樹脂などのプラスチック類が7%、その他バッテリーなどが含まれている。これらの分析結果は、廃車1台のすべてを重量測定して求めたものであるが、実際にシュレッダーに投入される廃車は、この内、エンジン類、車軸類、タイヤ、チューブ、およびウィンドガラスの一部や、バッテリーなどが取除かれたものであると考えられる。したがって、シュレッダーの破碎処理でダストの発生源となるものは、プラスチック、ブッシュ・シール材のゴム類、電線、木質系材料などの約13%であり、これらが破碎処理により嵩密度が小さくなり莫大な容積のダストとなって発生するわけである。表2-2にプラスチック類の種別ごとの組成を重量パーセントで表わしたものを示す。選別は燃焼試

表2-1 廃車1台中の各成分組成

(排気量1400cc, 54年式)

金 属	79.5(wt.%)
プラスチック	7.0(wt.%)
ゴ ム	6.8(wt.%)
ガ ラ ス	3.6(wt.%)
電 線 (PVC被覆)	0.7(wt.%)
木 質	0.5(wt.%)
そ の 他 (バッテリー類)	1.9(wt.%)

表2-2 廃車中のプラスチック組成

(排気量1400cc, 54年式)

ポリプロピレン	21.6(wt.%)
A B S 樹 脂	21.6(wt.%)
軟質ポリウレタン	12.8(wt.%)
ポリスチレン	12.1(wt.%)
塩化ビニル	11.1(wt.%)
ポリエチレン	9.0(wt.%)
硬質ポリウレタン	3.1(wt.%)
アクリル樹脂	3.1(wt.%)
ユリア樹脂	2.0(wt.%)
ポリ塩化ビニリデン	1.2(wt.%)
ポリビニルプチラム	1.0(wt.%)
ナイロン	0.9(wt.%)
フェノール	0.7(wt.%)

験方法と物理的試験方法により行った。ヒーティングや内装材、座席シートなどに使われているポリプロピレンとダッシュボード、ラジエータグリルなどに使われているABS樹脂がもっとも多く、約43%を占めている。そのほか、座席シートのクッション材である軟質ポリウレタン、カーペット、床シート材のポリスチレンおよび燃焼させると有害な塩化水素ガス（HCl）を発生する塩化ビニルなどがおもな組成である。

2・2 シュレッダーダストの性状分析

試料の収集は、1,000馬力のシュレッダーマシーンを操業し、年間約6,000tonのダストを排出する廃車処理工場から行った。ダストは前章の処理プロセス図1-1に示すプレシュレッダー、シュレッダー、選別装置の工程から排出されたものである。ダストはプラスチック類、ゴム類、ガラス片、砂泥などの固体の混合物で、かつ、形状が不特定で高密度が小さいため、その性状分析にあたってはサンプリング手法によってかなりのバラツキが予想された。そこで、処理プロセスのサイクロン、バグフィルター、選別機などの個々の場所からのサンプリングではなく、これらが1カ所のヤードに集められた幅約5m、奥行約20m、高さ約3mのダストの山のランダムな位置でサンプリングをした。サンプリング量は約30ℓのビニール袋で各点10点ずつ、約100袋単位で採取した。このような採取した試料は本質的に組成ムラがあるので、これをさらに20mm以下に粉碎処理し均一化をはかり、分析の試料とした。

図2-1、2にシュレッダー工場より直接採取したダストと20mm以下に粉碎したものの写真を示す。

表2-3にシュレッダーダストの工業分析値および嵩密度、発熱量測定値を示す。



図2-1 シュレッダーダスト

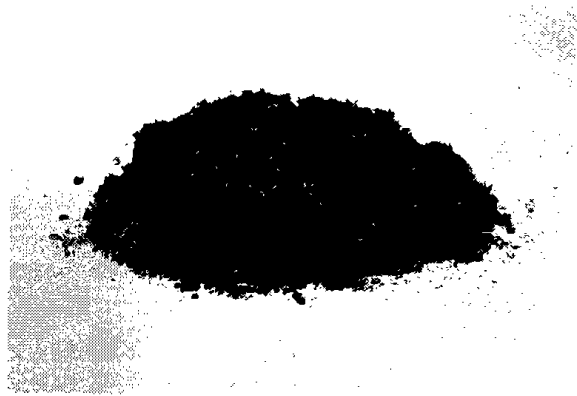


図2-2 粉碎(20mm以下)後のシュレッダーダスト

表2-3 シュレッダーダストの工業分析値

水分	14~21(wt.%)
灰分	15~24(wt.%)
揮発分	49~59(wt.%)
固定炭素	4~8(wt.%)
嵩密度	0.15(g/cm ³)
発熱量	3,600~5,200(kcal/kg)

工業分析結果は平均化せず範囲で示した。分析方法はJISに規定された石炭の工業分析に準じて行った。水分含有率は季節によって異なり、本実験試料の採取時期は3月で冬期間の積雪と融雪によるためか水分含有率は高く、14~21%であった。灰分は15~24%であり、可燃分である揮発分、固定炭素をあわせて53~67%であった。発熱量は燃研式ポンプ型熱量計を用い、JIS K 2279に基づいて高位発熱量を測定したが、その値は3,600~5,200kcal/kgであり、燃焼およびガス化に十分な発熱量を有している。嵩密度の測定にあたっては、通常の小さな容器での測定は困難なので、0.5m×0.5m×0.5m、容積0.125m³のものを製作し、計8回計量し嵩密度を求めた。なお、20mm以下に粉碎したものは綿状を呈し容積率が小さくなり、嵩密度は0.17g/cm³と、やや高い値となった。この嵩密度測定結果から車1台あたりのダストを容積で推算すると、車の1/3の容積となり、いかにダストの容積比が大きいかがわかる。

表2-4にシュレッダーダストの元素分析値を示す。炭素などの可燃分を多く含む一方で、塩素

表2-4 シュレッダーダストの元素分析値

炭	素	40.4(wt.%)
水	素	5.0(wt.%)
窒	素	1.0(wt.%)
酸	素	14.0(wt.%)
塩	素	4.0(wt.%)
硫	黄	全 硫 黄 1.6(wt.%)
		不燃性硫質 0.3(wt.%)
		燃焼性硫黄 1.3(wt.%)

分が4%と高濃度で含有していることから、燃焼またはガス化することによってかなりの塩化水素ガスの発生が予想される。一方、硫黄分も燃焼性硫黄が1.3%含まれているので同様にSO₂の発生が考えられる。

シュレッダーダストの有効利用、あるいは処理にあたってはこれらの塩化水素およびSO₂の除去対策が必要である。

2・3 まとめ

シュレッダーダストの経済的に可能な処理方法を開発するため、ダストの性状分析を行った。

(1) 道内のシュレッダー工場より採取したシュレッダーダストの性状分析を行った結果、水分14~21%、灰分15~24%、揮発分49~59%、固定炭素4~8%、高密度0.15 g/cm³であった。また、発熱量は3,600~5,200 kcal/kgでガス化のためには良質の原料とみなすことができる。

(2) シュレッダーダストの組成を求めるため、54年式の乗用車を解体し、その組成分析を行った結果、金属類が79.5%、プラスチック類7%、ゴム類6.8%、ガラス類3.6%、その他3.6%であり、ダストの主成分はプラスチック類とゴム類であることがわかった。

引用文献

- 1) 鈴木, 新川, 出口, 三浦, “シュレッダーダストの処理法及び有効利用に関する研究” 昭和62年度公害特別研究報告書(工技院), 昭和63年10月

第3章 ガス発熱量の連続測定器の検討

三浦正勝, 新川一彦, 出口 明

まえがき

連続ガス化装置で、廃車のシュレッダーダストや種々の有機物が混ざった廃棄物などをガス化してガス燃料を生産する場合、原料が種々の物質の集合体であることから、熱分解生成ガスの組成比はその時々々の供給状態によって異なり、時間によってその組成比が大きく変動することが避けられない。つまり、ガス化装置の操業状態、特にその時々々の供給物質や粒径の変化および炉内温度や供給速度の変動の影響などを直接受けることから、生成する可燃ガスの組成比も異なり、発熱量値が大きく変動することは操業上避けることができないことである。従って、生成ガスを燃料として使用する場合、生産過程で迅速に発熱量を把握してそれに対応しながら操業管理することは重要なことであり、これによって、装置や操業上のトラブル発見やそれに起因する事故を未然に防止することができる。

そこで、ガス化装置の操業状態が定常状態であるかどうかの監視を兼ねた生成ガスの発熱量値の連続測定装置を検討した。その結果、高カロリーのLPG、中カロリーの都市ガス及び低カロリーのガスなど各種の気体燃料の発熱量を簡便的ではあるが連続測定できる装置、方法を明らかにしたので、その概要を報告する。

3・1 従来の発熱量測定方法及び装置

気体の発熱量を測定する方法としては、一般的な方法としてガスクロ法(TCD)がある。この方法では、ガスクロマトグラフィーによってガス中に含まれる各成分を数回分析して、その組成比、平均値からガス発熱量を計算する。このガスクロによる方法がガスの発熱量を測定する方法として精度が高く信頼性の高い方法であるが、回分でサンプリングを行うため、分析値が大きくばらつく場合も少なくない。従って、生産ガスの発熱量を連続的に監視して遅滞なくそれに対応して熱量を

管理する操作が必要な場合の方法としては必ずしも適当ではない。燃料ガスの発熱量測定方法としては、流水形熱量計、炎形熱量計、ポンプ熱量計等による測定方法がある。

流水形熱量計による方法は、定常状態でガスを燃焼させながら一定速度の水を流し、その流水の温度上昇から発熱量を求めるものである。わが国とドイツでは Junkers 式(米国とカナダでは Simance-Abady 式、英国では Boys 式)が使用されており、わが国では、計量法に定められているのはこの方法(JIS K2303)である¹⁾。しかしこの流水型熱量計による方法は、経時変化がある場合やガス組成が変動するガスの発熱量を測定するには不適當である。さらには低カロリーのガスを対象にすると燃焼性が悪く、炎が立ち消えたり不完全燃焼を起こして測定できない。また、この熱量計による測定は分析所要時間が長くかかるとともに操作は単純でなく熟練が必要とされている。

炎形熱量計による方法は、一定圧でガスを燃焼させて炎内部の円錐の炎の高さを測って発熱量を決定するものであり、もっとも簡易な方法である。しかし流水形熱量計と同様、低カロリーのガスでは炎が不安定となり測定できない。

また、ポンプ熱量計による方法は、固体や液体燃料の発熱量測定に優れた方法ではあるが気体燃料には誤差が大きくて不適當である。

以上、これらの熱量計による発熱量測定は何れの方法も気体燃料を完全燃焼させることが必要であり、それに基づく炎の状況や燃焼熱を水に熱交換させて発熱量を求める方法である。従って、低カロリーガスの発熱量を測定するには、燃焼状態が不安定となり適応できない。

3・2 試作装置の原理及び測定方法

気体燃料を形成している成分は、 $C_1 \sim C_4$ の飽和炭化水素であるメタン、エタン、プロパン、ブタンとこれらの不飽和炭化水素および一酸化炭素、

表3-1 ガス燃料の主要成分とその発熱量²⁾、相対モル感度;Ri³⁾

Component	Calorific value Hh ²⁾ (Kcal/Nm ³)	Density (Kg/Nm ³)	Flow rate (flowmeter CH ₄ base)	Ri ³⁾ (CH ₄ base)
CH ₄	9,520	0.72	1.00	1.0
C ₂ H ₂	14,090	1.16	0.78	2.6
C ₂ H ₄	15,290	1.25	0.76	1.9
C ₂ H ₆	16,820	1.34	0.73	2.0
C ₃ H ₆	22,540	1.88	0.62	2.85
C ₃ H ₈	24,320	1.97	0.60	3.0
C ₄ H ₈	29,110	2.50	0.53	3.80
C ₄ H ₁₀	32,010	2.59	0.53	4.0
H ₂	3,050	0.09	2.82	—
CO	3,020	1.25	0.76	—

水素等の可燃ガスが気体燃料の主成分であり、これに炭酸ガスや窒素等の不燃ガスが混入している。ガス燃料の発熱量は各炭化水素の発熱量値が他の物質に比べ高いことからその濃度でほぼ決定される。

表3-1に、ガス燃料の主要成分の高位発熱量値;Hh²⁾、密度及び流量計におけるメタン換算流量等を示す。炭化水素の発熱量値は表3-1に示したようにほぼ炭素の原子数に比例する。一方、数ppm～数%の極めて低濃度の有機物の測定器としてガスクロや全炭化水素濃度計で使用されている水素炎イオン化検出器(FID)の相対モル感度³⁾;Riは、表3-1に示したように飽和炭化水素の炭素の原子数に完全に比例する。

なお、Sternberg⁴⁾ら、及びPerkins⁵⁾らが多くの有機化合物の相対感度を測定し報告している。彼らのほぼ一致した結論として、炭化水素では相対モル感度が炭素原子数に比例し、炭化水素の水素原子が他の原子や基と置換した誘導体では一定の補正值を増減して算出されるいわゆる有効炭素原子数の総和に比例するとしている。また、ガス燃料としての測定に際しては特に関与しないものもあるが、イオン化検出器に感知される各型の炭素1原子当りの有効炭素原子数および結合各原子による補正值³⁾は、表3-2に示した通りである。

メタンの相対モル感度を1.0とした場合、エタ

ン、プロパン、ブタンの値はそれぞれ2.0, 3.0, 4.0である。従って水素炎イオン化検出器における発生イオン電流はガス燃料の発熱量にほぼ比例することになる。

水素炎イオン化検出器は、先にも述べた通り極めて高感度であることから微量成分の検出器として各分野で利用されている。そこで、検出器へのガスの希釈や流量調整によって高濃度ガスにも対応できるよう可燃性ガスの直接測定やガス発熱量の測定器としての簡便的な利用を検討した。

水素炎イオン化検出器の特徴は、感度、つまり発生するイオン電流値は不燃物の炭酸ガスや無機ガス及び水分の影響を受けず、これらを検知しないことである。しかし可燃ガスであり発熱量に影響する水素と一酸化炭素も検知しないのでこれらの含有量の高い高炉ガスや水性ガスなどの測定に際しては不適當であるか、あるいはこれらの持つ発熱量分を上乗せして補正する必要がある。しかし、水素や一酸化炭素ガスは、純物質でそれぞれの発熱量が表3-1に示したように3,050, 3,020 Kcal/m³と低いことから、これらの含有量が炭化水素ガスに比べ高濃度の場合を除き、補正する発熱量の値はそう大きくはならない。

このような観点から、試作したガス発熱量の測定装置のフローの概略を図3-1に示す。試作装置は、高濃度の標準ガスや被測定ガスを無機ガスと任意の濃度に希釈することができる。また希釈

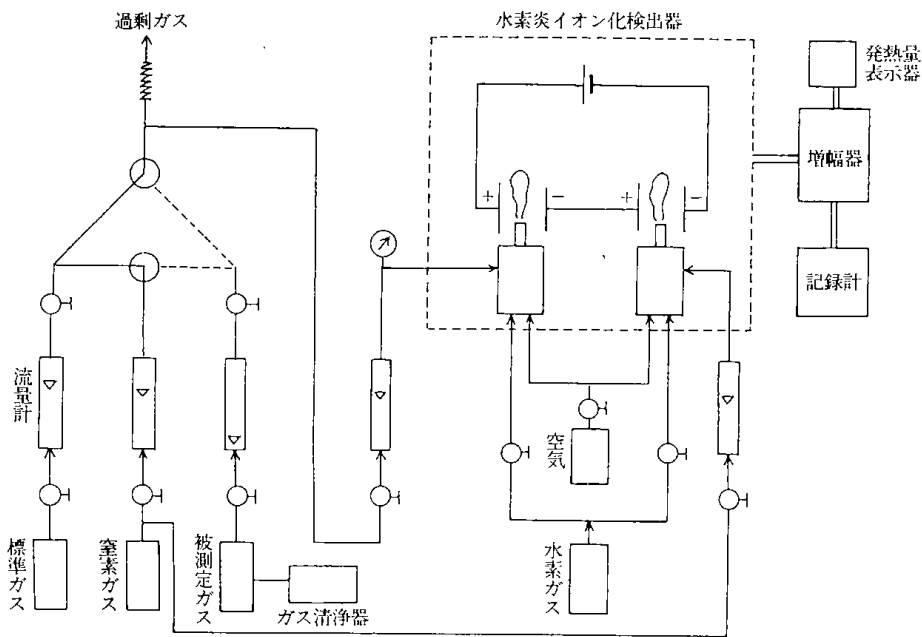


図3-1 簡易式の発熱量連続測定装置のフロー概略図

後の標準ガスの圧力や流量を被測定ガスのそれらと同一になるように微調整して検出器への流路を切り替えることができる。

ガスの流通経路は内径、約0.1～3 mmのステンレスパイプで配管し、配管内でのガス滞留時間を少なくして応答性が良くなるよう配慮した。

図3-1に示した流量計や微量調整バルブは、種々の実験条件に対応させるためのものであり、一部の流量計やバルブは抵抗管等で代用して簡略化することもできる。つまり、標準ガスや測定ガスの希釈装置は限られた濃度範囲で使用するならば必ずしも設置する必要はない。しかし希釈装置の設置により標準ガスと被測定ガスの発熱量値を近接させることができ、これにより精度を高くすることができるとともに幅広い濃度範囲に適応できるようになる。

被測定ガスにタールや腐食性ガスが含まれている場合には、当然のことながらガス清浄器等を経由させて事前にこれらを除去する必要がある。

次に、発熱量測定操作について、簡単に述べる。

まず、水素炎イオン化検出器に水素と空気を適量流して点火する。水素炎および電気回路が安定してから、ゼロガスである窒素を検出器に流し記録計のゼロ調整を行う。次に、ガス流路を切り替えて、標準ガスをゼロガスの場合と同じくするように流量計と圧力計を監視しながら流し、標準ガスの発熱量と記録計の指示値が一致するようにス

パン調整する。再度、ゼロガスに切り替え指示値がゼロになることを確認してから、流路切り替えバルブを被測定ガス側に切り替える。ここで繰り返し精度を高めるために必要なことは、流量計と圧力計の指示値が標準ガスを流した場合と正確に一致するようニードルバルブで調整することであ

表3-2 有効炭素原子数および補正值

原子	型	有効炭素原子数
C	飽和脂肪族	1.0
C	芳香族	1.0
C	オレフィン	0.95
C	アセチレン	1.30
C	カルボニル	0.0
C	ニトリル	0.3
O	エーテル	-1.0
O	第一アルコール	-0.6
O	第二アルコール	-0.75
O	第三アルコール	-0.25
O	エステル	-0.25
C1	飽和脂肪族のC1原子に1原子結合	-0.0
C1	同上C1原子に2原子以上結合	-0.12 (各)
C1	オレフィンのCに結合	+0.05
N	第一アミン	-0.6
N	第二アミン	-0.75
N	第三アミン	-0.25

り、これらの異なりが指示値に大きく影響することから微調整は必ず行う必要がある。その時、記録計の指示値がオーバースケールする場合には、標準ガスの発熱量より被測定ガスの濃度が明らかに高いので被測定ガスを窒素で希釈してから再び測定し、希釈倍率を乗じて発熱量を求める。

逆に、記録計の指示値が非常に小さい場合には、標準ガスを希釈して被測定ガスの発熱量に近くなるよう再度スパン調整を行い、再測定することによって分析精度を高めることができる。

また、応答速度を早くするためガス流量を高めた場合や発熱量が極めて高い燃料を検出器に直接導入した場合には、検出器で発生するイオン電流値が飽和して正しい発熱量の測定ができなくなることがある。その時の状態は、検出器へのガス流量を変化させても指示値がその流量に比例しない

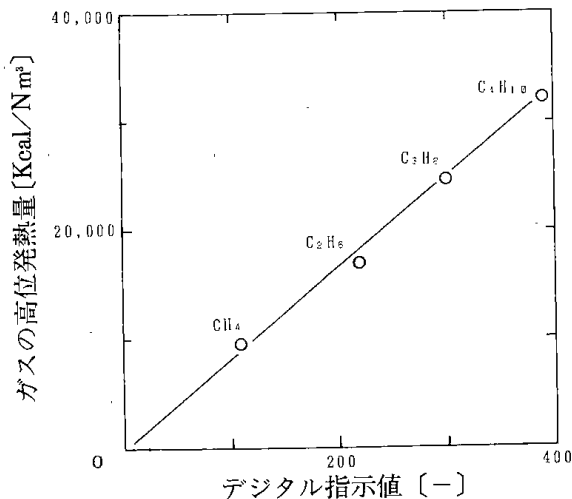


図3-2 発熱量と指示値との関係

ことですぐ判断できる。その場合には、指示値がガス流量に比例するようになるまでガスを希釈して、再度スパン調整を行ってから測定する必要がある。

3.3 検量線の作成例

発熱量既知のガスとして、高純度のメタン、エタン、プロパン、n-ブタンを、ゼロガスには窒素を使いこれらの発熱量と水素炎イオン化検出器で発生する電流指示値との関係を調べた。なお高純度のエタン、プロパン、ブタンには東京化成製の100gボンベ詰を使用した。その結果を図3-2に示す。またメタンガスを希釈し、低濃度の場合の発熱量と指示値との関係を図3-3に示す。高濃度、低濃度いずれの場合もガスの発熱量と指示値との関係は、図に示した通りほぼ直線で示さ

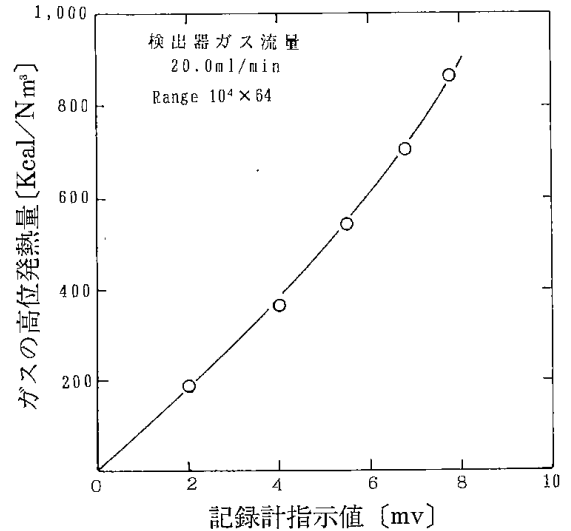


図3-3 メタン換算発熱量と指示値との関係

れ、検出器へ入るガス流量と圧力を一定に保持すれば繰り返し精度は非常に良いことが明らかとなった。

3.4 連続測定の結果

標準ガスにメタンを使い、被測定ガスとして赤外線加熱炉で急速加熱して発生したシュレッターダストの熱分解ガスを対象にして発熱量値の経時変化のモニターを試みた。この結果、熱分解によって発生したガスの発熱量は時間とともに高まり、その後低下する様子が連続的に記録され熱分解で発生するガスの熱量を熱分解とほぼ同時にモニターすることができた。なお指示された発熱量値はガスクロマトグラフィーで分析した発熱量値とほとんど一致しており、標準ガスと被測定ガスのフローメーターによる流量とその時の圧力を一致させることにより、簡便的ではあるが高い繰り返し精度で、発熱量値をメタン換算して連続測定できることがわかった。

(特許出願資料より一部引用)

引用文献

- 1) 佐々木正治, 熱量, 計量管理技術双書(11), コロナ社, p.94(昭和51年)
- 2) 吉田高年, 燃焼工学, 共立出版, p.24(1971)
- 3) 日本化学会編, 実験化学講座(続)9, ガスクロマトグラフィー, 丸善, p147(1965)
- 4) Sternberg, J.C., Gallaway, W.S., Jones, D. T.L., "Gas Chromatography", ed. N. Brenner et al., p.231, Academic Press, (1962)
- 5) Perkins, G., Jr., Rouayheb, G.M., Lively, L.D., Hamilton, W.C., ibid., p.269 (1962)

第4章 小型基礎試験炉による実験

武内 洋, 出口 明, 細田英雄, 新川一彦

パイロットプラントの設計および操作に関わる基礎データを得ることを目的として、内径200mmの流動層小型基礎試験炉を用いて実験を行った。また、第2章の元素分析の結果からシュレッダーダスト中には塩素や硫黄が含まれており、燃焼あるいはガス化の過程で有害な塩化水素(以下 HCl と記す) および二酸化硫黄 (以下 SO₂ と記す) の発生が予測される。そこで本実験では燃焼あるいはガス化条件での HCl および SO₂ の発生量も測定した¹⁾。

4.1 実験装置および方法

実験に用いた試料は第2章2で述べたダストで、発熱量は3,600~5,200kcal/kgである。

図4-1に実験装置の概略を示す。試験炉本体は内径200mmの鋼管製で、空気分散器からの高さは800mmである。本体の外周には電気ヒーターおよび保温材が巻いてある。空気分散器は燃焼およびガス化残渣物が容易に排出できるようにコーン部の側面に設けた。孔径は1.5mmで千鳥配列である。開孔比は流動層断面積に対して約1%である。

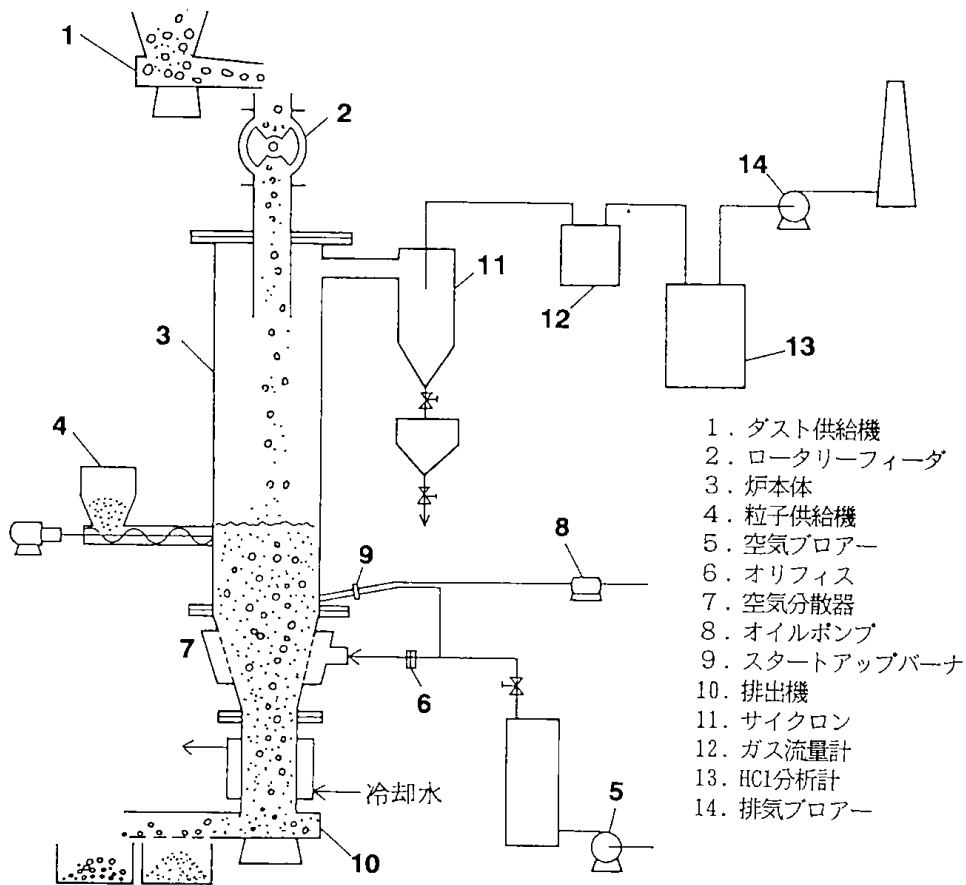


図4-1 流動層小型基礎試験炉

ダストの供給は振動フィーダ1によって供給速度を調節し、さらにロータリフィーダ2で燃焼炉の気密性を保つように2段階方式で行った。また、ダストの燃焼およびガス化残渣物が層内に蓄積すると次第に流動状態が悪化するので、この残渣物を移動層の状態下部に取付けた振動排出機10によって系外に排出した。排出機先端の目開き1mmの篩により流動化用の砂と固形残渣物を分離した。残渣物の排出にともない流動化粒子も排出され、層高が低くなるので砂をスクリーフィーダ4により補給した。

層内の流動化状態の把握と流動層高の制御は、空気分散器直上とフリーボード部との間の差圧を記録・自動調節することにより行った。すなわち、この差圧が所定の値よりも小さい場合には制御器の出力信号によって流動化粒子供給機を作動させ粒子を供給し、所定値より高い場合にはフィーダでの粒子供給を停止させた。排ガスはサイクロン11によって微粉塵を分離した後、ガス流量計12を経て排気ブローア14で大気に放出した。

実験は次の手順により行った。まず、平均粒径が0.19mmで最小流動化速度が3.8cm/s(常温)の流動化用珪砂を流動炉に充填して空気中で流動化した。そして、炉外壁に巻いた電気ヒーターで加熱し、層温度が約400℃になってから灯油バーナを作動させ、層温度を急速に昇温させた。層温度が800℃程度に達したところでダストを供給し、ダストの自燃により層温度が安定した時に電気ヒーターの電源を切り灯油の供給も停止した。

層温度の制御はダストの供給速度の調節によって行い、燃焼およびガス化用(流動化用)空気は排ガス中の残余酸素濃度をモニターして調整した。

流動層高は層高制御装置により約250mm(層の圧力損失で約180mm水柱)とした。排ガスはサイクロン通過後にサンプリングし、O₂、HCl、SO₂の濃度を連続測定した。分析法はO₂が磁気式、SO₂は非分散赤外線吸収式、HClはイオン電極法である。

4.2 結果と考察

1) 層温度

本実験装置ではダストの供給量によって層温度を制御した。実験開始後は安定した状態で温度制御ができたが、長時間におよぶとダストの供給位

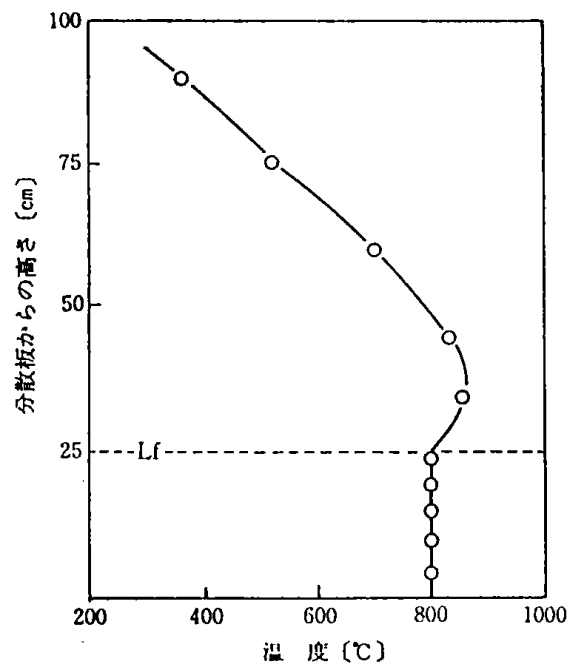


図4-2 炉内温度分布の例

置が炉頂部であるために炉内で発生したガスおよびミストによりロータリ供給機部にダストが付着し、安定供給が困難となることがあった。

図4-2に炉内温度分布の例を示す。実験条件は残余酸素濃度が4~5%である。層温度は800℃で制御されているが、層直上のフリーボード部では870℃と70℃高くなった。これは炉頂部からダストを降らせる方式で供給しているので、フリーボード部での燃焼率が高いためと考えられる。したがって、パイロットプラントの設計にあたってはダストの供給は層下部にすることが望ましい。その場合、流動層内からの背圧がかかった状態でも安定な供給ができる供給機が必要である。

2) ガス化試験

層温度800~830℃、残余酸素濃度1%の実験条件で、部分燃焼ガス化実験を行った結果、生成ガスはH₂、CH₄、CO、C₂H₄、C₂H₆などの可燃性ガスを含み、発熱量計算では1,200~1,500kcal/Nm³の値を得た。

3) HClおよびSO₂の発生量

図4-3に残余酸素濃度とHCl、SO₂発生量の関係を示す。HCl発生量は残余酸素濃度5~10%の燃焼領域では1,000~4,000ppmであるが、残余酸素濃度が3%以下になると5,000~8,000ppmと高濃度の発生量となる。ガス化の条件で

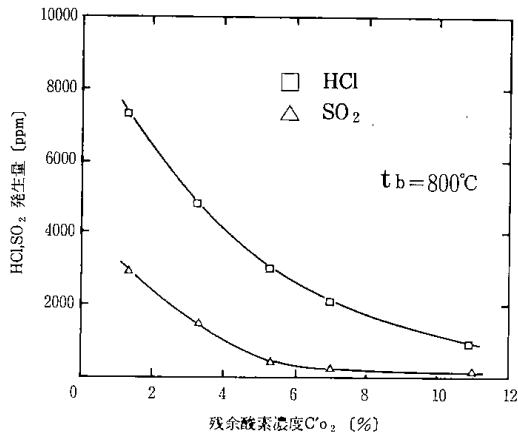


図4-3 残余酸素濃度とHCl,SO₂発生量の関係

表4-1 シュレッダーダスト灰分中の無機成分と金属元素

SiO ₂	(wt.%)	27.30
Al ₂ O ₃	(wt.%)	7.74
Fe ₂ O ₃	(wt.%)	7.37
MgO	(wt.%)	6.66
CaO	(wt.%)	22.20
K ₂ O	(wt.%)	0.20
Na ₂ O	(wt.%)	0.96
TiO ₂	(wt.%)	1.22
<hr/>		
Cu	(wt.%)	12.98
Mn	(ppm)	500
Zn	(ppm)	9,540
V	(ppm)	160
Cd	(ppm)	20
Cr	(ppm)	460
Ni	(ppm)	1,030

は残余酸素濃度が1%以下であるのでかなりの発生量となる。一方、SO₂の発生量は残余酸素濃度5%以上では500ppm以下であるが、5%以下では約3,000ppmの発生量である。ガス化条件下ではHClと同様に発生量が増える。したがって、ダストのガス化にあたってはHClおよびSO₂の除去対策が最重要課題である。

4) 燃焼残渣物の組成

シュレッダーダストを燃焼あるいはガス化した場合、残渣物が約12%発生した。これらの残渣物



図4-4 燃焼残渣物

は埋め立て処理するか、あるいは有価物を含んでいれば灰化によって回収することも可能になる。そこで、残渣物の無機成分と金属元素の分析を行った。

表4-1にその分析結果を示す。分析は高周波プラズマ発光分析装置(ICP:Inductive Coupled Plusuma Spectrophotometer)により行った。無機分の主成分はSiO₂とCaOで約50%を占める。これはダスト中に含まれているガラス粉末と砂泥によるものと考えられる。金属類は銅が約13%と多い。これは、図4-4の写真に示すように細かい被覆電線が選別行程で回収できずダスト中に含まれるものによる。銅のほかにアルミニウム、マグネシウムなどの有価物が含まれており、微量金属としては亜鉛、ニッケル、マンガンなどが挙げられる。残渣中の有価物の回収も検討すべき課題である。

4.3 まとめ

流動層小型基礎試験炉を使用したシュレッダーダストの燃焼およびガス化試験では、ダストの持つ発熱量で所定の温度条件を維持することができた。また、以下のことがわかった。

- 1) ダストの供給は炉上部からの供給では層内燃焼率が低くなるので層下部からの供給が望ましい。この場合、流動層内からの背圧がかかった状態でも安定な供給ができる供給装置が必要である。
- 2) ガス化実験条件で生成したガスはH₂, CH₄, CO, C₂H₄, C₂H₆などの可燃性ガスを含み、発熱量は1,200~1,500kcal/Nm³であった。

3) HCl, SO₂の発生量はガス化条件ではHClが7,000ppm以上, SO₂が3,000ppmと高濃度で発生するので除去対策が課題である。

4) 残渣物には銅, アルミニウムなどの有価物が多く含まれているので, これらの有価物を回収することによりダスト処理のコストダウンが可能である。

引用文献

- 1) 出口 明, 三浦正勝, 新川一彦, 鈴木 智,
“シュレッダーダストの処理と有効利用の研究”第13回産業公害研究総合推進会議要旨集,
昭和62年12月

第5章 塩化水素乾式吸収の基礎実験

武内 洋, 出口 明, 細田英雄, 新川一彦

シュレッターダスト中には塩素や硫黄分が含まれており, 燃焼あるいはガス化によって高濃度の有害な塩化水素(以下 HCl と記す)および二酸化硫黄が発生する¹⁾。本研究の最終目標であるダストを空気中で部分燃焼ガス化し, 得られたガスを燃料としてガスエンジン発電プロセスを稼働させるためには, ガスのクリーンアップが必要不可欠の課題である。

ここで, ダストをガス化処理する場合に発生する HCl を石灰石で乾式吸収する方式の基礎的

データを得ることを目的として実験を行った。すなわち, 石英ガラス反応管を用いて, 吸収剤の種類, 吸収剤と HCl とのモル比, 吸収温度, 吸収剤の粒度および寿命などについて実験を行い吸収特性を検討した。

5.1 実験装置および実験方法

実験装置の概略を図5-1に示す。反応管は内径42mm, 高さ60cmの石英ガラス製で管内下部に石英ガラス粒子を焼結したガス分散器を取り付け,

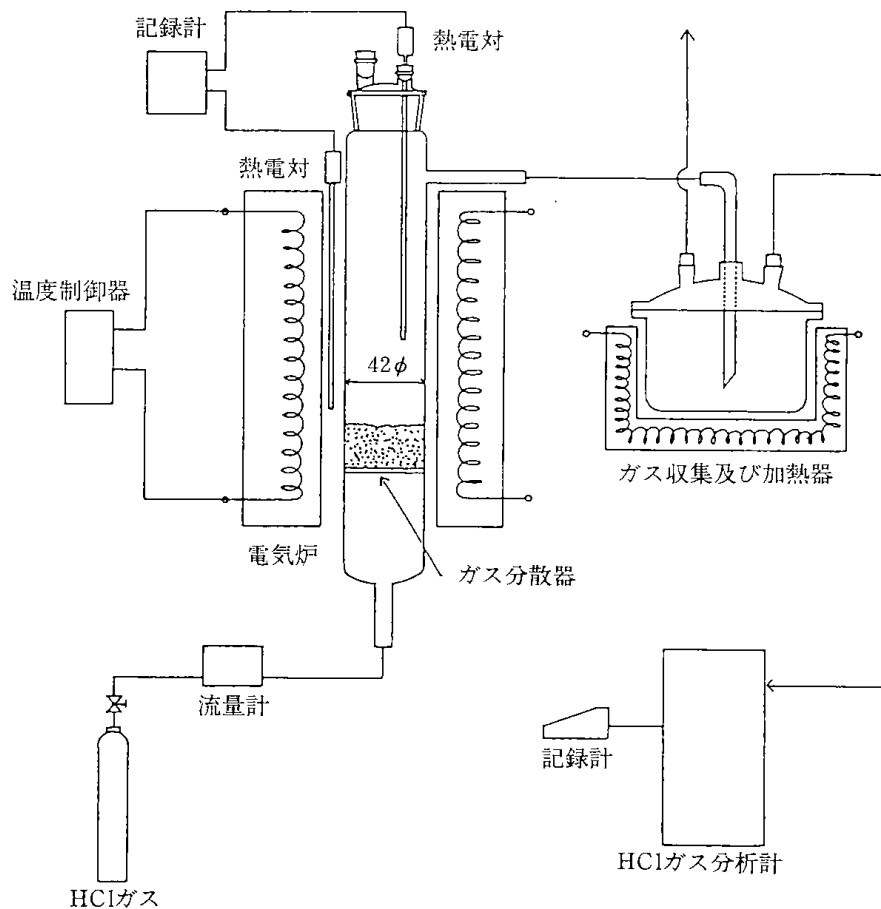


図5-1 石英ガラス反応管実験装置

表5-1 物性値

	石灰石	CRR
比表面積 m ² /g	0.2	1.2
真密度 kg/m ³	2700	2700
かさ密度 kg/m ³	1500	1300

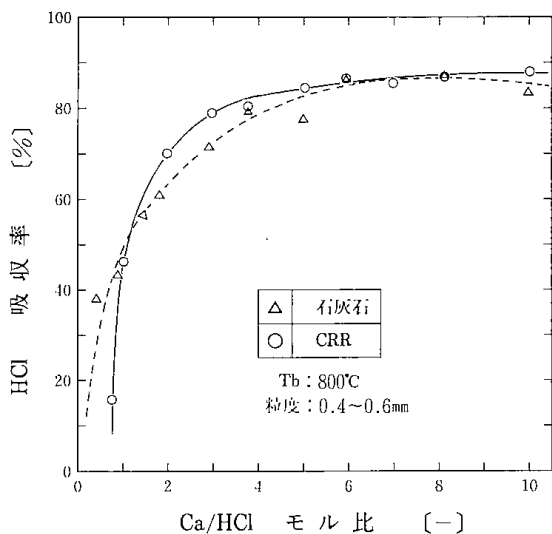


図5-2 石灰石およびCRRのHClガス吸収率

試料を充填できるようにした。加熱は電気炉で行い、温度は管内に挿入した熱電対と温度制御器により所定の温度に制御した。

HCl はポンベの直後で減圧調整し、マスフローコントローラーで所定の流量に調整後、反応管の底部より流通させた。充填した吸収剤を通過したガスはトラップを経て塩化水素濃度計で連続測定できるようにした。分析は塩化水素濃度計(イオン電極法)により行った。なお、HCl の凝縮を防ぐため、ポンベの圧力調整弁および反応管入り口までの流路、反応管出口からのガス流路、ガストラップ部分をリボンヒーターおよびマントルヒーターで加熱保温した。

実験に使用した HCl は窒素ガスで800ppmに調整された標準ガスである。吸収剤は石灰石、サンゴ礁石灰石(Coral Reef Rock:略称CRR)で粒度は0.4~0.6mmおよび0.6~0.8mmの2種類を用いた。表5-1にその物性値を示す。

まず、石灰石あるいはCRRを硅砂で適当に希釈したものを一定量反応管に充填し、設定温度ま

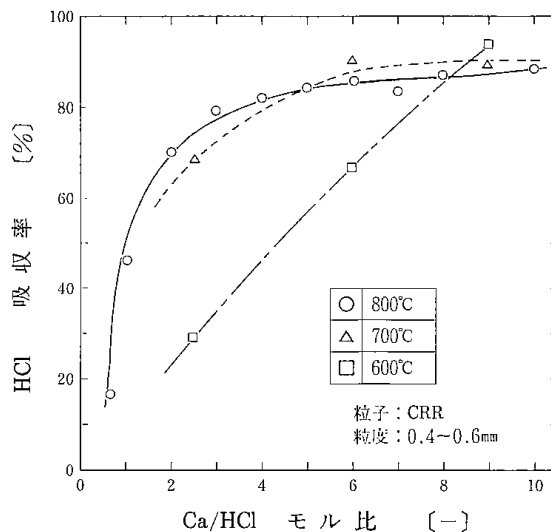


図5-3 HClガス吸収率の温度による影響

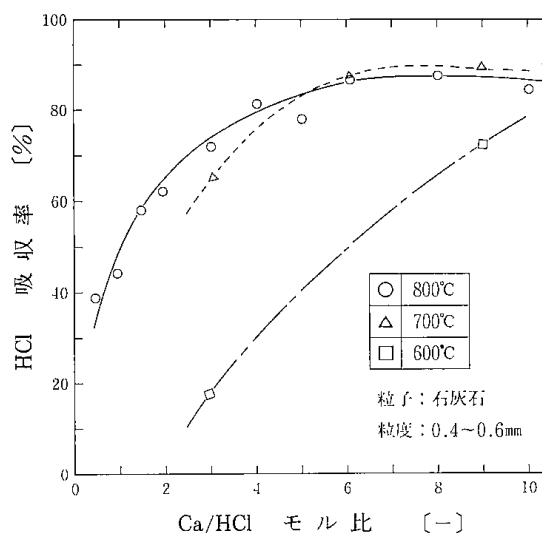


図5-4 HClガス吸収率の温度による影響

で昇温させた。次に HCl を0.5 l/min の流量で30分間反応管の吸収剤層を通過させ、ガストラップ中の HCl 濃度の変化を連続測定した。

ガスに対する吸収剤のモル比 Ca/HCl は一定時間流した HCl の積算モル量によって計算した。実験は反応管内温度が600~800°Cの範囲で、石灰石およびCRRのモル比を任意に変えて吸収率を測定した。また、石灰石の寿命については4~5時間の連続吸収実験を行った。

5.2 実験結果と考察

反応管内温度800°C、吸収剤の粒度0.4~0.6mmにおける石灰石およびCRRのCa/HClモル比

と HCl 吸収率の関係を図 5-2 に示す。ここで HCl 吸収率は次のように定義した。

$$\eta = \left(1 - \frac{C_0 \text{HCl}}{C_1 \text{HCl}}\right) \times 100 (\%) \dots\dots\dots (1)$$

$C_0 \text{HCl}$: 反応管出口の HCl 全量
 $C_1 \text{HCl}$: 反応管入口の HCl 全量

Ca/HCl モル比の増加につれて吸収率は増加し、モル比 2~5 における吸収率は石灰石と比較して CRR の方がわずかに高い傾向を示したが、モル比 6 以上では吸収率は約 85% となり、その違いは

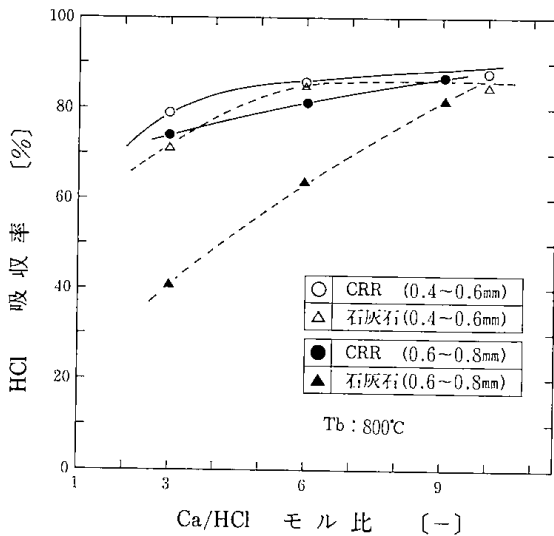


図 5-5 HCl ガス吸収率の粒径による影響

無くなった。CRR は石灰石と比べて比表面積が 6 倍と大きいですが、吸収率では顕著な影響がみられなかった。

図 5-3 に吸収剤に CRR を用いた場合、図 5-4 に石灰石を用いた場合における HCl 吸収率の温度による影響を示す。いずれも 700°C, 800°C での吸収率は高く、ほぼ同じ傾向を示したが、600°C では明らかに吸収率は低下した。

図 5-5 に層内温度 800°C における HCl 吸収率の粒径による影響を示す。CRR, 石灰石とも粒径の細かい方が吸収率が高く、特に石灰石ではその影響が顕著に現れた。これは充填した吸収剤の細かい方が通過する HCl との接触効率がよいためと考えられる。

次に、石灰石, CRR が吸収剤としてどの程度寿命があるかを確認するため、連続吸収試験を行った。図 5-6 に Ca/HCl モル比 2, 図 5-7 にモル比 4 の場合の HCl 吸収率および HCl 濃度の経時変化を示す。実験条件は、反応管温度 800°C, HCl 流量 0.5 l/min である。60 分までの吸収率は、モル比 2 と比較してモル比 4 の場合が高く、石灰石, CRR のいずれも吸収率は約 60% である。時間の経過とともに吸収率は悪くなる傾向を示した。120 分以後はほぼ平衡状態となり、約 25% の吸収率を示した。

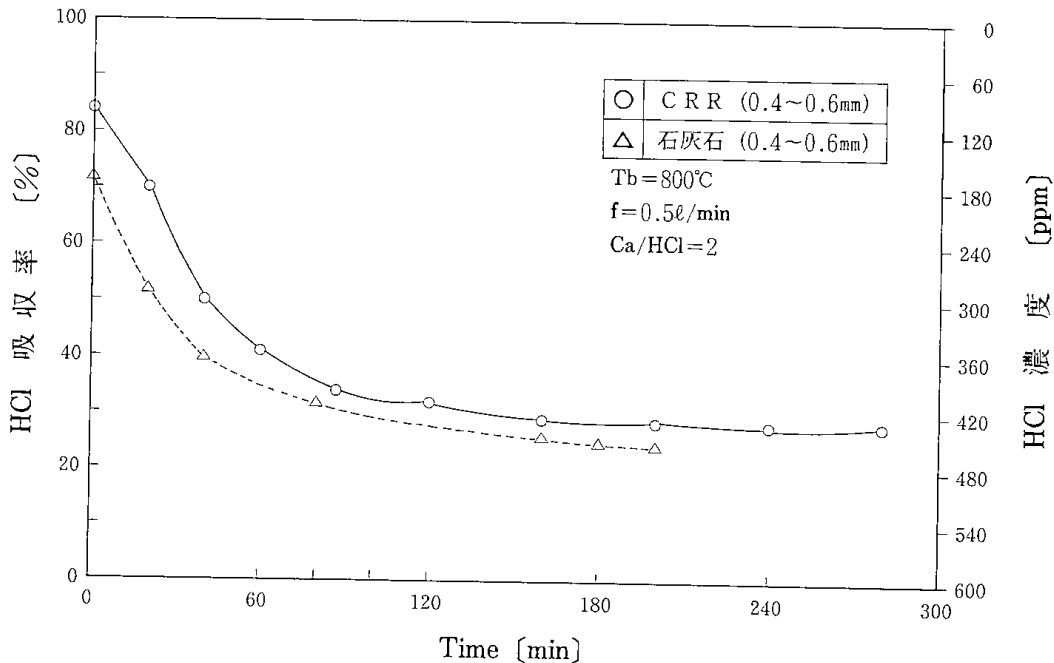


図 5-6 吸収率の経時変化

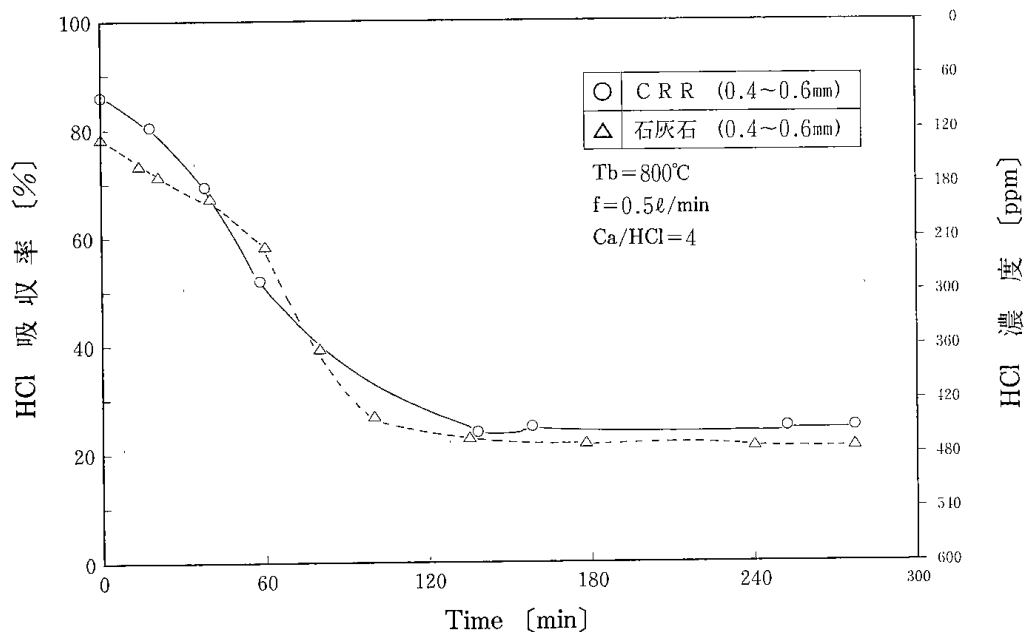


図5-7 吸収率の経時変化

5.3 まとめ

石英管内で石灰石およびCRRによるHClの吸収の実験を行い吸収特性を検討し、次の結論を得た。

(1) Ca/HCl モル比の増加につれて吸収率は増加し、モル比2~5における吸収率は石灰石の場合と比較してCRRの方がわずかに高い傾向を示したが、モル比6以上ではともに約85%となり顕著な違いはみられなかった。

(2) 吸収率は反応管温度が700~800℃の場合高く、600℃の条件では明らかに吸収率が低下した。

(3) 粒径の影響ではCRR、石灰石とも粒度が細かい方が吸収率が高くなり、特に石灰石ではその影響が顕著に現れた。

(4) 石灰石、CRRの寿命を連続吸収実験を

行って測定した。経過時間60分までの吸収率はモル比4の場合で約60%であり、120分以降では平衡状態となり、石灰石、CRRとも約25%の吸収率を示した。

引用文献

- 1) 環境庁企画調整局環境研究技術課編：“昭和62年度、廃棄物の処理と資源化技術に関する総合研究”（昭和63年10月）

(謝 辞)

本実験は八戸工業大学エネルギー工学科学生、小幡 隆氏（昭和63年度当所 研修生）に協力いただいた。ここに感謝の意を表する。

第6章 パイロットプラントの設計・製作

出口 明, 新川一彦, 細田英雄, 武内 洋

シュレッダーダスト流動ガス化装置の設計にとって留意すべきことは、ダストの高密度が非常に小さいので流動層内に安定な供給ができることと、ガス化残渣物中の細かな金属片、銅線などの層内蓄積により流動状態が粗害されるので、これら残渣物の排出機構が重要な設計の因子となる。また、ダストのガス化によって発生する塩化水素（以下、HCl と記す）は高濃度であり、発電用ガスエンジンを腐食させたり、2次公害発生の源になるので脱塩化をはかる必要がある。二酸化硫黄（以下、SO₂ と記す）も同様であり、この除去対策も課題である。すでに著者らは、含油スラッジ廃棄物の処理と有効利用に関する研究の中で、SO₂、HCl の炉内同時吸収について検討しており、その結果、石灰石とコーラルリーフ（サンゴ礁石灰石）を流動化粒子として使用することにより両者を炉内である程度同時吸収できることを明らかにしている¹⁾。

そこで、本研究においても石灰石およびコーラルリーフによる HCl と SO₂ の炉内同時吸収除去法を課題にすることとし、ガス化条件と吸収除去率との関係を重要な研究要素の一つと位置づけた。この場合、HCl、SO₂ 吸収の最適温度は800℃付近なので、層温度は750～850℃が操作範囲になる。この温度領域はダストのガス化条件とも一致する。これらの研究要素にもとづいて小型パイロットプラントを設計・製作した。²⁾

6.1 小型パイロットプラントの設計・製作

流動層ガス化炉の処理能力を決定する因子は炉断面積と空気流速であり、断面積は実装置のスケールアップ時の流動化特性を予測する上で重要である。本研究では、大型流動層設計にとって、スケールダウンサイズに相当する0.2m×0.2mの角型の炉断面とした。また、空気流速は、ガス化の場合流動燃焼のように空気量はさほど必要では

ないので、ガス化での流動状態の安定性を保つための最小限の流速で操作することとし、0.1～0.3 m/s（常温時）の範囲とした。

上記の断面積で、層温度800℃の時の空塔ガス速度を0.14m/s、ダストの発熱量を約4,000kcal/kgとすると処理量は約20kg/hとなる。

流動層ガス化炉の高さは、フリーボードをできるだけ高くして脱塩化剤をフリーボードより落下させ、層内のほか、フリーボード部で、HCl、SO₂の吸収をはかることが望ましいが、実験工場建屋の関係で全高を4.6mとした。

以上のような因子を考慮して設計・製作した小型パイロットプラントのフローシートを図6-1に、ガス化試験装置の写真を図6-2に示す。

各構成要素は以下のように設計されている。

(1) 流動層ガス化炉本体

流動層ガス化炉本体の仕様寸法の概略を図6-3に示す。炉本体はステンレス製（SUS314）、内部寸法は1辺が0.2mの正方形断面で、高さは空気分散器より2.6m、空気分散器より下部の移動層部は1.0mである。炉外壁には電気ヒーターを巻き、さらに保温材により保温した。

(2) ダスト供給装置

実験規模の試験装置は実装置と異なり炉本体が小規模であり、流動化状態の安定操作上、あるいは、各種ガス組成などのデータを得るためには、試料の供給にあたって安定した定量供給が不可欠であった。

前節第4章で行った小型実験装置では振動フィーダと機密性を保つためロータリーフィーダを使用した。ダストの高密度が小さいため供給量を多くするにはフィーダを大型化しなければならぬことがわかった。また、上部からの供給では、第4章の実験結果から層内燃焼率が低く、長時間の運転はトラブルが多く困難であった。

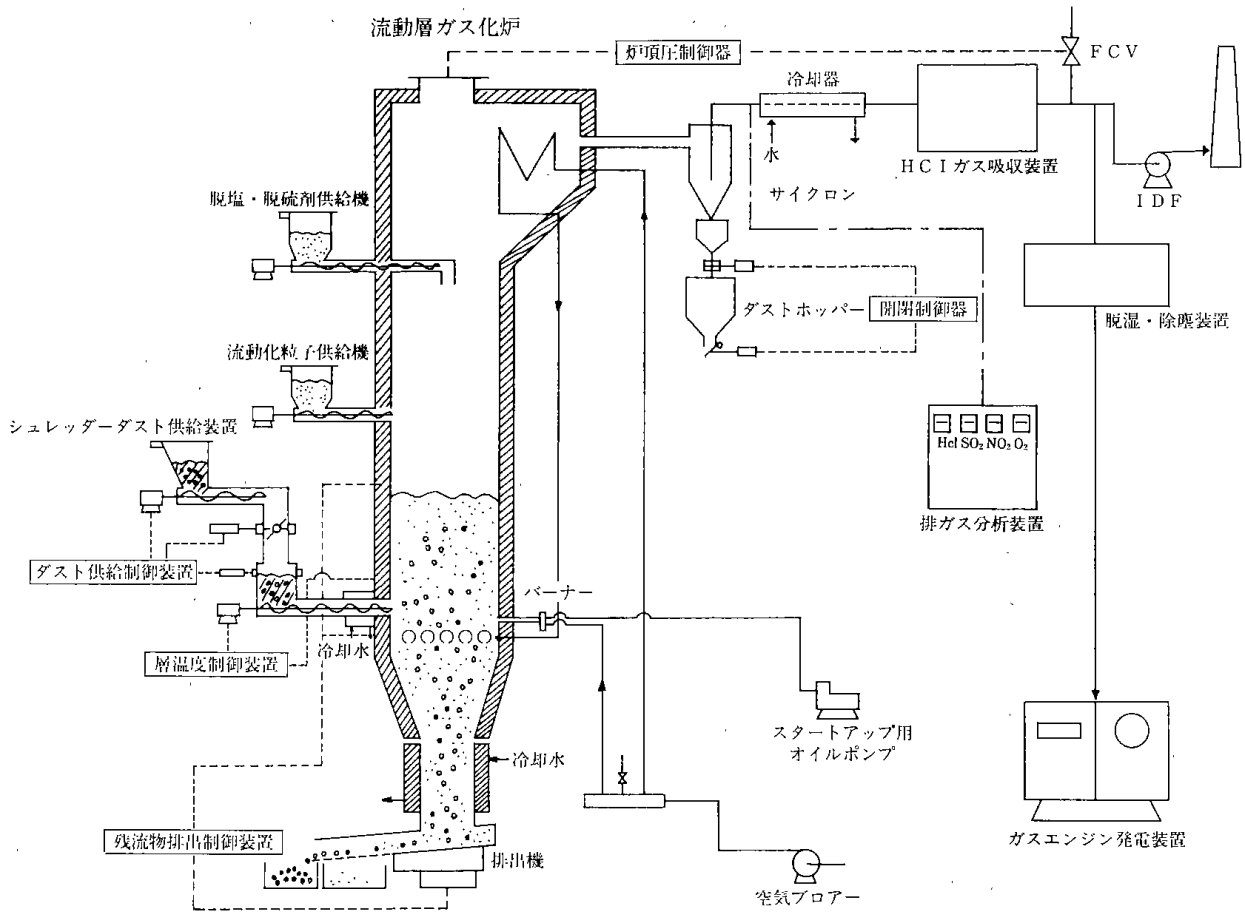


図6-1 シュレッダーダスト流動ガス化試験装置のプロシート

そこで本実験では、平行する2つのスクリーを互いに逆向きに回転させる、いわゆるダブルスクリー型のフィーダを採用することとした。

予備試験の結果、安定かつ定量性のある供給状態を維持できた。スクリー軸径は18mm、羽根の外径は約50mmで2軸を左右対称とした。なお、ピッチはあまり小さくすると高密度の小さいダストはかみ合わず空転するので、40mmとし、先端部分300mmの長さの区間は層内からの背圧に押し戻されないようにピッチは30mmにしぼり、圧縮・押し込みする構造とした。スクリーのケーシングは、上面を左右円筒の接線をつなぐ平面とし、一方下面は、ほぼ中心線付近まで円筒状にした。これはスクリーの下の外筒との間にデッドスペースができると、試料が前方に送り出されないからである。

炉本体に接続する先端部は、層内温度が約800℃と高温であるためダストが先端部で溶融してコーキングを起こしたり、スクリー部でガス化

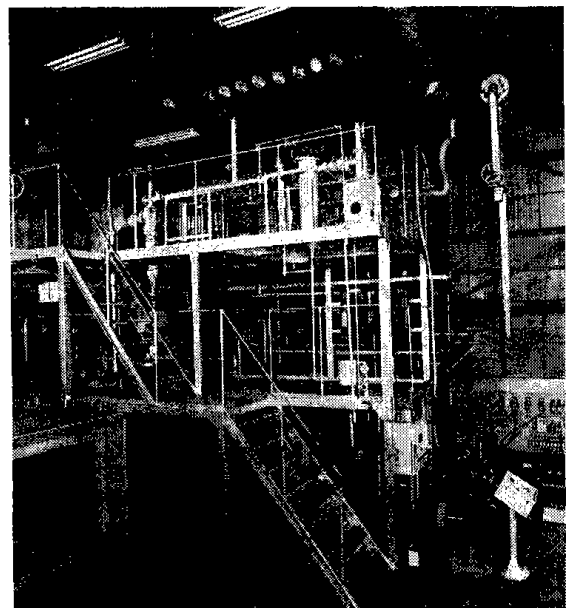


図6-2 流動層ガス化試験装置

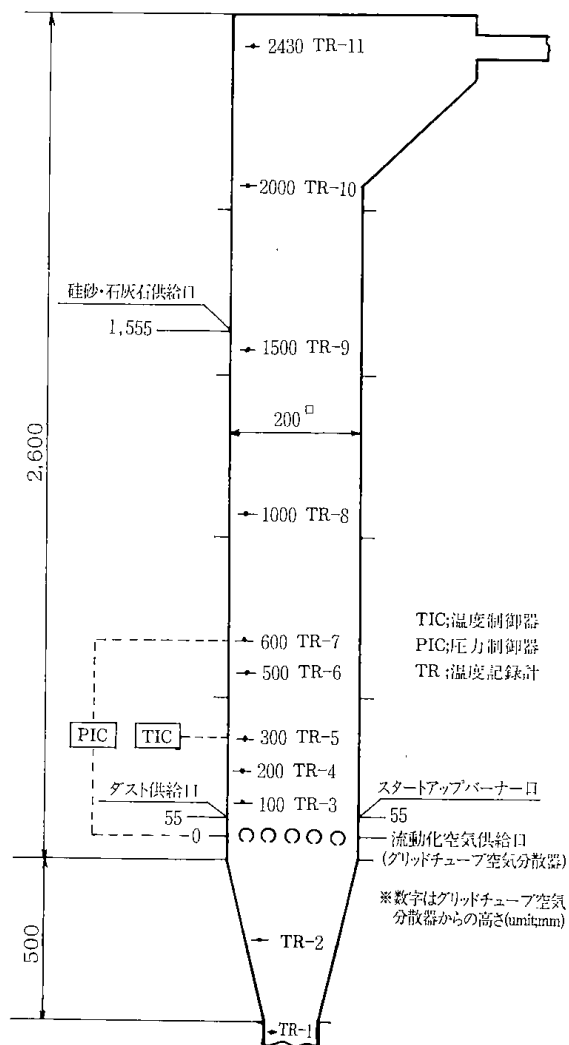


図6-3 流動層ガス化炉本体仕様の概略

してホッパー内にガスが逆流することを防止するため、ウオータジャケットを設置して水冷できるようにした。

供給装置は空気分散器上、50mmの位置に設置した。一方、ホッパー内の棚吊り現象は、予備実験の結果、スクリー羽根上面から0.2mの高さまでは棚吊りがおきないことから、本実験装置は、ダスト供給機を2段方式とし、1段目のホッパーにダストが所定量になると2段目の供給機を作動させ、その後は1、2段目の供給機の回転を同回転に制御するようにした。これにより棚吊り現象を防止でき、また、炉内からの背圧によるガスを遮断することができた。

(3) 固形残渣物の抜き出し機構と層レベルの制御

流動ガス化試験装置を操作する重要な因子の一つとして、流動化を粗害するガス化残渣物の蓄積

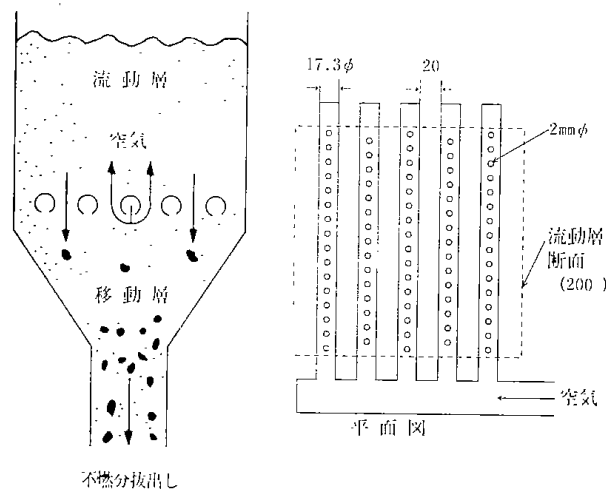


図6-4 グリッドチューブ型空気分散器

防止が必要不可欠なので、本実験では、グリッドチューブ型の空気分散器を使用した。この概略を図6-4に示す。

外径17.2mmでステンレス製の空気導入パイプを水平かつ平行に5本配置し、このパイプの下面に空気吹き出し用の2mmの孔をパイプ1本につきピッチ10mmで19個あけた。この孔の炉断面に対する開孔比は約0.7%である。空気吹き出し孔から下向きに噴出した流動化用(およびガス化用)の空気は、パイプとパイプの間隙を通して上向きに流れ、パイプの上部では流動層を形成する。層底部に沈降した固形残渣物と流動化粒子はパイプの間隙を落下し、その後、排出機の働きにより移動層の状態以降下する。降下した固形分と粒子は振動式の排出機で系外に抜き出し、この排出機の先端に取り付けた2mmの篩で残渣物と粒子を篩分ける構造になっている。一方、固形残渣物の連続抜き出しにともない流動化粒子も系外に排出されるので流動層高が徐々に低くなる。そこで、分散器直上とフリーボード部に圧力検知器を設置し、この2点の差圧を検知して任意の流動層高を制御する方式にした。

流動化粒子あるいは脱塩、脱硫剤粒子(石灰)を一定量層内に供給し、層高が設定の上限値以上になれば排出機を作動させ、層高が下限値以下になった場合は停止させる。この層高レベルを自動

的に制御するシステムとした。

(4) スタートアップ法

炉本体外壁に巻きつけた電気ヒーターで層内の流動化粒子を予熱し、約450℃になったところで空気分散器に空気を流し、粒子を流動化させた。次に所定の実験温度までの昇温を早めるために灯油バーナで粒子を加熱した。所定の温度に達すると、ダストの供給を開始し、その時点でヒーターの電源を切り、灯油ポンプも停止した。その後は、ダストの自然により定常運転を行った。

(5) 流動層温度の制御

炉本体には10本の熱電対を設置した。そのうち空気分散器上、0.3mの位置の層内に設置した熱電対の指示温度によりダスト供給機の供給速度を調整して温度制御を行った。

まず、ダスト供給機を一定速度（最高回転の約10%以上）で回転させダストを供給した。設定温度以上になるとダストの供給量を増加させ、設定温度以下になると供給量を少なくして層内でのダストの燃焼を促進させ温度を上昇させる自動制御方式とした。

(6) 集塵機構

集塵は、まず、炉出口に設置した慣性集塵式のダストボックスで粗粒の粉塵を分離させ、続いてサイクロンで微粒塵を取り除く構成とした。サイクロンとダストホッパーのそれぞれにバルブを設け、また、蓄積した粉塵を効率よく排出できるように電磁振動機を設置し、その作動とバルブの開閉を組み合わせたシーケンスにより、自動的に排出を行うようにした。なお、ダストボックス内には、排ガスの顕熱回収のために熱交換パイプを取り付け、流動化用（およびガス化用）空気を予熱できるようにした。

(7) 炉頂圧の制御

排ガスは、サイクロン後のラインに設置した誘引ブロアー（IDF）で吸引し、煙突を通して大気中へ排出した。炉頂圧の変動を最小限（-20~-10 mm水柱）に抑えるため、流量制御弁（FCV）によってブロアーへのバイパス空気量を自動的に調節するシステムとした。また、ガスエンジン発電機を駆動させる場合はバッファータンクに送り込むブロアーのバイパスガス量により制御した。

(8) 湿式塩化水素除去装置

石灰石による炉内で除去しきれない HCl は 2

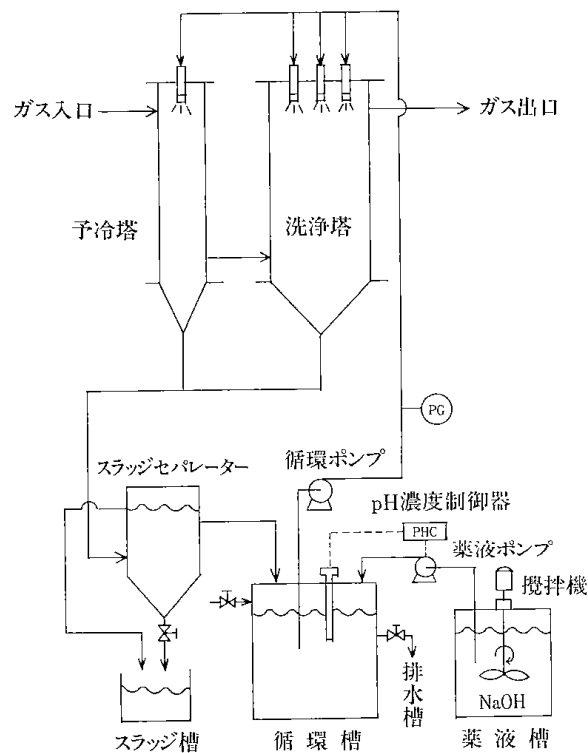


図6-5 湿式塩化水素除去装置

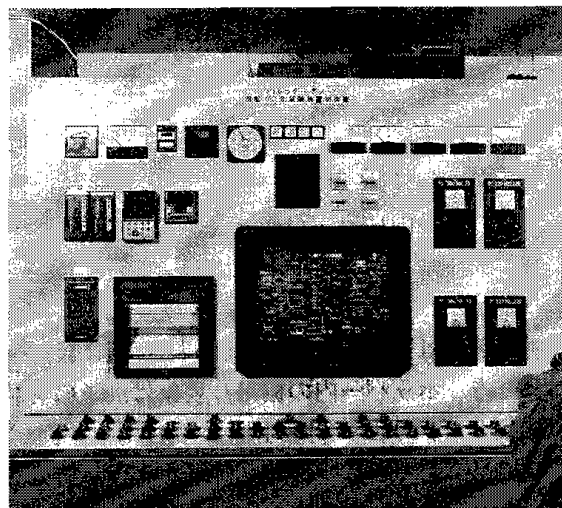


図6-6 流動層ガス化試験装置制御盤

塔式の湿式塩化水素除去装置で除去した。図6-5に塩化水素除去装置を示す。2塔式の洗浄塔上部から苛性ソーダ溶液を噴霧した。タル分を伴った洗浄廃液はスラッジセパレーターで油分と固形分を除去され、循環槽に戻る。循環槽にはpH濃度センサーを設置し、pH濃度制御器により自動的に苛性ソーダ溶液を薬液槽から補充し

て pH濃度をコントロールできるシステムとした。

湿式塩化水素除去装置で洗浄されたガスはさらに除塵・除湿装置、およびバッファータンクを経てガスエンジン発電装置に導入できる構造になっている。ガスエンジン発電装置関係については第8章で詳細に述べる。

(9) ガス化炉内状況の把握と各データの測定と集録

層内温度、層内圧損、流動層高、炉頂圧など、ガス化炉内の状況とダストおよび脱塩・脱硫剤の供給量、空気流量などは、制御盤内に設置したモニターにより監視、測定できるようにした。また、ガス化炉内温度分布、ガスエンジン発電装置による発生電力量などもコンピューターにより瞬時に表示させ、各データは20秒ごとに集録できるシステムとした。図6-6に流動層ガス化試験装置制御盤の写真を示す。

6.2 まとめ

本パイロットプラントは、概ね以上のように設計・製作された。常温での各要素における作動試験とガス化予備試験を行い、設計仕様通りに操作できることを確かめた上、シュレッターダストの各実験条件におけるガス化試験を行った。その結果、特に懸念されたダストの供給と残渣物の排出機構などは連続的な運転操作ができ、また、HClの吸収除去も満足できるデータが得られ、本方式の有効性が確認された。

引用文献

- 1) 細田英雄, 出口 明, 三浦正勝, 武内 洋, 平間利昌, 鈴木 智, 燃料協会誌, VOL.66, No.9, (1987)
- 2) 出口 明, 新川一彦, 細田英雄, 武内 洋, 鈴木 智, “シュレッターダストの処理法及び有効利用に関する研究” 昭和63年度公害特別研究報告書(工技院), 平成元年10月

第7章 シュレッダーダスト流動層ガス化試験装置による実験

出口 明, 新川一彦, 細田英雄, 武内 洋

処理能力20kg/hの流動層方式の小型パイロットプラントを使ってシュレッダーダストを燃焼あるいはガス化することにより発生する塩化水素、二酸化硫黄（以下、HCl、SO₂と記す）の濃度と燃焼あるいはガス化条件の関係について検討した。

また、これらの有害なガスは石灰石の炉内投入による炉内同時吸収実験を行い、同時吸収のための最適操作条件について探索した。また、炉内で除去しきれない HCl は湿式の塩化水素除去装置により除去し、HCl の低減化について検討も行った。

ガス化実験ではシュレッダーダスト中のプラスチック、ゴムなどの有機成分を空気で部分燃焼ガス化させ、ガス化の最適操作条件の検討、および、生成ガスの成分分析を行った。

ガス化炉が安定した操作条件で定常的に可燃性ガスを生成できることを確かめるため、流動ガス化の連続運転実験を行い、その操作性について検討した。

さらに、生成した可燃性ガスをガスエンジン発電装置に導入し、発電機の駆動試験を試みた。

7.1 実験試料, 装置および方法

7.1.1 実験試料

試料は1,000PS級のシュレッダーマシンを操業し、年間約7,000トンのダストを排出する廃車処理工場より収集したものをを用いた。

ダストはプラスチック類、ゴム類、ガラス片、砂泥などの混合物で形状が不特定である。これをさらに20mm以下に粉砕し、粒度調整したものを実験試料とした。

表7-1にダストの工業分析値、元素分析値および高密度、発熱量の測定値を示す。分析は第2章と同様である。水分は14~21%、揮発分と炭素分を加えた可燃分53~67%、灰分15~24%のもの

表7-1 ダストの性状分析値

工業分析値	[wt%]
水分	14~21
揮発分	49~59
固定炭素	4~8
灰分	15~24
.....	
元素分析値	[wt%.daf]
C	40.4
H	5.0
N	1.0
O	14.0
S (Total-S)	1.6
Cl	4.0
.....	
嵩密度	0.15 [g/cm ³]
高位発熱量	3,600~5,200 [kcal/kg]

で、燃焼あるいはガス化にとって問題となる塩素分が4%と多く、硫黄分も含まれている。高密度は0.15g/cm³と小さく、発熱量は3,600~5,200kcal/kgである。

流動化粒子は粒径0.1~0.3mm、最小流動化速度0.04m/sの硅砂6号を用いた。HCl、SO₂の炉内同時吸収実験では吸収剤として粒径0.2~0.8mmの石灰石を使用した。石灰石中のCaO含有率は約55%である。

7.1.2 実験装置

実験装置のフローシートを図7-1に、実験装置の写真を図7-2に示す。炉本体はステンレス製（SUS314）であり、内部寸法は一辺が0.2mの正

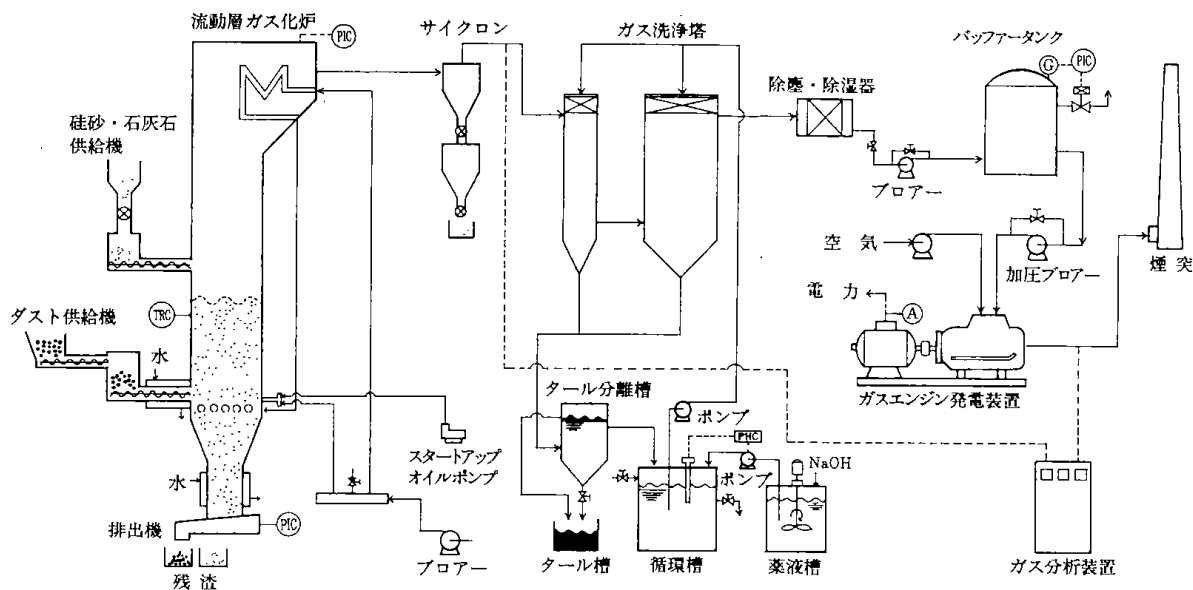


図7-1 シュレッダーダストのガス化・発電試験装置フロシート

方形断面で、高さは空気分散器より排気口まで2.5mである。炉の外壁は保温材で保温した。

ダスト供給機は前述したようにダストの高密度が小さいので層下部に設置した。また、安定した供給状態を維持することと層内からの背圧によるガスを遮断するため、供給機はダブルスクリー型のフィーダーで2段方式とした。炉本体に接続された供給機先端部はウォータージャケットを設置して水冷できるようにした。これは層内温度が約800℃と高温であるのでダストがスクリー先端部で熔融してコーキングを起こしたり、スクリー内部でガス化してホッパー内にガスが逆流することを防止するためである。

流動化空気は炉上部に設置した伝熱管で予熱し、空気分散器より送入した。流動ガス化装置を操作する重要な因子の一つとして、流動化を阻害するガス化残渣物の蓄積防止が必要不可欠なので、本実験では、グリッドチューブ型の空気分散器を使用した。

外径17.2mmのステンレス製パイプを水平かつ平行に5本配置し、このパイプの下面に直径2mmの空気吹き出し孔をパイプ1本につき10mmのピッチで19個開けた。この孔の炉断面に対する開孔比は約0.7%である。

空気吹き出し孔から下向きに噴出した流動化用(およびガス化用)の空気は、パイプとパイプの

隙間を通して上向きに流れ、パイプの上部では流動層を形成する。層底部に沈降した固定残渣物は流動化粒子を伴って移動層の状態以降下する。降下した固形分と粒子は振動式の排出機で系外に抜き出し、この先端に取りつけた目開き2mmの篩で粒子と残渣物に篩分ける構造になっている。

一方、燃焼あるいはガス化残渣物の連続抜き出しに伴い、流動化粒子も系外に排出されるので、流動層高も徐々に低くなる。そこで空気分散器直上とフリーボード部に圧力検知センサーを設置し、この2点間の差圧を検知して任意の流動層高に制御できる方式とした。すなわち、流動化粒子ある

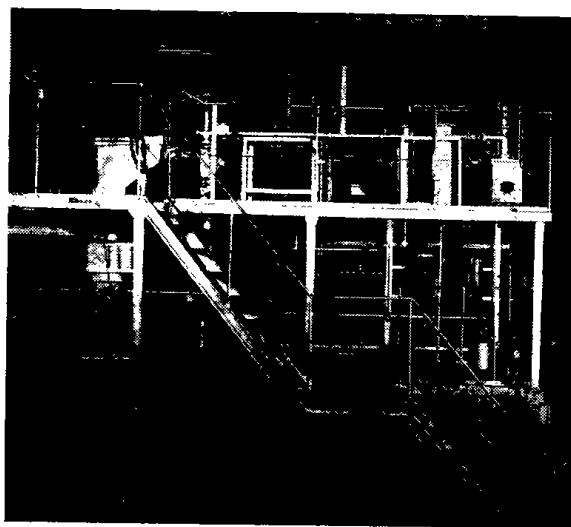


図7-2 流動層ガス化試験用小型パイロットプラント

いは脱塩、脱硫剤粒子を一定量層内に供給し、層高が設定値以上になれば排出機を作動させ、層高が設定値以下になれば停止させる。排出の速度は任意に調整できるようになっており、層高レベルを自動的に制御できるシステムとした。

燃焼排ガスあるいはガス化によって発生したガスは、炉出口に設置した慣性集塵式のダストボックスで粗粒の粉塵を分離させ、続いてサイクロンで微粉塵を取り除いた。サイクロンとダストホッパーのそれぞれにはバルブを設け、また、蓄積した粉塵を効率良く排出できるように電磁振動機を取り付け、その作動とバルブの開閉を組み合わせたシーケンスにより排出を自動的に行うようにした。

サイクロンの下流には、湿式の塩化水素除去装置を設置した。これは2塔式の洗浄塔で苛性ソーダ溶液をスプレーし、HClを吸収した。洗浄廃液は塔下部で油分と固形分を除去し循環槽に戻る。なお、循環槽にはpH濃度計を設置し、自動的に苛性ソーダ溶液を補充してpHを調節した。塩化水素除去装置により出たガスは、さらにガス洗浄装置で洗浄しミスト分を除去した。洗浄されたガスはガスエンジン発電装置に導入できる構造になっている。

炉頂圧は $-20 \sim -10 \text{ mmAq}$ に抑えるため、流量制御弁(FCV)によって誘引ブローア(IDF)へのバイパスガス量を制御した。ガス分析は O_2 、HCl、 SO_2 、 NO_x の濃度をモニターで連続測定し、さらに、ガスクロマトグラフィー併用のほか、HCl、 SO_2 をJIS法で間欠的に測定した。 O_2 は磁気式、HClはイオン電極法、 NO_x は化学発光法、 SO_2 は非分散型赤外線吸収式である。

7.1.3 実験方法

スタートアップは、炉本体外壁に巻き付けた電熱ヒーターであらかじめ層内に充填した流動化粒子(珪砂)を予熱し、層温度が約 450°C になったところで空気分散器に空気を流し、粒子を流動化させる。次に所定の実験温度までの昇温を早めるために灯油バーナーで加熱した。

所定の温度に達すると、ダストの供給を開始し、その時点でヒーターの電源を切り灯油ポンプを停止した。層温度はダストの供給量により制御した。流動化粒子あるいは脱塩、脱硫剤(石灰石)の供給を開始すると同時に排出機を作動させ、流

動層高の制御を自動操作に切り替えた。

実験は空気量およびダストの供給速度を任意の条件に設定し、層温度、層高、排ガス中の酸素濃度などが定常状態に達した後に、諸データを集録した。

7.1.4 実験条件

有害ガス発生量の把握を目的とする燃焼実験の条件と石灰石の炉内投入によるHCl、 SO_2 の同時吸収実験条件の範囲をまとめて表7-2に示す。層温度 t_b は $750 \sim 800^\circ\text{C}$ 、空気の空塔速度は $0.27 \sim 0.41 \text{ m/sec}$ 、層高を 0.5 m で自動制御し、ダストの供給速度は $7 \sim 12 \text{ kg/h}$ である。

排ガス中の残余酸素濃度は、 $1 \sim 5\%$ の範囲とした。脱塩、脱硫実験における石灰石は供給量基準で $\text{Ca}/(\text{S}+\text{Cl}_2)$ のモル比が $1 \sim 6$ の値になる

表7-2 燃焼実験条件

層内温度	t_b	$750 \sim 800 [^\circ\text{C}]$
空塔速度	U_o	$0.27 \sim 0.41 [\text{cm/sec}]$
層高	L_f	$0.5 [\text{m}]$
ダスト供給速度	F_e	$7 \sim 12 [\text{kg/h}]$
残余酸素濃度	C'_{O_2}	$1 \sim 5 [\%]$
空気比	λ	$1.1 \sim 1.3 [-]$
$\text{Ca}/(\text{S}+\text{Cl}_2)$ モル比		$1 \sim 6 [-]$

表7-3 ガス化実験条件

層内温度	t_b	$700 \sim 800 [^\circ\text{C}]$
空塔速度	U_o	$0.24 \sim 0.27 [\text{cm/sec}]$
層高	L_f	$0.5 [\text{m}]$
ダスト供給速度	F_e	$4 \sim 10 [\text{kg/h}]$
残余酸素濃度	C'_{O_2}	$7.7 \sim 1.3 [\%]$
空気比	λ	$0.2 \sim 0.5 [-]$

よう設定し供給した。表7-3に空気による部分燃焼ガス化試験の実験条件の範囲を示す。層温度 t_b は $700 \sim 800^\circ\text{C}$ 、空気の空塔速度は $0.24 \sim 0.27 \text{ m/s}$ 、層高を 0.5 m で自動制御し、ダストの供給速度は $4 \sim 10 \text{ kg/h}$ である。排ガス中の残余酸素濃度は $0.7 \sim 1.3\%$ 、空気比は $0.2 \sim 0.5$ の条件で行った。

7.2 結果と考察

7.2.1 燃焼効率と物質収支

HCl、 SO_2 および NO_x 発生量を把握するにはシュレッターダストを設定条件下で定常的に、かつ、効率よく燃焼させることが必要不可欠の操作

条件となる。そこで、ダストの流動燃焼での燃焼効率と燃焼による物質収支を求めた。¹⁾ 図7-3に層温度750~800°Cの条件における排ガス中の残余酸素濃度と燃焼効率の関係を示す。ここでの燃焼効率はサイクロンへの飛び出し灰未燃分の発熱量と未燃ガスの発熱量により算出した。残余酸素3%以下では燃焼効率が低下するが、3%以上で

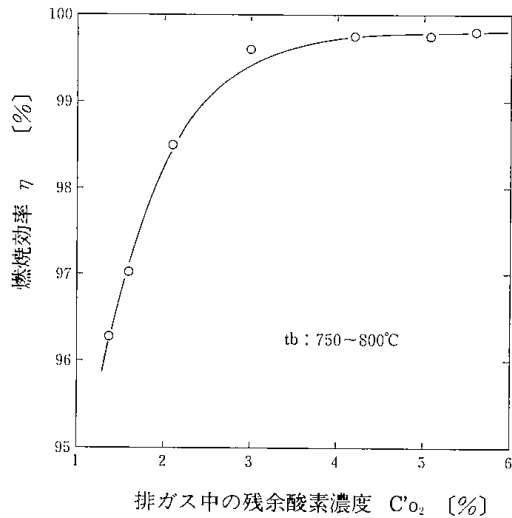


図7-3 燃焼効率

は99.7%となり、ほぼ完全燃焼となった。

図7-4に層内温度800°C、残余酸素濃度 C'_{O_2} 3~5%の実験条件での物質収支の一例を示す。燃焼で費やされたものとガスとなるものが76.8%で燃焼残渣物で2mm以上のものが13.8%，2mm以下が2.1%，サイクロンへ微粉となって飛び出すものが7.9%であった。

7.2.2 HCl, SO₂ および NO_x 発生量の把握

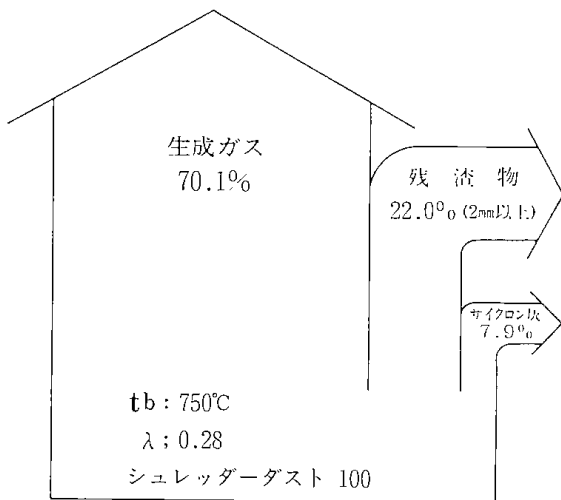


図7-4 物質収支

シュレッターダスト中には塩素や硫黄分が含まれており、これを燃焼あるいはガス化することによって HCl や SO₂ などの有害なガスが発生する。そこで本研究では、石灰石を炉内に供給して、HCl, SO₂ の同時吸収を図ることにした。その前に吸収能力のない硅砂を流動化粒子として用い、発生量の把握を目的とする実験を行った。

図7-5に層温度750~800°Cの条件で排ガス中の残余酸素濃度とHCl, SO₂ および NO_x 発生量の関係を示す。

HCl は残余酸素濃度が約1%で10,000ppmと高濃度で発生した。残余酸素濃度の増加とともに低減したが C'_{O_2} 5%で5,200~6,000ppmの発生量である。

一方、SO₂は C'_{O_2} 1%で9,500ppmとこれも高濃度で発生した。 C'_{O_2} 3~5%では4,500~5,000ppmであった。なお、NO_xは残余酸素濃度の増加につれて発生量も増えるが、 C'_{O_2} 4%以下で

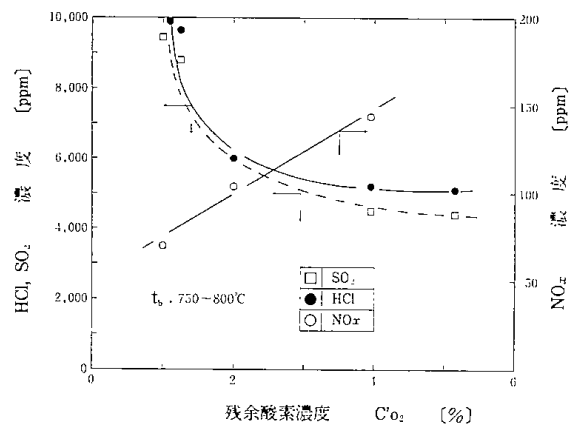


図7-5 排ガス中のHCl,SO₂及びNO_xの濃度

は70~150ppmの範囲であった。ガス化領域である C'_{O_2} 2%以下ではHCl, SO₂とも高濃度で発生した。

7.2.3 脱硫・脱塩化水素実験

前述の結果から明らかなように、流動化粒子に硅砂を用いた実験ではHClとSO₂が高濃度で発生した。そこで石灰石を炉内に連続的に供給し、HCl,とSO₂の同時吸収実験を行った。図7-6にカルシウム分の供給モル比と除去率の関係を示す。この時の実験条件は残余酸素濃度 C'_{O_2} 2~4%，層温度 t_b 700~800°Cである。

ここで、脱塩化水素率および脱硫率、すなわち

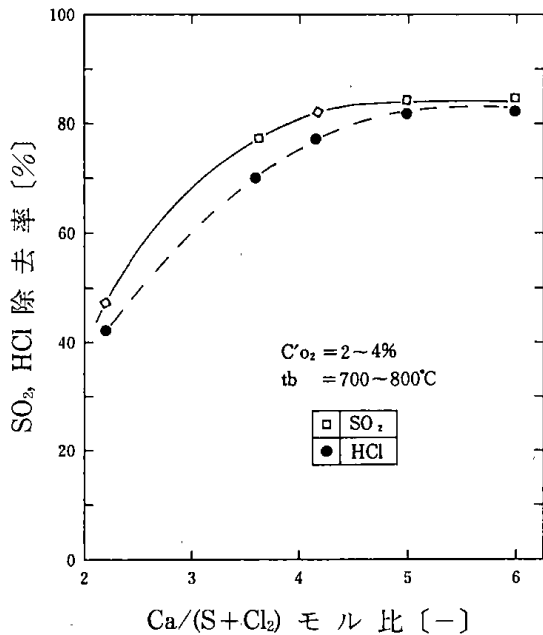


図7-6 カルシウム分の供給モル比と HCl, SO₂ 除去率

除去率は次のように定義した。

$$\text{除去率} = 1 - \frac{C}{C_0} \times 100(\%)$$

C₀ : 流動化粒子に硅砂を用いた時の HCl または SO₂ の濃度(vol%)

C : 層内に石灰石を投入した時の HCl または SO₂ の濃度(vol%)

モル比4.2で除去率は HCl が78%, SO₂ が82%であった。モル比 2 以下になると HCl および SO₂ とも除去率が低下した。また、モル比を5以上に増やしても除去率はあまり向上しなかった。

7・2・4 湿式塩化水素吸収装置による HCl の低減化

炉内で環境基準内に除去しきれない HCl は 2 塔式湿式塩化水素吸収装置により HCl の低減化をはかった。表 7-4 に湿式塩化水素吸収装置の吸収特性を示す。吸収装置入口での HCl 濃度が約3,000~4,000ppm と高濃度の場合で吸収装置出口で330ppm, 720~1,300ppm と低濃度の場合では40ppm 以下に低減され、環境基準内の値となった。²⁾

7・2・5 部分燃焼ガス化

空気による部分燃焼ガス化実験で、層内温度750

表 7-4 湿式塩化水素吸収装置の吸収特性

	湿式塩化水素吸収装置	
	入口のHCl濃度	出口のHCl濃度
Run 1	2,980~3,970 ppm	300 ppm
Run 2	1,060~1,260 ppm	40 ppm以下
Run 3	720~1,350 ppm	40 ppm以下

°Cにおける空気比と生成ガス組成の関係を図7-7に示す。ガス化により生成した可燃性ガスの主成分はCO, CH₄, C₂H₄, H₂, C₃H₆などであり、ダスト供給量に対する部分燃焼空気比が減少するにつれて、これらの炭化水素の組成割合が増加した。このうち、CH₄, C₂H₄, C₃H₆の発熱量が高く、生成ガス総発熱量の約70%であった³⁾。

図7-8にダスト供給量および空気比を、それぞれ4.8kg/h, 0.28の一定の値に維持した場合の

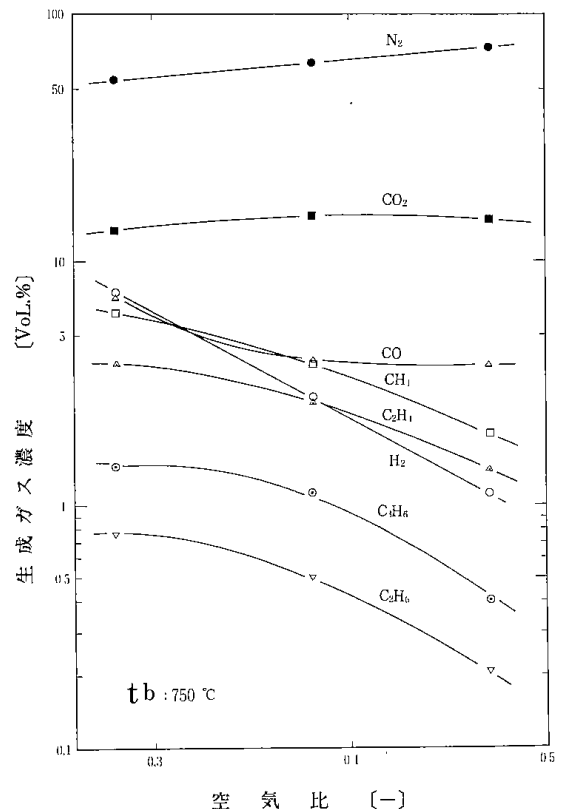


図7-7 空気比と生成ガス組成

生成ガスの発熱量と層内温度の関係を示す。供給試料の組成むらがあるため発生ガスの組成も変動し、発熱量の計算値のバラツキが大きかった。図中の各点は10分毎、6回のサンプリングの平均値を示している。

層内温度750℃付近で発熱量は約2,000kcal/N³となりピークがみられた。⁴⁾ 図7-9には層内

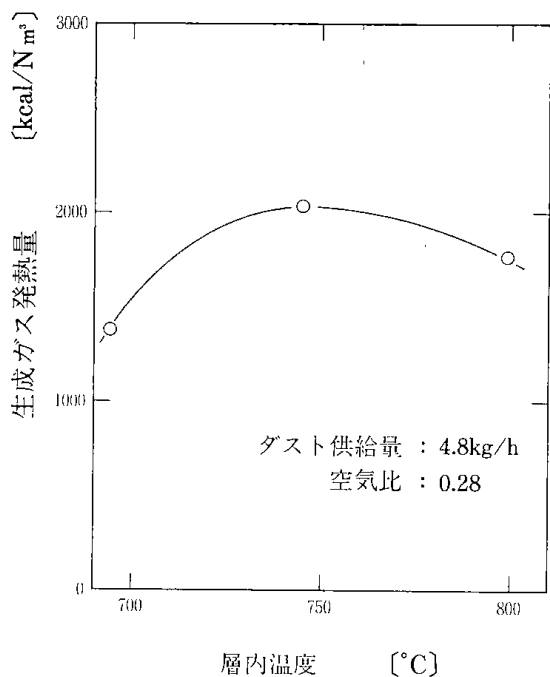


図7-8 層内温度と生成ガス発熱量

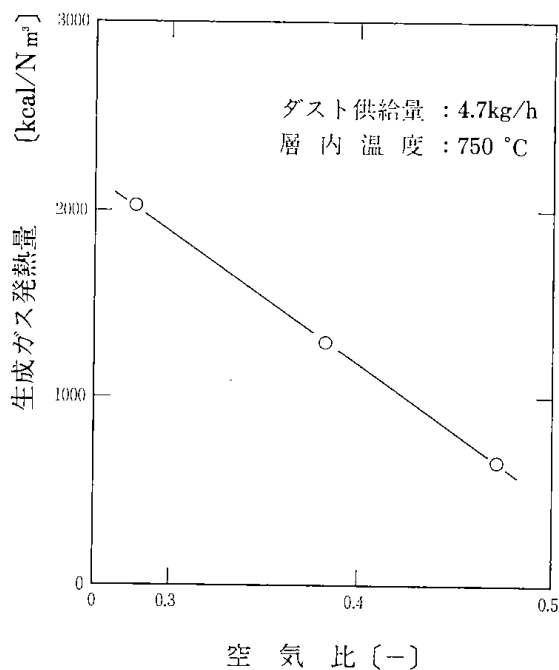


図7-9 空気比と生成ガス発熱量

温度750℃の条件における空気比と生成ガス発熱量の関係を示す。空気比の減少につれて生成ガスの発熱量が増加し、空気比0.28で発熱量が約2,000 kcal/N³のガスが得られた。

空気比は部分燃焼ガス化の最適温度の維持あるいは層内を安定な流動状態を保つためには下限が存在することと、ガスエンジン発電機を駆動する場合に必要な生成ガス発熱量を考慮すると、本実験では0.28~0.4の範囲が最適と考えられる。

7.2.6 冷ガス効率

ガス化成績を評価する冷ガス効率は次式で定義した。⁵⁾

$$H_c = \frac{(H_g \times Q)}{(F \times H_m)} \times 100$$

H_g : 生成ガス発熱量 (kcal/N³)

Q : 単位時間ガス生成量 (N³ / h)

F : 単位時間原料供給量 (kg/h)

H_m : 原料発熱量 (kcal/kg)

前述の実験結果で層内温度750℃、空気比0.28での実験条件における冷ガス効率は約68%であった。

7.2.7 流動ガス化炉の連続運転実験

シュレッターダストは前述したようにプラスチック類、ゴム、ガラス、砂泥などの混合物で形状が不特定のものであるため、成分分析および発熱量分析値にバラツキがあった。このダストを部分燃焼して可燃性ガスを生成させ、ガスエンジンを駆動し負荷変動に対応できるように発電するには、流動ガス化炉が安定した操作条件で定期的な可燃性ガスを生成させることが必要不可欠の条件となる。そこで、流動ガス化炉を連続運転し、その操作性を確かめた。この結果、安定した操作条件を維持することができ、発熱量1,300kcal/N³以上のガスが生成され、ガスエンジン発電機も連続的に駆動することができた。

また、層内堆積により流動化を阻害するガス化残渣物の系外排出については、排出機によって定期的に排出することができた。

図7-10に層内温度750℃、空気比0.28の実験条件における物質収支の一例を示す。供給したダストを100とすると、ガスとなるものが70.1%、チャーおよび不燃残渣物が22%、サイクロンに微粉となって飛び出すものが7.9%であった。

燃焼の場合と比較して残渣物が約22%と多く

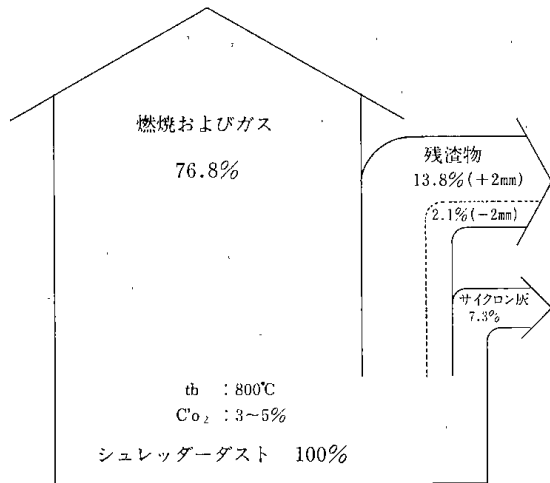


図7-10 物質収支

なったが、これは残渣物の抜き出しに伴いコークス状の未燃チャーが排出されたことによる。なお、このチャー中には可燃分が約78%残っているので再度、ガス化炉に供給する必要がある。

7.3 まとめ

シュレッダーダスト流動ガス化試験装置を用いて、ダスト燃焼のための操作条件の検討およびHCl、SO₂、NO_x発生量の把握と石灰石による炉内同時吸収実験を行った。また、空気による部分燃焼ガス化試験を行い、ガス化の最適操作条件について検討し、さらに、流動ガス化炉の連続運転を行い、その操作性を確かめた。その結果、以下のことがわかった。

(1) ダストの燃焼では安定した燃焼状態が維持でき、層温度750~800°Cの条件で残余酸素濃度3%以下では燃焼効率は低下するが、3%以上では99.7%以上となり、ほぼ完全燃焼することができた。

(2) 層温度750~800°Cの条件で発生するHCl、SO₂およびNO_xの量を求めた結果、排ガス中残余酸素濃度が約1%の時、HClが10,000ppm、SO₂が9,500ppmと高濃度で発生した。なお、NO_xは70~150ppmの範囲であった。

(3) 石灰石を炉内に連続的に供給し、HClとSO₂の同時吸収実験を層温度700~800°Cの範囲で行った結果、モル比4でHClが78%、SO₂が82%の除去率であり、モル比をこれ以上増やしても除去率はあまり向上しなかった。

(4) ガス化により生成した可燃性ガスの主成分はCO、CH₄、C₂H₄、H₂、C₃H₆などであり、空気比が減少するにつれ、これらの炭化水素の組

成割合が増加した。また、このうちCH₄、C₂H₄、C₃H₆の発熱量が高く、生成ガス総発熱量の約70%であった。

(5) 生成ガスの発熱量は層内温度750°C付近で最も高くなり、約2,000kcal/Nm³であった。

(6) 部分燃焼ガス化では空気比の減少につれて生成ガスの発熱量が増加し、0.28で約2,000kcal/Nm³のガスが得られた。また、空気比は部分燃焼ガス化の最適温度条件の維持、あるいは層内を安定な流動状態を保つためには下限が存在するのとガスエンジン発電機を駆動する場合に必要な生成ガス発熱量を考慮すると0.28~0.4の範囲であることがわかった。

(7) 層内温度750°C、空気比0.28での実験条件における冷ガス効率は約68%であった。

(8) 流動ガス化炉を連続運転し、その操作性を確かめた結果、安定した操作条件を維持することができ、発熱量1,300kcal/Nm³以上のガスが生成され、ガスエンジン発電機も連続的に駆動することができた。

また、ガス化残渣物については、定常的に系外に排出することができた。

なお、残渣中には未燃チャーが含まれているので、再度、ガス化炉内に供給することが必要である。

引用文献

- 1) 出口 明, 新川一彦, 細田英雄, 武内 洋: “廃自動車シュレッダーダストの流動燃焼”, 化学工学会第54年会要旨集, 平成元年4月
- 2) 出口 明, 新川一彦, 細田英雄, 武内 洋: “シュレッダーダストの処理法及び有効利用に関する研究” 昭和63年度公害特別研究報告書(工技院), 平成元年9月
- 3) 出口 明, 新川一彦, 細田英雄, 武内 洋: “シュレッダーダストの処理と有効利用に関する研究”, 第15回産業公害総合推進会議合同討論会資料, D3, P82(1989)
- 4) 武内 洋, 出口 明, 細田英雄, 新川一彦: “廃自動車シュレッダーダストの部分燃焼ガス化”, 化学工学会第55年会要旨集, 平成2年4月
- 5) 北海道工業開発試験所: “サンシャイン計画研究成果報告書”(1984.3)

第 8 章 ガスエンジン発電試験

細田英雄, 武内 洋, 出口 明, 新川一彦

シュレッターダストを空気による部分燃焼でガス化し、生成するガスをガスエンジンの燃料としてガスエンジン発電を行うシステムを開発するために、ガソリンエンジンをガス用に改造したガスエンジン発電装置を試作し、L.P.Gを燃料とする試運転並びに模擬の低カロリーガスによる予備試験を行った。また、予備試験で得られた操作条件を基に、ガス化温度750°C、空気比0.28のガス化条件で生成したガス（平均2,000kcal/Nm³）を燃料としてガスエンジン発電試験を行った結果¹⁾について報告する。

8・1 ガスエンジン発電装置の試作および試運転結果

本研究で試作したガス化試験装置より生成するガス量およびガス発熱量はガス化条件により異なるが、最低のガス発熱量を1,200kcal/Nm³、この時のガス発生量を20Nm³/hと仮定すると総熱量は24,000kcal/hとなる。一般にガスエンジンの場合、1,800~2,400kcal/PS・hの燃料消費率が必要とされているので試験装置より発生するガスの総熱量で運転できるガスエンジンの出力は10~13PSとなる。そこで市販のガスエンジンの購入を検討したところ、市販品はいずれも定格の出力が20PS以上で本研究には適用できないことがわかった。

検討の結果、ガソリンエンジンをガス用に改造したガスエンジン発電装置を試作することにした。使用したガソリンエンジンは建設機械、産業機械の動力源として使われている富士重工製の水平4サイクル、直列2気筒、水冷式で総排気量544cc、定格出力13PSである。

エンジンの仕様を表8-1に、性能曲線を図8-1に示した。このガソリンエンジンのガソリン供給系統を外し、ガスと空気の混合器を取付けたガスエンジンとした。

13PSのエンジンに適用できる発電機の容量は、ほぼ7.5kWであるので、Denyo製、FA-7.5N型（単相、出力7.5kW、電圧110V、電流68.2A、周波数50Hz、回転数1,500rpm）の発電機を選定

表 8 - 1 エンジンの仕様

エンジン名称	富士重工 ロビン EW-55-AS
型式	水平4サイクル 直列2気筒
シリンダー数 - 内径 × 行程	2 - 76 × 60
総排気量	cc 544
連続定格出力	ps/rpa 13/3,600
最大出力	ps/rpa 17/3,600
最大トルク	kgm/rpa 3.7/2,400
使用燃料	レギュラーガソリン
燃料消費率	gr/psh 250
点火方式	接点式バッテリー点火
点火プラグ	NCK-8P-5ES
始動方式	セルモータ式
调速方式	遠心重錘式
冷却方式	遠心式圧送ポンプ強制水循環式
エンジン寸法 (全長 × 全幅 × 全高)	634 × 570 × 538

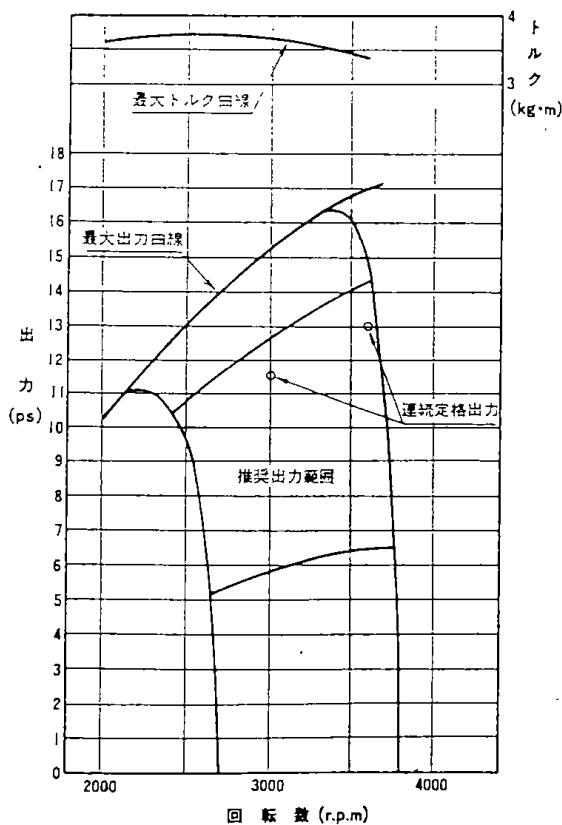


図 8 - 1 標準性能曲線

した。

この発電機は1,500rpmで定格出力が得られる。エンジンの連続定格出力13PSが得られるのは、性能曲線より、ほぼ、3,000rpmであるのでエンジンと発電機の速度比が2:1となるようプーリーによるベルト駆動方式とした。

試作装置の写真を図8-2に示した。試運転はL.P.Gを燃料として行った。

スタートアップ時のアイドル状態では(エンジン回転数が約1,000rpm)ガス流量が0.06m³/h、ガス圧が-10mmH₂Oであった。エンジンの回転を3,000rpmに上げた場合ではガス流量0.6m³/h、ガス圧-35mmH₂Oとなり、発電機は回転数1,500rpm、電圧110Vを示した。

この状態で徐々に負荷を増やしていくと、負荷の増大にともなってガス流量も増加する。また、負荷の増大にともなって電圧が低下する点があり、100Vまでの低下を許容範囲として、この時の負荷電力を求めこれを最大発生電力量とみなした。

試験の結果、最大発生電力量は6.5kW、電圧100V、発電機の回転数1,495rpm、ガス流量1.0m³/h、ガス圧-200mmH₂Oが得られた。

ガスエンジンの毎時間、1馬力当りの燃料消費量を燃料消費率(W)といい、次式で表される。

$$W = \frac{632}{\eta} \times 100 (\text{kcal/PS} \cdot \text{h}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

但し、W: 燃料消費率(kcal/PS・h)
η: ガスエンジンの熱効率(%)

ガスエンジンの場合1,850~2,400kcal/PS・hが必要とされている。

また、毎時間当りのガス消費量は次式で表される。

$$Q = \frac{P \times W}{Hu} (\text{Nm}^3/\text{h}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

但し、Q: ガス消費量(Nm³/h)
P: エンジン出力(PS)
W: 燃料消費率(kcal/PS・h)
Hu: ガスの低位発熱量(kcal/Nm³)

上式より、試作装置の燃料消費率ならびにガスエンジンの熱効率を求めると、燃料消費率は約1,880kcal/PS・hとなり、エンジンの熱効率はほぼ

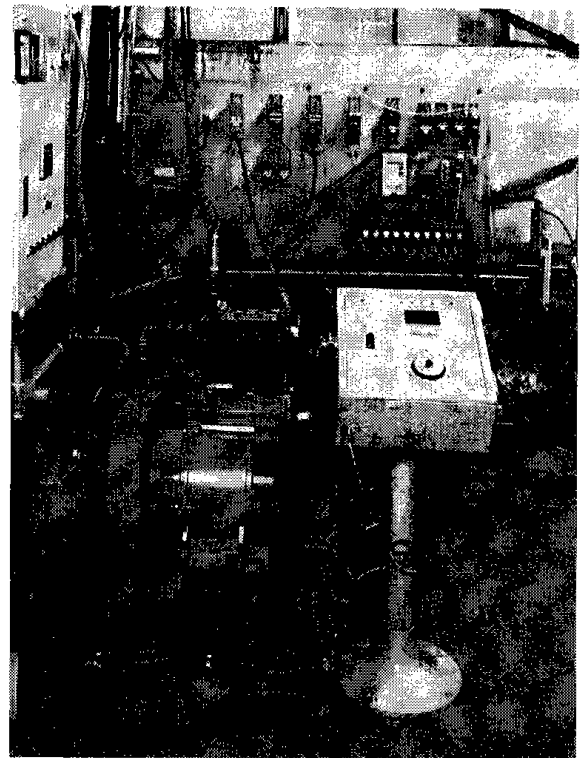


図8-2 ガスエンジン発電装置

34%が得られた。

また、発電効率を計算してみると26%となることから本装置は市販品に劣らぬ性能があり、設計値をほぼ満足する結果が得られたので、実用できることがわかった。

8・2 低カロリーガスによるガスエンジン発電試験

本研究における生成ガスは1,200~2,500kcal/Nm³の低カロリーであり、このような低カロリーのガスエンジンは未開発である。

そこで、低カロリーガスを燃料とする場合の運転方法並びに操作条件を把握するために、L.P.Gを空気で希釈した模擬の低カロリーガスを作り、これを燃料としてL.P.Gの場合と同じ燃料供給方法で運転してみたところ、全く運転不可能であった。

検討の結果、このエンジンの燃料消費率は1,880kcal/PS・hであり、最大負荷時においては約22,000kcal/hの熱量が必要なことが試運転の結果より得られており、高カロリーガスの場合はエンジンが吸入したガス量で必要な熱量が供給されている。しかし、低カロリーになると吸入した量では

必要な熱量が満たされず熱量不足のため、エンジンが動かないことがわかった。

そこで、このエンジンの燃料消費率に見合うだけのガス量を強制的に圧入しなければならないと考え、低カロリーガスをポンプで加圧しエンジンへ供給する方法を試みた。

その結果、約 $1,700\text{kcal/Nm}^3$ の模擬ガスをガス流量 $13\text{m}^3/\text{h}$ 、ガス圧 $140\text{mm H}_2\text{O}$ で供給すると、負荷を 6.5kW とした場合、電圧 100V 、発電機回転数 $1,495\text{rpm}$ の運転ができた。

さらに、負荷 6.5kW を一定としてガスのカロリーを下げいき、電圧が 100V を保つ最低のカロリーを求めた結果、ガス発熱量 $1,230\text{kcal/Nm}^3$ でガス流量 $17.8\text{m}^3/\text{h}$ 、ガス圧 $420\text{mmH}_2\text{O}$ であった。なお、 $1,000\sim 1,200\text{kcal/Nm}^3$ のガスでもエンジンの運転は可能であるが、電圧が $85\sim 90\text{V}$ と低下し、ガス量を増やしても回復しなかった。

以上の結果、最大負荷時において発熱量 $1,200\text{kcal/Nm}^3$ 以上のガスであれば、十分負荷変動にも対応できることがわかった。

低カロリーガスの場合の燃料消費率を計算してみると約 $1,900\text{kcal/PS}\cdot\text{h}$ となり、エンジンの熱効率も約 33% と高カロリーガスの場合と全く変わらない結果が得られた。

8.3 生成ガスを燃料とするガスエンジン発電試験

8.3.1 実験方法

実験は流動層ガス化炉で発生した低カロリーガスをガスエンジン発電機に実際に供給して行った。流動層ガス化炉の条件は層内温度 750°C 、

シュレッターダスト供給量 11.5kg/h 、および空気流量 $10.0\text{Nm}^3/\text{h}$ とした。発電試験関係の装置概略を図8-3に示す。塩化水素を除去した後、低カロリーガスは容積約 0.50m^3 のバッファータンクに一旦蓄え、そこからガスエンジン混合器部へ供給した。このバッファータンクはガスエンジンへの低カロリーガス供給量を一定の値に維持させるという働きを持つばかりでなく、シュレッターダストの試料の組成むらが原因で起きると考えられる発生ガスの発熱量の変動を平均化するという働きもする。ガスエンジンへ供給するガス流量はフローメーターで測定した。また、ガスの組成はガスクロマトグラフにより測定し、その値からガスの発熱量を計算した。一方、ガスに混合する空気はブロアーを用いて混合器に送り、バルブにより空気量とガス量の比を任意に変化させて実験を行った。ガスエンジンから排出される排ガス中の酸素濃度は磁気式、一酸化炭素と二酸化炭素濃度は非分散型紫外線式、 NO_x の濃度は常圧式化学発光法により測定した。

8.3.2 結果と考察

本発電実験におけるバッファータンク出口のガス分析結果を表8-2に示す。可燃性ガスの主成分は H_2 、 CO 、 CH_4 、 C_2H_4 であり、このときのガス発熱量は約 $2,000\text{kcal/Nm}^3$ であった。本実験ではガス化剤として空気を使用しているため N_2 分が多く、可燃性ガスの生成量は相対的に少なく、したがってガス発熱量も低い値になった。また、ガス組成から求めた理論空気比は約 2.0 と求まり、ウッドガスの理論空気比 $1.02^{2)}$ の約 2 倍の値に

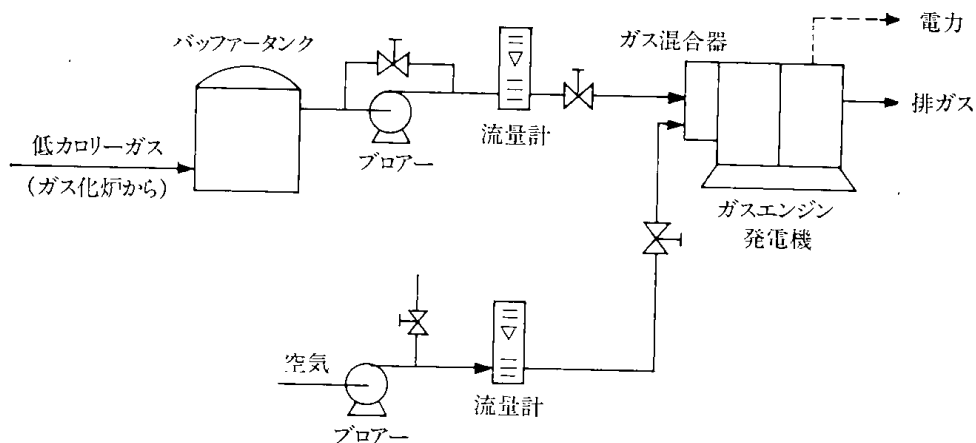


図8-3 発電実験装置概略図

なった。

発生電圧95~107Vの範囲における発電機の回転数(○印)および周波数(△印)と電力負荷との関係を図8-4に示す。発電機の回転数は負荷

第8-2 生成ガス分析値

H ₂	6.5%
CO	6.0%
CH ₄	5.8%
C ₂ H ₆	0.7%
C ₃ H ₈	0.02%
C ₂ H ₄	4.0%
C ₃ H ₆	1.3%

が小さい場合は定格の1,500rpmを維持しているが、負荷が2.5kW以上になると回転数は徐々に低下し、それにともない発生電圧の低下もみられ、負荷を4.5kW以上にすると発生電圧は90V程度になった。一方、発電電力周波数は負荷変動に対して顕著な差はなかった。本ガスエンジン発電機は自動車用のガソリンエンジンを低発熱量ガスに適用して、主に吸気機構を改造し負荷の変動に対して、燃料ガスと空気の供給量を制御し、エンジン発電機の回転数の変動を最小限に制御しながら動力の負荷変動に対応しているためである。空燃比0.25~0.30Nm³/Nm³におけるガスエンジン排ガス中のNO_x濃度と電力負荷の関係を図8-5に示す。無負荷におけるNO_x濃度は約250ppmであるが、負荷を大きくするにしたがってNO_x濃度も増加する。岡本³⁾の高位発熱量ガスによるガスエンジン発電機で、負荷1,000kW程度以下のNO_x濃度は2,000ppm程度(O₂5%)および200ppm(O₂16%)程度である。

図8-6は無負荷、負荷2.5kWおよび負荷4.2kW一定に維持した場合のガスエンジン排ガス中のO₂濃度と空燃比の関係を示す。いずれも空燃比が大きくなるとエンジン排ガス中のO₂濃度は増加する傾向にある。また、無負荷に比べ、負荷が大きくなると逆にO₂濃度は小さくなる。

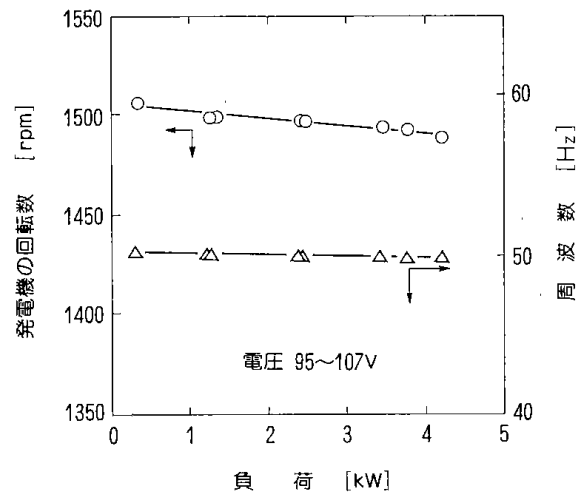


図8-4 回転数および周波数と負荷の関係

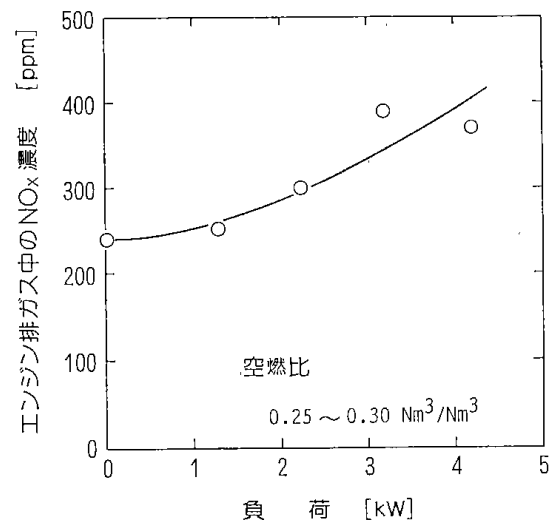


図8-5 排ガス中のNO_x濃度と負荷の関係

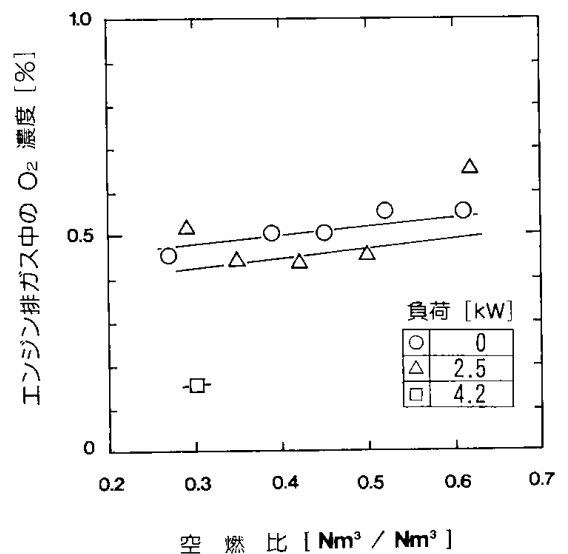


図8-6 排ガス中のO₂濃度と空燃比の関係

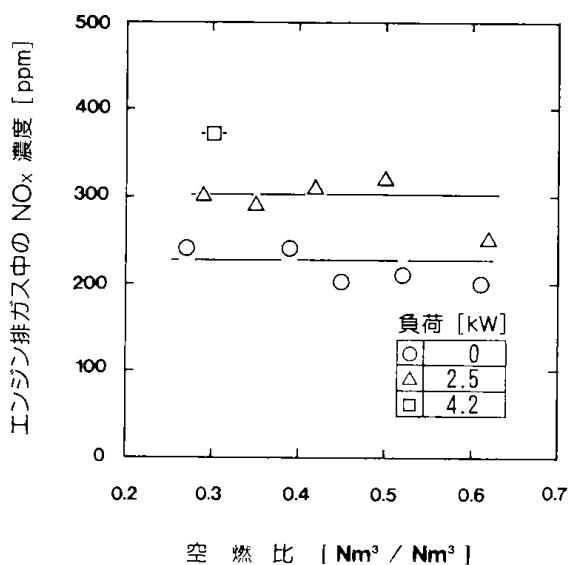


図8-7 排ガス中のNO_x濃度と空燃比の関係

図8-7は無負荷および負荷をかけた場合のガスエンジン排ガス中のNO_x濃度と空燃比の関係を示す。NO_x濃度は空燃比に対して若干のバラツキはあるが、ほぼ一定の値を示した。また、無負荷に比べ負荷をかけた方がNO_x濃度は大きくなる。これは図8-5からも明らかである。

本発電機の発電効率は負荷6kWのとき約23%であった。NO_xなどの大気汚染に関する規制もきびしくなっているが、本実験ではO₂濃度16%換算では、いずれも100ppm以下であることから特に問題はないと考えられる。

8.4 まとめ

(1) 試作したガスエンジン発電装置を試運転した結果、最大定格出力6.5kW、燃料消費率1,88kcal/PS・h、エンジンの熱効率34%、発電効率26%とほぼ設計値を満足し市販品と変わらぬ性能が得られた。

(2) シュレッダーダストの部分燃焼ガス化では、生成するガスは低カロリーであるので、模擬の低カロリーガスによりガスエンジンの運転並びに操作方法を検討した結果、低カロリーガスを加圧し、エンジンの必要熱量を供給することにより運転が可能となった。

さらに、最大定格出力が得られるための最低のガス発熱量を検討した結果、1,200kcal/Nm³以上であれば、十分負荷変動にも対応できることがわかった。

(3) シュレッダーダストを部分燃焼ガス化してガス発熱量約2,000kcal/Nm³の低カロリーガスを用いて発電試験を行った。その結果、長時間安定した状態での発電が可能であり、負荷6kWのときの発電効率は約23%であった。一方、排ガスのNO_x濃度は負荷が大きくなるとともに増加する傾向にあり、負荷4kWで約400ppmであるが、O₂16%換算で100ppm以下であることから特に問題はないことがわかった。

引用文献

- 1) 出口 明, 新川一彦, 細田英雄, 武内 洋, 前河涌典: “シュレッダーダストの処理法及び有効利用に関する研究”平成元年度公害特別研究報告書(工技院), 平成2年10月
- 2) 西川隆史, 宇津山俊二, 高橋喜四郎, 中野圭一: “日本鋼管技報” Vol.10, p79 (1987)
- 3) 岡本洋三: “JETI”, Vol.36, No.8 (1988)

第9章 シュレッダーダスト処理トータルシステムとコスト試算

新川一彦、出口 明、細田英雄、武内 洋

シュレッダーダストは多くの有価成分を含んでいるにもかかわらず廃棄処分されているのが現状であることから、このダストを未利用有効資源としての観点から活用できるシステムが確立されることが望まれてきた。

すでに、都市ごみ等を対象とした焼却・熱分解、減容固化等の処理技術ならびに廃棄物資源化のプロセスが開発されており、そのうちの幾つかはシュレッダーダストの処理にも適用できるものがある。しかしながら、既存の幾つかの処理システムについて、(財)クリーンジャパンセンターがシュレッダーダストを適用した場合の処理コストについて調査を行った結果¹⁾、いずれもトン当たり2万円以上の処理コストとなることが明らかになった。

再資源化を経済的に成立させるためには、ある程度の規模が必要である。したがって、企業単独事業よりは協同組成的なシステムが望ましいが、シュレッダー工場の場合はそれぞれが隣接していないので、ダストをそれぞれの工場から収集して一括処理するには運搬方法の問題があるため、現有の処理システムを適用することは難しい。

このことから、本研究では単一のシュレッダー工場を対象として、これより発生するダスト発生量に見合った経済的な処理システムを開発するため、シュレッダー工場が電力多消費型であることに着目してダストの簡易ガス化・ガス化発電システムについて研究を進めてきた。

前章までは、シュレッダーダストを部分燃焼ガス化するプロセスならびに生成ガスを燃料とするガスエンジン発電プロセスのそれぞれについて研究成果を述べてきたが、総合運転試験を行った結果、操作性、無公害性においても全く問題がなく、本システムは十分実用できるものと考えられた。

9.1 北開試方式によるシュレッダーダスト処理

トータルシステム

上に述べた理由から本研究では、シュレッダーダストの処理を行う場合は単一のシュレッダー工場を対象とし、これより発生するダストの発生量に見合った処理規模とし、処理コストの低減を図るため簡易な部分燃焼ガス化プロセスと生成ガスを燃料とするガスエンジン発電プロセスを組み合わせた処理システムを提案している。このような総合処理システムの概略的なフローを図9-1に示す。

以下にプロセスフローに従いプロセスを説明する。

(1) 受入・供給工程

原料のシュレッダーダストはシュレッダー設備からコンベヤにより搬送され工場敷地内に貯留されるが、ここからショベルカーにて原料供給コンベヤに供給する。供給された原料は上方へ搬送され、篩分離器で土砂、ガラス、粗大物などが除かれたのち、ホッパーへ供給される。

ガス化炉への供給は2段のスクリーフィーダーからなり、ガスシールをしながら2段目の可変速スクリーで炉内に送り込む機構となっている。ガス化温度はダストの供給量により制御される。

(2) ガス化工程

ガス化炉は処理コストの低減化を図るため、単塔式流動層炉とし、ガス化剤として空気を用いる部分燃焼ガス化方式を採用。

流動層ガス化技術は、小規模設備にあってはエネルギー総合効率、設備費、ランニングコストの点で優位にあると言われている。

流動化粒子には珪砂を使用する。スタートアップは流動化ガス及びガス化剤である空気を熱風発生炉で加熱し、分散器を通して炉内へ流し珪砂を流動化させる。所定の温度に達すると、ダストの供給を開始しダストを部分燃焼させる。この時点

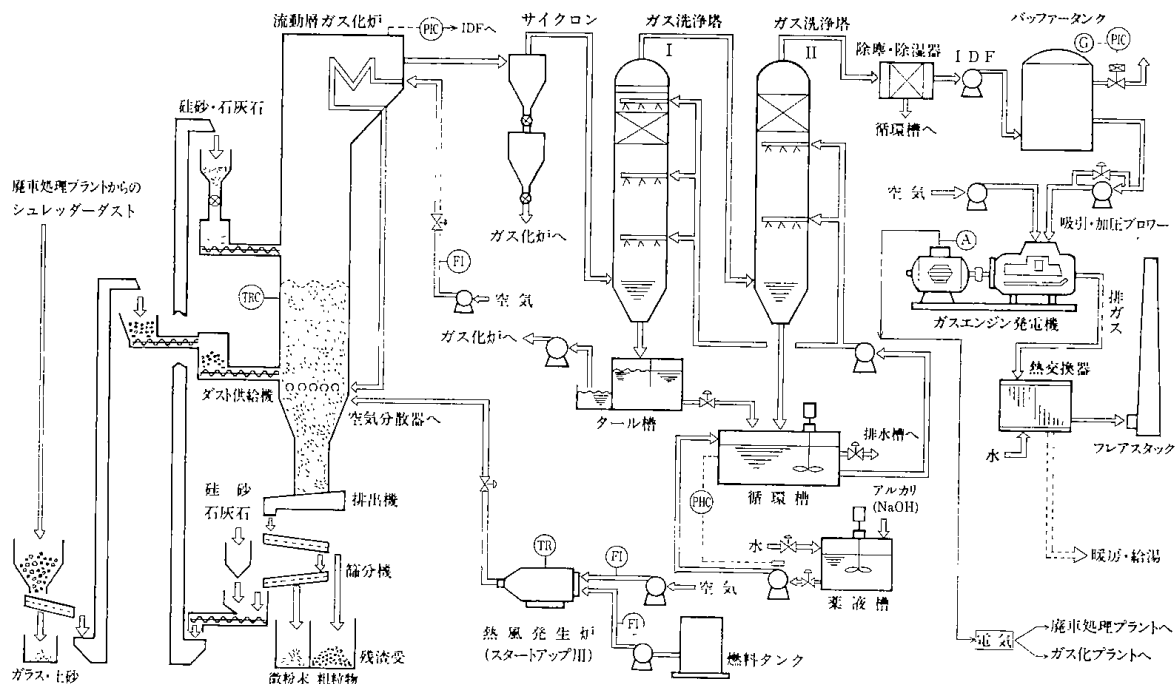


図9-1 シュレッダーダストの処理システム

で熱風発生炉を止め、空気比を最適なガス化条件に設定するとダストは流動化粒子中で熱分解されガス化する。

ダスト中には回収しきれなかった土砂、金属などが混入しており、これがガス化残渣として層低部に沈降し流動化を阻害するため、分散器下部を移動層の状態にし排出機で排出する。流動化粒子と残渣を篩分けたのち、粒子は粒子供給コンベアで炉内へ循環させる。残渣は残渣受に貯留したのち埋立処分する。

ガス化に伴いHCl、SO₂などの有害ガスが発生するので、粒子供給コンベアにて石灰石を炉内に供給しHCl、SO₂の同時吸収を行う。生成ガスはサイクロンで除塵されたのちガス精製工程へ流れる。

(3) ガス精製工程

サイクロンを出たガスは洗浄塔(1)にてタール、ミストの除去を行った後、洗浄塔(2)にてNaOH溶液と接触させ、石灰石で回収しきれなかったHClを除去する。洗浄塔(2)を出たガスはフィルターでタール、ミスト分を完全に除去したのち、バッファータンクに入る。

(4) ガスエンジン発電工程

バッファータンクに入ったガスはブロアーにより吸引、加圧し流量調整を行ってガスエンジンへ供給する。この時、ガス流量に合わせて最適な空燃比により空気を供給する。ガスエンジンによって発電機を駆動し、発生電力はガス化発電プラント及びシュレッダー工場へ供給する。

ガスエンジンの排ガスは熱交換し工場の給湯などに利用する。

9.2 コスト試算

本コスト試算は、1,000PSシュレッダーを1基保有している単一工場が、そのダスト発生量に相当した処理設備を設置した場合を想定して行ったものである。

(1) 前提条件

① シュレッダーダスト処理規模

1,000PSシュレッダー工場からのダスト発生量は、1日8時間稼働で約24トン/日である。これを稼働時間内で処理するとすれば、約3トン/時の処理能力を持つ炉が必要となり、運転方式も断続運転となる。この場合、運転準備、後始末、定常になるまでの待ち時間等を考慮すると、12時

間/日程度の運転時間が必要であることと、建設費が高くなるため経済的ではない。したがって、24時間の連続運転方式とし1トン/時の処理規模とする。

年間のシュレッダーダスト処理量は

24トン/日×25日/月×12月/年=7,200トン/年となる。

② 処理方式

北開式方式による部分燃焼ガス化並びに生成ガスを燃料とするガスエンジン発電方式とする。

③ 設置場所

1,000PSシュレッダー工場の敷地に併設する。

④ 電力利用形態

シュレッダー工場動力用（ベースロード分）とガス化発電設備の自家消費分を賄う電力を回収する。

⑤ 稼働時間

24時間/日×25日/月×12月/年=7,200時間/年とする。

(2) 電力バランス

① 回収電力量

本研究結果より、ダスト1トン当たり500kWの電力が回収できるので、1トン/時処理で500kWHの電力回収量とする。

② 必要電力量

シュレッダー設備で775kWH、（一工場の電力使用実績より推定）ガス化設備に80kWHとすれば合計855kWHの電力が必要となる。

③ バランス

ガス化設備に必要な80kWHは回収電力で充当する。シュレッダー設備の電力は、シュレッダー稼働中（8時間操業のため）はベースロード分として420kWHを回収電力で賄い、不足分は従来通り買電で充当する。シュレッダー停止中は、ガス化設備への電力供給のみで、420kWHが余剰電力となってしまふ。したがって、この余剰電力の用途が経済性を左右する大きなポイントとなる。

(3) 建設費

ダスト1トン/時処理のプラントの設備費は、一式4億円と見積もられた。内訳はおおむね以下の通りである。

本体設備	3億1,000万円
① 機械設備	1億7,300万円

② 電機・計装設備	8,100万円
③ 建築・土木設備	5,600万円
発電設備	9,000万円
① 機械設備	5,670万円
② 電機・計装設備	1,440万円
③ 建築・土木設備	1,890万円
合 計	4 億円

(4) 処理コスト¹⁾

① 固定費(建設費総額の24%/年とする)	
I) 償却費(7年10%残存)	5,120万円
II) 設備金利(5%)	2,000万円
III) 補修費(3%)	1,200万円
IV) 管理費(1.2%)	480万円
V) 租税、保険(2%)	800万円

小 計 (24%) 9,600万円/年
ダスト1トン当たり固定費 13,300円/トン

② 変動費

I) 労務費

(係員1名 @ 500万円/年 1,700万円
作業員3名 @ 400万円/年)

II) 用役費

(用水, 薬品, 珪砂, 石灰石 1,440万円
など)

III) 残渣処理費

(残渣発生量はダストの20% 720万円
とする。 @ 5,000円/トン)

小 計 3,860万円/年
ダスト1トン当たり固定費 5,360円/トン

③ 電力回収費

I) シュレッダー稼働中のみ電力を回収した場合

420kWH×8時間/日×25日/月×12月/年×20円/kWH

=2,016万円/年

ダスト1トン当たり回収費 2,800円/トン

II) シュレッダー稼働時間以外に余剰電力の用途があり24時間電力回収した場合

420kWH×24時間/日×25日/月×12月/年×20円/kWH

=6,048万円/年

ダスト1トン当たり回収費 8,400円/トン

④ 処理コスト

固定費+変動費-回収電力費=処理コスト

I) シュレッダー稼働中のみ電力回収し

た場合

13,300円/トン+5,360円/トン-2,800

円/トン

=15,860円/トン

Ⅱ) 24時間電力回収した場合

13,300円/トン+5,360円/トン-8,400円/トン

=10,260円/トン

9・3 まとめ

北開試方式によるシュレッダーダストの部分燃焼ガス化プロセスと、生成ガスを燃料とするガスエンジン発電プロセスを組み合わせた総合処理システムを提案するとともに、480kg/日のガス化試験装置により総合運転試験を行い、このようなトータルシステムが十分実用化し得ることを確認した。また、本システムを1,000ps級のシュレッダー工場に適用した場合を想定してコスト試算を行った結果、シュレッダー稼働中のみ電力を回収した場合15,860円/トン、24時間電力回収した場合には10,260円/トンと既存の廃棄物処理システムと比較して処理コストの低減が可能であることを明らかにした。

シュレッダー業者は、地域的には関東、中京、関西に多く存在しており、現行の埋立処理費は地域格差が大きく1,800円/トンから10,000円/トンとなっており、特に関東地方の事態が深刻で最近の新聞情報（日本経済新聞、1990年6月24日）によると12,000円～13,000円/トン一部では17,000円/トンとなっている。

現状では、本システムを採用するにはシュレッダー稼働時間以外の余剰電力の用途が大きなポイントとなるが、近い将来現在の埋立処理法に代わってエネルギーを回収する方法が採用されることは間違いのないものと思われることから、早期に実証化プラントの建設に踏み切る時期と考える。

引用文献

- 1) クリーンジャパンセンター編：“廃棄物の処理及び再資源化推進のための技術部会報告書”昭和57年3月

第10章 本研究の総括

シュレッターダストの無公害処理と資源化のためのプロセス・システムの開発を目的として、ダストを空気で部分燃焼ガス化する無公害な簡易ガス化技術とガス化により生成するガスを燃料とするガスエンジン発電技術、ならびにこの二つを組み合わせた総合的なシュレッターダスト処理システムに関する研究を基礎試験装置及び中間試験装置を使用して行った。

得られた成果は以下のようにまとめられた。

(1) シュレッター工場は平成元年現在で全国に146箇所設置されており、これらから発生するダストの量は年間約100万トンとなっている。54年式の乗用車を解体し、その組成分析を行った結果、金属類(79.5%)、プラスチック類(7%)、ゴム類(6.8%)、ガラス類(3.6%)、その他(3.6%)、であり、ダストの主成分はプラスチック類とゴム類であることがわかった。55年式以降の車については、自動車の素材革命が急ピッチに進んでおり、樹脂の使用が増加しているため、廃車ボディの鉄の歩留りは70%を切っていることから、今後、ダストの発生量はますます増大するものと考えられた。

(2) シュレッターダストの性状分析を行った結果、水分14~21%、灰分15~24%、揮発分49~59%、固定炭素4~8%、かさ密度0.15g/cm³であり、炭素などの可燃分を多く含む一方で、塩素分4%、燃焼性硫黄1.3%が含まれていることから、燃焼またはガス化によってかなりの塩化水素、二酸化硫黄の発生が予想され、これらの除去対策が必要であることがわかった。しかしながら、ダストは3,600~5,200kcal/kgの発熱量を有しており、いわばガス化のためには良質の原料とみなすことができた。

(3) 小型基礎試験装置によりシュレッターダストの部分燃焼ガス化実験を行い、パイロットプラント設計に必要な基礎データを得た。このデータに基づいて、流動層型のガス化試験装置(断面20cm×20cm、最大処理量20kg/h)の設計・試作を行いガス化予備試験を行った結果、試作装置によりガス化試験を十分推進することができ、プラント設計に必要なデータの取得が可能となった。

(4) 燃焼領域とガス化領域での塩化水素及び二酸化硫黄の発生量について検討を行った結果、塩化水素発生量は残余酸素濃度5~10%の燃焼領域では3,000~5,000ppm、ガス化領域では、9,500ppmとこれも高濃度で発生した。以上の結果から、本研究の最終目標であるダストを空気で部分燃焼ガス化し、得られたガスを燃料としてガスエンジン発電プロセスを稼働させる上では、ガスの無公害化が必要不可欠の課題となったため、石灰石及びサンゴ礁石灰石による塩化水素と二酸化硫黄の吸収法について基礎的な検討を行い、この結果に基づいて試作したガス化試験装置により、石灰石による塩化水素と二酸化硫黄の同時吸収法の効果を調べた結果、Ca/(S+Cl₂)の供給モル比4でガス化領域においても塩化水素、二酸化硫黄とも約80%の除去率を得た。したがって、本方式により塩化水素と二酸化硫黄の低減化が簡便に行えることがわかった。

(5) 部分燃焼ガス化の基礎試験より、生成ガスは流動化ガスである空気中の窒素が50~60%混入することから、低カロリーではあるが、可燃性ガスとして、水素、メタン、一酸化炭素、エチレン、エタン、プロピレン、アセチレン、プロパン等を含むことがわかった。

基礎データをもとに、試作したガス化試験装置により層内温度700~800℃の範囲での部分燃焼ガス化実験を行い、最適なガス化操作条件を求めた結果、ダストの組成変動により生成ガスの組成、発熱量も変動し、バラツキが大きかったが、平均して700℃で1,400kcal/Nm³、750℃で2,000kcal/Nm³、800℃では1,700kcal/Nm³のガスが得られ、750℃近傍が最適ガス化温度であることがわかった。

また、部分燃焼での空気比と生成ガスの関係を求めた結果、空気比の減少につれて炭化水素の組成割合が増加し発熱量も増加した。しかし、層内温度の維持ならびに安定な流動化状態を保つためには限界があり、空気比0.28~0.4が最適な条件であることがわかった。

層内温度750℃、空気比0.28の条件で生成するガスの組成はおおむね、水素6.5%、一酸化炭素

6%，メタン5.8%，エタン0.7%，プロパン0.02%，エチレン4.0%，プロピレン1.3%，窒素57%，炭酸ガス14.5%であった。

(6) 生成ガスを燃料とするガスエンジン発電技術の確立に必要なデータを求めるため、ガソリンエンジンをガス用に改造したガスエンジン発電装置を試作し、L.P.Gを燃料として試運転を行った結果、最大出力6.5kW、燃料消費率1,880kcal/PS・h、エンジン熱効率34%、発電効率26%とほぼ、設計値を満足し、市販品と変わらぬ性能が得られた。

部分燃焼ガス化により生成するガスは低カロリーなので、低カロリーガスを燃料とする場合のガスエンジンの運転並びに操作方法を検討するため、L.P.Gを空気で希釈した模擬の低カロリーガスを作り、試作装置により予備試験を行った結果、高カロリーガスと同じ操作方法では運転不可能であった。検討の結果、低カロリーガスの場合はガスを加圧し、エンジンの必要熱量に相当するガス量を強制的に供給することにより運転が可能となることがわかった。また、1,200kcal/N^m以上の発熱量を持つガスであれば、十分、負荷変動にも対応でき燃料消費率、エンジン熱効率ともに高カロリーガスの場合とほとんど変わらない結果が得られることがわかった。

予備試験で得られた操作条件を基に、ガス化温度750℃、空気比0.28のガス化条件で生成したガス（平均2,000kcal/N^m）を燃料としてガスエンジン発電試験を行ったが、生成ガスのカロリー変動に伴い、エンジンの回転数、電圧が変動し安定

した運転が不可能であった。このため、バッファタンクを設置し、これを通してガスを供給した結果、安定した連続運転が可能となり、バッファタンクが非常に有効であることがわかった。

発電試験の結果、最大発電量6kW、燃料消費率1,700kcal/PS・h、エンジン熱効率37%、発電効率23%が得られた。この時のエンジン排ガスのNO_x排出量は、標準酸素濃度16%換算で100ppm以下と全く問題がないことがわかった。

(7) ダストの空気による部分燃焼ガス化並びに生成ガスを燃料とするガスエンジン発電の総合運転試験を行った結果、安定した連続運転が可能であり、発電効率23%で原料1トン当たり500kWの電力が回収できる見通しを得た。また、操作性、無公害性においても全く問題がなく、本システムは実用の可能性があるものと考えられた。

(8) 本研究で提案したシュレッダーダスト処理トータルシステムのコスト試算と総合評価を行った結果、既存の廃棄物処理システムに比較して処理コストの低減が可能であることが明らかになったが、現状において本システムを採用するにはシュレッダー稼働時間以外の余剰電力の用途が大きなポイントとなると考えられた。

しかしながら、近い将来、現在の埋立処理法に代わってエネルギーを回収する方法が採用されることは間違いのないものと思われるので、早期に実証プラントが建設されることを期待するものである。

研究 成 果

口頭発表

- | | | |
|-----------|--|----------------------|
| S. 62. 9 | シュレッダーダスト処理技術
鈴木 智 | 日本鉄屑工業会シュレッダー委員会 |
| S. 62. 12 | シュレッダーダストの処理と有効利用の研究
出口 明, 三浦正勝, 新川一彦, 鈴木 智 | 第13回産業公害研究総合推進会議 |
| S. 63. 5 | 鉄屑加工処理ダストの有効利用及び処理について
鈴木 智, 新川一彦, 出口 明 | 日本鉄屑工業会第 6 回全国研修会 |
| H. 1. 4 | 廃自動車シュレッダーダストの流動燃焼
出口 明, 細田英雄, 新川一彦, 武内 洋,
鈴木 智 | 化学工学協会第54年会 |
| H. 1. 11 | FRP 廃棄物及び廃自動車ダストの流動燃焼とガス化
出口 明 | 四国工試コロキウム |
| H. 1. 12 | シュレッダーダストの処理と有効利用の研究
出口 明, 新川一彦, 細田英雄, 武内 洋 | 第15回産業公害研究総合推進会議 |
| H. 2. 4 | 廃自動車シュレッダーダストの部分燃焼ガス化
武内 洋, 出口 明, 細田英雄, 新川一彦 | 化学工学協会第55年会 |
| H. 2. 10 | 廃自動車ダストの無公害燃焼およびガス化
出口 明, 新川一彦, 細田英雄, 武内 洋 | 第 1 回廃棄物学会 |
| H. 3. 3 | シュレッダーダストの処理法及び有効利用に関する研究
新川一彦, 出口 明, 細田英雄, 武内 洋,
前河涌典 | 平成 2 年度総合研究プロジェクト検討会 |

誌上発表

- | | | |
|-----------|---|---------------------------------------|
| S. 63. 8 | シュレッダーダストの処理法及び有効利用に関する研究
鈴木 智, 新川一彦, 出口 明, 三浦正勝 | 昭62年度公害特別研究報告集 |
| S. 63. 9 | Development of Disposal and Effective Re-Utilization Technology for Shredder Waste
Suzuki, Niikawa, Deguchi, Miura | Environmental Research in Japan, 1987 |
| S. 63. 9 | 廃自動車シュレッダーダストのガス化・発電システムの開発
出口 明 | 北海通産情報 |
| S. 63. 10 | シュレッダーダストの処理法及び有効利用に関する研究
鈴木 智, 新川一彦, 出口 明, 三浦正勝 | 昭62年度廃棄物の処理と資源化技術に関する総合研究 |
| H. 1. 9 | シュレッダーダストの処理法及び有効利用に関する研究
出口 明, 新川一彦, 細田英雄, 武内 洋,
鈴木 智 | 昭63年度公害特別研究報告集 |

H. 1. 9	Development of Disposal and Effective Re-Utilization Technology for Shredder Waste Deguchi, Niikawa, Hosoda, Takeuchi, Suzuki	Environmental Research in Japan, 1988
H. 1. 10	シュレッダーダストの処理法及び有効利用に関する研究 出口 明, 新川一彦, 細田英雄, 武内 洋, 鈴木 智	昭63年度廃棄物の処理と資源化技術 に関する総合研究
H. 2. 6	廃車の部品を焼却して発電 出口 明	省エネルギー
H. 2. 7	廃車の部品を燃やして発電 出口 明	Quark (講談社)
H. 2. 7	廃車部品のガス化・発電システム 出口 明	New Technology Japan(JETRO)
H. 2. 8	廃自動車ダストのエネルギー変換 出口 明	産業と環境
H. 2. 8	廃自動車ダストのガス化・発電システム (上) 出口 明	プラスピアNo.71
H. 2. 9	廃自動車ダストの処理と有効利用 出口 明, 新川一彦, 細田英雄, 武内 洋	INDUST Vol.5 No.9
H. 2. 9	シュレッダーダストの処理法及び有効利用に関する研究 出口 明, 新川一彦, 細田英雄, 武内 洋, 前河涌典	平成元年度公害特別研究報告集
H. 2. 9	Development of Disposal and Effective Re-Utilization Technology for Shredder Waste Deguchi, Niikawa, Hosoda, Takeuchi, Maekawa	Environmental Research in Japan, 1989
H. 2. 10	シュレッダーダストの処理法及び有効利用に関する研究 出口 明, 新川一彦, 細田英雄, 武内 洋, 前河涌典	平成元年度廃棄物の処理と資源化技術 に関する総合研究
H. 2. 12	廃自動車ダストのガス化・発電システム (下) 新川一彦	プラスピアNo.72
H. 3. 1	廃自動車シュレッダーダストのガス化発電 出口 明	化学工学Vol.55 No.1

技術指導

(株)鈴木商会	シュレッダーダストの処理技術	S. 63. 5. 2 ~ H. 2. 3. 31
日産トレーディング(株)	シュレッダーダストからの有価物回収	H. 2. 12. 10 ~ H. 3. 3. 31

特許申請

有機ガスの発熱量連続測定方法及び装置	昭和63年
--------------------	-------

報道関係

北海道新聞	研究室NOW 廃車ダストを安く処分	S. 63. 5. 28
-------	-------------------	--------------

朝日新聞	廃車の部品燃やして発電	H. 2. 5. 5
日刊自動車新聞	イノベーション '90エネルギー回収	H. 2. 9. 4
東京新聞	流動層ガス化試験装置	H. 2. 11. 26
日本テレビ	プラスワン	H. 2. 5. 30

〈謝辞〉

本研究の実施にあたり、試料、情報の提供を頂きました(株)鈴木商会の関係各位、分析関係で有益な御助言を頂いた当所、応用化学部の原口謙策課長、制御機器の設計、保守にご協力頂いた当所、総務部の三浦健一技官に心からお礼申し上げます。

Development of Disposal and Effective Re-Utilization Technology for Shredder Waste

Kazuhiko NIKAWA*, Akira DEGUCHI*, Hideo HOSODA*, Hiromi TAKEUCHI*,
Masakatsu MIURA**, Yosuke MAEKAWA* and Satoru SUZUKI***

* Resources and Energy Engineering Department

**Applied Chemistry Department

***Director-General

SYNOPSIS

The number of scrapped automobiles is increasing in Japan, and a recent estimate put the number at 5.0 million per year. In the processing of scrapped automobiles, shredding technique is used to recover high quality steel. Non-metallic particles remain in this process, and these particles are called shredder waste. Shredder waste is a mixture of plastics, rubber, and fibers and about 1,000,000 tons are generated annually. This waste has generally been disposed of by dumping, but space and environmental problems as well as considerations of alternative uses of shredder waste has created a need to develop new techniques for its disposal. The purpose of this research is to develop disposal and effective re-utilization technology for shredder waste which is economically feasible at the shredder plants. The research covered; 1) Simple gasification technology for shredder waste. 2) Electric power generation by gas engine using the produced gas. 3) Design of disposal and re-utilization systems for the shredder waste. In this research, the following results were obtained.

1. The quantitative and composition analyses of the samples:

Samples of the shredder waste were collected from the shredder plants in Hokkaido, and the quantitative analyses of the samples were made to get a fundamental data. The results of proximate analysis are as follows: Moisture 14-21%, Ash 15-24%, Volatile matter 49-59%, Fixed carbon 4-8%, and Bulk density 0.15g/cm³. Calorific value of the sample was ranged 3,600 to 5,200 kcal/kg. Composition analysis was carried out to get the composition of shredder waste. The scrapped automobile (manufactured in 1979, engine capacity 1,400 c.c) was used as the sample. The composition was Metals 79.5%, Plastic 7.0%, Rubbers 6.8%, Glass 3.6% and Others 3.6%.

2. The basic experiments on gasification with air:

The basic experiments on gasification with air were made at a temperature range of 800-830 °C using a fluidized bed type gasifier with an inner diameter of 200mm. The results of the study showed that combustible gas component in the gas product was H₂, CH₄, CO, C₂H₆ with higher heating value of 1,200-1,500 kcal/Nm³. From the experimental results, some important factors such as the mechanisms of feeder and the discharger of residue were picked out for the design of pilot plant. On the basis of the above mentioned experience, a 20kg/h pilot plant of fluidized bed gasifier for the gasification of shredder waste was designed and constructed for fur-

ther studies on development of simple gasification technology.

3. The removal tests of SO₂ and HCl:

The preliminary removal tests of hydrogen chloride (HCl) from the gasification process of shredder waste were carried out by using of the lime-stone and coral reef rock. The removal ratio of HCl increased with increasing the value of Ca/Cl₂ mole ratio. The removal ratio of HCl was 85% at the Ca/Cl₂ value of 6 and reaction temperature of 700–800 °C. Based on the data from the preliminary tests, the removal tests of SO₂ and HCl were carried out by means of the lime-stone feeding into the fluidized bed using pilot test plant. The removal ratio of SO₂ and HCl were 82% and 78%, respectively, at the Ca/(S+Cl₂) value of 4 in the temperature range of 700 to 800°C.

4. The experiments on gasification with air:

The experiments on gasification with air were made at a temperature range of 700–800 °C to obtain optimum operating conditions using the pilot test plant. The experimental results showed that the average higher heating values of the gas products were 1,400kcal/Nm³ (at 700°C), 2,000 kcal/Nm³ (at 750°C) and 1,700kcal/Nm³ (at 800°C), and the composition of hydrocarbon in the gas products was increased with decreasing air ratio. From the results, optimum condition for gasification of shredder waste was summarized that bed temperature was 750 °C at air ratio of 0.28. The gas components in the produced gas at optimum conditions were H₂(6%) , CO(6%) , CH₄(5.8%) , C₂H₆(0.7%) , C₂H₈(0.02%) , C₂H₄ (4%) , C₃H₆(1.3%),CO₂(14.5%) and N₂(57%) with higher heating value of 2,000kcal/Nm³.

5. The experiments on power generation by a gas engine:

Gas engine type power generator was designed and constructed for further studies on development of power generation by a gas engine using produced gas as fuel. The gasoline engine (4 cycle, 2 cylinders, 544cc, 13PS) was converted to gas engine by changing fuel supply system and it was connected to power generator (output voltage 110V, power output 7.5 kW) . The engine was initially tested by charging of L.P.G. From the test results, some important factors needed for the design of pilot plant were obtained. Preliminary test run of the modified gas engine was done by charging constant flow rate of L.P.G and mixed with varying amount of pressurized air to determine the minimum practical heating value of fuel gas which the engine requires for smooth operation. The test results showed that the minimum heating value of 1,200 kcal/Nm³ is effective for smooth operating condition with maximum output of 6.5kW and 100V. From the results, it was found that produced gas could be utilized as fuel for a gas engine. Based on the data from the test of gas engine operation using L.P.G. and air as fuel, the low calorie gas produced from shredder waste at optimum gasification conditions were tested on the gas engine. The results showed that the engine could be started only with the mixture of the produced gas and air, and it was continuously in good running condition with maximum output of 6kW by passing produced gas thru a buffer tank.

6. Cost evaluation of the total system:

A new total disposal system combined with the fluidized-bed type gasification with air process and electric power generation one was proposed based on the experimental results. It was

proved by the operation tests that the total system could be operated properly. Moreover, the disposal cost of shredder waste was evaluated, and the results indicated that this system could be economically practicable comparing with other existing systems.

This research was carried out from 1987-1989 F.Y. as a part of the special research projects for Prevention of Environmental Pollution.

北海道工業開発試験所報告

第52号

平成3年3月20日 印刷

平成3年3月20日 発行

発行所 工業技術院北海道工業開発試験所
札幌市豊平区月寒東2条17丁目2番1号
電話 011(851)0151

印刷所 有限会社アクトプリント
札幌市白石区菊水8条2丁目21番地
電話 011(814)1221

REPORTS OF
THE GOVERNMENT INDUSTRIAL DEVELOPMENT
LABORATORY, HOKKAIDO

No. 52 March 1991

Development of Disposal and Effective
Re-Utilization Technology for Shredder Waste

Contents

Chapter 1	Present Situation and Problems of Shredder Plants	(1)
Chapter 2	Characterization of Shredder Wastes	(6)
Chapter 3	Study on Analytical Equipment for Continuous Heating Value Measurement of Fuel Gas	(9)
Chapter 4	Basic Research on Gasification of Shredder Waste	(13)
Chapter 5	Basic Research on Absorption of HCl	(17)
Chapter 6	Design of Pilot Plant for Gasification of Shredder Waste	(21)
Chapter 7	Pilot Plant Experiments of Gasification with Fluidized Bed Gasifier for Shredder Waste	(26)
Chapter 8	Experiments on Power Generation by a Gas Engine	(33)
Chapter 9	Total System of Shredder Waste Disposal and Cost Evaluation	(38)
Chapter 10	Conclusions	(42)

Published by

The Government Industrial Development Laboratory, Hokkaido
2-17-1 Chome, Tsukisamu-Higashi, Toyohira-ku, Sapporo, Japan