

燃料としての都市ごみ

Town Refuse for Incinerator Fuel

西本 武実* 高橋 幸男*
Takemi Nishimoto Yukio Takahashi

要 旨

わが国のごみ処理の主流をなすと考えられる焼却方式を対象として、都市ごみの燃料としての性状と、焼却に伴う排出物の性状ならびに装置の腐食問題について行なった調査、実験の結果を要約した。

1. 緒 言

人が住み、生活、生産が営まれる限り、ごみの発生排出は不可避免であり、生活水準や消費構造の変化と都市過密化にともない、その量はますます増大する。大気や水質の汚染以外、直接的な悪臭、悪疫を伴うごみの処理は、現在すでに大きな社会的問題となっている。

本文は、今後しばらくごみ処理方式の主流をなすと考えられる焼却処理方式を対象として、都市ごみの燃料としての性状と問題点⁽¹⁾を要約したものである。

2. ごみの排出量と処理法

2.1 ごみの排出量

アメリカにおいて現在の1人1日当たりごみ排出量は、1950年以来60%増加し、70年代にはさらに50%増加して、2,300g/人/日を越すものと推定されている⁽²⁾。

わが国では、一応500g/人/日をごみ処理装置の計画値として常用されていたが、最近の実例⁽³⁾を10年前の実績⁽⁴⁾と比較すると表1のようになり、1,000g/人/日になるのも間近いと考えられる。

2.2 ごみの処理方法

- (1) 投棄方式
- (2) 堆肥(たいひ)化方式
- (3) 埋立方式
- (4) 焼却方式

この4方式がそれぞれのくふうをこらして実施されており、わが

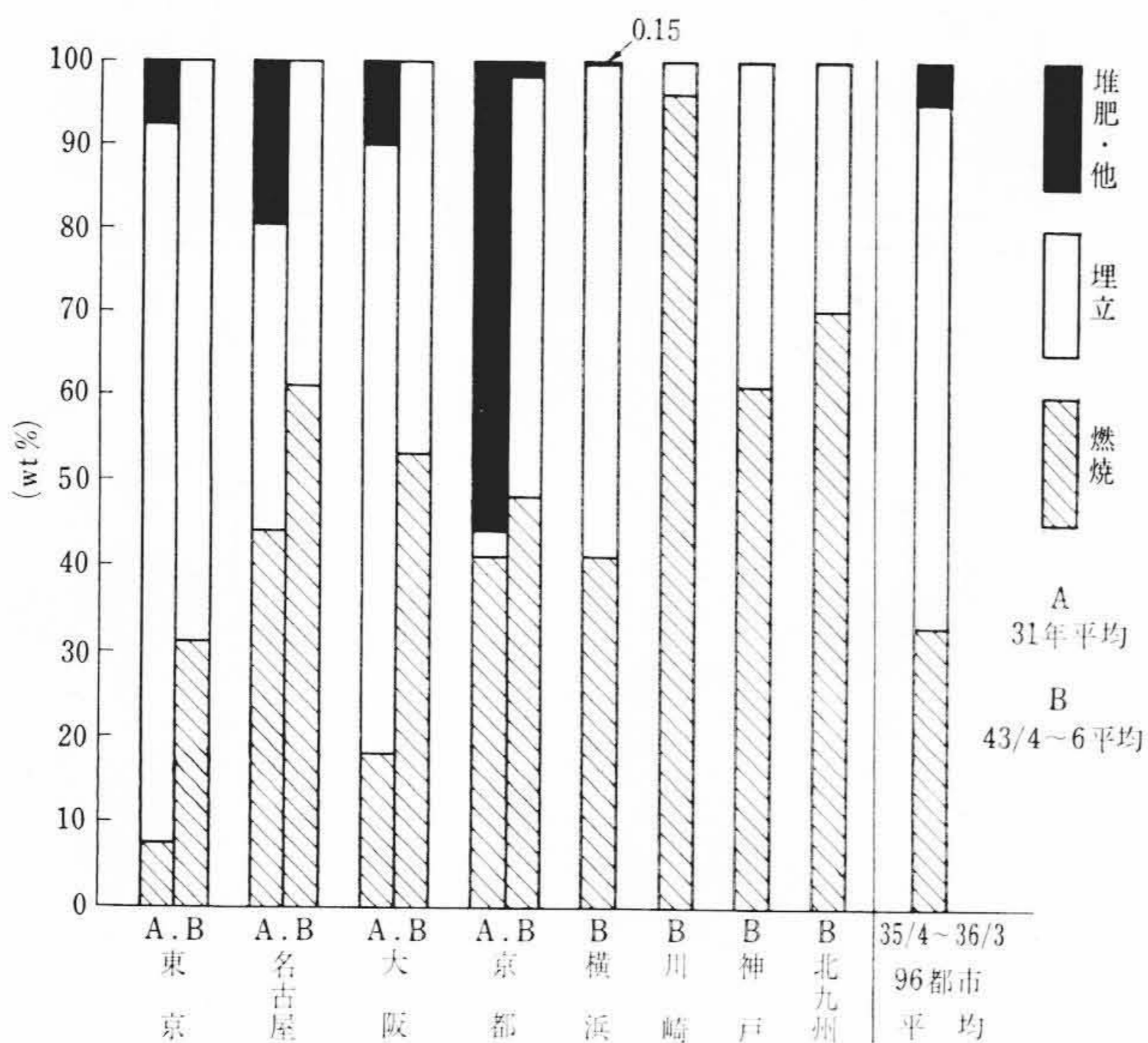


図1 主要都市のごみ処理の実態

表1 主要都市のごみ排出量 (g/人/日)

都市名	33年平均	43/4~6平均	都市名	43/4~6平均
東京	450	711	横浜	1,935
大阪	444	728	川崎	946
金沢	470	610	名古屋	608
静岡	401	533	京都	813
横須賀	438	620	神戸	634
盛岡	401	500	北九州	488

表2 生ごみの組成 (wt %)

組成 (wt %)	地域			川崎市 ⁽⁵⁾	
	大都市	工業都市	農村地帯	一般世帯	商店街
	42/4	42/11	42/8	34年	
厨芥 (ちゅうかい)	38.4	34.2	36.8	24.7	24.1
紙類	20.8	24.6	19.5	24.8	27.7
木片, わら類	3.1	5.2	10.1	5.3	3.8
布類	2.1	2.6	2.7	8.2	1.6
プラスチック類	6.4	5.0	3.7	4.1	3.7
金属類	3.7	8.7	3.9	32.9	39.1
ガラス, 陶器, 石類	4.6	4.4	9.2		
仕分け不能分	20.9	15.3	14.1		

注：(1) プラスチック類には、合成樹脂、繊維、皮革、ゴム類を含む。
(2) 仕分け不能分は、サイズが小さく目測選別が困難なもので、不燃分と可燃分(水分を含む)の比は経験的にはほぼ1:2である。

国主要都市の実態は図1⁽³⁾⁽⁴⁾に示されたとおりで、地理的条件や環境衛生面から次第に焼却方式に移る傾向にある。

3. ごみの性状

ごみの性状は、各国の文化圏による差があるのは当然であるが、わが国においても都市、農村、工場地帯、住宅地帯によって差があり、さらに同一地域でも季節による影響があり、性状の把握は困難である。次にわれわれが調査した結果や、資料に基づき燃料としての性状をマクロ的に取りまとめた。

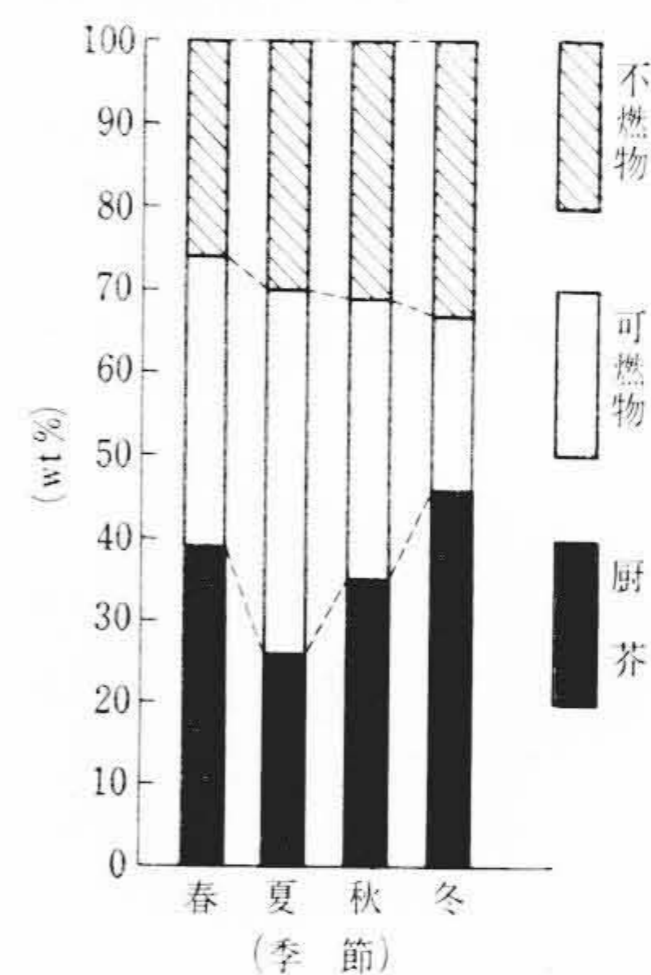


図2 豊中市生ごみ四季別組成

* バブコック日立株式会社呉研究所

表3 ごみの成分と発熱量

地 域	採 取 年 月	ご み 成 分 (wt %)			低 位 発 熱 量 (kcal/kg)
		可 燃 分	不 燃 分	水 分	
大 都 市	42/4	21	12	67	520
		26	18	56	800
中 都 市	43/11	38	8	54	1,350
農 村 地 帯	42/8	22	19	59	610
		17	24	59	400
ド イ ツ 工 業 都 市	—	23.3	35.3	41.4	792

表4 家庭ごみ中の可燃物質の成分

品 名	水 分 (%)	可 燃 分 (%)	灰 分 (%)
新 聞 紙	4.40	93.01	2.59
木 綿	33.60	64.75	1.65
木 (弁当箱)	14.80	84.77	0.43
大 根	91.80	7.10	1.10
キ ャ ベ ッ	88.80	10.38	0.82
ミ カ ン 皮	69.50	29.54	0.96
パ ナ ナ 皮	87.20	11.20	1.60
茶 殻	86.40	13.08	0.52

表5 ごみ成分と密度

項目 試料	成 分 (%)			低 位 発 熱 量 (kcal/kg)	密 度 (t/m ³)
	可 燃 分	不 燃 分	水 分		
滞 積 底 部	23.6	20.9	55.5	700	0.489
	27.6	13.5	58.8	859	0.500
滞 積 ご み	35.5	24.5	40.0	1,320	0.360
	32.7	21.6	46.0	1,170	0.390
	32.7	17.3	50.0	1,140	0.434
	30.0	24.0	46.0	1,044	0.370
	26.2	22.8	51.0	849	0.400
	33.2	23.5	43.3	1,200	0.370
滞 積 均	31.7	22.3	46.0	1,119	0.389
生 ご み	30.0	22.0	48.0	1,030	0.279
	27.8	22.2	50.0	920	0.246
	31.0	11.1	57.9	1,017	0.330
	27.9	20.4	51.7	915	0.243
	31.4	21.4	47.2	1,050	0.264
生 ご み 平 均	29.6	19.4	51.0	986	0.272

表6 家庭ごみ中の可燃物質の基礎性状

類 別	代 表 試 料	成 分					元 素 分 析 (wt%)				発 熱 量 (kcal/kg)	元 素 組 成
		HC	Pr	F	OC	S&X	C	H	灰 分	残 (O)		
厨 芥	(植物性) 残飯(米)	◎	△	△			42.3	6.54	0.37	50.8	4,160	C _{5.4} H ₁₀ O ₅
	ミカン皮	◎	○	△			43.4	6.33	4.47	45.8	4,120	C _{5.7} H ₁₀ O _{4.5}
	(動物性) めざし		◎	○			41.9	5.32	2.08	50.7	4,760	C _{6.6} H ₁₀ O _{5.9}
紙 類	新聞紙	◎					44.6	6.62	0.01	48.8	4,490	C _{5.6} H ₁₀ O _{4.6}
木、竹、わら類	おがくず	◎					47.8	6.18	0.22	45.8	4,810	C _{6.4} H ₁₀ O _{4.6}
	チップ	◎					48.4	6.42	0.04	45.1	4,680	C _{6.3} H ₁₀ O _{4.4}
	わらくず	◎										
布 類		◎										
皮 革 類			◎	○								
ビニール プラスチック類			○		◎	△						
ゴ ム 類			△		◎	△						
燃 料 屑												

記号説明
 HC: セルロース, デンプン等
 Pr: タンパク質
 F: 脂肪
 OC: その他有機化合物
 S&X: Sあるいはハロゲン
 ◎: 主成分 50% 以上
 ○: 副成分 20~50%
 △: 微量成分 5% 以下

3.1 ごみの組成

ごみを受入のまま機械的に区分したものを組成として表現することとし、ごみ焼却場に搬入された生ごみを慣用区分により調査した結果と、川崎市の例⁽⁵⁾を比較して示したのが表2である。

図2は季節別のごみ組成の変化例⁽⁴⁾を示したものである。

3.2 ごみの成分

ごみを化学的に調査区分し、これを成分として表現してみると、表3のように、地域別のごみの成分測定結果とドイツの工業都市の例⁽⁶⁾が比較できる。ごみ中の水分は、可燃性物質を構成するものと、各物質に付着あるいは空間に保有充てんされているもので、国内では>50%、ドイツの例は<50%ということ注目してよい。

表4は、家庭ごみ中の代表的可燃物質の成分を実測した結果である。

3.3 ごみの密度

表5は、大都市のごみ焼却場に搬入された生ごみと、焼却炉ピット内に滞積されたごみについて、成分、発熱量およびその密度を測定(42年8月)した結果を示したものである。

水分は、滞積ごみ<生ごみ } の関係を示している。
 密度は、生ごみ <滞積ごみ }

3.4 ごみの発熱量と燃焼性

3.4.1 ごみの発熱量

表6は、家庭ごみ中の可燃物質を乾燥し、成分、元素分析および発熱量を測定し、おもな元素組成式を予想した結果を示したものである。この結果をもとに、焚(たき)込ごみの低位発熱量計算式として(1)式を設定、採用することとしている。

$$\left. \begin{aligned} Hu &= 4,400f - 600\omega \\ f + u + \omega &= 1.0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 Hu: ごみの低位発熱量 kcal/kg 焚込ごみ
 f: ごみ中の可燃分含有量 kg/kg 焚込ごみ
 u: ごみ中の不燃分含有量 kg/kg 焚込ごみ

$$Hu = 4,400f - 600\omega \text{ kcal/kg 焚込ごみ}$$

$$f + u + \omega = 1.0$$

$$\frac{f}{f+u} = 0.4 \sim 0.7$$

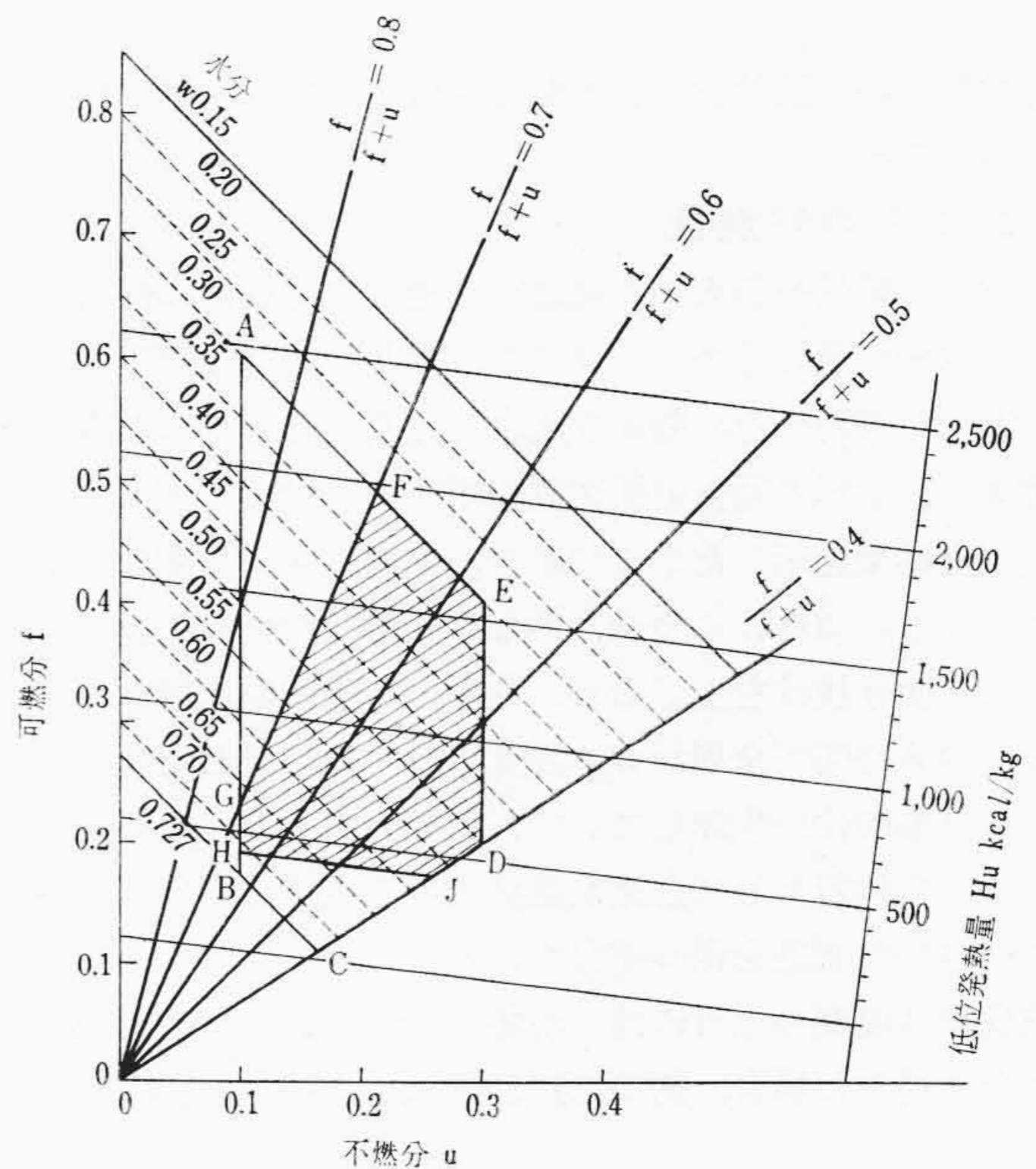


図3 燃料として用いるごみの性状限界

ω: ごみ中の全水分含有量 kg/kg 焚込ごみ

図3は、(1)式により、実用上のごみ成分範囲を予測したもので、水分は30~70%、金属や陶器、ガラス類を含む不燃分は10~30%、乾燥後の可燃分含有率 f/f+u は40~70%という経験値で規制すると、多角形DEFJ内に実際ごみの性状は限定できるが、焚込ごみの低位発熱量は400~2,000kcal/kgと大きい幅を有し、燃焼空気量、発生ガス量とも幅広く変動することがわかり、

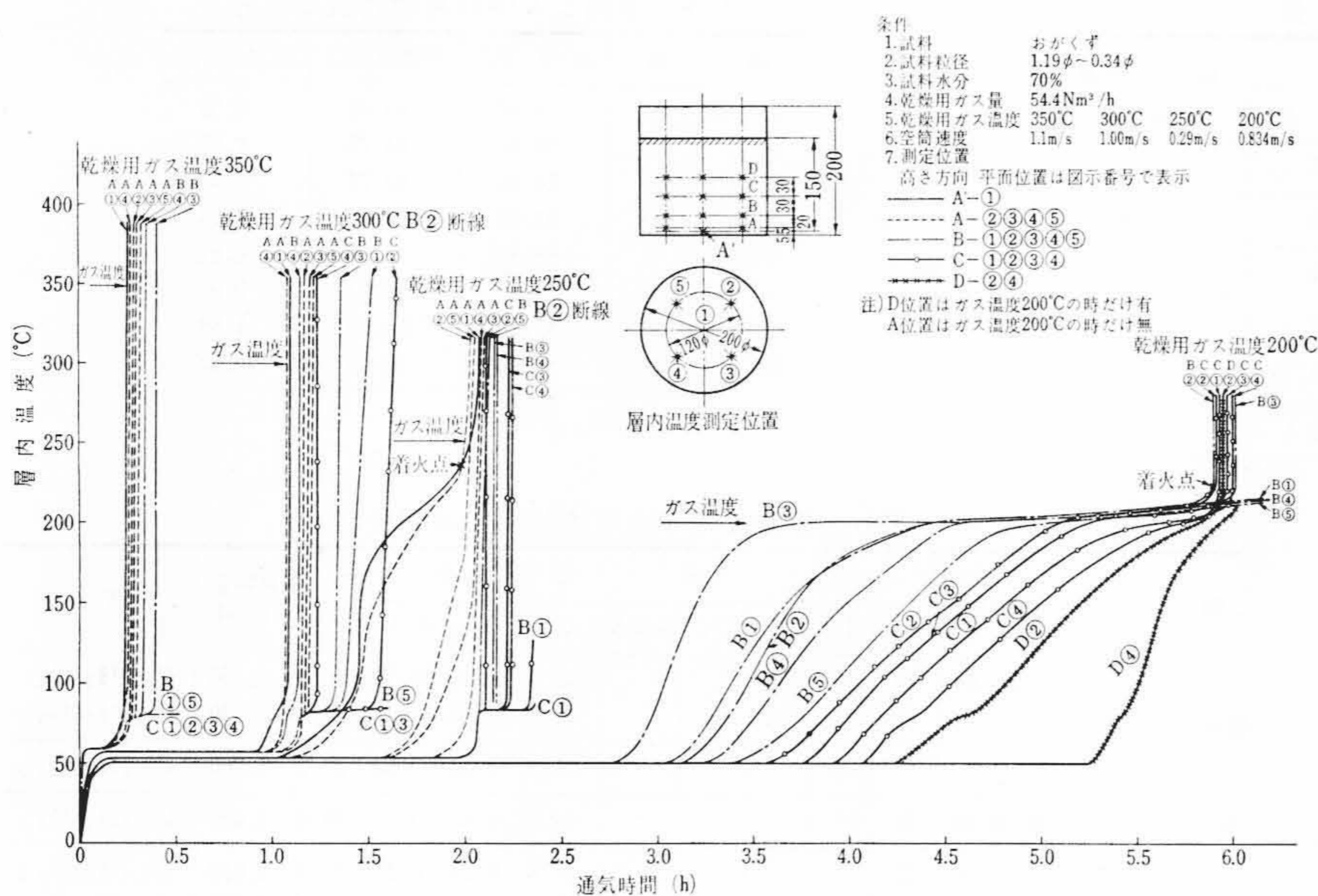


図4 乾燥ガス温度と層内温度変化

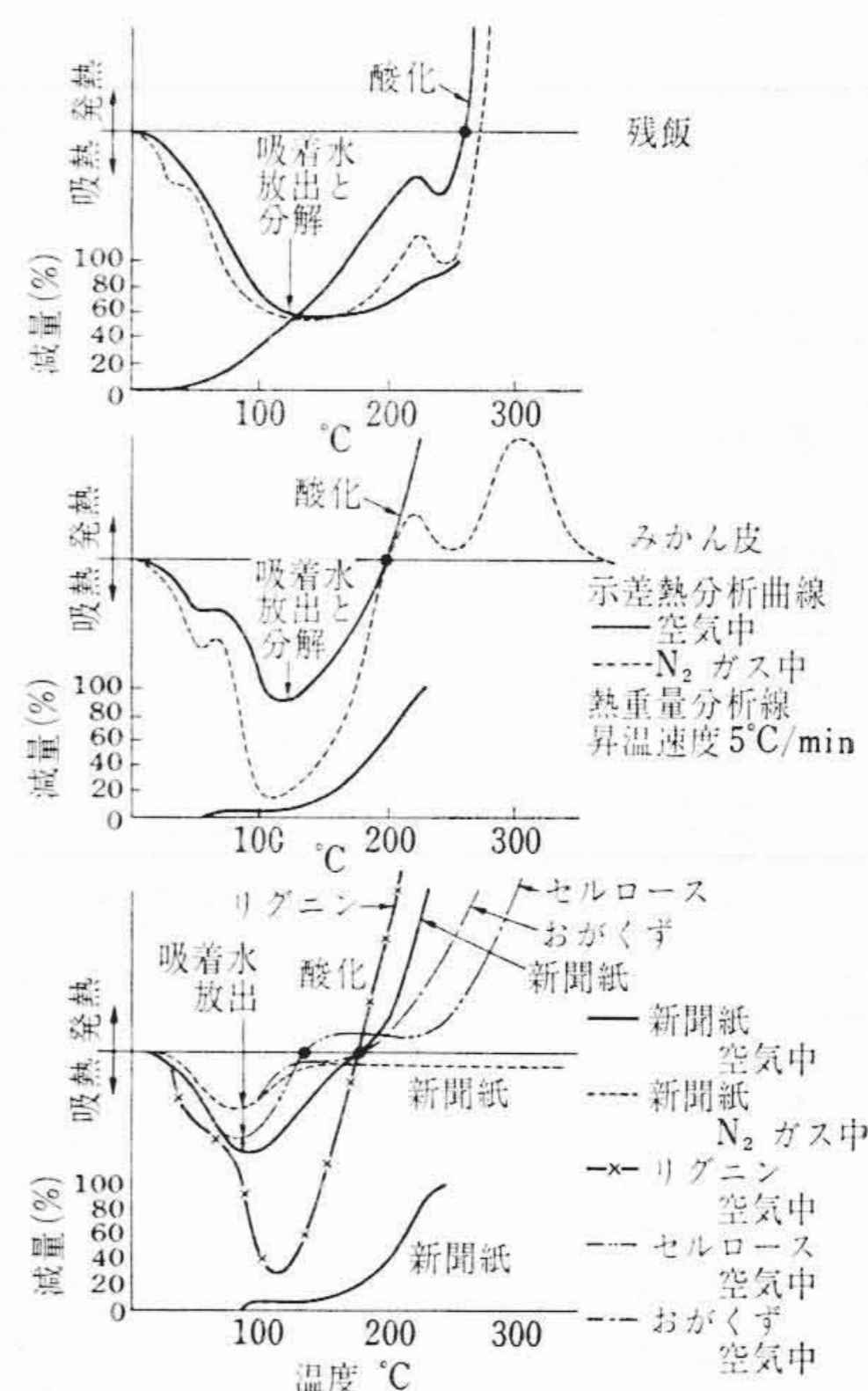


図5 ごみ中可燃物の示差熱分析結果

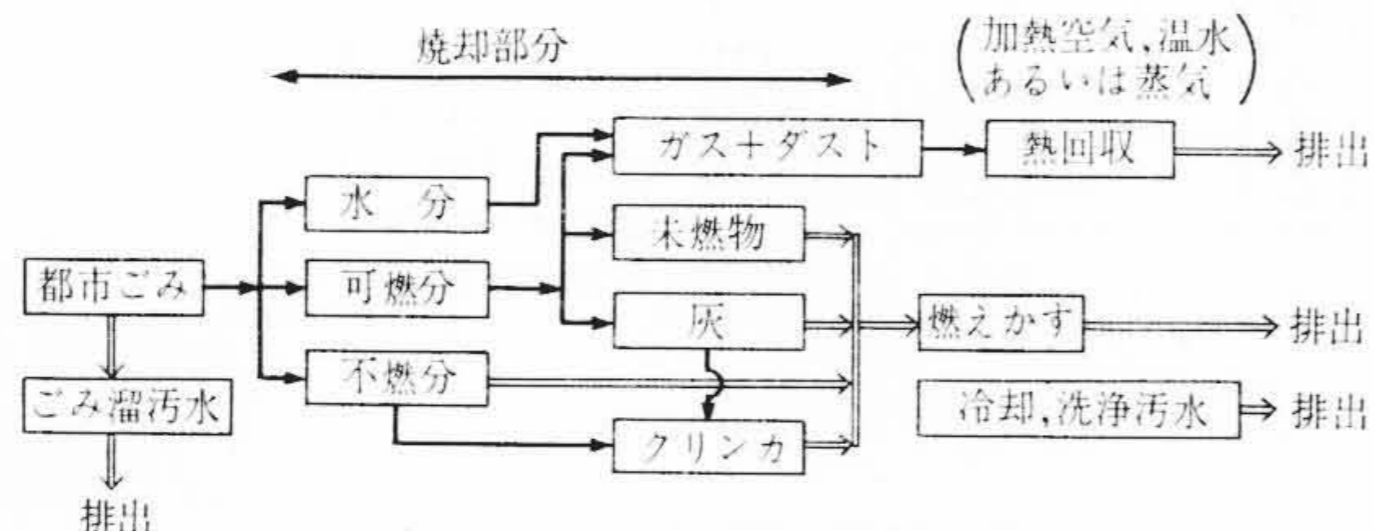


図6 焼却炉におけるごみと排出物

連続式焼却炉の設計および運転は可成り高度な困難を伴うものと了解される。

3.4.2 ごみの燃焼性

ごみは、乾燥→着火→燃焼という過程を連続的に経て焼却されるが、水分が著しく多く、サイズ、形状の不整な都市ごみでは、乾燥過程の成否がその効率を大きく左右することになる。

図4は、小形の通気乾燥装置を用いて、おがくずの乾燥実験を行なった結果を示したものである。乾燥ガスの温度は正確に調整されている。200°Cの場合、かなり長時間の恒温乾燥が行なわれて一部に吹き抜けを生じるが、乾燥、加熱は漸次層内を上昇してゆき、約6時間で全層がガス温度に達する。この時はすでにおがくずの分解酸化が生起して、低発火点を有する揮発分の発生があり、自然着火して急速な温度上昇を生ずる部分と、ガス温度に加熱された状態を保つ部分がある。

乾燥ガス温度の上昇に伴う現象は図に明らかで、350°Cの乾燥ガスを使用した場合、約20分で乾燥し、着火燃焼することがわかる。

図5は、ごみ可燃物組成の主体をなすおがくず、新聞紙、みかん皮および残飯などの示差熱分析結果を示したものである。90~120°Cで吸着水の放出と分解、180~250°Cで酸化発熱の生起することがわかり、表7は、セルロースの熱分解生成物を、ガスクロマトグラフィによって分析した結果で低着火物質は揮発性のアルデヒド類であることを示している。

これらは、ごみの貯蔵ピットの設計や、焼却炉内の乾燥、着火過程の解明に役だつ。

表7 ガスクロストグラフィで検出したセルロース分解生物と発火点

ガス成分	分解生成物	空気中の発火点
ガス成分	CO	650°C
	CO ₂	—
	H ₂	580
	O ₂	—
	CH ₄	650~750
	C ₂ H ₆	520~630
	C ₂ H ₄	540
含酸素化合物 (揮発性成分)	C ₂ H ₄ CnH ₂ +OH (アルコール類)	Cn=1 473~
	CnH ₂ nO (アルデヒド類)	Cn=1.4 182~230
	CnH ₂ n+2O (ケトン類)	Cn=1.3 510
水分	H ₂ O	—



4. ごみ燃焼による排出物

図6は、ごみの基本成分とその燃焼生成物、有価発生物および排出物のフローを示したものである。

良好な焼却炉とは、高効率、長寿命を有し、排出物が公害上の問題を生ずることなく簡単に行なえるもので、さらに温水、蒸気、電気そのほか有価発生物の有効な利用の可能なものといえよう。

4.1 排ガス

一般に有機物が完全燃焼すれば、CO₂、H₂Oになり、不完全燃焼するときCOが発生する。しかしごみはその性状から各種ガスの発生が予測できる。

表8はわれわれが実炉で測定した例を示したものである。

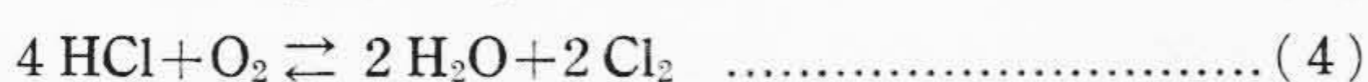
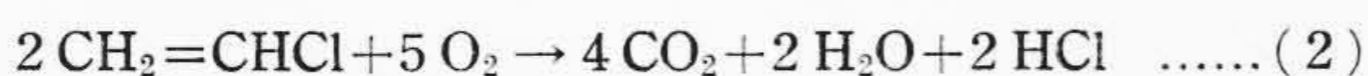
(1) HCl, Cl₂

最近のごみは塩化ビニル系統のものが多量混在しており、さらにごみ中の厨芥(ちゅうかい)、ボロくずなどはすべて塩分を含んでいる。これらが加熱、燃焼されてHCl、Cl₂の発生源をなすもので、その反応式は次式のように示される。

表8 ごみ焼却炉排ガス測定値

地 域 測定年月 測定場所	大 都 市		中 都 市		農 村 地 帯	
	42/4		43/11		42/8	
成分	火炉出口	スプレー後	火炉出口	スプレー後	火炉出口	スプレー後
HCl (ppm)	1,525	330	500	170	730	320
SO ₂ (ppm)	70	50	70	40	200	Tr
SO ₃ (ppm)	40	30	40	25	30	Tr
NO+NO ₂ (ppm)	110	115	110	85	70	80
NH ₃ (ppm)	18	3	3	2	45	30
R-CHO (ppm)	—	—	4	2	—	—
R-COOH (ppm)	—	15~120*	—	—	—	—
CO ₂ (%)	13.6	9.0	12.5	6.4	10.2	8.1
O ₂ (%)	5.3	9.0	7.8	12.1	8.2	10.8
CO (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H ₂ O (%)	24	39	27	30	28	34
タール (g/Nm ³)	Tr	Tr	Tr	Tr	0.4	0.2

注：(1) H₂O は wet base, ほかは dry base
 (2) * 近藤氏：空気調和・衛生工学第41巻第12号 p.16より引用



われわれの測定では、Cl₂は検出されず、HClとして存在している。HClは有害ガス中もっとも多量で公害上はもちろん、装置腐食の大きな原因をなしている。

(2) SO₂, SO₃

SO₂, SO₃は、ごみ中の硫酸塩の分解や、ゴム類に含まれているイオウの酸化により発生するものと考えられる。その量は、石炭や重油の燃焼排ガスに比べれば少ない。これらが公害、腐食問題に関連することは衆知のとおりである。

(3) NO+NO₂

窒素系酸化物は、ごみ排ガス中ではほとんどNOおよびNO₂として存在しNO>NO₂の傾向にあり、大気に拡散されて次第にNO→NO₂になるものと考えられる。これらの発生は塩類の分解によることも考えられるが、むしろ窒素系有機物やアンモニア系統の酸化分解、燃焼中のN₂の酸化などが支配的と考えられる。

(4) NH₃

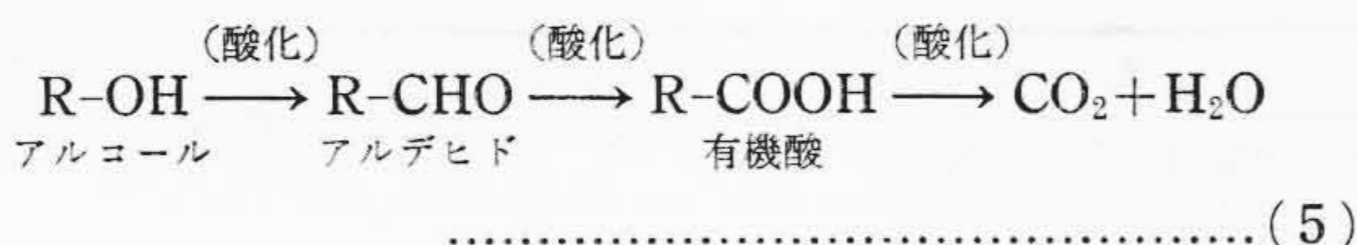
NH₃の発生は、塩類の分解によるものと推定される。しかし燃焼良好なときはNO₂とH₂Oに分解しその発生量は微量である。

(5) H₂S

H₂Sは、還元性ふん囲気において、先に述べたイオウの化合物が還元されて発生する可能性があるが、われわれの測定例では検出されなかった。

(6) アルデヒド、有機酸

アルデヒドと有機酸は(5)式に示す関連がある。有機酸は塩として動植物界に広く存在しており、いずれも良好な燃焼時には分解してCO₂, H₂Oになると考えてよい。



(7) タール

タールは、ごみが蒸し焼き状態のとき多量に発生するが、良好な燃焼時にはほとんど発生しない。

(8) H₂O

ごみ焼却炉の場合はごみ自体に多量の水分を含有しているので、その排ガス中に30%以上のH₂Oを含有している。H₂Oは酸露点や、ダストの付着を促進し機器腐食の大きな因子である。

表9 ダストの成分と融点

項 目	地 域 年月	大 都 市	大 都 市	大 都 市	中 都 市	小 都 市
		(a)	(b)	(c)	43/11	42/11
発 半 光 定 分 量 光 値 分 析 (%)	Cr	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Ca	>10	>10	>10	>10	>10
	Al	1.0	1.0	1.0	1~10	1.0
	Pb	0.01	0.01	0.1	0.01	0.1
	Ni	<0.01	<0.01	Tr	0.01	0.01
	Ti	0.1	0.1	0.1	0.05	0.1
	Zn	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Cu	0.05	0.05	0.1	0.1	0.01
	Sn	0.01	<0.1	0.01	0.01	0.01
	Fe	1.0	1.0	0.1	1.0	1.0
	Si	>10	>10	1~10	>10	>10
	Mg	1.0	1.0	0.1	0.1	1.0
	Mn	0.1	0.1	0.01	0.01	0.1
	P	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
化 学 分 析	Na	5.40	5.65	3.43	4.90	4.30
	K	5.10	6.17	2.50	5.60	5.50
	S	5.14	8.56	3.04	7.33	9.71
	Cl	3.05	2.45	1.58	1.16	0.15
	融 点 (°C)	1,192	1,189	1,183	1,168	1,185

表10 西ドイツにおけるダストの成分と融点

区 分 成 分	西 ド イ ツ				本邦大都市 (a)
	(a)	(b)	(c)	(d)	
SiO ₂ (%)	21.7~31.9	42.1	4~14	—	18.7
Fe ₂ O ₃ (%)	9.8~15.2	15.7	1~13	—	4.3
Al ₂ O ₃ (%)	6.9~12.1	33.4	3~16	—	11.7
CaO (%)	12.8~30.9	3.4	10~20	—	18.0
MgO (%)	2.1~4.6	0.2	0.5~4	—	2.7
SO ₃ (%)	1.5~9.6	4.2	30~48	1.8~3.7	17.5
Cl (%)	—	—	0.1~0.4	4	3.0
Na (%)	—	—	—	7	5.4
K (%)	4.6~8.7	2.4	14~28	15	5.1
M. P (°C)	1,135~1,245	—	—	—	1,192

表11 燃 滓 の 組 成

地 域 組 成	大 都 市	中 都 市	工 業 都 市	農 村 部	住 宅 団 地
金 属 類	12.1	31.9	42.0	8.9	6.1
陶 器, 石 類	12.9	23.2	16.1	31.5	3.6
ガ ラ ス 類	41.4	4.8	9.4	18.6	12.6
灰	22.8	30.5	29.9	35.2	70.2
未 燃 物 類	10.8	9.6	2.6	5.8	8.5

4.2 ダ ス ト

燃焼して微粉化した灰をダストと称している。ダストの一部は燃焼ガスとともに飛散して、炉壁や伝熱面に堆積(たいせき)するものもあるが、大部分は煙突前の集じん装置で捕集される。

表9は、ダスト成分の測定例である。表10は参考として西ドイツにおける例⁽⁷⁾⁽⁸⁾を示したものである。ダストはSi, Al, Caの酸化物が主成分をなしており、X線回折分析の結果Na, Kなどのアルカリ塩化物、硫酸塩の存在がわかったが、これはNa, K, S, Clがほぼ数パーセントオーダで検出されたことで裏付けられる。

大気中に排出されるダストは、公害上からも規制されるが、堆積ダストは焼却炉の機器腐食に大きく影響しており、これについては別項で述べる。

4.3 燃 滓 (も え か す)

図6に燃えかすと示したものは、ダストの一部と金属、陶器、ガラスなどの不燃物や未燃物が混在して、最終的には炉外に搬出され埋立てや山積などの処理を要するものである。

4.3.1 燃 滓 の 性 状

表11は燃滓組成の測定例を示したものである。金属、陶器、

表12 燃滓の成分と発熱量

組成	地域					
	大都市	中都市	工業都市	農村部	住宅団地	
強熱減量 (%)	600°C	29.3	22.8	14.7	11.7	8.5
	900°C	32.0	24.0	15.0	13.9	10.9
元素分析	C (%)	19.1	17.5	6.6	4.9	2.5
	H (%)	1.1	0.5	0.5	0.4	0.3
発熱量 kcal/kg		1,540	1,380	660	520	270

ガラスなどの不燃物はかなりのかさを占めており、再処理を要するものとして、焼却炉設置の計画に考慮すべきものである。

表12は燃滓成分、発熱量の測定例である。

図7は600°C強熱減量と発熱量の相関を求めた結果を示したものである。

いま、6.25 t/h 容量のごみ焼却炉を考えてみると

表2より燃滓量は、 $6.250 \times 0.16 = 1,000$ kg/h

表11より灰、未燃物量は、 $1,000 \times 0.336 = 336$ kg/h

表12より強熱減量は、 $336 \times 0.293 = 98$ kg/h

表12より発熱量は、 $1,540 \times 336 = 517 \times 10^3$ kcal/kg

したがって

(a) $\frac{\text{強熱減量}}{\text{燃滓量}}$ はほぼ0.1となり

(b) ごみの発熱量を1,000 kcal/kg 焚込みとすると

$$\text{未燃損失} = \frac{517 \times 10^3}{6,250 \times 10^3} = 0.082$$

となり燃滓の未燃損失は8.2%とかなり大きいことがわらう。

4.3.2 燃滓中の腐敗性未燃物

燃滓中の未燃物の大部分は、安定な炭素などの非腐敗性物質であるが、一部腐敗性物質が残存しているため、これを埋立てなどに用いる場合に公害上の問題を生ずるとし、その量については、燃滓中1%以下が望ましいとされている。

同一炉で、燃焼良好、不良と判断した状況で測定した結果を表13に示す。不良時が良好時の2倍量検出され、その強熱減量もほぼ2倍量である点から両者に相関性があるとして、燃滓の強熱減量測定をもって腐敗性未燃物量を予知することは実際的と考えてよい。

表13 燃滓の組成と強熱減量、腐敗性未燃物

項目	組成 (wt%)									強熱減量 600°C (wt%)	腐敗性未燃物 (wt%)
	未燃物					仕分け 不能分	不燃物				
	野菜くず	布	紙	木、わら	ビニール		ガラス	陶器石	金属		
燃焼不良時	1.5	0.3	4.1	0.7	0.2	46.8	24.9	14.2	7.3	13.20	1.68
燃焼度良好時	0.4	0.1	0.3	0.3	0.0	74.1	13.7	3.8	7.3	6.82	0.82

表14 クリンカーの性状

区分	地域		中都市		工業都市		農村部	住宅団地
	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2		
組成	金属類	12.8	区分不能	10.0	3.8	4.7	8.3	試験期間中 クリンカーは発生しなかった
	陶器、石類	87.2		90.0	6.2	95.3		
ガラス類	90.0		91.7		90.0		95.3	
灰		91.7		91.7		91.7		91.7
クリンカー生成推定温度	800~900°C		1,100~1,200°C		900~1,000°C		700~800°C	
性状	強熱減量 (%)	600°C	0.3	-0.4	-0.4	0.03	0.07	1.0
		900°C	0.4	-1.1	-1.1	0.07	-0.3	1.0
	C (%)		0.3	0.07	0.07	0.03	0.05	0.5

性状調査は金属類を除いた物を粉碎して行なった。

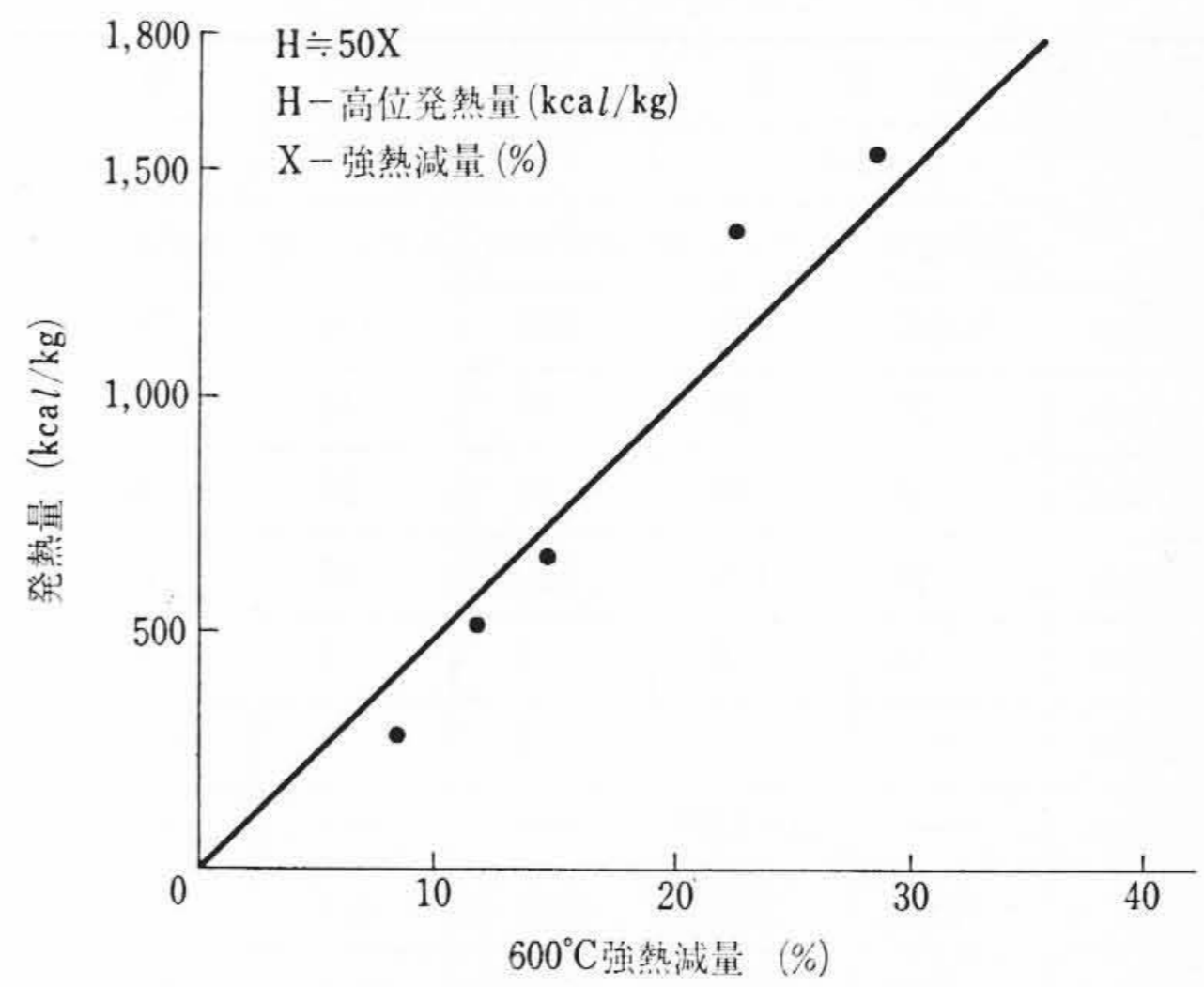


図7 燃滓の強熱減量と発熱量の関係

4.4 クリンカー

ガラス類が溶融して、これに灰や不燃物が付着して塊状のクリンカーを生成することがある。こうしたクリンカーの生成は、ごみや燃えかすの移動を阻害して、ストーカーの機能を妨げ燃焼量を低下するが、これが生成することは、炉内燃焼温度の過温や、ガラス類などの偏在を示すもので、運転操作や保守管理上、留意する点である。

表14は発生クリンカーの性状を調査した結果である。表中のクリンカー生成推定温度は、実験室的にガラス片とダストを用いてクリンカーを作成し、その温度と色調から、実際クリンカーの生成温度を推定したものである。

4.5 排水

ごみ焼却炉は大量の汚水を排出するが、大別すると次のようになる。

(1) ごみピット排水

生ごみをピット内に堆積中浸出するもので、その発生量はごみ質、天候などによって左右される。BOD、CODとも汚染度の最も高い排水であり、し尿なみの取り扱いを要するものである。

(2) フライト排水

燃えかすを冷却し、また飛散を防止するため水封したコンベヤ内に落下させ湿り灰とする。この排水と各種洗浄水、洗煙水および一部機器冷却水が合流して排出している。

表 15 ごみ焼却炉排水の測定値

場所	項目	地域		
		大 都 市	中 都 市	小 都 市
		42/11	43/11	42/7~9
ごみ排水	pH	5.9	5.9	5.2~6.2
	SS (ppm)	920	—	255~6,000
	BOD (ppm)	15,000	5,320	18,800~40,000
フライト水	PH	10.6	7.1~10.8	5.8~6.6
	SS (ppm)	480	138~186	5~90
	BOD (ppm)	47	26~260	190~220
最終排水	pH	8.4	6.8~10.9	5.0~10.0
	SS (ppm)	211	77~130	27~203
	BOD (ppm)	37	72~390	10~275

(3) 一般排水

機器冷却水、事務所、風呂などの付帯設備の排水であるが、容量、汚染度とも問題にする要はなく、最終排水の希釈に用いられている。

(4) 最終排水

上記各種排水は、処理装置を設置して処理され、最終的には下水道や河川に排出される。

表 15 は排水の測定例であるが、本例の場合は下水道に排出されるので、pH が一時点高かった以外問題はない。

河川放流の場合は、きびしい規制があり、排水処理装置が、高度、複雑なものとなるので焼却炉設置時の計画要点の一つである。

5. 焼却装置機器の腐食

いずれの焼却炉においても、図 6 に熱回収部として示した温水管や空気加熱管などで、著しい腐食が発生しているし、耐火材の変質劣化も著しい。ここでは耐火材の劣化や、低温酸腐食は省略して、高温腐食について述べる。

図 8 は、空気加熱管における激しい腐食損耗事故の実例を示したものである。

5.1 排ガスによる腐食

焼却炉の燃焼ガスによる高温腐食は、対象となる鋼材の組成に大きく関係するが、CO₂、空気、O₂、水蒸気、SO₂、ハロゲンなどの順にあとのものほど腐食性が強いとされている。

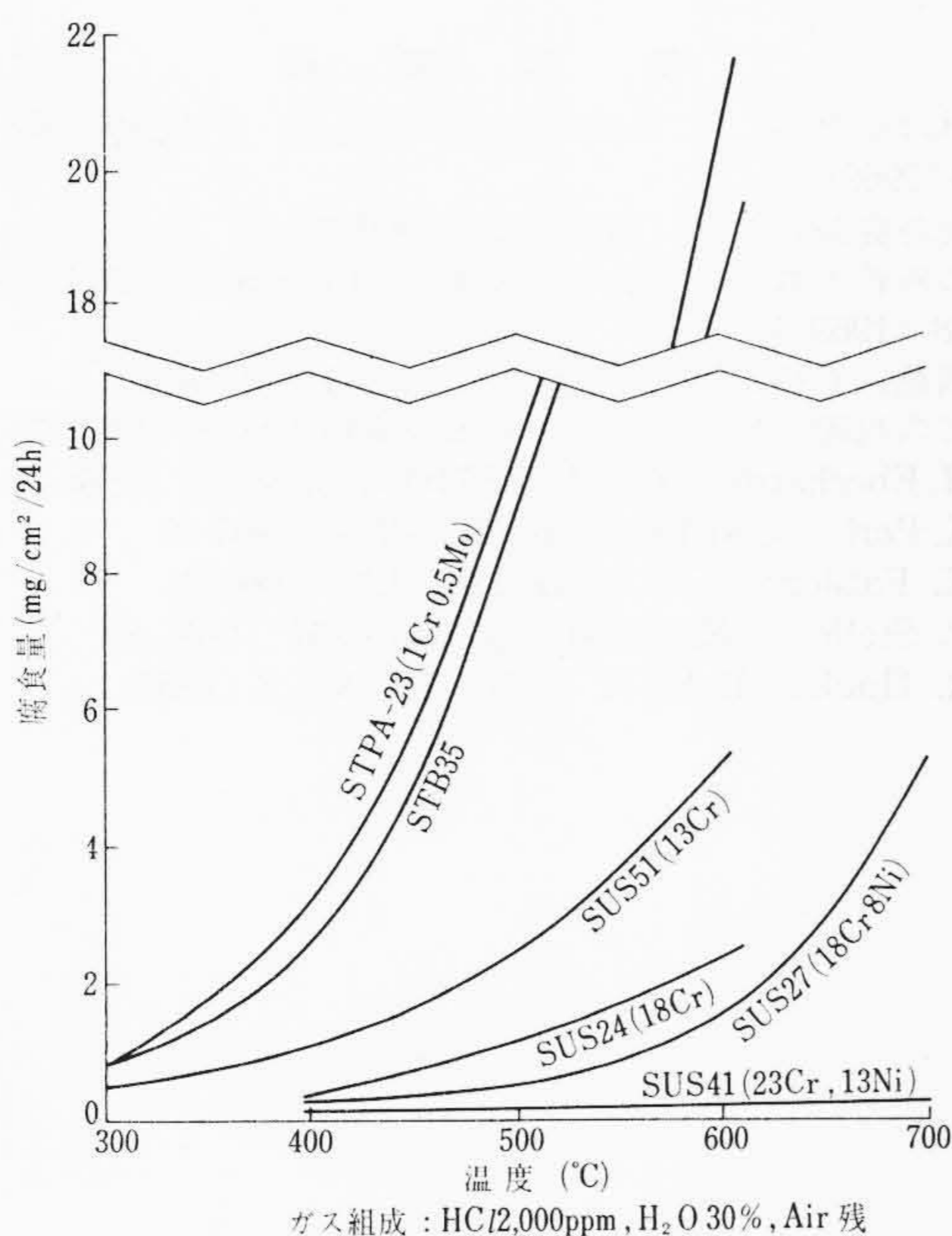
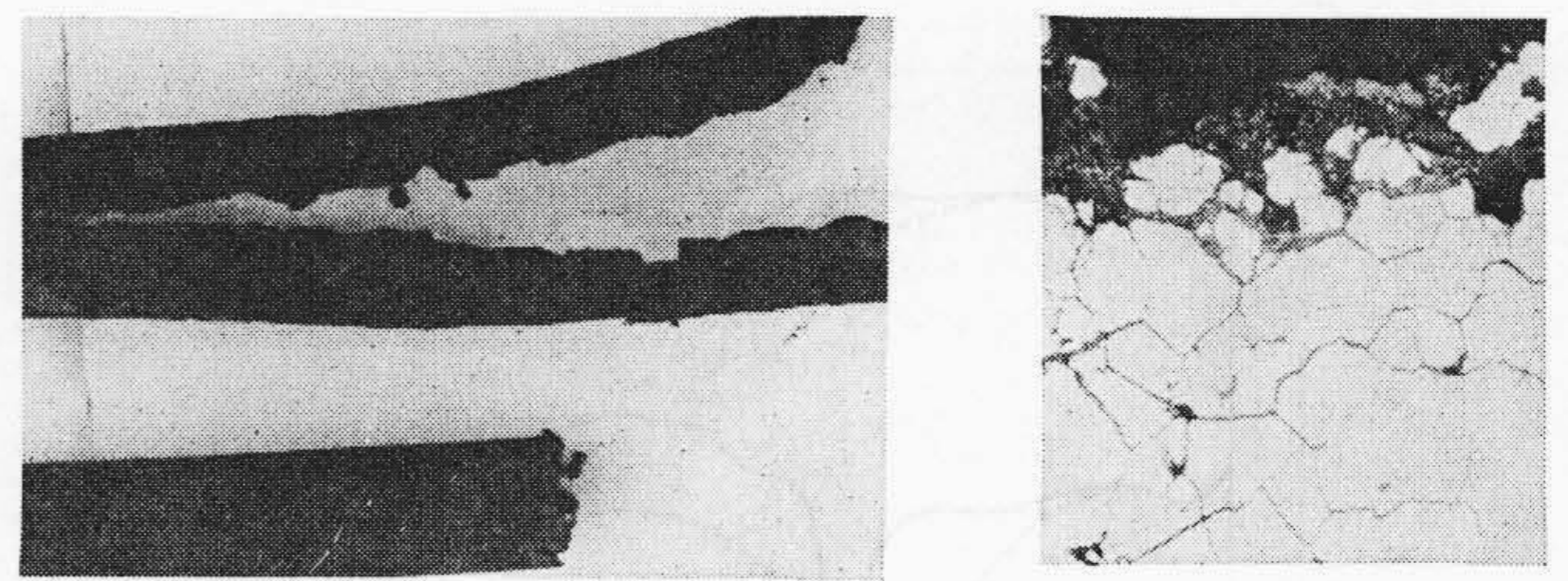
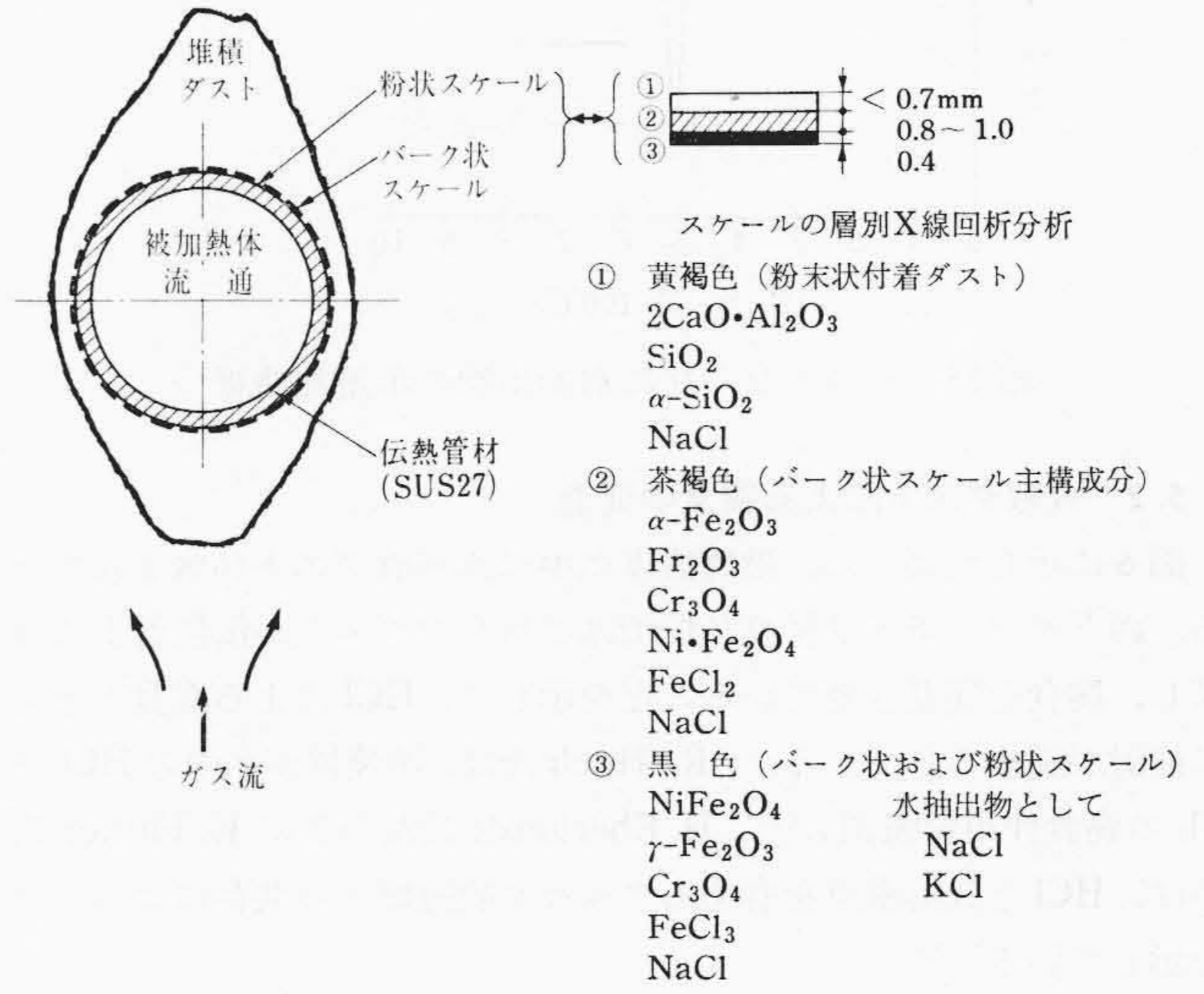


図 9 合成ガスふん囲気中の鋼材の温度と腐食量の関係



(a) 損傷管 (材質 SUS27)

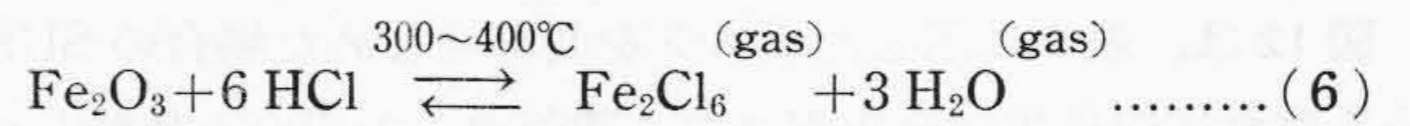
断面 (×75×1/2)



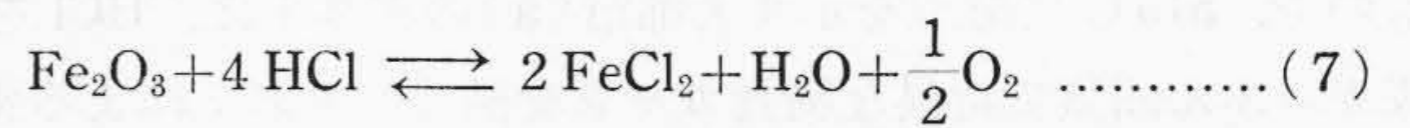
(b) ト レ ス

図 8 ごみ焼却炉空気伝熱管の腐食状況

排ガス組成は表 8 に示すとおりであるが、現在われわれは HCl の存在をもっとも重視している。HCl による鋼材の腐食反応は次式のように考えられている。



より高温では



このほか、SO₂ も含まれており、H₂O は平均 30% と多く、O₂ も乾燥を目的とした空気過剰で燃焼されているので、一般燃料の場合より多く、いずれも高温酸化や腐食を促進しよう。

図 9、10 は、われわれが HCl を含む合成ガス (HCl 2,000 ppm, H₂O 30%, 残 Air) 中に行なった高温腐食試験の結果で、一般式 $y = Kt$ で進行する形の腐食である。

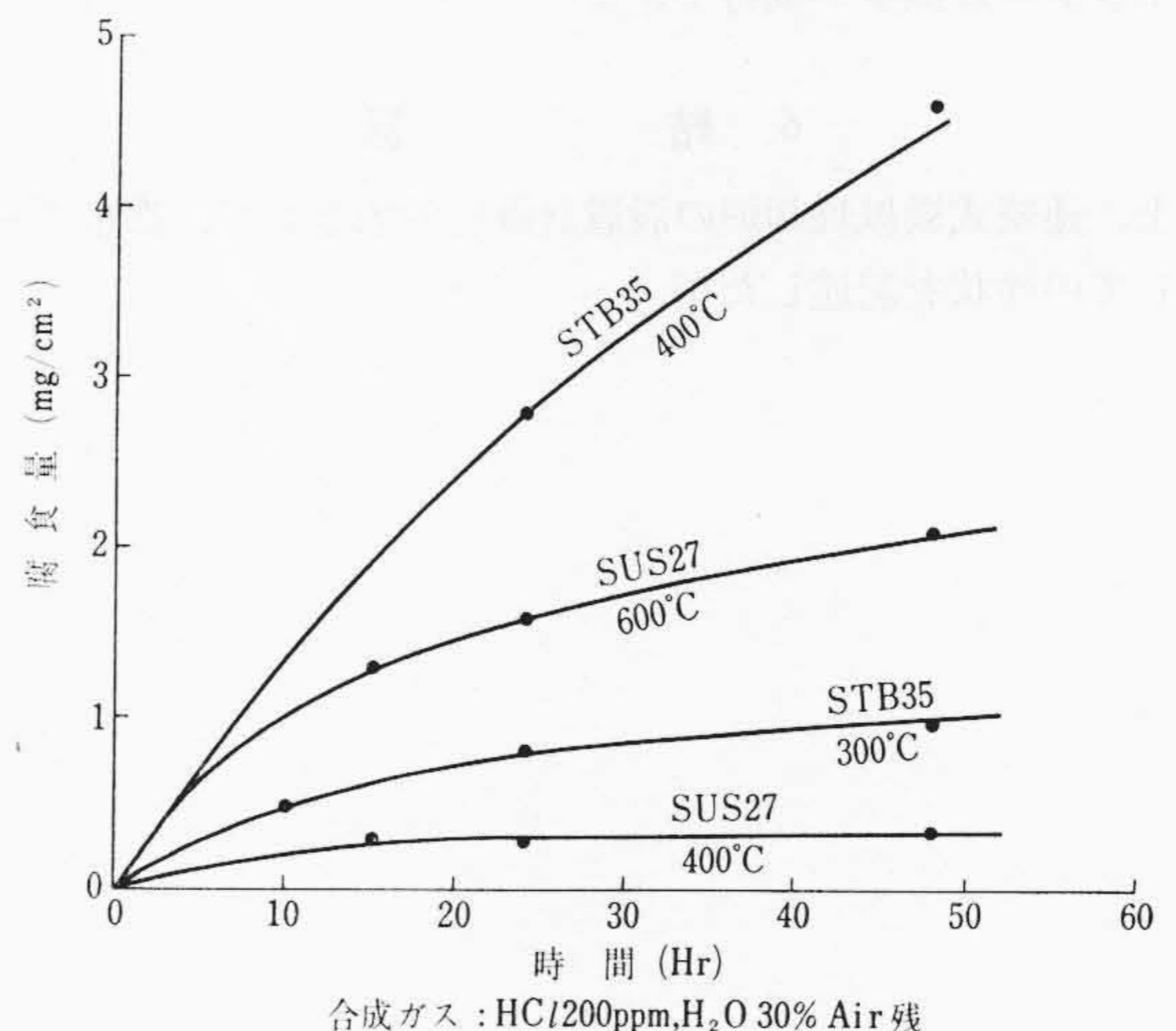


図 10 合成ガスふん囲気中の腐食と時間の関係

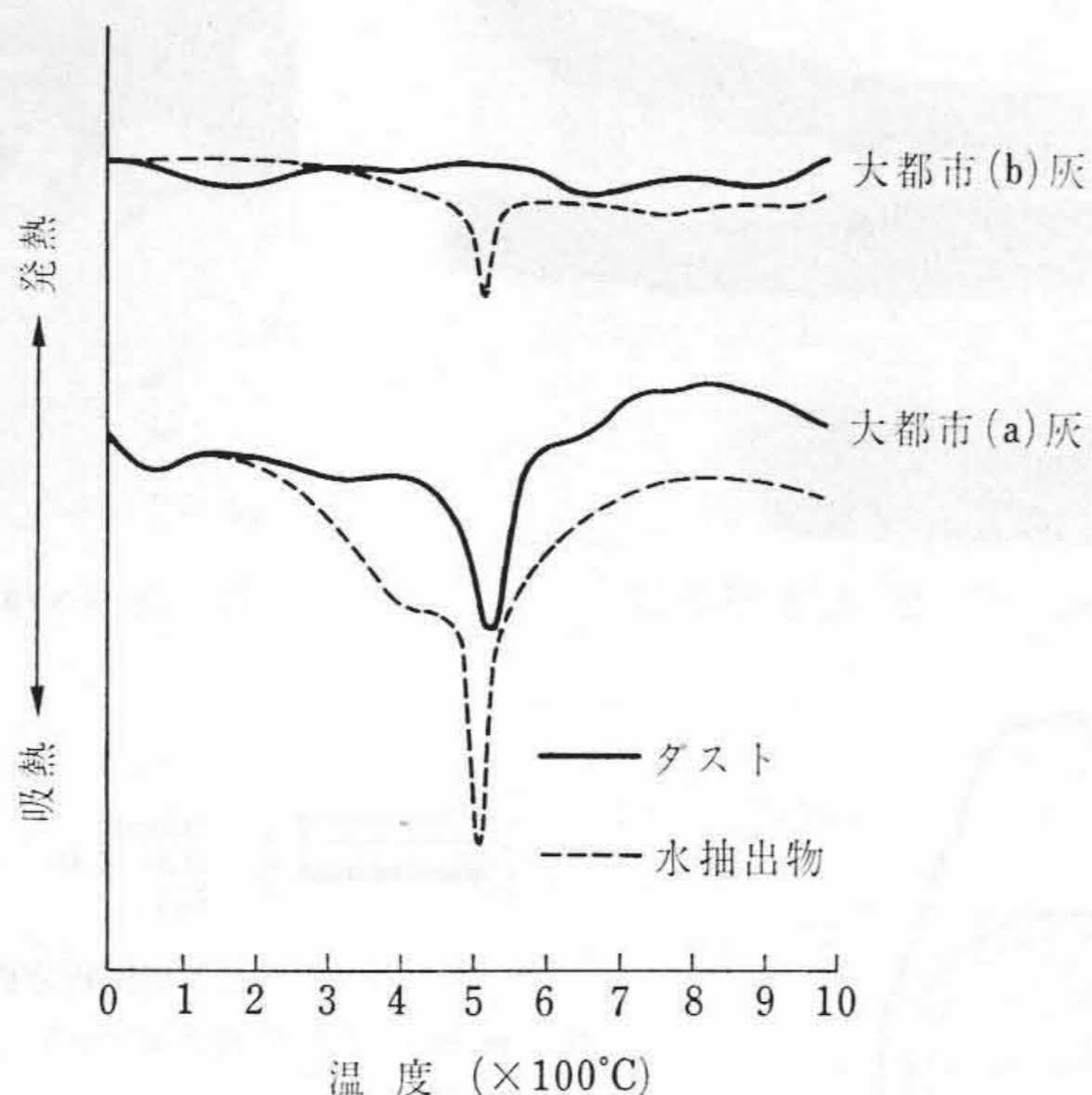


図11 ダストならびに水抽出物の示差熱曲線

5.2 飛散ダストによる腐食の促進

図6に示したように、燃焼排ガス中には飛散ダストが含まれている。西ドイツのボイラ付焼却炉ではこれらのダストが伝熱管上に堆積し、腐食を促進させていることを示し⁽⁹⁾、HClによる腐食とともに検討が進められているが、R. Huch氏は、燃焼排ガス中のHClやCl₂の腐食作用を強調し⁽¹⁰⁾、H. Eberhardt氏ならびにK. Fäßler氏は、HClと低融点を有するアルカリ硫酸塩との共存によることを示している⁽⁶⁾⁽⁸⁾。

図11は、表9に示したダストの示差熱分析結果であり、515°Cで部分熔融が認められる。この温度で熔融を示さなかったダストも、水抽出したものはすべて同温度で融点を示し、いずれのダスト中にも量的な差はあるが、低融点物質が含まれていることがわかる。これらの成分をX線回折分析により検討した結果、NaCl、KClおよびNa₂SO₄の三成分による共晶物であることを見出した。

図12は、表9に示したダストを共存せしめた場合のSUS材に対する腐食試験結果を合成ガスふん囲気のみの場合と比較して示したもので、515°Cで融点を示す大都市(a)のダストは、HClを含む合成ガスふん囲気で特異な腐食カーブを描く。ダストによる腐食試験片の断面観察の結果は、いずれも図8に示したと同じく、激しい粒界腐食を示し、いわゆるバーク状スケールを発生する。

前述したように、ごみは上記ダスト中の腐食促進剤であるアルカリ塩化物ならびに硫酸塩の生成を、量的な変動はあっても連続して供給しているわけで、これらを考慮して、伝熱面やグレートなど、焼却炉機器のメタル温度が、300~400°C程度に押えられれば、長寿命、トラブルの減少が期待できよう。

6. 結 言

以上、連続式機械焼却炉の設置計画を対象として、都市ごみの燃料としての性状を記述したが、

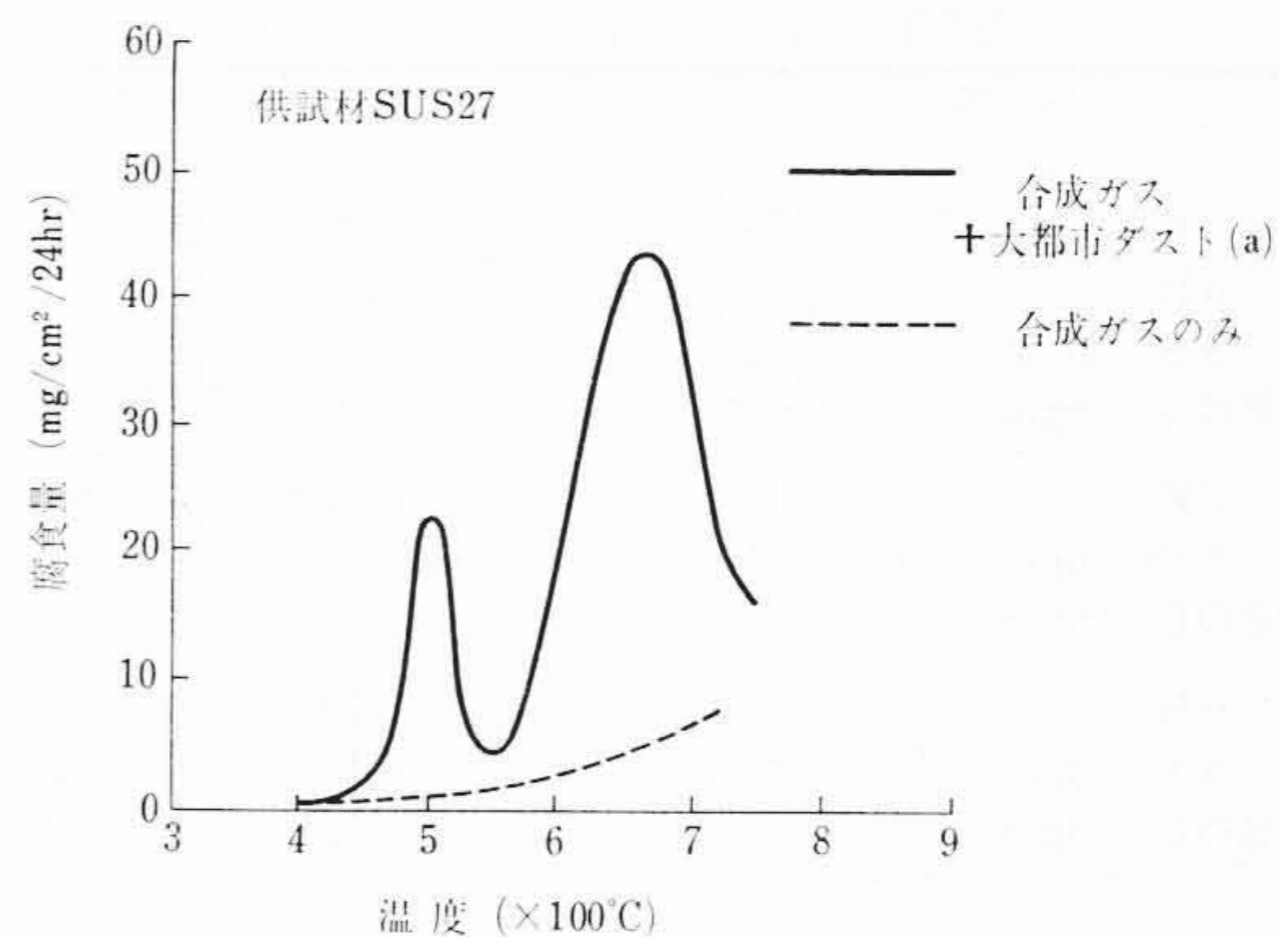


図12 合成ガスおよびダスト共存下の腐食

(1) 一般燃焼炉は、燃料の性状変動を極力規制して、加熱、蒸気発生などの目的を有効に達成しようとするのに対し、ごみ焼却炉は、図3の範囲で、時々刻々変化する性状のごみを焼却することが目的で、加熱、熱回収などは派生する手段である。

(2) ごみ焼却炉は一次的公害対象物であるごみを焼却するが、燃焼排ガス、排水、燃焼残渣など、二次的公害対象物を多量に発生するので、その設置計画や機器設計は高度、複雑で余裕率の高いものであるべきで、現用機械炉は決してじゅうぶんなものとは考えられない。

(3) 燃料としてのごみの性状は、本文で記載したように、その燃焼機構(雑多なサイズ、高水分、可燃物と未燃物の偏在する燃料の乾燥、着火、燃焼維持)の解明、したがって燃焼装置の合理的な設計の困難さを示しており、工学的検討とともに実炉における経験、改良の蓄積を要するものと考えられる。

(4) 焼却炉を構成する機器材料に対するごみ燃焼生成物の腐食性は、その研究がようやく緒についた段階と考えるべきで、ごみを燃料として有価物を生み出す(蒸気発生や発電など)焼却炉を完成するためには、材料研究もあわせ行なわねばならない。

などのことが考察される。

アメリカにおいては、1968年よりようやくごみ焼却炉の計画が本格的に検討されはじめられたとき。われわれの経験が今後の焼却炉設計の足掛りの一つともなることを期待したい。

参 考 文 献

- (1) 林ほか2名：ごみ焼却装置の問題点，産業公害，Vol 5, No. 3 (1969)
- (2) 海外経済の話題，朝日新聞 (1969-8)
- (3) ごみ終末処理一覧表 (昭和43年4月~6月)，都市清掃，No. 78 (1969-1)
- (4) 西脇，石橋：公害衛生工学大系 (I) (1966-1)
- (5) ごみ処理の理論と実際，日本環境衛生協会 (1961-7)
- (6) H. Eberhardt：COMBUSTION. p. 8~15 (1966-9)
- (7) K. Perl：ENERGIE. p. 353~354 (1966-8)
- (8) K. Fäßler：V.B.G. p. 126~139 (1968-4)
- (9) P. Steller：ENERGIE. p. 355~357 (1966-8)
- (10) R. Huch：B.W.K. p. 76~79. No. 2 (1966)