

〔研究報告〕

ごみ焼却施設の焼却灰と水素ガスの関連性について

Relation with ash residues of a refuse incineration and Hydrogen gas

豊福 裕邦*

Hirokuni TOYOFUKU

1. はじめに

近年の都市ごみ焼却施設は設備・機器の密閉化が進み、特にダクト・ダンパー等の通風設備、排水処理設備、灰出し設備については、燃焼機能の向上、作業環境の改善等に大きな役割を果たしている。

しかしながら、一方では、灰出し設備の密閉化に起因すると思われる、爆発事故も報告されている。高月¹⁾らはA市焼却炉（流動床炉）の集塵バンカーにおける爆発事故の原因を解明するため、実験を行い金属アルミニウムがアルカリ剤と反応して発生する水素による爆発の可能性が強い

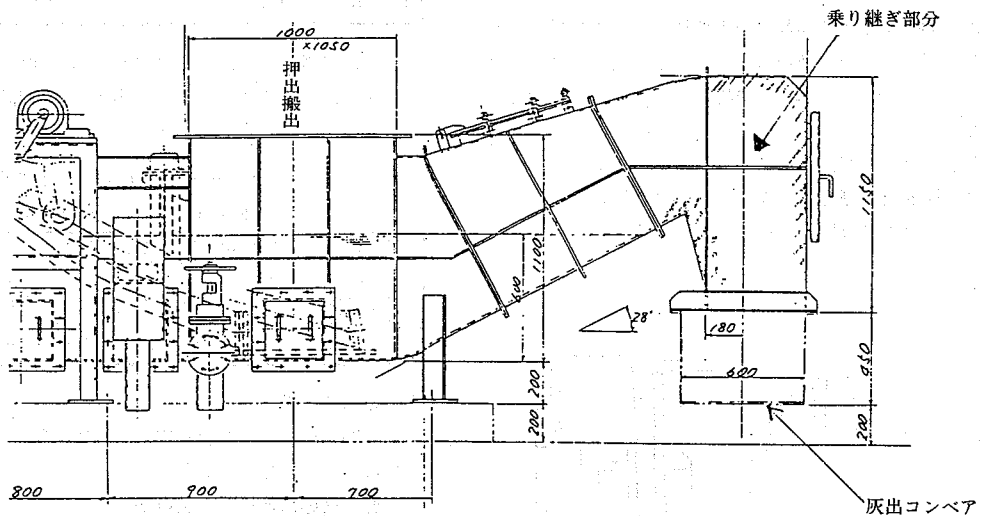
との結論を得ている。

このような灰出し設備の爆発事故の例は近年ストーカ炉の場合でも聞かれており、昭和63年に筆者が経験した例では、下図のような半乾式灰出し装置出口部において、数回の爆発事故が生じている、

そこで、筆者は数種のストーカ炉の焼却灰を用いて、ガス発生状況に関する実験を行ない、2～3の知見を得られたのでここに報告する。

2. 実験方法

1) 実験材料



* 勸業日本環境衛生センター九州支局
Department of Environmental Science, Kyusyu Branch,
Japan Environmental Sanitation Center

実験に用いた試料は表-1に示す13種類を実験に供した。水分条件は2種類で試料と水の重量比で1:2と1:0.4である。また、金属アルミニウム【以下Alと示す。】の粉末の試薬をそれぞれに添加した。

なお、試料A及びBは同一処理場の焼却灰で採取日を異にしたものであり、C、D、Eはそれぞれ近隣の処理場から焼却灰を採取したものである。

表-1 試料と条件

試料* NO	試料の種類 及び 採取場所	焼却対象 ごみ	実験条件	
			灰(g): 水(ml)	Al添加量 (g)
A	焼却灰 (後燃ストーカ)	一般可燃物 +破砕可燃	50:100	0
B	1	"	50:100	0
	2	"	50:100	0.5
	3	"	50:20	0
	4	"	50:20	0.5
C	1	"	50:100	0
	2	"	50:100	0.5
	3	"	50:20	0
	4	"	50:20	0.5
D	1 焼却灰 (乾燥ストーカ 落下灰)	一般可燃物	50:100	0
	2	"	50:100	0.5
E	1 焼却灰 (後燃ストーカ)	一般可燃物 +破砕可燃	50:100	0
	2	"	50:20	0

*試料は9メッシュのふるいを通したものをを使用した。

2) 実験装置

本実験に用いた実験装置を図-1に示す。また、ガス発生量を求めるためにガラス容器及び密閉性の良いシリコン栓を用いた。

なお、500mlガラス容器中の容積比は水の添加量により異なり、固液の占める割合は、試料:水の比1:2で500:150、試料:水の比1:0.4の場合で、500:70である。(実測による。)

ただし、ガラス容器中の雰囲気温度は室温である。

ガスの採取及び測定にはガスシリンジを用い、ガスクロマトグラフ(TCD検出器)を使用した。

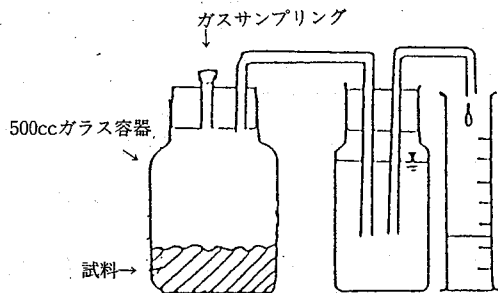


図-1 実験装置

このほか、焼却灰のAlを把握するため、塩酸抽出-原子吸光にてAlの含有量を求め、あわせてX線回折も実施した。

3. 実験結果及び考察

焼却灰のX線回折結果とガスの発生に関する実験結果について以下にまとめる。

(1) X線回折

焼却灰のX線回折は表-2のとおりで、それぞれAlのピークが確認されており、また、A、Bは $2Ca_3Si_2O_7 \cdot H_2O$ が多く見られ、C、D、Eは SiO_2 が多く見られる。

Al含有率(重量)は、それぞれA9.58%、B9.38%、C9.11%、D6.04%、E8.60%で最大はAであり、最小はDである。

今回の実験で焼却灰50gにAl0.5gを添加したが、これにより、Al含有率(重量)は0.86%増加したことになる。

表-2 Al含有率とX線回折結果

試料	分析	X線回折結果(定性)				
		Al含有率(%)	SiO_2	$2Ca_3Si_2O_7 \cdot H_2O$	$2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$	$Al_2O_3 \cdot SiO_2$
A	9.58		多量	中量		
B	9.34		多量	中量		
C	9.11	中量			少量	少量
D	6.04	多量			少量	少量
E	8.60	中量			少量	少量

また、参考として、表-3にF市の焼却灰成分分析結果を示すと、以下のようになり、本実験の焼却灰のAl含有量に比べると低い含有量である。

表-3 F市焼却灰成分分析結果

Result of Elemental Analysis (Metal Base)

No.	試料名	lg-Loss (%)	Si (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (%)	Al (%)	Na (%)
6	7月焼却灰	11.0	11.6	20.5	1.5	11.8	5.4	3.1
7	8月焼却灰	13.1	14.5	18.7	1.8	8.6	5.4	2.8

(2) ガス発生量

実験開始後、ガラス容器内のガス圧は徐々に増加し、発生するガス量に見合うかたちでメスシリンダーに水が溜まる状態で反応は進行し、試料から発生したガス量を捕集容器の水と置換した量としてまとめると、表-4のようになる。ガス発生量は図-2のようになり、Aが最も多く830ml、C-2が641mlで、D-1が0mlである。この内D-1においてはガス発生量が少なくガス圧不足によるものと思われる。

累積発生量の経時変化は図4～6のように種類によって差はあるものの時間の経過と共に発生量が減少し、直線はなだらかになっている。

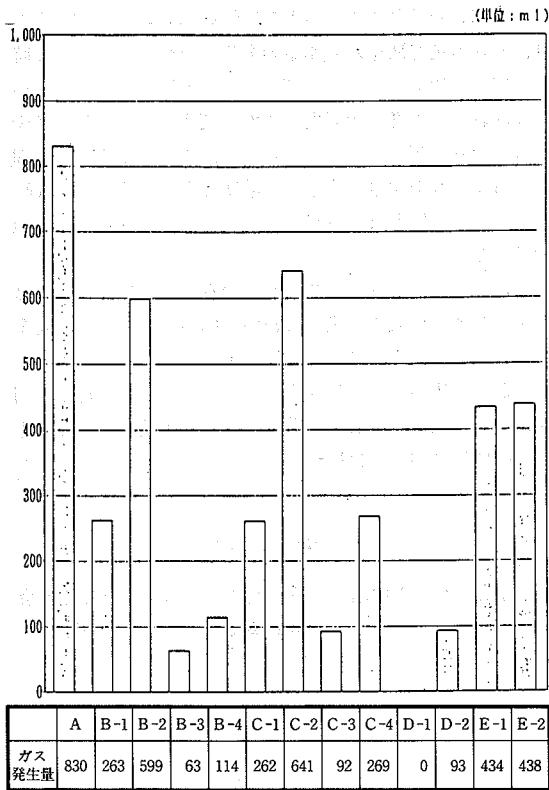


図-2 ガス発生量

試料の種類ごとに比較するためA～Eのデータをまとめると表-5のようになり、焼却灰の種類によりガス発生量は相違するのが分かる。同一条件(試料:水の比50g:100ml)での試料1g当たりの発生量では、Aが16.6ml/g、次にE-1が8.7ml/g、B-1が5.3ml/g、C-1が5.2ml/gである。

又、ガス発生速度については、焼却灰のいずれも0～10hでガス発生速度が大きくその後小さくなっている。特にAは65.4ml/gと大きく、他の灰と比較しても大きな差があるのが分かる。

次に水分の影響を比較するため、B、C、Eについてまとめると表-6のようになり、B、Cについてはあきらかに水を多く添加した方が多く発生しているが、Eについては水分の差にはあまり影響はなかったようである。

ここで、焼却灰からのガス発生メカニズムで、最も可能性の高いのは灰中の金属Alがアルカリ液と反応して、水素を発生する現象である。反応式は以下のように考えられる。



したがって、これら実験試料の焼却灰中にはX線回折折(定性)にも見られるようにAlが確認され、含有率でも6～9%のAlがあり、これがアルカリ液と反応して、十分水素の発生は考えられるわけである。

そこで次にガラス容器内の水素ガス濃度を測定した。

(3) ガラス容器内の水素ガス濃度

試料を入れた500ml容器内の水素ガス濃度を測定した結果は、表-4の通りである。47h後の最大水素ガス発生濃度は図-6の通りである。各試料の発生濃度の経時変化は図-7～11のとおりである。

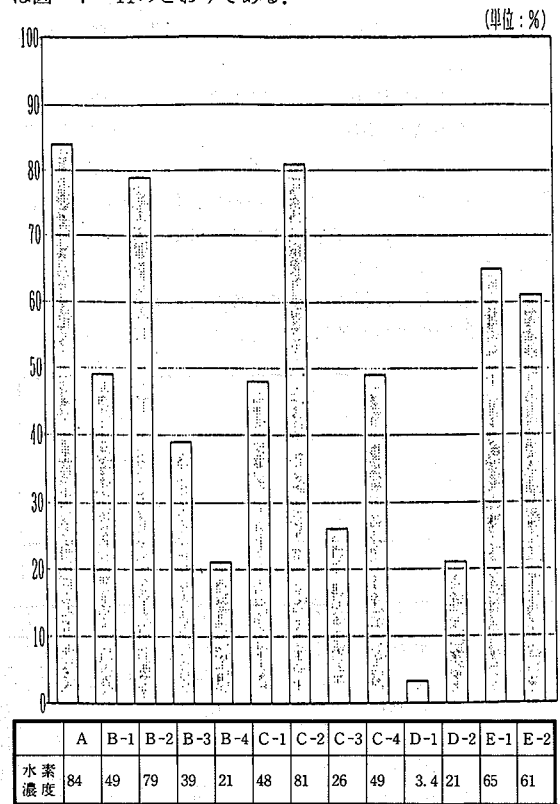


図-3 ガラス容器内の水素ガス濃度

試料の種類ごとの水素ガスの爆発範囲(空気中の水素濃度4～75%)の下限濃度に達する時間は表-7のようになり、D-1を除けばAでは1.3時間、Bは2～5時間、Cは1時間、Dは6時間、Eは1～2時間であり、全体的には1～6時間内にある。ここで、試料AとBでは、Alの含有率結果とX線回折結果を見てもほとんど差がみられないうが、4%の水素ガス下限濃度に達する時間は差があり、同一処理場でも試料の採取日の違いによって水素ガス濃度

が相違していることがわかる。

又、水分の影響についてまとめると、表-8のようになり、水分が多いほど最終的な水素濃度は高くなるが、逆に4%の下限濃度に達する時間は遅くなっている。このことは、灰中の金属Al表面の酸化被膜はアルカリ液で溶かされ、露出したAlは再びアルカリ液と反応してH₂ガスを発生し、灰中の金属Alは、水分の多少に拘わらずある程度水分があれば、水素ガスの発生は容易におこり得ることが分かる。が分かる。

次に、Al粉末添加の水素ガス濃度への影響については、表-9の通りである。B試料(50:20)を除くと、添加した場合、ガラス容器内の水素濃度は増加する傾向とみられる。又、4%に達する時間は、Bでは遅くなっているのに対しCでは早くなっていることにより、B、C間の試料の相違がみられる。

ここで、筆者は灰中のAlがアルカリ液と一時的に反応し、その後のAlは溶解し、新たなAlはアルカリ液の供給がないと反応しないのではと考えて、アルカリ液が水素発生制限要因の一つになっているのではないかと思ひ、灰の溶出液中のPH及びpアルカリ度(PH8.3)を測定したら以下ようになった。

その結果、どの試料中にもアルカリは存在しており、アルカリの供給の多少が原因ではないことが分かる。

4. まとめ

本実験結果をまとめると下記のようになる。

今回用いた焼却灰中のAlの含有率は、6~9.6%であり、しかも焼却灰中から水素の発生が認められ、1~6時間で爆発下限濃度の4%を超える。水の添加の影響について述べれば、爆発下限濃度の4%を超えるには水分の多少にはあまり関係がないと考えられる。また、水を多く添加した方がガス発生量と水素ガス濃度とも大きくなり、Alの添加による影響は、試料によっては、一層助長される傾向にある。

したがって、これら焼却灰からの水素ガス発生の実事は、都市ごみ焼却施設の設備・機器の密閉化が進む今日、安全管理面に十分注意を払う必要性を示唆している。

なお、本実験は、試料と空間(容器内)の容積比、密閉性が現地の状況とは若干異なるので、発生濃度、爆発限界到達時間等に関しては概略的な目安としてとらえることが必要である。

参 考 文 献

- 1) 高月 紘, 木田由治 第8回全国都市清掃研究発表会 講演論文集 P.137 1987.2

試 料	A	B	C	D	E
PH	11.0	10.9	12.6	12.6	12.7
pアルカリ度 CaCO ₃ mg/l (PH8.3)	300	300	2200	1900	2200

注 灰の溶出液は灰:水=1:10でよく混合し、そのろ液を検液とした。

表-4 分析結果

試料	実験条件		*Al含有量 (%)	ガス発生量 (ml)					水素濃度 (%)					水素濃度 4%に達する時間
	浸水条件 g:	Al添加 (g)		1	5	10	20	47	1	5	10	20	47	
				時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	
A	50:100	0	9.58	50	456	654	736	830	1.6	65.6	79.5	81.6	84.	1.3
B	1 50:100	0	9.34	5	58	109	175	263	0.07	13.6	23.9	36.7	49.	2.3
	2 50:100	0.5	10.2	2	48	97	235	599	0.11	6.4	19	46.	79.	4.6
	3 50:20	0	9.34	0	33	63	63	63	1.9	12.5	17.6	31.	39.	2.2
	4 50:20	0.5	10.2	0	26	26	60	114	1.6	6.4	9	14	21	3.2
C	1 50:100	0	9.11	52	116	154	198	262	3.2	20	30	37	48	1.2
	2 50:100	0.5	10.0	118	345	445	549	641	15	60	74	80	81	1
	3 50:20	0	9.11	16	32	52	72	92	6.2	13	18	22	26	1
	4 50:20	0.5	10.0	116	190	222	256	269	24	36	42	47	49	1
D	1 50:100	0	6.04	0	0	0	0	0	0	0.5	1.0	1.6	3.4	50以上
	2 50:100	0.5	6.97	0	15	35	63	93	0.2	6.0	7.5	13.5	21	6.0
E	1 50:100	0	8.6	40	115	171	264	434	1.1	18	32	52	65	2.0
	2 50:20	0	8.6	28	109	194	302	438	6.0	24	36	51	61	1

*Al含有量は焼却灰中の成分分析結果にAl粉末の添加量を加算したものである。

表-5 試料の種類別の水素ガス発生量

	A	B				C				D		E		
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	
47 h 後の発生量 mℓ	830	263	599	63	114	262	641	92	269	0	93	434	438	
1g 当たりの発生量 mℓ	16.6	5.26	11.8	1.26	2.25	5.2	12.7	1.84	5.33	0	1.84	8.68	8.76	
発生速度 mℓ/h	0~10 h	65.4	10.9	9.7	6.3	2.6	15.4	4.45	5.2	22.2	0	3.5	17.1	19.4
	(1g換算値)	13.0	2.2	0.19	0.13	0.05	3.1	0.09	0.10	0.43		0.07	3.4	0.39
	10~20 h	8.2	6.6	1.41	0	3.4	4.4	10.4	2.0	3.4	0	2.8	9.3	10.8
	(1g換算値)	1.6	1.3	0.02		0.07	0.9	0.21	0.04	0.07		0.06	1.9	0.22
	20~47 h	3.5	3.3	13.5	0	2.0	4.0	3.4	0.74	0.48	0	1.1	6.3	5.0
	(1g換算値)	0.06	0.07	0.26		0.04	0.08	0.07	0.01	0.01		0.02	0.13	0.10

表-6 水分の水素ガス発生量に対する影響

試料	B		C		E	
	水100mℓ	水20mℓ	水100mℓ	水20mℓ	水100mℓ	水20mℓ
47 h 後の発生量 mℓ	263	63	262	92	434	438
水20mℓを1とした比率	4.2	1	2.8	1	0.99	1
発生速度 mℓ/h 0~47 h	5.5	1.3	5.5	1.9	9.2	9.3
比率	4.2	1	2.9	1	0.99	1

表-7 試料の種類別の水素ガス発生濃度

試料	A	B				C				D		E	
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2
47 h 後の発生濃度 %	84	49	79	39	21	48	81	26	49	3.4	21	65	61
4%に達した時間	1.3	2.3	4.6	2.2	3.2	1.2	1	1	1	50以上	6.0	2.0	1
発生濃度当りの増加率%/h 0~47h	1.8	1.0	1.7	0.83	0.45	1.0	1.7	0.55	1.0	0.07		1.4	1.3

表-8 水分の水素ガス濃度に対する影響
(ガラス容器内の水素濃度)

試料	B		C		E	
	水100mℓ	水20mℓ	水100mℓ	水20mℓ	水100mℓ	水20mℓ
17 h 後の発生濃度 %	49	36	48	26	65	61
4%に達した時間	2.3	2.2	1.2	1	2.0	1
発生濃度当りの増加率%/h 0~47 h	1.0	0.83	1.0	0.55	1.4	1.3

表-9 Al粉末添加による水素ガス濃度に対する影響
(ガラス容器内の水素濃度、Dは除く)

試料	B				C			
	50:100		50:20		50:100		50:20	
	0	0.5g	0	0.5g	0	0.5g	0	0.5g
47 h 後の発生濃度 %	49	79	39	21	48	81	26	49
4%に達した時間	2.3	4.6	2.2	3.2	1.2	1	1	1
発生濃度当りの増加率%/h 0~47h	1.0	1.7	0.83	0.45	1.0	1.7	0.55	1.0

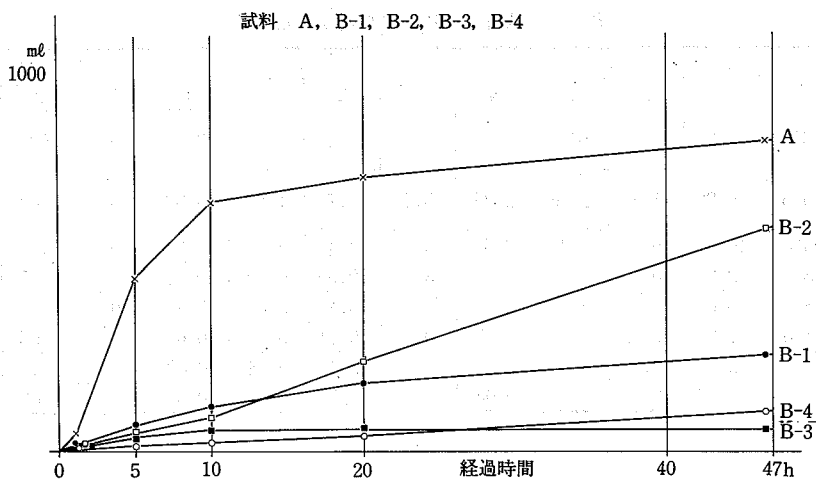


図-4 ガス発生量の累積-1

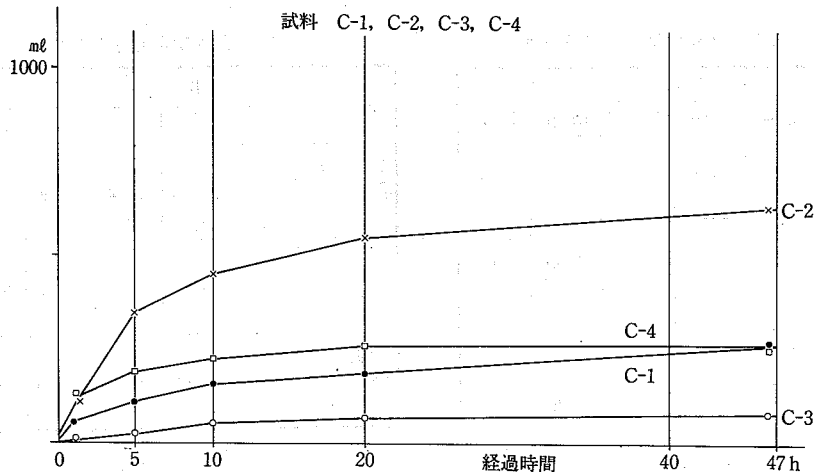


図-5 ガス発生量の累積-2

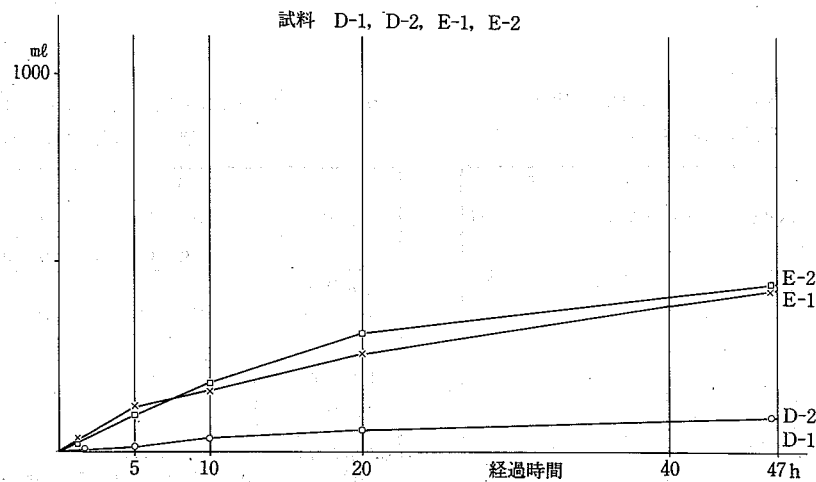


図-6 ガス発生量の累積-3

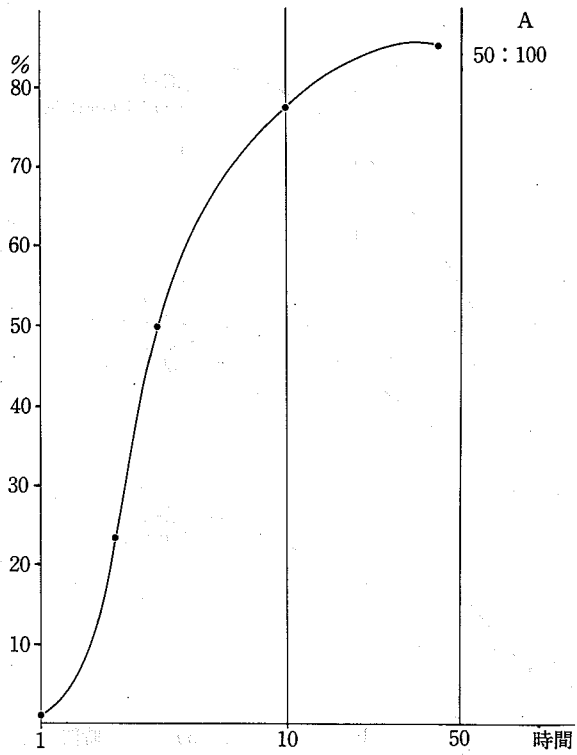


図-7 水素発生濃度の経時変化

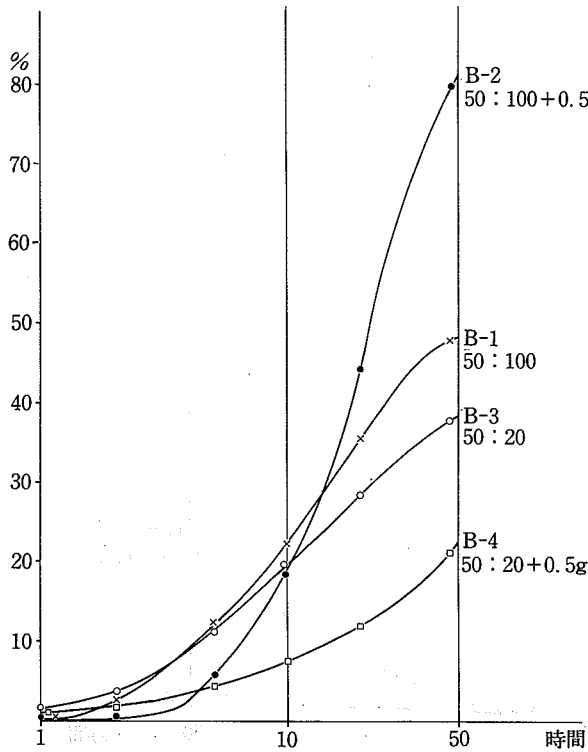


図-8 水素発生濃度の経時変化

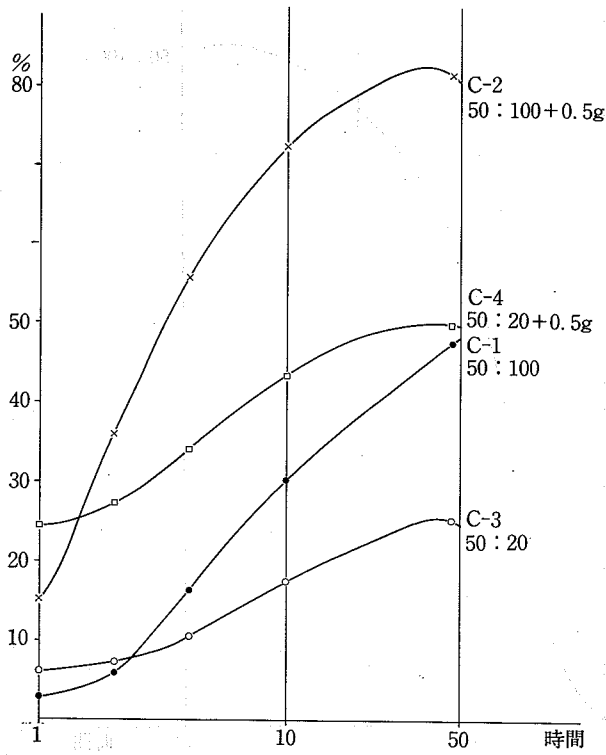


図-9 水素発生濃度の経時変化

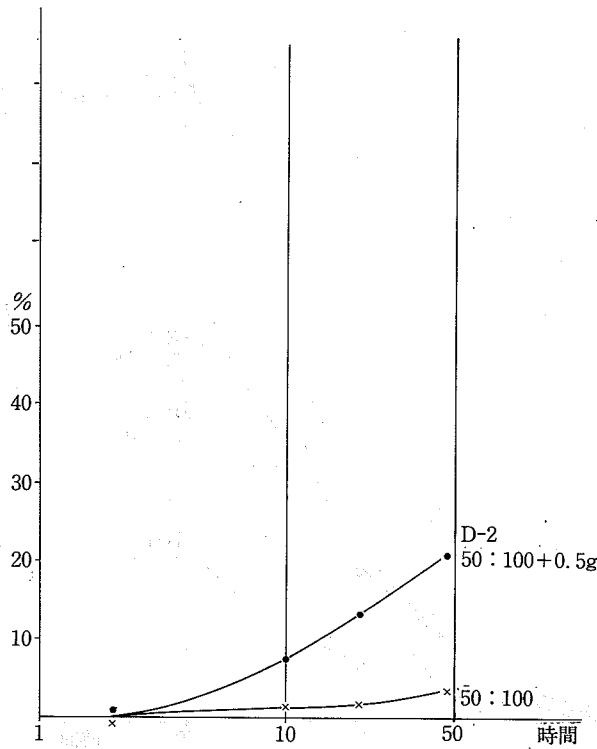


図-10 水素発生濃度の経時変化

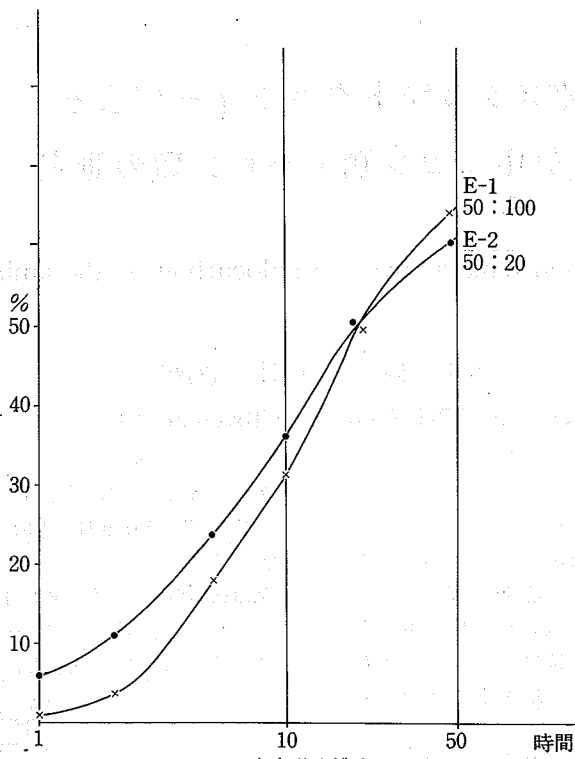


図-11 水素発生濃度の経時変化