

表-7 産業廃棄物焼却炉DXN排出実態調査結果

施設名	A	B	C	D	E	F	G1	G2	H
焼却対象物	木屑他	汚泥他	汚泥他	廃液他	医廃他	木屑他	汚泥他	医廃他	廃油
炉形式	キルン炉	キルン炉	キルン炉	流動床炉	階段床炉	固定床炉	流動床炉	流動床炉	噴霧炉
能力(t/day)	75	65.8	175	108	55.2	12	81	81	400(L/h)
運転プロセスデータ									
燃焼温度(℃)(*)	870	970	920	906	900	935	859	852	830
サンプリングガス温度(℃)	186	187	226	191	177	162	257	257	845
CO濃度 (ppm)	175	44	4.6	14	286	756	34	86	4.8
CO2濃度 (%)	5.9	8.0	6.9	7.4	6.0	4.0	8.9	8.0	11.5
O2濃度 (%)	13.3	10.7	12.8	12.1	14.8	16.5	8.5	12.0	4.1
THC濃度 (ppm)	77	164	37	103	919	305	80	33	161
HCl濃度 (ppm)	761	1316	107	78	1073	57	271	410	12
煤じん中の未燃カーボン(wt%)	2.8	1.0	< 0.1	0.8	5.2	10.1	0.4	1.1	
滞留時間(sec)	1.18	1.79	2.49	2.46	N.A.	N.A.	2.93	2.89	1.66
排ガス									
サンプリング場所	ガス冷却塔 出口	減温塔 出口	電気集塵機 入口	空気予熱器 出口	熱交換器 出口	電気集塵機 入口	ガス冷却塔 出口	ガス冷却塔 出口	廃水蒸発燃 焼装置煙突
PCDD	38	330	21	450	1900	47	190	270	0.42
PCDF	420	1000	20	1100	4400	82	400	730	1.0
実測Total (ng/m3N)	460	1300	41	1600	6300	130	590	1000	1.4
換算PCDD	48	250	22	390	2400	110	200	280	0.21
換算PCDF	550	780	22	910	5600	190	420	740	0.54
換算Total (ng/m3N)	600	1000	44	1300	8000	300	620	1000	0.75
TEQ/PCDD	0.72	6.5	0.13	3.7	40	1.1	2.4	2.7	0.00053
TEQ/PCDF	11	16	0.28	17	120	1.8	7.3	12	0.011
TEQ/Total (ng-TEQ/m3N)	12	22	0.41	21	160	2.9	9.7	15	0.012
(参考WHO-TEF)	12	25	0.48	22	180	3.3	10	16	0.011
Co-PCB (ng/m3N)	10	31	5.3	76	170	3.9	34	54	0.47
換算濃度 (ng/m3N)	13	24	5.7	65	210	8.7	34	54	0.25
TEQ (ng-TEQ/m3N)	0.13	0.46	0.056	0.83	4.2	0.13	0.27	0.51	0.000024
主灰									
PCDD	6.3	7.0	0.94	28	0.90	1.4	100	34	
PCDF	9.7	9.8	1.1	38	2.3	2.8	150	44	
実測Total (ng/g)	16	17	2.0	66	3.2	4.2	250	78	
TEQ/PCDD	0.093	0.13	0.012	0.21	0.014	0.024	0.64	0.24	
TEQ/PCDF	0.22	0.26	0.025	0.73	0.047	0.073	2.6	0.98	
TEQ/Total (ng-TEQ/g)	0.31	0.39	0.037	0.94	0.061	0.097	3.2	1.2	
(参考WHO-TEF)	0.35	0.43	0.042	0.97	0.066	0.1	3.3	1.2	
Co-PCB (ng/g)		0.37	0.18				6.1	2.5	
TEQ (ng-TEQ/g)		0.0024	0.000018				0.077	0.029	
飛灰									
PCDD	130	57	7.8	74	720	38	36	12	
PCDF	210	110	2.2	110	1500	35	40	15	
実測Total (ng/g)	340	170	10	180	2200	73	76	27	
TEQ/PCDD	2.1	1.1	0.046	0.60	15	0.46	0.22	0.084	
TEQ/PCDF	4.6	2.2	0.043	2.2	33	0.78	0.81	0.28	
TEQ/Total (ng-TEQ/g)	6.7	3.3	0.089	2.8	48	1.2	1.0	0.36	
(参考WHO-TEF)	7.3	3.7	0.11	2.9	55	1.4	1	0.38	
Co-PCB (ng/g)		3.1	0.19				2.3	0.76	
TEQ (ng-TEQ/g)		0.051	0.0030				0.023	0.0085	
排ガス流量(湿り) (m³N/h)									
排ガス流量(湿り) (m³N/h)	38651	21094	43953	27647	36105	30771	24052	24503	5440
排ガス流量(乾き) (m³N/h)	25751	15854	26329	23851	33126	26419	16244	15926	3608
煤じん濃度 (g/m³N)	1.65	2.05	5.99	6.45	0.982	0.313	7.79	5.79	< 0.001
(*) 平均温度									
最高温度(℃)	1068	1128	955	940	1080	1000	874	875	830
最低温度(℃)	816	864	880	830	900	860	827	830	830

2-5 考察

DXN の排出濃度は、施設規模、対象廃棄物の種類、供給方法及び排ガス処理設備等処理条件に大きく影響を受けるとされる。今回得られたデータにおいても、そのような傾向が読み取れる。例えば DXN の生成に大きく影響を与えると考えられる CO 濃度との相関についても明確な結果は得られず、このことは DXN の生成に対象廃棄物の種類等影響を与える因子が他にも多くあることを伺わせる結果となった。

第3章 パイロットプラント実験の方法及び実験結果（平成11年度研究）

3-1 パイロットプラントの概要

設置場所： 株式会社タクマ 播磨工場実験センター内

(1) ロータリーキルン+ストーカ炉

1) 処理能力

実験に用いたパイロットプラントの使用を以下の表に示す。

表-8 ロータリーキルン+ストーカ炉 仕様

機器名称	機器仕様
廃棄物供給方法	固形物：ホッパー→二重ダンパ+プッシャ
ロータリーキルン	炉内径 900 mm×長さ 3400 mm 熱量換算出力 450,000 kcal/hr
ストーカ	幅 550 mm×長さ 約 2000 mm 火床面積 約 1.1 m ²
二次燃焼室	炉内積 約 8 m ³
ガス冷却室	水噴霧冷却 約 7 m ³
集塵装置	バグフィルタ (入口活性炭吹込)
洗煙装置	ガス減温塔+ガス吸収塔 (活性炭注入)
主灰取出	乾式バッチ取出
飛灰取出	乾式コンテナ

注記：活性炭注入は RUN によって異なる

2) 設備概要

炉本体の測定位置概要を以下の図に示す。

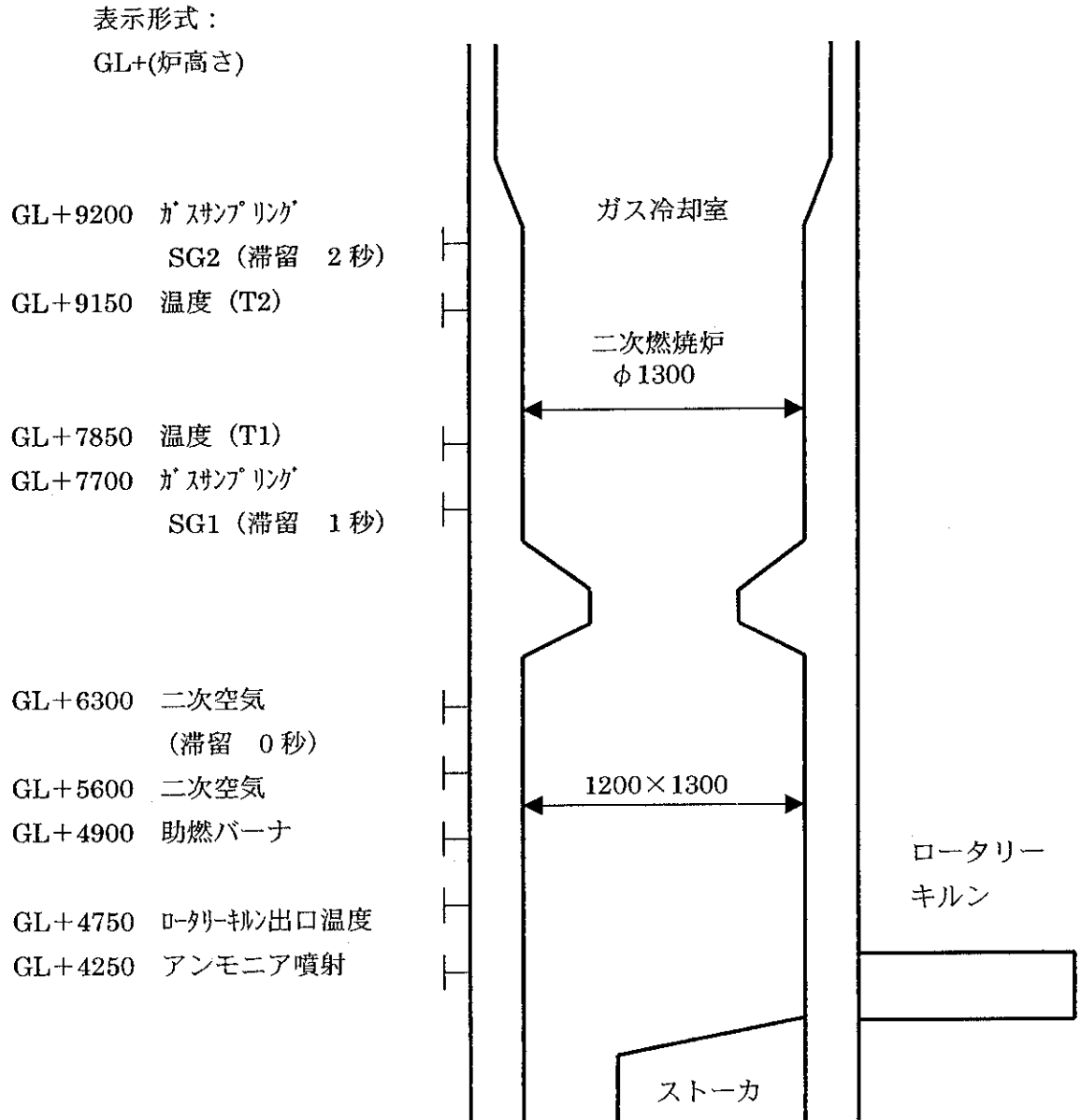


図 1 ロータリーキルン+ストーカ炉本体測定位置概要図

3) フローシート

以下に実験に使用したパイロットプラントのフローシートを示す。

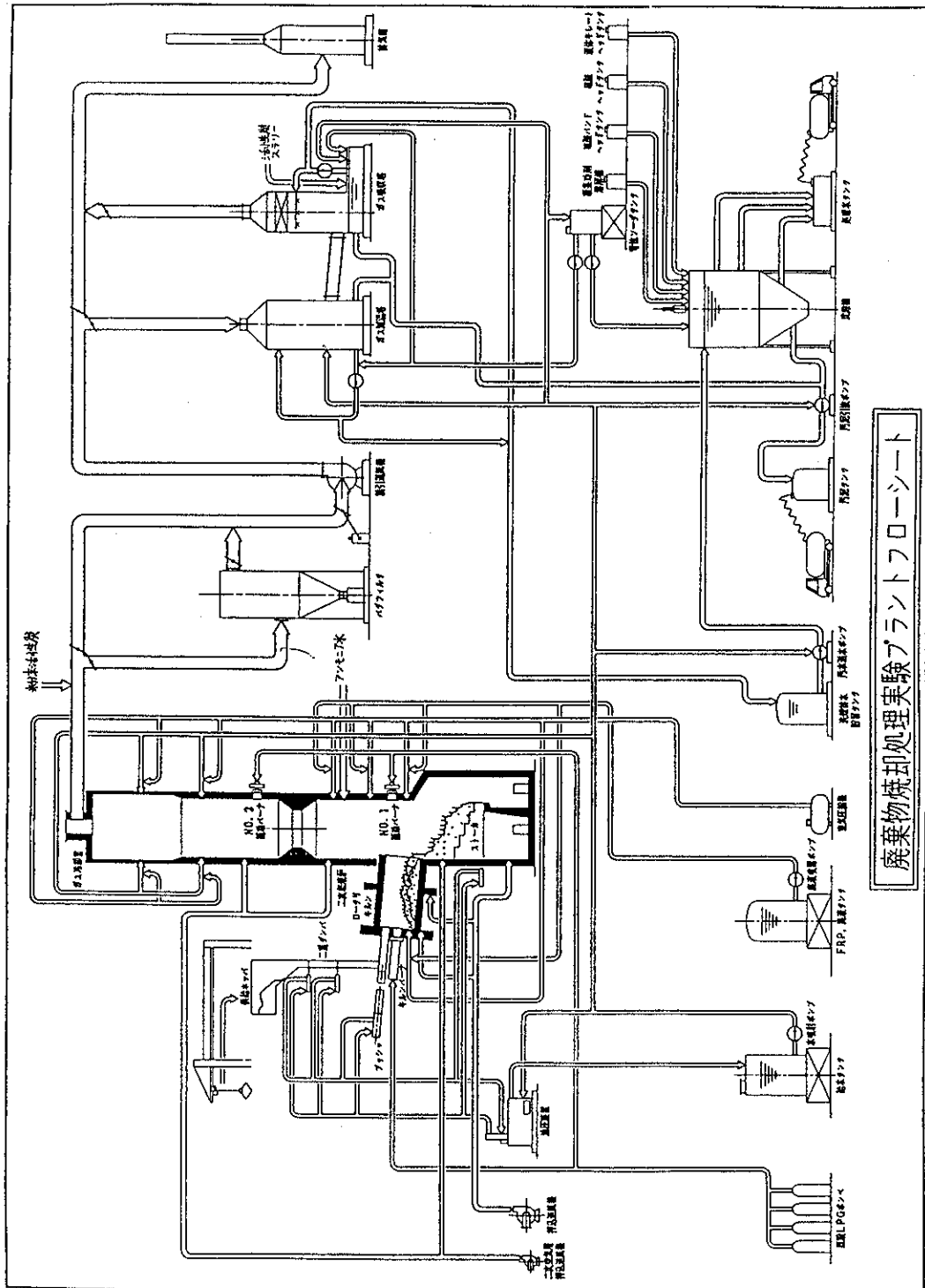


図 2 ロータリーキルン+ストーカ炉フローシート

(2) 流動層炉

1) 処理能力

実験に用いたパイロットプラントの使用を以下の表に示す。

表-9 流動層炉 仕様

機器名称	機器仕様
廃棄物供給方法	固形物：チェーンコンベヤ+計量コンベヤ
流動層炉 および二次燃焼室	バブリング型 ベッド部 内径 800 mm×高さ 2500 mm フリーボード部 内径 1200 mm×高さ 4000 mm 熱量換算出力 400,000 kcal/hr
ガス冷却室	水噴霧冷却 約 3.5 m ³
集塵装置	バグフィルタ
有害ガス除去方式	消石灰+活性炭吹込
飛灰取出	乾式コンテナ

注記：活性炭吹込はRUNによって異なる

2) 設備概要

炉本体の測定位置概要を以下の図に示す。

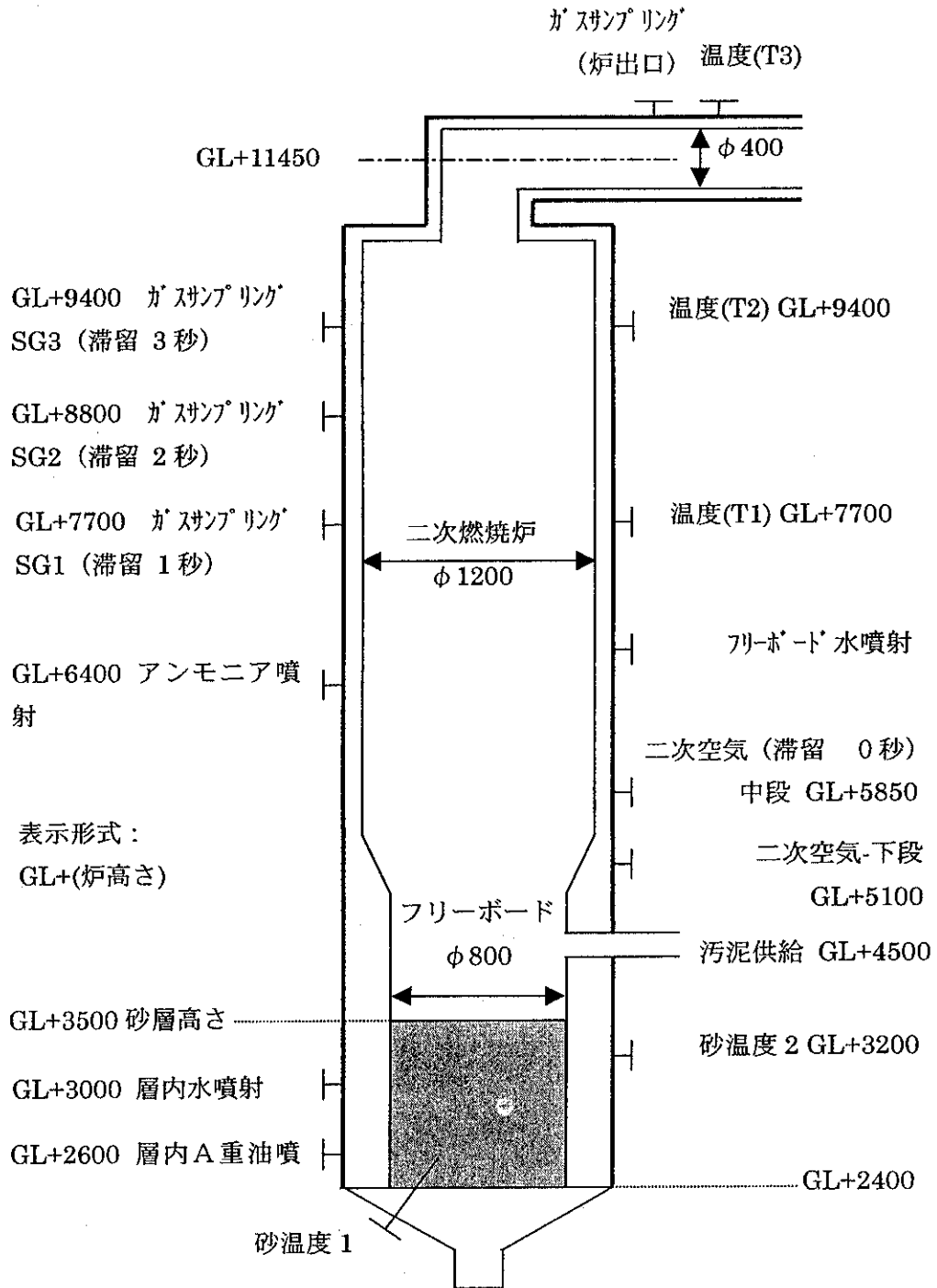
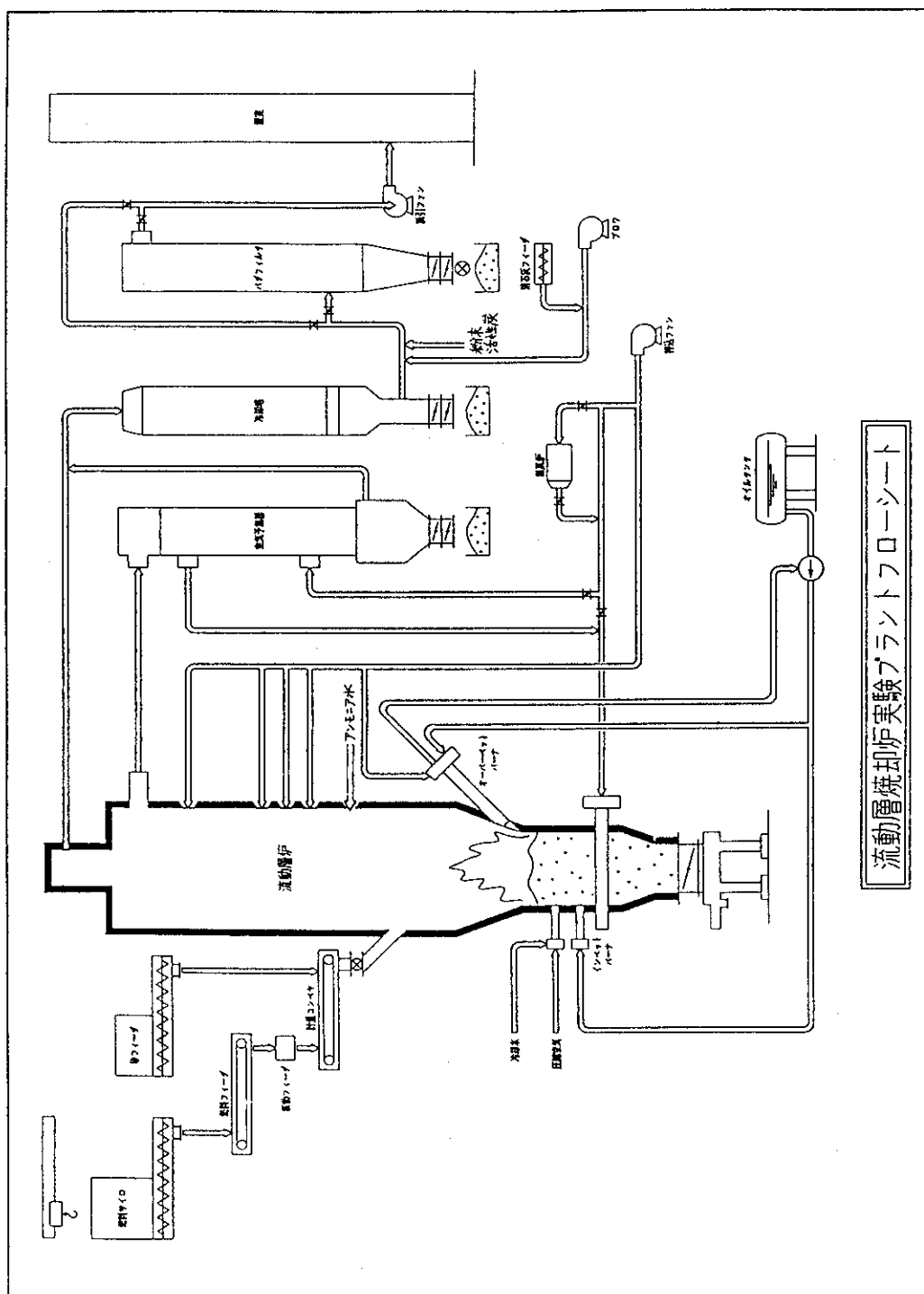


図 3 流動層炉本体測定位置概要図

3) フローシート

以下に実験に使用したパイロットプラントのフローシートを示す。



流動層焼却炉実験プラントフローシート

図 4 流動層炉フローシート

3-2 実験の条件

1) 焼却対象廃棄物の種類と焼却量

焼却対象廃棄物の種類と焼却量を以下の表に示す。

表-10 焼却対象廃棄物の種類と焼却量

廃棄物種類	廃棄物の詳細	焼却量 [kg/h]	
		ロータリーキルン+ストーカ炉	流動層炉
木くず	解体木くずのチップ	45	—
廃油系廃棄物	解体木くずチップ + 廃溶剤	210	—
食品残渣	コーヒーかす	240	170
廃プラスチック	工場系廃プラ (PE) / 塩ビ (PVC)	48/3.9 (塩ビ含有率 7.5%)	36.5/3.5 (塩ビ含有率 8.8%)
ブランクテスト	(焼却物投入せず)	0	—

注記1：ロータリーキルン+ストーカ炉では温度を保つため、助燃剤にLPGと灯油を使用

注記2：ロータリーキルン+ストーカ炉ではバックグラウンド濃度を測定するため、廃プラスチックテストの後に焼却物を入れずに炉を運転させるブランクテストを行った。

2) 燃焼管理温度

- ① 700℃
- ② 800℃ (廃プラスチックテストのみ)
- ③ 900℃

注記1：上記各温度は、二次燃焼炉ガス温度の平均値とする。

注記2：実験順序は、炉内へのDXNの蓄積が少ないように900℃→800℃→700℃の順で実施した。

3) 滞留時間 (計画値) (詳細は図1および2の測定位置概要を参照)

測定場所による滞留時間の計画値を以下の表に示す。

表-11 計画滞留時間

測定管台	炉形式	
	ロータリーキルン+ストーカ炉	流動層炉
SG1	1秒	1秒
SG2	2秒	2秒
SG3	—	3秒
炉出口	—	5秒

4) 薬品 (廃プラスチックテスト時のみ)

①活性炭吹き込み

- ・ 燃焼管理温度 700℃

(DXN がより多く発生する条件下のほうが、活性炭の効果が明確に現れることを予想して設定した)

- ・ 活性炭吹き込み 0.3 kg/h (ロータリーキルン+ストーカ炉)
0.1 kg/h (流動層炉)

(注入量 0.15 g/ m³_Ndry)

②アンモニア吹き込み

- ・ 燃焼管理温度 900℃

(高温であれば NO_x 濃度が高くなり、NH₃ による分解の効果が明確に現れることを予想して設定した)

- ・ アンモニア吹き込み量 0.9 kg/h (ロータリーキルン+ストーカ炉)
0.3 kg/h (流動層炉)

(NO_x 150 ppm の等量比 1.0 で注入)

アンモニア吹き込みテスト、活性炭吹き込みテストともに、ロータリーキルン+ストーカ炉と流動層炉の両プラントで行った。

5) その他

- ・ 除じん器入口温度
180℃

3-3 分析項目

次節参照のこと

3-5 実験結果

以下に実験の結果のまとめ、およびその相関図を示す。

(1) 炉内ガス中の DXN 濃度との相関

1) 温度、滞留時間等の相関

① 燃焼温度

- ・ 燃焼温度と DXN 濃度は、流動層炉で相関が見られる。
- ・ ロータリーキルン+ストーカ炉では相関が見られない。

② 塩化水素濃度

HCl 濃度と DXN 濃度については、相関が見られる。

- ・ ロータリーキルン+ストーカ炉では、大きな相関が見られる。特に HCl 濃度が $100 \text{ mg/m}^3_{\text{N}}$ 以下で DXN 濃度との大きな相関が見られる (図 5)。
- ・ 流動層炉での相関は中間のデータがないため判断しにくい。

③ 一酸化炭素濃度

CO 濃度と DXN 濃度の相関は、微妙である。

- ・ ロータリーキルン+ストーカ炉では相関は見られない。
- ・ 流動層炉では相関が見られる。ただし、プロット数が少ないことと低濃度の測定値であることには注意が必要である。

④ 滞留時間

- ・ 滞留時間と DXN 濃度は相関が見られる。特に、流動層炉の廃プラ実験において、顕著な相関が見られる。
- ・ ロータリーキルン+ストーカ炉では相関が見られない。

⑤ その他

- ・ 炉内ガス中の DXN 濃度と飛灰 DXN 濃度は相関が見られる (図 6)。

2) Co-PCB 及び前駆物質との相関

① コプラナ PCB

- ・ Co-PCB 濃度と DXN 濃度ははっきりした相関が見られる (図 7)。

② クロロベンゼン

- ・ CBz 濃度と DXN 濃度はブランクテストの結果も含めてはっきりした相関が見られる (図 8)。
- ・ CBz の対象を H6CBz のみ、もしくは分析上エラーの出やすい M1CBz、D2CBz を除いた残りの 4 種に変えても、相関ははっきりと現れた。(図 9、10)

③ クロロフェノール

- ・ CPh 濃度と DXN 濃度はブランクテストの結果も含めてはっきりした相関が見られる (図 11)。

④多環芳香族炭化水素 (PAH)

- ・ロータリーキルン+ストーカ炉では PAH 全量での相関はなかった。しかしナフタレンを除いた PAH では相関が見られる。
- ・流動層炉では両極端なデータのためのため相関は微妙。

⑤その他

DXN-TOX

- ・ロータリーキルン+ストーカ炉では相関はない。ただし RUN 3-2 のデータを除いた場合に相関が大きく改善される。
- ・流動層炉では相関が見られる。

(2) 飛灰未燃カーボン濃度との相関

①飛灰 DXN

飛灰 DXN 濃度と飛灰未燃カーボンは、ロータリーキルン+ストーカ炉では相関が見られるが、流動層炉では相関が見られない。ただし流動層炉では未燃カーボンの値が非常に小さい。

②主灰 DXN

主灰 DXN 濃度と飛灰未燃カーボンの相関ははっきりしない。

(3) その他

①TOX-HCl

- ・ロータリーキルン+ストーカ炉では相関が見られない。
- ・流動層炉ではデータが両極端であり相関は判断しにくい。

②TOX-CBz

- ・ロータリーキルン+ストーカ炉では相関が見られない。
- ・流動層炉ではデータが両極端であり相関は判断しにくい。

③TOX-CPh

- ・ロータリーキルン+ストーカ炉では相関が見られない。
- ・流動層炉ではデータが両極端であり相関は判断しにくい。

④多変量解析

- ・PAH-TOX や Cl-CO については今後さらなる解析が課題である。

(4) 相関関係一覧表

相関関係の一覧を以下の表に示す。

表-13 相関関係一覧表

	炉内ガス DXN 濃度		
	ロータリーキルン+ストーカ炉	流動炉	全体
HCl 濃度	○	?	○
CO 濃度	×	○	?
滞留時間	○	◎	○
燃焼温度	△	○	—
炉内流速	×	△	×
CBz	◎	◎	◎
CPh	◎	◎	◎
Co-PCB	◎	◎	◎
飛灰 DXN	◎	◎	◎
飛灰未燃カーボン	○	×	—
PAH	△	?	—
TOX	×	○	—

記号 ◎：大いにあり

○：あり

△：部分的にあり（例：「炉出口では」、「廃油系廃棄物では」などの条件付）

×：なし

？：微妙

—：不明

(5) 活性炭及びアンモニアの効果

活性炭注入の効果はあるが、ばらつきが見られた。

アンモニアの炉内注入は、適正な燃焼時には効果が見られた。

(6) 臭素化 DXN について

ロータリーキルン+ストーカ炉で、木くずの燃焼において臭素化ダイオキシンの分析を行ったが、ほとんど検出されなかった。

3-6 考察

(1) DXN と他のパラメータとの相関について

CBz 濃度、CPh 濃度および Co-PCB 濃度は炉内ガス中の DXN 濃度との正の相関が見られた。このことは特に CBz や CPh といった前駆物質は炉内ガス中の DXN 生成量を代表させるパラメータとして有効であると思われる。

(2) ロータリーキルン+ストーカ炉と流動層炉との比較

1) 炉内の塩素分蓄積

ロータリーキルン+ストーカ炉の RUN 1, RUN 2 に関しては、排ガス中

の HCl 量は焼却物由来の Cl 量以上の値を示した。焼却物以外の原因が寄与していると考えられる。そこでブランクテストを行ったところ、ロータリーキルン+ストーカ炉では焼却物がないにも関わらず HCl、DXN が検出された。これはブランクテスト実施前の廃プラスチック 700℃ 燃焼実験 (RUN 4-1 及び 4-2) の際に発生した塩素分などが炉内に蓄積されていることが考えられる。その結果から、RUN 1 と RUN 2 ではバックグラウンドの影響が顕著に現れたと考えられる。

特に RUN 2 と RUN 5 を比較した場合に、同じ焼却物でも炉によって DXN 発生量に 1~2 桁の違いが生じており、炉内の塩素分蓄積の影響が見てとれる。これらの蓄積は炉材及びクリンカへの吸着だと考えられ、国立環境研究所の安原氏の研究においても同様の現象が見られたということが報告されている。

2) 焼却対象物

廃棄物の燃焼には、焼却対象物に合った焼却炉形式の選定が非常に重要である。実験用廃棄物の中で、見かけ比重が小さく粒径も小さいといった飛散し易い物は、ロータリーキルン+ストーカ炉では適性燃焼できなかった。

今回の実験対象物では、適正な焼却炉形式は

- | | |
|-----------|----------------------------------|
| ・木くず …… | ストーカ炉あるいは、流動層炉が適性 |
| ・コーヒー粕…… | 流動層炉が適性 |
| ・廃油系廃棄物… | ロータリーキルン炉が適性 |
| ・廃プラスチック… | 今回の物では流動層炉が適性 (本来はロータリーキルン炉も適する) |

3) DXN 等の発生量

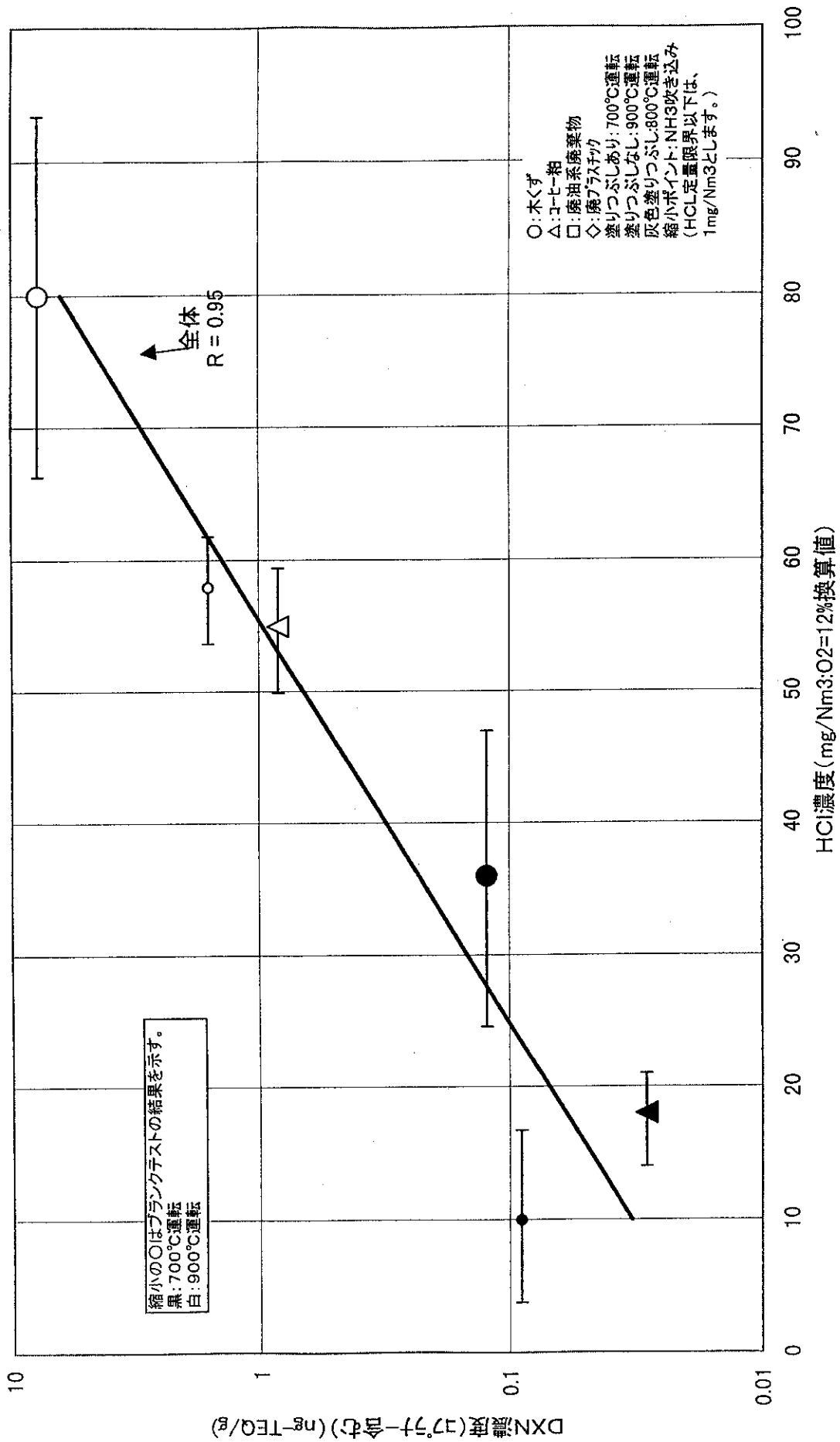
ロータリーキルン+ストーカ炉では、焼却対象物の形状が細片である時、ロータリーキルンの主燃焼部から、2次燃焼ゾーンに焼却物が飛散し未燃状態となり、多量の DXN を発生している。

この傾向は、特に廃プラスチックで顕著であり、木くず、コーヒー粕でも傾向が見られる。

一方、流動層炉では、飛散し易いコーヒー粕、廃プラスチック共、適正な燃焼ができています。

以上の結果は、飛灰中の未燃カーボンと DXN 濃度に現れており、

- ①ロータリーキルン+ストーカ炉では、大きな相関が見られる。
- ②流動層炉では相関が見られない。つまり、適正な燃焼が出来れば DXN 発生量は低減できる。



ブランクテストを含む 図5 DXN濃度-HCl濃度(ロータリーキルン&ストーカ炉) HCl 100 ppm以下抜粋

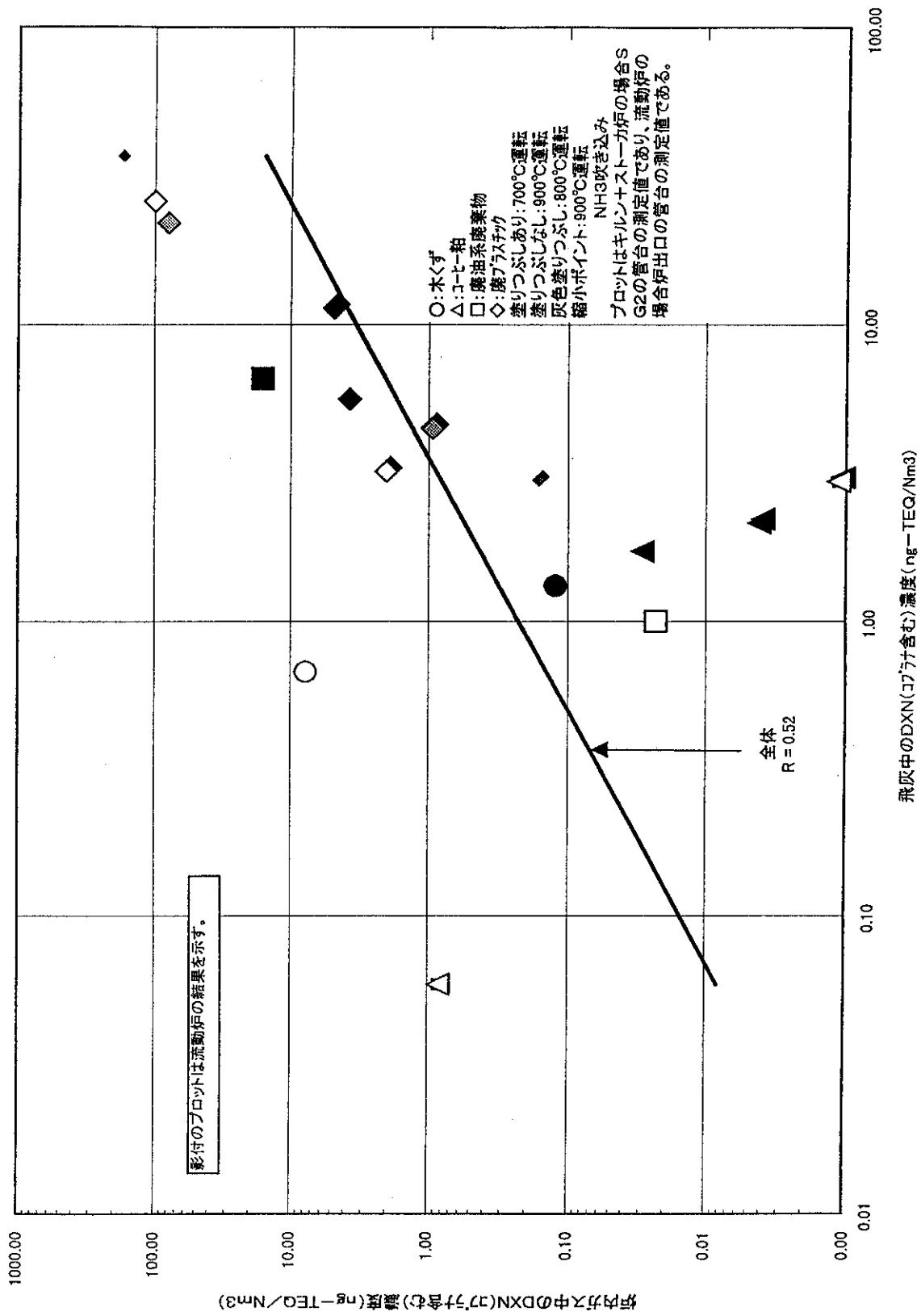


図6 炉内ガス中のDXN濃度－飛灰中のDXN濃度(ローターキルン+ストークスガ炉 流動炉)

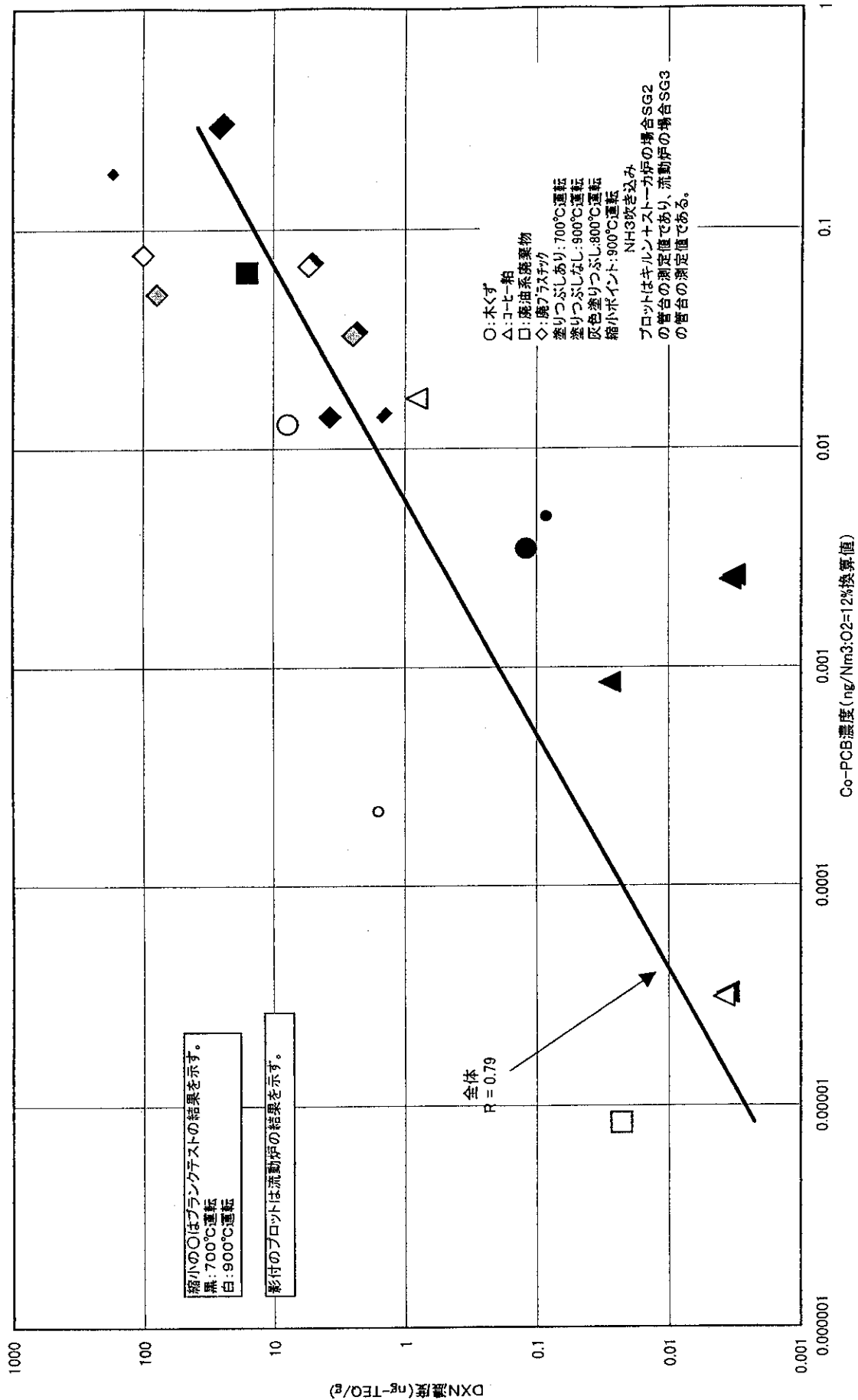


図7 DXN濃度-Co-PCB濃度(ロータリーキルンストーカ炉 流動炉)

ブランケットを含む

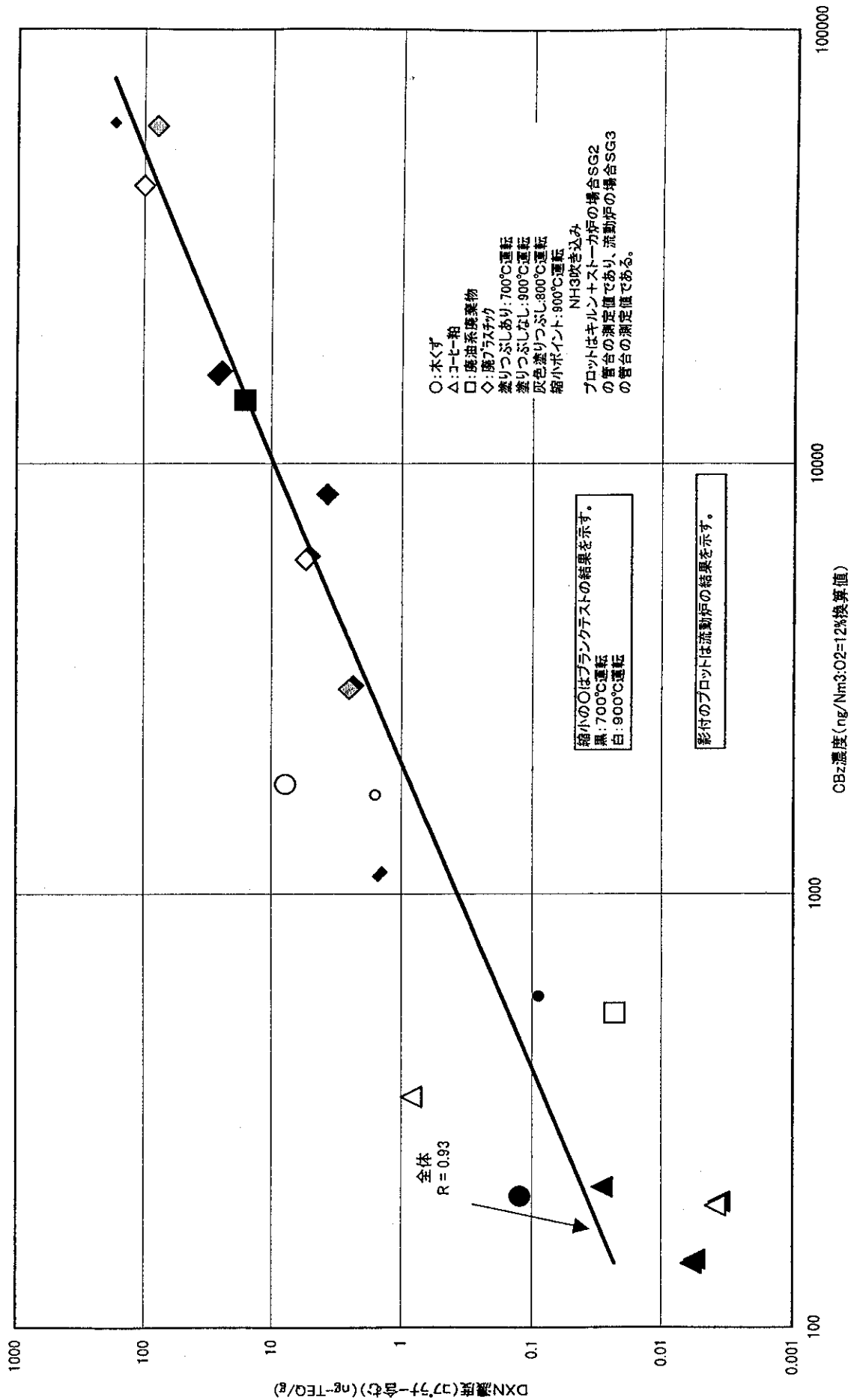
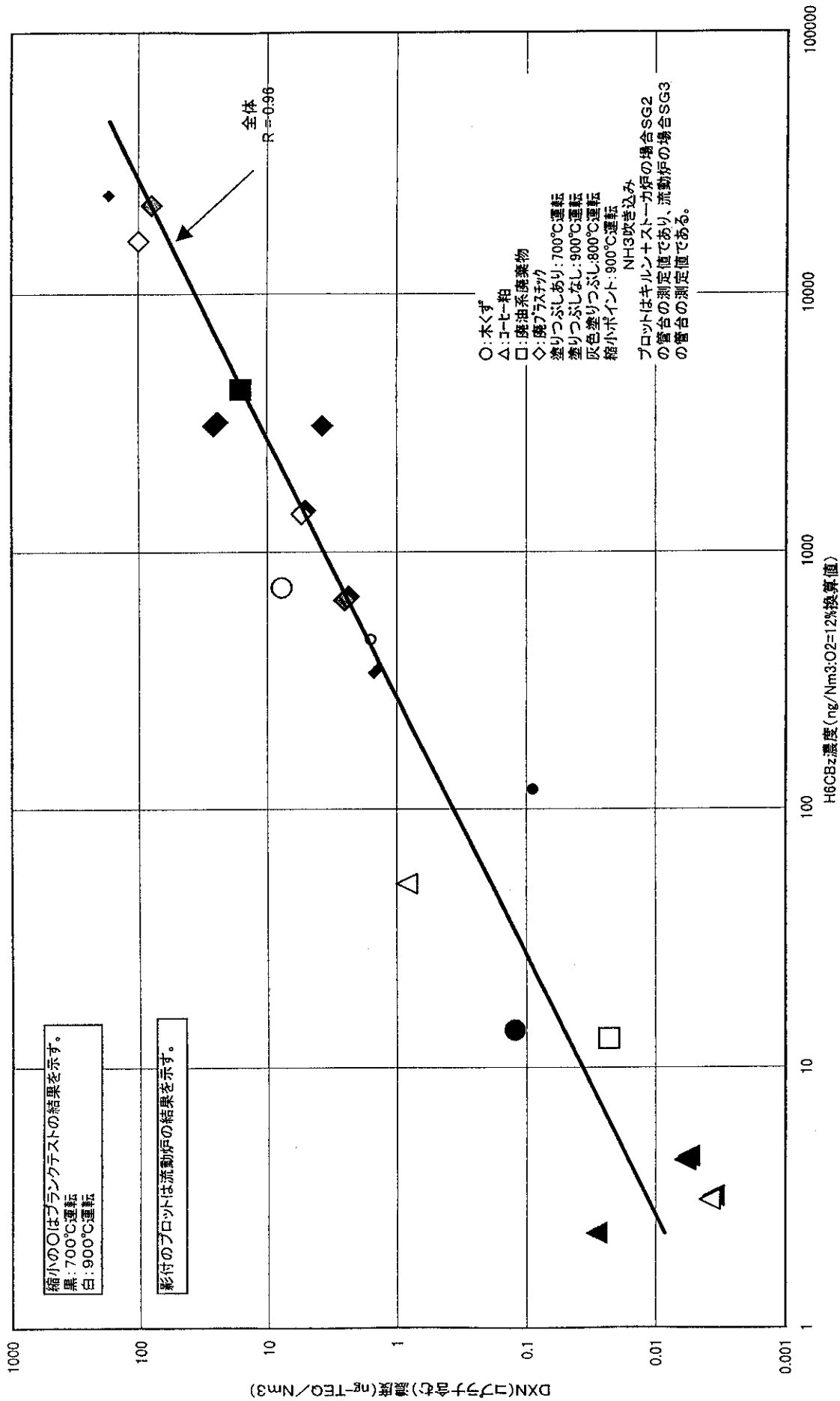


図8 Dioxin濃度-CBz濃度(ロータリーキルン+ストーパーカ炉 流動炉)

プランクテストを含む



ブランクテストを含む 図9 DPN濃度-H6CBz濃度(ロータリーキルン+ストーク炉 流動層炉)