

PNC-2J618-77-0

本資料は2001年 6月 20日付で

登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

動力炉・核燃料開発事業団 殿

ボロキシデーション法の設計研究

およびオフ・ガス処理基礎試験

成果報告書

昭和52年9月

東京芝浦電気株式会社

石川島播磨重工業株式会社

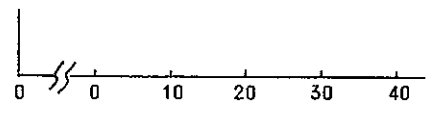
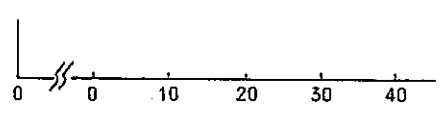
正 誤 表

(1)

頁	行	誤	正																											
要 旨																														
2	12	…して, 高放射性粉粒体および…	…粉粒体および…																											
"	備考欄	… Test Facility.	… Facility.																											
第 I 部																														
I - 1	5	…回収する, ボロキシ…	…回収するボロキシ…																											
I - 3	最終行	…と反応させた水 (H ₂ O) …	…と反応させて水 (H ₂ O) …																											
I - 5	1.1	…および吸着材試料を…	…吸着済試料…																											
第 II 部																														
II - 4	表 中	$\frac{\text{Pu f issile O}_2 \quad \text{UO}_2 + \text{PuO}_2}{(\%)}$	$\frac{\text{Pu f issile O}_2 \quad \text{UO}_2 + \text{PuO}_2}{(\%)}$																											
"	"	$\frac{\text{Pu f issile O}_2 \quad \text{PuO}_2}{(\%)}$	$\frac{\text{Pu f issile O}_2 \quad \text{PuO}_2}{(\%)}$																											
"	"	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">取 出</th> </tr> <tr> <th colspan="3">炉 心 燃 料</th> </tr> <tr> <th>炉 心 部</th> <th>軸 ブ ラ ン ケ ッ ト 部</th> <th>計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 2.0</td> <td>2 5.5</td> <td>5 7.5</td> </tr> <tr> <td>7.7</td> <td>0.4</td> <td>8.3</td> </tr> </tbody> </table>	取 出			炉 心 燃 料			炉 心 部	軸 ブ ラ ン ケ ッ ト 部	計	3 2.0	2 5.5	5 7.5	7.7	0.4	8.3	<table border="1"> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.64</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>											0.64	
取 出																														
炉 心 燃 料																														
炉 心 部	軸 ブ ラ ン ケ ッ ト 部	計																												
3 2.0	2 5.5	5 7.5																												
7.7	0.4	8.3																												
	0.64																													
II - 15	4	撃ぎが容易に…	撃ぎが容易に…																											
II - 17	21	…H ₂ OおよびTHOの液体を…	…HTOの液体を…																											
II - 19	9	…窒素ガス循環ファンおよび…	…循環ブロワ…																											
II - 19	17	…の粉末燃料およびハルを…	…および被覆管を…																											
II - 22	20	…ので, 連続的に比べ…	…ので, 連続式に比べ…																											
II - 26	表 中	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Cs</td> <td>…粘 度</td> </tr> <tr> <td>Ru-Rh</td> <td>… FeCl₃ + Na₂S</td> </tr> <tr> <td>Sr</td> <td>… Na₃PO₄ + Ca(OH)₂</td> </tr> </tbody> </table>	Cs	…粘 度	Ru-Rh	… FeCl ₃ + Na ₂ S	Sr	… Na ₃ PO ₄ + Ca(OH) ₂	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>…粘 土</td> </tr> <tr> <td>… FeCl₃ + Na₂S</td> </tr> <tr> <td>… Na₃PO₄ + Ca(OH)₂</td> </tr> </tbody> </table>	…粘 土	… FeCl ₃ + Na ₂ S	… Na ₃ PO ₄ + Ca(OH) ₂																		
Cs	…粘 度																													
Ru-Rh	… FeCl ₃ + Na ₂ S																													
Sr	… Na ₃ PO ₄ + Ca(OH) ₂																													
…粘 土																														
… FeCl ₃ + Na ₂ S																														
… Na ₃ PO ₄ + Ca(OH) ₂																														

頁	行	誤	正
II-27	18	…に出やすく内部被爆上重大な…	…内部被曝上重大な…
"	23	…で銅(CuO)触媒を用いて…	…で銅(CuO)触媒を…
II-29	最終行	…含水ガスとなり、 <u>極部的</u> には…	… <u>局部的</u> には…
II-33	下から 3	…「内側炉心/集合体当り	…「内側炉心 <u>1</u> 集合体当り
II-35	表中	Tc 123m Tc 125m Tc 127 Tc 127m Tc 129 Tc 129m Tc 132	Te 123m Te 125m Te 127 Te 127m Te 129 Te 129m Te 132
II-37	4	…表II-1- <u>11</u> に示す。	…表II-1- <u>8</u> に示す。
"	5	…ガス状または揮 発 <u>生</u>	…揮 発 <u>性</u>
"	13	…装置の捕集 効 <u>果率</u>	…の捕集 効 <u>率</u>
"	最終行	…表II-1- <u>11</u> に示す。	…表II-1- <u>8</u> に示す。
II-38	1	表II-1- <u>11</u>	表II-1- <u>8</u>
II-51	2	表II-1- <u>9</u> に示した通り、…	表II-1- <u>10</u> …
II-55	3	…の核分裂性 <u>原子</u> にすべての…	…の核分裂性原子を <u>Pu²³⁹原子</u> に、 すべての…
"	11	…と <u>同一組</u> とみなす…	…と <u>同一組成</u> と…
II-62	24	…に記載した冷却 <u>器</u> の…	…冷却 <u>管</u> の…
II-75	4	<u>固体飛散物</u> 捕集…	<u>粉体飛散物</u> …
II-86	2	…(燃料のみ、 <u>ハル</u> は含まず)	…のみ、 <u>被覆管</u> は含まず)
"	4	3,880()とする。	3,880(10,010.4g)とする。
II-91	8	…酸素入口、 <u>排ガス</u> 出口を設け、…	… <u>オフ・ガス</u> 出口…
II-93	5	B-2 炉 <u>体</u> と処理板の…	B-2 炉 <u>筒</u> と処理板の…
"	16	_____ 炉外部についても…	D-3 炉外部についても…
II-98	2	…ボロキシダイザー冷 <u>体</u> 試験…	…冷 <u>態</u> 試験…
II-101	図	図II-1-22 処理板燃料入 <u>出</u> 口	…燃料 <u>出</u> 入口
"	5	<u>ハル</u> 入り燃料が縦に2本…	<u>被覆管</u>
"	7	<u>ハル</u> が粉末燃料受けに…	<u>被覆管</u>
"	8	…は燃料 <u>ハル</u> の直径…	<u>被覆管</u>

頁	行	誤	正									
II-108	表中	<table border="1"> <tr><td colspan="2">電磁石式</td></tr> <tr><td>欠点</td><td>1.エネルギー効率が悪い。 約10% 2.ハネの保守,取り換えが...</td></tr> </table>	電磁石式		欠点	1.エネルギー効率が悪い。 約10% 2.ハネの保守,取り換えが...	<table border="1"> <tr><td colspan="2"></td></tr> <tr><td></td><td>2.ハネの保守,取り換えが...</td></tr> </table>				2.ハネの保守,取り換えが...	
電磁石式												
欠点	1.エネルギー効率が悪い。 約10% 2.ハネの保守,取り換えが...											
	2.ハネの保守,取り換えが...											
II-111	最終行	使用限界温度 <u>1.260</u> ℃	... <u>1,260</u> ℃									
II-117	8	...のクリヤランスの <u>大き</u> くする...	...クリヤランスを <u>大</u> きく...									
II-118	3	...推定温度は <u>18.6</u> の...	... <u>1.8.6</u> の...									
"	図中 (下段)	曲げ応力 <u>4.66</u> Kg/mm ²	曲げ応力 = <u>4.66</u> Kg/mm ²									
"	最終行	...のS-N線を用いて...	...のS-N曲線を...									
II-120	表中	<table border="1"> <tr><th>冷却日数</th><th>出力/集合体</th></tr> <tr><td>0</td><td>416</td></tr> <tr><td>30</td><td>9.4 //</td></tr> </table>	冷却日数	出力/集合体	0	416	30	9.4 //	<table border="1"> <tr><td></td><td>416 kw</td><td></td></tr> </table>		416 kw	
冷却日数	出力/集合体											
0	416											
30	9.4 //											
	416 kw											
II-121	5	...系へ <u>注</u> 出されるので, <u>抽</u> 出されるので, ...									
II-125	18	冷 <u>去</u> 時間を1時間...	冷 <u>却</u> 時間...									
II-131	表中	<table border="1"> <tr><td colspan="2">摩擦ローラ式</td></tr> <tr><td></td><td>1.定量供給量の初期調<u>設</u>が難しい。</td></tr> </table>	摩擦ローラ式			1.定量供給量の初期調 <u>設</u> が難しい。	<table border="1"> <tr><td></td><td>1. 調<u>整</u>が...</td></tr> </table>		1. 調 <u>整</u> が...			
摩擦ローラ式												
	1.定量供給量の初期調 <u>設</u> が難しい。											
	1. 調 <u>整</u> が...											
II-132	1	切断燃料数 <u>3.880</u> /回分	... <u>3,880</u> /回分									
"	8	...1ケの体 <u>積</u> ≒ 0.4 cm ³	...体 <u>積</u> ≒ 0.4 cm ³									
II-134	7	...供給物は, <u>ハ</u> ル入りの...	... <u>被</u> 覆管入りの...									
II-138	表中	<table border="1"> <tr><td colspan="2">慣性方式</td></tr> <tr><td>特徴</td><td>1.ガスが適正であること。 2.構造が簡単である。</td></tr> </table>	慣性方式		特徴	1.ガスが適正であること。 2.構造が簡単である。	<table border="1"> <tr><td></td><td>1.ガス流<u>速</u>が適正で...</td></tr> </table>		1.ガス流 <u>速</u> が適正で...			
慣性方式												
特徴	1.ガスが適正であること。 2.構造が簡単である。											
	1.ガス流 <u>速</u> が適正で...											
II-140	図中 (上段)	Fig A ... of UO ₂ pellet, <u>9mm</u>	... of UO ₂ pellet, <u>9mm in dia and 5mm in thickness in air.</u>									
II-141	図	表II-1-35 高速増殖...	表II-1-35 ...									
II-144	1	表II-1- <u> </u> 沈降速度と...	表II-1- <u>34</u> ...									
II-145	図中											
II-147	12	Vf : 適正濾過速度 (Vf = <u>0.3</u> cm/S)	... (Vf = <u>0.3</u> cm/S)									
II-151	6	...形式を立円筒型へフィルタ式と...	...立, 角型へフィルタ式...									

頁	行	誤	正
II-155	2	燃量処理容量 3Kg/回分	燃料処理容量…
"	5	…の燃料供治機構は…	…の燃料供給機構は…
II-156	2	工学試験装置の…	工学試験装置の…
"	15	1,170 個 (もんじゅ用燃料…	1,170 個/回分 (もんじゅ用…
II-159	2	炉筒の長平方向の温度分布…	長手方向の…
"	9	長平方向の温度分布…	長手方向の…
"	6	をモデル $\delta^1 = 86$)	をモデル $\delta' = 86$)
"	12	…炉内圧力も -50 mm Ag	… -50 mm Aq
II-168	6	…使用起振動数 (1200 cpm ~	…使用起振振動数…
II-170	10	(d)振動系の…	(b)振動系の…
II-172	7	…疲労強度を図 II-2-__ の…	…図 II-2-25…
II-201	6	…これらの機器を図 II-3-__ の…	…図 II-3-4 の…
II-204	3	…図 II-3-__ の通りとする。	…図 II-3-10 の…
"	図	図 II-3-__ オフ・ガス…	図 II-3-10…
"	最終行	…図 II-3-__ の通りとする。	…図 II-3-11 の…
II-207	5	形式 立, 円筒型ヘパフィルタ	形式 立, 角型ヘパフィルタ
II-217	3	形式 <u>モレキュラシーブ塔</u>	形式 <u>立, 円筒型吸着塔</u>
第 III 部			
III-2	13	…ように測面に 1 cm 幅の…	…側面に…
III-5	図 中	流量計操作板	流量計操作盤
III-12	2	…吸着管の後ろを 2 分し, …	…二分…
"	17	…出たあと 2 分する場合は, …	…二分…
III-13	表	Linde-Union Carbide __ 4 A 及び 13 X	…MS-4 A 及び 13 X
III-15	21	…ないので補正はしていない。	…補正は…
III-27	8	…吸着前後の Activity 比…	…Activity 比…
III-60	図 中		
III-66	図 中 (下段)	ACTIVITY 比 2.57	ACTIVITY 比 2.57

頁	行	誤	正										
Ⅲ-68	図中	I ₂ ACTIVITY(×10 ⁴) <u>cpm</u>	I ₂ ACTIVITY(×10 ⁴) <u>VPM</u>										
Ⅲ-69	3	…(1.74×10 ⁻⁵ <u>mmHg</u> at 0℃)	…(1.74×10 ⁻⁵ <u>mmHg</u> at 0℃)										
Ⅲ-75	24	…影響を与えるが <u>検討</u> する。	…与えるか <u>検討</u> する…										
<u>第IV部</u>													
IV-2	14	…出される <u>粉塵</u> の量を…	… <u>粉塵</u> の…										
IV-3	6	…ので、 <u>機種重量</u> の軽量化を…	… <u>機器重量</u> の…										
IV-6	7	…微小メッシュの <u>焼結金属</u> が…	…微小メッシュ…										
IV-9	21	(5) 冷却系の <u>簡素化</u> の検討	… <u>簡素化</u> の…										
IV-10	表中	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">ホロキシ ンダイ ザー</td> <td rowspan="2">付 属 装 置</td> <td rowspan="2">粉体飛散物 捕集装置</td> <td>工学試験</td> </tr> <tr> <td>CPE 工学試験</td> </tr> </table>	ホロキシ ンダイ ザー	付 属 装 置	粉体飛散物 捕集装置	工学試験	CPE 工学試験	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2"></td> <td rowspan="2"></td> <td rowspan="2"></td> <td>CPE 工学試験</td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </table>				CPE 工学試験	
ホロキシ ンダイ ザー	付 属 装 置	粉体飛散物 捕集装置				工学試験							
			CPE 工学試験										
			CPE 工学試験										



本資料は 年 月 日付けで登録区分、
 変更する。 2001. 6. 20
 [技術情報室]

配布限定
 PNC J618-77-01
 昭和52年9月

ボロキシレーション法の設計研究

およびオフ・ガス処理基礎試験 ※1



- ※2 ※2 ※2 ※2
 吉川雄治，田替藤尊雄，岩間守正，飯野秋彦
- ※3 ※3 ※3 ※3
 福家光，松本崇彦，竹之下聡一，三上定行
- ※4 ※4 ※4
 倉重哲雄，大和屋直俊，萬代新一
- ※5 ※5
 保坂明夫，佐藤誠二

要 旨

核燃料サイクルの開発は、我国のエネルギー政策として大きく採りあげられている。核燃料サイクルのうち特に、使用済み核燃料の再処理についても国際的に種々の問題を含んでいるが、自主技術の確立は今後の各種事態の推移につれて一つの重要な因子となろう。動力炉・核燃料開発事業団および日本原子力研究所にて計画されている核燃料サイクル長期研究開発の方針に従って、当社も開発を進めることを念願しており、まず再処理方法の改良開発に着目し、新しいヘッドエンドシステムを開発するための計画を提案し、昭和51年度より動力炉・核燃料開発事業団の御指導のもとに実施している。

本計画は、動力炉・核燃料開発事業団が予定している高速炉燃料再処理施設の先頭部に取付けるボロキシレーションシステムとして、開発期間を約8年間と見込み、昭和61年度に完了する予定である。

ボロキシレーション法の研究は既に欧米で進められており、特にORNLはこれに着目して以来約10年間の研究開発を続けており、最近コールドテスト用パイロットプラント(IPET)※6をERDAと共同で建設中との情報を得ている。フランスおよび西独でも開発中とのことであるが、開発内容については未公開となっている。新しく予定される再処理工場は、従来のPurex法を主体とする再処理施設に何等かの安全対策を加えると同時に、放射性廃棄物の処

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

理を同一工場で行えるように改良される傾向にある。

本設計研究および基礎試験は、燃料プールから搬入された使用済み燃料を細断し、計量し、ボロキシナイザーに運びこの中で加熱して、酸素等により酸化を促進させると同時に、揮発性の放射性廃棄物を処理するシステムであって、不揮発性の燃料粉体は従来の溶解槽へ送られる。

51年度の設計研究としては、ボロキシデーションシステムの概念的検討とボロキシナイザーの予備設計、ならびにオフ・ガス処理に関する基礎試験について³HおよびIに着目して行なった。そして所期の成果を得た。

52年度にはボロキシナイザーのコールド工学試験装置の製作、53年度はコールド試験が計画されている。同時にボロキシナイザーの付属装置として、燃料供給・ガスシール装置ならびに粉体飛散物捕集装置のコールド試験も予定されている。

そして今後の開発課題として、高放射性粉位体およびオフ・ガスの安全な取扱い技術と処理技術について、コールド→セミホット→ホットと研究開発を重ね、技術を確立してパイロットプラントまで発展させる所存である。

※6 IPET: Integrated Prototype Equipment Test Facility.

- ※1 本報告書は、石川島播磨重工業株式会社が東京芝浦電気株式会社を經由して、動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。
- ※2 石川島播磨重工業株式会社 原子力開発室 原子力利用システム部
- ※3 石川島播磨重工業株式会社 原子力開発室 原子力製鉄プロジェクト部
- ※4 石川島播磨重工業株式会社 原子力開発室 新型炉部
- ※5 石川島播磨重工業株式会社 技術研究所 基礎技術部



目 次

第 I 部 ポロキシデーション法の設計研究 およびオフ・ガス処理基礎試験

頁

まえがき

第 1 章	目 的	I - 1
第 2 章	概 要	I - 3
2.1	ポロキシデーション法の設計研究概要	I - 3
2.2	ポロキシデーション法オフ・ガス処理 基礎試験の概要	I - 5



目 次

頁

第 II 部 ポロキシデーション法の設計研究

第 1 章 ポロキシデーション工程の概念設計	II - 1
1.1 概念設計の前提条件	II - 1
1.1.1 処理容量	II - 1
1.1.2 使用済み燃料組成	II - 1
1.1.3 使用済み燃料の燃焼度	II - 1
1.1.4 使用済み燃料の冷却期間	II - 1
1.1.5 トリチウム除去率	II - 2
1.2 ポロキシデーション工程の概念	II - 5
1.2.1 ポロキシデーション工程の構成	II - 5
1.2.2 主要機器の機能	II - 8
1.3 ポロキシデーション工程の最適化	II - 2 1
1.3.1 ポロキシデーション工程の運転方式	II - 2 1
1.3.2 主要機器の運転方式	II - 2 3
1.3.3 オフ・ガス処理系統の最適化	II - 2 4
1.3.4 主要機器の装備台数	II - 3 1
1.4 ポロキシデーション工程の熱および物質収支	II - 3 3
1.4.1 基本条件	II - 3 3
1.4.2 ポロキシダイザ-によるFP放出率	II - 3 7
1.4.3 粉体飛散物捕集装置の捕集効率	II - 3 7
1.4.4 物質収支	II - 3 9
1.5 ポロキシデーション工程の圧力・温度条件	II - 4 9
1.5.1 ガス流量および流速	II - 4 9



1.5.2	圧力条件	II-50
1.5.3	圧力損失	II-51
1.5.4	温度条件	II-51
1.6	ボロキシデーション工程の安全性	II-54
1.6.1	ボロキシデーション工程の臨界安全性	II-54
1.6.2	ボロキシデーション工程の放射能安全性	II-63
1.6.3	ボロキシデーション工程の熱的安全性	II-72
1.6.4	ボロキシデーション工程の保守	II-72
1.7	ボロキシデーション工程の運転方法概要	II-73
1.7.1	運転タイムスケジュール	II-73
1.7.2	運転シーケンス	II-74
1.7.3	計装・制御概要	II-74
1.8	ボロキシダイザ-のアイデア設計	II-79
1.8.1	ボロキシダイザ-の形式	II-79
1.8.2	ボロキシダイザ-の処理機能	II-84
1.8.3	ボロキシダイザ-の構造	II-91
1.8.4	ボロキシダイザ-の主要部材質	II-110
1.8.5	ボロキシダイザ-の主要部寸法	II-112
1.8.6	ボロキシダイザ-本体内部温度分布	II-113
1.8.7	ボロキシダイザ-本体主要部強度	II-115
1.8.8	ボロキシダイザ-の熱収支	II-120
1.8.9	ボロキシダイザ-の安全性	II-123
1.9	主要機器の仕様	II-129
1.9.1	燃料供給・ガスシール装置	II-129
1.9.2	ボロキシダイザ-	II-136
1.9.3	粉末燃料排出処理装置および燃料被覆管排出処理装置	II-136
1.9.4	粉体飛散物捕集装置	II-137



1.9.5	ヨウ素コールドトラップ	II-149
1.9.6	ヨウ素貯蔵装置	II-150
1.9.7	残留粉塵除去装置	II-151
1.9.8	ヨウ素乾式除去装置	II-151
1.9.9	トリチウム水生成装置	II-152
1.9.10	トリチウム水捕集装置	II-152
1.9.11	トリチウム水貯蔵装置	II-153
第2章 ボロキシナイザ-系工学試験装置の設計		II-154
2.1	ボロキシナイザ-系工学試験装置の設計条件	II-154
2.1.1	試験条件	II-154
2.1.2	設計条件	II-154
2.2	ボロキシナイザ-工学試験装置の設計	II-156
2.2.1	工学試験装置の形式および構造	II-156
2.2.2	処理機能	II-156
2.2.3	材質	II-156
2.2.4	主要部寸法	II-157
2.2.5	ボロキシナイザ-本体内部温度分布	II-158
2.2.6	ボロキシナイザ-本体主要部強度	II-163
2.3	粉体飛散物捕集工学試験装置の設計	II-181
2.4	燃料供給・ガスシ-ル工学試験装置の設計	II-181
2.5	ボロキシナイザ-系工学試験装置の製作仕様	II-182
2.5.1	製作期間	II-182
2.5.2	検収条件	II-182
2.5.3	保証および保証期間	II-182
2.5.4	試験・検査	II-183



2.5.5	提出図書	II-184
2.5.6	その他	II-185
2.5.7	内容	II-186
第3章 オフ・ガス処理工学試験装置の設計		II-199
3.1	オフ・ガス処理工学試験装置の設計条件	II-199
3.1.1	ヨウ素除去回収工学試験装置	II-199
3.1.2	水分(トリチウム水)除去回収工学試験装置	II-199
3.2	ヨウ素除去回収工学試験装置の設計	II-201
3.2.1	工学試験装置の系統	II-201
3.2.2	要目, 構造および主要寸法	II-202
3.3	水分(トリチウム水)除去回収工学試験装置の設計	II-215
3.3.1	工学試験装置の系統	II-215
3.3.2	要目, 構造および主要寸法	II-216
3.4	オフ・ガス処理工学試験装置の製作仕様	II-223
3.4.1	製作期間	II-223
3.4.2	検収条件	II-223
3.4.3	保証および保証期間	II-223
3.4.4	試験・検査	II-224
3.4.5	提出図書	II-225
3.4.6	その他	II-226
3.4.7	内容	II-227



目 次

第Ⅲ部 ボロキシデーション法のオフ・ガス処理

頁

基礎試験

第1章	まえがき	Ⅲ - 1
第2章	試験装置	Ⅲ - 2
第3章	試 験	Ⅲ - 10
3.1	吸着試験	Ⅲ - 10
3.2	脱着試験	Ⅲ - 13
3.3	トリチウム水同位体効果の測定	Ⅲ - 14
3.4	試験データの整理方法	Ⅲ - 14
第4章	試験結果	Ⅲ - 24
4.1	吸着試験	Ⅲ - 24
4.2	脱着試験	Ⅲ - 26
4.3	トリチウム水比放射能変化の測定	Ⅲ - 28
第5章	考 察	Ⅲ - 69
5.1	トリチウム水捕集	Ⅲ - 69
5.2	ヨウ素の挙動	Ⅲ - 73
5.3	トリチウム水除去のためのモレキュラシープ 吸着塔適用の可能性の検討	Ⅲ - 75
第6章	結 論	Ⅲ - 79
第7章	参 考 文 献	Ⅲ - 80



目 次

頁

第Ⅳ部 今後の研究開発項目

1. ポロキシデーション工程全般	Ⅳ - 1
2. ポロキシダイザー	Ⅳ - 2
3. 燃料供給・ガスシール装置	Ⅳ - 5
4. 粉体飛散物捕集装置	Ⅳ - 6
5. オフ・ガス処理装置	Ⅳ - 7
6. そ の 他	Ⅳ - 9
高速炉燃料再処理試験施設のポロキシデーション工程	
研究開発スケジュールおよび概略予算	Ⅳ - 10



第 I 部

ボロキシデーション法の設計研究
およびオフ・ガス処理基礎試験

まえがき

第 1 章 目 的

核燃料再処理は、現在既に各国で開発されていて、PUREX 法では約 20 年の運転実績があるが、PUREX 法のみによれば、生物に有害な放射性核分裂生成物の除去、回収が安全性の面で将来問題視される可能性がある。

この研究の広義の目的は、湿式核燃料再処理法では除去回収が困難な揮発性 FP を回収する、ポロキシデーション法を確立して、環境保全をより完全にし、長期にわたる健全な原子力利用の発展を期するものである。

ポロキシデーション法は、使用済みの核燃料を加熱、酸化させることにより、燃料を粉化させると同時に、燃料中に混在する揮発性 FP を燃料から気体状で分離し、乾式で除去回収する手段であり、燃料再処理プラントの前処理工程として組込まれ、その具体的な目的は次の通りである。

- 1) 使用済み燃料中に含まれているトリチウムは、半減期が 12.3 年と長いため、生物にとって危険な有害物質である。

このトリチウムが外界に放出された場合、トリチウムは水素の同位体であるから、トリチウム水となり水に混入して容易に拡散され、地球上を広範囲に汚染する。

また、人体に入れば、全身に拡散され易い。

湿式核燃料再処理法では、トリチウムはトリチウム水となって溶解液に混入するため、熱拡散法などの除去回収法が考えられているが、実用上は除去回収が困難である。

ポロキシデーション法は、このトリチウムを除去回収するものである。

- 2) ヨウ素のうち ^{131}I は、半減期が 8.05 日と比較的短いですが、放射線強度が強く、 ^{129}I は放射線強度は弱いですが半減期が 1 千 7 百万年と長く使用済み燃料に含まれている量が多い。

湿式核燃料再処理法では除去回収が煩雑なヨウ素の大部分を、ポロキシデーション法により除去回収して、後工程の処理を簡単にするものである。

- 3) その他、クリプトンおよびキセノンもポロキシデーション法により、ある程度燃料から分離されるので、また揮発性ルテニウムが燃料から分離されるならこれも含めて、これら

の回収装置へ接続すれば、回収することが可能である。

- 4) 液体金属冷却高速増殖炉では、冷却材にナトリウムが使われ、燃料の被覆管が破損して、被覆管内にナトリウムが入っている場合、およびナトリウムがボンドとして初めから被覆管に入れられている場合、これらのナトリウムを、ボロキシデーション法により加熱、酸化して不活性の酸化ナトリウム (Na_2O) とし、ボロキシデーション工程の後に続く溶解工程での、ナトリウム-硝酸反応の危険性をなくす。

ボロキシデーション法の設計研究およびオフ・ガス処理基礎試験は、動力炉・核燃料開発事業団殿において計画された、高速増殖炉燃料再処理試験施設に将来組込まれることが予定されているボロキシデーション工程を開発するための、出発点に位置する研究である。

第 2 章 概 要

2.1 ポロキシデーション法の設計研究概要

概念として、ポロキシデーション工程を下の 4 系統より構成するものとし、物質収支、圧力および温度条件を検討した。

1) ポロキシダイザー系

ポロキシダイザー系は、燃料切断片をポロキシダイザーに供給し、ポロキシダイザーで酸素ガスを供給しながら燃料を加熱、酸化させた後、粉化した燃料と被覆管を分離して、本工程とは別の核燃料再処理本工程（溶解工程）へ搬出するとともに、ポロキシダイザーから出るオフ・ガス中に浮遊する粉体を捕集した後、溶解工程へ送り出すとともに、ヨウ素捕集系へオフ・ガスを送る計画である。

ポロキシダイザーの運転方式を回分式とし、燃料処理量は、ポロキシダイザー 1 台につき 10 Kg/回分とし、3 台同時並列運転で、1 日 4 回分運転して、合計 120 Kg/日とした。

2) オフ・ガス処理 — ヨウ素捕集系

ヨウ素捕集系は、ポロキシダイザー系から送り出されたオフ・ガスを 20℃まで冷却することにより、オフ・ガス中に含まれる揮発性 FP のうち、主にヨウ素を結晶させて捕集するが、オフ・ガス中の残有ヨウ素は、吸着器により捕集する計画である。

ヨウ素捕集系には、ヨウ素を結晶させる装置（ヨウ素コールドトラップ）を継続して使用するために、ヨウ素を他の貯蔵器に移し変える再生装置を設けるものとした。

3) オフ・ガス処理 — トリチウム捕集系

トリチウム捕集系は、ヨウ素の除去回収装置の下流にオフ・ガスからトリチウムをトリチウム水にして捕集するものであるが、オフ・ガス中のトリチウム濃度が薄いため、そのままではトリチウム水の生成および捕集が困難である。このためオフ・ガスにトリチウムの同位体である水素を余分に供給して、400℃まで加熱した酸化触媒槽でオフ・ガス中の酸素と反応させた水（ H_2O ）と同時にトリチウム水（ HTO ）を

生成させ、20℃まで冷却してから吸着材によりオフ・ガス中から捕集するものである。

トリチウム捕集系には、吸着材で捕集したトリチウム水を、吸着材から分離させて容器に貯蔵するため、吸着材の再生装置を設けるものとした。

4) 冷却系

冷却系は、燃料の崩壊熱による装置の温度上昇などを防ぐため、ボロキシナイダー系を冷却するものと、オフ・ガスおよび再生装置においてキャリアガスを冷却するものを独立に設けるものとした。

本設計研究では、工程の核的および放射能安全性を検討するとともに、主要機器の仕様を検討した。

また、ボロキシナイダーについてその形式を、振動式および回転式について検討した結果、両形式とも長短があり、明確な優劣はつけ難いが、気密性および保守性に重点をおくと振動式が有利であるため、振動式を選定して、ボロキシナイダーのアイデア設計を行った。

その他、設計研究として工程を構成する主要機器を工学的に開発するため、ボロキシナイダー系およびオフ・ガス処理系の工学試験装置の設計を行った。

2.2 ポロキシデーシオン法オフ・ガス処理基礎試験の概要

ポロキシダイザーオフ・ガス中のトリチウムは H_2 によって増量したあと酸化触媒により酸化後 HTO としてモレキュラーシープで捕集する。

本試験は、モレキュラーシープで HTO を捕集する際のポロキシダイザーオフ・ガス中に多量に含まれるヨウ素 (I_2) の吸・脱着に及ぼす影響および水分存在下のモレキュラーシープ中のヨウ素挙動を明らかにし今後の乾式捕集技術開発のための基礎資料を得るためのものである。

モレキュラーシープとしては、通常水分除去に用いる MS-4A と、乾燥状態で I_2 の良い吸着材として知られる MS-13X を用いた。試験は O_2 ガスをキャリアとして水分濃度、 I_2 濃度、吸着温度、ガス流速を変えた種々の条件下で吸着試験を行い、破過曲線を得ることおよび吸着材試料を脱着させ、脱着曲線を得ることからなる。

ヨウ素 (I_2)、水分としては ^{131}I および HTO をトレーサーとして使用し、 I_2 および HTO 除去の確認を行うとともに、水素-トリチウム同位体効果の概略値を得て工学的影響の有無を検討した。

本試験の結果、モレキュラーシープ吸着法は I_2 存在下でもトリチウム水除去方法として使用可能なことが確められるとともに、MS-4A および MS-13X でのヨウ素挙動が明らかとなって、モレキュラーシープを用いるヨウ素除去について基礎的データが得られた。



第 II 部

ボロキシデーション法の設計研究

第1章 ボロキシデーション工程の概念設計

1.1 概念設計の前提条件

高速炉燃料再処理試験施設のボロキシデーション工程（以下本工程という）に関する概念設計の前提条件は、下記によるものとする。

1.1.1 処理容量

本工程の使用済み燃料の処理容量は、「ボロキシデーション法の設計研究およびオフ・ガス処理基礎試験，御契約仕様書，昭和52年2月」（以下契約仕様書という）に記載されている処理容量100～120kg/日に基づき，120kg/日とする。

1.1.2 使用済み燃料組成

本工程で処理する使用済み燃料の組成は，動力炉・核燃料開発事業団（以下貴事業団という）の提示に基づいた，表II-1-1および表II-1-2の通りとする。

本工程の研究開発は，主に高速増殖炉原型炉「もんじゅ」用の燃料を対象とする。

1.1.3 使用済み燃料の燃焼度

燃料の燃焼度は，貴事業団の提示に基づいて，もんじゅ用の燃料の，

- (1) コア-最大 9.7×10^4 MWD/T
- (2) コア-平均 8.0×10^4 "
- (3) ブランケット-軸方向 4.2×10^3 MWD/T
- (4) ブランケット-半径方向 4.9×10^3 "

とする。

1.1.4 使用済み燃料の冷却期間

ボロキシダイザーで処理する使用済み燃料の冷却期間は，契約仕様書に基づいて，30日とする。



1.1.5 トリチウム除去率

本工程におけるトリチウムの除去率は、契約仕様書に基づいて99%以上を目標にする。

表 II-1-1 燃料集合体当りの核種平均取出し質量

単位: Kg

	Inner Core	Outer Core	Radial Blanket			Axial Blanket
			1-St layer	2-nd layer	3-rd layer	
U-235	2.4501E-2	2.8287E-2	1.1997E-1	1.2929E-1	1.3583E-1	3.6819E-2
U-236	4.5340E-3	3.0951E-3	6.7585E-3	4.7747E-3	3.2168E-3	2.2914E-3
U-237	1.3763E-4	9.4930E-5	2.0034E-4	1.9408E-4	1.9105E-4	6.2960E-5
U-238	21.344E-0	20.340E-0	71.520E-0	72.265E-0	72.740E-0	22.153E-0
U-239	5.5755E-5	3.4144E-5	5.9130E-5	3.8744E-5	2.4379E-5	2.0248E-5
Np-236	9.8790E-10	4.5975E-10	5.9035E-10	5.7110E-10	5.7470E-10	1.8935E-10
Np-237	6.7615E-3	5.3670E-3	1.2597E-2	1.3033E-2	1.3336E-2	3.8781E-3
Np-238	1.4660E-5	7.5510E-6	8.7155E-6	6.0835E-6	4.1023E-6	2.9916E-6
Np-239	8.0780E-3	4.9506E-3	8.5795E-3	5.0235E-3	3.5391E-3	2.9378E-3
Pu-236	1.4840E-7	9.6800E-8	1.4060E-7	1.4777E-7	1.5263E-7	4.3329E-8
Pu-238	1.6831E-3	8.7070E-4	1.0138E-3	7.0970E-4	4.7775E-4	3.4867E-4
Pu-239	3.2673E-0	4.3054E-0	1.6085E-0	1.0909E-0	6.9995E-1	5.4990E-1
Pu-240	1.6999E-0	2.2720E-0	6.0670E-2	2.9373E-2	1.2991E-2	2.3366E-2
Pu-241	4.8250E-1	7.8940E-1	1.9997E-3	7.7200E-4	2.6138E-4	6.2835E-4
Pu-242	2.8489E-1	3.9038E-1	3.2814E-5	8.5480E-6	1.8794E-6	1.1659E-5
Pu-243	1.4778E-5	1.2796E-5	1.1496E-9	2.1965E-10	3.4381E-11	4.6370E-10
Am-241	5.5245E-2	9.1790E-2	5.2865E-5	2.0348E-5	6.8505E-6	1.6556E-5
Am-242	2.4446E-5	2.5327E-5	1.2065E-8	3.3456E-9	7.7375E-10	4.4543E-9
Am-243	3.0611E-2	2.7609E-2	5.6770E-7	1.0770E-7	1.6665E-8	2.2969E-7
Am-244	2.4649E-7	1.3931E-7	2.3316E-12	3.1249E-13	3.2784E-14	1.1775E-12
Cm-242	8.8020E-3	9.2765E-3	1.8140E-6	6.0605E-7	1.1663E-7	6.7285E-7
Cm-244	3.2376E-3	1.8492E-3	1.0997E-8	1.4657E-9	1.5211E-10	5.5830E-9

表Ⅱ-1-2 もんじゅ用燃料集合体の燃料物質の収支

単位：燃料集合体1本

	装 荷				取 出			
	炉 心 燃 料			半 径 ブランクett	炉 心 燃 料			半 径 ブランクett
	炉 心 部	軸ブランクett部	計		炉 心 部	軸ブランクett部	計	
$UO_2 + PuO_2$ (Kg)	33.8	25.6	59.4	83.6	32.0	25.5	57.5	83.2
PuO_2 (Kg)	8.3	0	8.3	0	7.7	0.4	8.3	1.25
$Pu^{fissile}O_2$ (Kg)	6.0	0	6.0	0	5.0	0.61	5.6	1.22
UO_2 (Kg)	25.5	25.6	51.1	83.6	24.3	24.9	49.2	82.0
$PuO_2 / UO_2 + PuO_2$ (%)	24.7	0	14.0	0	24.0	2.5	14.4	1.5
$Pu^{fissile}O_2 + UO_2$ (%)	17.8	0	10.1	0	15.6	2.4	9.7	1.5
$Pu^{fissile}O_2 / PuO_2$ (%)	72.0	—	72.0	—	65.5	95.9	67.5	97.3





1.2 ボロキシデーション工程の概念

1.2.1 ボロキシデーション工程の構成

本工程は、切断された使用済み燃料（以下燃料切断片という）を、酸素ガス雰囲気中で加熱することにより、燃料の主成分である酸化ウラン (UO_2) を更に酸化させて代表的な形 (U_3O_8) にすると同時に、燃料中に混在する揮発性FPを揮発させて燃料から分離し、オフ・ガスとして運び出して後、揮発性FPを除去回収するものであり、また燃料が酸化する過程での相変化に伴う燃料の粉化により、燃料を被覆管から離脱させて、燃料と被覆管を分離させるものである。

本工程は、大別して下の4系統より構成される。

1) ボロキシダイザー系

ボロキシダイザー系は、燃料切断片をボロキシダイザーに供給し、ボロキシダイザーで酸素ガスを供給しながら燃料を加熱、酸化させた後、粉化した燃料と被覆管を分離して、本工程とは別の核燃料再処理本工程（溶解工程）へ搬出するとともに、ボロキシダイザーから出るオフ・ガス中に浮遊する粉体を捕集して溶解工程へ送り出すとともに、ヨウ素捕集系へオフ・ガスを送るものである。

2) オフ・ガス処理 — ヨウ素捕集系

ヨウ素捕集系は、ボロキシダイザー系から送り出されたオフ・ガスを冷却することにより、オフ・ガス中に含まれる揮発性FPのうち、主にヨウ素を結晶させて捕集した後、さらに捕集できずにオフ・ガス中に残ったヨウ素を、吸着器により捕集するものである。

ヨウ素捕集系には、ヨウ素を結晶させる装置（ヨウ素コールドトラップ）を継続して使用するために、ヨウ素を他の貯蔵器に移し変える再生装置が設けられる。

3) オフ・ガス処理 — トリチウム捕集系

トリチウム捕集系は、ヨウ素を除去回収した後のオフ・ガスからトリチウムをトリチウム水にして捕集するものであるが、オフ・ガス中のトリチウム濃度が薄いため、そのままではトリチウム水の生成および捕集が困難である。

このためオフ・ガスにトリチウムの同位体である水素を余分に供給して、酸化触媒によりオフ・ガス中の酸素と反応させ水 (H_2O) と同時にトリチウム水 (HTO) を生成させ、水およびトリチウム水を吸着材によりオフ・ガスから捕集するものであ



る。

トリチウム捕集系には、吸着材で捕集したトリチウム水を、吸着材から分離させて容器に貯蔵するため、吸着材の再生装置が設けられる。

4) 冷却系

冷却系は、燃料の崩壊熱による装置の温度上昇などを防ぐため、ポロキシダイザー系を冷却するものと、オフ・ガスおよび再生装置においてキャリアガスを冷却するものである。

本工程において、オフ・ガスは、トリチウム捕集系の後に設けられる排気ブロワにより、ポロキシダイザー系、ヨウ素捕集系、トリチウム捕集系の順に引かれ次工程へ送られるものである。

本工程では、ポロキシダイザーに酸素ガスを燃料の酸化に必要な量以上に供給して、余剰の酸素ガスを、揮発性FPのキャリアガス(オフ・ガス)として利用する。



1.2.2 主要機器の機能

本工程を構成する主要機器には、下の機能が要求され、主要機器を 図 II-1-1 の系統図に表わす通りに組合せて、本工程が構成される。

本工程を構成する機器に共通して要求される核的および放射能安全性については、1.6「ボロキシデーション工程の安全性」に記載する通りである。

本工程は、1.3「ボロキシデーション工程の最適化」に記載する理由により、運転方式を回分式とするので、本工程を構成する機器には、回分式の機能が要求される。

ボロキシダイザー系の各機器は、1.3「ボロキシデーション工程の最適化」および1.8「ボロキシダイザーのアイデア設計」に記載する理由により、常用各3台を設けるものとし、オフ・ガス処理系は常用各1台とする。

(1) 秤量分配装置

本装置は、燃料を秤量して一定量を各燃料供給装置に分配するものである。

燃料切断機から送られる燃料切断片を、本工程で処理するタイミングと処理量に合せて一時貯蔵し、燃料を処理する時点で、各燃料供給装置に燃料を搬送するのであり、計量管理のためにも、搬送する燃料を秤量するものである。

燃料供給装置への燃料の搬送は、重力による落下方式によるものとする。

ただし、別の方法として、燃料切断機で切断される燃料の切断量が切断回数などから定量化できる場合は、秤量機能が不要である。

また、ボロキシデーション工程での計量管理については、その必要性をさらに検討する必要がある。

計量管理が必要な場合には、燃料切断機の切断量の定量化について、その可能性を今後調査研究した上で、必要に応じて研究開発を行う今後の課題とする。

1) ボロキシダイザー系

(1) 燃料供給，ガスシール装置

燃料供給装置は、送り込まれた燃料切断片を、ボロキシダイザーへ供給するまでの間、一時溜めておくための容器部が必要である。

容器部は、燃料切断片を上部から落下方式により受け入れ、供給機構へ落

し込むもので、ホッパーの形状が適している。

供給機構は、一回分の処理量の燃料切断片を、ボロキシダイザへ短時間で連続して供給するものである。

燃料切断片をボロキシダイザへ供給した後、ボロキシダイザを運転するために、燃料の供給通路を閉じる必要があるので、供給機構の下部にガスシール機構が必要である。

また、燃料供給中に供給機構下部のガスシール機構を開いている間も、ボロキシダイザ内の雰囲気は燃料供給、ガスシール装置を通じて外部に漏らさないために、供給通路を閉じる必要があり、ホッパー入口部にガスシール機構を設けるのが適当である。

両者のガスシール機構は、ホッパーへ燃料切断片を投入している間は、ホッパー入口のガスシール機構のみ開け、ボロキシダイザへ燃料切断片を供給している間は、供給機構下部のガスシール機構のみ開け、その他の状態では両者を閉じて、供給通路を遮断するものである。

さらに具体的には、下の機能が必要である。

- (a) ホッパーは、燃料の崩壊熱により温度が上昇するので、冷却する必要がある。
- (b) ホッパーは、燃料切断片を供給後、落とし込みの残留がない構造にする。
- (c) 供給機構は、燃料切断片が途中で詰まらない構造にする。

燃料切断片の切断部は、鋭角のバリが形成される可能性が大きい。供給機構に機械的な動的部と固定部がある場合、両者のクリアランスに燃料切断片本体または切断部のバリが噛み込む危険性がない構造とする。

噛み込みが発生する可能性のある場合には、回転部の逆転などでこれを解消できる手段が必要である。

- (d) 供給機構は、ボロキシダイザの運転方式が連続式の場合は、勿論定量供給式でなければならないが、運転方式が回分式の場合でも、ボロキシダイザ内に燃料切断片を均一に分布させるために、短時間内ではあるが連続的に均一な定量供給を行う必要がある。

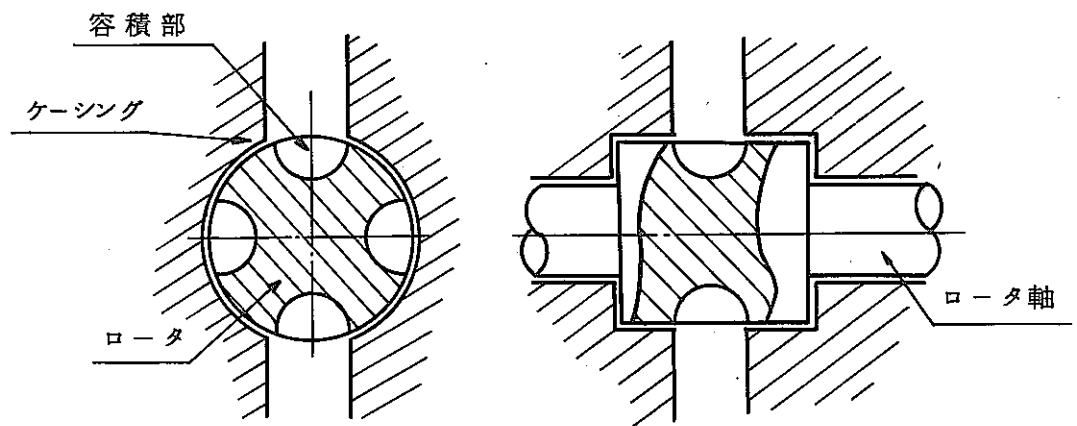
不均一な供給や急激な供給（過剰供給）は，ポロキシダイザー入口における閉塞などのトラブルを招く危険がある。

(e) ガスシール機構は，供給機構にポロキシダイザーからのオフガスの逆流を防止するガスシール機能を兼ねもたせることは困難であるため，独立の仕切弁形の機構とする。

ガスシール機能を供給機能と兼備させる機構として，ロータリバルブ方式があるが，この機構は，ロータとケーシングの間に隙間ができ，この隙間を埋めるために，燃料の崩壊熱および γ 線によって合成ゴムなどの弾性体を使用することができないので，高いガスシール性が得られない。

また，ロータリバルブ方式では，ロータの容積部が固定部であるケーシングを切り，容積部を閉じ込める時に本質的に燃料切断片を噛み込む構造であり，本工程には不適當である。

図 II-1-2 ロータリバルブ概略構造図



(f) 処理燃料は高レベルの放射性物質であるから，燃料供給，ガスシール装置内部の保守，部品交換は困難である。このため極力トラブルの確率の低い，摩耗破損しない構造とする必要があり，駆動装置は別置として，摩耗部は内部の機構を分解することなく簡単に取り換えられる構造とする。

(2) ボロキシナイザー

ボロキシナイザーは、燃料切断片を一定時間ボロキシナイザー内で加熱して、燃料を酸化させて粉化すると同時に、燃料中に混在する揮発性FPを気化して燃料から分離させるもので、また、粉化して離脱した燃料と被覆管を分離して、別々にボロキシナイザーの外に出すものである。

具体的には、下の機能が要求される。

(a) ボロキシナイザーは、燃料を加熱するために加熱装置が必要であり、また燃料の崩壊熱および酸化熱による温度の過昇を防ぐために、冷却装置を設ける必要がある。

また、加熱装置に対応して保温材を備える必要がある。

(b) ボロキシナイザー内の燃料を処理する部分の温度は、均一性が必要である。

(c) 燃料の酸化、粉化を助成するために、燃料に運動を与える。

(d) 粉化した燃料と被覆管を分離するために、篩い機構を設けて、被覆管を選別分離する。

(e) 燃料供給、ガスシール装置から、短時間に連続的に供給される燃料切断片を、ボロキシナイザー内に均一に分布させる。

燃料を加熱、酸化処理している間は、粉化した燃料および被覆管がボロキシナイザー内に留まり、出口から落下しない構造とする。

また、燃料を処理した後、粉化した燃料および被覆管を別々に、各々の出口からボロキシナイザー内に残留することなく落下させる。

これら、燃料切断片の供給時、酸化処理時および粉化した燃料と被覆管をボロキシナイザーから出す時には、ボロキシナイザーを適当に傾斜させるとともに、燃料および被覆管に運動を与える。

(f) ボロキシナイザー内の処理燃料に均一に酸素を含んだガスが接触し、内部の一部にオフ・ガスが滞留しないよう、酸素ガス入口およびオフ・ガス出口を設ける。

酸素ガスの供給量を管理し易くするために、酸素ガスバッファタンクを設け、バッファタンクの圧力を調節して、酸素ガス供給源の圧力を安定させる。

(g) ボロキシナイザーは、高レベルの放射性物質を処理する装置であり、特に

装置内で揮発性FPを気化するから、危険な装置であるため、

ボロキシダイザー内部の保守、部品交換の必要のない型式、構造、部品強度を検討する必要がある。

摩耗部は、ボロキシダイザー内部を分解することなく、外部から簡単に取換えられる構造とし、本質的に保守を避けることができない駆動装置は、別置きとするか、または簡単に遠隔保守、取換えができる構造とする。

(h) 同様の理由により、ボロキシダイザーから装置外へのガスの漏洩がない構造とする。

(3) 粉末燃料排出処理装置および燃料被覆管排出処理装置

粉末燃料排出処理装置および燃料被覆管排出処理装置は、ボロキシダイザーから落とし出された粉末燃料および被覆管を受け取り、溶解工程へ渡すための装置である。

両装置とも、ボロキシダイザー運転中に通路を遮断するためのガスシール機構が必要であり、受け取った粉末燃料および被覆管を一時溜めておくための容器部および溶解工程へ落とし出すための供給機構が必要である。

両装置とも、上部からガスシール機構、容器部および供給機構の順に配置し、粉末燃料および被覆管を重力による落下方式で搬送する。

両装置とも、各機構に要求される具体的な機能は、燃料供給、ガスシール装置に同じである。

(4) 粉末燃料秤量装置および燃料被覆管秤量装置

粉末燃料秤量装置および燃料被覆管秤量装置は、粉末燃料および被覆管を溶解槽へ入れる前に、ボロキシレーション工程と溶解工程の間としての計量管理のために、粉末燃料および被覆管を秤量するものである。

本装置は、今後中間における秤量の必要性、および必要な場合の溶解工程との取り扱いについて検討し、必要に応じて研究開発を行う今後の課題とする。

(5) 粉体飛散物捕集装置

粉体飛散物捕集装置は、オフ・ガス処理系に粉体が混入し、オフ・ガス処理機能に障害が生じることを防ぐため、また燃料を廃棄せずに回収するために、ボロキンダイザーから出たオフ・ガス中に浮遊する粉塵を捕集するものである。

具体的には、下の機能が要求される。

- (a) 捕集した粉末燃料を容易に溶解工程へ搬送できる構造とする。
- (b) 捕集効率を上げるため、濾過材を用い、目詰りが発生するものとして、濾過材の再生または新規取り換えができる構造とする。
- (c) オフ・ガス中に含まれるヨウ素などの揮発性FPを捕集装置内に付着させないために、装置を加熱して、揮発性FPの沸点以上の温度に保つ必要がある。
- (d) 濾過材は耐熱性のあるものを採用する必要がある、耐熱性があり、粒径が小さい粉体まで捕集できる材料として、焼結金属を採用する。
- (e) (c)と同じ理由により、ボロキンダイザー出口から粉体飛散物捕集装置までのオフ・ガス管、粉体飛散物捕集装置からヨウ素捕集系へのオフ・ガス管を加熱、保温する。
- (f) ボロキンダイザー出口から粉体飛散物捕集装置までのオフ・ガス管の途中に粉体が溜らないよう、オフ・ガス管を垂直に配置する。

2) オフ・ガス処理 - ヨウ素捕集系

(1) ヨウ素コールドトラップ

ヨウ素コールドトラップは、ボロキンダイザーを出てから浮遊する燃料の粉塵を除いたオフ・ガスを、ヨウ素の沸点以下の温度まで冷却して、ヨウ素を冷却面に結晶させてオフ・ガスからヨウ素を除去回収するものである。

ヨウ素コールドトラップは、コールドトラップ内に結晶したヨウ素の量が飽和すれば再生するものとして、1台を常用、1台を再生のための予備とし、計2台を設ける。

再生は、加熱したキャリアガスにより、結晶したヨウ素を気化して行うものとする。

具体的には、以下の機能が要求される。

- (a) 再生サイクルの間隔を十分長くとれるよう、十分な冷却面積をもつ必要がある。
- (b) 燃料を本工程に供給する時、燃料に連れ込まれた湿気が冷却面で水にならないよう、オフ・ガスを過度に冷却しない。
- (c) コールドトラップの材料は、ヨウ素に対する耐腐食性のあるものを採用し、強度を上げて、冷却媒体のオフ・ガス側への漏洩をなくする。
- (d) コールドトラップには、再生用のキャリアガス入口および出口を設け、2台のコールドトラップを切り換えて再生する。
- (e) コールドトラップを再生中に、再生用のキャリアガスによりコールドトラップ内で冷却媒体が加熱されるので、冷却媒体の逃し機構が必要である。

(2) ヨウ素コールドトラップ再生装置

ヨウ素コールドトラップ再生装置は、コールドトラップに加熱したキャリアガスを送り、コールドトラップ内に捕集したヨウ素の結晶を気化して、トラップから連れ出し、コールドトラップを再生するものである。

キャリアガスとして、窒素ガスを用いる。

コールドトラップから出た窒素ガスは、ヨウ素貯蔵器内で冷却され、窒素ガス中に含まれるヨウ素を再び結晶させてから、窒素ガス循環ブロワにより加圧されて、窒素ガス加熱器に送られる。

窒素ガス加熱器で加熱された窒素ガスは、再びコールドトラップに送られて、キャリアガスとして循環する。

窒素ガス循環ブロワ入口側に、窒素ガスバッファタンクを設ける。

具体的には、

- (a) ヨウ素貯蔵器の原理は、ヨウ素コールドトラップと同じであるが、コールドトラップはオフ・ガス中のヨウ素の捕集が目的であり、捕集効率が低下しないうちに再生する必要がある、一方ヨウ素貯蔵器は、捕集効率（冷却効率）が低下しても、ヨウ素の結晶の合計量を多くすることが目的である。

ヨウ素貯蔵器は、貯蔵器の内容積に無駄なくヨウ素が結晶する構造とする。

- (b) ヨウ素貯蔵器は、窒素ガスを冷却するための冷却媒体の出入口、および窒素ガスの出入口が必要であり、容器を廃棄するために、これらの配管系との繋ぎが容易に取り外せる構造とする。
- (c) ヨウ素貯蔵器の材質および強度については、ヨウ素コールドトラップと同じである。
- (d) 窒素ガスバッファタンクは、再生装置系内の窒素ガス量（圧力）を管理するための容量が必要であり、窒素ガスポンプから、窒素ガスが補給される。
- (e) 窒素ガス循環ブロワの駆動装置は別置きとして、摩耗部は内部を分解することなく簡単に取り換えられる構造とする。
- (f) 窒素ガス加熱器は、加熱媒体を用いた二次加熱方式によらず、電熱式が適している。
- (g) ヨウ素コールドトラップ再生装置は、常用のコールドトラップが飽和しないうちに、予備のコールドトラップを再生するための容量が必要である。

(3) 残留粉塵除去装置

残留粉塵除去装置は、ヨウ素コールドトラップを出たオフ・ガス中に含まれる、粉体飛散物捕集装置で捕集できなかった微小な燃料の粉塵を、除去するものである。

具体的には、ヨウ素コールドトラップを出たオフ・ガスは温度が下がっているので、粉体飛散物捕集装置の濾過材に要求される耐熱性は問題にする必要がなく、濾過材を選択できる。

残留粉塵除去装置は、濾過材にヘパフィルターを用いて、粉体飛散物捕集装置の濾過材を素通りした、微小な燃料の粉塵を除去する。

また、残留粉塵除去装置では、ヨウ素コールドトラップ内で冷却されて結晶したオフ・ガス中のヨウ素のうち、コールドトラップの冷却面に付着せず、オフ・ガス中に浮遊している結晶および液体状のヨウ素化合物の一部も捕集さ



れる。

残留粉塵除去装置は、ヘパフィルターを再生せず廃棄するために、フィルター材を容易に交換できる構造とする。

(4) ヨウ素乾式除去装置

ヨウ素乾式除去装置は、残留粉塵除去装置を出たオフ・ガス中の微量のヨウ素を除去するものである。

残留粉塵除去装置を出たオフ・ガス中には、結晶したヨウ素が残っている可能性は少ないが、ペーパ状のヨウ素化合物が含まれている可能性があり、ヨウ素乾式除去装置では、このペーパ状のヨウ素化合物を捕集するものである。

具体的には、

- (a) 捕集の方法として、吸着材によりヨウ素化合物を吸着させるものとし、吸着材にはモレキュラーシーブ 13X を用い、オフ・ガス中のヨウ素の除去をさらに完全にするため、モレキュラーシーブよりも吸着性の良い銀ゼオライトを併用する。
- (b) オフ・ガスは、モレキュラーシーブの層を通過して銀ゼオライトの層に入る構造とし、モレキュラーシーブより銀ゼオライトの消耗度を低めて、高価な銀ゼオライトを節約し、経済性を計る。
- (c) モレキュラーシーブおよび銀ゼオライトは、再生せずに廃棄するため、それぞれ別に取り換えるものとし、別々の排出口から取り出し、別々の入口から新規に補給できる構造とする。
- (d) 吸着材は、取り換えが便利な顆粒状とする。

3) オフ・ガス処理 — トリチウム捕集系

(1) トリチウム水生成装置

トリチウム水生成装置は、ヨウ素乾式除去装置を出たオフ・ガス中のトリチウムをトリチウム水にするものであるが、オフ・ガス中のトリチウム濃度が薄いため、そのままではトリチウム水の生成が困難である。

このためオフ・ガスにトリチウムの同位体である水素を余分に供給して、酸化触媒によりオフ・ガス中の酸素と反応させ水(H₂O)と同時に、トリチウム水(HTO)を生成させるものである。



トリチウム水生成装置では、オフ・ガスの大部分がボロキシダイザーで供給された酸素ガスであるから、トリチウム水HTOとともに水 H_2O が生成される。

また、僅かの割合で T_2O も生成される可能性がある。

オフ・ガス中のトリチウム T_2 を残りなくHTOに生成させるためには、水素ガスをオフ・ガスに均等に混合させるとともに、水素ガス量を余分に供給して、 T_2 の H_2 との接触の確率を高める必要があり、結果として、トリチウム水生成装置では、HTOに比べ H_2O が多量に生成されることになる。

具体的には、

- (a) 触媒を用いて、化学反応を促進させるとともに、水素ガスをオフ・ガスに均等に混合できる構造とする。
- (b) 化学反応を促進させるために、加熱装置を設け保温する。

加熱装置は、電熱式が適している。

- (c) 水素ガスの供給量は、オフ・ガス量に比べ微量とし、爆発に対する安全性を高める必要がある。

水素ガスの供給量を管理し易くするために、水素ガスバッファタンクを設け、バッファタンクの圧力を調節する。

(2) オフ・ガス冷却器

オフ・ガス冷却器は、トリチウム水捕集装置でオフ・ガス中のトリチウム水生成装置を出たオフ・ガスを冷却するものである。

具体的には、

- (a) オフ・ガスを冷却することによって生じる H_2O およびHTOの液体を、冷却器の低温側に集めて、トリチウム水貯蔵装置へ導ける構造とする。
- (b) 冷却媒体がオフ・ガス側に漏洩しない構造とし、材料の強度を上げる。

(3) トリチウム水捕集装置

トリチウム水捕集装置は、オフ・ガス冷却器を出たオフ・ガス中のトリチウム水 T_2O 、HTOおよび H_2O を捕集するものである。

トリチウム水捕集装置は、捕集装置内にトリチウム水および水が飽和すれば再生するものとして、1台を常用、1台を再生のための予備とし、計2台を設ける。

具体的には、

- (a) 捕集の方法として、吸着材により T_2O 、HTOおよび H_2O を吸着させるものとし、吸着材にはモレキュラーシーブを用いる。
- (b) 再生サイクルの間隔を十分長くとれるよう、吸着材の量を多くし、吸着材が破過しないうちに再生する。
- (c) 吸着材を繰り返して再生した結果、劣化した吸着材を取り換えるために、排出口および補給口を設け、取り換え易い構造とする。
- (d) 吸着材は、取り換えが便利な顆粒状とする。
- (e) トリチウム水捕集装置には、再生用のキャリアガスの入口および出口を設け、2台の捕集装置を切り換えて再生する。

(4) トリチウム水捕集再生装置

トリチウム水捕集再生装置は、トリチウム水捕集装置に加熱したキャリアガスを送り、吸着材に吸着されているトリチウム水および水を気化して、捕集装置から連れ出し、吸着材を再生するものである。

キャリアガスとして、窒素ガスを用いる。

トリチウム水捕集装置から出た窒素ガスは、窒素ガスフィルターを通って、窒素ガス冷却器に導かれ、冷却されてオフ・ガス中のトリチウム水および水が凝縮される。

トリチウム水および水を冷却器内に残したオフ・ガスは、窒素ガス循環ブロワに加圧されて、窒素ガス加熱器に送られ、続いて、再びトリチウム水捕集装置に送られ、キャリアガスとして循環する。

窒素ガス循環ブロワ入口側に、窒素ガスバッファタンクを設ける。

窒素ガス冷却器で凝縮したトリチウム水および水は、トリチウム水貯蔵装置に導かれる。



具体的には、

- (a) 窒素ガスフィルターは、トリチウム水捕集装置から窒素ガスにより吸着材の微粉が連れ込まれる可能性があるため、この微粉を除去するものである。
- (b) 窒素ガス冷却器は、凝縮されたトリチウム水および水を低温側に集めて、トリチウム水貯蔵装置へ導ける構造とする。
- (c) 窒素ガス冷却器は、冷却媒体がオフ・ガス側に漏洩しない構造とし、材料の強度を上げる。
- (d) トリチウム水貯蔵装置の材料は、トリチウムの透過し難いものを選択する。
- (e) 窒素ガスバッファタンク、窒素ガス循環ファンおよび窒素ガス加熱器については、前述のヨウ素コールドトラップと同じである。

4) 冷却系

(1) ポロキンダイザー系の冷却

ポロキンダイザー系の全装置に対して、燃料の崩壊熱による装置の温度上昇を防ぐために、装置の外表面から冷却を行う。

特にポロキンダイザーの冷却は、運転中の温度を調節する目的も兼ねるものとし、粉末燃料排出処理装置および燃料被覆管排出処理装置の冷却は、ポロキンダイザーから出た高温の粉末燃料およびハルを冷却する目的も兼ねるものとする。

冷却方法は、一次の冷却媒体を窒素ガスとし、二次の冷却媒体を水とし、中間に窒素ガス冷却器を設ける。

一次の冷却媒体である窒素ガスは、窒素ガス冷却器からバッファタンク、窒素ガス循環ブロワおよび各装置の冷却管の順に導かれて、窒素ガス冷却器に戻される。

二次冷却水は、空冷式の二次水冷却器から二次冷却水ドレンタンクに落とされ、二次冷却水ポンプにより二次冷却水ヘッドタンクを通して窒素ガス冷却器に導かれ、二次水冷却器に戻される。



(2) オフ・ガス系の冷却

オフ・ガス系の冷却は、それぞれオフ・ガス処理のために、オフ・ガスおよび再生装置においてキャリアガスを冷却するものである。

冷却方法は、一次の冷却媒体および二次の冷却媒体ともに水とし、中間に一次水冷却器を設ける。

一次冷却水は、一次水冷却器から一次冷却水ドレンタンク、一次冷却水ポンプ、一次冷却水ヘッドタンクの順に導かれて、各装置の冷却管に入れられ、一次水冷却器に戻される。

二次冷却水は、二次水冷却器から二次冷却水ドレンタンク、二次冷却水ポンプ、二次冷却水ヘッドタンクおよび一次水冷却器の順に導かれて、二次水冷却器に入れられる。



1.3 ポロキシデーション工程の最適化

1.3.1 ポロキシデーション工程の運転方式

本工程の運転方式を、連続式および回分式に分けてその特徴を比較する。

連続式を採用した場合、回分式に比べて下の利点がある。

- (1) 定常運転状態になってからは、長時間一定の状態でも運転でき、制御および操作ステップが簡単である。
- (2) オフ・ガス流量を一定にでき、オフ・ガス中に含まれる揮発性FPの量が一定になるので、一定のFPの除去回収率が得られ、除去回収の効率を高め易い。
- (3) 回分式のように、前処理としてのポロキシダイザーへの燃料の供給および後処理としての燃料の排出過程が独立していないので、燃料の酸化処理を中断することなく、処理時間を長くとれる分だけ、ポロキシダイザー他の装置の寸法に対する処理容量を大きく見込める。

回分式を採用した場合、連続式に比べて下の利点がある。

- (1) 連続的に一定量の燃料を供給する必要がなく、前処理としてまとめて燃料を供給するため、燃料供給装置およびガスシール装置が簡単になり、ガスシール装置を密閉型にできるので、燃料供給側からの酸化処理過程での空気の漏洩をなくせる。
- (2) 1回分の運転毎に区切って、燃料の供給料および排出量が計量でき、明確な計量管理ができる。
- (3) 連続式のように、ポロキシダイザー内で、燃料を酸化させながら入口側から出口側へ均一に移動させるための機能が不要である。
- (4) 連続式では、燃料の供給量と排出量の均衡が保てず、ポロキシダイザー内の燃料の量が増加して、燃料が内部を閉塞する可能性があるが、回分式では、排出時間を長くするなどして排出を完全にすることができるので、供給量と排出量の不均衡から生じる事故を避けることができる。

以上の両方式の特徴から、下に本研究開発で採用する運転方式を選定する。

連続式を採用する場合

ガスシール装置で空気を遮断しながら、常時一定量の燃料の切断片を供給する燃料供給装置は、比較的開発し易いとしても、ボロキシダイザーの開発で、炉内で燃料を均等にしかも緩慢な速さで、入口側から出口側に移動させ得る機能を完全にすることは容易ではない。被覆管から離脱した燃料片で未だ酸化不完全な固形物が、粉体よりも先に出口に到達するなどの問題が発生する可能性もある。

などの不確定要素があり、

回分式を採用する場合

制御、操作ステップが多くなる。

揮発性FPの除去回収の効率が低くなりやすい。

注. 揮発性FPの最大放出時を賄うために、ヨウ素、トリチウムなどの、FPの除去回収装置の容量を大きくする。また回収したトリチウム水の H_2O 中の濃度が薄くなるなどの効率低下であり、大気に放出される揮発性FPの量が多くなる(除去回収される揮発性FPの量が少なくなる)という意味ではない。

回分運転の合間の前、後処理時間分だけ、容量に対する装置の寸法が大きくなる。などの欠点はあるが、これらはボロキシレーション工程の機能に関しては、致命的な障害にはならないので、連続的に比べ不確定要素が少なく、開発し易い。

また、本工程に前後する燃料切断工程および溶解工程の運転方式は、回分式の可能性が強く、あるいは連続式になっても、処理容量および運転時間の関係から各工程を繋げば、問題はないので、敢えて連続式にしなくてもよい。

本研究開発では、以上の理由により不確定要素の少ない回分式を、先ず開発の対象とし、回分式ボロキシレーション工程を開発した時点で、連続式の開発に着手するのが得策であると思われるので、本工程の運転方式は回分式とする。



1.3.2 主要機器の運転方式

本工程の運転方式は、1.3.1「ボロキシデーション工程の運転方式」に記載した通り回分式とするので、粉体飛散物捕集装置を除くボロキシダイザー系の機器の運転方式は、回分式である。

オフ・ガス処理系に関しては、ボロキシダイザー系の機器が回分式であっても、下に記載する理由により、ボロキシダイザーから連続的にオフ・ガスを取り出すため、粉体飛散物捕集装置およびオフ・ガス処理系の機器の運転方式は、連続式とする。

オフ・ガス処理の回分式運転方法として、燃料が酸化するために必要な酸素を、余剰なくボロキシダイザーに補給して、1回分または数回分の酸化処理が終了するまで、燃料から分離した揮発性FPをボロキシダイザー内に溜めておいて後、ボロキシダイザー内をキャリアガスでパージして、揮発性FPを取り出し、オフ・ガスを処理する場合、

- (1) 燃料から一度分離した揮発性FPが、再び燃料に付着する可能性がある。
- (2) オフ・ガス処理系の機器に待機時間ができるため、工程全般の運転時間を長くするか、またはオフ・ガス処理系の機器の容量を大きくする必要がある。
- (3) ボロキシダイザーを加熱中に封じ込めると、内圧の高まる事故が発生する可能性がある。

などの欠点があり、利点があげられない。

従って、ボロキシダイザー運転中にオフ・ガスを連続的に取り出し、連続的に処理するのが得策である。

1.3.3 オフ・ガス処理システムの最適化

本工程を溶解工程の前段階に位置させる最も大きな目的のひとつは、溶解工程では分離することが困難な揮発性FPを、本工程で可能な限り、使用済み燃料から分離、捕集することである。

このため本工程では、ボロキシナイダーからのこれらFPの放出率と、抽出されたFPを含むオフ・ガスを処理するオフ・ガス処理系の機能が重要なポイントである。

本項では、この2点についての検討結果を記載する。

1) 対象 FP

本工程におけるFPの核種は表II-1-3に示す通りであり、この中で本工程では分離、処理する対象として揮発性FPのT, Kr Xe I Ru Te Cs が考えられる。この他不揮発性のFPも、微小粉塵としてオフ・ガス中に含まれ、運び込まれるので、これも捕集、再回収する必要がある。



表 II - 1 - 3 ポロキシデーション工程における核種の特性

核種	特 性
^3H , ^{85}Kr , ^{133}Xe ^{131}I , ^{129}I	環境に放出されやすい 揮発性核種
^{103}Ru , $^{106}_{44}\text{Ru}$, $^{127\text{m}}\text{Te}$, ^{129}Te , ^{137}Cs	準揮発性で環境に出やすい Ru は酸化物の状態で環境に出やすい
^{89}Sr , ^{91}Y , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{104}Ba , ^{104}La , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{144}Pr ,	熱, 放射線源としてきびしい
^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am ^{244}Cm	長期間渡って, 放射能壊変, 廃棄物中 の放射線源となる
^{236}Pu , ^{238}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{237}U , ^{232}U	リサイクル燃料中の放射線源となる
^{238}Pu , ^{242}Cm , ^{244}Cm	中性子源として問題となる



2) 最適 F P 除去装置の選定とその除染率

除去対象である F P は、核種毎にその物性が異なるため、同一形式の除去装置で全核種を処理することは困難である。

従来 of F P 処理装置には、表 II - 1 - 4 に示す形式と対象核種の実例がある。

表 II - 1 - 4 F P 処理装置 実績例

処理形式	対 象 F . P	
(イ) 冷却固化 (ロ) 吸着	ガス 又は 揮発性 F P	I (冷却温度) 183℃以下 Kr (") -153 "
		トリチウム水 (吸着材) モレキュラーシープ I (吸着材) 銀ゼオライト I (") モレキュラーシープ
(ハ) イオン交換		I (混床式)
(ニ) 化学凝集	不揮発性 F P (粉塵)	凝集剤 Ce-Pr, P, Zr-Nb, Pu $Al_2(SO_4)_3 + Ca(OH)_2$ Cs 粘度 Ru-Rh $FeCl_3 + Na_2S$ Sr $Na_3PO_4 + Ca(OH)_2$
(ホ) 吸着		微粒子 活性炭
(ヘ) 物理集塵		" (1.9.4 項参照)

本工程におけるオフ・ガス処理装置としては、下に記載する一般的仕様条件が要求される。

- (a) F P 除去率が高い。
- (b) 吸着材等の再生・廃棄が容易である。
- (c) システムが単純である。



以上の観点に基づき、揮発性FP（特にヨウ素およびトリチウム）を除去の主眼として、オフ・ガス処理装置の最適形式を選定する。

(1) ヨウ素

表II-1-4に示す通りヨウ素の除去には、冷却固化と吸着があるが、前者は冷却器によりオフ・ガス温度をヨウ素の沸点以下に冷却し、ヨウ素を凝縮固化させ冷却器内壁に付着させて除去する方法であり、ヨウ素濃度（放射エネルギー）が高い場合に有効であるが、一部凝固したヨウ素が内壁に付着せず微粒子の形で冷却器から流出する可能性がある。

後者は化学吸着であり、現在モレキュラーシーブ（MS）と銀ゼオライトの混床型が最適吸着材の組合わせとして選定される。（1.2.2項2）参照）

吸着形式は、低濃度で高い除染効率が得られるのが特徴である。

従って、本工程としては流入ヨウ素濃度（放射エネルギー）が高いことを考慮して、1段目に冷却固化装置（ヨウ素コールドトラップ）を設置して荒取りを行い、2段目に吸着塔（ヨウ素乾式除去装置）により精密除去を行う組合わせが最適である。1段目と2段目の間には、コールドトラップからの漏洩ヨウ素微粒子を取り除き、吸着材の閉塞等機能低下を防止するため、高性能フィルターを装備する。

(2) トリチウム

トリチウムは、FP中では半減期が長く、環境に出やすく内部被爆上重大な核種であるにもかかわらず、単体としては除去しにくい性質がある。

そこで、オフ・ガス中では気相のトリチウムを液相のトリチウム水（HTO又は T_2O ）に変化させて後、吸着除去するという、2段階の操作が必要である。

トリチウム水の生成除去方法としては、オフ・ガス中に水素ガスを注入し高温雰囲気中で銅（CuO）触媒を用いてT,H,Oからトリチウム水を生成し、オフ・ガス冷却後モレキュラーシーブ塔（トリチウム水捕集装置）により吸着除去する方法が適している。

生成装置では、水素ガス注入によりトリチウム水と共に H_2O が同時に生成されるが、ともに微量なので（これはオフ・ガス組成が O_2 のため防爆限界以上には H_2 を供給できないため）冷却装置およびモレキュラーシーブ塔で



回収する量は少量である。

なお、ヨウ素コールドトラップおよびトリチウム水捕集装置の再生装置については、1.2.2項2)および3)に記載した通りであり、関連機器は多いが、遠隔自動操作が可能であり、特に問題はない。また、ヨウ素乾式除去装置の吸着材の再生が困難なため、破過後廃棄することにして、遠隔自動で操作できる。

(3) クリプトン

クリプトンもトリチウムと同様に半減期の長い有害なFPであるが、除去が困難な核種であり、融点 -157°C 、沸点 -153°C であるから原理的には冷却固化の除去方法が適している。

しかし、この冷却固化装置の研究開発に関しては、現在貴事業団で実施されており、研究の進展に伴ない、同技術が十分本工程にも追加、適用できるものと判断される。

従って、クリプトン除去装置は、貴事業団の研究の成果を後日オフ・ガス処理系に組込むものとする。

(4) 除染効率

オフ・ガス処理系の主要機器の除染(捕集)率を、表II-1-5に示す。

これらは既存データ、基礎実験などから予想される達成可能な値であり、目標設定値であり、今後更に研究する必要がある。

なお、ボロキシナイダーからオフ・ガスとして流出する核種別のFP量および本オフ・ガス処理系の前処理として装備される粉体飛散物捕集装置の集塵率については、1.9.4「粉体飛散物捕集装置」に記載する。

表II-1-5 オフ・ガス処理系の除染（捕集）率

除去装置	対象核種	除染（捕集）率
ヨウ素コールドトラップ	^{129}I ^{131}I	93 %
ヘパフィルター	微小ダスト 凝固ヨウ素	> 99.9 %
ヨウ素乾式除去装置 (モレキュラーシープ+ 銀ゼオライト塔)	^{129}I ^{131}I	99 %
トリチウム水捕集装置 (モレキュラーシープ塔)	HTO T_2O	99.9 %

3) オフ・ガス処理の順序

オフ・ガス処理系の機器の設置順序は、各機器の設置目的と他機器への影響を考慮して決める必要があり、本工程では、系統図 図II-1-1 に示す通り、粉体飛散物捕集装置を出た後、**①**ヨウ素コールドトラップ→**②**ヘパフィルター→**③**ヨウ素乾式除去装置（モレキュラーシープ+銀ゼオライト塔）→**④**トリチウム水生成装置（加熱触媒槽）→**⑤**オフ・ガス冷却器→**⑥**トリチウム水捕集装置（モレキュラーシープ塔）の順として、下にその理由を記載する。

- (1) ヨウ素は沸点が高いため、オフ・ガスを一度冷却すると、機器および配管中で凝固する可能性が大きいので、優先的に除去する必要がある。
- (2) **④**、**⑤**以外の機器の使用温度は、常温である。
- (3) **⑥**はトリチウム水および水のみを吸着対象とするので、上流に装備すると、微粒子FP、ヨウ素によって閉塞し、早期に飽和するので所定の吸着能力が得られない。
- (4) **④**以降のオフ・ガスは含水ガスとなり、極部的には湿式となる。



このため③が①の下流にある場合は、③は水も吸着するのでヨウ素の吸着能力が低下する。

(5) (3)と(4)および再生回収の観点からも1個のモレキュラーシープ塔で、ヨウ素とトリチウム水の吸着を同時に行うことはできない。

これは、例えば、

① → ② → ③ → ④ → ⑤

① → ② → ③ → ④

① → ② → ③ → モレキュラーシープ塔 → 銀ゼオライト塔

として、⑤冷却器を廃止して工程の簡易化を図っても、モレキュラーシープ塔の容量の増大または高頻度の吸着材の再生/廃棄が必要となり、得策ではない。

1.3.4 主要機器の装備台数

ボロキンダイザーは、1.8「ボロキンダイザーのアイデア設計」に記載する理由により、常用3台とする。

その他のボロキンダイザー系の各機器は、ボロキンダイザーの運転に付随して必要となる付属装置的な性格のものであるから、兼用方式は採用せず、ボロキンダイザーに対応して常用各3台とし、ボロキンダイザー系を常用3組の系統とする。

ボロキンダイザー系の3組の系統のうち、いずれかの1系統で故障が発生した場合も、工程の処理容量を下げずに運転できるように、予備1組を設けて、計4系統とし、機器の装備台数は、各4台とする。

オフ・ガス処理系は、ボロキンダイザー系に対応させて常用3組にする必要がないので、オフ・ガス処理系入口で4組のオフ・ガスを合流させ、常用1組の系統とする。

オフ・ガス処理系では、予備としての独立した系統を設けず、常用1組の系統内の機器に予備としての余裕をもたせる。

ヨウ素コールドトラップおよびトリチウム水捕集装置は、オフ・ガス処理各1台と再生処理各1台を切り換えて行い、再生処理後の機器を予備とし、計各2台を設ける。

両装置とも、オフ・ガス処理時間に比べて再生時間を短かくし、その時間差を予備としての余裕とする。

残留粉塵除去装置およびヨウ素乾式除去装置は、本工程の運転中にも、濾過材および吸着材を取り換えられるよう、常用各1台および予備各1台を設け、切り換えて使用する。

トリチウム水生成装置およびオフ・ガス冷却器は、オフ・ガス系の他の装置のように再生する必要がなく、また駆動される機構がないため、装置の強度を十分とり、予備は設けずに常用各1台とする。

ヨウ素コールドトラップ再生装置およびトリチウム水捕集再生装置は、回転機械である窒素ガス循環ブロワに予備を備え、各2台設けるものとするが、他の機器は、駆動される機構がないため、予備は設けずに常用各1台とする。

冷却系のうち、ボロキンダイザー系の冷却装置では、駆動される機構のある窒素ガス循環ブロワ、一次水冷却器および二次冷却水ポンプに予備を備え、各2台設けるも



のとするが、他の機器は、予備を設けずに常用各1台とする。

排気ブロワは、常用1台、予備1台を設ける。



1.4 ポロキシデーション工程の熱および物質収支

1.4.1 基本条件

本工程の熱および物質収支は，1.1「概念設計の前提条件」に記載した条件および1.8「ポロキシダイザ-のアイデア設計」に記載するポロキシダイザ-の仕様に基づいて，下に記載する基本条件により検討する。

- 1) 運転方式 回分式
- 2) 処理量 10 kg/回分
- 3) ポロキシダイザ-運転台数 3台並列

4) 運転状態	状 態	所 要 時 間	温 度
①	暖 機	0.7 h	常 温→200℃
②	昇 温	1.8 h	200→700℃
③	定 常 運 転	2.5 h	700℃

(1.7.1項および1.8.2項による)

5) 使用済燃料組成

表II-1-2「もんじゅ用燃料集合体の燃料物質の収支」より，炉心燃料の燃焼によって発生したFPは，全量が使用済燃料内部に残存して取り出されると仮定して，表II-1-6に燃料組成重量比を設定する。

表II-1-6 燃 料 組 成

成 分	UO ₂	PuO ₂	FP
重量比%	82.83	13.97	3.20

FP量については，主要な核種に関して表II-1-7「内側炉心/集合体当り放射能」より，1回分の処理燃料10kgに含有される量を換算できるので，これを表II-1-12に示す。



表 II - 1 - 7

内側炉心 1 集合体当り放射能 (貴事業団の提示による)

単位 : Ci

核種	0日	14日	30日	60日
H ³	69.2	69.1	68.9	68.6
Zn ⁷²	15.6	0.10	3.4×10 ⁻⁴	7.4×10 ⁻⁹
Ga ⁷²	15.7	0.15	4.9×10 ⁻⁴	1.1×10 ⁻⁸
Ga ⁷³	20.7	—	—	—
Ge ^{73m}	20.7	—	—	—
Ge ⁷⁷	127	1.4×10 ⁻⁷	8.4×10 ⁻¹⁸	—
As ⁷⁶	6	8.6×10 ⁻⁴	3.4×10 ⁻⁸	2.0×10 ⁻¹⁶
As ⁷⁷	316	0.91	9.5×10 ⁻⁴	2.5×10 ⁻⁹
Se ^{77m}	0.95	2.7×10 ⁻³	2.9×10 ⁻⁶	7.5×10 ⁻¹²
Se ⁷⁹	0.023	0.023	0.023	0.023
Br ⁸²	2.3×10 ²	0.32	1.8×10 ⁻⁴	1.3×10 ⁻¹⁰
Kr ⁸¹	1.8×10 ⁻⁸	1.8×10 ⁻⁸	1.8×10 ⁻⁸	1.8×10 ⁻⁸
Kr ⁸⁵	486	485	484	481
Rb ⁸⁶	770	457	353	82.8
Rb ⁸⁷	9.8×10 ⁻⁷	9.8×10 ⁻⁷	9.8×10 ⁻⁷	9.8×10 ⁻⁷
Sr ⁸⁹	5.2×10 ⁴	4.3×10 ⁴	3.7×10 ⁴	2.3×10 ⁴
Sr ⁹⁰	3.1×10 ³	3.1×10 ³	3.1×10 ³	3.1×10 ³
Y ⁹⁰	4.1×10 ³	3.1×10 ³	3.1×10 ³	3.1×10 ³
Y ⁹¹	7.0×10 ⁴	6.0×10 ⁴	4.9×10 ⁴	3.5×10 ⁴
Zr ⁹³	0.16	0.16	0.16	0.16
Zr ⁹⁵	1.3×10 ⁵	1.1×10 ⁵	9.1×10 ⁴	6.7×10 ⁴
Nb ^{93m}	0.011	0.012	0.012	0.013
Nb ⁹⁴	4.0×10 ⁻⁵	4.0×10 ⁻⁵	4.0×10 ⁻⁵	4.0×10 ⁻⁵
Nb ⁹⁵	1.3×10 ⁵	1.3×10 ⁵	1.2×10 ⁵	1.0×10 ⁵
Nb ^{95m}	1.7×10 ³	1.5×10 ³	1.3×10 ³	9.1×10 ²
Mo ⁹⁹	1.8×10 ⁵	5.3×10 ³	9.4×10 ¹	4.9×10 ⁻²
Tc ⁹⁹	1.1	1.1	1.1	1.1
Tc ^{99m}	1.5×10 ⁵	5.0×10 ³	8.9×10 ¹	4.6×10 ⁻²
Ru ¹⁰³	2.0×10 ⁵	1.5×10 ⁵	1.1×10 ⁵	7.0×10 ⁴
Ru ¹⁰⁶	8.8×10 ⁴	8.6×10 ⁴	8.3×10 ⁴	7.8×10 ⁴
Rh ^{103m}	2.0×10 ⁵	1.5×10 ⁵	1.1×10 ⁵	7.0×10 ⁴
Rh ¹⁰⁵	1.5×10 ⁵	2.4×10 ²	1.3×10 ⁻¹	1.0×10 ⁻⁷
Rh ¹⁰⁶	8.8×10 ⁴	8.6×10 ⁴	8.3×10 ⁴	7.8×10 ⁴
Pd ¹⁰⁷	1.7×10 ⁻²	1.7×10 ⁻²	1.7×10 ⁻²	1.7×10 ⁻²
Ag ¹⁰⁸	1.9×10 ⁻³	7.4×10 ⁻⁷	7.4×10 ⁻⁷	7.4×10 ⁻⁷



核種	0日	14日	30日	60日
Ag 105m	9.6×10^{-6}	9.6×10^{-6}	9.6×10^{-6}	9.6×10^{-6}
Ag 107m	4.6×10^4	1.4×10^{-3}	1.4×10^{-5}	1.4×10^{-5}
Ag 110	2.6×10^3	2.5×10^3	2.4×10^3	2.2×10^3
Ag 111	1.1×10^4	3.0×10^3	6.8×10^2	4.2×10^1
Cd 109	1.5×10^{-5}	1.5×10^{-5}	1.4×10^{-5}	1.4×10^{-5}
Cd 113m	1.5×10^1	1.5×10^1	1.5×10^1	1.5×10^1
Cd 115	1.9×10^3	2.5×10^1	1.7×10^{-1}	1.5×10^{-5}
Cd 115m	3.0×10^2	2.4×10^2	1.9×10^2	1.2×10^2
In 114	8.7×10^{-1}	4.3×10^{-1}	3.4×10^{-1}	2.2×10^{-1}
In 114m	5.4×10^{-1}	4.4×10^{-1}	3.5×10^{-1}	2.3×10^{-1}
In 115m	1.9×10^3	2.8×10^1	1.9×10^{-1}	1.7×10^{-5}
Sn 117m	1.4	7.1×10^{-1}	3.2×10^{-1}	7.2×10^{-2}
Sn 119m	2.7×10^1	2.6×10^1	2.4×10^1	2.2×10^1
Sn 121m	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}
Sn 123	1.0×10^3	9.6×10^2	8.8×10^2	7.5×10^2
Sn 125	1.5×10^3	5.6×10^2	1.8×10^2	2.0×10^1
Sn 126	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}
Sb 122	1.0×10^2	2.9	5.0×10^{-2}	2.4×10^{-5}
Sb 124	9.5×10^1	8.1×10^1	6.7×10^1	4.7×10^1
Sb 125	1.9×10^3	1.9×10^3	1.9×10^3	1.9×10^3
Sb 126	3.1×10^2	1.4×10^2	5.9×10^1	1.1×10^1
Sb 126m	1.1×10^2	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}
Sb 127	1.4×10^4	1.1×10^3	6.3×10^1	2.6×10^{-1}
Tc 123m	3.0×10^{-1}	2.8×10^{-1}	2.5×10^{-1}	2.1×10^{-1}
Tc 125m	4.1×10^2	4.2×10^2	4.2×10^2	4.3×10^2
Tc 127	1.4×10^4	3.0×10^3	1.8×10^3	1.4×10^3
Tc 127m	2.0×10^3	1.9×10^3	1.7×10^3	1.4×10^3
Tc 129	3.7×10^4	4.8×10^3	3.5×10^3	1.8×10^3
Tc 129m	1.0×10^4	7.6×10^3	5.5×10^3	2.9×10^3
Tc 132	1.5×10^5	7.8×10^3	2.5×10^2	4.2×10^{-1}
I 129	3.6×10^{-3}	3.6×10^{-3}	3.7×10^{-3}	3.7×10^{-3}
I 131	1.1×10^5	3.6×10^4	9.0×10^3	6.8×10^2
I 132	1.5×10^5	8.0×10^3	2.6×10^2	4.4×10^{-1}
Xe 129m	7.0×10^{-4}	2.1×10^{-4}	5.2×10^{-5}	3.9×10^{-6}
Xe 131m	8.1×10^2	6.1×10^2	3.1×10^2	6.9×10^1
Xe 133	2.0×10^5	4.2×10^4	5.2×10^3	1.0×10^2
Xe 133m	3.0×10^4	6.2×10^2	4.3	3.8×10^{-4}
Cs 134	2.9×10^3	2.9×10^3	2.8×10^3	2.7×10^3



核種	0日	14日	30日	60日
Cs135	1.3×10^{-1}	1.3×10^{-1}	1.3×10^{-1}	1.3×10^{-1}
Cs136	1.1×10^4	5.5×10^3	2.3×10^3	4.7×10^2
Cs137	8.9×10^3	8.9×10^3	8.9×10^3	8.9×10^3
Ba136m	1.8×10^3	8.8×10^2	3.7×10^2	7.6×10^1
Ba137m	8.5×10^3	8.4×10^3	8.4×10^3	8.4×10^3
Ba140	1.6×10^5	7.5×10^4	3.1×10^4	6.2×10^3
La140	1.6×10^5	8.7×10^4	3.6×10^4	7.2×10^3
Ce141	1.6×10^5	1.2×10^5	8.7×10^4	4.5×10^4
Ce142	1.9×10^{-6}	1.9×10^{-6}	1.9×10^{-6}	1.9×10^{-6}
Ce143	1.3×10^5	1.2×10^2	3.8×10^{-2}	1.0×10^{-8}
Ce144	8.4×10^4	8.1×10^4	7.8×10^4	7.2×10^4
Pr142	2.1×10^3	1.1×10^{-2}	1.9×10^{-6}	1.9×10^{-6}
Pr143	1.3×10^5	7.5×10^4	3.3×10^4	7.2×10^3
Pr144	8.4×10^4	8.1×10^4	7.8×10^4	7.2×10^4
Pr144m	1.0×10^3	9.7×10^2	9.4×10^2	8.7×10^2
Nd147	6.6×10^4	2.7×10^4	1.0×10^4	1.5×10^3
Nd154	7.2×10^3	2.0×10^3	4.9×10^2	3.3×10^1
Pm147	2.3×10^4	2.3×10^4	2.3×10^4	2.2×10^4
Pm148	5.2×10^3	1.0×10^3	2.9×10^2	1.1×10^2
Pm148m	4.5×10^3	3.6×10^3	2.7×10^3	1.6×10^3
Pm149	4.4×10^4	5.7×10^2	3.8×10^0	3.1×10^{-4}
Pm154	8.2×10^3	2.0×10^3	4.9×10^2	3.3×10^1
Sm147	2.2×10^{-7}	2.0×10^{-7}	2.1×10^{-7}	2.2×10^{-7}
Sm151	3.4×10^2	3.4×10^2	3.4×10^2	3.4×10^2
Sm153	1.3×10^4	9.1×10^1	3.0×10^{-1}	7.0×10^{-6}
Eu152	1.4×10^0	1.4×10^0	1.4×10^0	1.4×10^0
Eu154	1.9×10^2	1.9×10^2	1.9×10^2	1.9×10^2
Eu155	1.5×10^3	1.5×10^3	1.5×10^3	1.5×10^3
Eu156	5.2×10^3	2.8×10^3	1.3×10^3	3.4×10^2
Gd153	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	9.5×10^{-2}	8.7×10^{-2}
Tb160	2.0×10^2	1.7×10^2	1.5×10^2	1.1×10^2
Tb161	3.4×10^2	8.4×10^1	1.7×10^1	8.4×10^{-1}
Py166	4.5×10^0	2.6×10^{-1}	9.9×10^{-3}	2.1×10^{-5}
Ho166	1.0×10^1	3.9×10^{-1}	1.4×10^{-2}	3.2×10^{-5}
Ho166m	4.6×10^{-5}	4.6×10^{-5}	4.6×10^{-5}	4.6×10^{-5}
⊕	1.57×10^7	1.48×10^6	1.08×10^6	7.62×10^5

1.4.2 ポロキシダイザーによるF P放出率

本ポロキシダイザーの定格運転時におけるF Pの放出率は現時点では明らかではなく、今後の最も重要な研究課題であるが、現状はORNL-4422, ORNL-TM-3723などの文献と核種毎の物性を判断基準として設定した放出率を、表II-1-11に示す。

一般にT(トリチウム), I(ヨウ素), Te(テルル)の如きガス状または揮発性F Pは、大部分がポロキシデーションによつて燃料中から放出されるが、Xe(ゼノン), Kr(クリプトン)はガス状ながら放出率は低い。不揮発性F Pは燃料粉末中にほとんどが残存するが、一部微小粉末が粉塵としてオフ・ガス中に浮遊した状態で含有される。

燃料の被覆管からの離脱率に関しては、幣社の振動式ポロキシダイザー実験装置を用いた劣化ウランの実験結果から、約99%と設定できる。すなわち、1%程度の燃料は酸化されてはいるが、被覆管内側に付着した状態で残存し、この残留分は被覆管内に付着したままで、次の溶解工程へ移送されて処理されることになる。

1.4.3 粉体飛散物捕集装置の捕集効果率

1.9.4「粉体飛散物捕集装置」に記載する通り、粉体飛散物捕集装置(セパレータ)の総合捕集効果率は、粉塵に関しては1.9.4.4)集塵率の(3)より99%と算出される。ガス状および揮発性F Pの捕集は機構的に捕集することを期待することはできないが現実には本装置内を通過するオフ・ガスの温度が250℃まで低下するので、一部揮発性F Pが固化し、捕集されることもありうる。

本装置による捕集効果率を、表II-1-11に示す。



表II - 1 - 11

ボロキシナイザーによる放出率および粉体飛散物捕集装置による捕集率

単位：%

カテゴリー	核種	沸点 °K	ボロキシナイゼーションによる オフ・ガスへのFP放出率	セパレータによる 捕集率
GASES	³ H		100(a)	0
	Kr	119	12(c)	} 0
	Xe	165	12(c)	
	I	456	80(c)	
VOLATILE NON METALS	Te	1261	70	0
VOLATILE METALS	Cs	951	10.3(b)	} (d) 99
	Sr	1648	} 10	
	Ba	2398		
NON VOLATILE METALS	U(U ₃ O ₈)		0.9(b)	99
	Pu(PuO ₂)		} 1.5(b)	} 99
	Am			
	Cm			
	Sb	1860	6.7(b)	} 99
	Ce	3699	0.8(b)	
	Pm	3000	} 7.0	
	Y	3611		
	Eu	1870		
	La	3730		
Ru	4392			
Zr	4682			
Nb	5017			

- 注 : (a) ORNL-TM-3723
 (b) ORNL-4422
 (c) ORNL-TM-3723, ORNL-TM-3180
 (d) 1.9.4 4) (3)



1.4.4 物質収支

本工程の物質収支は，1.4.2 に記載した基本設定値，FP 放出率，捕集効率などと 1.3.3 「オフ・ガス 処理システムの最適化」に記載したオフ・ガス処理系の各機器の除染率から求められる。

各運転状態毎の熱・物質収支を図 II-1-3～図 II-1-9 に，また，主要核種別に 1 回分（2.5 時間）当りの流量（放射能および重量）を，表 II-1-9 に示す。

これら，図および表に示した熱および物質収支は，各機器毎に設定した機能を積み重ねたものであり，設定値そのものが一定の条件下で成立するものであったり，数少ない実験データを算定根拠としているため，今後さらに研究する必要がある。

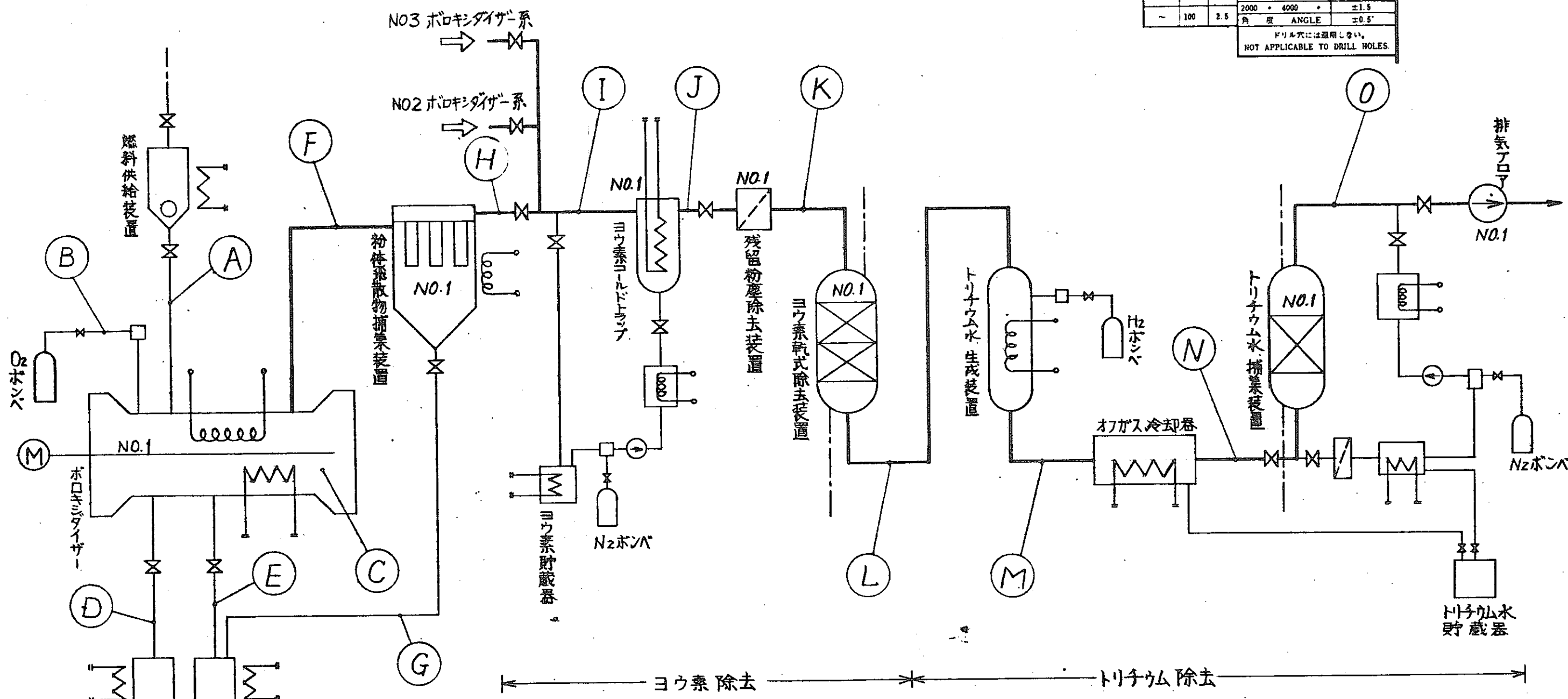
例えば，もんじゅ用の燃料中に含有されるプルトニウム量が増加すれば，ボロキシナイダーによる FP 放出率は大きく影響されることが予想されるので，ボロキシナイダーからのオフ・ガス，FP 流出量は，酸化・揮発の反応速度を加味して設定されるべきであるが，現状では明確でない特性が多く，これらは今後研究を続けて随時見直しを図ってゆく必要がある。

従って，本工程の設計は，今回設定した熱収支および物質収支を基礎にして実施し，各種，条件の変化にも十分対応できうる余裕を見込むものとする。

Ra		Rz		TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED	
ROUGNESS		MAXIMUM		MACHINE CUT	
▽	0.2	0.0	16	±0.1	±0.1
▽▽	0.4	0.0	16	±0.2	±0.2
▽▽▽	0.8	0.0	63	±0.3	±0.3
▽▽▽▽	1.6	0.0	125	±0.4	±0.4
▽▽▽▽▽	3.2	0.0	250	±0.5	±0.5
▽▽▽▽▽▽	6.3	0.0	500	±0.6	±0.6
▽▽▽▽▽▽▽	12.5	0.0	1000	±0.8	±0.8
▽▽▽▽▽▽▽▽	25	0.0	2000	±1.0	±1.0
▽▽▽▽▽▽▽▽▽	50	0.0	4000	±1.5	±1.5
▽▽▽▽▽▽▽▽▽▽	100	0.0	—	—	—
		角 度		ANGLE	
				±0.5°	

ドリル穴には適用しない。
NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES.

図 面 来 歴
昭和52年9月
IHI 原子力室にて調製
II-40



(注) 本図には予備機器は表示しない。

お 留 意
この図面は有用特許権(1項)の所有に係り社外秘録でありますから下記の事項を遵守するようお願いいたします。
(1) 許可なくトレース等の複写を行わないこと。
(2) 許可なく第三者に見せないこと。
(3) 許可なく指定された用途以外に使用しないこと。
(4) 上記に關し許可を得る場合は書面によること。

CAUTION
This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential.
In this connection, please kindly observe the followings.
It shall not be traced, otherwise copied, nor used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORKING NO REQUIRED (PER	SPARE TOTAL	PER ONE		REMARKS	
						WEIGHT IN kg	TOTAL		
MANAGER	<i>A. Sano</i>	動力炉・核燃料開発事業団殿 ボロキシデーション法の設計研究				WORK NO.	9RA6-948		QUANTITY
DEPUTY MANAGER		ボロキシデーション工程 ヒート・マスバランス図 流体仕様 設定点				CLASSIFICATION			SCALE
CHIEF	<i>M. Yoshikawa</i>					DRAWING NO.	Ⅱ-1-3		
ENGR IN CHARGE	<i>T. Jagan</i>								
CHECKED BY	<i>M. Swama</i>								
DRAWN BY	<i>A. Jino</i>								
DATE DRAWN									
DATE ISSUED									

IHI Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.
技術本部 原子力開発室

表 II-1-9

ボロキシデーション工程の物質収支

注, オフ・ガス流量以外は1回分当りの流量を示す。

場所	単位	半減期	A 燃料供給装置～ ボロキシダイザ	C ボロキシダイザ内	D ボロキシダイザ～ 被覆管排出器	E ボロキシダイザ～ 粉末燃料排出器	F ボロキシダイザ～ 粉体飛散物捕集装置	G 粉体飛散物捕集装置～ 粉末燃料排出器	H 粉体飛散物捕集装 置出口
オフ, ガス 流量	Nℓ/h			O ₂ 330			オフガス 238.3		オフガス 238.3
温度	℃		200	700	<700	<700	<700	<250	250
圧力	mm Aq		-50	同左	同左	同左	同左	同左	NOR -50 MAX -60
UO ₂ /U ₃ O ₈	g/B		UO ₂ 8,283	U ₃ O ₈ 8,606	85.29	8443.26	77.45	76.68	0.7745
PtO ₂	"		1,397	同左	13.76	1362.28	20.96	20.75	0.21
被覆管	"		3,320	同左	3,320	0	0	0	0
Na/Na ₂ O	"		Na 0.484	Na ₂ O 0.652	5.88×10 ⁻³	0.581	0.065	0.0644	6.5×10 ⁻⁴
FP	"		320	同左	2.94	291.46	25.6	23.04	2.56
³ H	Ci/g	12.3 ^y	1198 1.24×10 ⁻³	"	0	0	1198 1.24×10 ⁻³	0	1198 1.24×10 ⁻³
⁸⁵ Kr	"	10.76 ^y	842 2.16×10 ⁻¹	"	0.74 1.9×10 ⁻³	73.36 0.188	10.10 0.26×10 ⁻¹	0	10.10 0.26×10 ⁻¹
¹²⁹ I	"	1.7×10 ⁷ ^y	6.48×10 ⁻⁴ 3.95	"	1.286×10 ⁻⁶ 7.9×10 ⁻³	1.273×10 ⁻⁴ 0.78	5.144×10 ⁻⁴ 3.16	0	5.144×10 ⁻⁴ 3.16
¹³¹ I	"	80.5 ^d	1565 1.27×10 ⁻²	"	3.13 2.54×10 ⁻⁵	30987 2.515×10 ⁻³	1252 1.016×10 ⁻²	0	1252 1.016×10 ⁻²
¹²⁵ Sb	"	2.7 ^y	330 3.11×10 ⁻¹	"	3079 2.90×10 ⁻³	30481 2.873×10 ⁻¹	2211 2.084×10 ⁻²	21.89 2.063×10 ⁻²	2.21×10 ⁻¹ 2.084×10 ⁻⁴
¹²⁷ Te	"	9.4 ^H	313 1.19×10 ⁻⁴	"	0.939 3.57×10 ⁻⁷	92.961 3.534×10 ⁻⁵	219.1 8.33×10 ⁻⁵	0	219.1 8.33×10 ⁻⁵
^{127m} Te	"	109 ^d	296 3.15×10 ⁻²	"	0.888 9.45×10 ⁻⁵	87.912 9.356×10 ⁻³	207.2 2.205×10 ⁻²	0	207.2 2.205×10 ⁻²
^{129m} Te	"	69 ^m	609 2.89×10 ⁻⁵	"	1.827 8.67×10 ⁻⁸	180873 8.583×10 ⁻⁶	426.3 2.023×10 ⁻⁵	0	426.3 2.023×10 ⁻⁵
^{129m} Te	"	34 ^d	957 3.22×10 ⁻²	"	2.871 9.66×10 ⁻⁵	284.23 9.563×10 ⁻³	669.9 2.254×10 ⁻²	0	669.9 2.254×10 ⁻²
⁸⁹ Sr	"	52 ^d	6430 2.28×10 ⁻¹	"	57.87 2.052×10 ⁻³	5729.13 0.2031	643 2.28×10 ⁻²	636.6 2.257×10 ⁻²	643 2.28×10 ⁻⁴
⁹⁰ Sr	"	28.1 ^y	539 3.81	"	4.851 3.429×10 ⁻²	480.25 3.395	53.9 0.381	53.36 0.377	0.539 3.81×10 ⁻³
¹⁴¹ Ce	"	33 ^d	1.51×10 ⁴ 5.37×10 ⁻¹	"	1.498×10 ² 5.33×10 ⁻³	1.483×10 ⁴ 5.274×10 ⁻¹	120.8 4.296×10 ⁻³	119.59 4.253×10 ⁻³	1.21 4.296×10 ⁻⁵
¹⁴⁴ Ce	"	28.4 ^d	1.36×10 ⁴ 4.26	"	1.349×10 ² 4.23×10 ⁻²	1.336×10 ⁴ 4.184	108.8 3.41×10 ⁻²	107.71 3.376×10 ⁻²	1.088 3.41×10 ⁻⁴
⁹¹ Y	"	58.8 ^d	8520 3.51×10 ⁻¹	"	7.9236 3.26×10 ⁻³	784.44 3.232×10 ⁻¹	596.4 2.46×10 ⁻²	590.44 2.435×10 ⁻²	5.964 2.46×10 ⁻⁴
⁹⁵ Zr	"	65 ^d	1.58×10 ⁴ 0.75	"	1.469×10 ² 6.975×10 ⁻³	1.455×10 ⁴ 0.691	1.11×10 ³ 5.25×10 ⁻²	1.099×10 ³ 5.198×10 ⁻²	1.11×10 5.25×10 ⁻⁴
⁹⁵ Nb	"	35 ^d	2.09×10 ⁴ 5.32×10 ⁻¹	"	1.944×10 ² 4.95×10 ⁻³	1.924×10 ⁴ 0.4898	1.46×10 ³ 3.72×10 ⁻²	1.445×10 ³ 3.683×10 ⁻²	1.46×10 3.72×10 ⁻⁴
¹³⁷ Cs	"	30.0 ^y	1548 17.7	"	13.88 1.588×10 ⁻¹	1374.7 15.72	159.44 1.823	157.85 1.805	1.594 1.823×10 ⁻²
¹⁰³ Ru	"	39.6 ^d	1.91×10 ⁴ 0.598	"	1.78×10 ² 5.56×10 ⁻³	1.759×10 ⁴ 0.550	1.337×10 ³ 4.19×10 ⁻²	1.324×10 ³ 4.148×10 ⁻²	1.337×10 4.19×10 ⁻⁴
¹⁰⁶ Ru	"	36.7 ^d	1.44×10 ⁴ 4.3	"	1.34×10 ² 3.99×10 ⁻²	1.326×10 ⁴ 3.959	1008 0.301	997.92 0.298	100.8 3.01×10 ⁻³
¹³³ Xe	"	5.27 ^d	904 4.85×10 ⁻³	"	8.86 4.75×10 ⁻⁵	877.1 4.705×10 ⁻³	108.5 5.82×10 ⁻⁴	0	108.5 5.82×10 ⁻⁴
¹⁴⁰ Ba	"	12.8 ^d	5390 7.41×10 ⁻²	"	48.51 6.67×10 ⁻⁴	480.2 6.60×10 ⁻²	53.9 7.41×10 ⁻³	53.361 7.336×10 ⁻³	5.39 7.41×10 ⁻⁵
¹⁴⁰ La	"	40.2 ^H	6260 1.12×10 ⁻²	"	58.22 1.04×10 ⁻⁴	57.64 1.03×10 ⁻²	438.2 7.84×10 ⁻⁴	433.82 7.76×10 ⁻⁴	4.382 7.84×10 ⁻⁶
¹⁴⁷ Pm	"	2.62 ^y	4000 2.0	"	37.2 1.86×10 ⁻²	368.3 1.841	280 0.14	277.2 0.1386	2.8 1.4×10 ⁻³
¹⁵⁴ Eu	"	16 ^y	33 2.28×10 ⁻¹	"	0.307 2.12×10 ⁻³	30.38 2.10×10 ⁻¹	2.31 1.6×10 ⁻²	2.287 1.584×10 ⁻²	2.31×10 ⁻² 1.6×10 ⁻⁴
²⁴¹ Am	"	458 ^y	9.57	"	9.43×10 ⁻²	9.332	0.144	0.1426	1.44×10 ⁻³
²⁴⁴ Cm	"	17.6 ^y	0.557	"	5.49×10 ⁻³	0.543	8.36×10 ⁻³	8.276×10 ⁻³	8.36×10 ⁻⁵
(η: 除去率)			間欠 1BATCH 10分		間欠 1BATCH 10分	間欠 1BATCH 10分		間欠	粉体飛散物捕集装置の 集塵率 η=99%

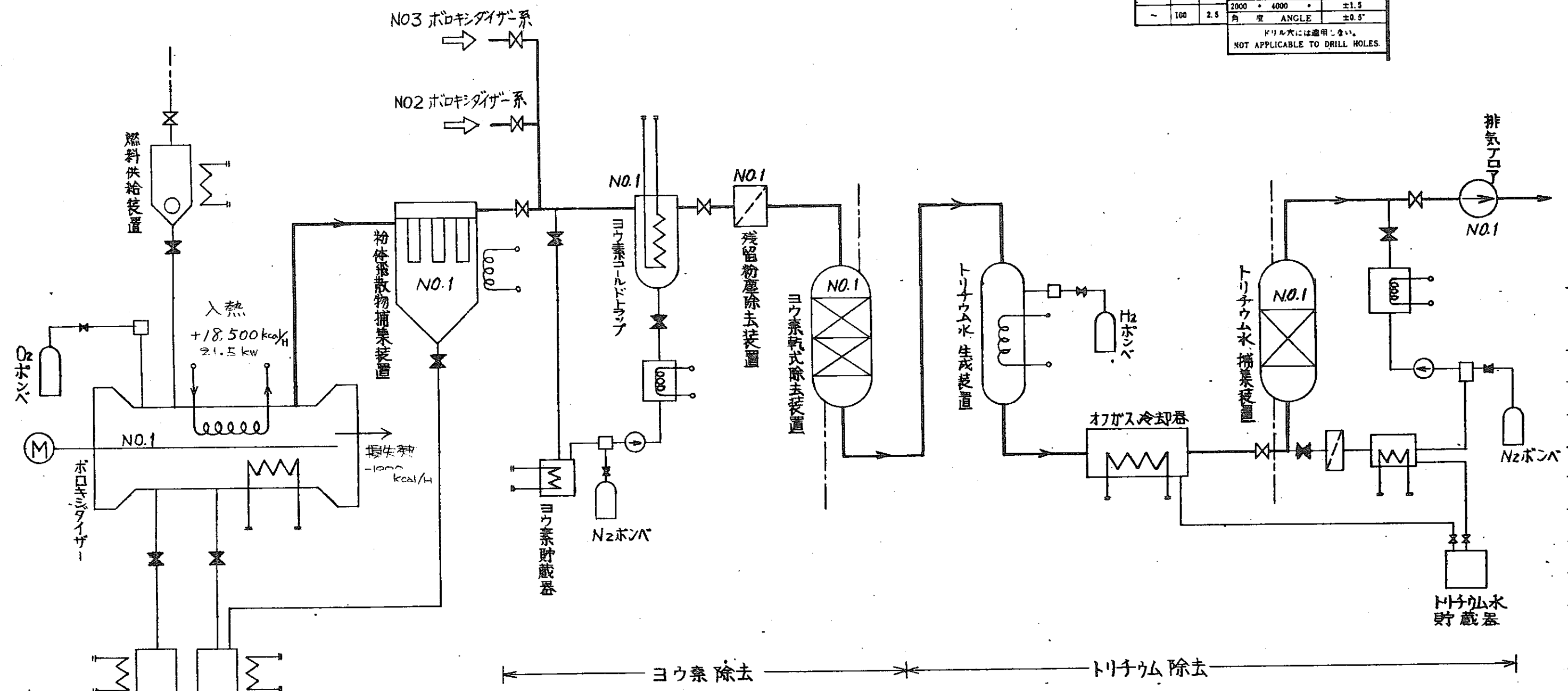
表 II-1-9 (続)

場所	I ヨウ素コールドラップ入口	J ヨウ素コールドラップへ残留粉塵除去装置	K 残留粉塵除去装置ヨウ素乾式除去装置	L ヨウ素乾式除去装置トリチウム水生成	M トリチウム水生成装置オフガス冷却器	N オフガス冷却器トリチウム水捕集装置	O トリチウム水捕集装置
オフ・ガス流量	オフガス 714.9	同左	同左	同左	H ₂ : 7.149 オフガス: 同左	同左	同左
温度	250	20	"	"	400	20	"
圧力	NOR -50 MAX -60	-60 -90	-80 -140	-110 -190	-120 -200	-140 -230	-170 -280
U ₃ O ₈	2.324	同左	6.972×10 ⁻⁴	同左	同左	同左	同左
PuO ₂	0.63	"	1.89×10 ⁻⁴	"	"	"	"
被覆管	0	0	0	0	0	0	0
Na ₂ O	1.95×10 ⁻³	同左	5.85×10 ⁻⁷	同左	同左	同左	同左
FP	7.68	7.603	2.281×10 ⁻³	2.279×10 ⁻³	"	"	2.277×10 ⁻³
³ H	35.94 3.72×10 ⁻³	同左	同左	同左	HTO 2.48×10 ⁻² g	"	HTO 2.48×10 ⁻⁵ g
⁸⁵ Kr	30.30 0.78×10 ⁻¹	"	"	"	同左	"	同左
¹²⁹ I	1.543×10 ⁻³ 9.48	1.08×10 ⁻⁴ 0.664	"	1.08×10 ⁻⁶ 6.64×10 ⁻³	"	"	"
¹³¹ I	3756 3.048×10 ⁻²	262.9 2.134×10 ⁻³	"	2.63 2.134×10 ⁻⁵	"	"	"
¹²⁵ Sb	6.63×10 ⁻¹ 6.24×10 ⁻⁴	同左	1.989×10 ⁻⁴ 1.87×10 ⁻⁷	同左	"	"	"
¹²⁷ Te	657.3 2.499×10 ⁻⁴	"	同左	"	"	"	"
^{127m} Te	621.6 6.615×10 ⁻²	"	"	"	"	"	"
¹²⁹ Te	1278.9 6.069×10 ⁻⁵	"	"	"	"	"	"
^{129m} Te	2009.7 6.762×10 ⁻²	"	"	"	"	"	"
⁸⁹ Sr	1929 6.84×10 ⁻⁴	"	0.5787 2.052×10 ⁻⁷	"	"	"	"
⁹⁰ Sr	1617 1.143×10 ⁻²	"	4.85×10 ⁻⁴ 3.43×10 ⁻⁶	"	"	"	"
¹⁴¹ Ce	363 1.289×10 ⁻⁴	"	1.09×10 ⁻³ 3.87×10 ⁻⁸	"	"	"	"
¹⁴⁴ Ce	3264 1.023×10 ⁻³	"	9.79×10 ⁻⁴ 3.07×10 ⁻⁷	"	"	"	"
⁹¹ Y	1789.2 7.38×10 ⁻⁴	"	5.37×10 ⁻³ 2.21×10 ⁻⁷	"	"	"	"
⁹⁵ Zr	3.33×10 1.575×10 ⁻³	"	9.99×10 ⁻³ 4.725×10 ⁻⁷	"	"	"	"
⁹⁵ Nb	4.38×10 1.116×10 ⁻³	"	1.314×10 ⁻² 3.35×10 ⁻⁷	"	"	"	"
¹³⁷ Cs	4782 5.469×10 ⁻²	"	1.435×10 ⁻³ 1.64×10 ⁻⁵	"	"	"	"
¹⁰³ Ru	4.011×10 1.257×10 ⁻³	"	1.20×10 ⁻² 3.77×10 ⁻⁷	"	"	"	"
¹⁰⁶ Ru	3024 9.03×10 ⁻³	"	9.07×10 ⁻³ 2.71×10 ⁻⁶	"	"	"	"
¹³³ Xe	3255 1.746×10 ⁻³	"	同左	"	"	"	"
¹⁴⁰ Ba	1617 2.223×10 ⁻⁴	"	4.85×10 ⁻³ 6.67×10 ⁻⁸	"	"	"	"
¹⁴⁰ La	1314.6 2.352×10 ⁻⁵	"	3.94×10 ⁻³ 7.06×10 ⁻⁹	"	"	"	"
¹⁴⁷ Pm	8.4 4.2×10 ⁻³	"	2.52×10 ⁻³ 1.26×10 ⁻⁶	"	"	"	"
¹⁵⁴ Eu	6.93×10 ⁻² 4.8×10 ⁻⁴	"	2.08×10 ⁻⁵ 1.44×10 ⁻⁷	"	"	"	"
²⁴¹ Am	 4.32×10 ⁻³	"	 1.296×10 ⁻⁶	"	"	"	"
²⁴⁴ Cm	 2.51×10 ⁻⁴	"	 7.53×10 ⁻⁸	"	"	"	"
		ヨウ素コールドラップ η = 93% (¹²⁹ I, ¹³¹ I)	ヘパフィルター 微粒子 η = 99.97% (0.3 μ)	ヨウ素乾式除去装置 η = 99% (¹²⁹ I, ¹³¹ I)		H ₂ O : 5.589 g/H	MS塔 η = 99.9% (HTO)

ROUGHNESS		TOLERANCES (UNLESS OTHERWISE SPECIFIED)	
記号	Ra	寸法 DIMENSION	許容差 TOL.
▽▽▽	0.2	1.5 以上 4以下	±0.1
▽▽	0.8	4 以上 16 以下	±0.2
▽	1.6	16 以上 63 以下	±0.3
▽	3.2	63 以上 125 以下	±0.4
▽	6.3	125 以上 250 以下	±0.5
▽	12.5	250 以上 500 以下	±0.6
▽	25	500 以上 1000 以下	±0.8
▽	50	1000 以上 2000 以下	±1.0
▽	100	2000 以上 4000 以下	±1.5
▽	200	角 度 ANGLE	±0.5°

ドリル穴には適用しない。
NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES.

図 面 来 歴
昭和 52 年 9 月
IHI 原子力室にて調製
II 43



温度変化 常温 → 200℃
昇温時間 0.7H

(注) 本図には予備機器は表示しない。

この図面は石川島播磨重工業株式会社の所有であり、無断で複製、転写、または他の用途に使用することを禁じます。また、本図面を第三者に譲渡、貸与、または開示することを禁じます。上記に違反した場合、本図面を没収し、法的行動を講ずる場合があります。

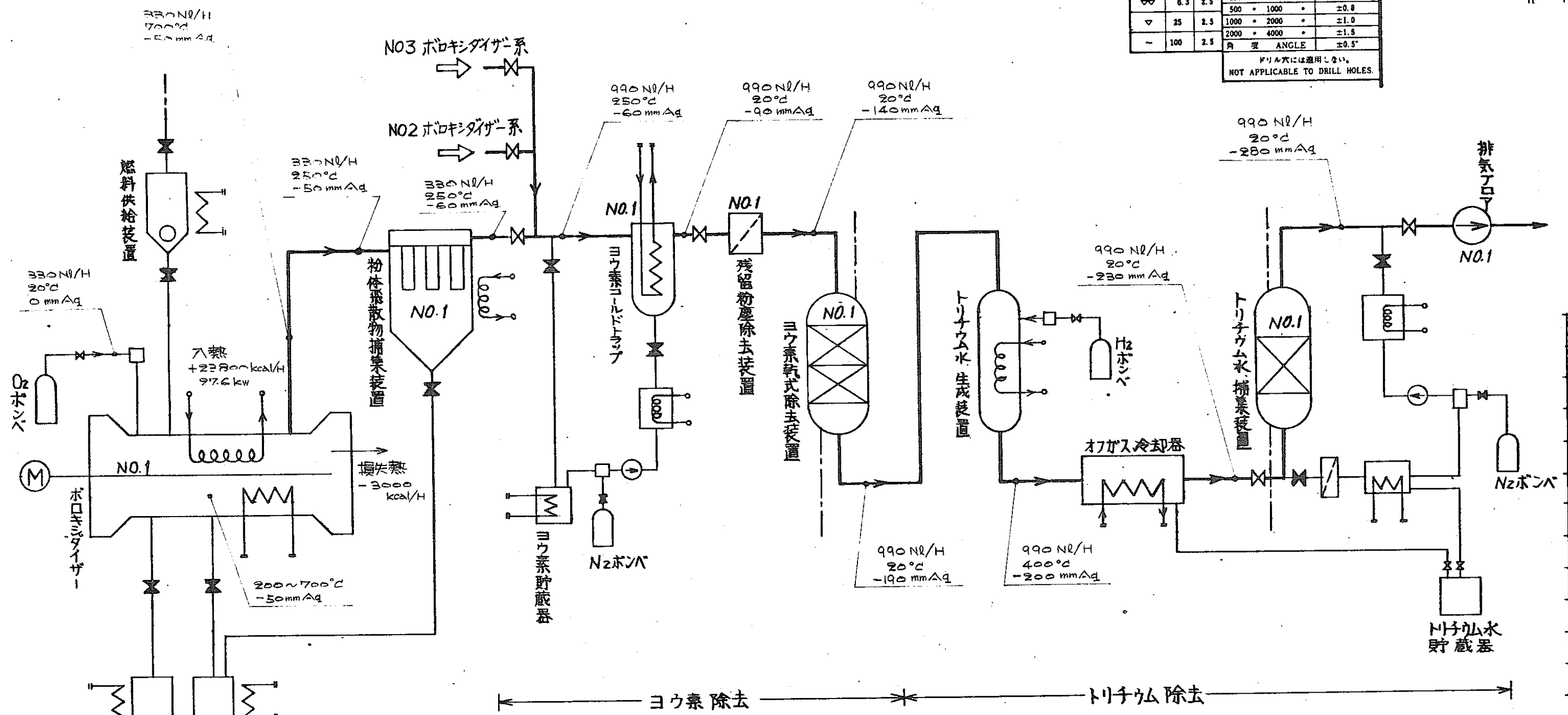
CAUTION
This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential. In this connection, please kindly observe the followings. It shall not be traced, otherwise copied, nor used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORKING NO REQUIRED (PER)	SPARE NO REQUIRED (PER)	TOTAL NO REQUIRED (PER)	PER ONE WEIGHT IN kg	TOTAL WEIGHT IN kg	REMARKS
MANAGER	動力炉・核燃料開発事業団 研究所		ボロキシデーション法の設計研究		WORK NO.		9RA6-948		QUANTITY
DEPUTY MANAGER	A. Sano		M. Fujikawa		CLASSIFICATION		SCALE		
CHIEF	T. Yaguchi		M. Iwama		DRAWING NO.		II-1-4		
ENGR IN CHARGE	A. Iino								
CHECKED BY									
DRAWN BY									
DATE DRAWN									
Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd. 技術本部 原子力開発室									

昭和52年9月
IHI 原子力室にて調製

ROUGHNESS		TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED MACHINE CUT	
記号 SYMBOLS	Ra μm	寸法 DIMENSION mm	許容差 TOL. mm
▽▽▽	0.2	1以上 4以下 incl	±0.1
▽▽	0.4	4以上 16以下	±0.2
▽	1.6	16 63	±0.3
▽	3.2	63 125	±0.4
▽	6.3	125 250	±0.5
▽	12.5	250 500	±0.6
▽	25	500 1000	±0.8
▽	50	1000 2000	±1.0
▽	100	2000 4000	±1.5
		角 度 ANGLE	±0.5°

ワリ穴には適用しない。
NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES.



温度変化 200°C → 700°C
昇温時間 1.8H

(注) 本図には予備機器は表示しない。

この図は、IHI重工業株式会社の所有物であり、複製、転写、または他の目的で使用することを禁じます。許可なく複製、転写、または他の目的で使用することは、IHI重工業株式会社の法的責任を負うことになります。

CAUTION
This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential. In this connection, please kindly observe the followings. It shall not be traced, copied, nor used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORKING NO. REQUIRED (PER)	SPARE	TOTAL	PER ONE WEIGHT IN kg	TOTAL	REMARKS
MANAGER	<i>A. Iwano</i>	動力炉・核燃料開発事業団 設計研究		9RA6-948		WORK NO.	QUANTITY		
DEPUTY MANAGER		ボロキシデーシヨン法の設計研究		9RA6-948		CLASSIFICATION	SCALE		
CHIEF	<i>M. Yoshikawa</i>	ボロキシデーシヨン工程		9RA6-948		DRAWING NO.	SCALE		
ENGR IN CHARGE	<i>T. Taguchi</i>	ヒート・マスバランス図		9RA6-948		DRAWING NO. II-1-1			
CHECKED BY	<i>M. Iwano</i>	(2) スタンバイ昇温時 II		9RA6-948		DRAWING NO. II-1-1			
DRAWN BY	<i>A. Iwano</i>	燃料供給直前		9RA6-948		DRAWING NO. II-1-1			
DATE DRAWN				9RA6-948		DRAWING NO. II-1-1			
DATE ISSUED				9RA6-948		DRAWING NO. II-1-1			



Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.
技術本部 原子力開発室

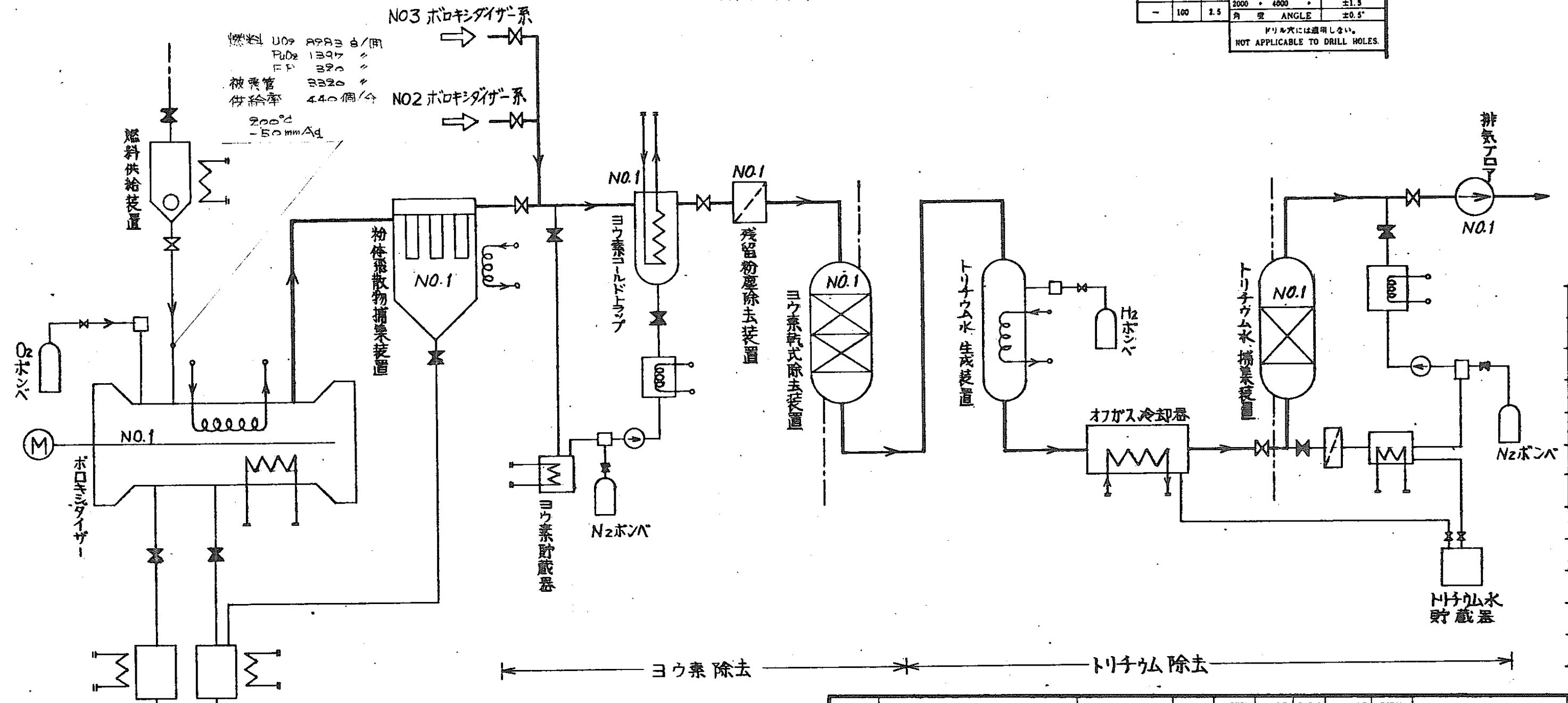
昭和52年9月
IHI 原子力室にて調製

II 45

ROUGHNESS			TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED (MACHINE CUT)	
記号 SYMBOLS	Ra (μm)	Ac (mm)	寸法 DIMENSION mm	許容差 TOL. mm
			1以上4以下	±0.1
			4以上16	±0.2
▽▽▽	0.3	0.0	16 63	±0.3
▽▽	1.0	0.0	63 125	±0.4
▽	6.3	2.5	125 250	±0.5
			250 500	±0.6
			500 1000	±0.8
			1000 2000	±1.0
			2000 4000	±1.5
			角 度 ANGLE	±0.5°

円孔には適用しない。
NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES.

※ ホロキシダイザー以降のオフガスフローは、
(空)スタンバイ昇温時Ⅱの状態に準じる。



燃料 UO₂ 8983 g/回
PuO₂ 1397 "
FP 320 "
被覆管 3320 "
供給率 440 個/分
200℃
-50mmAq

温度 700℃
燃料供給時間 10分/回

(注) 本図には予備機器は表示しない。

この図面は有用機器等(機)の所有に限り権利があり、本図面の複製を認めるものではありません。
1) 許可なく、複製してはならない。
2) 許可なく、複製してはならない。
3) 許可なく、複製してはならない。
4) 上記に同意する場合は、事前に許可を得る必要がある。

CAUTION
This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential.
In this connection, please kindly observe the followings.
It shall not be traced, copied, nor used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.

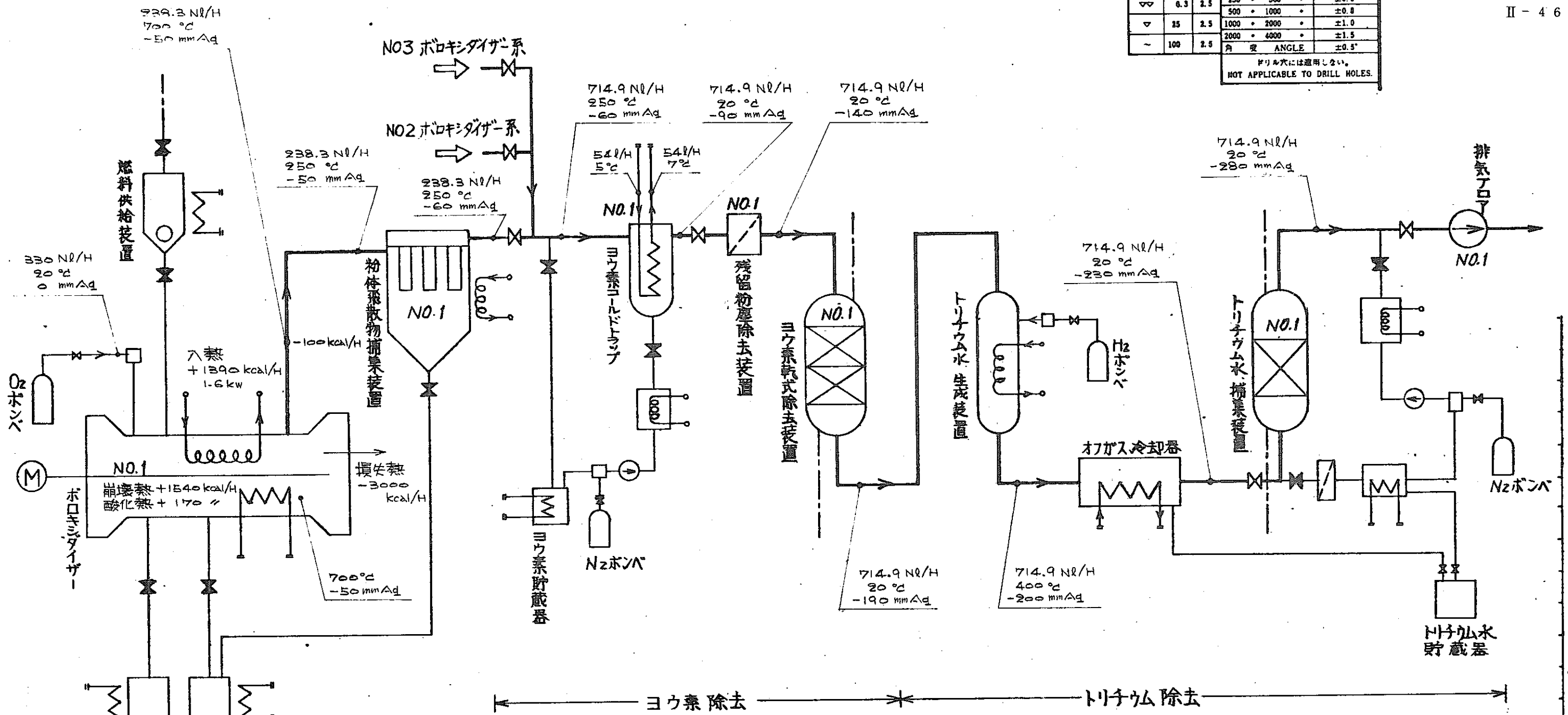
MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORKING NO. REQUIRED (PER)	SPARE	TOTAL	PER ONE WEIGHT IN	TOTAL	REMARKS
MANAGER	DEPUTY MANAGER	CHIEF	ENGR IN CHARGE	CHECKED BY	DRAWN BY	DATE DRAWN	DATE ISSUED	WORK NO.	QUANTITY
								9RA6-948	
								CLASSIFICATION	SCALE
								DRAWING NO.	
								II-1-6	

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.
技術本部 原子力開発室

ROUGHNESS		TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED MACHINE CUT	
記号	Ra	公差	許容差 TOL.
SYMBOLS	(μm)	(mm)	(mm)
▽▽▽	0.2	1以上4以下	±0.1
		4以上10	±0.2
		10以上	±0.3
▽▽	0.8	63	±0.4
		125	±0.5
		250	±0.6
▽	2.5	500	±0.8
		1000	±1.0
		2000	±1.5
~	100	2.5	角変 ANGLE ±0.5°

ドリル穴には適用しない。
NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES.

図面来歴
昭和52年9月
IHI 原子力室にて調製
II-46



(注) 本図には予備機器は表示しない。

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORKING NO REQUIRED (PER)	SPARE (PER)	TOTAL	PER ONE WEIGHT IN kg	TOTAL	REMARKS
MANAGER	<i>A. Sawo</i>	動力伊・核燃料開発事業団 設計研究			WORK NO. 9RA6-948		QUANTITY		
DEPUTY MANAGER		ホロキシデーション工程			CLASSIFICATION		SCALE		
CHIEF	<i>M. Sawano</i>	ヒート・マスバランス図			DRAWING NO. II-1-7				
ENGR IN CHARGE	<i>T. Taga</i>	(4) 定常運転時							
CHECKED BY	<i>M. Suwama</i>								
DRAWN BY	<i>A. Sawo</i>								
DATE DRAWN	DATE ISSUED								

お 願 い

この図面は、IHI 固有の財産であり、その複製、転写、または第三者への提供を禁じます。

- ① 許可なく複製、転写、または第三者への提供を行わないこと。
- ② 許可なく複製、転写、または第三者への提供を行わないこと。
- ③ 許可なく複製、転写、または第三者への提供を行わないこと。
- ④ 上記の事項を許可する場合は、IHI によること。

CAUTION

This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential.

In this connection, please kindly observe the followings.

It shall not be traced, copied, nor used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

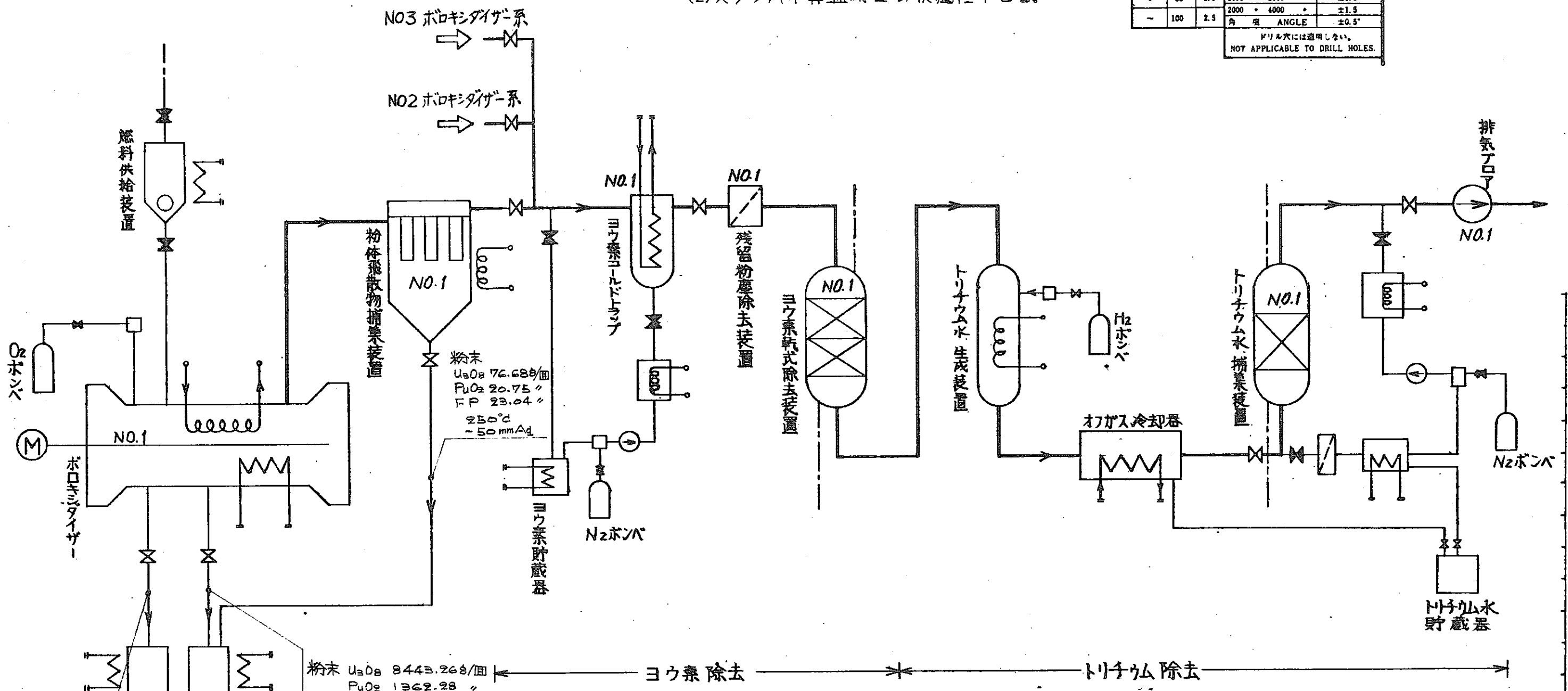
技術本部 原子力開発室

ROUGNESS		TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED (MACHINE CUT)	
記号	Ra	寸法	許容差TOL. mm
▽▽▽	0.2	1以上 4以下 Finel	±0.1
▽▽	0.4	4をこえ 16	±0.2
▽	0.8	16 63	±0.3
▽	1.6	63 125	±0.4
▽	3.2	125 250	±0.5
▽	6.3	250 500	±0.6
▽	12.5	500 1000	±0.8
▽	25	1000 2000	±1.0
▽	50	2000 4000	±1.5
▽	100	角 度	ANGLE ±0.5°

ドリル穴には適用しない。
NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES.

昭和52年9月
IHI 原子力室にて調製
II-47

* ボロキシダiser以降のオフ・ガスフローは、
(2)スタンバイ昇温時IIの状態に準じる。



溶解工程
粉末 U₃O₈ 85.29g/回
PuO₂ 13.76 "
FP 2.94 "
被覆管 3320.0 "
700 °C
-50 mmHg

温度 700 °C
粉末燃料, 被覆管 排出時間 10分/回

(注) 本図には予備機器は表示しない。

お 願 い
この図面は、伊勢湾重工業株式会社の所有物として扱われ、本図面を複製、転写、または本図面を基に他の図面を作成することを禁じます。また、本図面を第三者に譲渡、貸与、複製、転写、または本図面を基に他の図面を作成することを禁じます。本図面を複製、転写、または本図面を基に他の図面を作成する場合は、事前に伊勢湾重工業株式会社に許可を得る必要があります。

CAUTION
This drawing is the PROPERTY OF ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential. In this connection, please kindly observe the following:
1. It shall not be traced, otherwise copied, nor used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.

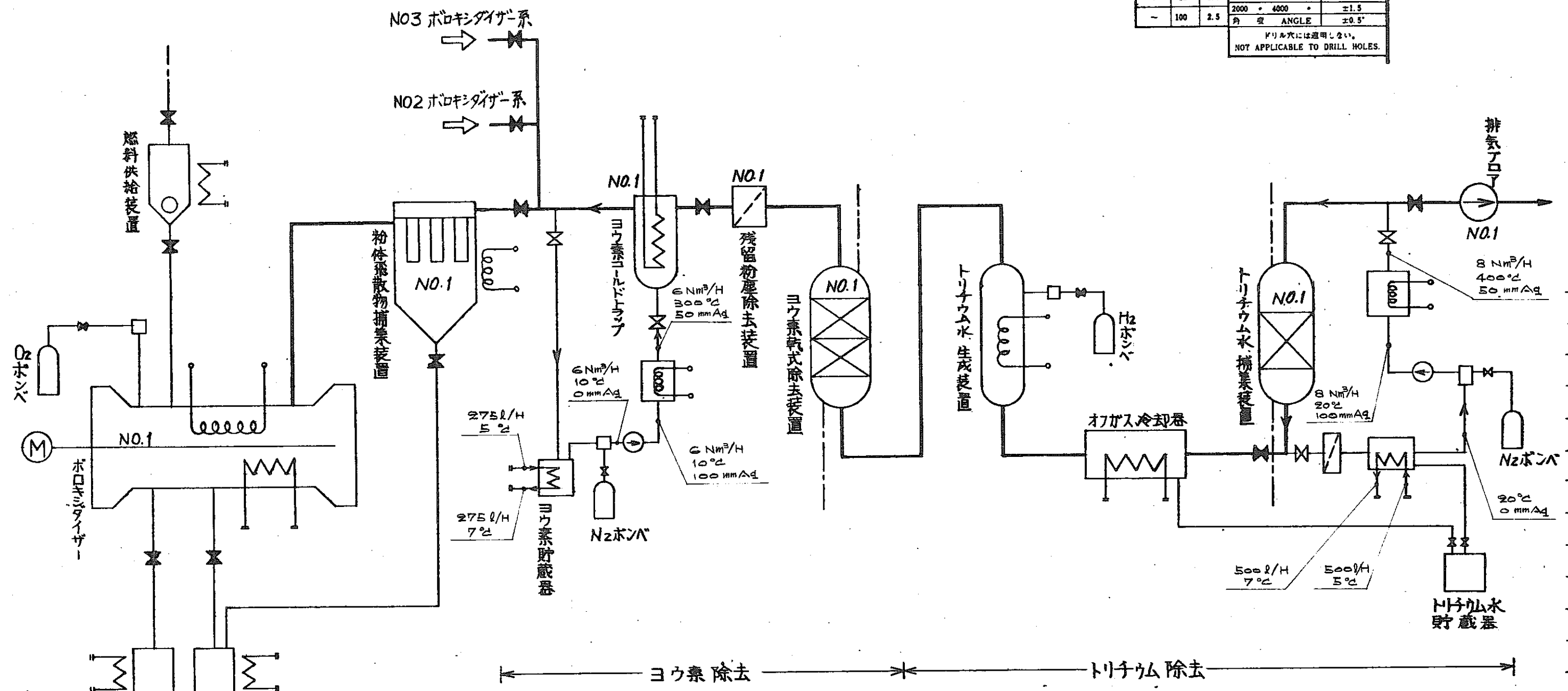
MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORKING NO. REQUIRED (PER)	SPARE	TOTAL	PER ONE WEIGHT IN kg	TOTAL	REMARKS
MANAGER	DEPUTY MANAGER	CHIEF	ENGR IN CHARGE	CHECKED BY	DRAWN BY	DATE DRAWN	DATE ISSUED	WORK NO.	QUANTITY
								9RA6-948	
								CLASSIFICATION	SCALE
								DRAWING NO.	
								II-1-8	

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.
技術本部 原子力開発室

ROUGHNESS		TOLERANCES (UNLESS OTHERWISE SPECIFIED MACHINE CUT)	
記号	Ra	寸法 DIMENSION	許容差 TOL.
▽▽▽	0.2	1以上4以下incl	±0.1
▽▽	0.8	4以上16以下	±0.2
▽	1.6	16以上63以下	±0.3
▽	3.2	63以上125以下	±0.4
▽	6.3	125以上250以下	±0.5
▽	12.5	250以上500以下	±0.6
▽	25	500以上1000以下	±0.8
▽	50	1000以上2000以下	±1.0
▽	100	2000以上4000以下	±1.5
▽	200	角 変 ANGLE	±0.5°

ドリル穴には適用しない。
NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES.

図面来歴
昭和52年9月
IHI 原子力室にて調製
II 48



MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORK NO. NO. REQUIRED (PER	SPARE TOTAL	PER ONE WEIGHT IN kg	TOTAL	REMARKS
MANAGER	<i>A. Sano</i>	動力炉・核燃料開発事業団殿						WORK NO. 9RA6-948
DEPUTY MANAGER		ボロキシデーション法の設計研究						CLASSIFICATION
CHIEF	<i>Miyoshi Kama</i>	ボロキシデーション工程						SCALE
ENGR IN CHARGE	<i>T. Jagaes</i>	ヒート・マスバランス図						DRAWING NO. II-1-9
CHECKED BY	<i>M. Iwama</i>	(6) 再生時						
DRAWN BY	<i>A. Sano</i>							
DATE DRAWN								
DATE ISSUED								

(注) 本図には予備機器は表示しない。

お 願 い
この図面は石川島播磨重工業(株)の所有に帰し、社外秘伝であり、また下記の事項を遵守するようお願いいたします。
1) 許可なく、複製、改訂、転写、複製を行わないこと。
2) 許可なく、社外に貸与しないこと。
3) 許可なく、指定された用途以外に使用しないこと。
4) 上記に同意し許可を得る場合は、本図によること。

CAUTION
This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential.
In this connection, please kindly observe the followings.
It shall not be traced, otherwise copied, nor used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.
技術本部 原子力開発室



1.5 ポロキシデーション工程の圧力・温度条件

1.5.1 ガス流量および流速

1.8.2項7) に記載するように、酸素ガスは UO_2 の酸化に理論上必要な量の約3倍(330 Nℓ/H)がポロキシダイザーへ過剰供給され、ポロキシダイザー内で必要量が消費された後、余剰分は燃料から発生したFPをともなつて、オフ・ガスとして(238.3 Nℓ/H)流出する。

ただし、酸化反応速度が一定でない場合には、オフ・ガス流量にも多少変動が生じる。

本工程では、常用3台のポロキシダイザーが運転されるため(1.7.1項参照)各ポロキシダイザー系のオフ・ガスは、粉体飛散物捕集装置の出口で合流し、オフ・ガス処理系へ導びかれる。

酸素およびオフ・ガスの流速は、各機器で十分に反応させるため、下記を目標とする。

表II-1-10 標準流速

配管	ポロキシダイザー	粉体飛散物捕集装置	オフ・ガス処理系機器
3.0 m/s 以下	2 cm/s 以下	0.3 cm/s 以下	10 cm/s 以下



1.5.2 圧力条件

本工程の中で、連続的に放射性物質が流動する主系統の機器、配管は可能な限り、 α -tight 構造とするが、さらに、内圧を常時ホットセルよりも低圧にして、系外へ（ホットセル内へ）Pu, U, FP 等放射性物質が漏洩することを防止する。

このため、オフ・ガス処理系の最終端に排気ブロワ（真空ポンプ）を設置して、本工程系内のオフ・ガスを抽出し、排気ブロワはボロキシダイザー系で大気圧マイナス 50 mm Aq の低圧が保てる容量とする。



1.5.3 圧力損失

表II-1-9に示した通り、ガス流速を非常に低くしたため、機器の入口、出口の圧力差、すなわち圧力損失は小さい。

表II-1-11に機器毎の損失圧力(計画値)を示すが、表中の最大値は、長時間の運転によって生じる汚れ、つまり、飽和等に対する最大許容圧力損失であり、付着F Pの回収、吸着材の再生・廃棄操作を行う指標となる。

表II-1-11 圧力損失(計画値) $m^2 Aq$

機器	粉体飛散物 捕集装置	ヨウ素コー ルドトラップ	残留粉塵 除去装置	ヨウ素乾式 除去装置	トリチウム水 生成装置	オフ・ガス 冷却器	トリチウム水 捕集装置
定常値	0	10	20	30	10	20	30
最大値	10	30	50	50	10	30	50

1.5.4 温度条件

定常運転状態の温度条件を、本工程の機器について、それぞれ下に記載する通り設定する。

1) 燃料供給・ガスシール装置

燃料供給装置の燃料ホッパーには、使用済燃料が搬入され、一時的に貯蔵されるが、燃料より崩壊熱が発生するので、装置全体が昇温する。

本装置には崩壊熱除去のために、冷却装置が装備されているが、安全上の見地から、設計温度は250℃とする。

2) ボロキシナイザー

1.8.2項3)に記載する通り、定常運転状態の処理温度は、700℃とする。

3) 粉体飛散物捕集装置

ボロキシナイザーから700℃に加熱されたオフ・ガスが流出するが微量流量であるため、自然冷却されて、温度はすぐに低下する。



しかし、ボロキンダイザーからヨウ素コールドトラップの間はオフ・ガス中のヨウ素が自然冷却されて、系内に凝固することを防止するため、加熱装置を設けヨウ素の沸点以上である $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ に保持する必要がある。

従って、粉体飛散物捕集装置および出入口管の温度は 250°C とする。

4) ヨウ素コールドトラップ

オフ・ガスを 183°C 以下に冷却すれば、オフ・ガス中のヨウ素は結晶するが、オフ・ガスをヨウ素乾式除去装置に適した温度にするため、コールドトラップ出口で 20°C まで冷却する。

また、オフ・ガスを 20°C まで冷却することにより、結果的にコールドトラップにおけるヨウ素の捕集率が高くなる。

5) 残留粉塵除去装置

同装置としてヘパフィルターを採用するが、フィルターエレメントの材質上、最高使用温度は、約 100°C である。

残留粉塵除去装置には、ヨウ素コールドトラップで 20°C まで冷却されたオフ・ガスが流入する。

6) ヨウ素乾式除去装置

ヨウ素乾式除去装置の吸着材であるモレキュラーシーブおよび銀ゼオライトは、温度が低い程吸着性が良いので、オフ・ガスの温度を 20°C とする。

7) トリチウム水生成装置

トリチウム水生成に必要な加熱温度として、 400°C を採用する。

8) オフ・ガス冷却器

トリチウム水生成装置で 400°C に加熱されたオフ・ガスを、トリチウム水捕集装置に適した温度として、 20°C まで冷却する。



9) トリチウム水捕集装置

トリチウム水捕集装置の吸着材であるモレキュラーシープは、温度が低い程吸着性が良いので、オフ・ガスの温度を20℃とする。

1.6 ボロキシレーション工程の安全性

1.6.1 ボロキシレーション工程の臨界安全性

1) 臨界安全性に対する基本方針

本工程における臨界安全性に対する基本方針を、下に記載する。

(1) 臨界管理の方法は形状管理とする。

本工程内の燃料が存在する機器の形状および寸法を、如何なる場合にも臨界事故に至らないように管理する。

(2) ボロキシダイザー系には水を使用しない。

燃料の存在するボロキシダイザー系の機器の冷却は、間接サイクルとし、一次の冷却媒体には窒素ガスを用いる。

また、万一ボロキシダイザー系へ水が漏洩してきた場合でも、燃料側に水が浸入しない構造を採用する。

2) 臨界量および安全基準量

(1) 前提条件

以下で取り扱い臨界量および安全基準量は、次の条件を採用している。

(a) 本工程で処理される燃料は、燃料切断片あるいは粉末状であるが、いずれの場合でも、臨界量は、理論密度で機器内空間を燃料が満たした場合に相当する値であり、「かさ密度」による臨界量緩和は考慮していない。従って、この因子は、安全因子の一つである。

(b) 円柱形状および平板形状の臨界量は、無限円筒および無限平板に相当する値である。

(c) 臨界量はすべて水反射体のある場合の値である。

(d) ボロキシダイザー系では、水は厳重に管理されているので、臨界量は完全乾燥状態 ($H/X=0$) に相当する値である。

(2) 燃料組成

本工程で処理対象にする使用済燃料は、もんじゅ取出燃料である。

燃料組成は、貴事業団の提示に基づくが、解析には、次の通り単純化した燃料組成を用いる。

すなわち、燃料に含まれるFP原子はすべて無視し、又、すべての核分裂性原子にすべての燃料親物質原子を U^{238} 原子に置換した等価な $Pu^{239}O_2 - U^{238}O_2$ 燃料を解析に用いる。

このFP原子の無視および原子の置換は、いずれも安全側の評価を与えるものである。

貴事業団提示のもんじゆ取出燃料組成表II-1-1に基づいて、すべての核分裂性原子を Pu^{239} 原子に、すべての燃料親物質原子を U^{238} 原子に置換した後の燃料組成を表II-1-12に示す。表II-1-12より、条件の厳しいOuter Core取出し燃料は、 $18.2\%Pu^{239}O_2 - 81.8\%U^{238}O_2$ と同一組とみなすことができる。

そこで、解析には、少し余裕を見込んで、 $20\%Pu^{239}O_2 - 80\%U^{238}O_2$ 燃料を用いる。

(3) $20\%Pu^{239}O_2 - 80\%U^{238}O_2$ 燃料の臨界量および安全基準量

Hansen-Roachの16群断面積とANISNを用いて算出した $20\%Pu^{239}O_2 - 80\%U^{238}O_2$ 燃料の臨界量(臨界質量および無限平板厚さ)を表II-1-13に示す。

また、現在公表されている $PuO_2 - UO_2$ 混合酸化物乾燥系の臨界量のデータは数少ないが、参考文献^{*}には、 $PuO_2 - U(nat)O_2$ 燃料の臨界量が $Pu^{239}/(Pu^{239} + U^{238})$ に対して、図II-1-10~図II-1-13に表わされている。このグラフを読み取つて得られる臨界量(臨界質量、無限平板厚さおよび無限円筒直径)を表II-1-14に示す。

計算による臨界量とグラフより得られる臨界量の間には多少の差が認められるが、計算による臨界量の方が安全側の値を与えているので、計算値を採用した場合の安全基準量を表II-1-15に示す。ただし、無限円筒直径に対しては、グラフより得られる臨界量を採用した。ここで、質量に対しては2重装荷を考慮した安全係数、0.43を採用し、また、平板厚さおよび円筒直径に対しては、保守的な安全係数、0.75お



よび 0.85 をそれぞれ採用した。

* 貴事業団，「プルトニウム燃料第 2 開発室の臨界安全解析報告書」
(1971)



表 II - 1 - 12 Pu²³⁹, U²³⁸ に置換後の燃料組成

単位 Kg

核 種	Inner Core	Outer Core
U ²³⁵ → Pu ²³⁹	2.4918 × 10 ⁻²	2.8769 × 10 ⁻²
Pu ²³⁹	3.2673	4.3054
Pu ²⁴¹ → Pu ²³⁹	4.7850 × 10 ⁻¹	7.8285 × 10 ⁻¹
Pu ²³⁹ 計	3.7707	5.1170
U ²³⁶ → U ²³⁸	4.5724 × 10 ⁻³	3.1213 × 10 ⁻³
U ²³⁸	2.1344	2.0340
Pu ²⁴⁰ → U ²³⁸	1.6768	2.2531
Pu ²⁴² → U ²³⁸	2.8018 × 10 ⁻¹	3.8393 × 10 ⁻¹
U ²³⁸ 計	2.3306	2.2980
$\frac{\text{Pu}^{239}}{\text{Pu}^{239} + \text{U}^{238}}$	0.139	0.182

表 II - 1 - 13 20% Pu²³⁹ O₂ - 80% U²³⁸ O₂ 燃量の臨界量 (計算値)

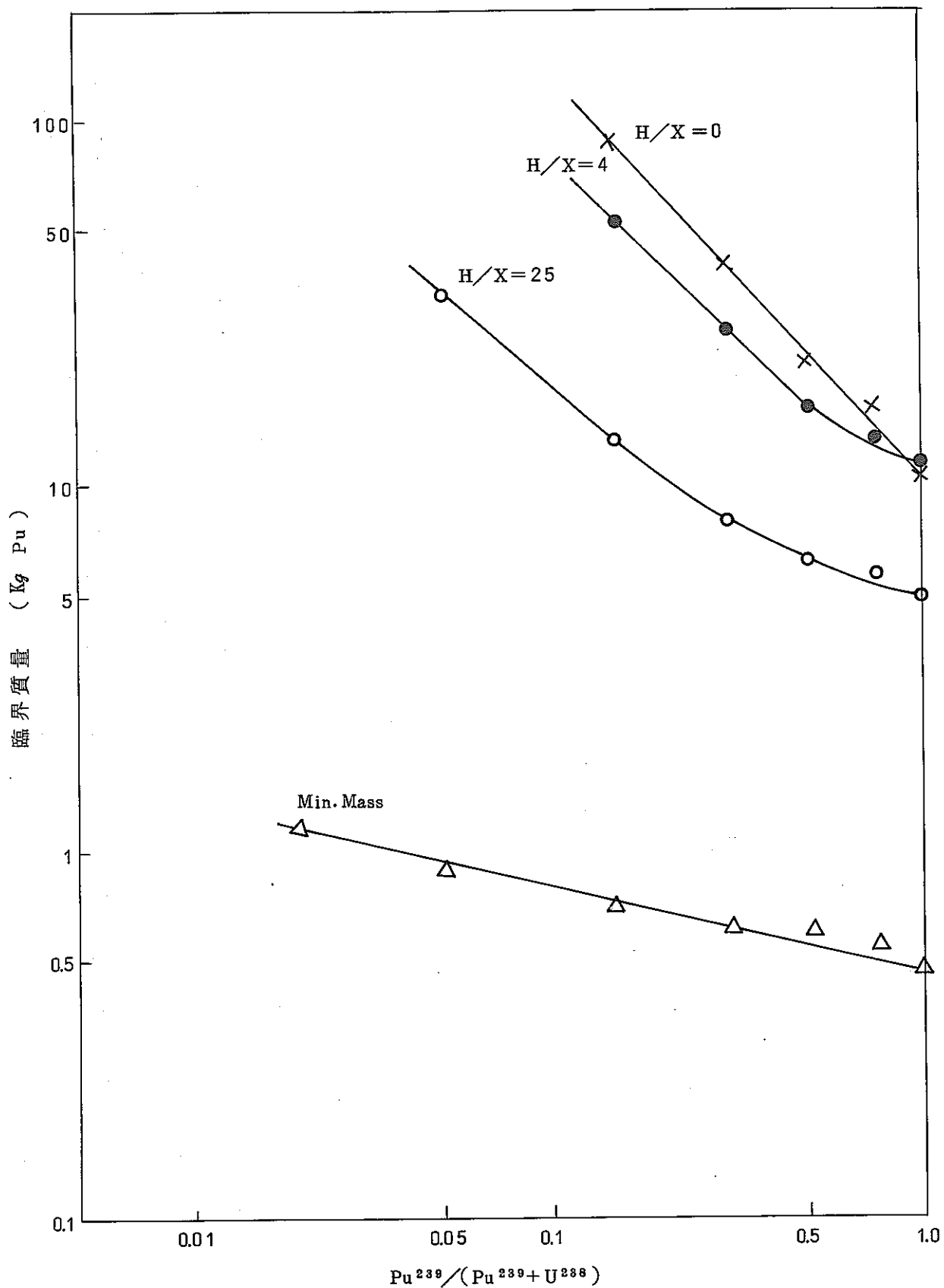
パラメータ	質量 (Kg Pu ²³⁹)	平板厚さ (cm)
臨 界 量	5 0.4	1 1.5

表 II - 1 - 14 20% Pu²³⁹ O₂ - 80% U²³⁸ O₂ 燃料の臨界量 (グラフより得られる値)

パラメータ	質量 (Kg Pu ²³⁹)	平板厚さ (cm)	円筒直径 (cm)
臨 界 量	6 2.6	1 4.6	2 6.6

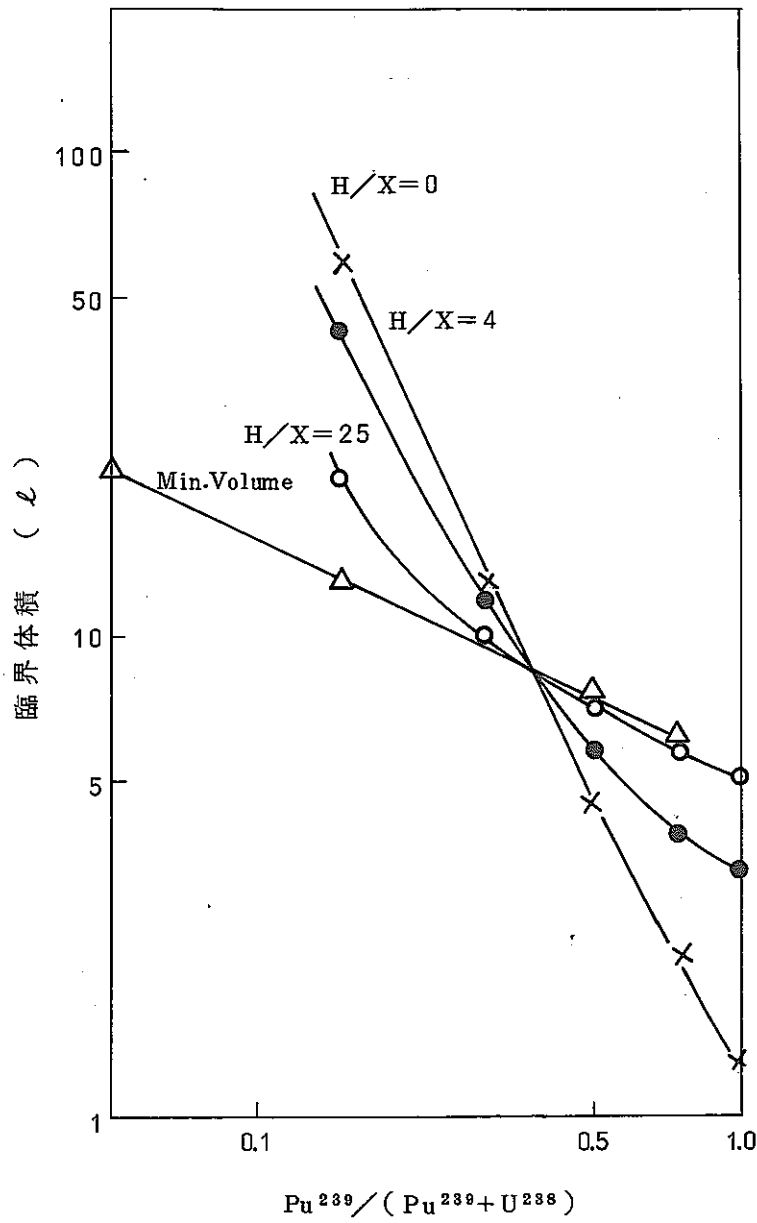
表 II - 1 - 15 20% Pu²³⁹ O₂ - 80% U²³⁸ O₂ 燃料の安全基準量

パラメータ	質量 (Kg Pu ²³⁹)	平板厚さ (cm)	円筒直径 (cm)
安全基準量	2 1.7	8.6	2 2.6



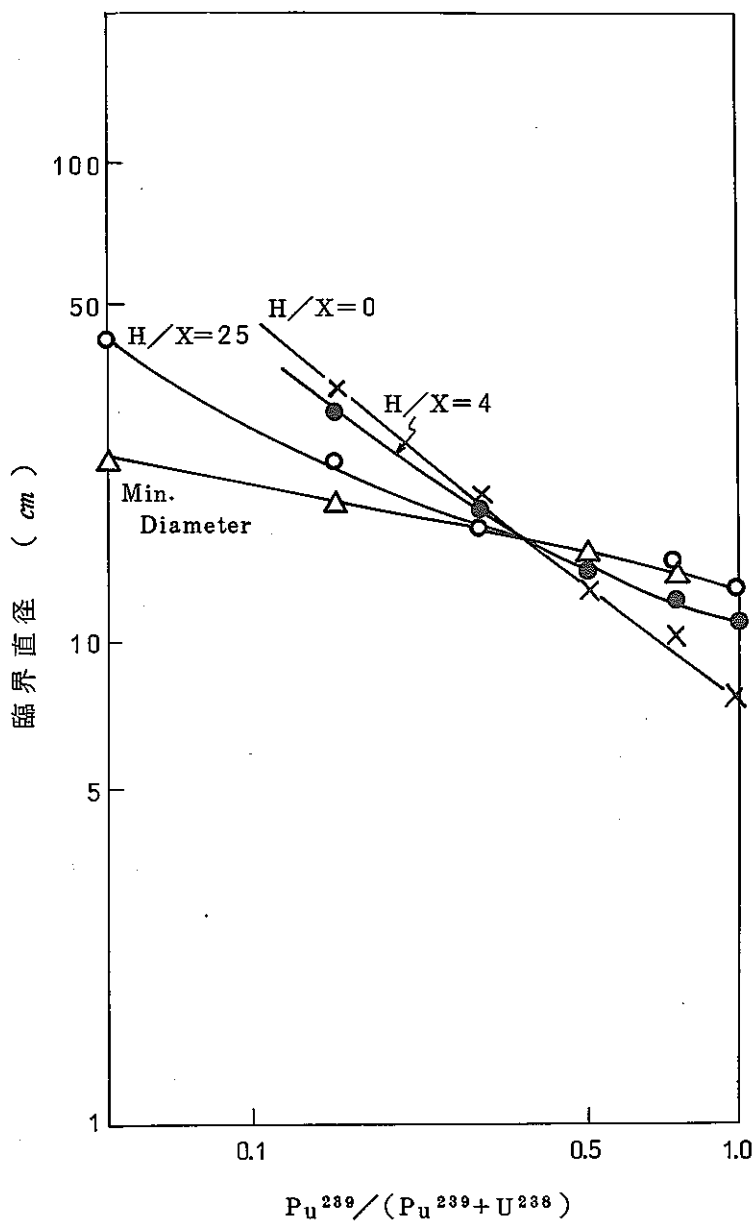
図・II-1-10 $PuO_2-U(nat)O_2$ の臨界質量

貴事業団「プルトニウム燃料第2開発室の臨界安全解析報告書」による。



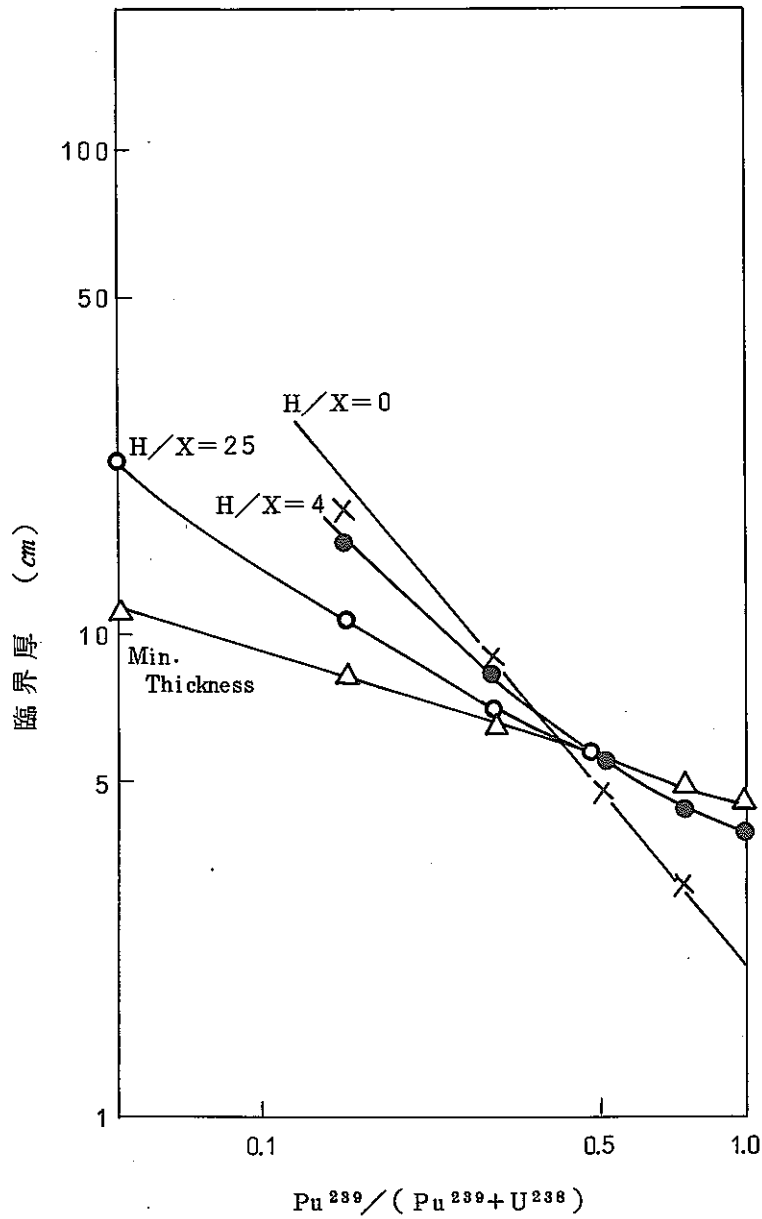
図・II-1-11 $\text{PuO}_2 - \text{U}(\text{nat})\text{O}_2$ の臨界体積

貴事業団「プルトニウム燃料第2開発室の臨界安全解析報告書」による。



図・II-1-12 $PuO_2 - U(nat)O_2$ の臨界直径

貴事業団「プルトニウム燃料第2開発室の臨界安全解析報告書」による。



図・II-1-13 $PuO_2 - U(nat)O_2$ の臨界厚

貴事業団「プルトニウム燃料第2開発室の臨界安全解析報告書」による。

3) ボロキシダイザーの臨界安全性

本工程で用いられるボロキシダイザーの構造は、図 II - 1 - 18 に示されているが、燃料処理板による燃料排除の効果を無視し、炉筒内の空間全体に燃料が詰った状態を考えると、このボロキシダイザーは、厚さ 7 cm の平板とみなすことができる。

平板厚さに対する安全基準量は、表 II - 1 - 15 より、8.6 cm であるから、このボロキシダイザーは、安全基準を満足する。

安全基準量は理論密度および無限平板に対する値であることも考えると、このボロキシダイザーの有する臨界安全上の余裕は大きいと考えられる。

4) その他の機器の臨界安全性

ボロキシダイザー以外の燃料を内蔵する機器としては、燃料供給、ガスシール装置、粉末燃料排出処理装置および燃料被覆管排出処理装置があり、これらの装置についても、平板形状のものは厚さを 8.6 cm 以内とし、また円筒形状のものは直径を 22.6 cm 以内として、臨界安全性を確保する。

5) 工程全般の臨界安全性

本工程全般については、中性子の相互干渉が無視できるよう、各機器相互の距離をとり、臨界安全性を確保する。

6) 冷却系の対策

ボロキシダイザー系の冷却は、1.2.2 「主要機器の機能」、4) 「冷却系」に記載した通り、冷却媒体には水を用いず窒素ガスを採用する。

また、二次冷却媒体である二次冷却水が、一次冷却器の冷却管の破損によって、窒素ガス冷却管内に漏洩する事故が発生した場合にも、各機器の内部に水が浸入しないよう、各機器の冷却管を装置外表面に装備して、臨界安全を確保する。

冷却媒体に窒素ガスを採用する可否については、本工程を代表する機器のボロキシダイザーに対して、1.8.9 「ボロキシダイザーの安全性」に記載した冷却器の装備規模から、全装置に適用できる可能性がある。

1.6.2 ポロキシデーション工程の放射能安全性

本工程は、ポロキシダイザーのみならず、燃料供給、ガスシール装置、オフ・ガス処理装置などすべてにわたって、高レベルの放射性物質を取り扱わねばならない。

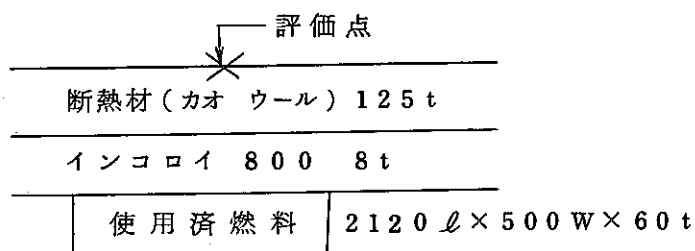
従って、放射能安全性の立場から、各機器の構造、配置を検討するには、まずその放射能レベルを認識しておく必要がある。

そこで、工程のキーコンポーネントであるポロキシダイザーをとりあげ、その表面線量率を試算した。

ガンマ線量率計算は、下に記載する通りである。

(1) 計算モデル

図II-1-14 のとおりである。



図II-1-14 計算モデル

(2) 計算方法

ガンマ線遮蔽計算コード、ISOSHLD-III (BNWL-236) を用いた。計算の基本式は、下の通りである。

$$D = \frac{S_0 B \exp(-b_1)}{K \cdot 4 \pi P^2}$$

ここに、

$$b_1 = \sum_{i=1}^N m_i t_i$$



D = ガンマ線量率 (R/hr)

S₀ = 光子放出率 (photon / sec)

B = ビルドアップ率

μ_i = i 番目の遮蔽層の
線減衰係数 (cm⁻¹)

K = 光子束から線量率への
変換係数

ρ = 線源と評価点との距離 (cm)

N = 遮蔽層数

(3) 線源強度

表II-1-17の値を用いる。これは、貴事業団提示資料表II-1-16のガンマ線強度から炉停止後30日の値に15%の計算誤差を見込んで、計算したものである。

表II-1-16

もんじゅ用使用済み燃料の γ 線強度単位: $\gamma/cm^2 \cdot sec.$

	γ 線エネルギー	停止直後	2週間	30日	半年	1年
炉心	0.1 ~ 0.4 Mev	5.00×10^{11}	6.43×10^{10}	2.19×10^{10}	3.40×10^9	2.18×10^9
	0.4 ~ 0.9	3.36×10^{12}	8.48×10^{11}	6.60×10^{11}	1.70×10^{11}	4.35×10^{10}
	0.9 ~ 1.35	1.25×10^{12}	2.86×10^{10}	9.90×10^9	6.09×10^8	4.62×10^8
	1.35 ~ 1.8	2.38×10^{12}	3.66×10^{11}	1.34×10^{11}	1.68×10^7	1.20×10^9
	1.8 ~ 2.2	3.58×10^{11}	5.76×10^9	4.65×10^9	3.18×10^9	2.04×10^9
	2.2 ~ 2.6	2.67×10^{11}	1.96×10^{10}	8.25×10^9	2.14×10^6	1.10×10^2
	2.6以上	1.55×10^{11}	0	0	0	0
半径方向 ブランケット	0.1 ~ 0.4	2.48×10^{10}	3.18×10^9	1.09×10^9	1.68×10^8	1.08×10^8
	0.4 ~ 0.9	1.66×10^{11}	4.20×10^{10}	3.27×10^{10}	8.43×10^9	2.15×10^9
	0.9 ~ 1.35	6.19×10^{10}	1.42×10^9	4.90×10^8	3.02×10^7	2.29×10^7
	1.35 ~ 1.8	1.18×10^{11}	1.81×10^{10}	7.60×10^9	8.29×10^7	5.95×10^7
	1.8 ~ 2.2	1.77×10^{10}	2.85×10^8	2.30×10^8	1.58×10^8	1.01×10^8
	2.2 ~ 2.6	1.32×10^{10}	9.71×10^8	4.09×10^8	1.06×10^5	5.42×10^0
	2.6以上	7.66×10^9	0	0	0	0
軸方向 ブランケット	0.1 ~ 0.4	3.18×10^{10}	4.09×10^9	1.40×10^9	2.16×10^8	1.38×10^8
	0.4 ~ 0.9	2.13×10^{11}	5.40×10^{10}	4.20×10^{10}	1.08×10^{10}	2.77×10^9
	0.9 ~ 1.35	7.76×10^{10}	1.82×10^9	6.30×10^8	3.87×10^7	2.94×10^7
	1.35 ~ 1.8	1.51×10^{11}	2.33×10^{10}	9.77×10^9	1.07×10^8	7.64×10^7
	1.8 ~ 2.2	2.27×10^{10}	3.66×10^8	2.96×10^8	2.02×10^8	1.30×10^8
	2.2 ~ 2.6	1.70×10^{10}	1.25×10^9	5.25×10^8	1.36×10^5	6.97×10^0
	2.6以上	9.83×10^9	0	0	0	0

表II-1-17 ガンマ線源強度

平均エネルギー (MeV)	単位体積あたりの 発生光子数 ($\gamma/cm^3 \cdot sec$)	発生光子数 (γ/sec)
0.3	2.52×10^{10}	1.53×10^{15}
0.63	7.59×10^{11}	4.62×10^{16}
1.10	1.14×10^{10}	6.94×10^{14}
1.15	1.77×10^{11}	1.08×10^{16}
1.99	5.35×10^9	3.26×10^{14}
2.38	9.49×10^9	5.78×10^{14}
2.75	~ 0	~ 0



以上より得られたガンマ線量率の結果を，表II-1-18に示す。

表II-1-18 ガンマ線量率

平均エネルギー (Mev)	エネルギー束 (Mev/cm ² ・sec)	線量率 (R/hr)
0.3	1.1 × 10 ⁹	2.1 × 10 ³
0.63	3.8 × 10 ¹¹	7.7 × 10 ⁵
1.10	1.8 × 10 ¹⁰	3.5 × 10 ⁴
1.55	5.0 × 10 ¹¹	8.8 × 10 ⁵
1.99	2.1 × 10 ¹⁰	3.5 × 10 ⁴
2.38	4.7 × 10 ¹⁰	7.2 × 10 ⁴
計	9.7 × 10 ¹¹	1.8 × 10 ⁶

中性子線量率計算は，下に記載する通りである。

(1) 計算モデル

使用済燃料，遮蔽体とも無限平板とする。

各層の厚さは，ガンマ線の場合と同じである。

(2) 計算方法

線源の自己吸収を考慮した次の計算式に基づく。

$$\phi = \frac{S_v}{2\Sigma_s} \left\{ b_1 \int_{b_1}^{\infty} \frac{e^{-t}}{t^2} dt - b_3 \int_{b_3}^{\infty} \frac{e^{-t}}{t^2} dt \right\}$$

ここに， ϕ = 評価点での中性子束 (n/cm²・sec)

S_v = 線源強度 (n/cm²・sec)

Σ_s = 線源の巨視的除去断面積 (cm⁻¹)

$b_1 = \Sigma_1 t_1 + \Sigma_2 t_2$

$b_3 = b_1 + \Sigma_s \cdot h$



$\Sigma_1, \Sigma_2 =$ 各遮蔽層の巨視的除去断面積 (cm^{-1})

$t_1, t_2 =$ 各遮蔽層の厚さ (cm)

$h =$ 線源の厚さ (cm)

(3) 線源強度

貴事業団提示資料表II-1-2によると、使用済燃料中のPuO₂の重量割合は2.3%である。従って使用済燃料10Kg中のPuの重量は、

$$10 \times 0.23 \times \frac{239}{239+32} = 2.03 \text{ Kg}$$

である。使用済燃料からの中性子放出は、(α, n)反応によるものと、自発核分裂によるものがある。(α, n)反応はPuのみ、自発核分裂は、Pu-238のみとして、線源強度を求めると、(α, n)反応による発生中性子のエネルギースペクトルは、表II-1-19、自発核分裂による発生中性子エネルギースペクトルは、表II-1-20のようになる。

以上より得られた中性子線量率の結果を、表II-1-21に示す。

ここで、中性子束 - 線量率の変換係数には、科学技術庁告示第21号「原子炉の設置、運転等に関する規則等の規定に基づき、許容被曝線量等を定める件」別表第2「1ミリレムに相当する粒子フルエンス」の値を用いた。

表II-1-19 ($\alpha \cdot n$) 反応による発生中性子エネルギー分布

エネルギー (MeV)	Pu1gあたりの発生 中性子数n(sec)(g)*	発生中性子数 (n/sec)	再分割 エネルギー群	発生中性子数 (n/sec)
0.2	2.4×10^1	4.9×10^4	0.5	2.4×10^5
0.4	9.5×10^1	1.9×10^5		
0.6	1.5×10^2	3.1×10^5	1.0	1.7×10^6
0.8	2.6×10^2	5.3×10^5		
1.0	4.2×10^2	8.6×10^5		
1.2	6.8×10^2	1.4×10^5	2.0	9.6×10^6
1.4	9.5×10^2	1.9×10^5		
1.6	1.2×10^3	2.5×10^6		
1.8	1.5×10^3	3.1×10^6		
2.0	1.8×10^3	3.7×10^6		
2.2	1.9×10^3	3.9×10^6		
2.4	1.9×10^3	3.9×10^6	3.0	1.9×10^7
2.6	1.9×10^3	3.9×10^6		
2.8	1.8×10^3	3.7×10^6		
3.0	1.5×10^3	3.1×10^6		
3.2	1.1×10^3	2.2×10^6		
3.4	7.6×10^2	1.6×10^6	4.0	5.7×10^6
3.6	4.5×10^2	9.2×10^5		
3.8	3.0×10^2	6.1×10^5		
4.0	2.0×10^2	4.1×10^5		
4.2	1.2×10^2	2.5×10^5			5.0	$2.5 \times 10^5$

* Radiation Properties of Pu-238 Produced for
Isotopic Power Generators (DP-984) Table VIII より

表II-1-20 自発核分裂による発生中性子数

* DP-984 Table IX より

エネルギー (MeV)	Pu19あたりの発生中性子数* (n/sec·g _{Pu})	発生中性子数 (n/sec)
0 ~ 0.5	2.2×10^2	4.5×10^5
0.5 ~ 1.0	2.9×10^2	5.9×10^5
1.0 ~ 2.0	5.9×10^2	1.2×10^6
2.0 ~ 3.0	3.6×10^2	7.3×10^5
3.0 ~ 4.0	1.8×10^2	3.7×10^5
4.0 ~ 5.0	1.3×10^2	2.7×10^5
5.0 ~ 6.0	7.2×10^1	1.5×10^5
6.0 ~ 7.0	2.4×10^1	4.9×10^4
7.0 ~ 8.0	1.7×10^1	3.5×10^4
8.0 ~ 10.0	6.3	1.3×10^4
10.0 ~ 13.0	3.1	6.3×10^3

表II-1-21 中性子線量率

エネルギー (MeV)	発生中性子数 (n/sec)	Sv (n/cm ² ·sec)	中性子束 (n/cm ² ·sec)	線量率 (mrem/hr)
0.5	6.9×10^5	1.13×10^1	5.90	4.15×10^{-1}
1.0	2.3×10^6	3.78×10^1	2.80×10^1	3.30
2.0	1.1×10^7	1.81×10^2	2.74×10^2	3.91×10^1
3.0	1.9×10^7	3.12×10^2	4.72×10^2	6.74×10^1
4.0	6.1×10^6	1.00×10^2	1.47×10^2	2.13×10^1
5.0	5.2×10^5	8.54	1.53×10^1	2.25
6.0	1.5×10^5	2.46	5.23	7.64×10^{-1}
7.0	4.9×10^4	8.05×10^{-1}	1.88	7.81×10^{-1}
8.0	3.5×10^4	5.75×10^{-1}	1.47	2.14×10^{-1}
10.0	1.3×10^4	2.13×10^{-1}	5.36×10^{-1}	8.04×10^{-2}
13.0	6.3×10^3	1.03×10^{-1}	2.68×10^{-1}	4.02×10^{-2}
計			9.51×10^2	1.35×10^2



上に記載した結果から，ポロキシダイザー表面のガンマ線，中性子線量率は非常に高いことがわかる。

これは，ポロキシダイザーのみならず，本工程全般にわたって各機器の放射能インベントリーが大きいことを示している。

従って，工程の各機器に対する設計上の基本的要求事項として，次のことが挙げられる。

- (1) 動的機器以外はすべてホットセル内に設置する。
- (2) 各機器内をホットセルより低圧とする。
- (3) 原動機等の動的機器は，保守の点から，他の機器と隔離する。
- (4) 放射能漏洩を防ぐため，ダイヤフラム等のシール機構を施す。

本工程の冷却系は，1.2.2「主要機器の機能」，4)「冷却系」に記載した通りとし，冷却装置の放射能汚染防止のために，下に記載する対策を講じることとする。

- (1) ポロキシダイザー系の各機器の冷却管を，一次の冷却媒体窒素ガスが汚染されないよう，装置外表面に装備する。
- (2) ポロキシダイザー系の窒素ガスが汚染され，さらに一次冷却器の冷却管が破損した場合に，二次冷却水が汚染されないよう，二次冷却水の圧力をヘッドタンク方式により，窒素ガスの圧力より高くとる。
- (3) オフ・ガス系の一次冷却水が汚染され，さらに一次冷却器の冷却管が破損した場合に，二次冷却水が汚染されないよう，二次冷却水の圧力をヘッドタンク方式により，一次冷却水の圧力より高くとる。

1.6.3 ポロキシデーション工程の熱的安全性

ポロキシダイザー系の全装置に対して、1.2.2「主要機器の機能」、4)「冷却系」に記載した冷却装置を設け、燃料の崩壊熱による機器の温度上昇を防ぐとともに、事故時の緊急冷却もできるものとして、工程全般の熱的安全性を確保する。

1.6.4 ポロキシデーション工程の保守

ポロキシデーション工程の機器類は、強度上 부품の寿命を長くし、摩耗の少ない構造にするとともに、摩耗部は機器本体を分解することなく、ホットセル外からマニプレータにより、簡単に遠隔保守、取換えができる構造にする必要がある。

本質的に保守を避けることができない駆動装置については、別の保守区域に設置して、伝動軸により動力を伝え、区画壁に軸貫通部のシール装置を設けるものとする。

ただし、ポロキシダイザーの駆動装置については、ポロキシダイザーを傾斜させるため、駆動装置を別置きにすると、伝動軸の連結が難かしく、また連結部の保守が別途必要となるため、駆動装置を一体で、ホットセルの外からマニプレータにより簡単に遠隔取換えのできる構造として、ポロキシダイザー本体に直結して設けるものとする。

しかし、放射線による潤滑油の劣化などの問題もあり、今後の研究の進捗に伴い起振器を別区域に設置する場合もあり、さらに検討することが必要である。

その他の機器の駆動装置については、伝動軸の連結上の問題がないので別区域に設けるものとする。

オフ・ガス処理系の吸着材の取換えについても、ホットセル外のマニプレータにより遠隔操作が簡単にできる機構とする。

1.7 ポロキシデーション工程の運転方法概要

1.7.1 運転タイムスケジュール

本工程の運転方式は、1.3.1「ポロキシデーション工程の運転方式」に記載した理由により、回分式である。

本工程の運転の基本条件を、下の通りとする。

本工程の処理容量	120 Kg/日
ポロキシダイザー処理容量	10 Kg/回分
〃 並列運転台数	3台
〃 運転回数	4回分/日

本工程の運転タイムスケジュールを、図II-1-15「ポロキシデーション工程の運転概念タイムチャート」に表わす。

- (1) 各処理時間を下の通り設定すると、運転第1日目の運転時間は、約15時間となる。

ポロキシダイザー昇温時間	約2.5時間
燃料酸化処理時間	〃 2.5 〃
燃料供給および排出時間	〃 0.5 〃
後処理時間	〃 1.0 〃

運転終了時のポロキシダイザーの降温は、緊急を要する非常時を除き、電源を切った後、装置の自然放熱によるものとする。

従って、運転第二日目以降は、前日の運転によりポロキシダイザーに余熱があるため、暖機時間を短縮することができるので、1日約14時間の運転となる。

- (2) ポロキシダイザーの暖機は、炉壁および電熱線の寿命対策として、電熱線の入力電圧を除々に増加させ、炉壁および電熱線の温度の急変を避ける。
- (3) 排気ブロワは、燃料の酸化処理中は高速運転により、処理に必要な容量のオフ・ガスを系外に排出し、その他の運転状態では、系内を系外より低圧に保つために、低速で運転する。



- (4) ポロキシナイザーへの酸素ガスの供給は、排気ブロワの高速運転中に行うものとする。

ただし、初回分の燃料酸化処理前には、ポロキシナイザー内を酸素によりパージするため、酸素を別途供給する。

- (5) 粉末燃料、被覆管排出処理装置の冷却は、粉末燃料、被覆管の排出が終った時点で、それぞれの機内の温度の上昇を検出することにより、実際に排出されたことを確認してから、それぞれの冷却を開始するものとする。

1.7.2 運転シーケンス

本工程の運転シーケンスを図II-1-16「ポロキシデーション工程の運転概念フローチャート」に表す。

- (1) ポロキシナイザー常用3台に対する工程の各操作ステップは、3台同時に行うものとする。

- (2) 本工程の運転中に異常状態が発生した場合

ポロキシナイザーの加熱停止

酸素ガスの供給停止

ポロキシナイザーの振動停止

を行い、オフ・ガス排気ブロワは低速運転を継続させて、本工程の運転を停止する。

図II-1-16のフローチャートに表した通り運転の操作ステップが多く、判定機能も多いので、本工程にはコンピュータ制御による自動運転を採用する。

1.7.3 計装・制御概要

1) 自動制御

各項目単独の制御装置により、下の自動制御を行う。

(1) 自動温度制御

燃料供給、ガスシール装置内温度

ボロキシナイザー炉内温度

粉末燃料排出処理装置温度

燃料被覆管排出処理装置温度

固体飛散物捕集装置内温度

// 入口側オフ・ガス温度

ヨウ素コールドトラップ入口側オフ・ガス温度

ヨウ素コールドトラップ出口オフ・ガス温度

トリチウム水生成装置出口オフ・ガス温度

オフ・ガス冷却器出口オフ・ガス温度

ヨウ素コールドトラップ再生用窒素ガス加熱器出口ガス温度

// 冷却器出口ガス温度

トリチウム水捕集装置再生用窒素ガス加熱器出口ガス温度

// 冷却器出口ガス温度

ボロキシナイザー系冷却用窒素ガス冷却器出口ガス温度

ボロキシナイザー系冷却用二次水冷却器出口二次水温度

オフ・ガス系冷却用一次水冷却器出口一次水温度

オフ・ガス系冷却用二次水冷却器出口二次水温度

(2) 自動圧力制御

ボロキシナイザー炉内圧力

酸素ガス供給用バッファタンク圧力

水素ガス供給用バッファタンク圧力

ヨウ素コールドトラップ再生用窒素ガスバッファタンク圧力

トリチウム水捕集装置再生用窒素ガスバッファタンク圧力

(3) 自動流量制御

酸素ガス流量

トリチウム水生成用水素ガス流量



(4) 自動切換

オフ・ガス排気ブロワ

ボロキシナイザー系冷却用窒素ガス循環ブロワ

〃 二次冷却水ポンプ

オフ・ガス系冷却用一次冷却水ポンプ

オフ・ガス系冷却用二次冷却水ポンプ

ヨウ素コールドトラップ再生ガス循環ブロワ

トリチウム水捕集装置再生ガス循環ブロワ

(5) 安全制御

各種トリップは、センサーおよびアクチュエータともに、自動運転のためのコンピュータ制御装置および自動制御装置とは別の単独の装置とする。

各種インターロックは、運転の操作ステップの前提条件となるものであるから、コンピュータ制御装置に含めるものとする。

(6) 計 装

本工程の各運転状態のデータを、自動運転のためのコンピュータ制御装置を通して、一定の周期で記録する。

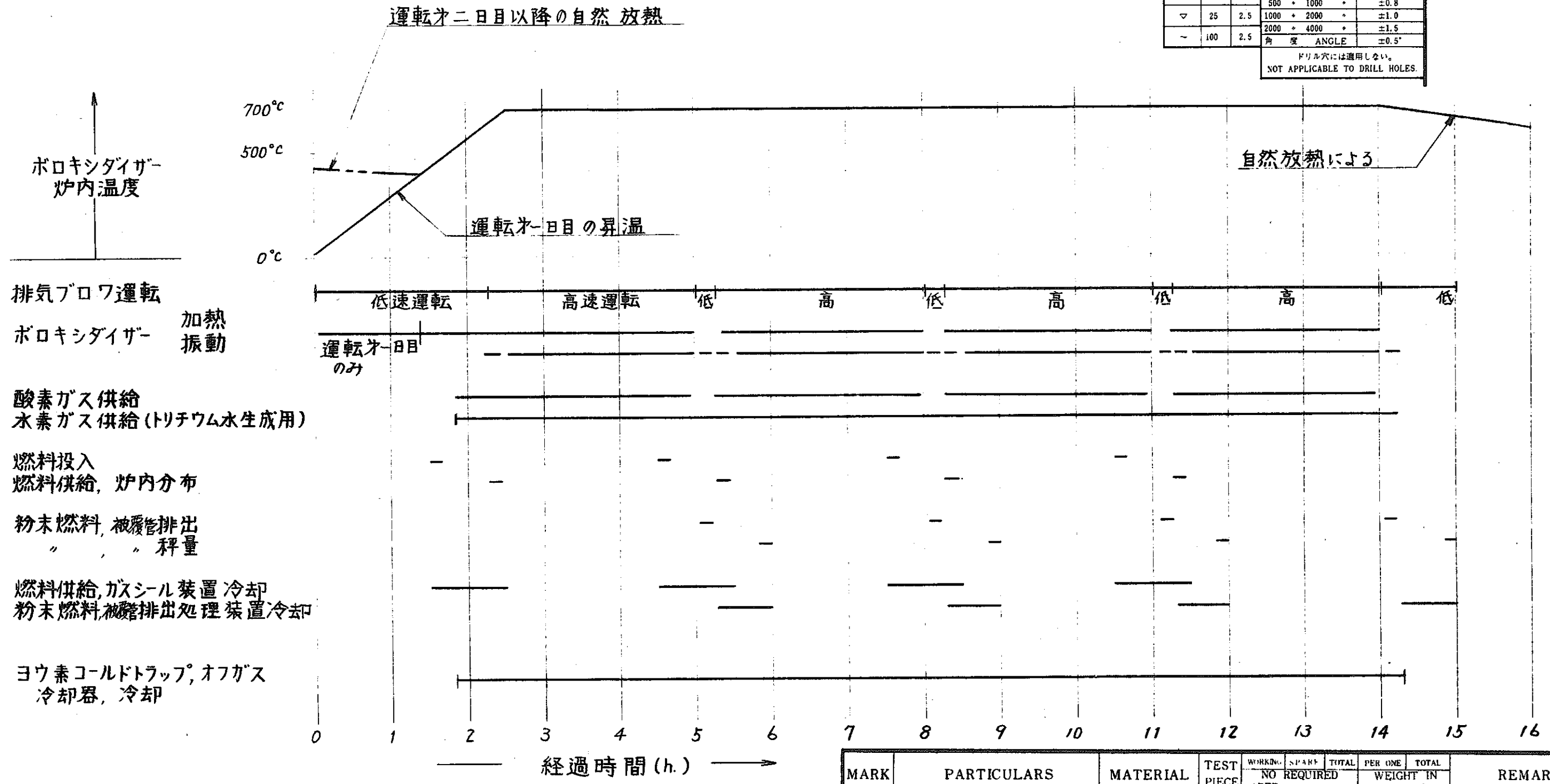
重要なデータについては、単独のセンサー、回路および指示、表示器により、監視盤上に指示、表示され、連続記録計により記録されるものとする。このデータは、コンピュータ制御装置によるデータと重複する。

あらき ROUGHNESS		普通寸法差.機械加工 TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED MACHINE CUT		公差 DIMENSION mm 許容差 TOL. mm	
記号 SYMBOLS	Ra μm	Ac mm	寸法 DIMENSION	公差 TOL.	公差 TOL.
▽▽▽	0.2	0.8	1以上4以下 Incl	±0.1	
▽▽	0.2	0.8	4をこえ16	±0.2	
▽	1.6	0.8	16 * 63 *	±0.3	
▽	1.6	0.8	63 * 125 *	±0.4	
▽	6.3	2.5	125 * 250 *	±0.5	
▽	6.3	2.5	250 * 500 *	±0.6	
▽	6.3	2.5	500 * 1000 *	±0.8	
▽	25	2.5	1000 * 2000 *	±1.0	
▽	25	2.5	2000 * 4000 *	±1.5	
~	100	2.5	角度 ANGLE	±0.5°	

ドリル穴には適用しない。
NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES.

図面来歴
昭和52年9月
IHI 原子力室にて調製

II-77



ボロキシダイザ
炉内温度

排気ブロウ運転
ボロキシダイザ
加熱
振動

酸素ガス供給
水素ガス供給 (トリチウム水生成用)

燃料投入
燃料供給, 炉内分布

粉末燃料, 被覆能排出
" " 秤量

燃料供給, ガスシール装置冷却
粉末燃料, 被覆能排出処理装置冷却

ヨウ素コールドトラップ, オフガス
冷却器, 冷却

経過時間 (h.)

CAUTION
This drawing is the PROPERTY of
ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY
INDUSTRIES Co., Ltd. and is confi-
dential.
In this connection, please kindly ob-
serve the followings.
It shall not be traced, otherwise
copied, nor used for any other purpose,
nor communicated to any other person
without our written permission.

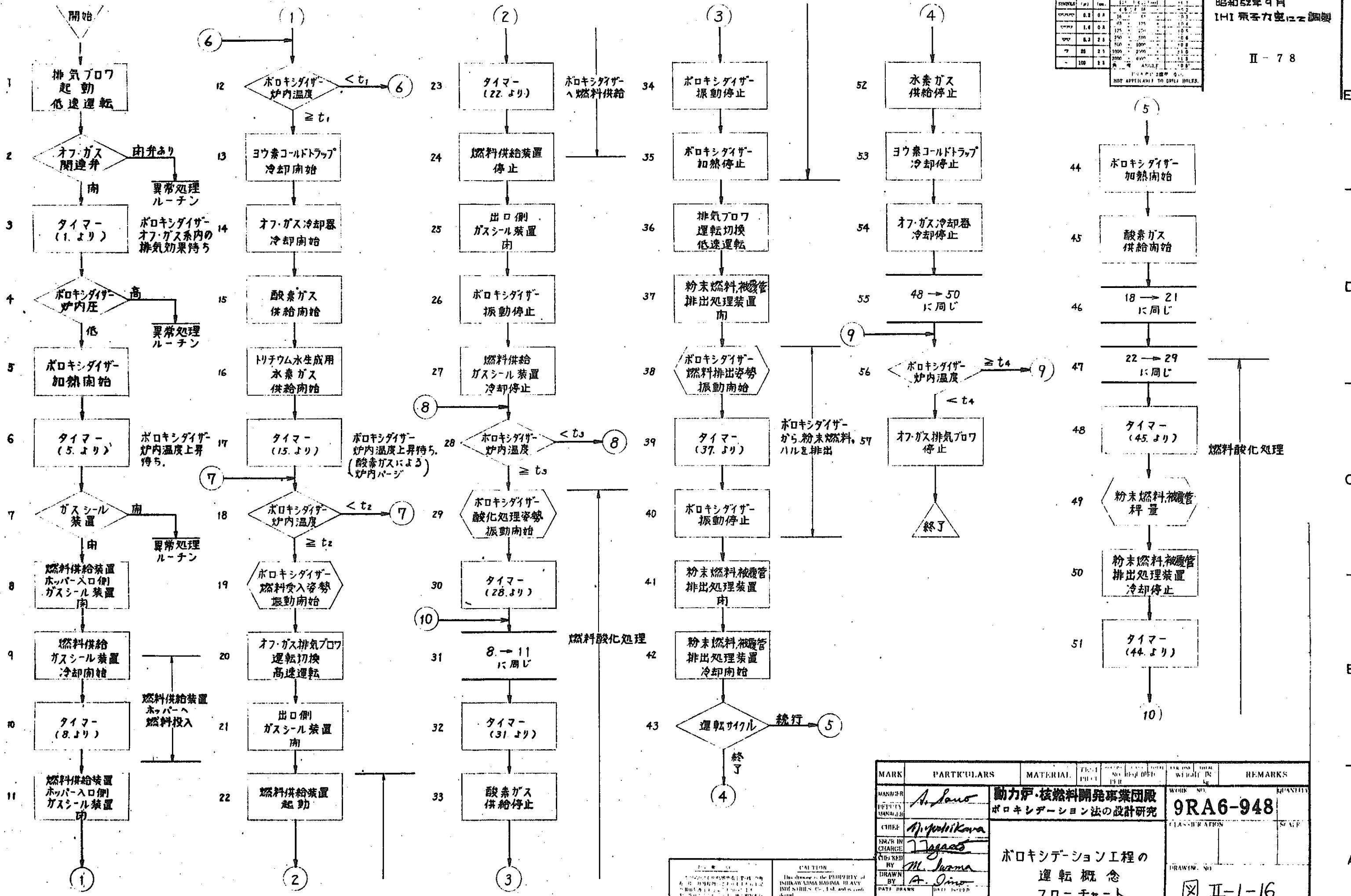
この図面は石川島播磨重工業株式の所
有に係り社外秘扱いでありますから下記
の事項を遵守するようお願いいたします
1) 許可なく複製その他の複製を行
なれないこと
2) 許可なく第三者に見せないこと
3) 許可なく指定された用途以外に使用
しないこと
4) 上記に因り許可を得る場合は書類に
よること

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORKING NO (PER)	SPARE TOTAL	PER ONE WEIGHT IN kg	TOTAL	REMARKS
MANAGER	Asano	動力炉・核燃料開発事業団 ボロキシデーション法の設計研究		WORK NO. 9RA6-948		QUANTITY		
DEPUTY MANAGER				CLASSIFICATION		SCALE		
CHIEF	Yoshikawa	ボロキシデーション工程の 運転概念 タイムチャート		DRAWING NO. II-1-15				
ENG'R IN CHARGE	Tagaeb							
CHECKED BY	M. Iwama							
DRAWN BY	A. Iino							
DATE DRAWN								
DATE ISSUED								

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.
技術本部 原子力開発室

ROUGHNESS	SYMBOL	Ra	Ar	1.2. DRILLING	1.2. DRILLING	1.2. DRILLING	1.2. DRILLING	1.2. DRILLING
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

図 面 来 歴
昭和52年9月
IHI 東京力発にて調製
II-78



MARK	PARTICULARS	MATERIAL	FIG. NO.	REV.	DATE	BY	CHKD.	APP. NO.	DATE	REMARKS
MANAGER	A. Sano	動力炉・核燃料開発事業団 燃料酸化処理法の設計研究								
CHIEF	M. Yaguchi									
ENGR. IN CHARGE	M. Suma									
DRAWN BY	A. Oino									
DATE DRAWN										

9RA6-948
BORON OXIDATION ENGINEERING
OPERATIONAL CONCEPT
FLOW CHART
Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.
技術本部 原子力開発室

1.8 ポロキシナイザーのアイデア設計

1.8.1 ポロキシナイザーの形式

一般にポロキシナイザーは、1.2.2「主要機器の機能」に記載した機能に合うものとして、下に記載する形式がある。

- (1) 振動式
- (2) 回転式
- (3) 流動床式

これらの形式のうち、流動床式については、1.8.2「ポロキシナイザーの処理機能」に記載する通り、燃料の処理時間が長い本工程にはあまり適していないので除外し、振動式および回転式について比較検討する。

なお、振動式ポロキシナイザーは、幣社の考案した装置であり、回転式ポロキシナイザーは、一般的な装置であるがORNL-4422の2.4節に記載されている構造とする。

1) ポロキシナイザーの形式の比較

(1) 構造

振動式ポロキシナイザーの構造を図II-1-18に、回転式ポロキシナイザーの概略構造を図II-1-17に示す。

両形式とも回分式の場合について構造を比較すれば、回転式ポロキシナイザーの燃料入口側の回転筒の端は、処理中の燃料を回転筒内に留めるため円周部を覆う必要があり、従つて粉末燃料出口および被覆管出口を燃料入口側と反対の回転筒の端に設けなければならないが、振動式ポロキシナイザーでは、燃料入口、粉末燃料出口および被覆管出口の配備位置に任意性があり、炉の一部にまとめて設けられる。

両形式は傾斜装置を設けるものとして、これらの出入口の近くに傾斜の回転中心をとれば、出入口管の伸縮量を少なくできるので、振動式が有利である。

一方、振動式ポロキシナイザーは、燃料処理板の自重、燃料の重さおよび熱に

より一定の方向に撓みができるが、回転式ボロキシダイザーの回転筒は、回転するため撓みの方向性がない。

ただし、総合的には、両形式に顕著な優劣はない。

(2) 気密性

回転式ボロキシダイザーでは、炉を貫通する回転軸のグランドシール装置の摺動部から、ボロキシダイザー内の気体が漏洩する可能性があるが、振動式ボロキシダイザーには回転軸がなく、炉筒を密閉型にできるので、気密性では振動式が有利である。

(3) 寸法

回転式ボロキシダイザーの回転外筒および回転内筒の間に、粉末燃料が回転内筒の篩い孔を通つて入るものとして、処理容量 10 Kg/回分の回転式ボロキシダイザーの主要寸法を試算すると、図 II-1-17 に示した通りとなり、回転筒の燃料処理部の長さは約 1,700 mm、炉筒の全長は約 2,700 mm、であるが、同容量の振動式ボロキシダイザーについては、図 II-1-18 に示す通り燃料処理部の長さは 1,820 mm、炉筒の全長は 3,100 mm であるから、炉の長さは回転式が有利である。

(4) 容量の拡大性

回転式ボロキシダイザーの炉筒内径は、1.6.1「ボロキシデーション工程の臨界安全性」に記載した通り、臨界量から 226 mm 以内に制限されるので、大容量の装置を開発するためには炉筒を長くする必要があるが、炉筒の長さには工学的に限度がある。

一方、振動式ボロキシダイザーは、燃料処理板の長さとともに巾も大きくできるので、回転式よりも大容量の装置が開発し易い。

(5) 燃料の粉化に与える影響

幣社の振動式ボロキシダイザー冷態試験装置および回転式ボロキシダイザー冷態試験装置による試験結果を比較すると、回転式では回転内筒の羽根により被覆

管入りの試料が持ち上げられて落下，衝突するため，試料に与える粉砕力が大きく，振動式で回転式と同じ程度の粉砕力を試料に与えるためには，振動数 50Hz，全振幅 1.5 mm 程度の大きな振動を必要とするため，回転式が少し有利である。

なお，弊社の試験に用いた試料については，1.8.3 項 1)，(2) に示す通りである。

(6) 粉末燃料の選別性

回転式ボロキンダイザーでは，粉末燃料が回転筒に連れ回され，回転内筒の上部から篩い孔を通つて回転内筒の中に戻り，排出される被覆管に粉末燃料が混入する可能性が大きい。振動式では多孔板によつて篩い落とされた粉末燃料は，多孔板上に戻ることがないので，選別性では振動式が有利である。

(7) 燃料の移動性

両形式とも連続式の場合について比較すれば，弊社の両形式の冷態試験装置による試験結果から，回転式ボロキンダイザーでは，被覆管入り燃料が落下した時の衝突による運動方向が一定していないため，各燃料片の移動速度が不均一で，一部の燃料は未酸化のまま粉末燃料出口から排出される割合が，振動式に比べて大きい。

ただし，回分式の場合には，両形式に優劣はない。

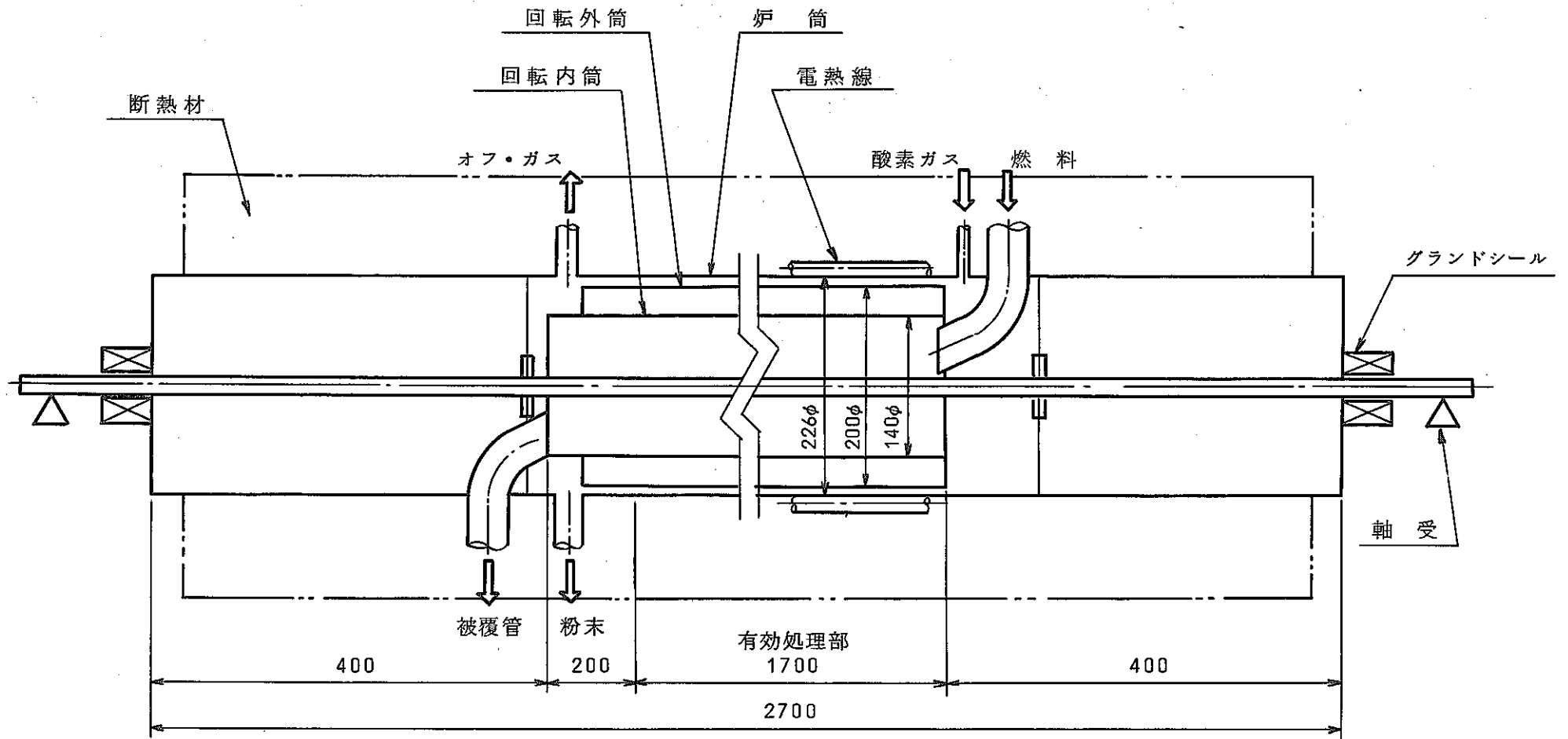
(8) 振動の影響

振動式ボロキンダイザーでは，装置を共振させないための設計が必要であるが，回転式ボロキンダイザーでは振動の発生する可能性が少なく，回転式が有利である。

(9) 保守性

両形式ともに駆動用原動機は保守が必要であるが，ボロキンダイザー本体に関しては，回転式ボロキンダイザーの回転軸グランドシールは保守の必要があるが，振動式ボロキンダイザーの部品には保守の必要がなく，振動式が有利である。

上に記載した通り，両形式とも長短があり，また，装置を開発する上で致命的な問題もなく，両形式に明確な優劣はつけ難いが，本工程では，気密性および保守性に重点をおいて，振動式を採用する。



図II-1-17 回転式ボロキンダイザー概略構造

1.8.2 ボロキシダイザーの処理機能

ボロキシダイザーの型式を，1.8.1「ボロキシダイザーの型式」に記載した理由により，振動式として，処理機能を表す。

ボロキシダイザーに要求される機能の概要は，1.2.2「主要機器の機能」に記載した通りである。

1) 処理対象の使用済み燃料

高速増殖炉の原型炉として計画されている「もんじゅ」用の燃料を対象とし，実験炉である「常陽」用の燃料を参考にする。

燃料の寸法

	もんじゅ用	(常陽用)
燃料ペレット径	5.4 ± 0.05	(5.4 ± 0.05) mm
" 長さ	10.0 ± 1.00	(10.0 ± 1.00) mm
被覆管外径	6.5	(6.3) mm
" 厚さ	0.47	(0.35) mm
" 内径	5.56	(5.6) mm

燃料の重さ

	もんじゅ用	(常陽用)
燃料ペレット密度	9.4	(10.3) g/cc
被覆管密度 (SUS316)	8.03	(8.03) g/cc

燃料ペレット重さ (単位長 10 mm = 単位ペレット)

$$\pi / 4 \times \text{径}^2 \times \text{長さ} \times \text{密度}$$

$$\text{もんじゅ用 } \pi / 4 \times 0.54^2 \times 1.0 \times 9.4 = 2.15 \quad (\text{g})$$

$$(\text{常陽用 } 2.36 \text{ g})$$

被覆管重さ (単位長 10 mm)

$$\pi / 4 \times (\text{外径}^2 - \text{内径}^2) \times \text{長さ} \times \text{密度}$$

$$\text{もんじゅ用 } \pi / 4 \times (0.65^2 - 0.556^2) \times 1.0 \times 8.03 = 0.715 \quad (\text{g})$$



(常陽用 0.525 g)

燃料切断片重さ (単位長 10 mm)

もんじゅ 2.87 g

(常陽 2.88 g)

切断燃料

剪断による切断法では、燃料切断片の形状を崩さずあまり短かく切断できないが、ポロキシナイザーによる燃料の酸化 - 粉化処理を効率よくするためには、燃料の切断長さを短かくすることが望まれる。

本計画では、

SAFETY ANALYSIS, SPENT FUEL PROCESSING PLANT

Part B of License Application, Volume 1

NUCLEAR FUEL SERVICES, INC.

July 1962 , Revision 2. May 30.1964

" 5.17 The shear chops the fuel into preselected length from 1/2" to 2 inches" (1 st paragraph)

を参考に、12 mmの長さに切断できるものとする。

切断燃料長さ 12 mm

切断燃料重さ

	もんじゅ用	(常陽用)	
燃料のみ	2.58	(2.83)	g
被覆管入り	3.44	(3.46)	g

2) 切断燃料供給量

ポロキシナイザーの処理容量を 1.8.6 「主要部強度」に記載する理由により、10 Kg/回分とする。

切断燃料数

供給量/切断燃料重さ(燃料のみ, ハルは含まず)

もんじゅ用 3,871(10,000.34g)

3,880()とする。

(常陽用 3,533(10,000.86g))

供給時間 10分とする。

平均供給数

もんじゅ用 6.45/秒

(常陽用 5.89/秒)

3) 処理温度

高速増殖炉用燃料として, 資料ORNL-TM-3723の内, PuO_2 を20%, またはそれ以上含む燃料に関するデータにより検討する。

燃料切断片を酸化, 粉化するために適した温度は, 450~750℃であり, 低温では350℃以上でも酸化および粉化が不完全になる。^{*1}

また, 温度が高いと750℃以上でSINTERING が起き, 揮発性FPの分離を妨げるとともに燃料が水晶状の結晶となる。^{*2}

燃料を被覆管から速く離脱させるための酸化温度は, 480℃が最適であるが,^{*3} ヨウ素を分離させるためには, 650~750℃が適している。^{*4}

トリチウムは, 450~750℃範囲で約95%以上分離されていて大差はないが, 650~750℃で99%以上分離され,^{*5} ヨウ素と同様に650~750℃が適当である。

クリプトンおよびキセノンは, SINTERING を起さない750℃以下で, 温度が高い程分離され易い。^{*6}

以上のデータから, 揮発性FPは温度が高い程分離され易いが750℃以上では



SINTERING を起すので，処理温度は700℃が適当である。

*1	:	ORNL-TM-3723,	ABSTRACT
*2	:	"	5.3.3
*3	:	"	5.3.2
*4	:	"	5.3.2 5.3.5
*5	:	"	TABLE 5.8
*6	:	"	5.3.5

4) 処理時間

ORNLの資料に，被覆管入りの高速増殖炉用燃料の処理時間に関するデータはないが，軽水炉用燃料の処理時間として，ロータリーキルン式で2.5時間のデータがある。(ORNL-TM-3723, 6.3 128頁)

また，弊社の振動式ボロキシダイザー実験装置を用いた実験によると，2時間の加熱処理で，模擬燃料の粉化による被覆管からの離脱率は98.0～99.4%になり，被覆管内面に模擬燃料の僅かな付着が認められるが，被覆管は空になった。

試料 - 劣化ウランの模擬燃料，径5.6mm×長さ12.0mm

ステンレス鋼製被覆管入り

加熱温度 - 475℃

振動の加速度 - 0.39～0.69G

以上のデータから，処理時間を2.5時間とする。

5) 振動の強さ

弊社の振動式ボロキシダイザー実験装置を用いた，劣化ウランの試験による実験によると，

加熱温度が450～500℃の範囲で，被覆管入り試料の2時間の加熱試験では，振動の加速度が約1.6G以下で，試料の被覆管からの離脱率が約92%以上であり，特に475℃，0.39Gの試験での離脱率が約99.4%と高かったので，試料の酸化，粉化，被覆管からの離脱を促進させるための振動は弱くてもよいと考えられる。



試料に与える振動は、被覆管の両端部の試料表面から、酸化した試料の小片を剝離させ、被覆管外に振り出すための強さがあればよく、強い振動である必要はない。

以上の実験結果から、ウランに対しては、振動数 20 Hz, 全振巾 0.9 mm, 振動の加速度 0.69 G 程度が適当である。

高速増殖炉用燃料の処理に関しては、PuO₂ が酸化、粉化の効率を低下させることを考慮して、劣化ウランの試験結果に対して、振動の加速度を約10倍で計画する。

振動数 50 Hz, 全振巾 1.5 mm

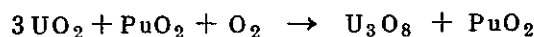
振動の加速度 7.55 G

上の振動により、燃料切断片が燃料処理板上で衝突して振動を受ける確率を1/10とすれば、燃料（被覆管を含め約1.3 Kg）に与えられる仕事量は約7.6 Kg_m/分となり、一方回転式ボロキシナイダーでの、燃料切断片の落下距離を140 mm, 回転数を4 rpm（落下回数11回/分）とすると、燃料に与えられる仕事量は約5 Kg_m/分となるので、上に記した振動の強さは、回転式ボロキシナイダーの燃料に与える仕事量に匹敵する。

6) 化学変化

燃料中の UO₂ は酸化反応により、代表的な形で U₃O₈ になるが、酸素の拡散、加熱温度などの酸化反応の条件により、U₃O₇, U₄O₉^{*} になる場合もあるが、酸化反応の詳細が不明なので、代表的な U₃O₈ に酸化されるものとして計画する。

燃料中の PuO₂ は、高温でも安定した酸化物であり、それ以上酸化反応を起さない。



* ORNL-TM-3723, ABSTRACT

7) 所要酸素量

燃料は全量ウランとし、燃料中のウランには、²³⁵U, ²³⁶U, ²³⁷U, ²³⁸U および ²³⁹U があるが、最も含有量の多い ²³⁸U を代表として、計算する。

$$\text{モル比} \quad 3\text{UO}_2 : \text{O}_2 = 3 \times 270 : 32$$

$$\text{O}_2 / 3\text{UO}_2 = 32 / (3 \times 270) = 0.0395$$

$$\text{理論酸素量} \quad \text{UO}_2 \text{ 1 Kg 当り} \quad 0.0395 \text{ Kg}$$

$$27.7 \text{ N}\ell$$

$$(\text{O}_2 \text{ 密度 } 1.4286 \text{ g/N}\ell)$$



従って 10 Kg の UO_2 を 2.5 時間で U_3O_8 まで酸化するための

理論必要酸素量は

処理量 / 処理時間 × 理論酸素量 より

$$10 / 2.5 \times 27.7 = 110.8 \text{ (Nℓ/h)} \text{ である。}$$

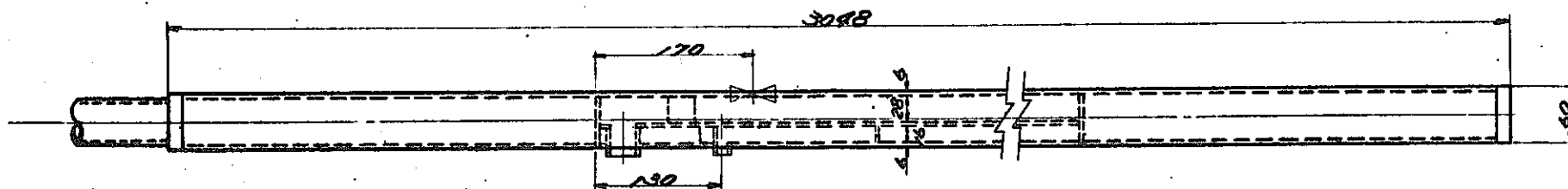
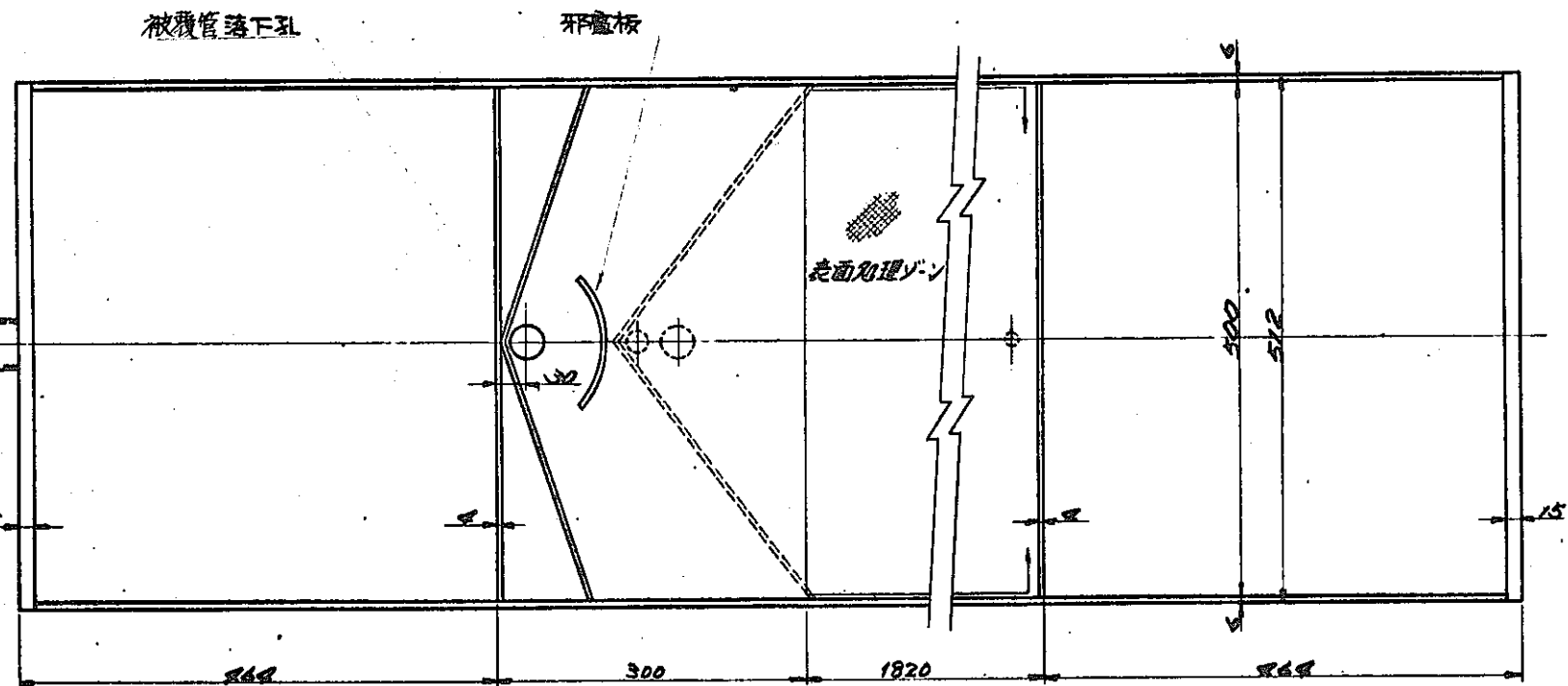
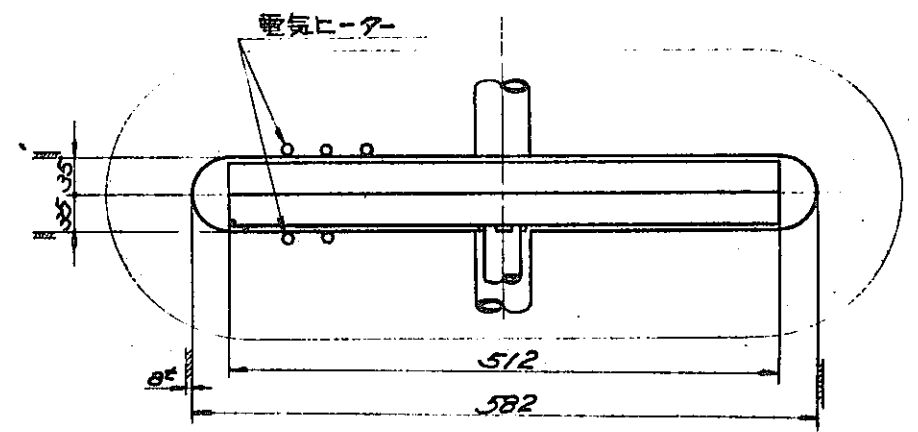
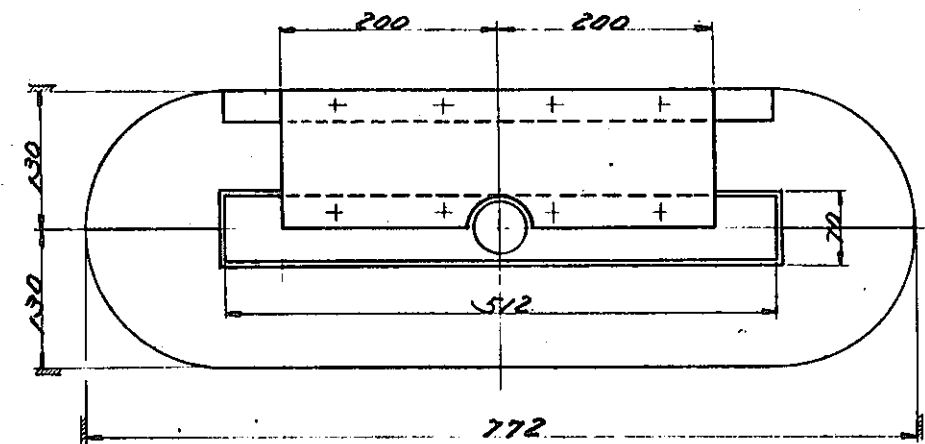
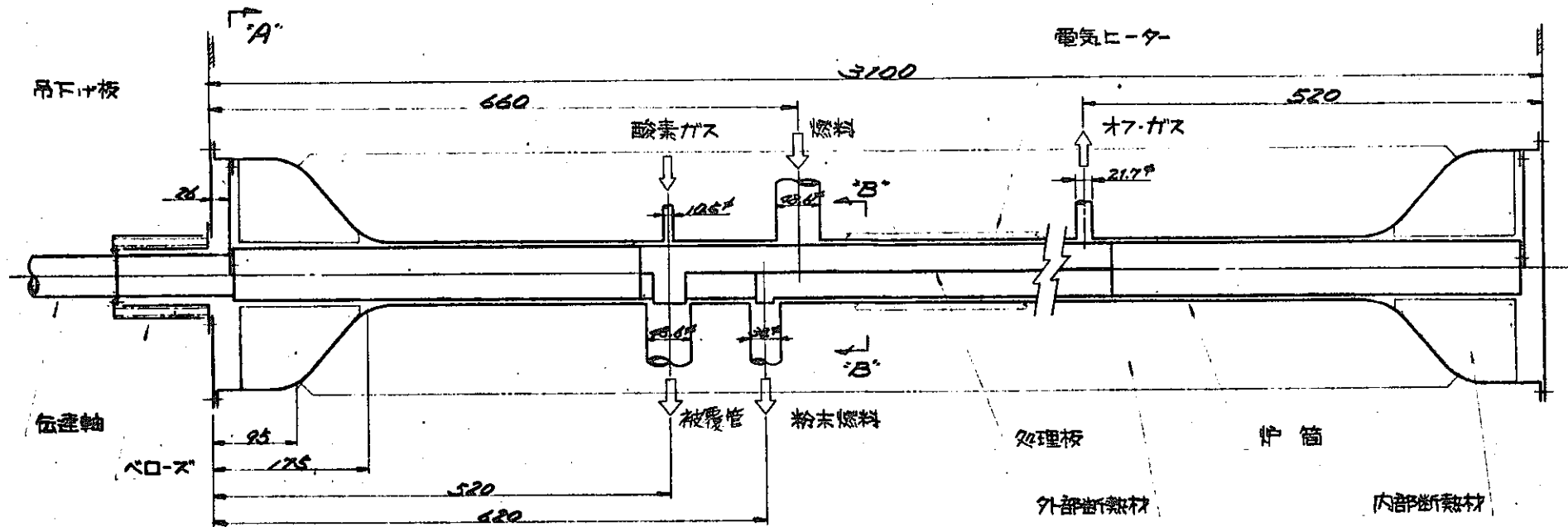
しかし、実際の酸素供給率は次の様な理由から理論必要量よりも、大きくする必要がある。

- (1) 使用済燃料の酸化過程が明確でない。
- (2) 燃料片の大きさには、バラツキが予想されるが、この大きさによって、反応速度が変わる。
- (3) 反応時の酸素圧により反応速度が変わる。
- (4) F P のキャリヤガスとして余剰分が必要である。

(ORNL の実験では、供給ガス種が空気や窒素ガスと酸素の混合ガスであることから、キャリアガス量が反応酸素量の 3 ~ 4 倍であることが推察される)

本工程では、これらを考慮して酸素供給率は理論必要酸素量の 3 倍に設定する。

$$\text{供給率} = 110.8 \text{ (Nℓ/h)} \times 3 \approx 330 \text{ (Nℓ/h)}$$



ROUGHNESS		TOLERANCES	
STAMP	UNIT	UNIT	UNIT
0.2	0.1	0.1	0.1
0.4	0.1	0.1	0.1
0.8	0.1	0.1	0.1
1.6	0.1	0.1	0.1
3.2	0.1	0.1	0.1
6.3	0.1	0.1	0.1
12.5	0.1	0.1	0.1
25	0.1	0.1	0.1
50	0.1	0.1	0.1
100	0.1	0.1	0.1

図面来歴
昭和52年9月
IHI 原子力室にて調製
II-90

設計仕様
型式 : 振動式ボロキシタイザー
燃料処理量 : 10 kg/面分
使用温度 × 圧力 : 700°C × -50 mmAq (VACUUM)

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	PLANT	NO. OF SHEETS	WEIGHT	REMARKS
MANAGER	<i>A. Iino</i>	動力炉・核燃料開発事業団 ボロキシデーション法の設計研究				
DEPUTY MANAGER					9RA6-948	
CHEF	<i>M. J. Iikawa</i>					
ENGR IN CHARGE	<i>T. Nagata</i>					1/5
CHECKED BY	<i>M. Iwama</i>	振動式 ボロキシタイザー				
DRAWN BY	<i>A. Iino</i>	構造図				
DATE DRAWN						II-1-18

CAUTION
This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential.
In this connection, please both observe the following:
1. It shall not be traced, otherwise copyright may be used for any other purpose.
2. It shall not be loaned, sold, or otherwise disposed of to any other person without our written permission.

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.
技術本部 原子力開発室

1.8.3 ポロキシナイザーの構造

振動式ポロキシナイザーは、ポロキシナイザー本体、起振器、固定台、傾斜台および傾斜調節器により構成される。

1) ポロキシナイザー本体

振動式ポロキシナイザーの構造を図 II - 1 - 18 に示す。

ポロキシナイザー本体は、横型の密閉された炉筒、燃料処理板、処理板支持機構、加熱および保温装置から構成される。

炉筒は、長円型とし、上部に燃料入口、酸素入口、排ガス出口を設け、炉筒の外側には、電熱式の加熱線を設け、加熱線の部分も含めて外部断熱材によって被覆されている。

また、炉内の温度調節および緊急冷却用の冷却管を、加熱線の外側の位置で、外部断熱材の内部に設ける。

炉筒内部には、処理板吊下げ板を介して、炉筒中心部を長手方向に伸びる燃料処理板が吊下げられている。

燃料処理板は、燃料切断片に振動を与えながら酸化させる波形多孔板と、多孔板の小孔を通して落下した粉末燃料を受ける平板から成り、波形多孔板の上部は、粉末燃料が炉底に飛散することを防ぐための覆い板が設けられている。

炉筒下部には、燃料処理板の多孔板および粉末燃料受け板のそれぞれの出口に合わせて、粉末燃料出口および被覆管出口が、設けられている。

炉筒内部両端には、炉内の熱が外部へ散逸するのを防止するため、内部断熱材が設けられており、炉筒の一端に設けたベローズを介して燃料処理板に振動が伝えられる。

各部の検討を下に記す。

(1) 炉筒および加熱方式

下に記載する炉筒構造選定条件を満たす炉筒型式を、図 II - 1 - 19 「炉筒形式選定フロー」に示す。

図 II - 1 - 19 で選定した炉筒の形式を、加熱方式を含めて表 II - 1 - 22 .



表 II - 1 - 23, 表 II - 1 - 24 に示す通り検討した結果, 炉筒は必要熱量の少ない, 大型化に適した長円形とし, 加熱方式は電熱線の保守, 取り換えが容易な外装加熱式とする。



炉筒構造選定条件

- | | | |
|-----------------------|-------|---|
| (A) 処理機能 | A - 1 | 処理板が内蔵されること。 |
| | A - 2 | 炉内温度が均一になること。 |
| (B) 強度, 寿命 | B - 1 | 高温強度が十分であること。 |
| | B - 2 | 炉体と処理板のたわみ差が小さいこと。 |
| | B - 3 | 熱変形が小さいこと。 |
| | B - 4 | 炉内部品が寿命が長いこと。 |
| | B - 5 | 本体に有害振動が伝わらないこと。 |
| (C) 法的規制
および
安全 | C - 1 | 適用法規が確立すればこれを満足すること。 |
| | C - 2 | 放射能安全性が高いこと。 |
| | C - 3 | 事故時に内部残留物の排出が可能なこと。 |
| | C - 4 | 臨界に達しないこと。 |
| | C - 5 | 外表面の温度が低くなること。 |
| (D) 保守性 | D - 1 | 炉内部品は保守の必要がないこと。 |
| | D - 2 | 炉底落下の粉の処理法を考慮のこと。
炉外部についても保守の必要が少ないこと。 |
| | | |
| (E) 工作性・
経済性 | E - 1 | 動的部と固定部間のクリアランスは、余裕をもつこと。 |
| | E - 2 | 昇温時間が短いこと。 |
| | E - 3 | 設備費および運転費が安いこと。 |



図 II-1-19 炉筒形式選定フロー

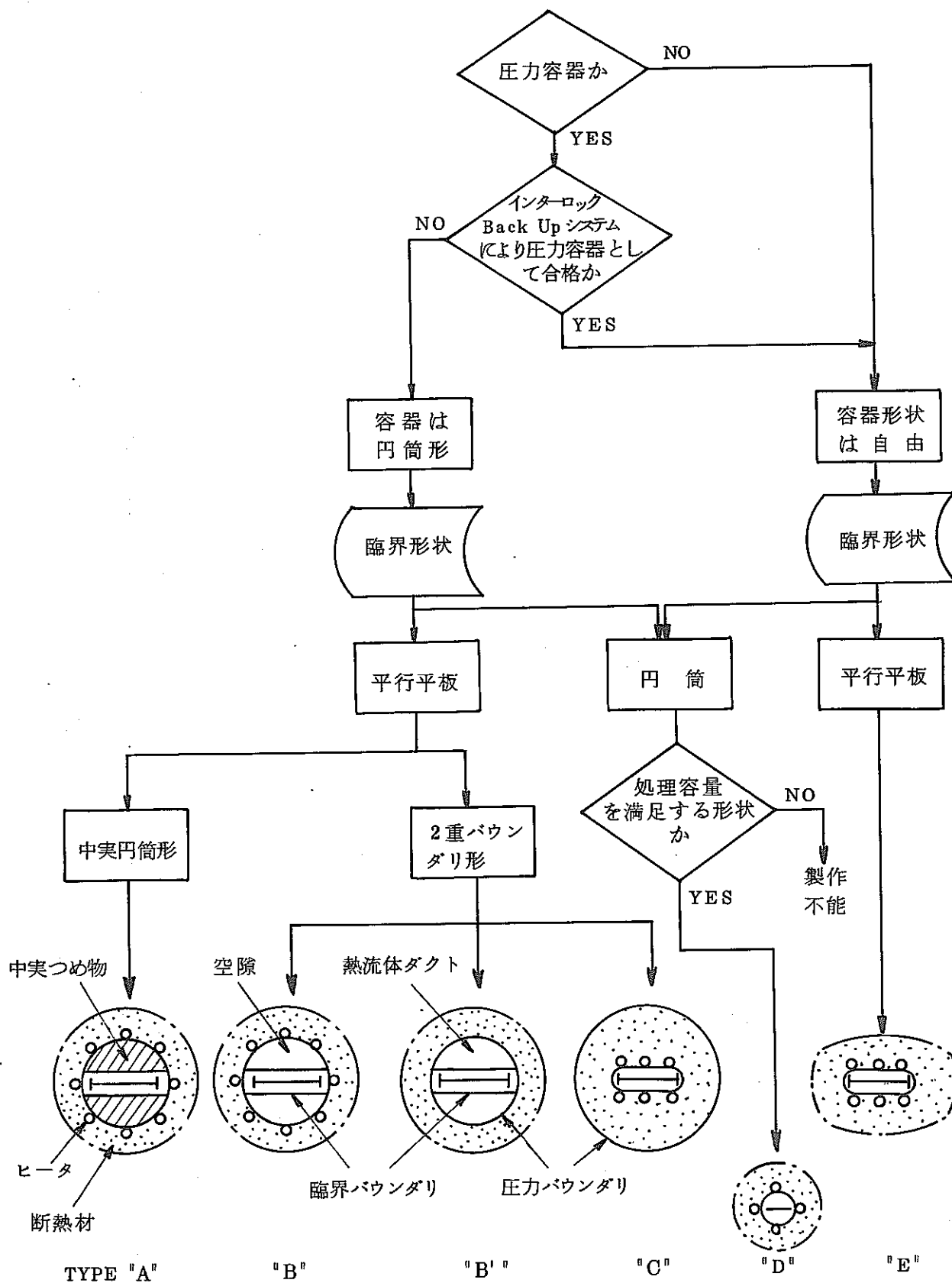
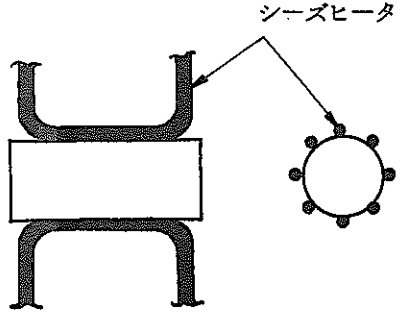
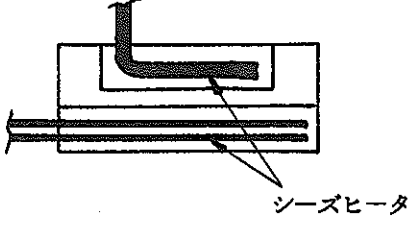
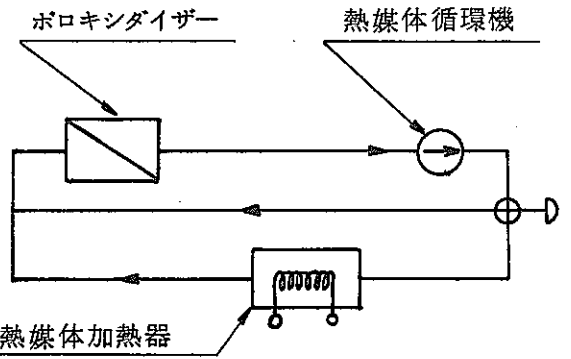


表 II - 1 - 22 炉形式比較

炉形式 比較項目	A (中実円筒型)	B (中空円筒型)	E (長円筒型)	C (二重筒型)
1. 512×3048処理板(10kg/回分)の内蔵 2. 寸法 3. 概略全重量 (炉壁, 電熱線および保温材) 4. 臨界性 5. 高温強度 6. 炉本体たわみ 7. 保守性 8. 概略必要熱量 9. その他	問題なし 内径582mm×長さ3100mm (内部スペース高さ70mm) 7300kg 問題なし 中実つめ物の熱変形が大きい。 0.024mm 問題なし 254kW a) 解析が容易 b) 貫通管の工作が困難 c) 外部への遮蔽効果大	問題なし 内径582mm×長さ3100mm (内部スペース高さ70mm) 950kg 内壁は臨界バウンダリとして認められる必要がある。 問題なし 0.027mm 問題なし 39kW a) 解析が容易 b) 内部つめ物の工作が困難	問題なし 巾582mm×高さ70mm×長さ3100mm 460kg 問題なし 問題なし 0.570mm 問題なし 23kW a) 形状が複雑 b) 炉の大型化に適している。	問題なし 圧力バウンダリ 内径698mm×長さ3100mm 臨界バウンダリ Eと同じ 1000kg 問題なし 問題なし 0.570mm 電熱線などの部品交換が困難 23kW a) 形状が複雑 b) 内蔵断熱材の信頼性が必要である。

表 II-1-23 加熱方式比較

加熱方式	(f) 外装加熱式	(g) 内装加熱式	(h) 間接加熱式
1. 適用炉形式	"A" 中実円筒型 "B" 中空円筒型 "E" 長円筒型 "C" 二重筒型	"A" 中実円筒型 "B" 中空円筒型	"B" 中空円筒型
2. 利 点	a) 電熱線の取換えが容易 b) 短絡事故に対し安全性高い。	a) 電熱線取出部を1ヶ所とした場合, エレメントと炉筒の熱変位差は問題とならない。 b) 熱効率は外装加熱式より良い。	a) 加熱器が汚染しない。 b) 炉本体は加熱装置が付着しないので簡単な構造となる。
3. 欠 点	a) 熱効率が悪い。 b) 肉厚方向と円周方向の温度が不均一になり易く, 過熱部発生の惧れがある。	a) 炉壁に貫通部ができる。 b) 中空部の圧力調整装置が必要 c) 保守が困難 d) 電熱線収容スペースは炉内と完全に仕切る必要がある。	a) 内壁は汚染区域との境界となるため, Grade Up が必要となる。 b) 加熱媒体およびその関連補機が必要となる。 (下図参照) c) 加熱流体がガスの場合, 熱容量が小さいため大流量が必要 d) 総合的に熱効率が悪い。
			

表Ⅱ-1-24 炉および加熱方式 総合比較

炉型式 加熱方式	A (中実円筒型)	B (中空円筒形)	E(長円筒型)およびC(二重筒型)
(ア) 外装加熱式	判定 : × 理由 : 所要電力が大きいため, 電熱線の本数が多く, スペース上装備することが困難	判定 : △ 理由 : 所要電力は“E”TYPE の1.5倍, 内壁が臨界バウンダリーとして認められる必要がある。	判定 : ○ 理由 : 外装ヒータ式としては, 所要電力が最も少ない。
(イ) 内装加熱式	判定 : × 理由 : 同上	判定 : △ 理由 : 加熱線の取換えが困難であり, 内壁は臨界と共に汚染防止バウンダリーとしても承認される必要がある。	判定 : × 理由 : 構造上内装することは困難である。また, 内装できてもエレメントが汚染される。
(ウ) 間接加熱式	判定 : × 理由 : 構造上熱媒体の通路なし*1	判定 : △ 理由 : 内壁は臨界と共に汚染バウンダリーとして, 取扱われる可能性がある。	判定 : × 理由 : 構造上熱媒体の通路なし*1

*1 炉内に熱媒体として高温N₂ガス(定常運転時はO₂ガス)等を通す方法があるが, 汚染オフガス量が増加する。また, 再循環させる方法によれば, 関連補機器(ファン, 加熱器)の汚染が問題となり, (ウ)本来の利点がなくなる。



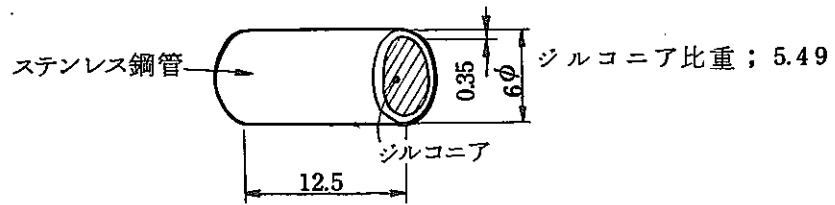
(2) 燃料処理板

燃料切断片を載せる処理板の形状は、弊社の振動式ボロキシダイザー冷体試験装置による試験結果から、試料の被覆管からの離脱性の良い波形とする。

弊社の冷態試験

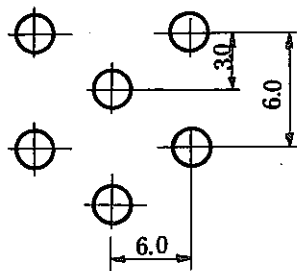
試料(模擬燃料)

ジルコニアをステンレス鋼管に充填したもの

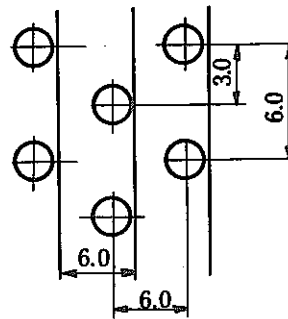


振動時間 30分

№1 平板



№2 波板



№3 棒板

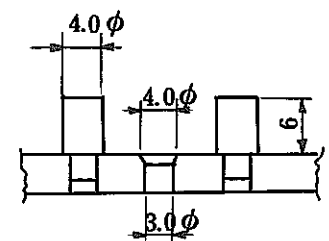
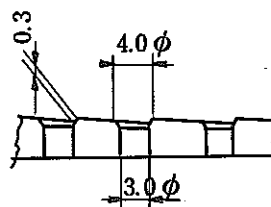
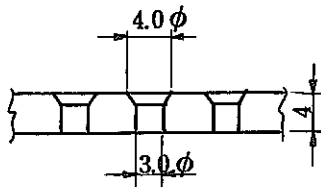
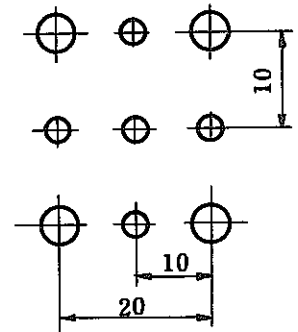


図 II - 1 - 20 処理板の形状

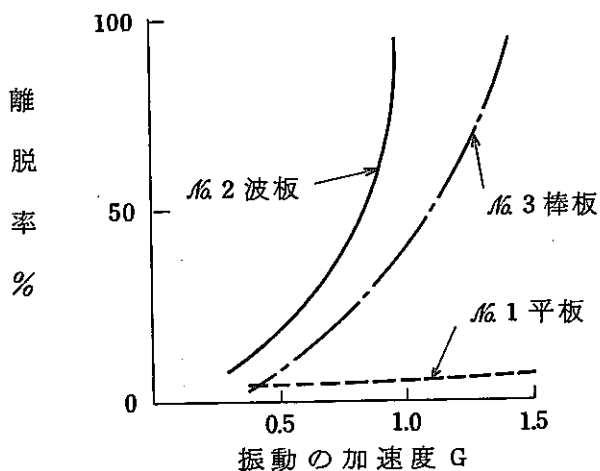


図 II - 1 - 21 離脱性試験結果

燃料処理板の処理有効部寸法は、下に検討した通り、巾500mm,長さ1,820mmとする。

処理有効部面積 : S

$$S = S_0 \cdot \alpha$$

- S : 必要面積 (cm²)
- S₀ : 投影 " (cm²)
- α : 面積過剰率 = 3.0 とする。

$$S_0 = A \cdot N$$

A : 切断燃料投影面積 (cm²) = 0.65 × 1.2

N : 処理燃料数 (個) = 3880

$$S = 0.65 \times 1.2 \times 3880 \times 3.0$$

$$= 9079.2 \text{ (cm}^2\text{)}$$

長さおよび巾

長さ/巾を β :辺比とすると、各種文献、資料等から矩形の場合、辺比 β は2~5が形状的に適当とされており、

辺比が大き過ぎる場合

- (a) 処理板の撓み量が大となる
- (b) 高次振動が発生し易い
- (c) 吊下げ板に対する静的荷重が大となる
- (d) 大型化が困難である
- (e) 燃料の分布性が悪い
- (f) 均一な炉内温度を得にくい

辺比が小さ過ぎる場合

- (a) 振れ振動が発生し易い
- (b) 燃料の供給および排出が困難である
- (c) 燃料の分布性が悪い
- (d) 均一な炉内温度を得にくい

などの欠点がある。

処理板の巾を、500mmとすると長さ(L)は1816mmとなる。

$$L = S / 50 = 181.6 \text{ (cm)}$$

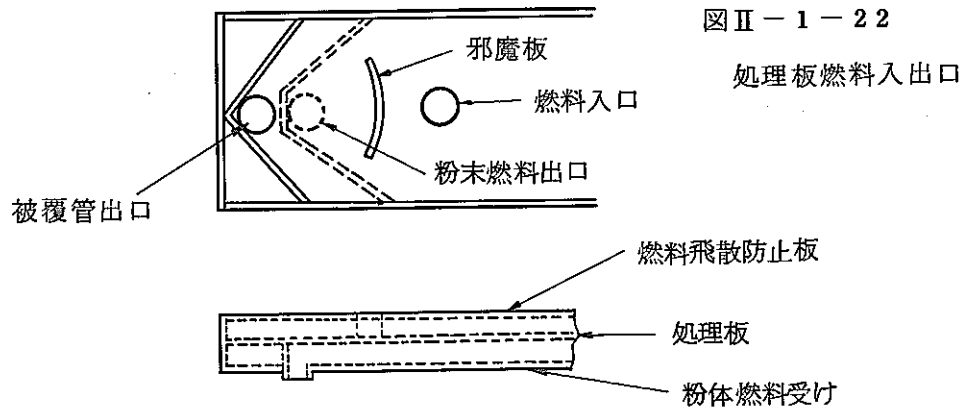
また、この辺比は、3.64となる。

$$\beta = L / B = 182 / 50 = 3.64$$



燃料落下防止用邪魔板

処理板には，燃料供給時に被覆管出口から直接燃料が落下することを防止するために，邪魔板を設ける。



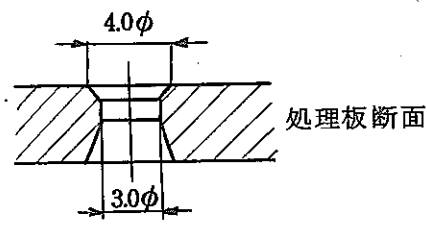
図II-1-22
処理板燃料入出口

燃料飛散防止板から処理板までの深さ

ハル入り燃料が縦に2本重なり，まだ余裕のある深さとし28mmとする。

篩い孔の形状

ハルが粉末燃料受けに落下しないものとし，直径3.0mmとする。



図II-1-23
処理板孔形状

孔のピッチは燃料ハルの直径の1.2～1.5倍程度とする。

処理板から粉末燃料受けまでの深さ

処理燃料10kgが，粉体になった時に10kg以上の収容量が確保できる深さとする。

粉体の見かけ比重 = 2 g/cm³

深さ = 1.6 cm

として容量を算出すると

$$\begin{aligned}\text{容量} &= V \cdot \\ &= (50 \times 191 \times 1.6) \times 2 \\ &= 30,560 \text{ (g)} > 10 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$\text{収容量} = 30.56 \text{ Kg}$$

深さ = 1.6 cm で、粉体収容量 (30.56 Kg) / 燃料処理量 (10 Kg) = 3.06 と 3 倍以上の容量となる。

燃料飛散防止板

オフ・ガス中の粉末燃料が炉底に落下堆積することを防止するため、処理板を燃料飛散防止板で覆う。

(3) 処理板支持機構

炉内部品は、ほとんど不可能であるため、炉内の唯一の疲労部品である処理板支持機構としては、

- ① 潤滑の必要がないこと
- ② メタルタッチがないこと
- ③ 寿命が長いこと

が要求される。

この条件に適合するものとして、金属細線または金属薄板による吊り下げ式がある。

処理板の重量を受けるため、吊り下げ材は断面積が大きく、かつ柔軟であることが望ましいので、金属薄板を採用する。

(4) 炉筒両端部

吊り下げ板の振動による変位角を小さくするために、吊り下げ板の寸法は長い程有利であり、吊り下げ板を内蔵する両側部は、長円筒より抜ける。

(5) 保温装置

放熱損失を低減するため、長円筒外周（有効加熱処理板周囲）に外部断熱材を



装備する。

炉筒両端部の吊り下げ板および軸封装置ペローズの温度が高くなるのを防ぐため、処理板と両側間に内部断熱材を装備する。内部断熱材は、SUSライナーによってカバーする。



2) 起振器

振動式ボロキンダイザ-用の起振器の選定条件は、下に記載する通りである。

- (a) 所要の振動数および振巾が得られること。
- (b) 振動数または振巾、あるいは振動数および振巾の両者が調節できること。
- (c) 保守が簡単であり、寿命が長いこと。
- (d) 保守のために、ボロキンダイザ-のホットセル外の保守区域に設置できるか、または起振器が一体で簡単に取り換えられること。
- (e) 装置台に有害な振動を与えないこと。

ボロキンダイザ-の所要の振動数および振巾を、1.8.2「ボロキンダイザ-の処理機能」に記載した通りとし、それらの範囲を、

振動数 20 ~ 50 Hz

片振巾 0.25 ~ 0.75 mm

として、図 II-1-24 により、適用できる起振器の形式を選定して、表 II-1-25 に示す通り、各形式を比較検討した結果、振動式ボロキンダイザ-の起振器としては、振巾の調節は困難であるが、装置が簡単で、効率が高く実績の上で安定した技術を利用できる機械式のうち、クランク式が適している。

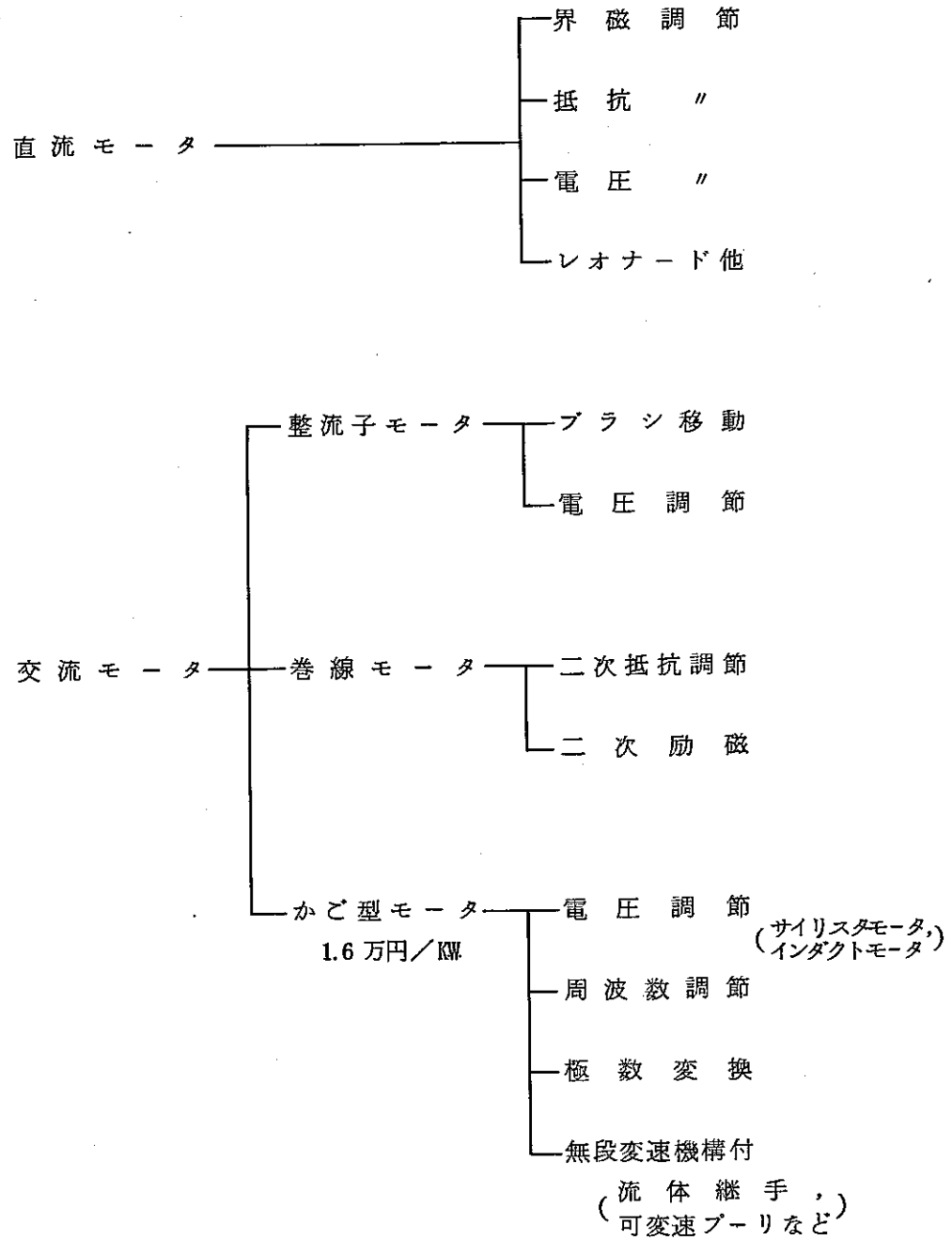
クランク式起振器の振巾は、機構が複雑になるが偏心軸を二重偏心軸とし、偏心量を調節することができ、またボロキンダイザ-に与える振動の強さを、振動数の調節のみにより振巾一定で変える方法もある。

本工程では、振巾一定とするのが得策である。

振動数の調節は、モータの回転数制御によるものとし、下に示す方法があり、調節が簡単な電圧調節式の交流モータが適している。



モータの回転数制御方法



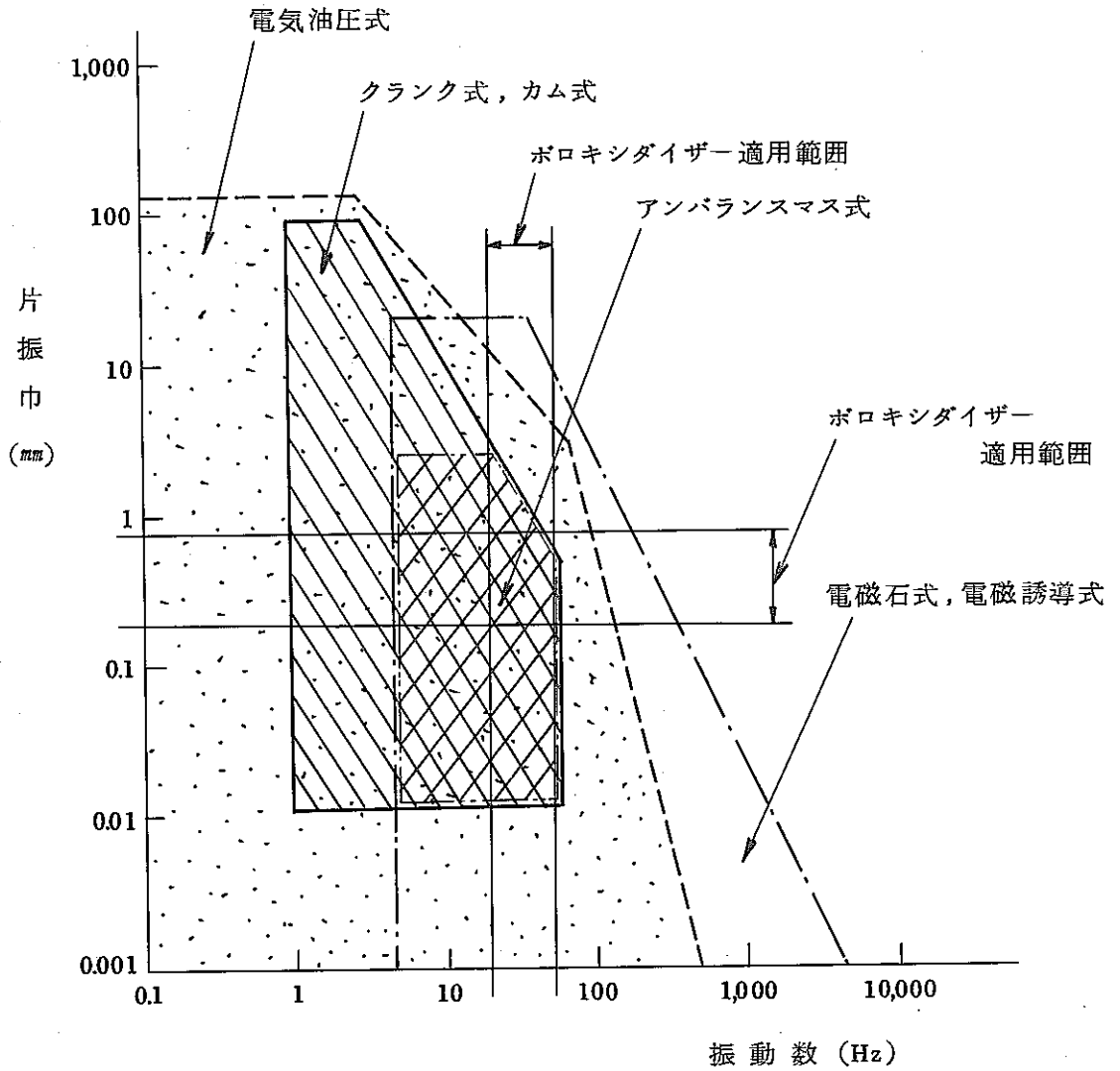
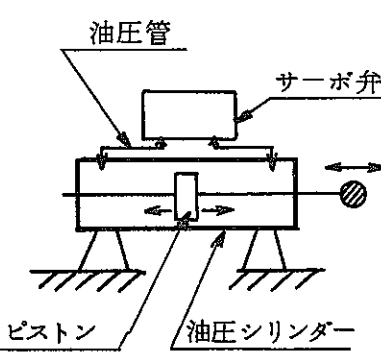
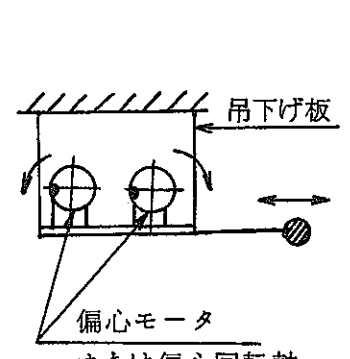
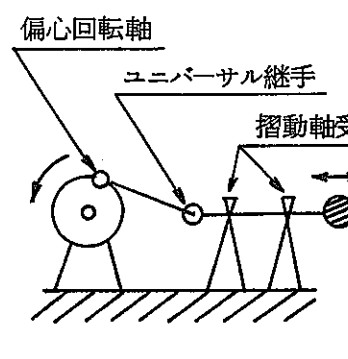
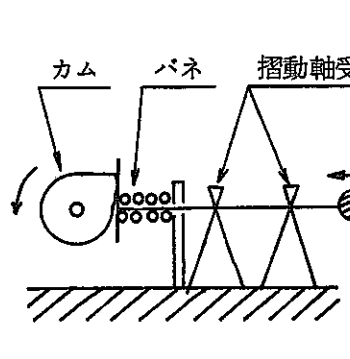
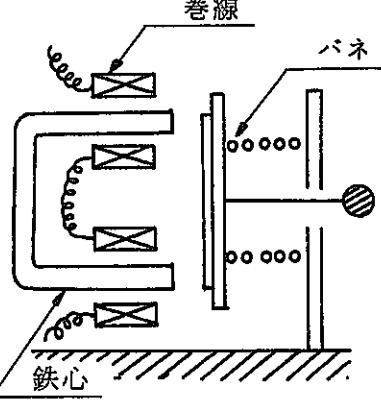
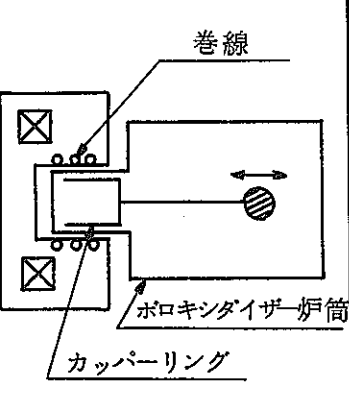
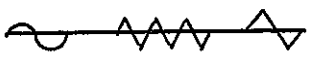



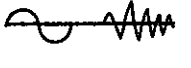



図 II-1-24 起振器形式による振動数-振巾適用範囲

表 II-1-25 起振器形式比較

起振器形式	電気油圧式	アンバランスマス式	機械式		電磁式	
			クランク式	カム式	電磁石式	電磁誘導式
作動原理	サーボ弁による交番油圧を油圧シリンダー内ピストンにより往復運動に変える。	偏心マスを回転させ、回転軸に直角の方向に発生する不平衡力により振動させる。	クランク機構により回転運動を往復運動に変える。 (偏心回転軸)	カムおよびバネにより、往復運動を得る。	電磁石の陽、陰極を切換えて断続引力により振動させる。	一定磁場中のカップリングに巻線で交番誘導電流を発生させて、カップリングを振動させる。
原理概略図						
振動波形		 低周波で不安定	 高周波で不安定	 高周波で不安定		
寿命	作動油：1500~2000時間 ピストン軸シール：同上 サーボ弁：~3000時間毎に保守点検 油圧ポンプ：3~4年	回転軸受：~1年	回転軸受：~2年 摺動軸受：~2年 ユニバーサル継手：~2年	回転軸受：~2年 摺動軸受：~2年 バネ：~2年	巻線：~5000時間 バネ：~5000時間 (実績から)	巻線：~5000時間
制御性	制御対象	振動数，振巾調節	振動数調節 振巾一定	振動数調節 振巾一定	振動数，振巾調節	振動数，振巾調節
	制御法	サーボ弁機構による。	Motor 回転数制御	Motor 回転数制御	Motor 回転数制御	入電力周波数調節 電圧調節
有害振動	中	大 上下の振動要素あり	中 上下の振動要素あり	小	小	小
騒音	中	大	中	中	小	小

表II-1-25 続.

起振器形式		電気油圧式	アンバランスマス式	クランク式	カム式	電磁石式	電磁誘導式
実績		疲労試験機	疲労試験機 節用などの起振器	疲労試験機 圧縮機など往復動機械として技術的に安定した実績が多い。	疲労試験機 自動車用エンジンのカム機構として技術的に安定した実績が多い。	スピーカー 疲労試験機	実験段階
特徴	利点	<ol style="list-style-type: none"> サーボ弁機構の調節が簡単で、安定した振動数および振巾の制御ができる。 大出力まで賄うのに適している。 直線的な振動が得られる。 	<ol style="list-style-type: none"> 装置が簡単である。 エネルギー効率が低い。 	<ol style="list-style-type: none"> 装置が簡単である。 エネルギー効率が低い。 安定した振動が得られる。 振動数の制御が容易である。 	<ol style="list-style-type: none"> 装置が簡単である。 エネルギー効率が低い。 直線的な振動が得られる。 振動数の制御が容易である。 	<ol style="list-style-type: none"> 装置が簡単である。 直線的な振動が得られる。 振動数および振巾の制御が容易である。 	<ol style="list-style-type: none"> 振動子をボロキンダイザ一炉筒に内蔵できる。 直線的な振動が得られる。 振動数および振巾の制御が容易である。
	欠点	<ol style="list-style-type: none"> 油圧ポンプなどの補機が必要であり、作動油の取換えを要するため、設備費および運転費が高い。 油圧管の破損の危険性がある。 放射線により劣化した作動油の保守が必要である。 摺動部の保守が必要である。 	<ol style="list-style-type: none"> アンバランスマスの位置を変えなければ、振動数および振巾を独立で制御できない。 低周波の振動で不安定である。 所要の振動方向に直角の振動が誘発される。 軸受の潤滑が必要であり、軸受の保守が必要である。 	<ol style="list-style-type: none"> 偏心回転軸の偏心量を変えなければ、振巾が変えられない。 軸受の潤滑が必要であり、保守が必要である。 	<ol style="list-style-type: none"> カムを変えなければ、振巾が変えられない。 軸受、カムの潤滑が必要であり、保守が必要である。 バネ定数が適合しないと復運動が追従しない。 	<ol style="list-style-type: none"> エネルギー効率が悪い。約10%。 ハネの保守、取り換えが必要である。 巻線を冷却する必要がある。 	<ol style="list-style-type: none"> エネルギー効率が悪い。約10%。 装置が大型である。 遠隔駆動ができない。 巻線を冷却する必要がある。



3) 固定台、傾斜台および傾斜調節器

固定台は、ホットセルの床に基礎をとり、強固に据付けるものとし、傾斜台を載せるものである。

傾斜台には、ポロキシダイザー本体が載せられ、ポロキシダイザー本体は、傾斜台ごと傾斜させられる。

起振器は簡単に遠隔保守、取換えができる構造として、ポロキシダイザー本体とともに傾斜台に載せるものとするが、放射線による潤滑油の劣化などの問題もあり、今後の研究の進捗に伴い起振器を別区域に設置する場合もあり、さらに検討することが必要である。

傾斜調節器は、傾斜台をポロキシダイザーの燃料供給、酸化処理および排出の各状態の傾斜角に調節するもので、傾斜台および固定台を回転軸で結び、傾斜台の一端を上下させて傾斜台を回転、傾斜させるものである。

傾斜調節器は、スクリーギヤ式が適している。

傾斜台の回転中心は、できる限りポロキシダイザーの燃料入口、粉末燃料出口および被覆管出口の近くに設け、各出入口管の傾斜による伸縮量を少なくする。

1.8.4 ボロキシダイザーの主要部材質

ボロキシダイザー本体の炉筒内高温部は、1.8.2「ボロキシダイザーの処理機能」に記載した処理温度700℃に等しく、また、炉筒内を700℃に加熱するために、炉筒外表面の電熱線と接触する部分は、さらに約50℃高く、約750℃となり、高温下において十分な強度が要求される。

また、炉筒内は酸素雰囲気であるため、高温下における耐蝕性も要求される。

高温度750℃で、強度を十分とれる材料としては、インコロイ800があり、本材質は耐蝕性も良いので、炉筒高温部および燃料処理板の材質は、インコロイ800が適している。

インコロイ800の特徴

1. 30%以上のNiを含んでいるため、高温度に至るまで、安定なオーステナイト組織を持ち比較的高い、高温強度を持つている。
2. 高温における耐酸化性、耐蝕性が良好である。
3. 加工性、溶接性に優れ、工作が容易である。
4. 過熱水蒸気に対する抵抗性が極めて良いために、原子炉(PWR)の蒸気発生器に用いられている。

表II-1-26

インコロイ800の組成

単位：%

Ni	Cr	Mn	Cu	Al	Ti	Si	C	S	Fe
30.0 35.0	19.0 23.0	≤1.5	≤0.75	≤0.6	≤0.6	≤0.1	≤0.1	≤0.015	残分

表II-1-27

インコロイ800の材料定数

項目	500℃	700℃
ヤング率 E (Kg/cm ²)	1.675 × 10 ⁶	1.535 × 10 ⁶
ポアソン比 ν	0.367	0.381
比重 γ (Kg/cm ³)	7.95 × 10 ⁻³	



ボロキシダイザー本体の低温部に対しては、最高温度が650℃までの材質に、ステンレス鋼SUS316があり、本材質は耐蝕性も良いので、300℃以下になる処理板吊下げ板および炉筒両端部は、SUS316が適している。

保温装置は、外部断熱材および内部断熱材ともに、高温で保温性に優れ、熱容量の小さいカオウルが適している。

表II-1-28

カオウルの組成

単位：%

Al_2O_3	SiO_2	FeO_3	R_2O (アルカリ)	TiO_2	CaO
46.6	52.7	0.1	0.4	0.1	0.1

カオウルの熱伝導率 0.06 Kcal/m, h, °C (大気中)

密度 0.20 g/cm³

使用限界温度 1260 °C



1.8.5 ボロキシナイザーの主要部寸法

ボロキシナイザー本体の主要部寸法は、図 II-1-18 に示した通りである。

ボロキシナイザーの炉筒の長さは、1.8.6「炉筒の温度分布」に記載する通り、炉筒方向の温度降下率を緩和するために、長くする。

炉筒内全長 3 1 0 0 mm

炉筒内高さ(中央部) 7 0 mm

ボロキシナイザーの臨界量を、燃料の無限平板の厚さとして、
形状管理するための高さ。

炉筒内最大巾(中央部) 5 8 2 mm

炉筒内平行部巾 5 1 2 mm

炉壁厚さ 8 mm

燃料処理板有効部長さ 1, 8 2 0 mm

燃料処理板有効部巾 5 0 0 mm

処理板吊下げ板間隔 3, 0 4 8 mm

処理板吊下げ板有効長さ 7 0 mm

処理板吊下げ板巾 4 0 0 mm

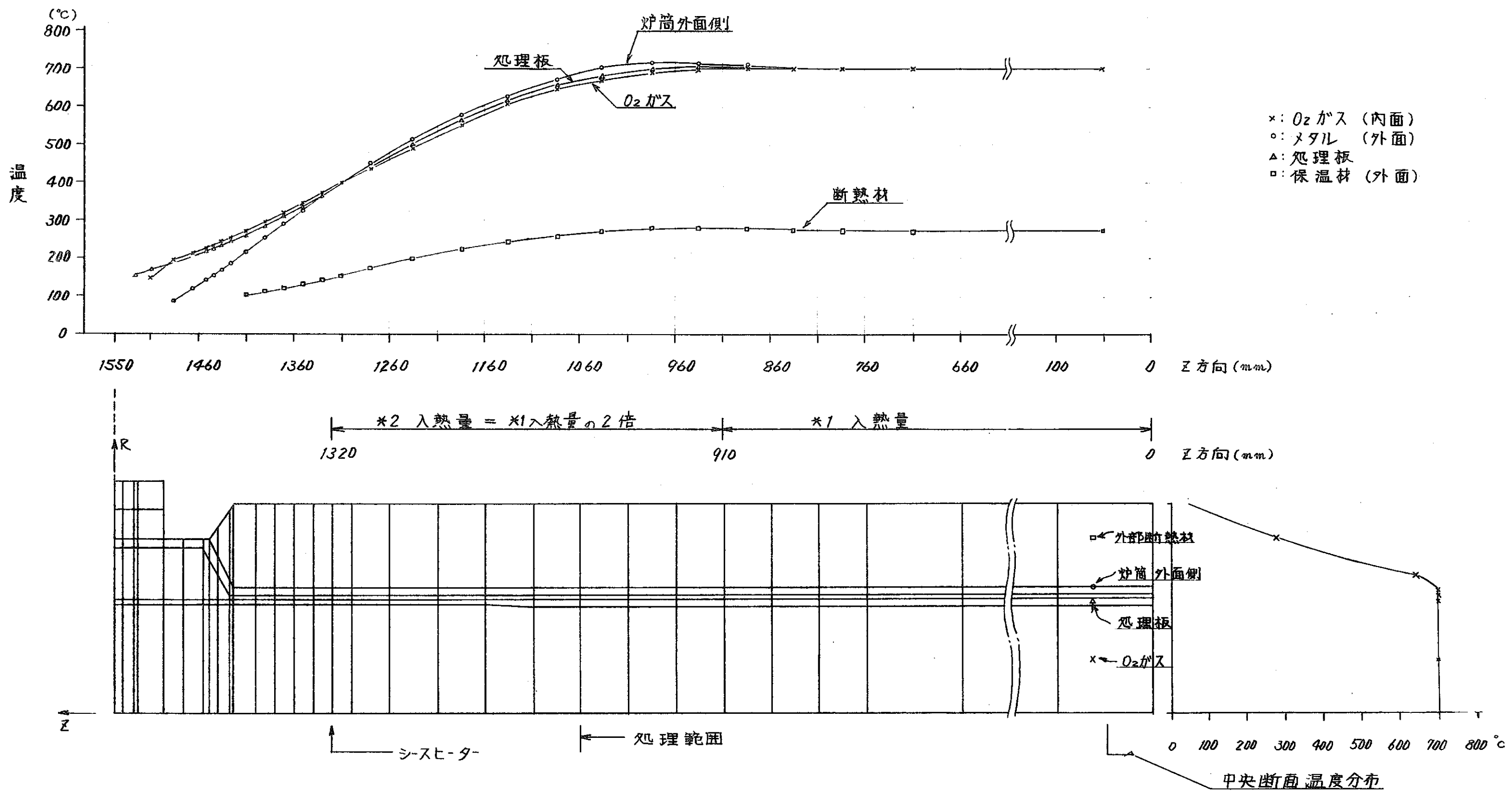
処理板吊下げ板厚さ 0. 5 mm



1. 8. 6. ボロキンダイザ-本体内部温度分布

2. 2. 5. 工学試験装置「ボロキンダイザ-本体内部温度分布」に記載する工学試験装置の結果と比較検討し、定常運転状態700℃における温度分布を図II-1-25に示す通り推定し結果、下に記載する良好な推定結果を得た。

- (1) 処理範囲(中央部2120mm間)の温度差は40℃(660℃~700℃)を保つことが可能である。
- (2) 処理板支持装置部の温度は180℃程度である。
- (3) シール装置部の温度は140℃程度である。



図II-1-25 定格状態 (700°C) 長手方向温度分布 (推定)

1.8.7 ポロキシダイザー本体主要部強度

1) 炉筒熱応力

2.2.6 項 1) に記載する工学試験装置の炉筒熱応力検討結果より、比較検討し、定格状態 700°C における炉筒熱応力値を図 II - 1 - 26 に示す通り推定した。

上記の推定応力値および推定温度により ASME CC 1592 を用いて評価した結果、弾性解析（一次応力+二次応力評価）およびクリープ損傷評価を満足する。

2) 炉筒撓み

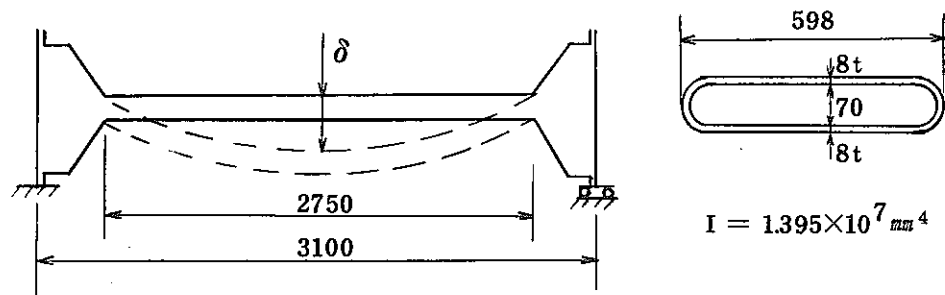


図 II - 1 - 27 炉筒の静的たわみモード

静的たわみ $\delta = 0.58 \text{ mm}$

従って炉筒と燃料処理板とのクリアランス 5 mm に比較して小さい。

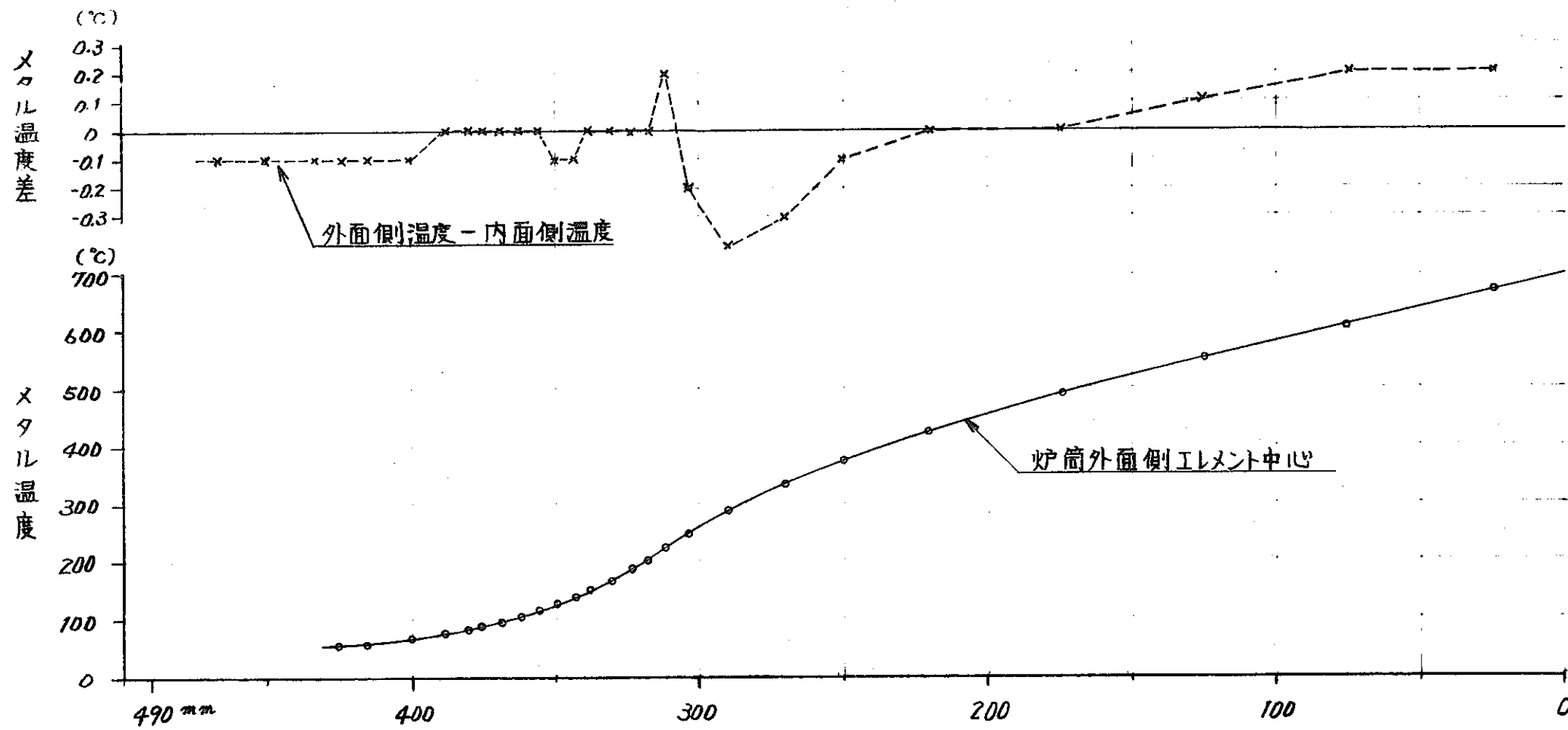
3) 炉筒固有振動数

図 II - 1 - 27 の振動モードに対する固有振動数 f は

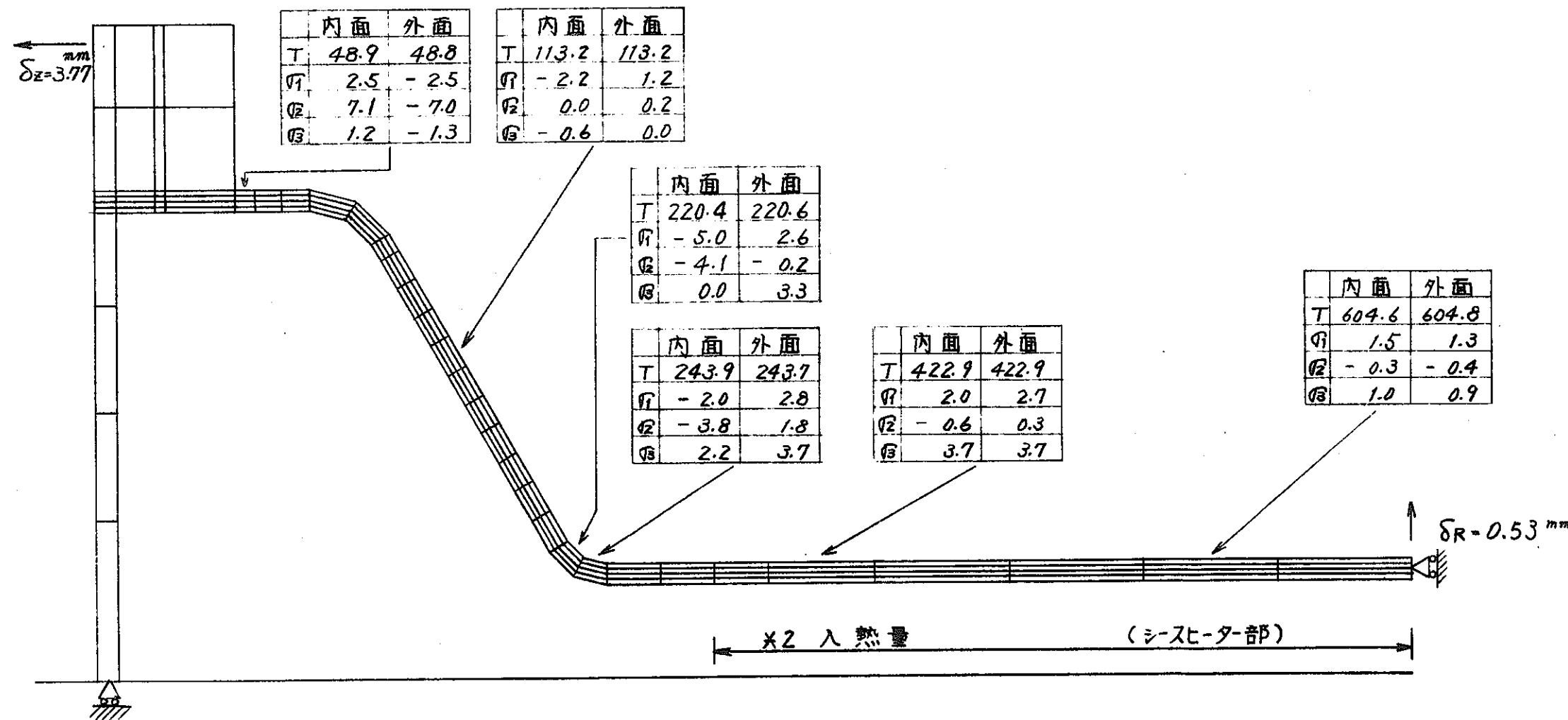
$$f = 1400 \text{ cpm}$$

と低い。

従って、中央部で支持する構造にする。あるいは剛性を増すなどの検討が必要である。中央部で支持した場合 $f = 5600 \text{ cpm}$ となり起振振動数と共振する可能性はない。



o : メタル (外面)
 x : メタル温度差
 (外面温度-内面温度)



T : 温度 (°C)
 σ_1 : } 主応力 (Kg/mm²)
 σ_2 : } (Kg/mm²)
 σ_3 : } (Kg/mm²)

図 II-1-26 定格状態 (700°C) 温度分布および熱応力分布 (推定)

4) 燃料処理板の撓み

燃料処理板のたわみおよび固有振動数を図 II - 1 - 28 に示す単純梁として検討した。

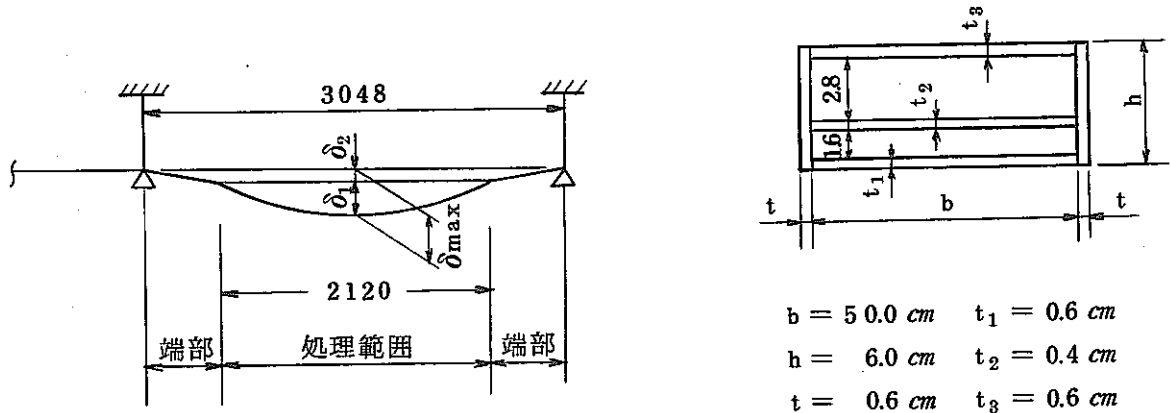


図 II - 1 - 28 処理板計算モデル

$$\begin{aligned}
 \text{静的たわみ } \delta &= \delta_2 + \delta_1 \\
 &= 0.54 + 0.63 \\
 &= 1.17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

5) 燃料処理板の固有振動数

図 II - 1 - 28 の振動モードに対する固有振動数 f は

$$f = 985 \text{ cpm}$$

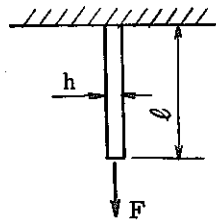
上記の検討結果によると、燃料処理板の固有振動数が低く、静的たわみも大きい、従って応答解析を行なう、あるいは処理板と炉筒のクリアランスの大きくするなど、今後の検討が必要である。

6) 処理板支持装置の疲労強度検討

下記の条件で疲労強度を検討した。

- 支持装置付近の推定温度は 18.6 の温度分布
検討結果より約 180℃であり，常温とみなす。
- 材質は SUS 316 の薄板とする。

(1) 静的引張荷重に対する応力



l : 長さ 70 mm

h : 板厚 0.5 mm

b : 巾 400 mm

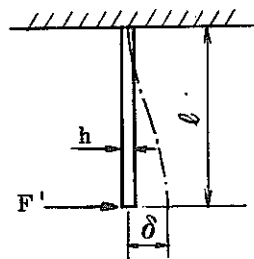
F : 荷重 105 Kg

(処理板重量 + 処理燃料重量) × 1/2

図 II - 1 - 29

引張応力 = 0.53 Kg/mm²

(2) 曲げ荷重に対する応力



δ : 起振片振巾 0.75 mm

F' : 起振振巾に等価な曲げ荷重 0.984 Kg

図 II - 1 - 30

曲げ応力 4.66 Kg/mm²

以上の計算結果より支持装置の疲労強度を図 II - 1 - 31 の S - N 線を用いて評価する。



(3) 評 価

繰返し回数

- 振動数 = 3 0 0 0 cpm
- 運転時間 = 1 2 h r / d a y
- 運転日数 = 2 0 0 d a y / y e a r
- 寿 命 = 1 0 y e a r

とすると

繰返し回数 $N = 4.32 \times 10^9$

(i) 両振引張圧縮の場合

S - N 曲線は繰返し数が $10^5 \sim 10^6$ の間で水平となりこの時の $\sigma_a \approx 24.5 \text{ Kg/mm}^2$ である。

(ii) 回転曲げの場合

(i)と同様に S - N 曲線は繰返し数で $10^5 \sim 10^6$ の間で水平となりこの時の $\sigma_a \approx 26.2 \text{ Kg/mm}^2$ である。

片振引張圧縮の実際の応力振巾は, 0.525 Kg/mm^2

回転曲げの " 4.657 Kg/mm^2

で, S - N 曲線の応力振巾に比べ十分小さいので, 疲労破壊する可能性はない。

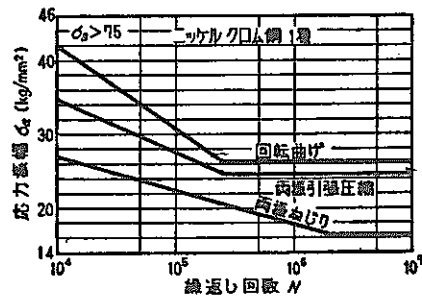


図 II - 1 - 31 S - N 曲線

1.8.8 ポロキシナイザーの熱収支

ポロキシナイザーの運転状態として、昇温および定常運転があり、それぞれ入熱、出熱条件が異なる。

入熱とは、燃料の崩壊による発熱と燃料の酸化に伴なり反応熱があり、出熱はオフ・ガス流出による放熱を含む外部への損失熱がある。

昇温状態では、外部への損失熱およびポロキシナイザー熱容量分を、加熱装置によって賄う必要があり、定常運転状態では、ポロキシナイザー系が定格温度に到達しているので、入出熱の差だけを加熱装置で補給すればよい。

下に、各入出熱について記載する。

1) 崩壊熱

貴事業団提示資料、表II-1-29「もんじゅ燃料崩壊熱」により、冷却期間30日の崩壊熱は179 W/Kgであり、この値はORNL-4436に記載されている燃焼度80,000 Mwd/T時の熱量と比較しても妥当である。

実際上は、30日以上冷却された燃料を処理する場合は十分考えられ、この時、崩壊熱量は、179 W/Kg以下になるが、加熱装置の負荷には適切な余裕ができることになる。

表II-1-29 もんじゅ燃料崩壊熱

冷却日数	出力/集合体	W/Kg
0	416	8×10^3
30	9.4 "	179
60	7.15 "	136
90	5.95 "	113

2) 酸化熱

ORNL-4436より、 UO_2 1モルが U_3O_8 へ酸化する際に25 kcalの反応熱が出る。

3) オフ・ガス放出熱

定常運転時には、700℃のオフ・ガスがボロキシナイザーから、オフ・ガス処理系へ注出されるので、オフ・ガスの熱容量分約100 kcal/hが放熱されることになる。

4) 炉外表面からの損失熱

ボロキシナイザーは構造図にも示す通り、高温部である炉筒平行平板の外周が断熱材で包まれており、断熱材外表の温度は、60℃以下に保たれる。

従って、断熱材外表面からふく射・伝達によって外部へ放出する熱量は、比較的少ない。

一方、ボロキシナイザーの炉筒両端部は、処理板の吊り下げ板や軸シール用ベローズが装備されるため、メタル温度300℃以下で計画し、外部断熱材は装備しない。このため両端部からの自然放熱量は無視できない。外部への損失熱としては、これら2項目を加算したものである。

5) ボロキシナイザー熱容量

定常運転に先立ち、ボロキシナイザー系は、常温から700℃まで昇温する必要があり、加熱対象としては、炉筒、燃料処理板、断熱材および処理燃料がある。

これらの加熱対象物を、表II-1-30に示す。



表II - 1 - 30 加 熱 対 象 物

加熱対象	重量 Kg	材 質	比 熱 Kcal/Kg °C			
			0 °C	100°C	500°C	700°C
炉 筒	190	インコロイ800	0.114	0.120	0.144	0.156
処 理 板	215	"	"	"	"	"
断 熱 材	90	カオウール	0.2	0.2	0.2	0.2
燃 料	10	(U+Pu)酸化物	0.052	-	-	-

これらの入熱，出熱特性から，運転状態別の熱収支を求め，これを表II - 1 - 31
に表わす。

表II - 1 - 31 熱 収 支 単位 Kcal/h

運転モード	① 昇温 I	② 昇温 II	③ 定常運転
温 度 °C	200	200→700	700
時 間 h	0.7	1.8	2.5
出 熱 (A) オフ・ガス損失熱 炉外損失熱	- MAX 1000	100 MAX 3000	100 MAX 3000
入 熱 (B) 崩 壊 熱 酸 化 熱	- -	(燃料供給後) 1540 110	1540 172
ボロキシナイダー 加 熱 容 量 (C)	17500	22300	-
必 要 入 熱 量 D = A + C - B	18500 (21.5 kW)	(燃料供給後) 23800 (27.6 kW)	1390 (1.6 kW)



1.8.9 ポロキンダイザ-の安全性

1) 臨界安全性

ポロキンダイザ-の臨界安全性は、1.6.1項3)に記載した通り、ポロキンダイザ-内に入る燃料を厚さ70 mmの平板にして安全基準量を満足させる形状管理とする。

2) 放射能安全性

ポロキンダイザ-の放射能安全性は、1.6.2項に記載した通りの対策を講じるものとする。



3) ボロキシナイザーの熱的安全性

ボロキシナイザー内における燃料の閉塞およびボロキシナイザーの故障、破損などの事故が発生した場合に、ボロキシナイザーを早急に冷却する必要がある。

また、ボロキシナイザーの冷態時でも、炉内に燃料が残存すると崩壊熱を発生するため、これが蓄熱されて部分的に過熱され、孔食の原因になる。通常運転中は崩壊熱は熱源として有効であるが、燃料を内蔵したままでの常温停止中は崩壊熱を除去する必要がある。

従つて、ボロキシナイザーには緊急冷却装置を設け、熱的安全性を確保する。

緊急冷却装置の概要は、1.2.2「主要機器の機能」に記載した通りであり、ボロキシナイザーを下に記載する装置により冷却する。

(1) 冷却方法および冷却条件

冷却媒体の汚染防止上、炉内へ冷却媒体を流入できない上、ボロキシナイザー炉壁の急激な冷却によるクラックなどの発生を避けるため、また、スペース上、冷却管を炉壁外表面に直接接触させて設けられないので、冷却管を外部断熱材中に設ける。

冷却管を外部断熱材の内部に、等間隔に配列し、電熱線との距離を取つた上で高い冷却効率を得るため、冷却管外壁温度が、500℃の位置に設ける。

所定時間内に、冷却管の周辺を100℃まで、炉内を150℃まで冷却するものとする。

緊急冷却装置の設置目的からは、炉全体の冷却時間が短い程よいが、炉壁が放射能の遮蔽バウンダリーであるから、急冷による、クラックなどの炉壁の損傷や残留応力の発生は避けねばならない。

一般工業レベルで許容されている冷却速度は約600℃/時間であるので、冷却時間は1時間として冷却管を計画する。

(2) 冷却媒体

下に記載する理由により、冷却媒体に水を採用することは好ましくなく、(4)「冷却能力」に記載する通り、比較的安価な窒素ガスを冷却媒体に採用して、十分



ポロキシダイザーを冷却できるので、冷却媒体は窒素ガスとする。

- (a) 熱容量の大きい水を採用すると、冷却開始時に急激な冷却により、冷却管を破損する危険性がある。
- (b) 本冷却装置を通常運転中に炉内温度の制御のため、また、冷態時の内蔵燃料の崩壊熱除去のために使用する場合、冷却媒体は水よりガスの方が制御性、均一性が良い。
- (c) 冷却媒体に水を使わず、ガスを採用すれば、ポロキシダイザーのホットセルを禁水区画にすることができる。

(3) 除去熱量

除去熱量を概算すると

700℃から150℃まで冷却

処理板 13,700 Kcal

炉筒 16,300 "

500℃から100℃まで冷却

断熱材 7,200 Kcal

燃料の崩壊熱量

1,540 Kcal/h (1,790 W)

除去時間を1時間とすると、

合計 約39,000 Kcal/h

となる。

(4) 冷却能力

冷却媒体を窒素ガスとして、冷却管の装備規模を下に概算する。

冷却管を、下に記載する通りとする。

材質 ステンレス鋼

外径 = 27.2 mm, 内径 = 23.0 mm

冷却管1本の長さ = 2,650 mm

冷却管1本の表面積 $S_o = 0.1915 m^2$



$$\text{外壁平均温度: } t_m = \frac{1}{2} (500 + 100) = 300 \text{ } ^\circ\text{C}$$

窒素ガスの条件

$$\text{入口温度: } T_1 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{出口温度: } T_2 = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{平均温度: } T_m = \frac{1}{2} (20 + 80) = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{管内流速: } \omega = 40 \text{ m/s}$$

$T_m = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$ における窒素ガスの物性値

$$\text{比重量 } \gamma = 1.023 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{比熱 } C_p = 0.249 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$\text{熱伝導率 } \lambda = 0.0240 \text{ Kcal/mh } ^\circ\text{C}$$

$$\text{動粘性係数 } \nu = 0.185 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{プラントル数 } Pr = 0.71$$

熱交換を管壁一定 (t_m) の円管内乱流伝達にモデル化する。

レイノルズ数

$$Re = \frac{\omega d}{\nu} = 4.973 \times 10^4$$

ヌツセルト数

$$Nu = 0.023 Pr^{0.4} Re^{0.8} = 114.7$$

熱貫流率

$$a_i = \frac{Nu \lambda}{d} = 120 \text{ Kcal/m}^2\text{h } ^\circ\text{C}$$

冷却管の所要本数を n とすれば,

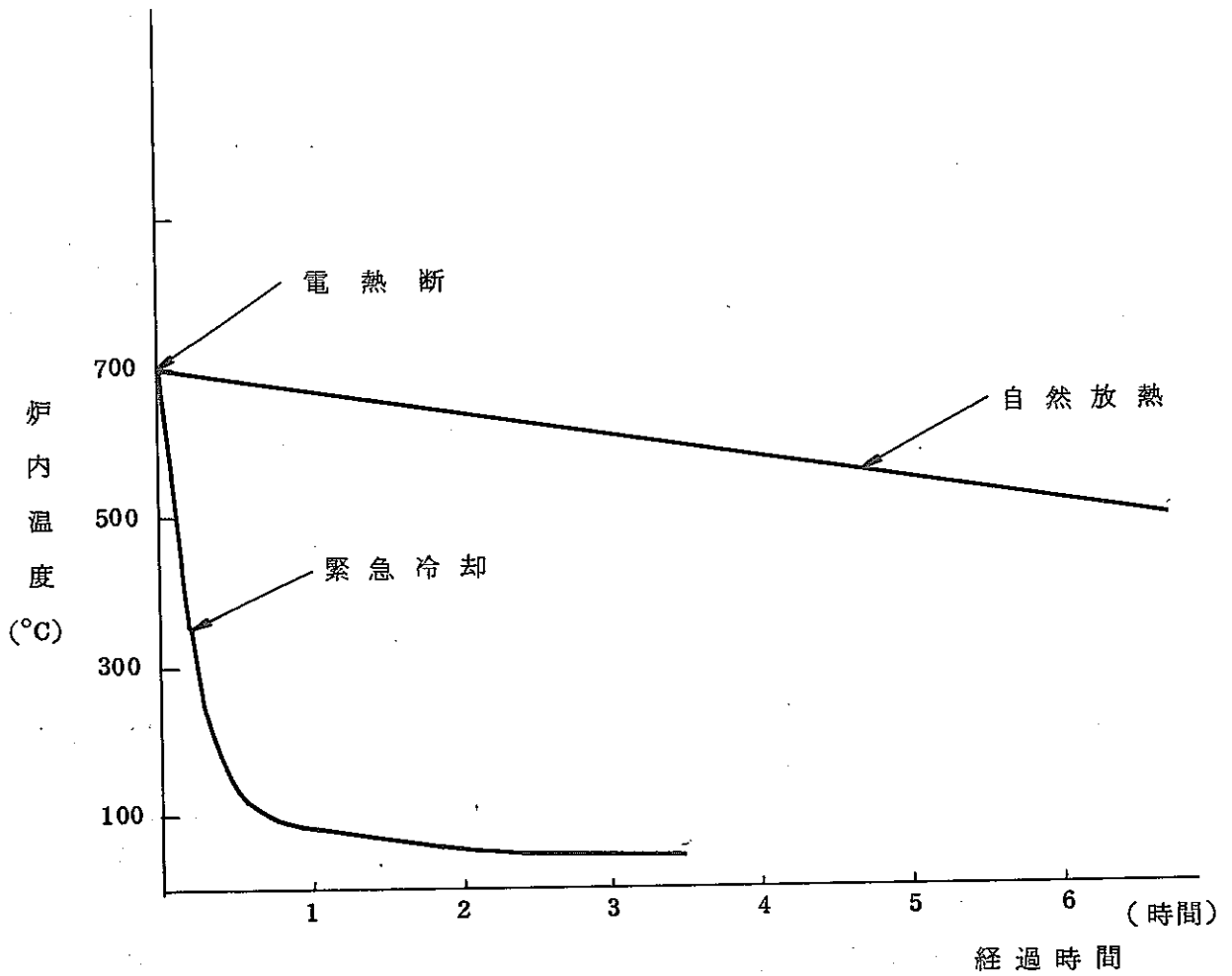
$$n = 39,000 / \{ S_o \cdot a (t_m - T_m) \}$$

$$= 6.93$$

冷却管を対称に配備するため, 本数を 8 本とする。

(5) ボロキンダイザーの降温状況

ボロキンダイザーの冷却される状況の概算結果を図 II-1-32 に示す。



図II-1-32 ポロキシダイザー炉内温度降下



振動式ボロキシナイザ－要目表

仕 様	適用法規	法 規	核原料物質・核燃物質規制法，放射線障害防止法 他		
		規 格	J I S ， A S M E ， J E C ， J E M		
	設置場所	ホットセル内			
	形 式	振動式平面処理型			
	運転方式	回 分 式			
	処理物質	高速増殖炉用使用済み切断燃料 (もんじゅ用燃料対象)			
	ガス仕様	供 給	酸素ガス	330 Nℓ/H	
		抽 出	オフガス	240 + α Nℓ/H	
	処 理 量	10 Kg/回分			
	処 理 温 度	700 ℃			
	処 理 時 間	2.5時間/回分 但し，炉昇温時間は含まず			
	振 動 数	1200 ~ 3000 cpm (20 ~ 50 Hz)			
	振 巾	0.5 ~ 1.5 mm (全振巾)			
	炉内圧力	-50 mm Aq			
	騒 音	75 dB (Aスケール) 以下目標			
炉気密度	He 漏洩量(外部) 1 × 10 ⁻⁶ Atm cc/sec以下(全体)				
軸 封	形 式	ベローズ			
起振装置	形 式	クランク機構機械式			
	容 量	2.2 KW			
付 着 品	加熱装置	シースヒータ 25 KW			
	冷却 "	冷 却 管			
	傾斜 "	有			
材 質	炉筒高温部および燃料処理板：インコイ800， 処理板吊下げ板および炉筒低温部：SUS316 断熱材：カウール				

1.9 主要機器の仕様

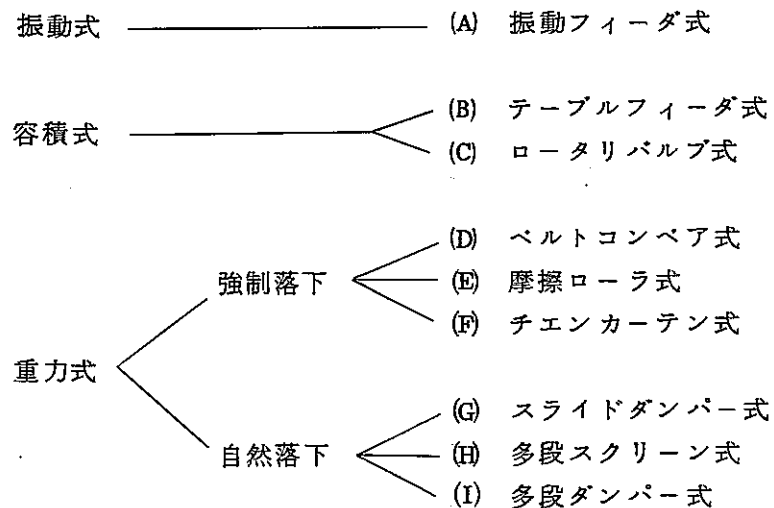
本工程を構成する主要機器の仕様は、1.2.2「主要機器の機能」に記載した要求機能に従って検討したものである。

1.9.1 燃料供給，ガスシール装置

1) 燃料供給機構

(1) 形式

燃料を供給する方法として、下に記載する諸形式がある。



これらの諸形式のうち、(C)ロータリバルブ式は1.2.2「主要機器の機能」に記載した理由により、また(I)多段ダンパー式は(G)スライドダンパー式に類似した機構原理であるため、これらを除いて、燃料供給，ガスシール装置の供給機構としての適否の比較を表II-1-32に示す。

これらの諸形式のうち、定供給量の初期調整は難かしいが、供給物の噛み込みがなく、保守の問題が少ない、摩擦ローラ式が適している。

燃料切断片の形状は、外径6.5mm、長さ12mmの円柱状であり、切断部には不規則な被覆管のバリができることが予想されるが、摩擦ローラ式を採用すれば、不規則な円柱状の固形物でも、機構上噛込んだり、ひっかかりが生じたりしないので、本工程では、摩擦ローラ式を採用することにする。

(2) 要 目

燃料供給の条件は、1.8.2「ボロキシナイザー処理機能」に記載した通り、下による。

表 II-1-32 燃料供給機構形式比較

供給装置形式		振動フィーダ式	テーブルフィーダ式	ベルトコンベア式	摩擦ローラ式	チェーンカーテン式	スライドダンパ式	多段スクリーン式
原理概略図								
供給対象物	燃料切断片	○	×	○	○	○	○	○
	粉末燃料	△	○	△	○	△	○	○
適用供給方式		連続	連続, 短時間連続	連続 短時間連続	連続 短時間連続	連続 短時間連続	回分 短時間連続	回分 短時間連続
定量供給性		△	○(粉のみ)	○	○	△	×	△
供給物の噛込み		○	×	○	○	△	△	○
粉末の残留		△	△	○	○	○	○	○
保守の問題		内蔵起振器, バネ, シール材に問題あり	仕切板の摩耗に問題あり	ベルトの摩耗に問題あり	摩擦ローラの摩耗に問題あり	チェーン, スプロケットの摩耗に問題あり	シール材に問題あり	締切り当り面, シール材に問題あり

表 II - 1 - 32 続 .

供給装置形式		振動フィーダ式	テーブルフィーダ式	ベルトコンベア式	摩擦ローラ式	チェンカーテン式	スライドダンパ式	多段スクリーン式
特 徴	利 点	1. 供給物の噛込みがない。	1. 供給量の調節が容易である。	1. 供給物の噛込みがない。	1. 供給物の噛込みがない。 2. 構造が簡単である。	1. 構造が簡単である。	1. 機構が簡単である。	1. 供給物の噛込みがない。
	欠 点	1. バネなど保守の必要な部品が多く、耐久性に乏しい。 2. 出口の固定部と振動テーブルの出口の振動部の接続が困難である。 3. 他の装置に振動を与える可能性がある。 4. 粉末が残留する可能性がある。	1. 仕切板と回転テーブルの間に、燃料切断片を噛込む可能性がある。 2. 回転テーブルと床面の間に粉末燃料が入る。	1. 回転軸が多い。 2. ベルトの耐熱性が乏しい。	1. 定供給量の初期調設が難かしい。	1. チェーン相互間のスティックが発生し易い。	1. 定量性がない。 2. ストロークの長いベローズが必要である。 3. スラストダンパーが片持梁として大きな荷重を受ける。	1. 駆動機構が複雑である。 2. スクリーン間の締切り当り面の密着性が乏しくなる可能性がある。

切断燃料数	3.880 / 回分
燃料重さ(燃料のみ)	約 1.0 Kg / 回分
被覆管を含む燃料重さ	約 1.3.4 Kg / 回分
供給時間	1.0分 / 回分

上の条件に合わせた燃料の供給は、

切断燃料数の率： $n \approx 400$ / 分

純容積率： $n \times v = 0.16$ l / 分

v : 燃料切断片 1 枚の体積 ≈ 0.4 cm³

実際は供給物が円柱状の切断片であり、空隙があるため容積過剰率を 3 とする

容積供給率 = 純容積率 \times 容積過剰率 = $0.16 \times 3 = 0.48$

0.5 l / 分とする。

(3) 構造，主要寸法

摩擦ローラ式の燃料供給機構の構造および主要寸法を，図 II-1-33 に示す

(a) : 開口部高さ H は燃料切断片

の長手寸法に 50% 余裕をとり、

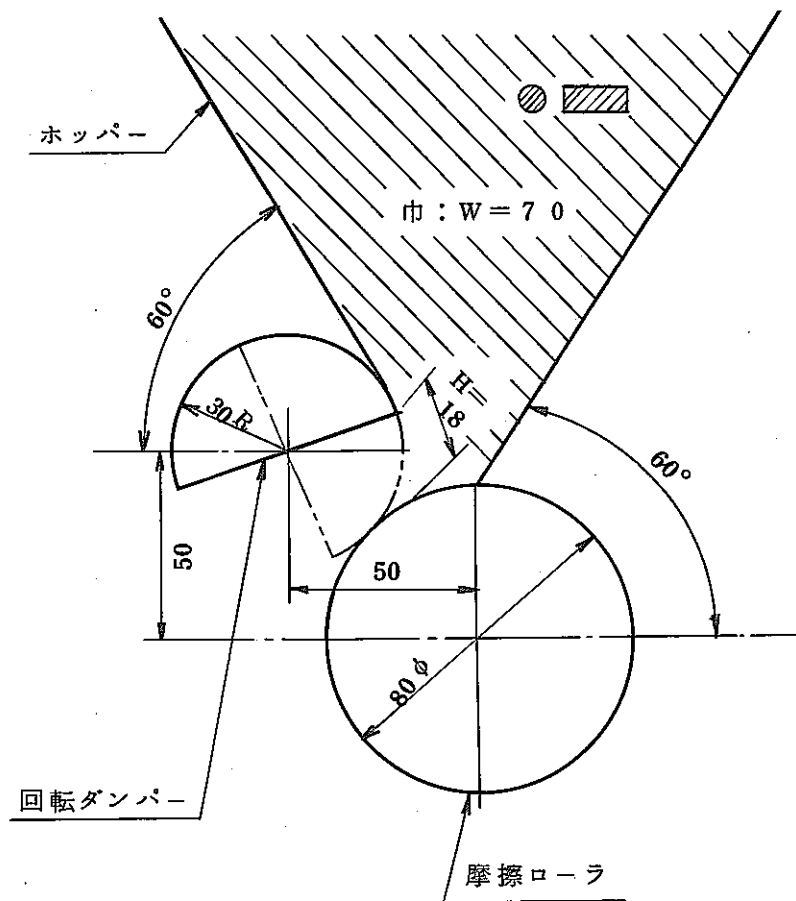
1.8 mm とする。

ただし、開口部を 1.8 mm 以下に調節できるものとする。

(b) : 通過率： α は、ローラ表面の摩擦，出口抵抗，空隙率を考慮して， $\alpha =$

1/3 と設定する。

図 II - 1 - 33 摩擦ローラ燃料供給機構



開口部高さ × 巾 = $H \times W = 18 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$

摩擦ロータ直径 : $D = 80 \text{ mm}$

摩擦ロータ回転数 : $N = 4 \sim 40 \text{ rpm}$

$$\begin{aligned} \text{容積供給率} &= H \times W \times \pi D \times N \times \alpha \\ &= 18 \times 70 \times \pi \times 80 \times (4 \sim 40) \times \frac{1}{3} \\ &= 0.422 \sim 4.22 \text{ (l/分)} \end{aligned}$$

上の要目のうち、回転部ダンパーの開口部高さ（ダンパーの開度）および摩擦ロータの回転数を変えて、燃料の供給率を調節する。

ホッパー内の燃料の崩壊熱により摩擦ローラおよび回転ダンパーの軸受部の温度

が高くならないよう、両軸の両端部を長くして、放熱させる構造とする。

2) ホッパー

(1) 構造，主要寸法

燃料供給，ガスシール装置用のホッパーは，1.6.1「ボロキシデーションの臨界安全性」に記載した理由により，ホッパー内に入る燃料の厚さを8.6 cm以内とし，ボロキシダイザー本体に合せて，ホッパーの内巾を70 mmとする。

ホッパーに投入される供給物は，ハル入りの切断燃料であるが，切断時にできた燃料の粉末が混入している可能性があるため，供給物を不規則な形状の粉体と見做せば，ホッパーの底部滑り角は，下の理由により45°になるが，安全を高めるために60°とする。

粉体の安息角は，粉体が球状の場合30°以下，正方晶系または等軸晶系で30°～40°，不規則または多孔質で40°～45°であり，平滑な面の滑り角は，安息角より僅か小さい。

ホッパーの底部形状は，図II-1-33に示した通りであり，燃料供給機構の上にて直接装備され，ホッパーの外表面は窒素ガス冷却管により冷却されるものとする。

(2) 容 量

$$\text{ホッパーの実容積} = N \times V \times \beta \div 4,700 \text{ cm}^3$$

$$N : \text{切断燃料数} = 3,880$$

$$V : \text{切断燃料片1ケの体積} \div 0.4 \text{ cm}^3$$

$$\beta : \text{空隙のための容積過剰率} = 3$$

ホッパーの容量は，投入時の山の形状を形成することを考慮してホッパーの実容積の約2倍とし，10 ℓとする。

3) ガスシール機構は，1.2.2「主要機器の機能」に記載した通り，仕切弁形とし，ホッパー上部および燃料供給機構の下に設ける。

仕切弁のステムグランド部は，ペローズによる密閉型とする。

仕切弁の口径を，ガスシール機構の上の燃料管の内径より大きくして，燃料切断片が仕切弁の弁座に衝突しないよう配置する。

燃料管の内径は，1秒間の燃料供給数の投影面積の2倍以上とする。

燃料供給数 6.45 / 秒 (1.2.8 による)

投影面積 503.1 mm²

燃料管内径 35.8 mm

燃料管内径を 40 mm，仕切弁の口径を 80 mm とする。

4) 材 質

ホッパー，燃料供給機構およびガスシール機構ともに，燃料と接する部分の材質は，ボロキソダイザー本体の低温部と同じ，SUS304 とする。

1.9.2 ポロキシダイザー

ポロキシダイザーの仕様は、1.8「ポロキシダイザーのアイデア設計」に記載した通りである。

1.9.3 粉末燃料排出処理装置および燃料被覆管排出処理装置

粉末燃料排出処理装置および燃料被覆管排出処理装置の上部シール機構、ホッパー、供給機構および下部シール機構ともに、下に記載する事項を除いて、燃料供給、ガスシール装置と同じとする。

粉末燃料排出処理装置のホッパー容量：V

$$V = Q \times 1/\rho \times \kappa = 15 \text{ (l)}$$

Q：粉末燃料重さ = 10kg

ρ ：粉末燃料の見かけ比重 = 2 g/cm³

(弊社の劣化ウランを用いた試験結果による)

κ ：容積過剰率 = 3

ホッパー容量を15 lとする。



1.9.4 粉体飛散物捕集装置

1) 形式

ガス中の粉塵を捕集する方法として、乾式除塵および湿式洗浄除塵法がある。

本工程では、湿式を採用した場合に、洗浄液にヨウ素、トリチウムが溶解し、工程本来の目的である燃料およびオフ・ガスを乾式で処理する主旨に反するので、乾式除塵法によるものとし、その諸形式の比較を表II-1-33に示す。

表II-1-33の内、慣性力式および遠心力式は、1.4「ボロキシレーション工程の物質収支」に記載した通り、オフ・ガス量が約238Nℓ/hと少なく、また、本工程の運転方式が回分式であるため、今後の研究によりオフ・ガス量を変化させる可能性が強く、適当なガスの流速が得難いので、本工程には適していない。

また、音波式は実績が少なく、電気式は電極がオフ・ガス中に与える影響が解明されていないので、採用を見合わせることにする。

本工程の粉体飛散物捕集装置は、大きい粒径の粉塵に適した重力沈降式および小さい粒径の粉塵に適した濾過式を組合わせて併用し、集塵率を上げるものとする。

2) 要目

粉体飛散物捕集装置のオフ・ガスの条件は、1.4「ボロキシレーション工程の物質収支」および1.5「ボロキシレーション工程の温度および圧力条件」に記載した通りとする。

オフ・ガス量 238.3 Nℓ/h (456.5 ℓ/h)

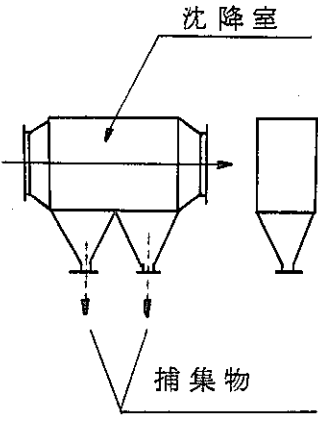
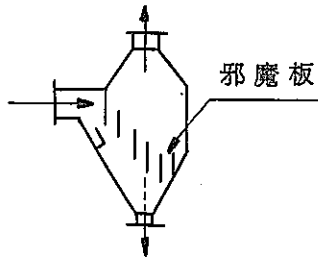
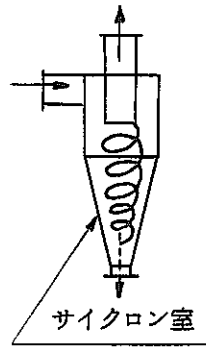
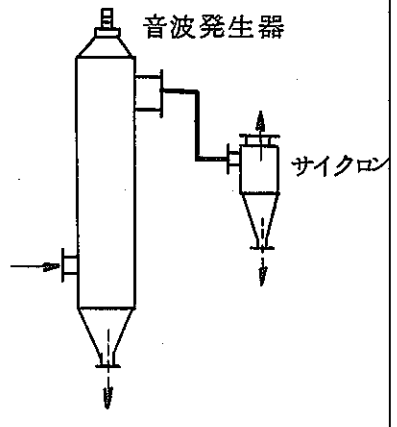
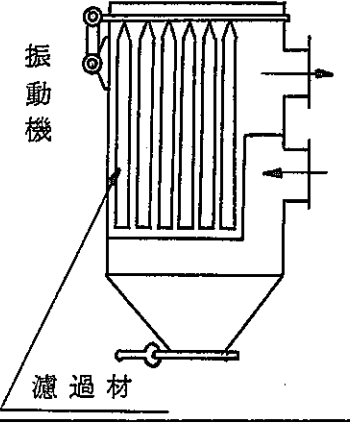
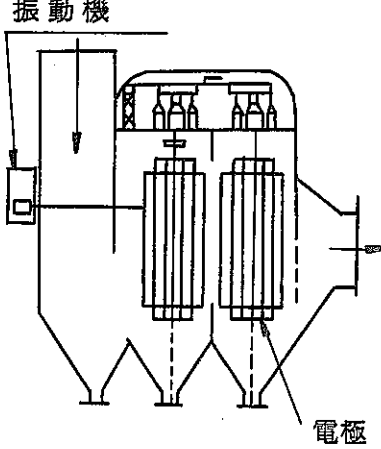
オフ・ガス温度 250℃

オフ・ガス中の粉塵および揮発性FPについては、表II-1-8に示した通りである。

(1) 粉体飛散物の粒径

高速増殖炉用使用済燃料の酸化加熱後の特性に関するデータはないが、図II-1-34および図II-1-35によれば、粒径は2~50μの範囲にあり、その内大部分が2~10μであると推定される。

表 II - 1 - 33 粉体飛散物捕集装置形式比較

粉体飛散物捕集装置形式	重力沈降式	慣性力式	遠心力式	音波式	濾過式	電気式
原理概略図						
有効粉塵粒径 μ	1000 ~ 3	100 ~ 10	100 ~ 10	100 ~ 0.1	20 ~ 0.1	20 ~ 0.05
有効含塵量 g/m^3	多い程集塵率が高い	多い程集塵率が高い	多い程集塵率が高い	5 ~ 1 >	0.01 <	30 >
ガス流速	10 cm / s	入口 20 m / s 邪魔板部 0.7 m / s	サイクロン流 10 m / s	-	0.3 ~ 10 cm / s	1 m / s
集塵率 %	40 ~ 60 (低流速で ~ 80)	50 ~ 70	85 ~ 95	80 ~ 95	90 ~ 99	80 ~ 99.9
保 守	-	-	-	-	濾過材の掃除	電極の掃除
特 徴	<ol style="list-style-type: none"> 1. ガスの流速が小さい程集塵率が高くなる。 2. 構造が簡単である。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ガスが適正であること。 2. 構造が簡単である。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ガス流速が適正であること。 2. 構造が簡単である。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. サイクロン式集塵器を組合わせる必要がある。 2. 実績が少なく、技術的に安定していない。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 濾過材を掃除、または取り換えにより再生する必要がある。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 電極を掃除して再生する必要がある。

(2) 比表面積

図II-1-36により、酸化温度・時間・加熱処理の相違にかかわらず、比表面積は概ね $0.5 \text{ m}^2/\text{g}$ 以下と推定される。

(3) 比重

見かけ比重を、弊社の劣化ウランを用いた試験結果により、 2 g/cm^3 とする。
真比重は、 UO_2 : 10.96, U_3O_8 : 8.39 などに近い値であると推定される。

(4) 安息角

1.9.1「燃料供給、ガスシール装置」に記載した通り、 45° とする。

(5) 含塵量

表II-1-12により、オフ・ガス中の粉塵の大部分を占める U_3O_8 および、 PuO_2 で、オフ・ガスの含塵量を表わすと、約 86 g/m^3 となる。

$$\begin{aligned} & \frac{\text{U}_3\text{O}_8 \text{ および } \text{PuO}_2 \text{ の飛散量}}{\text{1 回分の運転時間}} \times \frac{1}{\text{オフ・ガス流量}} \\ &= \frac{(77.45 + 2.096) \text{ g}}{2.5 \text{ h}} \times \frac{1}{0.4565 \text{ m}^3/\text{h}} \\ &\approx 86.2 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

3) 構造

粉体飛散物捕集装置は、下部に重力沈降槽を、上部に濾過材を配備し、沈降した粉末燃料および濾過材の掃除によって落下した粉末燃料を集めるために、重力沈降槽の底部を漏斗型にする。

オフ・ガスは、重力沈降槽を上向きに流れて濾過材に入る。

粉体飛散物捕集装置には、1.2.2「主要機器の機能」に記載した通り、加熱および保温装置を設ける。

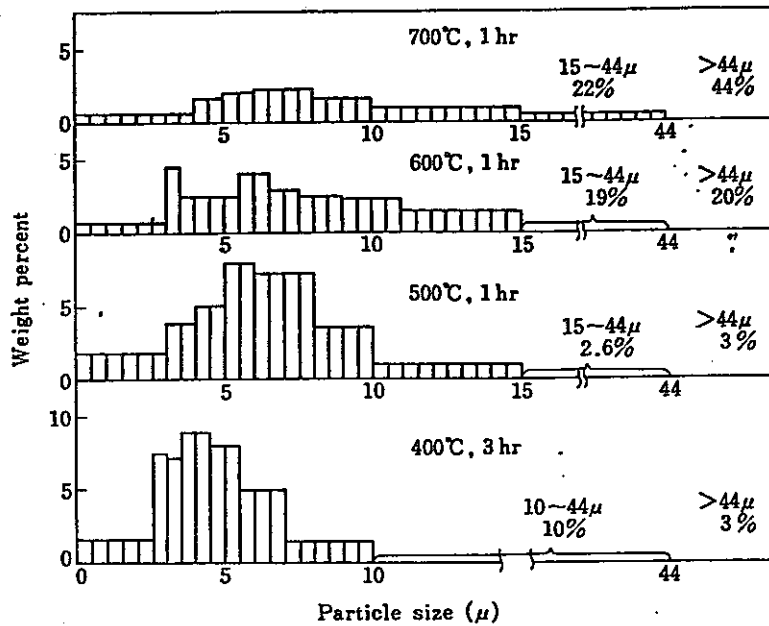


Fig. A Effect of oxidation temperature on particle size distribution. Powders were produced by oxidation of UO₂ pellet, 9 mm

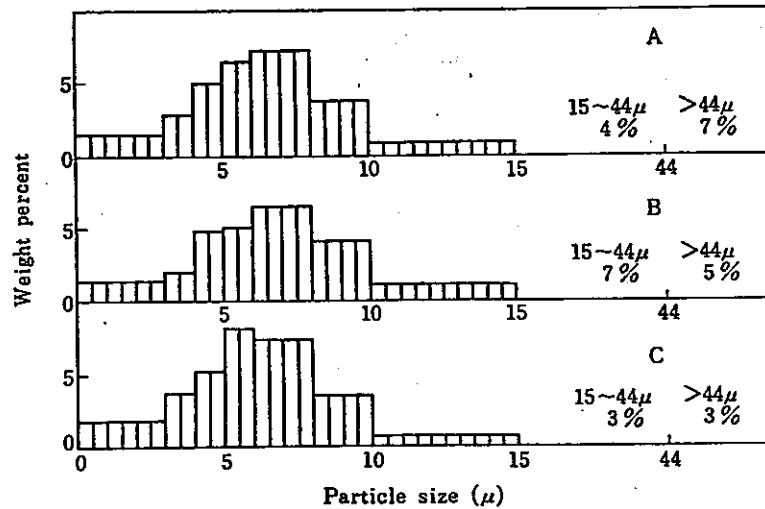
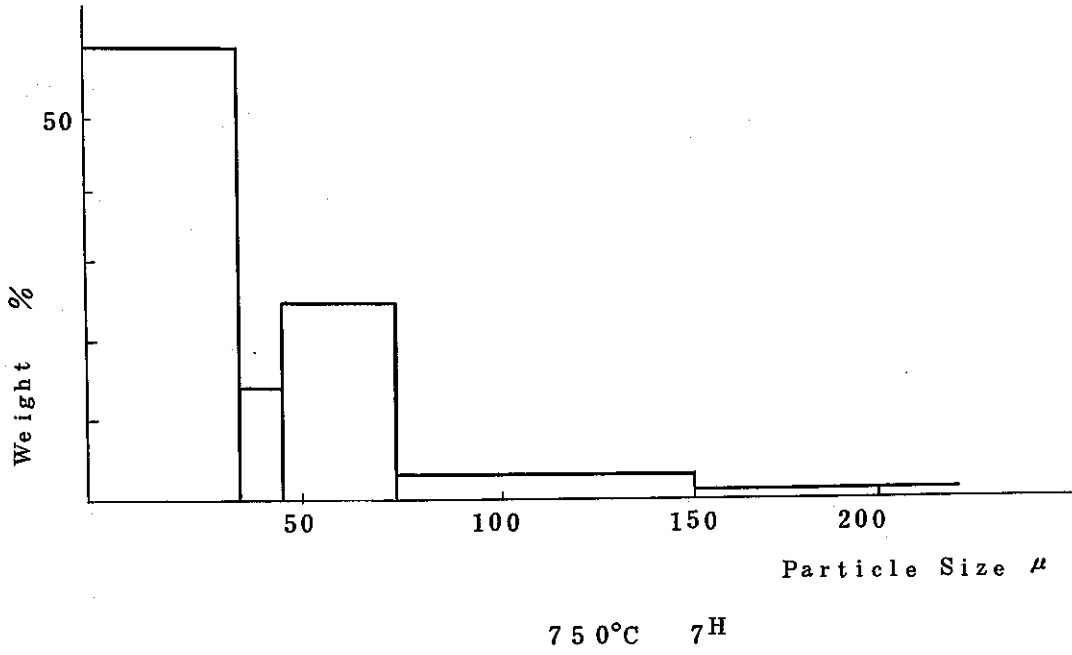


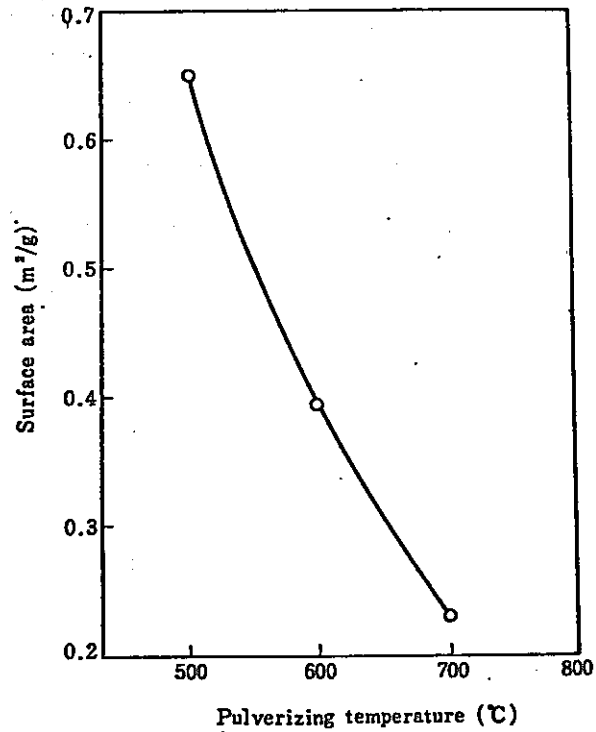
Fig. B Size distribution of powder after heat treatment.
 A: Original powder C was heat treated at 800°C for 1 hour.
 B: C was heat treated at 700°C for 1 hour
 C: Original powder produced by oxidation of UO₂ pellet (L) at 500°C for 1 hour.
 Atmosphere in heat treatment; air.

図 II - 1 - 34 U₃O₈ 粉末の粒径分布

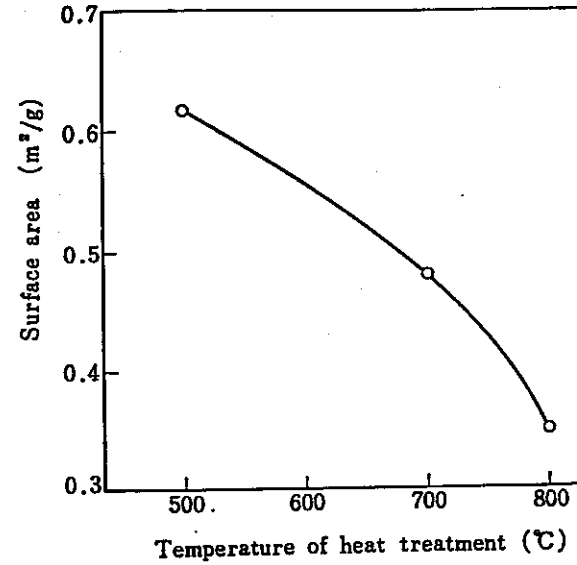
(JAERI-1174 による)



表II-1-35 高速増殖炉用粉末燃料の粒径分布
(ORNL-TM-3723による)



Dependence of surface area of produced powders on their oxidative pulverization temperatures.



Reduction of the surface area of produced powder by heat treatment of powder.
Heat treatment of powder, 1 hour in air. Plot at 500°C corresponds to the surface area of the original powder produced by oxidation of UO_2 pellet (L) at 500°C for 1 hour.

図 II - 1 - 36 U_3O_8 粉末の比表面積

(JAERI-1174 による)

4) 集塵率

(1) 重力沈降槽

重力沈降槽では、粒径 3μ 以上の粉塵を、濾過式では 3μ 以下の粉塵を捕集対象とすれば、各々の捕集粉塵の重量比は、 $9:1$ となりほぼ適切であるが、重力沈降式によって 1μ 以上の粉塵も捕集できるので、捕集粉塵の対象とする。

表 II - 1 - 34 により、粒径： $d = 1\mu$ に対する沈降速度 U_g を求めると、沈降槽上部では含塵量が少ないので、

$$\text{粒子密度 } \rho_s = 5 \text{ g/cm}^3 \text{ のとき } U_g = 0.0965 \text{ cm/s}$$

$$\text{" } \rho_s = 10 \text{ " } U_g = 0.193 \text{ cm/s}$$

従って、 $U_g = 0.1 \text{ cm/s}$ が適当である。

図 II - 1 - 38 によれば各粒径に対する部分集じん率 η_x は表 II - 1 - 35 に示す通りとなり重力沈降槽による集塵率 η_g は 82.7% となる。

表 II - 1 - 35 重力沈降槽集塵率内訳

粉塵粒径 μ	重量度数 % f_x	部分集塵率 % η_x	集塵率 % $f_x \eta_x$
1 ~ 3	9	40	3.6
3 ~ 4	5	50	2.5
4 ~ 5	10	63	6.3
5 ~ 6	12	80	9.6
6 ~ 8	28	92	25.76
8 ~ 10	14	95	13.3
10 ~ 15	10	98	9.8
15 ~ 44	7	99	6.93
44 ~	5	99	4.95

$$\Sigma f_x = 100$$

$$\eta_g = \Sigma f_x \eta_x = 82.74\%$$



表 II - 1 - 1 沈降速度と比重 ρ , 粒子径の関係

解 説

ガス中における粒子の沈降力 $F_g = \frac{\pi}{6} \cdot d^3 \cdot (\rho_s - \rho_a)g$

ガスの粘性抵抗力 $F = 3\pi\mu a d U_g$

$F_g = F$ より $U_g = \frac{d^2(\rho_s - \rho_a)g}{18\mu a}$ (ストークスの式)

U_g : 粒子の分離(沈降)速度

d : 粒子の直径

ρ_s : 粒子の密度

ρ_a : ガス(空気)密度

g : 重力加速度

μa : ガス(空気)の粘度

(例) $\mu a = 2.8155 \times 10^{-6}$ Kgs/m² (at 250°C) に対して

$\rho_a \div 0$ だから U_g は下表となる。

表 II - 1 - 34 U_g と ρ_s と d の関係 (cm/s)

$d(\mu)$ \ $\rho_s(g/cm^3)$	1	2	5	10
0.5	0.00483	0.00965	0.02415	0.0483
1.0	0.0193	0.0386	0.0965	0.193
2.0	0.0772	0.1544	0.386	0.772
5.0	0.483	0.965	2.415	4.83
10.0	1.93	3.86	9.65	19.33
20.0	7.72	15.44	38.6	77.2

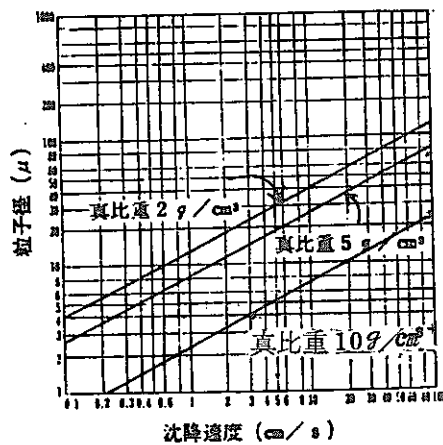


図 II - 1 - 37 球形粒子の重力による自然沈降速度

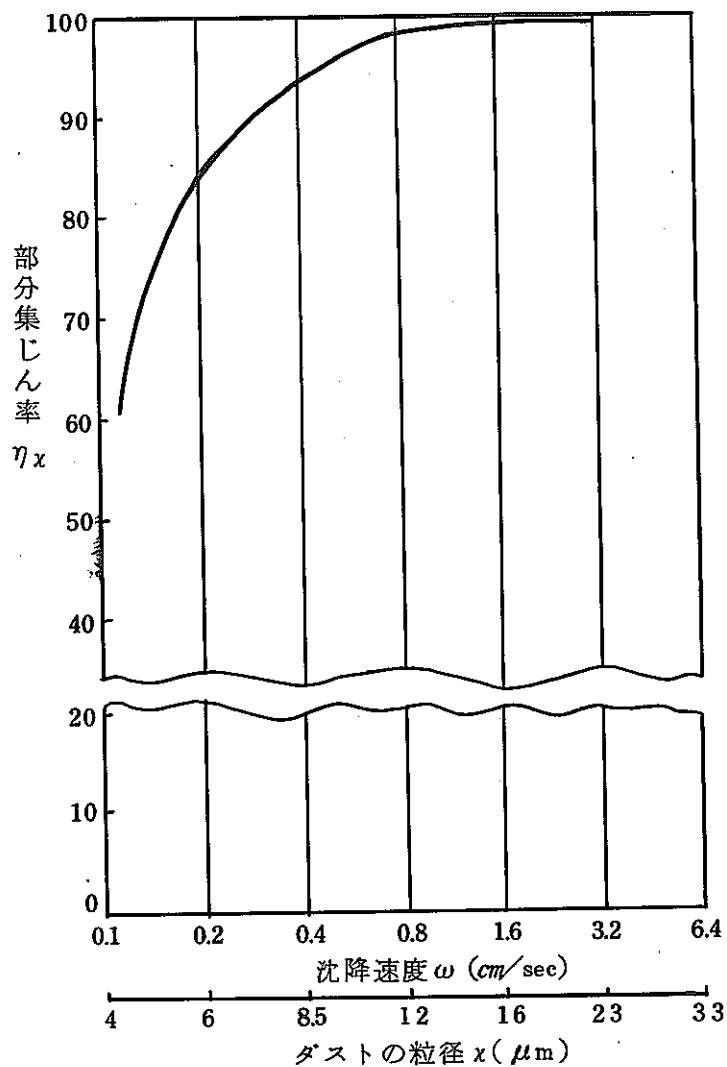


図 II-1-38 粒径に対する集塵率 $d-\eta$ の関係



(2) 濾過材

濾過材に、実効 2μ の焼結金属を採用し、集塵率： $\eta_f = 95\%$ とする。

(3) 総合集塵率

$$\text{総合集じん率 } \eta = \eta_g + \frac{\eta_f}{100} (100 - \eta_g)$$

$$= 82.74 + \frac{95}{100} (100 - 82.74) = 99.1\%$$

実際の粒径の度数分布および部分集塵率は、明確でなく、また沈降槽の集塵率が低い場合もあるが、濾過材の負荷がその分だけ増加して、総合集塵率には大きく影響しない。既存の濾過材の性能としては、粒径 2μ 以上の粉塵に対して、 $\eta_f = 95 \sim 99\%$ は、十分可能である。

粉体飛散物捕集装置の粉塵に対する捕集効率を、 99% とする。



5) 主要寸法

粉体飛散物捕集装置の概略構造を、

図 II - 1 - 39 に示す。

沈降速度 0.1 cm/s から沈降槽の径 D 、濾過材の直径 d と高さ h を求める。

$$\frac{\pi}{4} D^2 - \frac{\pi}{4} d^2 N \geq \frac{Q}{U_g}$$

$$\pi d h N \geq \frac{Q}{V_f}$$

D : 沈降槽の有効直径

d : 濾過材の直径

N : " 個数

h : " 高さ

Q : ガス流量 ($456.5 \text{ l/h} \div 3600 \div 127 \text{ cm}^3/\text{s}$)

U_g : 必要沈降速度 ($U_g = 0.1 \text{ cm/s}$)

V_f : 適正濾過速度 ($V_f = 0.3 \text{ cm/s}$)

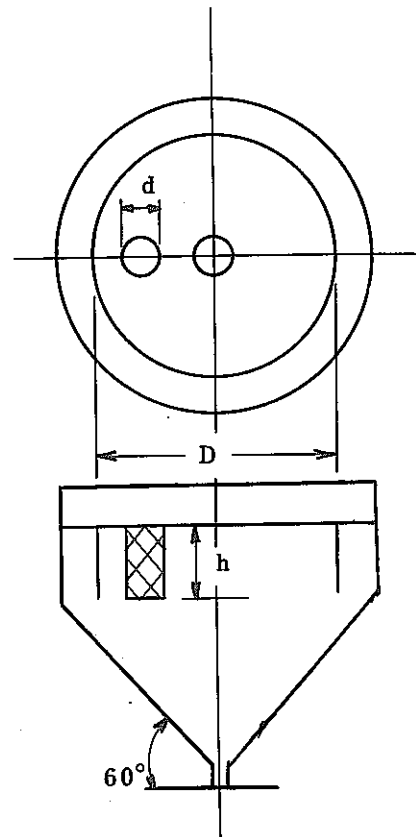


図 II - 1 - 39

粉体飛散物捕集装置の概略構造

濾過材に対しては、

$$d = 8 \text{ [cm]} \quad N = 5 \quad h = 20 \text{ [cm]} \text{ とする。}$$

$$\pi \times 8 \times 20 \times 5 = 2512 > 127 / 0.3 = 423$$

重力沈降槽に対しては、 $D \geq \sqrt{\frac{4 \times Q}{U_g \times \pi} - d^2 N}$ より

$$D \geq 36.0 \text{ (cm)}$$

上に記載した検討結果に余裕をとり、

$$D = 50 \text{ [cm]}$$

$$d \times h \times N = 8 \text{ [cm]} \times 20 \text{ [cm]} \times 5 \text{ ケ とする。}$$



重力沈降槽の底部漏斗型の部分は，1.9.1「燃料供給，ガスシール装置」に記載したホッパーと同じ理由により，壁面の傾斜角を 60° とする。

6) 材 質

粉体飛散物捕集装置本体の材質は，酸素雰囲気に対して耐蝕性があり，ガス温度 250° に対し耐熱性のあるSUS304とする。

濾過材は，SUS316相当とする。

1.9.5 ヨウ素コールドトラップ

1) 形式

4回流U字型冷却管外装水冷却式とする。

2) 要目

本工程のポロキシダイザ-は、回分式で運転されるため、1回分の運転中の燃料の酸化速度および燃料からの揮発性FPの分離量は、時間的に不均等になる可能性が強く、その特性に合わせてオフ・ガスの量（酸素ガスの供給量）を変える必要がある。

従って、ヨウ素コールドトラップを始めとしてオフ・ガス系の機器は、オフ・ガスの最大流量に合った容量にする必要があり、余裕をとって平均流量の2倍とする。

なお、燃料の時間的な酸化速度などの特性については、今後研究する必要がある。

オフ・ガスの平均流量は、表II-1-9に記載した通り約715 Nm³/h であるから、約2倍として1.5 Nm³/h とする。

ヨウ素コールドトラップでオフ・ガスを過度に冷却すると、燃料に連れ込まれた湿気が水になる可能性があるが、冷却温度が低い程ヨウ素を結晶させる回収率が高くなるので、ヨウ素コールドトラップ出口のオフ・ガス温度を20℃まで冷却するものとする。

3) 構造および主要寸法

ヨウ素コールドトラップは、オフ・ガスを円筒の冷却器（オフ・ガス冷却管）内に入れて冷却する。

オフ・ガス冷却管の外周には、水冷却管をスパイラル状に巻き付けて、オフ・ガス冷却管の外壁を通してオフ・ガスを冷却する。

オフ・ガス冷却管は4個からなり、各冷却管を直列にU字形に繋いだ構造とする。

冷却水はオフ・ガス冷却管の出口側から入口側に向かって流れる。

オフ・ガス冷却管の内部には、冷却面積を増すために、またヨウ素が結晶、付着し易くするためにメッシュを入れるものとする。

ヨウ素コールドトラップの構造図および主要寸法については、第3章の末尾に添

付する「オフ・ガス処理工学試験装置図集」のヨウ素コールドトラップ構造図に示す通りである。

オフ・ガス冷却管内径	5 2.7 mm
オフ・ガス冷却管有効部長さ	計 6 0 0 0 mm
オフ・ガス流量	約 2.87 m ³ /h (250℃において)
オフ・ガス平均流速	約 3 6.6 cm/s (")

1.9.6 ヨウ素貯蔵装置

1) 形 式

立型冷却管外装水冷却式とする。

2) 要 目

ヨウ素コールドトラップの再生時間を短くするため、ヨウ素のキャリアガス(窒素ガス)の量を多くする。キャリアガスの流量は、オフ・ガスの最大流量の4倍をとり、6Nm³/hとする。

キャリアガスをヨウ素貯蔵装置出口の温度10℃まで冷却し、ヨウ素貯蔵装置内でヨウ素を結晶し易くするものとする。

3) 構造および主要寸法

ヨウ素貯蔵装置は、窒素ガスを円筒の冷却室(オフ・ガス冷却管)内に入れて冷却する。

ヨウ素貯蔵装置は、ヨウ素コールドトラップのオフ・ガス冷却管1個と同じ構造とし、窒素ガスの冷却管の外周に水冷却管を、内部にはメッシュを入れるものとする。

ヨウ素貯蔵装置は、装置の容量に合った量のヨウ素が貯蔵された後、放射性廃棄物にされるため、容易に取換えられるよう窒素ガス冷却管は1個とする。

ヨウ素貯蔵装置の構造図および主要寸法については、第3章の末尾に添付する工学試験装置の構造図に示す通りである。

窒素ガス冷却管内径	3 0 9.5 mm
窒素ガス冷却管有効部長さ	2 5 0 0 mm



窒素ガス流量	約 12.6 m ³ /h (300℃において)
窒素ガス平均流速	約 4.65 cm/s (")

ただし、初期状態において

1.9.7 残留粉塵除去装置

残留粉塵除去装置は、粉塵の粒径 0.3 μm に対して有効なヘパフィルタ-を濾過材に採用し、形式を立円筒型ヘパフィルタ-式とする。

総合集塵率は、99.97%である。

1.9.8 ヨウ素乾式除去装置

1) 形式

立円筒型吸着塔とする。

2) 要目

オフ・ガス流量	1.5 Nm ³ /h
オフ・ガス入口温度	20℃

1 段目吸着材

モレキュラシ-ブ 13X のヨウ素の吸着容量は、モレキュラシ-ブ 4A よりも大きいため、モレキュラシ-ブ 13X を採用する。

充填容量	22.7 ℓ
充填量	14.1 Kg
吸着量 (50%破過)	4.44 Kg

2 段目吸着材

吸着効率の高い銀ゼオライトを採用する。

充填容量	22.7 ℓ
充填量	22.9 Kg
吸着量 (50%破過)	6.88 Kg



3) 構造および主要寸法

ヨウ素乾式除去装置の構造および主要寸法については，第3章の末尾に添付する工学試験装置の構造図に示す通りである。

1.9.9 トリチウム水生成装置

1) 形式

触媒加熱式とする。

2) 要目

触媒は酸化銅(CuO)とする。

オフ・ガス流量	1.5 Nm ³ /h
オフ・ガス入口温度	20℃
オフ・ガス出口温度	400℃

トリチウム水の生成を助成するためには，温度が高い程反応し易く，触媒槽の外表面から電熱線で加熱する。水素供給量は，オフ・ガスに対して爆発限界の4%以下にする必要があり，1%とする。

3) 構造

立円筒型の触媒槽下部にオフ・ガス入口を，上部にオフ・ガス出口を設け，オフ・ガスが下部から上部に加熱されながら流れる構造とする。

1.9.10 トリチウム水捕集装置

1) 形式

立円筒型吸着塔とする。

2) 要目

オフ・ガスはトリチウム水生成装置を出た後，オフ・ガス冷却器で20℃まで冷却される。

オフ・ガス流量	1.5 Nm ³ /h
---------	------------------------



オフ・ガス入口温度 20℃

吸着材は、モレキュラ-シ-ブ4Aの水分の吸着容量は、モレキュラ-シ-ブ13Xより少し小さいが、吸着材を再生した場合に顆粒が破損し難いモレキュラ-シ-ブ4Aを採用する。

吸着材充填容量 53.0ℓ

吸着材充填量 37.1Kg

吸着材吸着量(25%破過) 2.23Kg

3) 構造および主要寸法

トリチウム水捕集装置の構造および主要寸法については、第3章の末尾に添付する工学試験装置の構造図に示す通りである。

1.9.11 トリチウム水貯蔵装置

トリチウム水貯蔵装置は、トリチウムの透過率の低い、経年変化の少ない材質とし、容器外部をステンレス鋼のカバーで補強する。

容 量 3.0ℓ

材 質 ガラス

第2章 ポロキシナイザー系工学試験装置の設計

2.1 ポロキシナイザー系工学試験装置の設計条件

ポロキシナイザー系工学試験装置は、個々の装置の特性が試験できるよう、それぞれ独立した下の装置とする。

- (1) ポロキシナイザー系工学試験装置
- (2) 粉体飛散物捕集工学試験装置
- (3) 燃料供給・ガスシール工学試験装置

2.1.1 試験条件

- (1) 工学試験は、高速増殖炉燃料再処理試験施設のポロキシレーション工程の装置を開発するための第一段階として、個々の装置の特性を調べ、問題点の摘出を行う工学規模の試験とする。
- (2) ポロキシナイザー系の工学試験は、模擬燃料として、二酸化タングステンおよびジルコニアなどの非放射性物質、および劣化ウランの試料を用い、使用済燃料による試験は実施しない。
- (3) 工学試験は、それぞれ独立で各工学試験装置の試験を実施した後、各工学試験を組合わせてポロキシナイザー系の総合試験を実施するものとする。
- (4) 劣化ウランの試料による試験は、総合試験の最終段階に実施するものとする。
- (5) 工学試験装置のうち、性能が明確でない、ポロキシナイザーの処理板の形状および粉体飛散物捕集装置の濾過材については、それぞれ3種類のを試験し、適正化を図るものとする。

2.1.2 設計条件

- (1) 本工学試験装置は、装置を開発するための第一段階の試験装置であるから、経済性を考慮して、高速増殖炉燃料再処理試験施設のポロキシナイザーの規模よりポロ

キンダイザ-工学試験装置を小さくし、下に示す要目とする。

燃量処理容量 3 Kg/回分

加熱温度 450~500℃

ポロキシダイザ-本体の工学試験装置の材質は、加熱温度500℃に合うものとする。

- (2) 燃料供給・ガスシール工学試験装置の燃料供給機構は、単位当たりの供給量を、再処理試験施設のものと同じとし、供給時間を変えるものとする。

従って、燃料供給機構は第1章「ポロキシデ-ション工程の概念設計」に記載した機器の規模と同じである。粉体飛散物捕集工学試験装置も第1章に記載した機器の規模と同じにする。

2.2 ポロキシダイザ-工学試験装置の設計

2.2.1 工学試験装置の形式および構造

ポロキシダイザ-工学試験装置の被試験体であるポロキシダイザ-の形式は、再処理試験施設のポロキシデ-ション工程に合わせて、1.8.1項に記載した通り、振動式とする。

ポロキシダイザ-本体の工学試験装置は、図II-1-18に示した再処理試験施設のポロキシダイザ-を、炉筒内高さを変えずに小型にした構造とする。

ポロキシダイザ-本体の構造図を、本章末尾に添付する「ポロキシダイザ-系工学試験装置図集」の構造図に示す。

2.2.2 処理機能

1) 試料

もんじゅ用の燃料に合わせた寸法とし、二酸化タングステン、ジルコニアおよび劣化ウランを用いる。

2) 試料供給量

1,170個 (もんじゅ用燃料3kgに相当)

3) 処理温度

弊社の振動式ポロキシダイザ-実験装置を用いた、劣化ウランの試験結果により、450~500℃とする。

4) 振動の強さ

1.8.2項5)に記載した振動の強さに上限を合わせて、下に記載する通りとする。

振動数 600~3,000 cpm (50 Hz)

全振巾 0.1~1.5 mm

2.2.3 材質

ポロキシダイザ-本体の工学試験装置は、処理温度500℃に合わせて、炉筒、燃



料処理板および処理板吊り下げ板の材質を，SUS304とする。

2.2.4 主要部寸法

ボロキンダイザ-本体の工学試験装置の主要寸法は，本章末尾に添付する工学試験装置図集の構造図に示す通りである。

2.2.5 ボロキンダイザー本体内部温度分布

1) 検討方法

ボロキンダイザー本体（炉筒，断熱材，燃料処理板）を軸対称体モデルに近似し定常運転状態 500℃ の定常温度分布検討を行なった。

(1) 使用プログラム

有限要素法による軸対称連続体の温度分布および弾性応力解析プログラムを用いた。

(2) モデル化

解析モデル図を図 II-2-9 に示す。図 II-2-8 図に示す実体を下記の条件により軸対称体モデルに近似した。詳細モデル図を図 II-2-10 に示す。

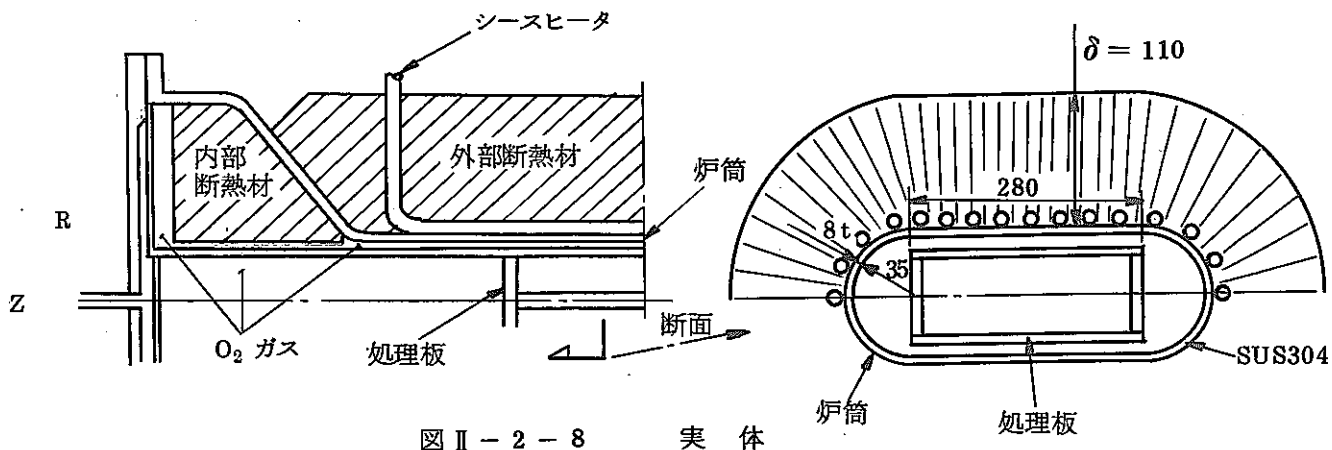


図 II-2-8 実体

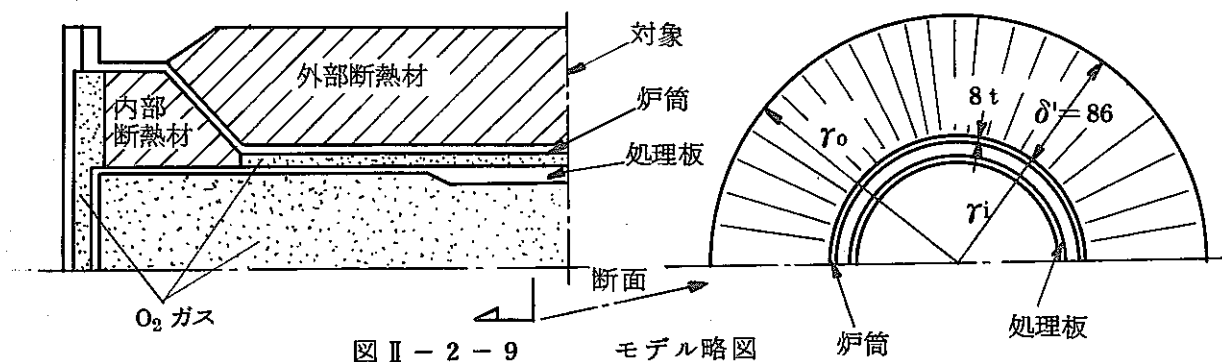


図 II-2-9 モデル略図



(a) 炉 筒

炉筒の長平方向の温度分布を等価にするため炉筒の断面積および表面積を実体と等しくした。

(b) 外部断熱材

外部断熱材の半径方向の熱伝導を等価にする厚さとした。(実体の $\delta = 110$ をモデル $\delta^1 = 86$)

(c) 燃料処理板

Box 構造の処理板を断面積の等しい円形断面にモデル化する。これにより長平方向の温度分布を等価にし、また、処理板の蓄熱、伝動軸部の放熱の効果を考慮した。

(d) O₂ ガス

O₂ ガスの炉内流速は、4 mm/sec程度であり、また、炉内圧力も -50 mmA_g である。

従つて、O₂ ガスを自然対流境界とせず、物性値をもつ物質として、要素分割をして、ガス温度を求めた。

(e) 加熱装置

加熱装置の電熱線は解析体に含めず、炉筒の最外部要素を発熱体として計算した。

(3) 材 質

炉 筒	;	SUS 304
断 熱 材	;	カオウール
処 理 板	;	SUS 304
オ フ ガ ス	;	O ₂ ガ ス

2) 検 討 結 果

図 II - 2 - 11 に定格運転状態 500℃ の温度分布を示す。

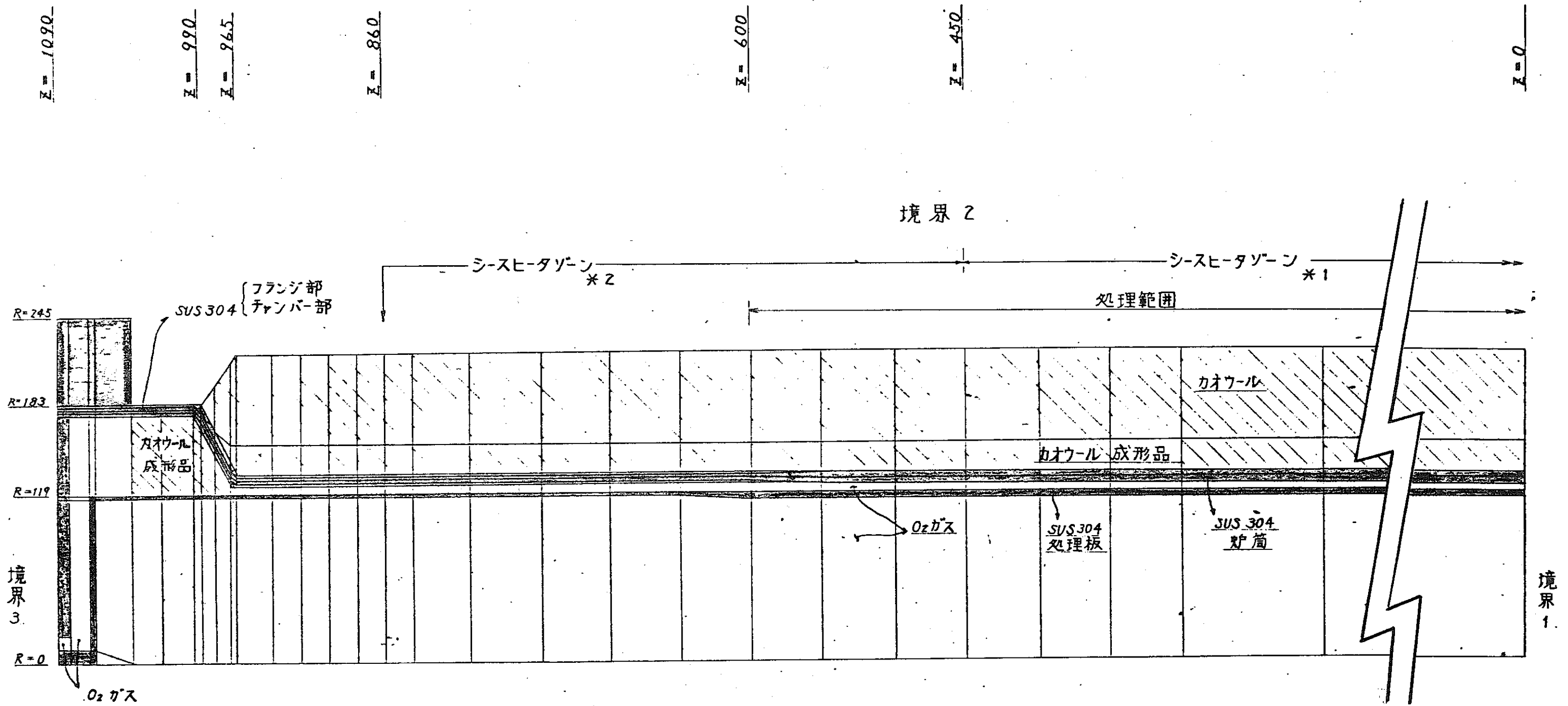
下に記載する良好な検討結果を得た。

(a) 処理範囲内(中央部 1200 mm 間)の温度差は 30℃ 以内(470℃ ~

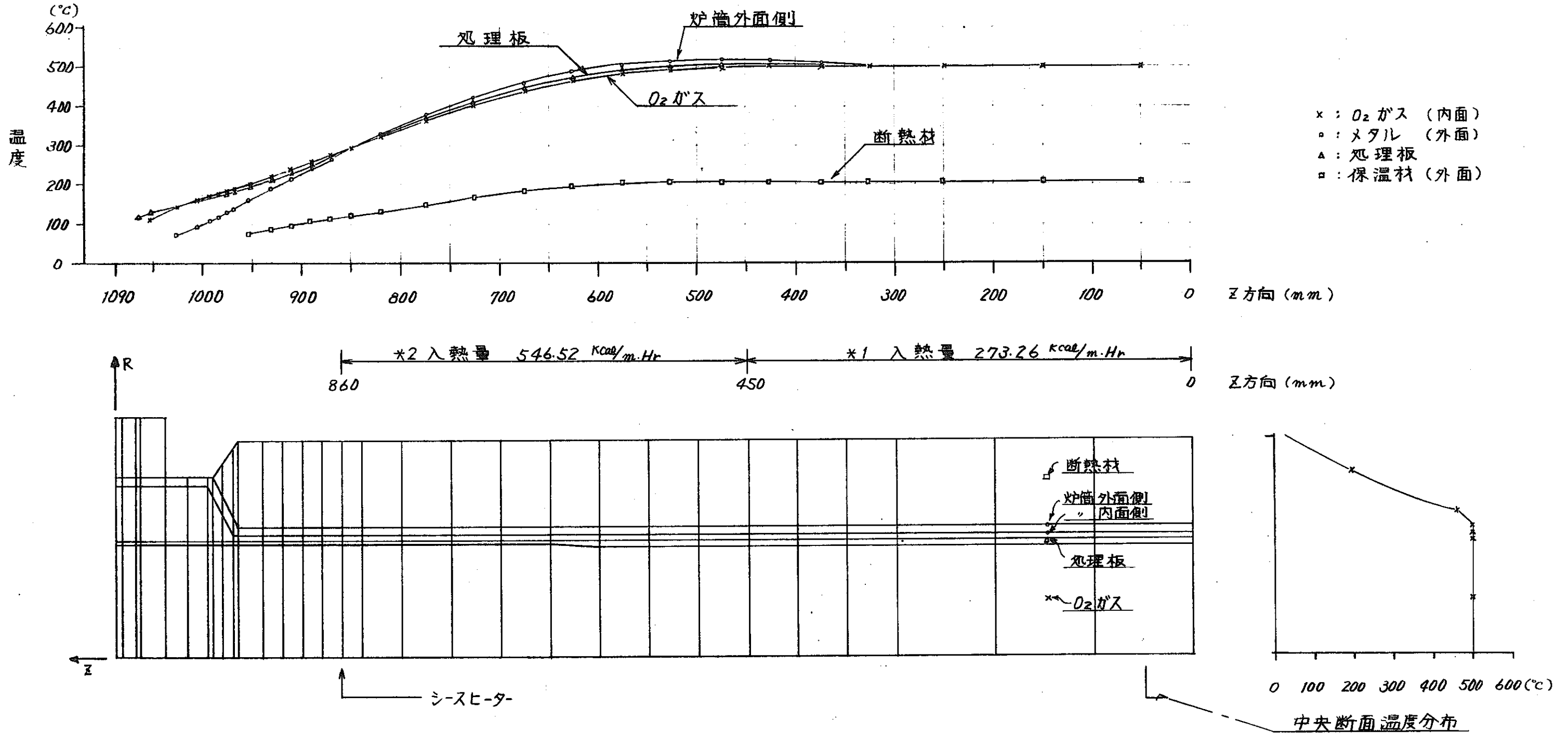


500℃)を保つことが可能である。

- (b) 表面放熱量は、694 Kcal/hである。
- (c) 処理板吊下げ板の温度は、130℃程度と低い。
- (d) シール装置部温度は105℃となる。



図II-2-10 ポロキシダイザー温度分布解析用要素分割図



図II-2-11 定格状態 (500°C) 長手方向温度分布

2.2.6 ポロキシダイザーの本体主要部強度

1) 炉筒熱応力

(I) 熱応力検討方法

ポロキシダイザー炉筒を軸対称体モデルに近似し定格運転状態 500℃における弾性熱応力計算を行なった。

(a) 使用プログラム

2.2.5 項の温度分布検討と同じプログラムによつた。

(b) モデル化

炉筒のフランジ部，チャンパー部および直線部の一部を取り出し，図 II - 2 - 13 の様な軸対称体モデルに近似した。

炉筒の直線部は，図 II - 2 - 12 に示すように長円形断面であるが，最も厳しい応力値を示すと考えられる A - A 断面を軸対称体モデル，即ち，長円形の短軸を径とする円形断面に近似した。

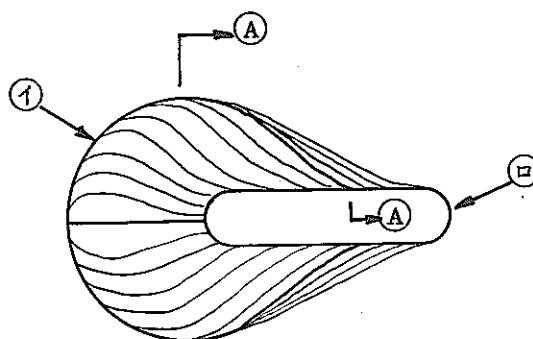


図 II - 2 - 12 実体のチャンパー部 立体図

周辺の物質（断熱材，O₂ ガス）の影響は 2.2.5 項の温度分布検討結果より等価な境界条件（境界温度 T および熱伝達率 α ）として与えた。

電熱線は 2.2.5 項の温度分布検討と同様に扱かつた。

(c) 炉筒材質 SUS304



(2) 検討結果

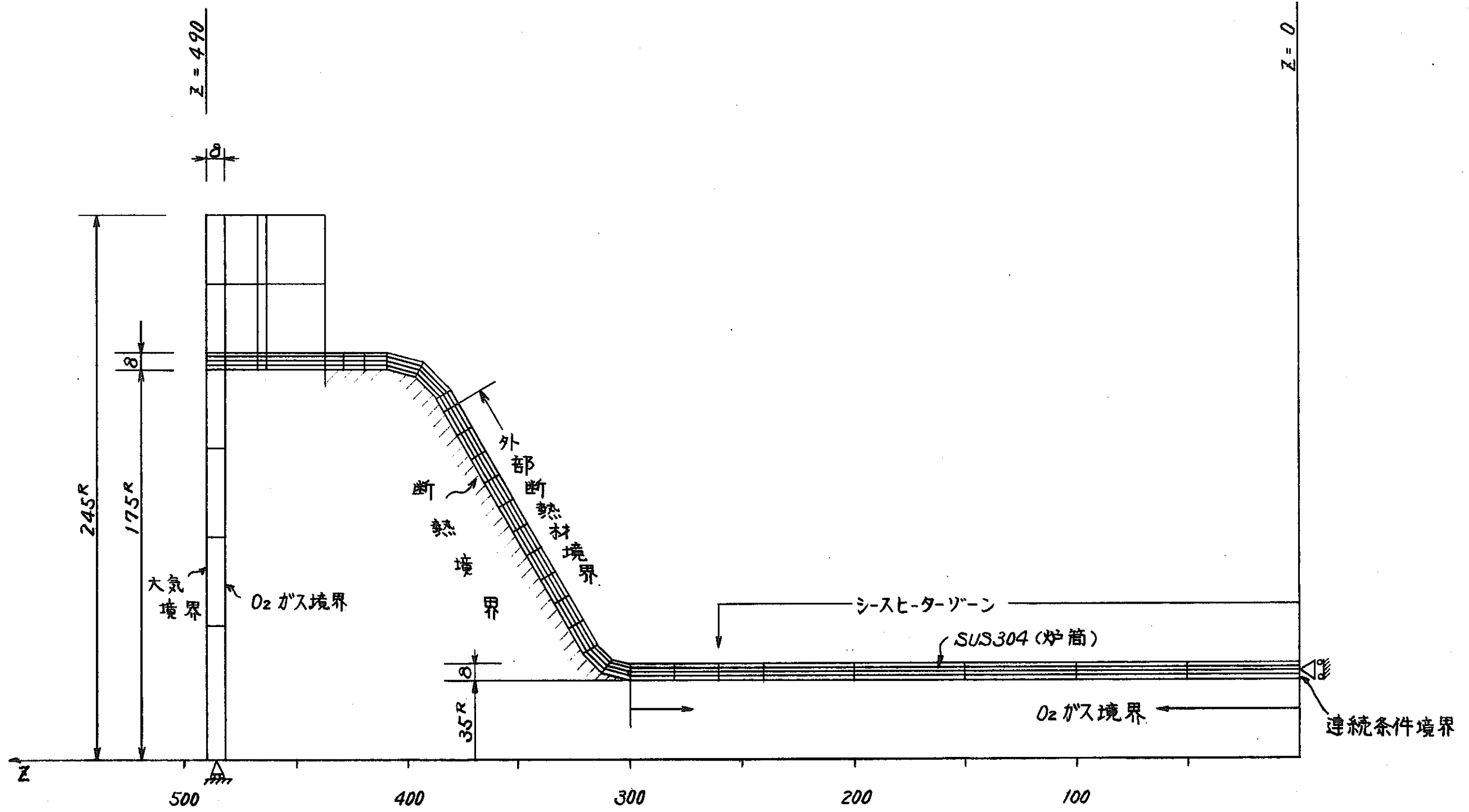
定格状態 500℃における各部の熱応力値を図 II-2-14 に示す。また、ASME CC. 1592 による応力評価結果を表 II-2-1 に示す。

下に記載する良好な検討結果を得た。

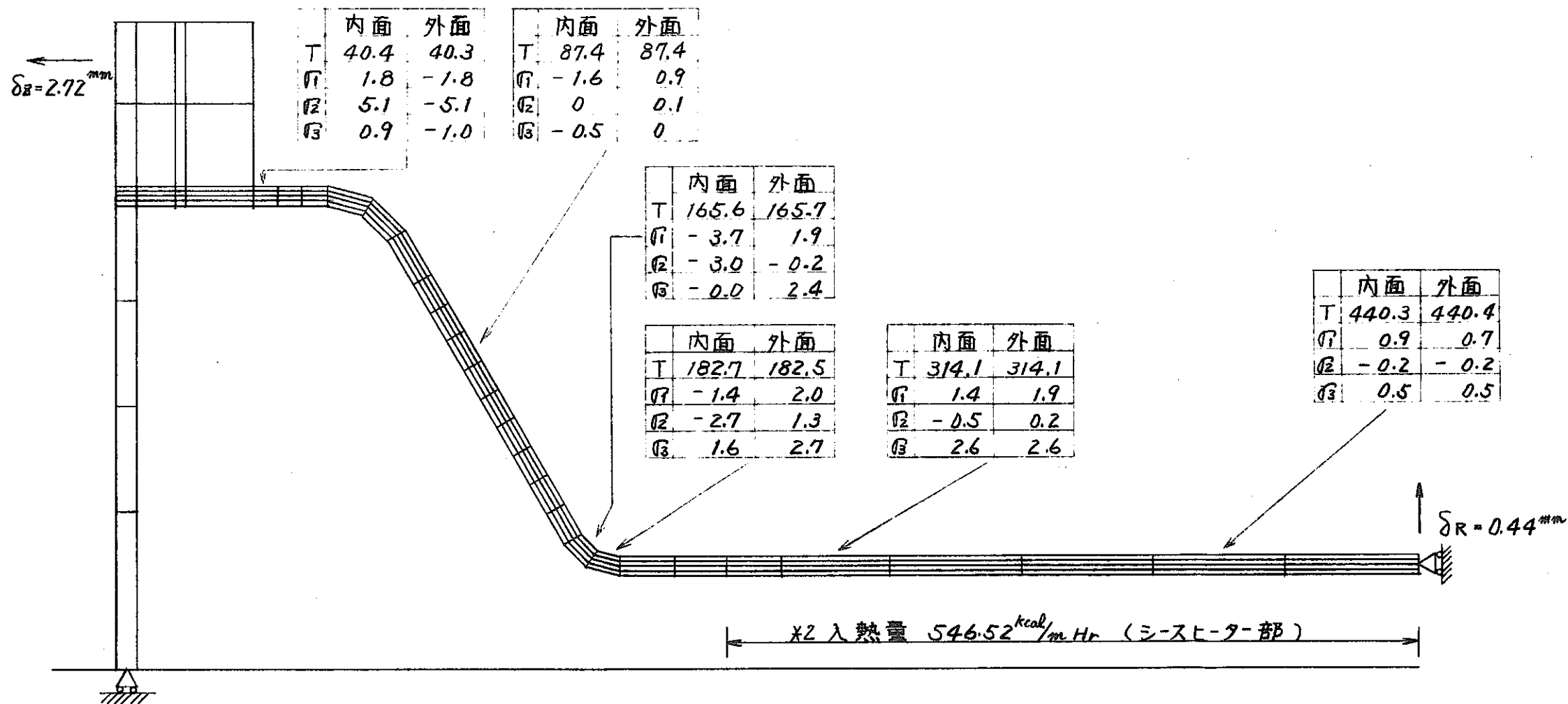
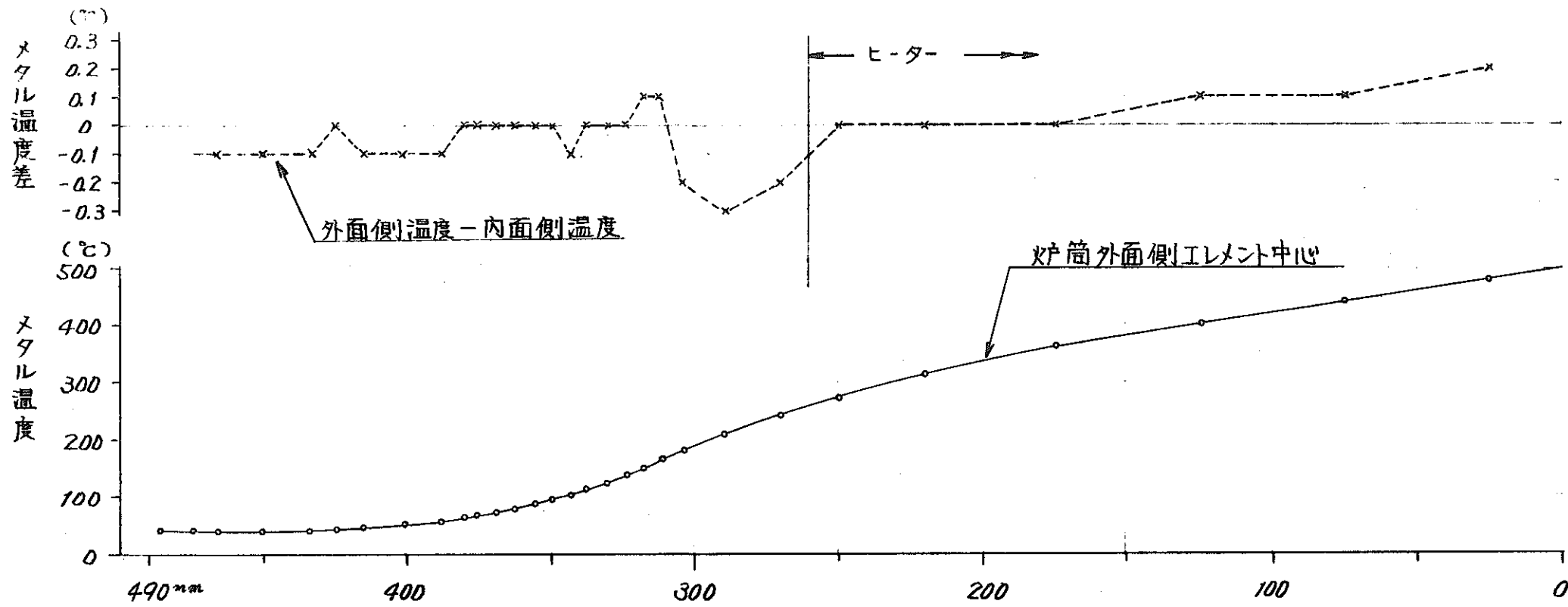
- (a) 弾性解析結果一次応力（自重による曲げ応力及内圧）プラス二次応力（熱応力）は TEST №1 の制限を満足する。
- (b) クリープ損傷評価は $\Sigma t / T d < 0.05$ となり満足する。

表 II - 2 - 1 ASME CC 1592 による応力評価 (定格状態 500℃)

	荷重制御型応力の制限	評価位置略図
設計条件	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> $\frac{S_o}{14.3}$ P_m 0.1 </div> <div style="text-align: center;"> $\frac{15S_o}{21.4}$ $P_L + P_b$ 0.3 </div> </div>	<p>評価位置 (内表面)</p> <p>ひずみおよび変形の制限</p>
定常運転	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> $\frac{S_m t}{9.8}$ P_m 0.1 </div> <div style="text-align: center;"> $\frac{KtS_t, 1.5S_m}{16.0}$ $P_L + P_b$ 0.3 </div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> $\frac{S_q}{11.0}$ (テスト#61) $\frac{P_L + P_b}{Kt + Q}$ 4.6 </div> <div style="text-align: center;"> 1 (テスト#62) $X + Y$ </div> <div style="text-align: center;"> 1% (テスト#63) ϵ_c </div> </div> <p>クリープ評価</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> $\sum \left(\frac{t_i}{t_{id}} \right) \leq 0.1$ (テスト#64) </div> <div style="text-align: center;"> $\sum (\epsilon_i) \leq 0.2\%$ </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> t/T_d 0.05 </div>



図II-2-13 ボロキシタイザ-熱応力解析用要素分割図



図II-2-14 定格状態(500°C)温度分布および熱応力分布



2) 炉筒撓み

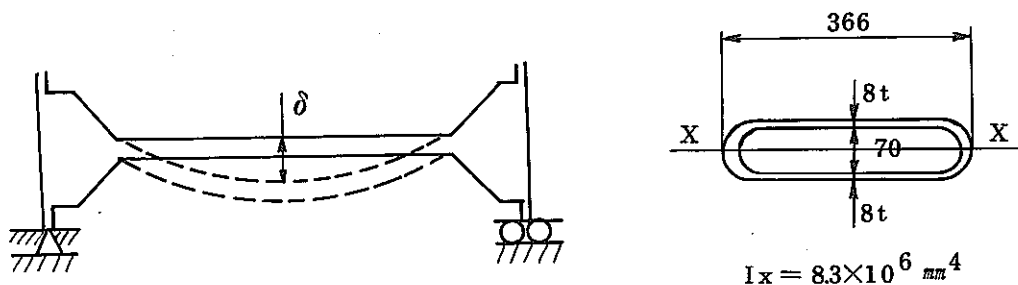


図 II - 2 - 15

静的撓み $\delta = 0.117 \text{ mm}$ である。

従つて、炉筒と燃料処理板とのクリアランス 5 mm に比較し、十分小さいため問題とならない。

3) 炉筒固有振動数

図 II - 2 - 15 に示す振動モードの固有振動数は 3100 cpm であり、使用起振動数 ($1200 \text{ cpm} \sim 3000 \text{ cpm}$) との共振の可能性はない。

4) 燃料処理板のたわみ

燃料処理板の静的たわみを図 II - 2 - 16 の単純梁として求めた。

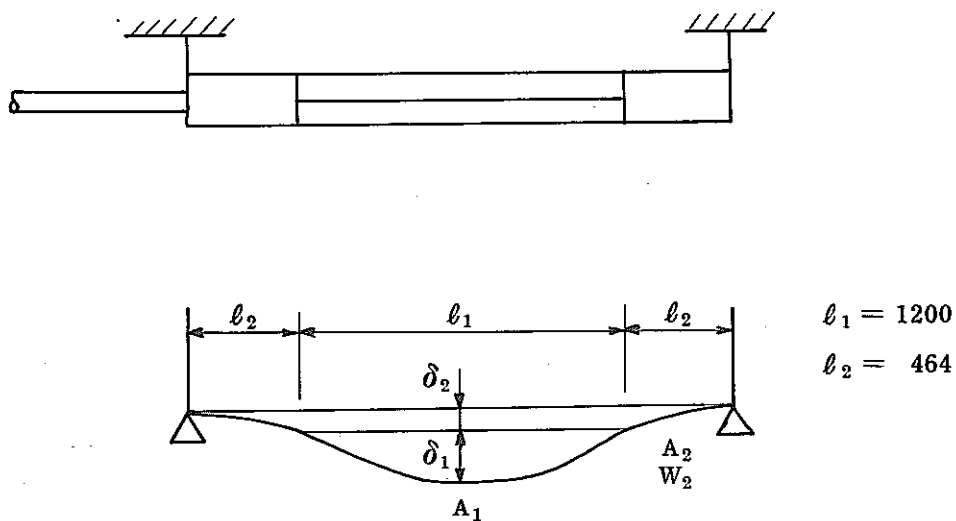


図 II - 2 - 16 計算モデル

$$\begin{aligned}
 \text{静的たわみ } \delta &= \delta_2 + \delta_1 \\
 &= 0.216 + 0.124 \\
 &= 0.340 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

従つて、炉筒と燃料処理板とのクリアランス 5 mm に比較して微少のため問題とならない。

5) 振動系の防振検討

(1) 検討方法

ボロキンダイザー本体の内、振動系となる燃料処理板、処理板吊下げ板および伝動軸の固有振動数を推定した。

(a) 使用プログラム

三次元骨組構造振動解析プログラムを用いた。

(b) 図 II - 2 - 17 の振動系を図 II - 2 - 18 の骨組構造に近似した。

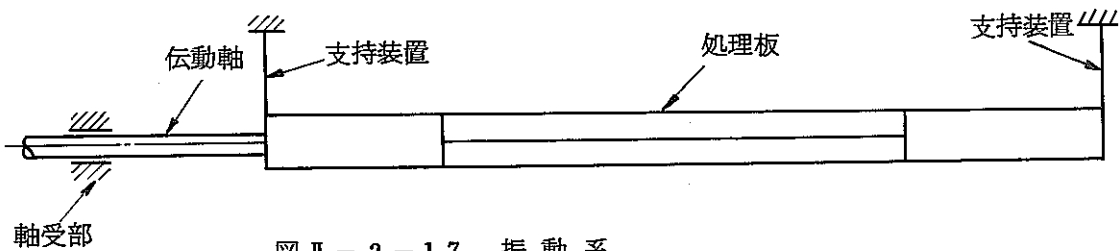


図 II - 2 - 17 振動系

△ ~ △11 : 節点番号
 ① ~ ⑩ : 部材番号

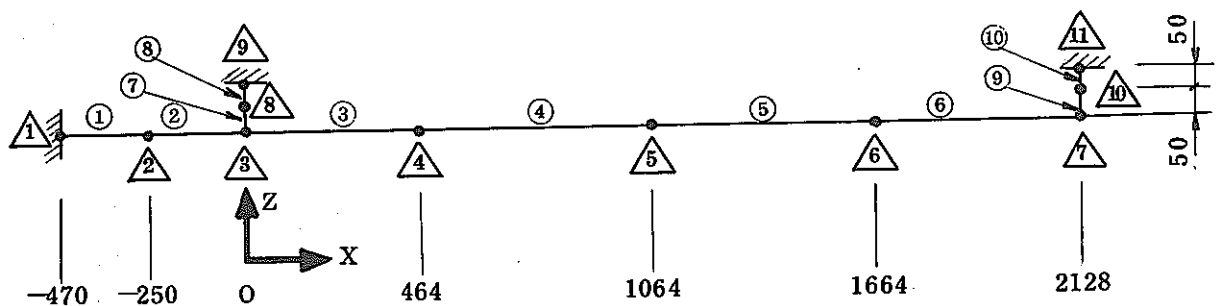


図 II - 2 - 18 モデル図

(c) 拘束条件

- (i) 伝動軸軸受部 (△) 固定
- (ii) 処理板吊下げ板固定部 (△, △) 固定

(d) 材 質 SUS 304

(2) 検討結果

検討結果の内、使用起振振動数 (1200 cpm ~ 3000 cpm) と共振する可能性のある固有振動モードについて以下に記載した。

(a) 処理板の上下方向振動モード

固有振動数 32.3 Hz (1938 cpm)

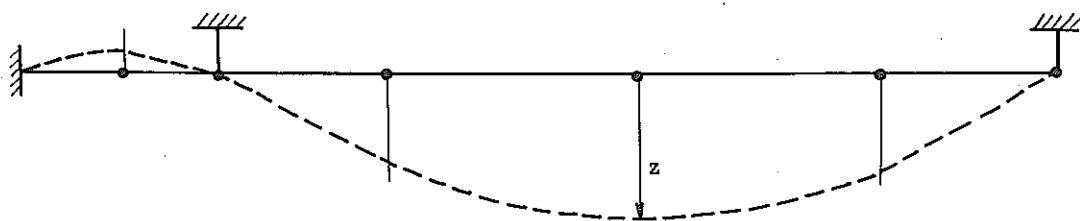


図 II-2-19

(d) 振動系の左右方向振動モード

固有振動数 41.8 Hz (2508 cpm)

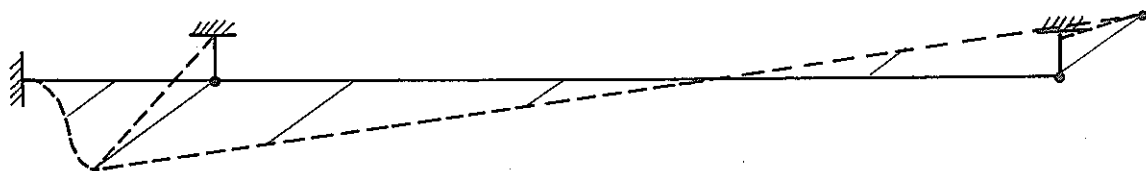


図 II-2-20

上記振動モードは処理板吊下げ板が曲げ(面内方向)座屈を起こす場合である。

(c) 燃料処理板および伝動軸の上下方向振動モード

固有振動数 31.4 Hz (1884 cpm)

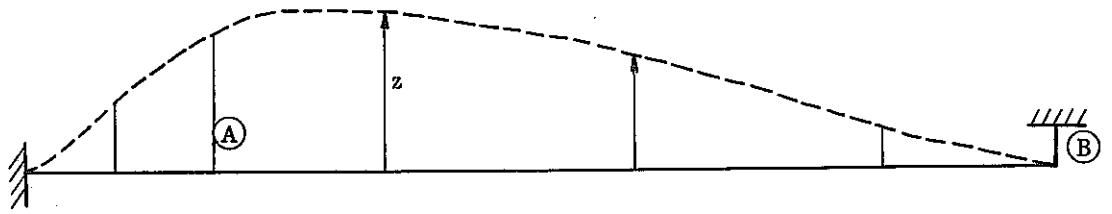


図 II-2-21

上記は④側の処理板吊下げ板が圧縮座屈を起こすと仮定して線型振動モードとして固有振動数を求めたものである。

なお、実際は下方向には引張に対する剛性が大であり片側のみ振動する非線型振動モードになると考えられる。

(3) 考 察

(2) 「検討結果」より、使用起振振動数と共振する可能性のある範囲を下記に示す。

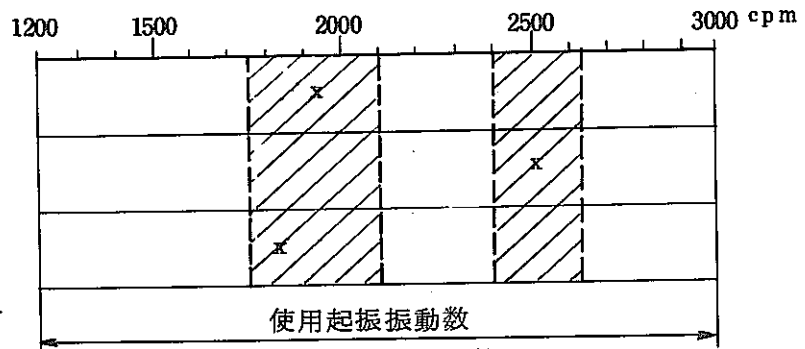


図 II-2-22 使用振動数範囲

共振した場合の応答倍率を簡単なマスバネ系として推測すると、静的たわみの10倍程度(系の減衰定数は5%とした)である。

静的たわみは、4)「燃料処理板のたわみ」に記載した検討結果より0.34 mmであり、炉筒と処理板とのクリアランス5 mmに対して十分小さく問題にならない。

6) 処理板支持装置の疲労強度

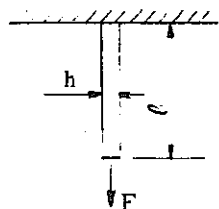
下記の条件で疲労強度を検討した。

- 支持装置付近の温度は、2.2.5「ボロキンダイザー本体内部温度分布」に

記載した検討結果より130℃であり、常温とみなす。

○ 材質はSUS304の薄板とする。

(1) 静的引張荷重に対する応力



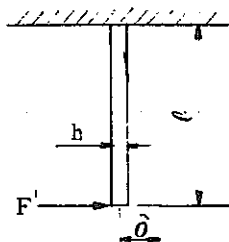
- l : 長さ 70 mm
- h : 板厚 0.5 mm
- b : 巾 200 mm
- F : 荷重 2.5 Kg

区II-2-23

(処理板重量 - 処理物料重量) × 1/2

引張応力 = 0.25 Kg/mm^2

(2) 曲げ荷重に対する応力



- δ : 起振片振巾 0.75 mm
- F' : 起振振巾に等価な曲げ荷重
- 0.492 Kg

区II-2-24

曲げ応力 = 4.38 Kg/mm^2

以上の計算結果より処理板吊下げ板の疲労強度を区II-2- のS-N曲線を用いて評価する。

3. 評 価

繰返し回数

- ・ 振 動 数 = 3000 cpm
- ・ 運 転 時 間 = 12 hr/day
- ・ 運 転 日 数 = 200 day/year
- ・ 寿 命 = 10 year

とすると、

繰返し回数 $N = 4.32 \times 10^9$



(i) 両振引張圧縮の場合

S - N 曲線は繰返し数が $10^5 \sim 10^6$ の間で水平となりこの時の $\sigma_a \approx 24.5 \text{ Kg/mm}^2$ である。

(ii) 回転曲げの場合

(i)と同様に S - N 曲線は繰返し数が $10^5 \sim 10^6$ の間で水平となりこの時の $\sigma_a \approx 26.2 \text{ Kg/mm}^2$ である。

片振引張圧縮の実際の応力振巾は, 0.25 Kg/mm^2

回転曲げの " 4.38 Kg/mm^2

で, S-N 曲線の応力振幅に比べ十分小さいので, 疲労破壊する可能性はない。

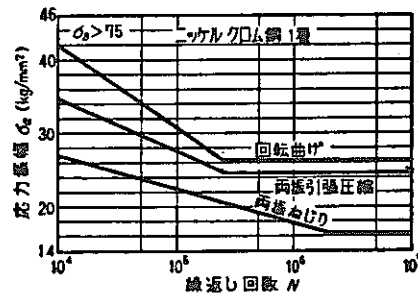


図 II - 2 - 25 S - N 曲線

7) ベローズシール装置の疲労強度検討

(1) 検討方法

ボロキンダイザの軸シール装置として, ベローズを採用した場合の検討を行った。

設定条件

- (i) くり返し数 : 振動数 × 運転時間 × 運転日数 × 寿命 = 4.32×10^9
- (ii) 総ストローク : 最大 ± 0.75 mm
- (iii) 環境条件 : 内圧 - 50 mm Aq
外圧 大気圧
雰囲気温度 200℃以下

(2.1.7 温度分布検討結果よりシール装置部

温度は105℃)

寿命に関しては、実験室レベル、工業レベルとも本仕様の如き高速くり返しに対する実績データがない。

従つて、本検討書では、在来の手法によつて低サイクルの疲労強度を算出し、高サイクルの疲労強度について、耐久試験結果(500cpm~2000cpmの試験データ)より検討した。

(2) 試設計寸法

軸 径 $d_o = 34 \text{ } \emptyset$

ベローズ TYPE Uタイプ 成形ベローズ で検討した。

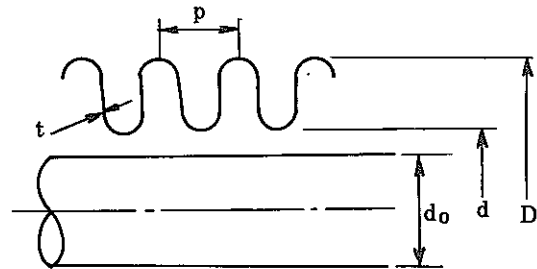
外径 $D = 65 \text{ } \emptyset$

内径 $d = 44 \text{ } \emptyset$

ピッチ $P = 5.3$

山数 $n = 10$

肉厚 $t = 0.2$



図II-2-26 ベローズ

(3) 強度検討

$$\text{歪式より } \epsilon = \epsilon_p + \epsilon_\delta$$

ここで、 ϵ_p (圧力による歪) は内外圧力差=0より無視する。

$$\epsilon \doteq \epsilon_\delta \text{ (伸縮による歪)} = \frac{\delta_t C}{2n(D-d)^2} \times 100 [\%] = 0.015 [\%]$$

変位量 $\delta = 0.75 \text{ mm}$

C (形状係数) $\doteq 8.9$

(4) 考 察

(3)「強度検討」に記載した検討結果より、歪 $\epsilon = 0.015 \%$ である。

この値より図II-2-27のS-N曲線を用いて破壊までのくり返し回数Nを推定すると $N > 10^{10}$ となる。

しかし、図II-2-27は振動数500~1800cpmの場合である。



設定条件起振振動数 3000 cpm に対して次の考慮が必要である。

- i) 高サイクルに対しては振巾を全山で吸収せず最初の 2 山位で吸収する可能性がある。 2 山の場合 $\epsilon = 0.075$ となるが図 II-2-27 の S-N 曲線より $N = 10^{10}$ に対する許容歪は $\epsilon = 0.1\%$ 程度であるので、問題は無いと考えられる。
- ii) 固有振動数は 3000 cpm 以上とする。

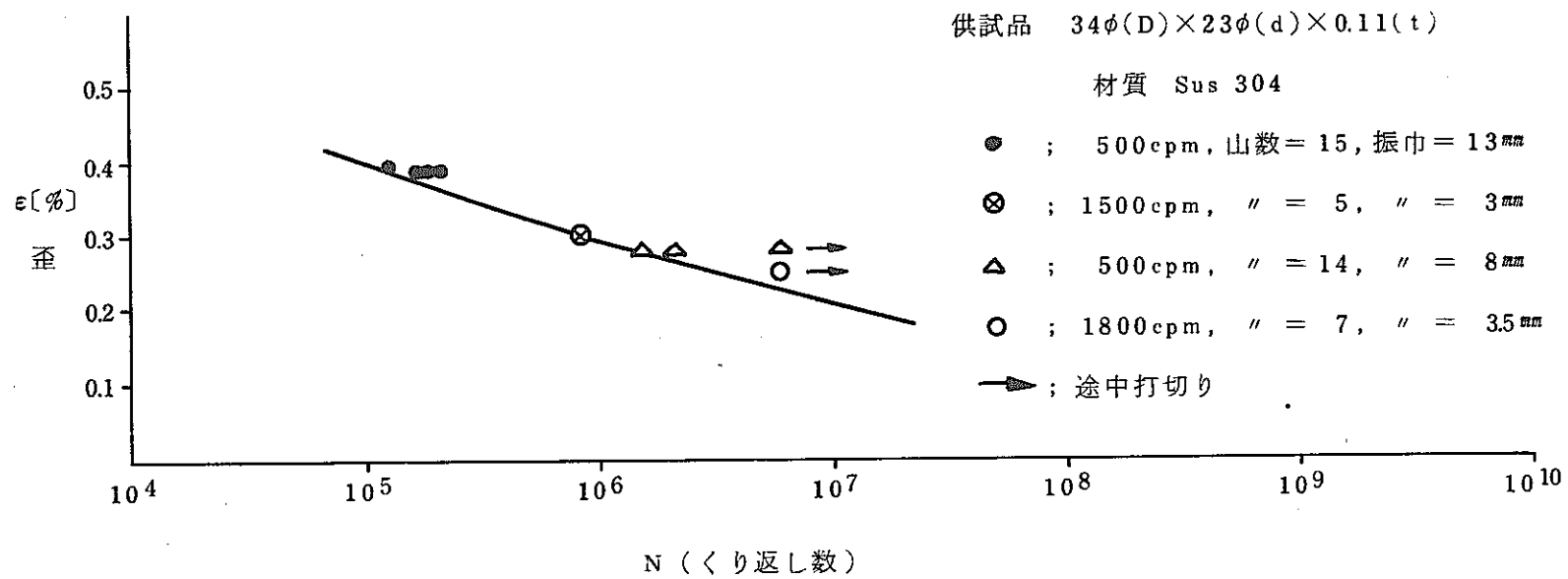


図 II - 2 - 27 ベローズ SN 曲線

8) ボロキシダイザー支持架構防振

(1) 検討方法

図II-2-1のボロキシダイザー支持架構(傾斜台)の固有振動数を検討した。

(a) 使用プログラム

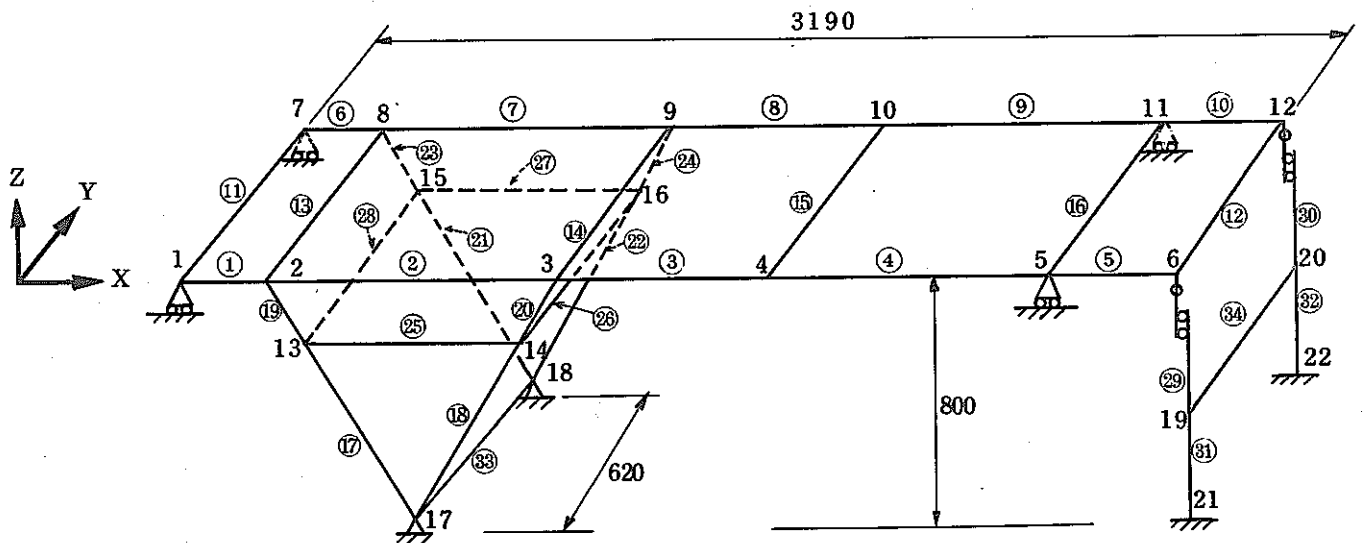
三次元骨組構造振動解析プログラムを用いた。

(b) モデル化

図II-2-28のように等価な剛性をもつ三次元骨組構造に近似した。

1 ~ 22 : 節点番号

① ~ ⑳ : 部材番号



図II-2-28 計算モデル図

(c) 拘束条件

- 節点 5, 11 : Z方向変位のみ拘束
" 17, 18 : Y軸周り回転のみ自由
" 21, 22 : 全て拘束
" bと部材⑳ } : Z方向移動自由
" 12と"㉑ } : 回転自由
" 1, 7 : YおよびZ方向変位のみ拘束

(d) 材質 SS41

(2) 検討結果および考察

図II-2-29および図II-2-30に固有振動モードと固有振動数を示す。

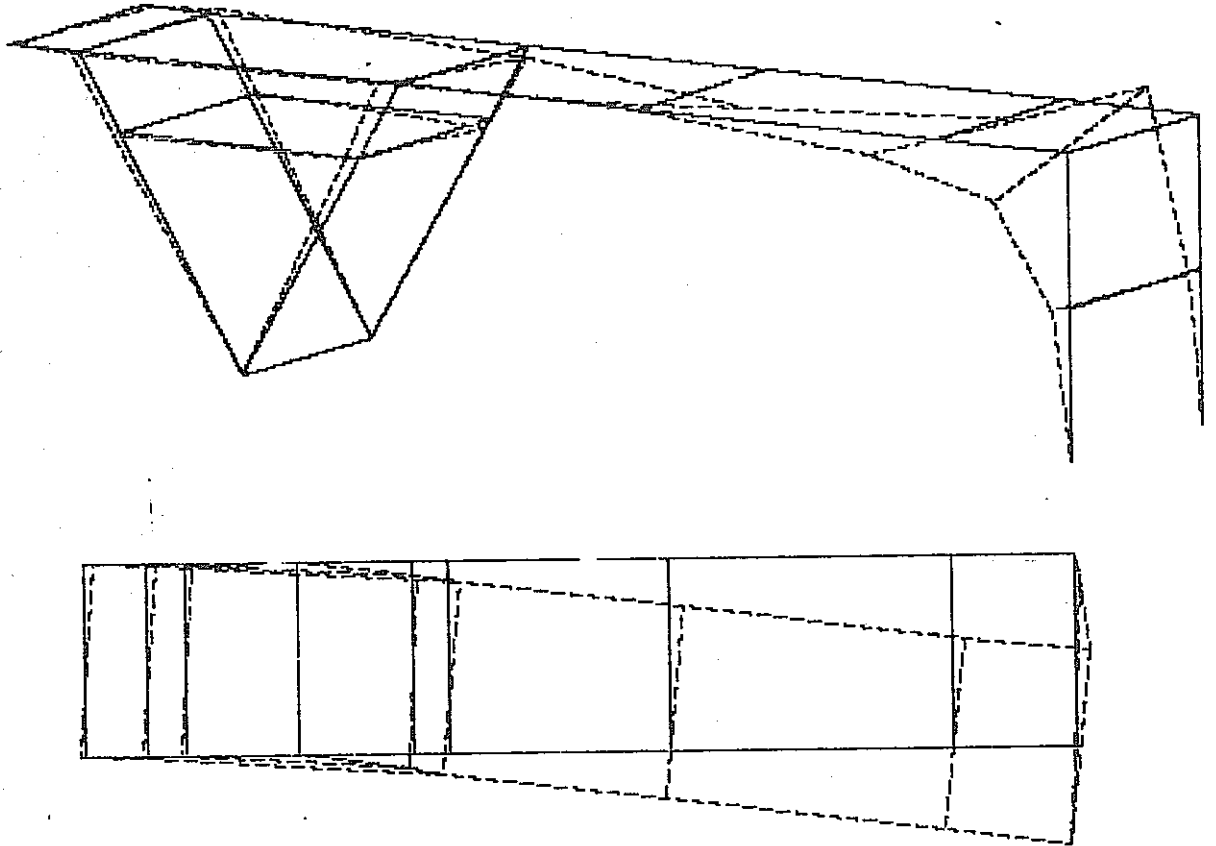
最低次の固有振動数は3315 cpmであり、起振振動数(1200 cpm~3000 cpm)と共振する可能性はない。



2 - ND MODE

固有振動数 $F = 56.225$
(3374

C/S
cpm)



H QUEING

CURRENT MODE NO = 2

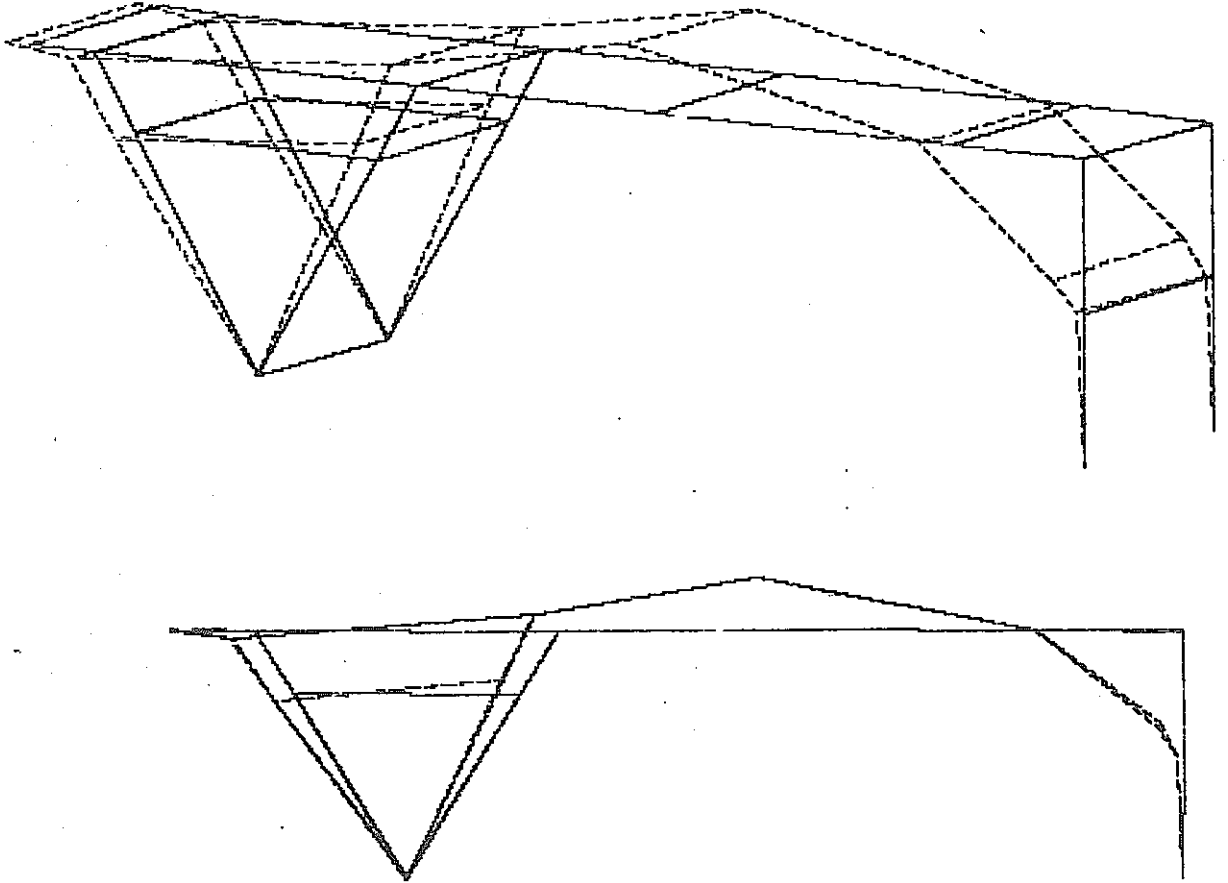
MAX MODE NO = 6

図 II - 2 - 29 左右振動モード

1 - ST MODE

固有振動数 $F = 55.244$
(3315

C/S
cpm)



H OJ EING

CURRENT MODE NO = 1

MAX MODE NO = 6

図 II - 2 - 30 上下振動モード



2.3 粉体飛散物捕集工学試験装置の設計

粉体飛散物捕集装置の工学試験装置は、1.9.4「粉体飛散物捕集装置」に記載した仕様と同じである。

粉体飛散物捕集工学試験装置の組立図および本体構造図を、本章の末尾に示す。

2.4 燃料供給，ガスシール工学試験装置の設計

燃料供給，ガスシール装置の工学試験装置は、1.9.1「燃料供給，ガスシール装置」に記載した仕様と同じである。

燃料供給，ガスシール工学試験装置の組立図および燃料供給機構の構造図を、本章末尾に示す。

2.5 ボロキンダイザー系工学試験装置の製作仕様

ボロキンダイザー系工学試験装置は、2.2、2.3および2.4に記載した機器の仕様および本章末尾に添付する「ボロキンダイザー系工学試験装置図集」の組立図および構造図によって、装置の詳細設計および製作を行う。

2.5.1 製作期間

装置の詳細設計を含めて10ヶ月

2.5.2 検収条件

下記の項目が満たされていることを以って、検収される。

- 1) 2.5.7「内容」に記載されている工学試験装置が完成している。
- 2) 2.5.7「内容」に記載されている工学試験装置が納入場所に据付けられ、試運転および検査を完了している。
- 3) 2.5.5「提出図書」が提出されている。

2.5.3 保証および保証期間

ボロキンダイザー、粉体飛散物捕集装置および燃料供給、ガスシール装置の各工学試験装置の検収後1年以内に明らかに製造所の設計、製作および材質等の不良または施工上の不備によると認められる装置の破損または故障については、製造所が無償でこれを改造修理するか、または代替品との交換をする。

2.5.4 試験・検査

1) 工学試験装置については、貴事業団検査員立会の上で下記の工場試験および検査、
現地での試運転および検査を行う。

試験項目	工場試験・検査	現地試運転・検査
主要部の寸法検査	○	-
外 観 検 査	○	○
石けん水による気密試験	○	-
運 転 試 験	○	○

2) 工学試験装置の石けん水による気密試験は、ボロキンダイザー本体、粉体飛散物
捕集装置本体および燃料供給、ガスシール装置本体の各工学試験装置について行い、
その他の末端の付属装置については省略する。

3) 工学試験装置の工場における運転試験は、所定の作動確認および所定温度に至る
までの昇温確認試験とする。

4) 工学試験装置の現地における運転試験は、所定の運転状態における下記の連続運
転とする。

ボロキンダイザー工学試験装置	2 時間
粉体飛散物捕集工学試験装置	2 時間
燃料供給、ガスシール工学試験装置	30 分

5) 工学試験装置の工場および現地での運転試験とも化学反応を伴う模擬燃料による
試験は行わない。

6) 工学試験装置の測定器は規格によって検定したものを使用し、装置の試験検査時
に再検定は行わない。

7) 工学試験装置の装置検査要領書を予め提出し、貴事業団の承認を取得する。

8) 工学試験装置の装置検査終了後速やかに装置検査成績書を提出する。



2.5.5 提出図書

下記の図書を作成し，貴事業団に提出する。

提出図書等	部 数	提 出 時 期
契 約 仕 様 書	8	契 約 時
工 程 表	5	契 約 直 後
設 計 書	5	設 計 終 了 時
製 作 承 認 図 面	5	製 作 開 始 時
機 器 リ ス ト	5	同 上
装 置 運 転 要 領 書	5	同 上
装 置 検 査 要 領 書	5	同 上
装 置 検 査 成 績 書	5	工 学 試 験 装 置 の 納 入 時
打 合 せ 議 事 録	5	打 合 せ の つ ど
そ の 他 協 議 に よ り 必 要 と 認 め ら れ た 図 書	5	必 要 と な っ た 時

尚，製造所は貴事業団が法規に基づき監督官庁へ提出する書類および資料の作成について協力する。



2.5.6 その他

- 1) 本仕様書に記載されている工学試験装置とは、模擬燃料として、二酸化タン
グステンおよびジルコニアなどの非放射性物質、および劣化ウランの試料を用いて
試験する装置であり、使用済燃料による試験を行う装置ではない。
- 2) 工学試験装置の加熱される部分の材質は、ステンレス鋼とする。
その他の材質は製造所の標準通りとする。
- 3) 工学試験装置のステンレス鋼表面は塗装しないものとする。
その他の表面は製造所の標準通りとする。

2.5.7 内 容

ボロキシナイザー系工学試験装置は、(1)ボロキシナイザー工学試験装置、(2)粉体飛散物捕集工学試験装置、および(3)燃料供給、ガスシール工学試験装置からなる。

1) ボロキシナイザー工学試験装置

(1) 要 目

型式 × 台数	振動式 × 1
運 転 方 式	回 分 式
燃料処理容量	3 Kg / 回分
処理温度 × 圧力	450 ~ 500 °C × 約 50 mm A q (真空)
処理板振動数	600 ~ 3,000 cpm
全 振 巾	0.1 ~ 1.5 mm

(2) 構 造

ボロキシナイザー本体は横形の炉とする。

炉の中心部横方向に燃料処理板を設け、燃料処理板は両端を吊下げ板により、炉上部から吊下げるものとする。

燃料処理板は、炉の一端に設けたベローズを介して、炉の外部に設けた発振器に接続するものとし、粉化した燃料を篩い落とすため、多孔板とする。

炉外面に電熱式加熱線および冷却管を添え、炉を断熱材で被覆する。

ベローズおよび燃料処理板吊下げ板への熱を遮断するための炉内断熱材を設ける。

ボロキシナイザー本体および発振器を台盤共に傾斜させるための機構を設ける。

本体には、下記のものを取付ける。

発 振 器	× 1 個
燃料処理板 (3種類の処理板について試験する)	× 3 枚
電熱式加熱線、冷却管および断熱被覆	× 1 式
燃 料 入 口	× 1 個
酸素ガス入口	× 1 個

燃料被覆管出口	× 1 個
粉末燃料出口	× 1 個
オフ・ガス出口	× 1 個

(3) 付 属 装 置

ボロキシナイザー本体の工学試験を行うため、下記の付属装置を設ける。

燃料供給ホッパー	× 1 個
燃料入口手動式仕切弁	× 1 個
排気ブロワ	× 1 台
燃料被覆管出口手動式仕切弁	× 1 個
燃料出口手動式仕切弁	× 1 個
燃料被覆管受け	× 1 個
粉末燃料受け	× 1 個
配 管	× 1 式
計測および制御装置	× 1 式

(4) 計 装 , 制 御 方 式

振動数調節	:	遠隔手動調節	
振 巾 調 節	:	機側手動設定	
傾 斜 調 節	:	機側手動設定	
炉内温度調節	:	自動調節	
炉内圧力調節	:	オフ・ガス用ニードル弁機側手動調節	
酸素ガス流量調節	:	ニードル弁機側手動調節	
温度計測	{ 炉内, 炉壁 { その他	:	打点式記録計自動計測
		:	機側手動計測
圧力計測	:	機側手動計測	
オフ・ガス流量計測	:	機側手動計測	



2) 粉体飛散物捕集工学試験装置

(1) 要 目

型式×台数	重力沈降式およびフィルター式の組合せ×1
オフ・ガス流量	約0.25 Nm ³ /hr
オフ・ガス温度×圧力	約250℃×50 mm Aq (真空)
粉体飛散物濃度	最大 約150 g/Nm ³
捕集効率	約99% (計画値)

(2) 構 造

粉体飛散物捕集装置は数個のフィルターエレメントをユニットとして内蔵した立型ホッパー式重力沈降槽とし、オフ・ガスの温度条件を保持するため、加熱保温装置を設ける。ホッパー上部には、フィルターエレメントをユニットごと交換できる開口装置を設け、ホッパー下部には、オフ・ガスから重力沈降落下により集積した微粉体を取出す座を設け、それぞれ所定の気密性を保つ構造とする。

フィルターエレメントとしては、耐熱性の良い微粉体捕集効率の高いものとする。

この装置には、下記のものを取付ける。

オフ・ガス流出入口	×各1個
沈降落下粉体取出口	×1個
フィルターユニット(3種類のフィルターについて試験する)	×3式
電熱式加熱線および断熱材被覆	×1式

(3) 付 属 装 置

粉体飛散物捕集装置の工学試験を行うために下記の付属装置を設ける。

エアフィルター(吸入空気用)	×1個
加熱装置・アジテータ付振動式粉塵発生器 (模擬ボロキシナイザー)	×1式
粉塵貯槽	×2台
処理済オフ・ガス用水洗装置(残留粉塵回収用)	×1台



排気ブロワ	× 1 台
配 管	× 1 式
計測および制御装置	× 1 式

(4) 計装・制御方式

オフ・ガス流量調節 : 入口側ニードル弁機側手動調節
 重力沈降槽の圧力調節 : 出口側ニードル弁機側手動調節
 オフ・ガス温度調節 : 粉塵発生器・捕集装置の加熱入力自動調節
 (オン・オフ制御による。)

温度計測	{	重力沈降槽	.....	自動計測打点式記録計
		その他	.....	機側手動計測
圧力計測	{	重力沈降槽	.....	自動計測打点式記録計
		その他	.....	機側手動計測
オフ・ガス流量計測	.....	機側手動計測		
粉塵発生器の振動計測	.....	振動数・振巾手動計測		

3) 燃料供給，ガスシール工学試験装置

(1) 要 目

型式×台数	ロータリ-型定量供給式× 1
燃料供給量	約 1 Kg / 分 (3 Kg / 回分)
ガス圧力×温度	約 2 5 0 °C × 入口：大気圧 出口：約 5 0 mm Aq (真空)



(2) 構造

ボロキシナイザーの運転方式を回分式としたため、燃料供給装置とガスシール装置はそれぞれ独立の機器とする。燃料供給装置は、燃料ホッパー出口部の回転型ダンパーおよび円筒型ロータからなりホッパー内燃料片は、ロータの回転により運び出され、回転型ダンパーの開度およびロータの回転速さにより排出量が調節される機構とする。

燃料供給装置全体は、動的部隙間への燃料片のかみ込みや、外部へのガス漏洩・放出のない構造とする。

ガスシール装置は、締切部圧着型のダンパー構造とし、燃料供給装置出口に装備する。

本装置には、下記のものを取付ける。

駆動装置	× 1 式
電熱式加熱線および断熱材被覆	× 1 式
ガスシールダンパー駆動装置	× 1 式

(3) 付属装置

燃料供給・ガスシール装置の工学試験を行うために下記付属装置を設ける。

燃料供給用加熱装置付ホッパー × 1 台

出口側燃料受け × 1 個

オフ・ガス排気ブロア

(本機器は、粉体飛散物捕集装置の工学試験用のブロアと兼用する。)

配 管 × 1 式

計測および制御装置 × 1 式

(4) 計装・制御方式

燃料供給制御 : ガスシールダンパー開→ロータの回転開始→ロータ停止→ガスシールダンパー閉のシーケンス制御

燃料供給量調節 : ガスシールダンパーの開度およびロータの回転速さの手動設定による。

ガスシール装置開閉 : 遠隔手動制御も併設

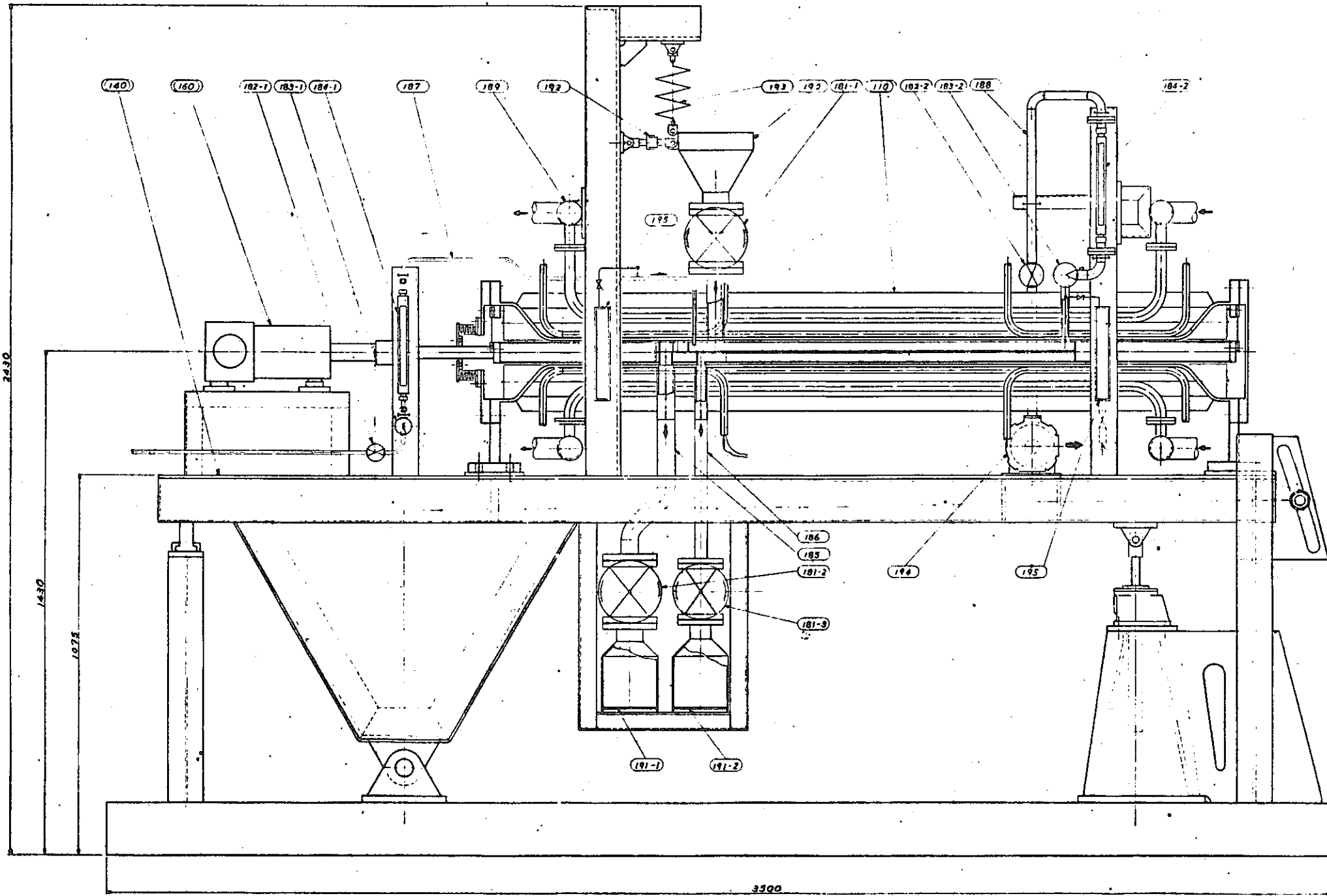
燃料供給ホッパー温度調節 : 加熱入力自動調節(オン・オフ制御による)

出口側ガス圧力調節 : ニードル弁機側手動調節

温度計測 : 機側手動計測

圧力計測 : 機側手動計測

オフ・ガス流量の計測 : 機側手動計測



195	...	2	
194	...	SS	
193	...	SS	
192	...	SS	
191-1	...	SS	
191-2	...	SS	
190	...	SS	
189	...	SS	
188	...	SS	
187	...	SS	
186	...	SS	
185	...	SS	
184-1	...	SS	
184-2	...	SS	
183-1	...	SS	
183-2	...	SS	
182-1	...	SS	
182-2	...	SS	
181-1	...	SS	
181-2	...	SS	
181-3	...	SS	
180	...	SS	
140	...	SS	
160	...	SS	
182-1	...	SS	
183-1	...	SS	
184-1	...	SS	
187	...	SS	
189	...	SS	
192	...	SS	
193	...	SS	
194	...	SS	
195	...	SS	

使用部子

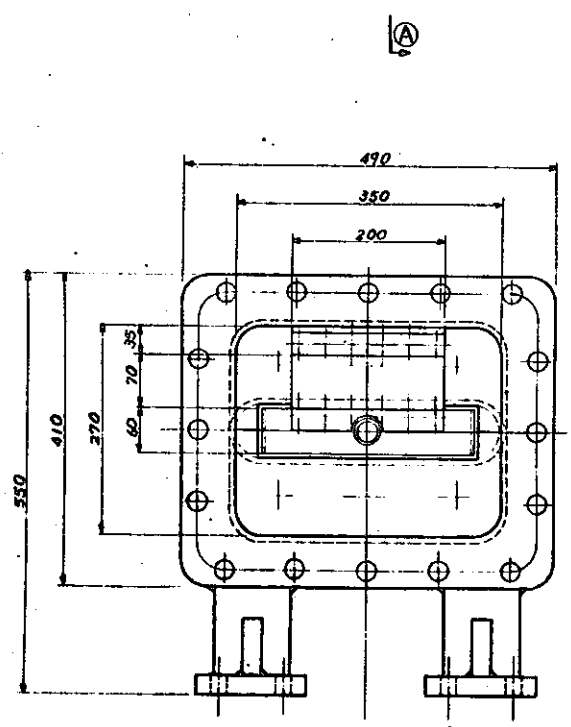
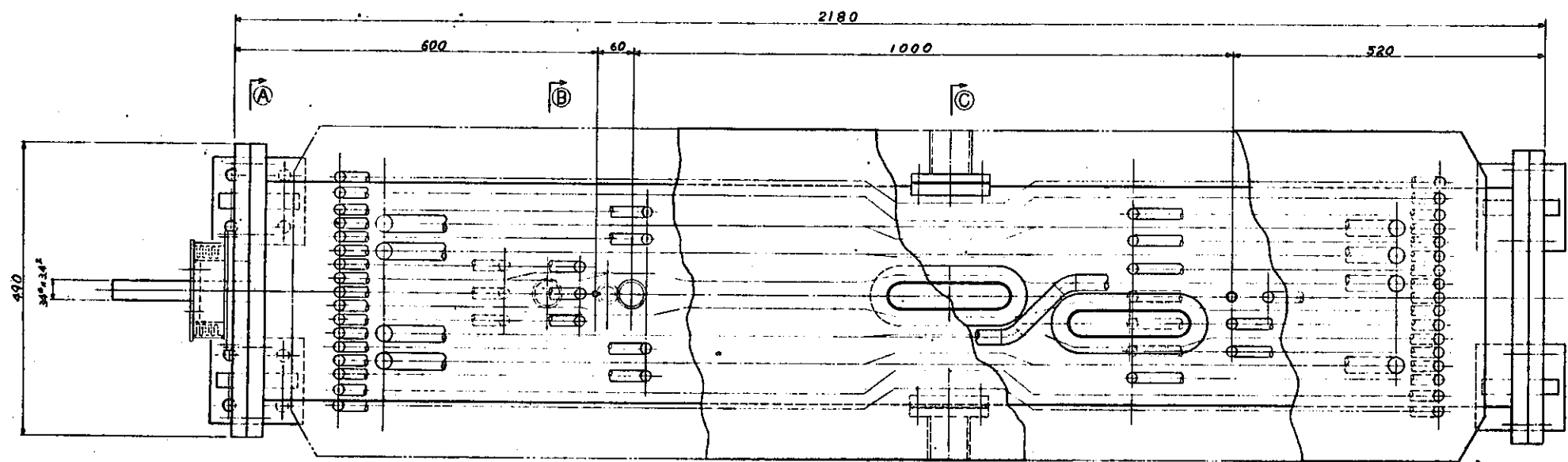
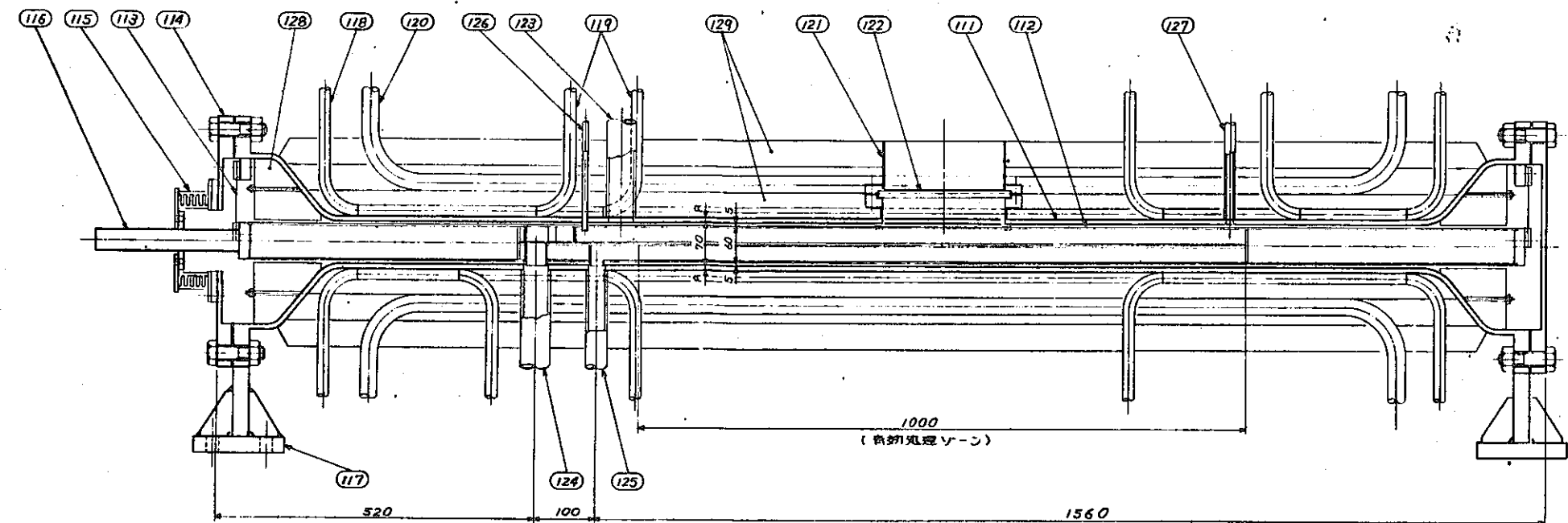
第三角法

此圖為本廠之財產
凡有翻印或仿製者
均屬違法行為
特此聲明

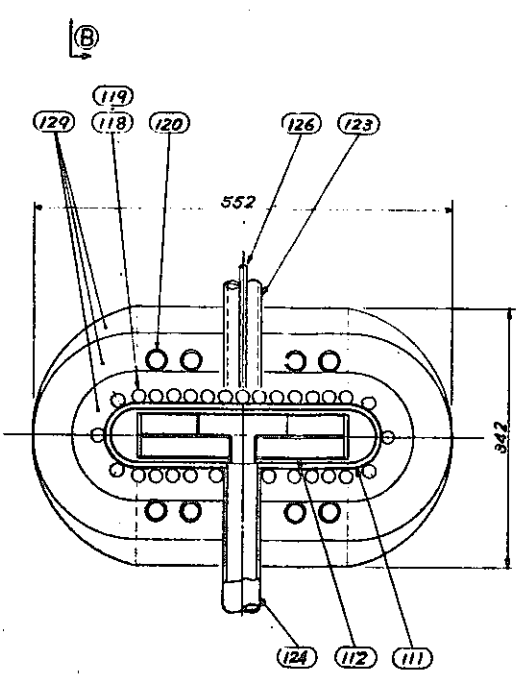
MARK	DESIGN NO.	MATERIAL	QUANTITY
<i>Asano</i>	動力機 特殊材料製造部		9RA6-948
<i>Asano</i>	全機組立部		1/5
Tsubouchi-Kawanishi Heavy Industries Co., Ltd.			II-2-1

図面番号	II-193
図面名称	炉内管束図
製図者	S. Mikami
検査者	
承認者	
発行日	
発行所	日立製作所

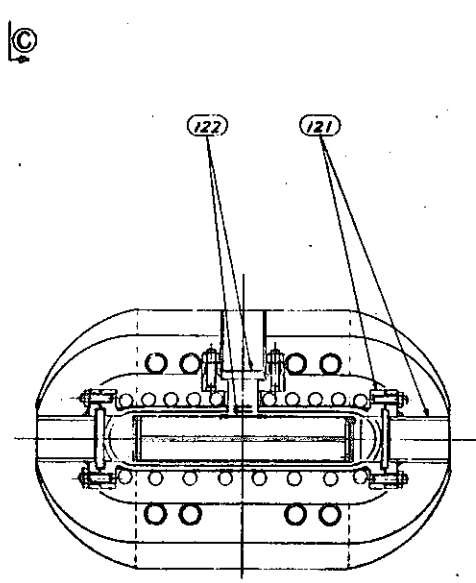
II-193



SEC. A-A



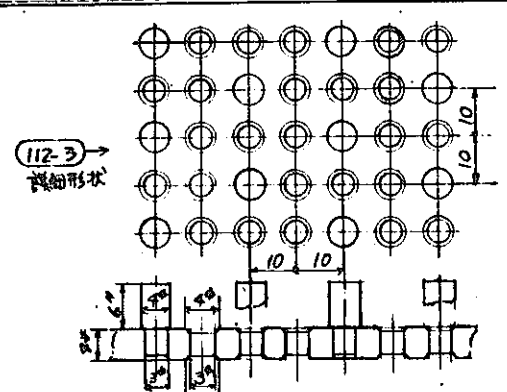
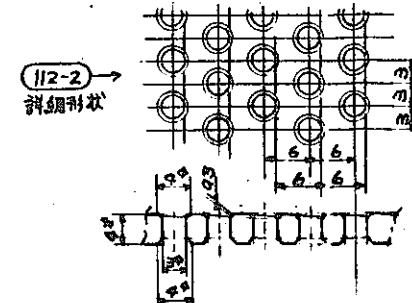
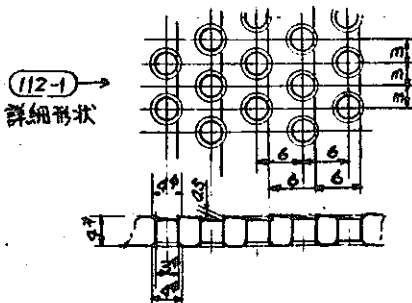
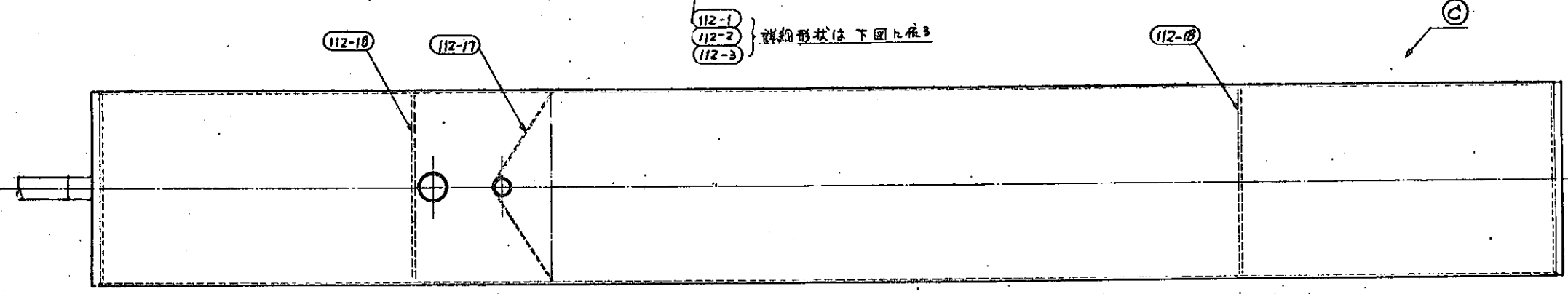
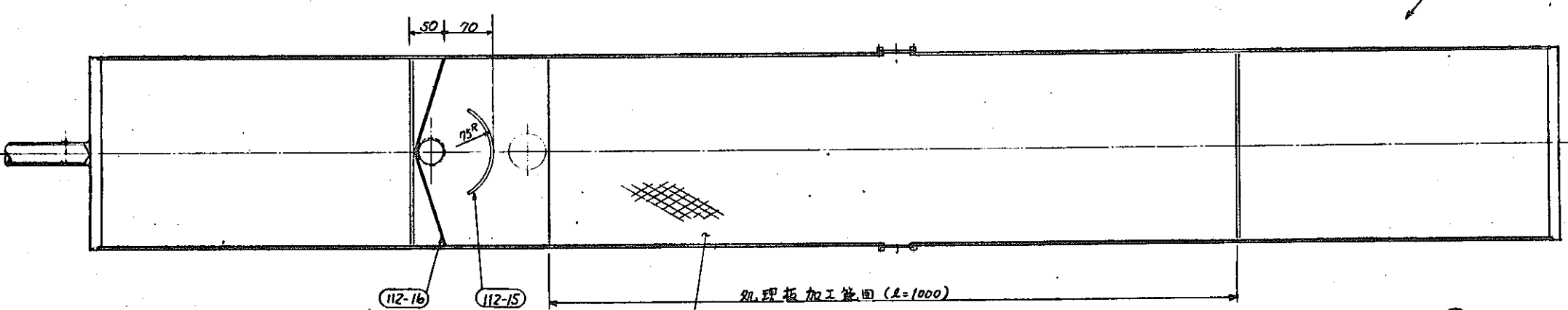
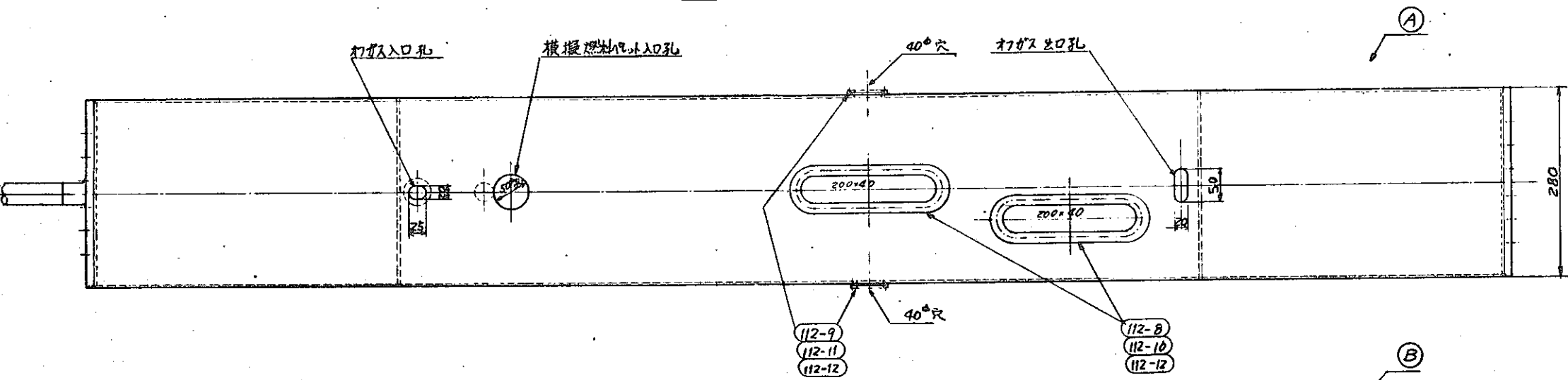
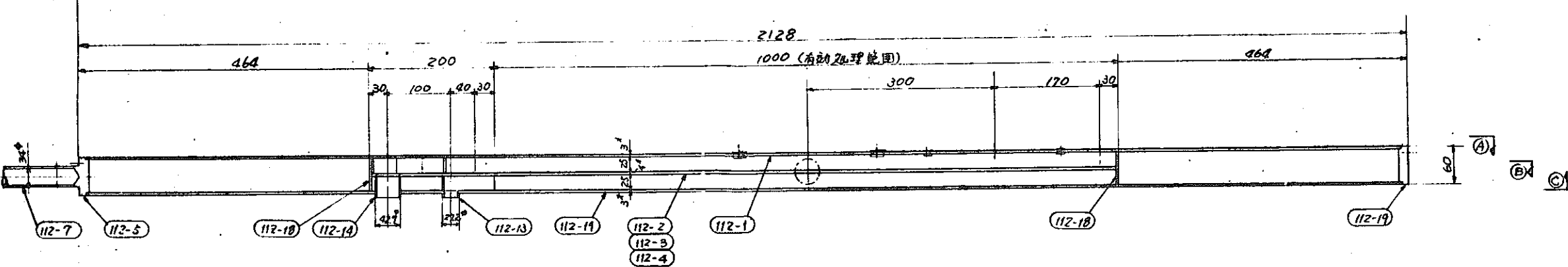
SEC. B-B



SEC. C-C

129	外部配管材	カウリング	1set	
128	内部配管材	カウリング	1set	
127	オフガス出口管		1	
126	O ₂ ガス入口管		1	
125	燃焼材料出口管		1	25A sch40
124	燃焼材料入口管		1	40A sch40
123	燃焼材料入口管	SUS304	1	40A sch40
122	燃焼用ガス	パイプ	8	
121	燃焼用ガス	SUS304	4	
120	緊急停止管	SUS304	8	20A sch40
119	補正用配管		28	
118	燃焼用ガス		18	
117	燃焼用ガス		4	
116	駆動軸		1	25A sch40
115	ノーズ		1	
114	炉内管束フランジ		2	
113	炉内管束下板		2	
112	炉内管束		1 2 3	
111	炉内管束	SUS304	1	

MARK	PARTS LIST	MAILED	REMARKS
DESIGNED BY	A. Sano	動力炉・核燃料開発事業団	
DRAWN BY	S. Mikami	ボロキシター	JRA6-948
CHECKED BY		ボロキシター工等試験装置	1/5
DATE		組立図	図 I-2-2



注) 本図は3種製作に注意し、但し処理板形状は3種類とする。

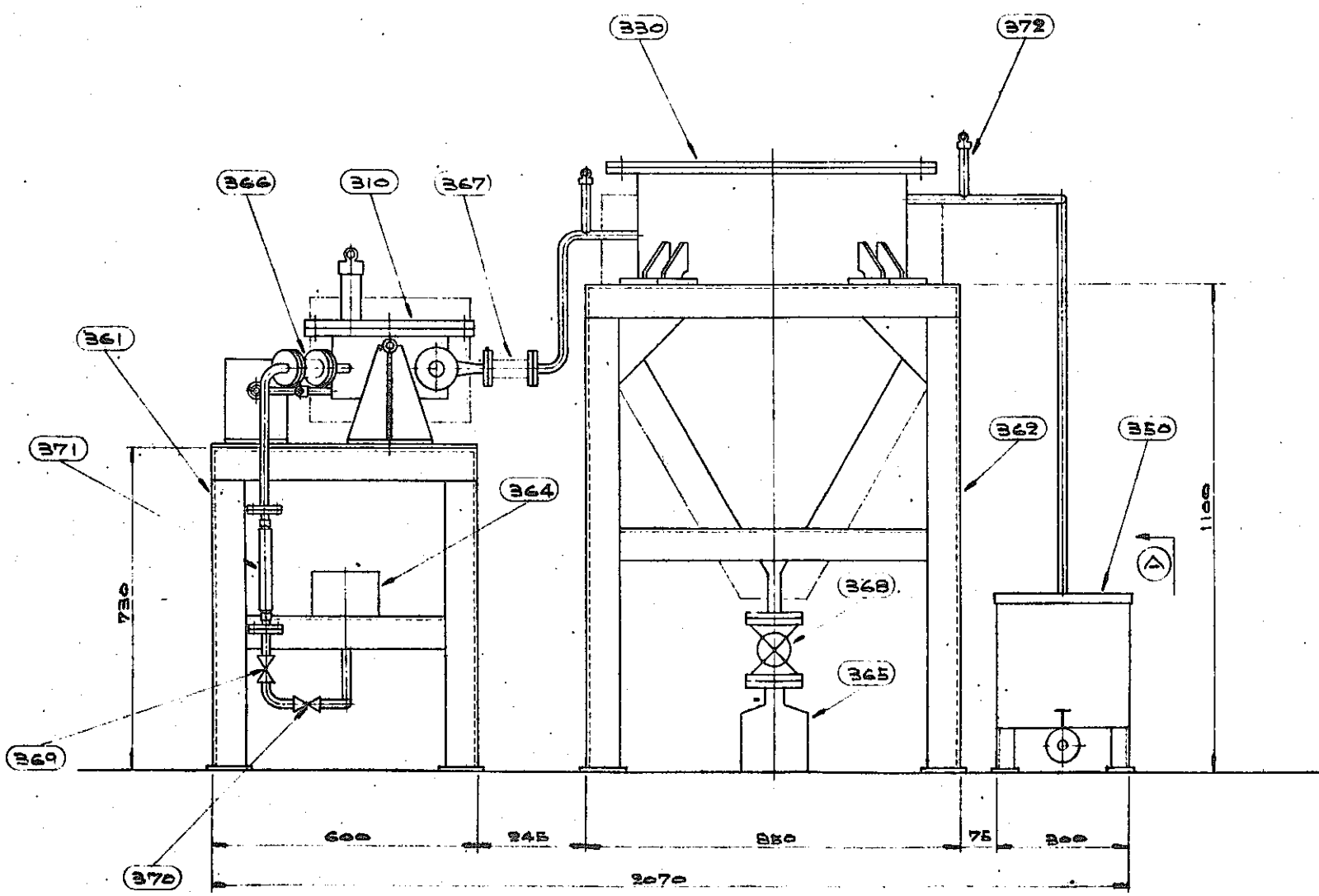
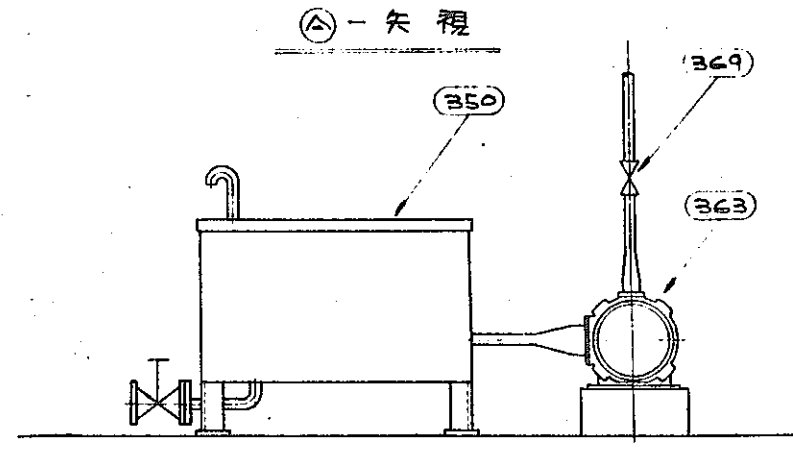
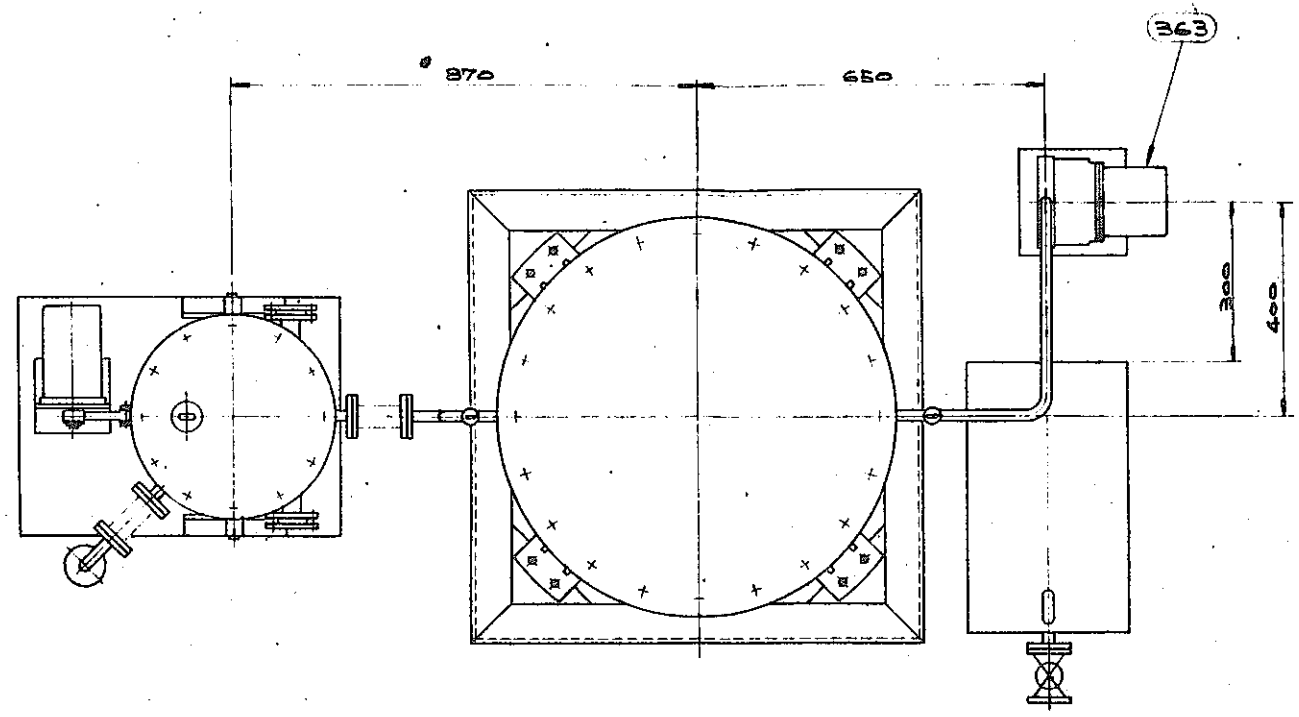
11-1	下板	1	2	3	
10	筒壁	2	4	6	
7	粉体室内板	1	2	3	
16	ハル室内板	1	2	3	
15	ハル邪魔板	1	2	3	
14	ハル出口バルブ	1	2	3	
13	粉体出口バルブ	1	2	3	
12	取付用ボルト	1	2	3	
11	↑	2	4	6	
10	ガラス取付板-1	SUS 304	2	4	6
9	↑	-2	2	4	6
8	小径窓ガラス-1	Nyロガラス	2	4	6
7	伝導軸	↑	1	2	3
6	↑	-2	1	2	3
5	下板取付板-1	↑	1	2	3
4	↑	-3	1	1	1
3	↑	-2	1	1	1
2	処理板-1	↑	1	1	1
112-1	上板	SUS 304	1	2	3

3種類

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	REMARKS
9RA6-948	動力炉・核燃料開発事業団 ロボシテーション法 設計研究	SUS 304	
ロボシテーション工学試験装置			
処理板 構造図			
112			II-2-3
Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.			

ROUGHNESS		THE FINISHES AND TOLERANCES	
SYMBOL	UNIT	FINISHES	TOLERANCES
▽	0.1	125	±0.1
▽	0.2	175	±0.2
▽	0.3	225	±0.3
▽	0.4	275	±0.4
▽	0.5	325	±0.5
▽	0.6	375	±0.6
▽	0.7	425	±0.7
▽	0.8	475	±0.8
▽	0.9	525	±0.9
▽	1.0	575	±1.0
▽	1.2	625	±1.2
▽	1.5	675	±1.5
▽	2.0	725	±2.0
▽	2.5	775	±2.5
▽	3.0	825	±3.0
▽	4.0	875	±4.0
▽	5.0	925	±5.0
▽	6.0	975	±6.0
▽	8.0	1025	±8.0
▽	10	1075	±10

図面来歴
II-195



372	オフガス濃度計取用座	SUS304	2			
371	流量計(浮子式)		1			
370	止弁		1			
369	ニードル弁		2			
368	仕切弁		1			
367	可撓管継手(出口側)		1			
366	可撓管継手(入口側)	SUS304	1			
360	365 粉塵貯槽	SS	1			
	364 エアフィルター		1			
	363 オフガス排出ファン		1			
	362 粉体捕集装置用架構	SS	1式			
	361 粉塵発生機用架構	SS	1式			
350	オフガス水洗装置	SS	1			
330	粉体捕集装置	SUS304	1			
310	粉塵発生機	SUS304	1			

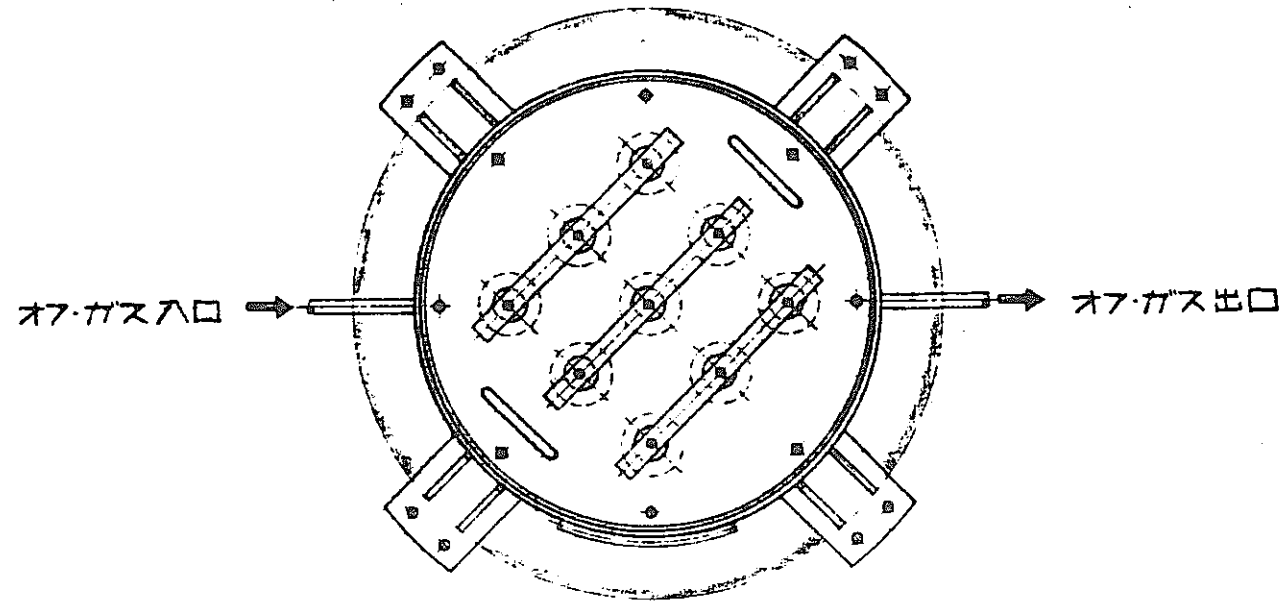
凡例	部品番号	部品名	材質	数量	単位	合計	手取又は加工
----	------	-----	----	----	----	----	--------

使用部品一覧表

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST	ASSY	USE	FORM	WEIGHT	REMARKS
MANAGER	動力炉・核燃料開発事業団 ボロネシデーション法の設計研究						WORK NO. 9RA6-948	QUANTITY 1/10
DEPUTY MANAGER	粉体飛散物捕集 工学試験装置						CLASSIFICATION	
CHIEF	全体組立図						DRAWING NO. 図 II-2-4	
ENGR IN CHARGE								
CHECKED BY								
DRAWN BY								
DATE DRAWN								

CAUTION
This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is not to be distributed.
In this connection, please kindly observe the following:
1. It shall not be traced, copied, or used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.

Shikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.
技術本部 原子力開発室



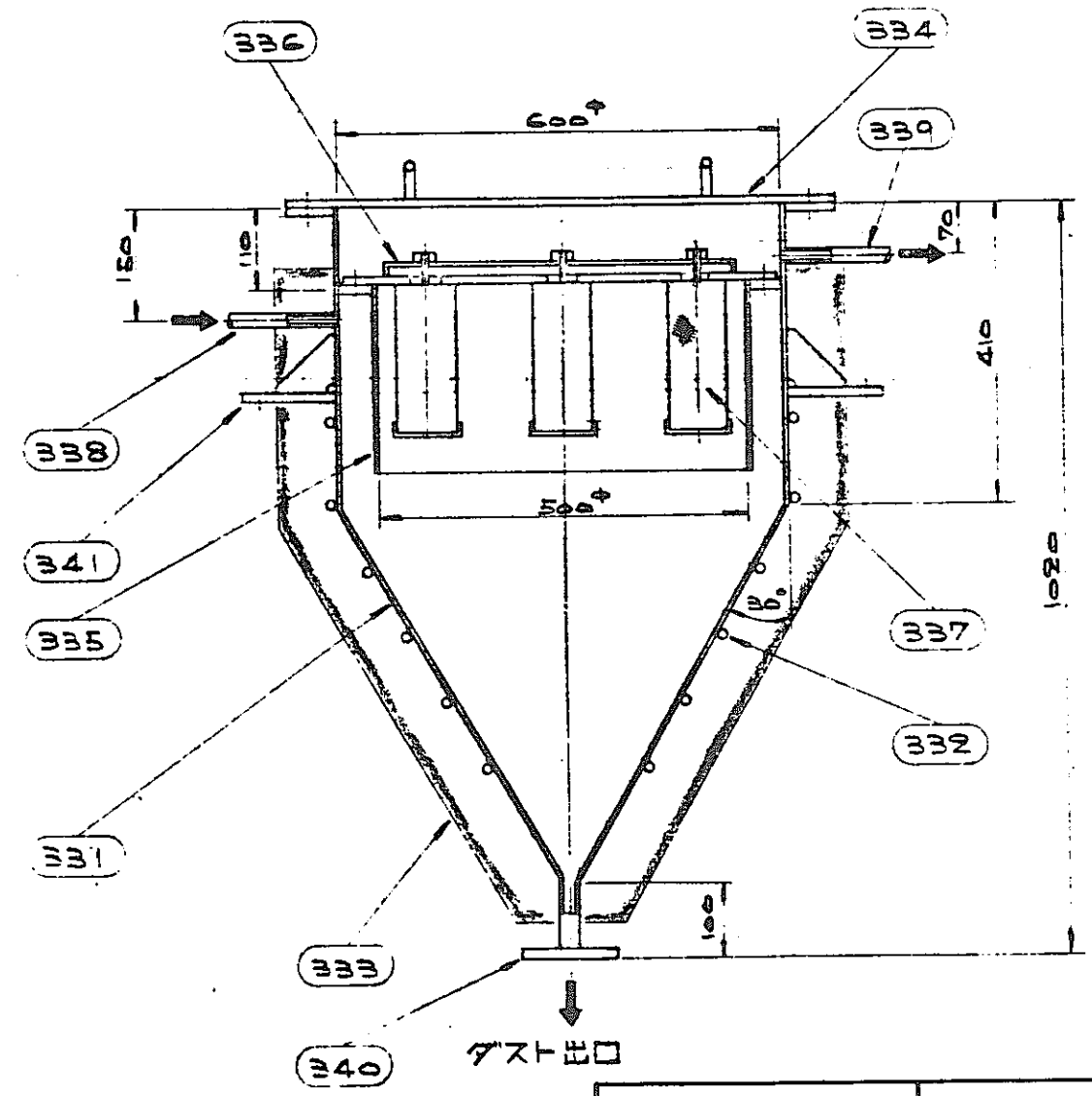
表面粗さ ROUGHNESS		公差寸法 (機械加工) TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED (MACHINE CUT)	
記号 SYMBOLS	Ra (μ)	寸法 DIMENSION (mm)	許容差 TOL (mm)
▽▽▽	0.3	1以上4以下 Incl	±0.1
▽▽	0.8	4を超え16以下	±0.2
▽	1.6	16・63	±0.3
▽	3.2	63・125	±0.4
▽	6.3	125・250	±0.5
▽	12.5	250・500	±0.6
▽	25	500・1000	±0.8
▽	50	1000・2000	±1.0
▽	100	2000・4000	±1.5
-	-	角度 ANGLE	±0.5°

ドリル穴には適用しない。
NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES.

図面来歴	II-196
------	--------

設計仕様

型式 : 重力沈降式ダストフィルター内蔵
 設計速度 x 圧力 : 250°C x -50mmAq



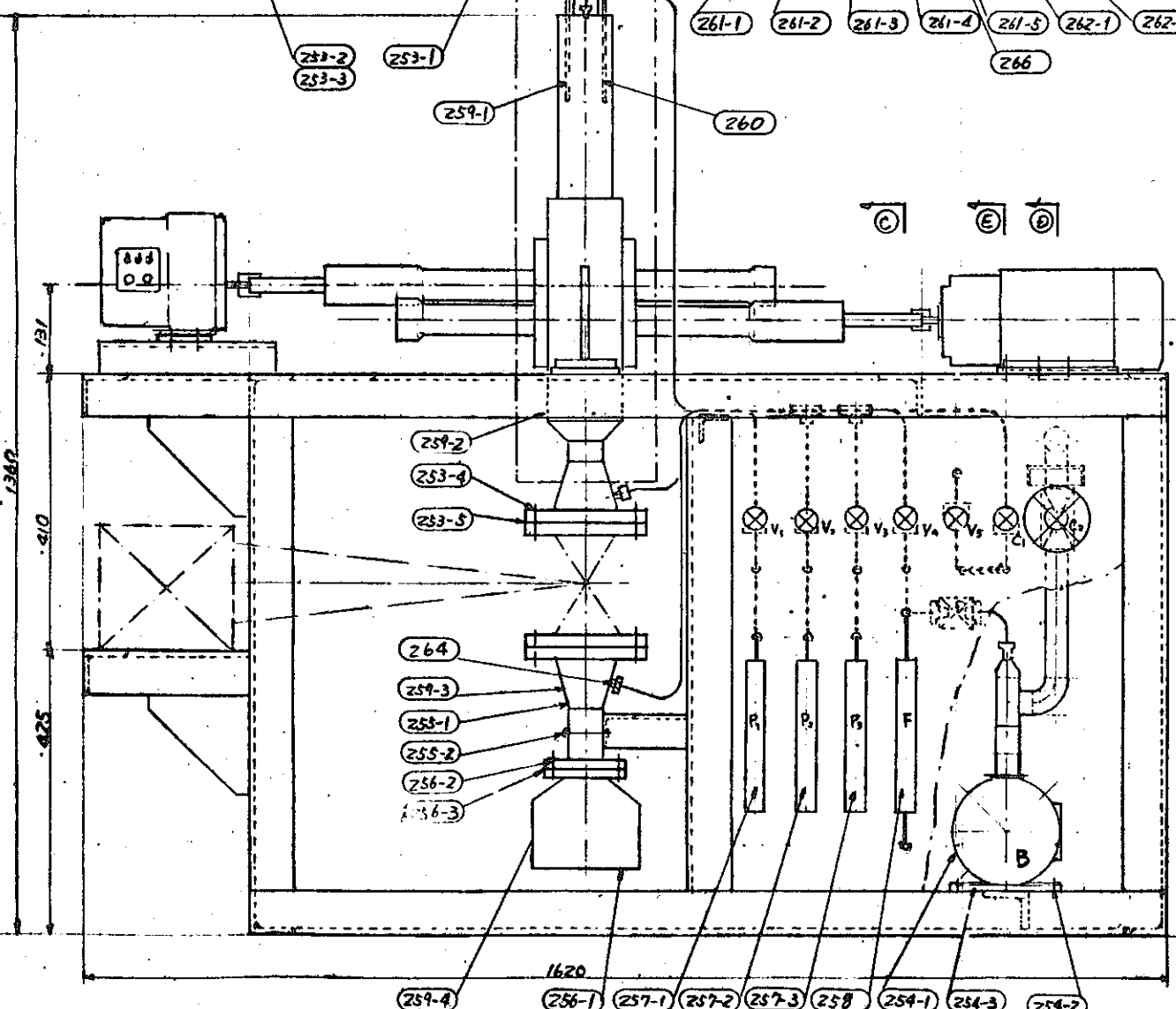
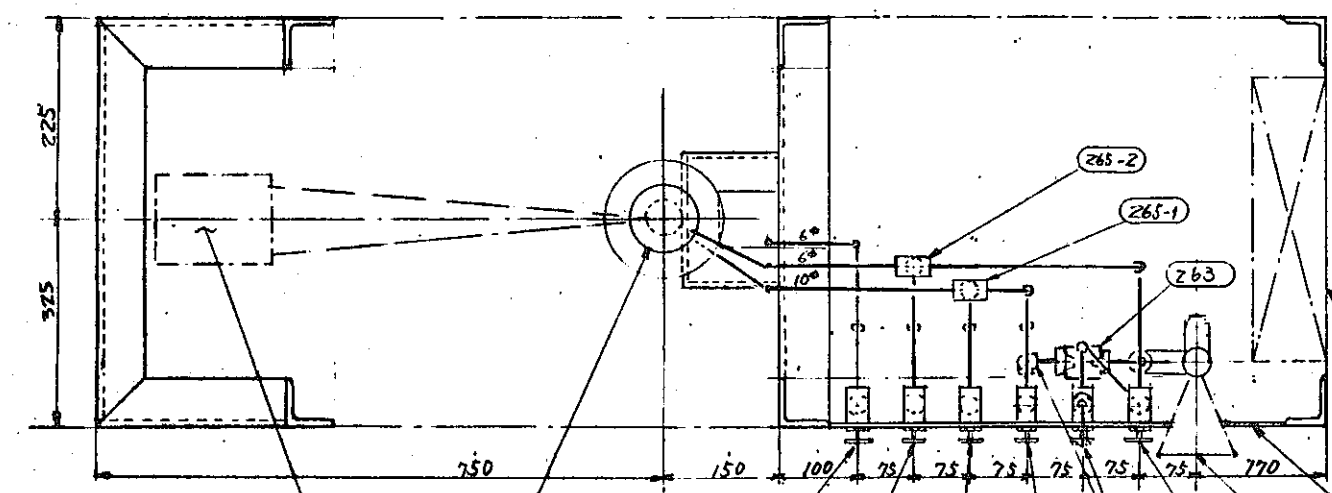
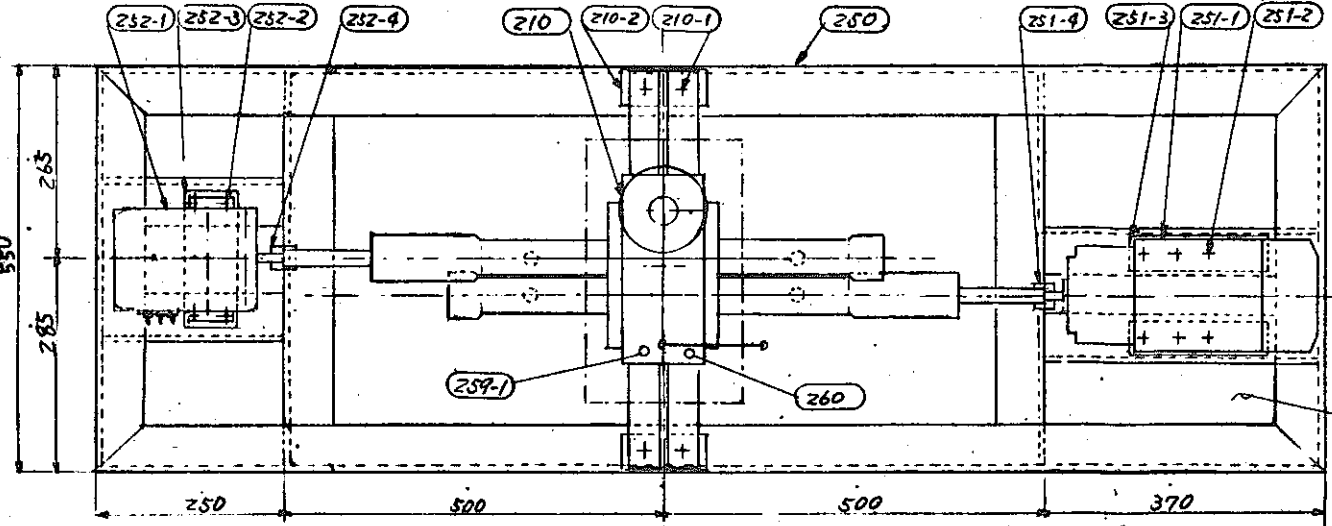
MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORK NO. (PER)	SPARE NO. REQUIRED	TOTAL	PER ONE WEIGHT IN kg	TOTAL	REMARKS
341	据付脚	SS		4					
340	ダスト出口 15φ	SCH.10B		1					10k-32°フラスジ付
339	オ7-ガス出口 10φ	SCH.10B		1					
338	オ7-ガス入口 15φ	SCH.10B		1					
337	フィルターエレメント			9					X-772 2M
336	フィルター取付金物			1式					
335	フィルターガイド管			1					
334	槽蓋	SUS304		1					ハンド付
333	保温材	アズベスト		1式					外被アズベスト布
332	壁熱ヒータ	マイクロヒータ SUS304		1式					総出力 2kw 至極温度 250°C
331	重力沈降槽	SUS304		1					

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORK NO. (PER)	SPARE NO. REQUIRED	TOTAL	PER ONE WEIGHT IN kg	TOTAL	REMARKS
MANAGER	動力炉・核燃料開発事業団			WORK NO.		9RA6-948		QUANTITY	
DEPUTY MANAGER	ボロキシデーション法の設計研究			CLASSIFICATION				SCALE	1/10
CHIEF	粉体飛散物捕集 工学試験装置			DRAWING NO.		II-2-5			
ENGR IN CHARGE	粉体飛散物捕集装置 構造図								
CHECKED BY									
DRAWN BY									
DATE DRAWN									
DATE ISSUED									

注意
 この図面は石川島播磨重工業(株)の所有に係り社外秘伝であり、下記の事項を遵守するようお願いいたします。
 (1) 許可なく複製、転写、改訂、複製を行わないこと。
 (2) 許可なく第三者に見せないこと。
 (3) 許可なく指定された用途以外に使用しないこと。
 (4) 上記に關し許可を得る場合は御座ること。

CAUTION
 This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential.
 In this connection, please kindly observe the followings.
 It shall not be traced, otherwise copied, nor used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.

品名	数量	単位	備註
...



(A)

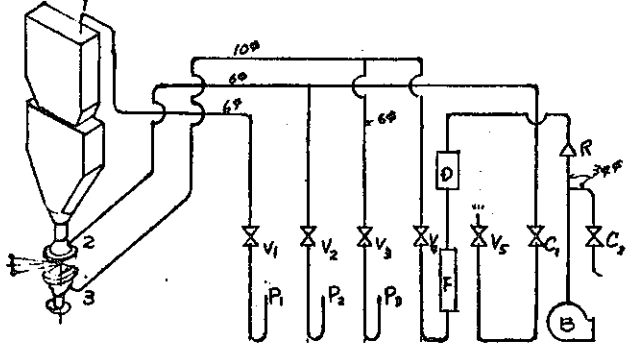
(B)

(C)

(D)

(E)

配管図

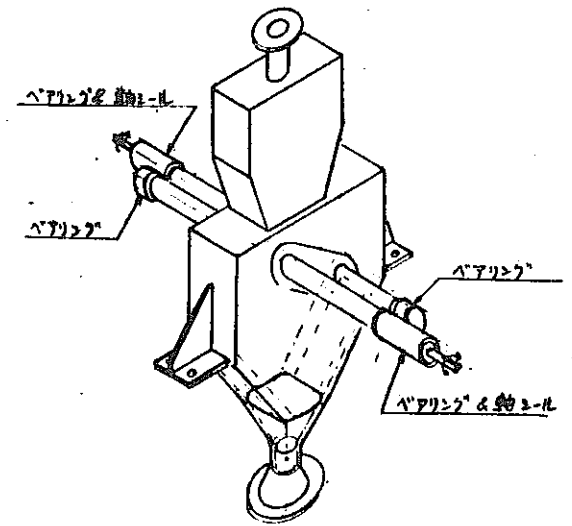
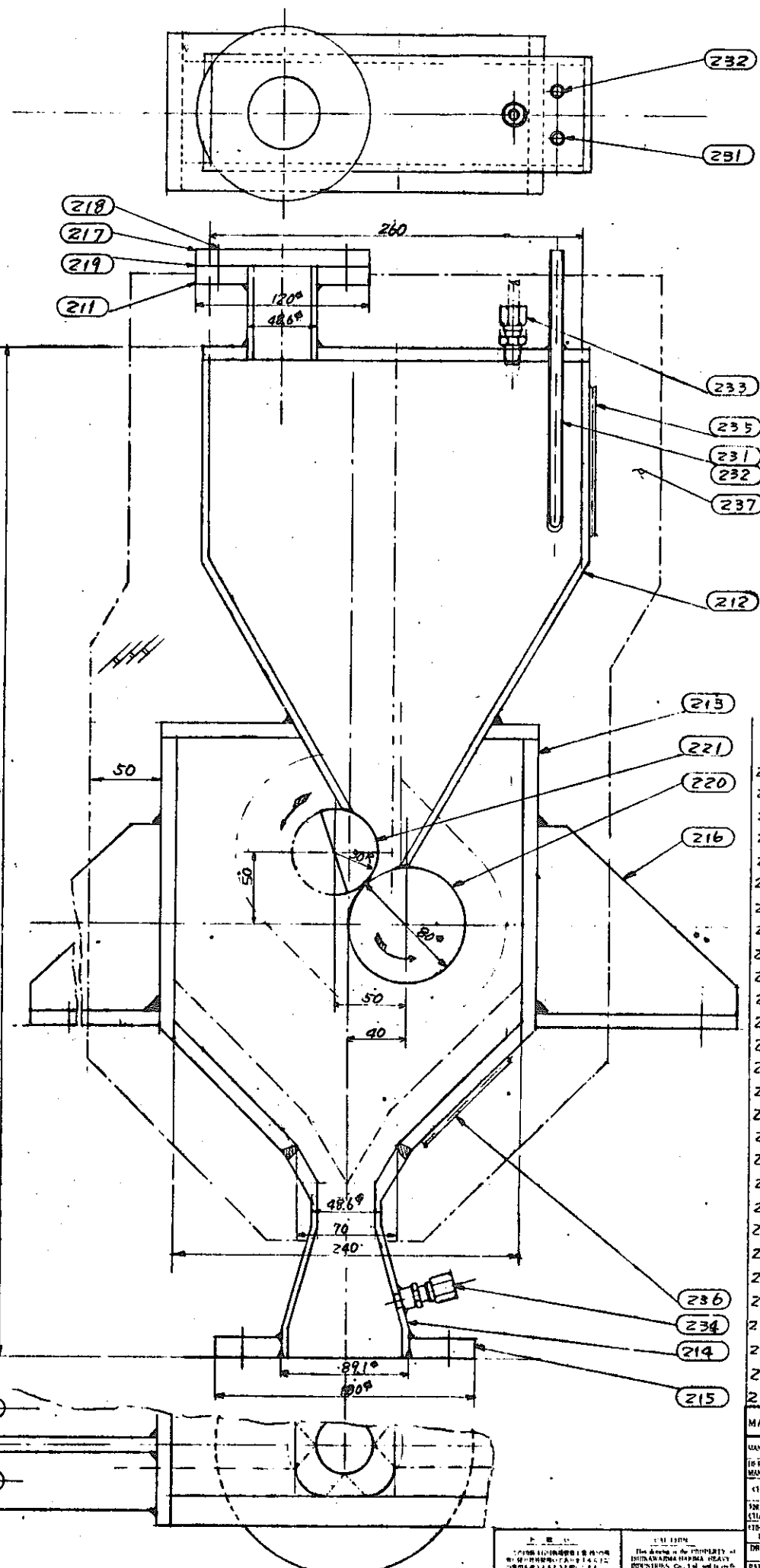
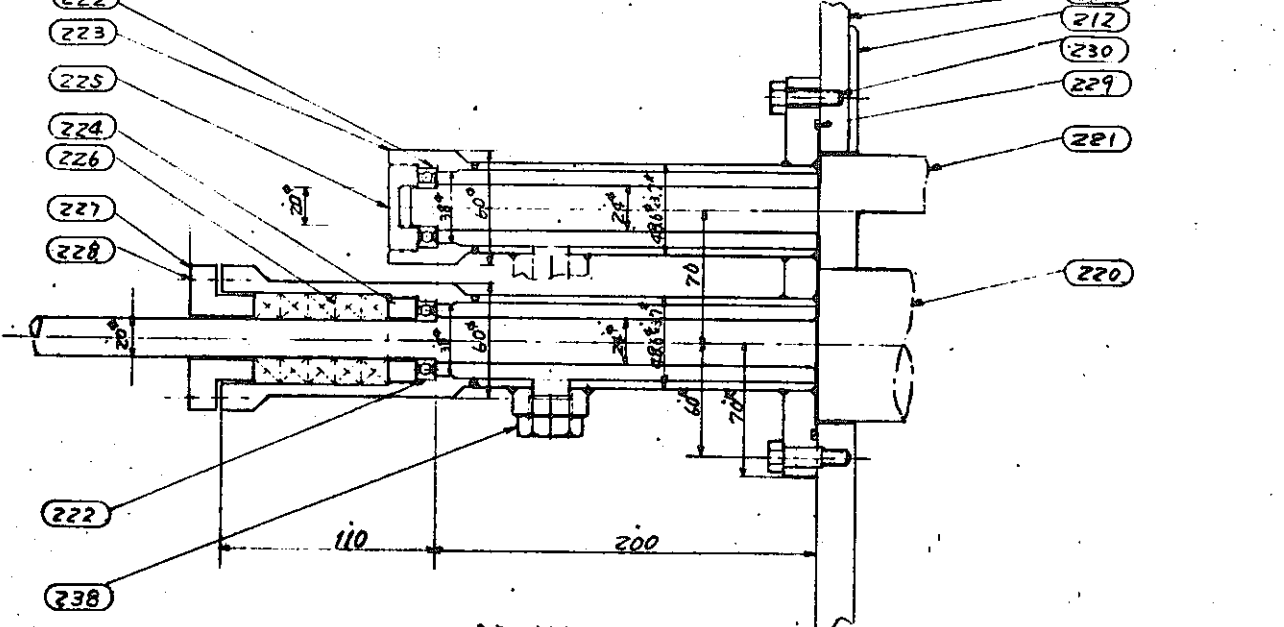


品番	名称	数量	単位	材質	備註
271-1	バルブ類の脚座	1	個	SS	
270-1	既設線 (7.7寸)	1	本		
269-1	配管継手 (1.6寸)	1	個	SUS304	
268	玉弁バルブ	1	個	SS	
267-1	管継手 (1.0寸)	2	個	SUS304	
266	工用ホス	1	個		
265-1	T-C-ス (100x60)	1	個		
264	配管用座 (60)	1	個		
263	ゲージホス	1	個		
262-1	流量調整弁 (1.5寸)	1	個		
261-1	止弁	1	個	SUS304	
260	バリエブル	1	個		
259-1	温度計	1	個		
258	流量計	1	個		
257-1	圧力計	1	個		
256-1	燃料計	1	個	SUS304	
255-1	レシメータ	1	個	SUS304	
254-1	加工	1	個		
253-1	ガスニール装置	1	個	SUS	
252-1	回転ダウ用モータ	1	個		
251-1	回転アップ用モータ	1	個		
250	燃料供給装置本体	1	台	SUS304	

使用部品一覧表

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	REMARKS
...	動力伊・誠機研開発事業団 ボロネレーション法の設計研究		9RA6-948
...	燃料供給 ガスニール 工学試験装置		
全体組立図		図 II-2-6	
Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.			

NO.	DATE	REVISION
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		



238	ハジ用座	SUS304	4
237	断熱板	炭素繊維	1
236	ヒータ -2	-	1
235	ヒータ -1	-	1
234	配管用座 -2	-	1
233	配管用座 -1	-	1
232	バimetal用座	-	1
231	温度計用座	-	1
230	ベアリングボルト取付組	-	16
229	O-リング	-	2
228	おさえボルト	-	8
227	グランドハックおさえ	SUS304	2
226	グランドハック	-	10
225	軸蓋板	-	2
224	ベアリング用金物	-	2
223	ベアリングボルト	SUS304	2
222	ベアリング	-	4
221	回転センター	-	1
220	回転フィーダ	SUS304	1
219	ハックル	-	1
218	フランジボルト	-	4
217	上部フランジ	SUS304	1
216	取付足	S.S	2
215	下部フランジ	-	1
214	レジサ	-	1
213	フィーダ室	-	1
212	ボソハ	-	1
211	上部フランジ	SUS304	1

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	REMARKS
9RA6-948	動力炉・核燃料開発事業団 ボロキネデーショ: 法の設計研究 燃料供給 炉ミル 工学試験装置 構造図 (210)		
Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.			図 J-2-7

第3章 オフ・ガス処理工学試験装置の設計

3.1 オフ・ガス処理工学試験装置の設計条件

オフ・ガス処理工学試験装置は、第1章「ボロキシデーション工程の概念設計」に記載したオフ・ガス処理系の機器と同一容量とする。

3.1.1 ヨウ素除去回収工学試験装置

1) 試験条件

- (1) 非放射性ヨウ素の試料を使用する。
- (2) トリチウム水除去回収工学試験装置と組合せた試験は実施しない。
- (3) オフ・ガスは酸素ガスとし、酸素ガス中のヨウ素除去能力を試験する。
- (4) 試験はヨウ素乾式除去装置の吸着剤の破過に至るまで、連続して実施する。

2) 設計条件

- (1) 連続運転時間は、50時間とする。
- (2) ヨウ素の除去、回収はコールドトラップと吸着材を使用する2段階方式とする。
- (3) 2基のコールドトラップの切換えは遠隔手動とする。
- (4) 上記以外は手動運転とする。
- (5) 再生運転のガス温度は、300℃とする。

3.1.2 水分（トリチウム水）除去回収工学試験装置

1) 試験条件

- (1) トリチウムは使用せず、 H_2O を試料とする。
- (2) ヨウ素除去回収工学試験装置と組合せた試験は実施しない。
- (3) オフ・ガスは酸素ガスとし、酸素ガス中の水分の除去能力を試験する。
- (4) 試験は任意の時間で吸着塔を切替えて連続して実施する。



2) 設計条件

- (1) 1基の水分(トリチウム水)捕集装置の連続運転時間は50時間とする。
- (2) 水分捕集時の運転温度は10℃とする。
- (3) 水分の除去率は最大99.9%と設定する。
- (4) 2基の水分捕集装置の切換えは遠隔手動とする。
- (5) 上記以外は手動運転とする。
- (6) 再生運転のガス温度は400℃とする。

3.2 ヨウ素除去回収工学試験装置の設計

3.2.1 工学試験装置の系統

ヨウ素除去回収工学試験装置は、1.2「ボロキシデーション工程の概念」に記載したヨウ素の除去回収のための機器以外に、工学試験用の付属機器が必要であるが、冷却系は簡略化する。

ヨウ素除去回収工学試験装置は、これらの機器を図II-3- の系統図に示す通りに組合せて、工程が構成される。

ヨウ素のキャリアガスに酸素ガスを採用して、これをオフ・ガスとする。

ヨウ素除去回収工学試験装置は、ヨウ素を発生する装置とヨウ素を含んだオフ・ガスからヨウ素を除去するコールドトラップ、ヨウ素乾式除去装置およびこれらを通して、オフ・ガスを排気する排気ブロワから構成される。コールドトラップには再生装置が設けられ、コールドトラップは2台装備して吸着と再生を各々のコールドトラップで並行して行えるものとしてオフ・ガス中のヨウ素の除去を連続的に行う。ヨウ素の回収を兼ねたコールドトラップの再生には高温の窒素ガスを使用し、このガスを加熱、および冷却することによって、ヨウ素を回収する。再生装置は2台のコールドトラップに対して共通に1式装備する。

3.2.2 要目，構造および主要寸法

下記の工学試験装置用の機器の要目，構造および主要寸法は，1.9「主要機器の仕様」に記載したそれぞれ対応する機器の仕様に同じとする。

- (1) ヨウ素コールドトラップ
- (2) 残留粉塵除去装置
- (3) ヨウ素乾式除去装置

上記以外の工学試験装置用の機器の要目，構造を以下に示す。

1) ヨウ素発生装置

加熱炉内でヨウ素を加熱し，ヨウ素に下部から酸素ガスを接触させ，装置の上部からオフ。ガスを取り出す構造とする。

(1) 設計条件

運転時間 : $T = 50 \text{ h}$

オフ・ガス量 : $V = 1.5 \text{ Nm}^3/\text{h} = 2.874 \text{ m}^3/\text{h}$

オフ・ガス温度 : $250 \text{ }^\circ\text{C}$

ヨウ素発生量 : $q = 30 \text{ g/h}$

(2) ヨウ素充填量 : $Q_w = T \times q \times \text{過剰率} = 50 \times 30 \times 1.2 = 1800 \text{ (g)}$

ヨウ素密度 : $\rho = 17.8 \text{ g/cm}^3$

$$Q_u = \frac{Q_w}{\rho} = \frac{1800}{17.8} = 101 \text{ (cm}^3\text{)}$$

(3) ガス状のヨウ素発生量 : $u = q \times \text{比容積} = 30 \times \left(\frac{22.4}{126}\right) = 5.34 \text{ (NL/h)}$

$$5.34 \text{ NL/h} = 0.0102 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (250 }^\circ\text{C)}$$

(4) 全ガス量 : $V + u$

$$= 2.874 + 0.0102 = 2.884 \text{ m}^3/\text{h}$$

(5) ヨウ素濃度 : $u / (V + u) = 0.0102 / 2.884$

$$= 0.00354 \quad 3,540 \text{ ppm}$$

(6) 主要寸法

ヨウ素充填部 : 径 200 mm × 高さ 20 mm
(628 cm^3)



ヨウ素発生装置の主要寸法を，図 II - 3 - 9 の通りとする。

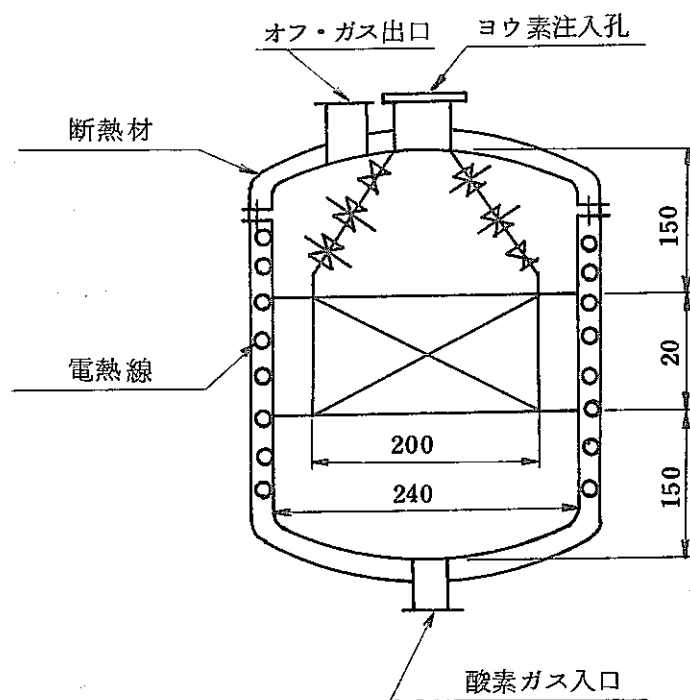


図 II - 3 - 9 ヨウ素発生装置概略図

2) オフ・ガス冷却器

オフ・ガス冷却器は，直管水冷式とする。

(1) 設計条件

オフ・ガス入口温度 300℃

オフ・ガス出口温度 10℃

オフ・ガス流量 2.88 m³/h

冷却水量 55 l/h

冷却水入口温度 5℃

冷却水出口温度 7℃

(2) 冷却管仕様

材 質 : SUS 304

管 径 : 19 mm

冷却面積 2.83 m^2

(3) 主要寸法

オフ・ガス冷却器の主要寸法を図 II - 3 - の通りとする。

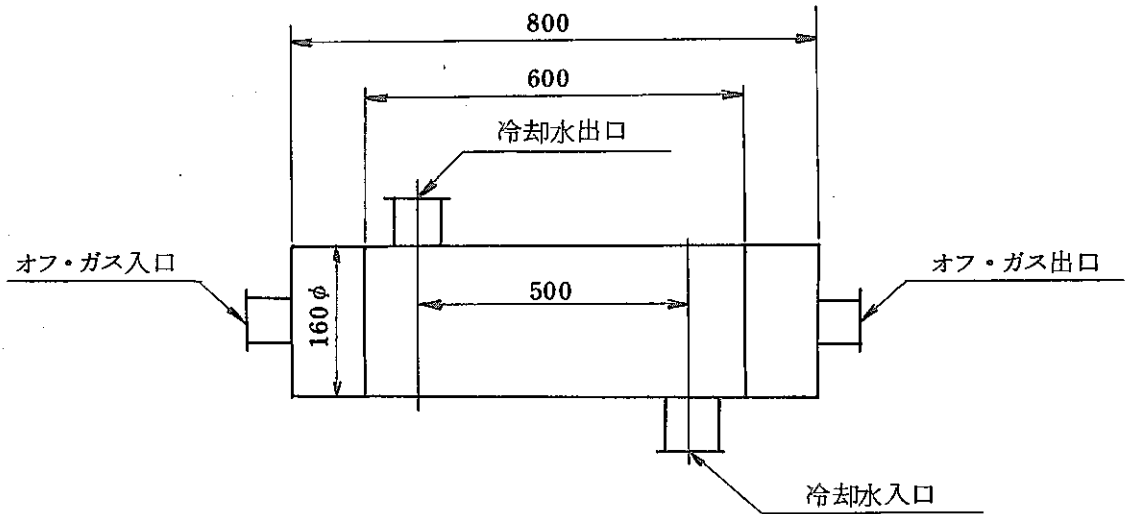


図 II - 3 - オフ・ガス冷却器概略図

3) 窒素ガス加熱器

窒素ガス加熱器は、電熱式とする。

(1) 設計条件

窒素ガス入口温度	300℃
窒素ガス出口温度	10℃
窒素ガス流量	6 m ³ /h

(2) 加熱器仕様

電熱線容量	0.55 kW
電熱線外径	1.8 mm
電熱線出力密度	3 W/cm ²

(3) 主要寸法

窒素ガス加熱器の主要寸法を図 II - 3 - の通りとする。

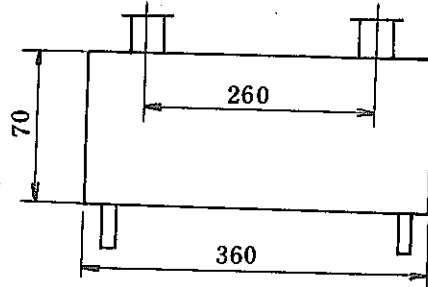


図 II - 3 - 11 窒素ガス加熱器概略図

本工学試験装置用の機器の仕様を、表 II - 3 - 1 に記載する。

表 II - 3 - 1

ヨウ素除去回収工学試験装置の要目

(1) ヨウ素発生装置

数	1 台
形 式	電気加熱加式
オフ・ガス流量	1.5 N m ³ /h
オフ・ガス出口温度	250℃
ヨウ素発生量	30g/h
材 質	SUS304

(2) オフ・ガス冷却器

数	1 台
形 式	直管水冷式
オフ・ガス流量	1.5 N m ³ /h
オフ・ガス入口温度	300℃
オフ・ガス出口温度	10℃
冷却水量	55ℓ/h
冷却水入口温度	5℃
冷却水出口温度	7℃
冷却管材質	SUS304

(3) ヨウ素コールドトラップ

数	2 台
形 式	外部水冷式
オフ・ガス流量	1.5 N m ³ /h
オフ・ガス入口温度	250℃
オフ・ガス出口温度	20℃
冷却水量	54ℓ/h
冷却水入口温度	5℃

冷却水出口温度 7℃

オフ・ガス管材質 SUS304

(4) 残留粉塵除去装置

数 1 台

形式 立, 円筒型ヘパフィルタ

ケース材質 SUS304

(5) ヨウ素乾式除去装置

数 2 台

形式 立, 円筒型吸着塔

吸着材 1 段目 モレキュラシーブ13X

2 段目 銀ゼオライト

塔内径 310.5 mm

充填部長さ モレキュラシーブ13X 300 mm

銀ゼオライト 300 mm

オフ・ガス温度 20℃

容器材質 SUS304

(6) 排気ブロワ

数 1 台

形式 横渦巻式

容量 3.0 m³/h

吸入圧力 300 mm A q (真空)

吐出圧力 大気圧

(7) ヨウ素コールドトラップ再生装置

(a) 窒素ガス加熱器

数 1 台

形式 電熱式

窒素ガス入口温度 10℃

窒素ガス出口温度 300℃



窒素ガス流量	6 N m ³ / h
加熱容量	0.55 KW
窒素ガス管材質	SUS 304

(b) 窒素ガス循環ブロワ

数	1 台
形式	渦巻式
容量	6 N m ³ / h
吸入圧力	大気圧
吐出圧力	200 mm A q
窒素ガス温度	10℃

(c) ヨウ素貯蔵器

数	1 台
形式	外部水冷式
窒素ガス流量	6 N m ³ / h
窒素ガス入口温度	300℃
窒素ガス出口温度	10℃
冷却水量	275 ℓ / h
冷却水入口温度	5℃
冷却水出口温度	7℃
材質	SUS 304

(8) 冷却装置

(a) 水冷却器

数	1 台
形式	冷凍機内蔵式
冷却水入口温度	7℃
冷却水出口温度	5℃
冷却水量	400 ℓ / h

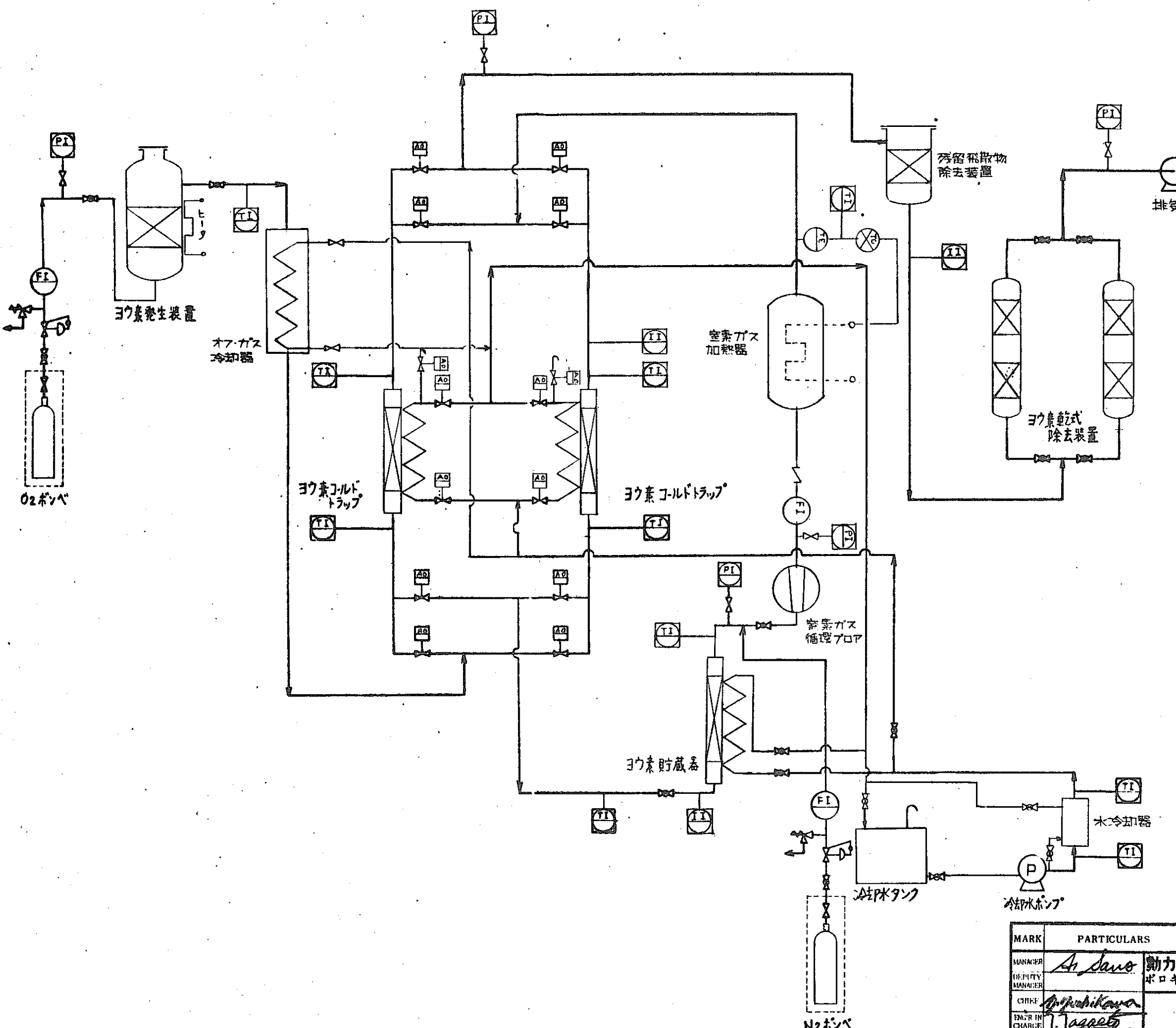


(b) 冷却水ポンプ

数	1 台
形 式	横渦巻式
冷却水温度	5 ℃
冷却水量	500 ℓ/h
吐出圧力	1.5 ㎏/㎠

TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED		FINISHES	
SIZE DIMEN.	TOL.	FINISH	RA
0.1 - 0.2	±0.01	普通	12.5
0.2 - 0.5	±0.01	普通	12.5
0.5 - 1.0	±0.01	普通	12.5
1.0 - 2.0	±0.02	普通	12.5
2.0 - 5.0	±0.03	普通	12.5
5.0 - 10.0	±0.04	普通	12.5
10.0 - 20.0	±0.05	普通	12.5
20.0 - 50.0	±0.06	普通	12.5
50.0 - 100.0	±0.08	普通	12.5
100.0 - 200.0	±0.10	普通	12.5
200.0 - 500.0	±0.12	普通	12.5
500.0 - 1000.0	±0.15	普通	12.5
1000.0 - 2000.0	±0.20	普通	12.5
2000.0 - 5000.0	±0.25	普通	12.5
5000.0 - 10000.0	±0.30	普通	12.5
10000.0 - 20000.0	±0.40	普通	12.5
20000.0 - 50000.0	±0.50	普通	12.5
50000.0 - 100000.0	±0.60	普通	12.5
100000.0 - 200000.0	±0.80	普通	12.5
200000.0 - 500000.0	±1.00	普通	12.5
500000.0 - 1000000.0	±1.20	普通	12.5
1000000.0 - 2000000.0	±1.50	普通	12.5
2000000.0 - 5000000.0	±2.00	普通	12.5
5000000.0 - 10000000.0	±2.50	普通	12.5
10000000.0 - 20000000.0	±3.00	普通	12.5
20000000.0 - 50000000.0	±4.00	普通	12.5
50000000.0 - 100000000.0	±5.00	普通	12.5
100000000.0 - 200000000.0	±6.00	普通	12.5
200000000.0 - 500000000.0	±8.00	普通	12.5
500000000.0 - 1000000000.0	±10.00	普通	12.5

図面名称
昭和52年9月
1111 原子力研究所
II 210



線図記号一覧表		
記号	名称	
弁記号	仕切弁	
	王形弁	
	安全弁	
弁記号		
弁動作記号	空気圧ヒストン作動	
	減圧弁	
計測記号	現場設置計器	
	現場盤設置計器	
	発信器	
計器文字	第1文字	第2文字
	P 圧力	E 検出器
	T 温度	I 指示計
	F 流量	C 制御

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	QUANTITY	REMARKS
	動力炉・核燃料開発事業団 ボロキシレーション法の設計研究			9RA6-948	
MANAGER	A. Sawo				
DEPUTY MANAGER					
CHIEF	M. Kubikawa				
ENGR IN CHARGE	T. Tago				
CHECKED BY	M. Suwama				
DRAWN BY	A. Sawo				
DATE DRAWN					
DATE ISSUED					

注意
この図は石川島重工業株式会社の所有に帰し、複製、転写、または第三者に譲渡することを禁じます。
(1) 許可なく複製、転写、または第三者に譲渡すること。
(2) 許可なく複製、転写、または第三者に譲渡すること。
(3) 許可なく複製、転写、または第三者に譲渡すること。
(4) 上記に反し、許可を得る場合は、事前に石川島重工業株式会社に申請すること。

CAUTION
This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWA-JIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential.
In this connection, please kindly observe the following:
It shall not be traced, reprinted, copied, or used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.

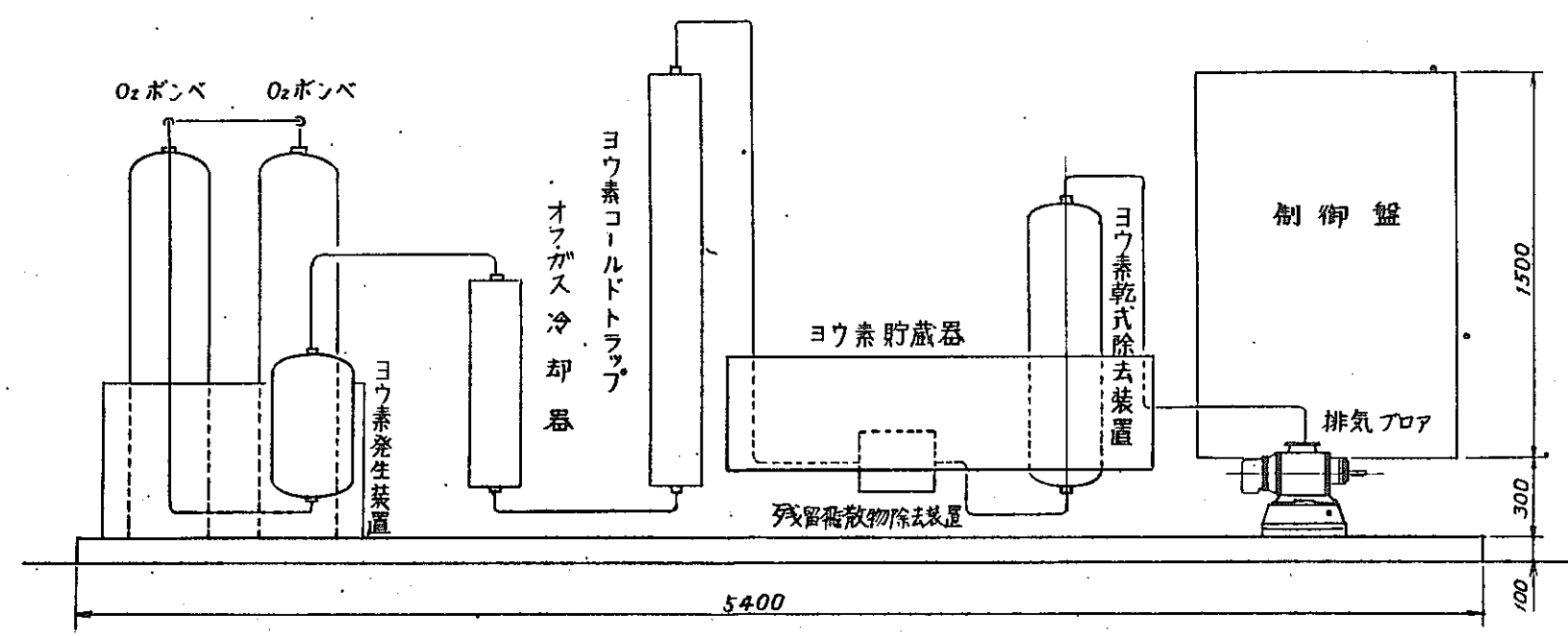
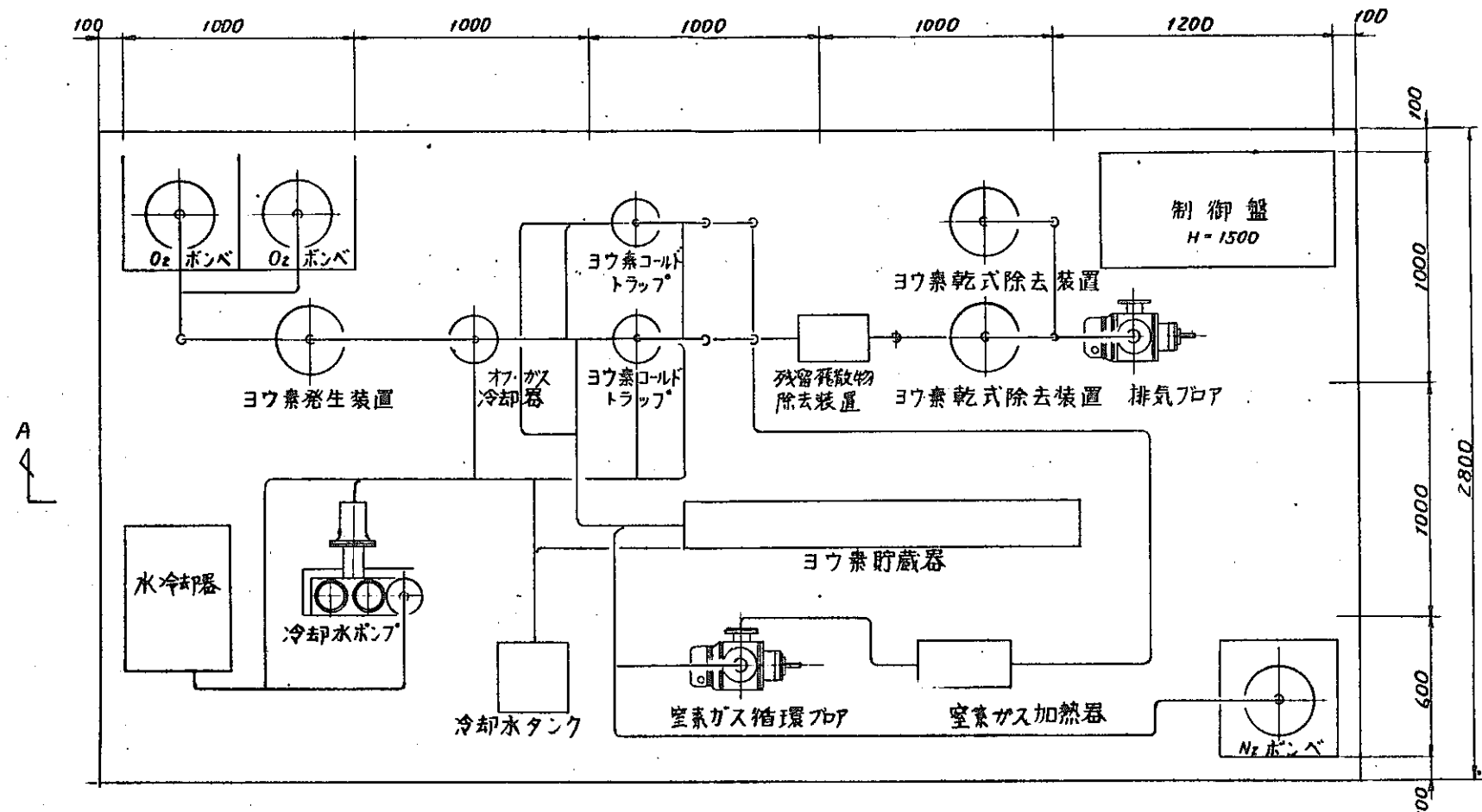
石川島重工業株式会社
技術本部 原子力開発部

E
C
C
B
A

ROUGHNESS	FEED	SPINDLE SPEED	TOOL
0.2	0.1	1000	φ10
0.4	0.2	800	φ10
0.8	0.4	600	φ10
1.6	0.8	400	φ10
3.2	1.6	200	φ10
6.3	3.2	100	φ10
12.5	6.3	50	φ10
25	12.5	25	φ10
50	25	12.5	φ10
100	50	6.3	φ10

角 電 角 度 2.0°
NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES

図 面 来 歴
昭和52年9月
IHI 原子力室にて調製
II-211



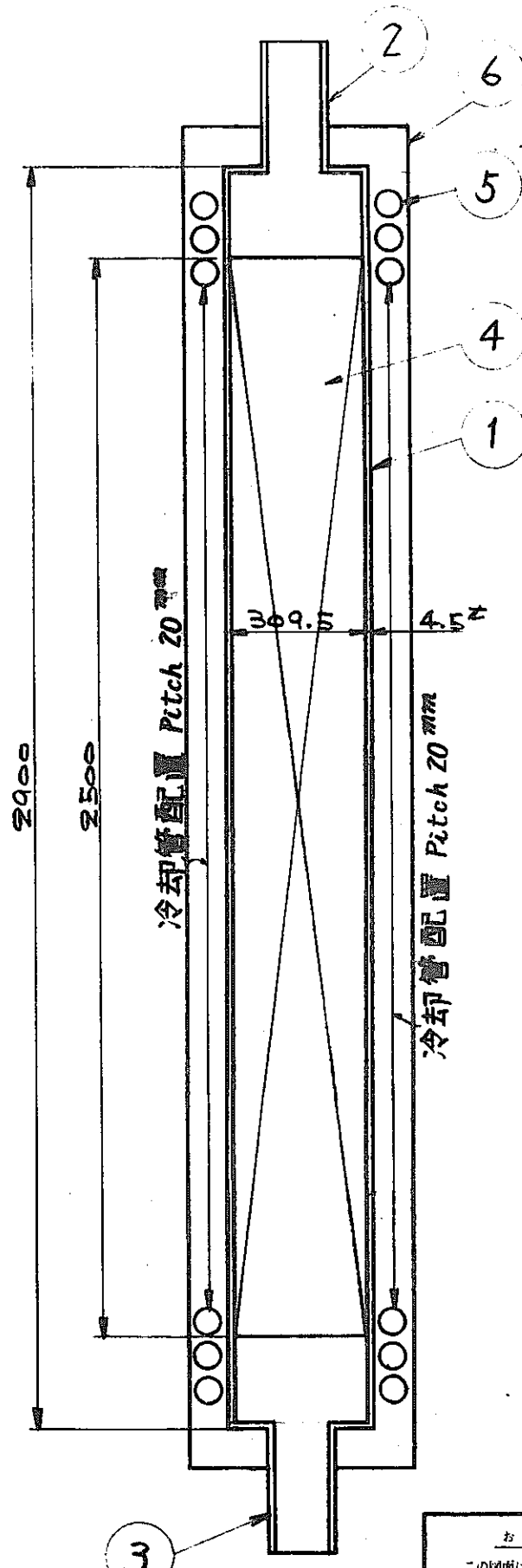
矢視 A-A

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST	NO. OF	QUANTITY	REMARKS
MANAGER	<i>A. Sano</i>	動力炉・核燃料開発事業団				
DEPUTY MANAGER		ボロキシレーション法の設計研究			9RA6-948	
CHIEF	<i>M. Yoshikawa</i>	ヨウ素除去回収				
ENGINEER IN CHARGE	<i>T. Jagan</i>	工学試験装置				
CHECKED BY	<i>M. Iwano</i>	全体組立図				
DRAWN BY	<i>A. Oino</i>					
DATE DRAWN						
DATE ISSUED						

IHI Ishikawajima-Maruma Heavy Industries Co., Ltd.
技術本部 原子力開発室

注意
1. 本図は設計図書の一部として用いられ、その内容に準じて施工せよ。
2. 本図に不明な点がある場合は、発注者に問い合わせよ。
3. 本図は、本図に添付された仕様書の内容と一致しない場合は、仕様書の内容を優先せよ。
4. 本図は、本図に添付された仕様書の内容と一致しない場合は、仕様書の内容を優先せよ。

CAUTION
This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWAJIMA-MARUMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is not to be loaned.
In the construction, please kindly observe the following:
It shall not be re-used, altered, copied, or used for any other purpose, nor transmitted to any other person without the written permission.



あ ら き ROUGHNESS		普通寸法表(機械加工) TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED (MACHINE CUT)	
記号 SYMBOLS	Ra (μ)	公差 DIMENSION (mm)	許容差TOL. (mm)
▽▽▽	0.2	1以上4以下incl	±0.1
▽▽	0.8	4をこえ16	±0.2
▽	1.6	16 * 63 *	±0.3
▽	1.6	63 * 125 *	±0.4
▽	1.6	125 * 250 *	±0.5
▽	6.3	250 * 500 *	±0.6
▽	6.3	500 * 1000 *	±0.8
▽	25	1000 * 2000 *	±1.0
▽	25	2000 * 4000 *	±1.5
~	100	角 度 ANGLE	±0.5°

ドリル穴には適用しない。
NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES.

図 面 来 歴

昭和52年9月
IHI 原子力室にて調製

II-212

6	断熱材		1		
5	冷却管	CUT			10 冊
4	メッシュ		1式		
3	ガス出口管		1		
2	ガス入口管		1		
1	胴	SUS304TP	1		2B x Sch 40

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORKING NO. REQUIRED (PER	SPARE	TOTAL	PER ONE WEIGHT IN kg	TOTAL	REMARKS
MANAGER	動力炉・核燃料開発事業団 ボロキシデーション法の設計研究			WORK NO.		9RA6-948		QUANTITY	
DEPUTY MANAGER	ヨウ素除去回収実験装置			CLASSIFICATION				SCALE	
CHIEF	ヨウ素貯蔵器			DRAWING NO.		図 II-3-6			
ENGR IN CHARGE	構造図								
CHECKED BY	M. Suwama								
DRAWN BY	A. Oino								
DATE DRAWN				DATE ISSUED					

お 願 い

この図面は石川島播磨重工業(株)の所有に係り社外秘扱いでありますから下記の事項を遵守するようお願いいたします。

- 許可なくトレースその他の複写を行わないこと
- 許可なく第三者に見せないこと
- 許可なく指定された用途以外に使用しないこと
- 上記に関し許可を得る場合は書頭によること

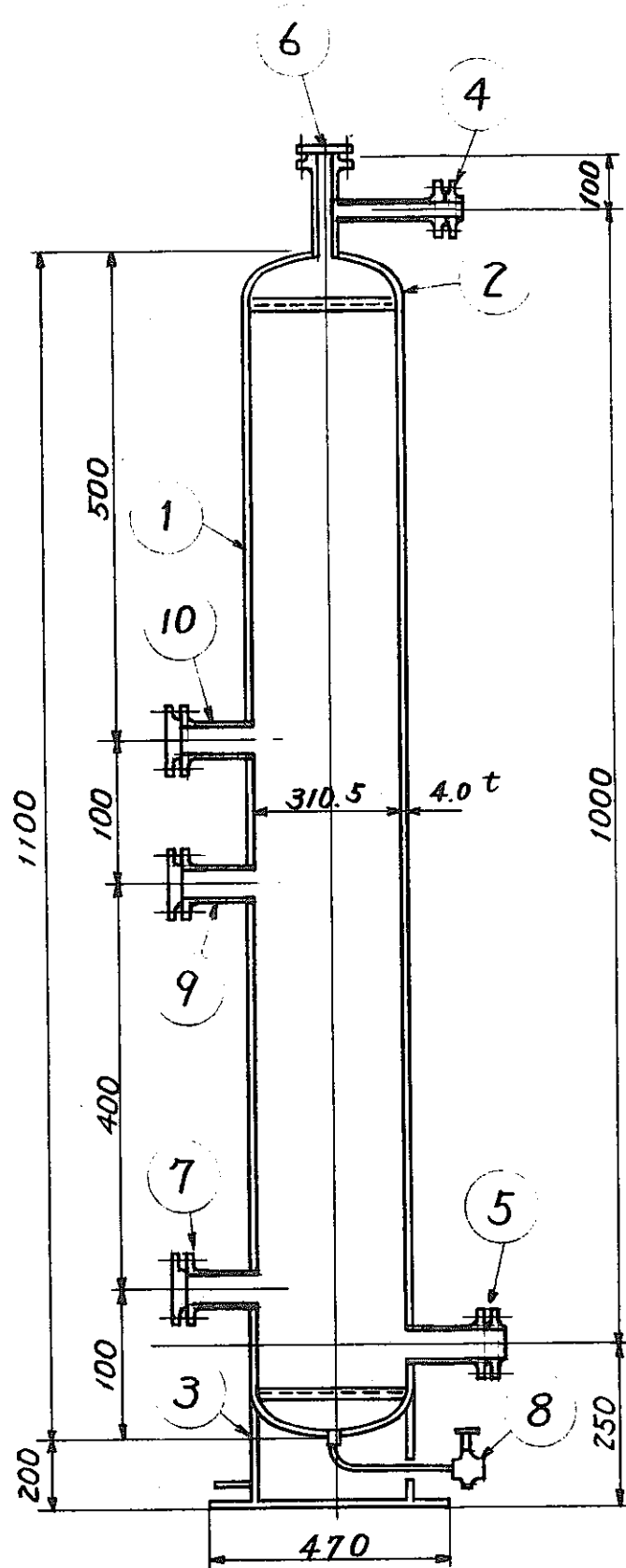
CAUTION

This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential.

In this connection, please kindly observe the followings.

It shall not be traced, otherwise copied, nor used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.

IHI Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.
技術本部 原子力開発室



あ ら き ROUGHNESS		等 通 寸 法 規 (機 械 加 工) TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED (MACHINE CUT)	
記 号 SYMBOLS	Ra (μm)	寸 法 DIMENSION mm	許 容 差 TOL. mm
		1以上4以下Finel	±0.1
▽▽▽	0.2	4をこえ16	±0.2
▽▽	0.8	16 * 63 *	±0.3
▽	1.6	63 * 125 *	±0.4
▽	0.8	125 * 250 *	±0.5
▽	6.3	250 * 500 *	±0.6
▽	2.5	500 * 1000 *	±0.8
▽	25	1000 * 2000 *	±1.0
~	100	2000 * 4000 *	±1.5
		角 度 ANGLE	±0.5°

ドリル穴には適用しない。
NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES.

図 面 来 歴

昭和52年9月
IHI 原子力室にて調製

II-213

10	AgXゼオライト取出口	STPT	1		40A
9	モレキュラシーブ充填口		1		40A
8	ドレン抜き		1		15A
7	モレキュラシーブ取出口		1		40A
6	AgXゼオライト充填口		1		40A
5	ガス入口		1		25A
4	ガス出口	STPT	1		25A
3	支持台	SS41	1		
2	鏡板	SUS304	2		
1	胴板	SUS304	1		12B x Sch 10

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORKING NO. REQUIRED (PER	SPARE	TOTAL	PER ONE WEIGHT IN kg	TOTAL	REMARKS
MANAGER	動力炉・核燃料開発事業団殿			WORK NO.		9RA6-948		QUANTITY	
DEPUTY MANAGER	ボロキシデーション法の設計研究			CLASSIFICATION				SCALE	
CHIEF	ヨウ素除去回収工学試験装置			DRAWING NO.		図 II-3-7			
ENGR IN CHARGE	ヨウ素乾式除去装置								
CHECKED BY	(吸着塔)								
DRAWN BY	構造図								
DATE DRAWN									
DATE ISSUED									

お 願 い

この図面は石川島播磨重工業(株)の所有に係り社外秘扱いでありますから下記の事項を遵守するようお願いいたします。

(1) 許可なくトレースその他の複写を行なわないこと。

(2) 許可なく第三者に見せないこと。

(3) 許可なく指定された用途以外に使用しないこと。

(4) 上記に關し許可を得る場合は書類によること。

CAUTION

This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential.

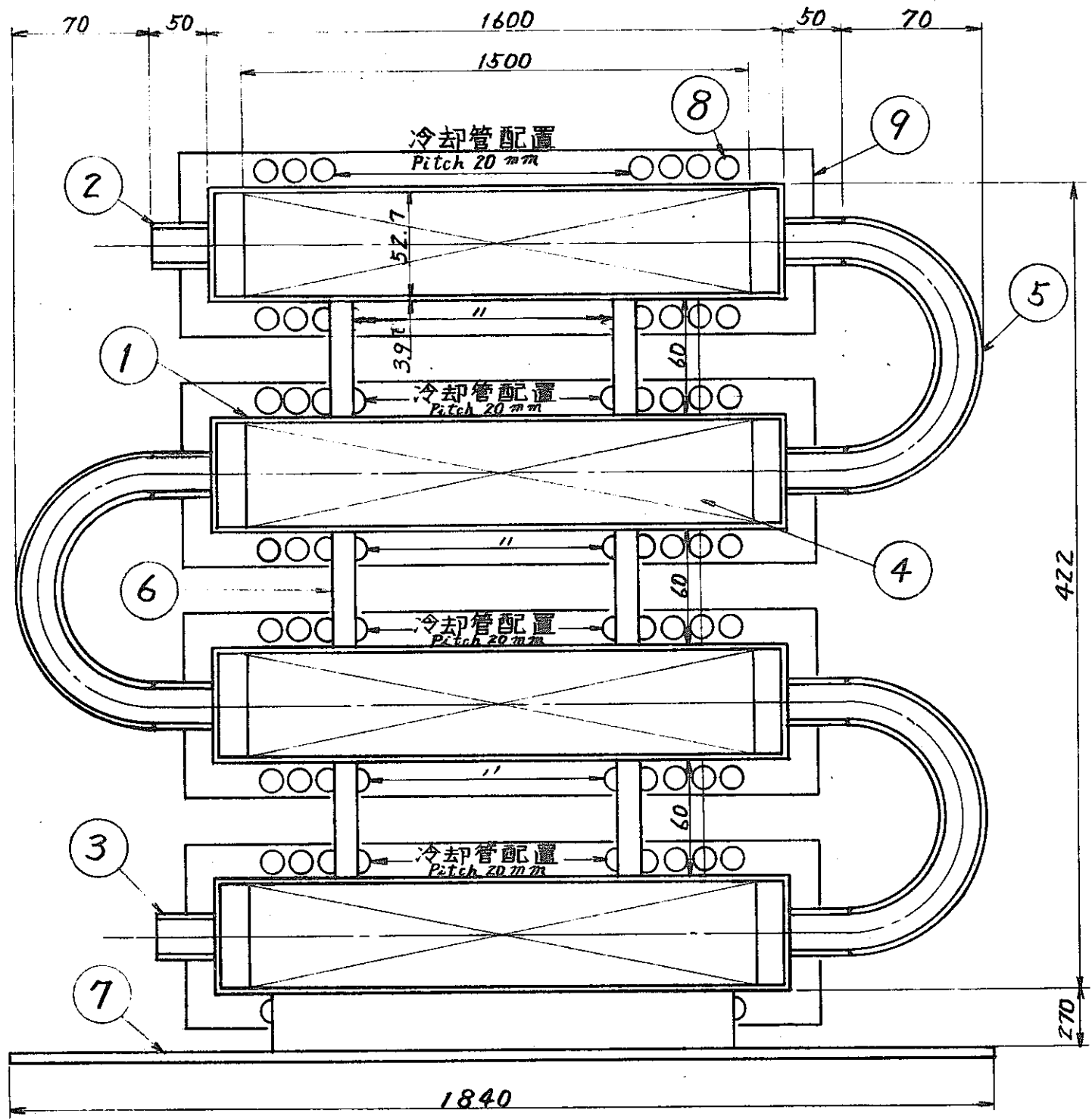
In this connection, please kindly observe the followings.

It shall not be traced, otherwise copied, nor used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

技術本部 原子力開発室

(0247) e004 設計



あ ら び ROUGHNESS		普通寸法 差 (機械加工) TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED (MACHINE CUT)	
記号 SYMBOLS	Ra μm	Ac (mm)	寸法 DIMENSION mm 許容差 TOL. mm
▽▽▽	0.2	0.8	1以上 4以下 incl ±0.1
▽▽	0.2	0.8	4をこえ 16 ± ±0.2
▽	1.6	0.8	16 ± 63 ± ±0.3
▽	6.3	2.5	63 ± 125 ± ±0.4
▽	25	2.5	125 ± 250 ± ±0.5
▽	100	2.5	250 ± 500 ± ±0.6
			500 ± 1000 ± ±0.8
			1000 ± 2000 ± ±1.0
			2000 ± 4000 ± ±1.5
			角 度 ANGLE ±0.5°

ドリル穴には適用しない。
NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES.

図 面 来 歴
昭和52年9月
IH1 原子力室にて調製
II-214

9	断熱材							
8	冷却管	CUT	1式					10 mm
7	据付台		1					
6	サポート		6					
5	連絡管	SUS 304	3					
4	メッシュ		4					
3	ガス出口管		1					
2	ガス入口管		1					
1	胴	SUS304 TP	4					2B x Sch 40

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORKING NO (PER)	SPARE NO (PER)	TOTAL NO	PER ONE WEIGHT IN kg	TOTAL WEIGHT IN kg	REMARKS
MANAGER	Asano		動力炉・核燃料開発事業団 ボロキシデーション法の設計研究		WORK NO.		9RA6-948		
DEPUTY MANAGER					CLASSIFICATION		SCALE		
CHIEF	M. Yoshikawa		ヨウ素除去回収工学試験装置		DRAWING NO.		II-3-8		
ENGR IN CHARGE	T. Nagata		ヨウ素コールドトラップ 構造図						
CHECKED BY	M. Iwama								
DRAWN BY	A. Iino								
DATE DRAWN			DATE ISSUED						

お 願 い
この図面は石川島播磨重工業(株)の所有に係り、社外秘伝品でありますから下記の事項を遵守するようお願いいたします。
(1) 許可なくトレースその他の複写を行わないこと
(2) 許可なく第三者に見せないこと
(3) 許可なく指定された用途以外に使用しないこと
(4) 上記に同意し許可を得る場合は書類によること

CAUTION
This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential.
In this connection, please kindly observe the followings.
It shall not be traced, otherwise copied, nor used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.

3.3 水分（トリチウム水）除去回収工学試験装置の設計

3.3.1 工学試験装置の系統

水分除去回収工学試験装置は、1.2「ボロキシデーション工程の概念」に記載したトリチウムの除去回収のための機器のうち、冷却系のみを簡略化したものとする。

水分除去回収工学試験装置の工程を図II-3-1の系統図に示す。

水分のキャリアガスに酸素ガスを採用して、これをオフ・ガスとする。

水分除去回収工学試験装置は、水分を生成する装置と、水分を含んだオフ・ガスを吸着塔を通して排気する排気ブロワから構成される。

吸着塔はモレキュラシーブを内蔵しており、吸着材の再生装置が設けられる。吸着塔は2台装備して吸着と再生と各々の吸着塔で並行して行なうものとし、オフ・ガス中の水分除去を連続に行う。水分の回収を兼ねたモレキュラシーブの再生には高温の窒素ガスを使用し、このガスを加熱および冷却することによって水分を回収する。再生装置は2台の吸着塔に対して共通に1式装備する。

3.3.2 要目，構造および主要寸法

水分除去回収工学試験装置の仕様は，冷却系を除いて1.9「主要機器の仕様」に記載したそれぞれ対応する機器の仕様に同じとする。

工学試験装置の機器の仕様を，表II-3-2に記載する。

表II-3-2 水分（トリチウム水）除去回収工学試験装置の要目

(1) 水分生成装置

数	1台
形式	加熱触媒式
加熱方式	電熱式
触媒	CuO
オフガス量	1.5 Nm ³ /h
水分発生量	8 g/h
出口オフガス温度	400℃
材質	SUS304

(2) オフ・ガス冷却器

数	1台
形式	直管水冷式
オフ・ガス流量	1.5 Nm ³ /h
オフ・ガス入口温度	400℃
オフ・ガス出口温度	10℃
冷却水量	75 l/h
冷却水入口温度	5℃
冷却水出口温度	7℃
冷却管材質	SUS304

(3) 水分捕集装置

数	2 台
形 式	モレキュラシーブ塔
オフ・ガス流量	1.5 N ^m ³/h
オフ・ガス温度	10℃
吸 着 材	モレキュラシーブ 4 A
塔 内 径	3 1 0.5 mm
充填部長さ	7 0 0 mm

(4) 排気ブロワ

数	1 台
形 式	横 渦 巻 式
容 量	3.0 m³/h
吸 入 圧 力	3 0 0 mm A q (真空)
吐 出 圧 力	大 気 圧

(5) 水分捕集装置用再生装置

(a) 窒素ガス加熱器

数	1 台
形 式	電熱式
窒素ガス入口温度	10℃
窒素ガス出口温度	400℃
窒素ガス流量	8 N ^m ³/h
加 熱 容 量	0.75 kW
窒素ガス管	SUS304



(b) 窒素ガス循環ブロワ

数	1台
形 式	渦巻式
吸入容量	8 N ^m / h
吸入圧力	大気圧
吐出圧力	200 mm A q
吸入温度	10 °C

(c) 窒素ガス冷却器

数	1台
形 式	直管水冷式
窒素ガス入口温度	400 °C
窒素ガス出口温度	10 °C
窒素ガス流量	8 N ^m / h
冷却水入口温度	5 °C
冷却水出口温度	7 °C
冷却水量	500 l / h

(6) 冷却装置

(a) 水冷却器

数	1台
形 式	冷凍機内蔵式
冷却水入口温度	7 °C
冷却水出口温度	5 °C
冷却水量	600 l / h



(b) 冷却水ポンプ

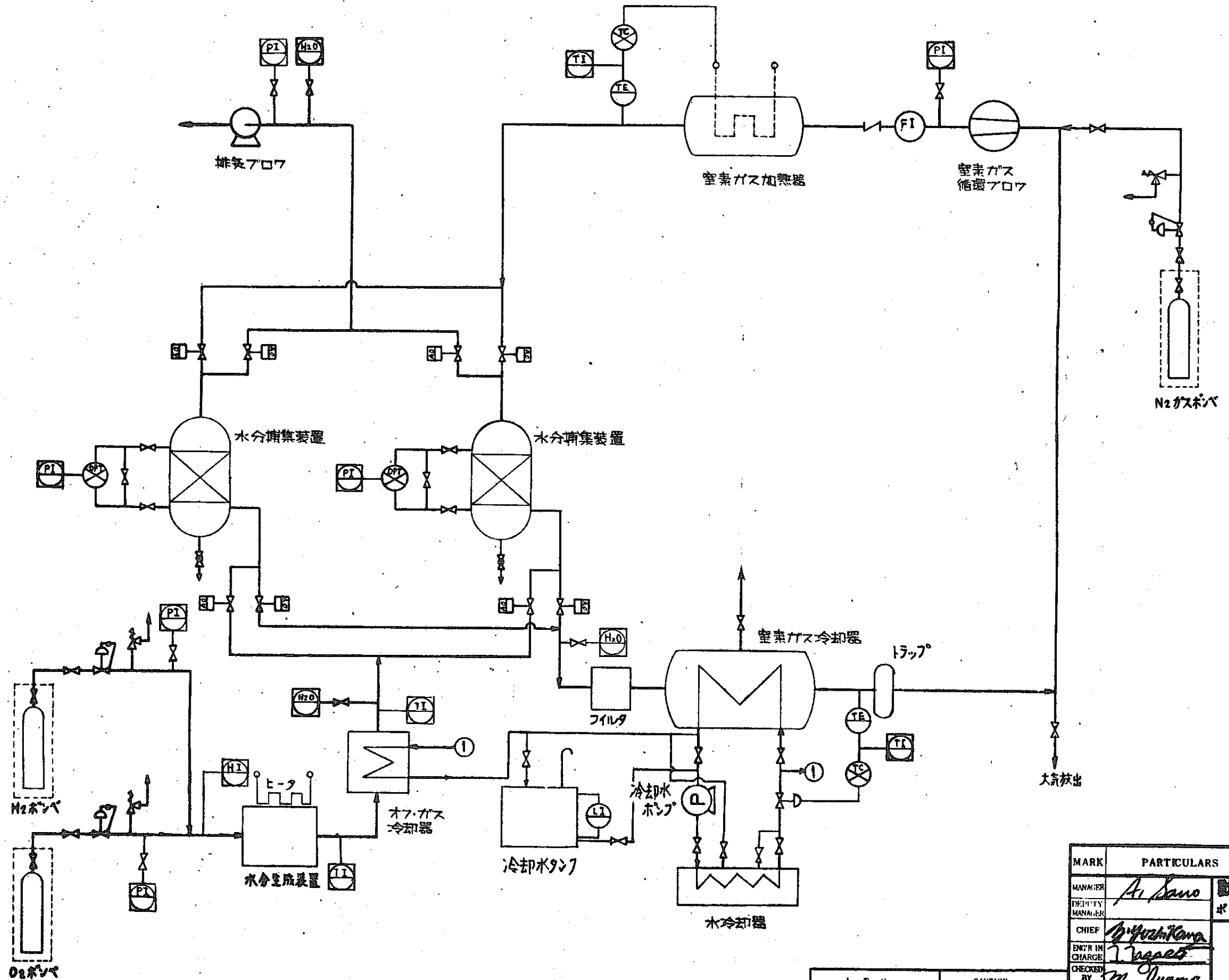
数	1 台
形 式	横渦巻式
冷却水入口温度	10℃
冷却水量	700ℓ/h
吐出圧力	1.5kgf/cm ²

(7) 水分分析計

数	1
形 式	3点切換式

ROUGHNESS	RA	Ac	Tolerance (mm)	Other (mm)
▽	0.8	0.8	±0.1	±0.1
▽▽	1.6	0.8	±0.2	±0.2
▽▽▽	3.2	0.8	±0.3	±0.3
▽▽▽▽	6.3	0.8	±0.4	±0.4
▽▽▽▽▽	12.5	0.8	±0.5	±0.5
▽▽▽▽▽▽	25	0.8	±0.6	±0.6
▽▽▽▽▽▽▽	50	0.8	±0.7	±0.7
▽▽▽▽▽▽▽▽	100	0.8	±0.8	±0.8

昭和52年9月
IHI 東京力室にて編製
II-220



記号	名称
↔	仕切弁
⊥	玉形弁
⊥	選止弁
⊥	安全弁
⊥	空気圧ヒストン作動
⊥	ダイヤフラム作動
⊥	減圧弁
⊥	電磁弁
○	現場設置計器
□	現場盤設置計器
⊗	発信器

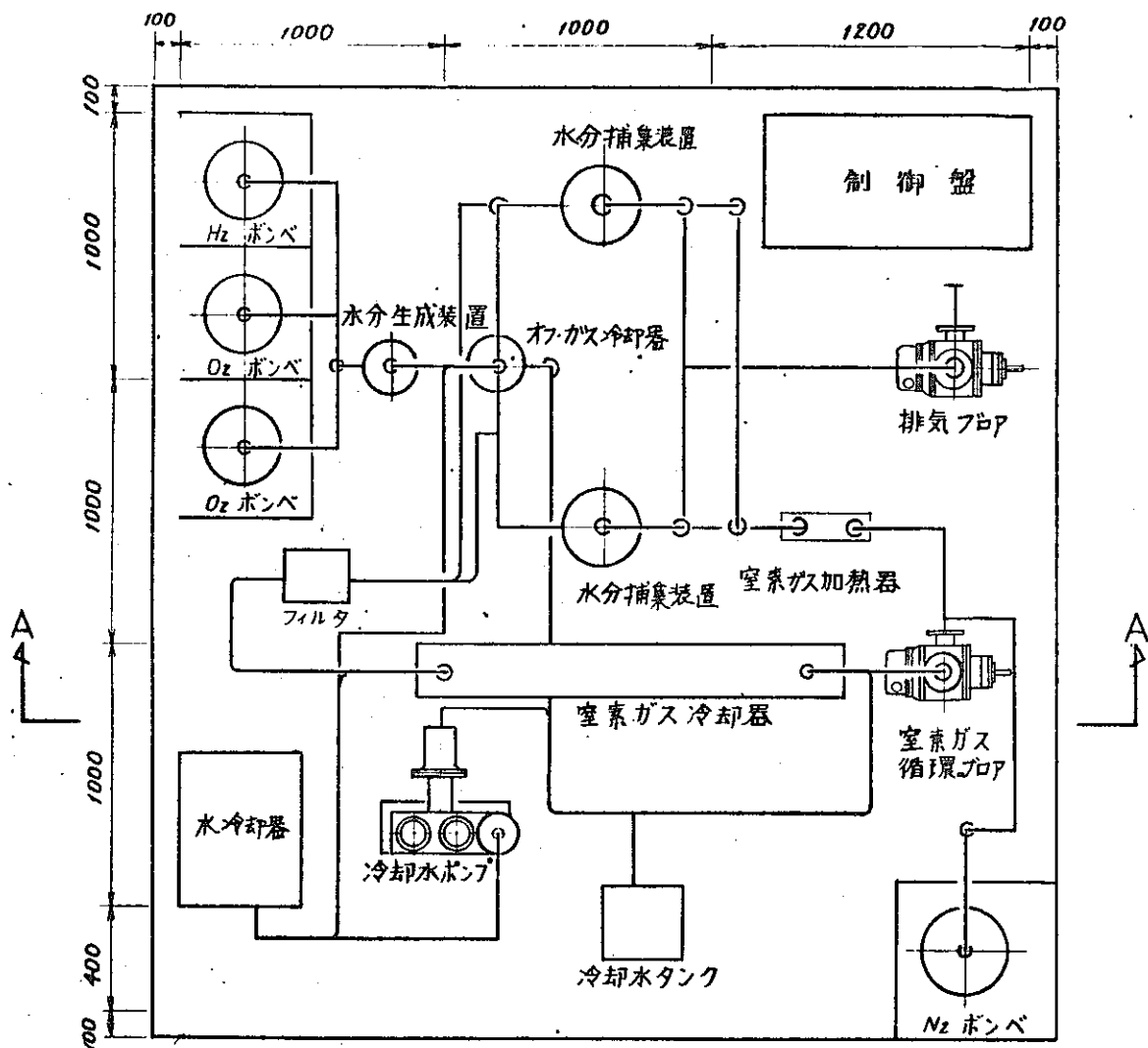
計器文字	第1文字		第2文字	
	H ₂ O	水分	E	検出器
P	圧力	I	指示計	
T	温度	C	制御	
F	流量			
L	レベル			
H	水素			

O₂ボンベ

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORK NO. (NO. REQUIRED)	TOTAL WEIGHT IN (PER)	REMARKS
MANNER	Asano	動力炉・核燃料開発事業団 ポロキシダーレオン法の設計研究				
DEFINITY MANAGER					9RA6-948	
CHIEF	Yoshikawa					
ENGR IN CHARGE	Tsuji					
CHECKED BY	M. Yuama					
DRAWN BY	A. Oino					
DATE DRAWN						
DATE ISSUED						

トリチウム水除去回収
工学試験装置系統図
図II-3-1

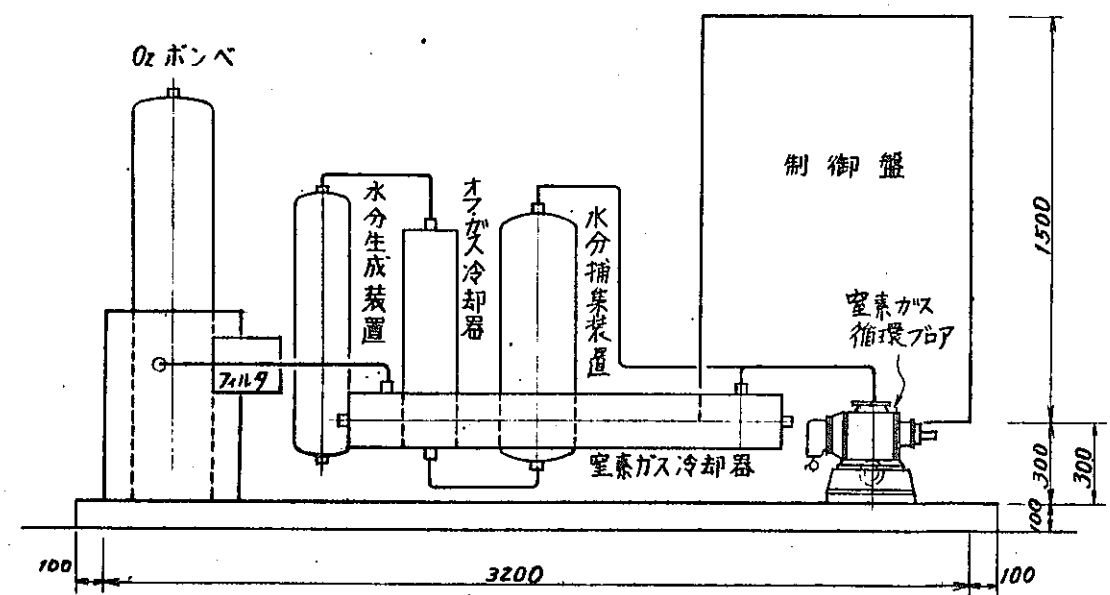
CAUTION
This drawing is the PROPERTY of IHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential.
In this connection, please kindly observe the following:
1. It shall not be re-used, stored, copied, or used for any other purpose, not communicated to any other person without our written permission.



RELIEFNESS		DIMENSIONS		TOLERANCES	
φ	mm	φ	mm	mm	mm
φ	0.1	φ	0.1	±0.1	±0.1
φ	0.2	φ	0.2	±0.1	±0.1
φ	0.3	φ	0.3	±0.1	±0.1
φ	0.4	φ	0.4	±0.1	±0.1
φ	0.5	φ	0.5	±0.1	±0.1
φ	0.6	φ	0.6	±0.1	±0.1
φ	0.8	φ	0.8	±0.1	±0.1
φ	1.0	φ	1.0	±0.1	±0.1
φ	1.2	φ	1.2	±0.1	±0.1
φ	1.5	φ	1.5	±0.1	±0.1
φ	2.0	φ	2.0	±0.1	±0.1
φ	2.5	φ	2.5	±0.1	±0.1
φ	3.0	φ	3.0	±0.1	±0.1
φ	4.0	φ	4.0	±0.1	±0.1
φ	5.0	φ	5.0	±0.1	±0.1
φ	6.0	φ	6.0	±0.1	±0.1
φ	8.0	φ	8.0	±0.1	±0.1
φ	10.0	φ	10.0	±0.1	±0.1

NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES

図面来歴
昭和52年9月
IHI 原子力研究所にて調製
II 221

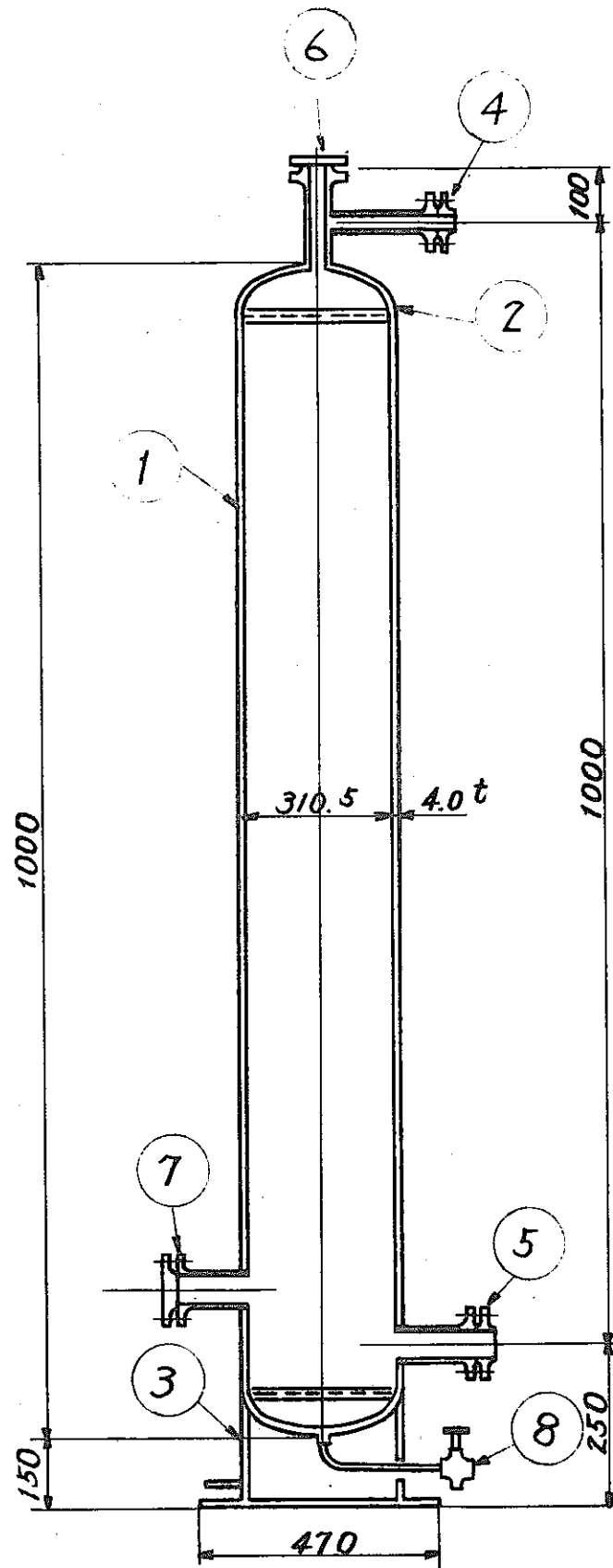


矢視 A-A

1. 本図は、設計者によるものである。2. 本図は、設計者によるものである。3. 本図は、設計者によるものである。4. 本図は、設計者によるものである。

CAUTION
The drawings are the property of ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and are not to be used without the permission of the company. If they are used for any other purpose, no responsibility shall be accepted by the company.

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST	NO. OF COPIES	REMARKS
MANAGER	<i>A. Saw</i>	動力炉・核燃料開発事業団 ボロキレーション法の設計研究			QUANTITY
DEPUTY MANAGER					9RA6-948
CHEF	<i>M. Yoshikawa</i>				CLASSIFICATION
ENGR. IN CHARGE	<i>T. Nagao</i>				SCALE
CHECKED BY	<i>M. Suwa</i>				DRAWING NO.
DRAWN BY	<i>A. Oino</i>				II-3-2
DATE DRAWN					



あ ら き ROUGHNESS		容 通 寸 法 差 (機 械 加 工) TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED (MACHINE CUT)	
記 号 SYMBOLS	Ra (μ)	寸 法 DIMENSION (mm)	許 容 差 TOL. (mm)
▽▽▽	0.2	1以上4以下 4をこえ 16 *	±0.1 ±0.2
▽▽	1.6	16 * 63 * 63 * 125 *	±0.3 ±0.4
▽	6.3	125 * 250 * 250 * 500 *	±0.5 ±0.6
▽	25	500 * 1000 * 1000 * 2000 *	±0.8 ±1.0
~	100	2000 * 4000 * 角 度 ANGLE	±1.5 ±0.5'

ドリル穴には適用しない。
NOT APPLICABLE TO DRILL HOLES.

図 面 来 歴

昭和52年9月
IHI 原子力室にて調製

II-222

8	ドレン抜き	STPT	1		15A
7	モレキュラシーブ取出口		1		40A
6	モレキュラシーブ充填口		1		40A
5	ガス入口		1		25A
4	ガス出口	STPT	1		25A
3	支持台	SS41	1		
2	鏡板	SUS304	2		
1	胴板	SUS304	1		12B x Sch 10

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	TEST PIECE	WORKING NO. REQUIRED (PER	SPARE	TOTAL	PER ONE WEIGHT IN kg	TOTAL	REMARKS
MANAGER	A. Harima		動力炉・核燃料開発事業団		WORK NO.		9RA6-948		
DEPUTY MANAGER			ボロキシデーション法の設計研究		CLASSIFICATION		SCALE		
CHIEF	M. Yoshikawa		水分(トキウム水)除去回収工学試験装置		DRAWING NO.		図 II-3-3		
ENGR IN CHARGE	J. Yaguchi		水分捕集装置 (吸着塔)						
CHECKED BY	M. Swama		構造図						
DRAWN BY	A. Iino								
DATE DRAWN			DATE ISSUED						

お 願 い

この図面は石川島播磨重工業(株)の所有に係り社外秘扱いでありますから下記の事項を遵守するようお願いいたします。

- 許可なくトレースその他の複写を行わないこと
- 許可なく第三者に見せないこと
- 許可なく指定された用途以外に使用しないこと
- 上記に関し許可を得る場合は本局によること

CAUTION

This drawing is the PROPERTY of ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES Co., Ltd. and is confidential.

In this connection, please kindly observe the followings.

It shall not be traced, otherwise copied, nor used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.



Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.
技術本部 原子力開発室

3.4 オフ。ガス処理工学試験装置の製作仕様

オフ。ガス処理工学試験装置は、表Ⅱ-3-1および表Ⅱ-3-2に記載した機器の要目および本章中に添付する「オフ。ガス処理工学試験装置図集」によって、装置の詳細設計および製作を行う。

3.4.1 製作期間

装置の詳細設計を含めて10ヶ月

3.4.2 検収条件

下記の項目が満たされていることを以って、検収される。

- 1) 3.4.7「内容」に記載されている工学試験装置が完成している。
- 2) 3.4.7「内容」に記載されている工学試験装置が納入場所に据付けられ、試運転および検査を完了している。
- 3) 3.4.5の「提出図書」が提出されている。

3.4.3 保証および保証期間

工学試験装置の検収後1年以内に明らかに製造所の設計、製作および材質等の不良または施工上の不備によると認められる装置の破損または故障については、製造所が無償でこれを改造修理するか、または代替品との交換をする。

3.4.4 試験・検査

1) 工学試験装置については、貴事業団検査員立会の上で下記の工場試験および検査、現地での試運転および検査を行う。

試験項目	工場試験・検査	現地試運転・検査
主要部の寸法検査	○	—
外 観 検 査	○	○
石けん水による気密試験	○	—
運 転 試 験	○	○

2) 工学試験装置の石けん水による気密試験は、ヨウ素コールドトラップ、残留粉塵除去装置、ヨウ素乾式除去装置、水分生成装置、オフ・ガス冷却器、水分捕集装置ヨウ素貯蔵器および窒素ガス冷却器の各工学試験装置について行い、その他の付属装置については省略する。

3) 工学試験装置の工場における運転試験は、所定の作動確認および所定温度に至るまでの昇温確認試験とする。

4) 工学試験装置の現地における運転試験は、所定の運転状態における約1時間の連続運転とする。

5) 工学試験装置の工場および現地での運転試験とも試験のための試料による試験は行わない。

6) 工学試験装置の測定器は規格によって検定したものを使用し、装置の試験検査時に再検定は行わない。

7) 工学試験装置の試験検査要領書を予め提出し、貴事業団の承認を取得する。

8) 工学試験装置の試験検査終了後速やかに試験検査成績書を提出する。



3.4.5 提出図書

下記の図書を作成し，貴事業団に提出する。

提出図書等	部 数	提出時期
契約仕様書	8	契約時
工程表	5	契約直後
設計書	5	設計終了時
製作承認図面	5	製作開始時
機器リスト	5	同上
装置運転要領書	5	同上
装置検査要領書	5	同上
装置検査成績書	5	工学試験装置 の納入時
打合せ議事録	5	打合せのつど
その他協議により必要と認められた図書	5	必要となった時

尚，製造所は貴事業団が法規に基づき監督官庁へ提出する書類および資料の作成について協力する。



3.4.6 その他

- 1) ヨウ素除去回収工学試験装置は非放射性ヨウ素の試料により試験されるものとし、水分（トリチウム水）除去回収工学試験装置は、トリチウムを用いず、水分により試験されるものとする。
- 2) 工学試験装置の加熱される部分の材質は、ステンレス鋼とし、その他の材質は製造所の標準通りとする。
- 3) 工学試験装置のステンレス鋼表面は塗装しないものとし、その他の表面は製造所の標準通りとする。



3.4.7 内 容

1) ヨウ素除去回収工学試験装置

本工学試験装置の仕様を下記の通りとする。

オフ・ガス (O ₂) 量	1.5 Nm ³ /h	
〃 温度 ヨウ素発生装置出口		250℃
	ヨウ素コールドトラップ 出口	20℃
ヨウ素コールドトラップ用冷却水量		54 ℓ/h
再生ガス (N ₂) 量	6 Nm ³ /h	
〃 温度	300℃	
ヨウ素貯蔵器容量	5 ℓ	
〃 用冷却水量	275 ℓ/h	
冷却水温度	5℃	

ヨウ素乾式除去装置

1 段目吸着材	モレキュラーシーブ 13 X
2 段目 〃	銀ゼオライト

本工学試験装置は、下記の機器により構成される。

ヨウ素発生装置	×	1 台
オフ・ガス冷却器	×	1 台
ヨウ素コールドトラップ	×	2 台 (常用×1)
残留粉塵除去装置	×	1 台
ヨウ素乾式除去装置	×	2 台 (常用×1)
排気ブロワ	×	1 台
ヨウ素コールドトラップ再生装置		
窒素ガス (再生ガス) 加熱器	×	1 台
窒素ガス循環ブロワ	×	1 台
ヨウ素貯蔵器	×	1 台
冷却装置		
水冷却器	×	1 台



冷却水ポンプ	×	1台
配管, タンク, その他付属装置	×	1式
計装, 制御装置	×	1式

2) 水分(トリチウム水)除去回収工学試験装置

本工学試験装置の仕様を下記の通りとする。

オフ・ガス(O ₂)量	1.5 Nm ³ /h
〃 温度	10℃
再生ガス(N ₂)量	8 Nm ³ /h
〃 温度	400℃
窒素ガス冷却器用冷却水量	500 ℓ/h
冷却水温度	5℃

本工学試験装置は, 下記の機器により構成される。

水分生成装置	×	1台
オフ・ガス冷却器	×	1台
水分捕集装置	×	2台(常用×1)
排気ブロワ	×	1台

水分捕集装置再生装置

窒素ガス(再生ガス)加熱器	×	1台
窒素ガス循環ブロワ	×	1台
窒素ガス冷却器	×	1台
冷却水系統		
水冷却器	×	1台
冷却水ポンプ	×	1台
配管, タンク, その他付属装置	×	1式
水分々析計(3点切換式)	×	1式
計装, 制御装置	×	1式



第 Ⅲ 部

ボロキシレーション法のオフ・ガス処理
基 礎 試 験



第1章 ま え が き

高速増殖炉（FBR）使用済燃料再処理では、燃料の高い燃焼度、短い冷却期間、厳しさを増す環境規制からより高度な核分裂生成物の封じ込めが要求される。この対応策のひとつとして高温で核燃料を酸化し、燃料中に含まれる核分裂生成物（トリチウム、ヨウ素、クリプトン等）を揮発除去させるボロキシデーション法を前処理工程として用いることが考えられている。

ボロキシデーション法の開発においては、核分裂生成物を揮発させるボロキシダイザー本体の開発と同時に揮発させたトリチウム、ヨウ素の乾式捕集法も重要課題である。

本試験はトリチウムを酸化した後にモレキュラシープでトリチウム水としてトリチウムを捕集する際の吸着、脱着に及ぼすヨウ素（ I_2 ）の影響、 I_2 の挙動を破過曲線、脱着曲線及びモレキュラシープ内の I_2 分布の測定により明らかにすることを目的としている。モレキュラシープとしては通常水分除去に用いるMS-4Aと乾燥状態で I_2 の良い吸着材として知られるMS-13Xを用いる。試験結果は吸着材の選択、トリチウム、 I_2 同時除去の可能性を含めた今後の乾式捕集技術開発のための基礎資料とする。あわせて比放射能が比較的高い（ $24 \mu\text{Ci}/\text{ml}$ 以上）トリチウム水を使用しトリチウム水除去の確認を行うとともに水素-トリチウム同位体効果の概略値を得て工学的影響の有無を検討し、今後の試験プラントの参考とする。

第2章 試験装置

試験装置の概略フローシートを図III-2-1に示す。試験装置は、酸素、窒素ガス供給系、ガス精製管、ガス分岐系、トリチウム水及びヨウ素(I_2)導入装置、モレキュラシ-ブ吸着管、廃ガス処理器及び各種測定系から構成されている。

本章では、各主要器具及び当装置の基本的な使用法を概説する。なお試験目的により、細部は組変えるがこの点に関しては後述する。

酸素ポンプから取り出した酸素ガスを、ガス精製管で純化しガス分岐系に送る。ガス分岐系で試験条件に合わせて流量を調節し、ヨウ素導入装置、トリチウム水導入装置に所定量を送り所定濃度の試験ガスを発生させる。この試験ガスを条件に応じ混合しモレキュラシ-ブ吸着管に送入する。この間必要に応じ露点計で水分濃度を測定する。

モレキュラシ-ブ吸着管を出たガスは、試験条件に応じ露点計、水トラップ、銀ゼオライト吸収管により水分、トリチウム水、ヨウ素の出口応答を測定した後、廃ガス処理系を経て排気する。

モレキュラシ-ブ吸着管の吸着ヨウ素分布が測定可能なように測面に1cm幅の鉛スリットを持つシンチレーションプローブを置く。モレキュラシ-ブ吸着管は、上下に移動可能なエレベーター装置に設置してある。

次に主要部の概要を記す。

(i) ガス精製管

内径20mm、長さ300mmのステンレス管製でモレキュラシ-ブ4A(20~40メッシュ)が充填してある。精製時には室温及び氷を用いた0℃が可能なデュワ-瓶内に設置し、モレキュラシ-ブ再生時には、350℃に加熱出来る電気炉に取り付ける。

(ii) ガス流量計

草野科学製ローターメータ-200ml/min及び2000ml/minの2種を使用している。

(iii) トリチウム水導入装置

装置の概略を図III-2-2に示す。トリチウム水蒸気を発生させる部分と気水分離部分からなり、温度は-20℃から50℃まで制御可能な恒温槽に設置してある。^注



(IV) ヨウ素導入装置

装置の概略を図 III - 2 - 3 に示す。ヨウ素発生部分とヨウ素濃度制御部分とからなり、前者は使用温度より若干高めに制御された恒温槽に、後者は使用温度に制御された恒温槽（ $20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ）に装入してある。

(V) モレキュラシ-ブ吸着管

内径 10 mm のパイレックスガラス管製であり、当管内に試験吸着材を充填する。吸着温度が室温の時は吸着管附近の気温を 28°C に制御して使用し、 10°C 、 45°C の場合は、それぞれ所定温度に制御した恒温水槽中に吸着管を設置する。再生時には 400°C まで加熱可能な電気炉に設置する。

(VI) 銀吸着管

内径 17 mm のパイレックスガラスに銀線（径 $0.6 \sim 0.8\text{ mm}$ ）を約 5 mm 長さに切って充填し I_2 を除去し露点計エレメントの腐蝕を防ぐ。温度 80°C に制御する。

(VII) 水トラップ

概略図を図 III - 2 - 4 に示す。キャピラリー管を経て入ったトリチウム水ガスは 50 ml の水でトラップする。トラップ中の水を注射器で一定時間毎に採取し、液体シンチレーションカウンターでトリチウム濃度を測定する。

(VIII) 銀ゼオライト吸着管（ヨウ素測定装置）

銀ゼオライトを充填したパイレックス製ガラス管からなり、Well 型シンチレーションカウンター中に設置し破過ヨウ素を測定する。

(IX) 廃ガス処理器

試験ガスの組成により、次のものが使用された。

(IX - 1) トリチウム水

水トラップ後に再度大型水トラップを設け、トリチウム水を捕捉。（場合により 2 連）

(IX - 2) ヨウ素及びヨウ素+トリチウム水

銀ゼオライト吸収管の後にモレキュラシーブ13X吸収管, 銀ゼオライト吸収管をさらにつけ加えて捕捉する。系の最終段階に設置した銀ゼオライト吸収管は, 温度200℃に制御する。

(IX - 3) 放射性物質対策

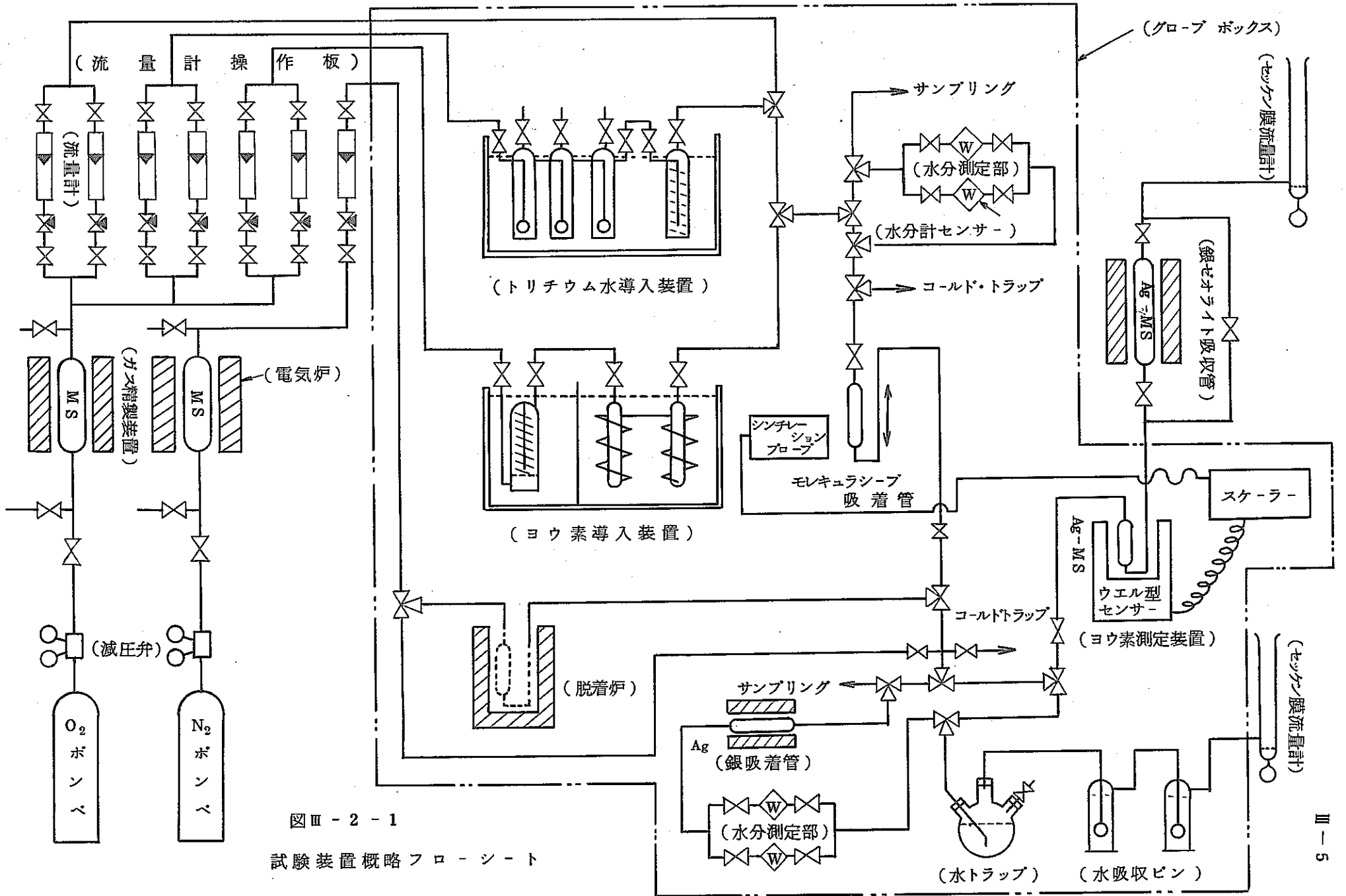
トリチウム水導入装置, ヨウ素導入装置以降の系は簡易グローブボックスに納め, 35Wのブロワーで装置内空気をRI実験室排気系に送り常時負圧に保った。装置内コックの切替え, 組替えは可能な限りグローブボックス付のグローブを用いて行った。

(写真III-2-5参照)

測定に用いた計器

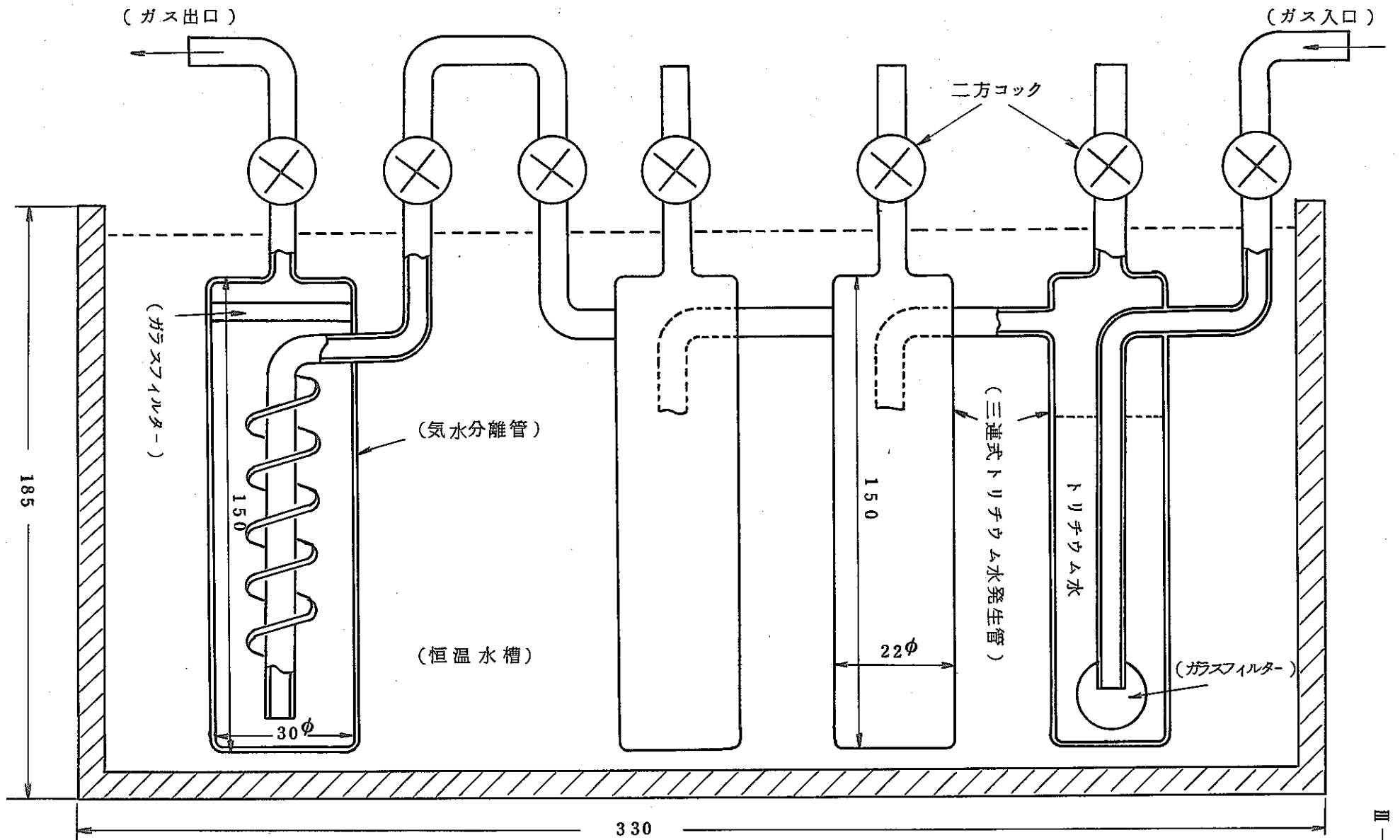
(i) 液体シンチレーションカウンター	Packard TRI-CARB 3255	
トリチウム測定用		
(ii) NaI(Tl)シンチレーションカウンター	アロカND-451	2"φ × 2"φ
¹³¹ I γ線測定用	アロカNDW-451	2"φ × 2"φ
(iii) ユニバーサルスケラ- プリンター	アロカTDC-502	
(iv) 露点計	Shaw パネル型	4点式
(v) 温度記録計	千野	6打点式

注. トリチウム導入装置は, 恒温槽の温度通りの飽和水蒸気を発生していないことが判ったので, 試験条件でキャリブレーションを行い補正使用している。特に流速を上昇させた場合変動が大きいので, 他の場合と違った条件で実施し, 使用濃度を保持している。



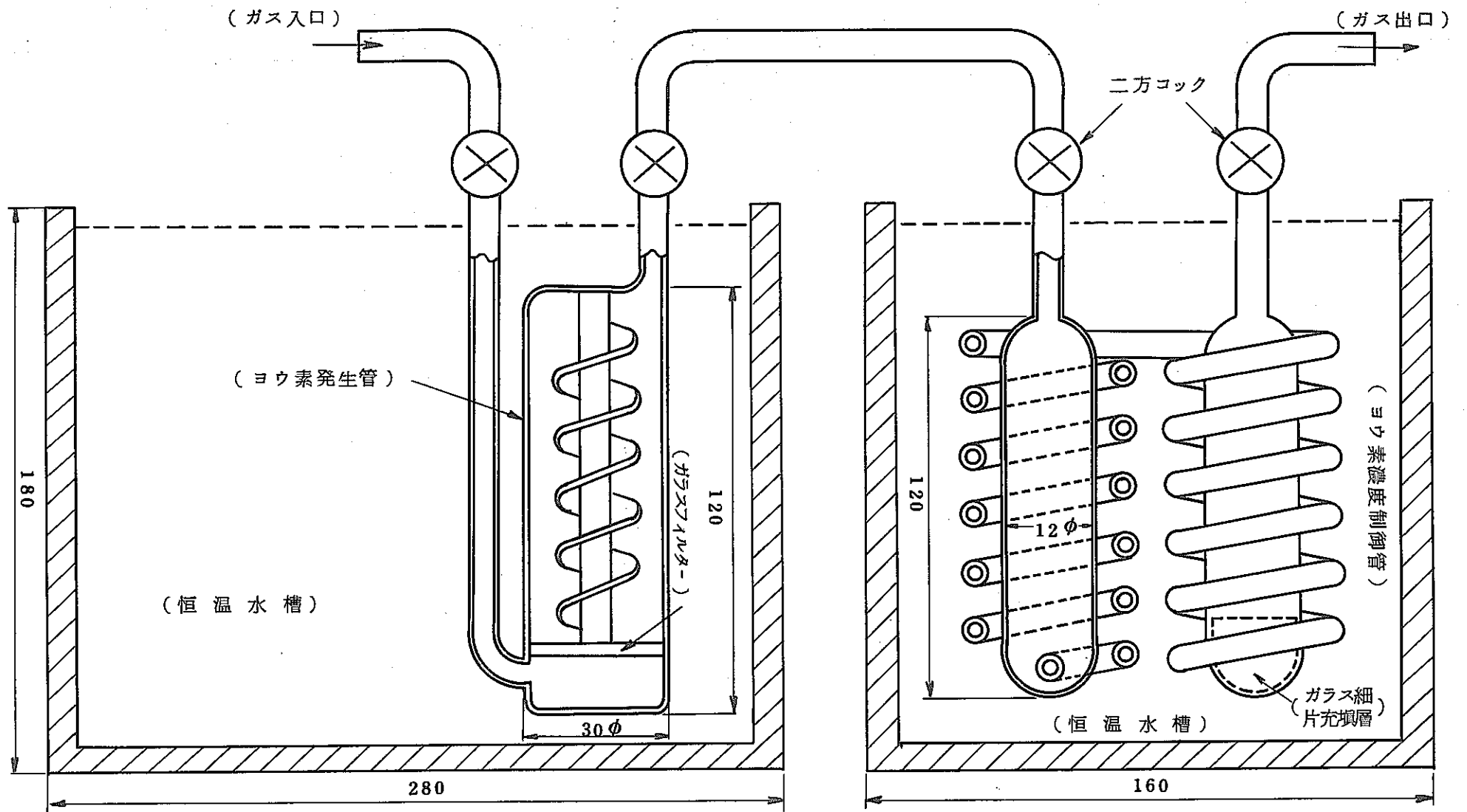
図Ⅲ-2-1

試験装置概略フローシート



図Ⅲ-2-2

トリチウム水導入装置



図Ⅲ-2-3

ヨウ素導入装置

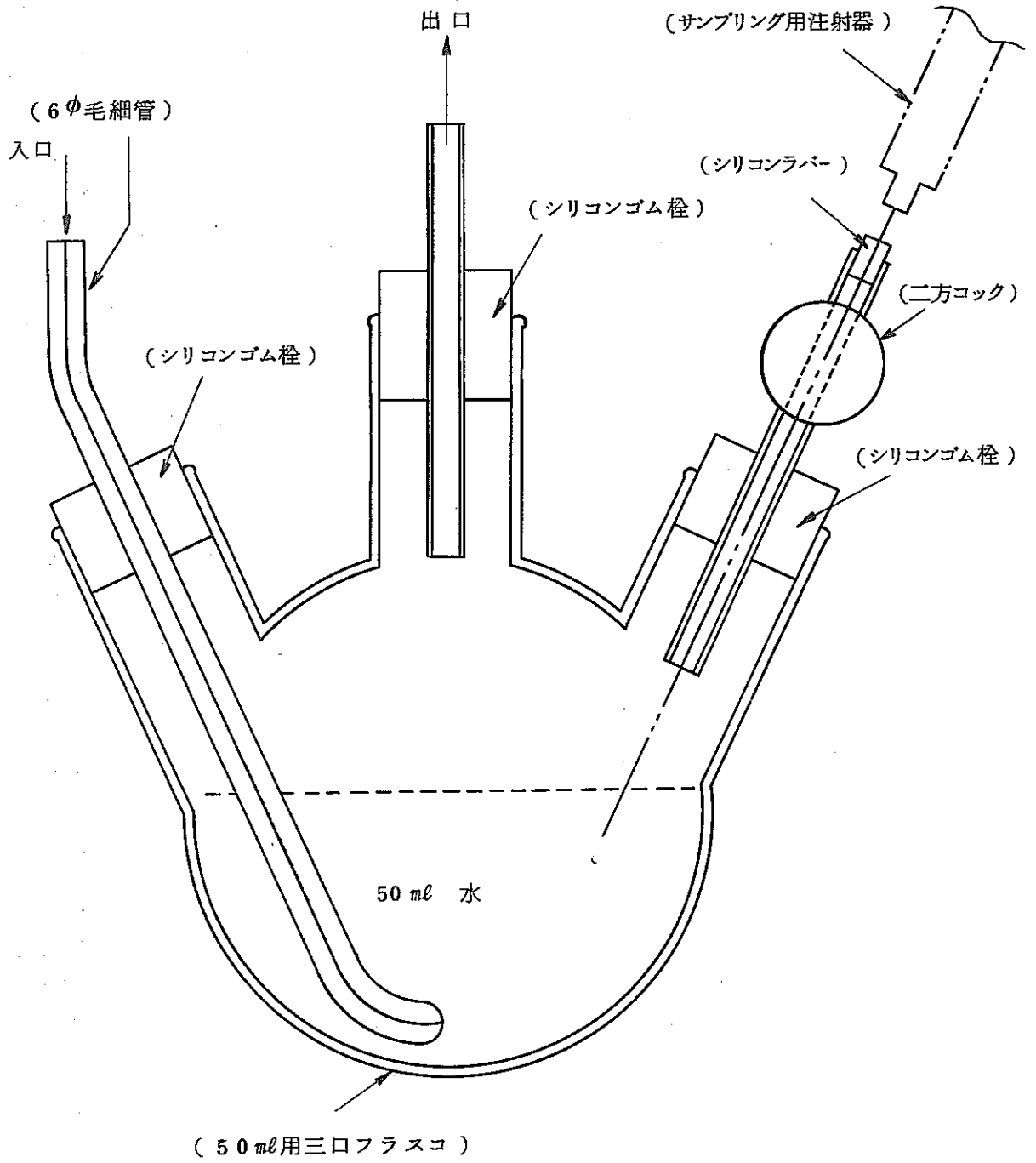
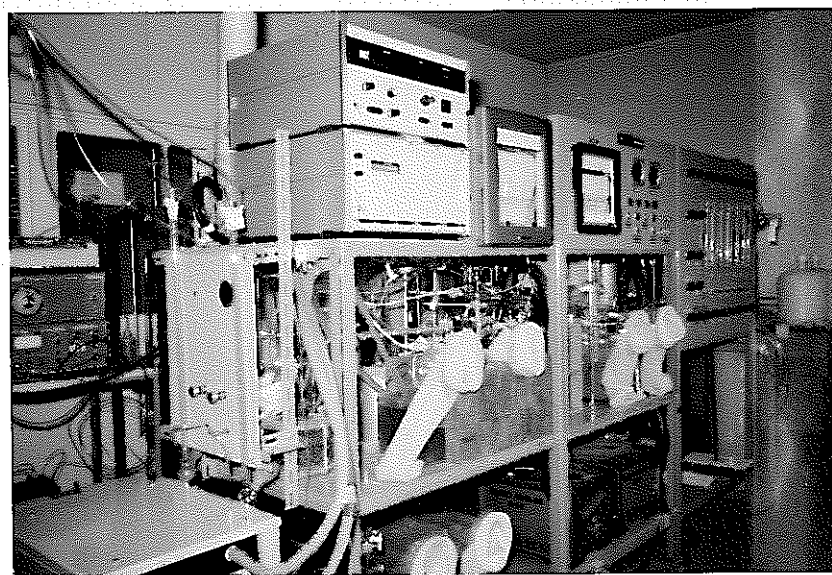
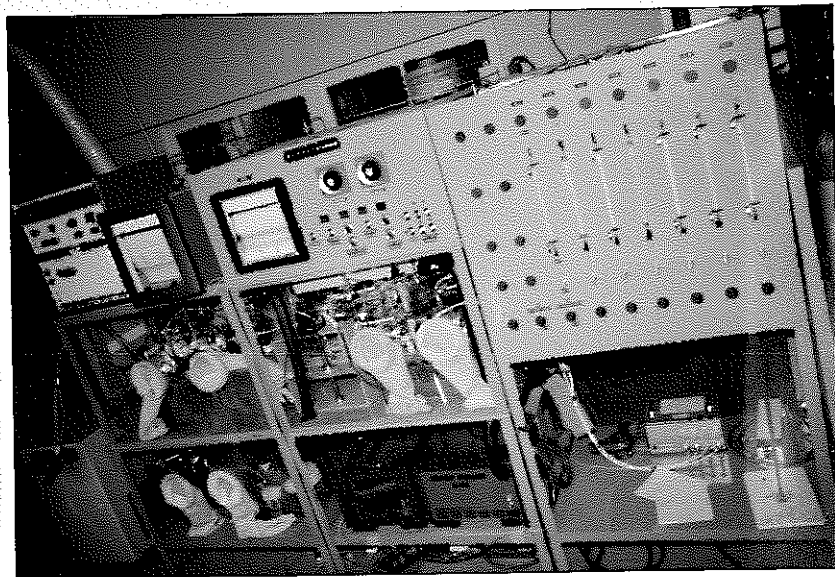


図 III - 2 - 4 水 ト ラ ッ プ



FUJICOLOR C377

图 III - 2 - 5 装置写真

第3章 試 験

3.1 吸着試験

3.1.1 目 的

濃度，流速，吸着温度など試験条件を変化させてトリチウム水及び I_2 を含む酸素ガスをモレキュラシープに吸着させる。

モレキュラシープ吸着管のそれぞれの出口応答を測定し，見掛けの除染系数，破過曲線を得てトリチウム水吸着に及ぼすヨウ素 (I_2) の影響，ヨウ素挙動を検討する。別に MS-13X の場合，吸着管内の I_2 分布を測定し，水分共存下ヨウ素の挙動を知る。

3.1.2 試験条件

表 III-3-1 及び表 III-3-2 にある各条件において実施する。

基準条件としては，次の通り設定してある。

吸着温度	室温 (28℃)
ガス空塔速度	3 cm/sec
水分濃度	露点 7℃
ヨウ素濃度	露点 10℃

(i) 吸着温度依存性

吸着温度 10℃ ， 室温 (28℃) ， 45℃

(ii) ガス空塔速度依存性

空塔速度 1.5 cm/sec ， 3 cm/sec ， 9 cm/sec

(iii) 水分濃度依存性

水分濃度 (露点) 7℃ ， 1.2℃ ， -14℃

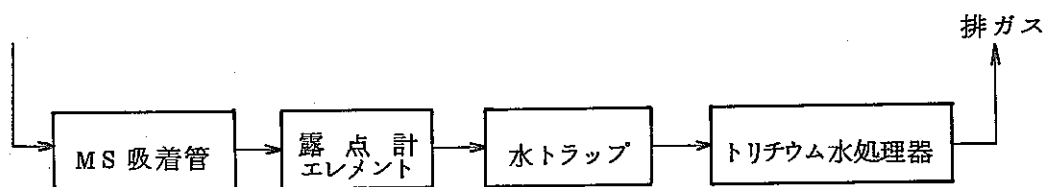
(iv) ヨウ素 (I_2) 濃度依存性

ヨウ素濃度 (露点) 10℃ ， 3℃ ， -10℃

3.1.3 試験方法の概略

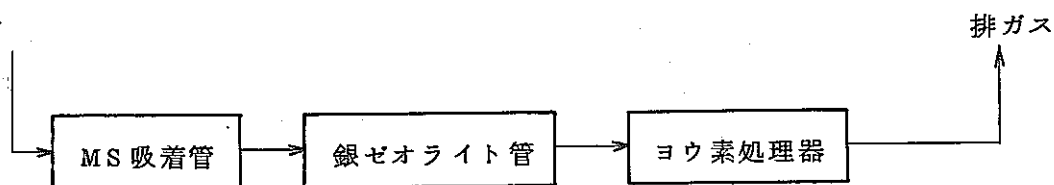
吸着管にモレキュラシ-ブを充填後、温度300℃、空塔速度3cm/secで乾燥窒素を2時間流して前処理を行う。試験直前にモレキュラシ-ブ重量を測定し、使用する。試験は所定条件に設定した試験ガスをモレキュラシ-ブ吸着管に送り、条件に応じ次のように装置細部を組変え水分、トリチウム水、 I_2 の出口応答を測定することにより実施する。

(i) トリチウム水の場合



破過水分は露点計で計測し、トリチウム水は水トラップ装置で捕捉し、一定時間毎に注射器で水を採取し、液体シンチレーションカウンターでトリチウム濃度を測定する。

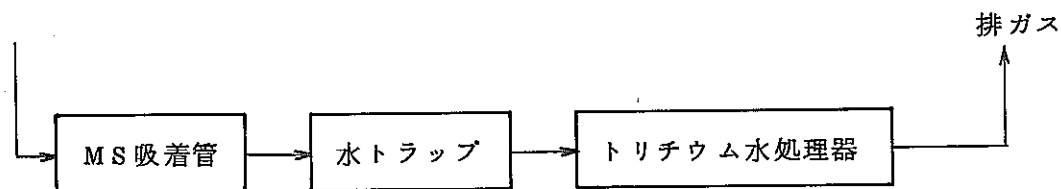
(ii) ヨウ素 ($^{131}I_2$ ラベル) の場合



モレキュラシ-ブ吸着管の後に設置する銀ゼオライト管に吸着したヨウ素($^{131}I_2$)の γ 線をウエル型シンチレーションカウンターで測定する。

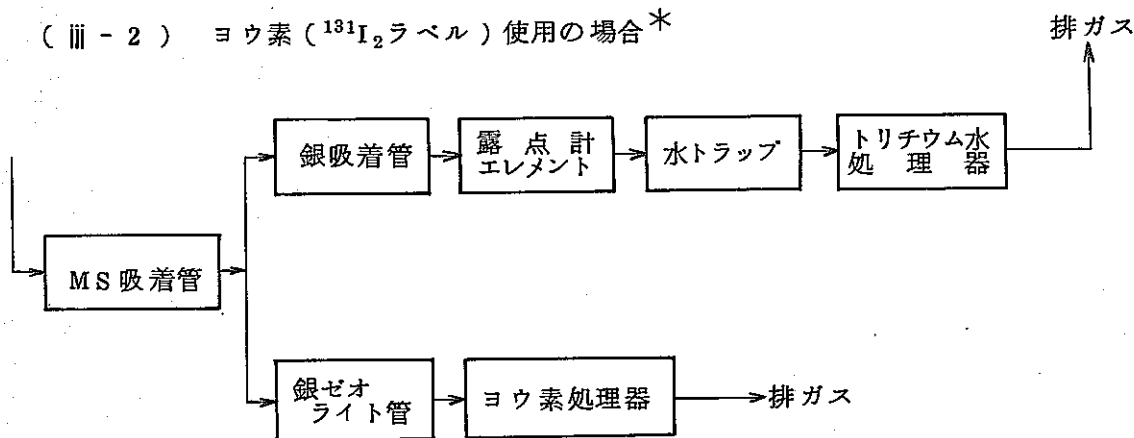
(iii) ヨウ素 (I_2) , トリチウム水混合の場合

(iii - 1) 非放射性ヨウ素 (I_2) 使用の場合



水トラップでトリチウム水濃度変化を追跡する。

(iii-2) ヨウ素 ($^{131}\text{I}_2$ ラベル) 使用の場合*



モレキュラシーブ吸着管の後を2分し、ひとつは銀吸着管でヨウ素 (I_2) を除去後、露点計で水分を水トラップでトリチウム水濃度を測定する。他は銀ゼオライト管を用いヨウ素 ($^{131}\text{I}_2$) の γ 線をウエル型シンチレーションカウンターで測定。

* 一部試料は、銀吸着管を用いず(iii)と同様にして、ヨウ素のみを計測。

(iv) I_2 吸着分布測定

MS-13X を使用する場合 (除く温度変化試料) 吸着管に垂直においた1cm幅の鉛スリットを持つシンチレーションプローブを置き、吸着管を5mm毎上下に移動させることによりヨウ素分布を測定。

3.1.4 I_2 及びトリチウム水混合ガスの調整

所定露点濃度のそれぞれ2倍濃度の露点温度に設定してあるトリチウム水及びヨウ素導入装置から等しい流量で発生するガスを混合し、使用する。

流量はあらかじめバイパスラインでそれぞれをフローコントロールバルブと、ロータ-流量計で調節し、さらに系の最後に設置してある石鹼膜流量計で確認後混合する。全流量はそれぞれの流量の和とほぼ一致する。試験はバイパスラインを用い、30分間プレフローしたあと実施する。バイパスラインから吸着管ラインに変更後も、流量の変動はほとんど認められない。吸着管を出たあと2分する場合は、それぞれの流量を石鹼膜流量計前につけたニードルバルブでほぼ等量に調節する。

3.1.5 ¹³¹I ラベル I₂ の製法

図 III - 3 - 1 に示す I₂ 生成器に非放射性 KI を入れる。これを日本アイソトープ協会から購入した Na ¹³¹I (Na₂CO₃, NaHCO₃, Na₂S₂O₃ 混合溶液 1 meil) を含む水溶液で完全に溶かす。溶解後乾燥アルゴンガスを通し, 温めながら完全に水を蒸発させる。このあと大過剰の K₂Cr₂O₇ を加え, 加熱溶融すると I₂ が発生する。I₂ はアルゴンガスにより, -78℃に冷却したヨウ素導入装置のヨウ素発生部分にトラップする。

3.1.6 充 填 材

充填材として使用せるモレキュラシ-ブは, 次の通りである。

Linde - Union Carbide 4A 及び 13X
(日化精工株式会社)

	形 状	寸 法*	充 填 密 度
4A	粒 状	32 - 48メッシュ	0.79 g/ml
13X	粒 状	32 - 48メッシュ	0.76 g/ml

* 20~40メッシュを粉碎し, 32 - 48メッシュとする。

3.2 脱 着 試 験

3.2.1 目 的

トリチウム水脱着に及ぼすヨウ素の影響, ヨウ素挙動を調べるため脱着曲線を得, 今後の実用工学試験の参考とする。

3.2.2 試験法の概略

吸着材のモレキュラシ-ブ管を電気炉中に設置し, 乾燥窒素を 3cm/sec の空塔速度で吸着方向と逆に流しつつ, 当吸着材を 300℃に加熱制御する。一部試料は加熱前に室温で窒素を流している。

モレキュラシ-ブ管から脱着した水分及びヨウ素は, 途中凝縮しないよう配管は加熱保温し, 水トラップあるいは銀ゼオライト吸収管に導入する。水トラップからは-

定時間毎に注射器で水を採取し、トリチウム濃度時間変化を追跡する。

銀ゼオライト吸収管は、シンチレーションプロ-ブにて γ 線を測定、ヨウ素濃度変化を追跡する。試験前後の試料の γ 線強度比を測定することにより、残存ヨウ素量の推定を行う。

3.3 トリチウム水同位体効果の測定

トリチウム水と軽水の吸脱着に及ぼす同位体効果は、

- (i) 吸着破過曲線の解析
- (ii) 水分飽和モレキュラシ-ブを用いる吸着破過曲線の作成
- (iii) 脱着済モレキュラシ-ブを再使用して、吸着破過曲線の作成
- (iv) 脱着水と使用トリチウム水ガスの比放射能の測定

により、種々の観点から検討している。

脱着水及び使用トリチウム水ガスの比放射能を測定する際、大気中の湿分による影響を小さくするため、試験中大気との接触なきよう、モレキュラシ-ブ13X管は電気炉中で吸着させ、そのまま脱着させた。

トラップ後の水分は、真空装置を用い小型計量管に移し、秤量後多量の水分で薄めて計測試料とした。誤差を小さくするため、吸着試験に用いた4倍量の試料を使用している。

3.4 試験データの整理方法

3.4.1 破過曲線

モレキュラシ-ブ吸着管入口濃度を C_0 、出口濃度を C とし、 C/C_0 を縦軸にとり、時間を横軸にとった濃度曲線である。 C/C_0 が0.01の点を破過点(s)とし、 C/C_0 が0.5の点を中間点($\frac{1}{2}$)、 C/C_0 が0.95の点を終末点(e)とする。

各々の時間を読み、破過時間 t_s 、中間点時間 $t_{\frac{1}{2}}$ 、終末時間 t_e とする。

(1) 水分は露点計の読みとりから、校正値を用いて入口及び出口濃度を得る。

(2) トリチウム水の入口及び出口濃度は、次の方法により得る。

水トラップ中のトリチウム濃度の時間毎の増加分を追跡し、増加分が一定値になる時を終末点としている。即ち、

$$C = k \frac{A_n - A_{n-1}}{\Delta t} \quad (1)$$

但し、 A_n 、 A_{n-1} は、 n 、 $n - 1$ 回目のトラップ中の放射能強度、 Δt は測定の間隔。 k は換算定数。

(1) 式が const. になった時、 $C = C_0$ とする。但し、 C_0 の値は実験誤差により不明確な場合が多いので、あらかじめ使用条件下での水トラップのキャリブレーションにより求め、トリチウム水の比放射能と使用水分濃度等の試験条件から、計算によって確認する。

水トラップからの一定量 (0.5 ml) の採取及び蒸発による補正は、水採取時前後の比較では小さいので行っていない。但し、入口濃度決定の際は、考慮している。

この方法は、破過曲線の終末に近づくにつれ誤差は大きくなる。

(3) ヨウ素の破過曲線も同様に銀ゼオライト吸収管中の放射能強度の増加分から求め増加分が一定になる時を終末点とする。ヨウ素の場合もあらかじめ使用条件下でのキャリブレーションによって C_0 に相当する放射能強度を得ているが、測定の際試料間でかならずしも Geometry が一定となっていないので、参考値として使用している。

ヨウ素の計測においては、銀ゼオライト吸収管にヨウ素の吸着量が増加すると、Geometry の変化が起こり値が若干変化する。但し、問題となる程ではないので補正はしていない。

3.4.2 脱着曲線

縦軸に水トラップあるいは銀ゼオライト吸収管の放射能強度をとり、時間を横軸にとつてある。

3.4.3 見掛けの除染係数

見掛けの除染係数は、ある時間までにモレキュラシーブ吸着管に入った放射エネルギーとその時間までに出口応答により計測された量比として、水トラップ、銀ゼオライトの放射能強度から求めている。

$$\text{見掛けの除染係数 } X = \frac{\int_0^t C_0 dt}{\int_0^t C dt} \quad (2)$$

こゝでの C 及び C_0 は、破過曲線と同様の方法で求める。

水トラップ、銀ゼオライトに捕捉されずに通過する放射能は無視出来るものとして
いる。それぞれ、back up に使用している大型水トラップ、MS-13X 吸着管、銀
ゼオライト管の放射能測定を行い、破過に至るまでバックグラウンド内にあることを確
認しているが、厳密な意味では問題が残るので、“見掛けの除染係数”としている。

表Ⅲ - 3 - 1

吸着試験 試験条件及び結果

その1

試料 番号	試験条件					試験結果						
	MS-4A 重量 g	トリチウム水 濃度(露点)	ヨウ素(I ₂) 濃度(露点)	空塔速度 cm/sec	吸着カラム 温度	水分破過時間			HTO破過時間		ヨウ素 破過時間	備考
						t _s	t _{1/2}	t _e	t _s	t _{1/2}	t _s	
1	1.484	7.0℃	—	3.0	室温	4.5	4.8	5.2	4.6	5.0	—	
2	1.447	1.2℃	—	3.0	室温	6.7	6.9	7.7	6.8	7.4	—	
3	1.358	-14℃	—	3.0	室温	26.0	27.1	29.1	26.3	30.5	—	
4	1.409	—	10℃	3.0	室温	—	—	—	—	—	0.13	
5	1.364	—	3℃	3.0	室温	—	—	—	—	—	0.23	
6	1.339	—	-10℃	3.0	室温	—	—	—	—	—	0.48	
7	1.441	7.6℃	10℃	3.0	室温	4.9	5.2	6.1	5.0	5.5	0.17	

試料 番号	試験条件					試験結果						
	MS-4A 重量 g	トリチウム水 濃度(露点)	ヨウ素(I ₂) 濃度(露点)	空塔速度 cm/sec	吸着カラム 温度	水分破過時間 ts t $\frac{1}{2}$ te			HTO破過時間 ts t $\frac{1}{2}$		ヨウ素 破過時間 ts	備考
8	1.529	7.6℃	3℃	3.0	室温	測定せず			4.2	5.5	測定せず	非放射性 I ₂ 使用
9	1.447	7.6℃	-10℃	3.0	室温	測定せず			4.1	5.0	測定せず	非放射性 I ₂ 使用
10	1.444	-14℃	10℃	3.0	室温	24.8	26.3	28.5	25.6	(30.5)	0.17	
11	1.360	1.5℃	10℃	3.0	室温	6.7	7.4	7.9	6.8	7.7	0.14	
12	1.443	7.0℃	10℃	9.0	室温	1.6	1.8	2.6	1.6	1.9	0.06	
13	1.462	7.8℃	10℃	1.5	室温	8.3	9.0	9.8	8.4	9.3	0.28	
14	1.447	7.6℃	10℃	3.0	10℃	5.6	5.9	6.7	5.6	6.3	0.43	
15	1.414	7.6℃	10℃	3.0	45℃	4.1	4.3	4.7	4.2	4.5	0.11	

表Ⅲ - 3 - 2 吸着試験 試験条件及び結果 その1

試料 番号	試験条件					試験結果						
	MS-13X 重量 g	トリチウム水 濃度(露点)	ヨウ素(I ₂) 濃度(露点)	空塔速度 cm/sec	吸着カラム 温度	水分破過時間			HTO破過時間		ヨウ素 破過時間	備考
						t _s	t _{1/2}	t _e	t _s	t _{1/2}	t _s	
16	1.346	7.0℃	—	3.0	室温	4.8	5.1	5.8	4.9	5.4	—	
17	1.337	1.2℃	—	3.0	室温	7.2	7.6	8.2	7.3	7.7	—	
18	1.248	-14℃	—	3.0	室温	24.0	24.8	26.5	24.2	27.7	—	
19	1.321	—	10℃	3.0	室温	—			—		測定せず	DFの測定 に使用
20	1.136	—	3℃	3.0	室温	—			—		測定せず	DFの測定 に使用
21	1.200	—	-10℃	3.0	室温	—			—		測定せず	DFの測定 に使用
22-A	1.386	7.6℃	10℃	3.0	室温	4.4	4.7	5.7	4.6	5.1	4.3	

試料 番号	試験条件					試験結果						
	MS-13X 重量 g	トリチウム水 濃度(露点)	ヨウ素(I ₂) 濃度(露点)	空塔速度 cm/sec	吸着カラム 温度	水分破過時間 ts t _{1/2} te			HTO破過時間 ts t _{1/2}		ヨウ素 破過時間 ts	備考
22-B	1.342	7.6℃	10℃	3.0	室温	測定せず			測定せず		4.1	
23-A	1.275	7.6℃	3℃	3.0	室温	測定せず			4.7	5.1	測定せず	非放射性 I ₂ 使用
23-B	1.199	7.6℃	3℃	3.0	室温	測定せず			測定せず		4.2	
24-A	1.354	7.6℃	-10℃	3.0	室温	測定せず			4.4	5.4	測定せず	非放射性 I ₂ 使用
24-B	1.303	7.6℃	-10℃	3.0	室温	測定せず			測定せず		5.1	
25	1.398	-14℃	10℃	3.0	室温	26.9	28.1	30.2	27.2	(30.6)	24.0	
26	1.187	1.5℃	10℃	3.0	室温	6.7	7.0	7.9	6.8	7.3	6.5	
27	1.293	7.0℃	10℃	9.0	室温	1.6	1.8	2.1	1.7	2.0	1.5	
28	1.307	7.8℃	10℃	1.5	室温	8.1	8.4	9.7	8.2	8.8	8.1	

試料 番号	試験条件					試験結果						
	MS-13X 重量 g	トリチウム水 濃度(露点)	ヨウ素(I ₂) 濃度(露点)	空塔速度 cm/sec	吸着カラム 温度	水分破過時間			HTO破過時間		ヨウ素 破過時間	備考
					ts	t _{1/2}	te	ts	t _{1/2}	ts		
29	1.319	7.6℃	1.0℃	3.0	10℃	5.7	6.2	7.3	5.8	6.6	5.6	
30	1.373	7.6℃	1.0℃	3.0	45℃	4.2	4.5	5.0	4.3	4.7	4.2	

表 III-3-3

(1)
水分蒸気圧表

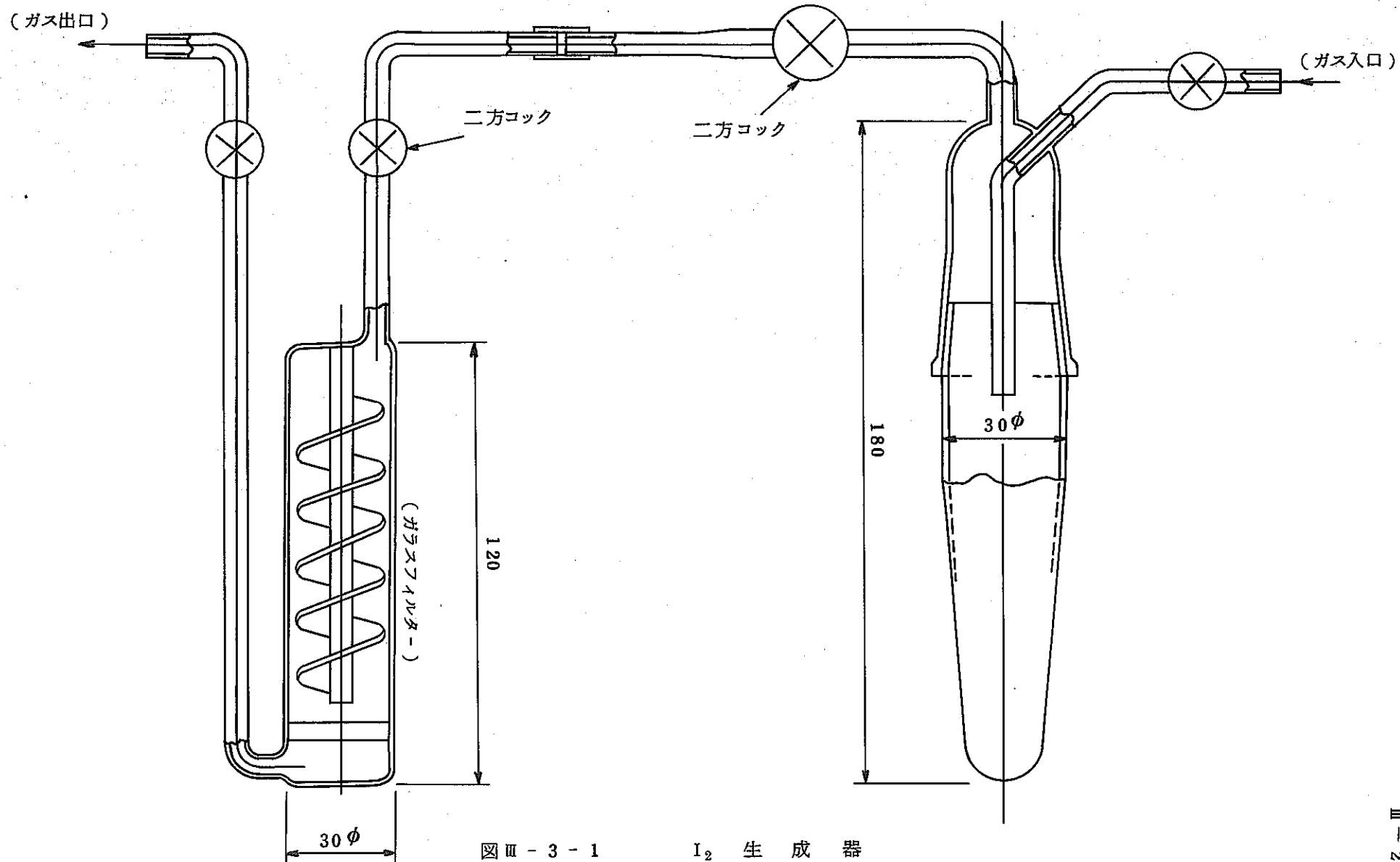
露点温度(℃)	蒸気圧(mmHg)	VPM
-14	1.560	2053
1.2	4.998	6576
1.5	5.107	6720
7.0	7.513	9886
7.6	7.828	10300
7.8	7.936	10440

表 III-3-4

(2)
ヨウ素蒸気圧表

露点温度(℃)	蒸気圧(mmHg)	VPM
-10	0.0108	14.2
3	0.0418	55.0
10	0.0818	107.6

$$\log P_{atm} = -\frac{3512.8}{T} - 2.013 \log T + 13.3740 \text{ により求める。}$$



図Ⅲ-3-1

I₂ 生成器

第4章 試験結果

4.1 吸着試験

吸着試験の試験条件と試験結果を表Ⅲ-3-1および表Ⅲ-3-2に示す。これらの表にMS-4A及びMS-13Xの軽水、トリチウム水、ヨウ素(I_2)の破過時間がまとめられている。個々の破過曲線及び各パラメーター毎に整理した値を図Ⅲ-4-1~図Ⅲ-4-36に示す。

4.1.1 トリチウム水 吸着試験

図Ⅲ-4-1~図Ⅲ-4-6にMS-4A及びMS-13Xの水分濃度を变化させた場合の破過曲線を示す。

軽水とトリチウム水を比較すると、トリチウム水がごくわずかに遅れて破過するが始点はほぼ一致する。しかし、平衡に達する時間はトリチウム水がはるかに遅れ破過曲線はなだらかになる。

破過曲線は低濃度では傾斜が小となる。破過時間と濃度の関係は、図Ⅲ-4-33に示す如く軽水、トリチウム水とも、 $t_s \cdot C_0 = \text{const}$ となる。

MS-4A及びMS-13Xでは破過時間はMS-4Aの方が早く、一般に知られているように平衡吸着量がMS-13Xが大きいことと一致する。その他は両者とも挙動に大差ない。

トリチウム水トラップはいずれの場合も破過直前までバックグラウンドとほぼ等しいかごくわずかの上昇を見るだけで見掛けの除染係数は 10^4 に達する。

4.1.2 ヨウ素(I_2)吸着試験

図Ⅲ-4-7にモレキュラシープ4Aの濃度を变えた破過曲線を示す。MS-4Aのヨウ素保持能力は極めて小さい。破過時間 $t_s \cdot C_0 = \text{const}$ となり、破過時間は相対的に低濃度ほど早くなる。

MS-13Xは破過試験を実施せず水分共存の場合の比較データとして、水分破過に相当する時間までの見掛けの除染係数を測定している。見掛けの除染係数は非常に



高くいづれの濃度でも測定中バックグラウンド誤差内の変動しかなく露点10℃濃度の場合 10^4 以上となる。参考として、モレキュラシーブに吸着したヨウ素の時間変化をコリメーターで測定した値を図III-4-47に示す。ヨウ素の濃度比が若干参考値と異っているが試験の誤差範囲といえる。

4.1.3 トリチウム水・ヨウ素(I_2)混合吸着試験

図III-4-8～図III-4-25にトリチウム水及びヨウ素(I_2)混合吸着の各種条件による破過曲線が示してある。

1) 水分(トリチウム水)破過に及ぼすヨウ素(I_2)の影響

水分(トリチウム水)の破過時間に及ぼすヨウ素(I_2)の影響はトリチウム水濃度毎々一定条件下でヨウ素(I_2)濃度を変えることにより検討したが図III-4-34に示す如く I_2 の影響は認められない。

ヨウ素濃度一定条件下で水分濃度を変化させることにより I_2/H_2O 比を大幅に変化させた試験においても水分破過時間は図III-4-34に示す如く I_2 不在の場合と比較して顕著な差はない。

2) ヨウ素の挙動

MS-4AとMS-13Xでは異つた挙動を示す。MS-4Aでは水分の有無に拘らずきわめて短時間にヨウ素は破過する。破過時間は水分量によつて殆んど変らない。

MS-13Xでは水分存在下でヨウ素(I_2)の吸着能力は低下する。ヨウ素は水分破過直前に破過する。ヨウ素の破過時間は基本的には水分破過時間で決まる。しかし低水分濃度ではヨウ素の破過時間が水分破過時間にかなり先立つことが認められる。一方高水分濃度でのヨウ素濃度変化では破過時間に顕著な差が見られていない。

MS-13X内のヨウ素挙動は、吸着管の上端1cmに固定したコリメーターによるヨウ素濃度の時間変化の測定とコリメーターを上下に移動することによつて得るヨウ素濃度分布の測定により追跡された。図III-4-26～図III-4-30に示す



如く水の吸着先端に濃度のピークを生じヨウ素の一部が水によつて追い出し効果を受けていることが判る。吸着先端に集るヨウ素濃度比は I_2 / H_2O 比が大きくなる程、増大するが吸着先端以外にも水分と共存してかなりのヨウ素が存在している。この吸着管内のヨウ素分布は当然吸着管出口の応答に反映し、ヨウ素の破過曲線は極大値を示す。破過曲線の詳細例を図 III - 4 - 31 ~ 図 III - 4 - 32 に示す。

3) 温度依存性

ヨウ素 (I_2) 共存下における水分 (トリチウム水) の破過時間に及ぼす温度の影響を図 III - 4 - 35 に示す。

これは一般に知られているモレキュラーシーブの平衡吸着量の差によるものであり低温程破過時間は長くなる。MS - 4A と MS - 13X で特別な差は認められない。トリチウム水に対しても水分と変りない。

ヨウ素 (I_2) の破過時間が MS - 4A において低温程長くなり、水分に対する影響より大きい吸着容量は MS - 13X に比較して依然として小さい。

MS - 13X では、水分破過時間が長くなつただけヨウ素保持量が増加する。

(4) 吸着に及ぼすガス流速の影響

水分 (トリチウム水) の破過時間に及ぼすガス流速の影響を図 III - 4 - 36 に示す。破過曲線は流速 (V) を早めると傾斜が若干急となる。

破過時間と流速の関係は、 $t_s \cdot v = \text{const}$ となる。

ヨウ素 (I_2) の破過時間は MS - 4A では、水分同様、 $t_s \cdot v = \text{const}$ となり、MS - 13X の場合は、他の場合同様に水分破過時間に依存する。

4.2 脱着試験

4.2.1 水分 (トリチウム水) のみの系

トリチウム水の脱着曲線を MS - 4A 及び MS - 13X について、図 III - 4 - 37 ~ 図 III - 4 - 38 に示す。

300℃の脱着温度においては、HTO はすみやかに脱着する。MS - 4A 及び



MS-13X に大きな差は認められない。

4.2.2 ヨウ素のみの系

図 III-4-39 ~ 図 III-4-40 に MS-4A 及び MS-13X におけるヨウ素脱着曲線を示す。MS-4A の場合は直ちに、モレキュラシーブ管温度を上昇させているが MS-13X の場合は、14 分間室温で窒素を流している。温度を上昇させてからの脱着曲線は、モレキュラシーブのヨウ素吸着量によつて脱着時間が変わるが、脱着曲線は本質的に図に示されているものと変りない。脱着後にも、ヨウ素が存在することが、脱着前後の Activity 比から判る。この残存ヨウ素量は、吸脱着操作時の水分混入量によつて変る。

4.2.3 ヨウ素及び水分（トリチウム水）共存系

ヨウ素及び水分（トリチウム水）共存系では、非放射性ヨウ素を用いたトリチウム水の脱着特性の測定と、 ^{131}I を用いたヨウ素脱着特性を測定している。

1) トリチウム水脱着に及ぼすヨウ素の影響

図 III-4-37 と図 III-4-41 及び図 III-4-38 ~ 図 III-4-42 を比較すれば明らかなようにトリチウム水の場合と比較して大差ない。ヨウ素の影響は、トリチウム水の脱着に大きな影響を与えないことが判る。

2) ヨウ素脱着特性

MS-4A と MS-13X で若干差が出る。

MS-4A 系では図 III-4-43 に示す如く非常に短時間に、ヨウ素の放出が認められ、しかも水分の影響は殆んどない。ヨウ素脱着は水分脱着に先立っている。

MS-13X の場合は水分存在の場合と比べて大きな違いは、室温で N_2 を流しても大量のヨウ素が脱着されることである。このため脱着曲線にも MS-4A と異り肩を生じる。

水分存在下では MS-4A と同様にヨウ素の脱着は促進される。MS-13X の場合脱着条件を変えた結果を図 III-4-44 ~ 図 III-4-46 に示す。

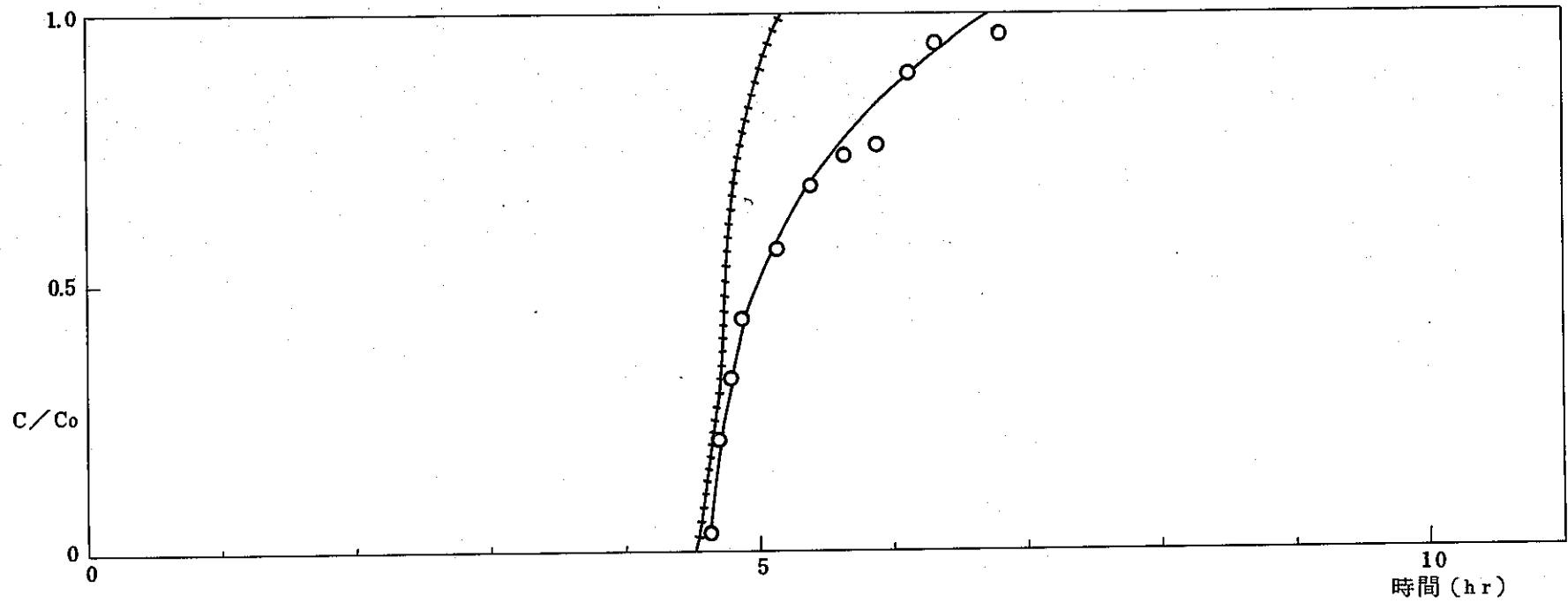


4.3 トリチウム水 比放射能変化の測定

供給トリチウム水蒸気及び脱着トリチウム水の比放射能値をMS-13Xについて求めた結果を次に記す。

供給トリチウム水蒸気 A	MS-13X 脱着水 B	同位体比 B/A
24.2 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$	25.6 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$	1.06 \pm 0.02

脱着水中のトリチウム水は、供給トリチウム水に比較し約6%濃縮されている。



記号

—○— トリチウム水 (HTO)

+++++ 軽水 (H_2O)

試験条件

トリチウム水濃度 7.0 °C (露点)

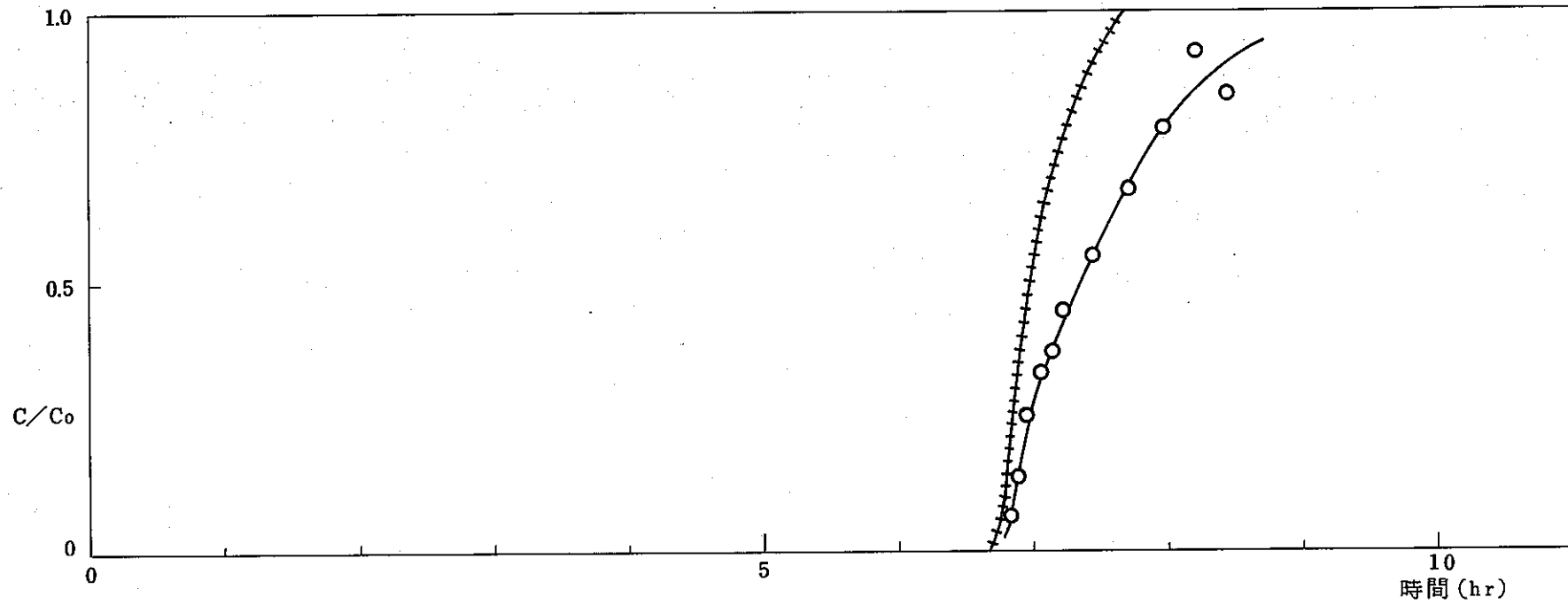
空塔速度 3 cm/sec

吸着温度 室温 (28 °C)

図 III - 4 - 1

MS4A- H_2O (HTO) 系

試料番号 1

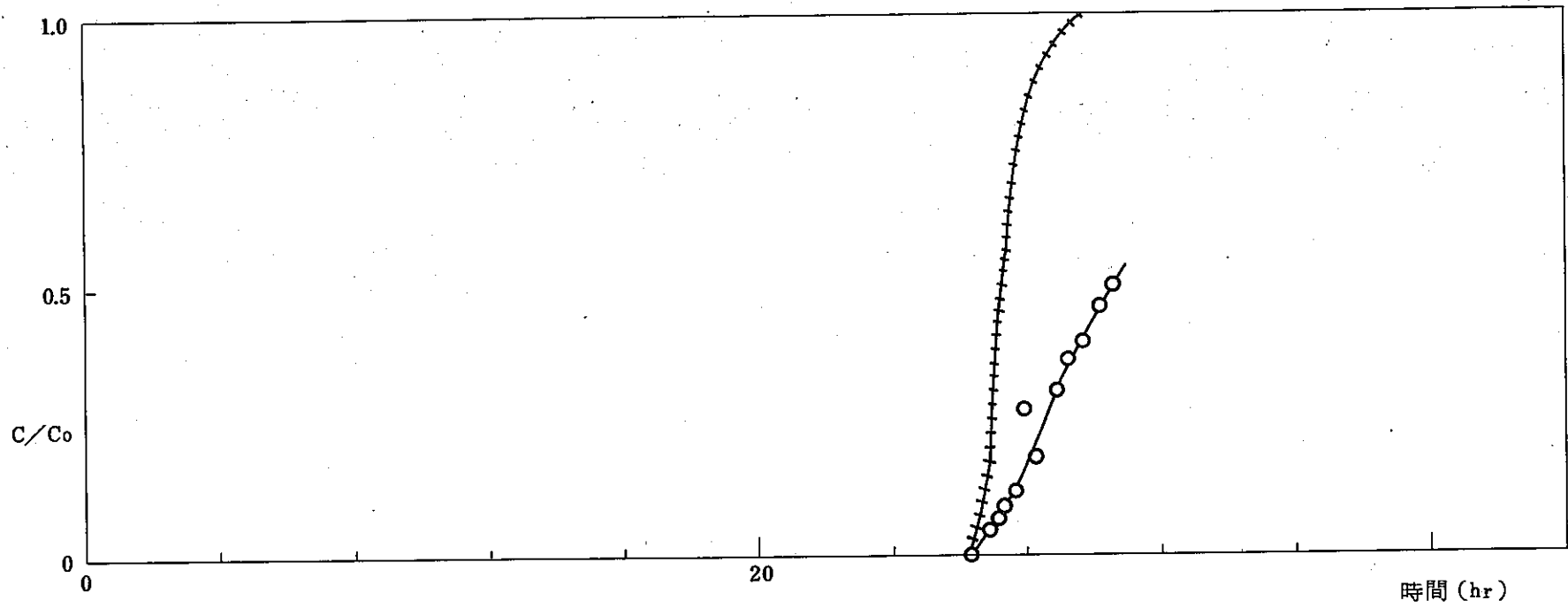


記号		試験条件
—○—	トリチウム水 (HTO)	トリチウム水濃度 1.2℃ (露点)
+++++	軽水 (H ₂ O)	空塔速度 3 cm/sec
		吸着温度 室温 (28℃)

図 III - 4 - 2

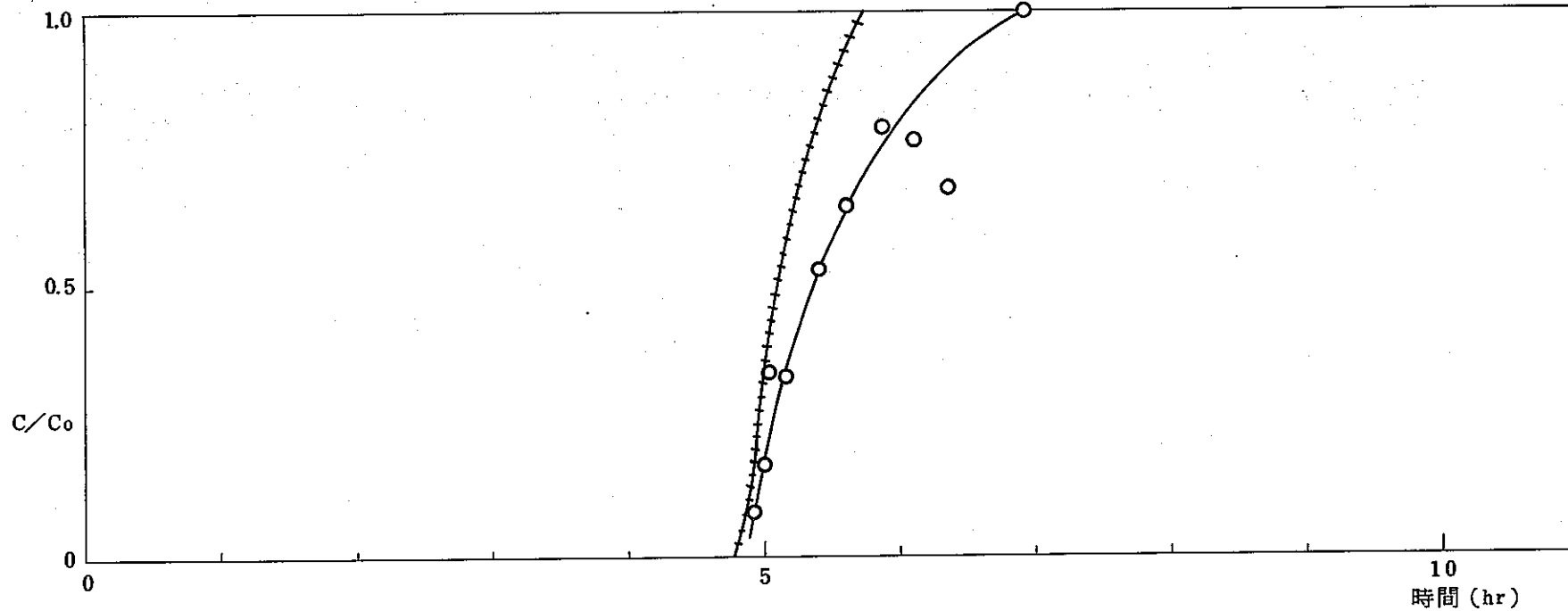
MS4A-H₂O (HTO) 系

試料番号 2



記号		試験条件	
—○—	トリチウム水 (HTO)	トリチウム水濃度	-14℃ (露点)
+ + + + +	軽水 (H ₂ O)	空塔速度	3 cm / sec
		吸着温度	室温 (28℃)

図Ⅲ-4-3 MS4A-H₂O (HTO)系 試料番号 3



記号

—○—

トリチウム水 (HTO)

+++++

軽水 (H₂O)

試験条件

トリチウム水濃度 7.0℃ (露点)

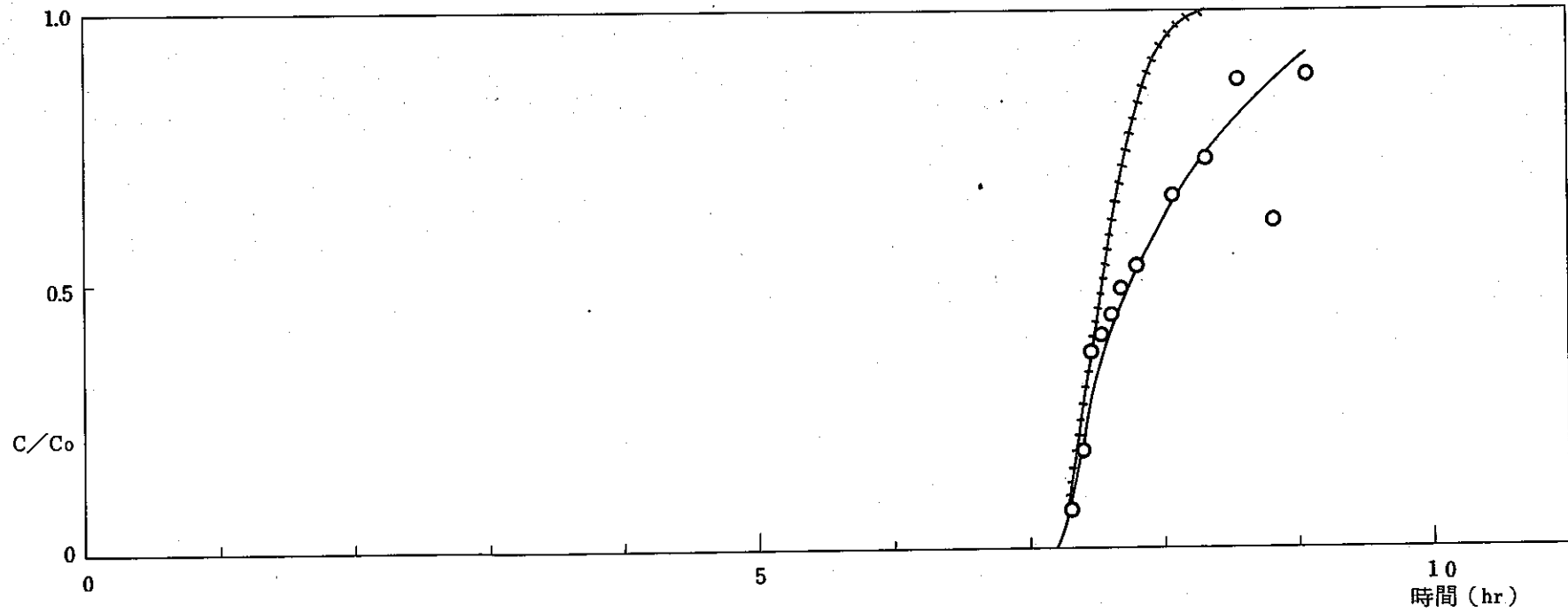
空塔速度 3cm/sec

吸着温度 室温 (28℃)

図 III - 4 - 4

MS13X-H₂O (HTO) 系

試料番号 16



記号

—○— トリチウム水 (HTO)

+ + + + + 軽水 (H₂O)

試験条件

トリチウム水濃度 1.2℃ (露点)

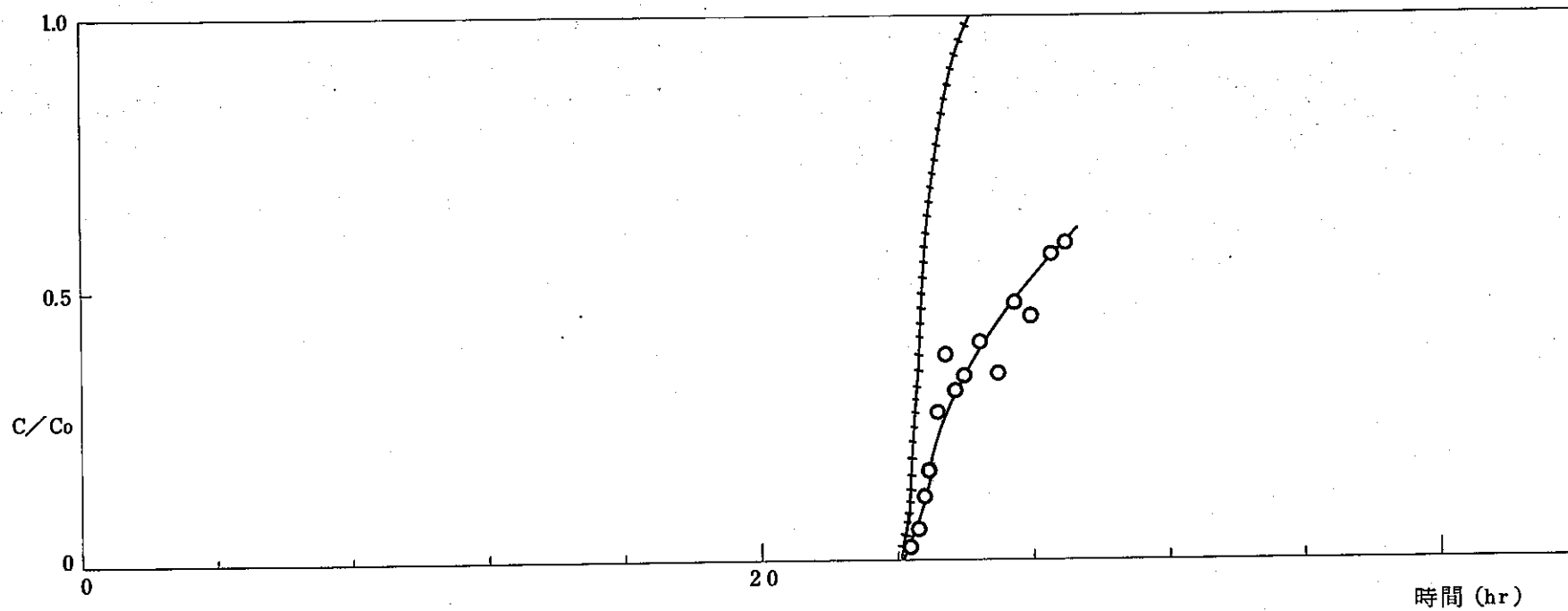
空塔速度 3 cm/sec

吸着温度 室温 (28℃)

図 III - 4 - 5

MS13X-H₂O (HTO) 系

試料番号 17



記号

—○— トリチウム水 (HTO)

+++++ 軽水 (H₂O)

試験条件

トリチウム水濃度 -14℃ (露点)

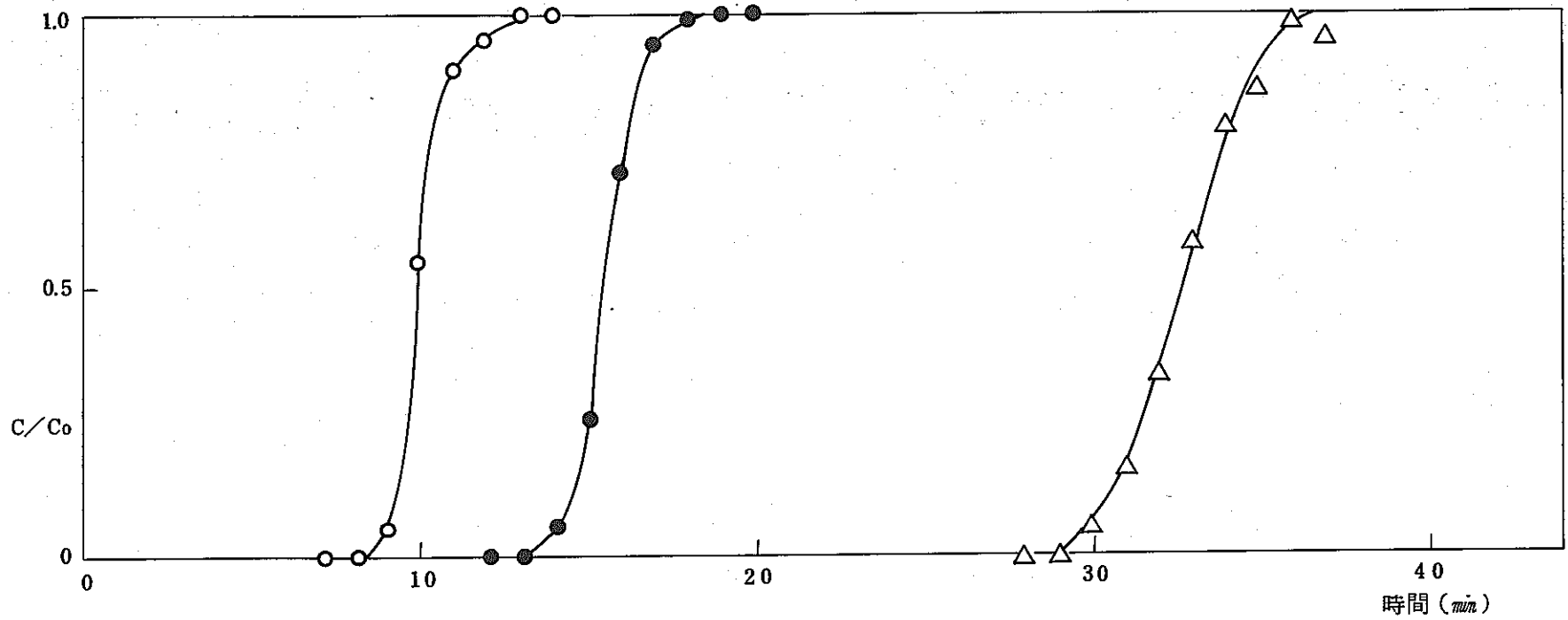
空塔速度 3cm/sec

吸着温度 室温 (28℃)

図Ⅲ-4-6

MS13X-H₂O (HTO) 系

試料番号 18



記号	ヨウ素 (I ₂)	濃度	10℃ (露点)
—○—	"	"	3℃ (")
—●—	"	"	-10℃ (")
—△—	"	"	"

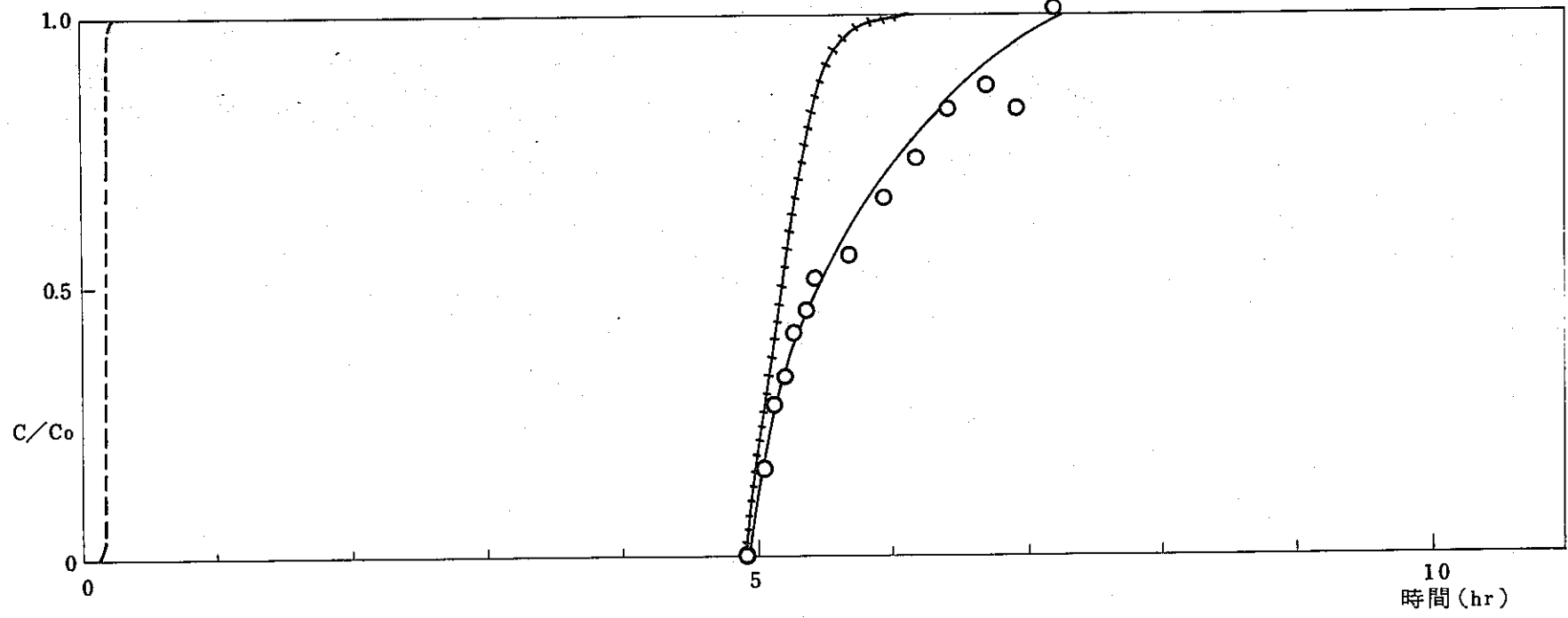
試験条件

空塔速度	3 cm/sec
吸着温度	室温 (28℃)

図Ⅲ-4-7

MS4A-I₂系

試料番号 4, 5, 6



記号

—○—

+++++

トリチウム水 (HTO)

軽 水 (H₂O)

ヨ ウ 素 (I₂)

試験条件

トリチウム水濃度 7.6℃ (露点)

ヨ ウ 素 " 10℃ (")

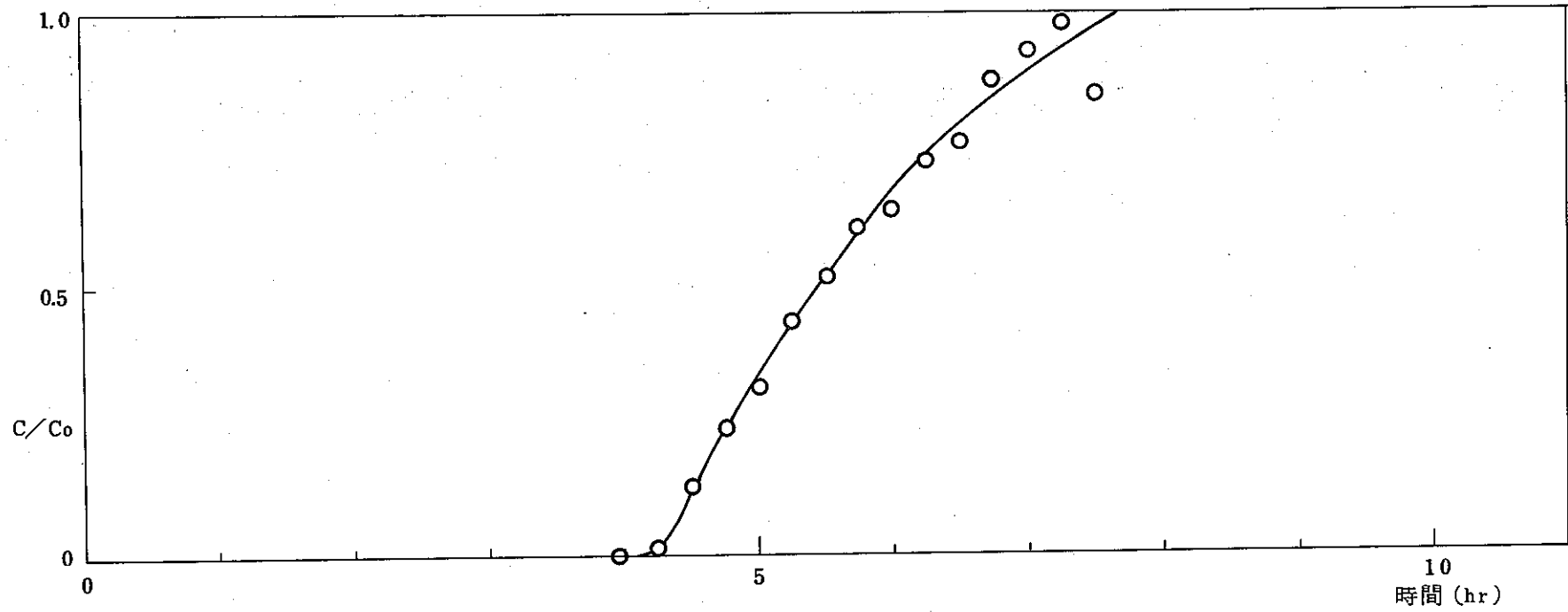
空 塔 速 度 3cm/sec

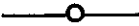
吸 着 温 度 室温 (28℃)

図 III - 4 - 8

MS4A - (H₂O (HTO) + I₂) 系

試料番号 7



記号


トリチウム水 (HTO)

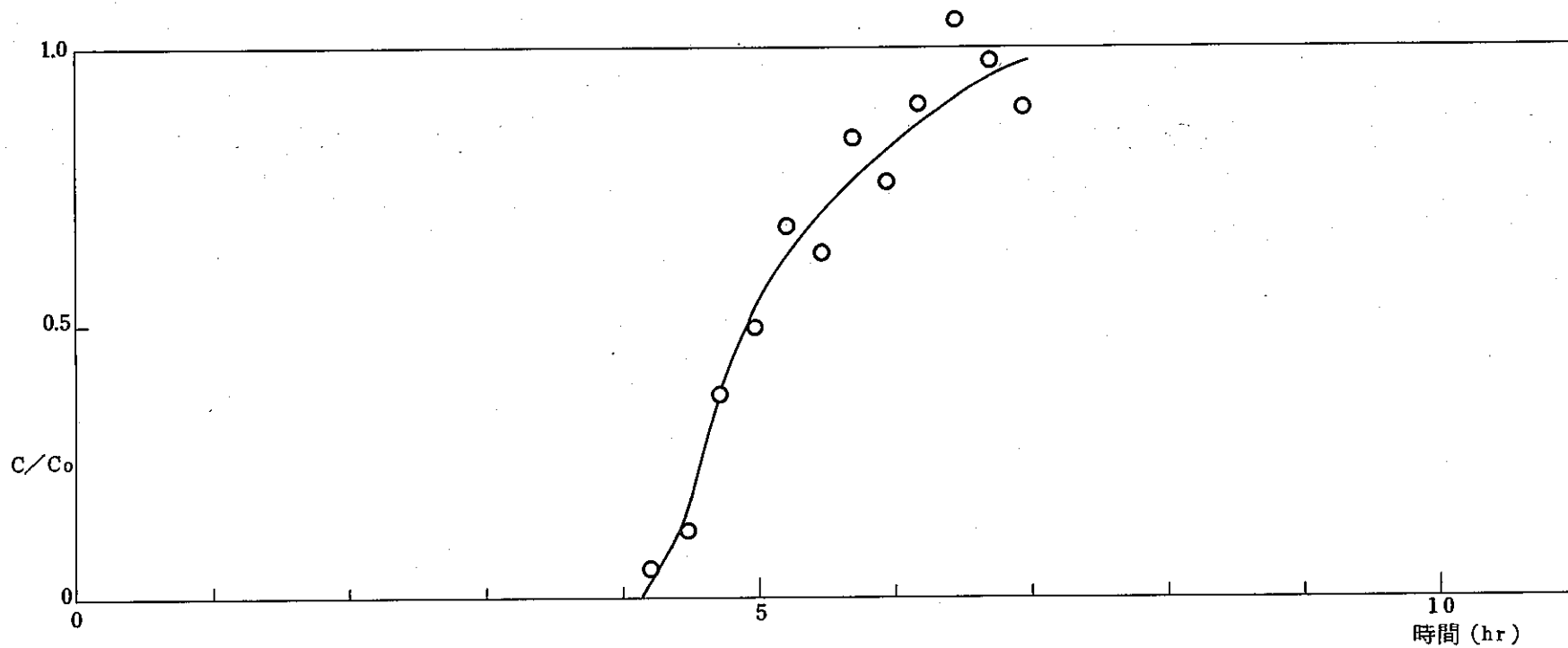
試験条件

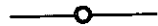
トリチウム水濃度 7.6 °C (露点)
ヨウ素 " 3 °C (")
空塔速度 3 cm/sec
吸着温度 室温 (28 °C)

図 III - 4 - 9

MS4A - [H₂O (HTO) + I₂] 系

試料番号 8



記号


トリチウム水 (HTO)

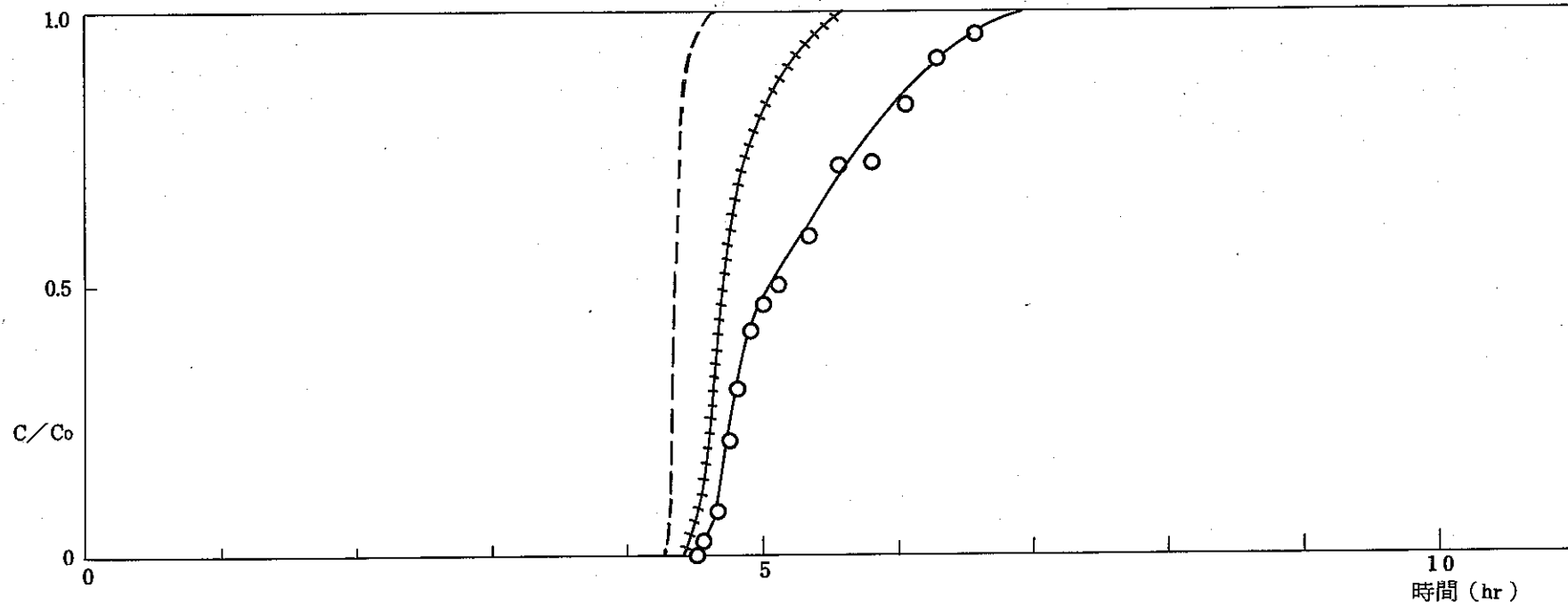
試験条件

トリチウム水濃度	7.6 °C (露点)
ヨウ素 "	-10 °C (")
空塔速度	3 cm/sec
吸着温度	室温 (28 °C)

☒ III - 4 - 10

MS4A - (H₂O (HTO) + I₂) 系

試料番号 9



記号

—○— トリチウム水 (HTO)

+++++ 軽水 (H₂O)

----- ヨウ素 (I₂)

試験条件

トリチウム水濃度 7.6℃ (露点)

ヨウ素 " 10℃ (")

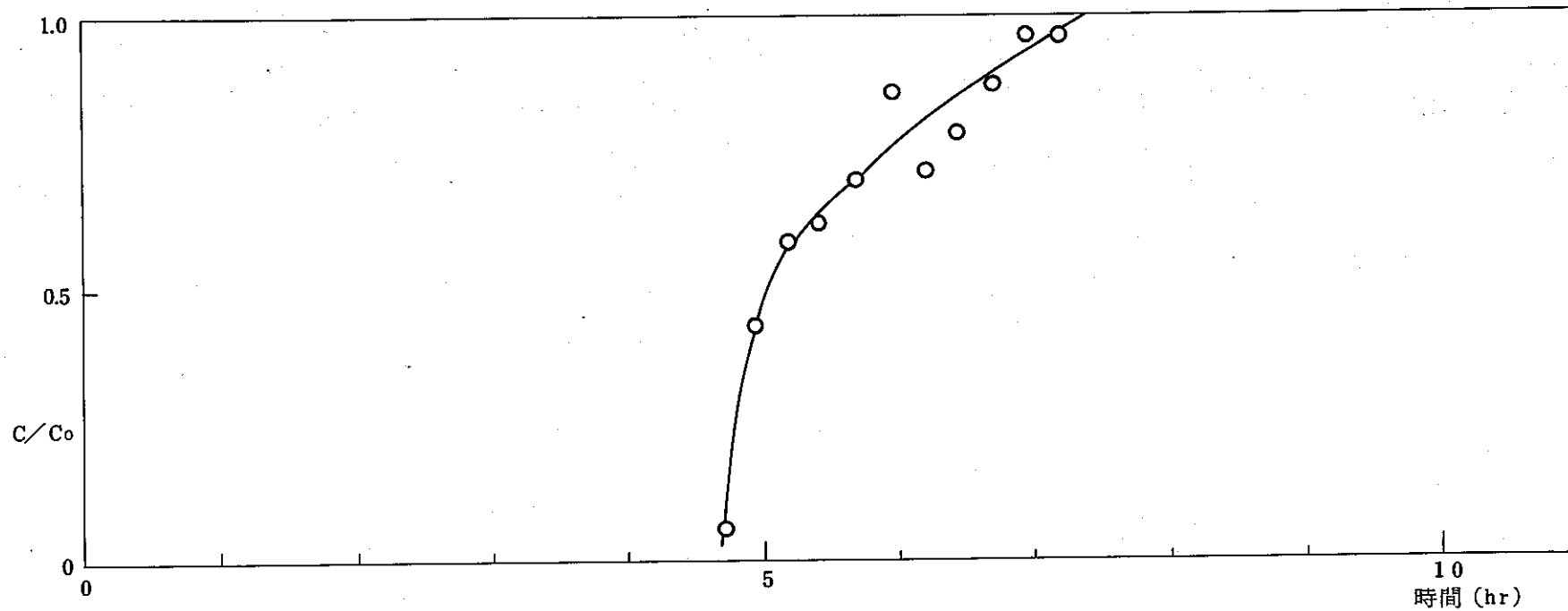
空塔速度 3 cm/sec

吸着温度 室温 (28℃)

図 III - 4 - 11

MS13X - [H₂O (HTO) + I₂]

試料番号 22 - A



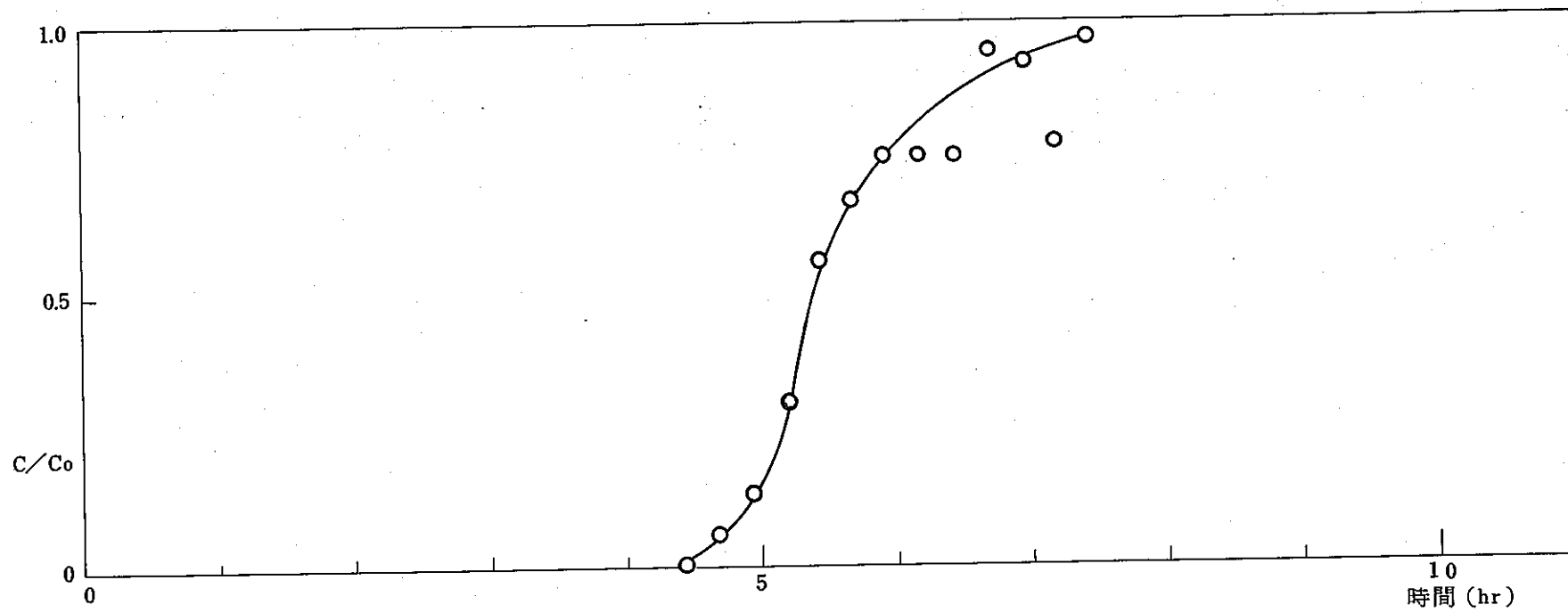
記号
 —○— トリチウム水 (HTO)

試験条件
 トリチウム水濃度 7.6℃ (露点)
 ヨウ素 " 3℃ (")
 空塔速度 3 cm/sec
 吸着温度 室温 (28℃)

図 III - 4 - 12

MS 13 X - [H₂O (HTO) + I₂] 系

試料番号 23 - A



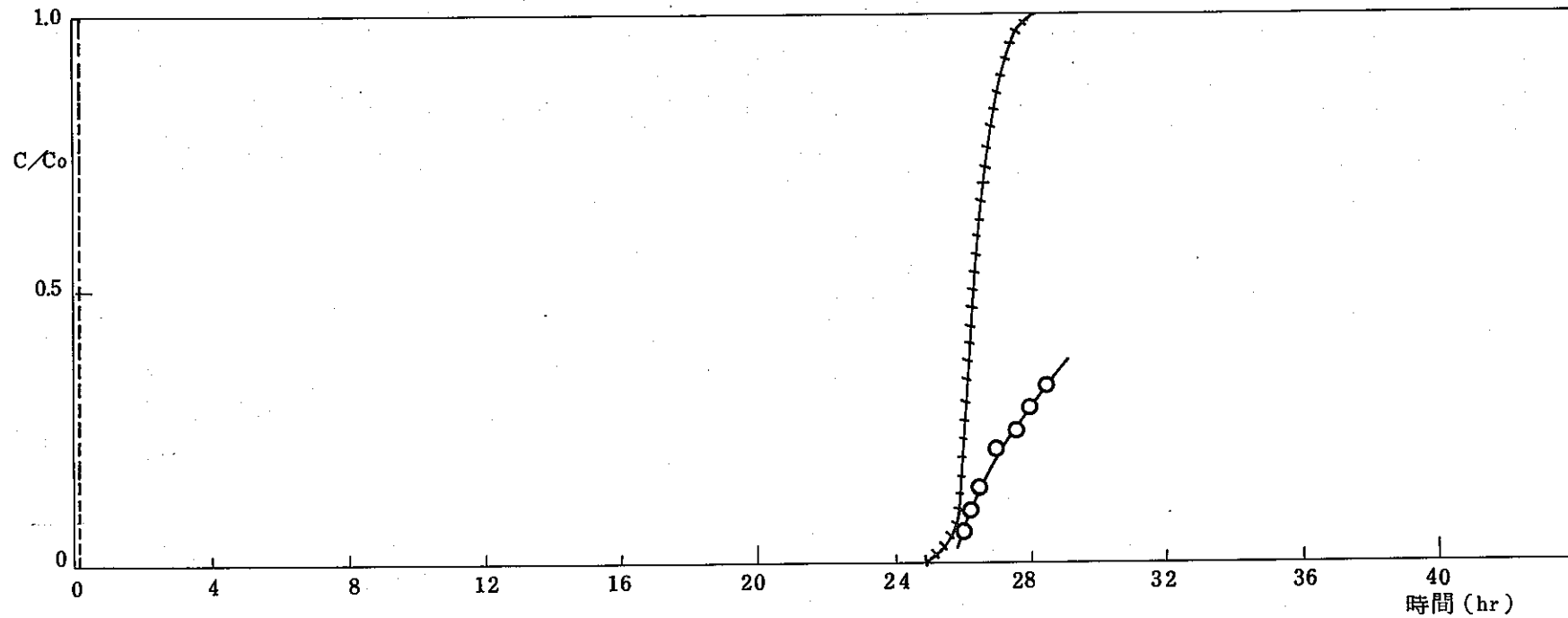
記号
 ○ トリチウム水 (HTO)

試験条件
 トリチウム水濃度 7.6 °C (露点)
 ヨウ素 " -10°C (")
 空塔速度 3 cm/sec
 吸着温度 室温 (28 °C)

図 III - 4 - 13

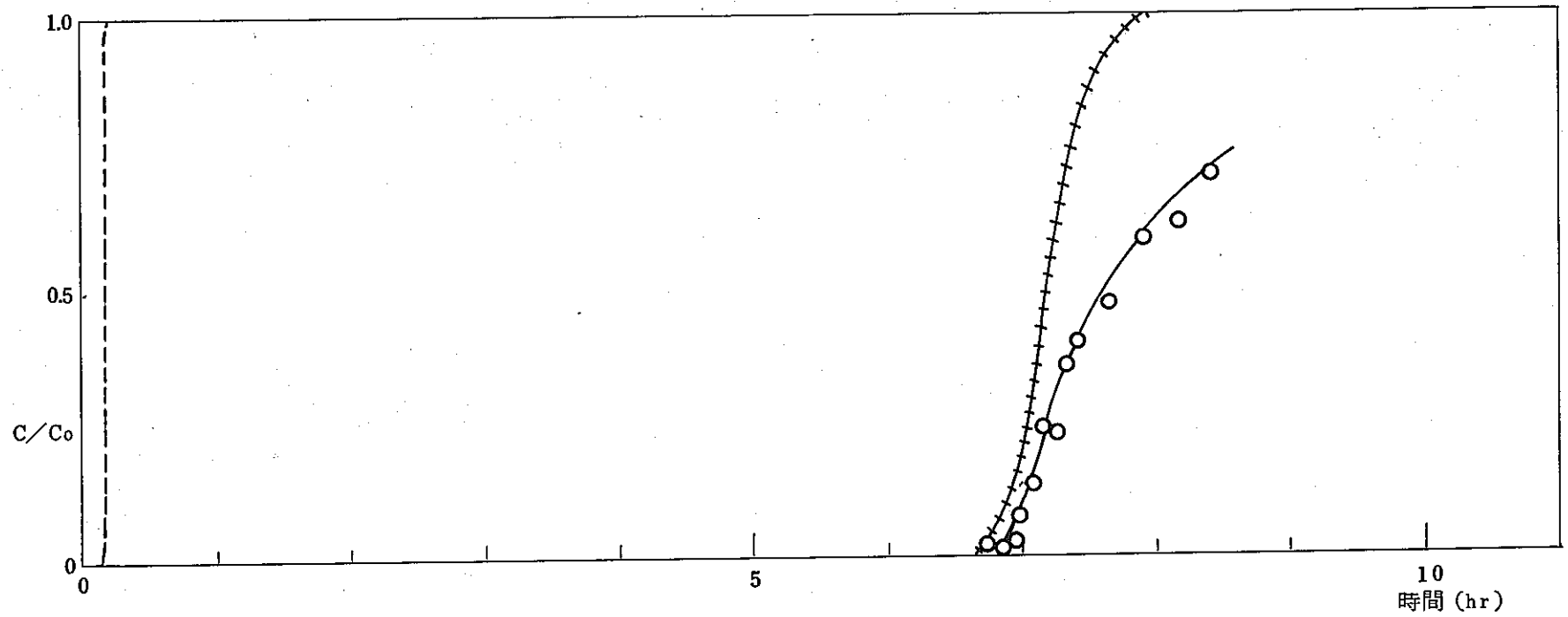
MS13X - [H₂O (HTO) + I₂] 系

試料番号 24 - A



記号		試験条件	
—○—	トリチウム水 (HTO)	トリチウム水濃度	-14℃ (露点)
+++++	軽水 (H₂O)	ヨウ素 "	10℃ (")
-----	ヨウ素 (I₂)	空塔速度	3 cm/sec
		吸着温度	室温 (28℃)

図Ⅲ-4-14 MS4A-(H₂O (HTO) + I₂)系 試料番号 10



記号

—○—

+++++

トリチウム水 (HTO)

軽水 (H₂O)

ヨウ素 (I₂)

試験条件

トリチウム水濃度 1.5℃ (露点)

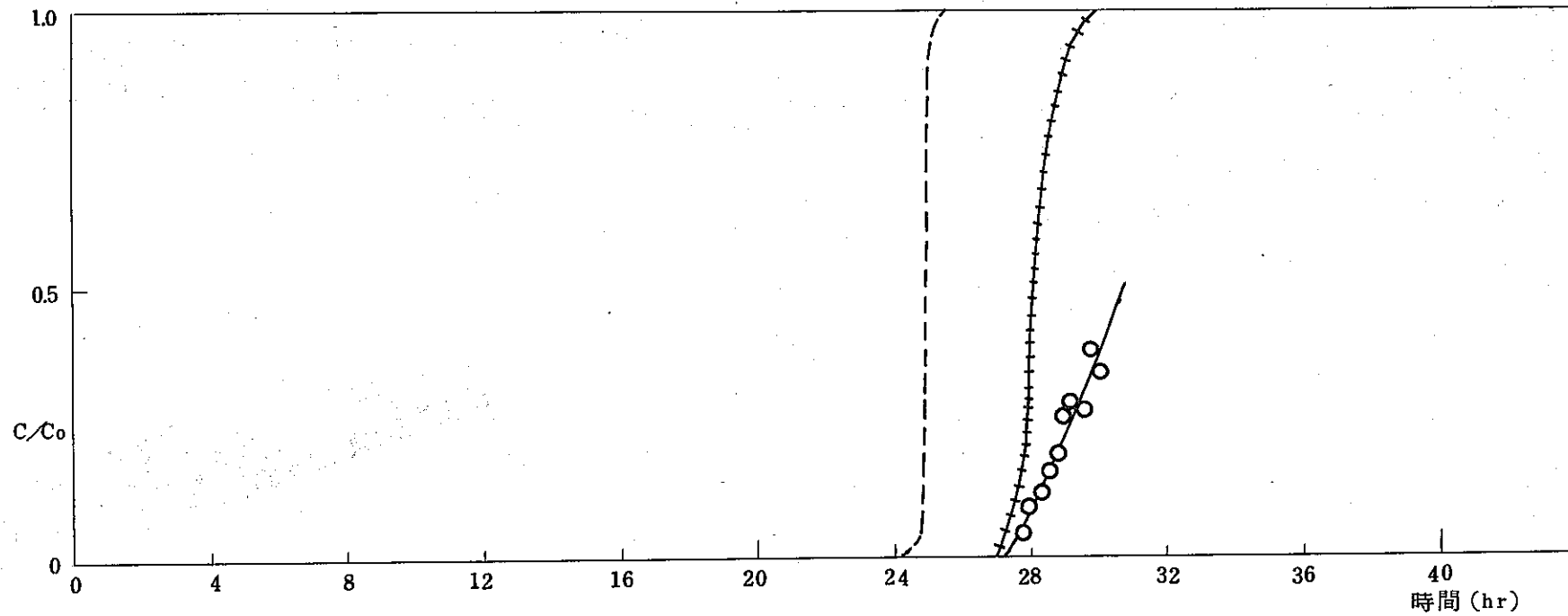
ヨウ素 " 10℃ (")

空塔速度 3 cm/sec

吸着温度 室温 (28℃)

図Ⅲ - 4 - 15

MS4A - [H₂O (HTO) + I₂] 系 試料番号 11



記号

—○—

+++++

トリチウム水 (HTO)

軽水 (H₂O)

ヨウ素 (I₂)

試験条件

トリチウム水濃度 -14℃(露点)

ヨウ素 " 10℃(")

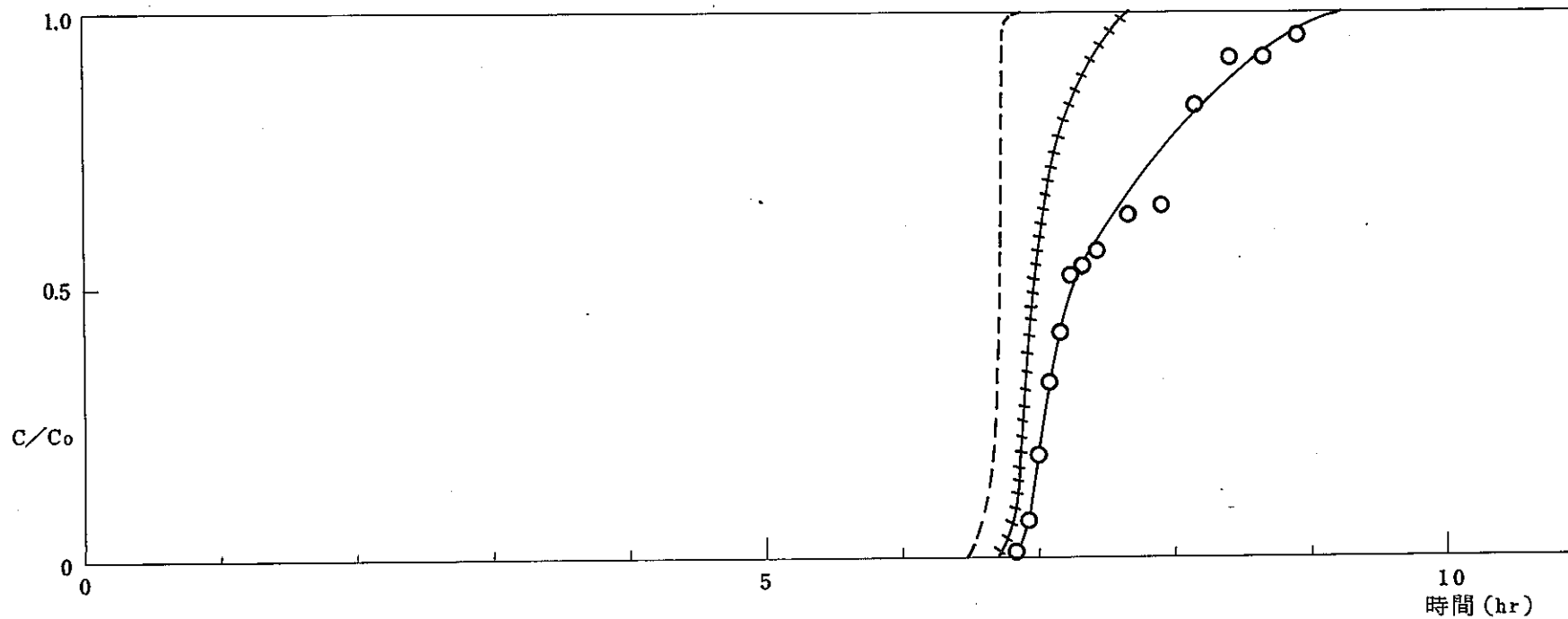
空塔速度 3 cm/sec

吸着速度 室温(28℃)

図 III - 4 - 16

MS13X - [H₂O (HTO) + I₂] 系

試料番号 25

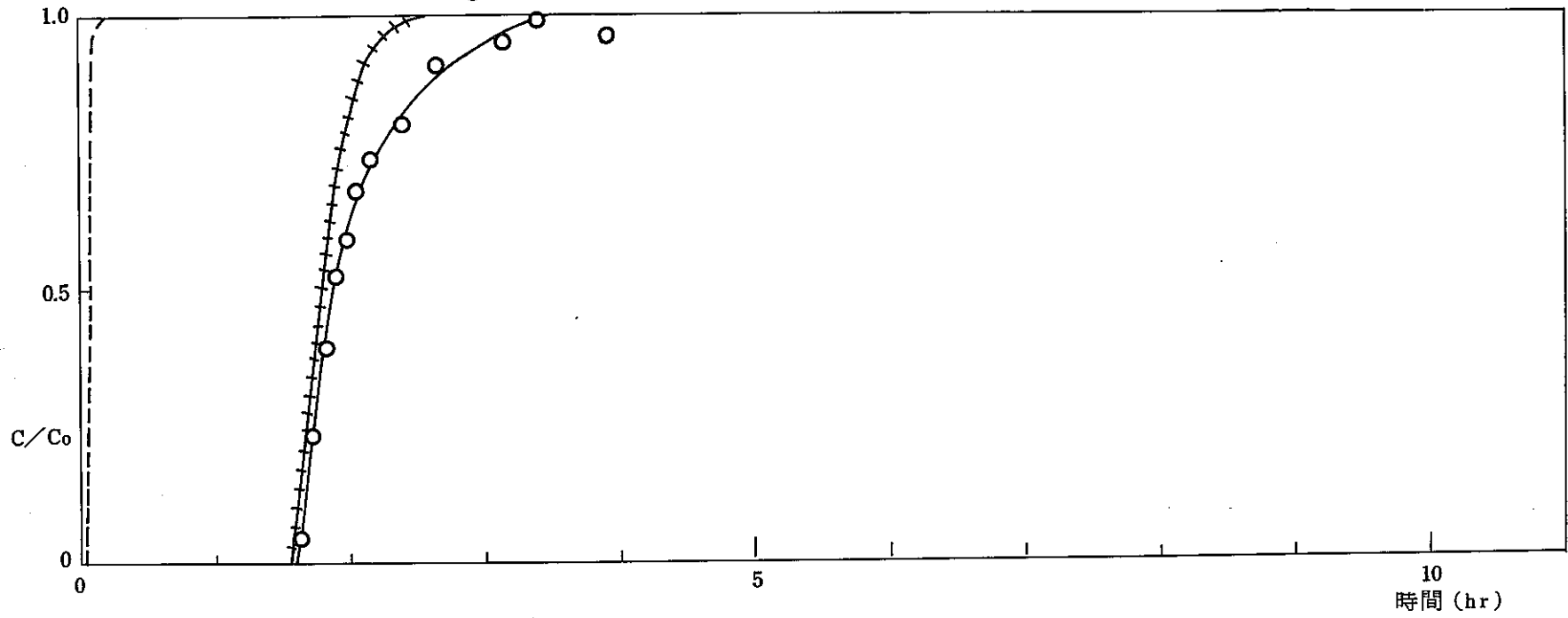


記号	試験条件	
—○—	トリチウム水 (HTO)	トリチウム水濃度 1.5℃ (露点)
+++++	軽水 (H ₂ O)	ヨウ素 " 1.0℃ (")
-----	ヨウ素 (I ₂)	空塔速度 3cm/sec
		吸着温度 室温 (28℃)

図 III - 4 - 17

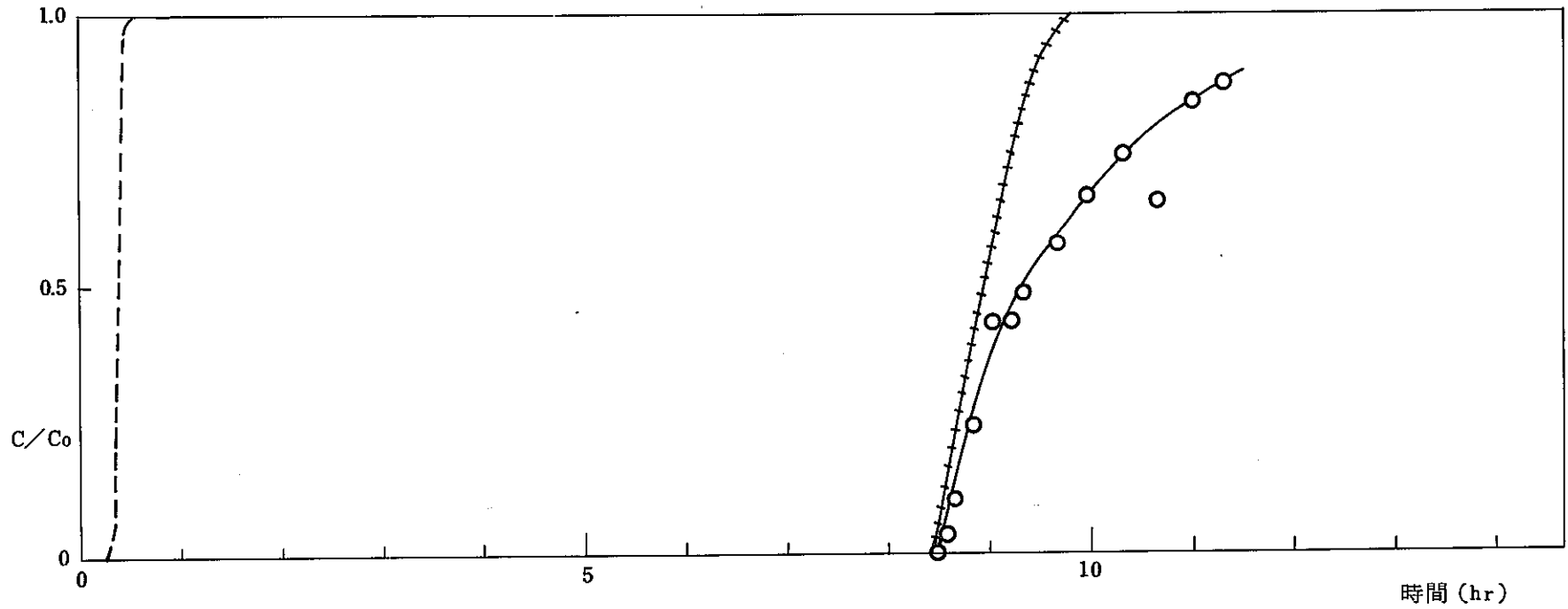
MS13X - [H₂O (HTO) + I₂] 系

試料番号 26



記号		試験条件	
—○—	トリチウム水 (HTO)	トリチウム水濃度	7.0℃ (露点)
+++++	軽水 (H ₂ O)	ヨウ素 "	10℃ (")
-----	ヨウ素 (I ₂)	空塔速度	9 cm/sec
		吸着温度	室温 (28℃)

図 III-4-18 MS4A-(H₂O (HTO) + I₂)系 試料番号 12



記号

—○— トリチウム水 (HTO)

+++++ 軽水 (H₂O)

----- ヨウ素 (I₂)

試験条件

トリチウム水濃度 7.8℃ (露点)

ヨウ素 " 10℃ (")

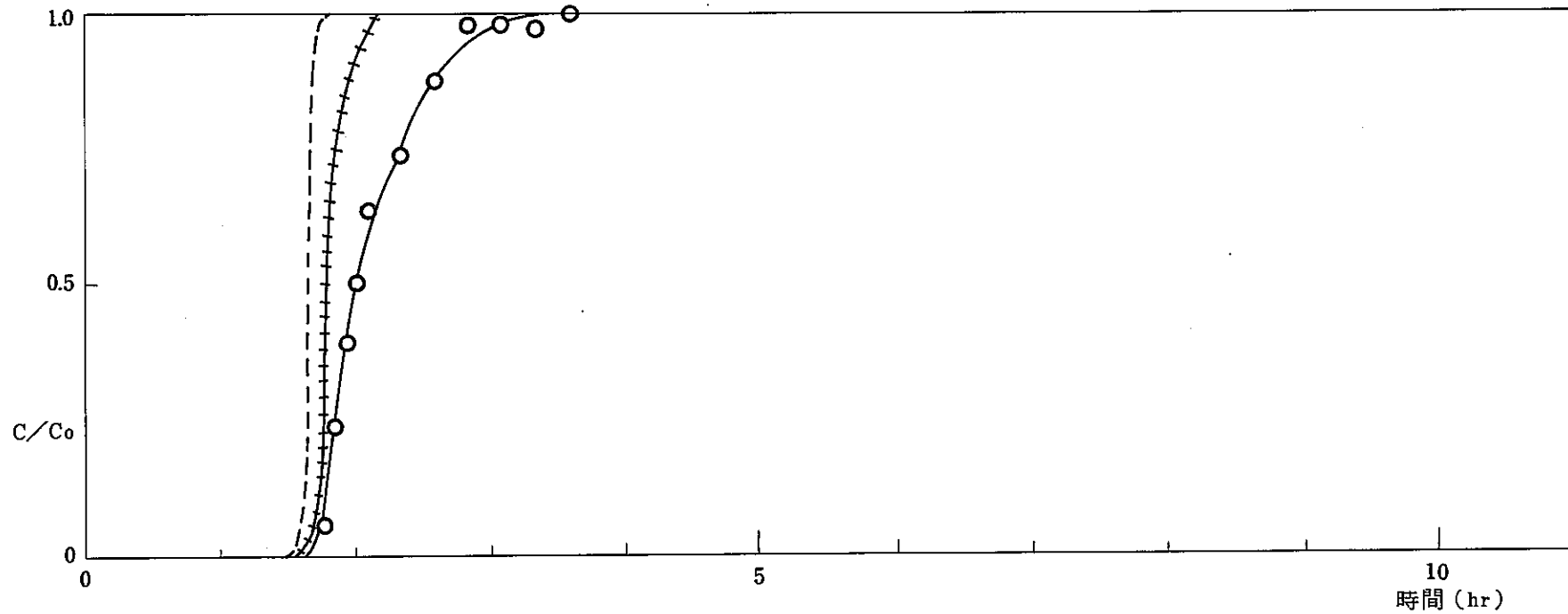
空塔速度 1.5 cm/sec

吸着温度 室温 (28℃)

図Ⅲ-4-19

MS4A-(H₂O (HTO) + I₂)系

試料番号 13



記号

—○— トリチウム水 (HTO)

+++++ 軽水 (H₂O)

----- ヨウ素 (I₂)

試験条件

トリチウム水濃度 7.0℃ (露点)

ヨウ素 " 1.0℃ (")

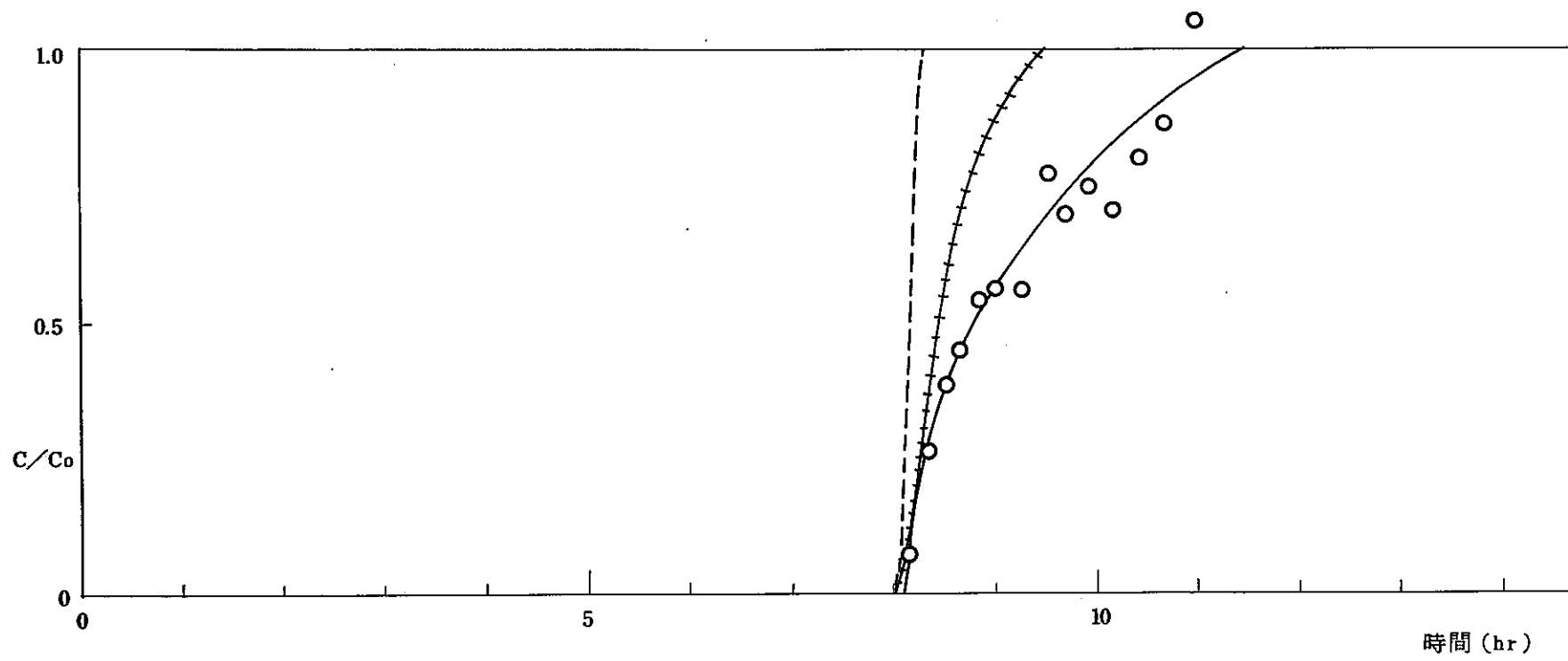
空塔速度 9 cm/sec

吸着温度 室温 (28℃)

図Ⅲ-4-20

MS13X-(H₂O (HTO) + I₂)系

試料番号 27



記号

—○— トリチウム水 (HTO)

+++++ 軽水 (H₂O)

----- ヨウ素 (I₂)

試験条件

トリチウム水濃度 7.8℃ (露点)

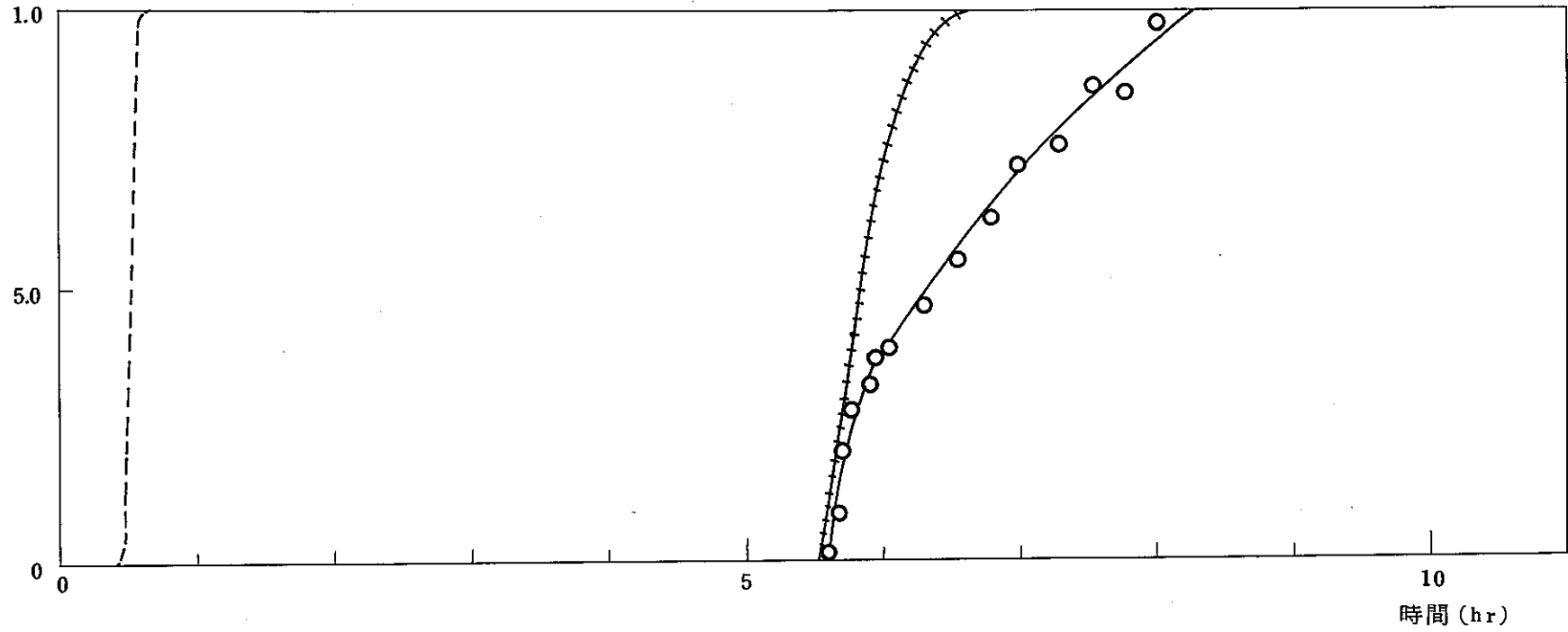
ヨウ素 " 10℃ (")

空塔速度 1.5 cm/sec

吸着温度 室温 (28℃)

図 III-4-21

MS 13X-[H₂O (HTO) + I₂]系 試料番号 28



記号

—○— トリチウム水 (HTO)

+++++ 軽水 (H₂O)

- - - ヨウ素 (I₂)

試験条件

トリチウム水濃度 7.6℃ (露点)

ヨウ素 " 10℃ (")

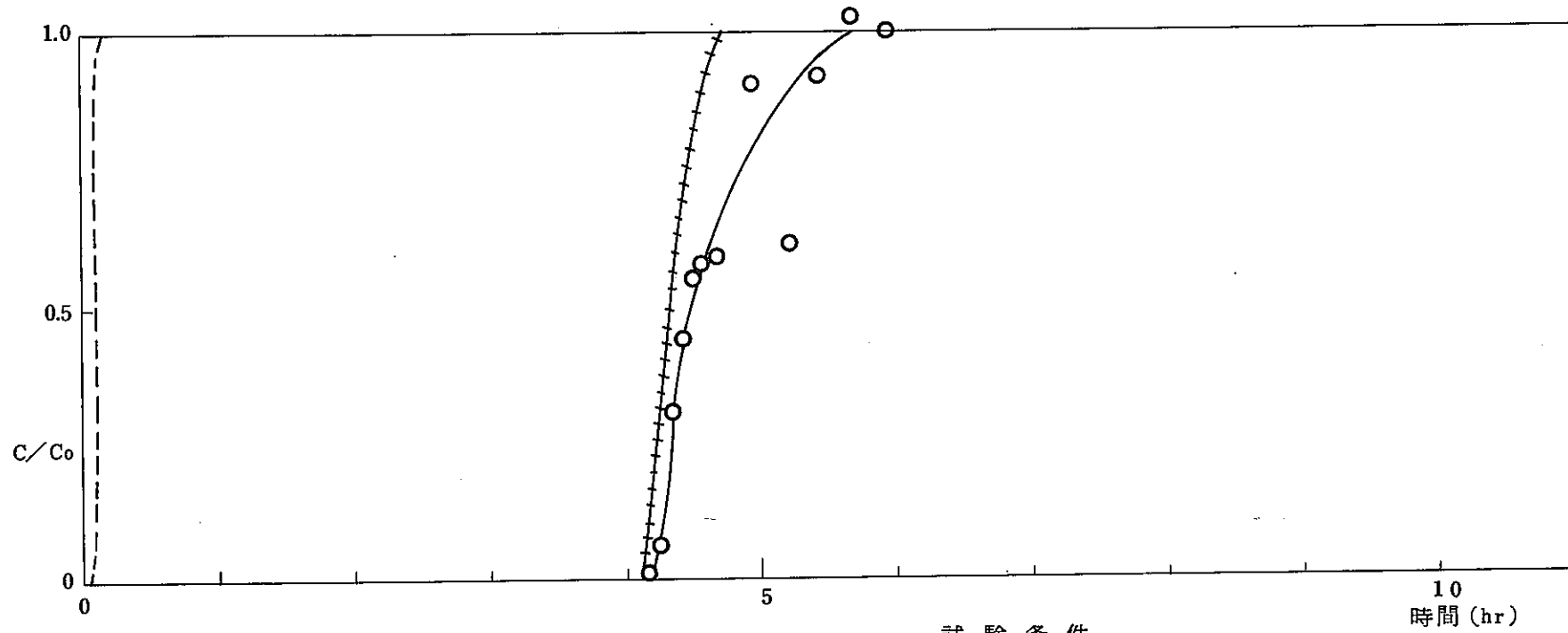
空塔速度 3cm/sec

吸着温度 10℃

図Ⅲ-4-22

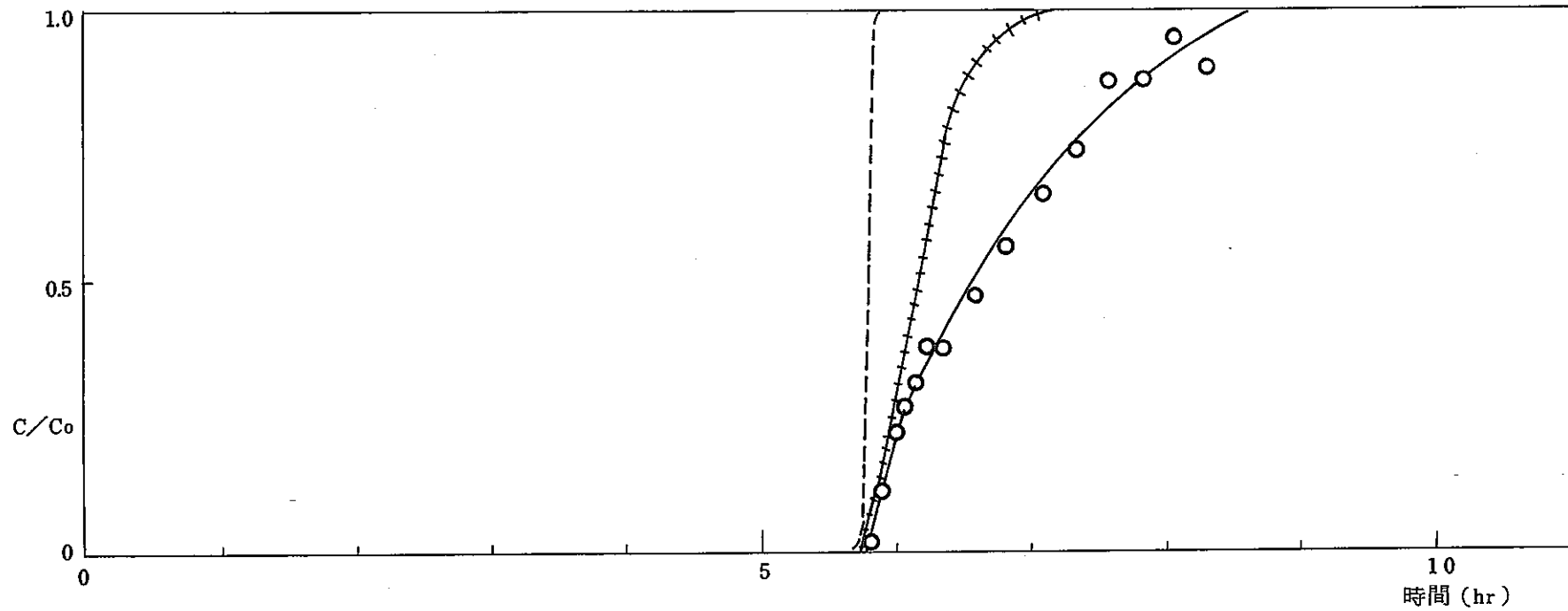
MS4A-(HQ (HTO) + I₂)系

試料番号 14



記号		試験条件
—○—	トリチウム水 (HTO)	トリチウム水濃度 7.6 °C (露点)
+++++	軽水 (H ₂ O)	ヨウ素 " 10 °C (")
-----	ヨウ素 (I ₂)	空塔速度 3 cm/sec
		吸着温度 4.5 °C

図 III-4-23 MS4A-(H₂O (HTO)+I₂)系 試料番号 15



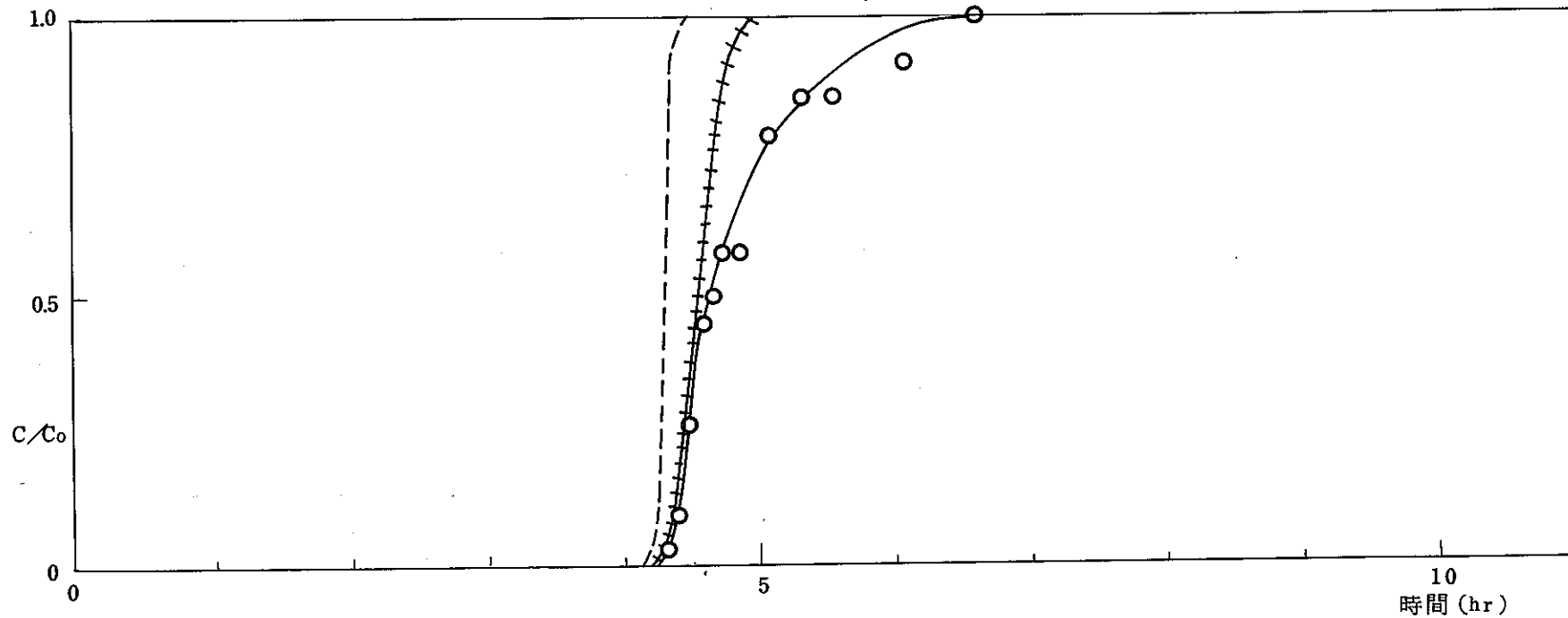
記号	
—○—	トリチウム水 (HTO)
+++++	軽水 (H ₂ O)
-----	ヨウ素 (I ₂)

試験条件	
トリチウム水濃度	7.6 °C (露点)
ヨウ素 "	10 °C (")
空塔速度	3 cm/sec
吸着温度	10 °C

図 III-4-24

MS 13X-(H₂O (HTO) + I₂) 系

試料番号 29



記号	
—○—	トリチウム水 (HTO)
+++++	軽水 (H ₂ O)
-----	ヨウ素 (I ₂)

試験条件	
トリチウム水濃度	7.6 °C (露点)
ヨウ素 "	10 °C (")
空塔速度	3 cm/sec
吸着温度	45 °C

図 III-4-25

MS13 X - (H₂O (HTO) + I₂) 系

試料番号 30

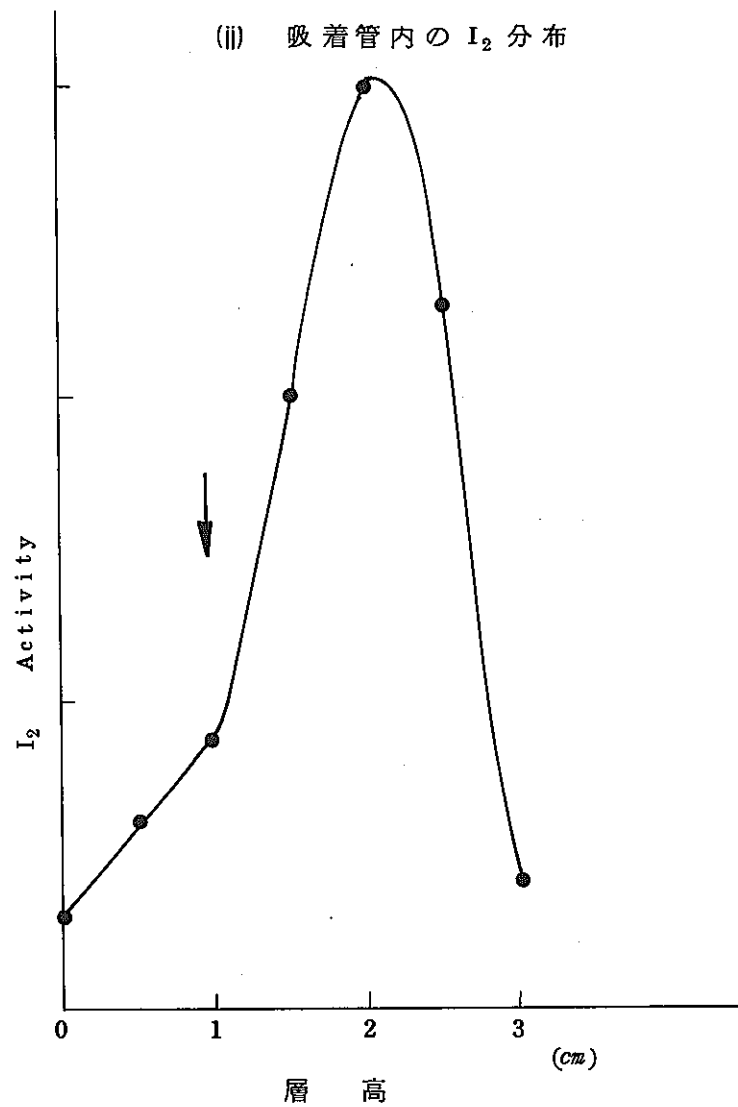
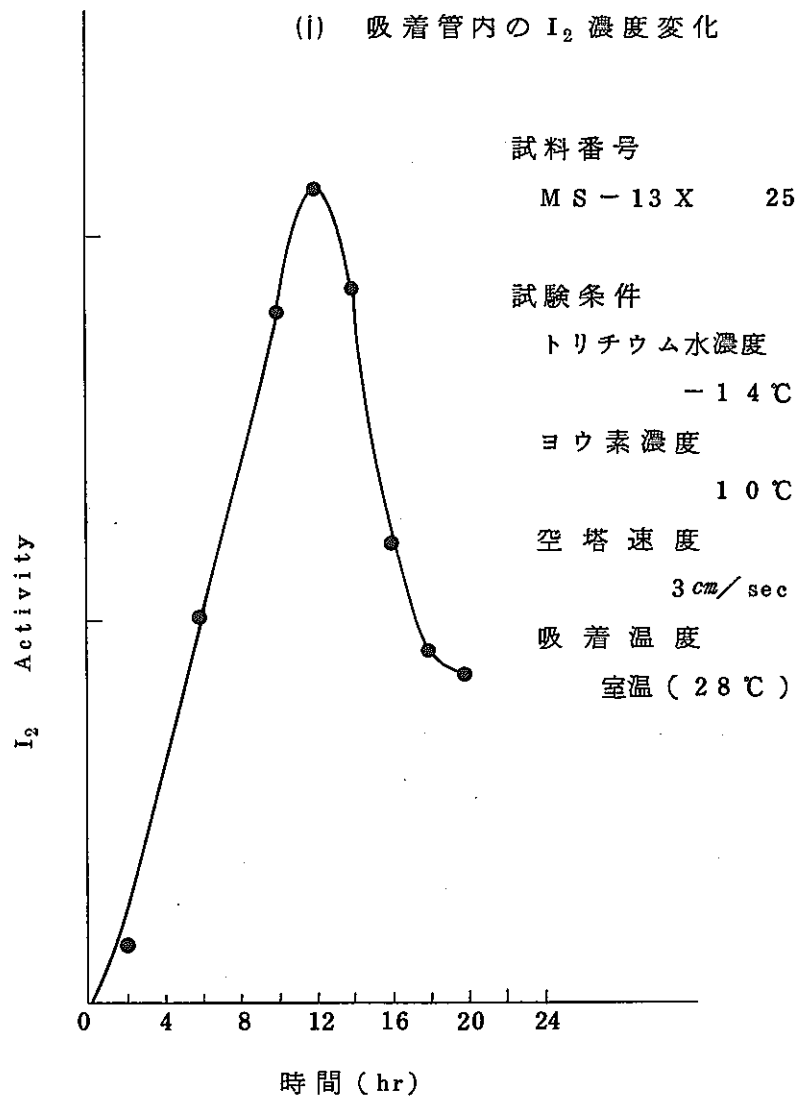


図 III-4-26

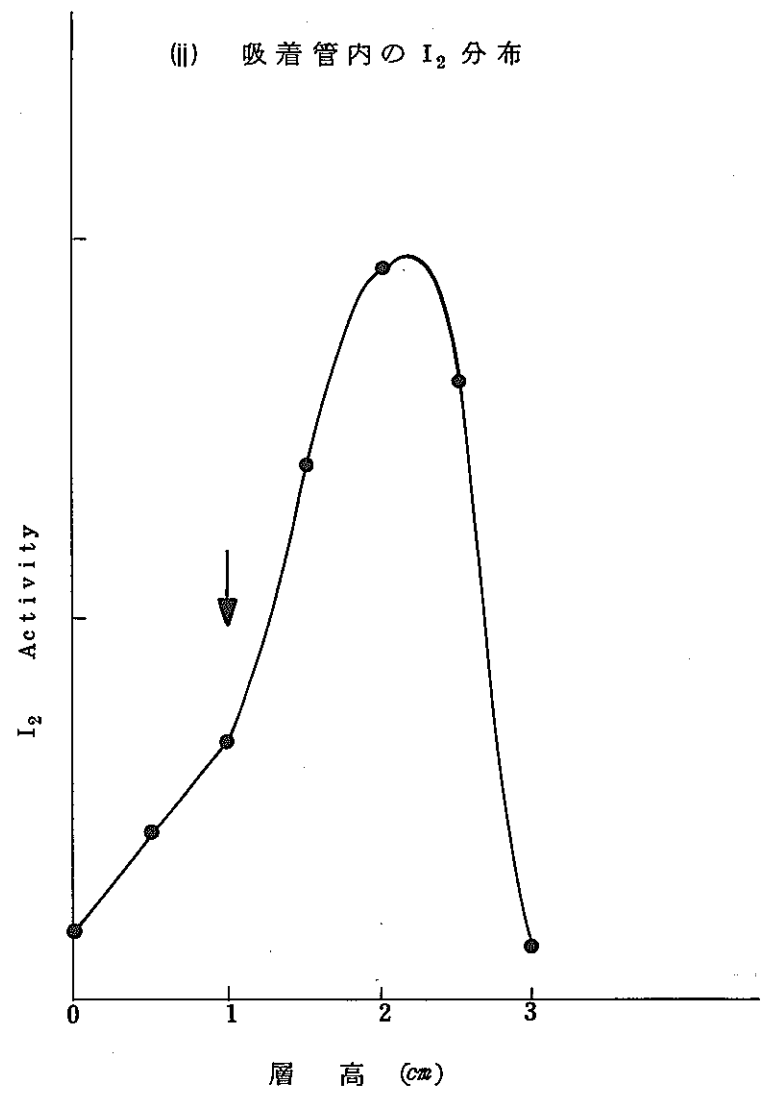
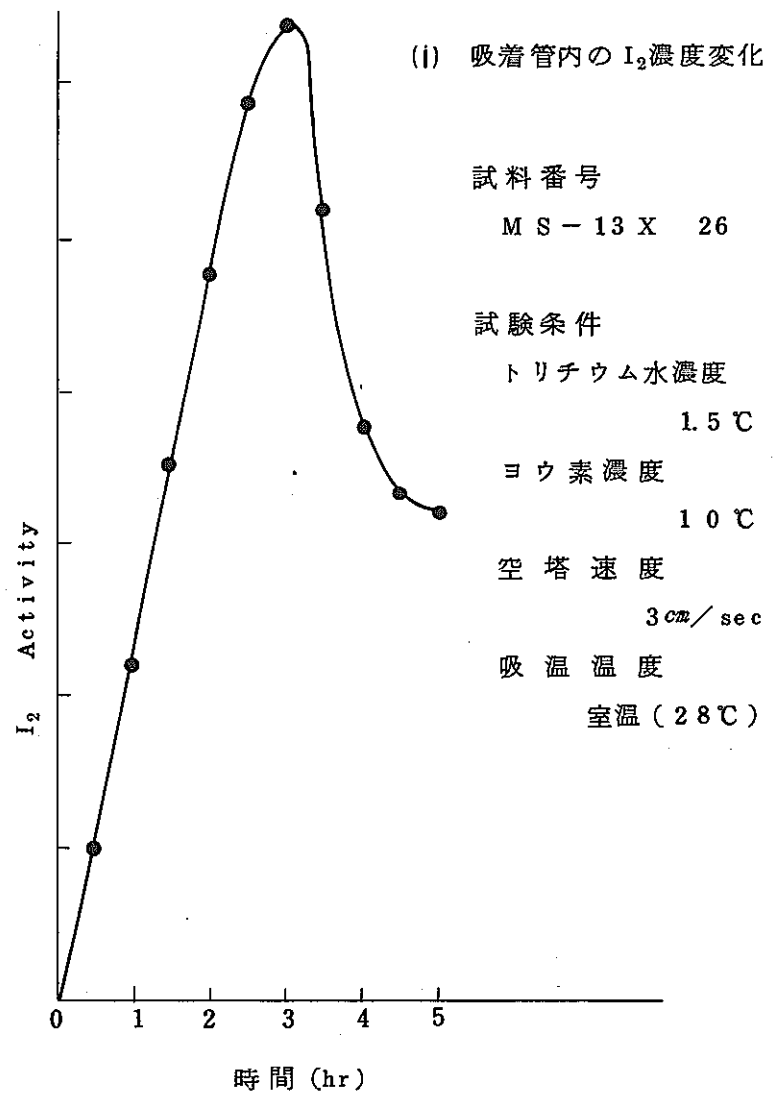


図 III-4-27

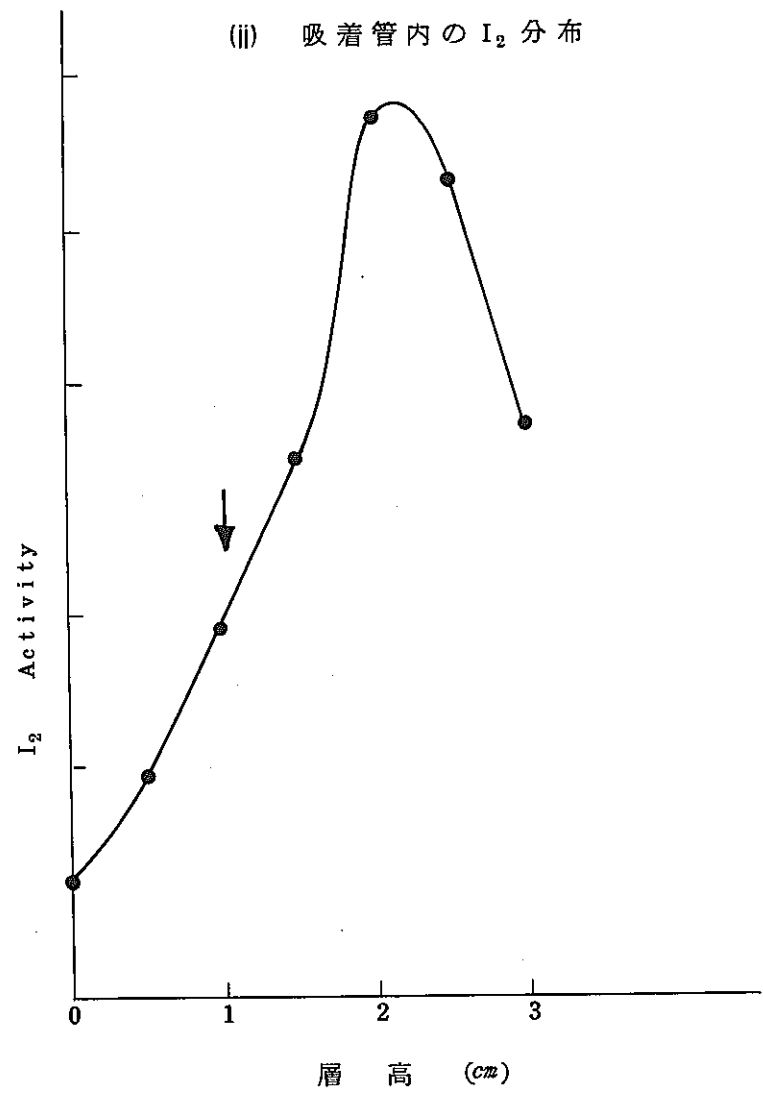
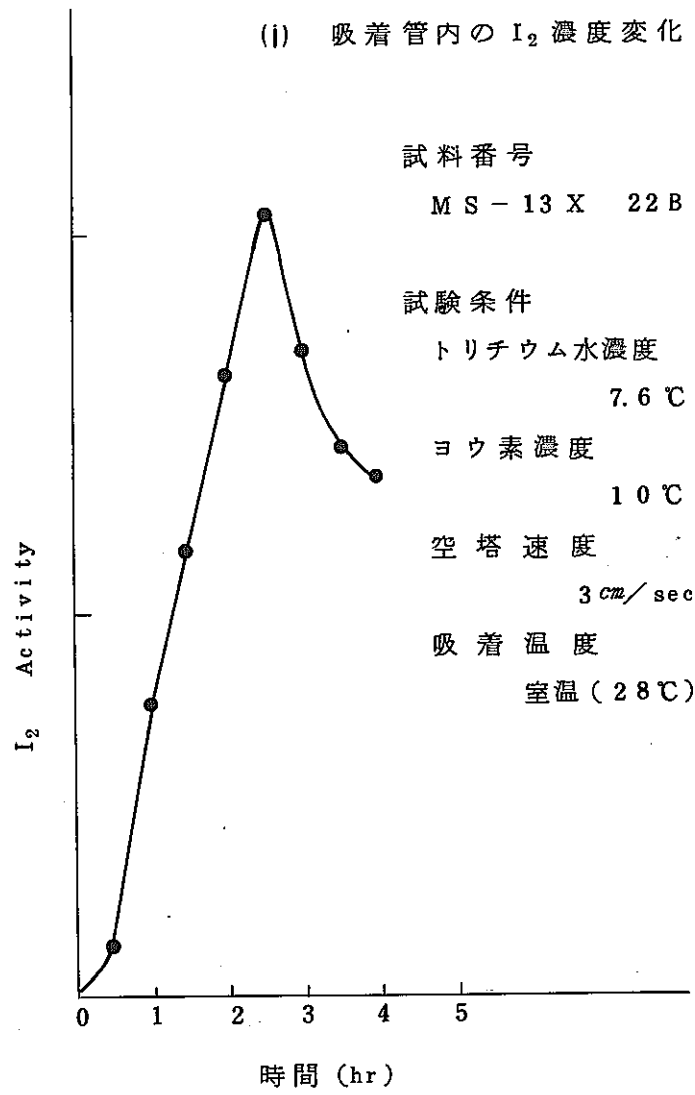


図 III - 4 - 28

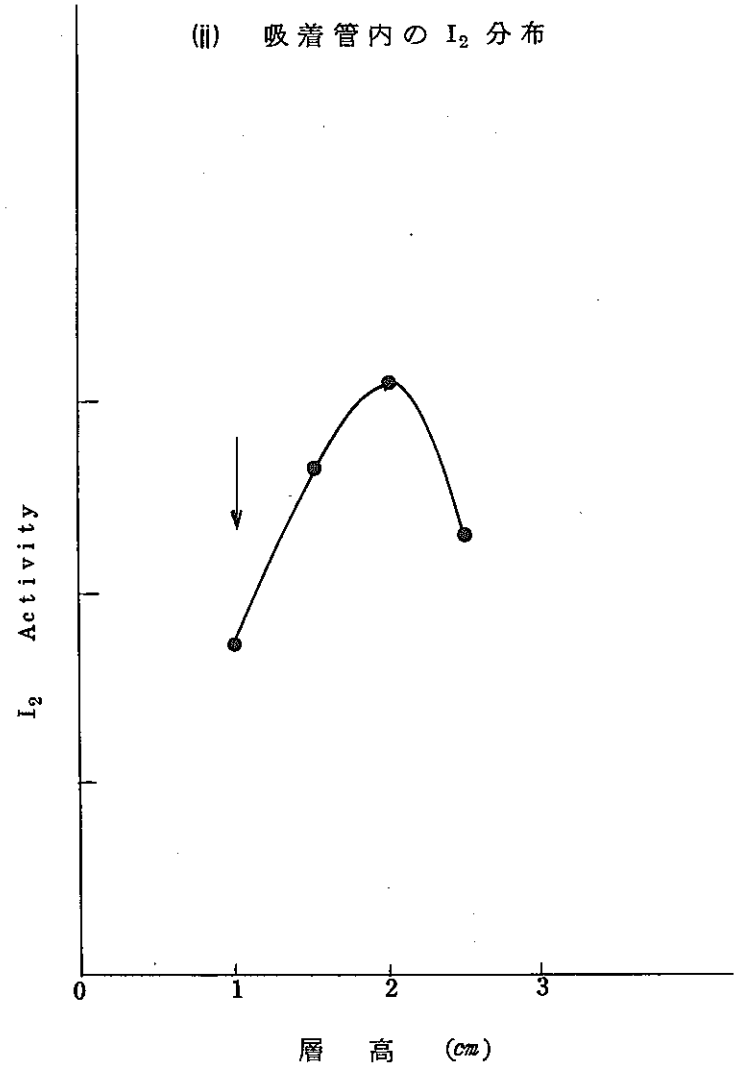
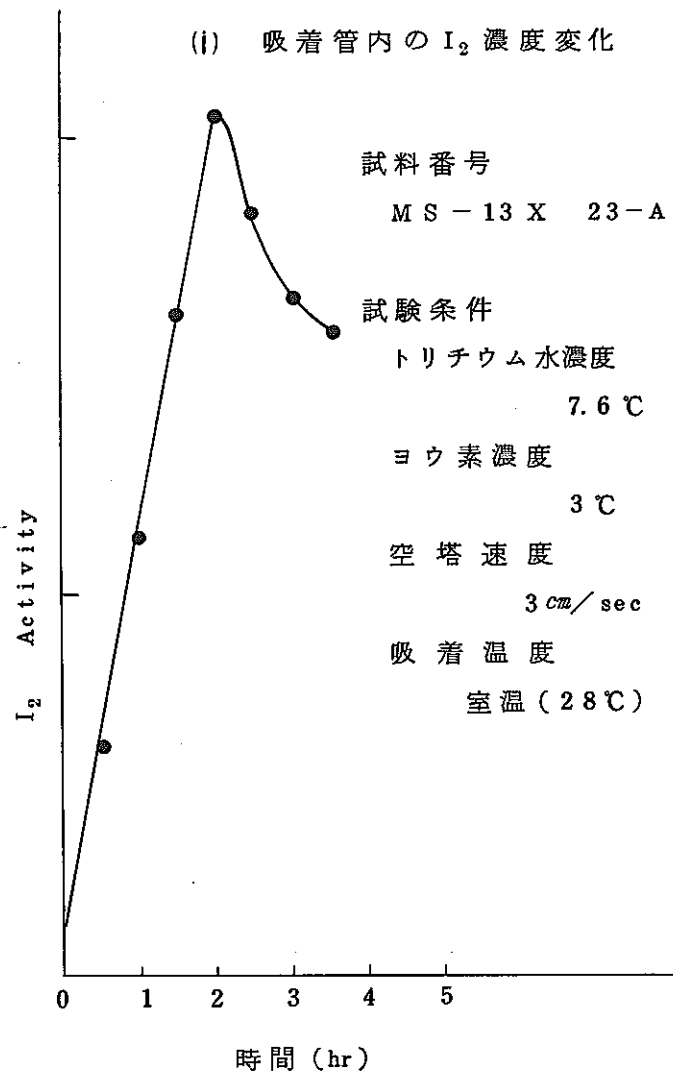


図 III-4-29

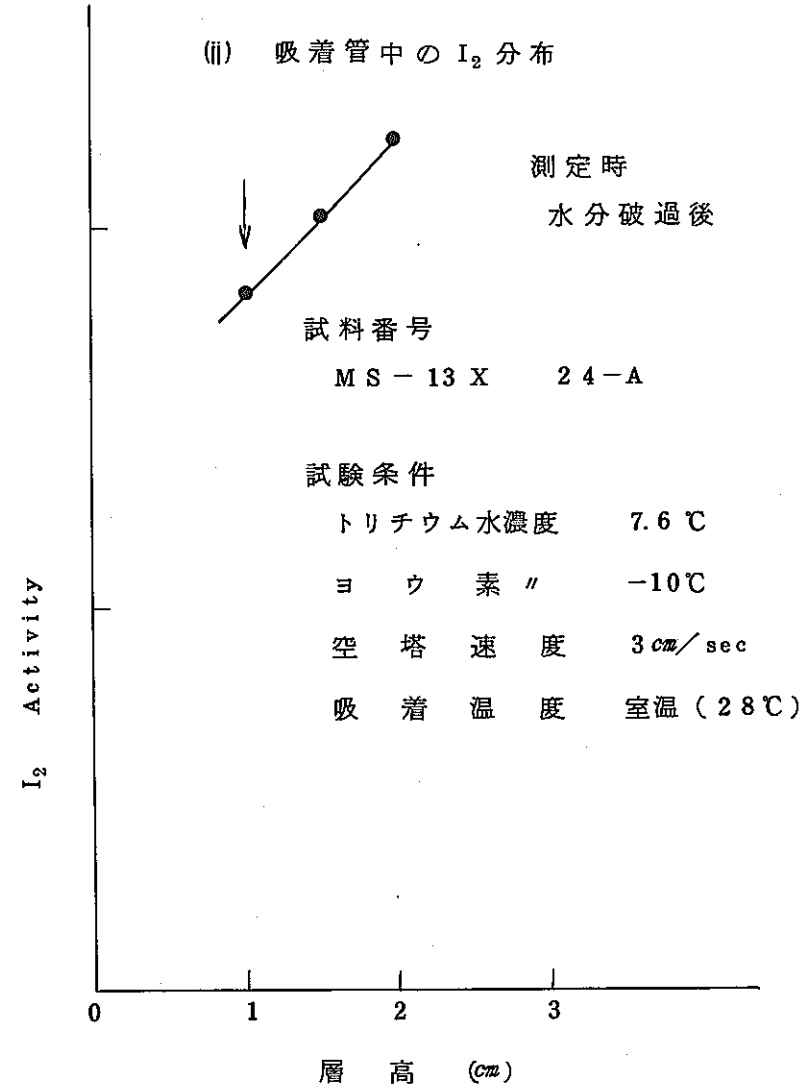
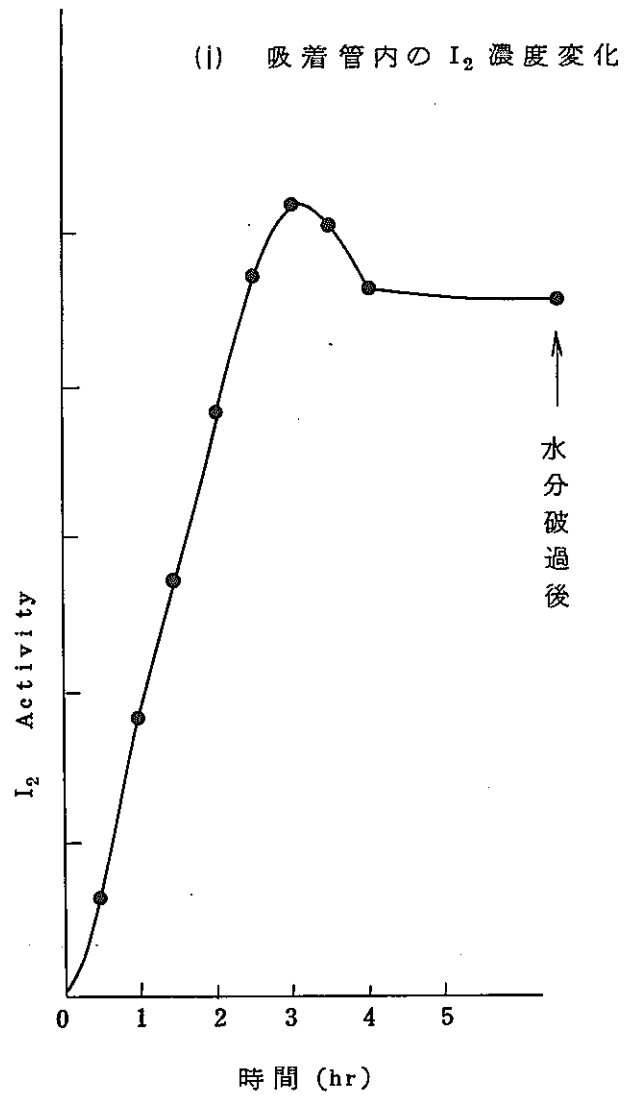


図 III-4-30

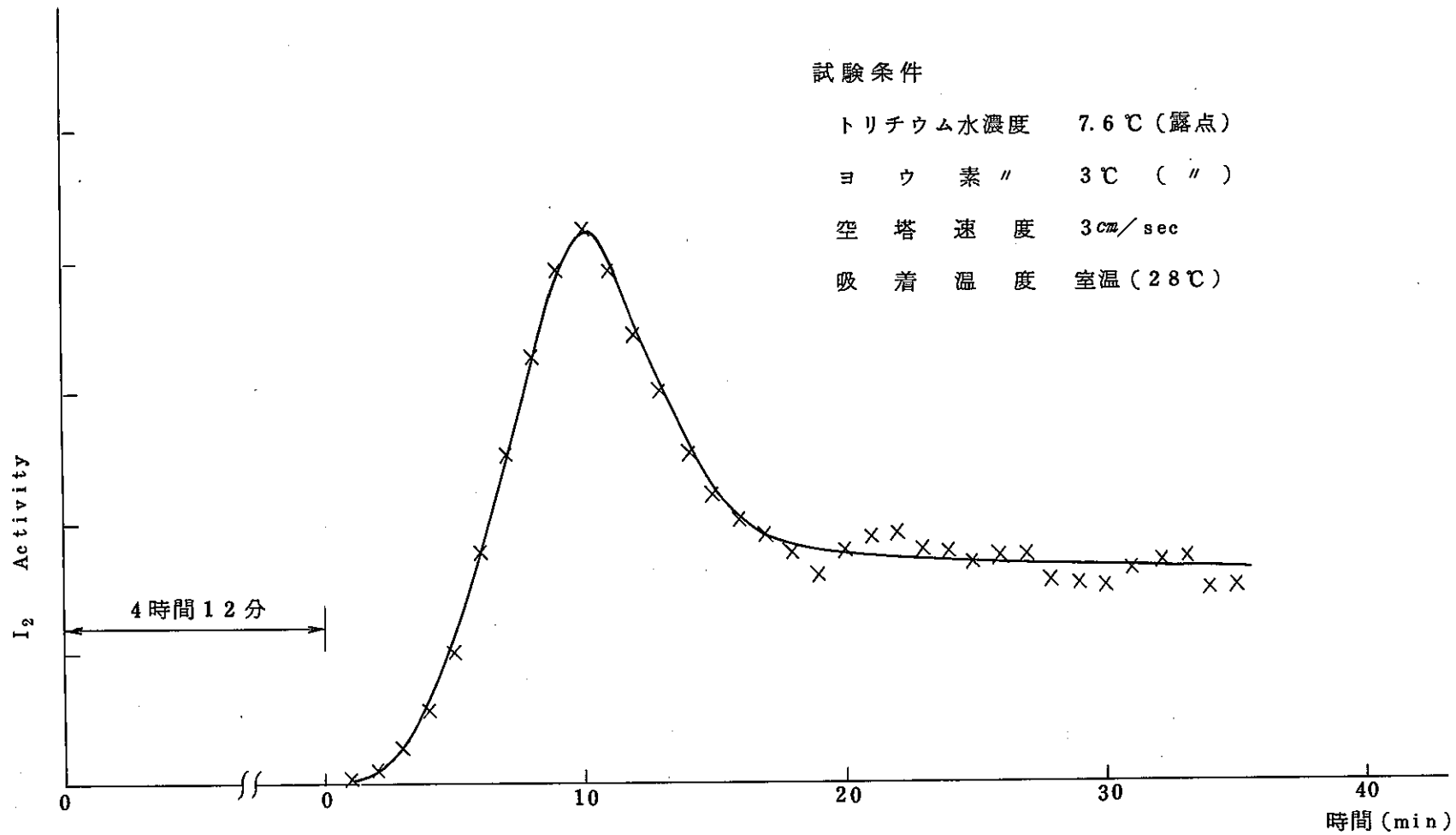


図 III - 4 - 31

I₂ 破過曲線

試料番号 23-B

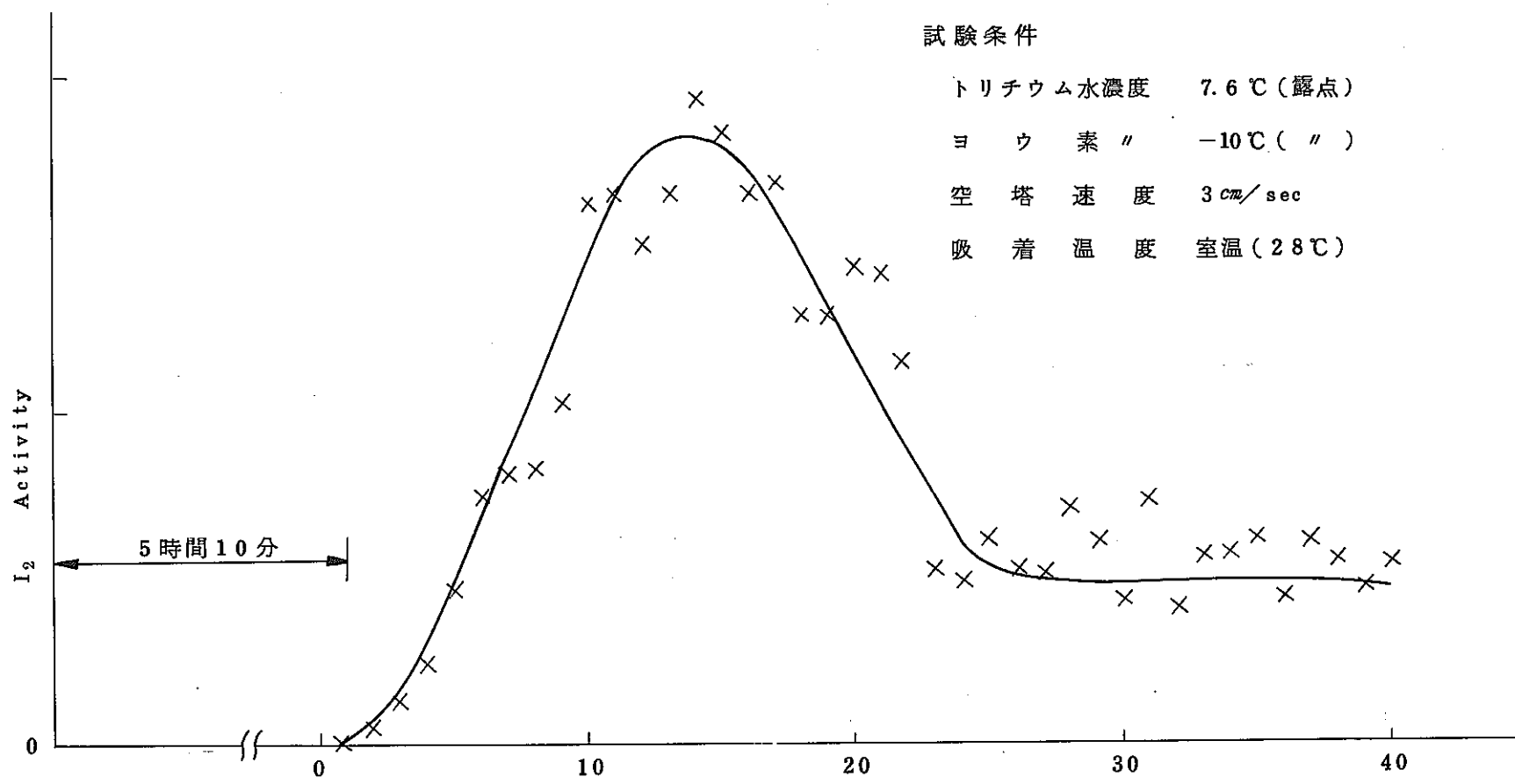
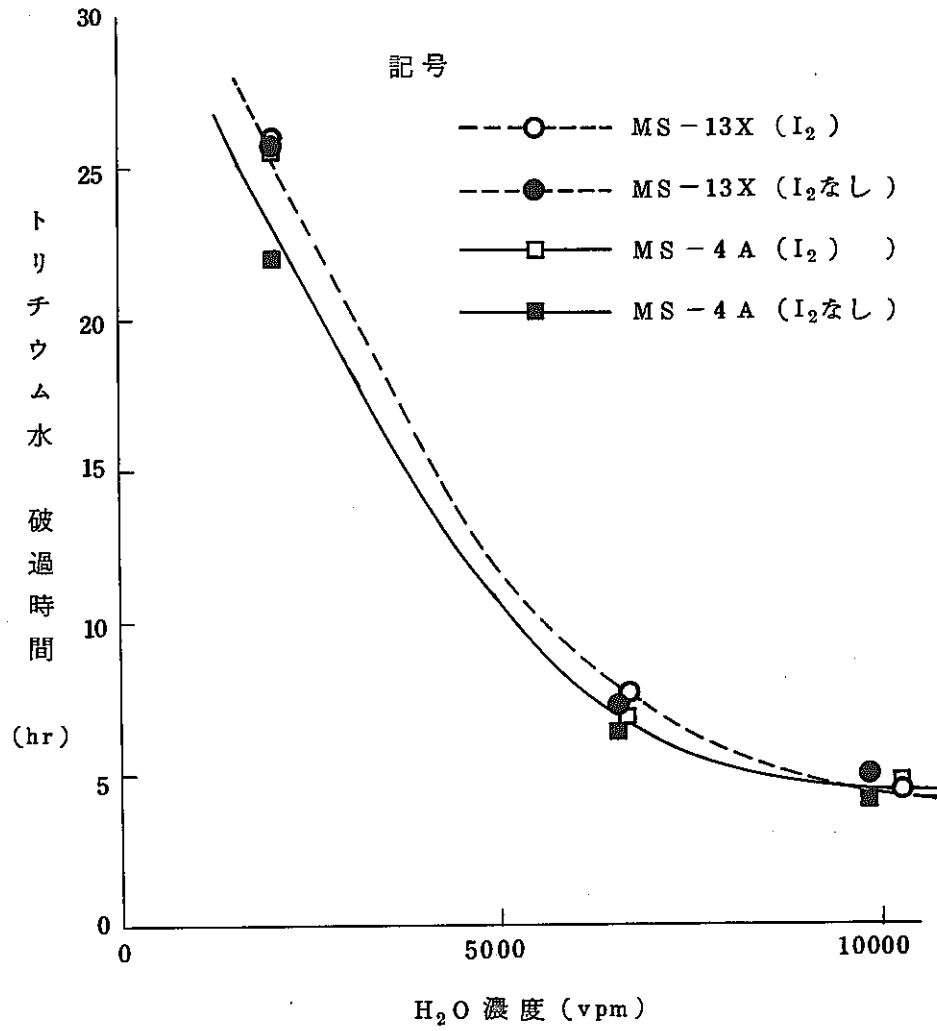


図 III-4-32

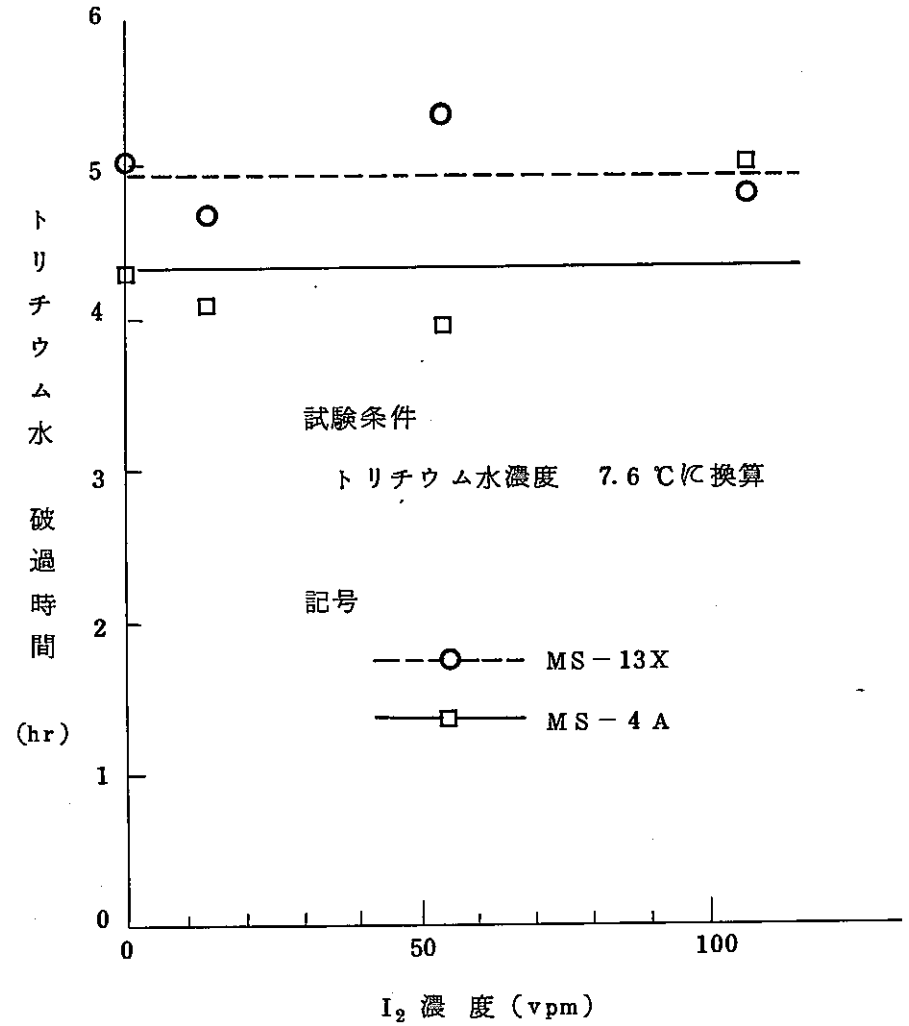
I₂ 破過曲線

試料番号 24-B



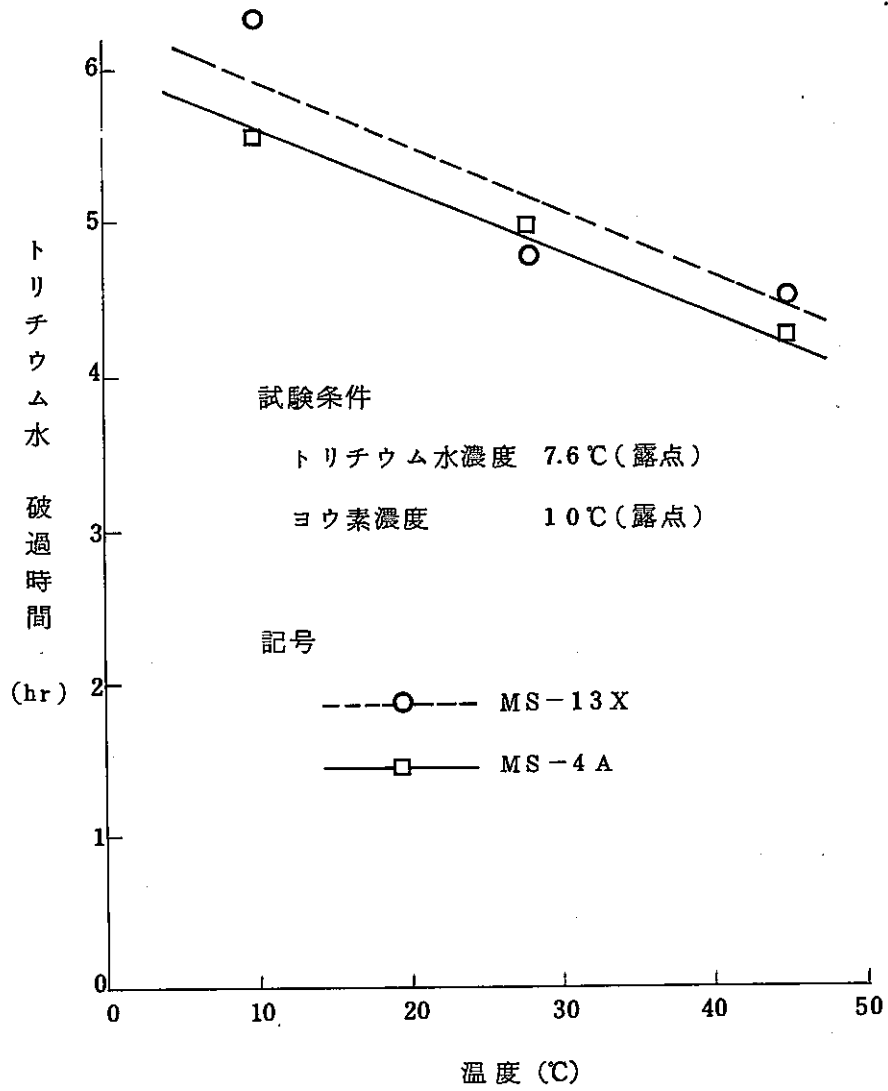
図Ⅲ-4-33

破過時間におよぼす H₂O 濃度の影響



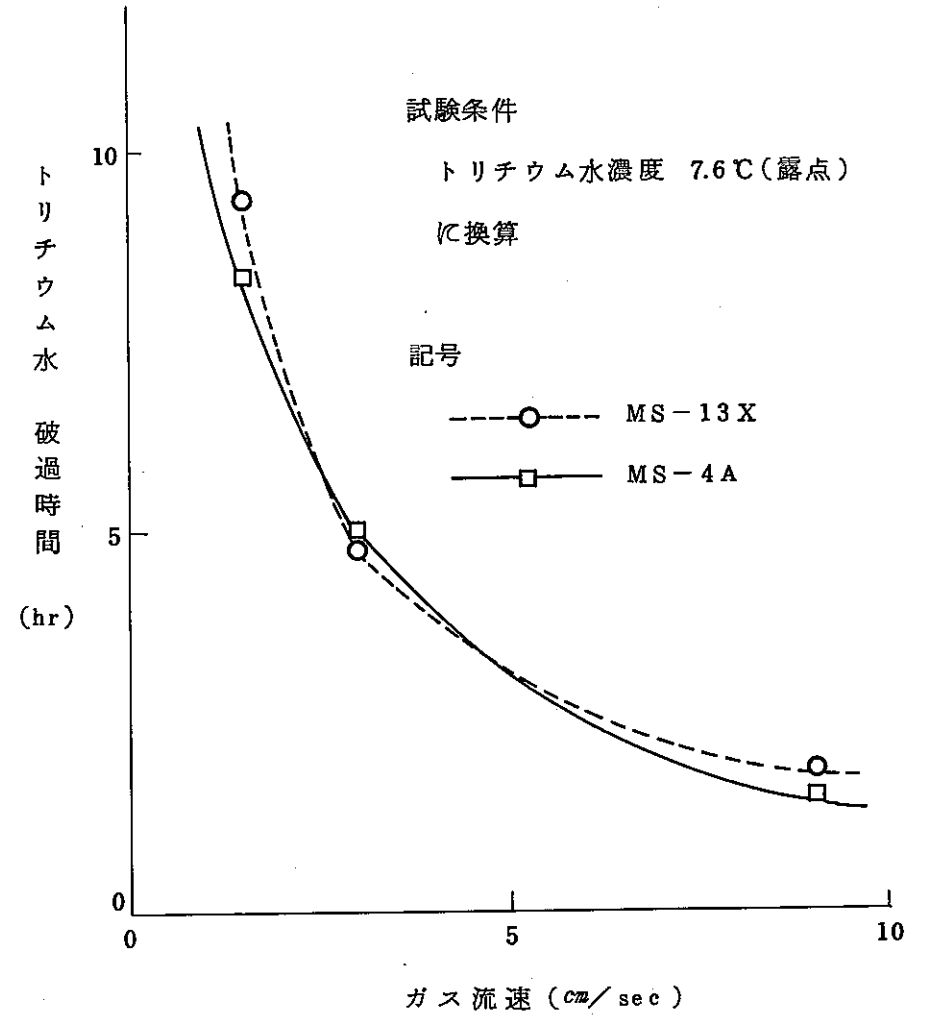
図Ⅲ-4-34

破過時間におよぼす I₂ 濃度の影響



図Ⅲ-4-35

破過時間におよぼす温度の影響



図Ⅲ-4-36

破過時間におよぼす流速の影響

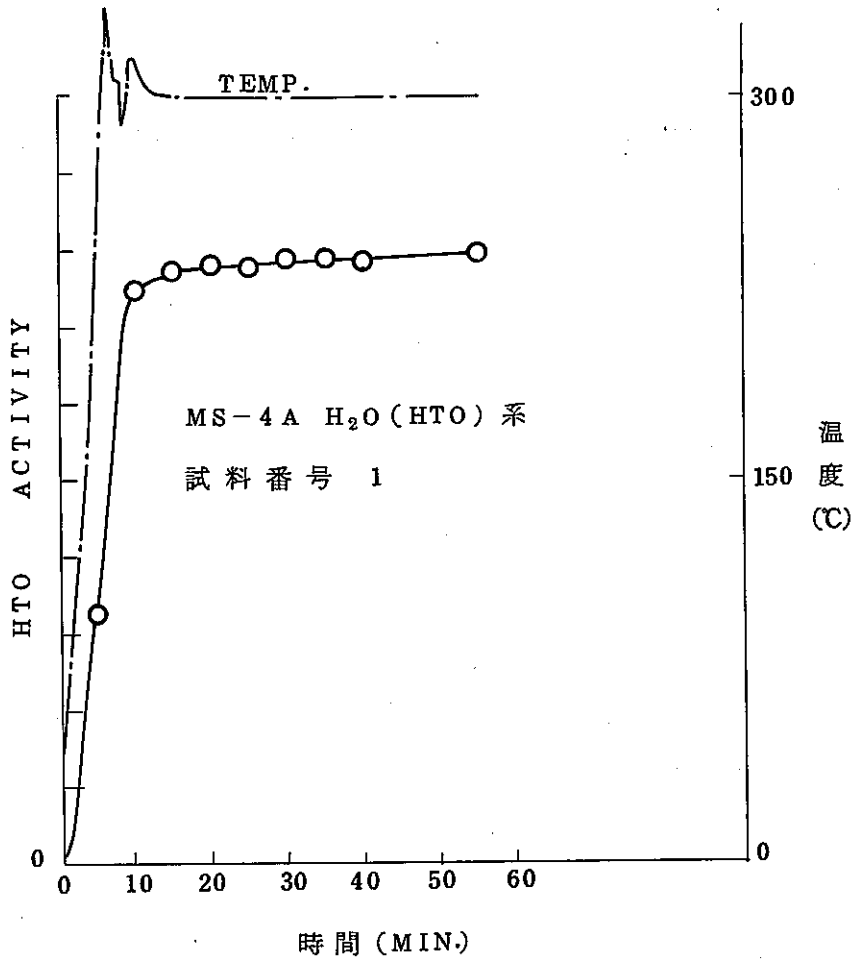


図 III - 4 - 37

トリチウム水脱着曲線

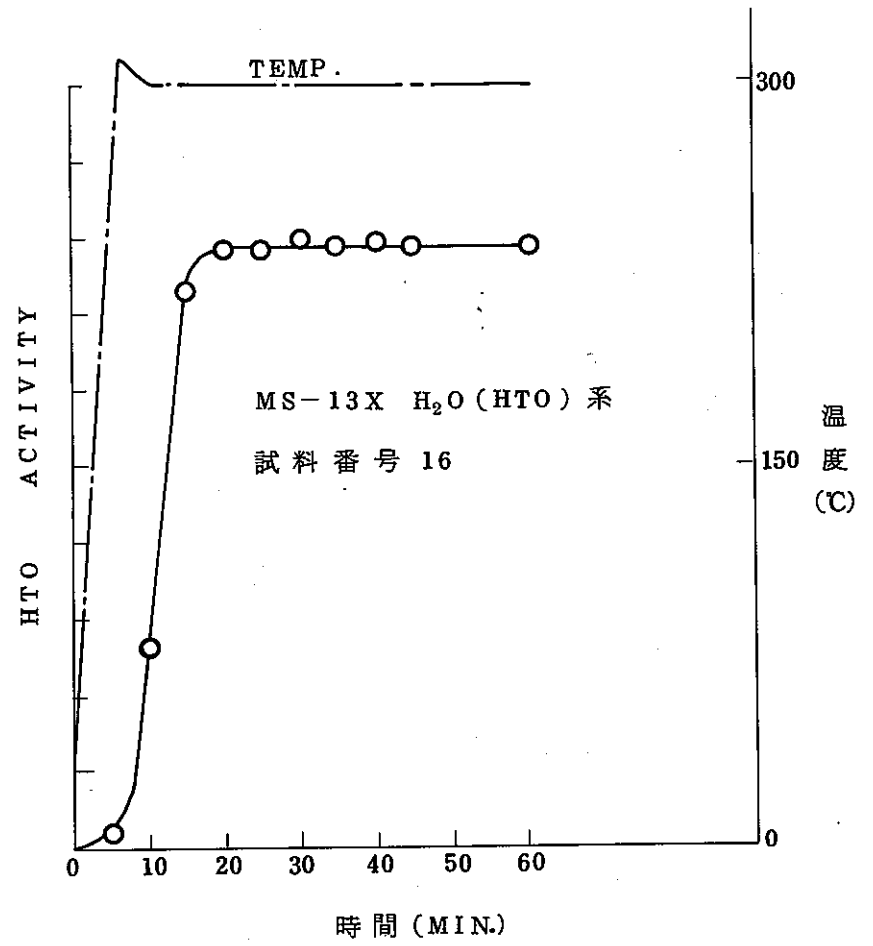
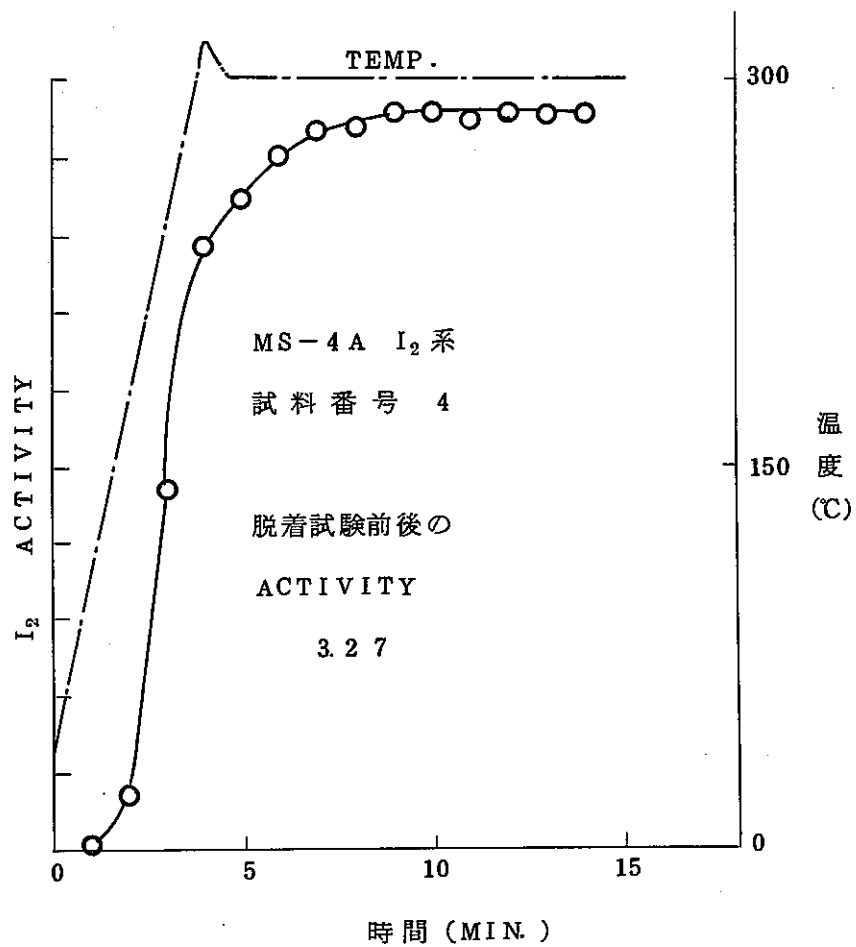


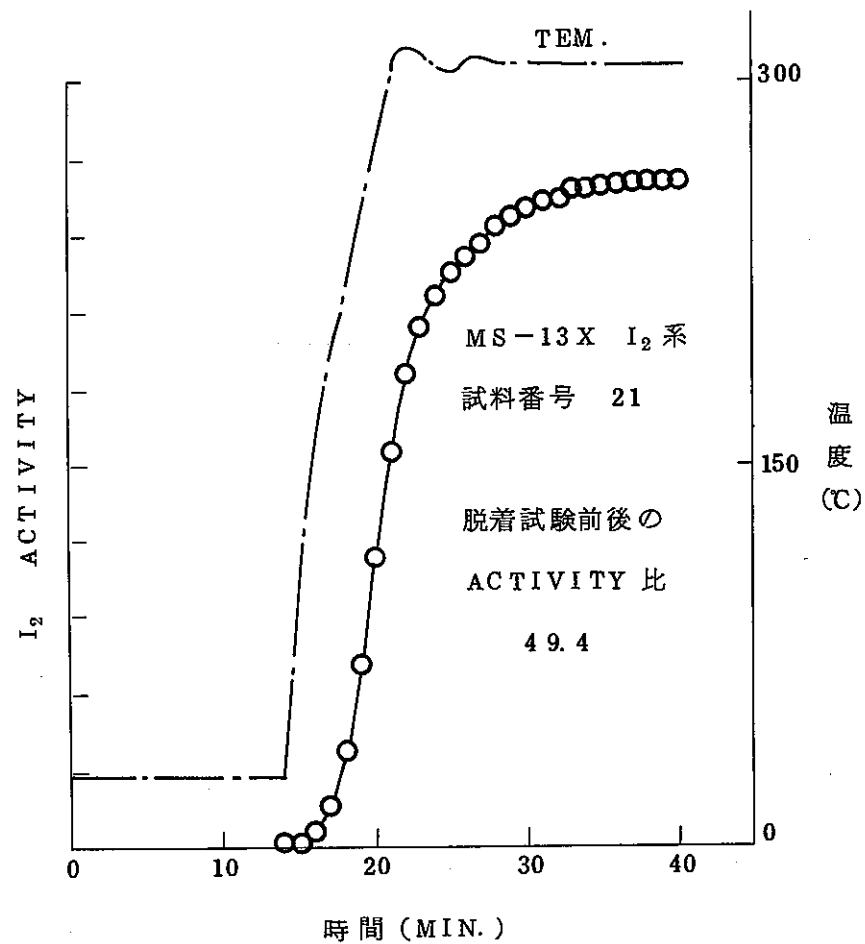
図 III - 4 - 38

トリチウム水脱着曲線



図Ⅲ-4-39

ヨウ素脱着曲線



図Ⅲ-4-40

ヨウ素脱着曲線

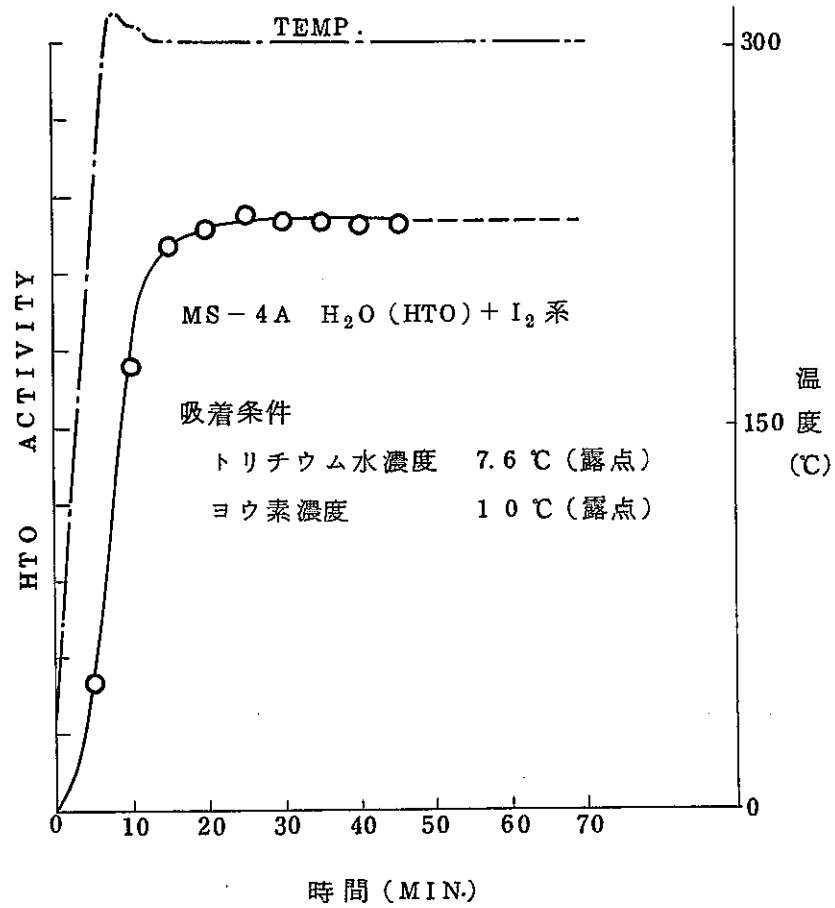


図 III - 4 - 41

トリチウム水脱着曲線

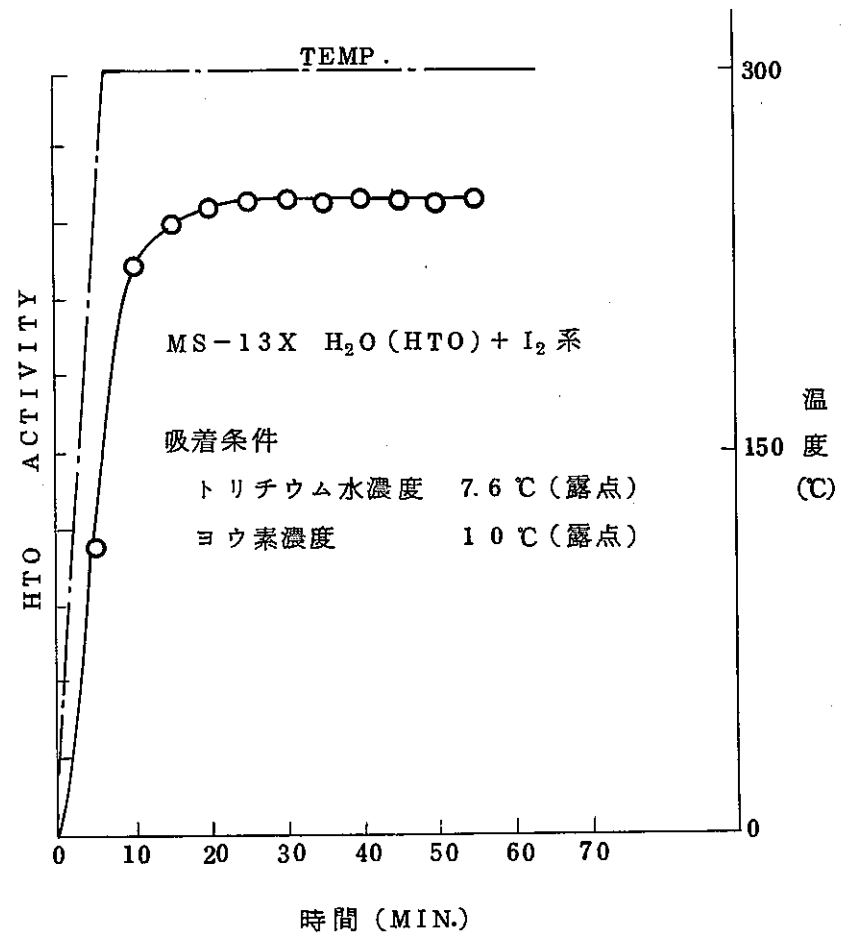


図 III - 4 - 42

トリチウム水脱着曲線

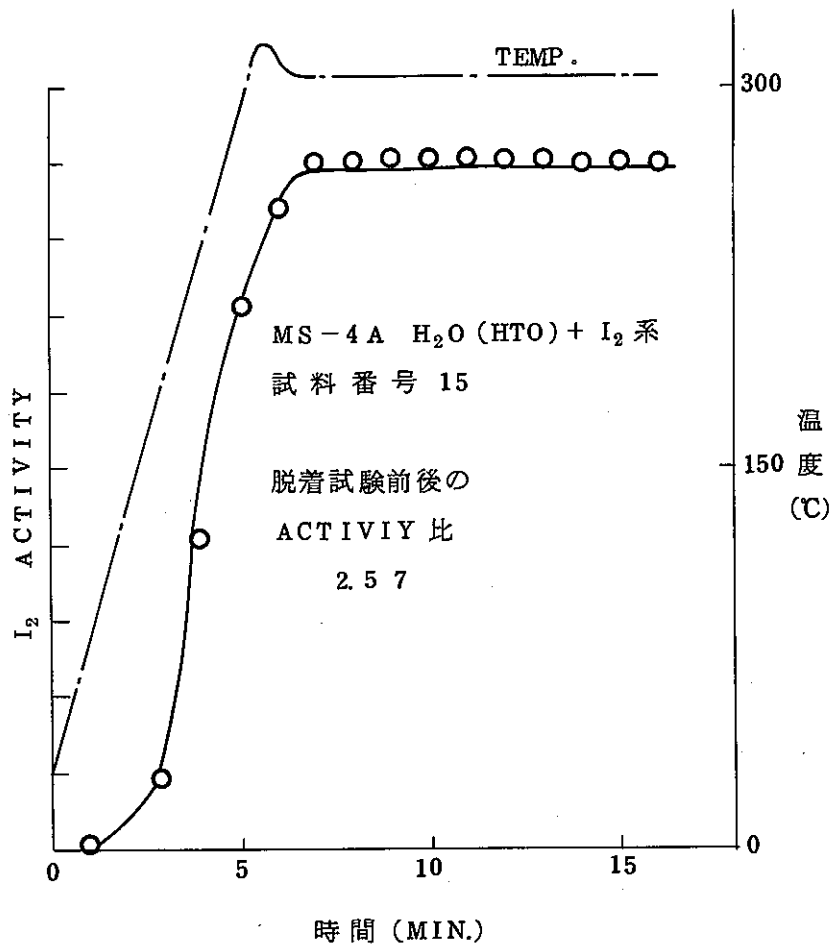


図 III - 4 - 43

ヨウ素脱着曲線

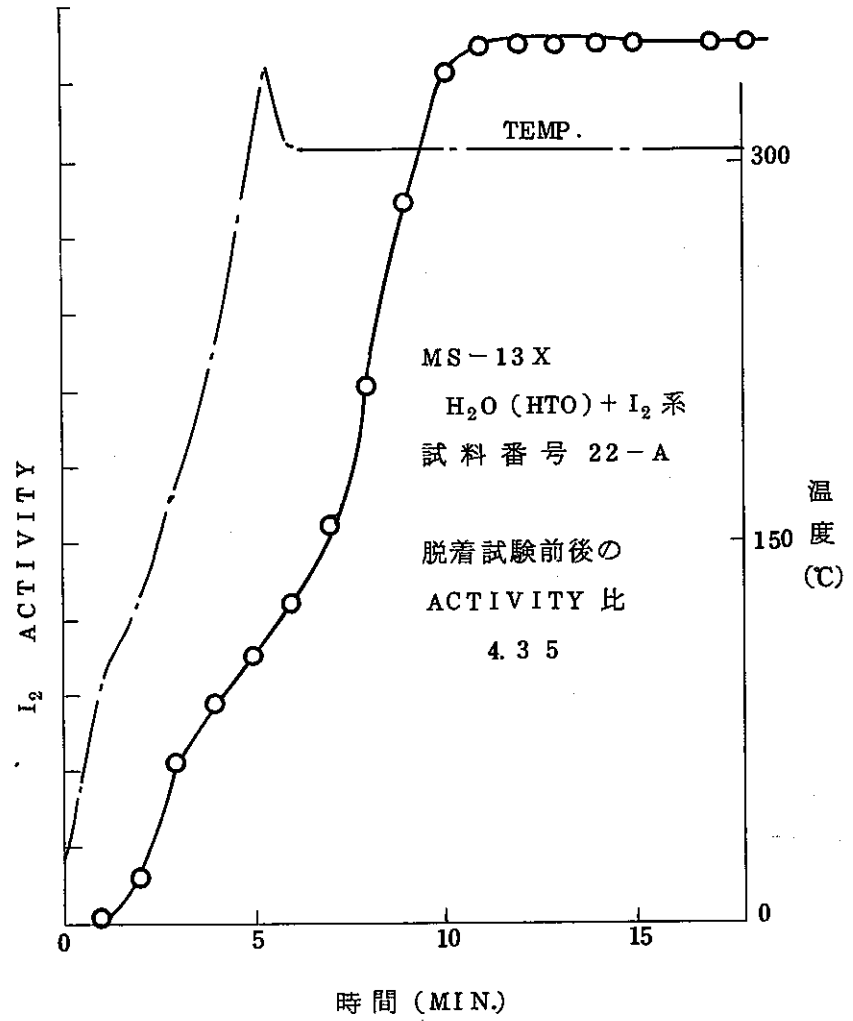
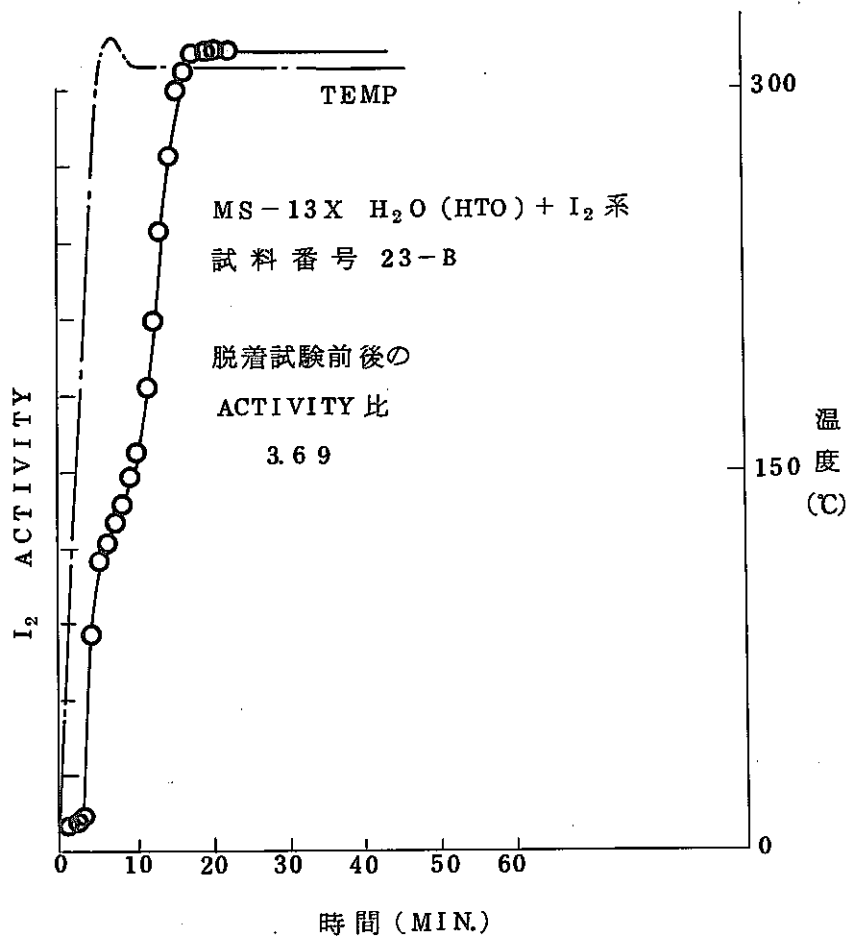


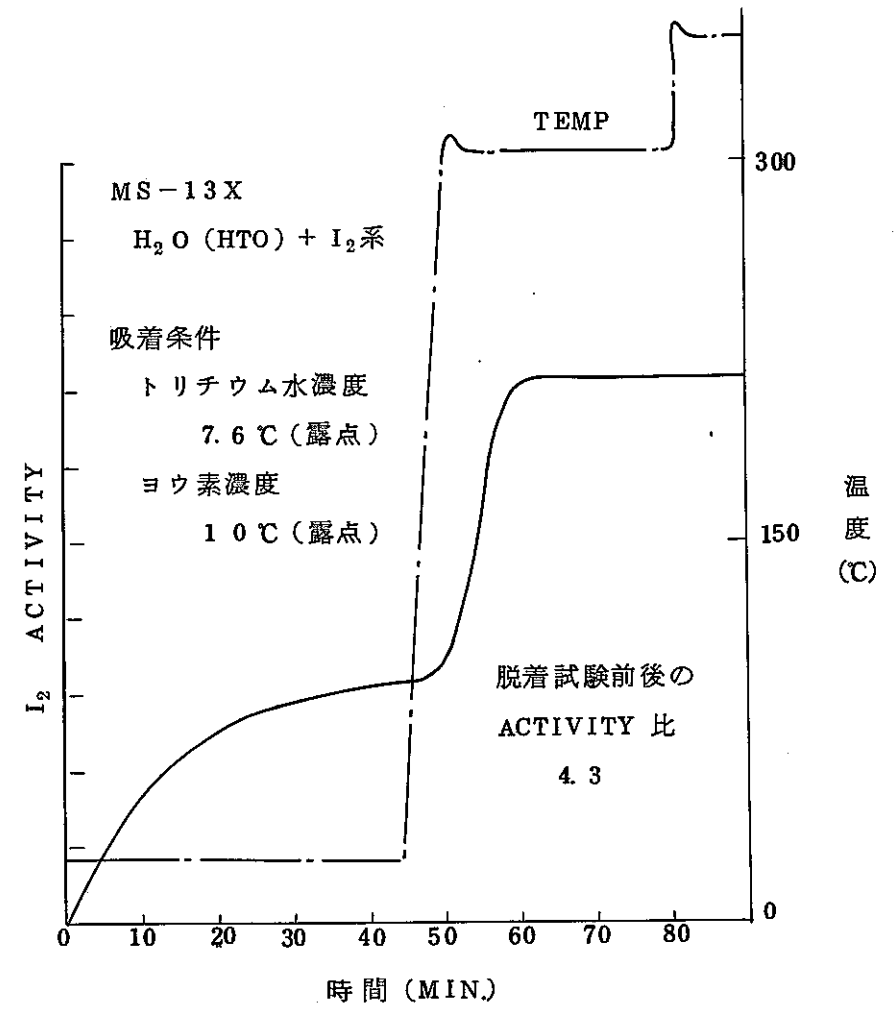
図 III - 4 - 44

ヨウ素脱着曲線



図Ⅲ-4-45

ヨウ素脱着曲線



図Ⅲ-4-46

ヨウ素脱着曲線

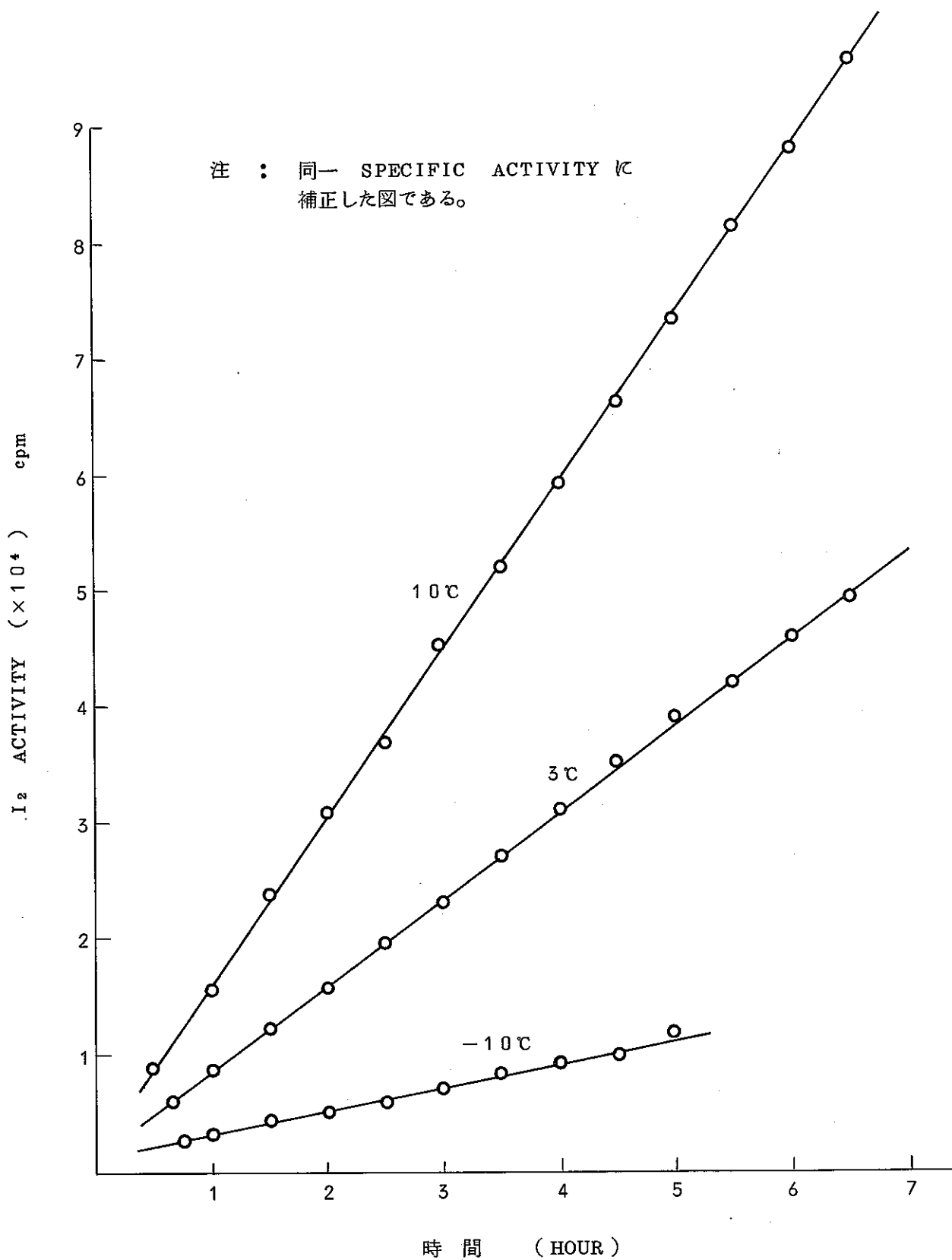


図 III - 4 - 47 ヨウ素吸着曲線



第5章 考 察

5.1 トリチウム水捕集

通常モレキュラシーブによる水分除去率を決定するのは残存水量であり、これは再生条件に依存している。残存水量を0とすれば -9.6°C 露点($1.74 \times 10^{-5} \text{ mm Hg at } 0^{\circ}\text{C}$)⁽³⁾まで到達可能とされているが、これは実際的でない。しかし、再生条件を適当に選ぶことにより、必要な到達乾燥度を得ることが出来る。

今回の試験結果が示すようにトリチウム水の破過はいずれの場合においても、軽水より遅れておることから軽水での到達乾燥度までのトリチウム水除去は可能である。得られている見かけの除染係数も 10^4 に達することから有効性が確認出来る。

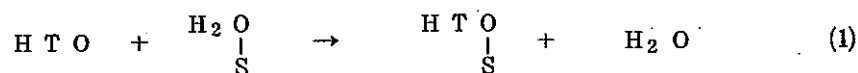
次に捕集にとって重要な因子について考察を加える。

5.1.1 除 染 係 数

今回得た 10^4 に達する除染係数は到達乾燥度に由来していると考え、この場合、低濃度の試験において 10^4 の除染係数を得るためには、 -8.6°C 露点以下の乾燥度を必要とする。これは前処理の条件から不可能とは云えないが、別の可能性も考えてみる。

試験装置に設置した露点計では -6.0°C 露点程度までしか乾燥度は得ていないが、これは試験装置自体到達乾燥度に限界があるためといえる。

到達乾燥度以外の除染係数向上の可能性としては、モレキュラシーブがトリチウム水に対してヴァージンであるとき存在する。即ち、図III-5-1に示す如く、すでに軽水で飽和しているMS-4Aにトリチウム水を通して、もすぐに破過しない。吸着点で次のような置換が起こる。



これは、同位体交換というより吸着点での追い出し効果であり、軽水でも起こるが観測出来ない。

もし、残存水がトリチウム水に対して上述の置換反応をすれば、到達乾燥度以上の



除染係数が期待出来る。しかし、これは逆に2回目以降のモレキュラシーブに対して初回に得た除染係数が期待出来なくなる可能性を与える。特に再生時、同位体濃縮が起る時には問題となる。

この点を考慮し、図 III - 5 - 2 に示す如く脱着済試料で再度吸着試験を行つたが除染係数、破過曲線とも初回と比較して大差はない。このことは、たとえ上述の置換反応や濃縮が起つても、2回目以降に与える影響は小さくモレキュラシーブの再生利用によつても大きな除染係数の低下はないといえる。

5.1.2 ヨウ素の影響

今回の試験では水分破過時間に有意の影響が出ていないが、このことは次の場合のいずれかに相当する。

- (i) ヨウ素 (I_2) と水の吸着点が全く異つて影響を与えない。
- (ii) 水の吸着力がヨウ素 (I_2) よりも、はるかに強く一旦吸着されたヨウ素も水によつて追出しを受ける。
- (iii) 水とヨウ素濃度が極端に違うので、実験誤差の中に入り影響が明らかとならない。

MS-4Aの場合、モレキュラシーブ細孔へのヨウ素侵入が不可能であるので(i)に相当する。しかし細かくみると後述する如く、再生後もヨウ素が若干残存すること等から影響が皆無とはいえないが仮に存在しても微小であり問題はない。またこのヨウ素が存在しても破過迄、除染係数には影響がない。

MS-13Xの場合には、モレキュラシーブ中のヨウ素分布挙動や破過曲線の形から明らかに水とヨウ素の競争吸着が認められる。水は吸着ヨウ素を吸着点から一部追い出し、水分未吸着層にヨウ素を送り出す。この場合は前述の(ii)に相当するがヨウ素は水分によつて、すべて追出しを受けるのではなくかなりの量が水分と共存して、モレキュラシーブ中に残存する。この残っているヨウ素のうち水分の吸着点をどの程度占有するヨウ素があるかは現試験条件下では、水分とヨウ素濃度が大幅に異なるので、実験誤差に入り明確でない。但し低濃度水分でヨウ素濃度比が変化しても破過時間が変らないこと、吸着試験後、重量測定によりヨウ素共存試料が、ヨウ素のない試料と比較して大幅な重量増加をみることから、ヨウ素の多くが水の吸



着点以外に存在していると考えられる。吸着後のモレキュラシープ中の重量増加量を試料の一部につき表 III - 5 - 1 に示す。

表 III - 5 - 1 吸着後の重量増加量

試料 番号	試 験 条 件					平衡吸着量 %	吸 着 量 W/o
	重 量 %	水分濃度	I ₂ 濃度	空塔速度	吸着温度		
3 MS-4A	1.358	-14℃	—	3.0cm/sec	室温 (28℃)	0.261	19.2
10 MS-4A	1.444	-14℃	10℃	3.0cm/sec	室温 (28℃)	0.277	19.2
17 MS-13X	1.337	1.2℃	—	3.0cm/sec	室温 (28℃)	0.297	22.2
18 MS-13X	1.248	-14℃	—	3.0cm/sec	室温 (28℃)	0.242	19.4
25 MS-13X	1.398	-14℃	10℃	3.0cm/sec	室温 (28℃)	0.349	24.9
26 MS-13X	1.187	1.5℃	10℃	3.0cm/sec	室温 (28℃)	0.282	23.8

さらに水分とヨウ素のモレキュラシープに対する吸着力の比較を試みるため、非放射性ヨウ素 (I₂) で飽和された MS-13X にトリチウム水を、吸着させた場合の破過曲線を、図 III - 5 - 3 に示す。見掛けの除染係数のみならず、破過時間、破過曲線とも、ヨウ素吸着のない MS-13X の場合と比べて大差なく、ヨウ素による影響が殆んどないことが明らかである。

木谷等⁽⁴⁾によれば、MS-5A において水分飽和下におけるヨウ素 (I₂) の吸着力の低下は、I₂ の吸着熱が 13 K cal/mol に比べて、水分の吸着熱が 22 K cal/mol と大きいことによるとしている。これは MS-13X についても定性的に当

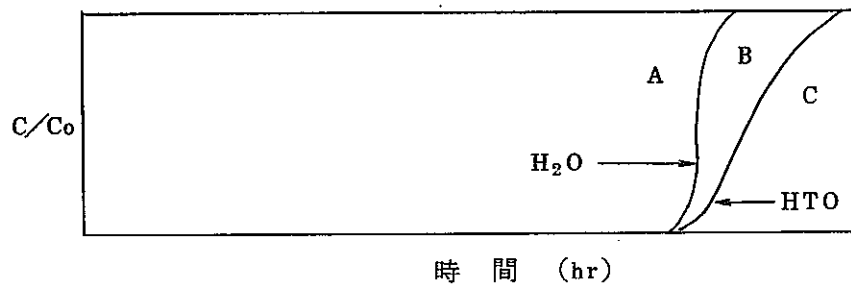
てはまると思われる。

結論として、MS-13Xにおいても水分除去に使用する条件下では少くとも、ヨウ素の影響は ヴァージンモレキュラシープ については小さく問題ない。しかし後述するように、残存ヨウ素の影響が再生をくり返した時大きくなるかどうかは、現段階では不明な点がある。トリチウム水の除染係数に対してはMS-4A, MS-13Xとも、ヨウ素の影響は認められない。

5.1.3 水素トリチウム同位体効果

モレキュラシープをトリチウム水で破過させると明らかにトリチウム水の濃縮がモレキュラシープ中で起つていることが破過曲線より判る。

すなわち次図に示す如く



A, B, C, 3領域を考えれば $A + B / A$ がモレキュラシープ吸着層でのトリチウム水の濃度の上昇度であり、 $C / B + C$ は破過水のなかでトリチウム水濃度が低下する割合を示す。

今回の試験ではトリチウム水の破過曲線の終端がかならずしも明確でないが外挿により推定している。

結果は誤差が大きいがMS-4A及びMS-13Xに大差なく

$$A + B / A \approx 1.07 \pm 0.03 \quad C / B + C \approx 0.63 \pm 0.10$$

基準条件下では、ヨウ素 (I_2) の存在は影響しない。但し吸着温度が高くなると $\frac{A+B}{A}$ は減少の傾向にある。水分濃度の影響は誤差が大きくて不明である。この値は、MS-13Xの脱着水の比放射能と入口トリチウム水比放射能の比1.06とほぼ一致する。

しかしトリチウム水捕集の場合は破過まで待たず再生するので吸着による同位体効果は影響しない。問題となるのは再生によつて、トリチウム水がモレキュラシーブに濃縮される程度である。一般に吸着破過と脱着再生は本質的には同質の過程と考えて良いからほぼ同一の同位体効果が期待出来る。しかし、温度条件が異なると吸着水の大部分が脱着される点異なる。前の吸着破過の際にも明らかなように温度上昇は一般に同位体効果の低下を招く。さらに吸着水の大部分が脱着されるため、初期に脱着される部分は軽水濃度が高くても段々トリチウム水濃度が高まってくるので、脱着が100%近くなると脱着水の同位体効果は1に近づく。このように脱着水の比放射能は吸着されていた場合ときわめて近いと考えてよい。計測した脱着水の同位体比が1.06と破過曲線から得た値ときわめて近いことも説明がつく。

問題は脱着水の同位体効果が小さくても存在すれば残存水の濃縮を生じこの濃縮度は脱着水の同位体効果より大きくなることである。このような濃縮された残存水がトリチウム除染係数を低下させる可能性がある。このため、すでに述べた如く再生試料を使用し試験を行つて影響の小さいことを確認している。

これにより今回実施した試験がかならずしも明確に再生後の残存水の濃縮度を与えていないが脱着水の同位体効果は存在しても小さいと考えられる。

残存水も再使用によつて問題となるような大きな濃縮が起つていないといえる。

5.2 ヨウ素の挙動

MS-13Xが乾燥状態にある時極めて良い I_2 の捕集材であることは、すでに良く知られており、 I_2 平衡吸着量として、0.63g/gモレキュラシーブが与えられている。⁽⁵⁾

今回の試験においては、破過迄放射性 I_2 による吸着を乾燥状態では実施していないが水分破過に相当する時間迄の除染係数は極めて高い。非放射性 I_2 による吸着では平衡吸着量として0.70g/gモレキュラシーブを得て保持量も大きいことが確認出来た。

しかし、モレキュラシーブが水分で飽和されている状態では、 I_2 の保持能力は極端に低下する。水分飽和サンプルによつて試みた結果では直ちに破過が起つた。

水分共存下での、ヨウ素挙動のうち特異的な点はすでに述べた如く、ヨウ素の一部が水分未吸着端に追い出される点であるが同時に水分吸着帯中にも、ヨウ素が高濃度で存在し



ていることである。これはヨウ素分布挙動の測定でピーク端以外にも、大きなヨウ素の放射能を観測することでも判る。このモレキュラシープ中に残存しているヨウ素は次の3つの種類があると推定出来る。

(i) 常温において容易にモレキュラシープから脱離するヨウ素。

これは脱着曲線の中では加熱されなくても脱離する部分であり、また、MS-13Xの脱着曲線に肩を生じる。

(ii) 加熱することにより脱離するヨウ素。

(iii) 加熱しても脱離せず残存するヨウ素。

このうち(i)は活性化エネルギーがなくて移動することからモレキュラシープに吸着しているのではなく、モレキュラシープ粒上或るいは、吸着水分に凝縮していると考えられる。このヨウ素はガスを流さなくても容易に拡散によつて移動するので、吸脱着装置を設計する場合注意が必要である。(iii)については今回の試験結果では明確でないが、温度を350℃迄上昇させ長時間再生を行つても放出されない点から単なる物理吸着でなく、化学結合が生じていると考えられる。可能性としてはモレキュラシープ中のカチオン原子との結合が考えられる。

この残存ヨウ素(iii)の量は、モレキュラシープに吸着されたI₂量と水分量に依存する。再生後のモレキュラシープの放射能強度より、MS-13Xで得た代表的値を次に示す。

試料番号	吸 着 条 件				残存ヨウ素濃度 mg/g MS-13X
	水分濃度	I ₂ 濃度	空塔速度	吸着温度	
22A	7.6℃ (露点)	10℃ (露点)	3cm/sec	室温 (28℃)	3.7 ± 0.5
25	-14℃ (露点)	10℃ (露点)	3cm/sec	室温 (28℃)	10.3 ± 1.2

同一ヨウ素濃度であつても、水分濃度が低くなると吸着ヨウ素量が増大し、それに伴い残存ヨウ素も増加する。しかし、この水分濃度が非常に小さくなつてくると残存ヨウ素量は逆に低下する。注意深く吸・脱着及び途中操作で水分混入を防いだ試料(I₂の

み吸着試料)では、残存ヨウ素量が $1 \pm 0.5 \text{ mg/g}$ モレキュラシープとなっており、残存ヨウ素の存在は水分の存在に大きく影響されていることが判る。

これは、モレキュラシープ中のカチオンとの反応がHI或るいはHIOを経ている可能性を与える。

MS-4A中での残存ヨウ素量は約 $0.3 \pm 0.1 \text{ mg/g}$ MS-4Aと基準条件での吸着再生試料について推定出来る。

モレキュラシープを再生利用する場合この残存ヨウ素量が段々と増加するか、ある一定限度で飽和するのかを今後検討する必要がある。増加がいちじるしい場合は水分吸着にも影響が出ると考えられる。

MS-13Xへのヨウ素吸着に対する水濃度の影響はすでに指摘した如く水分破過時間がヨウ素の破過時間となり、低濃度程ヨウ素の保持量が大となる。

MS-4Aが水分共存下でも、乾燥状態下でも破過時間に変化を認めないのは、MS-4Aではヨウ素破過まで短時間であつて、モレキュラシープの水分吸着が飽和に達している部分が少く、その影響が出難いためであろう。

5.3 トリチウム水除去のためのモレキュラシープ吸着塔適用可能性の検討

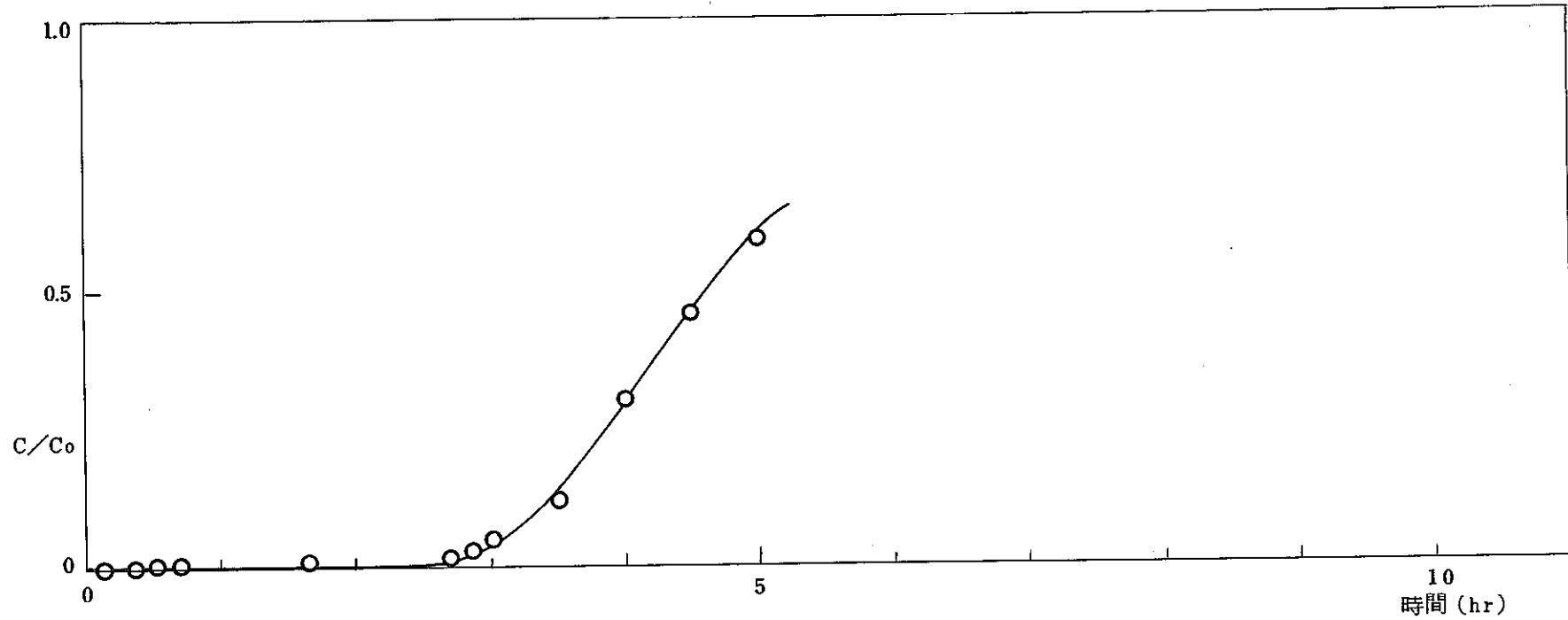
前述したようにMS-4A及びMS-13Xの相方ともに、トリチウム水除去に対しては有効であるがヨウ素(I_2)に対して性質が異なるので使用法が変る。

即ち、MS-4Aはトリチウム水除去だけを目的とする系に有効であり、共存ヨウ素(I_2)の吸着が小さいことから、 I_2 の影響は殆んど受けない。 I_2 除去をMS-4A後に考えている場合最適である。

MS-13Xは、 I_2 ・トリチウム水同時除去が可能であり、水分破過寸前迄高除染係数が期待出来る(5×10^3)。しかし、MS-4Aと異り水・ I_2 の競争吸着が起こるので低濃度 I_2 では問題ないが非常に高濃度になつた時、影響が出る可能性はある。特に再生利用を繰返す時は残存ヨウ素がどのような影響を与えるが検討する必要がある。

MS-13Xはヨウ素濃度が極端に高くないところで I_2 及びトリチウム水同時除去に使用可能である。

これら吸着塔でのトリチウム水除去は軽水に対する工学的データを使用出来る。

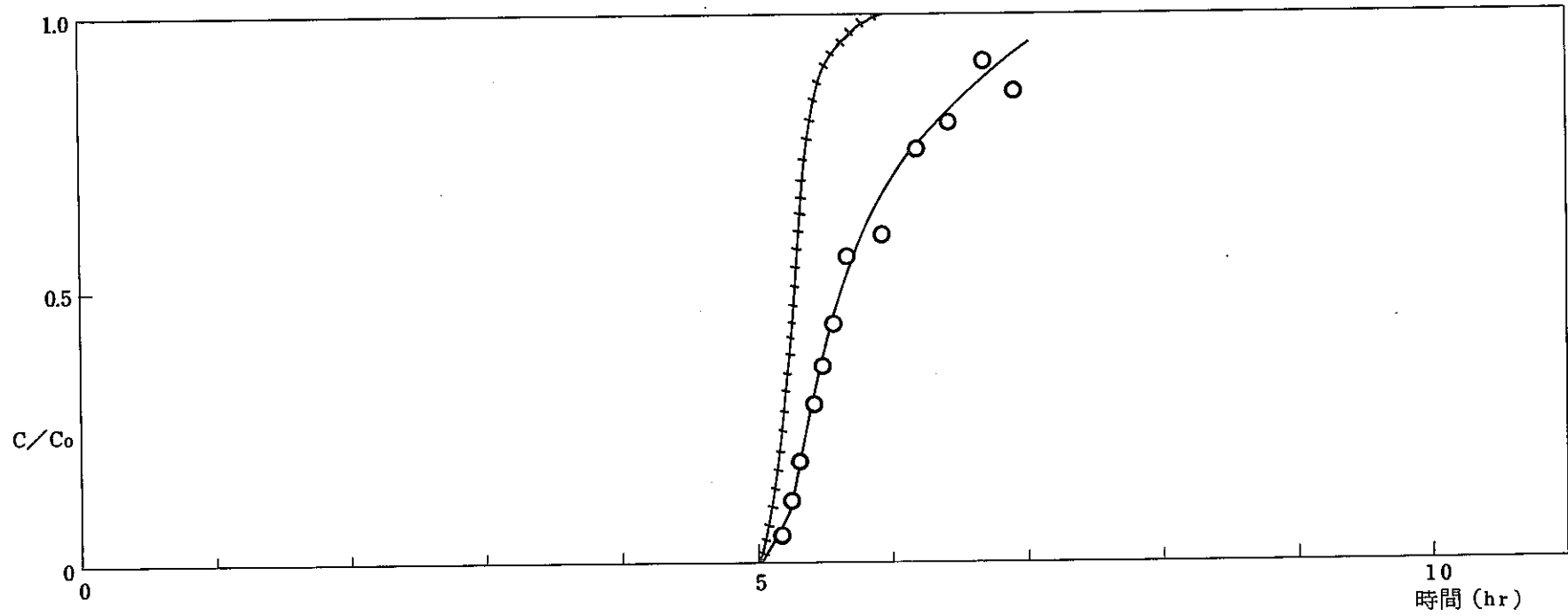


記号
 ○ トリチウム水 (HTO)

試験条件
 トリチウム水濃度 7.0℃ (露点)
 空塔速度 3 cm/sec
 吸着温度 室温 (28℃)

図 III - 5 - 1

水分飽和MS-4Aのトリチウム水破過



記号

—○— トリチウム水 (HTO)

+++++ 軽水 (H₂O)

試験条件

トリチウム水濃度 7.0℃ (露点)

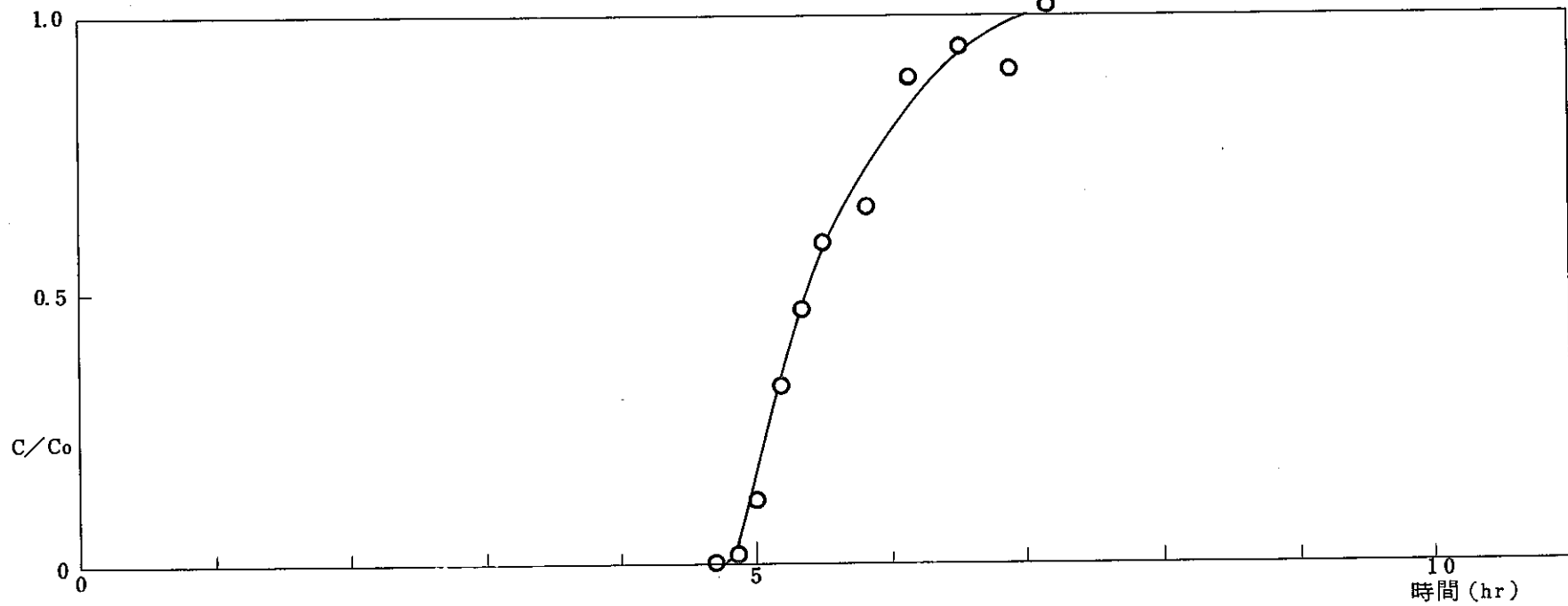
空塔速度 3 cm/sec

吸着温度 室温 (28℃)

図Ⅲ-5-2

MS-13X-H₂O (HTO) 系
再使用試料による破過曲線

試料番号 16



記号
 ○ トリチウム水 (HTO)

試験条件
 トリチウム水濃度 7.0 °C (露点)
 空塔速度 3 cm/sec
 吸着温度 室温 (28 °C)

図 III-5-3

I₂ 飽和 MS-13X のトリチウム水破過

第6章 結 論

- (i) モレキュラシーブ吸着法はヨウ素 (I_2) 存在下でもトリチウム水除去方法として成り立つことが確かめられた。
- (ii) MS-4A は、マイクロ孔への I_2 侵入が不可能のため水分吸着に及ぼすヨウ素の影響は非常に小さい。反面 I_2 保持能力もきわめて小さいので、 I_2 捕集を考慮しない系で利用可能である。
- (iii) MS-13X は乾燥状態では非常に良い I_2 除去材であるが水分共存下では、水分破過に I_2 保持能力が限定される。しかし、除染係数は良く、 I_2 ・トリチウム水、同時捕集が可能である。
- (iv) 吸着温度、流速の変化は水分吸着に主として影響し共存、ヨウ素に直接の影響は小さい。
- (v) $HTO \cdot H_2O$ 同位体効果の存在は、トリチウム水除去脱着に際しては大きな影響を与えない。軽水データーが使用可能である。
- (vi) 水分共存下、MS-13X に吸着したヨウ素 (I_2) は3種類あると考えられる。再生時残存するヨウ素の影響は今後検討する必要がある。



第7章 参 考 文 献

- (1) "化学便覧・基礎編Ⅱ" 日本化学会編, P 559,
丸 善 (1966)
- (2) H. T. Gerry and L. J. Gillecpie,
Phys. Rev., 40, 269 (1932)
- (3) 北川 浩, 鈴木謙一郎 "吸着の基礎と設計", P 132,
槇 書店 (1977)
- (4) S. Kitani and H. Ezure,
日本原子力学会誌, 3, 787 (1961)
- (5) G. Collard, J. Broofhaerts, W. Goossens
and J. Stevens, "Dynamical Adsorption of
Iodine on Molecular Sieves" BLG, 492 (1972)



第 IV 部

今後の研究開発の計画

今後の研究開発項目

1. ボロキンデーション工程全般

(1) 工程の総合性能の把握

本工程の機器を単独で開発した後、全ての機器を組込んで、工程全般の機器相互間の作動および運転性能を実証、把握する。

(2) 工程の有効性の確認

溶解工程のヘッドエンドプロセスとしての有効性を次工程における負荷の軽減、揮発性FP除去による安全性の向上、経済性等から評価する。

(3) 工程の運転方法の確立

将来の大型再処理工場に本工程が採用されるに当たって、現実に即した最適な運転方法、制御方法および遠隔操作方法を検討する。

必要に応じて、回分式と共に連続式運転にも対応できる運転要領・機器仕様を検討する。

(4) 工程の保守、点検方法の検討

本工程の機器に必要な保守・点検項目およびISI項目を選定し、実施頻度・方法を検討する。

併せて、遠隔保守、点検が容易にできるよう、機器の構造を検討する。

(5) 工程の安全性、信頼性の確立

想定される異常事態のケーススタディを行ない、対応方法、要領を検討し、総合的に安全性、信頼性の向上を検討する。

(6) 処理燃料の仕様変化への対応策の検討

処理される使用済燃料の仕様（組成、寸法および崩壊熱など）が変わった場合、対応できる限度を検討する。

2. ボロキシナイザー

(1) 機械的動特性の把握

振動式ボロキシナイザーにおける振動特性，強度，動的部の寿命，ペレットの供給，拡散，処理，排出時の挙動を，工学試験により実証，把握する。

(2) 化学反応特性の研究

処理温度，供給ガスの組成，振動の強さなど各種パラメータとの関係から燃料の酸化，粉化現象の速さおよび過程を実験により解明する。

この実験は模擬燃料から始めて，最終段階には使用済み燃料による必要がある。

(3) 揮発性FPの放出率の把握

本設計研究では，ボロキシナイザーにおける揮発性FPの放出率をORNL等の文献を参考に設定したが，実際の照射燃料を用いて実験し，揮発性FPの放出率を確認，把握する。

(4) 粉体飛散物の発生量の把握

オフ・ガスに伴って，ボロキシナイザーからつれ出される粉塵の量を実験により把握する。

(5) PuO_2 入り燃料に対する処理効果の把握および最適処理条件の確立

実験によってLWR使用済み燃料，劣化ウランに関する酸化処理データと，FBR燃料に関する特性を比較し， PuO_2 入り燃料に対する最適な処理温度，時間，供給ガスの組成および振動の強さを確立する。

(6) 最適仕様，構造の確立

工学試験，ホット試験により，最適仕様を確立し，構造の見直し改造を行う。

(7) キャリアガスの種類および流量の選定

供給ガスとして空気，窒素と酸素の混合ガス，純酸素など各種ガスが考えられるが，燃料の酸化および揮発性FPの放出率，安全性，経済性から最適ガス種と流量を選定する。



(8) 大容量化への検討

将来の大型再処理工場への適用を前提に，ポロキシダイザーの大型化への可能性を機構，操作，安全の面から検討する。

(9) 製作方法，製作精度の確立

臨界安全性から形状が制限されるなどのため，高度な製作仕様が要求される構造となるので，機種重量の軽量化を図るとともに，精度の高い工作法，製作方法を確立する。

動的部に対する製作上および強度上の見直し検討を行なう。

(10) 温度の均一化に対する検討

定常時および非定常時のいずれにおいても，処理ゾーンを規定の温度に均一化する構造および加熱方法を確立する。

(11) 反応の均一化に対する検討

ポロキシダイザー内処理ゾーン全域の反応が均一となるように，構造，ガス供給法，温度分布を検討する。

(12) 振動に対するベローズ，処理板吊り下げ板の構造，強度の確立

現状処理板駆動軸シールにはベローズ，吊下げ板には薄状金属板を採用しているが，いずれも 50 Hz の振動数に対する実績が乏しい。両者は振動式ポロキシダイザーの安全上，機能上重要な要素であり，実機では補修，交換が困難でもあるため，強度，特にくり返し疲労強度を確立する。

(13) 臨界データの収集，評価の確立

再処理装置に関する臨界条件はデータ，評価方法とも十分とは言えない。現状データをもとに設計された現ポロキシダイザーの構造の妥当性を見直し検討するため，更に多くの臨界諸量を収集し，評価方法を確立する。

(14) 加熱装置，動的要素の形式再検討

実機については，高温長時間の運転仕様にあわせ，これに耐えうる長寿命の加熱装置，

動的部装置が必要である，現行のシースヒータ方式，ベローズ・吊下げ板による機構に優る方法がないかを模索，検討する。

(4) 起振器の別区画設置と保守，交換方法の検討

起振器にメンテナンスは不可欠であるため，実機では，ボロキシダイザー本体とは別区画に設置することも考えられる。

起振器の寿命，必要メンテナンス項目を耐久試験を基礎に考慮し，別区画設置の是非および設置方法を検討する。

3. 燃料供給，ガスシール装置

(1) 供給特性の把握

ロータリ型供給機構の回転数，ゲート開度，燃料切断片寸法に対する供給量の関係を確認する。

(2) 最適仕様および構造の確立

開口部の寸法および形状は，定量供給性，燃料切断片の詰まりの点で重要であるので，実規模の工学試験から最適構造を選定する。

(3) シール装置の特性把握

現行シール装置におけるシール特性およびその経時的変化を把握する。また，同装置締切時の漏洩量をプラント全体から評価検討する。

(4) 回転軸シール装置の再検討

現行燃料供給装置では，ゲート，ロータは回転軸駆動のため，軸グランドシール装置が必要である。この回転軸シール装置からの許容漏洩量を検討し，これに見合った形式，構造の選定を行なう。

4. 粉体飛散物捕集装置

(1) 捕集特性の把握

振動式ボロキシダイザーからオフ・ガスに伴って下流へ運搬される粉体飛散物の濃度，粒径等を実測し，これらパラメータを変えて，現行セパレータの捕集性能を把握する。同時に捕集した粉塵の回収方法を確立する。

(2) 最適濾過材の選定

現行のセパレータに内蔵される濾過材としては，微小メッシュの焼結金属が第1候補であるが，粉塵捕集機能，保守交換，寿命，等から評価し，最適濾過材を選定する。

(3) ヨウ素の付着防止の検討

本工程では，セパレータ下流にヨウ素除去装置が装備されるので，ヨウ素はガス状のままセパレータを通過することが望ましい。しかし，ヨウ素は凝固しやすく，セパレータに付着する可能性があるため，これを防止する方法を実状に合わせて検討する。

(4) 最適仕様および構造の確立

重力沈降槽の斜面角度，捕集効率上最適のオフ・ガス流速，濾過材設置位置，雰囲気条件などを実験により実証，把握する。また，粉塵濃度，ガス量とセパレータ適正形状の関係を確立する。

5. オフ・ガス処理装置

(1) 吸着材のFP捕集特性の把握

FP吸着において、混合核種、温度、水分をパラメータに、吸着特性（破過特性）を確立する。基礎試験にて基礎データを得た後、工学試験から実機に至るオフ・ガス処理装置の設計データを得るという実験手順で実施する。

(2) 最適吸着材の選定

ヨウ素、トリチウム水除去用の最適な吸着材を選定する。この時、ヨウ素、トリチウムはいろいろな化合物に変化しうるので、この形態を把握し、存在しうるいずれの形態に対しても有効な吸着材を選定、実証する。

(3) トリチウム水生成特性の把握

トリチウム水を吸着する上で有効な混合軽水量の解析、このために必要な H_2 供給量、供給方式および反応特性の把握、あわせてトリチウムの存在形態、安全性の検討を行なう。

(4) Ru, Kr, の除去装置の開発研究

同上除去装置については、世界各国で研究中であり、ポロキシデーション工程でも不可欠な装置となることが予想される。除去装置の原理、機能を検討し、形式構造および除去特性を研究する。

(5) トリチウム水貯蔵装置の構造検討

オフ・ガス処理系において、トリチウム水が捕集される位置と量を明確化し、回収、貯蔵方式を検討し、貯蔵装置の構造、運搬法、安全性を検討する。

(6) 残留粉塵除去装置の設置方法の再検討

凝固ヨウ素、各種FP酸化物の挙動については不確定要素が多く、いまだ基礎データが少ない。これらは配管内壁に付着したり、現行ヘパフィルター下流に残存することも考えられる。このため、内壁に付着、閉塞することを防止する案を検討するとともに、現行残留粉塵除去装置の設置場所、数量を再検討する。



(7) オフ・ガス中，微量F Pの計測制御方法の検討

実機では吸着，トラップ，回収の各操作は，遠隔で行なう必要があり，自動操作が要求される場合もある。操作時期，時間の指示，制御のための変化量の選定およびその計測方法を実機に即して検討する。

6. その他

(1) 秤量分配装置の必要性とその構造検討

燃料片細断機とボロキンダイザーの中間部およびボロキンダイザーからの出口部における秤量装置の必要性，必要な場合の設置台数を検討する。

秤量装置としては，MUF (Material Uncounted For) 管理上，高精度のものが要求されるが，取扱物質が粉体，ペレットであることから，構造，機構上，研究開発機器となる。

(2) 粉体挙動の把握と粉塵対策の検討

粉体のハンドリングは難しく，特に U_3O_8 ， PuO_2 の如き高，長半減期放射性物質の場合は，保守，トラブル処理が，ほとんど不可能なため，十分検討する必要がある。ボロキンダイザー内部の挙動も把握する必要がある。さらに系内には，同上粉塵が浮遊するので，安全性を考慮した粉塵対策を検討する。

(3) 傾斜装置の代替案の検討

ボロキンダイザーではペレットの動向から，①供給拡散，②酸化，離脱処理，③排出，に3大別されるので，これを促進するため，装置（処理板）全体を傾斜させる装置が設置される。この傾斜装置は動的機器のため，将来の実機に関しては，ホットセル内に装備することは，保守，油の劣化等から好ましくないので，構造の検討，代替装置の検討を行う。

(4) 連絡管の構造検討

ボロキンダイザーとの連絡管の継手部には，振動，熱変位，傾斜変位を吸収する機能が必要であり，流体が粉体，ペレットであることから，対応する構造を検討する必要がある。

(5) 冷却系の簡素化の検討

本システムの冷却装置は，崩壊熱除去用，機器の緊急冷却用，冷却器用等多様で複雑である。実機を考慮すれば，設置スペース，保守，等から，これら付帯設備は少ない方が好ましいので，可能な限りの簡素化を検討する。

高速炉燃料再処理試験施設のボロキシデーション工程
研究開発スケジュールおよび概略予算

研究開発項目			昭和 51年度	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62		
システム 全般	FBR再処理試験 施設用工程	概念設計	予備設計		基本設計											
		詳細設計	I	II	III	I	II	12	24	12		6				
		工事認可		5 (0.6)	5 (0.6)	5 (0.5)	5 (0.5)		(1.1)	(2.0) (0.3)	(1.0)		(0.4)			
		装置設計			5 (0.6)				43 (3.7)							
		装置製作									2280 (2.0)	1560 (2.0)				
		組立建設										60 (0.5)	120 (1.0)	120 (1.0)		
		試験													60 (4.0)	
	C P F 用工程	詳細設計			30 (3.4)					12 (1.0)						
		工事認可			2 (0.2)											
		装置製作					24 (0.3)			24						
		試験							43*3 (4.0)		24*5 (2.0)	24 (2.0)				
	ボロキン デザイナー	本体	基礎試験 (IHI社内)													
			工学試験	設計												
				製作		(0.4)	14	(1.5)	48	(2.0)	78					
試験						I 19 (1.2)		II 19 (1.2)		III 24 (2.0)						
C P F 工学試験			設計				48*1 (5.0)			(1.5)	102					
			製作							*4		*6				
		試験														
付 属 装 置		粉体飛散物 捕集装置	工学試験		(0.3)	11										
			製作													
			試験			7 (0.6)		*2								
		燃料供給 ガスシール 装置	工学試験		(0.3)	7										
			製作				5 (0.5)	*2								
			試験						19 (0.2)	*4		*6				
オフ・ガス処理基礎試験			I	II 19 (1.0)	III 24 (1.6)											
オフ・ガス処理装置		工学試験	設計			(1.2)										
			製作				66									
			試験					22 (2.0)								
		C P F 工学試験	設計					(2.0)	78							
製作								*4		*6						
トリチウム水貯蔵装置	工学試験	設計			3 (0.4)											
		製作				18 (0.1)										
		試験					4 (0.4)									
雑費用				1.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0		
概略予算合計 単位：百万円				57	163	143	173	136	235	2,319	1,647	129	123	63		
年間延従業者数 単位：人数				2.6	9.7	9.1	4.8	7.1	10.5	5.0	4.5	1.4	1.0	4.0		

注：表中の線上の数値は項目毎の概略予算（単位：百万円）を線下部の（ ）内数値は年間延従業者数を表わす。

年間延従業者数には、装置の製作、組立および調整運転に関する作業者を含まず。

*1：*2を含む， *3：*4を含む， *5：*6を含む。