

本資料は 年 月 日付で登録区分、
変更する。

2001. 7. 31' [技術情報室]

分置

コールドトラップの技術開発

—ナトリウム技術専門委員会講演集—

昭和 50 年 12 月

動力炉・核燃料開発事業団

この資料は動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だ

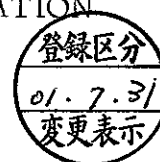
本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒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)

NOT FOR PUBLICATION
EN 241 75-22
December, 1975



Development of Cold Trap for LMFBR
- Proceedings of the meetings on cold trap -

Abstract

Meetings on cold trap development were held by the Sodium Technology Committee in PNC on November and December 1975.

Papers presented to these meetings by the members of the Committee are compiled in form of proceedings.

The titles of the papers are as follows:

- (1) Operational experiences and some experiments on cold traps,
- (2) Experiences on a cold trap of a sodium loop for 0.3 MW steam generator, and oxygen distribution in this cold trap,
- (3) A procedure for designing cold trap,
- (4) Cold trapping capacity for fission products of LMFBR,
- (5) Cold trapping capacity for metal impurities in sodium,
- (6) Analysis of cold trapping mechanism using a mass transfer model,
- (7) Design of a cold trap for the secondary cooling loop of "MONJU", and
- (8) Review on the actual status of cold trap development.

目 次

はじめに	1
1. コールドトラップ関係の運転, 実験経験	3
2. 0.3 MWSG ナトリウムループのコードトラップ使用経験 および酸素濃度分布調査	17
3. コールドトラップの設計手順	27
4. FPL コールドトラップのFP除去性能	33
5. コールドトラップによる金属不純物の除去	37
6. 物質移動を考慮したコールドトラップの解析	43
7. もんじゅ二次冷却系コールドトラップの設計	51
8. コールドトラップの現状	55

はじめに

ナトリウムを冷却材とする高速増殖炉においては、ナトリウムの純度を維持管理することが、炉を順調に運転する上で必須の条件であろう。この目的に使用されるコールドトラップは、原子炉全体に対しては補助的機器であるが、その生命を制する重要な機器である。

コールドトラップは海外でも巾広い研究が行なわれ開発されて来ているが未だ完成の域には達していないと言える。

我国においては、動燃事業団大洗工学センターにおいて、ナトリウムループ用小型コールドトラップから実験炉「常陽」の大型コールドトラップに至る一連の運転の経験を積みながら研究を進め、来るべき原型炉「もんじゅ」用コールドトラップの完成を目指している。また、これらのコールドトラップを製作された各メーカーにおいても独自に研究が行なわれ、我国の技術による完成を目標に努力が続けられている。

第48回および第50回ナトリウム技術専門委員会では、このコールドトラップを取上げ、各メーカーにその運転法、設計法、不純物除去推定法および実績等を中心に講演をお願いし、動燃事業団からも現状を報告して熱心な討論が行なわれた。その内容は一回の講演に終らせてしまうには余りに貴重であり、今後の大型コールドトラップ完成に対して大いに貢献すると考えたので、こゝに関係各社の御了解を得て資料としてまとめた。本資料を参考にされ、尙一層の努力を続けられんことを願うものである。

末尾ながら発表を快く承諾された各社および熱心に御討論いただいた専門委員他各位に心から謝意を表します。

高速増殖炉開発本部

ナトリウム技術グループ

望 月 恵 一

1. コールドトラップ関係の運転，実験経験

舞田 靖司* 上田 三男*
○ 佐野 保* 白瀧 康次**

1. コールドトラップ設計上の問題点

当社高砂研究所およびMAPIにおけるコールドトラップ関係の運転，実験経験について記載する前にまず，一般的にコールドトラップ設計上の問題点と考えられるものを整理しておく。

コールドトラップ設計の問題点については種々の定性的議論はあるが，定量値あるいは捕獲機構などについては依然として不明な点が多い。もちろんこれらすべてが明確にならないと設計ができないというわけではないが，特に問題と考えられる事項を表1にまとめて示しておく。現状では，分析，実験技術の困難性から，いわゆる基本的な実験が可能なものは一部に限られ，他はやはり経験的要素に頼らざるを得ないものと思われる。

かかる観点から，当所のコールドトラップ開発についても，基本的なものと経験的なものとの2者を併行させてすすめている。次章以下にその概要を述べる。

(1) ループ中運転経験を主とするもの（第2章に関連）

実験用ナトリウムループにコールドトラップを設置する際，種々のタイプの異なるコールドトラップを設置し，そのループでの純化運転経験から設計上の問題を把握していく。

(2) 基本実験を主とするもの

ループ中の試験では，長期間の運転から問題点を経験的に把握するものであるが，試験条件が常に変ったりし，細かい点についての把握は困難なのが通常である。特に重要と考えられるものに対しては，基本データを蓄積するよう努めている。

2. 設計，運転経験

当社高砂研究所実験用ナトリウムループでは過去にいくつかのタイプの異なるコールドト

* 三菱重工業(株) 高砂研究所

** 三菱原子力工業(株) 動力炉開発部

ラップの設計，そのゴールドトラップを使つての純化運転を実施してきている。

以下にこれら設計，運転経験の概要を示す。

2.1 設計経験

表-2(1)に高砂研究所実験用ループのゴールドトラップのタイプをおよび表-2(2)に三菱原子力工業㈱により設計し，動燃殿他に納入したゴールドトラップのタイプを一覧にして示す。

2.2 運転経験

主要な運転経過，運転上経過の特記事項を表-3にまとめて示す。

2.3 コールドトラップの解体分析試験

エンリコフェルミコールドトラップで行なわれたいわゆるサンプリングチューブ打込みによる“コアサンプリング法”を用い，閉塞したKL-1#1コールドトラップの捕獲分布を調べた結果を図-1に示す。

* 全体的に酸素捕獲量は小さく，分析点での最大値でも，5500ppm-Oxygen程度と
なった。 (～0.02g-Na₂O/cm³)

* 閉塞原因は酸素捕獲量が分析点で比較的小さかったため明確ではないが分析点以外での局所集中捕獲が可能性として考えられる。

* 主に上流側で多く捕獲が見られた。

3. 基本実験

3.1 試験装置

ループ中に設置したコールドトラップの試験は経験的に種々の知見が得られるだろうが次の欠点をもつ

* 系内不純物濃度条件が一定でない。

* ゴールドトラップ捕獲自体も過渡的なものとなり易い。

* 十分な測定設備は通常施し難い。

* ループ中の他の制限条件に規制されやすい。

したがって、当社では純化系だけの基礎試験を実施できる「純化試験ループ」を設置している。本ループの系統概略図を図-2に示す。

本ループの主な特徴は

- (1) ループ入口側に大容量コールドトラップを設置し（滞留時間が極めて長い）ループ入口不純物濃度条件を、常に一定に保持できるようにしている。
- (2) テストセクション入口および出口側にサンプリング装置を設置し、頻繁にサンプリング可能としている。
- (3) その他、差圧計、プラッキング計等、十分な計測設備を設置し、純化系に対する諸試験が実施できるようにしてある。

以下に、本純化試験ループを用いて試験したものの1例を示す。

3.2 コールドトラップ捕獲に関する試験

(1) 酸素飽和溶解度試験

酸素飽和溶解度に関して、モデルの小型コールドトラップ出口温度に対するサンプリング分析値を図-3に示す。

図から分るように、従来のClaxton式はやや大きめであり、本試験からは、析出試験時には出口はやや過飽和になり、溶出試験時にはやや未飽和になることを考慮すれば、Noden式またはEicherberger式が飽和酸素溶解度として妥当なものと思わせる。

(2) コールドトラップ捕獲容量試験

コールドトラップ入口酸素濃度が飽和になるように設定し、コールドトラップ入口、出口温度差、ナトリウム流量を変えて、運転条件により、コールドトラップ捕獲容量がどの程度異なるかを試験した1例を示す。

図-4に試験状況の1例を示すように、ある捕獲条件に設定し、しばらくすると、コールドトラップ内不純物捕獲により、入口、出口の差圧が徐々に立ち出してくる。

コールドトラップの捕獲容量はポンプヘッドにより異なるが、圧損がほぼ無限大になるまでに捕獲する量と定義し、圧損増加カーブより外挿してみた。

結果を要約すると

- (a) 入口、出口温度差が大きいほど、かつ、流量が大きいほど圧損はかなり急激に立ち

出し、かつ捕獲容量の減じることが分った。

(b) 単位時間当りの酸素捕獲量（以下トラッピングレートと称す。）を横軸にとり単位容積当りの平均 Na_2O 捕獲容量で整理すると、データはほぼ一貫性を持ち、トラッピングレートが大なるほど捕獲容量が急激に減少することが分った。（図-5）

トラッピングレートが大なるほど局所集中捕獲になるものと推定される。すなわち、コールドトラップの捕獲量は運転条件にも大きく左右されることが明確となった。

なお供試コールドトラップは試験時間短縮のため、比較的小型のものを用いて（径110mmφ、捕獲部長さ800mm）いたが、今後スケーリングの効果についても実施の必要があると感じている。

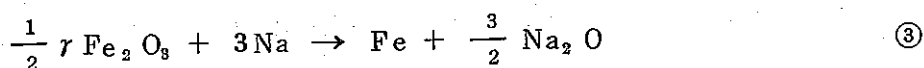
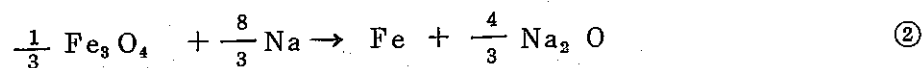
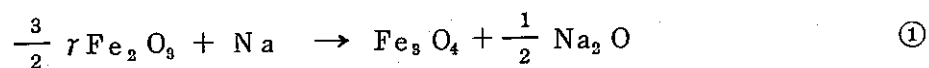
3.3 2¼Cr-1Mo材スケール溶出に関する試験

原子炉プラント初期純化運転時には、予熱ヒータだけによる昇温、ポンプ入力だけによる昇温等、通常到達温度は200～250℃とかなり近く、特に2次系のように2¼Cr-1Mo鋼のスケール還元反応がこのような低温でおきるかどうかということで問題と考えられる。

本純化試験ループで図-6に示すようなスケール溶出試験セクションを設けこの点に対して試験した1例を示す。

図から分るように、ある濃度条件に設定したのち、試験チューブを挿入して、ナトリウムを管内スケール付着面に流し、出口の酸素濃度、鉄濃度の経時変化をサンプリング分析して求めた。

なお初期のスケールをX-ray同定するとほとんどが、 $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ であることが確認され熱力学的におこり得る反応としては、次の反応と推定される。



出口酸素、鉄濃度分析結果からは次のことが言えるようである。

(a) Na 温度 250℃では、円滑に溶出反応をおこす。

(b) Na 温度 200℃では、急激に溶出反応がにぶる。

(c) 250℃ の鉄分析結果からは、管材表面に残る鉄 (α -Fe) は簡単に、はくり除去される。(このことは、別試験で Na 浸漬後アルコール洗浄したとき表面付着物は簡単に、はくりし、それが鉄であることを確認しており予想された結果である。)

表-1 コールドトラップの問題点

No.	項目	問題点	具体例
1	系内よごれ	<ul style="list-style-type: none"> *系内よごれ量, よごれ源 *不純物形態 	除去すべき不純物量および不純物供給源の明確化 保管状態との関連 etc フェライト系, オーステナイト系等での不純物存在形態
2	系内フラッシング	<ul style="list-style-type: none"> *溶出反応 *系内ミキシング *系内不純物存在形態 	反応の形, 反応速度 タンク, 分枝点等でのミキシング評価 再析出等を含む系内Na中の不純物存在形態
3	コールドトラップ内の不純物析出	<ul style="list-style-type: none"> *析出の機構 *析出物の形 *充填物の効果 *再溶出, 再析出 *溶解度曲線 	表面析出として働いているか 核生成として働いているか? また析出速度は? Na_2O 単体として良いか? 析出機構上からの最適充填物 析出分布に関連, その機構, 定量値
4	コールドトラップ内伝熱	<ul style="list-style-type: none"> *エコノマイザー伝熱 *コールドトラップ伝熱 	それぞれきわめて低流速ゆえ, 伝熱性能が不確かなことが多い。
5	コールドトラップ内流動	<ul style="list-style-type: none"> *閉塞の機構 *充填物, 析出物の影響 	それぞれ3に関連
6	運転方法	<ul style="list-style-type: none"> *コールドトラップ最適運転方法 	Na流速, 滞留時間, トラッピングレート入口, 出口温度差, 温度分布制御 etc
7	コールドトラップ型式	<ul style="list-style-type: none"> *充填メッシュ型コールドトラップ *沈降型コールドトラップ 他種々のタイプのC/Tでの最適設計 *スケーリング効果 	<ul style="list-style-type: none"> ○フィルター効果および沈降効果が主眼とすれば, 不純物粒子径, 物性 etcデータなし ○表面析出効果を主眼とすれば, 最適充填物形態等 バックデータなし
8	1次系コールドトラップ対策	<ul style="list-style-type: none"> *再生方法 *ホットNa対策 	

表-2(1) コールドトラップ設計状況(高砂研究所実験ループ用)

No.	設備名称	設計時期	稼動時期	設計条件					構造特徴	メッシュ		概略図	
				入口/出口温度	流量/流速	滞留時間	捕獲部積容	エノマイザ型式		エノ入口/出口	表面積率		充填密度
1	KL-1ループ #1 コールドトラップ	'71/8	'72/5 ~'72/9	180°C / 150°C	10 l/min / 3mm/S	約 5分	50 l	二重管 (別置)	(胴側) 420°C / 180°C (管側) 150°C / 390°C	(1)メッシュを3層に分割 (2)汲上げ浄化システム (3)堅型空冷式	1層 275 m ² /m ³ 2層 740 3層 905 (デミスター)	144 kg/m ³ 390 220	
2	KL-1ループ #2 コールドトラップ	'72/11	'73/1 ~'73/2	180°C / 150°C	10 l/min / 3.5mm/S	約 7分	70 l	ヘリカル コイル型 (別置)	(胴側) 340°C / 180°C (管側) 150°C / 310°C	(1)メッシュを4層に分割 (2)堅型空冷式	1層 82 2層 194 3層 220 4層 390	150 370 905 740	
3	KL-1ループ #3 コールドトラップ	'73/3	'73/4 ~ 現在	185°C / 150°C	10 l/min / 0.86mm/S	約 15分	150 l	二重管 (別置)	(胴側) 400°C / 185°C (管側) 150°C / 365°C	(1)堅型空冷式 (2)自由液面, 上部フランジ式 (3)メッシュ内に多数穴あり (4)メッシュは1層 (5)帰還管なし (6)上昇流	82 m ² /m ³	155 kg/m ³	
4	KL-2ループ #1 コールドトラップ	'72/4	'72/12 ~	210°C / 180°C	3 l/min / 1mm/sec	約 7分	20 l	二重管 (別置)	(胴側) 360°C / 210°C (管側) 180°C / 350°C	(1)堅型空冷式 (2)メッシュは一層	155 m ² /m ³	82 kg/m ³	
5	KL-2ループ #2 コールドトラップ (予備)	'73/4	未稼動	210°C / 180°C	3 l/min / 1mm/sec	約 7分	20 l	同上	同上	(1)堅型空冷式 (2)メッシュ部にバッフルを有する (3)バッフルにバイパス孔あり	平板 メッシュ	"	
6	KL-3ループ コールドトラップ	'75/6	未稼動	180°C / 150°C	20 l/min / 1mm/sec	約 10分	(冷却 メッシュ 部) 11 l (沈降部) 8 l	同上	(胴側) 400°C / 180°C (管側) 170°C / 390°C	(1)堅型空冷式 (2)沈降捕獲を主眼としたもの	155 m ² /m ³	82 kg/m ³	

表-2(2) コールドトラップ設計状況 (MAPI設計)

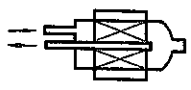
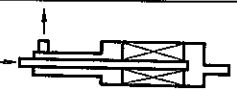
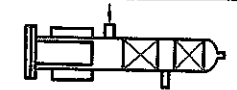
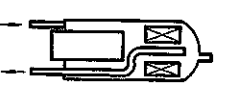
No	設備名称	設計時期	稼動時期	数量	設計仕様						構造特徴	簡略図	摘要
					メッシュ入口温度 ℃	メッシュ出口温度 ℃	メッシュ部流速 mm/S	メッシュ部滞留時間 min	メッシュ部容積 t	Na流量 t/min			
1	ML-1	41/8	41/11 ~	1	180	150	1~5	0.7	7	2	縦型空冷式		
2	ML-2	42/2	43/ ~	1	180	150	1~5	3.5	35	5	"	1に同じ	
3	ポンプテストループ	44/9	45/ ~47/	1	180	150	1~5	3.5	7	2	"	1に同じ	
4	IMWSグループ	45/3	46/10 ~	1	200	130	10		69	5	"	1に同じ	
5	Na蒸着試験装置	44/11	46/7 ~48/5	1	180	150	1~2	6	30	5	"	1に同じ	
6	液体金属沸騰実験装置	44/7	45/8 ~	1	180	150	1~5	6	7	1.1	" (エコノマイザ内蔵)		
7	C.T.L	47/6	47/12 ~	1	180	150	1~5	3	3	1	" (メッシュ交換方式)		
8	MPS-5	45/中~		1	120	120	0.4~2.2	5	24	5	" (エコノマイザ内蔵)		改良型
9	MPS-15	44/末~	代表的な もの下記	10	180	150	1~5	10	150	15	"	1に同じ	
	(1)熱衝撃試験装置		47/11 ~		"	"	"	"	"	"	"		稼動中
	(2)常陽二次冷却系機器 耐久試験ループ		47/12 ~48/1		"	"	"	"	"	"	"		閉塞により分解・検査
	(3) "		48/1 ~49/12		"	"	"	"	"	"	"		分解・検査
	(4) "		49/12 ~		"	"	"	"	"	"	"		稼動中
	(5)燃料交換ループ		45/2 ~46/2		"	"	"	"	"	"	"		分解・検査
	(6) "		46/2 ~		"	"	"	"	"	"	"		

表-3 コールドトラップ運転状況

No	設備名称	運転概要	特記事項	備考
1	KL-1 #1 コールドトラップ	<p>* '72/5 運転開始 ループ立上り後配管他の修復を数度行なっているうちに系内よごれが増え、細管の数ヶ所で閉塞発生</p> <p>*このためさらにループ温度を上げ、純化運転開始</p> <p>*' 72/9 C/T完全閉塞</p> <p>*PL計は閉塞で作動できず</p>	<p>*短期間のうちに閉塞 (系内よごれは極めて大きかった。)</p> <p>*閉塞後のコールドトラップは解体分析試験実施</p> <p>*いったん閉塞したコールドトラップは溶解加熱を施しても回復しなかった。</p>	<p>*ループ修復箇所が多く系内Na が相当よごれていた。</p>
2	KL-1 #2 コールドトラップ	<p>* '73/ 2 運転開始</p> <p>*C/T 流量=10ℓ/min E10入口250℃ C/T 出口180℃に設定</p> <p>*設定後2hr で閉塞、閉塞は急激であった。</p> <p>*運転中のプラグ温度は、約250℃であった。</p>	<p>*極めて短時間に閉塞した。 (トラッピング率は大きかったためと推定される。)</p> <p>*加熱溶解を実施したが回復できなかった。</p> <p>*サンプリングチューブにより内部ナトリウム酸素濃度を分析したが、極めて小さく、箇所集中捕獲を推定している。</p> <p>*ヘリカルコイル型エコノマイザー伝熱性能テスト実施</p>	
3	KL-1 #3 コールドトラップ	<p>* '73/ 4 運転開始</p> <p>*以後数回の純化運転実施</p> <p>*C/T 温度は、系内純度に合せ徐々に下げていく方法をとった。</p>	<p>*現在まで順調に運転を続けている。</p> <p>*PL計でみる限り捕獲効率が良い。</p> <p>*内部温度分析は余りない→上昇流なので自然循環によるミキシングが相当生じているものと推定される。</p>	<p>上部フランジ構造としていたが、レベルコントロールが煩雑となるため、途中で無液面形式に変更している。</p>
4	KL-2 #1 コールドトラップ	<p>* '72/ 12 運転開始</p> <p>*以後数回の純化運転実施現在まで運転中</p> <p>*本C/T では次点に注意している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○C/T 温度は徐々に下げていく。 ○ループNa チャージ時のダンプタンクNa 温度は、できる限り低くしておく。 	<p>*トラッピング率を大きくすると閉塞徴候をみせるが小さくすれば順調に運転の続けられることが経験的に分った</p>	

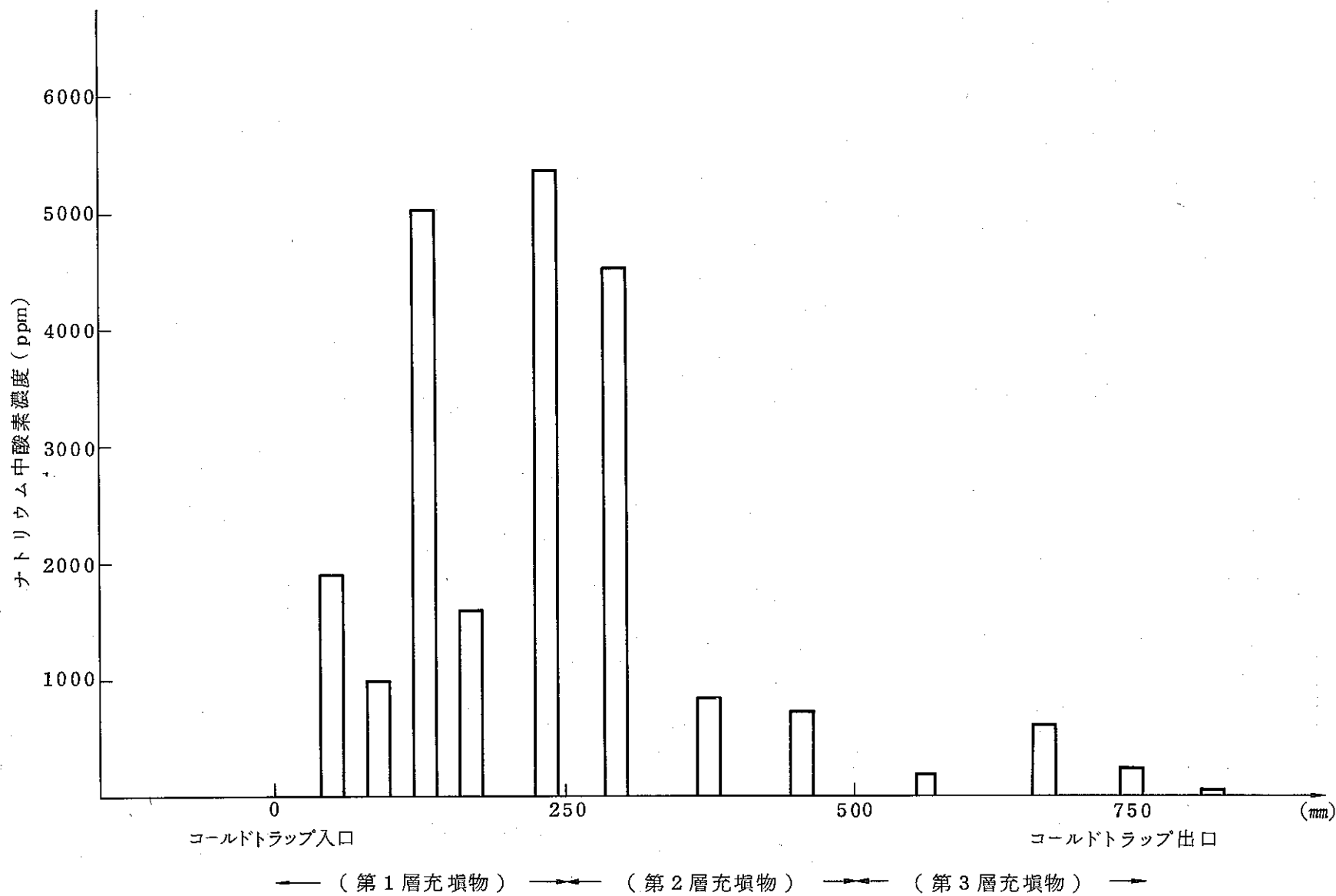


図-1 閉塞後のKL-1#1コールドトラップ内部ナトリウムサンプリング分析結果

SODIUM PURIFICATION TEST LOOP (KL-1-D-3)

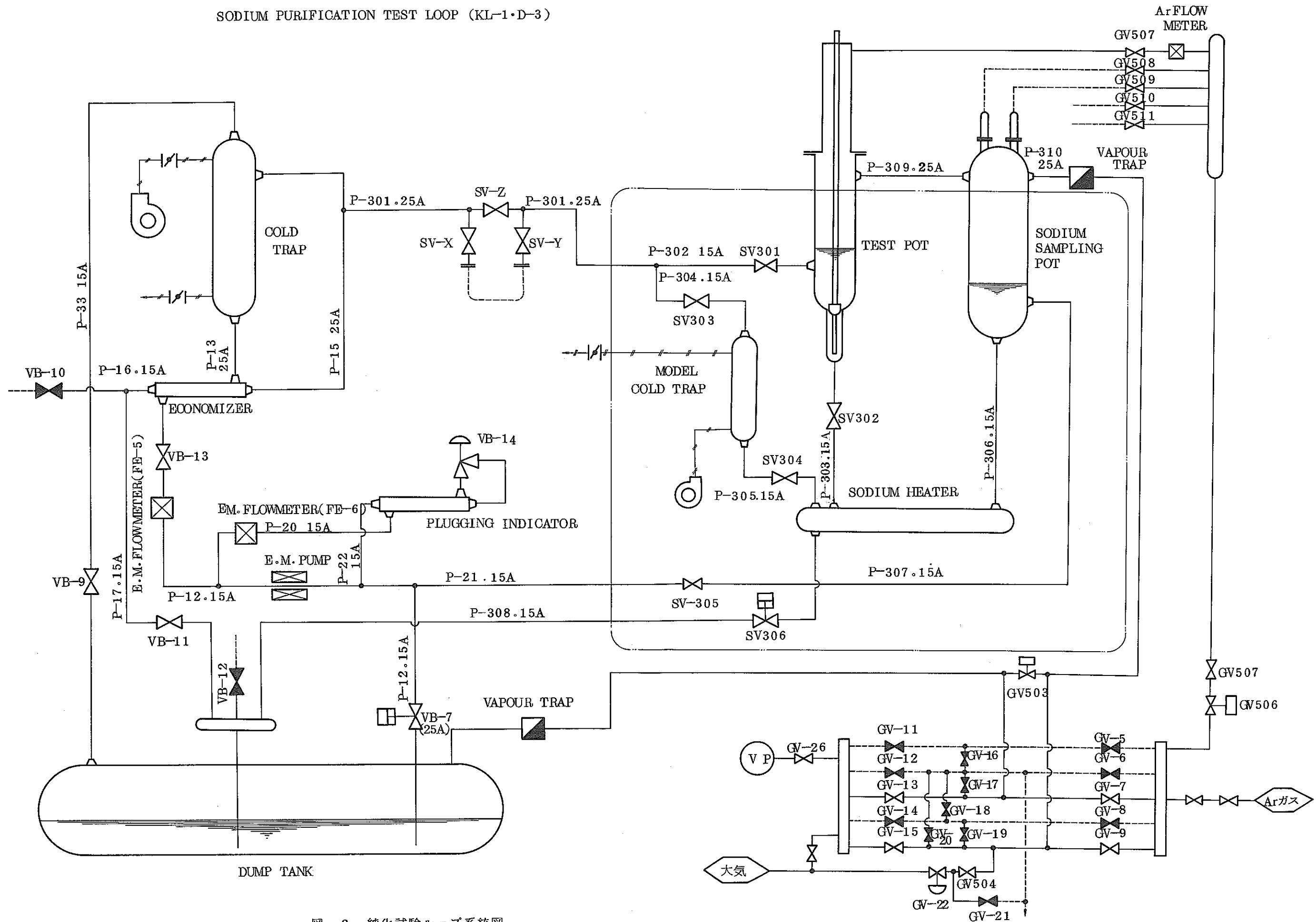


図-2 純化試験ループ系統図

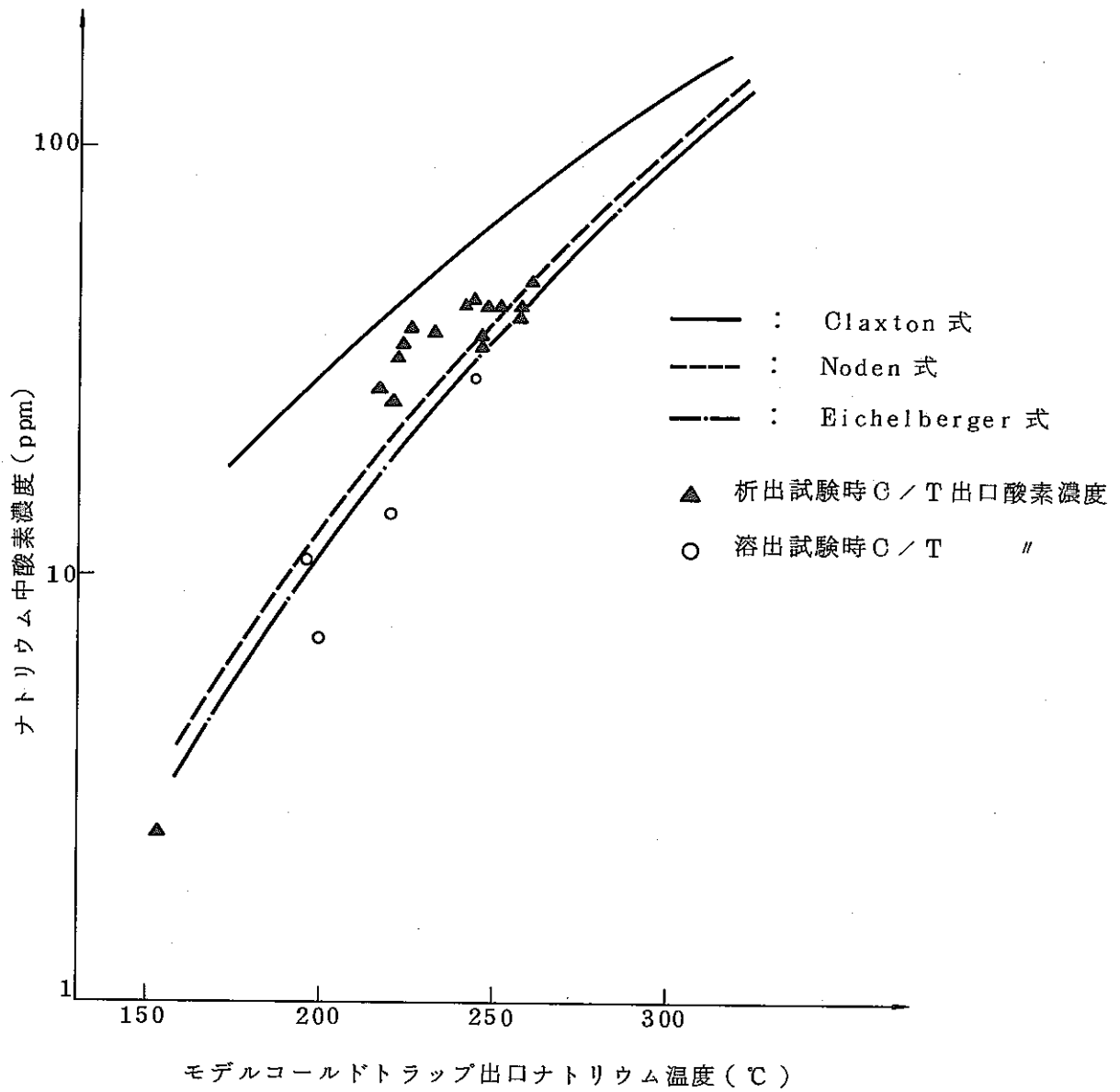


図-3 モデルコールドトラップ出口酸素濃度分析結果

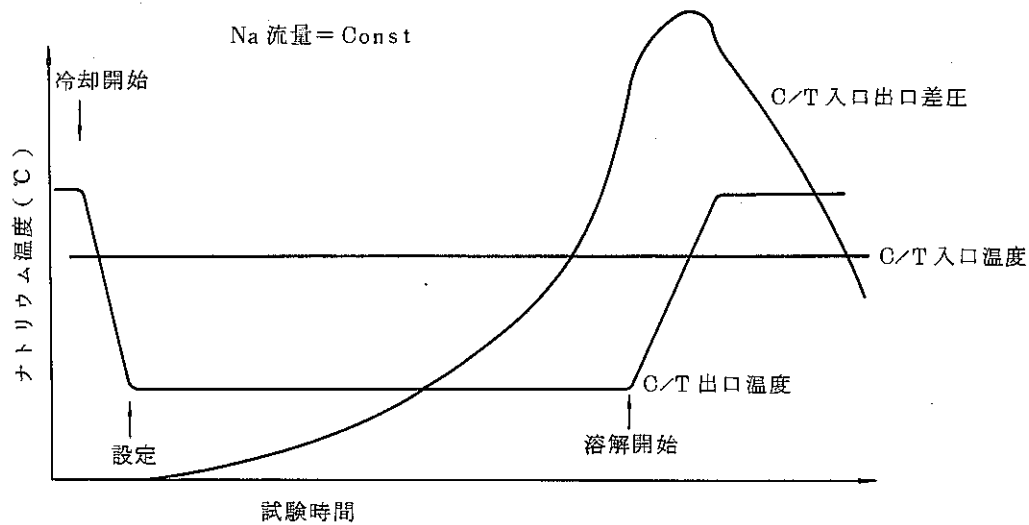


図-4 試験状況典型例

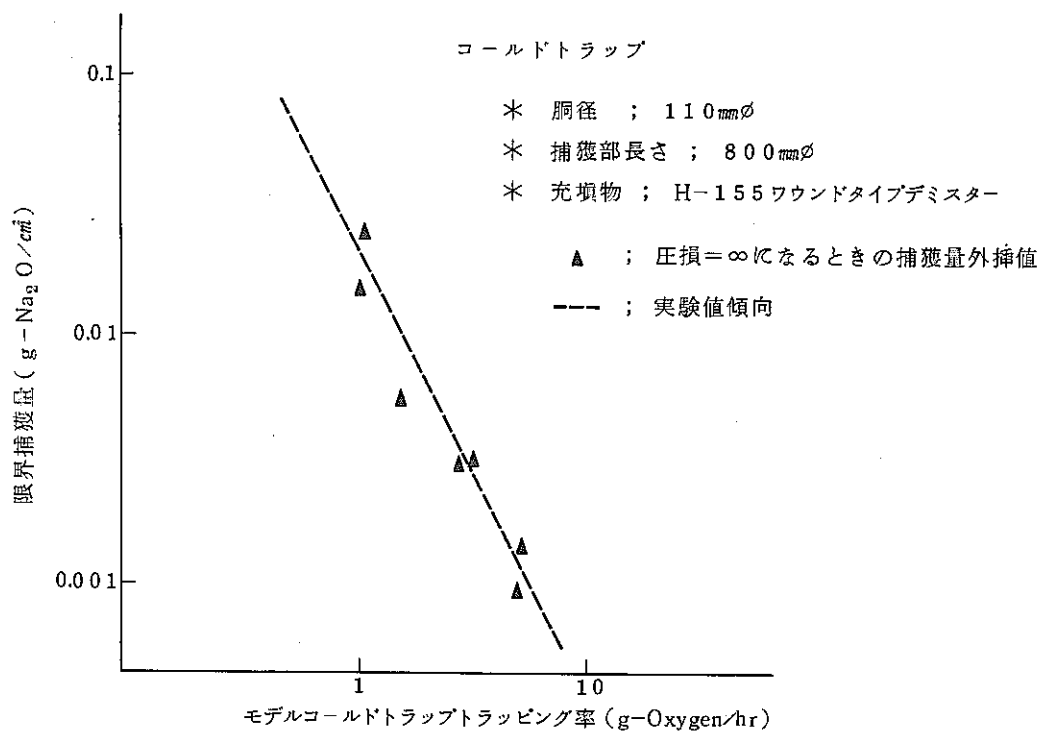


図-5 Na₂O 捕獲容量とトラッピング率との関係

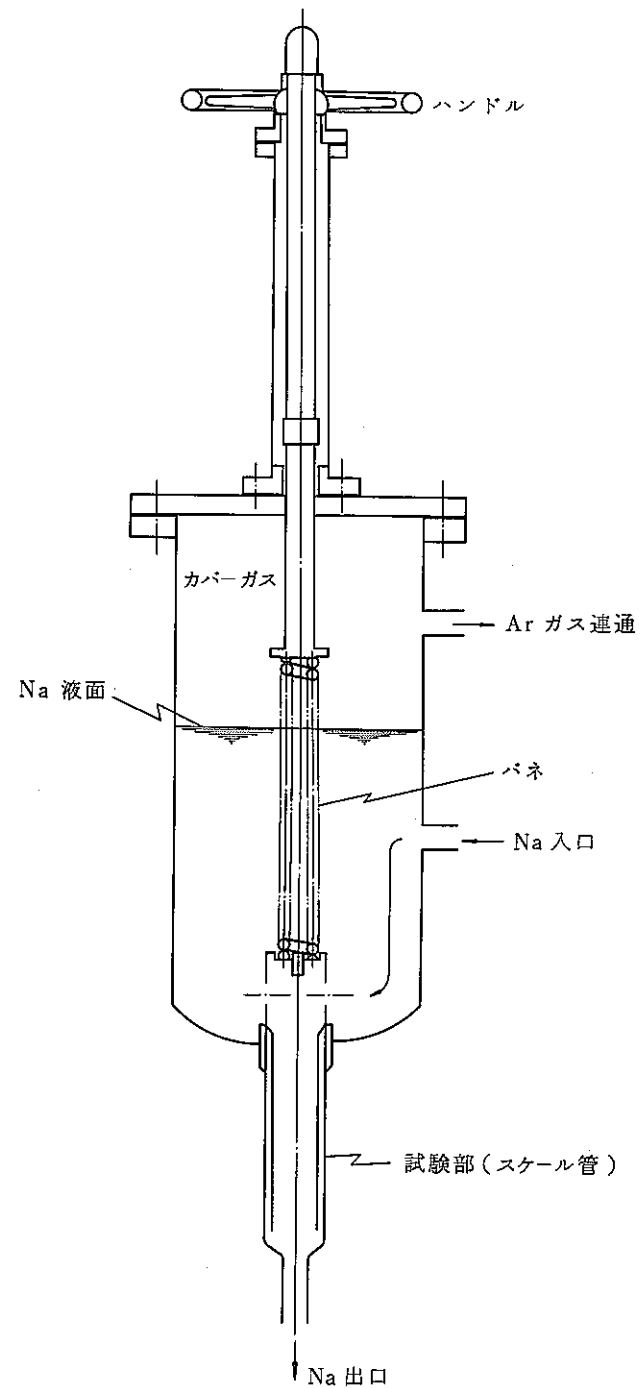


図-6 スケール溶出試験ポット

2. 0.3MW SG ナトリウムループのコールドトラップ 使用経験および酸素濃度分布調査

鈴木勝美* 二階 勲*
原田哲郎*

1. コールドトラップの運転経過

0.3 MW SG ナトリウムループの初チャージは73/6/25 14:00 に行われており、この時蒸気発生器は隔離されて運転し、ナトリウムの純化は、約3日間で清浄な状態になっている。この状況を図-2に示す。

その後蒸気発生器を含めたナトリウム系純化運転を7/1 から始めて、約10日を要したが、その経過を図-3に示す。この純化運転では2¼Cr-1Mo 鋼製の蒸気発生器には連続的にナトリウムを流すことが出来ず、結局コールドトラップのみで全系統（蒸気発生器を含めて）のナトリウムを純化できなかった。その為途中でナトリウム全部をダンプタンクにドレンし、ナトリウム中の不純物はその中で析出させる方法により一応次のSGの試運転にこぎつけた。従って蒸気発生器の試運転時には、ダンプタンクから低温のナトリウムをチャージして、コールドトラップ自身によるNaの純化をほとんど行っていない。

次に第一回本運転を10/25 から開始し、試運転時と同じく低温でナトリウムチャージをして、全系統のナトリウムの純化を行おうとした。しかしコールドトラップの流れが低下し、純化を進められずNaのプラグ温度は上昇して、運転は不能となった。

* 過去の運転経過から、少なく見積っても、設計メーカーMSAの規定しているトラップ容量の半分程度はつまっていると予想される。

* コールドトラップを冷却していくと浄化系ラインの流量が急激に低下し、閉塞に至る。この閉塞現象がコールドトラップの出入口配管部、バルブ、エコノマイザ等で生じているのではなく、コールドトラップ自身で起っていることが浄化系ラインに沿う温度分布から推察できる。

* メーカーMSA社のマニュアルに従ったコールドトラップの温度降下のさせ方で運転を行っても、性能データとして出されている以上の差圧がコールドトラップ出入口で生じ

* 石川島播磨重工業㈱ 技術研究所

結果として運転不能である。

* メーカーMSA社の判断でもコールドトラップに不純物が相当析出して流量が低下したのだろうとのコメントを得た。

以上に述べたような理由から、コールドトラップの交換を行うべき時機にきたとの判断を下した。

なお $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼は錆やすい材質であり蒸気発生器の製作期間中には、いくら注意しても必ず錆を生じる。この為初期のナトリウムチャージには多量の不純物(酸化物)が生じるのでそれに対する解決方法を考えておく必要がある。

2. コールドトラップ下部プレナム部の酸素濃度分布調査

コールドトラップ内の酸素濃度分布を調べるために、コールドトラップの金網の最下段部から二つに切断し、下部プレナム部よりナトリウムをSUS304製のサンプリング管にナトリウムを採取した。次にこの試料を蒸溜法により酸化物を定量し、濃度分布を調べた。

次に採取した試料の位置を図4.5にまた各試料の酸素濃度を図6, 7, 8, 9に示す。

《分析結果より》

- ① コールドトラップ下部プレナム部の底より約60%の高さ付近まではパーセントオーダーの酸化物が堆積して切り、それ以上の所では100PPM以下の濃度であった。高さが240%近くで、わずかに酸素濃度が上昇しているがこれは分析する迄の間に空気に接している部分が酸化されそれにより、酸素の質量移行が起って、高濃度を示したのかまたはこの部分は流れのおり返し部である為、何らかの濃度変化が起きているのか原因がはっきりつかめてはいない。
- ② フィンの付いている、下部プレナム部の円周部分には底部の様に厚い酸化物の層が図4, 6, 7, より、堆積していないことが判明した。
- ③ 金網部の酸化物の堆積状況については、調査はしなかったが、今回行なった実験より、文献等で報告されている様に、下部プレナム部に酸化物がより多く堆積しており文献と一致している。

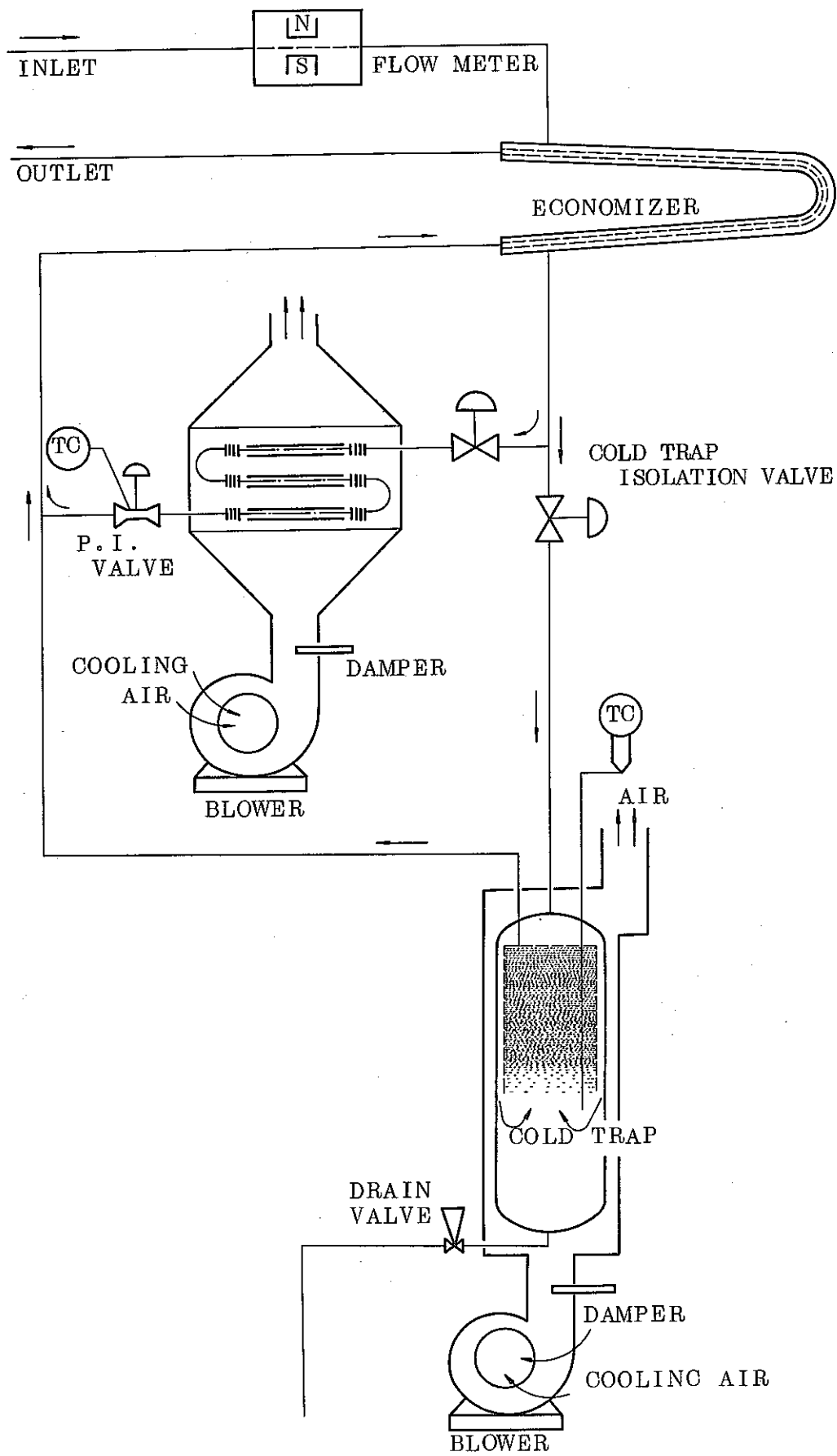
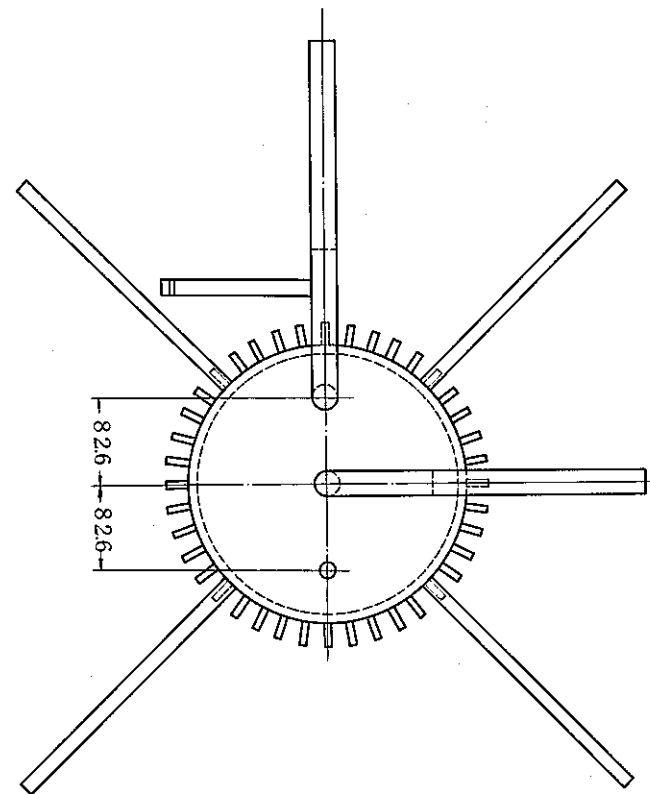
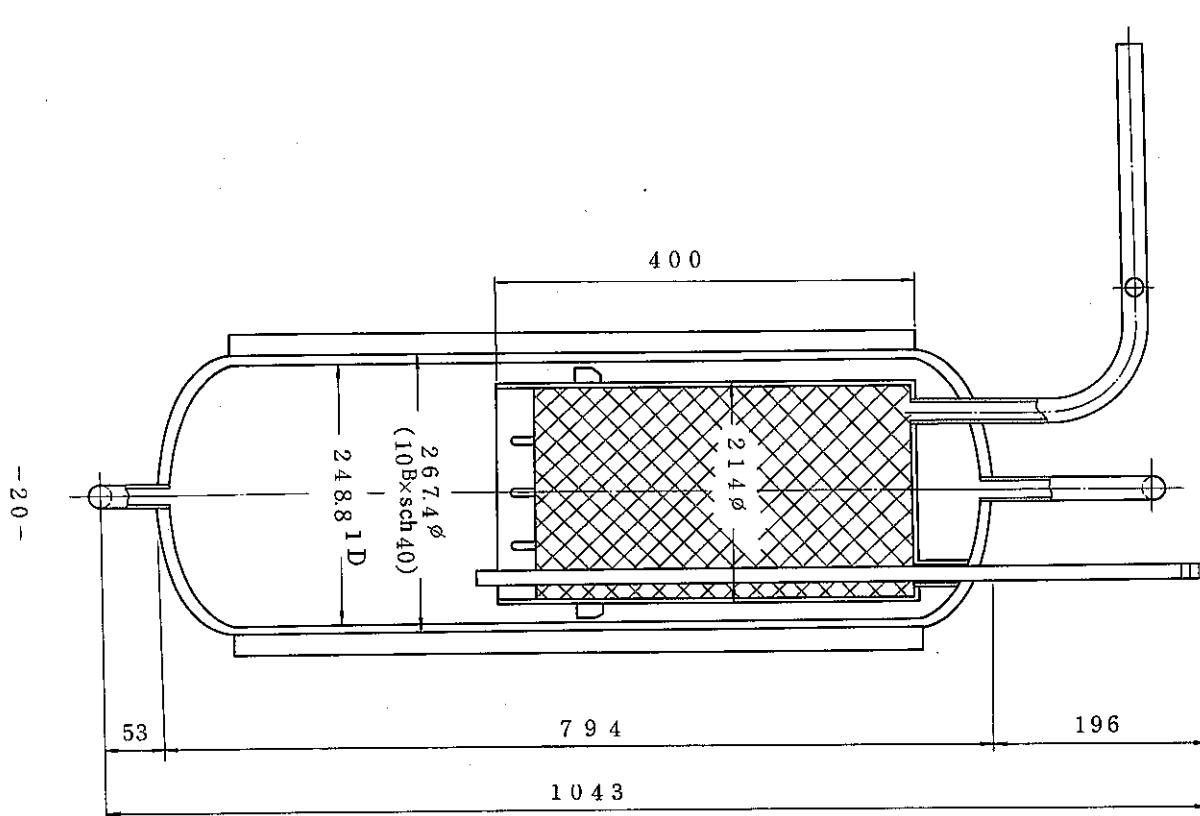


图-11 OXIDE CONTROL & INDICATING SYSTEM



☒ 1.2 コールドトラップ
SCALE 1/5

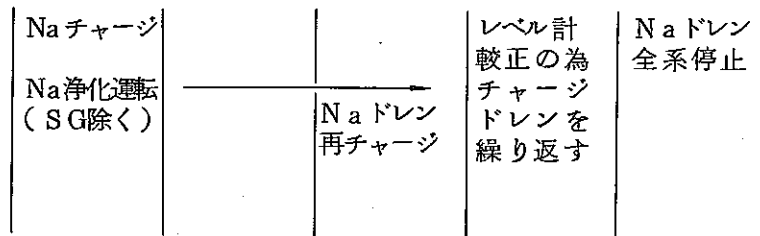
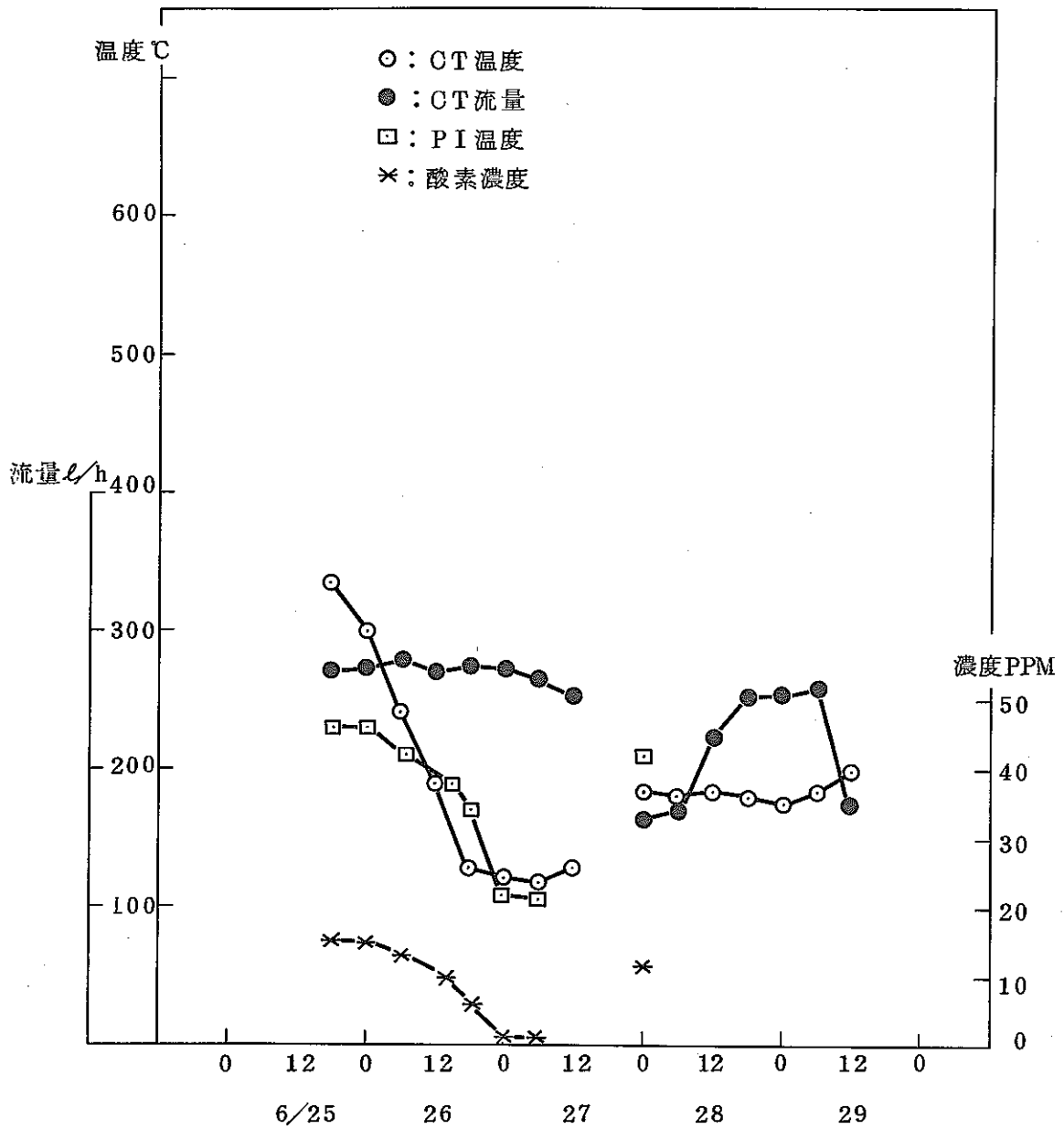


図2 Na系浄化運転経過 (6/25~6/29)

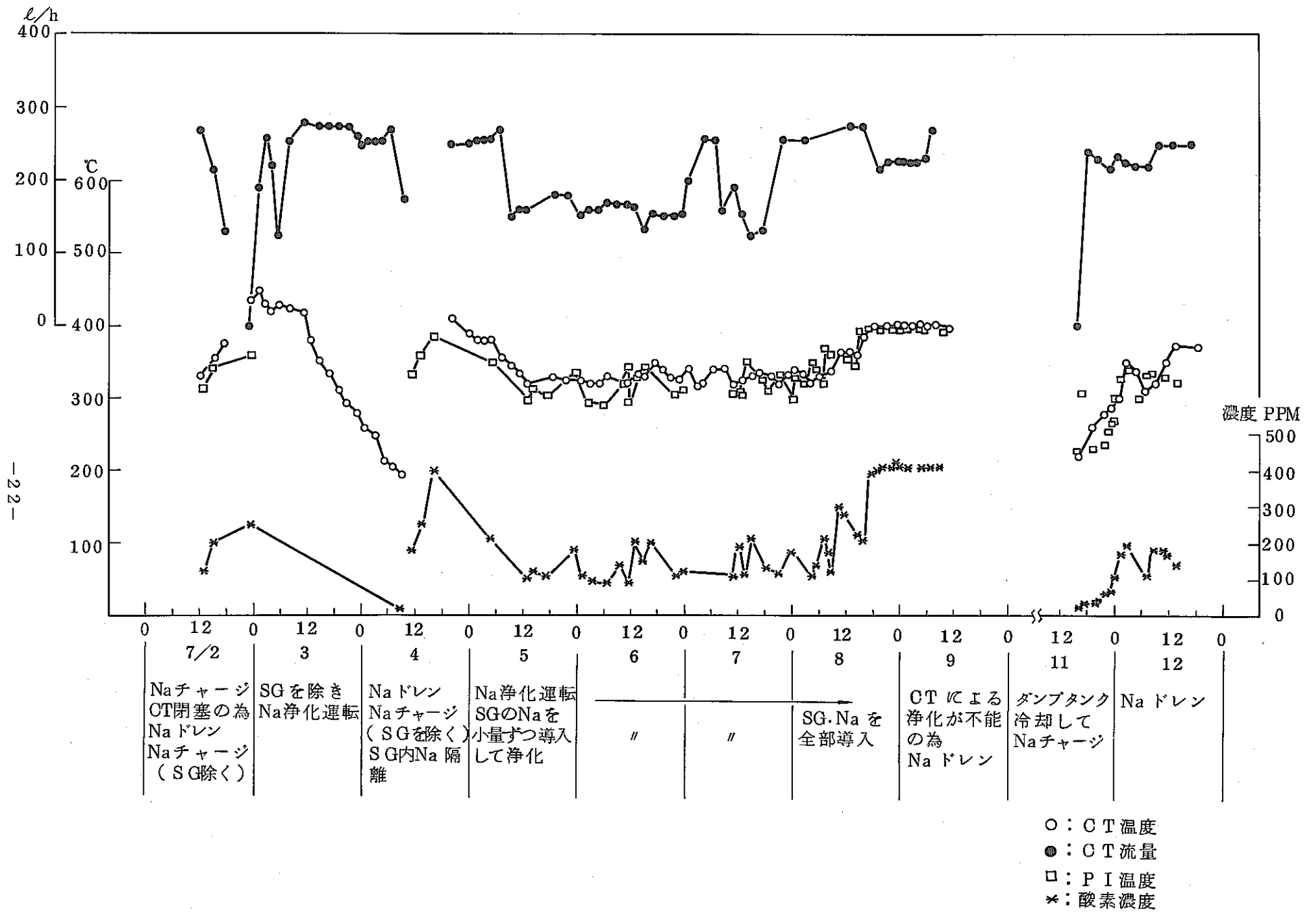
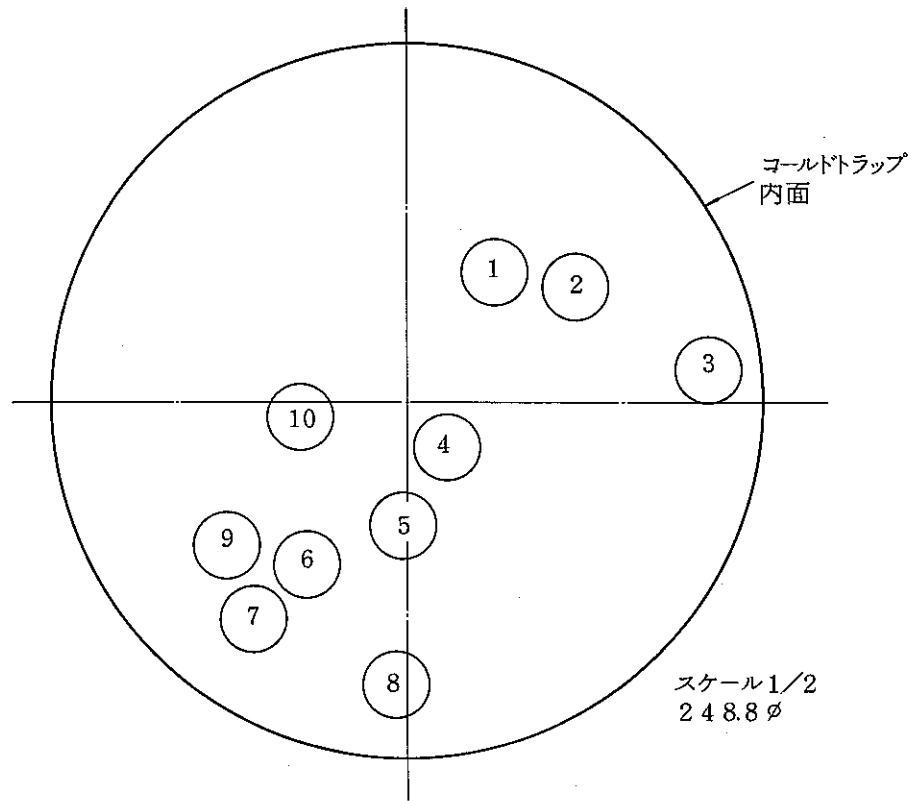


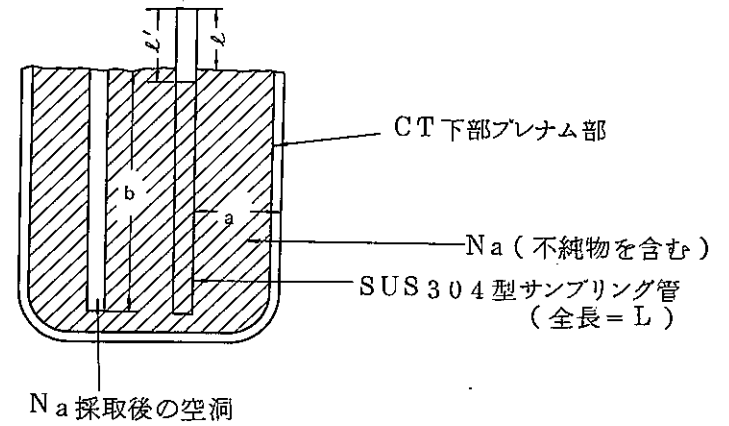
図3 SG内Na浄化運転経過 (7/2~7/12)



各位置中心のコールドトラップ面中心からの距離

No.	中心からの距離 (mm)	No.	中心からの距離 (mm)
1	57.6	6	71.0
2	74.4	7	99.0
3	109.0	8	103.0
4	23.0	9	85.0
5	47.6	10	38.0

図-4 コールドトラップ下部サンプリング位置



サンプリング管 No.	a (mm)	b (mm)	ℓ (mm)	ℓ' (mm)	L (mm)
1	74	292	317	320	615
2	55	283	321	320	612
3	15	235	365	366	613
4	101	305	313	304	612
5	77	248	308	404	611
6	53	297	310	316	609
7	25	275	346	345	608
8	18	273	335	329	612
9	40	280	330	331	610
10	86	301	304	306	611

表5 コールドトラップ下部プレナム部からのNaサンプリング時のデータ

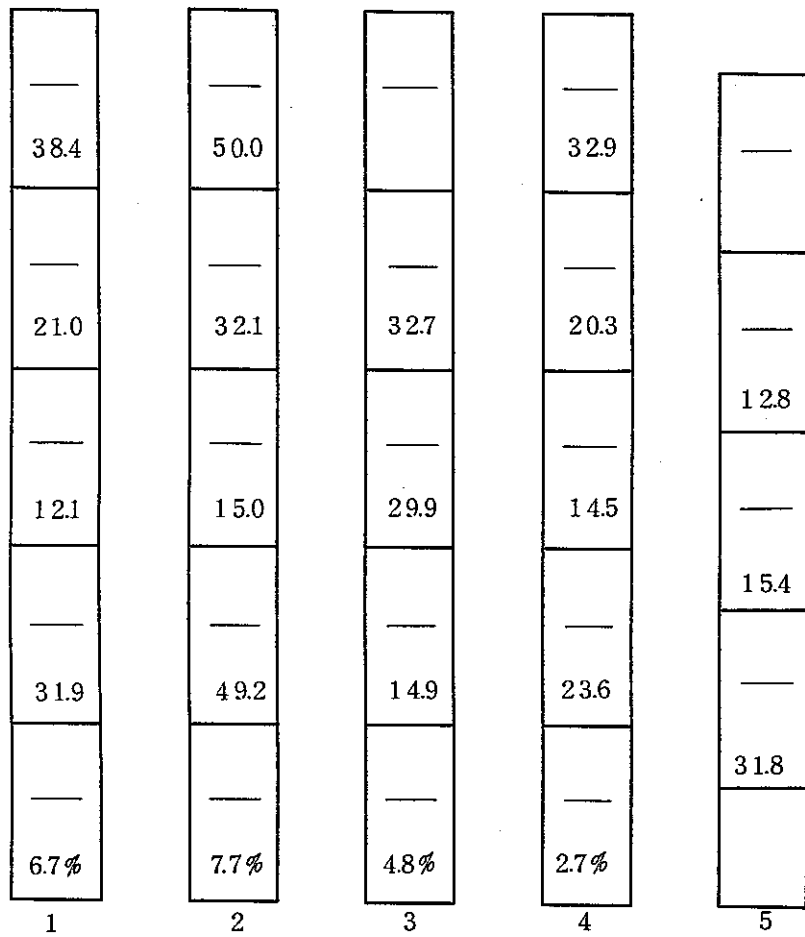


図-6 各サンプリング管中の酸素濃度
(%以外の無印は ppm)

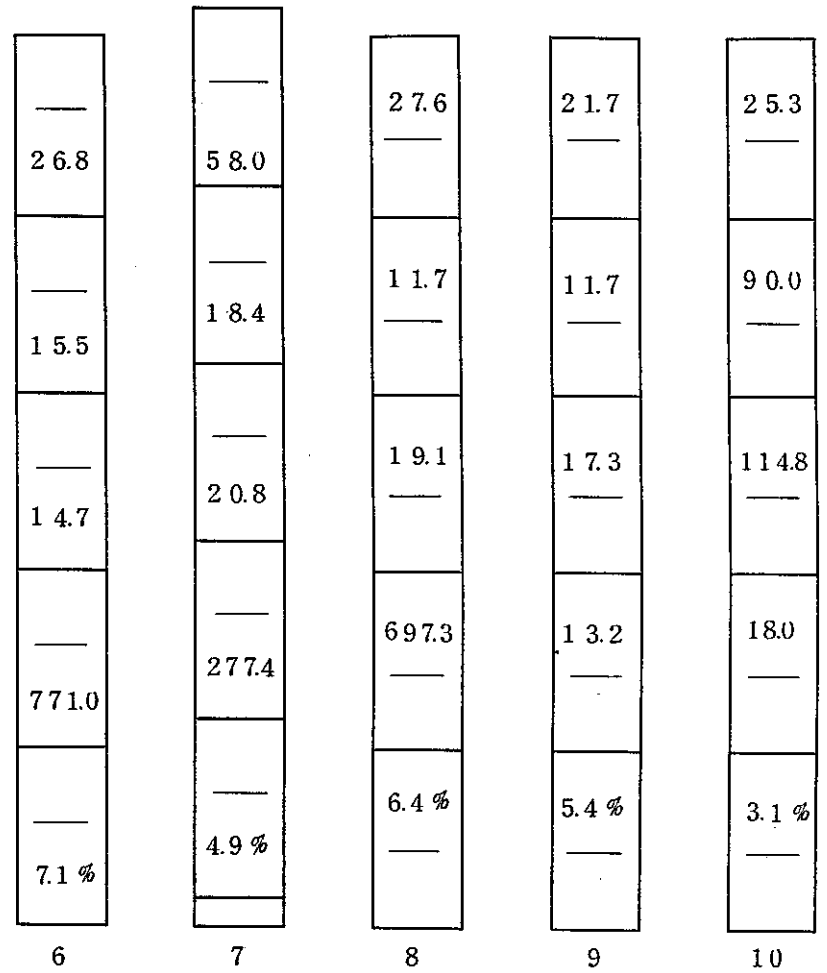


図7 各サンプリング管中の酸素濃度
(%以外の無印は ppm)

図-8 CT下部プレナム部濃度分布

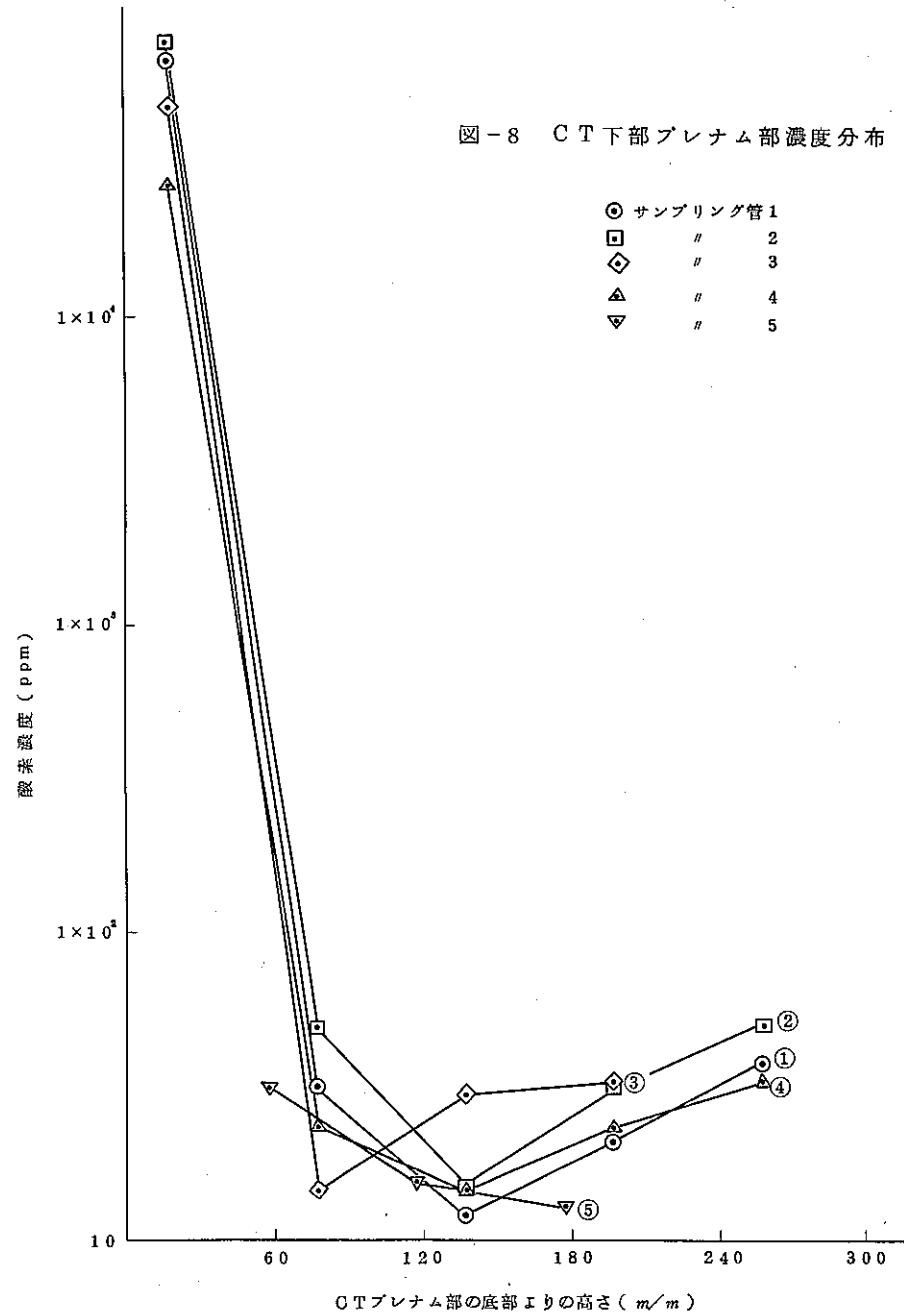
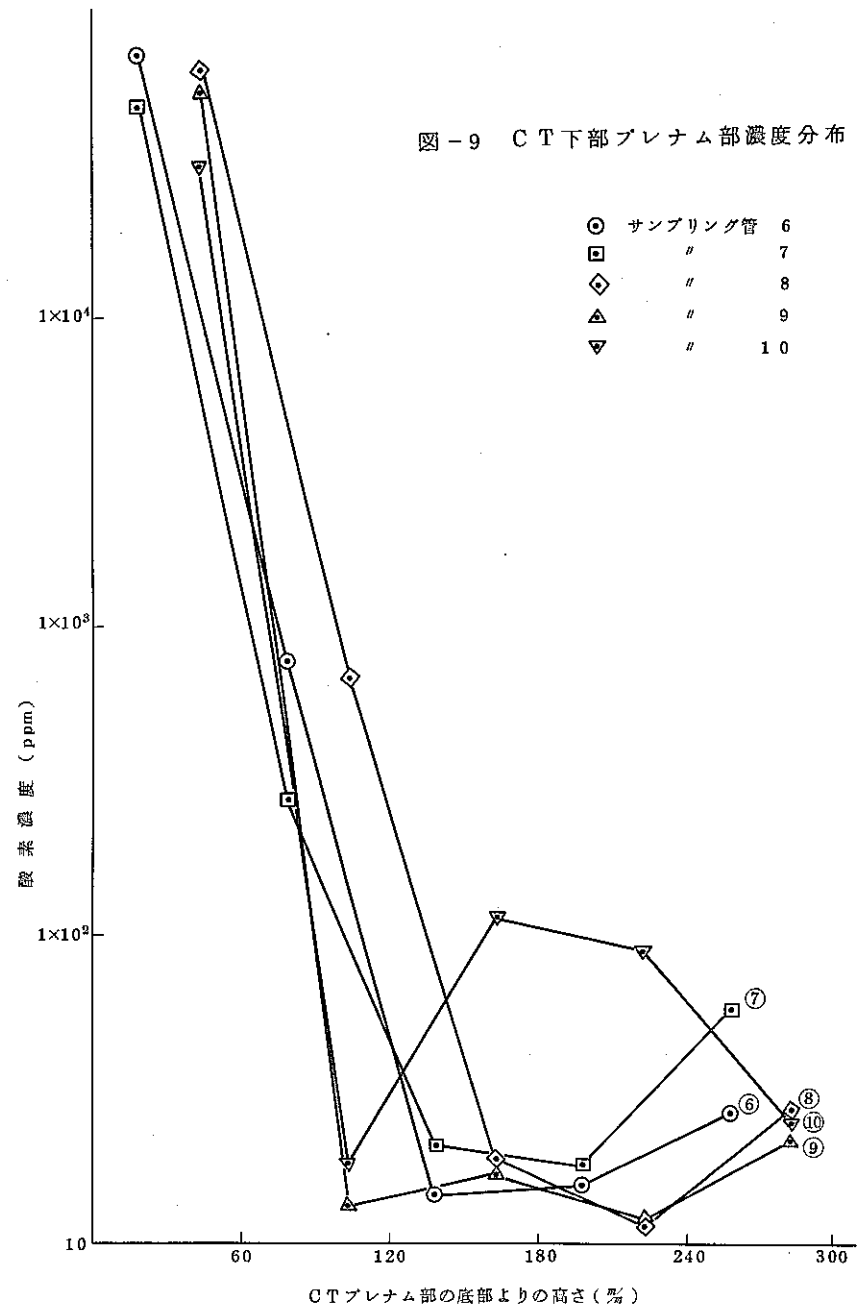


図-9 CT下部プレナム部濃度分布



3. コールドトラップの設計手順

柴田洋二* 館靖雄*

コールドトラップの設計手順

コールドトラップの設計は以下に示す手順1～8にそって行なわれる。

1. 純化系ナトリウム流量

流量はプラントのナトリウムインベントリ，純化時間等の条件から決定される。コールドトラップを使ってナトリウムを純化する場合，系内ナトリウム中の酸素濃度は次式に従う。

$$C(t) = C_s + (C_o - C_s) e^{-\eta \times \frac{G}{W} \times t}$$

$C(t)$; 純化開始後 t 時間におけるナトリウム中酸素濃度 (ppm)

C_s ; コールドトラップ出口温度に対応する飽和酸素濃度 (ppm)

C_o ; 純化開始時のナトリウム中酸素濃度 (ppm)

η ; コールドトラップの構造，運転法等によって決まる効率 (-)

G ; 純化系ナトリウム流量 (kg/h)

W ; 系内ナトリウムインベントリ (kg)

t ; 純化時間 (h)

所定の目標酸素濃度 C_d (ppm) まで純化するに要する設計純化時間を t_o (h) とすると純化系ナトリウム流量 G (kg/h) は次式で与えられる。

$$G = \frac{W}{\eta \times t_o} \times \ln \left(\frac{C_o - C_s}{C_d - C_s} \right) \quad (\text{kg/h})$$

2. 除去すべき酸素量

除去すべき酸素量の一覧表を表-1に示す。全体の混入酸素量に対する各々の原因の寄与率の一例として「常陽」1次系の場合を示す。

* (株) 日立製作所 日立工場

3. 配 置

次の事項を考慮してプラント全体と調整の上コールドトラップの設置場所が決められる。

- (1) コールドトラップの基数
- (2) コールドトラップの搬出入の容易さ
- (3) コールドトラップへのナトリウム充填，ドレン方法
- (4) メンテナンス計画

4. 設計圧力，温度，耐震条件

コールドトラップには次のような運転モードがある。このうちで最も厳しい条件をベースに設計圧力及び設計温度が決められる。

- (1) 予熱
- (2) 過渡部分負荷運転
- (3) 定格連続運転
- (4) 待機
- (5) 再生運転
- (6) 充填・ドレン

また適用法規の定めるところに従い耐震条件が決定される。

5. 形式の選択

コールドトラップには大別して充填材を内蔵した充填式と充填材を内蔵しない非充填式とがあるが，純化効率や捕獲した不純物の保持力等が優れている充填式がもっぱら利用されている。充填式コールドトラップにも表-2に示すように各種の形式があり，どの形式を採用するのかは次の事項をふまえて総合的に判断し，決定される。

- (1) 技術的難易性
- (2) 製造上の難易性
- (3) 配置上の制約
- (4) 経済性
- (5) 実績

6. 充填材容積

コールドトラップの運転方法，コールドトラップ内温度分布，充填材内ナトリウム流速および滞留時間等が比較的よく似ている先行プラントのコールドトラップの実績をベースに，充填材での不純物捕獲厚さ l ，または不純物捕獲に有効な体積率 α が求められる。コールドトラップ単基あたり捕獲すべき酸素量 W と l または α から充填材容積が決められる。

7. 滞留時間

コールドトラップ内のナトリウム滞留時間は5分～10分の範囲にある。

8. 構造設計

適用法規，規格の定めるところに従い，設計圧力，温度，耐震条件のもとでもコールドトラップが破損しないように板厚その他強度検討を行なう。

以上の手順を相互関連を明らかにした形でまとめたものを図-1に示す。

また，日立が製作したコールドトラップの一覧表を表-3に示す。

以 上

表-1 プラント寿命中に系内に混入する酸素

No.	酸素混入原因	常陽一次系の場合
1.	ナトリウムの地金に含まれているもの	約 8 %
2.	雰囲気置換後の機器, 配管内雰囲気に含まれているもの	~ 0 %
3.	雰囲気置換後の機器, 配管壁に付着しているもの	約 20 %
4.	燃料表面に付着して系内に持ち込まれるもの	約 65 %
5.	カバーガス, シールガス等に含まれているもの	約 4 %
6.	メンテナンス時等に系内に混入するもの	約 3 %

表-2 充填式コールドトラップのバリエーション

No.	仕様項目	バリエーション
1.	エコマイザの設置	(1)設置しない (2)コールドトラップに内蔵する。(3)コールドトラップとは別置
2.	冷却材	(1)NaK (2)不活性ガス (3)空気 (4)有機材
3.	冷却方法	(1)冷却管を内蔵 (2)外周に冷却材用ジャケット (3)外周に冷却フィン
4.	充填材	(1)メッシュ (2)ラシヒリング (3)その他
5.	充填材の設置場所	(1)冷却部 (2)リターン部 (3)冷却部・リターン部両方

表-3 コールドトラップ仕様一覧 (日立 製作分)

	PNC・Na 流動、伝熱	PNC・大型Na (A)	PNC・大型Na (B-I)	PNC・CRD 試験	PNC・常陽1次系	PNC・大型Na (B-II)	PNC・もんじゅ1次系
Na インベントリ (kg)	23.5×10^3	102×10^3	102×10^3	2.2×10^3	126×10^3	102×10^3	1057×10^3 (予定)
純化系Na 流量 (kg/h)	4.1×10^3	3.4×10^3	10×10^3	824	10×10^3	10×10^3	$10 \times 10^3 \times 2$ (台)
コールドトラップ冷却材	空 気	加圧窒素	同 左	空 気	加圧窒素	同 左	同 左
冷 却 方 式	外周 冷却フィン	冷却管内蔵	同 左	外周 冷却フィン	冷却管内蔵	同 左	同 左
外 形 寸 法 (mm)	770 ϕ ×3355L	437 ϕ ×4400 ^L	947 ϕ ×6160 ^L	606.4 ϕ ×2400 ^L	970 ϕ ×5970 ^L	953 ϕ ×5940 ^L	1118 ϕ ×5610 ^L
充 填 材	ステンレスメッシュ	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
充 填 材 容 積 (m ³)	0.41	0.14	1.23	0.16	1.16	1.02	1.20
運 転 温 度 (定 格)							
コールドトラップ入口温度(°C)	204.5	180	180	180	180	180	200
" 制御温度(°C)	150	120	120	120	120	120	148
設計酸素捕獲容量(kg-)	—	—	—	—	46	55	45以上(spec.)
特 徴	1) バイパス流路なし (流入面積 0.2m ²) 2) エコノマイザ別置 3) 充填材をリターン部設置	1) バイパス流路あり (流入面積 0.6m ²) 2) 同左 3) 同左 4) 断熱ガス層あり	1) 同左 (流入面積 1.4m ²) 2) 同左 3) 同左 4) 同左	1) 同左 (流入面積 0.9m ²) 2) 同左 3) 同左	1) 同左 (流入面積 1.6m ²) 2) 同左 3) 同左 4) 断熱ガス層あり	1) 同左 (流入面積 3.5m ²) 2) 同左 3) 同左 4) 同左	1) 同左 (流入面積 3.1m ²) 2) 同左 3) 同左 4) 同左
運 転 実 績	1) S44.8 ループ完成 2) S44.11~S48.10の間12,000h順調に運転 3) 1号機は解体検査の為撤去し、同型の2号機が運転中	1) S47.3 ループ完成	1) 同左 2) 設置以来順調に運転中	1) S48.4 ループ完成 2) 同左	1) S49.10 SKS 開始 2) 初期純化を完了	1) 工場製作中 S50.12 納入	1) 調(II)設計終了

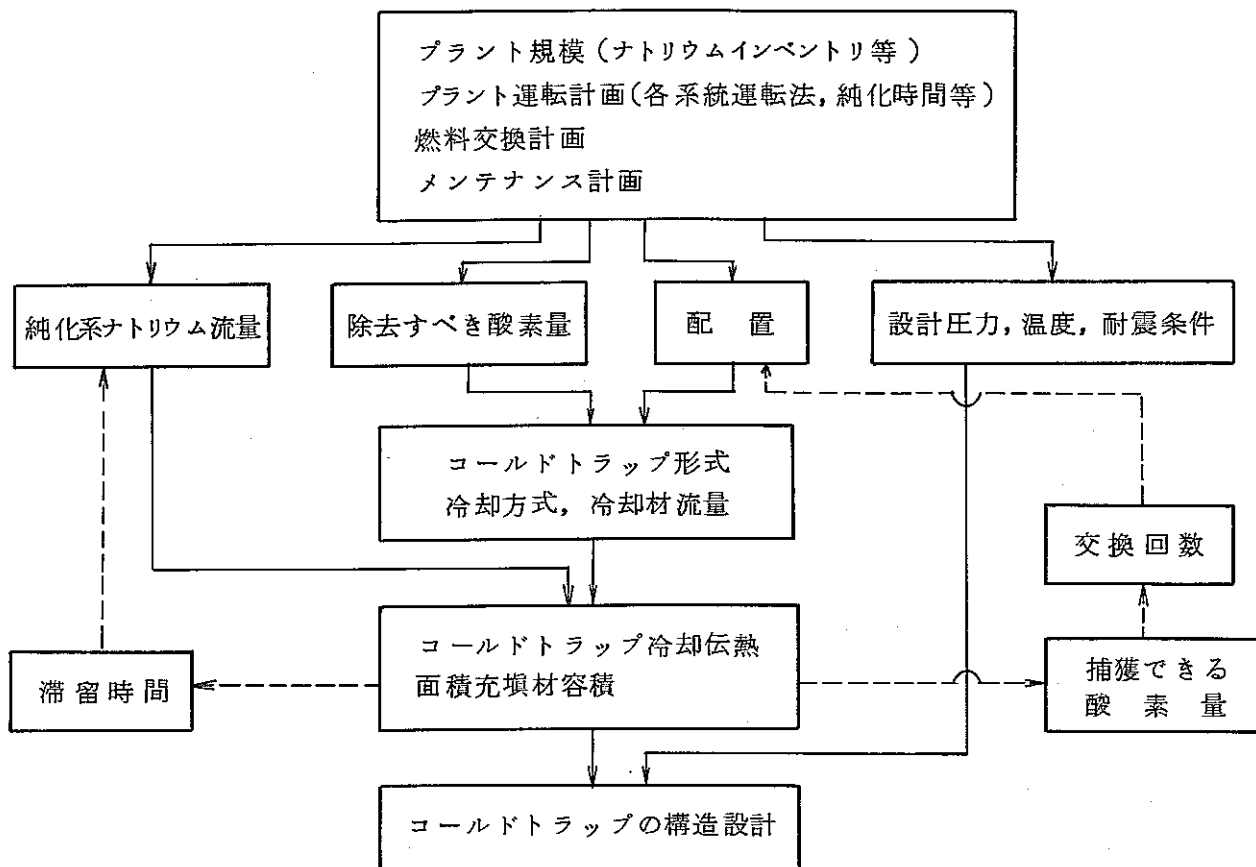


図-1 コールドトラップ設計手順図

4. F P L コールドトラップのFP除去性能

三塚哲正* 下島 光*
合志陽一*

1. 緒 言

東芝では東芝教育訓練用原子炉(TTR-1)に核分裂生成物ループ(FPL)を設置し、ナトリウムループ系における核分裂生成物(FP)挙動の研究を行なっている。その一環としてナトリウム中FP除去に対するコールドトラップの有効性について検討した。

2. 実 験

図-1にFPLの概略構造を示す。FPLはインパイル実験系と、ナトリウム浄化系の二つのループから構成される。インパイル実験系の炉心先端部には二酸化ウラン燃料が装荷してある。予めナトリウムを実験系に充填し、強制循環しながら原子炉照射を行ない、FPを移行させた後ダンプタンクへドレンする。このナトリウムを約1週間放置し、Na-24が減衰後、ナトリウム浄化系のコールドトラップを用い、FPの除去試験を行なう。FPLのコールドトラップは貫流型で、 0.35 g/cm の充填率でステンレス鋼メッシュが充填してある。ナトリウム浄化系の不純物濃度は、PIで推定約80ppmであった。ナトリウム中FPはGe(Li)検出器と4096チャンネルPHAで測定した。

3. 結果と考察

Fig 2, 3にCT温度を360°Cから110°Cまで変化させた時の、CTおよびDTにおけるFP計数率とCT温度の関係を示す。I-131はCT温度の低下と共にDTからCTに移行する。I-131はCT温度をステップ状に変化させるとほぼそれに対応して変化し、3時間以下で平衡に達する。Te-132, I-132, Cs-137についてもCTへの移行が認められた。一方、Zr-95, Nb-95, La-140等はCTの温度を変化させても数%以下の変化しか認められなかった。

* 東京芝浦電気(株) 総合研究所

CT 温度を高温から低温に低下させ、再び高温に上昇させる実験から、I-131, I-132, Cs-137, および Te-132 の CT への移行は CT 温度に関して可逆的であり、ヒステリシスは無視できる程度であった。このようなナトリウム中 FP の CT への移行は、極めて低濃度 (10^{-7} ppm 以下) での現象であるので、通常の CT による除去のような、溶解度差による折出とは異なり、FP の CT 壁への吸着によるものと考えられる。

各 CT 温度での測定、ならびにナトリウムドレン前後の測定結果から、FP の CT 壁と、ナトリウム中の分配係数 $K (cm)$ を求めた。 $K (cm)$ は次式から求められる。

$$K = \{ (CT \text{ 壁の FP 放射能}) / (Na \text{ 中 FP 放射能}) \} / (CT \text{ の比表面積})$$
 Fig. 4, 5
に I-131 および Cs-137 の K 値を示す。 K と絶対温度の逆数の関係から、I-131, Cs-137 の吸着熱として、それぞれ -16 Kcal/mol , -8 Kcal/mol が得られた。FPL の CT は、ナトリウム中ヨウ素の除去には十分有効と考えられる。

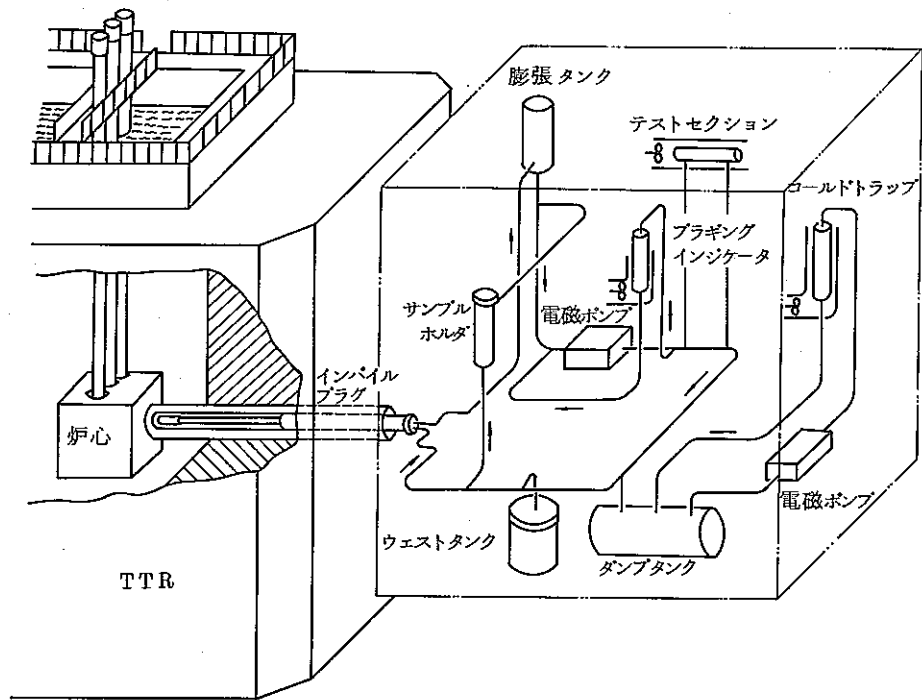


Fig. 1 核分裂生成物ループ (FPL) 概略構造

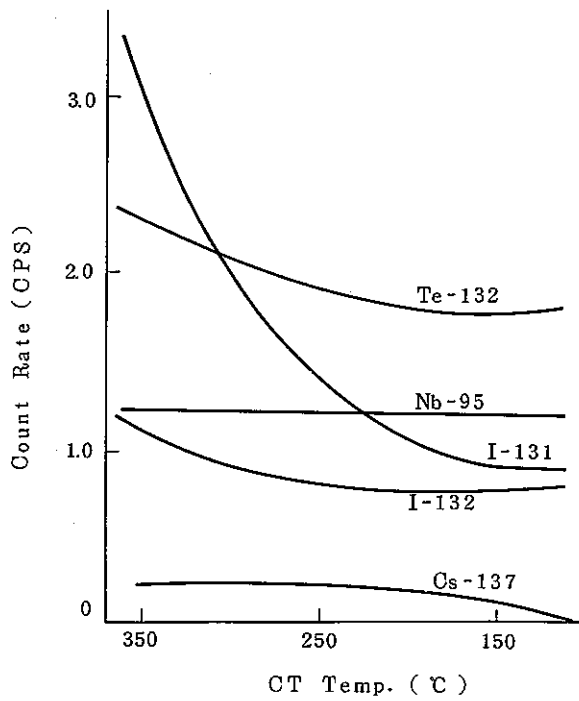


Fig. 2 FP Count Rate at DT

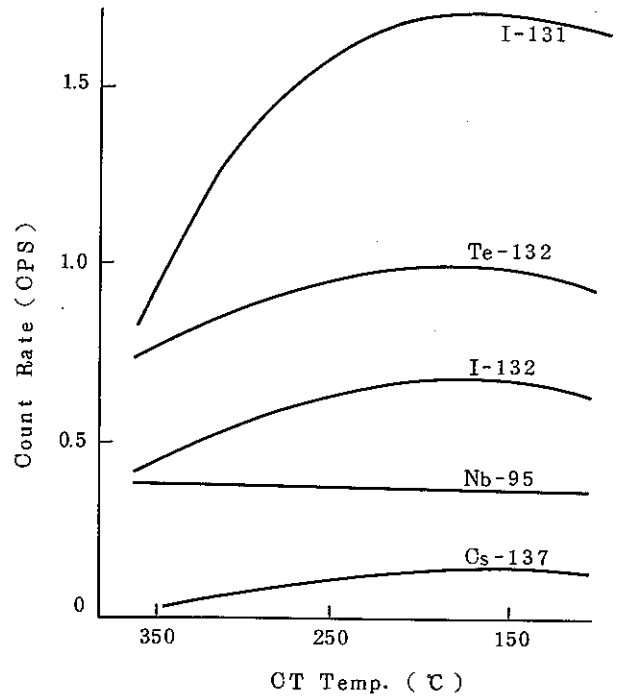


Fig. 3 FP Count Rate at CT

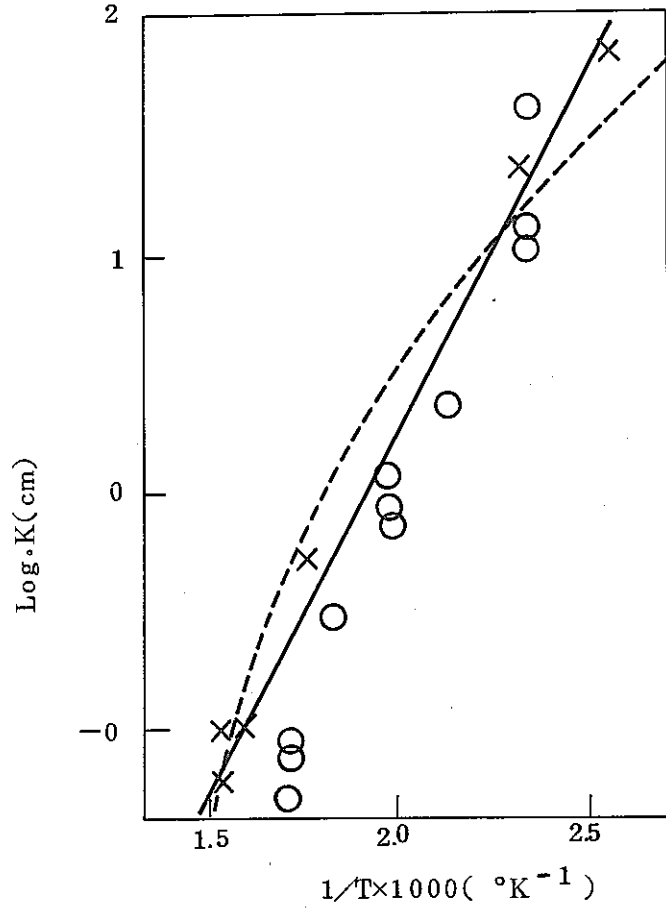


Fig. 4 K Value for I-131

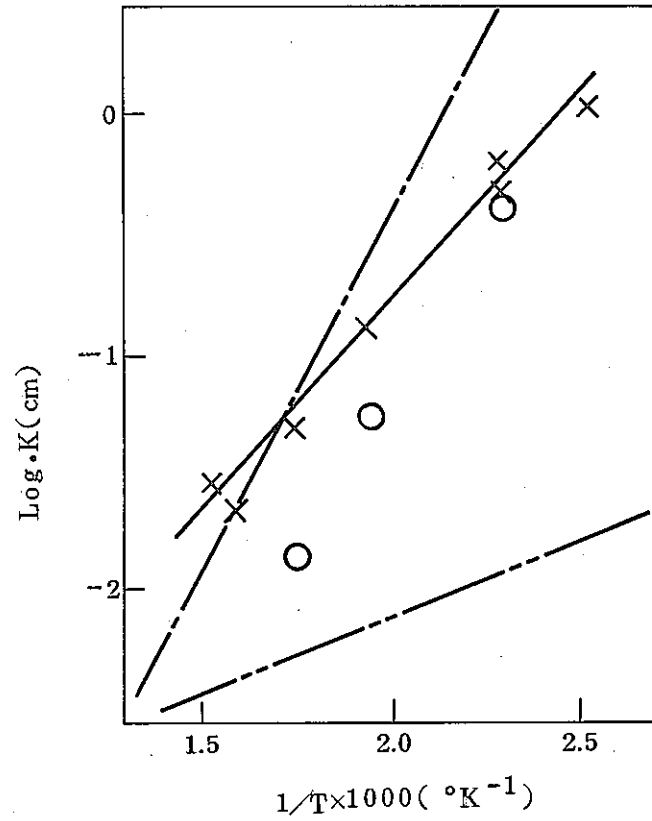


Fig. 5 K Value for Cs-137

- Key of the Figures
- × from drain tests
 - from circulation tests
 - K for NaI by Allan
 - K for Cs(activated surface) by Guon
 - · - · - K for Cs (deactivated surface) by Guon

5. コールドトラップによる金属不純物の除去

○横田 憲克* 桜間 直樹*

コールドトラップは、従来ナトリウム中の酸素を除去することを主目的として設計されてきたが、高速炉の運転を継続すると、ナトリウム中に腐食生成物および核分裂生成物が蓄積する可能性が強いため、これらの不純物も除去する必要が生ずる。

いま、1000 MWe級の高速炉を1年間運転したときに、ナトリウム中に持ちこまれる腐食生成物の量を、表-1の条件のもとに試算すると約240 kgとなる。さらにこの量から、1次冷却系のナトリウム中における平均濃度を算出すると、表-2に示す結果が得られる。しかるにステンレス鋼の主成分のナトリウム中における溶解度は、図-1に示すように、酸素の溶解度に比較してはるかに低い値である。したがって、鉄、クロム、ニッケル、コバルトなどは、1次冷却系の低温領域に析出することが十分考えられる。このうち相当部分はコールドトラップに集まるであろうから、コールドトラップの寿命を決定する大きな因子となり得る。

一方、核分裂生成物は、燃料被覆管の破損率にもよるが、ナトリウム中に放出される量は、溶解度には達しないと考えられている。これまで実験炉の運転経験から、核分裂生成物もコールドトラップに集まるということが知られているが、その機構については、まだ十分解明されていない。図-2に示すような実験装置を用いて、ナトリウムに溶け難いセリウム、ナトリウムと反応するヨウ素、ナトリウムによく溶けるセシウムのコールドトラップ実験例を図-3～図-5に示す。膨張タンクおよびコールドトラップのメッシュ部とポケット部における放射能強度の経時変化を図-3に示す。物質移動が正常状態に達した後のコールドトラップ内における放射能強度の分布を図-4に示す。ステンレス鋼壁近傍ナトリウムと流路中心部ナトリウムにおける放射能強度の比を分配率と定義し、コールドトラップ内における分配率を求めると図-5の様になる。

これらの結果から、セリウムはコールドトラップのメッシュ部およびポケット部に効果的に捕集されること、ヨウ素は入口プレナム部とメッシュ部に集中的に捕集されること、これに対しセシウムはコールドトラップだけでは十分捕集されないことが明らかとなった。

* (株) 日立製作所 日立研究所

参 考 文 献

- 1) Corrosion by Liquid Metals by J. E. Draly etc 1970 p574
- 2) Solubilities of Metallic Elements in Liquid Sodium
by T. D Claar Reactor Technology vol13 No 2 1970 p124
- 3) Fast Reactor Technology Plant Design by John Yevick p39
- 4) AI-AEC-12685 (1968)
- 5) ANL-7846 (1971) L. Burris et al

腐食生成物の生成量の計算

表-1 主要項目

項 目	数 値	単 位
出 力	700 (300)	MW t (MWe)
炉心の全表面積	4.2×10^7	cm ²
腐食速度(500℃)	0.3	mil/y
1次系全Na量	3.0×10^8	g

表-2 1年間の全腐食量(各元素)を1次系全Na量で除した値

元 素	濃 度 (P P M)
Fe	523
Cr	136
Ni	96
Co	20

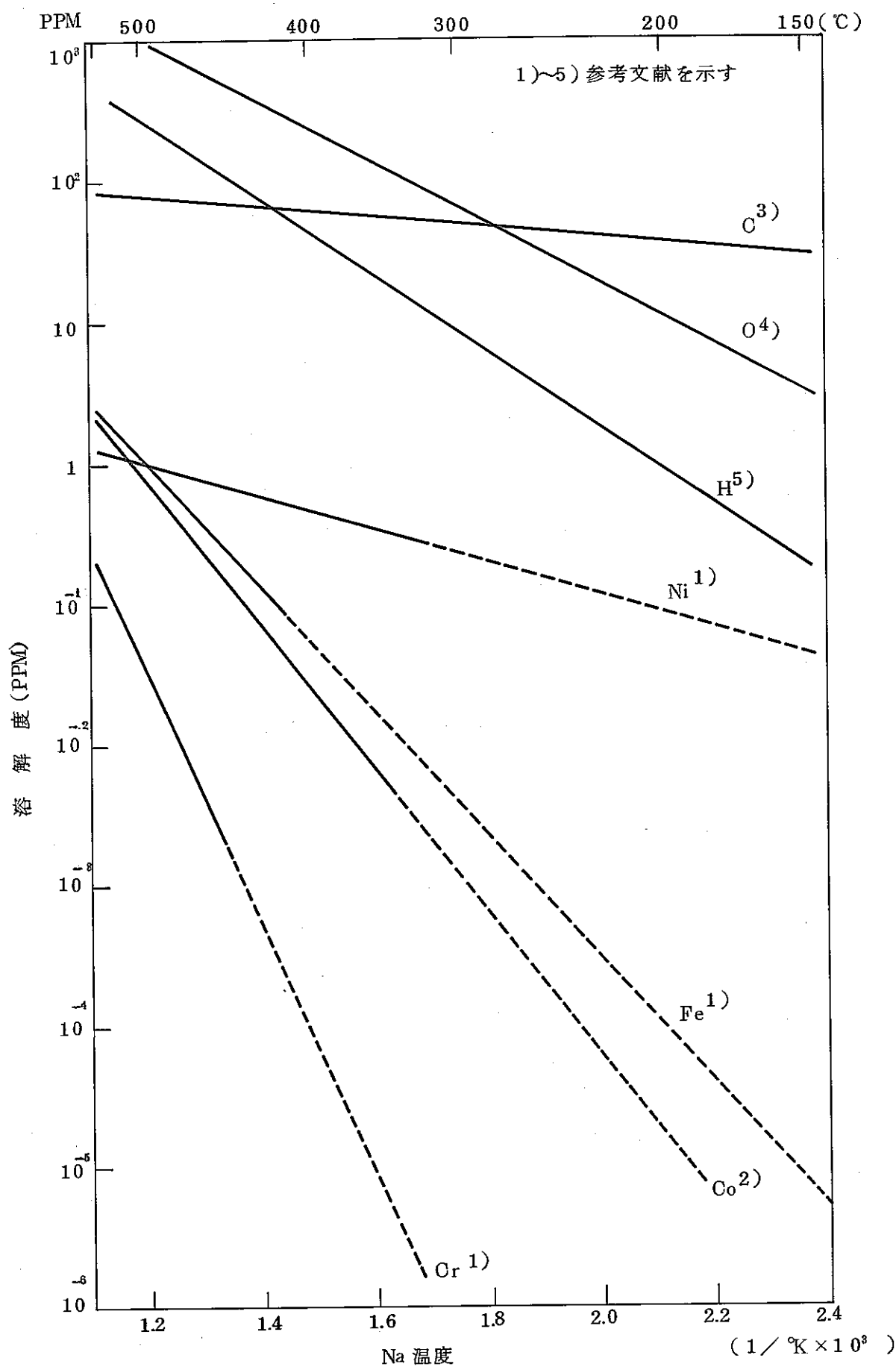


図 1. 元素の溶解度曲線

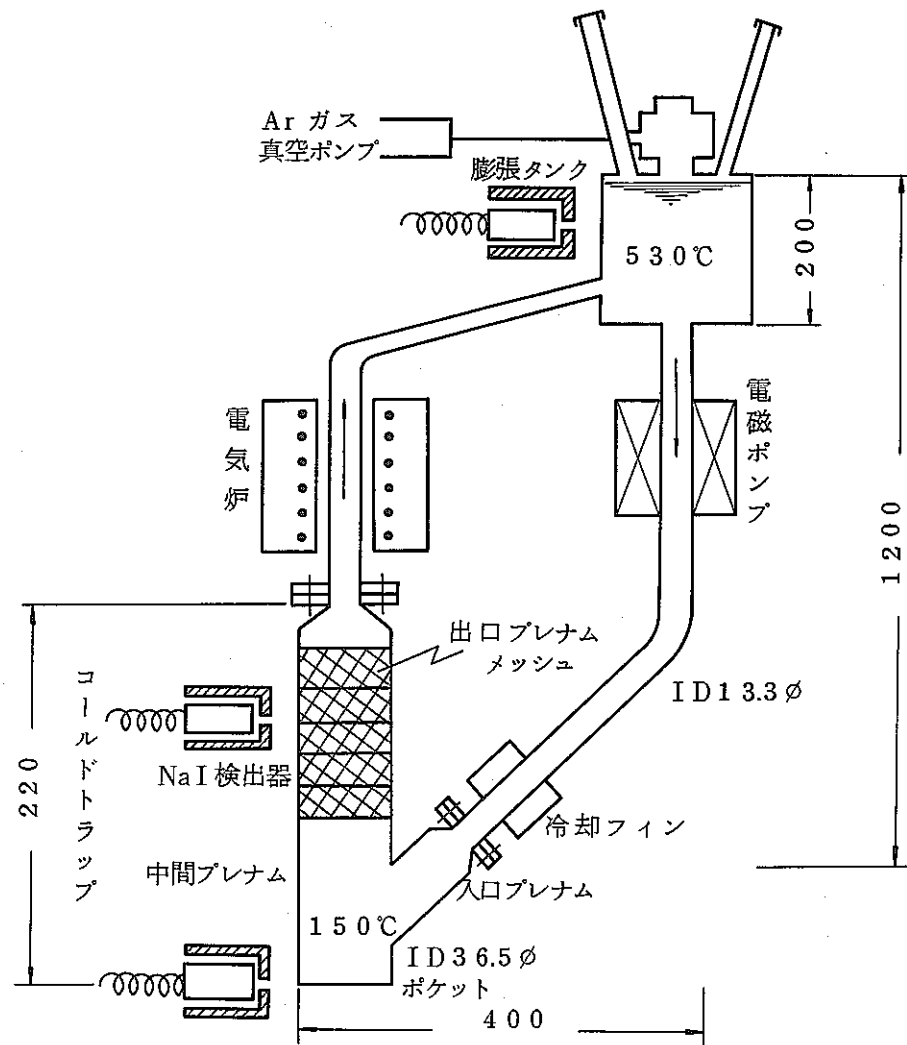


図2. ナトリウムループ概略図

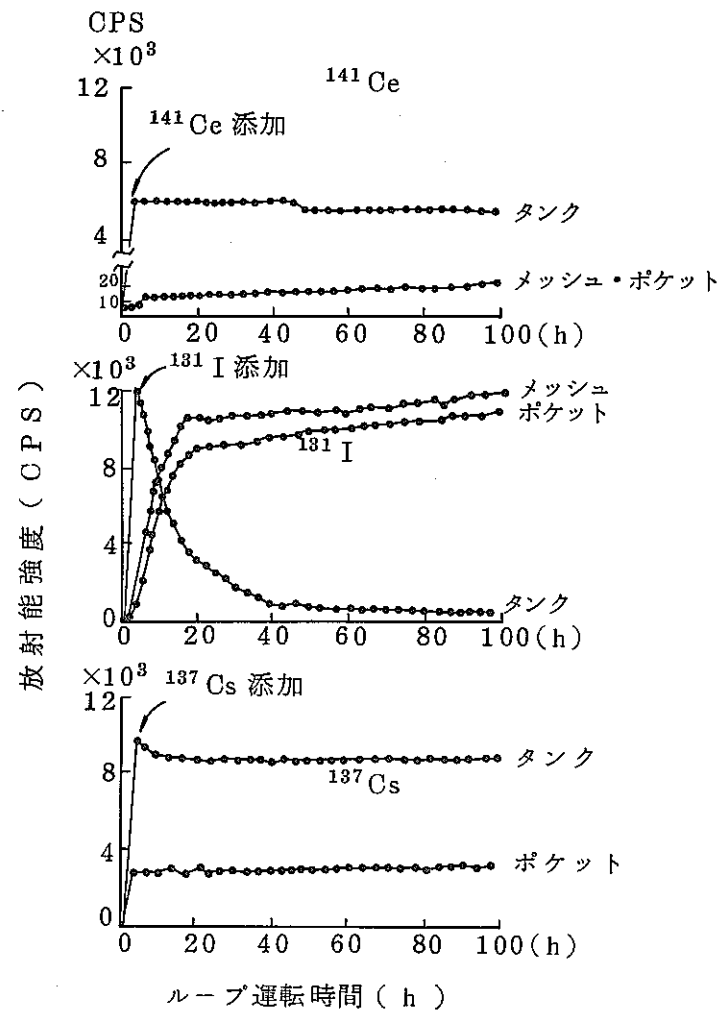


図3. ¹⁴¹Ce, ¹³¹I, ¹³⁷Cs の放射能強度の経時変化

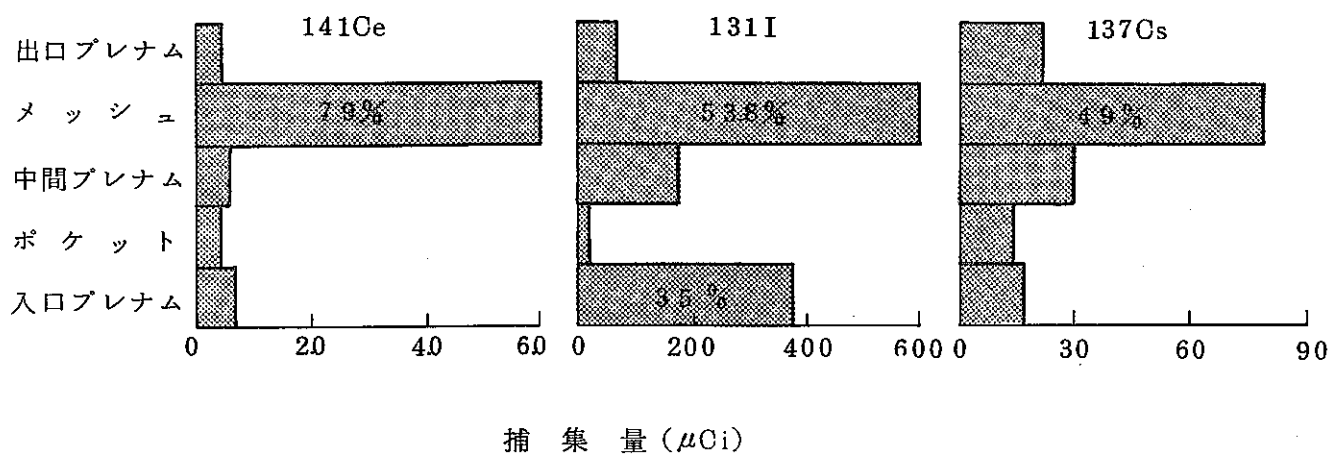


図 4. コールドトラップ各部における捕集量

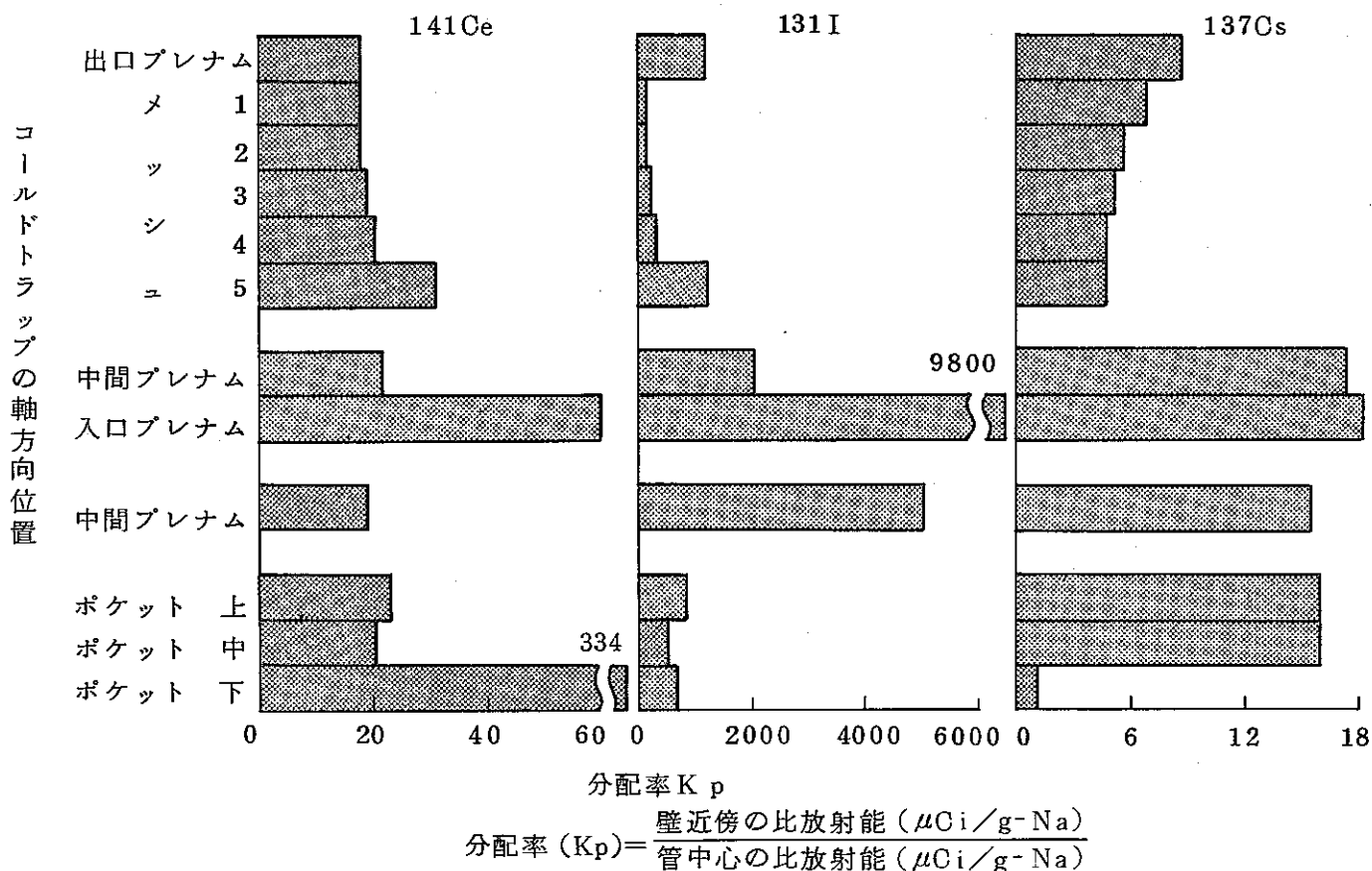


図 5. コールドトラップにおける分配率 K_p

6. 物質移動を考慮したコールドトラップ解析

○大島 巖* 根井弘道*
二宮 進* 大野正剛*

概 要

従来、コールドトラップ（以下CTと略）の性能はCT効率や捕獲可能量などのような、マクロな観点からの評価が多く行なわれていた。又バックレスCTでの不純物物質移動を考えた解析例⁽¹⁾がある。しかし、通常のCTは充填材がセットされているため、ここでは、充填材を考慮した解析を行ない⁽²⁾その影響を調べた。

1. 解析モデル

解析の対象は評価の容易な貫流型（図-1）をとった。充填材は金網とし、不純物は金網素線に均一に析出するというモデルを考えた。

仮定は次のようである。

- (1) 不純物捕獲量は Na 中不純物濃度とCT内部温度に相当する不純物飽和濃度の差に比例する。
- (2) Na 中の表面はすべて考慮し、その面積は捕獲した不純物により変化するものとする。
- (3) 充填物をぬれ面として考慮したレイノルズ数で流れを代表させる。
- (4) 流れは均一とし半径方向の温度分布、濃度分布は無視する。

不純物の物質収支より次のような基礎式を得た。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U \frac{\partial c}{\partial \ell} = - \frac{Ka}{r} (C - C_e)$$

CT内での圧力損失は次式⁽³⁾から求めた。

$$\Delta P = \frac{150 G \ell \mu (1 - \varepsilon)^2}{D^2 \rho \varepsilon^3} + \frac{1.75 \ell G^2 (1 - \varepsilon)}{D \rho \varepsilon^3}$$

不純物は酸素とし溶解度式は次の“Smith & Lee”⁽⁴⁾の式を使用した。

* 東京芝浦電気 総合研究所

$$\text{Log } C_e = 6.967 - 2.809/T$$

ここで

C	； 不純物濃度	(-)
C_e	； C T 内温度に相当する不純物飽和濃度	(-)
ℓ	； C T 内距離	(m)
U	； C T 内 Na 流速	(m / h r)
K	； 物質移動係数	(kg / m ² h r)
a	； 捕獲面積	(m ² / m ³)
ρ	； 比質量	(kg h r ² / m ⁴)
G	； 質量速度	(kg h r / m ³)
μ	； 粘性係数	(kg h r / m ²)
ϵ	； 空間率	(-)
D	； 線径	(m)
T	； 温度	(°C)

2. 物質移動係数

物質移動係数 K の数値は本解析中最も重要な数値である。プラグニング計オリフィス部⁽⁵⁾とバックレス C T⁽¹⁾での値が報告されている。(図-2)

充填材をぬれ面と考えた C T 内のレイノルズ数の領域と図-2 とから K の値は 100~500 kg / m² h r の範囲でパラメータとした。

3. 解析結果

結果の一例を図-3~図-6 に示す。

図-3 は C T 内流速と C T 効率の関係を示す。K を一定とすると流速の上昇つまり C T 内滞留時間が短くなるに従って C T 効率が低下することが図よりわかる。

図-4 は充填率に相当する捕獲面積の変化が C T 効率に与える影響を示している。捕獲面積の低下により C T 効率の低下が図よりみられる。

図-5 はターンオーバー時間 90 分の系を仮定し、系内の不純物濃度の変化によって C T 内の不純物の捕獲分布が時間的に変化する様子を示した図である。時間とともに不純物が C T

の底へ移動していく様子が図よりわかる。

図-6はCTに流入する不純物濃度が一定である時、CTで捕獲されていく不純物量とその時の圧力損失の時間変化を示す。このような圧力損失の時間変化を各種形状のCT、又運転モードを考えることによりCTでの捕獲可能不純物量の評価が可能である。

4. 結果の検討

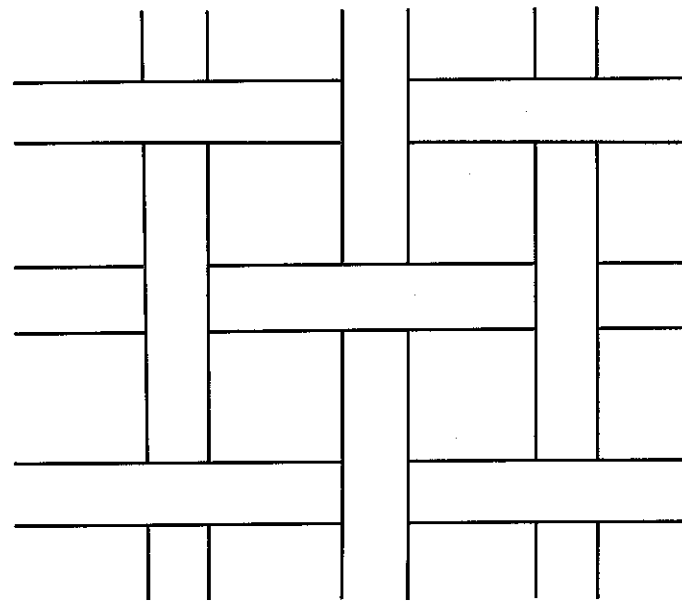
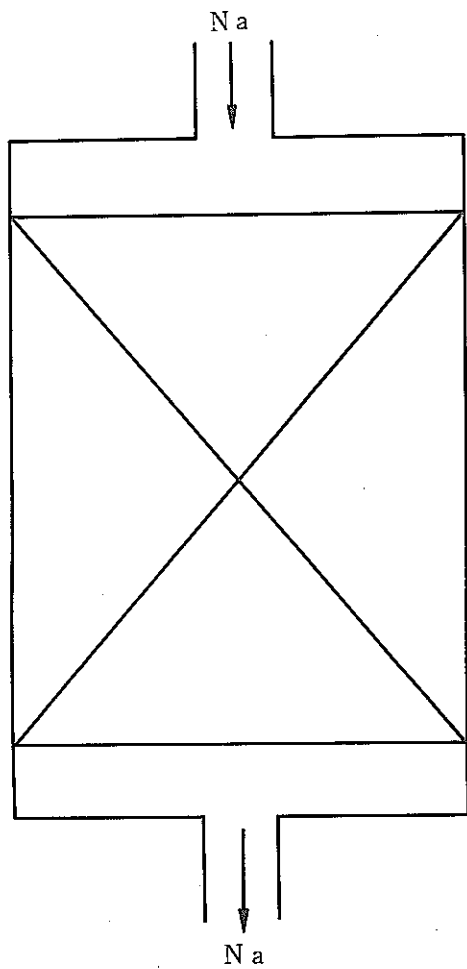
これらの解析により、CT流量・充填率によるCT効率に対する影響、CT内での不純物の移動のようすがわかった。またCTでの捕獲可能量は圧損の変化という形での評価ができた。

またこれらの結果は実験との対比、特に充填材に対するKの数値を実験的に求めることにより意味があるため、そのような実験が必要である。

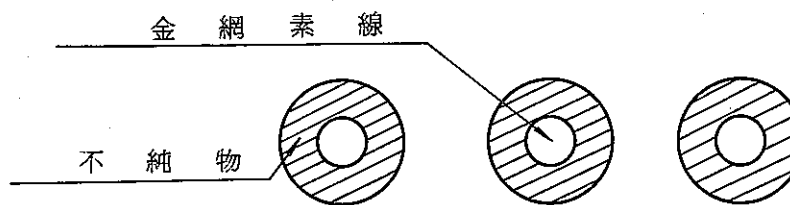
このような解析コードから、より最適な形状をもったCTの設計コードへ発展させることができ、また運転モードのより最適化ができると考える。

参 考 文 献

- 1) Mcpheeters, C.C他；LA 4435.LASL (1970)
- 2) 根井他 “物質移動を考慮したCT解析”
50年秋原子力学会 要旨集 (1975)
- 3) Rohsenow, W.M “Heat, Mass & Momentum Transfer”
- 4) D.L Smith & R.H. Lee；ANL-7891
- 5) Mcpheeters, C.C他；Nucl. Appl Vol 6 P573 (1969)



充 填 物 モ デ ル



不 純 物 捕 獲 モ デ ル

図 1. C T 解 析 モ デ ル

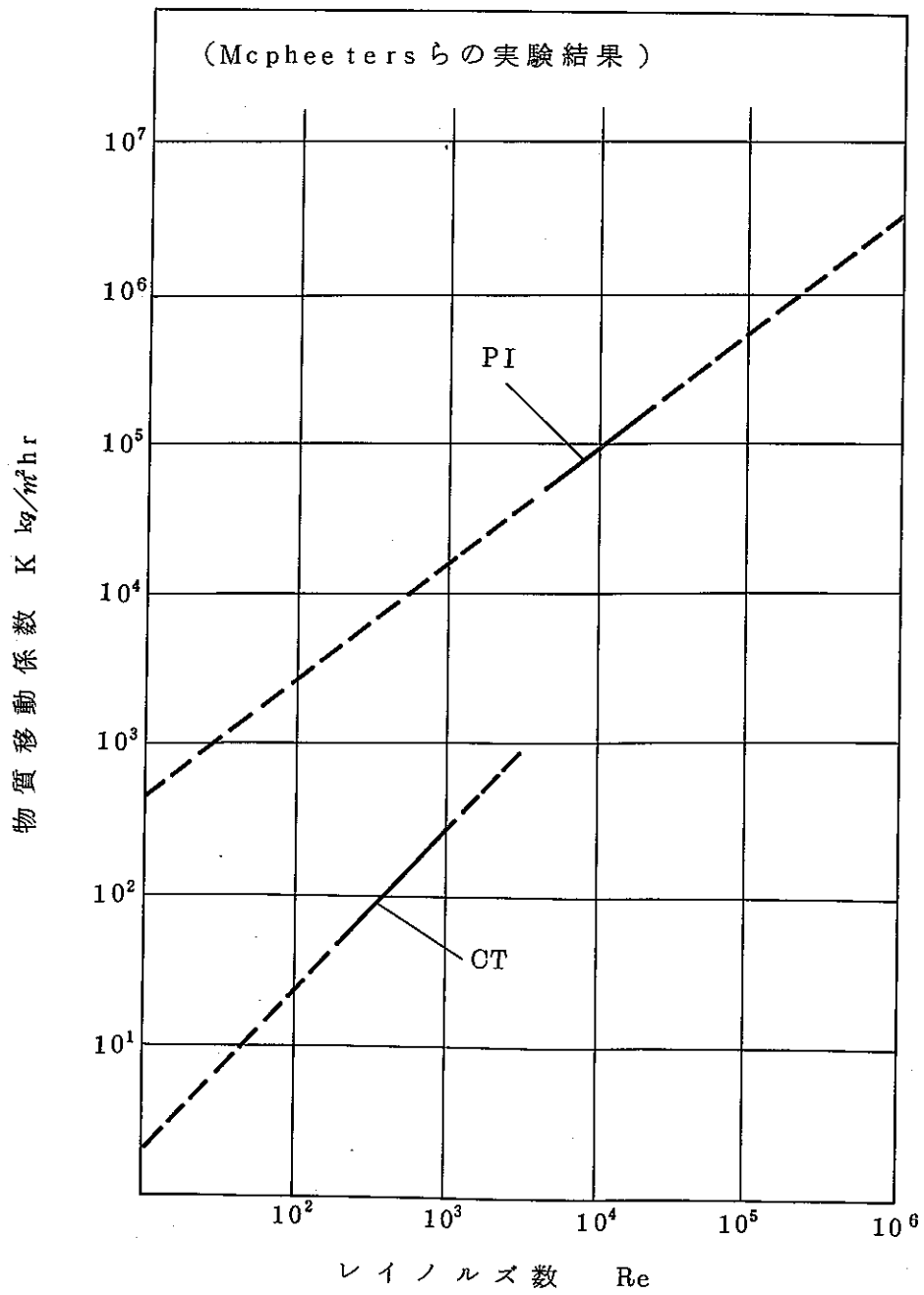


図 2. レイノルズ数と物質移動係数の関係

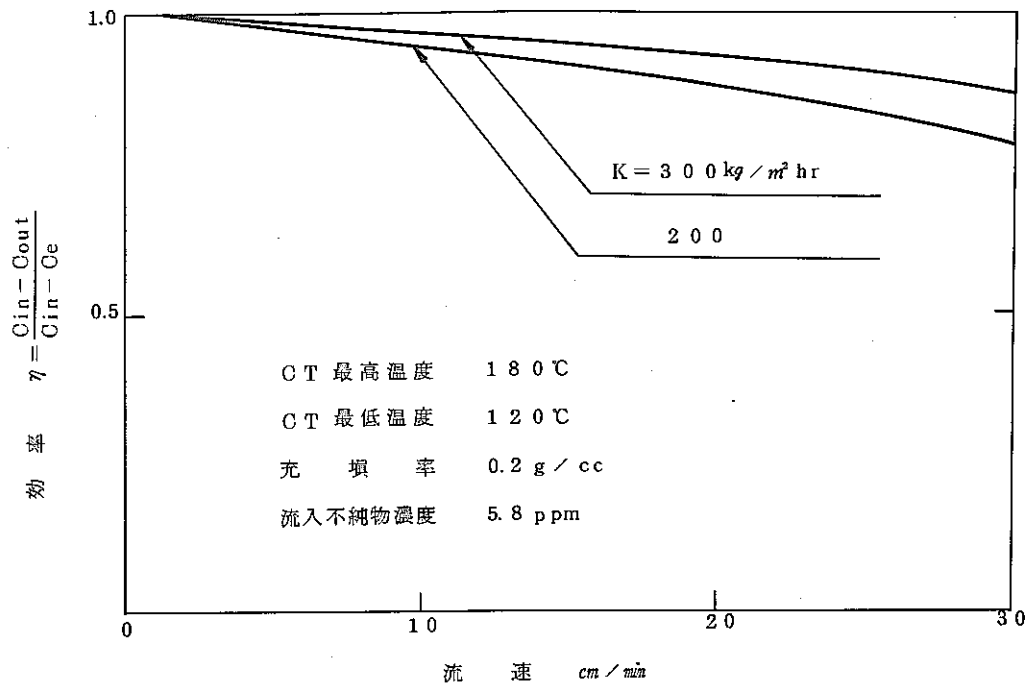


図-3 CTの性能に対する流速の影響

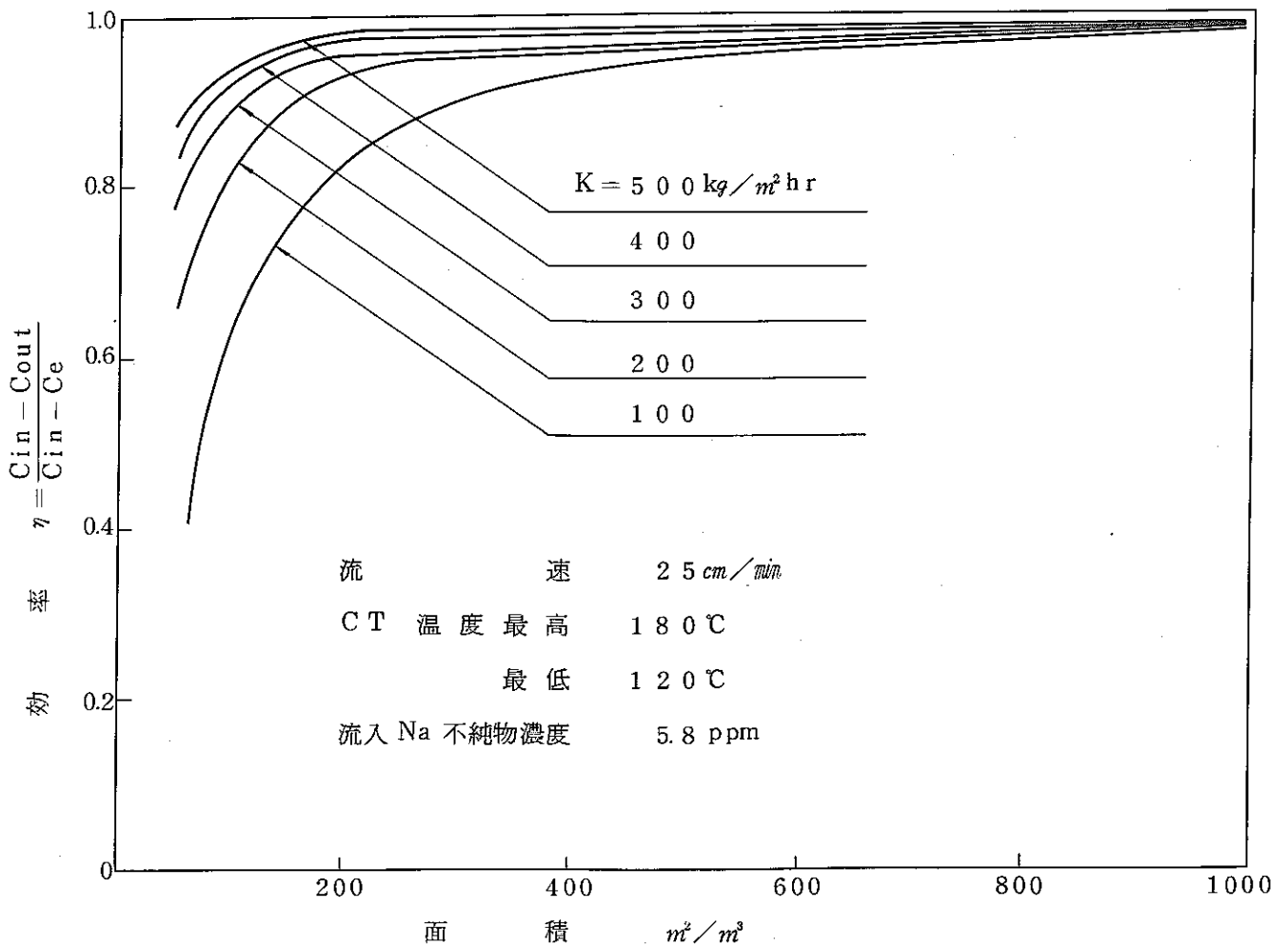


図4. 面積とCT効率の関係

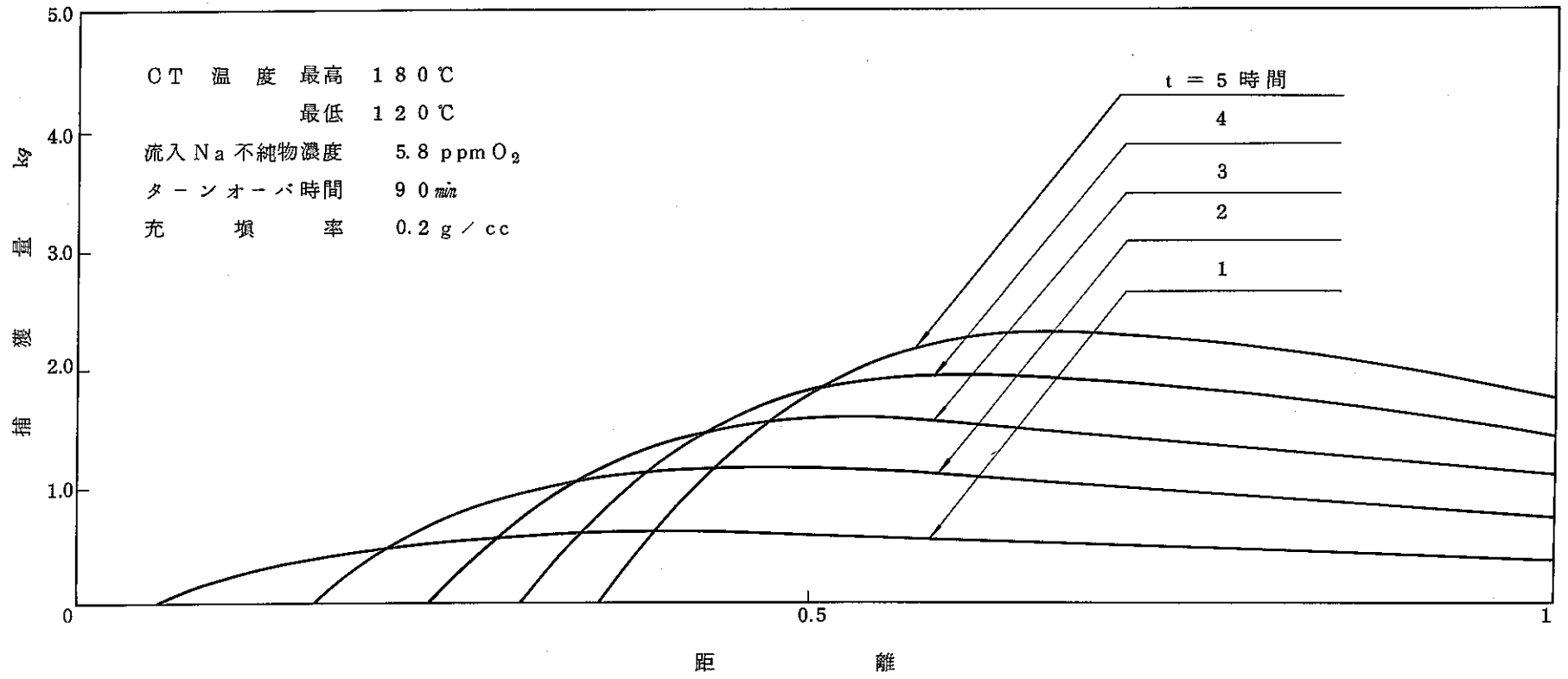


図5 不純物の捕獲分布状態

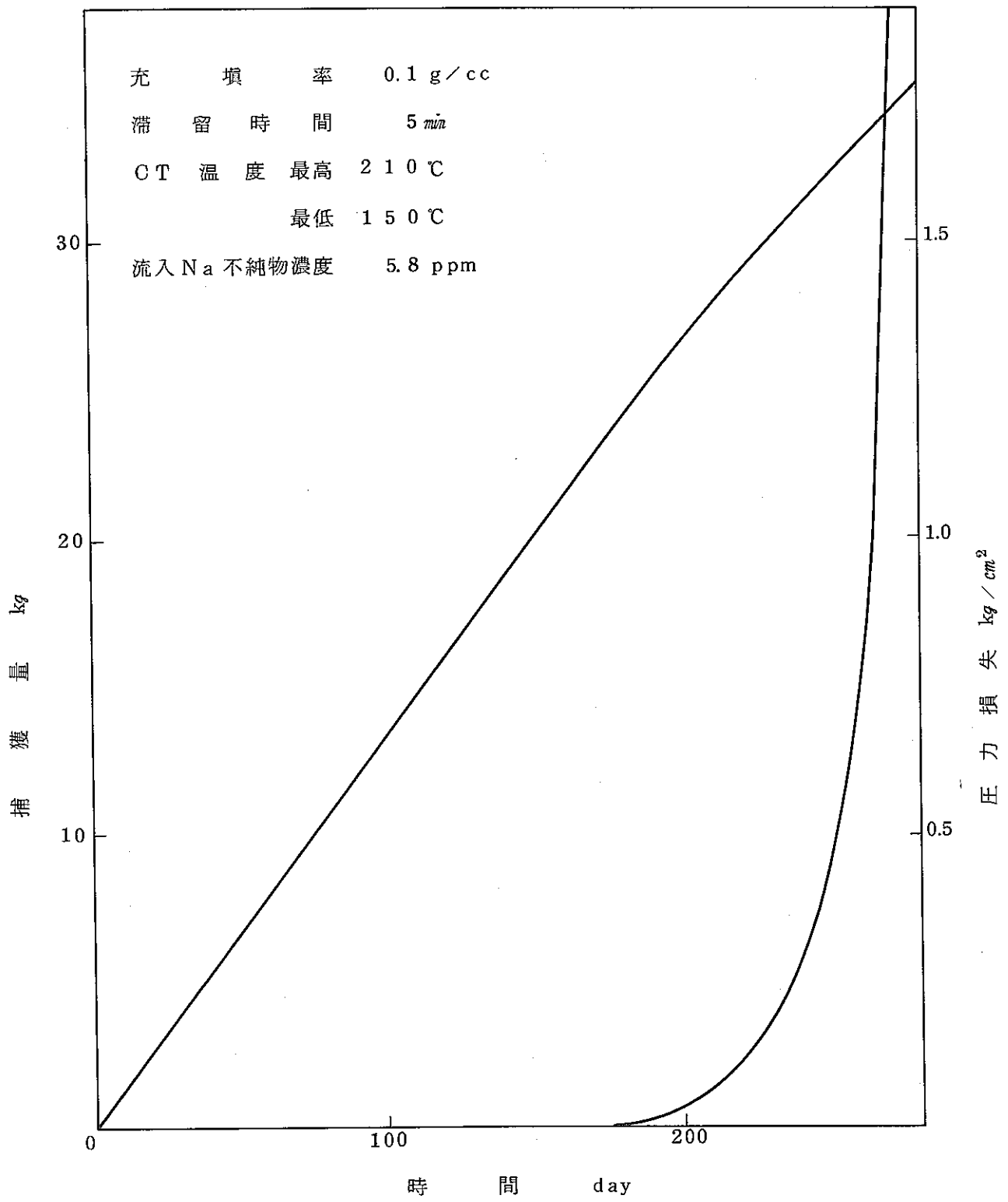


図6 CT内圧力損失の時間変化

7. もんじゅ二次冷却系コールドトラップの設計

○大島 巖* 根井弘道*
大野正剛*

はじめに

高速炉二次冷却系における水素挙動は、蒸気発生器の伝熱管からNa 中への水リーク検出に関係し重要な問題である。水リークをNa 中の水素計またはカバーガス中の水素計で、できるだけ早期に検出するためには、Na 中の水素濃度を常にできるだけ低く保つことが必要である。さらに水素濃度の変動も少ないことが望ましい。そのため二次冷却系CTの設計に際し、水素に対する考察が重要である。

定常運転時のNa 中の水素濃度を決定する要素としては、

- Na 中へ混入する水素量
- CT 等により除去される水素量

が考えられる。前者の中で最も問題とされるのは、蒸気発生器、伝熱管の水側の腐食により発生した水素が、伝熱管壁を通してNa 中へ拡散してくることである。

混入水素量とその除去

蒸気発生器伝熱管からの水素混入の事実については、フランスにおける実験⁽¹⁾及び米国のSCTI⁽²⁾などによって確認されている。その水素の混入とCTによる除去は次式のように考えられる。

S	； 混入水素量	(kg / hr)
Q	； CT流量	(kg / hr)
η	； CT効率	(-)
C	； Na 中水素濃度	(-)
C_e	； CT温度に相当する水素飽和濃度	(-)

$$C = C_e + \frac{S}{\eta Q} \dots\dots\dots (1)$$

* 東京芝浦電気(株) 総合研究所

もんじゅの場合のCT流量と水素バックグラウンド濃度の関係を図1に示す。

CTの設計

二次冷却系CTの必要性能を図2のようなフローで検討を行なうと水素除去によるCTの必要性能が、設計仕様を支配的にしている。

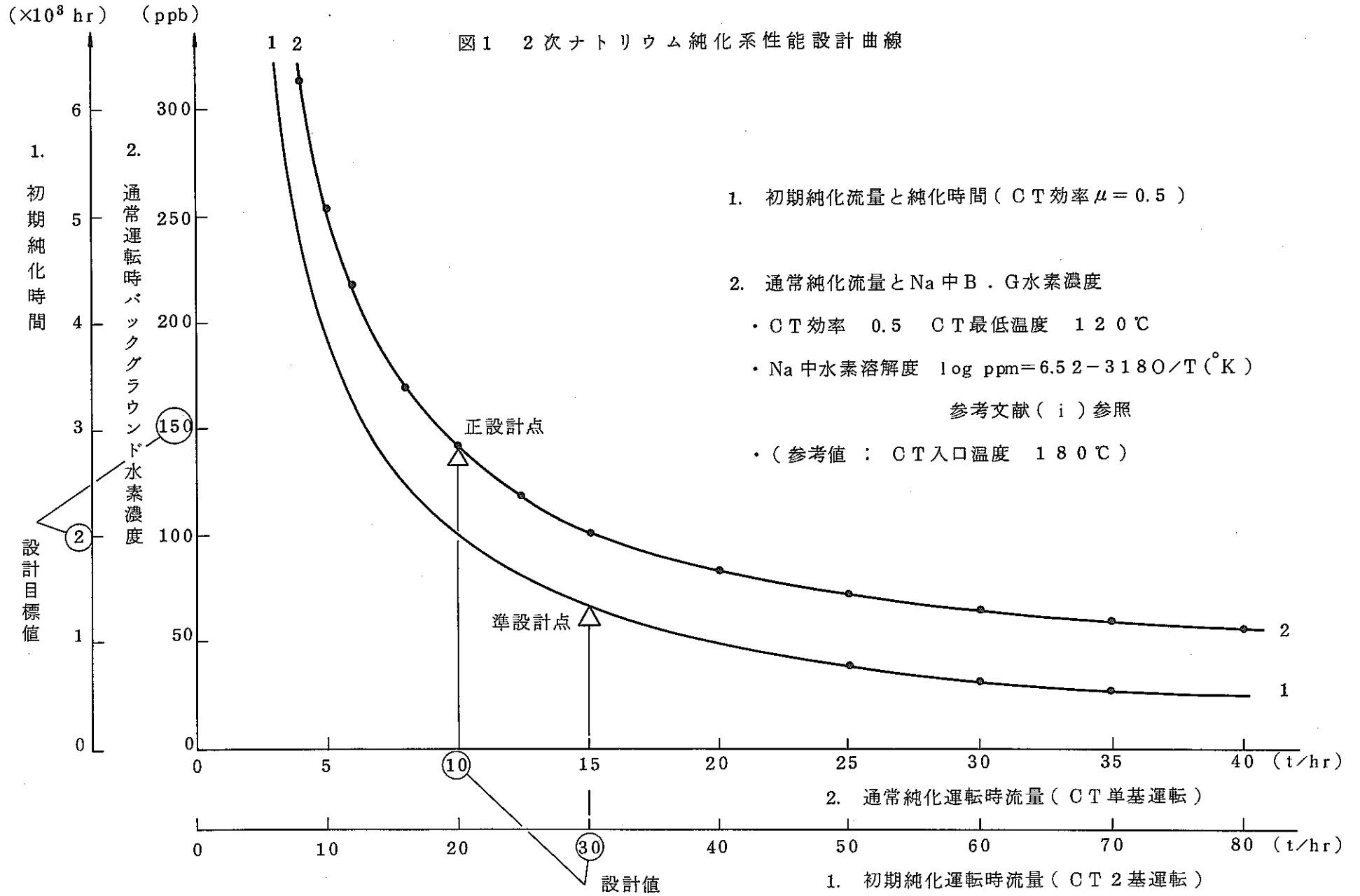
つまり(1)式による η 、 Q 、 C_e そして水リーク検出に必要な水素バックグラウンド濃度 C が重要であることがわかる。

おわりに

水素の混入量 S 、又水素に対するコールドトラップ効率 η の値に関し、信頼できるデータが必要であり、又それはもんじゅ二次冷却系CTの設計に大きな影響を与える。

参考文献

- (1) J. Biravlt, et al, ANL7520 p.345 (1968)
- (2) J.M. Mckee, L.E. Pohl, ANS Safety Conf (1974)



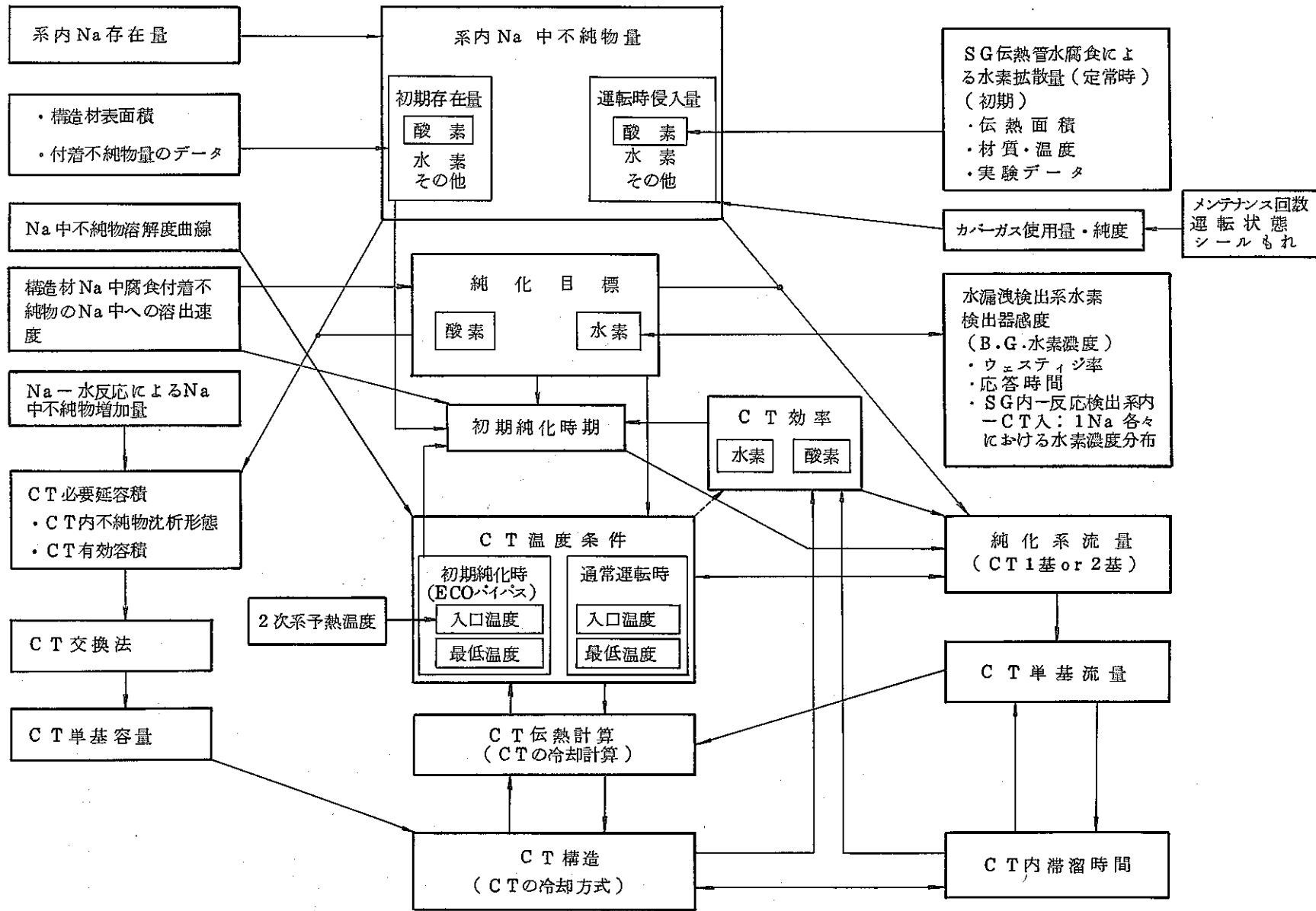


図2. 2次主冷却系用ナトリウム純化系性能設計手順

8. コールドトラップの現状

吉 田 正 美*

1. 序

原型炉“もんじゅ”の純化系を設計する為に必要と思われるコールドトラップに関する現在技術を動燃大洗工学センターの成果と海外の情報を基にまとめた、本報は動燃事業団コールドトラップ委員会資料CT7-3“コールドトラップ技術の現状(C/T委員会から原型炉グループへの中間報告)～ドラフト～”を基にしている。

2. コールドトラップ制御温度

2.1 1次系

1次系に於てコールドトラップの制御温度を決定する上で支配的な不純物は酸素と考えるて間違いはないであろう。Fig.1は大洗工学センターの種々のループで測定された定常時のコールドトラップ温度と化学分析による酸素濃度の関係である。ループ、コールドトラップ、サンプリング装置などの相異があつたにもかかわらずほぼEichelberger酸素溶解度曲線に沿つてコールドトラップ温度で制御されていた。

最近までは、実験炉の設計を始めClaxton曲線が広く使われて来た。しかし近年Nodenや技術開発ループの試験¹⁾などでEichelberger曲線に非常に一致する曲線が示された、Tab.1が主な酸素溶解度式である。

Tab.1. 主なナトリウム中酸素溶解度式

作成者	発表年	溶解度式
Claxton	1965	$\log C = 5.21 - 1777/T$
Eichelberger	1968	$\log C = 6.239 - 2447/T$
Smith	1972	$\log C = 6.967 - 2809/T$
Noden	1973	$\log C = 6.1579 - 2384.2/T$
武田(動燃)	1975	$\log C = 6.118 - 2383/T$

* 動力炉・核燃料開発事業団

1次系で要求される酸素濃度は材料の面（腐蝕・強度・摩耗・自己融着に及ぼす効果）から決められるものである。現在試運転中の実験炉“常陽”では Claxton 曲線に基づいて酸素レベル <10 ppm, コールドトラップ運転温度 150°C と決められているが²⁾ Fig 1.で明らかな如く, 約 3 ppm が達成される可能性が大きい。参考として海外の高速炉に於ける1次系コールドトラップ温度を Tab. 2 に示した。FFTFでは通常は酸素を 2 ppm

Tab. 2 海外の高速炉に於けるコールドトラップ温度

原 子 炉	設 計 温 度	運 転 温 度
S R E (熱中性子炉)	125°C	$^{\circ}\text{C}$
H N P F	122	146
F e r m i	121	149
S E F O R	121	150
E B R - II		107
F F T F	110	
P h e n i x		112

に保ち, 5 ppm 以上では警報を出すと言われている³⁾。

2.2 2次系

蒸気発生器を有する2次系のコールドトラップ制御温度は1次系と異なり酸素よりも水素に依って決められる。要求される水素濃度は(1)蒸気発生器の水漏洩検出計のためのバックグラウンドの低減 (2) (1) に伴って他の不純物が減少してしまふ事の及ぼす効果, などを考慮して決定される必要がある。

Tab. 3 に蒸気発生器を有するナトリウムループのコールドトラップ温度と水素濃度の実測値⁴⁾を示した。どれもコールドトラップ温度を $110\sim 120^{\circ}\text{C}$ に下げて水素レベルを 100 ppb 以下に保っている。

J. M. Mckee らは S C T I で出力の増大とともに水素濃度が増加する事を認め, この増加は蒸気発生器の管壁を通して蒸気側から Na 側へ水素が拡散して来る為と考え(2)式からその拡散率を約 7.9×10^{-5} lb/h と計算した⁵⁾。

Tab. 3 S Gグループバックグラウンド水素濃度実績

原子炉又は試験施設		コールドトラップ温度	水素濃度
S C T I	3 5 MW	115 °C	零出力 40 ppb
		115	全出力 80
Hengello	5 0		75
Renadiers	5 0	~110	50
5 0 M W S G	5 0	115 ~ 120	
E B R - II			60 ~ 80
Phenix		~110	全出力 150

$$\frac{dx}{dt} = \frac{S - (X - X_e) F \beta}{W} \quad (1)$$

ここで S G運転中の水素濃度 = X

C/T 出口の水素濃度 = X_e

C/T 流量 = F

C/T の水素に関する除去効率 = β (0.8 ~ 1)

伝熱管水側からの水素拡散率 = S

Na総量 = W

平衡時 dx/dt = 0なので (1)式は

$$X = X_e + S/F\beta \quad (2)$$

最近では、水素溶解度曲線は Vissers の曲線⁶⁾ $\log C = 6.067 - 2880/T$ が広く信頼を持たれており、もし原型炉にて 150 ppb 以下に水素レベルを保とうとすると、蒸気発生器からの拡散水素を考慮しない場合でも、コールドトラップ温度は 150 °C、拡散水素を考えると更に低い温度 (120 ~ 130 °C) が必要となる。

始めに“他の不純物が減少してしまう事の及ぼす効果”と記したが、具体的には (1) 酸素濃度の低下に帰因する摩耗や自己融着への悪影響(2)水素レベルのアンバランスに依る1次系トリチウムの2次系への拡散 などである。

3. 除去すべき不純物量

純化系を設計する上で最も重要な検討項目でありながら、著しく不確かである。Tab.4 に実験炉設計に於ける推定例を示した。²⁾以下に1次系, 2次系に分けて一般的な考え方を示す。

Tab.4 実験炉に於ける除去すべき酸素量の推定^{*}

因 子	1 次 系	2 次 系 ^{**}
ナトリウム地金に帰因するもの	3.8	0.7
雰囲気置換後の機器・配管内雰囲気 [*] に帰因するもの	~ 0	0.07
雰囲気置換後の機器・配管室に付着したもの	8.7	13.5
燃料と共に系内に持ち込まれるもの	28.6	—
カバーガス・シールガス等に依り系内に持ち込まれるもの	1.7	0.1
サンプリングに伴なって混入するもの	~ 0	~ 0
配管の切断等のメンテナンスに起因するもの	1.2	0.8
合 計	44.0	15.2

* SGが無いので酸素にだけ注目

** フラッシング用C/Tと本設C/Tに荷せられる量を合計した。(詳細は文献2)を参照)

3.1 1次系

1次系のコールドトラップ負荷量を支配する不純物は酸素と考えられる。Tab.5 に海外炉のコールドトラップで除去された実績⁷⁾例を参考に示した。

以下各因子に付いて記す。

(1) 購入ナトリウムに帰因する酸素

$$(\text{酸素量}) = \{ (\text{購入Na中濃度}) - (\text{運転濃度}) \} \times (\text{Na総量})$$

西独などでは commercial gradeを購入しているが、我国では reactor grade として酸素を制限しているので負荷は小さい。

(2) 初期の系内雰囲気置換時に残留する酸素

Tab. 5. 海外 LMFBR 1次系純化量実績⁷⁾

炉	1次系Na量	Na ₂ O 除去量
H N P F	194m ³	・初期純化時(1台目)に104kg捕えて閉塞, 運開~'63まで5基使用, 推定104×5=540(kg)
Fer mi	155 t	・出力前('59~'62)に194kg捕獲
EBR-II	300 t	・5¼年で1号機閉塞, FFTFと同型なので FFTFの設計値240kgを捕えた?
Phenix	800 t	・初期純化'73 Jan.~Mar. 87kg ⁸⁾

減圧置換法が採用されたとすると(3)式で計算される。

$$(\text{残留酸素量}) = A \left\{ \left(\frac{BD}{C} + \frac{F(E-D)}{C} \right) \left(\frac{C}{E} \right)^{n-1} + \frac{F(E-D)}{E} \sum_{n=1}^n \left(\frac{C}{E} \right)^{n-2} \right\} \quad (3)$$

ここで 系内体積 = A

置換前系内雰囲気中酸素濃度 = B

置換前系内雰囲気圧 = C

減圧時圧 = D

置換Ar 注入圧 = E

置換Ar 中酸素濃度 = F

置換回数 = n

今, C = E = 760mmHg, D = 1 mmHg, B = 2 × 10⁵ ppm, F = 2 ppm,

A = 2000m³ と仮定すると n = 1 で G₁ = 900g n = 2 で G₂ = 8g と計算され, n = 2 では無視可能となる。

(3) カバーガス置換後のステンレス機器, 配管吸着酸素

(酸素量) = (単位面積当りの吸着量) × (全表面積)

単位面積当りの吸着酸素量に関する実測データは少ない。K. G. Eickhoff らの18-8-1ステンレスの実験室測定によると 2.8 × 10⁻⁵ g/cm² であったが, ダンプタンクに2¼Cr-1Moを採用している英国 Mechanical Pump Rigに於ける純

化データの検討ではクロモリ鋼の影響が $1 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^2$ と 5 倍の値を得ている。^{7) 9) 11)}
実験炉では後者を用いて計算が行なわれた。

大型ナトリウム機器総合試験装置 (SUS 27) の炉容器と補助タンクの初期純化時の解析によると $4.17 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^2$ と言う値が得られている。¹⁰⁾

(4) 燃料交換時に混入する酸素量

$$\text{(酸素量)} = \text{(燃料集合体 1 本当りの表面積)} \times \text{(単位面積当りの吸着酸素量)} \times \text{(炉寿命中の交換本数)}$$

単位面積当りの吸着酸素量は、(3)で記した通りである。実験炉の計算によると全推定値の 65% を占めていた。

(5) 通常時のカバーガス中酸素からの移行

$$\text{(酸素量)} = \text{(吹き込み Ar 中平均酸素化合物酸素量)} \times \text{(全寿命中に系に吹き込まれる Ar 量)}$$

1 次系に吹き込まれる Ar 中には常に少量の酸素化合物 (O_2 , CO_2 , CO , H_2O) が存在し、全量 Na へ移行すると考える方が安全側である。液化 Ar から蒸発した Ar 中には、酸素換算で最大 10 ppm 程度と推定される。

(6) メンテナンス

メンテナンスに伴う汚染量の推定は著しく困難である。頻度もさる事ながら、対象範囲、メンテナンス法にも大きく依存する。実験炉では雰囲気汚染を考慮せず、交換配管に吸着して入る量だけを見積った。全寿命中に全表面積の 28% が交換されるとして (3)と同様に計算されたが、根拠は不確かである。過去の例から工事の多いループではコールドトラップが良く閉塞しているので、状況に依っては最も大きな要因となる。

(7) アルゴン中への空気の漏洩

SEFOR では空気の漏洩に依り容易に閉塞した経験を持つ。実験炉では全く考慮していない

3.2 2 次系

蒸気発生器を有する 2 次系では、蒸気発生器からの定常的水素侵入があり、酸素と水素を考慮しなければならないだろう。

3.2.1 酸素

1 次系で考えた要因のうち“燃料交換時に混入する酸素”を除き全て考慮すべきであ

り、更に以下の項目が加わろう。

(1) カバーガス置換後の 2¼ Cr-1Mo 機器・配管吸着（錆も含め）酸素

3.1.(3)と取扱は同じだが、K. G. Eickhoff らの実験室測定によると単位面積当りの酸素吸着量は $6.2 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^2$ とステンレスに比べ著しく多い。^{7) 9) 11)}

(304 S. S / 2¼ Cr-1Mo) 比が 2/8 の EBR-II 2 次系の初期純化データによると発生した錆を完全に除かずに建設した為 181 kg のマグネタイトが残存し Na にふれて Na_2O を生成した為 Na 温度 315°C でプラグ温度を 121°C まで到達させるに 63.5 kg の Na_2O をコールドトラップで除去せねばならなかったと言う。^{7) 11)} 原子炉の諸目が明らかとなれば、単位面積当りの酸素量が求められるのだが、今のところできない。

50 MW 蒸気発生器試験装置の初期純化に先立ち、技術開発室に於て錆た 2¼ Cr-1Mo の Na 中浸漬試験を実施した。この結果によると 300°C 10 時間以上の条件で重量減少が一定となるので錆を Fe_2O_3 と仮定すると $1 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^2$ の酸素が Na_2O となって除かれた事となる。¹²⁾

(2) 水漏洩

水漏洩量を如何に見積るかは蒸気発生器研究に待たねばならない。漏洩した水は Na_2O と H_2 を生成すると仮定しても大きな間違いはなさそうである。

3.2.2 水素

汚染要因は(1)購入 Na 中水素(2)カバーガス置換後の機器・配管吸着水素(3)蒸気発生器からの拡散水素、(4)カバーガス吹込 Ar 中水素 (H_2O) (5)水漏洩、(6)メンテナンスであるが、コールドトラップ負荷量を左右するのは、(3)(5)であろう。(2)は酸素と同様の考え方で計算されるが、K. G. Eickhoff らのデータによると、単位面積当りの吸着量がステンレスで $1.3 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^2$ 、2¼ Cr-1Mo で $0.5 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^2$ と小さい。^{7) 9) 11)}

(3) 蒸気発生器からの拡散水素

J. M. Mckee によると伝熱管からの拡散水素は無視出来ないと言う。⁵⁾ 特に初期には多く、水漏洩検出を水素計で行なう事すら困難とも推定されている。拡散水素による負荷量は

$$(\text{水素量}) = (\text{SG 伝熱面積}) \times (\text{拡散率}) \times (\text{運転時間})$$

で J. M. Mckee らの SCTI のデータしかない。彼等のデータに依ると初期時には

特に拡散量が多いと言う。詳細は文献5を参照されたい。

1965年のEBR-IIの定常運転データを詳べると、プラグ温度107℃でコールドトラップを切り離すと、20～30日間でプラグ温度が160℃に増加している。定常的な酸素汚染が考え難いので、この汚染はSGからの水素かも知れない。¹⁾

(5)は蒸気発生器の信頼性評価が基礎となり、不確定要素が多く、ここでは言及できない。(6)も蒸気発生器のメンテナンスが主体となるだろう。(5)、(6)を当初の推定に含めるべきかどうかもここでは言及できない。

3.3 酸素・水素以外の不純物

1次系ではFP, OP, 2次系ではCPが考えられるが除去'できる'、'すべき'の判断とは別にそれらの放出率からコールドトラップの負荷量を支配する量とはならない。

4. 純化時間と純化系流量

Fig. 2 の様な単純な系に於て純化時間は式(4)で計算される。

$$C = C_a + (C_o - C_a) e^{-\frac{\eta F t}{V}} \quad (4)$$

ここで 初期濃度 = C_o

純化開始 t 時間後の Na 中濃度 = C

コールドトラップ出口濃度 = C_a

純化系流量 = F

系全体の Na 量 = V

効率 = η

通常 C_a はコールドトラップ最低温度に於ける飽和溶解濃度が用いられている。

(4)式から $Ft = -\frac{V}{\eta} \ln(C - C_a / C_o - C_a)$ となり、ある流量以上に流量を増しても純化時間に効果的でなくなる。1例をFig. 3に示す。Fig. 3の条件では40～50 t/h以上としても純化時間を大きく短縮できない事が判る。

式(4)の純化効率 η の酸素に関する実測値をTab-6に示した。

Tab. 6 酸素純化効率 η の実測値

施設	C/T 型式	メッシュ体積	純化系流量	酸素純化効率
技術開発ループ ¹³⁾	HNPF	0.019 m ³	180 l/h	0.8 ~ 1
「常陽」冷却系機器耐久試験 ¹⁴⁾	#	0.15	900 l/h	1
50MW蒸気発生器試験 ¹²⁾	#	2	10 t/h	0.4 ~ 0.6
大型Na機器総合試験純化系 ¹⁰⁾	改良Fermi	1.15	#	0.6
Phoenix ⁸⁾	Phoenix	(5.1)	30 m ³ /h	1

技術開発ループ、「常陽」冷却系機器耐久試験装置及び Phoenix では $\eta = 1$ と実測された。50MW蒸気発生器施設では純化系がポンプ出口から Na を取り、そしてポンプ入口側へ戻しているため、(4)式を適用このまゝ用いた η 値からコールドトラップを評価する事には無理がある。しかし、50MW SG施設の配管配置が全体の純化効率を悪くしている事実は言明出来る。¹²⁾ 大型ナトリウム機器総合試験装置純化系の η については文献 10. に詳細が記されている。 η が小さいのは流路断面を広げる為に設けられたバイパス流路のナトリウムがアニオスのナトリウムと熱交換を行なってしまい為に設定温度よりも高い温度でメッシュ層に流れ込んでいるからであろうと推定している。

(4)式で $C_o - C_a$ を大きく選ぶ事が出来れば純化は早い。実験炉 1 次系モデルの大型ナトリウム機器総合試験装置純化系ではプラグ温度 235 °C の時に 150 °C にコールドトラップを設定して現在のところ不都合なく運転されている。^{10) 11)} この時の酸素の ΔC は約 24 ppm であるが、一般には ΔC を 5 ~ 10 ppm に選び⁷⁾ ステップ状に純化を行っている。Fig.4 にステップ状純化と一般純化との間の必要時間の比較例を示した。

50MW蒸気発生器施設のコールドトラップで指適されている如く、純化系のレイアウトに依って系全体の純化効率は悪くなる。例えば大型ナトリウム総合試験装置に於て、純化系が補助タンクを介しているため、急激な負荷が純化系に加わらない代わりに系全体からは、(4)式で計算されず、主配管の純化には時間を要す。

5. 滞留時間

従来からコールドトラップメッシュ体積を決定する要因の 1 つとして滞留時間が考慮されてきた。滞留時間に関する考察は Bruggman の報告が唯一と言って良く、5 分以下では

効率が低下すると言う。この測定は EBR-II 型 コールドトラップで得られたデータであるが、広く使われている。¹⁵⁾

「常陽」冷却系機器耐久試験装置の HNPF 型 トラップの実験によると滞留時間 6 ~ 15 分の間で $\eta \geq 0.9$ となり、一応 Bruggman のデータを認める結果となっていた。¹⁶⁾

近年、コールドトラップの型式も種々のものが考えられ、また経済性から小型化が目指されると、滞留時間も再検討される必要がありそうだ。

Mcpheters らはコールドトラップの働きは析出プロセスであり、物質移動式(5)式で整理しようとした。¹⁷⁾

$$\Delta m_i = (ka)_i A_i (C_i - C_{ci}) \Delta t_i \quad (5)$$

ここで i 区域の析出量 = Δm_i

i 区域の滞留時間 = Δt_i

物質移動係数 = k

単位表面積当りの析出結晶表面積 = a

i 区域の析出面積 = A_i

i 区域の温度に於ける飽和濃度 = C_{ci}

i 区域流入濃度 = C_i

$\eta = 1$ となる滞留時間 T は (コールドトラップ入口濃度) - (コールドトラップ最低温度に於ける飽和濃度) = $\sum m_i$ となる $\sum t_i$ である。

彼等の実験によると、物質移動係数はレイノルズ数の 0.8 乗に比例するので、析出面積 A を増すだけでなく、レイノルズ数を増せば T は小さくなる。この点に注目して Ray らは電磁攪拌の採用により滞留時間 5 分以下で十分なトラップを発表し、可能性を示している。¹⁸⁾

6. 捕獲酸素量

6.1 メッシュ有効率

すでに別報¹¹⁾で述べた如く、酸化ナトリウム、捕獲量を下式で整理すると Tab. 7 の如くなる。

$$(\text{捕獲量}) = (\text{メッシュ体積}) \times (576 \text{ kg/m}^3) \times (\text{有効率})$$

ここで、 576 kg/m^3 は R.B.Hinze が SRE のトラップの検討の際に行った実験で得られた単位メッシュ当りの最大 Na_2O 捕獲量 (酸素換算 148.6 kg/m^3) である。一方

Tab. 7. 捕獲量とメッシュ容積・断面積の関係

炉	HNPF		FERMI		SEFOR		FFTF	実験炉 1次系	実験炉 2次系	PFR
	設計	実績	設計	実績	設計	実績	設計	設計	設計	設計
メッシュ容積 (m^3)	0.56		1.47		0.152		1.52	1.15	0.8	1.09
捕獲 Na_2O (kg)	90.5	104	562	194	90.6	26	240	178	73.3	200
単位容積当り Na_2O (kg/m^3)	163	186	383	132	59.6	171	158	155	91.6	183.5
Na_2O 見掛密度 (kg/m^3)			1200					576	576	
有効率 ^{b)} (%)		32.2 ^{a)}	30	22.9 ^{a)}		29.5 ^{a)}	27.4 ^{a)}	27	16	31.8 ^{a)}
メッシュ流路断面積 (m^2)	0.16		1.10		0.16		0.57	0.374 ^{c)}	0.53	2.98
単位断面積当り Na_2O (kg/m^2)	1020	1160	350	120	5670	1070	270	476	148	67.1

a) R.B.Hinze のデータを仮定して整理した。

b) (単位容積当り Na_2O) / (Na_2O 見掛密度)

c) 最下端部断面積でバイパス孔は無視

M S A R が Fermi コールドトラップを設計した時には、メッシュ内の Na が全て化学量論的に Na_2O になると仮定して 1200 kg/m^3 と言う値を採用した。

コールドトラップ型式を無視して Tab.7 を見ると、有効率は 16 ~ 32.2% となっていた。

P N C でいくつかのコールドトラップが解体分析された。Fig.5 がナトリウム流動伝熱試験ループ²⁰⁾、Fig.6 が小型蒸気発生器試験ループ²¹⁾、Fig.7 が比較の為に掲げた Fermi²²⁾ のコールドトラップに捕っていた酸素分布図である。

Fermi トラップとナトリウム流動伝熱試験ループのトラップはそれぞれの寸法が相異し、Na の線速度などが異なるが、捕獲分布は同傾向で入口側 30 ~ 50 cm で大部分を占めていた。この傾向は Fermi 型の特徴であろう。Fermi トラップでは最大酸素 2×10^5 ppm (200 kg/m^3) に達していたが、有効に働いた 30 cm の平均は 150 kg/m^3 弱で、Hinze の値に近似していた。

断面積当りの捕獲量を比較すると最近のものは著しく小さな値となっている。これは Tab.7, Fig.5 ~ 7 から明らかな如く、メッシュの 1 部しか使われていないので流路断面積を広くして捕獲容量を増そうとの試みではあるが設計捕獲量推定にはデータ不足から、旧来通りの体積基準で行なわれているからだろう。特に P F R, Phenix 及び大型ナトリウム機器総合試験装置 MK-II コールドトラップは、この点に注目して路程を短くしても流路断面積を増す方向で作られているので高い有効率が期待される¹¹⁾。たゞレイノルズ数の低下が有利に働くかどうかと心配である。

6.2 物質移動に基づく検討

Mcpheters らは解析を簡単にするためにバックレスコールドトラップを用いて(5)式に基づいた検討を行った¹⁷⁾。レイノルズ数をパラメーターに Ra が求められ、レイノルズ数 1,200 以下では表面析出が主体で、拡散が律速だと言う。現在この面からの設計は不可能だが、最近東芝に於て精力的な検討が行なわれて居り、また大型ナトリウム機器総合試験装置 MK-II コールドトラップの設計に於て製作メーカーに検討を依頼しているので、近い将来有用な手法になるかも知れない。

6.3 セトリングチェンバーの効果

EBR-II型と云って良さそうなトラップによるソ連の研究で全捕獲量の35%が冷却部メッシュで、30%が沈降部で、35%が濾過部メッシュで捕っていたと言う。定性的にこの効果を裏付けるデータは多い。

7. 充 填 物

メッシュは(1)析出媒体、(2)濾過媒体、(3)保持媒体としての働きが考えられるが、(1)が支配的と思われる。使われている充填物の種類は、(1)モチ網状メッシュ積層(「常陽」冷却系機器耐久試験装置)、(2)バウムクーヘン型メッシュ(大型ナトリウム機器総合試験装置純化系)(3)デミスター(SEFOR, EBR-II, FFTF)、(4)ラシヒリング(DFR)などがあり、(1)、(2)及び(3)が多い。この他に大型ナトリウム機器総合試験装置純化系MK-IIトラップに対し、析出面積を増加させ、圧損の増大を防ぐ事を目的でディスク積層の提案が三菱原子力からあったが、この様な大型機に用いるには実績がなかったので採用されていない。

Fig. 8 はメッシュの線径・充填密度・空間率及び表面積の関係である。析出面積即ち表面積は、線径が細く、充填密度が大きい方が広く採れるが、腐蝕及び圧損の増加時に於ける耐圧性も考慮しなければならない。

Fermi コールドトラップの解体検査結果からはメッシュの腐蝕は見られなかったと言われているが²²⁾、ナトリウム流動伝熱試験装置ゴールドトラップの12000時間後の分析結果では、メッシュ入口側の724~5400 ppm 酸素捕獲部のメッシュに約10 μ の腐蝕が観られた²³⁾。

単純比例計算によると6.6 μ /yとなる。この様な高酸素濃度下に於ては低温であっても無視出来ないと言うデータだが、このデータには解体前のNaドレン時に600 $^{\circ}$ C近くまで加熱された効果が働いたためだと言う指摘もある。²⁰⁾

SEFORでは早い時期に系内酸素量が増し、メッシュ入口に急激に酸化物が析出して圧損が増大してメッシュがつぶれた経験があった。²⁴⁾

閉塞の無いメッシュに加わる圧力は(6)式で、もし析出分布に偏りのある時は局部的に析出

$$\Delta P = \frac{150 G_0 L \mu (1-e)^2}{D_N^2 \rho \epsilon_N} + \frac{1.75 L G_0^2 (1-\epsilon_N)}{D_N^2 \rho \epsilon_N^2} \quad (6)$$

$$D_N = D_p \sqrt{\frac{\rho_{SUS}}{d_p}} \epsilon_N \quad (7)$$

$$\epsilon_N = 1 + \frac{W}{\rho_{ab}} \quad (8)$$

ここで	質量速度/断面積 = Go	[lbm / ft ² · h]
	メッシュ部長さ = L	[ft]
	Na 粘度 = μ	[lbm / fe · h]
	析出時のメッシュ太さ* = D _N	[ft]
	真のメッシュ太さ = D _p	[ft]
	メッシュ線材質 (SUS) の密度 = ρ _{SUS}	[lb / ft ³]
	空間率 = ε _N	
	単位体積当りの Na ₂ O 析出重量 = W	[lb / ft ³]
	析出 Na ₂ O の高比重** = ρ _{ab}	[lb / ft ³]
	メッシュ充填密度 = d _p	[lb / ft ³]
	ナトリウム密度 = ρ	[lb / ft ³]

* 断面周方向均一に析出すると仮定

** ρ_{ab} = 576 kg/m³ が使えそう。

量の多いゾーンだけで推定できるのではなからうか。

完全閉塞にまで至るとポンプ圧がもろに加わる事となる。

空間率が大きい事は析出物の保持量が大きい可能性を持つが充填密度 0.4 g/cm³ 以下ならば空間率は95%以上で有意差はなくなると言える。

8. 冷 却

冷却形態は Tab. 8 に示した。Fermi 型は冷却部を熱的に分離してメッシュ部内温度分布を均一化の方向にある。冷媒は大型機は NaK が多い。

ナトリウム流動伝熱試験装置で経験した如く、エコノマイザとの組合せで熱設計を行ったが、コールドトラップ入口温度と最低温度をフレキシブルに選択できず、十分な運転が出来なかった²³⁾。例えばエコノマイザ戻り側にバイパスラインを設ける事が熱収支を別にして有効ではなからうか。

Tab.8. 冷却形態の種類

	Na-Na		冷却法		冷却機			
	ナシ	アリ	ジャケット	内挿パイプ	Nak	N ₂	Air	有機物
Ferrni・EBR-II・FFTF		○	○		○			
Phenix (1次)		●	○		○			
HNP F		●	○			○		
50MW 耐久・Joyo (2次)		●	○				○	
SEFOR		○	○			○		
SRE		○	○					○
Rapsodie (2次)		○	○				○	
Rapsodie (1次)		●		○		○		
BN-350		●		○	○			
Joyo 1次 総合 MK-I	○			○		○		
総合 MK-II	○			○		○		
Phenix (2次)		●		○				○

● パイプ径が細く伝熱面積は小さい。

9. おわりに

本報は昭和50年2月にドラフトとして提出した、C/T委員会から原型炉グループへの中間報告を基に要約したものである。この時点から更に新しい成果も出ており、進行中のR & Dも多いので他日正式の報告書が提出されるはずである。

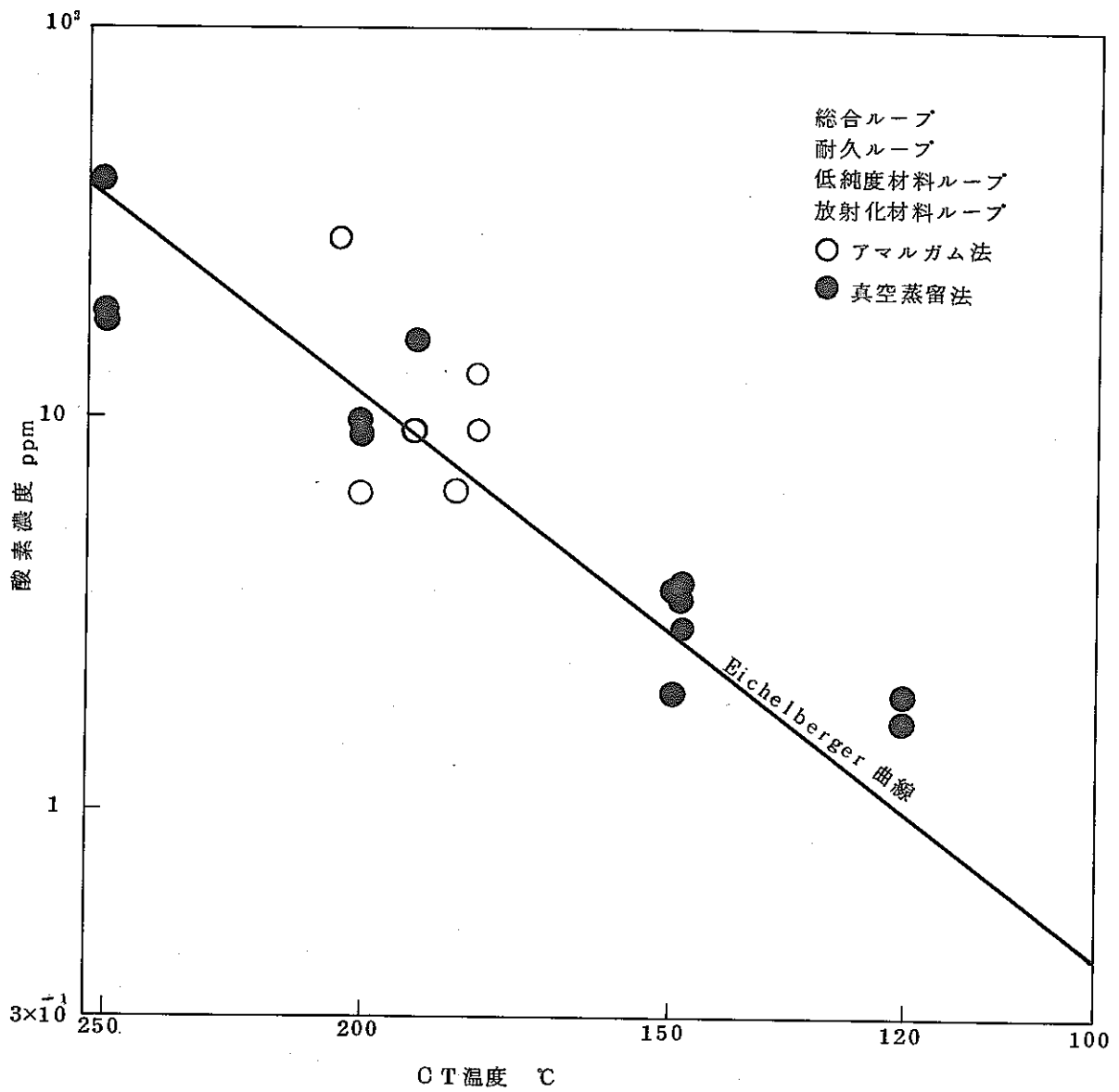


Fig. 1. 大洗工学センターに於ける種々のループに於けるコールドトラップ温度とNa中酸素分析値例

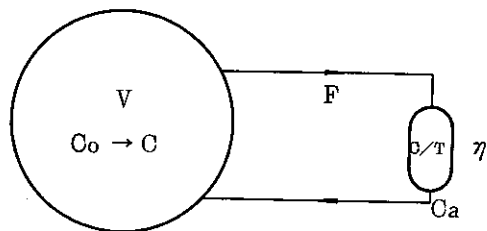


Fig. 2 単純な純化系モデル

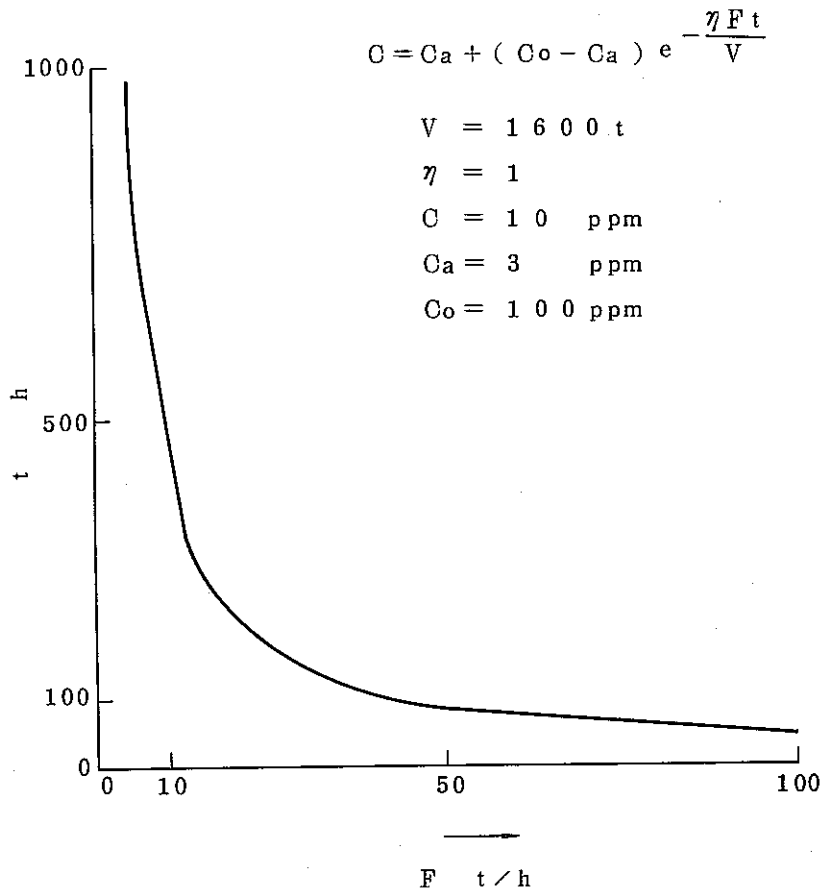


Fig. 3 単純なモデルに於ける純化時間と純化系流量の関係の例

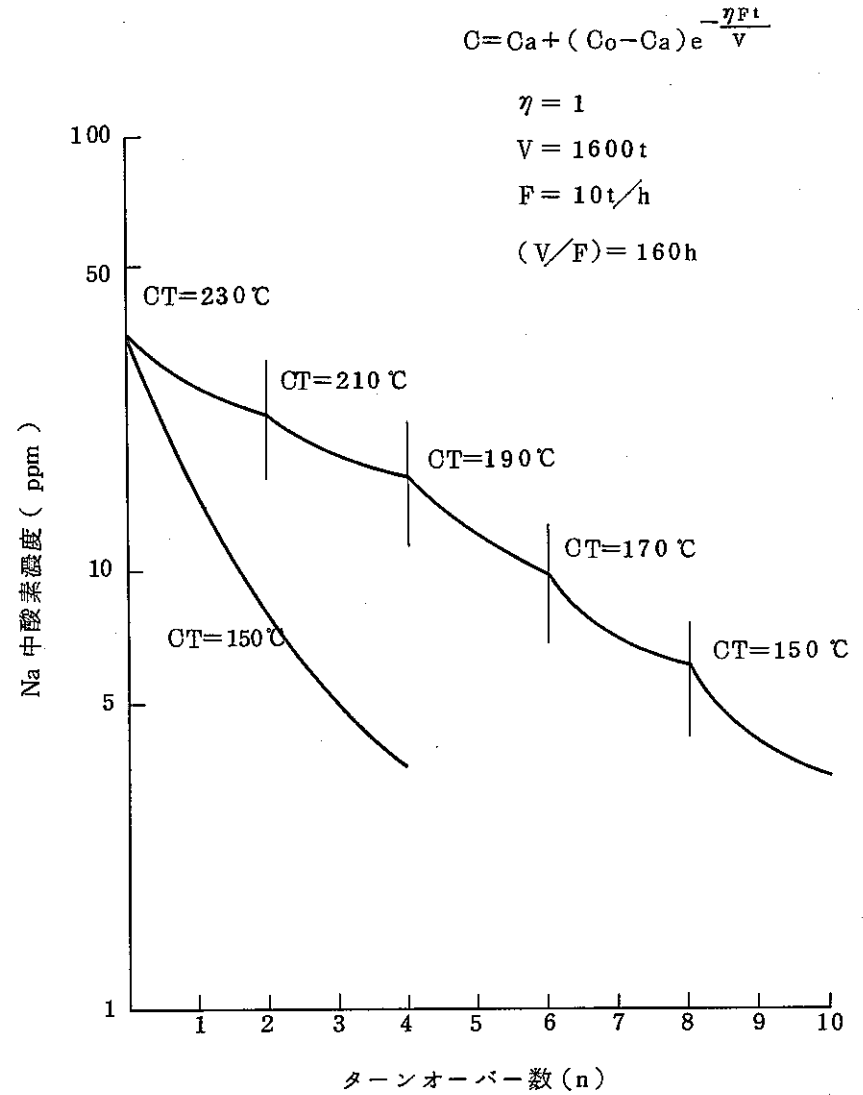


Fig. 4 1 step 純化と多 step 純化の必要時間の比較例

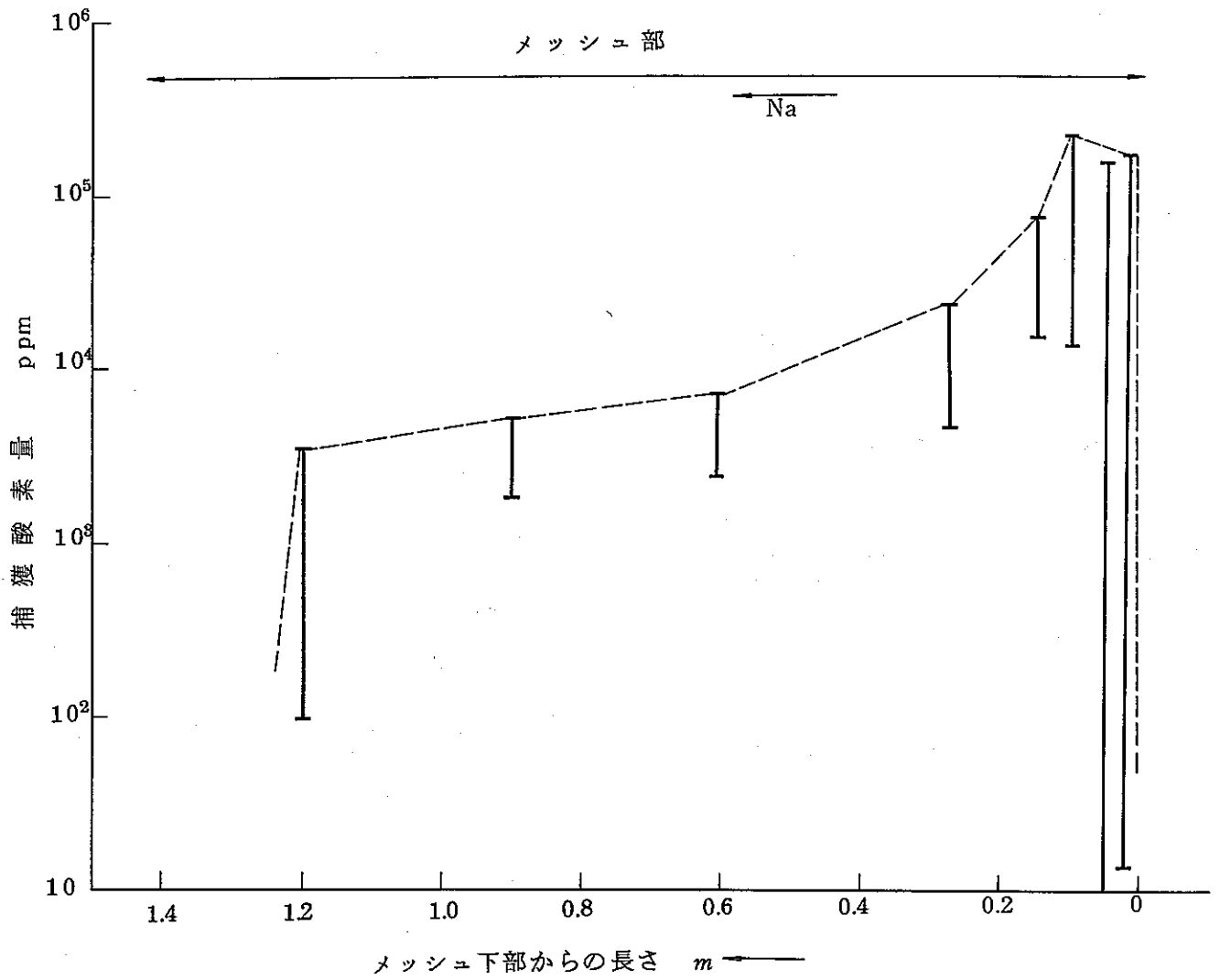


Fig.5 Fermi炉1次CT内酸素分布

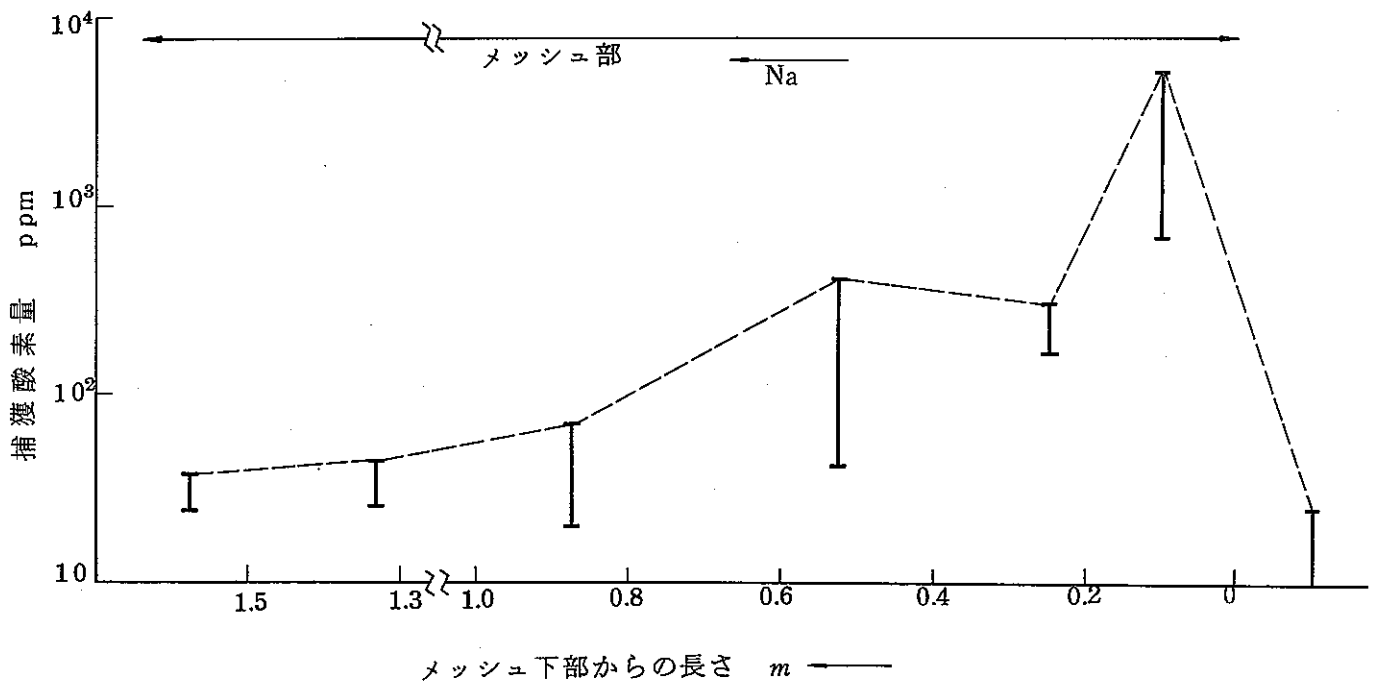


Fig.6 流動伝熱ループCT内酸素分布 (Fermi型)

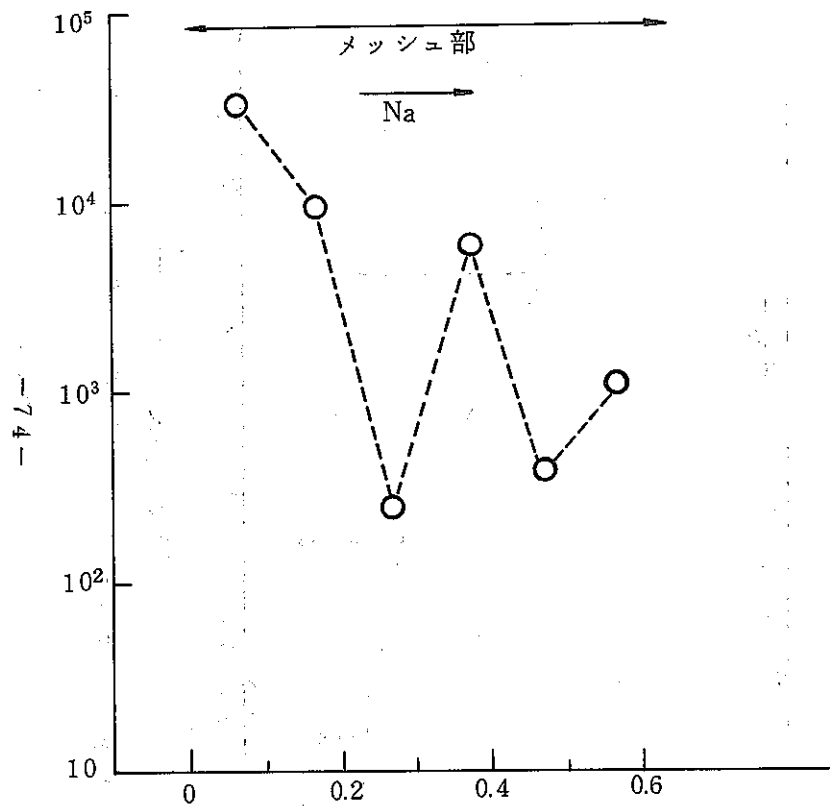


Fig.7 1MW SGループCT内酸素分布 (HNPf型)

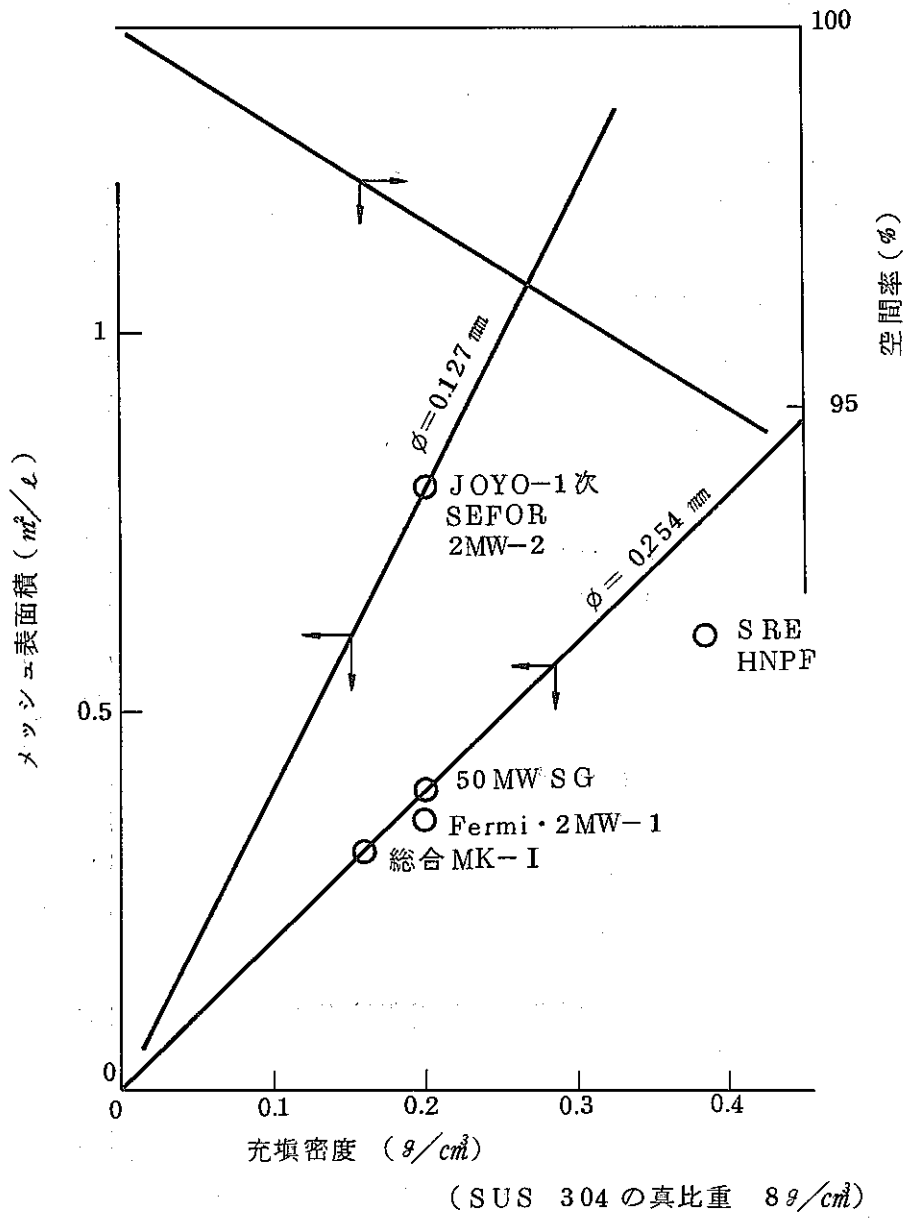


Fig.8 メッシュの充填密度・線径と空間率・表面積の関係
(SUS 304の真比重 8g/cm³)

参 考 文 献

- 1) 武田ら “ナトリウム純度管理に関する試験研究V” SN941 75-92 (1975)
- 2) 動燃 “大洗工学センターにおけるコールドトラップの現状” N941 75-70
附録2. “実験炉のコールドトラップ” (1975)
- 3) R.A.Hunter et al “Purity requirements and control with certain Impurity levels “IAEA-IWGFR-SM on “Sodium Impurity Measurement and control” Cadarache Nov.14-17 (1972)
- 4) 堀, 第4回コールドトラップ委員会資料 CT4-2 (1974)
- 5) J.M.Mckee et al. ANS FBR Safety Conf. (1974)
- 6) D.R.Vissers et al, Nucl. Technol. 21(3) 235 (1974)
- 7) 吉田 “海外液体金属冷却炉のコールドトラップ” SN242 74-02 (1974)
- 8) M. Bontrais et al “Sodium Analysis and Purification, Aerosols Trapping in Phenix Reactor “BNES. London. Mar 11-14 (1974)
- 9) K.G.Eickhoff et al “Engineering Development for Sodium Systems” BNES, London, May. 17-19 (1966)
- 10) 動燃 “大洗工学センターにおけるコールドトラップの現状” N941 75-70 ; 2.2.
“大型ナトリウム機器総合試験装置のコールドトラップ” (1975)
- 11) 全上 附録3, “海外の大型コールドトラップの現状”
- 12) 全上, 2.3. “50 MW 蒸気発生器試験装置のコールドトラップ”
- 13) 全上, 3.3 “ナトリウム技術開発室のコールドトラップ”
- 14) 全上, 3.2 “「常陽」ナトリウム冷却系機器耐久試験装置のコールドトラップ”
- 15) W.H.Bruggman, AlchE J 2 (2) 153 (1956)
- 16) 松崎 ; SN941 74-79
- 17) C.C.Mcpheeters et al “Oxygen transport in Sodium” ALN-7520 Part-I (1968)
- 18) P.Roy et al “an Improved Cold Trap for Sodium Systems” Nucl. Technol 13 (3) 284 (1972)
- 19) 動燃 “大洗工学センターにおけるコールドトラップの現状” N941 75-70,
2.1 “ナトリウム流動伝熱試験装置のコールドトラップ” (1975)

- 20) 動燃“大洗工学センターにおけるコールドトラップの現状” N941 75-70,
3.1 “小型蒸気発生器試験装置のコールドトラップ”
- 21) J. H. Wright et al “Examination of the Enrico Fermi Sodium
Cold Trap” WCAP-4321 (1965)
- 22) 石橋; “大型コールドトラップ検査報告書” SN941 74-02 (1974)
- 23) A. D. Gadeken et al “SEFOR Cold Trap Experience”
GEAP-10548 (1972)