



JP9710007

# 燃料破損時の運転手法最適化に関する研究

—炉内カバーガス中の希ガスF P回収試験—

PNC-TN 9410-96-216

1996年 7月

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

日本原子力研究所蔵書



330024738⑧

29-01

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor  
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-machi, O-arai-machi,  
Higashi-Ibaraki, Ibaraki-Ken 311-13, Japan.

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development  
Corporation)1996

燃料破損時の運転手法最適化に関する研究  
— 炉内カバーガス中の希ガスF P回収試験 —

住野 公造\*<sup>1</sup>, 青山 卓史\*<sup>1</sup>, 長井 秋則\*<sup>2</sup>

要 旨

燃料破損時や限界照射試験（R T C B試験）時には、炉内カバーガス中にX e、K r等の希ガスF Pが放出され、放射能濃度が上昇する。これによる被ばくを低減するとともに、既存の廃ガス処理系へ放出される希ガスF P量を低減するためには、カバーガス中の放射能濃度を速やかに下げる必要がある。

本研究では、活性炭吸着床の深冷吸着法を用いた「常陽」カバーガス浄化設備（C G C S）の希ガスF P回収効率を確認するため、燃料カラム部破損模擬試験時において破損燃料から放出され、炉内カバーガス中に移行した希ガスF Pならびに原子炉停止中に非放射性的の希ガスをを用いて性能確認試験を行った。

その結果、C G C Sの希ガスのワンスルー回収効率は、X e、K rそれぞれについて約90%および約80%以上であり、燃料破損時には現状の運転方法で90%以上のカバーガス中の希ガスF Pを速やかに回収できることがわかった。

---

\*<sup>1</sup> 動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター 実験炉部 技術課

\*<sup>2</sup> " " " " 原子炉第二課

Study on Optimization of FFD/FFDL System and RTCB Plant Operation  
- Technique of Collecting Fission Gas Using the Cover Gas Cleanup System in JOYO -

Kozo SUMINO\*<sup>1</sup>, Takafumi AOYAMA\*<sup>1</sup> and Akinori NAGAI\*<sup>2</sup>

**ABSTRACT**

The cover gas radioactivity in the reactor vessel increases when a fuel pin failure occurs or RTCB (Run to Cladding Breach) testing is performed. The activity must be reduced to minimize the personnel exposure and to maintain the reserve capacity of the waste gas system in which the residual fission gas is stored.

The CGCS (Cover Gas Cleanup System) was installed in the JOYO primary cover gas system to collect and remove the fission gas. The cryogenic charcoal bed cooled by the liquid nitrogen selectively adsorbs the krypton and xenon due to the adsorption ratio difference.

The collection ratio for xenon and krypton was measured using fission gas in the fuel failure simulation test and a standard helium diluted non-radioactive gas. As a result, the collection ratio was confirmed to be more than 90% for xenon and more than 80% for krypton by six hours operation of CGCS.

It was confirmed that the CGCS has a capability to remove the fission gas effectively.

---

\*<sup>1</sup> Reactor Technology Section, Experimental Reactor Division, Oarai Engineering Center, PNC

\*<sup>2</sup> Maintenance Section, Experimental Reactor Division, Oarai Engineering Center, PNC

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. CGCSの概要 .....	2
2.1 設備の概要 .....	2
2.2 設計浄化能力 .....	14
2.3 燃料カラム部破損模擬試験時の性能試験結果 .....	18
3. CGCS貯蔵シリンダ内の希ガス放出 .....	20
3.1 希ガス放出の検討 .....	20
3.2 希ガス放出結果 .....	25
4. CGCS性能確認試験（I） .....	26
4.1 液体窒素供給系二重配管部の真空再生作業法の改善 .....	26
4.2 希ガス回収フィルタの温度制御性確認試験 .....	30
4.3 回収効率確認試験 .....	35
5. CGCS性能確認試験（II） .....	43
5.1 主な対策内容 .....	43
5.2 性能確認試験 .....	48
6. 考 察 .....	52
6.1 CGCSの現状 .....	52
6.2 希ガス回収フィルタ（A）の希ガス脱離能力の不足 .....	54
6.3 希ガス回収フィルタ（B）のアルゴン分離温度 .....	56
7. 結 言 .....	58
8. 謝 辞 .....	59
9. 参考文献 .....	60
付 録 .....	61
付録1. 貯蔵シリンダ内希ガス放出マニュアル .....	62
付録2. CGCS性能確認試験マニュアル .....	67

## 図 リ ス ト

図2.1.1	CGCSの系統図	5
図2.1.2	CGCS液体窒素供給ユニットの系統図	6
図2.1.3	FFD-CGの系統図	7
図2.1.4	希ガス回収フィルタ(A)の構造図	8
図2.1.5	希ガス回収フィルタ(B)の構造図	9
図2.1.6	貯蔵シリンダの構造図	10
図2.1.7	貯蔵シリンダ用遮蔽体の構造図	11
図2.2.1	チャコールの吸着係数	17
図2.3.1	CGCS運転時の炉内カバーガス中の放射能濃度の変化	19
図3.1.1	FFDL試験(II)時のカバーガス中の放射能濃度推移	24
図4.1.1	液体窒素供給配管のスプール図	28
図4.1.2	真空再生作業開始後の液体窒素冷却系二重管部の圧力推移	29
図4.2.1	性能確認試験(I)におけるCGCSの基本運転パターン	32
図4.2.2	希ガス回収フィルタ(A)の温度降下及び-170℃一定制御データ	33
図4.2.3	希ガス回収フィルタ(A)の150℃までの温度上昇データ	33
図4.2.4	希ガス回収フィルタ(B)の温度降下及び-170℃一定制御データ	34
図4.2.5	希ガス回収フィルタ(B)の-80℃までの温度上昇、 -80℃一定制御及び150℃までの温度上昇データ	34
図4.3.1	回収効率確認試験における希ガス回収フィルタ(A)の制御フロー	41
図5.1.1	仮設サンプリングライン改造前後の比較	45
図5.1.2	希ガス回収フィルタ(A)のアルゴン捕集量確認試験の 温度制御データ	46
図5.2.1	希ガス回収フィルタ(B)のアルゴン分離温度-100℃の 温度制御データ	50
図6.1.1	CGCS運転によるカバーガス中の希ガスの相対濃度の計算値	53
図6.2.1	FFDL試験(II)後のカバーガス中の放射能濃度推移	57

表 リ ス ト

表 2.3.1	CGCSの希ガスFP回収効率 .....	19
表 4.3.1	CGCS性能確認試験（Ⅰ）の回収効率計算結果 .....	42
表 5.2.1	CGCS性能確認試験（Ⅱ）の回収効率計算結果 .....	51

## 写真リスト

写真2.1.1	CGCS液体窒素供給ユニット .....	12
写真2.1.2	CGCS制御システム .....	12
写真2.1.3	CGCS計装盤 .....	13
写真5.1.1	仮設サンプリングライン .....	47



## 1. 緒 言

「常陽」カバーガス浄化設備（CGCS : Cover Gas Cleanup System）は、燃料破損によって生じたカバーガス中のXe、Kr等の希ガスFPを高効率で回収し、FFDL操作に係る被ばくを低減するとともに、既存の廃ガス処理系の負荷を軽減させることを目的に1988年に限界照射試験（RTCB : RunTo Cladding Breach試験\*）の設備対応<sup>(1)</sup>として、プレシピテータ法燃料破損検出設備（FFD-CG法）系統内に設置された。CGCSの性能を評価するには、希ガスFPの回収効率を確認することが重要である。従来、燃料カラム部破損模擬試験（FFDL炉内試験（Ⅱ））の一環として、1992年にその性能試験を実施した。この時の性能試験結果<sup>(2)</sup>では、Xeについては3時間40分の回収運転で94%の回収効率を有していることを確認したが、Krについては確認できなかった。また、試験時に貯蔵シリンダに貯留した希ガスFPについては、減衰後も環境への放出を行っておらず、貯蔵シリンダからの環境への放出の設備の機能確認を終了していなかった。

今回の性能確認試験は、1995年2～3月にCGCS性能確認試験（Ⅰ）として、前回試験を終了していない貯留した希ガスFPの貯蔵シリンダから環境への放出機能確認と非放射性の希ガスを用いて回収効率の確認を行い、1995年12月～1996年2月にCGCS性能確認試験（Ⅱ）として（Ⅰ）の試験結果を基に、設備の性能向上の検討と、装置改造による希ガスの回収効率向上の確認を実施したものである。

\*RTCB試験は、高速炉燃料の性能実証試験の一環として、高速炉燃料の長寿命化のためのデータを得ることを目的とした試験であり、試験においては、試験用燃料要素の被覆管が破損するまで照射を継続するため、核分裂生成物が原子炉容器内及び一次冷却系内に拡散される。

## 2. CGCSの概要

### 2.1 設備の概要

燃料集合体の各燃料ピンは、原子炉の運転に伴って生成されるFP核種のうちガス状の核種によって、ピン内の内圧が高くなる。この内圧が燃料の外表面を冷却しているナトリウムの圧力より高くなった状態において燃料ピンに破損が生じた場合、生成されたFP核種がナトリウム中に移行する。さらに、ナトリウム中に移行したFP核種のうち希ガスFPは、原子炉容器内のナトリウムと酸素が反応することを防止するために封入されているアルゴンカバーガス中に移行する。カバーガス浄化系（CGCS）は、これらを回収するため、原子炉容器のカバーガスを直接循環し測定するプレシピテータ法燃料破損検出設備（FFD-CG法）の配管から分岐させた位置に設置されている。CGCSは、希ガスFPを液体窒素により冷却した活性炭を用いた深冷吸着法<sup>(3)・(4)</sup>によって回収する設備である。

以下に、CGCSの設備概要<sup>(5)</sup>を示す。

#### 2.1.1 系統の概要

図2.1.1～図2.1.3にCGCS系統図及びCGCSに関するプレシピテータ法破損燃料検出設備の系統図を示す。

CGCSは、FFD-CG法カバーガス主流路のうち、プレシピテータ、コンプレッサー出口合流点よりCG法戻り側隔離弁V46-5, 6間に設置された仕切弁（V46-207, 208）の前後より出入口を設けたバイパス配置となっている。

CGCSは、希ガス回収フィルタ（A）、（B）、希ガス貯蔵シリンダー、ガス配管（アルゴン、ヘリウム）、液体窒素配管、空気作動弁、手動弁、安全弁、遮蔽体、希ガス回収フィルタ制御盤及び計装品で構成されている。

#### 2.1.2 機器等の概要

##### (1) 希ガス回収フィルタ（A）

図2.1.4に希ガス回収フィルタ（A）の構造図を示す。

希ガス回収フィルタ（A）は、希ガスFPの回収を目的としたもので、吸着床にチャコールフィルタを用い、吸着法に液体窒素を使用した深冷吸着法を用いた装置である。希ガス回収フィルタ（A）では、深冷吸着によりアルゴンも同時に吸着されるが、アルゴンと希ガスFPの分離は、後段に設置する希ガス回収フィルタ（B）によって行う。

希ガス回収フィルタ（A）に流入したカバーガスは、伝熱管通過時に液体窒素で約-180℃まで冷却されチャコール吸着床に入り、希ガスFP及びアルゴンガスの一部が吸着された後、CG法を介して、原子炉容器内カバーガス中に戻る。約-180℃に保持したカバーガス循環運転（約6時間）が終了した後、CG法と隔離しヒータにより約150℃まで昇温して、チャコールフィルタから希ガスFP及びアルゴンガスを脱離し、ヘリウムガスでチャコールフィルタ吸着床をパージして、前もって約-180℃に保持しておいた希ガス回収フィルタ（B）へ移行させる。その後、ヒータをOFFとして待機状態とする。なお、希ガス回収フィルタ（A）のチャコールフィルタ充填量は、750gである。

## (2) 希ガス回収フィルタ（B）

図2.1.5に希ガス回収フィルタ（B）の構造図を示す。

希ガス回収フィルタ（B）は、希ガス回収フィルタ（A）で回収した希ガスFPと同時に吸着されたアルゴンを分離し、貯蔵シリンダへ貯蔵すべきガスの減容化を図ることを目的とした装置であり、基本的な構造は希ガス回収フィルタ（A）と同様である。しかしながら、分離性能向上を図るため、チャコールフィルタの充填量は、フィルタ（A）の750gに対して1/150の5gとしている。また、運転方法もフィルタ（B）の工程間に-80℃で約1.5時間保持するアルゴン分離工程を付加している。

希ガス回収フィルタ（B）に流入した希ガスFPとアルゴンガスは、伝熱管通過時に液体窒素で約-180℃まで冷却されチャコール吸着床に入り、希ガスFPと5gのチャコールフィルタ飽和吸着量に見合ったアルゴンのみが吸着され、その他のアルゴンは廃ガス処理系に送られる。約-180℃に保持したカバーガス循環運転（約1時間）が終了した後、ヒータにより約-80℃まで昇温して、チャコールフィルタからアルゴンガスのみを分離させる。その後、ヒータにより約150℃まで昇温して、チャコールフィルタから希ガスFPを脱離させ、ヘリウムガスでチャコールフィルタ吸着床をパージして希ガスFPを貯蔵シリンダに移送する。

## (3) 貯蔵シリンダ

図2.1.6に貯蔵シリンダの構造図を示す。

貯蔵シリンダは、希ガス回収フィルタ（B）で分離した希ガスFPを貯蔵するものであり、容量10lのものが6基設置され、周囲には遮蔽体に取り付けられている。

貯蔵シリンダは、圧力差を利用して希ガスFPを貯蔵するため、燃取系真空ポンプによって負圧にすることができ、予め選択されたリシリンダNo.順に希ガスFP

をシリンダに貯蔵することができる。

(4) 遮蔽体

図 2. 1. 7 に貯蔵シリンダ用遮蔽体の構造図を示す。

遮蔽体は、貯蔵シリンダからの放射線を遮蔽するもので、遮蔽厚さ50mmの54ブロックに分割された炭素鋼外板の中に鉛を鑄込んだものである。

(5) 液体窒素供給系

図 2. 1. 2 及び写真 2. 1. 1 に液体窒素供給ユニットを示す。

液体窒素供給系は、希ガス回収フィルタ（A）、（B）を約-180℃、約-80℃まで冷却するためのものであり、6本（1本あたり100<sup>l</sup>）の液体窒素ボンベと配管系から構成された供給ユニットと希ガス回収フィルタまでの配管からなっている。配管は、希ガス回収フィルタへ液体窒素を通液する前に気化することを防止すると共に、配管への霜の付着を防止するため、二重真空断熱構造を有しており、かつ、配管接続を容易にするためフレキシブルタイプを採用している。

(6) 制御システム

写真 2. 1. 2 に制御システムを示す。

制御システムは、回収フィルタの温度制御、パージ、シリンダの真空引き、希ガスFPのシリンダへの充填等数多くの運転プロセスがあり、かつ、これらのプロセスが並行して進行する。また、アルゴンガス分離操作において高精度の温度制御性が要求されることから、運転制御にプロセス制御用計算機を用いた自動化及び高精度化が図られている。

(7) 配管、弁、計装等

配管は、カバーガス配管、液体窒素配管、窒素ガス配管、ヘリウムガス配管等から構成されている。これらの配管系には、系統隔離、機器切替、流量調整等のため、手動弁27基、空気作動弁21基、安全弁3基が設けられている。また、ヘリウムガス供給系には、パージ用のヘリウムガスを供給するための汎用のヘリウムボンベが取り付けられるようになっている。

計装関係は、回収フィルタ（A）、（B）の圧力、温度、カバーガス流量、貯蔵シリンダ圧力等の各指示を把握し制御するため、これらの計装関係が制御システム内に入力されていると共に、記録計に指示・記録される構成となっている。

写真 2. 1. 3 に計装盤を示す。

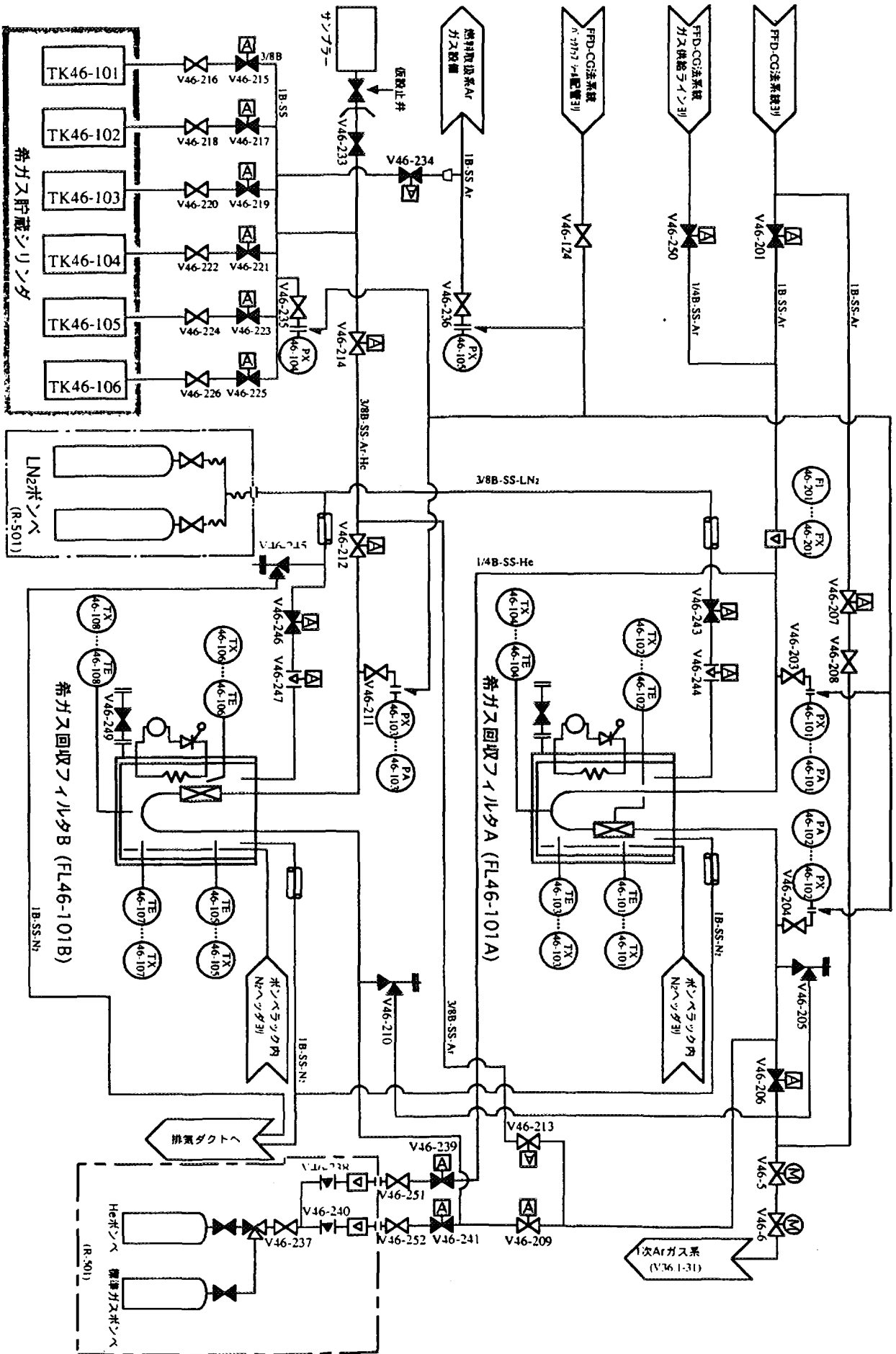


図 2.1.1 CGCSの系統図

〕：フレキシブルチエータを示す

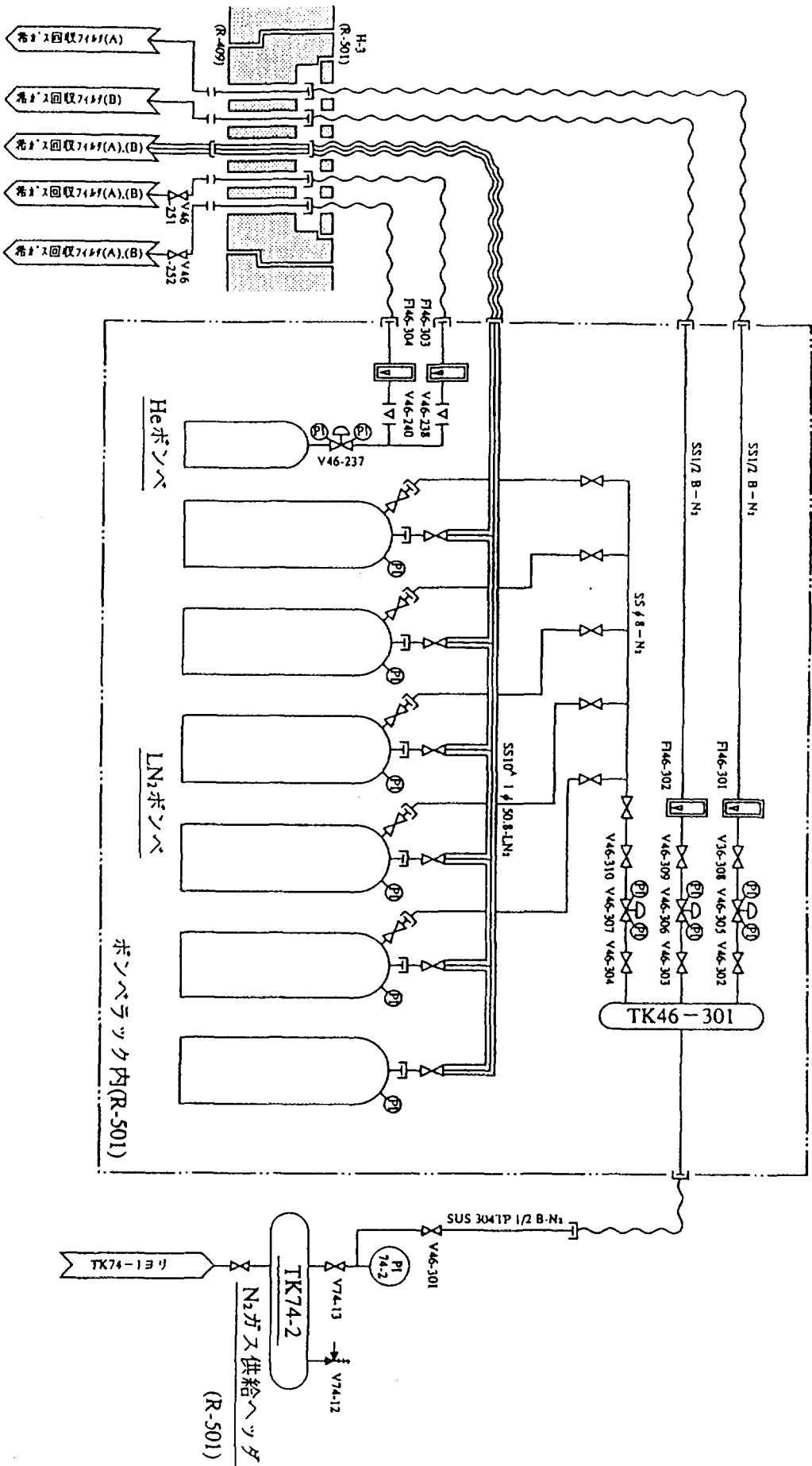


図 2.1.2 CGCS 液体窒素供給ユニットの系統図

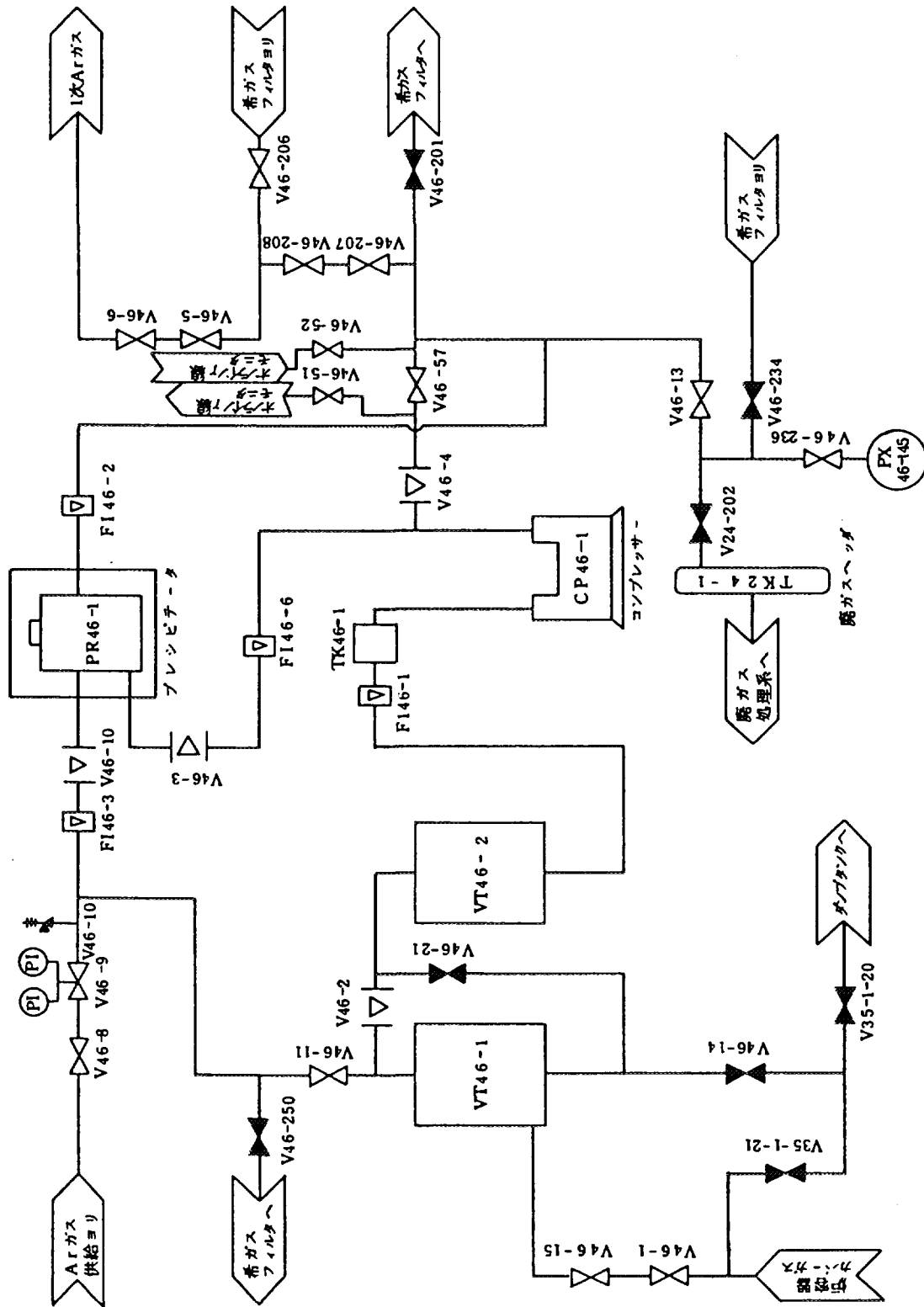
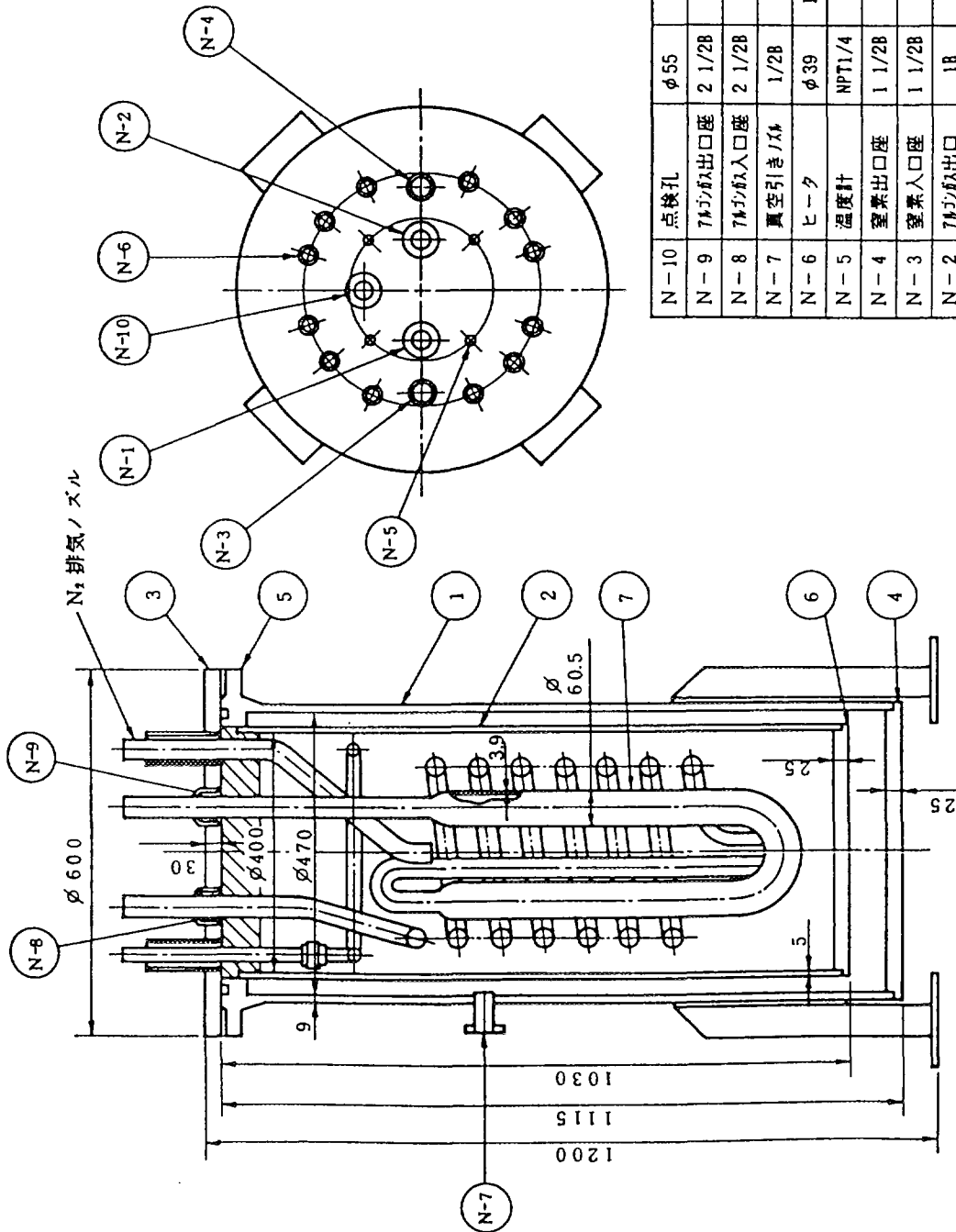


図2.1.3 FFD-CCGの系統図

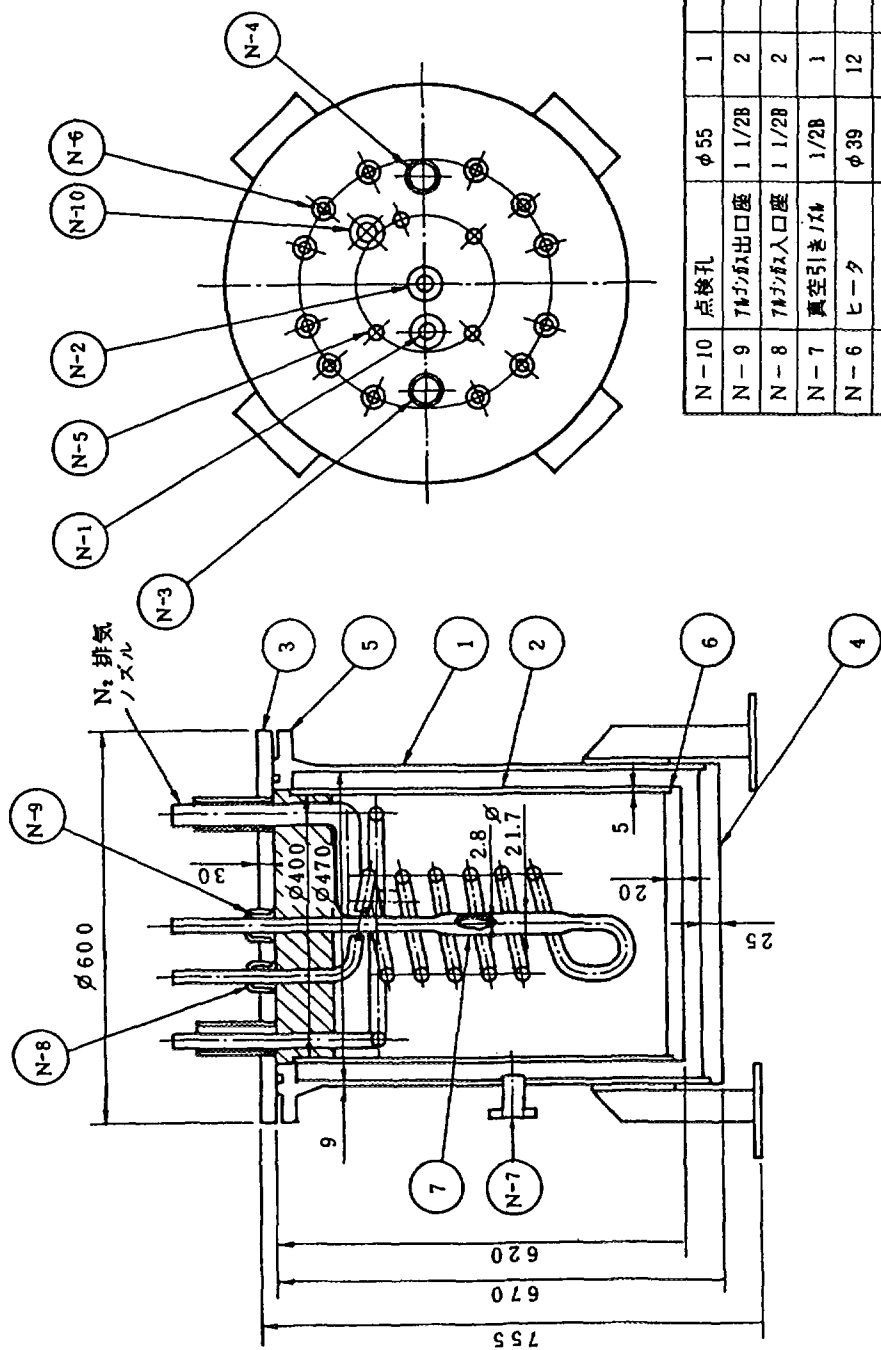


管台一覽表				
番号	名称	呼び径	個数	備考
N-10	点検孔	φ55	1	
N-9	7分径出口座	2 1/2B	2	
N-8	7分径入口座	2 1/2B	2	
N-7	真空引きノズル	1/2B	1	
N-6	ヒータ	φ39	12	
N-5	温度計	NPT1/4	4	
N-4	窒素出口座	1 1/2B	1	
N-3	窒素入口座	1 1/2B	1	
N-2	7分径出口	1B	1	
N-1	7分径入口	1B	1	

部品一覽表			
番号	名称	個数	材料
7	活性炭吸着床一式	1	SUS304TP
6	内筒平板	1	SUS304
5	外筒平板-2	1	SUS304
4	外筒平板-1	1	SUS304
3	上蓋	1	SUS304
2	内筒阴板	1	SUS304
1	外筒阴板	1	SUS304

図2.1.4 希ガス回収フィルタ (A) の構造図

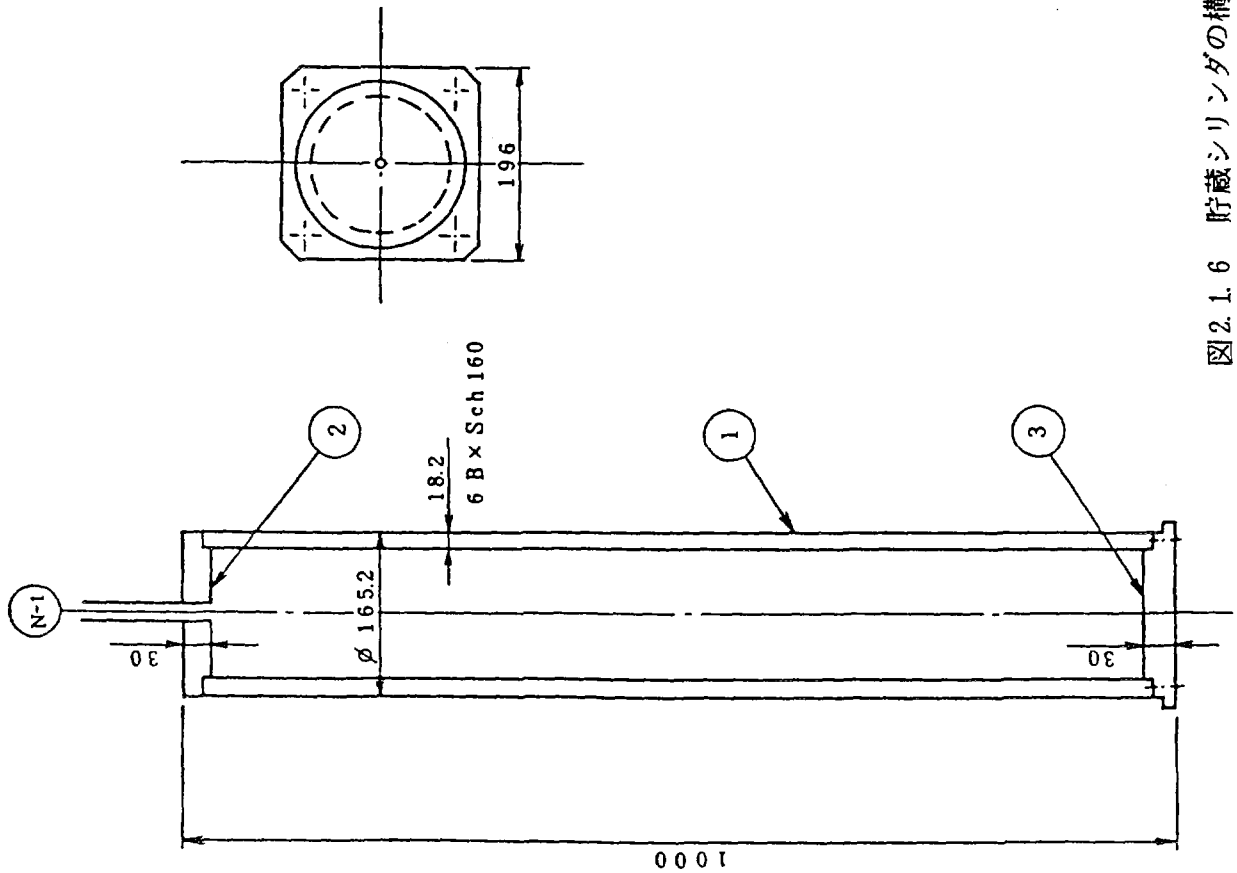




番号	名称	呼び径	個数	備考
N-10	点検孔	φ55	1	
N-9	7#ガス出口座	1 1/2B	2	
N-8	7#ガス入口座	1 1/2B	2	
N-7	真空引きパイプ	1/2B	1	
N-6	ヒータ	φ39	12	
N-5	温度計	NPT1/4	4	
N-4	窒素出口座	1 1/2B	1	
N-3	窒素入口座	1 1/2B	1	
N-2	7#ガス出口	3/8B	1	
N-1	7#ガス入口	3/8B	1	

番号	名称	個数	材料
7	活性炭吸着床一式	1	SUS304TP
6	内筒平板	1	SUS304
5	外筒平板-2	1	SUS304
4	外筒平板-1	1	SUS304
3	上蓋	1	SUS304
2	内筒隔板	1	SUS304
1	外筒隔板	1	SUS304

図2.1.5 希ガス回収フィルタ (B) の構造図



管 台 一 覧 表			
N-1	回収ガス入口	3/8B	1
番号	名称	呼び径	個数
			備考

3	平板-2	1	SUS304
2	平板-1	1	SUS304
1	胴板	1	SUS304TP
番号	名称	個数	材料
部 品 表			

図2.1.6 貯蔵シリンドラの構造図

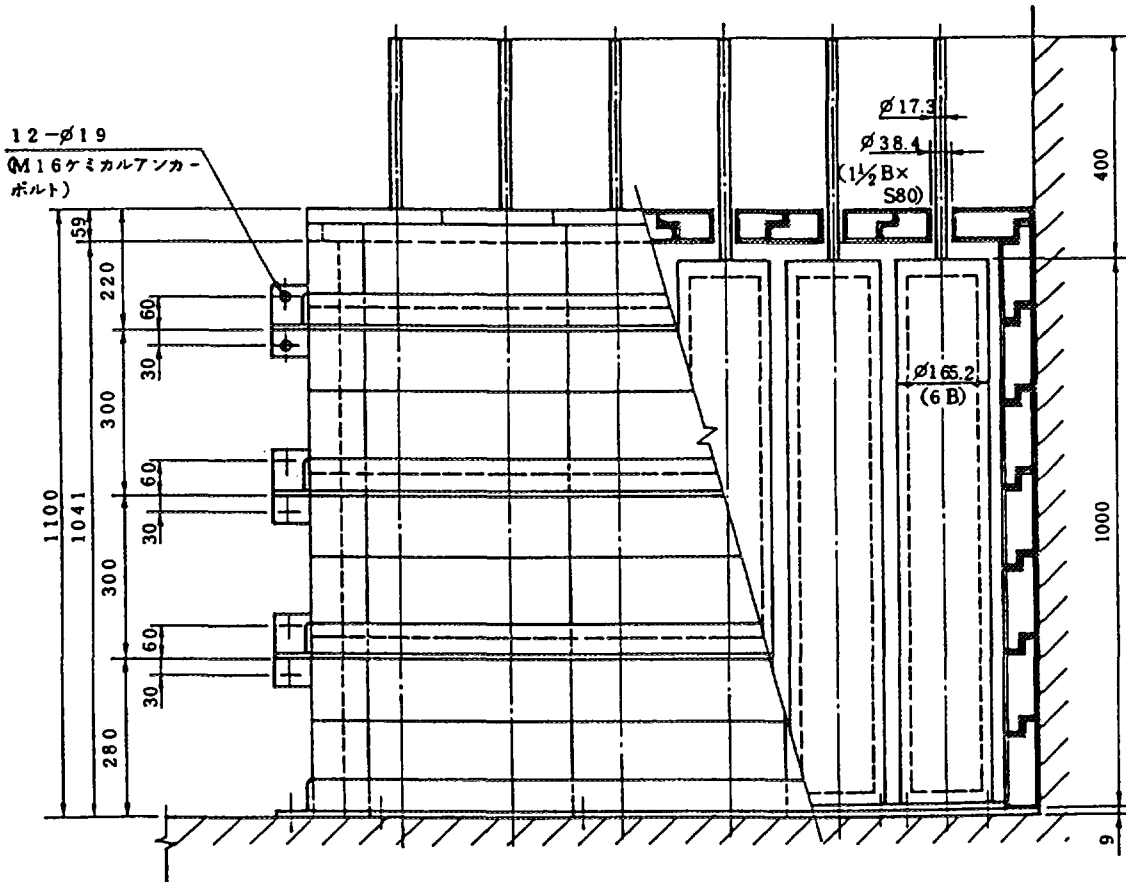
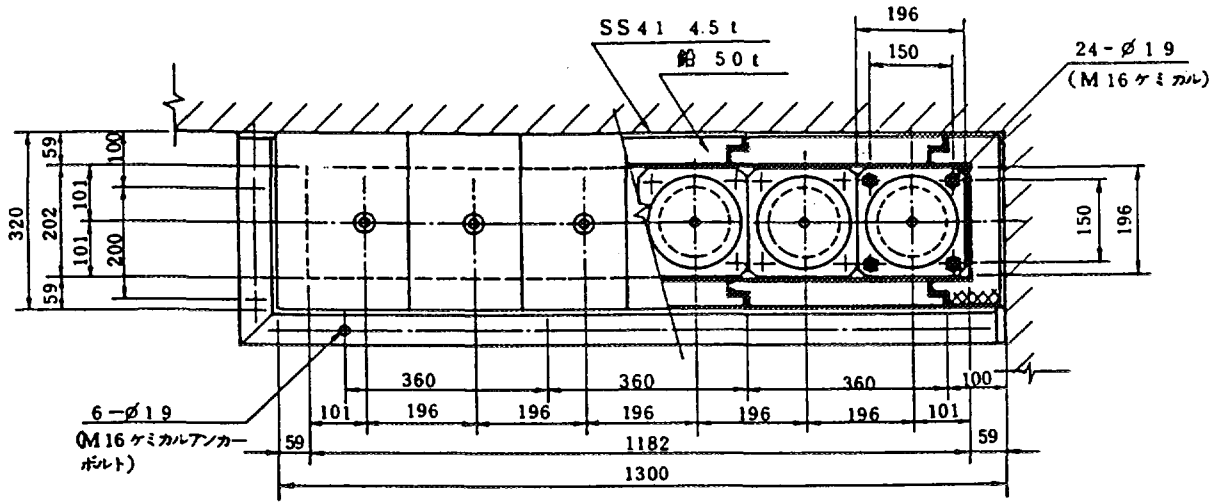


図 2.1.7 貯蔵シリンダ用遮蔽体の構造図

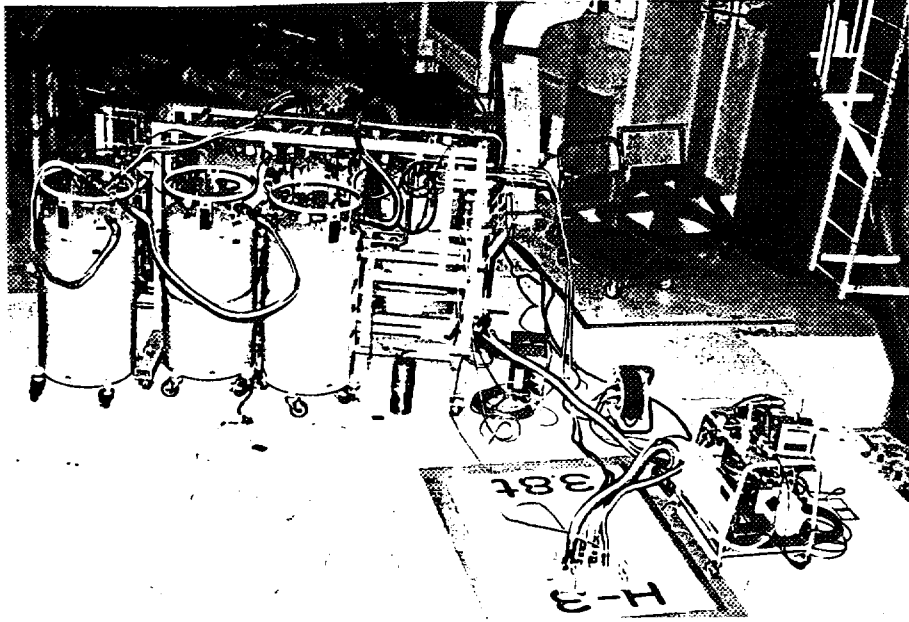


写真 2.1.1 CGCS 液体窒素供給ユニット

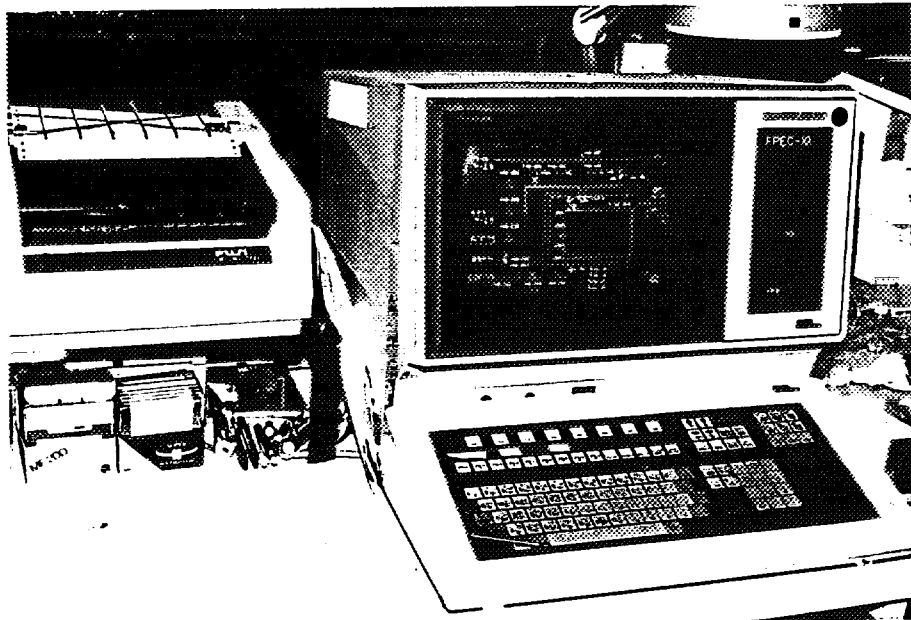


写真 2.1.2 CGCS 制御システム

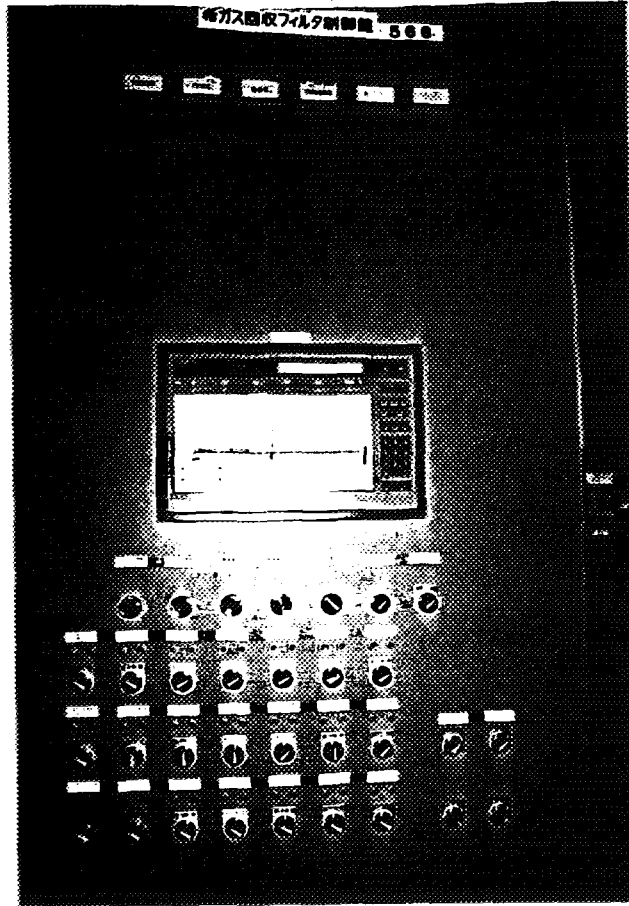


写真2.1.3 CGCS計装盤

## 2.2 設計浄化能力

### 2.2.1 チャコールの特性<sup>(3)</sup>、<sup>(4)</sup>

#### (1) 浄化メカニズム

浄化メカニズムは、図2.2.1に示すようにチャコールが持っているクリプトン(Kr)、キセノン(Xe)等の希ガス吸脱着特性が温度に依存性することを利用して

している。  
CGCSは、この特性を利用して希ガスFPを回収するため、チャコールを充填した吸着床を吸着特性の高い低温まで冷却する。しかし、吸着床の温度を-190℃まで下げるとカバーガスであるアルゴンが固化するため、アルゴンが固化しないで吸着特性が最も良い約-180℃まで冷却することで設計されている。

#### (2) 吸着特性

チャコールの動的吸着係数は、Krではその濃度による吸着特性に変化はなく、かつ、他の希ガスと混合された状態においても吸着特性に変化はない。一方、Xeは、0.1ppb以上の濃度ではKrに比べて常に高効率で回収できる。

空筒線速度に対する依存性は、Krでは35cm/sec以下ではその影響は少なく、Xeでは、80cm/secまで常に高効率で回収できる。また、空筒線速度が速くなれば、それに比例して吸着帯長さが長くなる傾向を示す。

チャコール粒径に対する依存性は、粒径14~48メッシュ(1.19~0.0297mm)の範囲では粒径が大きくなると動的平衡吸着が直線的に減少するが、その量はわずかである。

希ガス回収フィルタは、上記の吸着特性を考慮した設計がされている。

#### (3) 脱離特性

チャコールの充填量が100g以下の場合、50~100℃で30分以上脱離運転を行えばどの温度でも脱離できるが、10分間しか脱離運転を行わない場合は150℃以上にしなければ脱離することができない。

2 Bsch40×1000lの吸着床では、0.1ppbの希ガスを含むアルゴンガスを6m<sup>3</sup>/hr流して2hr回収した場合、-180℃から150℃まで1.5hrかけて加熱すれば脱離が可能である。

上記のことから、脱離時の運転パターンを決定した。

## 2.2.2 設計上考慮した希ガスF P量

CGCSは、RTCB試験用燃料ピンの破損、開孔によって放出される希ガスF Pを回収するために設置された設備である。このため、設計では、RTCB用燃料が最高燃焼度に到達し、安全評価上想定している最大12本のピンが破損、開孔して希ガスF Pが放出された時の放出量を評価し設計条件としている。

最高燃焼度ピン1本当たりの放出希ガスF P量は、以下の通りである。

- |            |                           |
|------------|---------------------------|
| (1) 燃焼度    | : 200,000MWd/t            |
| (2) 内 圧    | : 143kg/cm <sup>2</sup> g |
| (3) 温 度    | : 608°C                   |
| (4) プレナム体積 | : 16cc                    |
| (5) ガス量    | : 715Ncc/本                |
| (6) 組成比    | : X e : 608Ncc/本 (85%)    |
|            | : K r : 107Ncc/本 (15%)    |

## 2.2.3 設計浄化能力

### (1) 浄化量

2.2.2項で示した最高燃焼度ピン1本当たりの放出希ガスF P量から、安全評価上想定している最大12本のピンが破損、開孔した場合の放出希ガスF P量は、以下の通りとなる。

$$X e : 608\text{Ncc/本} \times 12\text{本} = 7,296\text{Ncc}$$

$$K r : 107\text{Ncc/本} \times 12\text{本} = 1,284\text{Ncc}$$

上記より、CGCSの希ガス回収フィルタ(B)のチャコール充填量は、これらをすべて吸着できる量でなければならない。よって、希ガス回収フィルタ(B)のチャコール充填量は、5gとされた。チャコール充填量5g及び図2.2.1のチャコールの吸着係数(冷却温度-180°C)から希ガスF P浄化量を算出してみると以下の通りとなる。この値は、X eで約123本、K rで約15本分に相当するため、安全評価上想定している最大本数12本を十分包絡した設計となっている。

$$X e : 1.5 \times 10^4 \text{Ncc/g} \times 5 \text{g} = 7.50 \times 10^4 \text{Ncc}$$

$$K r : 3.3 \times 10^2 \text{Ncc/g} \times 5 \text{g} = 1.65 \times 10^3 \text{Ncc}$$

### (2) 浄化時間<sup>(6) (7)</sup>

浄化時間については、カバーガス中の希ガスF P回収効率が90%以上となるカバーガス循環量等から算出している。希ガスF P回収効率が90%以上となるカバーガ

ス循環量は、1985年に行われたFFDL炉内試験（I）時におけるFFD-CG法を用いた炉内カバーガスパーズ効率がもとになっている。これは、一般的に回収効率を計算した場合の浄化時間（2.75時間）に比べて、FFDL炉内試験（I）時におけるパーズ効率の方が約2倍の時間（約4.3時間）を要しているためである。この原因として、原子炉容器に接続されたFFD-CG法入口配管が原子炉容器のカバーガス呼吸配管とかなり近い位置にあるため、呼吸された清浄なアルゴンガスも同時にFFD-CG法側に吸入するため循環効率が低下するためと考えられる。

上記のことから、FFDL炉内試験（I）のカバーガスパーズ結果から決定されたCGCSの浄化時間は、以下の通りであり、これらの値がCGCS設計条件とされた。

浄化時間	: 最大 6 hr
カバーガス循環量	: 6 Nm <sup>3</sup> /hr
原子炉容器カバーガス容量	: 6.5Nm <sup>3</sup>
回収効率	: 90%



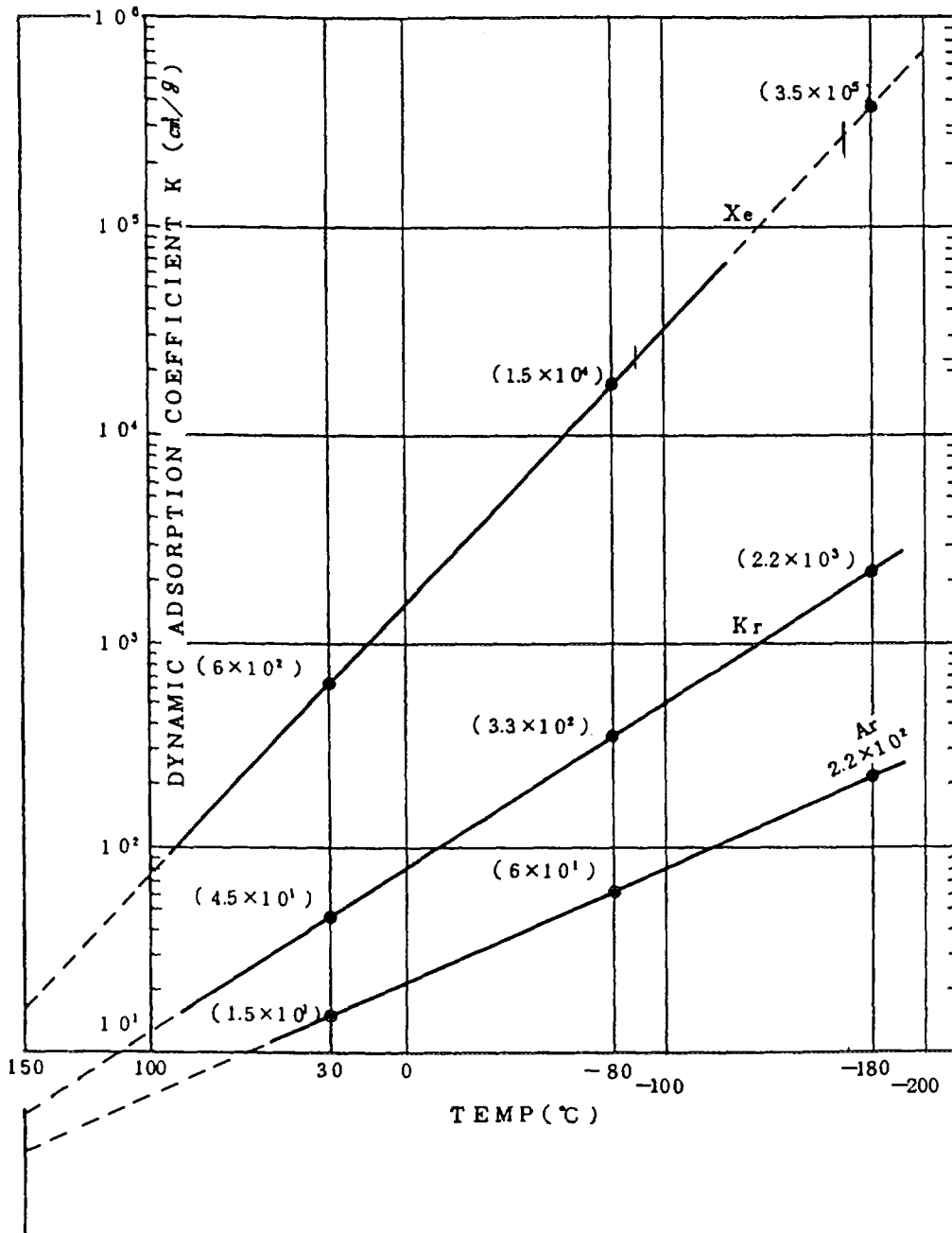


図 2.2.1 チャコールの吸着係数

### 2.3 燃料カラム部破損模擬試験時の性能試験結果<sup>(5)</sup>

CGCSの性能試験を燃料カラム部破損模擬試験の際に放出された希ガスFPを用いて実施（1992年11月25日～12月9日）し、その温度および圧力制御特性、希ガスFPの回収効率等を確認した。

試験条件は、液体窒素の容量から回収運転時間を3時間40分とし、また、カバーガス循環量はFFD-CG法に接続したオンラインγ線モニタ（炉内カバーガス中の希ガスFP濃度の測定を行う装置）が、CGCSの運転・停止に伴う流量変動の影響を受けないように、設計時の流量より低い $5.4\text{m}^3/\text{hr}$ とした。図2.3.1に性能試験時における炉内カバーガス中の希ガスFP濃度の変化を示す。なお、FFDL炉内試験（II）においては、炉内カバーガス中に希ガスFPであるXeおよびKrが放出されたが、半減期の短いKrはすでに減衰して、検出できなかったため、回収効率の評価は、Xeの3核種を用いて実施した。

表2.3.1にCGCSの希ガスFP回収効率を示す。

この結果、Xeの回収効率は、回収運転時間3時間40分、カバーガス循環量 $5.4\text{m}^3/\text{hr}$ で94%であることが明らかとなった。

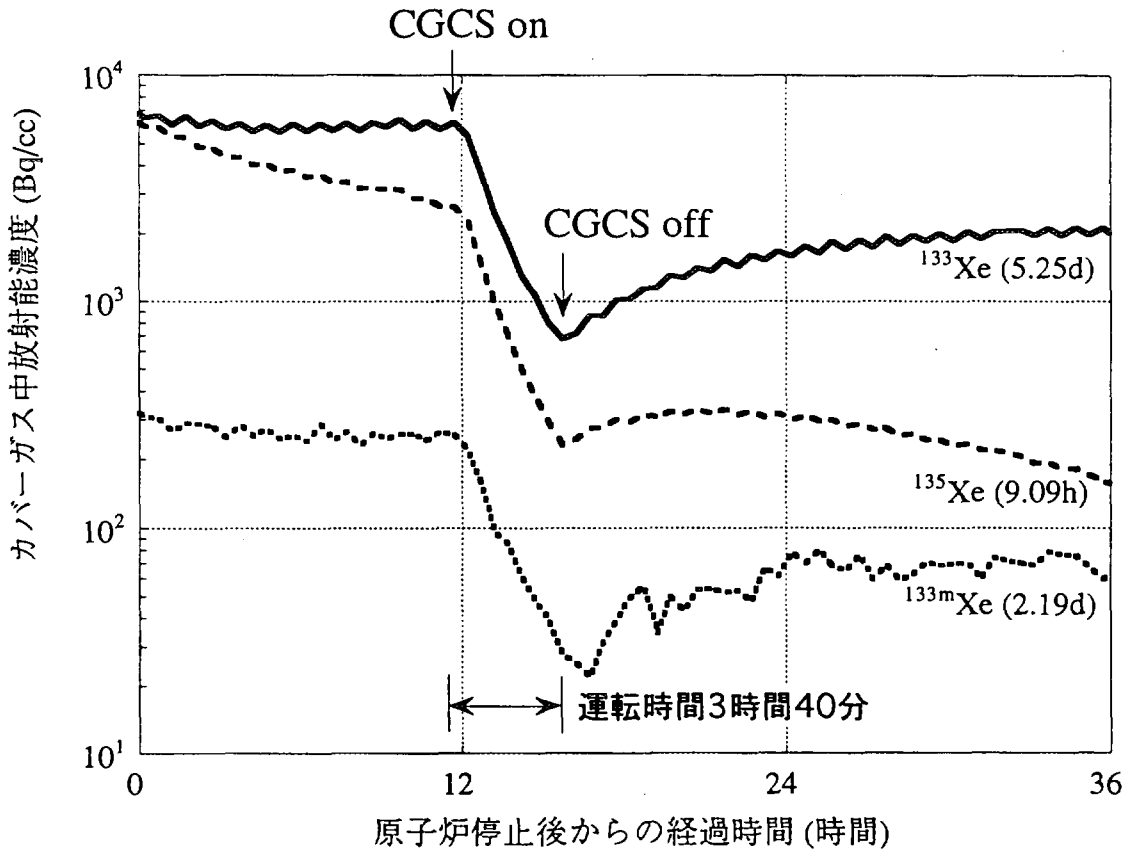


図 2.3.1 CGCS 運転時の炉内カバーガス中の放射能濃度の変化

表 2.3.1 CGCS の希ガス F P 回収効率

項目	希ガス F P 核種		
	$^{133m}\text{Xe}$ (2.19d)	$^{133}\text{Xe}$ (5.25d)	$^{135}\text{Xe}$ (9.09h)
回収前の希ガス F P 量	12.5	352.0	164.0
(A) $\times 10^8 \text{Bq}$	希ガス F P 総量 528.5		
回収後の希ガス F P 量	2.0	45.4	22.5
(B) $\times 10^8 \text{Bq}$	希ガス F P 総量 69.9		
回収の間にかバーガス中に移行した希ガス F P 量	0.4	31.1	7.5
(C) $\times 10^8 \text{Bq}$	希ガス F P 総量 39.0		
希ガス F P 回収効率	88%	96%	91%
$((A - B + C) / A) \times 100$	希ガス F P 総量に対して 94%		

### 3. CGCS貯蔵シリンダ内の希ガス放出

CGCS設備の貯蔵シリンダから環境への放出の機能確認及び放出マニュアルの整備を目的に、1992年に実施した燃料カラム部破損模擬試験（FFDL炉内試験（Ⅱ））時に貯留した貯蔵シリンダ（1基）内の希ガス放出を行った。

#### 3.1 希ガス放出の検討

希ガス放出に際し、貯蔵シリンダ内の放射性希ガスの放射能が気体廃棄物の放出管理目標値（ $1.1 \times 10^{15}$  Bq/年）に比べ、十分小さい値であることを計算により確認した。また、放出操作法の検討を行うとともに計算結果を基に希ガス放出時のガスモニタ及び廃ガスタンク貯留時のサンプリングによる放射能の検出の可否を検討した。

##### 3.1.1 貯蔵シリンダ内の希ガス放射能の計算<sup>(5)</sup>

FFDL炉内試験（Ⅱ）時に貯留した貯蔵シリンダ（1基）内の希ガスのうち、長半減期核種である<sup>85</sup>Kr（半減期10.7年）について、放出予定日の貯蔵シリンダ内の放射能を予測した。<sup>85</sup>Kr以外の核種については、FFDL炉内試験（Ⅱ）から2年以上経過しており、既に十分に減衰しているため、放出可能である。

FFDL炉内試験（Ⅱ）では、オンラインγ線モニタを用いて希ガス各核種の放射能濃度を測定したが、<sup>85</sup>Krの放射能は運転期間が短かったこと等の影響で検出されなかった。このため、検出された<sup>87</sup>Kr（半減期76分）の放射能濃度から換算して求めた。

まず、図3.1.1に示すFFDL炉内試験（Ⅱ）時にオンラインγ線モニタで測定された<sup>87</sup>Kr放射能濃度の最大値（6451 Bq/cc）にカバーガス体積（ $6.5 \times 10^5$  cc）を乗じて、カバーガス中の<sup>87</sup>Kr放射能の最大値を求めた。

$$6451(\text{Bq/cc}) \times 6.5 \times 10^5(\text{cc}) = 4.19 \times 10^{10} (\text{Bq})$$

<sup>85</sup>Krについても、試験用燃料ピンからカバーガスへの放出率が<sup>87</sup>Krと等しいと仮定して、<sup>87</sup>Krの放射能から換算して求めたが、(1)核分裂収率の比を用いた計算、及び(2)“ORIGEN-2”による計算、の方法で評価した。

##### (1) 核分裂収率の比による計算

上記の<sup>87</sup>Krのカバーガス中放射能に<sup>85</sup>Krと<sup>87</sup>Krの核分裂収率の比を乗じて<sup>85</sup>Krの放射能を算出した。

<sup>85</sup>Krの核分裂収率は、MK-II炉心第0列における核分裂核種の核分裂率の計

算値の比を基に、F F D L 炉内試験（Ⅱ）用燃料ピンについて核分裂核種の核分裂率を求め、各核分裂核種（ $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{239}\text{Pu}$ ）に対する $^{85}\text{Kr}$ 及び $^{87}\text{Kr}$ の核分裂収率をその反応率で重み付き平均して算出した。

計算されたF F D L 炉内試験（Ⅱ）用燃料ピンについての核分裂収率を以下に示す。

$$^{85}\text{Kr} : 0.177, \quad ^{87}\text{Kr} : 1.578$$

なお、F F D L 炉内試験（Ⅱ）時に最大濃度が測定された時点では、 $^{85}\text{Kr}$ 及び $^{87}\text{Kr}$ ともに飽和値に達していないため、下式に示すように、核分裂収率に時間の補正を加えた。そして、F F D L 炉内試験（Ⅱ）終了後の原子炉停止時に、C G C Sの運転によりカバーガス中に放出された希ガスの94%（F F D L 炉内試験（Ⅱ）時のX eの回収効率実績値）が貯蔵シリンダに貯留されたとして $^{85}\text{Kr}$ の放射能を計算した。

以下に計算式と計算結果を示す。

$$A_0 = \frac{Y_1 \cdot [1 - \exp(-\lambda_1 \cdot t)]}{Y_2 \cdot [1 - \exp(-\lambda_2 \cdot t)]} \times 4.19 \times 10^{10} \times Fa = 1.49 \times 10^5 (\text{Bq})$$

$Y_1$  :  $^{85}\text{Kr}$ の核分裂収率 (0.177)

$Y_2$  :  $^{87}\text{Kr}$ の核分裂収率 (1.578)

$\lambda_1$  :  $^{85}\text{Kr}$ 崩壊定数 ( $2.05 \times 10^{-9} \text{s}^{-1}$ )

$\lambda_2$  :  $^{87}\text{Kr}$ 崩壊定数 ( $1.52 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ )

t : 原子炉運転時間 (4.07h = 14661s : 100MW換算値)

Fa : 希ガスの回収効率 0.94

さらに下式により、時間による減衰の補正を行い、放出予定日（平成7年2月21日）の貯蔵シリンダ内の $^{85}\text{Kr}$ の放射能を計算した。

$$A = A_0 \exp(-\lambda \cdot t)$$

$A_0$  : 貯留時の $^{85}\text{Kr}$ 放射能

$\lambda$  :  $^{85}\text{Kr}$ 崩壊定数 ( $1.77 \times 10^{-4} \text{day}^{-1}$ )

t : 経過時間 (805day)

これより、放出予定日の貯蔵シリンダ内の放射能は $1.29 \times 10^5 \text{Bq}$ となった。

## (2) "ORIGEN-2"による計算

### ① F F D L 炉内試験（Ⅱ）用燃料ピンからカバーガスへの放出率の計算

"ORIGEN-2"を用いて、 $^{87}\text{Kr}$ の最大濃度が測定された時点までの燃料ピン内の

$^{87}\text{Kr}$ の生成量を求め、カバーガス中へ放出された $^{87}\text{Kr}$ 放射能 $4.19 \times 10^{10}\text{Bq}$ との比をとることにより、FFDL炉内試験(Ⅱ)用燃料ピンからカバーガスへの放出率を求めた結果、0.374%となった。

② 放出予定日の貯蔵シリンダ内の放射能の計算

"ORIGEN-2"を用いて、 $^{87}\text{Kr}$ の最大濃度が測定された時点までの燃料ピン内の $^{85}\text{Kr}$ の生成量を求め、放出予定日までの時間による減衰を計算し、放出率(0.374%)を乗じて求めた結果、 $1.91 \times 10^5\text{Bq}$ となった。

核分裂収率の比による計算及び"ORIGEN-2"による計算の結果、貯蔵シリンダ内の $^{85}\text{Kr}$ の放射能についても気体廃棄物の放出管理目標値( $1.1 \times 10^{15}\text{Bq/年}$ )を大きく下回る約 $2 \times 10^5\text{Bq}$ であると予測され、放出は可能であることを確認した。

3.1.2 貯蔵シリンダ内希ガス放出時の検出可否の検討

貯蔵シリンダ内希ガス放出時の廃ガスタンク入口ガスモニタGM-11( $\gamma$ )及び廃ガスタンク貯留時のサンプリングによる $^{85}\text{Kr}$ の検出の可否を計算結果を基に検討した。以下に計算式と計算結果を示す。

(1) 廃ガスタンク入口ガスモニタGM-11( $\gamma$ )

$$\frac{A \times P_r}{V_c \times K} = 3.7 \times 10^{-4} \text{ cps} < 6.65 \text{ cps (GM-11検出限界計数率)}$$

A : CGCS貯蔵シリンダ内の $^{85}\text{Kr}$ 予測放射能 ( $2 \times 10^5\text{Bq}$ )

$P_r$  :  $^{85}\text{Kr}$ の $\gamma$ 線放出率 (0.43%)

$V_c$  : CGCS貯蔵シリンダ容量 ( $10^4\text{cm}^3$ )

K : GM-11における $^{85}\text{Kr}$ の換算係数 ( $235\text{Bq/cm}^3/\text{cps}$ ) \*

\* NaI(Tl)式ガスモニタの校正結果から $^{41}\text{Ar}$ と $^{85}\text{Kr}$ の換算係数の比より求めた。

・タンク型NaI(Tl)式ガスモニタ(GM-9, 12)の校正結果

核種	$^{41}\text{Ar}$	測定値(換算係数)	$6.84 \times 10^{-3}\text{Bq/cm}^3/\text{cps}$
	$^{85}\text{Kr}$		$5.36 \times 10^{-1}\text{Bq/cm}^3/\text{cps}$
	$^{133}\text{Xe}$		$8.69 \times 10^{-2}\text{Bq/cm}^3/\text{cps}$

・コリメート型NaI(Tl)式ガスモニタ(GM-11)の校正結果

(平成6年8月19日の放管による校正結果)

核種	$^{41}\text{Ar}$	測定値(換算係数)	$3.00 \times 10^0\text{Bq/cm}^3/\text{cps}$
----	------------------	-----------	---

## (2) 廃ガスタンクのサンプリング

$$A/V_T = 1 \times 10^{-2} \text{ Bq/cm}^3 < 6.1 \times 10^{-2} \text{ Bq/cm}^3 \quad ({}^{85}\text{Kr} \text{ 検出限界濃度})$$

A : CGCS貯蔵シリンダ内の ${}^{85}\text{Kr}$ 予測放射能 ( $2 \times 10^5 \text{ Bq}$ )

$V_T$  : 廃ガスタンク容量 ( $2 \times 10^7 \text{ cm}^3$ )

以上の計算結果より、廃ガスタンク入口ガスモニタGM-11 ( $\gamma$ ) 及び廃ガスタンクのサンプリングのいずれにおいても ${}^{85}\text{Kr}$ は検出限界以下であり、検出されないと予測された。

## 3.1.3 貯蔵シリンダ内希ガス放出操作

放出は貯蔵シリンダ内が負圧であるため、燃取系真空ポンプを用いて行い、放出時には廃ガスタンクを手動で貯留モードとし、廃ガスタンクで貯留・希釈後にサンプリングを行い、濃度を確認した後、放出を行うこととした。なお、付録1に作成した貯蔵シリンダ内希ガス放出マニュアルを示す。

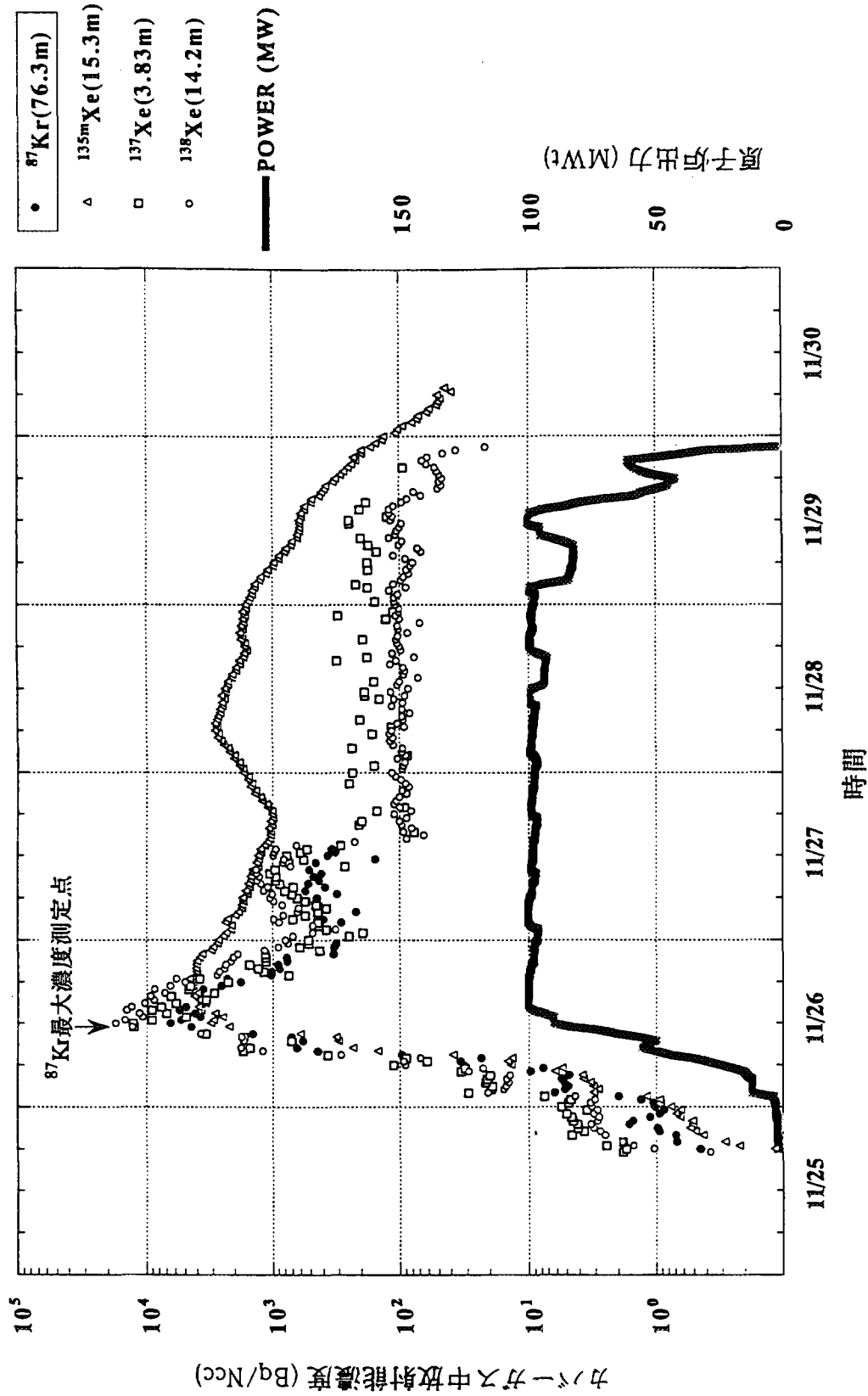


図3.1.1 FFDL試験(II)時のカバーガス中の放射能濃度推移



### 3.2 希ガス放出結果

#### 3.2.1 希ガス放出操作概要

希ガス放出操作は付録1に示す貯蔵シリンダ内希ガス放出マニュアルに基づき実施した。以下に操作概要を示す。

- (1) バルブ状態、廃ガスタンク選択及び常用廃ガス圧縮機選択を確認。(2/21 9:30)
- (2) Ar廃ガス系を手動で廃ガスタンク貯留モードへ。(2/21 9:44)
- (3) 貯蔵シリンダ内希ガス放出操作を開始。(2/21 9:56)
- (4) 廃ガスタンク圧力及び廃ガスモニタ(GM-11)の指示値を監視。
- (5) 貯蔵シリンダ内希ガス放出操作を停止。(2/21 10:18)
- (6) Ar廃ガス系の廃ガスタンク貯留モードを復旧。(2/21 10:36)
- (7) 廃ガスタンクのサンプリングを実施。
- (8) サンプリング結果を基に廃ガスタンクの貯留ガスの放出を開始。(2/22 14:11)
- (9) 廃ガスタンク圧力及び廃ガスモニタ(GM-12, 13, 1, 2)の指示値を監視。
- (10) 廃ガスタンクの圧力に変化がないため、貯留ガスの放出を停止。(2/22 14:48)

#### 3.2.2 希ガス放出結果

放出の結果、予測どおり廃ガスタンク入口ガスモニタGM-11( $\gamma$ )の計数率の有意な上昇は見られなかった(なお、計算式では、GM-11での希ガスの濃度を貯蔵シリンダの容量( $10^4 \text{cm}^3$ )で除して算出しているが、実際の放出では貯蔵シリンダ内のガスは廃ガスコレクションヘッダ、廃ガスヘッダA及びBを経由してGM-11に到達し、この間 $10^4 \text{cm}^3$ 以上のガスで希釈されるため、さらに低い濃度になっていたと考えられる)。一方、貯蔵シリンダからの放出時に貯蔵シリンダ入口ヘッダーの圧力を監視していたところ、約 $0.2 \text{kg/cm}^2$ から約 $-0.8 \text{kg/cm}^2$ へ低下し、ガスが排出されたことを確認した。また、廃ガスタンクのサンプリング結果についても予測どおり $^{85}\text{Kr}$ の濃度は検出限界以下であった。

なお、廃ガスタンクからの放出については、貯蔵シリンダの容量が小さく廃ガスタンクの圧力の上昇が微小であったため、放出操作を行ったが、廃ガスタンクの圧力に変化はなく、貯留したガスの全量が放出されたかどうか確認できなかった。

#### 4. CGCS 性能確認試験 (I)

CGCSは、燃料カラム部破損模擬試験 (FFDL 炉内試験 (II)) 以降、2年以上使用されていない。そのため、RTCB試験の際に1次系カバーガス中に放出される希ガスFPの回収に備え、CGCS制御設備の点検・保守を行うとともに、温度制御性確認及び希ガス (特に確認されていないKr) の回収効率の測定をするため、性能確認試験を行った。

また、以前の試験で確認された液体窒素供給配管の真空度低下が原因と考えられる温度制御の応答遅れによる希ガス回収フィルタ温度の不安定性 (特に希ガス回収フィルタ (B)) 及び液体窒素消費量の増加を避けるためにFFDL 炉内試験 (II) 時と同様に液体窒素供給配管の真空再生を行う必要がある。この真空再生作業については、性能確認試験前の設備改善により大幅な効率化を図った。

##### 4.1 液体窒素供給系二重配管部の真空再生作業法の改善

###### 4.1.1 真空再生法の改善内容

図4.1.1に液体窒素供給配管のスパール図を示す。

液体窒素供給配管は、図4.1.1に示すように部分毎に分割されたスパール1~8までのフレキシブル配管がコネクタで接続されたものである。これらフレキシブル配管からの真空度劣化が液体窒素の消費及び温度制御の不安定性を招くため、スパールの真空再生作業を行わなければならない。また、希ガス回収フィルタ (A) 及び (B) の二重壁部についても同様の理由により真空再生作業を行わなければならない。

FFDL 炉内試験 (II) 前の真空再生作業では、液体窒素供給配管の各スパールに真空引きを行うために設けられているオペレータバルブや希ガス回収フィルタ (A) 及び (B) の真空引きノズルに油回転式真空ポンプ及び油拡散ポンプを組み合わせた真空再生装置を接続し、この装置を用いて各スパール毎に真空再生を行った。なお、各スパールの真空引きは、24時間連続で約1週間行った。

しかし、RTCB試験の燃料破損時にはこれ程の長時間を要して真空引きを行うわけにはいかない。また、上記作業にも拘らず希ガス回収フィルタ (B) 入口に相当するスパール7については、フレキシブルチューブの捩じれによる微小リークが生じており、十分な真空度を保持することができず、かつ、交換も不可能であったため、FFDL 炉内試験 (II) 時には、真空引きをしながらCGCSを運転せざるえなかった。

そこで本試験では、液体窒素供給配管の各スプール設けられているオペレータバルブ、希ガス回収フィルタ（A）及び（B）の真空引きノズルをフレキシブルチューブまたは真空チューブで全て接続し、これら液体窒素供給系二重管部全域を一度にオペレーティングフロアから真空再生装置により真空引きできるように改造を行い、CGCS運転前から二重管部全域の真空再生作業を開始し、運転中も引き続き真空再生作業を行った。

#### 4.1.2 真空再生結果

図4.1.2に真空再生作業開始後の液体窒素供給系二重管部の圧力推移を示す。

図4.1.2より液体窒素供給系二重管部は、真空再生作業開始後約4時間で真空度保持上の目安となる $1.0 \times 10^{-4}$ Torrの真空度が得られ、その後も真空度は高くなった。性能確認試験時（CGCS運転中）も $1.0 \times 10^{-4}$ Torrの真空度を超えることはなく、高真空を保つことができた。これによりRTCB試験の燃料破損時にCGCSの運転を行う場合において、約4時間で液体窒素供給系二重管部の真空再生が可能となり、運転開始までの時間を大幅に短縮することができた。

(注) ~~フレキシブル~~—フレキシブル配管  
 配管寸法は入口管は内管10A, 外管40Aフ  
 レキ、又は、内管10A, 外管φ50.8 SUS  
 管出口管は、内管25A, 外管50Aフレキ、  
 又は内管25A, 外管φ50.8, SUS管

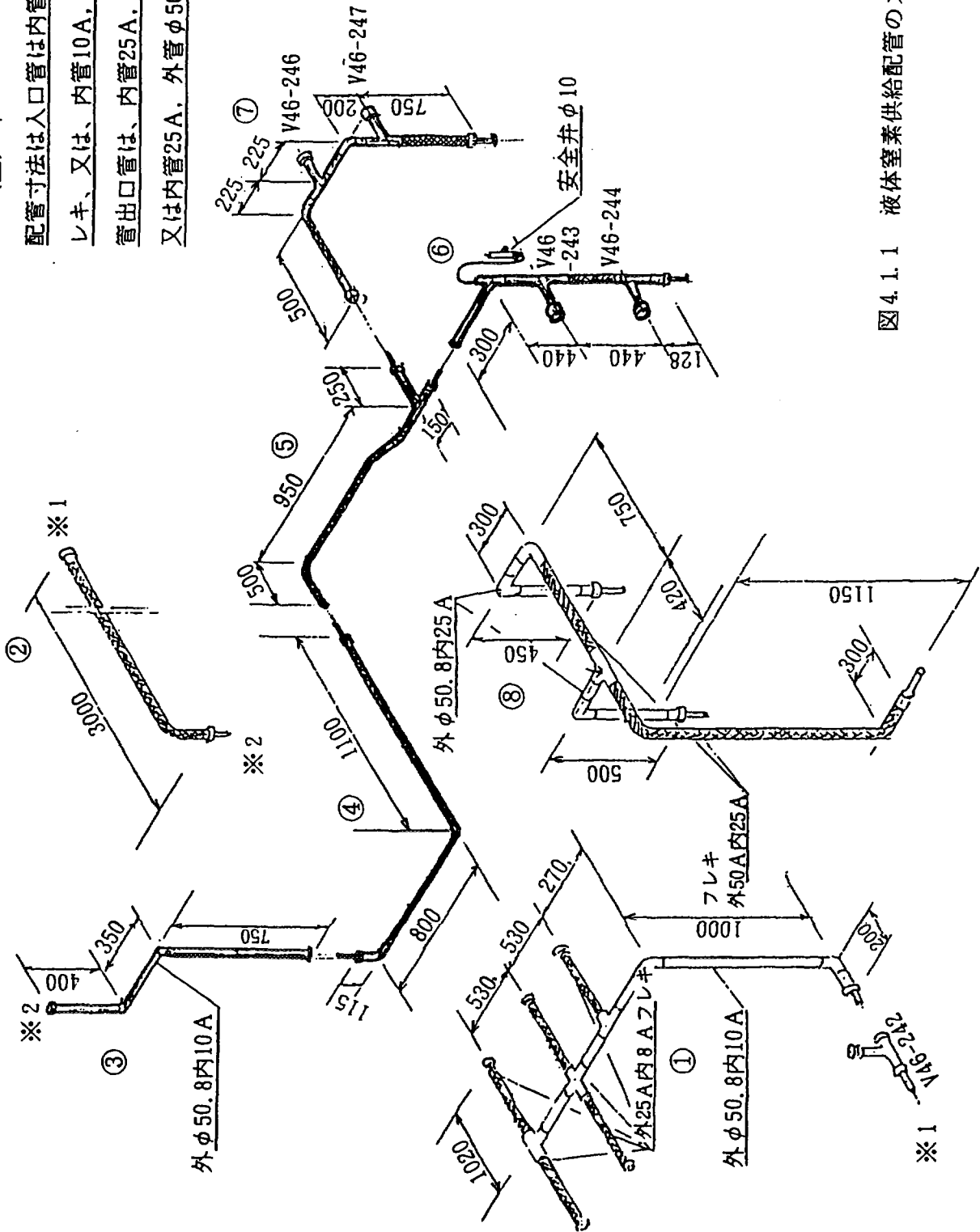


図 4.1.1 液体室素供給配管のスパール図

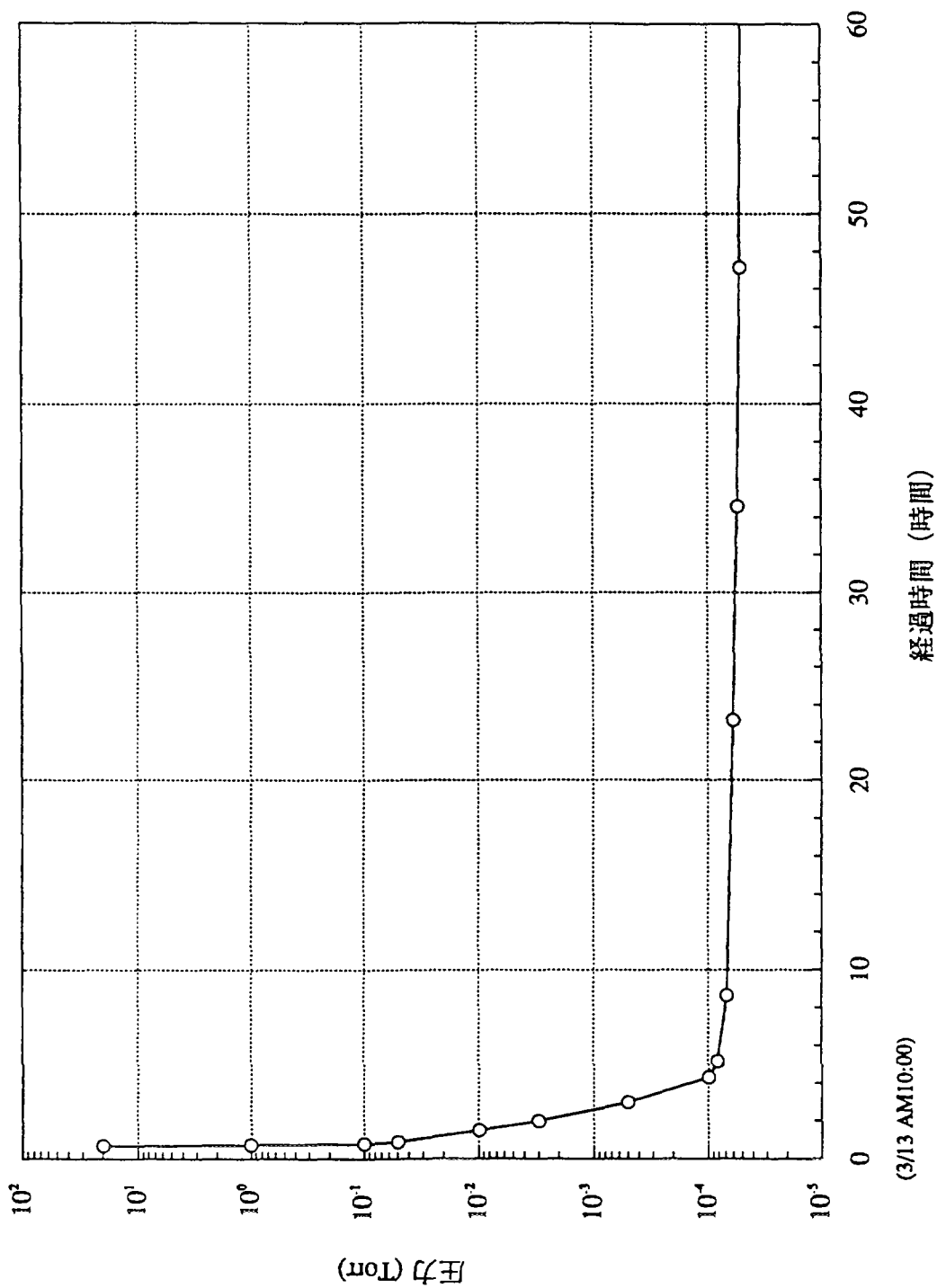


図 4.1.2 真空再生作業開始後の液体窒素冷却系二重管部の圧力推移

## 4.2 希ガス回収フィルタの温度制御性確認試験

温度制御性確認試験は、CGCS制御設備の保守・点検結果の確認を行うとともに従来発生していた温度不安定性が液体窒素供給配管の真空再生を行ったことによって改善され、安定した温度制御ができることを確認するものである。

### 4.2.1 試験内容<sup>(5)</sup>

温度制御性確認試験は、図4.2.1に示す希ガス回収フィルタの基本運転パターンにしたがって実施し、一連の温度制御性を確認した。ここで、FFDL炉内試験(Ⅱ)時の実績より希ガス回収フィルタの冷却温度は、設計の-180℃から-170℃に変更し、回収フィルタ(A)の-170℃一定制御の時間は、約4時間とした。

温度制御性確認試験において確認した項目は、以下の通りである。

- (1) 希ガス回収フィルタ(A)及び(B)の温度制御性
- (2) 希ガス回収フィルタ(A)及び(B)の液体窒素消費量

### 4.2.2 試験結果

- (1) 希ガス回収フィルタ(A)及び(B)の温度制御性

- ① 図4.2.2に希ガス回収フィルタ(A)の温度降下及び-170℃一定制御における温度制御データを示す。

希ガス回収フィルタ(A)温度降下(-170℃まで)の温度制御性は、回収フィルタ底部(温度4)の温度降下が他部の温度降下に比べ速いものの十分安定な制御を行うことができた。

希ガス回収フィルタ(A)-170℃一定制御の温度制御は、回収フィルタ底部(温度4)は約-197℃(液体窒素温度)、その他の位置(温度1~3)についても約-180℃~約-190℃の設定より低い温度での一定制御となった。二重管部(特に希ガス回収フィルタ)を真空引きしながら試験を実施したため以前よりも安定した温度制御が可能となったが、温度制御は設定値よりも低くなった。

- ② 図4.2.3に希ガス回収フィルタ(A)の150℃までの温度上昇データを示す。

希ガス回収フィルタ(A)の150℃までの温度上昇は、ヒータ100%出力で約1.5時間であることが確認された。

- ③ 図4.2.4に希ガス回収フィルタ(B)の温度降下及び-170℃一定制御における温度制御データを示す。

希ガス回収フィルタ(B)温度降下(-170℃まで)の温度制御性は、温度降下中における液体窒素ポンベの切替えによって、その温度挙動が異なっているが、

基本的な挙動は、希ガス回収フィルタ（A）と同様で、回収フィルタ底部（温度4）の温度降下が他部の温度降下に比べ速いものの十分安定な制御を行うことができた。

希ガス回収フィルタ（B）-170℃一定制御の温度制御性は、回収フィルタ底部（温度4）で若干温度が低い（約-185℃）が、その他の位置（温度1～3）については、約-170℃で安定に制御することができた。

- ④ 図4.2.5に希ガス回収フィルタ（B）の-80℃までの温度上昇、-80℃一定制御及び150℃までの温度上昇における温度制御データを示す。

希ガス回収フィルタ（B）の-80℃までの温度上昇の温度制御性は、ヒータ出力を30%に抑えることにより、安定に最終設定温度まで温度上昇が進むことを確認した。

希ガス回収フィルタ（B）の-80℃一定制御における温度制御性は、吸着床部温度-100℃程度でヒータをOFFにして、その後はヒータの余熱を窒素ガスで攪拌し温度上昇させる方法が効果的であることを確認した。

希ガス回収フィルタ（B）の150℃までの温度上昇は、ヒータ出力100%、窒素ガス攪拌のための弁開度100%で約1時間であることを確認した。

## (2) 希ガス回収フィルタ（A）及び（B）の液体窒素消費量

- ① 希ガス回収フィルタ（A）の-170℃までの温度降下では、100ℓ入り液体窒素ボンベ1本を消費した。
- ② 希ガス回収フィルタ（A）の-170℃一定制御では、約4時間で液体窒素ボンベ2.5本を消費した。
- ③ 希ガス回収フィルタ（B）の-170℃までの温度降下では、液体窒素ボンベ1本を消費した。
- ④ 希ガス回収フィルタ（B）の-170℃一定制御では、約2時間で液体窒素ボンベ1本を消費した。
- ⑤ 希ガス回収フィルタ（B）の-80℃一定制御では、液体窒素ボンベ0.5本を消費した。

上記の液体窒素消費量は、FFDL炉内試験（II）前に実施した性能試験時で得られた結果とほぼ同様であり、液体窒素配管の二重管部の真空度を維持すれば、現状の設備（100ℓ入り液体窒素ボンベ6本）で約4時間カバーガス中の希ガスの回収を行うことができることを確認した。

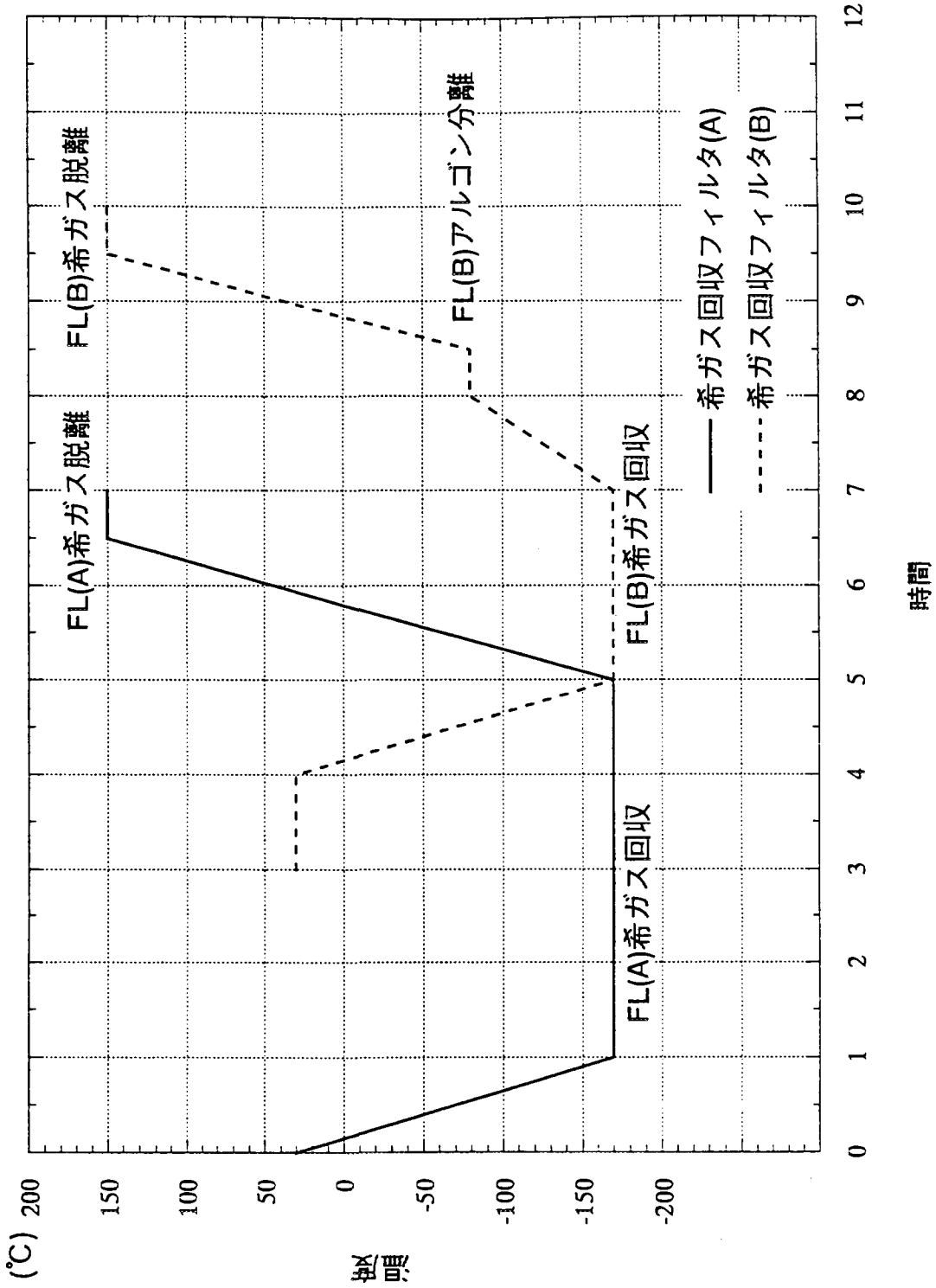


図4.2.1 性能確認試験 (I) におけるCCGSの基本運転パターン



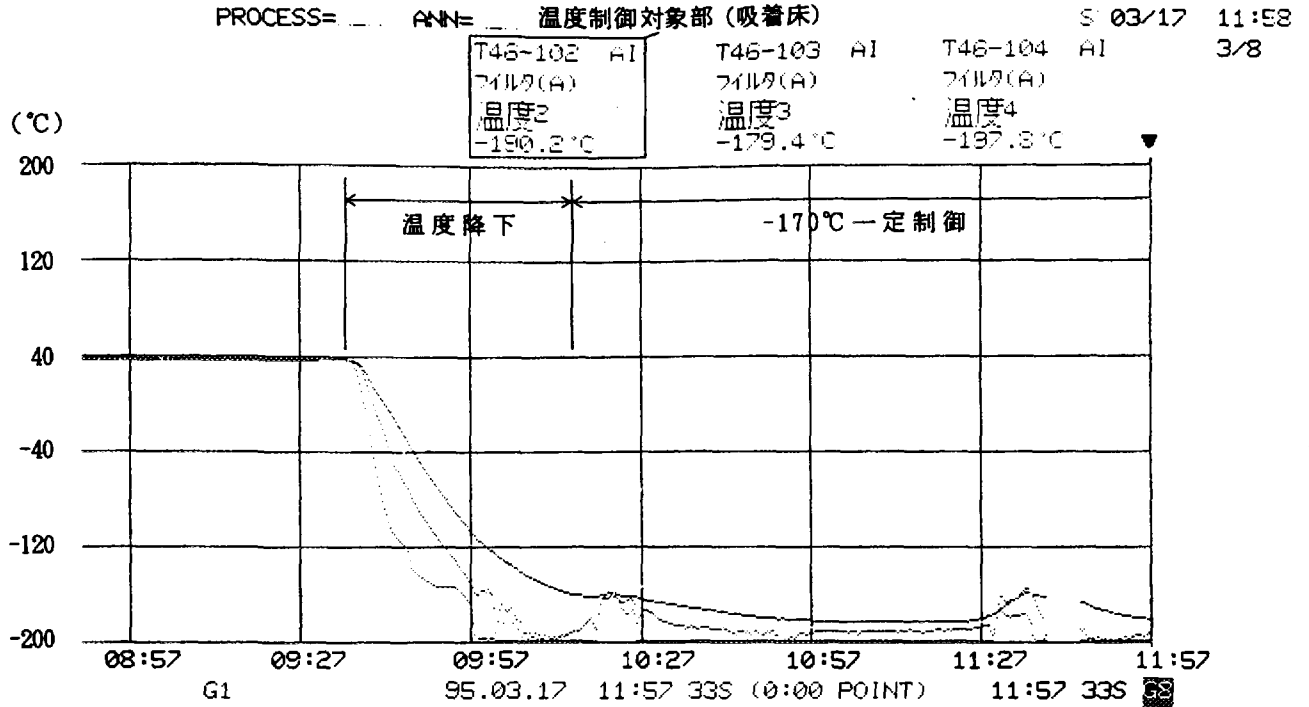


図4.2.2 希ガス回収フィルタ (A) の温度降下及び-170°C一定制御データ

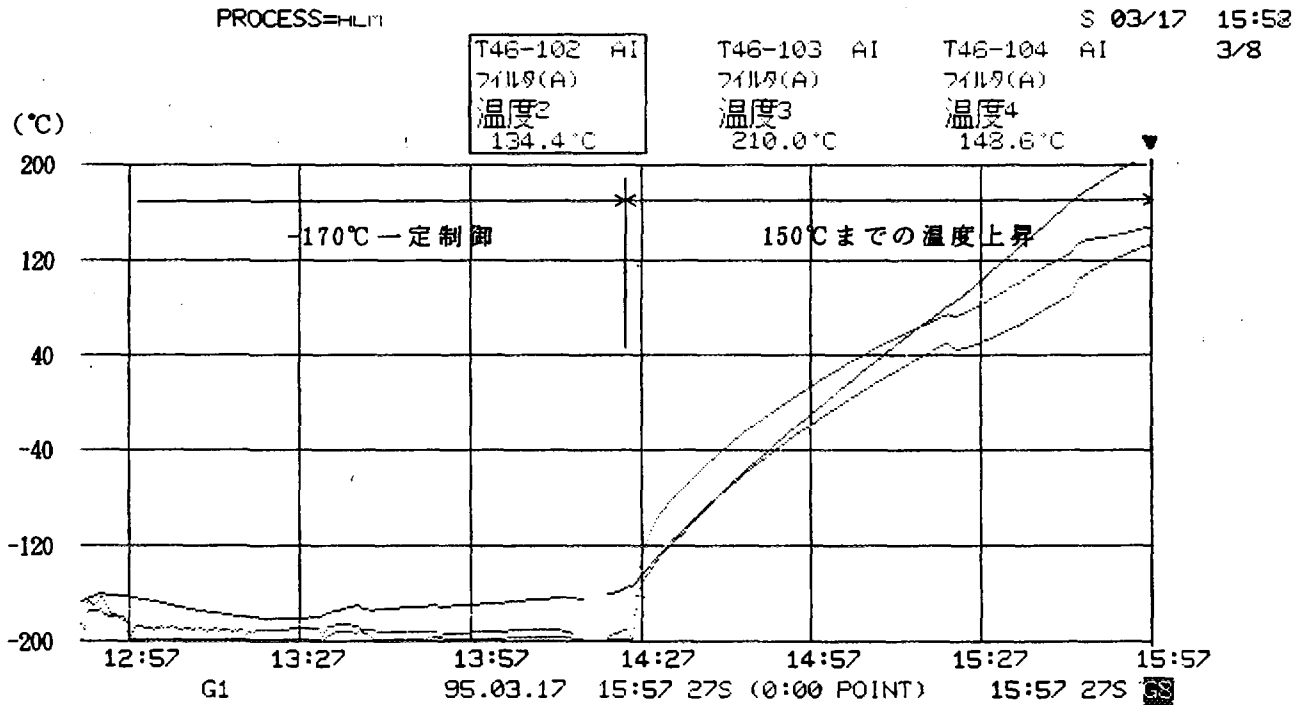


図4.2.3 希ガス回収フィルタ (A) の150°Cまでの温度上昇データ

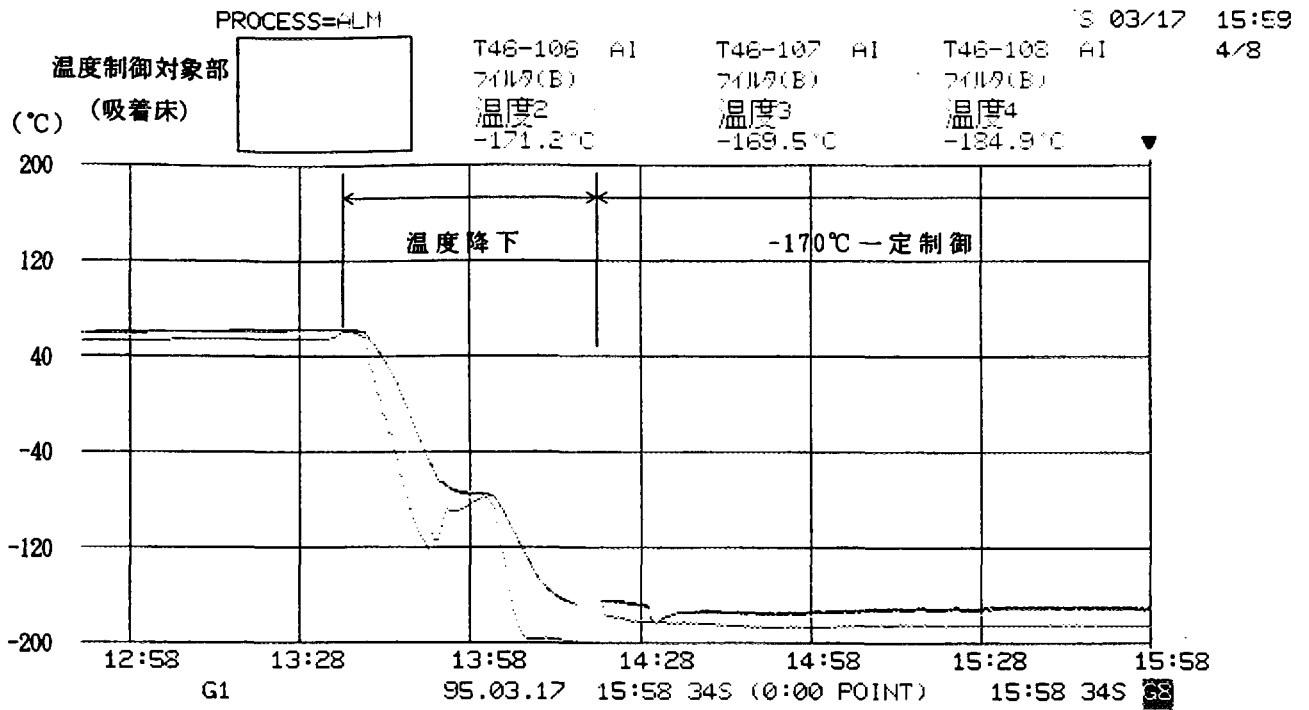


図 4. 2. 4 希ガス回収フィルタ (B) の温度降下及び-170°C一定制御データ

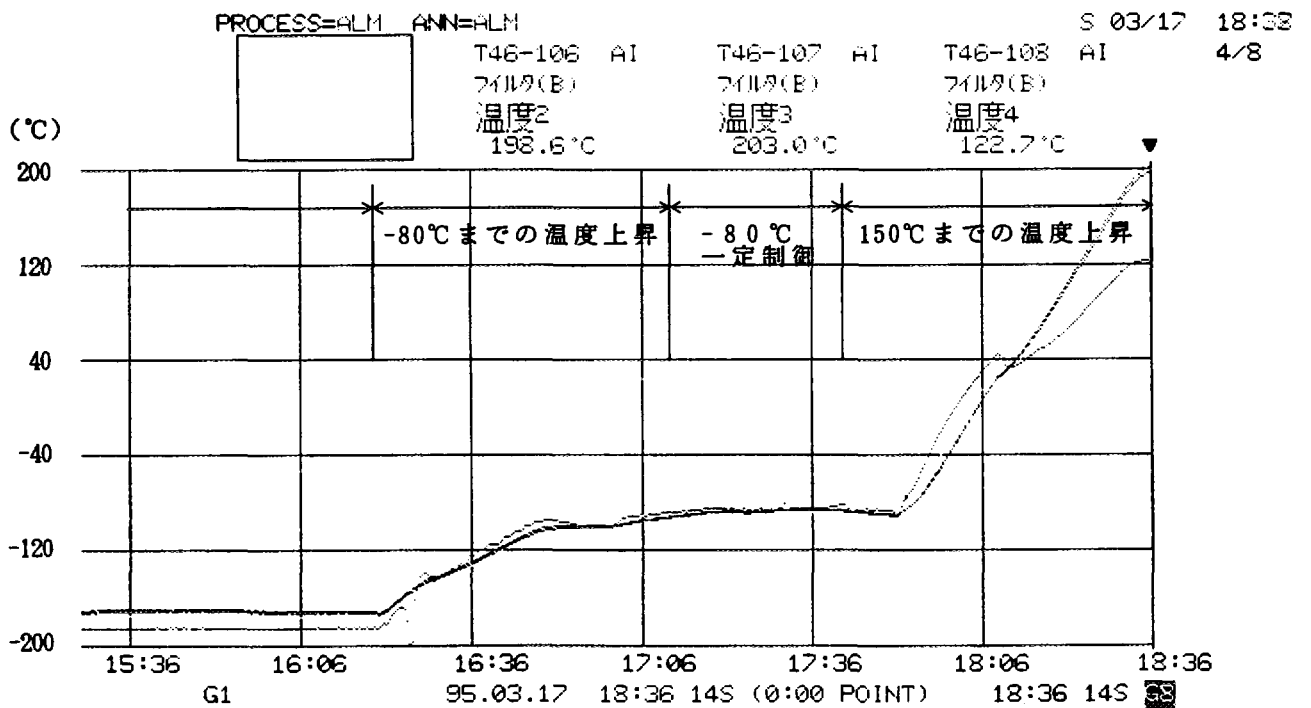


図 4. 2. 5 希ガス回収フィルタ (B) の-80°Cまでの温度上昇、  
-80°C一定制御及び150°Cまでの温度上昇データ

### 4.3 回収効率確認試験

#### 4.3.1 試験内容

回収効率確認試験は、4.2項に示した温度制御性確認試験同様、一連のCGCS運転パターンによる運転を行い、希ガス回収フィルタ（A）の約-170℃一定制御状態において非放射性標準ガスを希ガス回収フィルタ（A）に清浄アルゴンガスと混合させて流入させて、CGCSの回収効率を確認するものである。

図4.3.1に回収効率確認試験における希ガス回収フィルタ（A）の制御フローを示す。

回収効率確認試験は、FFD-CG法と切り離れた状態で行った。具体的には、FFD-CG法と接続されるCGCSカバーガス入口弁V46-201、CGCSカバーガス出口弁V46-206を閉、CGCSカバーガスバイパス弁V46-207開とし、CGCS清浄アルゴンガス供給弁V46-250を開として運転を行った。したがって、CGCSの自動制御を行っている制御系（FPEC-10）を半自動制御で運転した。

回収効率を確認するための標準ガスを希ガス回収フィルタ（A）に供給するためには、図4.3.1に示すヘリウムガス供給ラインを分岐して取り付ける標準ガス供給ラインを用いて行うものとした。

#### 4.3.2 標準ガスの濃度

##### (1) CGCS回収効率算出のための標準ガス濃度

CGCS回収効率算出のための標準ガス濃度は、設計時に用いたRTCB試験時における放出希ガスFP量から設定されたチャコールフィルタの希ガスFP保持能力及びカバーガス循環量等から算出した。

- ・チャコールフィルタの希ガスFP保持能力（希ガス回収フィルタ（B）のチャコール充填量5gより）

$$X_e : 7.50 \times 10^4 \text{Ncc}$$

$$K_r : 1.65 \times 10^3 \text{Ncc}$$

- ・カバーガス循環流量 :  $6 \text{Nm}^3/\text{hr}$  ( $100 \text{l}/\text{min}$ )

- ・CGCS希ガス回収フィルタ（A）運転時間 :  $\text{Max } 6 \text{hr}$  ( $360 \text{min}$ )

- ・CGCSの回収効率 : 0.9

上記より、標準ガスの濃度を算出すると以下の通りとなった。

① X e の標準ガスの濃度

$$\frac{\text{放出希ガスFP量}}{\text{設計運転時間による通過ガス量}} = \frac{7.50 \times 10^4 \text{Ncc} \times 0.9}{100 \text{l/min} \times 360 \text{min} \times 1,000 \text{cc/l}}$$

$$= \frac{6.75 \times 10^4 \text{Ncc}}{3.60 \times 10^7 \text{Ncc}} = 1.88 \times 10^{-3} \text{ (1875ppm)}$$

② K r の標準ガスの濃度

$$\frac{\text{放出希ガスFP量}}{\text{設計運転時間による通過ガス量}} = \frac{1.65 \times 10^3 \text{Ncc} \times 0.9}{100 \text{l/min} \times 360 \text{min} \times 1,000 \text{cc/l}}$$

$$= \frac{1.49 \times 10^3 \text{Ncc}}{3.60 \times 10^7 \text{Ncc}} = 4.13 \times 10^{-5} \text{ (41.3ppm)}$$

上記は、標準ガスを6Nm<sup>3</sup>/hr(100l/min)で流した場合に相当することから、これを1.0l/minで流したとすると標準ガスの濃度は、上記の値の100倍となる。よって、希釈する標準ガスの濃度は、以下の通りとした。ただし、このままではX e のガス濃度が高く、購入金額が高くなることから、X e だけは1/20の値とした。

X e : 1.875 × 10<sup>5</sup> ppm × 1/20 (0.9375%)  
(標準ガスの分析結果では、0.956%)

K r : 4,130 ppm (0.413%)  
(標準ガスの分析結果では、0.419%)

(2) タグガス回収を想定した標準ガス濃度

タグガス回収を想定した場合の標準ガス濃度は、ピン内に装填された2.5ccのタグガスがすべてカバーガス中に放出されたと想定して算出した。

- ・タグガス量 : 2.5cc (X e 51.1%、K r 49.9%)
- ・カバーガス循環流量 : 6 Nm<sup>3</sup>/hr (100l/min)
- ・CGCS回収フィルタA運転時間 : Max 6 hr (360min)
- ・CGCSの浄化能力 : 0.9

上記より、X e、K rとも約50%であるため、以下より算出した。

X e、K rの標準ガスの濃度

$$\frac{\text{タグガス量}}{\text{設計運転時間による通過ガス量}} = \frac{1.25 \text{cc} \times 0.9}{100 \text{l/min} \times 360 \text{min} \times 1,000 \text{cc/l}}$$

$$= \frac{1.125 \text{cc}}{3.60 \times 10^7 \text{Ncc}} = 3.13 \times 10^{-8} \text{ (0.0313ppm)}$$

上記は、標準ガスを $6\text{Nm}^3/\text{hr}(100\text{l}/\text{min})$ で流した場合に相当することから、これを $1.0\text{l}/\text{min}$ で流したとすると標準ガスの濃度は、上記の値の100倍となる。よって、希釈する標準ガスの濃度は、以下の通りとした。

$X_e$ 、 $K_r$  : 3.13ppm

(標準ガスの分析結果では、 $X_e$ が3.23ppm、 $K_r$ が3.05ppm)

#### 4.3.3 標準ガスの圧力

各標準ガスは、CGCSのヘリウムガス供給ラインを分岐して取り付ける標準ガス供給ラインを用いて行うが、希ガス回収フィルタ(A)の入口圧力は、これまでのCGCS予備試験等で希ガス回収フィルタ(A)部の圧損が $0.88\text{kg}/\text{cm}^2$ となっているため、標準ガス圧力は、これ以上なければ系統内に流入させることができない。したがって、標準ガスは、ヘリウムガスで希釈し、通常のヘリウムガスポンペに $120\text{kg}/\text{cm}^2$ 充填したものを、これを減圧弁を用いて減圧し、CGCS系統内に流入できる圧力約 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ とした。

#### 4.3.4 CGCSの回収効率

##### (1) 標準ガスによる回収効率の算出

前述した濃度の異なる2種類の標準ガス(低濃度  $K_r$  : 3.05ppm、 $X_e$  : 3.23ppm、高濃度  $K_r$  : 0.419%、 $X_e$  : 0.956%)を用いて、それぞれ2回、合計4回の試験を行った。標準ガスは、希ガス回収フィルタ(A)約 $-170^\circ\text{C}$ 一定制御において流量 $0.1\text{l}/\text{min}$ で約4時間流した。続いて、希ガス回収フィルタ(A)で捕集した非放射性 $K_r$ 、 $X_e$ を希ガス回収フィルタ(B)に移行させ、アルゴン分離後CGCSのサンプリングライン(活性炭充填仮設サンプラー)を用いて捕集し、150ccサンプラー2本に充填した。希ガス回収フィルタ(A)で非放射性 $K_r$ 、 $X_e$ のすべてが吸着され、かつ希ガス回収フィルタ(B)及び仮設サンプラーに全量移行した場合、150ccサンプラーに移す際のサンプラー1本当たりの流入割合0.384( $1 - 0.384 \times 2 = 0.232$ は、仮設サンプラーから150ccサンプラーに移す際装置に残るガス量の割合)を考慮すると、150ccサンプラー内の非放射性 $K_r$ 、 $X_e$ の濃度は次頁の式で表される。ガスクロの分析結果(実測値)を計算式で求めた値で除することにより、 $K_r$ と $X_e$ の回収効率を求めた。

例として3回目試験時(H7 3/24 高濃度標準ガス)の算出結果を示す。なお、標準ガス流入量は $25.7\text{l}$ 、150ccサンプラー内の圧力は $1.19\text{kg}/\text{cm}^2$ であった。

K r :

150ccサンプラー 1 本当りの K r の量

$$25.7 \text{ l} \times 1,000 \text{ cc/l} \times 0.00419 \times 0.384 = 41.3 \text{ cc}$$

150ccサンプラー内の K r の濃度

$$41.3 \text{ cc} / 150 \text{ cc} / 1.19 = 0.231 \quad (\text{約}23\%)$$

回収効率

$$0.0288 \text{ (ガスクロ分析値)} / 0.231 = 0.125 \quad (\text{約}13\%)$$

X e :

150ccサンプラー 1 本当りの X e の量

$$25.7 \text{ l} \times 1,000 \text{ cc/l} \times 0.00956 \times 0.384 = 94.2 \text{ cc}$$

150ccサンプラー内の X e の濃度

$$94.2 \text{ cc} / 150 \text{ cc} / 1.19 = 0.527 \quad (\text{約}53\%)$$

回収効率

$$0.0241 \text{ (ガスクロ分析値)} / 0.527 = 0.0457 \quad (\text{約}5\%)$$

## (2) 回収効率算出結果

上記方法により、算出した全試験の回収効率を表 4.3.1 に示す。

C G C S の K r 、 X e の回収効率は、全試験とも予測値（設計値）を大きく下回った。1、2 回目の試験結果で回収効率が低いことがわかったため、3、4 回目の試験時にはこの対策として希ガス回収フィルタ（A）、（B）及び仮設サンプラーの吸着床（活性炭）の空筒線速度依存性を考慮し、移行時のガス流速の制限を行ったが、回収効率は改善されなかった。

### 4.3.5 低回収効率についての検討

#### (1) 吸着床（活性炭）の空筒線速度依存性

吸着床（活性炭）の空筒線速度依存性については、2.2 項に示されるように K r は空筒線速度が 35cm/sec 以下ではその影響は少なく、X e については空筒線速度が 80cm/sec まで常に高率で回収できる。

空筒線速度 U (cm/sec) を、ガス流量 u (m<sup>3</sup>/h)、吸着床の直径 D (cm) を用いて表すと

$$U = \frac{273 - 170 \text{ (}^\circ \text{K)}}{273 \text{ (}^\circ \text{K)}} \times \frac{u \text{ (m}^3\text{/h)} / 3600 \text{ (sec/h)}}{\pi (D \text{ (cm)} / 2)^2}$$

となる。そこで希ガス回収フィルタ（A）、（B）及び仮設サンプラーの吸着床に

において空筒線速度  $U$  を  $35\text{cm/sec}$  以下となるガス流速を求めるとそれぞれ  $121\text{l/min}$ 、 $11\text{l/min}$  及び  $2\text{l/min}$  以下である。このうち希ガス回収フィルタ (A) については、設計に吸着床の空筒線速度が考慮されているため、設計流量は  $100\text{l/min}$  (F 3 B 試験時は約  $90\text{l/min}$ ) であり、高率で回収できる設計になっている。

しかし、希ガス回収フィルタ (B) については、空筒線速度が設計に考慮されておらず、また、ガス移行時の流量が確認できないため、その流量は不明である。同様に仮設サンプラーについても流量計を設置していなかったため、その流量は確認できなかった。特に希ガス回収フィルタ (B) においては、吸着床の出口側が負圧となる上、後述する希ガス回収フィルタ (A) での多量のアルゴンガスの捕集のために希ガス回収フィルタ (A) から (B) へのガス移行時に高流速になっていると考えられた。

そこで、3、4 回目の試験時には仮設の流量計を取付け、希ガス回収フィルタ (A) から (B) へのガス移行時及び希ガス回収フィルタ (B) から仮設サンプラーへのガス移行時にそれぞれガス流量を制限し、試験を実施した。しかしながら、回収効率を高める効果はみられなかった。特に希ガス回収フィルタ (B) から仮設サンプラーへの移行時のガス流量はほぼ制限値以下であり、ほとんど流量制限の必要はなかった。一方、希ガス回収フィルタ (A) から (B) への移行時には、希ガス回収フィルタ (A) に予想外に多くのアルゴンガスが捕集されており、かつ、ガス流量を約  $2\text{l/min}$  と制限したため、希ガス回収フィルタ (A) から (B) へのガスの移行に約 6 時間 (通常 1 時間 30 分) を費やす結果となった。

本試験においては、吸着床 (活性炭) の空筒線速度依存性を考慮した効果はみられなかったが、希ガス回収フィルタ (A) のアルゴンガス捕集量を減らす等の対策を講じて、今後の試験時においても空筒線速度依存性を無視できる範囲で CGCS を運転する必要がある。

## (2) 希ガス回収フィルタ (A) におけるアルゴンガスの捕集

希ガス回収フィルタ (A) (活性炭  $750\text{g}$ ) において捕集されるアルゴンガス量は、  
図 2.2.1 より

$$2.2 \times 10^2 (\text{cm}^2/\text{g}) \times 750 (\text{g}) = 165\text{l}$$

である。しかしながら、4 回目の試験 (H7 3/30) の実績より、本試験において希ガス回収フィルタ (A) に捕集されたアルゴンガス量は、

$$2\text{l/min} \times 3600\text{min} = 720\text{l/min}$$

となり、希ガス回収フィルタ（A）において活性炭以外で捕集されたアルゴンガス量は、

$$720\text{l} - 165\text{l} = 555\text{l}$$

と予測される。このアルゴンガスは全て希ガス回収フィルタ（A）において液体アルゴンとして捕集され、希ガス回収フィルタ（A）の150℃までの温度上昇時にアルゴンガスとして放出されたと仮定すると液体アルゴン量としては、

$$555\text{l} \times \frac{1.78\text{g/l (気体密度: } 0\text{ }^\circ\text{C、1atm)}}{1.39 \times 10^3\text{ g/l (液体密度: } -186\text{ }^\circ\text{C)}} = \text{約 } 0.7\text{l}$$

となる。

これは、液体窒素冷却系二重管部（特に希ガス回収フィルタ）を真空引きしながら試験を実施したため以前よりも安定した温度制御が可能となったが、温度制御は設定値（-170℃）よりも低くなり（-180～-190℃）、この結果、アルゴンガスの液化等により多量のアルゴンガスを希ガス回収フィルタ（A）で捕集してしまったものと考えられる。

今後の試験対策として、希ガス回収フィルタ（A）の温度を設定温度（-170℃）にできるだけ近く、かつ、アルゴンの沸点（-185℃）以下の温度まで降下させない運転を行わなければならない。

### (3) 希ガス回収フィルタ（A）あるいは（B）の希ガス脱離能力の不足

本試験で得られた $K_r$ 、 $X_e$ の回収効率で特異な点は、活性炭の吸着係数の高い $X_e$ が不検出であったり、あるいは吸着係数の低い $K_r$ の方が $X_e$ より高回収効率である点である。また、ガスクロ分析結果から150ccサンプラー内のガスのほとんどがアルゴンガスで占められていることより、吸着床で希ガスを捕集していないか希ガス回収フィルタ（A）あるいは（B）のガス脱離能力が不足しており、加熱操作において吸着された $K_r$ 、 $X_e$ が脱離しきっていないかのいずれかと考えられる。後者については、仮設サンプラーへは、低温においても最も脱離し易いアルゴンがほとんど移行し、次に脱離し易い $K_r$ が少量移行したにとどまり、最も脱離しにくい $X_e$ はほとんど移行しなかったと推測された。（なお、仮設サンプラーの脱離性能については確認済である。）



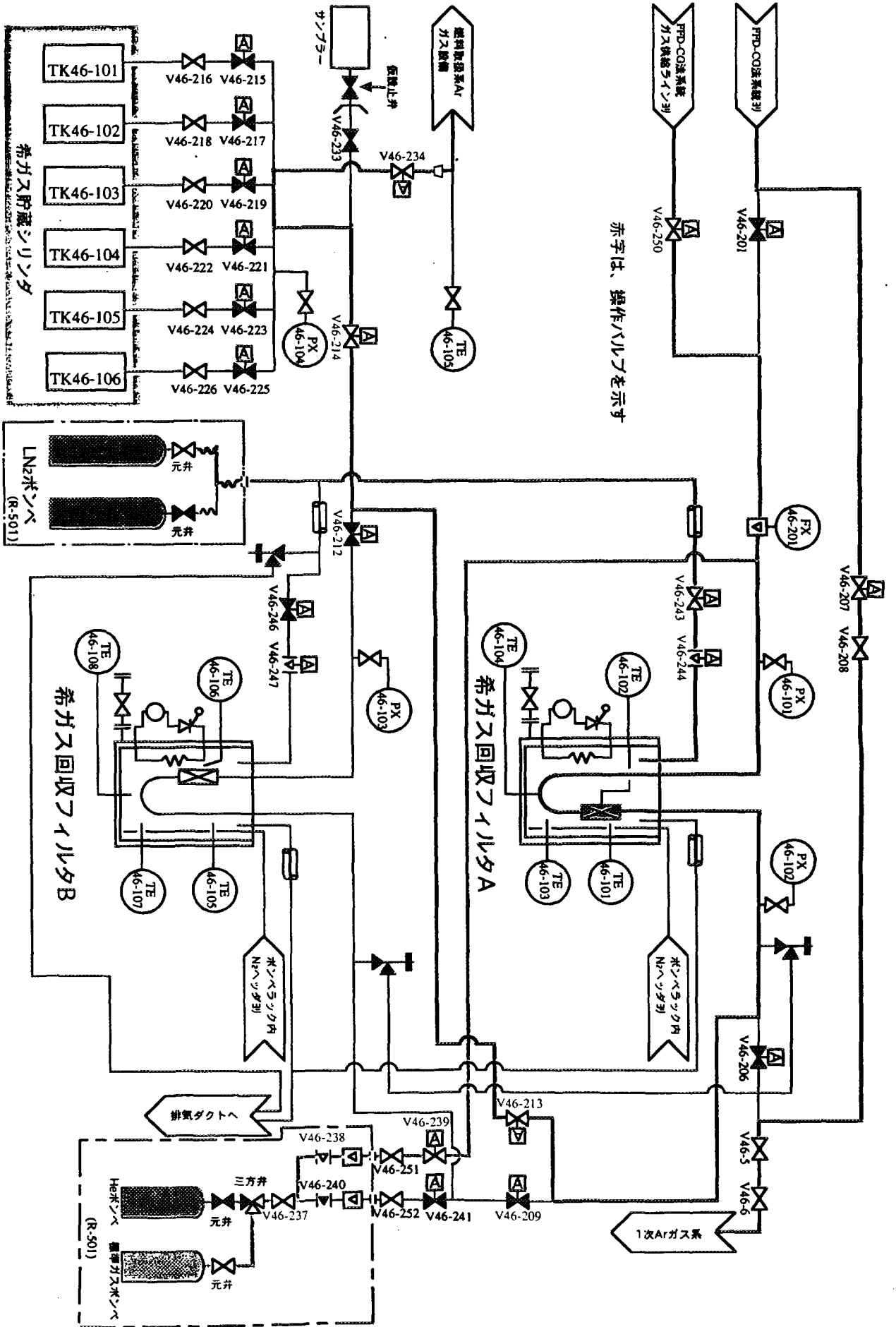


図 4.3.1 回収効率確認試験における希ガス回収フィルタ (A) の制御フロー

表 4.3.1 CGCS 性能確認試験 (I) の回収効率計算結果

試験日程	標準ガス	回収効率	試験条件 (対策等)
1 回目 (H7 3/14)	Xe	14 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 清浄アルゴンガスの影響 (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 等の流入) を除くため、標準ガスのみを約0.1l/minで流入</li> </ul>
	Kr	N. D.*	
2 回目 (H7 3/17)	Xe	N. D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 清浄アルゴンガスとともに標準ガスを約0.1l/minで流入</li> </ul>
	Kr	6 %	
3 回目 (H7 3/24)	Xe	5 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 清浄アルゴンガスとともに標準ガスを約0.1l/minで流入</li> <li>・ 希ガス回収フィルタ (B) から仮設サンプラーへの移行時の流量を約0.2l/minに制限</li> </ul>
	Kr	13 %	
4 回目 (H7 3/30)	Xe	N. D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 清浄アルゴンガスとともに標準ガスを約0.1l/minで流入</li> <li>・ 同上及び希ガス回収フィルタ (A) から (B) への移行時の流量を約2l/minに制限</li> </ul>
	Kr	5 %	

・ N. D : 不検出

\* 窒素に隠れて検出できなかった。

## 5. CGCS 性能確認試験（Ⅱ）

CGCS 性能確認試験（Ⅰ）では回収した標準ガス中に何らかの原因により空気が混入したこと及び希ガス回収フィルタ（A）に多量のアルゴンガスを捕集してしまったこと等の理由により、期待されたXe、Krの回収効率が得られなかった。そこで、この原因について検討を行い、いくつかの対策を施した。この対策の有効性及びCGCSの所期の性能を確認することを目的にCGCS 性能確認試験（Ⅱ）を実施した。

### 5.1 主な対策内容

#### 5.1.1 仮設サンプリングラインの改造による空気混入の防止

CGCSの希ガス回収効率を確認するため、希ガス回収フィルタで吸着したKr、Xeを仮設サンプリングラインを用いてサンプラーに採集するが、この際、空気が混入するとガスクロの分析において窒素の妨害によりKrのピークが検出できない。性能確認試験（Ⅰ）の1回目の回収効率確認試験でKrが検出できなかったのは、これが原因と考えられた。このため、仮設サンプリングラインを空気が混入しにくい構造に改造した。図5.1.1に仮設サンプリングライン改造前後の比較を、写真5.1.1に改造後の仮設サンプリングラインの設置状況を示す。

主な改造点を以下に示す。

- (1) CGCSから希ガスが仮設サンプラーに流入する経路上の接続点（クイックコネクター）をできるだけ減らした。
- (2) 仮設サンプラーの出入口バルブを方向性があるため真空引きの際、空気混入の可能性が生じるニードルバルブから方向性のないベローズバルブに交換した。
- (3) 仮設サンプリングラインを単独で真空引きできるようにロータリーポンプ及び圧力ゲージを設置した。
- (4) 仮設サンプラーの出口側を負圧である廃ガスヘッドに接続することにより、排気側からの逆流による空気混入を防止した。

#### 5.1.2 希ガス回収フィルタ（A）温度制御方法の改良

性能確認試験（Ⅰ）においては、希ガス回収フィルタ（A）の温度制御を設定値（-170℃）より低く（-180～-190℃）行ったため、アルゴンガスの液化等により多量のアルゴンガスを希ガス回収フィルタ（A）で捕集してしまいKr、Xeの回収を妨げてしまったと考えられた。そこで希ガス回収フィルタ（A）を設定温度（-170℃）

で制御を行い、アルゴンガスの捕集量を減少させることを目的に-170℃一定制御における希ガス回収フィルタ（A）アルゴン捕集量確認試験を実施した。

試験は性能確認試験（I）と同様に図4.3.1の制御フローで行い、希ガス回収フィルタ（A）への清浄アルゴンガスの通気時間も同様に約4時間とした。なお、標準ガスの流入は行っていない。希ガス回収フィルタ（A）の温度制御は-170℃にできるだけ近く、かつアルゴンの沸点（-185℃）以下の温度まで降下させないように注意深く手動で制御を行った。図5.1.2に試験時の温度制御データを示す。約4時間通気した後、150℃までの加熱を行い、この際に希ガス回収フィルタ（A）から放出されるアルゴンガス量を仮設の流量計で測定した。

この結果、希ガス回収フィルタ（A）のアルゴンガス捕集量は約300<sup>l</sup>となり、性能確認試験時の半分以下に減少させることができた。これより、性能確認試験（II）においては、この温度制御方法を用いて試験を実施することにした。

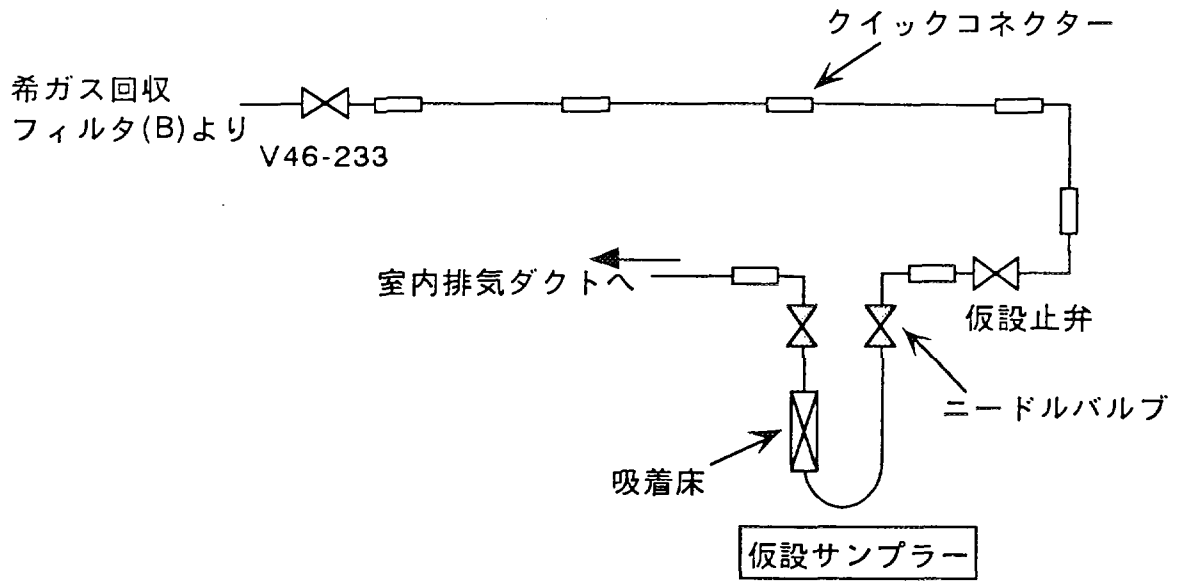
#### 5.1.3 吸着床移行時のガス流速の制限

これは希ガス回収フィルタ（A）、（B）及び仮設サンプラーの吸着床（活性炭）の空筒線速度依存性を考慮し、性能確認試験（I）中に改善した方法であるが、性能確認試験（II）においても引き続き実施する。

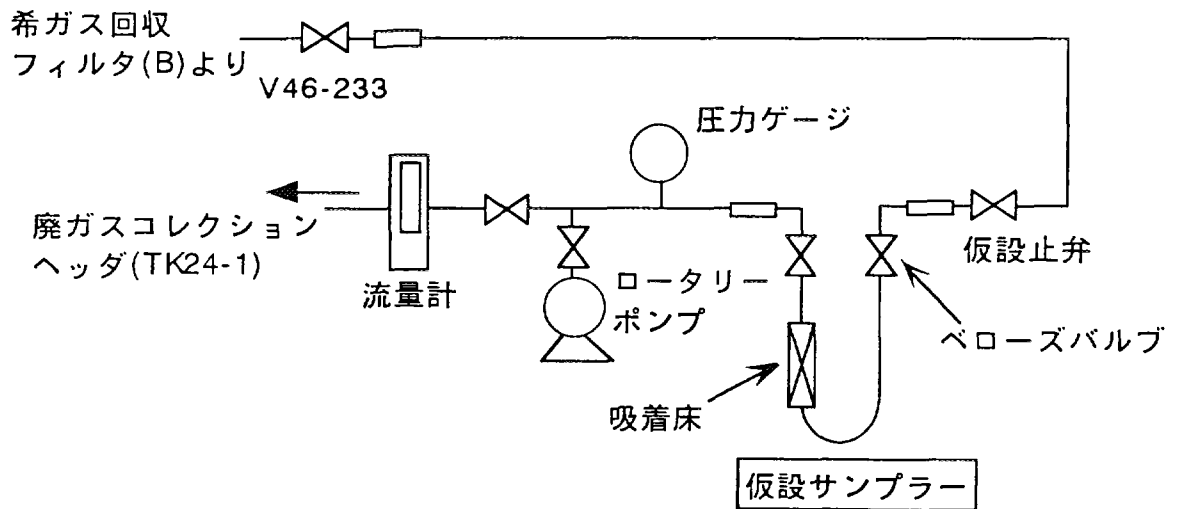
（ガス流速の制限値）

希ガス回収フィルタ（A）→ 希ガス回収フィルタ（B）：11<sup>l</sup>/min以下

希ガス回収フィルタ（B）→ 仮設サンプラー：2<sup>l</sup>/min以下



<改造前>



<改造後>

図5.1.1 仮設サンプリングライン改造前後の比較

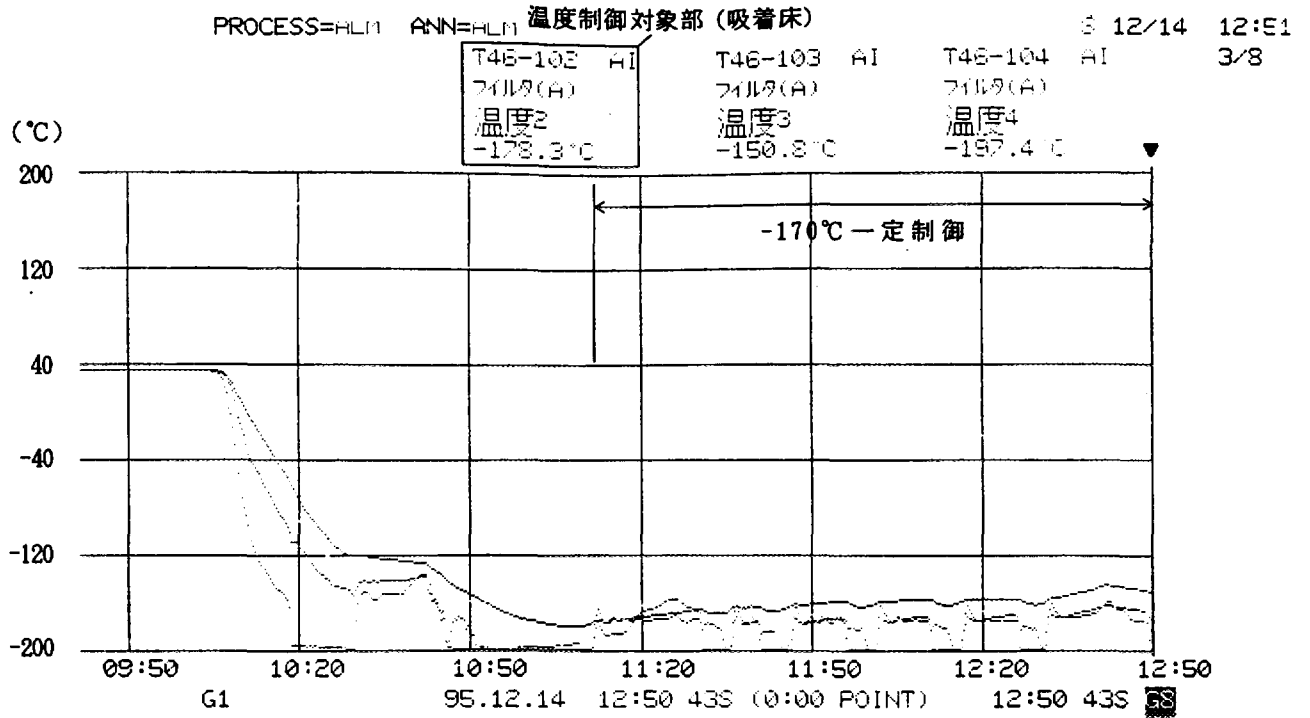


図 5. 1. 2 希ガス回収フィルタ (A) のアルゴン捕集量確認試験の温度制御データ

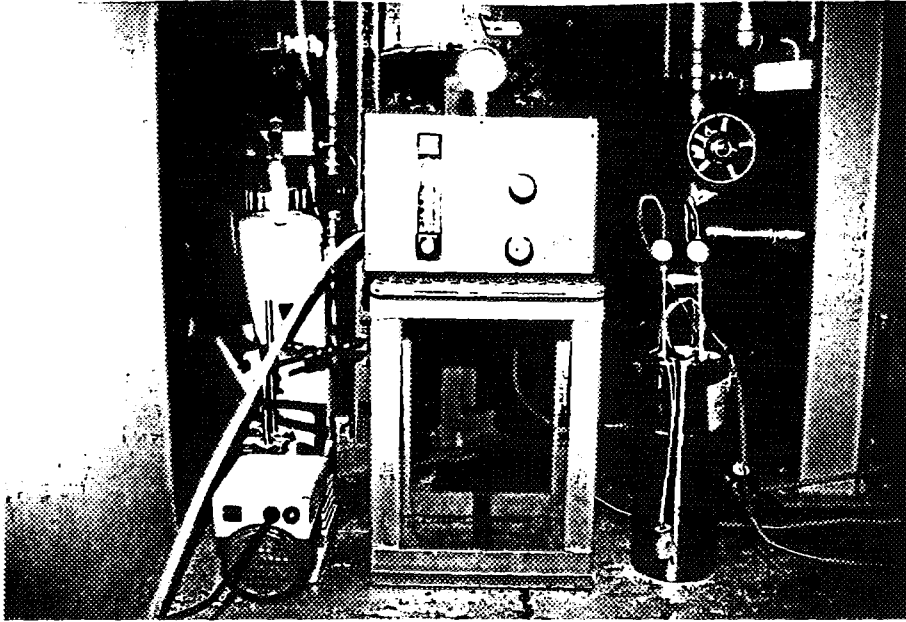


写真5.1.1 仮設サンプリングライン

## 5.2 性能確認試験

### 5.2.1 試験内容

CGCS性能確認試験(Ⅱ)は、性能確認試験(Ⅰ)と同じ方法(制御フロー)で4回試験を実施した。ただし、5.1で示した対策の有効性の確認及びCGCSの運転方法の最適化を目的に、希ガス回収フィルタ(A)の通気時間(回収時間)を通常(約4時間)よりも短時間(約2時間)とし、高回収効率を得るための各運転工程の最適パラメータの把握に重点を置き、試験によって運転パラメータを変更した。また、標準ガスは設置目的であるRTCB試験における希ガスFPの回収の役割を考慮し、高濃度ガスのみでの試験とした。

また、1回目の試験において前述した対策にも拘わらず回収効率の改善が見られなかった場合は、性能確認試験(Ⅰ)結果から検討したように希ガス回収フィルタ(A)あるいは(B)での希ガスの脱離能力の不足が考えられるため、4日後に再加熱及び再サンプリングを行い、希ガス回収フィルタに残留した $K_r$ 、 $X_e$ の有無を確認することにした。

### 5.2.2 試験結果

空気混入防止対策を実施したことにより空気の混入量は大幅に減少し、分析結果の窒素濃度の最大値は回収効率確認試験時36%であったものが本試験時は2%になった。これにより希ガスのピークは全試験で検出され、この分析結果から算出した全試験の回収効率を表5.2.1に示す。算出方法は回収効率確認試験時と同じである。以下に各試験時に回収効率向上のために変更した運転パラメータ、実施した対策及びその結果について述べる。

#### (1) 1回目の試験

試験結果は $X_e$ 、 $K_r$ とも低回収効率であり、かつ活性炭吸着係数が $X_e$ より低い $K_r$ の方が高い回収効率であった。これは、希ガス回収フィルタ(A)、(B)(活性炭充填量 A:750g、B:5g)のうち、活性炭充填量の多い希ガス回収フィルタ(A)の加熱不足(加熱時間10分、加熱温度130℃)により、特に $X_e$ が希ガス回収フィルタ(A)から充分脱離しきらなかったためと考えられた。

#### (2) 2回目の試験

1回目の試験結果より、2回目の試験では希ガス回収フィルタ(A)からの $X_e$ の脱離効率の向上を図るため、希ガス回収フィルタ(A)の加熱を加熱時間1時間、加熱温度150℃(設計温度)とし、また、予定通り4日後に再加熱を行い、再サン



プリングを実施した。なお、希ガス回収フィルタ（A）の加熱は、液体窒素の量の制限により1時間以上は不可能であった。

試験の結果、試験当日及び再サンプリング時において多量のXeが回収され、その回収効率は合計で100%を大きく超えた。これは、試験前に希ガス回収フィルタのベーキング（ガスの脱離）を行ったが、これが十分ではなく1回目の試験時に希ガス回収フィルタ（A）に残存したXeを回収してしまったことによるものと考えられた。

一方、Krの回収効率には改善が見られず、他に原因があると考えられた。

### (3) 3, 4回目の試験

2回目の試験により、予測した通り希ガス回収フィルタでの希ガスの脱離能力の不足により、1回の加熱では全量回収できないことが確認されたため、引き続き再加熱及び再サンプリングを実施した。

また、Krの低回収効率の原因については、過去の実験結果より、希ガス回収フィルタ（B）のアルゴン分離時にアルゴンと共にKrを脱離したことによるものと予想されたため、3, 4回目の試験においては、希ガス回収フィルタ（B）のアルゴン分離温度を-80℃から20℃下げ-100℃に変更して行った。図5.2.1に変更後の希ガス回収フィルタ（B）のアルゴン分離工程の温度制御データを示す。

試験の結果、Xeについては、いずれの試験でも合計で高い回収効率が得られた。4回目の試験結果においては、回収効率の合計が100%を超えているが、分析誤差が約5%あることを考慮すると3, 4回目の試験いずれも90%台の高回収効率であると考えられる。なお、3, 4回目の試験における前試験時の残存Xeの影響は、前試験時の加熱、再サンプリング（再加熱）及び試験前のベーキングにより、ほとんどないと考えられる。

Krについては、希ガス回収フィルタ（B）のアルゴン分離温度を下げたことにより、希ガス回収フィルタ（B）のアルゴン分離時に脱離しやすいKrを保持することができ、いずれも80%以上の回収効率を得ることができた。

これより、CGCSのワンスルーの回収効率はXeで90%以上、Krで80%以上であることが確認された。

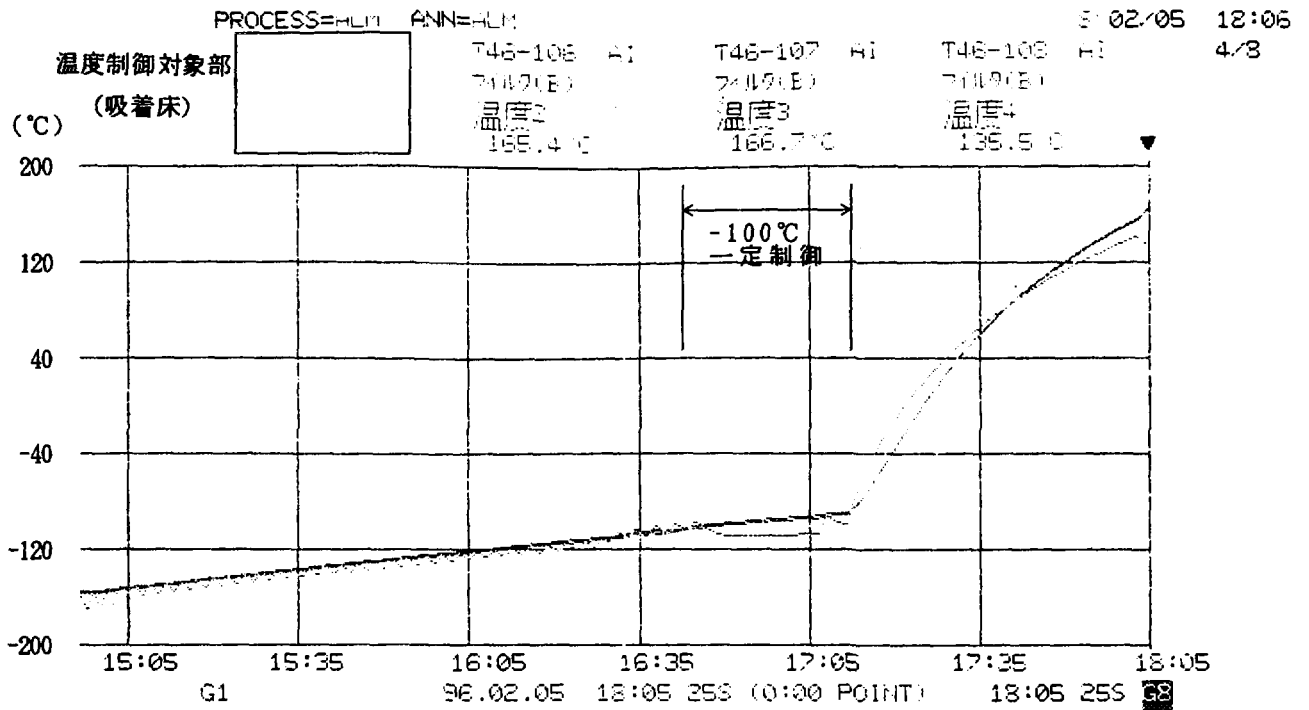


図5.2.1 希ガス回収フィルタ (B) のアルゴン分離温度-100°Cの温度制御データ

表 5.2.1 CGCS 性能確認試験 (II) の回収効率計算結果

試験日程		試験日	再サブリグ	再々サブリグ	合計	試験条件
1回目 (H7 12/14)	X e	2.5%	—	—	2.5%	希ガス回収フィルタ (A) 加熱時間: 10分
	K r	48%	—	—	48%	希ガス回収フィルタ (A) 加熱温度: 130°C 希ガス回収フィルタ (B) の A r 分離温度: -80°C
2回目 (H7 12/21)	X e	109%	36%	—	145%	希ガス回収フィルタ (A) 加熱時間: 1時間
	K r	22%	3.7%	—	26%	希ガス回収フィルタ (A) 加熱温度: 150°C 希ガス回収フィルタ (B) の A r 分離温度: -80°C
3回目 (H8 1/25)	X e	23%	58%	13%	94%	希ガス回収フィルタ (A) 加熱時間: 1時間
	K r	64%	22%	1.0%	87%	希ガス回収フィルタ (A) 加熱温度: 150°C 希ガス回収フィルタ (B) の A r 分離温度: -100°C
4回目 (H8 2/5)	X e	45%	59%	—	104%	希ガス回収フィルタ (A) 加熱時間: 1時間
	K r	56%	29%	—	85%	希ガス回収フィルタ (A) 加熱温度: 150°C 希ガス回収フィルタ (B) の A r 分離温度: -100°C

- ・ 3 回目の試験では再サブリグ時に CGCS 系内のガスを全て回収しきれなかったため、再々サブリグを実施した。
- ・ 再サブリグ : 試験 4 日後 (4 回目は 2 日後)  
再々サブリグ : 試験 7 日後

## 6. 考 察

### 6.1 CGCSの現状

CGCSのワンスルーの回収効率は、Xeで90%以上、Krで80%以上であり、図6.6.1に示すように設計条件である希ガス回収フィルタ（A）の6時間回収で回収効率90%を十分満足している。なお、2.2.3(2)項に示した実浄化時間が回収効率を計算で求めた場合の浄化時間の約2倍（保守的に評価しており、実際は1.6倍）を要することを考慮しても設計条件を満足している。

しかし、液体窒素量の問題から、現状の液体窒素供給ユニット（液体窒素ポンベ100l×6本）では、上記のワンスルー回収効率を得るに必要な希ガス回収フィルタ（A）の手動による-170℃一定制御運転（微妙な温度制御となるため液体窒素消費量が増加）及び希ガス回収フィルタ（A）の150℃、1時間の希ガス脱離運転を行うには約3時間の回収運転が限界である。したがって、設計条件である90%回収効率を得るためには液体窒素量を増量する必要がある。

また、上記のワンスルー回収効率は再サンプリングによる回収を含めた効率であり、炉内カバーガスからは上記の回収効率で希ガスFPを回収できるが、希ガス回収フィルタ（A）の希ガス脱離能力が不足しているため、1回の希ガス回収フィルタ（A）の加熱では、回収した希ガスFPを全量希ガス貯蔵シリンダに移行することはできないという問題点も確認された。なお、これについてはその原因及び対策について詳細を次項に述べる。

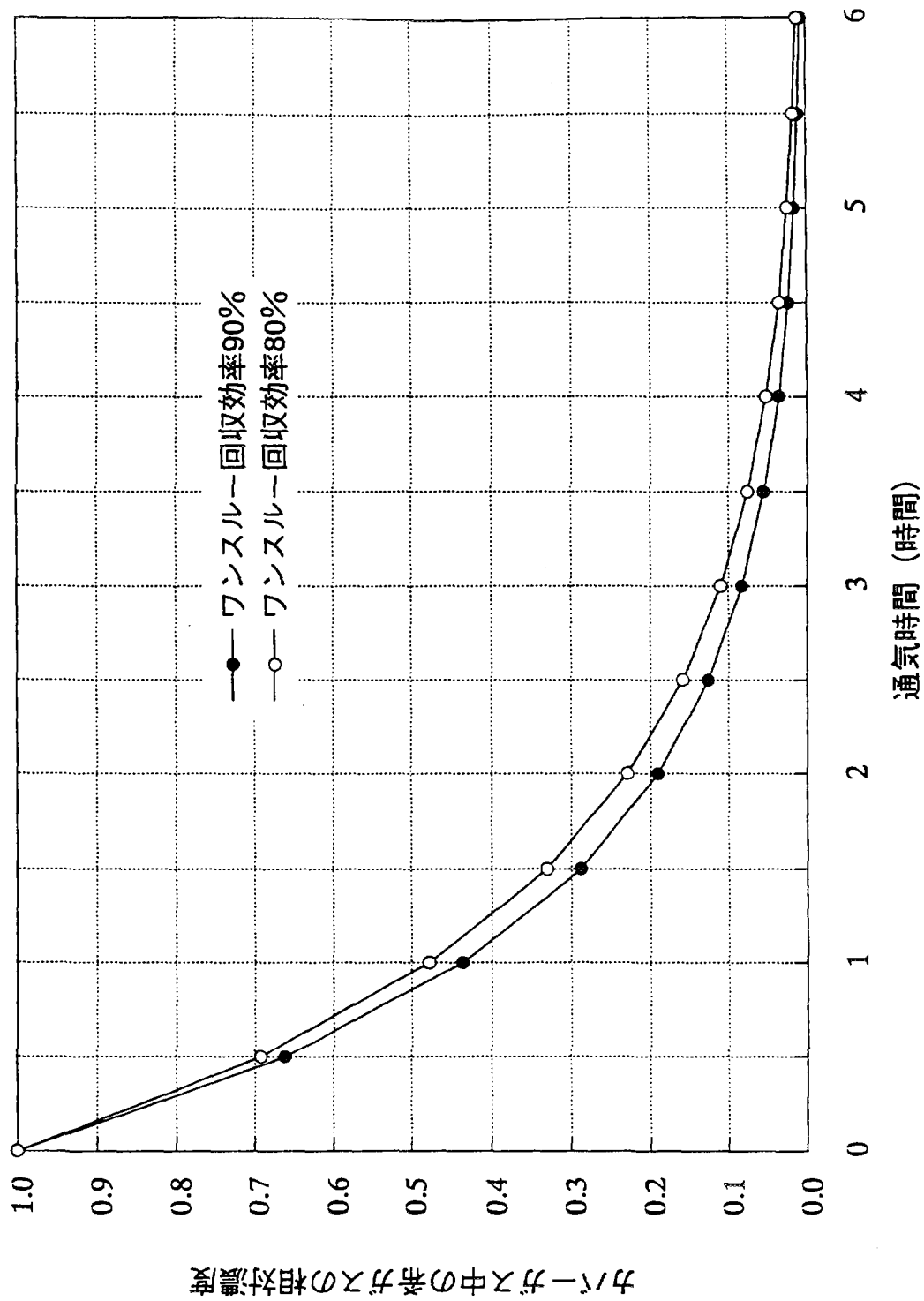


図6.1.1 CGCS運転によるカバ-ガス中の希ガスの相対濃度の計算値

## 6.2 希ガス回収フィルタ（A）の希ガス脱離能力の不足

希ガス回収フィルタ（A）の希ガス脱離能力の不足は、4.3.5(3)項で述べた性能確認試験（I）の結果、活性炭吸着係数の高いXeが不検出であったり、あるいは吸着係数の低いKrの方がXeより高回収効率であったことから推測されたが、燃料カラム部破損模擬試験（FFDL炉内試験（II））後の外部電源喪失による炉内カバーガス中の希ガスFPの増加事象もまたこれが原因であると考えられる。

### 6.2.1 FFDL炉内試験（II）後の電喪による炉内カバーガス中の希ガスFPの増加

図6.2.1に示すようにFFDL炉内試験（II）後の外部電源喪失により炉内カバーガス中の希ガスFPの増加事象が確認されたが、その原因については明確になっていなかった。そこで、性能確認試験結果を基に考えるとFFDL炉内試験（II）後のCGCSの運転においても希ガス回収フィルタ（A）の希ガス脱離運転（加熱）は150℃、約15分であり、希ガス回収フィルタ（A）からの希ガスFPの脱離は十分でなかったと推測される。したがって、FFDL炉内試験（II）後のCGCSの運転によって90%以上の高い回収効率で希ガスFPを希ガス回収フィルタ（A）で回収したもののその多くは希ガス回収フィルタ（A）に残留し、僅かな希ガスFPが希ガス貯蔵シリンダへ移送されたものと思われる。その結果、外部電源喪失時に希ガス回収フィルタ（A）出入口弁がフェールオープンになったことにより、希ガス回収フィルタ（A）から除々に脱離していた残留希ガスFPが封入していたヘリウムとともに放出され、さらに一般系電源復旧によるコンプレッサの起動により希ガス回収フィルタ（A）に吸着していた残留希ガスFPも多量のアルゴンガスで洗い流され、炉内カバーガス中の希ガスFPが増加したものと考えられる。なお、封入されていたヘリウムについても希ガス回収フィルタ（A）出入口弁がフェールオープンになった直後、1次系オンラインガスクロにより炉内カバーガスにおいて高濃度検出されている。

外部電源喪失時に増加した炉内カバーガス中の希ガスFP量は、 $^{133}\text{Xe}$ で $6.3 \times 10^9$  Bq、 $^{133\text{m}}\text{Xe}$ で $3.8 \times 10^7$  Bqであり、これは時間による減衰補正を行うといずれもCGCSの運転により回収した量の約6割に相当し、性能確認試験（II）の再サンプリング結果と良く一致する。

### 6.2.2 脱離能力不足の原因と対策

希ガス回収フィルタの吸着床に使用される活性炭は、熱伝達率が小さいため吸着床が大型化するほど冷却及び昇温（特に昇温）に時間を要する。タグガス濃縮装置の深冷吸着試験においては、大型濃縮筒（活性炭 $183\text{cm}^3$ ）を $-80^\circ\text{C}$ から $360^\circ\text{C}$ に昇温し

た際、濃縮筒出口温度は槽内温度が360℃に達してから1時間経過後に約230℃で飽和となり、平衡には達し得なかったという結果も得られている。このことより希ガス回収フィルタ（A）の活性炭（吸着床）はさらに大型（充填量で約10倍、吸着床直径で約1.5倍）であるため、さらに昇温しにくいと予想される。この結果、1回の希ガス回収フィルタ（A）の加熱（-170℃から150℃へ昇温、150℃で1時間保持）では、回収した希ガスが全量脱離しきらないものと考えられる。

上記の対策として考えられる以下の項目について検討を行った。

(1) 希ガス回収フィルタ（A）の加熱ヒータの増設

加熱ヒータの増設による加熱温度の上昇が最も有効であると考えられるが、CGCS設置場所であるFFD-CG法室には多数の機器・配管が混在しており、希ガス回収フィルタ（A）に加熱ヒータを増設するためには、多数の配管を撤去しなければならない。また、希ガス回収フィルタ（A）の最高使用温度が175℃であるため、それ自体も製作し直さなければならない。したがって、対策の有効性は高いが、その改造規模の大きさから加熱ヒータの増設は最終手段とする。

(2) 希ガス回収フィルタ（A）の加熱時間の延長

希ガス回収フィルタ（A）の加熱（脱離運転）時間を延長する場合、この間希ガス回収フィルタ（B）の冷却が必要であるため、延長分の液体窒素の増量が必要となる。しかし、前述したように現状の液体窒素供給ユニットでは設計条件である6時間の回収運転もできない状態であり、液体窒素の増量も限界があると思われる。CGCS運転時間の長期化の問題もあるため一度試験を行い、その有効性を確認した後、液体窒素の必要量等を含め総合的に判断する。

(3) 希ガス移送時のヘリウムパージ量の増加

希ガス回収フィルタ（A）の加熱（150℃で1時間保持）時、現状では希ガス回収フィルタ（A）の吸着床の洗浄効果をねらったものではなく、主に希ガス回収フィルタ（B）への希ガスの移送を目的に0.2l/min（線速度約0.2cm/sec）でヘリウムガスをパージしている。しかし、タグガス濃縮装置の深冷吸着の予備試験において、ヘリウムガスを流通しながら脱離運転を行った場合、ヘリウムの洗浄効果により加熱温度50℃でのKr、Xeの脱離が確認されており、この時のヘリウムガスの線速度は4cm/secであったと報告されている。

そこでヘリウムガスパージによる吸着床の洗浄効果を積極的にねらい、希ガス移送時のヘリウムパージ量を増加させる。線速度を4cm/secにするには約4l/min

のヘリウムガスでパージしなければならないが、現状のヘリウムガス供給ラインは最大1 l/minの流量しか流すことはできないため改造が必要である。しかし、(1)、(2)に比べ改造は容易であり、CGCS運転時間の長期化の問題等もなく、対策の有効性も高いと考えられる。

#### (4) 希ガス回収フィルタ (A) の希ガス脱離操作の再実施

設備の改造を行わず性能確認試験 (II) で実施した再サンプリングと同様に数日後、希ガス回収フィルタ (A) の希ガス脱離操作を再度実施し、放出された希ガスFPを2本目の希ガス貯蔵シリンダに回収する。貯蔵シリンダは6本あるため1回の運転に2本使用することに問題はないが、この方法を用いた場合、CGCS運転日と希ガス脱離操作の再実施時の間に外部電源喪失等の事象が発生するとFFDL炉内試験 (II) 時のように炉内カバーガス中に残留希ガスFPを放出するという問題が残る。

(1)~(4)を総合的に判断すると(3)の対策が最も良いと考えられるため、まず(3)の対策を実施することにする。次にこの(3)の対策による改善が見られない場合は順に(2)、(1)と実施していく。なお、対策による改善が見られるまでにCGCSを運転する必要が生じた場合には(4)の対策を一時的に運用するものとする。

### 6.3 希ガス回収フィルタ (B) のアルゴン分離温度

性能確認試験 (II) において希ガス回収フィルタ (B) のアルゴン分離温度を $-80^{\circ}\text{C}$ から $20^{\circ}\text{C}$ 下げ $-100^{\circ}\text{C}$ に変更して行った結果、Krの回収効率を80%以上にすることができた。そこでアルゴン分離温度を $-100^{\circ}\text{C}$ に変更することによる問題点の有無を調べ、今後の運転への導入を検討した。

希ガス回収フィルタ (B) のアルゴン分離温度を $-100^{\circ}\text{C}$ に下げ、アルゴンと共に脱離していたKrを抑えたため、希ガス回収フィルタ (B) へ残留するアルゴン量が増加することが懸念される。しかし、この変更に伴うアルゴン量の増加は図2.2.1より約100ccであり、希ガス貯蔵シリンダの容量(10l)に比べ十分小さい値である。FFDL炉内試験 (II) 後のCGCS運転時においても回収した希ガスは1本の貯蔵シリンダで十分余裕があり、100cc程度の回収ガスの増加は問題にならないと考えられる。また、仮に1本の貯蔵シリンダに封入しきれなかったとしても2本目の貯蔵シリンダに封入することも可能であり、今後の運転においても希ガス回収フィルタ (B) のアルゴン分離温度を $-100^{\circ}\text{C}$ にすることに問題はないと言える。



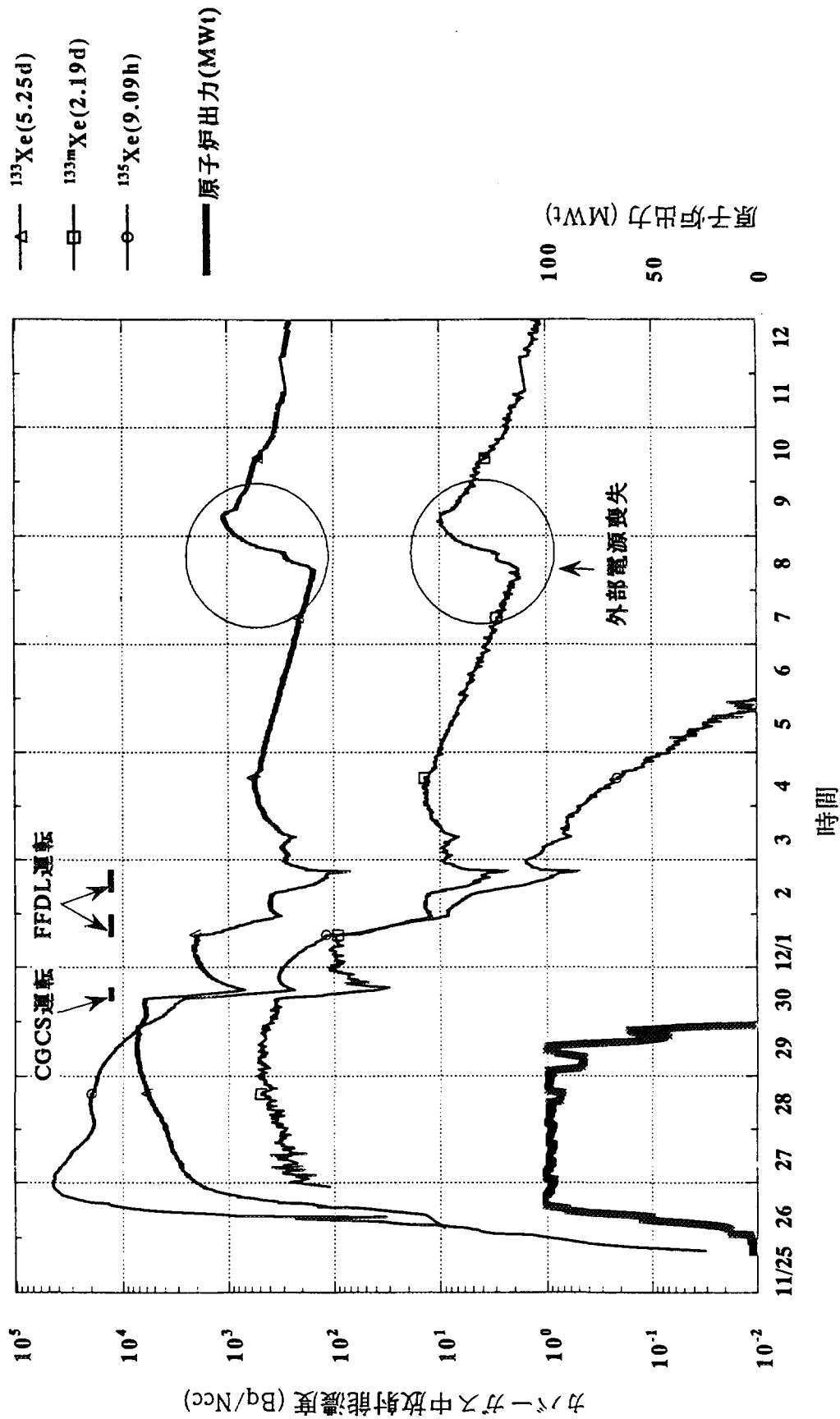


図 6.2.1 FFDL試験 (II) 後のカバークラス中の放射能濃度推移

## 7. 結 言

燃料カラム部破損模擬試験時における破損燃料から炉内カバーガス中に移行した希ガスFPを用いた性能試験、および原子炉停止中に実施した非放射性的希ガスを用いた性能確認試験（Ⅰ）、（Ⅱ）によりCGCSの性能を確認した。

得られた主な成果を以下に示す。

- (1) CGCSの希ガスのワンスルーの回収効率は、Xe、Krそれぞれについて約90%以上および約80%以上であり、現状の運転方法（6時間の希ガス回収）でカバーガス中の希ガスFPを90%以上回収できる。
- (2) 希ガス回収フィルタ（B）のアルゴン分離温度を-80℃から-100℃に変更することによってKrのワンスルー回収効率が約30%から80%以上に改善された。
- (3) 希ガス回収フィルタ（A）の希ガスの再脱離（加熱）操作を実施することによってXeワンスルー効率が90%以上に増加する。
- (4) 希ガス回収フィルタ（A）の希ガスの再脱離操作が必要である（希ガス脱離能力が不足している）ことに関しての今後の対策として、希ガス脱離時のHeガスパージ流量の増加が最も有効であると考えられる。
- (5) 現状の液体窒素供給ユニット（100ℓポンベ×6本）では、液体窒素量の制限から、上記のワンスルー回収効率を得るためには3時間程度の回収運転が限界であり、液体窒素量の増量が必要である。

以上の結果、CGCSの運転により燃料破損時に希ガスFPを速やかに高い効率で回収できることがわかった。

## 8. 謝 辞

本研究の実施にあたり、カバ-ガス浄化設備の運転及び改造において検査開発(株)の有馬聡宏氏、柘井智彦氏及び佐井川拓也氏に助勢を頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

## 9. 参考文献

- (1) 大戸 敏弘他、「常陽」における燃料破損検出技術の開発と実証試験：動燃技報、No. 68 (1988)
- (2) 磯崎 和則他、高速実験炉「常陽」のカバーガス浄化系の開発：日本原子力学会1993年秋の大会要旨集、A 36 (1993)
- (3) 小林 孝良他、「もんじゅ」用タグガス濃縮捕集法の開発と「常陽」における実証試験：動燃技報、No. 56 (1985)
- (4) 小林 孝良他、高速増殖炉の燃料破損位置検出系の開発—タグガス濃縮捕集試験—：日本原子力学会1985年春の年会要旨集、C 46 (1985)
- (5) 磯崎 和則他、「常陽」炉内カバーガス浄化系の開発：動燃技報、No. 93 (1995)
- (6) 大戸 敏弘他、「常陽」FFDL開発試験(その2)—ナトリウム SHIPPING 法による破損燃料位置検出試験結果—：日本原子力学会1986年春の年会要旨集、F 42 (1986)
- (7) 鈴木 惣十他、「常陽」FFDL開発試験(その3)—オンライン $\gamma$ 線モニタによるFP核種挙動測定結果—：日本原子力学会1986年春の年会要旨集、F 43 (1986)

## 付 録

1. 貯蔵シリンダ内希ガス放出マニュアル
2. CGCS性能確認試験マニュアル

## 付録1. 貯蔵シリンダ内希ガス放出マニュアル

1. 貯蔵シリンダ内希ガス放出

( A タンク貯留として記載している。 B 又は C に貯留する場合は、 ( ) 内の通り読み替える。 )

順序	操 作	操 作 場 所 ( 盤 No. )	確 認 事 項	備 考
1.	バルブ状態を確認する。			
	(1) 燃取系廃ガスヘッダ止弁 V24-201 の「開」を確認する。	R-601 (551)		
	(2) 燃取系廃ガス隔離弁 (内側) V24-215 の「開」を確認する。	R-601 (551)		
	(3) 燃取系廃ガス隔離弁 (外側) V24-216 の「開」を確認する。	R-601 (551)		
	(4) FFD-CG 法廃ガス止弁 V46-13 の「閉」を確認する。	R-601 (564)		
	(5) ヘッダ入口弁 V46-214 の「閉」を確認する。	R-601 (566)		
	(6) 燃取系廃ガスヘッダ (TK24-1) 入口弁 V24-202 の「閉」を確認する。	R-410		
2.	廃ガスタンクの選択を確認する。	A-104 (007)	選択ランプ R ランプ点灯	通常 A / B 選択
3.	常用廃ガス圧縮機 A ( B ) 選択を確認する。	A-104 (007)	非常用圧縮機は「自動」であること	
4.	手動で廃ガスタンク貯留モードにする。			
	(1) 廃ガスタンク入口弁 V61-60 を「開」とする。	A-104 (007)		
	(2) 廃ガスタンクバイパス弁 V61-173 を「閉」とする。	A-104 (007)		
	(3) 廃ガスフィルタ入口弁 V61-70 (キー付) を「閉」とする。	A-104 (007)		キー No. E-16
	(4) 廃ガスタンク A ( B, C ) 入口弁 V61-62A ( B, C ) を「開」とする。	A-104 (007)		
5.	貯蔵シリンダ (TK46-101) 内の希ガス放出開始操作			貯蔵シリンダ (TK46-101) として記載してある。
	(1) 燃取系廃ガスヘッダ (TK24-1) 入口弁 V24-202 を「開」とする。	R-410		
	(2) 希ガス貯蔵シリンダ (TK46-101) 入口弁 V46-215 を「開」とする。	R-601 (566)		

順序	操 作	操作場所 (盤 No.)	確 認 事 項	備 考
	(3) 真空引き用弁V46-234を「開」とする。	R-601 (566)		
	(4) 燃取系真空ポンプVP24-1A又は1Bを起動する。	R-601 (551)		希ガス放出開始
6.	廃ガスタンクA (B, C) 圧力監視	中 制 (415) A-104 (007)	圧力0~9 kg/cm <sup>2</sup>	表1.1参照
7.	廃ガスモニタの指示値の監視	中 制 (412)	GM-11	表1.1参照
8.	希ガス放出停止操作  貯蔵シリンダ入口ヘッダー圧力が-1.0kg/cm <sup>2</sup> になったら、希ガスの放出を停止する。	R-601 (566)		
	(1) 真空引き用弁V46-234を「閉」とする。	R-601 (566)		
	(2) 希ガス貯蔵シリンダ (TK46-101) 入口弁V46-215を「閉」とする。	R-601 (566)		
	(3) 燃取系真空ポンプVP24-1A又は1Bを停止する。	R-601 (551)		
	(4) 燃取系廃ガスヘッダ (TK24-1) 入口弁V24-202を「閉」とする。	R-410		
9.	廃ガスタンク貯留モードを復旧する。			
	(1) 廃ガスタンク入口弁V61-60を「閉」とする。	A-104 (007)		
	(2) 廃ガスタンクバイパス弁V61-173を「開」とする。	A-104 (007)		
	(3) 廃ガスフィルタ入口弁V61-70 (キー付)を「開」とする。	A-104 (007)		
	(4) 廃ガスタンクA (B, C) 入口弁V61-62A (B, C)を「閉」とする。	A-104 (007)		



2 廃ガスタンク貯留ガス放出

( Aタンク放出として記載している。B又はCを )  
放出の場合は、( )内の通り読み替える。

順序	操 作	操作場所 (盤 No.)	確 認 事 項	備 考
	<p>廃ガスタンク A ( B, C ) 貯留ガス放出操作を行う。(所要時間約3時間)</p> <p>1. 廃ガスタンク A ( B, C ) の放出に関するサンプリングを放管に依頼する。</p> <p>2. 貯留ガス放出開始操作</p> <p>放管によるサンプリング結果で放出許可が出たら下記の操作を行う。</p> <p>(1) 放出記録に放出前のデータを記入する。</p> <p>(2) 廃ガスタンクバイパス弁 V61-318 の「全閉」を確認する。</p> <p>(3) ポストフィルタ入口バイパス弁 V61-308 の「全閉」を確認する。</p> <p>(4) 廃ガスタンク出口弁 V61-317 を「調整開」とする。</p> <p>(5) 廃ガスタンク A ( B, C ) 出口弁 V61-65A ( B, C ) を「開」とする。</p> <p>3. 廃ガスタンク A ( B, C ) の圧力監視</p> <p>4. 廃ガスモニタの指示値の監視</p> <p>5. 貯留ガス放出停止操作</p> <p>廃ガスタンク A ( B, C ) の圧力が 0 kg/cm<sup>2</sup> になったら放出操作を終了する。</p> <p>(1) 廃ガスタンク A ( B, C ) 出口弁 V61-65A ( B, C ) を「閉」とする。</p> <p>(2) 廃ガスタンク出口弁 V61-317 を「全閉」とする。</p> <p>6. 放出記録に放出後のデータを記入する。</p>		<p>「放出依頼票/記録」用紙に従って依頼する。</p> <p>放出濃度により開度を設定し、放出時間を調整する。(1/8 回転開で約45m<sup>3</sup>/hr)</p> <p>GM-1, GM-2 GM-12, GM-13</p>	<p>放管より指示があった時に行う。</p> <p>貯留ガス放出開始</p> <p>表1.1 参照</p> <p>表1.1 参照</p>

表1.1 CGCS貯蔵シリンドラ内希ガス放出記録

時刻	圧力		廃ガスモニタ			スタックガスモニタ		備考
	シリンドラ入口 圧力 PX46-104 (hg/cm <sup>2</sup> )	廃ガス タンク(A) 圧力 PRA61-1 (kg/cm <sup>2</sup> )	廃ガスC/P 入口 GM-11 $\gamma$ (cps)	廃ガス放出 ライン GM-12 $\gamma$ (cps)	廃ガス放出 ライン GM-13 $\gamma$ (cps)	スタック ガスモニタ GM-1 $\beta \gamma$ (cps)	スタック ガスモニタ GM-2 $\gamma$ (cps)	
								ガスモニタの計数率については、放射能監視盤CRT(中制:#412)の1分値オンラインファイル及びブレンドグラフをコピー

## 付録2. CGCS性能確認試験マニュアル

## 2.1 性能確認試験前準備

No	操作内容	操作場所	確認事項等
1	<p data-bbox="256 318 730 373">液体窒素ポンベのラック内への設置</p> <p data-bbox="240 395 943 449">(1) 液体窒素ポンベの供給ラインをポンベラック内液体窒素供給ラインのフレキシブルホースに接続する。</p> <p data-bbox="240 482 943 537">(2) 液体窒素ポンベの均圧ラインをポンベラック内均圧ラインに接続する。</p> <p data-bbox="240 570 903 602">(3) 液体窒素ポンベをチェーンでラックに固定する。</p>	R-501 R-501 R-501	
2	<p data-bbox="256 657 616 711">窒素ガス供給ラインの接続</p> <p data-bbox="240 722 943 788">(1) 窒素ガス供給ヘッダー (TK74-2) 元弁V46-301 の閉を確認する。</p> <p data-bbox="240 810 943 908">(2) 窒素ガス供給ヘッダー (TK74-2) 元弁V46-301 のラインとポンベラック内TK46-301のラインをフレキシブルホースで接続する。</p> <p data-bbox="240 930 943 1028">(3) ポンベラック内の攪拌用窒素ガスラインとR-501 床面に設置されたCGCS攪拌用窒素ガス配管とをフレキシブルホースで接続する。</p>	R-501 R-501 R-501	
3	<p data-bbox="256 1072 536 1126">真空排気装置の設置</p> <p data-bbox="240 1137 871 1170">(1) 真空排気装置をポンベラック付近に設置する。</p> <p data-bbox="240 1203 943 1323">(2) 真空排気装置の空気作動弁用のゴムホースラインを窒素ガス供給ヘッダー (TK74-2) 元弁V46-301 のラインとポンベラック内TK46-301のラインを接続しているフレキシブルホースの間に専用コネクタで接続する。</p> <p data-bbox="240 1356 943 1476">(3) 真空排気装置の真空引きラインとR-501 床面に設置された液体窒素配管アニュラス部真空引きフレキシブルホースとをNW25用Oリング及びクランプで固定する。</p> <p data-bbox="240 1509 871 1541">(4) 真空排気装置の電源をコンセントに接続する。</p> <p data-bbox="240 1574 943 1629">(5) 真空排気装置のマニュアルに従って真空引きを開始する。</p>	R-501 R-501 R-501 R-501 R-501	
4	<p data-bbox="256 1672 616 1727">液体窒素供給ラインの接続</p> <p data-bbox="240 1749 943 1847">(1) ポンベラック内の液体窒素出口とR-501 床面に設置されたCGCS液体窒素配管とをフレキシブルホースで接続する。</p>	R-501	
5	<p data-bbox="256 1884 504 1939">Heポンベの接続</p> <p data-bbox="240 1961 943 2015">(1) Heポンベ及びKr, Xe標準ガスポンベをHe供給ラインに接続する。</p>	R-501	

No	操作内容	操作場所	確認事項等
6	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">回収フィルタのベーキング</div> (1) CGCSヒータ用NFB（格内作業用分電盤内）を入とする (2) CGCSヒータ制御用ラックを制御盤に接続する。 (3) 希ガス回収フィルタA、B温度を150℃まで上昇する。 (4) 希ガス回収フィルタA、B温度150℃一定で1時間以上ベーキングする。	R-501  R-601  R-601  R-601	
7	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">システムの真空引き</div> (1) 希ガス回収フィルタB出入口弁V46-209, 212を開とする。 (2) 希ガス回収フィルタBバイパス弁V46-213を開とする。 (3) ヘッダー入口弁V46-214を開とする。 (4) 格納容器内廃ガスコレクションヘッダTK24-2のFFD-CG法元弁V24-202を開とする。 (5) 格納容器内廃ガスコレクションヘッダTK24-1のCRDM Arガス系統弁V46-181を閉とする。 (6) 真空引き用弁V46-234を開とする。 (7) 燃取系真空ポンプVP24-1A 又は1Bを起動し、系統内の真空引きを行う。 (8) 系統内圧力が $-0.95\text{kg/cm}^2$ 以下になったら、真空引き用弁V46-234を閉する。 (9) 燃取系真空ポンプVP24-1A 又は1Bを停止する。 (10) Arガス供給弁V46-250を開とする。 (11) 系統内の圧力が $0.5\text{kg/cm}^2$ になったら、Arガス供給弁V46-250を閉とする。	R-601 (#566)  R-601 (#566)  R-601 (#566)  R-410  RPU  R-601 (#566)  R-601  R-601 (#566)  R-601  R-601 (#566)  R-601  R-601 (#566)	清浄 Ar ガス封入

2.2 性能確認試験

No	操作内容	操作場所	確認事項等
1	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">液体窒素供給の設定</div> <p>(1) TK46-301の各出口弁V46-302、V46-303、V46-304が閉であることを確認する。</p> <p>(2) 窒素ガス供給ヘッダー（TK74-2）元弁V46-301を開とする。</p> <p>(3) 液体窒素ポンベ均圧ラインのTK46-301元弁V46-304を開とする。</p> <p>(4) 液体窒素ポンベ均圧ラインのラック内各ポンベ元弁を開とする。</p> <p>(5) 液体窒素ポンベ全ての均圧弁を開とする。</p> <p>(6) ラック内均圧ラインの減圧弁V46-307の設定値を5 kg/cm<sup>2</sup>にセットする。</p> <p>(7) 希ガス回収フィルタ液体窒素供給弁V46-243, 246、液体窒素流調弁V46-244, 247を自動とする。</p> <p>(8) 攪拌用N<sub>2</sub>ガス流調弁V46-290, 291を自動とする。</p> <p>(9) 液体窒素ポンベ1本の元弁を開とする。</p> <p>(10) 攪拌用窒素ガス供給元弁V46-302、V46-303を開とする。</p> <p>(11) 攪拌用窒素ガス流調弁V46-290を開とし、攪拌用窒素ガス供給ラインの減圧弁V46-305を3 kg/cm<sup>2</sup>にセットする。</p> <p>(12) 攪拌用窒素ガス流調弁V46-291を開とし、攪拌用窒素ガス供給ラインの減圧弁V46-306を3 kg/cm<sup>2</sup>にセットする。</p> <p>(13) 攪拌用窒素ガス流調弁V46-290, 291を自動にする。</p>	<p>R-501</p> <p>R-501</p> <p>R-501</p> <p>R-501</p> <p>R-501</p> <p>R-501</p> <p>R-601 (#566)</p> <p>R-601 (#566)</p> <p>R-501</p> <p>R-501</p> <p>R-601 (#566) R-501</p> <p>R-601 (#566) R-501</p> <p>R-601 (#566)</p>	<p>閉でない場合は閉とする。</p>
2	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">バルブの初期状態の設定</div> <p>(1) バルブの初期状態を確認する。 (緊急停止PBのレッドランプが点灯している時は、緊急停止PBを押しリセットし、初期バルブ状態を確認する。)</p> <p>(2) Heガス希ガス回収フィルタA、B供給手動弁V46-251, 252を開とする。</p> <p>(3) 希ガス回収フィルタA出入口弁V46-201, 206の閉を確認する。</p>	<p>R-601 (#566)</p> <p>R-407</p> <p>R-601 (#566)</p>	<p>表2.1 参照</p>

No	操作内容	操作場所	確認事項等
	(4) 希ガス回収フィルタ B 出入口弁V46-209, 212を自動を確認する。 (5) 希ガス回収フィルタ B バイパス弁V46-213を開とする。 (6) ヘッダー入口弁V46-214を開とする。	R-601 (#566) R-601 (#566) R-601 (#566)	
3	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">回収フィルタ A 温度降下開始</div> (1) F P E C - 1 0 をスタートさせる。 (2) 希ガス回収フィルタ A 液体窒素流調弁V46-244 の閉を確認する。 (3) 希ガス回収フィルタ A 液体窒素供給弁V46-243 を開とする。 (4) 希ガス回収フィルタ A 温度降下開始。 (5) 希ガス回収フィルタ A 温度が-170℃になるまで温度降下を行う。	R-601 R-601 (#566) R-601 (#566) R-601 R-601	流量調整弁V46-244 は温度による開度コントロールする。
4	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">回収フィルタ A -170℃一定制御、標準ガス通気</div> (1) 希ガス回収フィルタ温度が-170℃になったら、ラック内均圧ラインの減圧弁V46-307 の設定値を 3 kg/cm <sup>2</sup> にセットする。 (2) 温度制御中に液体窒素ポンベが空になったら、次の液体窒素ポンベの供給弁を開とし、空の液体窒素ポンベの供給弁を閉とする。 (3) 真空引き用弁V46-234を開とする。 (4) A r ガス供給弁V46-250を開とする。 (5) H e ポンベと標準ガスポンベの切替三方弁を標準ガスポンベ側が開となるようにする。 (6) H e ポンベラインのK r, X e 標準ガスポンベの止弁を開とする。 (7) H e ガスポンベ元弁V46-237を開とする。 (8) H e ガス希ガス回収フィルタ A 供給止弁V46-239を開とする。	R-501 R-501 R-601 (#566) R-601 (#566) R-501 R-501 R-501 R-601 (#566)	-170℃温度制御にも拘わらず温度が上昇してくる現象が発生する。

No	操作内容	操作場所	確認事項等
	<p>(8) Heガス希ガス回収フィルタA供給流調弁V46-238で標準ガス流量を100cc/minに調整する。</p> <p>(9) 格納容器内廃ガスコレクションヘッダTK24-1のCRDM Arガス系統弁V46-181を開とする。</p> <p>(10) 希ガス回収フィルタ-170℃一定制御で2時間運転を行う。</p> <p>(11) Heガス希ガス回収フィルタA供給流調弁V46-238を閉とする。</p> <p>(12) Heガス希ガス回収フィルタA供給止弁V46-239を閉とする。</p> <p>(13) HeボンベラインのKr, Xe標準ガスポンベの止弁を閉とする。</p> <p>(14) 希ガス回収フィルタA液体窒素供給弁V46-243を閉とする。</p> <p>(15) 希ガス回収フィルタA液体窒素流調弁V46-244を開とする。</p> <p>(16) Arガス供給弁V46-250を閉とする。</p> <p>(17) 真空引き用弁V46-234を閉とする。</p> <p>(18) 希ガス回収フィルタBバイパス弁V46-213を閉とする。</p>	<p>R-501</p> <p>RPU</p> <p>R-601</p> <p>R-501</p> <p>R-601 (#566)</p> <p>R-501</p> <p>R-601 (#566)</p> <p>R-601 (#566)</p> <p>R-601 (#566)</p> <p>R-601 (#566)</p> <p>R-601 (#566)</p> <p>R-601 (#566)</p>	<p>標準ガス流入開始</p> <p>標準ガス流入停止</p> <p>希ガス回収フィルタA冷却停止</p>
5	<p style="border: 1px solid black; padding: 2px;">希ガス回収フィルタBの温度降下、-170℃一定制御</p> <p>(1) ラック内均圧ラインの減圧弁V46-307の設定値を5kg/cm<sup>2</sup>にセットする。</p> <p>(2) 希ガス回収フィルタB入口弁V46-209を開とする。</p> <p>(3) 希ガス回収フィルタB出口弁V46-212を開とする。</p> <p>(4) 希ガス回収フィルタB液体窒素流量調整弁V46-247の閉を確認する。</p> <p>(5) 希ガス回収フィルタB液体窒素供給弁V46-246を全開とする。</p> <p>(6) 希ガス回収フィルタB温度降下開始</p> <p>(7) 希ガス回収フィルタ温度が-170℃になったら、ラック内均圧ラインの減圧弁V46-307の設定値を3kg/cm<sup>2</sup>にセットする。</p>	<p>R-501</p> <p>R-601 (#566)</p> <p>R-601 (#566)</p> <p>R-601 (#566)</p> <p>R-601</p> <p>R-501</p>	<p>温度による開度コントロールのため、まだ全閉の状態</p>



No	操作内容	操作場所	確認事項等
	(8) 希ガス回収フィルタ B-170℃で一定制御。 (希ガス回収フィルタ Aが150℃になるまで制御)	R-601	
6	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">希ガス回収フィルタ A 温度上昇開始 (150℃まで)</div> (1) 希ガス回収フィルタ A 150℃まで上昇 (2) サンプラーラインに仮設流量計及び仮設排気ラインを接続する。 (3) サンプラーラインの仮設止弁を開とし、ガス流量 10 ℓ/minになるように制限する。 (4) 希ガス回収フィルタ A 150℃になったら、He ガス希ガス回収フィルタ A 供給止弁 V46-239 を開とする。 (5) He ボンベと標準ガスボンベの切替三方弁を He ガスボンベ側が開となるようにする。 (6) He ガスボンベの止弁を開とする。 (7) He ガス希ガス回収フィルタ A 供給流調弁 V46-238 で He ガス流量を 200cc/min に調整する。 (8) 1 時間フラッシングを行う。 (9) He ガス希ガス回収フィルタ A 供給流調弁 V46-238 を閉とする。 (10) He ガス希ガス回収フィルタ A 供給止弁 V46-239 を閉とする。 (11) 希ガス回収フィルタ B 入口弁 V46-209 を閉とする。 (12) サンプラーラインの仮設止弁を閉とする。	R-601 R-407 R-407 R-601 (#566) R-501 R-501 R-501 R-501 R-601 (#566) R-601 (#566) R-407	He フラッシング開始
7	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">希ガス回収フィルタ B 温度上昇開始 (-100℃まで)</div> (1) 希ガス回収フィルタ B -100℃まで上昇 (2) He ガス希ガス回収フィルタ B 供給手動弁 V46-252 を開とする。 (3) He ガス希ガス回収フィルタ B 供給止弁 V46-241 を開とする。 (4) He ガス希ガス回収フィルタ B 供給流調弁 V46-240 で He ガス流量 500cc/min に調整する。 (5) 30分フラッシングを行う。 (6) He ガス希ガス回収フィルタ B 供給止弁 V46-241 を閉とする。	R-601 R-501 R-601 (#566) R-501 R-601 (#566)	ヒータ-170℃で ON、 ヒータ-130℃で OFF  He フラッシング開始

No	操作内容	操作場所	確認事項等
	(7) 真空引き用弁V46-234 を全閉とする。 (8) サンプラーラインに仮設深冷吸着装置を接続する。 (9) 仮設深冷吸着装置を液体窒素で冷却する。	R-601 (#566) R-407 R-407	
8	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">希ガス回収フィルタB温度上昇開始 (150°Cまで)</div> (1) 希ガス回収フィルタB液体窒素供給弁V46-246 を閉とする。 (2) 希ガス回収フィルタB液体窒素供給流調弁V46-247 が開となる。 (3) 液体窒素ポンベ全ての供給弁を閉とする。 (4) 希ガス回収フィルタA液体窒素供給弁V46-243、液体窒素流調弁V46-244 を開とする。 (5) 希ガス回収フィルタA攪拌用窒素ガス供給元弁V46-302 を閉とする。 (6) 希ガス回収フィルタA攪拌用窒素ガス流調弁V46-290 を開とする。 (7) サンプラーラインの仮設止弁を開とする。 (8) 希ガス回収フィルタB 150°Cまで上昇 (9) Heガス希ガス回収フィルタB供給流調弁V46-240でHeガス流量200cc/minに調整する。 (10) 10分フラッシングを行う。 (11) 仮設深冷吸着装置に回収したKr、Xeが吸着される。	R-601 (#566) R-601 (#566) R-501 R-601 (#566) R-501 R-601 (#566) R-407 R-601 R-501 R-407	Heフラッシング開始
9	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">CGCS運転終了</div> (1) 希ガス回収フィルタB LN <sub>2</sub> 供給弁V46-246、液体窒素流調弁V46-247 を開とする。 (2) 希ガス回収フィルタB攪拌用窒素ガス供給元弁V46-303 を閉とする。 (3) 希ガス回収フィルタB攪拌用窒素ガス流調弁V46-291 を開とする。 (4) 格納容器内廃ガスコレクションヘッドTK24-2のFFD-CG法元弁V24-202 を閉とする。 (5) Heガス希ガス回収フィルタA供給止弁V46-239 を閉とする。 Heガス希ガス回収フィルタA供給流調弁V46-238を	R-601 (#566) R-501 R-601 (#566) R-410 R-601 (#566)	

No	操作内容	操作場所	確認事項等
(6)	Heガス希ガス回収フィルタA供給手動弁V46-251, Heガス希ガス回収フィルタA供給流調弁V46-238を閉とする。	R-501	
(7)	Heガス希ガス回収フィルタB供給手動弁V46-252, Heガス希ガス回収フィルタB供給流調弁V46-240を閉とする。	R-501	
(8)	真空引き用弁V46-234を開とする。	R-601 (#566)	
(9)	燃取系真空ポンプVP24-1A 又は1Bを起動し、系統内の真空引きを行う。	R-601	真空引き
(10)	系統内圧力が $-0.95\text{kg/cm}^2$ 以下になったら、真空引き用弁V46-234を閉する。	R-601 (#566)	
(11)	燃取系真空ポンプVP24-1A 又は1Bを停止する。	R-601	
(12)	Arガス供給弁V46-250を開とする。	R-601 (#566)	Ar置換
(13)	系統内の圧力が $0.5\text{kg/cm}^2$ になったら、Arガス供給弁V46-250を閉とする。	R-601 (#566)	
(14)	FPEC-10を停止する。	R-601	
(15)	CGCSのバルブ状態が初期状態にあることを確認する。	R-601 (#566)	表2.1参照

## 3.3 性能確認試験の後片付け

No	操作内容	操作場所	確認事項等
1	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">液体窒素及び窒素ガス供給ラインの撤去</div> (1) 攪拌窒素ガス供給元弁V46-302、V46-303の閉を確認する。 (2) 液体窒素ポンベ6本の供給弁を閉とする。 (3) 液体窒素ポンベ6本の均圧弁を閉とする。 (4) 液体窒素ポンベ均圧ラインラック内各ポンベ元弁を閉とする。 (5) 液体窒素ポンベ均圧ラインTK46-301元弁V46-304を閉とする。 (6) 窒素ガス供給ヘッダー(TK74-2)元弁V46-301を閉とする。 (7) ポンベラック内のV46-242出口とR-501床面に設置されたCGCS液体窒素配管とのフレキシブルホースを取り外す。 (8) ポンベラック内の攪拌用N <sub>2</sub> ガスラインとR-501床面に設置されたCGCS攪拌用N <sub>2</sub> ガス配管とのフレキシブルホースを取り外す。 (9) 窒素ガス供給ヘッダー(TK74-2)元弁V46-301のラインとポンベラック内TK46-301のラインのフレキシブルホースを取り外す。 (10) 液体窒素ポンベのチェーンを取り外す。 (11) 液体窒素ポンベの均圧ラインをポンベラック内均圧ラインから切り離す。 (12) 液体窒素ポンベの供給ラインをポンベラック内液体窒素供給ラインから切り離す。 (13) ポンベラックを所定の位置に移動する。	R-501 R-501 R-501 R-501 R-501 R-501 R-501 R-501 R-501 R-501 R-501 R-501 R-501	
2	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Heポンベの撤去</div> (1) Heポンベ及びKr, Xe標準ガスポンベをHe供給ラインから切り離す。	R-501	
3	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">真空排気装置の撤去</div> (1) 真空排気装置のマニュアルに従って真空引きを停止する。	R-501	

No	操作内容	操作場所	確認事項等
	(2) 真空排気装置の空気作動弁用のゴムホースラインを窒素ガス供給ヘッダー (TK74-2) 元弁V46-301 のラインとポンベラック内TK46-301のラインを接続しているフレキシブルホースから切り離す。	R-501	
	(3) 真空排気装置の真空引きラインとR-501 床面に設置された液体窒素配管アニュラス部真空引きフレキシブルホースとを切り離す。	R-501	
	(4) 真空排気装置の電源をコンセントから抜く。	R-501	
	(5) 真空排気装置を片付ける。	R-501	

表 2.1 C G C S の弁態表

No.	弁番号	弁名称	作動	インターロック			
				初期状態	緊停	圧力	温度低
1	V46-201	希ガス回収フィルタ A 入口弁	FO	×	○	○	○
2	V46-206	希ガス回収フィルタ A 出口弁	FO	×	○	○	○
3	V46-207	希ガス回収フィルタ A バイパス弁	FO	○	○	○	○
4	V46-209	希ガス回収フィルタ B 入口弁	FO	○	○	○	○
5	V46-212	希ガス回収フィルタ B 出口弁	FO	○	○	○	○
6	V46-213	希ガス回収フィルタ B バイパス弁	FO	○	○	○	○
7	V46-214	ヘッダー入口弁	FC	○	×	×	×
8	V46-215	TK46-101 入口弁	FC	×	×	×	×
9	V46-217	TK46-102 入口弁	FC	×	×	×	×
10	V46-219	TK46-103 入口弁	FC	×	×	×	×
11	V46-221	TK46-104 入口弁	FC	×	×	×	×
12	V46-223	TK46-105 入口弁	FC	×	×	×	×
13	V46-225	TK46-106 入口弁	FC	×	×	×	×
14	V46-234	真空引き用弁	FC	×	×	×	×
15	V46-239	He ガス希ガス回収フィルタ A 供給止弁	FC	×	×	×	×
16	V46-241	He ガス希ガス回収フィルタ B 供給止弁	FC	×	×	×	×
17	V46-243	希ガス回収フィルタ A L N <sub>2</sub> 供給弁	FC	×	×	×	×
18	V46-244	希ガス回収フィルタ A L N <sub>2</sub> 供給流調弁	FO	○	○	○	○
19	V46-246	希ガス回収フィルタ B L N <sub>2</sub> 供給弁	FC	×	×	×	×
20	V46-247	希ガス回収フィルタ B L N <sub>2</sub> 供給流調弁	FO	○	○	○	○
21	V46-250	Ar ガス供給弁	FC	×	×	×	×
22	V46-208	希ガス回収フィルタ A バイパス手動弁	手動	○	—	—	—

電源喪失後の復旧では、緊急停止状態となっている。緊急リセット後は、電源喪失前の状態に復旧する。