

JAERI-Tech
2004-026



JP0450289



スweepガスライン閉止栓の開発

2004年3月

菊地 泰二・山田 弘一・斎藤 隆・中道 勝
土谷 邦彦・河村 弘

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の間合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 2004

編集兼発行 日本原子力研究所

スweepガスライン閉止栓の開発

日本原子力研究所東海研究所工務・技術室

菊地 泰二・山田 弘一⁺¹・斎藤 隆⁺¹

中道 勝⁺¹・土谷 邦彦⁺¹・河村 弘⁺²

(2004年 1月27日受理)

トリチウム増殖材料の中性子照射試験に用いた照射試験体を解体する際には、トリチウムが漏洩することなく、スweepガスラインを確実に閉止する必要がある。しかしながら、中性子照射の影響があること、装荷スペースが非常に小さいこと、高い密封性能が必要なことに加えて、簡便な操作方法にする必要があること等の諸要求条件から、既存のバルブやプラグ等を用いることができない。このため、低融点金属をヒータで溶融し、配管を閉塞できる小型の閉止栓を開発した。本報告書は、閉止弁の構造や材料の選定に加えて、実際に使用する際の操作要領等についてまとめたものである。

東海研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

+1 大洗研究所材料試験炉部

+2 那珂研究所核融合工学部

Development of Sealing Plug for Sweep Gas Line

Taiji KIKUCHI, Hirokazu YAMADA⁺¹, Takashi SAITOH⁺¹, Masaru NAKAMICHI⁺¹,
Kunihiko TSUCHIYA⁺¹ and Hiroshi KAWAMURA⁺²

Division of Engineering Services
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 27, 2004)

On the irradiation capsule for neutron irradiation test of the tritium breeder, the sealing plug is necessary to prevent a leak of tritium gas when the tritium breeder is picked up from the irradiation capsule after irradiation test. However, the general valve and plug cannot apply to sealing of the sweep gas line because of the following factors, the neutron irradiation effect, limited space in the irradiation capsule, high sealing efficiency, simple method and operation for control. Therefore, the sealing plug for sweep gas line has to be developed.

This paper reports the development of the sealing plug for sweep gas line and the operating procedure of the sealing plug in the irradiation capsule.

Keywords: Irradiation Test, Irradiation Capsule, Sweep Gas, Tritium Breeder

+1 Department of JMTR, Oarai Research Establishment

+2 Department of Fusion Engineering Research, Naka Fusion Research Establishment

目 次

1. はじめに	.....	1
2. 閉止栓の設計	.....	2
2. 1 閉止栓の設計仕様	.....	2
2. 2 閉止栓の構造	.....	3
2. 3 閉止栓の確認試験	.....	4
3. 操作要領の検討	.....	5
3. 1 検討項目	.....	5
3. 2 実験方法	.....	5
3. 3 実験結果	.....	5
4. まとめ	.....	7
謝辞	.....	7
参考文献	.....	7
付録1 閉止弁操作要領試験内容及び結果一覧表	.....	22
付録2 閉止弁の操作要領	.....	25

Contents

1 .	Introduction	.....	1
2 .	Design of Sealing Plug	.....	2
2 . 1	Requirements on Sealing Plug	.....	2
2 . 2	Structure of Sealing Plug	.....	3
2 . 3	Examination for Sealing Plug	.....	4
3 .	Operation Procedure Test	.....	5
3 . 1	Selection of Sealing Plug Structure	.....	5
3 . 2	Experimental	.....	5
3 . 3	Result	.....	5
4 .	Conclusion	.....	7
	Acknowledgement	.....	7
	References	.....	7
Appendix 1	Results of Operating Procedure Test	.....	22
Appendix 2	Operating Procedure of Sealing Plug	.....	25

1. はじめに

核融合炉ブランケットにおけるトリチウム増殖材の照射試験^{[1-4])}は、トリチウム増殖材候補であるリチウムチタネート (Li_2TiO_3)^[5]微小球を照射試験体に装荷し、中性子照射された Li_2TiO_3 からのトリチウム生成回収特性を把握するために行うものである。本試験設備の全体構成を Fig.1-1 に示す。本試験は、照射試験体に接続されたスイープガス装置により、 Li_2TiO_3 からのトリチウム生成回収特性を調べるものである。

照射試験体には、トリチウム増殖材が装荷されるとともに、トリチウム回収のためのスイープガス配管、中性子照射量を調整するための回転体等が装備されている。JMTR で現在照射試験中である照射試験体 (99M-54J キャプセル) の構造を Fig.1-2 に示す。

本試験体は、照射試験終了後に現在整備計画中である核融合炉ブランケット照射後試験設備 (以降、PIE 設備と称す) の解体装置にて解体し、内部の Li_2TiO_3 微小球を取り出す計画である。

照射試験体の解体に際しては、PIE 設備まで輸送するための輸送キャスク (JMTR ホットラボ所有の遮蔽容器 Fig.1-3 を想定) の寸法制限のために、照射試験体は下端から 1m 以下の長さとなるよう切断する必要がある。本照射試験体の切断及び切断した照射試験体を密封容器へ収納する際の詳細要領を Fig.1-4 に示す。

照射試験体を切断する場合は、 Li_2TiO_3 微小球充填装荷部から残留トリチウムガスの放出が考えられること、また試験体の切断は JMTR カナル内で行うため、スイープガス配管内にカナル内の水が流れ込まないようにする必要がある等の理由から、スイープガス配管を閉止する必要がある。

しかしながら、スイープガス配管の閉止については、既存のバルブやプラグでは、トリチウムガス漏洩防止のための高い気密性を満足したうえで、中性子照射影響を受けないこと、弁装荷のためのスペースが小さいこと等の要求条件を満足させることができないため、これらの要求条件を満たす閉止栓を開発する必要がある。

本報告書は、99M-54J に装荷するための閉止栓開発についてまとめたものであり、照射試験体切断時の閉止栓作動要領について記載するものである。

2 閉止栓の設計

2.1 閉止栓の設計仕様

閉止栓の設計仕様となる照射試験体内に設置されたスweepガス配管の仕様を Table2-1 に示す。

また、閉止栓に対する設計仕様を以下に列挙する。

(1) 放射線に対する耐久性

照射試験体における閉止栓装荷位置を Fig.1-2 に示す。閉止栓装荷位置は反射体の上部であるため、放射線の影響は少ないと考えられるが、ソレノイドやモータなどの電磁力を駆動源とする弁では、放射線に起因する機能障害の危険性から使用できない。このため、電磁力を使用しない閉止栓を検討する必要がある。

(2) 密封性

本閉止栓について、使用温度や使用圧力等の条件は上記 Table 2-1 に記載されたスweepガス配管仕様に基づくと共に、トリチウムガス漏洩防止を目的とするため、JMTR での照射キャプセル検査基準として規定されているヘリウム漏れ量（照射試料が燃料試料の場合におけるヘリウム漏れ量許容値： $1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ 以下）を保障する必要がある。

(3) 小型化

閉止栓は、照射試験体内スweepガス配管の供給側と排気側で計3台を取り付ける必要がある。しかしながら、照射試験体が内径 61mm であること、加えて、トリチウム増殖材装荷部温度制御用ヒータや自己出力型中性子検出器（SPND）が多数通っているため、照射試験体内部に設置スペースが限られていることから、閉止栓を操作するために大がかりな装置や配管等を必要としない構造とする必要がある。

(4) 弁の動作確認

閉止栓作動後には、照射試験体内に装荷された閉止栓が、正常に動作しているかどうかを確認する必要がある。このため、正常動作を確認するための機能を設ける必要がある。

2. 2 閉止栓の構造

前節に示した設計仕様を元に、閉止栓の構造を検討した。

閉止栓の構造概念図を Fig.2-1 に示す。

閉止方法としては、耐放射線性・密封性、動作の確実性等を検討した結果、照射試験中に溶融しない融点を持つ溶融金属（低融点金属）を閉止栓内部に設置し、セラミックヒータにより低融点金属を溶かし、配管内部に固着させ、配管を密封する方法を選定した。

閉止栓の設計仕様として求められる各項目についての検討結果を以下に示す。

(1) 耐放射線性

耐放射線性を実現するために、放射線にさらされても変化が少ない金属材料を用いることで対処する。具体的な低融点合金としては、スイープガスに影響を及ぼさず、照射試験中に溶融することのない融点を有する錫（融点温度 232°C）を選定した。

(2) 密封性

閉止機能は低融点合金の固着により実現させるものの、密封性については、閉止栓内面がスイープガス配管同様ステンレス鋼であることから低融点金属との濡れ性が悪く、固着させただけでは閉止栓の密封性能を確保できない。そのため、低融点金属固着部は濡れ性を向上させるために金メッキを施し、低融点金属が配管内部に隙間を生じないような構造とした。また、溶融した低融点金属が金メッキ部で固着せず、濡れ性の悪い部位に流出してしまい、密封性が得られないといったことがないように、低融点金属下部に溶融金属流出を防ぐ構造（低融点金属保持構造）を設けた。溶融金属保持構造としては、溶融した低融点金属をせき止めるためのフィルタを設けた構造とした。

(3) 形状及び寸法

閉止栓装荷位置スペースが小さいという制約条件に対しては、照射試験体を組み立てる場合の取り回しも考慮し、スイープガス配管寸法（外径 3.2mm、肉厚 0.6mm）を元に、最大でも外径が 10mm、長さが 100mm 程度の円筒形状とした。

(4) 動作確認方法

動作確認方法としては、低融点金属の溶融状況を観測することで行う。そのため、セラミックヒータ電源と閉止栓温度から、そのときの閉止栓挙動を推測できようなデータを取得する方法で行うものとした。ただし、閉止栓に取り付ける熱電対は、接続端子数の制限から各閉止栓に 1 本しか取り付けられないため、本検討では、閉止栓の数カ所に熱電対を貼り付けて実際に閉止栓を動作させ、低融点金属の挙動を観測するのに最適な熱電対取付位置について検討を行った。

2.3 閉止栓の確認試験

基本構造と密封性能を検証するため、確認試験を実施した。本試験装置の概略図を Fig2-2 に示す。本試験では、実際に閉止栓を試作し、その内部を真空にした後 He ガスで置換し、電気炉を用いて閉止栓内部の低融点金属を溶融させる。その際の密封性を確認した。あわせて、低融点金属保持構造であるフィルタのメッシュ粗さを $20\mu\text{m}$ ・ $40\mu\text{m}$ 及び $100\mu\text{m}$ の3種類で行い、最適なメッシュ粗さの選定を行った。また、低融点金属をメッシュ部で固着させるための手法として、低融点金属が溶融した状態で閉止栓内部を N_2 ガスで加圧する方法についても検討を行った。

溶融試験後に閉止栓を二つ割りにした内部観察写真例を Fig2-3 に示す。

加圧操作しないものについては、所定の He リーク率を満足したものの、低融点金属固着部はフィルタ上部のみであった。すなわち、閉止栓のリーク率低減と閉止の確実性向上のために想定したフィルタ部での低融点金属の固着を実現させるためには、低融点金属の自重だけに頼った方式では不十分であることが明らかになった。そのため、閉止栓内部をある程度加圧する必要がある。

また、フィルタのメッシュ粗さについて検討した結果、 $100\mu\text{m}$ 以下であれば、閉止栓内部で固着させることが可能であることが明らかになった。このため、実際の閉止栓に使用するメッシュについては、もう一段階細かいメッシュである $40\mu\text{m}$ のものを使用することとした。

3 操作要領の検討

3.1 検討項目

本章では、照射試験体内に装荷した閉止栓の操作に関する要領を検討するとともに、動作確認のための熱電対取付位置について検討を行った。加えて、閉止栓操作用のヒータ電源接続方法についても検討を行った。

(1) 閉止栓の操作要領に関する検討

本閉止栓の操作として、ヒータにより閉止栓温度を上昇させて内部の低融点金属を溶融したのち、固着させることで配管の閉止を行う。閉止栓を操作する上では、低融点金属の融点となるよう、ヒータを操作する必要がある。このため、実際にヒータを閉止栓に取り付けた状態で作動させ、ヒータの電源電圧と閉止栓温度の関係を把握するとともに、ヒータ電源電圧の操作要領の検討を行った。

(2) 熱電対取付位置に関する検討

閉止栓の動作確認を行うためには、内部の低融点金属が溶融したかどうか、又溶融した金属がフィルタ部に移動したかどうかを確認する必要がある。そのため、直接閉止栓温度を観測し低融点金属の挙動を把握することが必要であり、そのための最適な熱電対の取付位置の検討を行った。

(3) ヒータ電源の接続に関する検討

本照射試験体は中性子照射中のデータを採取するために多くの計測線を有することから、接続端子を多数必要とする。このため、閉止栓のヒータ電源に使用できる端子の数が大きく制限される。照射試験体の計測線接箱内部の接続端子図を Fig.3-1 に示す。本閉止栓には、閉止操作用のヒータ電源を接続する端子に加えて、閉止栓の温度を計測する熱電対のためにも端子が必要となる。また、ヒータ電源の接続に際しては、閉止栓のヒータが誤作動しないよう考慮した接続を考慮する必要がある。以上の条件を踏まえて、ヒータ電源及び熱電対のための接続方法についても検討した。

3.2 実験方法

実際の照射試験体で使用する形状の閉止栓を試作し、使用時と同様にセラミックヒータを用いて実験を行った。試作した閉止栓を Fig.3-2 に示す。また、本検討に用いた実験装置構成を Fig.3-3 に示す。

ヒータ操作時の電源操作要領については、電源操作と閉止栓温度挙動からの低融点金属の溶融固着状況を観測して、ヒータ電源と閉止栓温度の関係を明確にすることで、最適なヒータ電源の操作要領を選定することにした。

熱電対取付位置の検討としては、Fig.3-3 中の T/C1～T/C5 で示す部位に熱電対を取り付け、最適な熱電対取付位置の選定を行った。

操作・計測用導線の接続に関する検討としては、最適な操作方法を確定した後、使用できる端子数、閉止栓の作動順序等を含めた検討を行い、ヒータ電源の接続仕様を検討した。

3.3 実験結果

本実験では、閉止栓の最高温度、閉止栓内部への加圧条件を変え、閉止栓の作動確認を行った。閉止栓操作要領実験結果より、以下のことが明らかになった。なお、詳細な実験結果は付録 1 に示す。

(1) 閉止栓の操作要領に関する検討結果

1) 昇温条件

閉止栓の昇温に際しては、低融点金属を完全に溶融させるために、300℃まで昇温して実験を行った。

昇温速度については、閉止栓を室温から 300℃まで一気に昇温させる方法（付録 1 の試

験 No.1) と、低融点金属融点温度より低い温度である 200°C で一定時間均熱した後に 300°C まで昇温する方法 (付録 1 の試験 No.5) を比較した。本試験で閉止栓に取り付けた熱電対による温度測定結果を Fig.3-4 及び Fig.3-5 に示す。この結果、閉止栓を均熱する方法においては、T/C2~T/C5 からの信号のうち Fig.3-5 の○印で示す部位で示すように、200°C から 300°C に上昇させる過程で、低融点金属装荷位置の閉止栓温度が低融点金属の融点 (230°C) 近傍で一時的に昇温しない現象が観測された。この挙動は低融点金属が装荷されていない部位の熱電対では観測されなかったことから、低融点金属が溶融したためである。

以上のことから、閉止栓昇温に際しては、低融点金属の溶融挙動を温度の変化で把握することができる方法、すなわち、融点よりやや低い温度 200°C にて閉止栓を均熱させた後に 300°C まで昇温させる要領が有効であることが明らかになった。なお 200°C に保持する時間は閉止栓全体にわたり温度の変化がなくなる 10 分とした。

2) 加圧条件

閉止栓の密封性能を向上させるための加圧条件を調べた。閉止栓内部を 0.2kg/cm² 加圧した場合の温度測定結果を Fig.3-6 に示す。この結果、加圧無しでは低融点金属の固着部に空隙がある等により固着状態が悪く、所定の気密性能を得られないケースもあった。一方、0.2kg/cm² 加圧した場合は、何れのケースでも所定の気密性能を満足しており、低融点金属の固着状態も良好であった。以上のことから、閉止栓操作の際の低融点金属溶融後、すなわち熱電対が 230°C になった直後に、0.2kg/cm² に加圧することとした。

(2) 動作確認用熱電対取付位置の検討

閉止栓が正常に作動したかどうかの確認は、低融点金属の挙動を観測することにより実施した。低融点金属が溶融したかどうかは、低融点金属融点近傍で一時的に昇温しなくなる現象に加えて、閉止栓内を加圧することで低融点金属の移動に伴って顕れる局所的な温度上昇を観測することにより可能である。低融点金属の溶融挙動については、Fig.3-6 に示す熱電対による閉止栓各部位の測定記録において○*1 印で示すように、T/C1 以外の熱電対に着目すれば可能であることが明らかになった。また、低融点金属溶融後に閉止栓内部加圧を行った際には、○*2 印で示すように、閉止栓下部に取り付けた熱電対 (T/C1) の測定値で明確な温度上昇が観測され、T/C2 でも小さいながらも温度上昇が観測された。

以上のことから、低融点金属の溶融と、溶融した低融点金属が加圧により移動したことが観測できる T/C2 を閉止栓の動作確認用熱電対取付位置に決定した。

(3) 操作及び計測用線の接続

本照射試験体の計測線やヒータは Fig.3-1 のように接続されており、閉止栓に使えるコネクタがない。閉止栓のヒータについては、照射試験体照射中に作動しないようにすること、閉止栓用ヒータ電源に使用できる接続端子がないことなどから、照射試験終了後に接続することにした。また、閉止栓挙動観察用の熱電対は照射試験前に接続し、照射試験中に閉止栓が作動することがないように監視できるようにした。

以上の結果から、閉止栓の操作要領は付録 2 に示す試験 No.10 で実施した操作要領を基本にして作成した。閉止栓操作要領を付録 2 に示す。

4. まとめ

トリチウム増殖材料の中性子照射試験に用いた照射試験体を解体する際に必要な閉止栓を開発した。開発した閉止栓は、低融点金属をヒータで溶融し配管を閉塞できる構造で、放射線の影響を受けにくく、装荷スペースが小さく、確実に作動する特徴を有する。加えて、実際に使用する際の栓操作要領についても明確にした。

本研究で開発した閉止栓は、99M-54 J キャプセルに装荷され、H12 年 11 月 (JMTR136 サイクル) からの照射試験に供され、H16 年 7 月頃まで照射を行い、その後解体時にスイープガス配管の閉止作業において使用予定である。

謝辞

閉止栓の操作要領検討に関しては、閉止栓操作に関する圧力操作やスイープガス装置の操作との整合に関してブランケット照射開発室の菊川明広氏並びに石田卓也氏にご支援いただいた。また、本書作成に当たり、武山友憲工作技術グループリーダーにご指導をいただいた。

以上記して謝意を表します。

参考文献

- [1] Tsuchiya K., et al., Fusion Eng. Des., 51-52, .887-892 (2000).
- [2] Tsuchiya K., et al., Fusion Eng. Des., 58-59, .679-682 (2001).
- [3] Tsuchiya K., et al., J. Nucl. Sci. Technol., vol.38, No.11, .996-1003 (2001).
- [4] Tsuchiya K., et al., J. Nucl. Mater., 307-311, .817-822 (2002).
- [5] Tsuchiya K., et al., J. Nucl. Mater., 219, .240-245 (1995)

Table 2-1 照射試験体内スweepガス配管仕様

項目	仕様	備考
最高使用温度	100℃	照射試験体運転温度：約 50℃
最高使用圧力	0.2 MPa	
使用流体	He、H、トリチウム	
最大流量	$1.0 \times 10^{-5} \text{Nm}^3/\text{min}$	
材質	SUS316	配管内面には酸化クロム不動態処理 (CRP コーティング) を実施 配管寸法：外径 3.2mm、肉厚 0.6mm

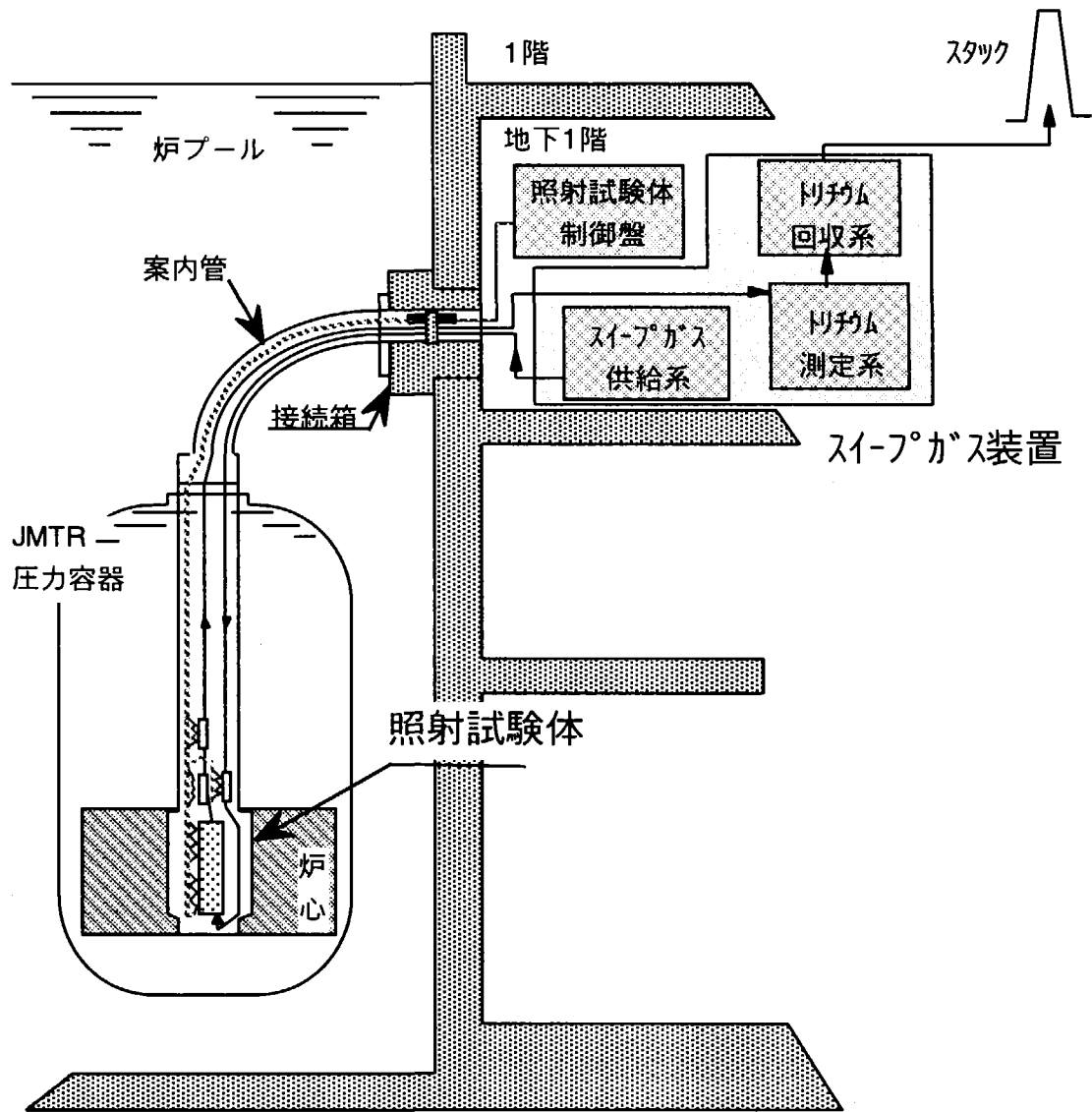


Fig. 1-1 スweepガス装置及び照射試験体 全体構成図

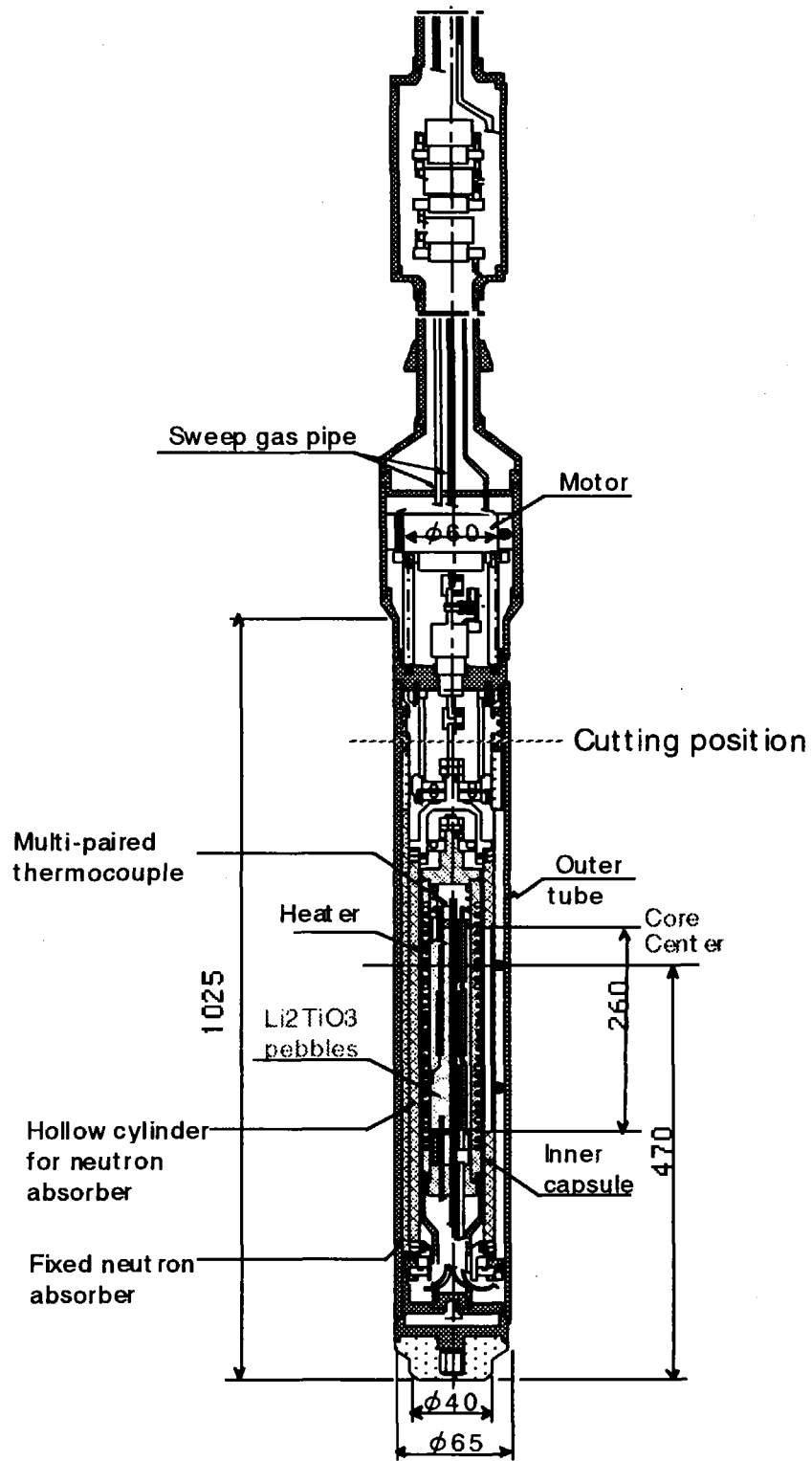


Fig.1-2 照射試験体 (99M-54J キャプセル) 構造図

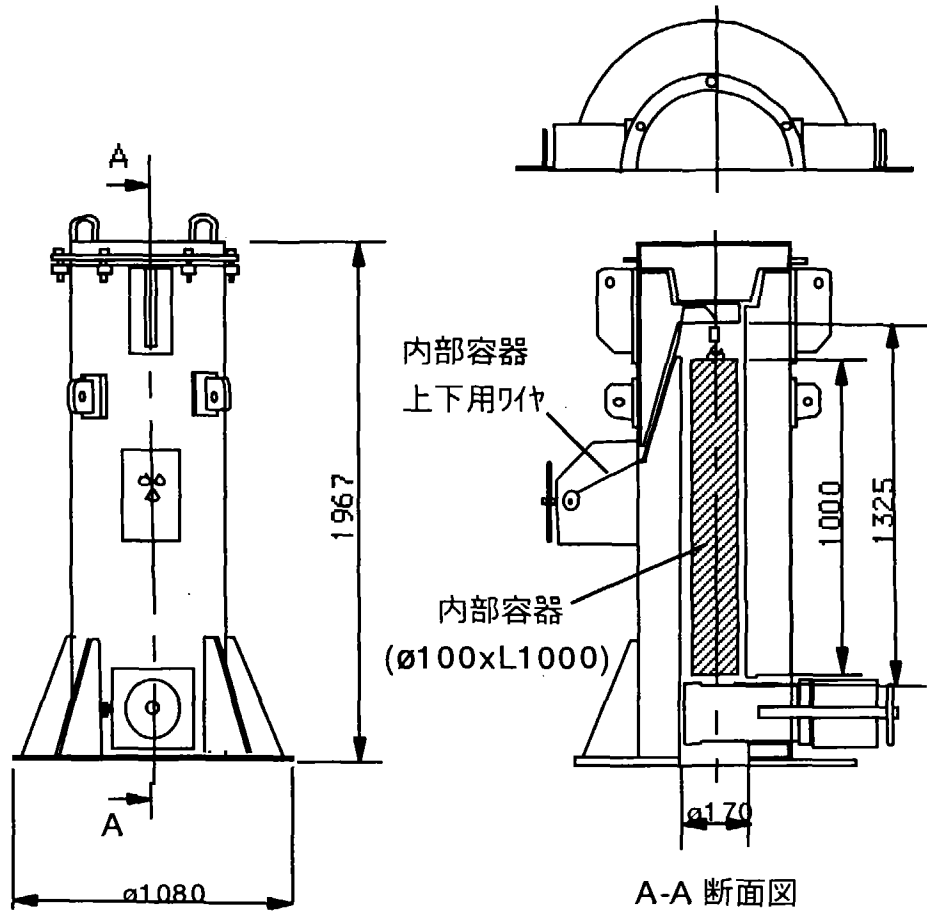


Fig. 1-3 輸送キャスク (遮蔽容器)

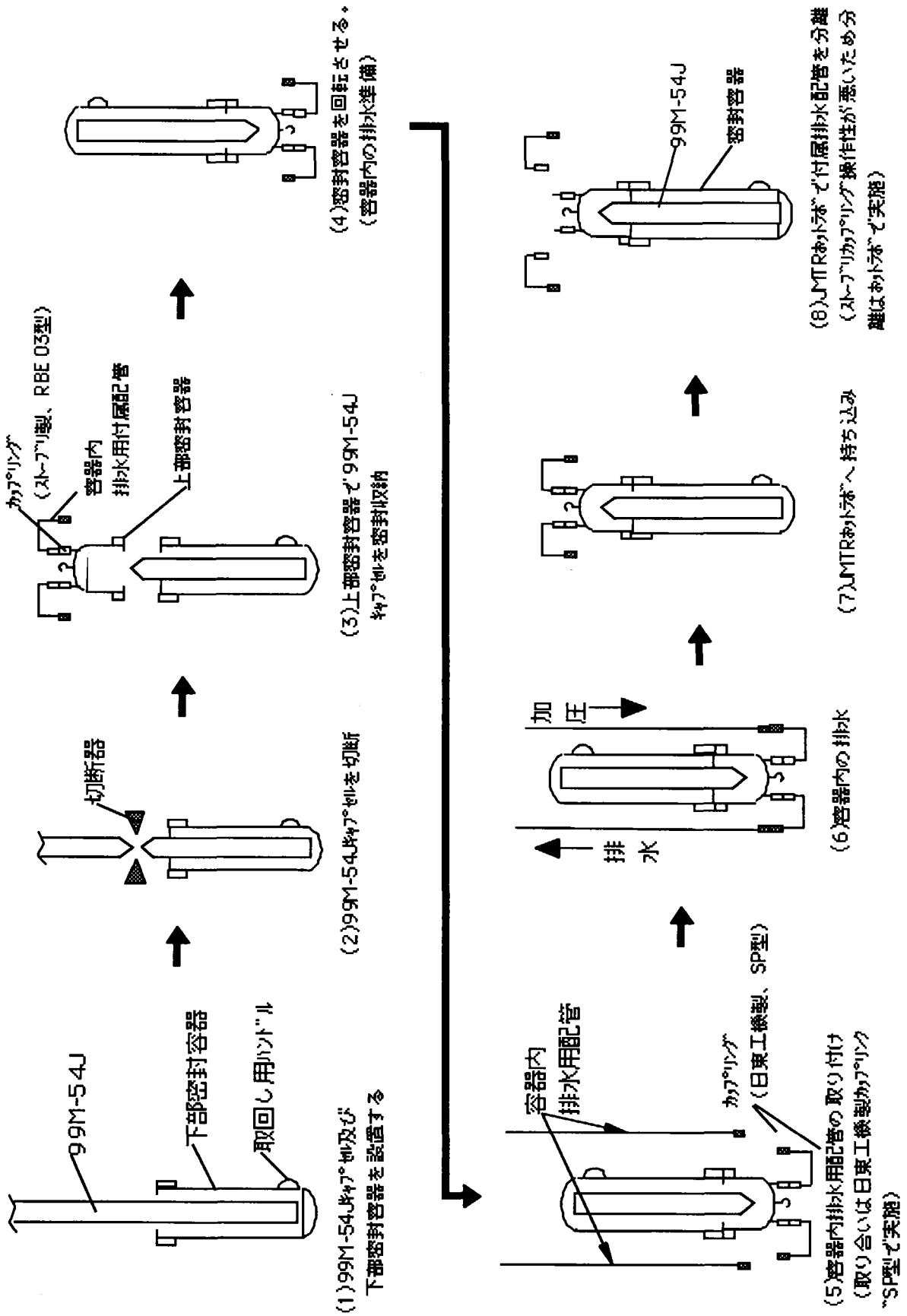


Fig.1-4 照射キャプセル切断後の密封容器への収納要領図

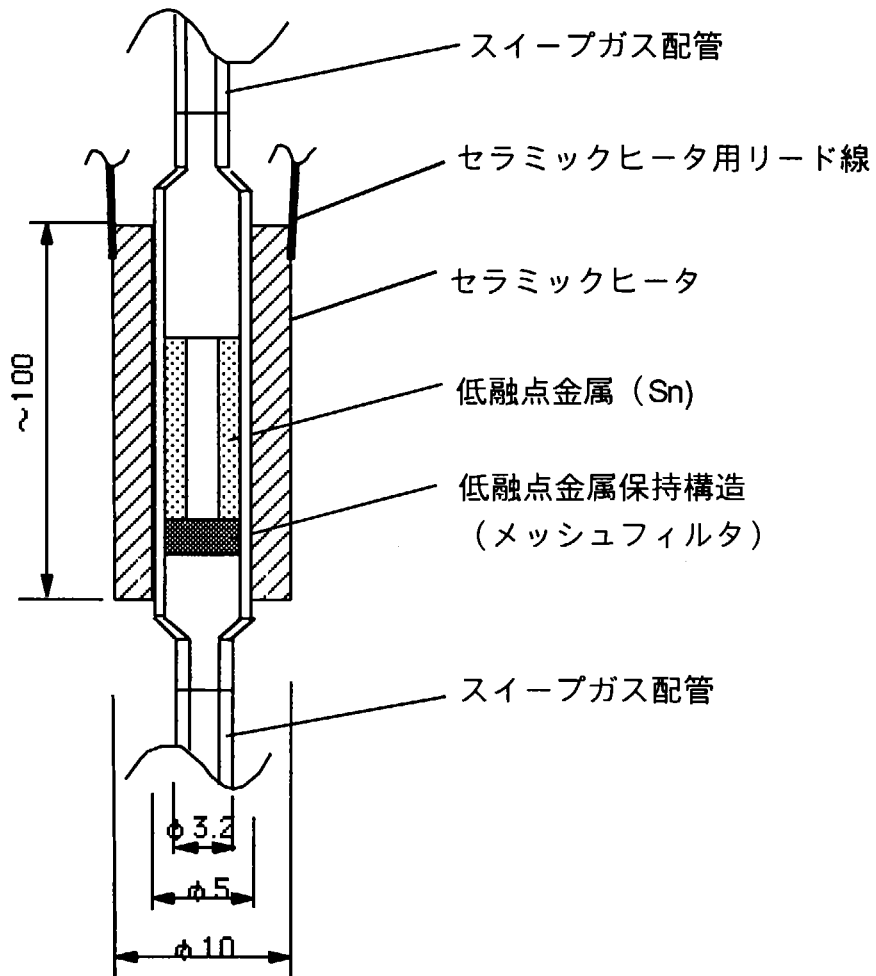


Fig. 2-1 閉止栓構造概念図

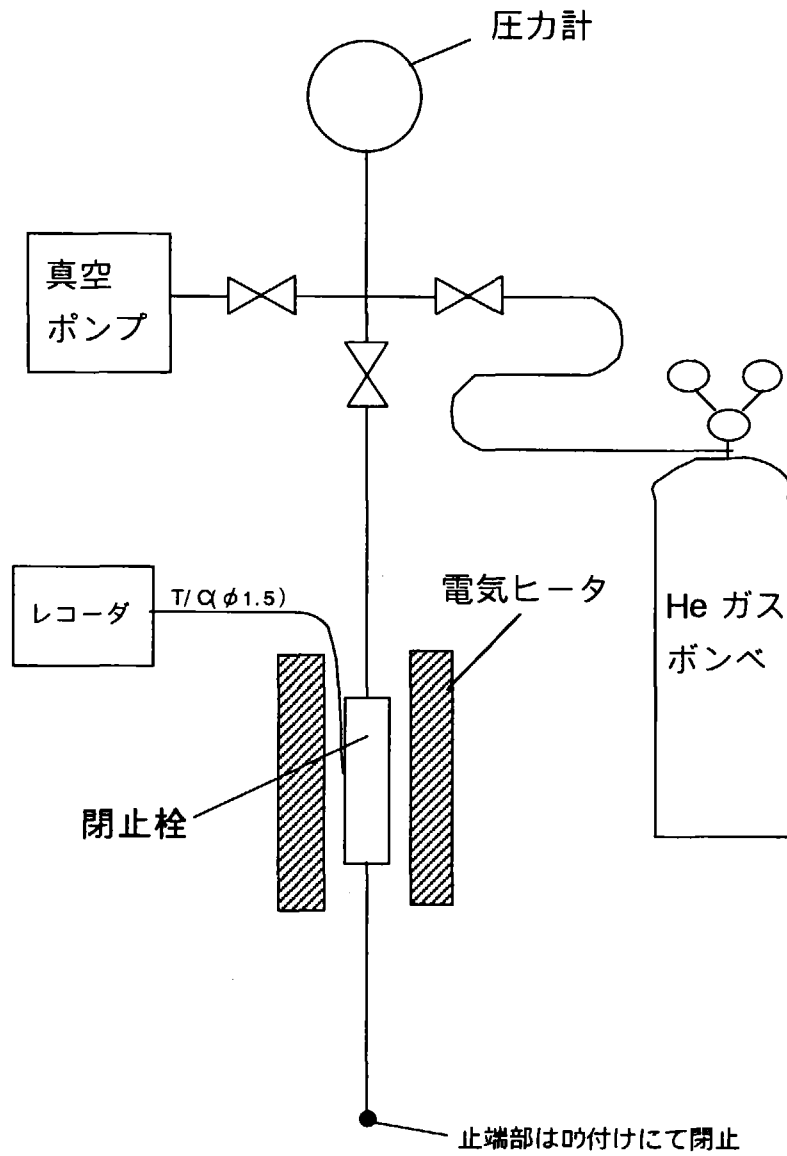


Fig. 2-2 閉止栓構造試験装置 構成図

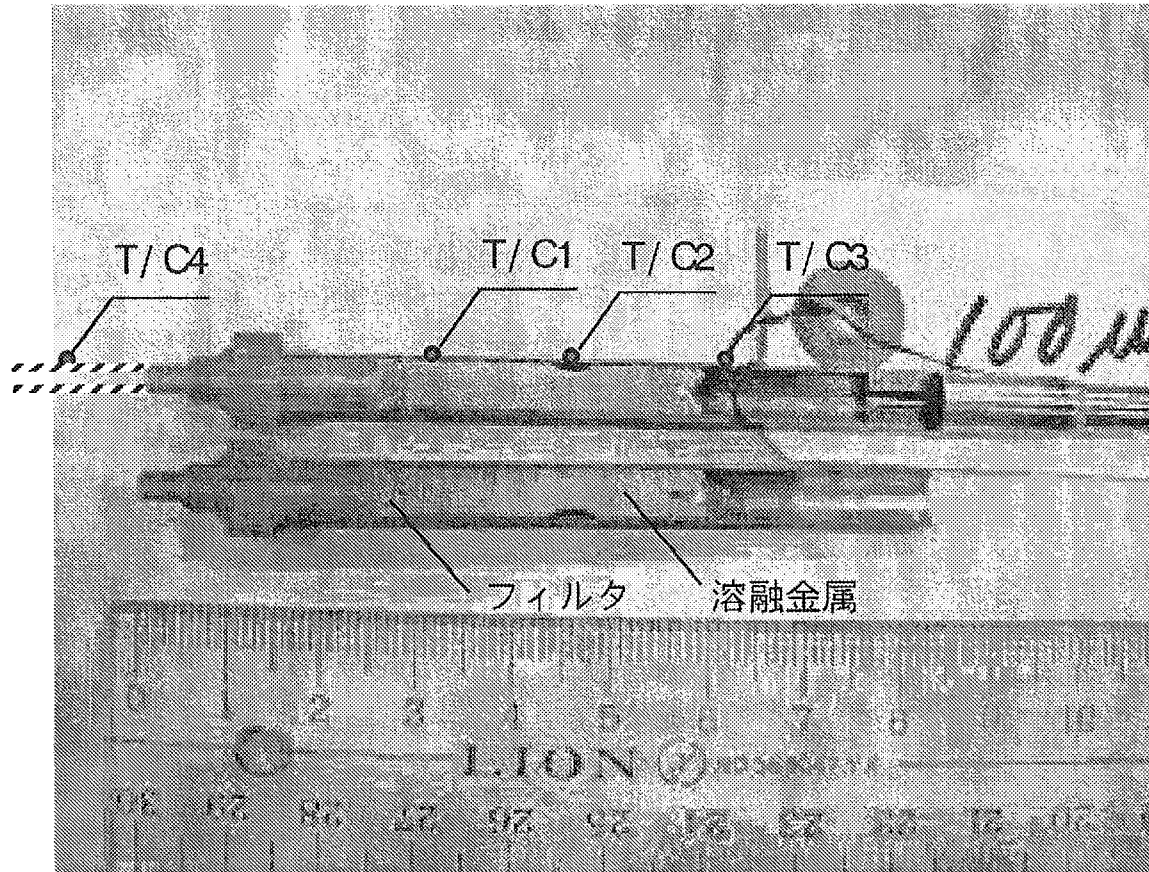
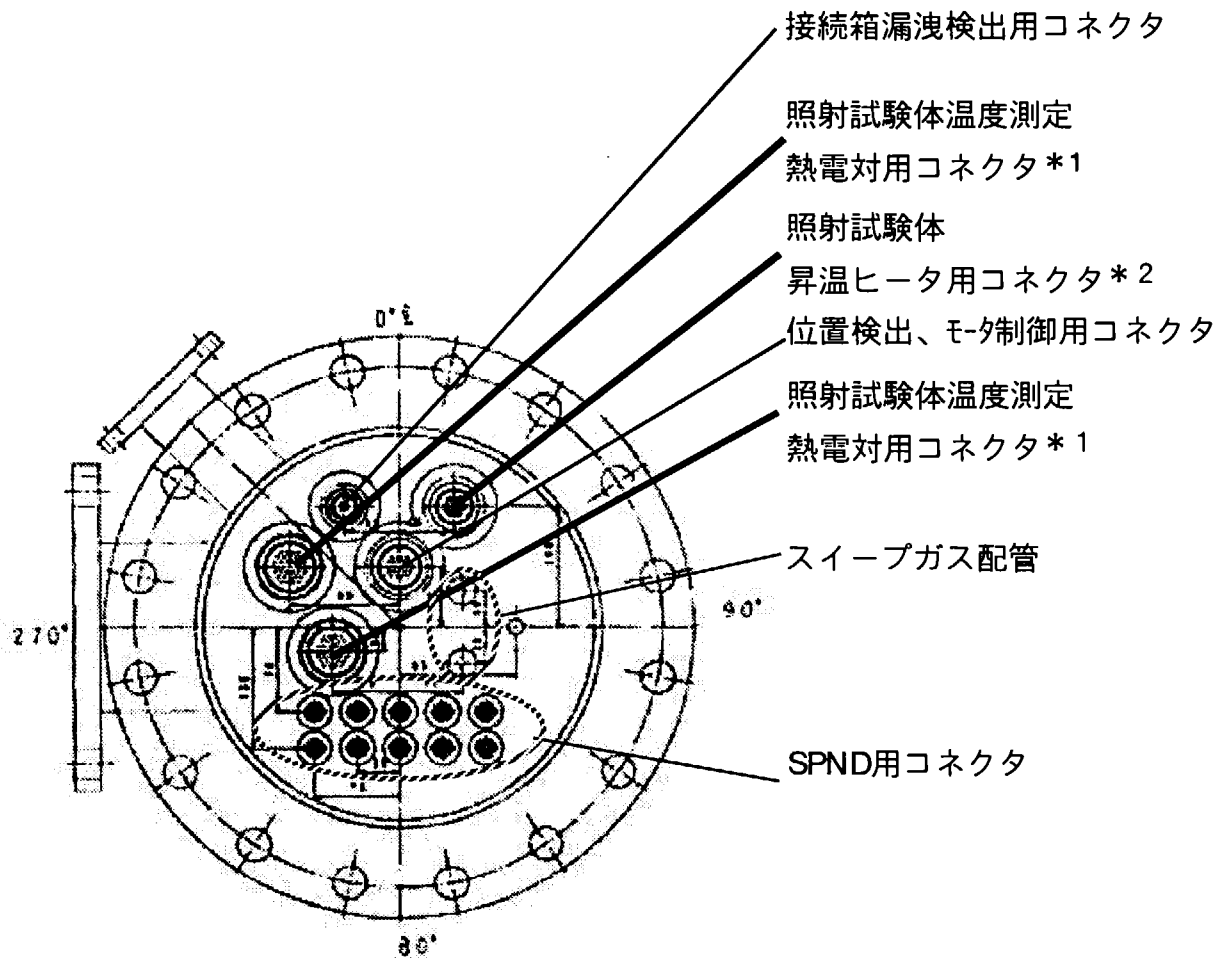


Fig. 2-3 試作閉止栓 試験後外観
(メッシュ粗さ： $100\mu\text{m}$)



- * 1 : 一部コネクタを閉止栓温度測定用熱電対に用いる。
- * 2 : 閉止栓昇温ヒータと兼用。照射試験終了後に接続。

Fig. 3-1 接続箱内部 接続端子図

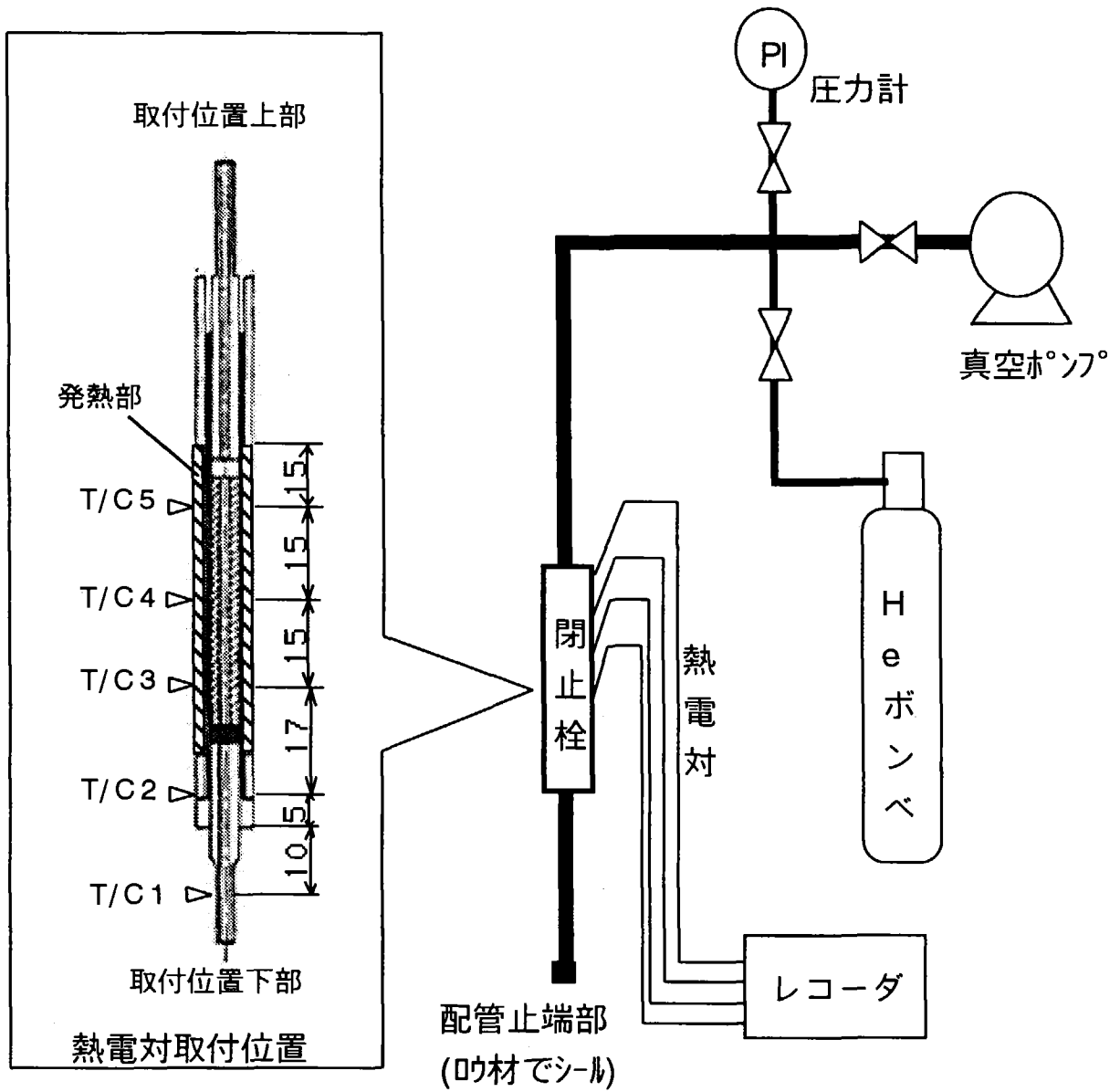


Fig. 3-3 実験装置構成図

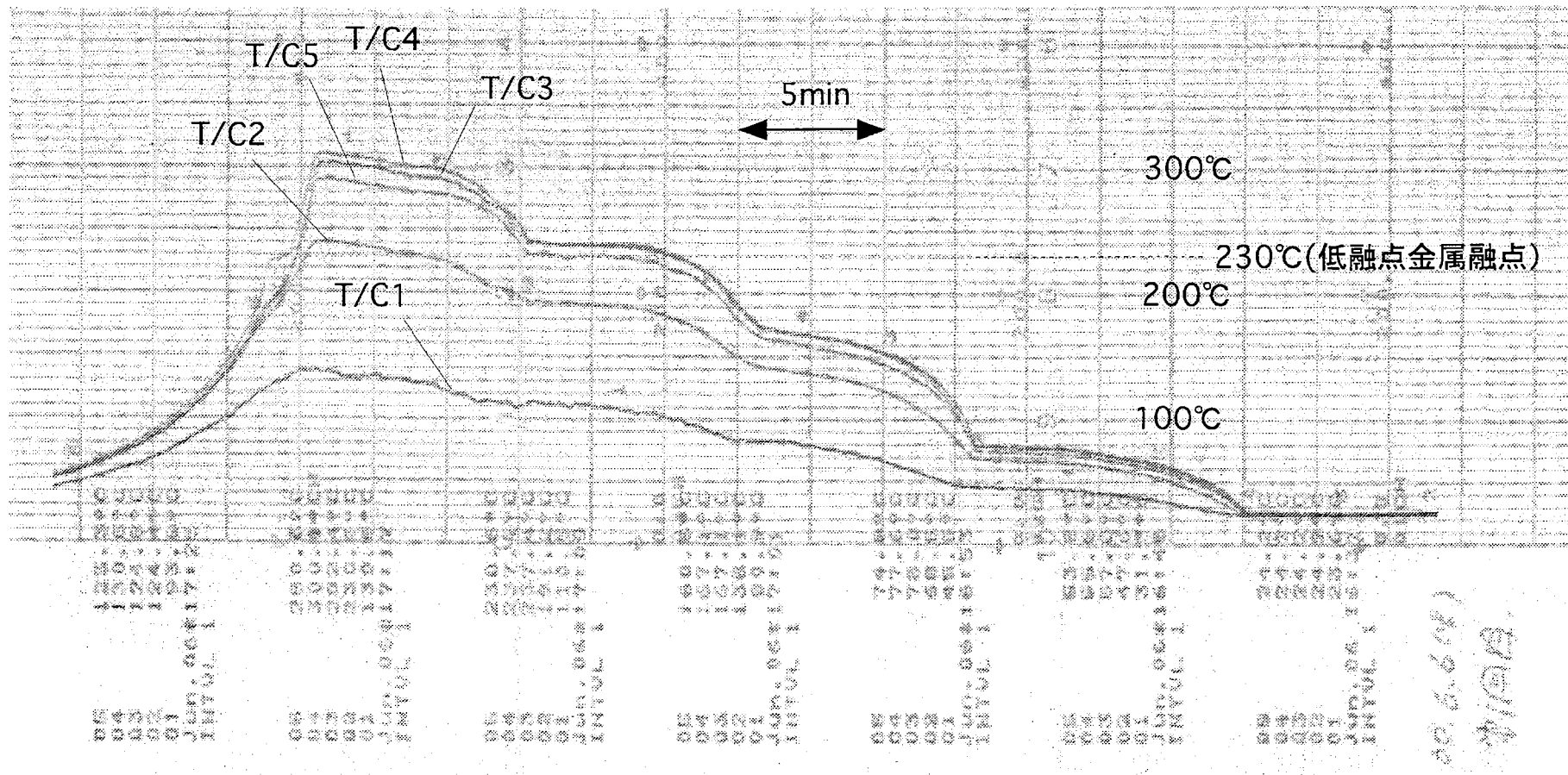


Fig. 3-4 閉止栓を200°Cで保持しない場合の温度記録

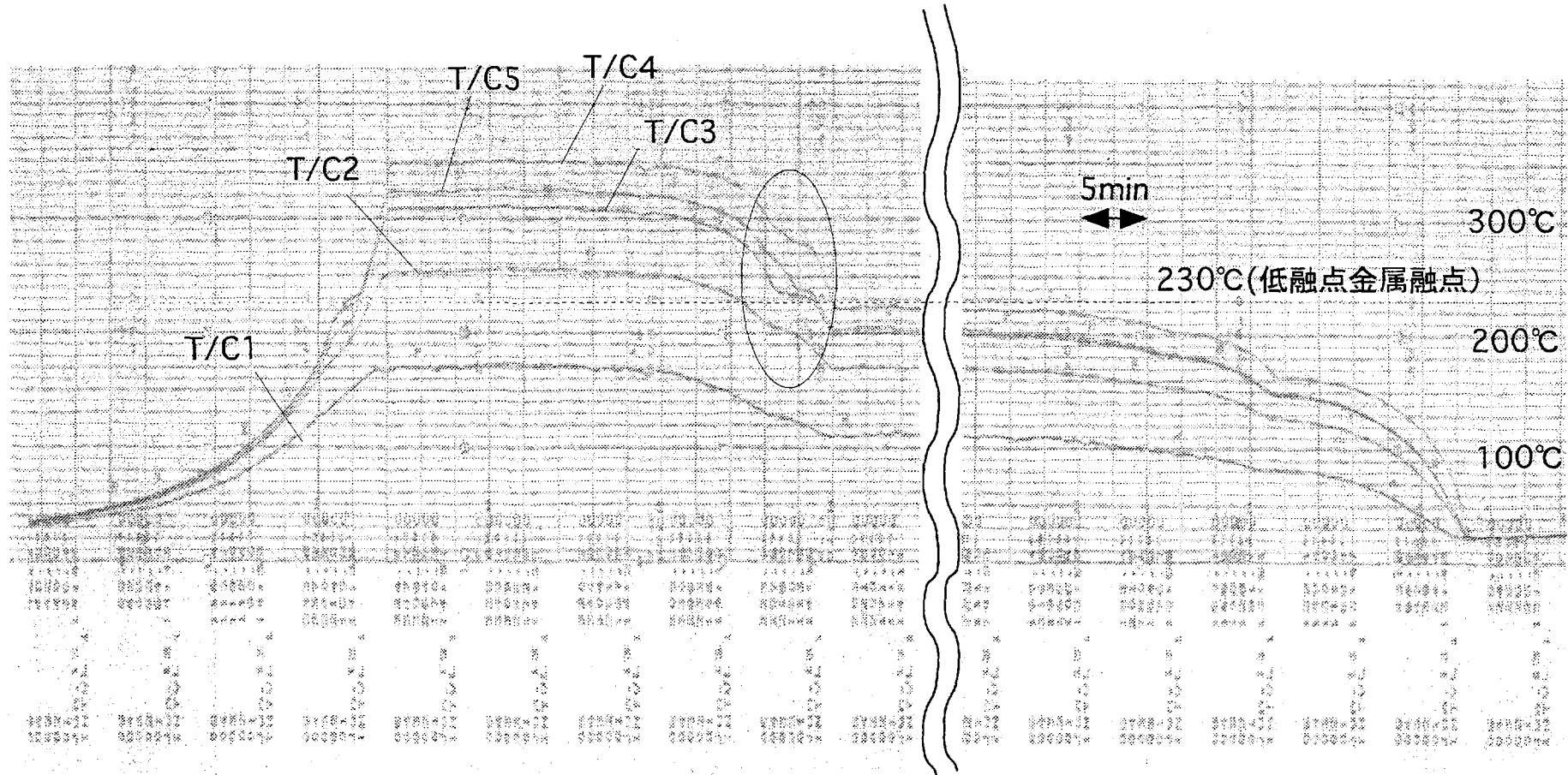


Fig. 3-5 閉止栓を200°Cで保持し、加圧しない場合の温度記録

POOR QUALITY ORIGINAL

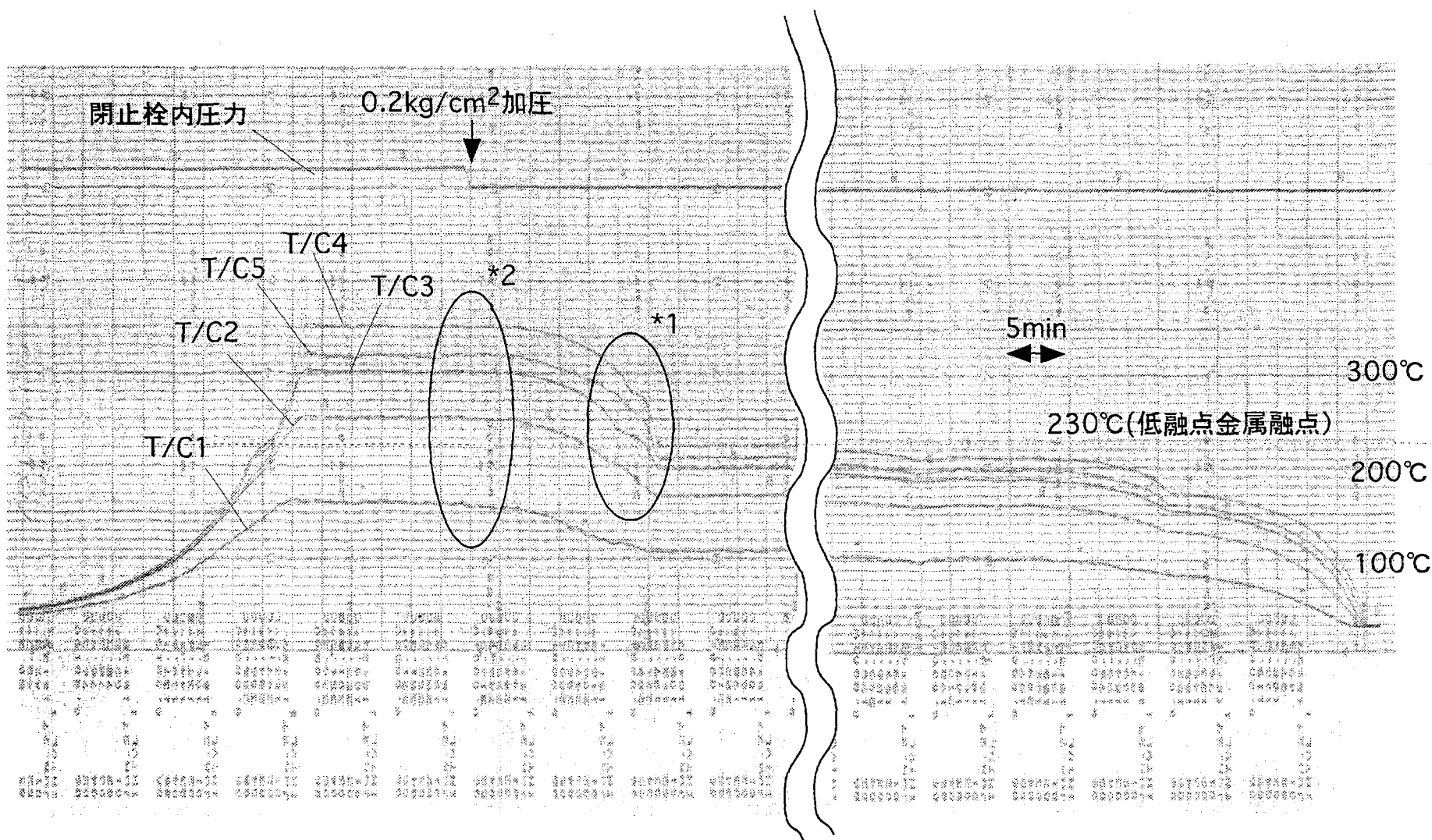


Fig. 3-6 閉止栓を200°Cで保持し、閉止栓内を加圧した場合の温度記録

POOR QUALITY ORIGINAL

付録1 閉止弁操作要領試験内容及び結果 一覧表

試験 No.	系内条件	操作要領	結果	備考
1	真空引き (-1torr) 後、He 置換し大気圧保持	閉止弁各所の温度を見ながら操作し、閉止弁ヒータ取付部温度が 300°C になった時点で約 5 分保持。その後ヒータ電源を切る。ヒータ性能を確認する意味から、閉止弁各所の温度を観測しながら 0v→10V→20V→28V→35V と電圧を上げた。	<ul style="list-style-type: none"> 低融点金属はフィルタを通過し、細管部で固化していた。 低融点金属装荷位置中にスが発生していた。 He リーク検査の結果、$4.0 \times 10^{-10} \text{Pa m}^3/\text{sec}$ のリーク量であった。 キャプセル内での使用可能。 	本ヒータは電圧と閉止弁低融点金属装荷位置外面温度には下記関係があるところ確認された。 10v・・・約 80°C 20v・・・約 170°C 28v・・・約 250°C 35v・・・約 300°C
2	真空引き (-1torr) 後、He 置換し約 700torr 保持	閉止弁のヒータ取付部を室温から 300°C まで一気に加熱。その後ヒータ電源を切る。その後ヒータ電源を切る。	<ul style="list-style-type: none"> 低融点金属はフィルタを通過せず、一部がとけ込む程度であった。 装荷した低融点金属は上部が溶融して円筒状に固化していた。 He リーク検査の結果、$1.0 \times 10^{-5} \text{Pa m}^3/\text{sec}$ のリーク量であった。 キャプセル内での使用不可能。 	閉止弁各所温度のばらつきが大きいことから、閉止弁外部と低融点金属に温度差が生じ、十分な加熱とならなかったと考えられる。
3	真空引き (-1torr) 後、He 置換し約 700torr 保持	閉止弁のヒータ取付部温度が 200°C になった状態で 10 分保持、その後、350°C まで加熱し、その状態で 10 分保持。その後ヒータ電源を切る。	<ul style="list-style-type: none"> 低融点金属はフィルタを通過せず、とけ込みもなかった。 装荷した低融点金属は上部が溶融して円筒状に固化していた。 He リーク検査の結果、$1.0 \times 10^{-5} \text{Pa m}^3/\text{sec}$ 以上のリーク量であった。 キャプセル内での使用不可能。 	閉止弁各所温度のばらつきが小さく、低融点金属の溶融挙動も観測できたが、閉止能力は皆無であった。

*

試験 No.	系内条件	操作要領	結果	備考
4	真空引き (-1torr) 後、He 置換し大気圧保持	閉止弁のヒータ取付部温度が 200°C になった状態で 10 分保持、その後、350°C まで加熱し、その状態で 10 分保持。その後ヒータ電源を切る。	<ul style="list-style-type: none"> 低融点金属はフィルタを通過し、細管部で固化していた。 低融点金属装荷位置中程にスが発生していた。 He リーク検査の結果、0.8×10^{-10} Pam³/sec のリーク量であった。 キャプセル内での使用可能。 	フィルタと細管部の間には低融点金属が無く、空間となっていた。
5	真空引き (-1torr) 後、He 置換し大気圧保持	閉止弁のヒータ取付部温度が 200°C になった状態で 10 分保持、その後、350°C まで加熱し、その状態で 10 分保持。その後ヒータ電源を切る。	<ul style="list-style-type: none"> 低融点金属はフィルタを通過し、細管部で固化していた。 低融点金属装荷位置中程にスが発生していた。 He リーク検査の結果、6.5×10^{-11} Pam³/sec のリーク量であった。 キャプセル内での使用可能。 	フィルタと細管部の間には低融点金属が無く、空間となっていた。
6	真空引き (-1torr) 後、He 置換し大気圧保持	閉止弁のヒータ取付部温度が 200°C になった状態で 10 分保持、その後、300°C まで加熱し、その状態で 10 分保持。その後ヒータ電源を切る。	<ul style="list-style-type: none"> 低融点金属はフィルタを通過せず、とけ込みはわずかに観測される程度 装荷した低融点金属は上部が溶融して円筒状に固化していた。 He リーク検査の結果、0.4×10^{-8} Pam³/sec のリーク量であった。 キャプセル内での使用可能。 	
7	真空引き (-1torr) 後、He 置換し 1.0 kg/cm ² で保持	閉止弁のヒータ取付部温度が 200°C になった状態で 10 分保持、その後、300°C まで加熱し、その状態で 10 分保持。その後ヒータ電源を切る。	<ul style="list-style-type: none"> 低融点金属はフィルタを通過せず、とけ込みも観測されなかった。 He リーク検査の結果、4.0×10^{-5} Pam³/sec のリーク量であった。 キャプセル内での使用不可能。 	
3	真空引き (-1torr) 後、He 置換し大気圧保持。低融点金属溶融後、1.2 kg/cm ² に保持。	閉止弁のヒータ取付部温度が 200°C になった状態で 10 分保持、その後、300°C まで加熱し、その状態で 5 分保持後加圧 (+0.2kg/cm ²) し、5 分保持後、ヒータ電源を切る。	<ul style="list-style-type: none"> 低融点金属はフィルタを通過し、細管部で固化していた。 He リーク検査の結果、2.0×10^{-9} Pam³/sec のリーク量であった。 キャプセル内での使用可能。 	加圧により、細幹部に低融点金属の流入するかどうかの確認のため、実施。

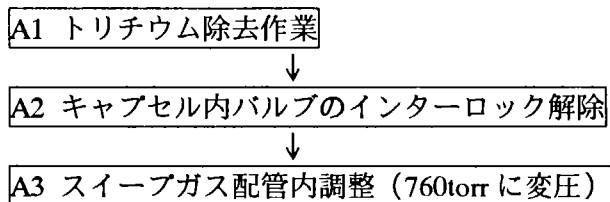
試験 No.	系内条件	操作要領	結果	備考
3	真空引き (-1torr) 後、He 置換し大気圧保持。低融点金属溶解後、 1.2 kg/cm^2 に保持。	閉止弁のヒータ取付部温度が 200°C になった状態で 10 分保持、その後、 300°C まで加熱し、その状態で 5 分保持後加圧 ($+0.2\text{kg/cm}^2$) し、5 分保持後、ヒータ電源を切る。	<ul style="list-style-type: none"> 低融点金属はフィルタを通過し、細管部で固化していた。 He リーク検査の結果、$2.0 \times 10^{-9} \text{ Pam}^3/\text{sec}$ のリーク量であった。 キャプセル内での使用可能。 	加圧により、細幹部に低融点金属の流入するかどうかの確認のため、実施。
8	真空引き (-1torr) 後、He 置換し大気圧保持。低融点金属溶解後、 1.2 kg/cm^2 に保持。	閉止弁のヒータ取付部温度が 200°C になった状態で 10 分保持、その後、 300°C まで加熱し、その状態で 10 分保持。その後加圧 ($+0.2\text{kg/cm}^2$) し、5 分保持後、ヒータ電源を切る。	<ul style="list-style-type: none"> 低融点金属はフィルタを通過し、細管部で固化していた。ただし、フィルタと細幹部の間及び細幹部の低融点金属固化部にスガ確認された。 He リーク検査の結果、$1.0 \times 10^{-10} \text{ Pam}^3/\text{sec}$ 以上のリーク量であった。 キャプセル内での使用可能。 	低融点金属の細管部への流れ込みが温度チャート表より観測できた。
9	真空引き (-1torr) 後、He 置換し大気圧保持。低融点金属溶解後、 1.2 kg/cm^2 に保持。	閉止弁のヒータ取付部温度が 200°C になった状態で 10 分保持、その後、 300°C まで加熱し、その状態で 10 分保持。その後加圧 ($+0.2\text{kg/cm}^2$) し、5 分保持後、ヒータ電源を切る。	<ul style="list-style-type: none"> 低融点金属はフィルタを通過し、細管部で固化していた。 He リーク検査の結果、$1.8 \times 10^{-9} \text{ Pam}^3/\text{sec}$ 以上のリーク量であった。 キャプセル内での使用可能。 	試験 No.2 を再利用。(低融点金属は溶解するも、He リーク率が基準以下であった試験体を再利用)
10	真空引き (-1torr) 後、He 置換し大気圧保持。低融点金属溶解後、 1.2 kg/cm^2 に保持。	閉止弁のヒータ取付部温度が 200°C になった状態で 10 分保持、その後、 300°C まで加熱。その後加圧 ($+0.2\text{kg/cm}^2$) し、5 分保持後、ヒータ電源を切る。	<ul style="list-style-type: none"> 低融点金属はフィルタを通過し、細管部で固化していた。ただし、フィルタと細幹部の間に空隙が確認された。 He リーク検査の結果、$2.2 \times 10^{-10} \text{ Pam}^3/\text{sec}$ 以上のリーク量であった。 キャプセル内での使用可能。 	
11	真空引き (-1torr) 後、He 置換し -0.3 kg/cm^2 保持。低融点金属溶解後、 -0.1 kg/cm^2 に保持。	閉止弁のヒータ取付部温度が 200°C になった状態で 10 分保持、その後、 300°C まで加熱し、その状態で 10 分保持。その後加圧 ($+0.2\text{kg/cm}^2$) し、5 分保持後、ヒータ電源を切る。	<ul style="list-style-type: none"> 低融点金属はフィルタを通過し、細管部で固化していた。 He リーク検査の結果、$2.5 \times 10^{-10} \text{ Pam}^3/\text{sec}$ のリーク量であった。 	試験 No.7 を再利用。(低融点金属は溶解するも、He リーク率が基準以下であった試験体を再利用)

付録 2 : 閉止弁の操作要領

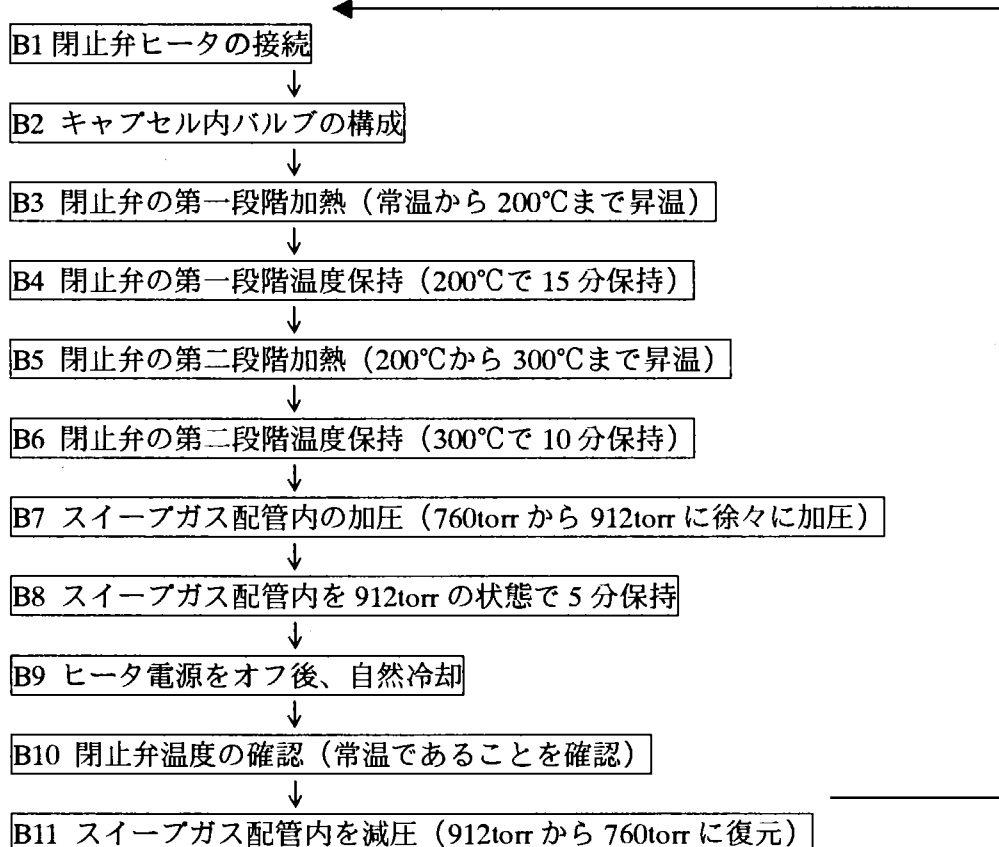
1. 全体作業フロー

以下に、閉止弁操作とそのための準備作業および後処理作業を含めた全体フローを示す。

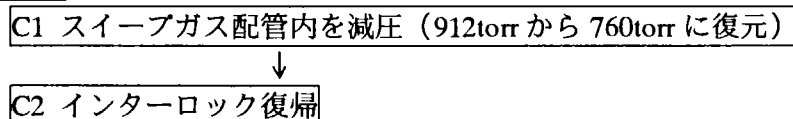
A. 準備作業



B. 閉止弁の操作 (給気側閉止弁→排気側下側閉止弁→排気側上側閉止弁の順で操作各閉止弁毎に B1～B10 を実施)



C. 後処理作業



A 準備作業要領

以下に詳細な作業要領を示す。

A1 トリチウム除去作業

スイープガス配管内のトリチウムガスを除去する。

A2 キャプセル内バルブのインターロック解除

キャプセル内バルブ AV001～AV003 間のインターロックを解除する。

A3 スイープガス配管内調整

スイープガス配管内圧力を定常状態 (700torr) から大気圧(760torr)に変圧する。

B 閉止弁の操作

以下に閉止弁の操作に関する詳細要領を示す。

B1 閉止弁ヒータの接続

閉止弁の操作は下記順序で実施される。閉止弁を含むキャプセル内部系統図を図1に示す。

給気側閉止弁 (SV-001)

排気側上流部閉止弁 (SV-003)

排気側下流部閉止弁 (SV-002)

閉止弁のヒータ電源はキャプセルが照射されている際には結線されていないため、閉止弁操作時にはヒータ電源を接続する必要がある。閉止弁ヒータの結線に際しては、誤作動や漏電等により、操作する閉止弁以外の閉止弁ヒータが作動することを防止するため、操作する閉止弁のヒータ電源のみを結線する。閉止弁ヒータ電源の結線図を図2に示す。なお、閉止弁ヒータ操作用にヒータ電源にはスラダックを接続すること。

B2 キャプセル内バルブの構成

系統内の加圧のために、キャプセル内バルブを構成すること。各閉止弁操作時毎のキャプセル内バルブの構成図を図3に示す。なお、キャプセル内バルブ構成の変更作業は一番目の給気側閉止弁と二番目の排気側下流部閉止弁操作及び全閉止弁操作後のみとする。(三番目の閉止弁操作時はバルブの構成は二番目の閉止弁操作時と同じであるため、バルブ構成操作は行わない。)

B3 閉止弁の第一段階加熱 (常温から 200°Cまで昇温)

閉止弁温度が $200 \pm 5^\circ\text{C}$ の範囲で定常状態となるように、閉止弁ヒータ電源電圧を調整すること。コールド条件 (常温、大気中) での閉止弁性能試験の結果から、閉止弁温度が $200 \pm 5^\circ\text{C}$ となる閉止弁ヒータ電源電圧は 23~25V と予想されるが、実際の操作に際しては閉止弁温度を観測しながら閉止弁ヒータ電源電圧の微調整を行うこと。

B4 閉止弁の第一段階温度保持 (200°Cで 15分保持)

閉止弁温度が $200 \pm 5^\circ\text{C}$ で定常状態になったことが確認された後、その状態を 15 分間保持すること。保持時間中に閉止弁温度が $190 \sim 210^\circ\text{C}$ の範囲を外れる場合は、閉止弁ヒータ電源電圧を微調整し、閉止弁温度が上記規定温度範囲になるよう調整すること。閉止弁温度が設定範囲を外れた際に、閉止弁ヒータ電源電圧微調整により、程なく設定温度範囲に戻った場合は、保持時間の計測をやり直す必要はないものとする。

B5 閉止弁の第二段階加熱 (200°Cから 300°Cまで昇温)

閉止弁温度が $200 \pm 5^\circ\text{C}$ である状態を 15 分間保持した後、閉止弁ヒータ電源電圧を操作し、閉止弁温度を $300 \pm 5^\circ\text{C}$ まで加熱する。コールド条件 (常温、大気中) での閉止弁性能試験の結果から、所定の温度である $300 \pm 5^\circ\text{C}$ となる閉止弁ヒータ電源電圧は 35~40V と予想されるが、実際の操作に際しては閉止弁温度を観測しながら閉止弁ヒータ電源電圧の微調整を行うこと。

B6 閉止弁の第二段階温度保持 (300°Cで 10分保持)

閉止弁温度が $300 \pm 5^\circ\text{C}$ で安定したことが確認された後、その状態を 10 分間保持すること。保持時間中に閉止弁温度が $290 \sim 310^\circ\text{C}$ の範囲を外れる場合は、閉止弁ヒータ電源電圧を微調整し、閉止弁温度が上記規定温度範囲になるよう調整すること。閉止弁温度が設定範囲を外れた際に、閉止弁ヒータ電源電圧微調整により、程なく設定温度範囲に戻った場合は、保持時間の計測をやり直す必要はないものとする。

B7 スイープガス配管内の加圧 (760torr から 912torr に徐々に加圧)

閉止弁温度が $300 \pm 5^\circ\text{C}$ で 10 分保持された後、閉止弁の低融点金属装荷側を 0.2kgf/cm^2 加圧する (912torr にする) こと。加圧の際には、急激な圧力変化をさせず、徐々に行うこと。なお、圧力は系統内圧力指示記録計(PICRA102)により調整し、現場型圧力計 (PI103) で最終確認すること。また、本作業過程でのヒータ電源電圧の操作は行わないこと。

B8 スイープガス配管内を 912torr の状態で 5 分保持

閉止弁の低融点金属装荷側の圧力を 912torr にした後、その圧力状態を 5 分間保持すること。なお、圧力保持する間の閉止弁温度は $300 \pm 5^\circ\text{C}$ を保持し、ヒータ電源電圧の操作は行わないこと。

B9 ヒータ電源をオフ後、自然冷却

閉止弁の低融点金属装荷側の圧力を 912torr に 5 分間保持すること。圧力は系統内圧力指示記録計(PICRA102)により調整し、現場型圧力計 (PI103) で最終確認すること。保持後は、閉止弁ヒータ電源をオフにし、閉止弁を自然冷却すること。その後、閉止弁温度が常温になるまで放置すること。

B10 スイープガス配管内を減圧 (912torr から 760torr に復元)

閉止弁温度が常温であることを確認した後に、低融点金属装荷側の加圧状態 (912torr) を大気圧(760torr)に復元すること。圧力は系統内圧力指示記録計(PICRA102)により調整し、現場型圧力計 (PI103) で最終確認すること。

C. 後処理作業

C1 スイープガス配管内を減圧 (912torr から 700torr に復元)

全ての閉止弁の操作が終了し、全閉止弁の温度が常温になったことを確認した後に系統内を定常状態の負圧 (700torr) にすること。

C2 インターロック復帰

閉止弁操作前に解除したキャプセル内バルブのインターロックを復帰させること。

+

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
上率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10⁻¹⁹ J
1 u = 1.66054 × 10⁻²⁷ kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バ	b
バール	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å = 0.1 nm = 10⁻¹⁰ m
1 b = 100 fm = 10⁻²⁸ m²
1 bar = 0.1 MPa = 10⁵ Pa
1 Gal = 1 cm/s² = 10⁻² m/s²
1 Ci = 3.7 × 10¹⁰ Bq
1 R = 2.58 × 10⁻⁴ C/kg
1 rad = 1 cGy = 10⁻² Gy
1 rem = 1 cSv = 10⁻² Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局 1985年刊行による。ただし, 1 eV および 1 uの値はCODATAの1986年推奨値による。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令では bar, barn および「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s (= N·s/m²) = 10 P (ポアズ) (g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s = 10⁴ St (ストークス) (cm²/s)

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg (Torr)	lbf/in ² (psi)
力	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal = 4.18605 J (計量法)
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	= 4.184 J (熱化学)
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹	= 4.1855 J (15 °C)
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵	= 4.1868 J (国際蒸気表)
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS (仏馬力)
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1	

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

スリープガスライン閉止栓の開発

R100

古紙配合率100%
白化度70%再生紙を使用しています。