

JAERI-Tech
2000-017



JP0050338



NSRR高速炉燃料実験用ナトリウム
取扱設備の開発
(2) ナトリウム・カプセル

2000年3月

吉永真希夫・中村武彦・山崎 利

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, 2000

編集兼発行 日本原子力研究所

NSRR 高速炉燃料実験用ナトリウム取扱設備の開発 (2) ナトリウム・カプセル

日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター原子炉安全工学部
吉永真希夫・中村 武彦・山崎 利*

(2000年2月1日受理)

軽水炉の運転により生成されるプルトニウムの利用およびアメリシウム等の長半減期放射性物質の消滅処理の担い手として期待される高速炉の実用化にあたっては、軽水炉とは大きく異なる事故時燃料挙動等の解明及びこれに基づく安全評価指針類の整備が不可欠である。原研の原子炉安全性研究炉(NSRR)では、高速炉燃料をナトリウム冷却条件でパルス照射して、過渡出力事故時の燃料挙動を解明するためのナトリウム取扱設備として、

- (1) 純化・充填及び試験部循環設備
- (2) ナトリウム・カプセル

の開発と製作・設置を行った。本報告書は、この内、(2)ナトリウム・カプセルの試作品の開発及び製作について、その目的、概要、仕様、性能、運転結果等をまとめたものである。ナトリウム・カプセルはNSRRにおいて高速炉燃料のパルス照射実験を行うために必要なものである。ナトリウム・カプセルとして、「静止ナトリウム・カプセル」と「流動ナトリウム・カプセル」の二種類を検討した。しかし、試作開発としては、技術的に難易度の高い「流動ナトリウム・カプセル」を優先させた。また、軽水を冷却材としているNSRRに装荷し実験するためには、ナトリウム漏洩を生じさせない事が絶対条件である。したがって、カプセル蓋フランジ部のシール性能が特に重要な開発項目になる。カプセル蓋フランジ部の構造が各ナトリウム・カプセルでは異なるため、タイプに応じたカプセル蓋フランジ部の開発もあわせて行った。

東海研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

※平成10年定年退職

Development of Sodium Facilities for NSRR Fast Breeder Reactor Fuel Tests

(2) Sodium Capsule

Makio YOSHINAGA, Takehiko NAKAMURA and Toshi YAMAZAKI*

Department of Reactor Safety Research
Nuclear Safety Research Center
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 1, 2000)

In order to commercialize fast reactors, which are expected to be long-term transmuters of plutonium and long half life radioactive wastes (such as americium) from light water reactors, safety research under accident conditions and establishment of the safety guidelines are essential. Sodium facilities, such as,

- (1) Purification/charging loop and test loop, and
- (2) Proto-type Sodium capsule,

were developed and fabricated in order to pulse irradiate fast breeder reactor fuels in the Nuclear Safety Research Reactor (NSRR) of JAERI for investigation on fuel behavior under transient over-power conditions. This report presents the purpose, outlines, specifications, capabilities and operation results of the proto-type sodium capsule.

Two kinds of capsule, i.e., the stagnant sodium capsule and the sodium loop, were designed to pulse irradiate FR fuels in the NSRR under sodium cooling conditions with and without flow, respectively. Because the capsules have to safely contain chemically active sodium at high temperature and stand the pressure pulses by the sodium hammer which might be generated at fuel failure, the development of the capsule is essential for realizing the research. Thus, proto-type sodium loop, which consisted of doubly sealed container, sodium pump and flow meter, was developed. In addition, two type of flange structure for the stagnant capsule and loop was leak tested at high pressures, in order to confirm its sealing capability at room and high temperature conditions.

Keywords : NSRR, Fast Reactor Fuel, Sodium Cooling, Pulse Irradiation, Fuel Behavior,
Sodium Capsule

※: Retirement in 1998

目次

1. はじめに	1
2. ナトリウム・カプセル開発の基本概念	2
3. 流動ナトリウム・カプセルの試作	4
3. 1 試作流動ナトリウム・カプセルの設計方針	4
3. 2 機器の構成	5
3. 3 各機器の機能または性能	7
3. 4 試作流動ナトリウム・カプセルの取扱い	8
3. 5 試作流動ナトリウム・カプセルの運転試験	10
3. 6 試作流動ナトリウム・カプセルに関する問題点等	10
4. 静止カプセル型フランジの高温耐圧試験	12
4. 1 フランジの設計概念	12
4. 2 試験体	13
4. 3 ボルトの強度計算	13
4. 4 試験検査要領及び判定基準	16
4. 5 試験結果	16
4. 6 ボルト強度の再計算	19
5. 流動カプセル型フランジの耐圧試験	20
5. 1 試験の概要	20
5. 2 試験体	20
5. 3 ボルトの強度計算	21
5. 4 試験検査要領及び判定基準	22
5. 5 試験結果	22
6. まとめ	23
謝辞	23
参考文献	24
付録Ⅰ	53
付録Ⅱ	55
付録Ⅲ	56

Contents

1. Introduction	1
2. Basic Concept of Sodium Capsule Development	2
3. Proto-type Sodium Loop Capsule	4
3.1 Design Policy of Proto-type Sodium Loop Capsule	4
3.2 Construction of the Devices	5
3.3 Function or Performance of Each Device	7
3.4 Operation of Proto-type Production Sodium Loop Capsule	8
3.5 Running Test of Proto-type Sodium Loop Capsule	10
3.6 Problems of Proto-type Sodium Loop Capsule	10
4. High Temperature Proof Pressure Test of Stagnant Sodium Capsule Flange ..	12
4.1 Design Policy of Flange	12
4.2 Test Devices	13
4.3 Intensity Evaluation of Flange Bolts	13
4.4 Test Inspection Points and Determination Standard	16
4.5 Test Result	16
4.6 Reassessment of Flange Bolt Intensity	19
5. High Pressure Test of Sodium Loop Capsule Flange	20
5.1 Outline of Tests	20
5.2 Test Bodies	20
5.3 Intensity Evaluation of Flange Bolts	21
5.4 Test Inspection Points and Determination Standard	22
5.5 Test Result	22
6. Summary	23
Acknowledgement	23
Reference	24
Appendix I	53
Appendix II	55
Appendix III	56

1. はじめに

軽水炉の使用済燃料の再処理により取り出されるプルトニウム (Pu) の利用 (プルサーマル) は、我が国の長期的エネルギー戦略上重要な課題である。高速炉は Pu の利用およびアメリシウム (Am) 等の長半減期放射性物質の消滅処理の将来の担い手として期待されている。しかしながら、高速炉の実用化にあたっては、冷却材として用いるナトリウム (Na) の利用技術、炉心特性等に関する多くの技術開発が必要なため、原型炉“もんじゅ”以降、実証炉を経て段階的に開発を進める計画となっている。この際、想定される高速炉の事故は軽水炉とは大きく異なるため、これに対応した安全評価指針類の整備が不可欠であり、このための、安全研究が必要とされる [1-3]。

日本原子力研究所の原子炉安全性研究炉 (Nuclear Safety Research Reactor: NSRR) では、高速炉燃料の過渡出力事故時の燃料挙動を解明し、安全評価に必要なデータを得る実験を計画した [4, 5, 6]。この実験計画は、高速炉燃料をナトリウム冷却条件でパルス照射し、その破損挙動を実験的に究明するものである。研究の対象は、出力異常に起因する事象として、

- ・過渡過出力事象 (Transient Over Power: TOP)

冷却異常に起因する事象としての、

- ・流量喪失事故 (Loss Of Flow: LOF)

及びこれらの、複合事象である

- ・流量喪失起因過出力 (LOF-driven-TOP: TUCOP)

等を想定している。

この計画を実現するためには、実験燃料をナトリウム冷却条件で照射するナトリウム・カプセルが必要となってくる。ナトリウム・カプセルは化学的に活性なナトリウム、実験燃料及び照射により生成される核分裂生成物 (Fission Product: FP) を安全に密封し、燃料破損時に発生する衝撃圧力及びナトリウム・ハンマーに耐える構造でなければならない。また、カプセルには燃料温度、ナトリウム温度・流量等の燃料挙動評価上重要なデータを得るための計装を備える必要がある。しかし、NSRR (図 1.1) の実験孔で照射するために、実験カプセルの直径は最大約 20cm に制限される。

この他に、図 1.2 に示す実験設備 [7] が必要となる。この設備は、カプセルにナトリウムを充填する純化・充填設備、照射後のカプセルを解体する解体設備、核燃料で汚染したナトリウムの洗浄・処理設備等から構成される。これらの条件を満たすカプセルを開発し、ナトリウムの充填、カプセルの運転試験、必要な計装機器の開発等を行うため、

- (1) 純化・充填及び試験部循環系設備
- (2) ナトリウム・カプセル

の開発と製作・設置を行った。ナトリウム・カプセルの開発に必要な試作試験と各種機器を図 1.3 に示す。

本報告書は、この内、(2)ナトリウム・カプセルの試作・開発について、その目的、概要、仕様、性能等をまとめたものである。実験用ナトリウムの純化運転等を行う(1)純化・充填及び試験部循環設備の開発及び製作・設置について、その目的、概要、仕様、性能等についてはすでに報告した[8]。

ナトリウム・カプセルの種類としては、「静止ナトリウム・カプセル」(図 1.4)と「流動ナトリウム・カプセル」(図 1.5)の二種類を検討した。今回、ナトリウム・カプセルを試作するにあたって、技術的難易度の高い流動ナトリウム・カプセルの開発を優先し、試作試験することにした。また、ナトリウム・カプセルのフランジ部シール性能も特に重要な開発項目である。なお、静止ナトリウム・カプセル用フランジ部の高温耐圧試験と流動ナトリウム・カプセル用フランジ部の耐圧試験も行った。

2. ナトリウム・カプセル開発の基本概念

NSRR 高速炉燃料実験では、静止ナトリウム冷却条件で燃料をパルス照射する全長約 1.2m の静止ナトリウム・カプセル(図 1.4)、電磁ポンプ及び流量計を有しナトリウムを循環させる全長約 3m の流動ナトリウム・カプセル(図 1.5)が使用される予定である。

静止ナトリウム・カプセルは、2重管構造で実験燃料及びナトリウムを密封する内部カプセルと、万が一内部カプセルの密封が破れた場合の密封境界となる外部容器から構成されている。内部カプセルには約 2.4 ㏩(2400cm³)のナトリウムが充填され、最高使用圧力は 5kg/cm² である。内部カプセル試験部は、全長 600mm の高速炉燃料を最大 7 本収納する。内部カプセル試験部の外側は、断熱材及び NSRR 炉心からの中性子を熱化するポリエチレン減速材で構成され、外部容器で密封される。

流動ナトリウム・カプセルは、静止ナトリウム・カプセルと同じ 2重管構成である。内部カプセルには約 5.0 ㏩(5000cm³)のナトリウムが充填される。内部カプセルの内管内はナトリウムが下から上へ循環し、実験燃料を収納する試験部、電磁流量計、電磁ポンプ、上部プレナムの順に巡り、その後、内管外側を下部プレナムまで下降し一巡する流路が形成される。また、電磁ポンプは空気冷却が必要なため、冷却用空気が、計装及びヒーター等の電力ケーブルと共にカプセル上部から導入される。

内部カプセルは外径(直径)60mm 及び 27mm の二重円管内をナトリウム対向流が流れる構造となっており、試験部上部に配置した電磁流量計では下向き外側流と上向き中心流を測定することにより、それぞれ試験部入り口流量、出口

流量が評価できる。これらは、実験評価上、非常に重要な情報であり、限られた寸法制限内でこれらを同時に測定するため、部分的に中心流を磁気遮蔽した特殊な電磁流量計を開発し、特許[9]を取得した。

この流動ナトリウム・カプセルへのナトリウムの充填は、内部カプセルを吊り出し充填用バルブを介して、ナトリウム充填用ボックス内でアルゴン雰囲気で行う。このためのカプセル固定架台及び治具等が充填ループの付属品となる。また、ナトリウム・カプセルを倒立させナトリウムを排出させる排出ポット、ナトリウムで汚染した機器をアルコール洗浄する洗浄設備、試作流動ナトリウム・カプセルの性能試験を行うための模擬実験孔等を併せて整備した。

静止ナトリウム・カプセルは、実験燃料棒を静止しているナトリウム中に装荷する方式であり、カプセルを全長で 1.2m 以内に設計できる。また、流動ナトリウム・カプセルは、カプセル内に電磁ポンプや電磁流量計を有するために全長で 3.0m 以上にならざるを得ない。NSRR の実験孔の関係から、カプセル全長が 1.2m 以下ならば、オフセット実験孔からの装架が可能であり、1.2m を超えると垂直実験孔からのカプセル装架となる。全長 1.2m 以下のカプセルは、パルス照射後 1～3 日程度でカプセル貯留ピットへ移動し、冷却できるので、実験孔を早い時期に空にできる。これに対して、垂直実験孔へ入れた 1.2m を超えるカプセルは、カプセル貯留ピットへ移動できないので、カプセルの放射能の減衰を待つために 1～3 週間実験孔内に保管することになる。このためカプセル全長が 1.2m 「以下のもの」と「超えるもの」とでは、実験サイクルの期間が大幅に違うことになる。

「静止ナトリウム・カプセル」と「流動ナトリウム・カプセル」の両型ともカプセルの組立・解体に容易な、フランジ・ボルト構造とした。また、万一のナトリウム冷却材漏れを考慮して、独立二重構造とする。二重構造のうち、内部カプセルは高温のナトリウムを内包するため、耐圧・気密とし、外部容器は通常不活性ガスのみ内包するので気密構造だけで十分である。万一、内部カプセルからナトリウムが漏洩した時には、外部カプセル内に溜まるようにしなければならない。

耐圧力としては、カプセルの運転圧力と実験燃料破損時に発生する衝撃力及び冷却材(ナトリウムの塊を想定する)の飛び上がりによる衝撃力(ナトリウム・ハンマー)を考慮する。

気密性としては、NSRR 実験用水カプセルに適用している He リーク試験の基準値 1×10^{-6} acc/sec 以下の漏洩率を適当とする。

ナトリウム冷却材の最高温度は、「もんじゅ」の安全審査における SUS316 鋼の耐熱性を考慮した 600℃とする。この温度において、内部カプセルの耐圧・気密保持のため、胴部、蓋、フランジ・ボルトの材料としては、同一材料を用い

ることによって、熱による伸びの差が生じないようにしなければならない。パッキンは当然高温に耐える金属リングにする必要がある。

外部容器は内部カプセルを簡単に挿入できるとともに、気密保持できるようにしなければならない。

外部容器外径は、NSRR 実験孔の制限値、最大 200mm の制約を受ける。そのため、外部容器の蓋周辺の外径は、最大 200mm としなければならない。そのため外部容器内へ挿入する内部カプセル外径が非常に小さくなってしまふ。それを防ぐ構造として考えられるのは、外部容器の胴部と蓋をシリンダとピストンに見立て、胴部と蓋の機械加工の精度を良くし、ピストン・リングの位置にゴムリング・パッキンを入れ、蓋のスラスト移動をシェア・ピンで止める構造とすれば達成できる。

ナトリウム・カプセルの内部カプセル及び外部容器を貫通するものとしては、計装線、予熱用電力線及び冷却用配管（流動型のみ）がある。ナトリウムを閉じ込める内部カプセル・フランジを貫通する主な計装線としてはシース熱電対用の MI (mineral insulated) ケーブルである。そのため、蓋にノズルを溶接し、ノズルに MI ケーブルを通し、銀ろう付けにより止める。

外部容器のフランジにおける計装線の貫通部分については、内部容器と同様の方法で止める。また、電力線の貫通部分は、袋ナット構造により止める。

流動型のみに必要な冷却配管は、ジャバラによる伸縮自在管と溶接の組み合わせによりシール性を保持しつつ固定できる。

3. 流動ナトリウム・カプセルの試作

3. 1 試作流動ナトリウム・カプセルの設計方針

試作流動ナトリウム・カプセルの構造図を図 3.1(a)～図 3.1(e)に示す。

流動ナトリウム・カプセルの設計条件は次のとおりである。

設計条件

- ① 最高使用温度において A クラスの水平地震加速度に対して十分な機械的強度を有すること。
- ② 二重容器、耐圧、耐衝撃、密封構造でナトリウム等の漏洩の無いこと。
- ③ 機器区分

内部カプセル	: M I T I (通商産業省令) 第一種容器相当 (高温部: もんじゅの高温構造設計方針相当)
外部容器	: M I T I 第三種容器相当 (S T A (試験研究の用に供する原子炉等の設置・運転等に関する規則及び関連府令) 第三種容器相当)
- ④ 実験燃料棒部流速: 5.0m/sec

⑤ 実験燃料棒寸法

単一（1本）棒実験時

直径 : 6.5mm

全長 : 600mm

または

直径 : 8.5mm

全長 : 600mm

7本集合体実験時

三角配列ピッチ : 7.9mm

が装着できること。

- ⑥ 最高使用温度 : 600℃
- ⑦ カプセル寸法 : 直径 200mm、全長約 3,000mm
- ⑧ 減速材 : ポリエチレン厚さ 40mm、長さ 400mm
- ⑨ カプセル冷却 : 外部容器外側の空気の流れ、約 3.0m³/min
- ⑩ カプセル下端温度 : 60℃以下（カプセルのスカート部表面温度で）
- ⑪ 気密性 : He リークテスト 1×10⁻⁶acc/sec 以下
- ⑫ 燃料最高発熱量 : 700cal/g·fuel（単一棒実験）
: 300cal/g·fuel（7本集合体実験）
- ⑬ 燃料重量 : 90g/本
- ⑭ 使用時間 : 全時間＝室温から 600℃までの昇温時間
+ 600℃ 4 時間保持時間
+ 600℃から室温までの降温時間

⑮ 設計荷重

運転圧力（実験開始から終了まで）

最高使用温度における静的最高圧力、約 5.0kgf/cm²

衝撃圧力（瞬時）

内部カプセルの薄肉胴部について、600℃の時、一次一般膜応力の主応力値が S_y 値（降伏応値）となるまでの圧力

ナトリウム飛び上がり力（ナトリウム・ハンマー）（瞬時）

運転中の全温度、全荷重に対して、フランジ・ボルトの応力値が、 $S_y/3$ 以下となる荷重（圧力）とする。

3. 2 機器の構成

試作流動ナトリウム・カプセルは、カプセル本体と運転制御盤から構成され

る。

(1) カプセル本体の構成

カプセル本体は、次の部品から構成される。

- ① 内部カプセル胴部
- ② 内管（実験燃料棒支持板含む）
- ③ 金属パッキン
- ④ 内部カプセル蓋
- ⑤ 内部カプセルフランジ・ボルト
- ⑥ 電磁ポンプ
- ⑦ 電磁流量計
- ⑧ 外部容器胴部
- ⑨ 外部容器蓋（ゴムOリング&シェアピン含む）
- ⑩ カプセル結合部
- ⑪ 予熱ヒータ
- ⑫ 断熱材
- ⑬ 減速材
- ⑭ 冷却カバー
- ⑮ 計装

(2) カプセルの運転制御盤の構成

カプセルの運転制御盤は、ナトリウム純化設備系の盤から電源の供給を受け、カプセル本体へ供給すると同時に電力の制御と各計装の指示記録等を行う。ナトリウム純化設備系から受ける電源は、

- ① 3φ200V10kVA
- ② 1φ200V9.0kVA
- ③ 1φ100V1.0kVA

の3回路であり、

カプセル本体への供給は、

- ① 電磁ポンプへ変圧器を通し3φ200V7.2kVA、
- ② 電磁ポンプ冷却ブローアへ直接3φ200V3.7kVA、
- ③ 予熱ヒータへ1φ200V系を直接供給が2回路、スライダック経由が2回路、の計4回路、
- ④ 制御電源、計装電源及びコンセントとして1φ100V1.0kVAを直接供給する。

運転制御盤内には、次の計器類が組み込まれている。

- ① デジタル温度指示調節計、

- ② デジタル温度指示計、
- ③ 小型デジタル温度指示調節計、
- ④ ナトリウム流量計、
- ⑤ 電磁ポンプ冷却空気流量計、
- ⑥ 内部カプセル圧力計、
- ⑦ ナトリウム漏洩検出器、
- ⑧ 電磁ポンプ電圧電流計、
- ⑨ 予熱ヒータ電圧電流計、
- ⑩ ハイブリッド記録計
- ⑪ 警報ランプ類

計装類のリストは、表 3.1(a)、表 3.1(b)に示す。

付属品の一覧については、付録 I に示す。

3. 3 各機器の機能または性能

カプセル本体

① 内部カプセル胴部

高温のナトリウムを内包する容器の一部で、圧力・気密のバウンダリーである。

② 内管（実験燃料棒支持板含む）

内部カプセル内において、ナトリウムの流れを同心円状に分けるための管であり、中心部を上向きに、外側を下向きに流すようにしたとともに、実験燃料の支持構造材としている。耐圧、気密性はない。

③ 金属パッキン

内部カプセル用のパッキンで、圧力・気密バウンダリーである。

④ 内部カプセル蓋

圧力・気密バウンダリーである。

⑤ 内部カプセルフランジ・ボルト

蓋を締め付けるボルトである。

⑥ 電磁ポンプ

ナトリウムを流すための動力源であるとともに、内部カプセルの一部を構成している。

⑦ 電磁流量計

ナトリウムの流れを測定するためのセンサ部であり、内部カプセルの一部を構成している。

⑧ 外部容器胴部

二重容器のうち、外側の容器である。

⑨ 外部容器蓋（ゴムOリング&シユアピン含む）

二重容器のうち、外側の蓋であり、差し込み式としている。ゴムOリングで気密性を持たせシユアピンで蓋のスラストを止める構造としてする。

⑩ カプセル結合部

カプセルとホールダウン機構の接続部分であるとともにカプセル吊り上げ用の吊り手としても利用する。

⑪ 予熱ヒータ

内部カプセル外側へ直接巻き付けナトリウムの予熱に利用する。

⑫ 断熱材

内部カプセルと外部容器の間であって、予熱ヒータから発生する熱を外側へ流さないようにするものである。

⑬ 減速材

内部カプセルの外側であって、実験燃料棒へなるべく多くの熱中性子が当たるように考えたものである。

⑭ 冷却カバー

実験孔とカプセルとの隙間の空気の流れをなるべくカプセル側へ流れるようにしたカバー材である。

⑮ 計装

熱電対、圧力センサ、液面計、漏洩検出器、流量計等がある。

3. 4 試作流動ナトリウム・カプセルの取扱い

試作流動ナトリウム・カプセルの組立にあたっては、現在カプセル組立に使用する機器が未整備のため、新品の状態から組立できない。ここでは、模擬燃料棒、支持板、内管、減速材、断熱材等の組立が完了し、実験棟へ搬入され、カプセル保管台に保管されているものと仮定して説明する。

(1) ナトリウム注入準備作業

試作流動ナトリウム・カプセルへのナトリウム注入準備作業は、次のように行う。

- ① カプセルを模擬実験孔へ移動する。
- ② 外部容器蓋を取り外す。
- ③ 上部断熱材を取る。
- ④ 充填ボックスをナトリウム注入架台へ設置する。
- ⑤ 内部カプセルのバイオネットをはずし、内部カプセルが外部容器の上に少し出る（約 20cm）ように吊り上げ、首吊り治具で内部カプセルを固定する。
- ⑥ カプセル本体のノズルとナトリウム設備側の注入配管を接続する。

- ⑦ 予熱ヒータ用電線、計装用リード線を接続する。
- ⑧ 充填ボックスの配管及び電器類を接続する。

(2) ナトリウム注入作業

準備作業終了後、ナトリウム注入作業を次のように行う。

- ① ナトリウム設備系の真空ポンプで、接続配管内及び内部カプセル内を真空 (Storr 以下) にする。
- ② 内部カプセル内へ Ar ガスを注入し、ガス圧を調節する。
- ③ 充填ボックス内の空気を Ar ガスと置換する。
- ④ カプセル及び接続配管を 200℃まで予熱する。
- ⑤ ナトリウム設備系のナトリウム純化と計量の準備が完了してから、注入を開始する。
- ⑥ 注入完了後バルブを締め、予熱ヒータを切り、温度を下げる。

(3) ナトリウム注入後検査

ナトリウム注入完了後、次のように注入後の検査を行う。

- ① 内部カプセル内のナトリウムの温度が室温になってから、ナトリウム注入バルブ周辺の耐圧試験を行う。なお、この試験は正式な圧力でなく、1kgf/cm²程度の圧力で 30 分間以上放置して圧力降下のまったく無いことを確認する。
- ② 注入配管、予熱電力線、計装リード線等を切り放す。
- ③ 充填ボックスを取り外す。
- ④ 内部カプセル・フランジ周辺の He リーク試験を行う。1×10⁻⁶acc/sec 以下であること。

(4) カプセル復旧作業

検査終了後、次にカプセル復旧作業を行う。

- ① 内部カプセルをクレーンで吊り、首吊治具を取り外す。
- ② 内部カプセルを着座させ、バイオネットをロックする。
- ③ 上部断熱材をセットし、外部容器蓋を着座・固定する。
- ④ 外部容器蓋周辺の He リーク試験を行う。

(5) カプセルの運転

カプセルの運転は次のように行う。

- ① 予熱電力線、計装リード線を結線する。
- ② 制御盤の SV 値を 200℃に設定する。
- ③ 予熱ヒータはカプセルの上側から投入する。
- ④ ナトリウム温度が 200℃を越えてから電磁ポンプを起動するが、起動する時スライダック STR11 が OFF 位置であることを確認してから起動する。

流速は0~100 ㎖/min の範囲で希望値に設定する。

- ⑤ ナトリウム温度が上がりすぎる時は、模擬実験孔内のプロアを起動する。
- ⑥ ナトリウム温度が 550℃に達した時は、すべての予熱ヒータを切る。
- ⑦ 高温時で流速の大なる時は、ナトリウム温度が 600℃を越えないように特に注意して取り扱う。
- ⑧ 所定のデータを取る。
- ⑨ 運転を終了する時は、電磁ポンプを停止し、予熱ヒータのすべてを切る。
- ⑩ ナトリウム温度が 100℃になるまで、プロアを運転しながら看守する。
- ⑪ 100℃未満となった時、すべての電力線、計装リード線を OFF とし、運転を終了する。

3. 5 試作流動ナトリウム・カプセルの運転試験

前節において説明した試作流動ナトリウム・カプセルの取扱い方法に従い、ナトリウムの注入、カプセルの運転、ナトリウムの排出を行った。

運転試験は、ナトリウム注入後、十分に冷却させ室温状態であることを試作流動ナトリウム・カプセルの計装熱電対により確認後、運転を開始した。運転は、開始から 600 分間（10 時間）行い、計測点の測定を行った。

表 3.2 にナトリウム・カプセルの運転試験の結果を示す。断熱材温度(2) (TI 121)において、540 分以降の測定値が無いのは、熱電対が断線したためである。また、電磁流量計及び電磁ポンプは、360 分まではナトリウム温度が 200℃を超えていないため、起動していない。

試作流動ナトリウム・カプセルの予熱ヒータは 500℃を超える昇温能力を有している。また、電磁ポンプの電流調整により流量調整が可能であり、ナトリウム流動冷却条件が実現可能であることが確認された。特に部分的に中心流を磁気遮蔽した新規開発の電磁流量計の性能についても実証できた。

しかしながら、ナトリウムの注入・排出を含む一連のカプセル運転作業を行った結果、不具合、問題点等が判明した。これらについて次節に述べる。

3. 6 試作流動ナトリウム・カプセルに関する問題点等

(1) 取扱い設備面の問題点

- ① 部品の状態から流動ナトリウム・カプセルを組立てる場合、組立架台が必要である。
- ② 圧力試験器及び He リーク試験器は、ナトリウム・カプセル専用のもの

のが必要である。

- ③ 特に炉内照射実験後のカプセル解体に当たっては、ナトリウムが直接通常の空気に触れないようにアルゴンガス等の不活性ガス中での作業を行わなければならない。また、ナトリウム中にある放射性物質や放射性ガスが拡散しないような仕切が必要である。カプセル全長を 3m とした時、内部カプセルを引き出すためには、約 7m の空間が必要である。たて型または横型いずれの空間であってもカプセル押さえ金具やカプセル台を考えると非常に大きな空間を要する。

(2) カプセルの不具合等

- ① カプセル一体型の電磁ポンプは、ポンプ効率を良くするために、圧力バウンダリーであるポンプの一部の壁厚を薄く設計している。これは、実験燃料が破損する特に生ずる圧力波に対して弱点となる。圧力波に対して十分安全側に設計するとポンプの能力が極端に低下することがわかっている。今回、試作の流動カプセルを照射実験に使用したと仮定すると少しの衝撃力によって、ポンプ本体が変形すると想定される。変形しない壁厚とするとポンプ能力がでない。したがって、照射実験用流動カプセルを設計する際、ポンプの肉厚をいくりにするかは大きな問題である。
- ② 今回試作した流動ナトリウム・カプセルは、カプセル全体を吊り上げる場合、外部容器蓋付きの吊り金具によって吊り下げるようになっている。しかし、外部容器蓋をはずし内部カプセルを首吊り状態にする工程で、外部容器側にも吊り手があった方が便利であるので、一次的な吊り手を付ける必要がある。
- ③ 現設計の外部容器蓋支え金具は、リング状であるため、計装線をこの金具に通して作業しなければならず非常に不便である。よって、リングの半分を切り捨て、2本のボルトだけで使用できるような設計とすべきである。
- ④ 内部カプセル吊りトング (図 3.2) の門形高さは、現在より 2 倍ほど高くした方が、計装プラグや配管から離れるので作業性が良くなると考えられる。
- ⑤ 現在の内部カプセル回転ハンドル (バイオネット固定&はずし用) (図 3.3) は、内部カプセルのフランジボルトの頭を利用するような構造になっているが、断熱材が邪魔となり挿入できない。
- ⑥ 現設計の外部容器蓋取り付け・外し治具 (図 3.4) は、使用するとき外部容器のシェアピンの穴まで隠れてしまうので、メクラ操作

となり穴合わせができない。穴周辺が見えるように治具に窓を付ける必要がある。また、現在の治具へ窓を付けてもカプセルを台車に乗せたままでは装着できない欠点がある。

- ⑦ ナトリウム・カプセルの首吊り作業に当たって、レバブロック 2 台が必要である。最大荷重 800kgf、チェーンの長さ 2m 程度、シャックル 6 個、アイボルト 4 本、ナイロンスリング 60cm を 2 本と 2m を 2 本が必要である。

4. 静止カプセル型フランジの高温耐圧試験

4. 1 フランジの設計概念

ナトリウム・カプセル開発の基本概念的章で記述した条件等から照射用静止ナトリウム・カプセルを考えると図 4.1 に示すような構造のカプセルが想定できる。

カプセルを設計する上で最初に考慮すべき点は、カプセルの構造とともに強度及びナトリウム漏れの無いことである。構造は実験孔などの周辺機器条件によってある程度制約を受ける。必要な強度は実験条件等によってある程度決まってくる。漏れに関しては溶接していないフランジ周辺ということになる。

ナトリウム・カプセルを設計する上で重要な点は、ナトリウム漏れをいかに防ぐかである。

今回のカプセルで高温のナトリウムを封入し、耐圧・気密を保っているのは、胴部のフランジ、蓋、ボルト及びパッキンである。

図 4.1 を参考に外部容器へ挿入できる内部カプセルの最大外径は、154mm となるため、内部カプセルの最大外径は、最大値を考え 154mm とした。

内部カプセル中央胴部の内径は、60mm 以上を目標とした。この値を考慮しつつ、フランジ・ボルトを M20 (テンション・タイプ) とし、12 本とすると、フランジ部の内径は 80mm 程度に指定できる。もし、このボルトの太さで強度が不足する場合は、ボルト径を太くしなければならないが、太くするとフランジ部外径が定められているので、内径を小さくせざるを得ない。

パッキンとしては金属中空 Oリング・パッキンのバランス・タイプを選定した。その理由は水カプセルの設計・製作から使用経験が豊富にあるからである。

パッキンの寸法は、管径φ2.4mm×直径φ90mm ニッケル・メッキ付きとした。

高温状態においてパッキン部分が設計とおりの耐圧・気密を有しているかどうかを調べるために、試験用の容器を製作し試験することにした。内部カプセルに使用する材料は、SUS316 を選定しているので高温耐圧試験容器につ

いても同じ材料を使用する。フランジ・ボルト材も熱膨張の伸び量の差による応力が生じないように同一材料とした。

4. 2 試験体

(1) 試験体仕様

機器区分 : MITI 第 1 種容器相当(もんじゅ相当)

最高使用圧力 : $4.9 \times 10^5 \text{ Pa}$ (5.0kgf/cm²)

最高使用温度 : 600℃

シール性 : $1 \times 10^{-6} \text{ acc/sec}$ (He リークチェック)

(2) 試験体構造

構造 : 図 4.2 試験体構造参照

密封部 : 金属中空 Oリング・パッキン(バランス・タイプ)ニッケル・メッキ付き

フランジ部 : ボルト締め構造

ボルト : M20×12 本(SUS316)テンション・タイプ

各計装ノズル : 実機模擬(配置、寸法とも、ノズル溶接構造)

主要材質 : SUS316

(3) 試験条件

試験圧力 : $4.9 \times 10^5 \text{ Pa}$ (5.0kgf/cm²)

試験温度 : 室温から 600℃

シール性 : $1 \times 10^{-6} \text{ acc/sec}$ 以下 (He リーク・チェック)

4. 3 ボルトの強度計算

(1) 計算条件

温度 : 600℃

圧力 : 5.0kgf/cm²

トリウム・ハンマー : ボルト負荷する全応力が $S_y/3$ まで、または、パッキンの耐圧・気密保持限界以下のいずれか小さい方の値を与える力までとする。

使用回数 : 1 回のみとし、再使用しないものとする。

ボルト材質 : SUS316

ボルトサイズ : M20(最小径 16mm)

本数 : 12 本

パッキン : 金属中空 Oリング・パッキン(バランス・タイプ)ニッケル・メッキ付き

パッキン外径 : $\phi 90 \text{ mm}$

パッキン管径: $\phi 2.4\text{mm}$

パッキン肉厚: $t0.25\text{mm}$

(2) 強度計算

1) ボルトに負荷する荷重

引張荷重(F) = 内圧による荷重(F_1) + パッキン締め付けによる荷重(F_2) + ナトリウム・ハンマ(F_3)

$$F = F_1 + F_2 + F_3 \quad (1)$$

で与えられる。

① 内圧による荷重(F_1)

$$F_1 = P \cdot A_1 = P \cdot (\pi/4) \cdot D^2 \quad (2)$$

P (圧力): $5.0(\text{kgf/cm}^2)$ 、 A_1 (パッキンの断面積)、 D (パッキン外径): $\phi 90\text{mm}$

$$F_1 = 5.0 \times (\pi/4) \times 9^2 = 318 \quad \rightarrow \quad 320 \text{ kgf}$$

② パッキン締め付けによる荷重(F_2)

$$F_2 = k_n \cdot \pi \cdot D \cdot \alpha \quad (3)$$

k_n : 金属中空リング・パッキンの単位長さあたりの締め付け荷重
(10kgf/mm at 室温、日本バルカーカタログより)

D : $\phi 90\text{mm}$

α : 増締め係数(通常 1.0 以上にするので、ここでは仮に 1.2 とする)

$$F_{2room} = 10 \times \pi \times 90 \times 1.2 = 3,391 \quad \rightarrow \quad 3,391 \text{ kgf (室温)}$$

F_{2room} : 室温での内圧荷重

なお、 600°C におけるパッキンの単位長さあたりの締め付け荷重の値は不明であるが、いずれにしても高温になれば締め付け荷重が減少するはずである。そこで、締め付け荷重は、室温時と 600°C 時の降伏応力(各約 21kgf/mm^2 、約 11kgf/mm^2) の比に依存すると仮定すると、

$$k_n = 10 \times (11/21) = 5,238 \text{ kgf/mm (600}^\circ\text{C)} \quad (4)$$

となり、

$$F_{2high} = 5,238 \times \pi \times 90 \times 1.2 = 1,776 \text{ kgf/mm (600}^\circ\text{C)}$$

F_{2high} : 600°C での内圧荷重

になると想定される。

③ ナトリウム・ハンマーによる荷重

ナトリウム・ハンマーによる荷重としてボルトへ負荷できる最大の値は、ボルトに生じる応力の上限が $S_y/3$ と指定されているので、

$$(F_1 + F_2 + F_3) \cdot (N \cdot A_b) = \frac{S_y}{3} \quad (5)$$

と置いて、

$$F_3 = \left(\frac{S_y}{3} \right) \cdot (N \cdot A_b) - (F_1 + F_2) \quad (6)$$

ただし、
 N : ボルト本数 (:12 本)
 A_b : ボルトの断面積 ($= (\pi/4) \cdot d^2 = 201 \text{ mm}^2$)
 d : 16 (mm)
 S_y : ボルトの降伏点 (:11kgf/mm² at 600°C)

で与えられる。数値を代入すると、

$$\begin{aligned} F_3 &= (11/3) \times (12 \times 201) - (320 + 1,776) \\ &= 8,844 - 2,096 \\ &= 6,748 \text{ kgf} \quad (600^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &: F_3/A_1 &= 6,748 \times ((\pi/4) \times 90^2) \\ & &= 1.06 \text{ kgf/mm}^2 \\ & &= 106 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

となる。

したがって、計算上、ナトリウム・ハンマーは必ずこの F_3 値 (106kgf/cm²) 以下となるような実験だけが許容されることになる。

2) ボルトの応力

① 荷重 F_1 によってボルトに生じる応力

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{(N \cdot A_b)} = \frac{320}{(12 \times 201)} = 0.133 \text{ kgf/mm}^2$$

となる。

② 荷重 F_2 によってボルトに生じる応力

$$\sigma_{2room} = \frac{F_2}{(N \cdot A_b)} = \frac{3,391}{(12 \times 201)} = 1.406 \text{ kgf/mm}^2 \quad (\text{室温})$$

となるが、高温時では、

$$\sigma_{2high} = \frac{F_{2high}}{(N \cdot A_b)} = \frac{1,776}{(12 \times 201)} = 0.1737 \text{ kgf/mm}^2 \quad (600^\circ\text{C})$$

になると想定される。

- ③ F_1 と F_2 によってボルトに発生する応力

$$\sigma_1 + \sigma_{2high} = 0.133 + 0.737 = 0.87 \text{ kgf/mm}^2 \quad (600^\circ\text{C})$$

となる。

- ④ ナトリウム・ハンマーに使用できるボルトの応力

ボルトの許容応力(σ_{ahigh})は、 $\sigma_{ahigh} = S_y/3$ であるから、

$$\sigma_{ahigh} = \frac{11.0}{3} = 3.67 \text{ kgf/mm}^2 \quad (600^\circ\text{C})$$

となり、ナトリウム・ハンマーに耐えられるボルトの応力は、

$$\sigma_x = \sigma_{ahigh} - (\sigma_1 + \sigma_{2high}) = 3.67 - 0.87 = 2.8 \text{ kgf/mm}^2 \quad (600^\circ\text{C})$$

となる。

4. 4 試験検査要領及び判定基準

(1) 検査要領

試験体を組立て、室温でヘリウム漏洩検査を行う。その後、試験体の蓋内側の熱電対（図 4.2 参照）の温度を基準として、200℃、400℃、600℃と昇温する度に各温度で 5.0kgf/cm² の圧力により耐圧試験を行う。

耐圧試験終了後、試験体を自然冷却し、試験体の温度が室温になってから再びヘリウム漏洩検査を行う。

この検査を 4 回繰り返し行い、ボルト及びパッキンの性能を確認する。（付録 II、付録 III および付録図 III-1 参照）

(2) 判定基準

① ヘリウム漏洩検査

漏洩率が 1×10^{-6} acc/sec 以下であること。

② 耐圧試験

各温度条件において、目視上変形や欠陥が生じず、圧力降下のないこと。

4. 5 試験結果

表 4.1(a)、表 4.1(b) に試験検査結果を示す。試験 No. 1 及び No. 8 は、耐圧試験、No. 2～No. 7 及び No. 9～No. 12 は漏洩検査である。

試験 No. 2～No. 7 では、漏洩試験において基準の漏洩率に達しなかった。試験 No. 3～No. 7 において考えられる要因（シール面仕上げ、パッキンの肉

厚変更、シール溝寸法の変更、シール面の傷・ヘコミの修正) について対策を施し試験を行った。

漏洩検査及び高温耐圧試験ともに合格したのは、試験 No.8 以降であった。本試験結果より次のことがわかった。

(I) 耐圧試験結果から各漏洩要因による影響はなく、判定基準を満足することがわかった。

(II) 漏洩検査結果から、表 4.1(a)、表 4.1(b)に示すすべての「一般的な漏洩要因対策(シール面の粗度、シール面の変形)」を施せば判定基準を満足することがわかった。一般的な要因の対策以外に、次の条件が必要であることもわかった。

① 金属中空Oリング・パッキンの締め付け荷重不足

1×10^{-6} acc/sec 以下の漏洩率を満足するためには、パッキンの締め付け荷重が不足しないこと。

② 外径拘束

金属中空Oリング・パッキンの取付け状態において、パッキンの外径がカプセル側溝外径に拘束されない構造とする。

③ パッキンの溶接部によるヘコミ

金属中空Oリング・パッキンの溶接部におけるバリによる蓋及びカプセル・シール面に生じるヘコミを取り除く必要がある。

(III) 温度上昇時の耐圧試験(付録図 III-2 参照)結果から、室温での耐圧試験(付録図 III-3 参照)及び漏洩検査に合格していれば、温度上昇時の耐圧試験は判定基準を満足することがわかった。すなわち、温度上昇による影響はなかった。

(IV) 降温後の漏洩検査結果から、室温での耐圧試験及び漏洩検査に合格していれば、温度変化(昇温、降温)の繰り返しによる漏洩の影響がないことがわかった。また、降温後の漏洩率は、昇温前の漏洩率より好結果が得られ、温度変化の影響がないことがわかった。この要因は、600℃に昇温したことにより金属中空Oリング・パッキンのニッケル・メッキが柔らかくなり、蓋及びカプセルのシール面に馴染むことによると考えられる。

(3) 不合格時の結果と検討

漏洩検査において不可となった時に以下のような確認をした。

① ボルトの締め付けトルク不足

試験時の締め付けトルクは、設計計算値の 1.5 倍あったことを確認した。

② シール面の粗度

蓋及びカプセル・フランジ部のパッキンの密着する面の粗度は、パッ

キンメーカより 1.6S が望ましいとの情報を得ていたので、そのとおりになっていることを確認した。さらに、仕上げを良くした方がよいかどうかは現在のところ判断できない。

③ 蓋の変形

蓋の変形量は測定限界 (0.01mm) 以下であることを確認した。なお、測定限界以下で漏洩に影響があるかどうかは現在のところ不明である。

④ シール面の観察

ルーペによる目視では、(傷、ゴミの付着等) 異常が無かった。

⑤ 金属中空リング・パッキンの表面の状態

ルーペによる目視観察では、異常が無かった。

⑥ パッキンのメッキの状態

パッキン表面のニッケル・メッキ状態の異常は認められなかった。シール性向上効果を確認するため、メッキ表面を研磨したが、漏洩低減への効果は顕著に表れなかった。

⑦ パッキンの寸法

パッキン・メーカの規格値の公差範囲内であった。

⑧ パッキンの締め付け荷重不足

これまでのパッキン・メーカの経験によれば図 4.3 のようにパッキンの締め付け荷重 (単位長さ当たりの締め付け荷重に等しい値) に対する漏洩量の関係があるという。試みに、同一の溝、蓋を使いパッキンの肉厚を t0.25mm と t0.35mm について漏洩検査した結果、t0.35mm のものがシール性が良いことがわかった。

⑨ シール面のヘコミ

パッキンの締め付け荷重を増加し、ヘリウム漏洩検査に合格した t0.5mm のパッキン使用時に、シール面にかすかなヘコミのあることがわかった。ヘコミの深さは、2 μ m 程度であった。

⑩ パッキンの溶接部

金属中空リング・パッキンの製法は、1本の管を円形に曲げ成形し、溶接して製作している。溶接した時、竹の節のように管の内側にバリができてしまう。締め付けた時、溶接バリのある部分に対応したシール面にヘコミができた。現在のパッキン製法では、溶接バリを無くすることができない。パッキン製作上の技術面に依存しているが、シール面のヘコミを防止するには、パッキンの製作ロット毎に検査し、問題のない事を確認して使用することによって解決できる。

⑪ パッキンの外径拘束

パッキン外径の拘束の有無について、試験した結果、

肉厚 : t0.35mm、	$10^{-5} \sim 10^{-6}$ acc/sec	(拘束有り)
	10^{-6} 程度 acc/sec	(拘束無し)
: t0.5mm、	10^{-6} 程度 acc/sec	(拘束有り)
	10^{-6} 以下 acc/sec	(拘束無し)

となり、明らかにパッキン外径の拘束の無い方が良い結果となった。

⑬ パッキン溝の変更

パッキン外径の拘束を無くすために、初期試験時の 90.3mm から 90.6mm へ変更した。

4. 6 ボルト強度の再計算

試験結果から、パッキンの肉厚が t0.25mm では不合格となり、t0.5mm では合格となったことから、ボルト強度の再計算が必要となった。

再計算条件はパッキン肉厚の変更だけであるから、パッキンの単位長さ当たりの締付け荷重の変化だけの再計算である。

① パッキン締付け荷重 (F_2)

$$\begin{aligned} F_{2room} &= k_n \cdot \pi \cdot D \cdot \alpha \\ &= 28 \times 90 \times 1.2 \\ &= 9.495 \text{ kgf (室温)} \end{aligned}$$

となる。また、式(4)が成立すると仮定すると、

$$k_a = (11/21) \times 28 = 14.67 \text{ kgf/mm (600°C)}$$

$$F_{2high} = 14.67 \times \pi \times 90 \times 1.2 = 4.975 \text{ kgf (600°C)}$$

② 荷重 (F_2) によるボルトの応力

$$\sigma_{2h} = F_{2h} / (N \cdot A_b) = 4.975 / (12 \times 201) = 2.06 \text{ kgf/mm}^2 \quad (600^\circ\text{C})$$

になると想定される。

③ ナトリウム・ハンマーに使用できるボルトの応力荷重 (F_1) と (F_2) によって生じる応力は、

$$\sigma_1 - \sigma_{2h} = 0.133 + 2.06 = 2.193 \text{ kgf/mm}^2 \quad (600^\circ\text{C})$$

であるから、

$$\sigma_x = \sigma_{a1} - (\sigma_1 + \sigma_{2h}) = 3.67 - 2.193 = 1.477 \text{ kgf/mm}^2 \quad (600^\circ\text{C})$$

ということになる。

また、力では、 $F_x = \sigma_x \cdot N \cdot A_b = 1.477 \times 12 \times 201 = 3,562 \text{ kgf}$ となる。

さらに、圧力では、 $F_x = p \cdot A_p$ より、 $p = F_x / A_p$ から、

$$A_p = (\pi/4) \cdot d^2 = 0.785 \times 90^2 = 6,358 \text{ mm}^2$$

$$p = 3,562 / 6,358 = 0.56 \text{ kgf/mm}^2 \quad \rightarrow \quad 56 \text{ kgf/cm}^2$$

に耐える必要がある。

5. 流動カプセル型フランジの耐圧試験

5. 1 試験の概要

流動カプセルと静止カプセルの内部カプセル・フランジ部は、構造が異なるため、流動カプセルの内部カプセル・フランジ部を模擬した試験体を製作し、高圧の下で耐圧試験を行い変形や漏洩の有無について調べた。

設計、材質、配置等すべて、試作流動ナトリウム・カプセルの内部カプセルを模擬している。

5. 2 試験体

(1) 試験体仕様

機器区分	: MITI 第 1 種容器相当(もんじゅ相当)
試験圧力	: 148kgf/cm ² (水圧)
試験温度	: 室温
シール性	: 1×10 ⁻⁶ acc/sec(He リークチェック)

(2) 試験体構造

構造	: 図 5.1 参照
密封部	: 金属中空 O リング・パッキン(バランスタイプ)
フランジ部	: ボルト締め構造
ボルト	: M24×4 本
各ノズル等	: 配置、寸法ともに実機模擬、溶接構造
主要材質	: SUS316

(3) 試験条件

試験圧力	: 148kgf/cm ² (水圧) 30 分間
試験温度	: 室温
シール性	: 1×10 ⁻⁶ acc/sec(He リークチェック)

5. 3 ボルトの強度計算

(1) 計算条件

温度	: 室温
圧力	: 148kgf/cm ²
ボルト材質	: SUS316
ボルトサイズ	: M24 (最小径: 20mm)
本数	: 4 本
パッキン	: 金属空リング・パッキン(バランスタイプ) ニッケル・メッキ付き
パッキン外径	: φ7.5mm
パッキン管径	: φ2.4mm
パッキン肉厚	: t0.5mm

(2) ボルトの強度

ボルトに負荷する荷重は、
引張荷重=内圧による荷重+パッキン反力による荷重

$$F = F_1 + F_2$$

で与えられる。

① 内圧による荷重

$$F_1 = p \cdot A_1 = P \cdot (\pi/4) \cdot D^2$$

$$p = 148 \text{ kgf/cm}^2 \rightarrow 1.48 \text{ kgf/mm}^2$$

$$D = 75 \text{ mm}$$

$$A_1 = (\pi/4) \cdot D^2 = (\pi/4) \times 75^2 = 4,415 \text{ mm}^2$$

$$F_1 = p \cdot A_1 = 1.48 \times 4,415 = 6,534 \text{ kgf}$$

② パッキン反力による荷重

$$F_2 = K_n \cdot \pi \cdot D \cdot \alpha$$

$$K_n = 36 \text{ kgf/mm (室温)} \quad (\text{日本バルカーカタログによる})$$

$$D = 75 \text{ mm}$$

$$\alpha = 1.2 \text{ (増し締め係数)}$$

$$F_2 = 36 \times \pi \times 75 \times 1.2 = 10,173 \text{ kgf}$$

③ ボルトに発生する応力

$$F = F_1 + F_2 = 6,534 + 10,173 = 16,707 \text{ kgf}$$

$$N = 4$$

$$A_b = (\pi/4) \cdot D_b^2 = (\pi/4) \times 20^2 = 314 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = F / (N \cdot Ab) = 16,707 / (4 \times 314) = 13.3 \text{ kgf/mm}^2$$

5. 4 試験検査要領及び判定基準

(1) 要領

水圧による耐圧試験とヘリウムによる漏洩検査を行う。

(2) 判定基準

- ① ヘリウム漏洩検査では、漏洩率が $1 \times 10^{-6} \text{ acc/sec}$ 以下であること。
- ② 耐圧試験では、 $148(\text{kgf/cm}^2)$ の圧力に対して、目視上の変形や欠陥が生じず、圧力降下のないこと。

5. 5 試験結果

① 外観・寸法検査結果

ヘリウム漏洩検査や耐圧試験に先だって、内部カプセルのフランジ部試験体の外観・寸法検査を実施した。当然、材料についても同じく実施した。

外観:合格 目視上欠陥なし。

寸法:合格 設計通りの公差内にある。

材質:合格 設計通り SUS316。

② 耐圧漏洩試験結果

耐圧漏洩試験は、

結果:合格 試験圧力は 148kgf/cm^2 で、時間は 30 分間で行った。

漏洩や変形はまったく生じなかった。

③ 耐圧試験体のヘリウム漏洩試験結果

結果:合格 ヘリウム濃度 50(%)の条件での結果、漏洩率は $2.35 \times 10^{-7} \text{ acc/sec}$ であった。基準値と比較して、 $1 \times 10^{-6} > 2.35 \times 10^{-7}$ となり、問題無い。

④ 耐圧試験体のカラーチェック結果

試験前に念のためパッキンの当たる周辺にキズなどのないことを確かめるためカラーチェックを行った。

結果:合格 有害なキズは無かった。

⑤ 試験終了後の溝のキズ

各試験終了後にカプセルを解体して金属パッキンの当たり面を目視検査した結果、パッキンによるキズが静止カプセルの場合と同様に生じたことを確認した。

このキズは金属中空Oリングパッキン製作時に、パッキン材料の管を丸く曲げ加工し、溶接した時にパッキン内側にバリができることによって、締め付けた時の締め付け荷重の違いによって生じることがわかっている。

6. まとめ

- ① カプセルの全長および放射化の程度によって、カプセル解体設備の一つであるグローブ・ボックスまたはホット・セルの規模が大幅に変わるので、照射カプセル設計を行う場合、全体施設の概略を決定してから行う必要がある。今回のように静止カプセルと流動カプセルの二通りを想定した場合、カプセル全長が長い流動カプセルを基本に解体グローブ・ボックスを考える必要がある。
- ② カプセル一体型の電磁ポンプの圧力バウンダリーは、実験燃料による衝撃力に対して弱点となっている。衝撃圧力波に対して十分安全にするとポンプ能力が出ない。ポンプ能力を十分出るとすると圧力波によりポンプ本体が変形または破損すると想定される。
- ③ カプセル本体は高価なため少なくとも5～6回/体は使用するの、設計際、捨てる部品と再使用する部品を十分明確に分離する必要がある。
- ④ 金属中空リング・パッキンを使用する場合、カプセルのフランジ溝のケ所にヘコミが発生する。このヘコミは、パッキン製作時の溶接によるパッキン内側にバリができ、このことに起因している。締め付け時に内部のバリ部が他部分より硬度が高いために発生する。これを防止するには、パッキンの製作ロット毎に検査し、問題のない事を確認して使用することによって解決できる。
- ⑤ ヘコミが生じた場合でも、ヘコミ面を再加工し修復すれば問題なく使用できる。ただし、照射カプセルのように放射化する物にあってはホット加工のできる設備が必要となる。
- ⑥ 金属中空リング・パッキン(ニッケルメッキ付き)を使用したフランジによる締め付けは、室温において耐圧・気密、各試験に合格している場合、高温状態でも十分に耐圧・気密を保つことが判った。

謝辞

本設備の設計及び設置にあたっては柴是行元部長を始めとする原子炉安全工学部関係者、特に NSRR 管理室諸氏及び旧反応度安全研究室の諸氏の協力を得ました。ここに記して感謝します。本設備の詳細設計・製作は、川崎重工(株)下田貞之課長、臼井伸一、松並清隆、各氏並びに富士電気(株)井上隆課長らの協力により実施しました。記して感謝します。

参考文献

- [1] M. Sobajima, T. Nakamura, and T. Fujishiro, "Incore Experiment Program Contributing to safety Criteria for Fuel Failure Accident", International Conference on fast Reactor and Related Fuel Cycles, Kyoto, 1991.
- [2] T. Nakamura, T. Fujishiro and M. Sobajima, "FBR Fuel Failure Experiments in the NSRR", Japan-USSR Seminar on Optimization of Main Parameters and Thermal Diagrams of FBR Taking into Account Economy, Reliability and Safety, Tokyo, 1990.
- [3] 傍島眞 他、, "高速炉の事故時燃料挙動に関する研究の現状と NSRR における計画", JAERI-M 88-158, 1988.
- [4] 中村武彦、更田豊志、傍島眞、細山田龍二, "NSRR 高速炉燃料実験における各種燃料の発熱量の予測評価", JAERI-M 90-067, 1990.
- [5] 中村武彦、傍島眞、細山田龍二、"NSRR 高速炉燃料実験における燃料の温度挙動の予測", JAERI-M 90-140, 1990.
- [6] M. Sobajima, S. Katanishi and T. Fujishiro, " Observation of FBR Type Fuel Rod Melting in Void under Power Transient," 11th Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technol. Tokyo, 1991.
- [7] 中村武彦、山崎利、傍島眞、"NSRR 実験におけるポリエチレンおよび水素化ジルコニウムの減速材としての特性", JAERI-M 94-029, 1994.
- [8] 中村 武彦・池田 良和 他、"NSRR 高速炉燃料実験用ナトリウム取り扱い設備の開発 (1) 純化・充填及び試験部循環設備" JAERI-Tech (準備中).
- [9] 齊藤良平 他、" ナトリウム工学技術"、日本原子力学会誌 vol. 15, No.9, 1973.
- [10] 傍島眞、" 二重管分別型電磁流量計"、特許第 2689163 号、特許庁、1997 年 8 月.

表 3.1(a) 計装リスト

計測点番号	計測点名称	型式	測定流体	最高使用		測定範囲	プロセス系				備考	
				圧力 kg/cm ²	温度 °C		指示	表示	記録	警報		
TI 127	内部カプセル外面温度(5)	熱電対	-	-	600	0 ~ 800°C	-	-	-	-	-	解体時のみ使用
TI 128	内部カプセル外面温度(6)	熱電対	-	-	600	0 ~ 800°C	-	-	-	-	-	
TI 129	内部カプセル外面温度(7)	熱電対	-	-	600	0 ~ 800°C	-	-	-	-	-	
TI 130	内部カプセル外面温度(8)	熱電対	-	-	600	0 ~ 800°C	-	-	-	-	-	
TI 126	電磁ポンプ冷却空気出口温度	熱電対	空気	0.1	100	0 ~ 300°C	○	-	-	-	-	
FI 102	電磁ポンプ冷却空気流量	熱電対	空気	0.1	40	0 ~ 20m/s	○	-	-	-	-	
IIR 101	電磁ポンプ電流	CT	-	-	-	AC 0 ~ 50A	○	-	-	-	-	
VIR 101	電磁ポンプ電圧	PT	-	-	-	AC 0 ~ 200V	○	-	-	-	-	
II 102	上部内部カプセルヒータ電流	CT	-	-	-	AC 0 ~ 10A	○	-	-	-	-	
VI 102	上部内部カプセルヒータ電圧	PT	-	-	-	AC 0 ~ 10A	○	-	-	-	-	
II 103	電磁ポンプヒータ電流	CT	-	-	-	AC 0 ~ 300V	○	-	-	-	-	
VI 103	電磁ポンプヒータ電圧	PT	-	-	-	AC 0 ~ 20A	○	-	-	-	-	
II 104	電磁流量計ヒータ電流	CT	-	-	-	AC 0 ~ 300V	○	-	-	-	-	
VI 104	電磁流量計ヒータ電圧	PT	-	-	-	AC 0 ~ 10A	○	-	-	-	-	
II 105	燃料ヒータ電流	CT	-	-	-	AC 0 ~ 300V	○	-	-	-	-	
VI 105	燃料ヒータ電圧	PT	-	-	-	AC 0 ~ 10A	○	-	-	-	-	
						AC 0 ~ 300V	○	-	-	-	-	
TIA 117	外部容器外面温度(1)	熱電対	-	-	80	0 ~ 300°C	◎	-	-	-	-	
TIA 118	外部容器外面温度(2)	熱電対	-	-	80	0 ~ 300°C	◎	-	-	-	-	
TIA 119	外部容器外面温度(3)	熱電対	-	-	80	0 ~ 300°C	◎	-	-	-	-	
TI 120	断熱材温度(1)	熱電対	-	1.8	150	0 ~ 300°C	◎	-	-	-	-	
TI 121	断熱材温度(2)	熱電対	-	1.8	150	0 ~ 300°C	◎	-	-	-	-	
TIA 122	減速材温度(1)	熱電対	-	1.8	150	0 ~ 300°C	◎	-	-	-	-	
TIA 123	減速材温度(2)	熱電対	-	1.8	150	0 ~ 300°C	◎	-	-	-	-	
TIA 124	減速材温度(3)	熱電対	-	1.8	150	0 ~ 300°C	◎	-	-	-	-	
TIA 125	減速材温度(4)	熱電対	-	1.8	150	0 ~ 300°C	◎	-	-	-	-	
FIR 101	ナトリウム流量	電磁式	Na	5	600	0 ~ 200 1/min	○	-	-	○	-	
VI 101	内部カプセル胴部ひずみ	歪みケージ	-	1.8	600	0 ~ 2%	-	○	-	-	-	
PIA 101	内部カプセル蓋下面圧力	歪みケージ式	空気	5	600	0 ~ 10kg/cm ²	-	-	-	-	-	
Ls 08	内部カプセル液位	接点式	Na	5	600	100mm	-	-	-	-	-	
XA 101	内部カプセル底漏洩(1)	接点式	Na	1.8	600	-	-	-	-	-	-	
XA 102	内部カプセル底漏洩(2)	接点式	Na	1.8	600	-	-	-	-	-	-	

注)◎:選択指示

表 3.1(b) 計装リスト

計測点番号	計測点名称	型式	測定流体	最高使用		測定範囲	プロセス系				備考
				圧力 kg/cm ²	温度 °C		指示	表示	記録	警報	
TICRA 101	内部カプセル外面温度(1)	熱電対	—	1.8	600	0 ~ 800°C	○	—	○	○	運転監視用
TICRA 102	内部カプセル外面温度(2)	熱電対	—	1.8	600	0 ~ 800°C	○	—	○	○	
TICRA 103	内部カプセル外面温度(3)	熱電対	—	1.8	600	0 ~ 800°C	○	—	○	○	
TICRA 104	内部カプセル外面温度(4)	熱電対	—	1.8	600	0 ~ 800°C	○	—	○	○	
TIA 105	電磁ポンプコイル温度	熱電対	—	0.1	300	0 ~ 500°C	◎	—	—	○	異常高で電磁ポンプ OFF
TIA 106	電磁ポンプダクト温度	熱電対	—	1.8	600	0 ~ 800°C	◎	—	—	○	
TI 107	上部ナトリウム温度	熱電対	Na	5	600	0 ~ 800°C	◎	—	—	—	
TIR 108	燃料ピンプン入口ナトリウム温度	熱電対	Na	5	600	0 ~ 800°C	◎	—	○	—	
TI 109	下部ナトリウム温度	熱電対	Na	5	600	0 ~ 800°C	◎	—	—	—	
TIA 110	燃料ピンプン出口ナトリウム温度	熱電対	Na	5	600	0 ~ 800°C	◎	—	○	—	
TI 111	内部カプセル内面温度	熱電対	—	5	600	0 ~ 800°C	◎	—	—	—	
TI 112	電磁流量計マグネット温度	熱電対	—	5	600	0 ~ 800°C	◎	—	—	—	
TI 113	内部カプセル内面プレナム温度	熱電対	Na	5	600	0 ~ 800°C	◎	—	—	—	
TI 114	内部カプセル蓋下面温度	熱電対	—	5	500	0 ~ 500°C	◎	—	—	—	
TI 115	内部カプセル蓋上面温度	熱電対	—	1.8	500	0 ~ 500°C	◎	—	—	—	
TI 116	外部容器内空気温度	熱電対	空気	1.8	80	0 ~ 300°C	◎	—	—	—	

注)◎:選択指示

表3.2 試作流動ナトリウム・カプセル運転試験データ

試験実施年月日: '94. 6. 25~26

測定項目	経過時間 (min)		0	120	300	360	390	480	540	600
	計器項目	単位								
内部カプセル外面温度(1)	TIRCA 101	°C	22.9	158.0	200.0	200.0	200.0	299.0	421.0	519.0
内部カプセル外面温度(2)	TIRCA 102	°C	23.0	181.0	199.0	200.0	198.0	296.0	416.0	504.0
内部カプセル外面温度(3)	TIRCA 103	°C	22.4	32.1	196.0	200.0	199.0	300.0	421.0	513.0
内部カプセル外面温度(4)	TIRCA 104	°C	22.6	25.2	142.0	185.0	199.0	300.0	420.0	511.0
電磁ポンプコイル温度	TIA 105	°C	22.9	30.2	95.4	107.0	83.8	93.7	127.0	171.0
電磁ポンプダクト温度	TIA 106	°C	23.8	105.0	192.0	191.0	176.0	260.0	363.0	444.0
上部Na温度	TI 107	°C	23.8	157.0	200.0	200.0	199.0	300.0	425.0	512.0
燃料ピニン入口Na温度	TIR 108	°C	23.2	26.4	180.0	200.0	199.0	301.0	425.0	515.0
下部Na温度	TI 109	°C	22.6	22.5	91.9	116.0	199.0	295.0	415.0	503.0
燃料ピニン出口Na温度	TIR 110	°C	23.2	26.2	177.0	200.0	197.0	301.0	426.0	515.0
内部カプセル内面温度	TI 111	°C	22.9	160.0	201.0	201.0	199.0	301.0	427.0	513.0
電磁流量計マグネット温度	TI 112	°C	22.5	25.0	66.4	78.0	84.9	110.0	174.0	216.0
内部カプセル内プレナム温度	TI 113	°C	22.8	119.0	174.0	175.0	177.0	142.0	349.0	453.0
内部カプセル蓋下面温度	TI 114	°C	22.7	88.3	142.0	144.0	146.0	173.0	232.0	317.0
内部カプセル蓋上面温度	TI 115	°C	22.8	86.5	141.0	144.0	145.0	172.0	229.0	312.0
外部容器外表面温度(1)	TIA 117	°C	20.7	37.8	72.3	74.3	37.6	41.0	55.8	75.2
外部容器外表面温度(1)	TIA 118	°C	21.2	23.0	26.6	29.0	32.5	34.7	56.0	70.3
外部容器外表面温度(1)	TIA 119	°C	20.7	22.7	26.4	28.3	32.3	42.1	76.0	99.8
断熱材温度(1)	TI 120	°C	22.1	77.1	105.0	108.0	89.1	99.6	131.0	186.0
断熱材温度(2)	TI 121	°C	22.3	25.1	158.0	170.0	175.0	254.0	-	-
減速材温度(1)	TIA 122	°C	21.2	23.1	26.8	29.6	32.5	38.6	71.3	86.2
減速材温度(2)	TIA 123	°C	21.0	23.0	26.3	28.8	31.3	37.3	69.8	81.9
減速材温度(3)	TIA 124	°C	21.3	23.0	26.1	28.5	30.8	36.9	69.2	80.7
減速材温度(4)	TIA 125	°C	21.6	22.2	25.4	27.7	30.1	36.4	68.5	80.2
Na流量	FIR 101	ℓ/min	-	-	-	-	7.0	6.5	5.0	6.1
電磁ポンプ電流	IIR 101	A	-	-	-	-	3.7	3.2	2.6	2.4
電磁ポンプ電圧	VIR 101	V	-	-	-	-	14.0	14.0	14.0	14.0

表 4. 1 (a) 試験結果

試験 No.	試験実施日	金属中空 Oリングパッキン サイズ	試験項目	試験結果	漏洩要因						対策	備考	
					シール面の 粗度	パッキンの メッキ状態	蓋の变形	パッキンの 反発力不足	外径拘束	シール面の 傷			パッキン劣 接部による ヘコミ
1	'93-11-15	φ2.4×t0.25 (ニカハ付付き) (10 kg/mm)	耐圧試験 *1	合格	×	×	×	×	×	×	×	無し	無し
2	'93-11-15	上記に同じ	漏洩検査 *2	不合格 1×10 ⁻⁵ acc/sec 程度	○	△	×	×	×	×	×	シール面仕上げ パッキンの表面研磨	対策後の試験結果 は試験 No.3 による
3	'93-11-19	上記に同じ	漏洩検査 *2	不合格 1×10 ⁻⁵ acc/sec 程度	-	-	△	○	×	×	×	蓋の变形量測定 パッキンの肉厚変更	対策後の試験結果 は試験 No.4 による
4	'93-12-10 ~17	φ2.4×t0.35 (ニカハ付付き) (12 kg/mm)	漏洩検査 *2	不合格 7.9×10 ⁻⁵ acc/sec ~ 1.2×10 ⁻⁵ acc/sec	-	-	-	○	×	×	×	パッキンの肉厚変更	対策後の試験結果 は試験 No.5 による
5	'94-2-14 ~15	φ2.4×t0.5 (ニカハ付付き) (28 kg/mm)	漏洩検査 *2	不合格 2.2×10 ⁻⁵ acc/sec ~ 2.6×10 ⁻⁵ acc/sec	-	-	-	-	○	×	×	シール溝寸法の変更	対策後の試験結果 は試験 No.6 による
6	'94-3-25	上記に同じ	漏洩検査 *2	不合格 2×10 ⁻⁵ acc/sec	-	-	-	-	-	○	×	シール面の傷修正	対策後の試験結果 は試験 No.7 による
7	'94-3-23 ~31	上記に同じ	漏洩検査 *2	不合格 1.2×10 ⁻⁵ acc/sec	-	-	-	-	-	-	○	シール面のヘミ修正	対策後の試験結果 は試験 No.8 による

注) 1. パッキンサイズの () 内数値は、線荷重を示す。 2. 試験項目の各試験は、以下に示すとおりとする。 3. 漏洩要因の各記号は、以下に示すとおりとする。

- ①耐圧試験*1 : 室温の耐圧試験
- ②漏洩検査*2 : 室温の漏洩検査
- ③耐圧試験*3 : 温度上昇時の耐圧試験
- ④漏洩検査*4 : 降温後の漏洩検査
- : 十分に考えられる要因
- △ : どちらとも言えない要因
- : 対策済みの要因
- × : 試験時に考慮しなかった要因

表4. 1 (b) 試験結果 (続き)

試験 No.	試験実施日	金属中空 リングパッキン サイズ	試験項目	試験結果	漏洩 要 因						対 策	備 考	
					シール面の 程度	パッキンの メッキ状態	歪の変形	パッキンの 反脱力不足	外圧拘束	シール面の 傷			パッキン接 接部による ヘコミ
8	'94-3-28 ~31	φ2.4×10.5 (<small>ニカド付付量</small>) (28 kg/mm)	耐圧試験 *2	合格 9.2×10 ⁷ acc/sec	-	-	-	-	-	-	-	無し	無し
9	'94-5-23	上記に同じ	漏洩検査 *1	合格	-	-	-	-	-	-	-	無し	無し
10	'94-5-23	上記に同じ	漏洩検査 *2	合格 6.4×10 ⁷ acc/sec	-	-	-	-	-	-	-	無し	無し
11	'94-5-24 ~6-8	上記に同じ	漏洩検査 *3	合格	-	-	-	-	-	-	-	無し	無し
12	'94-5-24 ~6-8	上記に同じ	漏洩検査 *4	合格 1×10 ¹⁰ acc/sec~ 6.95×10 ¹¹ acc/sec	-	-	-	-	-	-	-	無し	無し

注) 1. パッキンサイズの () 内数値は、線荷重を示す。 2. 試験項目の各記号は、以下に示すとおりとする。 3. 漏洩要因の各記号は、以下に示すとおりとする。

- ①耐圧試験*1 : 室温の耐圧試験
- ②漏洩検査*2 : 室温の漏洩検査
- ③耐圧試験*3 : 温度上昇時の耐圧試験
- ④漏洩検査*4 : 降温後の漏洩検査
- ① ○ : 十分に考えられる要因
- ② △ : どちらとも言えない要因
- ③ - : 対策済みの要因
- ④ × : 試験時に考慮しなかった要因

NSRRトリガ型原子炉本体

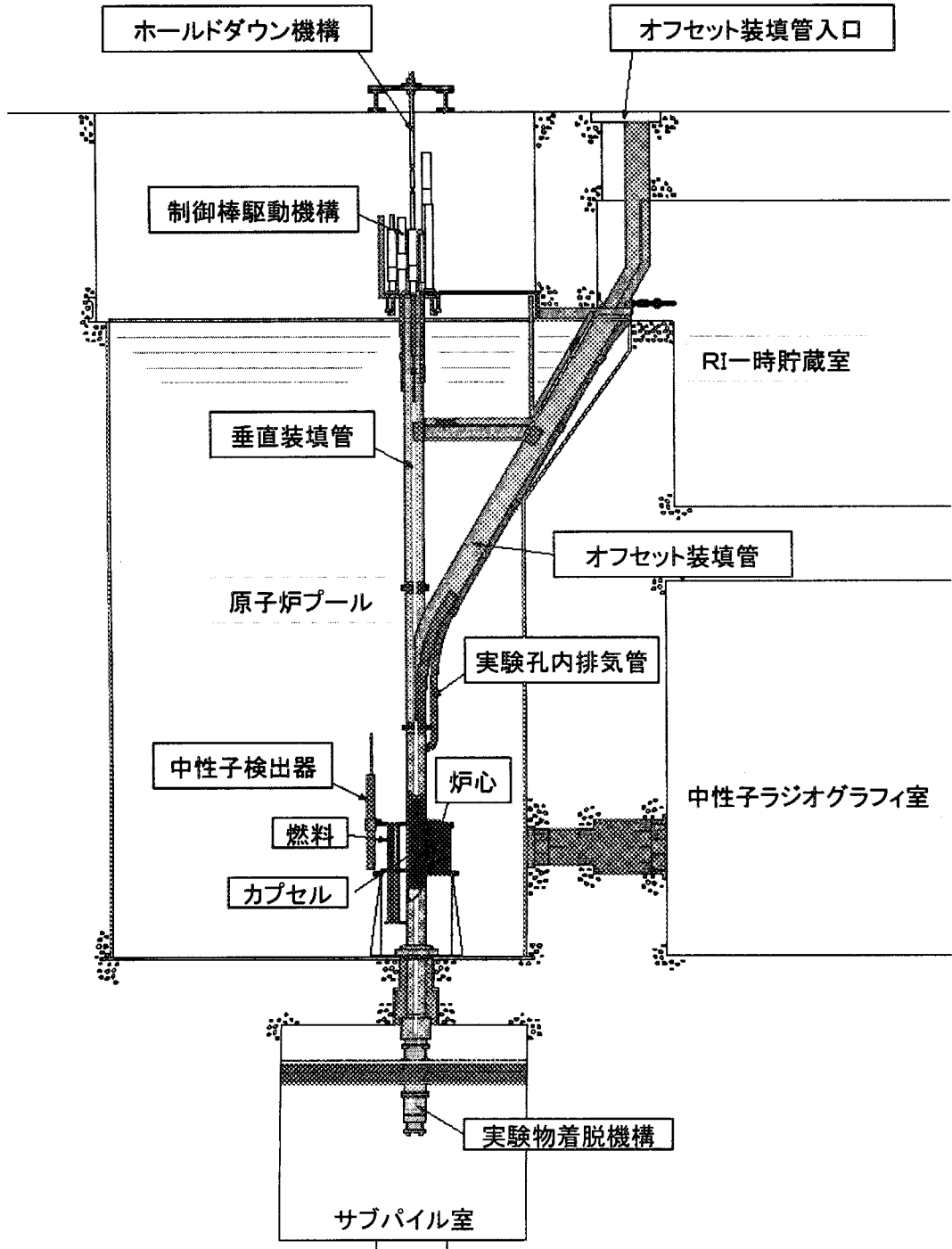


図1.1 NSRR原子炉本体縦断面

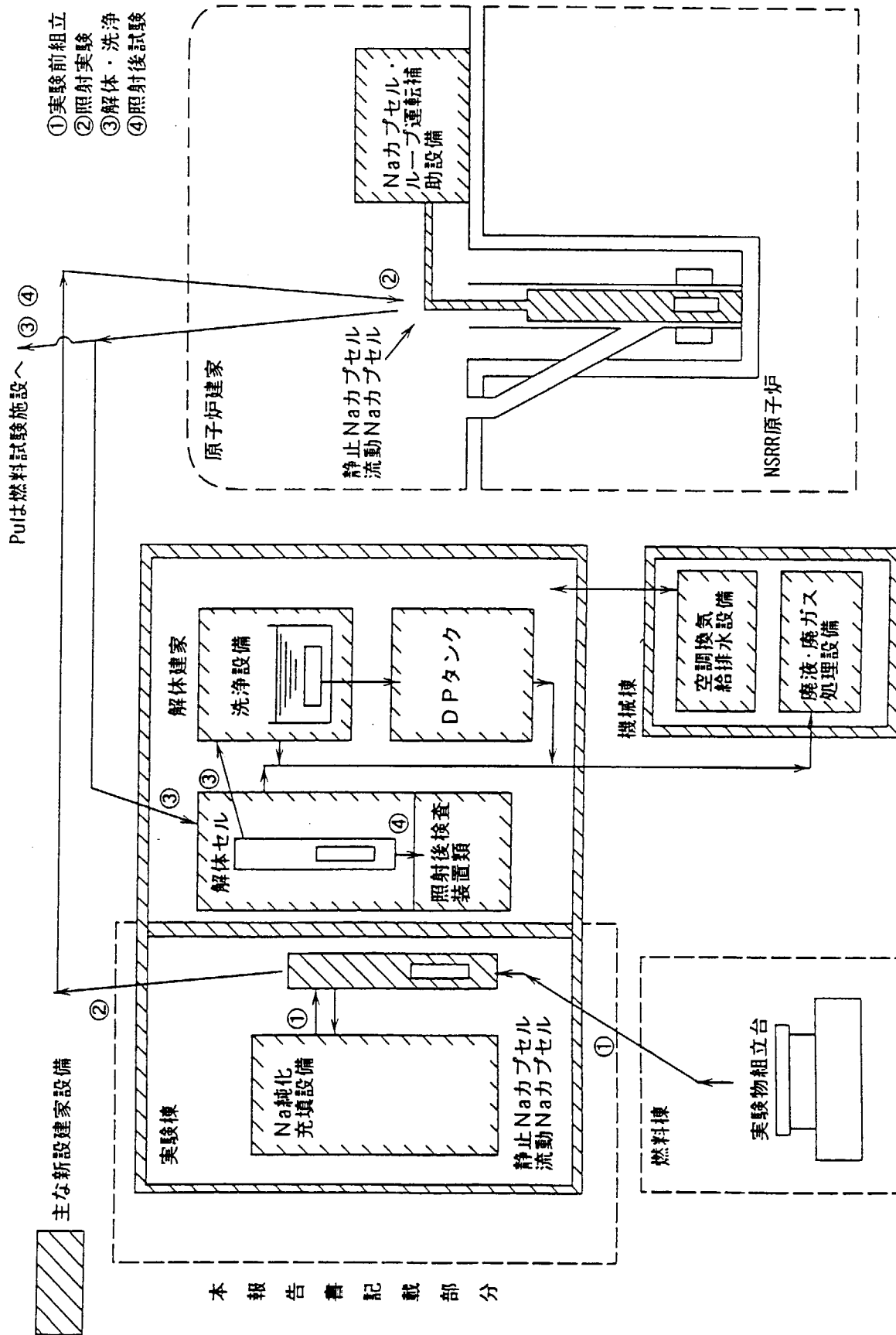


図 1.2 NSRRによる高速炉燃料破損実験の設備概要

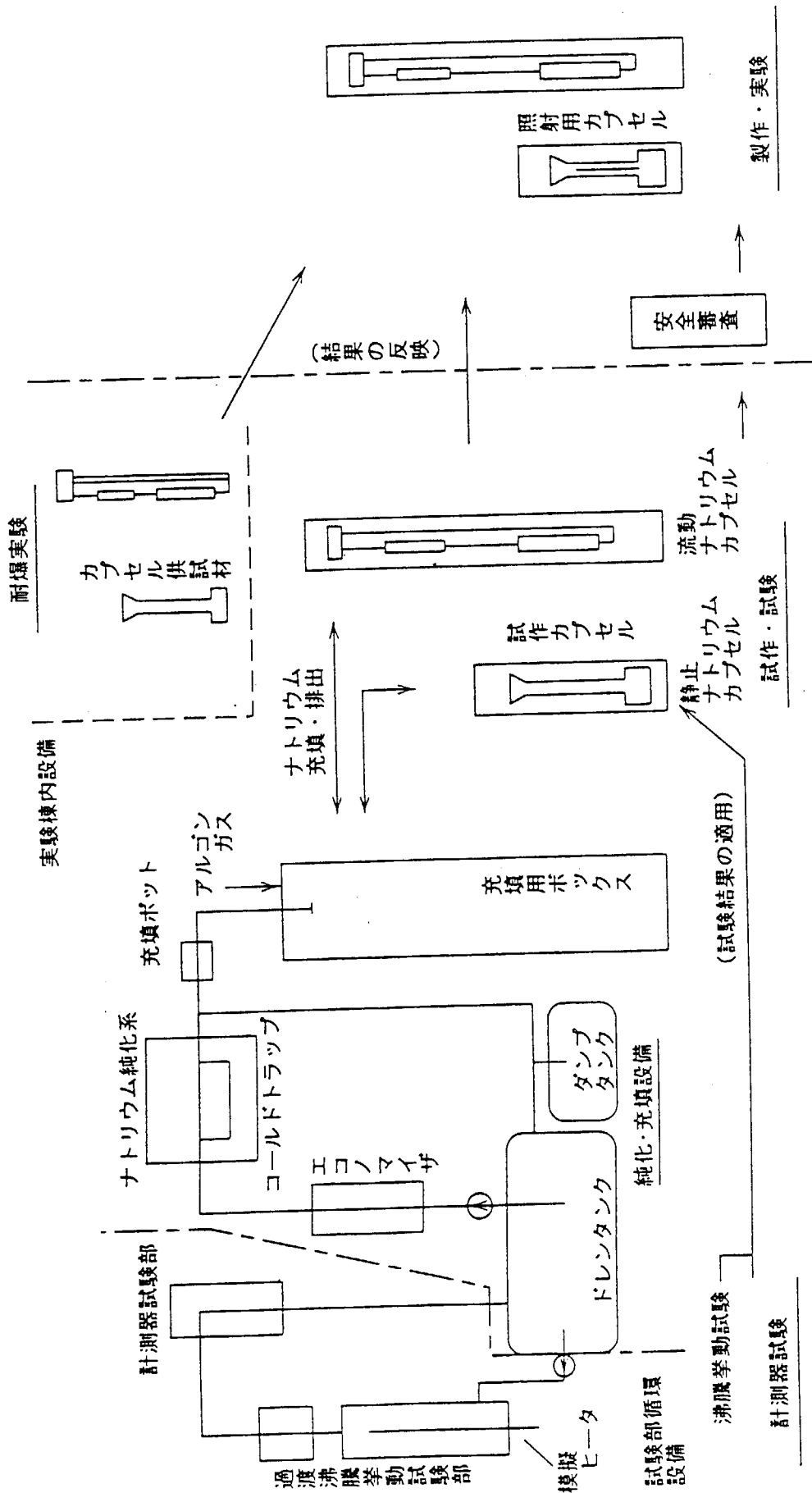


図 1. 3 高速炉燃料炉内実験までの開発の流れ

This is a blank page.

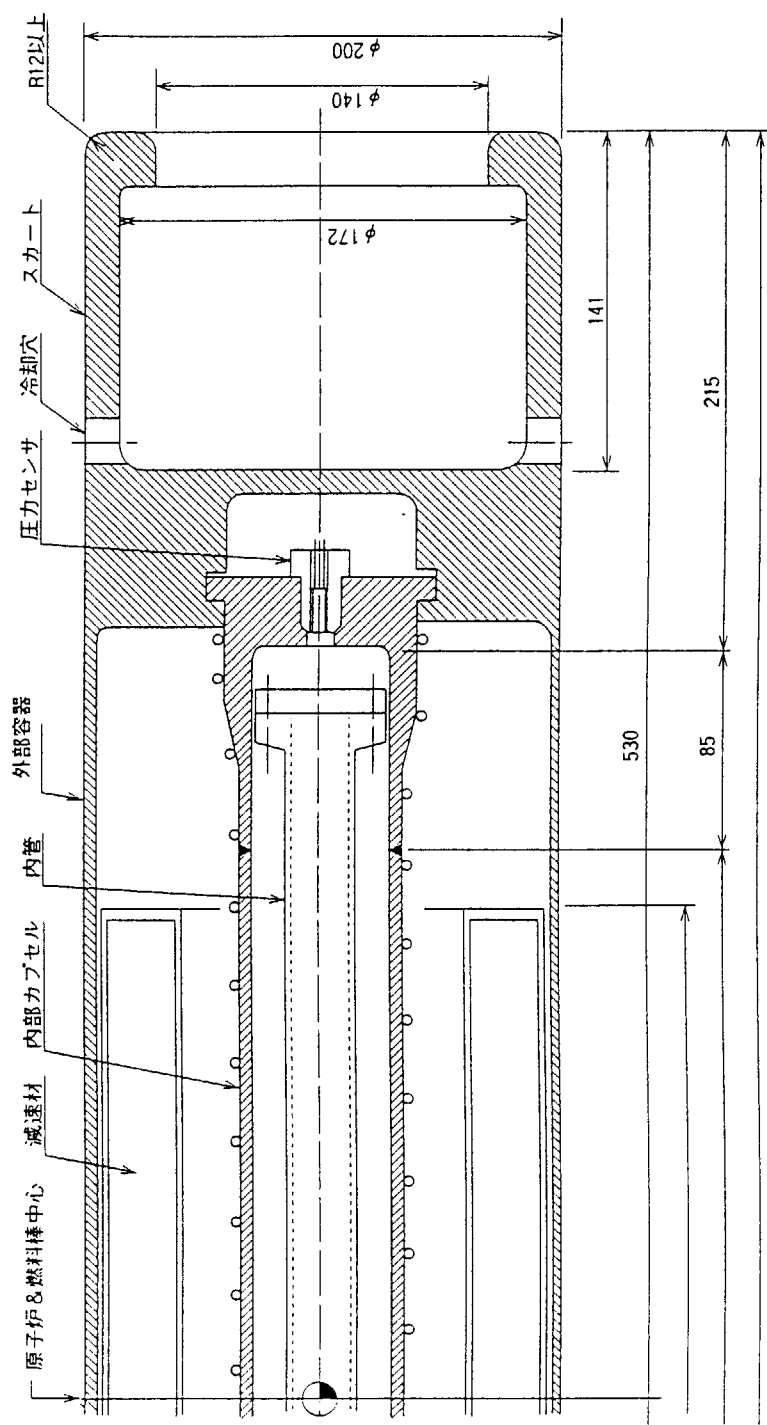


図3.1 試作流動ナトリウム・カプセル全体構造図(a)

番号	部品名	数量	材質	備考
	試作流動ナトリウム・カプセル 全体構造図			(S:1/2) A3版
	名称			

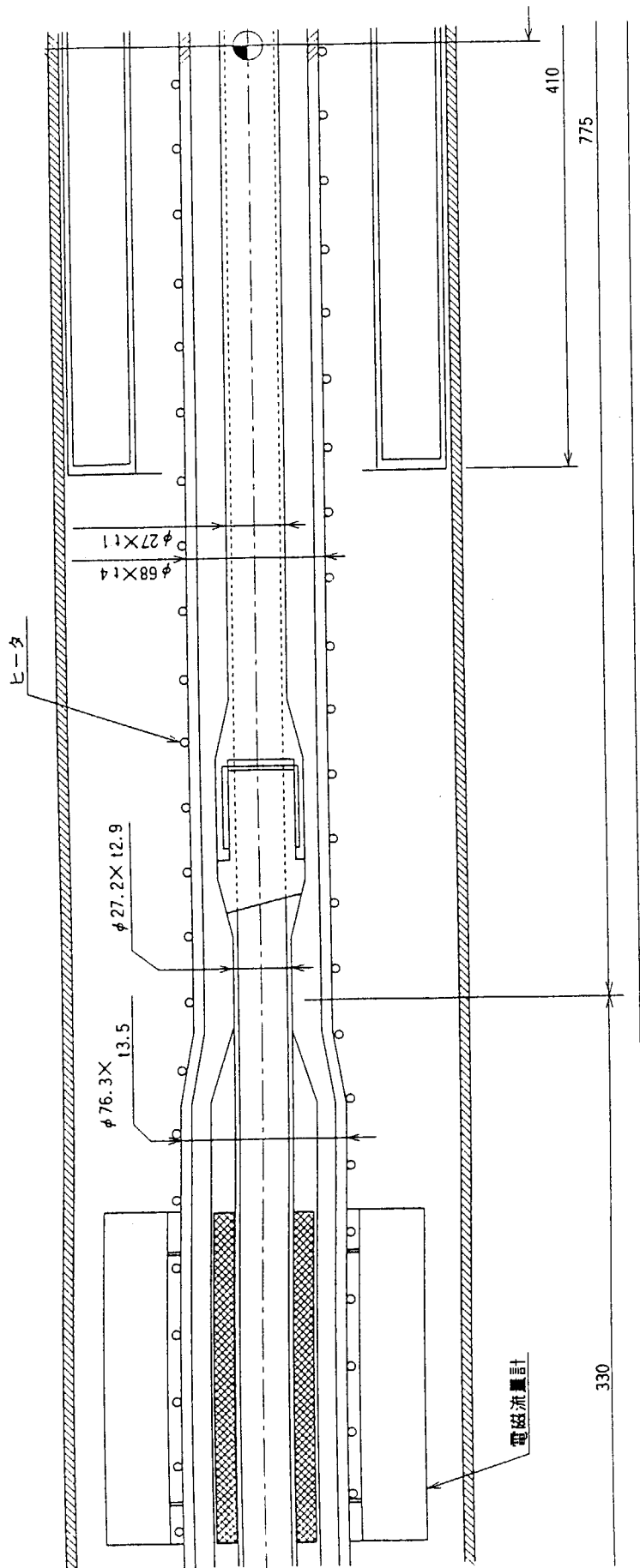


図3.1 試作流動ナトリウム・カプセル全体構造図(b)

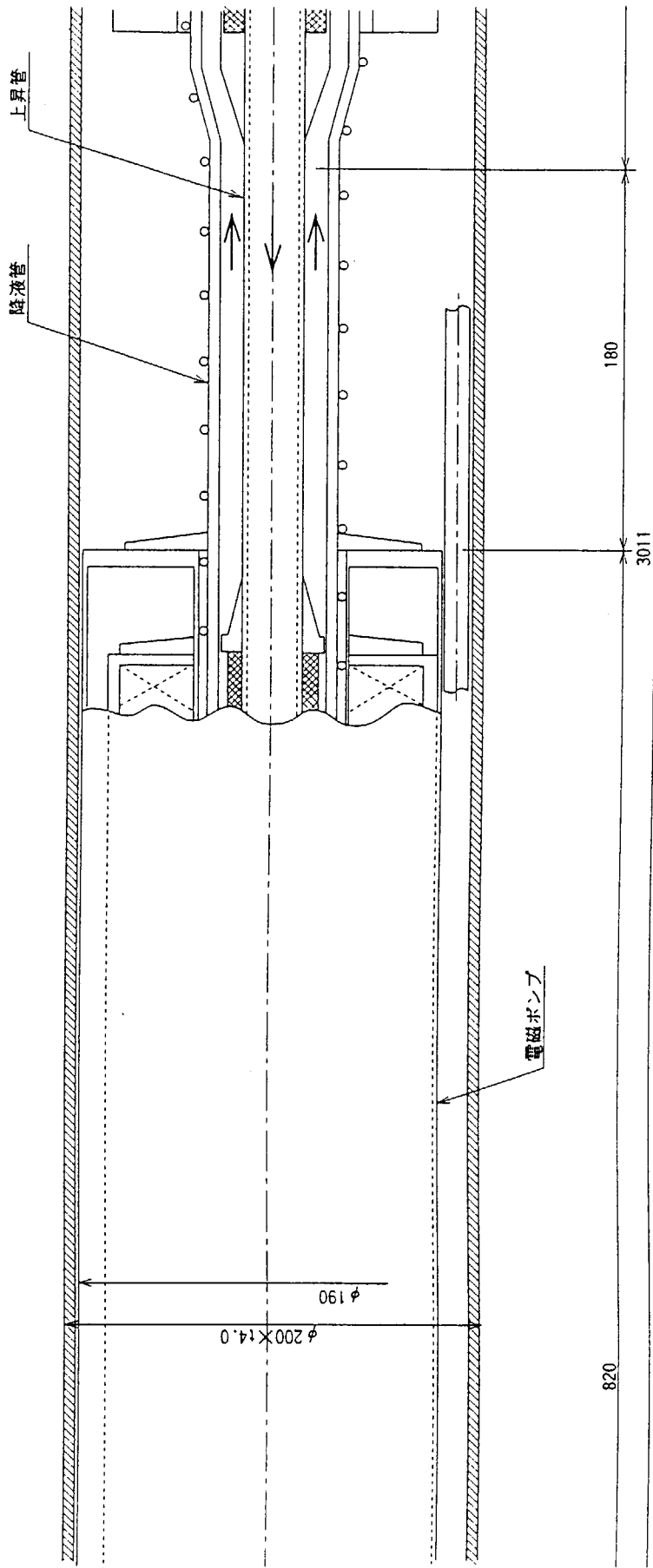


図3.1 試作流動ナトリウム・カプセル全体構造図(c)

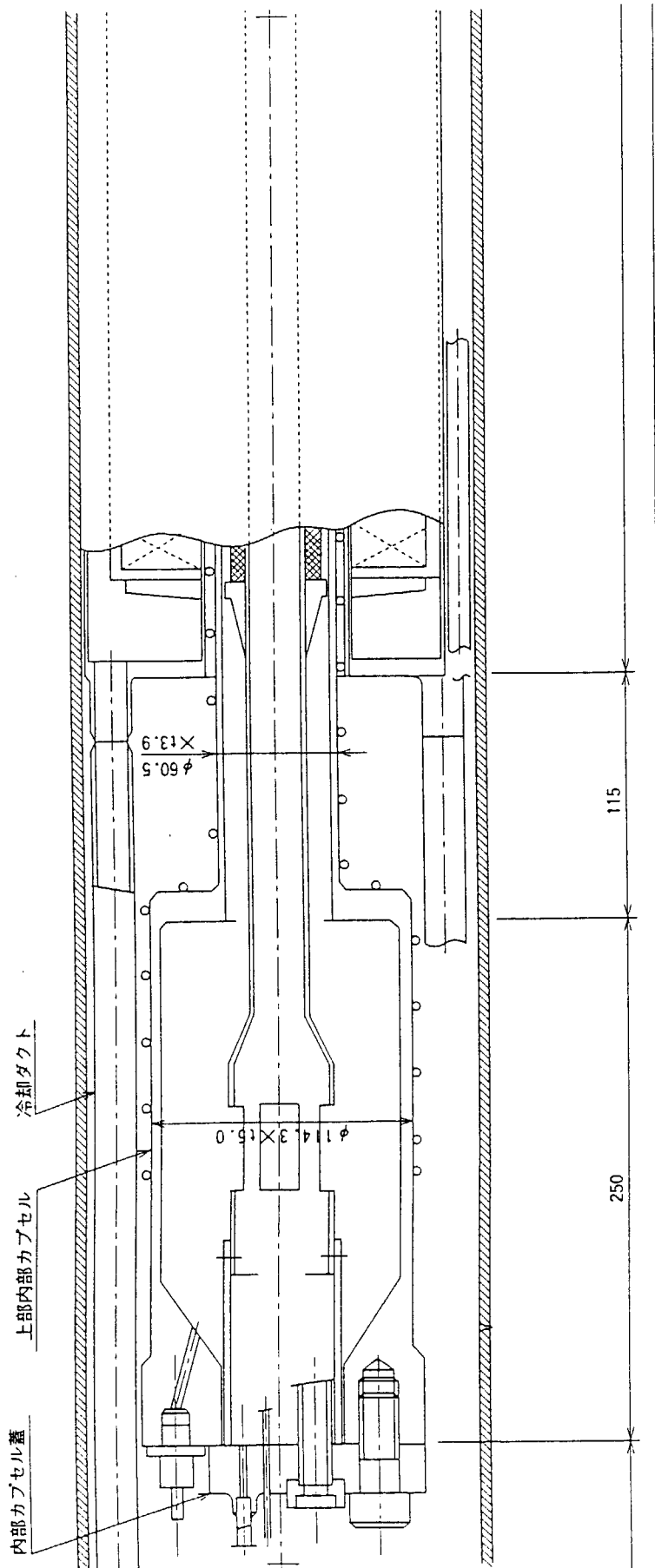


図3.1 試作流動ナトリウム・カプセル全体構造図(d)

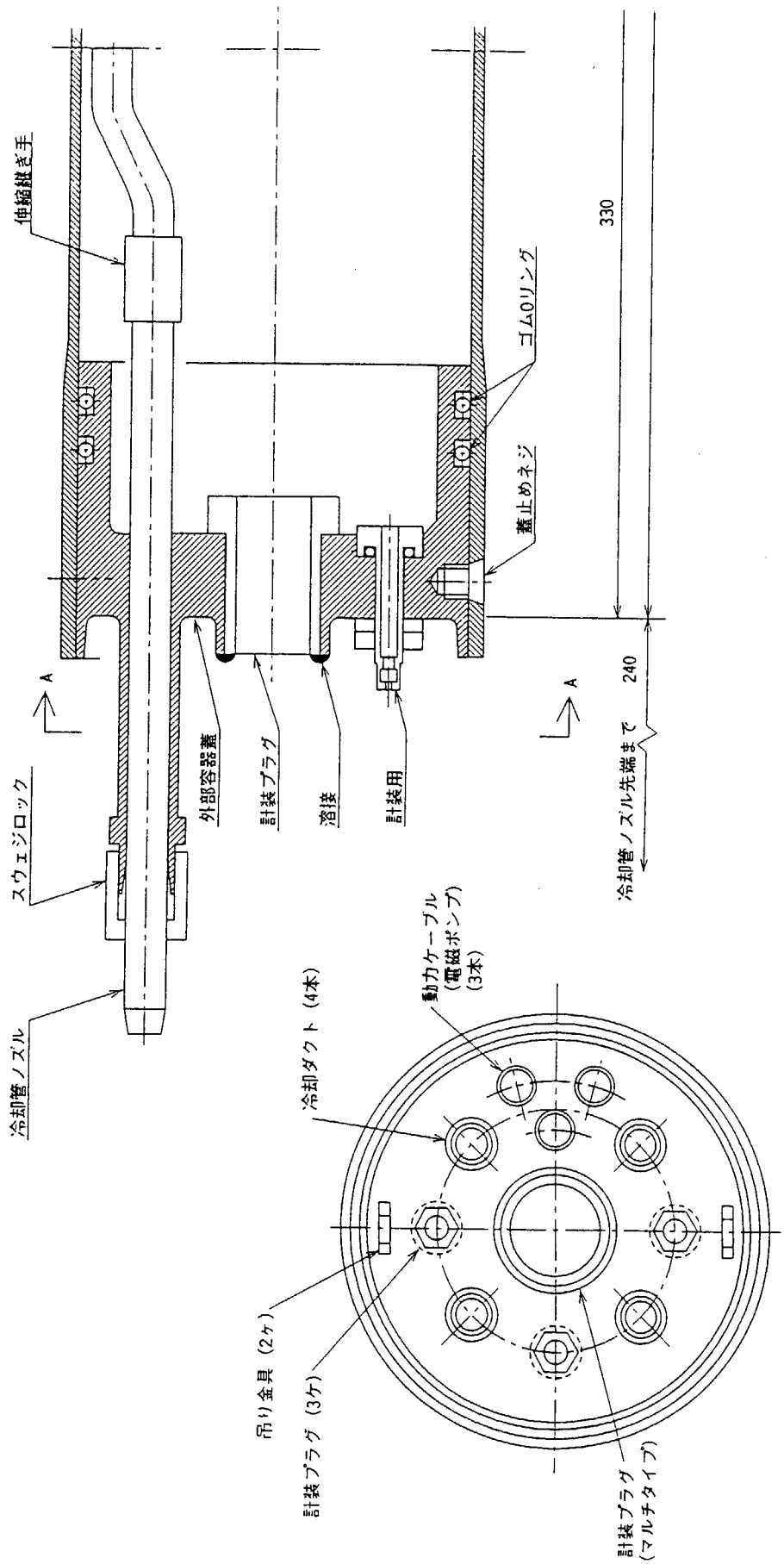
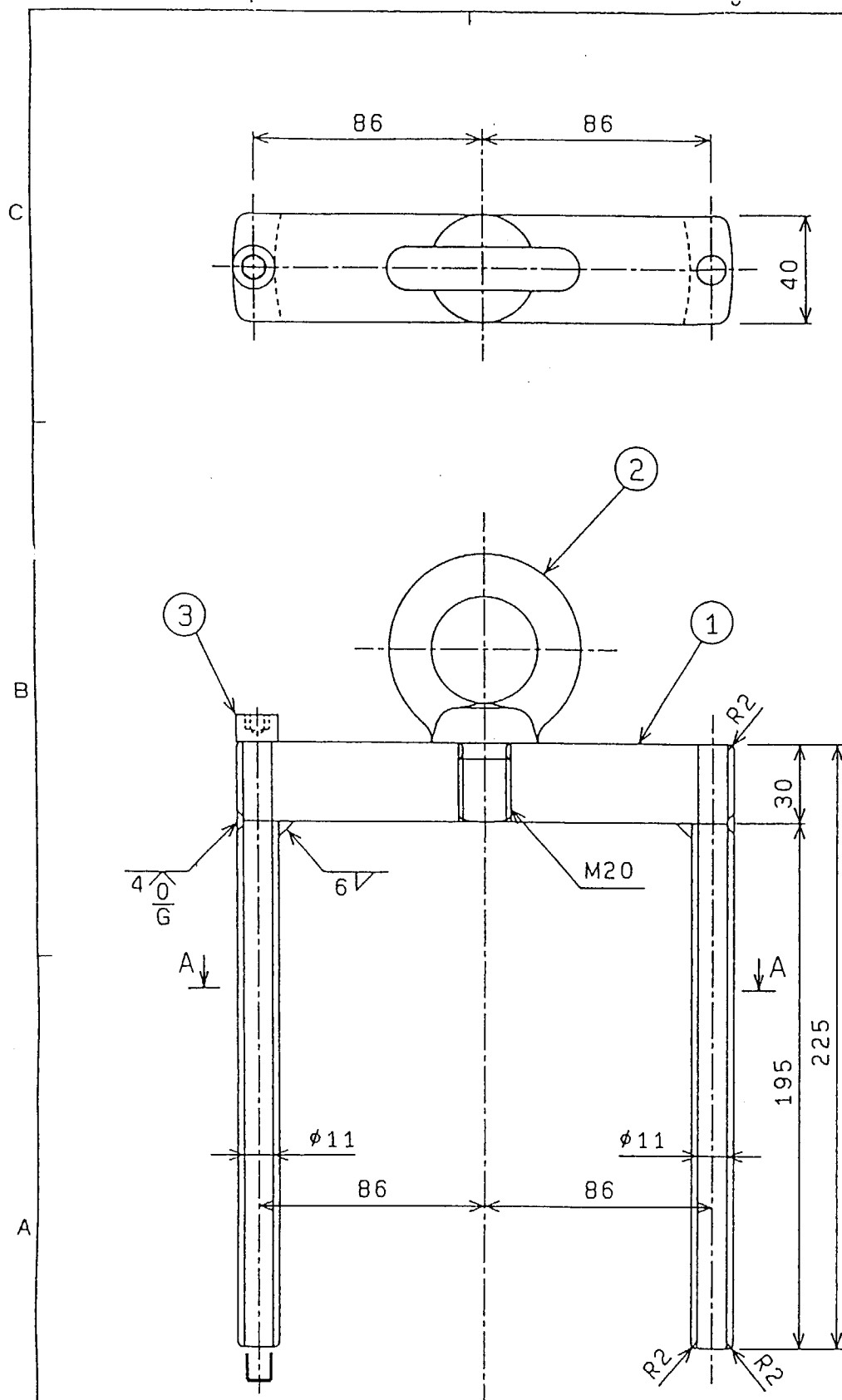


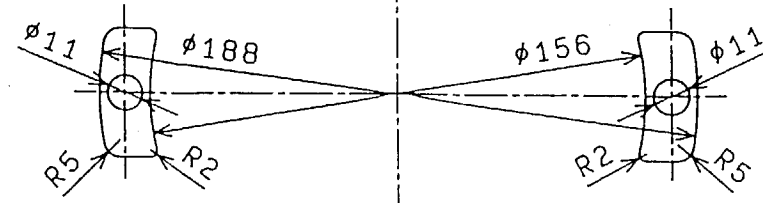
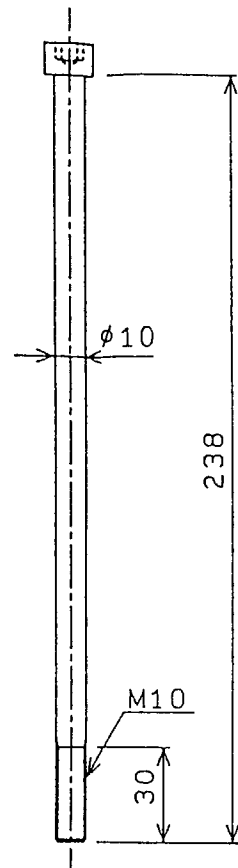
図3.1 試作流動ナトリウム・カプセル全体構造図(e)

A-A 矢視図

This is a blank page.



品番③詳細



A-A 断面

注記

1. 削り加工の寸法公差は JIS B 0405 (1991) 公差等級記号 m による。
2. 品番③のボルトの基本寸法は JIS B 1176 による。
また、ねじ部の加工は JIS B 0205 によるものとし、公差は JIS B 0209 公差等級 6g とする。
3. 品番①の穴 (φ11) 加工は溶接後行うこと。

改訂 番号	図面 名称	改訂 年月日	承認	検印	設計
R0	初版発行	99.4.6	下田	亀谷	野田

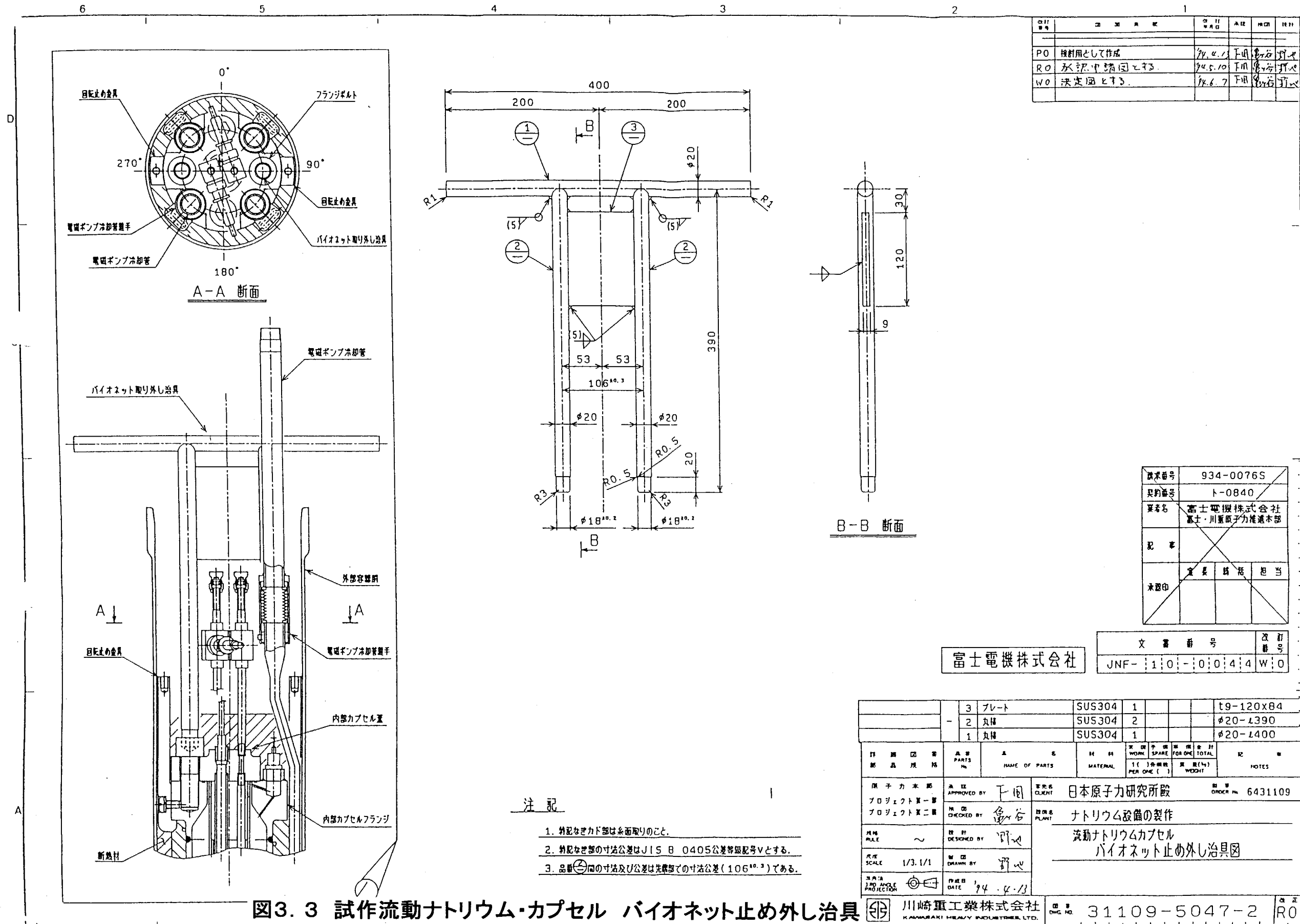
3	六角穴付きボルト	SUS304	2			M10- ℓ 238
2	アイボルト	SUS304	1			M20
1	吊りトング本体	SUS304	1			

詳細 部品 規格	品番 PARTS No.	品名 NAME OF PARTS	材料 MATERIAL	標準予備		合計 TOTAL	記 事 NOTES
				WORK	SPARE		
原子力本部 プロジェクト第一 プロジェクト第二	承認 APPROVED BY	下田	客先名 CLIENT	日本原子力研究所殿			
規格 RULE	検印 CHECKED BY	亀谷	設備名 PLANT	ナトリウム設備の製作			
尺度 SCALE	設計 DESIGNED BY	野田		流動ナトリウムカプセル 内部カプセル吊りトング			
三角法 3RD ANGLE PROJECTION	製図 DRAWN BY	野田	作成日 DATE	99.4.6			

図3.2 試作流動ナトリウム・カプセル 内部カプセル吊りトング

川崎重工業株式会社 KAWABAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD. 図番 DWG. NO. 31109-5046-3 改正 R0

(A3型)



訂正 番号	訂正 内容	訂正 年月日	訂正 人	検 査 人
P0	検討用として作成	74.4.13	下田	野谷
R0	承認申請図とする	74.5.10	下田	野谷
W0	決定図とする	74.6.7	下田	野谷

請求番号	934-0076S
契約番号	T-0840
業者名	富士電機株式会社 富士・川重原子力推進本部
記号	
承認印	部長 経理 担当

富士電機株式会社	文書番号	JNF-110-00044W0	改訂 番号	4
----------	------	-----------------	----------	---

品名	数量	材料	単位	重量	備注
3 プレート	1	SUS304		t9-120x84	
2 丸棒	2	SUS304		φ20-1390	
1 丸棒	1	SUS304		φ20-1400	

項目	内容	項目	内容
原子力本部 プロジェクト第一 プロジェクト第二	承認 APPROVED BY 下田	顧客 CLIENT	日本原子力研究所殿
検査 CHECKED BY 野谷	設計 DESIGNED BY 野谷	工場 PLANT	ナトリウム設備の製作
スケール SCALE 1/3.1/1	製図 DRAWN BY 野谷	流動ナトリウムカプセル バイオネット止め外し治具図	
製作 DATE 74.4.13	訂正 DATE		

- 注記
1. 外記なきカド部は糸面取りのこと。
 2. 外記なき部の寸法公差はJIS B 0405公差等記号Vとする。
 3. 品番(2)の寸法及び公差は先機部での寸法公差(106^{+0.3})である。

図3.3 試作流動ナトリウム・カプセル バイオネット止め外し治具

川崎重工業株式会社 KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD. 訂正 31109-5047-2 R0

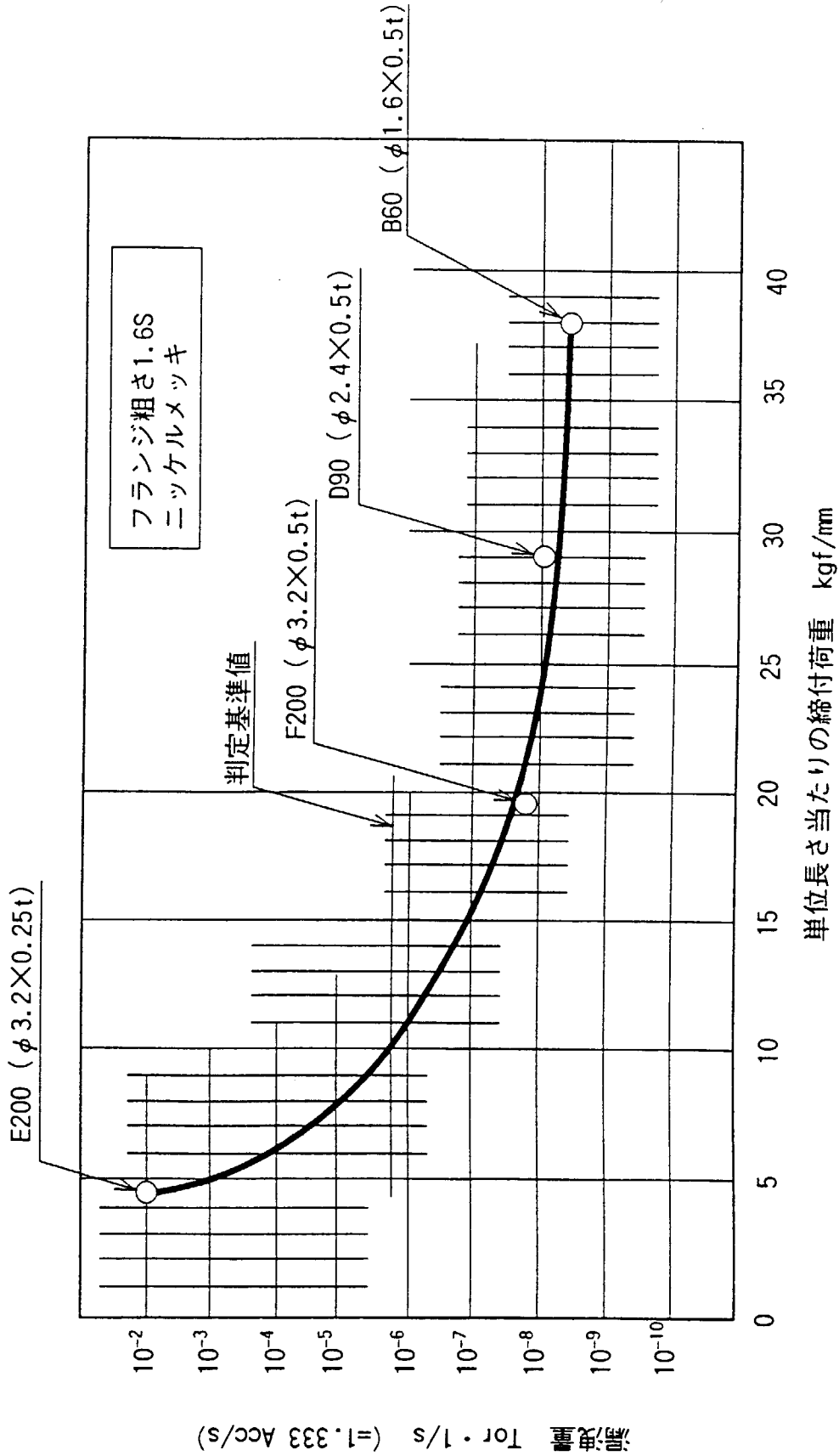
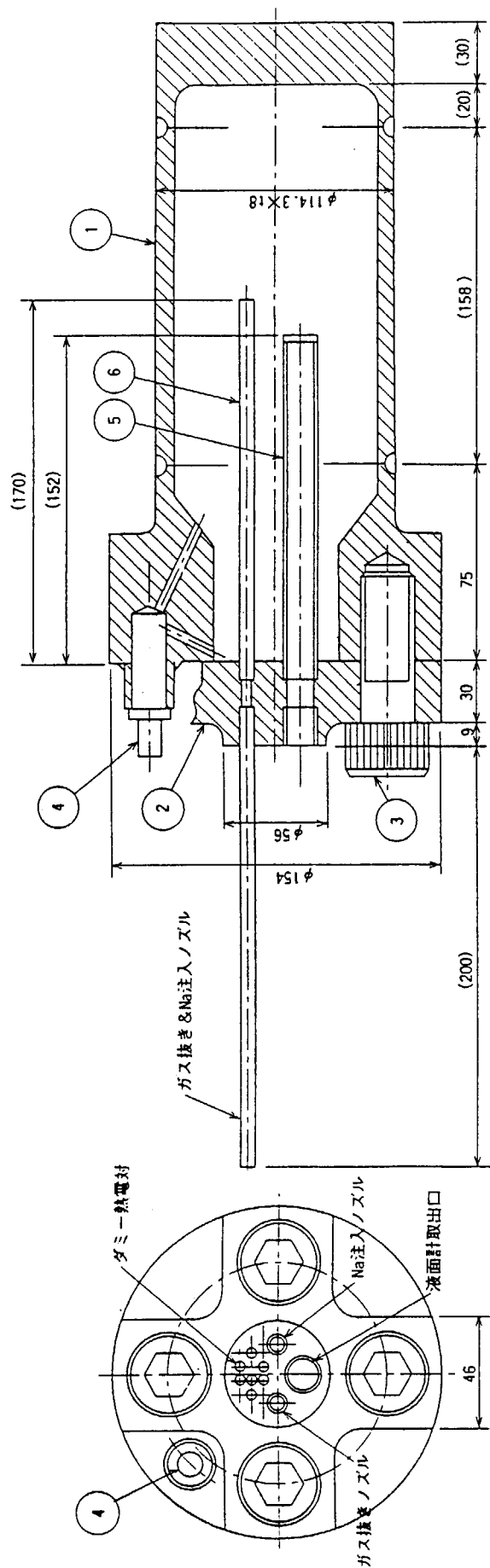


図4.3 金属中空Oリング・パッキンの気密性能(経験値)



8							
7							
6	Na注入&ガス抜きノズル	2	SUS316TP φ10				
5	液面計保護管	1	SUS316 φ18				
4	圧力センサ	1					
3	ボルト	4	SUS316 M24				
2	蓋	1	SUS316				
1	容器	1	SUS316TP-S				
番号	部品名	数量	材質	備考			
名称	試作流動ナトリウム・カプセル 高圧試験体						

図5.1 試作流動カプセル型耐圧試験体

付録 I

流動カプセルの付属品一覧

充填ボックス用 コネクターコード	3式
充填ボックス用 ラバーブーツ (広幅)	1
ラバーブーツ (狭幅)	2
ラバーブーツ (溝付)	1
シール用部品	
ゴムOリング	4本
ステンレスバンド	2本
押さえ金具	1
外部容器蓋用	
取付け・外し治具	1
溝付き金具	1組 (解体専用治具)
T型トンク	1
六角ナット回し	1
吊り金具	1
接続具バイオネット回転トンク	1
首吊りトンク	1組 (解体専用治具)
内部カプセル飛び出し防止金具	1
外部容器蓋支え金具	1
レベル計工具	1
計測器用バルブ・ハンドル	1
カプセル部品熱電対コネクタ (オス)	5個
計測器予備六角穴付きボルト (内部カプセル用)	24本
本番&予備シュアピン (外部カプセル用)	8本
ゴムOリング $\phi 17.5$	21本
$\phi 26$	7本
$\phi 20$	2本 (予備)
金属Oリング	22本
フィルタ	1
六角穴付きビス (M5)	3本
ネジ (オス、M8)	1本
抵抗体 SW-2167 RTC-0.5(Ω)	1 (計測器外付け用)
RBAL-2.4(Ω)	1 (冷却器出口用)
熱電対	1 (現場センサ)
拡張ノズル	1

バルブ・ハンドル (T型)	1 (カプセル用)
熱電対導通テスト用リード線	1 (計測器調整用)
温度計 (現場型) $\phi 100$	2 (現場指示計)
カプセル洗浄フランジ	1式 (カプセル内側洗浄用)
現場型風速計	1 (電磁ポンプ用)
電磁ポンプ冷却管 (1) & (2)	各1本
ナトリウム排出ポット用スウェジロック	
止めプラグ (ネジ込み式)	5
(袋ナット式)	4
袋ナット (大)	14 (予備品)
(小)	10
直管つなぎ	2
エルボ	5
フェーフル (大)	10セット
(小)	9セット
サーモスタット	
本体 (センサ付き)	2台
センサのみ	1 (排出ポット予熱用)
リボンヒータ	5本
断熱テープ	2
アネモマスター	
本体	1台
リード線	1台 (模擬実験孔用)
センサ用コネクタ	1本
本体用カバー	1
充填ボックス用グローブ	1
双カプセル耐圧試験用延長パイプ	1
カプセル運転制御盤用予備品	
ガラス管ヒューズ	1
シーケンサ用ヒューズ	2
リレー (オムロン) MY4N	1
記録紙 (EH-01001)	23冊
補修塗料	1缶
熱電対用ピンコネクタ	14本 (熱線風速計用)
熱電対	8本
(TI107S, TI108S, TI109S, TI110S, TI111S, TI112S, TI113S, TI114S)	

付録Ⅱ

ボルト締め付け要領

- ① パッキン及び試験体シール面にゴミ等の異物が付着していないことを確認してからパッキンを装着する。
- ② 試験体の蓋を胴部にセットし、ボルトを全数軽く手締めし、蓋と胴部の隙間に偏りの無いことを確認する。
- ③ 蓋と胴部の隙間を確認しながら、片締めにならないように対角に締め、蓋と胴部の面が密着するまで段階的に締め付ける。
- ④ すべてのボルトを均一なトルクで締め付ける。
- ⑤ トルクの概略値は次のように求める。

パッキンの反力による荷重(f_2)は、 $t0.5\text{mm}$ のものを使用した時、 $F_{2\text{room}}=9,495\text{kgf}$ (室温)、であり、内圧による荷重 (F_1) は、 $F_1=320\text{kgf}$ であることから、全ボルトの受ける荷重 (W_m) は、 $W_m=F_1+F_{2\text{room}}=320+9,495=9,815\text{kgf}$ であり、ボルト 1 本の受ける荷重 (W) は、 $W=W_m/N=9,815/12=818\text{kgf}$ となる。締め付けトルクの概略値(T)は、

$$T=k \cdot d \cdot W = 0.2 \times 20 \times 818 = 3,272 \text{ kgf} \cdot \text{mm} \rightarrow 3,272 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

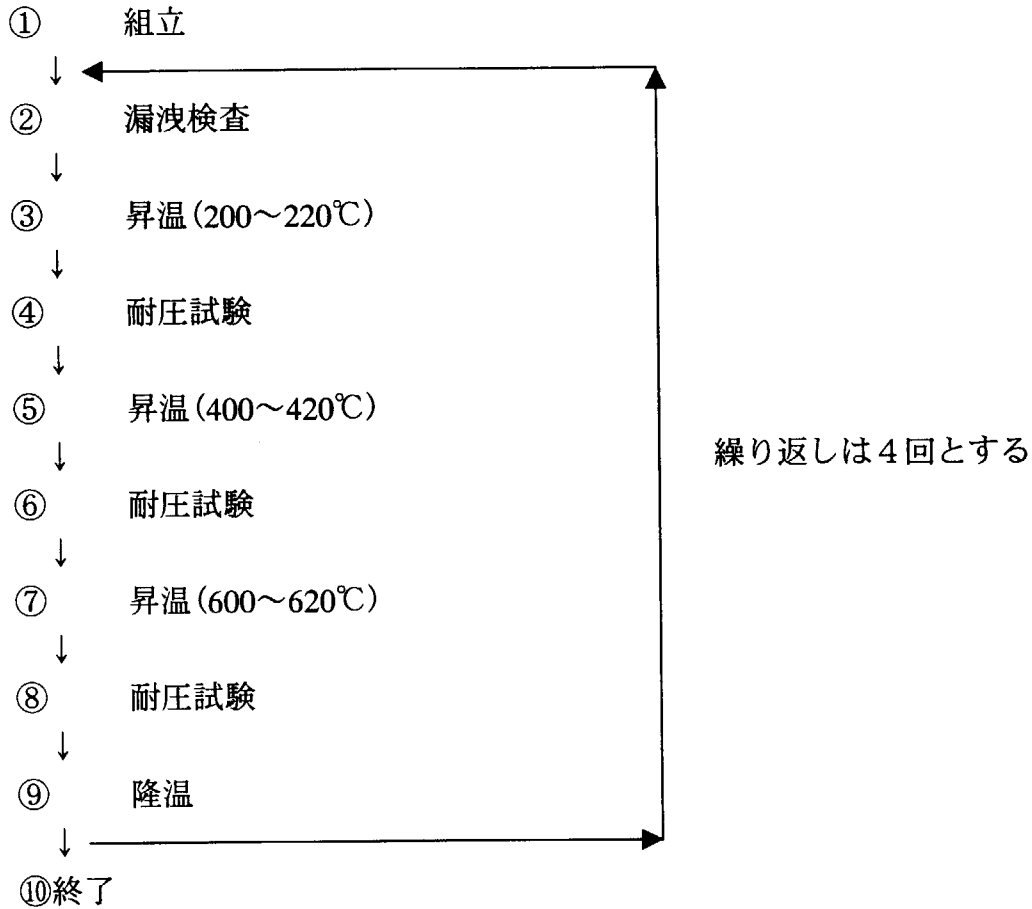
k :トルク係数(=0.2mm)

d :ボルトの公称径(=20mm)(最小径=16mm)

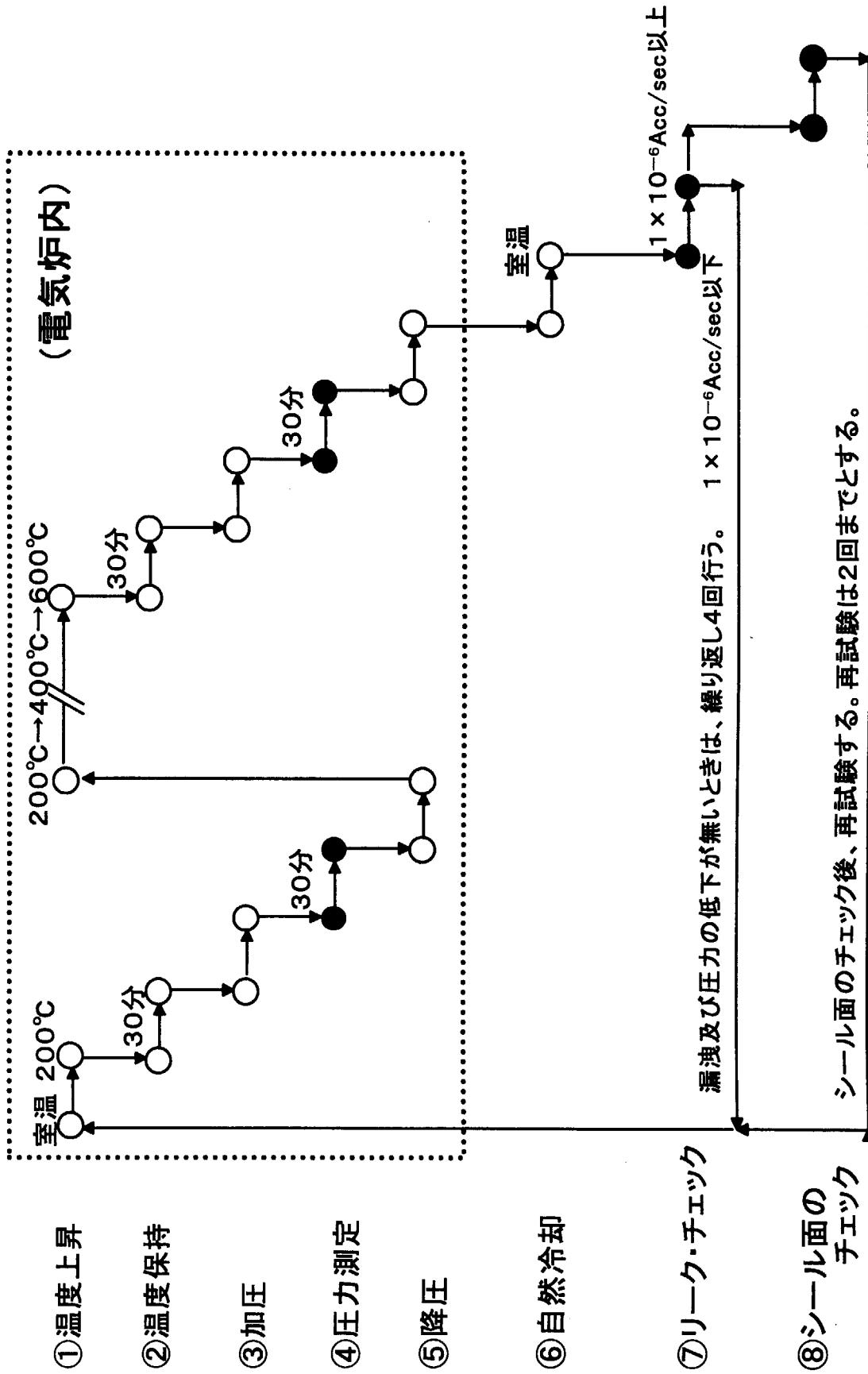
程度となる。

付録Ⅲ

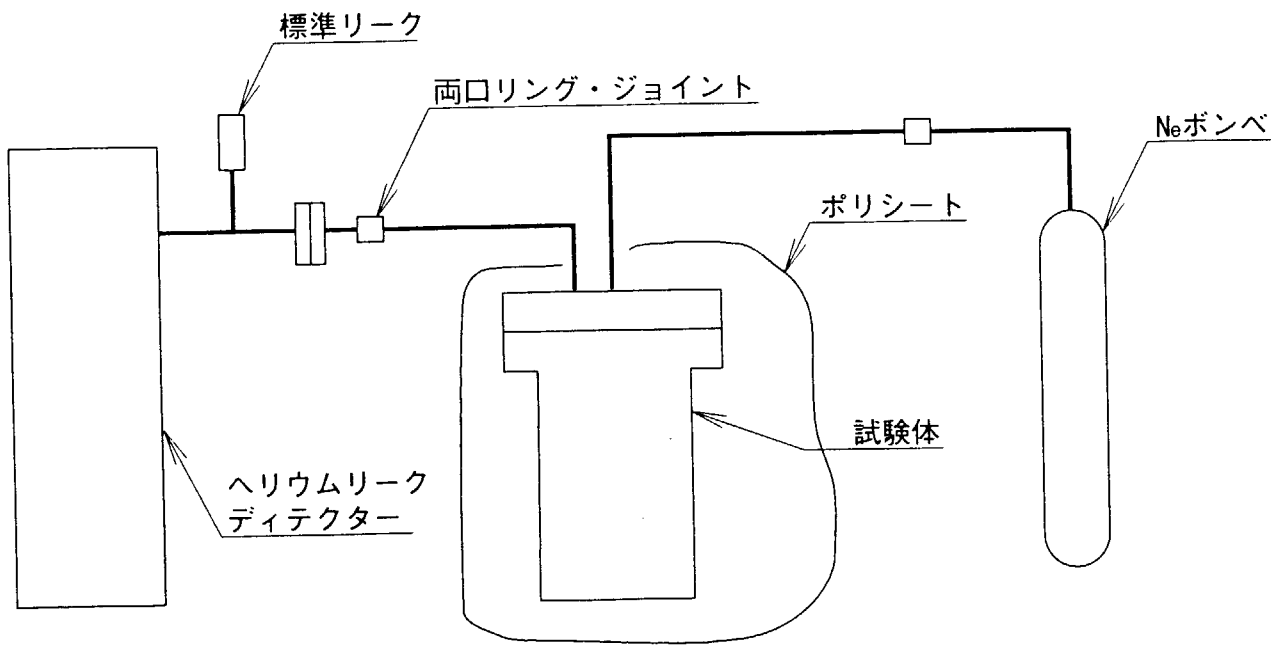
漏洩及び耐圧試験検査要領



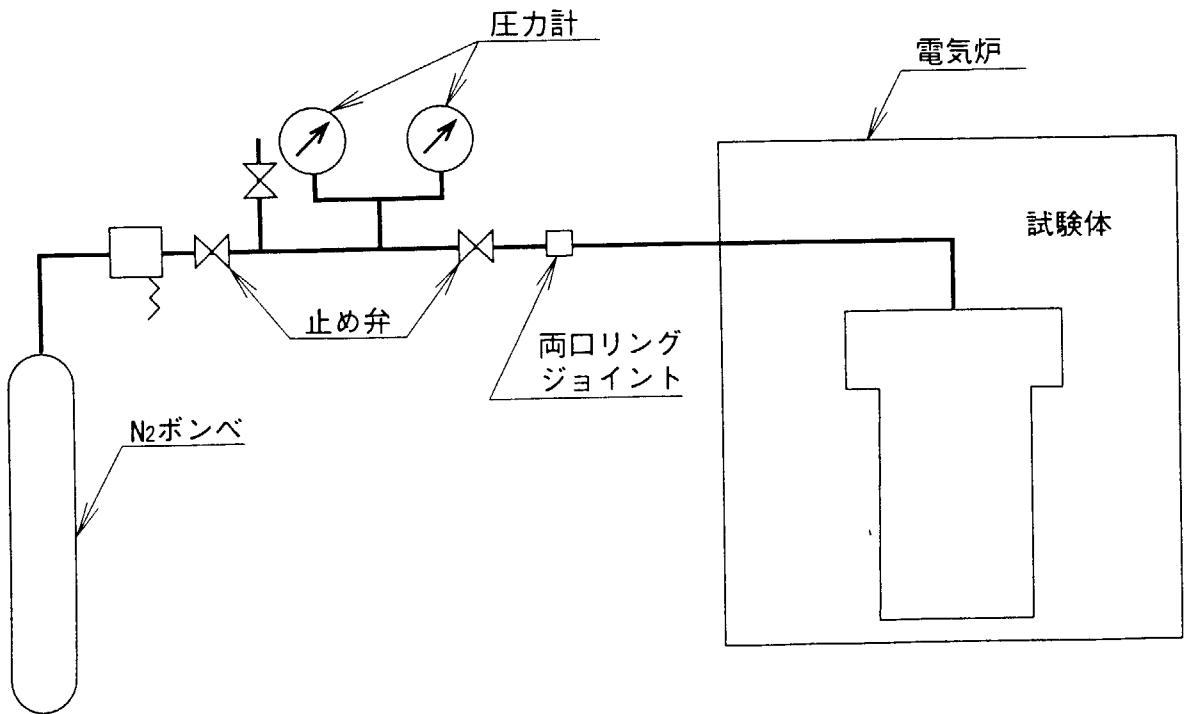
- (1) 締め付け要領にしたがって試験体の組立を行う。
- (2) 室温でヘリウム漏洩検査を行う。
- (3) 試験体を昇温し、30分間保持する。
- (4) 圧力を30分間負荷し、圧力低下がないか確認する。
- (5) 圧力を除去し、試験体を昇温後、30分間保持する。
- (6) 圧力を30分間負荷し、圧力低下がないか確認する。
- (7) 圧力を除去し、試験体を昇温後、30分間保持する。
- (8) 圧力を30分間負荷し、圧力低下がないか確認する。
- (9) 圧力を除去し、自然放冷する。
- (10) 4サイクルの検査終了後、試験を終了する。



付録図Ⅲ-1 試験検査のフロー

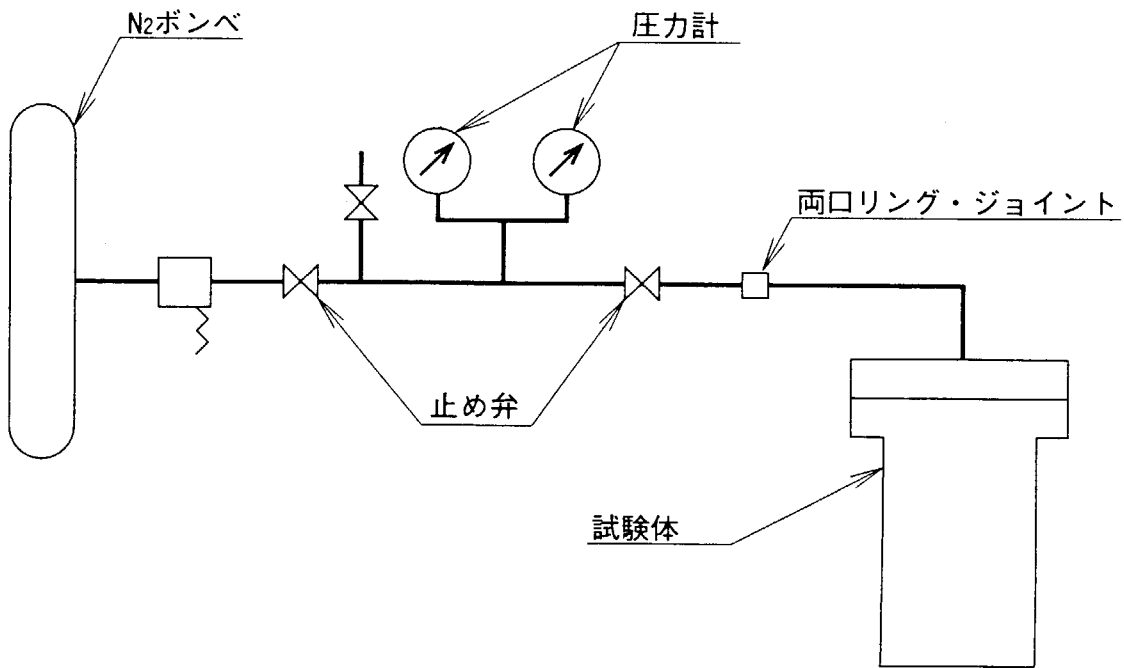


ヘリウム漏洩検査要領図



添付図Ⅲ-2 温度上昇時の耐圧試験要領図

耐圧試験圧力： $6.13 \times 10^5 \text{Pa}$



添付図Ⅲ-3 室温時の耐圧試験要領図

This is a blank page.

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
工率, 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	ジーメンズ	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年推奨値によった。
- 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 関税理事会指令では 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)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力	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

	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV
エネルギー・仕事・熱量	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸
	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

1 cal = 4.18605 J (計量法)
= 4.184 J (熱化学)
= 4.1855 J (15 °C)
= 4.1868 J (国際蒸気表)
仕事率 1 PS (仏馬力)
= 75 kgf·m/s
= 735.499 W

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

NSR高速炉燃料実験用ナトリウム取扱設備の開発②ナトリウム・カプセル