



JP0250392

JAERI-Tech

2002-061



IASCC研究用飽和温度キャプセルの制作

2002年8月

石川 和義・菊地 泰二・磯崎 太*・井上 広己・大場 敏弘
松井 義典・齋藤 隆・中野 純一・辻 宏和

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。
入手の問合せは、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）で複写による実費領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, 2002

編集兼発行 日本原子力研究所

I A S C C 研究用飽和温度キャプセルの製作

日本原子力研究所東海研究所工務・技術室

石川 和義・菊地 泰二・磯崎 太*・井上 広己・大場 敏弘
松井 義典†・齋藤 隆‡・中野 純一++・辻 宏和++

(2002年 5月 31日受理)

照射誘起応力腐食割れ (IASCC) に関する研究は、軽水炉の高経年化対策に係わる重要課題であり、その現象を解明するためには、照射、環境、応力の複合作用における発生機構を明らかにする必要がある。このような状況から、IASCC 研究における照射試験を材料試験炉 (JMTR) で行うため、飽和温度キャプセルを製作した。

飽和温度キャプセルは炉外の水環境制御装置から沸騰水型原子炉 (BWR) の炉心環境を模擬した水質及び水温の高压水を通水しながら照射試験を行う照射リグである。

本報告は、(1) この飽和温度キャプセルの設計・製作に当たっての技術的検討課題を抽出し、(2) この課題についての各種試験を行い、(3) その結果を反映させて実施したキャプセル組立及び検査について述べたものである。

東海研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

+ 大洗研究所材料試験炉部

++ 東海研究所エネルギーシステム研究部

* 原子力エンジニアリング（株）

Fabrication of Saturated Temperature Capsule for IASCC Study

Kazuyoshi ISHIKAWA,Taiji KIKUCHI,Futoshi ISOZAKI *,Hiromi INOUE
Toshihiro OHBA,Yoshinori MATSUI[†],Takashi SAITO[†],Junichi NAKANO^{††}
and Hirokazu TSUJI^{††}

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

(Received May 31, 2002)

Study of irradiation assisted stress corrosion cracking (IASCC) is an important subject for the plant life assessment and extension of the light water reactors (LWRs). It is necessary that initiation mechanism of IASCC should be made clear under combined effect of irradiation, environment and stress in order to understand IASCC phenomena.

Under the existing circumstance, Saturated Temperature Capsules (SATCAP) were fabricated for the irradiation test of IASCC studies in Japan Material Testing Reactor (JMTR).

SATCAP is the irradiation rig to irradiate materials in high pressure water of controlled chemistry and temperature simulating Boiling water reactors (BWRs) core environment from the new water feeding system of out-of-pile.

This report describes (1) investigation of technical problems for the design and fabrication of SATCAP, (2) the tests results of the problems and (3) fabrication and inspection of SATCAP.

Keywords : IASCC , JMTR , Irradiation Rig , Bendig Test , Fabrication Casule ,
Saturated Temperature Capsule , Weldability Test

-
- + Department of JMTR , Oarai Research Establishment
 - ++ Department of Nuclear Energy System , Tokai Research Establishment
 - * Nuclear Engineering Co.Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. キャプセルの設計仕様	2
3. キャプセルの構造	3
4. 製作に当たっての技術的検討と開発	4
4. 1. 外筒と端栓部の溶接性試験	4
4. 2. 導水管の異材溶接性試験	6
4. 3. J M T R 現地での給・排水管溶接性試験	9
4. 4. 上部端栓と計測線用スリーブ管の溶接性試験	12
4. 5. 保護管の計測線のための曲げ試験	13
5. キャプセルの組立・検査	23
6. まとめ	32
謝　　辞	32
参考文献	32
付　　録	33
1. キャプセル組立図および主要部品図	35
2. キャプセル外観写真	40
3. 試験検査要領	45
4. 温度モニタの製作	63
5. 組立中外観写真	64
5. 1. 試料組み込み	64
5. 2. 支柱組み込み	68
5. 3. 外筒および熱媒体組み込み	68
5. 4. 保護管組立	69
6. キャプセル外観写真	69

Contents

1 . Introduction	1
2 . Design Specifications of Capsule	2
3 . Structure of Capsule	3
4 . Technical Examination and Development for Fabrication	4
4 . 1 . Weldability Test of Outer Tube and Plug	4
4 . 2 . Weldability Test of Different Materials of Injection Tube	6
4 . 3 . Weldability Test of Inlet and Outlet Pipe of Capsule Joint Parts at JMTR Site	9
4 . 4 . Weldability Test of Upper Plug and Sleeve Pipe for Instrument Lines	12
4 . 5 . Bending Test for Instrument Lines in Protection Tube	13
5 . Fabrication and Inspection of Capsule	23
6 . Summary	32
Acknowledgements	32
References	32
Appendix	33
1 . Capsule Assembling and Main Parts Drawing	35
2 . Visual Photograph of Capsule Parts	40
3 . Outline of Test and Inspection	45
4 . Fabrication of Temperature Monitor	63
5 . Visual Photograph during Assembly	64
5 . 1 . Specimens Assembly	64
5 . 2 . Support Tube Assembly	68
5 . 3 . Outer Tube and Thermal Spacer Assembly	68
5 . 4 . Protection Tube Assembly	69
6 . Complete Capsule	69

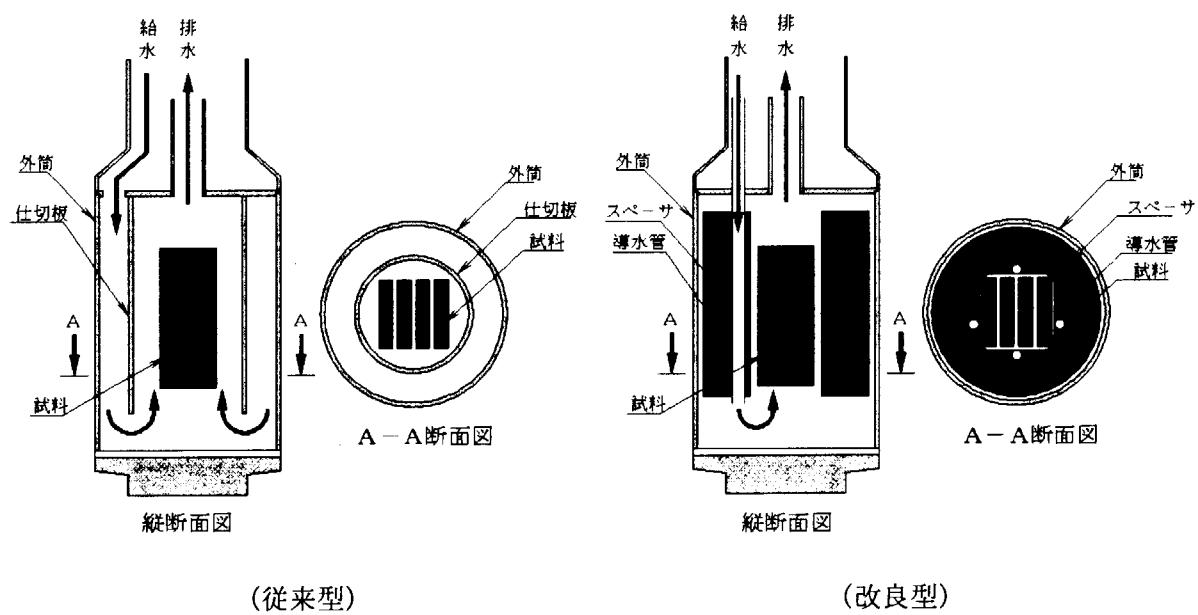
1. はじめに

本件は、原子炉構造用ステンレス鋼の沸騰水型原子炉（Boiling Water Reactor,以下BWR）運転条件での照射誘起応力腐食割れ（Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking,以下 I A S C C）研究に関する照射試験を大洗研究所の材料試験炉（JMTR）において行うために必要となる、飽和温度キャップセルの設計・製作および組立に係わる一連の作業についてまとめたものである。

飽和温度キャップセルは、炉外に設置した水環境制御装置で水温、水質等を調整した高温高压水をキャップセル内に供給し、試料を照射するものである。

平成12年度から平成13年度に設計、製作に係わったキャップセルは3体であり部品製作を外注により行い、納入後の部品検査・製作前各種試験および本組立・検査は工作技術グループで実施した。また、当グループで組立完成しJ M T Rに搬入したキャップセル（一部外注で製作したキャップセルも含む）を一次冷却水の耐圧バウンダリを構成する分岐管とキャップセル内部へ高温高压水を供給する給排水管との溶接作業をJ M T R現地で実施した。

今回製作した飽和温度キャップセルは、加圧水（最高10 MPa）供給型の材料照射用キャップセルで、試料自体のガンマ発熱とキャップセルの給水温度を調整することにより、全段の試料表面で核沸騰を起こさせることができ、試料温度をほぼ一定温度に制御することができる。また、従来の飽和温度キャップセルより軽水炉（BWR型）環境下に近づけるために、給水方式を従来の仕切管方式から導水管方式（飽和温度キャップセルⅡと称されている。）に変更している。新しい構造の飽和温度キャップセルの主な特徴は、試料表面流速を増加させるためにスペーサを試料表面に沿った矩形孔とし、試料周囲の流路断面積を大幅に削減したことである。図1に従来型と改良型の飽和温度キャップセルの概略図を示す。



2. キャプセルの設計仕様

飽和温度キャプセルの代表的な設計上の各種条件は以下のとおりである。

(1) 照射条件

- a) 照射孔 : G-6
- b) 照射サイクル : 4 サイクル
- c) 照射目標温度 : 288 °C
- d) 目標照射量 : $1 \times 10^{25} \text{ n/m}^2$ ($E > 1.0 \text{ MeV}$)

(2) 壓力条件

a) 外筒

- 最高使用圧力 (外圧) : 1.76 MPa
- 最高使用圧力 (内圧) : 10 MPa

b) 保護管

- 最高使用圧力 (外圧) : 1.76 MPa
- 最高使用圧力 (内圧) : 8.00 MPa

(3) 冷却条件 (キャプセル外表面)

- a) 冷却材 : 軽水
- b) 流速 : 5 m/s
- c) 冷却水入口温度 : 49 °C

(4) 供給水条件 (キャプセル外表面)

- a) 供給水 : 軽水
- b) 流量 : 0.2 m³/h

(5) 热電対

- a) 型式 : クロメル／アルメル (JIS K型) 非接地型
- b) シース径 : φ1.6
- c) 数量 : 7本
- d) シース材 : SUS316

(6) フレンスモニタ

- a) 型式 : A-V型 (特殊型)
- b) 容器材質 : アルミニウム
- c) モニター材 : Fe, Al-Co
- d) 形状寸法 : φ2 × 25 mm
- e) 数量 : 5本

(7) 温度モニタ

- a) 型式 : 石英アンプルA-V型
- b) 製作方式 : スプリング鑄込み方式
- c) 形状寸法 : $\phi 2.5 \times 45\text{ mm}$
- d) 数量 : 1本

(8) 適用法規及び規格

- a) 核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律
(法律第166号)
- b) 試験研究の用に供する原子炉等の設計および工事の方法の
技術基準に関する総理府令
(総理府令第11号)
- c) 試験研究の用に供する原子炉等の溶接基準に関する総理府令
(総理府令第74号)
- d) 日本工業規格 (JIS)
- e) JMTRキャプセル等設計基準
- f) JMTRキャプセル等検査基準

3. キャプセルの構造

キャプセルの構造の詳細については、付録1に組立図及び主要部品図を示す。

本キャプセルは、外径 $\phi 60\text{ mm}$ (肉厚 4.0 mm) のステンレス鋼管 (SUS316L低C材) を外筒とし熱媒体、照射試料等から構成される。キャプセル内部には上部端栓部の給水管より水環境制御装置から水温、水質を調整した高温高圧水が供給され、導水管より試料部に導かれ排水管を通って同装置に回帰される。

外筒内には、最上部に電位差測定試験部が配置され、以下縦5段に積み重ねられたTiおよびZry-2製の熱媒体とその内部に各照射試料を装荷する試料ホルダが配置されている。

各試料ホルダは、ホルダに設けた4ヶ所の孔に4本の支柱を通して拘束する構造である。熱媒体内に装荷される照射試料は、最上部1段目より照射下試験の確認試験としてCT試験片にM1ケーブルを取り付けた電位差法測定を実施する為の試料が配置され、2段目に低歪速度引張 (Slow Strain Rate Testing, 以下SSRT) 試験片、3段目に平板型引張試験片、4段目に単軸定荷重 (Uniaxial Constant Loading, 以下UCL) 試験片、5段目にSSRT試験片、6段目に破壊靱性試験を行う0.4T-CT ($B = 5.6\text{ mm}$) 試験片が配置され、4本の支柱で固定されてる。

4本のうち1本の支柱の内部にはTEM試験片およびフルエンスモニタが装荷される。各段の照射試料の温度は、試料近傍に取り付けられた熱電対7本により計測される。

4. 製作に当たっての技術的検討と開発

キャプセルの組立に先立ち、以下の諸課題を事前検討するための各種試験を実施した。

4.1. 外筒と端栓部の溶接性試験

外筒と上下端栓部の溶接においては、溶接時の入熱と冷却によって溶接部に熱収縮を生じると共に、溶接裏なみの大きさが懸念される。このため、組立前に実機構造での溶接の模擬試験を実施した。写真 1 にモックアップ溶接試験の写真を示すと共に、表 1 に溶接部の熱影響による外径の収縮結果を示す。本結果から外径は約 2.5 mm の収縮があると判断できる。また、溶接による外径の収縮の影響については写真 3 から判断し、溶接中心部より片側約 10 mm 程度まで影響していると見られ、裏なみ高さは約 1.5 mm 程度である。

モックアップ試験の結果から、外筒の溶接による収縮は予想より大きく内部のスペーサと干渉する恐れがあるため、スペーサ溝巾寸法を 7 mm から 16 mm まで広げることにした。写真 6 にスペーサの写真、図 2 にスペーサ図面を示す。以上のようにモックアップ試験の結果から、この溶接の影響が他に及ぼす可能性を考慮して、図 2 に示す図面を基にスペーサ部は外筒の溶接収縮を見込んで溝部の寸法を広げる加工を行った。(写真 6 参照)

なお、実機の溶接部仕上げ状態は写真 4・5 に示したとおりである。

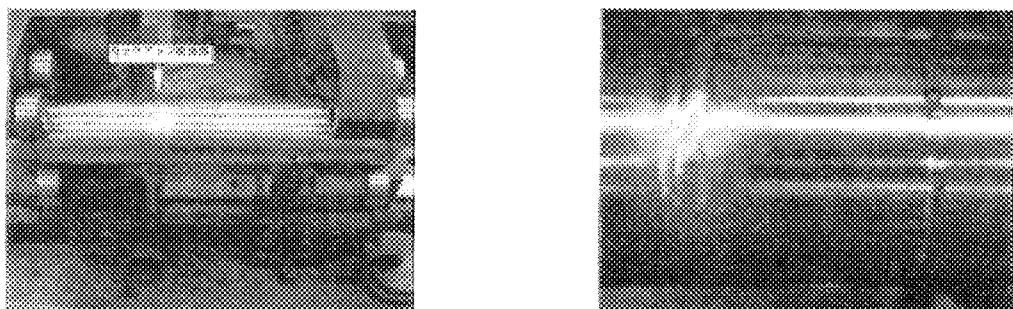


写真 1 : モックアップ溶接

表 1 : 溶接熱影響による収縮

A部詳細図は、溶接部の寸法を示す図面。左側は縦断面図で、右側は横断面図である。縦断面図には「302.2」と記載されている。

(単位: mm)				
回数	長さ	外径	収縮量	外径測定箇所
① 1 層溶接後	301.7	Φ59.93	0.5	Ⓐ
② 2 層溶接後	301.0	Φ59.60	1.2	
③④ 3 層溶接後	300.5	Φ59.34 ~ Φ59.38	1.7	
⑤ 4 層溶接後	300.3	Φ59.26 ~ Φ59.32	1.9	
⑥⑦ 5 層溶接後	299.6	Φ59.46 ~ Φ59.48	2.6	Ⓑ

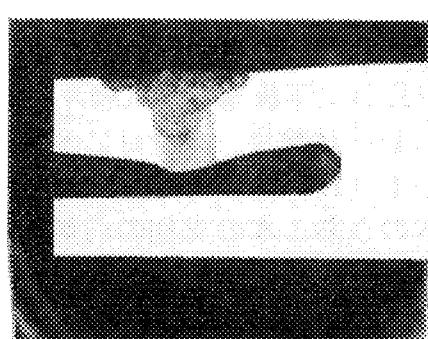


写真 2 : 溶接部金属組織参考写真

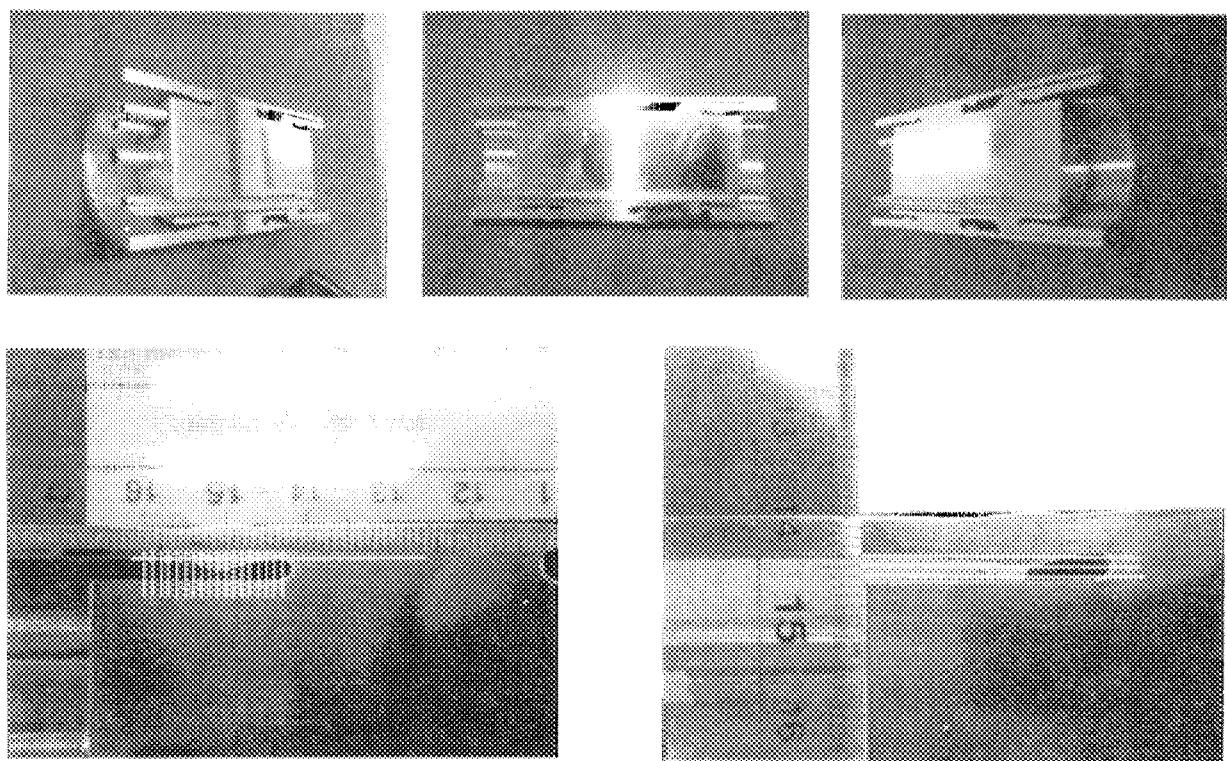
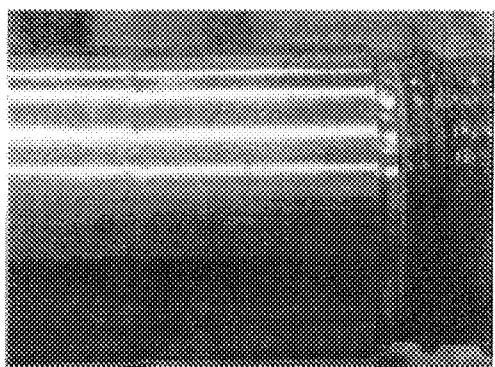


写真3：モックアップ溶接裏なみ部の状況



下部端栓溶接部仕上げ終了時



上部端栓溶接部仕上げ終了時

写真4：キャプセル上下端栓部溶接部

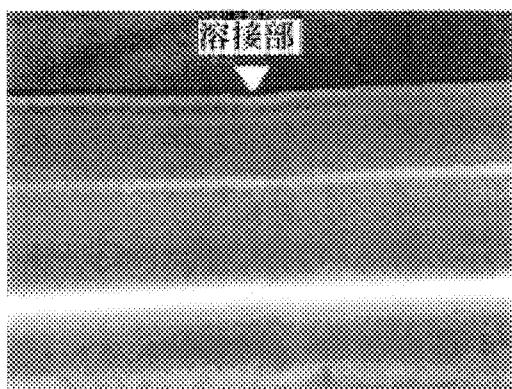


写真5：キャプセル保護管と上部端栓溶接部

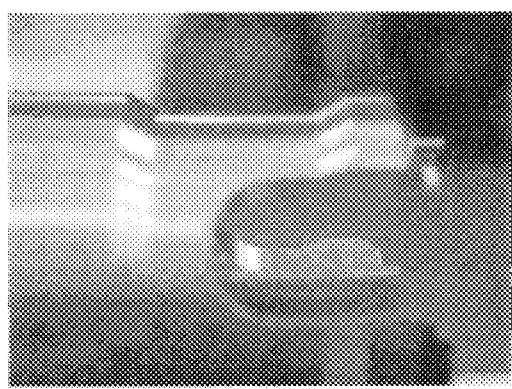


写真6：スペーサ溝部の写真

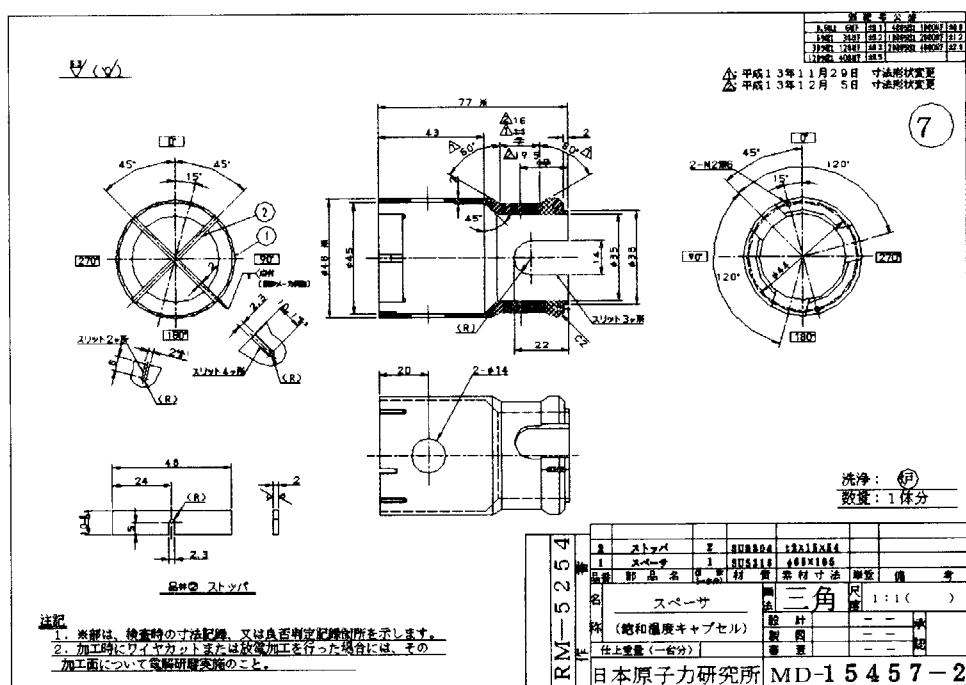


図2：スペーサの製作図

4.2. 導水管の異材溶接性試験

従来の飽和温度キャップセルの給水方式である仕切管方式から導水管方式に変更となり、その導水管は照射試料を兼ねた改良型ステンレス鋼を使用することになった。そのために、外筒内の構造物（照射試料等）に給水される導水管と上部端栓部の接続部が異種材料の溶接構造となるために溶接部の健全性確認試験を行った。

本試験では、改良型ステンレス鋼である薄肉導水管（外径 7 mm × 内径 6 mm）と上部端栓部材であるSUS 316 L低Co材の異材溶接条件を決めるとともに、SUS 316 L低Co材同士の溶接継手と同等以上の強度を確認するための試験を行った。試験は図4に示す寸法形状の試験片を製作し、実施した。試験項目については表2のとおりであり、試験片製作（図3）と溶接条件（図4）を、さらに試験片の外観写真（写真7）と溶接部金相写真（写真8）を示す。

試験後の引張試験結果は、SUS 316 L低Co鋼と同等以上の材料強度が確認された。

表2：試験項目

試験片の種類	試験項目
引張試験片	突き合わせ溶接管を用いて室温雰囲気で実施し、破断位置、破断伸び、引張強度を測定する。
1/4破断試験片	マクロ、ミクロ組織観察により、溶金部およびHAZ部に異常がないことを確認する。 硬さ試験により、母材、溶金部HAZ部の硬さ分布から異常がないことを確認する。 曲げ試験片を切り出し、表面げ試験による溶接部の割れの状態を確認する。 JIS-G 0575の硫酸・硫酸銅腐食試験により、試験後の粒界割れを測定する。

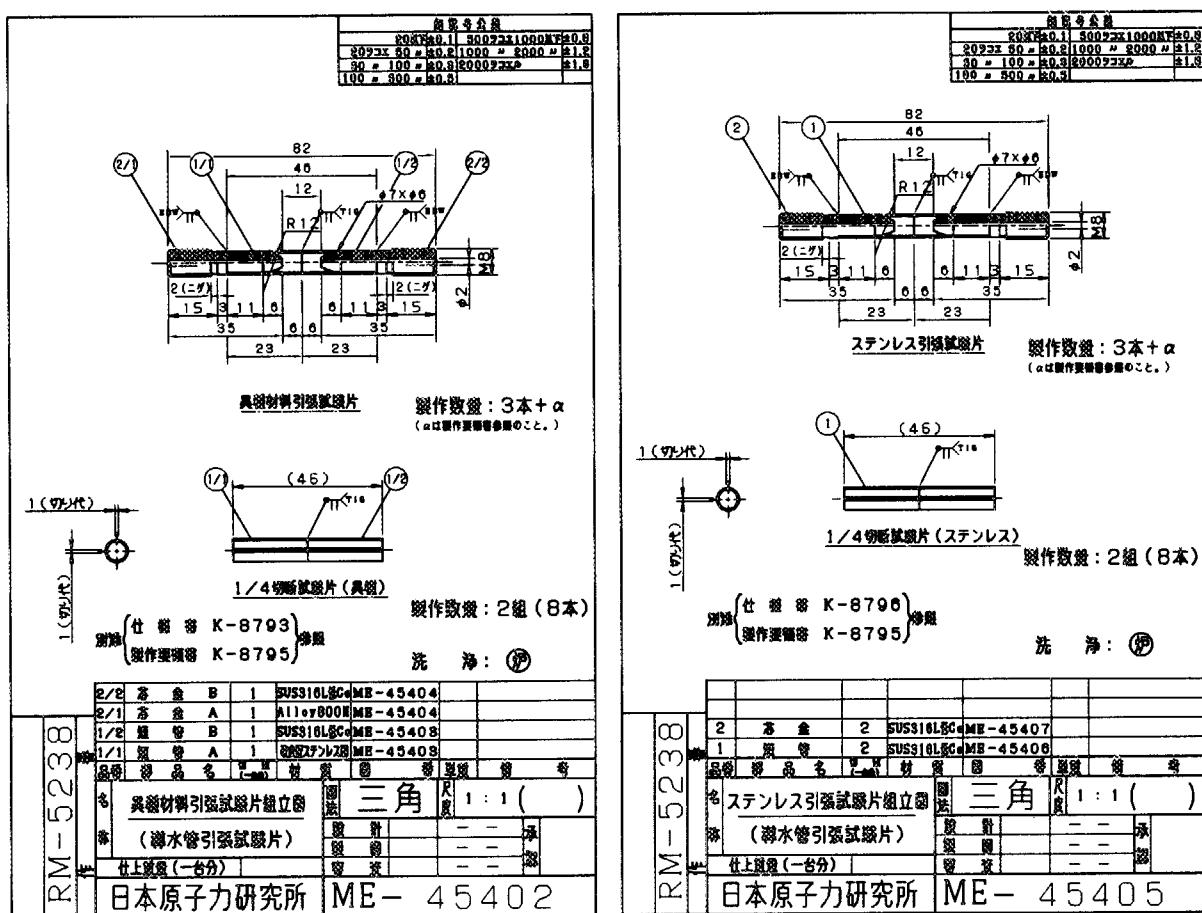


図3：導水管引張試験片製作図

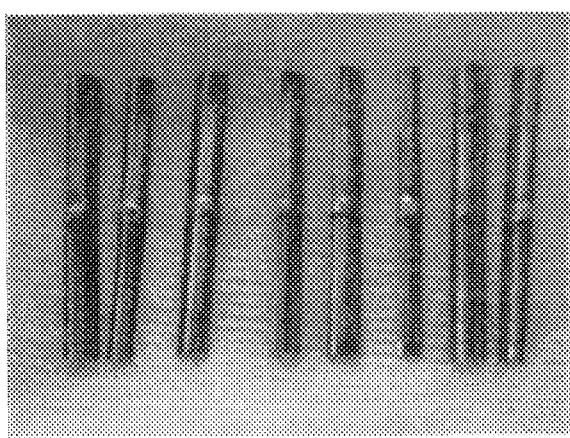
溶接条件記録表

1. 材料	SUS316L鉛Cu-改良型ステンレス鋼
2. 板厚 (mm)	0.5
3. 電極直徑 (mm)	Φ1.6
4. 溶接電流 (A)	1.2A ~ 1.3A
5. アルゴン流量 (ppm)	5 裏ガス: 0.5
6. 層数	2 ~ 3
7. 開先形状	I型
8. ノズル孔径 (mm)	
9. 備考	
10. 概略図	

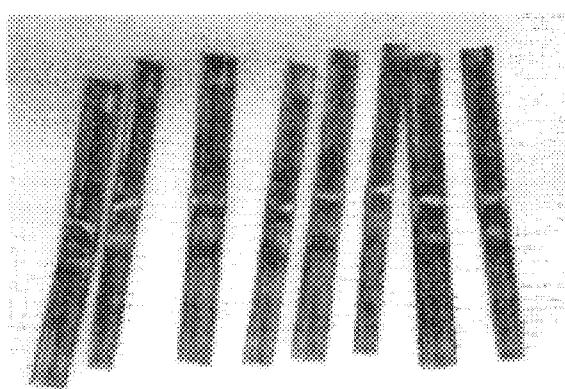
溶接条件記録表

1. 材料	SUS316L鉛Cu-SUS316L鉛Cu
2. 板厚 (mm)	0.5
3. 電極直徑 (mm)	Φ1.6
4. 溶接電流 (A)	1層目 2層目 1.2A 1.2A ~ 1.3A
5. アルゴン流量 (ppm)	5 裏ガス: 0.5
6. 層数	2 ~ 3
7. 開先形状	I型
8. ノズル孔径 (mm)	
9. 備考	
10. 概略図	

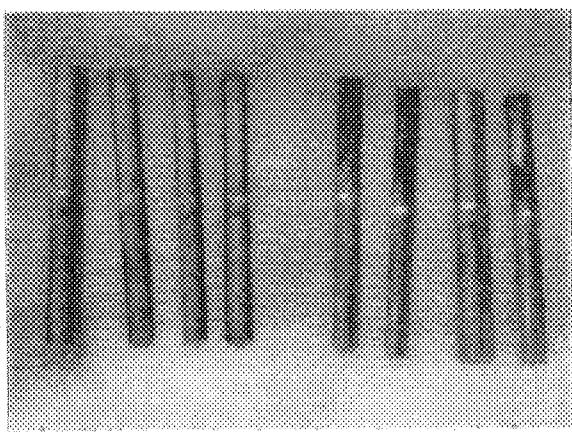
図4：溶接条件



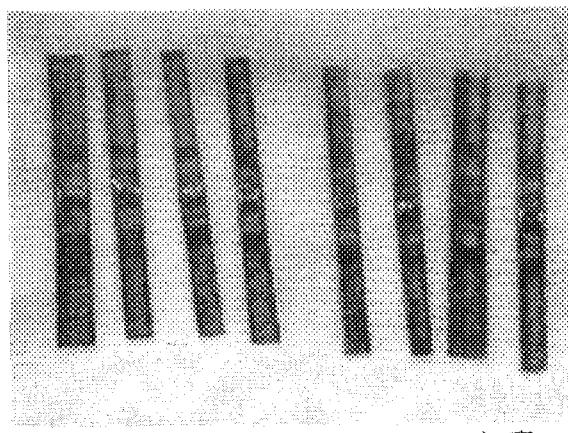
(改良型ステンレス鋼 + SUS 316L) 表



(改良型ステンレス鋼 + SUS 316L) 裏



(SUS 316L + SUS 316L) 表



(SUS 316L + SUS 316L) 裏

写真 7 : 導水管引張試験片

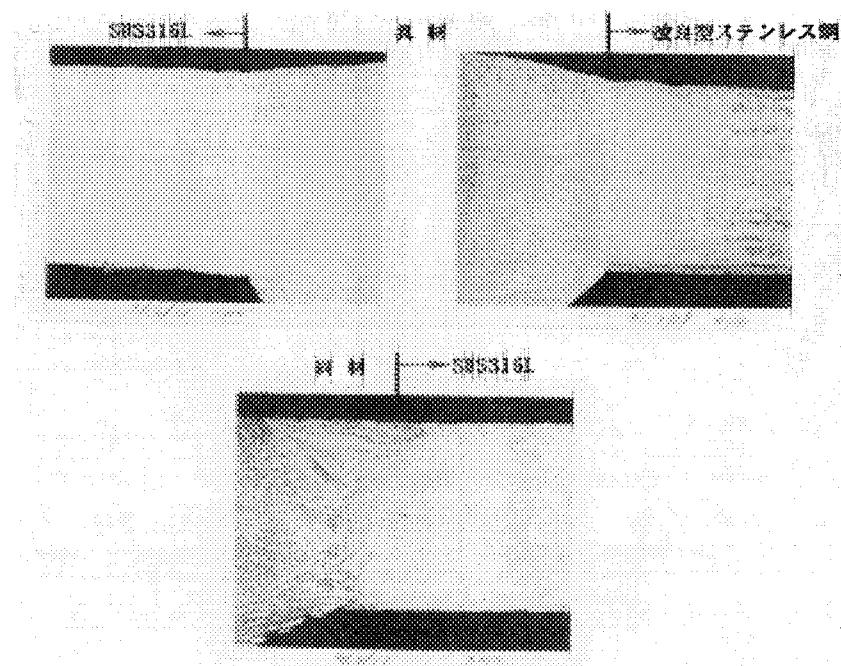


写真 8 : 溶接部金属組織参考写真

4.3. J M T R 現地での給・排水管溶接性試験

本照射設備の一部である分岐管とキャップセル内部へ高温高圧水を供給する給排水管（外径 8 mm × 内径 6 mm）の溶接は、J M T R 照射準備室で実施した。

現地における溶接作業は、放射線管理区域内の作業環境の悪さを考慮するとともに、普段手慣れた溶接機が使用できず、現地に設置された溶接機を使用する。このため、実機の溶接に先立ち図 5 に示した金相試験片を製作し、溶接部の健全性と溶接条件の検討を行うためにモックアップ試験を実施した。

また、図 6 は現地での作業条件を模擬し、且つ溶接条件を把握確認する目的で製作したモックアップ試験体である。また、モックアップ試験片の外観写真を写真 9 に、分岐管溶接要領確認作業の外観写真を写真 10 に示す。

本モックアップ試験の実施により、スムーズな実機の現地溶接を行うことが出来た。

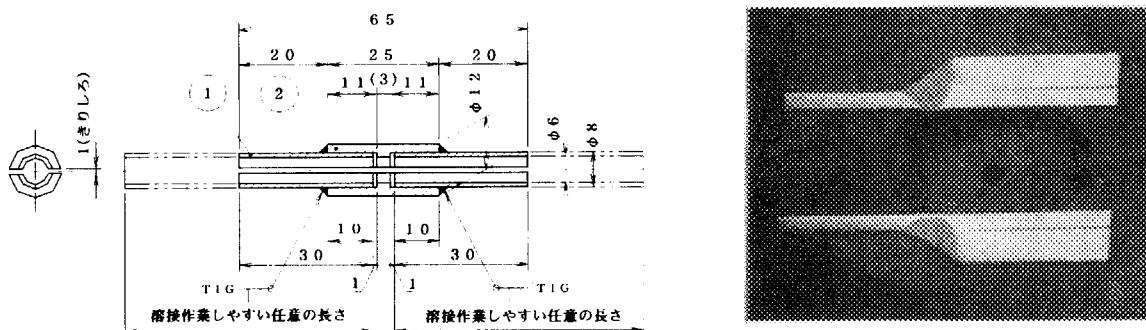


図 5 : 金相試験片製作図および金相写真

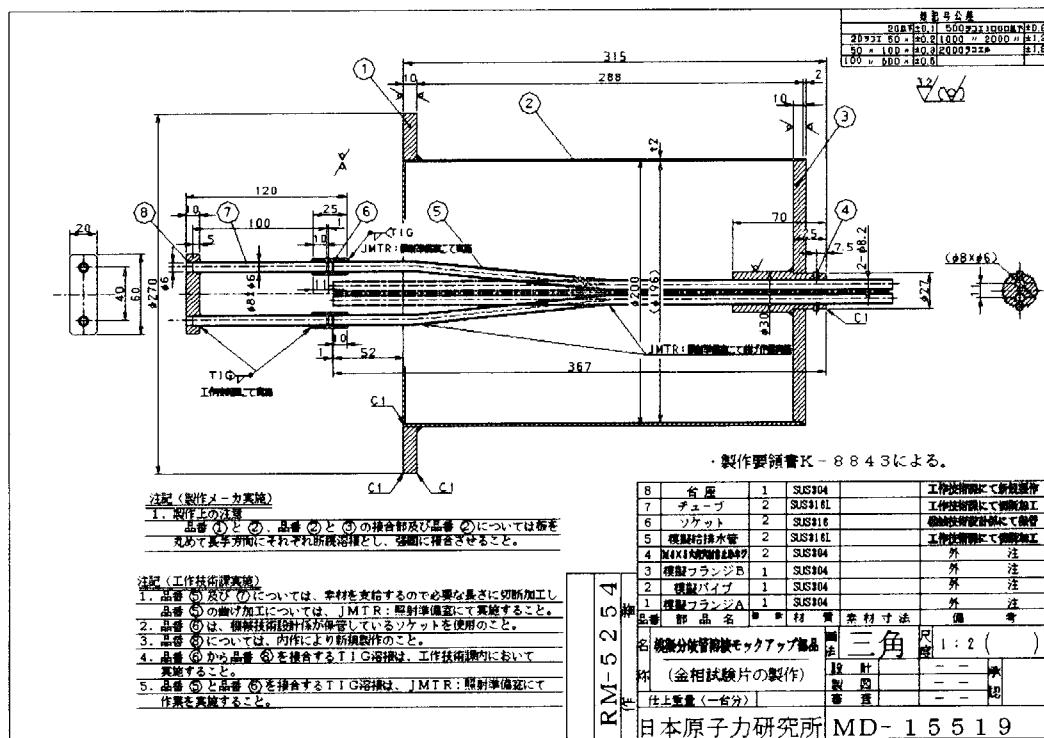


図 6 : 溶接手法検討図

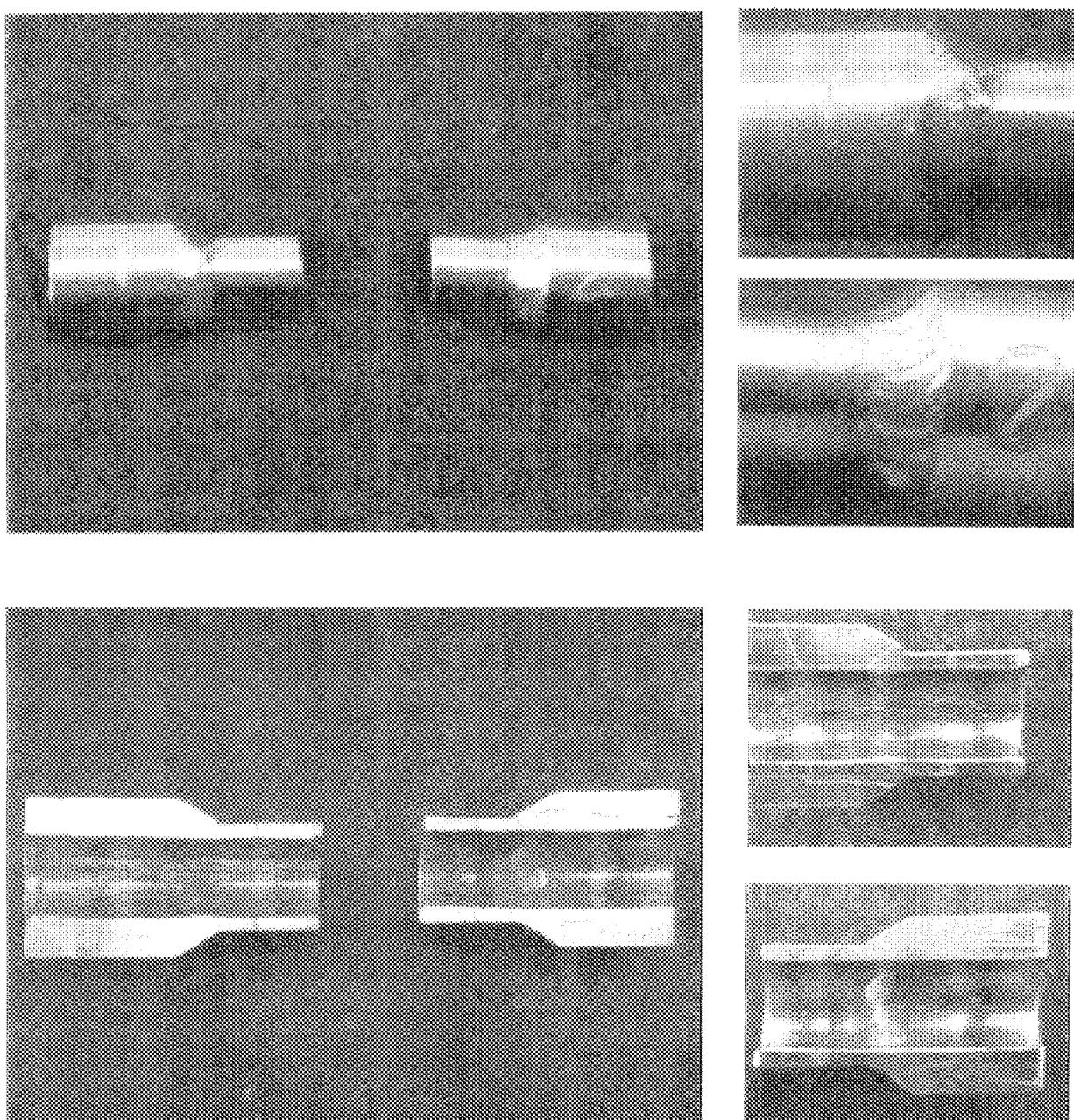


写真 9：分岐管溶接モックアップ試験片

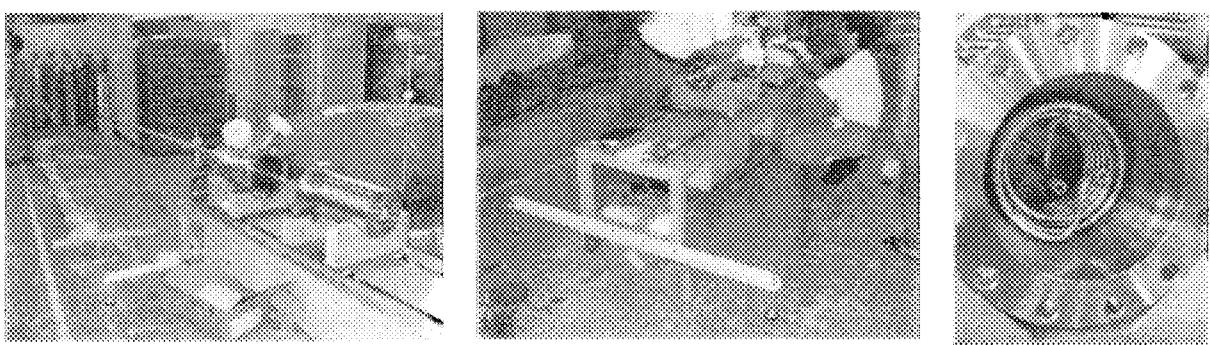
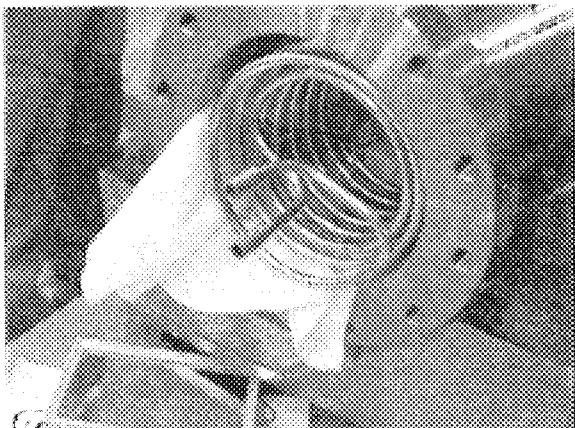
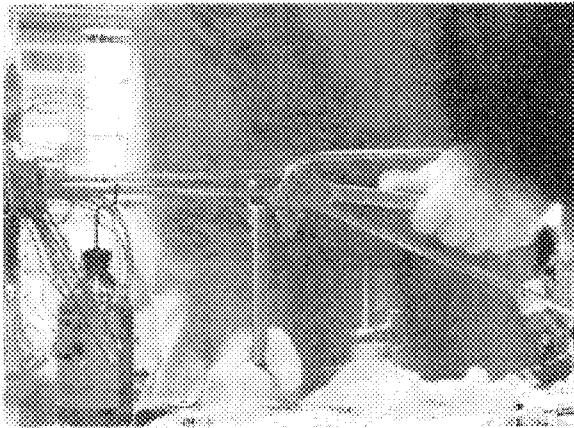


写真 10：分岐管溶接要領確認作業

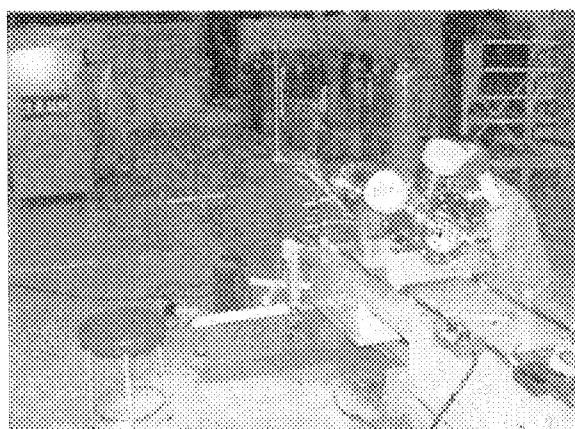
写真11は、実際にJ M T R現地において実施した分岐管溶接作業写真を示す。



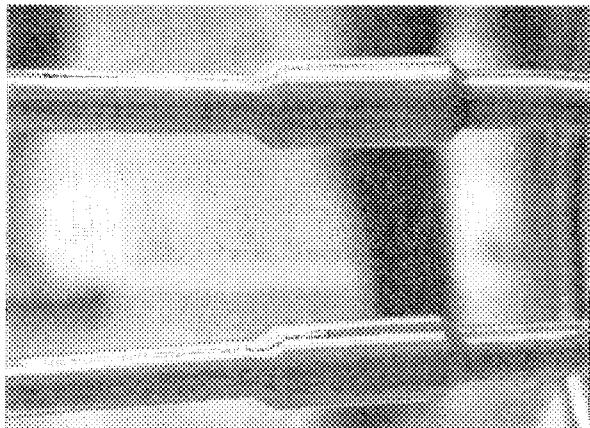
上側：排水管 下側：給水管
(※キャップセルごとに向きが違う)



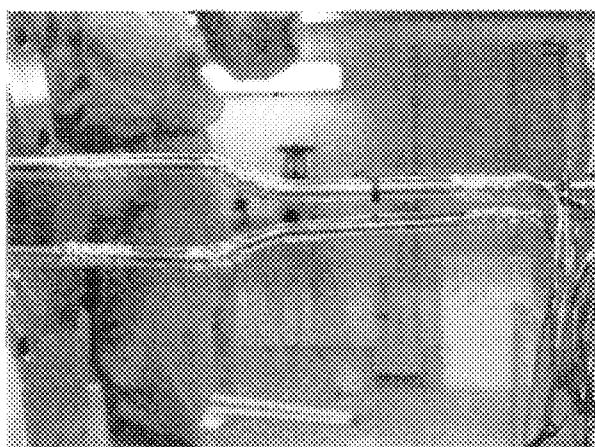
給排水管の曲げ作業



分岐管と給排水管の溶接作業



作業終了時の溶接部



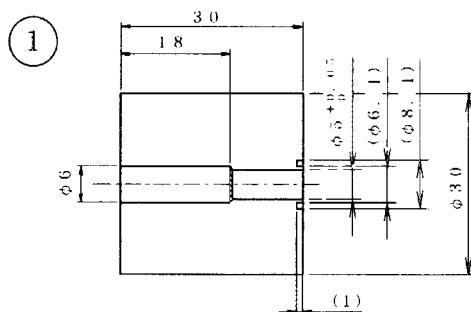
給排水管部の温度測定用の熱電対の取り付け

写真11：J M T R現地における分岐管と給排水管の溶接

4.4. 上部端栓と計測線用スリーブ管の溶接性試験

キャプセル組立過程において、キャプセル本体部から計測線等を取り出すための上部端栓と計測線用スリーブ管の細径 T i g 溶接が行われる。照射条件から組込途中で行われる耐圧検査では、内圧 12.5 MPa に耐えうることが求められる。従って、上部端栓と計測線用スリーブ管の溶接継手形状と溶接条件等を決定するために、図 7 に示す模擬部品を製作し溶接確認試験を行った。試験は、端栓にスリーブ管（外径 5 mm × 内径 4 mm）を通し、溶接部で約 0.5 mm の凹方式のすみ肉溶接と、一方 0.5 mm 凸方式のすみ肉溶接を行った。

表 3 には、その各々の溶接条件記録表を示すとともに写真 12 には溶接部のマクロ組織を示した。マクロ組織写真より十分な溶け込み深さと溶接性等から、凸方式の溶接構造を採用することにした。



材質 : SUS 304

図 7 : 溶接試験部品製作図

表 3 : 溶接条件記録表

溶接条件記録表

1. 材 料	SUS316L+SUS304
2. 板 厚 (mm)	t 0.5
3. 電極直徑 (mm)	Φ 1.0
4. 溶接電流 (A)	ベース 10A ピーク 12A パルス周波数 10Hz, 比率 50/50
5. アルゴン流量 (ppm)	5 リットル 製ガス無し
6. 層 数	溶加棒無し 2 層
7. 開先形状	0.5 mm へこみのすみ肉
8. ノズル孔径 (mm)	
9. 備 考	
10. 概略図	

溶接条件記録表

1. 材 料	SUS316L+SUS304
2. 板 厚 (mm)	t 0.5
3. 電極直徑 (mm)	Φ 1.0
4. 溶接電流 (A)	ベース 10A ピーク 12A パルス周波数 10Hz, 比率 50/50
5. アルゴン流量 (ppm)	5 リットル 製ガス無し
6. 層 数	溶加棒無し 2 層
7. 開先形状	0.5 mm 出張りのすみ肉
8. ノズル孔径 (mm)	
9. 備 考	
10. 概略図	

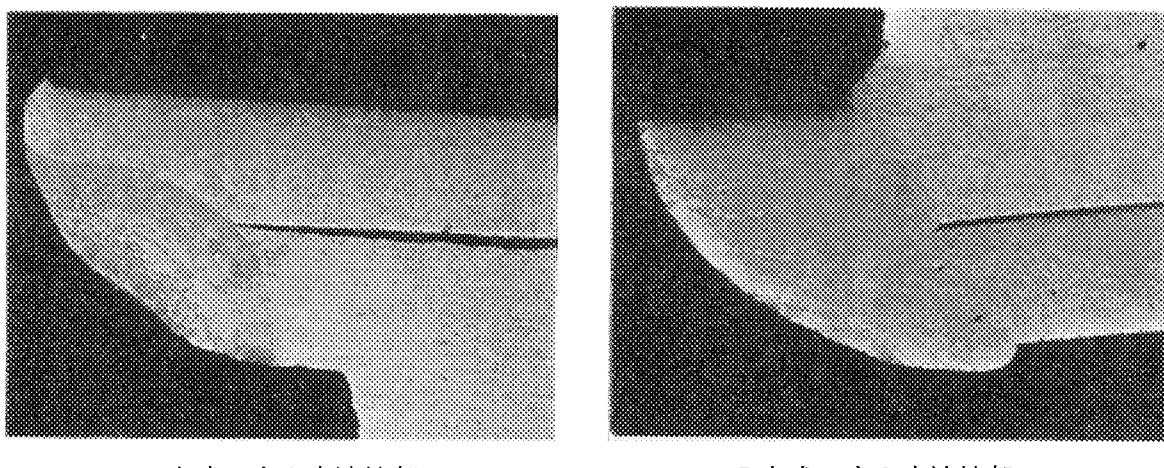


写真12：溶接部の組織

4.5. 保護管の計測線のための曲げ試験

[試験検討]

a. 概要

キャプセル保護管部は、照射孔によって2ヶ所の曲げ加工が行われる。

保護管の曲げ点（第1・2）にて曲げ作業を行った場合、保護管内部における給排水管の状態および給排水管による計測線（熱電対等）への影響を確認する試験を行った。

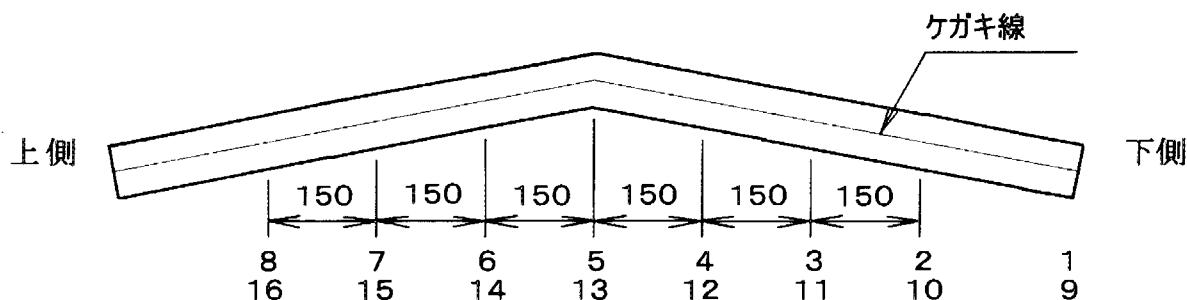
試験は、保護管内に実機と同様な給排水管および計測線を配置して曲げ作業を行った。その後、流動性のある室温硬化型エポキシ系樹脂（スペシフィックス冷間埋込樹脂：ストルアル社製）を内部に充填して内部構造物を固定した後に、各所を切断した断面の状態を観察した。

b. 確認方法

※ 写真是全て保護管断面の下側より観察した状態を撮影。

切断方法：曲げ点中央より上下に150mmを3本ずつ切断。

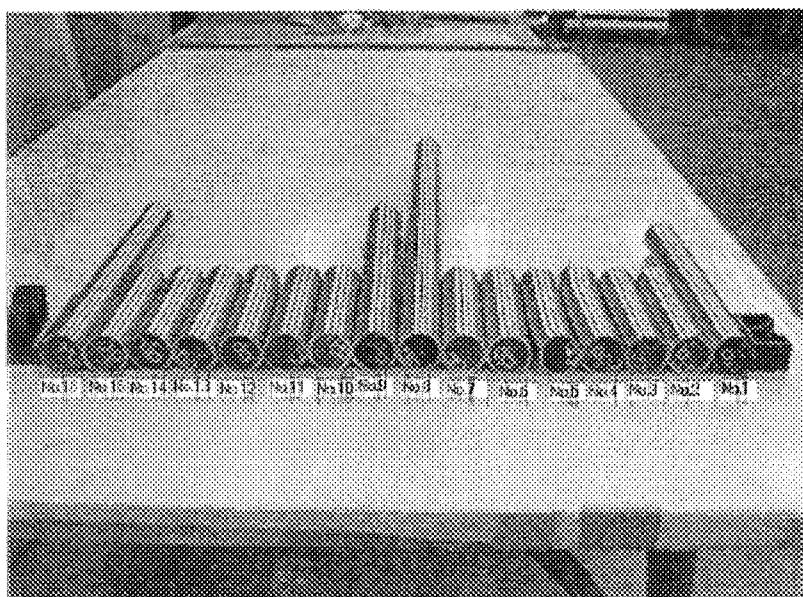
写真13から写真15は、保護管の切断後の外観写真である。



※ 切断前の全長寸法 第1曲げ点用：約1800mm
第2曲げ点用：約1600mm

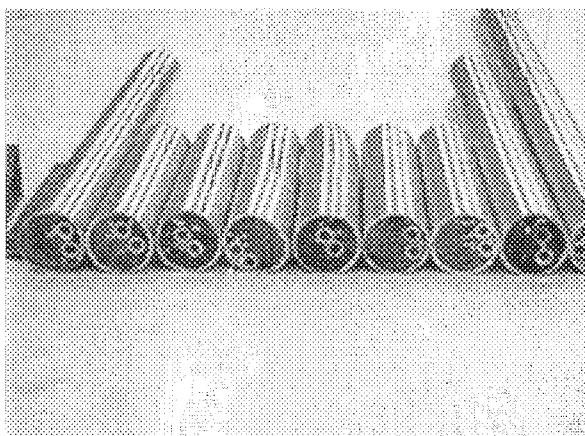
計測線
接続側

キャプセル側

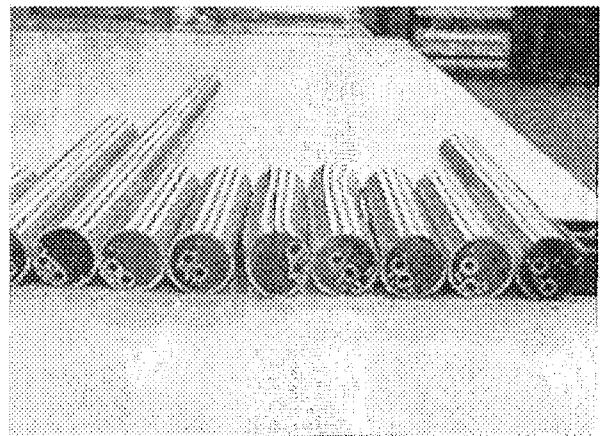


《写真13：切断後全体》

※切断前に付けたケガキ線を上側にて撮影



《写真14：第2曲げ点部》



《写真15：第1曲げ点部》

c. 試験結果

写真16に各切断部の断面写真を示す。写真から曲げ点部に当たる断面写真No. 5とNo. 13および第1曲げ用のNo. 7に見られるように、2～3本の熱電対が保護管の内側と給排水管の間に挟まれて、曲げ加工によって計測線の変形および破損が生じる恐れがあることが判った。

写真No. 7は、第2曲げによる曲げ加工の影響を受けたものと見られる。

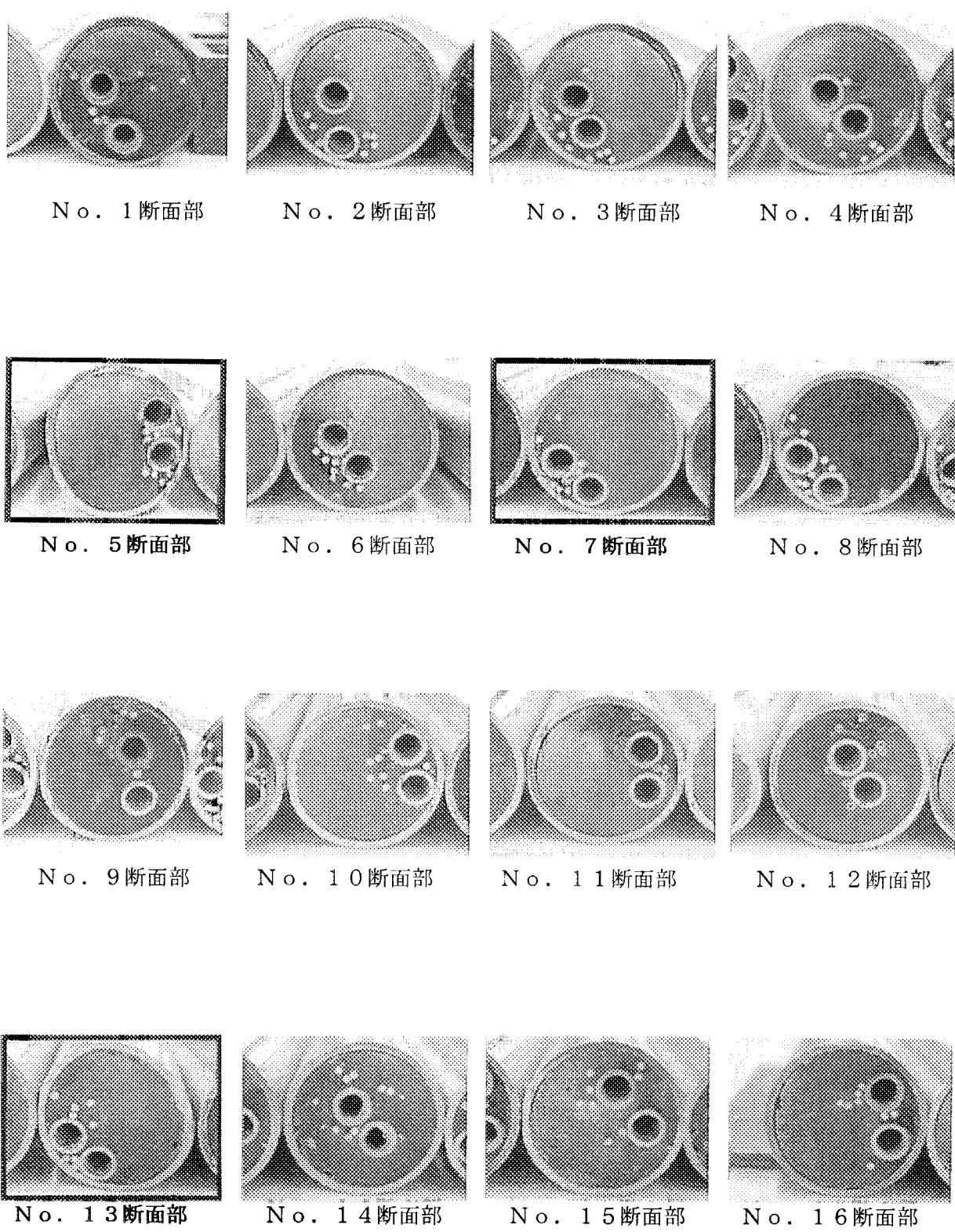


写真 16 : 各切断部の断面

[改善の方法]

a. 対策

曲げ試験の結果から、計測線等が給排水管の曲げによる影響から破損する可能性が確認された。このために計測線の保護を考慮した図8に示す保護管内スペーサを作成し、これを曲げ点の前後に配置して計測線への悪影響を防ぐ方法を考えた。

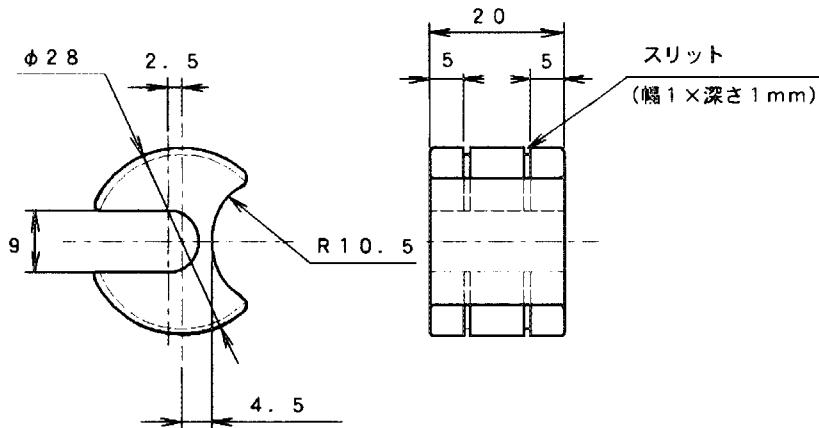
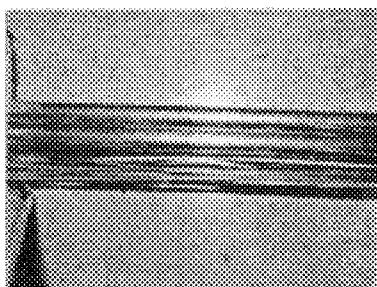


図8：保護管内スペーサ

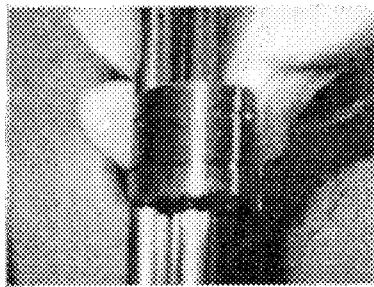
b. 保護管内スペーサの取付方法

保護管内への給排水管および計測線等の組込は、保護管の第1・第2曲げ点の上下200mmの位置に対応する給排水管と計測線に保護管内スペーサを配置し、さらにこれが容易にずれないよう針金を使用して固定した。

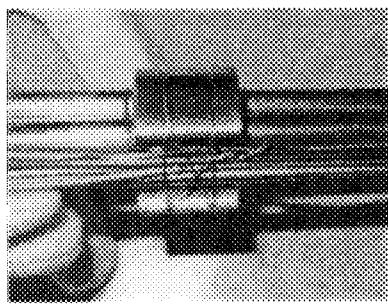
以下に取付方法を示す。



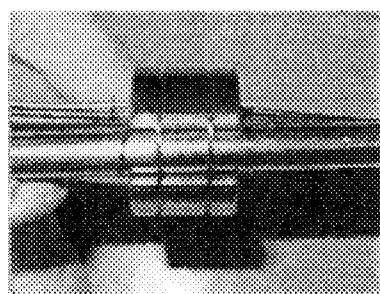
①給排水管の固定位置を決める。



②給排水管に保護管内スペーサを付ける。



③針金をねじって固定する。



④反対側

c. 改良後の保護管曲げ試験

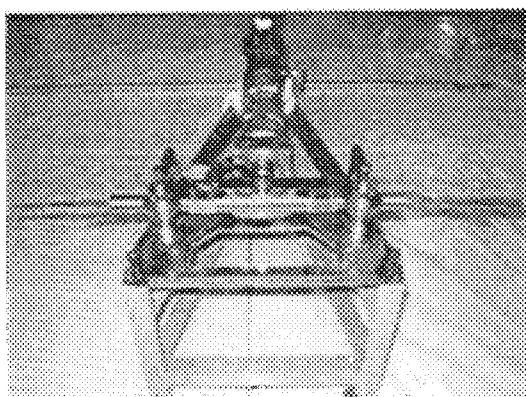
上記の熱電対および給排水管に保護管内スペーサを取り付後、給排水管および計測線の一端をビニールテープで固束（上部端栓からの取り出しを想定）した後、曲げ試験を実施した。

ここでは、短い保護管をA保護管、長い保護管をB保護管とし、A保護管は給排水管を重ねた方向に1箇所、B保護管は給排水管を横にして、キャプセルと同様に2箇所に曲げ加工を行った。角度は許容される最大角度155°とした。

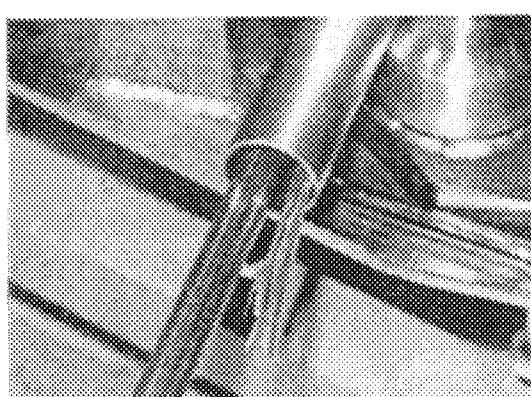
以下に曲げ作業の手順を示す。



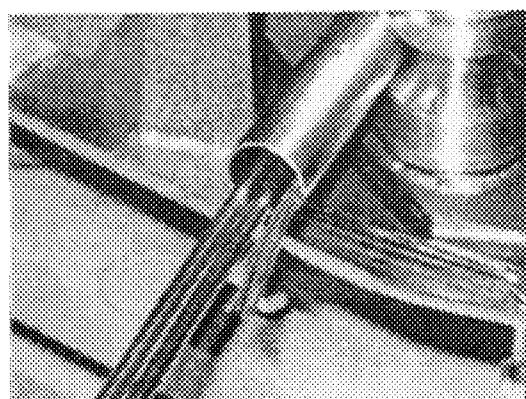
①下がA保護管、上がB保護管



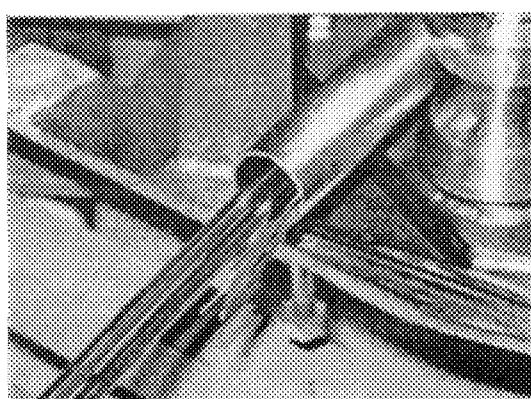
②曲げ作業（A保護管）



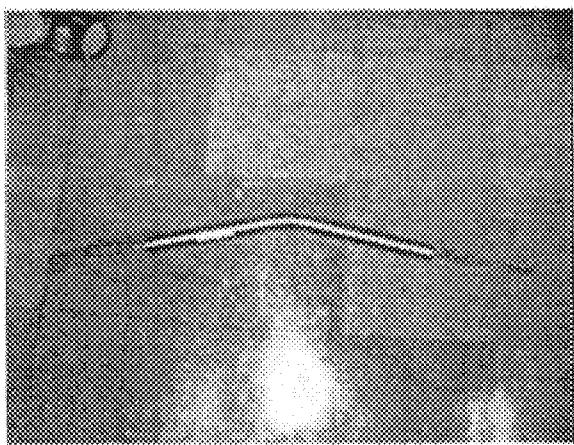
③重ねた方向に曲げ開始



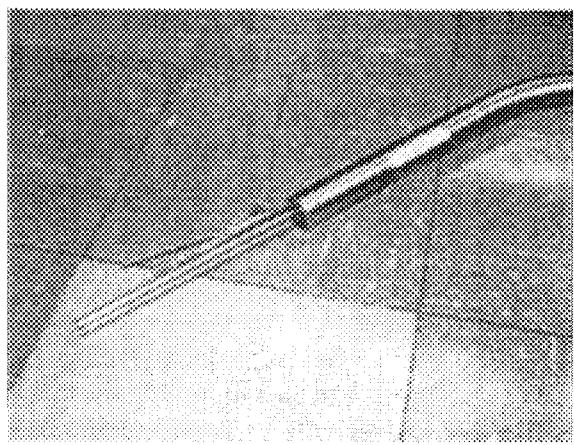
④170°曲げ



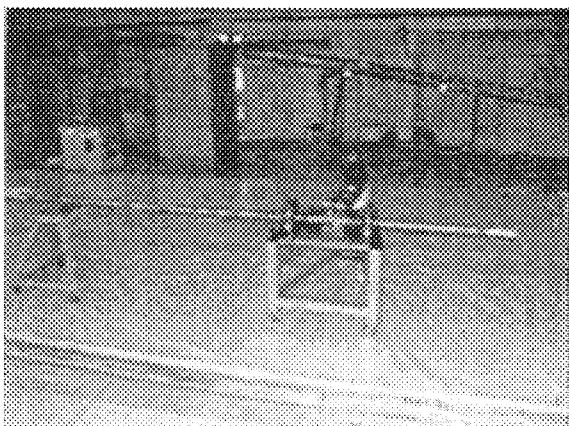
⑤155°曲げ（最大曲げ角度）



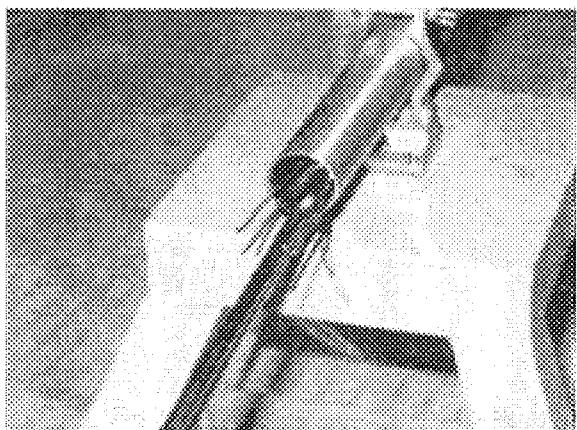
⑥曲げ終了状態



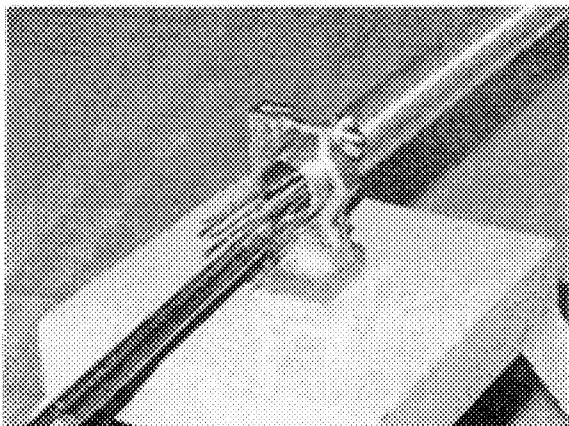
⑦固定端反対側（給排水管はやや斜めになるが、ほぼ重なった状態のまま）



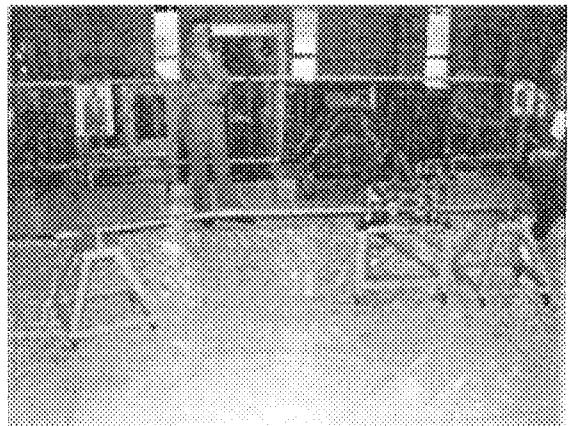
⑧曲げ作業（B 保護管）



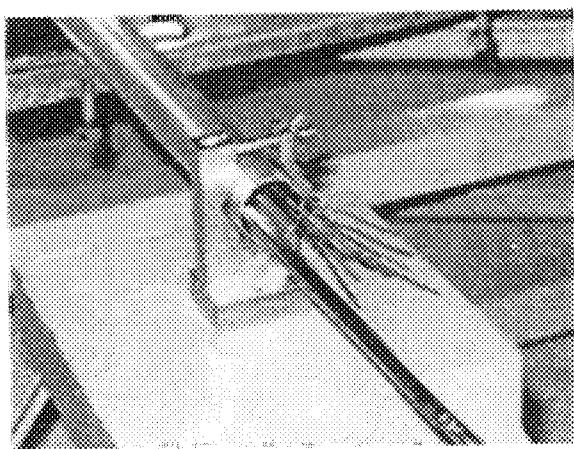
⑨写真で右側に曲げ（同じ曲率）



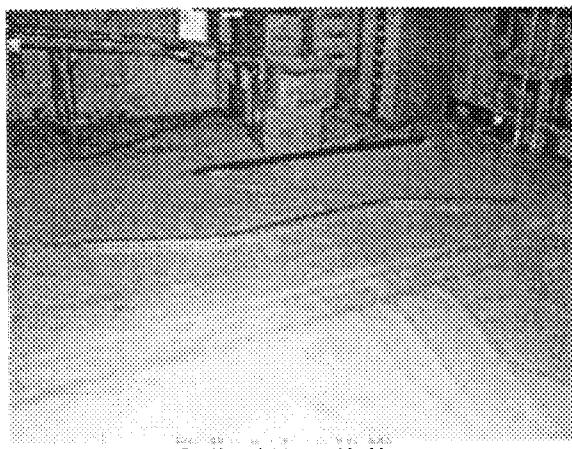
⑩第1曲げ 155°



⑪第2曲げ開始



⑫第2曲げ 155°



⑬曲げ終了状態

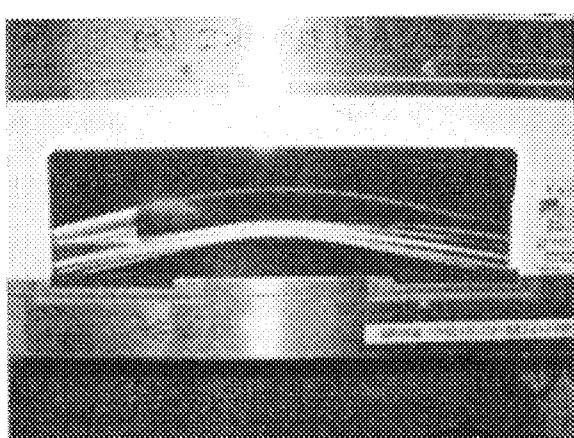
A及びB保護管とも、ほとんど曲げ点前後の給排水管には変形は認められなかった。

d. 曲げ試験後のX線透過写真による観察

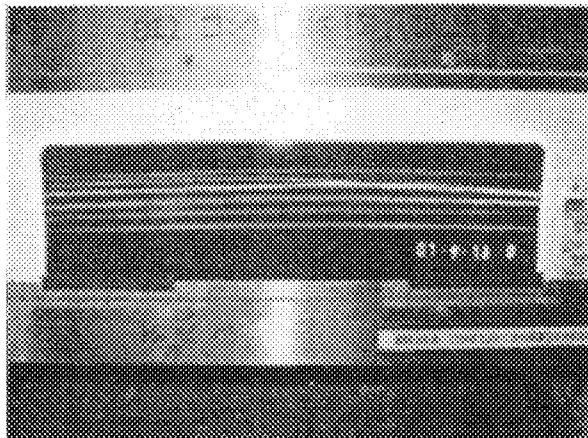
曲げ試験後X線撮影を実施し、保護管内の給排水管および熱電対の状態を確認するとともに、保護管内スペーサの有効性について検討した。

A保護管

A保護管は給排水管を上下に重ねた方向で曲げたため、そのままの状態で曲がっていれば、①のX線写真では上下に平行して見えるはずである。しかし、写真では重なって写っていることから給排水管は90°ねじれたことが判る。また、②のX線写真では、給排水管と熱電対が横に並んでいることから、熱電対を挟むことなく給排水管と熱電対は同じ曲率で曲がっていることが確認出来た。

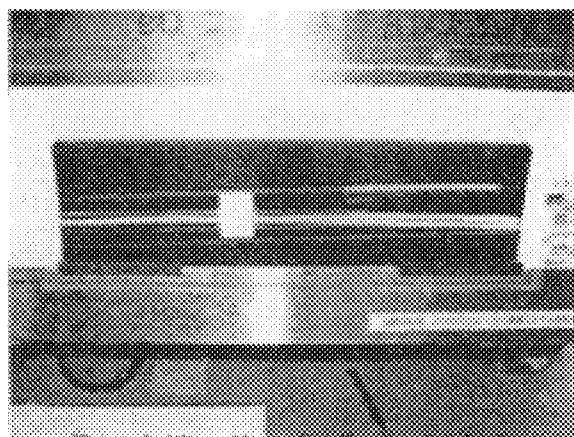


①A保護管の曲げX方向

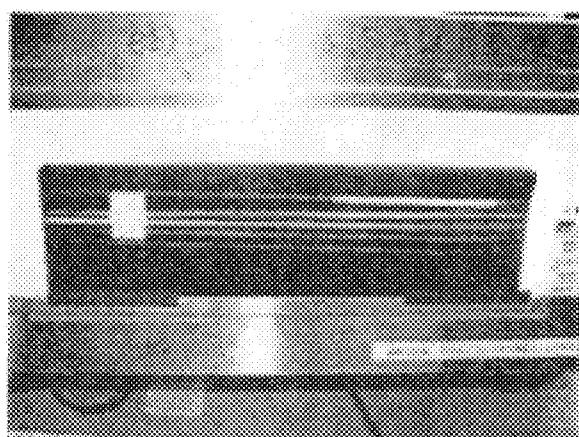


②A保護管のY方向

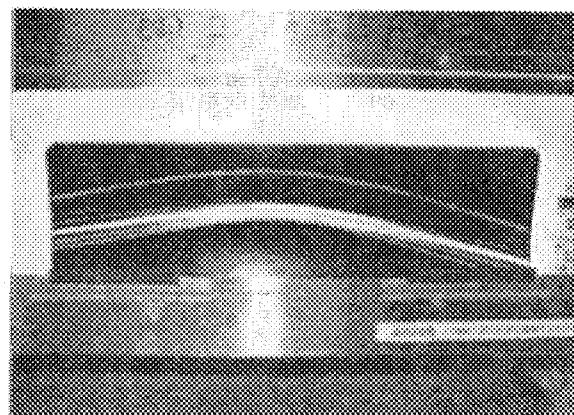
B 保護管



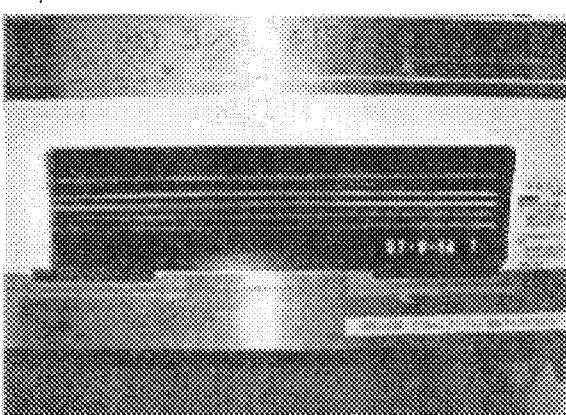
③ 固定端—第 1 曲げ X 方向 (保護管内スペーサ)



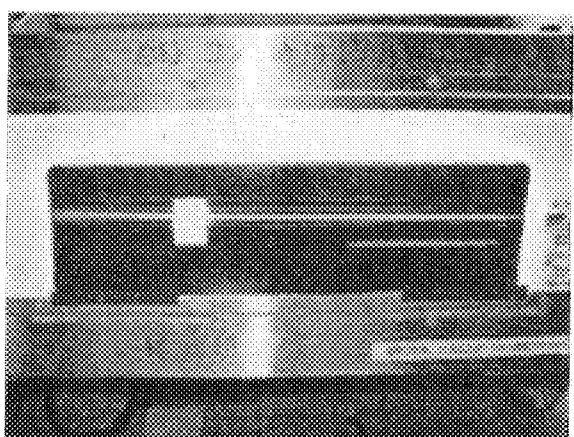
Y 方向



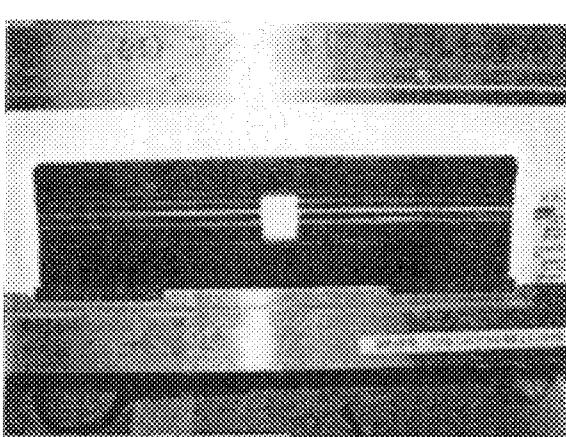
④ 第 1 曲げ X 方向 (曲げ部)

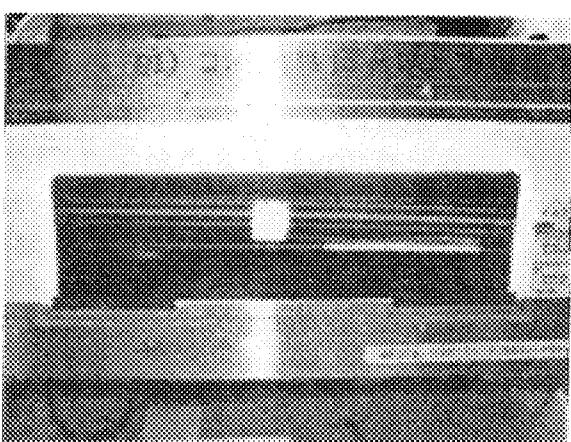
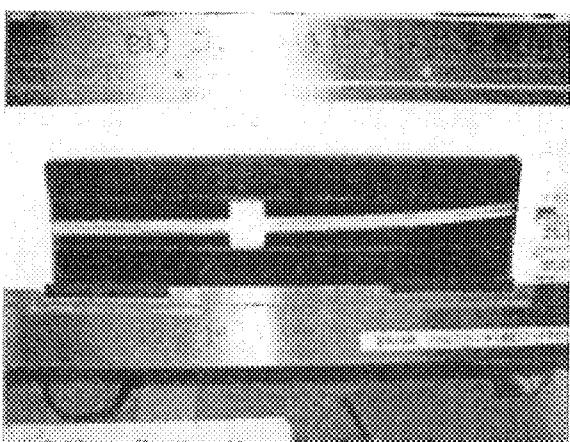


Y 方向

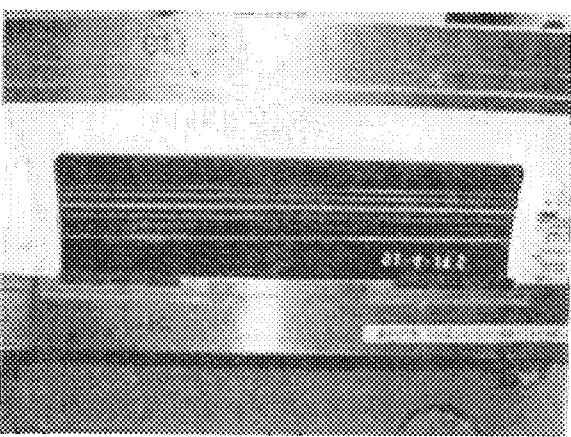
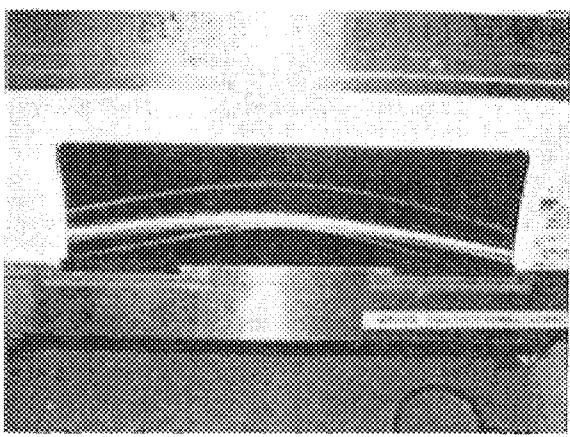


⑤ 第 1 曲げ—第 2 曲げ X 方向 (第 1 曲げ側保護管内スペーサ) Y 方向





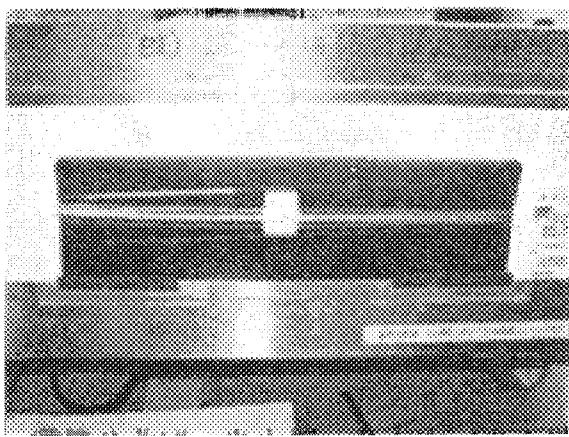
⑥第1曲げー第2曲げ X方向（第2曲げ側保護管内スペーサ）Y方向



⑦第2曲げ X方向

(第2曲げ部)

Y方向



⑧第2曲げー自由端 X方向（自由端側保護管内スペーサ）Y方向

B保護管は、給排水管を左右に並べた方向から垂直方向から曲げ加工を行ったものである。以下の各X線透過写真は2ヶ所の曲げ部とそれに前後する曲げ部近傍の内部撮影写真である。写真から明らかのようにY方向から撮影した写真では、計測線等の配置スペースは挟まることなく、常に給排水管及び計測線等が整列して平行に配置されていることを確認した。

e. 考察

(1) 保護管内の接触箇所

保護管内スペーサなしで曲げた場合、曲げ点部と曲げた両側（曲げ部から約±600mm）の3点が保護管に接触する。一方、保護管内スペーサ付きで曲げた場合（B保護管）は、X方向の全X線写真から判る通り、曲げ点部のみ（④、⑦）の1点接触である。この接触箇所の減少から判断すると計測線類の挟まれる可能性は低減されると判断できる。

この現象については、両端で保護管に接触していた部分の2点がそこに設けられた保護管内スペーサに保護されたためと考えられる。

(2) 熱電対挟み込み防止策

熱電対の挟み込み防止対策として有効な方法は、今回の保護管曲げ試験で採用した通り保護管内スペーサ付近の熱電対全数を針金で数カ所束ねることである。これは保護管内スペーサの効果と相まって熱電対がばらけず給排水管上の熱電対を隔離することで、保護管に挟まりにくい構造が保たれるからである。

(3) 保護管曲げ方向

保護管の曲げ方向は、照射孔と取り出しノズルの配置の関係で異なる。IASCCキャップセルの曲げ方向は炉心中心方向を0°として最大43.9°である。今回のA保護管はこの給排水管を重ねた状態で曲げているので、曲げ方向で言うと90°である。

この場合、給排水管及び熱電対は同曲率で曲がり熱電対を挟むことはないが、A保護管の場合、極端に固定端が短いこと及び固定端を外し自由端にした場合、給排水管は約45°程度回転したことから、最大43.9°（=45°）程度の曲げを行っても、無理な曲げでなく熱電対を挟み込むの問題はないと考えられる。

f. 結論

以上の理由から、保護管内スペーサ取付と熱電対を数カ所束ねることで、保護管と給排水管に熱電対が挟まれる可能性はなくなり、保護管曲げ方向についても現在予定されているIASCCキャップセルについては問題ないと判断できる。写真17は、キャップセル保護管内へのスペーサ取付時の様子である。

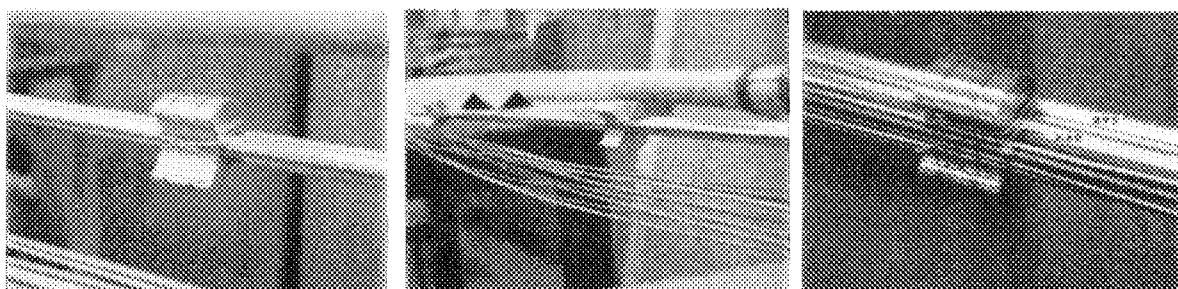


写真17：キャップセル保護管内スペーサの取付

5. キャプセルの組立・検査

製作する飽和温度キャプセルは、炉心近傍に配置するために強い放射線照射と高温高圧水による環境下で照射が行われる。従って、外筒はもちろん、外筒内に装荷される試験片等の保持構造に関しても、通常製作している照射キャプセルに比べて高精度および高強度が要求されている。このために組立手順とその方法、および試験検査の要領と手順に関して、より厳格で緻密な検査が求められている。

以下に、本キャプセルの組立・検査の概要を述べる。

1. 組立・検査の概要

(1) 部品の洗浄及び乾燥

検査済みの部品類はすべてアセトンにより洗浄し、清潔なガーゼにより拭き取り、自然乾燥した。洗浄・乾燥済みの部品類は、再び汚損しないよう清潔な雰囲気で組立てまでの期間保管した。

(2) 各計測線類の組み込み

組み込み中は計測線の損傷がないように配慮すると共に、損傷した場合の損傷箇所の早期発見と対処のため、計測線の導通確認および絶縁抵抗検査を逐次各工程で実施した。

電位差測定試験部位については導通および絶縁測定が出来ないために、組立てにおいて外筒組込後および上部端栓と計測線スリーブの溶接前後に、線間抵抗および電位差を微少抵抗測定器等を使用して、断線の有無を確認した。

また、キャプセルは照射下における電位差測定（亀裂進展）に使用するM Iケーブルの健全性を確認するため、組立の進捗過程で数度にわたり、電位差を測定した。電位差測定法の概略は図9に示す通りである。この方法は図に示すように電流線間に一定電流を流しA10およびA11間の電圧変化を測定し亀裂進展量を求める方法である。

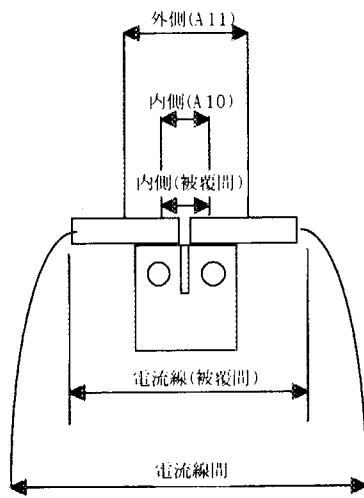


図9：測定概略図

(3) 内部確認

キャップセル内には、照射試験目的を達成するために必要な照射試料等の構造物が配置され、さらにそれらを保持する構造物等が狭い空間に配置されている。ここで行う内部確認の目的は、各種構造物の誤装荷および変形脱落等の有無を確認するための検査である。この検査は、X線透過撮影装置を使用して、各工程ごとに内部確認のための写真撮影が実施され内部の健全性確認を行っている。

写真18・19に、X線写真の一部を紹介する。

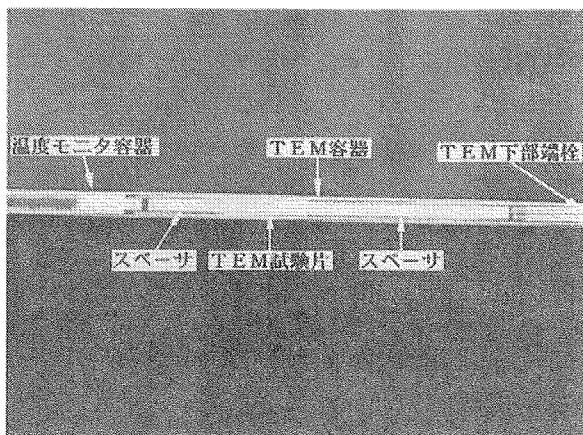


写真18：支柱内部TEM試験片内部確認

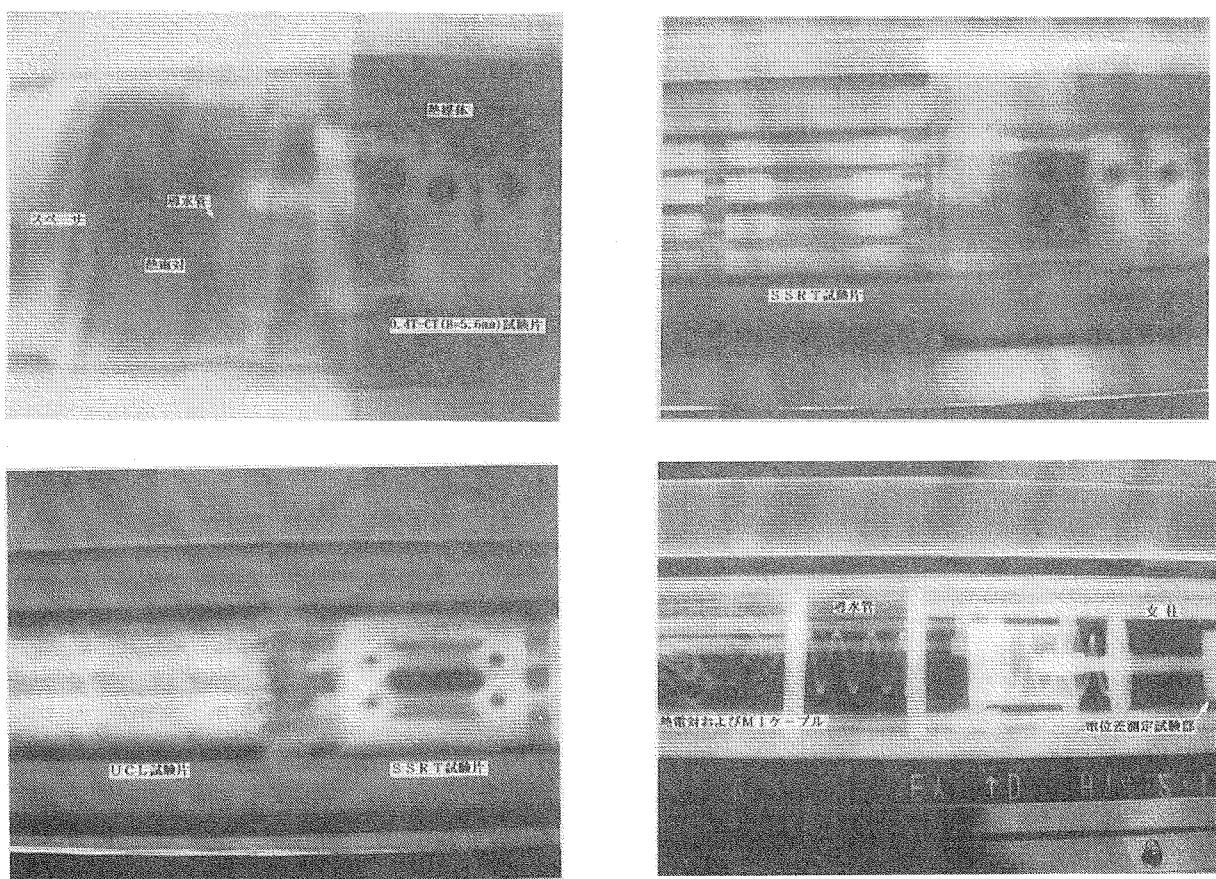


写真19：内部確認X線検査

(4) 支柱へのヘリウムガスの封入

各試料ホルダを拘束してある4本の支柱の中の1本の内部にはTEM試料および温度モニタが装荷され、他3本の内部には中性子束測定のためにフルエンスモニタがそれぞれに装荷される気密容器である。そのため、照射下試験時における支柱内部のFPガスの発生に伴う温度上昇を抑制する目的により支柱内には、高純度ヘリウムガス（純度99.999%以上）を、大気圧充填した。

(5) 検査概要

キャプセルは、日本原子力研究所品質保証計画に基づく、JMT-Rキャップセル等検査基準に従って以下の各項目の検査が実施され、この基準を満足する精度・性能の確認が行われる。

a. 材料検査

素材メーカーから提出されたミルシートにより、化学成分分析値・材料強度試験値を照合する。（部品の全数検査）

各材料についてはJIS及びASTMの該当規格値内であることを確認する。

b. 外観検査

目視により、表面に割れ・傷・欠け・変形等の有害な欠陥がなく油脂等の付着物がないことを確認する。（部品の全数検査）

c. 寸法検査

内・外径および肉厚測定はマイクロメータあるいは専用ゲージを用いて1/100mm以上の測定精度で測定する。長さ測定はノギスまたは専用ゲージを用いて1/10mm以上の測定精度で測定する。（部品の全数検査）

d. 真直度検査

定盤基準法により真直度を1/100mm以上の測定精度で測定する。
(検査指定のあるものについて検査)

e. 内部欠陥検査

通商産業省告示第501号第7条を準用し、外筒管について斜角法により超音波探傷検査を行った。傷からの反射波の高さが、対比試験片の人工傷からの反射波の高さより低いことを確認する。（外筒等の圧力バウンダリに関する材料について）

f. 溶接部X線検査

JIS Z 3106「ステンレス鋼溶接部の放射線透過試験方法及び透過写真の等級分類方法」を準用し、溶接部のX線透過試験を行った。X線写真より溶接部に割れの発生がなく、さらに、プロホール及びタンクステン巻き込みが無いことを確認する。（写真20参照）（圧力バウンダリに関する溶接部等について）

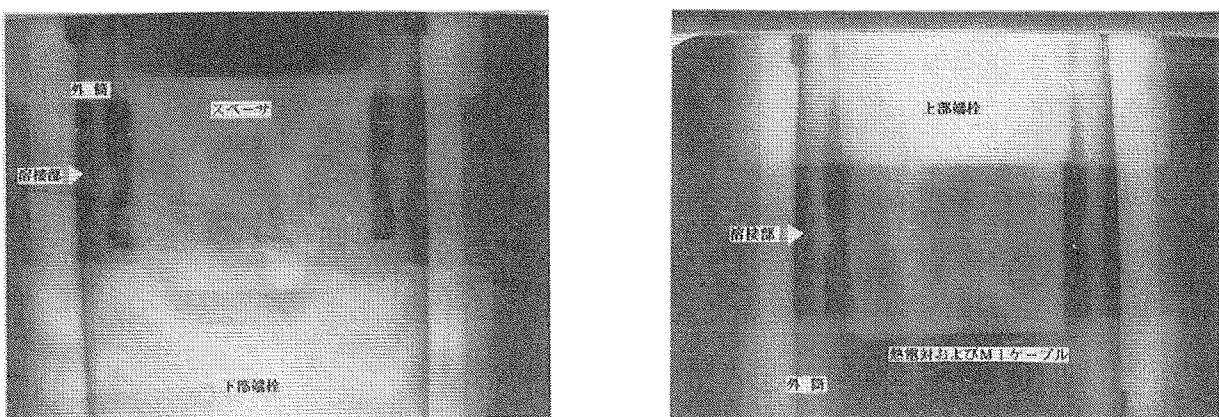


写真 2 0 : 上下端栓溶接部 X 線検査

g. ヘリウムリーク試験

キャップセル外筒管部および支柱組立後について、外筒管部は給排水管を利用してヘリウムリークディテクターにより真空法で、支柱においてはペルジヤー法においてヘリウムリーク量を測定した。J M T R キャップセル等検査基準によりヘリウムリーク量測定量が基準値 1×10^{-7} Pa · m³ / sec 以下であることを確認する。(気密性を要する物について検査)

(写真 2 1 参照)

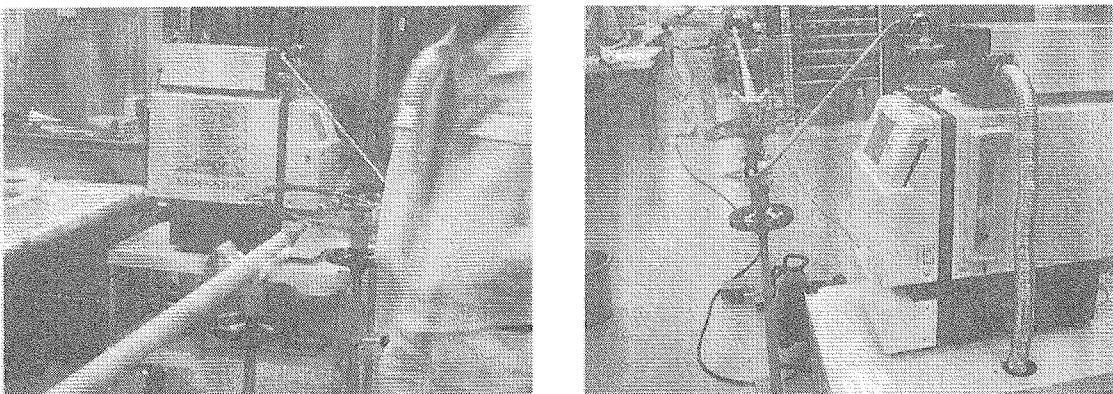


写真 2 1 : 上下端栓部溶接後ヘリウムリーク試験

h. 計測線の検査

測定器を用いて絶縁抵抗測定および導通抵抗を測定した。

絶縁抵抗の基準値は以下のとおりである。

熱電対	20 MΩ以上 (100 V D C)
M I ケーブル	1000 MΩ以上 (250 V D C)

i. 浸透探傷検査

溶接箇所の検査対象部について、JIS Z 2343 に定める V C – S 法に準拠して浸透液を塗布し割れ、線状欠陥、円形状欠陥等の浸透指示模様がないことを確認する。

(写真 22・23 参照)

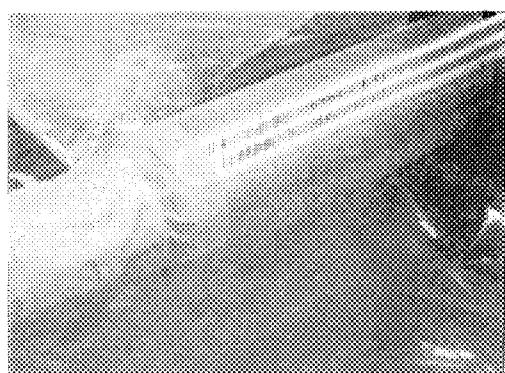
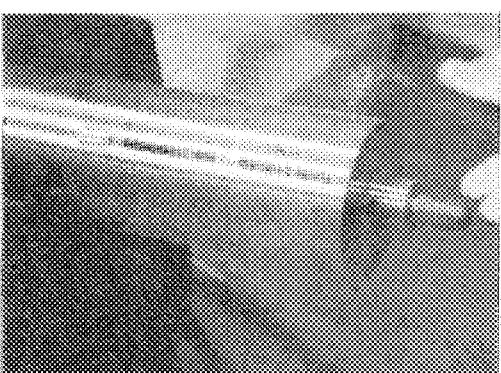
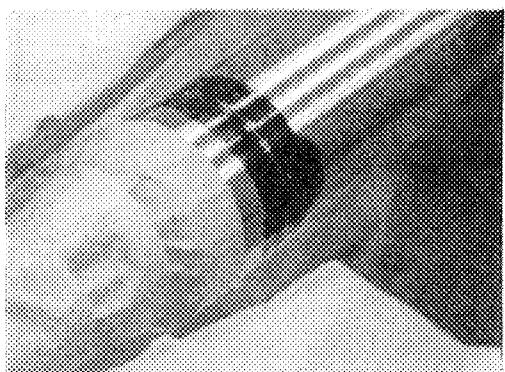
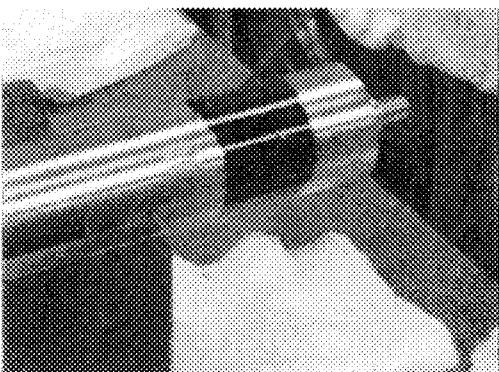


写真 22：上下端栓溶接部浸透探傷検査

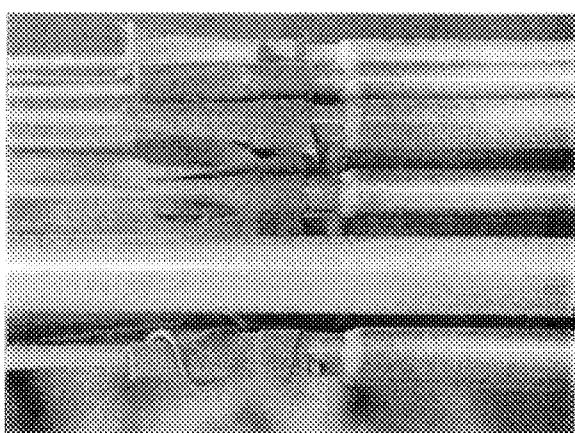


写真 23：T/Cスリーブ溶接部浸透探傷検査

j. 構成確認検査

キャプセル内部構造全体が明確に識別できるX線写真を撮影し、製作図面と照合し内部の各構造部品が所定の位置に組み込まれていることを確認する。

k. 耐圧検査

検査対象物に圧力を加える方法で行い、変形の有無を観察する。また、溶接部等からの漏れの有無を圧力計及び発泡液等を用いて観察を行い、変形及び発泡がなく圧力計の指示値に変化が無いことを確認する。

試験箇所及び検査圧力については、下記のとおりで検査圧力は、設計圧力の1.25倍とした。

- ①上部端栓部、検査圧力12.5 MPa以上（内圧）で、30分間保持。
(写真24及び図10参照)
- ②支柱組立後、検査圧力12.5 MPa以上（外圧）で、30分間保持。
- ③外筒組立後、検査圧力12.5 MPa以上（内圧）で、30分間保持。
(写真25参照)
- ④最終検査時、保護管内に検査圧力10 MPa以上（内圧）で、30分間保持。
(写真26及び図11参照)
- ⑤最終検査時、キャプセル本体に検査圧力2.7 MPa以上（外圧）で、30分間保持。
(写真27及び図12参照)

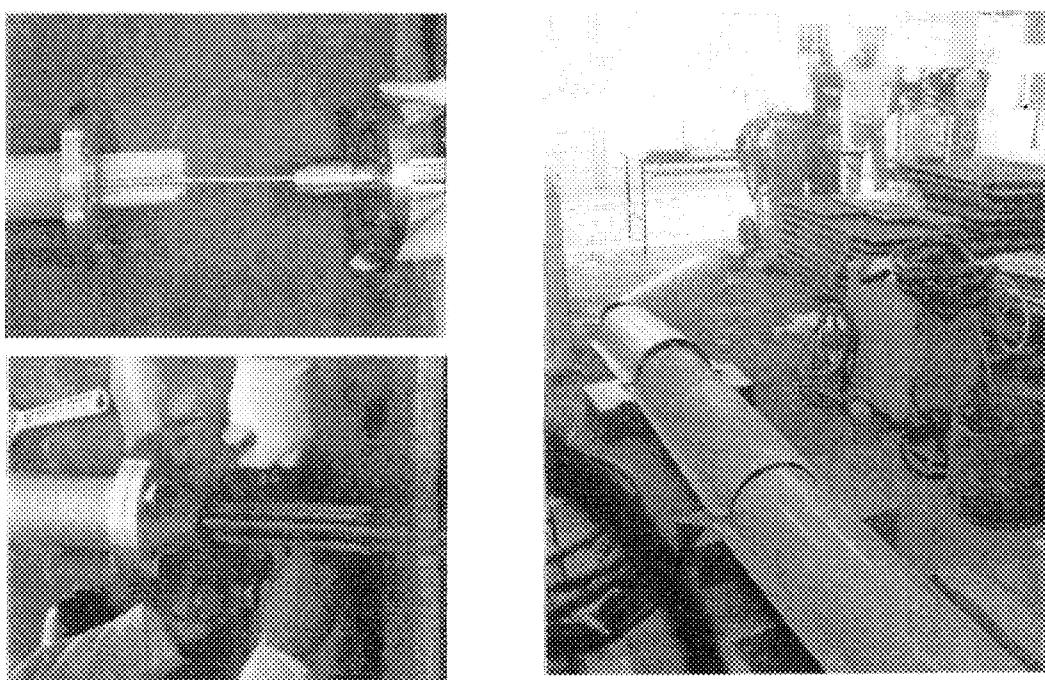


写真24：上部端栓耐圧検査

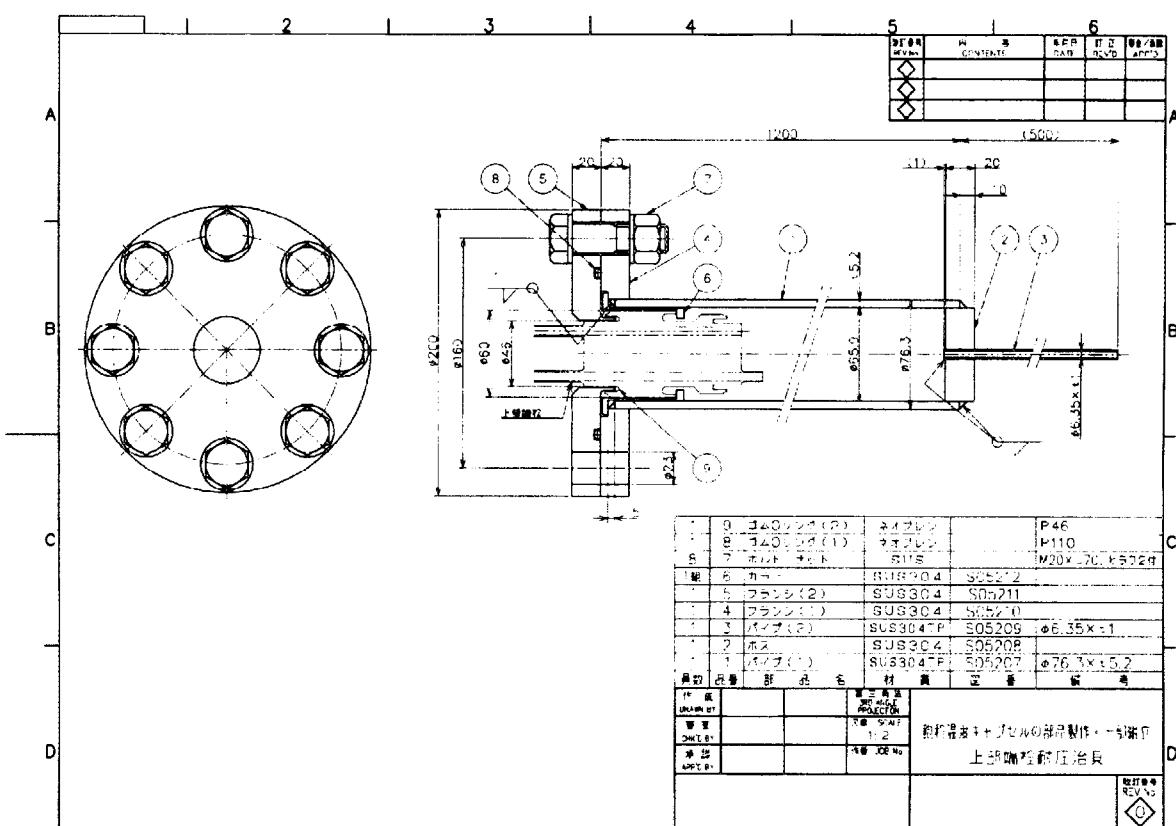


図 10：上部端栓耐圧治具製作図

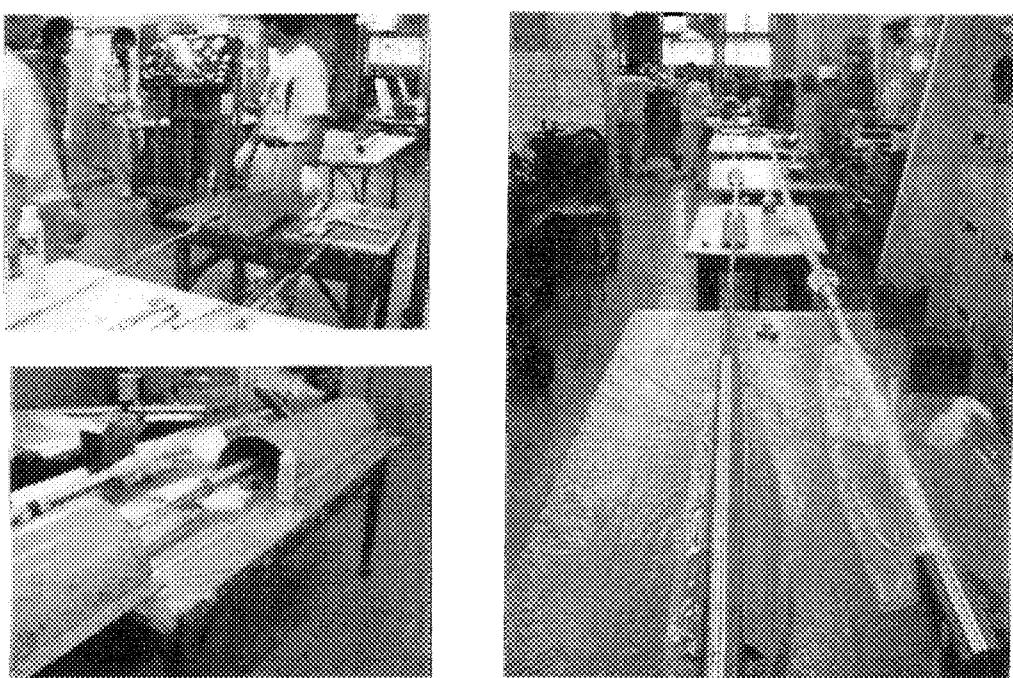


写真 25：外筒内圧検査

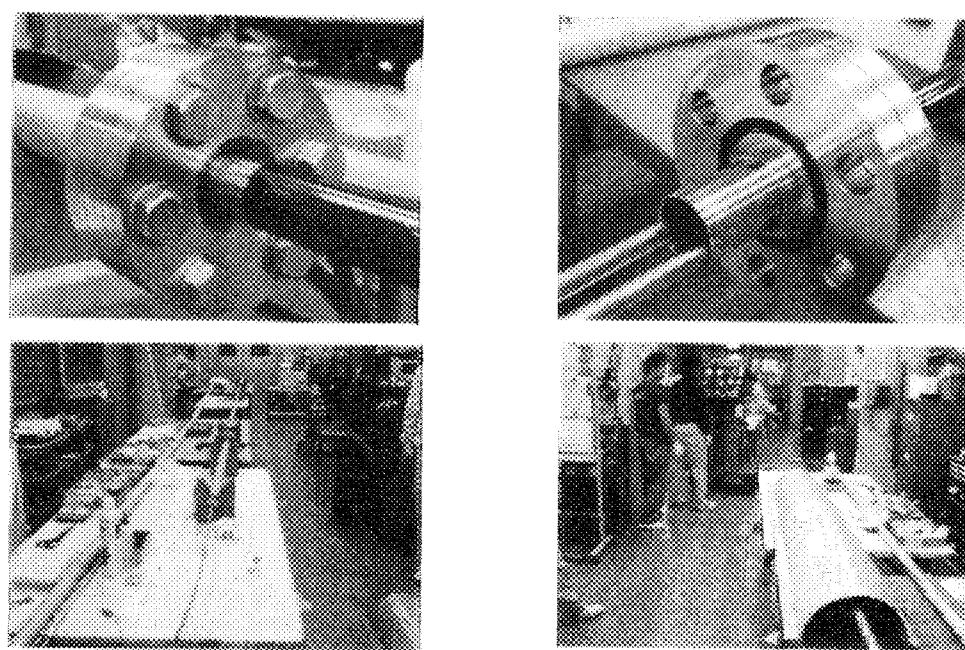


写真 26 : 保護管内耐圧検査

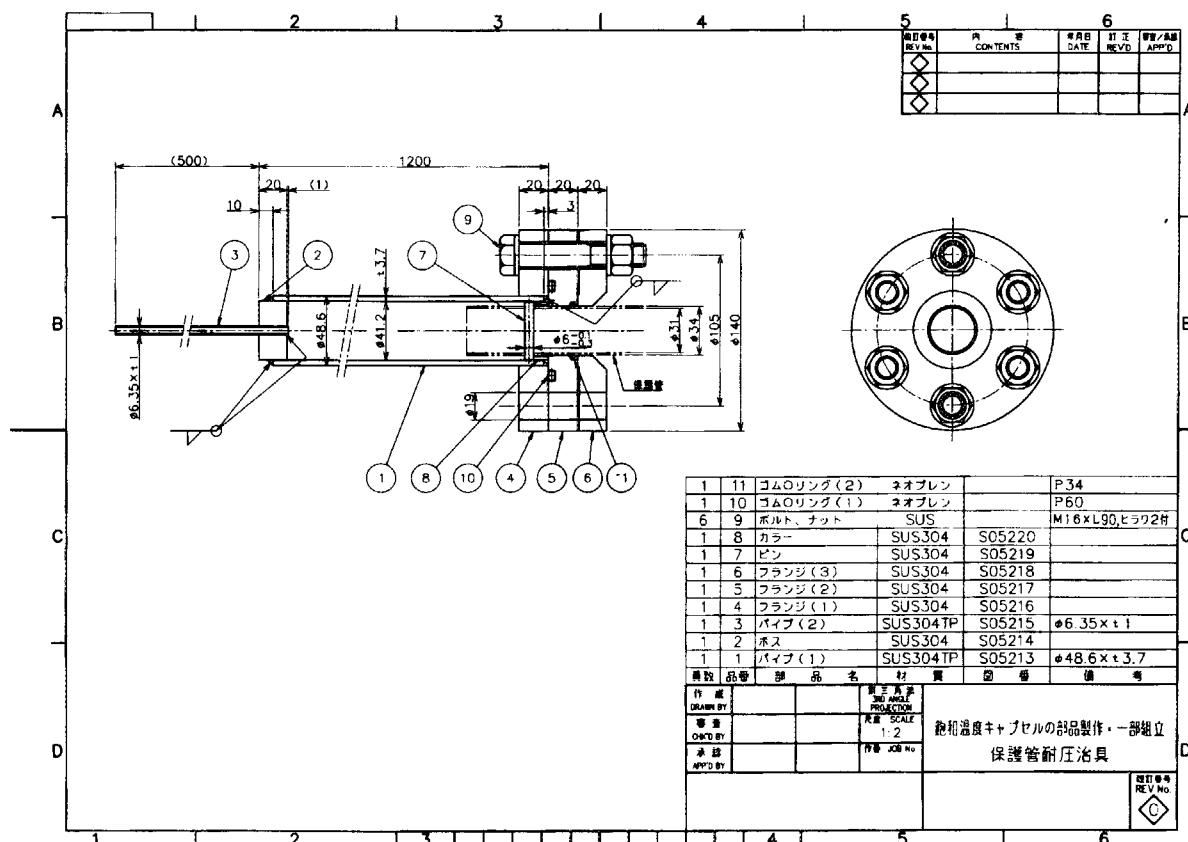


図 11 : 保護管内耐圧試験治具製作図

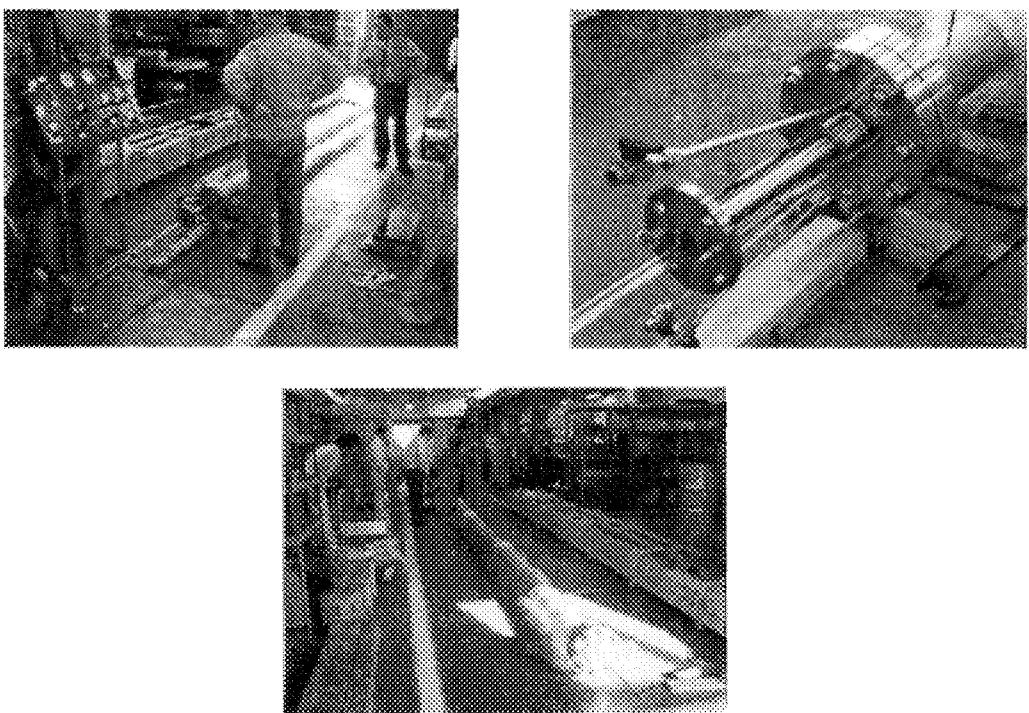


写真27：キャプセル外圧試験

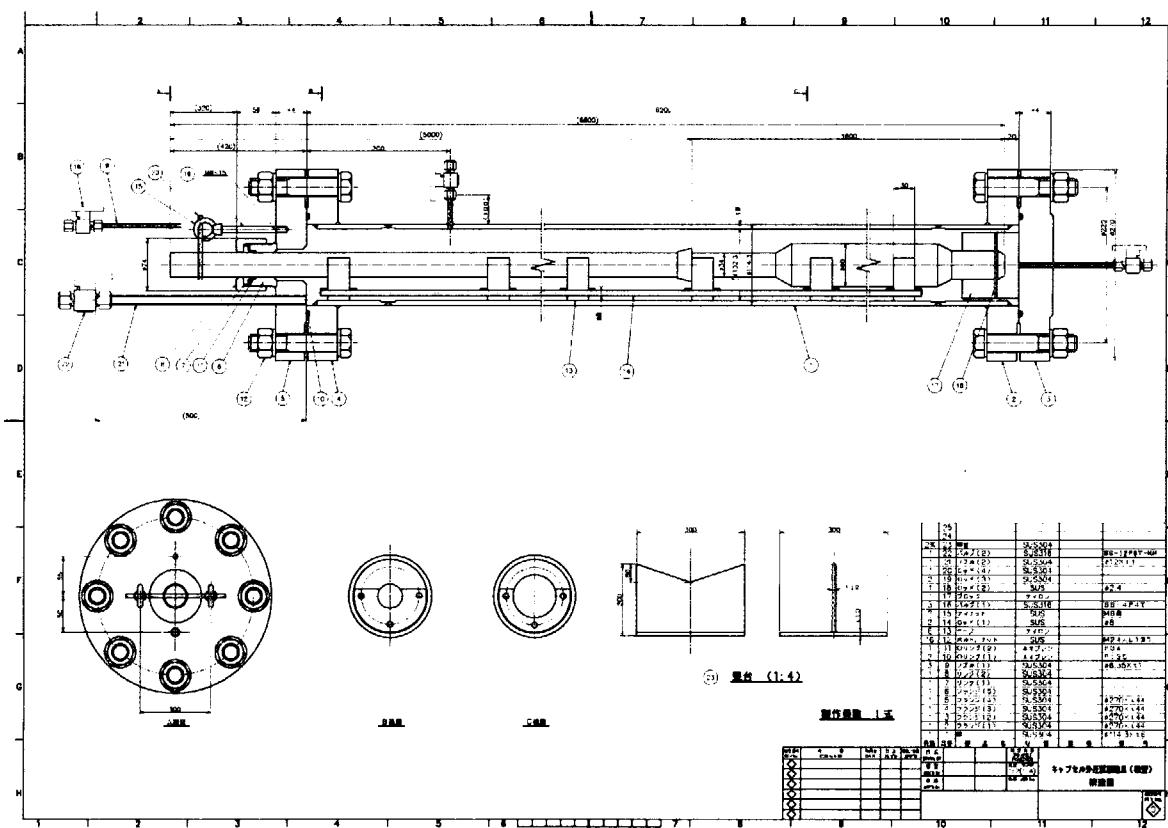


図12：キャプセル外圧試験治具製作図

6. ま と め

キャップセルは、内部に精密な部品やセンサー等を組込んだ精密機器であるが、原子炉内で使用する容器であるため、溶接による気密構造とする必要がある。

飽和温度キャップセルは設計圧力が高く、外筒の肉厚が従来のキャップセルより厚いため、端栓との突合せ溶接部の健全性と溶接による収縮量が問題とされた。

また、従来の設計とは異なるため、異材溶接継手溶接部の健全性確認をはじめ、保護管の曲げによる計測線が受ける影響等、製作にあたって事前確認が必要な部分について技術的検討及び試験並びに技術開発を行った。

さらに、本キャップセルは従来型のキャップセルに比べ、出来るだけ軽水炉（BWR型）環境下に近づけると共に試験片全体を一定温度に保つために、試験片を高温高圧水に曝す面積を多くする設計とした。このため試験片の両端における保持部が少なく、安定保持についての確認をする必要があった。

結果として現設計で組立てることが出来たが、キャップセル組立の経験から原子炉に装荷するまでのキャップセル移動等の振動を考慮すると、試料を押さえている試料保持部（ツメ部分）を3mm程度まで長くしておく方が安全性が増すと思われる。このため、今後の設計では試料保持部を3mm程度まで長くすることを提案する。

製作前の技術的な検討を尽くした結果、本キャップセルは無事組立てを終了し、J M T Rにおいて照射を開始して順調に照射を継続している。

謝 辞

本報告書をまとめるにあたり、照射第1課長小森 芳廣氏、工作技術グループリーダ武山 友憲氏に御指導頂きました。また、各種試験の計画遂行にあたり照射第1課板橋 行夫氏、耐食材料研究グループ井岡 郁夫氏に御指導頂きました。更に、各種試験と組立・検査に関しては、原子力エンジニアリング(株)の以下関係者諸氏に御協力を頂きました。

津田 和美氏・竹内 俊一氏・平田 雄二氏・照沼 勲 氏

ここに、記して謝意を表します。

参 考 文 献

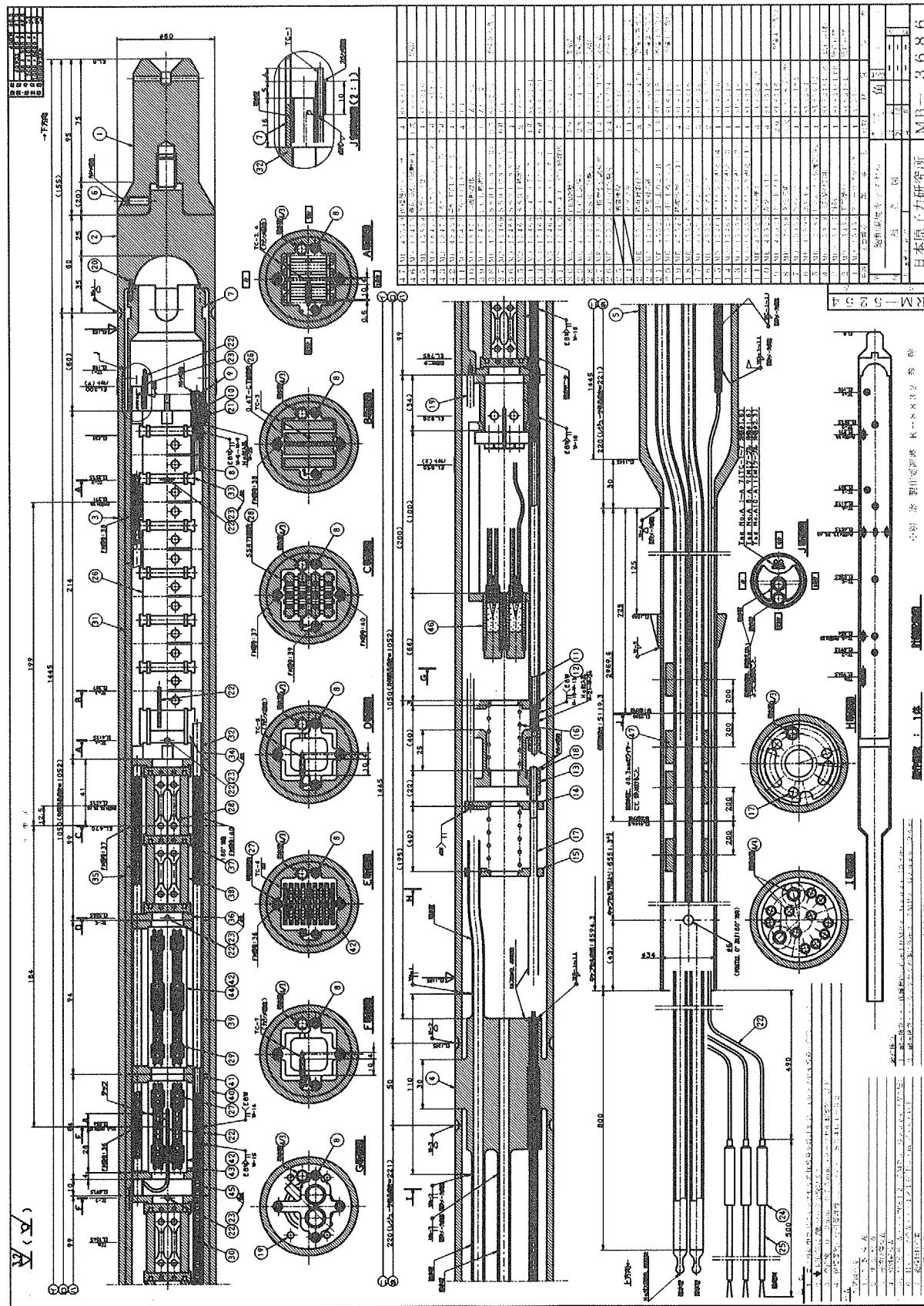
1) 材料試験炉部計画課 : I A S C C 照射試験のための飽和温度キャップセルの設計検討 J M T R時報 No131

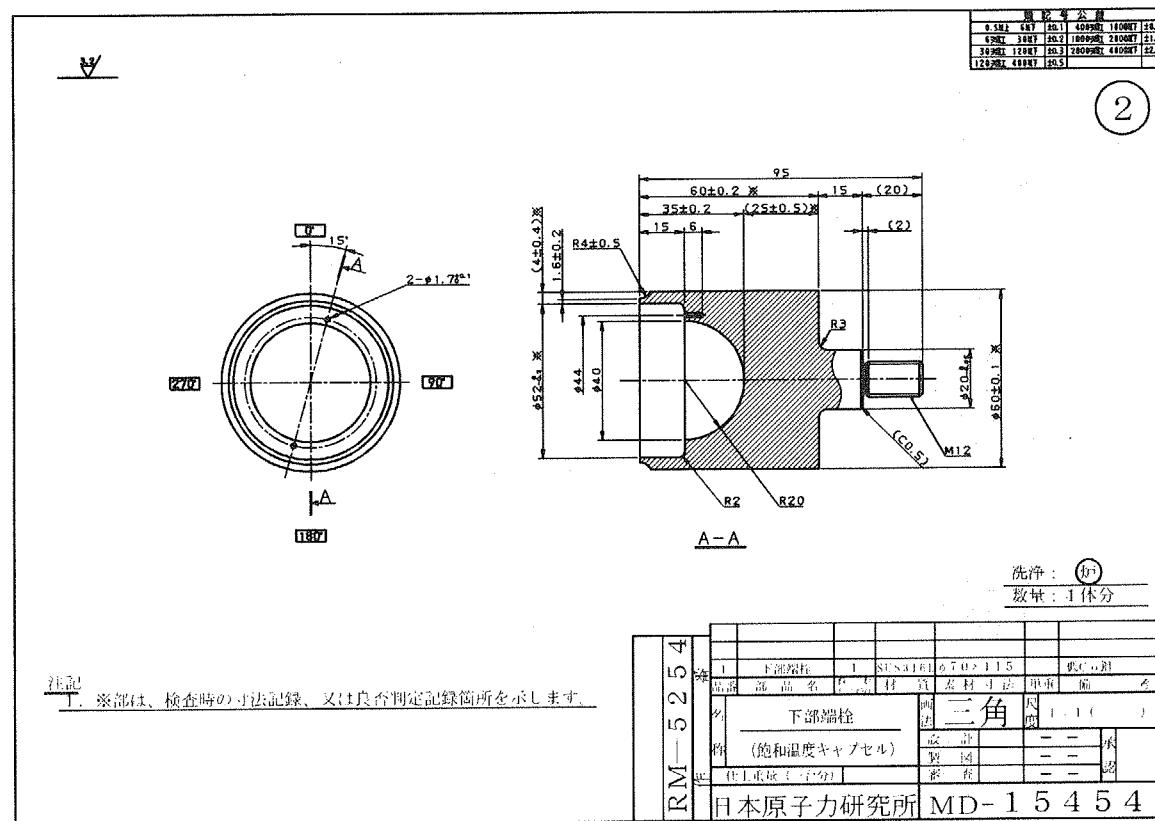
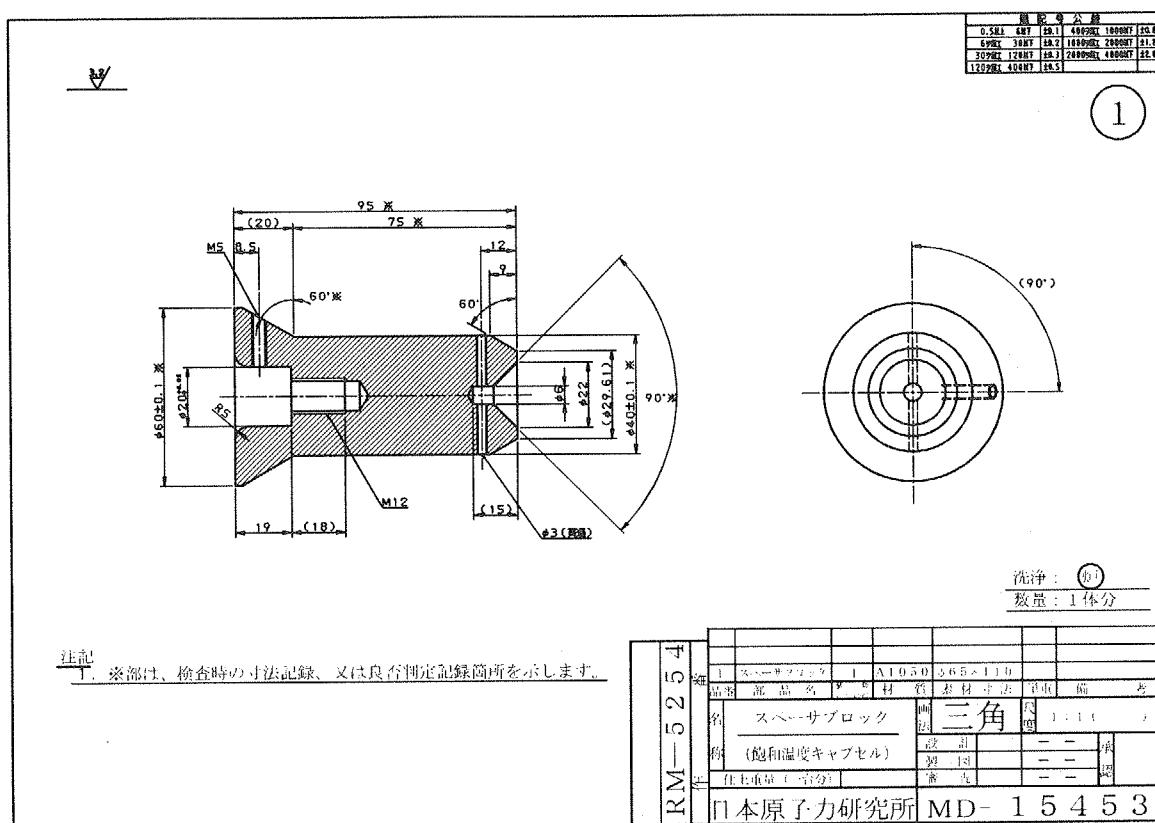
付録目次

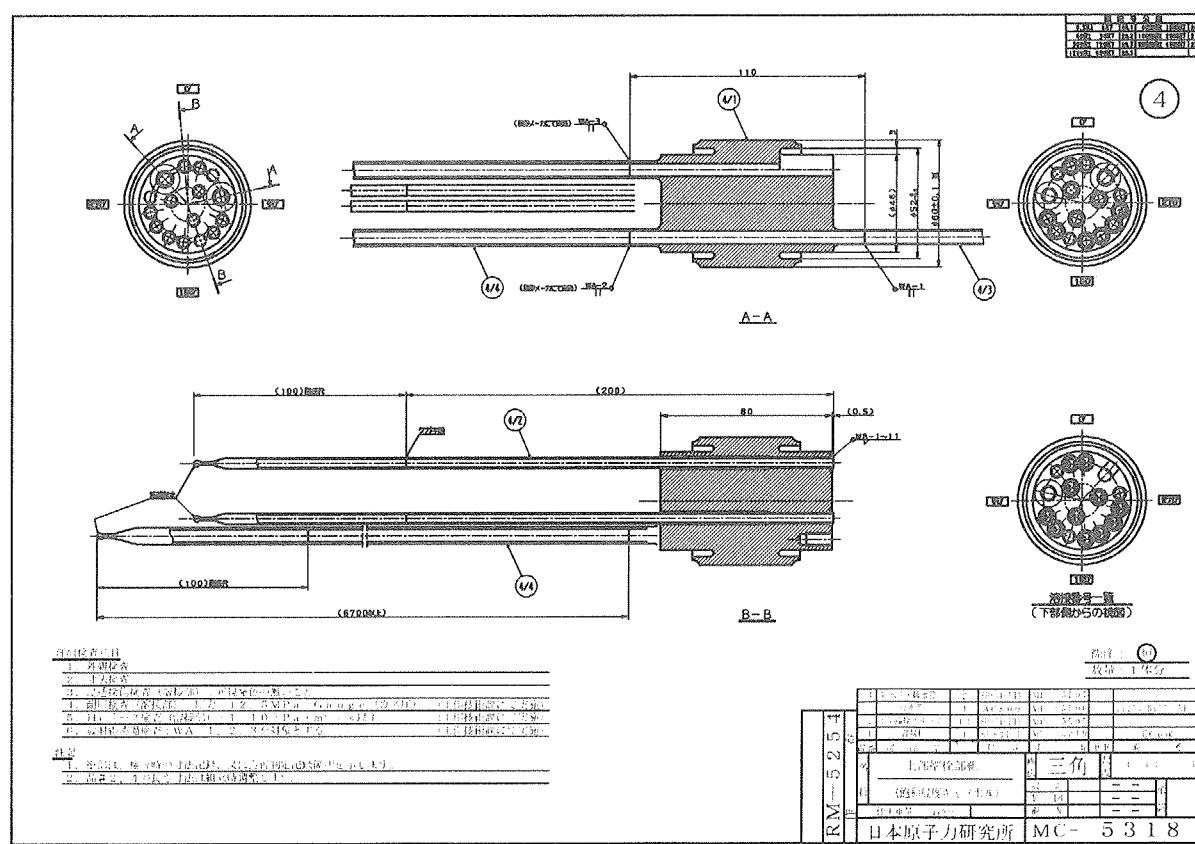
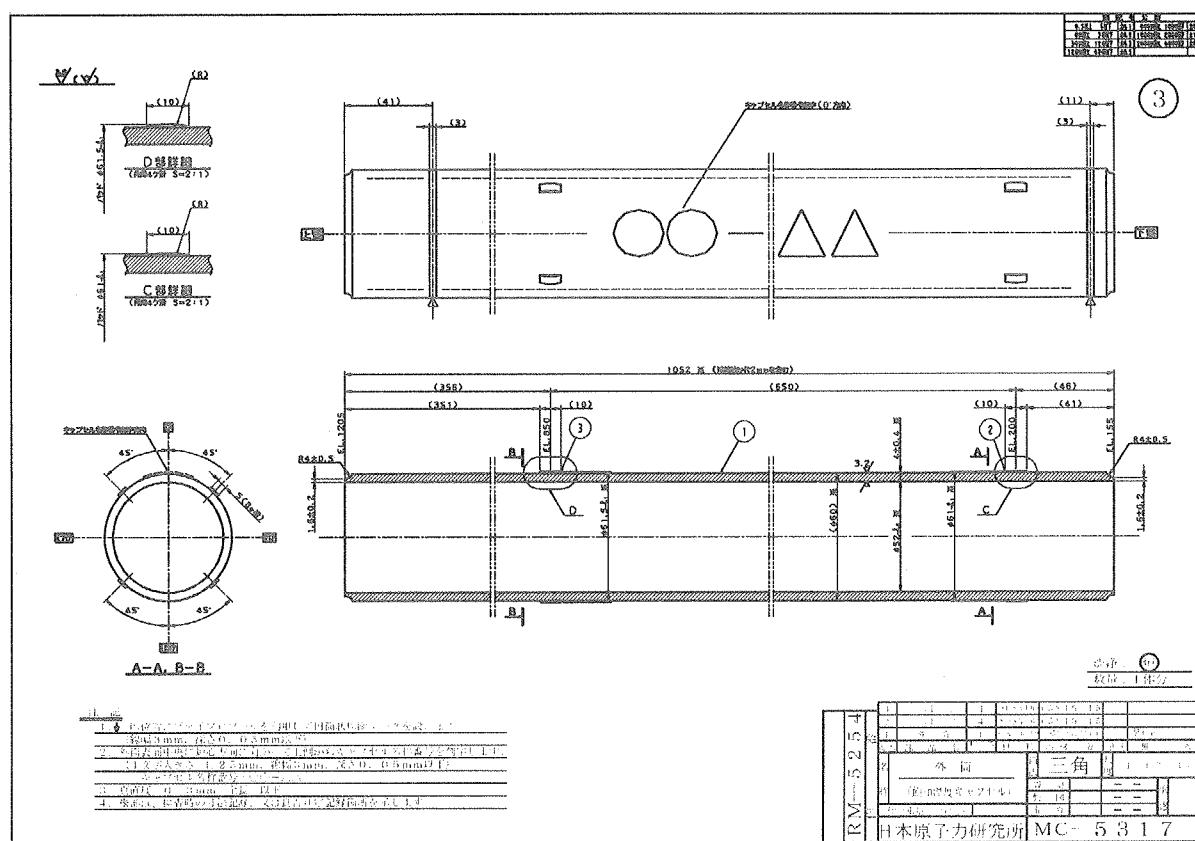
1. キャプセル組立図および主要部品図	35
2. キャプセル外観写真	40
3. 試験検査要領	45
4. 温度モニタの製作	63
5. 組立中外観写真	64
5. 1. 試料組み込み	64
5. 2. 支柱組み込み	68
5. 3. 外筒および熱媒体組み込み	68
5. 4. 保護管組立	69
6. キャプセル外観写真	69

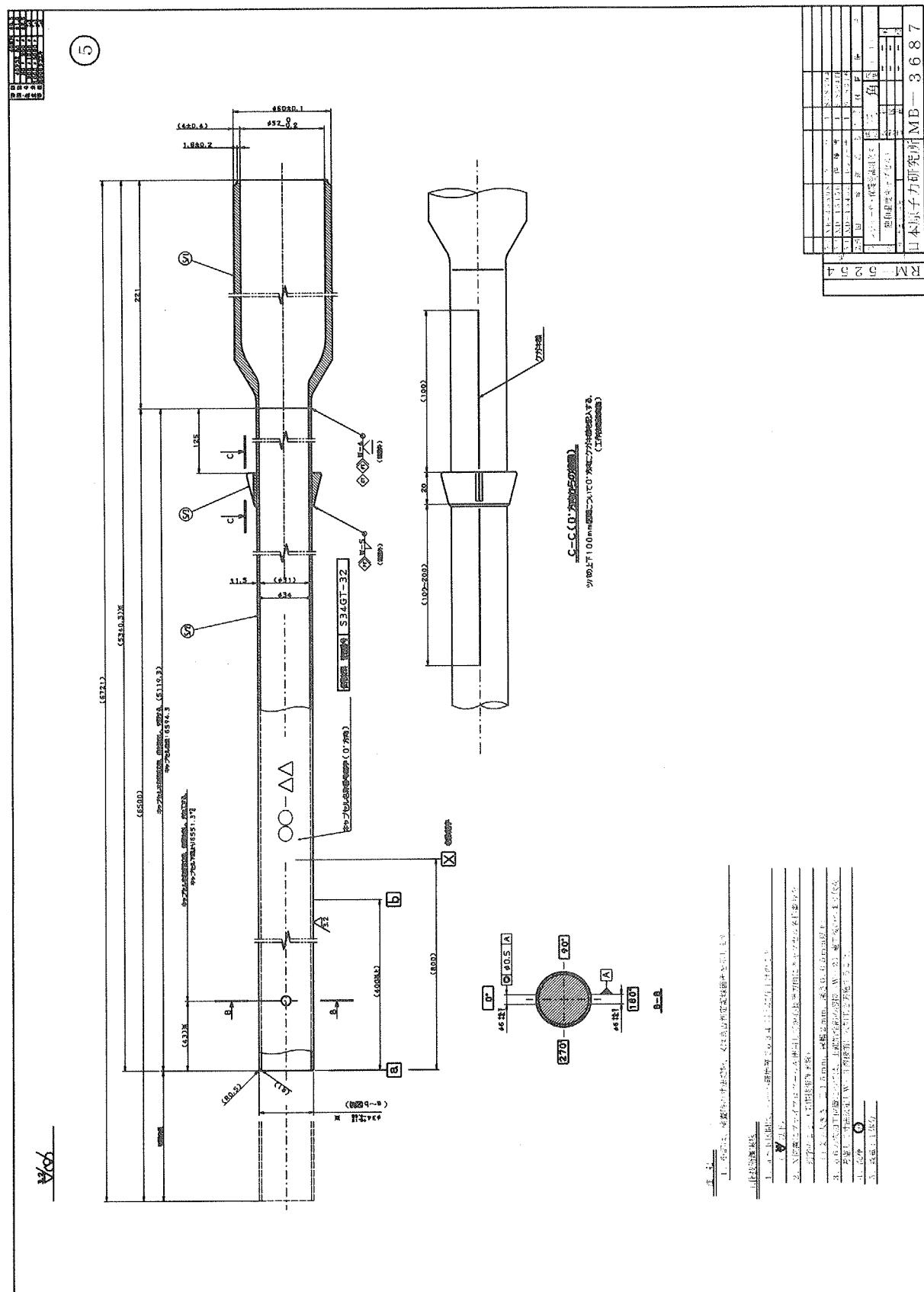
This is a blank page.

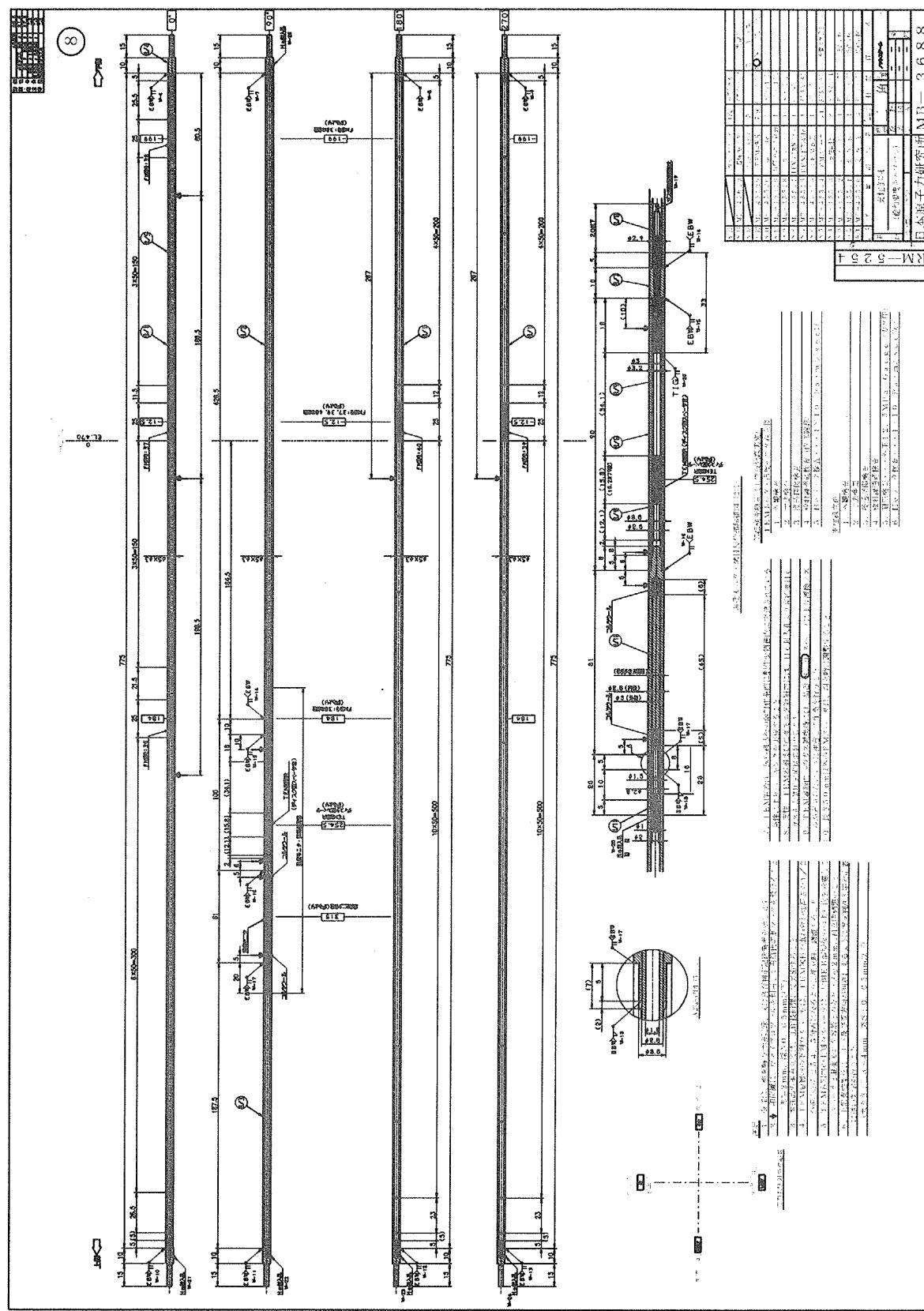
付録1：キャプセル組立図および主要部品図



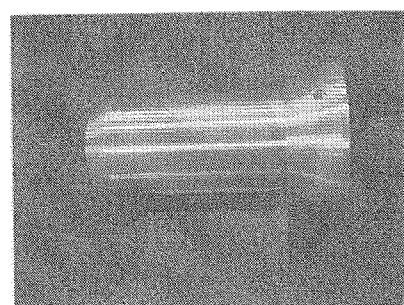




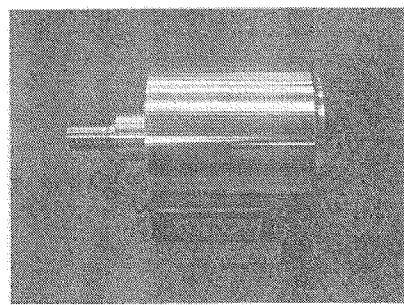




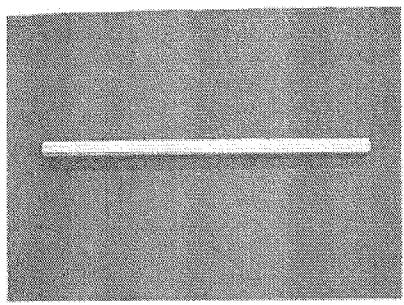
付録2: キャプセル外観写真



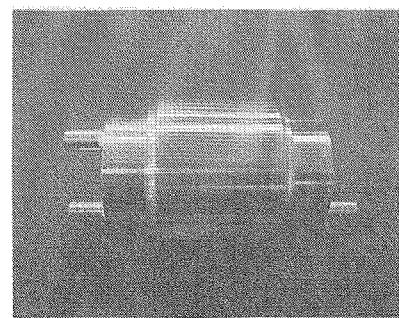
部品番号 1 : スペーサブロック



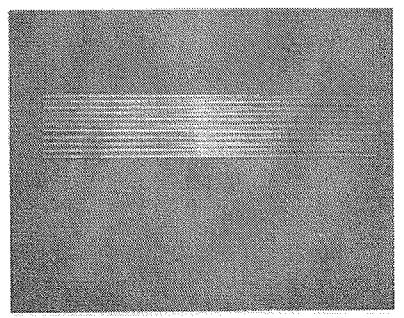
部品番号 2 : 下部端栓



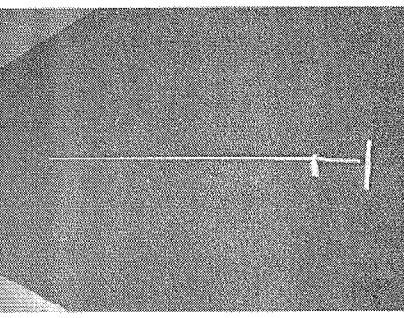
部品番号 3 : 外筒



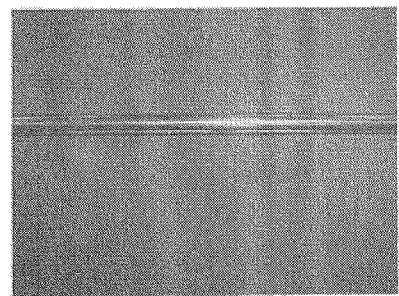
部品番号 4-1 : 上部端栓



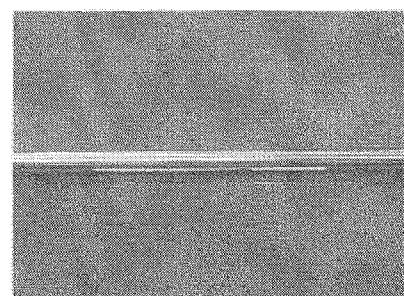
部品番号 4-2 : 上部端栓スリーブ



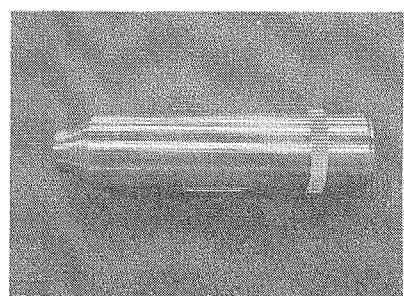
部品番号 4-3 : 導水管



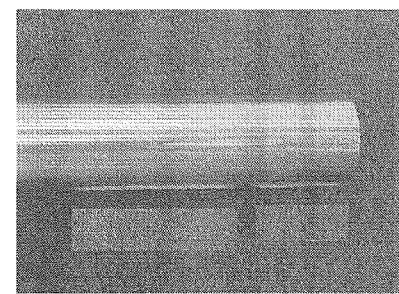
部品番号 4-4-1 : 給水管



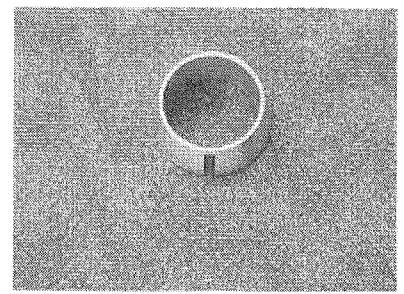
部品番号 4-4-2 : 排水管



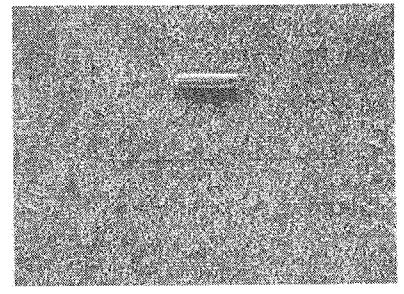
部品番号 5-1 : レジューサ



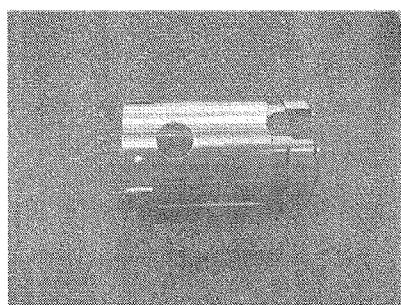
部品番号 5-2 : 保護管



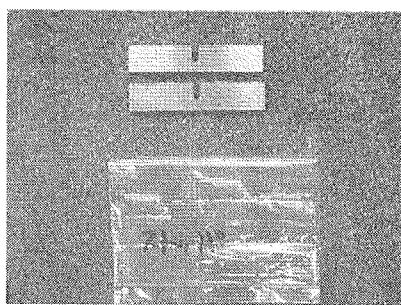
部品番号 5-3 : ツバ



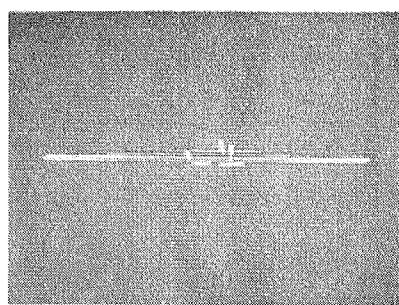
部品番号 6 : 止めネジ



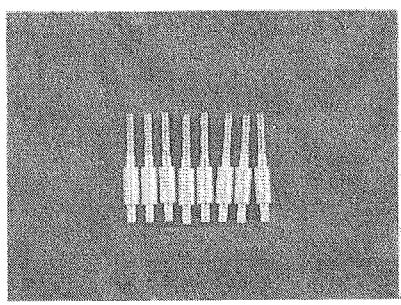
部品番号 7-1 : スペーザ



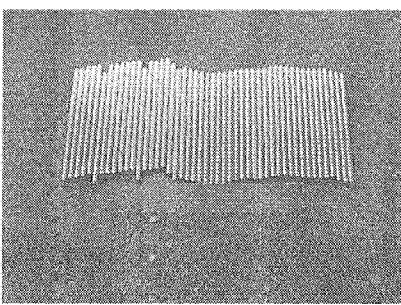
部品番号 7-2 : ストッパー



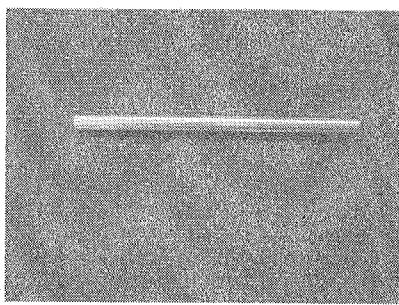
部品番号 8-1 ~ 8-3 : 支柱A~C



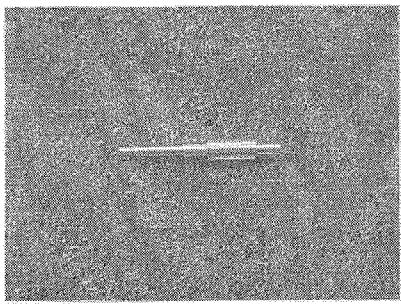
部品番号 8-4 : 支柱端栓



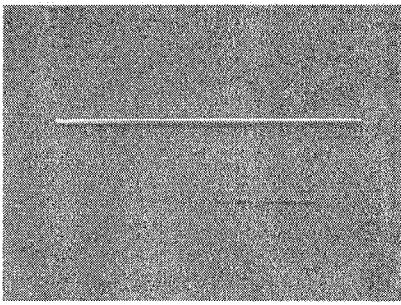
部品番号 8-5 : FMスペーザ



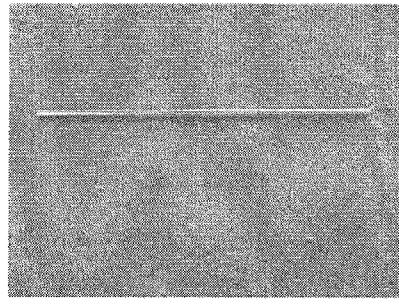
部品番号 8-6 : TEM容器



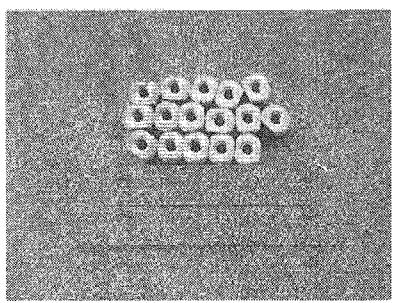
部品番号 8-7 : TEM下部端栓



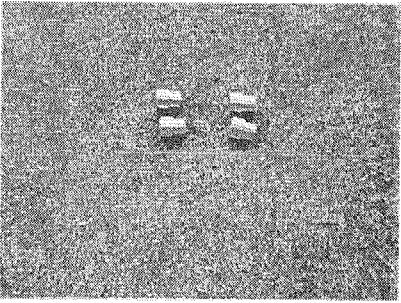
部品番号 8-8 : TEMガス置換ノズル



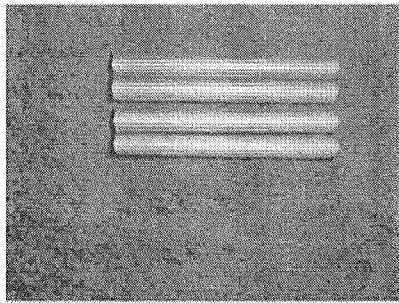
部品番号 8-9 : スペーザ



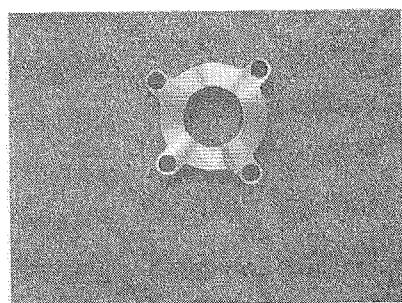
部品番号 9 : ナット (1)



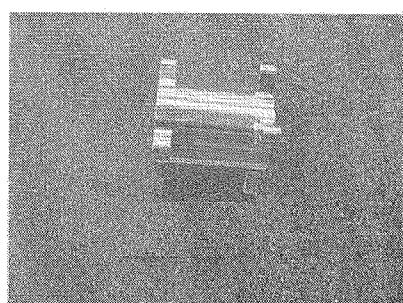
部品番号 10 : カラー (1)



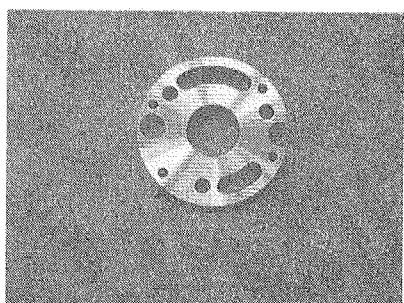
部品番号 11 : 試料押え



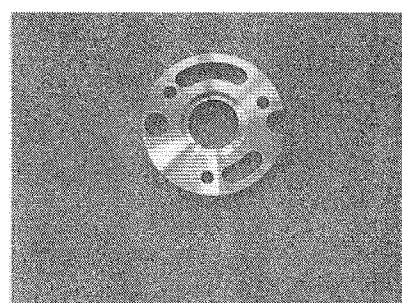
部品番号 12 : スプリング押え (1)



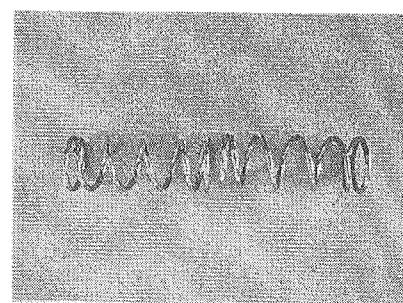
部品番号 13 : スプリング押え (2)



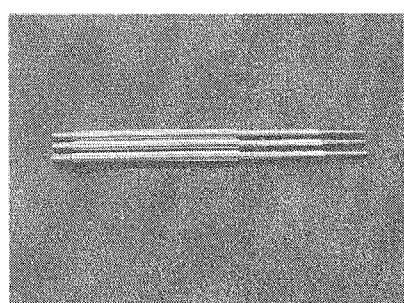
品番号 14 : スプリング押え (3)



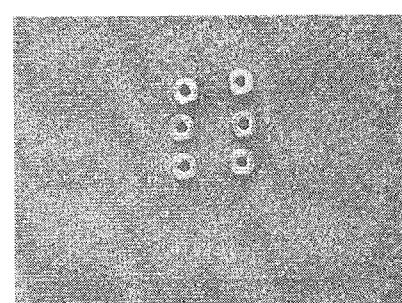
部品番号 15 : スプリング押え (4)



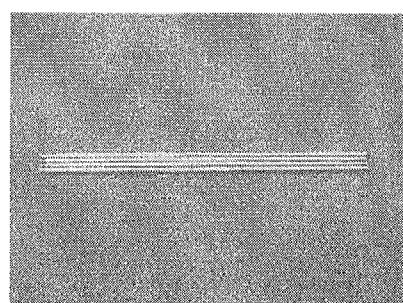
部品番号 16 : スプリング



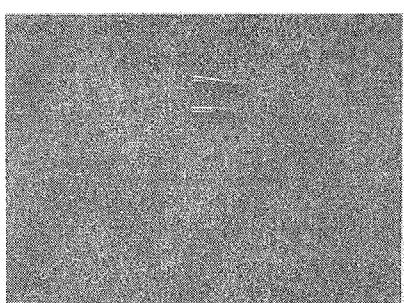
部品番号 17 : スタンド



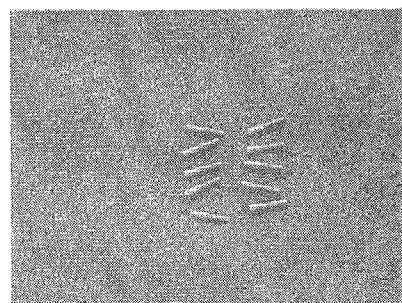
部品番号 18 : ナット (2)



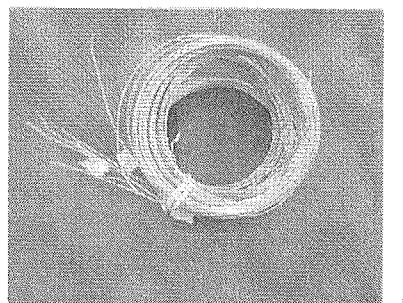
部品番号 19 : 热媒体押え (1)



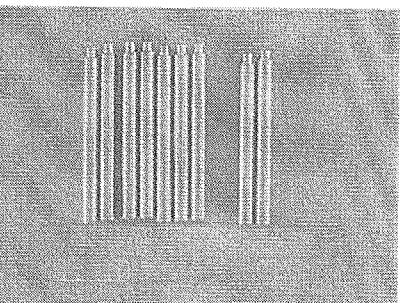
部品番号 20 : 回り止めピン A



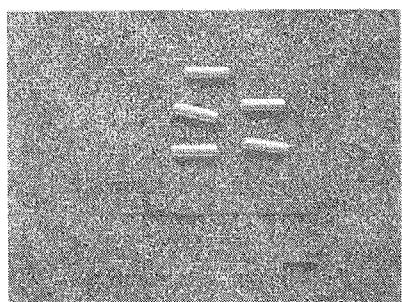
部品番号 21 : 回り止めピン B



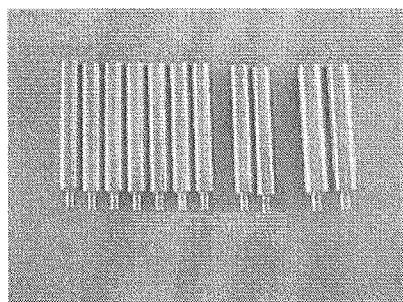
部品番号 22-1 : 热電対



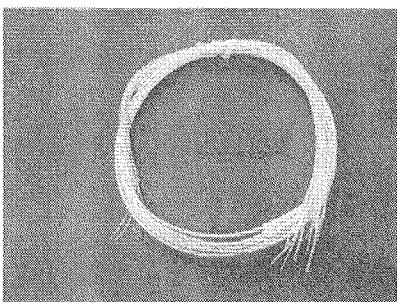
部品番号 22-2 : M I 溶接スリーブ



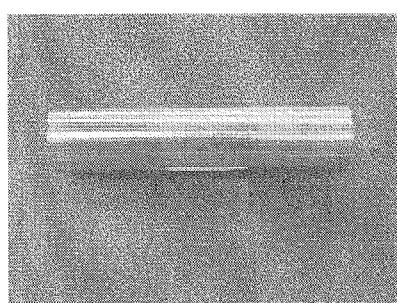
部品番号 23 : 热電対取付スリーブ



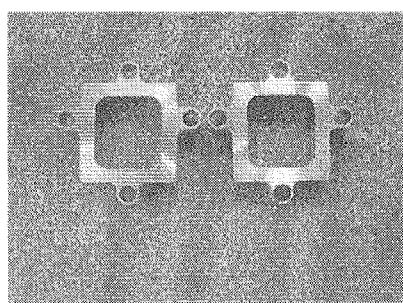
部品番号 24 : アダプタ



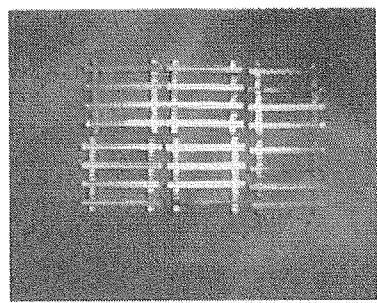
部品番号 25 : 補償導線



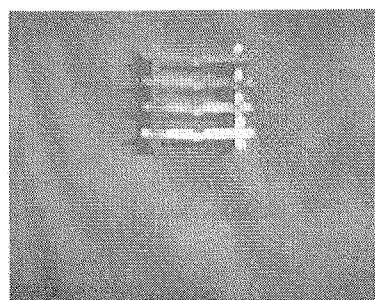
部品番号 31 : 0.4 T-CT 热媒体



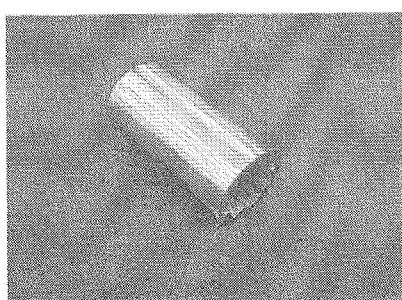
部品番号 32 : 0.4 T-CT ホルダ (1)



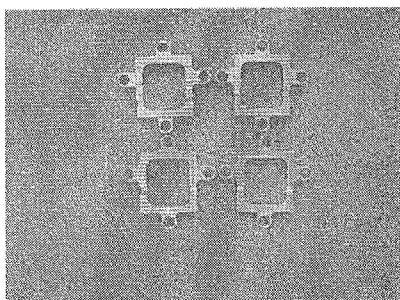
部品番号 33 : 0.4 T-CT ホルダ (2)



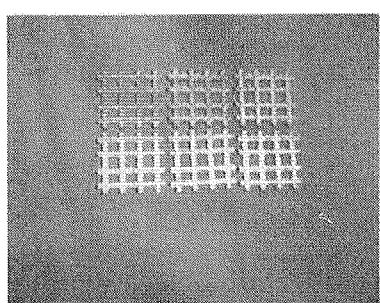
部品番号 34 : 0.4 T-CT ホルダ (3)



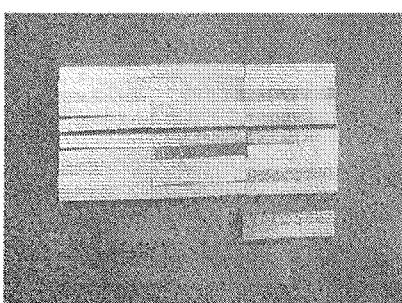
部品番号 35 : S S R T 热媒体



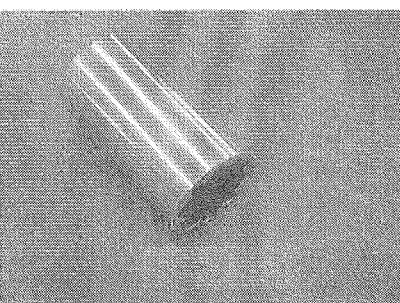
部品番号 36 : S S R T ホルダ (1)



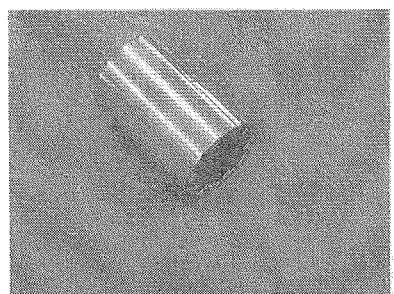
部品番号 37 : S S R T ホルダ (2)



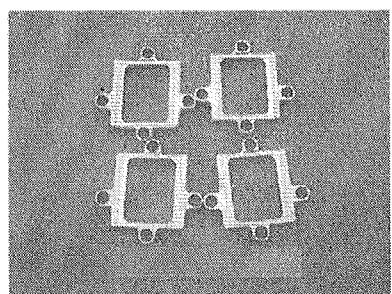
部品番号 38 : S S R T ホルダ (3)



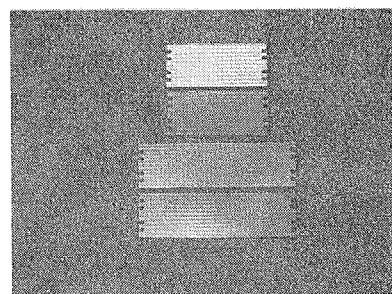
部品番号 39 : U C L 热媒体



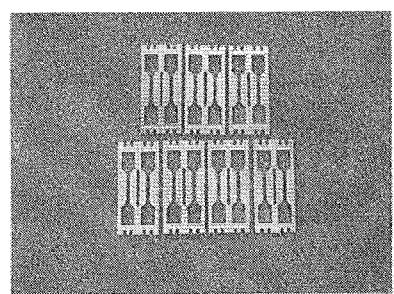
部品番号 4 0 : 平板熱媒体



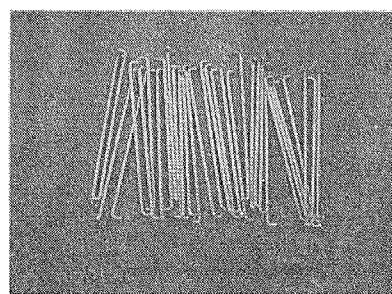
部品番号 4 1 : 平板・UCL ホルダ(1)



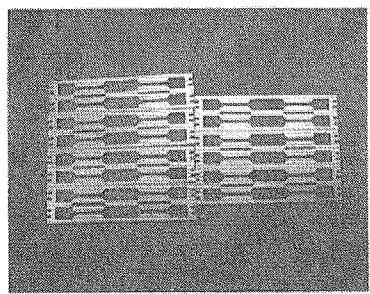
部品番号 4 2 : 平板・UCL ホルダ(2)



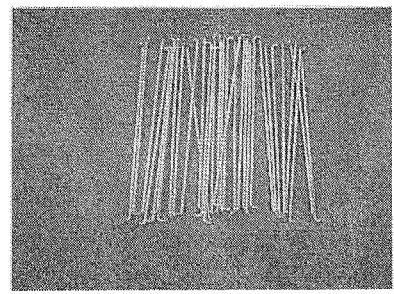
部品番号 4 3 - 1 : 平板ホルダ(3)



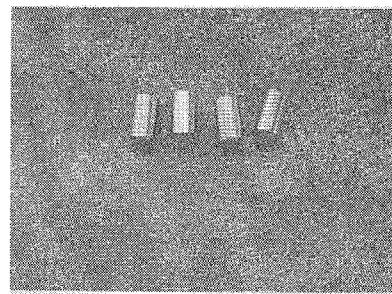
部品番号 4 3 - 2 : 平板ホルダ(4)



部品番号 4 4 - 1 : UCL ホルダ(3)



部品番号 4 4 - 2 : UCL ホルダ(4)



部品番号 4 5 : カラー(2)

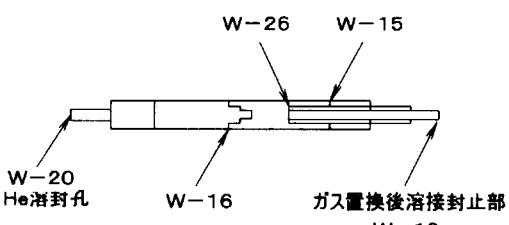
付録 3 : 試験検査要領

This is a blank page.

試験検査要領書				
名 称		飽和温度キャプセルの製作（中間検査 上部端栓組立後）		
No.	項 目	試験検査方 法	判 定 基 準	備 考
1	外観検査	<ul style="list-style-type: none"> ・下記について確認する。 <ol style="list-style-type: none"> 1) 油脂の付着、ホコリの付着の有無を目視にて確認する。 2) 管については、内外面のツブレ、扁平の有無を目視にて確認する。 3) 仕上げ面については、仕上げ面を JIS B 0659 (1973) に準拠した表面粗さゲージと照合し、仕上げ状態を確認する。 4) その他、全体的に外観欠陥や機能的欠陥の有無を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・汚れ等の付着がないこと。 ・ツブレ、扁平の無いこと。 ・承認図指定仕上げ以上であること。 ・異常のないこと。 	
2	寸法検査	<ul style="list-style-type: none"> ・承認図に従い、各部寸法を当該測定具にて測定する。 <当該測定具> ノギス、マイクロメータ、スケール等 	<ul style="list-style-type: none"> ・承認図指定公差を満足すること。 ・承認図指定公差のない寸法部は、添付資料-1に従うものとする。 	
3	放射線透過検査	<ul style="list-style-type: none"> ・上部端栓 WA-1 		WA-2,3 は製作業者で撮影済み。
4	浸透探傷検査	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接部を含む周辺約 10mm の外表面について JIS Z 2343 に定める V C - S 法に準拠し、実施する。 <対象部> 品番4：上部端栓 WA-1～3 WB-1～11 	<ul style="list-style-type: none"> ・浸透指示模様のないこと。 	WB-1～11 はX線なし
5	耐圧検査	<ul style="list-style-type: none"> ・内圧法にて実施する。 <検査条件> 検査流体：窒素ガス 検査圧力：12.5 MPa Gauge 放置時間：30分間 <対象部> 品番4：上部端栓 WA-2, 3 WB-1～11 	<ul style="list-style-type: none"> ・異常な変形等ないこと。 ・圧力降下のこと。 	
特記事項：				

試験検査要領書				
名 称		飽和温度キャップセルの製作（中間検査 上部端栓組立後）		
No.	項 目	試験検査方法	判 定 基 準	備 考
6	ヘリウム漏れ検査	<p>・真空外覆法にて実施する。</p> <p>〈検査条件〉</p> <p>Heガス加圧圧力：大気圧</p> <p>Heガス封入時間：1分間</p> <p>〈対象部〉</p> <p>品番4：上部端栓 WA— 2、3 WB— 1～11</p>	<p>・ 1×10^{-7} Pa・m³/s 以下のこと。</p>	
特記事項：				

試験検査要領書

名 称		飽和温度キャップセルの製作（中間検査TEM容器温度モニタ容器）		
No.	項 目	試験検査方法	判定基準	備 考
1	外観検査	<ul style="list-style-type: none"> 下記について確認する。 <ol style="list-style-type: none"> 油脂の付着、ホコリの付着の有無を目視にて確認する。 管については、内外面のツブレ、扁平の有無を目視にて確認する。 仕上げ面については、仕上げ面を JIS B 0659 (1973) に準拠した表面粗さゲージと照合し、仕上げ状態を確認する。 その他、全体的に外観欠陥や機能的欠陥の有無を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 汚れ等の付着がないこと。 ツブレ、扁平のないこと。 承認図指定仕上げ以上であること。 異常のないこと。 	
2	寸法検査	<ul style="list-style-type: none"> 承認図に従い、各部寸法を当該測定具にて測定する。 <当該測定具> ノギズ、マイクロメータ、スケール等 	<ul style="list-style-type: none"> 承認図指定公差を満足すること。 承認図指定公差のない寸法部は、添付資料-1に従うものとする。 	
3	浸透探傷検査	<ul style="list-style-type: none"> 溶接部を含む周辺約10mmの外表面について JIS Z 2343 に定めるVC-S法に準拠し、実施する。 <対象部> 品番41: TEMホルダ W-19、20 ガス置換後の溶接封止後 	<ul style="list-style-type: none"> 浸透指示模様のないこと。 	
 <p>特記事項： ・内部確認の放射線透過検査は、支柱完成後に実施する。</p>				

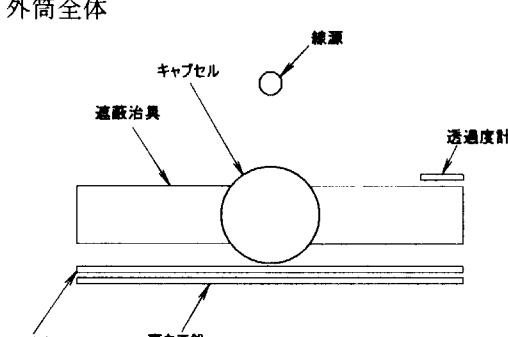
試験検査要領書

名 称		飽和温度キャプセルの製作（中間検査TEM容器温度モニタ容器）		
No.	項 目	試験検査方法	判 定 基 準	備 考
4	ヘリウム漏れ検査	<ul style="list-style-type: none"> ガス置換後実施後、ペルジャー法にてヘリウム漏れ検査を実施する。 (対象部) ガス置換後溶接封止部 品番 8/8,6/8,10/8,11/8 の各部品溶接後 W15,16,18,19,20,26 	<ul style="list-style-type: none"> 1×10^{-7} Pa・m³/s 以下のこと。 	
5	放射線透過検査	<ul style="list-style-type: none"> 下記溶接部を対象とし、JIS Z 3106に準拠した放射線透過検査を実施する。 W15,16,18,19,20,26 	<ul style="list-style-type: none"> JIS Z 3106 1級を満足すること。 	フィルム提出 (1部)
特記事項 :				

試験検査要領書				
名 称		飽和温度キャプセルの製作（中間検査 支柱組立後）		
No.	項 目	試験検査方法	判定基準	備 考
1	外観検査	<ul style="list-style-type: none"> 下記について確認する。 <ol style="list-style-type: none"> 油脂の付着、ホコリの付着の有無を目視にて確認する。 管については、内外面のツブレ、扁平の有無を目視にて確認する。 仕上げ面については、仕上げ面を JIS B 0659 (1973) に準拠した表面粗さゲージと照合し、仕上げ状態を確認する。 その他、全体的に外観欠陥や機能的欠陥の有無を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 汚れ等の付着がないこと。 ツブレ、扁平のないこと。 承認図指定仕上げ以上であること。 異常のないこと。 	
2	寸法検査	<ul style="list-style-type: none"> 承認図に従い、各部寸法を当該測定具にて測定する。 (当該測定具) ノギス、マイクロメータ、スケール等 	<ul style="list-style-type: none"> 承認図指定公差を満足すること。 承認図指定公差のない寸法部は、添付資料-1に従うものとする。 	
3	浸透探傷検査 H e 封入孔の P T	<ul style="list-style-type: none"> 溶接部を含む周辺約 10mm の外表面について JIS Z 2343 に定める V C - S 法に準拠し、実施する。 (対象部) (0°、180°、270°) <p>W-21, 23, 24 W-6, 7, 9 W-10, 12, 13</p> <p>(90°)</p> <p>W-22 W-11 W-17 W-14 W-7 W-25</p>	<ul style="list-style-type: none"> 浸透指示模様のないこと。 	
特記事項 :				

試験検査要領書				
名 称		飽和温度キャプセルの製作（中間検査 支柱組立後）		
No.	項 目	試験検査方 法	判 定 基 準	
4	放 射 線 透 過 試 験	<ul style="list-style-type: none"> ・支柱、T E Mホルダの内部構成部品の判別が出来るように撮影する。 <p style="text-align: center;">1 方向でよい</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・内部構成部品に異常のないこと。 	フィルム提出 (1部)
5	耐 壓 検 査	<ul style="list-style-type: none"> ・外圧法にて実施する。 (検査条件) 検査流体：窒素ガス 検査圧力：12.5 MPa Gauge 放置時間：30分間 	<ul style="list-style-type: none"> ・異常な変形等のないこと。 	
6	ヘリウム 漏 れ 検 査	<ul style="list-style-type: none"> ・ペルジャー法にて実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・1×10^{-7} Pa · m³/s 以下のこと。 	
特記事項：				

試験検査要領書				
名 称		飽和温度キャプセルの製作（中間検査 外筒組立後）		
No.	項 目	試験検査方法	判 定 基 準	備 考
1	外観検査	<ul style="list-style-type: none"> ・下記について確認する。 <ul style="list-style-type: none"> 1) 油脂の付着、ホコリの付着の有無を目視にて確認する。 2) 管については、内外面のツブレ、扁平の有無を目視にて確認する。 3) 仕上げ面については、仕上げ面を JIS B 0659 (1973) に準拠した表面粗さゲージと照合し、仕上げ状態を確認する。 4) その他、全体的に外観欠陥や機能的欠陥の有無を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・汚れ等の付着がないこと。 ・ツブレ、扁平のないこと。 ・承認図指定仕上げ以上であること。 ・異常のないこと。 	
2	寸法検査	<ul style="list-style-type: none"> ・承認図に従い、各部寸法を当該測定具にて測定する。 <当該測定具> ノギス、マイクロメータ、スケール等 真直度検査 W-1, 2 溶接後 (0.3mm/全長) 	<ul style="list-style-type: none"> ・承認図指定公差を満足すること。 ・承認図指定公差のない寸法部は、添付資料-1に従うものとする。 	
3	浸透探傷検査	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接部を含む周辺約10mmの外表面について JIS Z 2343 に定めるVC-S法に準拠し、実施する。 <対象部> W - 1, 2 WD - 1 ~ 11 	<ul style="list-style-type: none"> ・浸透指示模様のないこと。 	
4	放射線透過試験	<ul style="list-style-type: none"> ・WD-1~11内の1本を参考として撮影 X-Y 2方向 		
5	試料構成確認	<ul style="list-style-type: none"> ・設計と検査が試料配置を立会により確認 		
特記事項 :				

試験検査要領書				
名 称		飽和温度キャプセルの製作（中間検査 外筒組立後）		
No.	項 目	試験検査方法	判 定 基 準	備 考
6	放射線透過検査 (記録確認)	<ul style="list-style-type: none"> 下記突合せ溶接部を対象とし、JIS Z 3106に準拠し、放射線透過検査を実施する。 〈対象部〉 W-1, 2 外筒全体 	<ul style="list-style-type: none"> JIS Z 3106 1級を満足すること (両サイド判定) 	フィルム提出 (1部)
	内部確認	<ul style="list-style-type: none"> 下部端栓から上部端栓までの内部構成部品の判別ができるように撮影する。 	<ul style="list-style-type: none"> 内部構成部品に異常のないこと。 	フィルム提出 (1部)
7	耐圧検査	<ul style="list-style-type: none"> 内圧法にて実施する。 〈検査条件〉 検査流体：窒素ガス 検査圧力：12.5 MPa Gauge 放置時間：30分間 〈対象部〉 外筒（上部端栓～下部端栓まで） W-1, 2 WD-1～11 WC-1～11 	<ul style="list-style-type: none"> 異常な変形等のないこと。 圧力降下のないこと。 	
特記事項：				

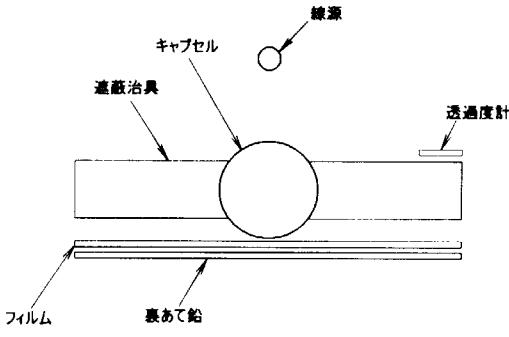
試験検査要領書				
名 称		飽和温度キャップセルの製作（中間検査 外筒組立後）		
No.	項 目	試験検査方法	判 定 基 準	備 考
8	ヘリウム漏れ検査	<ul style="list-style-type: none"> ・真空外覆法にてヘリウム漏れ検査を実施する。 <p>（検査条件） Heガス加圧圧力：大気圧 Heガス封入時間：1分間 （対象部） 外筒（上部端栓～下部端栓まで） W - 1, 2 WC - 1 ~ 11 WD - 1 ~ 11</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1×10^{-7} Pa・m³/s 以下のこと。 	
9	浸透探傷検査	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接部を含む周辺約10mmの外表面についてJIS Z 2343に定めるVC-S法に準拠し、実施する。 <p>（対象部） W - 1, 2 WD - 1 ~ 11</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・浸透指示模様のないこと。 	
10	絶縁抵抗検査 (記録確認)	<ul style="list-style-type: none"> ・熱電対を対象として、100VDCメガにて絶縁抵抗検査を実施する。 (於、常温大気中) 	<ul style="list-style-type: none"> ・20MΩ以上のこと。 	
11	導通検査 (記録確認)	<ul style="list-style-type: none"> ・テスターにて、導通検査を実施する。 (於、常温大気中) 	<ul style="list-style-type: none"> ・断線のないこと。 	
特記事項：				

試験検査要領書

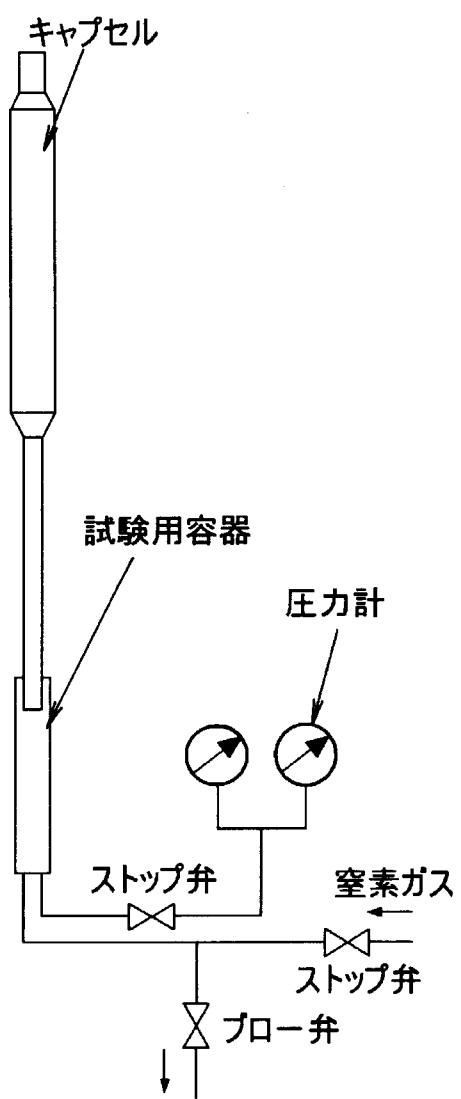
名 称		飽和温度キャプセルの製作（外筒部組完成後）		
No.	項 目	試験検査方法	判定基準	備 考
1	耐圧検査	<ul style="list-style-type: none"> 内圧法にて実施する。 <p>〈検査条件〉 検査流体：窒素ガス 検査圧力：12.5 MPa Gauge 放置時間：30分間</p>	<ul style="list-style-type: none"> 異常な変形等のないこと。 圧力低下のないこと。 	
2	ヘリウム漏れ検査 (記録提出)	<ul style="list-style-type: none"> 真空外覆法にて漏れ検査を実施する。 <p>〈対象部〉 W - 1、 2 WC - 1 ~ 11 WD - 1 ~ 11</p>	<ul style="list-style-type: none"> 1×10^{-7} Pa · m³/s 以下のこと。 	

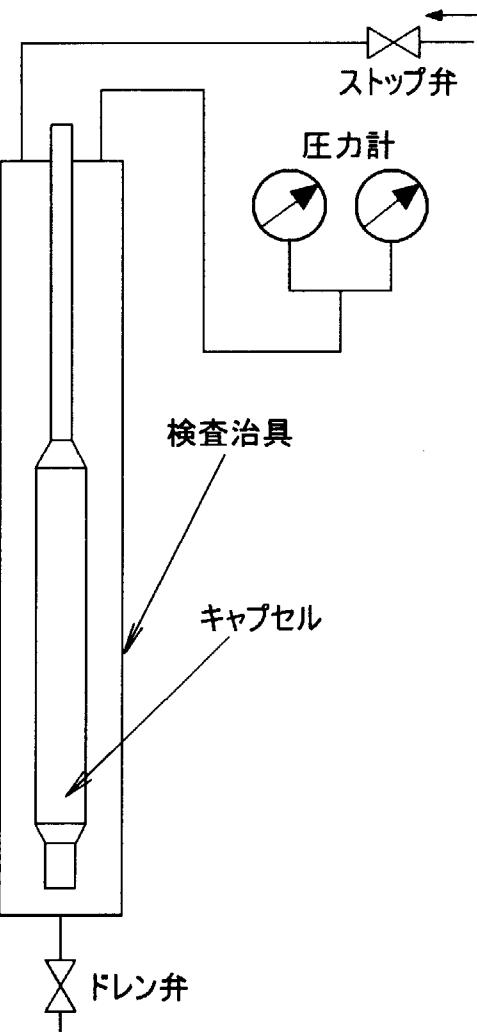
特記事項：

試験検査要領書

名 称		飽和温度キャプセルの製作（保護管レジューサと上部端栓）		
No.	項 目	試験検査方法	判定基準	備 考
1	浸透探傷検査	<ul style="list-style-type: none"> 溶接部を含む周辺約10mmの外表面についてJIS Z 2343に定めるVC-S法に準拠し、実施する。 <対象部> W-3 	<ul style="list-style-type: none"> 浸透指示模様のないこと。 	
2	放射線透過検査 (記録確認)	<ul style="list-style-type: none"> 下記突合せ溶接部を対象とし、JIS Z 3106に準拠し、放射線透過検査を実施する。 <対象部> W-3 	<ul style="list-style-type: none"> JIS Z 3106 1級を満足すること。 (両サイド判定) 	フィルム提出 (1部)
				
特記事項 :				

試験検査要領書

名 称		飽和温度キャプセルの製作（保護管とレジューサの耐圧検査）		
No.	項 目	試 験 検 査 方 法	判 定 基 準	備 考
3	保護管部 耐圧検査	<p>・ 1) 内圧法にて実施する。 (検査条件) 検査流体：窒素ガス 検査圧力：10 MPa Gauge 放置時間：30分間</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・異常な変形等のないこと。 ・圧力降下のないこと。 	
特記事項：				

試験検査要領書				
名 称		飽和温度キャプセルの製作（最終検査）		
No.	項 目	試験検査方法	判定基準	備 考
4	キャプセル 全 体 耐压検査	<p>・ 2) 外圧法にて実施する。 (検査条件) 検査流体：窒素ガス 検査圧力：2.25 MPa Gauge 放置時間：30分間</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・異常な変形等のないこと。 ・圧力降下がないこと。 	
特記事項：				

試験検査要領書				
名 称		飽和温度キャプセルの製作（最終検査）		
No.	項 目	試験検査方法	判定基準	備 考
5	外観検査	<ul style="list-style-type: none"> ・下記について確認する。 <ol style="list-style-type: none"> 1) 油脂の付着、ホコリの付着の有無を目視にて確認する。 2) 管については、内外面のツブレ、扁平の有無を目視にて確認する。 3) 仕上げ面については、仕上げ面を JIS B 0659 (1973) に準拠した表面粗さゲージと照合し、仕上げ状態を確認する。 4) その他、全体的に外観欠陥や機能的欠陥の有無を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・汚れ等の付着がないこと。 ・ツブレ、扁平のないこと。 ・承認図指定仕上げ以上であること。 ・異常のないこと。 	
6	寸法検査	<ul style="list-style-type: none"> ・承認図に従い、各部寸法を当該測定具にて測定する。 (当該測定具) ノギス、マイクロメータ、スケール等 	<ul style="list-style-type: none"> ・承認図指定公差を満足すること。 ・承認図指定公差のない寸法部は、添付資料-1に従うものとする。 	
7	真直度検査	<ul style="list-style-type: none"> ・下部端栓から上部端栓までの 1160 mm の範囲を定盤の上に乗せ、ダイヤルゲージにて真直度検査を実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・0.3mm/全長以下のこと。 	
8	標示検査	<ul style="list-style-type: none"> ・外筒、保護管に下記に示す刻字（振動ペン）がなされていることを目視にて確認する。 ○○-△△ 	<ul style="list-style-type: none"> ・刻字の位置、角度および文字に相違のないこと。 	
特記事項：				

試験検査要領書				
名称		飽和温度キャプセルの製作（最終検査）		
No.	項目	試験検査方法	判定基準	備考
9	絶縁抵抗検査	・熱電対を対象として、100VDCメガにて絶縁抵抗検査を実施する。 (於、常温大気中)	・20MΩ以上のこと。	
10	導通検査 (記録確認)	・テスターにて、導通検査を実施する。 (於、常温大気中)	・断線のないこと。 (実測値提出)	
11	質量検査	・完成したキャプセルの質量を部品重量より算出する。	・記録提出。	

特記事項 :

規 格 一 覧 表

添付資料-1

機械加工品公差

	6 mm 以下	± 0. 1 mm
6 mm を超え	30 mm 以下	± 0. 2 mm
30 mm を超え	120 mm 以下	± 0. 3 mm
120 mm を超え	400 mm 以下	± 0. 5 mm
400 mm を超え	1000 mm 以下	± 0. 8 mm
1000 mm を超え	2000 mm 以下	± 1. 2 mm
2000 mm を超える		± 2. 0 mm

表面粗さ

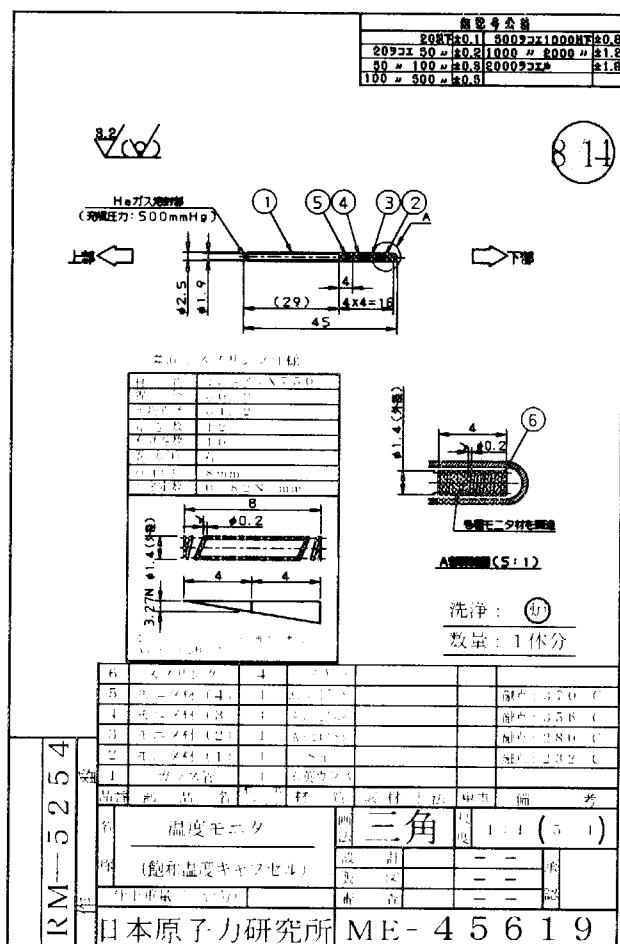
▽	ヤスリ、ペーパ ハンドグラインダー サンドブラスト等をかけ
▽ ²⁵	粗仕上げ 100 S以上
▽ ^{3.2}	中仕上げ 12. 5 S以上
▽ ^{1.6}	上仕上げ 6. 3 S以上
▽ ^{0.8}	極上仕上げ 0. 8 S以上

溶接、組立、切断、曲げ等無記号公差

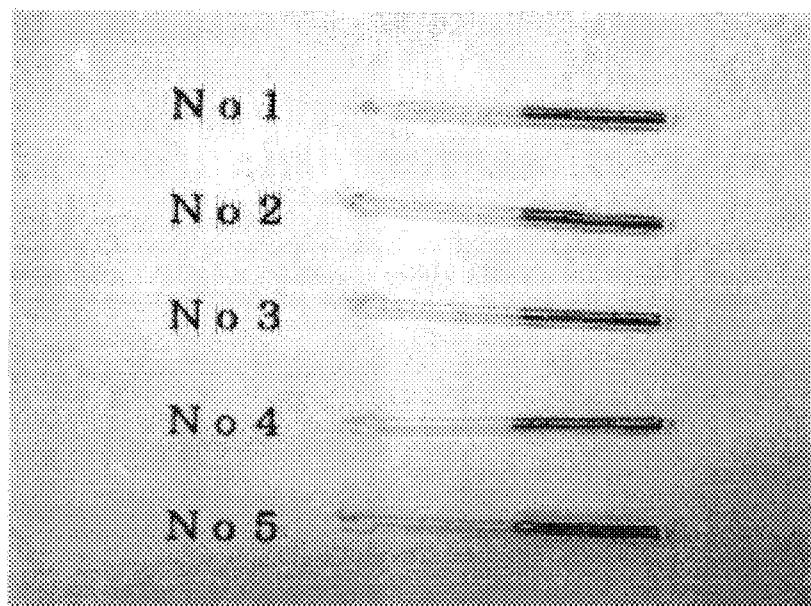
	40 mm 以下	± 0. 5 mm
40 mm を超え	80 mm 以下	± 1. 0 mm
80 mm を超え	200 mm 以下	± 2. 5 mm
200 mm を超え	1000 mm 以下	+ 3 mm - 10 mm
1000 mm を超え	5000 mm 以下	+ 5 mm - 15 mm
5000 mm を超える		+ 8 mm - 20 mm

付録4：温度モニタの製作

温度モニタ製作図面



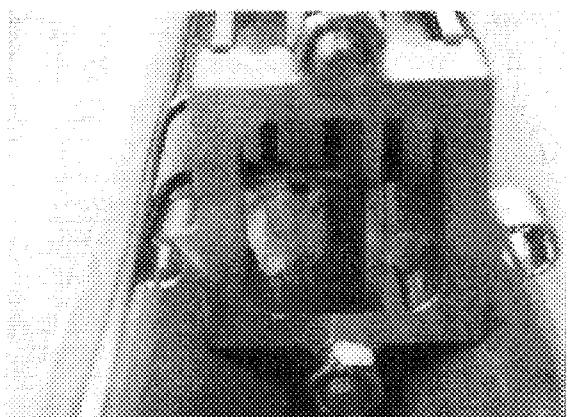
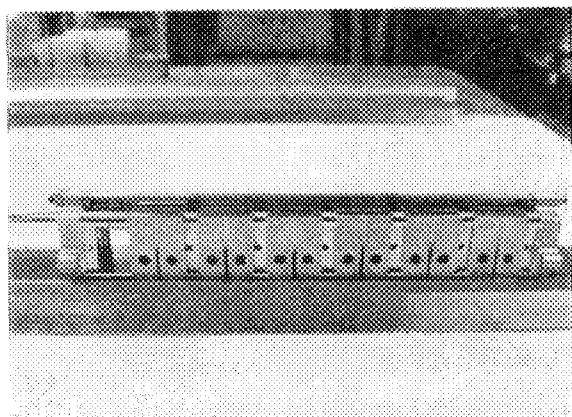
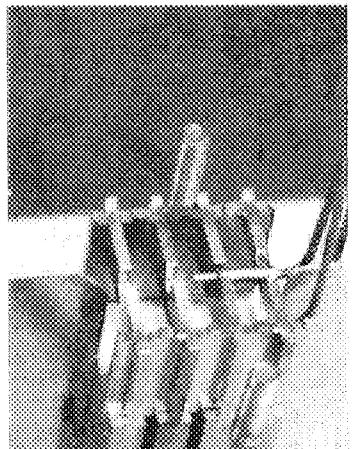
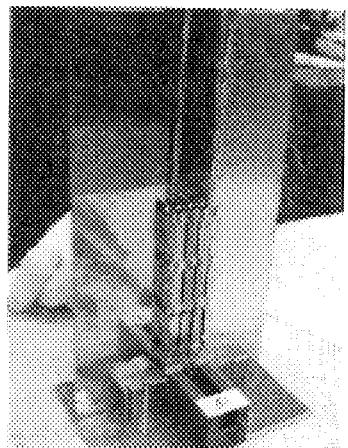
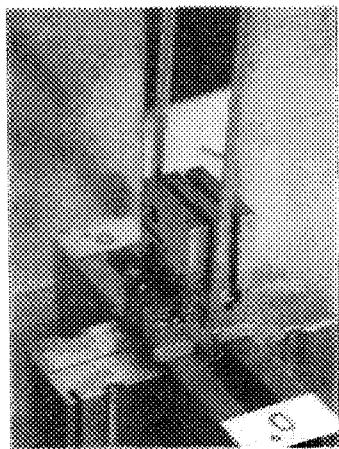
温度モニタ完成写真



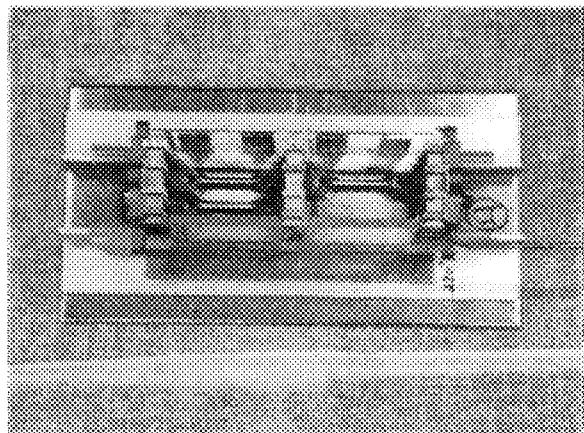
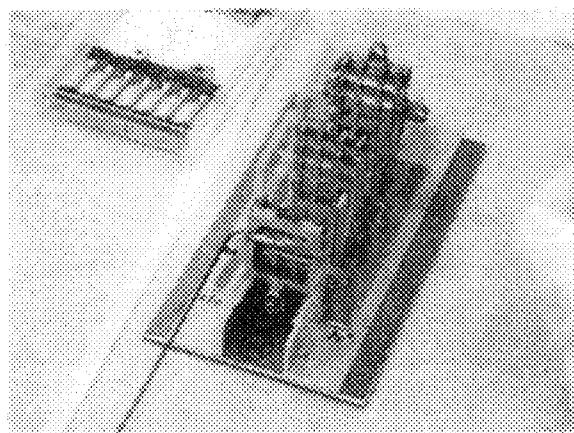
付録5：組立中外観写真

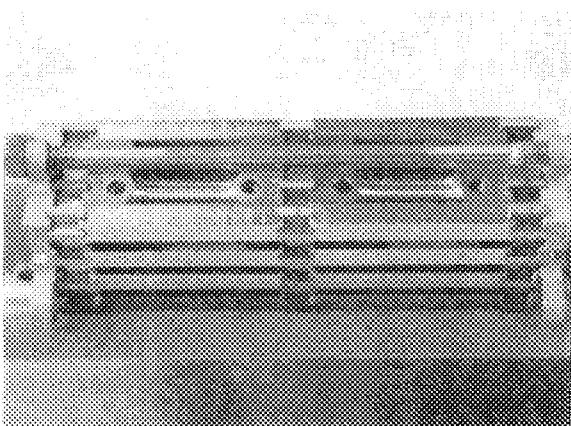
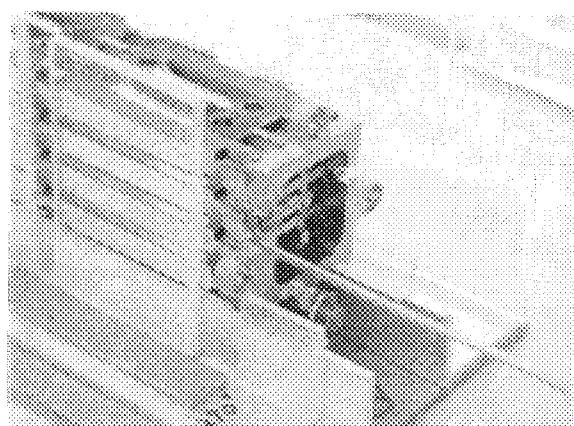
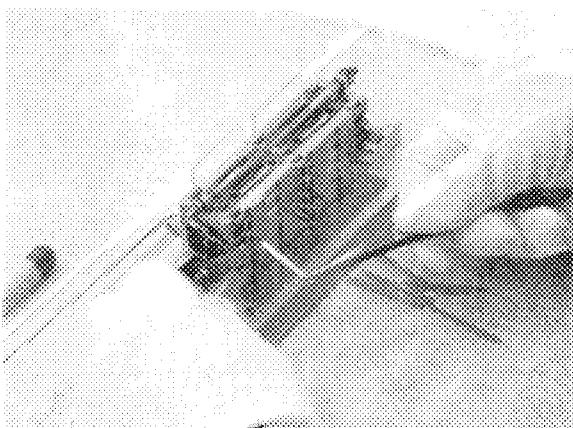
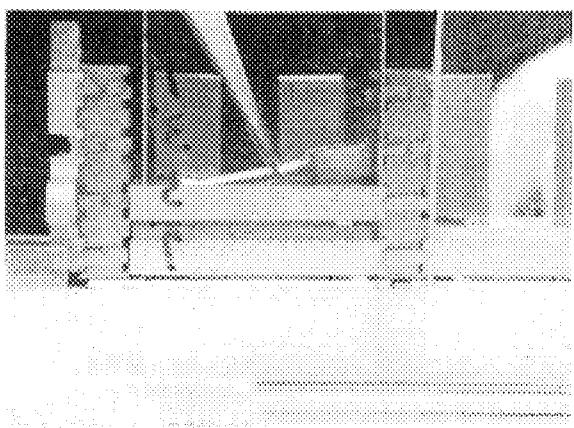
5.1. 試料組み込み
(P 62～P 65 参照)

0. 4 T - C T (B = 5. 6 mm) 試験片の装荷

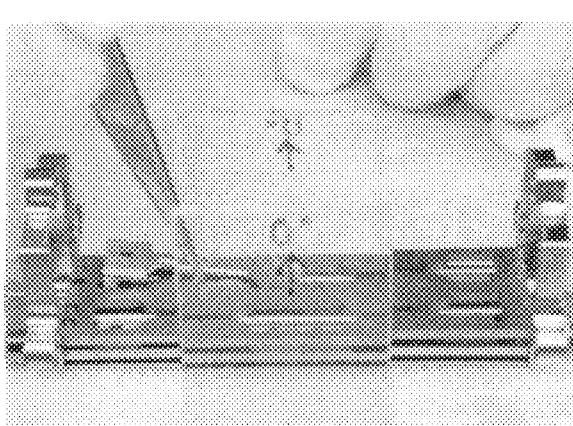
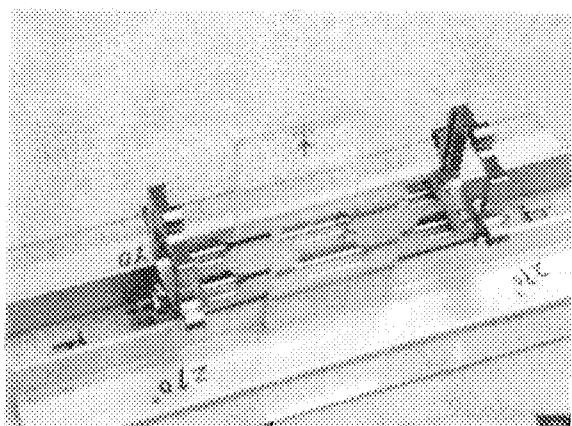


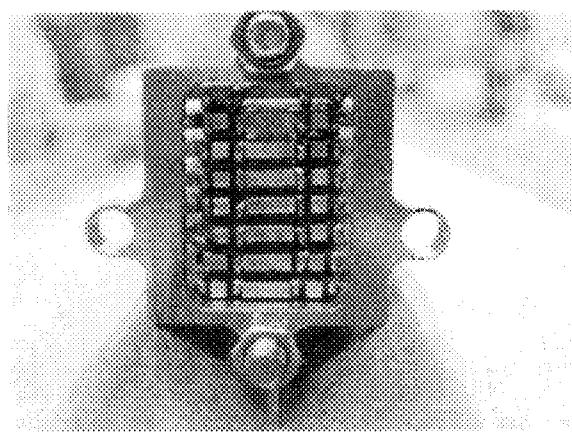
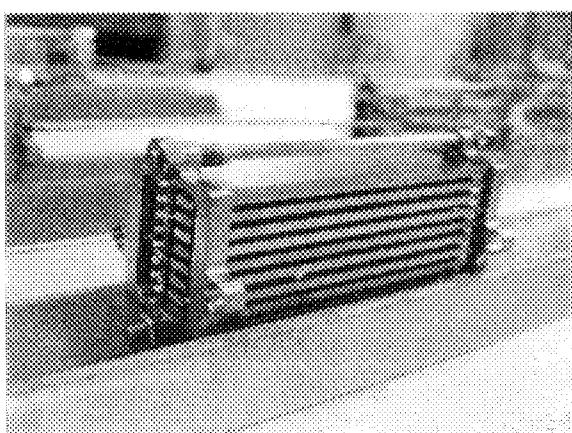
S S R T 試験片の装荷



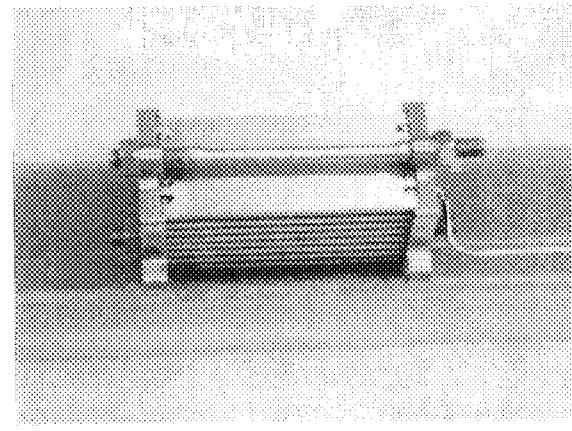
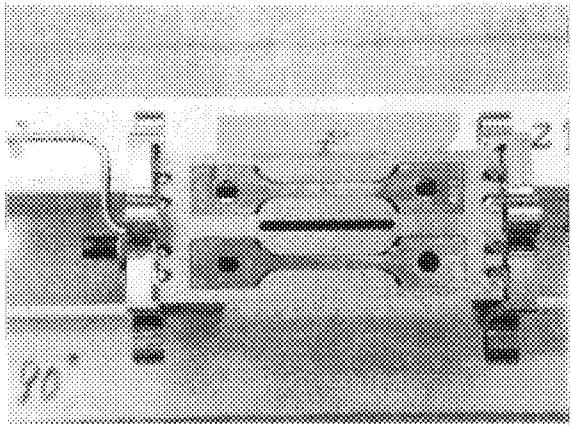
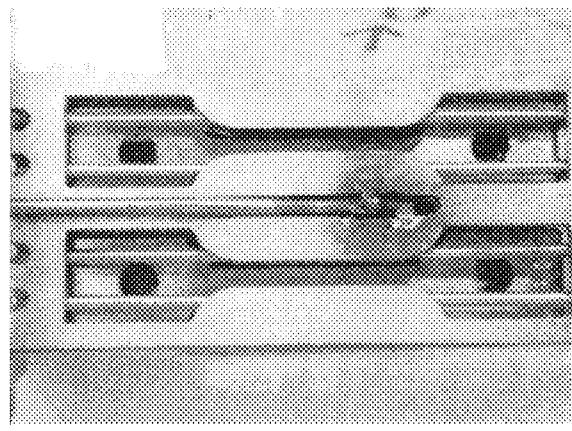
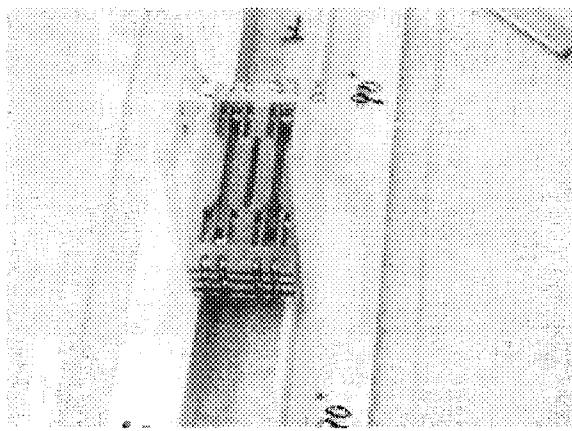


U C L 試験片の装荷

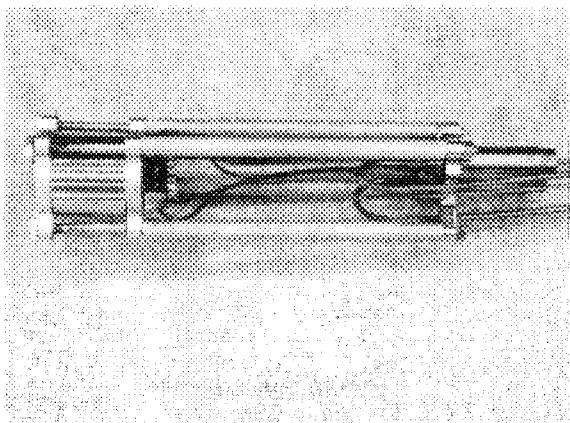




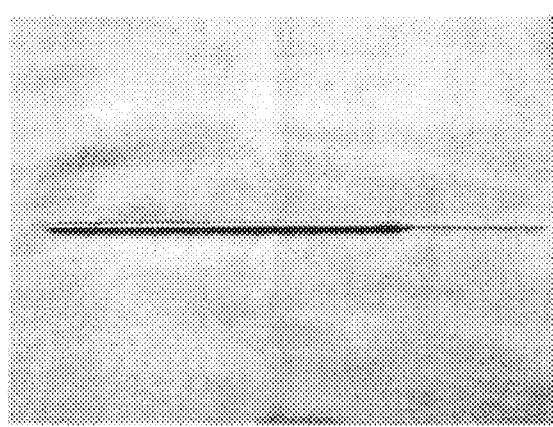
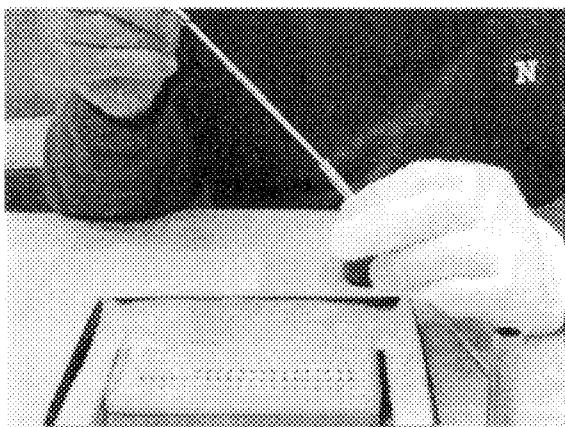
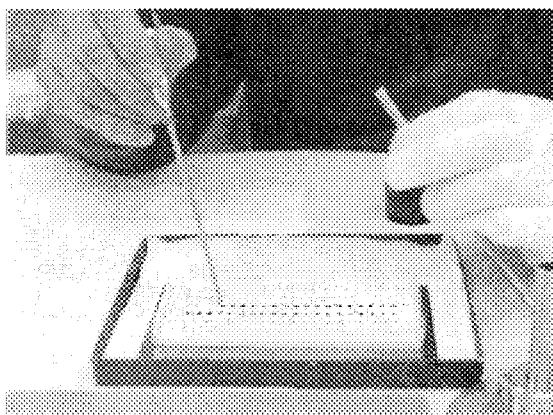
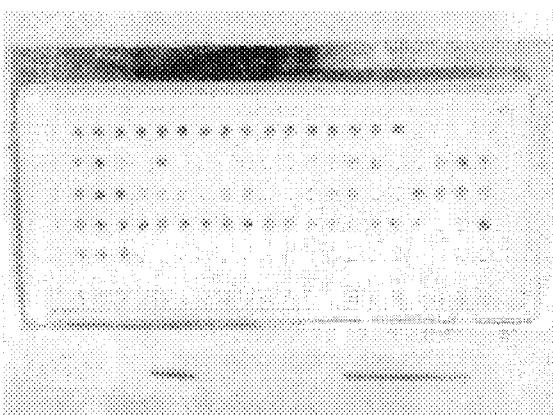
平板試験片の装荷



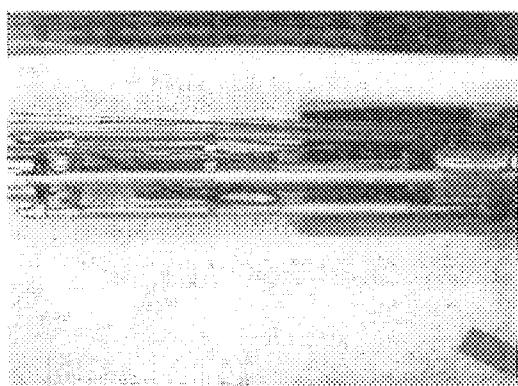
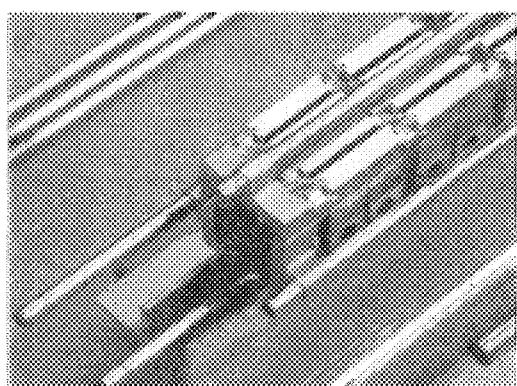
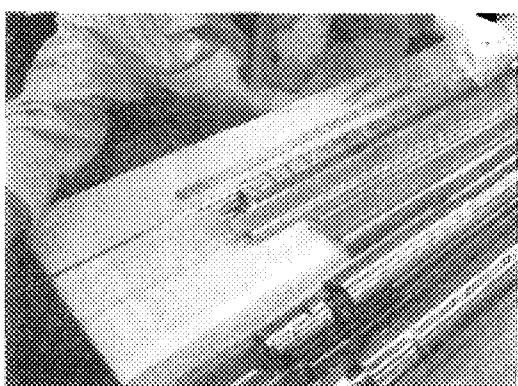
電位差測定試験部



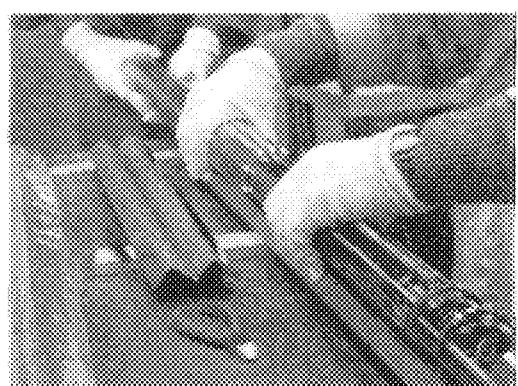
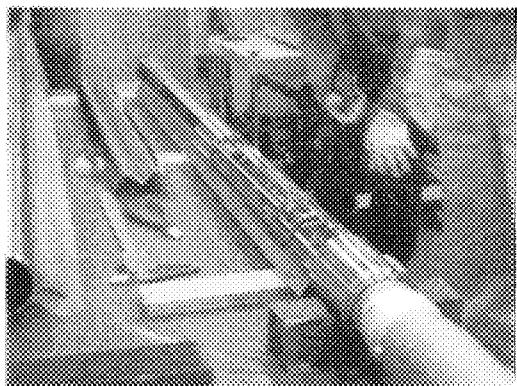
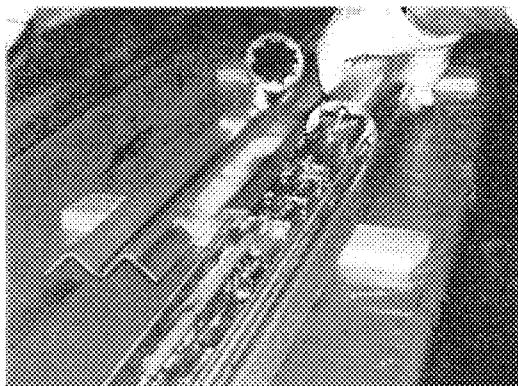
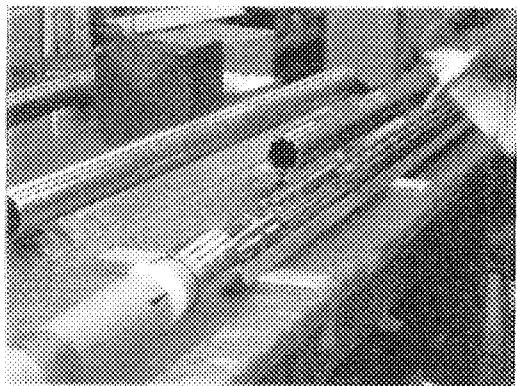
TEM試験片の装荷



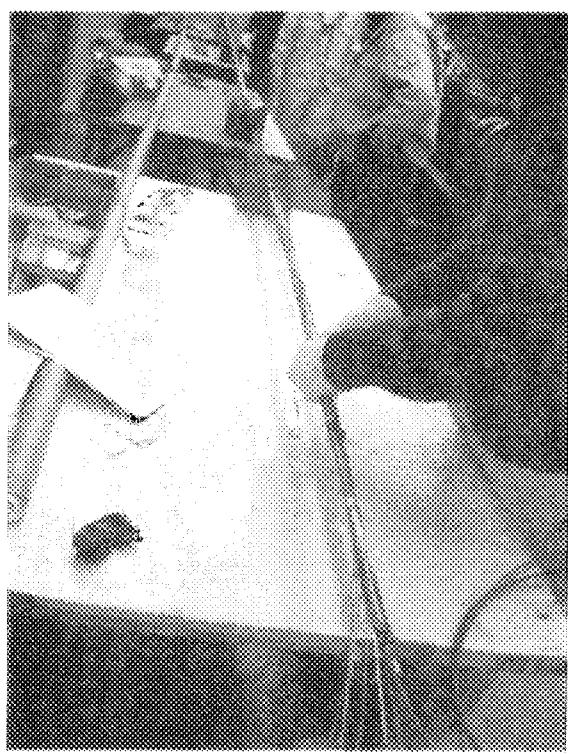
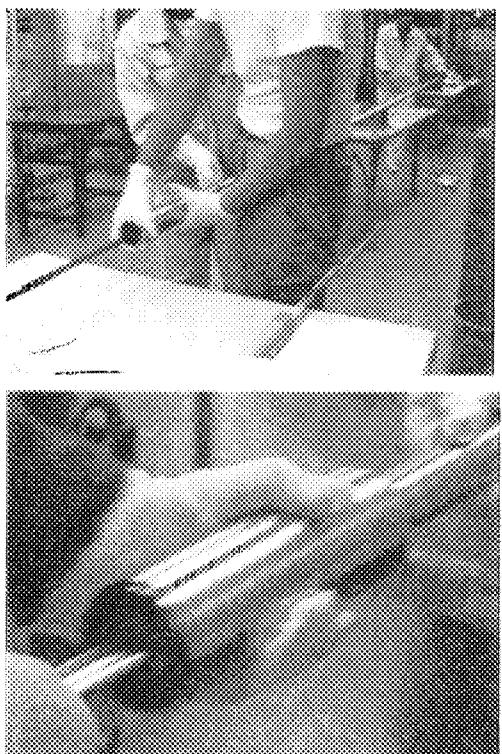
5.2. 支柱組み込み



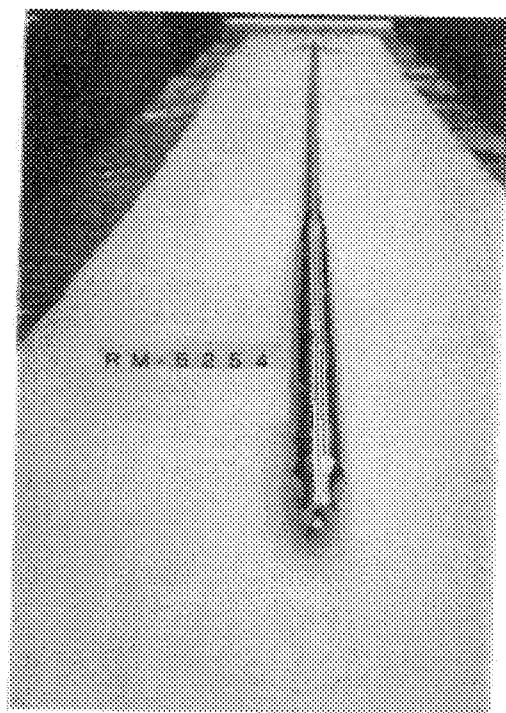
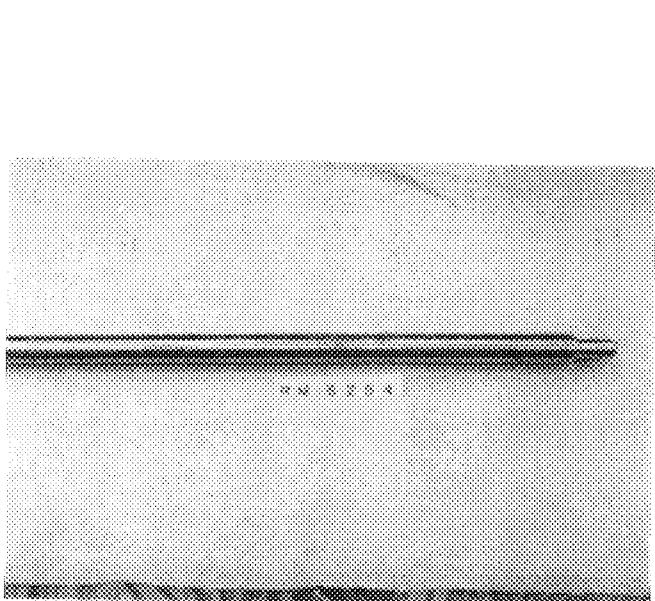
5.3. 外筒および熱媒体組み込み



5.4. 保護管組立



付録6：キャプセル外観写真



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 質 時 間 電 流 熱力学温度 物 質 光 度 平 面 角 立 体 角	メートル キログラム 秒 アンペア ペルビン モル カンデラ ラジアン ステラジアン	m kg s A K mol cd rad 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 力	ヘルツ ニュートン	Hz N	s ⁻¹ m·kg/s ²
圧 力 , 応 力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 热量	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	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	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
線量等量	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

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

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、1eVおよび1u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す場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- E C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 $1 \text{ Pa}\cdot\text{s}(\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2)=10 \text{ P(ボアズ)}(\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$

動粘度 $1 \text{ m}^2/\text{s}=10^4 \text{ St(ストークス)}(\text{cm}^2/\text{s})$

圧 力	MPa(=10bar)	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 = 4.18605J (計量法)
	1	0.101972	2.77778×10 ⁻⁷	0.238889	9.47813×10 ⁻⁴	0.737562	6.24150×10 ¹⁸	= 4.184J (熱化学)
	9.80665	1	2.72407×10 ⁻⁶	2.34270	9.29487×10 ⁻³	7.23301	6.12082×10 ¹⁹	= 4.1855J (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	= 4.1868J (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(仮馬力)
	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	= 735.499W
	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	吸 収 線 量	Gy	rad
	1	2.70270×10 ⁻¹¹		1	100
	3.7×10 ¹⁰	1		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

(86年12月26日現在)

