

JAERI-Tech
97-042



OSF-1炉内管のHe-3ガススクリーン付仕切管の製作

1997年9月

菅野 勝・小山 昇・石井忠彦・中崎長三郎・荒瀬 功

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（〒319-11 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公済会資料センター（〒319-11 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 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1997

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 (株)高野高速印刷

OSF-1 炉内管のHe-3ガススクリーン付仕切管の製作

日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部

菅野 勝・小山 昇・石井 忠彦⁺・中崎長三郎・荒瀬 功

(1997年7月31日受理)

JMTRでは、昭和56年に出力急昇試験設備を整備し、以来安全性研究用燃料試料、BWR高性能燃料、BWR高燃焼度燃料等の出力急昇試験を実施してきている。

出力急昇試験設備のうち、OSF-1 炉内管の仕切管の燃料試料周囲に配置したHe-3ガススクリーンは、高燃焼した燃料でも高出力の急昇試験に対応できるよう昭和63年に材料を従来のステンレス鋼製から中性子吸収の少ないアルミニウム合金製に交換して、出力急昇試験に供してきた。アルミニウム合金製のHe-3ガススクリーンの長期間使用においては、He-3ガス圧力の変化による繰り返し荷重を受けるため疲労等による寿命が懸念され、平成4年度に更新の検討を開始した。本報告書は、平成4年度から8年度にかけて設計・製作、現地更新工事を実施し、平成9年度の性能試験をもって完了するOSF-1 炉内管のHe-3ガススクリーン付仕切管について、これまで行ってきた設計・製作についてまとめたものである。

この報告書は、電源開発促進対策特別会計法に基づく科学技術庁からの受託として行った研究成果の一部である。

大洗研究所：〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町新堀3607

+ 安全管理室

Design and Fabrication of Flow Partition Tube with He-3 Gas Screen for OSF-1

Masaru KANNO, Noboru OYAMA, Tadahiko ISHII,
Chousaburo NAKAZAKI and Isao ARASE

Department of JMTR
Oarai Reserch Establishment
Japan Atomic Energy Reserch Institute
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received July 31, 1997)

The power ramp tests facility, OSF-1(Oarai shroud Facility-1) was equipped in the JMTR(Japan Materials Testing Reactor) in 1981 fiscal year, and the power ramp tests are being carried out for BWR high performance fuels, BWR high burn-up fuels and fuels for the safety study since then.

The material of the He-3 gas screen which is installed in the flow partition tube of OSF-1 and which surrounds the fuel sample was exchange from stainless steel into aluminum alloy which neutron absorption cross section is smaller than that of stainless steel in 1988 so that the OSF-1 could deal with the high power ramp test for even highly burn-up fuels. However, in case of long-term usage of the He-3 gas screen made of aluminum alloy, the problem of its life time by fatigue is apprehended because it receive the repeated load by changing the inner pressure. Therefore the replacement program was started in 1992 fiscal year.

This report describes the design, fabrication and installation activities of the flow partition tube with He-3 gas screen conducted from 1992 to 1996. The performance test is carried out in 1997.

This work was carried out by the Japan Atomic Energy Research Institute(JAERI)under entrustment by the Science and Technology Agency(STA) of Japan.

+ Office of Safety and Control

目 次

1. 序 論	1
2. 設 計	2
2.1 設計方針	2
2.2 検討事項	2
2.3 検討結果	2
3. 疲労設計	5
3.1 疲労の考え方	5
3.2 ガススクリーン試験体を使用した疲労試験及び疲労解析	5
3.3 ガススクリーン試験体の疲労試験後の金相試験	6
3.4 ガススクリーン溶接部の強度確認試験	6
4. 耐震・応力解析	6
4.1 耐震計算の考え方	6
4.2 応力解析	6
4.3 解析の結果	7
5. 製 作	7
5.1 平成6年度の製作	7
5.2 平成7年度の製作	8
5.3 平成8年度の製作	9
6. 検 査	10
7. 現地更新作業	10
7.1 現地工事における検討	11
7.2 仕切管保管容器等の保管及びカナルNo.1内使用済炉内管の整理作業	11
8. 性能試験	11
8.1 コールドラン試験方案	12
8.2 ホットラン試験方案	12
8.3 評価基準	13
8.4 コールドラン試験結果	13
9. 結 言	14
謝 辞	14
参考文献	15

Contents

1. Introduction	1
2. Design of Flow Partition Tube	2
2.1 Design Policy	2
2.2 Matters to be Studied	2
2.3 Results of Design Study	2
3. Fatigue Design	5
3.1 Evaluation of Fatigue	5
3.2 Fatigue Test and Fatigue Analysis with Gas Screen Tube	5
3.3 Metallographic Test on the Gas Screen Tube after Fatigue Test	6
3.4 Strength Test of Butt Joint in Gas Screen Tube	6
4. Earthquake-proof Analysis and Stress Analysis	6
4.1 Philosophys Utilized in Earthquake-proof Design	6
4.2 Stress Analysis	6
4.3 Results of Analysis	7
5. Fabrication of Gas Screen Tube	7
5.1 Fabrication Carried out in FY1994	7
5.2 Fabrication Work Done in FY1995	8
5.3 Fabrication Work Conducted in FY1996	9
6. Inspections	10
7. Field Assembly Work in the JMTR	10
7.1 Study on Problem Occured during the Work	11
7.2 Storage of Container for Partition Tube and Arrangement of In-reactor Tubes Removed on the Bottom of Canal No.1	11
8. Performance Test	11
8.1 Cold Run Test	12
8.2 Hot Run Test	12
8.3 Criteria for Performance Evaluation	13
8.4 Results of Cold Run Test	13
9. Conclusions	14
Acknowledgements	14
References	15

1. 序 論

わが国では、軽水炉燃料の高燃焼度化を達成するため、設計改良を施した軽水炉燃料を実機プラントに装荷して、その健全性を確認する「高燃焼度等燃料確認試験」が官民一体で行われている。

JMTRにおいては、昭和56年に出力急昇試験設備を整備し^{1) 2) 3)}その後、昭和63年に高性能化（炉内管のジルカロイ化）を図る等改良を加え、BWR高性能燃料の出力急昇試験を実施してきており、引き続き平成5年度からはBWR高燃焼度燃料の出力急昇試験を実施している。出力急昇試験設備の全体構成を第1図に示す。出力急昇試験設備は、燃料試料を装荷した沸騰水キャプセル（以下、BOCAという）内をBWR条件にする加圧水の圧力及び通水の制御と燃料破損を検出するキャプセル制御装置、中性子吸収効果の大きいHe-3ガスを充填したHe-3ガススクリーン（以下「ガススクリーン」という）の圧力制御を行うヘリウム-3出力可変装置、BOCAを冷却するOSF-1冷却系及びキャプセル交換機等より構成されている。

本仕切管のガススクリーン（アルミニウム合金製）は出力急昇試験の都度、He-3ガス圧力の変化（最大3.92 MPa）による繰返し荷重を受ける。また頻繁に長尺（約8m）のBOCAが挿入・取り出しされ、ガススクリーン内面と接触を繰返す。そのため疲労による寿命評価の検討やボアスコープによるガススクリーン内面の観察等を実施してきた。とりわけ、疲労については昭和63年に炉内管の材質をジルカロイ化した時に1万回までの繰返し荷重に対する健全性を評価しており、平成7年度に1万回を越えることが予想された。また、ボアスコープによるガススクリーン内面観察の結果、擦り傷や腐食と思われる状況が観察されている。そのためガススクリーンを含む新仕切管製作の検討を進め、更新することとしたものである。なお、ガススクリーンの中性子照射量は、昭和63年のOSF-1炉内管更新後のJMTR運転第83サイクルから平成8年度の第119サイクルまでで約 2.2×10^{21} nvt (> 1 Mev) である。また、アルミニウムの中性子照射に係る寿命は 1.6×10^{22} nvt (> 1 Mev) である。

BWR高燃焼度燃料の出力急昇試験は既存の燃料出力急昇試験設備を用いて行われるため、構成機器のうち、試験期間中に使用寿命に到達するヘリウム-3出力可変装置のバルブユニット、圧力調整用ベローズ、OSF-1炉内管のHe-3ガススクリーン付仕切管（以下「仕切管」という）を更新することとした。このうち、バルブユニットの更新は平成5年度に、圧力調整用ベローズは平成7年度に終了した。

仕切管更新については、平成4年度、5年度に設計検討、平成6年度から8年度に製作を行い、平成9年度の性能試験をもって完了する計画である。製作に当たっての検討では、疲労評価、応力評価等の検討を行った。当初平成7年度に予定していた現地更新工事を、計画の変更で平成8年度に実施した。この間、出力急昇試験の予定を変更し、ガススクリーンにかかる疲労を軽減して、疲労寿命の延命化を図った。平成4年度から平成8年度までの製作の経緯を第1表に示す。

また、出力急昇試験設備は、今回の更新以前にも性能向上等を目的として変更してきた。初期のOSF-1炉内管は、OSF-1照射設備とともに昭和58年度に製作された。その後、昭和63年度に出力急昇試験性能の向上を目的として、炉内管（圧力管）をこれまでのステンレス鋼製から中性子吸収の小さいジルコニウム合金製へ変更するとともに仕切管のガススクリーン部につい

でも同様にステンレス鋼製からアルミニウム合金製に変更し、中性子密度の増強を図った。更にこの時期に、試料発熱量測定精度向上やHe-3ガス降圧速度（出力急昇速度）の増大、キャプセル交換時の作業性改善等の改良が加えられた。以降第83サイクルから第119サイクルまで順調に出力急昇試験が行われた。第87サイクルには1000回の出力サイクリック試験も行われた。これまで行ってきた出力急昇試験設備の変更の経緯を第2表に示す。

本報告書は、仕切管の設計、製作及び更新工事に関して検討した事項等をまとめ、考察を加えたものである。なお、本仕切管の製作は、科技庁からの受託事業として行われたものである。

2. 設 計

2. 1 設計方針

(1) 疲労寿命についての評価

アルミニウム合金製ガススクリーンの強度評価において、試験研究の用に供する原子炉等の設計及び工事の方法の技術基準に関する総理府令に基づいて準備されている基準（以下、「試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準」という）でアルミニウム合金の設計疲労曲線が定義されているため、これに基づいてガススクリーンの疲労寿命についての評価を行った。

(2) 耐震設計

新しい耐震設計の考え方に基づいて、耐震設計計算の見直しを行った。

(3) 応力評価等

仕切管のガススクリーンは二重円筒容器の溶接構造物であることから、評価断面に発生する応力の評価及び許容値の考え方について検討を実施した。また熱計算、放射線遮蔽計算等を行った。

2. 2 検討事項

設計に当たって仕切管に要求される性能及び機能として、以下に示す事を検討した。

(1) 中性子吸収が小さい材料の選択

(2) ガススクリーン内の圧力変化を迅速に行うための方法（ガススクリーン配管の形状及びガススクリーン配管とガススクリーンを接続する方法（摩擦圧接継手））の検討

(3) 精密温度測定を行うための検討

(4) 仕切管内を長尺のキャプセルが挿入・取り出しされるため、真直度を確保するための検討

(5) 耐食アルミニウム合金の溶接方法の検討

(6) He-3ガスの炉心での中性子吸収により発生するトリチウムが系外に漏洩しない構造の検討

(7) 疲労、中性子寿命等に対する強度確保のための材料の選択

2. 3 検討結果

仕切管に要求される性能等を考慮し、以下に示す検討を行い設計を進めた。

(1) ガススクリーン材料の選択

でも同様にステンレス鋼製からアルミニウム合金製に変更し、中性子密度の増強を図った。更にこの時期に、試料発熱量測定精度向上やHe-3ガス降圧速度（出力急昇速度）の増大、キャプセル交換時の作業性改善等の改良が加えられた。以降第83サイクルから第119サイクルまで順調に出力急昇試験が行われた。第87サイクルには1000回の出力サイクリック試験も行われた。これまで行ってきた出力急昇試験設備の変更の経緯を第2表に示す。

本報告書は、仕切管の設計、製作及び更新工事に関して検討した事項等をまとめ、考察を加えたものである。なお、本仕切管の製作は、科技庁からの受託事業として行われたものである。

2. 設 計

2. 1 設計方針

(1)疲労寿命についての評価

アルミニウム合金製ガススクリーンの強度評価において、試験研究の用に供する原子炉等の設計及び工事の方法の技術基準に関する総理府令に基づいて準備されている基準（以下、「試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準」という）でアルミニウム合金の設計疲労曲線が定義されているため、これに基づいてガススクリーンの疲労寿命についての評価を行った。

(2)耐震設計

新しい耐震設計の考え方に基づいて、耐震設計計算の見直しを行った。

(3)応力評価等

仕切管のガススクリーンは二重円筒容器の溶接構造物であることから、評価断面に発生する応力の評価及び許容値の考え方について検討を実施した。また熱計算、放射線遮蔽計算等を行った。

2. 2 検討事項

設計に当たって仕切管に要求される性能及び機能として、以下に示す事を検討した。

(1)中性子吸収が小さい材料の選択

(2)ガススクリーン内の圧力変化を迅速に行うための方法（ガススクリーン配管の形状及びガススクリーン配管とガススクリーンを接続する方法（摩擦圧接継手））の検討

(3)精密温度測定を行うための検討

(4)仕切管内を長尺のキャプセルが挿入・取り出しされるため、真直度を確保するための検討

(5)耐食アルミニウム合金の溶接方法の検討

(6)He-3ガスの炉心での中性子吸収により発生するトリチウムが系外に漏洩しない構造の検討

(7)疲労、中性子寿命等に対する強度確保のための材料の選択

2. 3 検討結果

仕切管に要求される性能等を考慮し、以下に示す検討を行い設計を進めた。

(1)ガススクリーン材料の選択

昭和63年にO S F - 1 炉内管をジルカロイ化するにあたって、仕切管の材料、特に燃料試料の中性子密度の増強を図るためのガススクリーン材料について、試作試験等を行いながら検討を行っている。その結果、ガススクリーン材料を炉内管と同材料のジルカロイにすることは水素の打ち込みによる脆化の問題があり、ジルカロイにアルミニウムのコーティングをする等の方法が検討され、それらの結論として、アルミニウム合金をガススクリーン材料として選択している。

一般的にアルミニウム合金は、中性子吸収が少なく、耐食性、加工性、強度等に優れており、溶接についても実績がある。アルミニウムをガススクリーン材料として使用することは、中性子吸収の観点からは良好であるが、強度及び傷の発生しやすさ等を考慮する必要があった。そのため、前回の検討を踏まえて考慮した結果、今回も既設のガススクリーンと同じアルミニウム合金(A6061BE-T6)を選択し、合わせてその構造の検討を行った。

前回使用したガススクリーン材料はアルミニウム合金の押出棒から製作したものであるが、この押出棒は特有のグレーングロス（素材の外周近傍が極度に結晶粒度が大きくなる）の問題が生ずるので、今回はその問題を解消すべく検討を行い、素材の製造の改善を図ることとした。

(2)ガススクリーンとガススクリーン配管の接続方法（摩擦圧接継手）

アルミニウム合金製のガススクリーンに供給または排気されるHe-3ガスは、炉外のヘリウム-3出力可変装置からステンレス鋼製のガススクリーン配管を通過して給排気されるため、アルミニウム合金製のガススクリーンとガススクリーン配管の接続は異種金属の接合が必要となる。しかし小口径配管部分での異種金属の接続は構造上困難であるため、強度を必要としない箇所、即ち、厚肉構造が可能なガススクリーンの上部にステンレス鋼製の頭板を設け、その頭板をアルミニウム合金と摩擦圧接によって接続することとした。ステンレス鋼製のガススクリーン配管は、このステンレス鋼製の頭板とティグ溶接され、頭板を介してHe-3ガスがガススクリーンに供給または排気するようにした。設計の考え方としては、摩擦圧接部ではシールのみを期待し、強度はガススクリーンと流路仕切管を接続しているボルトで保持する構造とした。

(3)精密温度測定の方法

本仕切管内に挿入されたBOCA内の燃料試料の出力評価は、出入口水のわずか数度程度の温度差を検出して行うため、高精度の温度測定技術が要求される。そのため以下に示す方法により測温体の管理を行った。

- ①製作メーカーにおいて、熱電対の先端部の放射線透過撮影による先端部のシースの厚さ、シース先端部から素線までの長さの測定。
- ②熱電対の仕切管への取付けにおいては、前項の結果を基に熱電対を熱電対取り付け座に溶接した後、熱電対取り付け座を仕切管に溶接した。このことにより熱電対の差し込み長さを同一に管理するとともに、冷却水のバイパス流を防止する構造とした。
- ③高精度の温度測定を行うために、製作メーカーで製作時に熱電対1本毎に精密校正を行い、その起電力特性そのものを温度評価に用いることとした。

(4)真直度の確保

本仕切管の製作に当たって、真直度の確保は重要な設計因子であるため、仕切管全体の目標値を $1/2000$ と定め、部品の製作、組立品の段階から注意を払い製作した。組立の必要な段階で真直度検査を行いながら製作を進めた。仕切管の完成時には、目標値の $1/2000$ 以上の真直度を確保することができた。

また、本製作品のうち、流路仕切管は薄肉長尺物であるため管内面の加工は、真直度及び真円度を要求する孔明けに有効なBTA法(Boring and Trepanning Association)を採用した。

(5)耐食アルミニウム合金の溶接方法

一般的に、耐食アルミニウム合金を溶接する場合の注意すべき事項としては、次のようなことが考えられる。

- ①ブローホールやマイクロクラックが発生しやすい。
- ②熱による膨張・収縮が鋼の約2倍で、溶接による歪みが発生しやすい。
- ③溶接による熱影響で母材の機械的性質は低下し、溶接継手強度はO材(焼きなまし材)の強度になる。

以上のことを考慮し、試験体を用いた確証試験を行い、その結果を設計や溶接施工等に反映させることとした。確証試験では、溶接におけるブローホールやマイクロクラックが強度に与える影響の調査及び耐食アルミニウム合金溶接部の強度確認試験等を行った。(検討の詳細は3.3項、3.4項に示す) 検討の結果、溶接は強度、継手性能、真直度の確保等に優れている電子ビーム溶接を採用することとした。更に溶接前にはテストピースを用いた溶接条件の検討を行うとともに開先形状、開先面の清浄度等を良く確認して行うこととした。

(6)トリチウムが系外に漏洩しない構造の検討

アルミニウム合金(ガススクリーン部)の溶接方法については、前述したような注意を払って行ったが、その他の部分の組立て方法や現地作業の取り合い部の接続方法についても、系外にトリチウムガス*が漏洩しないような構造を検討するとともに、ほとんどの箇所は溶接によることとした。一部既設装置との取り合い部分で溶接ができない箇所は十分な実績のある機械式継手を採用した。

(7)疲労、中性子寿命に対する強度確保のための材料の選択

疲労、中性子寿命を考慮しなければならない箇所であるガススクリーン部の材料の選択については、前回製作時に種々の確証試験や検討した結果を踏まえ、今回も前回と同様、強度の優れた熱処理型アルミニウム合金A6061BE-T6を採用することとした。

これらの事を検討した結果、仕切管は、昭和63年度に更新したものとほぼ同一構造のものとする事とした。また今回は、更新の際、現地取り合い部分になる熱電対取出ノズルも製作することとした。更新の範囲を第2図に示す。なお、製作過程において更に詳細な検討を行った事項については5.1項以降で述べる。

* He-3 が中性子を吸収してトリチウムになる。

設計条件のうち機器設計条件、設計仕様等を第3表に示す。ガススクリーン、ガススクリーン配管、流路仕切管の構造を第3図に、熱電対取出しノズルの構造を第4図に示す。なお、主要な溶接箇所は第3図、第4図に示す。

3. 疲労設計

ガススクリーンはアルミニウム合金製の薄肉二重円筒容器であること、その溶接構造は印籠構造であることから、製作に先立って、設計した仕切管の妥当性について確認試験を行った。確認試験は実機と同一条件で製作したガススクリーン（以下、ガススクリーン試験体という）を使用して、41万回に及ぶ炉外疲労試験、疲労試験後の金相試験、溶接部の強度確認試験等を行った。

3. 1 疲労の考え方

今回製作したガススクリーンの材質はアルミニウム合金の押出棒の熱処理型合金(A6061BE-T6)である。

試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準を適用して、ガススクリーン（アルミニウム合金）の疲労寿命を評価すると、許容繰返し回数は約1万回になる。昭和63年度にOSF-1炉内管をジルカロイ化した際のガススクリーンの疲労評価時の許容繰返し回数も1万回であることから、疲労評価については、この基準を適用して設計・製作することによって、ガススクリーンの健全性は十分担保されると考えられる。試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準で定められた設計疲れ線図を第5図に示す。

3. 2 ガススクリーン試験体を使用した疲労試験及び疲労解析

設計の段階でガススクリーンの疲労寿命を1万回と評価したが、ガススクリーン試験体を使用して実機と同様な条件で炉外疲労試験を行い、その結果を基に疲労解析を実施した。ガススクリーン試験体疲労試験装置の概要を第6図に示す。疲労解析は、「ASME SECTION III, APPENDIX II, ARTICLE II-1000 EXPERIMENTAL STRESS ANALYSIS」を準用して行った。それによると疲労試験結果の合格基準は、「疲労試験において、試験部材が破損するまでの繰返し数が最小試験繰返し数（本試験の場合は41万回）を超えること。ただし、破損とは、圧力保持部材に測定可能な漏れを生ずるような肉厚全体にわたる割れの伝播をいう」となっている。

疲労試験において、試験体は耐圧漏洩試験により健全であると確認され、ASME SECTION IIIで定める最小試験繰返し数は41万回となり、これによりガススクリーン試験体の許容繰返し回数は、75,000回相当と評価された⁴⁾。

この疲労試験にあたっては、ガススクリーン試験体に歪みゲージを貼り付け各部の歪み測定も実施した。その結果、試験体や歪みゲージの異常は認められなかった。歪みゲージ貼付箇所を第7図に示す。

これらの結果から、実際的には、上述程度の疲労強度を有していると考えられるが、3. 1項で述べた試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準を適用して評価した疲労寿命1万回は、保守的で安全側であると考えられる。

設計条件のうち機器設計条件、設計仕様等を第3表に示す。ガススクリーン、ガススクリーン配管、流路仕切管の構造を第3図に、熱電対取出しノズルの構造を第4図に示す。なお、主要な溶接箇所は第3図、第4図に示す。

3. 疲労設計

ガススクリーンはアルミニウム合金製の薄肉二重円筒容器であること、その溶接構造は印籠構造であることから、製作に先立って、設計した仕切管の妥当性について確証試験を行った。確証試験は実機と同一条件で製作したガススクリーン（以下、ガススクリーン試験体という）を使用して、41万回に及ぶ炉外疲労試験、疲労試験後の金相試験、溶接部の強度確認試験等を行った。

3. 1 疲労の考え方

今回製作したガススクリーンの材質はアルミニウム合金の押出棒の熱処理型合金(A6061BE-T6)である。

試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準を適用して、ガススクリーン（アルミニウム合金）の疲労寿命を評価すると、許容繰返し回数は約1万回になる。昭和63年度にOSF-1炉内管をジルカロイ化した際のガススクリーンの疲労評価時の許容繰返し回数も1万回であることから、疲労評価については、この基準を適用して設計・製作することによって、ガススクリーンの健全性は十分担保されると考えられる。試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準で定められた設計疲れ線図を第5図に示す。

3. 2 ガススクリーン試験体を使用した疲労試験及び疲労解析

設計の段階でガススクリーンの疲労寿命を1万回と評価したが、ガススクリーン試験体を使用して実機と同様な条件で炉外疲労試験を行い、その結果を基に疲労解析を実施した。ガススクリーン試験体疲労試験装置の概要を第6図に示す。疲労解析は、「ASME SECTION III, APPENDIX II, ARTICLE II-1000 EXPERIMENTAL STRESS ANALYSIS」を準用して行った。それによると疲労試験結果の合格基準は、「疲労試験において、試験部材が破損するまでの繰返し数が最小試験繰返し数（本試験の場合は41万回）を超えること。ただし、破損とは、圧力保持部材に測定可能な漏れを生ずるような肉厚全体にわたる割れの伝播をいう」となっている。

疲労試験において、試験体は耐圧漏洩試験により健全であると確認され、ASME SECTION IIIで定める最小試験繰返し数は41万回となり、これによりガススクリーン試験体の許容繰返し回数は、75,000回相当と評価された⁴⁾。

この疲労試験にあたっては、ガススクリーン試験体に歪みゲージを貼り付け各部の歪み測定も実施した。その結果、試験体や歪みゲージの異常は認められなかった。歪みゲージ貼付箇所を第7図に示す。

これらの結果から、実際的には、上述程度の疲労強度を有していると考えられるが、3. 1項で述べた試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準を適用して評価した疲労寿命1万回は、保守的で安全側であると考えられる。

3. 3 ガススクリーン試験体の疲労試験後の金相試験

ガススクリーンの材質であるA6061BE-T6アルミニウム合金の溶接は難しく、ティグ溶接はもとより電子ビーム溶接の場合でも、ブローホールや溶接熱影響部にマイクロクラックが発生する傾向がある。ガススクリーン試験体は疲労試験前に実施した放射線透過試験においてマイクロクラックは確認されなかったものの、微小ブローホールが多数確認されている。そのため、これらの溶接欠陥が疲労強度に与える影響を調べるため、疲労試験後のガススクリーン試験体について、電子ビーム溶接部を含む関心領域の放射線透過試験、浸透探傷検査及び金相試験を実施した。その結果、電子ビーム溶接施工はほぼ良好と判断され、疲労による欠陥の有意な増大はないと判断された。その際、溶接部とその近傍の硬度測定を実施した結果、硬さ変化を生ずる範囲はかなり広範囲に及んでいることが判った。(3. 4項参照)

3. 4 ガススクリーン溶接部の強度確認試験

3. 3項の試験に引き続きガススクリーン試験体を使用し、電子ビーム溶接部及びその近傍部の熱影響による強度低下の程度を把握することを目的に、硬さ試験及び引張試験を実施した。

引張試験は、ガススクリーン試験体からワイヤーカット法による放電加工により切り出した微小試験片(長さ25mm, 平行部1.5mm×1.5mm)で実施した。その結果、この微小引張試験片は標準引張試験片の試験結果とほぼ同じ結果を示しており、形状による影響はほとんどないことを確認するとともに、溶着金属部は硬さ及び引張強さが最も低く、溶着金属部から離れるにつれて硬さ及び引張強さとも徐々に上昇し、母材(A6061BE-T6)の硬さ、引張強さになることが判った⁵⁾。溶接部付近の硬さの変化を生ずる範囲はかなり広範囲に及んでおり、熱伝導率の高いアルミニウム合金を使用する構造物の強度評価にあたっては、十分な配慮が必要であることが判った。電子ビーム溶接部(WS-6)からの距離に対する硬さの変化の一例を第8図に示す。

また、他の文献⁶⁾でも述べられているが、今回の試験でも硬さと引張強さは正の直線関係を示した。今回の試験で行った硬さと引張強さの関係を第9図に示す。

4. 耐震・応力解析

4. 1 耐震計算の考え方

大洗地区の耐震設計基準が見直され、新しい設計用床応答スペクトルを用いて耐震設計計算を行い検討した。新旧の設計用床応答スペクトルをそれぞれ第10図、第11図に、耐震計算上のモデルを第12図に示す。昭和63年のOSF-1炉内管のジルカロイ化時と今回の解析の結果を第4表、第5表に示す。

4. 2 応力解析

ガススクリーンは、二重円筒容器になっており、電子ビーム溶接によって組み立てられ、電子ビーム溶接部は、施工上の理由から印籠構造になっている。また二重円筒状圧力容器の構造上、溶接後に印籠部(裏当金に相当)の除去が出来ない特殊な溶接設計となっている。そのため応力評価にあたっては、応力の集中し易い箇所を検討対象とした。ガススクリーンの応力評

3. 3 ガススクリーン試験体の疲労試験後の金相試験

ガススクリーンの材質であるA6061BE-T6アルミニウム合金の溶接は難しく、ティグ溶接はもとより電子ビーム溶接の場合でも、ブローホールや溶接熱影響部にマイクロクラックが発生する傾向がある。ガススクリーン試験体は疲労試験前に実施した放射線透過試験においてマイクロクラックは確認されなかったものの、微小ブローホールが多数確認されている。そのため、これらの溶接欠陥が疲労強度に与える影響を調べるため、疲労試験後のガススクリーン試験体について、電子ビーム溶接部を含む関心領域の放射線透過試験、浸透探傷検査及び金相試験を実施した。その結果、電子ビーム溶接施工はほぼ良好と判断され、疲労による欠陥の有意な増大はないと判断された。その際、溶接部とその近傍の硬度測定を実施した結果、硬さ変化を生ずる範囲はかなり広範囲に及んでいることが判った。(3. 4項参照)

3. 4 ガススクリーン溶接部の強度確認試験

3. 3項の試験に引き続きガススクリーン試験体を使用し、電子ビーム溶接部及びその近傍部の熱影響による強度低下の程度を把握することを目的に、硬さ試験及び引張試験を実施した。

引張試験は、ガススクリーン試験体からワイヤーカット法による放電加工により切り出した微小試験片(長さ25mm, 平行部1.5mm×1.5mm)で実施した。その結果、この微小引張試験片は標準引張試験片の試験結果とほぼ同じ結果を示しており、形状による影響はほとんどないことを確認するとともに、溶着金属部は硬さ及び引張強さが最も低く、溶着金属部から離れるにつれて硬さ及び引張強さとも徐々に上昇し、母材(A6061BE-T6)の硬さ、引張強さになることが判った⁵⁾。溶接部付近の硬さの変化を生ずる範囲はかなり広範囲に及んでおり、熱伝導率の高いアルミニウム合金を使用する構造物の強度評価にあたっては、十分な配慮が必要であることが判った。電子ビーム溶接部(WS-6)からの距離に対する硬さの変化の一例を第8図に示す。

また、他の文献⁶⁾でも述べられているが、今回の試験でも硬さと引張強さは正の直線関係を示した。今回の試験で行った硬さと引張強さの関係を第9図に示す。

4. 耐震・応力解析

4. 1 耐震計算の考え方

大洗地区の耐震設計基準が見直され、新しい設計用床応答スペクトルを用いて耐震設計計算を行い検討した。新旧の設計用床応答スペクトルをそれぞれ第10図、第11図に、耐震計算上のモデルを第12図に示す。昭和63年のOSF-1炉内管のジルカロイ化時と今回の解析の結果を第4表、第5表に示す。

4. 2 応力解析

ガススクリーンは、二重円筒容器になっており、電子ビーム溶接によって組み立てられ、電子ビーム溶接部は、施工上の理由から印籠構造になっている。また二重円筒状圧力容器の構造上、溶接後に印籠部(裏当金に相当)の除去が出来ない特殊な溶接設計となっている。そのため応力評価にあたっては、応力の集中し易い箇所を検討対象とした。ガススクリーンの応力評

価は、大きな応力が発生すると思われる6断面について有限要素法で評価した。また応力集中が発生する箇所は、発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（通商産業省告示第501号）⁷⁾の構造不連続部の考えに従って、計算で求められた応力に5倍の安全係数を乗じて評価した。耐震計算上の評価断面を新旧それぞれ第13図、第14図に示す。

4. 3 解析の結果

ガススクリーンを含む仕切管全体の変位量のデータをまとめると第15図、第16図に示すようになる。それによると、仕切管は原子炉圧力容器内のOSF-1炉内管を支持しているサポートアームと直角方向に変位し、中央部位で最大となることが判った。検討の結果、前回の仕切管製作時の結果と比べて、その結論には変更がなく十分安全であることを確認した。

5. 製作

製作は、平成6年度から開始し平成7年度のJMTRオーバーホール期に仕切管更新の予定で進められたが、計画の変更により、平成8年度オーバーホール期で更新することとなった。平成7年度オーバーホール後の運転サイクルで予定していた1000サイクル試験は、平成8年度オーバーホール後の運転サイクルで実施することとした。

なお、製作の各段階（組立品、工場完成品、現地据付後）において国の検査を受検するとともに、ガススクリーン溶接部については、原子力安全技術センターによる溶接検査を受検した。年度毎の製作範囲を第17図に示す。

以下に、これまで検討した結果を反映し、平成6年度から開始した仕切管製作の検討事項等について述べる。

5. 1 平成6年度の製作

平成6年度は、適時に検査を行いつつ全ての部品の製作を進めた。特に、ガススクリーン材料は前回と同様な材料を選定することとしたものの、更に十分な検討を行うとともに、以下に示す事について注意を払い、製作を進めた。

(1) ガススクリーン材料（アルミニウム合金 A6061BE-T6）の選定

本ガススクリーン材料の6000系合金は、板、型材、管、棒、線、鍛造品等の展伸材に属する熱処理型 Al-Mg-Si系合金であり、代表的な構造用材料である。アルミニウム合金 A6061BE-T6は押出棒で、T6の熱処理（時効硬化処理として、170℃～180℃で約8時間）を行い強度を増したものである。特に、T6材は耐力が25kg/mm²以上であり、SS41鋼に相当する。しかしアルミニウム合金押出棒は、特有のグレーングロースが発生するため、好ましくないと判断し、今回はガススクリーンの素材直径を前回の65φから85φに太くし、グレーングロース部に相当する11%の削り代をとり、材料の使用部分が均一な結晶粒度になるよう考慮した。ガススクリーンの素材であるアルミニウム合金棒の中心部と外周部の結晶粒度の違いの一例を第18図に示す。

(2) アルミニウム合金とステンレス鋼の摩擦圧接

価は、大きな応力が発生すると思われる6断面について有限要素法で評価した。また応力集中が発生する箇所は、発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（通商産業省告示第501号）⁷⁾の構造不連続部の考えに従って、計算で求められた応力に5倍の安全係数を乗じて評価した。耐震計算上の評価断面を新旧それぞれ第13図、第14図に示す。

4. 3 解析の結果

ガススクリーンを含む仕切管全体の変位量のデータをまとめると第15図、第16図に示すようになる。それによると、仕切管は原子炉圧力容器内のOSF-1炉内管を支持しているサポートアームと直角方向に変位し、中央部位で最大となることが判った。検討の結果、前回の仕切管製作時の結果と比べて、その結論には変更がなく十分安全であることを確認した。

5. 製作

製作は、平成6年度から開始し平成7年度のJMTRオーバーホール期に仕切管更新の予定で進められたが、計画の変更により、平成8年度オーバーホール期で更新することとなった。平成7年度オーバーホール後の運転サイクルで予定していた1000サイクル試験は、平成8年度オーバーホール後の運転サイクルで実施することとした。

なお、製作の各段階（組立品、工場完成品、現地据付後）において国の検査を受検するとともに、ガススクリーン溶接部については、原子力安全技術センターによる溶接検査を受検した。年度毎の製作範囲を第17図に示す。

以下に、これまで検討した結果を反映し、平成6年度から開始した仕切管製作の検討事項等について述べる。

5. 1 平成6年度の製作

平成6年度は、適時に検査を行いつつ全ての部品の製作を進めた。特に、ガススクリーン材料は前回と同様な材料を選定することとしたものの、更に十分な検討を行うとともに、以下に示す事について注意を払い、製作を進めた。

(1) ガススクリーン材料（アルミニウム合金 A6061BE-T6）の選定

本ガススクリーン材料の6000系合金は、板、型材、管、棒、線、鍛造品等の展伸材に属する熱処理型 Al-Mg-Si系合金であり、代表的な構造用材料である。アルミニウム合金 A6061BE-T6は押出棒で、T6の熱処理（時効硬化処理として、170℃～180℃で約8時間）を行い強度を増したものである。特に、T6材は耐力が25kg/mm²以上であり、SS41鋼に相当する。しかしアルミニウム合金押出棒は、特有のグレーングロースが発生するため、好ましくないと判断し、今回はガススクリーンの素材直径を前回の65φから85φに太くし、グレーングロース部に相当する11%の削り代をとり、材料の使用部分が均一な結晶粒度になるよう考慮した。ガススクリーンの素材であるアルミニウム合金棒の中心部と外周部の結晶粒度の違いの一例を第18図に示す。

(2) アルミニウム合金とステンレス鋼の摩擦圧接

ガススクリーンは、中性子吸収の少ないアルミニウム合金であるが、ガススクリーンへHe-3ガスを給排気するガススクリーン配管はステンレス鋼を採用しているため、その溶接部としてガススクリーン上部にステンレス鋼製の頭板を設け、その頭板をアルミニウム合金と摩擦圧接によって接続している。

アルミニウム合金とステンレス鋼の摩擦圧接は、特殊な方法であるため、摩擦圧接後の健全性を確認する試験を実施した。この方法は実機に対する適当な非破壊検査がないことから、摩擦圧接部については、実機と同様な摩擦圧接継手の試験体を製作し、熱サイクル試験（摩擦圧接後、摩擦圧接部を液体窒素(-196℃)に5分浸漬後、常温に戻す。これを1サイクルとし3サイクル実施した）を行い、その試験体の破壊試験（引張試験）を行って摩擦圧接の健全性を確認した。

また、摩擦圧接技術の詳細について、摩擦圧接施工メーカーと討議を重ねた。以下にその要旨を述べる。

- ①摩擦圧接の良否を判断する重要な因子は、より代（圧接前の2体の合計寸法から摩擦圧接後の全寸法を差し引いた寸法、即ち圧接により材料が潰された量）である。より代が少なければ十分な引張強度は得られない。理論的には、より代と引張強度はある部分まで比例の関係があり、その後はより代が増えても引張強度は一定となる。
- ②より代が大きいからといって引張強度が低下することはないが、大きすぎると材料の塑性変形が起きてしまう。（摩擦圧接の際、軸方向に過大な荷重がかかる）
- ③メーカーでは、摩擦圧接の健全性確認のための有効な手段として引張試験を実施する前に出来るかぎりのきびしい試験を実施している。当該メーカーでは低温プラントの設計製作にかなりの実績があるため、その技術を利用して摩擦圧接部に熱サイクルテストを実施している。
- ④摩擦圧接結果の良否を左右する因子として、被圧接体どおしの摩擦圧接面の仕上げ、洗浄及び均一荷重負荷がある。

以上のような検討を行った後、製作を進め、それぞれの工程で進行状況を逐一確認しながら摩擦圧接を実施したことによって、良好な摩擦圧接条件が確認でき、実機に反映することができた。試験体4体で実施したより代は1.20mm～1.40mmに対し、実機2体でのより代は2体共1.20mmであった。実機での摩擦圧接結果を第19図に示す。

(3)ガススクリーンの溶接検査（溶接箇所 WS-6）

当該溶接部の溶接前の洗浄時に、ガススクリーン内筒の溶接印籠部及び開先部に腐食状の異物が付着していることが確認された。電子ビーム溶接の場合、このような異物は、ブローホール発生の原因になるため溶接を延期し、原因究明を行った。

その結果、ガススクリーン内に設けたヘリウム-3ガスの導管を接続するためのロウ付け継手があり、その継手部のフラックスの除去不良等であることが判ったため、洗浄の徹底、洗浄後の開先面の確認を徹底して行いながら作業を実施した。

5. 2 平成7年度の製作

平成7年度はガススクリーンの組立てから着手し、ガススクリーン本体及びガススクリーン

配管の組立てを行った。

電子ビーム溶接に当たっては、同種の模擬体を使用して種々の試験を実施した後、最適溶接条件の選定を行った。また、電子ビーム溶接は真空チャンバー内で行ったが、本製作品は完成時で7,000 mmを超えるため、組立て工程が進むにつれて、次第に長物円筒状になり、真空チャンバーを突き抜けた状態で溶接を行った。そのため、芯出し治具、真空チャンバー内と被溶接部（回転体）の密封治具の検討などを行いながら溶接作業を実施した。

(1) オーバーリップ、アンダーリップの必要性

ガススクリーンは、薄肉の二重円筒容器であり、電子ビーム溶接は溶加材を使用しないため溶接部に縮径現象が発生する。そのため外径部分の肉厚を設計厚さより厚く（オーバーリップ）したまま溶接し、溶接後削除した。内表面の部分の肉厚についても可能な箇所は厚く（アンダーリップ）したまま溶接する方法を採用した。溶接部の強度を確保するため電子ビームの焦点をアンダーリップ部になるような条件にして溶接を行った。ガススクリーン溶接部のオーバーリップ、アンダーリップの形状を第20図に示す。

(2) 溶接の方法

ガススクリーン溶接部の溶接条件は形状、肉厚、溶接機の性能等によって、それぞれ条件が異なるため、本溶接の当日、模擬試験体（同種の材料で同一構造（溶接開先部））を用いて溶接し、溶接のビード部を切断してビード深さ及び溶接の状態を確認し良好であることを確認した後、同条件でその日のうちに本溶接を実施した。ガススクリーン溶接部の溶接条件を第6表に示す。また、製作中に以下に示す問題が生じたので検討を重ねながら作業を実施した。

(3) ガススクリーン内油分混入およびその除去

平成7年度に製作したガススクリーン本体の耐圧・漏洩検査において、加圧ラインに油で汚染したストップバルブや清浄度の良くないと思われる耐圧ホースが使用されたため、ガススクリーン内に不純物（油分）が混入したことが考えられた。そのためガススクリーンの給排気管を一部切り出し、それを試料とし、試料を四塩化炭素溶液中に浸漬し抽出したものを赤外分光分析法によって分析した結果、油分及び塵埃が認められたためガススクリーン内の洗浄を実施した。洗浄の方法を第21図に示す。洗浄後の分析では、油分はバックグラウンドレベルまで除去できたが残留塵埃を、走査型電子顕微鏡（SEM）とエネルギー分散型X線マイクロアナライザー（EDX）を使用して分析した結果、アルミニウムやステンレス鋼の微粒子等が検出された。捕集した塵埃の分析結果を第7表に示す。残留塵埃が今後の運転に与える影響を検討した結果、装置周辺の空間線量率を上昇させる恐れがあったため簡易型放射能遮蔽計算コード「RASCコード」⁸⁾を用いて空間線量率の計算を行った。その結果、微粒子がガススクリーン内に僅か（数十 μ g程度）残留し、循環系内を循環した場合を想定すると、装置周辺の空間線量率が上昇することが判明したため、再度徹底した洗浄を実施することとした。

5. 3 平成8年度の製作

平成8年度は、平成7年度に引き続き流路仕切管の組立て、流路仕切管とガススクリーンと

の接続を行い、仕切管として完成させ、現地（大洗研究所）に搬入し、8月12日～9月18日迄の間、現地更新工事を行った。平成8年度に実施した検討事項及び作業は以下に示すとおりである。

(1)ガススクリーンの洗浄

ガススクリーン及びガススクリーン給気管、排気管はアセトンで洗浄した後、窒素ガスでブローすることにより不純物が認められなくなるまで実施した。微粒子の検出はガススクリーン内を窒素ガスでブローさせ、その出口に10メッシュのフィルターを取付け、それに捕まる微粒子の数を顕微鏡で観察した。この作業を繰り返し実施することによって、微粒子が殆ど検出されなくなるまで洗浄を行うことができた。

(2)流路仕切管溶接部の縮径現象

電子ビーム溶接では溶加材を使用しないため、突き合わせ溶接部は縮径する。流路仕切管の溶接部はオーバーリップ・アンダーリップをつけない状態で溶接を実施したため、外径、内径とも縮径した。仕切管の機能上問題がないことを確認するため溶接部近傍の肉厚、外径、内径について立会検査の都度測定した。流路仕切管の電子ビーム溶接箇所の縮径の様子を第22図に示す。溶接部によって縮径の程度は異なるが、強度上必要肉厚があり、機能上問題がないことを確認した。

(3)真直度の測定結果

仕切管の完成体は全長7134mmであり要求される真直度は1/2000であるため、長尺の仕切管完成体を上から吊り下げトランシットを使用して真直度検査を行った。真直度検査の方法を第23図に、結果を第24図に示す。検査の結果、最大の偏差（曲がり量）は、2.44mmで真直度は最大1/2924であった。

6. 検査

製作を開始した平成6年度から8年度までの検査のまとめを第8表に示す。平成6年度は、材料検査から始まり溶接検査まで計16回、平成7年度は、溶接検査等を主に計9回、平成8年度は、溶接検査等計8回の検査を実施した。本仕切管の工場立会検査で、これまであまり経験したことのない作業として圧接作業、5.1項(3)で述べたアルミニウムのロウ付け作業、ガススクリーン内の洗浄等があった。

7. 現地更新作業

現地（JMTR）における仕切管の更新作業は、平成8年8月～9月に実施した。炉頂部での作業日数は正味21日を要した。また、カナルNo.1内の使用済炉内管の整理作業は平成8年12月に実施した。本作業は現地工事要領書に従って行われたが、仕切管単独の更新作業は今回初めてということもあって、様々な困難に直面した。それらについての検討事項を項目別に以下に述べる。

の接続を行い、仕切管として完成させ、現地（大洗研究所）に搬入し、8月12日～9月18日迄の間、現地更新工事を行った。平成8年度に実施した検討事項及び作業は以下に示すとおりである。

(1) ガススクリーンの洗浄

ガススクリーン及びガススクリーン給気管、排気管はアセトンで洗浄した後、窒素ガスでブローすることにより不純物が認められなくなるまで実施した。微粒子の検出はガススクリーン内を窒素ガスでブローさせ、その出口に10メッシュのフィルターを取付け、それに捕まる微粒子の数を顕微鏡で観察した。この作業を繰り返し実施することによって、微粒子が殆ど検出されなくなるまで洗浄を行うことができた。

(2) 流路仕切管溶接部の縮径現象

電子ビーム溶接では溶加材を使用しないため、突き合わせ溶接部は縮径する。流路仕切管の溶接部はオーバーリップ・アンダーリップをつけない状態で溶接を実施したため、外径、内径とも縮径した。仕切管の機能上問題がないことを確認するため溶接部近傍の肉厚、外径、内径について立会検査の都度測定した。流路仕切管の電子ビーム溶接箇所の縮径の様子を第22図に示す。溶接部によって縮径の程度は異なるが、強度上必要肉厚があり、機能上問題がないことを確認した。

(3) 真直度の測定結果

仕切管の完成体は全長7134mmであり要求される真直度は1/2000であるため、長尺の仕切管完成体を上から吊り下げトランシットを使用して真直度検査を行った。真直度検査の方法を第23図に、結果を第24図に示す。検査の結果、最大の偏差（曲がり量）は、2.44mmで真直度は最大1/2924であった。

6. 検査

製作を開始した平成6年度から8年度までの検査のまとめを第8表に示す。平成6年度は、材料検査から始まり溶接検査まで計16回、平成7年度は、溶接検査等を主に計9回、平成8年度は、溶接検査等計8回の検査を実施した。本仕切管の工場立会検査で、これまであまり経験したことのない作業として圧接作業、5.1項(3)で述べたアルミニウムのロウ付け作業、ガススクリーン内の洗浄等があった。

7. 現地更新作業

現地（JMTR）における仕切管の更新作業は、平成8年8月～9月に実施した。炉頂部での作業日数は正味21日を要した。また、カナルNo.1内の使用済炉内管の整理作業は平成8年12月に実施した。本作業は現地工事要領書に従って行われたが、仕切管単独の更新作業は今回初めてということもあって、様々な困難に直面した。それらについての検討事項を項目別に以下に述べる。

の接続を行い、仕切管として完成させ、現地（大洗研究所）に搬入し、8月12日～9月18日迄の間、現地更新工事を行った。平成8年度に実施した検討事項及び作業は以下に示すとおりである。

(1) ガススクリーンの洗浄

ガススクリーン及びガススクリーン給気管、排気管はアセトンで洗浄した後、窒素ガスでブローすることにより不純物が認められなくなるまで実施した。微粒子の検出はガススクリーン内を窒素ガスでブローさせ、その出口に10メッシュのフィルターを取付け、それに捕まる微粒子の数を顕微鏡で観察した。この作業を繰り返し実施することによって、微粒子が殆ど検出されなくなるまで洗浄を行うことができた。

(2) 流路仕切管溶接部の縮径現象

電子ビーム溶接では溶加材を使用しないため、突き合わせ溶接部は縮径する。流路仕切管の溶接部はオーバーリップ・アンダーリップをつけない状態で溶接を実施したため、外径、内径とも縮径した。仕切管の機能上問題がないことを確認するため溶接部近傍の肉厚、外径、内径について立会検査の都度測定した。流路仕切管の電子ビーム溶接箇所の縮径の様子を第22図に示す。溶接部によって縮径の程度は異なるが、強度上必要肉厚があり、機能上問題がないことを確認した。

(3) 真直度の測定結果

仕切管の完成体は全長7134mmであり要求される真直度は1/2000であるため、長尺の仕切管完成体を上から吊り下げトランシットを使用して真直度検査を行った。真直度検査の方法を第23図に、結果を第24図に示す。検査の結果、最大の偏差（曲がり量）は、2.44mmで真直度は最大1/2924であった。

6. 検査

製作を開始した平成6年度から8年度までの検査のまとめを第8表に示す。平成6年度は、材料検査から始まり溶接検査まで計16回、平成7年度は、溶接検査等を主に計9回、平成8年度は、溶接検査等計8回の検査を実施した。本仕切管の工場立会検査で、これまであまり経験したことのない作業として圧接作業、5.1項(3)で述べたアルミニウムのロウ付け作業、ガススクリーン内の洗浄等があった。

7. 現地更新作業

現地（JMTR）における仕切管の更新作業は、平成8年8月～9月に実施した。炉頂部での作業日数は正味21日を要した。また、カナルNo.1内の使用済炉内管の整理作業は平成8年12月に実施した。本作業は現地工事要領書に従って行われたが、仕切管単独の更新作業は今回初めてということもあって、様々な困難に直面した。それらについての検討事項を項目別に以下に述べる。

7. 1 現地工事における検討

(1)管継手及びグローブボックス継手部の溶接方法

ガススクリーン配管の接続は外径4mmφ、肉厚0.5mm、及び1mmの薄肉小口径配管を管継手（以下「カップリング」という）により、ヘリウム-3出力可変装置のグローブボックス内既設配管の継手とガススクリーン配管は直接、双方ともそれぞれソケット溶接（ティグ溶接）で実施した。本溶接は薄肉小口径配管の溶接のため、事前にモックアップテストを実施した後行ったものである。その結果、溶加材を溶接箇所1ヶ所に溶かし盛りをし、それを母材（この場合はカップリング及びグローブボックス内継手）とともに配管周囲に溶かし込みながら溶接した方法と、溶加材を溶接箇所の配管周囲90度方向4ヶ所にわずか溶かし盛って仮付けした後、溶かし盛った溶加剤を周方向に溶かす方法で実施した。その結果、後者の方法で実施した方が良好な溶接ができたことから、この方法は、薄肉小口径配管の溶接のためには有効であると考えられる。また、現場での溶接では、溶接姿勢等の検討とともに、シールドガス（裏ガス）の量を十分検討した上で実施する必要がある。

(2)ガススクリーン配管の切断、密封の方法及びガススクリーン配管等の撤去及び敷設方法

トリチウムで汚染された既設仕切管のガススクリーン配管の切断については、装置内に残留しているトリチウムの大気放出を最低限にすることとし、十分注意して実施するよう準備した。作業に先立ってガススクリーン内の洗浄のためガス置換を実施した。ガス置換による排気については、設備が保有しているトリチウムモニターで監視しながら実施した。炉頂部での既設ガススクリーン配管の切断時にも切断面から空気が配管内に吸引される状態にして切断した。切断端面には接着材付きの楔を打ち込み密封した。その後、既設装置側のガススクリーン配管2本の両端面にはチューブ継手キャップ（止栓）を施し、仕切管側のガススクリーン配管2本には将来ガス置換が出来るように弁を取り付け、仕切管保管容器内に保管した。

7. 2 仕切管保管容器等の保管及びカナルNo.1内使用済炉内管の整理作業

撤去したOSF-1仕切管等は、高濃度のトリチウムで汚染されているため、その後の保管時にトリチウムが漏洩しないように新たに仕切管保管容器を製作し、その中に収納してカナルNo.1床に保管した。カナルNo.1床には、この他に使用済炉内管が計3本（一部架台付）保管され、更に使用済機器を一時保管するラック等が保管されており、かなり煩雑になっていた。そのため、本仕切管を収納した仕切管保管容器をカナルNo.1床に整理するには、他の炉内管も保管できる仕切管保管容器等保管台を製作（平成8年度作業で実施）する必要があったため、全ての使用済炉内管を保管できるように設計した。使用済炉内管の保管状況を第25図に示す。

8. 性能試験

仕切管更新工事後の性能試験は、原子炉停止中に実施するコールドラン試験と原子炉運転中に実施する（一部原子炉起動前に実施）ホットラン試験を行うこととし、試験方案を作成した。試験方案を検討するに当たって昭和63年度炉内管をジルカロイ化した際の性能試験時に評価したデ

7. 1 現地工事における検討

(1)管継手及びグローブボックス継手部の溶接方法

ガススクリーン配管の接続は外径4mmφ、肉厚0.5mm、及び1mmの薄肉小口径配管を管継手（以下「カップリング」という）により、ヘリウム-3出力可変装置のグローブボックス内既設配管の継手とガススクリーン配管は直接、双方ともそれぞれソケット溶接（ティグ溶接）で実施した。本溶接は薄肉小口径配管の溶接のため、事前にモックアップテストを実施した後行ったものである。その結果、溶加材を溶接箇所1ヶ所に溶かし盛りをし、それを母材（この場合はカップリング及びグローブボックス内継手）とともに配管周囲に溶かし込みながら溶接した方法と、溶加材を溶接箇所の配管周囲90度方向4ヶ所にわずか溶かし盛って仮付けした後、溶かし盛った溶加剤を周方向に溶かす方法で実施した。その結果、後者の方法で実施した方が良好な溶接ができたことから、この方法は、薄肉小口径配管の溶接のためには有効であると考えられる。また、現場での溶接では、溶接姿勢等の検討とともに、シールドガス（裏ガス）の量を十分検討した上で実施する必要がある。

(2)ガススクリーン配管の切断、密封の方法及びガススクリーン配管等の撤去及び敷設方法

トリチウムで汚染された既設仕切管のガススクリーン配管の切断については、装置内に残留しているトリチウムの大気放出を最低限にすることとし、十分注意して実施するよう準備した。作業に先立ってガススクリーン内の洗浄のためガス置換を実施した。ガス置換による排気については、設備が保有しているトリチウムモニターで監視しながら実施した。炉頂部での既設ガススクリーン配管の切断時にも切断面から空気が配管内に吸引される状態にして切断した。切断端面には接着材付きの楔を打ち込み密封した。その後、既設装置側のガススクリーン配管2本の両端面にはチューブ継手キャップ（止栓）を施し、仕切管側のガススクリーン配管2本には将来ガス置換が出来るように弁を取り付け、仕切管保管容器内に保管した。

7. 2 仕切管保管容器等の保管及びカナルNo.1内使用済炉内管の整理作業

撤去したOSF-1仕切管等は、高濃度のトリチウムで汚染されているため、その後の保管時にトリチウムが漏洩しないように新たに仕切管保管容器を製作し、その中に収納してカナルNo.1床に保管した。カナルNo.1床には、この他に使用済炉内管が計3本（一部架台付）保管され、更に使用済機器を一時保管するラック等が保管されており、かなり煩雑になっていた。そのため、本仕切管を収納した仕切管保管容器をカナルNo.1床に整理するには、他の炉内管も保管できる仕切管保管容器等保管台を製作（平成8年度作業で実施）する必要があるため、全ての使用済炉内管を保管できるように設計した。使用済炉内管の保管状況を第25図に示す。

8. 性能試験

仕切管更新工事後の性能試験は、原子炉停止中に実施するコールドラン試験と原子炉運転中に実施する（一部原子炉起動前に実施）ホットラン試験を行うこととし、試験方案を作成した。試験方案を検討するに当たって昭和63年度炉内管をジルカロイ化した際の性能試験時に評価したデ

ータを参考に、今回必要な試験について検討した。特に、原子炉50MW時のホットラン試験時の評価をするために、その比較データとして予め第117及び118運転サイクル時に必要なデータを採取し評価した。それぞれの試験方案の概要を以下に示す。

8. 1 コールドラン試験方案

(1)流動特性測定

He-3ガス圧力を0.12MPa(1.2kg/cm²)、OSF-1冷却系を定常状態、炉プール水を定常水位とし、校正試験用BOCAキャプセル(87BM-3J)を炉心定位置(以下、全挿入という)状態、1.1m引上げ状態における各部の温度及び運転状態のデータを燃料棒照射挙動分析装置(CESIL: Computerized Elaborated System For Irradiation Data Logging Systemの略)及び照射設備運転支援システム(IOSS: Irradiation Operating Support Systemの略)で採取するとともに、OSF-1集中操作盤等でも採取し、流動特性を評価する。

(2)ヒータの出力に対する冷却水出入口温度差の測定

He-3ガス圧力を0.12MPa(1.2kg/cm²)、OSF-1冷却系を定常状態、炉プール水を定常水位とし、校正試験用BOCAキャプセル(87BM-3J)を全挿入状態に於けるヒータの出力変更を行い、ヒータの出力に対する冷却水出入口温度差を測定し、相関関係を把握する。データの採取方法は前項(1)と同様とする。

(3)前回との比較、評価

昭和63年のデータと比較し健全性及び性能が確認されれば、ホットラン試験に移行する。

8. 2 ホットラン試験方案

(1)He-3ガス圧力変更特性

He-3ガス圧力を最速モード(3.92MPaから0.05MPaまで)で3回実施し、正常に圧力変化が可能であることを確認する。

(2)ヒータ出力に対する冷却水出入口温度差の測定(原子炉一次系定常、原子炉停止状態)

He-3ガス圧力を0.12MPa(1.2kg/cm²)、OSF-1冷却系を定常状態、原子炉一次系定常状態とし、校正試験用BOCAキャプセル(91BM-5J)を全挿入状態においてヒータの出力変更を行い、ヒータの出力に対する冷却水出入口温度差を測定し、原子炉一次系定常状態におけるヒータ出力に対する冷却水出入口温度差の相関関係を把握する。データはCESIL及びIOSSにて採取するとともに、OSF-1集中操作盤等でも採取し評価する。

(3)ヒータ出力に対する冷却水出入口温度差の測定(原子炉一次系定常、原子炉定常状態)

He-3ガス圧力を3.92MPa(40.0kg/cm²)一定状態で前項(2)と同様な内容を実施する。

(4)He-3ガス圧力に対するSPND出力の測定(原子炉50MW定常時)

CESILによりHe-3ガス圧力に対するSPND(Self Powered Neutron Detector)出力のデータを各ステップで採取して、He-3ガス圧力に対するSPND出力の関係を測定する。以前のサイクルに採取したデータ(以前のサイクルに採取したデータとは第117, 118サイクルに採取したデータであり、He-3ガス圧力に対するSPND出力図である)と比較し評

価する。データはCESIL及びIOSSにて採取するとともに、OSF-1集中操作盤等でも採取し評価する。使用するキャプセルは校正試験用BOCAキャプセル(91BM-5J)とする。He-3ガス圧力の圧力変更ステップは、第117, 118サイクルに取得したデータと同じ圧力とする。

(5)周辺機器の監視等

ホットラン試験で行うHe-3ガス圧力の変更については、原子炉に影響を与えないようなスピードで圧力変更を行い、水モニター、トリチウムモニターを監視する。また、原子炉出力上昇時に機器周辺の空間線量当量率等の測定を行い記録する。

(6)温度安定性測定

運転サイクルを通じて必要なデータ(熱電対及び测温抵抗体の温度指示の安定性等を確認するためのデータ)を採取し、評価する。

以上、昭和63年のデータと比較し同等であることを確認するとともに、これらの特性を今後の出力急昇試験の出力評価等の基本データとする。

8. 3 評価基準

(1)コールドラン試験

- ・交換した物品、計器の動作に異常が認められないこと。
- ・冷却系の流量、圧損が交換前と同程度であること。
- ・He-3ガス圧力の変更(最速モード)が正常にできること。

(2)ホットラン試験

- ・冷却系の流量 $1.9\text{m}^3/\text{h}$ 、炉内管入口温度が約 45°C 、試料発熱量が30KW相当の運転条件で仕切管材料が設計温度以下であること。(温度及び試料発熱量は実測値から外挿して評価する)

(3)その他

- ・通常の運転状態が正常であること。
- ・出力急昇試験において更新した仕切管が十分な機能・性能を発揮できること。

8. 4 コールドラン試験結果

コールドラン試験は、コールドラン試験方案をもとに平成8年12月に実施した。その結果を以下に示す。また、コールドラン試験工程を第28図に示す。

(1)流動特性

定常状態における、各部の温度やデータを採取し評価した結果、旧仕切管と新仕切管とでは顕著な差は認められず、仕切管更新後も更新前と同程度の流動特性を持つことが確認された。流動試験結果を第9表に示す。

(2)熱電対の温度指示の安定性

校正試験用キャプセル(87BM-3J)の全挿入状態に於けるヒータの出力変更を行い、ヒータの出力に対する冷却水出入口温度差を測定し熱電対等の温度指示の安定性を評価した結果、BOCAキャプセルの温度評価上は問題ない数値が得られ、ヒータの出力が上昇する

に連れて温度指示のバラツキが小さくなっており、出力が大きい程安定した温度指示をすることが判った。ヒータ出力に対する熱電対の温度指示を第26図に示す。

(3) 測温抵抗体による温度測定

本仕切管には、試料部入口に100Ω、出口に50Ωのリング状測温抵抗体を取り付けられている。精密温度測定を行うためには、製作メーカーで製作した時点での起電力特性そのものを温度評価に用いた。測温抵抗体の温度評価結果の一例を第27図に示す。

評価した結果、各機器は正常に機能し、健全性が確認されたことから、今後行われるホットラン試験に移行できると考える。ホットラン試験工程案を第29図に示す。

9. 結 言

仕切管製作は、本文にも記載した通り、平成4年度から開始し平成8年度の現地更新工事、コールドラン試験まで終了した。平成8年度で全ての作業が終了する予定であったが、JMTRの運転工程が変更され、ホットラン試験のみ平成9年9月の予定となった。昭和63年度に仕切管を含むOSF-1炉内管を性能向上のためジルカロイ化して以来の仕切管の更新であった。昭和63年度更新した仕切管と同一仕様で製作を進めたが、この間、適用法規が変更になったことなどから、設計の段階から種々の検討を加えた。また現地据付工事では、仕切管のみの更新工事は初めて行ったため、少なからず困難が伴ったが、全て解決し、完遂することが出来た。

本報告は、5年に渡って製作してきた仕切管について検討した事項等についてまとめたものである。コールドラン試験が終了した時点で何の問題もなくホットラン試験に移行できることから、現時点では、本仕切管は順調に機能すると思われ、今後の出力急昇試験に大いに役立つと期待している。

謝 辞

本作業は5年間に渡り実施し、担当者が変わりつつも多くの方の協力を頂き、無事終了することが出来た。これもひとえに本機器の重要性を認識し、一つの機器を完成させるという共通の目的に対する努力と協調が、多くの困難を乗り越え得たものと著者らは確信し、御協力頂いた方々に深く感謝致します。

本仕切管の製作に当たって、特に設計の段階では、疲労評価に関して、東海研究所安全性試験研究センター柴田勝之次長及びホット試験室古平恒夫室長に、疲労試験に関しては、東海研究所工作課大場敏弘課長代理を始め照射第2課作田善幸氏に、溶接部の強度確認試験に関しては、照射第2課宮田豊彦氏（現川崎重工業㈱）に御協力を頂いた。更に、製作当初から本製作について御指導を賜った照射第2課鶴田晴通課長（現本部核燃料対策室室長）、鍋谷栄昭氏（現照射第1課総括主査）、海野廣課長代理（現保安管理課課長代理）、飯村勝道課長代理（現核管センター出向）、福島征夫課長代理に感謝するとともに平成4年から平成8年度まで継続して設計製作を行った川崎重工業㈱の協力の賜と感謝致します。また、本報告をまとめるにあたり、助言、指導していただいた材料試験炉馬場治部長及び大岡紀一次長に感謝致します。

に連れて温度指示のバラツキが小さくなっており、出力が大きい程安定した温度指示をすることが判った。ヒータ出力に対する熱電対の温度指示を第26図に示す。

(3) 測温抵抗体による温度測定

本仕切管には、試料部入口に100Ω、出口に50Ωのリング状測温抵抗体を取り付けられている。精密温度測定を行うためには、製作メーカーで製作した時点での起電力特性そのものを温度評価に用いた。測温抵抗体の温度評価結果の一例を第27図に示す。

評価した結果、各機器は正常に機能し、健全性が確認されたことから、今後行われるホットラン試験に移行できると考える。ホットラン試験工程案を第29図に示す。

9. 結 言

仕切管製作は、本文にも記載した通り、平成4年度から開始し平成8年度の現地更新工事、コールドラン試験まで終了した。平成8年度で全ての作業が終了する予定であったが、JMTRの運転工程が変更され、ホットラン試験のみ平成9年9月の予定となった。昭和63年度に仕切管を含むOSF-1炉内管を性能向上のためジルカロイ化して以来の仕切管の更新であった。昭和63年度更新した仕切管と同一仕様で製作を進めたが、この間、適用法規が変更になったことなどから、設計の段階から種々の検討を加えた。また現地据付工事では、仕切管のみの更新工事は初めて行ったため、少なからず困難が伴ったが、全て解決し、完遂することが出来た。

本報告は、5年に渡って製作してきた仕切管について検討した事項等についてまとめたものである。コールドラン試験が終了した時点で何の問題もなくホットラン試験に移行できることから、現時点では、本仕切管は順調に機能すると思われ、今後の出力急昇試験に大いに役立つと期待している。

謝 辞

本作業は5年間に渡り実施し、担当者が変わりつつも多くの方の協力を頂き、無事終了することが出来た。これもひとえに本機器の重要性を認識し、一つの機器を完成させるという共通の目的に対する努力と協調が、多くの困難を乗り越え得たものと著者らは確信し、御協力頂いた方々に深く感謝致します。

本仕切管の製作に当たって、特に設計の段階では、疲労評価に関して、東海研究所安全性試験研究センター柴田勝之次長及びホット試験室古平恒夫室長に、疲労試験に関しては、東海研究所工作課大場敏弘課長代理を始め照射第2課作田善幸氏に、溶接部の強度確認試験に関しては、照射第2課宮田豊彦氏（現川崎重工業㈱）に御協力を頂いた。更に、製作当初から本製作について御指導を賜った照射第2課鶴田晴通課長（現本部核燃料対策室室長）、鍋谷栄昭氏（現照射第1課総括主査）、海野廣課長代理（現保安管理課課長代理）、飯村勝道課長代理（現核管センター出向）、福島征夫課長代理に感謝するとともに平成4年から平成8年度まで継続して設計製作を行った川崎重工業㈱の協力の賜と感謝致します。また、本報告をまとめるにあたり、助言、指導していただいた材料試験炉馬場治部長及び大岡紀一次長に感謝致します。

に連れて温度指示のバラツキが小さくなっており、出力が大きい程安定した温度指示をすることが判った。ヒータ出力に対する熱電対の温度指示を第26図に示す。

(3) 測温抵抗体による温度測定

本仕切管には、試料部入口に100Ω、出口に50Ωのリング状測温抵抗体に取り付けられている。精密温度測定を行うためには、製作メーカーで製作した時点での起電力特性そのものを温度評価に用いた。測温抵抗体の温度評価結果の一例を第27図に示す。

評価した結果、各機器は正常に機能し、健全性が確認されたことから、今後行われるホットラン試験に移行できると考える。ホットラン試験工程案を第29図に示す。

9. 結 言

仕切管製作は、本文にも記載した通り、平成4年度から開始し平成8年度の現地更新工事、コールドラン試験まで終了した。平成8年度で全ての作業が終了する予定であったが、JMTRの運転工程が変更され、ホットラン試験のみ平成9年9月の予定となった。昭和63年度に仕切管を含むOSF-1炉内管を性能向上のためジルカロイ化して以来の仕切管の更新であった。昭和63年度更新した仕切管と同一仕様で製作を進めたが、この間、適用法規が変更になったことなどから、設計の段階から種々の検討を加えた。また現地掘付工事では、仕切管のみの更新工事は初めて行ったため、少なからず困難が伴ったが、全て解決し、完遂することが出来た。

本報告は、5年に渡って製作してきた仕切管について検討した事項等についてまとめたものである。コールドラン試験が終了した時点で何の問題もなくホットラン試験に移行できることから、現時点では、本仕切管は順調に機能すると思われ、今後の出力急昇試験に大いに役立つと期待している。

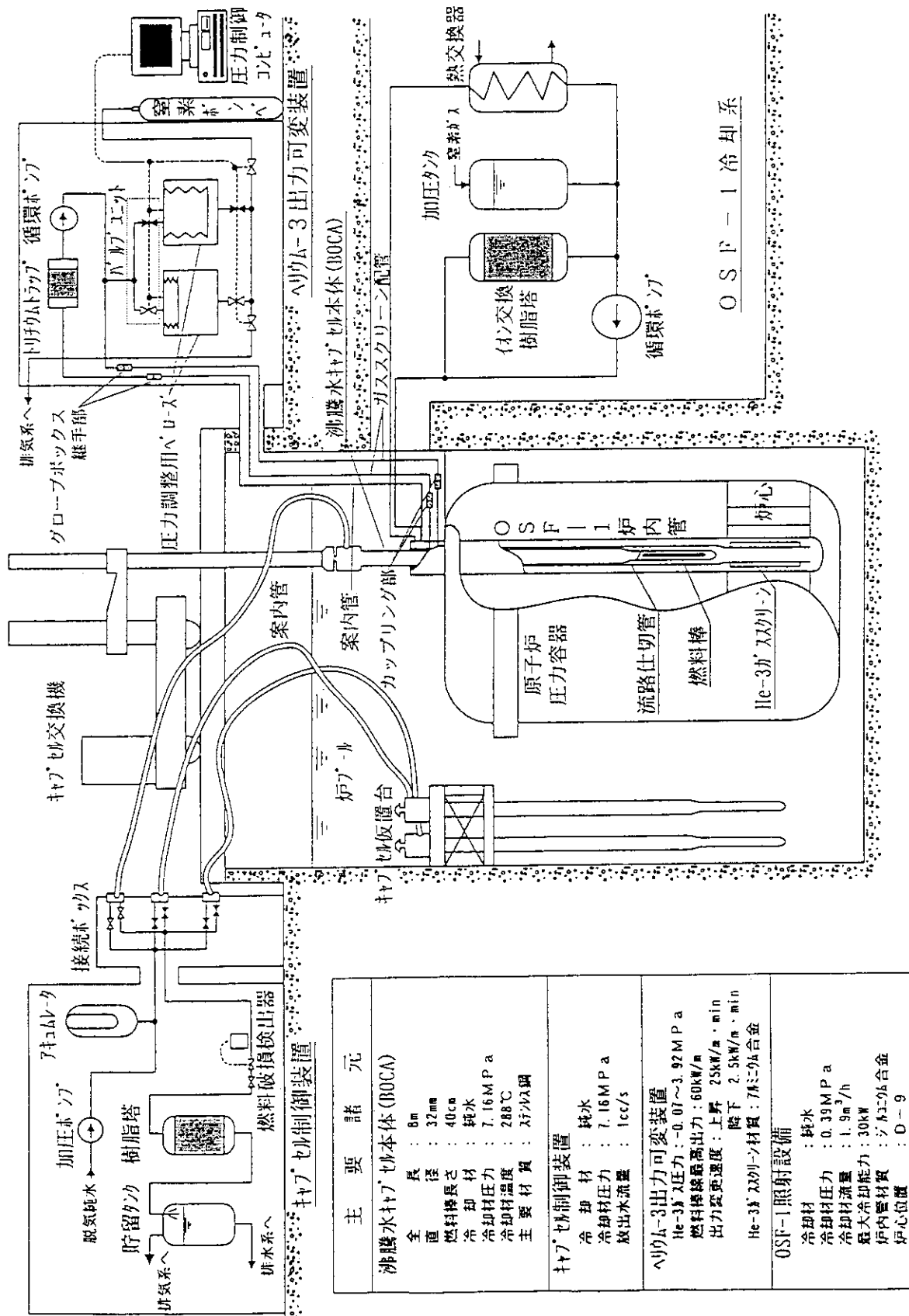
謝 辞

本作業は5年間に渡り実施し、担当者が変わりつつも多くの方の協力を頂き、無事終了することが出来た。これもひとえに本機器の重要性を認識し、一つの機器を完成させるという共通の目的に対する努力と協調が、多くの困難を乗り越え得たものと著者らは確信し、御協力頂いた方々に深く感謝致します。

本仕切管の製作に当たって、特に設計の段階では、疲労評価に関して、東海研究所安全性試験研究センター柴田勝之次長及びホット試験室古平恒夫室長に、疲労試験に関しては、東海研究所工作課大場敏弘課長代理を始め照射第2課作田善幸氏に、溶接部の強度確認試験に関しては、照射第2課宮田豊彦氏（現川崎重工業㈱）に御協力を頂いた。更に、製作当初から本製作について御指導を賜った照射第2課鶴田晴通課長（現本部核燃料対策室室長）、鍋谷栄昭氏（現照射第1課総括主査）、海野廣課長代理（現保安管理課課長代理）、飯村勝道課長代理（現核管センター出向）、福島征夫課長代理に感謝するとともに平成4年から平成8年度まで継続して設計製作を行った川崎重工業㈱の協力の賜と感謝致します。また、本報告をまとめるにあたり、助言、指導していただいた材料試験炉馬場治部長及び大岡紀一次長に感謝致します。

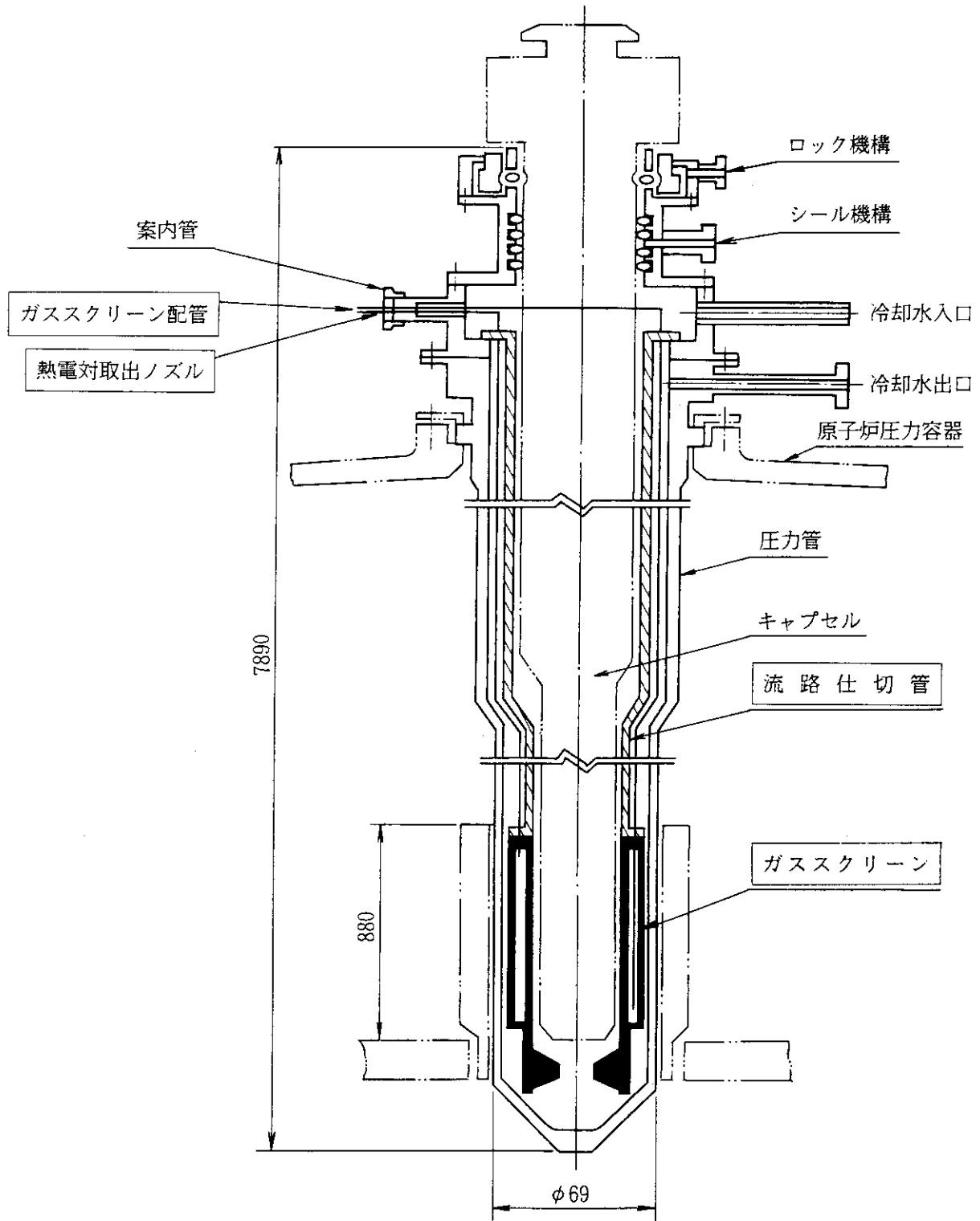
参考文献

- 1) 中田宏勝ほか6名, 「 ^3He -BOCA出力急昇試験設備の開発・1 (開発計画と設備概要)」
JAERI-M 8533, 1979年11月.
- 2) 中田宏勝ほか10名, 「 ^3He -BOCA出力急昇試験設備の開発・2 (試験計画と ^3He -BOCAの設計)」
JAERI-M 9343, 1981年3月.
- 3) 中田宏勝ほか10名, 「 ^3He -BOCA出力急昇試験設備の開発(その3) (BOCA照射設備特性
試験の結果)」JAERI-M 85-021, 1985年3月.
- 4) 石井忠彦ほか7名(原研), 私信
- 5) 宮田豊彦ほか8名(原研), 私信
- 6) (社)日本金属学会, 「金属便覧 改定3版」(株)丸善、(1971)
- 7) 通商産業省告示第501号「発電用原子炉設備に関する構造等の技術基準」
- 8) 大島邦男(原研), 私信
- 9) (社)軽金属協会, 「アルミニウムハンドブック(第3版)」(1985)
- 10) 辻宏和, 掛札和弘, 中島甫, 「試験研究用アルミニウム及びアルミニウム合金の設計降伏点
S_y及び設計引張強さS_uの案の策定」JAERI-M 90-191, 1990年11月.



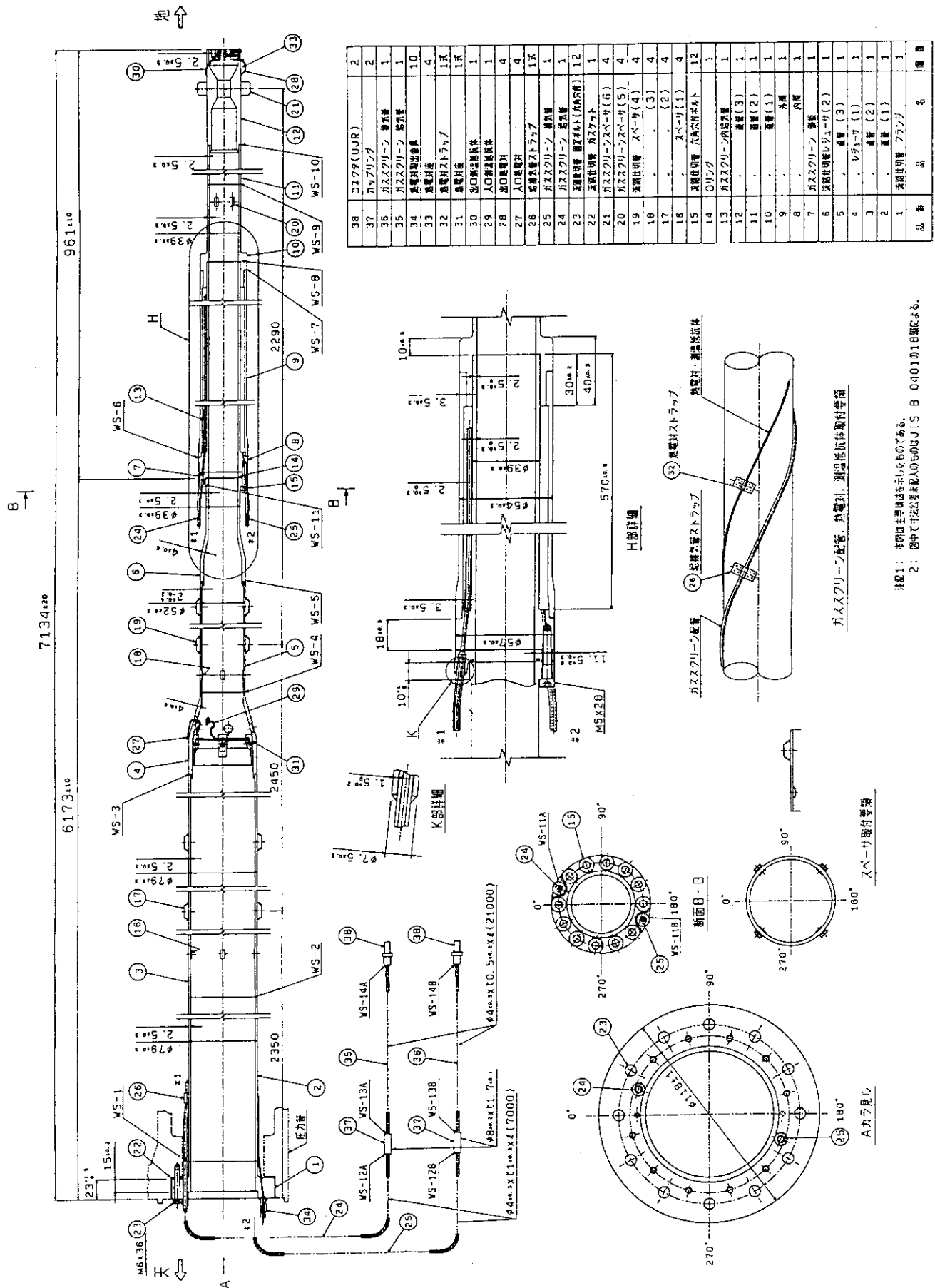
主要諸元	
沸騰水キャブ本体 (BOCA)	
全長	8m
直径	32mm
燃料棒長さ	40cm
冷却材	純水
冷却材圧力	7.16MPa
冷却材温度	288℃
主要材質	ステンレス鋼
キャブ制御装置	
冷却材	純水
冷却材圧力	7.16MPa
放出水流量	1cc/s
OSF-3出力可変装置	
He-3ガス圧力	-0.07~3.92MPa
燃料棒線最高出力	60kW/m
出力変更速度	上昇 25kW/m・min 降下 2.5kW/m・min
He-3ガスクリーン材質	7Mn-9k合金
OSF-1照射設備	
冷却材	純水
冷却材圧力	0.39MPa
冷却材流量	1.9m ³ /h
最大冷却能力	30kW
炉内管材質	シース合金
炉心位置	D-9

第1図 出力急昇試験設備の全体構成



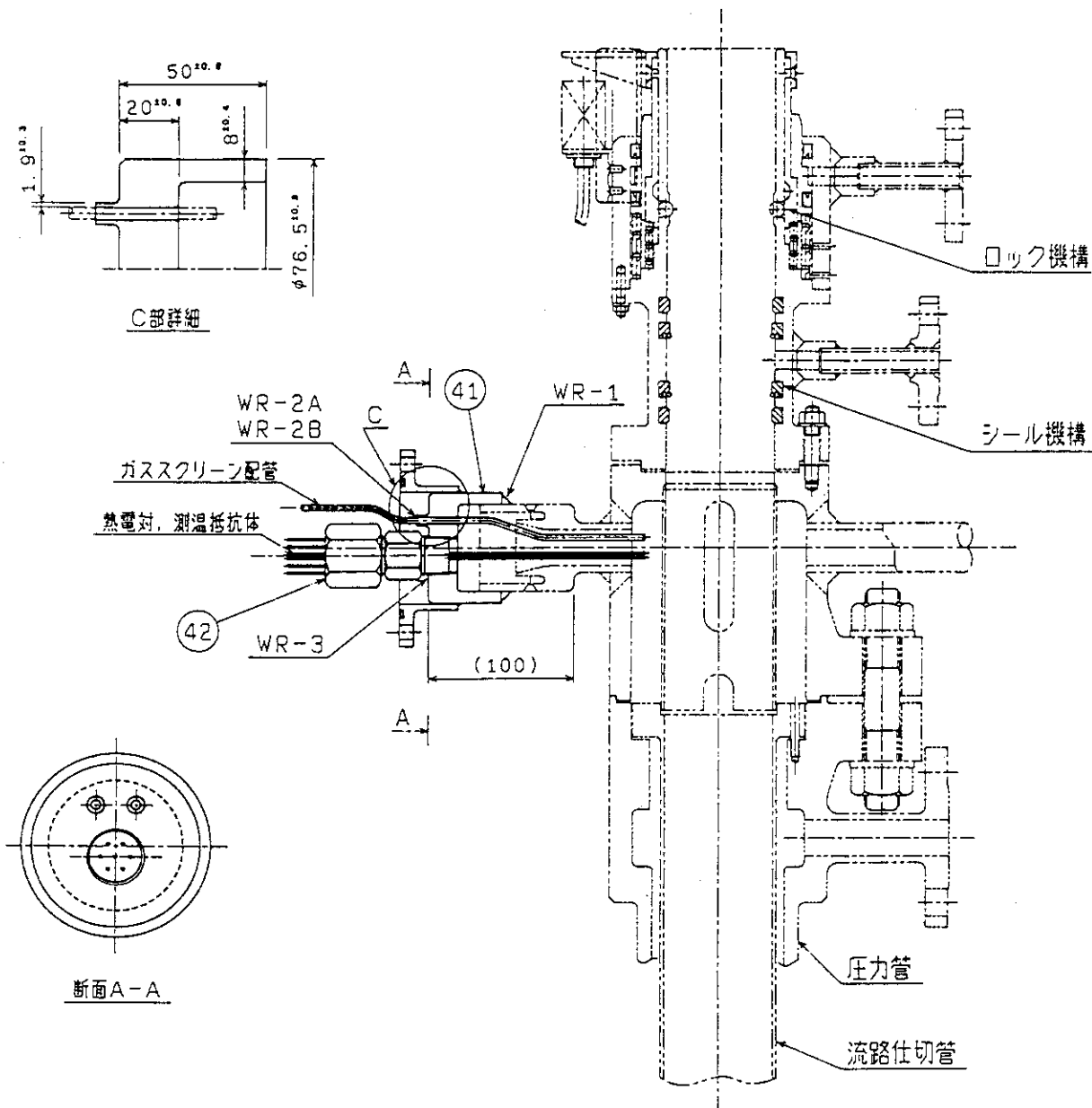
更新機器：ガススクリーン，ガススクリーン配管，流路仕切管，熱電対取出ノズル

第 2 図 更新の範囲



第3図 ガススクリーン、ガススクリーン配管、流路仕切管の構造

注記1： 本図は主要構造を示したものである。
 2： 図中で寸法公差未記入のものはJIS B 040101B類による。

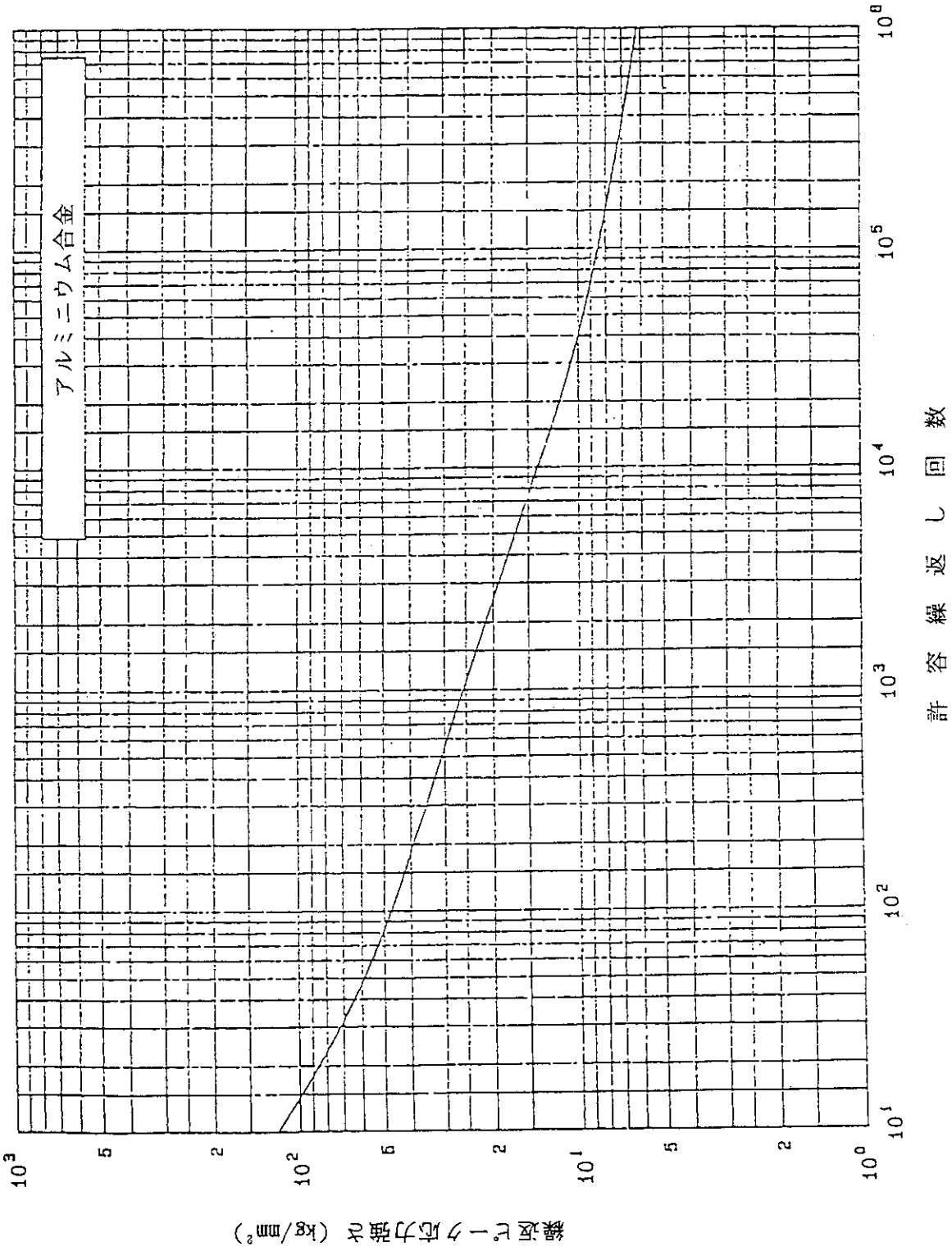


WR-1~WR-3は溶接番号を示す。

42	コナックスシール	1
41	熱電対取出ノズル	1
品番	品名	数量

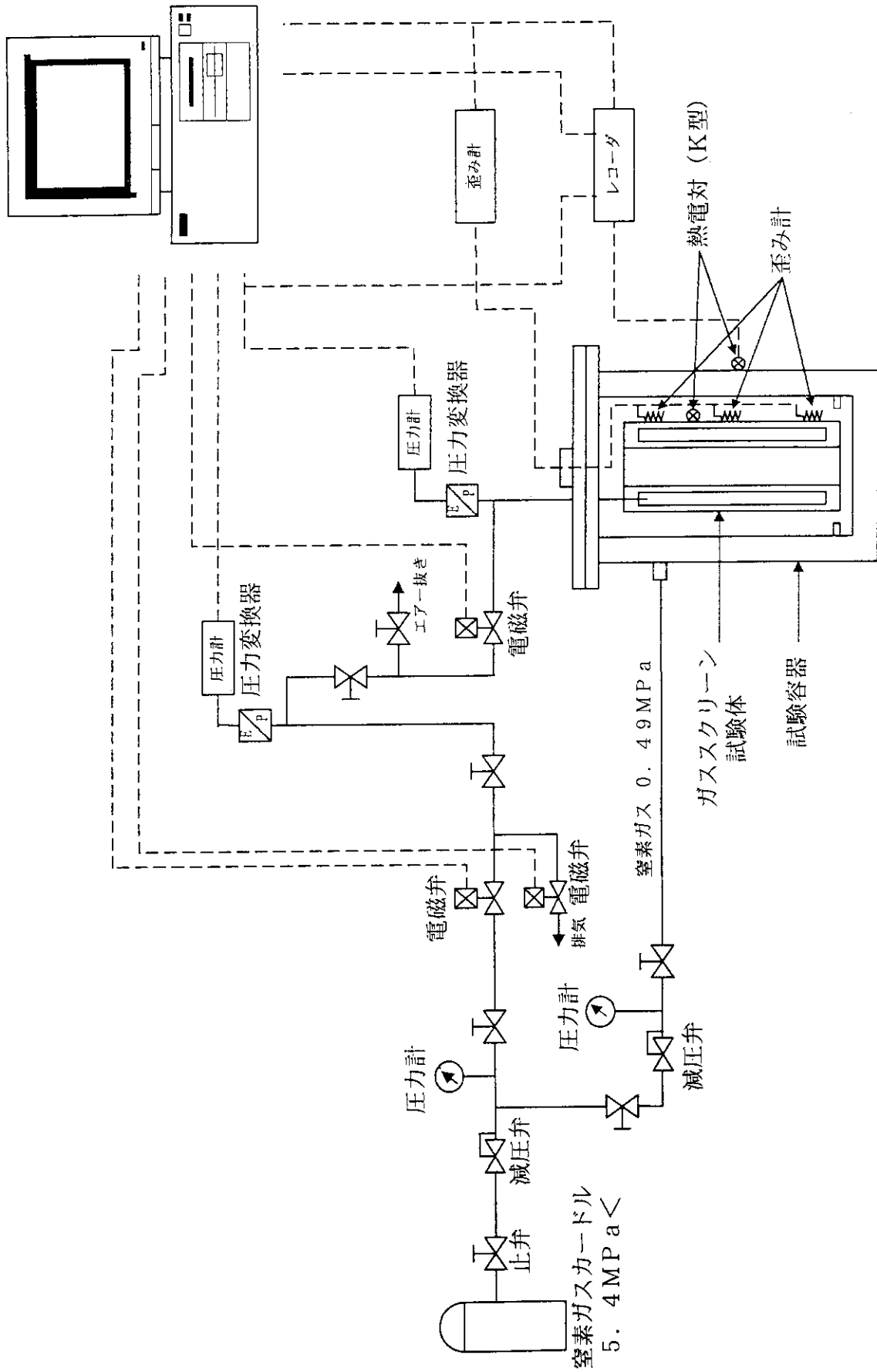
第4図 熱電対取出しノズルの構造

試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準 別図第2-2

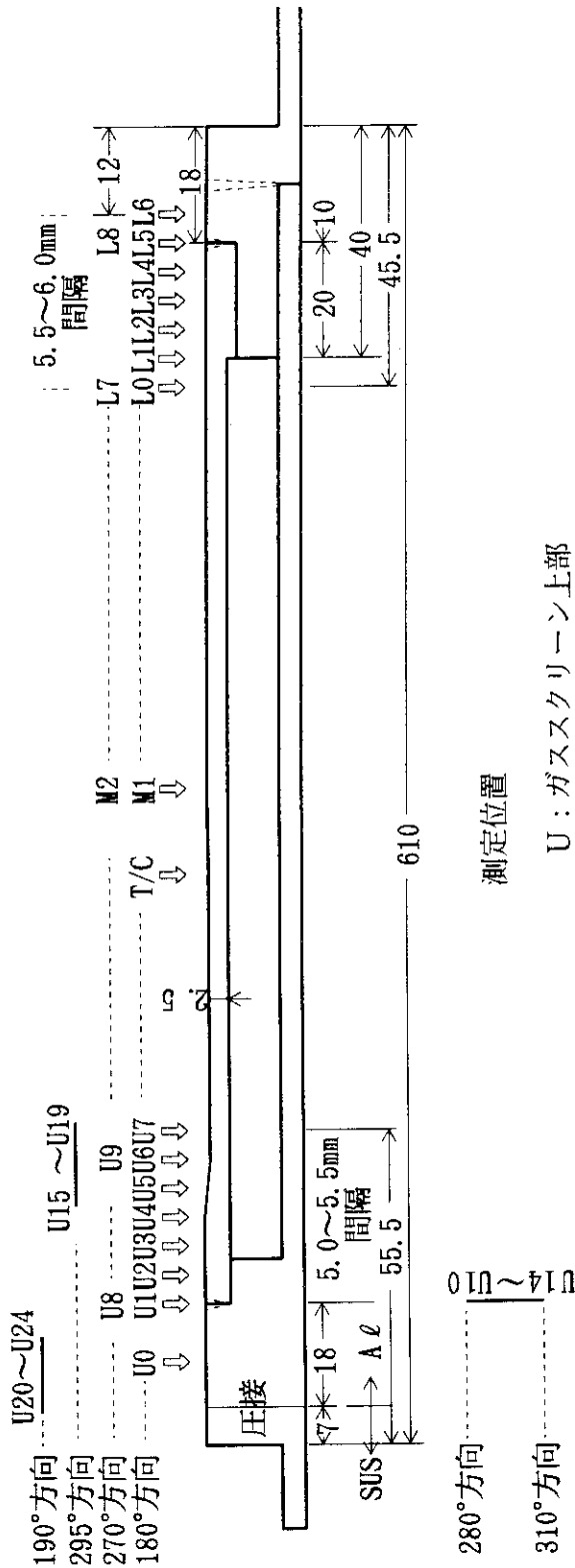


第5図 設計疲れ線図

歪みデータ採取及び
自動圧力変更用パソコン



第6図 ガススクリーン試験体疲労試験装置の概要



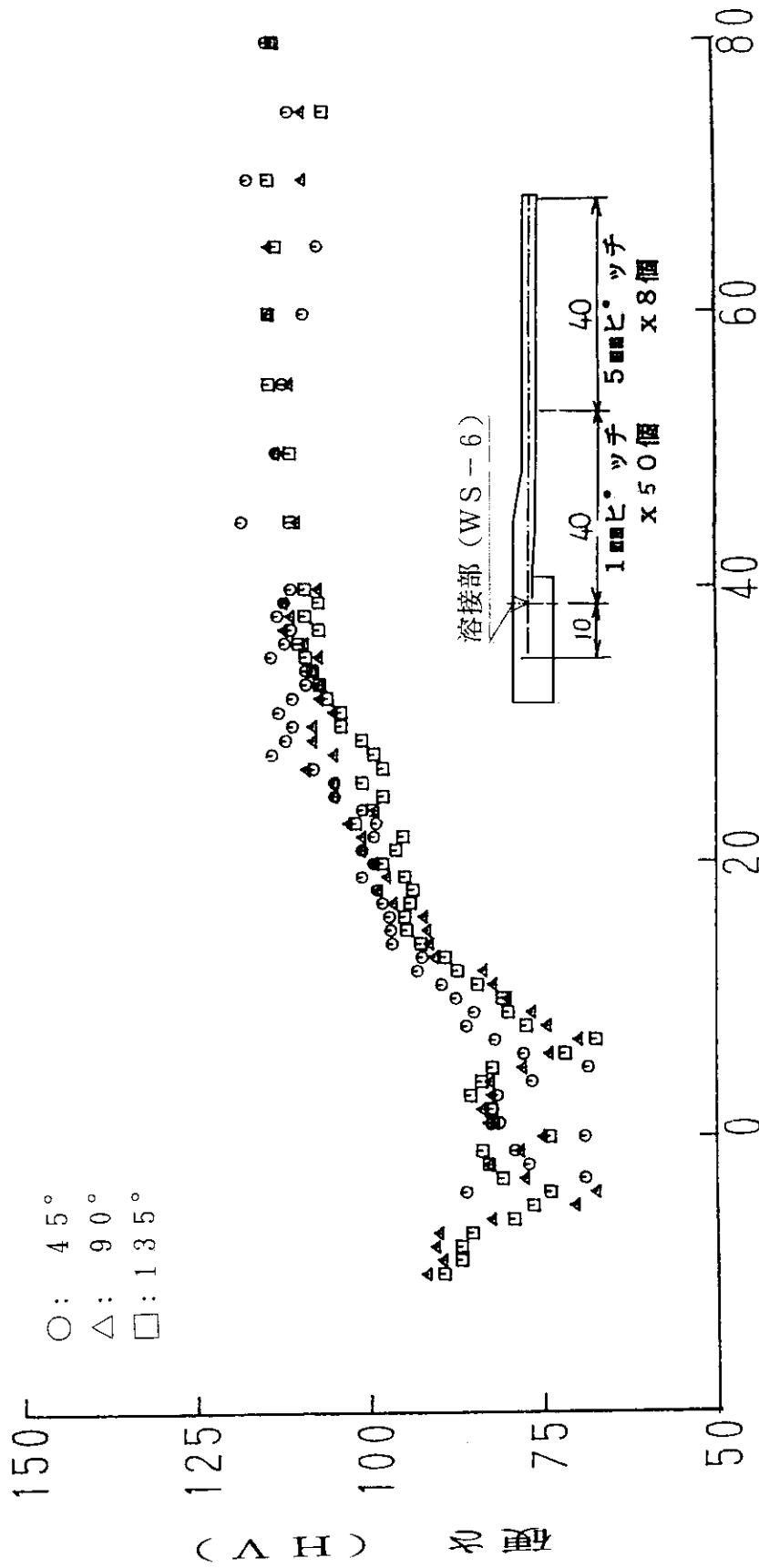
測定位置

- U : ガスクリーン上部
- L : ガスクリーン下部
- M : ガスクリーン中央部

歪みゲージの形状

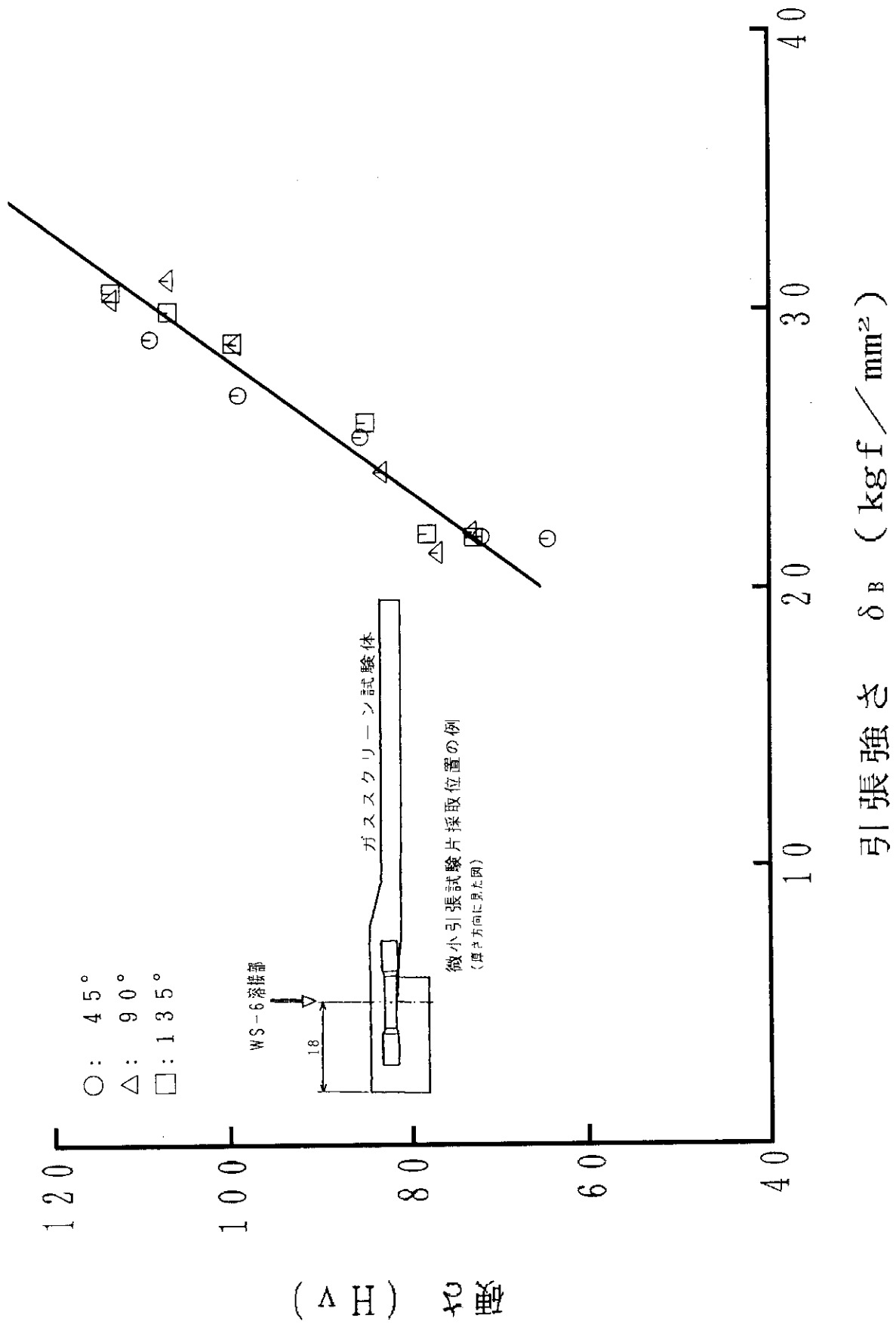
- U10~U14: 2mm間隔 5 対セット歪みゲージ (周方向の歪み測定)
- U15~U24: 2mm間隔 5 対セット歪みゲージ (軸方向の歪み測定)
- U0 ~U9 : 2 軸交差型箔ゲージ (周、軸方向の歪み測定)
- L0 ~L8 : 2 軸交差型箔ゲージ (周、軸方向の歪み測定)
- M1, M2 : 2 軸交差型箔ゲージ (周、軸方向の歪み測定)

第 7 図 ガスクリーン試験体歪みゲージの貼り付け箇所

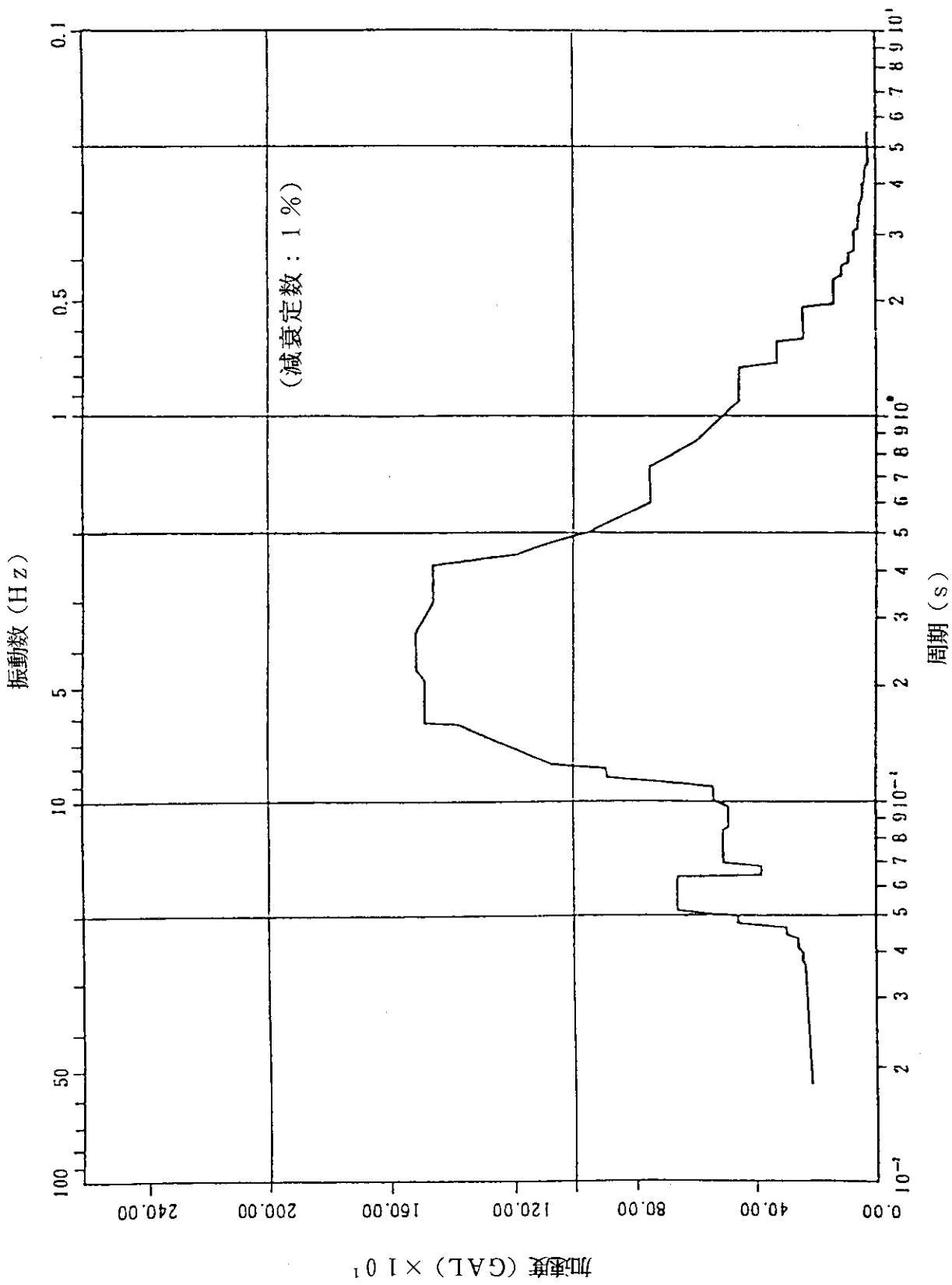


溶着金属中心部からの距離 (mm)

第8図 電子ビーム溶接部からの距離に対する硬さの変化

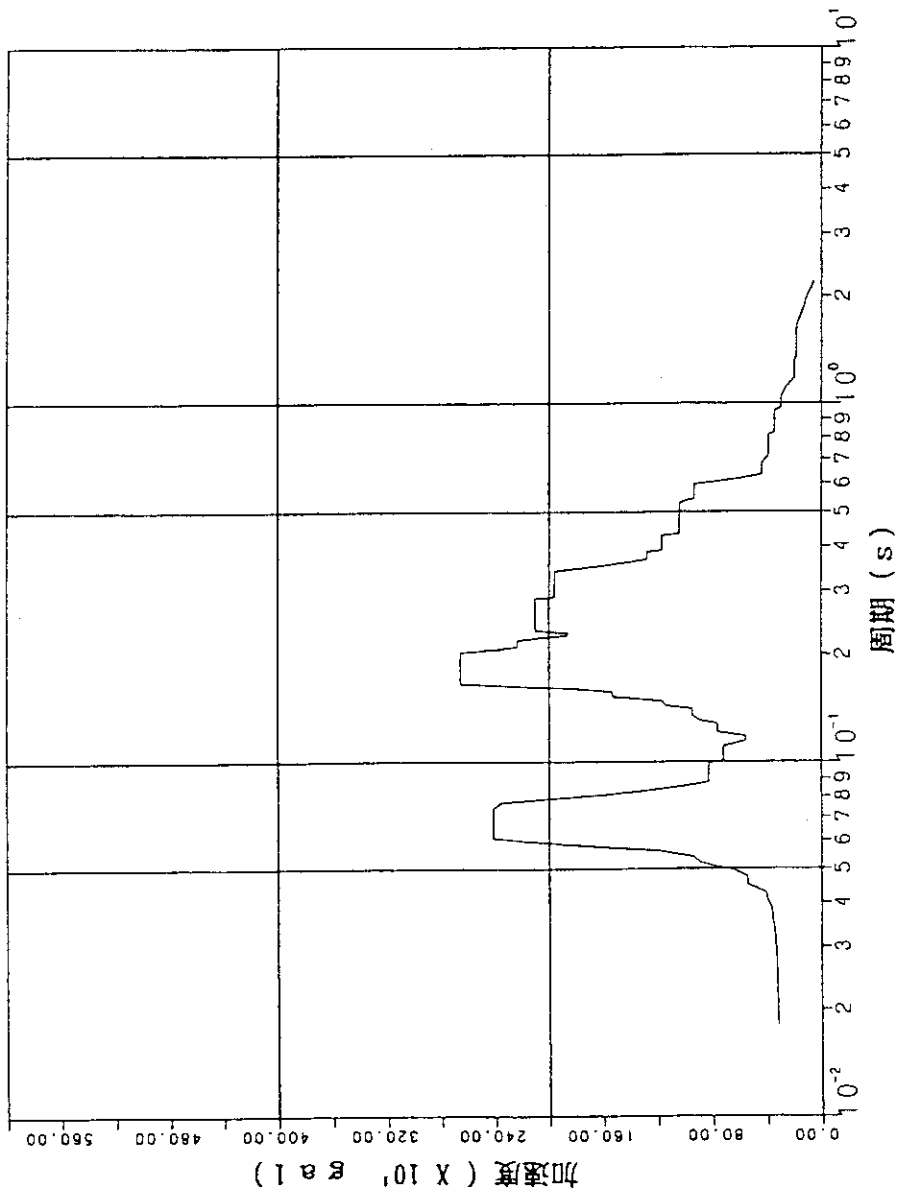


第9図 電子ビーム溶接部近傍の硬さと引張強さの関係



(炉室1F, 炉容器頂部及び炉内グリッドを包絡)

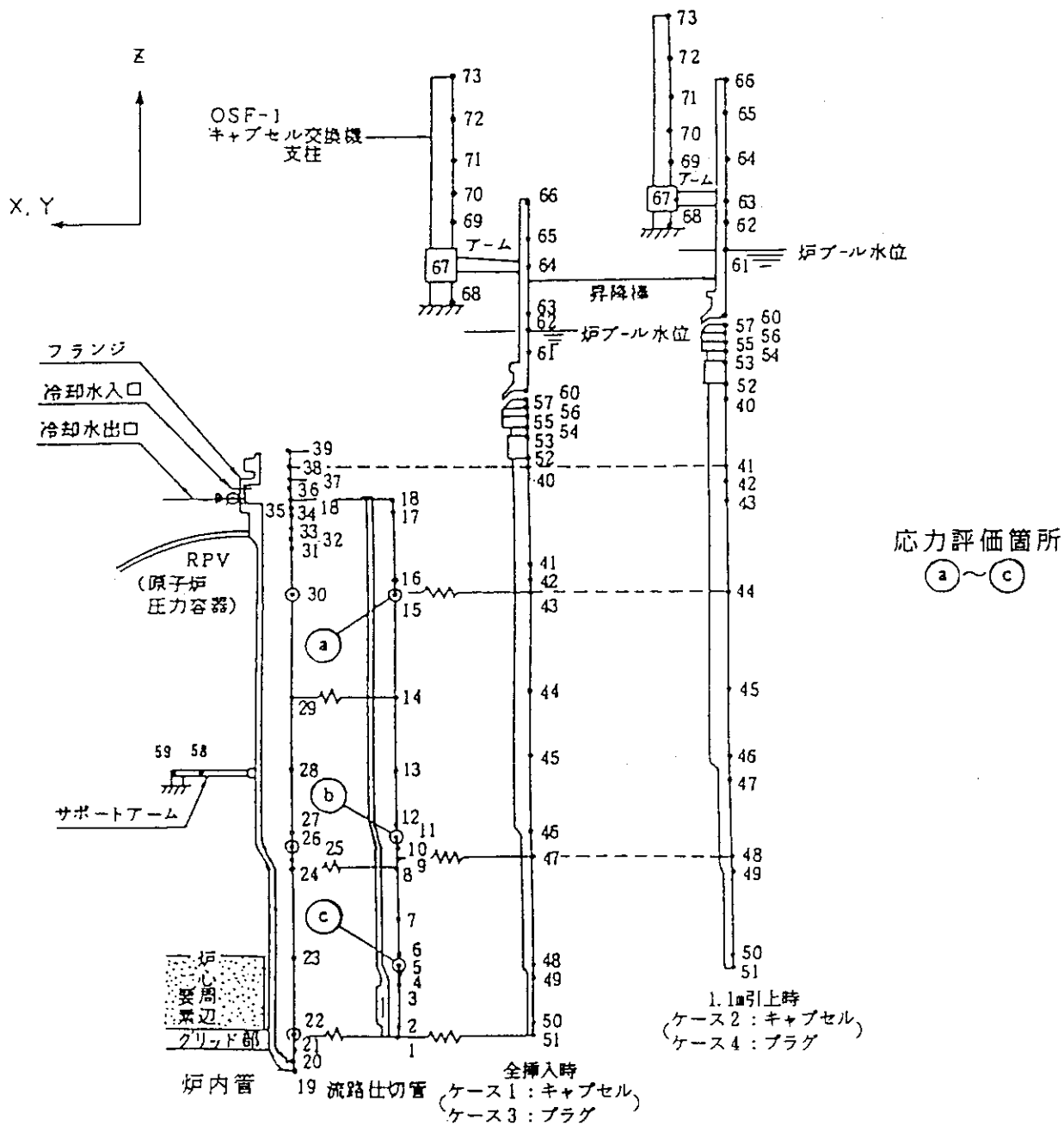
第10図 旧設計用床応答スペクトル



(炉室 1 F、炉容器頂部および炉内グリッドを包絡 減衰比 1%)

第 11 図 新設計用床応答スペクトル

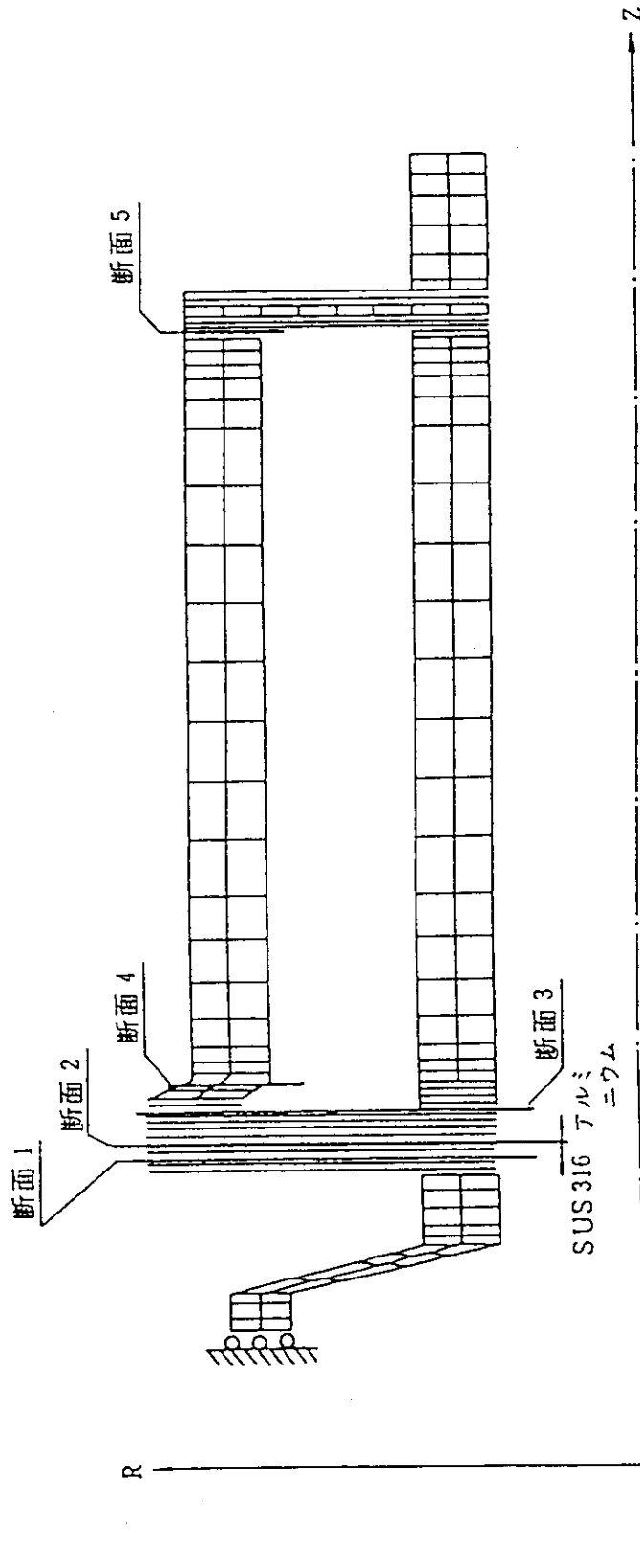
数字は各部の節点番号を示す。



第12図 耐震解析上の計算モデル

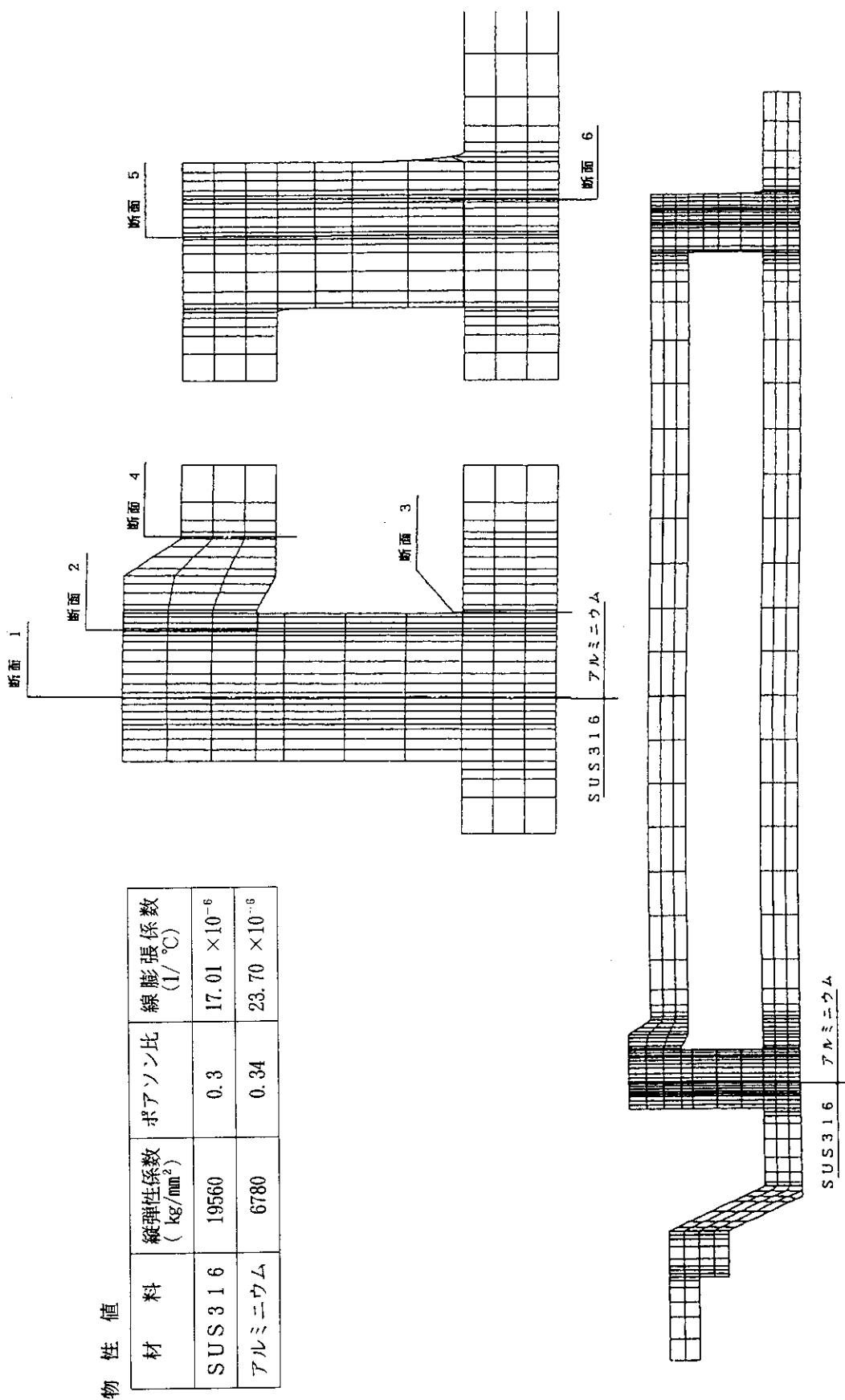
物性値

材 料	縦弾性係数 (kg/mm ²)	ポアソン比	線膨張係数 (1/°C)
SUS316	19560	0.3	16.74×10^{-6}
アルミニウム	6940	0.34	23.07×10^{-6}



評価断面 (ガススクリーン)

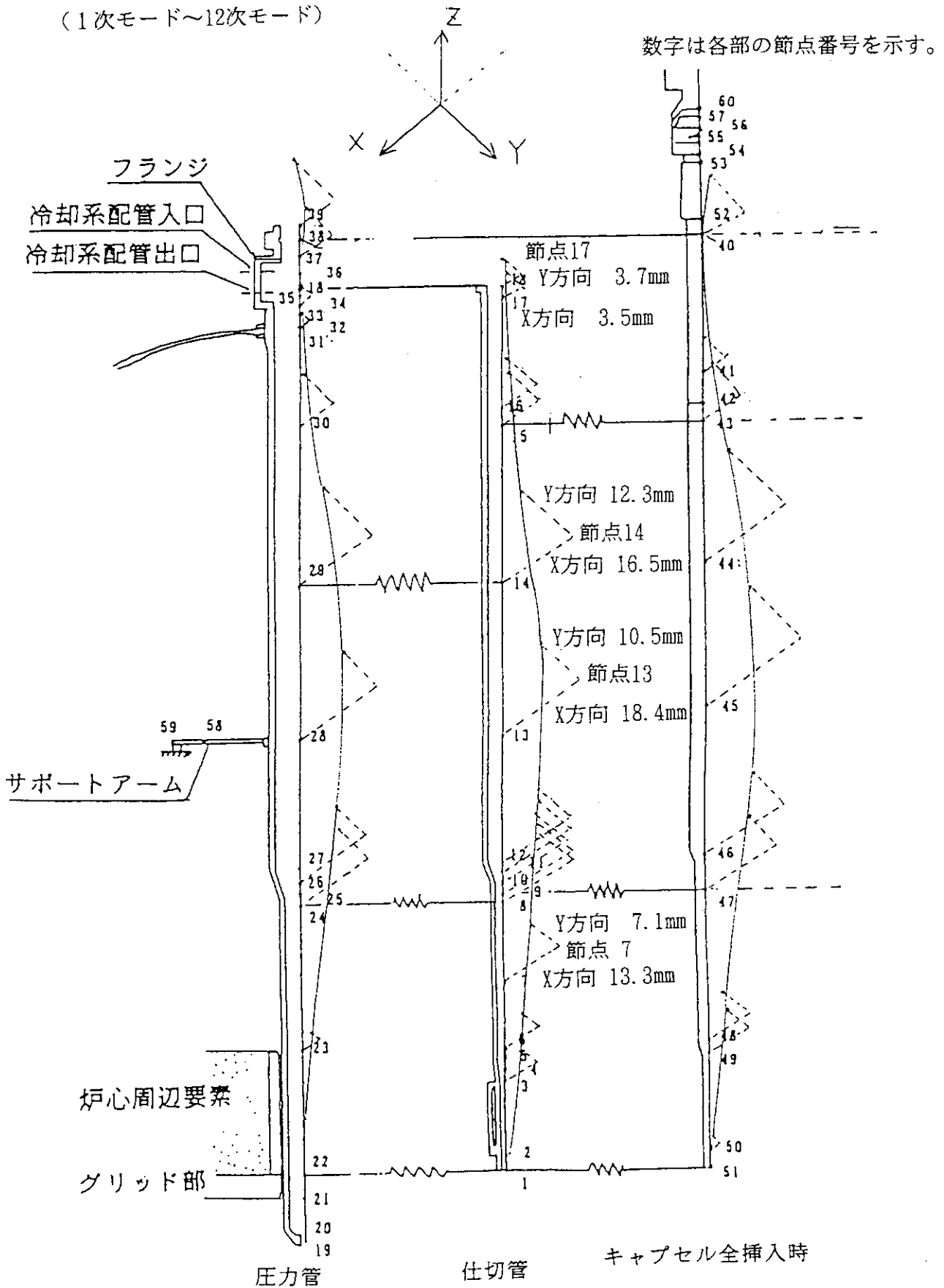
第11図 耐震計算上の評価断面 (旧)



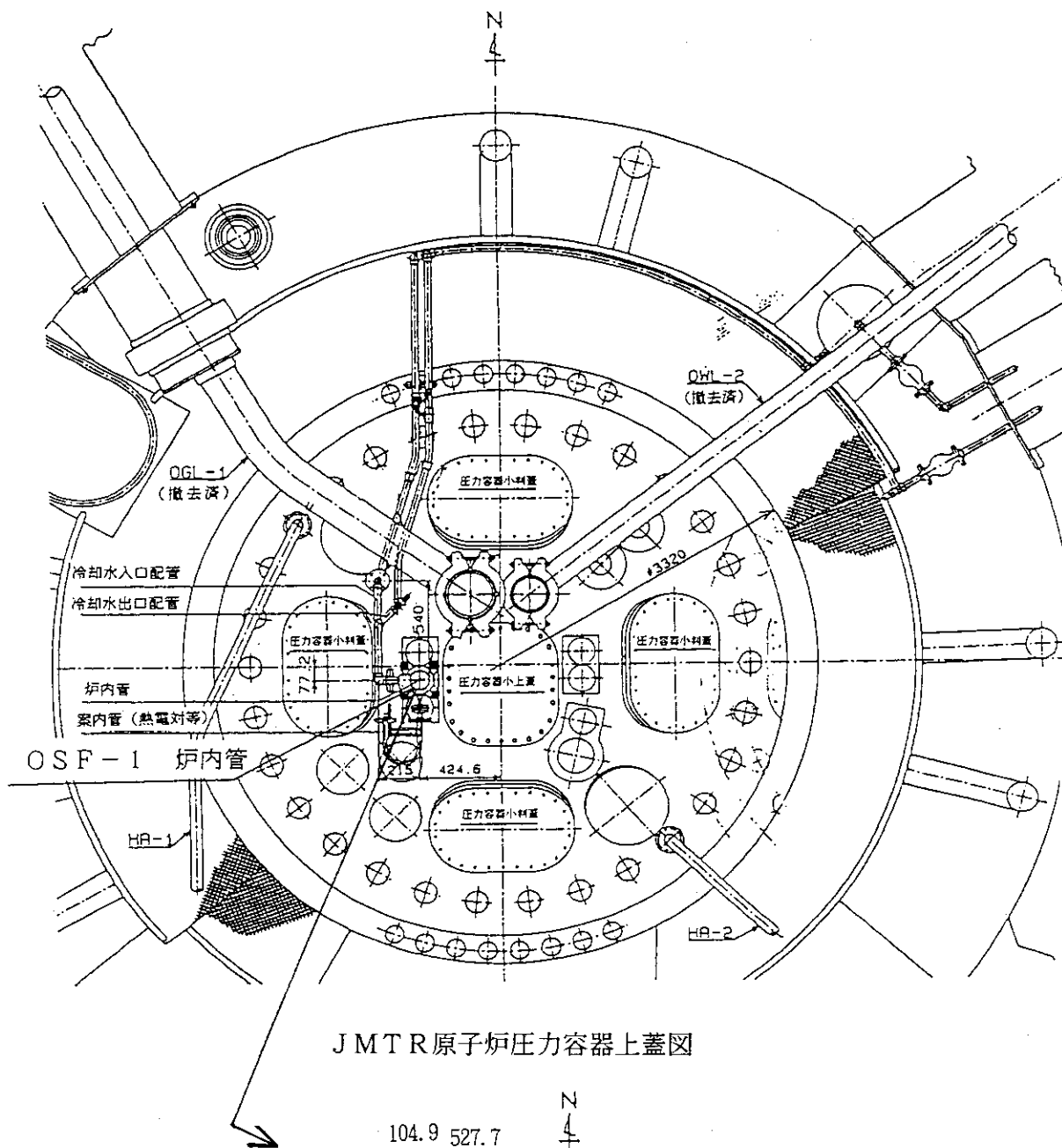
評価断面 (ガスクリーン)

第14図 耐震解析上の評価断面 (新)

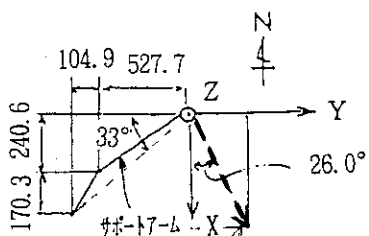
キャセルを炉内管に全挿入した状態における全てのモードの合成（最大変位）
 （1次モード～12次モード）



第15図 耐震計算結果から求めた仕切管の変位



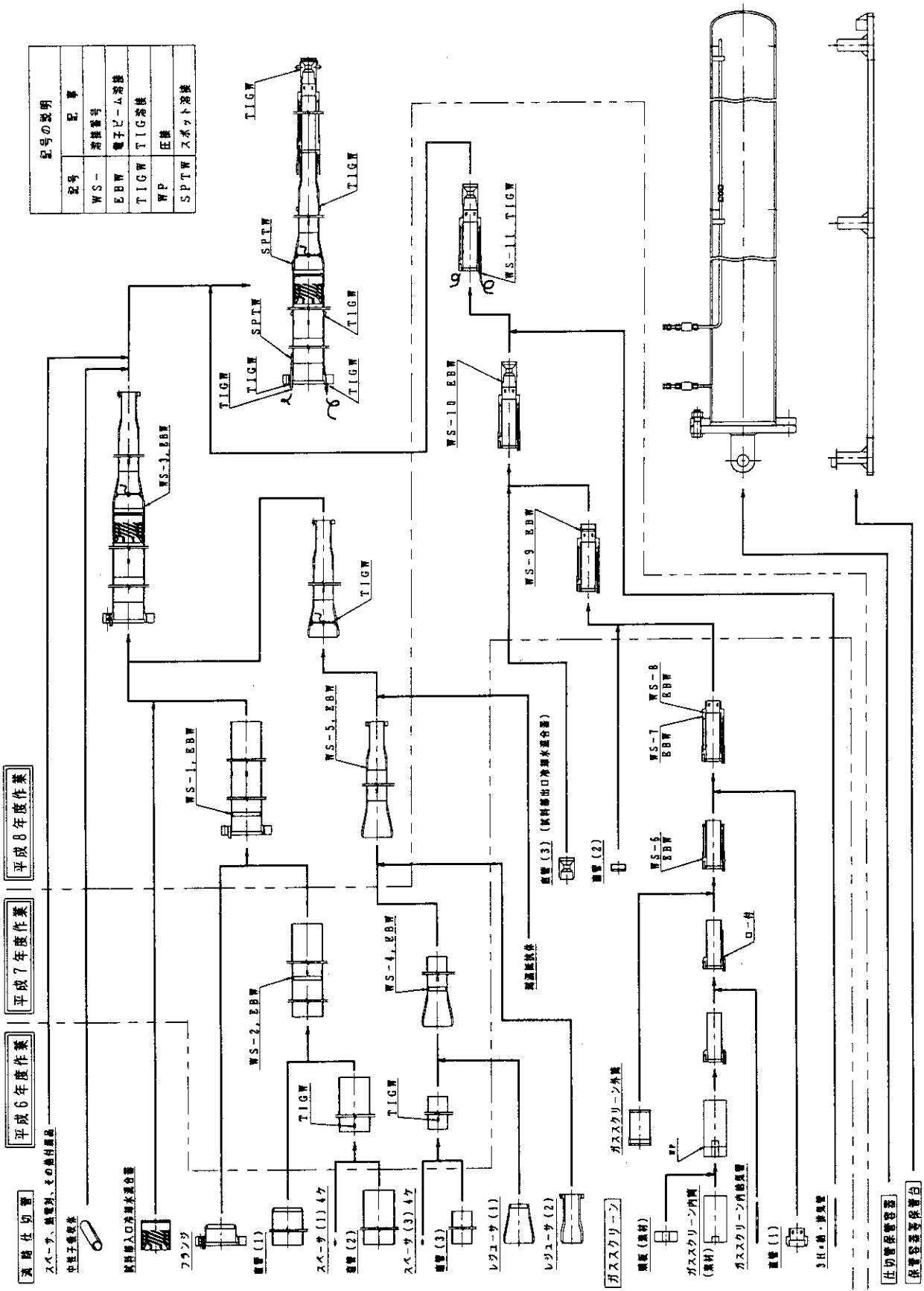
JMTR原子炉压力容器上蓋図



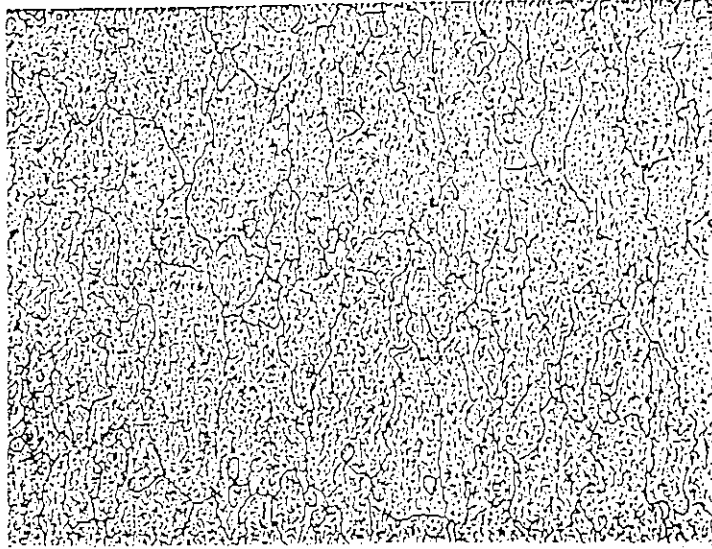
仕切管の変位方向 $\Delta x: 18.4\text{mm}$, $\Delta Y: 10.5\text{mm}$
 (ボ-17-ム とほぼ直角方向に変位する)

仕切管の最大変位方向 (OSF-1 炉内管座標系)
 (原子炉压力容器上蓋から見た変位方向)

第16図 耐震計算結果から求めた仕切管の変位

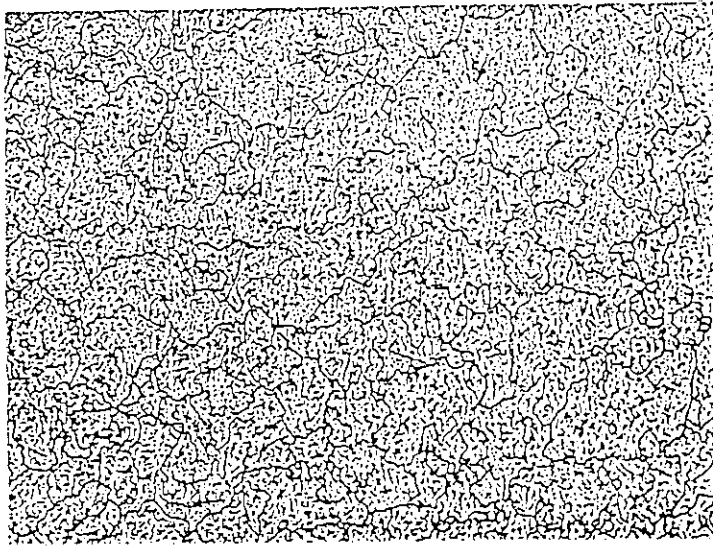


第17図 年度毎の製作範囲



外周部(×50倍)

試料採取位置: 押出直角断面の外周部



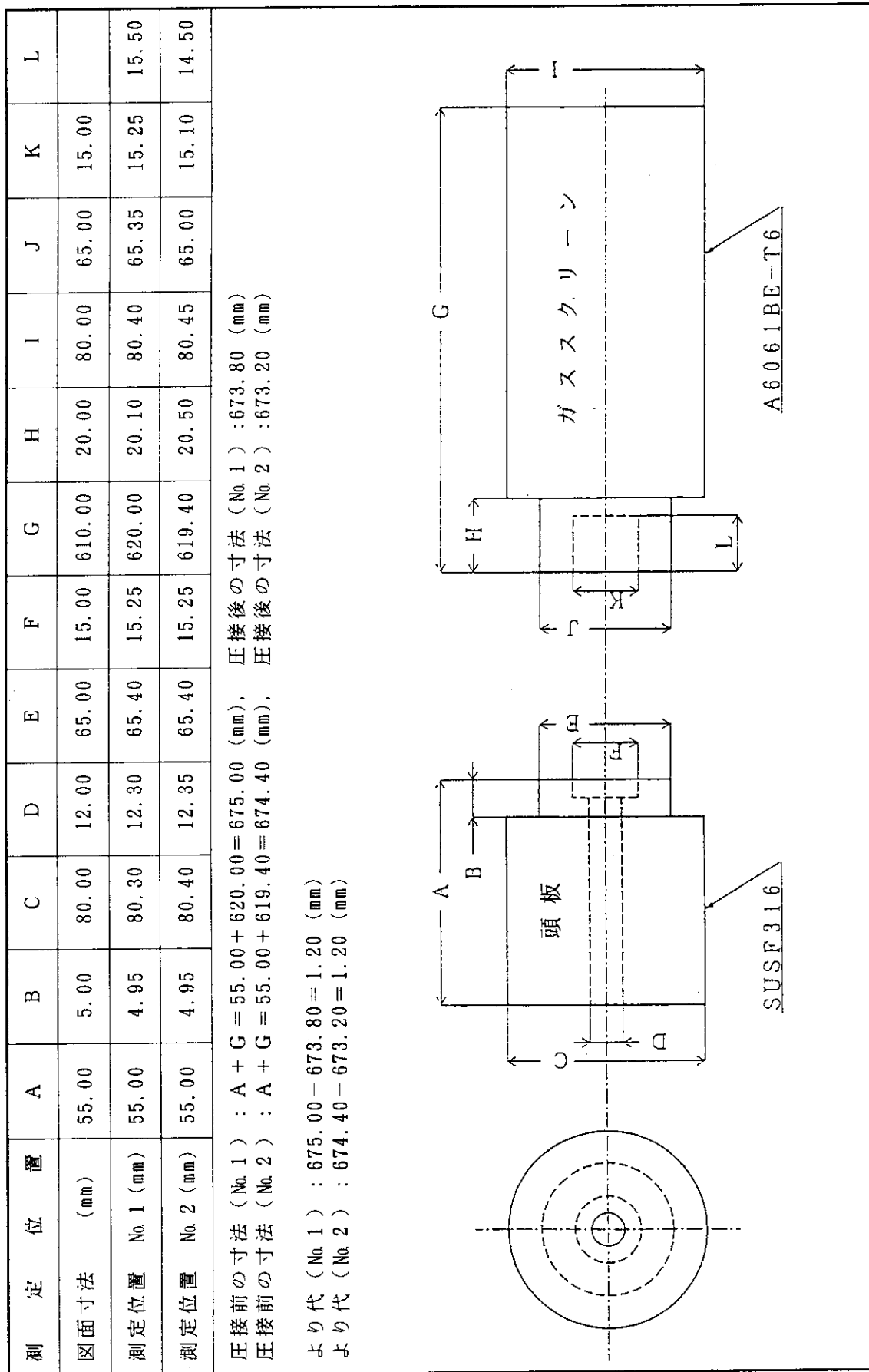
中心部(×50倍)

試料採取位置: 押出直角断面の中心部

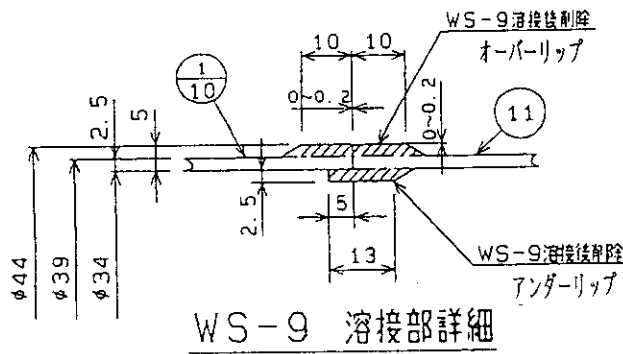
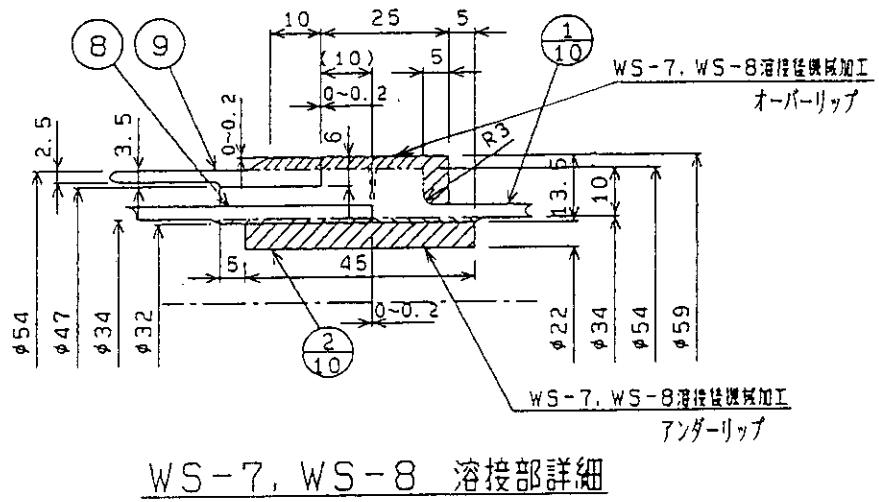
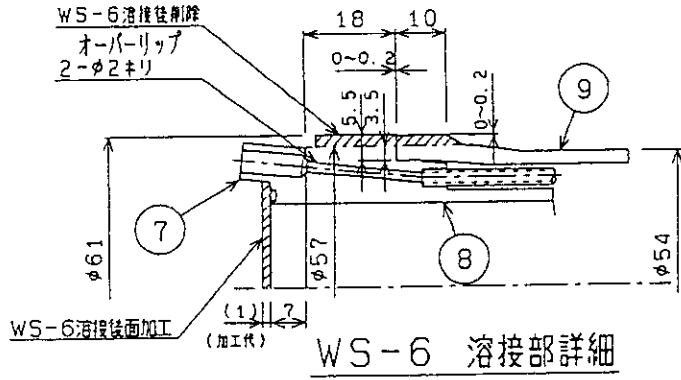
A6061BE-T6 押出棒

サイズ: $\phi 85 \times 2000$ mm

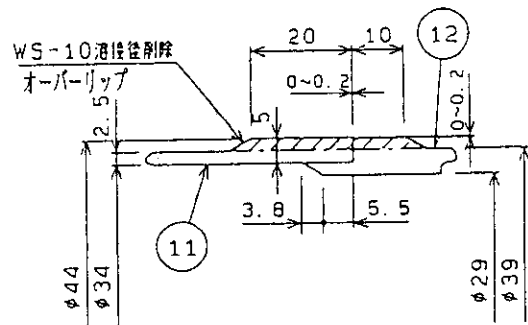
第18図 アルミニウム合金棒の結晶粒度の違い



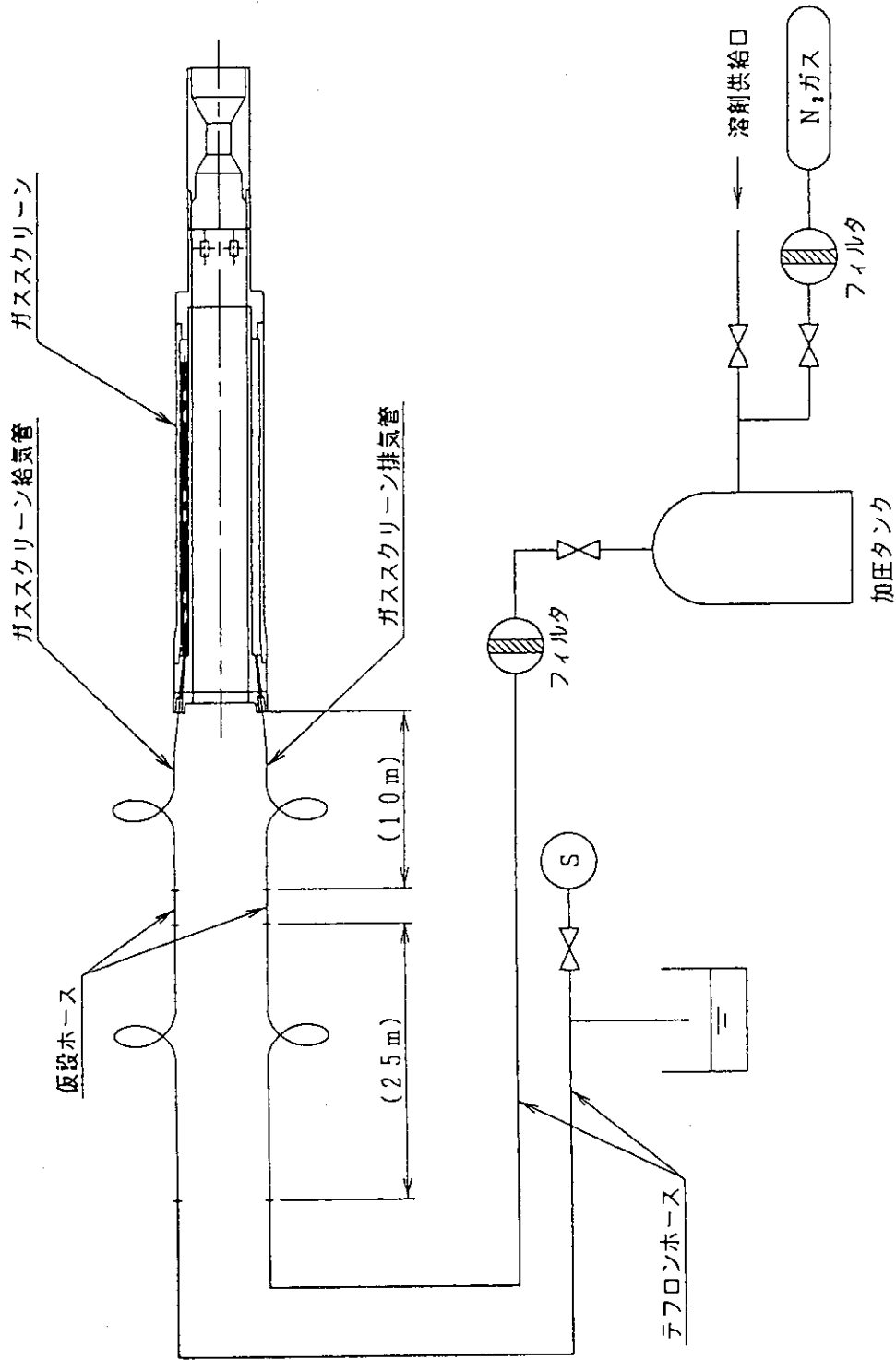
第19図 摩擦圧接の結果



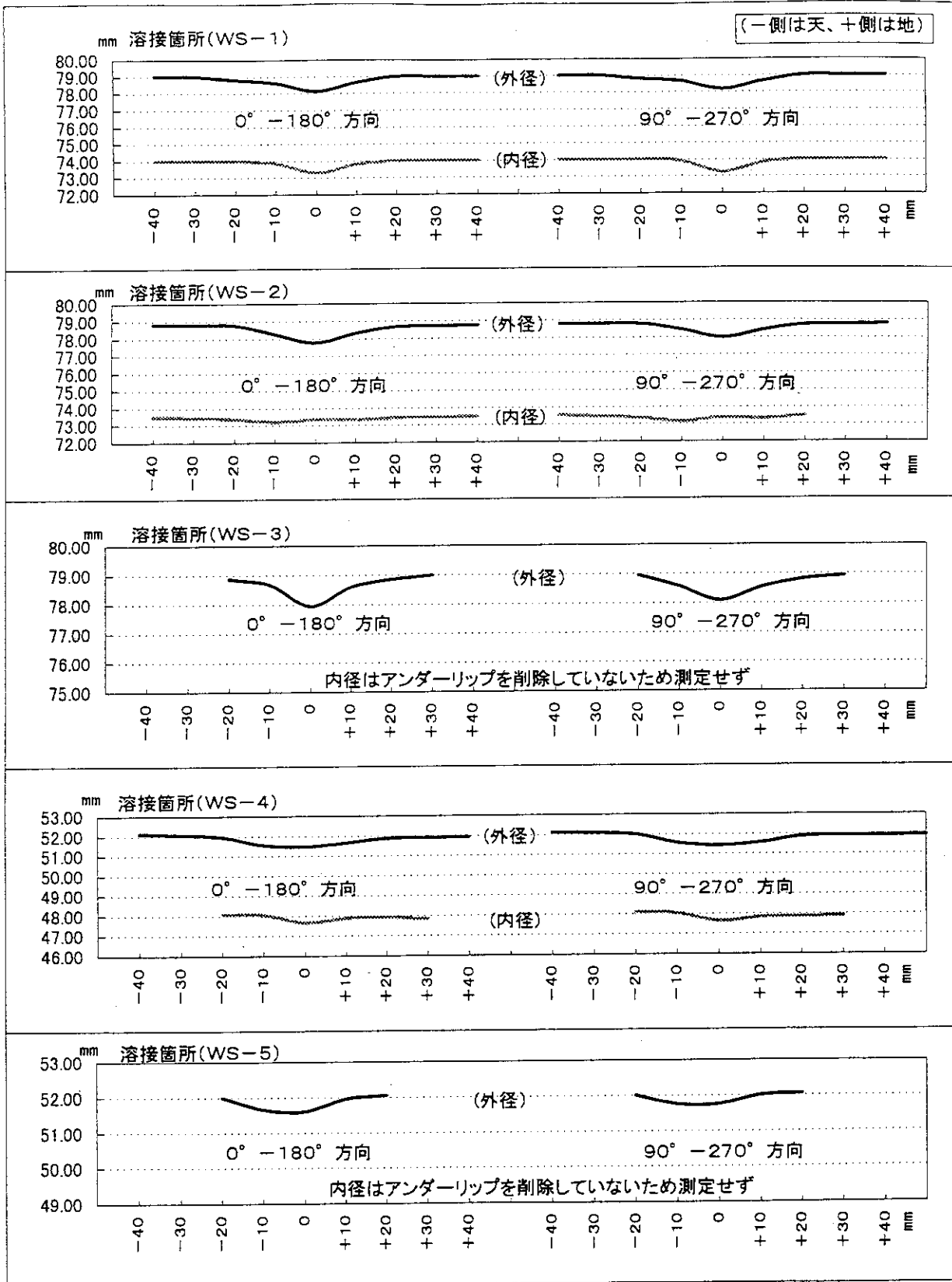
WS-10 溶接部詳細



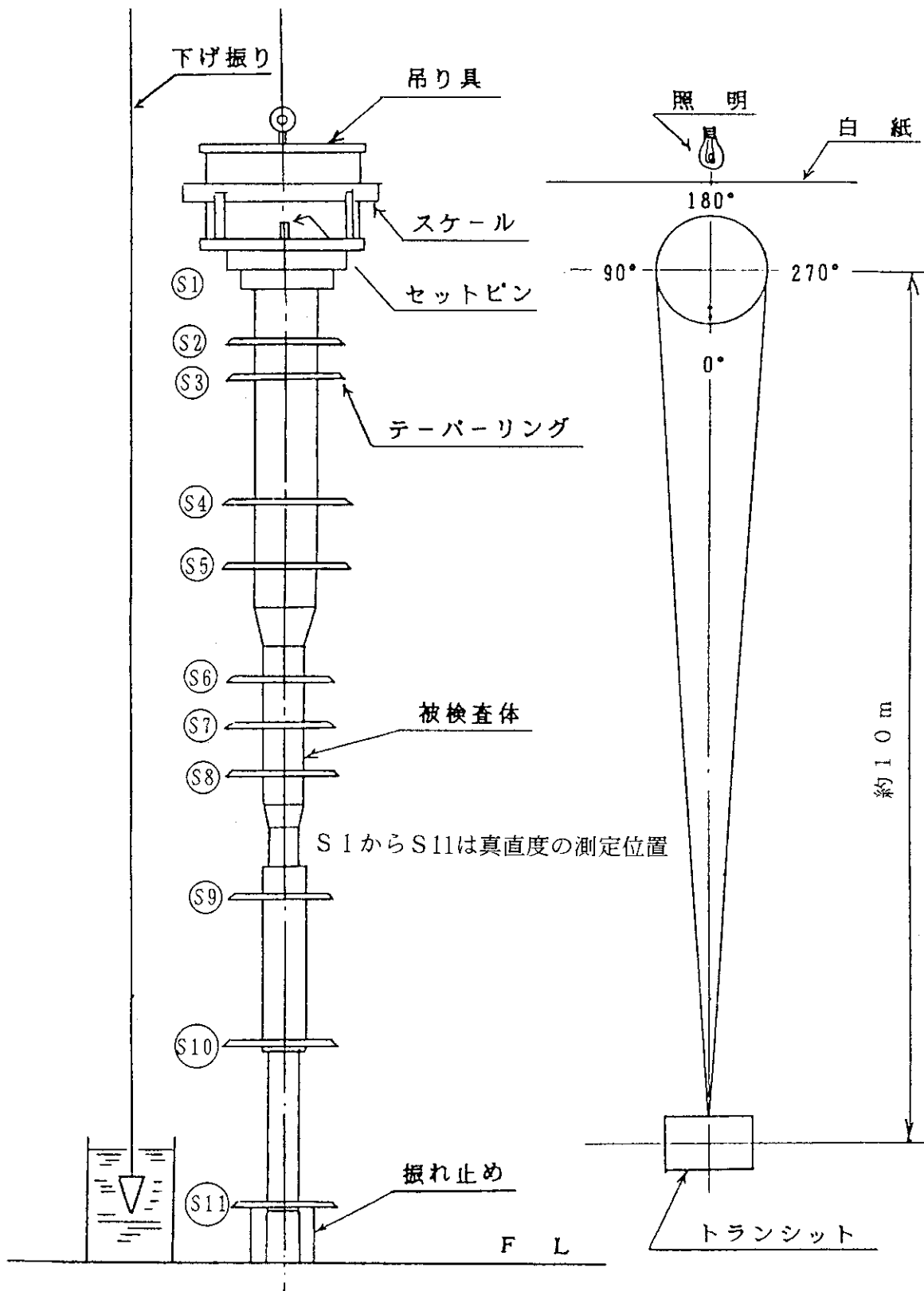
第20図 ガスクリーン溶接部のオーバーリップ、アンダーリップの形状



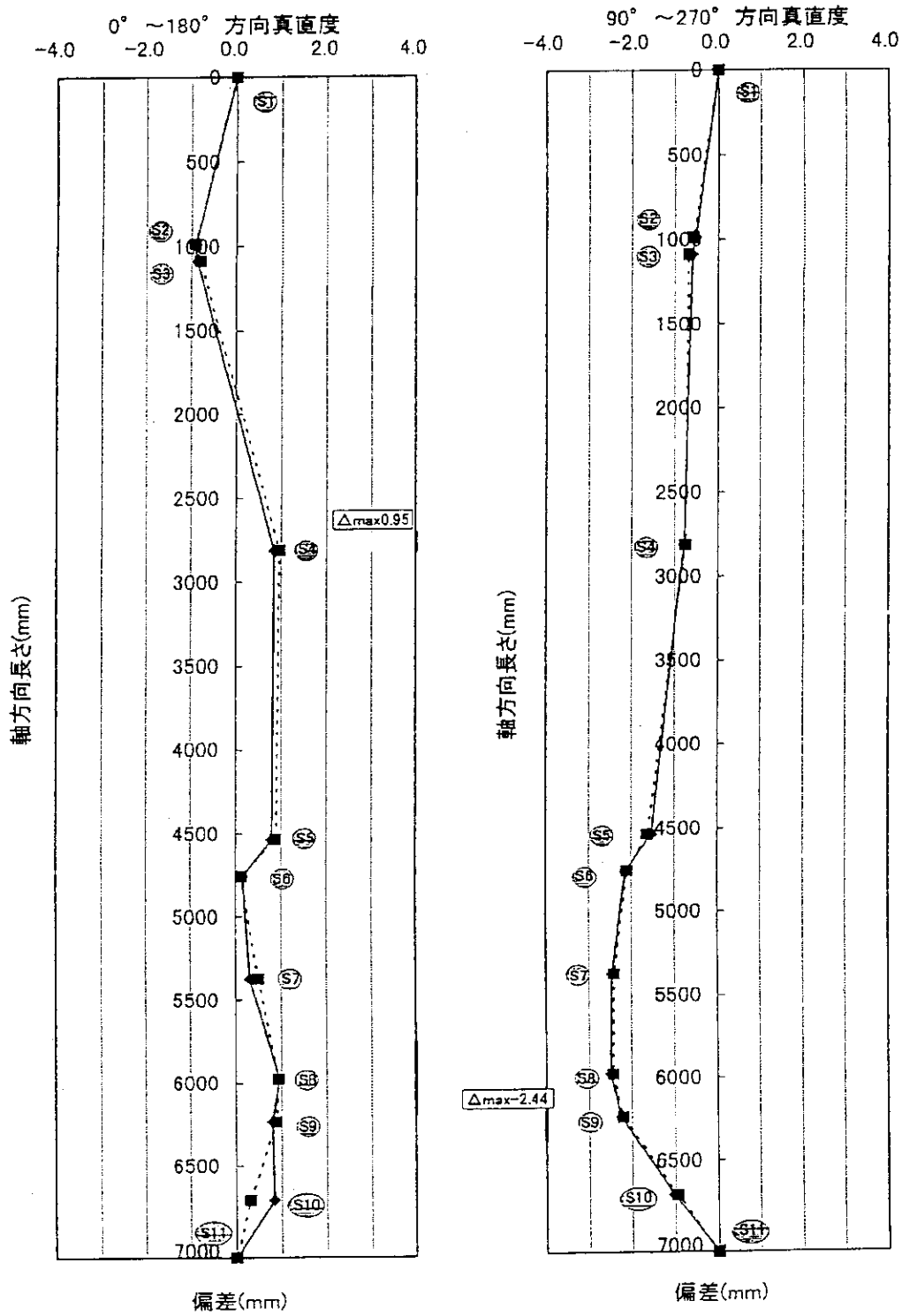
第21図 ガススクリーンの洗浄方法



第22図 電子ビーム溶接による流路仕切管の縮径の様子



第23図 真直度の検査方法

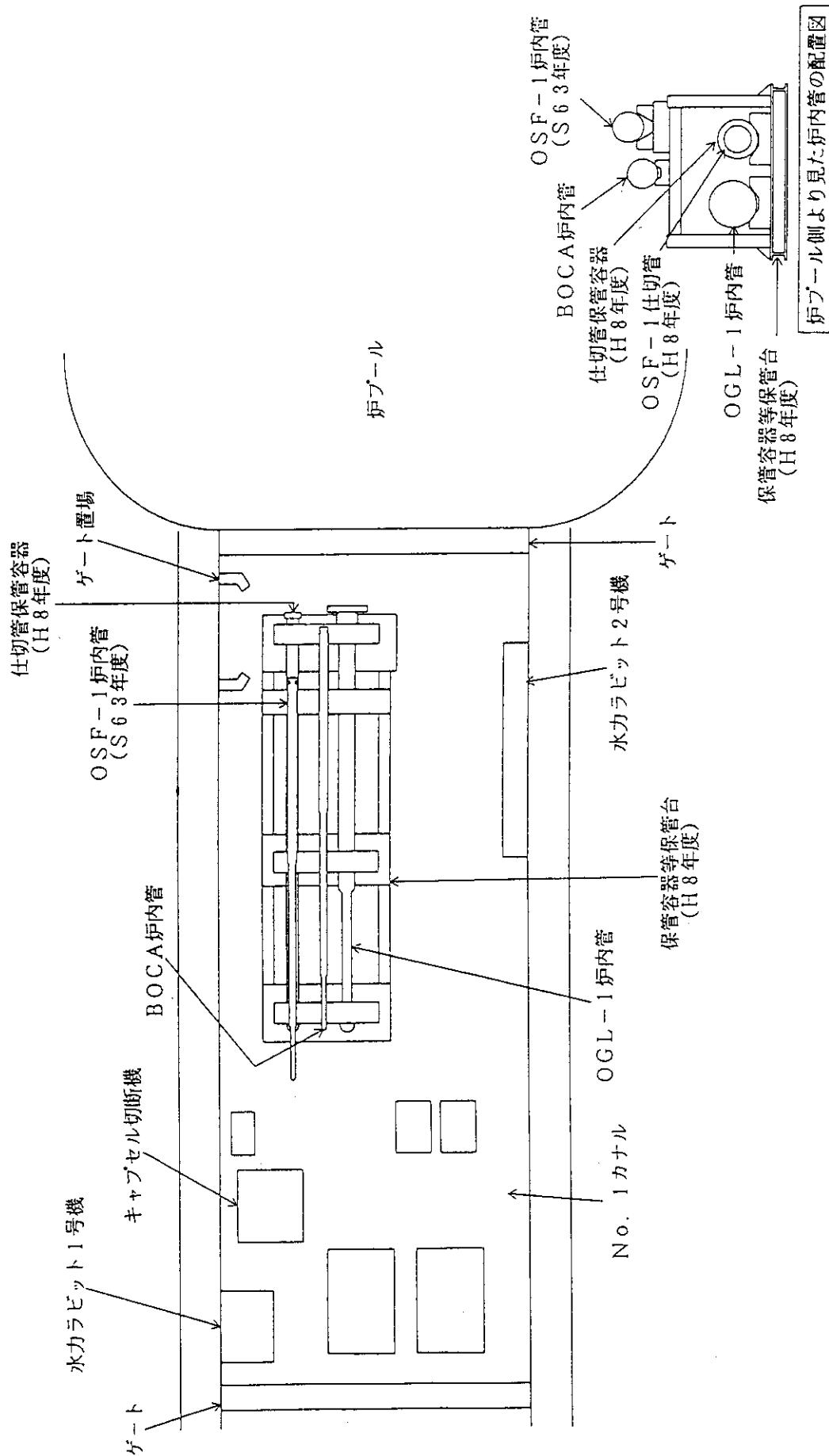


流路仕切管+ガススクリーン真直度計算結果

0° ~180°	1/7509
90° ~270°	1/2924

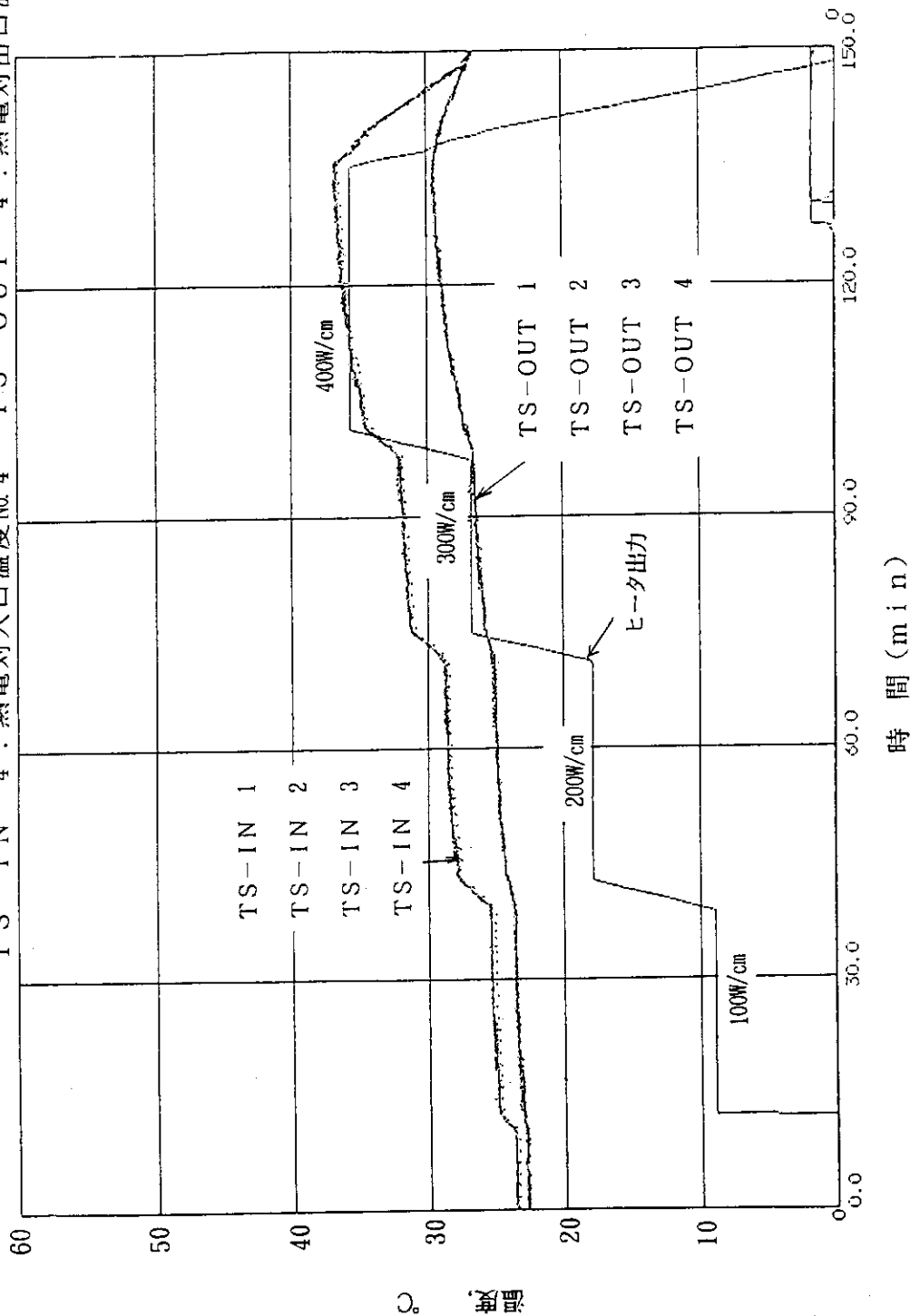
$$\text{真直度} = \frac{\Delta_n (\text{max})}{7134}$$

第24図 真直度の検査結果



第25図 使用済炉内管の保管状況

DISPLAY START: 96.12.12 15:00:00
 CAPSULE NAME : 87BM-3J
 CYCLE No. : 119 CY
 TS-IN 1 : 熱電対入口温度 No. 1
 TS-IN 2 : 熱電対入口温度 No. 2
 TS-IN 3 : 熱電対入口温度 No. 3
 TS-IN 4 : 熱電対入口温度 No. 4
 TS-OUT 1 : 熱電対出口温度 No. 1
 TS-OUT 2 : 熱電対出口温度 No. 2
 TS-OUT 3 : 熱電対出口温度 No. 3
 TS-OUT 4 : 熱電対出口温度 No. 4

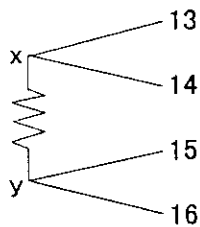
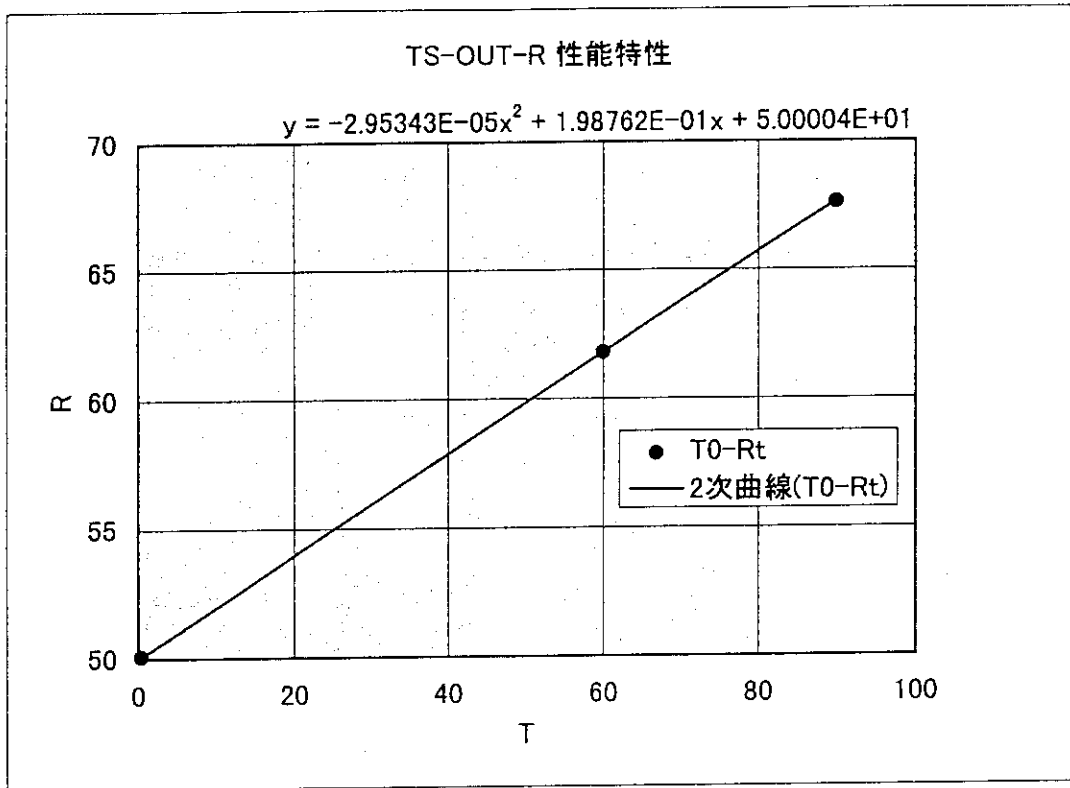


第26図 ヒータ出力に対する熱電対の温度指示

出口測温抵抗体

R0 = 50
 R100 = 69.58
 (目標)

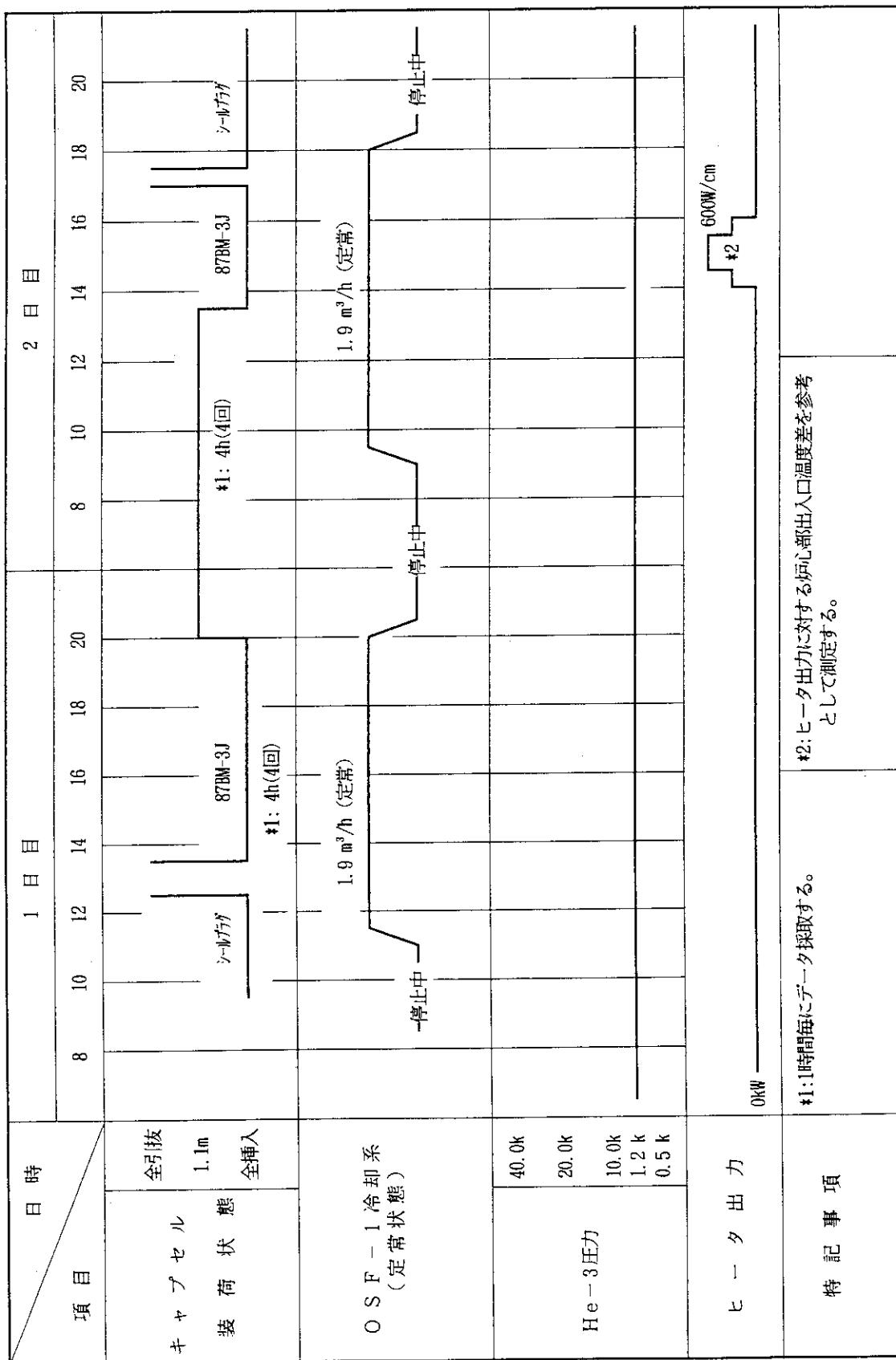
検出温度 T0	抵抗値 Rt
0.34	50.068
59.919	61.804
89.903	67.631



	1.8 kW	3.6 kW	7.2 kW	10.8 kW	14.4 kW
R(13-14)	89.4	89.59	89.77	90.06	90.46
R(13-15)	144	144.59	145.44	146.38	147.83
R(13-16)	143.92	144.5	145.38	146.35	147.64
R(14-15)	144	144.52	145.42	146.34	147.77
R(14-16)	143.93	144.46	145.37	146.28	147.63
R(15-16)	89.06	89.26	89.49	89.77	90.2
R(x-y)	54.7325	55.0925	55.7725	56.4225	57.3875
T (°C)	23.8927	25.7174	29.1667	32.4659	37.3731

第 27 図 温度評価結果の例 (測温抵抗体)

OSF-1性能試験案(コールドラン試験) — 仕切管更新後実施 —



第28図 コールドラン試験工程

OSF-1性能試験工程案(ホットラン試験) - 仕切管更新後の第120サイクルに実施 -

項目	日 時	1日目	2日目	3日目	4日目	以降
キャプセル 装荷状態	全引抜 1.1m 全挿入				91BM-5J	
	OSF-1冷却系 (定常状態) 原子炉一次系定常				1.9 m ³ /h (定常)	
原子炉出力		0	50MW #2			
He-3圧力	40.0k	3回実施		#5	#4 20k 10k 5k 3k #5 40k 15k 6k 2k 各昇降時間 5分 ホールド時間 30分	40k 15k 6k 2k #5 0.3k
	1.2 k					
ヒータ出力	600W/cm 0 W/cm	#1		#3		
特記事項		#1: ヒータ出力に対するSPNDの出力のデータを採取 (0 MW) #2: 原子炉出力上昇時、線量測定、放射線モニター等の監視			#3: ヒータ出力に対するSPNDの出力のデータを採取 (50MW) #4: 各ステップ毎のHe-3圧力に対するSPND出力のデータを採取 #5: He-3ガス変更は1.2-3-8-20-40 kg/cm ² のステップで上下降する。	

第29図 ホットラン試験工程案

第 1 表 仕切管製作の経緯

平成 4 年度	平成 5 年度	平成 6 年度	平成 7 年度	平成 8 年度
<p>設計</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計書 設計図 各種計算書 耐圧強度 耐震強度 放射線遮蔽 疲労評価 	<p>設計</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計図 各種計算書 熱的評価 保管容器強度 	<p>部品製作・溶接</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計図 製作要領 試験検査要領 溶接要領 工場立会検査 (素材検査～部品検査) 	<p>部品製作・組立・溶接</p> <ul style="list-style-type: none"> 製作図 溶接要領 保管要領 試験・検査要領 工場立会検査 (組立品検査) 	<p>組立・溶接</p> <ul style="list-style-type: none"> 現地工事要領 現地工程 試験・検査要領 工場立会検査 (組立品検査～完成品検査) <p>現地更新工事 (8/12 ~ 9/12)</p> <p>性能試験 (コールドラン)</p>

*1: 震災により納期延伸

← 疲労等についての調査・検討 →

← ガスクリーン 試験体疲労試験 41万回実施 →

試験体解体

組織検査 (金相試験等)

試験体引張試験

熱影響部調査

実機に反映

.....ポアスコープによるガスクリーニング内面観察 (年1回)

第2表 出力急昇試験設備の変更の経緯

<p>変更事項</p>	<p>項目</p>	<p>変更の目的</p>	<p>実施時期</p>	<p>設備の概要</p>	<p>炉内管の仕切管更新 疲労による寿命のため更新</p> <p>炉内管のジルカロイ化 高燃焼度燃料の出力急昇試験を実施するため、照射場の熱中性子束の増加を図る。</p> <p>設置 OSF-1の照射装置 原子炉運転中にBOCAの交換を可能にし、試験の効率化を図る。</p> <p>ヘリウム-3出力制御型沸騰水キヤプセル 軽水炉燃料の出力急昇試験を実施する。</p> <p>昭和56年(1981)</p> <p>昭和58年(1983)</p> <p>昭和63年(1988)</p> <p>平成8年(1996)</p>
-------------	-----------	--------------	-------------	--------------	--

第 3 表 機器設計条件・設計仕様

名 称		ガスクリーン	ガスクリーン配管	流 路 仕 切 管			熱電対取出ノズル		
機 器 区 分		第 4 種 容 器	第 4 種 管	—			第 3 種 管		
耐 震 ク ラ ス		A ク ラ ス 相 当 *1							
流 体 の 種 類		軽 水 (外 面)	軽 水 (外 面)	軽 水			軽 水		
		H ₂ O-3 ガス (内 面)	H ₂ O-3 ガス (内 面)						
最 高 使 用 圧 力 [MPa]		1. 8 6 (外 面)	1. 8 6 (外 面)	0. 2 9			1. 7 6		
		4. 4 (内 面)	4. 4 (内 面)						
最 高 使 用 温 度 (°C)		9 5	9 5	9 0			9 0		
型 式		二 重 円 筒 容 器	管	垂 直 円 筒 管			管		
主 要 寸 法	外 径 (mm)	外 筒	5 4	4		7 9	5 2	3 9	7 6. 5
	厚 さ (mm)		2. 5	1	0. 5	2. 5	2	2. 5	8
	外 径 (mm)	内 筒	3 9	—					
	厚 さ (mm)		2. 5						
	外 径 (mm)	直 管	3 9						
	厚 さ (mm)		2. 5						
	外 径 (mm)	頭 板	5 7						
	厚 さ (mm)		1 1. 5						
長 さ (mm)		9 6 1	—		6 1 7 3		—		
主 要 材 料	外 筒、内 筒、 直 管	A 6 0 6 1 B E - T 6	SUS 3 1 6 T P		SUS F 3 1 6 (フ ェ ン ツ ム ー ナ)			SUS F 3 1 6	
	頭 板	SUS F 3 1 6			SUS 3 1 6 T P (直 管)				
個 数		1	1 式		1			1	

* 1 : 原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG 4601) で示す耐震重要度分類の A クラス

第4表 耐震・応力評価結果 (ガスクリーナー)

評価面	耐震評価結果 (ガスクリーナー) (通常運転+地震) S63年度更新時 (単位: kg/mm ²)				1次+2次応力			
	1次一般膜応力		1次膜応力+1次曲げ応力		変動値		許容値	
	P _m	許容値 S _y (相当)	P _t + P _b	許容値 1.5S _y (相当)	P _t +P _b +Q	2S _y (相当)		
1	—	—	内面 1.3 外面 1.3	28.3 28.3	3.7 1.2	37.7 37.7		
2	—	—	内面 0.9 外面 0.9	9.4 9.4	2.1 1.2	12.6 12.6		
3	3.2	6.3	内面 3.2 外面 3.2	9.4 9.4	4.7 4.7	12.6 12.6		
4	5.5	6.3	内面 5.5 外面 5.5	9.4 9.4	7.1 7.1	12.6 12.6		
5	3.1	6.3	内面 3.1 外面 3.1	9.4 9.4	9.2 4.8	12.6 12.6		

評価面	耐震評価結果 (ガスクリーナー) (通常運転+地震) H8年度更新時 (単位: kg/mm ²)				1次+2次応力			
	1次一般膜応力		1次膜応力+1次曲げ応力		変動値		許容値	
	P _m	許容値 S _y (相当)	P _t + P _b	許容値 1.5S _y (相当)	P _t +P _b +Q	2S _y (相当)		
1	—	—	内面 1.0 外面 1.0	9.4 9.4	3.6 0.6	12.6 12.6		
2	3.9	6.3	内面 2.5 外面 2.5	9.4 9.4	4.7 2.9	12.6 12.6		
3	4.9	6.3	内面 3.3 外面 3.3	9.4 9.4	3.1 6.0	12.6 12.6		
4	5.4	6.3	内面 5.0 外面 5.0	9.4 9.4	3.6 6.2	12.6 12.6		
5	3.9	6.3	内面 2.5 外面 2.5	9.4 9.4	5.0 2.9	12.6 12.6		
6	4.9	6.3	内面 4.6 外面 4.6	9.4 9.4	5.2 4.5	12.6 12.6		

P_m: 1次一般膜応力 P_t: 1次局部膜応力 P_b: 1次曲げ応力 Q: 2次応力

第 5 表 耐震・応力評価結果（流路仕切管）

耐震評価結果（流路仕切管）（通常運転+地震）
 （単位：kg/mm²）

応力分類	1 次 応 力						1 次 + 2 次 応 力			
	発生値	許容値	発生値	許容値	発生値	許容値	発生値	許容値	発生値	許容値
評価箇所 管形状 評価式	$\frac{P_m D}{200t}$	Sy	$\frac{P_m D}{400t} + \frac{0.75 i_1 (Ma+Mb)}{Z}$	Sy	$\frac{0.75 i_1 Mb^*}{Z}$	2Sy				
	追加化	追加化	追加化	追加化	追加化	追加化	追加化	追加化	追加化	追加化
	今回	今回	今回	今回	今回	今回	今回	今回	今回	今回
a [15]	0.5	18.8	6.0	18.8	8.4	18.8	11.1	15.8	37.7	37.7
b [11]	0.5	18.8	1.6	18.8	5.0	18.8	2.6	9.3	37.7	37.7
c [5]	0.4	18.8	3.1	18.8	4.1	18.8	5.6	7.7	37.7	37.7

第6表 ガススクリーン溶接部の溶接条件

継手番号	WS-6	WS-7	WS-8	WS-9	WS-10
対称部	ガススクリーン	ガススクリーン	ガススクリーン	ガススクリーン	ガススクリーン
溶接施行法番号	62安(原規)第245号	62安(原規)第245号	62安(原規)第245号	62安(原規)第245号	62安(原規)第245号
材料	A6061BE-T6	A6061BE-T6	A6061BE-T6	A6061BE-T6	A6061BE-T6
外径×肉厚(mm)	φ61×5.5	φ59×6	φ59×13.5	φ44×5	φ44×5
継手形状 (第20図参照)	突き合わせ (アンダーリップ)	突き合わせ (アンダーリップ)	突き合わせ (アンダーリップ)	突き合わせ (アンダーリップ)	突き合わせ (アンダーリップ)
加速電圧(kV)	25~30	25~30	25~30	25~30	25~30
ビーム電流(mA)	50~120	50~120	120~250	40~110	40~110
溶接速度(mm/min)	1270	1270	1270	1270	1270
焦点距離(mm)	70~80	70~80	65~75	70~80	70~80
加工距離(mm)	100	100	100	100	100
真空度(Torr)	1×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴
仕上面	機械加工	機械加工	機械加工	機械加工	機械加工
裏面	—	—	機械加工	機械加工	—
非破壊検査	R T	R T	R T	R T	R T
機械試験	—	—	—	—	—
溶接士資格	62安(原規)第93号	62安(原規)第93号	62安(原規)第93号	62安(原規)第93号	62安(原規)第93号

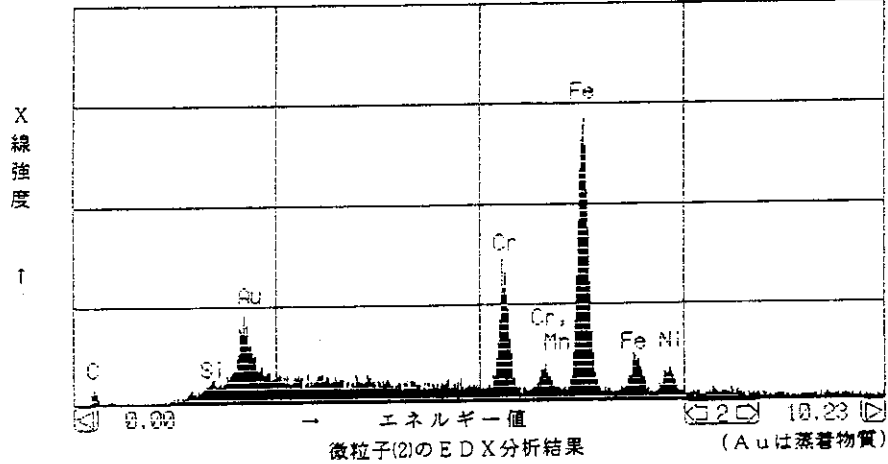
第 7 表 捕集塵埃の分析結果

試料	微粒子	検 出 元 素		想定される物質
		主 成 分	副 成 分	
①	(1)	Al	C, O, Si	金属 Al
	(2)	Fe, Cr, Ni	C, Si, Mn	SUS 材 (18-8系)
	(3)	Si, Al, O	Mg, Cl, K, Ca, Fe	空気中の塵埃
②	(4)	Ni	C, O	Niメッキ片
	(5)	Al	C, O	金属 Al
	(6)	Al, O	C, Na, Cl	アルミナ
③	(7)	Fe, Cr, Ni	C, O, Si, Mn	SUS 材 (18-8系)
	(8)	Ni	C, O	Niメッキ片
	(9)	Al	C, O	金属 Al

1:

測定時間: 100 s

UFS: 1000 カウント



微粒子(2)のSEM像 ×4000

□印はEDX分析領域

第 8 表 検査のまとめ

検査年度	検査項目	検査内容
平成 6 年度	材料検査	<ul style="list-style-type: none"> ・化学成分検査 ・機械的性質検査 ・浸透探傷検査 ・渦流探傷検査 <ul style="list-style-type: none"> ・超音波探傷検査 ・外観、寸法検査 ・材料確認検査 ・へん平性検査
	圧接	<ul style="list-style-type: none"> ・圧接施工作業中検査 ・引張試験 ・外観、寸法検査 ・圧接施工条件確認 <ul style="list-style-type: none"> ・浸透探傷検査 ・熱サイクル試験 ・ヘリウム漏洩試験
	部品検査 (熱電対含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・外観、寸法検査 ・放射線透過試験 ・絶縁抵抗試験 ・耐衝撃試験 <ul style="list-style-type: none"> ・浸透探傷検査 ・温度校正試験 ・耐電圧試験
	溶接検査	<ul style="list-style-type: none"> ・開先面検査 ・溶接作業検査 ・放射線透過試験 <ul style="list-style-type: none"> ・開先検査 ・浸透探傷検査 ・仕上がり検査
平成 7 年度	溶接検査	<ul style="list-style-type: none"> ・開先面検査 ・溶接作業検査 ・仕上がり検査 <ul style="list-style-type: none"> ・開先検査 ・浸透探傷検査
	部品検査 (組立品含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・外観、寸法検査 ・耐圧、漏洩検査 <ul style="list-style-type: none"> ・浸透探傷検査
平成 8 年度	溶接検査	<ul style="list-style-type: none"> ・開先面検査 ・溶接作業検査 ・仕上がり検査 <ul style="list-style-type: none"> ・開先検査 ・浸透探傷検査
	完成品検査	<ul style="list-style-type: none"> ・外観、寸法検査 <ul style="list-style-type: none"> ・真直度検査
	保管容器等検査	<ul style="list-style-type: none"> ・化学成分検査 ・外観、寸法検査 ・耐圧、漏洩検査 <ul style="list-style-type: none"> ・浸透探傷検査

第9表 流動試験結果

試験 運転モード	測定項目	更新後運転データ (H8.12.11~12)	旧仕切管運転データ (S63.8.29~9.9)	備 考
キャプセル全挿入	炉内管入口圧力	4.0 kg/cm ² G *1	4.0 kg/cm ² G *2	*1 : H8.12.11 18:45 *2 : S63.8.29 14:10
	炉内管出口圧力	1.4 kg/cm ² G *1	1.5 kg/cm ² G *2	*1 : H8.12.11 18:45 *2 : S63.8.29 14:10
	サージタンク圧力	2.2 kg/cm ² G *1	2.3 kg/cm ² G *2	*1 : H8.12.11 18:45 *2 : S63.8.29 14:10
キャプセル1.1m 引上げ	炉内管入口圧力	1.32 kg/cm ² G *3	1.3 kg/cm ² G *4	*3 : H8.12.12 13:45 *4 : S63.8.29 14:40
	炉内管出口圧力	0.98 kg/cm ² G *3	0.95 kg/cm ² G *4	*3 : H8.12.12 13:45 *4 : S63.8.29 14:40
	サージタンク圧力	1.78 kg/cm ² G *3	1.75 kg/cm ² G *4	*3 : H8.12.12 13:45 *4 : S63.8.29 14:40

注記：1) 炉内管流量：1.9 m³/h
精製塔流量：0.6 m³/h