

JAERI-M

5 9 3 6

JMTR炉心構造材のサーベランステスト

(照射後試験結果)

1974年12月

材料試験炉部 原子炉第1課

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

JMTR炉心構造材のサーベランステスト  
(照射後試験結果)

日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部  
原子炉第1課

(1974年12月3日受理)

高中性子束密度の原子炉における原子炉構造材照射損傷が原子炉の運転管理上問題となる。JMTRの炉心構造材の照射損傷程度を検査する方法としては、構造材の変形測定と表面観察を定期的を実施するほか、各構造材のテストピースをJMTR炉心で加速照射を行ない、機械的性質の変化を追求することを中心に照射後試験を実施して来た。本報告書においては、JMTR炉心構造材のうち特に高速中性子の照射を受けやすい部位に使用されている材料4種について、加速照射を行なった後の試験結果を報告する。

Surveillance Test of the JMTR Core Components

--- The results of post-irradiation examination ---

Division of JMTR Project

Osai, JAERI

(Received December 3, 1974)

Surveillance tests for the core components of Japan Material Testing Reactor (JMTR) have been carried out since 1966. Four of the several capsules in the program were removed from the core, and subjected to post-irradiation tests in the JMTR Hot Laboratory. The results are described in this report.

JMTR surveillance tests are made to examine the irradiation effects of JMTR core components for fast neutrons, covering the several kinds of materials placed in high fast-neutron field: beryllium as the reflector, hafnium as the neutron absorber of control rod, 17-4PH stainless steel for a roller spring of the control rod, and 304 stainless steel as the grid plates.

## 目 次

1. はじめに	1
2. サーベランス計画	1
2.1 炉心構造材のサーベランステスト	1
2.2 テストピースの採取	2
2.3 テストピースの形状	2
2.4 テストピースの数量	2
2.5 照射キャプセル（燃料領域用）	2
3. 照射条件	3
3.1 照射位置	3
3.2 中性子照射量	3
4. 試験条件	4
4.1 照射前試験	4
4.2 照射後試験	4
5. 試験結果	5
5.1 照射前引張試験結果	26
5.2 照射後引張試験結果	27
5.3 照射前衝撃試験結果	29
5.4 照射後衝撃試験結果	32
6. 検 討	37
7. ま と め	37

## 図 目 次

図-1	テストピースの形状(1)	7
図-2	テストピースの形状(2)	8
図-3~11	サーベランス用小キャプセル構造図	9
図-12~16	サーベランス用小キャプセル内のテストピース配置	14
図-17	Be, Hf, 17-4PH及び304ステンレステストピース挿入位置	19
図-18	304Lステンレス(圧力容器材)テストピース挿入位置	20
図-19~22	小キャプセル位置及び高速中性子照射量	21
図-23	Beの照射効果(引張試験)	30
図-24	17-4PHの照射効果(引張試験)	30
図-25	Hfの照射効果(引張試験)	31
図-26	SUS304の照射効果(引張試験)	31
図-27	Beの照射効果(衝撃試験)	35

図-28	17-4PHの照射効果(衝撃試験)	36
図-29	Hfの照射効果(衝撃試験)	35

## 表 目 次

表-1	テストピース詳細	6
表-2	サーベランステストピースの予定照射期間と予定照射量一覧	23
表-3	小キャプセル毎の高速中性子照射量及び試験種別	25
表-4	照射前引張試験データ	26
表-5	Be照射後引張試験データ	27
表-6	17-4PH照射後引張試験データ	28
表-7	Hf照射後引張試験データ	28
表-8	SUS304照射後引張試験データ	29
表-9	照射前衝撃試験データ	29
表-10	Be照射後衝撃試験データ	32
表-11	17-4PH照射後衝撃試験データ	33
表-12	Hf照射後衝撃試験データ	34

## 目 次

## 1. はじめに

JMTRの炉心は、反動体としてベリリウム材とアルミニウム材、格子板として304ステンレス材、制御棒吸収体にハフニウム、吸収体パネ材に17-4PHステンレス等を用いて構成されている。これらの構造材が、中性子照射による物性的変化を起すことが知られており、適正な管理のもとに、大きな損傷に至る前に交換をしたり、損傷緩和の対策を講ずる目的で、その損傷の進行状況を把握する必要がある。

この目的のために、テストピースの加速照射による物性的変化の追跡を行なうサーベランステスト計画が、JMTR運転開始前に企画された。この計画では、JMTRの炉心構造材の限界高速中性子照射量を $10^{22}$  nvt程度に置いて、各種構造材のテストピースの中性子照射量を数段階に区分し、各照射量毎に、照射キャプセルを設け、照射を実施した。

サーベランステストの照射後試験結果及び一部の構造材についてはその変形測定結果と表面観察の結果をもとに、炉心要素等の便宜上の交換計画を立てた。

本書においては、特に各種構造材のサーベランステスト結果を中心に、照射効果について報告する。

## 2. サーベランス計画

### 2.1 炉心構造材のサーベランステスト

JMTRでは、炉心構造材の限界高速中性子照射量を $10^{22}$  nvt程度と想定し交換計画を立てているが、その根拠になったデータも数少ない。そこで我々自身で確認するために、構造材のサンプルを炉心の最も高速中性子束の高い場所に挿入し、加速的に $10^{22}$ 程度の照射量を与え、炉心構造材が、この照射量に達する以前に損傷の程度をサーベランステストから予測し、炉心要素管理計画の一助とする目的で実施された。JMTR炉心の構造材とサーベランステストの対象となったものは以下の通りである。

材 質	主 要 使 用 箇 所	サーベランス 対 象	高中性子束の領域 で使用される材料
ベリリウム	反射体要素、棒	○	○
アルミニウム	反射体要素、制御棒案内管		○
ハフニウム	制御棒吸収体	○	○
17-4 PH	吸収体パネ材	○	○
SUS 304	吸収体ローラー、炉心格子板	○	○
SUS 304L	原子炉圧力容器	○	
ジルカロイ 2	ガンマ線しゃへい板		

## 1. はじめに

JMTRの炉心は、反動体としてベリリウム材とアルミニウム材、格子板として304ステンレス材、制御棒吸収体にハフニウム、吸収体パネ材に17-4PHステンレス等を用いて構成されている。これらの構造材が、中性子照射による物性的変化を起すことが知られており、適正な管理のもとに、大きな損傷に至る前に交換をしたり、損傷緩和の対策を講ずる目的で、その損傷の進行状況を把握する必要がある。

この目的のために、テストピースの加速照射による物性的変化の追跡を行なうサーベランステスト計画が、JMTR運転開始前に企画された。この計画では、JMTRの炉心構造材の限界高速中性子照射量を $10^{22}$  nvt程度に置いて、各種構造材のテストピースの中性子照射量を数段階に区分し、各照射量毎に、照射キャプセルを設け、照射を実施した。

サーベランステストの照射後試験結果及び一部の構造材についてはその変形測定結果と表面観察の結果をもとに、炉心要素等の便宜上の交換計画を立てた。

本書においては、特に各種構造材のサーベランステスト結果を中心に、照射効果について報告する。

## 2. サーベランス計画

### 2.1 炉心構造材のサーベランステスト

JMTRでは、炉心構造材の限界高速中性子照射量を $10^{22}$  nvt程度と想定し交換計画を立てているが、その根拠になったデータも数少ない。そこで我々自身で確認するために、構造材のサンプルを炉心の最も高速中性子束の高い場所に挿入し、加速的に $10^{22}$ 程度の照射量を与え、炉心構造材が、この照射量に達する以前に損傷の程度をサーベランステストから予測し、炉心要素管理計画の一助とする目的で実施された。JMTR炉心の構造材とサーベランステストの対象となったものは以下の通りである。

材 質	主 要 使 用 箇 所	サーベランス 対 象	高中性子束の領域 で使用される材料
ベリリウム	反射体要素, 枠	○	○
アルミニウム	反射体要素, 制御棒案内管		○
ハフニウム	制御棒吸収体	○	○
17-4 PH	吸収体パネ材	○	○
SUS 304	吸収体ローラー, 炉心格子板	○	○
SUS 304 L	原子炉圧力容器	○	
ジルカロイ 2	ガンマ線しゃへい板		



材質選定に当っては、種類を増すことによって照射キャプセルの数が増えることになり、照射計画全体に影きよりを及ぼすため、他の炉における使用実績の多い材料等は除外し、比較的照射実験データの少ないもの及び使用条件のきびしいものから選定した。

## 2.2 テストピースの採取

テストピースのうちHf, 17-4PH, SUS304は、構造材の原材料と同一のものを同様の熱処理等を実施し単一種類のテストピースとした。

SUS304Lについては、母材部、溶接部及び熱影響部からテストピースを採取し、計3種類とした。

ベリリウム構造材の原材料は国産品であり、照射データの比較のために米国Brush社の材料からもテストピースを採取した。国産のベリリウム材は製造方法の点からプラグ材、反射体材、枠材について、押出方向および押出直角方向の区分をしてテストピースを採取した。テストピース採取位置および数量等を表-1に示す。

## 2.3 テストピースの形状

各材料の引張試験用テストピース及び衝撃試験用テストピースは、原則としてJIS規格に準じて製作されたが、照射キャプセル内の固定方法などから一部形状を変更したものもある。詳細形状及び寸法を図-1, 2に示す。各試験片別の準拠規格は次の通りである。

材 質	準拠した J I S 規格		備 考
	引張試験片	衝撃試験片	
ベリリウム	JIS 特3号		衝撃試験片はノッチのないものとした。
ハフニウム	JIS 7号	JIS 4号	
17-4PH	JIS 特3号	JIS 4号	
SUS 304	JIS 7号		
SUS304L	JIS 10号	JIS 4号	

## 2.4 テストピースの数量

材料の特性として、試験データのばらつきやすいものなどは、テストピースの数を計画的に増やしたが、照射キャプセルへの挿入制限から全数がおさえられ、引張試験片等は1データにつき2~3個のテストピースを作成した。詳細本数については表-1の通りである。

## 2.5 照射キャプセル（燃料領域用）

核的に影響の大きい材料は、2~3個のテストピースを、影響の小さいものは、5~6個をアルミニウム若しくは、ステンレスのホルダーに固定して小キャプセルを作り、この小キャプセルをステンレス製のバスケット内に最高10個まで挿入して1本の照射キャプセルとした。

サーベランステストのために計画した照射キャプセルは全部で5本である。照射計画は、目標照射量別にキャプセルを作成して、照射期間の途中において1部の小キャプセルを取り出すことは避けた。

中性子照射量を評価するためにFe, NiおよびCo-A線から成るフラックスモニタワイヤ1~2本を小キャプセル全部に挿入した。

テストピース中性子照射量を明確にする目的と、小キャプセル中に異種材料のテストピースが混在することによる区分を明確にする目的で、小キャプセルのテストピース固定位置別に番地を設け、キャプセル軸方向に対する小キャプセルの配列と合わせて管理された。

小キャプセルの構造を図-3~11に、小キャプセル内のテストピース及びフラックスモニタ固定位置別番地を図-12~16に示す。キャプセル内の小キャプセルの配列と中性子照射量については、図-19~22の通りである。

### 3 照射条件

#### 3.1 照射位置

サーベランステスト計画に基づくキャプセルが挿入された位置は図-17, 18の通りである。各キャプセルの予定照射量と照射期間については表-2に示した。

#### 3.2 中性子照射量

サーベランス計画が作成された段階では、フラックスモニタワイヤの照射後計測によって中性子照射量を評価することになっていたが、照射後試験は、炉心から取り出されて長期間放置された短期間照射のキャプセルと、取り出されたのち短期間放置された長期間照射のキャプセルを同時期に解体し実施することになったため、前者のモニタワイヤは、長期間冷却されていて精度良い測定が期待できなく、更に後者のモニタワイヤは、放射能が強く測定不可能となった。そのために、JMTRで現在までに照射された多数のキャプセルから得られたモニタワイヤによる中性子照射量のデータと核計算によって得た照射量の経験的補正を用いて、各サーベランスキャプセルの核計算による照射量をフラックスモニタで期待される中性子照射量に換算した。この方法で評価した中性子のエネルギーは1.05 MeV以上のものであって各種構造材の照射損傷を評価する上では妥当なものとする。核計算値を補正して得られた中性子照射量の精度は、±15%程度と考えられる。核計算は、JMTR第2サイクルから第18サイクルについてPDQを、第19サイクルから第22サイクルについて、EXTERMINATOR-2を用いた。照射キャプセル毎の高速中性子照射量は図-19~22に、小キャプセル毎の照射量は表-3に示す通りである。

サーベランステストのために計画した照射キャプセルは全部で5本である。照射計画は、目標照射量別にキャプセルを作成して、照射期間の途中において1部の小キャプセルを取り出すことは避けた。

中性子照射量を評価するためにFe, NiおよびCo-A線から成るフラックスモニタワイヤ1~2本を小キャプセル全部に挿入した。

テストピース中性子照射量を明確にする目的と、小キャプセル中に異種材料のテストピースが混在することによる区分を明確にする目的で、小キャプセルのテストピース固定位置別に番地を設け、キャプセル軸方向に対する小キャプセルの配列と合わせて管理された。

小キャプセルの構造を図-3~11に、小キャプセル内のテストピース及びフラックスモニタ固定位置別番地を図-12~16に示す。キャプセル内の小キャプセルの配列と中性子照射量については、図-19~22の通りである。

### 3 照射条件

#### 3.1 照射位置

サーベランステスト計画に基づくキャプセルが挿入された位置は図-17, 18の通りである。各キャプセルの予定照射量と照射期間については表-2に示した。

#### 3.2 中性子照射量

サーベランス計画が作成された段階では、フラックスモニタワイヤの照射後計測によって中性子照射量を評価することになっていたが、照射後試験は、炉心から取り出されて長期間放置された短期間照射のキャプセルと、取り出されたのち短期間放置された長期間照射のキャプセルを同時期に解体し実施することになったため、前者のモニタワイヤは、長期間冷却されていて精度良い測定が期待できなく、更に後者のモニタワイヤは、放射能が強く測定不可能となった。そのために、JMTRで現在までに照射された多数のキャプセルから得られたモニタワイヤによる中性子照射量のデータと核計算によって得た照射量の経験的補正を用いて、各サーベランスキャプセルの核計算による照射量をフラックスモニタで期待される中性子照射量に換算した。この方法で評価した中性子のエネルギーは1.05 MeV以上のものであって各種構造材の照射損傷を評価する上では妥当なものと考えられる。核計算値を補正して得られた中性子照射量の精度は、±15%程度と考えられる。核計算は、JMTR第2サイクルから第18サイクルについてPDQを、第19サイクルから第22サイクルについて、EXTERMINATOR-2を用いた。照射キャプセル毎の高速中性子照射量は図-19~22に、小キャプセル毎の照射量は表-3に示す通りである。

## 4 試験条件

## 4.1 照射前試験

照射前テストピースと照射後テストピースを可能な限り同一条件で試験することが必要であり、照射前試験用未照射テストピースを照射後試験時まで保管することになっていたが、手違いにより保管中にテストピースを紛失した。そのため本報告書に記載した照射前試験結果は、製作者側で各要素を製作した際に同時に試験したデータである。それぞれのデータの出典は以下のものである。

- |                                       |                               |           |
|---------------------------------------|-------------------------------|-----------|
| (1) ベリリウム<br>反射体要素<br>およびプラグ<br>( 棒 ) | J M T R ベリリウム反射体<br>要素試験検査成績書 | 42年10月 3日 |
| (2) 304ステンレス<br>( 炉心格子板 )             | 炉心部機器検査成績書                    | 42年 9月21日 |
| (3) 304Lステンレス<br>( 原子炉压力容器 )          | 原子炉压力容器成績書                    | 43年 5月31日 |
| (4) ハフニウム<br>( 制御棒吸収体 )               | H <sub>f</sub> 吸収体検査成績書       | 43年 3月14日 |
| (5) 17-4 PHステンレス<br>( 吸収体バネ材 )        | H <sub>f</sub> 吸収体検査成績書       | 43年 3月14日 |

ベリリウム材料の照射前試験に対する試験機及び試験条件を以下に記述する。ベリリウム以外の材料に対する試験機等が不明のためここでは省略した。

## ベリリウム材料の照射前試験

試験実施期日	昭和42年9月, 10月	
試験者	日本碍子株式会社	
試験機	引張試験機	
	島津製社所製	IS-2000型
	荷重容量	1,000 kg
	伸速度	0.5 mm/min
	衝撃試験機	
	上島製作所製シャルピー衝撃試験機	
	容量	30 kg-cm
試験条件	引張試験, 衝撃試験とも常温で実施	

## 4.2 照射後試験

すべてのテストピースの照射後試験は、J M T R ホットラボにおいて実施された。使用された試験機および試験条件は以下の通り、

試験実施期日	昭和48年10月, 11月	
試験者	材料試験炉部ホットラボ課	
試験機	引張試験機	
	新興通信製	TOM-10000型
	荷重容量	800kg
	伸速度	0.5mm/min
試験機	衝撃試験機	
	東京試験機製シャルピー	衝撃試験機
容量	30kg-m	
試験条件	引張試験, 衝撃試験とも常温で実施	

## 5 試験結果

サーベランステスト計画に基づく各種テストピースの引張試験及び衝撃試験の結果を照射前と照射後に区分し表-4~12, および図-23~29に示す。他の炉において同様な試験が行われたものについては, 参考のために図中にそれを併記した。

JMTRサーベランステスト計画にもとづく5本の照射キャプセルのうち目標照射量 $5 \times 10^{21}$  n/cm<sup>2</sup>までの4本のキャプセルが照射後試験を終了して, 本報告書にその結果を報告したが, 最高目標照射量 $10^{22}$  n/cm<sup>2</sup>のキャプセルは現在JMTR炉心で照射中である。

材料の照射結果は, 今回の対象材料に限って見た場合, 前述の照射量範囲で, 何れも引張強さが約 $2 \sim 3 \times 10^{20}$  n/cm<sup>2</sup>程度までの間で急激に増加し, その後徐々に増大する傾向にあり衝撃強さは引張強さと逆に減少する傾向にあることが定性的に評価される。材料工学的に内部に蓄積するガスの量および照射による組織の破壊などを定量的に評価することは行われなかった。

試験実施期日	昭和48年10月, 11月	
試験者	材料試験炉部ホットラボ課	
試験機	引張試験機	
	新興通信製	TOM-10000型
	荷重容量	800 kg
	伸速度	0.5 mm/min
試験機	衝撃試験機	
	東京試験機製シャルピー	衝撃試験機
	容量	30 kg-m
試験条件	引張試験, 衝撃試験とも常温で実施	

## 5 試験結果

サーベランステスト計画に基づく各種テストピースの引張試験及び衝撃試験の結果を照射前と照射後に区分し表-4~12, および図-23~29に示す。他の炉において同様な試験が行われたものについては, 参考のために図中にそれを併記した。

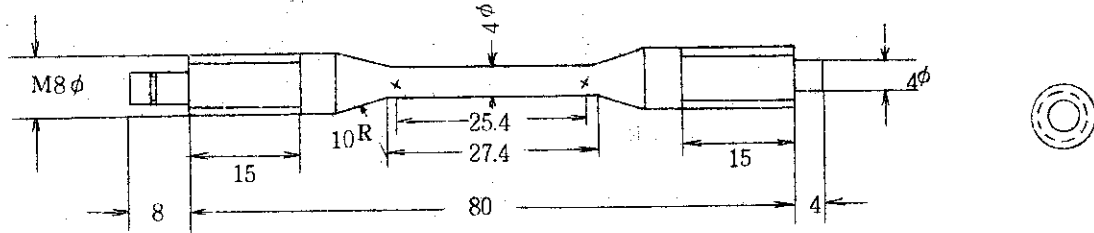
JMTRサーベランステスト計画にもとづく5本の照射キャプセルのうち目標照射量 $5 \times 10^{21}$  n/cm<sup>2</sup>までの4本のキャプセルが照射後試験を終了して, 本報告書にその結果を報告したが, 最高目標照射量 $10^{22}$  n/cm<sup>2</sup>のキャプセルは現在JMTR炉心で照射中である。

材料の照射結果は, 今回の対象材料に限って見た場合, 前述の照射量範囲で, 何れも引張強さが約 $2 \sim 3 \times 10^{20}$  n/cm<sup>2</sup>程度までの間で急激に増加し, その後徐々に増大する傾向にあり衝撃強さは引張強さと逆に減少する傾向にあることが定性的に評価される。材料工学的に内部に蓄積するガスの量および照射による組織の破壊などを定量的に評価することは行われなかった。

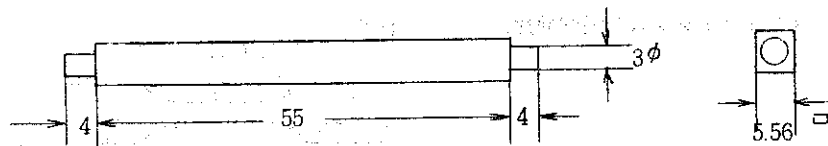
表-1 テストピース詳細

材 料	ピース名	数量	番 号	採 取 位 置	
ベリリウム	引張試験片	4	A 1 ~ A 4	プラグ材押出方向	
		12	B 1 ~ B 1 2	反射体材押出方向	
		5	C 1 ~ C 5	" 押出直角方向	
		12	D 1 ~ D 1 2	枠材押出方向	
		5	E 1 ~ E 5	" 押出直角方向	
		10	F 1 ~ F 1 0	Brush 材	
	衝撃試験片	5	G 1 ~ G 5	プラグ材押出方向	
		19	H 1 ~ H 1 9	反射体材押出方向	
		3	I 1 ~ I 3	" 押出直角方向	
		15	J 1 ~ J 1 5	枠材押出方向	
		3	K 1 ~ K 3	" 押出直角方向	
		15	L 1 ~ L 1 5	Brush 材	
	ハフニウム	引張試験片	12	H 1 ~ H 1 2	
		衝撃試験片	12	H 1 ~ H 1 2	
17-4PH	引張試験片	8	P 1 ~ P 8		
	衝撃試験片	16	P 1 ~ P 1 6		
304ステンレス	引張試験片	12	G 1 ~ G 1 2		
304Lステンレス	引張試験片	12	B 1 ~ B 1 2	母材部	
		12	W 1 ~ W 1 2	溶接部	
	衝撃試験片	60	B 1 ~ B 6 0	母材部	
		60	W 1 ~ W 6 0	溶接部	
		60	H 1 ~ H 6 0	熱影響部	
	水素分析試験片	12	B 1 ~ B 1 2	母材部	
		12	W 1 ~ W 1 2	溶接部	

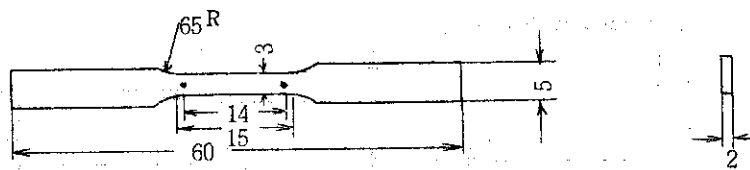
Be 引張試験片



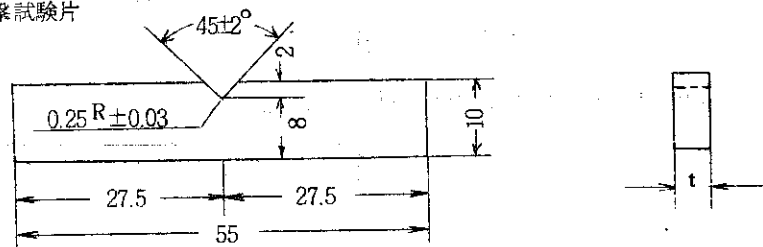
Be 衝撃試験片



Hf 引張試験片



Hf, 17-4PH, 304L ステンレス 衝撃試験片

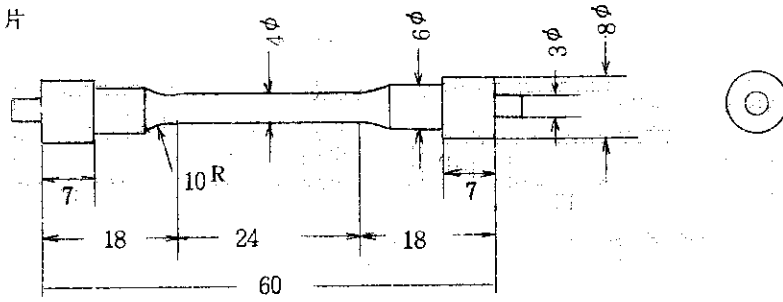


厚さ  $t = 5$  Hf, 17-4PH  
 $t = 10$  304L ステンレス

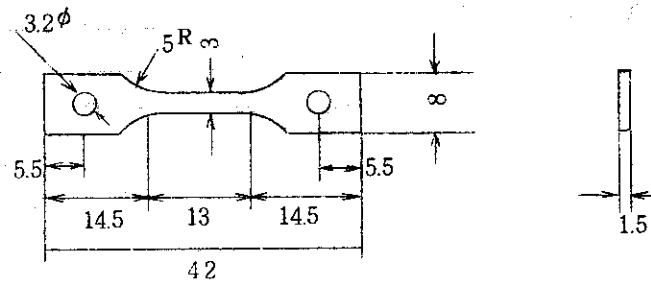
図-1 テストピースの形状 (1)



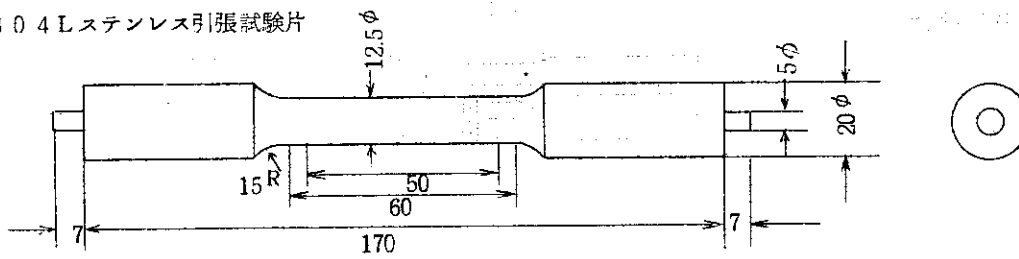
17-4PH引張試験片



304ステンレス引張試験片



304Lステンレス引張試験片



304Lステンレス水素分析試験片

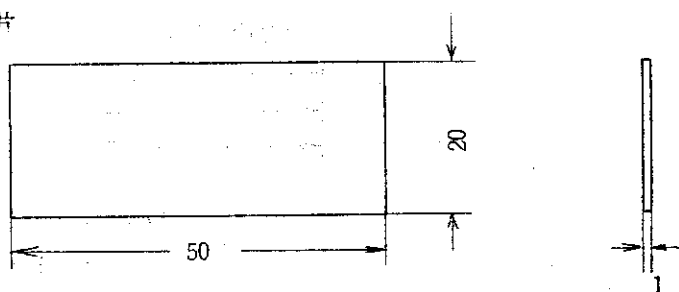


図-2 テストピースの形状 (2)

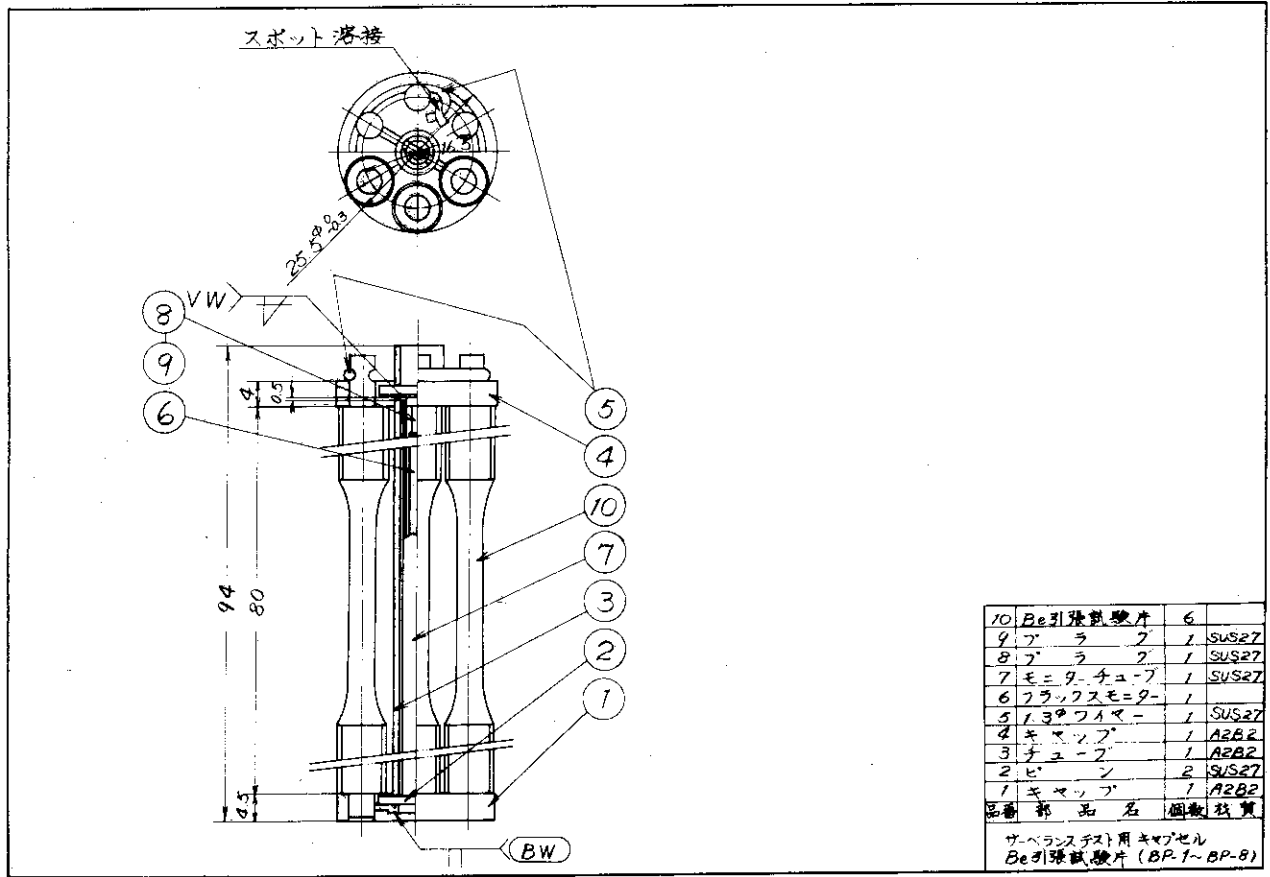


図 - 3

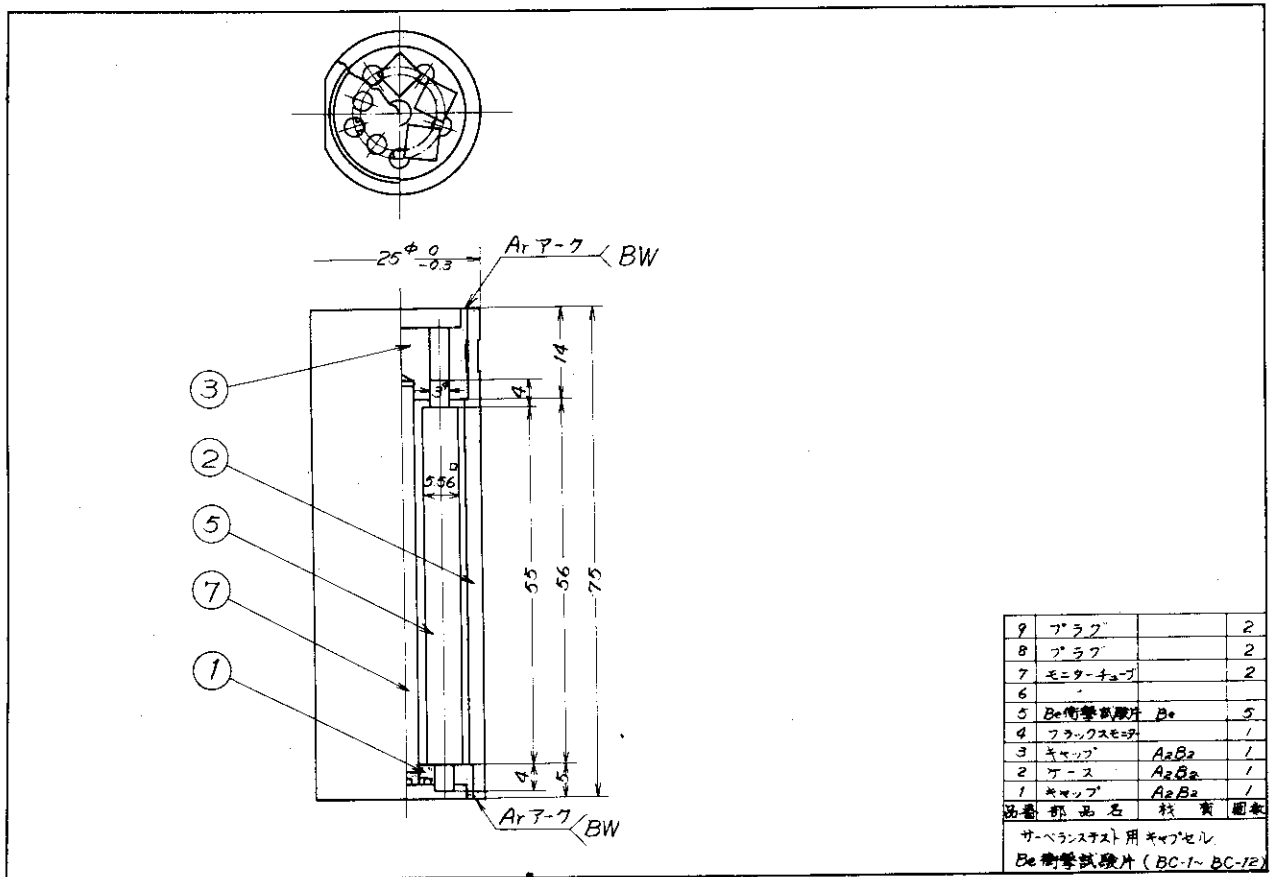


図 - 4

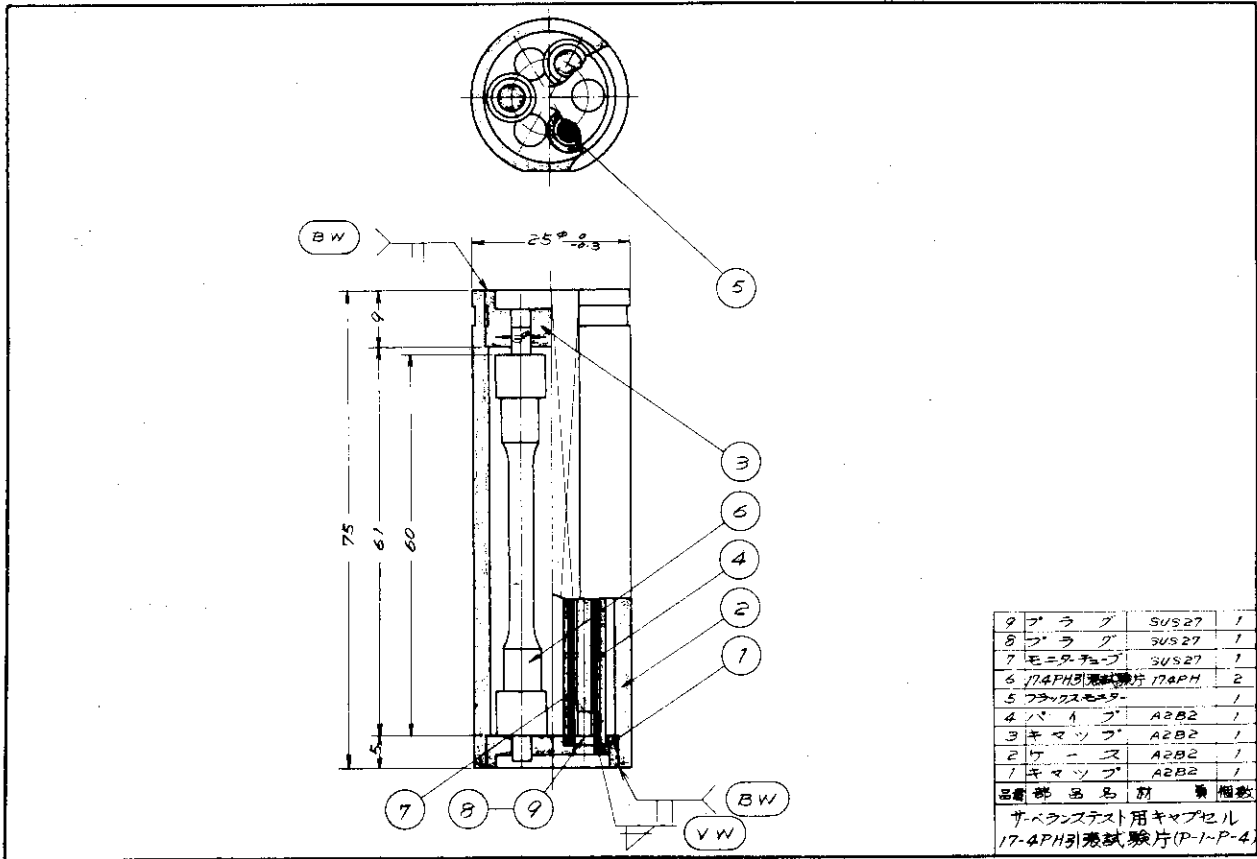


図 - 5

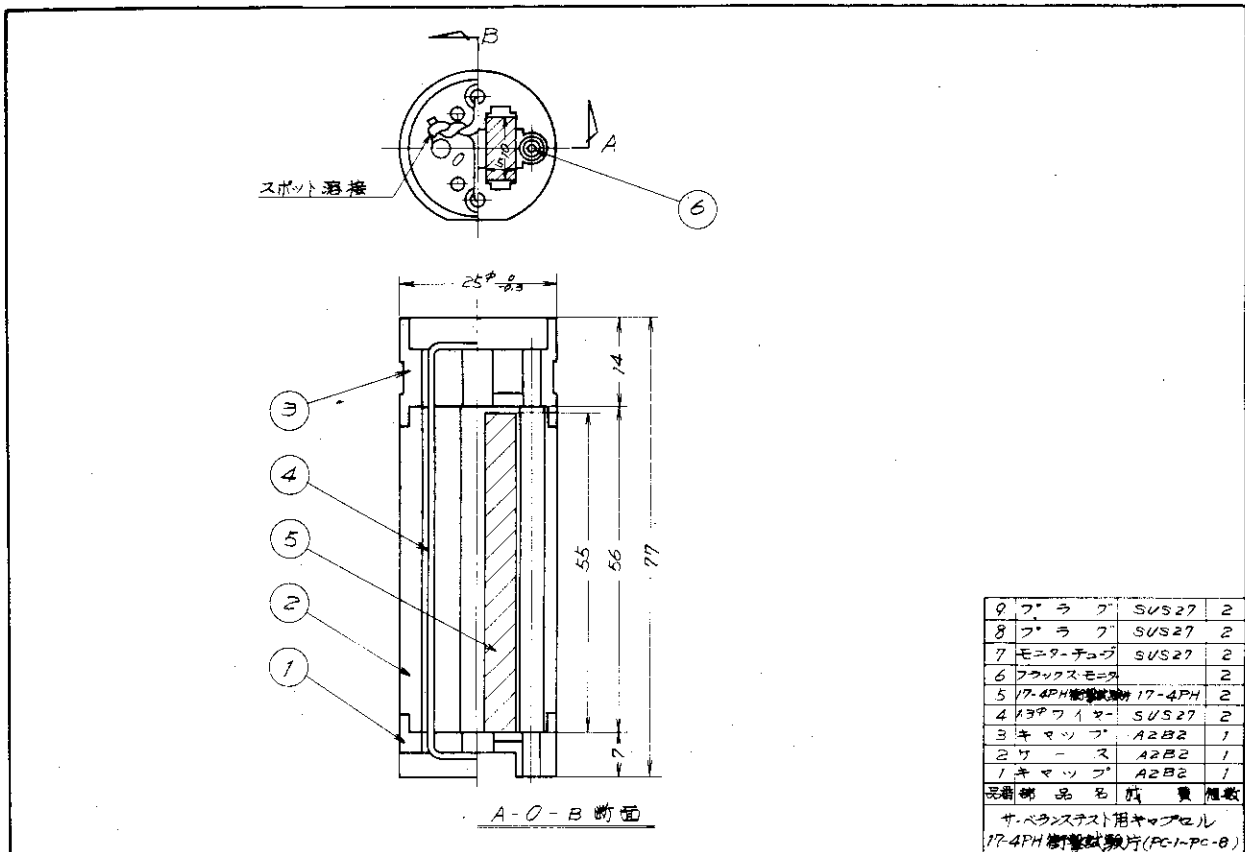


図 - 6

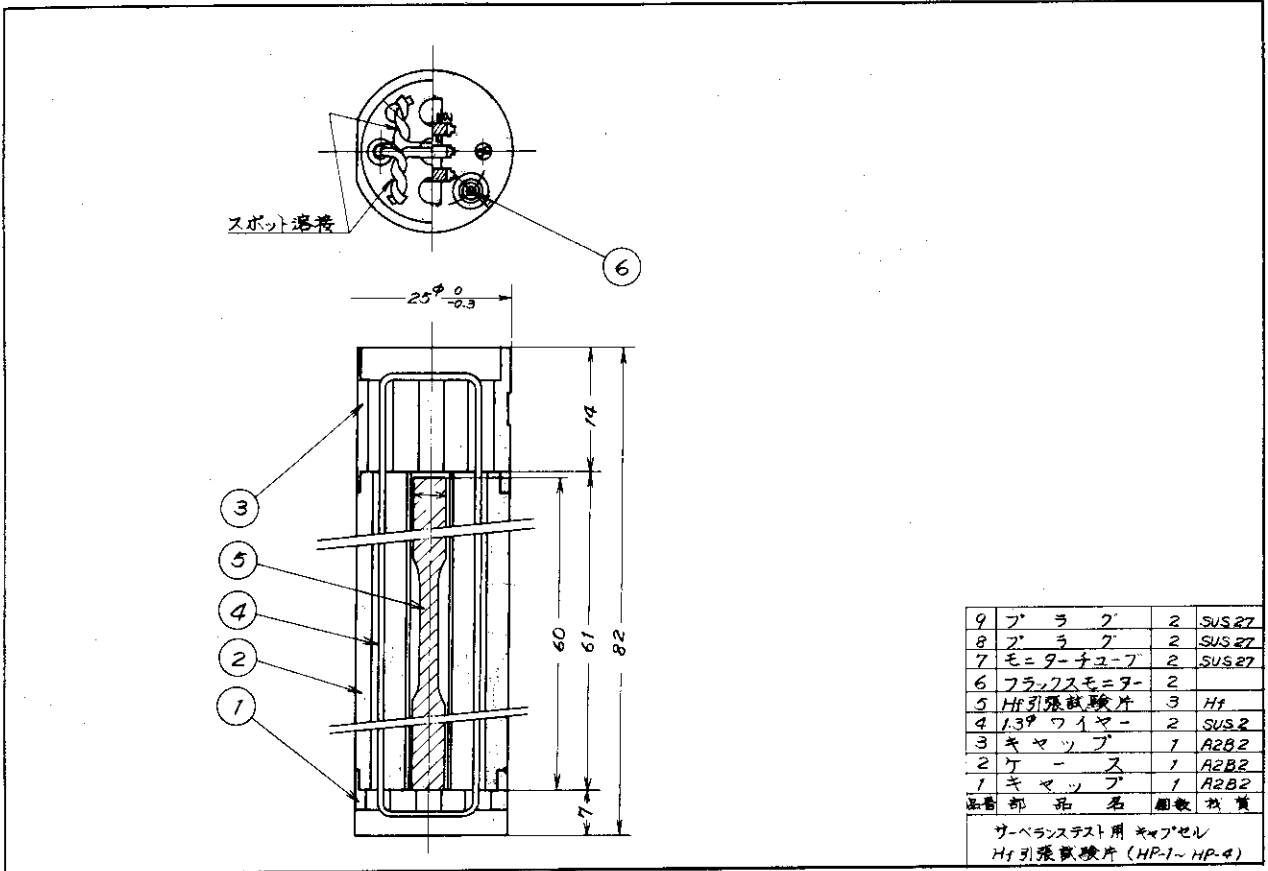


図 - 7

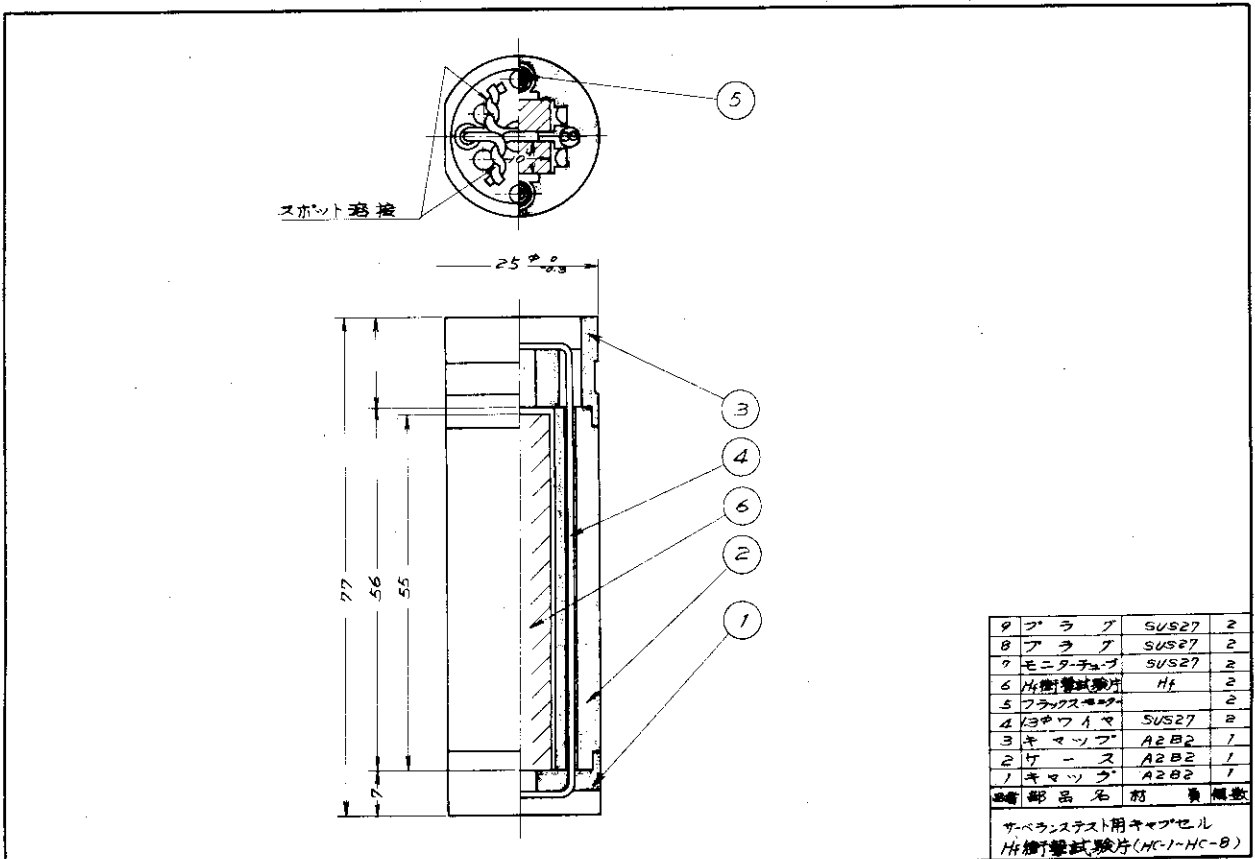
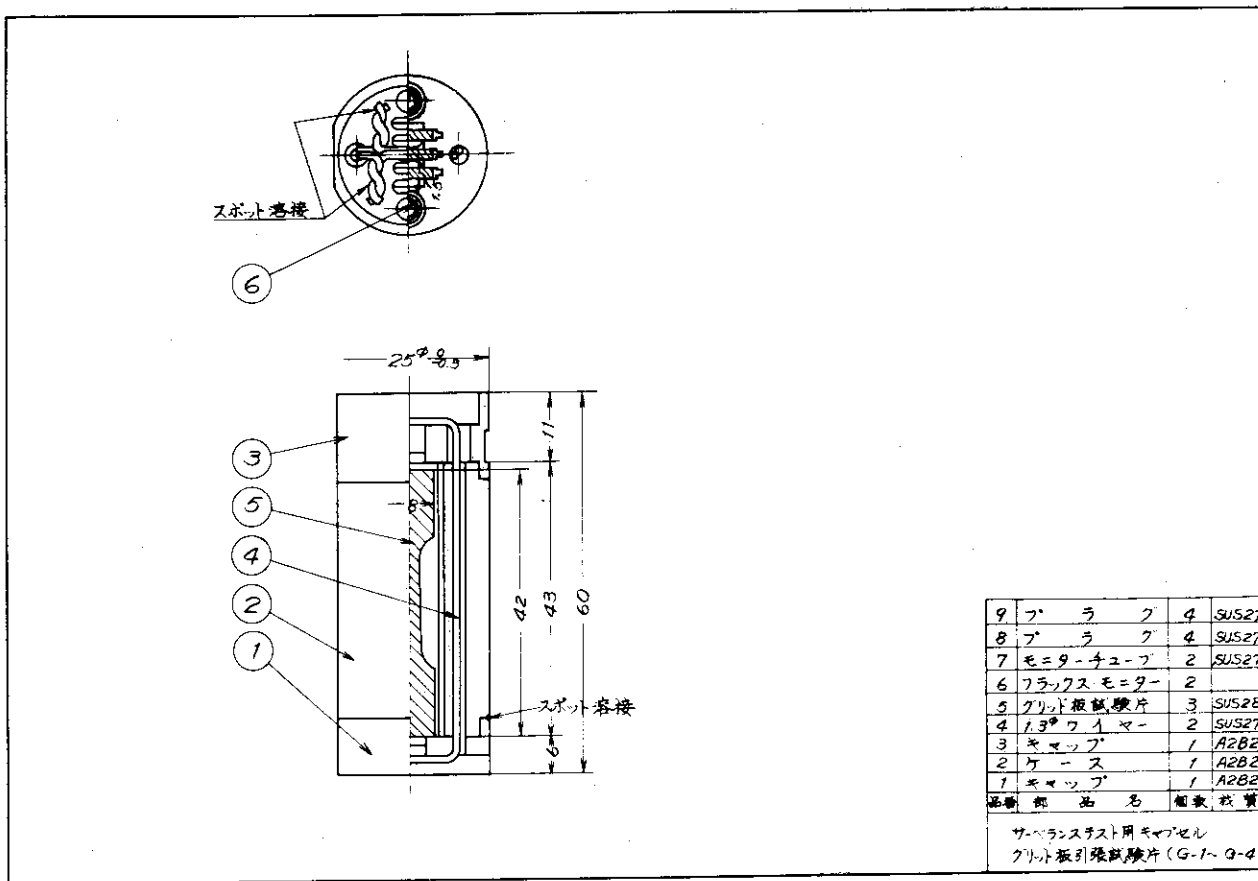


図 - 8



9	フ ラ グ	4	SUS27
8	フ ラ グ	4	SUS27
7	モーターチューブ	2	SUS27
6	フラックスモーター	2	
5	グリッド板試験片	3	SUS28
4	1.3φワイヤー	2	SUS27
3	キャップ	1	A2B2
2	ケース	1	A2B2
1	キャップ	1	A2B2
品名		数量	材質
サハラニスト用キャセル			
グリッド板引張試験片(G-1~G-4)			

図 - 9

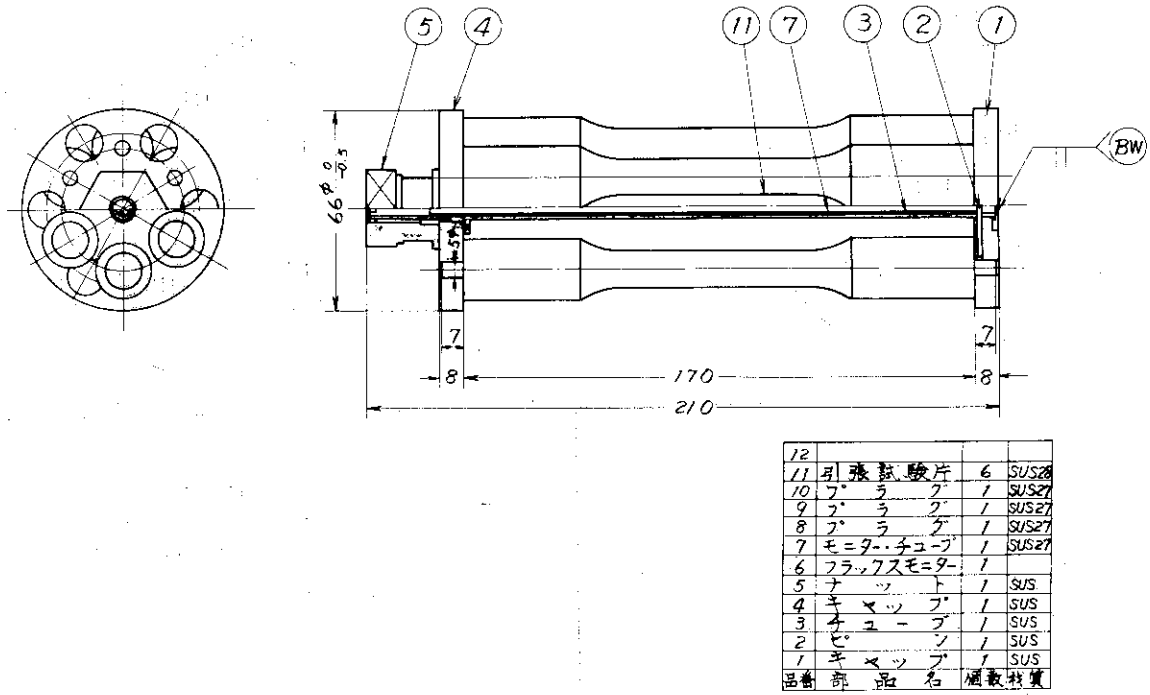
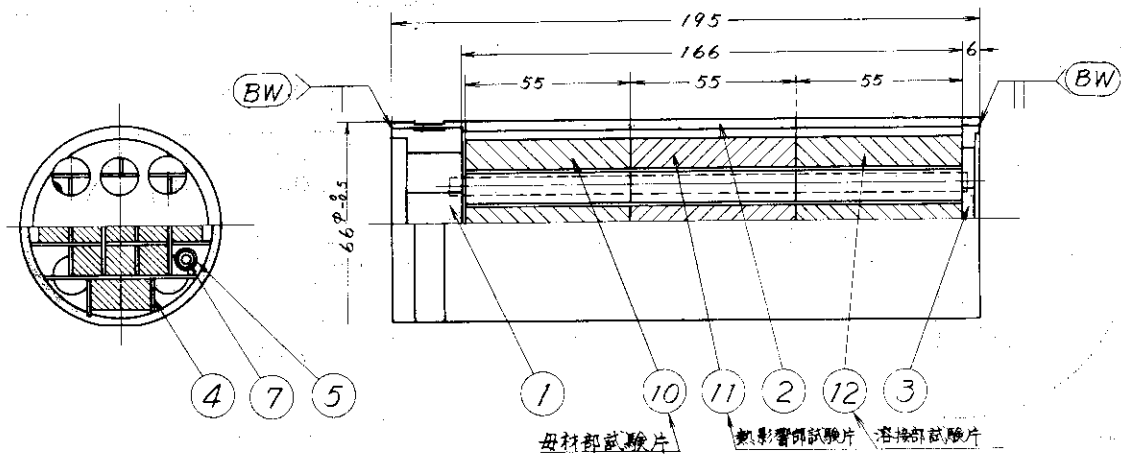


図-10 サーベランステスト用キャプセル引張試験片 (R. P. V材)



12	シールド試験片	15	SUS28
11	シールド試験片	15	SUS28
10	シールド試験片	15	SUS28
9	フラスコ	2	SUS27
8	フラスコ	2	SUS27
7	モーターチューブ	2	SUS27
6	フラスコモーター	2	
5	モーターチューブ	2	SUS
4	棒	1	SUS
3	キャップ	1	SUS
2	ケース	1	SUS
1	キャップ	1	SUS
品番			部品名
			個数
			材質

図-11 サーベランステスト用キャプセル衝撃試験片 (R. P. V材)

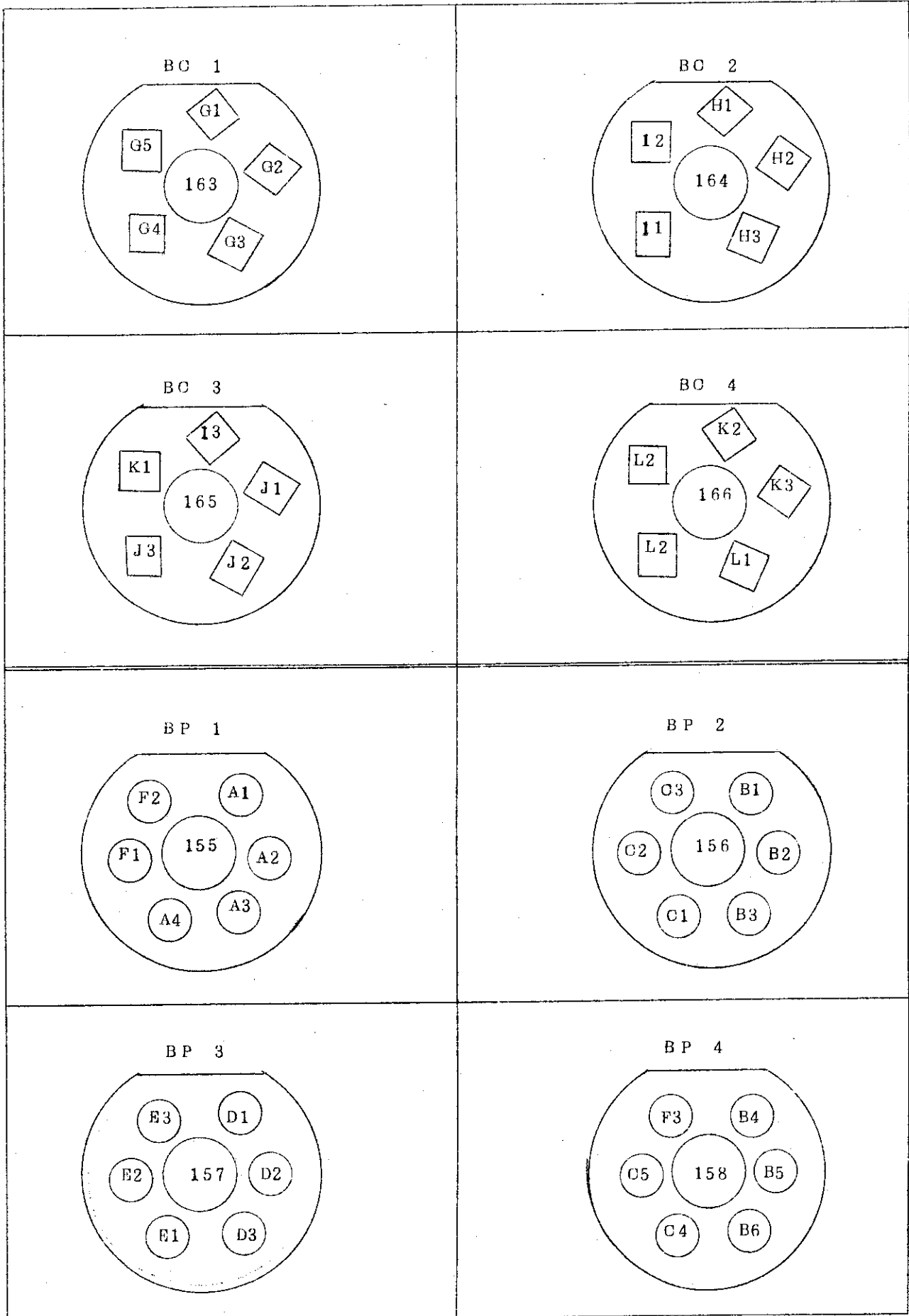


図-12 67M-43J内のテストピース配置

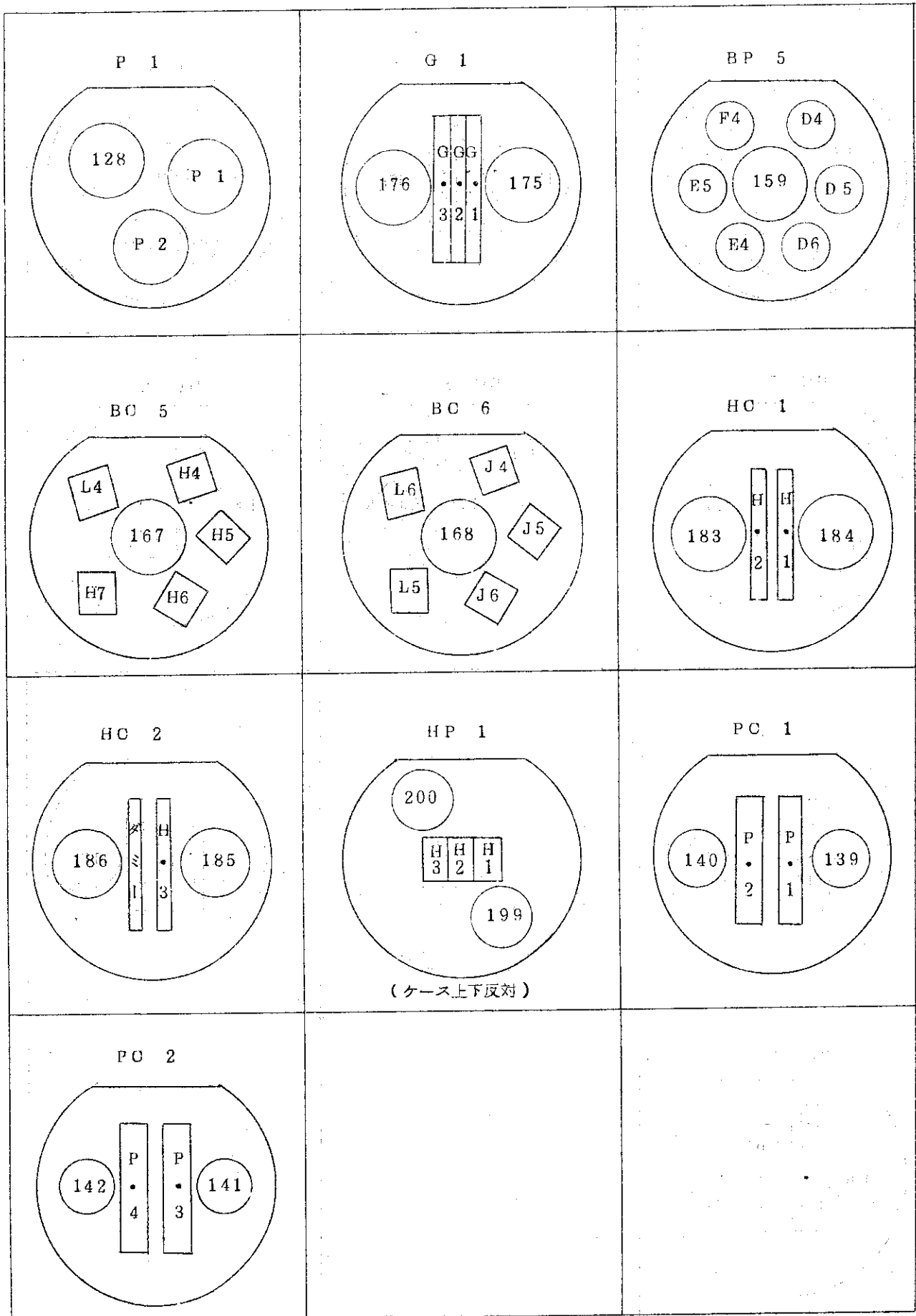


図-13 67M-44J-1内のテストピース配置



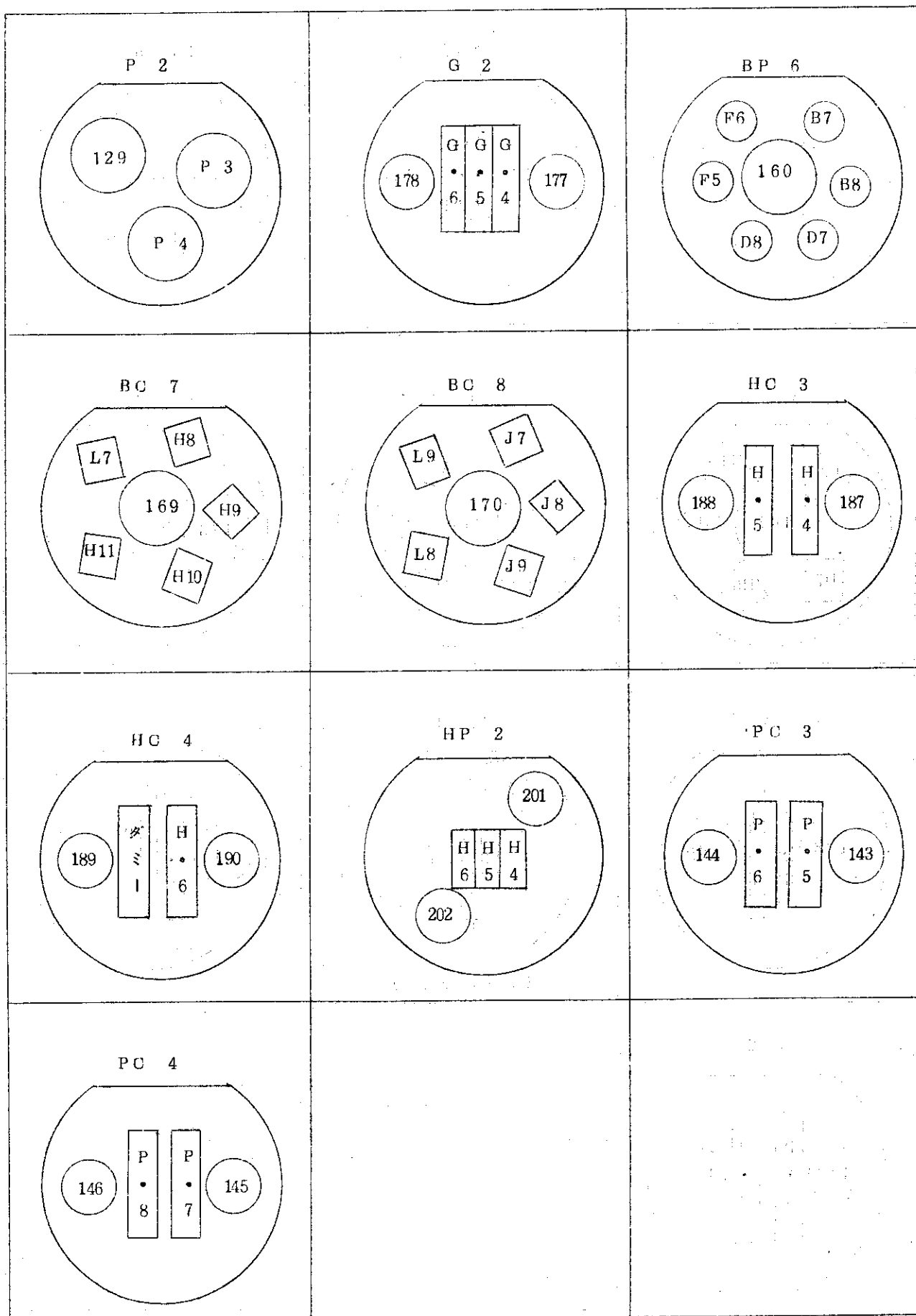


図-14 67M-44J-2内のテストピース配置

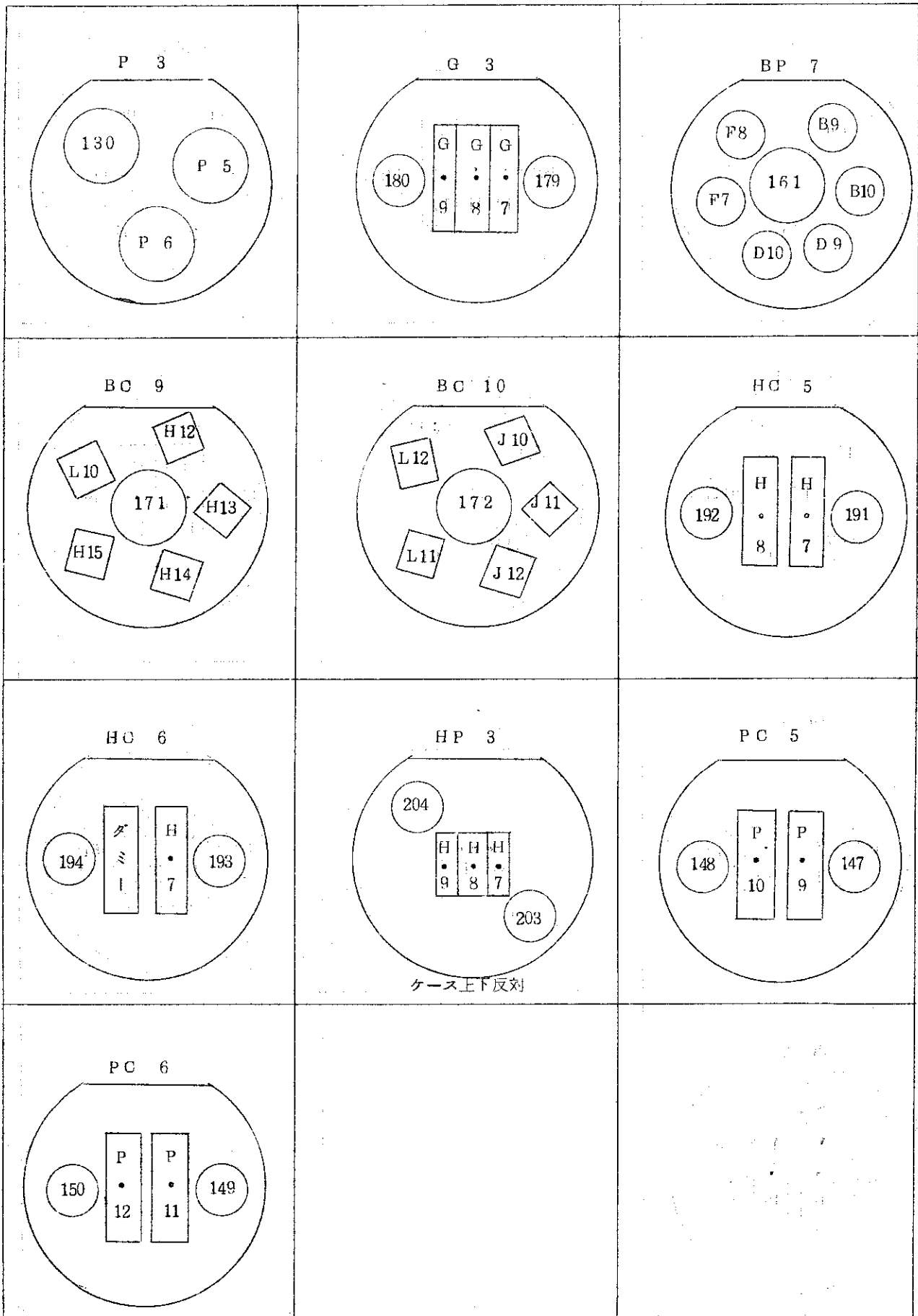


図-15 67M-44J-3内テストピース配置  
-17-

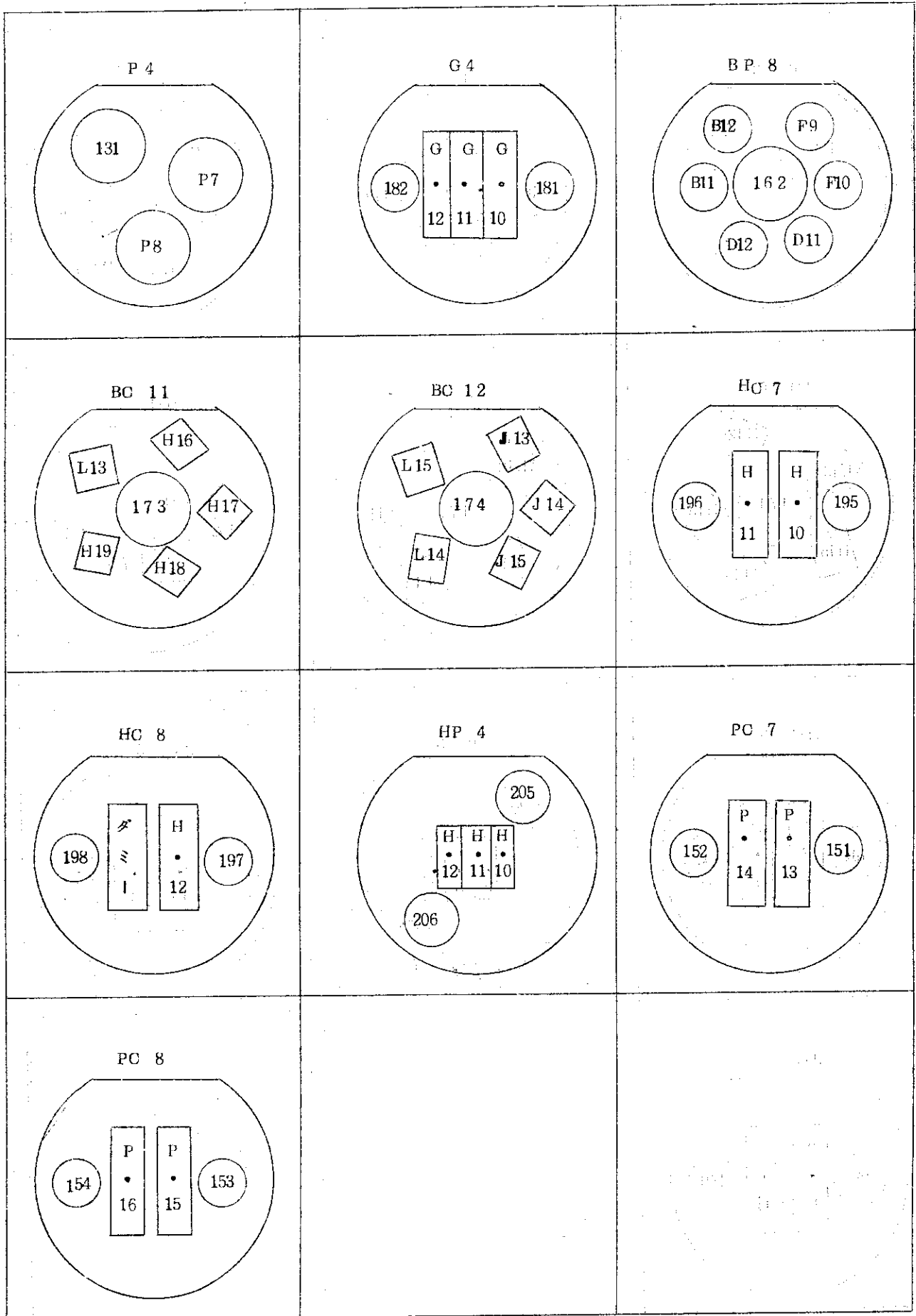
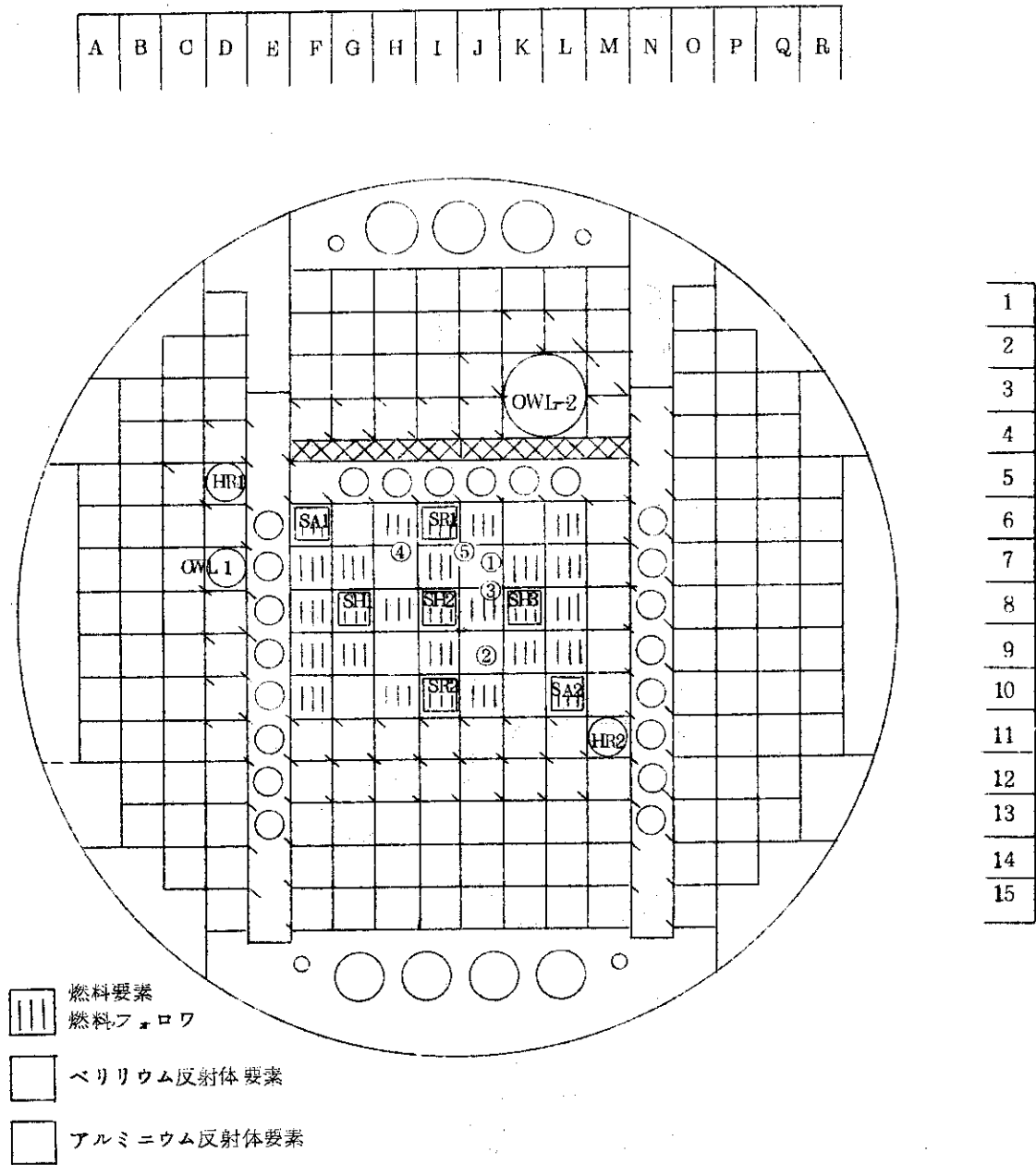
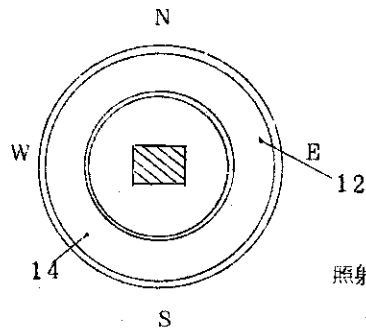
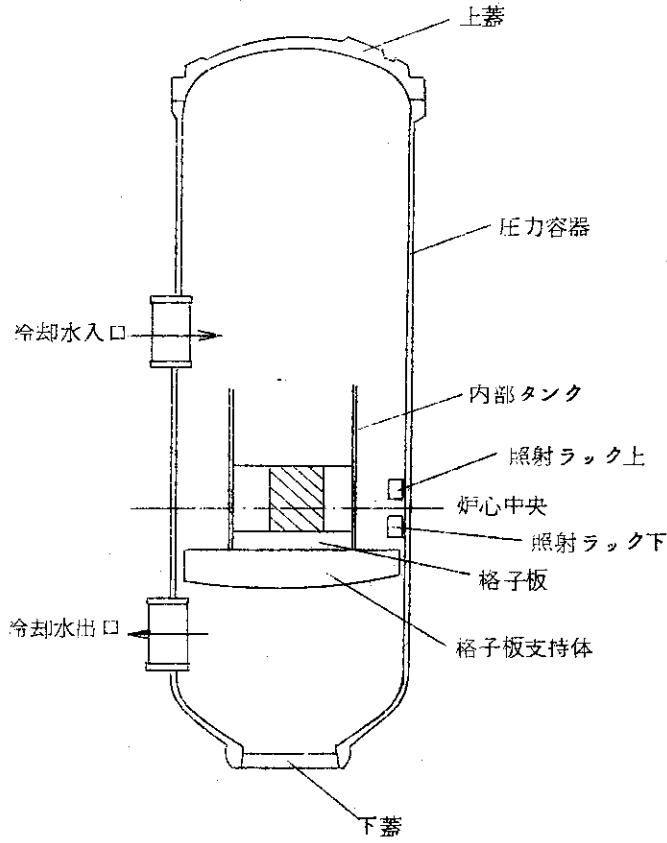


図-16 6.7M-4 4J-4内のテストピース配置



番号	炉心位置	照射予定量	キャプセル番号
①	J-7-1	$10^{20}$ nvt	67M-43J
②	J-9-2	$5 \times 10^{20}$	67M-44J-1
③	J-7-2	$10^{21}$	67M-44J-2
④	H-7-1	$5 \times 10^{21}$	67M-44J-3
⑤	J-7-4	$10^{22}$	67M-44J-4

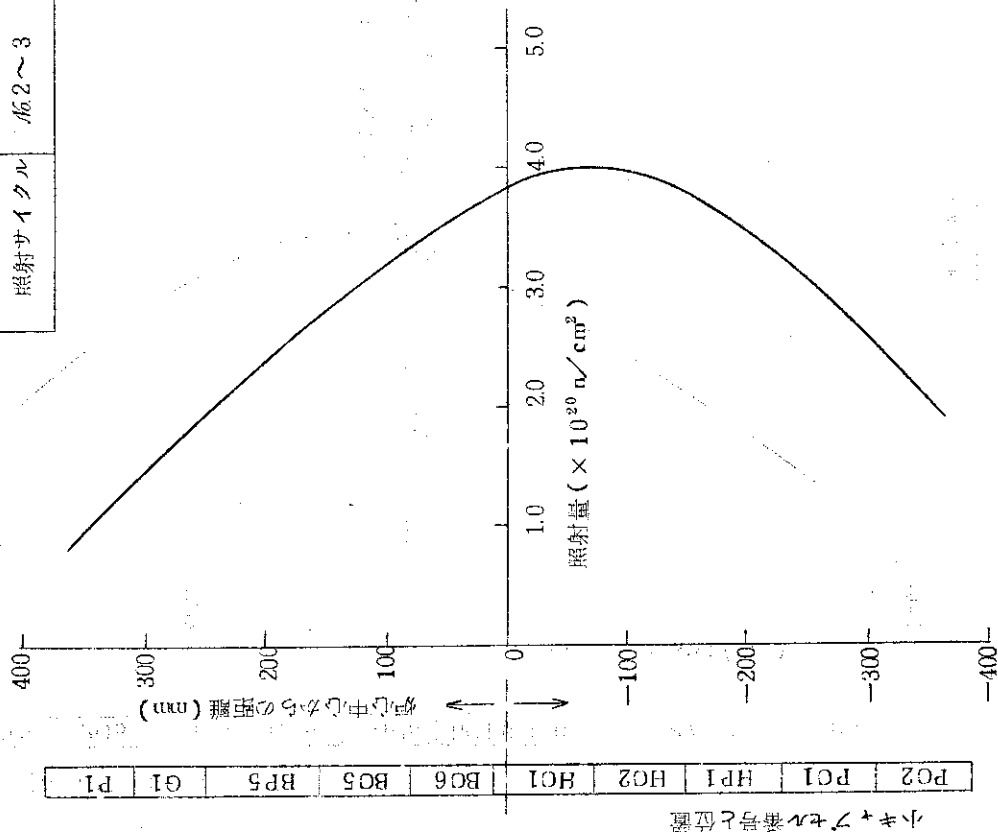
図-17 Be, Hf, 17-4 PH及び304ステンレステストピース挿入位置



照射ラック/板	照射予定期間	キャプセル番号
12上	5年	67M-RJ-1
12下	10	67M-RJ-2
14上	15	67M-RJ-3
14下	20	67M-RJ-4

図-18 304Lステンレス(圧力容器材)テストピース挿入位置

キャプセル名	67M-44J-1
照射孔	J-9-2
照射サイクル	№2~3



キャプセル名	67M-43J
照射孔	J-7-1
照射サイクル	№2

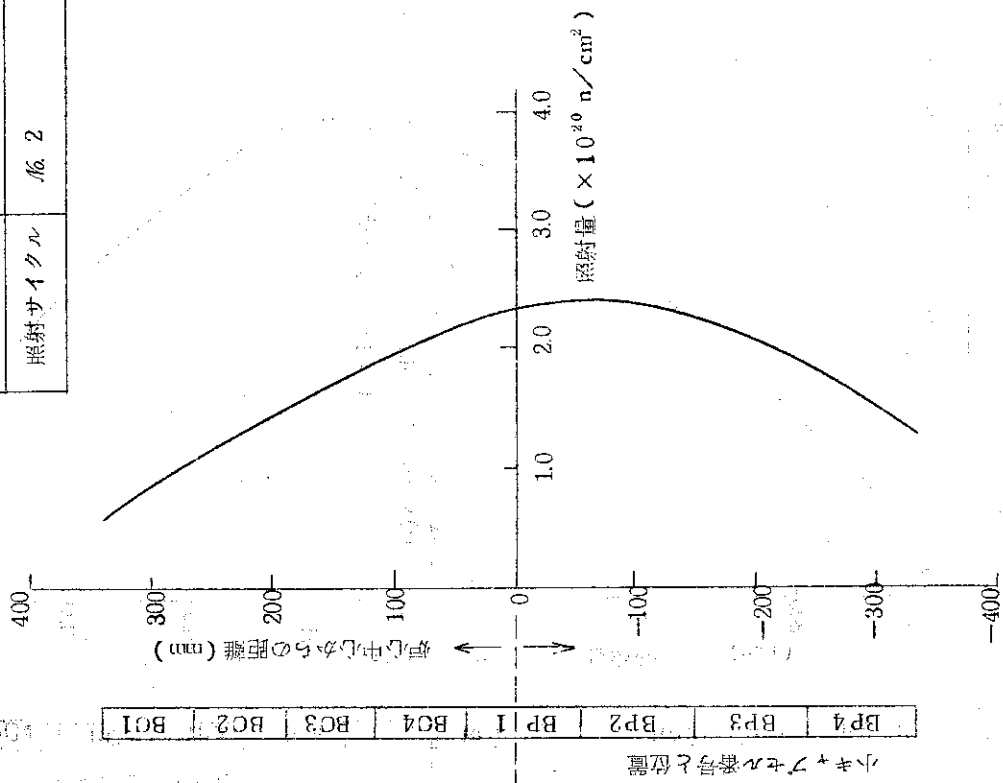


図-20 小キャプセル位置及び高速中性子照射量

図-19 小キャプセル位置及び高速中性子照射量

キャプセル名	67M-44J-3
照射孔	H-7-1
照射サイクル	№2~22

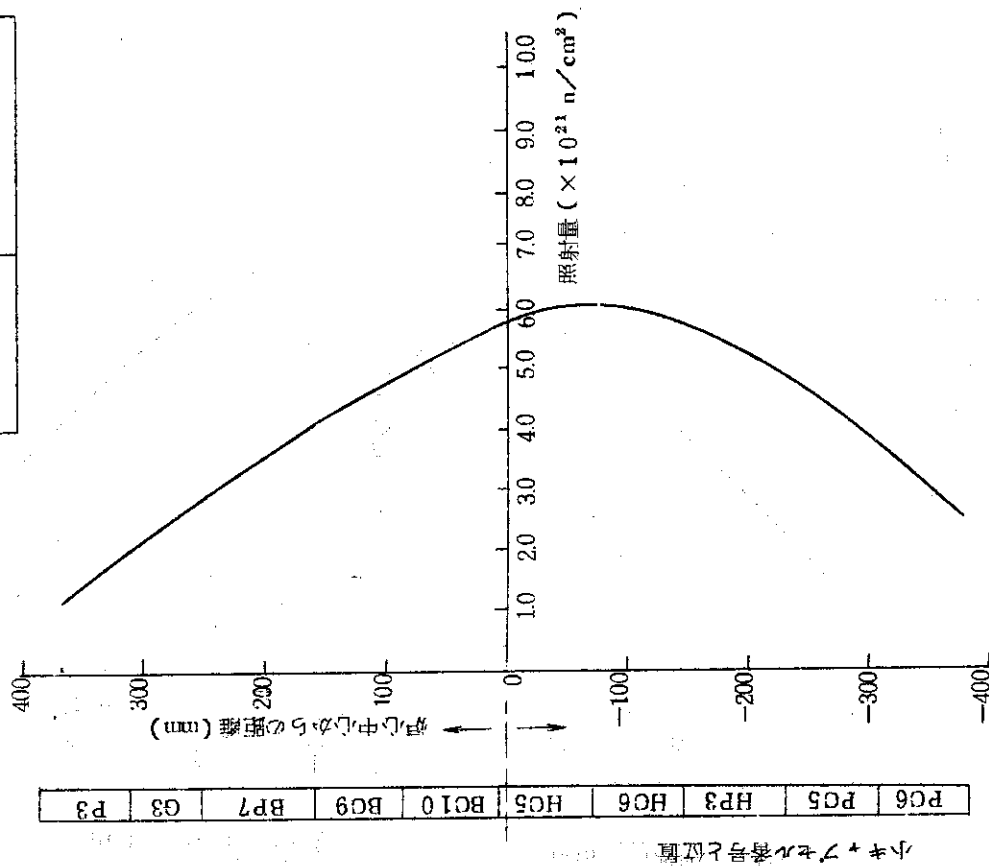


図-22 小キャプセル位置及び高速中性子照射量

キャプセル名	67M-44J-2
照射孔	J-7-2
照射サイクル	№2~5

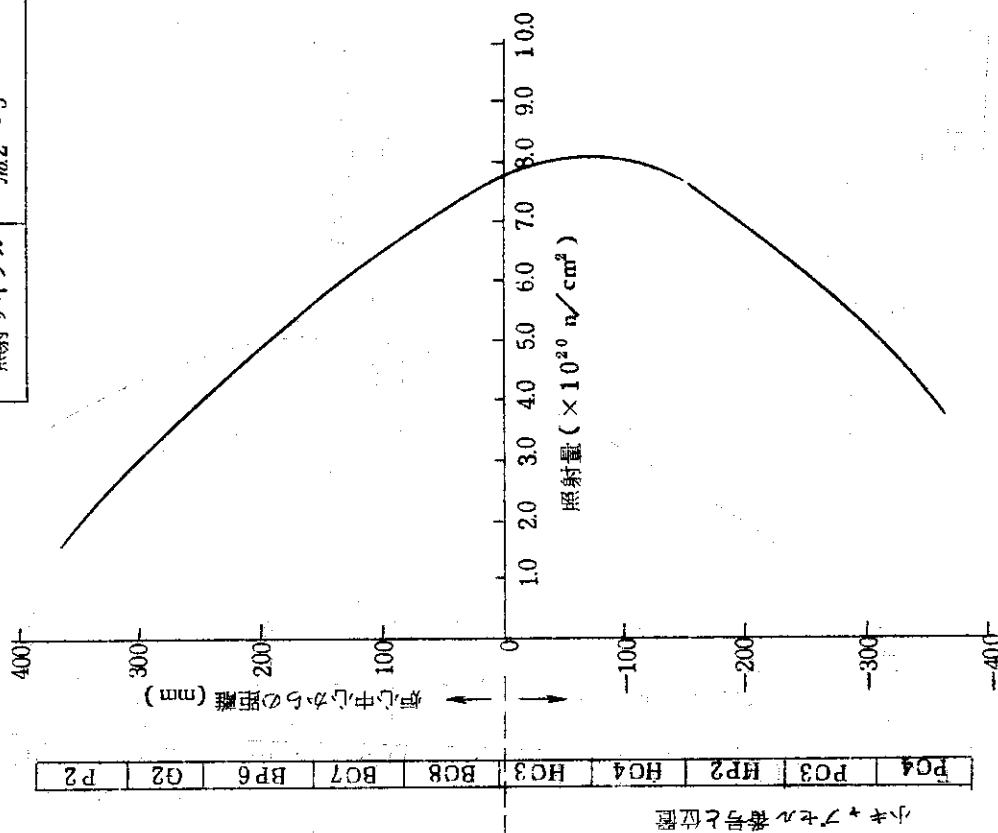


図-21 小キャプセル位置及び高速中性子照射量

表-2 サーベランステストピースの予定照射期間と予定照射量一覧

材質	用途	サーベランス試験		予定照射期間と予定照射量										照射後試験				
		試験片番号 (ホルダー)	照射位置 Integral Flux / cycle	2サイクル・ 10 <sup>20</sup>	2~3サイクル・ 5×10 <sup>20</sup>	2~5サイクル・ 10 <sup>21</sup>	2~20サイクル・ 5×10 <sup>21</sup>	2~20サイクル・ 10 <sup>22</sup>	5年 10 <sup>14</sup>	10年 10 <sup>15</sup>	15年 10 <sup>16</sup>	20年 10 <sup>17</sup>	保管場所 (保管開始年月日)	試験種別	試験期間	備考		
Be	反射体要素 ベリリウム粉	BP 1	J-7-1 2.03 (×10 <sup>20</sup> nvt)	2.03×10 <sup>20</sup>												キャプセル名 67M-43J		
		2	"	"												"		
		3	"	"	"												"	
		4	"	"	"												"	
	20	反射体要素 ベリリウム粉	5	J-9-2 2.06	4.12×10 <sup>20</sup>												キャプセル名 67M-44J-1	
			6	J-7-2 2.08	0.83×10 <sup>21</sup>												キャプセル名 67M-44J-2	
			7	H-7-1 1.83/4.11	4.3×10 <sup>20</sup> hvt												キャプセル名 67M-44J-3	
			8	J-7-4 1.92/4.36	2.03×10 <sup>20</sup>												キャプセル名 67M-44J-4*	
			9	J-7-1 2.03	"												"	
			10	"	"	"											"	
			11	J-9-2 2.06	"												"	
			12	J-7-4 1.92/4.36	"												"	
17-4PH	制御棒用パネ	P 1	J-9-2 2.06	"												第16SDWで炉心位置P-9-1/C 移り17, 18 サイクル中はこの位 置で照射され20 サイクルから再 びJ-7-4に戻った。		
		2	J-7-2 2.08	"												"		
		3	H-7-1 1.83/4.11	"												"		
		4	J-7-4 1.92/4.36	"												"		
		5	J-9-2 2.06	"												"		
		6	"	"												"		
		7	J-7-4 1.92/4.36	"												"		
		8	"	"												"		
		9	J-9-2 2.06	"												"		
		10	"	"												"		
		11	J-7-4 1.92/4.36	"												"		
		12	"	"												"		
Hf	制御棒 吸収体	HP 1	J-9-2 2.06	"												第1期炉心 30 MW		
		2	J-7-2 2.08	"												0.7×10 <sup>14</sup>		
		3	H-7-1 1.83/4.11	"												1×10 <sup>14</sup>		
		4	J-7-4 1.92/4.36	"												0.5×10 <sup>14</sup>		
		5	J-9-2 2.06	"												2×10 <sup>14</sup>		
		6	"	"												1.5×10 <sup>14</sup>		
		7	J-7-4 1.92/4.36	"												1×10 <sup>14</sup>		
		8	"	"												28日		
		9	J-9-2 2.06	"												"		
		10	"	"												"		
		11	J-7-4 1.92/4.36	"												"		
		12	"	"												"		
SUS 27 相当 グランド板	8	G 1	J-9-2 2.06	"												第I期炉心 50 MW		
		2	J-7-2 2.08	"												"		
		3	H-7-1 1.83/4.11	"												"		
		4	J-7-4 1.92/4.36	"												"		
SUS 28 圧力容器	4	(67M-RJ-1)	#12													引張		
		(67M-RJ-2)	"													衡撃		
		(67M-RJ-3)	#14														引張・衡撃・水素分析	
		(67M-RJ-4)	"														"	

\*\* Integral Fast Flux / cycleの値は、第1期炉心のものについては第10サイクルのデータを、第II期炉心のものについては第15サイクルのデータを使用した。今後の照射量計算においては下表の値を用いて推定することにした。



表-3 小キャプセル毎の高速中性子照射量及び試験種別

材 料	小キャプセル番号	高速中性子照射量 ( $n/cm^2$ )	試 験 種 別	
Be	BP 1	$2.3 \times 10^{20}$	引張試験	
	2	2.4 "		
	3	2.1 "		
	4	1.6 "		
	5	2.4 "		
	6	$4.8 \times 10^{20}$		
	7	$3.4 \times 10^{21}$		
	BC	1	$0.8 \times 10^{20}$	衝撃試験
		2	1.3 "	
		3	1.7 "	
		4	2.0 "	
		5	3.1 "	
		6	3.6 "	
		7	6.2 "	
8		$7.2 \times 10^{20}$		
9		$4.5 \times 10^{21}$		
10		$5.4 \times 10^{21}$		
17-4PH	P 1	$1.0 \times 10^{20}$	引張試験	
	2	2.0 "		
	3	$1.4 \times 10^{21}$		
	PC	1	$2.9 \times 10^{20}$	衝撃試験
		2	2.1 "	
		3	5.8 "	
4		$4.2 \times 10^{20}$		
5		$4.3 \times 10^{21}$		
6		3.1 "		
Hf	HP	1	$3.5 \times 10^{20}$	引張試験
		2	$7.1 \times 10^{20}$	
		3	$5.3 \times 10^{21}$	
	HC	1	$3.9 \times 10^{20}$	衝撃試験
		2	3.9 "	
		3	8.0 "	
		4	$8.0 \times 10^{20}$	
		5	$6.0 \times 10^{21}$	
		6	6.0 "	
	SUS 304	G 1	$1.6 \times 10^{20}$	引張試験
		2	3.4 "	
		3	$2.4 \times 10^{21}$	

## 5.1 照射前引張試験結果

表-4 照射前引張試験データ

炉心構造物	試料片採取位置 又は素材名		引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	0.2%耐力 kg/mm <sup>2</sup>	伸び %	備考		
ベリリウム 反射体	角素材 (反射体要素)	押出方向	Max-	52.2	26.0	16.2	JMTRベリリウム反射体要素試験 検査成績書 (42年10月3日) よりデータを集めた。	
			Min-	48.6	23.5	8.5		
			Ave-	50.0	24.6	11.1		
		押出直角 方向	Max-	37.6	25.2	3.0		
			Min-	32.6	22.2	1.9		
			Ave-	35.0	23.3	2.4		
	丸素材 (反射体ブラグ)	押出方向	Max-	57.5	27.5	14.7		
			Min-	53.7	24.8	9.1		
			Ave-	55.4	26.3	12.1		
		押出直角 方向	Max-	35.8	23.5	3.5		
			Min-	32.3	21.5	2.0		
			Ave-	33.9	22.8	2.7		
	角素材 (棒)	押出方向	Max-	48.7	27.1	8.7		ベリリウム棒検査 成績表 (42年9月21日) よりデータを集めた。
			Min-	31.8	21.3	2.0		
			Ave-	39.0	24.0	4.2		
		押出直角 方向	Max-	39.2	25.7	3.9		
			Min-	22.7	21.0	1.1		
			Ave-	33.4	23.1	2.2		
Brush 材	プレス方向	Max-	36.8	24.8	8.6	反射体製造メーカーの試験データ		
		Min-	34.9	20.1	3.8			
		Ave-	36.0		6.9			
	プレス直角 方向	Max-	32.4	24.7	4.5			
		Min-	31.0	22.1	2.4			
		Ave-	31.8		3.5			
炉心格子板	SUS 304	55.2	23.4	60.4	検査表ミルシート			
制御棒吸収体	Hf	43.6	20.1	31.3	よりデータを集めた。			
吸収体バネ材	17-4 PH	119.6	114.0	16.8				

## 5.2 照射後引張試験結果

表-5 Be照射後引張試験データ

小キャプセル番号	試料 仮番号	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	0.2%耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	破断 位置	採取位置別 試料個数	備考
BP1	No.1	51.4	45.7	0.65	B	プラグ材押出方向	
	No.2	40.2	39.6	0.21	A	4.	
	No.3	52.0	45.7	0.72	A	Brush材 2.	
	No.4	41.6	37.5	0.43	C		
	No.5	53.5	45.7	0.91	C		
	No.6	50.3	46.0	0.51	B		
BP2	No.1	42.3	42.3	0.14	B	反射体材	No.1, 2 試料は、ネジ部破断後再試験データ
	No.2	40.7	38.5	0.32	A	押出方向 3.	
	No.3	44.4	43.4	0.25	B		
	No.4	41.2	40.3	0.25	B	反射体材	
	No.5	41.1	40.9	0.18	A	押出直角方向3.	
	No.6	46.3	42.7	0.54	A		
BP3	No.1	39.9	37.3	0.40	A	棒材押出方向 3.	
	No.2	44.4	38.0	0.87	B		
	No.3	39.1	37.7	0.29	A		
	No.4	42.8	38.3	0.58	C	棒材	
	No.5	45.4	38.1	1.09	B	押出直角方向3.	
	No.6	39.5	36.4	0.47	C		
BP4	No.1	40.1	38.3	0.36	C	反射体押出方向3.	No.3 試料は、ネジ部破断後再試験データ
	No.2	45.5	38.4	0.98	B		
	No.3	36.9	36.4	0.25	C	反射体材	
	No.4	43.8	38.8	0.62	B	押出直角方向2.	
	No.5	39.1	34.3	0.58	C		
	No.6	38.2	34.6	0.54	B	Brush材 1.	
BP5	No.1	39.6	37.9	0.29	B	棒材押出方向 3.	試料6本中2本は、試験中に破損
	No.2	34.8	40.2	0.47	C		
	No.3	46.7	40.3	0.91	A		
	No.4	40.1	40.1	0.14	A	棒材押出	
	No.5	—	—	—	—	直角方向 2.	
	No.6	—	—	—	—	Brush材 1.	

(表-5 つづき)

小キャプセル 番 号	試 料 仮番号	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	0.2%耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)	破 断 位 置	採 取 位 置 別 試 料 個 数	備 考
BP 6	No. 1	-	-	-	-	反射体材押出方向 2	ホルダーから試料 を取り外す際、全 試料破損
	No. 2	-	-	-	-		
	No. 3	-	-	-	-	枠材押出方向 2	
	No. 4	-	-	-	-		
	No. 5	-	-	-	-	Brush材 2	
	No. 6	-	-	-	-		
BP 7	No. 1	58.4	-	-	A	反射体材押出方向 2	試料6本中2本は 試験中に破損。 No.1~4試料はネ ジ部破断後再試験 データ。
	No. 2	43.9	-	-	B		
	No. 3	40.3	-	-	C	枠材押出方向 2	
	No. 4	47.6	-	-	C		
	No. 5	-	-	-	-	Brush材 2	
	No. 6	-	-	-	-		

表-6 17-4 PH照射後引張試験データ

小キャプセル 番 号	試 料 仮番号	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	0.2%耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)	破 断 位 置	備 考
P 1	No. 1	124.7	120.9	3.55	B	
	No. 2	125.1	113.0	3.85	A	
P 2	No. 1	127.3	119.3	3.6	B	
	No. 2	126.1	120.0	3.4	B	
P 3	No. 1	137.3	135.7	3.2	B	
	No. 2	136.2	134.3	2.9	B	

表-7 H<sub>f</sub>照射後引張試験データ

小キャプセル 番 号	試 料 仮番号	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	0.2%耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)	破 断 位 置	備 考
HP1	No. 1	55.0	53.3	3.0	A	
	No. 2	54.0	53.3	1.9	B	
	No. 3	55.7	54.3	2.1	B	
HP2	No. 1	56.3	55.7	1.8	B	
	No. 2	55.0	54.3	1.8	B	
	No. 3	56.5	56.2	1.9	B	
HP3	No. 1	115.0	115.0	-	B	
	No. 2	88.0	88.0	-	C	
	No. 3	112.5	112.5	-	C	

表-8 SUS304 照射後引張試験データ

小キャプセル 番号	試料 仮番号	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	0.2%耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	破断 位置	備 考
G 1	No. 1	60.9	52.0	3.23	B	
	No. 2	59.1	50.4	2.88	C	
	No. 3	58.4	51.1	2.65	C	
G 2	No. 1	61.3	51.6	3.3	A	
	No. 2	62.2	52.9	3.7	A	
	No. 3	62.7	56.7	2.8	A	
G 3	No. 1	63.8	58.2	2.6	B	
	No. 2	64.0	55.8	3.5	B	
	No. 3	60.2	52.9	2.5	B	

## 5.3 照射前衝撃試験結果

表-9 照射前衝撃試験データ

炉心構造物	試料採取位置 又は、素材名	衝撃値 kg-m/cm <sup>2</sup>	備 考	
ベリリウム反射体	角素材 (反射体)	押出方向	0.094	各種採取位置別に多数の 試験を行なったが、ここ ではその平均値を示す。
		押出直角方向	0.078	
	丸素材 (プラグ)	押出方向	0.101	
		押出直角方向	0.094	
	角素材 (棒)	押出方向	0.103	
		押出直角方向	0.099	
制御棒吸収体	Hf	0.207	検査表ミルシートより データを集めた。	
吸収体バネ材	17-4PH	0.960		

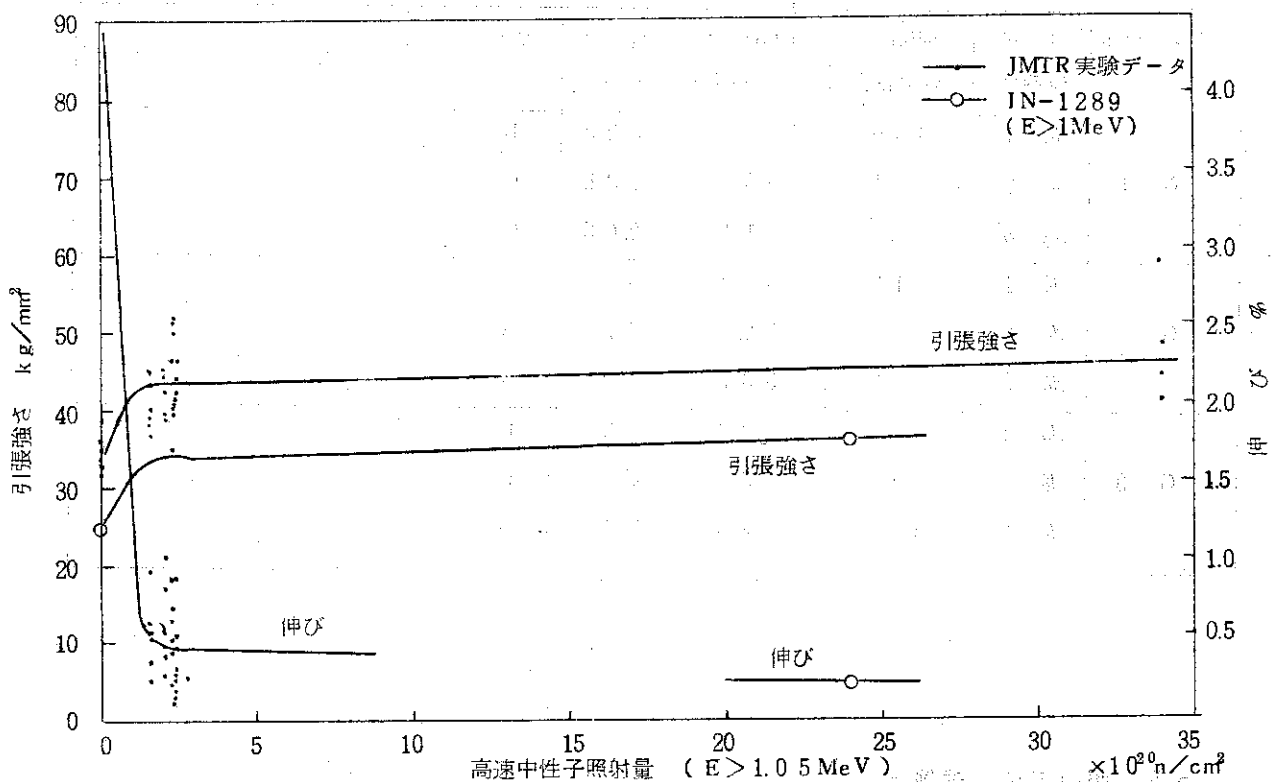


図 - 2 3 Be の照射効果 (引張試験)

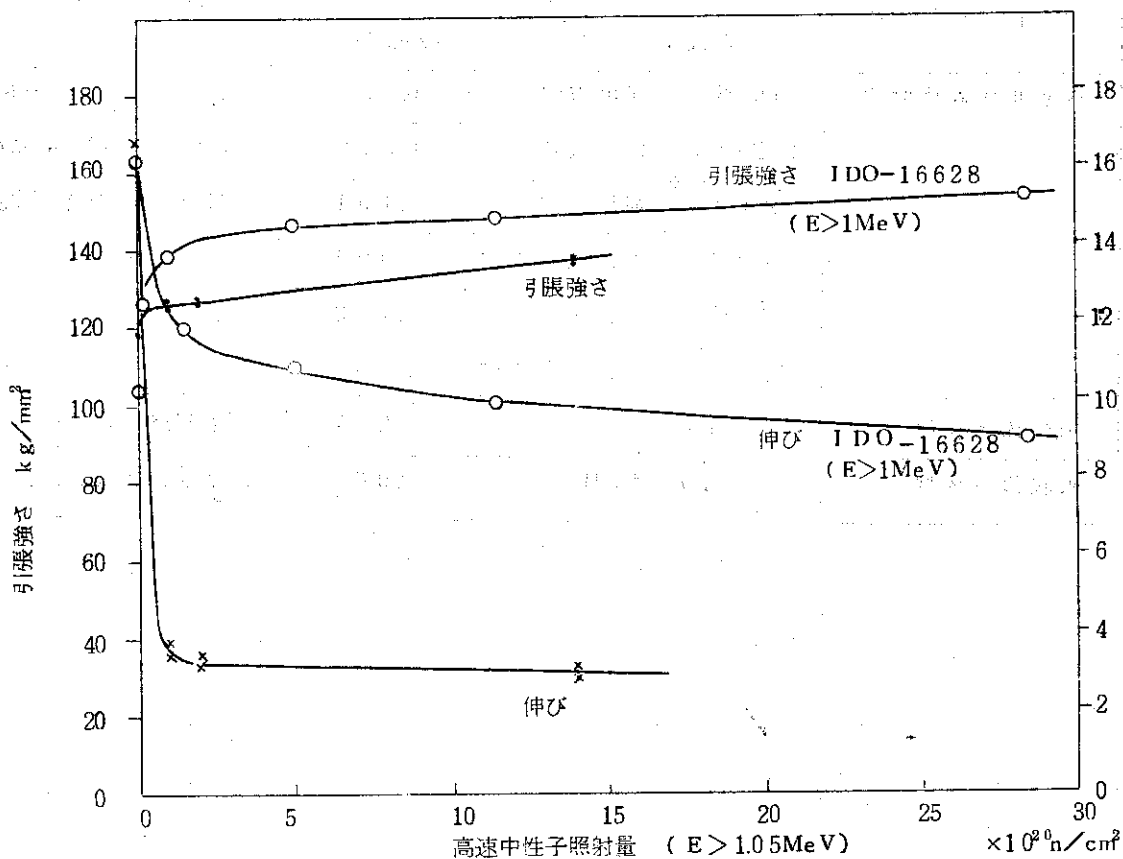


図 - 2 4 17-4 PH の照射効果 (引張試験)

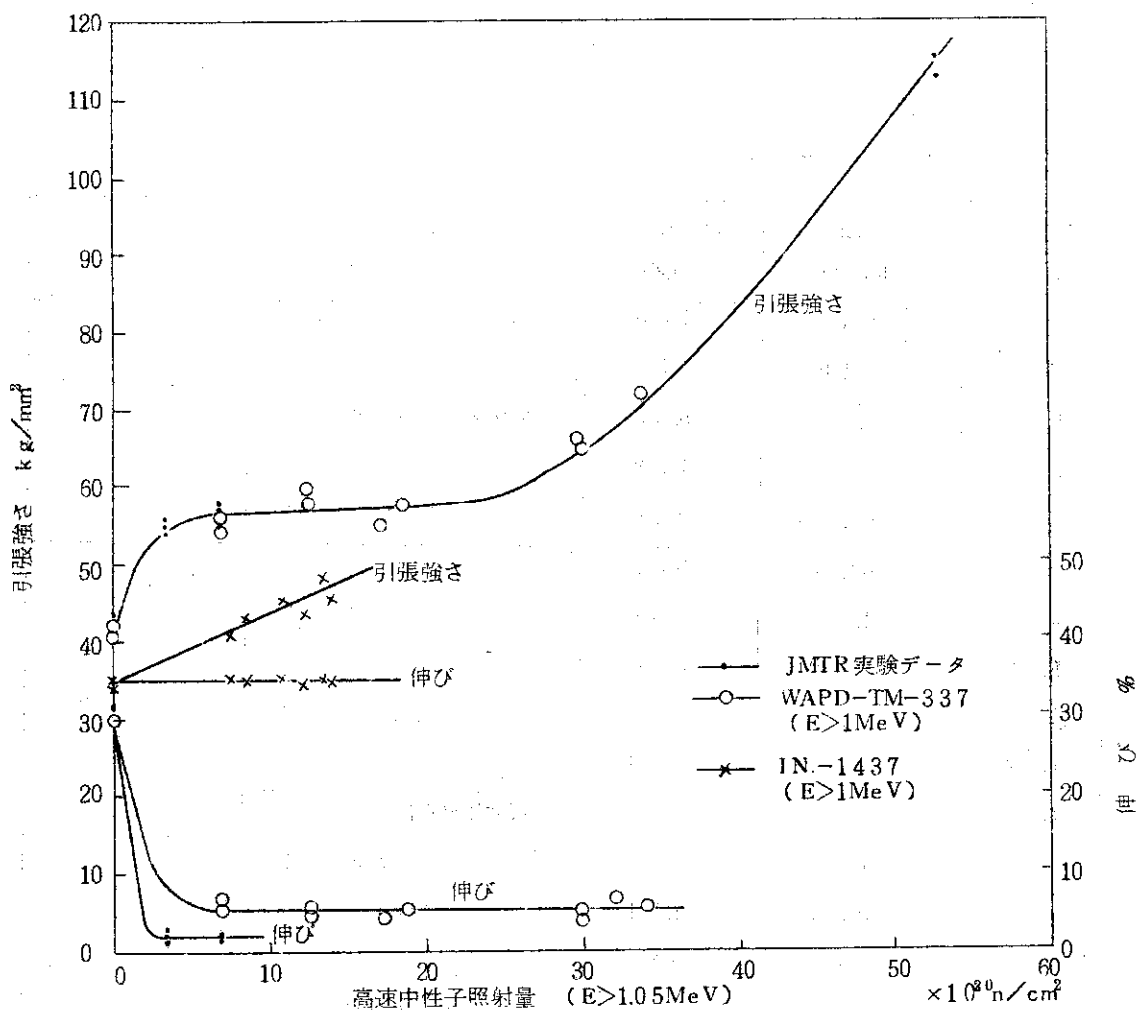


図 - 2 5 Hf の照射効果 (引張試験)

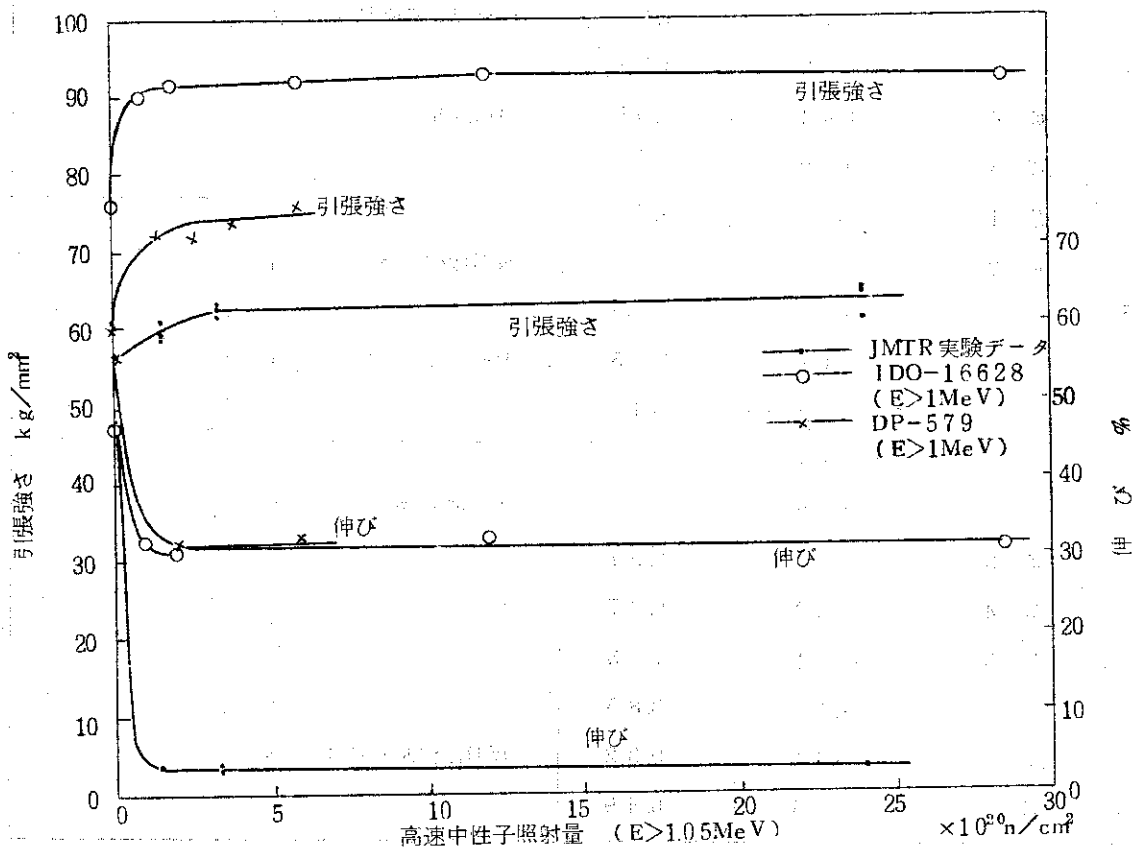


図 - 2 6 SUS 304 の照射効果 (引張試験)

## 5.4 照射後衝撃試験結果

表-10 Be照射後衝撃試験データ

小キャプセル 番 号	試 料 仮番号	吸収エネルギー kg-m	衝 撃 値 kg-m/cm <sup>2</sup>	採取位置別 試料個数	備 考
BC 1	No. 1	0.41	1.33	プラグ材押出方向 5	
	No. 2	0.18	0.58		
	No. 3	1.71	5.53		
	No. 4	0.41	1.33		
	No. 5	0.77	2.49		
BC 2	No. 1	0.18	0.58	反射体材押出方向 3	
	No. 2	1.13	3.66		
	No. 3	1.17	3.78	反射体材押出 直角方向 2	
	No. 4	0.79	2.56		
	No. 5	0.45	1.46		
BC 3	No. 1	0.61	1.97	反射体材押出 直角方向 1	
	No. 2	1.22	3.95		
	No. 3	0.53	1.71	棒材押出方向 3	
	No. 4	1.12	3.62		
	No. 5	0.30	0.97		
BC 4	No. 1	0.55	1.78	棒材押出直角方向 2	
	No. 2	0.41	1.33		
	No. 3	0.55	1.78	Brush材 3	
	No. 4	1.84	5.95		
	No. 5	0.22	0.71		
BC 5	No. 1	0.45	1.46	反射体材押出方向 4	
	No. 2	0.53	1.71		
	No. 3	0.26	0.84	Brush材 1	
	No. 4	1.13	3.65		
	No. 5	1.38	4.46		
BC 6	No. 1	0.18	0.58	棒材押出方向 3	
	No. 2	0.53	1.71		
	No. 3	0.92	2.97	Brush材 2	
	No. 4	0.30	0.97		
	No. 5	0.41	1.33		
BC 7	No. 1	1.19	3.85	反射体材押出方向 4	
	No. 2	0.10	0.32		
	No. 3	0.15	0.49		



(表-10つづき)

小キャプセル 番号	試料 仮番号	吸収エネルギー kg-m	衝撃値 kg-m/cm <sup>2</sup>	採取位置別 試料個数	備考
BC 7	No. 4	0.21	0.68	Brush材 1	
	No. 5	0.05	0.16		
BC 8	No. 1	1.60	5.18	棒材押出方向 3	
	No. 2	0.10	0.32		
	No. 3	0.05	0.16		
	No. 4	0.05	0.16	Brush材 2	
	No. 5	0.21	0.68		
BC 9	No. 1	0.25	0.83	反射体材押出方向 4	
	No. 2	0.17	0.53		
	No. 3	0.21	0.71		
	No. 4	0.41	1.34	Brush材 1	
	No. 5	0.21	0.71		
BC 10	No. 1	0.21	0.71	棒材押出方向 3	
	No. 2	0.25	0.83		
	No. 3	0.25	0.83		
	No. 4	0.29	0.96	Brush材 2	
	No. 5	0.25	0.83		

表-11 17-4PH照射後衝撃試験データ

小キャプセル 番号	試料 仮番号	吸収エネルギー kg-m	衝撃値 kg-m/cm <sup>2</sup>	備考
PC 1	No. 1	3.47	8.67	
	No. 2	1.13	2.83	
PC 2	No. 1	4.62	11.55	
	No. 2	1.38	3.45	
PC 3	No. 1	2.05 <sub>7</sub>	5.143	
	No. 2	3.20 <sub>3</sub>	8.008	
PC 4	No. 1	1.84 <sub>3</sub>	4.608	
	No. 2	1.75 <sub>9</sub>	4.398	
PC 5	No. 1	0.49 <sub>3</sub>	1.233	
	No. 2	0.69	1.725	
PC 6	No. 1	1.011	2.528	
	No. 2	0.770	1.925	

表-12 H<sub>f</sub>照射後衝撃試験データ

小キャプセル 番 号	試 料 仮番号	吸収エネルギー kg-m	衝 撃 値 kg-m/cm <sup>2</sup>	備 考
HC 1	No. 1	2.67	6.67	
	No. 2	0.93	2.33	
HC 2	No. 1	1.01	2.53	
HC 3	No. 1	3.111	7.777	
	No. 2	2.668	6.67	
HC 4	No. 1	2.014	5.035	
HC 5	No. 1	0.454	1.135	
	No. 2	0.415	1.037	
HC 6	No. 1	-	-	破断試片がアンビルとハンマーの 間にはさまるため試験中止

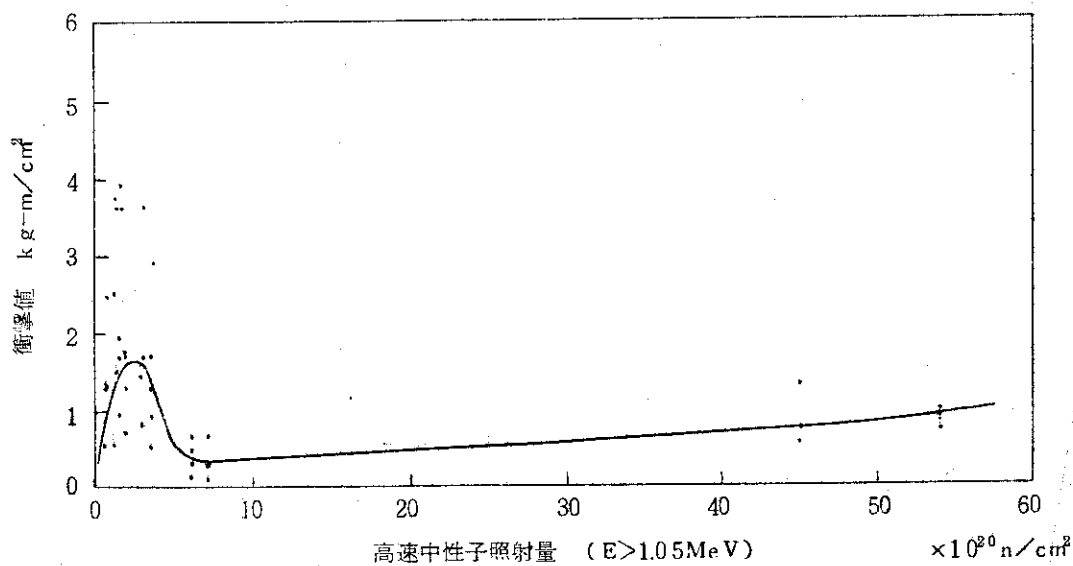


図 - 27 Be の照射効果 (衝撃試験)

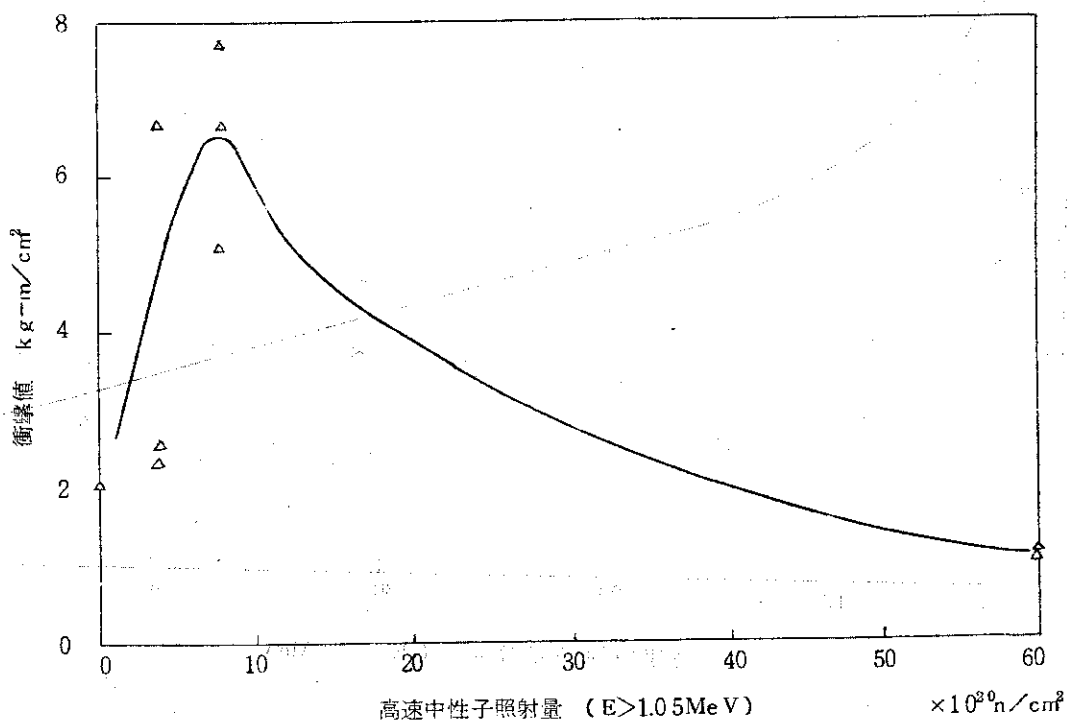


図 - 29 Hf の照射効果 (衝撃試験)

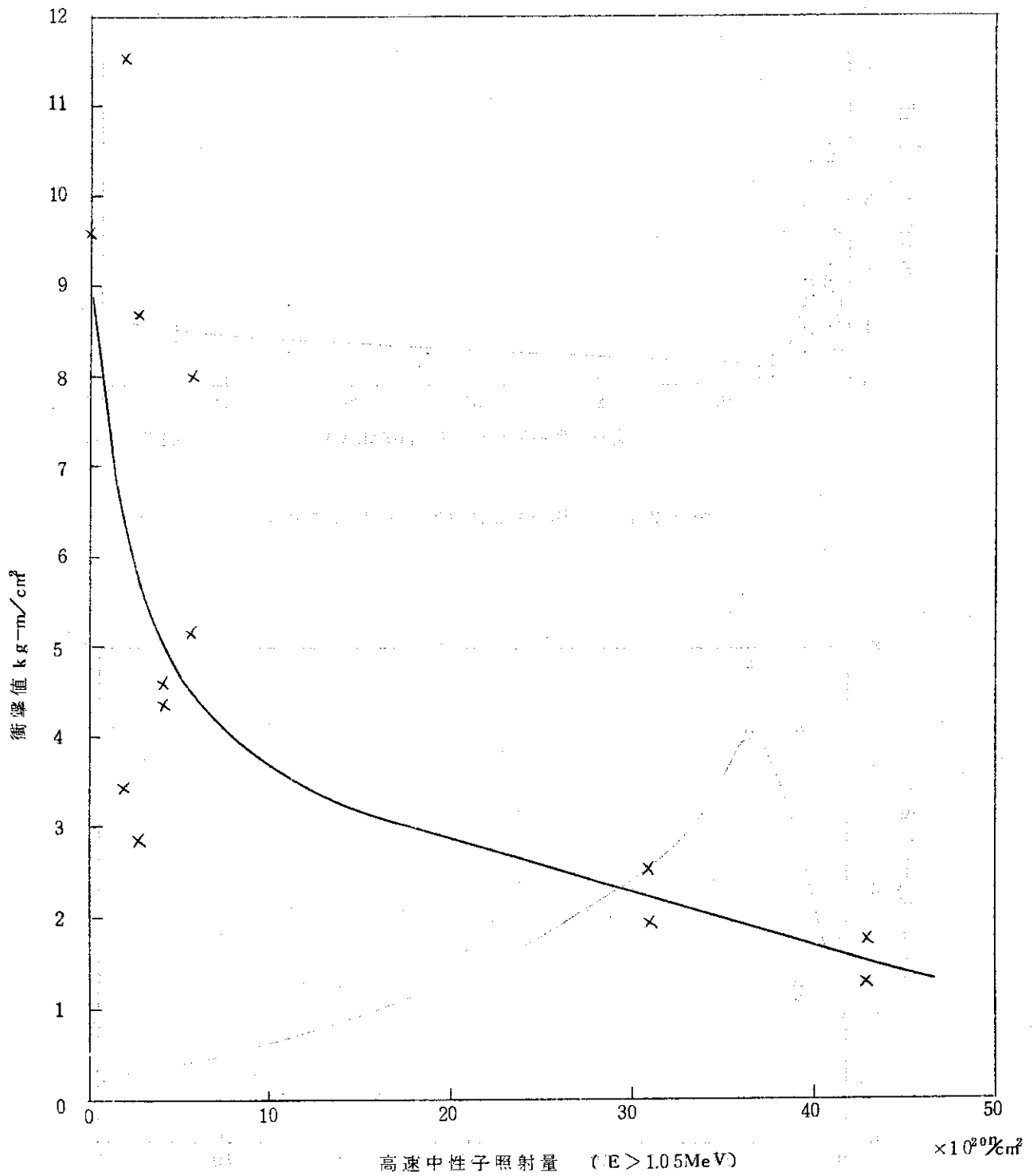


図 - 28 17-4PHの照射効果(衝撃試験)

## 6. 検 討

J M T Rサーベイランステスト計画に基づく照射試験片の約半数について現在まで照射後試験を終了したので、本報告書をまとめたが、この過程において二つの大きな手違いが有って、本計画が頭初の予定通りに進まなかった。前述の通り未照射試料を保管中に紛失したことが第一の手違いであり、材料製造者の試験データをもって照射前データとせざるを得なかった、第二の手違いは、照射済キャプセルから試験片を取り出す際に間違った連絡が、解体作業を行なう J M T Rホットラボ課へ出されたため、小キャプセル内の試料番地ごとに試料を区分せず、小キャプセル単位で区分された。その結果、ベリリウム試験片については、プラグ材、反射体、枠材の押出方向、押出直角方向の試験片区分が全く不可能となってしまった。したがってベリリウムの場合、押出工程を行なった材料とそれを行なわなかった Brush 材のデータ比較が出来なくなったこと及び押出方向に平行な切り出しを行なった試片と押出方向に直角となる向きで切り出した試片の相互比較などが不可能となった。

以上の手違いの原因を検討した場合、第一番目に挙げられるのは、計画立案の段階から担当部門が一貫して同一のセクションになかったために、たび重なる引き継ぎの中で必要な情報の伝播を欠いていたことである。現在第2回目のベリリウム枠製作を開始しており、枠材のサーベイランステストの第2回目を計画中であるが、このようなトラブルを全面的に解消すべく検討を進めている。

## 7. ま と め

J M T Rサーベイランステスト計画に基づく照射キャプセルの約半数を処理した結果をここに報告したが、このデータが J M T R以外においても同種の炉心材料を使用する他施設の炉心要素管理計画等に役立てば幸いに思う。今回のテスト計画を遂行するに当り種々の分野の人達に大変迷惑をかけたことをここにおわびすると共に、今後も回を重ねて同種のテスト計画が継続される予定であり、尚一層技術的示唆が与えられることを切望する。

最後に、本計画の取りまとめを材料試験炉部原子炉第一課が担当していることから、報告書作成を運転管理係で行なったことを付記する。

## 6. 検 討

JMTRサーベイランステスト計画に基づく照射試験片の約半数について現在まで照射後試験を終了したので、本報告書をまとめたが、この過程において二つの大きな手違いが有って、本計画が頭初の予定通りに進まなかった。前述の通り未照射試料を保管中に紛失したことが第一の手違いであり、材料製造者の試験データをもって照射前データとせざるを得なかった。第二の手違いは、照射済キャプセルから試験片を取り出す際に間違った連絡が、解体作業を行なうJMTRホットラボ課へ出されたため、小キャプセル内の試料番地ごとに試料を区分せず、小キャプセル単位で区分された。その結果、ベリリウム試験片については、プラグ材、反射体、枠材の押出方向、押出直角方向の試験片区分が全く不可能となってしまった。したがってベリリウムの場合、押出工程を行なった材料とそれを行なわなかったBrush材のデータ比較が出来なくなったこと及び押出方向に平行な切り出しを行なった試片と押出方向に直角となる向きで切り出した試片の相互比較などが不可能となった。

以上の手違いの原因を検討した場合、第一番目に挙げられるのは、計画立案の段階から担当部門が一貫して同一のセクションになかったために、たび重なる引き継ぎの中で必要な情報の伝播を欠いていたことである。現在第2回目のベリリウム枠製作を開始しており、枠材のサーベイランステストの第2回目を計画中であるが、このようなトラブルを全面的に解消すべく検討を進めている。

## 7. ま と め

JMTRサーベイランステスト計画に基づく照射キャプセルの約半数を処理した結果をここに報告したが、このデータがJMTR以外においても同種の炉心材料を使用する他施設の炉心要素管理計画等に役立てば幸いに思う。今回のテスト計画を遂行するに当り種々の分野の人達に大変迷惑をかけたことをここにおわびすると共に、今後も回を重ねて同種のテスト計画が継続される予定であり、尚一層技術的示唆が与えられることを切望する。

最後に、本計画の取りまとめを材料試験炉部原子炉第一課が担当していることから、報告書作成を運転管理係で行なったことを付記する。