

JAERI - M  
94-023

JMTR  
照射ハンドブック

1994年3月

材料試験炉部

JAERI-M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。  
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division  
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-  
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute. 1994

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 いばらき印刷機

JMTR照射ハンドブック

日本原子力研究所大洗研究所  
材料試験炉部

(1994年1月28日受理)

JMTR施設を利用することにより、広範囲な照射試験及び照射後試験を行うことが可能である。このハンドブックは、JMTR及びその付属施設であるホットラボを利用して照射試験及び照射後試験を実施するに当たっての手引きとなるものであり、照射利用者各位の利用の便を図るとともに、利用者各位と材料試験炉部との連絡の便に供するために作成されたものである。

本ハンドブックでは、JMTR及びその照射設備の概要を紹介し、利用できる照射技術及び照射利用の上で必要な諸データを収録した。

JAERI-M 94-023

JMTR Irradiation Handbook

Department of JMTR Project

Oarai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received January 28, 1994)

A wide variety of nuclear irradiation and post-irradiation experiments are available using the Japan Materials Testing Reactor, 50MW (JMTR) and the multi-cell hot laboratory associated with the JMTR. In this Handbook, an application manual for conducting irradiation and post-irradiation experiments using those facilities is provided.

The Handbook is primarily designed to aid the experimenter and to serve as a reference for communications between the experimenter and the Department of JMTR Project.

Keywords: JMTR, Handbook, Hot Laboratory, Post-irradiation Examination, Irradiation Capsule, In Pile Loop, Manual

## 第5版 序 言

JMTRは、1965年（昭和40年）5月に原子炉建家工事を開始し、1968年（昭和43年）3月に臨界に達した。1970年（昭和45年）から約1年間を試用期間として試験照射を行い、以後、広く所内外の利用に供されてきた。1992年（平成4年）3月には、通算100サイクルの運転を達成し、その後も順調に運転を続けている。現在までに、ATR、FBR、高温工学試験研究炉及び核融合炉の開発のための照射試験、軽水炉燃料の開発及び確証試験としての出力急昇試験、飽和温度キャプセルによる軽水炉炉心構造材の照射試験等、大学関係の各種試料の照射試験並びに放射性同位元素の生産に役立ってきた。

「JMTR照射ハンドブック」は、JMTRの利用者に、照射利用に関する資料を提供することを目的として1976年（昭和51年）9月に初版が発行された。以後、利用者の便宜を図るために改訂を重ねてきたが、前回の改訂（第4版 1987年3月）から7年が経過した。この間、原子炉燃料の濃縮度低減化により1994年（平成6年）1月からは濃縮度約20%のシリサイド燃料炉心に切り換えた。切り換えに当たって、可燃性吸収体付き燃料を用いるため、サイクル途中の燃料交換が不要となり、かつ、運転中の中性子束変動が少なくなり、より良い照射場を提供することが可能となった。

改訂に当たっては、これらの遷移を踏まえ、全般的に見直し、より一層利用者の便に供するよう内容を改めた。このハンドブックが利用者各位に利用され、今後ますます、材料試験炉が有効かつ有意義に活用されるよう期待する次第である。

1994年2月

材料試験炉部長 齊藤 実

## 目 次

JMTRの概要 .....	1
1. 本体施設 .....	5
1.1 JMTRの配置 .....	7
1.2 JMTR建家 .....	7
1.3 原子炉本体 .....	7
1.4 冷却系 .....	9
1.5 計測制御系 .....	10
1.6 給排気系 .....	12
1.7 純水補給系 .....	12
1.8 電源系 .....	13
1.9 排水系 .....	13
1.10 JMTRの運転 .....	13
2. 照射施設 .....	39
2.1 概 要 .....	41
2.2 水カラビット照射設備 .....	43
2.3 キャプセル照射設備 .....	49
2.4 ループ照射設備 .....	57
2.5 ガススweep (FGS)照射設備 .....	61
2.6 出力急昇試験設備 (BOCA/OSF-1) .....	64
2.7 照射設備の計算機システム .....	69
2.8 水・ガス分析設備 .....	74
2.9 照射試料の熱計算及び安全基準 .....	76
2.10 燃料試料の発熱量と燃焼度 .....	85
3. 照射後試験施設 .....	87
3.1 概 要 .....	89
3.2 照射後試験 .....	89
4. 中性子束分布・発熱量等の決定 .....	129
4.1 概 要 .....	131
4.2 炉心配置の決定の手順 .....	131
4.3 核計算による炉心配置の検討 .....	132
4.4 核計算による試料発熱量推定精度 .....	133
4.5 キャプセル試料発熱量の推定 .....	133
4.6 $\gamma$ 発熱と $\gamma$ 線スペクトル .....	134
4.7 中性子スペクトルと中性子照射量 .....	134

5. 放射性同位元素の生産 .....	179
5.1 放射性同位元素の種類 .....	180
5.2 放射性同位元素生産用キャプセル・ラビット .....	180
6. 開発計画 .....	187
6.1 概要 .....	188
6.2 高性能照射場の開発 .....	188
6.3 照射後試験技術 .....	189
6.4 再計装技術開発 .....	189
6.5 PWR燃料出力急昇試験設備 .....	189
7. 利用の手引き .....	193
7.1 利用業務の概要 .....	194
7.2 利用の手順 .....	195
7.3 利用申込方法 .....	198
7.4 利用料金 .....	200
7.5 報告書 .....	203
あしがき .....	214
付録1 JMTR年表 .....	217
付録2 JMTRの運転及び利用実績 .....	233
付録3 関係略語集 .....	245

## Contents

## Outline of JMTR

1. JMTR Description .....	5
1.1 Arrangement of JMTR Facilities .....	7
1.2 Buildings .....	7
1.3 Reactor .....	7
1.4 Cooling Systems .....	9
1.5 Instrumentation Control .....	10
1.6 Ventilation of Reactor Building .....	12
1.7 Demineralized-water Supply .....	12
1.8 Electrical Systems .....	12
1.9 Aqueous Waste Disposal .....	13
1.10 Reactor Operation .....	13
2. Irradiation Facilities .....	39
2.1 General .....	41
2.2 Hydraulic Rabbit Facilities .....	43
2.3 Capsule Facilities .....	49
2.4 Loop Facilities .....	57
2.5 Gas Sweep Irradiation Facility .....	61
2.6 Power Ramping Test Facility (BOCA/OSF-1) .....	64
2.7 Data Acquisition System .....	69
2.8 Water-gas Analysis Facilities .....	74
2.9 Thermal Calculation and Thermal Criteria for Capsules .....	76
2.10 Estimation or Measurement of Heat Generation and Estimation of Burnup for Fuel Specimen .....	85
3. Multi-cell Hot Laboratory .....	87
3.1 General .....	89
3.2 Post-irradiation Experiment .....	89
4. Neutronics and Gamma Heat .....	129
4.1 General .....	131
4.2 Determination Procedures of Core Configuration .....	131
4.3 Neutronic Calculation for Determining Core Configuration .....	132
4.4 Precision of Heat Generation Estimation for Fuel Specimen with Neutronic Calculation .....	133
4.5 Heat Generation Estimation for Capsule Specimen .....	133
4.6 Gamma Heat and Gamma Spectrum .....	134
4.7 Neutron Spectrum and Neutron Fluence .....	134



5. Productions of Radioisotopes .....	179
5.1 Kinds of Radioisotopes produced in JMTR .....	180
5.2 Capsule or Rabbit for Radioisotope Production .....	180
6. Development Project .....	187
6.1 General .....	188
6.2 Development of Advanced Irradiation Bed .....	188
6.3 Technique of Post Irradiation Experiments .....	189
6.4 Development of Re-instrument Technique .....	189
6.5 Facility of Power Ramping Test for PWR Fuel .....	189
7. Guide for JMTR Irradiations .....	193
7.1 Outline of Irradiation Service .....	194
7.2 Irradiation Processing .....	195
7.3 Application Procedure for Irradiation .....	198
7.4 Irradiation and Post-irradiation Experiment Fee .....	200
7.5 Reports .....	203
Postscript .....	214
Appendix 1 Chronological Table of JMTR .....	217
Appendix 2 Actual Results of JMTR Operation and Irradiation .....	233
Appendix 3 Abbreviations .....	245

## J M T R の概要

JMTR(Japan Materials Testing Reactor)は、軽水減速冷却タンク型で熱出力50MWの汎用型材料試験炉である。JMTRには、ループ、キャプセル等の各種照射設備が設置されている他、照射後試験施設としてホットラボが付設されている。JMTRの特長は、中性子束が高速中性子、熱中性子とも最高約  $4 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  と我が国で最高レベルの汎用照射試験炉であるという点にある。このため、JMTRでは材料の加速照射、大型試験片照射、ループによる高温高圧下での照射、キャプセルによる高精度に温度制御された条件下での照射等、幅広い照射需要に応じることができる。

JMTRの設置の目的は、

- (1) 動力炉国産化技術の確立と、国産動力炉の開発のための原子炉用燃料及び材料の照射試験
  - (2) 放射性同位元素の生産
- である。

JMTRが設置されている日本原子力研究所大洗研究所は、東京から北東へ112km、水戸から東へ16kmに位置した茨城県東茨城郡大洗町にあって、鹿島灘に面し、その敷地面積は約90万平方メートルである。JMTRの建設は、1965年(昭和40年)4月に開始され、原子炉機器の製作は、原子力メーカー5社(日本原子力事業、日立製作所、三菱原子力工業、富士電機、住友原子力工業)が、原子炉建家の建設は、大林組と清水建設がそれぞれ担当した。附属施設を含めた建設総工費は約87億円である。

設計に当たっては、

- (1) 炉心配置等の融通性
- (2) 安全確保のための実証済技術の採用

の2点に特に留意された。

JMTRは、原子炉とホットラボがカナルで連結されていて、照射済試料を容易に、かつ安全にホットラボへ移動させ、照射後試験を実施することができる。

JMTRは、1968年(昭和43年)3月に初臨界に達したものの、その後炉プール及びカナルのステンレス鋼ライニングの溶接部に欠陥が発見され、その補修に約20ヶ月を要した。本格的な高出力運転が開始されたのは、1969年(昭和44年)12月からである。第1サイクルから第11サイクルまでは30MWを定格出力とし、第12サイクルからは50MWを定格出力として運転されている。1992年(平成4年)3月29日の運転終了をもって通算100サイクルの運転を達成し、1994年(平成6年)1月現在で第107サイクルまでの運転(累計積算出力98,156.2MWd)を終了している。

照射設備としては、1993年(平成5年)現在で、

- (1) 多様なキャプセル照射設備(特殊なキャプセル照射設備として、照射中にHTTR(High Temperature Engineering Test Reactor)用被覆粒子燃料から放出されるFPガスの放出率を

測定するためのガススイープ照射設備(FGS:Fission Gas Sweep capsule)等}

(2) JMTRの運転中に照射試料の挿入及び取出のできる水力ラビット照射設備(HR-1, 2:Hydraulic Rabbit No.1, 2)

(3) 高温ガス原子炉雰囲気を模擬するガスループ照射設備(UGL-1:Oarai Gas Loop No.1)

(4) 軽水炉燃料ピンの出力急昇試験を行うための出力急昇試験設備(BOCA/OSF-1:Boiling Water Capsule/Oarai Shroud Facility No.1)

等を設置している。

JMTRには、照射後試験施設としてホットラボ施設がある。ホットラボ施設内には、コンクリートセル、顕微鏡鉛セル、鉛セル、鉄セル等があり、照射されたキャプセルやループ試料の解体、燃料・材料試料の各種照射後試験、キャプセルや試料を外部へ搬出するためのキャスクへの装荷等を行っている。ホットラボ施設は、1967年(昭和42年)から1971年(昭和46年)にかけて、コンクリートセル及び材料試験用鉛セルが建設され、1971年(昭和46年)から照射後試験が開始された。さらに試験項目を増強するため、1982年(昭和57年)に材料試験用鉄セルが設置された。

なお、JMTRでは核不拡散の観点から燃料の低濃縮度化を進め、1986年(昭和61年)7月の第75サイクル以降、約45%に濃縮された燃料に切り換え、さらに1994年(平成6年)1月の第108サイクルからは、低濃縮ウラン燃料(濃縮度約20%、LEU:Low Enriched Uranium、以下「LEU燃料」という。)に切り換えた。LEU燃料化に当たっては、可燃性吸収体付き燃料を用いるため、サイクル途中の燃料交換のための炉停止が不要となり、かつ、運転中の中性子束変動が少なくなり、より良い照射場を提供することが可能となった。

JMTRの基本的運営方式としては、研究者の要請をうけてJMTR側が照射装置を設計、設置し、照射試験、照射後試験を行い、試験データを研究者に提供するという一貫体制をとっている。JMTRを利用して照射試験を希望する者は、直接JMTRに申し込むことにより、JMTRの利用方法、費用、期間等について情報を得ることができる。

JMTRの設計諸元を第1表に、設置決定から現在に至るまでのあゆみを付録1に示す。

第1表 JMTR設計緒元(1/2)

1. 本体施設		反応度効果			
原子炉出力	定格熱出力 (MW)	50	制御棒反応度効果 全制御棒 (% $\Delta k/k$ )	約16~27	
	定格熱出力運転時変動 (MW) $\pm$ ?		過剰反応度 (最大) (% $\Delta k/k$ )	15	
			反応度バランス (50 MW-25日運転)		
中性子束 (最大)	燃料領域 $\phi_{th}$ ( $n/cm^2 \cdot s$ ) $\sim 4 \times 10^{14}$		燃焼効果 (% $\Delta k/k$ )	約 4.8	
	$\phi_r$ ( " ) $\sim 4 \times 10^{14}$		FP(Xe, Sm, その他) 吸収効果 (平衡) (% $\Delta k/k$ )	約 5.2	
	反射体領域 $\phi_{th}$ ( " ) $\sim 4 \times 10^{14}$		SR-1,2の吸収効果 (% $\Delta k/k$ )	約 0.5	
	$\phi_r$ ( " ) $\sim 1 \times 10^{14}$		カドミウム吸収効果 (平衡) (% $\Delta k/k$ )	約-2.8	
			運転余裕 (% $\Delta k/k$ )	約 1.0	
使用材料	冷却水および減速材	軽水	合計 (% $\Delta k/k$ )	約 8.7	
	反射材	ベリリウム	過剰反応度 (% $\Delta k/k$ ) (通常運転時)	約 10	
	燃料ミート LEU: U <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> -Al 分散型合金		反応度温度係数 ( $^{\circ}C^{-1}$ )	$2.4 \times 10^{-4}$	
	燃料被覆材	Al 合金			
	キャプセルホルダ	アルミニウム ベリリウム			
	炉心構造材	ステンレス鋼			
原子炉圧力容器	ステンレス鋼				
冷却系配管	ステンレス鋼				
機械的設計因子		炉 心			
標準燃料要素	形式	改良ETR型	有効高さ (mm)	750	
	形状 (mm)	76.2 $\square$ $\times$ 1,200	容 積 (ℓ)	102	
燃料板	枚数	平板 19枚	等価炉心径 (mm)	416	
	板厚 (mm)	1.27	水/金属体積比 (燃料要素)	1.55	
ミート	長さ (mm)	778	Al/ <sup>235</sup> U原子数比 (燃料要素)	87.5	
	被覆厚さ (mm)	0.380	燃料燃焼 ( $g^{235}U/50MWd$ )	63.4	
<sup>235</sup> U含有量	厚さ (mm)	0.51	中性子寿命(s)	$4.5 \times 10^{-5}$	
	有効長さ (mm)	750	炉内装荷 <sup>235</sup> U量(kg) (平衡 9.8, 最大11)		
	最大巾 (mm)	61.6	平均熱流束 (W/cm <sup>2</sup> )	120	
	ウラン含有量(w/o)	約 93			
可燃性吸収体	要素当たり (g)	約 410	熱水力設計因子		
	濃縮度 (%)	約 20	一次冷却水温度	冷却水入口温度 ( $^{\circ}C$ )	最高 49
制御要素	炉心装荷本数	22		冷却水出口温度 ( $^{\circ}C$ )	約 56
	カドミウム	18本, $\phi$ 0.3		燃料表面温度 ( $^{\circ}C$ )	最高 約 186
吸収体	形式	下方挿入駆動方式, 燃料フォロー付き		飽和温度 ( $^{\circ}C$ )	約 200
	員数	5	流 量	流路断面積 (標準燃料要素) (m <sup>2</sup> )	$3.46 \times 10^{-3}$
燃料フォロー	材質	ハフニウム		燃料板間流速 (m/s)	10
	形状 (mm)	63.5 $\square$ $\times$ 800		標準燃料要素当たり流量 (m <sup>3</sup> /h)	125
燃料板	ボックス型			炉心当たり流量 (m <sup>3</sup> /h)	約 6,000
	形式	ETR型		標準燃料要素 (m <sup>3</sup> /h)	2,800
ミート	形状 (mm)	63.6 $\square$ $\times$ 890		燃料フォロー (m <sup>3</sup> /h)	900
	枚数	平板 16枚		キャプセルホルダ (m <sup>3</sup> /h)	2,300
燃料板	板厚 (mm)	1.27	冷却水圧力	炉心入口 (kg/cm <sup>2</sup> G)	14
	長さ (mm)	769		出入口圧力差 (kg/cm <sup>2</sup> )	3.2
ミート	被覆厚さ (mm)	0.380	冷却水流路	標準燃料要素燃料板間隔 (mm)	2.67(12ギャップ) 2.92( 2ギャップ) 3.02( 4ギャップ)
	厚さ (mm)	0.51		燃料板幅 (mm)	66.6
<sup>235</sup> U含有量	有効長さ (mm)	750		燃料フォロー燃料板間隔 (mm)	2.59
	ウラン含有量(w/o)	約 93		燃料板幅 (mm)	54
可燃性吸収体	要素当たり (g)	約 275	冷却水純度	導電率 ( $\mu S/cm$ )	$\leq 2$
	濃縮度 (%)	約 20		pH	5.5~7.0
	カドミウム	16本, $\phi$ 0.3	伝熱面積	標準燃料要素当たり (m <sup>2</sup> )	約 1.7
				燃料フォロー当たり (m <sup>2</sup> )	約 1.1
				全燃料 (m <sup>2</sup> )	約 41
			出力密度	炉心平均 (kW/ℓ)	約 500

第1表 JMTR設計緒元 (2/2)

一次冷却水保有量 (m <sup>3</sup> )	約 140	2. 照射施設	水力ラビット	照射時間 (min)	≥1
原子炉圧力容器内 (m <sup>3</sup> )	約 60			冷却材	軽水
排気系				冷却材温度 (℃)	約 40
排気第1系統排気量 (m <sup>3</sup> /min)	約1,600			冷却材圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	20
排気第2系統排気量 (m <sup>3</sup> /min)	約 190			最大発熱量 (kW)	20
排気第3系統排気量 (m <sup>3</sup> /min)	約 40			最大試料寸法 (mm)	φ26 × ℓ120
排気第1-2系統 (非常系) 排気量 (m <sup>3</sup> /min)	約 100				
原子炉プール	容量 (m <sup>3</sup> )	300	キャプセル	照射時間 (サイクル)	原則 ≥1
	温度 (℃)	≤ 35		冷却材	軽水
遮へい				冷却材温度 (℃)	約 50
半径方向	水 (m)	1.5		冷却材圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	約 15
	コンクリート (m)	約2.5		最大発熱量 (kW)	100
垂直方向	水 (m)	10		最大試料寸法 (mm)	φ78 × ℓ750
	圧力容器上蓋部ステンレス鋼 (cm)	7.5			
カナル	#1 容量 (m <sup>3</sup> )	約 300	OGL-1	照射時間 (サイクル)	≥1
	#2 容量 (m <sup>3</sup> )	約 430		冷却材雰囲気	ヘリウムガス
	#3 容量 (m <sup>3</sup> )	約 240		冷却材温度 (℃)	最高 1000
	(#3'を含む)			冷却材圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	30
SFCプール	容量 (m <sup>3</sup> )	約 120		最大発熱量 (kW)	135
排水貯槽	第1容量 (m <sup>3</sup> )	約 180	出力急昇試験設備 (BOCA/OSF-1)	最大試料寸法 (mm)	φ82 × ℓ750
	第2容量 (m <sup>3</sup> )	約 20×2		BOCAの照射条件	
	第3容量 (m <sup>3</sup> )	[I]約200, [II]約220		照射時間 (サイクル)	任意
	第4容量 (m <sup>3</sup> )	約 20		冷却材	軽水
				冷却材温度 (℃)	288
				冷却材圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	73
				最大発熱量 (kW)	30
				出力変更速度 (W/cm <sup>2</sup> ・min)	
				出力上昇:	250
				出力降下:	25
				試料寸法 (mm)	φ14.5 × ℓ400 (最大)

## 1. 本体施設

## 目 次

1.1 JMTRの配置	7
1.2 JMTR建家	7
1.3 原子炉本体	7
1.4 冷却系	9
1.5 計測制御系	10
1.6 給排気系	12
1.7 純水補給系	12
1.8 電源系	13
1.9 排水系	13
1.10 JMTRの運転	13

## 図 一 覧

第1.1図 大洗研究所近郊図	15
第1.2図 大洗研究所全景	16
第1.3図 JMTR全景	16
第1.4図 JMTR配置図	17
第1.5図 JMTR俯瞰図	18
第1.6図 炉室・ホットラボー階平面図	19
第1.7図 炉室縦断面図 (N-S)	20
第1.8図 炉室縦断面図 (E-W)	21
第1.9図 JMTR炉心部俯瞰図	22
第1.10図 原子炉本体縦断面図	23
第1.11図 原子炉压力容器上蓋	25
第1.12図 炉プールとカナル	25
第1.13図 JMTR炉心部	26
第1.14図 JMTR炉心燃料領域	26
第1.15図 炉心格子配列図	27
第1.16図 JMTRの冷却系及び排気系概念図	28
第1.17図 一次冷却系統, 二次冷却系統及び非常用冷却系統	29
第1.18図 JMTR計測制御系統概要図	30

第1.19図	JMTR安全保護回路概要図	31
第1.20図	JMTR制御棒及び駆動装置の構成	32
第1.21図	JMTR制御棒駆動機構	33
第1.22図	JMTR炉室給排気系統概要図	34
第1.23図	JMTR電源系統概要図（C系及びD系）	35
第1.24図	JMTR原子炉施設等の放射性排水系統概要図	36
第1.25図	JMTR運転中の制御棒の動き	37
第1.26図	ARCUS構成図	38

## 1.1 JMTRの配置

JMTR関係施設は、第1.1図から第1.3図に示すように、大洗研究所敷地北西部の台地に設置されている。

原子炉建家は、第1.4図及び第1.5図に示すように、円筒形の鉄筋コンクリート建物で、これを囲んで南側にホットラボ施設、西側に機械室を含む特定施設、北側及び東側は照射準備室、居室、実験室等の建家が配置されている。

## 1.2 JMTR建家

### (1) 原子炉建家

原子炉建家は、第1.6図から第1.8図に示すように、地上1階（一部3階）、地下4階の鉄筋コンクリート造り、屋根は鋼管造鉄板貼球面構造であって、直径41.4m、高さ地上20.4m、地下23.5mの大きさの円筒形建家である。この建家天井には30t/5tの旋回クレーンが設けられ、重量物の移動に使用されている。

炉プールは厚さ2.5mの普通コンクリートで遮へいされ、内部はステンレス鋼でライニングされている。

カナルは、幅3m、深さ6.2mの水路でホットラボ建家に連絡していて、使用済みの燃料、照射済みのキャプセル等の移動及び保管に使用される。このため、カナルは厚さ2mの普通コンクリートで遮へいされ、内面はステンレス鋼でライニングされている。使用済燃料等の運搬にはキャスク台車を使用される。

原子炉建家内は、常時大気圧より7~10mmAq低く自動的に減圧維持されており、万一、放射性物質が原子炉建家内に洩れた場合でも、建家外に直接放散することを防止している。常時人が出入りする扉は、負圧維持のため相互インターロック方式の二重扉を採用している。

### (2) 特定施設建家

特定施設建家は、原子炉建家の西側に位置し、機械室を中心にポンプ室、排風機室、二次冷却塔、タンクヤード等の建家がある。これらの特定施設は、原子炉施設等へ純水（一般純水、脱気純水）、浄水、ろ過水、電源（交流、直流）、圧縮空気（一般用、弁用）、蒸気、二次冷却水、窒素ガス等を安定的に供給している。また、原子炉施設等からの放射性廃液を安全に一時貯蔵している。

## 1.3 原子炉本体

原子炉本体は、第1.9図及び第1.10図に示すように、圧力容器、炉心及び炉プールから構成されている。



## (1) 圧力容器

圧力容器は、全高9.5m、胴径3m、厚さ34mmのステンレス鋼（SUS304L）製で、全体は深さ約13mの炉プール中に据え付けられている。

圧力容器の中には炉心、整流板、照射設備の支持部等が納められている。その上蓋には、第1.11図に示すように、5個の小上蓋とループ、キャプセル、水力ラビット等の照射設備（以下「キャプセル等」という。）のために多数のノズルが取り付けられており、各種炉上作業はこれらの小上蓋から行っている。

胴中央部には、使用済燃料要素等を炉プールへ取出すためのシュートが取り付けられている。

冷却水は圧力容器の上部から入り、炉心部で4領域に分かれ、下向きに流れて冷却を行い、下部プレナムを通り流出する。炉心部の上下には厚い水層があり、放射線遮への役目を有している。

## (2) 炉心

炉心部は、直径1,560mm、実効高さ750mmの円筒形状で、H型をしたベリリウム棒で4領域に区切られ、77.2mm角を単位とする合計204の格子位置がある。その格子位置には、燃料要素、制御要素、ベリリウム及びアルミニウム反射体要素等が垂直に挿入され、自立している。

ベリリウム棒、ベリリウム及びアルミニウム反射体要素等の垂直孔は、キャプセル等の照射孔であり、キャプセル等が装荷されない場合には同材質のプラグが挿入される。

ベリリウム及びアルミニウム反射体要素は、キャプセル等の照射条件に応じて格子位置を変更できる構造となっている。また、炉心部には、ガンマ線束の低い領域を作るため、ベリリウム棒の北側に沿ってジルコニウム合金製のガンマ線遮へい板が設けられている。H型のベリリウム棒はベリリウム反射体要素と組合せ、燃料領域内で発生する中性子を効果的に反射、減速している。

制御棒の駆動機構は、炉心上部での燃料要素、キャプセル等の取扱いを容易にするため、圧力容器の下蓋を貫通する下方挿入方式としている。炉心部の状況等を第1.13図から第1.15図に示す。

燃料要素には、標準燃料要素と燃料フォローがあり、ともにウラン・シリコン・アルミニウム分散型合金( $U_3Si_2-Al$ )をアルミニウム合金で被覆した板状燃料（通称：シリサイド燃料、 $^{235}U$ の濃縮度：約20%）である。可燃性吸収体として $\Phi 0.3mm$ のカドミウム製ワイヤが標準燃料要素には18本、燃料フォローには16本が取り付けられており、冷却水流路はチャンネル部で若干広くなっている改良ETR型が使用されている。板状燃料は、熱伝導率が良いこと、燃料板の厚さが1.27mmと薄いこと、燃料板表面を約10m/sの流速で冷却水を流して除熱できること等の特色があり、製法的にも安定化したものである。

## (3) 炉プール

炉プール（直径6m、深さ11.8m、コンクリート遮へい厚さ2.5m）には、第1.7図及び第1.12図に示すように、圧力容器が据付けられゲートを介してチャンネルNo.1につながっている。

炉プール水位は、原子炉運転時はほぼ地面と同じ高さであり、このときの圧力容器上蓋ま

での深さは約4mである。各種炉上作業時は圧力容器上蓋付近まで水位を下げて行われる。なお、炉プール水は、原子炉運転中の放射線遮への役目を有するほか、一次冷却水の流出事故に対するバックアップを兼ねている。

#### 1.4 冷却系

冷却系は、一次冷却系統、二次冷却系統、プールカナル循環系統、UCL(Utility Cooling Line)冷却系統及びSFCプール(Spent Fuel Cutting Pool、再処理輸送に先立ち輸送容器への装荷等を行うプール。)循環系統から構成されている。

##### (1) 一次冷却系統

一次冷却系統は、第1.16図及び第1.17図に示すように、主循環系及び精製系から構成されている。

一次冷却水は純水を使用しており、水質は炉心構成物、燃料要素被覆材等の腐食や、一次冷却水に含まれる不純物による誘導放射能を低く抑えるため、pH5.5~7.0、電導率 $2\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下に維持される。

原子炉運転中は主循環ポンプ3台、緊急ポンプ1台が運転され、その電源は主循環ポンプ2台が商用、主循環ポンプ1台及び緊急ポンプがディーゼルである。

精製系は、圧力容器出口部において一次冷却水の一部を取出し(約 $50\text{m}^3/\text{h}$ )、脱気タンクにより溶存ガス及び分解ガスを除去した後、イオン交換塔を通して腐食生成物の除去等の水質調節を行い、充填ポンプによって主循環系に戻される。

主循環系の加圧は充填ポンプによって行い、原子炉入口圧力計で約 $14.7\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ に到達後、主循環ポンプ及び緊急ポンプが運転される。また、主循環系の圧力は、精製系の脱気タンクへ取出す一次冷却水流量を調節することによって自動制御される。

##### (2) 二次冷却系統

二次冷却系統は、第1.16図及び第1.17図に示すように、炉心で発生した熱を熱交換器を介して一次冷却系統から受け、この熱を二次冷却塔で大気に放散するものである。

二次冷却水はろ過水を使用し、水質は二次冷却系統内の腐食の抑制と藻等の発生を防止するため、防食剤及び塩素ガスを添加し管理している。

原子炉運転中は循環ポンプが3台、二次冷却塔ファンは一次冷却水温度により2~3台が常時運転される。補助ポンプは、商用電源の停電時に備えて原子炉崩壊熱除去を目的として設置されている。なお、電源は、循環ポンプ4台、二次冷却塔ファン3台が商用、補助ポンプ、二次冷却塔ファン1台がディーゼルである。

##### (3) プールカナル循環系統

プールカナル循環系統は、炉プール及びカナル(No.1、No.2)内で発生する熱を除去し、併せて炉プール及びカナル(No.1、No.2)内の腐食生成物の除去と水の汚染を低減するように水質を維持するためのものである。

炉プール及びカナルは、使用済燃料要素、キャプセル等が一時貯蔵されるため、純水を使

用しており、水質は一次冷却水と同じに維持されている。

原子炉運転中は循環ポンプ2台が商用電源で運転される。

#### (4) SFCプール循環系統

SFCプール循環系統は、SFCプール及びカナル#3内の水質の浄化、維持を図るためのものである。

SFCプール及びカナル#3は、純水を使用しており、水質は一次冷却水と同じに維持されている。

循環系の運転には循環ポンプ1台が、商用電源で運転される。

#### (5) UCL冷却系統

UCL冷却系統は、ループ照射設備の二次系、炉外試験設備、ディーゼル発電機、空気圧縮機、空調機器、制御棒駆動装置リラクタンズ電動機等に必要な冷却水を供給するものである。

UCLはろ過水を使用しており、水質は二次冷却水と同程度に管理している。なお、電源は、揚水ポンプ2台、循環ポンプ2台は商用、揚水ポンプ1台、循環ポンプ1台、UCL冷却塔ファンはディーゼルである。

### 1.5 計測制御系

計測制御系は、核計装、プロセス計装、安全保護回路、制御装置からなり、これらはすべて原子炉制御室内に設置されており、計測制御盤及び操作卓によって集中的に計測制御を行う。

#### (1) 核計装

中性子計装は、原子炉の起動、運転、停止に必要な炉心内の中性子レベル、原子炉ペリオドの計測を行うものである。計測制御系統の概要を第1.18図に示す。この中性子計装は、起動系、対数出力系、線形出力系からなり、それぞれ独立した同一の3チャンネルから構成されている。対数出力系及び線形出力系は、3チャンネルの出力を相互に比較して、チャンネル間の出力偏差を監視するとともに、その平均値が指示、記録される。

原子炉の自動制御は、線形出力系3チャンネルの平均値により行われる。安全動作信号は、“2 out of 3”方式が採用されており、中性子レベルが異常に変化した場合や、計測制御系の機器に異常が生じた場合には安全保護回路に伝えられる。

中性子計装用の検出器は、起動系には核分裂計数管(FC)を、対数出力系及び線形出力系にはガンマ線補償型電離箱(CIC)が使用されている。

自動制御方式には定値制御と追値制御がある。定値制御は原子炉出力(中性子レベル)の変化に応じて制御棒の位置を調整し、一定の原子炉出力を保つものである。追値制御は原子炉出力を500kWから50MWまでのデマンド(出力設定値)に追従させるものである。

中性子計装以外に $^{16}\text{N}$ 検出系、計数器、スクラム特性試験器等がある。 $^{16}\text{N}$ 検出系は一次冷却水中の $^{16}\text{O}$ の(n, p)反応によって生成される $^{16}\text{N}$ のガンマ線を測定し、それによって原子炉出力を監視するものである。計数器は、制御棒の特性測定装置として落下時間の測定を

行うものである。スクラム特性試験器は、制御棒の切離し遅れ時間の測定や、原子炉運転中にファーストスクラムに接続される回路のチェックを行うものである。

## (2) プロセス計装

プロセス計装は、各冷却系統（一次冷却系、二次冷却系、非常用冷却系等）を原子炉プラント全体の立場から安全かつ合理的な運転管理を行うためのものであり、原子炉の運転に直接関係するものは原子炉制御室のプロセス計装制御盤に設置されている。また、一次冷却系統のプロセス計装における安全動作を行うための信号は、“1 out of 1”方式を採用し、系内の圧力等が異常に変化した場合や、計測機器に異常が生じた場合には信号を発し、安全保護回路に伝えられる。

## (3) 安全保護回路

安全保護回路には、第1.19図に示すようにアラーム、制御棒引抜停止、セットバック、制御棒挿入及びスクラムがあり、それぞれ原子炉の異常の程度に応じて作動する。

アラームは、原子炉運転員の注意を喚起し、運転員が適切な対策を講ずるものである。

制御棒引抜停止は、原子炉の出力上昇速度が早過ぎる時に、制御棒の引抜きを一時停止させるもので、その信号は核計装等から発信される。

セットバックは、自動制御運転中において、原子炉出力を30秒のペリオドで自動的に低下させ、信号が解除されるまで続けるものである。なお、信号が解除されない時には、原子炉出力は自動制御範囲である定格出力の1% (500kW) まで低下し、その状態で運転が継続される。

制御棒挿入は、全制御棒が一定の順序 (SH-2, SH-1, SH-3, SR-1, SR-2) に従って1本ずつ挿入され、信号が解除されるまで続けるものである。また、自動制御運転中は手動運転に切り替わり上記の挿入操作が行われる。

スクラムは励磁電流を遮断し、制御棒を自重落下により挿入させ、運転を停止させるものである。また、燃料破損検出系と配管破損検出系が設けられている。燃料破損検出系は、燃料が破損した場合に原子炉建家外への放射性物質の放出を防止するため、遅発中性子を検出する一次冷却水モニタとガンマ線を検出する脱気ガスモニタによって原子炉を停止させ、給排気系統を非常系のための運転とする。

配管破損検出系は、一次冷却水の流出に伴う炉心入口圧力低下の信号によって原子炉を停止させ、炉心を冠水維持させるためにサイフォンブレイク弁、炉プール連通弁、漏えい水再循環設備等の非常用冷却設備を作動させる。

その他の安全保護回路として、原子炉起動や制御棒操作に関するインターロック回路があり、原子炉の起動及び運転の安全を確保している。

## (4) 制御装置

制御装置は、5本の制御棒と非常用炉停止装置から構成される。5本の制御棒は3本の粗調整棒と2本の微調整安全棒からなる。原子炉運転においては、2本の微調整安全棒のうち1本が自動制御棒として使用され、その自動範囲はストローク上方の $600 \pm 50$ mmである。

非常用炉停止装置（液体ポイズン型）は、何本かの制御棒が事故により落下不能になった場合に、キセノン崩壊による再臨界を防止し、原子炉を停止状態にするためのものである。

このポイズンタンクは、常時窒素ガスによって約 $25\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ に加圧されており、非常時には手動操作によって液体ポイズンを炉心内に注入する。

制御棒は、第1.20図に示すように上部から吸収部（ハフニウム材）、フォロー部（燃料フォロー）、連結部の順に機械的に結合されている。制御棒は角型の断面を有し、制御棒案内管内を上下駆動し、スクラム時の衝撃力に対しても十分耐え得る構造となっている。

制御棒駆動機構は圧力容器の下方から駆動する。上下駆動には、密封形リラクタンズ電動機が用いられ、その回転運動はボールネジによって直線運動に変換される。密封形リラクタンズ電動機の回転は、電源周波数に同期しているため、駆動速度の制御は電源周波数の制御により行われる。なお、この電源周波数を制御するために低周波電源発生装置(LFGR:Low Frequency Generator)が設置されている。

スクラム機構は、第1.21図に示すようなリンク・ラッチ機構であり、電磁石の電流を切ると支えていたリンクの形状が変わり、制御棒が自重及び水流力により落下する。

## 1.6 給排気系

給排気系は、第1.16図及び第1.22図に示すように、給気第1系統、給気第2系統、排気第1系統、排気第2系統、排気第3系統及び排気第1-2系統から構成され、原子炉建家を大気圧より $7\sim 10\text{mmAq}$ 低く自動的に減圧維持する。また、非常時は排気第1-2系統のみの運転となる。

原子炉建家内を通過した空気は、排風機室のフィルタバンクのフィルタによって浄化された後、排風機によって高さ80mの排気用スタックから放出される。

フィルタバンクは、排気系統によって若干異なるが、基本的にはプレ、アブソリュート、チャコール等の各フィルタから構成されている。なお、排気第1-2系統の排風機の電源はディーゼルである。

## 1.7 純水補給系

純水補給系は、純水製造設備で製造した一般純水と脱気純水を原子炉施設、照射設備等に供給するものである。

製造された純水は、一般純水として供給され、脱気純水は一般純水を減圧脱気方式によって溶存ガスを除去したものである。一般純水の水質は $\text{pH}6\sim 7$ 、導電率 $1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下で、その製造能力は最大 $25\text{m}^3/\text{h}$ である。

一般純水は主として一次冷却系統、炉プール、カナル等に使用され、脱気純水は制御棒のフラッシング、照射設備等に使用される。

## 1.8 電源系

電源系は、第1.23図に示すように、商用及びディーゼル電源を使用目的に応じた電圧に変換した後、原子炉施設、照射設備等に供給するものである。

ディーゼル電源は、2,050馬力のディーゼルエンジンと三相6kV、1,750kVAの発電機を組み合わせものが2系統（うち1系統は予備）あり、ディーゼル発電機は原子炉運転中常時運転され、原子炉の安全運転に必要な重要機器に供給している。

## 1.9 排水系

排水系は、第1排水系、第2排水系、第3排水系及び第4排水系に分けられる。原子炉建家地下4階に第1排水貯槽、第2排水貯槽2基及び第4排水貯槽が設置され、第1排水貯槽はステンレス鋼、第2排水貯槽及び第4排水貯槽はエポキシ樹脂でライニングされている。

第1排水貯槽は主として一次冷却系統からの排水を、第2排水貯槽は照射設備からの排水、一次冷却系統のサンプリング水、ドレン水等を、第4排水貯槽は手洗水、一般水等を受け入れる。なお、第1排水貯槽は、炉プールに大量に純水を補給する場合の一時貯留槽としても使用される。

第3排水貯槽〔I〕及び〔II〕は一次冷却系統、プールカナル循環系統、SFCプール循環系統等で使用されたイオン交換樹脂を貯蔵するものである。使用済のイオン交換樹脂は、イオン交換塔から配管で輸送される。

原子炉建家地下4階の各排水貯槽、第3排水貯槽及びその他の管理区域の廃液は、第1.24図に示すように特定施設にあるタンクヤードの廃液タンクを経由した後、配管又はタンクローリ車によって廃棄物処理場に送られ処理される。

### 1.10 JMTRの運転

JMTRの運転と運転管理は、次のとおりである。

#### (1) JMTRの運転

JMTRの標準運転パターンは、第1.25図に示すように50MWで約26日の連続運転を1サイクルとし、この積算出力は1,240Mwdである。

原子炉起動から定格出力(50MW)到達までの所要時間は、原則として途中の20kW、500kW、10MW、15MW、30MW、40MWで原子炉施設、照射設備等の安全を確認した後、次のステップへ進む方式としているため約8時間を要する。出力上昇時の主な確認項目及び制約条件としては次のものがある。

① 10MW以上の各ステップでは、原子炉出力が安定した後、照射試料のデータ採取、原子炉一次冷却水の放射能濃度測定等のため、約1～3時間を出力保持すること。

② OGL-1構造物の急激な熱変化を避けるため、30MW以上の出力上昇率は 0.5MW/min以下とすること。

原子炉が計画外停止した後の再起動は、停止後即座に起動しない限り、キセノンの物質が崩壊して消滅するまで(約30~50時間)できない。この際の再起動では、キセノンの消滅を確認しながら出力上昇を行うことや、15MW、30MW、40MWのステップで安全性の確認を行う必要があるため、50MW到達に4~5時間を要する。

原子炉の計画停止の際は、予め過剰反応度から各出力レベルの保持時間を決めて出力低下を行う必要があるため、50MWから原子炉停止までは約20分~1時間を要する。

JMTRの運転は原則として年間5サイクルを予定している。また、原子炉施設のオーバーホールと、定期検査を実施するため原則として夏期の3ヶ月(通常:7~9月)は、運転を停止している。

## (2) 計算機を利用した運転管理

JMTRでは、原子炉及び照射設備の計算機による運転員支援システムとして、次の2システムを開発し実用に供している。

- ① 原子炉の監視用計算機システム(ARGUS)
- ② 照射設備の計算機システム(LOOCAS、IDASS)

ここでは、ARGUSについて述べる。

ARGUSは、原子炉定常運転時におけるフィードバック制御回路の状態監視、主循環系プロセス・データの上下限値のチェック、データロギング、一次系の漏洩量の監視及び計算、トレンド表示等を行うものである。この時のプロセス・データは、運転上重要なもの、応答の速いもの約60点とデジタル・データは100ms間隔で、残りのもの約240点は1sの間隔で収集されている。また、ARGUSは次の表示を行うことができるほか、主要なデータは運転員の指示で磁気テープに保存され、原因究明等に用いられる。

- ① 異常時におけるシーケンス・コントロールのモニタリング結果の表示
- ② 異常診断を行っているものについては、その内容の表示
- ③ トренд・グラフの自動あるいはインタラクティブな表示
- ④ 措置ガイダンスの表示

プログラムは、マン主導のものとマシン主導のものに分れ、異常診断、異常時の措置ガイド等はマシン主導で実行される。また、そのほとんどのプログラムは、ターミナルを介して本システム・レベルで準備されたコマンドを入力し、システムと会話的に処理できるように設計されている。また、運転管理に必要な炉心要素等の中性子照射量及び照射変形量の計算、炉心要素の所在、員数等の管理、熱交換器の性能計算等のデータベース化や、過剰反応度及びスクラム時における再起動可能時間等の計算に利用されている。

ARGUSの構成を第1.26図に示す。

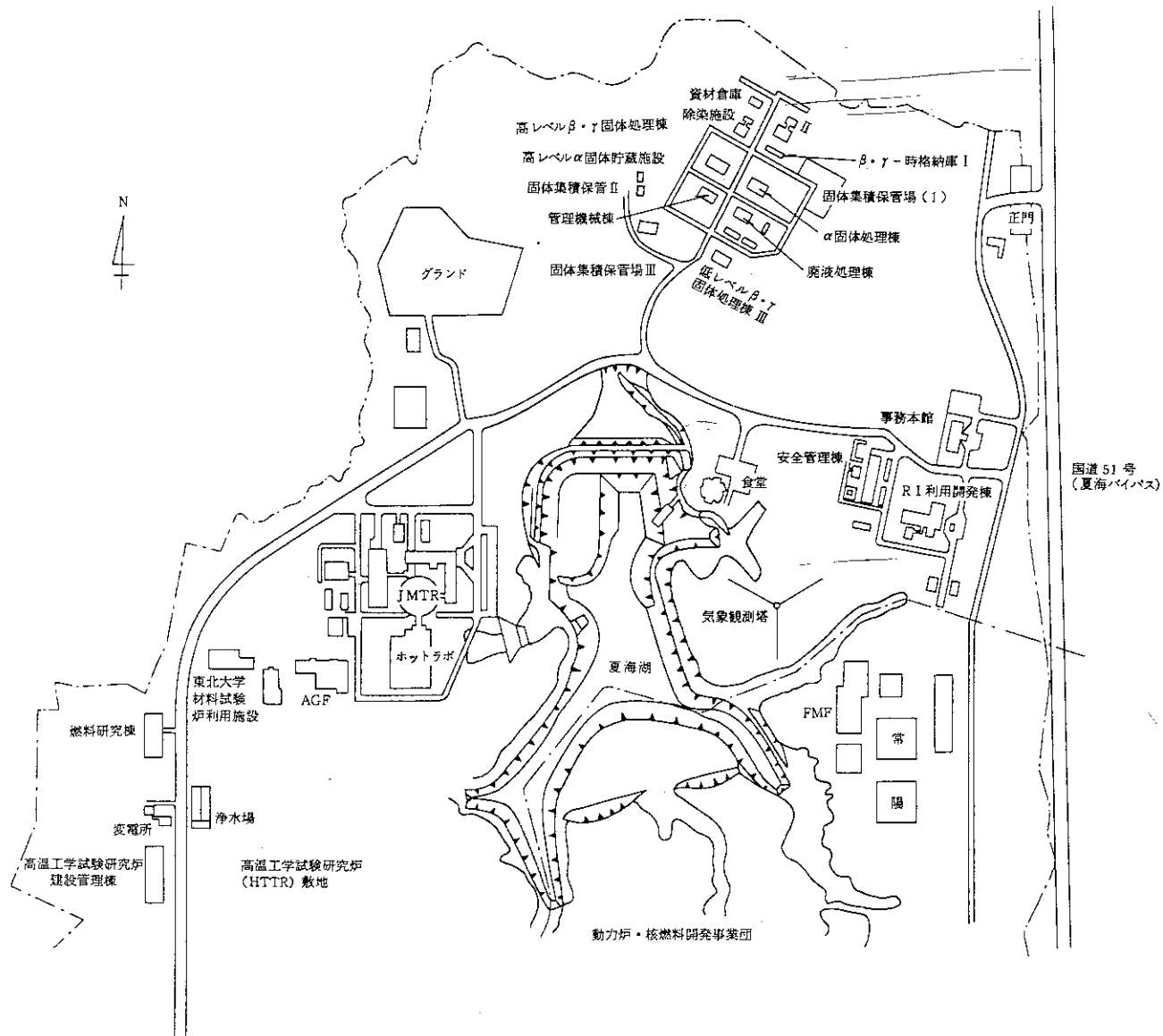


図1.1 大洗研究所付近図





图1.2图 大洗研究所全景

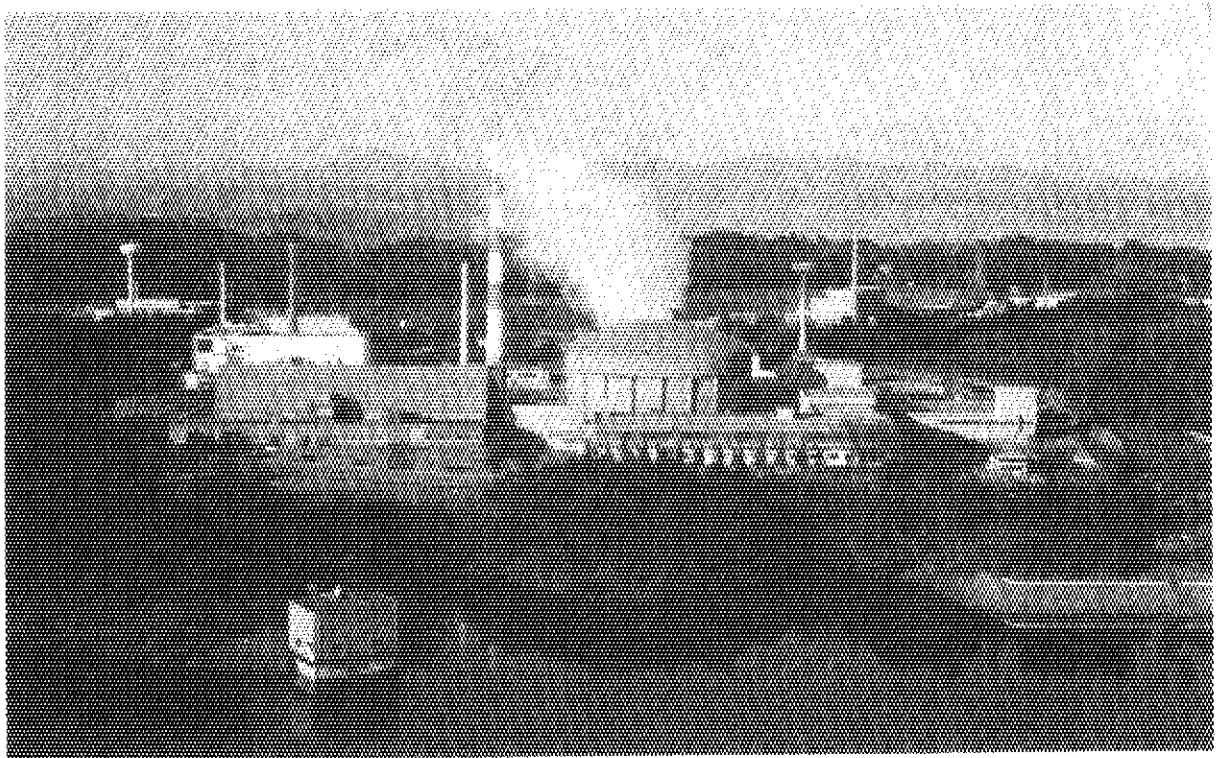
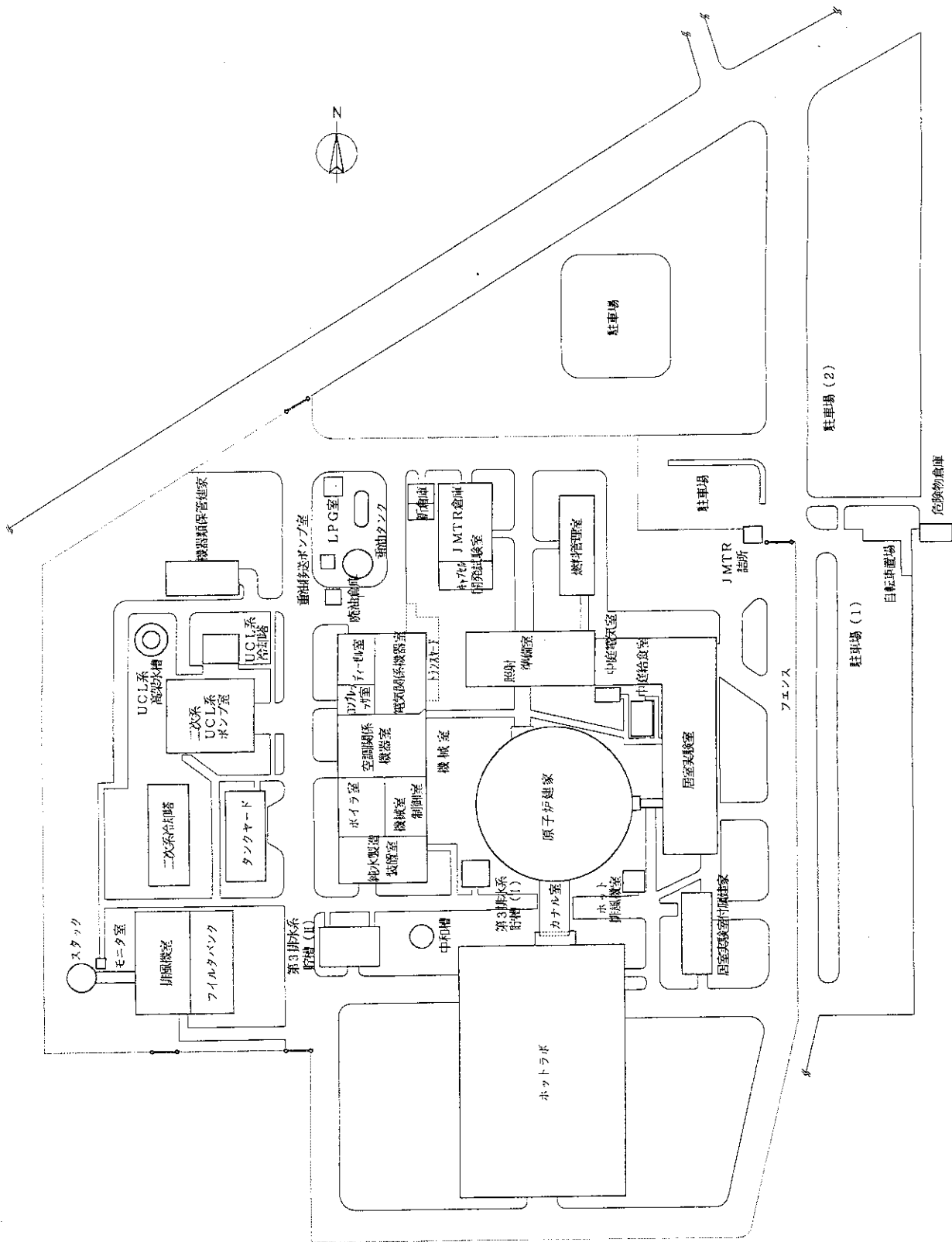
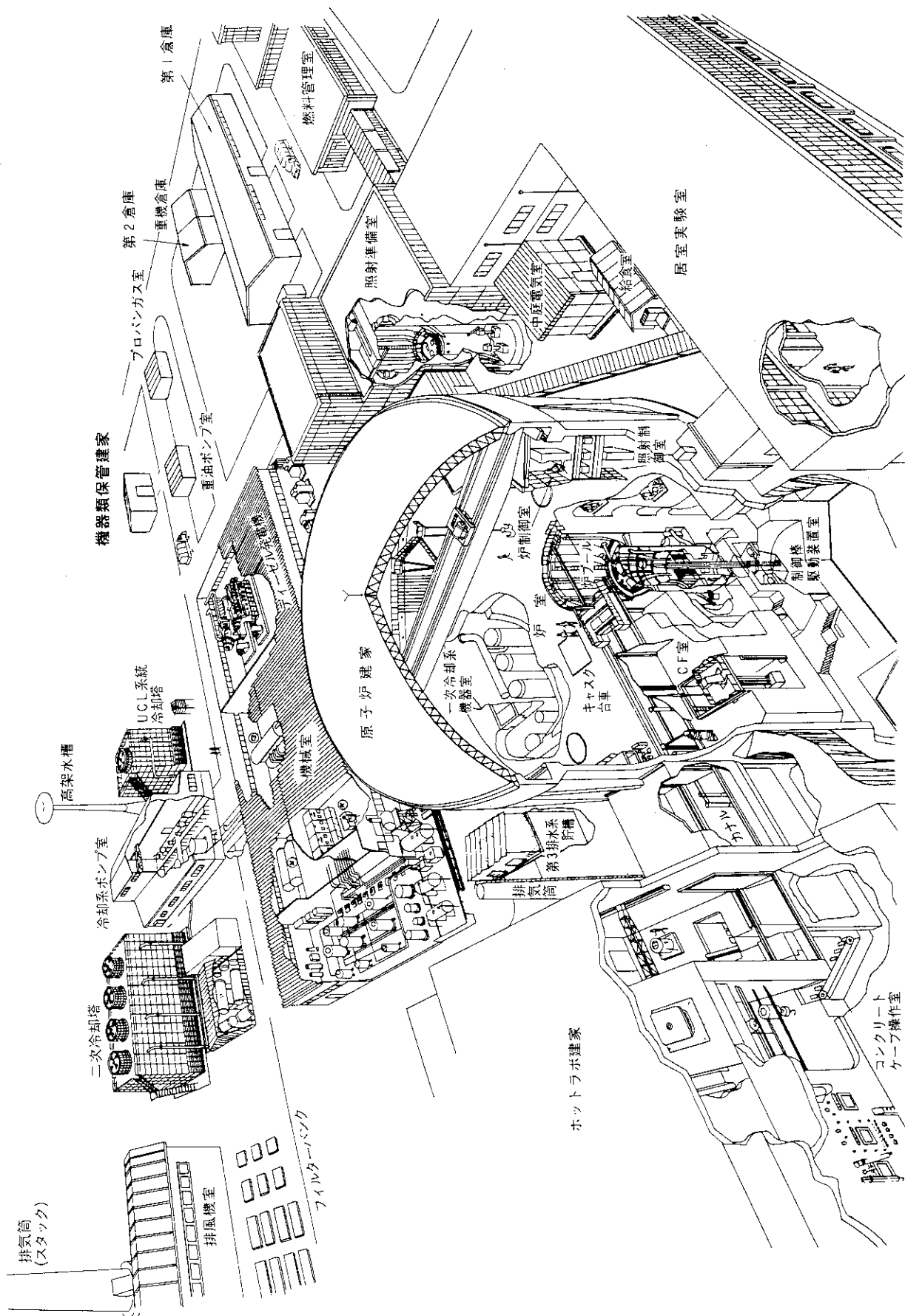


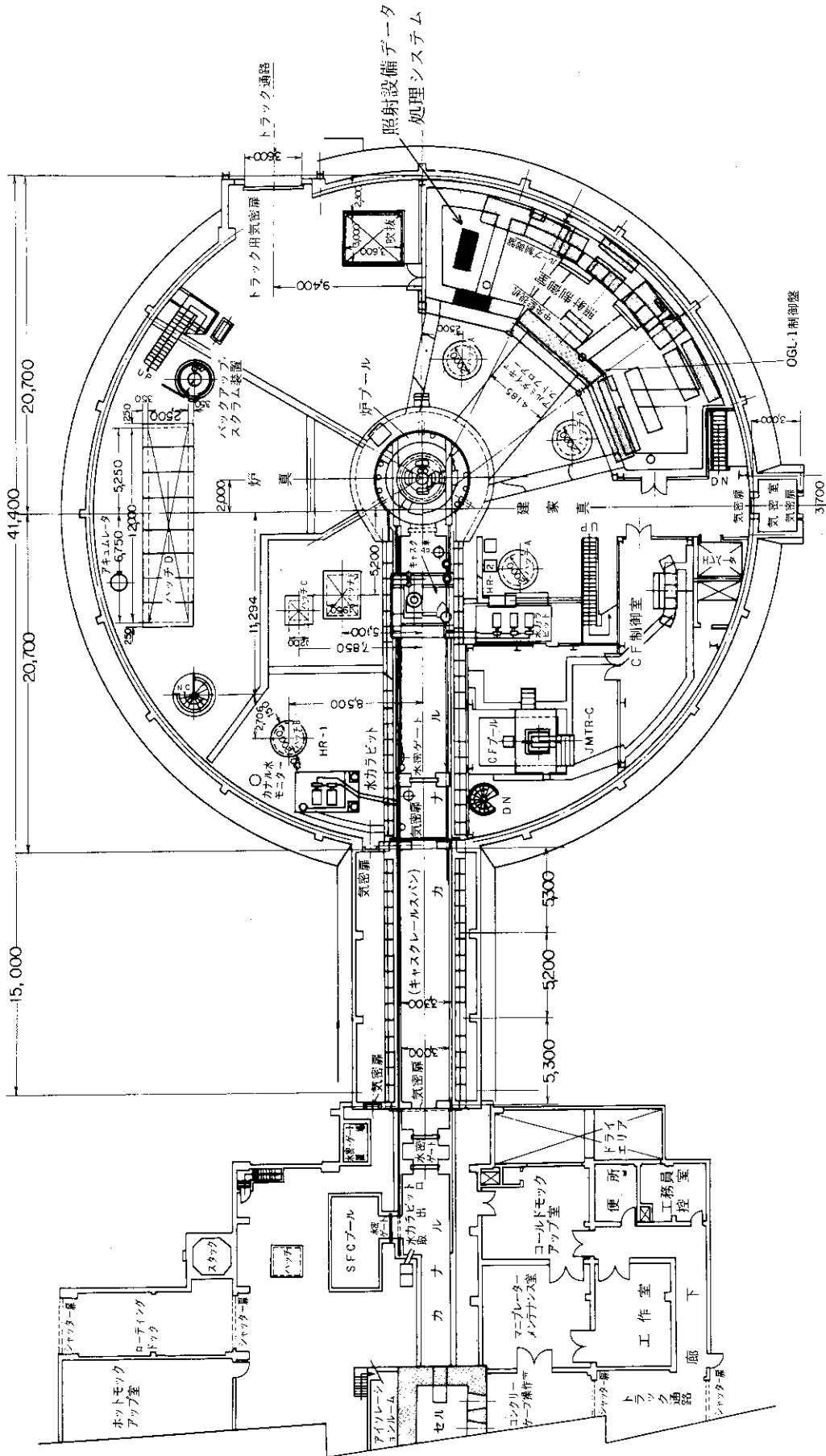
图1.3图 JMTR全景



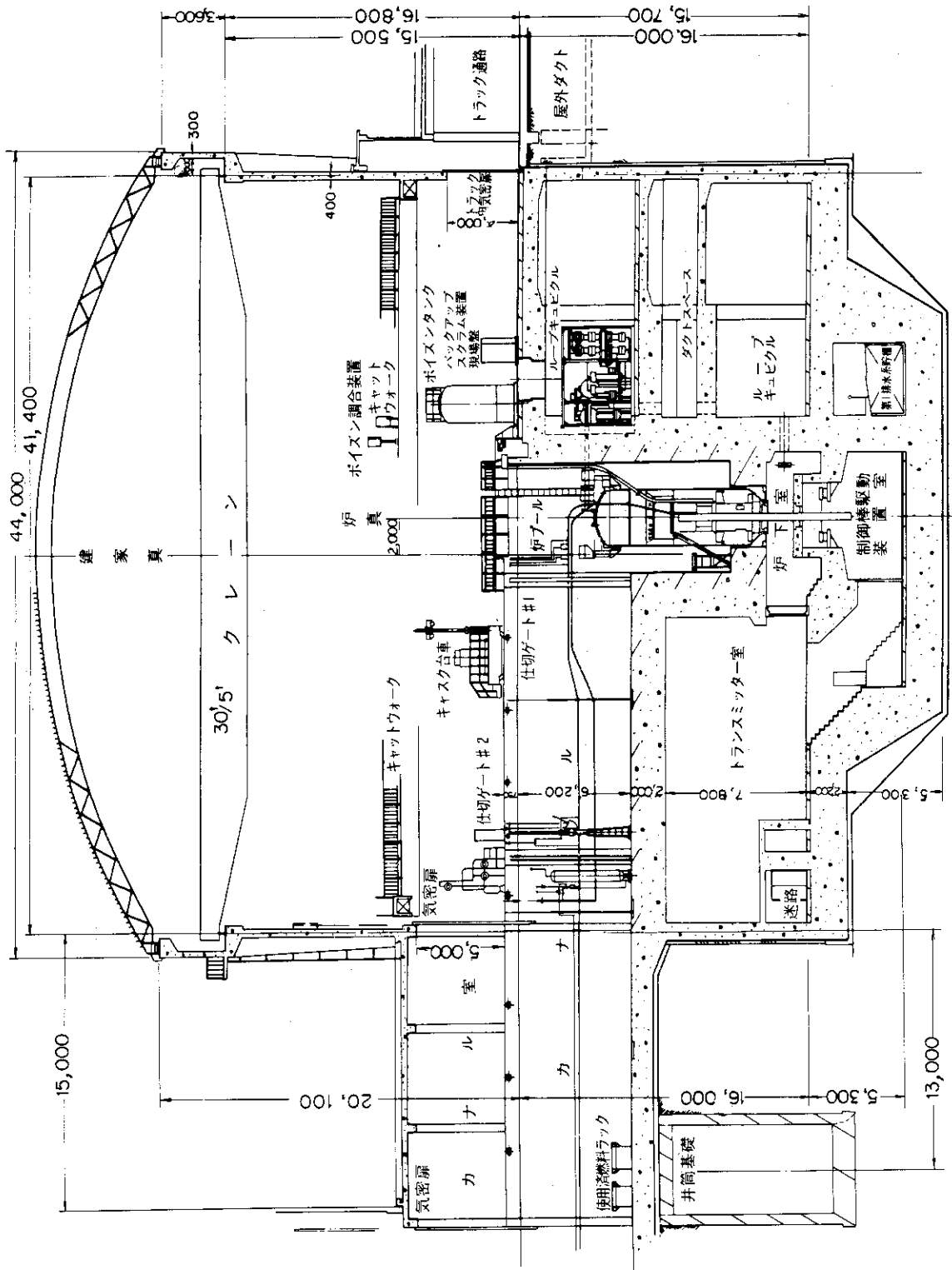
第1.4図 JMTR配置図



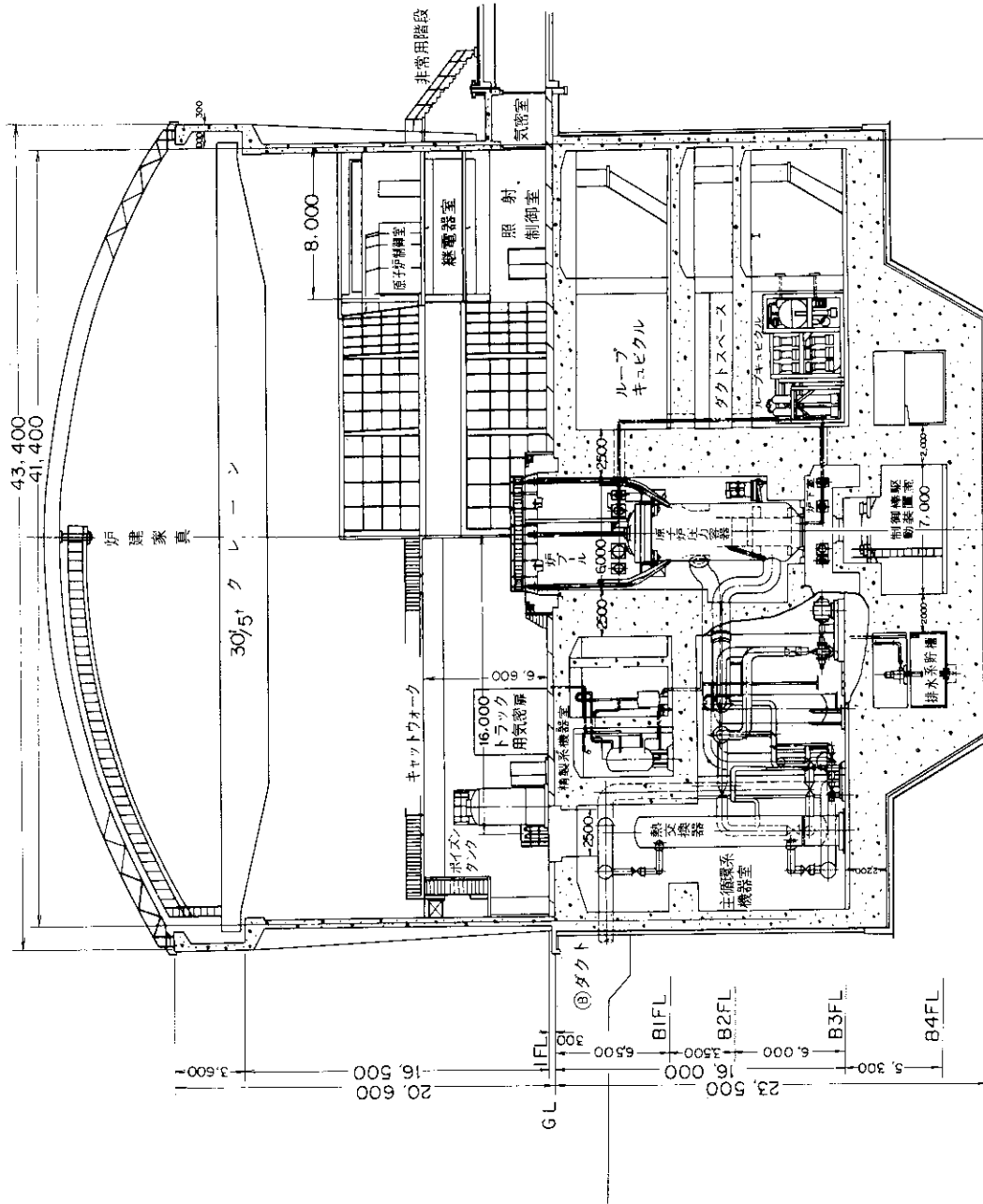
第1.5図 JMTR俯瞰図



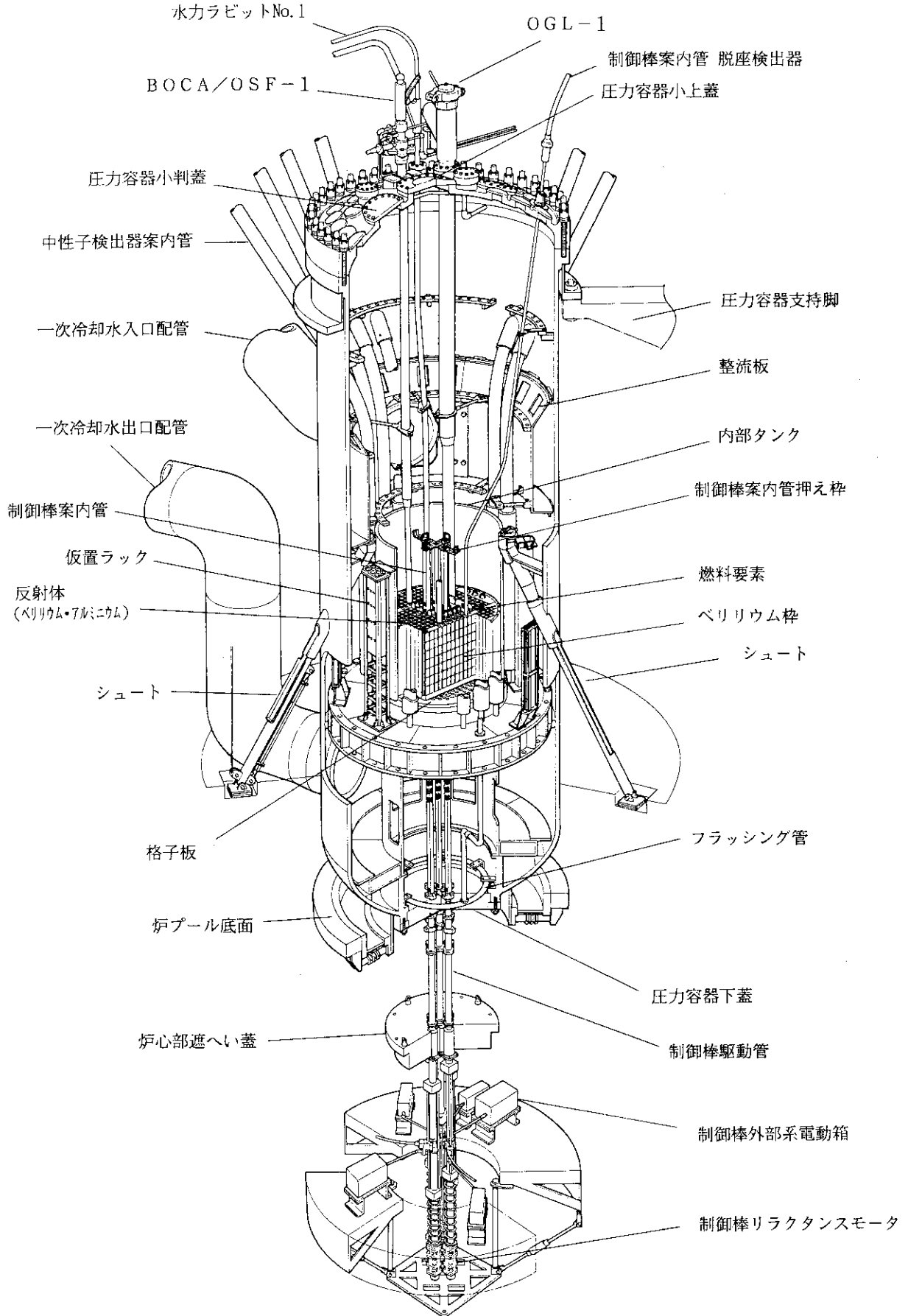
第1.6図 炉室・ホットラボ一階平面図



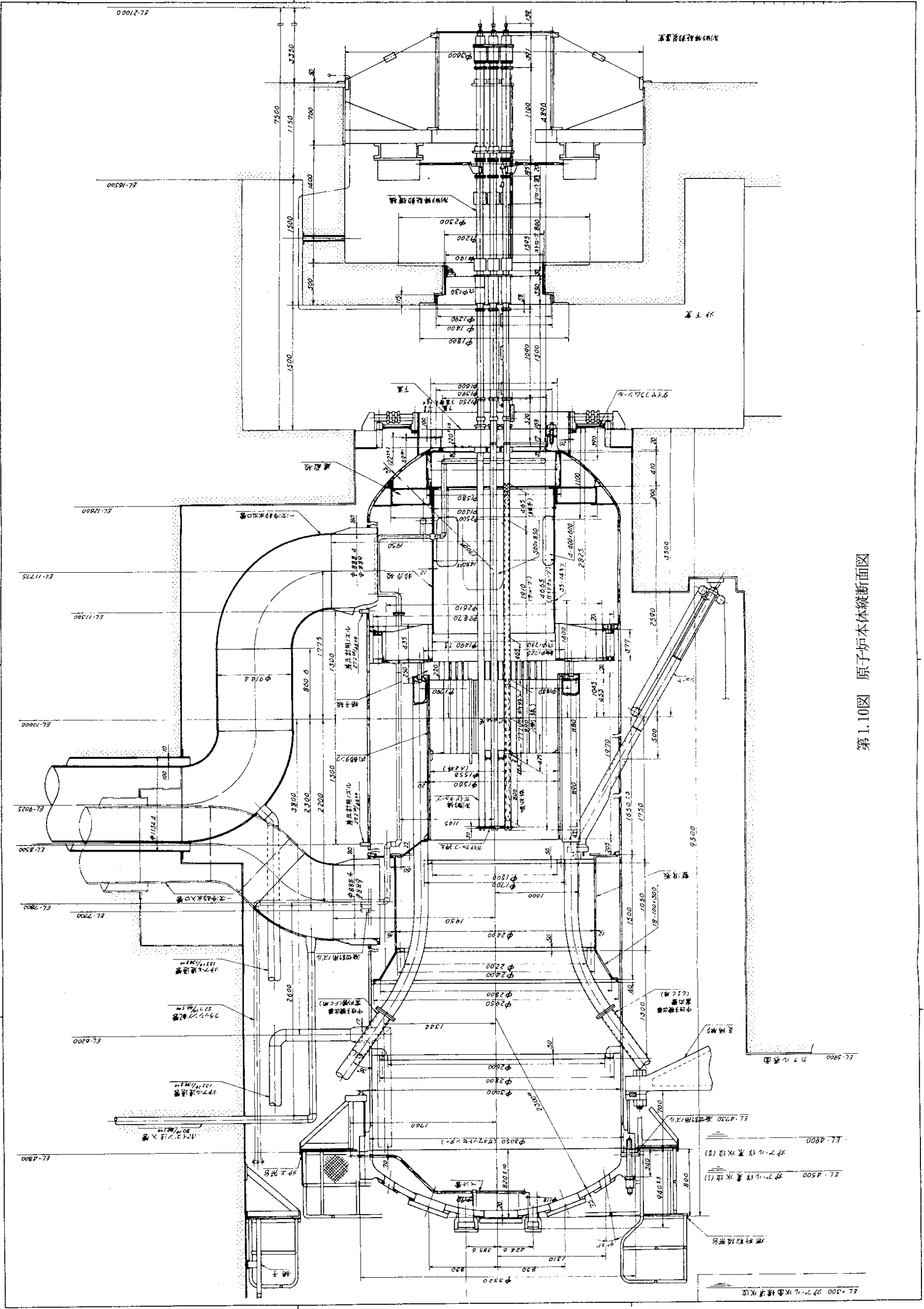
第1.7図 炉室縦断面図 (N-S)



第1.8図 炉室縦断面図 (E-W)

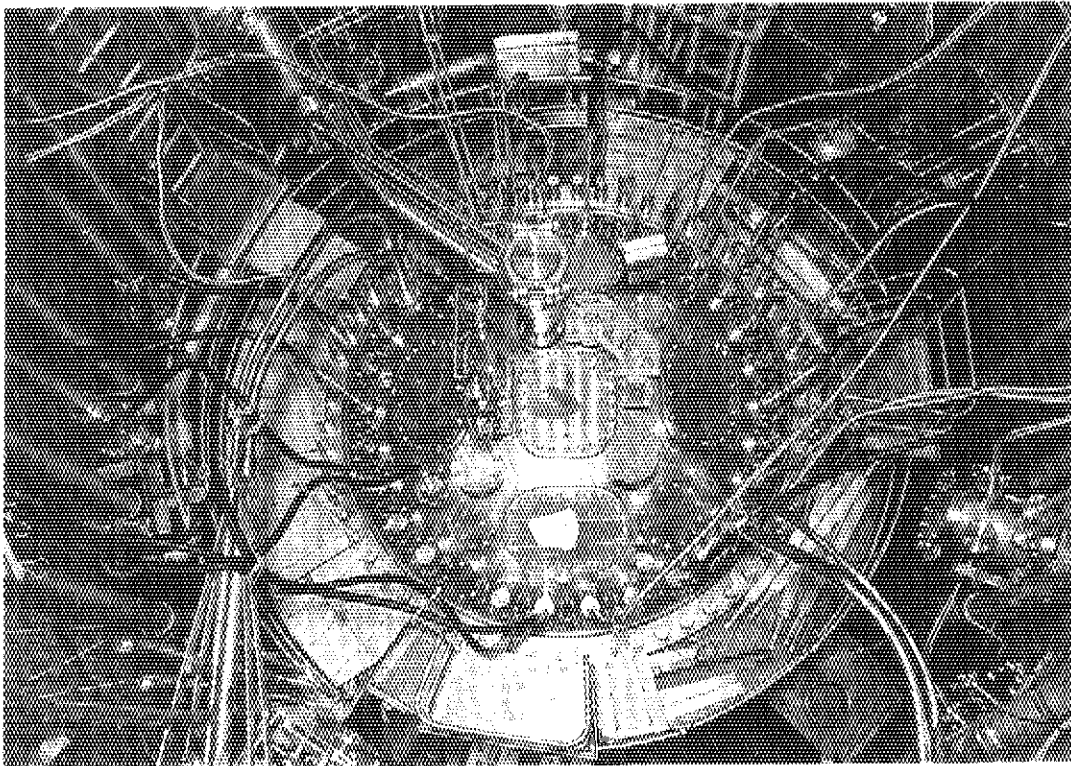


第1.9図 JMTR炉心部俯瞰図

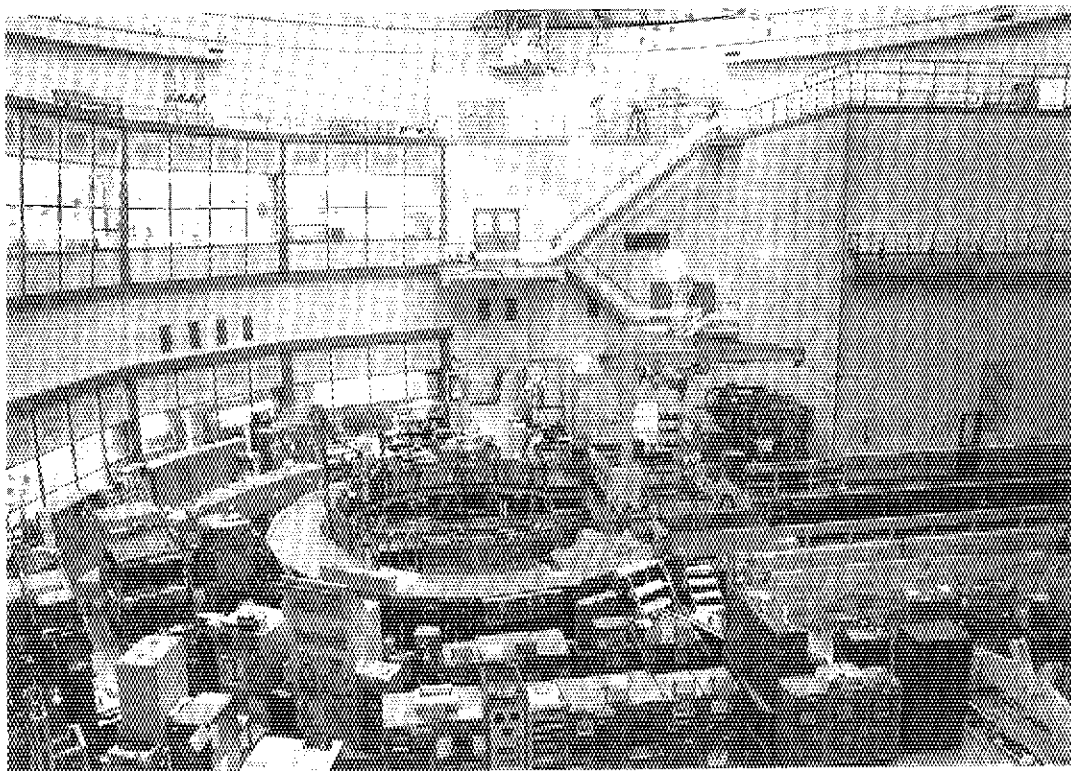


第1.10図 原子炉本体縦断面図

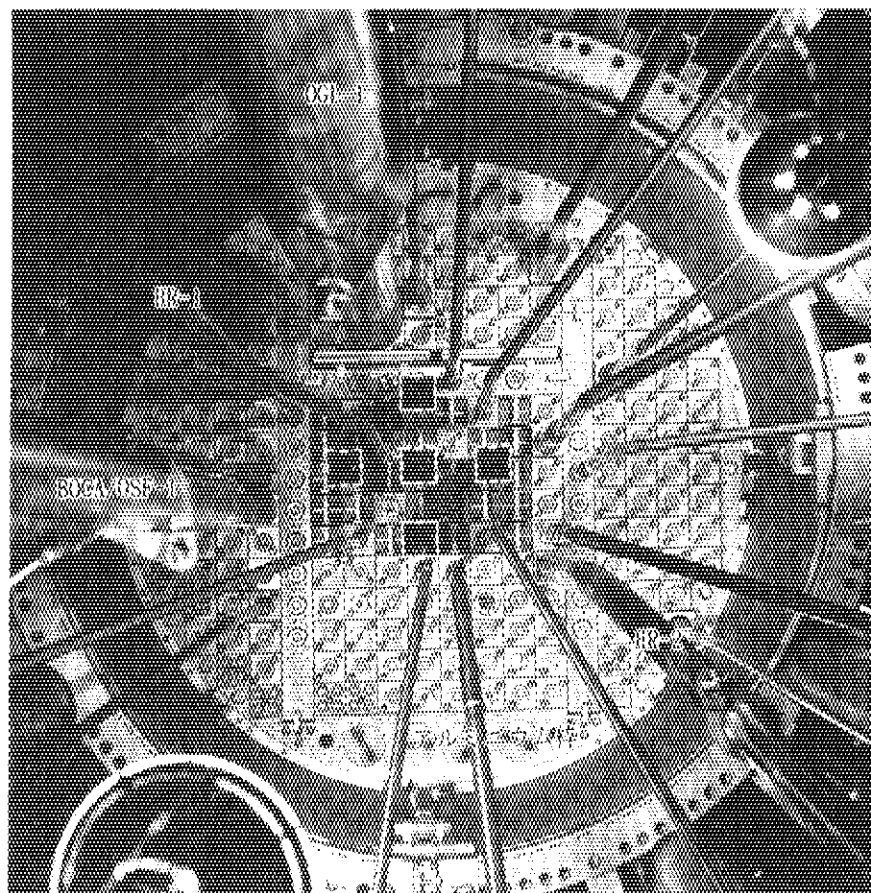




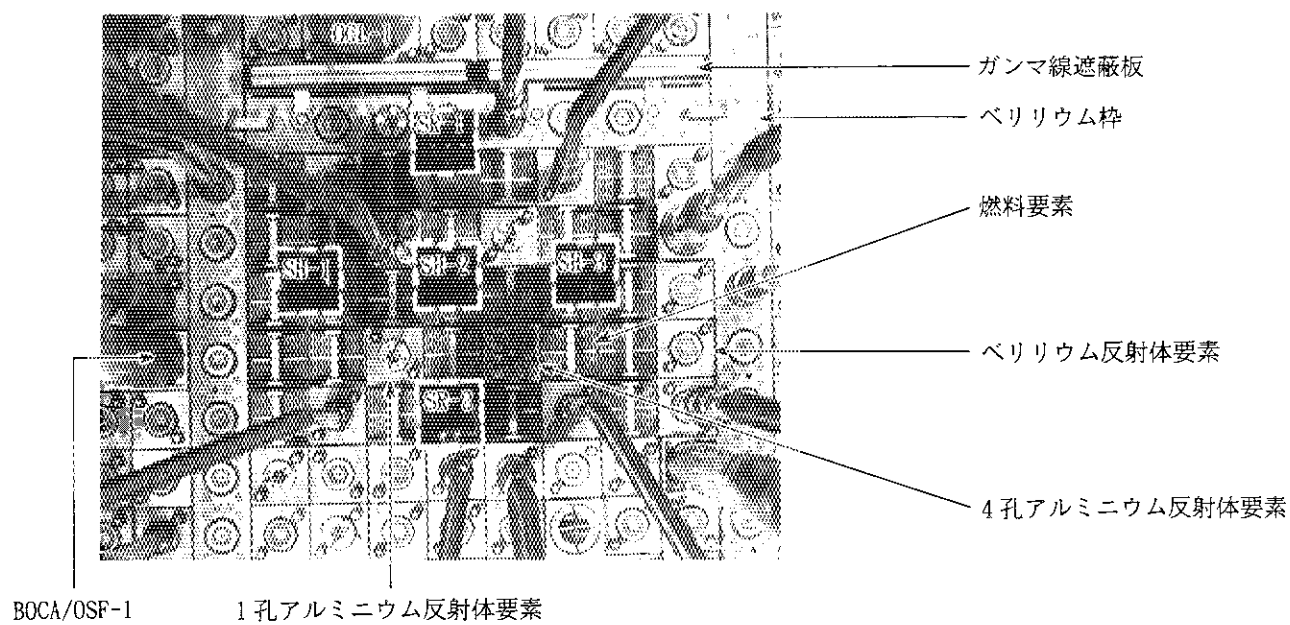
第1.11図 原子炉圧力容器上蓋



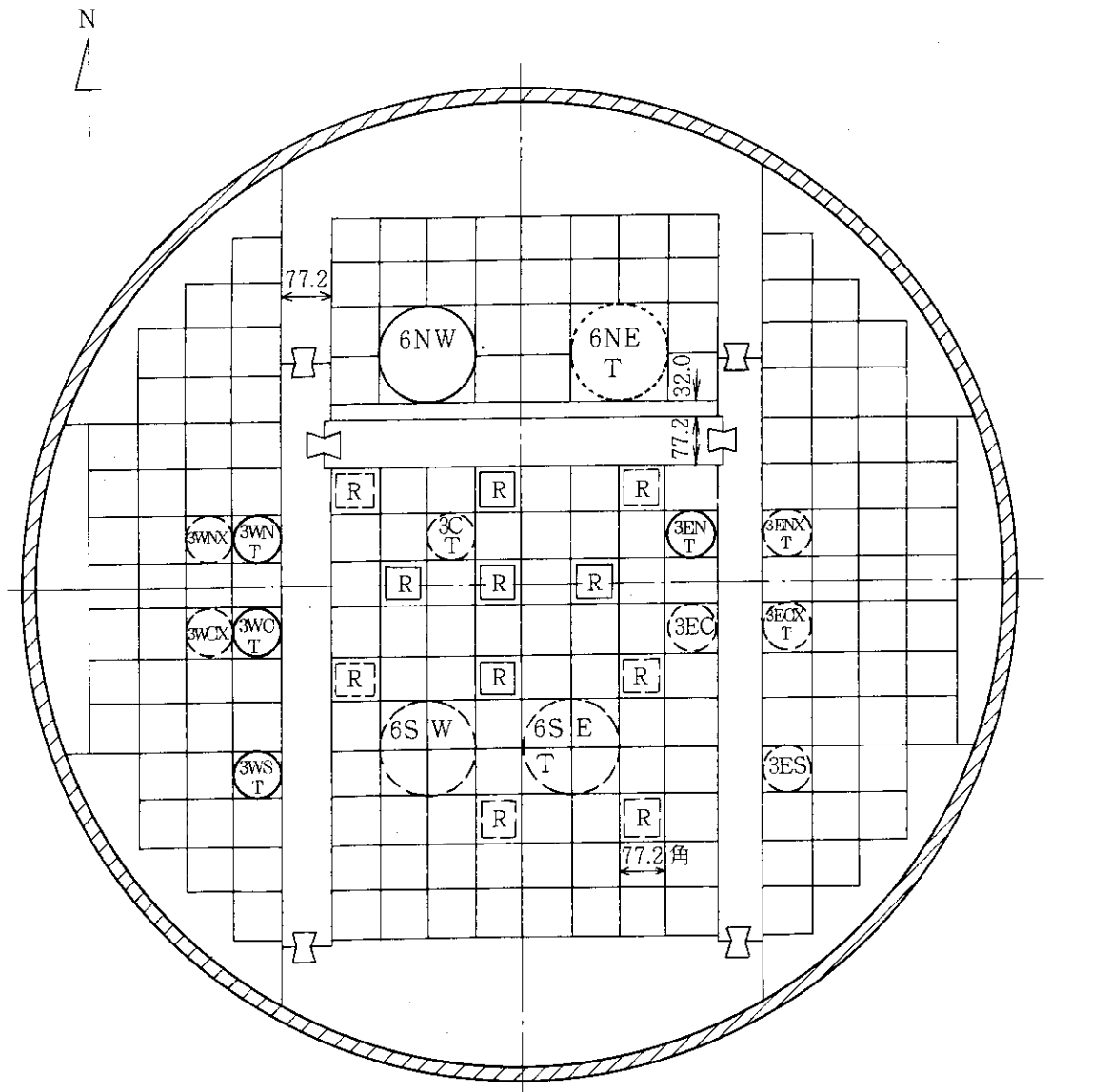
第1.12図 炉プールとカナル



第1.13図 JMTR炉心部



第1.14図 JMTR炉心燃料領域



□ 格子位置

Ⓜ 制御棒位置

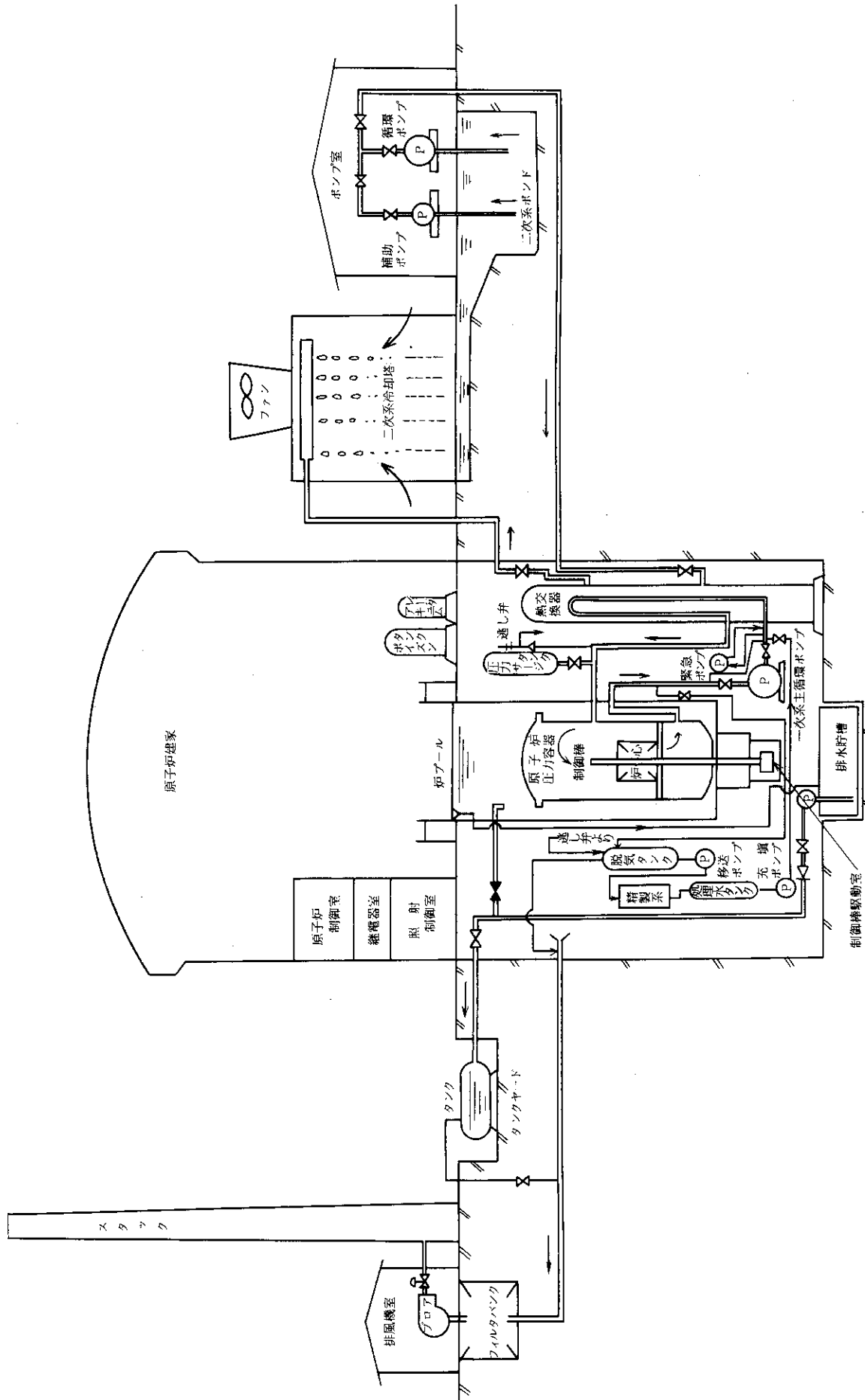
○ ループ位置

(注1) 点線は各予備位置

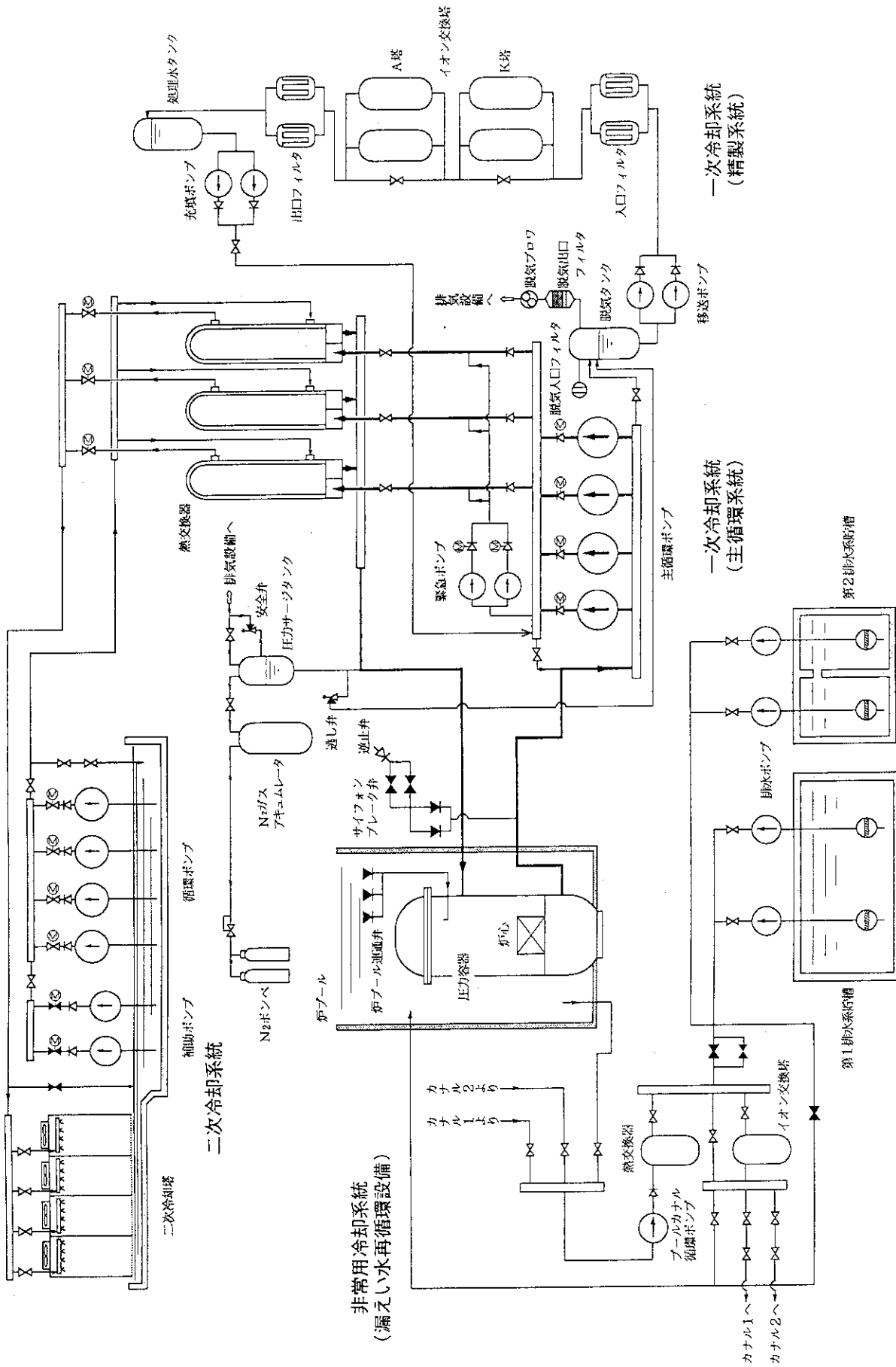
(注2) ループにTの付いているのは下蓋  
まで貫通可能な直線状ループ

0 500mm

第1.15図 炉心格子配列図



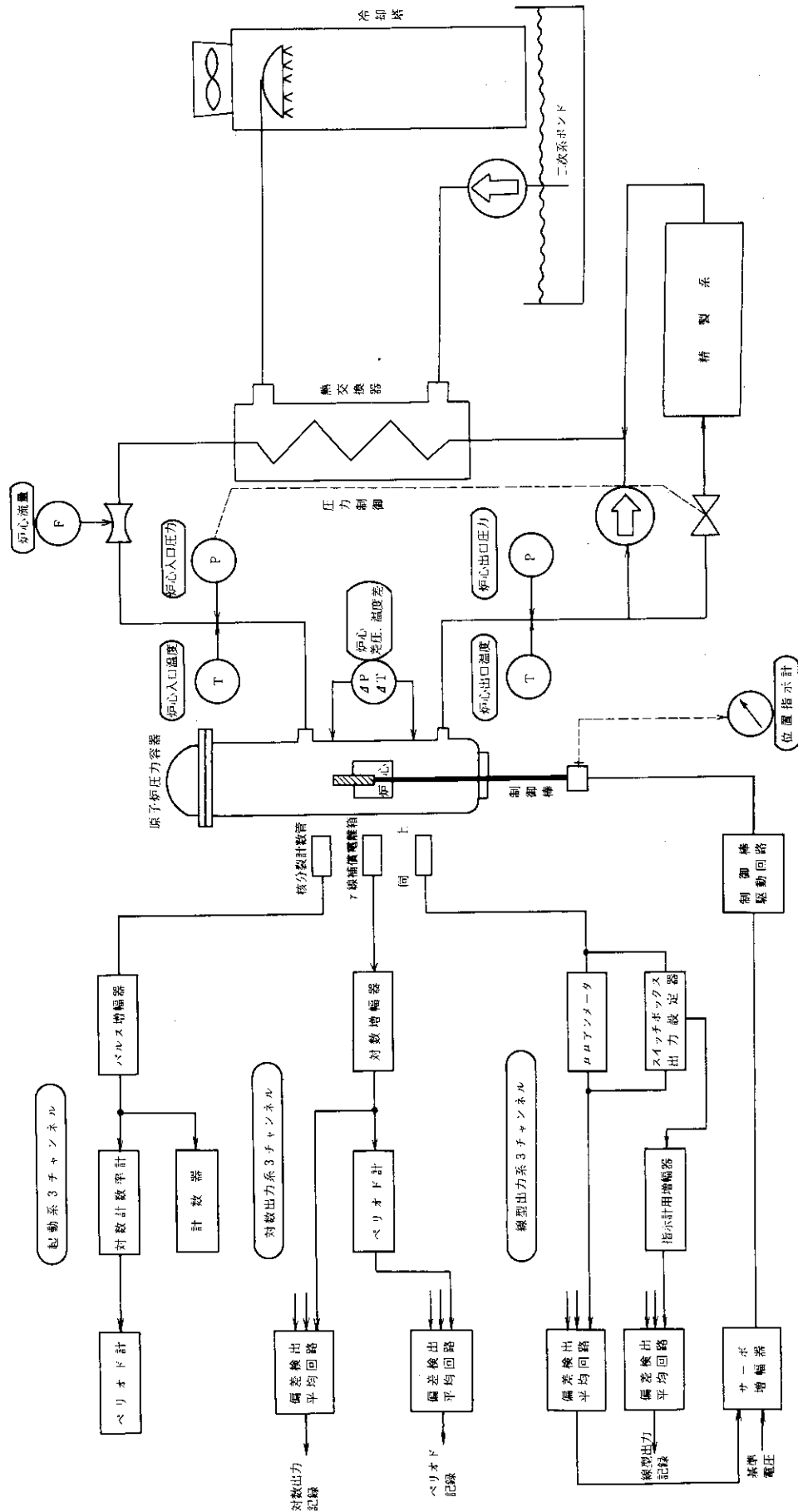
第 1.16 図 JMTR 冷却及び排気系統概念図



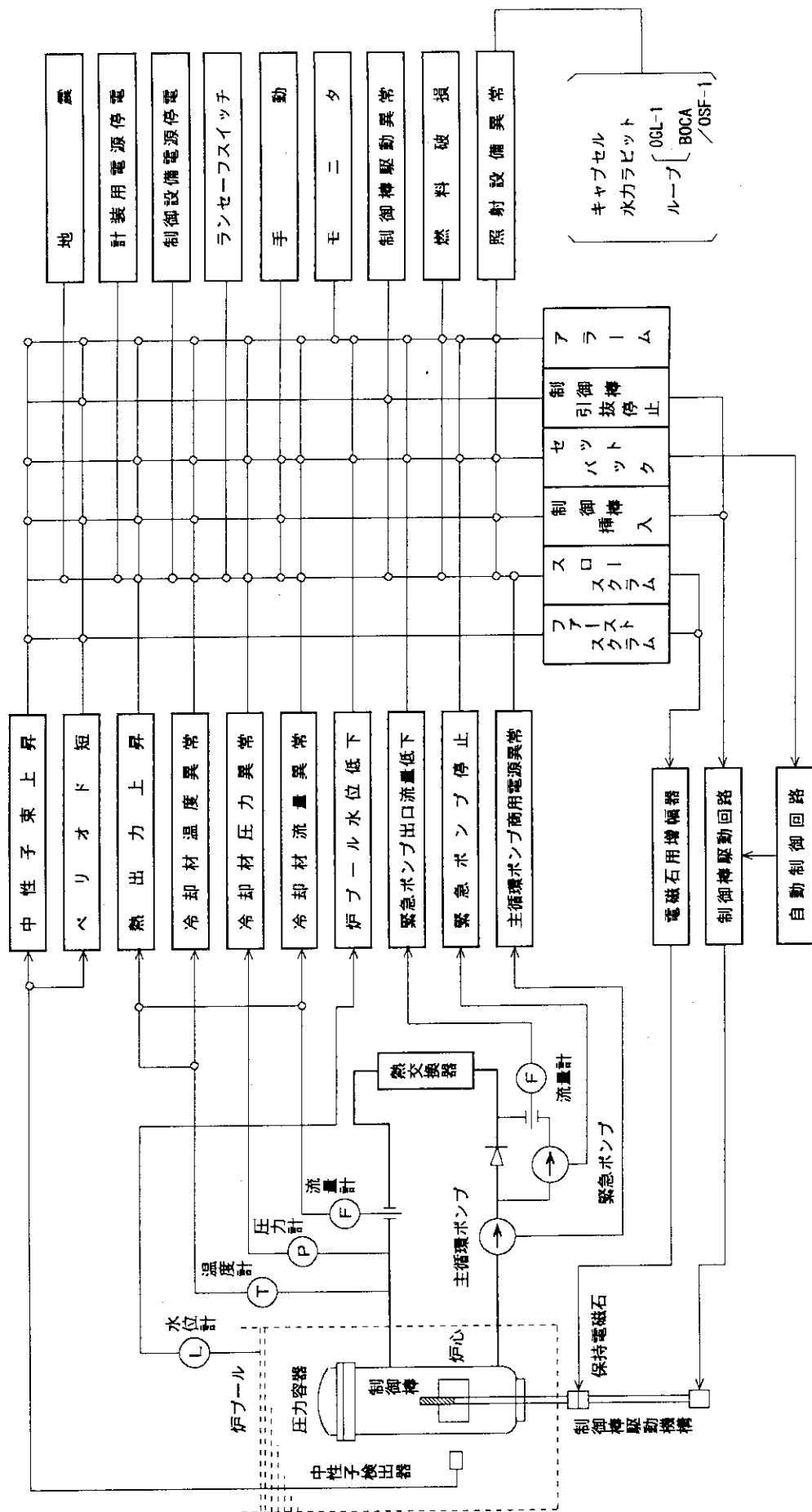
第1.17図 一次冷却系統、二次冷却系統及び非常用冷却系統の概要

プロセス計装

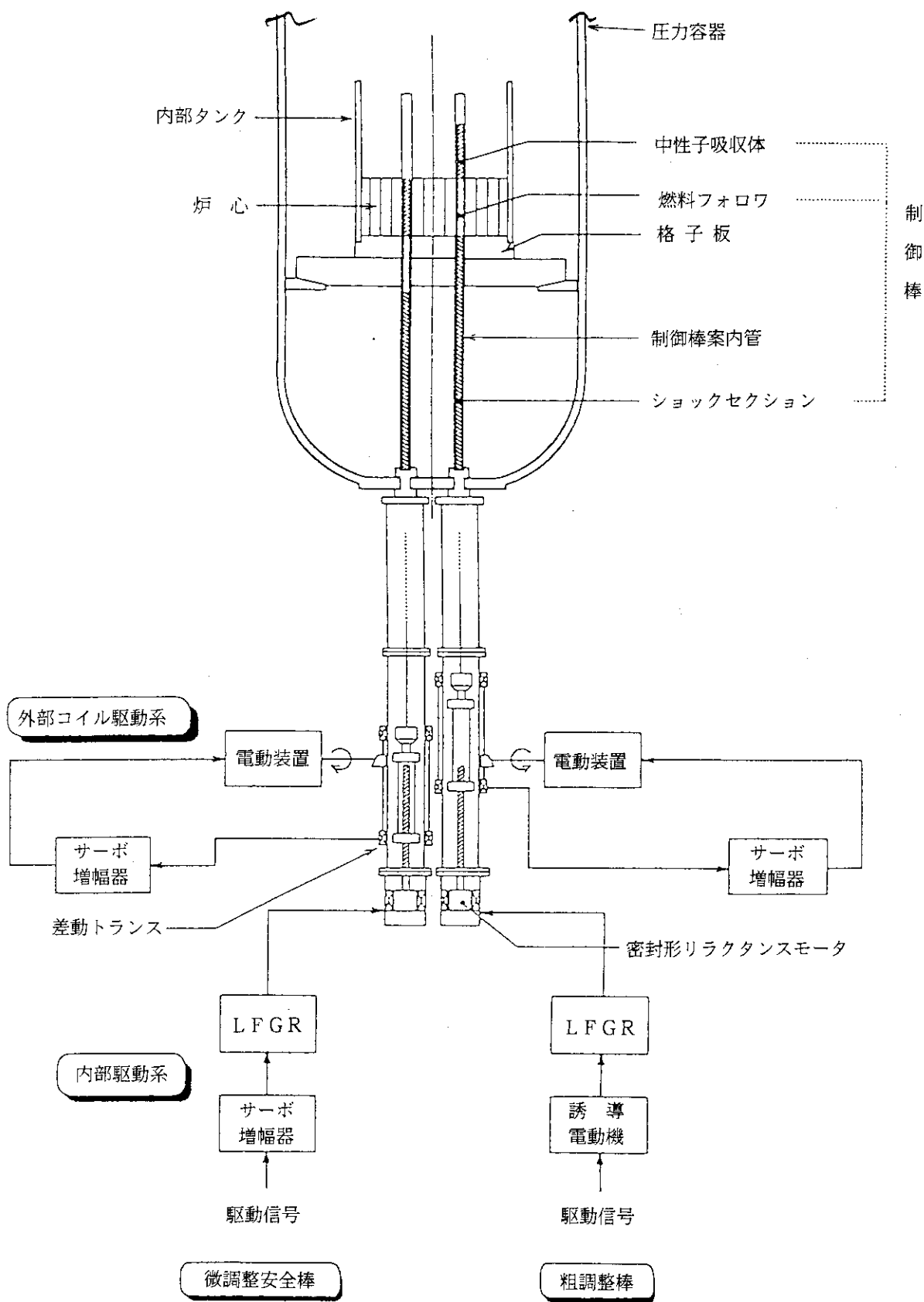
核計装



第1.18図 JMTR計測制御系統概要図

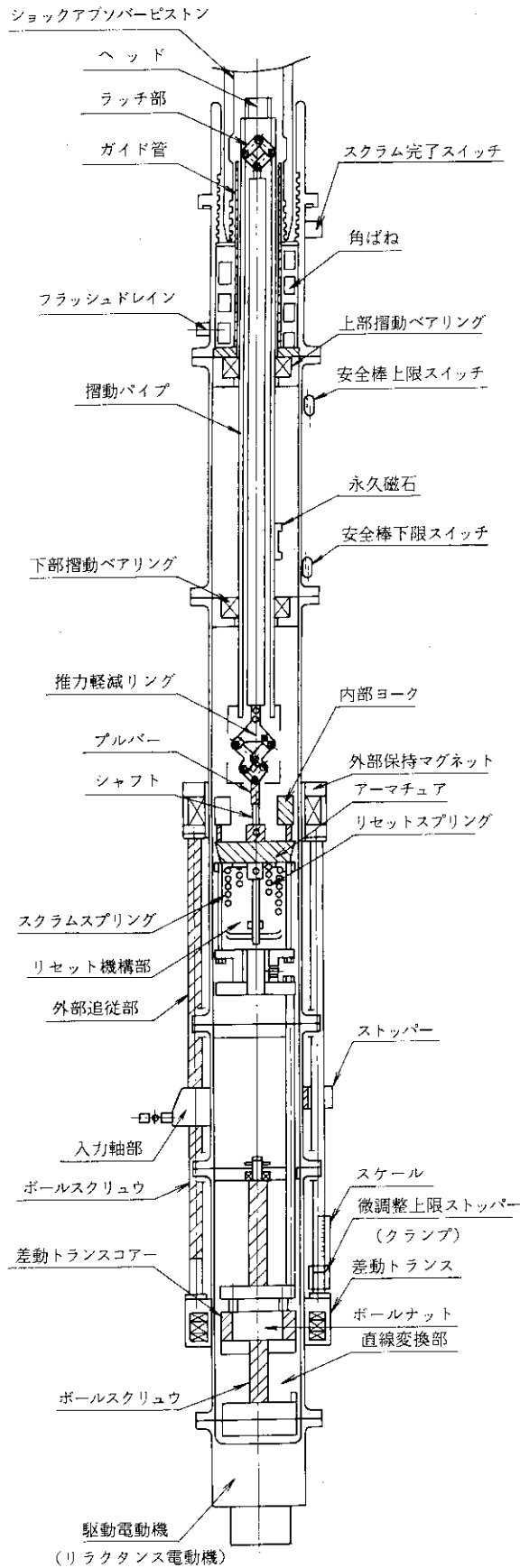


第1.19図 安全保護回路概要図

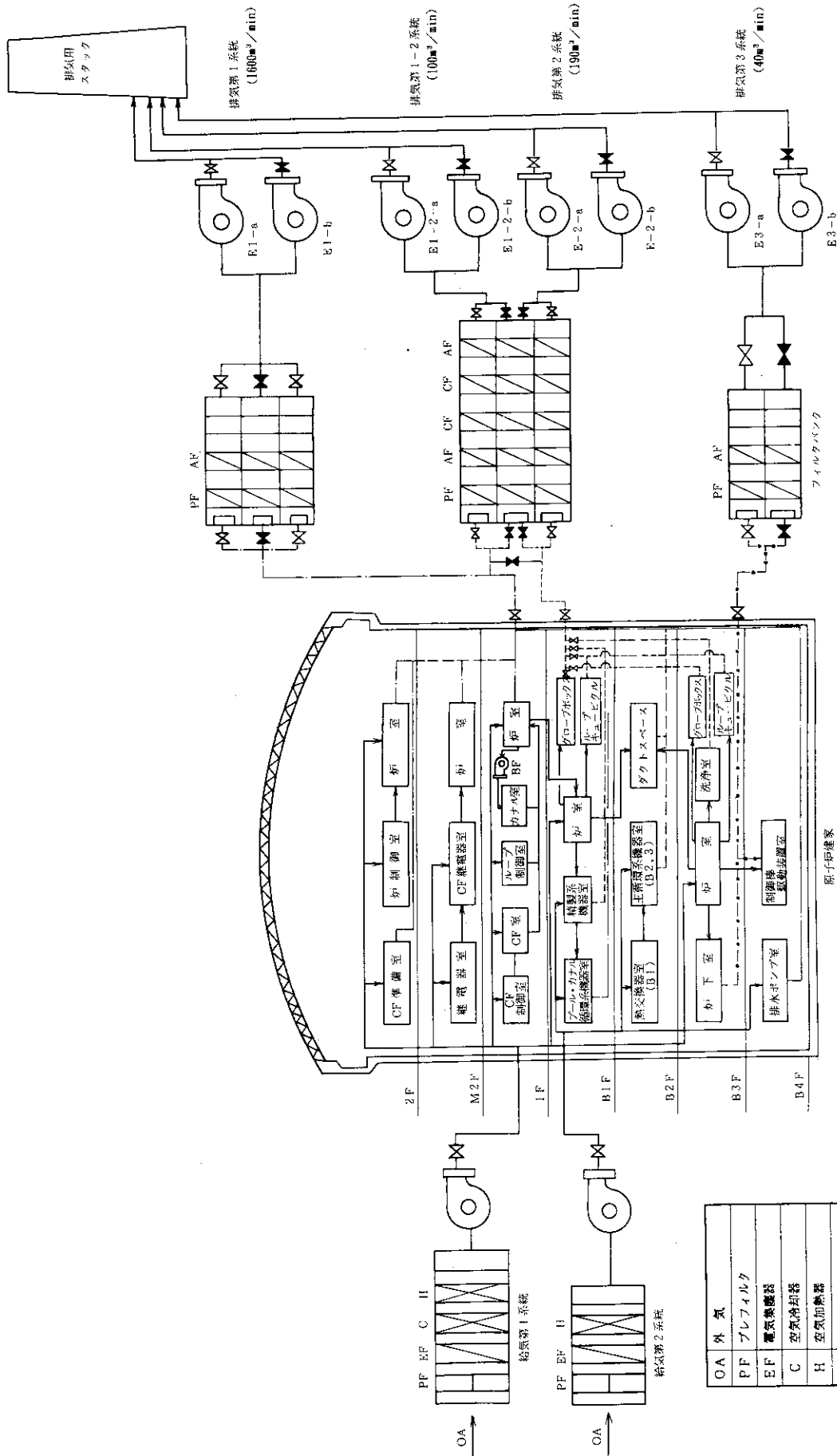


第1.20図 JMT-R制御棒及び駆動装置の構成

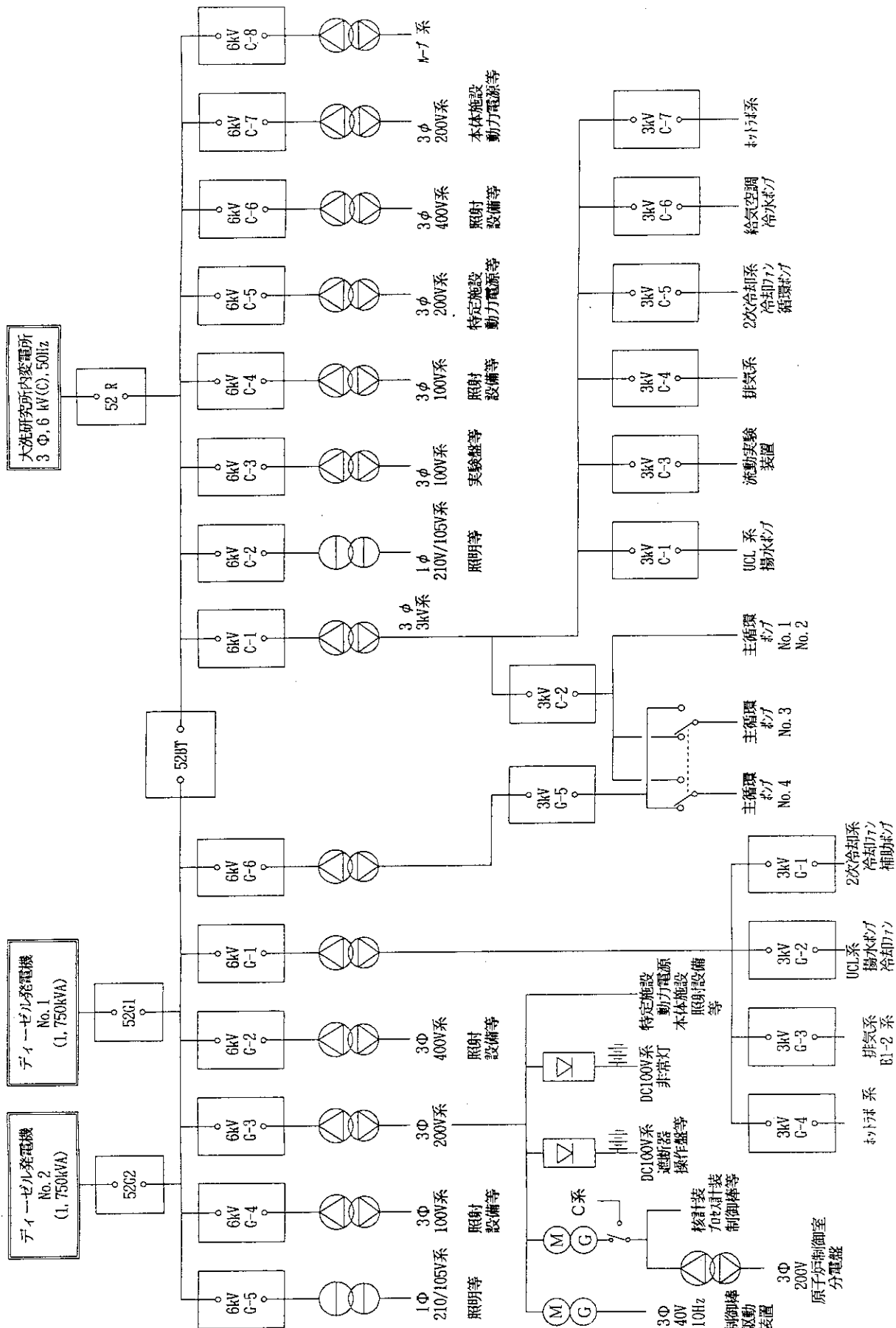




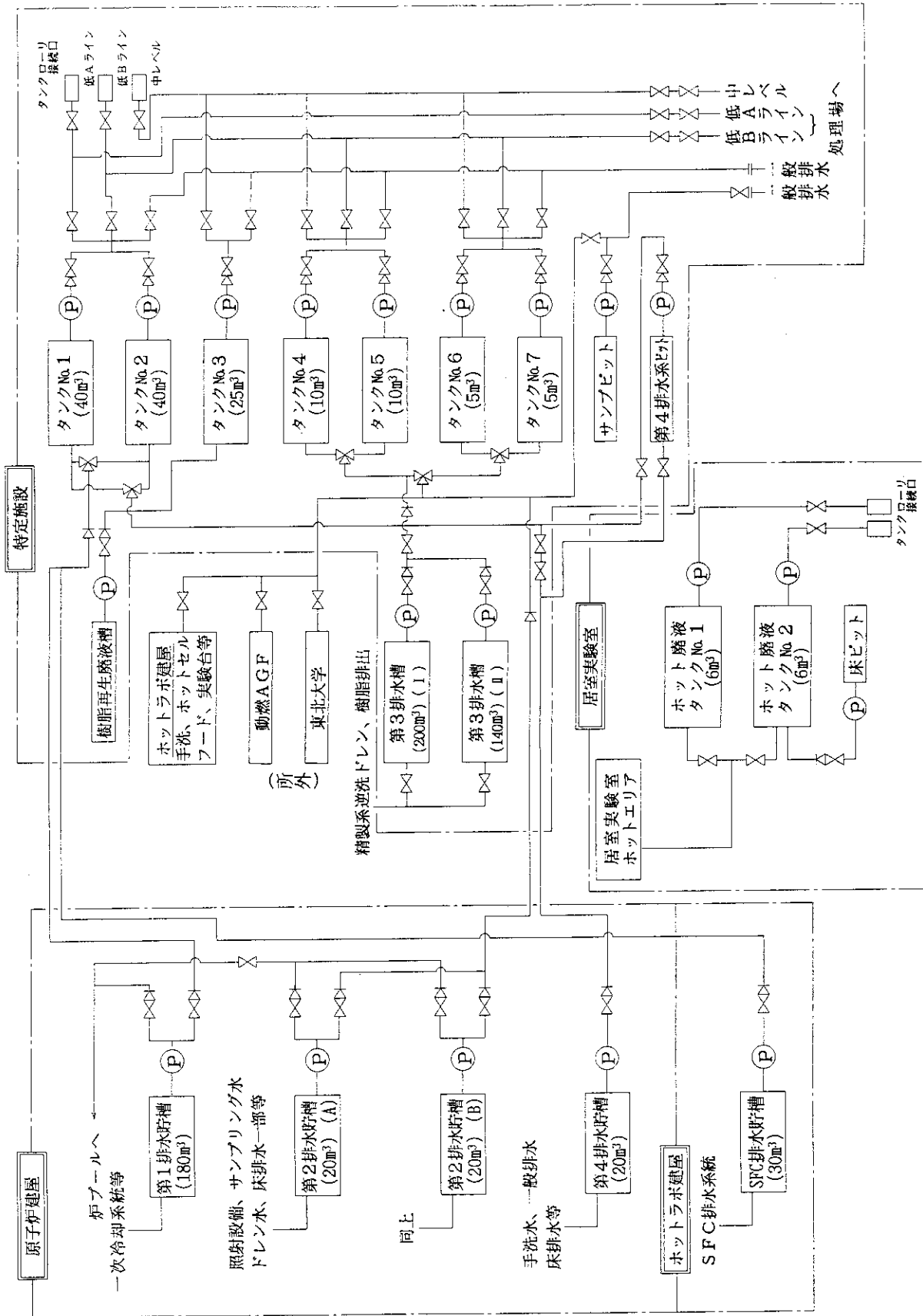
第1.21図 JMTR制御棒駆動機構



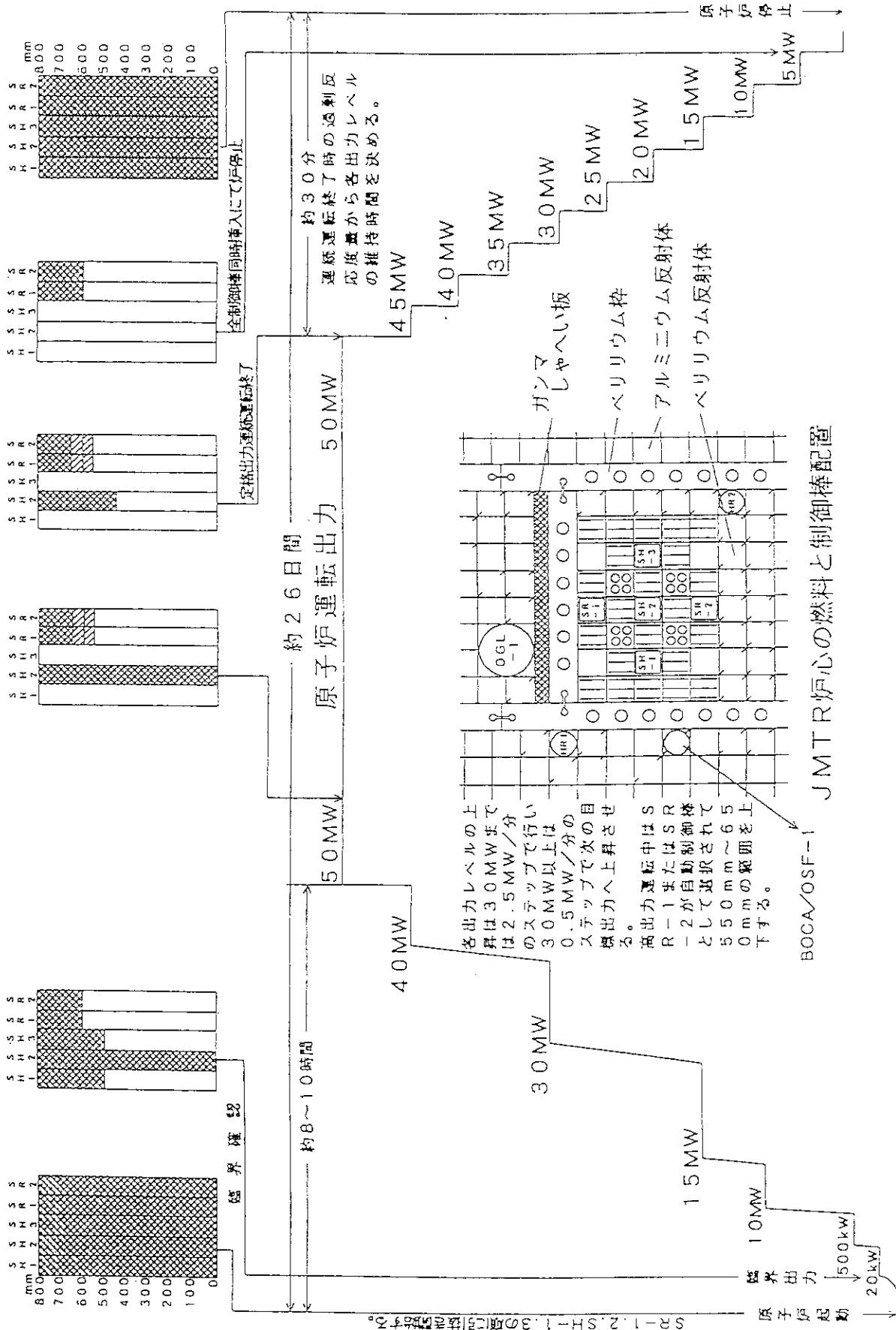
第 1.22 図 J-MTR 炉室給排気系統概要図



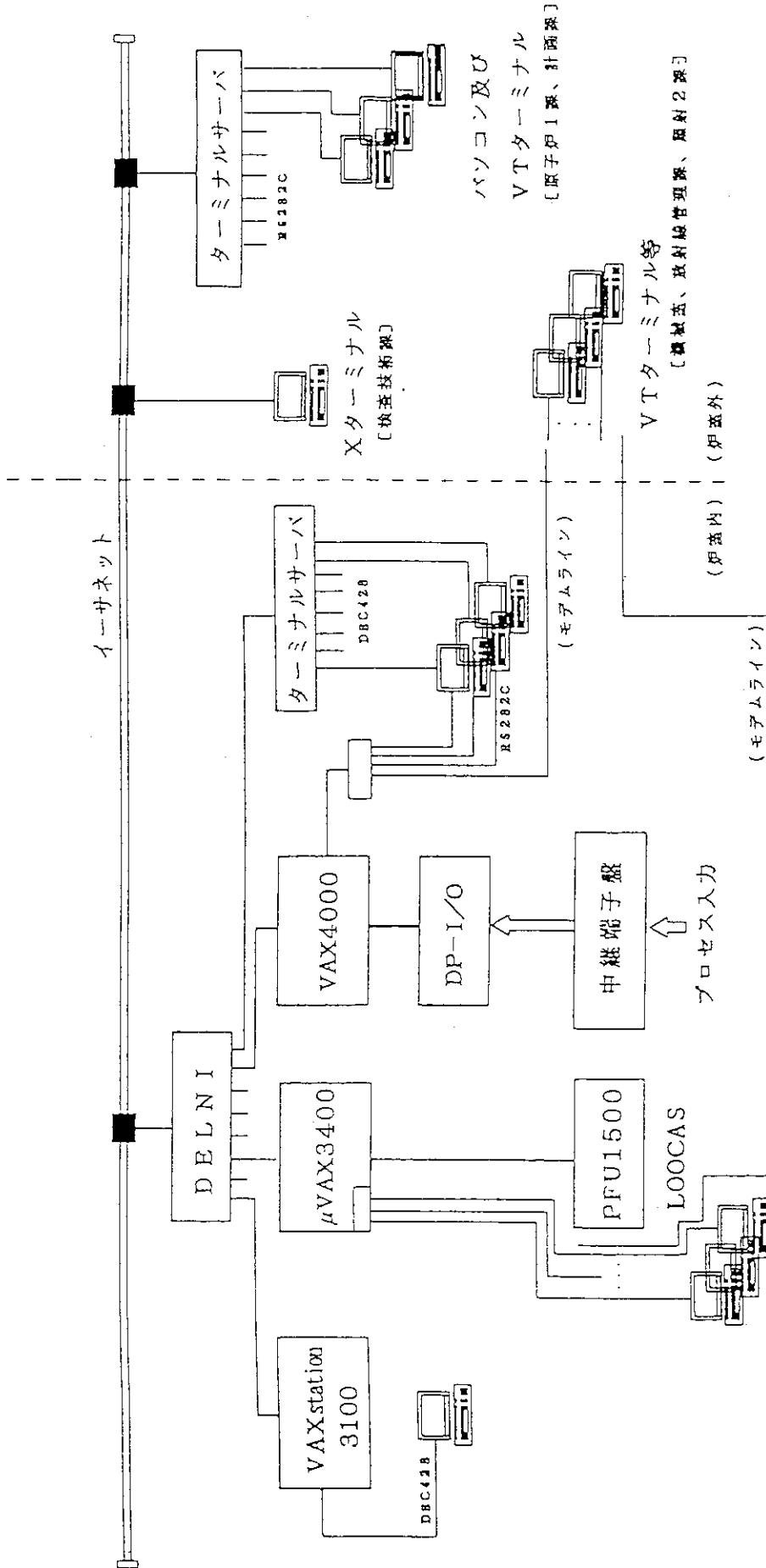
第1.23図 JMTR電源系統概要図 (C系統及びD系)



第1.24図 J-MTR原子炉施設等の放射性排水系統概要図



第1.25図 JMTR運転中の制御棒の動き



第1.26図 ARGUS構成図

## 2. 照射施設

## 目 次

2.1 概 要 .....	41
2.2 水力ラビット照射設備 .....	43
2.3 キャプセル照射設備 .....	49
2.4 ループ照射設備 .....	57
2.5 ガススweep (FGS)照射設備 .....	61
2.6 出力急昇試験設備 (BOCA/OSF-1) .....	64
2.7 照射設備の計算機システム .....	69
2.8 水・ガス分析設備 .....	74
2.9 照射試料の熱計算及び安全基準 .....	76
2.10 燃料試料の発熱量と燃焼度 .....	85

## 表 一 覧

第2.1表 照射設備の分類 .....	41
第2.2表 水力ラビット照射設備の緒元 .....	43
第2.3表 キャプセル照射設備の緒元 .....	49
第2.4表 キャプセル照射設備の型式 .....	50
第2.5表 キャプセルの計測器リスト .....	51
第2.6表 OGL-1照射設備の緒元 .....	57
第2.7表 FGS照射設備の緒元 .....	61
第2.8表 出力急昇試験設備の緒元 .....	64
第2.9表 照射設備計算機システムの主な機能 .....	69
第2.10表 水・ガス分析設備の仕様、性能等 .....	74
第2.11表 原子炉一次冷却水の分析結果の例 .....	75
第2.12表 キャプセル内温度分布計算コード (GENGTC) の説明 .....	77
第2.13表 各照射設備の熱的安全基準 .....	78
第2.14表 燃料試料における発熱量の推定・測定法 .....	85

## 図 一 覧

第2.1図	照射設備炉心配置の例	42
第2.2図	溶接型ラビットの例	44
第2.3図	圧接型ラビットの例	45
第2.4図	水力ラビット照射設備 (HR-1) フローシート	46
第2.5図	水力ラビット照射設備 (HR-2) フローシート	47
第2.6図	水力ラビット照射整備の炉内2重管構造	48
第2.7図	キャプセル照射設備の分類	52
第2.8図	キャプセルの構造例 (1)	53
第2.9図	キャプセルの構造例 (2)	54
第2.10図	キャプセルの構造例 (3)	55
第2.11図	キャプセルと炉外計測制御装置との接続	56
第2.12図	0GL-1のフローシート	58
第2.13図	0GL-1の炉内管構造	59
第2.14図	0GL-1の照射試料例	60
第2.15図	FGS照射設備のフローシート	62
第2.16図	FGSキャプセルの構造例	63
第2.17図	出力急昇試験設備の全体構成	65
第2.18図	出力急昇試験における <sup>3</sup> Heガス圧力と燃料棒線出力及び表面温度との関係	66
第2.19図	代表的な出力急昇試験モード	67
第2.20図	BOCAキャプセルの全体構造	68
第2.21図	照射設備計算機システムの全体構成	70
第2.22図	照射報告書の出力例 (照射実績)	71
第2.23図	照射報告書の出力例 (照射記録)	72
第2.24図	照射報告書の出力例 (照射履歴)	73
第2.25図	キャプセルの設計手順 (代表例)	79
第2.26図	黒鉛照射キャプセル内の温度分布計算例	80
第2.27図	高速炉燃料棒照射キャプセル内の温度分布計算例	80
第2.28図	真空温度制御法による制御温度範囲	81
第2.29図	STEP-3による0GL-1照射試料及び炉内管温度分布計算例	82
第2.30図	FREG-3によるBOCA照射試料の被覆管内面温度とペレット外表面温度分布計算例 (83BF-3A, 4A)	83
第2.31図	BOCA照射試料の電気ヒータピンによる限界線出力実験データ	84
第2.32図	燃料試料の照射時間と燃焼度との関係	86



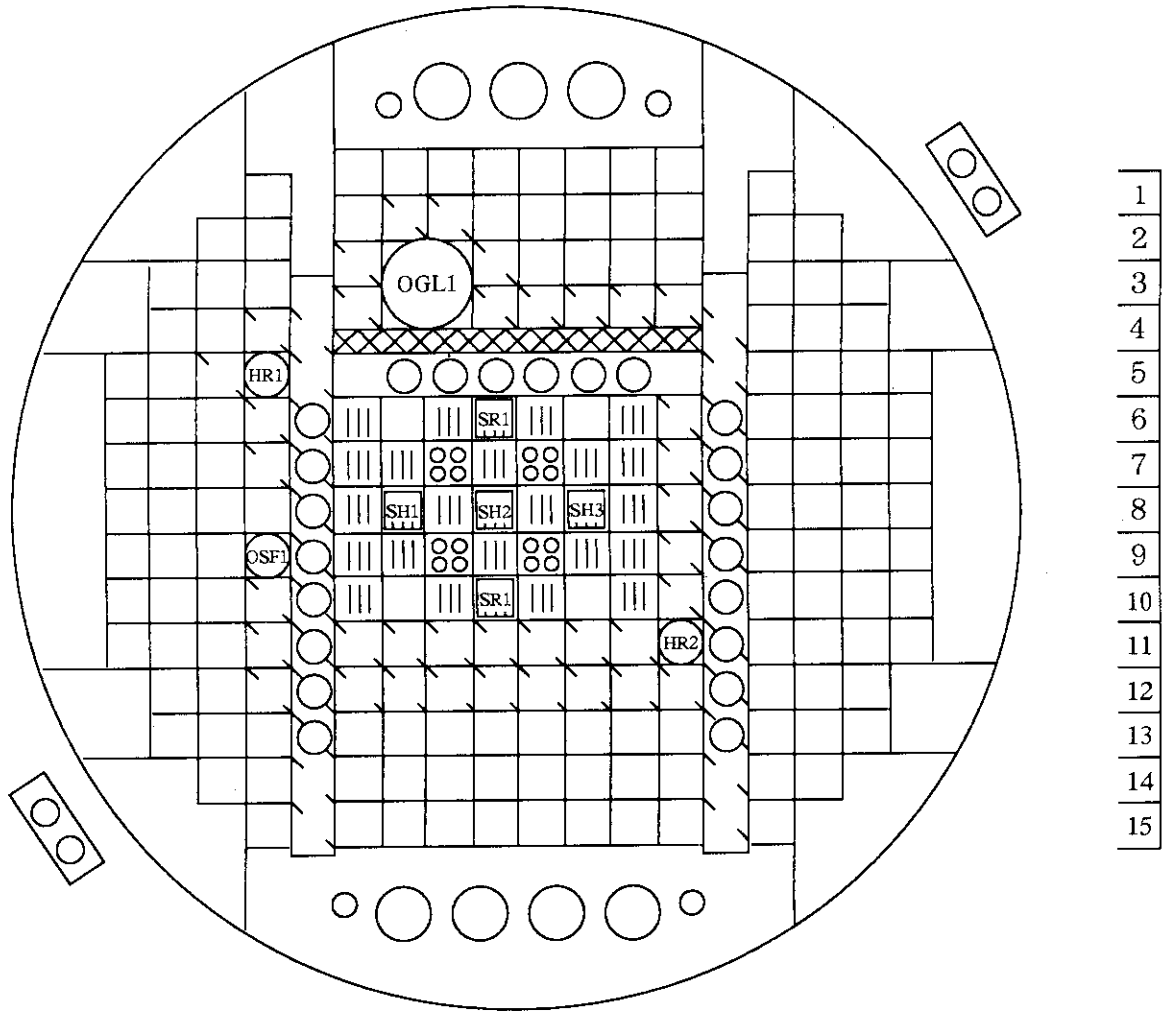
## 2.1 概要













JMTRには、原子炉用燃料、材料等の各種照射試験及びRIの生産を目的として、第2.1表に示すように多種多様な照射設備が設置されている。

これらのうち、水力ラビット照射設備、ループ照射設備及び出力急昇試験設備は、炉心での挿入位置が固定されているが、キャプセル照射設備は、照射希望条件に合わせて挿入位置を自由に選択できる。炉心部には、キャプセルを同時に約60本まで挿入することができる照射孔があり、そのうち約20本は計測キャプセル用として使用することが可能である。各照射設備の炉心位置を第2.1図に示す。

第2.1表 照射設備の分類

区 分	設 備 名 又 は 種 類
水力ラビット照射設備	HR-1、HR-2
キャプセル照射設備	計測、無計測、特殊（FGS等）
ループ照射設備	OGL-1
出力急昇試験設備	BOCA/OSF-1



- |   |   |   |                       |
|---|---|---|-----------------------|
|  | 燃料要素  |  | OGL1-1照射設備            |
|  | ベリリウム反射体要素                                    |  | 水カラビット照射設備1号機         |
|  | アルミニウム反射体要素                                   |  | 水カラビット照射設備2号機         |
|  | 制御棒 (燃料フォロア付き)<br>(SH-1,2,3 粗調整棒 SR-1,2 微調整棒) |  | 出力急昇試験設備 (BOCA/OSF-1) |
|  | γ遮蔽板  |  | } キャプセル照射孔            |
|   |   |  |                       |
|   |   |  |                       |

第2.1図 照射設備炉心配置の例

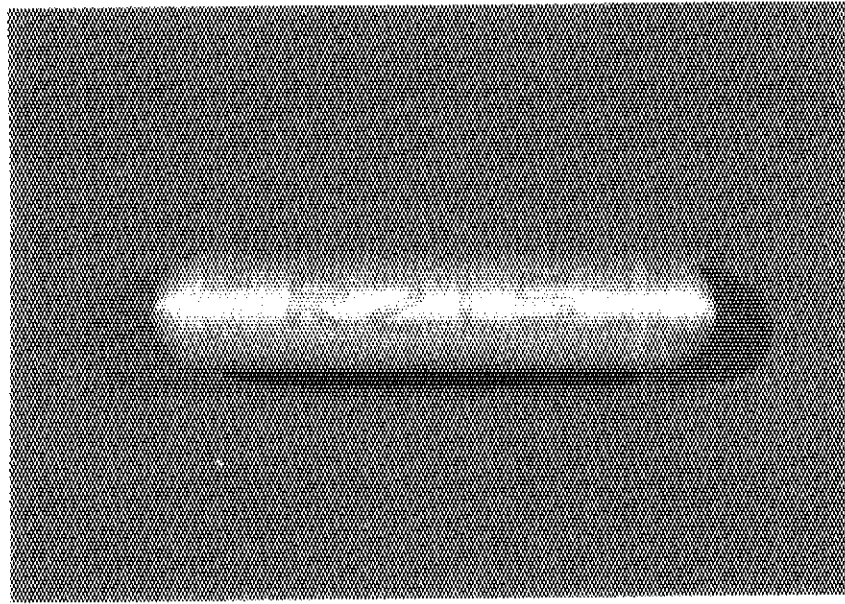
## 2.2 水カラビット照射設備

本設備は、照射試料を封入したラビット（第2.2図及び第2.3図参照）を水力により、原子炉運転中に炉心へ挿入したり、炉心から取出したりすることができるもので、比較的短時間の照射に適している。設備の諸元を第2.2表に示す。

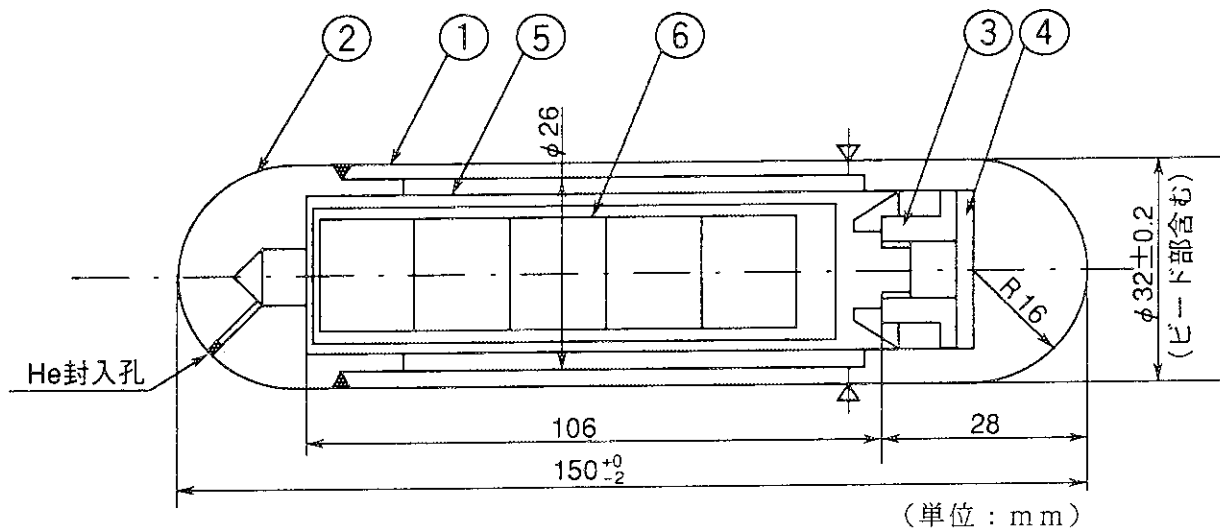
設備には、1号機（HR-1）と2号機（HR-2）があり、冷却水用循環ポンプを除く主な機器は、炉プール及びカナル内に設置されている。ラビットの挿入、取出しは、水流の向きを変えることにより行われる。照射されたラビットは、カナル内の取出容器又は受皿に取り出される。フローシート及び炉内2重管の構造を第2.4図、第2.5図及び第2.6図に示す。

第2.2表 水カラビット照射設備の諸元

		HR-1	HR-2
炉 心 位 置		D-5	M-11
熱 中 性 子 束	最大	$1.1 \times 10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> ・s	$1.3 \times 10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> ・s
	平均	$8.1 \times 10^{13}$ n/cm <sup>2</sup> ・s	$9.9 \times 10^{13}$ n/cm <sup>2</sup> ・s
高 速 中 性 子 束	最大	$8.8 \times 10^{12}$ n/cm <sup>2</sup> ・s	$2.1 \times 10^{13}$ n/cm <sup>2</sup> ・s
	平均	$6.7 \times 10^{12}$ n/cm <sup>2</sup> ・s	$1.6 \times 10^{13}$ n/cm <sup>2</sup> ・s
γ 発 熱 率		1.1 W/g	2.2 W/g
冷 却 材		軽 水	軽 水
冷 却 材 流 量		11 m <sup>3</sup> /h	8.4 m <sup>3</sup> /h
冷 却 材 温 度		約40 °C	約40 °C
冷 却 材 圧 力		20 kg/cm <sup>2</sup> G (最大)	20 kg/cm <sup>2</sup> G (最大)
ラ ビ ッ ト 外 形 寸 法		φ32×ℓ150 mm	φ32×ℓ150 mm
ラ ビ ッ ト 材 質		アルミニウム又は ステンレス鋼	アルミニウム又は ステンレス鋼
試 料 最 大 寸 法		φ26×ℓ120 mm	φ26×ℓ120 mm
試 料 最 大 発 熱 量		20 kW	9 kW
ラ ビ ッ ト 最 大 挿 入 個 数		3 個	3 個
照 射 時 間		1分以上	1分以上



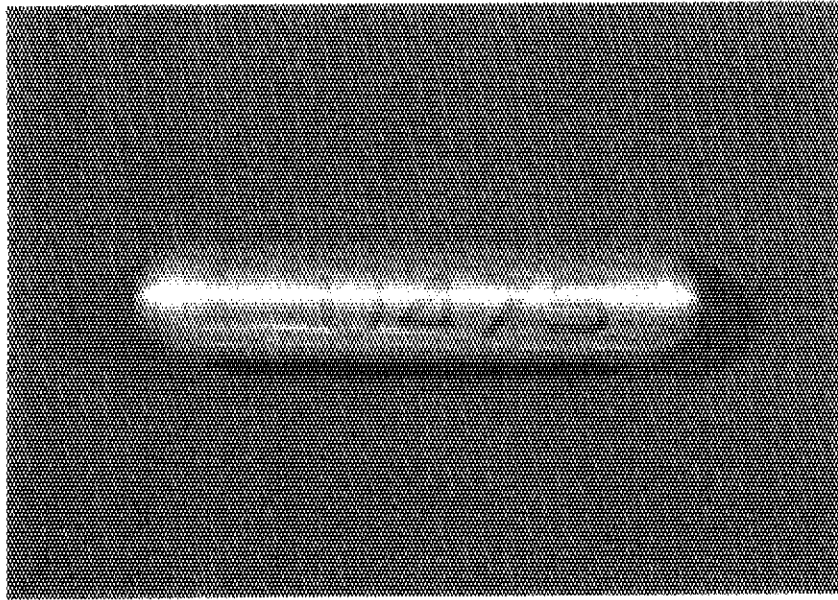
溶接型ラビット (No. R215)



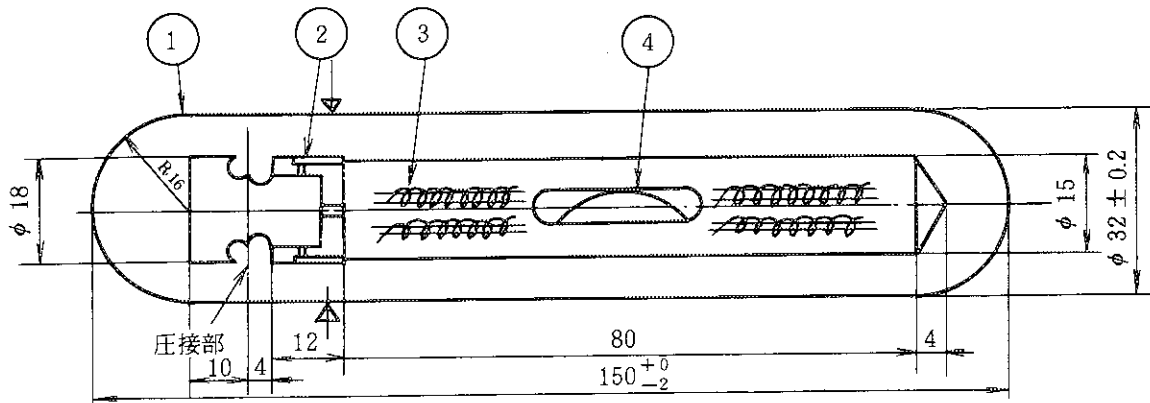
6	試料	MoO <sub>2</sub> , ペレット
5	インナキャプセル	A1050
4	緩衝材	コルクウール
3	スペーサ	A1050
2	端栓	A1050
1	外筒	A1050
番号	品名	材質

- 注記；  
 (1)外筒表面には、He封入孔側から水平方向にラビット番号を印字する。  
 (2)He封入孔よりHeガスを充填し、溶接で塞ぐ。  
 (3)▽箇所、切断マークを設ける。

第2.2図 溶接型ラビットの例



圧接型ラビット (No. U475)



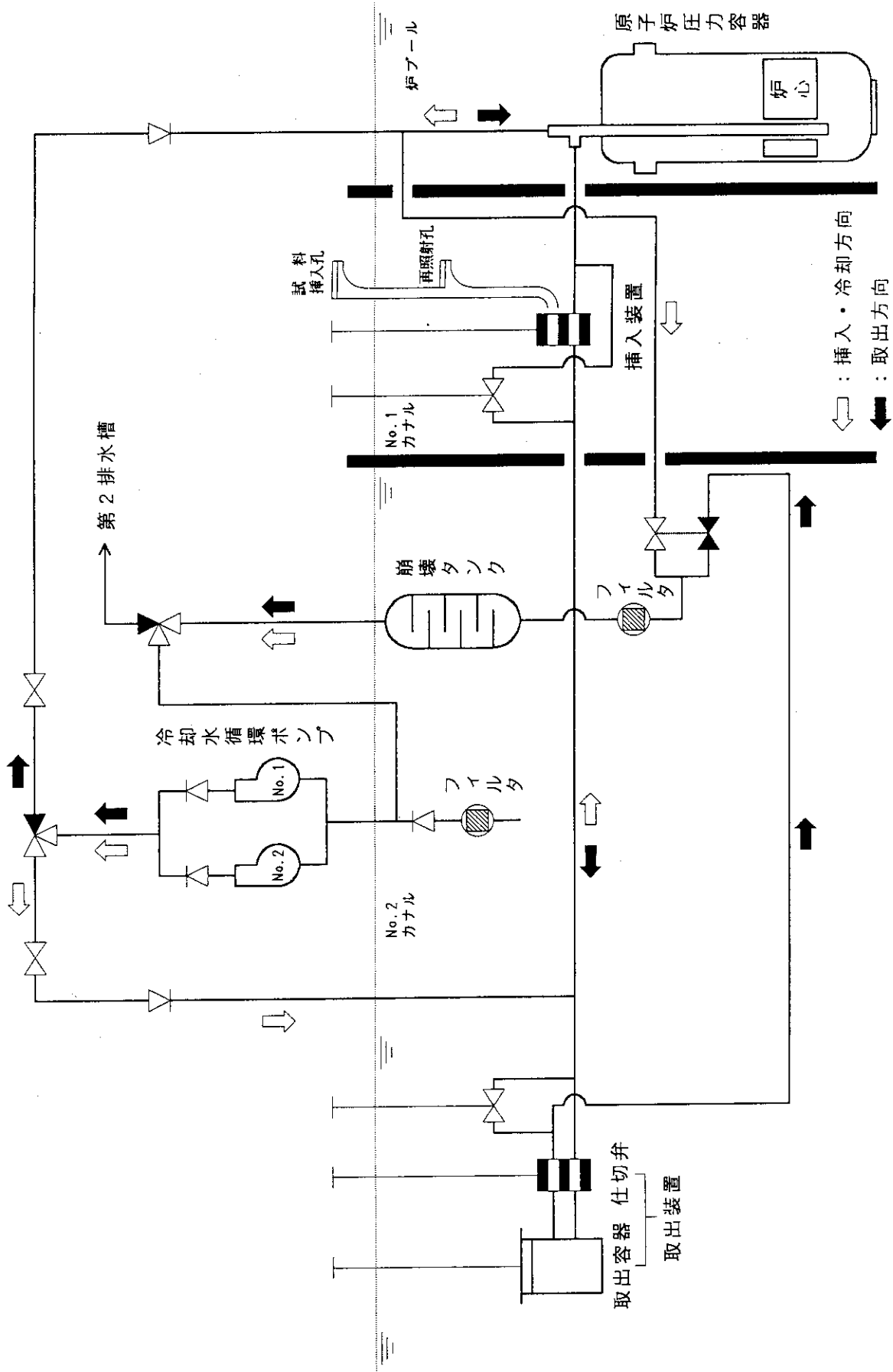
(単位: mm)

4	試料	Cu
3	緩衝材	アルミホイル
2	スペーサ	A1050
1	アルミホルダ	A1050
番号	品名	材質

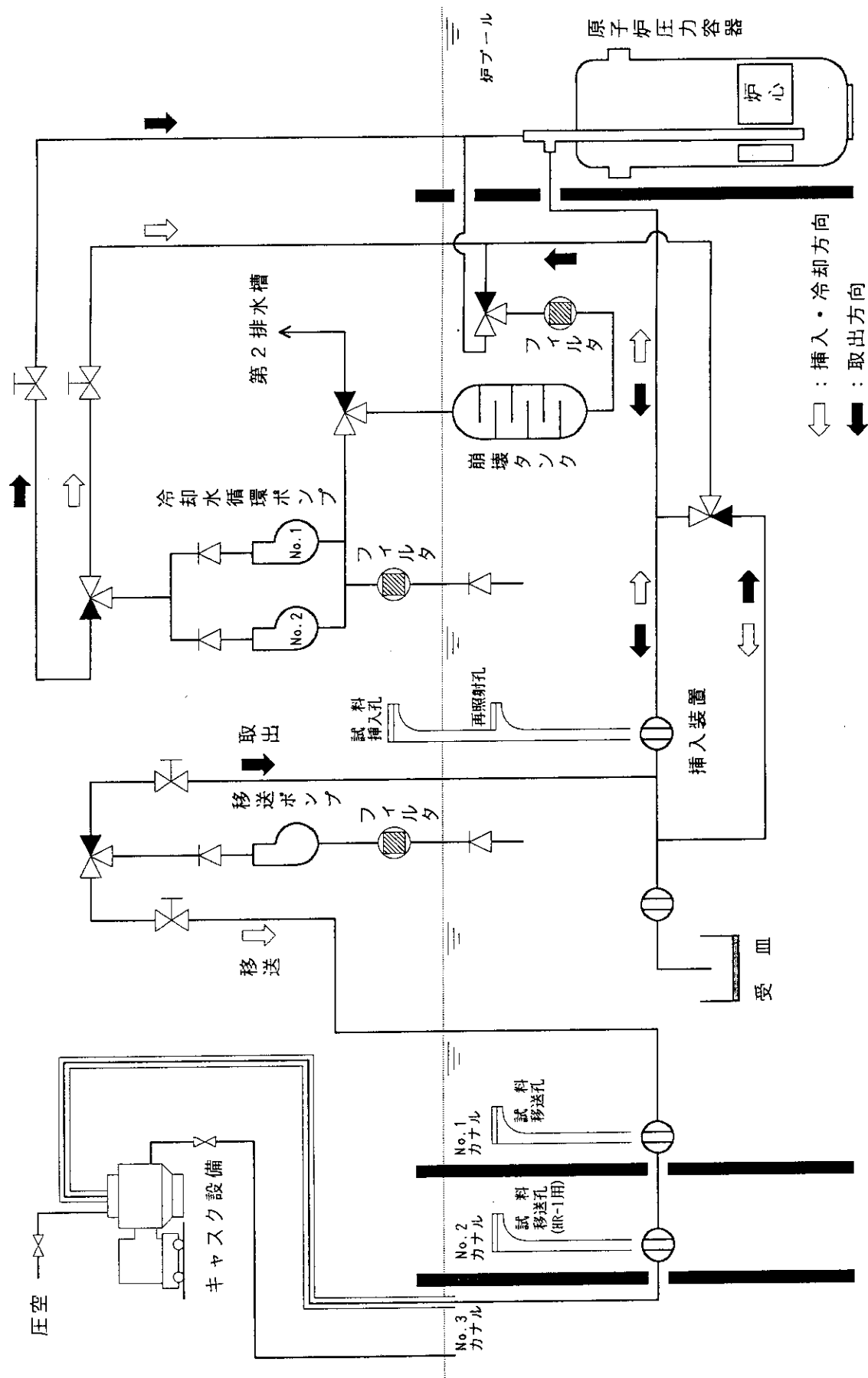
注記:

- (1) 外筒表面の中央部には、水平方向にラビット番号を印字する。
- (2) 箇所々に切断マークを設ける。

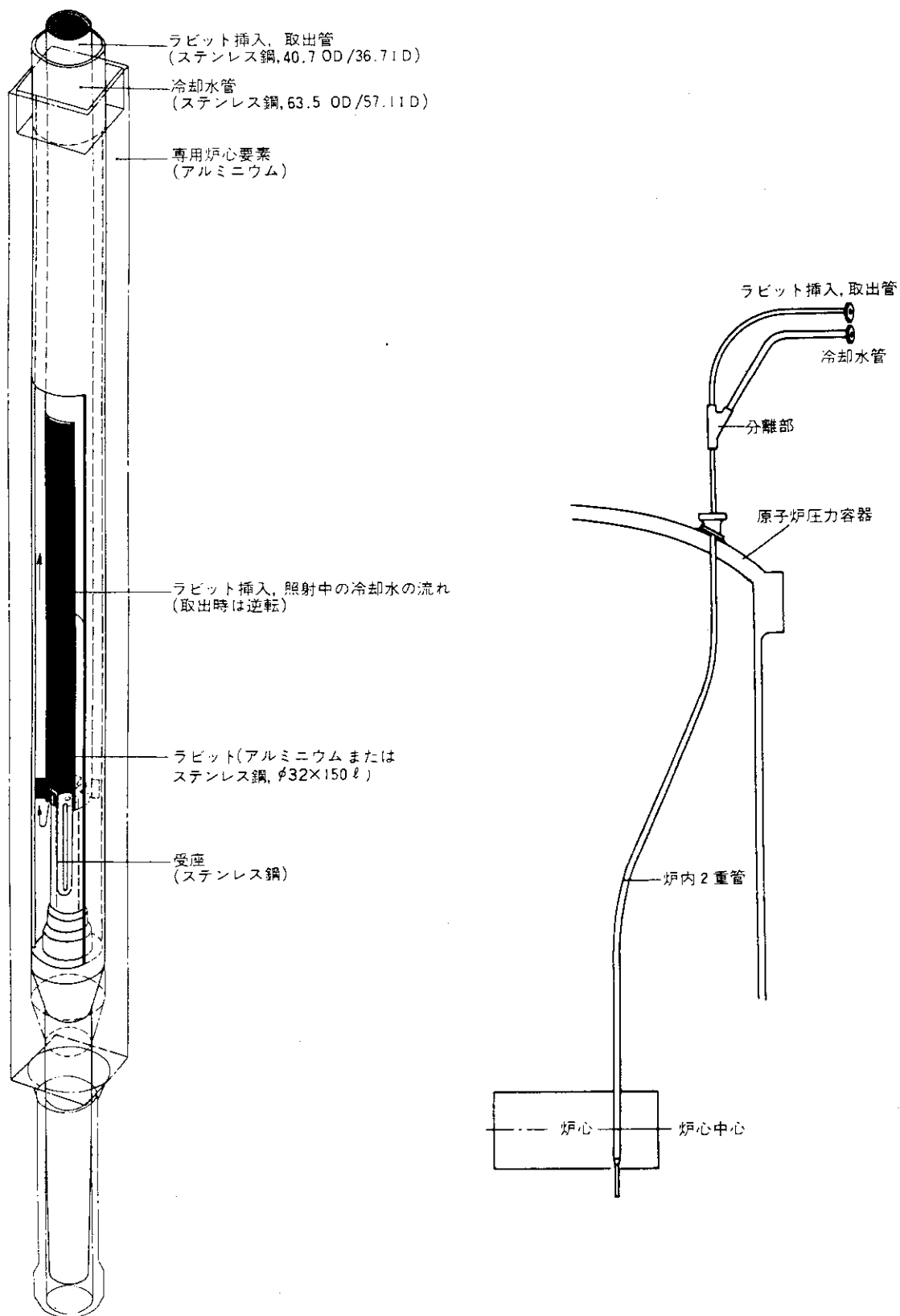
第2.3図 圧接型ラビットの例



第2.4図 水カラビット照射設備 (HR-1) フローシート



第2.5図 水カラビット照射設備 (HR-2) フローシート



第2.6図 水ラビット照射設備の炉内2重管構造



## 2.3 キャプセル照射設備

本設備は、照射試料を入れたキャプセルを、炉心内の約60個の照射孔で照射するものである。原子炉の冷却水に接触しても支障がない試料は、リーキーキャプセル（非密封照射容器）に入れて照射される。原子炉の冷却水に接触すると支障がある試料又は照射条件を特定するための計測、制御等が必要な試料は、密封型キャプセルに入れて照射される。照射設備の諸元を第2.3表に示す。キャプセルの型式及び計測器リストを第2.4表及び第2.5表に、分類及び構造を第2.7図～第2.10図に示す。

計測及び特殊キャプセルにおいて計測及び制御のための各種リード線又は配管は、キャプセル上部に接続された保護管を通して原子炉圧力容器外へ導かれ、さらに炉プール内を案内管により導かれたのち、炉プール回りに配置されているキャプセル計測制御盤に接続される。キャプセルと計測制御盤との接続状況を第2.11図に示す。

第2.3表 キャプセル照射設備の諸元

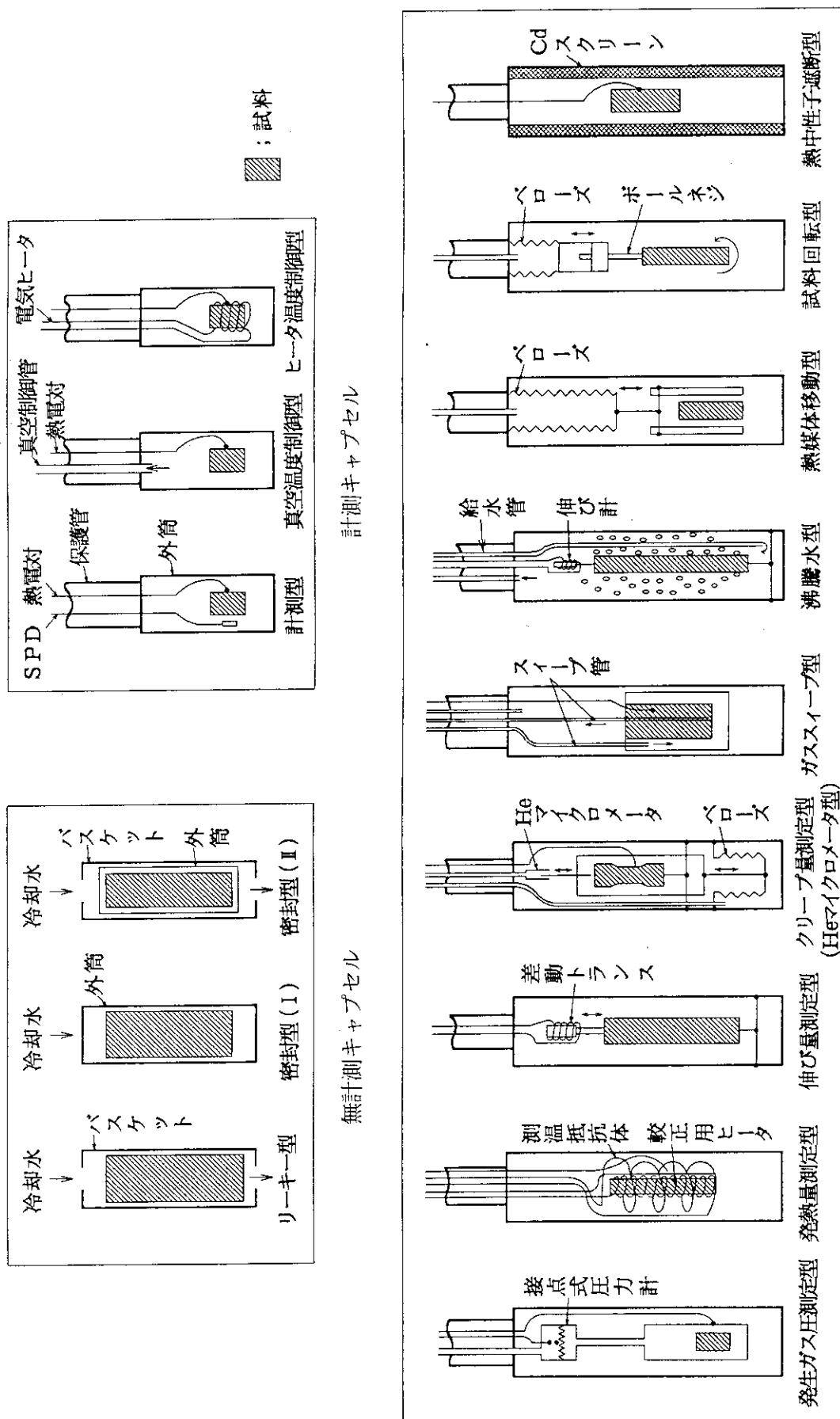
熱 中 性 子 束	$0.1 \sim 3.0 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
高 速 中 性 子 束	$0.01 \sim 2.0 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
$\gamma$ 発 熱 率	0.5 ~ 10 W/g
冷 却 材	軽 水
冷 却 材 温 度	約50 °C
冷 却 材 圧 力	約15 kg/cm <sup>2</sup> G
最 大 発 熱 量	100 kW
キャプセル（直径）	$\phi$ 30, 40, 60, 65, 78 mm

第2.4表 キャプセル照射設備の型式

分類	型式	構造・機能等	備考
無 計 測	リーキ型	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉冷却水(約50°C)により、試料を直接冷却する。</li> <li>試料は、バスケットに収納する。</li> </ul>	試料はAl, SUS, Inconel等耐食性材料に限定
	密封型	<ul style="list-style-type: none"> <li>バスケット使用時は、試料を外筒に収納する。</li> <li>外筒使用時は、試料を必ずしも密封容器に収納する必要ない。</li> <li>Na, NaK 試料の場合は、原子炉冷却水に対して二重の隔壁を確保するように、外筒及び密封容器に収納する。</li> <li>外筒の材質は、Al又はSUSとする。</li> </ul>	
計 測	計測型	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱電対、SPD等を取付けて、温度又は中性子束を測定する。</li> </ul>	
	真空温度制御型	<ul style="list-style-type: none"> <li>試料～外筒間のHeガス層の真空度を変えることにより、試料を所定温度に制御する。</li> </ul>	
	ヒータ温度制御型	<ul style="list-style-type: none"> <li>軸方向の中性子束変化に伴い生ずる試料温度を補正するため、試料の周囲にヒータを配置する。このヒータ出力を調節して所定温度に制御する。</li> </ul>	
	真空・ヒータ温度制御併用型	<ul style="list-style-type: none"> <li>真空温度制御により試料温度を上げ、さらに、ヒータにより軸方向の試料温度の微調整を行い、試料全体を所定温度に制御する。</li> </ul>	
特 殊	発生ガス圧測定型	<ul style="list-style-type: none"> <li>試料に圧力計を取付け、試料から発生するガス圧力を測定する。</li> </ul>	
	発熱量測定型	<ul style="list-style-type: none"> <li>試料に熱電対を取付け、温度変化から発熱量を推定する。</li> <li>中性子束照射に伴う発熱と、既知のヒータ出力の比較から発熱量を推定する。</li> </ul>	
	伸び量測定型	<ul style="list-style-type: none"> <li>差動トランス型測定器により、試料の伸び量を測定する。</li> </ul>	
	クリープ量測定型	<ul style="list-style-type: none"> <li>荷重制御、温度制御等を行い、照射中の試料の伸び量を測定する。</li> <li>荷重用ベローズ、Heマイクロメータ、差動トランス型伸び等の測定器が必要となる。</li> </ul>	低サイクルの疲労試験が可能
	ガススィープ型	<ul style="list-style-type: none"> <li>試料にスィープガスを流し、スィープガス中のガス分析を行う。</li> </ul>	被覆粒子燃料等の健全性
	沸騰水型	<ul style="list-style-type: none"> <li>軽水炉用燃料ピンを高温・高圧水中又は沸騰水中で照射する。</li> </ul>	軽水炉用燃料の確証試験時、He-3出力制御装置との併用
	熱媒体移動型	<ul style="list-style-type: none"> <li>固体の熱媒体等を移動して、試料温度の粗調整を行う。</li> </ul>	微調整は真空温度制御により実施
	試料回転型	<ul style="list-style-type: none"> <li>試料の径方向について、温度、中性子量等の均一照射を行う。</li> </ul>	
熱中性子遮断型	<ul style="list-style-type: none"> <li>中性子吸収効果の大きいCd, Hfをスクリーンとして、これを移動することにより、試料への熱中性子を遮蔽する。</li> </ul>	高速炉用燃料の照射	

第2.5表 キャプセルの計測器リスト

測定対象	計装	仕 様 ・ 性 能			備 考
		材 質	寸 法 (mm)	測定レンジ・感度	
中性子束	フルエンスモニタ (F/M)	モニタワイヤ; Al-0.11w/o Co Ti-1.0 w/o Co ケース; 石英 Al, V	ワイヤ; $\phi 0.25 \times \ell 5$ ケース; 石英; $\phi 3 \times \ell 15$ Al; $\phi 2 \times \ell 25$ V; $\phi 2 \times \ell 20$	熱中性子照射量 $1 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$	石英ケース; $< 1000^\circ\text{C}$ Alケース; $< 500^\circ\text{C}$ Vケース; $< 1000^\circ\text{C}$
		モニタワイヤ; Fe ケース; 石英 Al, V	ワイヤ; $\phi 0.25 \times \ell 6$ ケース; 石英; $\phi 3 \times \ell 15$ Al; $\phi 2 \times \ell 25$ V; $\phi 2 \times \ell 20$	高速中性子照射量 $\sim 2 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$ ( $> 1\text{MeV}$ )	石英ケース; $< 1000^\circ\text{C}$ Alケース; $< 500^\circ\text{C}$ Vケース; $< 1000^\circ\text{C}$
	SPD	エミッタ; Rh コレクタ; ステンレス鋼 インシュレータ; $\text{Al}_2\text{O}_3$ or MgO	エミッタ; $\phi 0.5 \times \ell 50$ コレクタ; $\phi 1.6$	熱中性子束; $> 10^{10} \text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 約 $5 \times 10^{-21} \text{A/n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 応答時間; 68秒 バックグラウンド; $10^{14} \text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$ で 3.9%/month	
$\gamma$ 発熱率	$\gamma$ カロリメータ	熱媒体; ステンレス鋼 Al ケース; ステンレス鋼	ケース; $\phi 13 \times \ell 100$	0.13 ~ 13W/g	
温 度	熱電対	素線; タantalum/アルル シース; ステンレス鋼, インコネル インシュレータ; $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MgO	シース; $\phi 0.5 \sim 1.6$	0 ~ 1200 °C	中・低温用の実績が多い。
		素線; W-5Re/W-26Re シース; Nb-1%Zr インシュレータ; BeO, MgO	シース; $\phi 1.6$	0 ~ 2200 °C	高温用の実績が多い。
		素線; W-5Re/W-26Re シース; Mo インシュレータ; BeO, MgO, HfO	シース; $\phi 1.4, 2.0$	0 ~ 2200 °C	燃料中心温度測定に用いる。
	测温抵抗体	抵抗線; Ni シース; ステンレス鋼 インシュレータ; MgO	シース; $\phi 1.0$	0.67%/°C	ヒータと組合せて発熱量の測定に用いる。
	温度モニタ	モニタ; Cd, Pb, Zr, Bi 合金 シース; Al	1個当たり; $0.2 \times 2 \times 3$	95°C, 143°C, 183°C 232°C, 268°C, 309°C, 338°C.	最高温度のモニタに用いる。
伸 び	Heマイクロメータ	ステンレス鋼	$\phi 40 \times \ell 80$	ニードル型; 10mm (精度 20 $\mu\text{m}$ ) バブル型; 0.25mm (精度 1 $\mu\text{m}$ )	
	差動トランス	ハウジング; SUS 304 コア; SUS 403 ケーブルケース; ステンレス鋼	$\phi 14 \times \ell 60$	$\pm 2.5\text{mm}$ (精度 7 $\mu\text{m}$ )	1000Hz, 50mA 使用温度; $< 300^\circ\text{C}$
圧 力	接点	ベローズ; ステンレス鋼 接点; ステンレス鋼 (Rhメッキ) ケース; ステンレス鋼	$\phi 22 \times \ell 39$	ヌルバランス式 70kg/cm <sup>2</sup> G	
	差動トランス	ベローズ; インコネル, ステンレス鋼 コア; SUS 403 ケーブルケース; ステンレス鋼	$\phi 14 \times \ell 170$	50kg/cm <sup>2</sup> G	1000Hz, 50mA 使用温度; $< 300^\circ\text{C}$

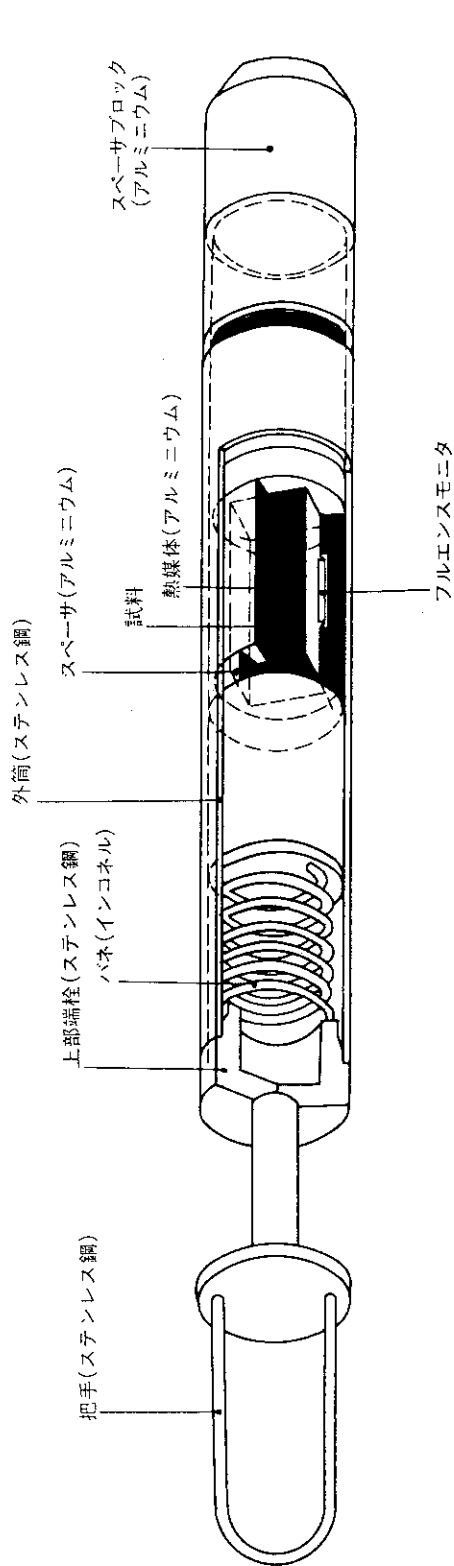


計測キャプセル

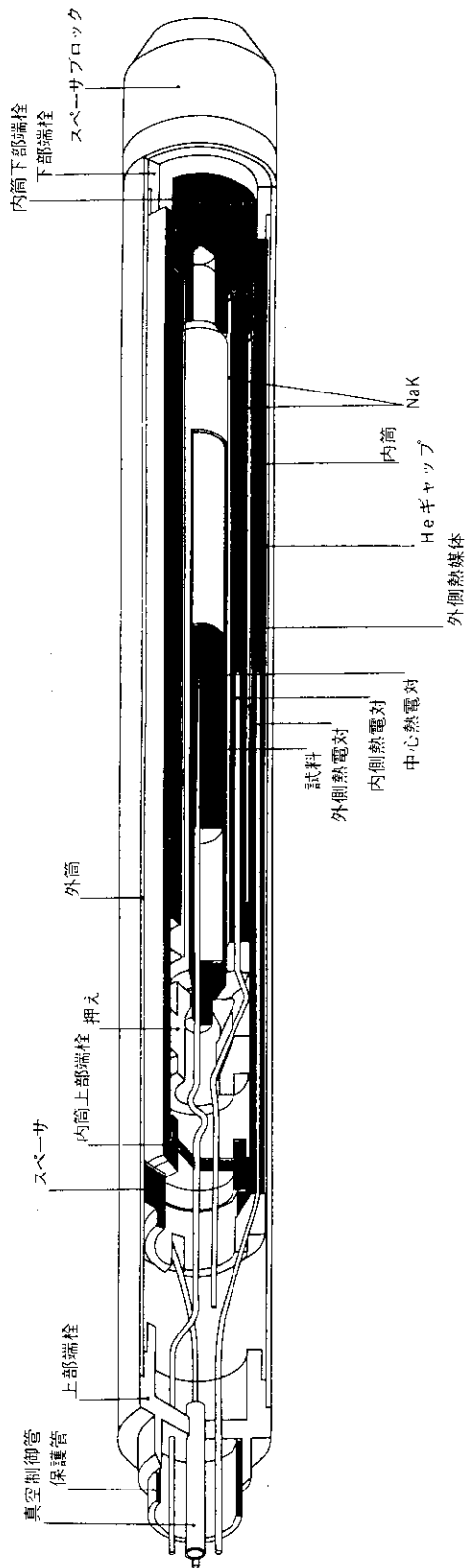
無計測キャプセル

特殊キャプセル

第2.7図 キャプセル照射設備の分類

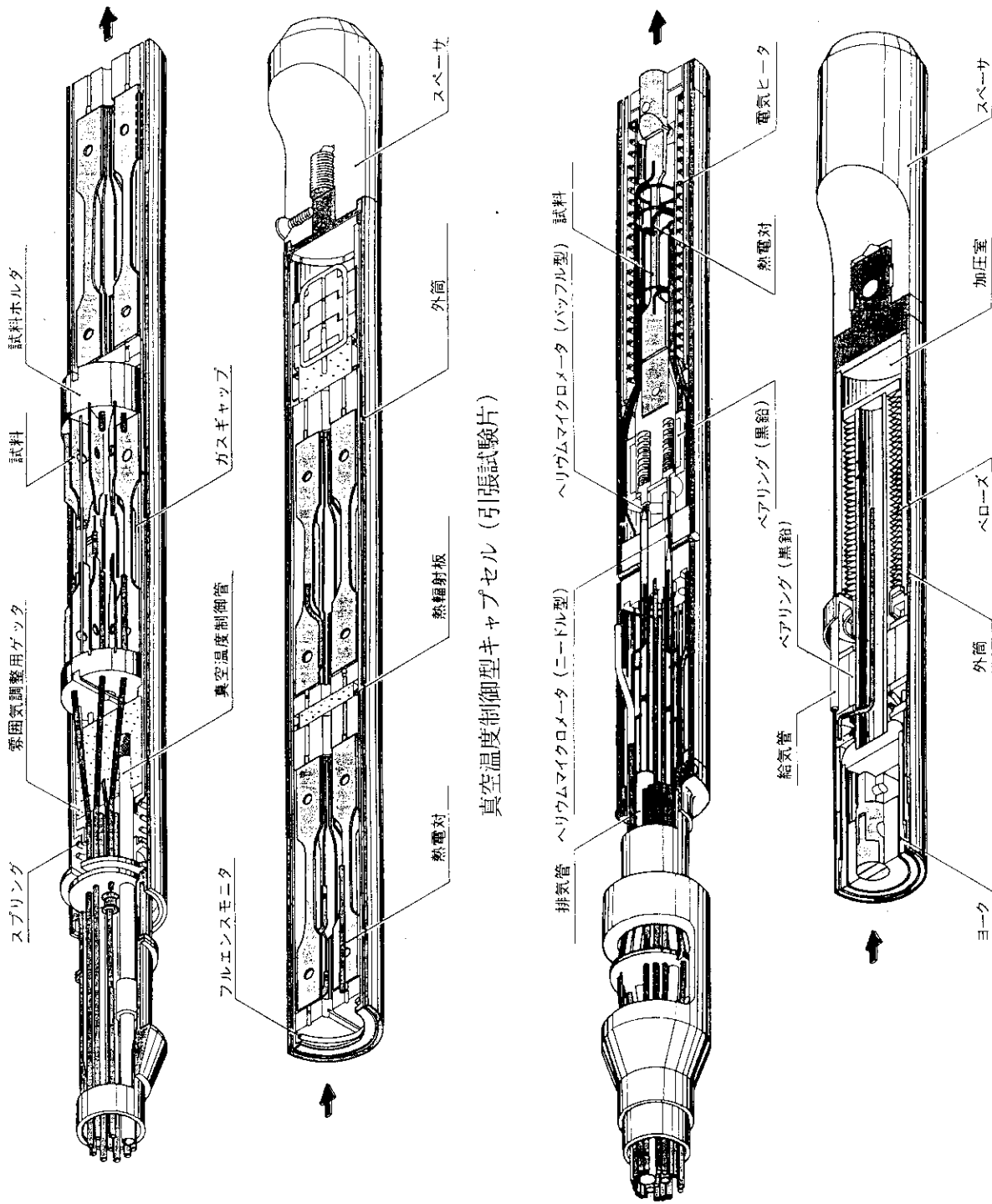


密封型キャプセル



真空温度制御型キャプセル (NaK)

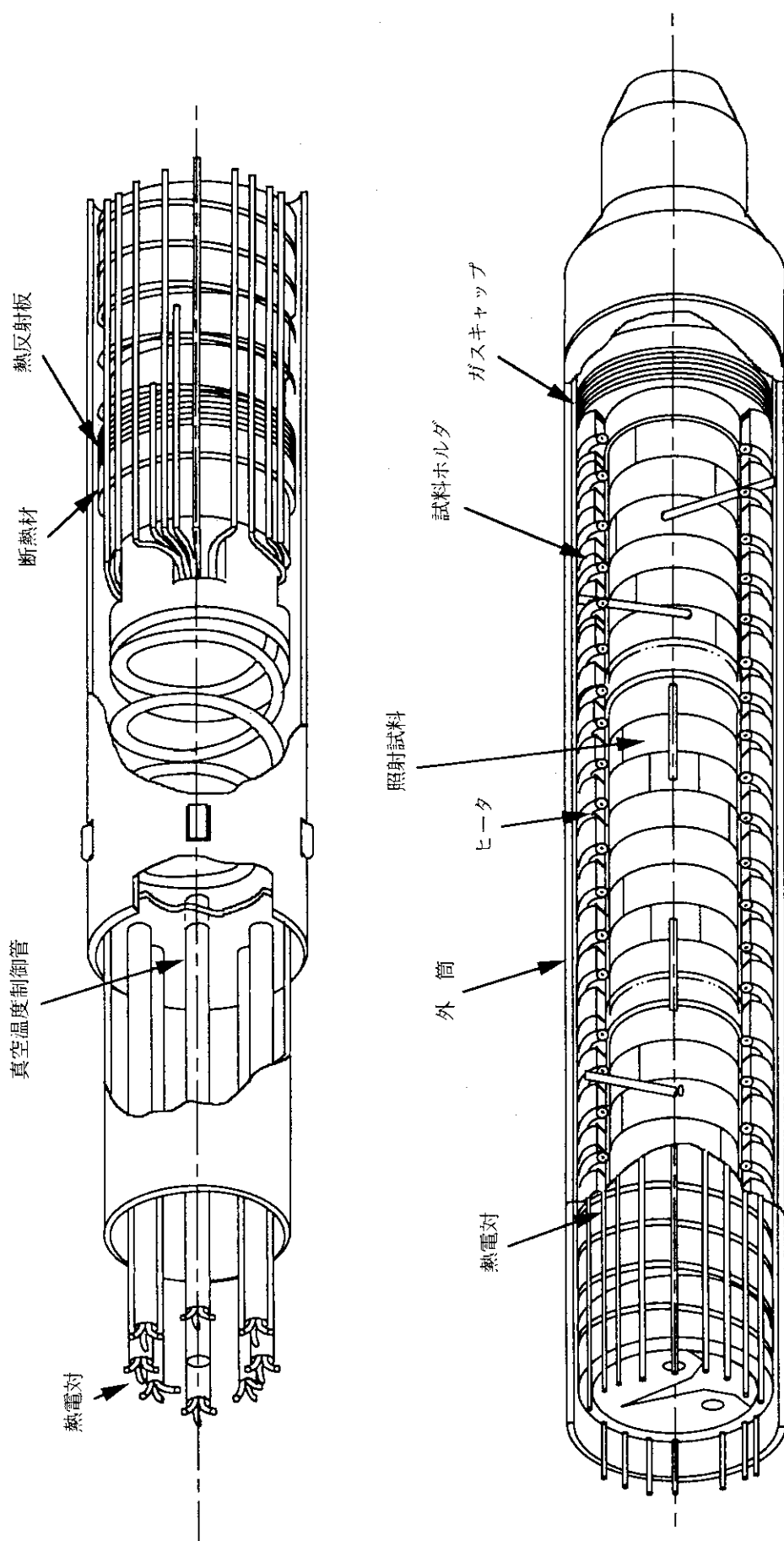
第2.8図 キャプセルの構造例(1)



真空温度制御型キャプセル (引張試験片)

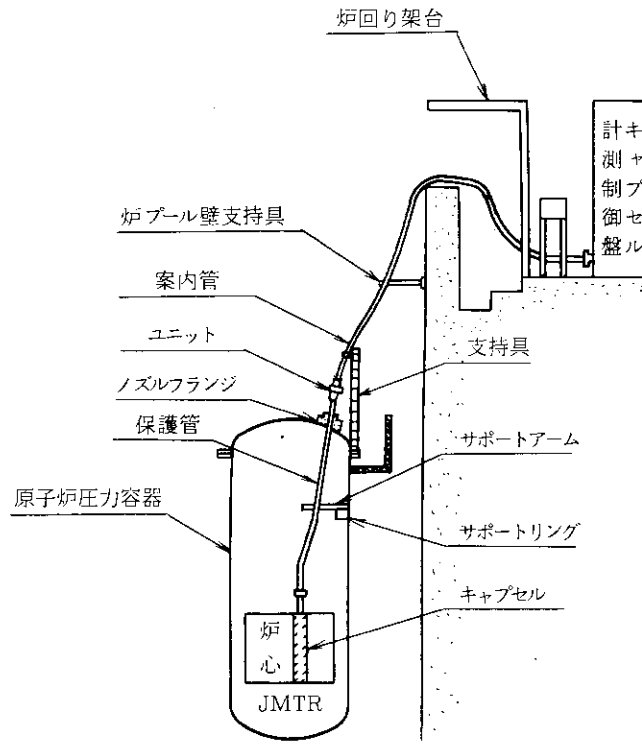
真空・ヒータ温度制御併用型キャプセル (黒鉛クリープ試験片)

第2.9図 キャプセルの構造例 (2)

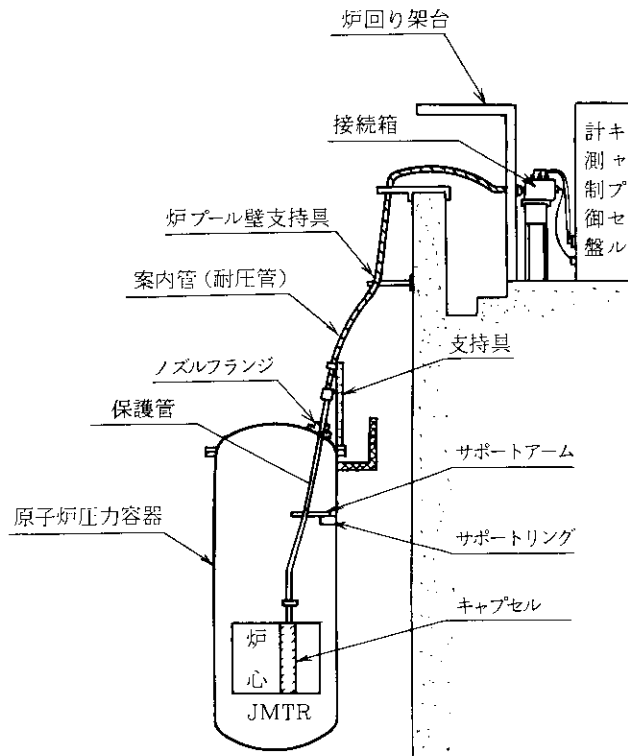


ヒータ温度制御型キャプセル (材料)

第2.10図 キャプセルの構造例 (3)



ユニット方式



接続箱方式

第2.11図 キャプセルと炉外計測制御装置との接続



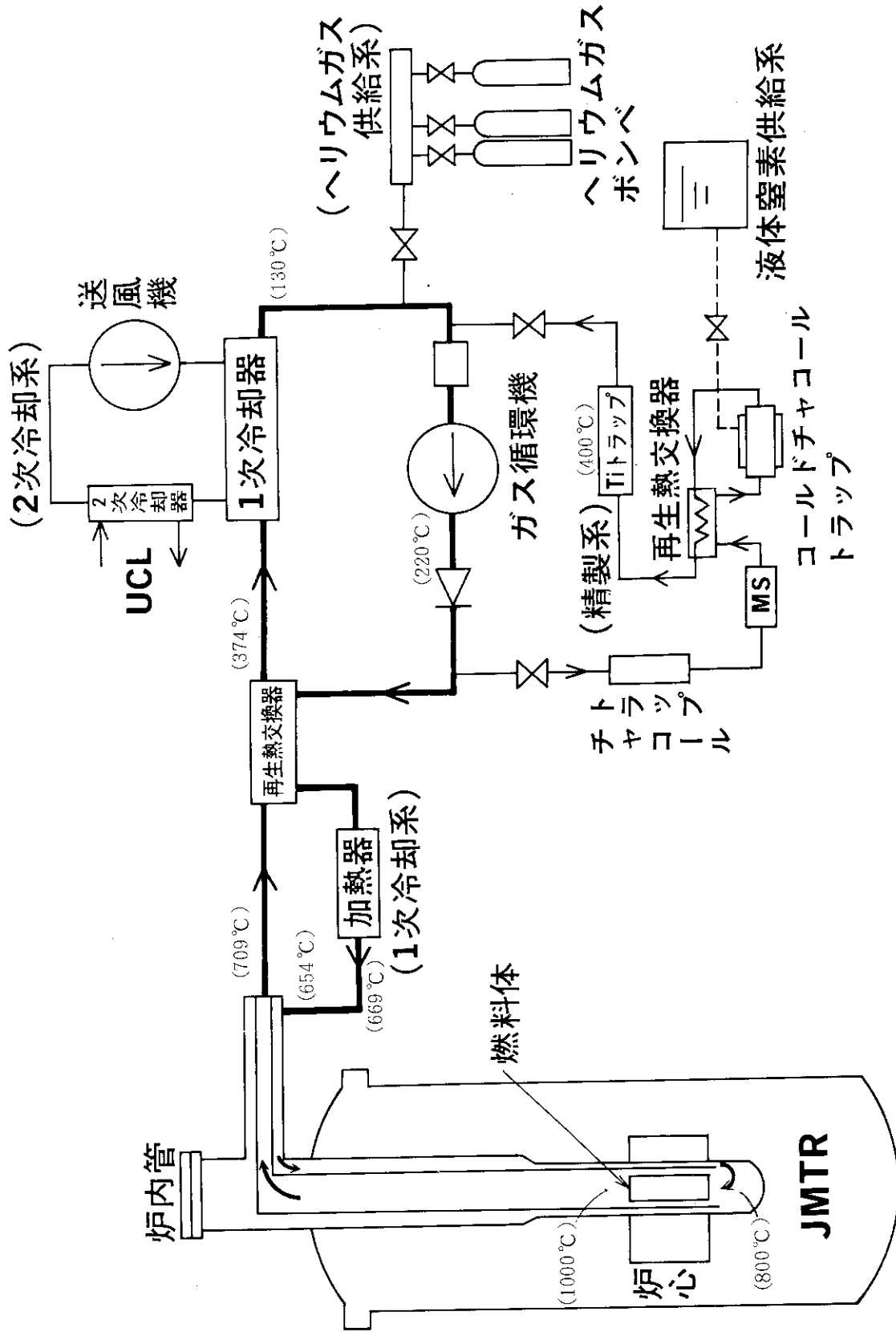
## 2.4 ループ照射設備

JMTRには、水ループとガスループが設置されていたが、水ループは所期の目的を達成し既に撤去され、現在はガスループであるOGL-1が稼働している。

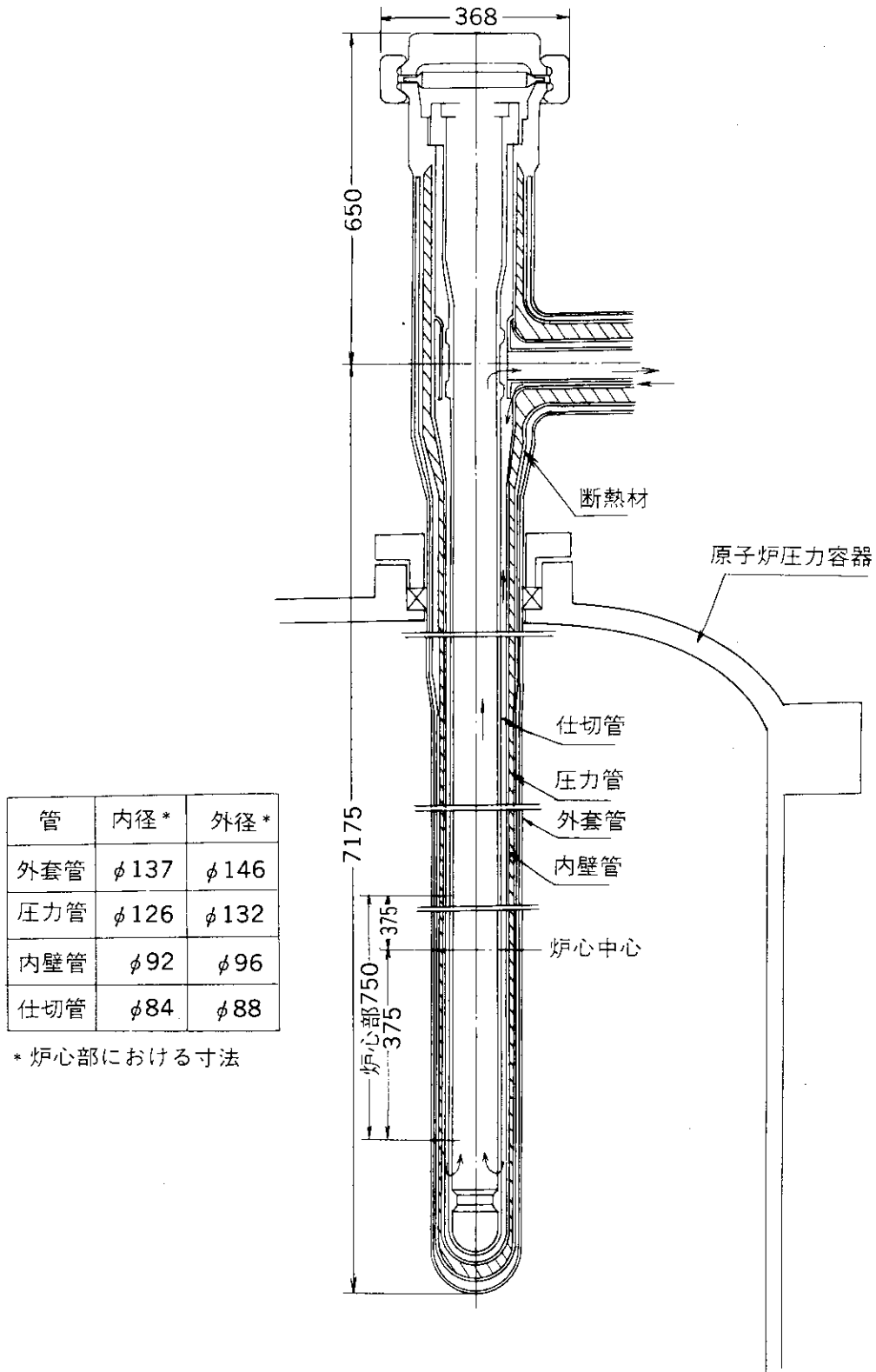
OGL-1は、高温ガス炉(HTTR)とほぼ同程度の条件下で、被覆粒子燃料、耐熱金属材料、黒鉛材料等の照射が可能である。燃料照射の場合には試料出口平均ガス温度を 1,000°Cにすることができる。設備の諸元を第2.6表に示す。試料の挿入及び取り出しは、原子炉圧力容器上部のOGL-1炉内管頂部に専用の試料交換機をセットして行う。フローシート、試料の一例及び炉内管の構造を第2.12図、第2.13図及び第2.14図に示す。

第2.6表 OGL-1照射設備の諸元

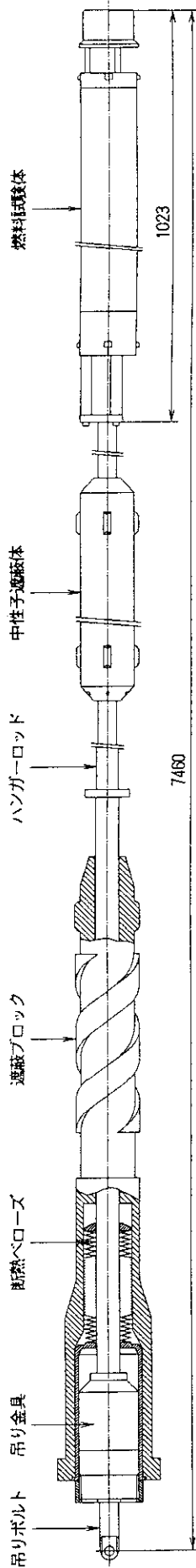
炉 心 位 置	G, H-3, 4	
熱 中 性 子 束	最大	$5.5 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
	平均	$4.2 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
高 速 中 性 子 束	最大	$1.1 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
	平均	$8.7 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
$\gamma$ 発 熱 率 ( 最 大 )	1.0 W/g	
冷 却 材	ヘリウムガス	
冷 却 材 流 量	6 kg/min	
冷 却 材 温 度	最高1000 °C	
冷 却 材 圧 力	30 kg/cm <sup>2</sup> G	
炉 心 部 有 効 寸 法	$\phi 82 \times \ell 750 \text{ mm}$	
最 大 発 熱 量	最高 135 kW	
備 考	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高温ガス炉の燃・材料の照射</li> <li>・ FPプレートアウト</li> <li>・ 高温構造物の挙動実験</li> <li>・ 折り返し型</li> </ul>	



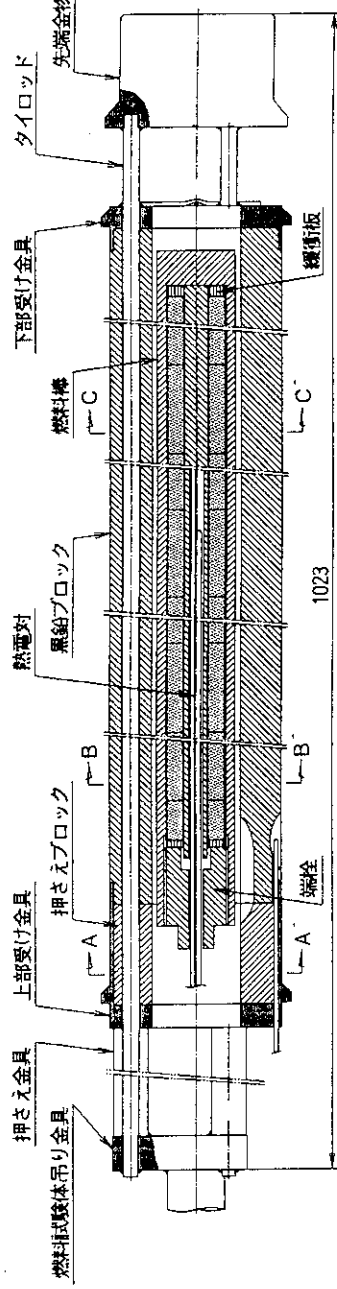
第2.12図 OGL-1のフローシート



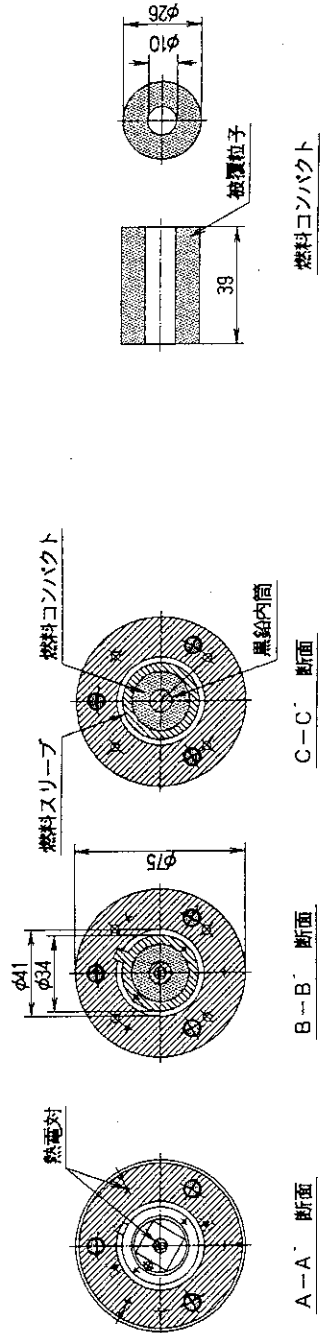
第2.13図 OGL-1の炉内管構造



照射試料全体組立図



燃料試験体組立図



第2.14図 OGL-1の照射試料例 (92LF-29A)

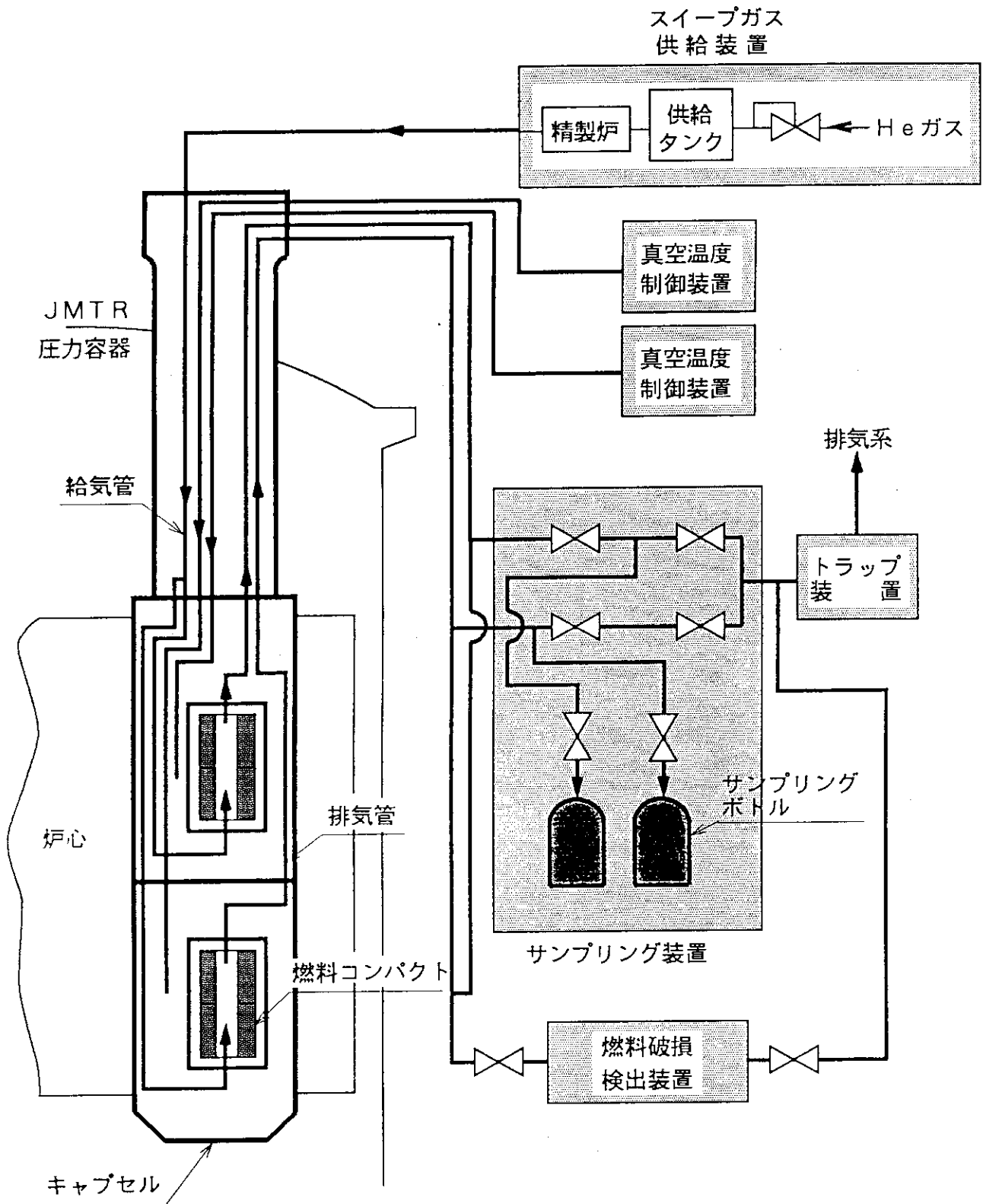
## 2.5 ガススweep(FGS)照射設備

本設備は、高温ガス炉(HTR)用被覆粒子燃料の健全性を高温照射下で確認するため、燃料から放出されるFPガスを直接ヘリウムガスでスweepして、FPガスの放出率を測定するものである。設備の諸元を第2.7表に示す。

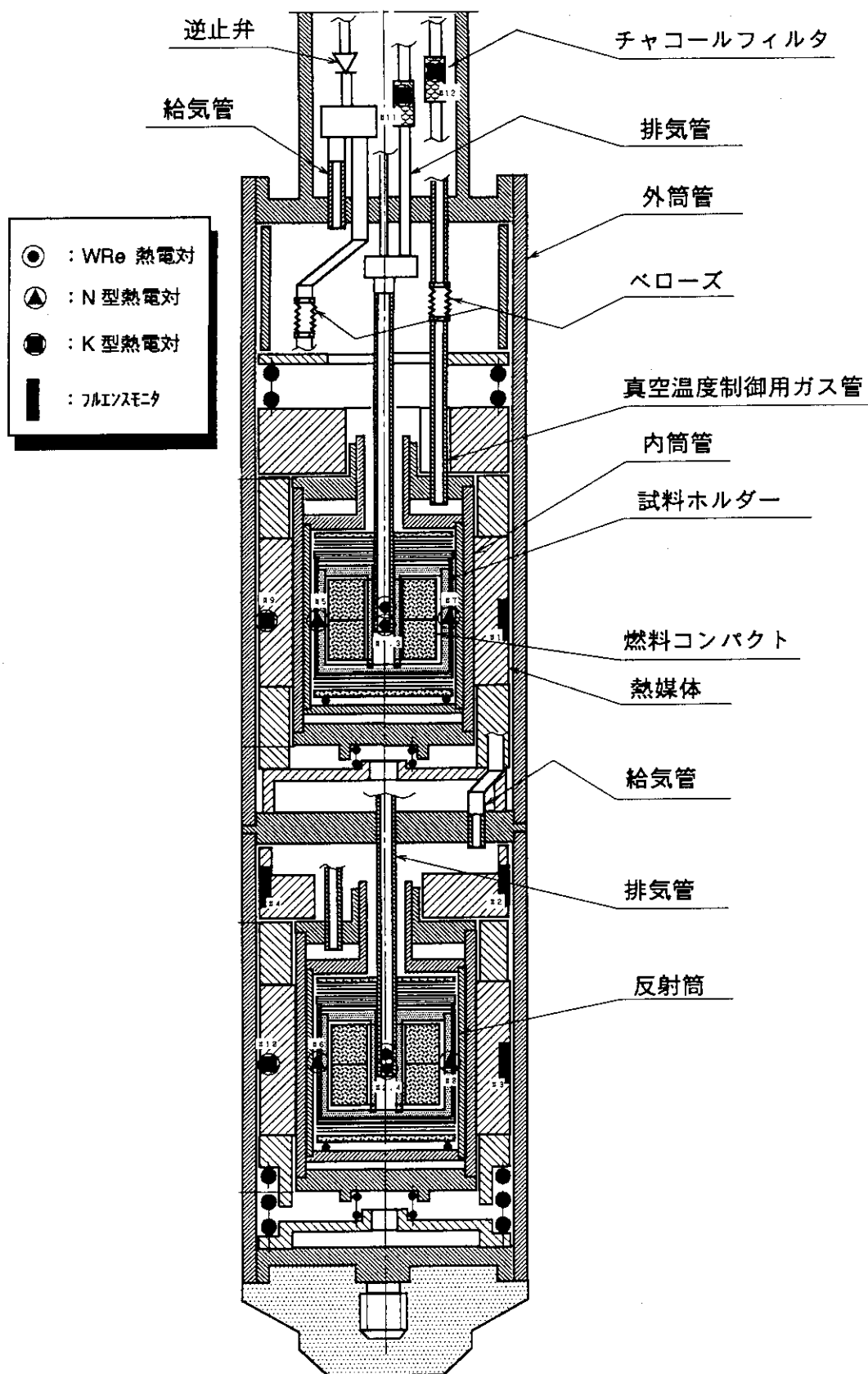
設備は、ガススweepキャプセル、スweepガス供給装置、測定装置等から構成されている。ガススweepキャプセルは、被覆粒子燃料を挿入した試料ブロックが2段に組み込まれ、それぞれのブロックは独立に温度制御とFPガスのスweep実験を行うことができる。また、スweepラインには燃料破損検出装置(FFD:Fuel Failure Detection System)が取り付けられており、被覆粒子燃料の照射実験と平行して破損検出実験も行える。フローシート及び試料の一例を第2.15図及び第2.16図に示す。

第2.7表 FGS照射設備の諸元

照 射 燃 料	被覆粒子燃料
粒 子 燃 料 外 径	約 920 $\mu\text{m}$ (Mk-III仕様)
粒 子 燃 料 装 荷 量	6 g $^{235}\text{U}$ 量以下
熱 中 性 子 束	$1.1 \times 10^{13}$ n/cm $^2$ · s
高 速 中 性 子 束	$8.7 \times 10^{12}$ n/cm $^2$ · s
最 大 発 熱 量	最高 41.2 kW
照 射 燃 料 温 度	最高 1600 $^{\circ}\text{C}$
スweepガス(He)流量	最高 1 $\ell$ /min
スweepガス供給圧力	3 kg/cm $^2$ G
F P ガス放出率 (R/B)	$10^{-2}$ 以下



第2.15図 FGS照射設備のフローシート



第2.16図 FGSキャプセルの構造例

## 2.6 出力急昇試験設備(BOCA/OSF-1)

本設備は、軽水炉燃料のふるまい解明、破損しきい値の確認、健全性確認等を行うものであり、BOCA照射設備とOSF-1照射設備から構成されている。設備の全体構成を第2.17図に示す。

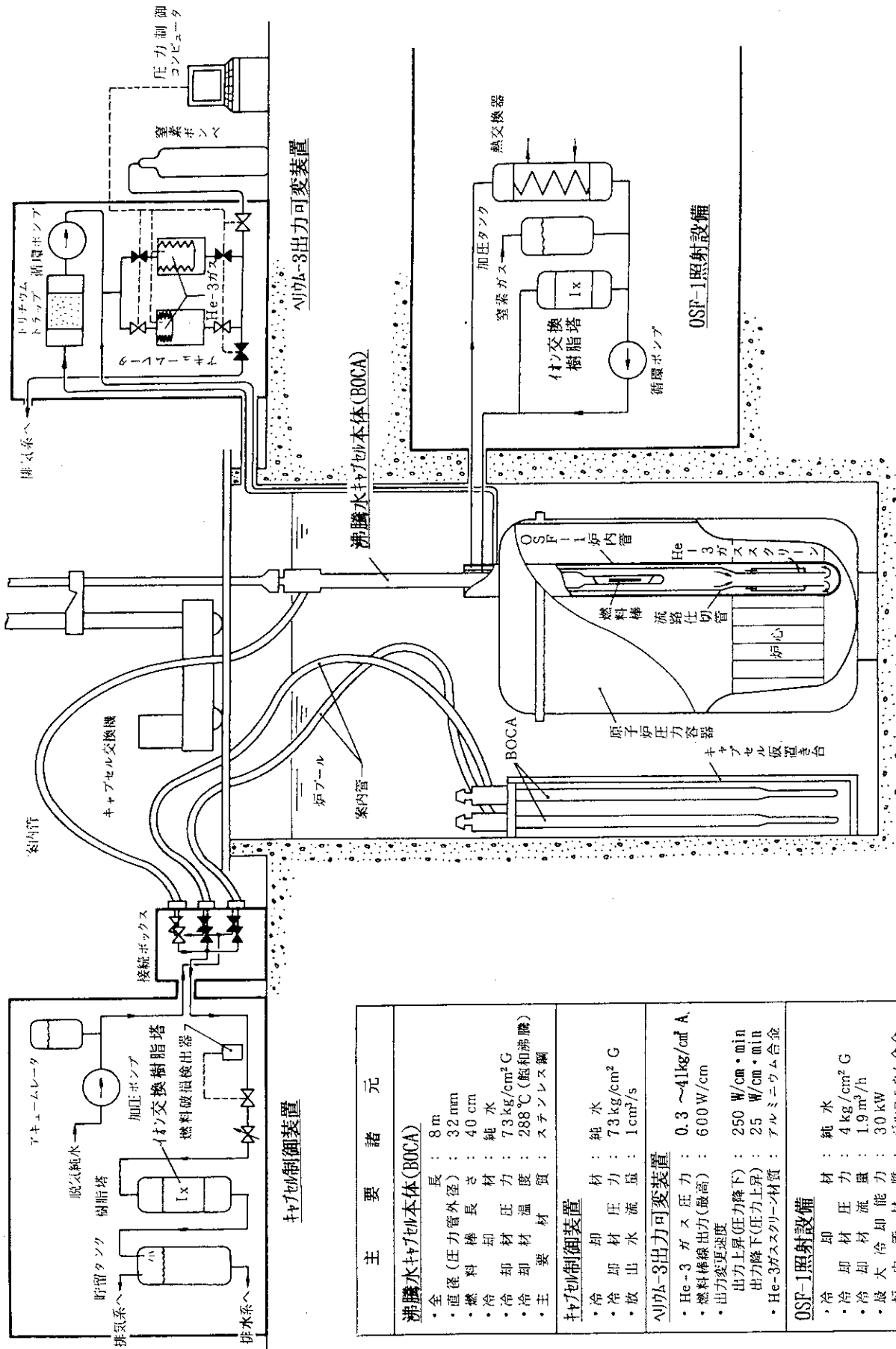
BOCA照射設備は、沸騰水キャプセル本体(BOCA:Boiling Water Capsule)、キャプセル制御装置及びヘリウム-3出力可変装置からなる。BOCA内には、燃料ペレットスタック長が40cmの軽水炉燃料棒が装荷され、BWR条件下で照射される。燃料棒の線出力密度は、燃料棒回りに設置されたガススクリーン内のヘリウム-3ガス圧力を変化させることにより約3倍に可変できる。出力急昇試験における<sup>3</sup>Heガス圧力と燃料棒線出力密度及び表面温度の関係を第2.18図に、その試験モードを第2.19図に示す。また、代表的なBWR燃料確認試験用BOCAの全体構造を第2.20図に示す。

OSF-1照射設備は、原子炉一次系から独立した冷却系を持ち、BOCAの除熱を行うとともに、OSF-1炉内管内に挿入したBOCAを原子炉運転中に交換することが可能な構造を有している。出力急昇試験設備の諸元を第2.8表に示す。

第2.8表 出力急昇試験設備の諸元

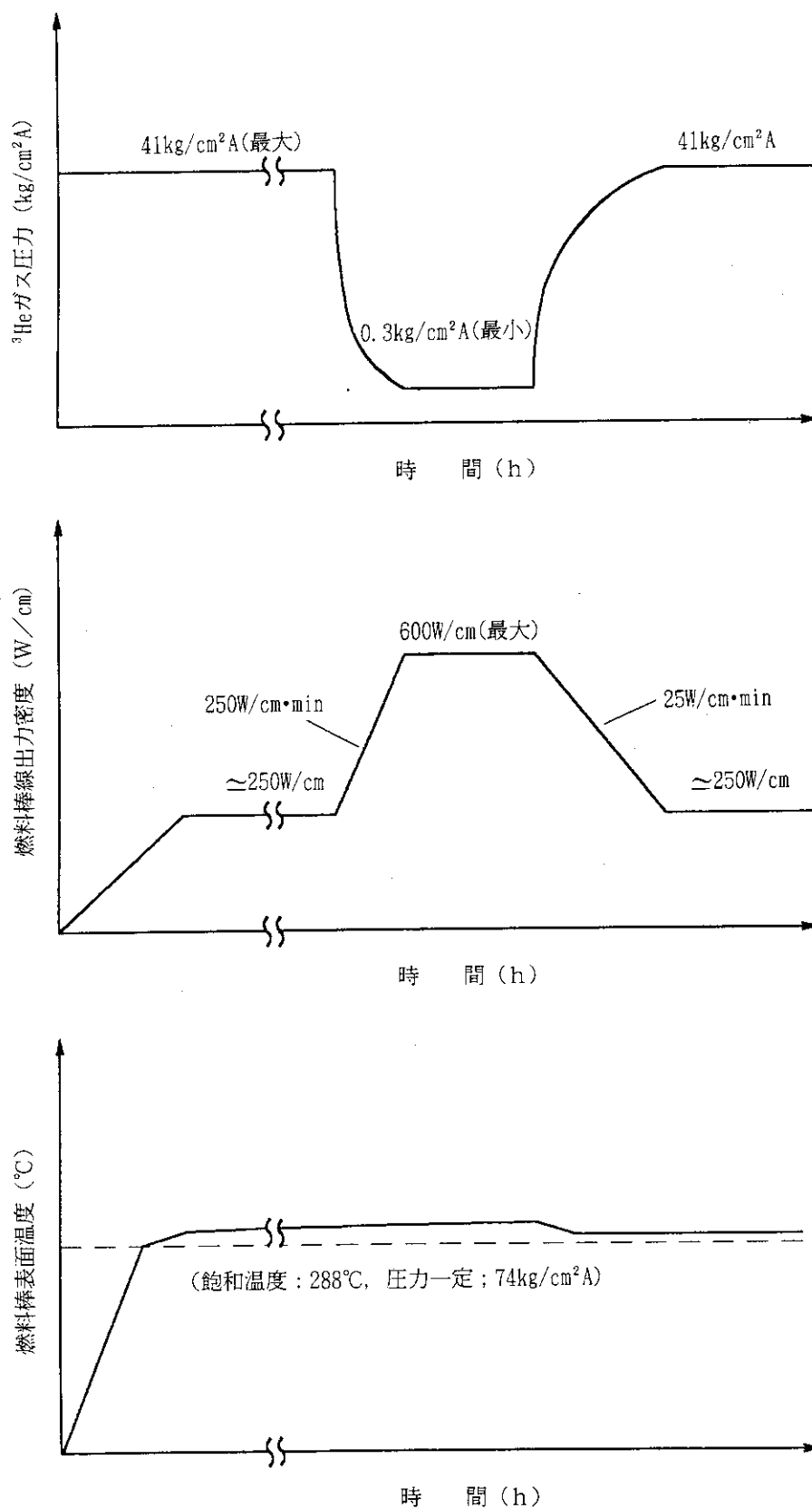
BOCA 照射設備	冷 却 材	軽水
	通 常 運 転 圧 力	73 kg/cm <sup>2</sup> G
	冷 却 水 流 量	1 cm <sup>3</sup> /s
	最 高 線 出 力 密 度	600 W/cm
	最 大 熱 中 性 子 束	$2.6 \times 10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> ・s
	最 大 高 速 中 性 子 束	$2.2 \times 10^{13}$ n/cm <sup>2</sup> ・s
	出 力 変 化 幅	3倍
	出力変化速度	上昇時
下降時		25 W/cm・min
OSF-1 照射設備	炉 心 位 置	D - 9
	冷 却 材	軽水
	通 常 運 転 圧 力	4 kg/cm <sup>2</sup> G (炉内管入口)
	冷 却 水 流 量	1.9 m <sup>3</sup> /h
	最 高 使 用 温 度	90 °C
	γ 発 熱 率 ( 最 大 )	2.5 W/g





第2.17図 出力急昇試験設備の全体構成

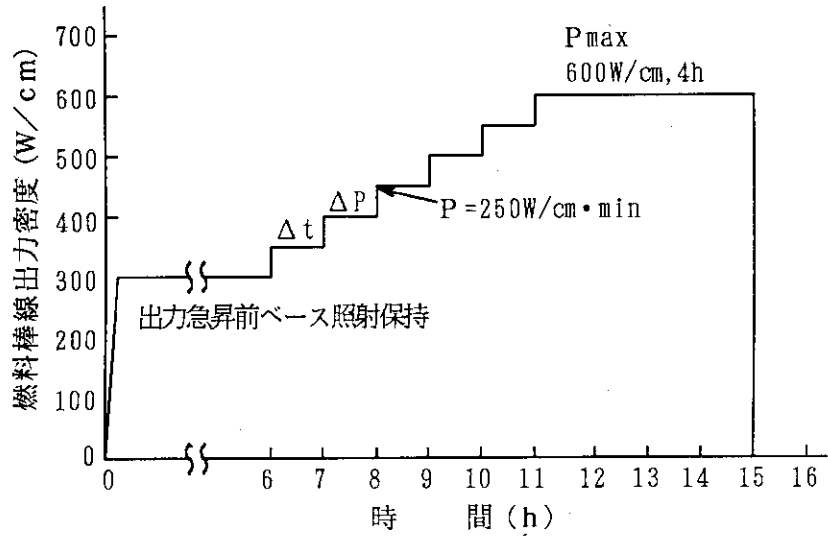
主	要	諸	元
<b>沸騰水キャプセル本体(BOCA)</b>			
• 全長	8 m		
• 直径 (圧力管外径)	32 mm		
• 燃料棒長さ	40 cm		
• 冷却材	純水		
• 冷却材圧力	7.3 kg/cm <sup>2</sup> G		
• 冷却材温度	288 °C (飽和沸騰)		
• 主要材料	ステンレス鋼		
<b>キャプセル制御装置</b>			
• 冷却材	純水		
• 冷却材圧力	7.3 kg/cm <sup>2</sup> G		
• 放出水量	1 cm <sup>3</sup> /s		
<b>出力変装置</b>			
• He-3 ガス圧力	0.3 ~ 41 kg/cm <sup>2</sup> A		
• 燃料棒線出力(最高)	600 W/cm		
• 出力変更速度			
出力上昇(圧力降下)	250 W/cm <sup>2</sup> ・min		
出力降下(圧力上昇)	25 W/cm <sup>2</sup> ・min		
• He-3 ガススクリーン材質	アルミニウム合金		
<b>OSF-1照射設備</b>			
• 冷却材	純水		
• 冷却材圧力	4 kg/cm <sup>2</sup> G		
• 冷却材流量	1.9 m <sup>3</sup> /h		
• 最大冷却能力	30 kW		
• 炉内管材質	ジルコニウム合金		
• 炉心位置	D-9		



第2.18図 出力急昇試験における $^3\text{He}$ ガス圧力と燃料棒線出力及び表面温度との関係

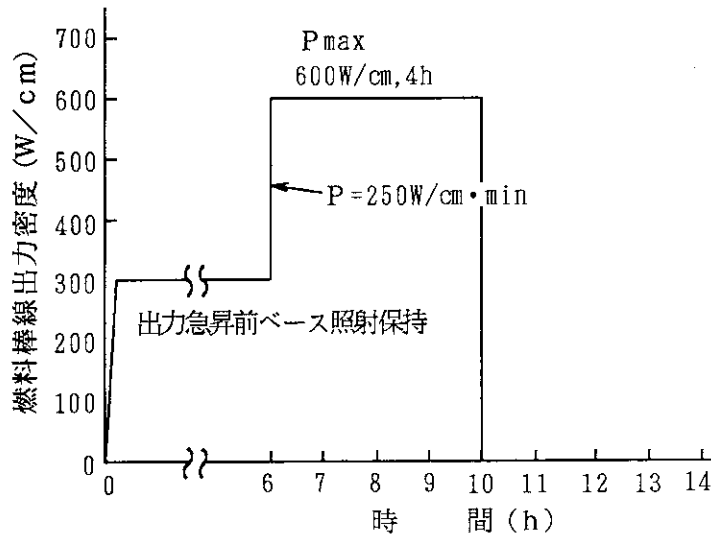
階段状出力上昇

(Aランプ)  
燃料破損しきい値を  
求める試験



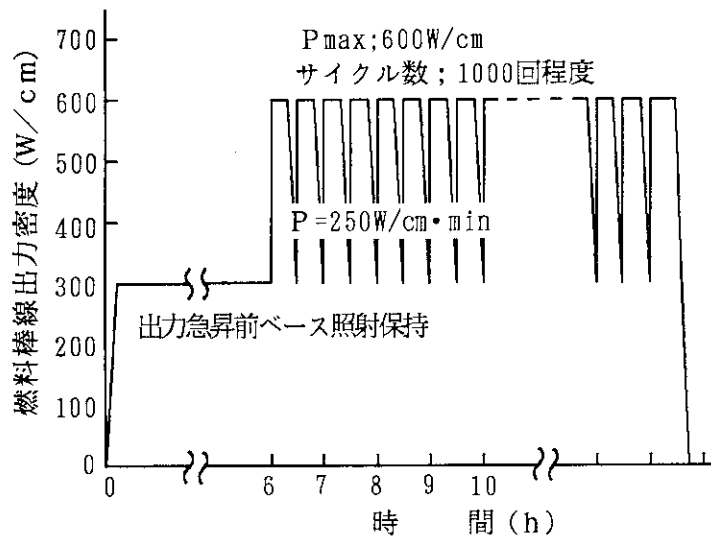
直線状出力上昇

(Bランプ)  
燃料引抜き時の急激な出力  
変化に対する健全性確認試験

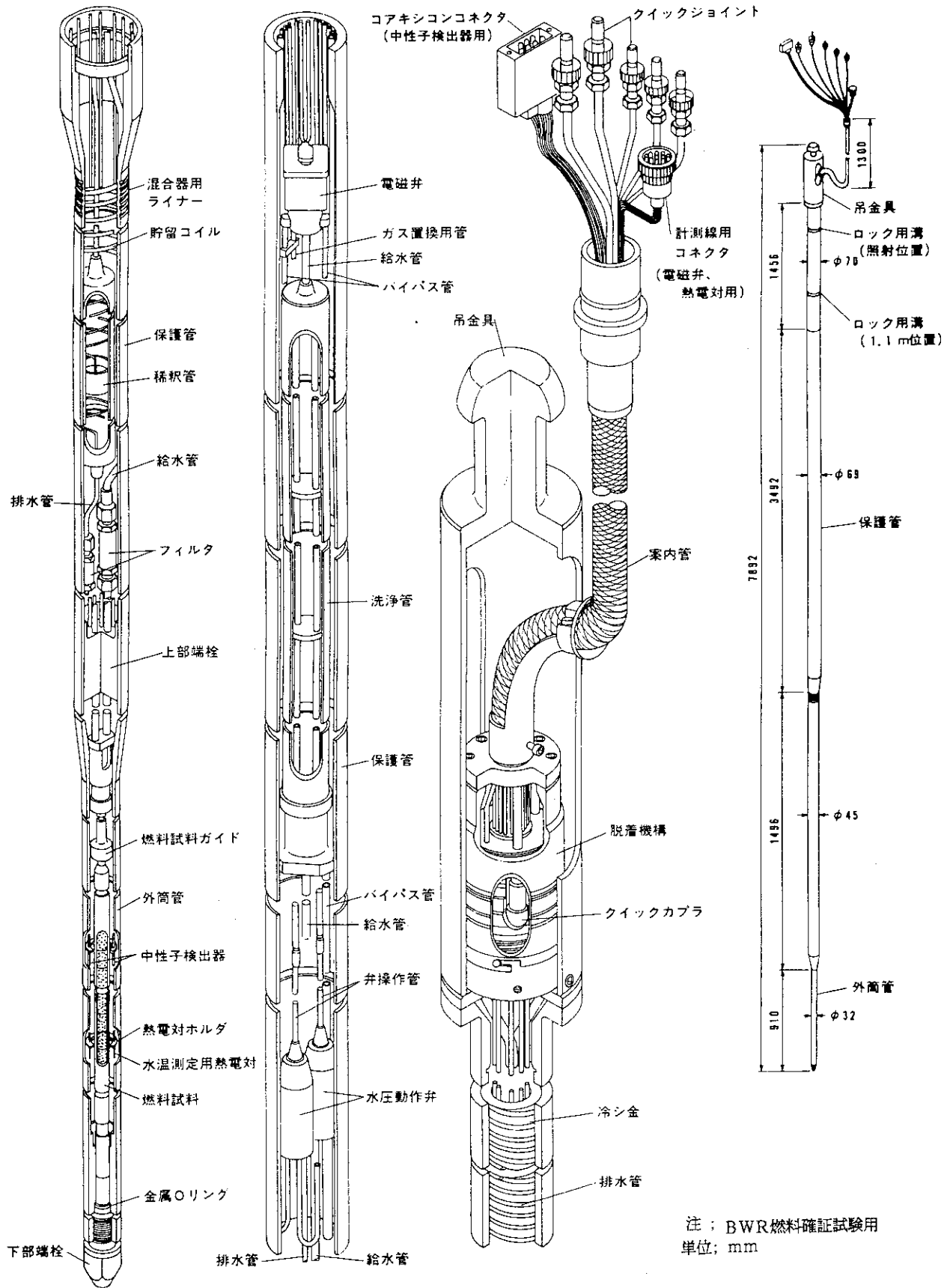


出力サイクル

(Cランプ)  
負荷追従性の確認試験



第2.19図 代表的な出力急昇試験モード



注：BWR燃料確認試験用  
単位：mm

第2.20図 BOCAキャプセルの全体構造

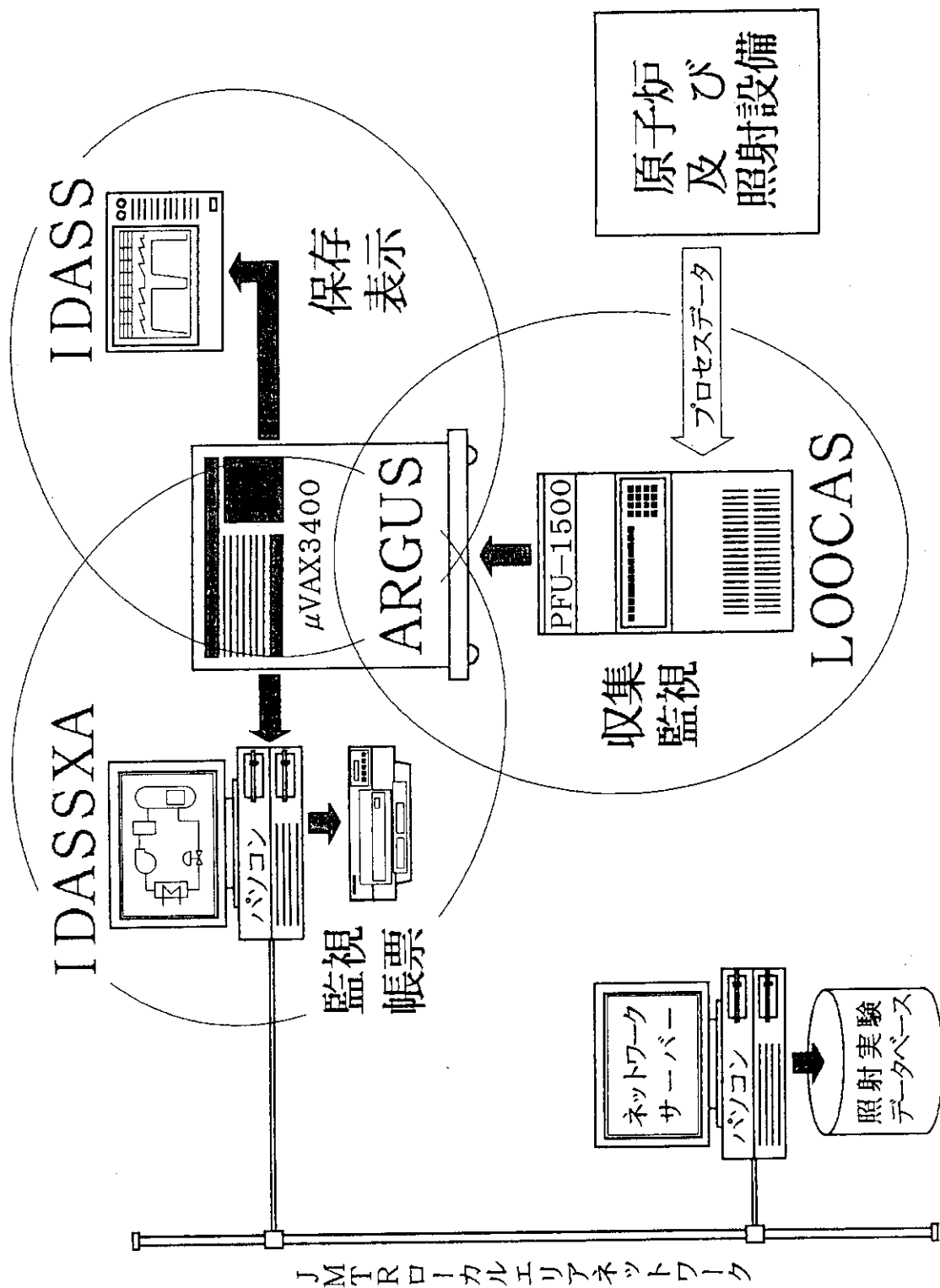
## 2.7 照射設備の計算機システム

本計算機システムには、照射設備計算機処理システム(LOOCAS)、照射データ解析援助システム(IDASS)、照射設備運転支援サブシステム(IDASSXA)がある。これらのシステムは、原子炉の監視用計算機システム(ARGUS)を中心としてオンラインで接続されている。照射設備計算機システムの全体構成を第2.21図に示す。

各計算機システムの役割は、LOOCASがプロセスデータの収集と監視、IDASSが照射データの保存と表示、IDASSXAが照射設備の運転監視と照射報告書作成である。本計算機システムの主な機能を第2.9表に示す。また、照射報告書の出力例を第2.22図～第2.24図に示す。

第2.9表 照射設備計算機システムの主な機能

計測仕様	計測点数	480点
	測定周期	10秒
	測定範囲	$\pm 10 \text{ mV} \sim 10 \text{ V DC}$
	測定精度	$\pm 0.35 \sim 0.15 \%$
	工学値変換	熱電対、比例式、その他
表示	現在値	収集データをリアルタイムで表示
	運転経過	運転経過を数値及びグラフ表示
	運転状態	フローシート上にデータを表示
	警報状態	全照射設備の警報発生状態を一括表示
照射報告書	照射実績	1サイクル間の平均値、最大値、最小値
	照射記録	8時間毎の照射データ
	炉出力上昇時照射記録	炉出力上昇時の30分毎の照射データ
	照射履歴	1サイクル分のトレンドグラフ
データファイル	10秒ファイル	10秒間隔のデータを4時間分保存
	3分ファイル	3分間隔のデータを1サイクル分保存
	30分ファイル	30分間隔のデータを1サイクル分保存
	照射実験データベース	54サイクル以降の照射データを保存



第2.21図 照射設備計算機システムの全体構成

照射実績 (〇〇〇〇〇)

JMTR 93 #177

測定項目名	種別	単位	照射条件	95%信頼区間	最小値	最大値
原子炉熱出力	PT01	MW	50.0	50.1±0.5	49.3	50.8
炉内管入口温度	T050	°C	310	299±26	272	318
試料入口温度 (No. 1)	T061	°C		551±6	540	561
試料入口温度 (No. 2)	T062	°C		574±7	561	583
燃料コンパクト内面温度 (下)	T071	°C		1287±12	1269	1308
燃料コンパクト内面温度 (中)	T072	°C	1340	1340±10	1326	1354
燃料コンパクト内面温度 (上)	T073	°C		1204±21	1177	1238
燃料棒端栓温度	T074	°C		842±11	826	858
燃料棒出口ガス温度 (北)	T075	°C		783±11	769	798
燃料棒出口ガス温度 (南)	T076	°C		760±9	744	772
試料バイパスガス出口温度 (北東)	T077	°C		659±9	647	672
試料バイパスガス出口温度 (南)	T078	°C		655±8	641	666
試料バイパスガス出口温度 (西)	T079	°C		657±10	640	670
燃料スリーブ温度 (北)	T080	°C		1097±17	1073	1124
燃料スリーブ温度 (南)	T081	°C		1070±17	1051	1094
黒鉛ブロック温度 (北東)	T082	°C		715±10	701	729
黒鉛ブロック温度 (南)	T083	°C		716±9	700	727
F P量測定試験体出口ガス温度	T084	°C		563±7	550	572
炉内管出口温度	T100	°C		350±14	332	360
枝管入口ガス平均温度	TEIN	°C		331±15	313	342
枝管出口ガス平均温度	TEOT	°C		428±13	414	438
試料入口ガス平均温度	TSIN	°C		552±7	550	572
試料ピン出口ガス平均温度	TSPO	°C		795±10	779	809
試料バイパスガス平均温度	TSBO	°C		657±9	643	668
試料出口混合ガス温度	TMIX	°C		713±9	697	725
炉内管入口圧力	P020	kg/cm <sup>2</sup> G	29.5	29.4±0.3	29.1	29.8
炉内管差圧	P031	kg/cm <sup>2</sup>		0.39±0.03	0.36	0.42
シールリング差圧	P032	kg/cm <sup>2</sup>		0.34±0.02	0.31	0.36
炉内管入口流量	F010	g/s	40.0	41.1±1.3	39.9	42.7
精製系流量	F030	g/s	0.60	0.59±0.01	0.58	0.63
炉内管出口モニタ	MO11	cps		(5.09±0.56)×10 <sup>9</sup>	4.18×10 <sup>9</sup>	5.95×10 <sup>9</sup>
プレチャコールトラップモニタ	MO15	cps		(1.52±0.12)×10 <sup>7</sup>	1.37×10 <sup>7</sup>	1.71×10 <sup>7</sup>
精製系水分濃度	DP01	vpm		(2.12±0.21)×10 <sup>-1</sup>	1.90×10 <sup>-1</sup>	2.54×10 <sup>-1</sup>
精製系酸素濃度	OO10	ppm		0.1±0.9	-1.1	1.4
照射試料総発熱量	QALL	kW		32.5±0.5	31.6	33.3
燃料棒最高線出力	QHMX	W/cm		583±9	568	598

備考: このデータは、1990/11/20 10:00 から 12/18 17:00 の期間について、次の条件を満足するデータについて処理したものである。

- ・原子炉熱出力 48 MW 以上
- ・圧力制御状態 自動
- ・炉内管入口温度 300±30 °C
- ・炉内管入口圧力 29.5±0.5 kg/cm<sup>2</sup>G
- ・炉内管入口流量 40±3 g/s

(全データ数=1359)  
(欠足データ数= 1)  
(条件満足データ数= 822)

燃焼度計算結果 (MWD/ton-U)

項目	当サイクル	累積値
照射試料平均燃焼度	2898	5684
燃料棒最大燃焼度	3744	7345

第2.22図 照射報告書の出力例 (照射実績)

照射記録

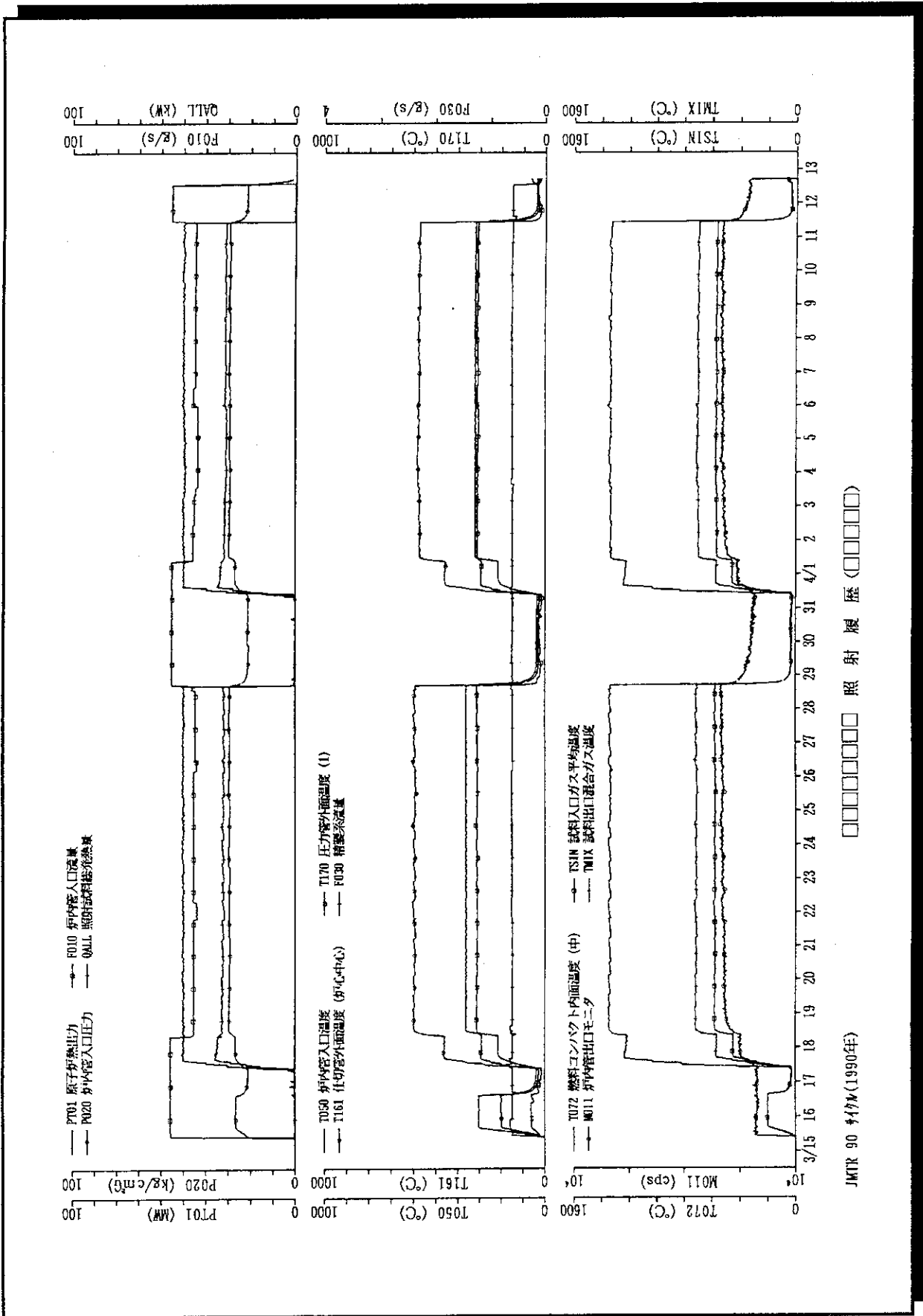
JMTR 93 #17M

整理番号 1-1

測定日時	PTO1(01) MW	CONT(04)	T650(04) °C	T661(04) °C	T662(04) °C	T071(04) °C	T072(04) °C	T073(04) °C	T074(04) °C	T075(04) °C	T076(04) °C	T077(04) °C	T078(04) °C	T079(04) °C	T080(04) °C
11/21 00:00	0.0	MAN	300	195	197	194	194	194	194	194	194	195	195	195	194
08:00	-0.0	MAN	299	195	197	194	194	194	194	194	194	195	195	195	194
16:00	0.0	MAN	146	115	116	108	112	110	116	116	116	116	116	116	116
11/22 00:00	-0.0	MAN	43	34	36	30	33	31	37	36	36	36	36	36	37
08:00	-0.0	MAN	39	32	34	27	30	28	34	34	34	34	34	34	34
16:00	39.8	MAN	153	337	346	917	998	882	551	489	478	396	397	397	780
11/23 00:00	50.1	MAN	208	434	442	1114	1186	1049	680	613	604	504	505	507	933
08:00	50.0	MAN	207	430	438	1115	1175	1027	671	606	597	498	500	501	916
16:00	49.7	AUTO	290	555	578	1283	1345	1230	855	796	769	671	660	667	1118
11/24 00:00	49.6	AUTO	289	553	577	1284	1344	1222	852	792	768	668	659	665	1108
08:00	50.4	AUTO	287	550	573	1285	1341	1207	845	786	762	662	656	660	1094
16:00	49.3	AUTO	288	553	577	1282	1343	1225	852	792	768	667	659	666	1110
11/25 00:00	50.1	AUTO	287	551	574	1283	1339	1211	846	787	763	663	656	661	1099
08:00	50.3	AUTO	288	549	572	1284	1339	1201	843	783	760	660	654	659	1090
16:00	49.9	AUTO	289	552	576	1289	1337	1202	845	787	763	663	657	662	1092
11/26 00:00	49.9	AUTO	290	553	576	1288	1343	1215	850	790	766	665	658	664	1103
08:00	49.9	AUTO	289	548	570	1287	1336	1192	839	781	757	658	652	656	1084
16:00	50.2	AUTO	290	548	570	1282	1339	1188	837	779	757	656	651	654	1081
11/27 00:00	50.2	AUTO	290	549	571	1285	1337	1202	841	782	759	658	653	657	1092
08:00	50.0	AUTO	286	553	576	1287	1343	1222	850	790	765	664	658	663	1105
16:00	50.2	AUTO	290	549	572	1289	1339	1202	842	783	760	659	653	658	1092
11/28 00:00	50.2	AUTO	287	552	575	1287	1343	1216	847	788	764	663	657	662	1102
08:00	50.2	AUTO	290	549	571	1288	1338	1199	841	782	759	658	652	657	1091
16:00	49.7	AUTO	289	545	567	1289	1332	1177	832	774	752	652	647	650	1073
11/29 00:00	50.1	AUTO	287	548	571	1289	1337	1196	840	782	758	658	652	656	1089
08:00	50.4	AUTO	288	554	578	1294	1348	1218	851	792	767	666	660	665	1105
16:00	50.1	AUTO	290	550	573	1293	1340	1195	841	783	759	659	653	657	1090
11/30 00:00	50.5	AUTO	287	550	573	1296	1339	1189	840	783	759	660	654	658	1085
08:00	50.0	AUTO	286	551	574	1295	1343	1202	844	786	762	662	655	660	1095
16:00	49.9	AUTO	288	555	579	1294	1349	1222	853	793	768	668	661	665	1109
12/01 00:00	50.0	AUTO	290	549	572	1292	1343	1199	840	782	759	658	652	655	1093
08:00	50.1	AUTO	288	551	574	1288	1343	1213	846	786	762	661	654	659	1102
16:00	50.1	AUTO	287	551	574	1289	1347	1215	845	786	762	661	654	658	1103
12/02 00:00	50.6	AUTO	289	546	568	1285	1338	1190	835	778	754	654	648	651	1085
08:00	49.7	AUTO	290	547	569	1280	1336	1202	838	780	756	656	649	653	1094
16:00	49.8	AUTO	287	545	567	1283	1336	1188	834	776	753	653	647	649	1084

第2.23図 照射報告書の出力例 (照射記録)





第2.24図 照射報告書の出力例 (照射履歴)

## 2.8 水・ガス分析設備

原子炉及び各種照射設備の運転管理に必要な水質等の概略的な把握のため、原子炉及び各種照射設備の随所に各種のモニターが設置されている。さらに、これらの原子炉及び各種照射設備の所定の個所にサンプリングラインが設けられており、水質等のより正確な把握のため、随時サンプリングが行われ、第2.10表に示す装置を用いて分析が行われている。原子炉冷却水についての分析結果の一例を第2.11表に示す。

第2.10表 水・ガス分析設備の仕様、性能等

分析装置名	仕様及び性能	分析対象
γ線スペクトル分析計	検出器：純 Ge 半導体検出器 波高分析器：4096チャンネル データ処理装置：NEC PC9801 エネルギー分解能：～2.5 keV 定量可能範囲： $10^{-3}$ ～ $10^4$ Bq/ml	液体 ガス
液体シンチレーションカウンター	波高分析器：1024チャンネル 2系統 クエンチング補正：外部標準線源法 データ処理装置：NEC PC9801 測定効率：>60 % ( $^3\text{H}$ )、>90 % ( $^{14}\text{C}$ ) スペクトル分析可能	液体
イオンクロマトグラフ	陰イオン：低容量陰イオン樹脂カラム 陽イオン：低容量陽イオン樹脂カラム 検出器：導電率セル型 検出限界 $\text{Cl}^-$ ：1 ppb $\text{NH}_4^+$ ：10 ppb その他の陰及び陽イオン定量可能	液体
ガスクロマトグラフ	検出器：ヘリウムイオン化型及び熱伝導度セル型 ガス中の各種微量成分を ppmオーダまで定量可能	ガス
トリチウム測定器	検出器：電離箱 測定範囲： $1 \times 10^{-4}$ ～ $1 \times 10^{-1}$ Bq/ml	ガス
比色分析装置	回折格子型 測定波長範囲：190～900 nm	液体
pH計	標準溶液比較型 測定範囲：0～14、測定精度： $\pm 0.01$ pH	液体
電気伝導率計	白金黒電極型 測定範囲： $10^{-1}$ ～ $10^5$ $\mu\text{S}/\text{cm}$	液体
溶存酸素計	隔膜式ポーラログラフ型 測定範囲：5 ppb～10 ppm	液体
高周波プラズマ発光分光分析計 (ICP-AES)	多元素逐次定量型 波長範囲：190～900 nm データ処理装置：NEC PC9801 検出限界 Fe：20 ppb Ni：40 ppb Cr：30 ppb その他の元素定量可能	液体
X線回折装置	回転陰極型 管電圧：20～60kV、管電流：10～200mA 対陰極：Cu、Cr、検出器：NaIシンチ データ処理装置：Hitachi 2050/32 焦点サイズ： $0.5 \times 10 \text{ mm}^2$ ゴニオメータ：185 mm 測角範囲( $2\theta$ )： $-60^\circ$ ～ $150^\circ$	固体 粉末

設置場所：X線回折装置のみ非破壊実験室で、他の装置はすべてホット実験室

第2.11表 原子炉一次冷却水の分析結果の例

JMTRサイクル番号		106
試料採取年月日		平成5年5月27日
原子炉出力 [MW]		50
放射能濃度 [Bq/ml]	主な 放射性核種	$^{13}\text{N} : 1.34 \times 10^2$ $^{24}\text{Na} : 1.52 \times 10^3$ $^{27}\text{Mg} : 5.10 \times 10^2$ $^{41}\text{Ar} : 2.01 \times 10^2$
	* 放射性 ヨウ素	$^{131}\text{I} : 1.15 \times 10^{-1}$ $^{132}\text{I} : 1.01 \times 10^0$ $^{133}\text{I} : 1.65 \times 10^0$ $^{134}\text{I} : 1.21 \times 10^1$ $^{135}\text{I} : 3.64 \times 10^0$
pH		5.6
電気伝導率 [ $\mu\text{S/cm}$ ]		1.6
塩素イオン濃度 [ppb]		5.3

\* ) 反射体のベリリウム金属中の不純物ウランの核分裂により生成

## 2.9 照射試料の熱計算及び安全基準

水力ラビット及びキャプセルの場合は、第2.12表に示す一次元熱計算コード(GENGTIC)により照射中の試料温度が求められる。

この場合、 $\gamma$ 発熱率は4.6「 $\gamma$ 発熱と $\gamma$ 線スペクトル」で示される値を、核分裂発熱量は炉心位置から予測される値（安全確認のためには原則として予測値の1.5倍）を用いる。計算結果が照射条件（温度、発熱量、中性子束）及び第2.13表に示す安全基準を満足しない場合には、ラビット又はキャプセルの構造を変更するか照射孔を変更することにより対処している。第2.25図にキャプセル設計の手順について示す。

第2.26図及び第2.27図に黒鉛照射キャプセル及び高速炉燃料ピン照射キャプセルについての径方向温度分布の計算例をそれぞれ示す。

高速炉燃料ピン照射キャプセルの熱媒体をアルミニウム及びステンレス鋼とした場合の真空温度制御時の温度変化範囲を第2.28図に示す。図のうち、各評価部の実線の温度分布は、燃料試料の線出力に対応するものであり、熱媒体-外筒間のガスギャップ層にはヘリウムガスが充填されている状態である。点線の温度分布は、ガスギャップ層が真空温度制御状態におけるヘリウムガスの熱伝導率に達した時のものであり、その熱伝導率の値は経験的に求めたものを採用している。斜線部分は、燃料試料の融点を制限温度とした時の温度制御可能範囲を示したものである。

OGL-1の場合は、炉内管の静的熱特性計算コード(STEP-3)により、試料内部の温度分布を計算し、設計基準を満足していることを確認の上、運転条件を決定する。第2.29図にSTEP-3による試料及び炉内管の温度分布の計算例を示す。

BOCA/OSF-1の場合は、燃料試料の温度分布を照射履歴に従った燃料ペレット-被覆管ギャップ熱伝達解析プログラムコード(FREG-3)を用いて計算している。この計算での被覆管表面の熱伝達率には、被覆管表面で核沸騰が起きて流速の影響が無視できるので、Jens-Lottesの実験式を使用している。

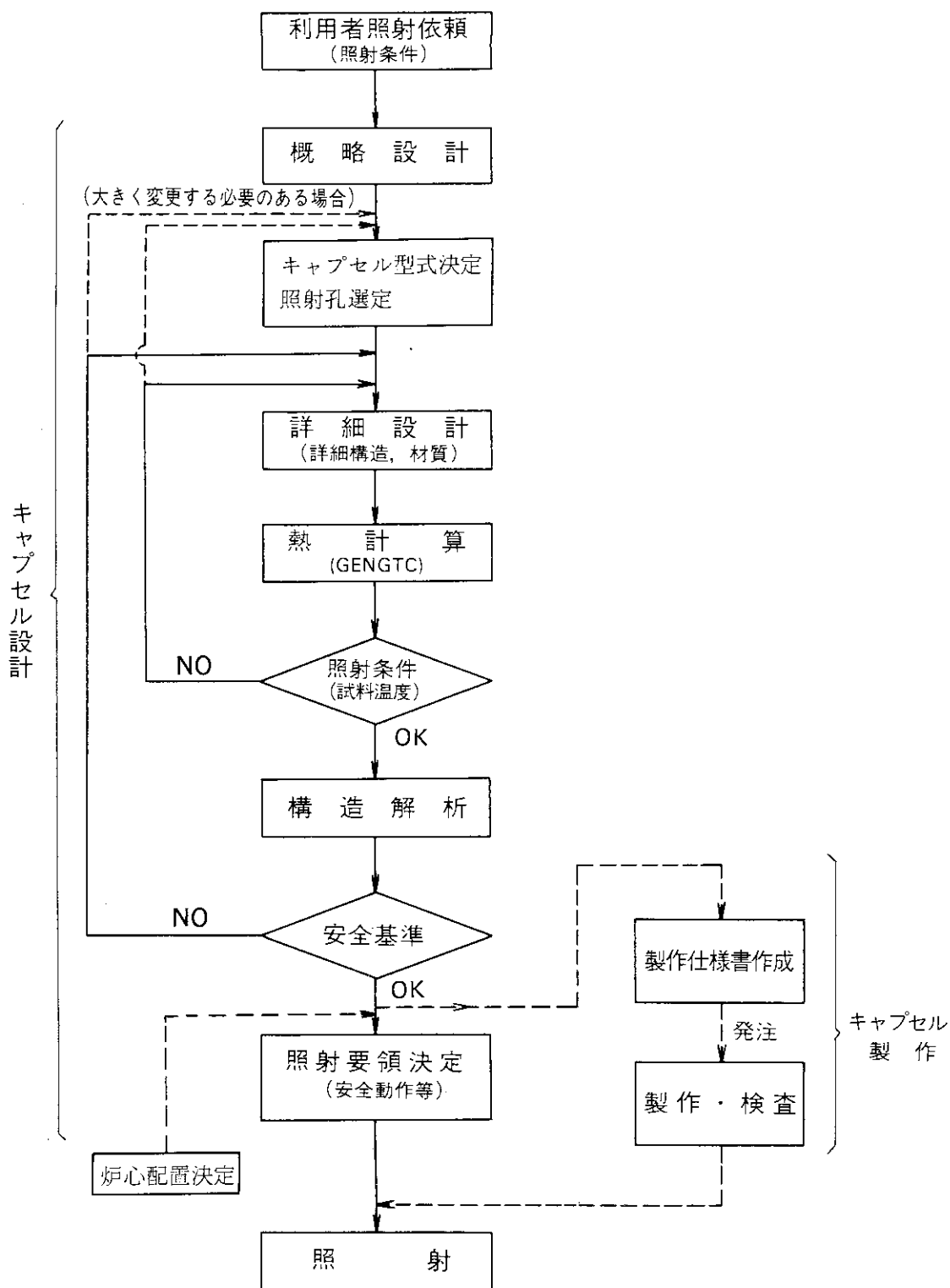
第2.30図にBOCA照射試料における被覆管内面温度とペレット外表面温度分布の計算例を示す。また、第2.31図に示す炉外で実験的に求めた限界線出力を使って、燃料試料表面で膜沸騰が生じないことを確認している。この他BOCA照射試料の設計にあたっては、線出力密度等の変更に伴い生ずる外筒管の繰返しピーク応力強さ及び被覆管破損時の排水管中の放射能濃度についても制限を設けて確認している。

第2.12表 キャプセル内温度分布計算コード (GENGTC) の説明

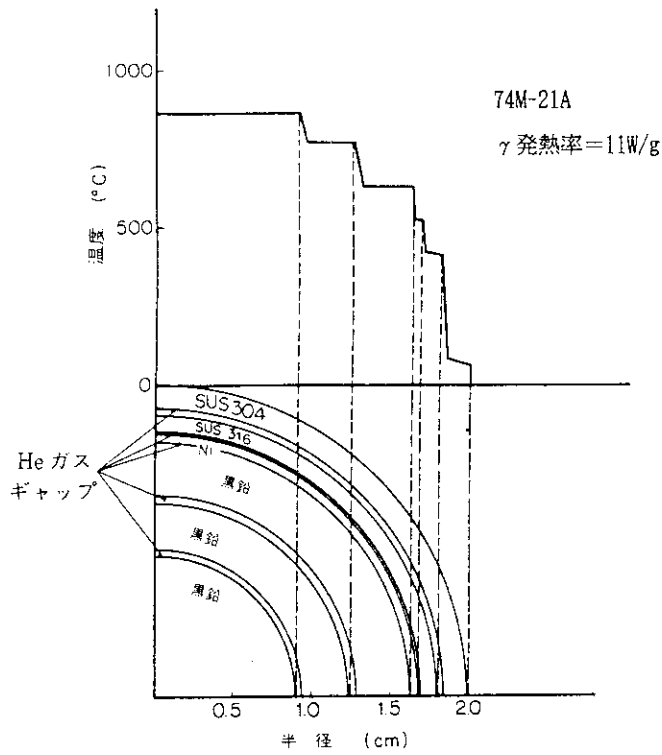
<p>概 要</p>	<p>1. r-次元, 多重円筒モデル                  2. 冷却水温度一定方式                  3. 各円筒間のギャップはガス又は液体金属</p>	
<p>フローチャート</p>	<pre>                     graph TD                         subgraph Inputs                             I1["*1 各円筒の内, 外径, 密度 核分裂発熱量 (W/cm), γ発熱量 (W/g)等の入力"]                             I2["*2,3 各円筒の熱伝導率 (温度 依存), 内外面の輻射率, 冷却水温度, キャプセル 表面熱伝達率等の入力"]                             I3["各円筒の線熱膨張率 (温度依存), 入力"]                             I4["*4,5,6 ギャップコンダクタンス ペレット内出力分布, ペ レットの熱伝導率 (温度 依存) 等入力"]                         end                          subgraph Calculations                             C1["各円筒内の発熱量 (W/cm) の計算"]                             C2["各円筒内外面温度 (°C) の計算 (ガスギャップの 場合輻射を加味)"]                             C3["各円筒の熱膨張による新 しい半径の計算"]                             C4["中心か燃料ペレットの時 ギャップ温度差, ペレ ット内温度分の計算"]                         end                          subgraph Outputs                             O1["各円筒内外面温度, 寸法 出力, ペレット内温度分 布出力"]                         end                          I1 --&gt; C1                         I2 --&gt; C2                         I3 --&gt; C3                         I4 --&gt; C4                          C1 --&gt; C2                         C2 --&gt; C3                         C3 --&gt; C4                         C4 --&gt; O1                          C2 -- "(各円筒につ いて繰り返し)" --&gt; C2                         C3 -- "(各円筒につ いて繰り返し)" --&gt; C3                         C4 -- "温度, 半径 収束 するまで繰り返し (12回)" --&gt; C4                 </pre> <p>*1. 通常キャプセルで用いられる 25種の材料の密度, 熱伝導率, 熱膨張率はプログラムに組込 まれている。その他は入力す る。</p> <p>*2. 輻射率は入力する。</p> <p>*3. 冷却水温はキャプセルの場合 50°Cとする。また表面熱伝達 率は修正コルバーンで求め入 力する。(キャプセルの場合、 20,000kcal/m<sup>2</sup>h・°Cとする。)</p> <p>*4. ギャップコンダクタンスは、 他で求めて入力する。(無指 定の場合、13,000Btu/ft<sup>2</sup> h<sup>-1</sup> とする。</p> <p>*5. ペレット内出力分布は入力す る。</p> <p>*6. UO<sub>2</sub> の熱伝導率については、 Lyons の式及びAsamoto の式 が、(Pu, U)O<sub>2</sub>については、 Bailey-Asamoto の式がプログ ラムされており選択可能であ る。</p>	

第2.13表 各照射設備の熱的安全基準

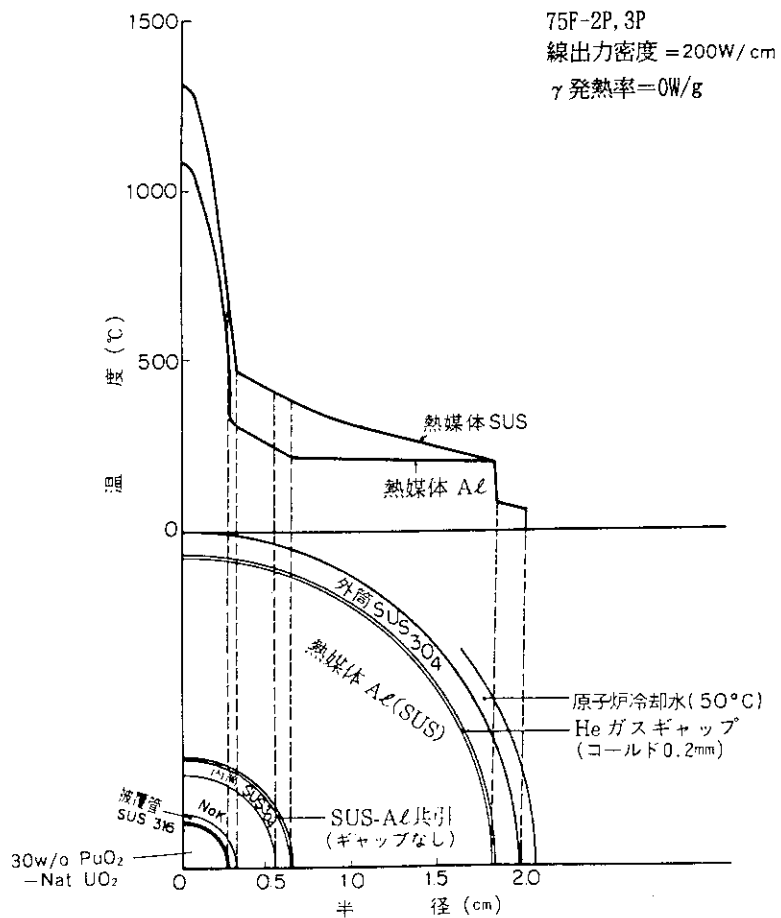
照射設備名	熱的安全基準
キャプセル	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 発熱限度量は、キャプセル1個につき100kWとする。</li> <li>2. 冷却のための一次冷却水流量は、炉心差圧3.0kg/cm<sup>2</sup>の時、照射孔1個あたり10m<sup>3</sup>/h以下とする。</li> <li>3. 主要部について熱的検討を行い、各部温度が次に掲げる各号に対し、十分満足していなければならない。 <ol style="list-style-type: none"> <li>(1)キャプセルの発熱により、原子炉一次冷却水が沸騰を生じないこと。</li> <li>(2)燃料試料の中心温度は、原則として熔融温度以下とすること。但し、中心熔融を起こす恐れのある場合は、熔融することにより安全性及び実験の目的に支障を及ぼす恐れのないことを確認しなければならない。</li> <li>(3)キャプセル構成部材及び互いに接触又は接触する恐れのある部材間に、有害な変質・劣化等が生じない温度であること。</li> <li>(4)キャプセル構成部材間に、熱膨張により有害な応力・変形等が生じないこと。</li> <li>(5)液体金属(Na, NaK)が沸騰を生じないこと。</li> </ol> </li> </ol>
水カラビット	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ラビットの発熱限度量は、1号機が20kW以下、2号機が9kW以下とする。</li> <li>2. 主要部について熱的検討を行い、各部温度が次に掲げる各号に対し、十分満足していなければならない。 <ol style="list-style-type: none"> <li>(1)冷却水に接するラビット外表面熱流束は、<math>1.5 \times 10^5</math> kcal/m<sup>2</sup>・h以下であること。</li> <li>(2)燃料試料の中心温度は、熔融温度以下であること。</li> <li>(3)ラビット構成部材及び互いに接触又は接触する恐れのある部材間に、有害な変質・劣化等が生じない温度であること。</li> <li>(4)ラビット構成部材間に、熱膨張により有害な応力・変形等が生じないこと。</li> </ol> </li> </ol>
OSF-1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. キャプセルの発熱限度量は、24kWとする。</li> <li>2. 主要部について熱的検討を行い、各部温度が次に掲げる各号に対し、十分満足していなければならない。 <ol style="list-style-type: none"> <li>(1)キャプセルの発熱により、OSF-1冷却水が沸騰を生じないこと。</li> <li>(2)燃料試料の中心温度は、原則として熔融温度以下とすること。</li> <li>(3)キャプセルは、その構成部品及び互いに接触又は接触する恐れのある部品間に、有害な応力・変形等が生じない温度であること。</li> <li>(4)構成部品間に、熱膨張により有害な応力・変形等が生じないこと。</li> <li>(5)キャプセルの試料表面で膜沸騰が生じないこと。</li> </ol> </li> </ol>
OGL-1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 試料の発熱限度量は、135kW以下とする。</li> <li>2. 主要部について熱的検討を行い、各部温度が次に掲げる各号に対し、十分満足していなければならない。 <ol style="list-style-type: none"> <li>(1)照射実験中の試料出口混合ガス平均温度は、1000℃以下であること。</li> <li>(2)試料の構成部材に、有害な変質・劣化等が生じない温度であること。</li> <li>(3)試料の構成部材及び互いに接触又は接触する恐れのある部材間に、有害な応力の発生・変形等を生じない温度であること。</li> </ol> </li> </ol>



第2.25図 カプセルの設計手順 (代表例)

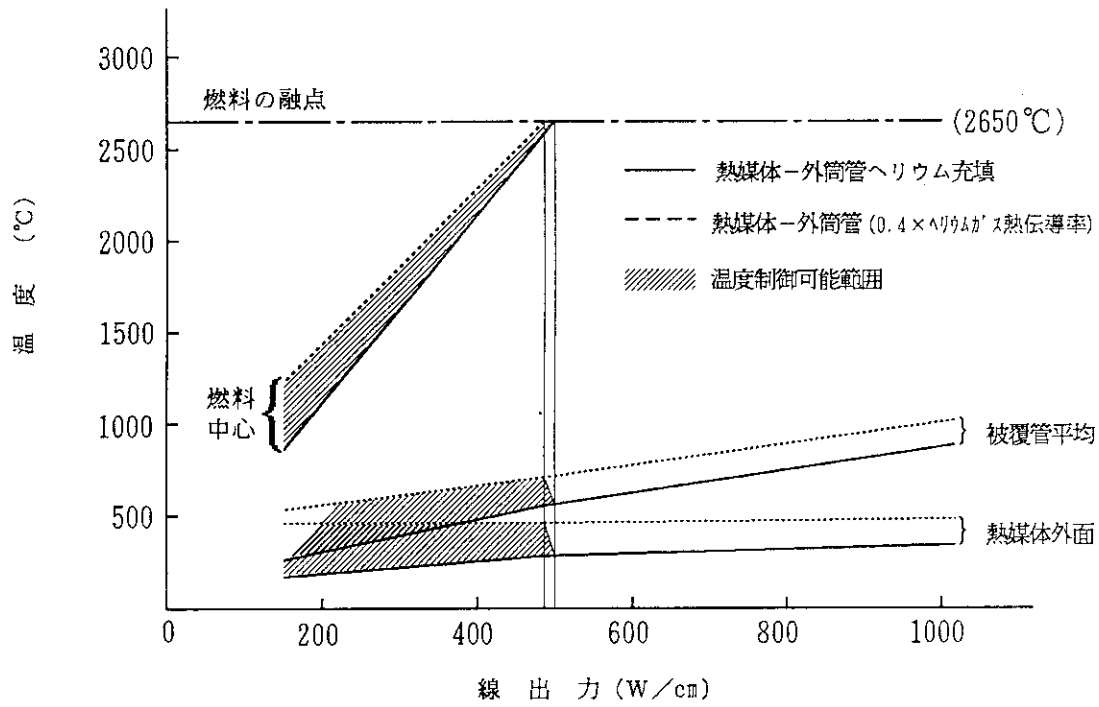


第2.26図 黒鉛照射キャプセル内の温度分布計算例

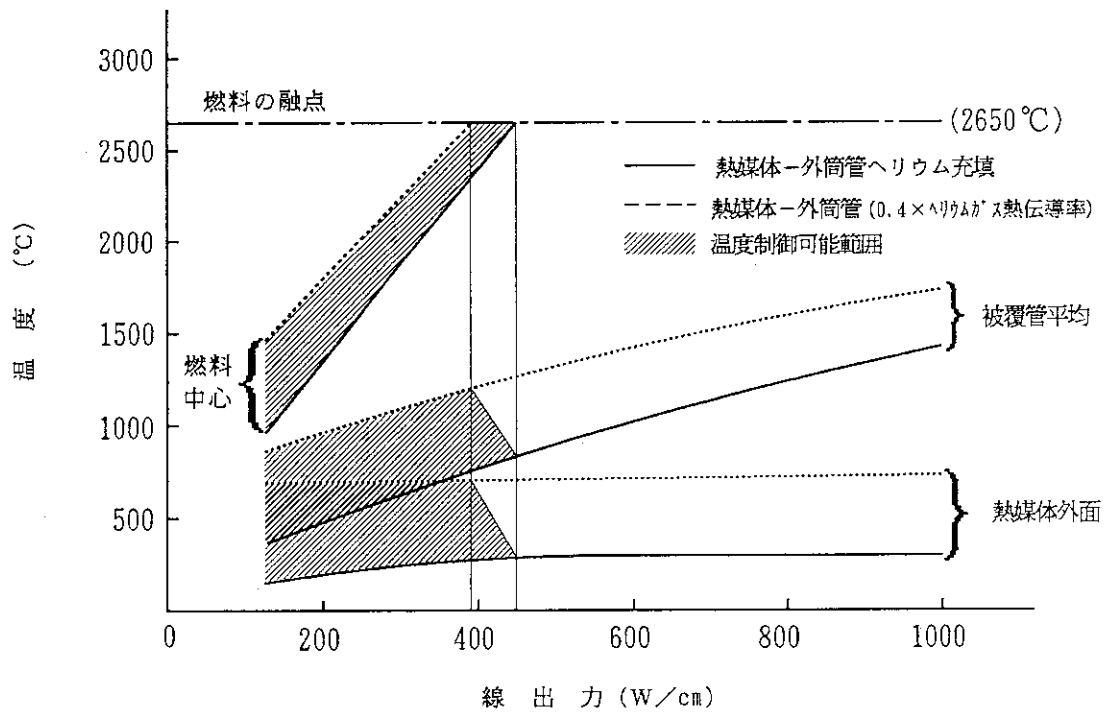


第2.27図 高速炉燃料棒照射キャプセル内の温度分布計算例



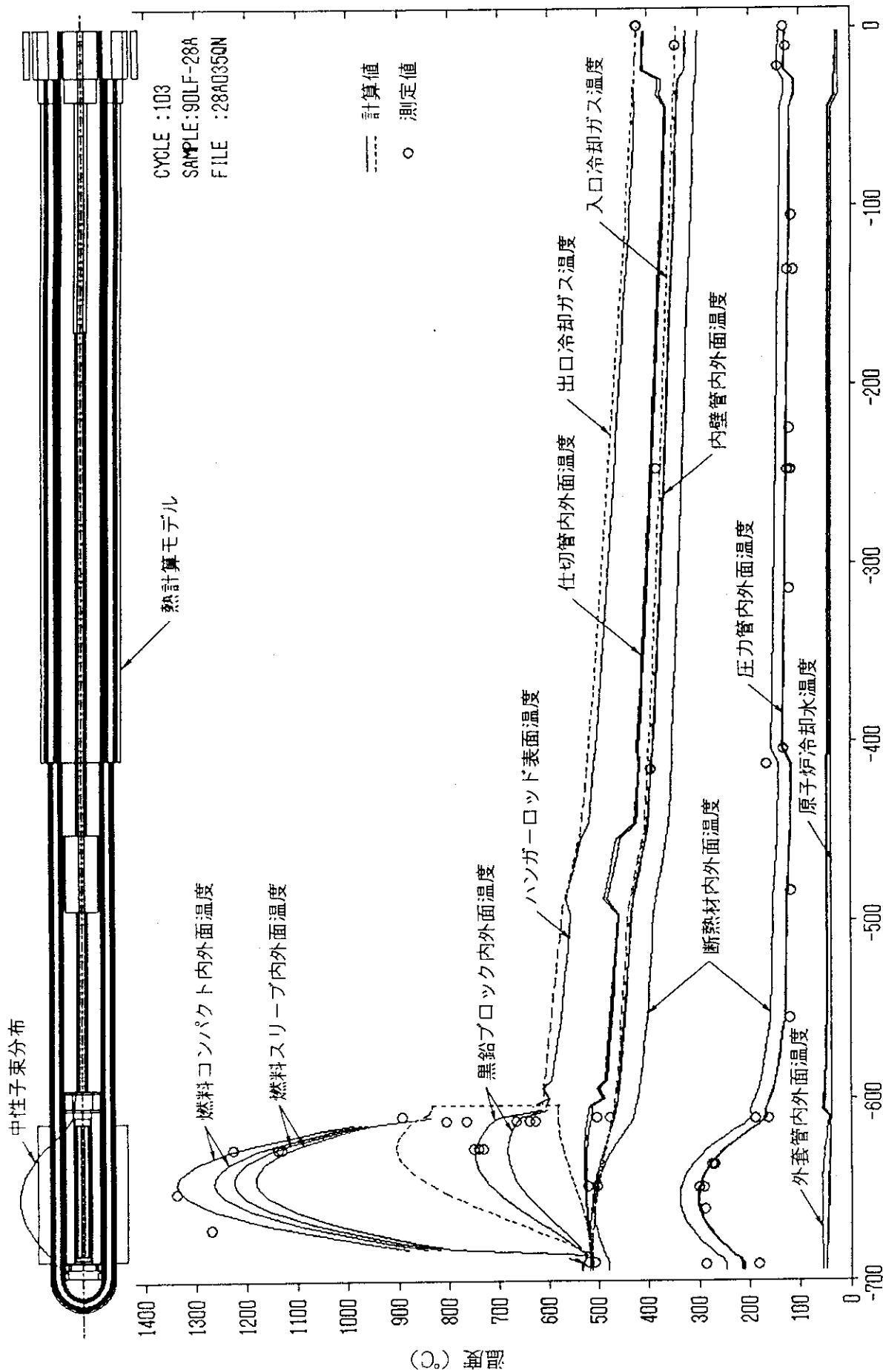


アルミニウム熱媒体を使用した例 ( $\gamma$  発熱率 $\approx 0W/g$ )

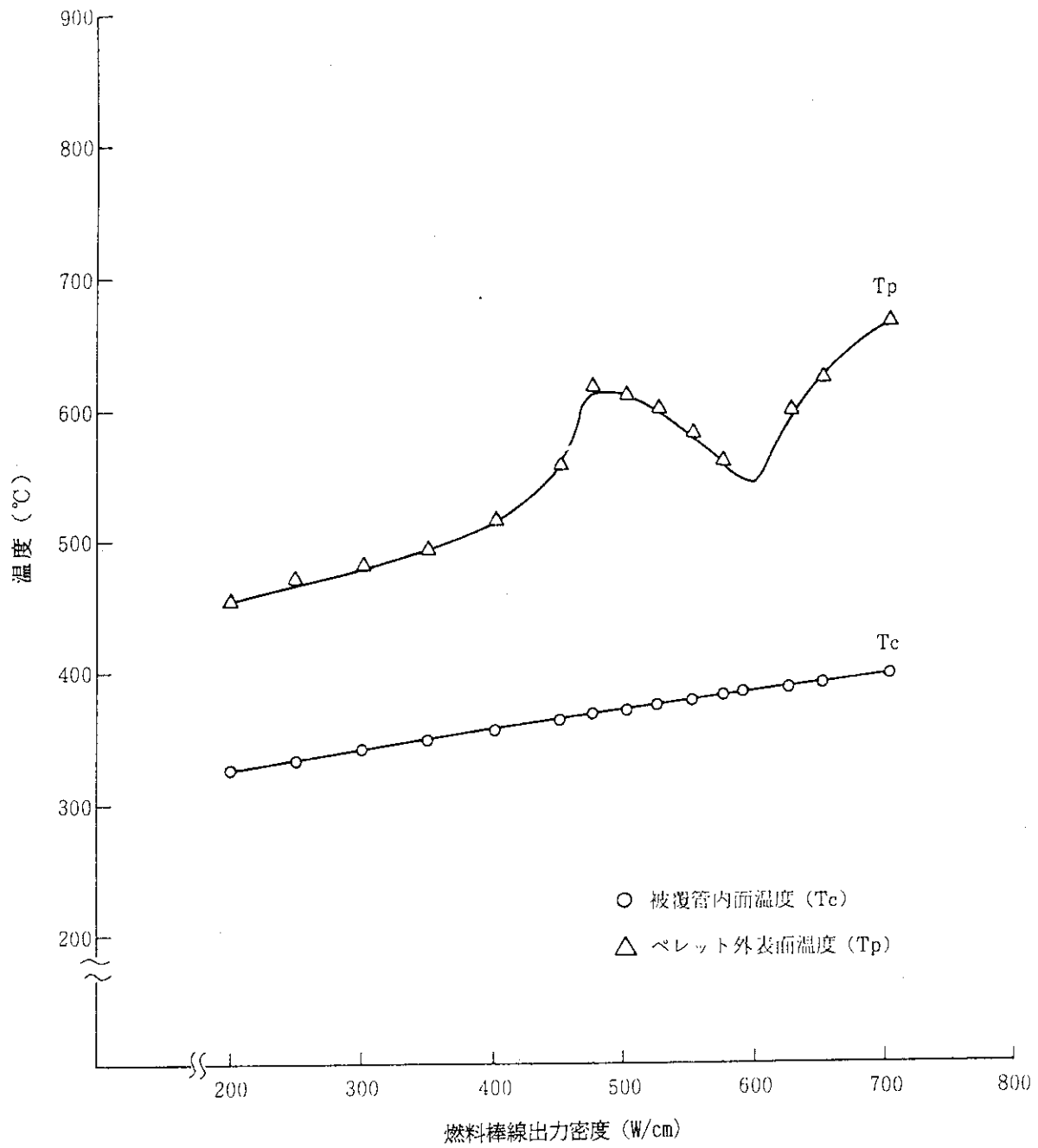


ステンレス鋼熱媒体を使用した例 ( $\gamma$  発熱率 $\approx 0W/g$ )

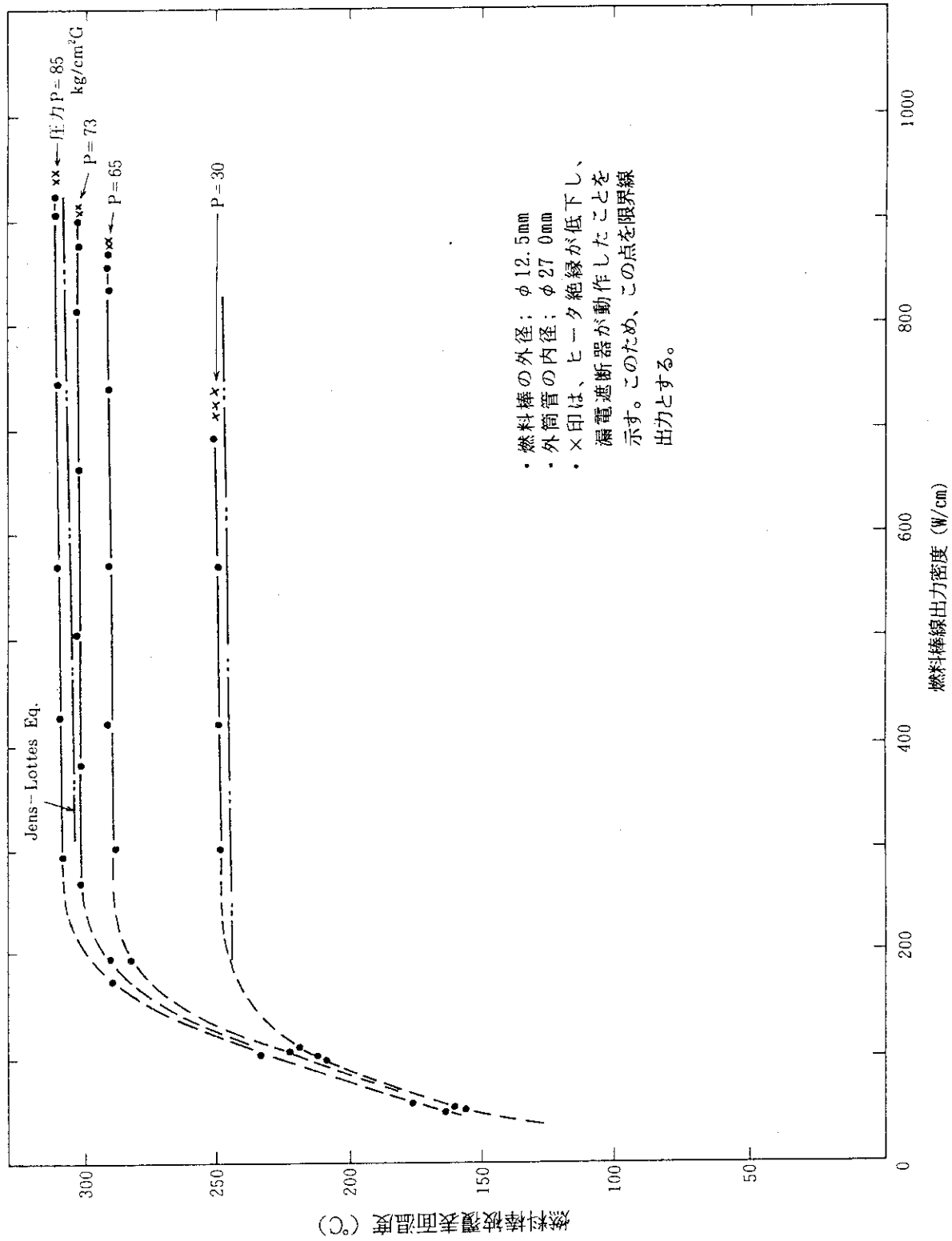
第2.28図 真空温度制御法による制御温度範囲



第2.29図 STEP-3によるOGL-1照射燃料及び炉内管温度分布計算例



第2.30図 FREG-3によるBOCA照射試料の被覆管内面温度とペレット外表面温度分布計算例(83BF-3A, 4A)



第2.31図 BOC A照射試料の電気ヒータピンによる限界線出力実験データ

2.10 燃料試料の発熱量と燃焼度

各種照射設備で照射中に燃料試料の発熱量を推定や測定する方法を第2.14表に示す。

次に照射設備毎に現在行われている方法について述べる。

- ① 水力ラビットでは、炉心中性子束分布計算で推定する。
- ② キャプセルでは、熱媒体中に挿入した熱電対の指示と $\gamma$ 発熱を考慮した温度分布の計算結果を用いる。
- ③ ループでは、冷却材の温度上昇から得られる全発熱量に、炉内管から原子炉冷却水への熱損失や $\gamma$ 発熱による補正を行う。

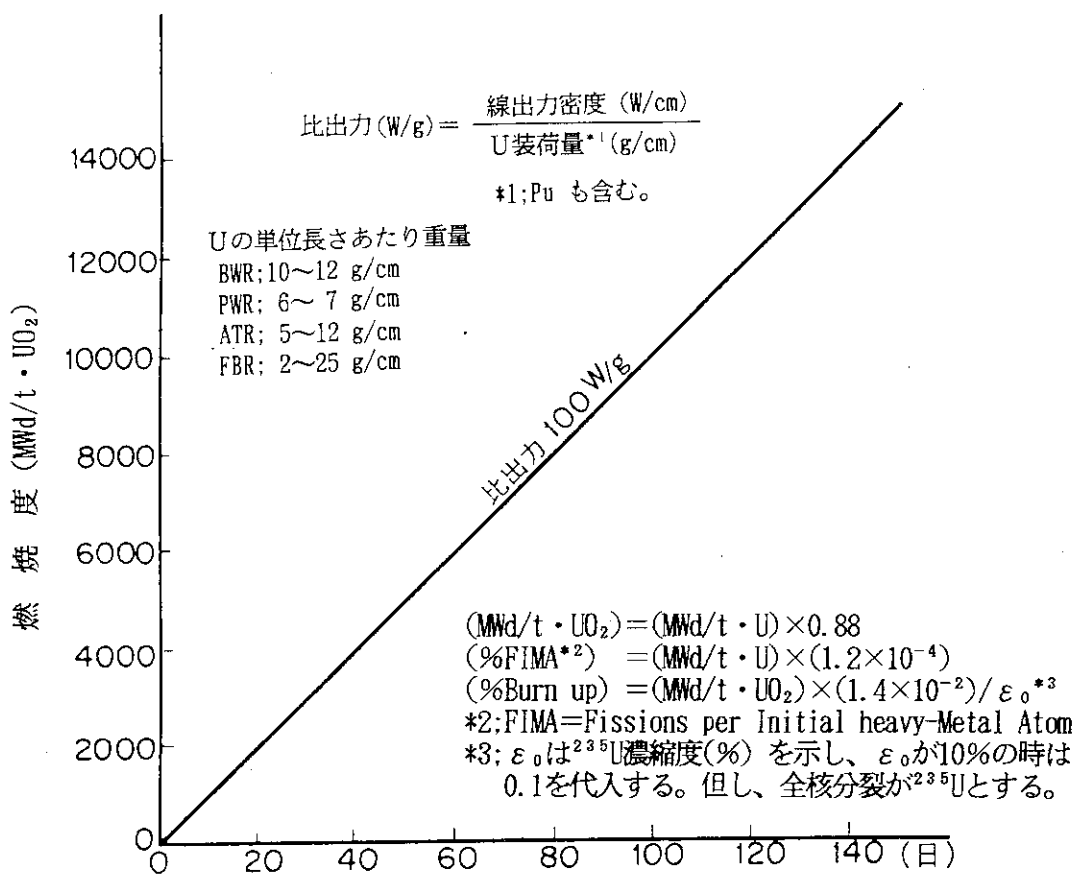
燃料の冷却に関する論議をする場合は線出力密度(W/cm)が適当であるが、燃焼度を論ずる時は比出力(W/g)が適している。例えば、1gのウランを出力1Wで1日照射した時に得られる燃焼度は、1Wd/g・U即ち、1MWd/t・Uである。

比出力は、線出力密度を1cm当たりの燃料装荷量で割って得られる。比出力を基準とした照射日数(照射サイクル)と燃焼度との関係を第2.32図に示す。

第2.14表 燃料試料における発熱量の推定・測定法

照射設備	試料発熱量推定(測定)法								
	炉心中性子束分布計算	J M T Rでのモックアップ測定	フルエンスモニタと中性子束分布	*1 中性子検出器と中性子束分布	*2 温度モニタと温度分布	熱電対指示と温度分布	ヒータと熱電対・ヒータと測温度抵抗体	冷却材の温度上昇	*3 照射後試験
水力ラビット	○	○	○		○				○
キャプセル	○	○	○	○	○	○	○		○
ループ	○	○		○		○		○	○

\*1 ; SPD, マイクロフィッションチェンバ等  
 \*2 ; SiC, テンプレプレート, メルトワイヤ等  
 \*3 ; 金相写真,  $\gamma$ スキャン等



第2.32図 燃料試料の照射時間と燃焼度との関係

## 3. 照射後試験施設

## 目 次

3.1 概 要 .....	89
3.2 照射後試験 .....	89

## 表 一 覧

第3.1表 ホットセルの遮へい体と最大取扱放射能強度 .....	91
第3.2表 遠隔操作装置の取扱容量 .....	91
第3.3表 燃料試料の照射後試験項目と試験機等の性能 .....	92
第3.4表 材料試料の照射後試験項目と試験機等の性能 .....	96

## 図 一 覧

第3.1図 JMTRホットラボ1階平面図 .....	98
第3.2図 コンクリートセル操作室 .....	99
第3.3図 材料試験用鉛セル操作室 .....	99
第3.4図 材料試験用鉄セル操作室 .....	100
第3.5図 コンクリートセル、顕微鏡用鉛セル内装機器類配置図 .....	101
第3.6図 材料試験用鉛セル内装機器類配置図 .....	102
第3.7図 材料試験用鉄セル内装機器類配置図 .....	103
第3.8図 照射後試験の流れ .....	104
第3.9図 BOCAキャプセル用端栓締付装置 .....	105
第3.10図 BOCAキャプセル用遮へい体 .....	105
第3.11図 X線撮影装置 .....	106
第3.12図 X線写真の例 .....	107
第3.13図 ガンマスキャンニング装置 .....	107
第3.14図 ガンマスキャンニングデータの例 .....	108
第3.15図 燃料棒寸法測定装置 .....	109
第3.16図 寸法測定データの例 .....	109
第3.17図 被覆管欠陥検査装置（渦電流試験） .....	110
第3.18図 渦電流試験データの例 .....	110

第3.19図	FPガス捕集装置の概要図	111
第3.20図	セル内に据付けられた顕微鏡	112
第3.21図	照射後UO <sub>2</sub> 燃料の顕微鏡写真(×400)	112
第3.22図	照射後UO <sub>2</sub> 燃料ピンの縦割り試料, 低倍率顕微鏡写真(×5)	112
第3.23図	照射後UO <sub>2</sub> 燃料のβ-γオートラジオグラフィ	112
第3.24図	遮へい型X線マイクロアナライザ(XMA)	113
第3.25図	XMAによる二次電子像(被覆粒子燃料)	114
第3.26図	ギャップ測定装置セル内本体部	114
第3.27図	核燃料輸送容器	115
第3.28図	RI輸送容器	115
第3.29図	材料試験用セルにおける照射後強度試験等の項目	116
第3.30図	JMTRホットラボ強度試験用標準試験片〔I〕	117
第3.31図	JMTRホットラボ強度試験用標準試験片〔II〕	118
第3.32図	応力腐食割れ試験装置	119
第3.33図	応力腐食割れ試験装置ダイヤグラム	119
第3.34図	応力腐食割れ試験データの例	120
第3.35図	疲労試験装置	121
第3.36図	疲労試験装置概要	121
第3.37図	疲労試験装置ダイヤグラム	122
第3.38図	接触型変位測定器ダイヤグラム	122
第3.39図	低サイクル疲労試験データの例	123
第3.40図	破壊靱性試験装置	124
第3.41図	破壊靱性試験装置ダイヤグラム	124
第3.42図	破壊靱性試験(J <sub>IC</sub> )データの例	125
第3.43図	クリープ試験装置	126
第3.44図	クリープ試験装置配置図	126
第3.45図	非接触型変位測定器ダイヤグラム	127
第3.46図	クリープ変位試験データの例	127



### 3.1 概要

ホットラボ建家は、幅3m、深さ6.2m、長さ40mのカナルを介して、JMTR原子炉建家に接続されている。カナルは、照射済キャプセル及びその他の試料の移送に使用される。ホットラボは、放射線を遮へいするためコンクリート、鉛、鉄等の壁で囲まれたホットセルと、これに付属する種々の設備等で構成されている。本施設の平面図を第3.1図に示す。

ホットセルは、燃料試験用のコンクリートセル8基及び顕微鏡用鉛セル4基、並びに材料の機械的特性試験用の鉛セル7基及び鉄セル5基で構成されている。各セルの外観を第3.2図、第3.3図及び第3.4図に示す。また、各ホットセルの遮へい体と最大取扱放射能強度を第3.1表に示す。

ホットセルには、各種の照射後試験用機器が据付けられており、遠隔操作により試験が行われる。

ホットラボで実施している作業は、

- (1) キャプセル等の解体、再組立て
- (2) 各種照射後試験
- (3) キャプセルや試料を外部へ搬出するためのキャスクへの装荷
- (4) 試料等の廃棄

である。(3)のキャスク(輸送容器)は利用者が準備する。(4)についてはホットセル内で鉄製のキャンに詰め、さらに専用の輸送容器に収めた後、大洗研究所内の放射性廃棄物処理施設へ送られ、保管、廃棄される。

なお、本ホットラボは、「核原料、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(昭和32年法律第166号)の $\beta$ - $\gamma$ セルであり、非密封のプルトニウム系燃料等を取り扱うことができない。

### 3.2 照射後試験

原子炉で所定の照射を行った試料は、照射後試験時の安全等に配慮して、原則として燃料は90日間、材料は30日間カナル水中で放射能を減衰した後、コンクリートセルに搬入される。

搬入後は、コンクリートNo.1セルでキャプセル等の外観検査を行い、No.2セルに移して解体し、試料やフルエンスモニタが取り出される。取り出した試料のうち、燃料試料はNo.3～8セル及び顕微鏡用鉛セル内で各種試験が行われる。材料試料はNo.2セルから材料試験用セルへキャスクで移送した後、主として機械的特性試験が行われる。第3.5図、第3.6図及び第3.7図に各試験用セルについての内装機器類の配置を示す。

照射後試験に必要な各種試験機はセル内に設置されており、その操作はセル外の操作室からマニプレータ等の遠隔操作装置を用いて行われる。セル内で取り扱える試料等の重量は、遠隔操作装置の取扱容量により制限を受けるが、それらの容量を第3.2表に示す。

第3.8図に照射後試験の流れを、第3.3表、第3.4表にホットラボで行っている燃料試料及び材料試料の試験機の性能等をそれぞれ示す。また、第3.9図～第3.46図に主な試験機、試験片及びそれから得られたデータの例を紹介する。

試験を終了した試料、キャプセルの解体時に生じた残材、セル内汚染除去のために生じた高放射性廃棄物は、鉄製キャンに詰め、専用の輸送容器で放射性廃棄物処理施設へ搬出され保管、廃棄される。なお、利用者が試料の持出しを希望する場合は、キャスクを用いセル天井のポスティングポート経由で搬出可能である。この場合、ポスティングポートの座と適合するキャスクを必要とする。

第3.1表 ホットセルの遮へい体と最大取扱放射能強度

	主 遮 へ い 体		最大取扱放射能強度
	材 料	厚 さ	
コンクリートセル			
Na 1, 2 セル	重コンクリート ( $\rho > 3.8$ )	1.1m	3.3 PBq (1 MeV)
Na 3 セル	" ( " )	1.0m	3.7 PBq ( " )
Na 4, 5 セル	" ( " )	"	1.1 PBq ( " )
Na 6~8 セル	" ( $\rho > 3.1$ )	"	8.5 TBq ( " )
顕微鏡用鉛セル	硬質鉛	17.8cm	3.7 TBq (1 MeV)
材料試験用鉛セル			
Na 1 セル	硬質鉛	20 cm	1.2 TBq (Co-60相当)
Na 2~7 セル	"	15 cm	3.7 GBq ( " )
材料試験用鉄セル			
Na 1, 3, 4, 5セル	炭素鋼	35 cm	6.6 GBq (Co-60相当)
Na 2 セル	"	40 cm	5.9 TBq (Co-60相当)

第3.2表 遠隔操作装置の取扱容量

遠 隔 操 作 装 置	設 置 場 所	指先取扱容量
マスタースレーブマニプレータ		
モデル 9 (NE9)	C-1, 2 セル	13.6 kg
モデル 8 (HD)	C-1, 2, 3 セル	22.7 kg
モデル 8 (UD, UE, CRL)	C-1, C-3 ~ 8 セル	9 kg
モデル 7	L-1 ~ 7 セル	5 kg
モデル G	S-1 ~ 3 セル	6.8 kg
モデル MA11/80	S-1, 4, 5 セル	7 kg
ボールソケットマニプレータ	L-5, 6, 7 セル M-1 ~ 4 セル	1.3 kg
パワーマニプレータ M - 3000	C-1, 2 セル	67 kg
TP 6 型	C-3 ~ 8 セル	25 kg
インセルホイスト TH 3 型	C-1 ~ 3 セル	2.5 ton
TH 5 型	C-4 ~ 8 セル	1 ton

注記 C : コンクリートセル  
L : 材料試験用鉛セル  
S : 材料試験用鉄セル  
M : 顕微鏡用鉛セル

第3.3表 燃料試料の照射後試験項目と試験機等の性能 (1/4)

試験項目	試験機器	仕様・性能
1. 外観検査	ベリスコープ	倍率 $\times 2, \times 10$
	ステレオスコープ	倍率 $\times 8 \sim 45$ (ズーム)
	ビューカメラ	$f = 320, F = 5.6$ および $f = 640, F = 11$ 撮影フィルム $4" \times 5"$
2. 放射能測定	ラドコンII 555 社 (ビクトリーン社)	線量測定範囲 $10 \mu\text{Sv}/\text{min} \sim 100\text{Sv}/\text{min}$ 積算線量 $30 \mu\text{Sv} \sim 1\text{kSv}$ 測定範囲 $35\text{keV} \sim 400\text{eV} \sim 1.2 \text{MeV}$
3. キャプセル等の解体	ダイヤモンドカッタ	最大径 $\phi 60$ , 長さ $20 \text{mm}$ 以上 刃巾 $1.5 \text{t}$ , 最小切断巾 $2 \text{mm}$
	プレスカッタ	最大荷重 $200 \text{ton}$ 最大径 $\phi 120$ , 肉厚 $5 \text{t}$
	ハックソー	最大径 $\phi 76$ 長さ $800 \text{mm}$ 以下 刃巾 $0.6 \text{t}$
	マイクロカッタ	最大径 $\phi 32$ 刃巾 $0.6 \text{t}$ , 最小切断巾 $1 \text{mm}$
4. NaKキャプセル等の解体	NaKキャプセル 開封装置	キャプセル外径 $\phi 15 \sim \phi 50$ 長さ $150 \sim 800 \text{mm}$ 最大NaK量 $200 \text{cc}$
5. X線ラジオグラフ	高放射性試料用X線 撮影装置	$150 \text{kVp}$ 高速回転陽極X線管 小焦点 $1.5 \text{mm}$ , 最大定格 $400 \text{mA}$ , $10 \text{秒}$ 大焦点 $3 \text{mm}$ $300 \text{kVp}$ X線管, 鉛スリット使用 小焦点 $1.5 \text{mm}$ , 最大定格 $4 \text{mA}$ 連続 大焦点 $4 \text{mm}$ フィルム: 超微粒子, 両面乳剤, $140 \times 990$ 増感紙併用: 鉛厚 $0.03$
6. ガンマスキャンニング	ガンマスキャンナ	スキャンニング速度 $5, 10, 20, 40, 70 \text{mm}/\text{min}$ 移動方向: 縦, 横, 回転方向駆動 チャック径: $\phi 5 \sim \phi 15$
	コリメータ	ホール: $\phi 0.75, \phi 1.5, \phi 3.0 \text{mm}$ スリット: $0.2 \times 20, 1 \times 15, 0.5 \times 20 \text{mm}$
	波高分析器	8192チャンネル, $100\text{MHz}$
	検出器	Ge $60\text{cc}$ , $1.9 \text{keV}$ , 効率 $10\%$
7. マイクロガンマ スキャンニング	ガンマスキャンナ	燃料ピン断面連続ステップキャン(間隔 $0.25 \text{mm}$ )
	コリメータ	ホール: $\phi 0.2 \sim \phi 0.5 \text{mm}$
	検出器	Ge-NaIアンチコインシデンス Ge $50\text{cc}$ , $2.5\text{keV}$ , 効率 $7\%$
8. 燃料ピンの組立	溶接装置	使用電流 $0 \sim 100 \text{A}$ 溶接時間 $0 \sim 99 \text{sec}$ 試料径 PWR, BWRタイプ 周溶接及び封溶接

第3.3表 燃料試料の照射後試験項目と試験機等の性能 (2/4)

試験項目	試験機器	仕様・性能
9. 燃料棒の加工	端栓加工装置	試料径 PWR, BWRタイプ 端栓及び被覆管の加工
	ペレット中心孔加工装置	試料径 $\phi$ 9.6, $\phi$ 12.26, $\phi$ 14.27 長さ 500 mm 以下 中心孔 $\phi$ 2.5, 深さ 最大 54mm
10. BOCAキャプセル組立	端栓締付装置	締付トルク 7 kg・m 締付量 0.7 mm
	遮へい体	形式 2分割横型 最大取扱線源 $3.7 \times 10^2$ TBq 主要材料 鉛, SUS304 (ライニング) 主要寸法 $844^D \times 9030^L$ mm 総重量 20 ton
	遮へい体移動車	形式 電動自走式 主要寸法 $2100^L \times 1200^W \times 430^H$ mm
11. 寸法測定	燃料棒寸法測定装置	外径, 真円度測定 測定範囲: $\phi$ 5 ~ 20mm 測定精度: $\pm 0.005$ mm 曲り測定 測定範囲: $\pm 3.0$ mm 測定精度: $\pm 0.02$ mm 長さ測定 測定範囲: 150 ~ 1000 mm 測定精度: $\pm 0.05$ mm 記録方式 デジタル, アナログ, フロッピーディスク
	リニヤースケール	全長測定 測定範囲: 150 ~ 1000 mm 測定精度: $\pm 0.05$ mm
12. 渦電流試験	被覆管欠陥検査装置	試料外径: $\phi$ 4 ~ $\phi$ 17 長さ: 100 ~ 1000 mm 試験速度: 5 ~ 30 mm/s 欠陥検査 検査コイル: 貫通, プローブ 検査周波数: 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024kHz 検出能力: 肉圧の 1%, $\phi$ 0.1 酸化膜厚さ測定 検査コイル: プローブ 検査周波数: 1024kHz 測定範囲: 5 ~ 100 $\mu$ m 測定精度: $\pm 5$ $\mu$ m
13. リーク試験	リークローケータ	試料外径: $\phi$ 5 ~ 20 mm 長さ: 100 ~ 800 mm 液体負圧チャンバー式, 到達真空度: $1 \times 10^{-2}$ mmHg 使用液: ホワイトスピリット
	Heリークディテクタ	検出感度: $5 \times 10^{-11}$ atm・cc/s 測定範囲: $10^{-8}$ ~ $6 \times 10^{-4}$ mmHg 排出速度 (ロータリーポンプ): 300 $\ell$ /min

第3.3表 燃料試料の照射後試験項目と試験機等の性能 (3/4)

試験項目	試験機器	仕様・性能
14. ギャップ測定	ギャップ測定装置	試料外径: $\phi 5 \sim 20$ mm 長さ: $50 \sim 1000$ mm 被覆管とペレット間のギャップを圧縮し測定 測定範囲: $1$ mm 測定精度: $\pm 5 \mu\text{m}$
15. 重量測定	メトラ天秤	秤量: max. 160g, 精度: $\pm 0.0001\text{g}$ max. 1200g, 精度: $\pm 0.01\text{g}$
16. 密度測定	密度測定装置	試料重量: max 150g 大気置換による液浸法 置換液: メタキシレン 測定精度: $\pm 0.01\text{g/cc}$
17. ガス量及び ガス圧測定	F Pガス捕集装置	試料外径: $\phi 6.5 \sim 20$ 長さ: $30 \sim 1000$ mm 真空チャンバー内にて穿孔しガスをセル外に導いて測定 到達真空度: $1 \times 10^{-6}$ mmHg
18. ガス分析	質量分析器	分析元素: Kr, Xe, H <sub>2</sub> , He, Ar, CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> + CO, CO <sub>2</sub> Kr, Xe の同位元素比 検出限界: 0.01%
19. 金相試験前処理	マイクロカッタ	切断可能最大径: $\phi 32$ 刃 巾: $0.6 \text{ mm}^2$ , 切断巾 $1 \text{ mm}$
	回転研磨機	3台, 同時研磨試料 3ヶ/台 耐水研磨紙: グリットNo. 180~600 バフ研磨: ダイヤモンドペースト $7 \mu, 2.5 \mu\text{m}, 1 \mu\text{m}, 1/4 \mu\text{m}$
	振動研磨機	2台, 同時研磨試料 5ヶ/台 バフ研磨: ダイヤモンドペースト $7 \mu, 2.5 \mu\text{m}, 1 \mu\text{m}, 1/4 \mu\text{m}$
	電解研磨・腐食装置	レクトロポール
	超音波洗浄装置	出力: 100 W, 周波数: 28 kHz
	樹脂注入装置	真空内で樹脂注入後, 大気圧に放置
20. 金相写真撮影	低倍率ズーム顕微鏡	観察倍率: $\times 10 \sim \times 20$ 撮影倍率: $\times 5 \sim \times 10$ } 連続変倍
	金属顕微鏡	撮影倍率: $\times 50 \sim \times 900$ 明視野, 暗視野, 偏光, 干渉装置付
21. レプリカ		二段レプリカ
22. オートラジオ グラフィ	$\alpha$ オートラジオグラフィ	ニトロセルローズ
	$\beta, \gamma$ オートラジオ グラフィ	主にハイ・レゾリューション・プレート (HRP 2" $\times$ 2")
23. 硬さ試験	マイクロビッカース 硬さ試験機	荷 重: 50, 100, 200, 500, 1000g 測定倍率: $\times 400$ , 観察倍率: $\times 200$ 試験温度: 室温

第3.3表 燃料試料の照射後試験項目と試験機等の性能 (4/4)

試験項目	試験機器	仕様・性能
24. 微小領域元素分析	遮へい型X線 マイクロアナライザ	加速電圧: 0~50 kV 分析元素 波長分散型: ${}^5\text{B}\sim{}_{95}\text{Am}$ エネルギー分散型: ${}_{11}\text{Na}\sim{}_{95}\text{Am}$
25. 各種走査像写真撮影		二次電子像 分解能: 200Å 反射電子像 組成像と凹凸像 吸収電子像
26. 試料輸送	核燃料輸送容器	形式: JMHL-78Y15T型 (第3.27図) 輸送物の種類: BM型 主要寸法: $2.0^{\text{D}}\times 3.7^{\text{H}}\text{m}$ 容器重量: 17 ton 放射性物質の例 数量 U重量 1200g 以下 (U-235 160g 以下) Th重量 4920g 以下 Pu重量 30g 以下 放射能強度 1.15 PBq以下
	RI輸送容器	形式: RIC-D-1501型 輸送物の種類: BM型 主要寸法: $1.3^{\text{D}}\times 1.37^{\text{H}}\text{m}$ 容器重量: 1.84 ton 放射性物質の例 数量 Ir-192 46g 以下 P-32 60g 以下 放射能強度 Ir-192 2.4198PBq 以下 P-32 6.956 TBq 以下

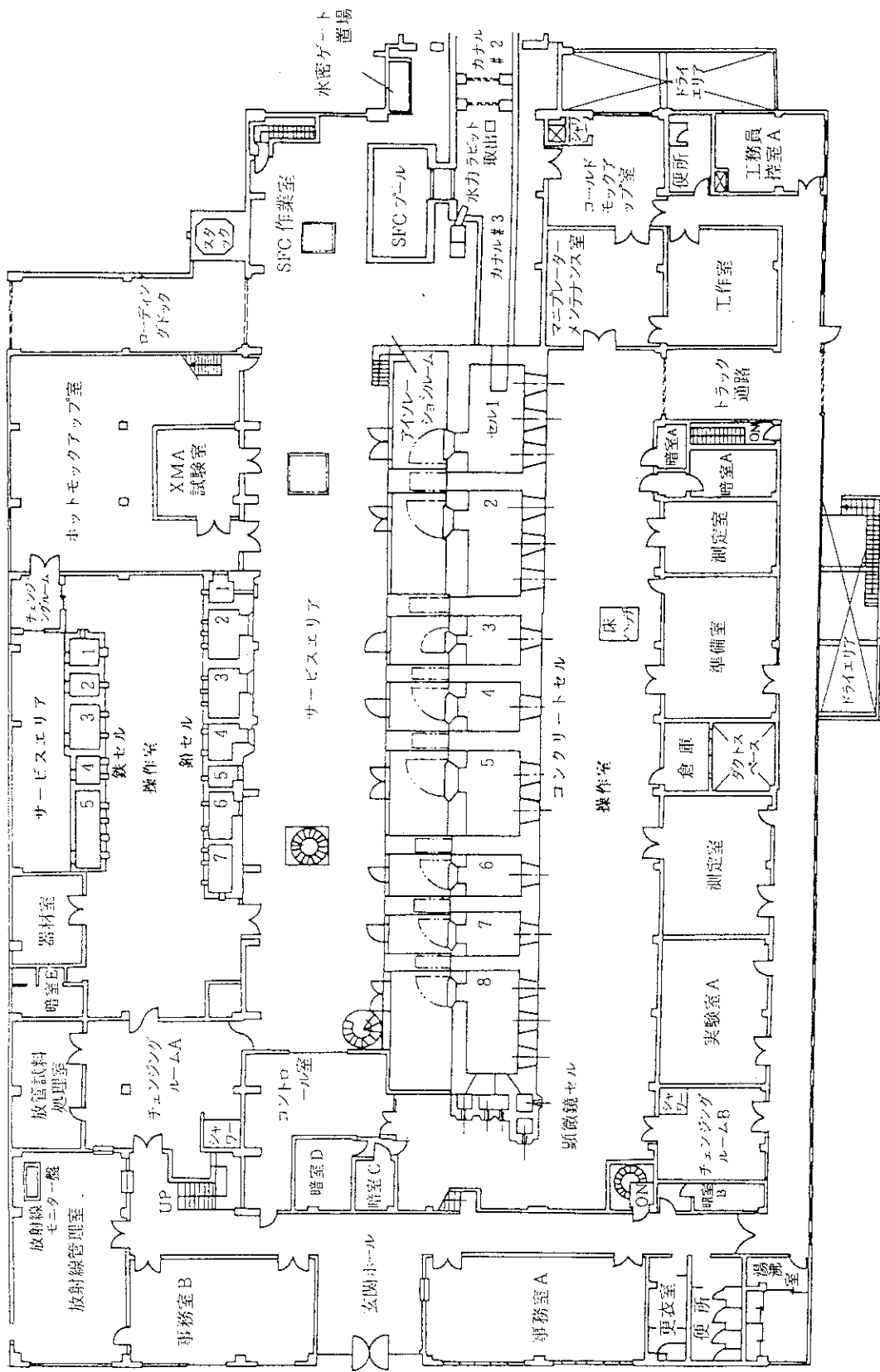
第3.4表 材料試料の照射後試験項目と試験機等の性能(1/2)

試験項目	試験機器	仕様・性能
1. 外観検査	ペリスコープ 6台	倍率 $\sim \times 10$
	低倍率顕微鏡	倍率 $\sim \times 10$
2. 寸法測定	X-Y-Z軸移動機構付 寸法測定器	測定範囲 X軸 100mm Y軸 100mm Z軸 20mm 測定精度 10 $\mu$ m
3. 引張試験	大気中引張圧縮型引張 試験装置	容量 50kN 試験温度 $-150^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 試験速度 0.05mm/min $\sim 200\text{mm}/\text{min}$
	高温真空型引張試験装置	容量 10kN 試験温度 $500^{\circ}\text{C} \sim 1500^{\circ}\text{C}$ 試験速度 0.02mm/min $\sim 100\text{mm}/\text{min}$
4. 衝撃試験	計装シャルピー衝撃試験 装置	容量 300J 試験温度 $-120^{\circ}\text{C} \sim 180^{\circ}\text{C}$ 試験片 10(5) $\times$ 10 $\times$ 55mm
5. SCC試験	低歪速度/応力腐食割れ 試験装置 2台	容量 30kN (20kN) 試験温度 $300^{\circ}\text{C}$ ( $350^{\circ}\text{C}$ ) 試験雰囲気 純水 試験圧力 10MPa
	定荷重/応力腐食割れ 試験装置 3台	容量 5kN 試験温度 $350^{\circ}\text{C}$ 試験雰囲気 純水 試験圧力 15MPa
6. 疲労試験	低サイクル疲労試験装置	容量 100kN 試験温度 $\sim 700^{\circ}\text{C}$ 試験雰囲気 真空中 変位計 100 $\mu$ m $\sim$ 1mm 測定精度 1%(F.S) 試験片 スプリットエンド型 $\phi$ 10mm
7. 破壊靱性試験	破壊靱性試験装置	容量 63kN 試験温度 $-150^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ 試験方法 アンローディング・コンプライアンス法 試験片 $\phi$ 19DCT, 0.4TCT 0.63DCT
8. クリープ試験	クリープ破断試験装置	容量 10kN (5kN) 試験温度 $500^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$
	クリープ変形試験装置	試験雰囲気 真空中, アルゴンガス中 試験片 直径 4mm, 又は 6mm



第3.4表 材料試料の照射後試験項目と試験機等の性能(2/2)

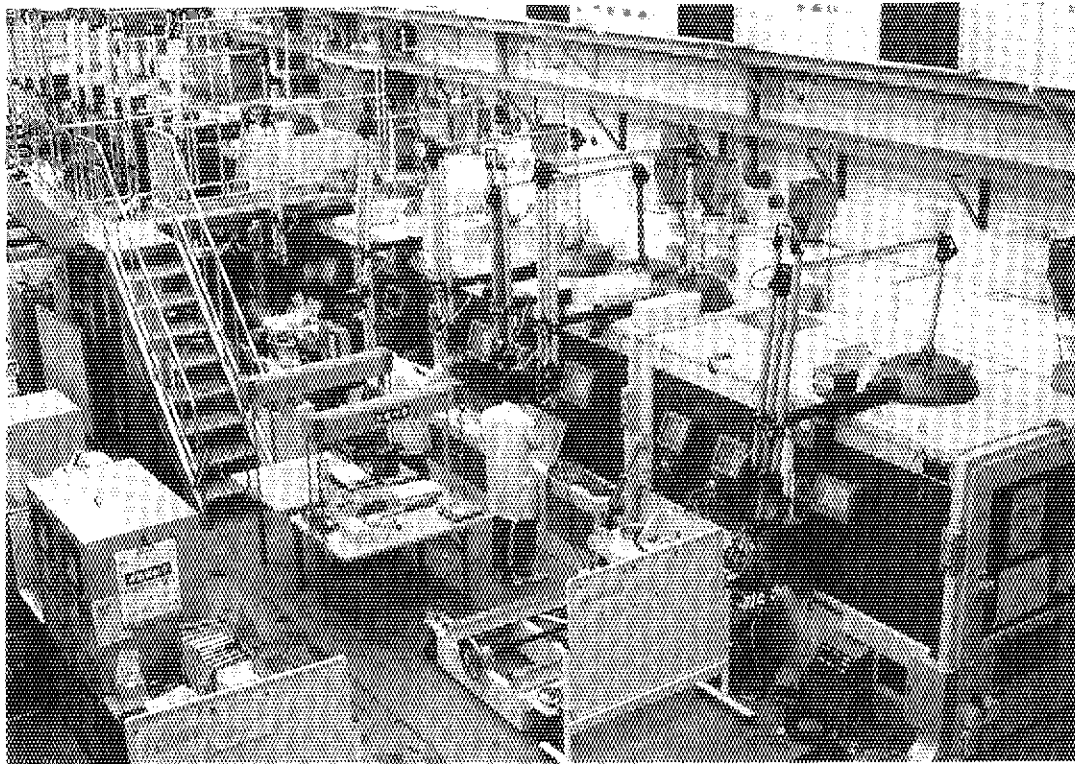
試験項目	試験機器	仕様・性能
9. 微小試験片試験 (開発中)	圧潰試験装置	容量 5 kN 試験雰囲気 大気中 試験片 球 1mm, 又は 3mm
	スモールパンチ試験装置	容量 5 kN 試験温度 $-160^{\circ}\text{C}\sim 750^{\circ}\text{C}$ 試験雰囲気 真空中, アルゴンガス中 試験片 直径3mm, 厚さ0.25mm又は 10mm角, 厚さ0.5mm
	高速パンチ試験装置 (微小ソルビ- 衝撃機構 付加可能)	容量 10 kN 試験温度 $-150^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 試験速度 0.1~10m/sec 試験片 直径3mm, 厚さ0.25mm (溝付)
	マイクロマニプレータ	微小試験片の識別, 区分けロボット及びX線透過像+画像解析システムによる試験片の変形測定
10. 試験片加工	放電加工装置	試験片 直径3mm, 厚さ0.25mmの試料 から微小引張試験片等の採取 電極 Cu-W 加工電源 3回路
11. 熱処理試験	真空熱処理装置	試験温度 $200^{\circ}\text{C}\sim 900^{\circ}\text{C}$ 雰囲気 真空中 スペース 55mm×10mm×10mm
12. 破面観察装置 (開発中)	走査型電子顕微鏡	試料室 125mm 観察倍率 15~20000倍 観察像 二次電子像, 反射電子像



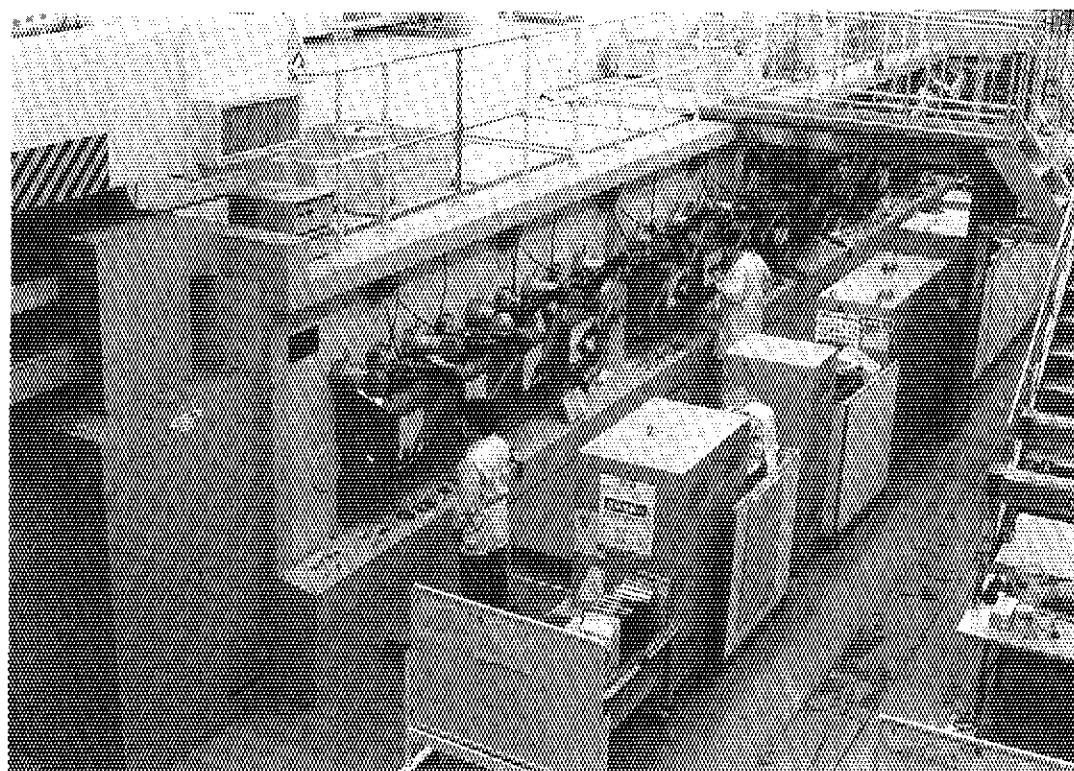
第3.1図 JMTRホットトラポ1階平面図



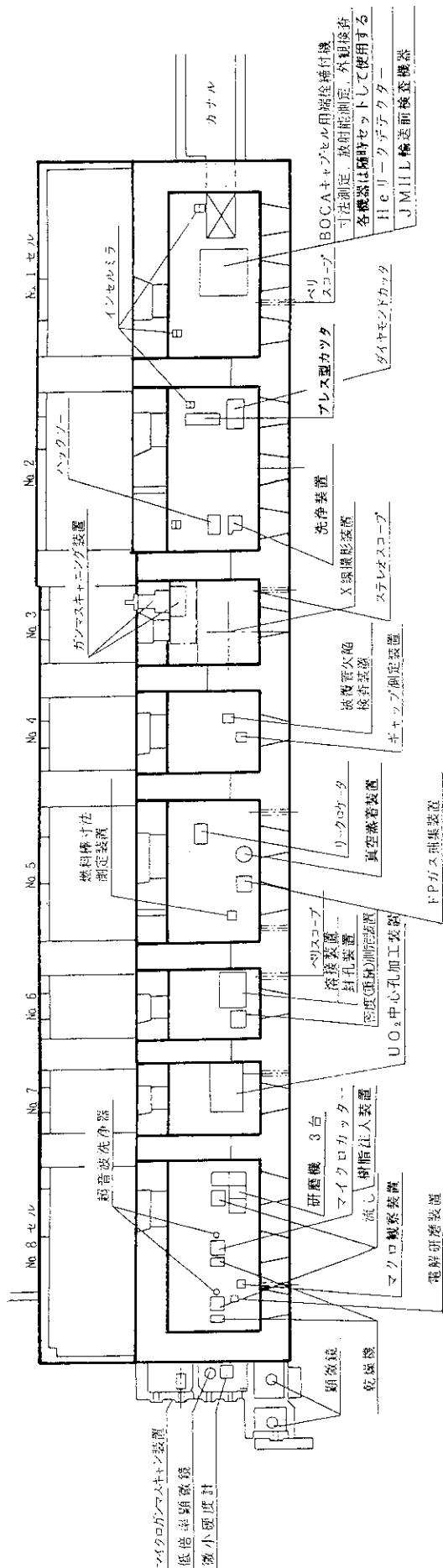
第3.2図 コンクリートセル操作室



第3.3図 材料試験用鉛セル操作室

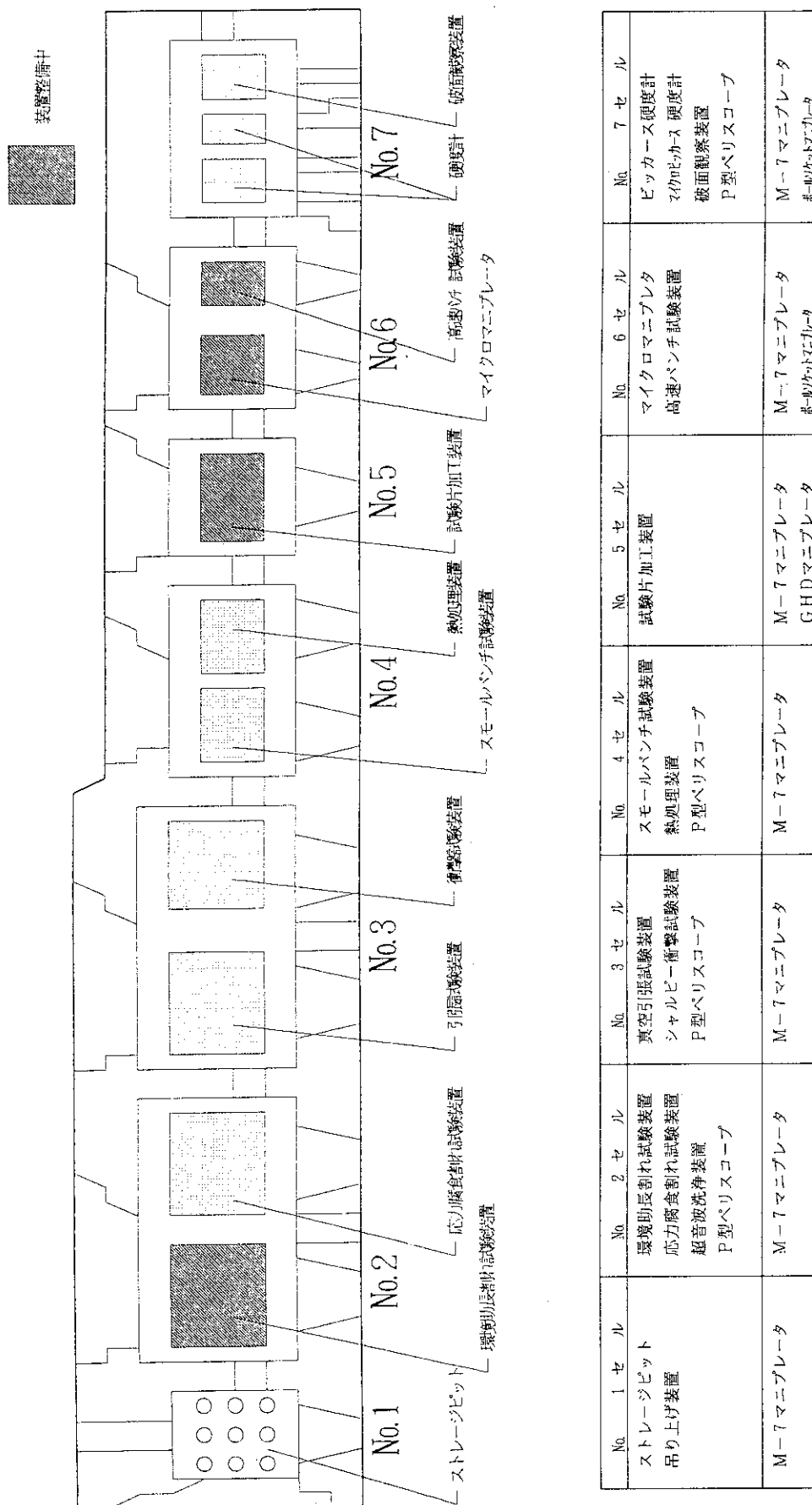


第3.4図 材料試験用鉄セル操作室



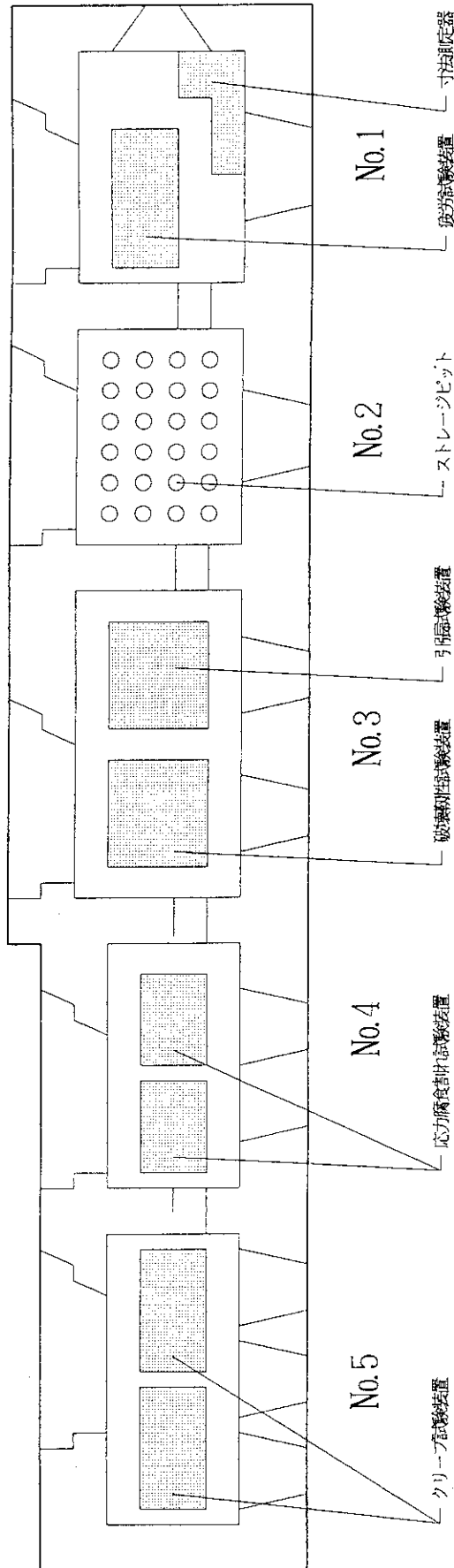
顕微鏡用セル	No. 8 セル	No. 7 セル	No. 6 セル	No. 5 セル	No. 4 セル	No. 3 セル	No. 2 セル	No. 1 セル
顕微鏡 (A)	回転研磨機	UO <sub>2</sub> 中心孔加工装置	ペリスコープ	F.P.ガス捕集装置	被覆管欠陥検査装置	X線検査装置	プレス型カッタ	試料搬入装置
顕微鏡 (B)	電解研磨装置	密度測定装置	ペリスコープ	リークケータ	ギャップ測定装置	物質エキソニック装置	ダイヤモンドカッタ	放射能測定装置
微小硬度計	超音波洗浄装置	溶接装置	燃料棒寸法測定装置	真空蒸着装置			マイクログラフター	外観検査装置
低倍率ズーム顕微鏡	乾燥機	封孔装置					洗浄装置	ペリスコープ
マイクロアナライザー	マイクログラフター							BOCAキャパセル用端検査機
	マクロ観察装置							付機
	樹脂注入装置							Heリークデテクタ
								JVHL輸送前検査機器
	イサト(φ200, φ350)	イサト(φ350)	イサト(φ350)	イサト(φ200, φ350)	イサト(φ350)	イサト(φ200, φ350)	イサト(φ200, φ350)	イサト(φ200, φ350)
	M-8 マニプレータ	M-8 マニプレータ	M-8 マニプレータ	M-8 マニプレータ	M-8 マニプレータ	NE9, CRJ(EX) エンレータ	NE9, M8-HD エンレータ	NE9, M8-HD エンレータ
		2.5 ton インセルホイスト (3~8セル)				2.5 ton インセルホイスト (1~3セル)		
	TP-609-エンレータ (7~8セル)	TP-609-エンレータ (5~7セル)	TP-609-エンレータ (3~5セル)	TP-609-エンレータ				
								M-300009-エンレータ

第3.5 図 コンクリートセル, 顕微鏡用鉛セル内装機器類配置図



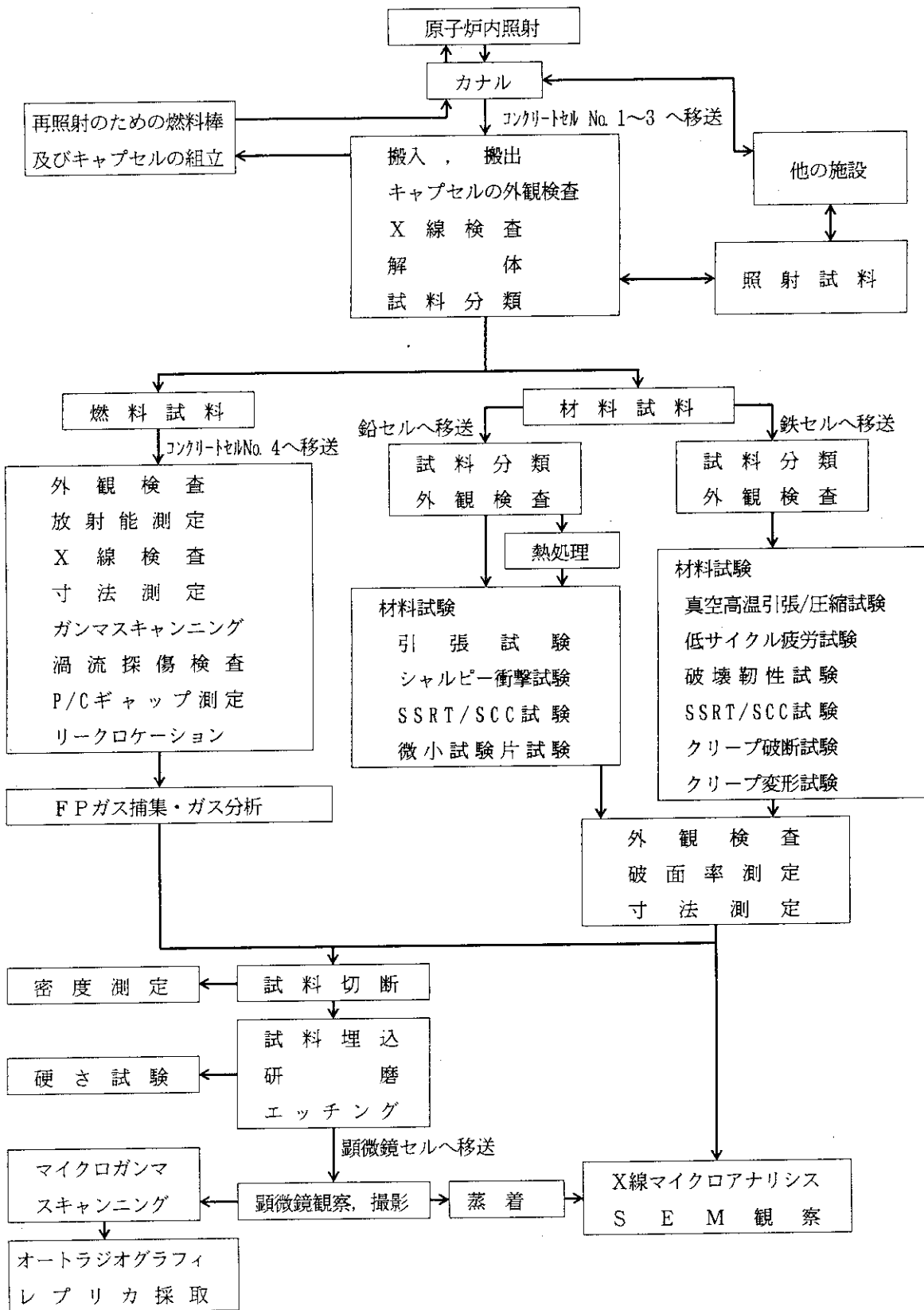
No.	No. 1 セル	No. 2 セル	No. 3 セル	No. 4 セル	No. 5 セル	No. 6 セル	No. 7 セル
	ストレージピット 吊り上げ装置	環境別長割れ試験装置 応力腐食割れ試験装置 超音波洗浄装置 P型ベリスコープ	真空引張試験装置 シャルピー衝撃試験装置 P型ベリスコープ	スモールベンチ試験装置 熱処理装置 P型ベリスコープ	試験片加工装置	マイクロコンピュータ 高速パンチ試験装置	ビッカース硬度計 マイクロカス硬度計 破面観察装置 P型ベリスコープ
	M-7 マニプレータ	M-7 マニプレータ	M-7 マニプレータ	M-7 マニプレータ	M-7 マニプレータ GHD マニプレータ	M-7 マニプレータ マイクロコンピュータ	M-7 マニプレータ マイクロコンピュータ

第3.6図 材料試験用鉛セル内装機器類配置図



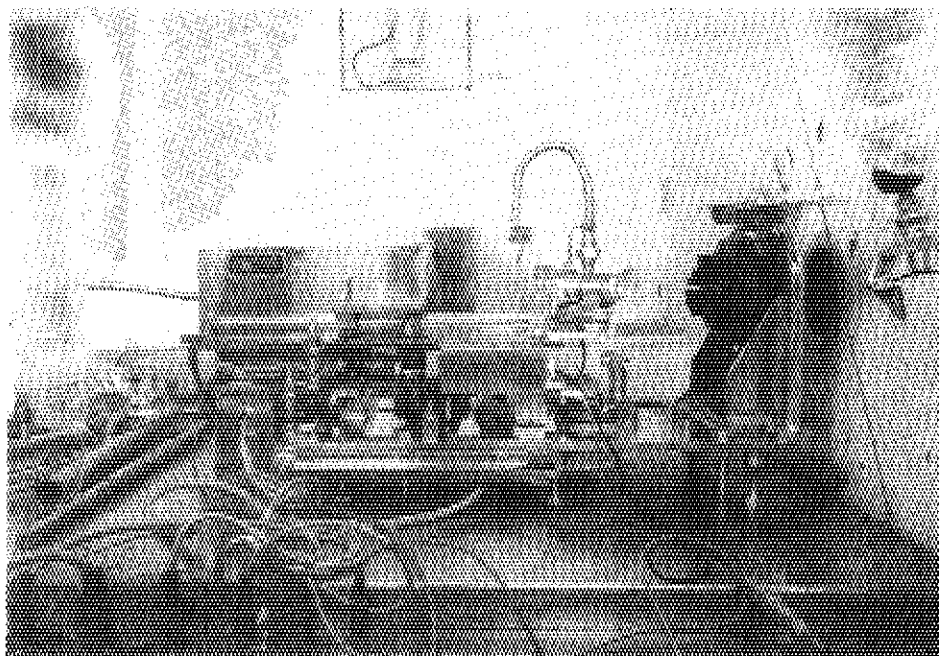
No.	No. 5 セル	No. 4 セル	No. 3 セル	No. 2 セル	No. 1 セル
	クリープ試験装置 クリープ変形試験装置	定荷重/応力腐食割れ 試験装置 低電速度/応力腐食割れ 試験装置 吊り上げ装置	破壊靱性試験装置 大気中引張試験装置 P型ペリスコプ	ストレージピット 試料観察装置 吊り上げ装置	低サイクル疲労試験装置 寸法測定器 (ITV) P型ペリスコプ
MA11/80型	MA11/80型	MA11/80型	MA11/80型	MA11/80型	MA11/80型
	コンピュータ	コンピュータ	コンピュータ	コンピュータ	コンピュータ

第3.7図 材料試験用鉄セル内装機器類配置図

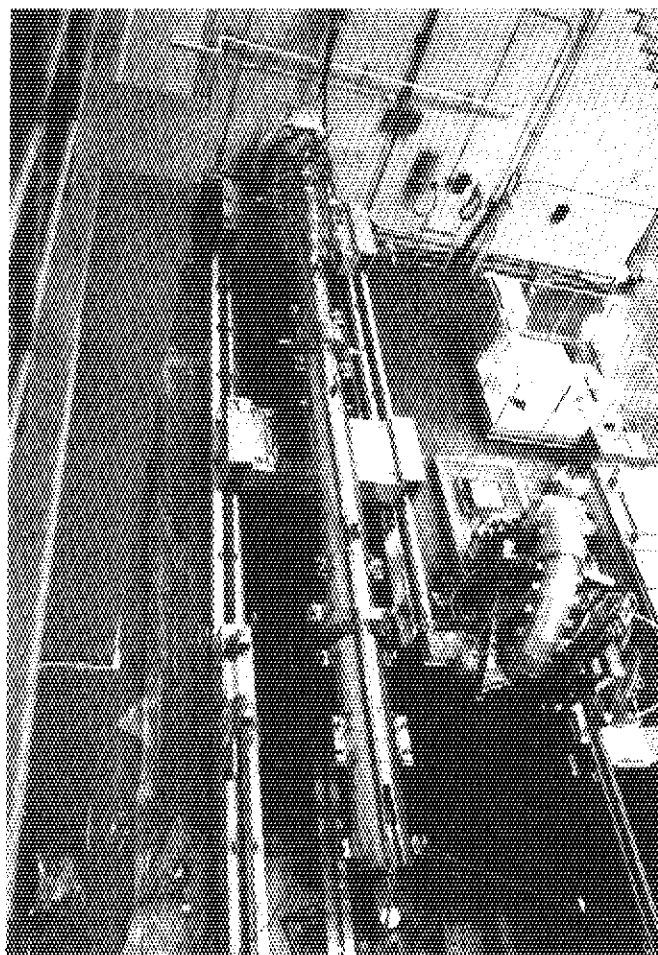


第3.8図 照射後試験の流れ

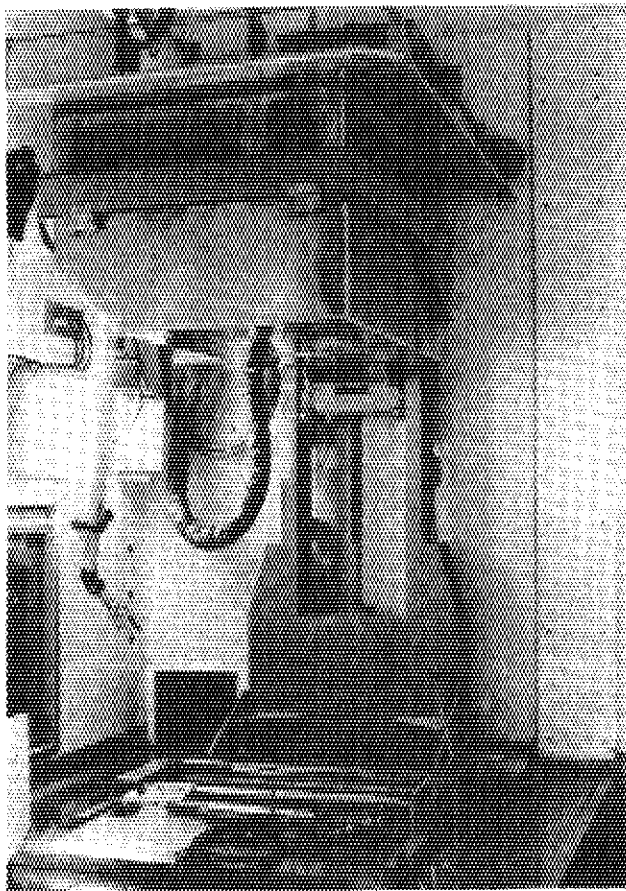




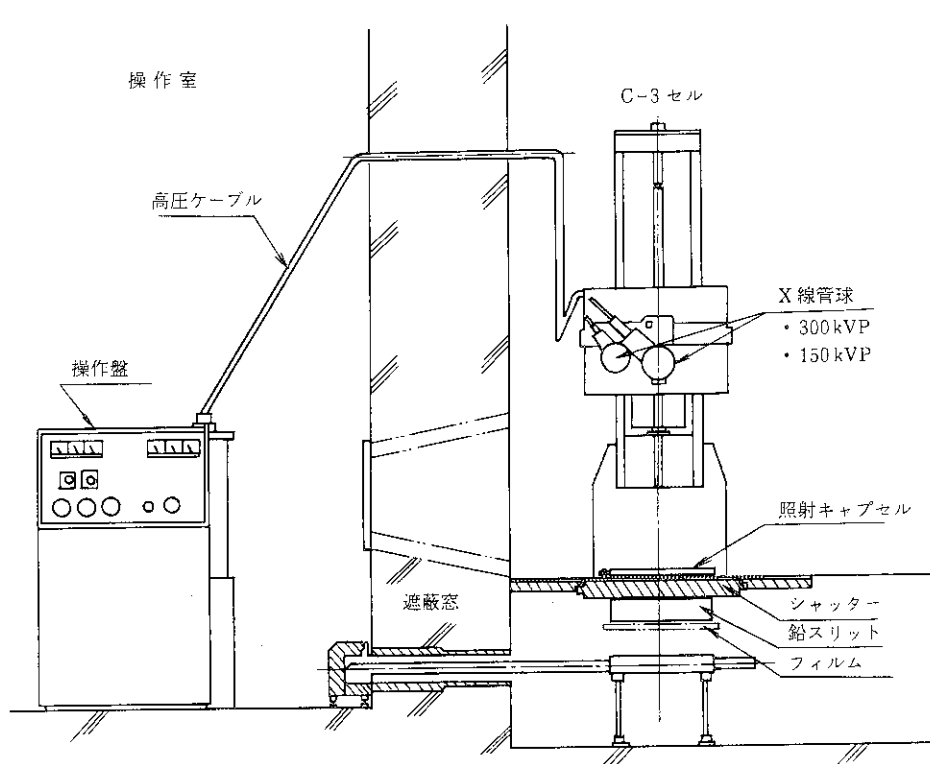
第3.9図 BOCAキャプセル用端栓締付装置



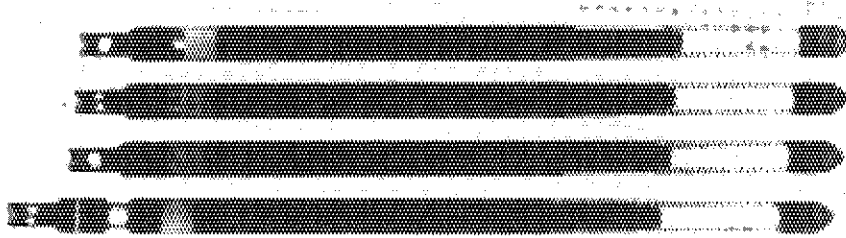
第3.10図 BOCAキャプセル用遮へい体



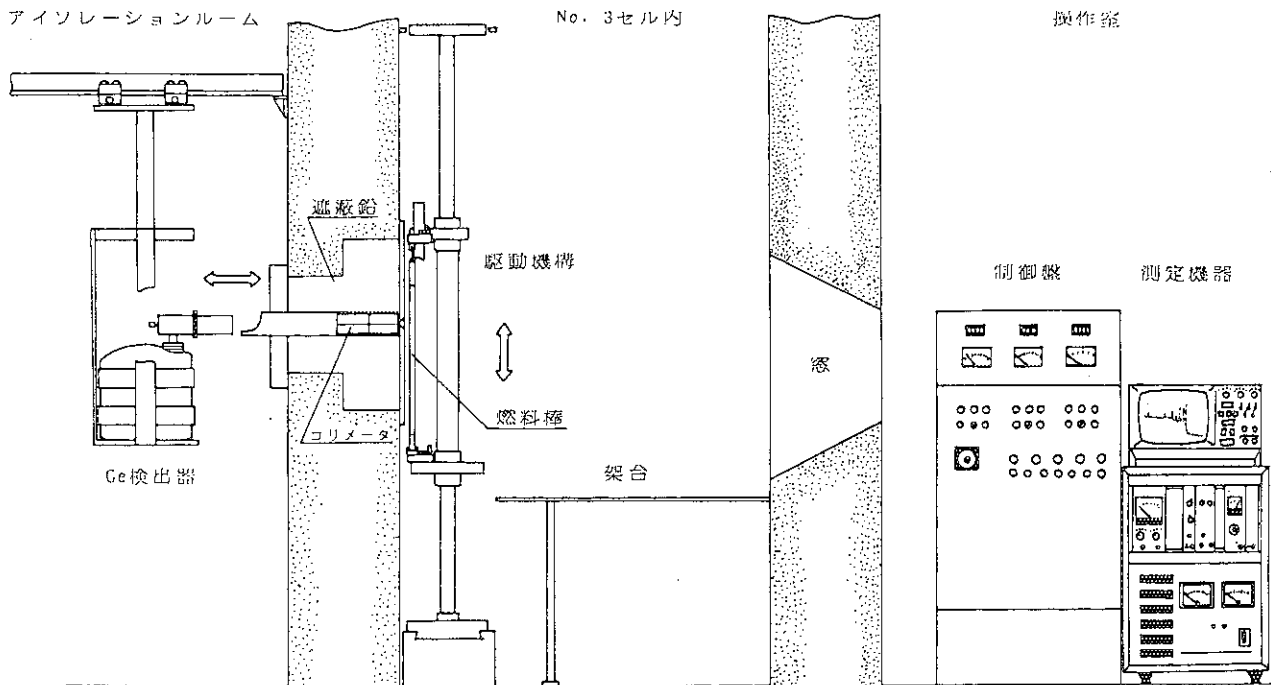
セル内本体部



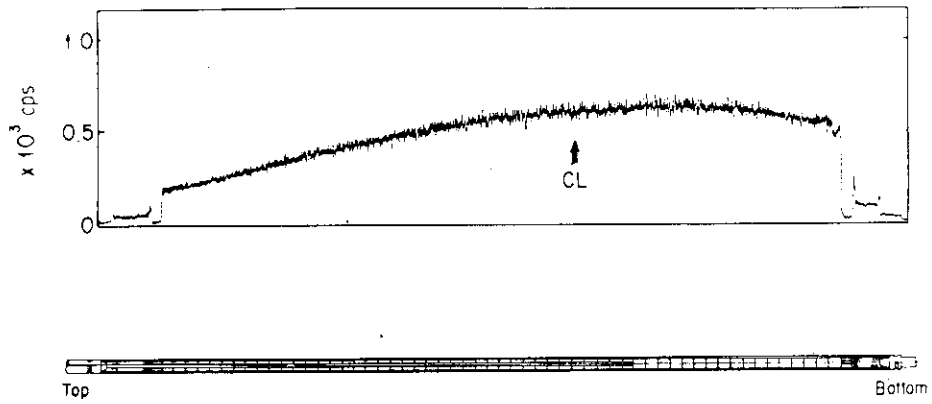
第3.11図 X線撮影装置



第3.12図 X線写真の例

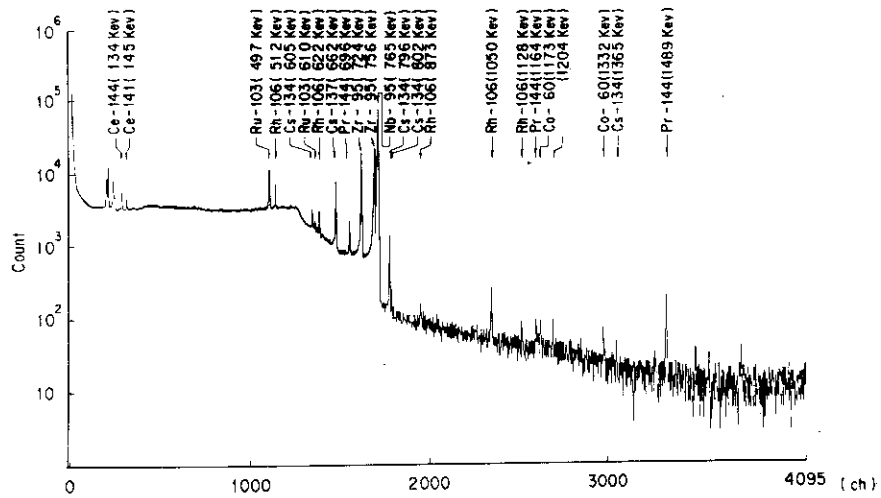


第3.13図 ガンマスキャンニング装置



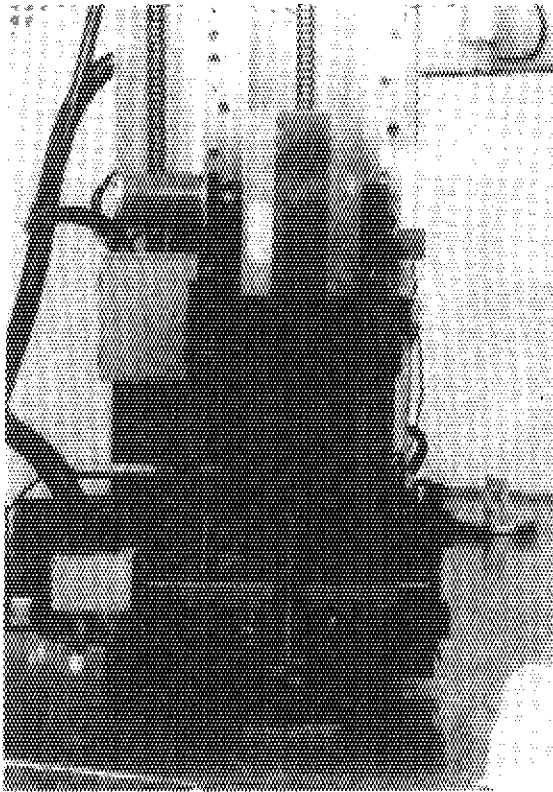
GROSS GAMMA SCANNING

燃料棒の軸方向の分布

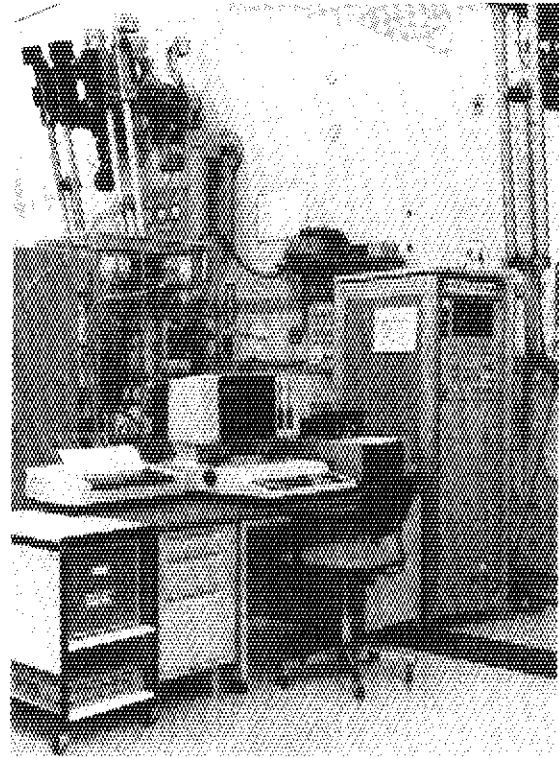


燃料棒のγ線スペクトラム

第3.14図 ガンマスキュニングデータの例

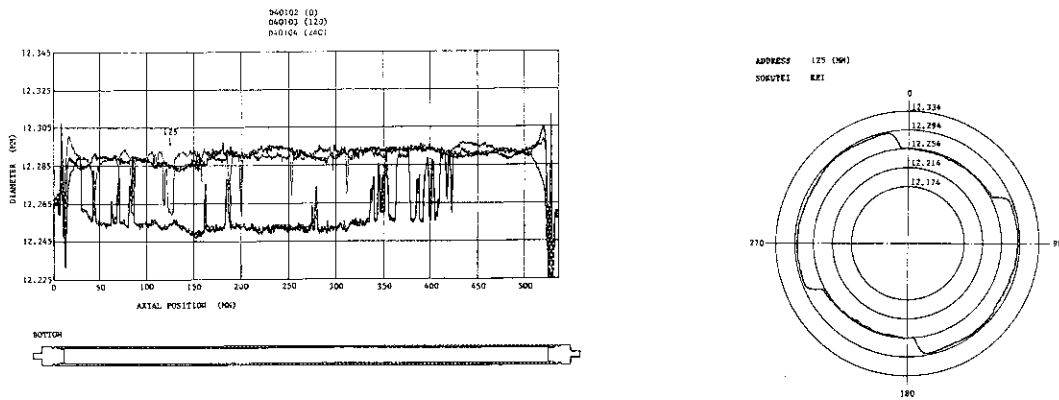


本体

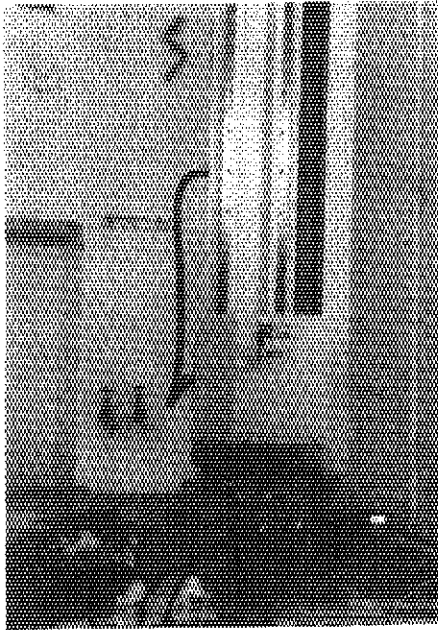


制御盤, データ収集及び処理装置

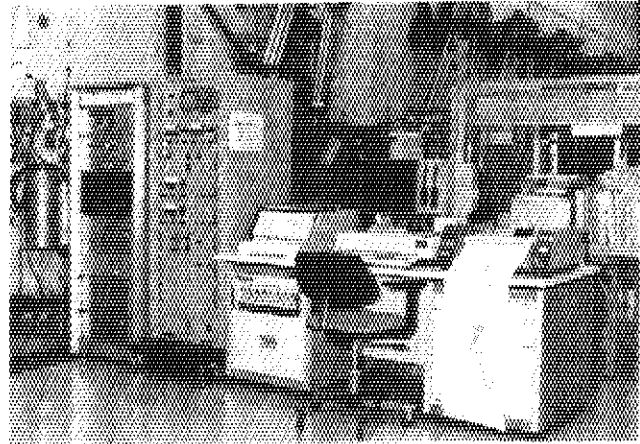
第3.15図 燃料棒寸法測定装置



第3.16図 寸法測定データの例

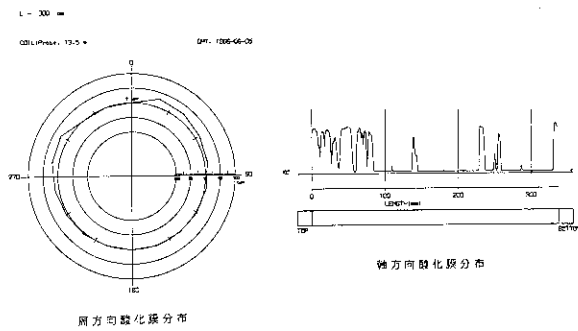
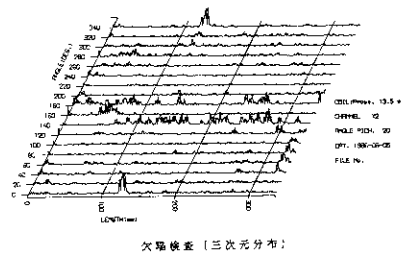


本体

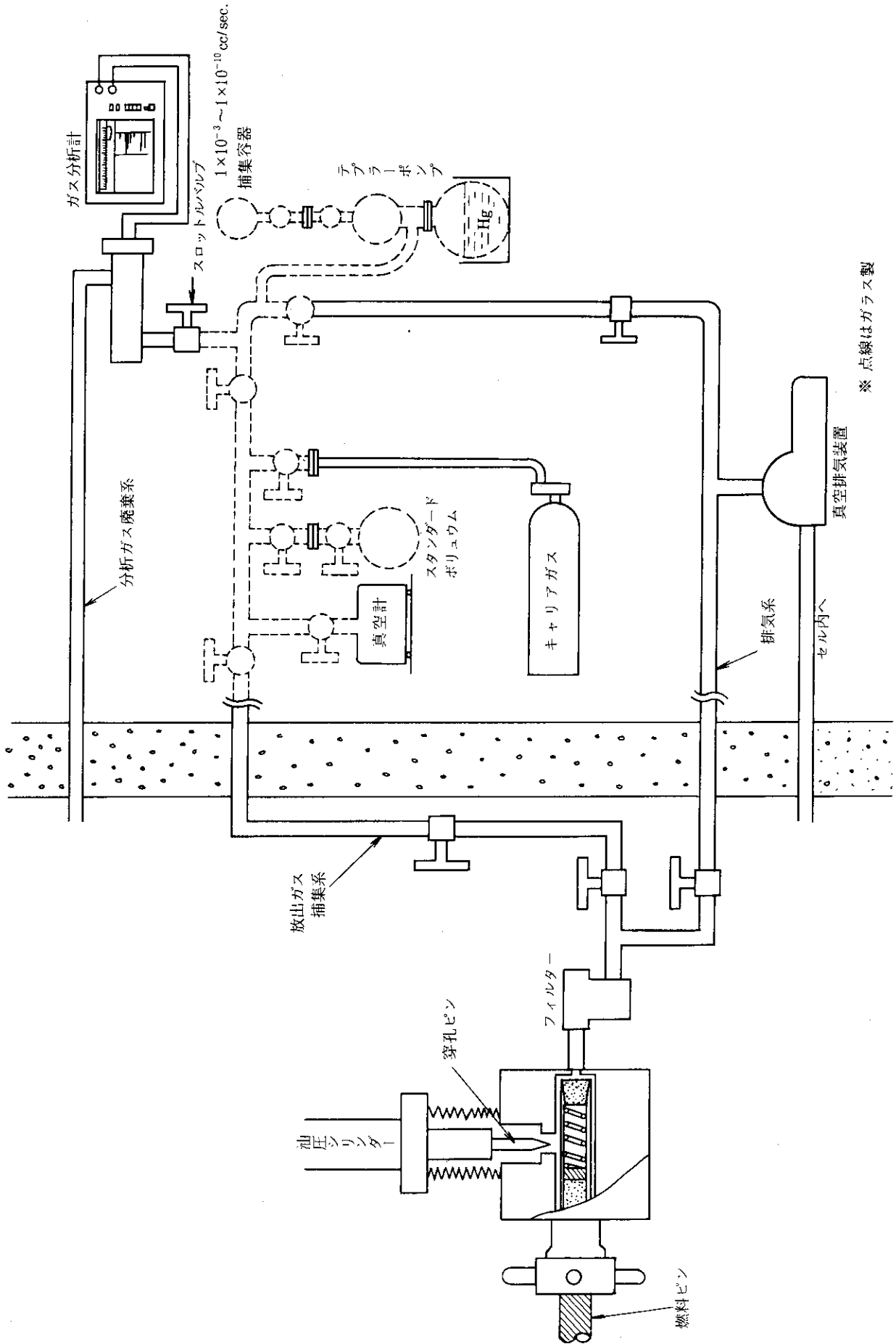


制御盤, データ収集及び処理装置

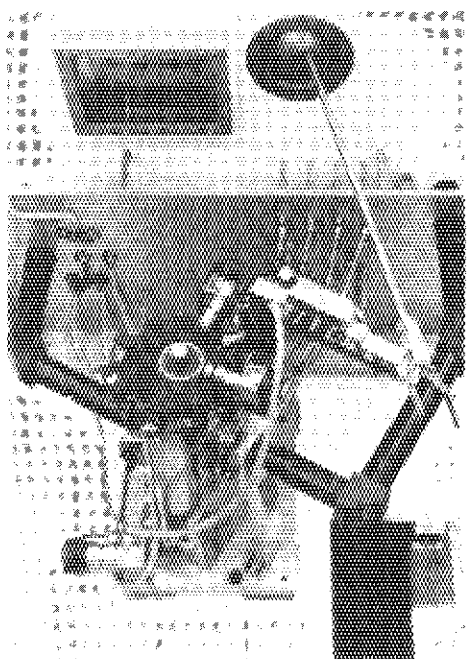
第3.17図 被覆管欠陥検査装置 (渦電流試験)



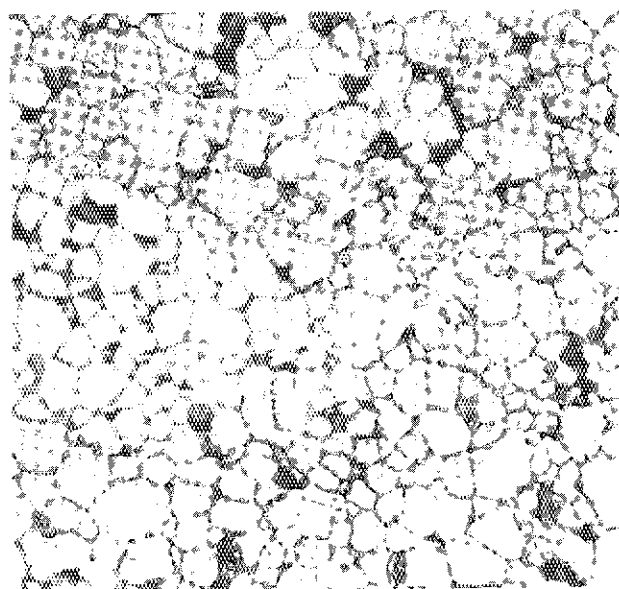
第3.18図 渦電流試験データの例



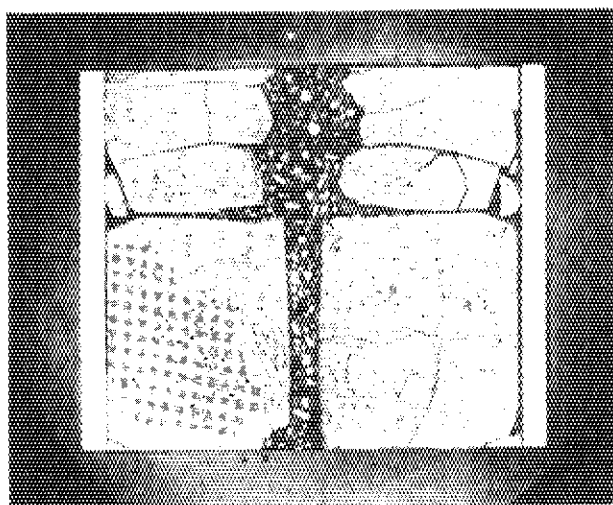
第3.19図 F Pガス捕集装置の概要図



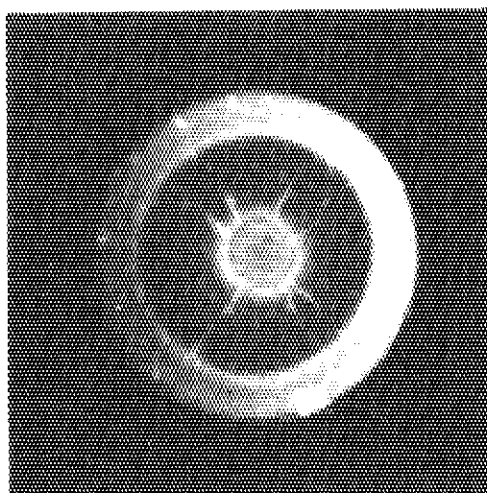
第3.20図 セル内に据付けられた顕微鏡



第3.21図 照射後UO<sub>2</sub>燃料の顕微鏡写真  
(×400)

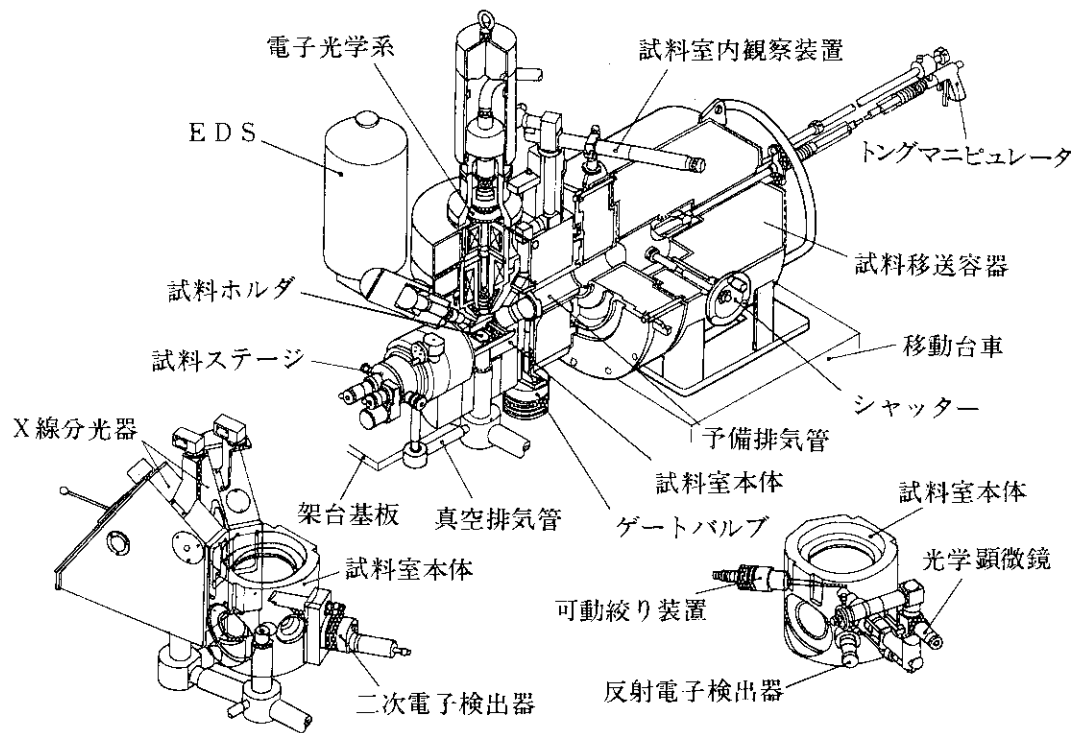


第3.22図 照射後UO<sub>2</sub>燃料ピンの  
縦割り試料, 低倍率顕微鏡写真(×5)

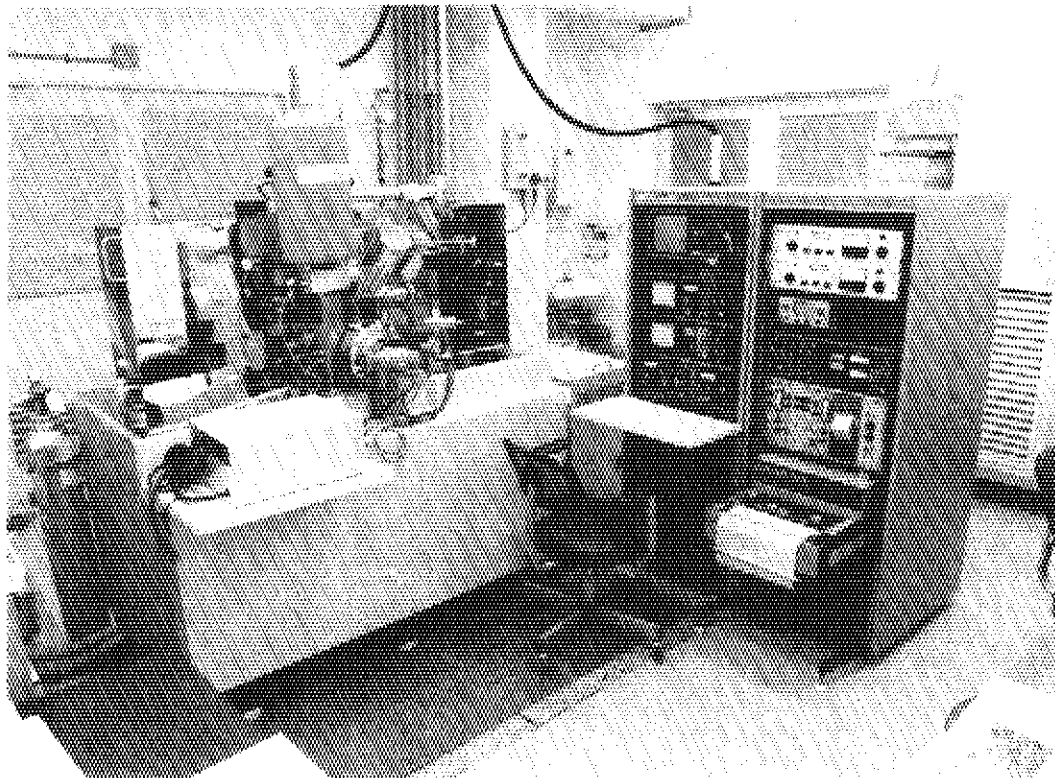


第3.23図 照射後UO<sub>2</sub>燃料のβ-γ  
オートラジオグラフィ





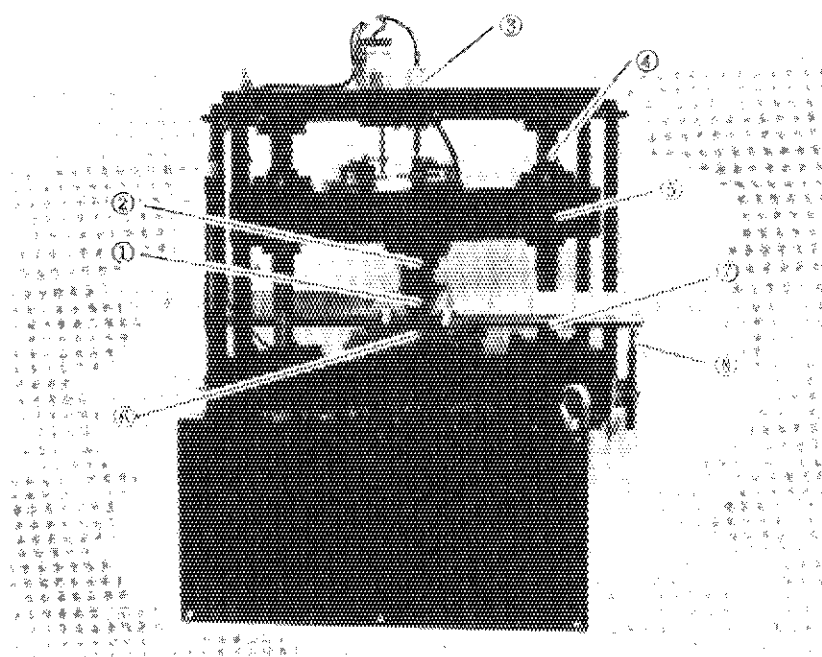
XMAの構造図



第3.24図 遮へい型X線マイクロアナライザ (XMA)

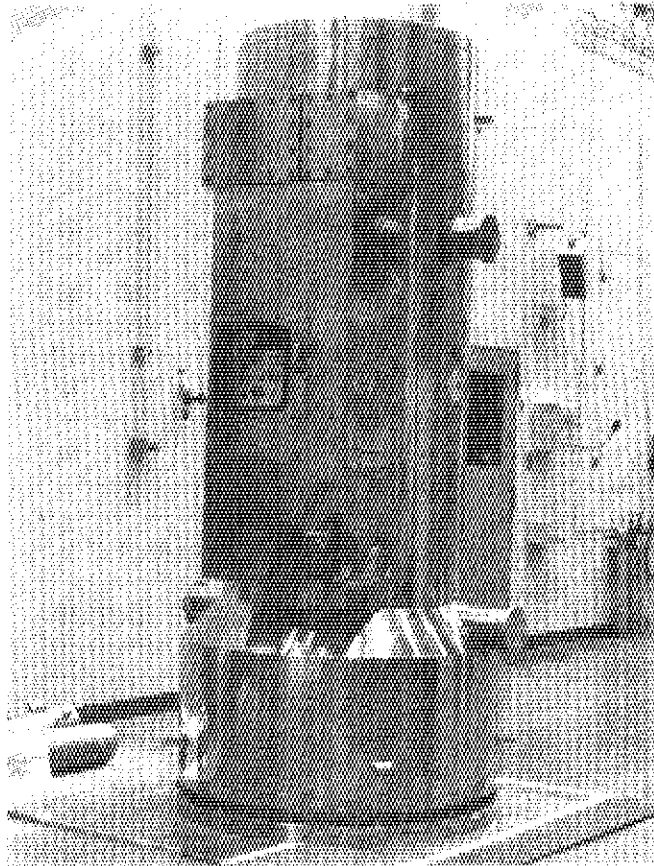


第3.25図 XMAによる二次電子像（被覆粒子燃料）

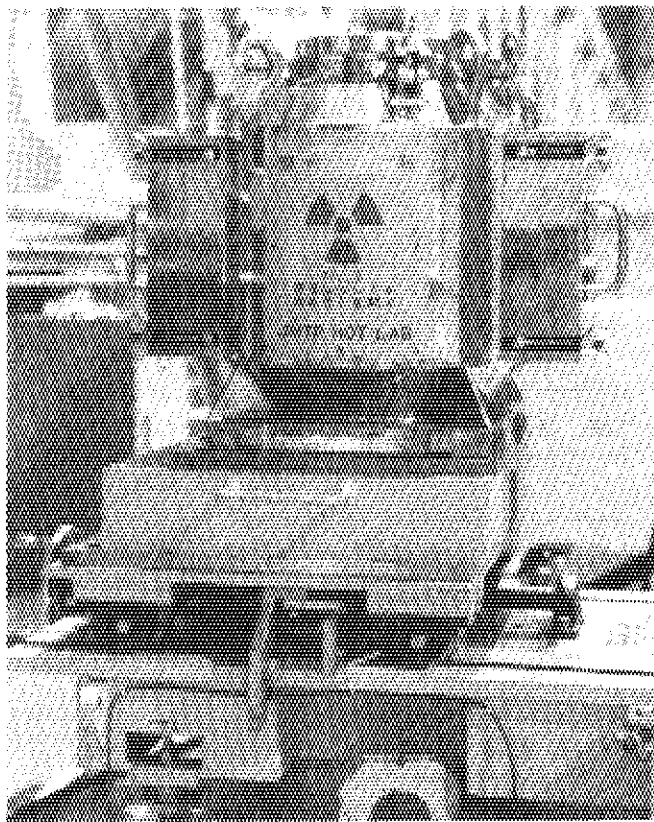


- |             |          |
|-------------|----------|
| ① 圧子        | ⑤ クロスヘッド |
| ② ロードセル     | ⑥ 燃料支持台  |
| ③ 電気マイクロメータ | ⑦ 燃料ピン   |
| ④ リードスクリュー  | ⑧ 平行支持機構 |

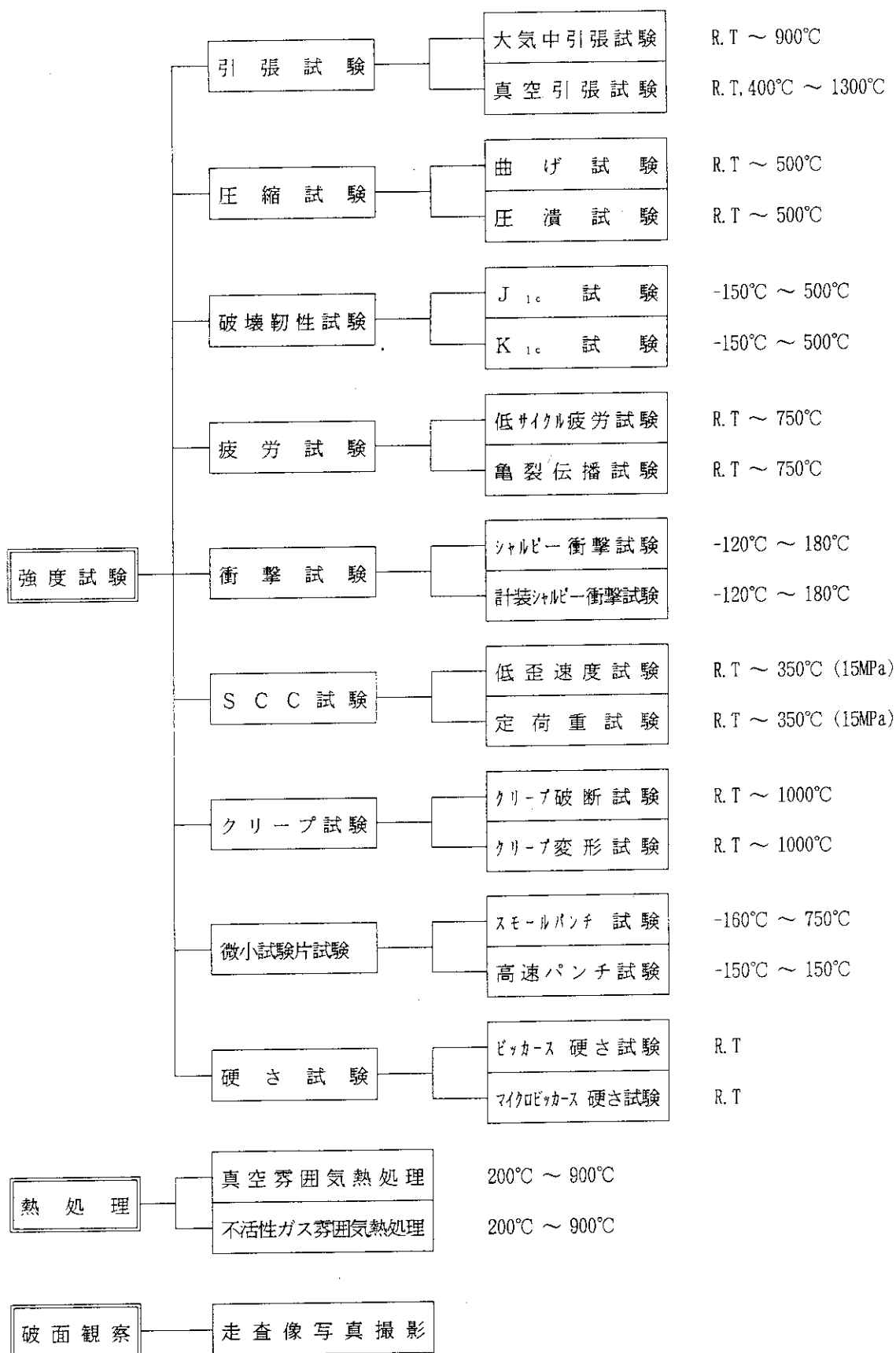
第3.26図 ギャップ測定装置セル内本体部



第3.27图 核燃料輸送容器

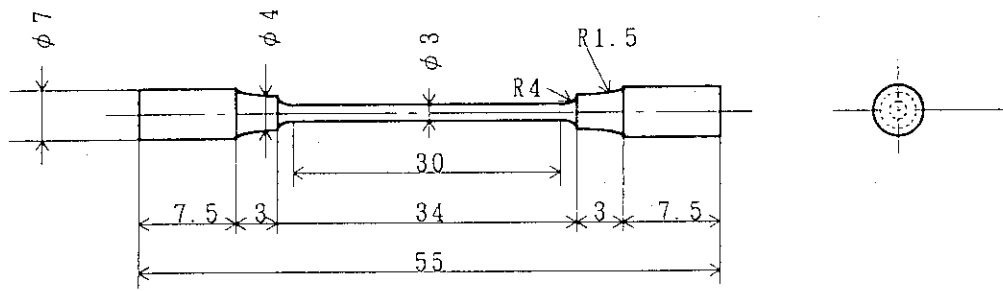


第3.28图 R I 輸送容器

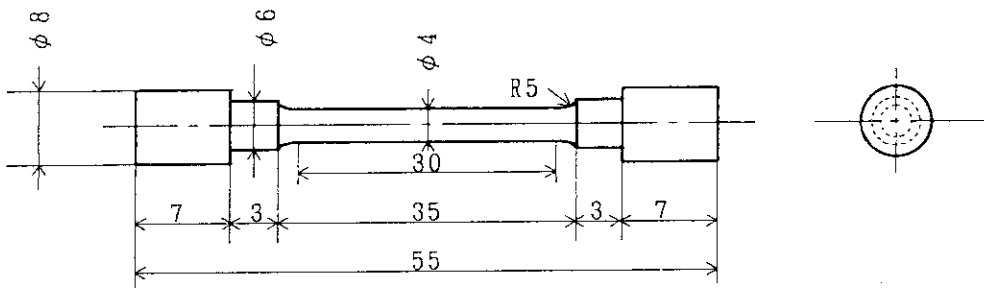


〔注〕 欄外に示す数値は実施可能な試験温度の範囲である。

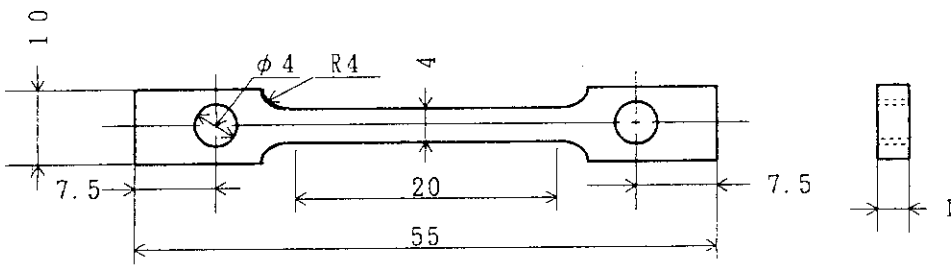
第3.29図 材料試験用セルにおける照射後強度試験等の項目



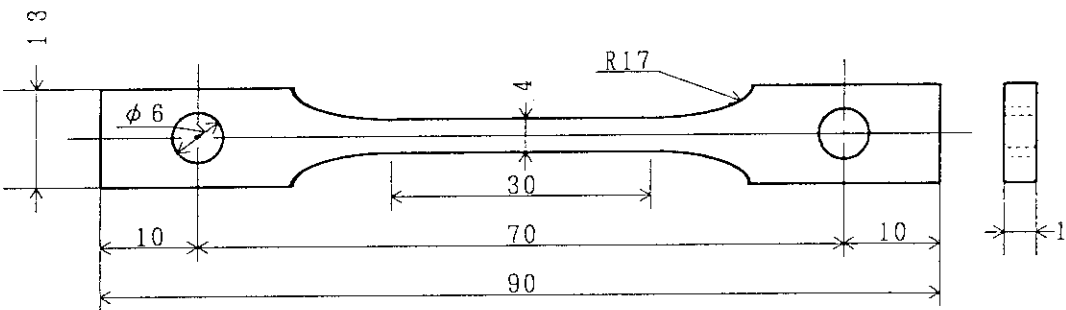
丸棒引張試験片 (φ3)



丸棒引張試験片 (φ4)

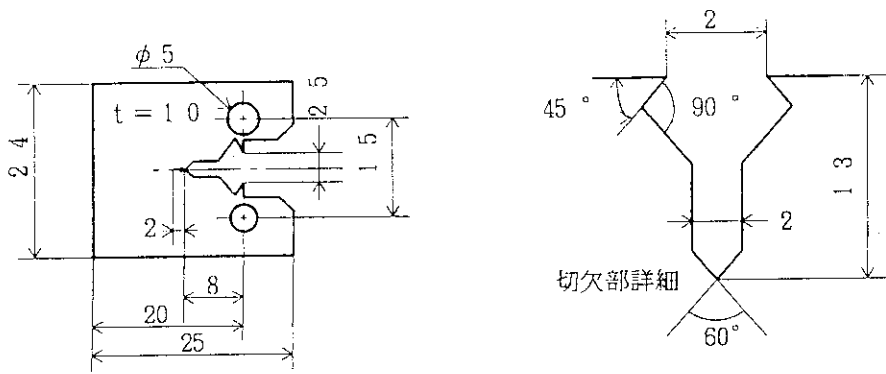


板引張試験片 (L=55)

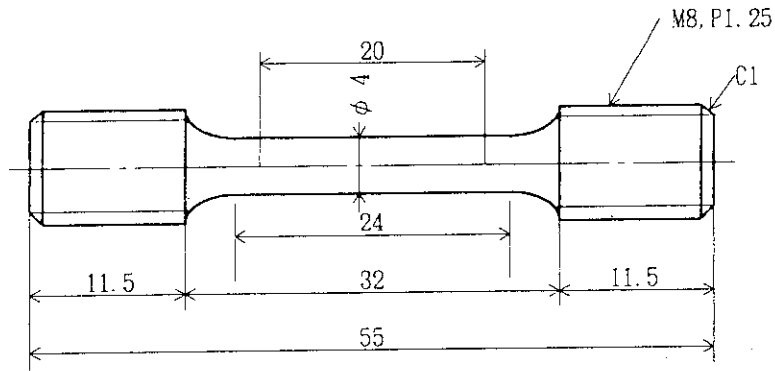


板引張試験片 (L=90)

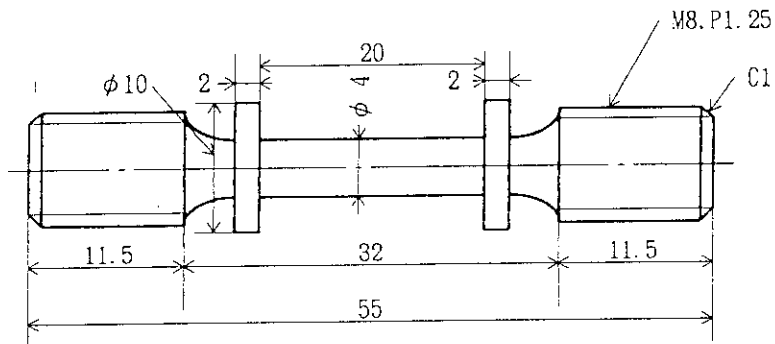
第3.30図 JMT Rホットラボ強度試験用標準試験片〔I〕



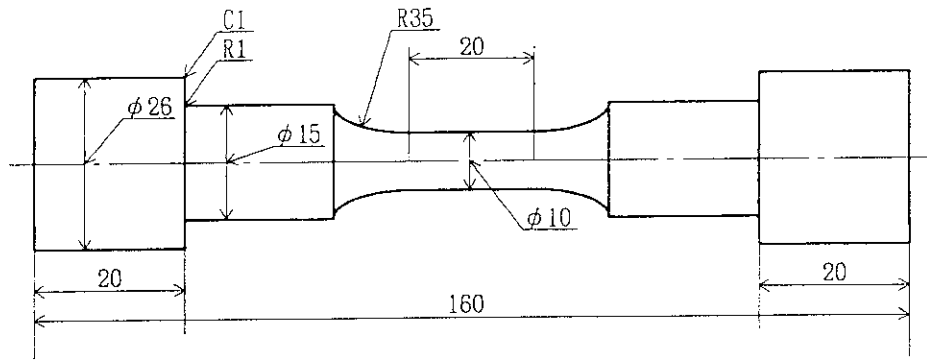
破壊靱性試験片 (0.4 TCT,  $t=10$ )



クリープ破断試験片 ( $\phi 4$ )

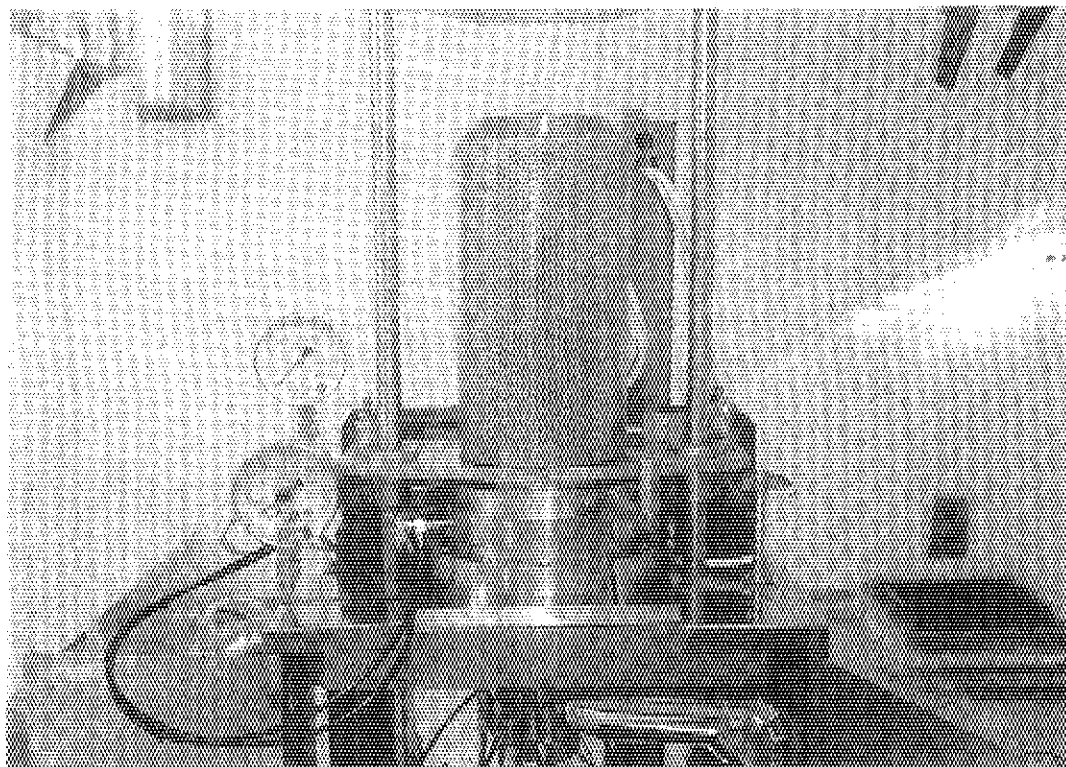


クリープ変形試験片 ( $\phi 4$ )

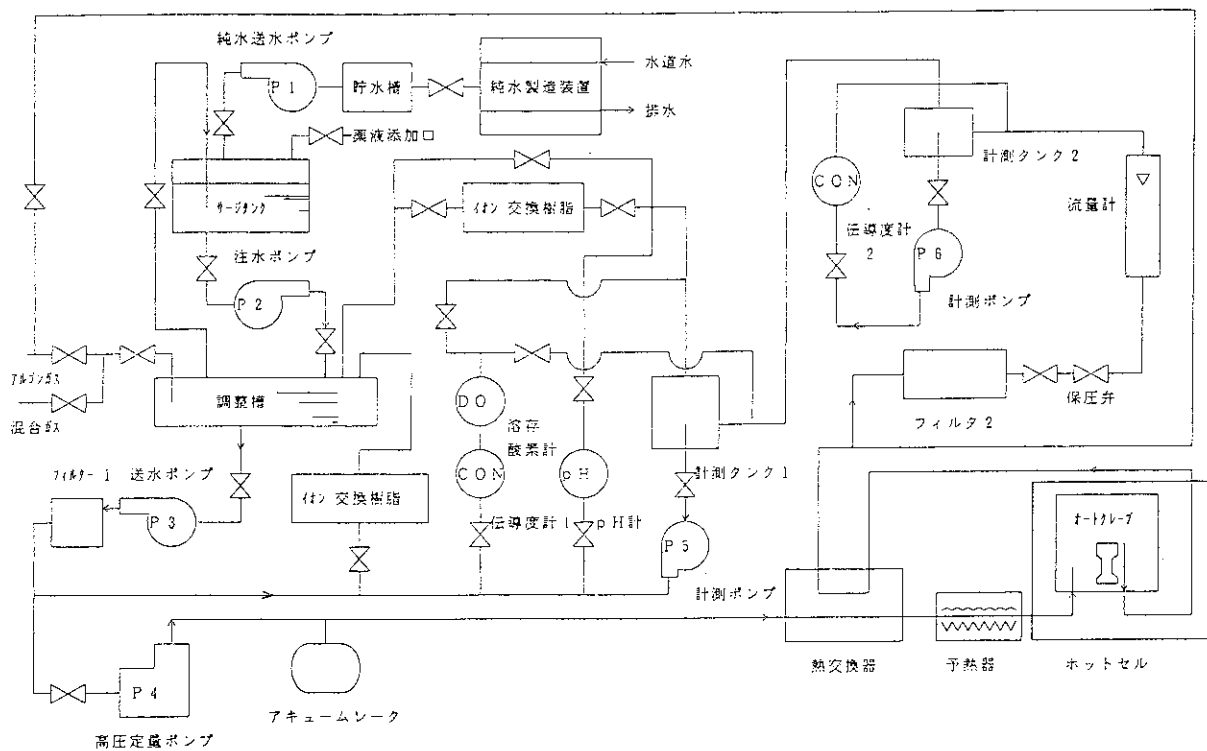


スプリットエンド型疲労試験片 ( $\phi 10$ )

第3.31図 JMTRホットラボ強度試験用標準試験片〔II〕



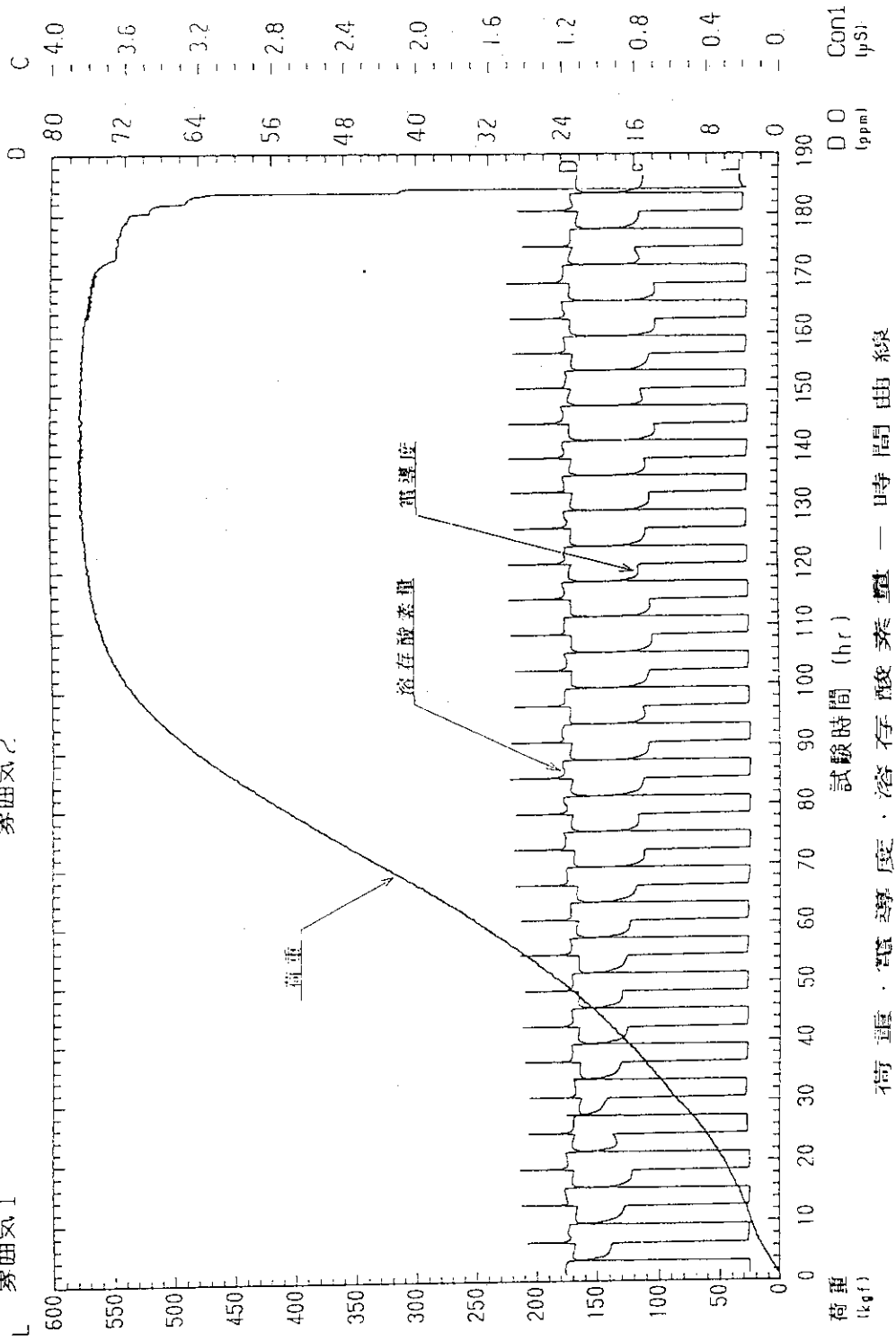
第3.32図 応力腐食割れ試験装置



第3.33図 応力腐食割れ試験装置ダイヤグラム

# SSRT試験特性

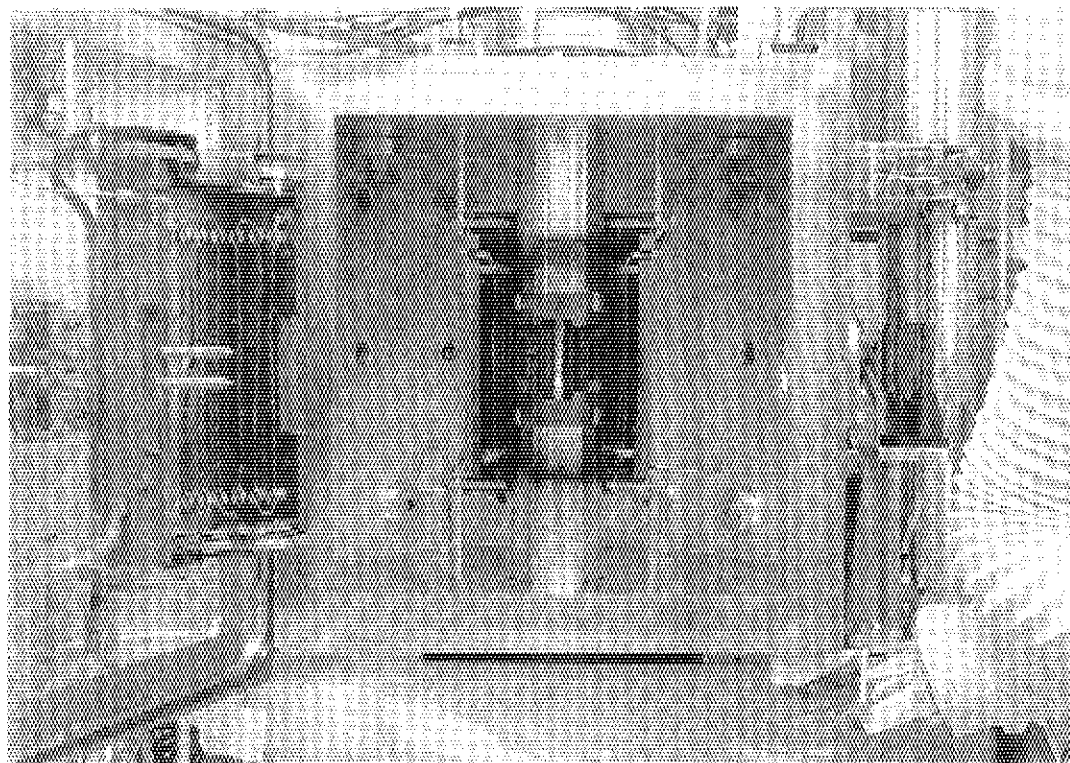
試料名 分類記号 霧田気1  
 試験速度 1.53E-4 試料形状 平板  
 温度 200 °C 圧力 95 kg/cm<sup>2</sup>  
 雰囲気? 雰囲気?



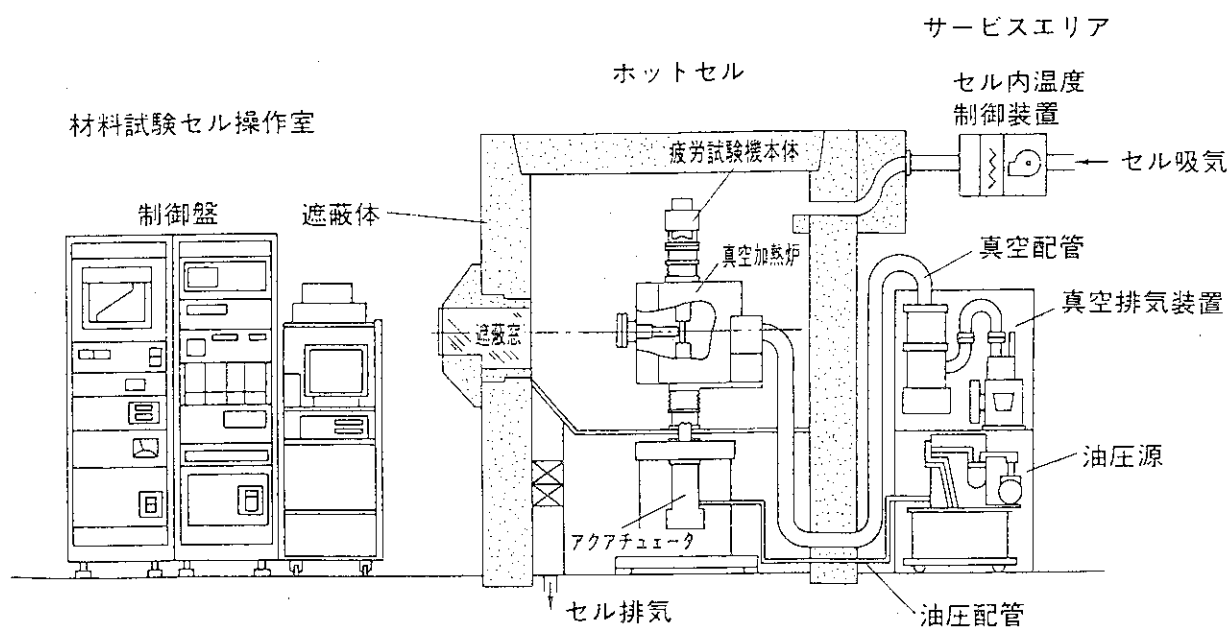
荷重・電位差・電流・時間曲線

第3.34図 応力腐食割れ試験データの例

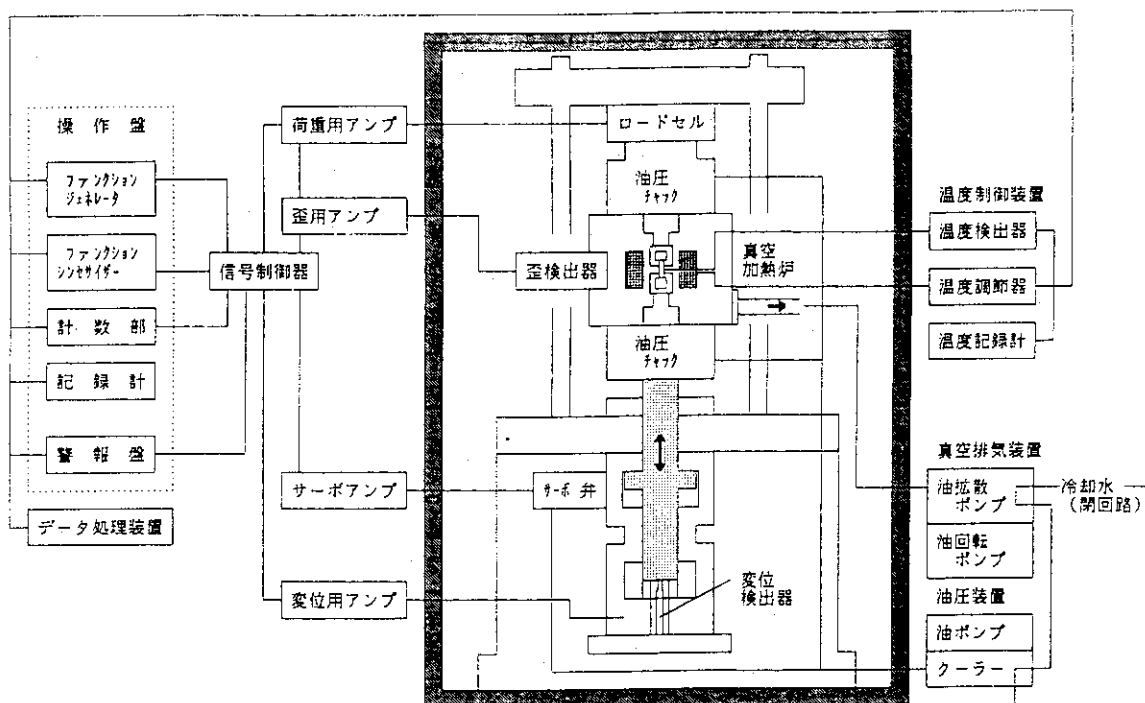




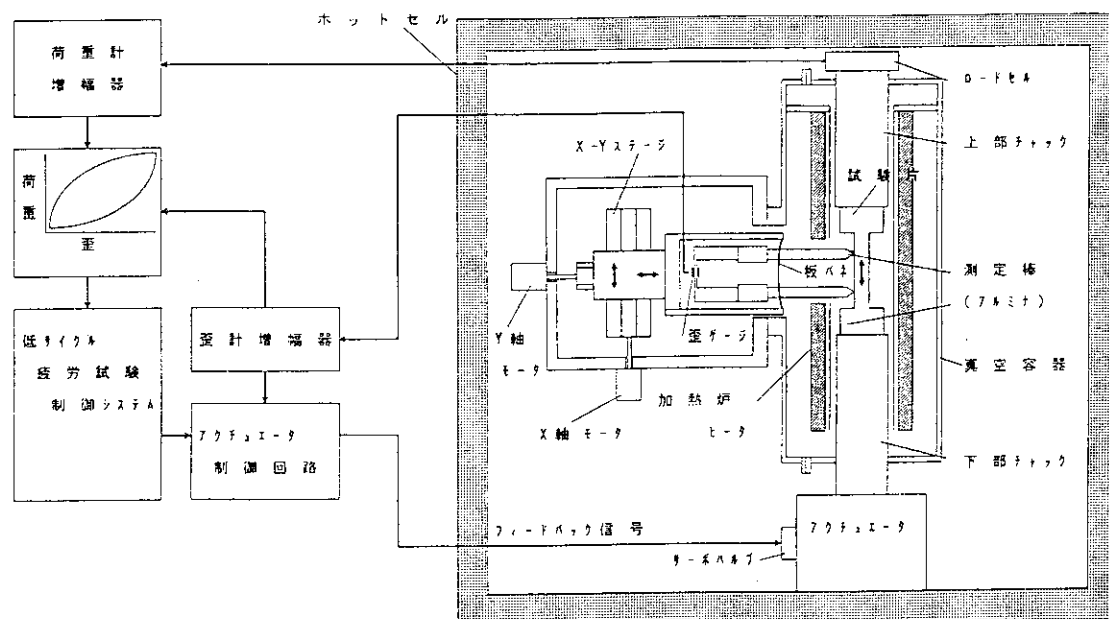
第3.35図 疲労試験装置



第3.36図 疲労試験装置概要

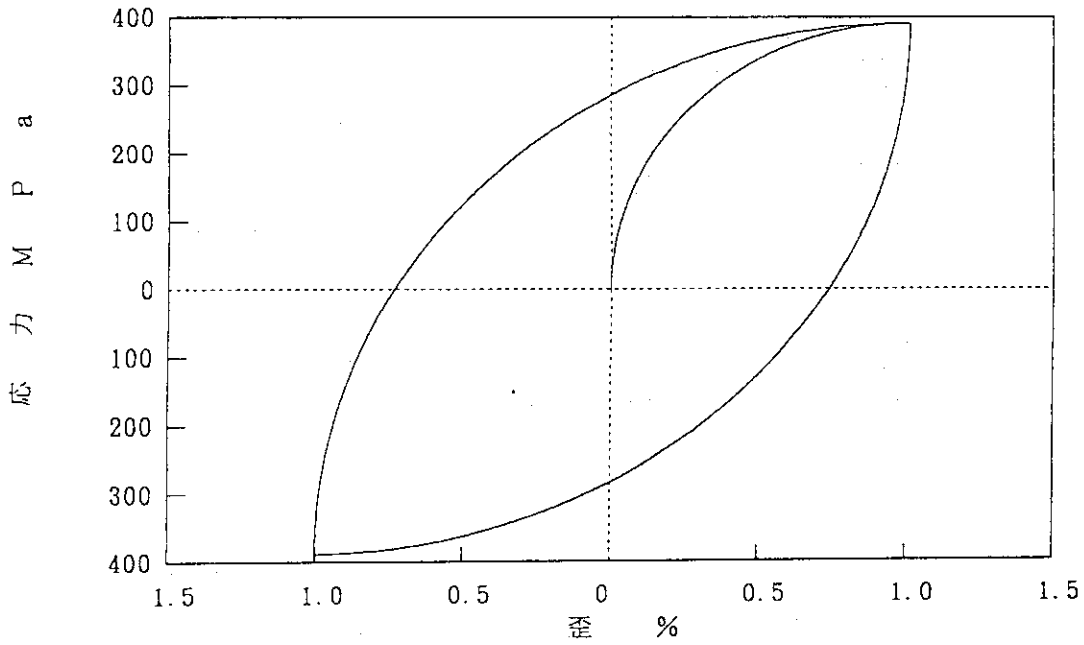


第3.37図 疲労試験装置ダイヤグラム

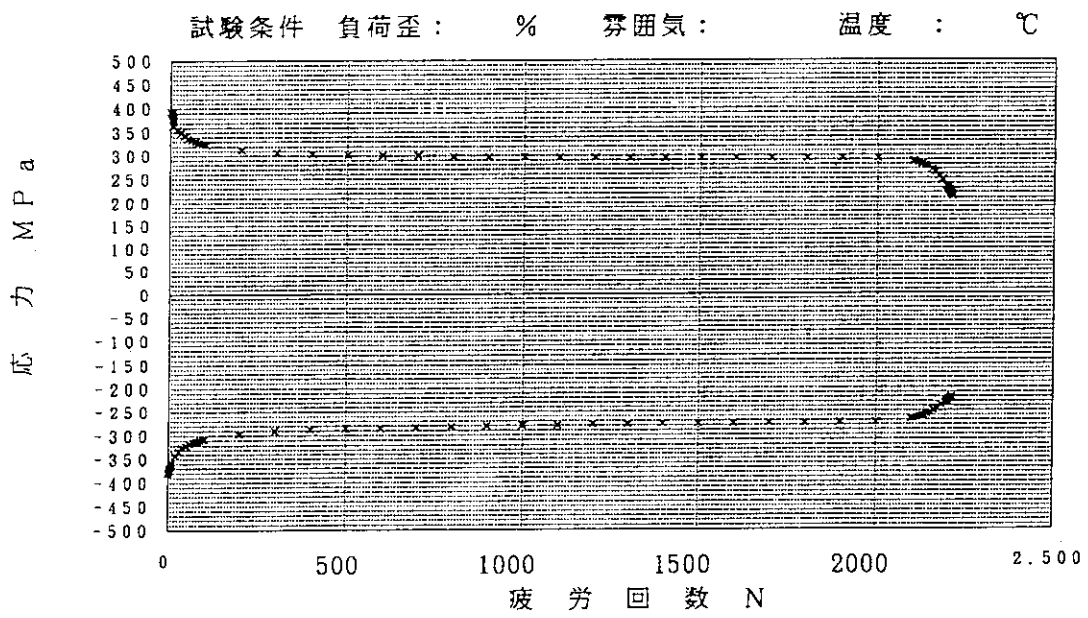


測定範囲 :  $\pm 1\text{mm}$  (標点間 :  $20\text{mm}$ )  
 測定制度 : F.S 1%  
 接触圧力 :  $100\text{g} \sim 2\text{kg}$

第3.38図 接触型変位測定器ダイヤグラム

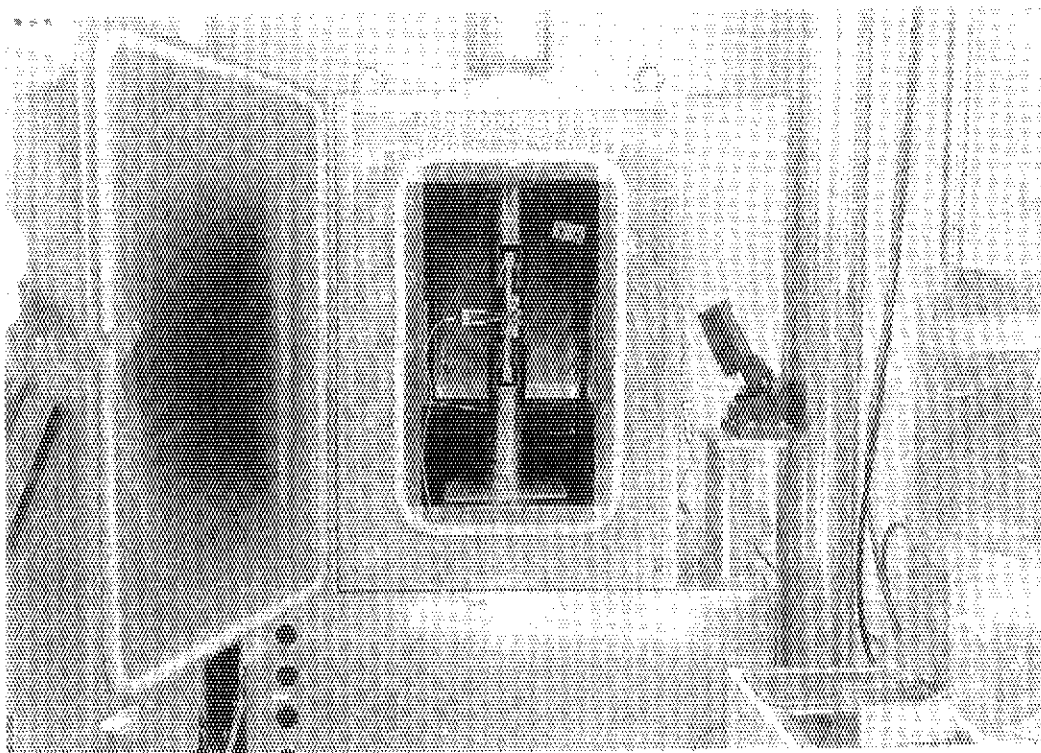


応力 - 歪線図

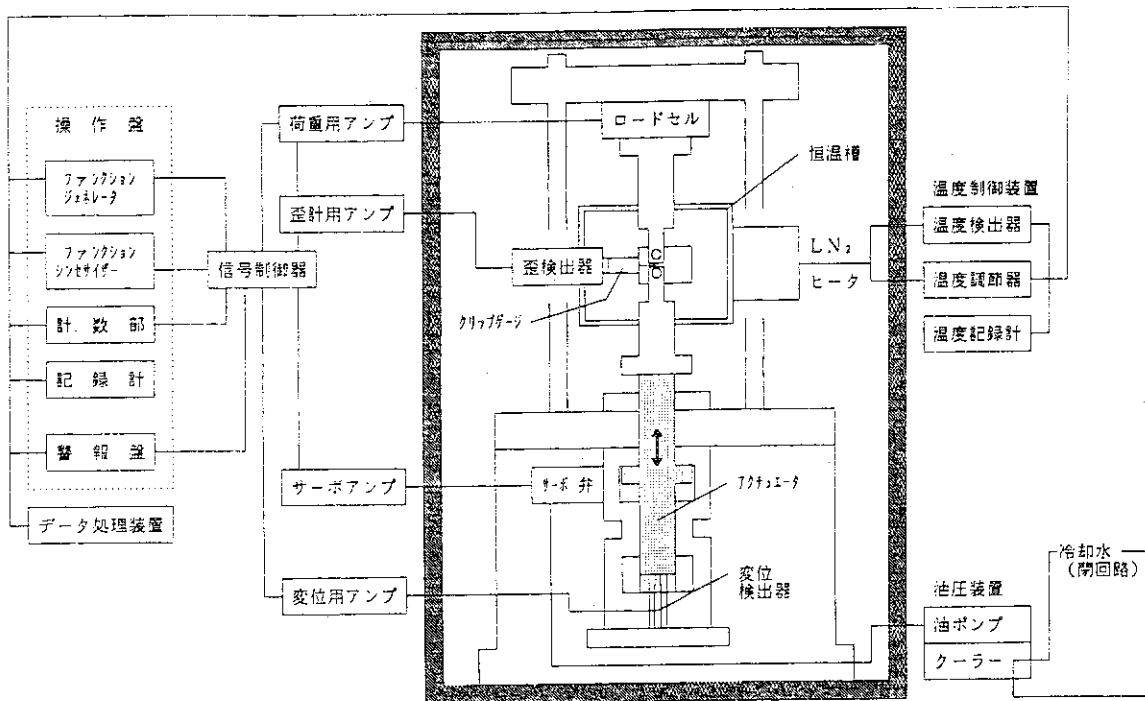


応力 - 疲労回数線図

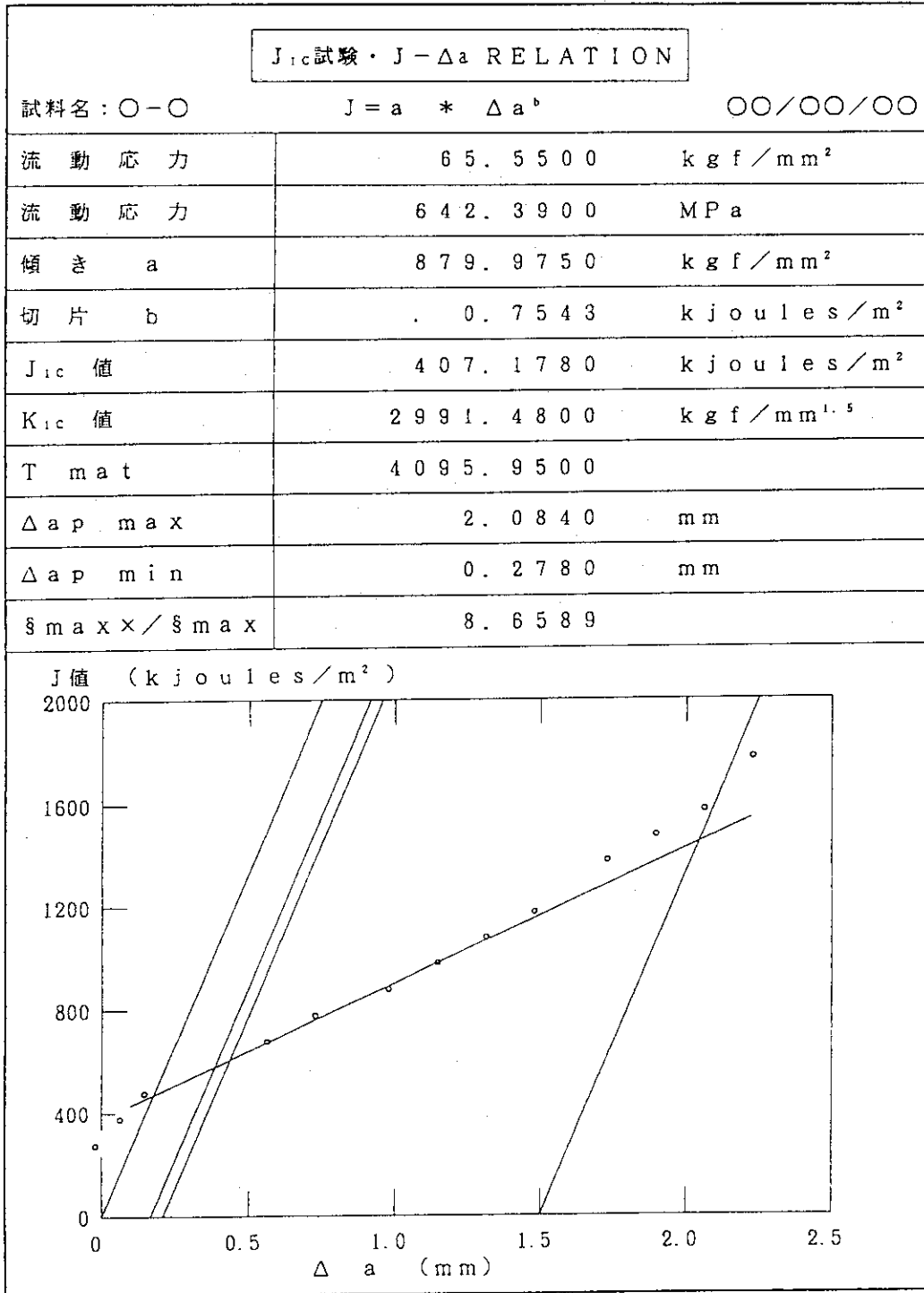
第3.39図 低サイクル疲労試験データの例



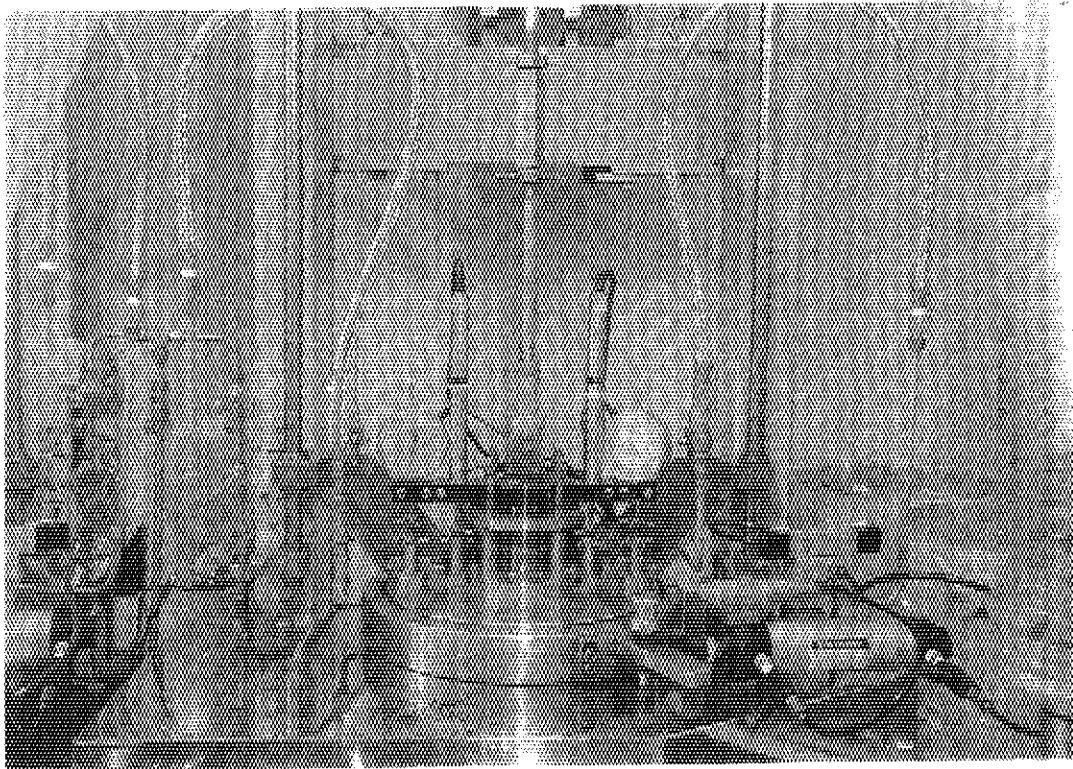
第3.40図 破壊靱性試験装置



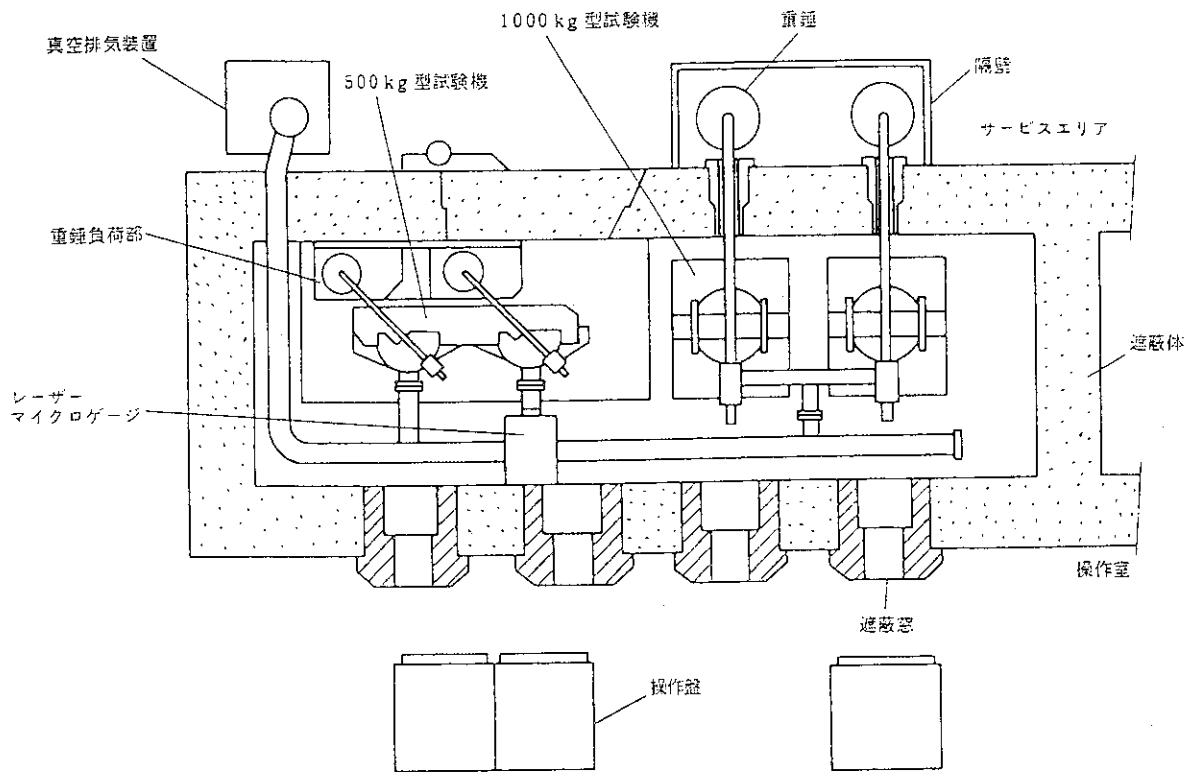
第3.41図 破壊靱性試験装置ダイアグラム



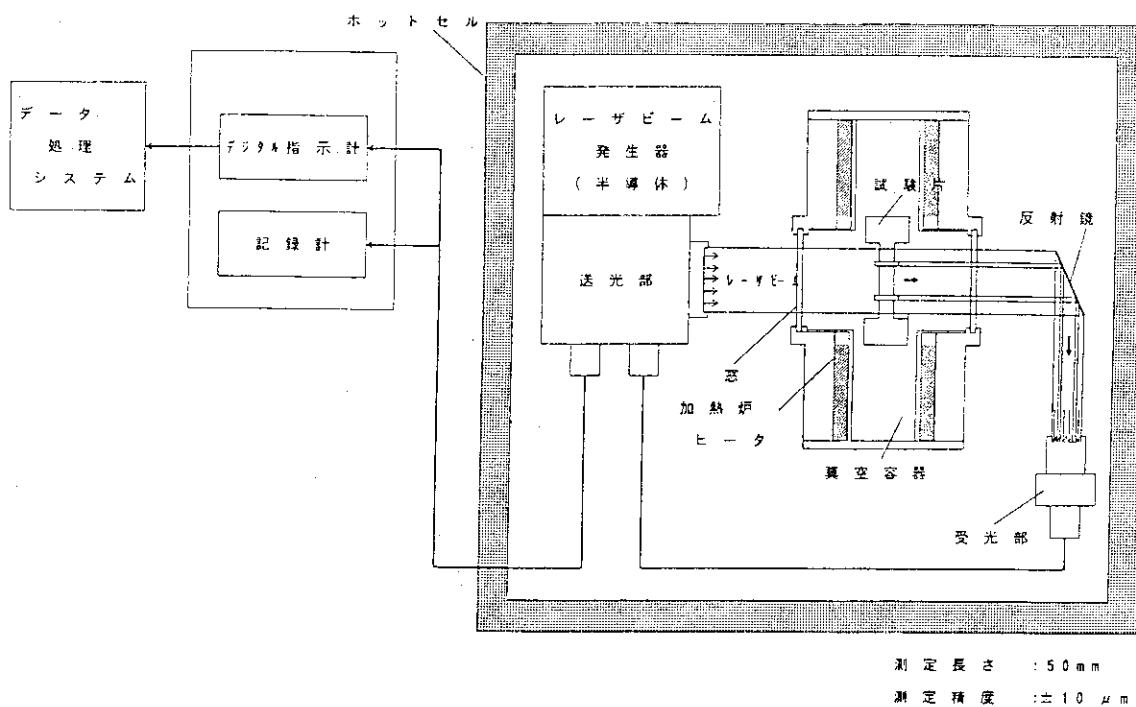
第3.42図 破壊靱性試験 (J<sub>1c</sub>) データの例



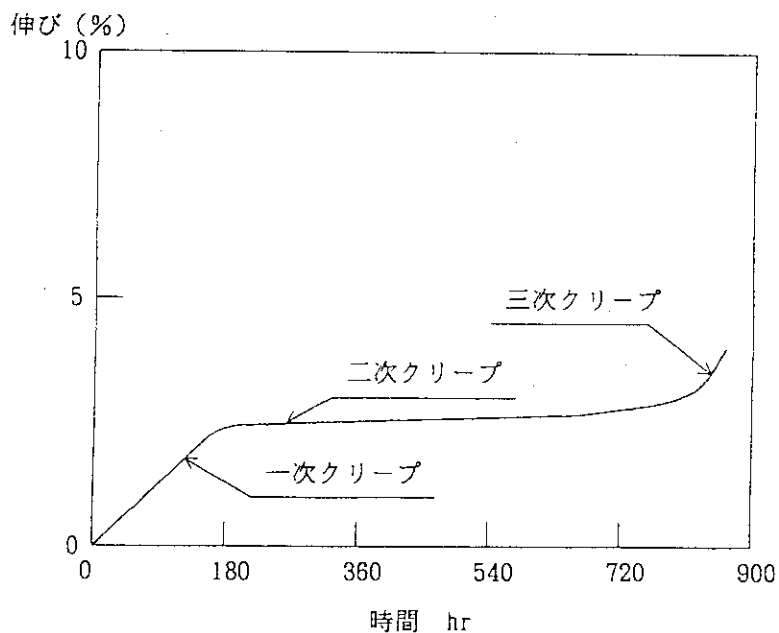
第3.43図 クリープ試験装置



第3.44図 クリープ試験装置配置図



第3.45図 非接触型変位測定器ダイヤグラム



00/00/00~00/00/00  
 キャプセル番号 : 00M-000  
 試験片番号 : 00  
 試験荷重 : 31.50 kg  
 試験応力 : 24.6 MPa  
 試験時間 : 853.0 hr  
 破断歪 : 0.83 mm  
 破断伸び : 4.15 %

第3.46図 クリープ変位試験データの例

## 4. 中性子束分布・発熱量等の決定

## 目 次

4.1	概 要 .....	131
4.2	炉心配置の決定の手順 .....	131
4.3	核計算による炉心配置の検討 .....	132
4.4	核計算による試料発熱量推定精度 .....	133
4.5	キャプセル試料発熱量の推定 .....	133
4.6	$\gamma$ 発熱と $\gamma$ 線スペクトル .....	134
4.7	中性子スペクトルと中性子照射量 .....	134

## 表 一 覧

第4.1表	スペクトル補正領域の区分 .....	137
第4.2表	$Q_{CAL}$ の精度 .....	137
第4.3表	核計算とフルエンスモニタによる中性子照射量（予測値と評価値）の 一致度とフルエンスモニタ使用上の注意 .....	137
第4.4表	中性子スペクトル指標 .....	138
第4.5表	$\Phi^{EDN}$ と $\Phi (>1.0\text{MeV})$ の関係 .....	138
第4.6表	JMTRで照射された材料試料中のはじき出し損傷率 .....	138
第4.7表	JMTRで照射された材料試料中のガス生成率 .....	139
第4.8表	各種原子炉におけるはじき出し損傷率及びガス生成率の比較 .....	140

## 図 一 覧

第4.1図	炉心配置決定までのフローチャート .....	141
4.4.2図	核計算法フローチャート .....	142
第4.3図	熱中性子束等高線図（軸方向セル平均値） .....	143
第4.4図	高速中性子束等高線図（軸方向セル平均値） .....	144
第4.5図	J列（南側）における高速中性子束分布（軸方向セル平均値） .....	145
第4.6図	Be反射体に燃料キャプセルを装荷した場合の熱中性子束の減少例 .....	146
第4.7図	Al反射体に燃料キャプセルを装荷した場合の熱中性子束の減少例 .....	146
第4.8図	制御棒の働きの伴う軸方向中性子束分布の変動 .....	147



第4.9図	中性子束と中性子照射量	148
第4.10図	燃料試料の濃縮度に対するDepression Factor(Dp)	149
第4.11図	燃料試料の濃縮度とペレット径に対するDepression Factor(Dp)	149
第4.12図	燃料試料内の熱中性子密度	150
第4.13図	各種燃料試料の断面図	151
第4.14図	各種燃料試料の濃縮度に対するDepression Factor(Dp)	151
第4.15図	各種燃料試料の濃縮度に対するFuel Disadvantage Factor(Ff)	152
第4.16図	各種燃料試料の濃縮度に対する熱中性子利用率(f)	152
第4.17図	燃料濃縮度の線出力・セル平均熱中性子束に及ぼす効果 (Al反射体要素に装荷された場合)	153
第4.18図	燃料濃縮度の線出力・セル平均熱中性子束に及ぼす効果 (Be反射体要素に装荷された場合)	154
第4.19図	各種燃料試料内の熱中性子密度	155
第4.20図	FBR燃料試料のPu富化度, $^{235}\text{U}$ 濃縮度に対するDepression Factor(Dp)	156
第4.21図	Pu富化度の線出力・セル平均熱中性子束に及ぼす効果	157
第4.22図	FBR燃料試料内の熱中性子密度	158
第4.23図	各種材料試料内の熱中性子密度	159
第4.24図	Feの $\gamma$ 発熱率分布(軸方向ピーク値) 付表 $\gamma$ 発熱率の物質依存係数	160
第4.25図	$\gamma$ 線スペクトル	161
第4.26図	各照射領域における中性子スペクトル	162
第4.27図	各種原子炉の中性子スペクトル	163
第4.28図	各種原子炉の積分中性子束	164
第4.29図	軸方向の中性子照射量分布	165
第4.30図	キャプセル内の望ましいフルエンスモニタの配置	166
第4.31図	照射孔における $^{54}\text{Fe}$ の実効断面積	166
第4.32図	標準型フルエンスモニタ	167

## 資料一覧

資料4.1	中性子照射量報告書 高速中性子照射量の評価	168
資料4.2	中性子照射量報告書 熱中性子照射量の評価	171
資料4.3	中性子スペクトル報告書	176

## 4.1 概 要

各照射試料が炉内に装荷された状態での、炉内の中性子束分布、中性子スペクトルあるいは発熱量を正しく推定することは、照射実験データの解析と原子炉の安全な運転のために必要不可欠なことである。

中性子束については、

- ① 核計算
- ② 各照射試料に取り付けたフルエンスモニタあるいはSPD等の中性子検出器

のいずれか、あるいはその組み合わせから得ている。

発熱量については、

- ① 中性子束の情報からの計算
- ② 熱収支測定（主としてループ試料）
- ③ 熱媒体内の実測温度からの計算（キャプセル試料）
- ④ 照射後試験（金相試験、バーンアップ測定）

のいずれか、あるいはその組み合わせから求まる。

局所的な発熱量を知るためには、軸方向補正係数あるいは径方向補正係数について知らねばならないが、これについては、

- ① 核計算
- ② 照射試料に取り付けたフルエンスモニタ
- ③ 照射後試験（金相試験、 $\gamma$ スキャンニング、バーンアップ測定）

等から求まる。これらの方法については、それぞれ一長一短があり、各ケースごとに最適なものを選択する必要がある。

## 4.2 炉心配置の決定の手順

各サイクルの炉心配置の決定に際しては、

- ① 原子炉の反応度条件等の核的基準
- ② 燃料要素のホット・スポット・ファクタ等の熱的安全性
- ③ 照射試料の照射条件の最適化（中性子照射量、発熱量）

を考慮する。

炉心配置は、毎サイクル運転開始の約1ヶ月前に決定されるが、その決定にいたる過程を第4.1図に示す。

### 4.3 核計算による炉心配置の検討

各格子を1セルとして高速中性子及び熱中性子について群定数を作成し、2次元拡散計算を行って所要の物理量を求める。第4.2図に核計算のフローチャートを示す。

#### (1) 群定数計算

各セル(7.72cm×7.72cm)についてSRACコード(PIJルーチン)で高速エネルギー領域を26群、熱中性子エネルギー領域を37群でスペクトル計算を行い、炉心拡散計算に用いられる少数群定数を4群に縮約する。4群定数のエネルギー区分は、高速エネルギー領域が3群で、第1群は10.0MeV～1.054MeV、第2群1.054MeV～183KeV、第3群183KeV～0.683eVに、熱中性子エネルギー領域は一つの群で0.683eV以下を第4群として取扱う。また、キャプセル類が非均等に装荷されることを考慮してセルの外側に第4.1表に示す「スペクトル補正領域」を設ける。

#### (2) 炉心拡散計算

CITATIONコードにより次のモデルで計算を行う。

- ① 2次元(X-Y)
- ② 4群
- ③ Z方向バックリング：エネルギー依存、領域依存
- ④ 制御棒状態：中央の制御棒(SH-2)挿入、他の制御棒は引抜き状態

核計算では、中性子束は2次元計算のため各メッシュ点及び各セル毎に出力される軸方向平均値(セルの場合セル平均値という)で求められる。この場合、計算で用いる各セルの群定数は、非均質な媒質を中性子束による重みをかけて均質化して求めたものであるため、各メッシュ点における中性子束は物理的意味が少なく、セル平均値が意味を有する。従って、実測値と計算値を比較する場合には、この点に注意を要する。

炉心の軸方向中性子束分布の推定は、代表的な炉心で3次元計算した結果を用いて行う。

また、ウラン燃料の発熱量計算では、キャプセルの場合1核分裂当たりのエネルギーとして176MeV( $2.82 \times 10^{-11} \text{W} \cdot \text{s}$ )を使用する。この場合核分裂に伴う中性子線、 $\gamma$ 線など透過性の高い放射線は燃料棒内での発熱に寄与しないものとしている。

第4.3図から第4.9図に炉心水平方向及び軸方向中性子束分布の一例を示す。

第4.3図は炉心の水平方向熱中性子束等高線図の一例である。第4.4図は炉心の水平方向高速中性子束等高線図の一例である。第4.5図は炉心のJ列(南側)における高速中性子束分布を示す。測定値も合わせて示した。第4.6図はBe反射体に燃料キャプセルを装荷した場合の熱中性子束の減少例をセルの巨視的吸収断面積(熱群の $\Sigma_a$ )をパラメータにして示す。Beプラグを装荷した時の中性子束を1.0とした。第4.7図はAl反射体に燃料キャプセルを装荷した場合の熱中性子束の減少例をセルの巨視的吸収断面積(熱群の $\Sigma_a$ )をパラメータにして示す。Alプラグを装荷した時の中性子束を1.0とした。第4.8図は制御棒の動きに伴う軸方向中性子束分布の変動を示す(3次元1/4炉心計算)。この軸方向中性子束分布を基に各試料の軸方向中性子束を推定する。第4.9図は中性子束と中性子照射量(1～5サイクル)の関係を示す。

#### 4.4 核計算による試料発熱量推定精度

核計算による試料発熱量( $Q_{CAL}$ )の精度は、キャプセル内の実測温度から1次元熱伝導計算で求めた発熱量( $Q_{GEN}$ )、ループにおける熱収支測定( $\Delta T \times$ 冷却材流量)による発熱量( $Q_{LOOP}$ )及び燃焼度測定による発熱量( $Q_{BU}$ )等の比較によって推定している。第4.2表に $Q_{CAL}$ の精度を示す。

#### 4.5 キャプセル試料発熱量の推定

キャプセル試料発熱量は、核計算により推定している。

第4.10図～4.23図にキャプセル試料発熱量の推定に有用な諸データを示す。以下各図について簡単に説明する。

第4.10図：燃料試料の濃縮度変化によるDepression Factor (以下「Dp」と略す。)を示したものである。熱中性子密度は、ペレット表面に比較してペレット中心ではかなり低くなることわかる。

第4.11図：第4.10図と同様に燃料試料の濃縮度変化によるDpを、ペレット径の変化に対して示したものである。濃縮度の増加及びペレット径の増加によりDpは小さくなることわかる。

第4.12図：燃料試料内の径方向の熱中性子密度について、72F-12Jを例として、実験値と計算値を比較して示したものである。Dpについては、実験値が計算値より若干大きく、第4.10図と同じ傾向を示している。

第4.13図：BWR、PWR、ATR、FBRの燃料試料の断面図である。以下、第4.14図～4.22図はこれらの形状の燃料試料について計算した結果である。

第4.14図：BWR、PWR、ATR、FBR( $UO_2$ ペレット)の燃料試料について、Dp、Fuel Dis-  
( advantage Factor( $F_r$ )、熱中性子利用率( $f$ )、セル平均熱中性子束の減少度合、軸方向平均線出力等を、各試料の $^{235}U$ 濃縮度の変化に対して示したもので、これ

第4.18図 らの図を利用して、おおよその発熱量を推定することができる。

第4.19図：BWR、PWR、ATRの燃料試料について、径方向の熱中性子密度を示したもので、 $H_2O$ の減速及び吸収効果が大きいことが、④PWRの図からわかる。

第4.20図：FBRの燃料試料について、Dp、セル平均熱中性子の減少度合、軸方向平均出力を  
( Pu富化度と $^{235}U$ 濃縮度の変化に対して示したもので、これらの図を利用して、

第4.21図 FBR燃料試料のおおよその発熱量を推定することができる。

第4.22図：FBRの燃料試料について、Pu富化度17.7 w/o、 $^{235}U$ 濃縮度20.0 w/oの試料を例として、径方向の熱中性子密度を示したもので、ペレット中心の凹みが、BWR、PWR、ATR燃料試料に比較して非常に大きいことわかる。(第4.19図参照)

第4.23図：各種材料試料内の径方向の熱中性子密度を示したもので、吸収効果の小さい材料試料ほど、径方向の熱中性子密度の変化が少ないことわかる。

#### 4.6 $\gamma$ 発熱と $\gamma$ 線スペクトル

燃料試料の核分裂による発熱量を正確に知ることは、照射データを評価する上で極めて重要なことであるが、キャプセルの温度測定データを解析して核分裂発熱量を求めるには、照射位置での $\gamma$ 発熱率を正確に知る必要がある。

一方、キャプセル設計上からも、正確な $\gamma$ 発熱率を知ることは、燃料試料、材料試料に関係なく、試料を目標温度にするためのキャプセル構造及び温度制御方式を決定するうえで、重要である。

$\gamma$ 発熱は、次のような方法により求めた。

- (1) カロリメータ法によるJMTRでの種々の物質の $\gamma$ 発熱率測定
- (2) 各種の熱蛍光線量計(TLD)を用いたJMTRCでの $\gamma$ 発熱率測定

Feの $\gamma$ 発熱率分布を第4.24図に示す。また、第4.24図付表に、Feを1.00とした場合の照射領域別の物質依存係数を示す。

第4.25図に、RADHEAT-ANISNコードにより計算した $\gamma$ 線スペクトルを参考として示す。中性子スペクトルと同様に、 $\gamma$ 線スペクトルも照射領域によって変化することを示している。

#### 4.7 中性子スペクトルと中性子照射量

##### (1) 中性子スペクトル

高速領域のスペクトルをANISNコードで照射領域毎に計算し、熱領域のスペクトルをSRAC-PIJコードで照射試料毎に計算して結合し、この中性子スペクトルをフルエンスモニタで測定した熱及び高速中性子照射量で規格化し、スペクトルの形状を積分値が保存されるようにスムージング化して求めた、照射試料毎の134群の中性子スペクトルを提供している。

データはフロッピィディスクで提供することもできる（オペレーティングシステムがMS-DOSのパーソナルコンピュータ用）。第4.26図に照射領域別の中性子スペクトル計算結果を示す。

JMTRの高速中性子スペクトルの主な特徴は、次のとおりである。

① 発電用軽水炉(PWR、BWR)のように水比がより大きい原子炉に比べると、1～2 MeV近辺での中性子束の増加が顕著であるが、高速炉ほどではない。(JMTRのスペクトルを各種原子炉と比較して第4.27図に示す。)

② 燃料領域から離れるに従って、スペクトルは軟化する。各原子炉の積分中性子束を比較して、第4.28図に示す。

##### (2) 中性子照射量

中性子照射量は、核計算、又は試料と一緒に照射したF/M測定結果から得られる。核計算法については、「4.3 核計算による炉心配置の検討」において述べた。本章においては、F/M測定結果から中性子照射量を評価する方法について述べる。

また、最近中性子スペクトルの異なる原子炉で照射された材料試料の照射損傷を比較するとき、中性子照射量としてEquivalent D10 Ni fission neutron fluence (以下「 $\Phi^{EDN}$ 」と略す。)、はじき出し損傷率 (以下「dpa」(displacement per atom)と略す。)及びガス(He、H)の生成量等が使用されるようになってきたので、これらの評価方法についても述べる。

### ① 高速中性子照射量

1 MeV以上の高速中性子照射量 {以下 $\Phi(>1.0\text{MeV})$ と表わす。} を評価するために、F/MとしてFeワイヤを使用している。 $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$ 反応で生成される $^{54}\text{Mn}$ の0.835MeVの $\gamma$ 線を半導体検出器で測定し、放射能を求めている。F/Mの放射能から中性子照射量を求める手順については、資料4.1に示す中性子照射量報告書に詳細を述べてある。第4.5図に示したように、高速中性子束は燃料領域ではほぼ平坦であるが、反射体領域では急激な勾配がある。

また、軸方向では、第4.29図に示すような中性子照射量分布であることが、これまでのF/Mの測定から得られている。このため、F/Mをキャプセルに挿入する場合には、キャプセル内の径方向と軸方向の中性子照射量が測定できるように配慮する必要がある。第4.30図に、キャプセル内の望ましいF/Mの配置について示した。このようなF/Mの配置から得られた中性子照射量測定値をもとにして、軸方向分布(第4.29図参照)を考慮した照射試料中心での中性子照射量評価値(評価値)を求めているが、利用者の要望があれば、キャプセル内の空間分布を表すデータを提供することもできる(キャプセル断面の中性子束分布の平面近似関数、軸方向分布の7次関数の組み合わせで任意位置の中性子照射量を計算できる)。

第4.31図は、各照射領域ごとの1 MeV以上の中性子に対する $^{54}\text{Fe}$ の実効断面積を示したもので、(1)で述べたANISNコードによる計算スペクトルとENDF/B-IVの $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$ 反応の微視的断面積から求めたものである。核計算による中性子照射量(予測値)と評価値は、第4.3表に示す相対誤差で一致している。

F/M使用上の注意については、第4.3表を参照されたい。なお、Feワイヤには同位元素として $^{58}\text{Fe}$ が含まれているが、熱中性子による $^{58}\text{Fe}(n, \gamma)^{59}\text{Fe}$ 反応で生成される $^{59}\text{Fe}$ (半減期45d)の放射能が、 $^{54}\text{Mn}$ の放射能測定の際影響を与えるため、照射終了後F/Mを1ヶ月以上冷却し、 $^{59}\text{Fe}$ の影響を少なくしてから測定を行うようにしている。

第4.32図は、標準型F/Mの写真で、通常のアリミニウム管又は合成石英管にモニタワイヤを封入して用いている。

0.1MeV以上の中性子照射量 {以下 $\Phi(>0.1\text{MeV})$ と表わす。}、及び0.18MeV以上の中性子照射量 {以下 $\Phi(>0.18\text{MeV})$ と表わす。} については、 $\Phi(>0.1\text{MeV})$ の値と第4.4表に示す中性子スペクトル指標から求めることができる。

### ② 熱中性子照射量

熱中性子照射量 {以下 $\Phi(<0.683\text{eV})$ と表わす。} を評価するためには、F/MとしてAl-0.11w/o Coワイヤ又は、Ti-1w/o Coワイヤを使用している。 $^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$ 反応で生成される $^{60}\text{Co}$ の1.333MeVの $\gamma$ 線を半導体検出器で測定し放射能を求めている。F/Mの放射能から中性子照射量を求める手順については、資料4.2に示す中性子照射量報告書に詳細に述べ

である。高速中性子用F/Mの場合も同じであるが、F/Mはキャプセル設計上、照射試料から離れた位置に挿入される。従って、試料位置の熱中性子束を求めるためには、炉心のマクロな中性子束分布及びキャプセル内のミクロな中性子束分布を考慮する必要がある。前者については第4.30図に示すように、試料を中心としてF/Mを炉心側と反対側に挿入し、それらの2点の測定値から内挿して求め、後者については、資料4.2の図3に示すようなSRACコードによる計算結果を利用して求める。

### ③ $\Phi^{EDN}$

$\Phi^{EDN}$ は英国DIDO炉における等価核分裂中性子照射量である。すなわち、ある原子炉における黒鉛の中性子照射量は、これと同等の照射損傷を与える $\Phi^{EDN}$ で示される。 $\Phi^{EDN}$ は $\Phi (>1.0\text{MeV})$ の値と第4.5表から求めることができる。

### ④ はじき出し損傷率及びガス(He, H)の生成量

dpaは中性子照射によって、原子が正規の格子位置からはじき出される原子1個当たりの数を示す。また、照射試料中のHe及びHは、 $(n, \alpha)$ 反応及び $(n, p)$ 反応によって生成される。

各照射領域において照射された各種材料中のdpa及びガス(He, H)生成量は、 $\Phi (>1.0\text{MeV})$ の値と第4.6表及び第4.7表から求めることができる。ただし、第4.6表及び第4.7表の値は1 MeV以上の中性子束が $1.0 \times 10^{13} \text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$ に対応するものである。

また、第4.8表にJMTRと他の原子炉におけるdpa及びガス生成量に関する比較を示す。

第4.1表 スペクトル補正領域の区分

照射試料挿入位置		媒質	厚さ (cm)
OGL-1		ベリリウム	10
燃料領域	1孔反射体要素	燃料要素	4
	4孔反射体要素	燃料要素	1
反射体領域	Be反射体要素	ベリリウム	2
	Al反射体要素	アルミニウム	2

第4.2表  $Q_{CAL}$ の精度

		比の平均	標準偏差 (%)	データ数
$Q_{GEN}/Q_{CAL}$		1.03	21.9	62
$\frac{Q_{LOOP}}{Q_{CAL}}$	OGL-1	1.01	10.3	20
$Q_{BU}/Q_{CAL}$		0.95	18.8	4

注1)  $Q_{GEN}$ は短尺燃料ピン (スタック長20cm以下) を除く。

第4.3表 核計算とフルエンスモニタによる中性子照射量 (予測値と評価値) の一致度とフルエンスモニタ使用上の注意

照射領域	相対誤差 (%)	フルエンスモニタ使用上の注意
燃料領域	±10	キャプセル内中性子照射量分布を必要とする場合は、1キャプセル5個を標準とし、第4.30図を参考に、照射量分布が測定できるように配慮すること
Be反射体第1層	±15	
Be反射体第2層	±15	
Al反射体第1層	±15	
Al反射体第2層	±20	



第4.4表 中性子スペクトル指標

照射領域	$\Phi (>0.1\text{MeV})$	$\Phi (>0.18\text{MeV})$
	$\Phi (>1.0\text{MeV})$	$\Phi (>1.0\text{MeV})$
燃料領域	2.20	2.02
Be反射体1層	2.31	2.08
Be反射体2層	2.62	2.29
Al反射体1層	2.77	2.44
Al反射体2層	3.10	2.73
OGL-1	2.80	2.48

第4.5表  $\Phi^{EDN}$ と $\Phi (>1.0\text{MeV})$ の関係

照射領域	$\Phi^{EDN} / \Phi (>1.0\text{MeV})$
燃料領域	1.21
Be反射体1層	1.25
Be反射体2層	1.47
OGL-1	1.72

第4.6表 JMTRで照射された材料試料中のはじき出し損傷率

物質名	実効はじき出し しきいエネルギー (eV)	はじき出し損傷率 ( $\times 10^{-8}\text{dpa/s}$ )				
		燃料領域	Be反射体1層	Be反射体2層	Al反射体1層	OGL-1
Fe	40	1.44	1.47	1.55	1.59	—
Ni	40	1.51	1.58	1.73	1.75	—
Cr	40	1.41	1.47	1.59	1.61	—
Mo	62	0.703	0.736	0.827	0.875	—
SUS316	40	1.43	1.46	1.56	1.59	—
SUS304	40	1.44	1.48	1.57	1.60	—
Graphite	47	1.04	1.11	1.30	—	1.37
Nb	60	0.973	0.993	—	—	—
V	43	1.67	1.74	—	—	—

ここに示す値は、1 MeV以上の中性子束が $1.0 \times 10^{13}\text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$ に対応するものである。

第4.7表 JMTRで照射された材料試料中のガス生成率

物質名	ガス生成率 ( $\times 10^{-9}$ appm/s)									
	燃料領域		Be反射体1層		Be反射体2層		Al反射体1層		OGL-1	
	He	H	He	H	He	H	He	H	He	H
Fe	3.15	62.9	3.71	61.9	3.54	55.4	3.42	52.3	—	—
Ni	47.3*	816	50.4*	773	46.8*	682	44.9*	643	—	—
Cr	1.03	16.5	1.28	17.5	1.23	16.1	1.19	15.4	—	—
Mo	1.27	11.9	1.54	11.6	1.49	10.5	1.44	9.93	—	—
SUS316	8.04*	144	8.84*	139	8.29*	123	7.96*	116	—	—
SUS304	6.85*	124	7.59*	120	7.13*	106	6.85*	100	—	—
Graphite	11.6	0.00	14.5	0.00	14.0	0.00	—	—	10.6	0.00
Nb	0.597	5.66	0.695	6.24	—	—	—	—	—	—
V	0.192	9.39	0.262	10.3	—	—	—	—	—	—

ここに示す値は、1 MeV以上の中性子束が $1.0 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>・sに対応するものである。

\*  $^{58}\text{Ni}$ の熱中性子との2段階反応 $^{58}\text{Ni}(n, \gamma)^{59}\text{Ni}$ 、 $^{59}\text{Ni}(n, \alpha)^{56}\text{Fe}$ によって生成されるHeは考慮されていない。

第4.8表 核種原子炉におけるはじき出し損傷率及びガス生成率の比較

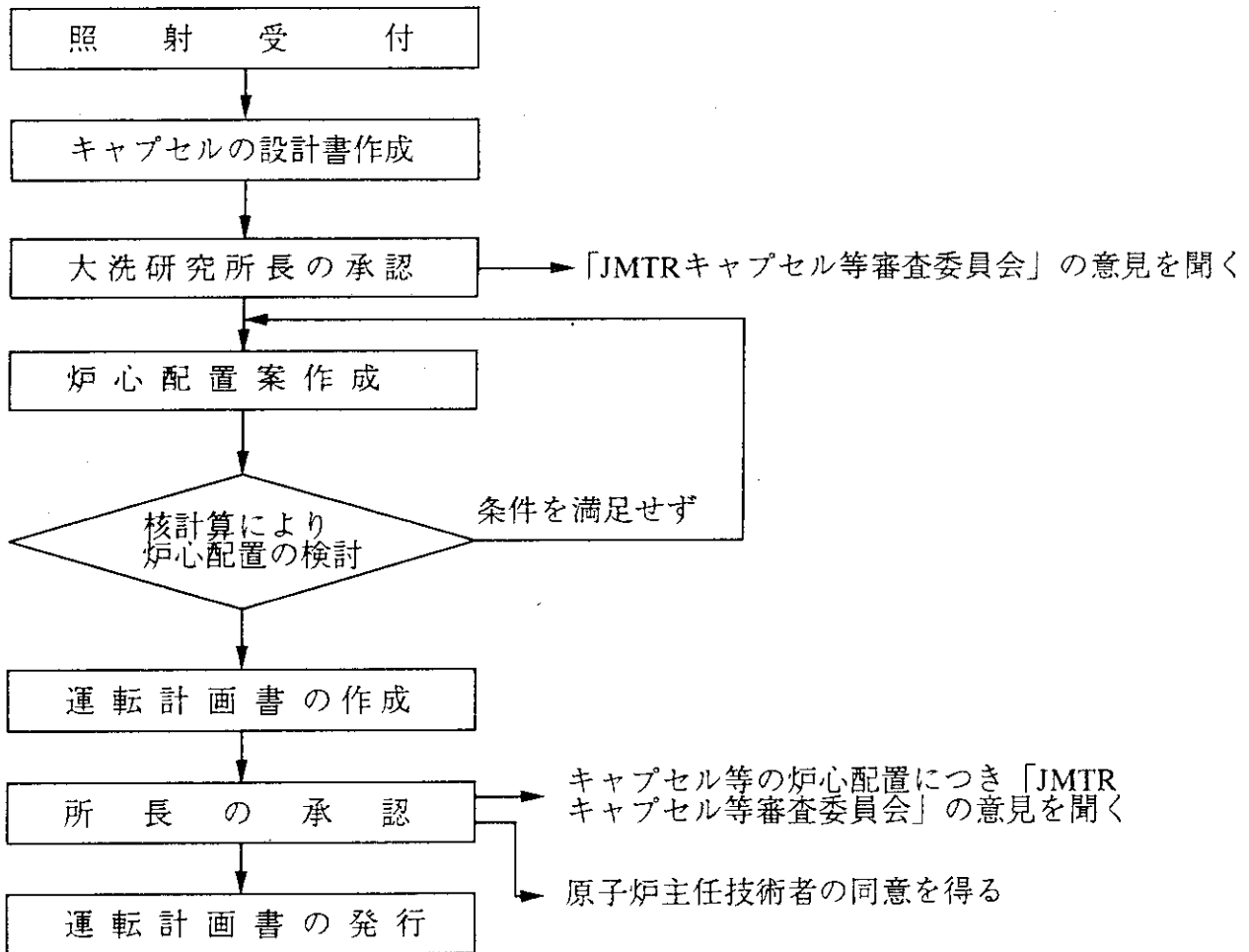
物質名	実効はじき出ししきいエネルギー eV	JMTR 燃料領域			ORR C-3			HFIR PTP		
		dpa $\times 10^{-7}$ dpa/s	He $\times 10^{-7}$ appm/s	H $\times 10^{-7}$ appm/s	dpa $\times 10^{-7}$ dpa/s	He $\times 10^{-7}$ appm/s	H $\times 10^{-7}$ appm/s	dpa $\times 10^{-7}$ dpa/s	He $\times 10^{-7}$ appm/s	H $\times 10^{-7}$ appm/s
Fe	40	2.16	0.473	9.44	2.13	0.623	10.7	10.2	2.84	52.4
Ni	40	2.27	7.10*	122	2.25	8.88*	136	11.0	42.5*	671
Cr	40	2.12	0.155	2.48	2.41	0.227	3.14	11.6	0.990	14.9
SUS316	40	2.15	1.21*	21.6	2.18	1.53*	24.2	10.4	7.23*	119
Nb	60	1.46	0.0896	0.849	1.43	0.155	1.10	6.77	0.715	5.14
V	43	2.51	0.0288	1.41	2.65	0.0468	1.90	12.8	0.182	9.08

物質名	実効はじき出ししきいエネルギー eV	FBR-II Row 2			核融合炉 第1壁**		
		dpa $\times 10^{-7}$ dpa/s	He $\times 10^{-7}$ appm/s	H $\times 10^{-7}$ appm/s	dpa $\times 10^{-7}$ dpa/s	He $\times 10^{-7}$ appm/s	H $\times 10^{-7}$ appm/s
Fe	40	9.93	2.80	35.3	3.62	34.9	151
Ni	40	11.0	29.7	424	3.87	130	397
Cr	40	11.4	1.32	11.7	3.58	32.6	100
SUS316	40	10.3	5.73	77.1	3.61	45.4	169
Nb	60	7.51	0.685	4.13	2.31	9.18	33.3
V	43	12.4	0.398	7.28	3.63	15.0	78.2

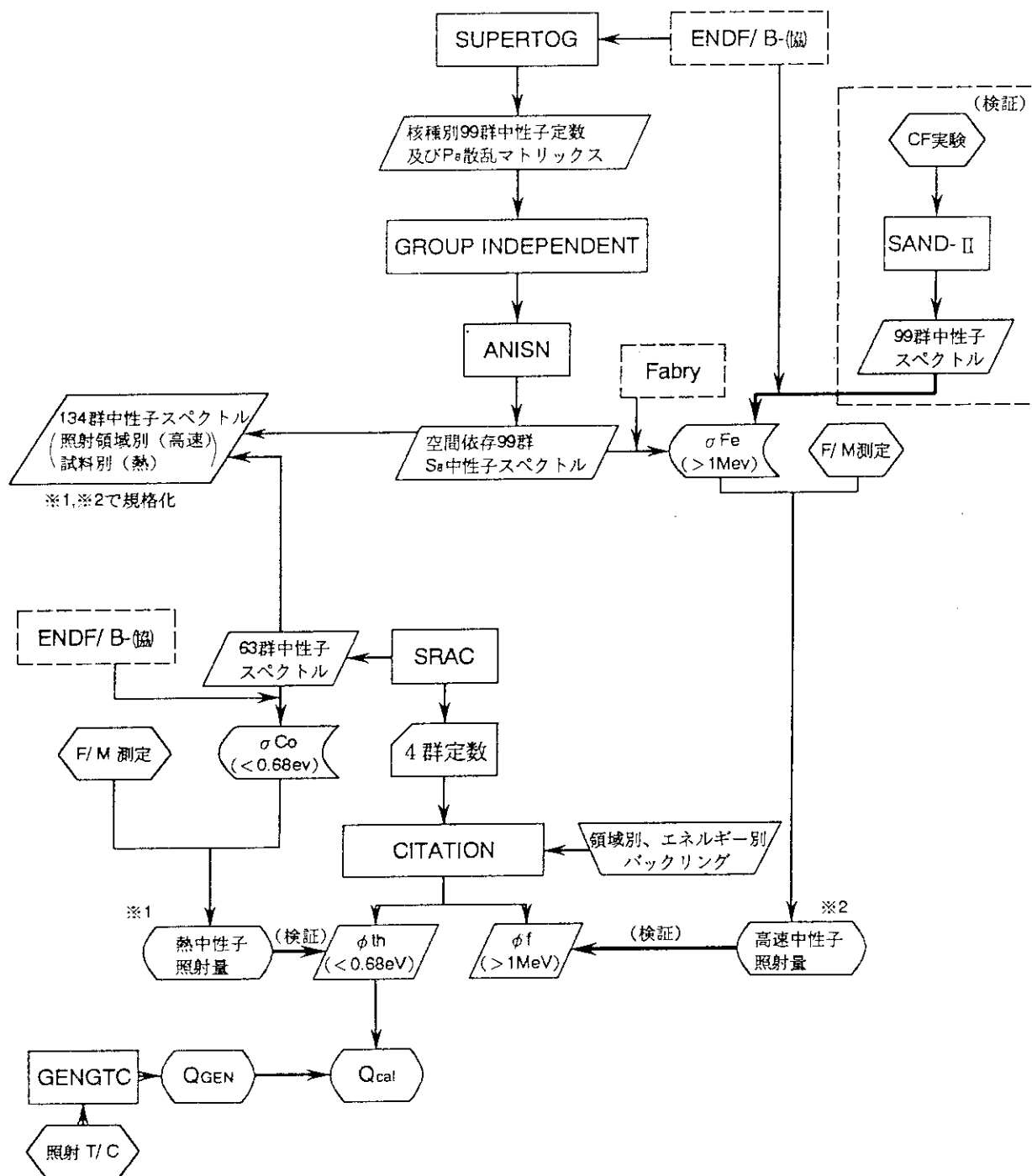
ここに示す値は、1 MeV以上の中性子束が $1.5 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ に対応するものである。

\*  $^{58}\text{Ni}$ の熱中性子との2段反応 $^{58}\text{Ni}(n, \gamma)^{59}\text{Ni}$ 、 $^{59}\text{Ni}(n, \alpha)^{56}\text{Fe}$ によって生成されるHeは考慮されていない。

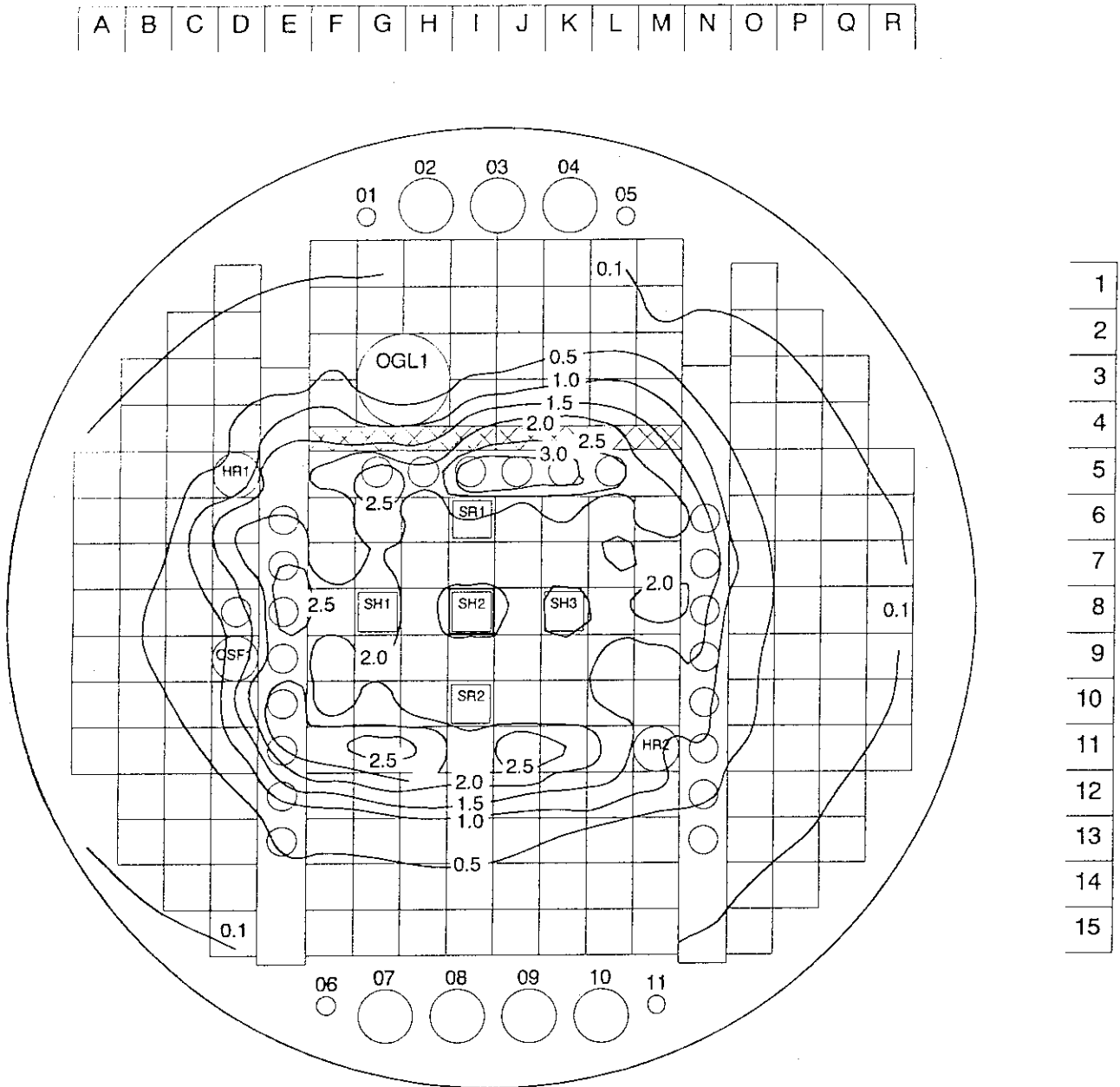
\*\* エネルギー負荷率 =  $1 \text{ MW/m}^2$



第4.1図 炉心配置決定までのフローチャート



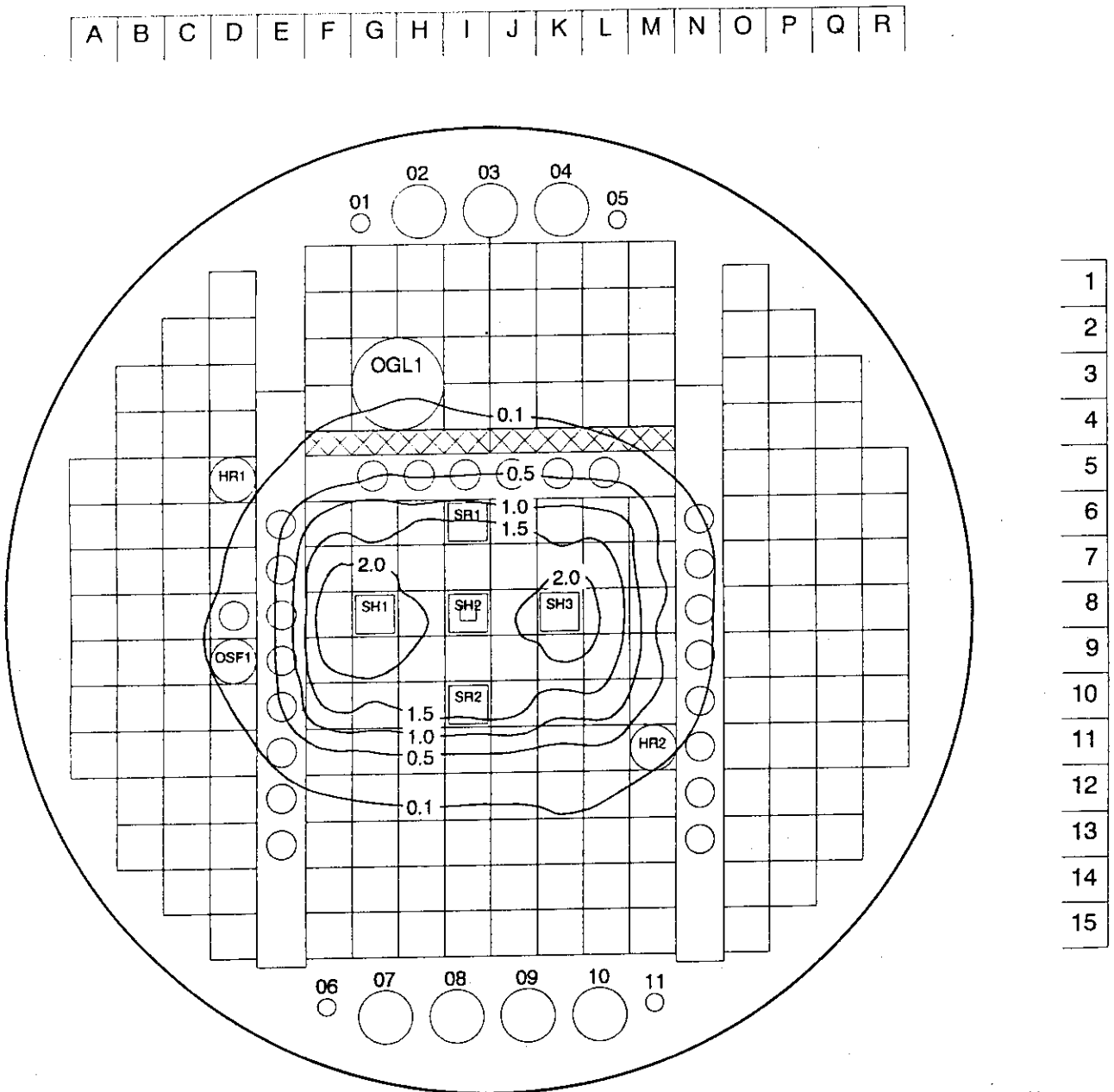
第4.2図 核計算法フローチャート



制御棒 SH-2 は全挿入状態  
である

$$\phi_{th} (< 0.683\text{eV}, \times 10^{14}\text{n/cm}^2 \cdot \text{s})$$

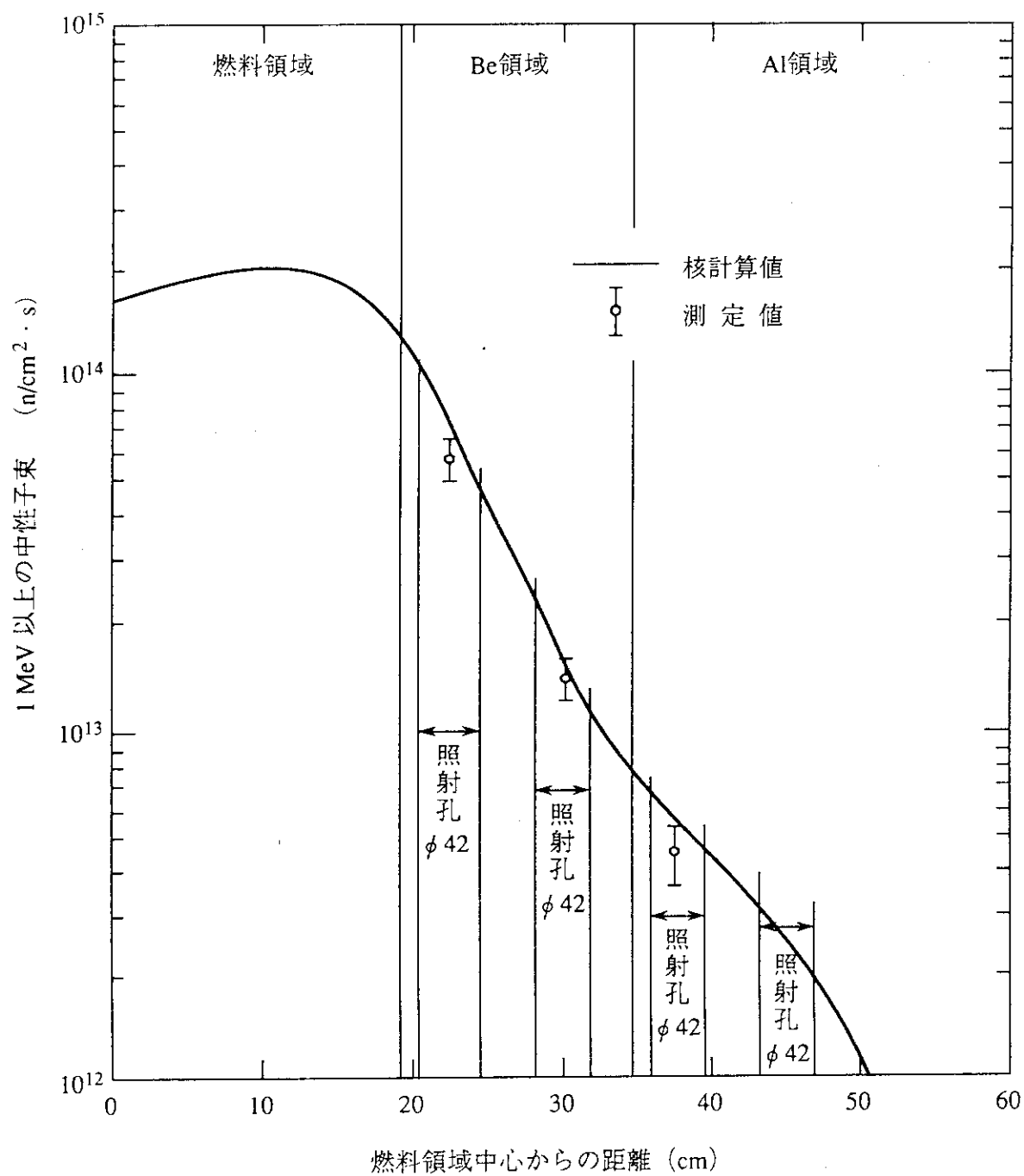
第4.3図 熱中性子束等高線図 (軸方向セル平均値)



制御棒 SH-2 は全挿入状態  
である

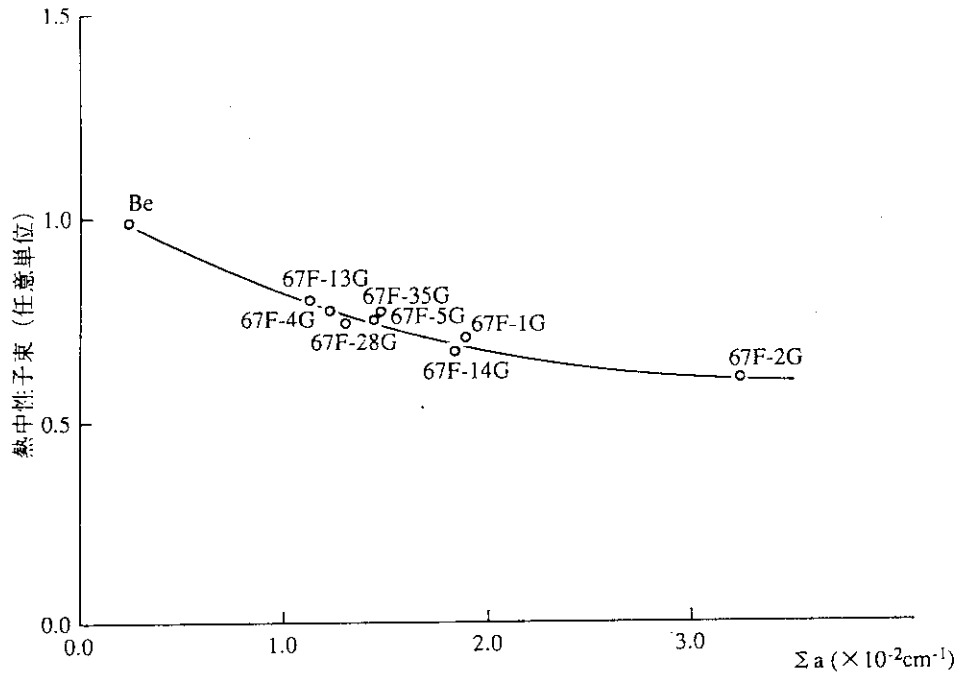
$$\phi f (>1\text{MeV}, \times 10^{14} \text{n/cm}^2 \cdot \text{s})$$

第4.4図 高速中性子束等高線図 (軸方向セル平均値)

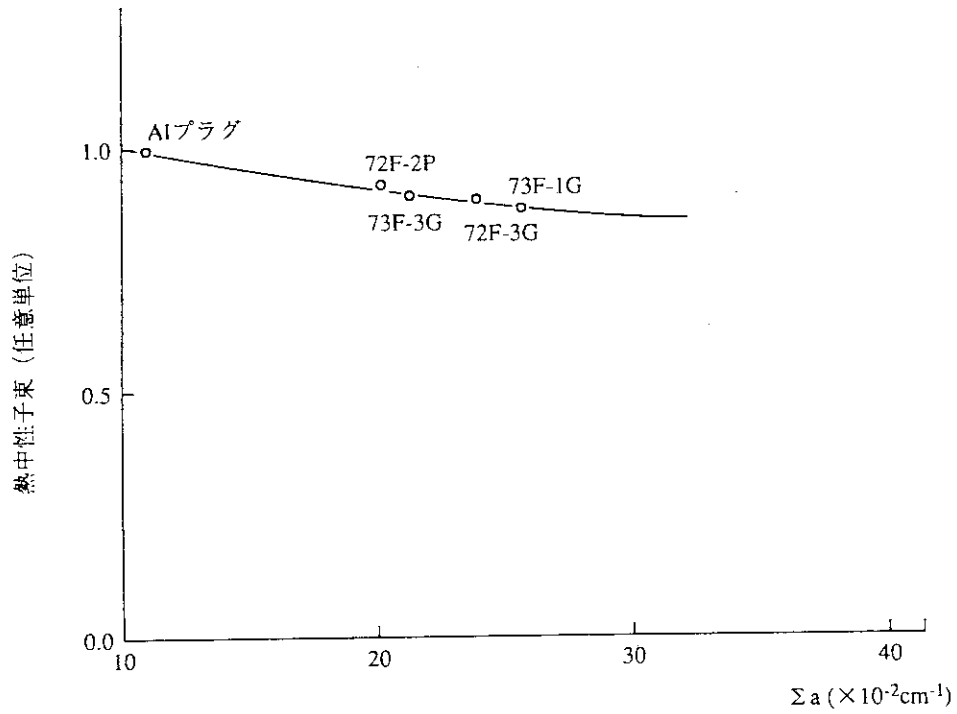


第4.5図 J列(南側)における高速中性子束分布(軸方向セル平均値)

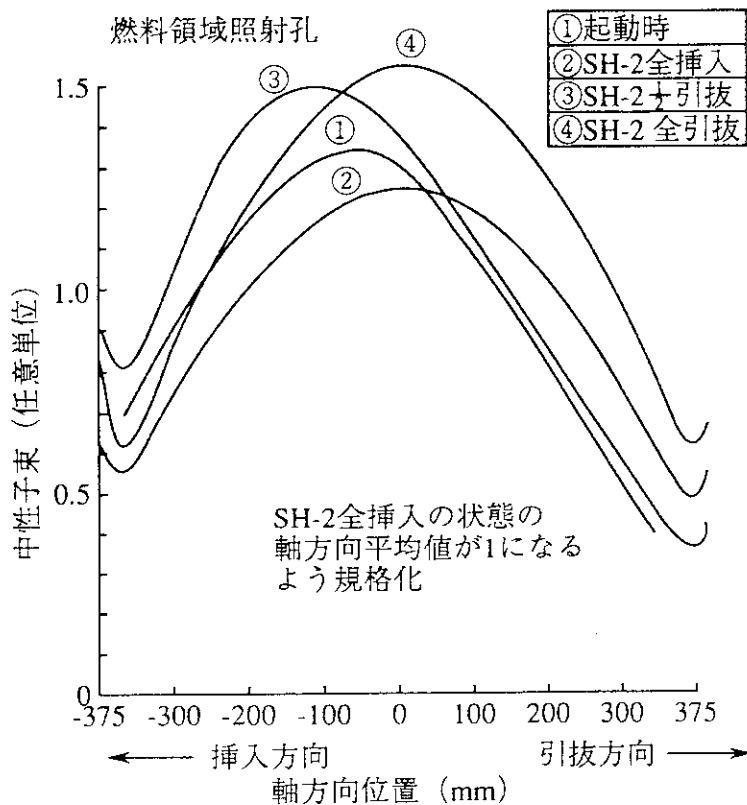
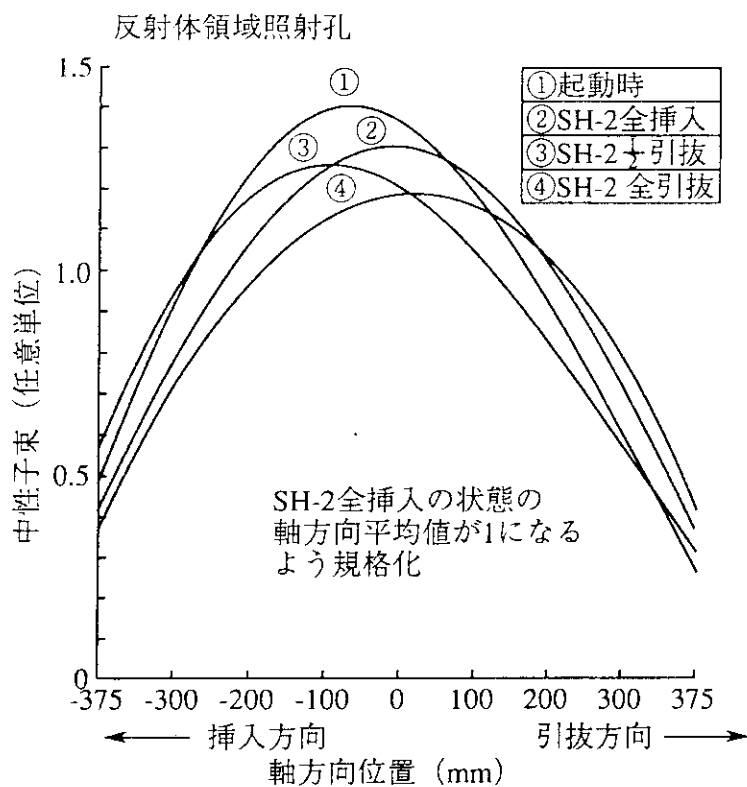




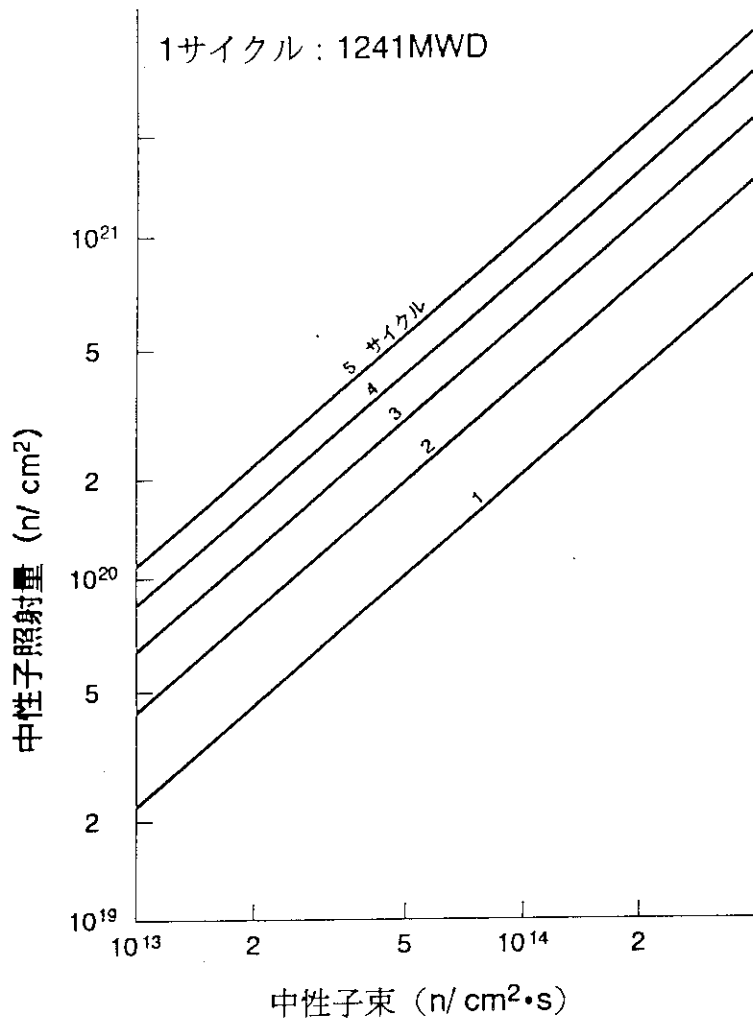
第4.6図 Be反射体に燃料キャプセルを装荷した場合の熱中性子束の減少例



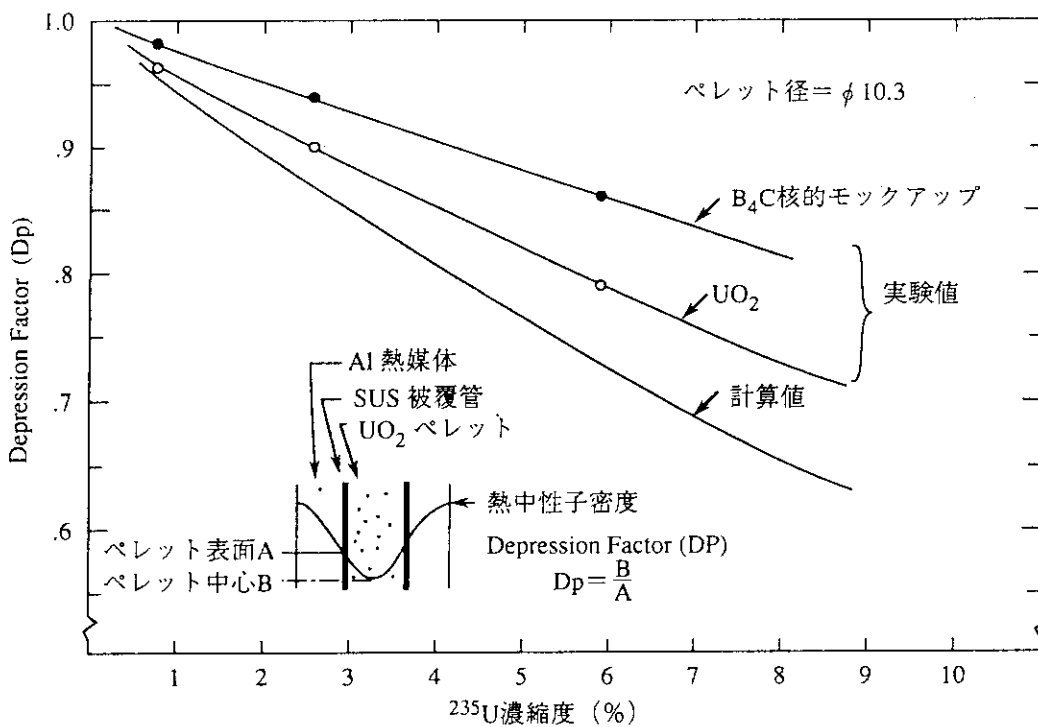
第4.7図 Al反射体に燃料キャプセルを装荷した場合の熱中性子束の減少例



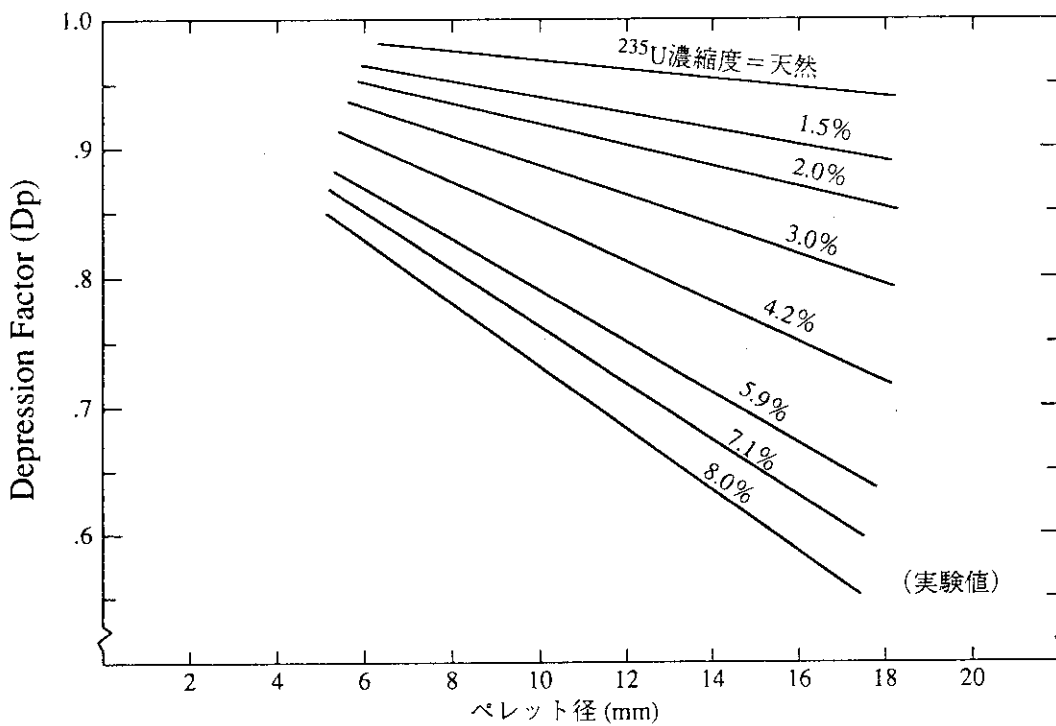
第4.8図 制御棒の動きに伴う軸方向中性子束分布の変動



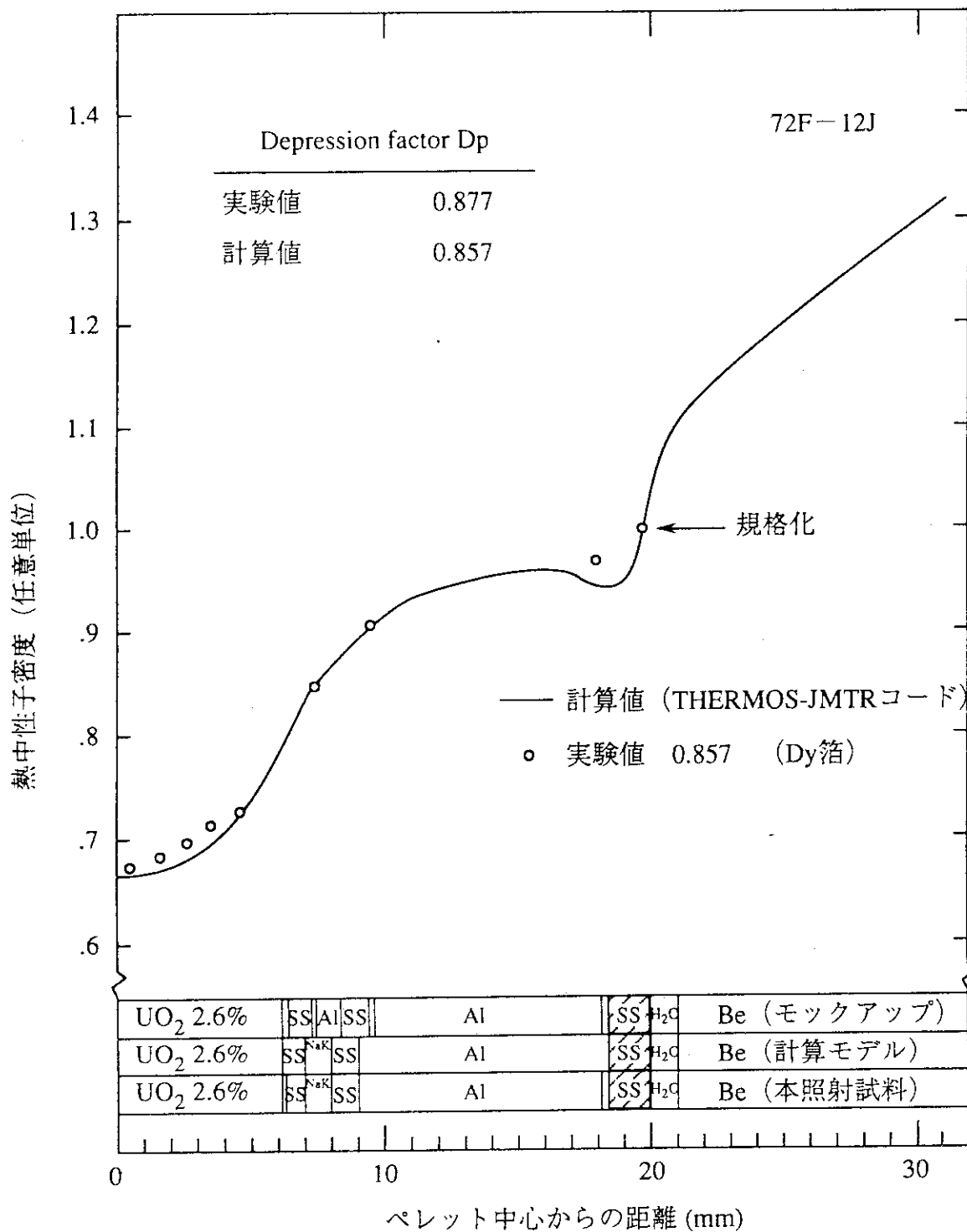
第4.9図 中性子束と中性子照射量



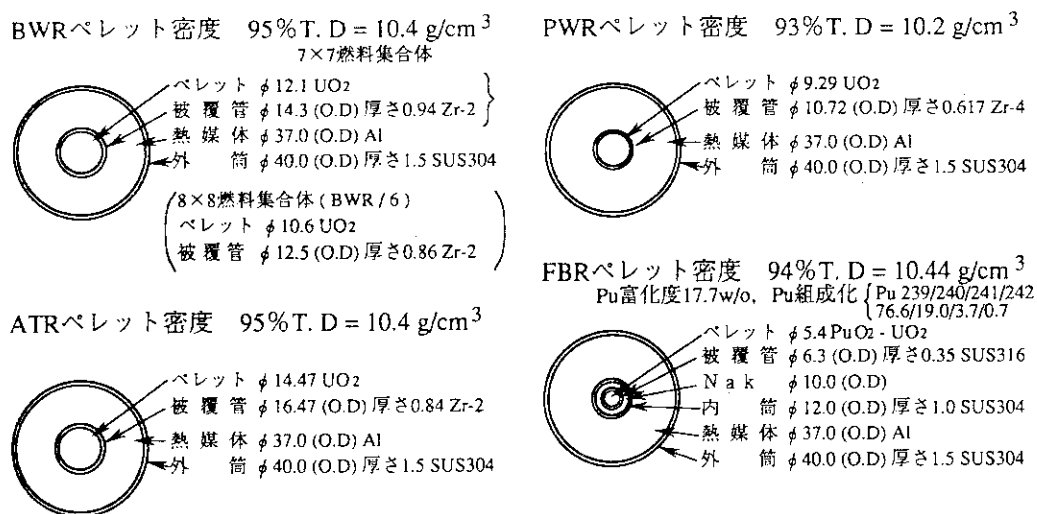
第4.10図 燃料試料の濃縮度に対する Depression Factor (Dp)



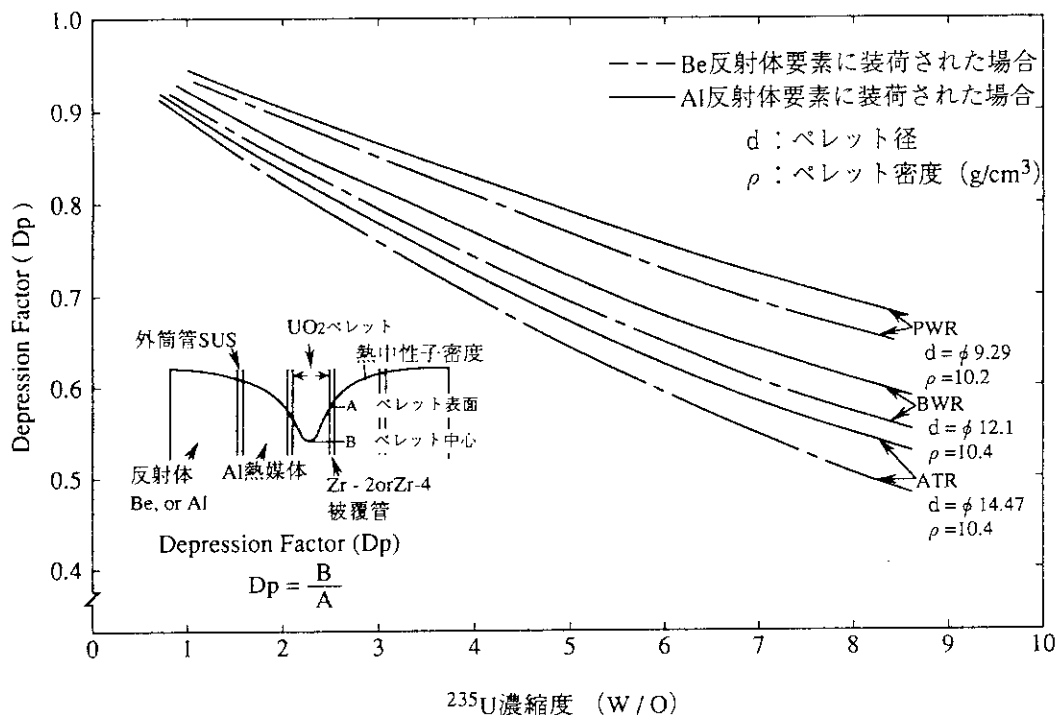
第4.11図 燃料試料の濃縮度とペレット径に対する Depression Factor (Dp)



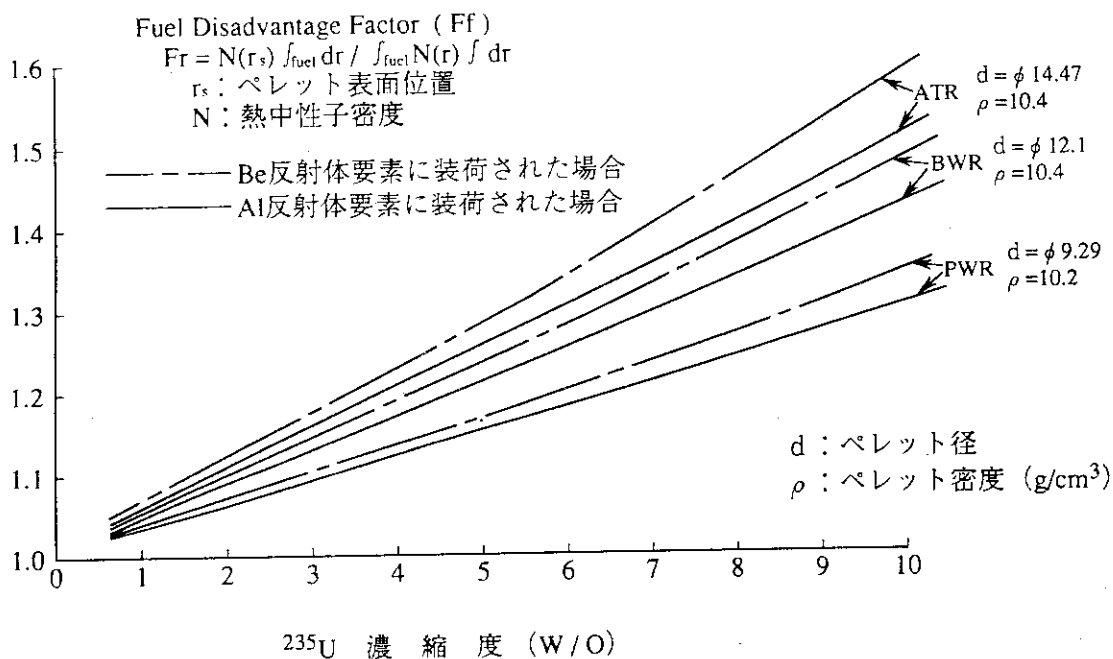
第4.12図 燃料試料内の熱中性子密度



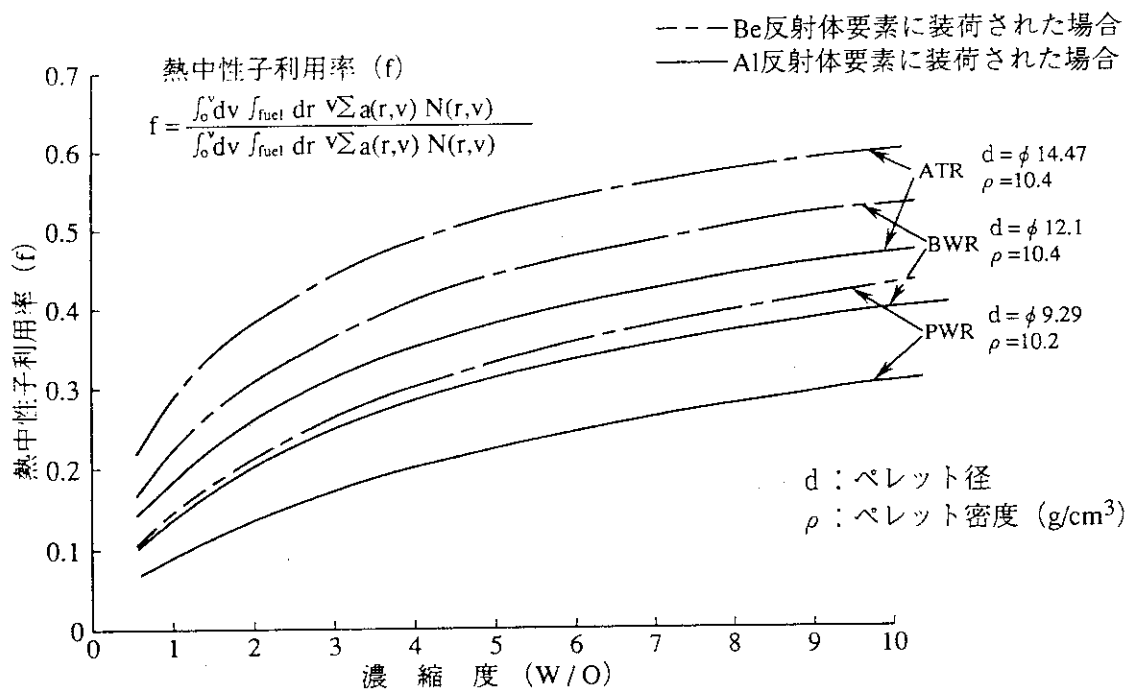
第4.13図 各種燃料試料の断面図



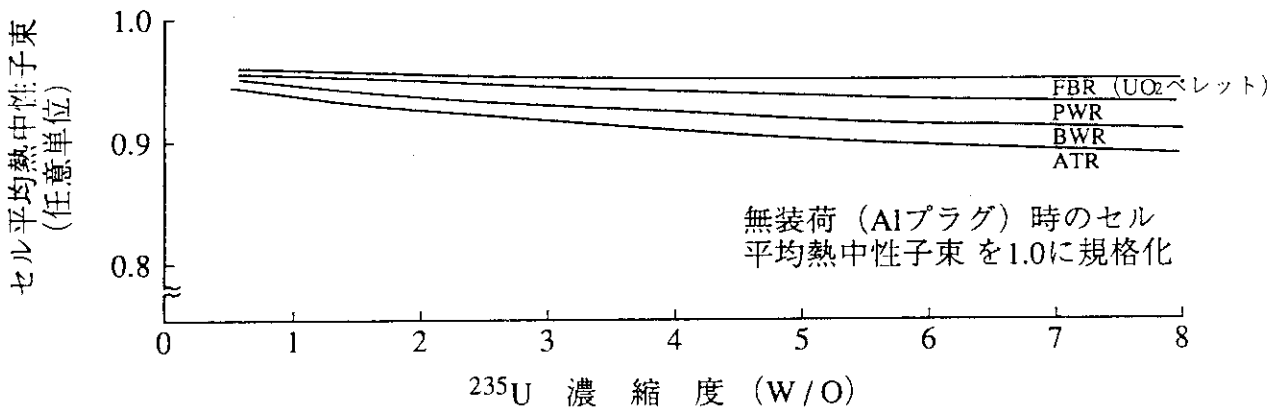
第4.14図 各種燃料試料の濃縮度に対する Depression Factor (Dp)



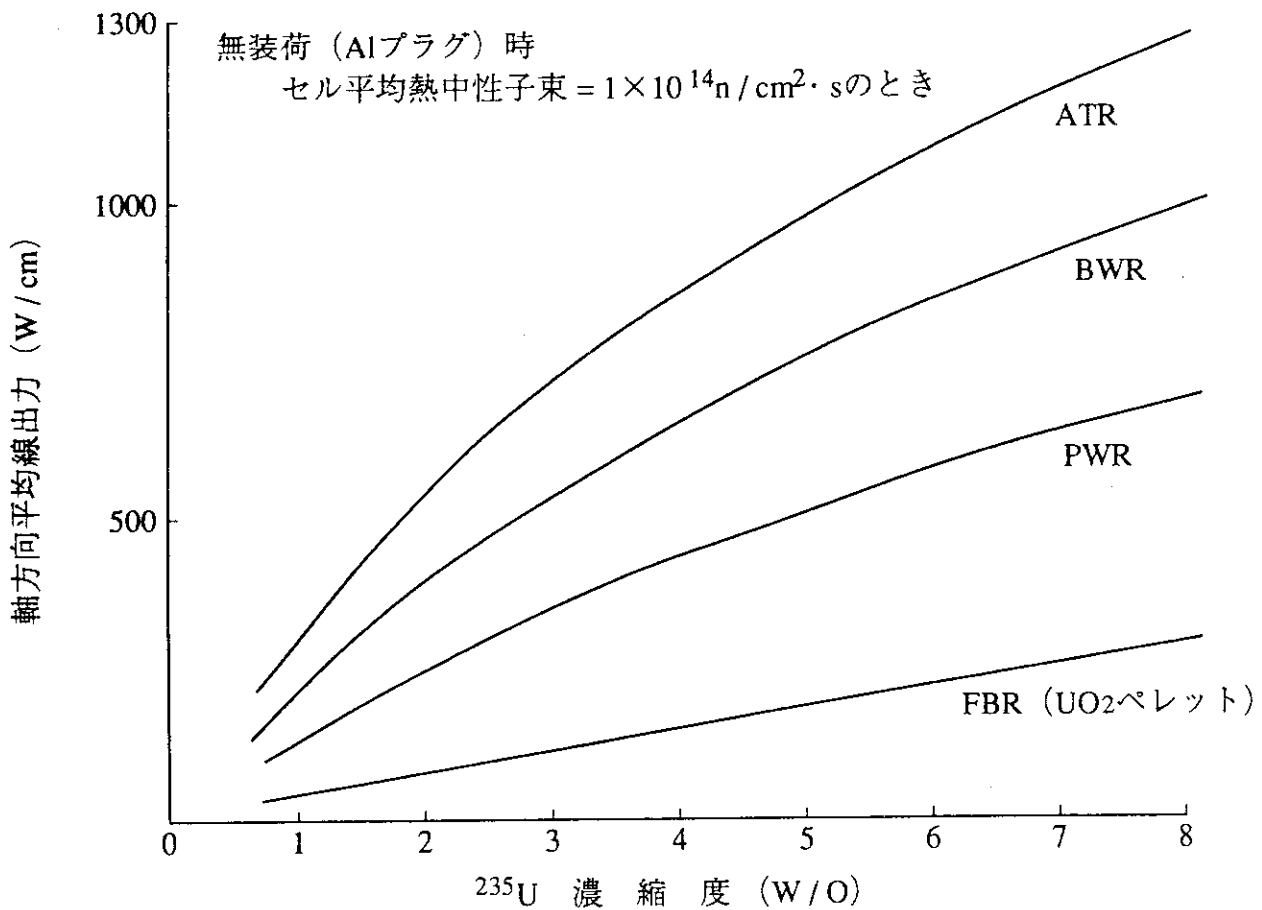
第4.15図 各種燃料試料の濃縮度に対する Fuel Disadvantage Factor (Dp)



第4.16図 各種燃料試料の濃縮度に対する熱中性子利用率 (f)



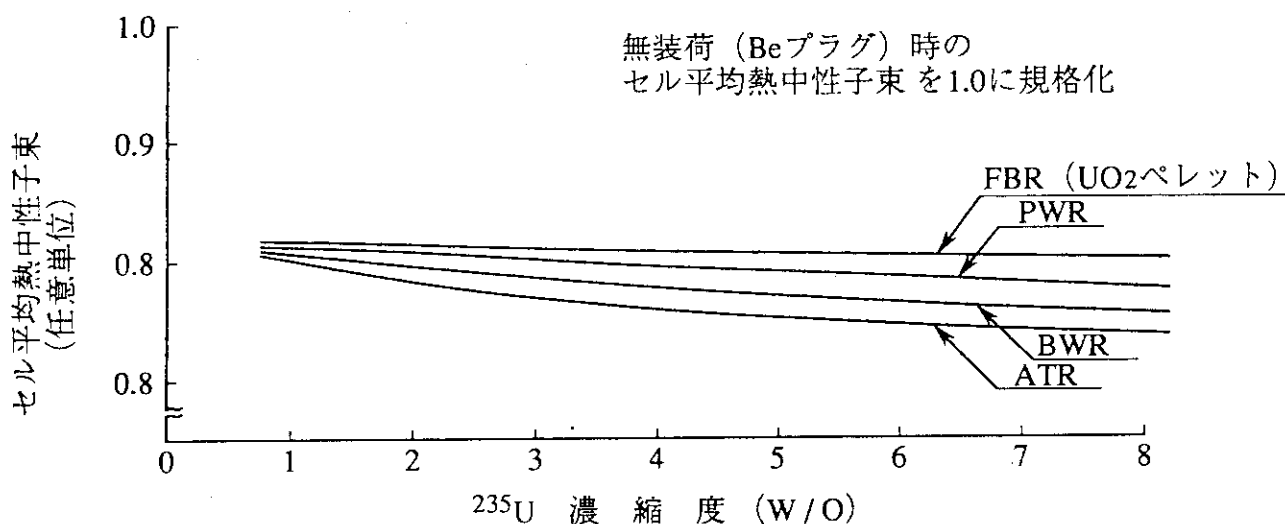
各種燃料試料の濃縮度に対するセル平均熱中性子束 (Al反射体要素)



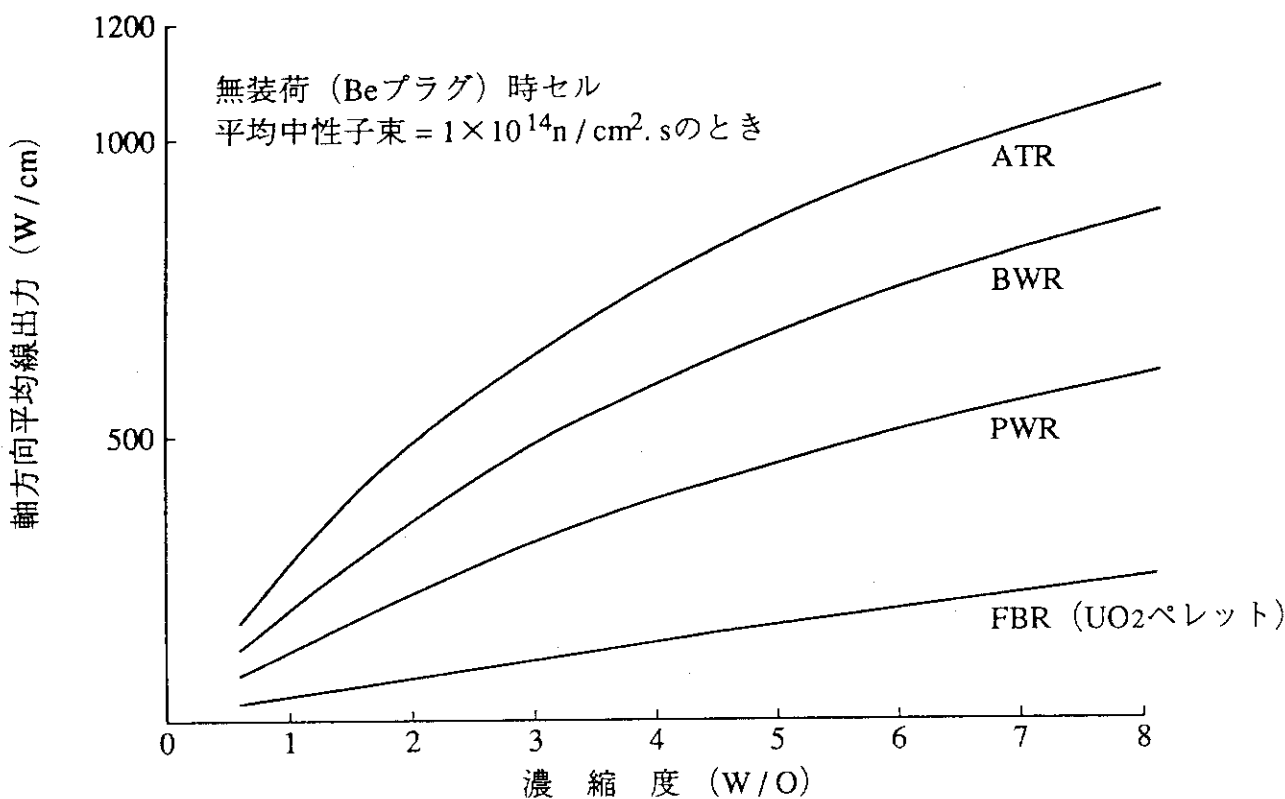
各種燃料試料の濃縮度に対する軸方向平均線出力 (Al反射体要素)

第4.17図 燃料濃縮度の線出力・セル平均熱中性子束に及ぼす効果 (A 1 反射体要素に装荷された場合)



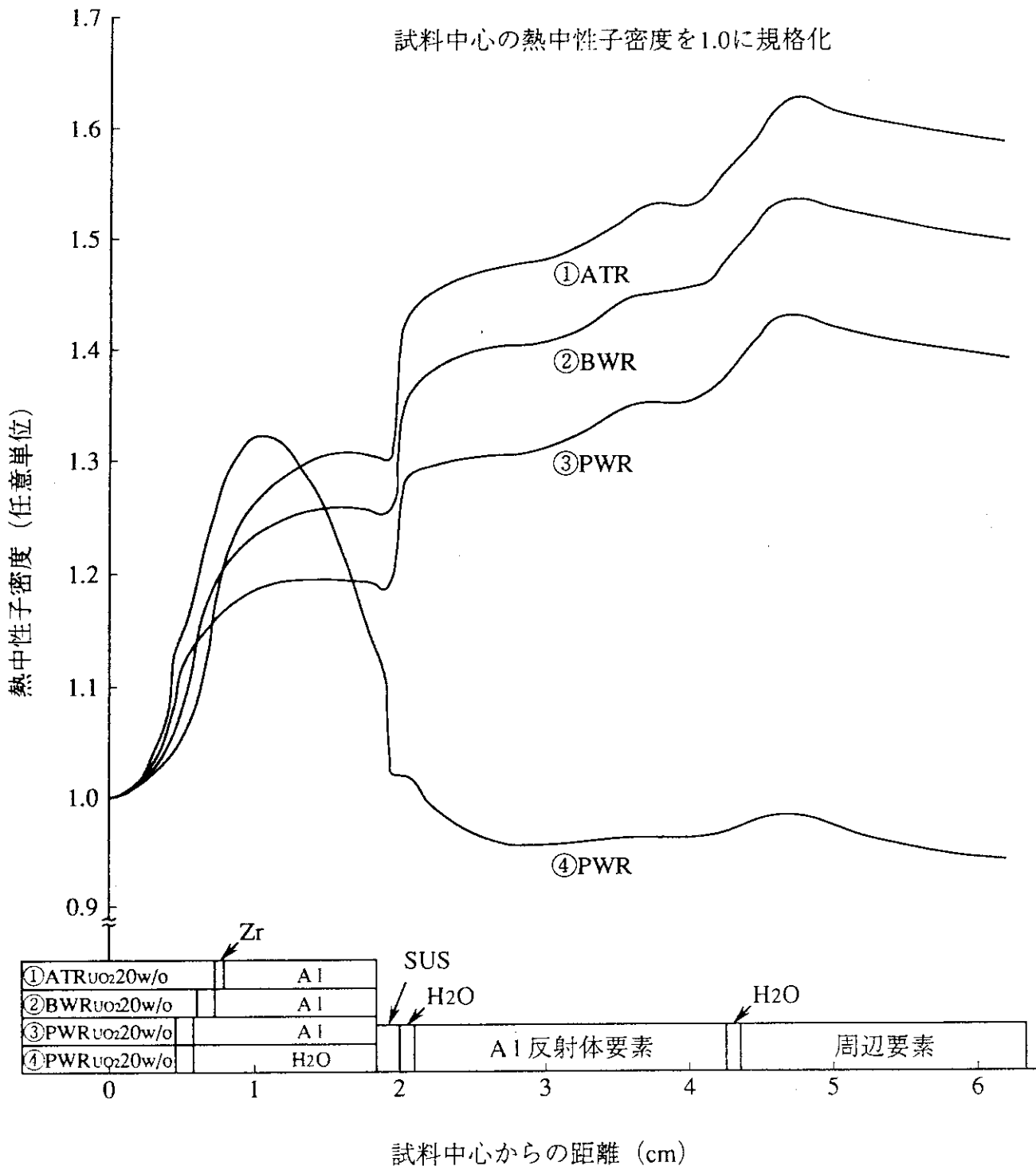


各種燃料試料の濃縮度に対するセル平均熱中性子束 (Be反射体要素)

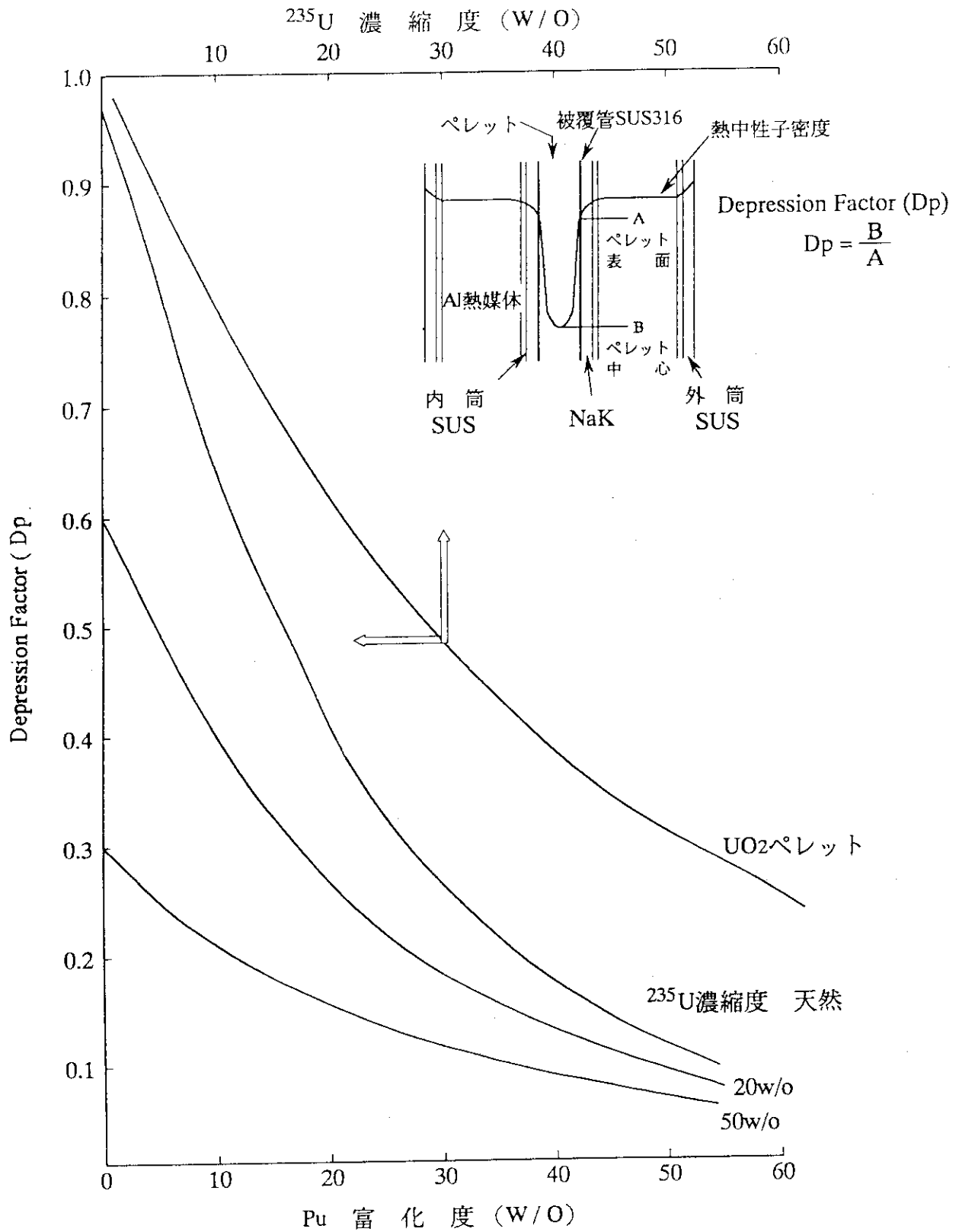


各種燃料試料の濃縮度に対する軸方向平均線出力 (Be反射体要素)

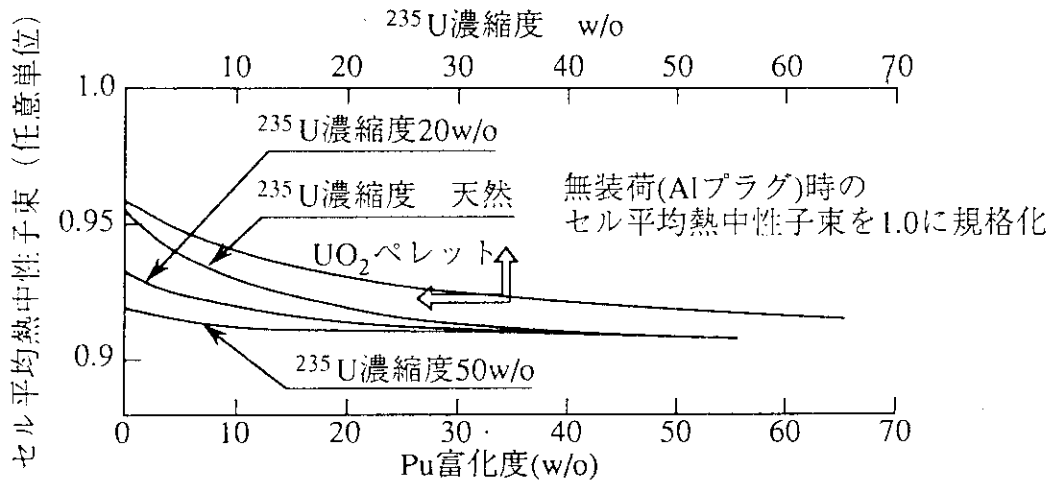
第4.18図 燃料濃縮度の線出力・セル平均熱中性子束に及ぼす効果  
(Be反射体要素に装荷された場合)



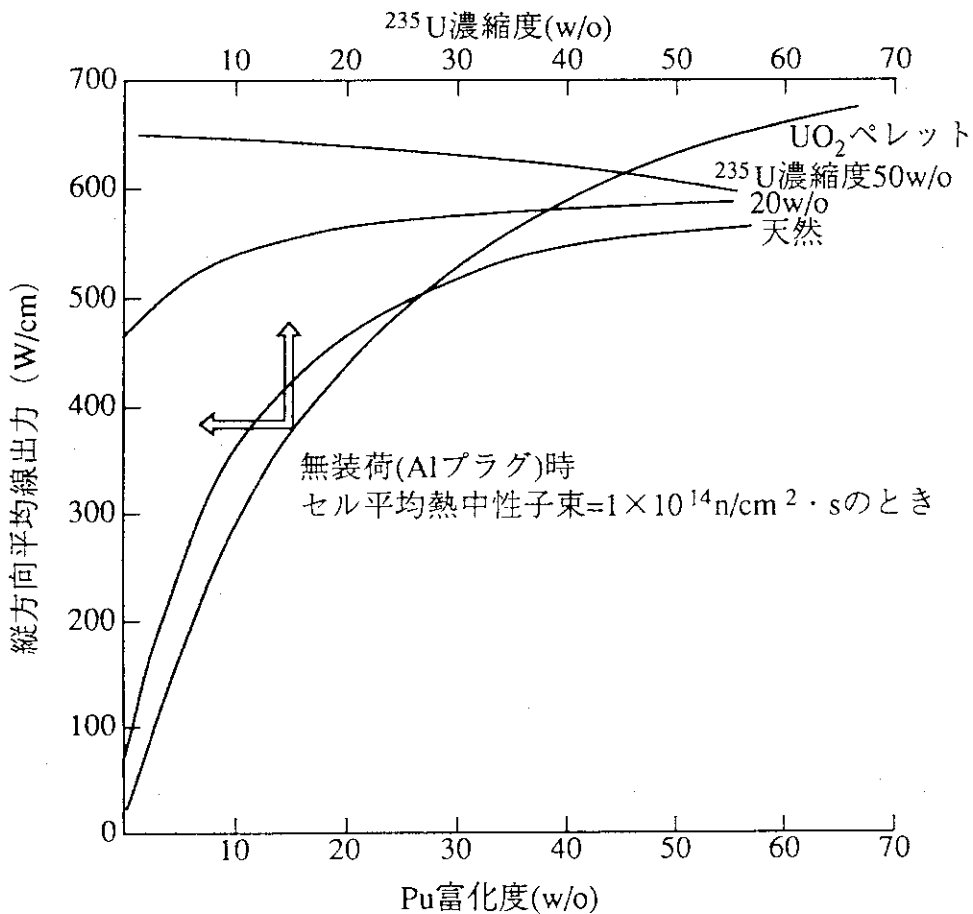
第4.19図 各種燃料試料内の熱中性子密度



第4.20図 FBR燃料試験のPu富化度, <sup>235</sup>U濃縮度に対する Depression Factor (Dp)

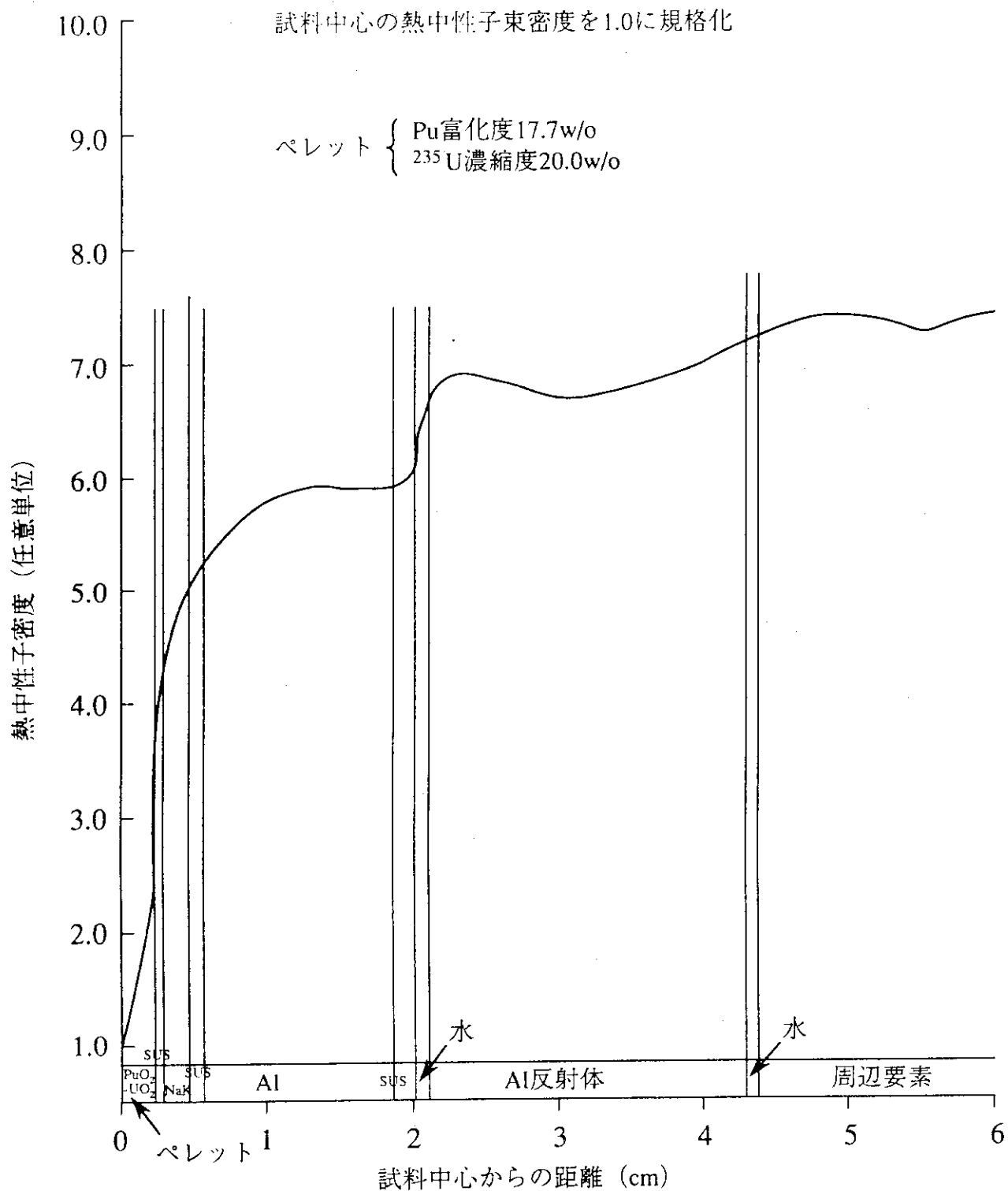


FBR燃料試料のPu富化度、 $^{235}\text{U}$ 濃縮度に対するセル平均熱中性子束 (AI反射体要素)



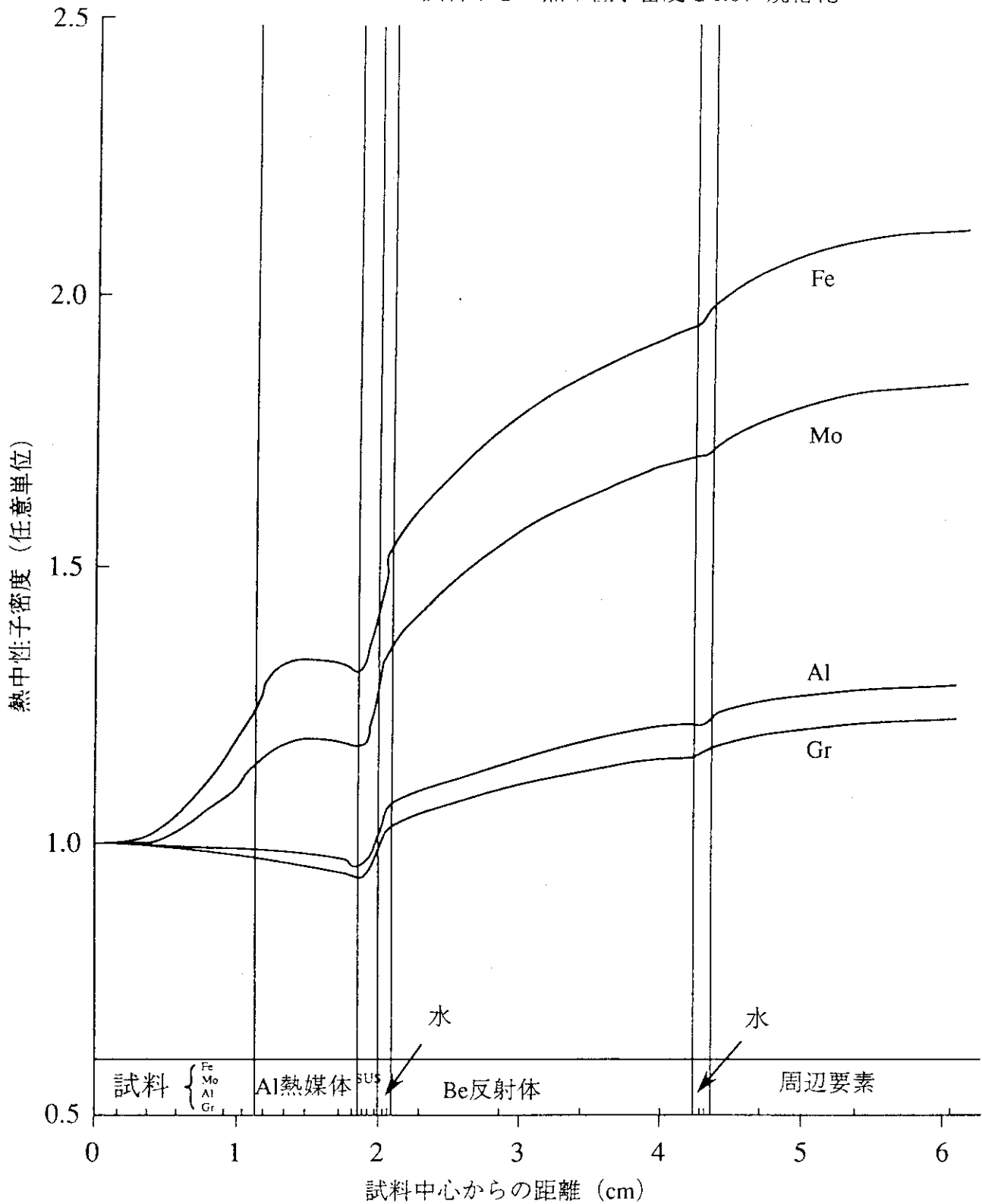
FBR燃料試料のPu富化度、 $^{235}\text{U}$ 濃縮度に対する軸方向平均線出力 (AI反射体要素)

第4.21図 Pu富化度の線出力・セル平均熱中性子束に及ぼす効果 (AI反射体要素に装荷された場合)

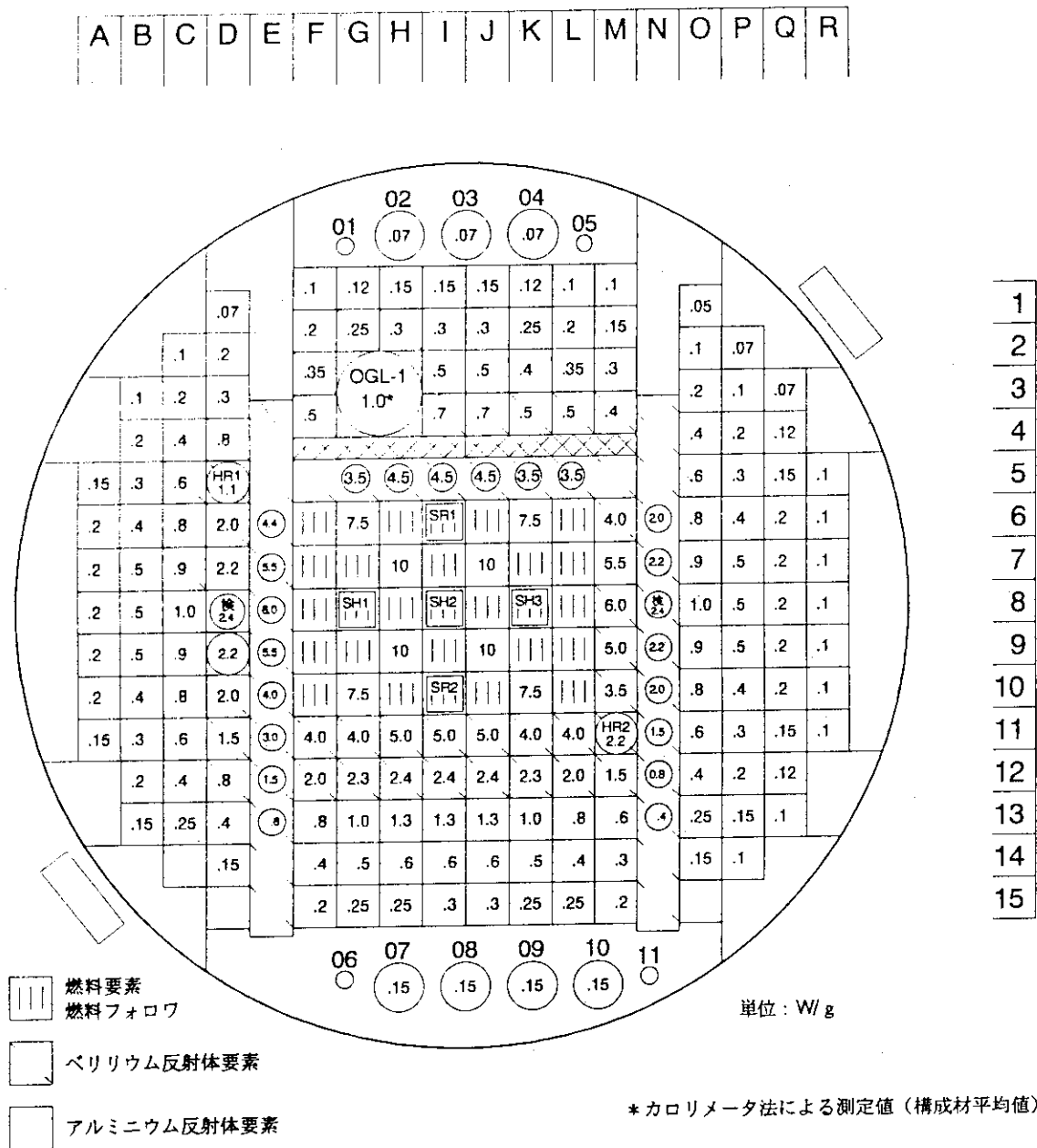


第4.22図 FBR燃料試料内の熱中性子密度

試料中心の熱中性子密度を1.0に規格化



第4.23図 各種材料試料内の熱中性子密度



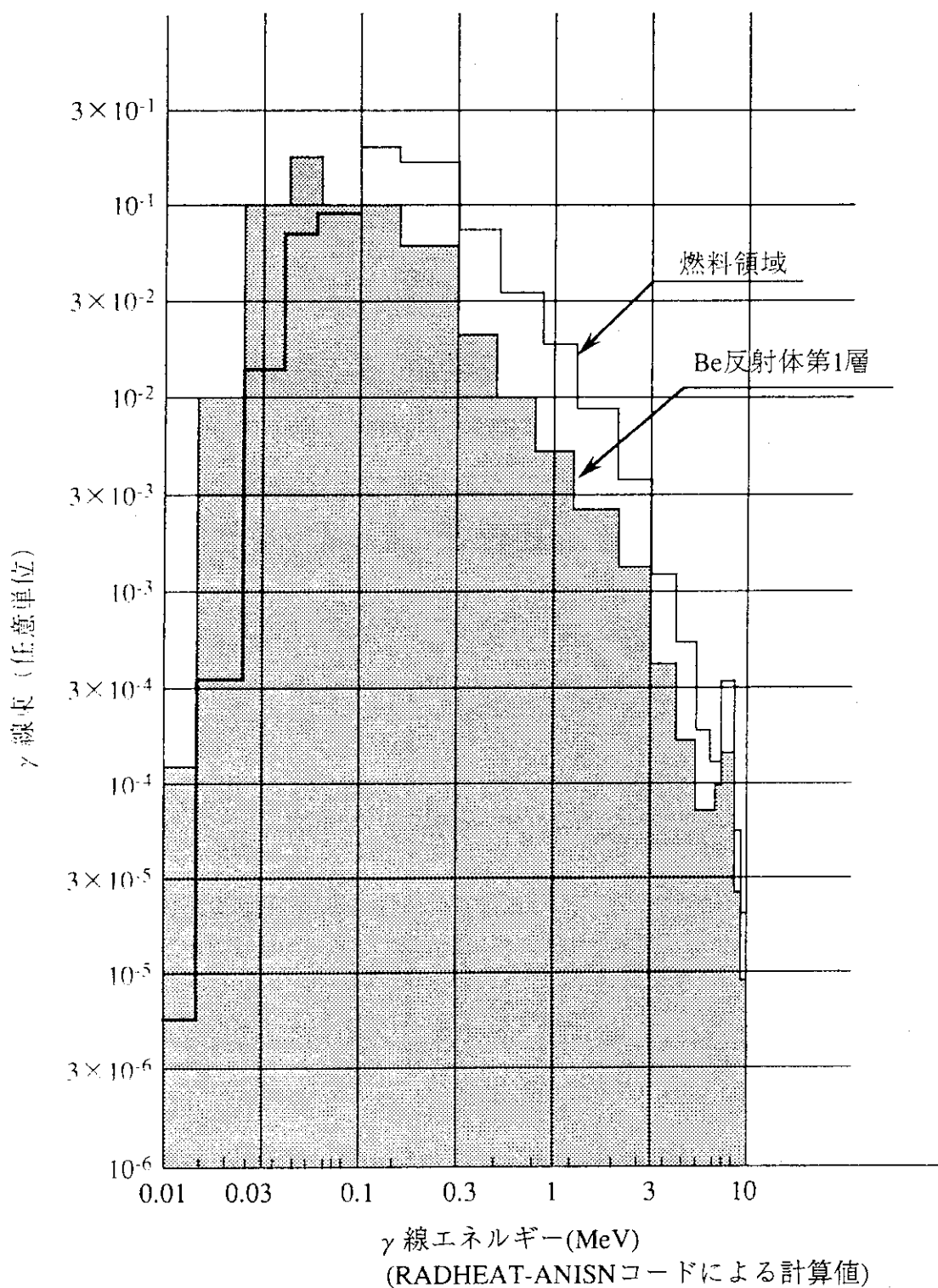
第4.24図 Feの $\gamma$ 発熱率分布 (軸方向ピーク値)

付表  $\gamma$  発熱率の物質依存係数

(Feを1.00に規格化)

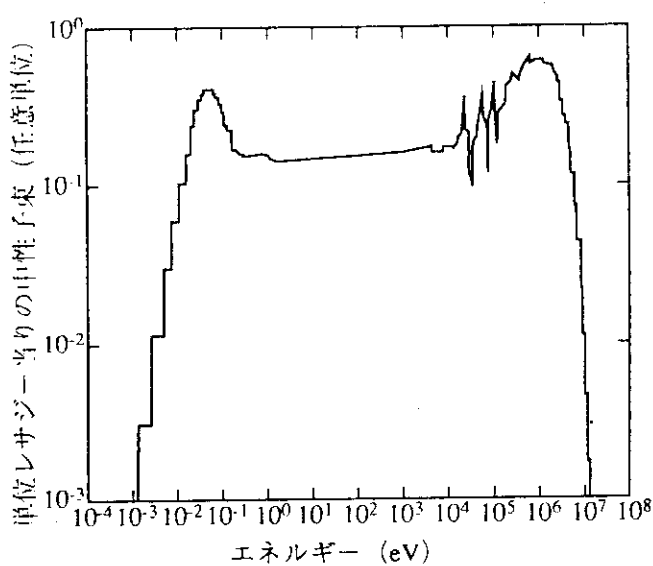
物質名	Be	C	Al	V	(sus) Fe	Cu	Zr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb
原子番号	4	6	13	23	26	29	40	42	47	48	50	51
燃料領域	0.65	0.75	0.77	0.90	1.00	1.08	1.41	1.60	1.95	1.98	2.16	2.27
Be 反射体第1層, 第2層	0.69	0.79	0.80	0.91	1.00	1.08	1.34	1.49	1.77	1.78	1.92	1.99
Al 反射体第1層以降	0.81	0.92	0.88	0.93	1.00	1.08	1.17	1.29	1.43	1.43	1.50	1.54

\* カロリメータ法による測定値

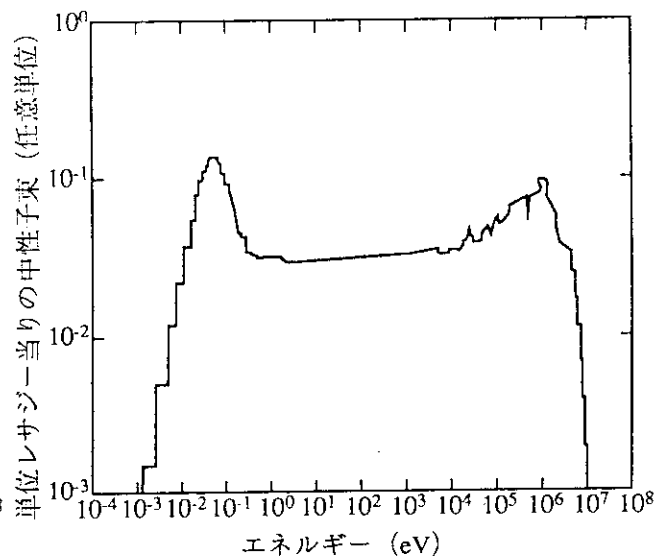


第4.25図 γ線スペクトル

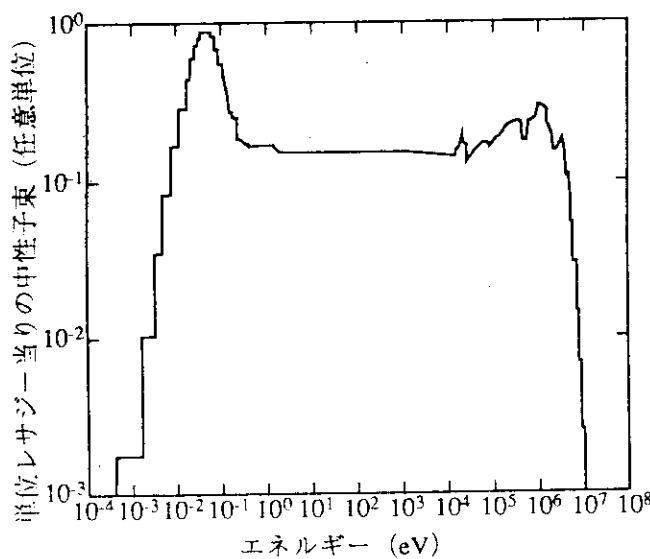




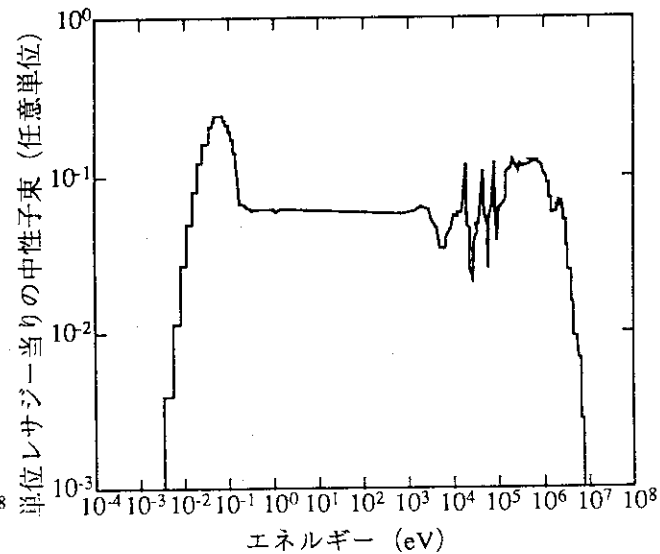
a) 燃料領域



b) Be反射体1層

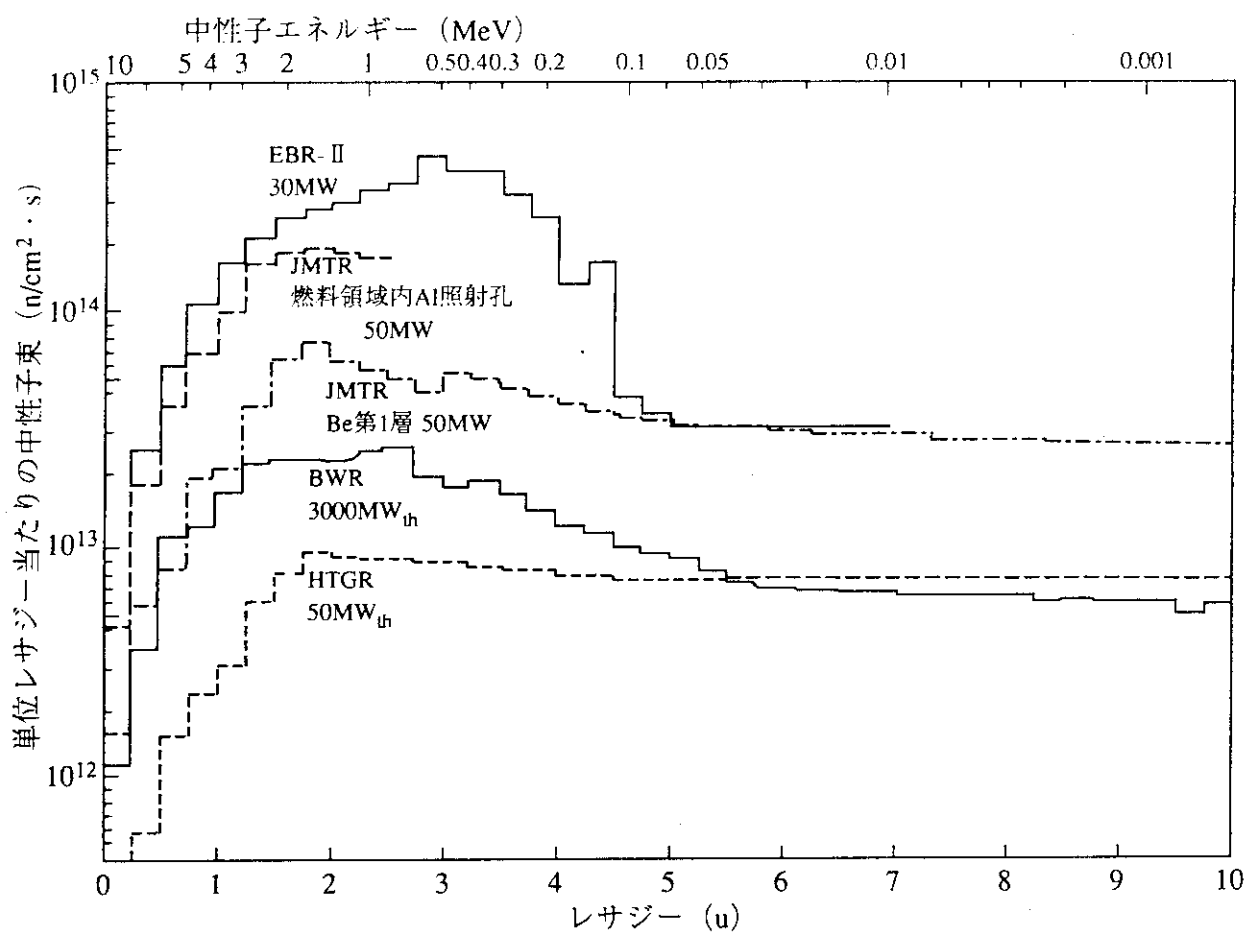


c) Be反射体2層



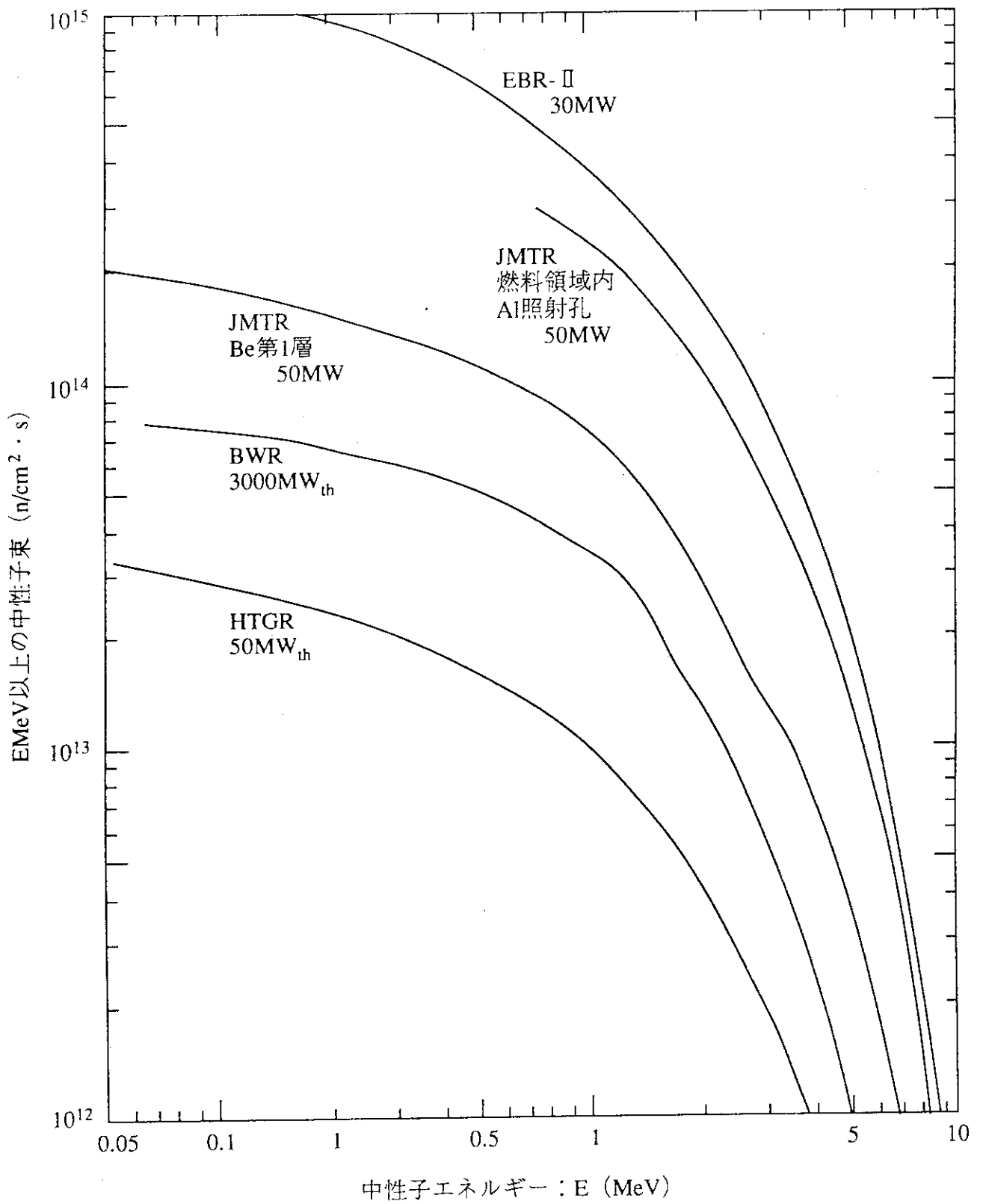
d) Al反射体1層

第4.26図 各照射領域における中性子スペクトル

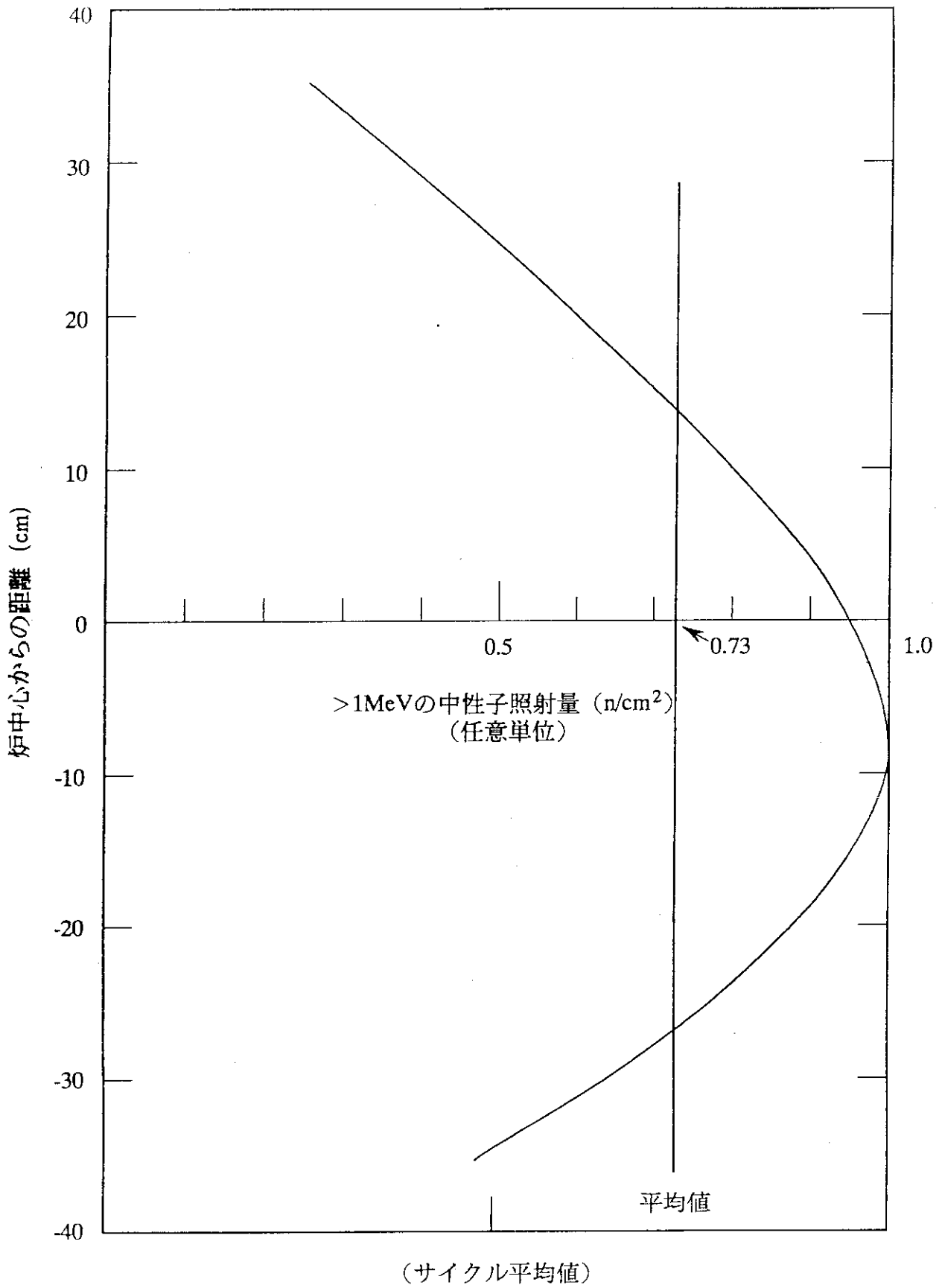


(比較のためスペクトルのレサジーは、他のものに  
合わせてある。)

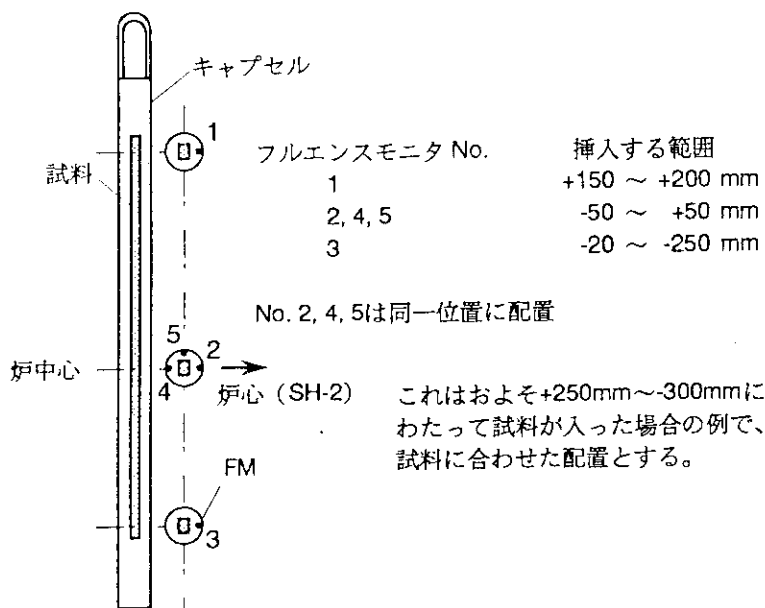
第4.27図 各種原子炉の中性子スペクトル



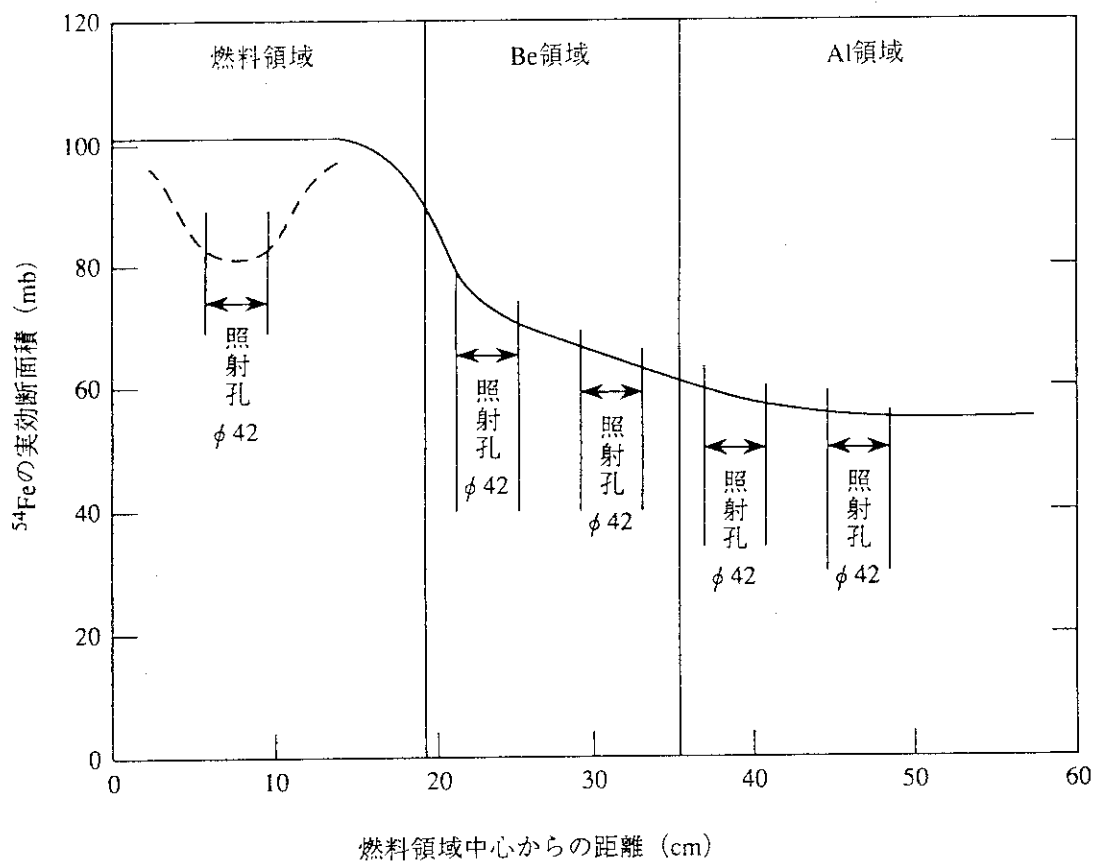
第4.28図 各種原子炉の積分中性子束



第4.29図 軸方向の中性子照射量分布

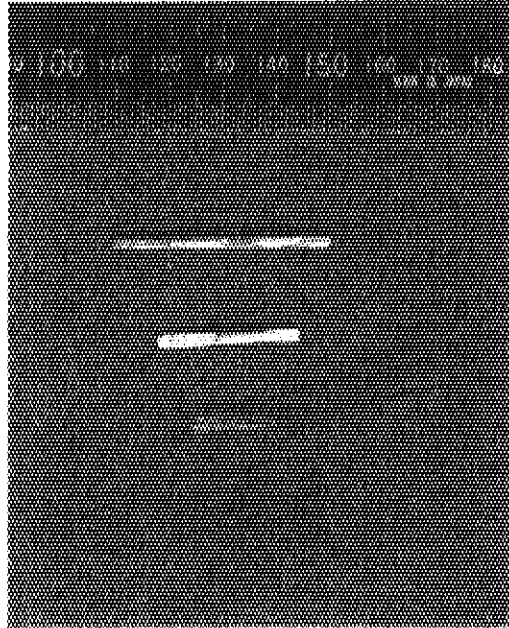


第4.30図 キャプセル内の望ましいフルエンスモニタの配置



(燃料領域内Al照射孔については、別途計算をおこなったので点線で示した。また実効断面積は、1MeV以上の中性子に対するものである。)

第4.31図 照射孔における $^{54}\text{Fe}$ の実効断面積



アルミニウム管型は照射温度500℃まで、  
石英管型は1000℃まで使用可能である。

第4.32図 標準型フルエンスモニタ

## 資料4.1 中性子照射量報告書

### 高速中性子照射量の評価

#### 1. 測定方法

鉄ワイヤをモニタとして用い、 $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$ 反応によって生ずる $^{54}\text{Mn}$ (半減期313日)の生成量をゲルマニウム検出器による $\gamma$ 線分析により定量し、その結果をモニタ位置での中性子照射量に換算した。

#### 2. 中性子照射量の評価法

##### 1) 中性子照射量の算出法

中性子照射量は、(1)式で求められる。

$$\phi = A \cdot \frac{G}{N_0 M F} \cdot \frac{1}{\sigma_{1.0}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^n t_{ij}}{\sum_{j=1}^n (1 - e^{-\lambda t_{ij}}) e^{-\lambda t_{wj}}} \dots\dots\dots(1)$$

ただし

$\phi$	: 中性子照射量 ( $\text{n}/\text{cm}^2$ )
$A$	: 測定によって得られる放射能 (Bq)
$G$	: 鉄の原子量 (55.9amu)
$N_0$	: アボガドロ数 ( $6.02 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1}$ )
$M$	: モニタの重量 (g)
$F$	: $^{54}\text{Fe}$ の天然存在比 (5.84%)
$\sigma_{1.0}$	: 実効断面積 ( $\text{cm}^2$ )
$t_i$	: 照射時間 (s)
$\lambda$	: 崩壊定数 ( $2.56 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ )
$t_w$	: 冷却時間 (s)
$n$	: 照射回数 (通常照射サイクル数に一致する。)

##### 2) 実効断面積 $\sigma_{1.0}$

一般に実効断面積 $\sigma_{eff}$ は、反応率を中性子束で規格化したもので(2)式で定義される。

$$\sigma_{eff} = \frac{\int_0^\infty \phi(E) \sigma(E) dE}{\int_{E_{eff}}^\infty \phi(E) dE} \dots\dots\dots(2)$$

ただし

$E_{eff}$	: 反応の起こる実効的なエネルギー
$\phi(E)$	: 中性子スペクトル
$\sigma(E)$	: $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$ 反応の微視的断面積

1 MeV以上の中性子照射量を求めるためには、1 MeV以上の中性子に対する実効断面積を考えなければならない。従って、1 MeV以上の中性子に対する $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$ 反応の実効断

面積 $\sigma_{1.0}$ は、(2)式において $E_{thr}$ を1 MeVとおき(3)式で表わされる。

$$\sigma_{1.0} = \frac{\int_0^{\infty} \phi(E) \sigma(E) dE}{\int_{1.0 \text{ MeV}}^{\infty} \phi(E) dE} \dots\dots\dots(3)$$

ここで $\phi(E)$ と $\sigma(E)$ は、次のとおりである。

i) 中性子スペクトル $\phi(E)$

1次元輸送方程式計算コードANISNを用いてそれぞれ燃料領域内照射孔、ベリリウム反射体領域第1層、及び第2層、アルミニウム反射体領域第1層及び第2層における中性子スペクトルの計算を行なった。なお、計算に当たってはJMTRを1次元板状モデルとして取扱った。

ii)  $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$ 反応の微視的断面積 $\sigma(E)$

$^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$ 反応の微視的断面積 $\sigma(E)$ は、ENDF/B-IVから採用した。

以上の手順により、実効断面積 $\sigma_{1.0}$ を求めると次のとおりである。

キャプセル名	照射領域	照射位置	$\sigma_{1.0}$ (mb)
00 * M00A	Be第2層	J-12	64.5

なお、キャプセル装荷による中性子スペクトルの変化は、考慮されていない。

3) 中性子照射量評価の結果

i) (1)式によって各モニタが受けた中性子照射量を求めて図1に示した。縦軸は、炉中心を0として縦方向位置をmmで示した。横軸は、モニタ位置での1 MeV以上の中性子照射量( $\text{n}/\text{cm}^2$ )を示した。各モニタのキャプセル内位置は、図の左側に示した。

ii) 実線は、標準型の分布に基づき最小自乗法により決定した。

iii) 径方向でモニタが試料中心(キャプセル中心)に無い場合は、試料中心での推定値も示した。

iv) 本キャプセルの核計算による中性子照射量予測値(軸方向ピーク値)〔2次元拡散計算コードCITATIONで計算して求めた。〕とモニタによる中性子照射量評価値(軸方向ピーク値)は、次のとおりである。

キャプセル名	中性子照射量 予測値 ( $\text{n}/\text{cm}^2$ )	中性子照射量 評価値 ( $\text{n}/\text{cm}^2$ )
00 * M00A	$2.59 \times 10^{19}$	$2.93 \times 10^{19}$

3. 原子炉運転時間、炉心配置

JMTR時報 No. ○○ を参照されたい。

4. その他



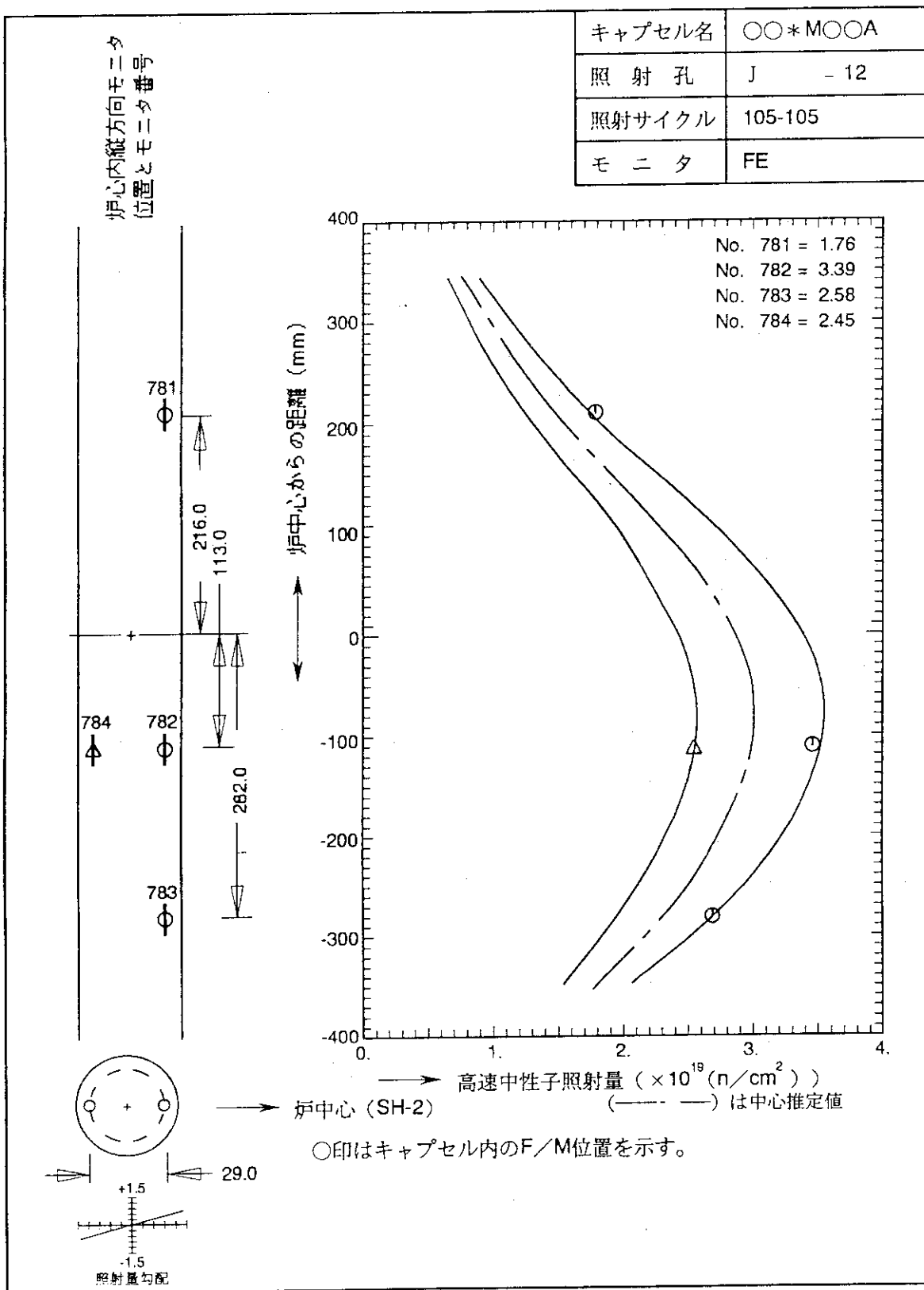


図1 高速中性子照射量

## 資料4.2 中性子照射量報告書 熱中性子照射量の評価

### 1. 測定方法

Al-0.11w/o Coワイヤをモニタとして用い、 $^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$ 反応によって生ずるCo(半減期5.28年)の生成量をゲルマニウム検出器による $\gamma$ 線分析により定量し、その結果をモニタ位置での中性子照射量に換算した。

### 2. 熱中性子照射量の評価

#### 1) 熱中性子照射量の算出法

熱中性子照射量は、(1)式で求められる。

$$\phi = A \cdot \frac{G}{N_0 \cdot MF} \cdot \frac{1}{\sigma_{0.68}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^n t_{ij}}{\sum_{j=1}^n (1 - e^{-\lambda t_{ij}}) e^{-\lambda t_{wj}}} \dots\dots\dots(1)$$

ただし

- $\phi$  : 熱中性子照射量 (n/cm<sup>2</sup>)
- A : 測定によって得られる放射能 (Bq)
- G : コバルトの原子量 (58.9amu)
- N<sub>0</sub> : アボガドロ数 (6.02×10<sup>23</sup>mole<sup>-1</sup>)
- M : モニタの重量 (g)
- F :  $^{59}\text{Co}$ の天然存在比 (100%)
- $\sigma_{0.68}$  : 実効断面積 (cm<sup>2</sup>)
- t<sub>i</sub> : 照射時間 (s)
- $\lambda$  : 崩壊定数 (4.16×10<sup>-9</sup> s<sup>-1</sup>)
- t<sub>w</sub> : 冷却時間 (s)
- n : 照射回数 (通常照射サイクル数に一致する。)

#### 2) 実効断面積 $\sigma_{0.68}$

実効断面積は、反応率を中性子束で規格化したもので、熱中性子として考える上限のエネルギーを0.68eVとすると、熱中性子に対する実効断面積は、(2)式で表される。

$$\sigma_{0.68} = \frac{\int_0^\infty \phi(E) \sigma(E) dE}{\int_0^{0.68\text{eV}} \phi(E) dE} \dots\dots\dots(2)$$

ここで $\phi(E)$ と $\sigma(E)$ は、次の通りである。

#### i) 中性子スペクトル $\phi(E)$

SRACコードシステムに内蔵されている衝突確率法に基づくPIJルーチンを用い、キャプセル横断面を円筒モデルとして計算して求めた。

#### ii) $^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$ 反応の微視的断面積 $\sigma(E)$

$^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$ 反応の微視的断面積 $\sigma(E)$ は、核データファイルENDF/B-IVから採

用した。

以上の手順により、実効断面積  $\sigma_{0.68}$  を求めると次の通りである。

キャプセル名	照射領域	照射位置	$\sigma_{0.68}$ (b)
00 * M00A	Be第2層	J-4	31.2

3) 熱中性子照射量評価の結果

- i) (1)式によって各モニタが受けた熱中性子照射量を求めて図1に示した。縦軸は、炉中心を0として縦方向位置をmmで示した。横軸は、モニタ位置での熱中性子照射量(n/cm<sup>2</sup>)を示した。各モニタのキャプセル内位置は、図の左側に示した。
- ii) 実線は、標準型の分布に基づき最小自乗法により決定した。

3. 熱中性子束分布

1) 熱中性子束の算出方法

- i) 照射中の中性子束(50MWで規格化)は、熱中性子照射量と50MWでの実効運転時間から(3)式で求められる。

$$\phi = \frac{\Phi}{T} \dots\dots\dots(3)$$

ただし

$$\left\{ \begin{array}{l} \phi : \text{熱中性子束 (n/cm}^2 \cdot \text{sec)} \\ \Phi : \text{熱中性子照射量 (n/cm}^2) \\ T : \text{50MWでの実効運転時間 (sec)} \\ T = \frac{\text{積算出力 (MWD)}}{50 \text{ (MW)}} \times 24 \times 3600 \text{ (sec)} \end{array} \right.$$

(3)式により、各モニタについての照射中の熱中性子束を求め図2に示した。

- ii) 実線は、標準型の分布に基づき最小自乗法により決定した。

2) 参考のためにキャプセル径方向の熱中性子束の相対分布をSRAC-PIJによって求めた結果を図3に示した。この図は、キャプセル特定径方向任意位置の熱中性子束を求めるのに利用できる。

4. 原子炉運転時間、炉心配置

JMTR時報 No. ○○ を参照されたい。

5. その他

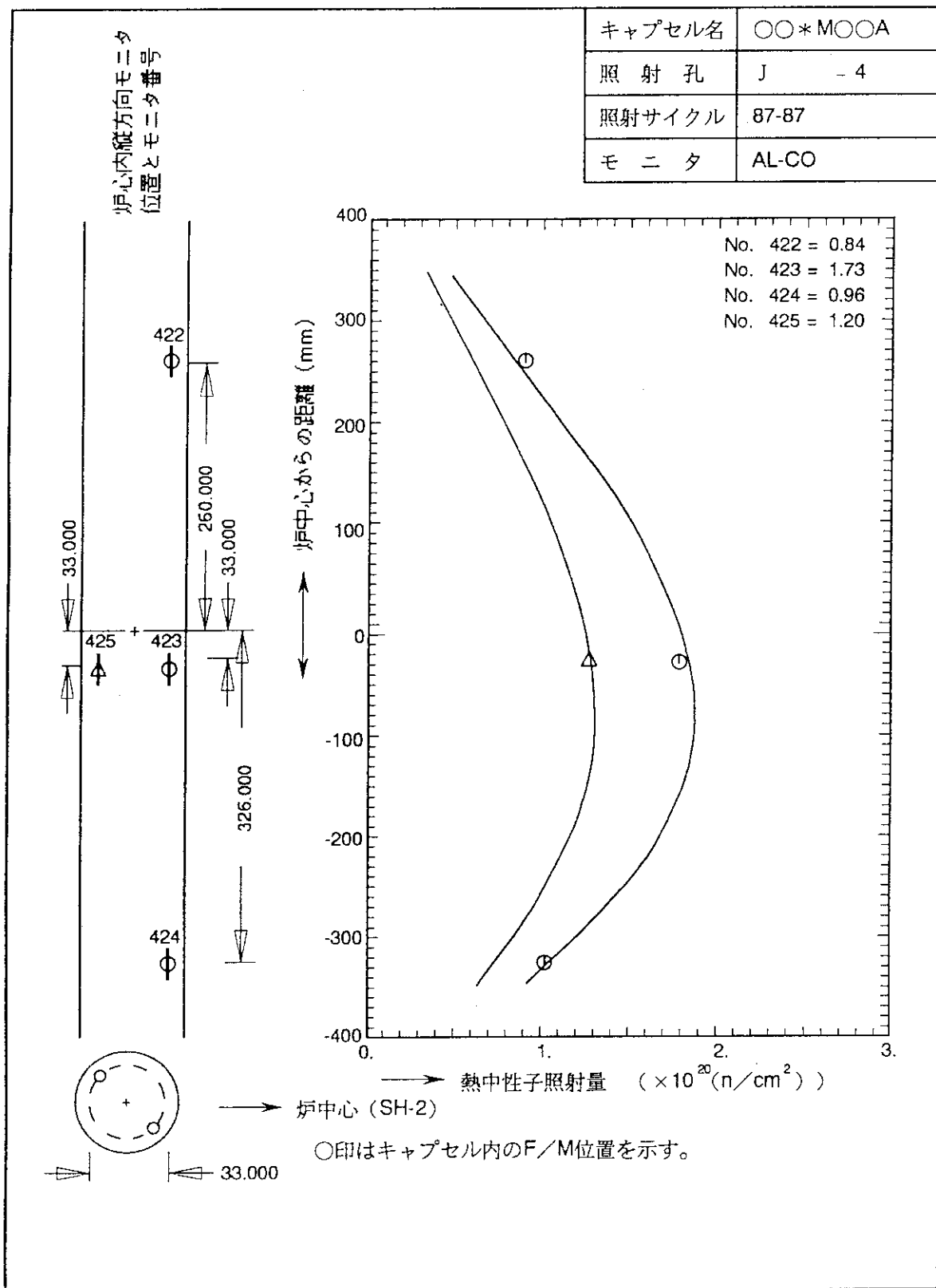


図1 熱中性子照射量

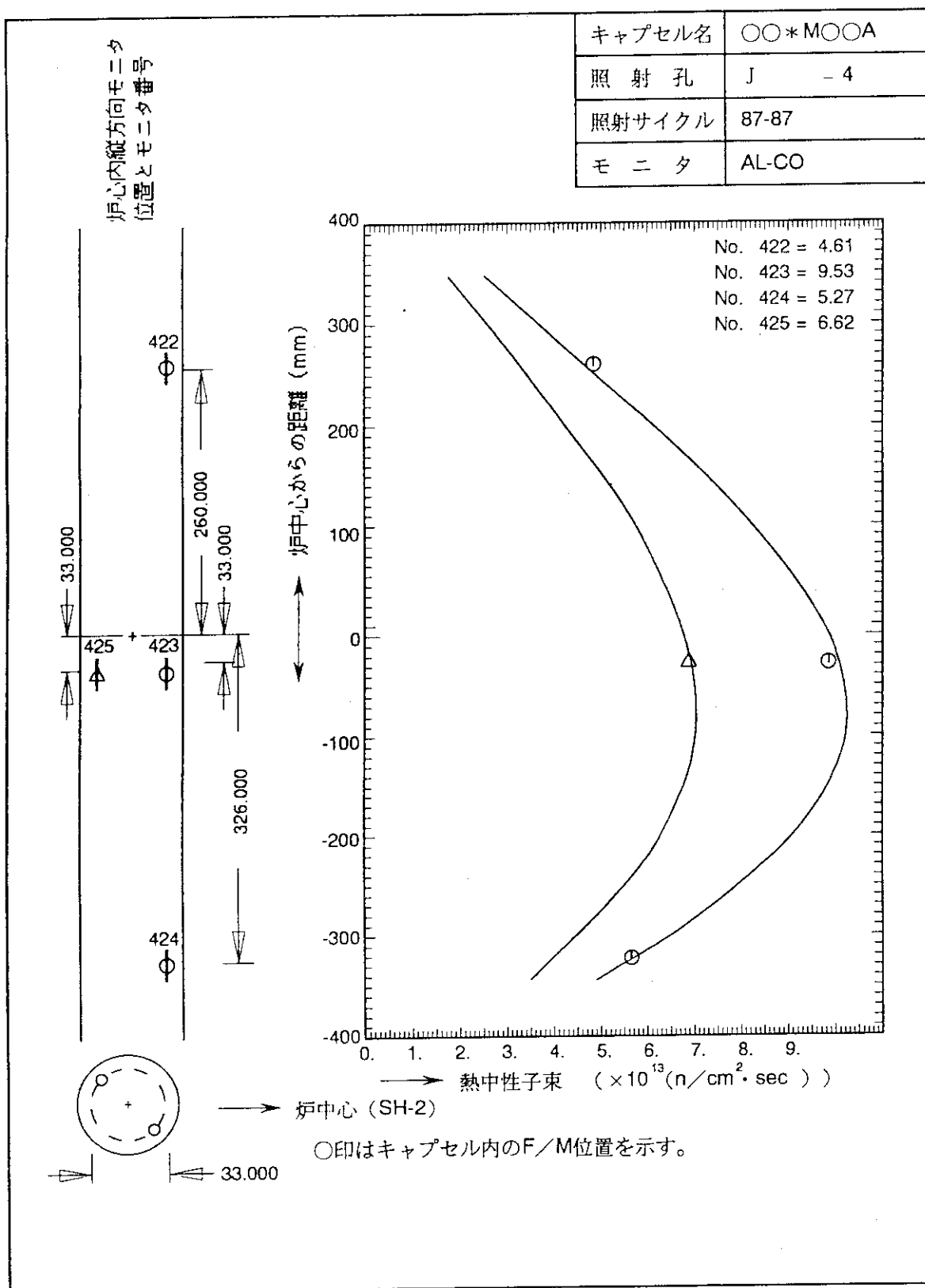


図2 熱中性子束

CODE : SRAC

\*\*\* TITLE === ○○\*MOOA  
 CAPTURE CROSS SECTION = 31.2 (b) -FM (Co)  
 ENERGY RANGE (eV) 0.6826E+00 - 0.1000E-04  
 FLUX-FM = 0.1902E+01 VELOCITY-FM= 0.2934E+04  
 FLUX-AVERAGE = 0.2281E+01 DISTANCE (0.0 - 4.36cm)

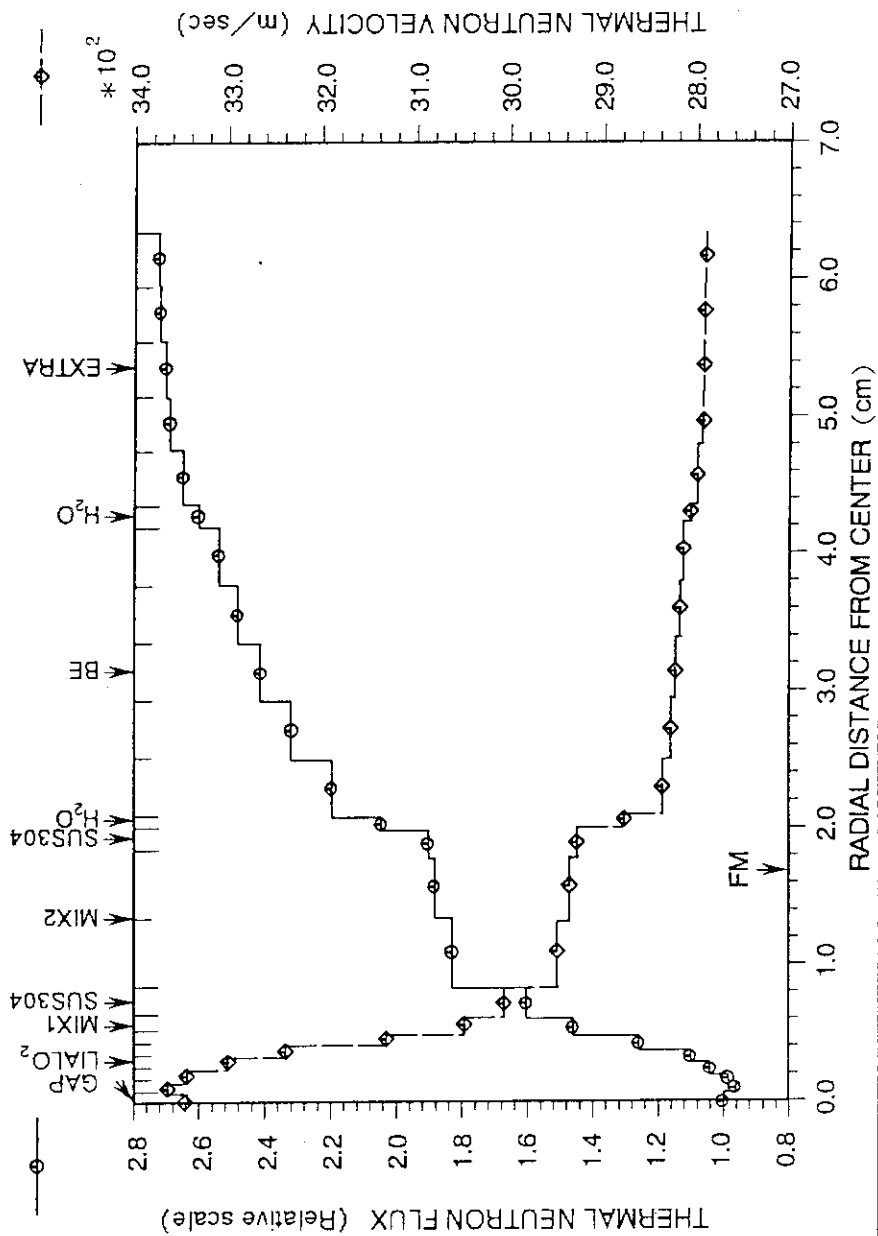


図3 キャプセル径方向熱中性子束相対分布

### 資料 4.3 中性子スペクトル報告書

#### 1. 評価方法

00F-00A キャプセルの熱領域のスペクトルをSRAC-PIJコードで計算し、照射領域別にANISNコードで計算した高速領域のスペクトルと結合する。この中性子スペクトルをフルエンスモニタで測定した熱及び高速中性子束(照射量)で規格化しスペクトルの面積保存でスムージング化してスペクトルを求めた。

#### 2. エネルギー群数

134群

#### 3. 評価位置

照射試料の径方向平均軸方向ピーク位置で評価した。

#### 4. 照射条件

- (1) キャプセル名: 00F-00A
- (2) 照射期間: 83~93サイクル
- (3) 照射孔: O-9
- (4) 照射領域: AL-1
- (5) 積算出力量: 17483.7MWd
- (6) 中性子照射量及び中性子束

	中性子照射量 (n/cm <sup>2</sup> )	中性子束 (n/cm <sup>2</sup> ・s)
高速中性子	$6.65 \times 10^{18}$	$2.20 \times 10^{11}$
熱中性子	$3.99 \times 10^{19}$	$1.32 \times 10^{12}$

#### 5. 評価結果

中性子スペクトルを別添図1及び第1表に示す。

CYCLE (83--99) HOLE (0--9) REGION (AL--1) POWER (17483.7MWd)

THERMAL=1.32092E+12 FAST=2.20127E+11

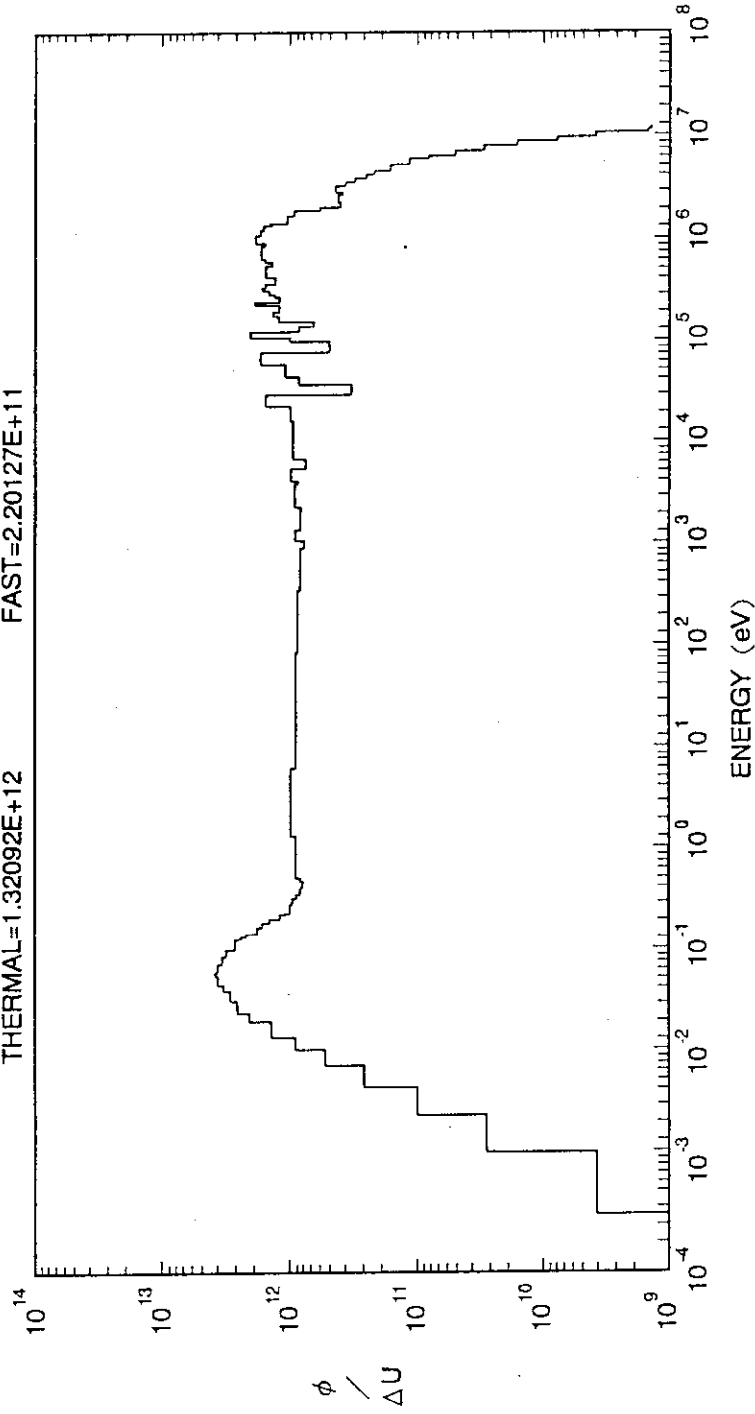


FIG. 1. OOF-00A NEUTRON SPECTRUM



第1表 ○○○○A NEUTRON SPECTRUM  
CYCLE(83-99) HOLE(0-9) REGION(AL-1) POWER(17483.7MWD)

GROUP	BOUNDARY(EV)	FLUX	FLUX/Delta-U	GROUP	BOUNDARY(EV)	FLUX	FLUX/Delta-U	GROUP	BOUNDARY(EV)	FLUX	FLUX/Delta-U
1	0.14900E+08	0.11665E+09	0.11647E+10	46	0.16550E+06	0.51520E+11	0.51691E+12	91	0.39230E+01	0.20796E+12	0.83139E+12
2	0.13480E+08	0.30044E+09	0.30113E+10	47	0.14980E+06	0.69661E+11	0.69433E+12	92	0.30550E+01	0.20810E+12	0.83206E+12
3	0.12200E+08	0.64268E+09	0.64325E+10	48	0.13550E+06	0.16292E+12	0.16285E+13	93	0.23790E+01	0.20780E+12	0.83162E+12
4	0.11040E+08	0.12991E+10	0.12973E+11	49	0.12260E+06	0.84936E+11	0.85452E+12	94	0.18330E+01	0.83988E+12	0.83988E+12
5	0.99800E+07	0.23648E+10	0.23635E+11	50	0.11100E+06	0.10105E+12	0.40353E+12	95	0.14430E+01	0.20888E+12	0.82810E+12
6	0.90170E+07	0.38798E+10	0.38798E+11	51	0.86410E+05	0.34507E+12	0.13806E+13	96	0.11240E+01	0.20589E+12	0.82265E+12
7	0.81770E+07	0.61901E+10	0.61913E+11	52	0.67300E+05	0.22815E+12	0.91236E+12	97	0.87340E+00	0.20489E+12	0.81956E+12
8	0.73990E+07	0.92264E+10	0.92278E+11	53	0.52410E+05	0.17558E+12	0.70254E+12	98	0.68170E+00	0.10244E+12	0.81956E+12
9	0.66950E+07	0.13514E+11	0.13516E+12	54	0.40820E+05	0.67417E+11	0.26965E+12	99	0.60240E+00	0.93340E+11	0.74672E+12
10	0.60580E+07	0.17116E+11	0.17700E+12	55	0.31790E+05	0.32144E+12	0.12362E+13	100	0.53160E+00	0.97942E+11	0.78354E+12
11	0.54810E+07	0.22514E+11	0.22541E+12	56	0.24760E+05	0.19866E+12	0.79411E+12	101	0.46910E+00	0.10436E+12	0.83489E+12
12	0.49490E+07	0.28363E+11	0.28363E+12	57	0.19280E+05	0.17960E+12	0.71931E+12	102	0.41400E+00	0.83349E+12	0.83349E+12
13	0.44880E+07	0.33687E+11	0.33694E+12	58	0.15020E+05	0.18209E+12	0.72648E+12	103	0.38930E+00	0.53757E+11	0.84523E+12
14	0.40610E+07	0.33011E+11	0.32962E+12	59	0.11690E+05	0.17930E+12	0.71840E+12	104	0.36530E+00	0.56516E+11	0.86021E+12
15	0.36740E+07	0.32207E+11	0.32268E+12	60	0.91080E+04	0.17510E+12	0.70027E+12	105	0.34210E+00	0.61975E+11	0.91408E+12
16	0.33250E+07	0.34120E+11	0.34054E+12	61	0.70930E+04	0.15186E+12	0.60744E+12	106	0.31960E+00	0.63347E+11	0.90109E+12
17	0.30080E+07	0.32758E+11	0.32788E+12	62	0.55240E+04	0.19784E+12	0.79128E+12	107	0.29790E+00	0.68081E+11	0.93390E+12
18	0.27220E+07	0.48019E+11	0.48026E+12	63	0.43020E+04	0.18580E+12	0.74371E+12	108	0.27700E+00	0.74750E+11	0.99006E+12
19	0.24630E+07	0.76313E+11	0.76446E+12	64	0.33510E+04	0.18399E+12	0.73521E+12	109	0.25680E+00	0.85956E+11	0.10936E+13
20	0.22290E+07	0.86196E+11	0.85821E+12	65	0.26990E+04	0.18344E+12	0.73392E+12	110	0.23740E+00	0.96311E+11	0.11774E+13
21	0.20160E+07	0.11796E+12	0.11791E+13	66	0.20320E+04	0.18330E+12	0.73410E+12	111	0.21880E+00	0.11453E+12	0.13442E+13
22	0.18250E+07	0.13210E+12	0.13190E+13	67	0.15830E+04	0.18451E+12	0.73841E+12	112	0.16340E+00	0.14257E+12	0.16001E+13
23	0.16510E+07	0.13925E+12	0.13936E+13	68	0.12330E+04	0.18206E+12	0.72715E+12	113	0.18380E+00	0.17360E+12	0.18843E+13
24	0.14940E+07	0.14525E+12	0.14543E+13	69	0.95990E+03	0.18536E+12	0.74158E+12	114	0.16740E+00	0.20390E+12	0.20844E+13
25	0.13520E+07	0.13857E+12	0.13819E+13	70	0.74760E+03	0.18708E+12	0.74818E+12	115	0.15180E+00	0.23657E+12	0.23062E+13
26	0.12230E+07	0.12694E+12	0.12738E+13	71	0.58220E+03	0.18856E+12	0.75413E+12	116	0.13700E+00	0.27788E+12	0.25585E+13
27	0.11070E+07	0.13804E+12	0.13714E+13	72	0.45340E+03	0.19002E+12	0.76001E+12	117	0.12290E+00	0.32643E+12	0.28501E+13
28	0.10010E+07	0.13799E+12	0.13854E+13	73	0.35310E+03	0.19143E+12	0.76579E+12	118	0.10960E+00	0.37784E+12	0.31148E+13
29	0.90610E+06	0.11729E+12	0.11718E+13	74	0.27500E+03	0.19280E+12	0.77162E+12	119	0.97080E-01	0.42880E+12	0.33451E+13
30	0.81980E+06	0.12261E+12	0.12263E+13	75	0.21420E+03	0.19416E+12	0.77629E+12	120	0.85400E-01	0.48670E+12	0.34888E+13
31	0.74180E+06	0.15235E+12	0.15323E+13	76	0.16680E+03	0.19282E+12	0.77119E+12	121	0.74280E-01	0.52639E+12	0.35412E+13
32	0.67120E+06	0.11220E+12	0.11233E+13	77	0.12990E+03	0.19523E+12	0.78196E+12	122	0.64020E-01	0.55424E+12	0.34505E+13
33	0.60740E+06	0.11462E+12	0.11462E+13	78	0.10120E+03	0.19980E+12	0.79862E+12	123	0.54520E-01	0.56083E+12	0.32139E+13
34	0.54960E+06	0.12212E+12	0.12213E+13	79	0.78800E+02	0.19904E+12	0.79617E+12	124	0.45790E-01	0.54572E+12	0.28498E+13
35	0.49730E+06	0.12058E+12	0.12037E+13	80	0.61370E+02	0.20023E+12	0.80058E+12	125	0.37810E-01	0.50524E+12	0.23880E+13
36	0.44790E+06	0.10294E+12	0.10298E+13	81	0.47790E+02	0.20169E+12	0.80684E+12	126	0.30600E-01	0.44248E+12	0.18692E+13
37	0.40710E+06	0.13286E+12	0.13301E+13	82	0.37220E+02	0.20241E+12	0.80996E+12	127	0.24150E-01	0.36347E+12	0.13556E+13
38	0.36840E+06	0.13954E+12	0.13936E+13	83	0.28990E+02	0.20377E+12	0.81543E+12	128	0.18470E-01	0.27663E+12	0.89092E+12
39	0.33330E+06	0.11217E+12	0.11223E+13	84	0.22580E+02	0.20418E+12	0.81573E+12	129	0.19074E+12	0.51978E+12	0.51978E+12
40	0.30160E+06	0.10401E+12	0.10401E+13	85	0.17580E+02	0.20558E+12	0.82201E+12	130	0.93810E-02	0.11630E+12	0.25830E+12
41	0.27290E+06	0.15742E+12	0.15723E+13	86	0.13690E+02	0.20610E+12	0.82386E+12	131	0.59800E-02	0.58775E+11	0.10101E+12
42	0.24690E+06	0.10455E+12	0.10453E+13	87	0.10660E+02	0.20646E+12	0.82705E+12	132	0.33420E-02	0.22709E+11	0.27559E+11
43	0.22340E+06	0.78506E+11	0.78737E+12	88	0.83050E+01	0.20727E+12	0.82912E+12	133	0.14660E-02	0.52120E+10	0.36562E+10
44	0.20220E+06	0.11447E+12	0.11411E+13	89	0.64680E+01	0.20749E+12	0.82978E+12	134	0.35240E-03	0.31241E+09	0.87701E+08
45	0.18290E+06	0.97964E+11	0.97995E+12	90	0.50370E+01	0.20804E+12	0.83230E+12	135	0.10000E-04		

## 5. 放射性同位元素の生産

## 目 次

5.1 放射性同位元素の種類 .....	180
5.2 放射性同位元素生産用キャプセル・ラビット .....	180

## 表 一 覧

第5.1表 JMTRで生産される主な放射性同位元素 (RI) .....	181
--------------------------------------	-----

## 図 一 覧

第5.1図 反射体要素への無計測キャプセルの装荷図 .....	182
第5.2図 リーキ型バスケット (ベリリウム枠用, アルミニウム製) .....	183
第5.3図 インナーカプセル等のリーキ型バスケットへの装荷図 .....	183
第5.4図 工業用 $^{192}\text{Ir}$ 生産用インナーカプセル .....	184
第5.5図 医療用 $^{192}\text{Ir}$ 生産用インナーカプセル .....	184
第5.6図 $^{51}\text{Cr}$ 生産用インナーカプセル .....	185
第5.7図 $^{32}\text{P}$ 生産用インナーカプセル .....	185
第5.8図 $^{169}\text{Yb}$ 生産用インナーカプセル .....	186
第5.9図 RI生産用水力ラビット .....	186

## 5.1 放射性同位元素の種類

JMTRを利用した放射性同位元素RI(Radioisotope)生産のための照射は、JMTR全照射数の約20%を占めており、JMTRの大きな役割の一つである。JMTRで生産されている主なRIを第5.1表に示す。

JMTRで照射されたRIは、アイソトープ部で精製、商品化し、(社)日本アイソトープ協会を通して一般に頒布されている。このためアイソトープ部では、JMTRの年間運転計画を基に、RIの年間製造出荷計画をたてRIの安定供給を図っている。

## 5.2 放射性同位元素生産用キャプセル・ラビット

### (1) キャプセルによる照射

RI生産に使用されるキャプセルは、すべて無計測キャプセルであり、照射孔によって外径の違いはあるが、ほとんど同じ構造をしている。RI生産に使用される無計測キャプセルを第5.1図から第5.3図に示す。試料はインナーカプセルに封入し、さらにリーキー型無計測キャプセルのバスケットに装荷する。このバスケットを照射場である炉心部の反射体要素に挿入して照射する。各試料を封入したインナーカプセルの構造例を第5.4図から第5.8図に示す。照射期間は、主に1サイクル或いは2サイクルである。また、所定の照射期間が終了したキャプセルは、ホットラボで外筒を切断したのち試料のみをアイソトープ部に引き渡す。代表的なRI核種の生産について次に示す。

#### ① $^{32}\text{P}$ の生産

$^{32}\text{P}$ は、医学(分子生物学研究)、農学(農薬の吸収調査用)等の分野でトレーサとして広く利用されているRIであり、元素状硫黄を原子炉で照射し、 $^{32}\text{S}(n, p)^{32}\text{P}$ の核反応により無担体で製造する。この核反応は吸熱反応であり、約1 MeV以上の高速中性子を必要とするので、炉心の燃料領域で照射される。JMTRでは、燃料領域4孔反射体要素内の照射孔で1サイクル照射される。

#### ② $^{192}\text{Ir}$ の生産

$^{192}\text{Ir}$ はイリジウム金属ターゲットを照射し、 $^{191}\text{Ir}(n, \gamma)^{192}\text{Ir}$ の反応で生産する。工業用 $^{192}\text{Ir}$ は非破壊検査用線源として利用されるもので、JMTRではベリリウム反射体第1層の照射孔で1サイクル照射される。

工業用 $^{192}\text{Ir}$ は出荷時の放射エネルギーが厳しく規定されており、その生成量が規定値の許容範囲に入るように、照射前の核計算と過去に照射した実績生成量を考慮して、最適な照射孔を選択している。

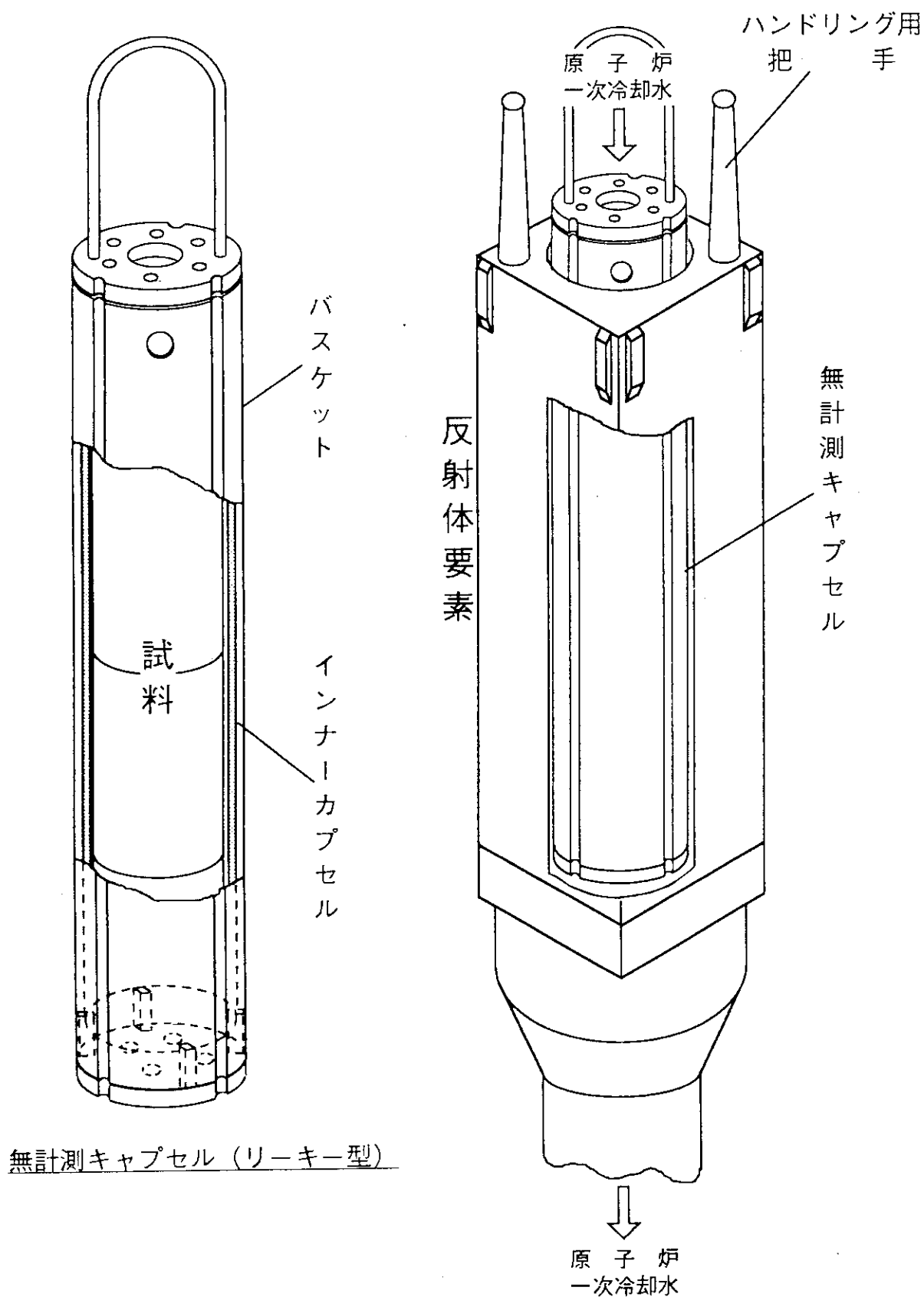
### (2) 水カラビットによる照射

水カラビットによるRIの生産は、特定の核種に限定されており、照射の頻度も年間数件と

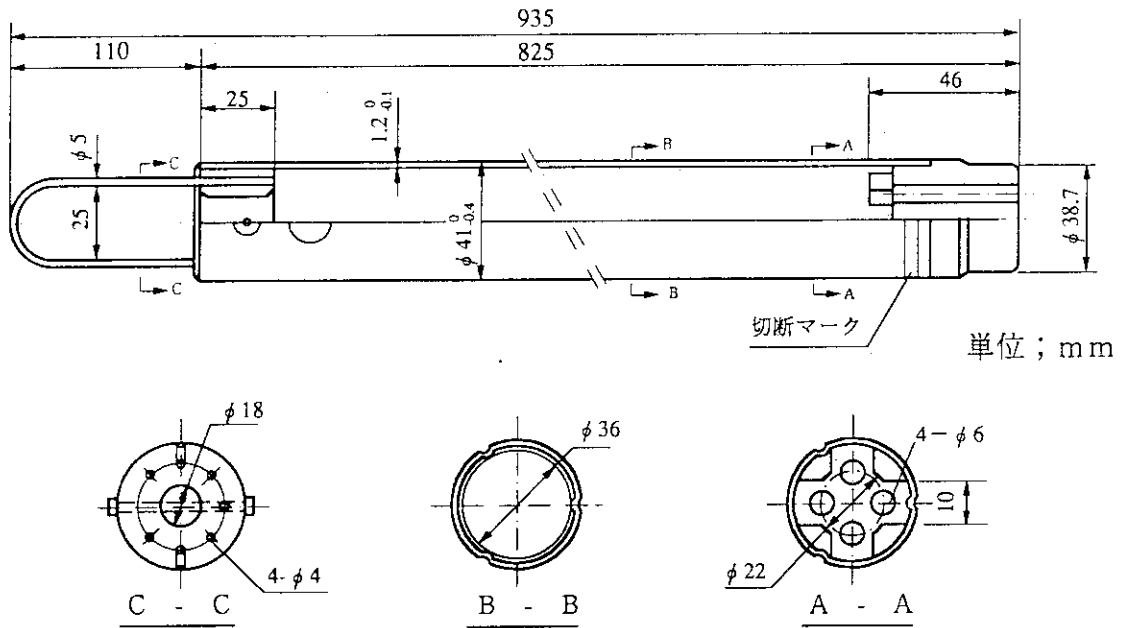
キャプセルに比較して少ない。照射終了した水カラビットは、そのままの形状でアイソトープ部に引き渡される。水カラビットの形状を第5.9図に示す。

第5.1表 JMTRで生産される主な放射性同位元素 (RI)

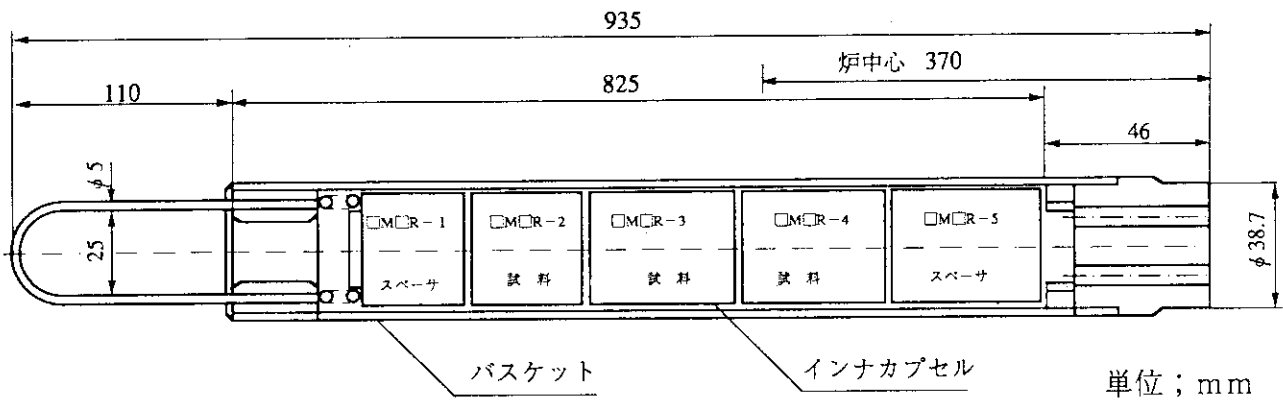
RI	ターゲット	生成核反応	半減期	用途
$^{32}\text{P}$	結晶イオウ粉末	$^{32}\text{S} (n, p)$	14.3 d	医学、農学
$^{35}\text{S}$	KCl粉末	$^{35}\text{Cl} (n, p)$	87.5 d	農学、工業
$^{51}\text{Cr}$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$ 粉末	$^{50}\text{Cr} (n, \gamma)$	27.7 d	医学
$^{192}\text{Ir}$	Irペレット	$^{191}\text{Ir} (n, \gamma)$	73.8 d	工業、医学
$^{169}\text{Yb}$	$\text{Yb}_2\text{O}_3$ ペレット	$^{168}\text{Yb} (n, \gamma)$	32.0 d	工業、医学



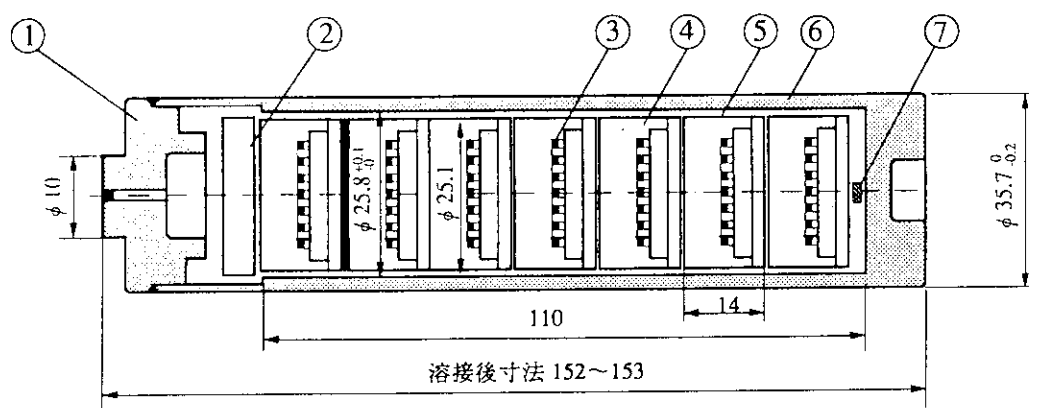
第5.1図 反射体要素への無計測キャプセルの装荷図



第5.2図 リーキ型バスケット（ベリリウム枠用，アルミニウム製）



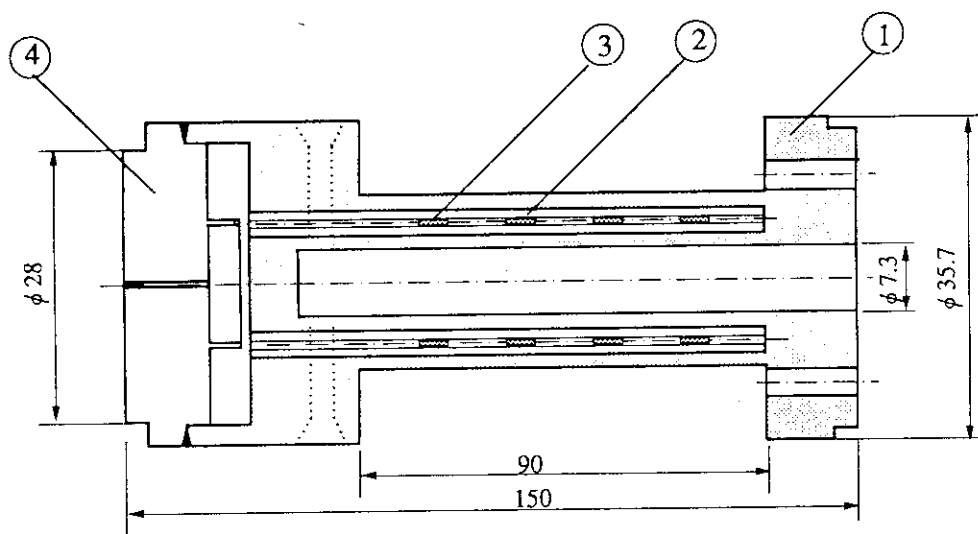
第5.3図 インナーカプセル等のリーキ型バスケットへの装荷図



単位；mm

7	フルエンスモニタ	1	Co
6	試料容器	1	A1050
5	アルミ箱	1 式	1N99
4	試料ブロック	1	A5056
3	試料	180	Ir
2	インナー Spacer	1	A1050
1	上部端栓	1	A1050
品番	部品名	個数	材質

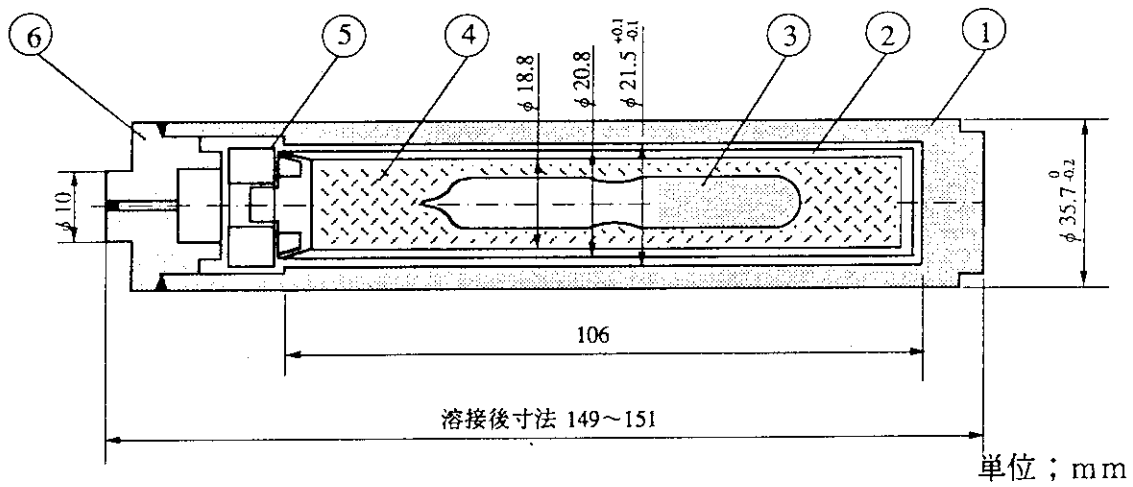
第5.4図 工業用<sup>192</sup>Ir生産用インナーカプセル



単位；mm

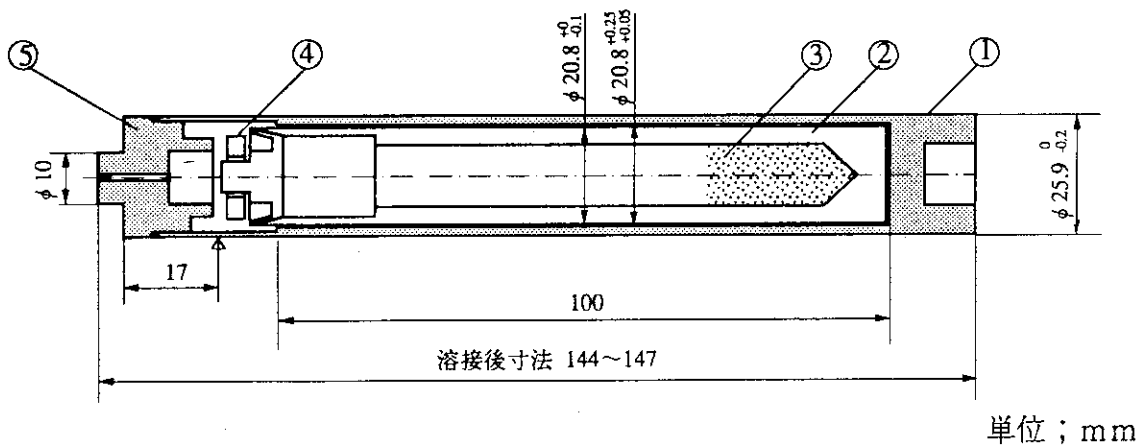
4	試料容器上部端栓	1	A1050
3	試料	1	A1050
2	試料ホルダ	1	A1050
1	試料容器	1	A1050
品番	部品名	個数	材質

第5.5図 医療用<sup>192</sup>Ir生産用インナーカプセル



6	上部端栓	1	A1050
5	インナースペーサ	1	A1050
4	アルミフォイル	1式	A1050
3	試料	1	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2	試料容器	1	A1050
1	外筒	1	A1050
品番	部品名	個数	材質

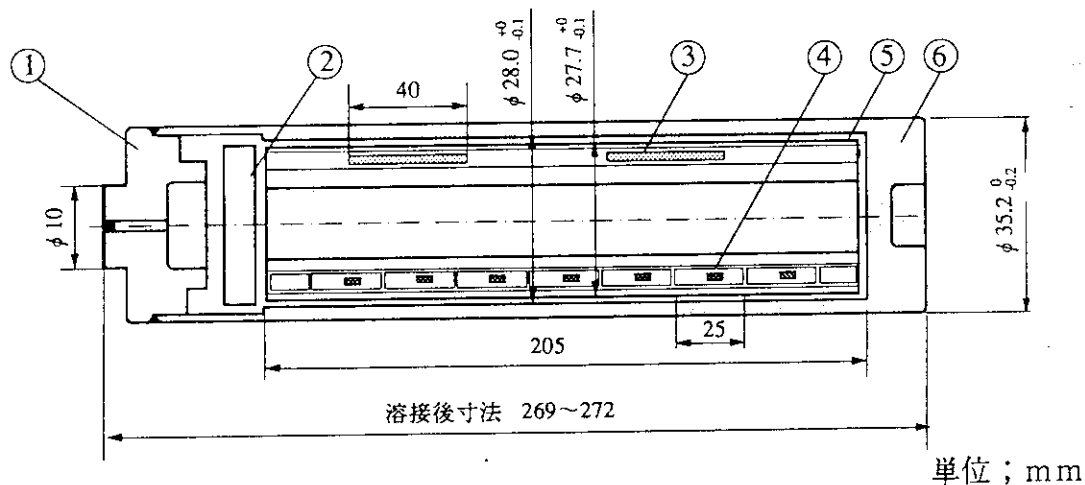
第5.6図 <sup>51</sup>Cr生産用インナーカプセル



5	上部端栓	1	A1050
4	インナースペーサ	1	A1050
3	試料	1	S
2	試料容器	1	A1050
1	外筒	1	A1050
品番	部品名	個数	材質

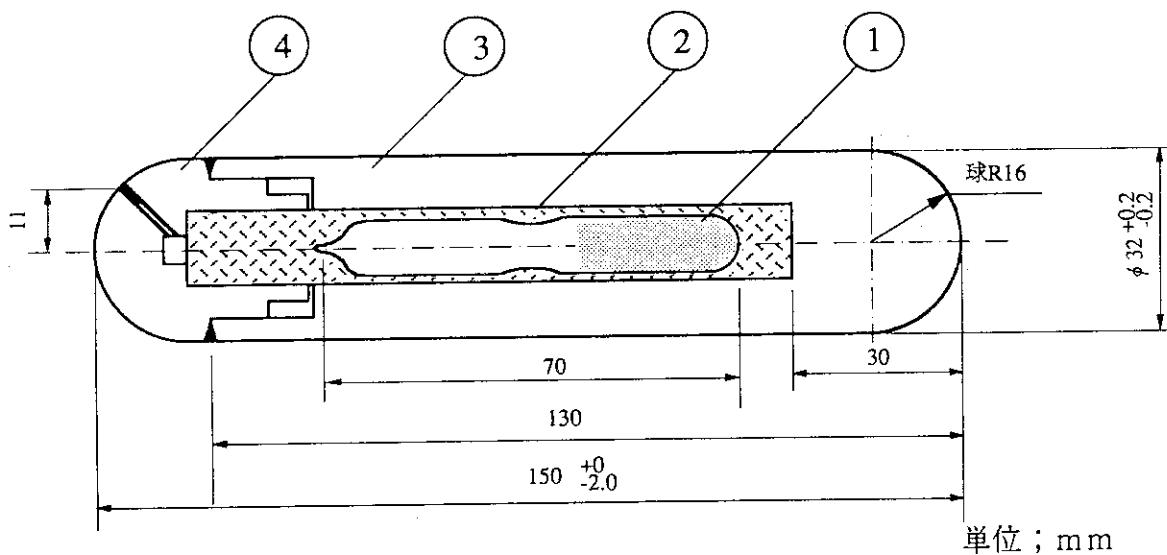
第5.7図 <sup>32</sup>P生産用インナーカプセル





6	外筒	1	A1050
5	熱媒体	1	SUS304
4	試料	1 式	Yb
3	フルエンスモニタ	1 式	—
2	インナースペーサ	1	A1050
1	上部端栓	1	A1050
品番	部品名	個数	材質

第5.8図  $^{16}\text{Yb}$ 生産用インナーカプセル



4	端栓	1	A1050
3	外筒	1	A1050
2	アルミフイルム	1 式	A1050
1	試料	1	—
品番	部品名	個数	材質

第5.9図 RI生産用水カラビット

## 6. 開発計画

### 目 次

6.1 概 要 .....	188
6.2 高性能照射場の開発 .....	188
6.3 照射後試験技術 .....	189
6.4 再計装技術開発 .....	189
6.5 PWR燃料出力急昇試験設備 .....	189

### 図 一 覧

第6.1図 再計装技術開発 .....	191
第6.2図 FPガス圧力計の再計装手順 .....	191
第6.3図 PWR燃料及びBWR燃料出力急昇試験設備 .....	192

## 6.1 概要

JMTRでは、研究所内・外からの多種多様な照射ニーズに対応するため、照射技術の開発に努めている。

現在、JMTRが計画を進めている代表的な照射技術に関する開発・研究等について、その概念を以下に紹介する。

## 6.2 高性能照射場の開発

### (1) 中性子スペクトル測定評価技術の開発

材料試験炉部では、JMTRCにおいてマルチフォイル法により検証された中性子スペクトルを層依存スペクトルとしてこれまで利用者に提供してきた。高速中性子領域についてはこの層依存スペクトルはほぼ満足できる精度を有することが確認されているが、照射試料位置での熱中性子スペクトルについては、さらに評価精度を向上させることが必要である。このため、以下の2段階に分けてスペクトル評価精度の向上を図る計画である。

- ① 計算スペクトルをフルエンスモニタの照射データにより修正する。
  - ② 計算スペクトルを多重放射化ワイヤの照射データにより修正する。
- ①は、計算で求められたスペクトルをフルエンスモニタで測定した熱及び高速中性子照射量で修正する方法で、利用者への提供を1992年秋から既に開始している。
- ②は、多重放射化ワイヤの照射データを用いて計算スペクトルを修正するもので、①よりも詳細なスペクトルを得られることが可能である。このスペクトルについては、1995年頃を目途に利用者への提供を行う予定である。

### (2) カップリング照射

近年の照射研究においては、中性子スペクトルの制御、中性子束制御照射、重照射組織を持った材料の照射下その場評価等、より高度なアプローチが重要になってきている。しかし、これらの研究の実現は、使用する原子炉の能力に強く依存する。この点、大洗地区には大型の混合スペクトル炉であるJMTRと高速炉である常陽が隣接しており、この両原子炉を組合わせて照射する（カップリング照射）ことにより、性能の高い照射場を提供することができると見通される。カップリング照射は、軽水炉安全研究・高度化研究、核融合炉材料研究等、幅広い研究分野に役立つと期待される。

### 6.3 照射後試験技術

核融合炉第1壁構造材料等の開発においては、その照射試験に必要な加速器型中性子源の照射場は狭隘であるため試験片は必然的に微小なものとなる。また、供用中の原子炉構造材料等の微小領域から試験片を採取し、微小試験片に加工して評価する手法の確立等に寄与することを目的として、微小試験片で材料特性評価を行うための技術開発が重要となっている。ホットラボでは、以下に示すような試験装置及び周辺機器の技術開発を進めている。

遠隔操作型自動スモールパンチは、透過型電子顕微鏡試料（直径3mm×厚さ0.25mm）等を用い、-160～800℃の温度範囲でスモールパンチ試験を行い材料の強度特性を得るもので、特に作業能率向上のため、真空チャンバー内に一度に多数（12個）の試験片を装着できるターンテーブル方式の自動供給システムにより効率的に試験が行える特長を有する装置である。

並行して技術開発を進めている透過型電子顕微鏡試料等から微小引張試験片を製作するための遠隔操作型放電加工装置については、微小引張試験片加工用電極及び試料加工ステージ設計のための検討を行っている。また、本装置による普通サイズ引張試験片加工の可能性を探るため、専用の電極を製作して、模擬試料からの普通サイズ試験片の加工テストを実施した結果、十分な実用可能な見通しが得られている。

### 6.4 再計装技術開発

軽水炉燃料の安全性研究の一環として、高燃焼度燃料出力急昇時のPCI破損メカニズムの解明が重要なテーマとなっており、軽水炉で照射した高燃焼度燃料の出力急昇試験をJMTRで行う計画である。本技術開発の概念を第6.1図に示す。

JMTRでは、本試験に先立って照射済燃料棒にFPガス圧力計、中心温度測定用熱電対及び酸素センサー等の計測機器を計装するための再計装技術の開発を進めている。FPガス圧力計の再計装手順を第6.2図に示す。

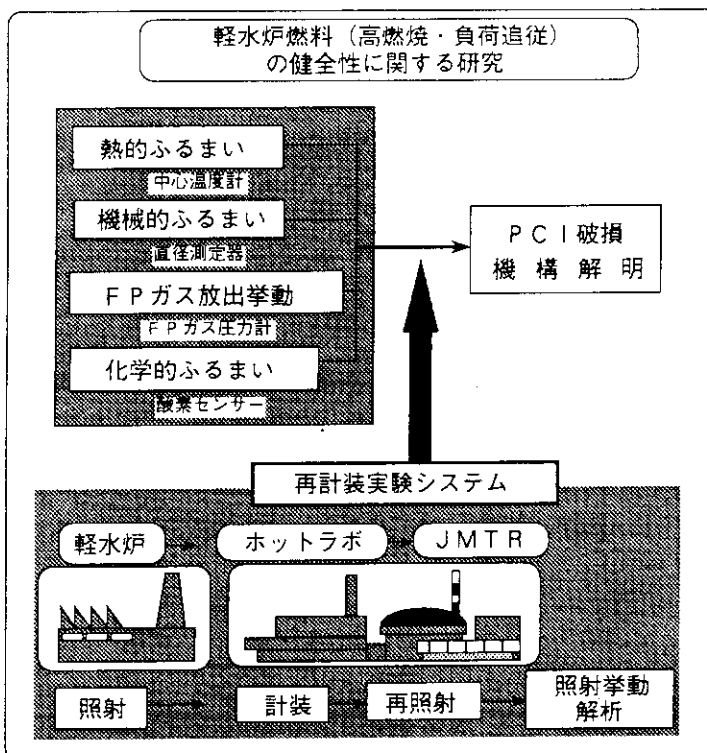
本技術開発により出力急昇時の燃料ふるまいをその場計測することができ、軽水炉燃料棒のPCI破損メカニズム解明に大きく寄与することが可能となる。

### 6.5 PWR燃料出力急昇試験設備

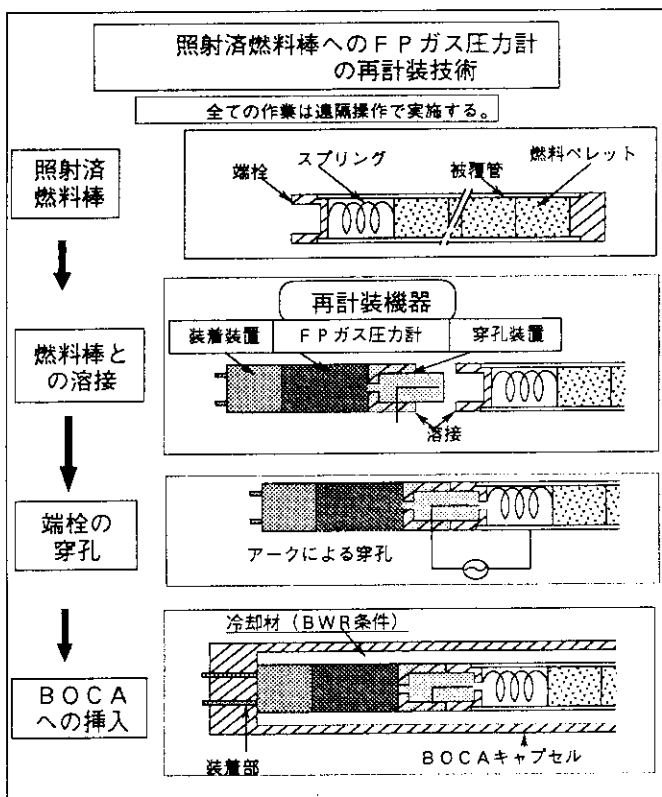
BWR燃料と同様にPWR燃料についても、高燃焼度燃料確証試験の一環として高燃焼度化のための燃料開発が進められており、この燃料の出力急昇試験が計画されている。

この試験をBWR燃料と同様にJMTRで行えるように、現行のBWR燃料出力急昇試験設備にPWR燃料の出力急昇試験を行える性能を付加する設備を検討している。これは、PWRの圧力条件（158kg/cm<sup>2</sup>A）で飽和沸騰させる沸騰水キャプセルを用いた設備であり、設備整備費を低減させるためキャプセル冷却装置（OSF-1）、He-3ガス出力可変装置、キャプセル交換機をBWR燃料出力急昇試験設備のものを共有する。また、この設備には、PWR及びBWRのMOX燃料の出力急昇試験を実施できるような装置を付加できるようにする。即ち、MOX燃料の破損実験を行う場合に備えて、 $\alpha$ 線を検出するFP分析装置、廃液を固化する廃液処理装置を付加できるように考慮するとともに、装置を人員の立ち入り制限の可能なループキュービクル内に設置する。PWR燃料の出力急昇試験機能を付加した出力急昇試験設備を第6.3図に示す。

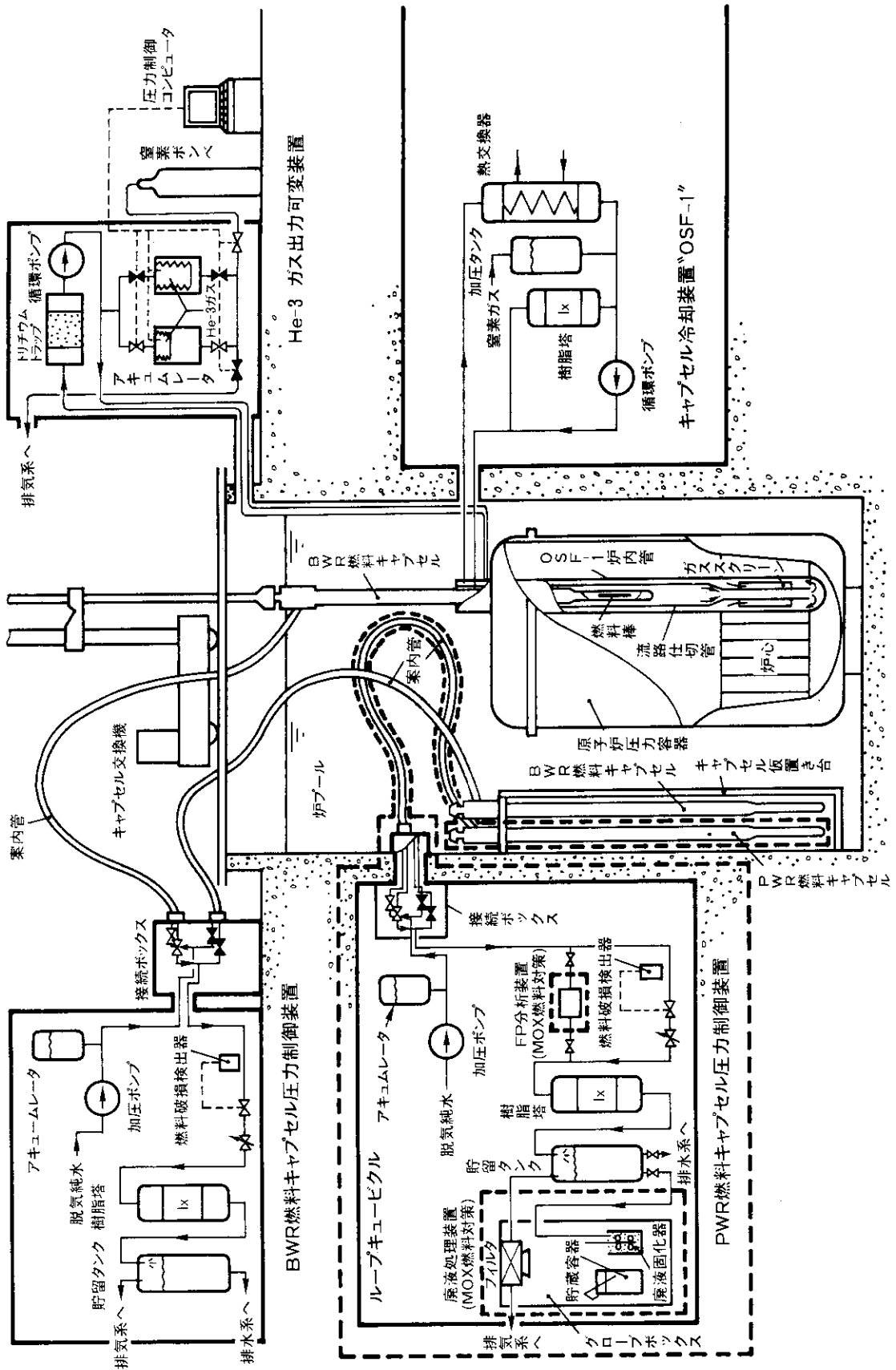
設備整備は、平成7年度から開始し、平成12年度に完成させる計画である。



第6.1図 JMTRにおける再計装技術開発



第6.2図 FPガス圧力計の再計装手順



第 6.3 図 PWR 燃料及び BWR 燃料出力急昇試験設備

## 7. 利用の手引き

## 目 次

7.1 利用業務の概要 .....	194
7.2 利用の手順 .....	195
7.3 利用申込方法 .....	198
7.4 利用料金 .....	200
7.5 報告書 .....	203

## 表 一 覧

第7.1表 利用料金表 .....	200
第7.2表 利用業務と料金表の関係 .....	204
第7.3表 照射孔別照射費（中性子料金） .....	205
第7.4表 出力急昇試験設備（BOCA/OSF-1）及び水カラビットの照射費用（中性子料金） .....	205

## 図 一 覧

第7.1図 燃料キャプセルの工程 .....	206
------------------------	-----

## 資料 一 覧

資料7.1 JMTR利用申込書（記入例） .....	207
資料7.2 JMTR利用計画書（材料・燃料共用） .....	208
資料7.3-1 照射条件に関する技術情報（材料照射の場合） .....	209
資料7.3-2 照射条件に関する技術情報（燃料照射の場合） .....	210
資料7.4-1 照射試験実績報告書（材料照射の場合） .....	211
資料7.4-2 照射試験実績報告書（燃料照射の場合） .....	212



## 7.1 利用業務の概要

JMTRの利用業務は、大別すると次のとおりである。

### (1) 準備業務

- ① 利用者から利用申込書の提出
- ② 材料試験炉部内で利用申込書の内容を検討
- ③ 「JMTR利用計画書」をとりまとめ、利用申込の受入れを決定

### (2) 照射前業務

- ① キャプセル等（キャプセル、ラビット、ループ試料等）の仕様書の作成
- ② キャプセル等の安全審査
- ③ キャプセル等の製作に伴う技術援助（製作メーカーとの技術打合せ・承認図の検討等）
- ④ キャプセル等の受入れ検査

### (3) 照射業務

キャプセル等を炉心に装荷し、利用者の希望する照射

### (4) 照射後試験業務

- ① ホットラボでの照射後試験
- ② キャプセルや試料を外部に搬出するためのキャスクへの装荷
- ③ 放射性廃棄物の処理、処分

### (5) 附帯業務

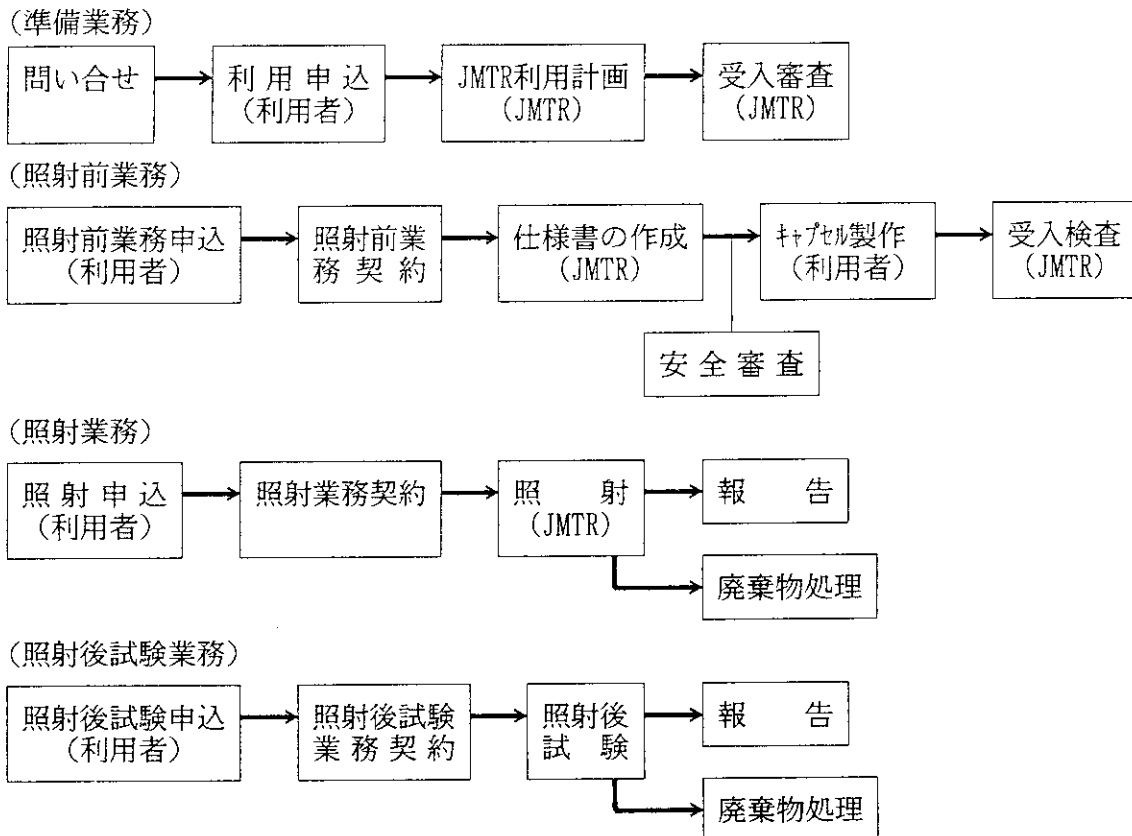
JMTRの利用に附帯して必要な安全審査、官庁手続業務等

上記の業務は、照射試験等を安全に精度よく実施するために、一貫して材料試験炉部で実施することを原則としている。なお、キャプセル等の製作は利用者が行うこと、試料の搬出は、輸送基準に適合したキャスクを利用者が予め準備することを原則としている。

第7.2表に、材料試験炉部の業務と料金（原研以外の利用者について適用）の関係を示す。なお、料金は、(2)から(5)までの業務をどれだけ材料試験炉部に依頼するかにより異なる。

## 7.2 利用の手順

利用者の問い合わせから、照射後試験が終了するまでの標準的な業務の流れを次に示す。



各ブロックの業務内容は次のとおりである。

## (1) 利用申込

資料7.1の「JMTR利用申込書」に必要事項を記入して、材料試験炉業務課に提出する。

## (2) JMTR利用計画

利用申込書に基づいて、照射試料の寸法、数量、照射方法、照射条件、照射時期、照射後試験、報告等について利用者と協議し、資料7.2の「JMTR利用計画書」を作成する。

## (3) 受入審査

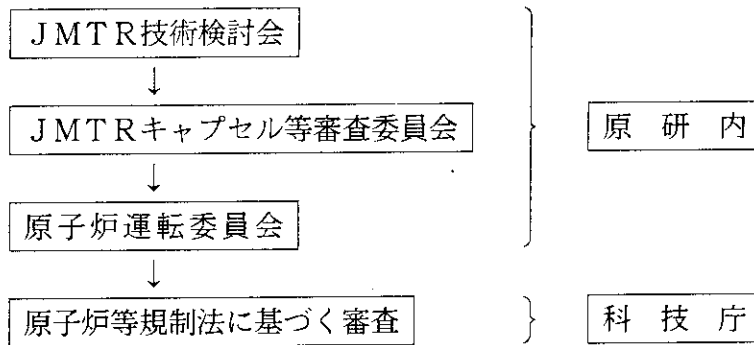
利用計画書に基づいて、試料をJMTRで照射する場合の安全性及び準拠する法規に則り、検討を行う。また、必要に応じて、照射時の安全性等の検討に必要な資料の提出を求めることがある。

## (4) 各業務契約

利用計画書及び受入審査の内容に従って、照射前業務契約、照射業務契約及び照射後試験業務契約等を結ぶことになるが、申込から照射後試験業務終了までかなりの期間を要するので、利用者の希望によりそれぞれの業務ごとに契約する分割方式または一括契約方式のいずれかで契約が締結される。利用頻度の多い利用者とは、年間の基本契約を締結する。

また、契約後、契約以外の資料が必要になった場合、あるいは試料の仕様、照射条件及び照射後試験の内容等の追加変更を希望する場合は、できるだけ早く材料試験炉業務課に連絡する。

(5) 安全審査



① 試料、キャプセル等の設計

試料、キャプセル等の設計は、大洗研究所長の定める「JMTRキャプセル等設計基準」により行い、JMTRキャプセル等安全審査委員会において安全性のチェックを受ける。さらに、必要に応じて原子炉運転委員会の審査を受ける。

(6) 試料、キャプセル等の製作、検査

試料、キャプセル等の安全性が確認されると、材料試験炉部から製作及び検査に関する仕様書を利用者に提供する。製作は、この仕様書に基づいて利用者が行うが、製作メーカーとの技術的打合せについては材料試験炉部が支援する。なお、製作された試料、キャプセル等は、大洗研究所長の定める「JMTRキャプセル等検査基準」により行う。

通常の場合、照射キャプセルの納入は、照射開始予定日の2ヶ月前を原則とする。

(7) 照射

利用者から納入された照射キャプセルは、JMTR炉心へ装荷のための準備作業を行った後、炉心の所定位置に装荷して計測線等の接続作業を行う。照射中は利用者の希望に沿った温度制御や温度測定を行い、異常があれば利用者へ速やかに連絡する。照射を終了したキャプセルは、炉心から取出して必要期間冷却する。冷却期間の目安は、材料試料が約1ヶ月、燃料試料が約3ヶ月である。

(8) 照射後試験

① 冷却終了後のキャプセル等は、ホットラボへ移送後、解体、試料の取出し、照射後試験、持ち帰り試料のキャスクへの装荷、廃棄物の処理、処分に係る作業を行う。

② 照射後試験を希望するキャプセル等は、完成図、検査成績書等を事前に提出する。

③ 照射試料の搬出を希望する場合は、輸送基準に合格したキャスクを準備するとともに、キャスク図面についても提出する。なお、この場合のキャスク輸送のための官庁申請手続き、輸送車の手配等は利用者が行う。

④ 照射に伴い発生した放射性廃棄物の処理、処分は材料試験炉部で行う。なお、照射後試験が終了し、3ヶ月保管したのち、特に要望のない試料は廃棄、処分を行う。

## (9) 報 告 書

JMTRを利用して照射業務等を実施する場合は、各種の報告書が利用者に提供される。報告書の種類及び提出期限等については契約時に決定される。キャプセルの利用申込から照射後試験終了までの標準的な期間は、次のとおりである。

業務区分	作業項目	必要期間
準備業務	利用申込書提出	} 1ヶ月
	↓	
	利用計画書作成	
照射前業務	↓	} 2ヶ月
	受入審査	
	↓	} 7～10ヶ月
	設計及び仕様書の作成	
照射業務	↓	} 2ヶ月
	キャプセル製作	
	受入検査	
照射後試験業務	↓	} 燃料3ヶ月, 材料1ヶ月
	照射	
	↓	
	照射後試験	
	↓	
照射後試験業務	中性子照射量報告書	} 6ヶ月
	↓	
	照射後試験報告書	
合計	燃料キャプセル：1年10ヶ月～2年1ヶ月+照射期間	}
	材料キャプセル：1年8ヶ月～1年11ヶ月+照射期間	

また、燃料キャプセルの利用申込から照射が終了し、ホットラボから照射後試験報告書を提出するまでの工程を第7.1図に示す。

### 7.3 利用申込方法

#### (1) 利用についての問い合わせ

JMTRの利用についての問い合わせ先は、次のとおりである。

茨城県東茨城郡大洗町成田町新堀3607 (郵便番号 311-13)  
 日本原子力研究所大洗研究所 材料試験炉部  
 材料試験炉業務課(契約担当) TEL 0292-64-8305  
 計画課(照射計画・技術等担当) TEL 0292-64-8347  
 FAX 0292-64-8480

#### (2) 利用の申込

JMTRを利用する場合は、「JMTR利用申込書」を材料試験炉業務課宛に送付する。

この利用申込書は、材料試験炉部が照射試験の概要を理解し、安全上・法規上受入れ可能か否かを検討し、利用条件を検討するための基礎となるものである。申込書の記入で不明な点については、計画課宛に問い合わせるものとする。記載内容が申込書に記入しきれない場合は、別紙に記入して添付する。

照射試験の細部について利用者の意向が固まっていない場合は、その旨を記入する。なお、商業機密等の関係で特別な扱いを希望する場合は別途協議する。

#### (3) 利用申込書の記入要領

##### ① 照射目的

利用者の意図する照射の目的・内容等をできるだけ詳しく記入する。複数の照射試験で照射時期、照射試料、照射条件等をパラメーターとして実施する場合は、そのことについても記入する。

##### ② 照射設備名

キャプセル、出力急昇試験設備(BOCA/OSF-1)及び水カラビットの形式別を記入する。

##### ③ 希望スケジュール

利用者の希望する試料の提出時期、キャプセル等の完成時期、照射時期(運転サイクル)照射試験報告書の入手時期、照射後試験の時期、試料の搬出時期及び照射後試験報告書の希望時期を記入する。

##### ④ 照射試料

照射する試料の名称、材質、組成、物理的状态、化学的状态、形状、寸法、数量、重量、U量、 $^{235}\text{U}$ 量、濃縮度、試料の包装又は被覆の有無、試料の提出時期等を記入する。

材料の強度試験片の形状、寸法は、原則としてホットラボの強度試験用標準試験片の形状、寸法を準用する。なお、強度試験用標準試験片以外のものを希望するときは別途協議する。

##### ⑤ 照射条件等

申込者の希望する中性子束(熱中性子束、高速中性子束の別、エネルギー区分)、中性

子照射量、線出力密度、燃焼度、生成核種、放射化量、温度条件、雰囲気条件、計測方式、制御方式フルエンスモニタ等を記入する。

⑥ キャプセル

外筒の材質、外径寸法について希望を記入する。

⑦ 照射済試料の搬出

搬出物の形態、搬出回数、搬出時の最大生成放射エネルギーBq(Ci)を記入する。

⑧ 照射後試験

ホットラボでの照射後試験を希望する場合は、試験項目を記入する。また、特殊な作業が必要な場合はその旨を特記する。試料を搬出する場合は、それに用いるキャスクの図面等を添付する。

⑨ 予定経費

申込者（利用者）の予算額を記入する（○年度実施、○年度予算にて実施予定、又は予算要求中を含めて記入する）。

## 7.4 利用料金

利用料金は第 7.1表のとおり、国内の研究若しくは開発を目的とした利用、国内の営利を目的とした利用及び海外からの利用についてそれぞれ定めてある。

利用料金は、原則として3年毎に見直しを行い改定するが、現行の料金は平成3年4月1日に改定したものである。

第7.1表 利用料金表

区 分	単 位	国内の研究、開発 目的利用の場合		国内の営利目的お よび海外からの利 用の場合		備 考	
		燃料照射	材料照射	燃料照射	材料照射		
H. 取扱 手数料	キャプセルおよ びループ照射	1件当り	61,800		61,800		材料試験炉施設の利用に伴う 一般管理的サービス経費で あって、1件につき定額と する。
	ラビット照射	"	20,600		20,600		
A. 照射費 (中性子料金)		1 照射 単位当り	25,750		37,700		/
B. 施設 利用料	1. BOCA/ OSF-1	24時間 当り	1,910,650		3,241,410		
	2. 水力ラビット (HR-1, 2)	"	90,640		129,780		
	3. 計測付キャ プセル	1サイクル 当り	1,811,770	1,141,240	3,012,750	2,161,970	
	4. 無計測キャ プセル	"	245,140		298,700		
C. 照射後 試験費	1. コンクリー トセル	1時間当 り	28,330		53,560		試験費は、試験内容に従って、 各セルの利用料金(利用 時間数×1時間当りの利用 単価)を算出する。
	2. 顕微鏡セル	"	8,090		14,420		
	3. 鉛セル	"	13,910		22,760		
	4. X線・γス キャン	"	42,330		82,400		
	5. X M A	"	66,330		121,540		
D. 廃棄物処理費		別に定める料金による					
Z. 付帯業務費			実 費		実 費		利用業務に付帯して必要な 実施業務に要する経費

注1. 1サイクルは、1080MWd.

注2. 上記利用料金のうち、照射孔別照射費(中性子料金)を第7.3表に、BOCA/OSF-1及び水力ラビットの照射費例(中性子料金)を第7.4表に示す。

注3. 利用料金の計算式

$$F = H + A + B + C + D + Z$$

F: 利用料金

H: 取扱手数料

A: 照射費

B: 施設利用料

C: 照射後試験費

D: 廃棄物処理費

Z: 付帯業務費

注4. 照射費の算出式

$$\text{照射費 (A)} = (1 \text{ 照射単位の中性子料金}) \times \frac{N}{10^{21}}$$

$$N = (\phi_t + \phi_{cs}) \times V \times t$$

V = キャプセル体積

$$t = (1.86624 \times 10^6) \times (\text{サイクル数})$$

ただし、BOCA/OSF-1及びラビットの場合 t は照射時間により別途算出、1照射単位 =  $1.0^{21} \text{ n/cm}^2, \text{ cm}^3$  とする。

## (1) 利用料金計算例

国内の研究及び開発を目的とした場合の利用料金計算例を示す。なお、附帯業務費については、利用者の試験内容により異なるのでX円として表わす。

## ① 材料試料キャプセルの照射試験費（計測付キャプセルを照射孔J-7-1で3サイクル照射する場合）

取扱手数料	:	61千円
照射費	:	$9,222 \times 3cy = 27,666$ 千円
施設利用料	:	$1,141 \times 3cy = 3,423$ 千円
照射後試験費 *1	:	8,115千円
附帯業務費	:	X千円

---

合計 : 39,265 + X千円

\* 1 : 照射後試験費

試験内容	料金
キャプセル解体及び外観検査等	566千円
X線検査	311千円
室温引張試験（試料数30ヶ）	848千円
高温引張試験（試料数30ヶ）	2,726千円
寸法測定（GL間及び絞り30ヶ）	222千円
金相試験（試料数12ヶ）	1,133千円
“（組織写真72枚）	1,473千円
線量測定	169千円
計装衝撃試験（試料数12ヶ）	403千円
熱処理（試料数12ヶ）	264千円
合計	8,115千円

## ② 燃料試料キャプセルの照射試験費（計測付キャプセルを照射孔H-12で2サイクル照射する場合）

取扱手数料	:	61千円
照射費	:	$8,754 \times 2cy = 17,508$ 千円
施設利用料	:	$1,811 \times 2cy = 3,622$ 千円
照射後試験費 *2	:	8,551千円
附帯業務費	:	X千円

---

合計 : 29,742 + X千円



## \* 2 : 照射後試験費

試験内容	料金
キャプセル解体及び外観検査等	566千円
X線検査 (キャプセル、試料)	623千円
γスキャン	1,643千円
寸法測定	198千円
FPガス補集、ガス分析	736千円
樹脂注入	339千円
金相試験 (試料数 6ヶ)	1,444千円
“ (組織写真 128枚)	1,133千円
オートラジオグラフィ (試料数12ヶ)	736千円
密度測定 (試料数12ヶ)	1,133千円
合計	8,551千円

## ③ 水力ラビットの照射試験費 (HR-1で6本、12時間照射する場合)

取扱手数料	: 20.6 × 6 = 123千円
照射費	: 12 × 6 = 72千円
施設利用料	: 90.6 × 6 = 543千円
照射後試験費 *3	: 1,272千円
附帯業務費	: X千円
合計	: 2,010 + X千円

## \* 3 : 照射後試験費 (A ㍉ラビット、6体を次の試験内容について実施した場合)

試験内容	料金
ラビットの解体及び外観検査 (ローディングを含む)	311千円
試料の外観写真撮影写真枚数 6枚 (試料数 5ヶ/体)	538千円
試料の重量測定、各試料毎測定 (試料数 5ヶ/体)	198千円
試料の線量測定 (グロス)	169千円
試料の搬出 (利用者への引渡し)	56千円
合計	1,272千円

## 7.5 報告書

JMTRを利用して照射を行う場合、各業務ごとに以下に示す情報が利用者に提出され、希望照射条件及び試験項目が確認できるシステムとなっている。

### (1) 準備業務

#### ① JMTR利用計画書

利用申込を受理したのち、照射試験、照射方法、照射時期等の照射条件及び照射後試験について、技術的及び法規的な観点から受入れの可否を検討し、その結果を「JMTR利用計画書」に記入して利用者に提出する。

### (2) 照射前業務

#### ① キャプセル等の仕様書

利用者の希望する試験目的に合致するようにキャプセル等（キャプセル、ラビット、ループ試料等）の仕様書を作成して利用者に提出する。

#### ② 受入検査報告書

製作された試料、キャプセル等については、材料試験炉部において受入れ検査を行い、検査報告書を利用者に提出する。

### (3) 照射試験業務

#### ① 照射条件に関する技術情報

照射開始前に核計算で求められた中性子束分布をもとに、中性子照射量、線出力、燃焼度の推定値を「照射条件に関する技術情報」資料 7.3-1、資料 7.3-2に記入して利用者に提出する。

#### ② 照射試験実績記録

照射サイクルが終了時点で、中性子照射量、照射温度、照射履歴、線出力、燃焼度等を「照射試験実績報告」資料 7.4-1、資料 7.4-2に記入して利用者に提出する。なお、長期間照射のものについては積算値も記入する。

### (4) 照射後試験業務

#### ① 照射後試験報告書

照射後試験が終了した時点で、試験結果をまとめて提出する。

#### ② 中性子照射量報告書

中性子照射量は、キャプセル解体後にキャプセルに装荷しているフルエンス・モニタ(F.M)の放射化量から算出して提出する。このほか、試料結果の評価及び解析についても特に希望があれば対応が可能である。なお、データ及び報告書については、利用者の了解がない限り第三者には公表しない決まりとしている。

第7.2表 利用業務と料金表の関係

No.	業務区分	料金区分	備考	
(1)	準備業務		料金の対象にならない	
(2)	照射前業務	(イ) キャプセル等の仕様書の作成	実費	
		(ロ) キャプセル等の安全審査		
		(ハ) キャプセル等の製作に伴う技術支援		
		(ニ) キャプセル等の製作		利用者が発注するのを原則とする
		(ホ) キャプセル等の受入検査	実費	
(3)	照射業務			
(4)	照射後試験業務	(イ) 照射後試験業務	料金表	
		(ロ) 放射性廃棄物処理業務		
(5)	附帯業務	実費	前項に包含されない業務	

第7.3表 照射孔別照射費 (中性子料金)

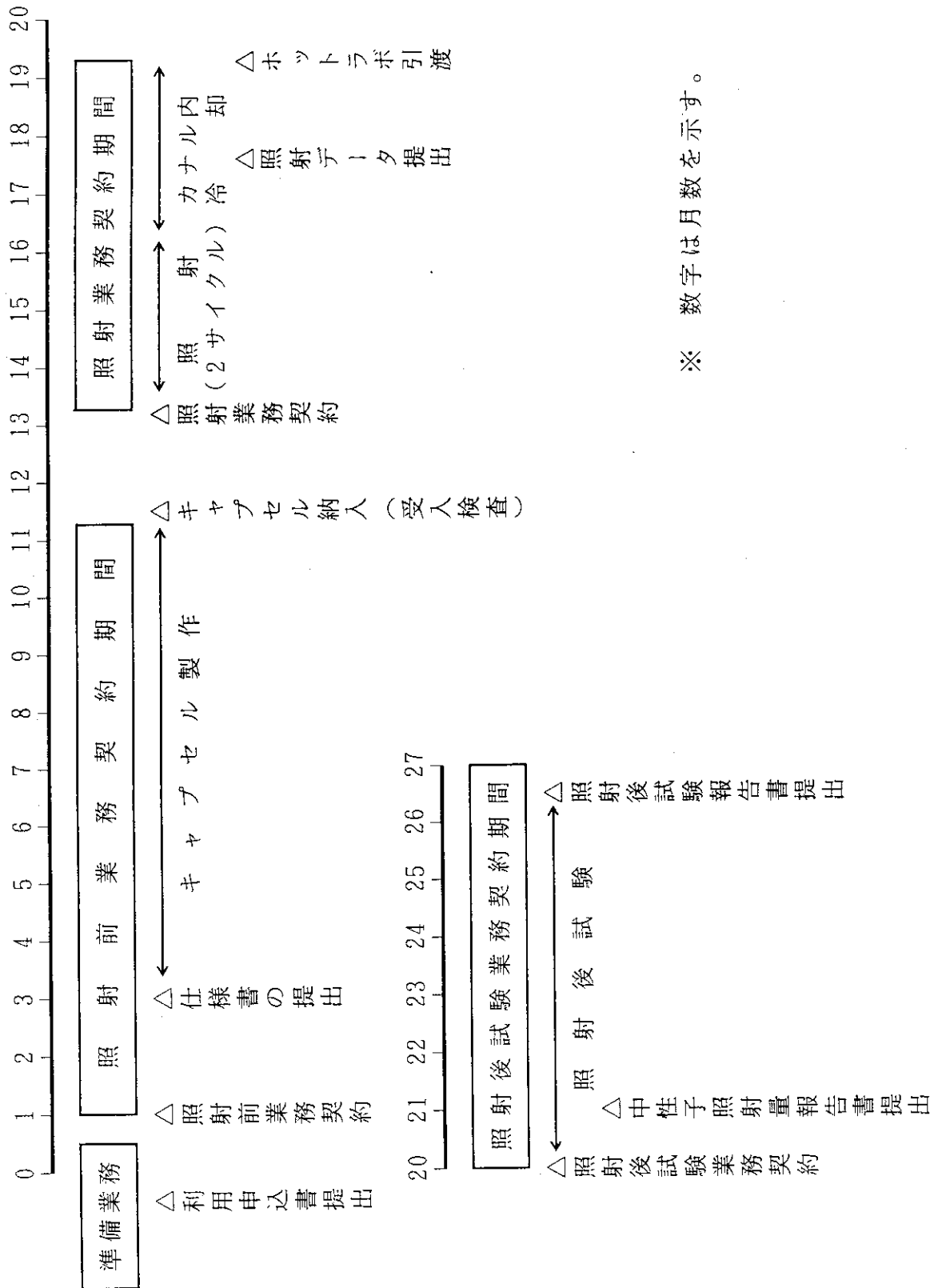
上 段：国内研究開発料金  
 下 段：国内営利および海外利用料金  
 炉出力：1080MWd/サイクル  
 単 位：千円 (千円未満省略)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1						654 958	785 1149	857 1255	827 1210	764 1119	622 911	459 673	356 522					
2						1776 2600	OGL-1		2514 3680	2378 3481	OWL-2		981 1436					
3		384 562	659 965	1173 1717		5121 7497	OGL-1		6515 9539	6253 9156	OWL-2		2876 4211		616 903	375 550		
4		586 858	1005 1472	2708 3965											1092 1599	596 872		
5		916 1342	1934 2832	HR1			15611 22857	16825 24634	17477 25589	16082 23546	13306 19481	11186 16378			1647 2412	850 1244		
6		1405 2058	2969 4347	8700 12738	17645 25834		17935 26258		SR1		14810 21683		9642 14117	5964 8733	2141 3135	1080 1581		
7		1672 2448	3707 5427	10516 15397	21101 30893		10598 15516 11031 16150	10190 14919 9833 14397	9273 13577 8865 12980	9222 13502 9528 13949			11114 16272	6839 10012	2469 3615	1228 1798		
8		1591 2329	4703 6886	検	20240 29634		SH1		SH2		SH3		11648 17054	検	2561 3750	1266 1854		
9		1390 2036	3866 5660	BOCA/OSF-1	19035 27870		10929 16001 10445 15292	9731 14248 10012 14658	8738 12793 9069 13278	9349 13688 8993 13166			10675 15629	6449 9442	2342 3428	1172 1716		
10		1166 1707	3263 4777	8519 12472	16911 24760		17527 25662		SR2		13904 20357		5661 8288	5072 7426	1894 2773	973 1425		
11		977 1430	2087 3056	6384 9347	12518 18328	14882 21789	15530 22737	16481 24130	16345 23931	14751 21597	12292 17996	9606 14064	HR2	3308 4843	1351 1978	729 1068		
12		708 1037	1328 1944	3410 4993	6810 9971	7863 11513	8419 12327	8754 12817	8573 12552	7835 11471	6646 9731	4996 7315	3175 4649	1988 2911	878 1286	503 736		
13		458 671	802 1174	1395 2043	2736 4007	2863 4192	2878 4214	2915 4268	2835 4151	2606 3815	2233 3269	1790 2621	1421 2080	1108 1623	538 789	324 474		
14			461 676	731 1071		1447 2119	1451 2125	1451 2125	1407 2060	1297 1899	1131 1656	943 1381	800 1172		317 465	197 288		
15																		

第7.4表 BOCA/OSF-1及び水カラビットの照射費例 (中性子料金)

単位：円 (百円未満省略)

設備	時間	12時間	24時間	48時間	96時間
			105,400 154,300	210,800 308,600	421,600 617,300
HR-1		12,400 18,200	24,900 36,400	49,800 72,900	99,700 145,900
		14,900 21,900	29,900 43,800	59,800 87,600	119,600 175,200



※ 数字は月数を示す。

第7.1図 燃料キヤプセルの工程



資料7.2 JMTR利用計画書（材料・燃料共用）

平成 年 月 日

J M T R 利 用 計 画 書

日本原子力研究所  
材料試験炉部

キャプセル名		資料番号	-
利用者		実施責任者 実施担当者	

照射目的	研究及び業務テーマ ( No - )
照射試料	

目標照射量	n/cm <sup>2</sup> ( E eV, セル断面中心・軸方向最大 )		
目標照射温度	℃		
キャプセル型式		キャプセル外径	mm
照射孔		照射サイクル ( ~ )	F/M 用

照射後試験 (PIE)	
----------------	--

その他	設計担当者		照射目的別分類	

資料7.3-1 照射条件に関する技術情報 (材料照射の場合)

平成 年 月 日

照射条件に関する技術情報

(運転前の推定情報)

日本原子力研究所

材料試験炉部

キャプセル名:

\_\_\_\_\_

( - ) cy

	推 定 値	条 件 等
推定中性子束 n/cm <sup>2</sup> s		(セル断面中心・軸方向最大) (>1 MeV)
推定照射量 n/cm <sup>2</sup>		



資料7.3-2 照射条件に関する技術情報 (燃料照射の場合)

平成 年 月 日

照射条件に関する技術情報

(運転前の推定情報)

日本原子力研究所  
材料試験炉部

キャプセル名:

( - ) cy

	推 定 値	条 件 等
推定中性子束 n/cm <sup>2</sup>		セル断面中心・軸方向最大 ( E : eV)
推定線出力 W/cm		核計算値
推定燃焼度 MWd / t		核計算値

資料7.4-1 照射実験実績報告書 (材料照射の場合)

中性子照射量

サイクル No	サイクル 開始日 <sup>*1</sup>			サイクル 終了日 <sup>*1</sup>			照射位置	照射時間 (50MW換算) 単位(時間)		高速中性子照射量 <sup>*2</sup> (E>1MeV、ピーク値) 単位(n/cm)		熱中性子照射量 <sup>*3</sup> (E<0.683eV、セル 平均値) 単位(n/cm)	
	年	月	日	年	月	日		当サイクル	積算値	当サイクル	積算値	当サイクル	積算値
備考													

\*1 照射サイクル開始・終了日は、出力上昇・下降の日を示す。  
 \*2 高速中性子照射量中、(E>1MeV)は、核計算値でセル断面中心・軸方向の最大値である。  
 \*3 熱中性子照射量中、(E<0.683eV)は、核計算値でセル断面平均・軸方向の平均値である。

資料7.4-2 照射実験実績報告書 (燃料照射の場合)

中 性 子 照 射 量

サイクル No	サイクル 開始日			サイクル 終了日			照射位置	照射時間 (50MW換算) 単位(時間)		高速中性子照射量*2 ( $E > 1\text{MeV}$ 、ピーク値) 単位(n/cm)		熱中性子照射量*3 ( $E < 0.683\text{eV}$ 、セル 平均値) 単位(n/cm)	
	年	月	日	年	月	日		当サイクル	積算値	当サイクル	積算値	当サイクル	積算値
備 考													

\*1 照射サイクル開始・終了日は、出力上昇・下降の日を示す。  
 \*2 高速中性子照射量中、( $E > 1\text{MeV}$ )は、核計算値でセル断面中心・軸方向の最大値である。  
 \*3 熱中性子照射量中、( $E < 0.683\text{eV}$ )は、核計算値でセル断面平均・軸方向の平均値である。



## あ と が き

JMTR照射ハンドブックは、第4版を発行して以来7年を経過した。

第4版発行後、今までに照射設備の撤去等により記述内容に齟齬を生じたところも多く、また、第108サイクルから低濃縮燃料炉心に切り替わることから、改訂を行うこととし、JMTR部内に照射ハンドブック第5版作成委員会を設置し作業を行った。

第5版作成委員会の構成員は、次のとおりである。

委員長	小山田 六郎	次	長
委員	土田 昇	計	画 課
	石塚 悦男		"
	大津 洋	原子炉	第1課
	稲田 征二	原子炉	第2課
	池島 義昭	照射	第1課
	広田 徳造	照射	第2課
	川上 弘紀	検査技術	課
	清水 道雄	ホットラボ	課
	佐川 尚司	方向外照射開発	室
	澤畑 正仁	材料試験炉業務	課
	外岡 英治		"

なお、初版から第4版までの作成委員会の構成員は、次のとおりである。

## 初 版 (昭和51年9月)

委員長	大内 信平	次	長
委員	飛岡 利明	計	画 課
	佐藤 均	照射	第1課
	中田 宏勝		"
	酒井 陽之	ホットラボ	課
	市橋 芳徳	原子炉	第1課
	西野 輝久	材料試験炉業務	課

## 第2版 (昭和55年9月)

委員長	神原 忠則	次	長
委員	佐藤 均	計	画 課
	新保利 定		"
	馬場 治	照射	第1課

伊藤 昇	照射第2課
酒井 陽之	ホットラボ課
作田 孝	原子炉第1課
小野崎 国将	材料試験炉業務課
成田 猛	〃

第3版 (昭和58年1月)

委員長 小山田 六郎	計 画 課
委員 佐藤 均	〃
作田 孝	原子炉第1課
田中 勲	照射第1課
新保利 定	照射第2課
伊藤 昇	〃
酒井 陽之	ホットラボ課
小野崎 国将	材料試験炉業務課
笹島 幸男	〃

第4版 (昭和62年3月)

委員長 齋藤 実	計 画 課
委員 永岡 芳春	〃
武田 勝彦	〃
星屋 泰二	照射第1課
佐藤 均	照射第2課
横内 猪一郎	照射第3課
作田 孝	原子炉第1課
瀬尾 正義	原子炉第2課
齋藤 順市	ホットラボ課
笹島 幸男	材料試験炉業務課
渡辺 徹	〃

付録-1

J M T R 年 表

表 目 次

第 1 表 JMTR建設準備期の年表 .....	219
第 2 表 JMTR建設期の年表 .....	221
第 3 表 利用運転の年表 .....	223



第1表 JMT R建設準備期の年表

昭和 34 (1959)	35 (1960)			36 (1961)		37 (1962)		38 (1963)		昭和 39 (1964)		
12	4	10	11	3	10	4	9 10	8	10	2 6 8	11	
日本電機工業会「材料試験炉設置要望書」提出	提出 日本原子力産業会議「材料試験炉特別研究会調査報告」	原研に開発室が発足、材料試験炉の本格的調査開始	原子力委員会に「材料試験炉専門部会」発足	原研概念設計開始	生産性本部の材料試験炉調査団渡米	原子力委員会専門部会中間答申	原産「材料試験炉設置に関するメモランダム」 原子力委員会専門部会答申	原研第一回海外調査 原研第一次概念設計完了	原研JMT Rの仕様原案作成 原子力委員会材料試験炉の建設を決定	原研第二回海外調査 米国NUS社にコンサルタントチェック依頼	JMT R仕様完成 JMT R設置許可(原子力委員会) 決定 JMT Rの製作建設を国内原子力5社共同受注方式に	幹事会社(日立・東芝)のJMT R基本設計完成

第2表 JMTR建設期の年表

年 月	昭和40年 (1965)			41年 (1966)			42年 (1967)			43年 (1968)			44年 (1969)			昭和45年 (1970)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
主要事項	契約印刷	原炉建築工事開始	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了	原炉建築工事完了
建築設備工事																								
原子炉設備工事																								
ループ実験設備工事																								
運転実験設備																								

第3表 利用運転の年表 (1/6)

年 月	昭和46年 (1971)												47年 (1972)												48年 (1973)												49年 (1974)												50年 (1975)																																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																								
主 要 事 項	試用照射												第二回使用済燃料再処理送出し												第三回使用済燃料再処理送出し												第四回使用済燃料再処理送出し												第五回使用済燃料再処理送出し												第六回使用済燃料再処理送出し												再処理送出し											
	第一次、第二次標準燃料米國へ返還												JMTR 46年度オーバーホールおよび定期検査												JMTR 47年度オーバーホールおよび定期検査												JMTR 48年度オーバーホールおよび定期検査												JMTR 49年度オーバーホールおよび定期検査												JMTR 50年度オーバーホールおよび定期検査																							
原 子 炉 施 設	サイクル												第II期炉心50MW運転 (12サイクル以降)												全制御棒に燃料フォロアー使用												制御棒駆動機構のポールねじ故障のため補修・交換												制御棒交換																																			
	第I期炉心30MW運転 (11サイクルまで)												第II期炉心50MW運転 (12サイクル以降)												全制御棒に燃料フォロアー使用												制御棒駆動機構のポールねじ故障のため補修・交換												制御棒交換																																			
照 射 施 設	OWL-2据付												HR-2据付												NCF据付												OGI-1建設												OGI-1建設												OGI-1建設																							
	炉外性能試験												炉内性能試験												炉内性能試験												炉内性能試験												炉内性能試験												炉内性能試験												炉内性能試験											
ホ ッ ト ラ ホ 施 設	材料試験鉛ケーブル完成												鉛ケーブル放射線漏洩検査												鉛ケーブル放射線漏洩検査												鉛ケーブル放射線漏洩検査												鉛ケーブル放射線漏洩検査												鉛ケーブル放射線漏洩検査																							
	材料試験鉛ケーブル完成												鉛ケーブル放射線漏洩検査												鉛ケーブル放射線漏洩検査												鉛ケーブル放射線漏洩検査												鉛ケーブル放射線漏洩検査												鉛ケーブル放射線漏洩検査												鉛ケーブル放射線漏洩検査											
臨 界 実 験 装 置	JMTR第11~34サイクル炉心に対応した先行試験および炉物理試験												JMTR第11~34サイクル炉心に対応した先行試験および炉物理試験												JMTR第11~34サイクル炉心に対応した先行試験および炉物理試験												JMTR第11~34サイクル炉心に対応した先行試験および炉物理試験												JMTR第11~34サイクル炉心に対応した先行試験および炉物理試験												JMTR第11~34サイクル炉心に対応した先行試験および炉物理試験																							
	JMTR第11~34サイクル炉心に対応した先行試験および炉物理試験												JMTR第11~34サイクル炉心に対応した先行試験および炉物理試験												JMTR第11~34サイクル炉心に対応した先行試験および炉物理試験												JMTR第11~34サイクル炉心に対応した先行試験および炉物理試験												JMTR第11~34サイクル炉心に対応した先行試験および炉物理試験												JMTR第11~34サイクル炉心に対応した先行試験および炉物理試験																							

第3表 利用運転の年表(2/6)

年 月	昭和51年(1976)												52年(1977)												53年(1978)												54年(1979)												55年(1980)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
主要事項	JMTR 51年度オーバーホール および定期検査												JMTR 52年度オーバーホール および定期検査												JMTR 53年度オーバーホール および定期検査												JMTR 54年度オーバーホール および定期検査												JMTR 55年度オーバーホール および定期検査											
原子炉施設	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
照射施設	炉外部機器据付												炉内管挿入												OGL-1建設												OGL-1建設												OGL-1建設											
ホットラボ施設	システム試験												炉内管挿入												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
臨界実験装置	炉外部機器据付												炉内管挿入												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
原	JMTR 51年度オーバーホール および定期検査												JMTR 52年度オーバーホール および定期検査												JMTR 53年度オーバーホール および定期検査												JMTR 54年度オーバーホール および定期検査												JMTR 55年度オーバーホール および定期検査											
子	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
炉	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
施	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
設	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
照	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
射	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
施	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
設	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
ホ	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
ッ	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
ト	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
ラ	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
ボ	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
施	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
設	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
臨	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
界	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
実	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
験	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
装	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											
置	OGL-1完成 1,000°C達成												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験												OGL-1性能試験											





第3表 利用運転の年表（5/6）

年 月	3年(1991)												4年(1992)												5年(1993)												6年(1994)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
主 要 事 項	設置変更許可(OWL12撤去)												〇〇サイクル達成 施設の変更)												JMTR 平成4年度オーバー ホールおよび 定期検査												JMTR 平成5年度オーバー ホールおよび 定期検査												
	原 子 炉 施 設	設置変更許可(JMTR原子炉)												積算出力9万MW達成												107 移行炉心 初装荷炉心、平衡炉心												106 LEU燃料化工事											
		94												99												104												108											
		95												100												105												109											
		96												101												106												110											
		97												102												107												111											
		98												103												108												112											
	照 射 施 設													OWL-2炉内管撤去 OGI-L 仕切管交換																																			
	ホ ッ ト ラ ボ 施 設	HOTLABO 平成3年度オーバー ホールおよび 定期自主検査												HOTLABO 平成4年度オーバー ホールおよび 定期自主検査												HOTLABO 平成5年度オーバー ホールおよび 定期自主検査																							
	臨 界 実 験 装 置													JMTRC 平成3年度オーバー ホールおよび 定期検査												JMTRC 平成4年度オーバー ホールおよび 定期検査												JMTRC 平成5年度オーバー ホールおよび 定期検査											

付録-2

JMTRの運転及び利用実績



表 目 次

第1表 JMTRの運転及び利用実績 .....	235
第2表 JMTRの運転及び利用実績説明 .....	240
第3表 JMTRの利用状況 .....	241
第4表 ホットラボの利用状況 .....	242
第5表 照射設備別利用件数 .....	243

第1表 JMTR運転及び利用実績(1/5)

区分	年度区分	サイクルNo. (期間)	運転関係				利用関係							特記事項		
			積算出力量 (MWd)	運転効率 (%)	累計積算出力量 (MWd)	積算運転時間 (h)(min)	累計積算運転時間 (h)(min)	利用孔数			利用率 (%)	水力発電			BOCA キヤナル	
								照射 キヤナル	その他	合計		HR-1	HR-2			
特性試験	44	第1 (44.12.11~45.1.31)	734.9	—	734.9	873:39	873:39	4	—	—	—	—	—	—	—	
		第2 (45.6.5~45.6.26)	623.4	—	1,358.3	629:18	1,502:57	24	—	—	—	—	—	—	—	
		第3 (45.9.4~45.9.25)	488.5	78	1,846.8	450:19	1,953:16	35	H 1 L 1	37	74	8	—	—	—	
試験期間	45	第4 (45.10.16~45.11.6)	479.4	76	2,326.2	484:49	2,438:05	36	H 1 L 1	38	76	8	—	—	—	
		第5 (45.11.27~45.12.18)	559.0	90	2,885.2	463:08	2,901:13	42	H 1 L 1	44	88	13	—	—	—	
		第6 (46.1.22~46.2.12)	636.1	100	3,521.3	513:37	3,414:50	46	H 1 L 1	48	96	16	—	—	—	
		第7 (46.3.4~46.3.26)	567.2	90	4,088.5	490:42	3,905:32	41	H 1 L 1	43	86	13	—	—	—	
		第8 (46.4.15~46.5.7)	524.7	83	4,613.2	440:03	4,345:35	42	H 1 L 1	44	88	45	—	—	—	
		第9 (46.5.28~46.6.17)	603.1	96	5,216.3	499:48	4,845:23	46	H 1 L 1	48	96	10	—	—	—	
		第10 (46.7.9~46.7.30)	574.5	91	5,790.8	485:18	5,340:41	43	H 1 L 1	45	90	9	—	—	—	
実用期間	46	第11 (46.8.13~46.9.3)	631.2	100	6,422.0	516:56	5,857:37	40	H 1 L 1	42	84	13	—	—	—	
		第12 (46.10.28~46.11.30)	1,352.0	100	7,774.0	741:55	6,599:32	42	H 1 L 1	44	80	13	—	—	—	
		第13 (47.1.13~47.2.10)	1,111.4	84	8,885.4	608:00	7,207:32	49	H 1 L 2	52	95	13	—	—	—	
		第14 (47.3.10~47.4.6)	1,094.8	83	9,980.2	570:23	7,777:55	48	H 1 L 2	51	93	12	—	—	—	
		第15 (47.5.5~47.6.1)	1,187.3	90	11,167.5	611:41	8,389:36	46	H 1 L 2	49	89	7	—	—	—	
		第16 (47.6.25~47.7.22)	1,092.8	83	12,260.3	551:09	8,940:45	53	H 1 L 2	56	100	14	—	—	—	
		第17 (47.10.7~47.11.2)	1,102.1	84	13,362.4	582:56	9,523:41	57	H 1 L 2	60	100	15 (並列運転)	15 (15)	—	—	—
試験期間	47	第18 (47.11.16~47.12.14)	1,233.6	94	14,596.0	593:36	10,117:17	57	H 1 L 2	60	100	13	—	—	—	
		第19 (48.1.14~48.2.10)	1,093.0	83	15,689.0	528:54	10,646:11	57	H 2 L 0	59	100	10	5	—	—	
		第20 (48.3.2~48.3.31)	974.8	74	16,663.8	492:34	11,138:45	49	H 2 L 2	53	96	6	5	—	—	
		第21 (48.5.12~48.6.9)	1,062.9	81	17,726.7	542:05	11,680:50	47	H 2 N 1 L 1	51	93	5	6	—	—	
48	第22 (48.7.2~48.7.14)	508.6	39	18,235.3	261:04	11,941:54	61	H 2 N 1 L 1	65	100	5	1	—	—	制御棒不調のため後半1/4の運転中止	

第1表 JMTR運転及び利用実績(2/5)

区分	年度	サイクルNo. (期間)	運転関係				利用関係					BOCA キヤベル	特記事項			
			積算 出力量 (Mwd)	運転 効率 (%)	累計積算 出力量 (Mwd)	積算 運転時間 (h)(min)	累計積算 運転時間 (h)(min)	利用孔数			利用率 (%)			水力ピット		
								照射 ホッセル	その他	合計				HR-1	HR-2	
実 用 期 間		第 23	中 止										制御棒案内管脱座検出器等 の設置工事のため運転中止			
		第 24 (48.11.19~48.12.15)	929.9	71	19,165.2	507:01	12,448:55	61	H N L	2 1 2	66	100	8	12	—	
		第 25 (49.1.24~49.2.18)	897.9	68	20,063.1	461:47	12,910:42	65	H N L	2 1 0	68	100	9	14	—	
		第 26 (49.3.11~49.3.18)	331.1	25	20,394.2	172:18	13,083:00	61	H N L	2 1 1	65	100	3	4	—	制御回路増幅器故障のため 起動後8日で運転中止
		第 27 (49.5.13~49.5.26)	368.8	33	20,763.0	212:52	13,295:52	67	H N L	2 1 1	71	100	12	5	—	自動制御棒異常原因調査の ため後半9日の運転中止
		第 28	中 止										自動制御棒異常原因調査、 故障防止対策に基づく補修 改造のため運転中止			
		第 29	中 止													
		第 30 (49.12.10~49.12.23)	485.7	43	21,248.7	276:23	13,572:15	65	H N L	2 1 1	69	100	8	6	—	
		第 31 (50.1.28~50.2.22)	1,084.8	97	22,333.5	549:36	14,121:51	69	H N L	2 1 1	73	100	15	18	—	
		第 32 (50.3.17~50.4.11)	1,084.1	97	23,417.6	546:45	14,668:36	54	H N L	2 1 2	59	98	12	21	—	
		第 33 (50.5.29~50.6.17)	601.2	54	24,018.8	320:48	14,989:24	42	H N L	2 1 2	47	78	30	12	—	
		第 34 (50.12.10~51.1.22)	1,085.1	97	25,103.9	546:20	15,535:44	49	H N L	2 0 2	53	88	43	26	—	
第 35 (51.2.17~51.3.13)	1,102.7	99	26,206.6	551:28	16,087:12	50	H N L	2 1 2	55	92	13	15	—			
第 36 (51.4.5~51.4.30)	938.3	84	27,144.9	489:13	16,576:25	46	H N L	2 0 1	49	82	11	13	—			
第 37 (51.5.24~51.6.18)	1,096.3	98	28,240.2	545:10	17,121:35	45	H N L	2 0 2	49	82	19	14	—			
第 38 (52.1.12~52.2.6)	1,084.3	97	29,325.5	560:06	17,681:41	41	H N L	2 1 2	46	77	13	9	—			
第 39 (52.3.8~52.3.29)	888.4	80	30,213.9	453:54	18,135:35	45	H N L	2 1 3	51	85	20	20	—			
第 40 (52.5.13~52.6.7)	1,060.4	95	31,274.3	534:14	18,669:49	49	H N L	2 1 2	54	90	6	7	—			
第 41	中 止										一次冷却系圧力サーージ管の 補修のため運転中止					
第 42 (52.12.13~53.1.26)	987.1	88	32,261.4	502:07	19,171:56	56	H N L	2 1 1	60	100	11	11	—			
第 43 (53.2.25~53.3.13)	479.4	43	32,740.8	264:21	19,436:17	44	H N L	2 1 3	50	83	4	5	—	OML-1 漏水箇所の補修のた め後半9日の運転中止		
第 44 (53.6.12~53.7.8)	1,061.2	95	33,802.0	529:34	19,965:51	43	H N L	2 1 1	47	78	12	13	—			
第 45 (54.1.13~54.2.16)	1,055.0	94	34,857.0	547:15	20,513:06	44	H N L	2 1 2	49	82	15	8	—			

第1表 JMTR運転及び利用実績 (3/5)

区分	年度 区分	サイクルNo. (期間)	運転関係					利用関係						特記事項	
			積算 出力量 (MWd)	運転 効率 (%)	累計積算 出力量 (MWd)	積算 運転時間 (h:min)	累計積算 運転時間 (h:min)	利用孔数			利用率 (%)	水力ポンプ			BOCA キアトル
								照射 キアトル	その他	合計		HR-1	HR-2		
実 用 期 間	54	第 46 (54. 3.29~54. 4.24)	972.9	90	35,829.9	485:10	20,998:16	42	H N L 2 0 2	46	77	12	8	—	
		第 47 (54. 6.18~54. 7.13)	1,060.5	98	36,890.4	530:30	21,528:46	41	H N L 2 1 2	46	77	11	11	—	
		第 48 (54.11.12~54.12. 7)	1,067.0	99	37,957.4	577:01	22,105:47	49	H N L 2 1 3	55	92	9	10	—	
		第 49 (55. 1.18~55. 2.10)	963.2	89	38,920.6	490:15	22,596:02	47	H N L 2 0 3	52	87	10	9	—	
		第 50 (55. 3. 4~55. 3.29)	1,036.3	96	39,956.9	511:04	23,107:06	44	H N L 2 0 2	48	80	8	8	—	
	55	第 51 (55. 5.16~55. 6. 7)	834.7	77	40,791.6	422:50	23,529:56	46	H N L 2 1 3	52	87	5	7	—	
		第 52 (55.12.15~56. 2. 1)	989.9	92	41,781.5	514:54	24,044:50	50	H N L 2 1 3	56	93	7	9	—	
		第 53 (56. 2.28~56. 3.24)	937.7	87	42,719.2	471:34	24,516:24	46	H N L 2 0 3	51	85	13	8	—	
	56	第 54 (56. 5. 9~56. 6. 3)	1,084.4	100	43,803.6	541:23	25,057:47	40	H N L 2 0 3	45	75	9	6	—	
		第 55 (56. 9.24~56.10.19)	1,081.8	100	44,885.4	542:41	25,600:28	42	H N B L 2 1 1 3	49	82	9	9	1	
		第 56 (56.11.16~56.12.10)	954.0	88	45,839.4	484:01	26,084:29	40	H N B L 2 1 1 3	47	78	8	0	2	
		第 57 (57. 1.19~57. 2.13)	974.2	90	46,813.6	495:03	26,579:32	35	H N B L 2 0 1 3	41	68	9	4	1	
第 58 (57. 3.13~57. 4. 7)		1,084.9	100	47,898.5	540:17	27,119:49	40	H N B L 2 0 1 3	46	77	12	6	2		
57	第 59 (57. 6.12~57. 7. 7)	1,094.1	100	48,992.6	541:34	27,661:23	39	H N B L 2 0 1 3	45	75	8	11	1		
	第 60 (57.11.21~57.12.15)	969.3	90	49,961.9	492:51	28,154:14	41	H N B L 2 1 1 3	48	80	7	12	1		
	第 61 (58. 1.26~58. 2.18)	976.4	90	50,938.3	496:25	28,650:39	39	H N B L 2 1 1 3	46	77	4	22	1		
	第 62 (58. 3.16~58. 3.17)	27.5	3	50,965.8	25:57	28,676:36	—	—	—	—	—	—	—	OWL-2 炉内管点検のため 運転中止	
58	第 63 (58. 5.28~58. 6.22)	955.1	88	51,920.9	490:43	29,167:19	53	H L B 2 2 1	58	97	9	10	2		
	第 64 (59. 1.14~59. 2. 7)	574.9	53	52,495.8	313:57	29,481:16	46	H L O 2 1 1	50	83	6	19	2		
	第 65 (59. 3. 6~59. 3.31)	1,018.4	94	53,514.2	509:33	29,990:49	50	H L O 2 1 1	54	90	11	11	3		
59	第 66 (59. 5. 8~59. 6. 2)	1,095.6	100	54,609.8	538:58	30,529:47	52	H L O 2 1 1	56	93	1	22	2		

第1表 JMTR運転及び利用実績(4/5)

区分	年度 区分	サイクルNo. (期間)	運転関係					利用関係					特記事項			
			積算 出力量 (Mwd)	運転 効率 (%)	累計積算 出力量 (Mwd)	積算 運転時間 (h)(min)	累計積算 運転時間 (h)(min)	利用孔数			利用率 (%)	水力イベント		BOCA キマセル		
								照射 キマセル	その他	合計		HR-1			HR-2	
実 用	59	第 67 (60. 1.14~60. 2. 8)	1,098.0	100	55,707.8	546:08	31,075:55	58	H L O	2 1 1	62	100	8	30	3	
		第 68 (60. 3. 5~60. 3.30)	1,101.8	100	56,809.6	540:13	31,616:08	56	H L O	2 1 1	60	100	6	8	2	
		第 69 (60. 5.10~60. 6. 4)	987.5	91	57,797.1	493:23	32,109:31	58	H L O	2 1 1	62	100	7	5	1	
	60	第 70 (60. 9.20~60.10.15)	1,005.5	93	58,802.6	505:32	32,615:03	58	H L O	2 1 1	62	100	14	5	2	
		第 71 (60.11.13~60.12. 8)	1,089.9	100	59,892.5	541:31	33,156:34	53	H L O	2 1 1	57	95	8	2	2	
		第 72 (61. 1.14~61. 2. 5)	978.0	91	60,870.5	482:31	33,639:05	50	H L O	2 1 1	54	90	12	5	1	
		第 73 (61. 3. 6~61. 3.31)	1,013.5	94	61,884.0	500:38	34,139:43	50	H L O	2 1 0	53	88	10	6	0	
	61	第 74 (61. 5.21~61. 6.15)	1,102.0	100	62,986.0	542:01	34,681:44	52	H L O	2 1 1	56	93	8	1	2	
		第 75 (61. 7. 8~61. 8. 2)	1,100.2	100	64,086.2	557:53	35,239:37	61	H L O	2 1 1	65	100	10	9	2	
		第 76 (61.11.28~61.12.23)	1,097.8	100	65,184.0	550:05	35,789:42	48	H L O	2 2 1	53	88	7	2	2	
		第 77 (62. 1.28~62. 2.22)	1,103.2	100	66,287.2	541:49	36,331:31	44	H L O	2 2 1	49	82	18	10	3	
		第 78 (62. 3.17~62. 4.11)	1,099.0	100	67,386.2	541:41	36,873:12	47	H L O	2 2 1	52	87	13	9	1	
第 79 (62. 6. 2~62. 6.27)		1,008.3	93	68,394.5	500:33	37,373:45	52	H L O	2 2 1	57	95	23	17	2		
62	第 80 (63. 2. 3~63. 2.28)	1,097.1	100	69,491.6	546:24	37,920:09	57	H L O	2 2 1	62	100	14	12	3		
	第 81 (63. 3.23~63. 4.17)	1,098.6	100	70,590.2	537:59	38,458:08	65	H L O	2 2 1	70	100	10	5	2		
	第 82 (63. 6. 1~63. 7. 2)	918.0	85	71,508.2	457:31	38,915:39	59	H L O	2 2 1	64	100	4	6	4		
	第 83 (63.10.12~63.11. 8)	985.7	91	72,493.9	530:42	39,446:21	50	H L O	2 2 1	55	92	7	4	3		
	第 84 (63.11.29~63.12.24)	1,097.4	100	73,591.3	539:41	39,986:02	51	H L O	2 2 1	56	93	9	3	3		
63	第 85 (元 2. 1~元 2.26)	1,091.8	100	74,683.1	540:41	40,526:43	55	H L O	2 2 1	60	100	6	8	3		
	第 86 (元 3.22~元 4.16)	1,108.1	100	75,791.2	539:45	41,066:28	51	H L O	2 2 1	56	93	10	13	3		
	第 87 (元 6. 6~元 7. 1)	1,050.5	97	76,841.7	530:14	41,596:42	51	H L O	2 1 1	55	92	12	6	3		
	第 88 (元 11.24~元 12.19)	1,103.8	100	77,945.5	547:34	42,144:16	45	H L O	2 1 1	49	82	8	6	3		
	第 89 ( 2. 1.25~ 2. 2.21)	1,110.8	100	79,056.3	544:35	42,688:51	42	H L O	2 1 1	46	77	13	8	4		

第1表 JMTR運転及び利用実績(5/5)

区分	年度	サイクルNo. (期間)	運 転 関 係					利 用 関 係						特 記 事 項		
			積算出力量 (Mwd)	運転効率 (%)	累計積算出力量 (Mwd)	積算運転時間 (h)(min)	累計積算運転時間 (h)(min)	利用孔数			利用率 (%)	水力ポンプ			BOCA キ+7tℓ	
								照射 キ+7tℓ	その他	合計		HR-1	HR-2			
実 用 期 間	元	第 90 (2.3.17~2.4.11)	1,108.6	100	80,164.9	539:50	43,228:41	47	H L O	2 1 1	51	85	7	15	3	
		第 91 (2.5.9~2.6.3)	1,093.6	100	81,258.5	541:15	43,769:56	49	H L O	2 1 1	53	88	7	9	3	
		第 92 (2.10.5~2.10.30)	1,089.6	100	82,348.1	546:28	44,316:24	47	H L O	2 1 1	51	85	9	6	1	
		第 93 (2.11.22~2.12.17)	1,106.6	100	83,454.7	541:37	44,858:01	45	H L O	2 1 1	49	82	11	16	2	
		第 94 (3.1.19~3.2.13)	1,100.8	100	84,555.5	542:44	45,400:45	51	H L O	2 1 1	55	92	11	4	2	
		第 95 (3.3.8~3.4.2)	1,108.6	100	85,664.1	541:40	45,942:25	40	H L O	2 1 1	44	73	6	7	3	
	3	第 96 (3.5.10~3.6.4)	1,110.4	100	86,774.5	539:11	46,481:36	45	H L O	2 1 1	49	82	7	7	2	
		第 97 (3.9.20~3.10.15)	1,111.7	100	87,886.2	547:29	47,029:05	41	H L O	2 1 1	45	75	10	8	2	
		第 98 (3.11.9~3.12.4)	1,106.2	100	88,992.4	539:44	47,568:49	41	H L O	2 1 1	45	75	4	5	3	
		第 99 (4.1.15~4.2.9)	1,108.4	100	90,100.8	541:25	48,110:14	39	H L O	2 1 1	43	72	7	8	3	
4	第 100 (4.3.4~4.3.29)	1,103.6	100	91,204.4	540:02	48,650:16	36	H L O	2 1 1	40	67	10	2	2		
	第 101 (4.5.8~4.6.2)	1,104.9	100	92,309.3	540:00	49,190:16	34	H L O	2 1 1	38	63	8	6	2		
	第 102 (4.6.25~4.7.20)	1,101.2	100	93,410.5	540:13	49,730:29	38	H L O	2 1 1	41	68	7	12	2		
	第 103 (4.11.20~4.12.15)	1,101.3	100	94,511.8	549:14	50,279:43	31	H L O	2 1 1	35	58	7	6	4		
	第 104 (5.1.19~5.1.28)	431.8	40	94,943.6	216:36	50,496:19	35	H L O	2 1 1	39	65	2	13	2		
5	第 105 (5.3.6~5.3.31)	1,016.1	94	95,959.7	505:04	51,001:23	38	H L O	2 1 1	41	68	7	12	2		
	第 106 (5.5.12~5.6.6)	1,100.5	100	97,060.2	549:17	51,550:40	35	H L O	2 1 1	39	65	18	6	3		

第2表 JMTRの運転及び利用実績説明

備考

① イ) 30MW運転の場合の運転効率及び利用率の算出は次のとおりである。

$$\text{運転効率} = \frac{\text{実績MWd}}{\text{予定出力量 (630) MWd}}, \quad \text{利用率} = \frac{\text{利用孔数}}{\text{標準照射孔数 (50)}}$$

ロ) 50MW運転の場合の運転効率及び利用率の算出は次のとおりである。

(#12~)

$$\text{運転効率} = \frac{\text{実績MWd}}{\text{予定出力量 (1,318) MWd}}, \quad \text{利用率} = \frac{\text{利用孔数}}{\text{標準照射孔数 (55)}}$$

(#27~)

$$\text{運転効率} = \frac{\text{実績MWd}}{\text{予定出力量 (1,118) MWd}}, \quad \text{利用率} = \frac{\text{利用孔数}}{\text{標準照射孔数 (60)}}$$

(#46~)

$$\text{運転効率} = \frac{\text{実績MWd}}{\text{予定出力量 (1,080) MWd}}, \quad \text{利用率} = \frac{\text{利用孔数}}{\text{標準照射孔数 (60)}}$$

(#108~)

$$\text{運転効率} = \frac{\text{実績MWd}}{\text{予定出力量 (1,240) MWd}}, \quad \text{利用率} = \frac{\text{利用孔数}}{\text{標準照射孔数 (60)}}$$

ハ) 原子炉の出力

第1サイクル	50MW
第2サイクル~第11サイクル	30MW
第12サイクル以降	50MW

② 利用関係、その他の欄の記号は次のとおりである。

- H: 水カラビット照射設備 (HR-1, HR-2)
- L: ループ照射設備 (OWL-1 昭和59年12月撤去)  
(OWL-2 平成4年10月撤去)  
(OGL-1)
- N: 縦駆動照射設備 (昭和58年12月撤去)
- B: BOCA照射設備
- O: (BOCA/OSF-1)照射設備

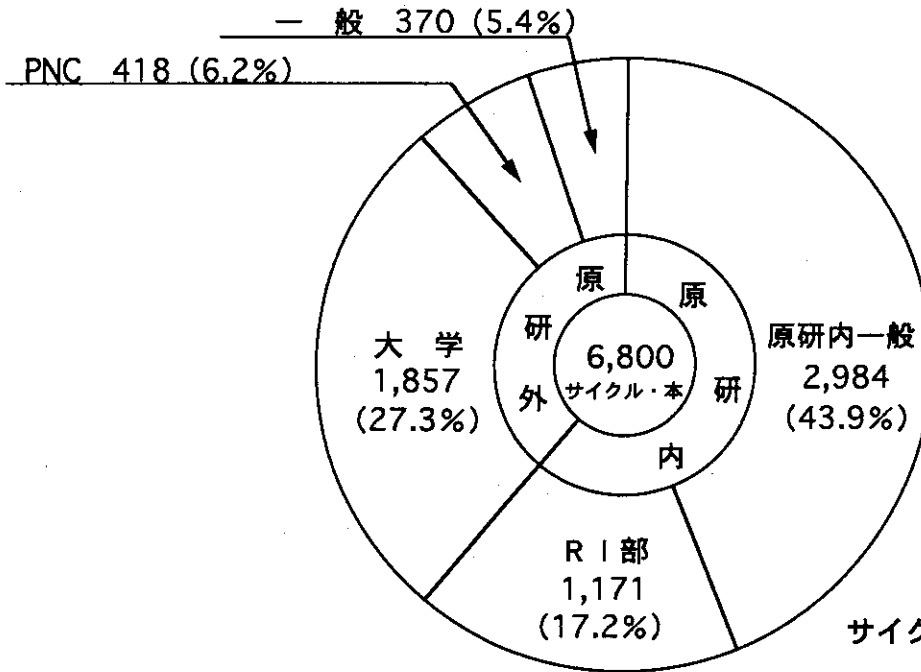
③ サイクル期間は、出力上昇日から出力降下日までを示す。なお、特性試験運転(燃料装荷)は含まない。

④ 原子炉積算出力量

5,000MWd達成	46. 6. 10	10,000MWd達成	47. 5. 6
15,000MWd達成	48. 1. 25	20,000MWd達成	49. 2. 17
25,000MWd達成	51. 1. 20	30,000MWd達成	52. 3. 25
35,000MWd達成	54. 4. 1	40,000MWd達成	55. 5. 17
45,000MWd達成	56. 11. 20	50,000MWd達成	58. 1. 28
55,000MWd達成	60. 1. 22	60,000MWd達成	61. 1. 16
65,000MWd達成	61. 12. 19	70,000MWd達成	63. 4. 2
75,000MWd達成	元 3. 29	80,000MWd達成	2. 4. 8
85,000MWd達成	3. 3. 17	90,000MWd達成	4. 2. 7
95,000MWd達成	5. 3. 7	100,000MWd達成	6. 4. 13 (予定)

第3表 JMTRの利用状況

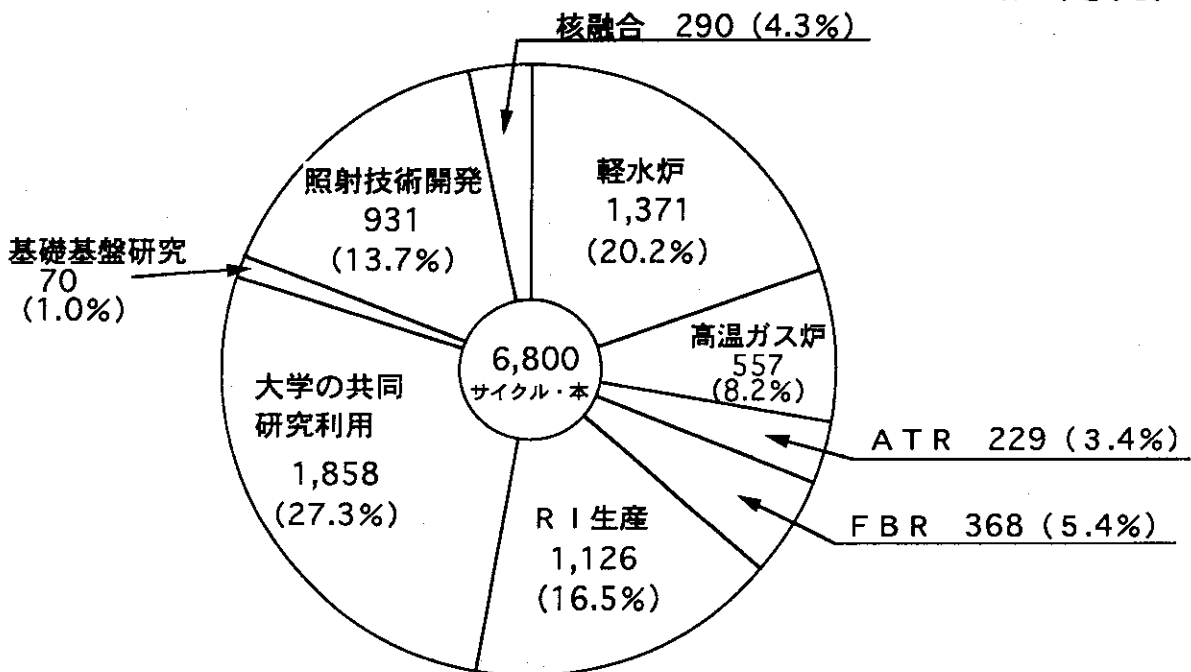
(1) 利用者別件数



(昭和44年度から平成4年度まで)

サイクル・本 --- キャプセル1本を1サイクル照射した場合は1サイクル・本となる。例えば2サイクルにわたって照射した場合は2サイクル・本となる。

(2) 照射目的別件数

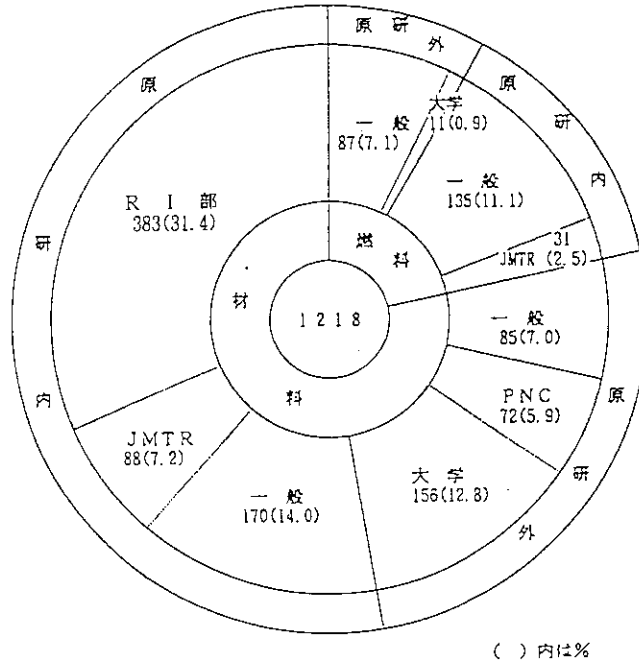


(昭和44年度から平成4年度まで)



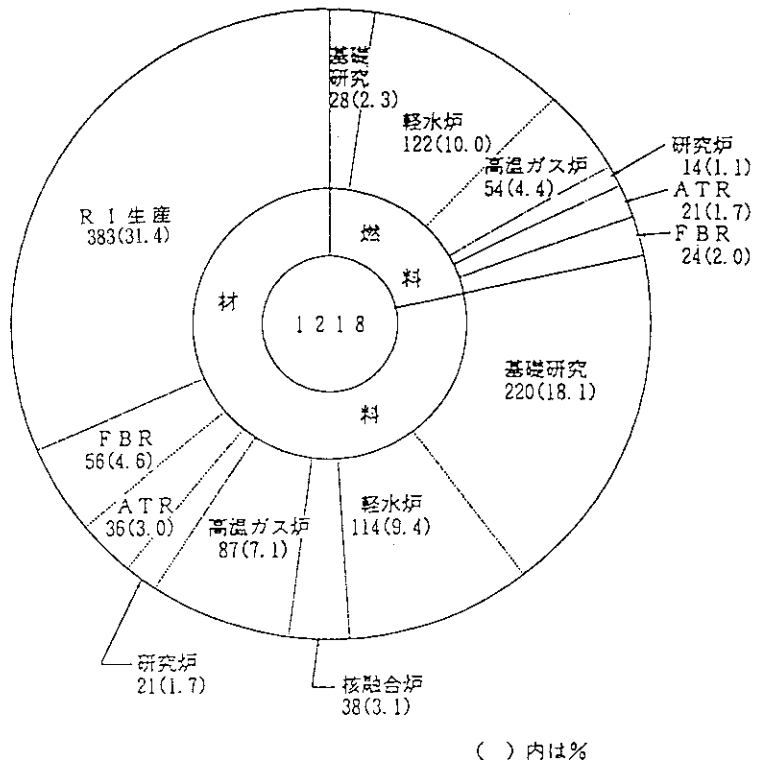
第4表 ホットラボの利用状況

(1) 利用者別件数



(昭和46年度から平成4年度まで)

(2) 照射目的別件数



(昭和46年度から平成4年度まで)

第5表 照射設備別利用件数

(平成5年3月31日現在)

照射設備 利用者		キャプセル	水カラビット	ループ	出力急昇試験設備 (BOCA/OSF-1)	計
原 研 外	大学連合	471	1,386	—	—	1,857
	P N C	290	97	31	—	418
	一般	303	41	—	26	370
原 研 内	原研内一般	2,644	128	126	86	2,984
	R I 部	1,032	139	—	—	1,171
計		4,740(69.7%)	1,791(26.3%)	157(2.4%)	112(1.6%)	6,800

( )内は%を示す。 単位：サイクル・本※

※サイクル・本：キャプセル1本を1サイクル照射した場合は1サイクル・本となる。例えば2サイクルにわたって照射した場合は2サイクル・本となる。

付録-3

関係略語集

## 関係略語集 (1/2)

ATR	Advanced Thermal Reactor	新型転換炉
BOCA	BOiling water CAPsule	沸騰水キャプセル
BWR	Boiling Water Reactor	沸騰水型原子炉
CIC	Compensated Ionization Chamber	ガンマ線補償型電離箱
ETR	Engineering Test Reactor	工学的試験炉
FBR	Fast Breeder Reactor	高速増殖炉
FC	Fission Chamber	核分裂計数管
FFD	Fuel Failure Detection system	燃料破損検出装置
FGS	Fission Gas Sweep capsule	ガススweepキャプセル
FIMA	Fissions per Initial heavy-Metal Atom	燃焼率
F/M	Fluence Monitor	フルエンスモニター
FP	Fission Product	核分裂生成物
HR-1	Hydraulic Rabbit No.1	水カラビット1号機
HR-2	Hydraulic Rabbit No.2	水カラビット2号機
HTTR	High Temperature engineering Test Reactor	高温ガス炉
IDASS	Irradiation Data Analysis Support System	照射データ解析援助システム
JMTR	Japan Materials Testing Reactor	材料試験炉
LEU	Low Enriched Uranium	低濃縮ウラン燃料
LFGR	Low Frequency Generator	低周波電源発生装置
LOOCAS	LOOP and CAPsule System	照射設備計算機処理システム
MOX	Mixed OXide fuel	混合酸化物燃料
OGL-1	Oarai Gas Loop No.1	大洗ガスループ1号機
OSF-1	Oarai Shroud Facility No.1	大洗シュラウド照射装置
PCI	Pellet Clad Interaction	ペレット被覆管相互作用
PNC	Power reactor and Nuclear fuel development Corporation	動力炉・核燃料開発事業団
PWR	Pressurized Water Reactor	加圧水型原子炉
RI	RadiolIsotope	放射性同位元素
SCC	Stress Corrosion Cracking	応力腐食割れ
SEM	Scanning Electron Microscope	走査型電子顕微鏡

## 関係略語集 (2 / 2)

SFC	Spent Fuel Cutting pool	使用済燃料切断プール
SPD	Self-Powered neutron Detector	自己出力型中性子検出器
SSRT	Slow Strain Rate Tensile test	低ひずみ引張り試験
TLD	ThermoLuminescence Dosimeter	放射線蛍光線量系
UCL	Utility Cooling Line	ユーティリティー冷却系
XMA	X-ray Micro Analyzer	X線微小分析装置