

JAERI - M  
83-053

JMTR 照射ハンドブック

1983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、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11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 Section, Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1983

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 いばらき印刷(株)

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

(1983年2月18日受理)

JMTR 施設を利用して、広範囲の照射及び照射後試験を行うことができる。このハンドブックは、JMTR (50 MW) 及びその付属施設であるホットラボを利用して照射及び照射後試験を実施するに当たっての手引である。照射利用者各位の利用の便を旨るとともに、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もある。

JMTR 及びその照射設備の概要を紹介した。また、利用しうる照射技術、照射利用上必要とする諸データを収録した。

JMTR IRRADIATION HANDBOOK

Division of JMTR Project,  
Oarai Research Establishment, JAERI

(Received February 18, 1983)

A wide variety of nuclear irradiation and post-irradiation experiments are available using the JMTR (Japan Materials Testing Reactor, 50 MW) 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 Division of JMTR Project.

Keywords: JMTR, Handbook, Hot Laboratory, Post-irradiation Examination, Irradiation Capsules, In Pile Loops, Manual



## 第3版 序 言

「JMTR 照射ハンドブック」は、昭和51年9月に初版発行後、昭和55年9月に改訂を経て今日まで広く JMTR の利用の便に供されてきた。

ハンドブックは、いうまでもなく 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作成したものである。このため、内容は照射及び照射後試験施設に関するものが主であり、JMTR 炉本体に関しては、僅かなページをさいているに過ぎなかった。

しかし、最近利用者から利用の便の向上を図るため、ハンドブックに JMTR 炉本体に関する内容も盛込んでほしいとの声が聞かれるようになったため、第3版を発行する運びとなったものである。

改訂に当たっては、その後整備された照射施設等のほか、昭和57年4月に改訂された利用料金も記載するなど、全般的に見直して最新の内容に改めた。

このハンドブックを利用者各位がますます御利用下さることを希望するものである。

昭和58年1月

材料試験炉部長 神原忠則

## 第 2 版 序 言

材料試験炉は昭和 45 年以降、広く所内及び所外の照射利用に供されてきた。現在、多目的高温ガス炉の開発、軽水炉の安全性試験、増殖炉及び新型転換炉の開発、大学連合の基礎研究及び RI の製造などに、照射容量の 100% 近く利用されている状況である。このような活況を呈しているのは、ひとえに利用者各位の JMTR に対する期待と、暖かい御支援の賜物と考え、衷心より感謝の意を表する次第である。

さて、JMTR の利用の便に供するため「JMTR 照射ハンドブック」を昭和 51 年に作成、配布したところ、JMTR のまとまった初めての資料であるとの好評をいただき、広く利用いただいたことは望外の幸であった。内容は、JMTR 及び照射施設の紹介、利用しうる照射技術及び必要と考えられる諸データなどであった。

しかし、4 ヶ年経た現在、当時に比し多くの技術の進歩改良があり、一層の利用の便に供するため改訂が必要と考えるに至った。改訂に当たっては、現在までに蓄積された運転及び照射に関する諸経験を基に、照射技術、データ等をできるだけ幅広く、かつ簡明に追加集録するとともに、今後の整備計画等についても記載した。

各位の今後の材料試験炉の利用に当たり、手引き及び資料便覧として利用していただけることを切望するものである。なお、照射利用の実際については、更に詳細な情報交換が必要であると考えられるので、当部と密接な連絡をとられるよう希望する。

最後に、わが国で最大の高中性子束炉である材料試験炉が有効かつ有意義に利用されるよう、当部として一層の努力をする所存であり、関係各位の忌憚のない御要望及び御意見を期待するものである。

昭和 55 年 9 月

材料試験炉部長 大内 信平

## 序 言

材料試験炉は、昭和45年から約1年間を試験期間として試験照射を行って以来、広く所内及び所外の照射に利用されてきた。現在は、多目的炉用燃料及び材料の照射、軽水炉燃料の安全性試験、常陽及びATRの開発試験、大学関係の試料照射ならびに放射性同位元素の製造などにほとんど100%の照射孔と照射装置が稼働している。

ここに及ぶ間、当部としても照射技術の開発、照射設備の拡充整備に特に努力をはらってきたつもりである。しかしながら、今日の発展を見るに到ったその大方は、利用者を中心とした多方面の各位の御理解と御支援の賜物であると考えられる。これに対し、衷心より感謝の念を禁じ得ないものである。

さて、今回初めての試みであるがJMTRの利用の便に供するため、当部内の関係者を動員し、このような「JMTR照射ハンドブック」を作成することができた。

本書は、当施設利用に当たっての手引となるものであり、従ってJMTR及びその照射設備の概要を紹介し、また利用しうる照射技術、必要と考えられる諸データを提供するものである。

われわれは現在までに蓄積された照射経験を基として、これらをできるだけ簡明に編集、集録するよう意図したものであるが、また部内の資料便覧にもなるようにとの配慮も若干は加えられていることを御了承いただきたい。

ともあれ、照射利用の各位が本書をその名のごとくハンドブックとして参照され、更に利用の幅を拡げていただければ、編者にとって望外の幸である。

なお、照射利用の実際については、更に詳細な情報交換が必要と考えられるので当部と密な連絡をとられるよう希望するものである。

この場合、当部の関係者は利用者側の立場に立ち、実験の成果を上げるよう協力いたす所存である。

終りにわが国で最も中性子束の高い材料試験炉を今より高度にかつ効率良く利用するために我々は一層の努力をする必要を痛感しており、各位の忌憚のない御要望、或は御助言を期待するものである。

昭和51年 9月

材料試験炉部長 高 出 稔

## 目 次

JMTR のあゆみ .....	1
1. JMTR 本体施設 .....	15
1.1 JMTR の配置 .....	17
1.2 JMTR 建家 .....	17
1.3 原子炉本体 .....	18
1.4 冷却系 .....	19
1.5 計測制御系 .....	22
1.6 給排気系 .....	25
1.7 純水補給系 .....	25
1.8 電源系 .....	26
1.9 排水系 .....	26
1.10 JMTR の運転 .....	27
2. 照射施設 .....	67
2.1 概 要 .....	71
2.2 水カラビット照射設備 .....	73
2.3 キャプセル照射設備 .....	78
2.4 ループ照射設備 .....	88
2.5 縦駆動照射設備 .....	100
2.6 ガススイープ照射設備 .....	103
2.7 BOCA 照射設備 .....	106
2.8 照射設備計算機処理システム .....	112
2.9 水、ガス分析設備 .....	122
2.10 照射試料の温度と安全基準 .....	124
2.11 燃料試料の発熱量と燃焼度 .....	133
3. 照射後試験施設 .....	135
3.1 概 要 .....	139
3.2 ホットラボ .....	139
3.3 照射後試験 .....	139
4. 中性子束分布・発熱量等の決定 .....	173
4.1 概 要 .....	179
4.2 炉心配置の決定 .....	179
4.3 核計算による炉心配置の検討 .....	181
4.4 核計算による試料発熱量推定精度 .....	188
4.5 キャプセル試料発熱量の推定 .....	189

4.6	ループ試料発熱量の推定	197
4.7	$\gamma$ 加熱と $\gamma$ 線スペクトル	201
4.8	中性子スペクトルと中性子照射量	204
5.	JMTRC	223
5.1	概要	227
5.2	核的モックアップと中性子束分布の測定	232
6.	放射性同位元素の製造	235
6.1	概要	239
6.2	放射性同位元素の製造方法	239
6.3	中性子源用 $^{124}\text{Sb}$ の照射	241
7.	JMTRの運転及び利用実績	245
7.1	JMTRの運転実績	249
7.2	照射実験の状況	249
7.3	照射後試験の状況	257
8.	整備計画	265
8.1	概要	269
8.2	シュラウド照射装置	269
8.3	濃縮度低減化燃料の開発	271
9.	JMTRの利用の手引き	273
9.1	利用業務の概要	277
9.2	利用の手順	279
9.3	利用申込の方法	283
9.4	利用料金	286
9.5	報告書	290
10.	あしがき	295
	謝辞	296

## CONTENTS

## Course of JMTR

1. JMTR Discription .....	15
1.1 Arrangement of JMTR Facilities .....	17
1.2 Buildings .....	17
1.3 Reactor .....	18
1.4 Cooling Systems .....	19
1.5 Instrumentation and Control .....	22
1.6 Ventilation of Reactor Building .....	25
1.7 Demineralized-Water Supply .....	25
1.8 Electrical Systems .....	26
1.9 Aqueous Waste Disposal .....	26
1.10 Reactor Operation .....	27
2. Irradiation Facilities .....	67
2.1 General .....	71
2.2 Hydraulic Rabbit Facilities .....	73
2.3 Capsule Facilities .....	78
2.4 Loop Facilities .....	88
2.5 Neutron Control Facility .....	100
2.6 Gas Sweep Irradiation Facility .....	103
2.7 BOCA Facility .....	106
2.8 Data Acquisition System .....	112
2.9 Water-Gas Analysis Facilities .....	122
2.10 Thermal Calculation of and Thermal Criteria for Capsules ..	124
2.11 Estimation or Measurement of Heat Generation and Estimation of Burnup for Fuel Specimen .....	133
3. Multi-Cell Hot Laboratory .....	135
3.1 General .....	139
3.2 Hot Laboratory .....	139
3.3 Post-Irradiation Experiments .....	139
4. Neutronics and Gamma Heat .....	173
4.1 General .....	179
4.2 Determination of Core Configuration .....	179
4.3 Nuclear Calculation for Determining Core Configuration ....	181
4.4 Precision of Heat Generation Estimation for Fuel Specimen with Nuclear Calculation .....	188
4.5 Heat Generation Estimation for Capsule Specimen .....	189

4.6	Heat Generation Estimation for Loop Specimen .....	197
4.7	Gamma Heat and Spectra .....	201
4.8	Neutron Spectra and Fluence .....	204
5.	JMTRC .....	223
5.1	General .....	227
5.2	Nuclear Mock-ups and Measurement of Neutron Flux .....	232
6.	Production of Radio-Isotopes .....	235
6.1	General .....	239
6.2	Production Method of Radio-Isotopes .....	239
6.3	Irradiation of $^{124}\text{Sb}$ for Neutron Source .....	241
7.	Operation of JMTR and Past Records of Usage .....	245
7.1	Past Records of JMTR Operation .....	249
7.2	Past Records of Irradiation Experiments .....	249
7.3	Past Records of Post-Irradiation Experiments .....	257
8.	Near Future Plans .....	265
8.1	General .....	269
8.2	Shroud Irradiation Facility .....	269
8.3	Development of Reduced-Enrichment Fuel for JMTR Core Conversion .....	271
9.	Guide for JMTR Irradiations .....	273
9.1	Outline of Irradiation Service .....	277
9.2	Irradiation Processing .....	279
9.3	Application Procedure for Irradiation .....	283
9.4	Irradiation and Post-Irradiation Experiment Fee .....	286
9.5	Reports .....	290
10.	Afterword .....	295
	Acknowledgements .....	296

## JMTR の あ ゆ み

JMTR (Japan Materials Testing Reactor の略) は、軽水減速・冷却タンク型で熱出力 50 MW の汎用型材料試験炉である。JMTR には、ループ、キャプセル等の照射施設およびホットラボ等の照射後試験施設、付属設備が設置されている。

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材料、燃料等の照射実験
- (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 112 km、水戸から東へ 16 km に位置した茨城県東茨城郡大洗町にあって、夏海海岸に面し、その敷地面積は 1.42 km<sup>2</sup> である。

JMTR は、第 1 表に示すようなあゆみを経て現在に至っている。設置決定から基本設計完了に至る第 I 期の経過を第 2 表に、建設から特性試験終了までの第 II 期の経過を第 3 表に、本格的な高出力運転開始から現在に至る第 III 期の経過を第 4 表に示す。

JMTR の建設は、昭和 40 年 6 月 (1965 年) 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。

付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 の特徴の一つは、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し、照射後試験を実施できることである。また、第 2 の特徴は、核的モックアップとして JMTR 炉心部と相似な臨界実験装置 (JMTRC, 100 W) を付置していることである。JMTRC は、JMTR 炉心の融通性を安全確保の面でバックアップするとともに、試料内の詳細な発熱分布等の情報を提供してくれる。

JMTR は、昭和 43 年 3 月 (1968 年) に初臨界に達したものの、その後炉プールおよびカナル (総貯水量約 1,300 m<sup>3</sup>) のステンレス・ライニングの溶接部に欠陥が発見され、その補修に第 20 ケ月を要した。

本格的な高出力運転が開始されたのは、昭和 44 年 12 月 (1969 年) からである。第 1 サイクルから第 11 サイクルまでは、30 MW を定格出力とし、第 12 サイクルからは、50 MW を定格出力として運転されている。この間、JMTR 本体施設は、昭和 50 年 (1975 年) に H 型ベリリウム棒の交換を、昭和 51 年 (1976 年) に制御棒を 7 本から 5 本に変更する改造を、昭和 57 年 (1982 年) に核計装の更新を行った。



照射施設としては、

- (1) 発電用軽水型原子炉雰囲気を模擬する水ループ照射設備 (OWL-1, 2)
- (2) JMTR の運転中においても、照射試料の挿入、取出のできる水カラビット照射設備 (HR-1, 2)
- (3) 照射中の試料を炉心内で縦方向に上下することのできる縦駆動照射設備 (NCF)
- (4) 高温ガス原子炉雰囲気を模擬するガスループ照射設備 (OGL-1)
- (5) 特殊なキャプセル照射設備として、照射中に高温ガス炉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)
- (6) 軽水炉燃料ピンの出力急昇試験を行うための  $^3\text{He}$ -BOCA 出力急昇試験照射設備 (BOCA) 等を設置している。

原子炉建家に付属するホットラボは、昭和 42 年 (1967 年) から昭和 46 年 (1971 年) にかけて、コンクリートケーブおよび材料試験用鉛ケーブが建設され、昭和 46 年 (1971 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、昭和 57 年 (1982 年) に材料試験用鉄ケーブが設置された。

JMTR は、昭和 57 年 7 月上旬 (1982 年) に、第 59 サイクルの運転を終了し、運転開始以来の積算総出力は 48,990 MWd を超えた。

第 5 表に JMTR 設計諸元を示す。

第1表 JMTR年表

昭和 34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
第Ⅰ期 (建設準備)					第Ⅱ期 (建設)							第Ⅲ期 (運転)											

第2表 第Ⅰ期詳細年表

昭和 34 (1959)	35 (1960)			36 (1961)		37 (1962)		38 (1963)		昭和 39 (1964)	
12月	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JMTR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	JMTR仕様完成 JMTRC設置許可(原子力委員会) 決定 JMTR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JMTR基本設計完成



第4表 第Ⅲ期詳細年表(1)

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	第1回使用済燃料再処理送出し 第2回使用済燃料再処理送出し 第3回使用済燃料再処理送出し 第4回使用済燃料再処理送出し 第5回使用済燃料再処理送出し 第6回使用済燃料再処理送出し												第1回使用済燃料再処理送出し 第2回使用済燃料再処理送出し 第3回使用済燃料再処理送出し 第4回使用済燃料再処理送出し 第5回使用済燃料再処理送出し 第6回使用済燃料再処理送出し												第1回使用済燃料再処理送出し 第2回使用済燃料再処理送出し 第3回使用済燃料再処理送出し 第4回使用済燃料再処理送出し 第5回使用済燃料再処理送出し 第6回使用済燃料再処理送出し												第1回使用済燃料再処理送出し 第2回使用済燃料再処理送出し 第3回使用済燃料再処理送出し 第4回使用済燃料再処理送出し 第5回使用済燃料再処理送出し 第6回使用済燃料再処理送出し												第1回使用済燃料再処理送出し 第2回使用済燃料再処理送出し 第3回使用済燃料再処理送出し 第4回使用済燃料再処理送出し 第5回使用済燃料再処理送出し 第6回使用済燃料再処理送出し											
原子炉施設	第1期炉心30MW運転(11サイクルまで) 制御棒SA-1,2にBeフロアア-使用(11サイクルまで)												第II期炉心50MW運転(12サイクル以降) 全制御棒に燃料フロアア-使用												制御棒駆動機構のボ-ルねじ故障のため補修・交換												制御棒駆動機構のボ-ルねじ故障のため補修・交換												制御棒駆動機構のボ-ルねじ故障のため補修・交換											
照射施設	OVL-2 掘付工事												HR-2 掘付工事												NCF 掘付工事												OGL-1 建設工事												OGL-1 建設工事											
ホットラボ施設	鉛ケーブル放射線漏れ検査 材料試験鉛ケーブル完成												鉛ケーブルホットラン開始												ホットラボ47年度オーバーホール および定期検査												ホットラボ47年度オーバーホール および定期検査												ホットラボ47年度オーバーホール および定期検査											
臨界実験装置	JMTRC/46年度オーバーホール および定期検査												JMTRC/47年度オーバーホール および定期検査												JMTRC/48年度オーバーホール および定期検査												JMTRC/49年度オーバーホール および定期検査												JMTRC/50年度オーバーホール および定期検査											

第Ⅲ期詳細年表(2)

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	34 35 36 37 制御棒 SA-1, 2 撤去 (5本制御棒への改造)												38 39 40 圧力サージ管修復												41 42 43 44 フルドン管, バックアップ システム系からの漏水修復												45 46 47 48 49 50 51 第七回使用済燃料再処理送出し												52 53 54 55 第八回使用済燃料 再処理送出し											
照射施設	OGU-1建設工事												OGU-1性能試験												OGU-1漏水修復												OGU-1二次系 化学除染												OGU-1仕切管交換 照射施設計算機の設置											
ホットラボ施設	51年度オーバーホール および定期検査												52年度オーバーホール および定期検査												53年度オーバーホール および定期検査												54年度オーバーホール および定期検査												55年度オーバーホール および定期検査											
臨界実験装置	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											

第Ⅲ期詳細年表(3)

年 月	56年(1981)												57年(1982)											
	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			第九回使用済燃料再処理送出し			JMTR 56年度オーバーホール および定期検査					第十回使用済燃料再処理送出し								JMTR 57年度オーバーホール および定期検査					
原子炉施設	52 (後半)		53		54				55	56			57	58		59			核計装更新工事				60	
照射施設						BOCA 照射設備据付工事													HR-2 ボール弁修理					
ホットラボ施設						ホットラボ 56年度オーバーホール および定期検査					材料試験用鉄ケーブル設置工事								ホットラボ 57年度オーバーホール および定期検査					
臨界実験装置						JMTRC 56年度オーバーホール および定期検査					JMTRC 中濃縮燃料 使用のための設置変更								JMTRC 57年度オーバーホール および定期検査					
						申請																		許可

第5表 JMTR 設計諸元

1. 本体施設			反応度効果		
原子炉出力	定格 (MW)	50	制御棒反応度効果 全制御棒 (% $\Delta$ k/k)	20 ~ 25	
	出力運転時変動 (MW)	$\pm 3$	(第II期炉心5本制御棒)		
中性子束 (最大)	燃料領域 $\phi_{th}$ ( $n/cm^2 \cdot s$ )	$\sim 4 \times 10^{14}$	過剰反応度 (最大) (% $\Delta$ k/k)	15	
	$\phi_f$	$\sim 4 \times 10^{14}$	反応度バランス (50 MW-12日運転)		
	反射体領域 $\phi_{th}$	$\sim 4 \times 10^{14}$	キセノン・サマリウム吸収効果 (平衡) (% $\Delta$ k/k)	4.1	
	$\phi_f$	$\sim 1 \times 10^{14}$	燃焼効果 (% $\Delta$ k/k)	4.8	
使用材料	冷却水および減速材	軽水	温度および運転余裕 (% $\Delta$ k/k)	0.8	
	反射材	軽水	合計 (% $\Delta$ k/k)	9.7	
		ベリリウム	過剰反応度 (% $\Delta$ k/k)	12 ~ 13	
	燃料ミート	U-Al 合金	反応度温度係数 ( $^{\circ}C^{-1}$ )	$1.1 \times 10^{-4}$	
	燃料被覆材	Al 合金	炉心		
	キャプセルホルダ	アルミニウム	有効高さ (mm)	750	
		ベリリウム	容積 (l)	102	
	炉心構造材	ステンレス鋼	等価炉心径 (mm)	416	
	原子炉压力容器	ステンレス鋼	水/金属体積比 (燃料要素)	3.45	
	冷却系配管	ステンレス鋼	Al/ $^{235}U$ 原子数比 (燃料要素)	75.7	
機械的設計因子	標準燃料要素	型式	改良 ETR 型	燃料燃焼 ( $g^{235}U/50 MWd$ )	62.7
		形状 (mm)	76.2 $\square$ ×1,200	中性子寿命 (s)	$7.5 \times 10^{-5}$
	燃料板	枚数	平板 19枚	炉内装荷 $^{235}U$ 量 (kg)	6.6
		板厚 (mm)	1.27		
		長さ (mm)	778		
		被覆厚さ (mm)	0.385		
	ミート	厚さ (mm)	0.50	熱水力設計因子	
		有効長 (mm)	750	一次冷却水温度	
		最大巾 (mm)	61.6	冷却水入口温度 ( $^{\circ}C$ )	最高 49
	$^{235}U$ 含有量	合金重量比 (w/o)	21.5	冷却水出口温度 ( $^{\circ}C$ )	最高 58
要素当たり (g)		279	燃料表面温度 ( $^{\circ}C$ )	約 150	
濃縮度 (%)		93	飽和温度 ( $^{\circ}C$ )	約 200	
炉心装荷本数*		22	流量	流路断面積 (標準燃料要素) ( $m^2$ )	$3.75 \times 10^{-3}$
制御要素	型式	下方挿入駆動方式, 燃料フォロア付き	燃料板間流速 (m/s)	10	
	員数	最大 7	標準燃料要素当たり流量 ( $m^3/h$ )	140	
吸収体	材質	ハフニウム	炉心当たり流量 ( $m^3/h$ )	6,000	
	形状 (mm)	63.5 $\square$ ×800	標準燃料要素 ( $m^3/h$ )	2,800	
燃料フォロア	燃料板	型式	ETR 型	燃料フォロア ( $m^3/h$ )	900
		形状 (mm)	63.6 $\square$ ×890	キャプセルホルダ ( $m^3/h$ )	2,300
	枚数	平板 16枚	冷却水圧力	炉心入口 ( $kg/cm^2 G$ )	15
	板厚 (mm)	1.27	出入口圧力差 ( $kg/cm^2$ )	3.3	
	長さ (mm)	769	冷却水流路	標準燃料要素燃料板間隔 (mm)	12×2.67, 2×2.92
	被覆厚さ (mm)	0.38		4×3.02	
	ミート	厚さ (mm)	0.51	燃料板巾 (mm)	66.6
		有効長さ (mm)	750	燃料フォロア燃料板間隔 (mm)	2.59
				燃料板巾 (mm)	54
	$^{235}U$ 含有量	合金重量比 (w/o)	21.5	冷却水純度	比抵抗 ( $\Omega cm$ )
要素当たり (g)		195		pH	5.5 ~ 7.0
濃縮度 (%)		93	伝熱面積	標準燃料要素当たり ( $m^2$ )	1.76
				燃料フォロア当たり ( $m^2$ )	1.21
			全燃料 ( $m^2$ )	41.46	
			出力密度	炉心平均 (kW/l)	492
				最高熱負荷条件 (kW/l)	621
			一次冷却水保有量 ( $m^3$ )	約 140	
				原子炉压力容器内 ( $m^3$ )	約 60

\* 照射需要に応じて、炉心配置が決定されるので、それによって燃料要素の装荷本数には若干の増減がある。

排気系			最大発熱量 (kW)	100		
排気第1系統排気量 (m <sup>3</sup> /min)	約 1,660		最大試料寸法 (mm)	φ 32 × 270 l		
排気第2系統排気量 (m <sup>3</sup> /min)	約 190		<u>ガススイープ</u>	照射時間 (サイクル)	> 1	
排気第3系統排気量 (m <sup>3</sup> /min)	約 40			スイープガス	ヘリウム	
排気第1-2系統排気量 (m <sup>3</sup> /min)	約 200			流量 (ml/min)	100	
(非常系)				供給圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	3	
原子炉プール	容量 (m <sup>3</sup> )	200		最大発熱量 (kW)	830	
	循環流量 (m <sup>3</sup> /h)	160		最大試料寸法 (mm)	φ 36 × 36 l/段	
	温度 (°C)	< 35		<u>BOCA</u>	照射時間 (サイクル)	> 1
遮 蔽	半径方向水 (m)	1.5			冷却材雰囲気	軽水
	コンクリート (m)	2.0			冷却材温度 (°C)	約 50
	垂直方向水 (m)	10			冷却材圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	73
	ステンレス鋼 (cm)	7.5			最大発熱量 (kW)	24
カナル	#1 容量 (m <sup>3</sup> )	約 300			最大試料寸法 (mm)	φ 30 × 400 l
	#2 容量 (m <sup>3</sup> )	約 430				
	#3 容量 (m <sup>3</sup> )	約 240				
	(#3'を含む)					
SFCプール	容量 (m <sup>3</sup> )	約 120				
排水貯槽	第1 容量 (m <sup>3</sup> )	180				
	第2 容量 (m <sup>3</sup> )	20×2				
	第4 容量 (m <sup>3</sup> )	20				
2. 照射施設						
<u>水力ラビット</u>						
	照射時間 (min)	> 1				
	冷却材雰囲気	軽水				
	冷却材温度 (°C)	約 40				
	冷却材圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	0 ~ 10				
	最大発熱量 (kW)	20				
	最大試料寸法 (mm)	φ 20 × 120 l				
<u>キャプセル</u>						
	照射時間 (サイクル)	> 1				
	冷却材雰囲気	軽水				
	冷却材温度 (°C)	約 50				
	冷却材圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	約 15				
	最大発熱量 (kW)	100				
	最大試料寸法 (mm)	φ 36 × 750 l				
<u>ループ</u>						
	照射時間 (サイクル)	> 1				
	冷却材雰囲気	軽水, ヘリウムガス				
	冷却材温度 (°C)	130 ~ 1,000				
	冷却材圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	30 ~ 150				
	最大発熱量 (kW)	850				
	最大試料寸法 (mm)	φ 118 × 750 l				
<u>縦駆動</u>						
	照射時間 (サイクル)	> 1				
	冷却材雰囲気	軽水				
	冷却材温度 (°C)	約 40				
	冷却材圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	0 ~ 8				



# 1. JMTR 本体施設

## 目 次

1. 1	JMTR の配置	17
1. 2	JMTR 建家	17
1. 3	原子炉本体	18
1. 4	冷却系	19
1. 5	計測制御系	22
1. 6	給排気系	25
1. 7	純水補給系	25
1. 8	電源系	26
1. 9	排水系	26
1. 10	JMTR の運転	27

## 図 一 覧

第 1. 1 図	大洗研究所近郊図	29
第 1. 2 図	大洗研究所全景	30
第 1. 3 図	JMTR 全景	30
第 1. 4 図	JMTR 配置図	31
第 1. 5 図	JMTR 俯瞰図	32
第 1. 6 図	炉室・ホットラボ一階平面図	33
第 1. 7 図	炉室縦断面図 (N - S)	34
第 1. 8 図	炉室縦断面図 (E - W)	35
第 1. 9 図	JMTR 炉心部俯瞰図	36
第 1.10 図	原子炉本体縦断面図	37
第 1.11 図	炉プールと原子炉圧力容器上蓋	39
第 1.12 図	JMTR 炉心部	40
第 1.13 図	JMTR 炉心燃料領域	40
第 1.14 図	炉心部詳細図	41
第 1.15 図	4 孔アルミニウム反射体要素	42
第 1.16 図	1 孔アルミニウム反射体要素	42
第 1.17 図	ベリリウム反射体要素	43
第 1.18 図	中性子吸収体	43
第 1.19 図	標準燃料要素 N 型	45
第 1.20 図	燃料フォロア F 型	47
第 1.21 図	炉心格子配列図	49
第 1.22 図	JMTR 炉心装荷図 (例)	50
第 1.23 図	JMTR の冷却および排気系統概念図	51
第 1.24 図	JMTR 冷却系統概要図	52
第 1.25 図	JMTR 計測制御系統概要図	53
第 1.26 図	JMTR 安全保護回路概要図	54
第 1.27 図	JMTR 制御棒および駆動装置の構成	55
第 1.28 図	JMTR 制御棒駆動機構	56
第 1.29 図	JMTR 炉室給排気系統概要図	57
第 1.30 図	JMTR 電源系統概要図 (C 系および D 系)	58
第 1.31 図	JMTR 原子炉施設等の放射性排水系統概要図	59
第 1.32 図	JMTR 運転サイクル総合工程表 (例)	60
第 1.33 図	JMTR 運転中の制御棒の動き	63
第 1.34 図	Xe による過剰反応度への影響	64
第 1.35 図	計算機システム構成図	65

## 1.1 JMTR の配置

JMTR 関係施設は、第 1.1 図から第 1.3 図に示すような大洗研究所敷地北西部の台地に設置されている。炉室は第 1.4 図および第 1.5 図に示すような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、西側に機械室、北側に照射準備室、東側に居室実験室の各建家が配置されている。炉室とホットラボはカナルにより接続され、また機械室西側には二次冷却系統および UCL 系統ポンプ室が設けられ、ポンプ室から機械室の下を通過して炉室に至る配管用トレンチが、これら三つの建家を連結している。ポンプ室の床下は二次冷却系統冷却水および UCL 冷却系統冷却水のポンドになっており、二次冷却系統には二次冷却塔がポンプ室南側に、また、UCL 冷却系統には UCL 冷却塔および高架水槽がポンプ室北側に、それぞれ近接して設けられている。二次冷却塔の南側には、フィルターバンクがあり、その西側に排風機室が設けられ、さらにその西側に排気用スタックが立っている。また二次冷却塔の東側にはタンクヤードが設置されている。

## 1.2 JMTR 建家

JMTR 建家は、原子炉建家、特定施設建家、ホットラボ建家等に大別される。

### (1) 原子炉建家

原子炉建家は、原子炉、ループ照射設備、JMTRC 等の運転に直接関連する機器を収納している。

原子炉を格納する原子炉建家は第 1.6 図から第 1.8 図に示すような鉄筋コンクリート造、地下 4 階、地上 1 階（一部 3 階）で屋根は鋼管造鉄板貼球面構造であって、直径 41.4 m、高さ地上 20.4 m、地下 23.5 m の大きさの円筒形建家である。この建家の中には原子炉圧力容器の他、原子炉制御室、JMTRC 関係諸室、照射制御室、ループキュービクル、一次冷却系統機器、プールカナル循環系統機器、制御棒駆動装置等を納める諸室、排水貯槽等がある。

炉室天井には 30 t / 5 t の旋回クレーンが設けられ重量物の移動に使用している。炉プールは直径 6 m、深さ 11.8 m で厚さ 2.5 m の普通コンクリートで遮蔽され、内部はステンレス鋼でライニングされている。炉プール下部は炉下室、さらにその下部は制御棒駆動装置室となっている。

カナルは巾 3 m、深さ 6.2 m で厚さ 2 m の普通コンクリートで遮蔽され、内面はステンレス鋼でライニングされ、かつ炉プール、JMTRC プール入口各 1 ヶ所、カナル中間 1 ヶ所で水密ゲートにより区画されている。カナルはホットラボ建家に連絡していて、使用済みの燃料、照射完了したキャプセル等の運搬用水路となっている。なお、運搬には炉プール、カナル上部を移動出来るキャスク台車（2 t ジブクレーン付蓄電池駆動型式台車）を使用している。

原子炉建家は常時大気圧より 7 ~ 10 mmAq だけ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出た場合でも、原子炉建家外に直接放散することを防止している。このため、常時人が出入りする扉は気密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、建家として機械室を中心にポンプ室、排風機室、

二次冷却塔、タンクヤード等がある。

特定施設としては、純水製造設備、電源設備（ディーゼル発電機、M-G 設備、バッテリー設備を含む）、圧縮空気設備、給排気設備、ボイラー設備、二次冷却設備、UCL 設備、窒素供給設備、放射性廃液一時貯蔵設備（タンクヤード）等がある。

これらの設備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（交流電源、直流電源）、圧縮空気（一般用、弁用）、蒸気、二次冷却水（原子炉建家のみ）、窒素ガス等を安全かつ定常的に供給し、また、原子炉施設等（居室実験室関係は除く）からの放射性廃液を安全に一時貯蔵している。

なお、特定施設建家のうち、主要な建家である機械室は、鉄骨スレート造、地上1階で巾25 m、横70 mの大きさの長方形建家である。機械室には特定施設機器の運転、監視を行うための制御室、電気室、エンジン室、ボイラー室、純水製造室等がある。

### 1.3 原子炉本体

原子炉本体は原子炉圧力容器部、炉心部および炉プールから構成されている。

#### (1) 原子炉圧力容器部

原子炉圧力容器は全高9.5 m、胴部径約3 mのステンレス鋼（SUS 304 L）溶接構造で、上蓋、胴部、下蓋およびその他付属構造物からなり、全重量は約37トンである。原子炉圧力容器部は第1.9図および第1.10図に示すような構造であり、原子炉圧力容器の中には炉心部、整流板、照射設備の支持部等が納められている。原子炉圧力容器上部（上蓋を含めて）には、ループ、キャプセル、ラビット等のために多数のノズルが取付けられている。

炉心部は約 $15 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ の加圧純水で冷却される。冷却水は原子炉圧力容器中央部の1本の入口側配管から容器内に入り、炉心部で4領域に分かれて下向きに流れ冷却を行い下部プレナムを通り1本の出口側配管から流出する。炉心部の上下には厚い水層があり、各種放射線作業の放射線遮蔽の役目ももっている。

原子炉圧力容器の上蓋には、第1.11図に示すように、5個の小上蓋とキャプセル用ノズルが取付けられており、各種炉上作業はこれらの小上蓋から行っている。

原子炉圧力容器胴部中央部には、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付けられている。また、原子炉圧力容器胴部上部から、中性子検出器用の案内管が炉心部に向って取付けられている。

#### (2) 炉心部

炉心部は、燃料要素、制御要素、反射体要素、ループ周辺要素等の炉心要素、H型のベリリウム棒、アルミニウム棒、内部タンク等からなり、原子炉圧力容器に納められている。炉心部の状況を第1.12図および第1.13図に示す。

炉心部は、直径1,560 mm、実効高さ750 mmの円筒形状で、その外壁はアルミニウム棒で囲まれている。内側はH型をしたベリリウムの仕切棒で4領域に区切られ、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。

炉心部には、77.2 mm角を単位とする合計204の格子位置があり、第1.14図から第1.20図に

示すような各種の炉心要素が充填されている。ベリリウム棒、反射体要素等に垂直にあけられた穴は、キャプセルなどのホルダーとなり、それぞれ所定の寸法のものがある。反射体要素にはベリリウム反射体要素とアルミニウム反射体要素の2種類があり、キャプセル等が装荷されない場合は同材質のプラグが挿入されるほか、反射体要素は照射条件等に応じて装荷位置を交換できる構造となっている。ループ、水カラビット、縦駆動照射設備、BOCA 照射設備は、第 1.21 図に示すようにそれぞれ専用の格子位置をもっている。また、ガンマ線束の低い領域を作るために、ベリリウム棒の一部に沿ってジルカロイ-2 のガンマ線遮蔽板がおかれている。

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に、制御棒駆動機構は下方挿入方式で、原子炉圧力容器の下蓋を貫通している。

燃料要素、キャプセル等の配置例を第 1.22 図に示す。

燃料要素は、ウラン-アルミニウム合金をアルミニウムで被覆した板状燃料 ( $^{235}\text{U}$  の濃縮度は約 93%) で冷却水流路は外側のチャンネル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きわめて良いことと、燃料板の厚さが、1.27 mm と非常に薄いこと、燃料板表面を約 10 m/s の高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、きわめて安定化したものである。

炉心部は燃料要素の局部沸騰を避けるため、約  $15 \text{ kg/cm}^2\text{G}$  に加圧されている。このときの飽和温度は約  $200^\circ\text{C}$  である。なお、燃料要素表面での局部最高温度は約  $150^\circ\text{C}$  である。

炉心内の平均熱中性子束は約  $3 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  で、出力密度は炉心平均で約  $500 \text{ kW/l}$  である。

### (3) 炉プール

炉プール (直径 6 m, 深さ 11.8 m) は、第 1.7 図に示すようにゲートを介してカナル #1 につながっており、その中に原子炉圧力容器が据付けられている。

炉プールの水位は、原子炉運転時にはほぼ地平面と同じ高さであり、このとき、原子炉圧力容器上蓋までの深さは約 4 m である。各種炉上作業時には、原子炉圧力容器上蓋付近まで水位を下げる。

なお、炉プール、カナル等に貯えられている大量の水は、原子炉一次冷却水喪失に対する極めて確実なバックアップとなる。

## 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、SFC プール循環系統、UCL 冷却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 1.23 図および第 1.24 図に示すような主循環系および精製系から構成されている。

主循環系は炉心内で発生した熱 (50 MW) を安全に除去し、これを熱交換器を介して二次冷却系統に伝えるものである。

炉心からの一次冷却水 (約  $6,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ) は、原子炉圧力容器下部から直径 900 mm の配管を通

って地下3階主循環系機器室に入り主循環ポンプ、熱交換器、直径900mmの配管を経て原子炉圧力容器中央部に戻る。

1次冷却水には純水を使用しており、水質は炉心構成物、燃料要素被覆材の腐食や1次冷却水に含まれる不純物による誘導放射能をできるだけ低くおさえるため、pH 5.5～7.0、比抵抗 $5 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上に維持している。

主循環系には主循環ポンプ4台（うち1台は予備機）、緊急ポンプ2台（うち1台は予備機）、熱交換器3基、圧力サージタンク1基等が設置されている。

主循環ポンプは商用電源、緊急ポンプはディーゼル電源（ディーゼル発電機は原子炉運転中常時運転される）によって運転される。

商用電源停電のさいは、原子炉は自動的に緊急停止され、炉心内で発生する崩壊熱は緊急ポンプによって除熱され、安全性が確保される。

主循環系の圧力変動を吸収するため、窒素ガスを用いた圧力サージタンク方式を採用している。

精製系は、一次冷却系内腐食生成物の除去と一次冷却水の汚染を低減するよう水質を調節し、さらに一次冷却水中に含まれる溶存ガス、分解ガスを脱気タンクを用いて除去を行うものである。

炉心からの一次冷却水は、一部精製系に取出し（約 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ ）、精製後、充填ポンプによって一次冷却系に戻される。

精製系には、脱気タンク1基、移送ポンプ2台（うち1台は予備機）、イオン交換塔2系列（うち1系列は予備系列で、各系列はカチオン塔、アニオン塔から構成されている）、フィルター4基（入口用、出口用各2基）、充填ポンプ2台（うち1台は予備機）等が設置されている。

主循環系統の加圧は充填ポンプによって行い、原子炉入口圧力が所定の圧力に到達後、主循環ポンプ、緊急ポンプが運転される。また、主循環系統の圧力コントロールは精製系統の脱気タンクへ取出す一次冷却水の流量を調節することによって自動制御される。

なお、緊急ポンプは常圧でも運転することができる。

## (2) 二次冷却系統

二次冷却系統は、第1.23図および第1.24図に示すように炉心で発生した熱を主熱交換器を介して一次冷却系統から受け、この熱を冷却塔で除去するものである。

二次冷却水（約 $3,900 \text{ m}^3/\text{h}$ ）は、主熱交換器胴側を上向流で出たのち、直径750mmの配管を通って冷却塔上部から落下し、空気と向流接触して熱を大気中に放散する。冷却された二次冷却水は冷却塔下部のポンド、ポンプ室建屋地下ポンド、循環ポンプ、直径750mmの配管を経て主熱交換器に戻る。

二次冷却水には、ろ過水を使用しており、水質は二次冷却系統内の腐食を抑制し、藻等の発生を防止するために防食剤および塩素ガスを添加し管理している。

循環系には循環ポンプ4台（うち1台は予備機）、補助ポンプ2台（うち1台は予備機）、冷却塔ファン4台（うち1台は予備機）、ポンド等が設置されている。補助ポンプは、商用電源停電時における原子炉崩壊熱除去を目的としている。

循環ポンプ、冷却塔ファン3台は商用電源、補助ポンプ、冷却塔ファン1台はディーゼル電源によって運転される。

なお、冷却塔における二次冷却水の空気側への移行分を補償するため、プール・カナル循環系

の熱交換器二次側を通過したろ過水を二次冷却系統に補給する。

### (3) プール・カナル循環系統

プール・カナル循環系統は第 1.24 図に示すように、炉プールおよびカナル（#1, #2）内で発生する熱を除去し、併せて炉プールおよびカナル（#1, #2）内の水質を、系内の腐食生成物の除去と水の汚染を低減するように保ち、さらに炉プールおよびカナル（#1, #2）の水位調節を行うためのものである。

炉プールおよびカナルの水中には、照射済燃料要素、キャプセル等が一時貯蔵される。

炉プールおよびカナル（#1, #2）からの冷却水（約 240 m<sup>3</sup>/h で、そのうち炉プールからは約 160 m<sup>3</sup>/h、カナル #1 からは約 20 m<sup>3</sup>/h、カナル #2 からは約 60 m<sup>3</sup>/h）は地下 1 階プール・カナル循環系統機器室に入り循環ポンプ、熱交換器を経て炉プールおよびカナル（#1, #2）に戻る。

炉プールおよびカナルには純水を使用しており、水質は一次冷却水と同じに維持している。

循環系には循環ポンプ 3 台（うち 1 台は予備機）、熱交換器 3 基、イオン交換塔 1 基等が設置されている。熱交換器の二次側冷却水は、ろ過水を使用し、戻り水は二次冷却系統のポンプ室建家地下ポンドに補給される。また、イオン交換塔には混床塔を使用し、冷却水は一部イオン交換塔に取出し（約 22 m<sup>3</sup>/h）、精製後、炉プールおよびカナルに戻る。

循環ポンプは商用電源によって運転される。

### (4) SFC プール循環系統

SFC プール循環系統は、SFC プール（Spent Fuel Cutting Pool の略で、使用済燃料要素の冷却、再処理輸送に先立ち燃料要素把手部、アダプター部の切断、輸送容器への装荷などを行う）およびカナル #3 内の水質を系内物質の腐食と水の汚染を低減するように保ち、さらに SFC プールおよびカナル #3 の水位調節を行うためのものである。

SFC プールおよびカナル #3 からの冷却水（約 22 m<sup>3</sup>/h）は、ホットラボ建家地下 1 階排風機室に入り循環ポンプ、イオン交換塔を経て SFC プールおよびカナル #3 に戻る。

SFC プールおよびカナル #3 には純水を使用しており、水質は一次冷却水と同じに維持している。

循環系には循環ポンプ 2 台（うち 1 台は予備機）、イオン交換塔 1 基（混床塔）などが設置されている。

循環ポンプは商用電源によって運転される。

### (5) UCL 系統

UCL（Utility Cooling Line の略である）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 系統は、冷却水に一定の水頭を与えるために UCL ポンド（冷水側）から揚水ポンプによって一旦高架水槽（高さ約 30 m）に汲上げたのち、その水頭によって送水（約 860 m<sup>3</sup>/h）を行っている。UCL ポンド（温水側）に戻った冷却水は仕切りを設けて冷水側と区別し、UCL ポンド（冷水側）が 32°C を越える場合は循環ポンプにより冷却塔に送り、UCL ポンド（冷水側）に入る。

UCL 冷却水には、ろ過水を使用しており、水質管理は二次冷却水と同程度に行っている。

UCL 系統には揚水ポンプ 3 台、循環ポンプ 3 台、冷却塔ファン 1 台、UCL ポンド等が設置されている。

揚水ポンプ 2 台、循環ポンプ 1 台は商用電源、揚水ポンプ 1 台、循環ポンプ 1 台、冷却塔ファン 1 台はディーゼル電源によって運転される。

## 1.5 計測制御系

計測制御設備は核計装、プロセス計装、安全保護回路、制御装置から構成されている。

### (1) 核計装

中性子計装は、安全保護回路と組合せて原子炉制御室の計測制御盤および操作卓に設置されている。

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り、系統の概要を第 1.25 図に示す。

中性子計装は、起動系、対数出力系、線型出力系からなり、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。対数出力系および線型出力系では、3 チャンネルの出力は相互比較され、チャンネル間の出力偏差を監視するとともに、その平均値を指示記録する。また自動制御は線型出力系 3 チャンネルの平均値による信号で行う。安全動作を行うための信号は“2 out of 3”方式を採用し、中性子レベルが異常に変化した場合、または、計測系の機器に異常を生じた場合には、信号を発し、安全保護回路に伝えられる。

中性子計装の検出器は、起動系には核分裂計数管 (FC) を、対数出力系および線型出力系にはガンマ線補償型電離箱 (CIC) を使用している。これらの検出器は原子炉压力容器胴部上部から案内管を通して炉心部近くに挿入されている。

核分裂計数管は所定の原子炉出力に達すると計測の役目が終了するため、検出器の保護と寿命を考慮して、原子炉制御室から遠隔操作によって上部へ引抜くことができる。

自動制御には、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り、追値制御は原子炉出力を 500 kW から 50 MW までの範囲のデマンド (出力設定値) に追従するものである。

中性子計装以外に<sup>16</sup>N 検出系、計数器、スクラム特性試験器等がある。<sup>16</sup>N 検出系は一次冷却水中の<sup>16</sup>O の (n, p) 反応によって生成される<sup>16</sup>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時間の測定および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、冷却系各系統を原子炉プラント全体の立場から安全にして総合的かつ合理的な運転管理を行うためのものである。

プロセス計装のうち、原子炉の運転に直接かかわるものは原子炉制御室のプロセス計装制御盤および操作卓に設置されている。



プロセス計装は、冷却系各系統によって異なるが基本的には各系統の圧力、差圧、流量、液面、温度、温度差、pH、電導度等の計測を行うものである。

原子炉の運転に直接かかわる一次冷却系統のプロセス計装は、第 1.25 図に示すとおりである。安全動作を行うための信号は“1 out of 1”方式を採用し、一次冷却系統内の圧力等が異常に変化した場合、または、計測系の機器に異常を生じた場合には、信号を発生し安全保護回路に伝えられる。

冷却系統の機器のうち、一次冷却系統、二次冷却系統の操作は、保守、点検の便を考慮し、機器が現場でも操作できるように現場操作盤が設置されているが、定常運転時は原子炉制御室（または機械制御室）から操作できるように現場・制御室切換開閉器を制御室側に切換えられる。

二次冷却系統および UCL 系統の制御盤は、機械制御室に設置されているが、原子炉運転上特に重要な計装項目については、原子炉制御室でもその指示値を確認できるようになっている。

### (3) 安全保護回路

安全保護回路には第 1.26 図に示すようなアラーム、制御棒引抜停止、セットバック、制御棒挿入およびスクラムがあり、それぞれ原子炉の異常の程度に応じて作動する。その他にインターロック回路があり、原子炉の起動および運転の安全性を確保している。

アラームは原子炉の運転員に注意を与え、運転員は必要によって適切な対策を講ずるものである。アラーム信号は、核計装・制御設備、プロセス計装設備、排水系貯槽、照射設備等から発信される。

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、引抜動作中の制御棒の引抜きを一時停止するものである。制御棒引抜停止信号は核計装から発信される。

セットバックは、原子炉が自動制御運転中において、原子炉出力を 30 秒の原子炉ペリオドで自動的に低下させ、信号が解除されるまで続くものである。セットバック信号は核計装・制御設備、プロセス計装設備、照射設備から発信される。

なお、信号が解除されない時は、原子炉出力は自動制御範囲である定格出力の 1% (500 kW) まで低下し、その状態で運転が継続される。

制御棒挿入は、原子炉が自動制御中において、全制御棒が一定の順序 (SH-2, SH-1, SH-3, SR-1, SR-2) に従って一本ずつ挿入され、信号が解除されるまで続くものである。制御棒挿入信号は核計装・制御設備、プロセス計装設備から発信される。

スクラムは原子炉運転中において、全制御棒が落下により挿入され原子炉を停止させるものである。スクラム信号は核計装・制御設備、プロセス計装設備、照射設備、ラン・セーフ・スイッチ等から発信される。

なお、スクラムにはファーストスクラムとスロースクラムの 2 種類があり、ファーストスクラムは主として核的異常の場合に、スロースクラムは核的以外の異常の場合に使用している。

インターロック回路には、起動インターロック、制御棒操作に関するインターロックがあり、あらかじめ定められた条件を満足していないと制御棒操作ができないようになっている。

### (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を備えている。5本の制御棒は3本の粗調整棒と2本の安全棒からなる。安全棒はストロークの上方の1部(600 mm ± 50 mm)を微調整棒と



## 1.6 給排気系

給排気系は、原子炉建家内の気圧を常時大気圧より 7～10 mmAq だけ低く自動的に減圧維持し、非常時には原子炉建家の排気量を約 100 m<sup>3</sup>/h に落せるようになっている。

給排気系統の操作設備は、機械制御室の制御盤および操作卓に設置されている。

原子炉建家の容量は、約 40,000 m<sup>3</sup> で、換気率は 1 時間当たり 2～3 回である。

給排気系統は、第 1.23 図および第 1.29 図に示すような給気第 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 系統および排気第 1—2 系統（非常用排気系統）から構成されている。

給気第 1 系統は、炉室、原子炉制御室、カナル室、制御棒駆動装置室、炉下室等に、給気第 2 系統は、一次冷却系統機器室、排水ポンプ室等に接続され、給気している。

排気第 1 系統は、炉室、原子炉制御室、カナル室、一次冷却系統機器室、排水ポンプ室等に、排気第 2 系統は、ループキュービクル、一次冷却系統オフガス並びにグローブボックス等の特殊排気に、排気第 3 系統は、炉下室、制御棒駆動装置室に、排気第 1—2 系統は、排気第 1 系統および排気第 2 系統に弁を介して接続され、それぞれの施設内を排気している。排気系統は、総排気量を 1,600 m<sup>3</sup>/min ± 10% の範囲で運転されている。

原子炉建家内を通過した空気は、排気ダクトラインを通過して排風機室のフィルタバンクに導かれ、フィルタによって浄化したのち、排風機によって高さ 80 m 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、基本的にはプレフィルタ、アブソリュートフィルタ、チャコールフィルタ等から構成されている。

なお、排気第 1—2 系統の排風機はディーゼル電源によって運転される。

## 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、照射施設等に供給するものである。

純水製造設備は、機械室純水製造室に設置されており、操作は同室の制御盤で行っている。機械制御室では、製造後貯留されている一般純水と脱気純水の電導度および液面を監視している。

純水製造能力は最大 25 m<sup>3</sup>/h で、水質は pH 6～7、比抵抗 10<sup>6</sup> Ω・cm 以上である。

純水製造設備はイオン交換塔 2 系列（うち 1 系列は予備系列で、各系統にはカチオン塔、アニオン塔、混床塔がある）、送水ポンプ、貯留タンク、脱気装置、樹脂活性製造装置等から構成されている。

純水製造は、浄水場から受け入れた浄水をカチオン塔、アニオン塔を通過させ pH 6～7、比抵抗 10<sup>5</sup> Ω・cm 程度としたのち、さらに混床塔を通過させ比抵抗を 10<sup>6</sup> Ω・cm 以上に高める方法で行っている。純水製造設備で製造した純水は、一般純水として供給される。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。

一般純水および脱気純水は、それぞれ 25 m<sup>3</sup> および 10 m<sup>3</sup> の容量の貯留タンクに貯留される。

貯留タンクからは送水ポンプによって原子炉施設、照射施設等に送水され、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、脱気純水は制御棒フラッシングライン、照射施設等で使用されている。

## 1.8 電源系

電源系は、構内発電所から受電した商用電源およびディーゼル発電機から受電したディーゼル電源を使用目的に応じた電圧に変換したのち、原子炉施設、照射施設等に供給するものである。

電源系の設備は、機械室内の電気室、ディーゼル発電機室等に設置されており、操作に必要な制御盤は電気室および機械制御室に設置されている。

電源系は、第 1.30 図に示すように商用系統 (C 系統)、ディーゼル系統 (D 系統)、定電圧系統に大別される。

ディーゼル系統は、1,600 P.S のディーゼルエンジンと三相 6 kV, 1,250 kVA の発電機を組合せたものが 2 系統 (うち 1 系統は予備) あり、ディーゼル発電機は、原子炉運転中は常時運転される。

原子炉運転に必要な重要機器は、商用系統が停電した際、原子炉停止後の崩壊熱等が安全に除去できるようにディーゼル系統に接続されている。

定電圧系統には電動機と発電機とを組合せた M-G 系統とバッテリー系統がある。M-G 系統には出力電源三相 100 V  $\pm$  1 %, 50 Hz  $\pm$  1 %, 60 kVA と三相 40 V  $\pm$  3 %, 10 Hz, 5 kVA の 2 系統がある。

## 1.9 排水系

排水系は原子炉建家、その他管理区域で発生した放射性廃液を一時貯留し、放射性廃棄物処理場に輸送するためのものである。

JMTR から放射性廃棄物処理場までの輸送は、配管輸送とロータリー車輸送とに分けられる。

原子炉建家内で発生した放射性廃液は、第 1.31 図に示すように原子炉建家地下 4 階の排水貯槽を経由して特定施設にあるタンクヤードの廃液タンクに送水される。

原子炉建家地下 4 階には、第 1 排水貯槽 (約 180 m<sup>3</sup>) 1 基、第 2 排水貯槽 (約 20 m<sup>3</sup>) 2 基および第 4 排水貯槽 (約 20 m<sup>3</sup>) 1 基が設置されている。第 1 排水貯槽はステンレス鋼、第 2 排水貯槽および第 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 排水貯槽は照射施設からの排水、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、一般水等を貯留している。第 3 排水貯槽 (約 220 m<sup>3</sup>) は特定施設に設置されており、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した使用済のイオン交換樹脂を貯蔵するもので、イオン交換塔から配管で輸送される。

なお、第 1 排水貯槽は炉プールに大量に純水を補給する必要がある場合は、純水の一時貯留槽としても使用される。

タンクヤードには、No.1, 2 廃液タンク (約 40 m<sup>3</sup>) 2 基, No.3 廃液タンク (約 25 m<sup>3</sup>) 1 基, No.4, 5 廃液タンク (約 10 m<sup>3</sup>) 2 基, No.6, 7 廃液タンク (約 5 m<sup>3</sup>) 2 基が設置されている。No.1 ~ No.5 廃液タンクは炭素鋼にゴム材でライニングされたものであり, No.6, 7 廃液タンクはステンレス鋼製である。

## 1.10 JMTR の運転

JMTR の運転方式と運転管理は次のとおりである。

### (1) JMTR の運転方式

JMTR の標準運転パターンは、第 1.32 図に示すように、現在 50 MW で前半サイクル約 12 日および後半サイクル約 12 日を 1 サイクルとして、その間に 2 日間の燃料交換のための中間炉停止期間を設けている。1 サイクルの標準積算出力は 1,080 MWd である。

JMTR は、原子炉起動から 50 MW 到達まで、原則として第 1.32 図に示すように、20 kW, 500 kW, 10 MW, 15 MW, 30 MW, 40 MW, 45 MW のステップによって、原子炉施設、照射施設等の安全を確認しながら出力上昇を行っているので、約 12 ~ 20 時間を要している。

45 MW 到達時点で SH-1 および SH-3 が 700 mm 以下の場合、中性子束分布の歪によって燃料要素に著しい局部過熱の発生が予想されるので、SH-1 および SH-3 が 700 mm を超えるまでは 45 MW の運転が行われる。なお、SH-1 および SH-3 が 45 MW 到達時点で 700 mm 以上になっている時は、特別な理由がない限り 45 MW 保持運転を省略する。

原子炉出力 10 MW 以上の各ステップにおいては、原子炉の出力が安定したのち、照射試料の安全性の確認、データ採取、一次冷却水の放射能濃度の測定 (測定は 10 MW, 30 MW, 40 MW 到達後に行っている。なお、50 MW では 1 日 1 回行っている。) 等のため、約 1 ~ 3 時間程度原子炉出力が保持される。また、OGL-1 照射設備の急激な熱変化を避けるため、30 MW 以上の原子炉出力においては 0.5 MW/min の割合で出力上昇を行っている。

なお、原子炉が予定外停止したのちの再起動は、キセノンの消滅を確認しながら、15 MW, 30 MW, 40 MW のステップで出力上昇を行い、その際は原子炉起動から 50 MW 到達までは約 6 ~ 8 時間を要している。

原子炉停止の際は第 1.33 図に示すように過剰反応度から各出力レベルの保持時間を決めて、原子炉の出力低下を行い、50 MW から原子炉停止までは約 20 分 ~ 1 時間を要している。

JMTR の運転は、現在のところ、1 年間に約 5 サイクルを予定している。JMTR は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、毎年、原則として夏期の 7 ~ 9 月は、原子炉の運転を長期に停止する。

JMTR の運転で特記しなければならない事項は、キセノンやサマリウムによる過剰反応度への影響である。熱中性子束のきわめて高い JMTR では、キセノンの蓄積量が多い。

キセノン (Xe) 蓄積による反応度変化および再起動に要する時間を第 1.34 図に示す。

この物質は、定常運転時には、核分裂生成物の崩壊による生成と中性子捕獲による消滅が均衡している。しかし原子炉の運転停止直後には、消滅の項がなくなって燃料内にこれらの物質が蓄積され、原子炉にきわめて大きな負の反応度効果をおよぼす。このため、原子炉の過剰反応度が

不足して、原子炉の起動に支障をきたすことになる。この現象は、原子炉が予定外停止を行ったのちの再起動時に極めて深刻な問題をなげかける。予定外停止後即座に再起動しない限り、約30～50時間放置してこれらの物質が崩壊して消滅するのを待たねば、原子炉を再起動することはできない。

## (2) 計算機を利用した運転管理

JMTR では、建設当初から原子炉施設の運転記録を行うためにデータ・ロギングを主目的として小型計算機システムを使用してきた。

ここ数年来、原子炉施設の運転、監視、管理における計算機システムの有効性が認識されており、JMTR においても従前の利用形態であるデータ・ロギングから一歩進めて、原子炉施設の運転、監視、管理に有効に利用できるよう昭和57年度に計算機システムを更新した。

新しい計算機システムの設計に当たっては、マン・マシン・インターフェイスとしての機能、アプリケーション・プログラムの効率的な開発、使い易さ等に特に配慮するとともに、計算機システムの効率と信頼性を向上させるため、データ収集部と処理部を分離した分散処理構成とした。

新しい計算機システムは第1.35図に示すような構成となっている。

新しい計算機システムについては、現在、運転担当部門でアプリケーション・プログラムを開発整備中である。

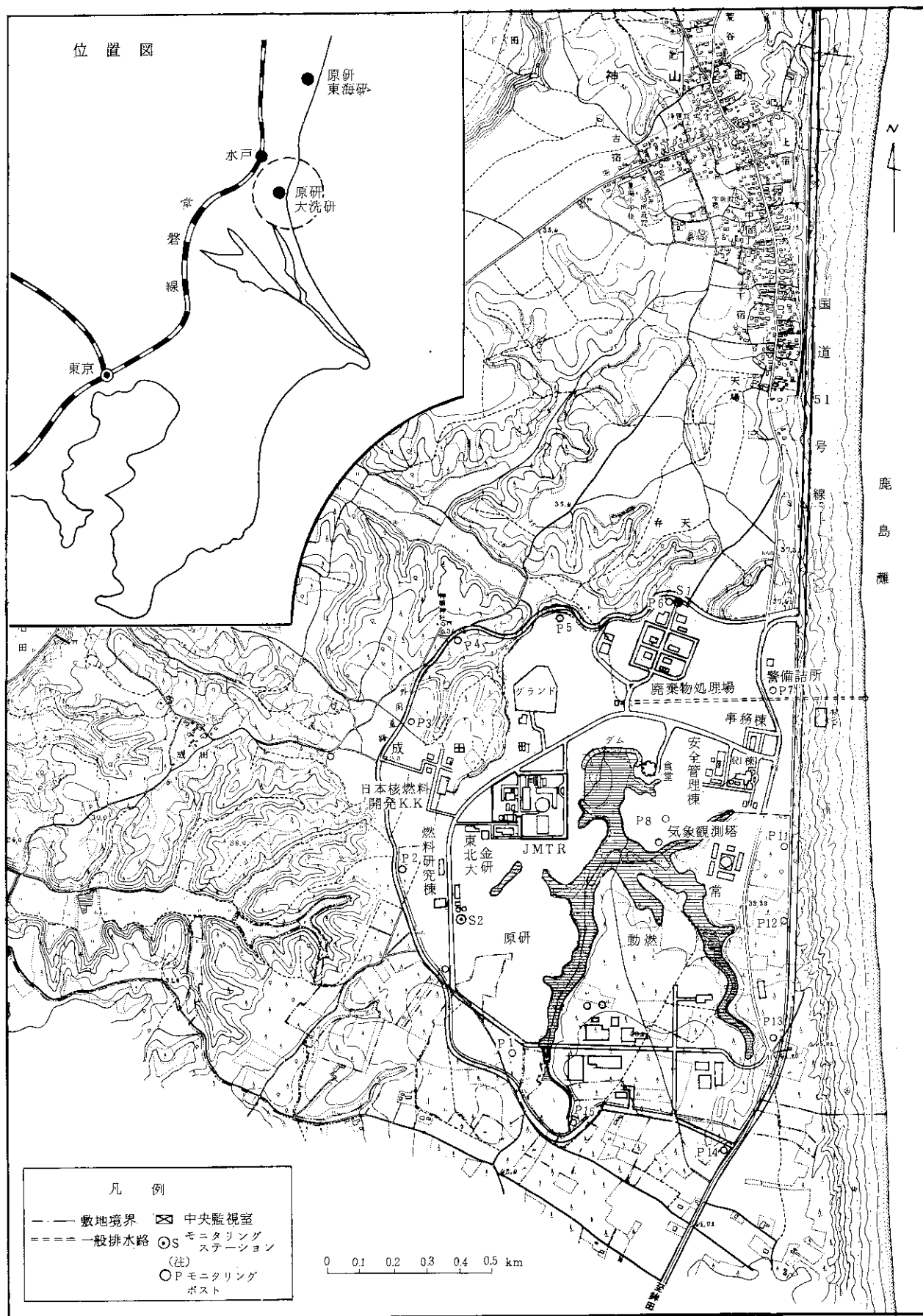
今後は、次に示すような項目について管理を行う。

運転監視機能として

- ① 原子炉施設に異常を生じた場合、運転員が必要とする情報を収集し、図形化等により整理して表示する。
- ② ソフトウェアによって計器の冗長化をはかる。
- ③ カラー・グラフィック・ディスプレイにリアル・タイム・トレンドグラフを出力し、原子炉施設の運転時における過渡状態を容易に把握する。
- ④ 原子炉施設の運転時における故障の原因を究明するための高速データ収集（50 kHz まで可能）と保存、保存されたデータの表示等を行う。
- ⑤ 運転マニュアル、異常時措置マニュアル等を原子炉施設の状態に即して表示する。

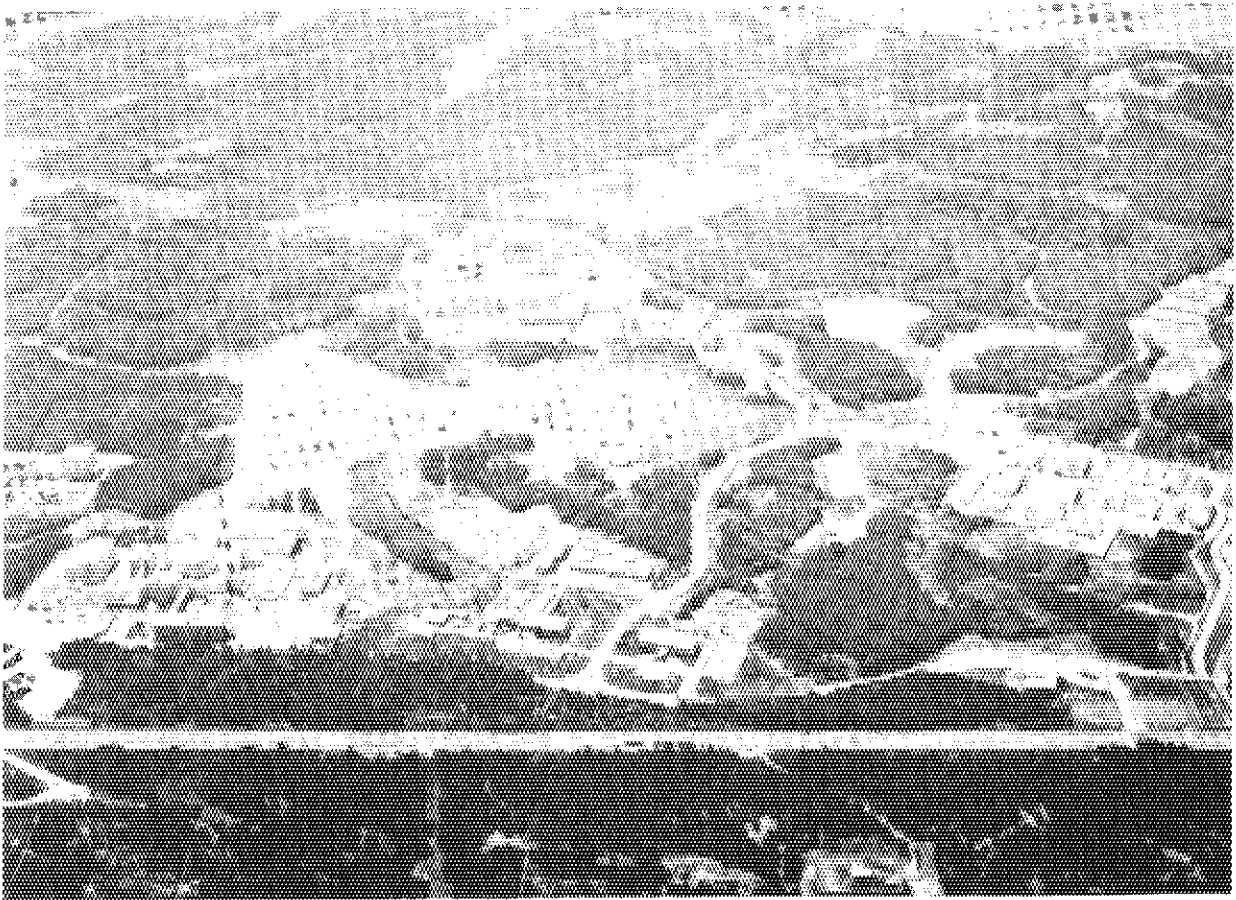
また、運転監視機能以外での利用として

- ① 原子炉施設特性試験データの収集、処理を行う。
- ② 原子炉用燃料、炉心構造物等の管理を行う。
- ③ 運転実績等の各種報告書に必要な図表等の作成を行う。

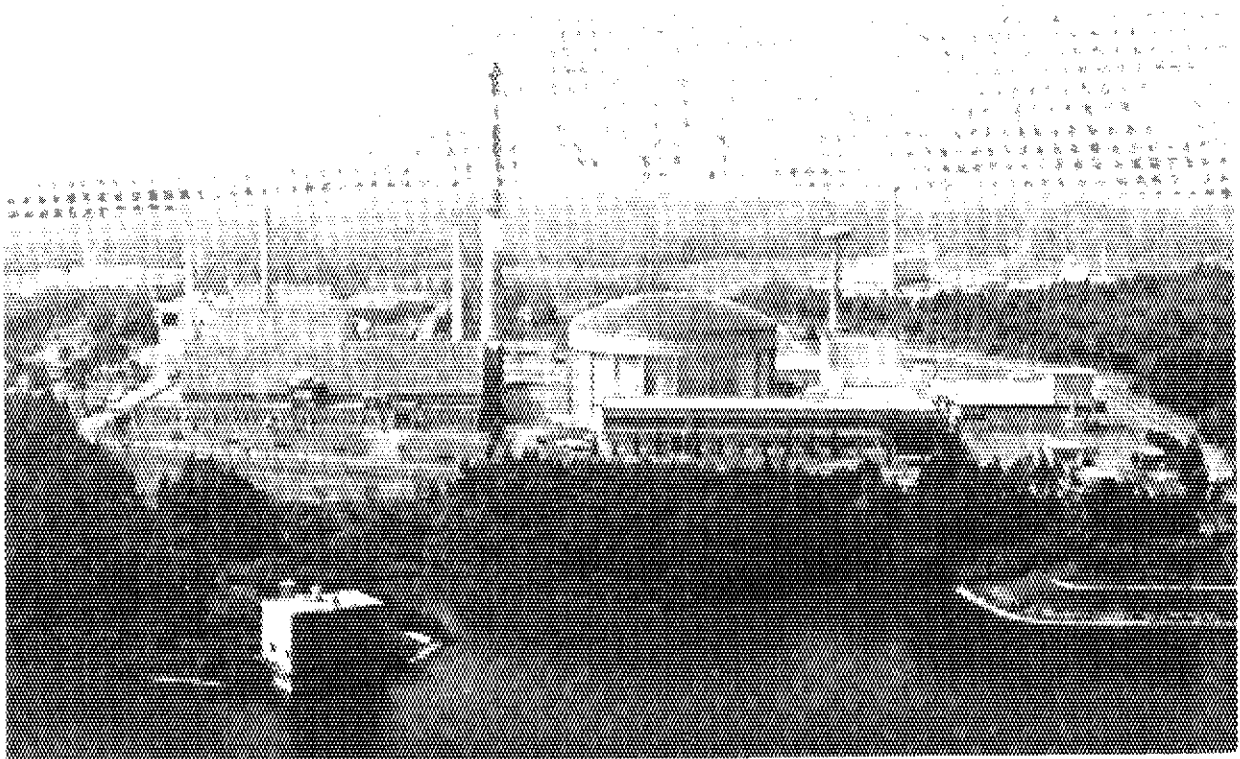


(注) モニタリングポストは更新中で、昭和58年4月まではJMTR照射ハンドブック  
 (1980年9月)記載のモニタリングポスト位置で観測される。

第 1.1 図 日本原子力研究所大洗研究所近郊図

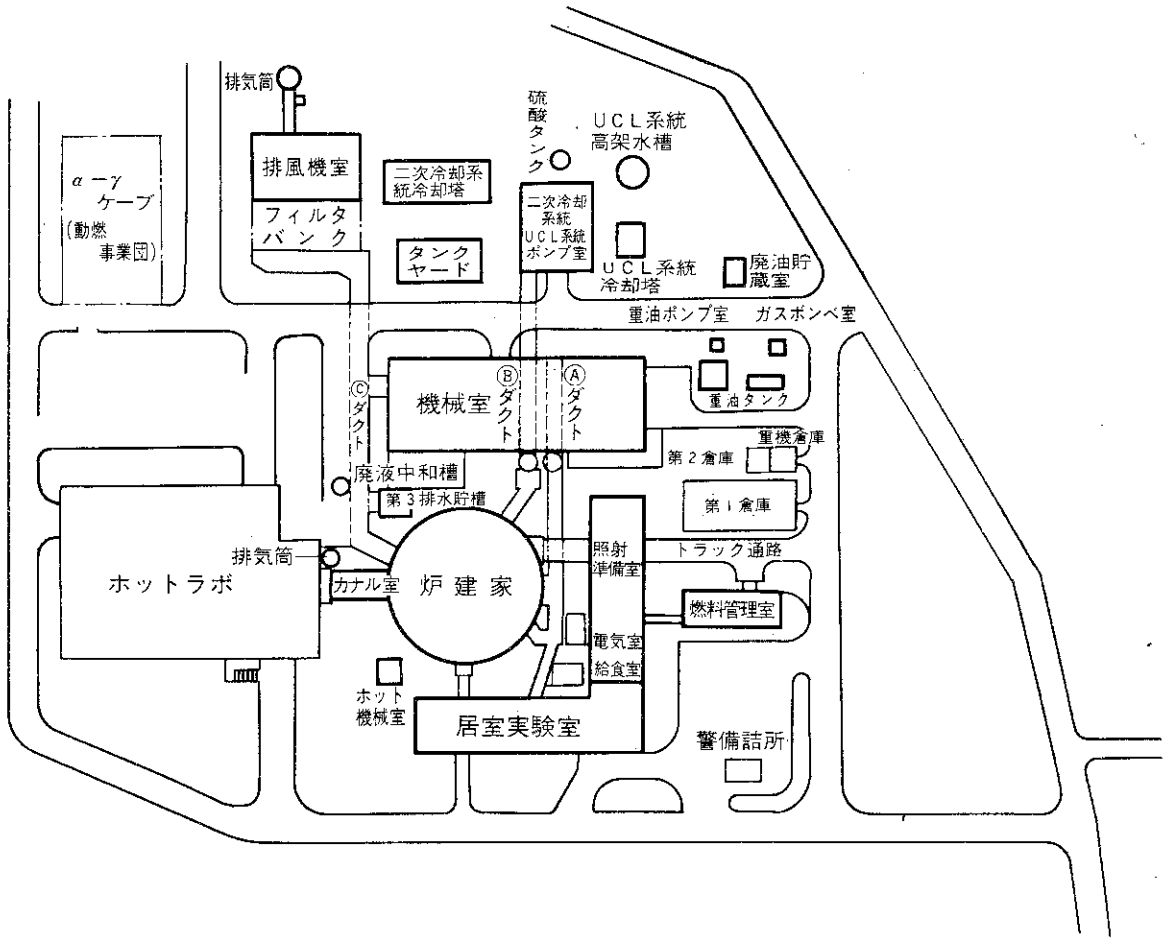


第 1.2 図 大洗研究所全景

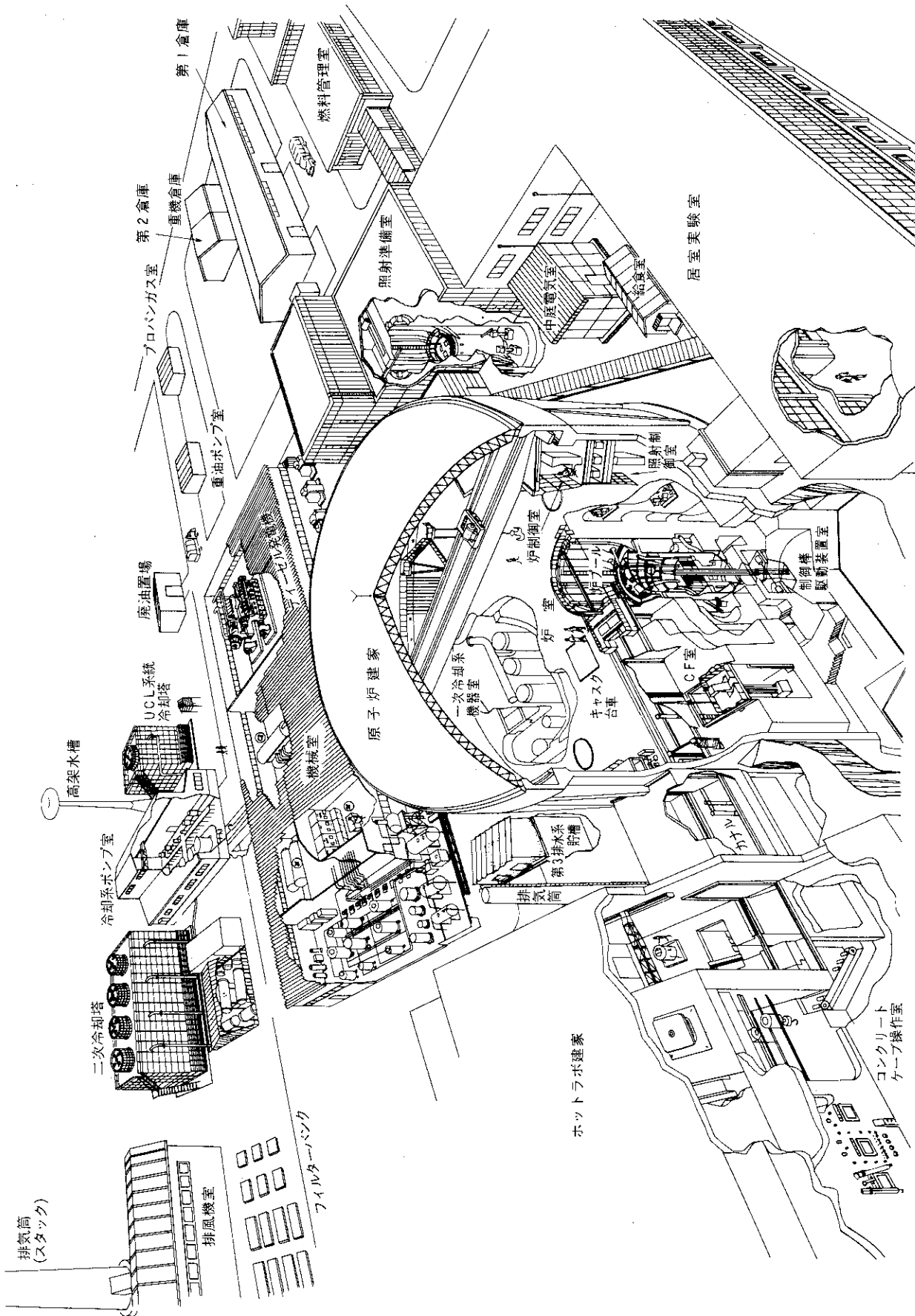


第 1.3 図 JMTR 全景



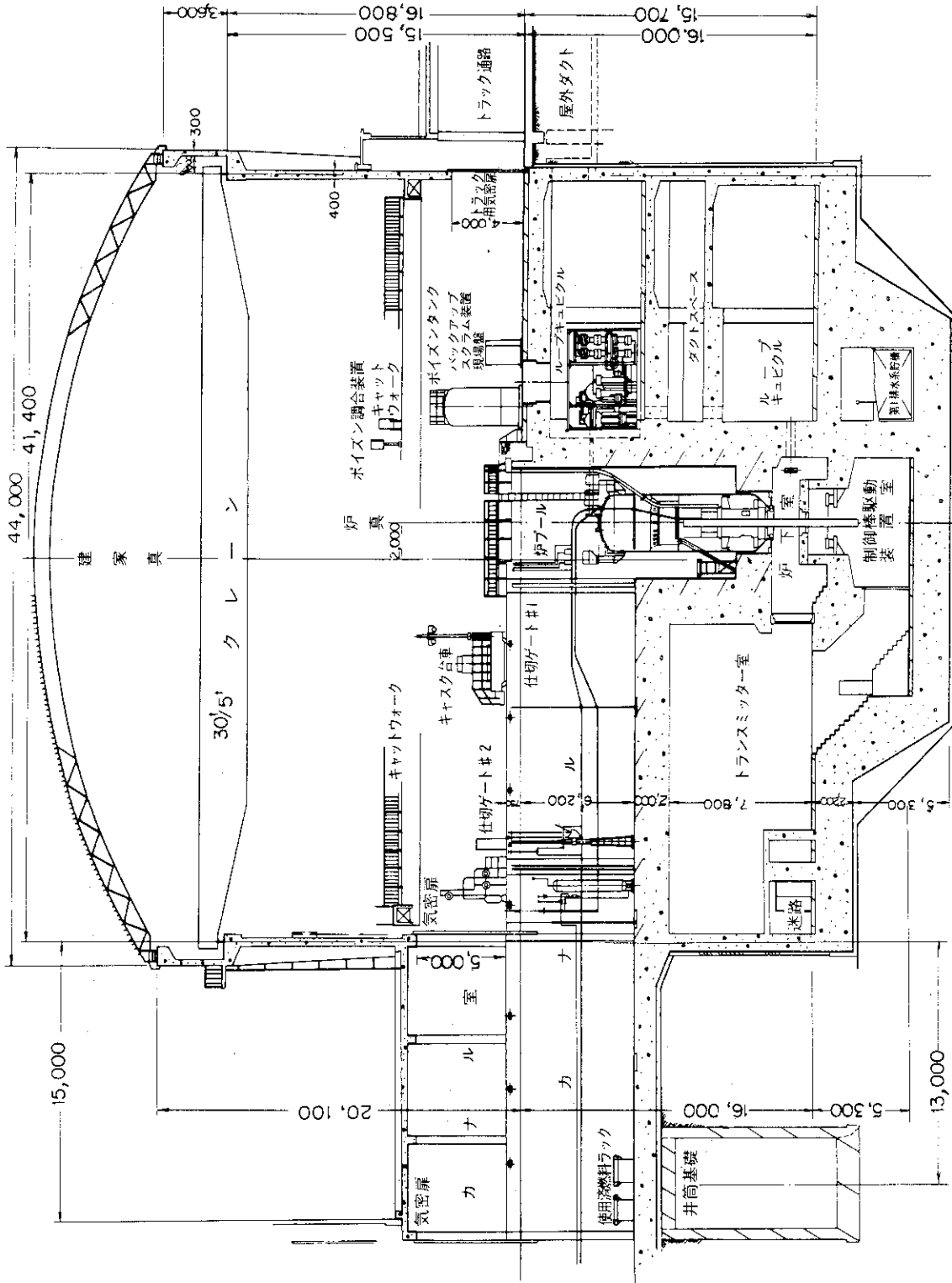


第 1.4 図 JMTR 配置図



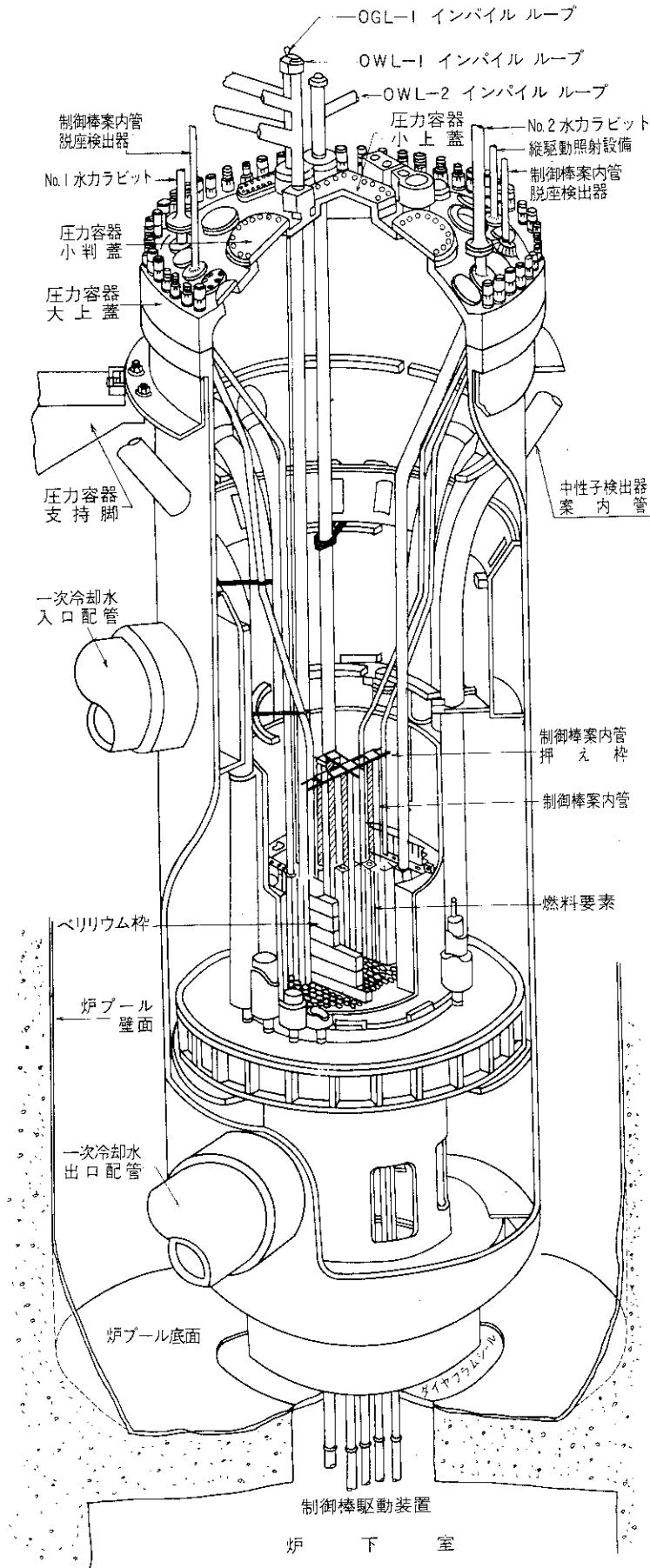
第 1.5 図 JMTR 俯瞰図



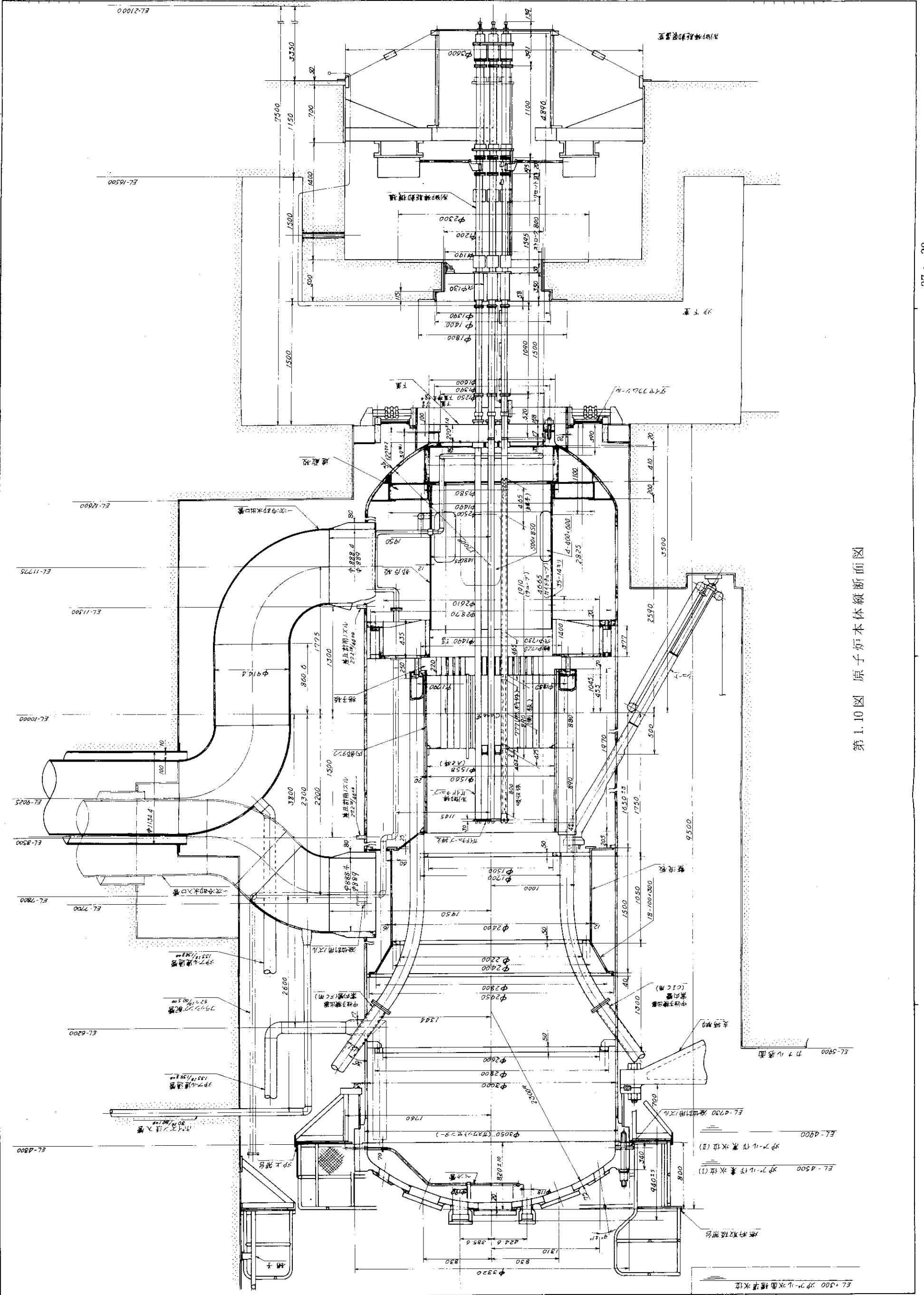


第 1.7 図 炉室縦断面図 (N-S)

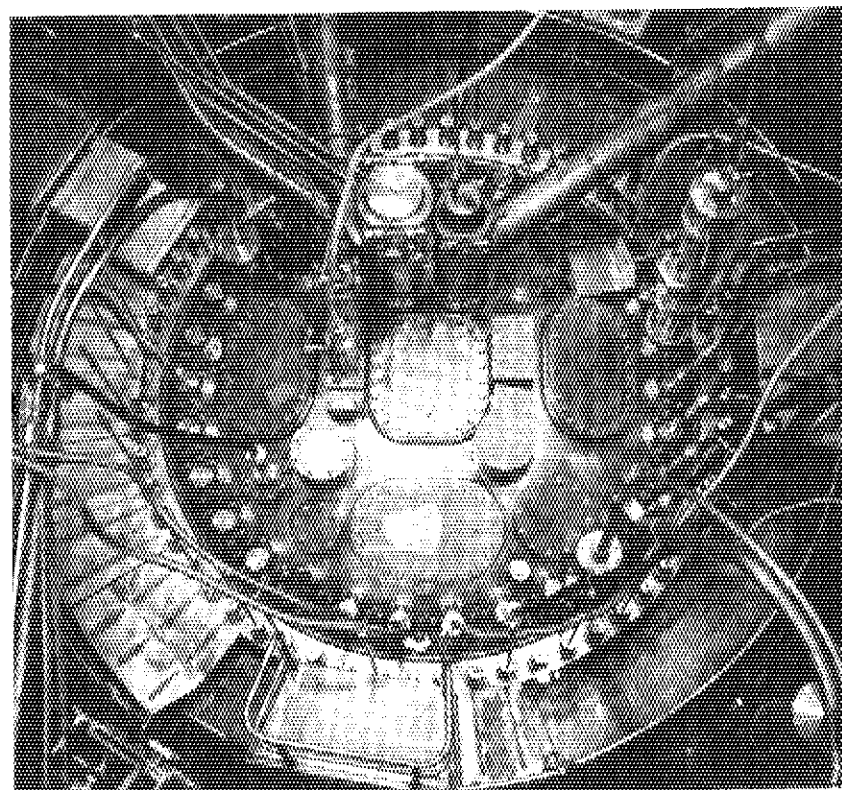
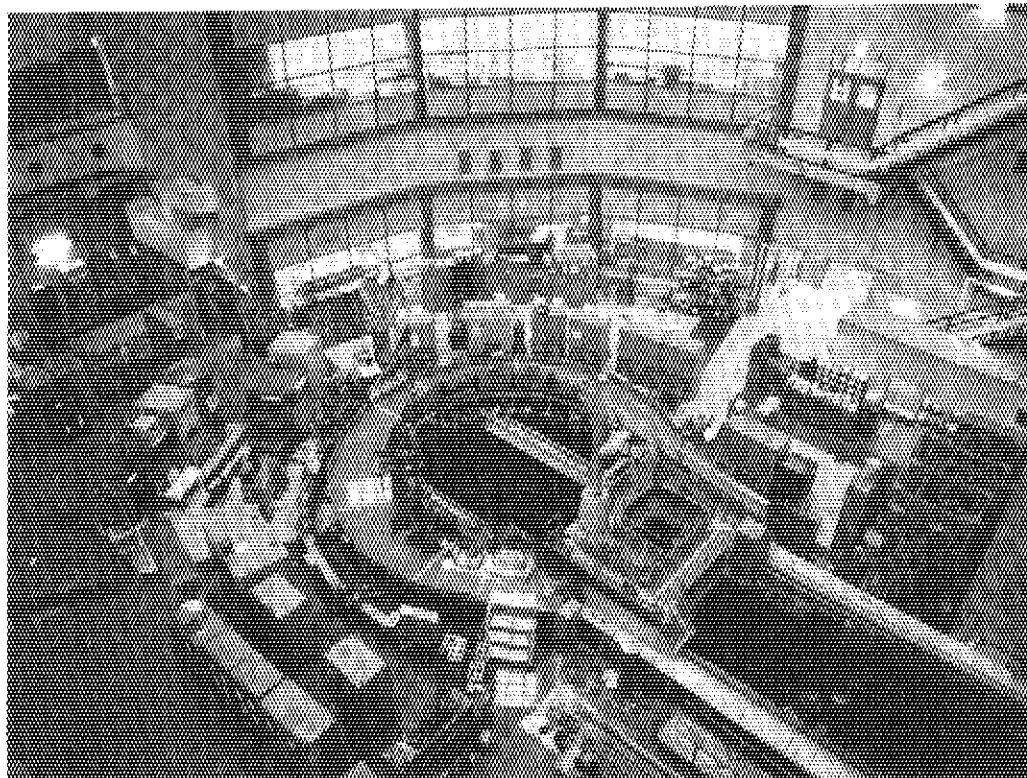




第 1.9 図 JMTR 炉心部俯瞰図

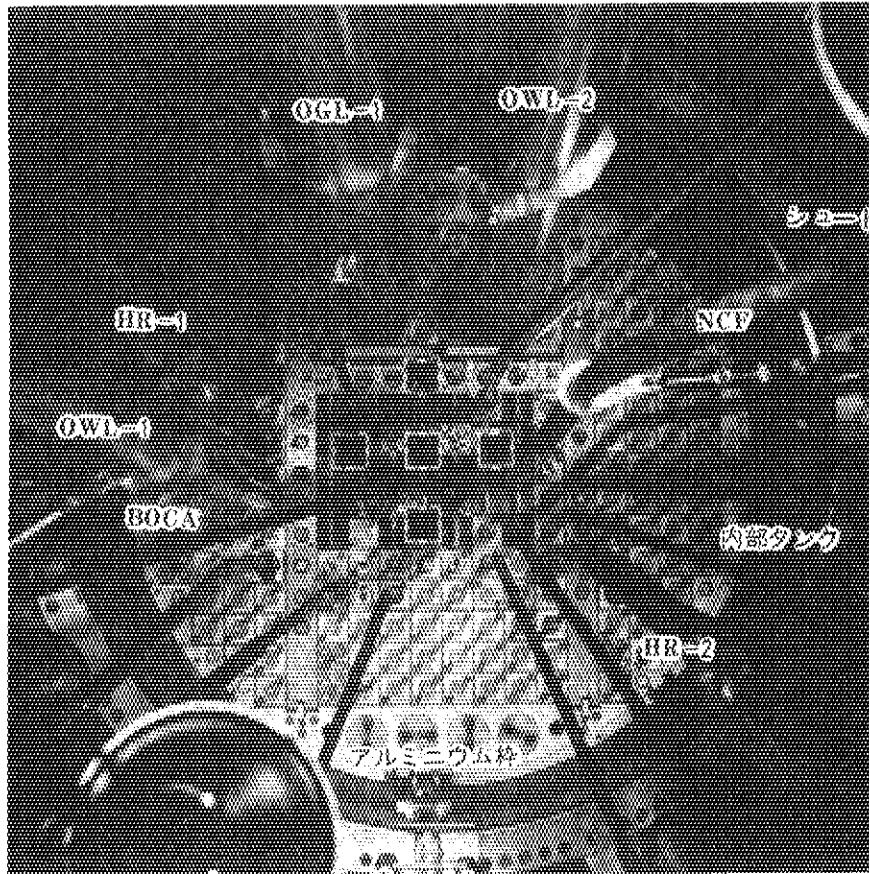


第1.10図 原子炉本体縦断面図

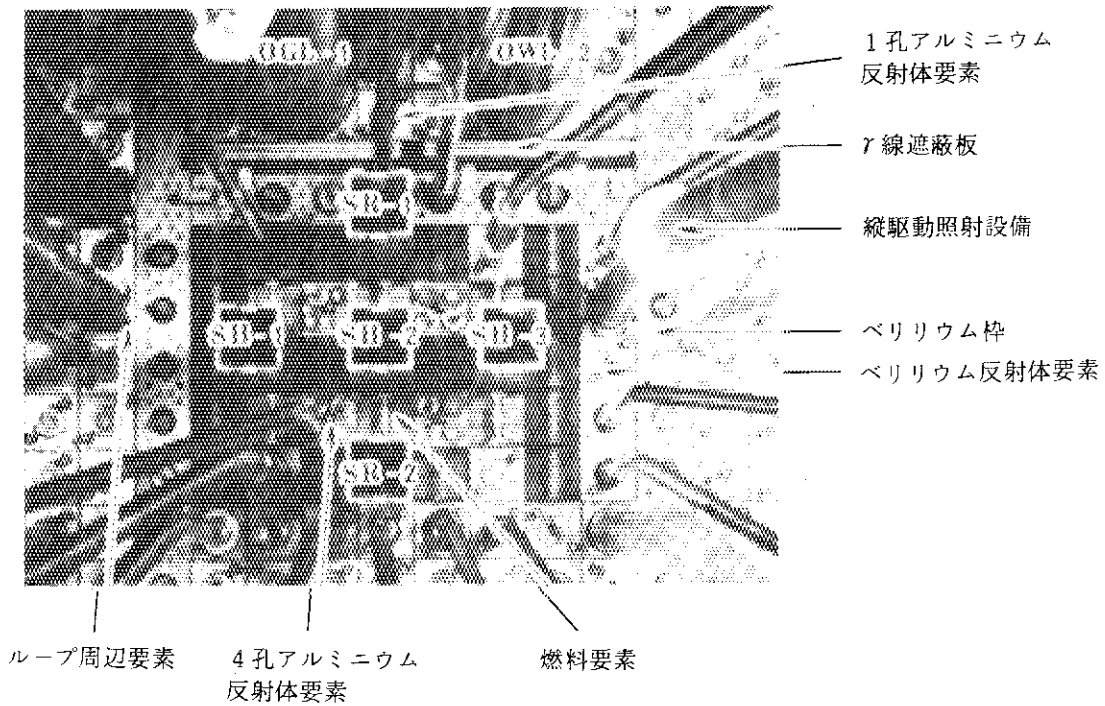


第 1.11 図 炉プールと原子炉圧力容器上蓋





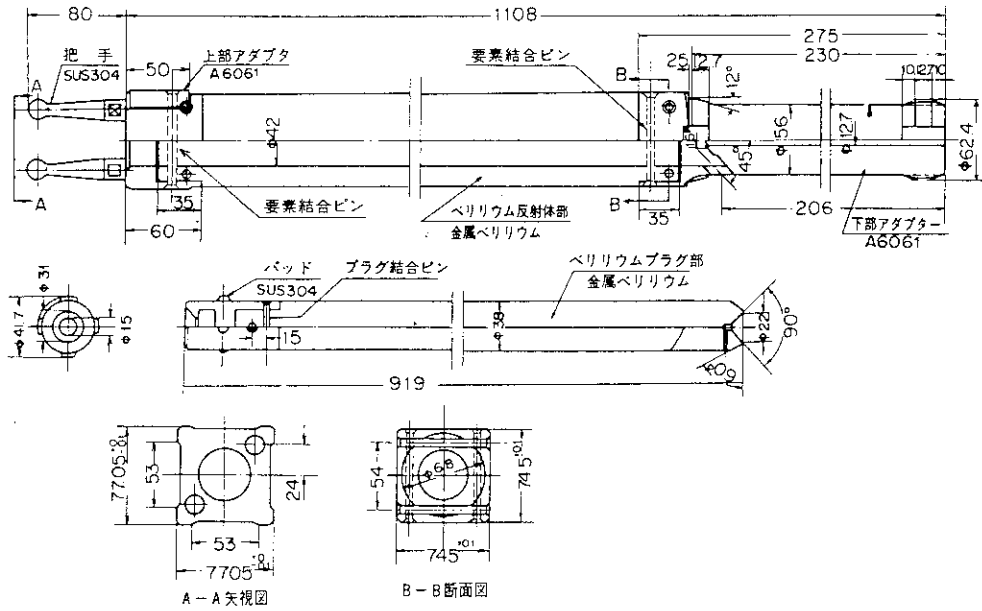
第 1.12 図 JMTR 炉心部



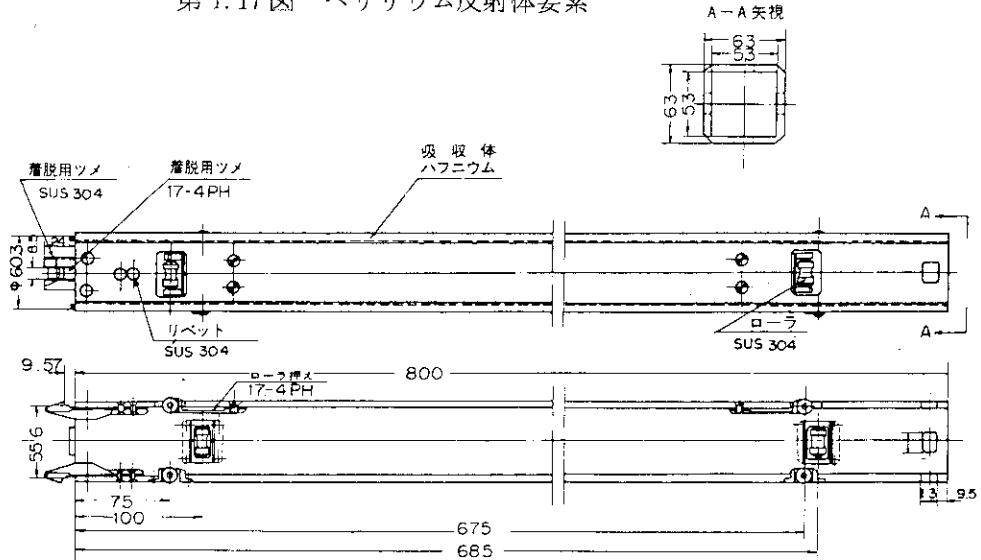
第 1.13 図 JMTR 炉心燃料領域



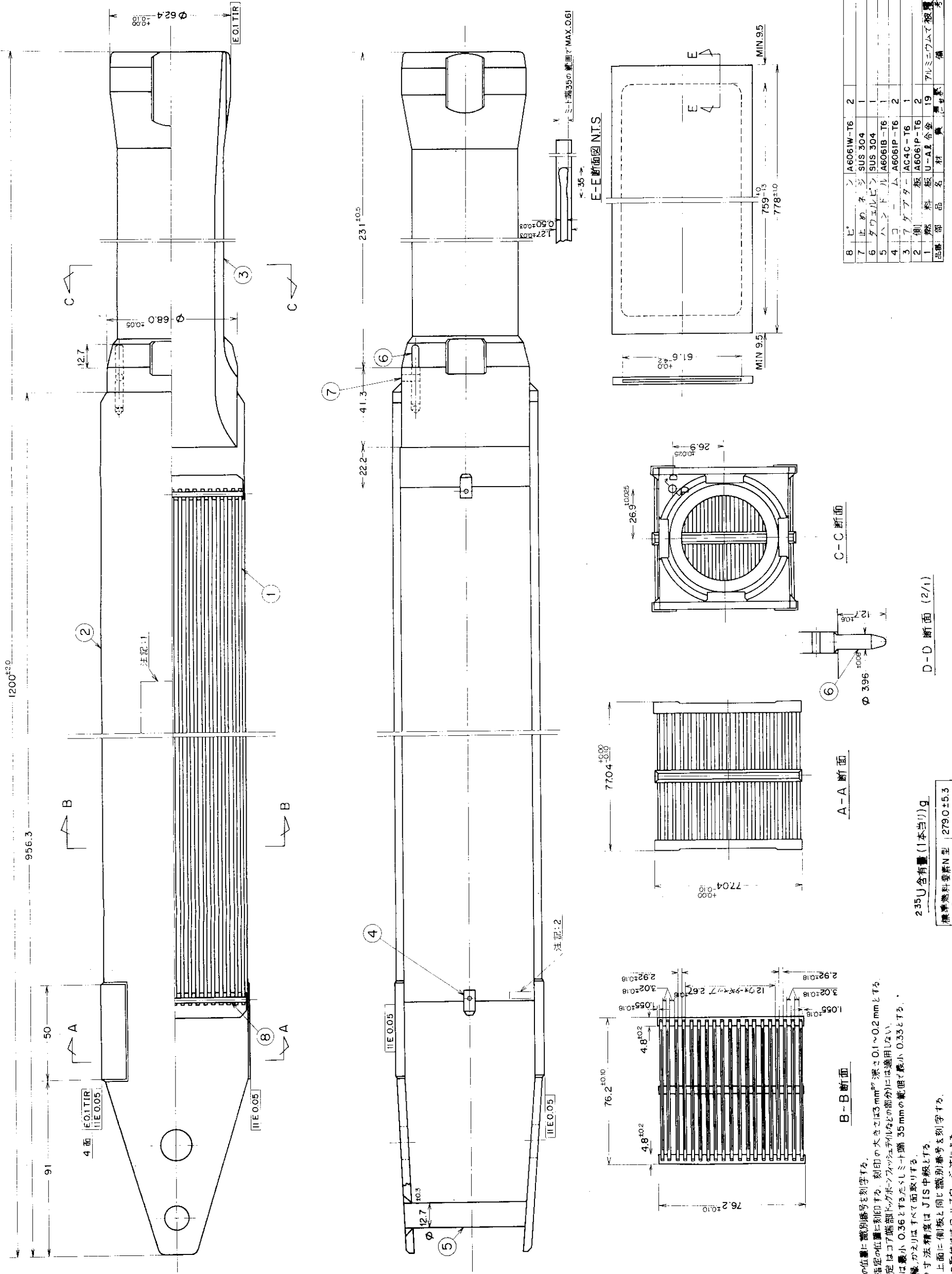




第 1.17 図 ベリリウム反射体要素



第 1.18 図 中性子吸収体



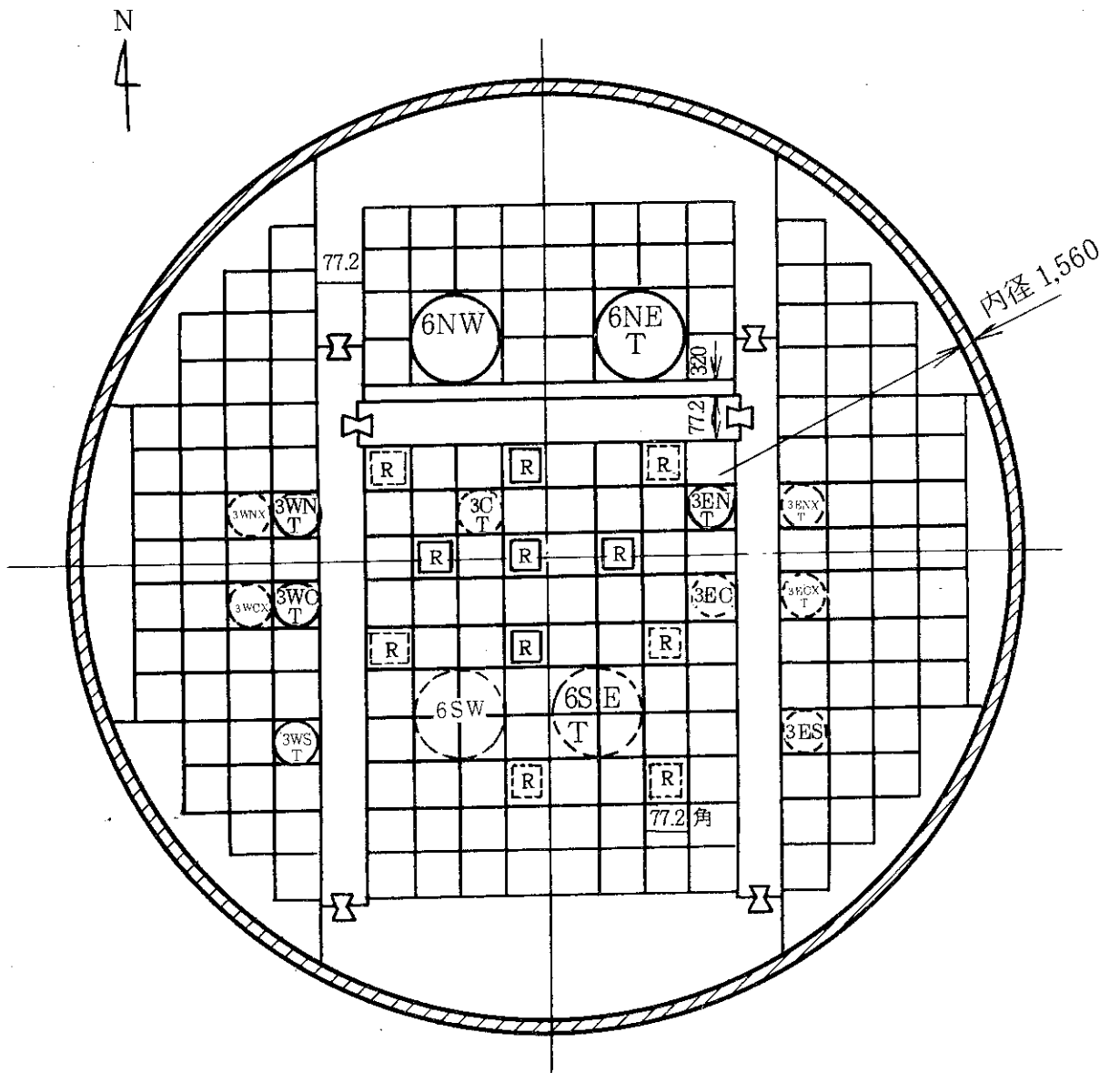
注記  
 1 側板指定の位置に識別番号を刻字する。  
 2 燃料板指定の位置に刻印する。刻印の大きさは3mm×深さ0.1~0.2mmとする。  
 3 寸法規定はコア端部ドグホック部(注記1)の部分には適用しない。  
 4 被覆層は最小0.36とする。注記1の部分 35mmの範囲で最小0.33とする。  
 5 鋭い角、縁、かたまりはすべて面取りする。  
 6 指定外の寸法精度はJIS中級とする。  
 7 ハンドル上面に側板と同じ識別番号を刻字する。  
 8 燃料板の取付けはロールスワッジ法による。

235U含有量(1本当り)g  
 標準燃料要素N型 2790±5.3

8	側板	アルミ	A6061W-T6	2
7	止めネジ	SUS	SUS 304	1
6	ドグホック部	SUS	SUS 304	1
5	燃料板	アルミ	A6061B-T6	1
4	コイル	アルミ	A6061P-T6	2
3	側板	アルミ	AC4C-T6	1
2	側板	アルミ	A6061P-T6	2
1	燃料板	アルミ	U-AL合金	19
	部品名	材	質	量
				7ルミニウムで概算

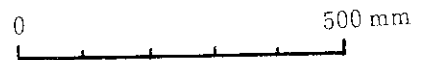
第 1.19 図 標準燃料要素 N 型



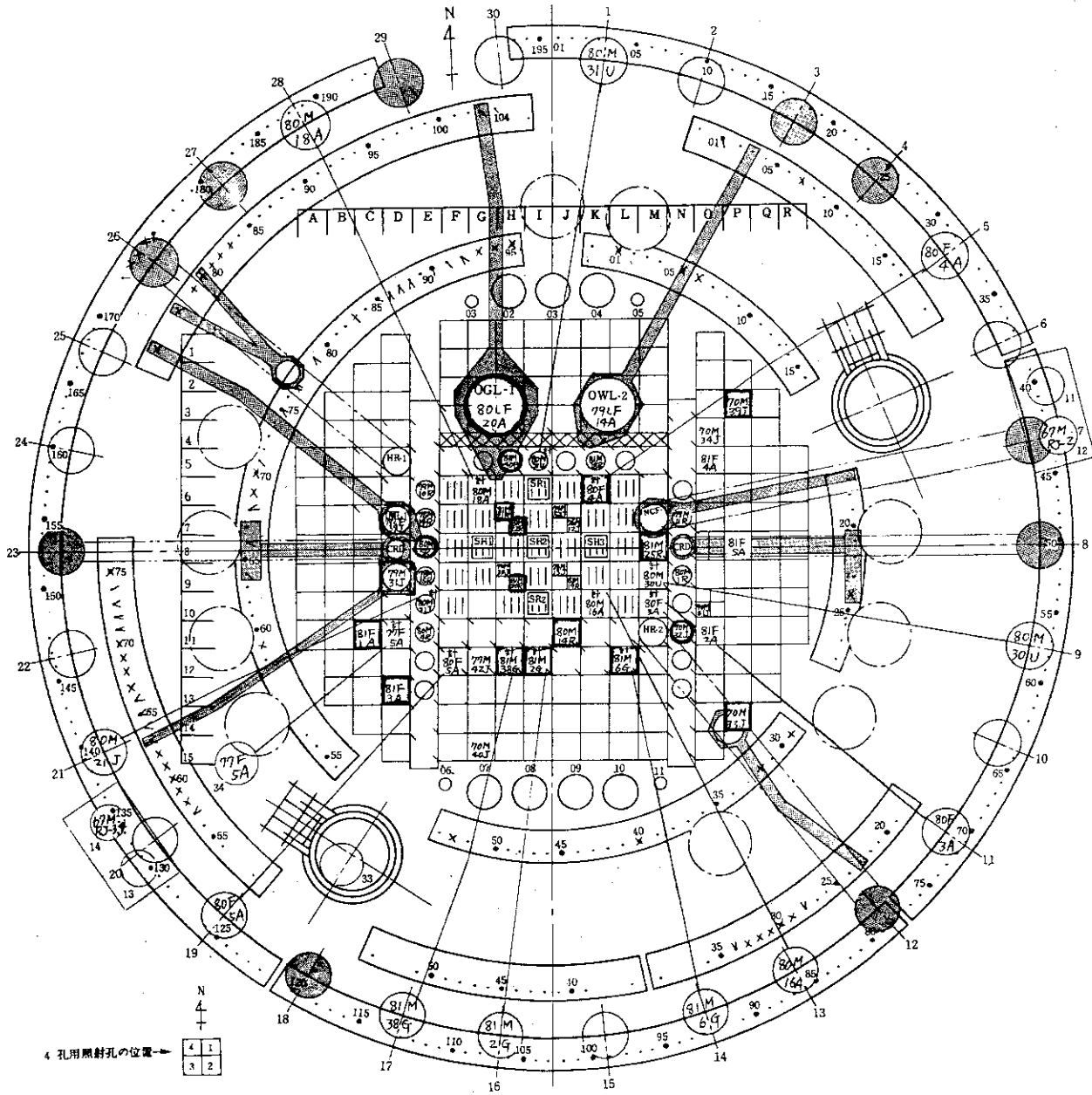


- 格子位置
- R 制御棒位置
- ループ位置

点線は各予備位置  
 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

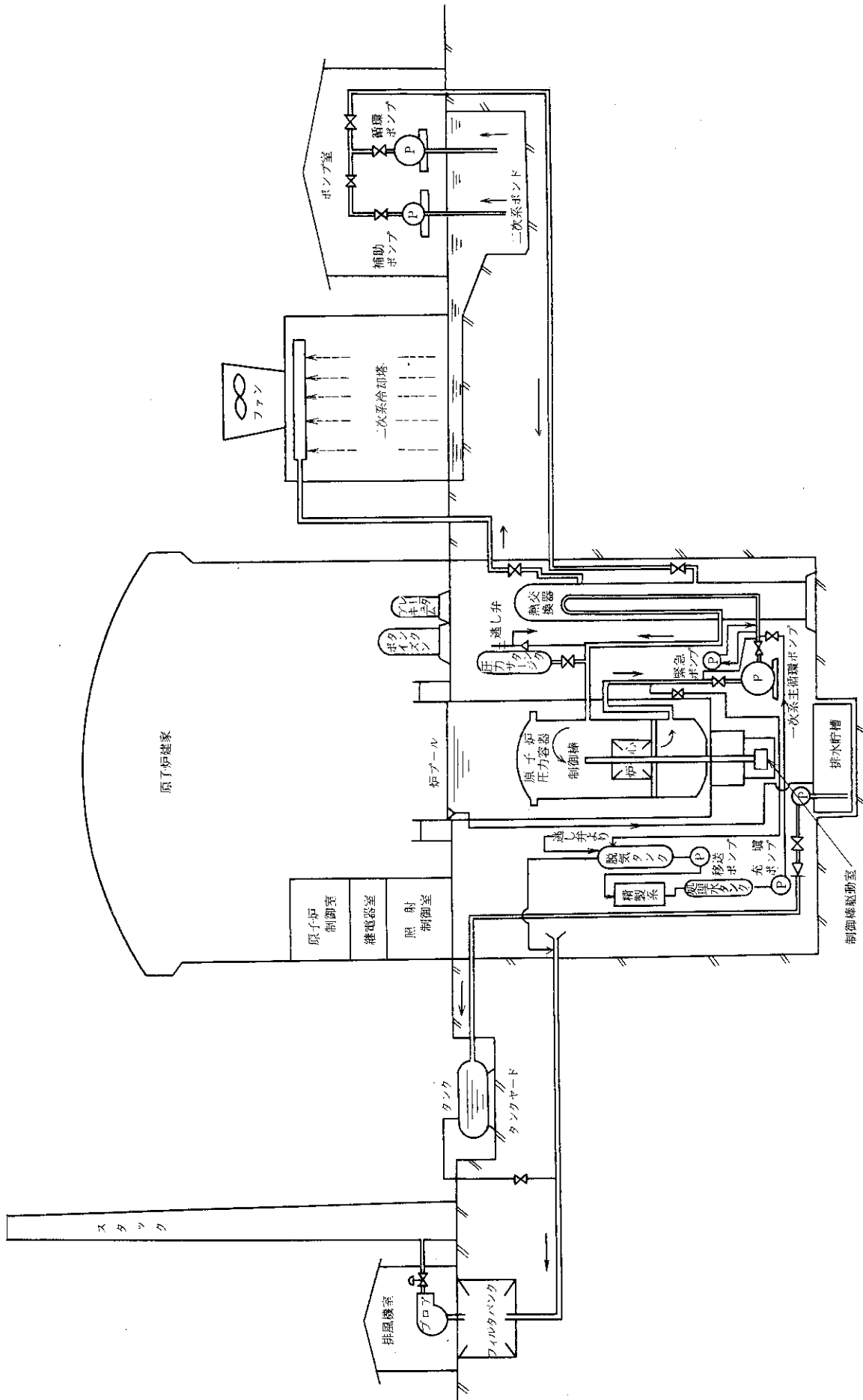


第 1.21 図 炉心格子配列図

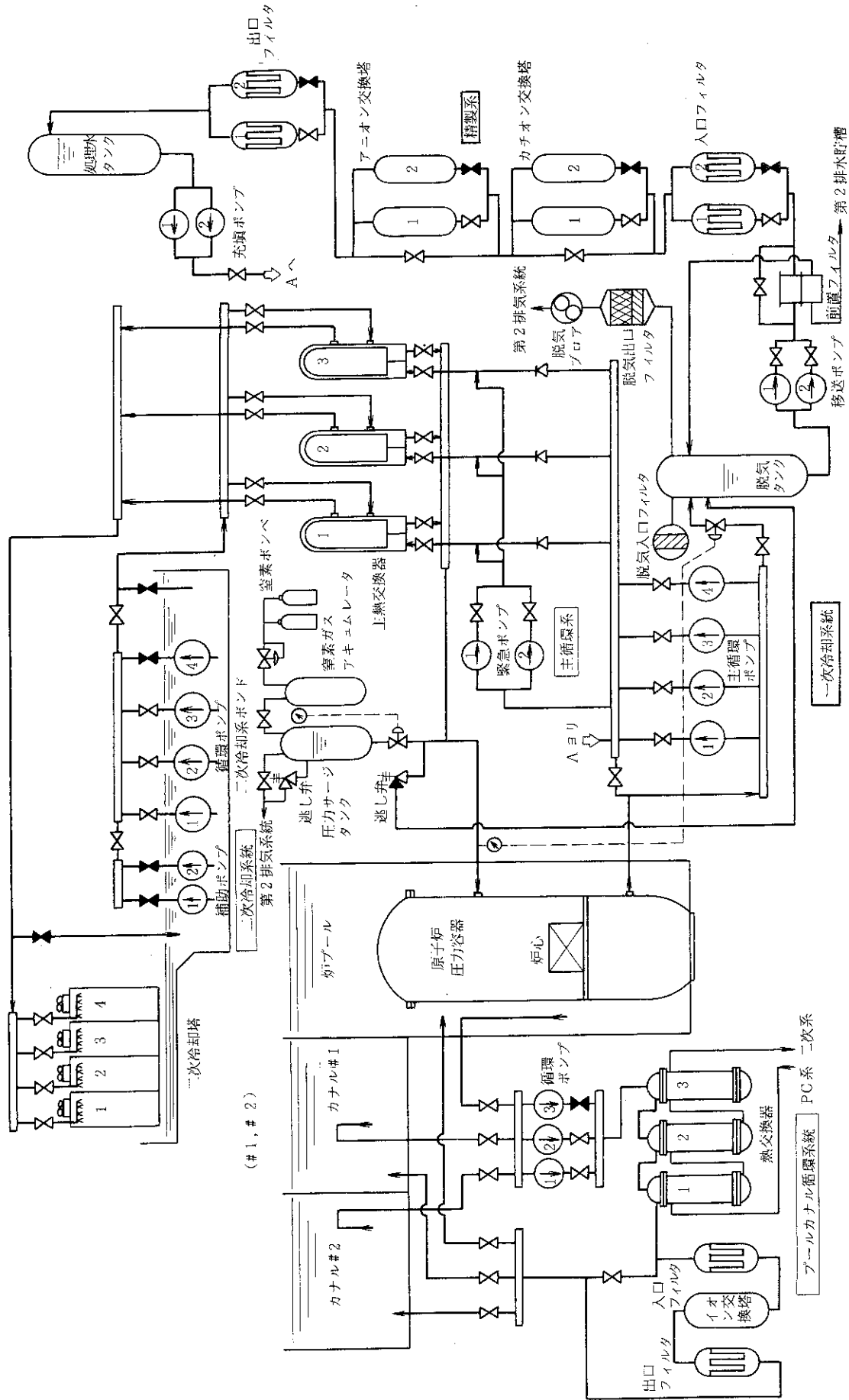


第 1.22 図 JMTR 炉心装荷図 (例)





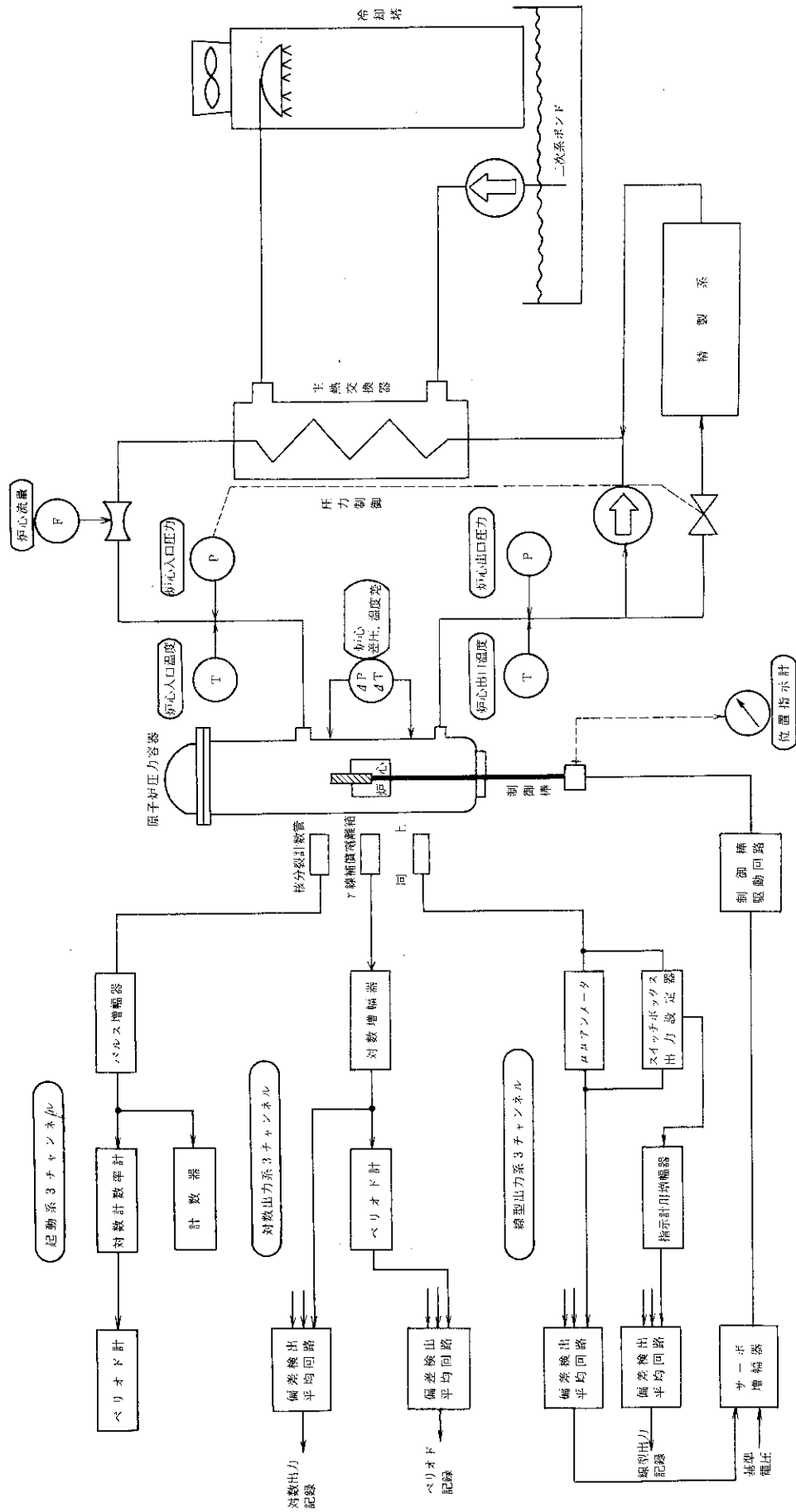
第 1.23 図 JMTR の冷却および排気系統概念図



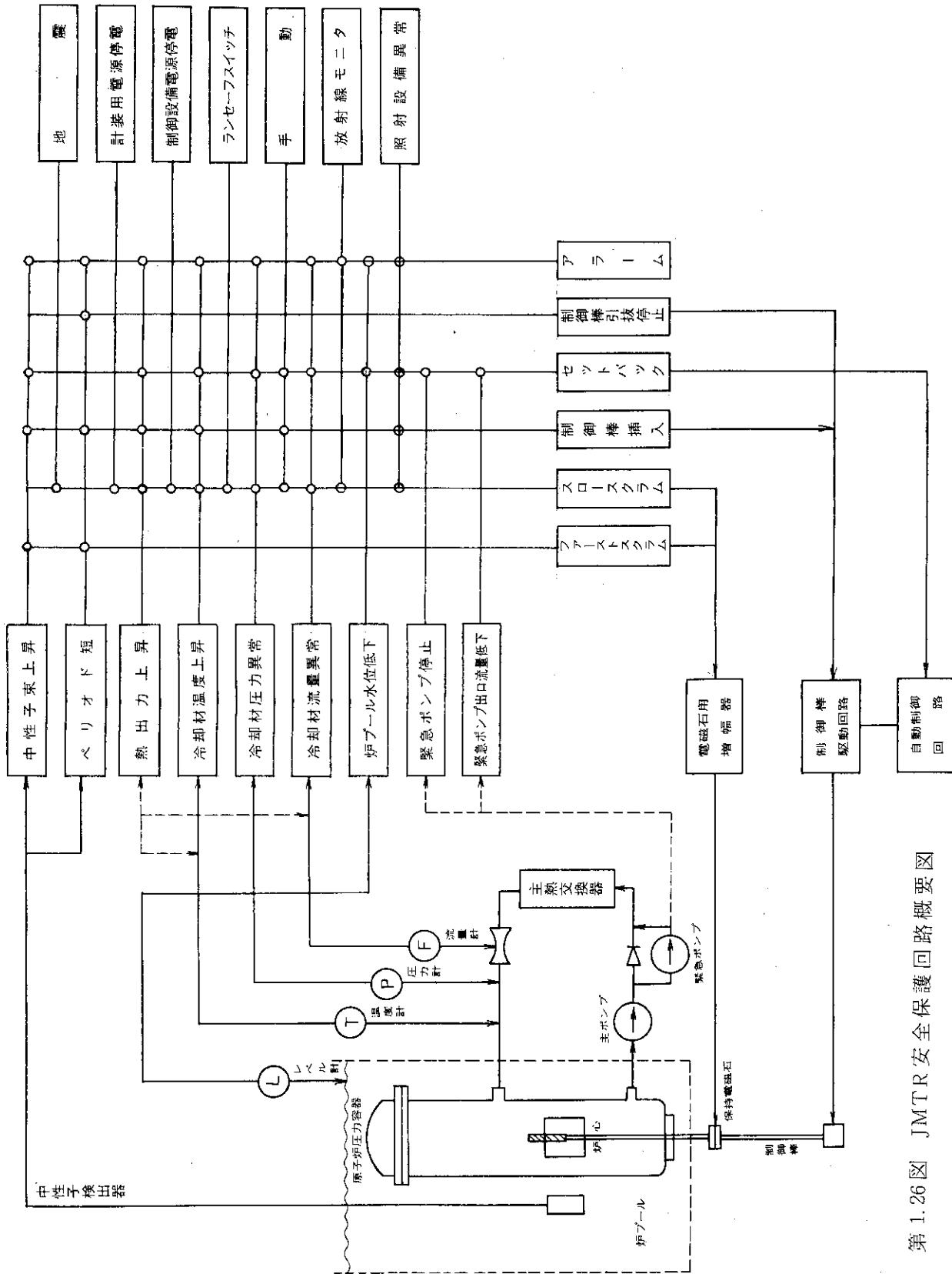
第 1.24 図 JMTR 冷却系統概要図

プロセス計装

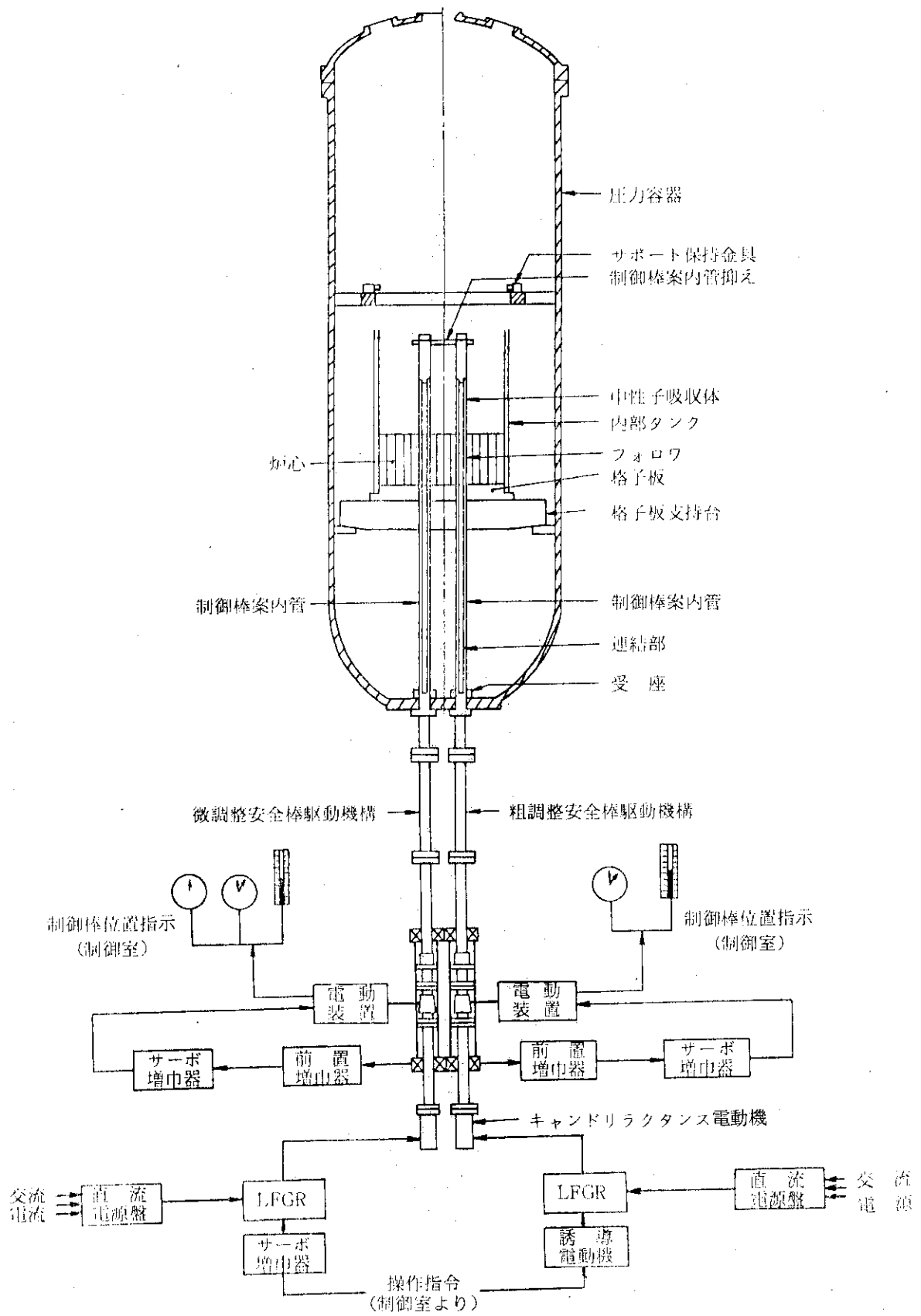
核計装



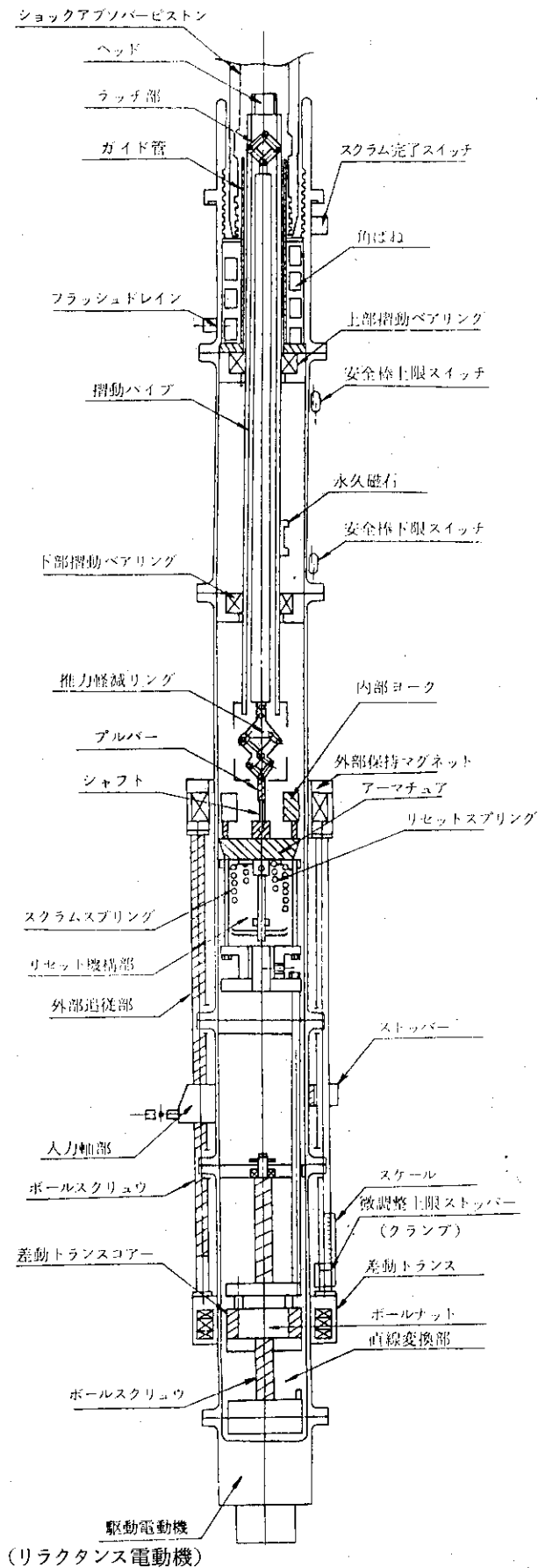
第 1.25 図 JMTR 計測制御系統概要図



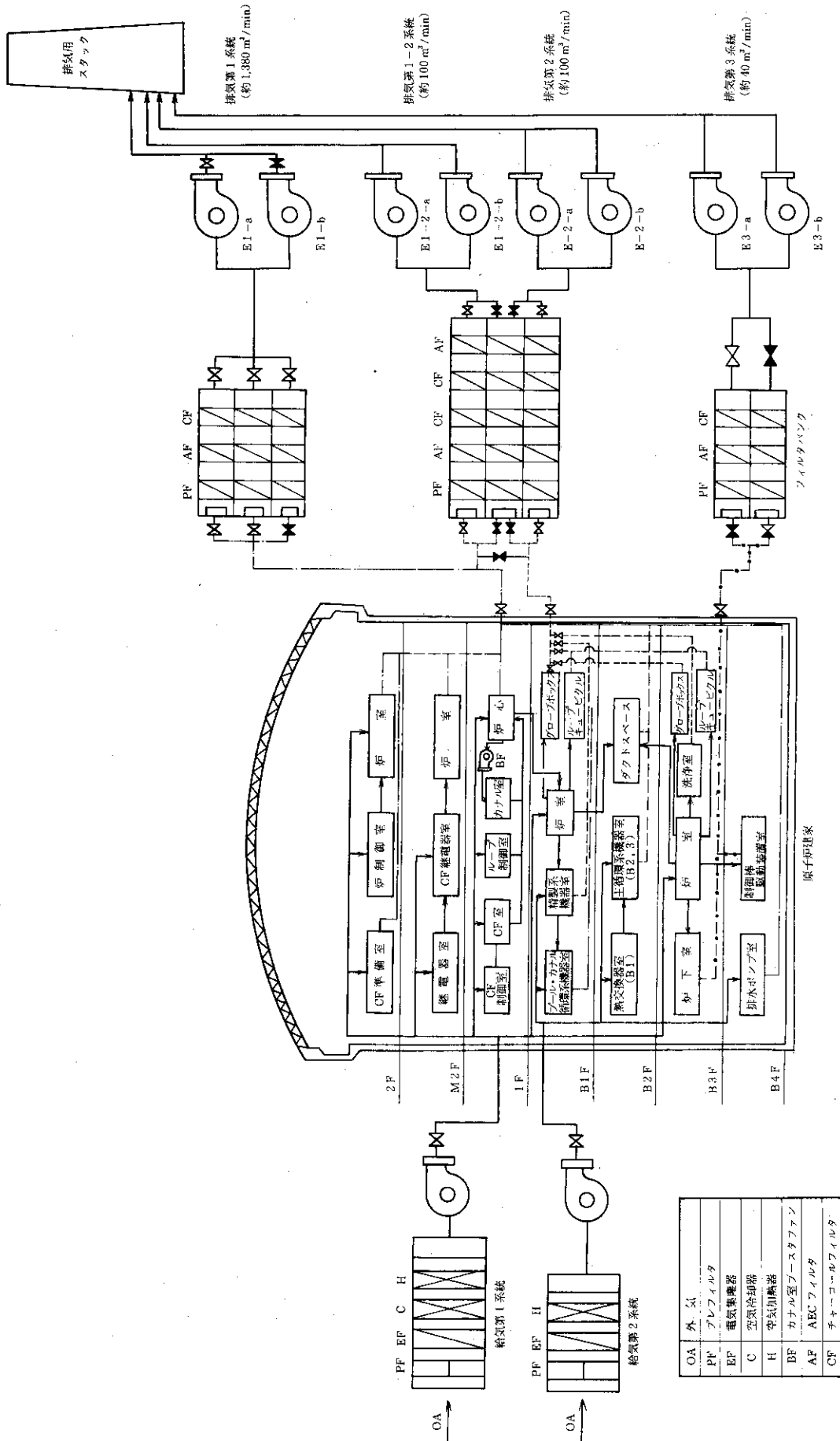
第 1.26 図 JMTR 安全保護回路概要図



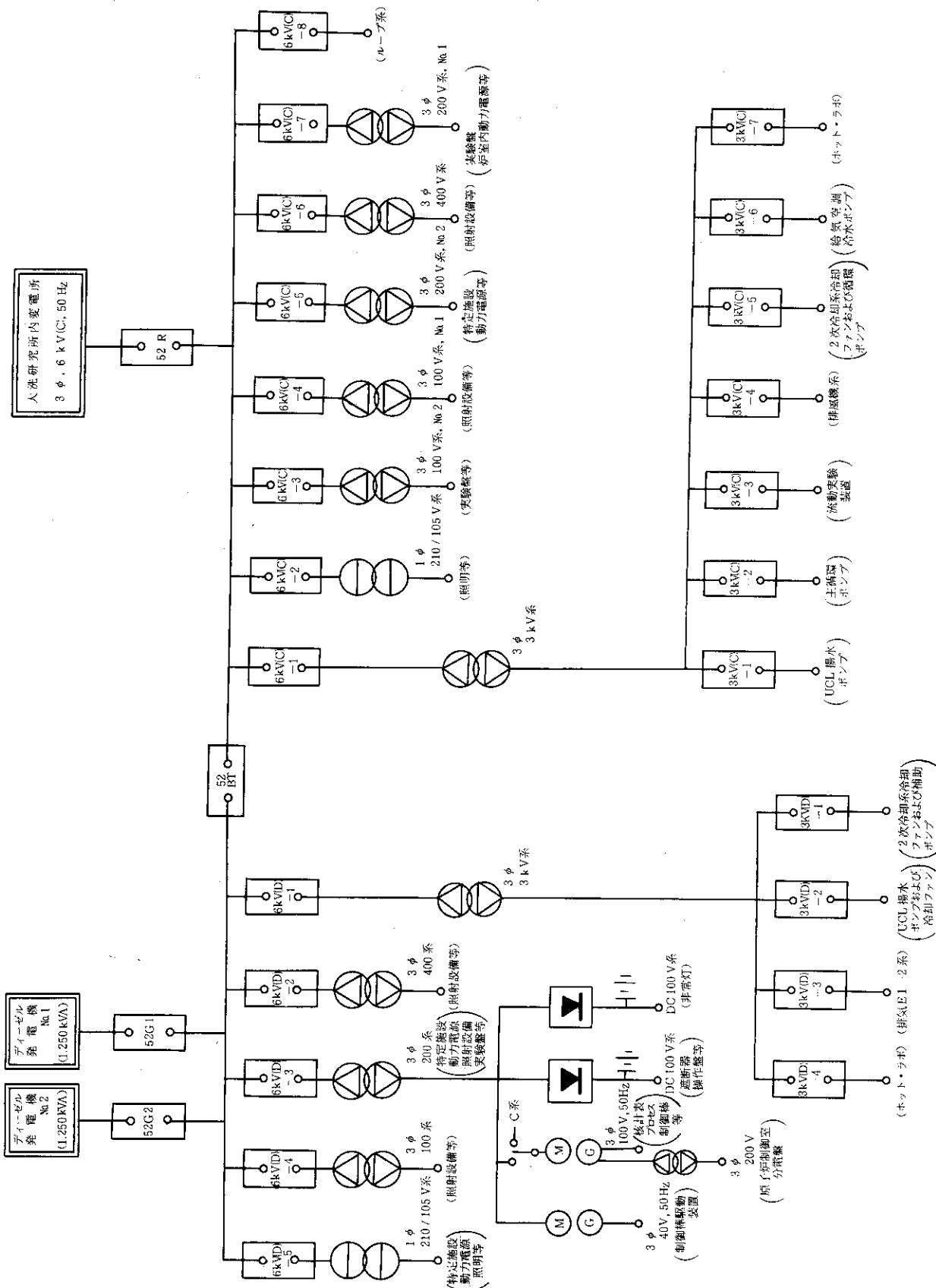
第 1.27 図 JMTR 制御棒および駆動装置の構成



第 1.28 図 JMTR 制御棒駆動機構

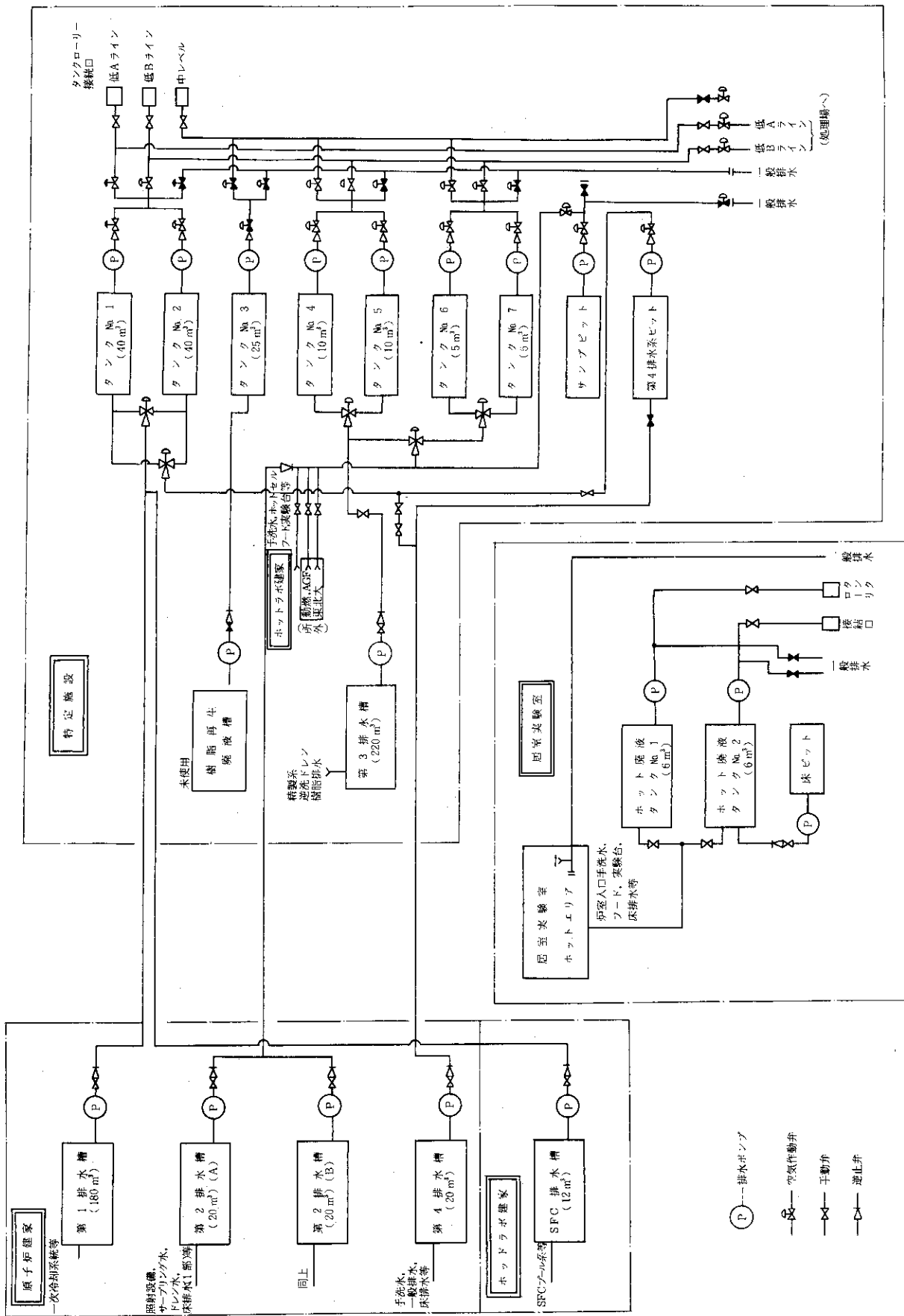


第 1.29 図 JMTR 炉室給排気系統概要図



第 1.30 図 JMTR 電源系統概要図 (C 系および D 系)



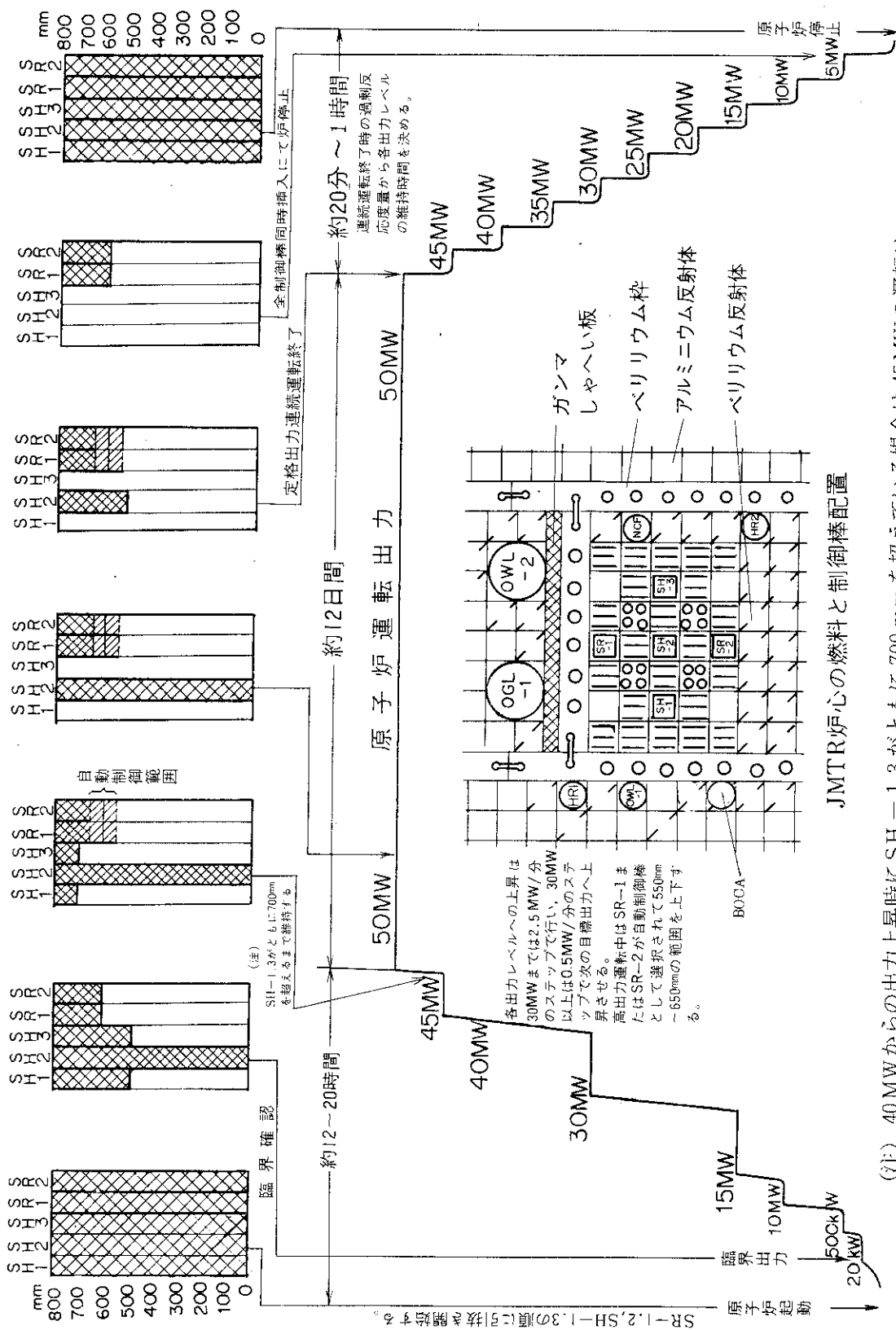


第 1.31 図 JMTR 原子炉施設等の放射性排水系統概要図



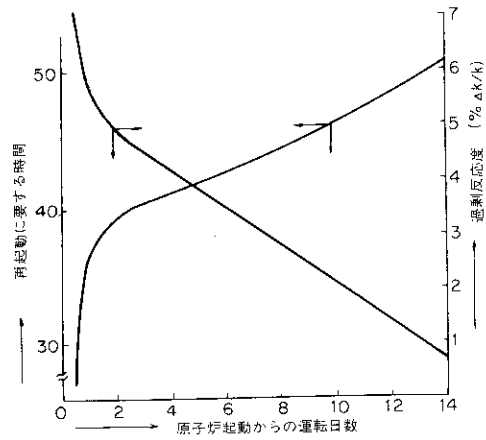
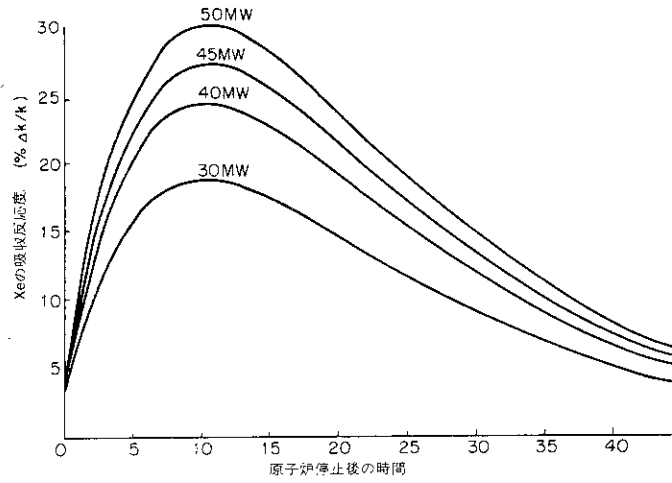
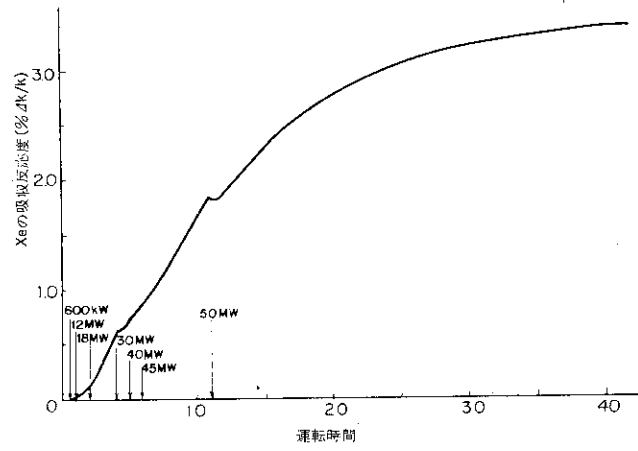
項目	月日	6/21(月)	22(水)	23(木)	24(金)	25(土)	26(日)	27(月)	28(火)	29(水)	30(木)	7/1(金)	2(土)	3(日)	4(月)
原 子 炉	出 力	17:00 炉停止	燃料交換	10:33 降温 15:40 低温運転 14:00 降温 19:00 低温低圧運転	19:20 Pモード P: 71 kg/cm <sup>2</sup> G T: 240 °C F: 50 kg/cm <sup>2</sup> G	17:45 Pモード P: 73 kg/cm <sup>2</sup> G T: 260 °C F: 400 kg/cm <sup>2</sup> G	15:00 降温 22:00 炉停止による降温 10:00 炉停止による降温	16:29 昇温 13:52 P: 285 ± 0.5 kg/cm <sup>2</sup> G F: 50 g/s	14:00 昇温 10:00 昇温	14:00 昇温 10:00 昇温	14:00 昇温 10:00 昇温	14:00 昇温 10:00 昇温	14:00 昇温 10:00 昇温	14:00 昇温 10:00 昇温	14:00 昇温 10:00 昇温
時		15:00 降温 22:00 炉停止による降温	15:00 降温 22:00 炉停止による降温	15:00 降温 22:00 炉停止による降温	15:00 降温 22:00 炉停止による降温	15:00 降温 22:00 炉停止による降温	15:00 降温 22:00 炉停止による降温	15:00 降温 22:00 炉停止による降温	15:00 降温 22:00 炉停止による降温	15:00 降温 22:00 炉停止による降温	15:00 降温 22:00 炉停止による降温	15:00 降温 22:00 炉停止による降温	15:00 降温 22:00 炉停止による降温	15:00 降温 22:00 炉停止による降温	15:00 降温 22:00 炉停止による降温
施 設		U404(F) 14:00 炉U404引渡 10:00	U412(F) 14:00 炉U412引渡 10:00	U419(F) 14:00 炉U419引渡 10:00	U413(F) 14:00 炉U413引渡 10:00	U414(F) 14:00 炉U414引渡 10:00	U415(F) 14:00 炉U415引渡 10:00	U416(F) 14:00 炉U416引渡 10:00	U417(F) 14:00 炉U417引渡 10:00	U418(F) 14:00 炉U418引渡 10:00	U419(F) 14:00 炉U419引渡 10:00	U420(F) 14:00 炉U420引渡 10:00	U421(F) 14:00 炉U421引渡 10:00	U422(F) 14:00 炉U422引渡 10:00	U423(F) 14:00 炉U423引渡 10:00
設		P103(T) P105(F) A003(F) P104(CH) 11:00:20:30 10:00 14:00 11:00	P103(T) P105(F) A003(F) P104(CH) 11:00:20:30 10:00 14:00 11:00	P103(T) P105(F) A003(F) P104(CH) 11:00:20:30 10:00 14:00 11:00	P103(T) P105(F) A003(F) P104(CH) 11:00:20:30 10:00 14:00 11:00	P103(T) P105(F) A003(F) P104(CH) 11:00:20:30 10:00 14:00 11:00	P103(T) P105(F) A003(F) P104(CH) 11:00:20:30 10:00 14:00 11:00	P103(T) P105(F) A003(F) P104(CH) 11:00:20:30 10:00 14:00 11:00	P103(T) P105(F) A003(F) P104(CH) 11:00:20:30 10:00 14:00 11:00	P103(T) P105(F) A003(F) P104(CH) 11:00:20:30 10:00 14:00 11:00	P103(T) P105(F) A003(F) P104(CH) 11:00:20:30 10:00 14:00 11:00	P103(T) P105(F) A003(F) P104(CH) 11:00:20:30 10:00 14:00 11:00	P103(T) P105(F) A003(F) P104(CH) 11:00:20:30 10:00 14:00 11:00	P103(T) P105(F) A003(F) P104(CH) 11:00:20:30 10:00 14:00 11:00	P103(T) P105(F) A003(F) P104(CH) 11:00:20:30 10:00 14:00 11:00
特 殊 試 験		He-3 圧力 0.5kg/cm <sup>2</sup> G	He-3 圧力 0.5kg/cm <sup>2</sup> G	He-3 圧力 0.5kg/cm <sup>2</sup> G	He-3 圧力 0.5kg/cm <sup>2</sup> G	He-3 圧力 0.5kg/cm <sup>2</sup> G	He-3 圧力 0.5kg/cm <sup>2</sup> G	He-3 圧力 0.5kg/cm <sup>2</sup> G	He-3 圧力 0.5kg/cm <sup>2</sup> G	He-3 圧力 0.5kg/cm <sup>2</sup> G	He-3 圧力 0.5kg/cm <sup>2</sup> G	He-3 圧力 0.5kg/cm <sup>2</sup> G	He-3 圧力 0.5kg/cm <sup>2</sup> G	He-3 圧力 0.5kg/cm <sup>2</sup> G	He-3 圧力 0.5kg/cm <sup>2</sup> G
項 目 お よ び 備 考				燃料交換	燃料交換	燃料交換	燃料交換	燃料交換	燃料交換	燃料交換	燃料交換	燃料交換	燃料交換	燃料交換	燃料交換

項目	月日	7/5 (月)	6 (日)	7 (日)	8 (日)	9 (日)
原子炉出力	出	50 L. MW		10:30 炉停止		
	力			13:30 降圧 19:30 停止・点検		
照射	O W L I 1			11:10 降圧 21:00 停止・点検		
	O W L I 2			15:00 降圧 16:55 停止・点検		
射線	O G L I 1			14:00 降圧 16:55 停止・点検		
	H R I 1	U415 (F) 14:00 ☆U415 引戻 10:00		984 (F) 14:00 ☆984 引戻 19:54 降圧 10:00 停止・点検		
施設	H R I 2	A.006 (F) A.007 (F)		10:30 20:00 停止・点検		
	キャブ			20:00 18:26 10:20 降圧 80F-5A 炉温ヒーター-OFF 降圧 He タンク		
特殊試験項目および備考	セル			14:30 炉停止 14:30 炉停止・点検		
	NC			17:20 停止・点検		
特殊試験項目および備考	BOCA	He-3 圧力 0.93 kg/cm <sup>2</sup> G		11:14 30 kg/cm <sup>2</sup> G 16:45 停止・点検		
				17:20 停止・点検		
特殊試験項目および備考				11:14 炉停止後作業		

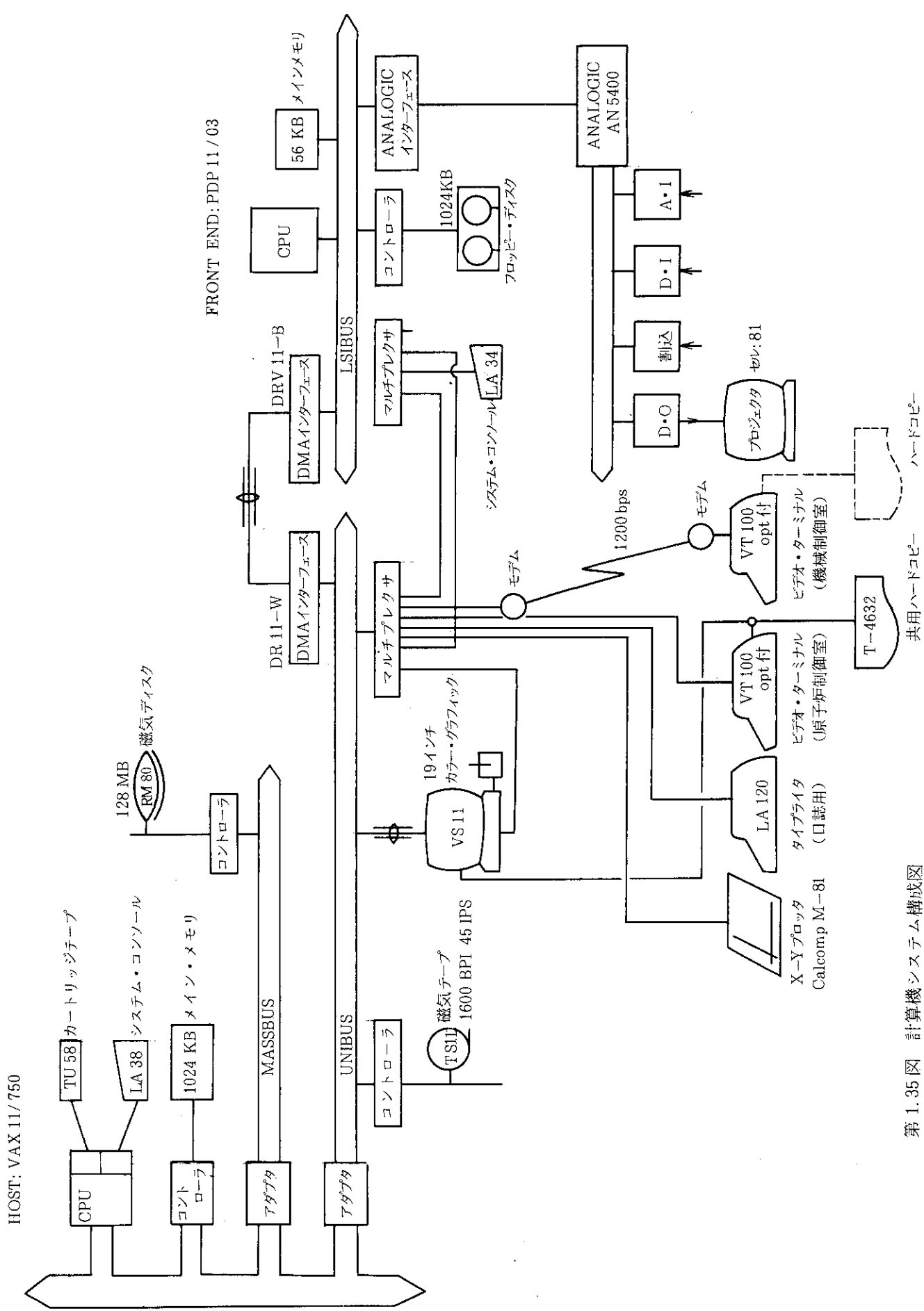


(注) 40 MWからの出力上昇時にSH-1, 3がともに700 mmを超えている場合は45 MWの運転は行わない。この場合は原子炉起動から50 MW到達まで約12時間である。

第1.33図 JMTR運転中の制御棒の動き



第 1.34 図 Xe による過剰反応度への影響



第 1.35 図 計算機システム構成図

## 2. 照射施設

## 目 次

2. 1	概 要	71
2. 2	水カラビット照射設備	73
2. 3	キャプセル照射設備	78
2. 4	ループ照射設備	87
2. 5	縦駆動照射設備	99
2. 6	ガススweep照射設備	102
2. 7	BOCA 照射設備	105
2. 8	照射設備計算機処理システム	111
2. 9	水, ガス分析設備	121
2. 10	照射試料の温度と安全基準	123
2. 11	燃料試料の発熱量と燃焼度	132



## 表 一 覧

第 2. 1 表	照射設備の分類	71
第 2. 2 表	水力ラビット照射設備の性能	73
第 2. 3 表	キャプセル照射設備の性能	78
第 2. 4 表	キャプセル型式	79
第 2. 5 表	キャプセル内特殊装置	80
第 2. 6 表	キャプセル内計測器	81
第 2. 7 表	ループによる照射実験	87
第 2. 8 表	ループ照射設備の性能	88
第 2. 9 表	ループ炉内計測器	88
第 2.10 表	縦駆動照射設備の性能	99
第 2.11 表	ガススイープ照射設備の性能	102
第 2.12 表	沸騰水キャプセル制御装置の性能	105
第 2.13 表	$^3\text{He}$ 出力可変装置の性能	106
第 2.14 表	出力データ一覧表	113
第 2.15 表	運転記録の出力例	114
第 2.16 表	照射実績の出力例	115
第 2.17 表	出力上昇データの出力例 (1)	116
第 2.18 表	出力上昇データの出力例 (2)	117
第 2.19 表	照射記録の出力例	118
第 2.20 表	水, ガス分析設備	121
第 2.21 表	原子炉冷却水分析結果の例	122
第 2.22 表	キャプセル内温度分布計算コード (GENGTC) の説明	124
第 2.23 表	照射試料の熱的安全基準	125
第 2.24 表	照射中燃料試料発熱量の推定, 測定法	132



第 2.38 図	OWL-1 照射試料内温度分布	129
第 2.39 図	“ 限界熱流束比の計算例	129
第 2.40 図	ATR 燃料の限界熱流束	129
第 2.41 図	OWL-2 照射試料の限界出力	130
第 2.42 図	OGL-1 照射試料内温度分布	130
第 2.43 図	UO <sub>2</sub> ペレットの外面温度と中心温度との関係	131
第 2.44 図	(U <sub>0.8</sub> , Pu <sub>0.2</sub> )O <sub>2</sub> ペレットの外面温度と中心温度との関係	131
第 2.45 図	UC ペレットの外面温度と中心温度との関係	131
第 2.46 図	燃料試料の照射時間と燃焼度との関係	133

## 2.1 概 要

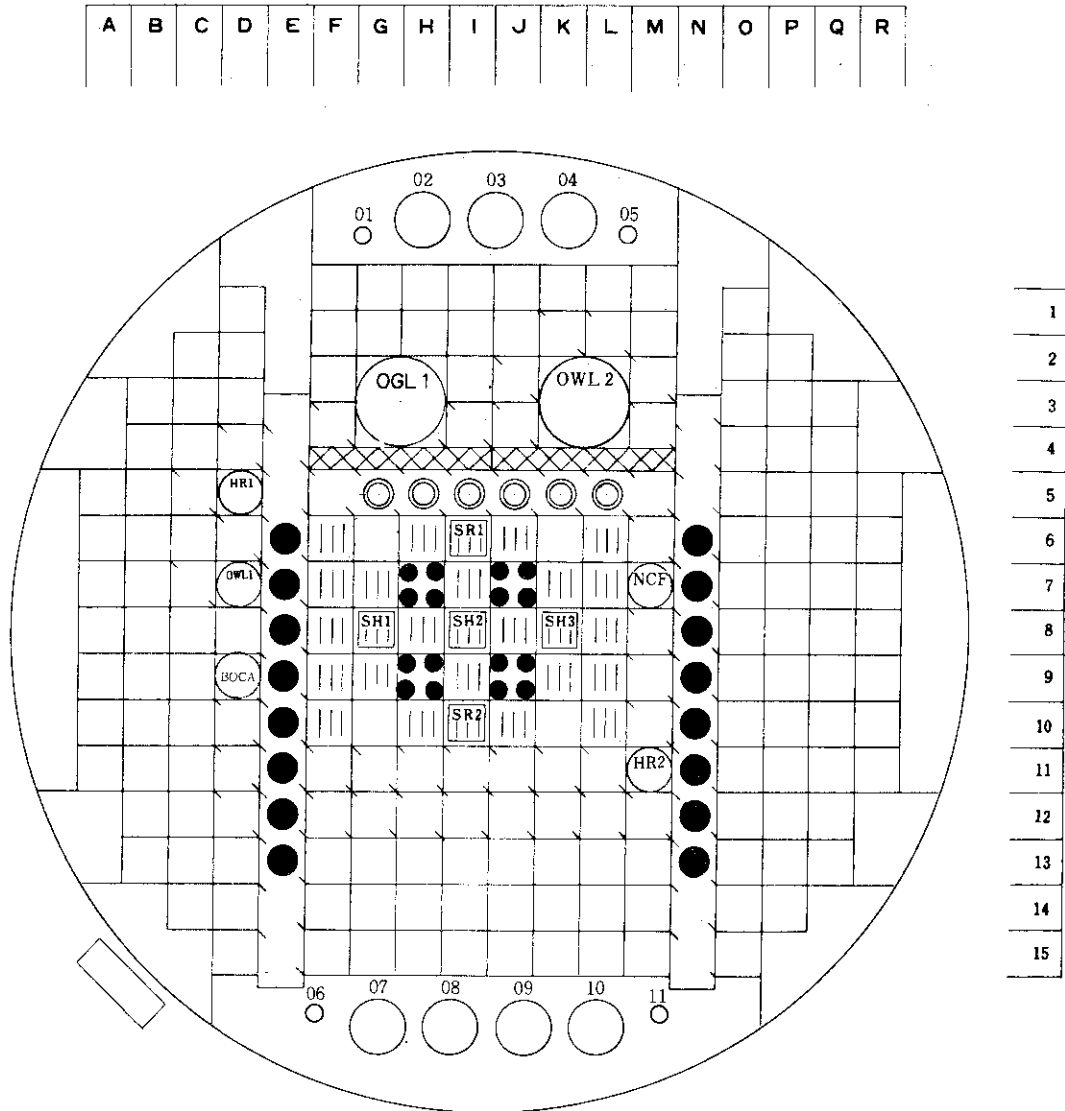
JMTR には、種々の照射目的を満足させることが可能なように、第 2.1 表に示すような多種多様の照射設備が用意されている。












これらのうち、水力ラビット、ループ、縦駆動照射設備および BOCA 照射設備は、炉心挿入位置が固定されているが、キャプセル照射設備およびガススweep照射設備は、照射希望条件に合わせて炉心挿入位置を選択できる。キャプセルは同時に約 60 本まで挿入することが可能であり、そのうち約 20 本は、計測キャプセルとして、原子炉圧力容器を貫通して計測または制御のための信号を取り出すことができる。

第 2.1 図に、各照射設備の炉心位置を示す。

第 2.1 表 照射設備の分類

設 備 名	型 式
水力ラビット	HR-1, HR-2
キャプセル	無計測, 計測, 特殊 (ガススweep, BOCA)
ル ー プ	OWL-1, OWL-2, OGL-1
縦 駆 動	(NCF)



- |   |                |   |                     |
|---|----------------|---|---------------------|
|  | 燃料要素<br>燃料フォロワ |  | φ 32孔 32孔           |
|  | ベリリウム反射体要素     |  | φ 38孔 6孔            |
|  | アルミニウム反射体要素    |  | φ 42孔 78孔           |
|  | 制御棒            |  | ループ孔 OWL-1,2, OGL-1 |
|   |                |  | 水カラビット              |
|   |                |  | 縦駆動                 |
|   |                |  | BOCA                |

第 2.1 図 照射設備炉心位置

## 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第2.2図および第2.3図に示すようなラビットを水流力を利用して、運転中に炉心に挿入および取出しを行うもので、比較的短時間の照射に適している。

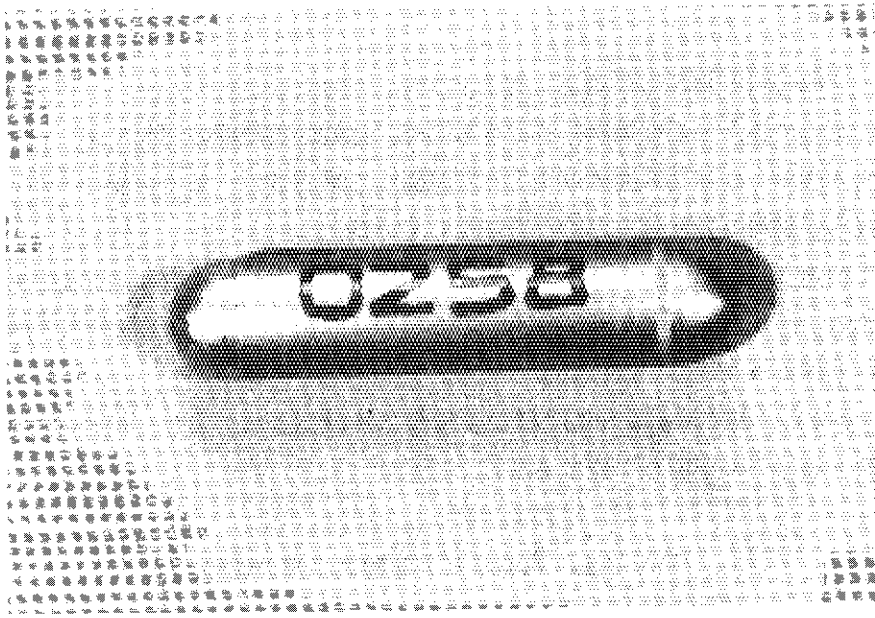
設備は第2.4図および第2.5図に示すような機器から構成されており水流はラビットの挿入、取出しのみならず試料の発熱除去の役目もはたしている。

第2.6図に炉内2重管の構造を示す。ラビットの挿入、取出しは水流の向きを逆転させることにより行われる。冷却水循環ポンプを除く全ての機器は、炉プールおよびカナル内に設置されており、ラビットはカナル内の受皿に取出される。

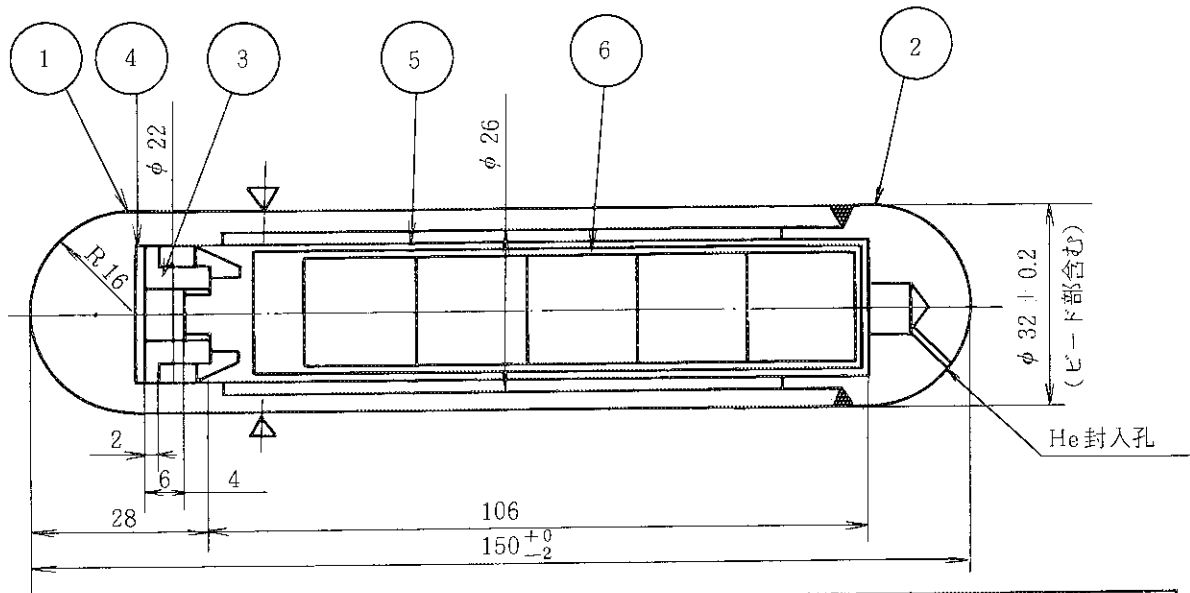
JMTRには第2.2表に示すように同様な設備が2基設置されており、炉心の反射体領域第1層目または第2層目での照射が可能である。

第2.2表 水カラビット照射設備の性能

		HR-1	HR-2
炉 心 位 置		D-5	M-11
熱 中 性 子 束	最大	$1.1 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$	$1.3 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
	平均	$8.1 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$	$9.9 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
高速中性子束	最大	$8.8 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$	$2.1 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
	平均	$6.7 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$	$1.6 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
$\gamma$ 加 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		φ 32×150 l	φ 32×150 l
ラビット材質		アルミニウムまたはステンレス鋼	アルミニウムまたはステンレス鋼
試料最大寸法		φ 26×120 l	φ 26×120 l
試料最大発熱量		20 kW	9 kW
ラビット最大挿入個数		3	3
照 射 時 間		1分以上	1分以上



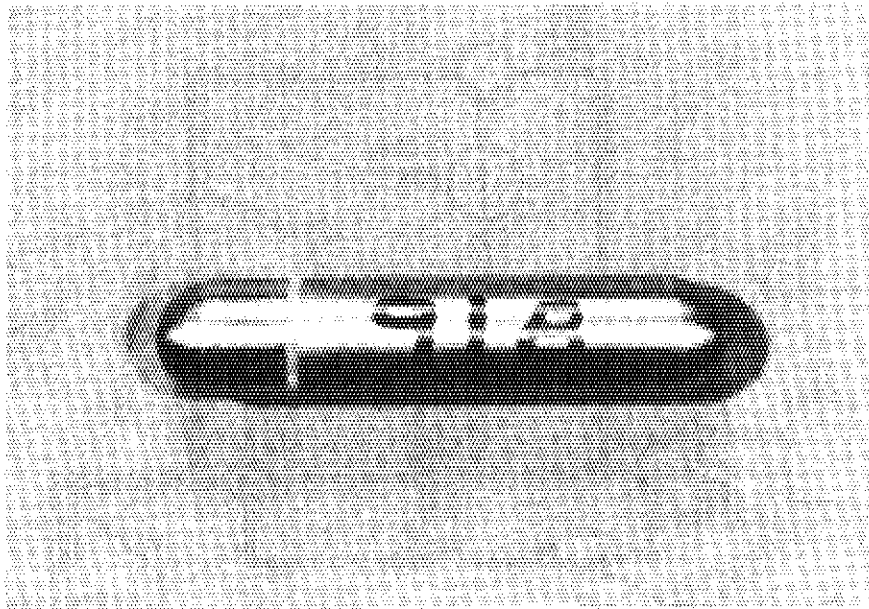
R[ラビット No. 0258



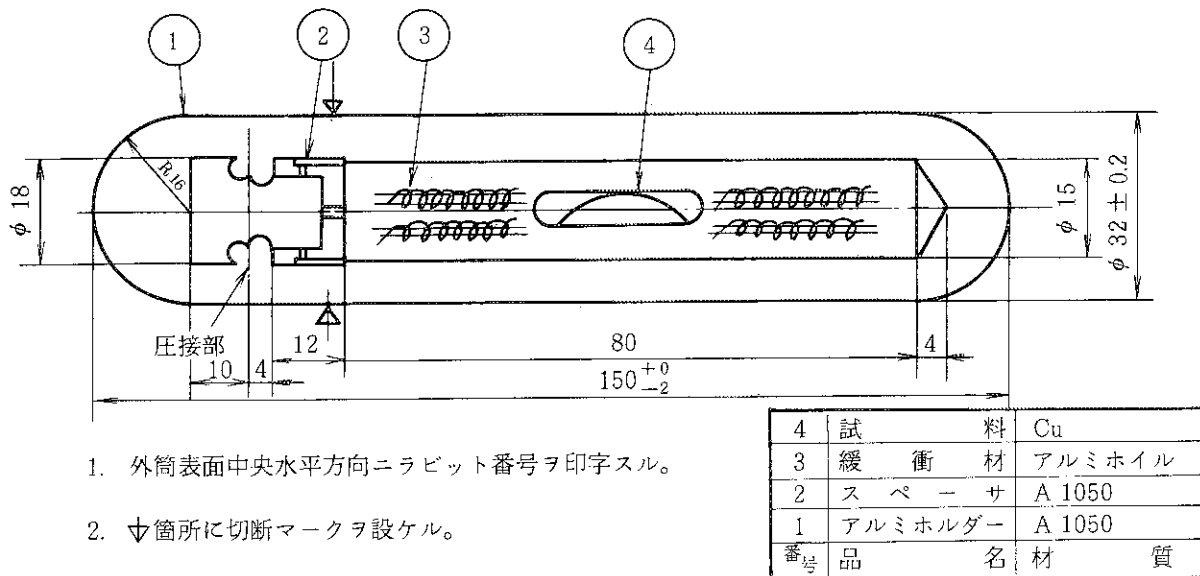
1. 外筒表面ニ、He 封入孔側カラ水平方向ニ、ラビット番号を印字スル。
2. He 封入孔ヨリ He ガスヲ充填シ溶接ヲ塞グ。
3. 筒所ニ切断マクラ設ケル。

6	試料	MoO <sub>3</sub> ペレット	一式	
5	DL インサキャプセル	A 1100	1	
4	緩衝材	コルツウール	一式	
3	スペーサ	A 1050	1	
2	端栓	A 1100	1	
1	外筒	A 1100	1	
番号	品名	材質	員数	備考

第 2.2 図 溶接タイプラビットの例

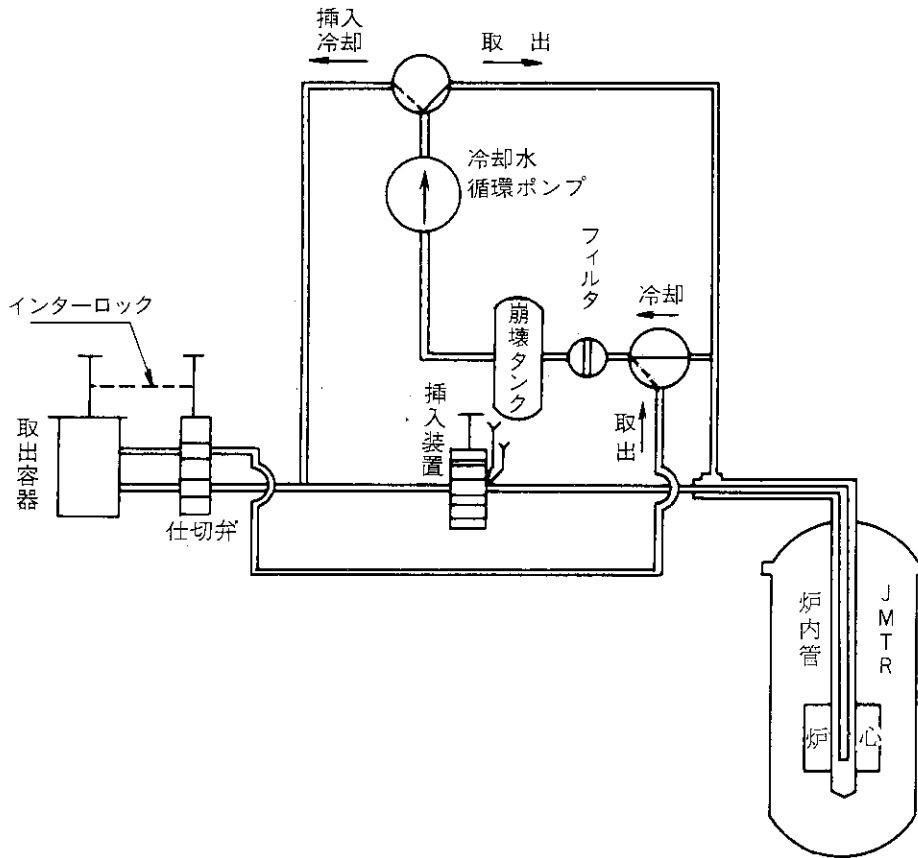


大学ラビット No918

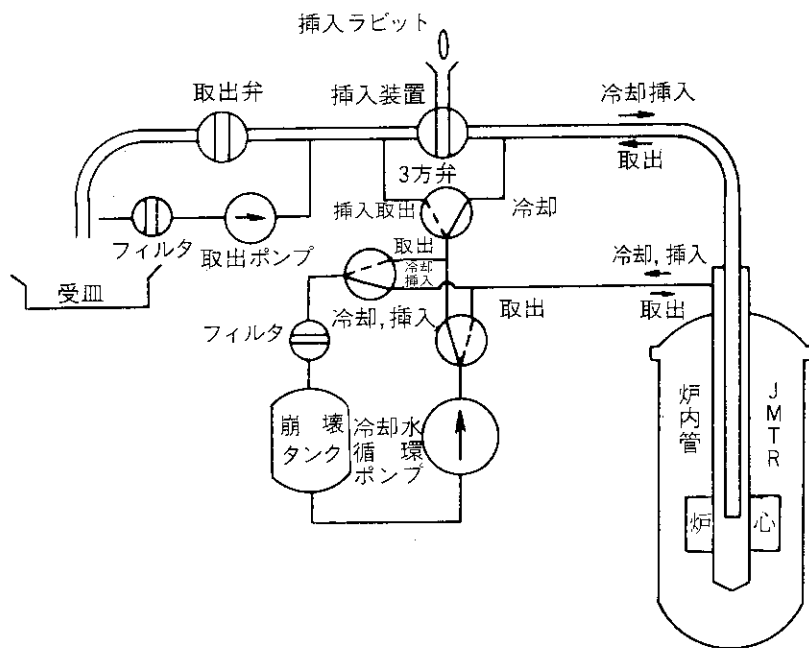


第 2.3 図 圧接タイプラビットの例

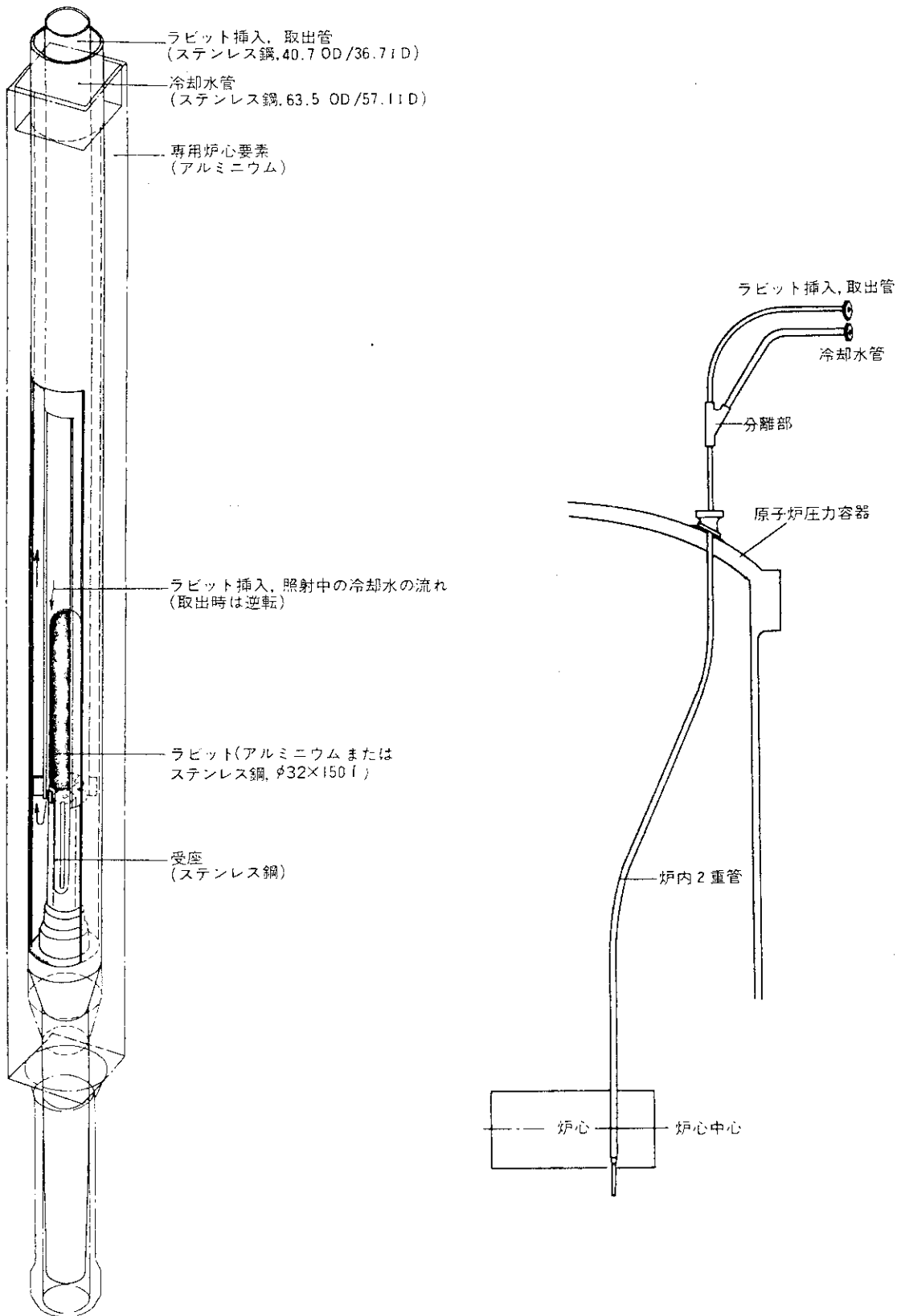




第 2.4 図 水カラビット照射設備 (HR-1) のフローシート



第 2.5 図 水カラビット照射設備 (HR-2) のフローシート



第 2.6 図 水カラビット照射設備の炉内 2 重管の構造

### 2.3 キャプセル照射設備

本設備は、試料を炉心に用意された直径32, 38, 42, 62および67 mmで深さ約85 cmの照射孔に入れて照射するためのもので、試料はアルミニウムまたはステンレス鋼の開放または密封容器に挿入される。

キャプセルは第2.4表および第2.7図に示すように、構造によっていくつかの型式に分類される。密封型の場合、試料と外筒の間に熱媒体が用いられるが、特にNaもしくはNaKを用いる場合は、原子炉冷却水に対し2重に隔壁を設けるように設計される。特殊キャプセルは特別な目的のために製作される。具体的な例を第2.8図および第2.9図に示す。

計測および特殊キャプセルにおいて、計測または制御のための各種リード線または配管は、第2.10図に示すように、キャプセル上部に接続された保護管および案内管を通して原子炉圧力容器外へ導かれ、炉ループ回りに設置されているキャプセル計測制御装置に接続される。第2.11図に炉回り配管およびキャプセル制御装置配置図の例を示す。

第2.5表および第2.6表にキャプセルで使用される計測器および特殊装置の仕様・性能を示す。

第2.3表 キャプセル照射設備の性能

熱中性子束	$0.1 \sim 3 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
高速中性子束	$0.1 \sim 20 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
$\gamma$ 加熱率	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
キャプセル寸法	$\phi 30, 36, 40, 60, 65 \times \text{約} 750 \text{ l}$

第2.4表 キャプセル型式

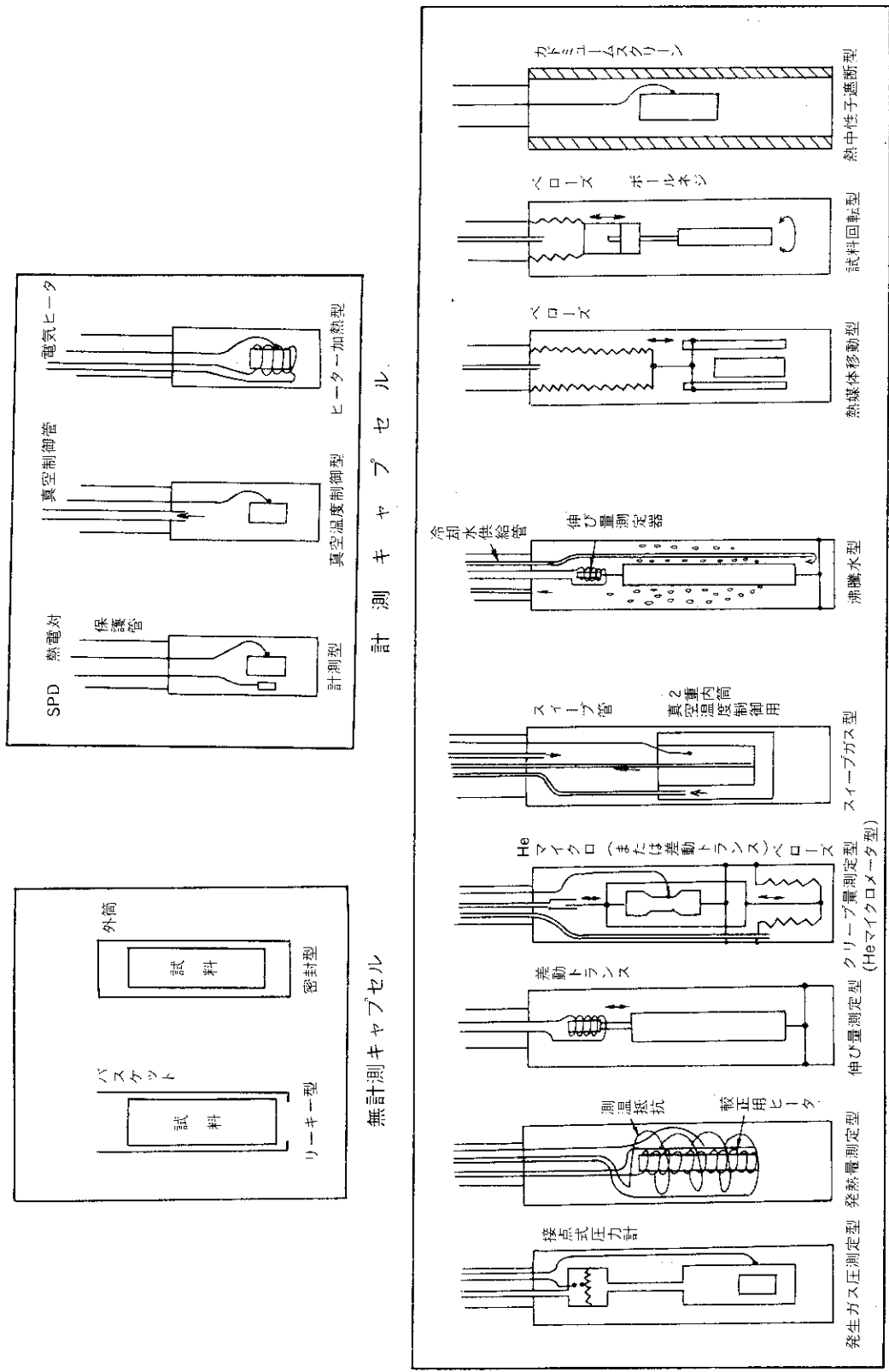
分類	型式	構造・機能等	備考
無 計 測	リ - キ -	原子炉冷却水（約50°C）により試料を直接冷却する。 バスケットを使用する。	ステンレス鋼，アルミニウム，インコネル，17-4 PH等に限られる。
	密 封	アルミニウム，またはステンレス鋼外筒内へ試料を封入する。 外筒 { 大型の場合そのままキャプセルとして使用する。 小型の場合バスケットを使用する。	
計 測	計 測	熱電対，または SPD の挿入により温度または熱中性子束を測定する。	
	真空温度制御	試料と外筒間に封入される He ガス層の真空度を変えることにより試料の温度を制御する。	
	ヒータ加熱	試料周囲に配置したヒータの出力調節により試料の温度を制御する。	真空温度制御との併用も可能である。
特 殊	発生ガス圧測定	各種圧力計により試料から発生するガスの圧力を測定する。	
	発熱量測定	試料発熱量の精密測定を行う。 較正用ヒータを使用する。	$\gamma$ 加熱率が小さい場合のみ可能である。
	伸び量測定	差動トランス型測定器により試料の伸び量を測定する。	
	クリープ量測定	照射クリープの測定を行う。試料への荷重制御，温度制御および試料の伸び量測定を行う。荷重用ベローズ，Heマイクローメータまたは差動トランス型伸び測定器を使用する。	低サイクル疲労試験も可能である。
	スweepガス	試料から発生するガスの分析を行う。キャリアーガスとして He を使用する。	高温ガス炉用燃料の照射に用いる。
	沸騰水	軽水炉燃料ピンを高温高圧静水中で照射する。燃料ピンの外側に高温，高圧水のための耐圧部を有する。	軽水炉燃料のPCI実験に用いる。 $^3\text{He}$ の出力制御装置を併用する。
	熱媒体移動	試料温度の粗調整を行う。固体熱媒体を移動する。	微調整は真空温度制御による。
	試料回転	試料の周方向の均一照射を行う。ベローズ，ボールネジを使用する。	
	熱中性子遮断	カドミウムスクリーンを使用する。	高速炉用燃料の照射に用いる。

第2.5表 キャプセル内特殊装置

機 器 名	用 途	仕 様 ・ 性 能	備 考
電 気 ヒ ー タ	温度制御および発熱量 校正	Ni-Cr 線, MgO 絶縁, インコネルシース $\phi$ 1.0 ~ $\phi$ 2.0 発熱量 300 W/cm (最大)	
荷重用ベローズ	照射試料への荷重	材質: SUS, インコネル等 形式: 溶接ベローズ 寸法: $\phi$ 30 × 40 ~ 160 l 発生荷重: 200 kg (最大) 所要圧力: 数~数十kg/cm <sup>2</sup> G	炉内クリープ に使用
変位用ベローズ	照射試料の回転, 熱媒 体の移動等, 照射中の キャプセル内部構造物 の変位	同 上	試料を回転さ せる場合はボ ールネジと併 用

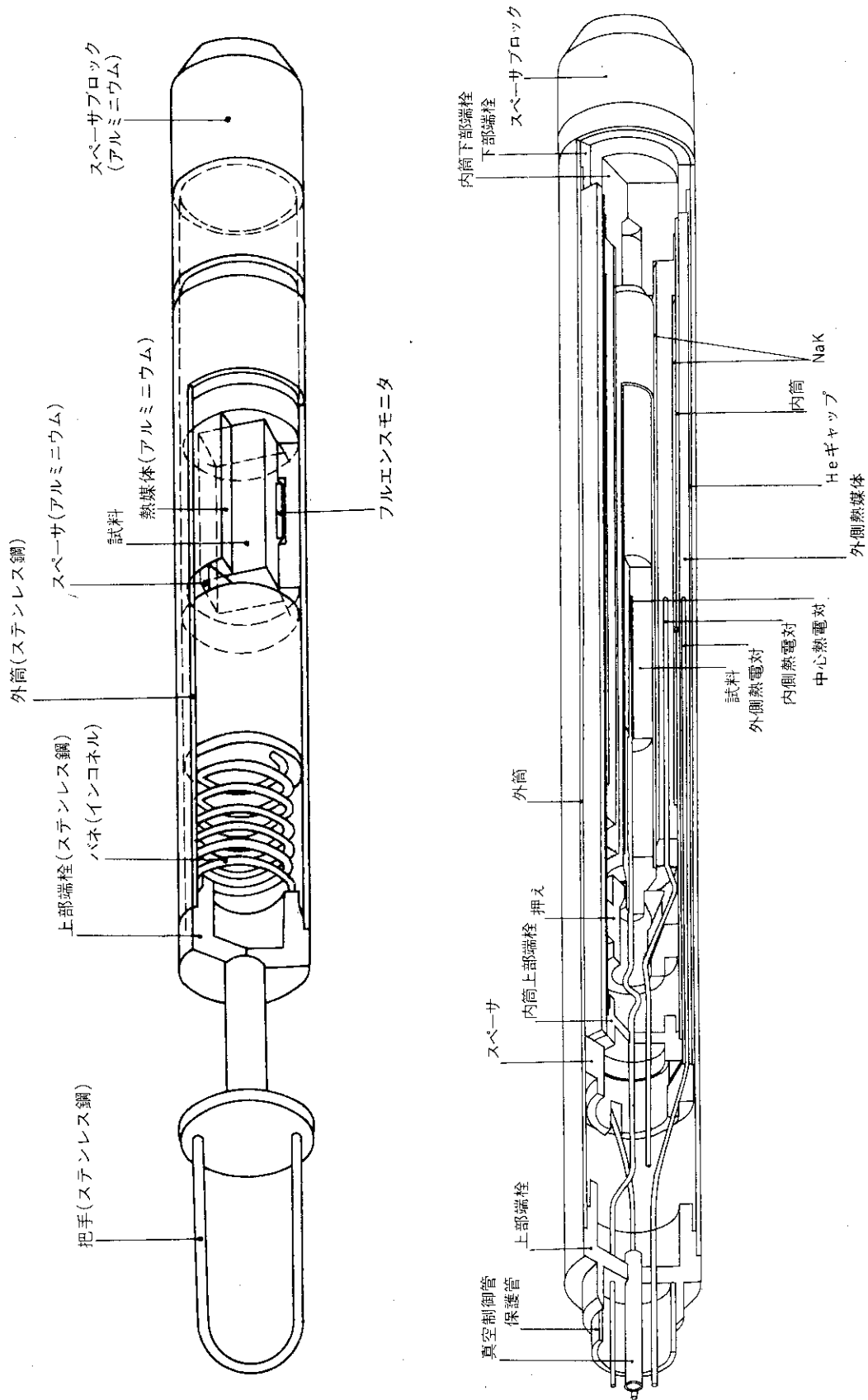
第2.6表 キャプセル内計測器

測定対象	計 装	仕 様 ・ 性 能			備 考
		材 質	寸 法	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 0.17 w/oCo-A1 1 w/oCo-Ti ケース セラミック, A1	ワイヤ $\phi$ 0.508×1~2 l ケース セラミック $\phi$ 3 (O.D)×20.1 A1 $\phi$ 2 (O.D)×25.40 l	熱中性子束 $1 \times 10^{21}$ n/cm <sup>2</sup>	セラミックケース: <1000 °C A1ケース: <500 °C
		モニタワイヤ Fe ケース セラミック, A1	ワイヤ $\phi$ 0.2×5 l ケース セラミック $\phi$ 3 (O.D)×20.1 A1 $\phi$ 2 (O.D)×25.40 l	高速中性子束 (>1 MeV) $\sim 2 \times 10^{21}$ n/cm <sup>2</sup>	40 l の A1 ケースは, 熱・高速中性子束両用の場合に用いる。
	SPD	エミッタ Rh コレクタ, インシュレータ SUS, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MgO	エミッタ $\phi$ 0.5~0.7×50 l コレクタ $\phi$ 1.6 (O.D)	熱中性子束 > $10^{10}$ n/cm <sup>2</sup> ・s $1 \sim 1.4 \times 10^{-20}$ A/n/cm <sup>2</sup> ・s 応答時間 68 秒 バーンアップ $10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> ・s で 3.9%/month	
$\gamma$ 加熱率	$\gamma$ カロリメータ	ヒータ 熱媒体 SUS, A1 ケース SUS	ヒータ 2 g ケース $\phi$ 13 (O.D)×100 l	0.13 ~ 13 W/g	
温 度	熱電対	素線 C-A シース・インシュレータ SUS, インコネル, MgO	シース $\phi$ 0.5~1.6 (O.D)	0 ~ 1200 °C	中, 低温用実績が多い。
		素線 W-5 Re/W-26 Re シース・インシュレータ Nb-1%Zr, BeO	シース $\phi$ 1.6 (O.D)	0 ~ 2200 °C	高温用, 実績が多い。
		素線 W-5 Re/W-26 Re シース・インシュレータ Mo, BeO	シース $\phi$ 1.6 (O.D)	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・インシュレータ SUS, MgO	シース $\phi$ 1.0 (O.D)	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 の合金 シース A1	0.2×2×3 (1個当り)	95 °C, 143 °C, 183 °C, 232 °C, 268 °C, 309 °C, 338 °C (7種)	最高温度のモニタに用いる。
圧 力	He マイクロメータ	SUS	$\phi$ 40×80 l	ニードル型 10 mm (精度 20 $\mu$ ) バップル型 0.25 mm (1 $\mu$ )	
	接 点	接点 SUS (Rhメッキ) リード線・インシュレータ Cu, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO	$\phi$ 4×20 l		
	差動トランス	ハウジング SUS 304 コア SUS 403 ケーブルシース インコネル	$\phi$ 14×60 l	$\approx$ 2.5 mm (精度 7 $\mu$ )	400 Hz 50 mV 使用温度 300 °C 以下
圧 力	圧力トランス ジュース	ベローズ SUS 接点 SUS (Rhメッキ) ケース SUS	$\phi$ 22×39 l	ヌルバランス式 70 kg/cm <sup>2</sup> G	



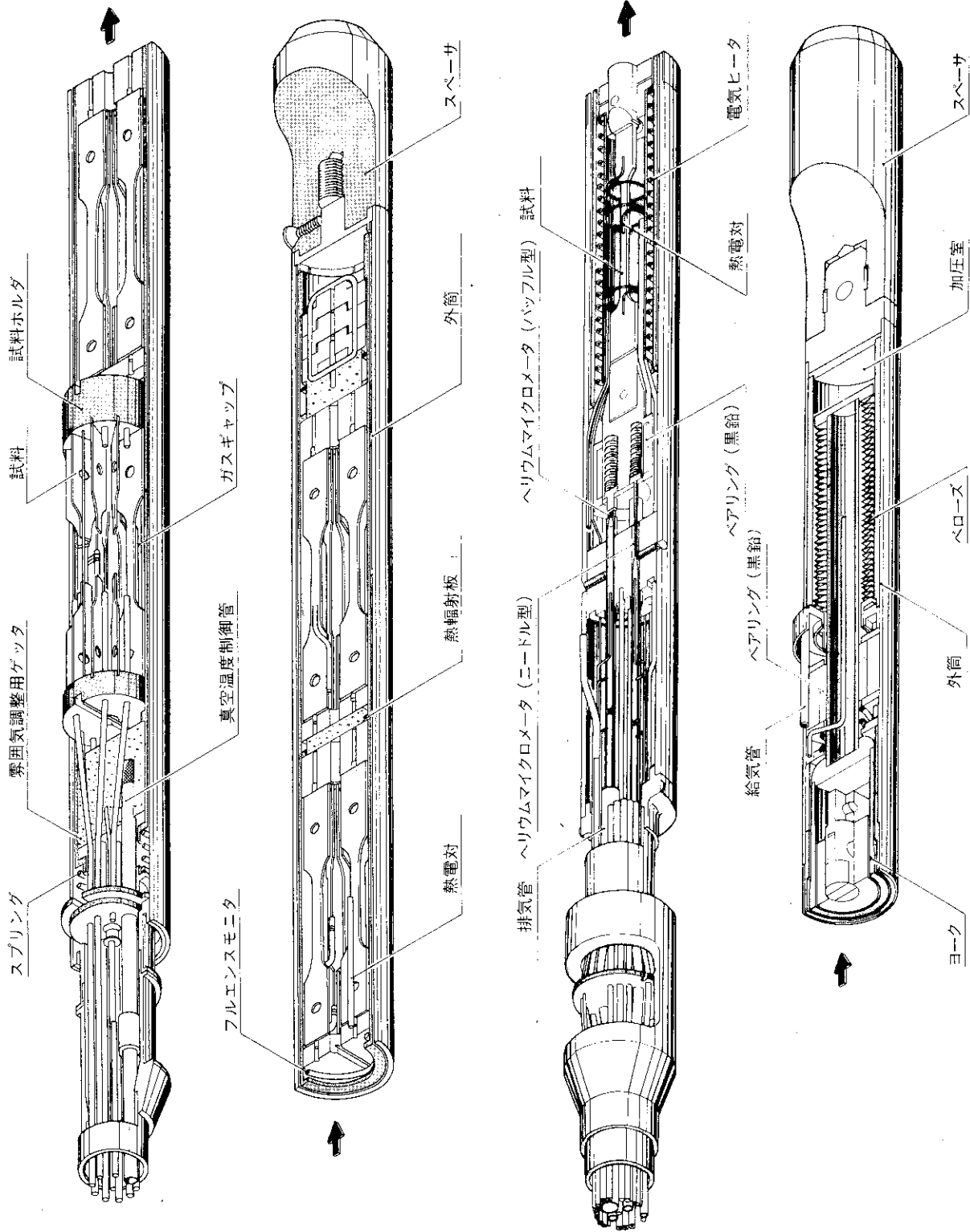
特殊キャパセル

第2.7図 キャパセル照射設備の分類

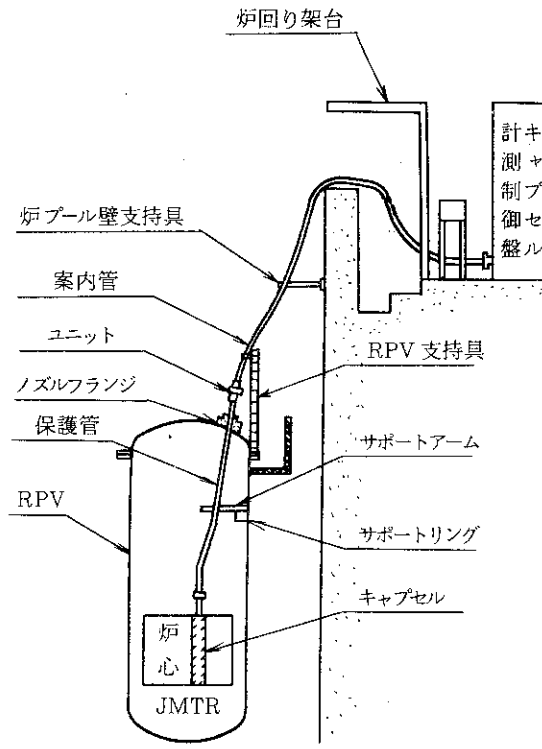


第2.8図 キャプセル照射設備の例(1)

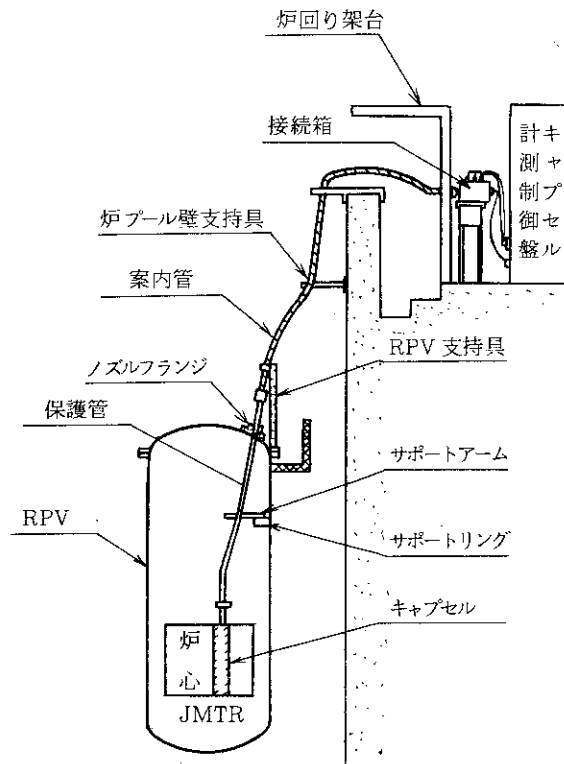




第2.9図 キャプセル照射設備の例(2)



(ユニット方式)



(接続箱方式)

第 2.10 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 には第 2.7 表および第 2.8 表に示すように、OWL-1、OWL-2 および OGL-1 の 3 つのループ照射設備が設置されており、それぞれ実験内容に応じて、動力炉と同等の雰囲気中で照射実験を実施できる。

OWL-1、OWL-2 はともに水ループで、炉内部の寸法が異なる以外は基本的に同じ構成であり、PWR、BWR の燃材料の照射が可能である。

OWL-1 は、炉内部の中性子束が高いので、高出力密度の燃料照射が可能であり、さらに FP 放出実験のような特殊目的にも使用される。OWL-1 のフローシートおよび炉内管構造を第 2.12 図および第 2.13 図に示す。

OWL-2 は、OWL-1 に比較して炉内管の寸法および除熱能力が大きいため、実寸に近い、ATR 燃料集合体をはじめ各種の燃材料の照射が可能である。OWL-2 のフローシートおよび炉内管構造を第 2.15 図および第 2.16 図に示す。

OGL-1 は、ヘリウムを冷却材としたガスループであり、高温ガス炉の使用条件とほぼ同程度の条件下で、被覆粒子燃料、耐熱金属材料、黒鉛材料などの照射が可能であり、燃料照射の場合には、試料出口平均ガス温度を  $1,000^{\circ}\text{C}$  にすることができる。OGL-1 のフローシートおよび炉内管構造を第 2.18 図および第 2.19 図に示す。

照射試料は、いずれの場合も原子炉圧力容器上部につき出た炉内管頂部から挿入され、ハンガーロッドでつり下げられる。第 2.14 図に OWL-1 の、第 2.17 図に OWL-2 の、第 2.20 図に OGL-1 の照射試料の例を示す。

OGL-1 照射試料の取出しには、試料が直接 JMTR 冷却水と接することがないように、第 2.21 図に示すような特殊キャスクを使用する必要がある。

第 2.9 表にループの照射試料に装備される計測器を示す。

第 2.7 表 ループによる照射実験

ループ	実験名	実験内容	備考
OWL-1 OWL-2	加圧水モード定常	加圧水型原子炉と同等の条件下で、材料、燃料（ピン）の照射を行う	OWL-2 は $73 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ まで
	沸騰水モード定常	沸騰水型原子炉と同等の条件下で、材料、燃料（ピン）の照射を行う	
	人工欠陥燃料照射	$\phi 20 \sim 500 \mu$ 程度の小孔を被覆管にあけた燃料ピン ( $^{235}\text{U}$ , 1 g) の照射（出力 $400 \text{ W/cm}$ ）による FP 放出挙動の解明	OWL-1 のみ
	擬健全燃料照射	被覆管の一部にキズをつけた燃料ピンの照射による照射中被覆管破損メカニズムの解明	
	出力冷却材不整合実験	冷却材低下時における燃料ピンのバーンアウトに至るまでの照射挙動の解明	
OGL-1		高温ガス炉と同等の条件下での材料、燃料の照射	

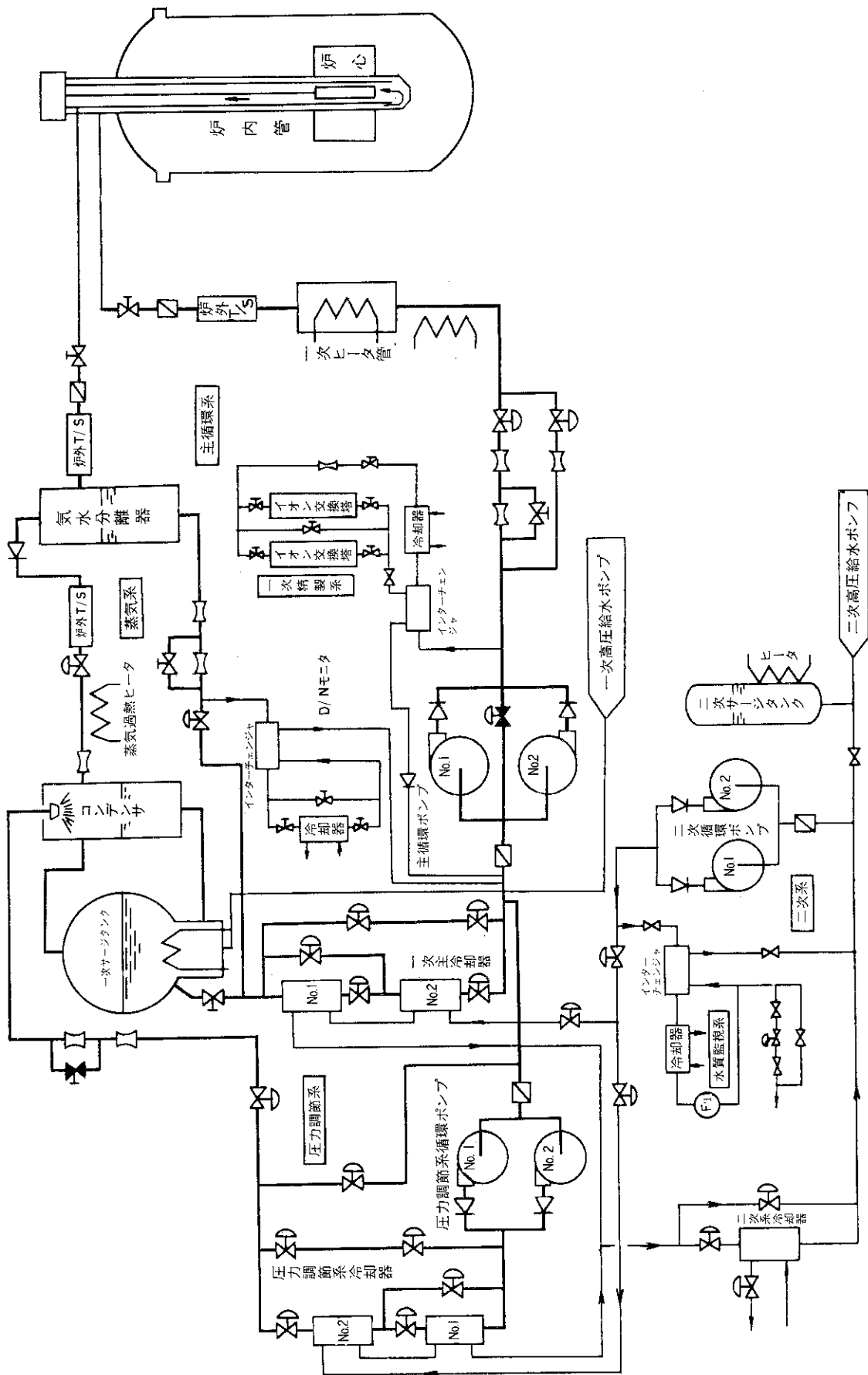
第2.8表 ループ照射設備の性能

		OWL-1	OWL-2	OGL-1
炉 心 位 置		D-7	K, L-3, 4	G, H-3, 4
熱 中 性 子 束	最大	$1.4 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$	$5.4 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$	$5.9 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
	平均	$1.1 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$	$4.1 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$	$4.5 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
高速中性子束	最大	$2.9 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$	$5.5 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$	$1.3 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
	平均	$2.2 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$	$4.2 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$	$9.6 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
$\gamma$ 加熱率 (最大)		1.5 W/g	0.5 W/g	1.0 W/g
冷 却 材		軽 水	軽 水	He ガス
冷 却 材 流 量		250 kg/min	1100 kg/min	6 kg/min
冷 却 材 温 度		320°C	270°C (285°C)*	1000°C
冷 却 材 圧 力		150 kg/cm <sup>2</sup> G (115)*	73 kg/cm <sup>2</sup> G	30 kg/cm <sup>2</sup> G
蒸気含有率または不純物濃度		蒸気含有率 20% (最大)	蒸気含有率 20% (最大)	全不純物 10 vpm
炉心部有効寸法		$\phi 39.7 \times 750 \text{ l}$	$\phi 117.8 \times 750 \text{ l}$	$\phi 82 \times 750 \text{ l}$
試料最大発熱量		200 kW	850 kW	135 kW
特 記 事 項		<ul style="list-style-type: none"> <li>• PWR, BWR の燃材料の照射</li> <li>• F.P 放出実験</li> <li>• 折返し型</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PWR (73 kg/cm<sup>2</sup>G まで), BWR, ATR の燃材料の照射</li> <li>• 貫通型</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 多目的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>• 折返し型</li> </ul>

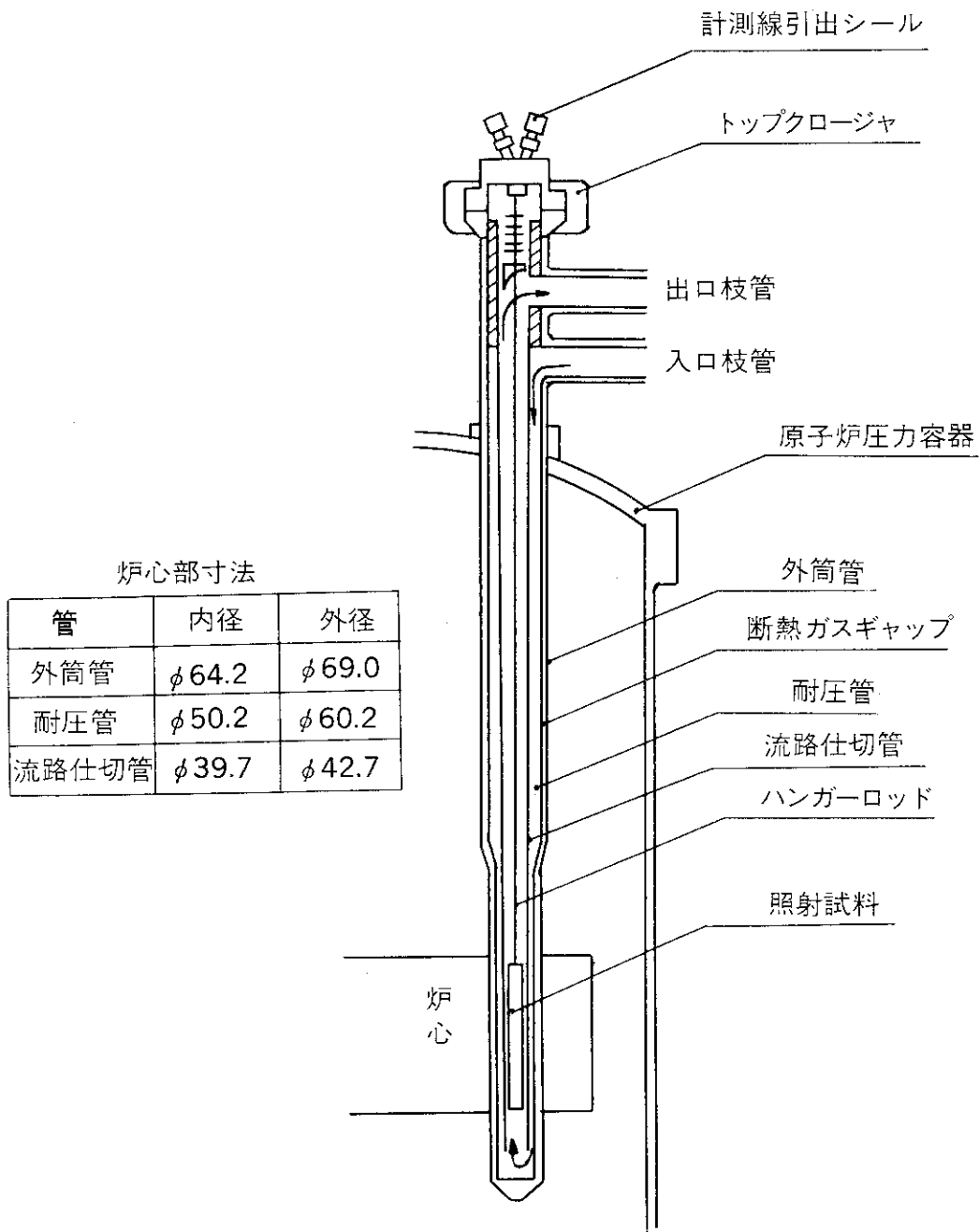
\* ( ) 内は沸騰水モードの場合

第2.9表 ループ炉内計測器

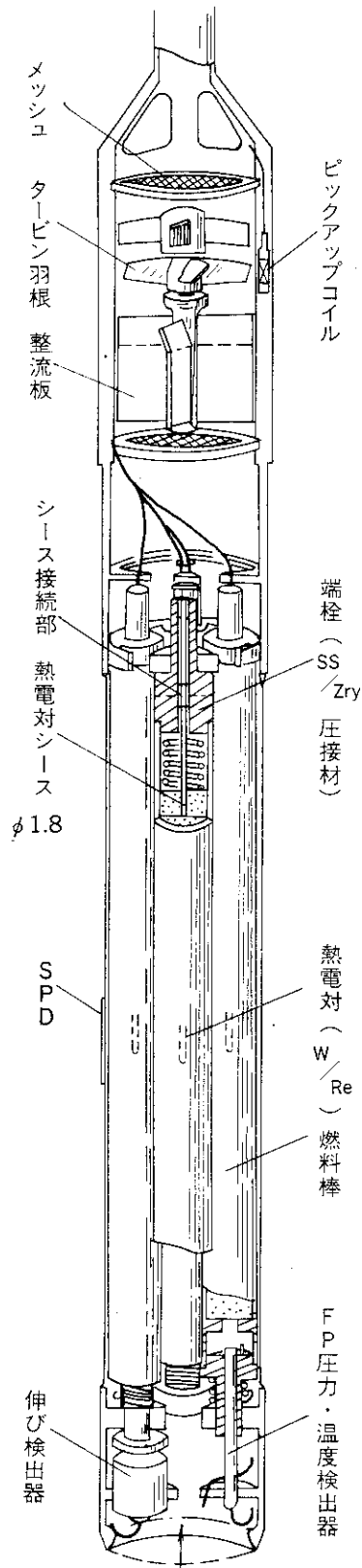
測定対象	計 装	仕 様 ・ 性 能			備 考
		材 質	寸 法	測定レンジ・感度	
中性子束		キャプセルの場合と同じ			
$\gamma$ 加熱率		キャプセルの場合と同じ			
温 度		キャプセルの場合と同じ			
変 位	差動トランス	ケース SUS	$\phi 12.5 \times 80 \text{ l}$	$\pm 5 \text{ mm}$	燃料ピンの被覆管伸びの測定
	渦 電 流	ケース SUS	$\phi 20 \times 40 \text{ l}$	$\pm 5 \text{ mm}$	
圧 力	圧力トランス	キャプセルの場合と同じ			FP ガス圧力, 冷却材圧力の測定
	渦 電 流	ケース SUS	$\phi 6 \times 120 \text{ l}$	0 ~ 70 kg/cm <sup>2</sup>	
冷却材流量	タービン フローメータ	ベアリング 超硬合金 スラスト 17-4 PH シャフト 超硬合金	ハウジング 外径 $\phi 39$ 内径 $\phi 23$ ローター 外径 $\phi 20.3$	30 ~ 60 kg/min	小型, 高精度流量計 測定精度 $\pm 1\%$



第 2.12 図 OWL-1 のフローシート

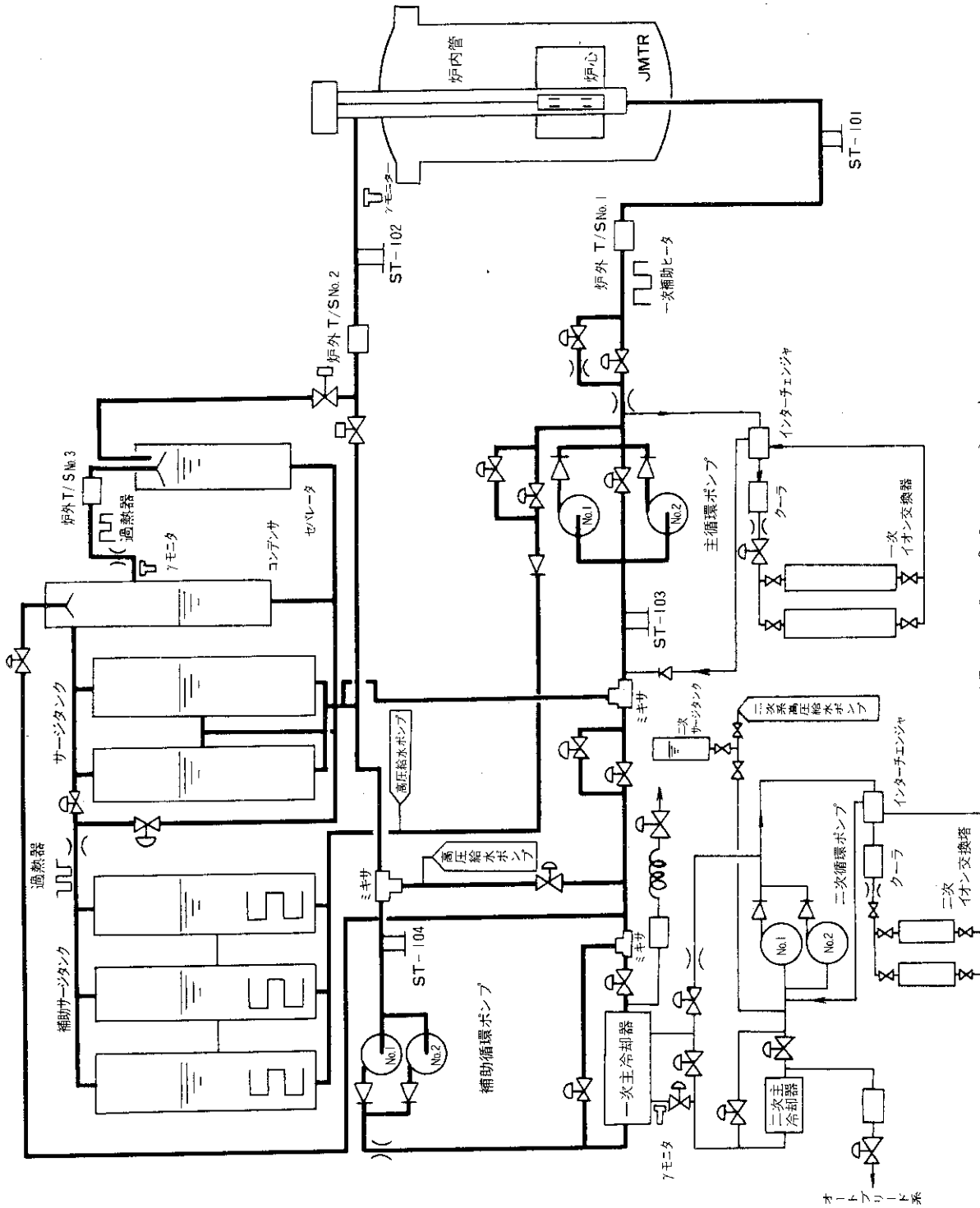


第 2.13 図 OWL-1 の炉内管構造

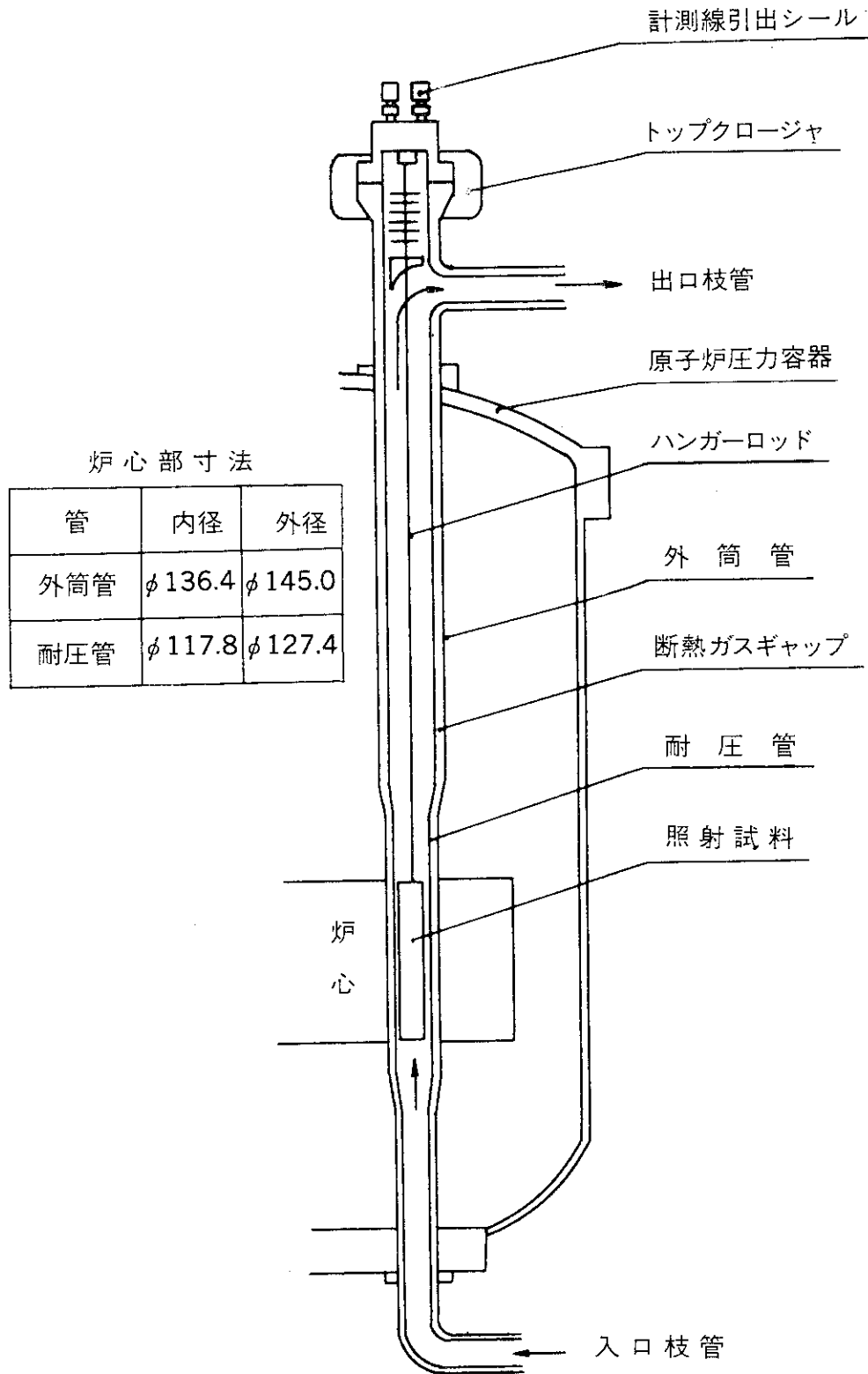


第 2.14 図 OWL-1 の照射試料の例

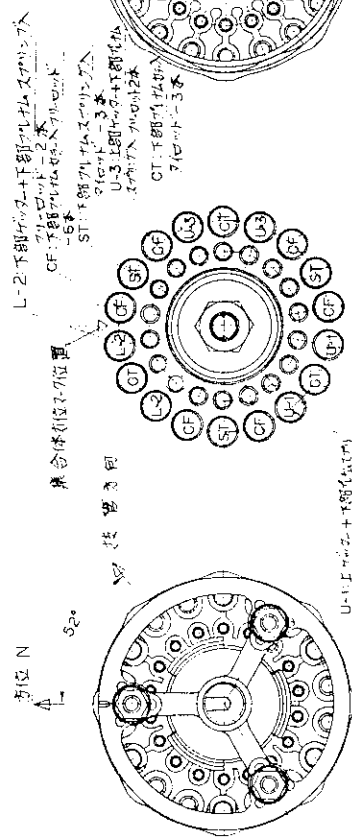
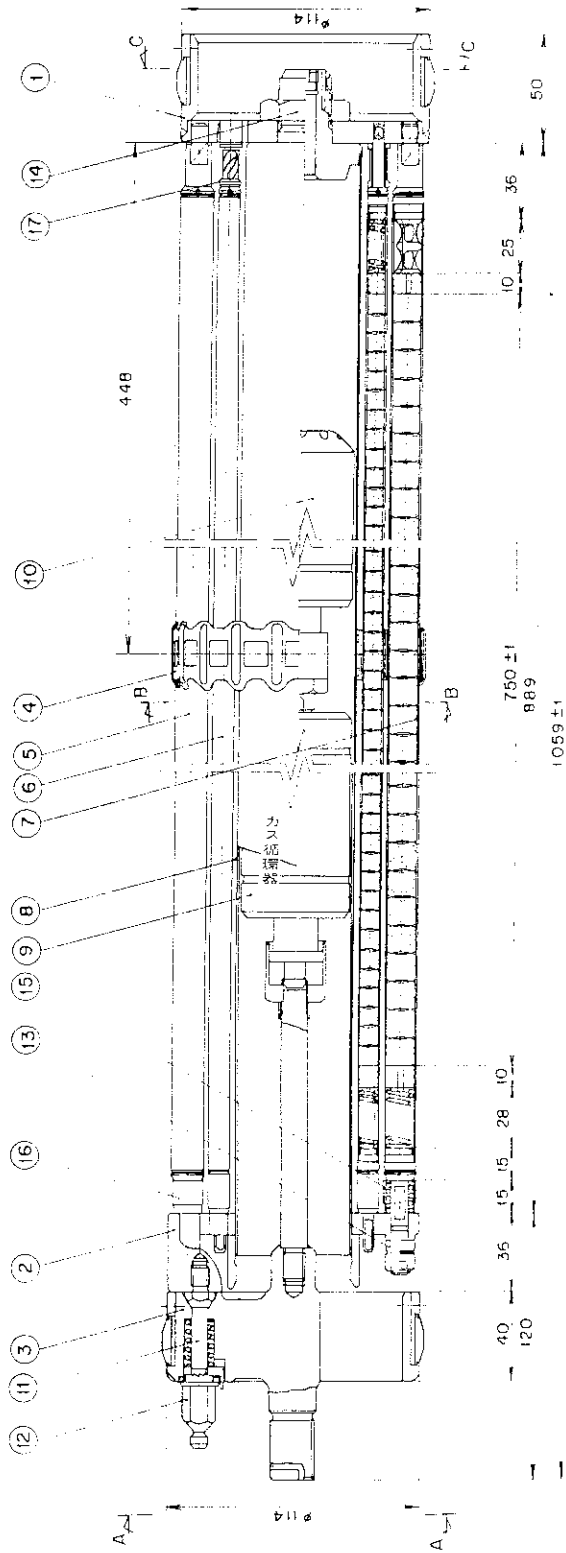




第 2.15 図 OWL - 2 のフローシート

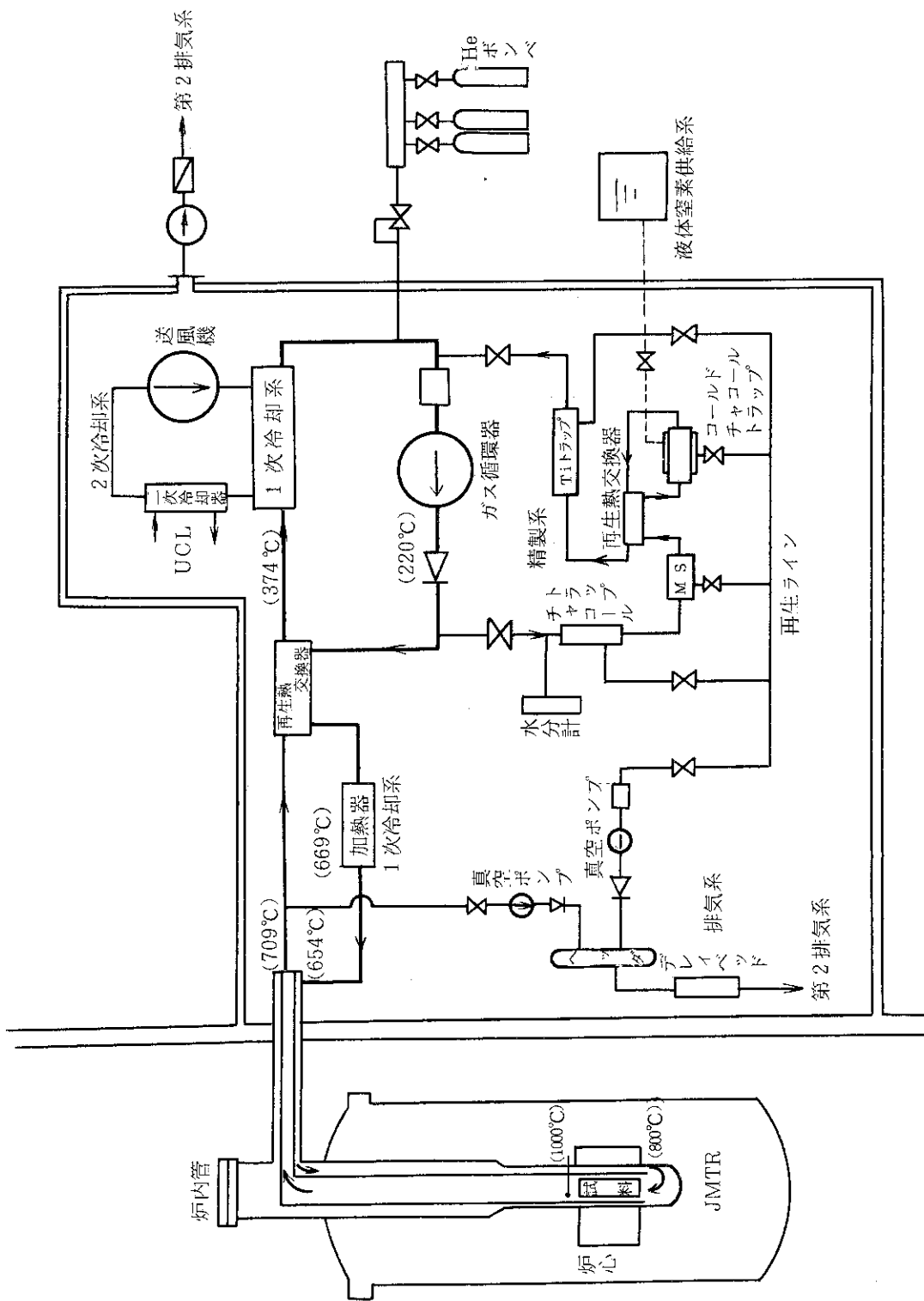


第 2.16 図 OWL-2 の炉内管構造



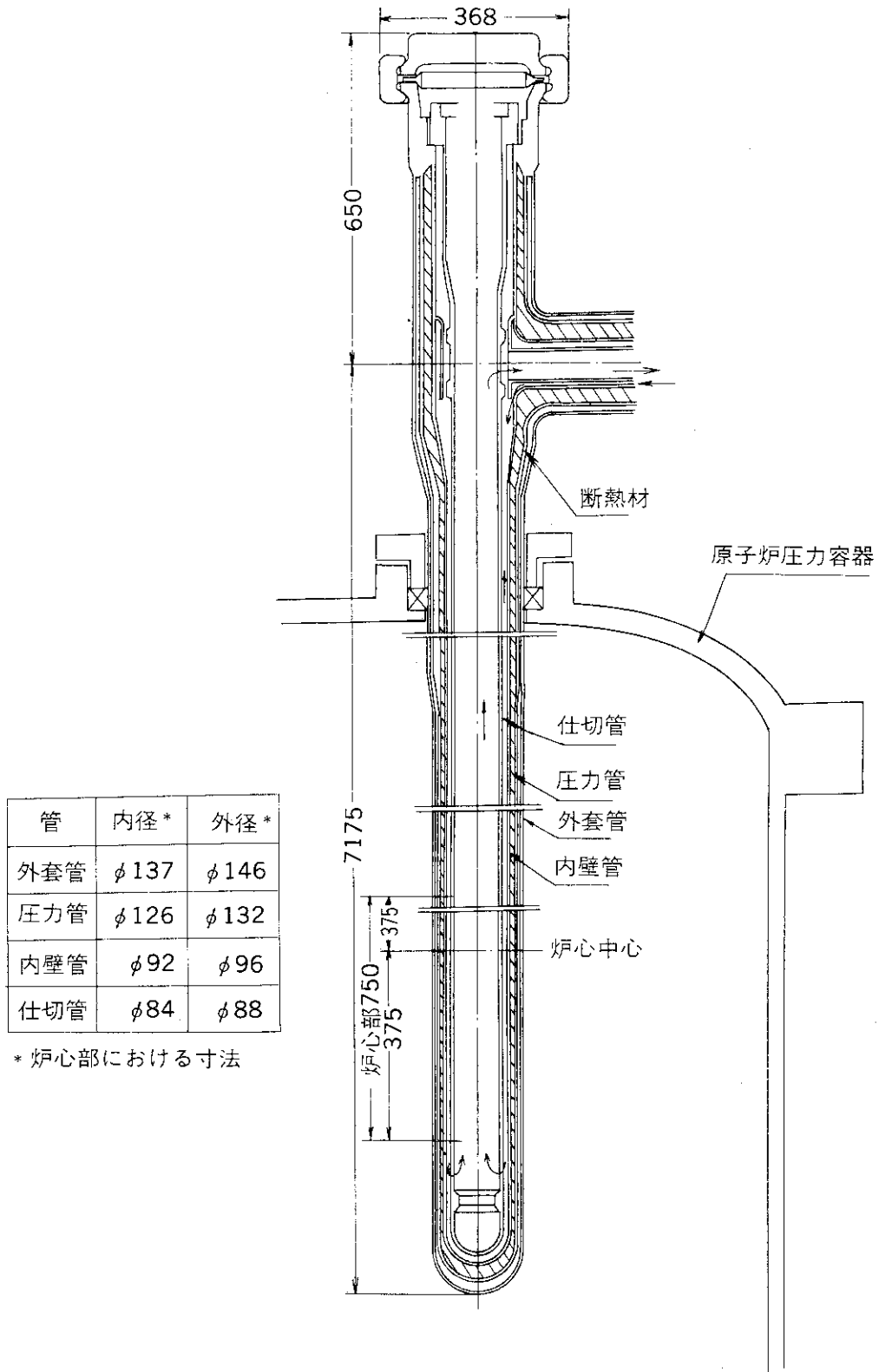
①	ステンレス鋼	SUS-304
②	ステンレス鋼	SUS-304
③	ステンレス鋼	SUS-304
④	ステンレス鋼	SUS-304
⑤	ステンレス鋼	SUS-304
⑥	ステンレス鋼	SUS-304
⑦	ステンレス鋼	SUS-304
⑧	ステンレス鋼	SUS-304
⑨	ステンレス鋼	SUS-304
⑩	ステンレス鋼	SUS-304
⑪	ステンレス鋼	SUS-304
⑫	ステンレス鋼	SUS-304
⑬	ステンレス鋼	SUS-304
⑭	ステンレス鋼	SUS-304
⑮	ステンレス鋼	SUS-304
⑯	ステンレス鋼	SUS-304
⑰	ステンレス鋼	SUS-304
⑱	ステンレス鋼	SUS-304
⑲	ステンレス鋼	SUS-304
⑳	ステンレス鋼	SUS-304
㉑	ステンレス鋼	SUS-304
㉒	ステンレス鋼	SUS-304
㉓	ステンレス鋼	SUS-304
㉔	ステンレス鋼	SUS-304
㉕	ステンレス鋼	SUS-304
㉖	ステンレス鋼	SUS-304
㉗	ステンレス鋼	SUS-304
㉘	ステンレス鋼	SUS-304
㉙	ステンレス鋼	SUS-304
㉚	ステンレス鋼	SUS-304
㉛	ステンレス鋼	SUS-304
㉜	ステンレス鋼	SUS-304
㉝	ステンレス鋼	SUS-304
㉞	ステンレス鋼	SUS-304
㉟	ステンレス鋼	SUS-304
㊱	ステンレス鋼	SUS-304
㊲	ステンレス鋼	SUS-304
㊳	ステンレス鋼	SUS-304
㊴	ステンレス鋼	SUS-304
㊵	ステンレス鋼	SUS-304
㊶	ステンレス鋼	SUS-304
㊷	ステンレス鋼	SUS-304
㊸	ステンレス鋼	SUS-304
㊹	ステンレス鋼	SUS-304
㊺	ステンレス鋼	SUS-304
㊻	ステンレス鋼	SUS-304
㊼	ステンレス鋼	SUS-304
㊽	ステンレス鋼	SUS-304
㊾	ステンレス鋼	SUS-304
㊿	ステンレス鋼	SUS-304

第 2.17 図 OWL - 2 の照射試料の例

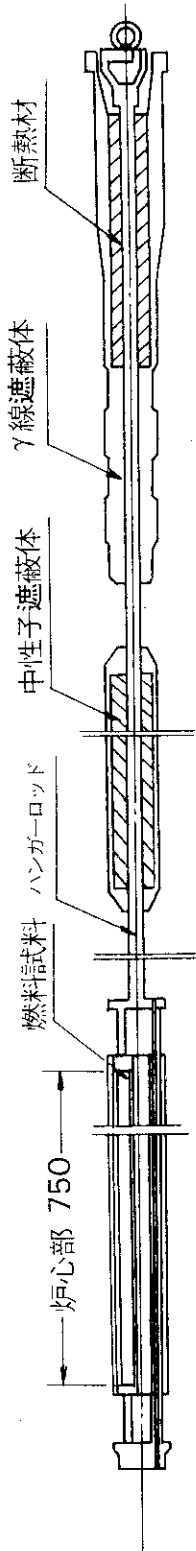


注) ( )内数字は、標準試料照射時の各部ガス温度

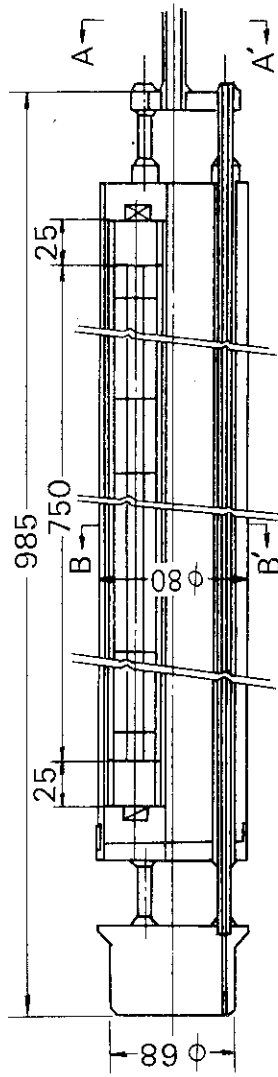
第 2.18 図 OGL-1 のフッ素シート



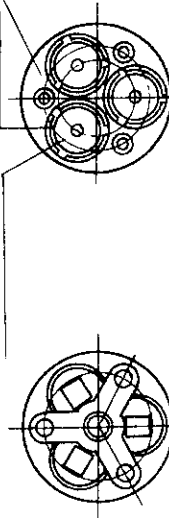
第 2.19 図 OGL-1 の炉内管構造



標準燃料試料全体図



燃料コンパクト 燃料スリーブ 燃料ホルダ

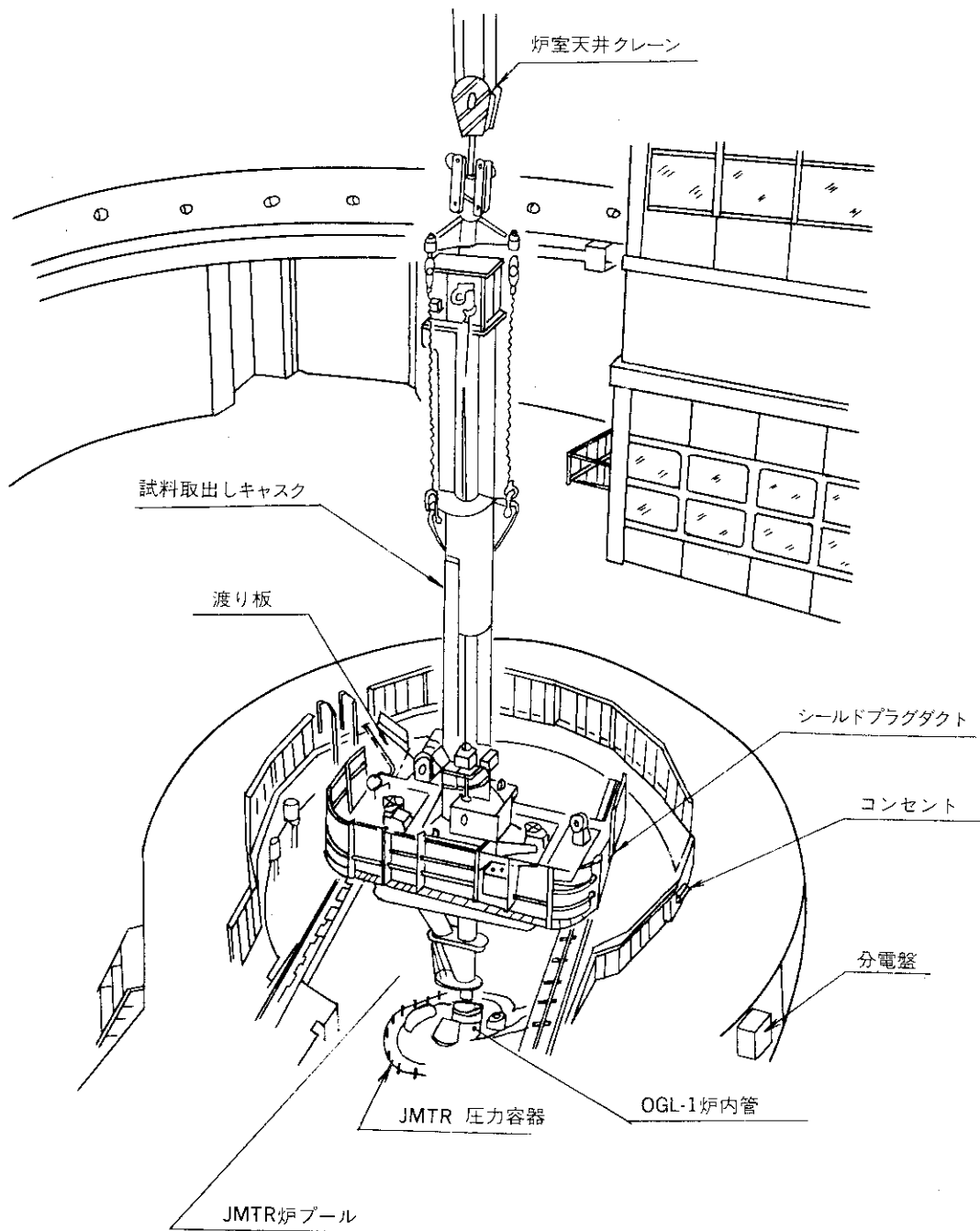


A-A' 断面 B-B' 断面

炉心部詳細図

燃料試料仕様	照射条件
燃料試料式 濃縮燃料粒子TRISO-II	冷却材圧力 30atg
核種 種類 $UO_2$ (1本当り)	流量 75g/s
粒子径 500 $\mu$	流速 14g/s
燃料コンパクト径 780 $\mu$	流速 87m/s
燃料コンパクト式 黒鉛業地田岡型	入口温度 700°C
大きさ $24^{\circ}D \times 8^{\circ}D \times 40t$	燃料中心温度 1000°C
粒子充填率 22V/O	燃料中心温度 1270°C
U 燃料スリーブ 重量 8.55g/コンパクト	総発熱量 最高400W/cm本
	燃焼率 67 kW
	0.5% FIMA/サイクル
燃料スリーブ式 黒鉛製円筒バッド付	
大きさ $30^{\circ}D \times 24.2t$	

第 2.20 図 OGL -- 1 の標準燃料試料の例



第 2.21 図 OGL - 1 の試料取出状態

## 2.5 縦駆動照射設備

縦駆動照射設備（NCF: Neutron Control Facility）は、照射中にキャプセルを炉心内で縦方向に上下することにより、照射中性子束または発熱量を変えることができる。

本設備は、第2.22図に示すように、原子炉冷却系とは独立した冷却系を有しており、キャプセルは、外部モータで上下駆動される。

駆動ストロークは500 mmであるが、原則として、炉心中央または最大中性子束の位置が、キャプセル駆動の下限に選ばれる。

キャプセルの駆動方式には、

- ① 温度または中性子束を一定に制御するための位置制御
- ② あらかじめ決められたプログラムに従っての位置制御
- ③ 必要に応じての手動による位置制御

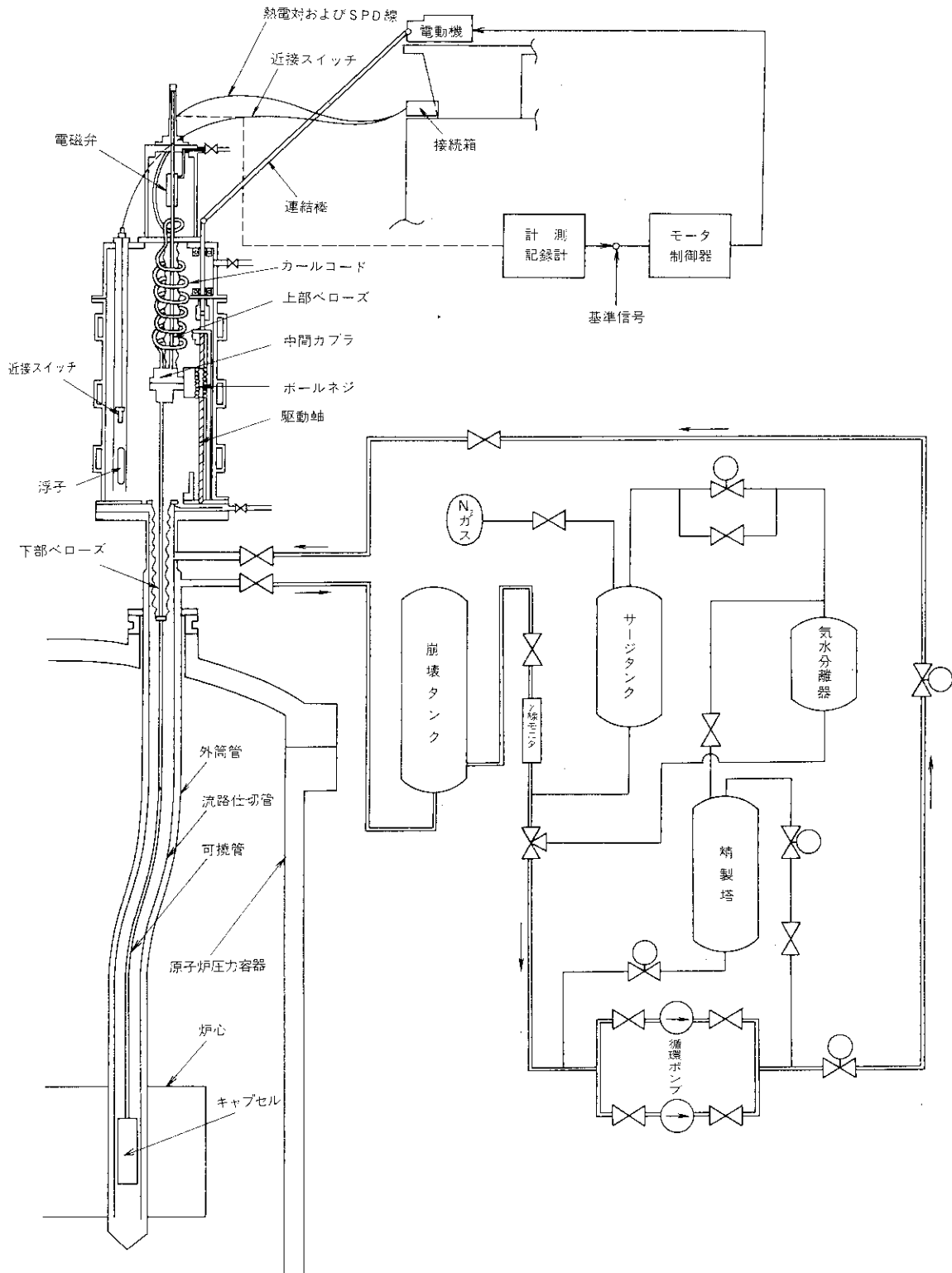
の3つがある。

第2.23図に、縦駆動照射試料の例を示す。

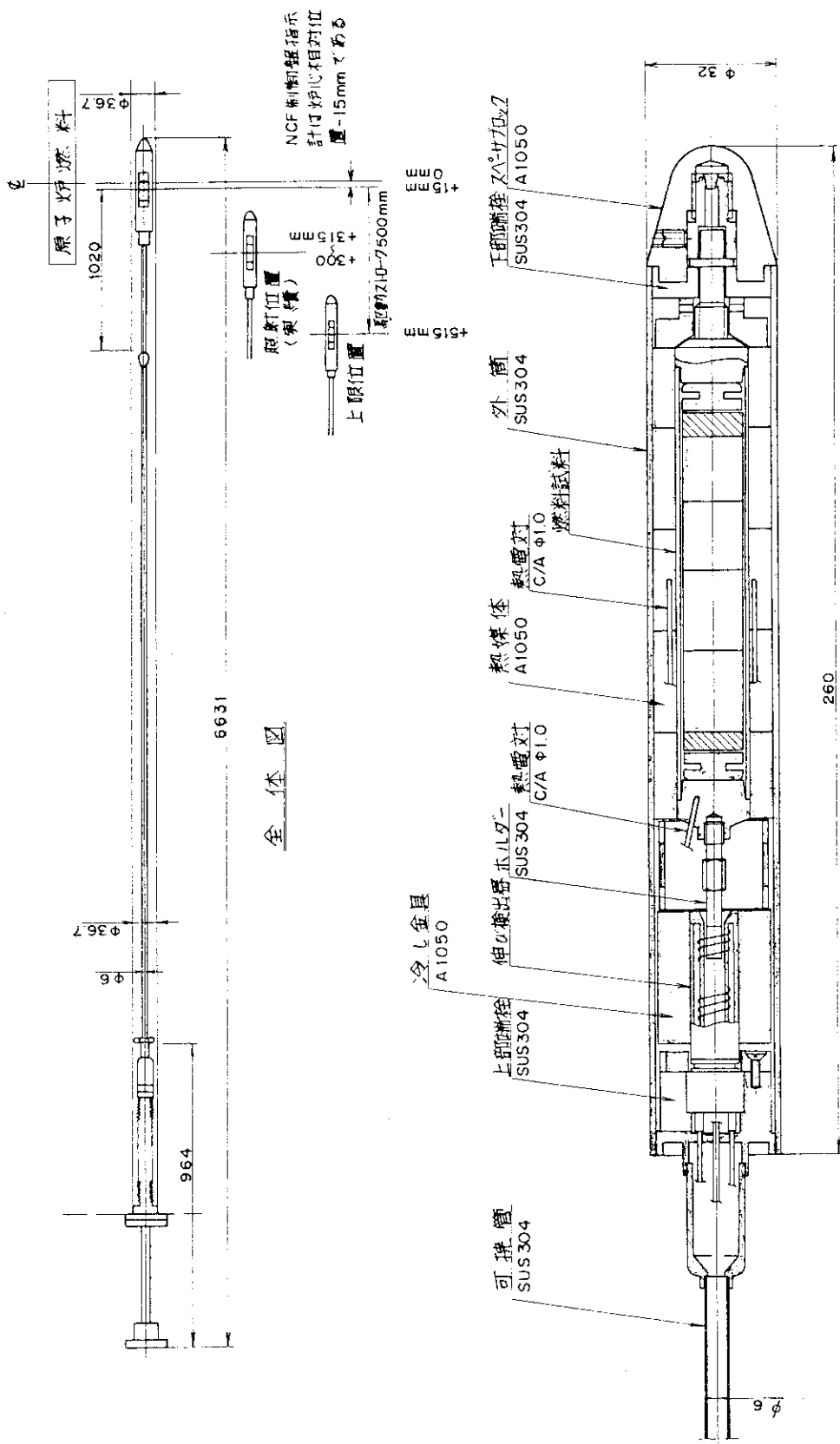
第2.10表 縦駆動照射設備の性能

炉 心 位 置	M-7
熱 中 性 子 束	$0.3 \sim 2.4 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
高 速 中 性 子 束	$0.1 \sim 7.7 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
$\gamma$ 加 熱 率	3.5 W/g
冷 却 材	軽 水
冷 却 材 流 量	4 m <sup>3</sup> /h
冷 却 材 温 度	40°C
冷 却 材 圧 力	8 kg/cm <sup>2</sup> G (最大)
駆 動 ス ト ロ ー ク	500 mm (最大)
駆 動 速 度	1 cm/s $\sim$ 0.5 cm/h
計 測 器	T/C, SPD (計7本)
最 大 発 熱 量	100 kW
キ ャ プ セ ル 寸 法	$\phi 32 \times 270$ I (最大)





第 2.22 図 縦駆動照射設備概要



第 2.23 図 縦駆動照射設備照射試料の例

## 2.6 ガススイープ照射設備

本設備は、高温照射中に、高温ガス炉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ことを目的としている。

設備は第 2.24 図に示すとおり、スイープガス供給装置、測定装置等の炉外部分と、JMTR 炉心に挿入されるガススイープキャプセルからなる。

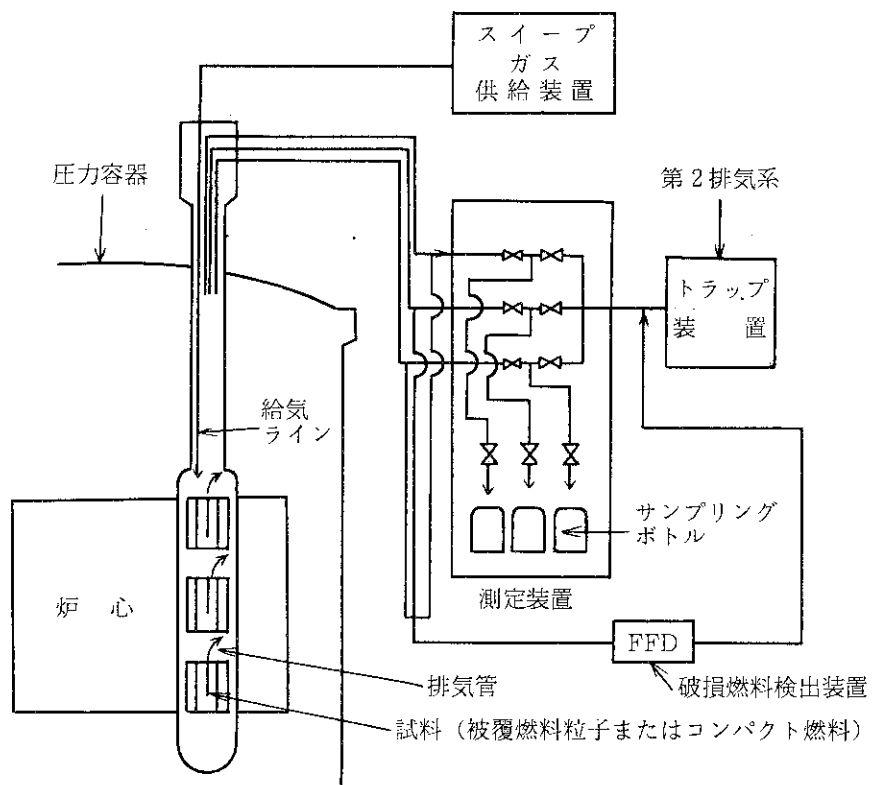
照射するガススイープキャプセルは、JMTR 燃料領域の照射孔に 2 本まで挿入可能で、キャプセルには上、中、下 3 段の試料ブロックが組込まれる。これらの試料ブロックに照射試験用の被覆粒子燃料が取付けられ、各段の試料は、それぞれ独立して温度制御と FP ガスのスイープ実験を行うことができる。第 2.25 図に、ガススイープ照射試料の例を示す。

なお、被覆粒子燃料では、健全な燃料でも運転中に微量の FP が漏洩しており、万一燃料の破損が生じた場合でも、金属被覆燃料と異なり一挙に大量の FP が放出されることはない。したがって燃料が健全な場合と破損した場合の FP の放出量の変化が少なく、破損の検出が非常に難しい。

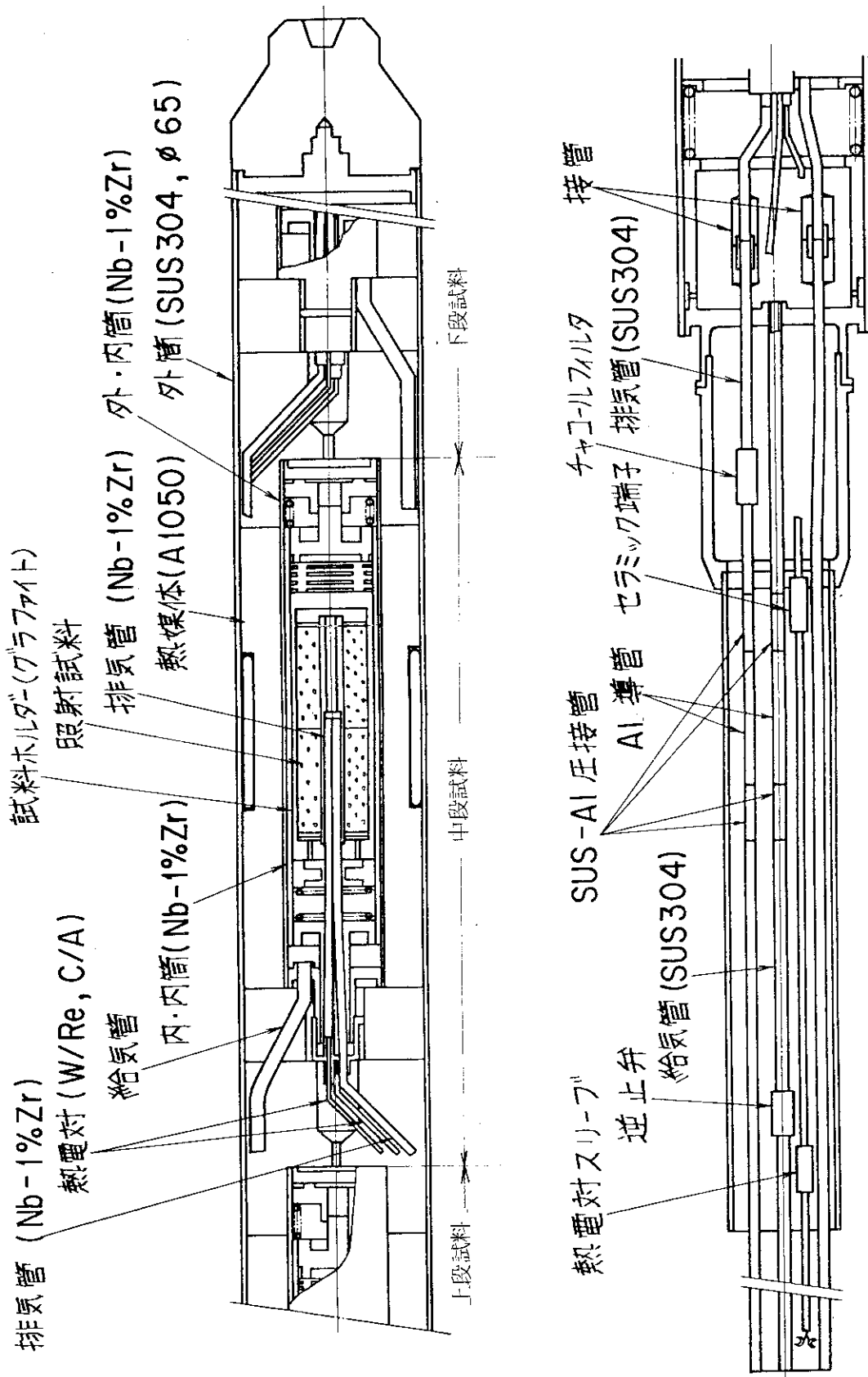
このため、被覆粒子燃料異常の高感度判別監視を行う破損燃料検出装置 (FFD: Failed Fuel Detector) の開発計画が進められているが、その一環として、本設備に FFD が取付けられ、被覆粒子燃料の照射実験と平行して、破損検出の実験ができるようになっている。FFD は、スイープガスを約  $1/10^4$  に希釈し、プレシピテータを用いて放射能測定を行うものである。

第 2.11 表 ガススイープ照射設備の性能

照 射 燃 料	被 覆 粒 子 燃 料
粒 子 燃 料 外 径	約 920 $\mu$ (Mk-III仕様)
粒 子 燃 料 装 荷 量	約 66 g/キャプセル
速 中 性 子 束	$2 \times 10^{13} \sim 2 \times 10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> · s
熱 中 性 子 束	$1 \times 10^{14} \sim 3 \times 10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> · s
試 料 発 熱 量	830 W/cm
照 射 燃 料 温 度	最高 1600 °C
スイープガス (He) 流量	100 ml / min
スイープガス供給圧力	3 kg/cm <sup>2</sup> G
FP ガス放出率 (R/B)	1.0 % 以下



第 2.24 図 ガススイープ照射設備



第 2.25 図 ガス照射設備照射試料の例

## 2.7 BOCA 照射設備

本設備は、沸騰水型軽水炉と同じ圧力、温度条件下で、燃料試料の出力急昇試験ができるよう開発されたもので、沸騰水キャプセル（BOCA: Boiling Capsule）制御装置と<sup>3</sup>He 出力可変装置から構成されている。

本設備による出力急昇試験の概要を第 2.26 図に、また、本設備の概要を第 2.27 図に示す。

### (1) 沸騰水キャプセル制御装置

本装置は、加圧水を熱媒体として用いる沸騰水キャプセルの炉外装置であり、沸騰水キャプセル内の水圧を制御し、燃料ピンの表面でサブクール沸騰条件を得ることができる。この場合、燃料ピンの線出力の広い範囲に対し、ピンの表面温度は水圧の飽和温度よりわずかに高い程度ではほぼ一定であり、軽水炉の出力変動時と同等の照射条件を得ることができる。

第 2.12 表および第 2.28 図に、それぞれ沸騰水キャプセル制御装置の性能と概略フローシートを示す。

第 2.12 表 沸騰水キャプセル制御装置の性能

項 目		仕 様
冷 却 材		純 水
加 圧 系 使 用 ガ ス		N <sub>2</sub> ガ ス
圧 力	最高使用圧力	90 kg/cm <sup>2</sup> G
	通常運転圧力	73 kg/cm <sup>2</sup> G
冷 却 水 流 量		1 cc/s

### (2) <sup>3</sup>He 出力可変装置

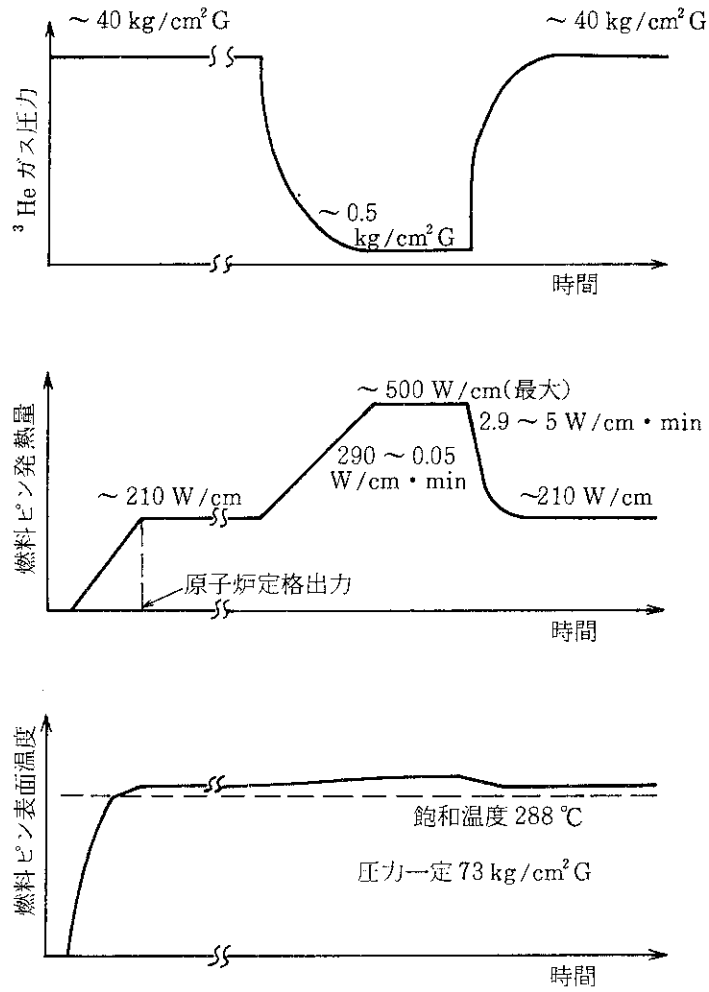
本装置は、第 2.29 図に示すように、照射孔に挿入された円環状<sup>3</sup>He スクリーンと、<sup>3</sup>He ガスの圧力制御およびガスの純化のための炉外装置から構成されており、照射中に燃料ピンを移動せずに出力を変えることができる。

<sup>3</sup>He スクリーン中央に装荷されたキャプセル内燃料ピンの出力は、<sup>3</sup>He ガス圧力を変えることにより制御される。キャプセルの冷却には、通常のキャプセルと同様、原子炉一次冷却水が用いられる。

第 2.13 表および第 2.29 図に、それぞれ<sup>3</sup>He 出力可変装置の性能と概略フローシートを示す。

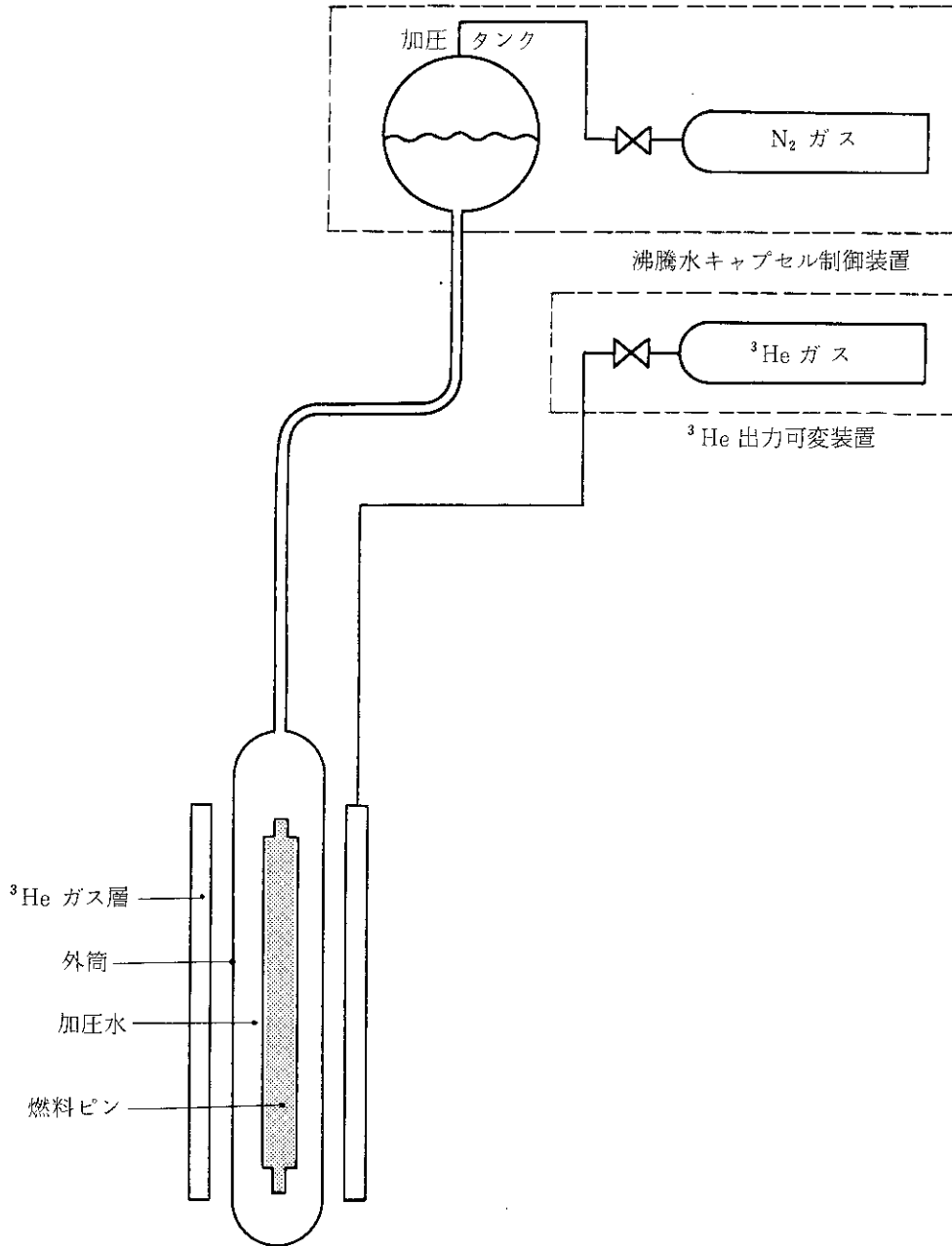
第 2.13 表  $^3\text{He}$  出力可変装置の性能

項 目		仕 様
炉 心 位 置		D-9
最 高 出 力		500 W/cm (2.8% E.U)
熱 中 性 子 束		$1.2 \sim 2.6 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ (可変)
高 速 中 性 子 束		$2 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
r 加 熱 率		2 W/g
出 力 変 化 巾		2.4 倍
出力変化 速 度	上昇時	290 ~ 0.05 W/cm · min
	下降時	29 ~ 5 W/cm · min
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		24 kW
キャプセル寸法		φ 30 × 400 l

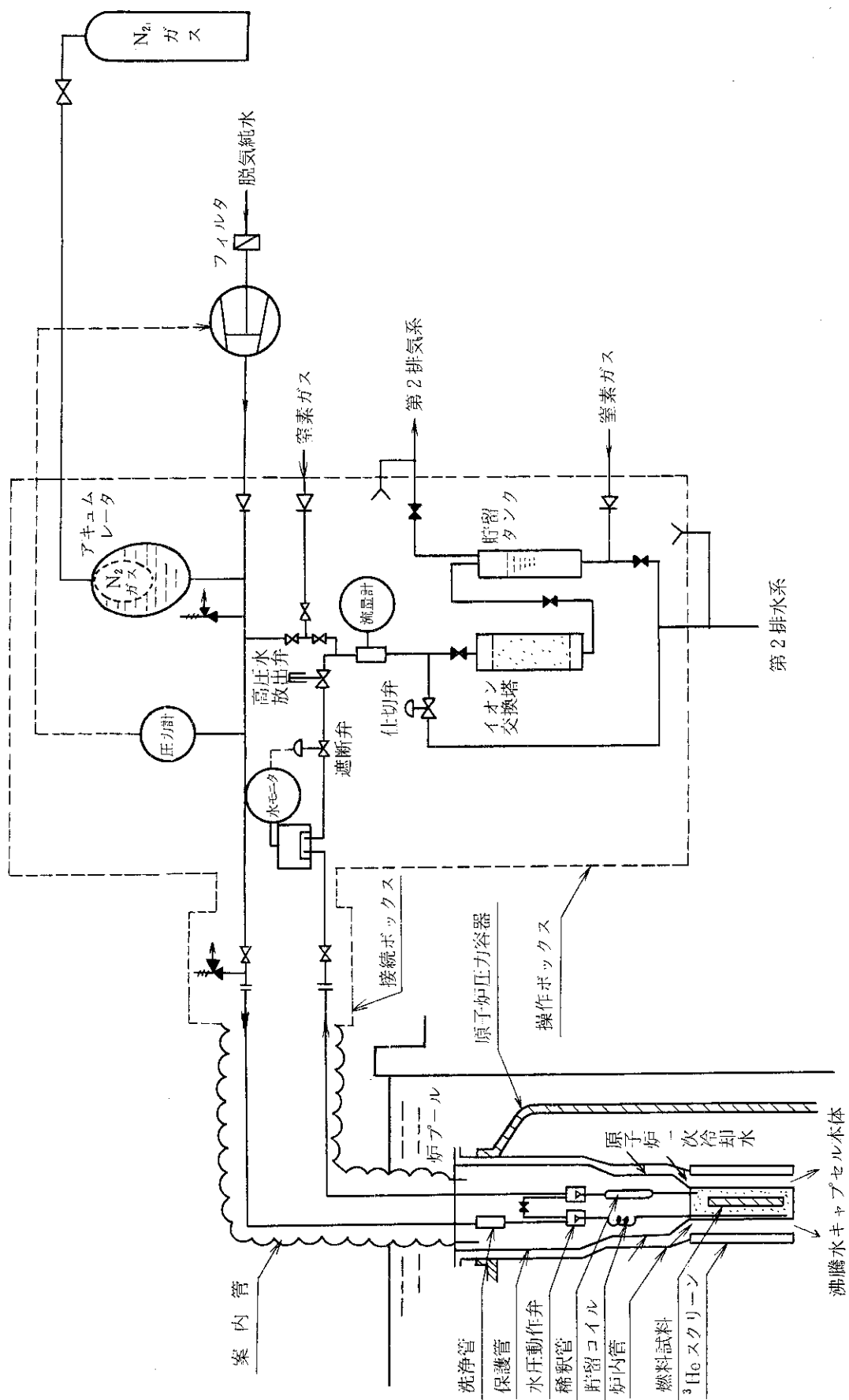


第 2.26 図 BOCA 照射設備による出力急昇試験の概要

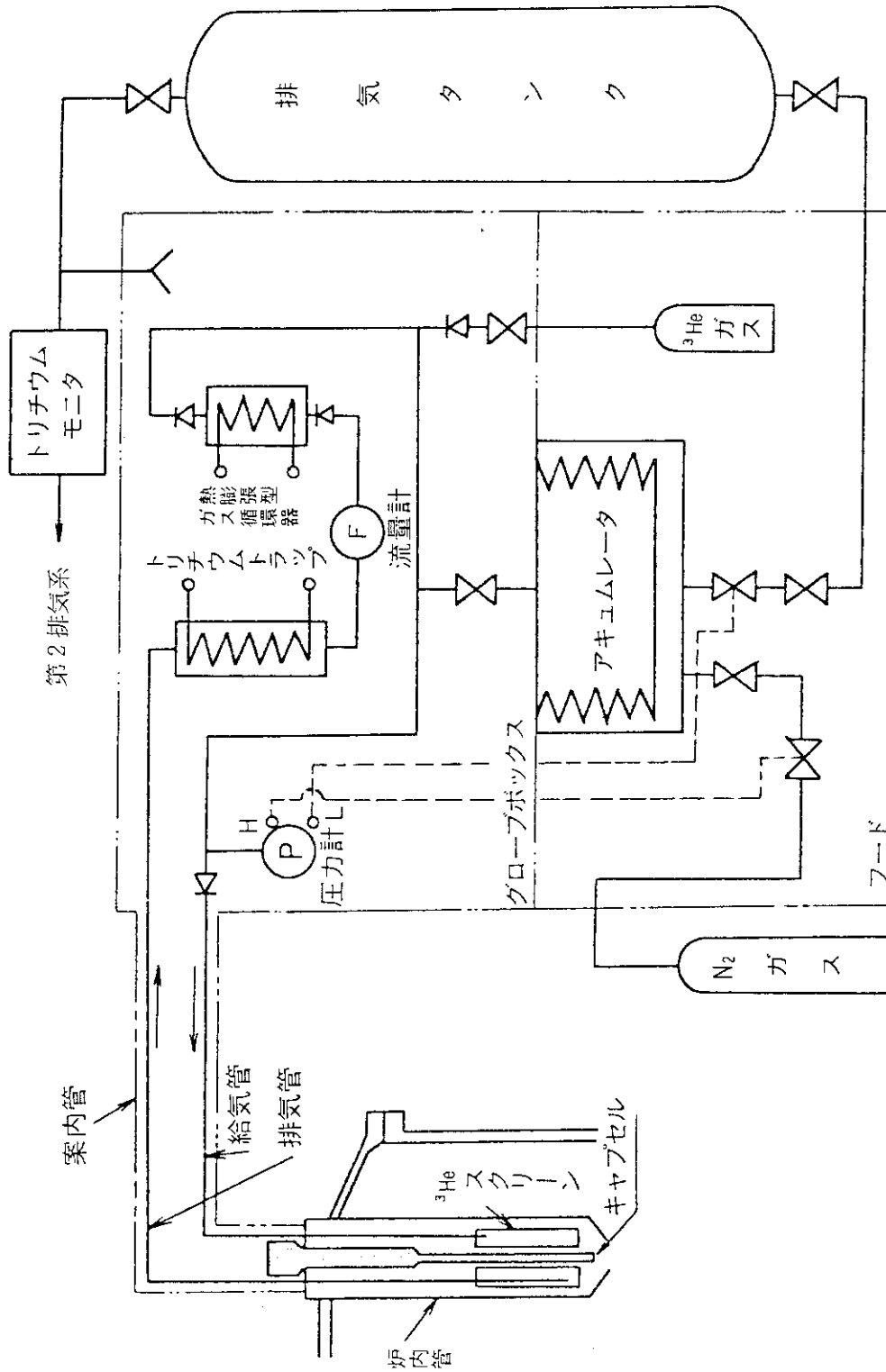




第 2. 27 図 BOCA 照射設備の概要



第 2.28 図 沸騰水キヤプセル制御装置フローシート



第2.29図  $^3\text{He}$  出力可変装置フローシート

2.8 照射設備計算機処理システム

1. 概要

JMTR の照射設備計算機処理システム（略称 LOOCAS）は、各照射設備から得られる運転データおよび各照射試料の照射データ処理の迅速化ならびに運転中の監視機能の充実化を図るために、昭和 57 年度（JMTR 第 59 サイクル）から運用を開始した。

以下に本システムの運用方法および処理内容について述べる。

2. 運用方法

本システムの運用は、3つのフェーズ（Preparation Phase, Sampling Phase および Reporting Phase）に分かれる。

(1) Preparation Phase

本システムのデータ収集処理条件、運転条件等の処理情報に関する各種テーブル作成のため、インプットデータシートは、照射設備運転実施計画書に基づき、前もって作成しておく必要がある。

本フェーズでは、各処理機能が目的どおり行われるようインプットデータシートに基づいて各種テーブルの情報を CRT キーボードおよび磁気テープから入力・修正・展開を行う。所要日数は約 1 週間である。

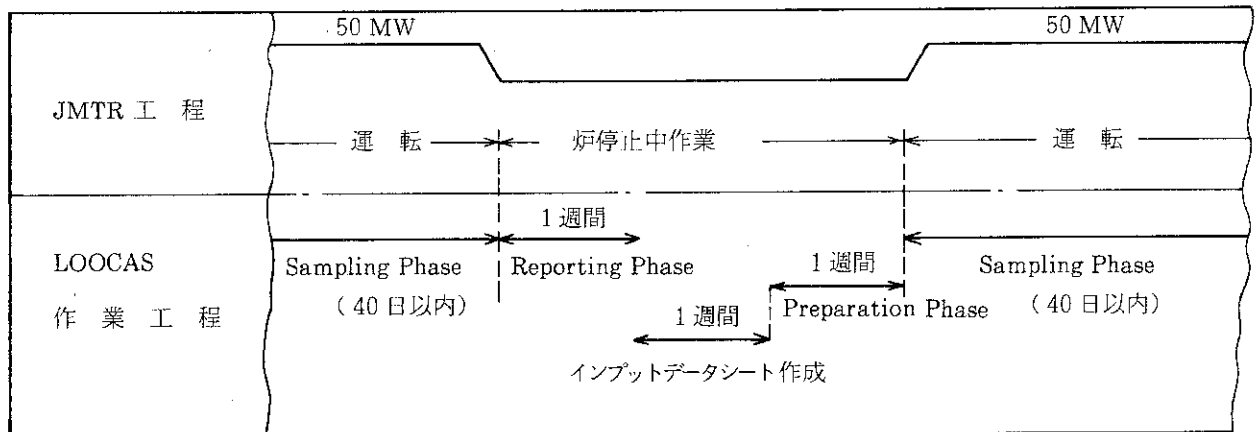
(2) Sampling Phase

前項で展開された処理情報、条件等に基づき各照射設備の運転および照射データの収集、監視、データ表示、出力等を行う。データ格納容量は、通常運転期間 24 日間に余裕を考慮し 40 日間分が用意されている。

(3) Reporting Phase

前項で得られたデータから各種報告書（表とグラフ）を出力するとともに次サイクルへ繰越すデータの整理を行う。所要日数は約 1 週間である。

以下に運用フローチャートを示す。



3. 処理内容

本システムは、各照射設備の運転および照射データの収集、監視、表示、出力ならびに保存を行う。処理点数は、入力データが約 600 点、間接処理データが約 100 点である。主な処理は、各

入力信号を10秒周期で工学値に変換し、監視することおよび目的に応じたファイルに10秒、1分および30分毎にデータ格納することである。以下に各処理内容を述べる。

(1) データ収集・監視処理

データ収集処理は、各入力信号を10秒周期でサンプリング、スケーリング、補正演算処理等を行い工学値に変換して、目的に応じたファイルに格納する。

監視処理は、入力データに対し下記のチェックを行う。異常内容が検出されると、システムタイプライタ、キャラクタディスプレイへメッセージ出力するとともに、オペレータコンソールのランプ表示とブザーにより運転員に知らされる。

- イ) 入力信号レンジチェック (10秒ごと)
- ロ) 上・下限値警報チェック (10秒ごと)
- ハ) 変化率警報チェック (10秒または5分ごと)
- ニ) 予測値チェック (原子炉出力上昇時)

(2) データ表示

収集されたデータは、表またはグラフでディスプレイ装置(2台)に表示されるとともに、必要に応じてラインプリンタ、X-Yプロッタまたはハードコピーにコピーできる。表示画面の種類は第2.14表「出力データ一覧表」に示すとおりである。

(3) データ出力、保存

データ出力は、運転中あるいは運転後に必要に応じた形式で各種出力装置に出力される。(第2.14表「出力データ一覧表」参照)また、これらの出力例を第2.15表～第2.19表、第2.30図および第2.31図に示す。

第2.14表 出力データー一覧表

帳票・画面名称	出力装置		GROUP											
	MAIN	SUB(COPY)	OWL-1	OWL-2	OGL-1	HR-1	HR-2	NCF	REACT	CAP-01~22	CAP-23	CAP-24	SPARE	
運転記録	LP	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
運転実績	LP	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
照射実績	LP	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
照射履歴	X-Y	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Q <sub>0</sub> デ-タ	LP	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
OGL-1特殊記録	LP	TW	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
キャプセル一覧表	LP	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
照射記録 I	LP	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
照射記録 II	LP	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
障害履歴	LP	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
タグリスト	CRT	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
アラームサマリ	CRT	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
修正一覧	CRT	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
出力上昇デ-タ	CRT	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	GD	X-Y,HCPY	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
比較デ-タ	CRT	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
照射工程	CRT	LP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
フレゼントトレンド	GD	X-Y,HCPY	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
ヒストリートトレンド	GD	X-Y,HCPY	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
予測値トレンド	GD	X-Y,HCPY	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

(注1) CAP-01~22はキャプセル照射設備, CAP-23はガススイープキャプセル照射設備を示す。

また, CAP-24にはクリープ設備等のキャプセル特殊設備が接続される。

(注2) LP : ラインプリンタ装置

CRT : キャラクターディスプレイ装置

X-Y : X-Yプロット装置

TW : タイプライタ装置

GD : グラフィックディスプレイ

HCPY : ハードコピー



第2.16表 照射実績の出力例

JMTR 59 出力例		80F-5A 照射機出力例 ( 照射機出力例 )		82/07/13 13:44	
( 59 出力例 )		1982 06/10 から 1982 07/08 まで		照射機出力例 58-59 出力例	
照射機出力例	TAG.NO	UNIT	照射機出力例	照射機出力例	照射機出力例
80F-5A T/C NO. 1 出力例	PT01	MW	49.9	0.5	51.3
80F-5A T/C NO. 2 出力例	TC01	°C	1242	1	1251
80F-5A T/C NO. 3 出力例	TC02	°C	1232	12	1248
80F-5A T/C NO. 4 出力例	TC03	°C	739	24	773
80F-5A T/C NO. 5 出力例	TC04	°C	621	18	657
80F-5A T/C NO. 6 出力例	TC05	°C	490	16	524
80F-5A T/C NO. 7 出力例	TC06	°C	209	6	225
( 照射機出力例 )					
照射機出力例	PT01	MW	48.0		
照射機出力例	CONT	---	AUTO		
80F-5A T/C NO. 1 出力例	TC01	°C	1250		50
( 照射機出力例 )					
照射機出力例	FLXF	N/CM2.S	0.161E 14		
照射機出力例	FLXT	N/CM2.S	0.199E 15		
照射機出力例	NVHF	N/CM2	0.308E 20	0.308E 20	
照射機出力例	NVHT	N/CM2	0.382E 21	0.382E 21	
照射機出力例	HAUT	HAUT	465.4	465.4	
照射機出力例	NVAF	N/CM2	0.303E 20	0.303E 20	
照射機出力例	NVAT	N/CM2	0.376E 21	0.376E 21	
照射機出力例	Q01	MWD	1091.0	1091.0	
照射機出力例	HR50	HR50	523.7	523.7	

注) 実績データ(2)は参考データである。

\* 本実績と同形式で各照射設備運転データを対象とした「運転実績」がある。



第 2.17 表 出力上昇データの出力例 (1)

CAPO2 80F-5A \*\*\* パワーアップデータ \*\*\*

ID	INDEX	TAG	UNIT	15MW	30MW	40MW	50MW
01	(A)	TC01	*C	488	788	955	1092
02	(B)	TC01	*C	480	789	961	1085
03	(A)	TC02	*C	467	758	918	1047
04	(B)	TC02	*C	462	762	927	1052
05	(A)	TC03	*C	184	297	357	410
06	(B)	TC03	*C	181	297	361	410
07	(A)	TC04	*C	173	279	333	383
08	(B)	TC04	*C	167	273	317	360
09	(A)	TC05	*C	167	276	339	410
10	(B)	TC05	*C	173	284	346	416
11	(A)	TC06	*C	71	116	144	187
12	(B)	TC06	*C	74	121	151	194

\* パワーアップデータ ソクタイヒ INDEX(A)----&gt; 1982 06/12

\* パワーアップデータ ソクタイヒ INDEX(B)----&gt; 1982 06/25

注) 本データは各出力到達 5 分から 55 分間の 1 分毎データを平均した値を表わす。

第 2.18 表 出力上昇データの出力例 (2)

82/07/13 09:59

\*\*\*\*\* 80F- 5A 出力上昇データ (出力) \*\*\*\*\*  
 ( 1982 06/12 08:00 から 1982 06/13 08:00 まで 30 MIN 間隔 )

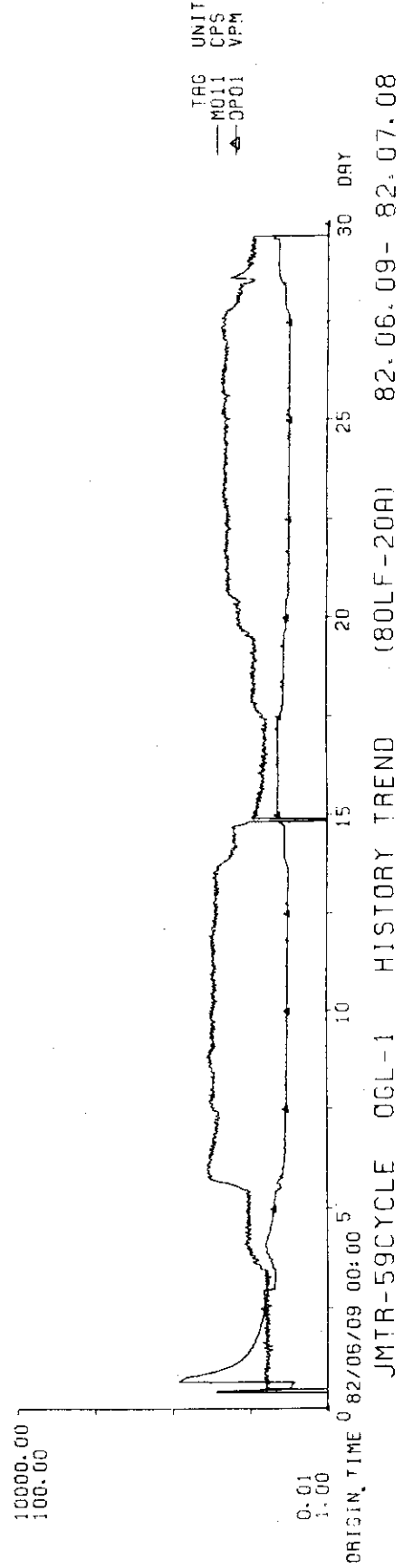
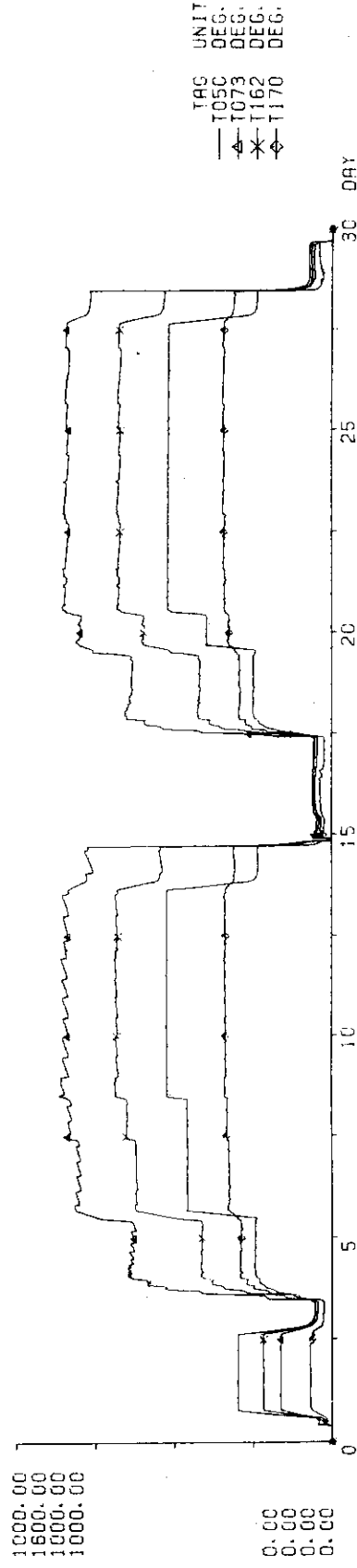
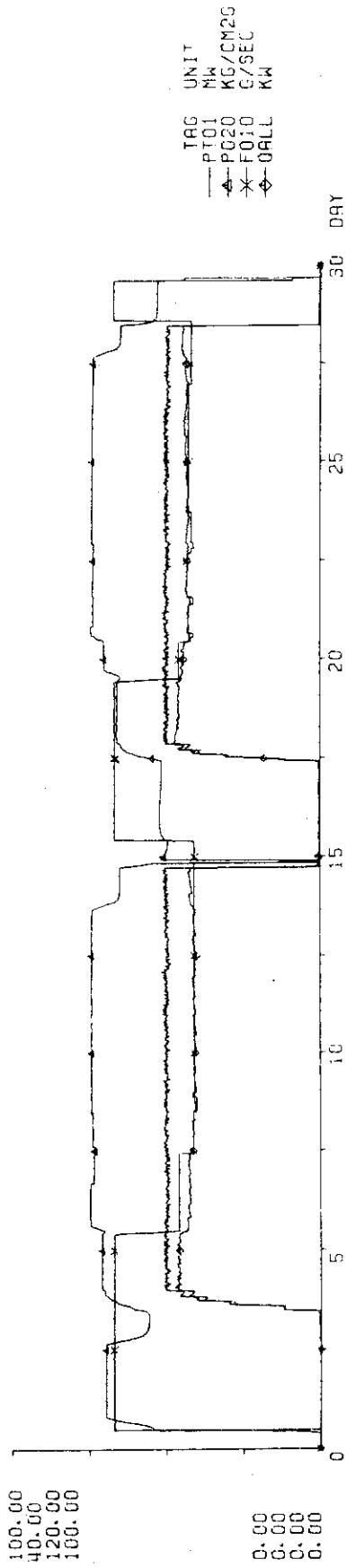
DATE TIME	PT01	CONT	TC01	TC02	TC03	TC04	TC05	TC06
06/12 08:00	0.0	1	28	27	27	27	27	27
06/12 08:30	0.0	1	28	28	28	28	27	27
06/12 09:00	0.0	1	28	27	28	27	27	27
06/12 09:30	0.0	1	27	26	26	26	25	25
06/12 10:00	0.0	1	54	52	35	34	33	26
06/12 10:30	0.0	1	50	49	32	31	31	26
06/12 11:00	0.0	1	73	70	39	38	37	27
06/12 11:30	10.8	1	425	406	157	145	130	52
06/12 12:00	11.9	1	426	406	161	151	145	63
06/12 12:30	11.6	1	424	405	162	152	147	64
06/12 13:00	11.9	1	421	402	162	152	148	66
06/12 13:30	11.7	1	419	400	162	152	149	67
06/13 06:00	50.1	1	1076	1032	404	377	414	197
06/13 06:30	50.1	1	1074	1029	403	376	413	197
06/13 07:00	50.4	1	1079	1035	405	377	413	197
06/13 07:30	49.5	1	1078	1033	404	375	412	196
06/13 08:00	50.3	1	1076	1031	404	376	412	196

第2.19表 照射記録の出力例

JMTR 59 タイム 82/07/13 10:01  
 \*\*\*\*\* 80F- 5A タイムタイマー \*\*\*\*\*  
 ( 1982 06/10 16:00 から 1982 07/08 08:00 まで 480 MIN 間隔 )

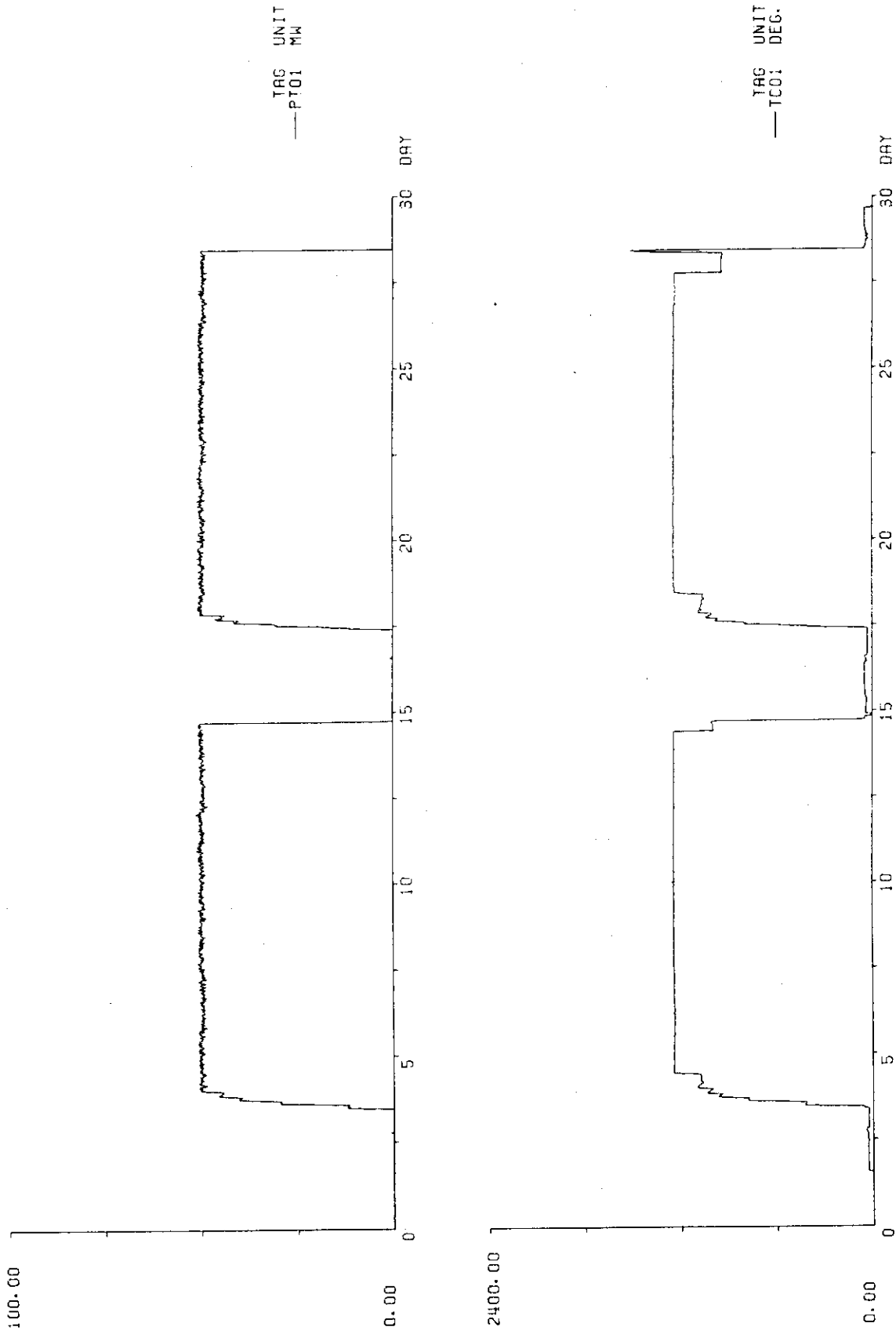
TAG LIST		TAG LIST		TAG LIST		TAG LIST		TAG LIST		TAG LIST		TAG LIST	
DATE	TIME	PT01	CONT	TC01	TC02	TC03	TC04	TC05	TC06	TAG.NO	UNIT	TAG.NO	UNIT
06/10	16:00	0.0	1	30	29	29	28	27	24	CONT	---	CONT	---
06/11	00:00	0.0	1	32	31	32	31	30	27	80F- 5A T/C NO. 2 タイム	°C	TC02	°C
06/11	08:00	0.0	1	33	32	32	31	30	27	80F- 5A T/C NO. 4 タイム	°C	TC04	°C
06/11	16:00	0.0	1	35	34	34	34	32	29	80F- 5A T/C NO. 6 タイム	°C	TC06	°C
06/12	00:00	0.0	1	28	27	28	28	27	27				
06/12	08:00	0.0	1	28	27	27	27	27	27				
06/12	16:00	29.6	1	781	751	295	278	277	117				
06/13	00:00	48.6	1	1071	1027	401	374	400	180				
06/13	08:00	50.3	1	1076	1031	404	376	412	196				
06/13	16:00	50.1	0	1245	1213	691	593	474	212				
07/06	16:00	49.4	0	1238	1216	766	642	511	215				
07/07	00:00	49.2	1	947	959	404	329	388	182				
07/07	08:00	48.7	1	939	955	403	327	392	186				
07/07	16:00	0.0	1	42	56	35	40	39	31				
07/08	00:00	0.0	1	45	59	39	45	38	30				
07/08	08:00	0.0	1	52	66	48	55	46	38				

注) 本記録のデータ間隔は、原則として480分(8時間)とする。



注) グラフは1段, 2段, 3段グラフ可能, 1段につき5点まで可能である。

第2.30図 照射履歴の出力例 (1)



ORIGIN TIME 82/06/09 00:00  
JMTR-59CYCLE CAP02 HISTORY TREND (80F-5A) 82.06.09-82.07.08  
第2.31図 照射履歴の出力例 (2)

## 2.9 水、ガス分析設備

水、ガス分析設備は、原子炉冷却水や各種照射設備の冷却材およびキャプセル照射試料からの放出ガス等を分析するためのもので第 2.20 表に示すような設備がある。

冷却材は、各設備循環系の要所に設けられたサンプリングポイントから採取され、実験室で分析される。キャプセルの場合は、通常共通の排気ラインの途中でサンプリングされる。このほか各設備には運転監視のためのモニタ装置が設けられている。

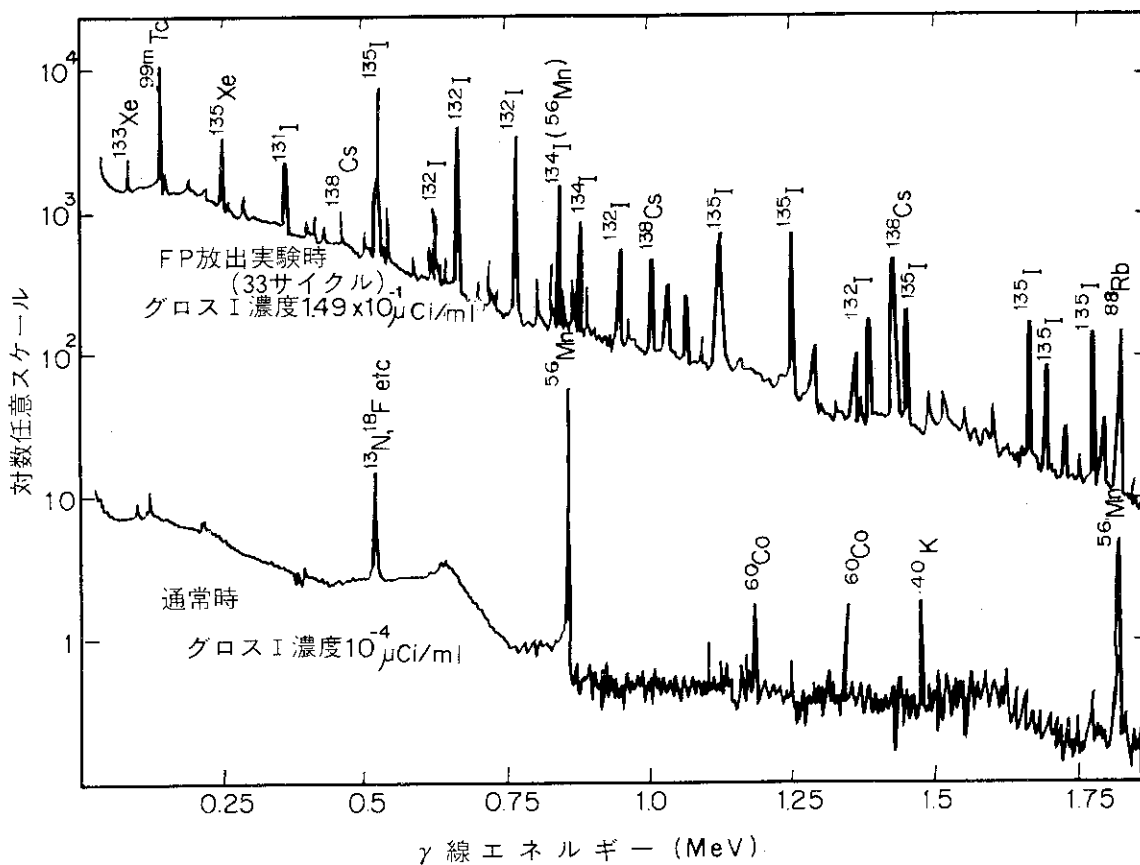
第 2.21 表に原子炉冷却水分析の例を、第 2.32 図に OWL-1 を用いて行った人工欠陥燃料による FP 放出実験時の OWL-1 冷却水の  $\gamma$  線スペクトルを示す。

第 2.20 表 水、ガス分析設備

分析装置名	保有台数	仕 様	性 能	備考
原子吸光分析装置	1	H <sub>2</sub> , 空気炎式	Fe : 0.05 ppm 以上 Ni : 0.03 ppm 以上 Cr : 0.2 ppm 以上	その他 20 元素 定量可
比色分析装置	2	回折格子型	Ni : 0.02 ppm 以上 Fe, Cr : 0.01 ppm 以上 その他	定量可
ガスクロマトグラフ		検出器・ヘリウムイオン化型 ・エレクトロンキャプチャ型 ・水素炎イオン化型 ・熱伝導度型	ガス中の各種微量成分を大体において ppm オーダで定量可	
半導体 $\gamma$ 線 スペクトルグラフ		検出器 Ge (Li), 60 cc 波高分析器 4096 チャンネル (ミニコンピュータ PDP11/04)	分解能 2.3 keV 10 <sup>-5</sup> $\mu$ Ci/ml 以上	定量可
シンチレータ $\gamma$ 線 スペクトルグラフ		検出器 NaI (Tl) $\phi$ 1 $\frac{3}{4}$ " $\times$ 2" (ウエル型) 波高分析器 400 チャンネル	10 <sup>-6</sup> $\mu$ Ci/ml 以上	定量可
pH 計			(pH) 0 ~ 14	水
電 導 度 計			( $\mu$ S/cm) 0.1 ~ 10 <sup>6</sup>	水
溶存酸素測定装置	2	ガルバニ式 ポーラログラフ式	0 ~ 200 ppb 0 ~ 500 ppb	水
水 分 計	1	SHAW 式湿度計	0.5 ~ 1,000 ppm	ガス
酸 素 濃 度 計	1	マイクロヒューエルセル	1 ~ 10,000 ppm	ガス
自 動 分 析 装 置	1	テクニコン型	C1 <sup>-</sup> 0.02 ppm 以上	定量可 水

第 2.21 表 原子炉冷却水分析結果の例

サンプリング月日	昭和 55 年 5 月 17 日, 19 日 第 51 サイクル運転中		
原子炉出力	50 MW		
pH	6.3		
比電導度	1.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$		
比放射能	グロス $\beta$	$3.26 \times 10^{-2} \mu\text{Ci}/\text{m l}$	
	主な放射性核種	$^{13}\text{N}$	$3.17 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{m l}$
		$^{27}\text{Mg}$	$1.69 \times 10^{-2} \text{ ''}$
		$^{41}\text{Ar}$	$2.26 \times 10^{-3} \text{ ''}$
		$^{24}\text{Na}$	$2.14 \times 10^{-2} \text{ ''}$
放射性ヨウ素	$^{131}\text{I}$	$1.4 \times 10^{-6} \mu\text{Ci}/\text{m l}$	
	$^{132}\text{I}$	$7.6 \times 10^{-6} \text{ ''}$	
	$^{133}\text{I}$	$1.43 \times 10^{-5} \text{ ''}$	
	$^{134}\text{I}$	$7.12 \times 10^{-5} \text{ ''}$	
	$^{135}\text{I}$	$3.79 \times 10^{-5} \text{ ''}$	
$\text{Cl}^-$	0.02 ppm以下		



第 2.32 図 OWL-1 冷却水の  $\gamma$  線スペクトル

## 2.10 照射試料の温度と安全基準

水力ラビット、キャプセルおよび縦駆動照射設備の場合、第 2.22 表に示す一次元熱計算コード GENGTC により照射中の試料温度が求められる。

この場合  $\gamma$  加熱率は 4.7 「 $\gamma$  加熱と  $\gamma$  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）および第 2.23 表に示す安全基準を満足しない場合はラビットまたはキャプセルの構造を変更するか照射孔を変更する。第 2.33 図にキャプセル設計の手順について示す。

第 2.34 図および第 2.35 図にグラフアイト照射キャプセルおよび高速炉燃料ピン照射キャプセル内の温度分布の計算例を示す。

JMTR で最も普通に行われる試料温度制御の方法は真空温度制御である。第 2.35 図に示した高速炉燃料ピン照射キャプセルの熱媒体がアルミニウムまたはステンレス鋼の場合の真空温度制御方法による温度の変化範囲を第 2.36 図および第 2.37 図に示す。温度の下限はキャプセル構造と発熱量により、上限は熱媒体が熱膨張して外筒とのギャップがなくなることにより決定される。

照射のさいの制限条件には、燃料中心温度、被覆管温度あるいは熱媒体等に関する安全基準がある。

OWL-1 および OWL-2 の場合、燃料棒内の温度分布は、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 を使用して計算する。このコードのギャップ熱伝達率は、Ross and Stoute の実験式をもとに修正した式あるいは RESAR-41 の式を用い、 $UO_2$  の熱伝導率は、Lyons らによる式をもとに、GE 社で得たデータから導かれた式を使用している。第 2.38 図に、OWL-1 照射試料の試料内温度分布を示す。

沸騰水モードで運転する場合の燃料棒の焼損については、クラスター燃料の熱水力学コード COBRA を用いて燃料集合体のサブチャンネル解析を行い、次に Hench & Levy の式から限界熱流束を求め、限界熱流束比 (MCHFR) を算定する。ただし OWL-2 照射試料の限界熱流束は、動燃 HTL で行った実験式を採用している。

第 2.39 図に OWL-1 照射試料の限界熱流束比 (MCHFR) の計算例を示す。第 2.40 図に HTL で行った限界熱流束の実験結果を、第 2.41 図に OWL-2 照射試料の限界出力を求めた例を示す。

OGL-1 の場合は、特別に作成された OGL-1 静特性計算コード STEP により試料内温度分布および運転条件を計算する。第 2.42 図に OGL-1 試料内温度分布の計算例を示す。

第 2.43 図、第 2.44 図および第 2.45 図に各種ペレット型燃料試料の発熱量と中心温度との関係を示す。

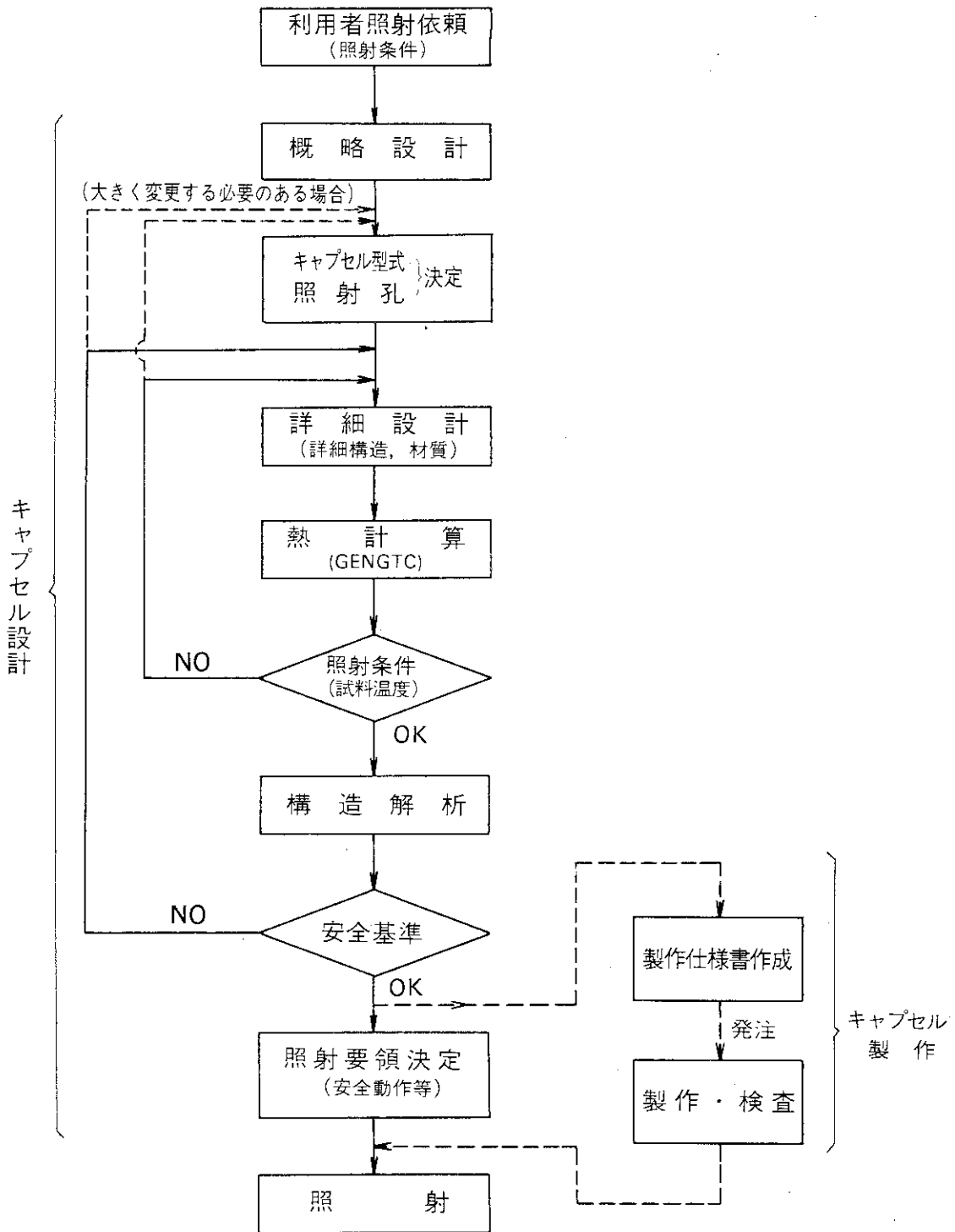


第 2.22 表 キャプセル内温度分布計算コード (GENGTC) の説明

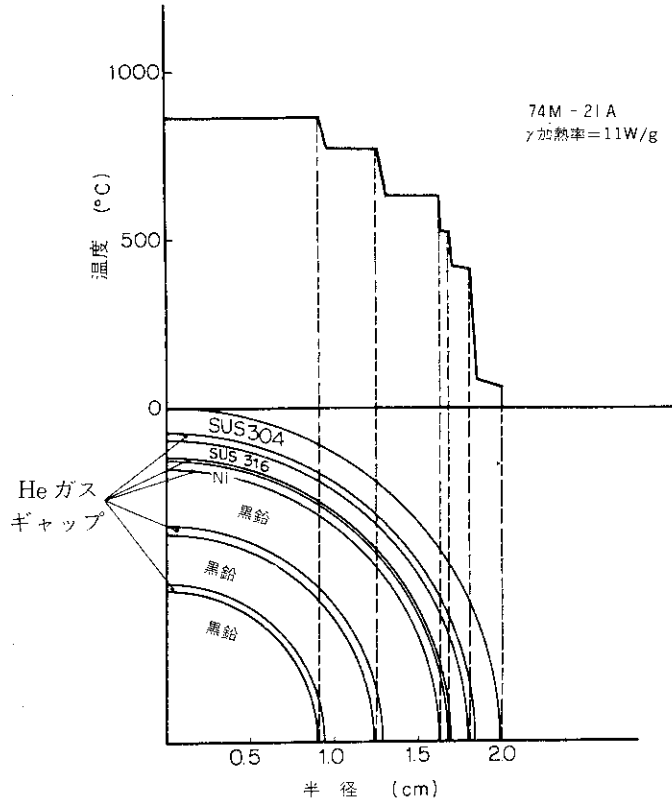
<p>概要</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. r 一次元, 多重円筒モデル</li> <li>2. 冷却水温度一定方式</li> <li>3. 各円筒間のギャップはガスまたは液体金属</li> </ol>
<p>フローチャート</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <pre> graph TD     A["*1 各円筒の内、外径、密度、核分裂発熱量 (W/cm), r 加熱率 (W/g), 入力"] --&gt; B["各円筒内の発熱量 (W/cm) の計算"]     B --&gt; C["*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導率, 入力"]     C --&gt; D["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)"]     D -- "各円筒について くり返し" --&gt; E["各円筒の線熱膨張率 (温度依存), 入力"]     E --&gt; F["各円筒の熱膨張による新しい半径の計算"]     F -- "各円筒について くり返し" --&gt; G["温度, 半径, 収束するまでくり返し (12回)"]     G --&gt; H["*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), 入力"]     H --&gt; I["中心が燃料ペレットのとき, ギャップ温度差, ペレット内温度分布計算"]     I --&gt; J["各円筒内外面温度, 寸法出力, ペレット内温度分布出力"]                     </pre> </div> <div style="width: 35%;"> <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. 冷却水温は材料キャプセルのとき40°C, 燃料キャプセルのとき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。 (20,000 kcal/m<sup>2</sup>h°C)</p> <p>4. ギャップコンダクタンスは他で求め入力する。</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 の式および Asamoto の式が, (Pu, U)O<sub>2</sub> については Baily - Asamoto の式がプログラムされており選択可能である。</p> </div> </div>

第2.23表 照射試料の熱的安全基準

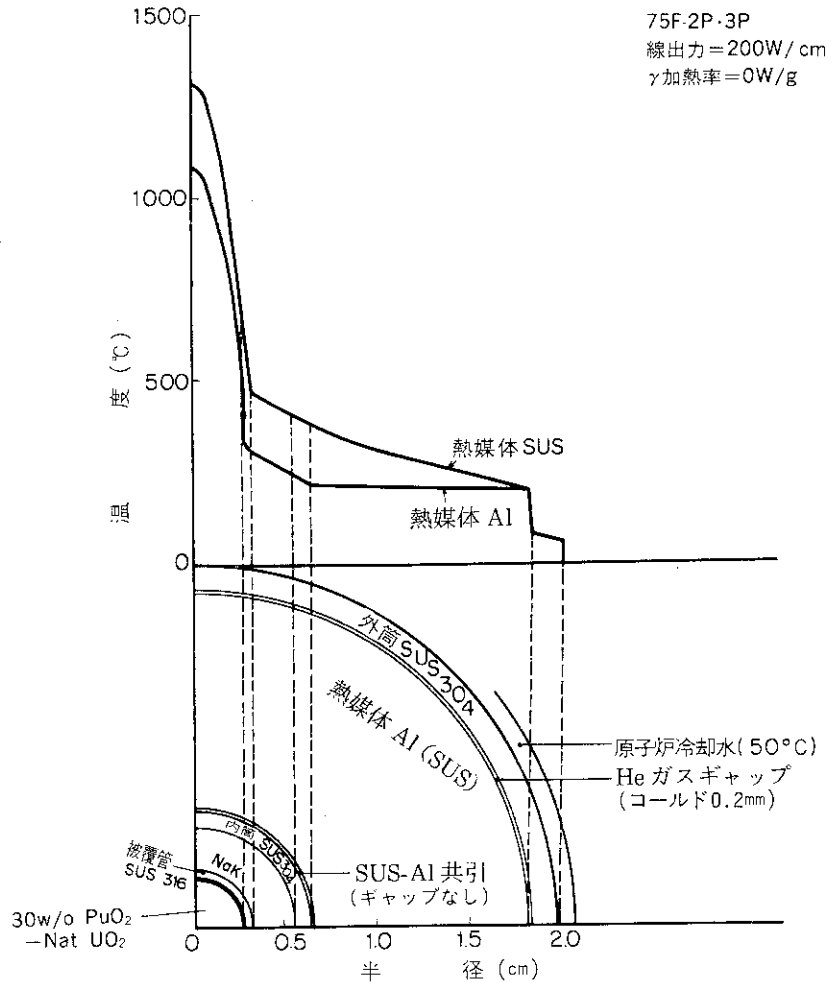
照 射 設 備	熱 的 安 全 基 準
水力ラビット キャプセル 縦 駆 動	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ラビットまたはキャプセル表面で冷却水が沸騰してはならない。</li> <li>2. ラビットまたはキャプセルの構造物の温度はその融点をこえてはならない。</li> <li>3. 強度メンバーとなる構造物の温度は、十分な強度を有する温度以上に上昇してはならない。</li> <li>4. 構造物間に有害な変質，劣化などが生じる温度をこえてはならない。</li> <li>5. 照射試料の温度は原則として融点をこえてはならない。</li> <li>6. Na, NaK 等の液体金属を使用する場合，沸点をこえてはならない。</li> </ol>
OWL-1 -2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 加圧水モードの場合 MDNBR が 1.25 以上でなければならない。</li> <li>2. 沸騰水モードの場合 MCHFR が 1.9 以上でなければならない。</li> <li>3. 試料を支持する構造物の温度は、その融点をこえてはならない。</li> <li>4. 強度メンバーとなる構造物の温度は、十分な強度を有する温度以上に上昇してはならない。</li> <li>5. 構造物間に有害な変質，劣化などが生じる温度をこえてはならない。</li> <li>6. 照射試料の温度は、原則として融点をこえてはならない。</li> </ol>
OGL-1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. FP 放出率が、0.5%をこえてはならない。</li> </ol>



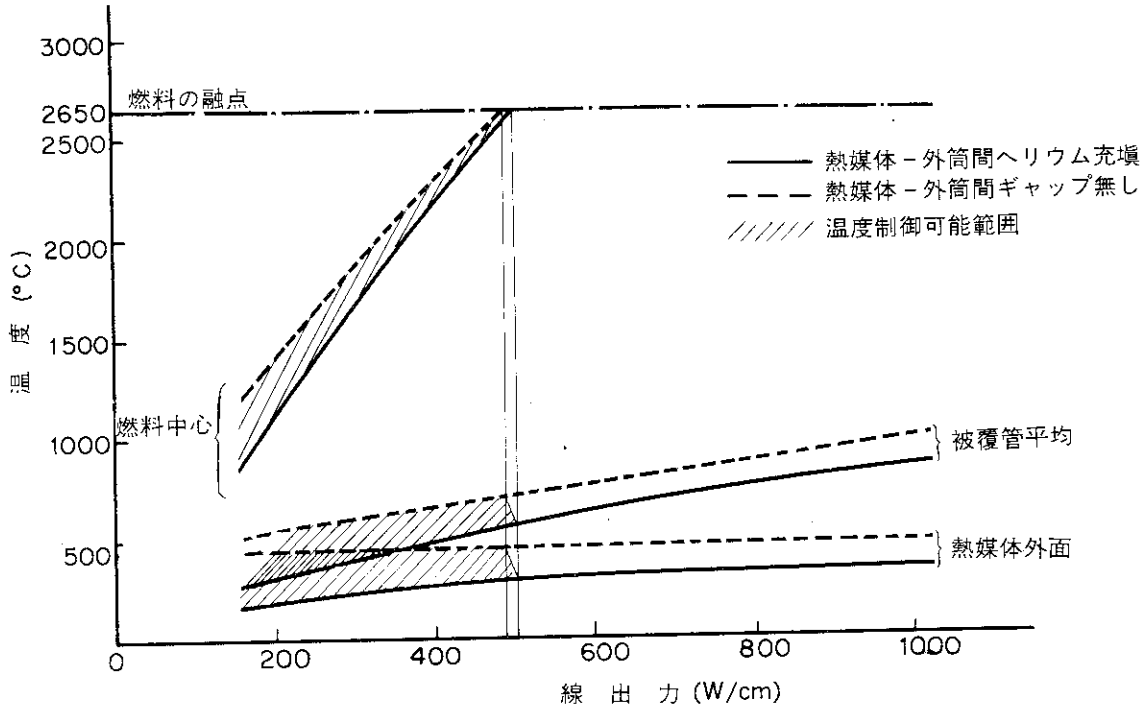
第 2.33 図 カプセル設計の手順 (代表例)



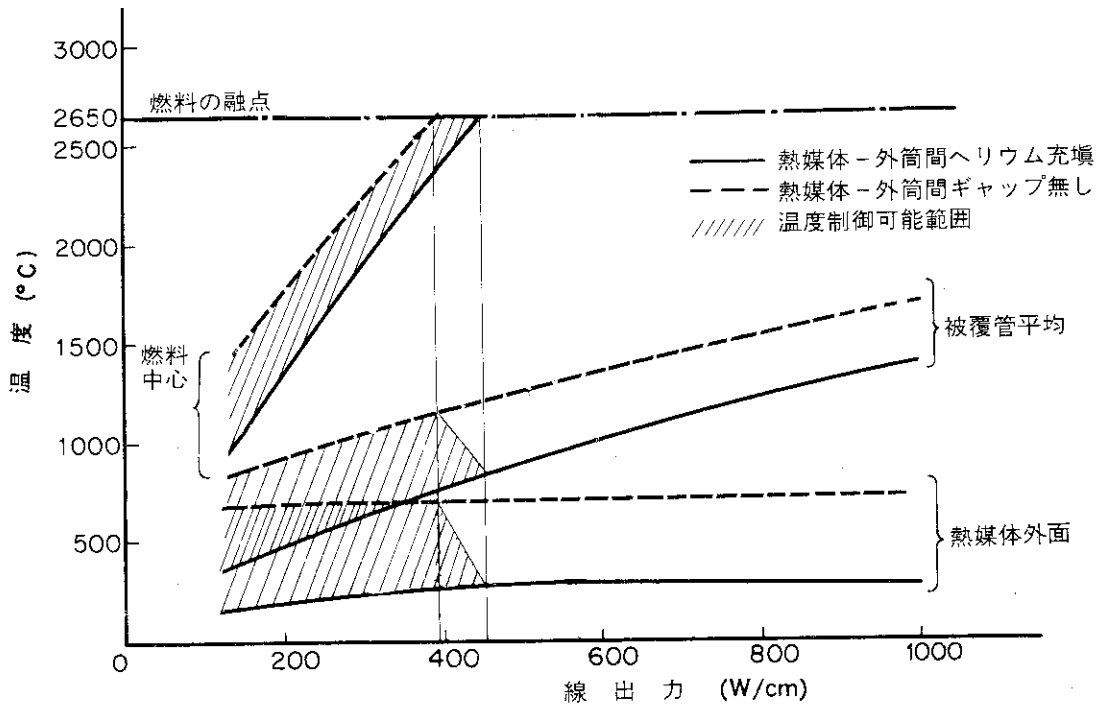
第 2.34 図 黒鉛照射キャプセル内温度分布計算例



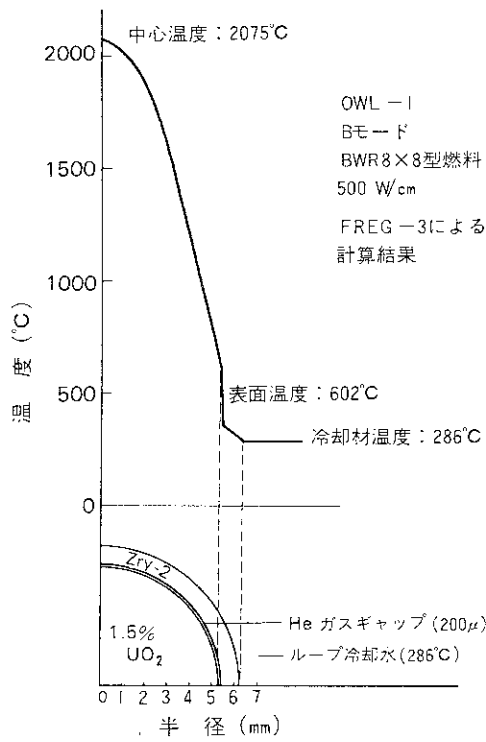
第 2.35 図 高速炉燃料ピン照射キャプセル内温度分布計算例



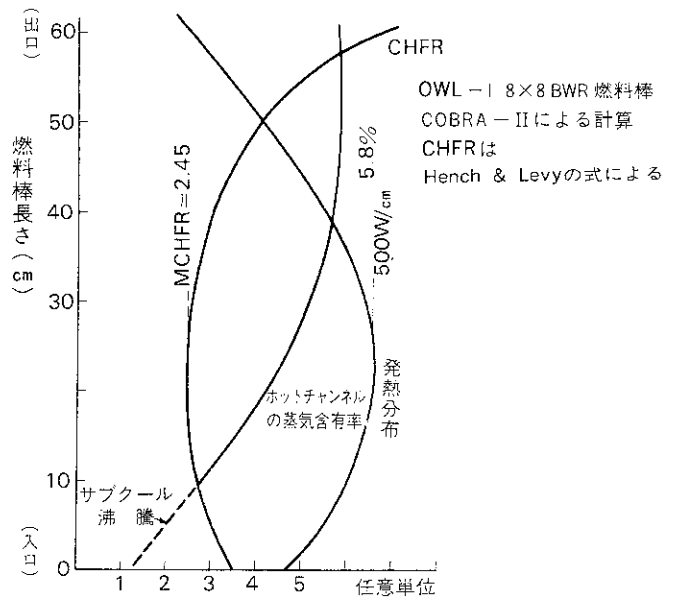
第 2.36 図 真空温度制御法による制御温度範囲 (例 1)  
 (75F-2P, 3PでAl熱媒体使用の場合、ただし  
 $r$ 加熱率=0 W/gとする。)



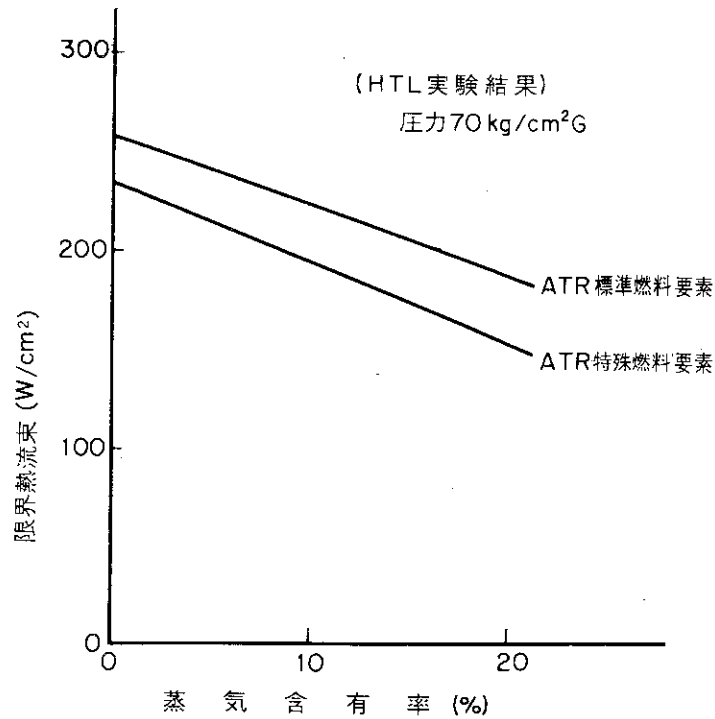
第 2.37 図 真空温度制御法による制御温度範囲 (例 2)  
 (75F-2P, 3PでSUS熱媒体使用の場合、ただし  
 $r$ 加熱率=0 W/gとする。)



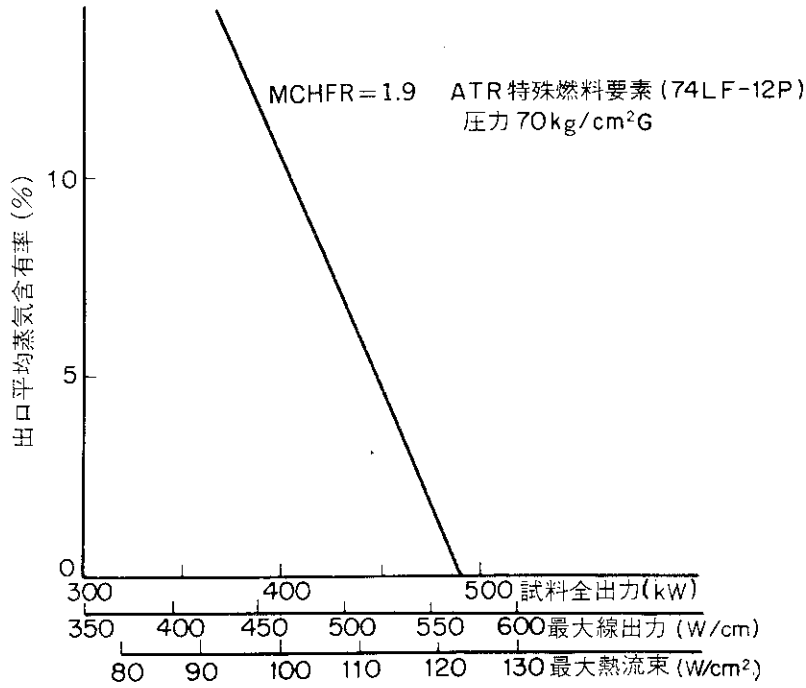
第 2.38 図 OWL - 1 照射試料内温度分布



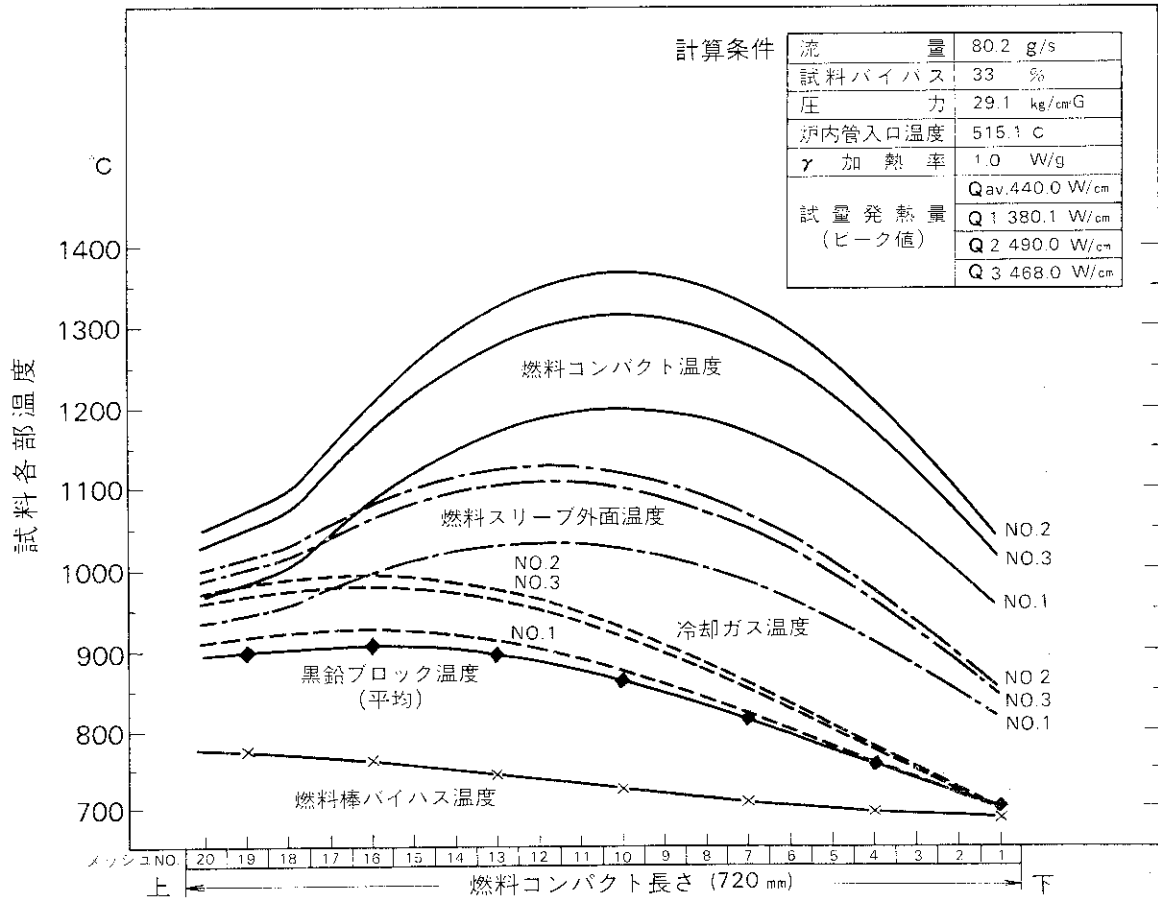
第 2.39 図 OWL - 1 限界熱流束比の計算例



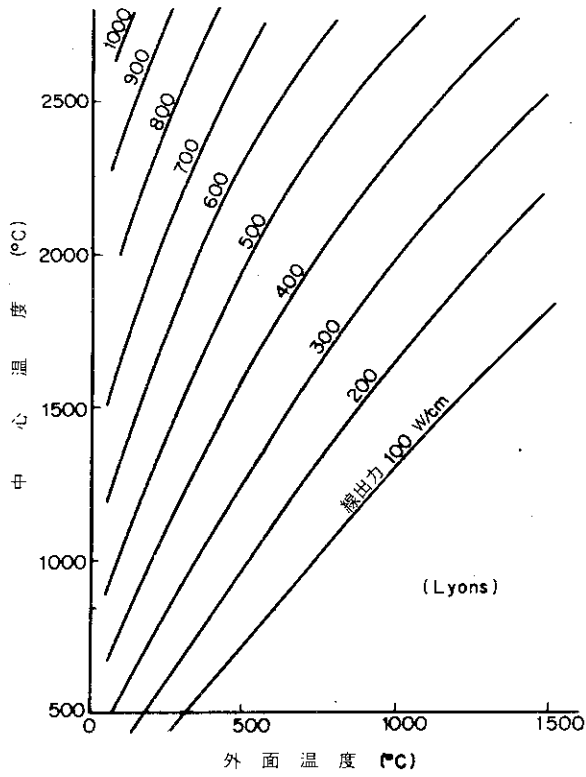
第 2.40 図 ATR 燃料の限界熱流束



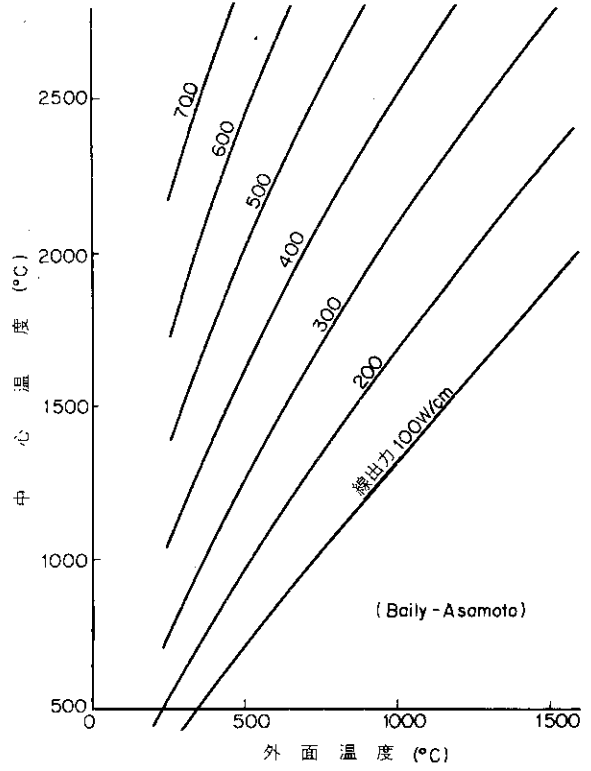
第 2.41 図 OWL 2 照射試料の限界出力



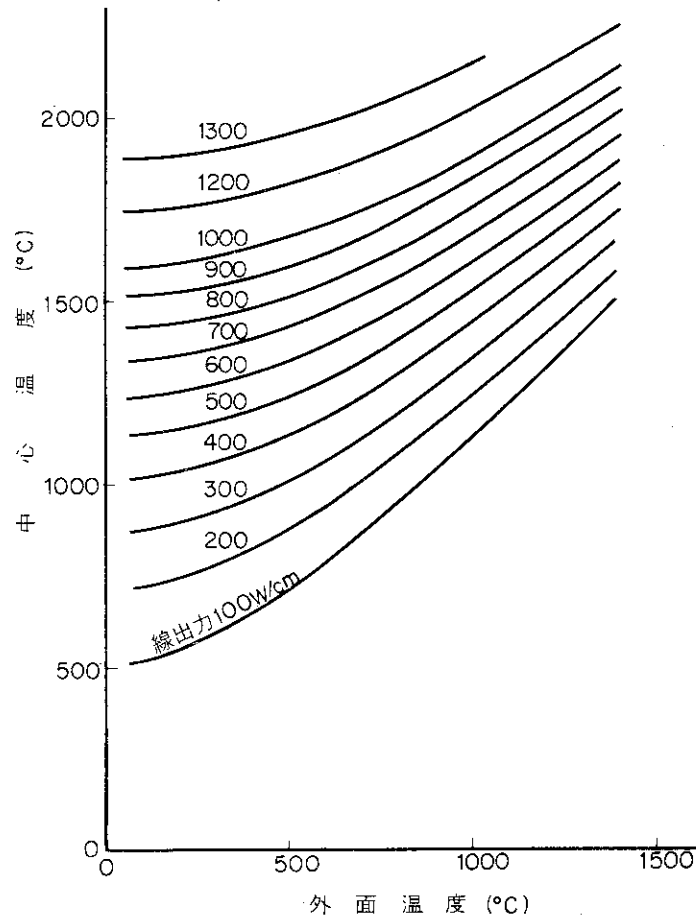
第 2.42 図 OGL-1 照射試料内温度分布



第 2.43 図  $UO_2$ ペレットの外面温度と中心温度との関係



第 2.44 図  $(U_{0.8}, Pu_{0.2})O_2$ ペレットの外面温度と中心温度との関係



第 2.45 図 UCペレットの外面温度と中心温度との関係



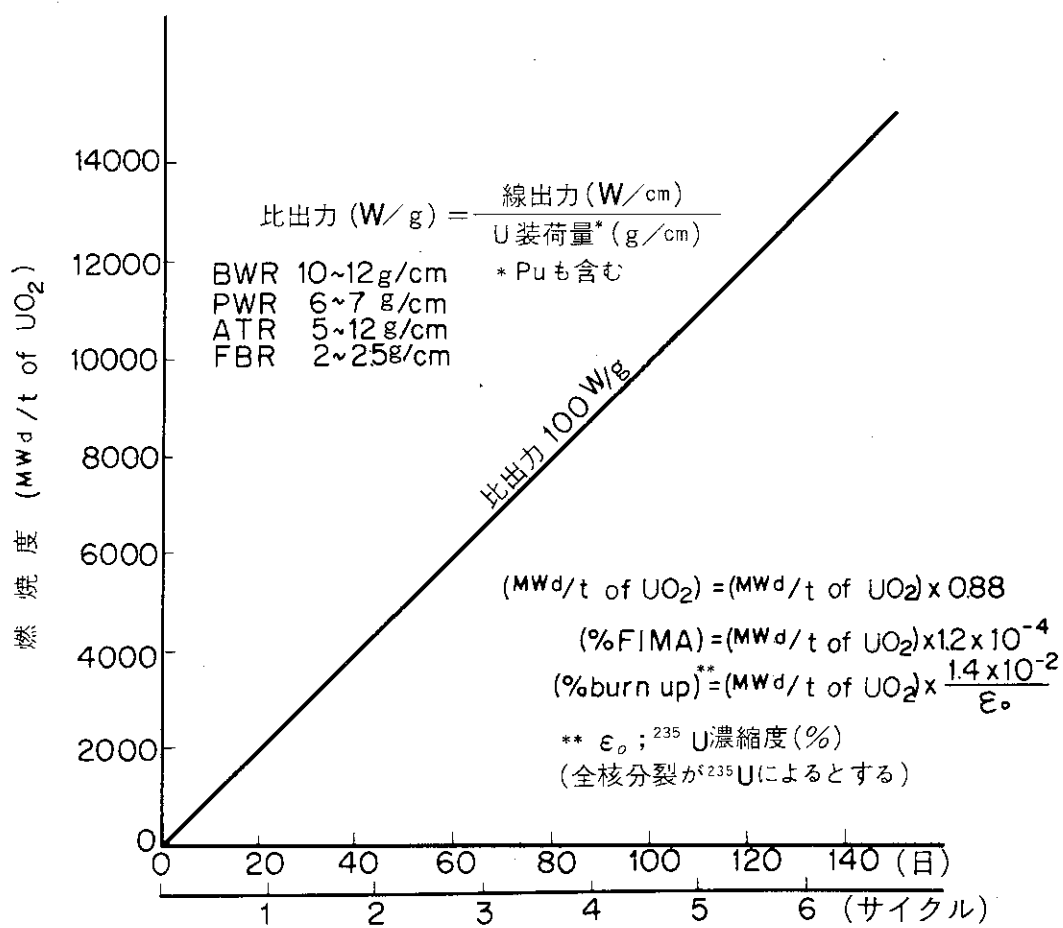
2.11 燃料試料の発熱量と燃焼度

各種照射設備で照射中の燃料試料の発熱量を推定または測定する方法を第2.24表に示す。一般に、水カラビットでは、炉心中性子束分布計算でのみ推定する。キャプセルの場合は、熱媒体中に挿入した熱電対の指示と $\gamma$ 加熱を考慮した温度分布計算結果を用いて求める。ループの場合は、冷却材の温度上昇から得られる全発熱量に、炉内管を通しての原子炉冷却水への熱損失や $\gamma$ 加熱による補正を施して求める。

燃料の冷却に関する議論をする場合は、いわゆる線出力表示 (W/cm) が適当であるが、燃焼度を論ずる時は、比出力表示 (W/g) が適している。1gのウランを1Wで1日照射した時に得られる燃焼度は、1Wd/g of U 即ち 1MWd/t of U である。比出力は、線出力を1cm当りの燃料装荷量で割って得られる。第2.46図に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示す。同図には各種燃焼度表現の関係も示してある。

第2.24表 照射中の燃料試料発熱量の推定, 測定法

照射設備	試料発熱量 推定(測定)法		炉中 中性子束分布計算	J M T R C での モックアップ測定	フル エ ン ス モ ニ タ と 照 射 設 備 内 中 性 子 束 分 布	中 性 子 検 出 器 と 中 性 子 束 分 布	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 抵 抗 体	冷 却 材 の 温 度 上 昇	照 射 後 試 験
	水 カ ラ ビ ット	キ ャ プ セ ル									
水 カ ラ ビ ット	○	○	○				○				○
キ ャ プ セ ル	○	○	○		○		○	○	○		○
ル ー プ	○	○			○			○		○	○
縦 駆 動	○	○			○			○			○
* 1. SPD, マイクロFC等 * 2. SiC, テンパイル, メルトワイヤ等 * 3. 金相試験, $\gamma$ スキャン等											



第 2.46 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.....	139
3.2 ホットラボ.....	139
3.3 照射後試験.....	139

## 表 一 覧

第 3.1 表	ホットセルの遮蔽体と最大取扱放射能強度	146
第 3.2 表	遠隔操作装置の取扱容量	150
第 3.3 表	燃料試料の照射後試験	152
第 3.4 表	材料試料の照射後試験	164
第 3.5 表	JMTR ホットラボで使用許可を受けている放射性同位元素	172

## 図 一 覧

第 3.1 図	コンクリートケーブ	140
第 3.2 図	材料試験用鉄ケーブ	140
第 3.3 図	JMTR ホットラボ 1 階平面図	141
第 3.4 図	JMTR ホットラボコンクリートケーブ	143
第 3.5 図	材料試験用鉛ケーブ No. 1, 2 セル	145
第 3.6 図	材料試験用鉛ケーブ	145
第 3.7 図	カナルで作業するキャスク台車	146
第 3.8 図	照射済試料輸送容器	146
第 3.9 図	コンクリートケーブ, 顕微鏡用鉛セル内装機器類配置図	147
第 3.10 図	材料試験用鉛ケーブ内装機器類配置図	148
第 3.11 図	材料試験用鉄ケーブ内装機器類配置図	149
第 3.12 図	照射後試験の流れ	151
第 3.13 図	キャプセル等の解体を行うミールングマシン	155
第 3.14 図	NaK キャプセル解体装置	155
第 3.15 図	X 線撮影装置	156
第 3.16 図	燃料棒寸法測定器	156
第 3.17 図	燃料ピンのガンマスキャンニング, 寸法測定データの一例	157
第 3.18 図	ガンマスキャンニング装置	158
第 3.19 図	マイクロガンマスキャンニング装置のスキャンナ	158
第 3.20 図	ガンマスキャンニング装置	159
第 3.21 図	ガンマスキャンニング装置のブロック図	159
第 3.22 図	照射済燃料のガス分析	160
第 3.23 図	セル内に据付けられた顕微鏡	161
第 3.24 図	モザイク顕微鏡により撮影後合成した照射後 $UO_2$ 燃料のモザイク写真	161
第 3.25 図	照射後 $UO_2$ 燃料ピンの縦割り試料, 低倍率顕微鏡写真 ( $\times 5$ )	161
第 3.26 図	照射後 $UO_2$ 燃料の $\beta$ - $\gamma$ オートラジオグラフィ	161
第 3.27 図	REICHERT 微小硬さ試験機による照射済ステンレス鋼のくぼみ	162
第 3.28 図	遮蔽型 X 線マイクロアナライザ	162
第 3.29 図	XMA による二次電子像	163
第 3.30 図	ギャップ測定装置セル内本体部	163
第 3.31 図	材料試験用ケーブにおいて実施可能な照射後強度試験等の体系	165
第 3.32 図	引張圧縮試験機による各種強度試験	166
第 3.33 図	シャルピー標準試験片	166
第 3.34 図	JMTR 棒状標準試験片	167
第 3.35 図	JMTR 板状標準試験片	167
第 3.36 図	バースト試験, 内圧クリーブ試験標準試験片	167
第 3.37 図	C.T 試験片の標準型と寸法許容差	168

第 3.38 図	クラックスターター切欠きと疲れき裂切欠きの例	168
第 3.39 図	二重片持梁変位計によるクラック開口変位測定法	168
第 3.40 図	計装衝撃試験データの例	169
第 3.41 図	CT 試験（電位差法）データの例	169
第 3.42 図	シャルピー衝撃試験機	170
第 3.43 図	計装衝撃試験の計測回路	170
第 3.44 図	高温引張試験装置	171
第 3.45 図	PCI/SCC 試験装置概念図	171

### 3.1 概 要

原子炉で照射された種々の試料は、照射による影響を調べるため照射後試験が行われる。この試験が行われる施設がホットラボである。

ホットラボは昭和42年（1967年）から原子炉建家の南側に建設工事が始まり、昭和45年（1970年）10月16日付けで放射性同位元素の使用許可を得た。また核燃料物質使用施設検査合格証を昭和46年（1971年）1月11日付けで、使用前検査合格証を昭和46年（1971年）1月15日付けでそれぞれ交付され1月16日からコンクリートケーブでの照射後試験を開始した。次いで昭和46年（1971年）11月から材料試験用鉛ケーブでの照射後試験を開始した。更に試験項目を増強するため昭和57年（1982年）に材料試験用鉄ケーブを増設した。

ホットラボで行える作業としては、

- 1) キャプセル等の解体
- 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

等である。3) のための輸送容器は原則として利用者が準備する。4) についてはホットセル内で鉄製のキャンに詰め、専用の輸送容器に納めたのち、大洗研究所内の放射性廃棄物処理施設へ送られる。

なお当ホットラボは $\beta$ - $\gamma$ ケーブであり非密封のプルトニウム系燃料の試験は行わない。

### 3.2 ホットラボ

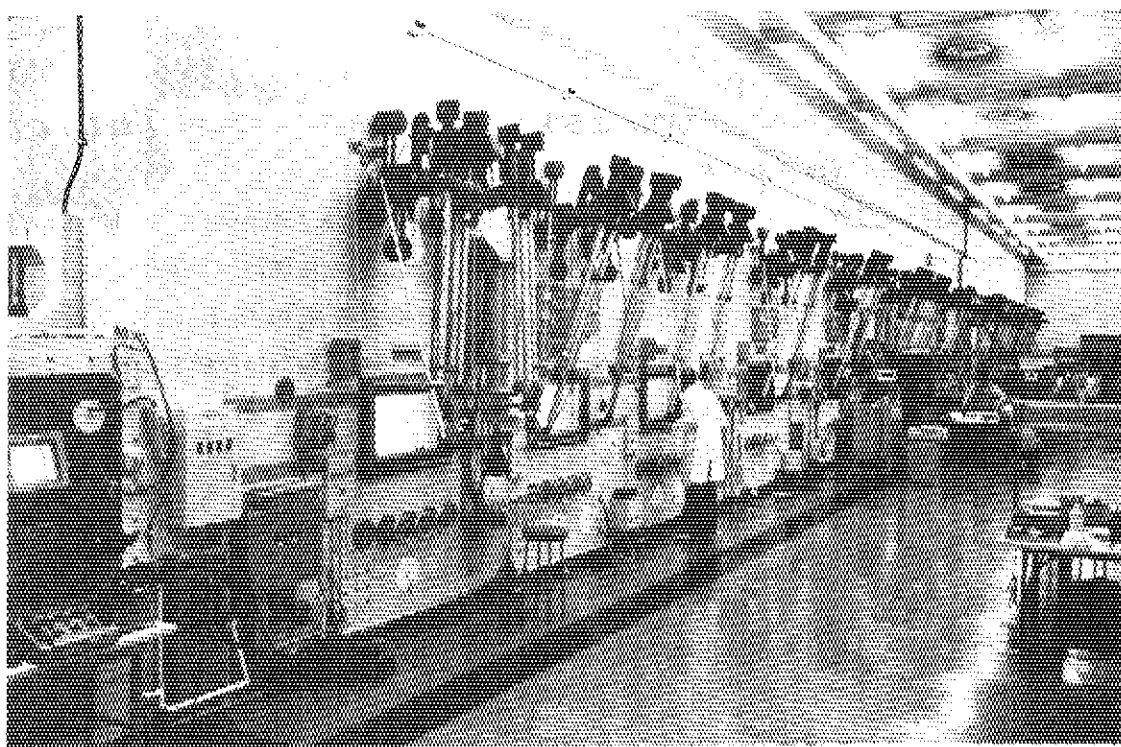
ホットラボは強い放射線を遮蔽するためコンクリート、鉄、鉛等の壁で囲んだホットケーブとこれに付属する種々の設備からなる。第3.3図は当施設の平面図であり、第3.4図、第3.5図はコンクリートケーブと材料試験用鉛ケーブの透視図である。また第3.1図、第3.2図、第3.6図はそれぞれの操作室の写真である。第3.1表に各ホットセルの遮蔽体と取扱放射能強度を示す。

これらの図、表に示すようにホットケーブは重コンクリート遮蔽の8セルおよび鉛遮蔽の顕微鏡用4セルからなる燃料試験用ホットケーブと、鉛遮蔽の7セルおよび鉄遮蔽の5セルからなる材料試験用ホットケーブの2つの主要ラインで構成されている。各セルには照射後試験用各種内装機器が据付けられ、遠隔操作による試験が行われる。

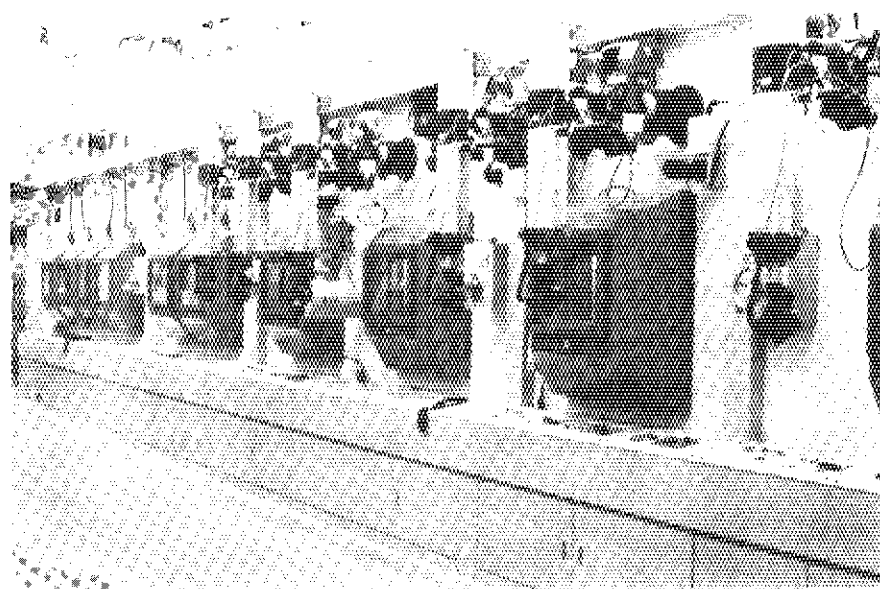
原子炉とホットラボとは長さ約40m、幅3m、深さ6.2mのカナルで直結されている。カナルは原子炉からのキャプセルの移送およびクーリングに使用され、ホットケーブへの移送、搬入作業の省力化に役立っている。第3.7図にカナルで作業するキャスク台車を示す。

### 3.3 照射後試験

原子炉で所定の照射を行った試料のうち原則として、燃料は約90日、材料は約30日カナルの水中でクーリングを行ったのちコンクリートケーブに搬入される。コンクリートケーブNo.1セル

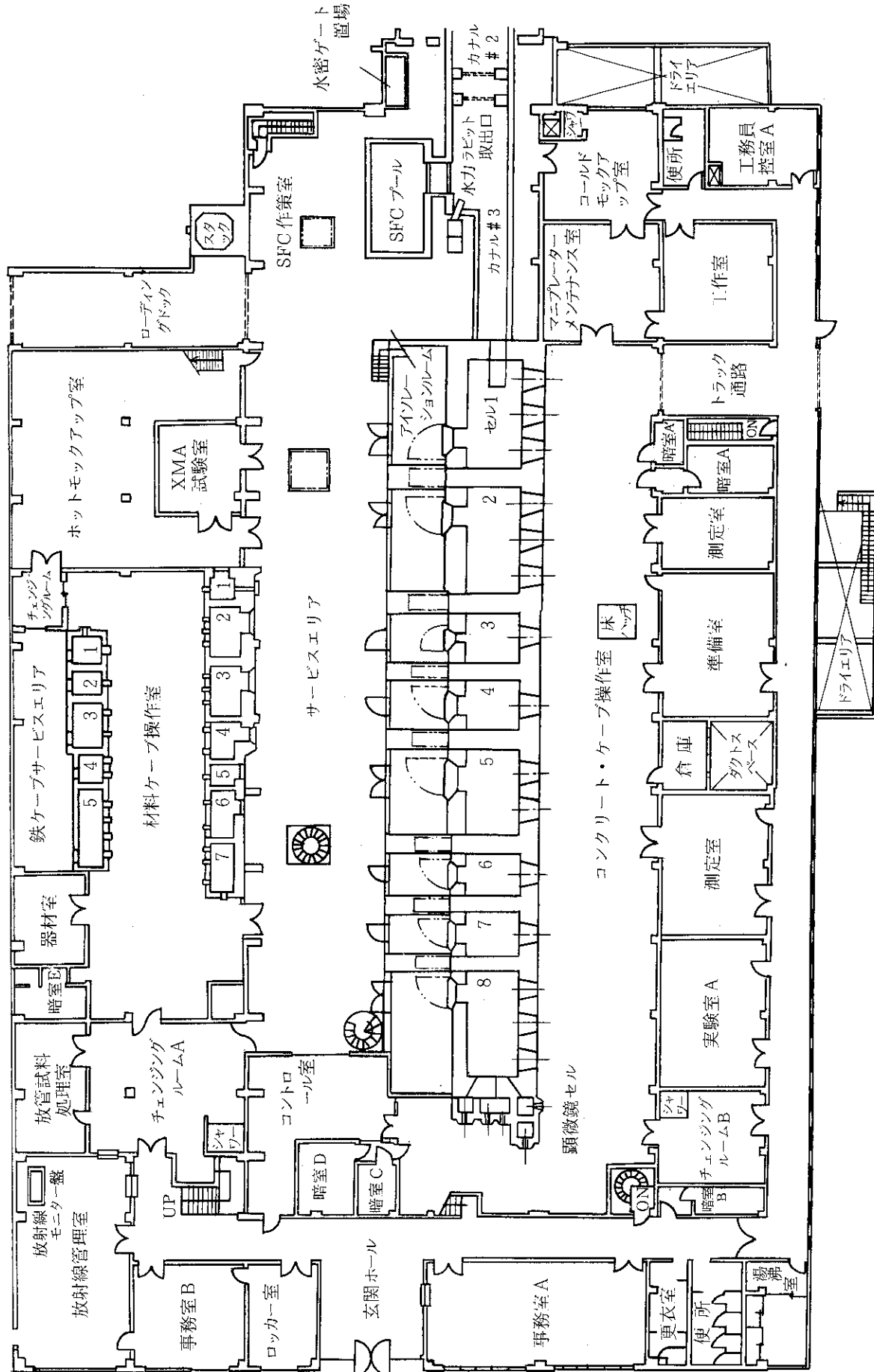


第3.1図 コンクリートケーブ



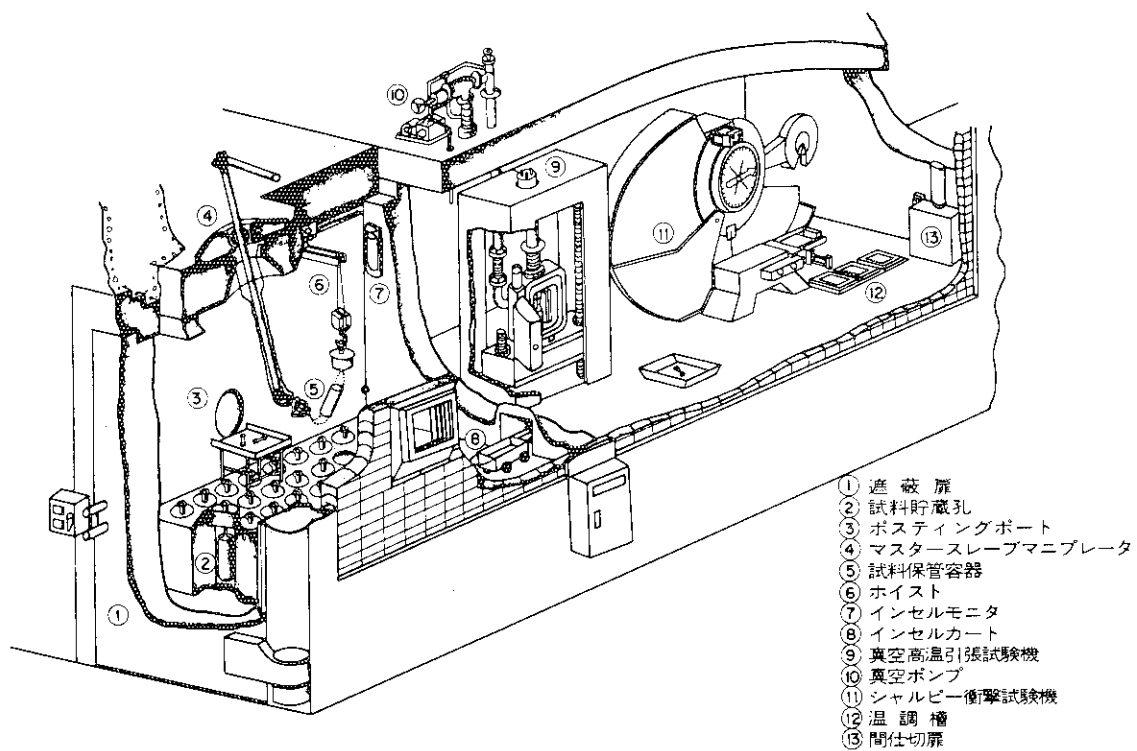
第3.2図 材料試験用鉄ケーブ



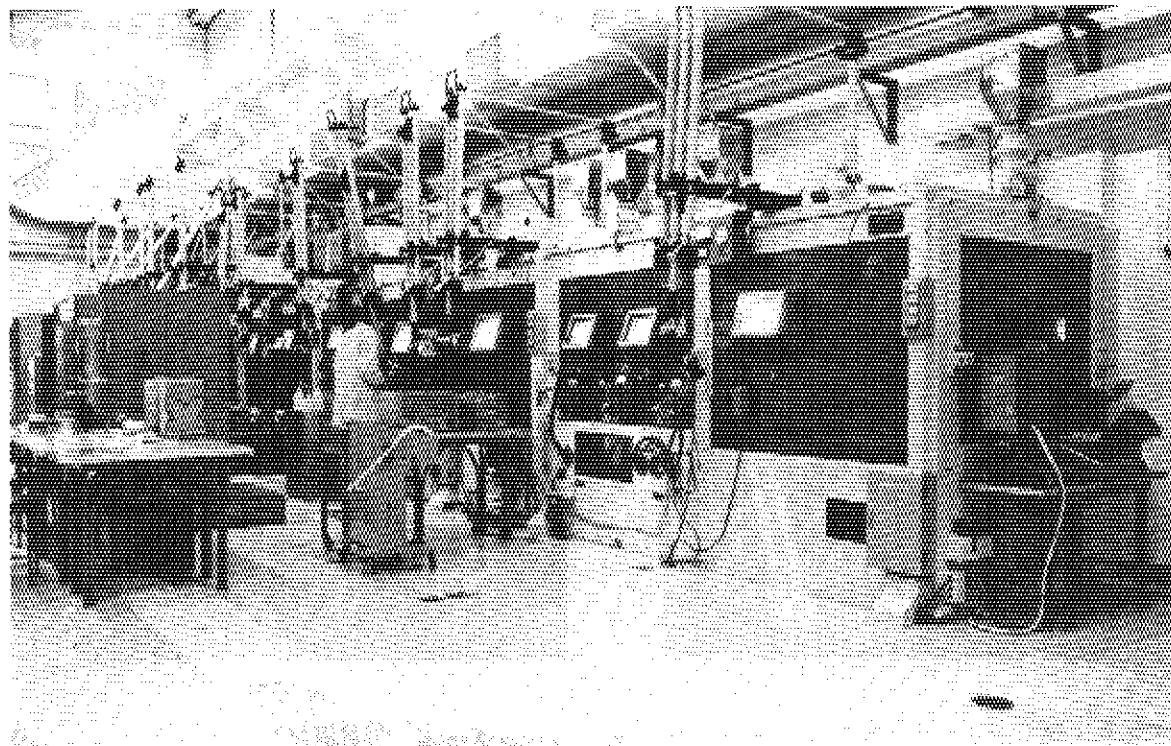


第3.3図 JMTR ホットラボ1階平面図





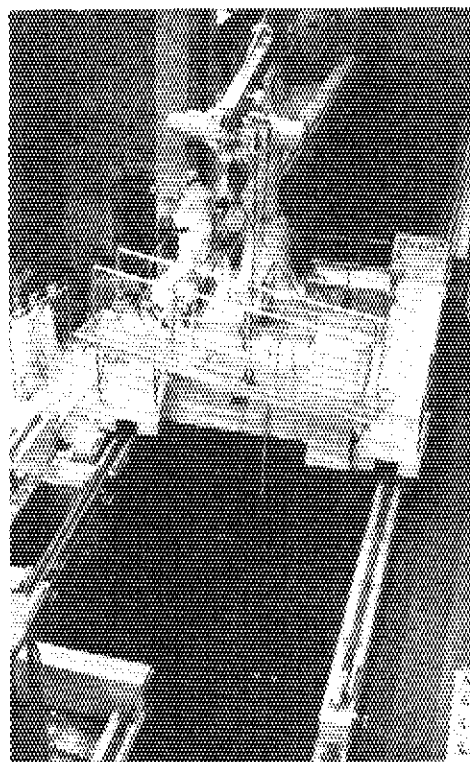
第 3.5 図 材料試験用鉛ケープNo. 1, 2 セル



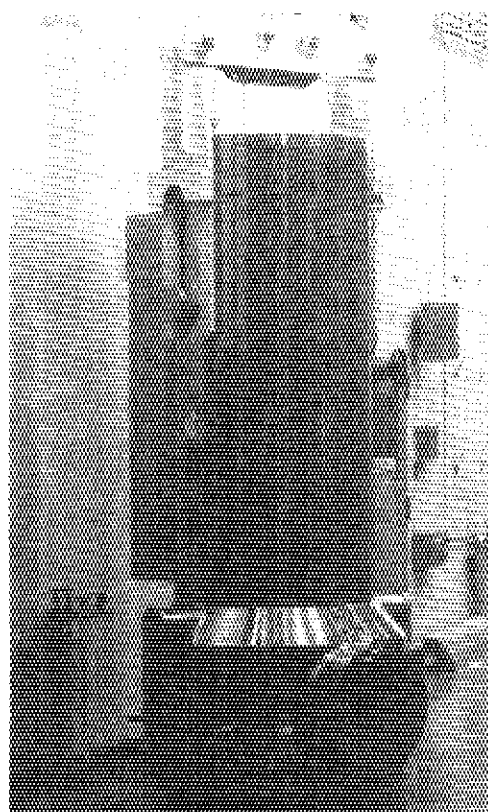
第 3.6 図 材料試験用鉛ケープ

第 3.1 表 ホットセルの遮蔽体と最大取扱放射能強度

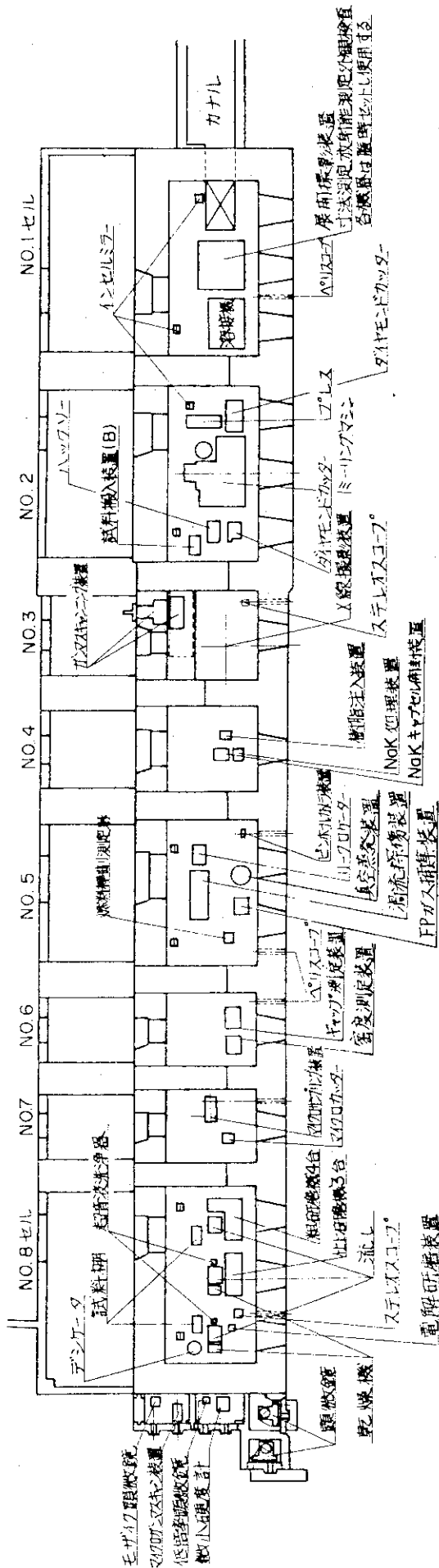
	主 遮 蔽 体		最大取扱放射能強度
	材 料	厚 さ	
コンクリートケーブ			
No. 1, 2 セル	重コンクリート ( $\rho > 3.8$ )	1.1 m	$9 \times 10^5$ Ci (1 MeV)
No. 3 セル	" ( " )	1.0 m	$1 \times 10^5$ Ci ( " )
No. 4, 5 セル	" ( " )	"	$3 \times 10^4$ Ci ( " )
No. 6 ~ 8 セル	" ( $\rho > 3.1$ )	"	$2.3 \times 10^3$ Ci ( " )
顕微鏡用鉛セル	硬 質 鉛	17.8 cm	100 Ci (1 MeV)
材料試験用鉛ケーブ			
No. 1 セル	硬 質 鉛	20 cm	35 Ci (1 MeV)
No. 2 ~ 7 セル	"	15 cm	1 Ci ( " )
材料試験用鉄ケーブ			
No. 1, 3, 4, 5 セル	炭 素 鋼	35 cm	18 Ci (Co-60相当)
No. 2 セル	"	40 cm	160 Ci ( " )



第 3.7 図 カナルで作業するキャスク台車

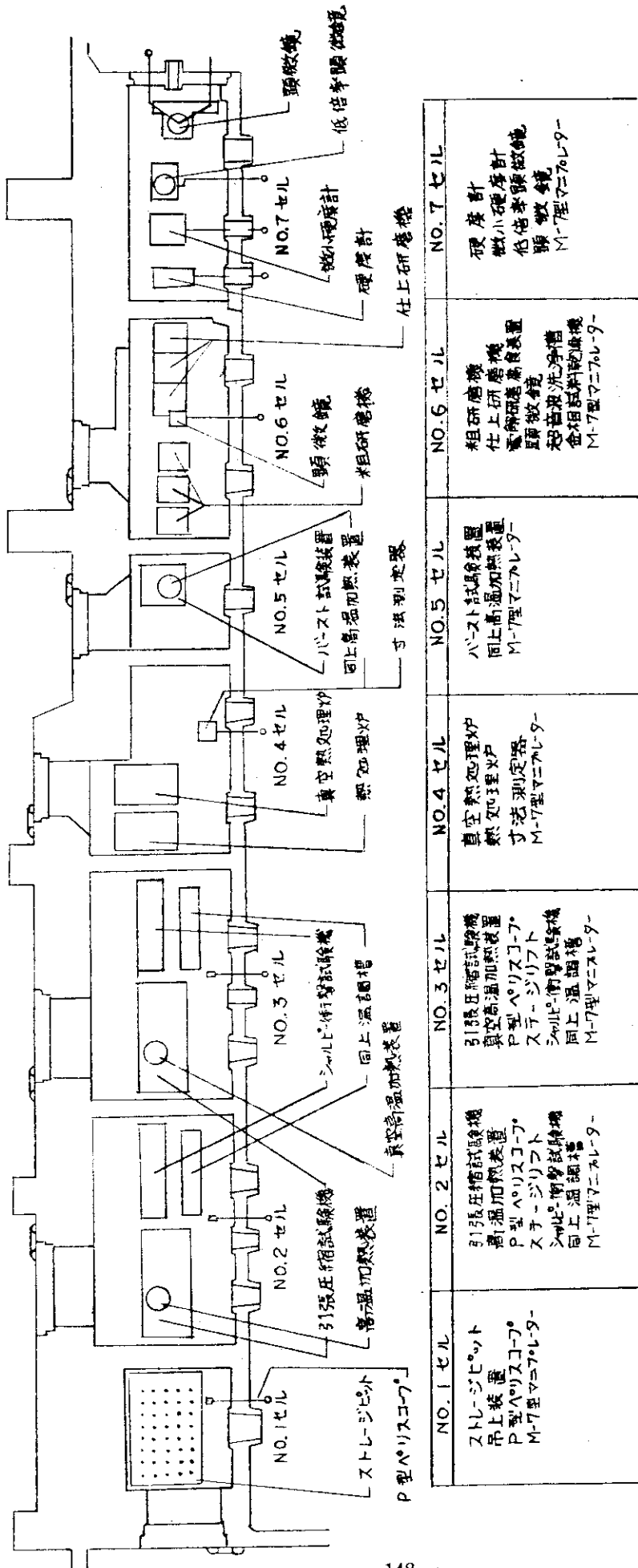


第 3.8 図 照射済試料輸送容器



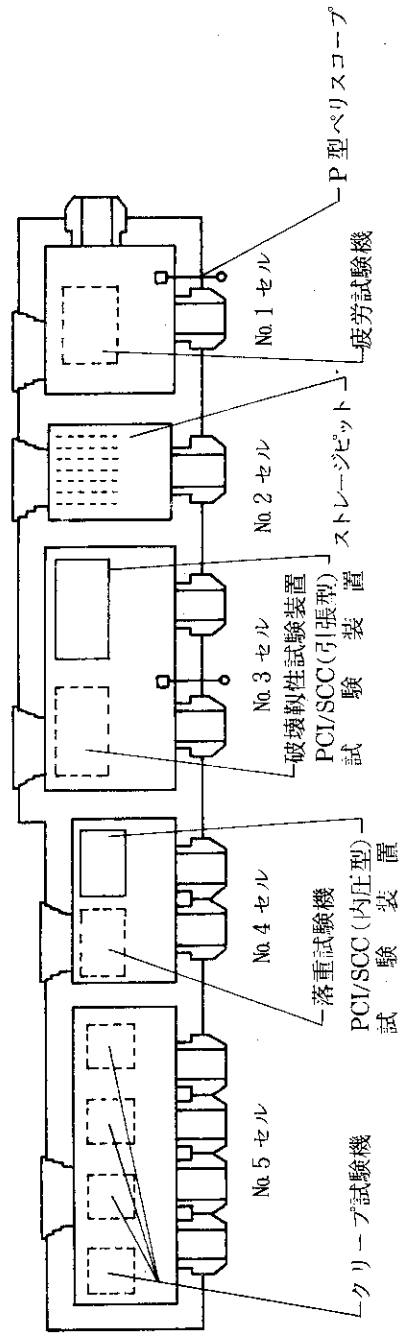
顕微鏡用鉛セル	NO.8セル	NO.7セル	NO.6セル	NO.5セル	NO.4セル	NO.3セル	NO.2セル	NO.1セル
粗研研機	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉
社工研機	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉
低倍率顕微鏡	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉
モザイク顕微鏡	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉
顕微鏡	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉
乾燥機	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉
スプレイト	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉
試料研	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉
FPガス捕集装置	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉
NaK 処理装置	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉
密度測定装置	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉
真空蒸着装置	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉
X線検出装置	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉
層用標準装置	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉
インセル炉	超音波洗浄器	密度測定装置	燃焼制御装置	真空蒸着装置	X線検出装置	X線検出装置	試料搬入装置(B)	インセル炉

第3.9図 コンクリートケープ、顕微鏡用鉛セル内装置種類配置図



NO.1セル	ストレージビット 吊上装置 P型パリスコープ M-7型マニマレター
NO.2セル	引張圧縮試験機 高温加熱装置 P型パリスコープ スチーゴリフト シールド炉 同上温調槽 M-7型マニマレター
NO.3セル	引張圧縮試験機 真空高温加熱装置 P型パリスコープ スチーゴリフト シールド炉 同上温調槽 M-7型マニマレター
NO.4セル	真空熱処理炉 熱処理炉 寸法測定器 M-7型マニマレター
NO.5セル	バラスト試験装置 同上高温加熱装置 M-7型マニマレター
NO.6セル	粗研磨機 仕上研磨機 顕微鏡 超音波洗浄槽 金相材料乾燥機 M-7型マニマレター
NO.7セル	硬度計 微小硬度計 低倍率顕微鏡 顕微鏡 M-7型マニマレター

第3.10図 材料試験用鉛ケープ内装機器類配置図



注) 点線は設置予定の試験機を示す。

No. 5 セル	No. 4 セル	No. 3 セル	No. 2 セル	No. 1 セル
クリープ試験機 MA-11型マニプレーター	落重試験機 PCI/SCC(内圧型)試験装置 MA-11型マニプレーター	PCI/SCC(引張型)試験装置 破壊靱性試験装置 P型ベリスコープ ステレンジビット G型マニプレーター	ストレージビット 吊上装置 G型マニプレーター	疲労試験機 P型ベリスコープ ステレンジビット G型マニプレーター

第3.11図 材料試験用鉄ケープ内装機器類配置図

でキャプセルの外観検査を行ったのちNo.2セルで解体し、中から試料やフルエンスモニタを取出す。燃料試験はNo.3～8セルおよび顕微鏡用鉛セルで各種試験が行われ、材料試験はNo.2セルからポストリングポート経由で材料試験用ケーブへキャスクで移送され、主として機械的性質等の試験が行われる。これらの試験を実施するのに必要な各種試験機がセル内に設置され、操作室側からマスタースレーブマニプレータ等の遠隔操作装置を用いて操作される。ホットセル内で取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3.12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試験項目と試験機性能等を、第3.13図以下に主な試験についての試験機、試験片および得られたデータの例を紹介する。ここに示す項目の中には最近新たに追加されたものや、技術開発を継続しているものもあり、利用者の要望にこたえるため常に新しい試験方法や技術の開発に努めている。また特殊な試験を行う場合、利用者が装置を用意することも可能である。

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等は鉄製キャンに詰め専用の輸送容器に納めたのち放射性廃棄物処理施設へ搬出される。また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トリングポート経由で搬出可能である。ただしその場合、ポストリングポートの座と適合するキャスクを必要とする。

なお、ホットラボで使用許可を受けている放射性同位元素を第3.5表に示す。

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, 4セル	13.6 kg
モデル8 (UD, UE, CRL)	C-1, C-3～8セル	5 kg
モデル7 (HB)	L-1～7セル	5 kg
モデルG	S-1～3セル	4.5 kg
モデルMA 11/80	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 TP5形	C-1, 2セル	50 kg
TP6形	C-3～8セル	25 kg
インセルホイスト TH-3形	C-1～3セル	2.5 ton
TH-5形	C-4～8セル	1 ton

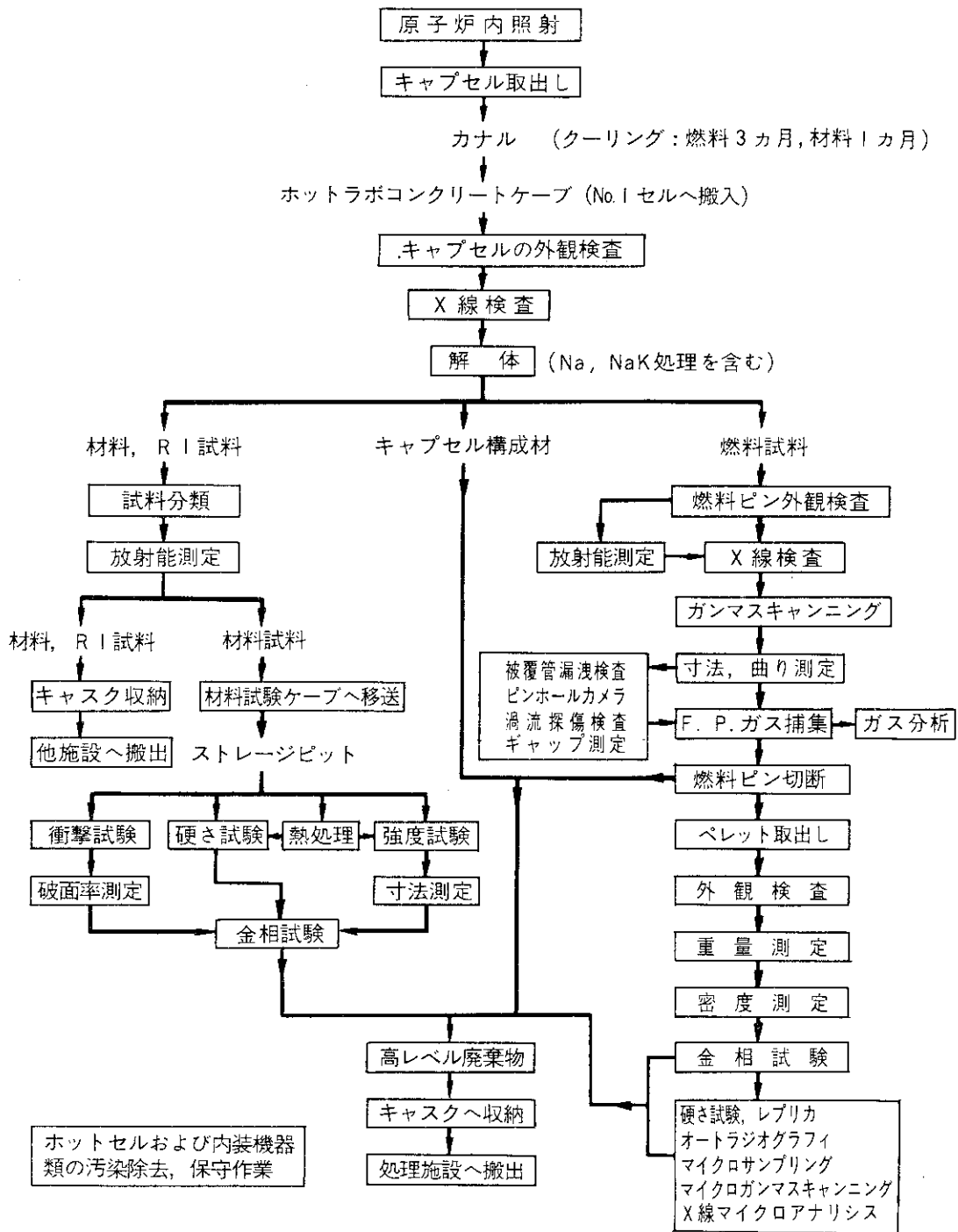
C : コンクリートケーブ

L : 材料試験用鉛ケーブ

S : 材料試験用鉄ケーブ

M : 顕微鏡セル





第 3.12 図 照射後試験の流れ

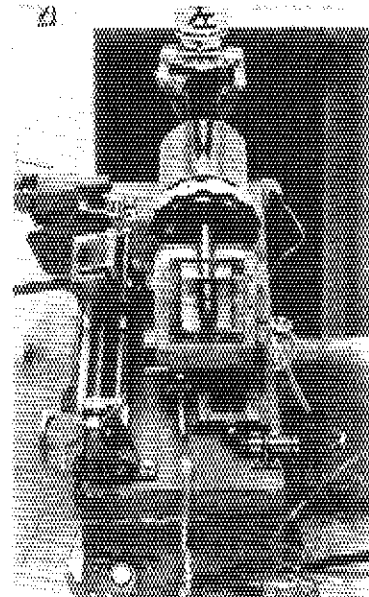
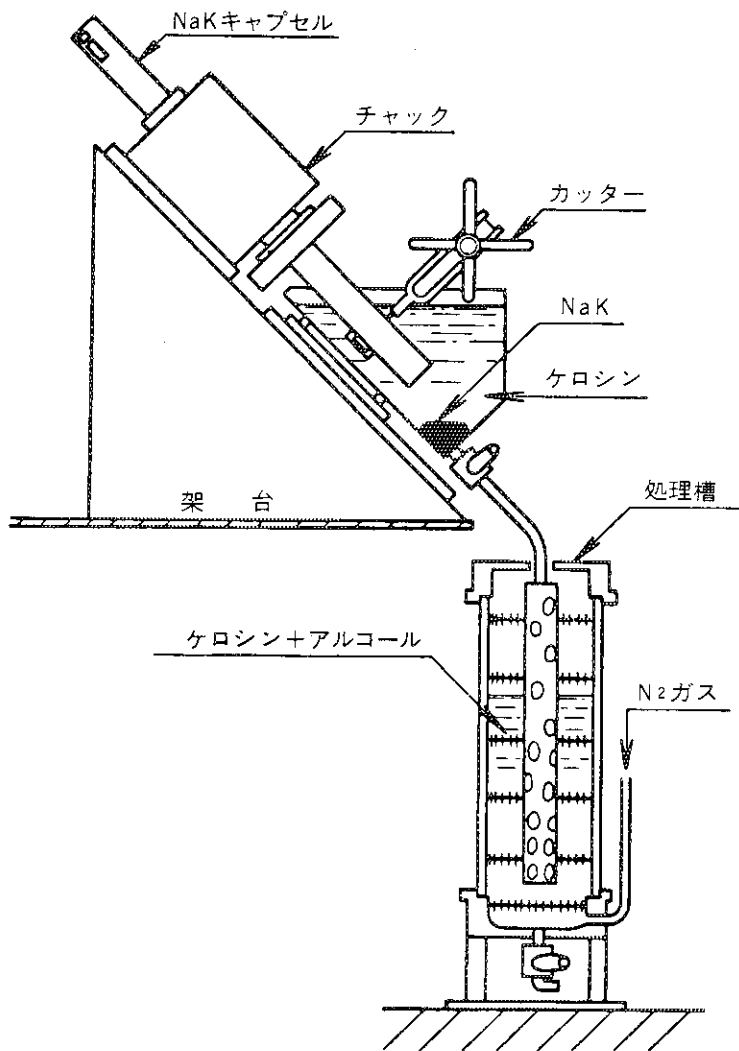
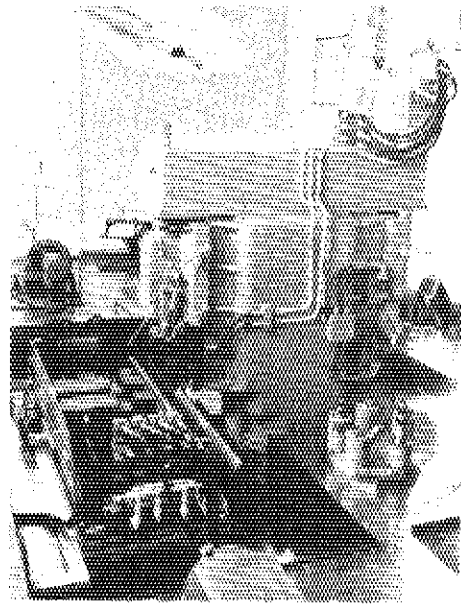
第 3.3 表 燃料試料の照射後試験

試験項目	試験機器	仕様・性能
1. 外観検査	ペリスコープ	倍率 $\times 2, \times 10$
	ステレオスコープ	倍率 $\times 8 \sim \times 45$ (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 $4" \times 5"$
	円筒展開撮影装置	円筒物体の表面を平面に展開撮影 試料長さ 100 ~ 1,000 試料直径 5 ~ 50
2. 放射能測定	ラドコン II 555 社 (ビクトリーン社)	線量率範囲 0.1 mR/min ~ 1000 R/min 積算線量 3 mR ~ 10,000 R 測定範囲 35 keV ~ 400 keV ~ 1.2 MeV
	IONEX TYPE 2500/3	線量率範囲 0.1 mR/min ~ 1000 R/min 積算線量 10mR ~ 1000R, 測定範囲 40keV ~ 3 MeV
3. キャプセル等の解体	ミーリングマシン	最大径 90 長さ 800 以下 切削精度 1/100
	パイプカッタ	最大径 50 長さ 70 以上 刃 巾 1.5 最小切断巾 2
	ダイヤモンドカッタ	最大径 60 長さ 20 以上 刃 巾 1.5 最小切断巾 2
	ハックスー	最大径 76 長さ 30 以上 刃 巾 0.6
	マイクロカッタ (ダイヤモンドカッタ)	最大径 35 刃 巾 0.6 最小切断巾 1
4. NaK キャプセルの解体	NaK キャプセル 閉封装置	キャプセル外径 15 ~ 50 長さ 150 ~ 800 ケロシン槽中にてパイプカッタにより切断
	NaK 処理槽	透明立型 $N_2$ ガスによる攪拌 内容積 131, NaK 処理量 200 cc
5. X線ラジオグラフィ	高放射性試料用 X線 撮影装置	150 kVp 高速回転陽極 X線管 小焦点 1.5 mm <sup>カク</sup> , 最大定格 400 mA, 1.0 秒 大焦点 3 mm <sup>カク</sup> 300 kVp X線管: 鉛スリット使用 小焦点 1.5 mm <sup>カク</sup> , 最大定格 4 mA 連続 大焦点 4 mm <sup>カク</sup> 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 ~ 250 mm/min 板状燃料: 縦, 横方向駆動 ロッド燃料: 軸, 回転方向駆動
	コリメータ	ホール: $\phi 0.3, \phi 0.75, \phi 1.5$ スリット: $0.2 \times 2.0, 1 \times 15$
	波高分析器	4096 チャンネル, 100 MHz
	検出器	Ge 50 cc, 3keV, 効率 7 %

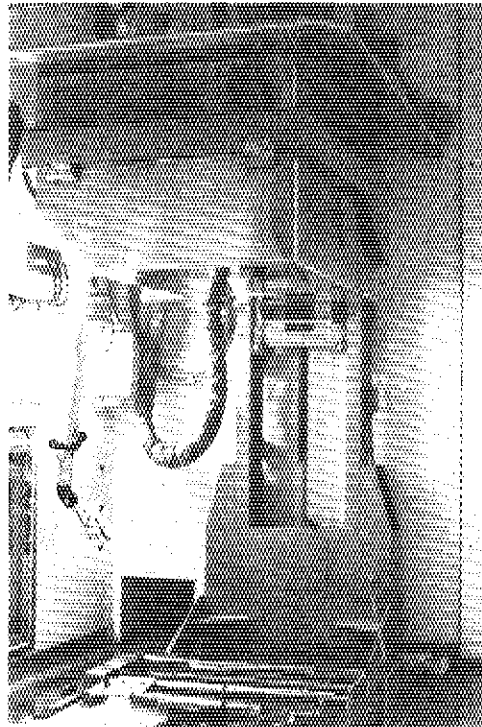
試験項目	試験機器	仕様・性能
7. マイクロガンマ スキャンニング	ガンマスキャンナ	燃料ピン断面連続ステップスキャン (間隔 0.25)
	コリメータ	ホール: $\phi 0.2 \sim \phi 0.5$
	検出器	Ge-NaI アンチコインシデンス Ge 50 cc, 2.5 keV, 効率 7%
8. 燃料ピンの組立て	端栓溶接装置	端栓の周溶接 (TIG) および $35 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ までのヘリウム加圧封溶接
9. 寸法測定	燃料棒寸法測定器	外径, 軸方向曲り, 芯振れの測定 測定外径 5 ~ 30 測定精度 $\pm 0.005$ (指示範囲 $\pm 0.1$ ) $\pm 0.005$ ( " $\pm 0.2$ ) $\pm 0.01$ ( " $\pm 0.5$ ) $\pm 0.02$ ( " $\pm 1.0$ ) $\pm 0.03$ ( " $\pm 2.0$ ) 回転方向測定ステップ: $10^\circ$ 長さ測定 測定範囲 150 ~ 1000 測定精度 $\pm 0.02$ 記録 デジタル (テレタイプ), アナログ (プロフィール)
	定盤 (COLLINS)	大きさ $610 \times 610$ 表面精度 $125 / 1000000$
	ハイトゲージ	測定範囲 0 ~ 600 精度 $\pm 1 / 100$
	ハイトマスタ	測定範囲 0 ~ 300 精度 $\pm 1 / 100$
	オプティカルゲージ	BAUSCH & LOMB 測定範囲 0 ~ 60 精度 $\pm 1 / 1000$
10. 被覆管の検査	渦流探傷装置	管直径 5 ~ 25, 長さ 100 ~ 500 検査速度 0 ~ 5 m/min 検査周波数 37.5, 75, 150, 300 kHz 欠陥検出能力 内外面肉厚の 5%
	リークローケータ	液体負圧チェンバ式, 到達真空度 $1 \times 10^{-2}$ Torr 試料直径 5 ~ 20, 長さ 100 ~ 400 使用液 ホワイトスピリット
11. ギャップ測定	ギャップ測定装置	被覆管とペレット間のギャップ測定 試料直径 5 ~ 20 ギャップ測定範囲最大 1 mm, 測定精度 $5 \mu$
12. 重量測定	メトラ天秤	秤量 ~ 160 g, 精度 $\pm 1 / 10000$ g
	天秤	秤量 ~ 1200 g, 精度 $\pm 1 / 100$ g
13. 密度測定	自動密度測定装置	温度補正, 演算, プリンタ, テープ打出し 全自動装置 液浸法 (メタキシロール中へのリフト機構) 精度 $\pm 1 / 100$ g/cc
14. ガス分析	パンクチャ装置 ガス捕集装置	被覆管を真空チェンバ中にて穿孔し, ガスをセルに導いて捕集 被覆管直径 6.5 ~ 25, 長さ 30 ~ 2000 捕集系到達真空度 $1 \times 10^{-6}$ Torr

試験項目	試験機器	仕様・性能
14. ガス分析	質量分析器	分析核種 Kr, Xe, He, H <sub>2</sub> , Ar, CH <sub>4</sub> , O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , Kr および Xeの同位元素比
	ガスクロマトグラフ	分析核種 Kr, Xe, CO, CH <sub>4</sub> , O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>
15. マイクロサンプリング	マイクロサンプリング装置	超音波加工 ドリル外径 0.5 サンプリング直径 0.25 深さ 1 サンプリング位置決め ボアスコープ ×5
16. 金相試験前処理	マイクロカッタ (ダイヤモンドカッタ)	切断可能最大径 32 刃巾 0.6 切断巾 1
	回転研磨機	4台, 同時研磨試料 3ヶ/台 耐水研磨紙 #180~#600 (~#1000)
	振動研磨機	3台, 同時研磨試料 5ヶ/台 ダイヤモンドペースト 7μ~1μ
	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	燃料ピンへの樹脂注入, 最大注入圧力 5 kg/cm <sup>2</sup> G
17. 金相写真撮影	低倍率顕微鏡	観察倍率 ×10~×20 撮影倍率 ×5~×10 } 連続変倍
	金属顕微鏡	撮影倍率 ×50~×900 明視野, 暗視野, 偏光, 干渉装置付
	モザイク顕微鏡	撮影倍率 ×87.7, 撮影画面サイズ 56×78 モザイク写真連続撮影, ステージ移動量 XY 共 24 使用フィルム 巾 70, 最長 45 m
18. レプリカ採取		二段レプリカ
19. 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"×2")
20. 硬さ試験	マイクロビッカース硬さ試験機	荷重 50, 100, 200, 500, 1000 g 測定倍率 ×400, 観察 ×100 試験温度 室温
	REICHERT 微小硬さ試験機	荷重 10~50 g 測定倍率 ×1000, 読取単位 0.15 μ 試験温度 室温
21. 微小領域元素分析	遮蔽型 X線	加速電圧 0~50 kV 分析元素 波長分散型 <sub>5</sub> B~ <sub>95</sub> Am エネルギー分散型 <sub>11</sub> Na~ <sub>95</sub> Am
22. 各種走査像写真撮影	マイクロアナライザ	1) 二次電子像 分析能 200 Å 2) 反射電子像 組成像と凹凸像 3) 吸収電子像
23. 廃棄物処理等	全自動直流アーク溶接機	入力 3組 200 V, 32 kVA 出力 35~500 A, 14~45 V 被溶接物の材質: 鉄鋼, ステンレス鋼, アルミニウム 大きさ: φ20×200 l~φ220×1000 l 主に円筒容器のキャンニングを行う
	インセルプレス	20トン 最小切断長 20 キャプセル解体により生ずる廃棄物の細分化, 圧縮

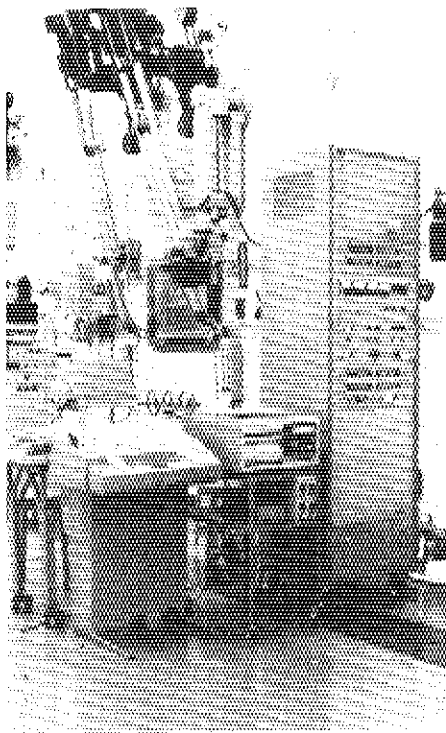
第 3.13 図 キャプセル等の解体を  
行うミーリングマシン



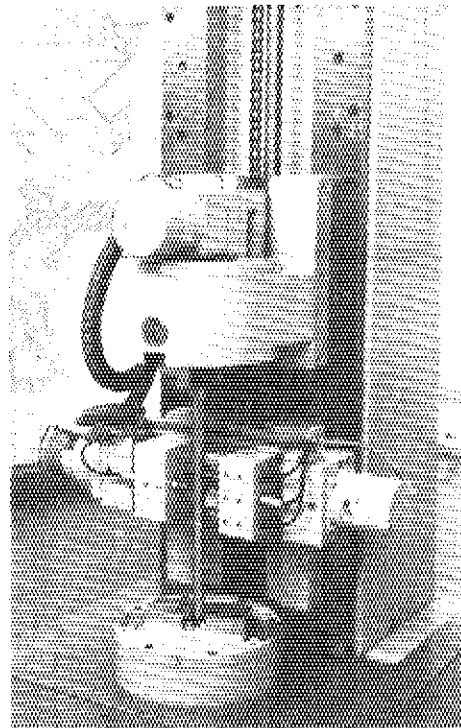
第 3.14 図 NaK キャプセル解体装置



第 3.15 図 X線撮影装置

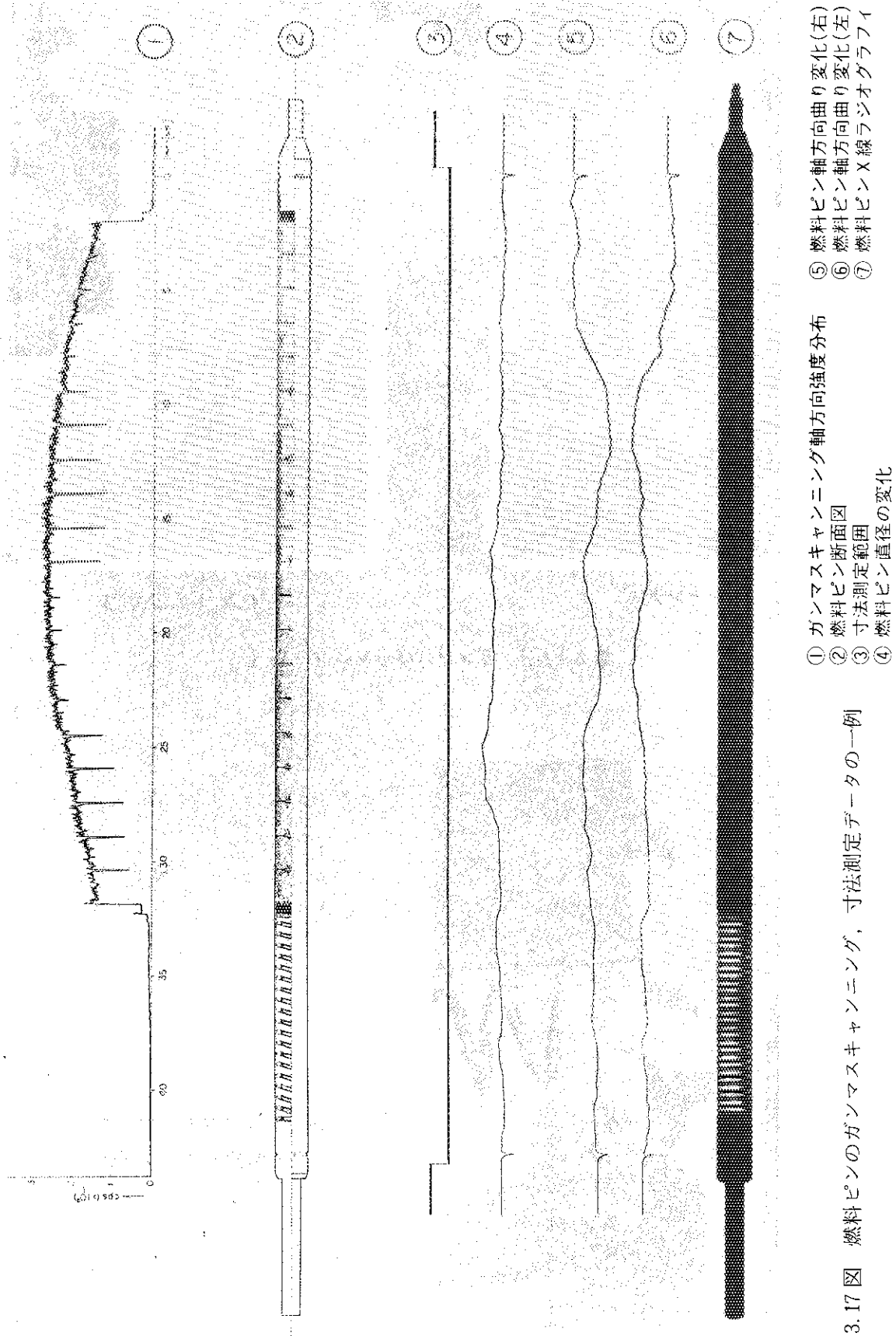


制御盤, 記録装置



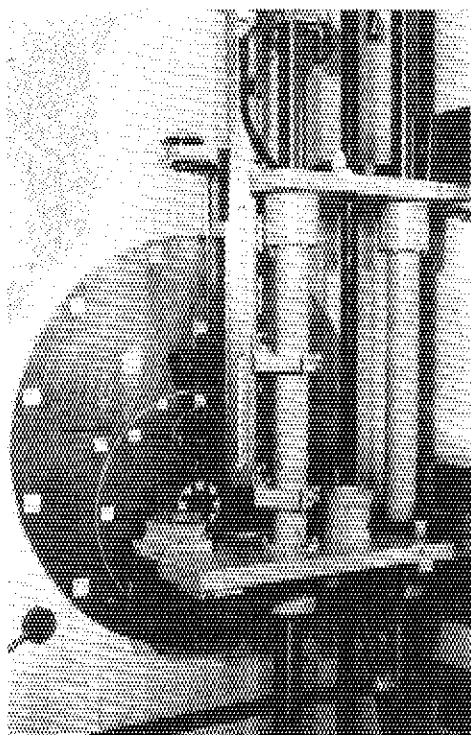
本 体

第 3.16 図 燃料棒寸法測定器

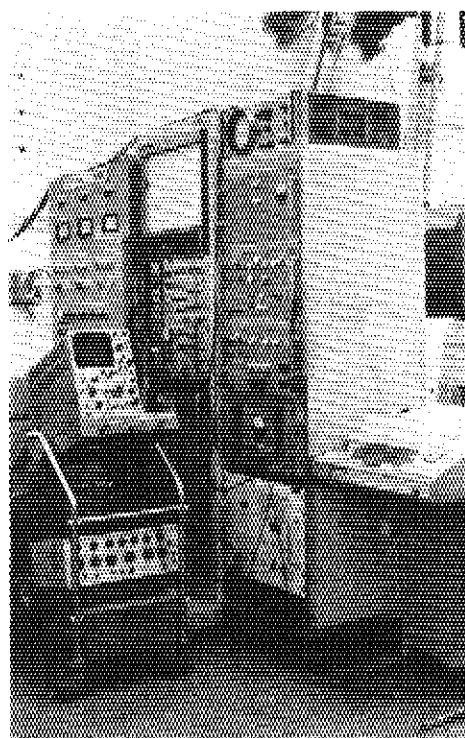


- ① ガンマスキャン断面図
- ② 燃料ピン断面図
- ③ 寸法測定範囲
- ④ 燃料ピン直径の変化
- ⑤ 燃料ピン軸方向強度分布
- ⑥ 燃料ピン軸方向曲り変化(右)
- ⑦ 燃料ピン軸方向曲り変化(左)
- ⑧ 燃料ピンX線ラジオグラフィ

第 3.17 図 燃料ピンのガンマスキャン、寸法測定データの一例

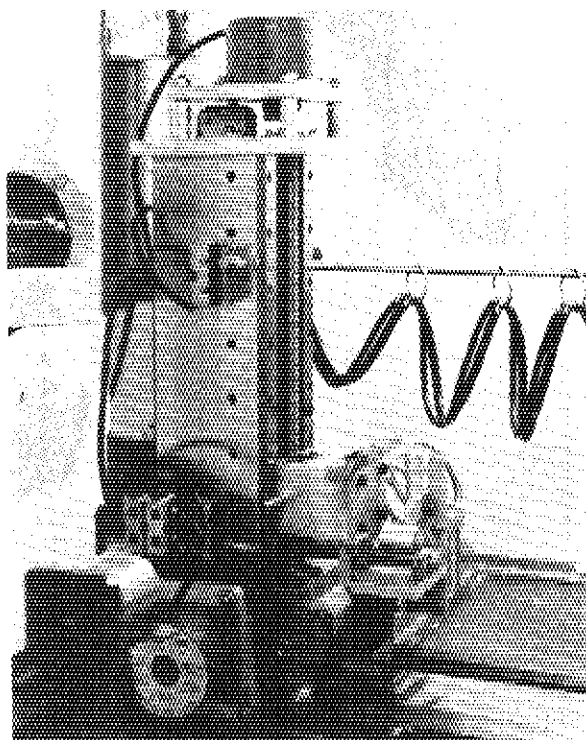


スキャナー



制御盤・測定器

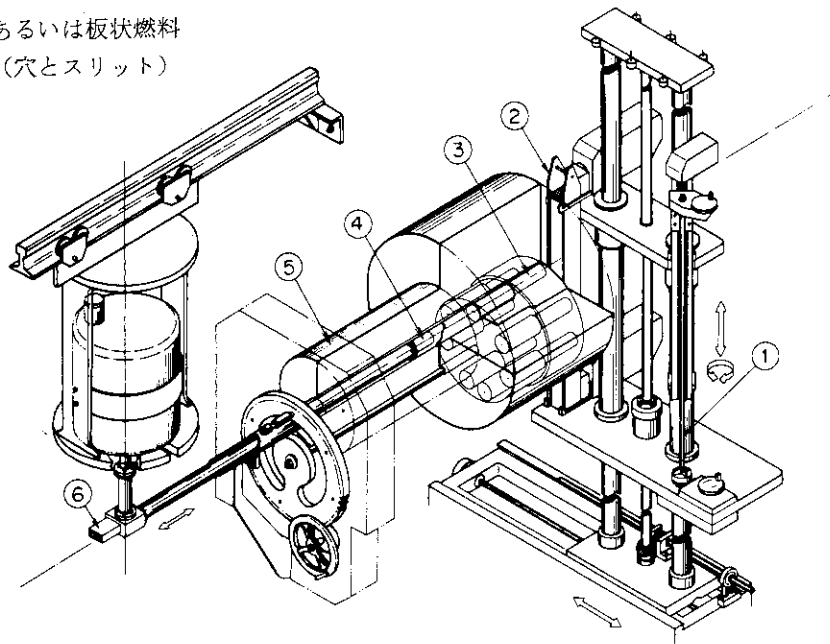
第 3.18 図 ガンマスキャンニング装置



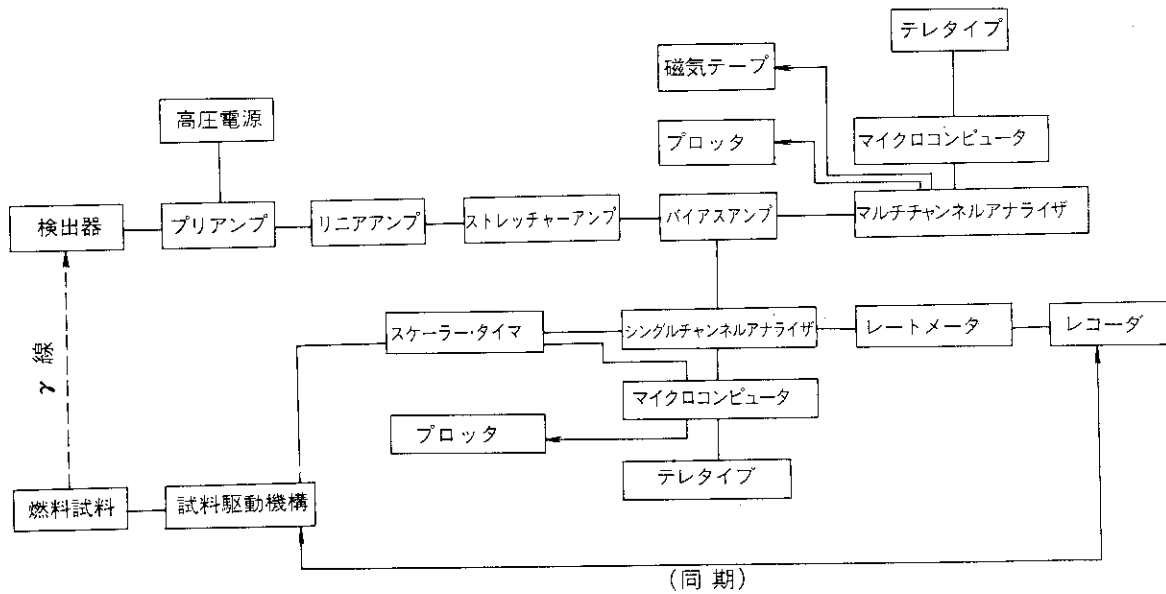
第 3.19 図 マイクロガンマスキャンニン  
グ装置のスキャンナ



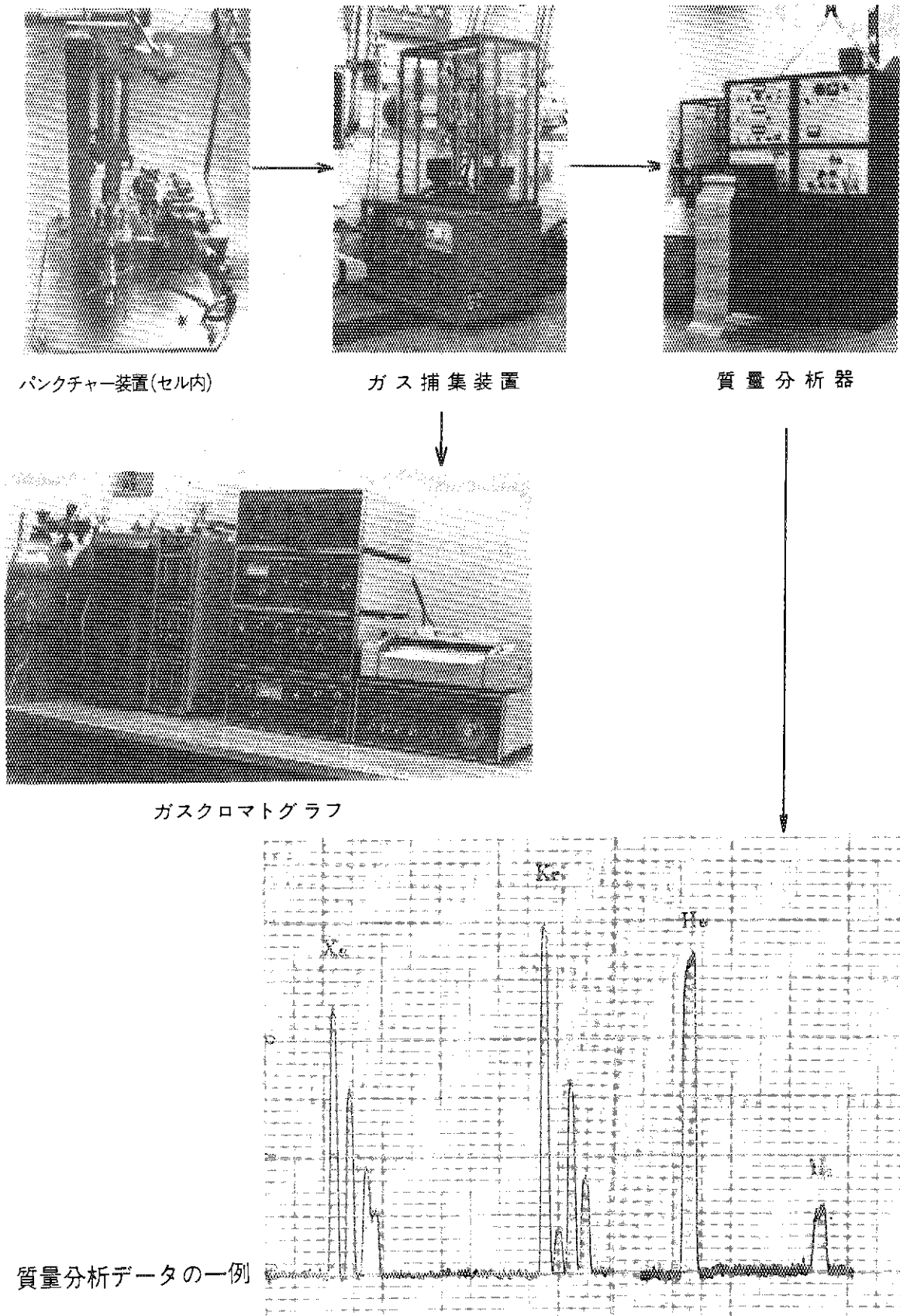
- ① 燃料棒試料
- ② 燃料集合体あるいは板状燃料
- ③ コリメータ (穴とスリット)
- ④ Ge 検出器
- ⑤ 遮蔽鉛
- ⑥ プリアンプ



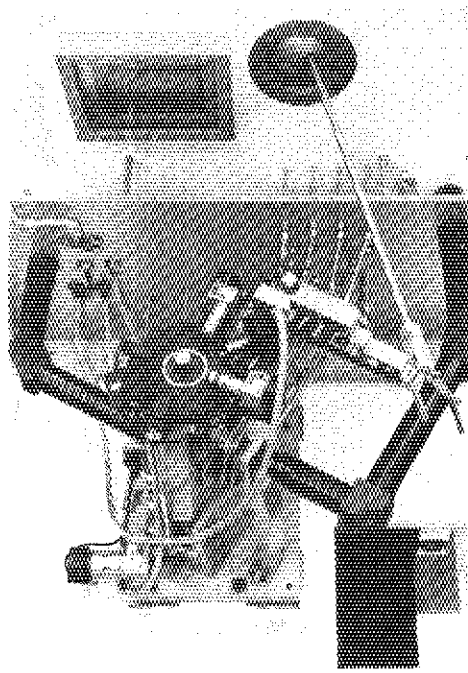
第 3.20 図 ガンマスキュニング装置



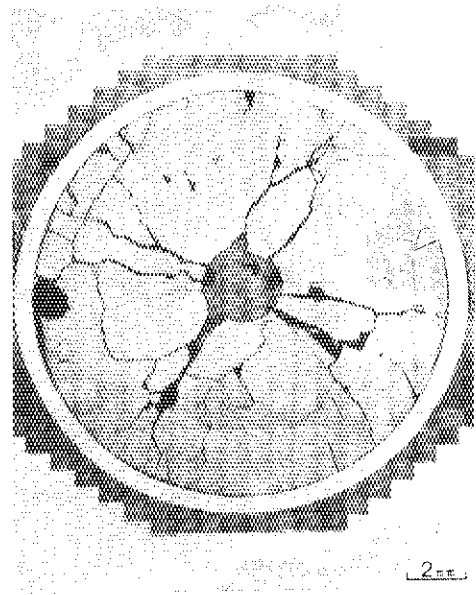
第 3.21 図 ガンマスキュニング装置のブロック図



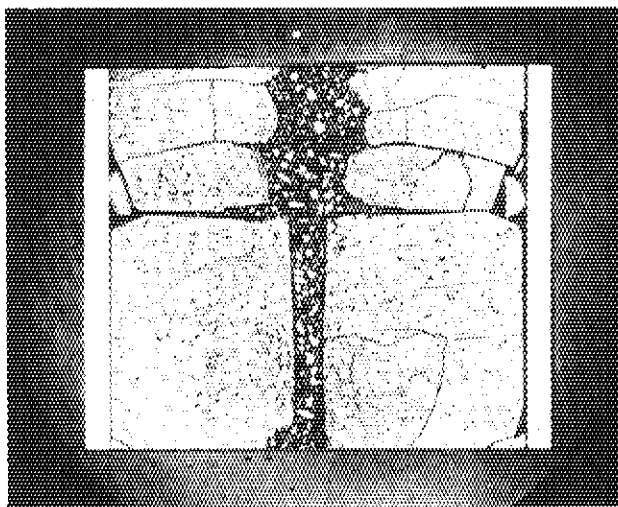
第 3.22 図 照射済燃料のガス分析



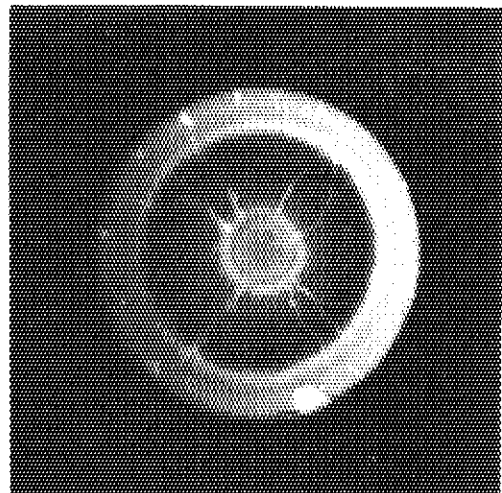
第 3.23 図 セル内に据付けられた顕微鏡



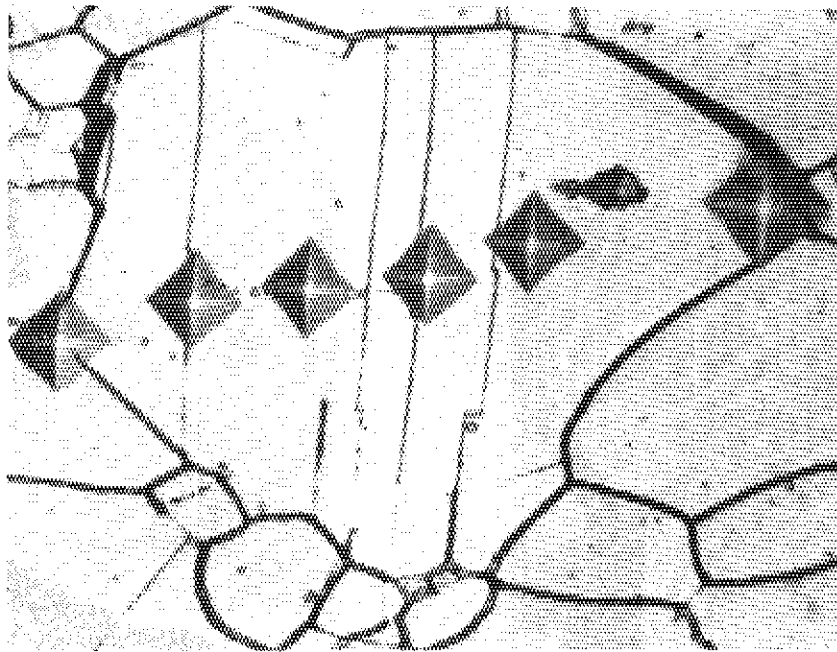
第 3.24 図 モザイク顕微鏡により撮影後合成した照射後  $UO_2$  燃料のモザイク写真



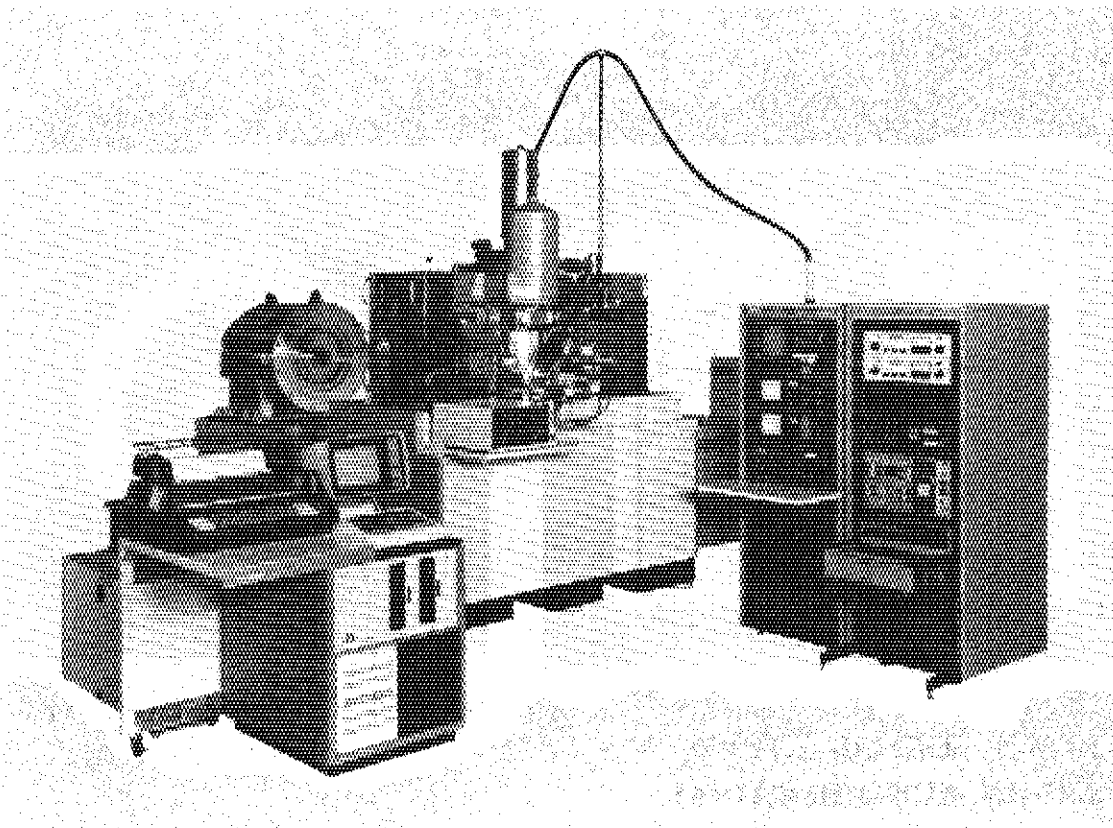
第 3.25 図 照射後  $UO_2$  燃料ピンの縦割り試料, 低倍率顕微鏡写真 ( $\times 5$ )



第 3.26 図 照射後  $UO_2$  燃料の  $\beta$ - $\gamma$  オートラジオグラフィ



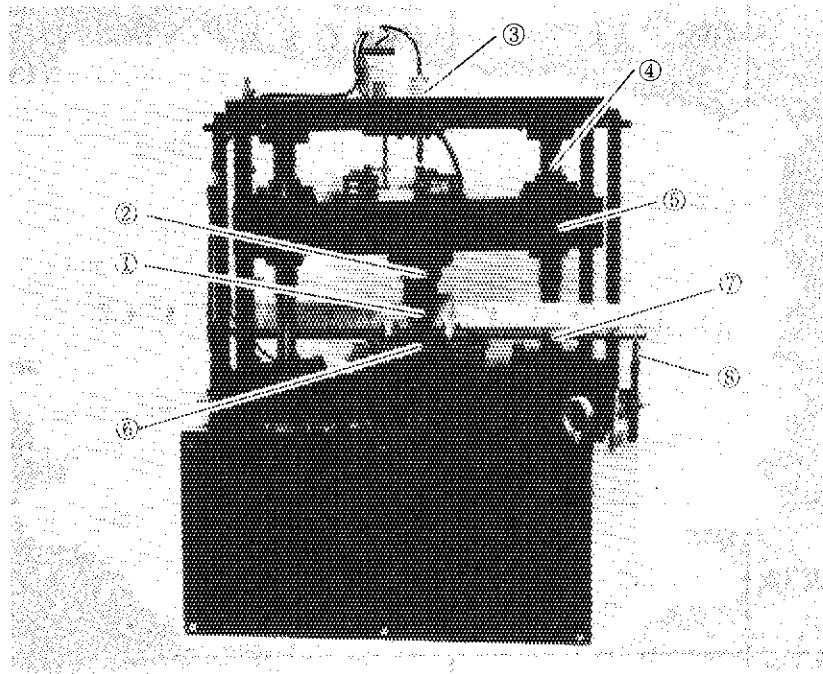
第 3.27 図 REICHERT 微小硬さ試験機による照射済ステンレス鋼のくぼみ  
P = 35 g , Hv = 195 ~ 203 , 写真倍率 × 750



第 3.28 図 遮蔽型 X 線マイクロアナライザ



第 3.29 図 XMAによる二次電子像（被覆粒子）



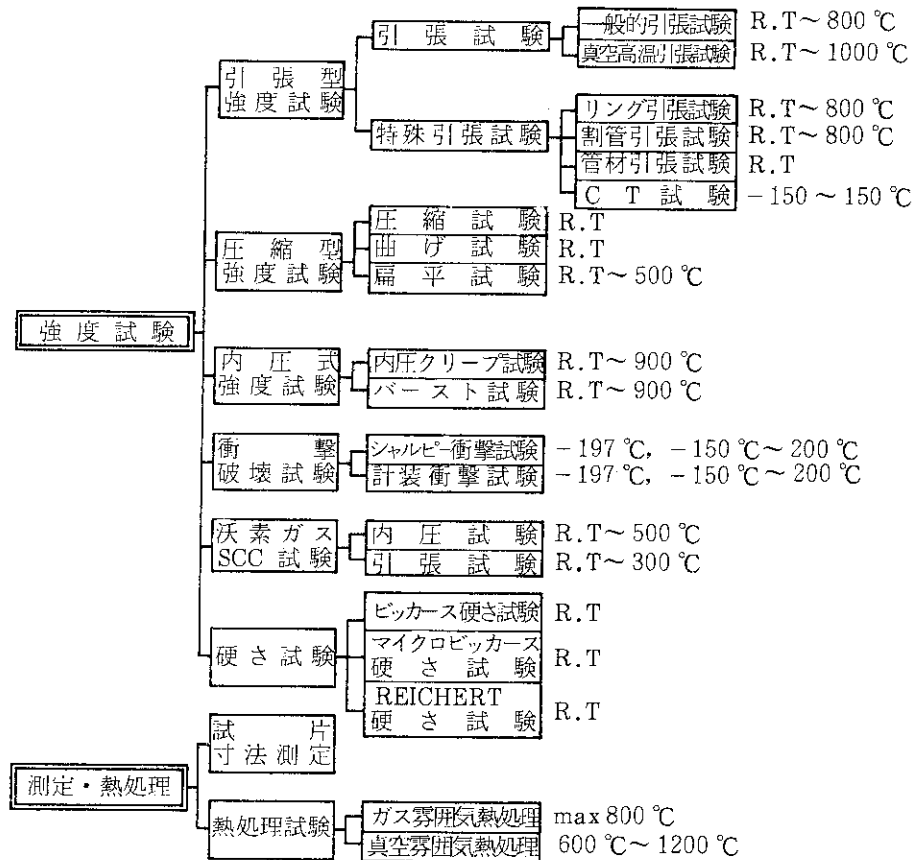
- ① 圧子
- ② ロードセル
- ③ 電気マイクロメータ
- ④ リードスクリュー
- ⑤ クロスヘッド
- ⑥ 燃料支持台
- ⑦ 燃料ピン
- ⑧ 平行支持機構

第 3.30 図 ギャップ測定装置セル内本体部

第 3.4 表 材料試料の照射後試験

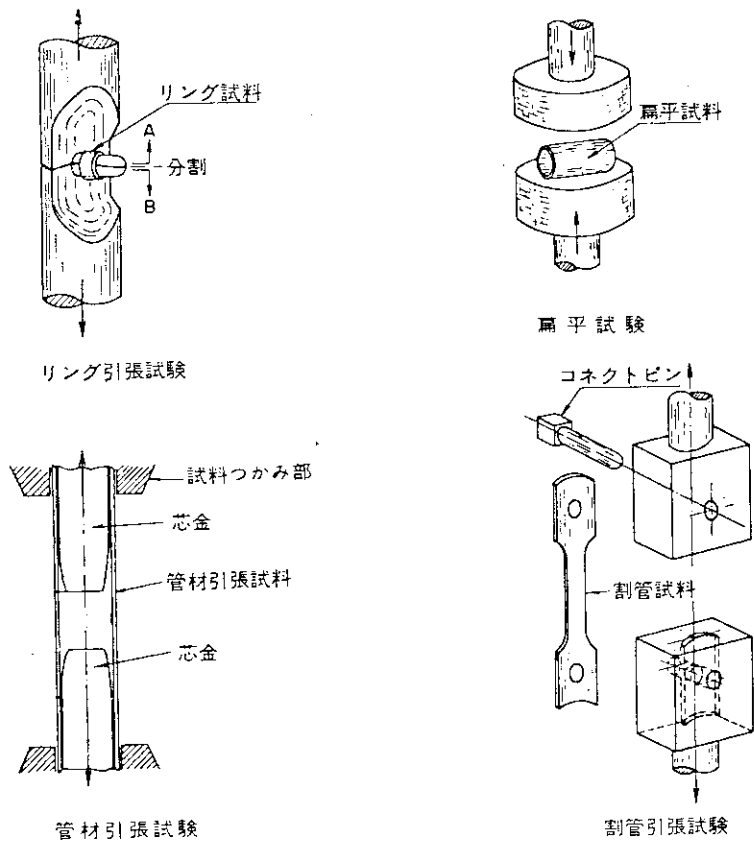
試験項目	試験機器	仕様・性能	
1. 引張試験 2. 圧縮試験 3. 曲げ試験 4. CT試験 5. 扁平試験	引張圧縮試験機	インストロン型 2台 容量 10トン 試験速度 0.05～50 mm/min (ステップ可変) 試験温度 第3.31図参照 真空度 $5 \times 10^{-5}$ Torr 伸長拡大倍率 5, 10, 20倍	
6. 衝撃試験		シャルピー衝撃試験機 容量 30 kg-m 2台 試験温度 $-197^{\circ}\text{C}$ , $-150^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 計装衝撃試験装置装着 (第3.43図)	
7. 内圧式強度試験		内圧クリープおよびバースト試験装置 クローズドエンド法 (試験片の形状は第3.36図) クリープ試験最大内圧 $1000 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ バースト試験最大内圧 $1500 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 内圧媒体 N ガス 試験温度 室温～ $900^{\circ}\text{C}$ 加熱炉内容積 $\phi 46 \times 270 \text{ l}$ (均熱帯 150)	
8. PCI/SCC 試験		内圧試験装置	圧力 $450 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ (最大) 圧力媒体 Ar ガス ( $\text{I}_2$ 分圧最大 $0.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ) 試験温度 R.T～ $500^{\circ}\text{C}$ 大振巾 内圧×(50～100%), 1～5 サイクル/24 h 小振巾 内圧×(1～10%), 200～300 サイクル/12 h
		引張試験装置	インストロン型引張試験機 試験雰囲気 $\text{I}_2$ ガス 試験温度 R.T～ $300^{\circ}\text{C}$ 試験速度 0.05～50 mm/min (ステップ可変)
9. 熱処理	ガス式焼鈍炉	ガス雰囲気, 炉の内径 80, 均熱帯 200 温度範囲 $100 \sim 450^{\circ}\text{C}$ ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), $450 \sim 800^{\circ}\text{C}$ ( $\pm 3.5^{\circ}\text{C}$ )	
	真空外熱式焼鈍炉	真空度 $1 \times 10^{-5}$ Torr, 炉の内径 80, 均熱帯 200 温度範囲 $450 \sim 900^{\circ}\text{C}$ ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ), $910 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ ( $\pm 5^{\circ}\text{C}$ )	
10. 小試片寸法測定	寸法測定器	光電マイクロメータ方式 倍率 5倍 測定範囲 X～50, Y～50 計器精度 $1\mu$ デジタル表示	
11. 試片破断後の外観写真撮影	ペリスコープ	撮影倍率 $\times 1 \sim \times 5$ 6台	
12. 金相試験前処理	回転研磨機	3台 同時研磨試料 3ケ/台 耐水研磨紙 #180～#600 (～#1000)	
	振動研磨機	3台 同時研磨試料 5ケ/台 ダイヤモンドペースト $7\mu \sim 1\mu$	
	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	
13. 金相写真撮影	低倍率顕微鏡	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	

14. 硬 さ 試 験	ビッカース硬さ試験機	荷重 1, 2, 5, 10, 20 kg 測定倍率 ×130 読取 メカニカルデジタルカウンタ (単位 μ)
	マイクロビッカース硬さ試験機	荷重 50, 100, 200, 500, 1000 g 測定倍率 ×400 観察 ×100 読取 オプチカルマイクロメータ (単位 μ)
	REICHERT 微小硬さ試験機	荷重 10 g~50 g 測定倍率 ×1000 読取 オプチカルマイクロメータ (単位 0.15 μ)

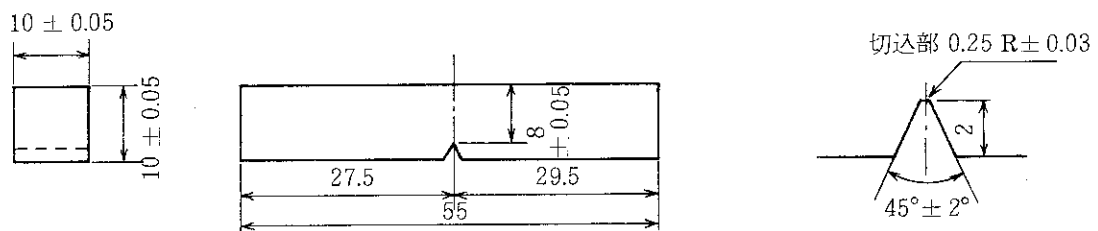


〔注〕 欄外に示す数値は実施可能な試験温度の範囲である。

第 3.31 図 材料試験用ケーブルにおいて実施可能な照射後強度試験等の体系



第 3.32 図 引張圧縮試験機による各種強度試験



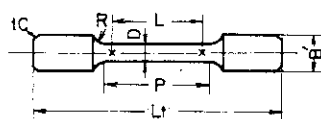
第 3.33 図 シャルピー標準試験片  
(JIS 4 号試験片)



高温引張試験片



室温引張試験片



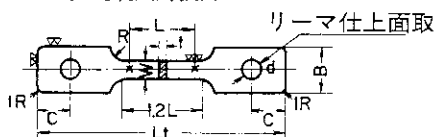
D	L	P	Lt	R	E	B	B'
Φ4	20	24	55	5	2	M8	Φ8
Φ6	30	36	100	15	3	M12	Φ10
Φ8	40	48	120	15	4	M14	Φ12

単位mm

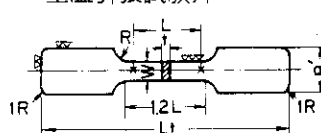
- 注) 1) ネジ精度はJIS 2級程度とする。  
 2) 端面にはセンターもみのないこと。  
 3) 試験片のNo刻印は両端面とする。

第 3.34 図 JMTR 棒状標準試験片

高温引張試験片



室温引張試験片

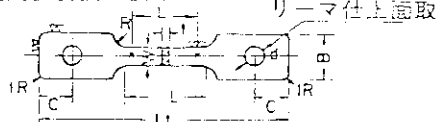


W	t	L	Lt	R	C	d	B	B'
4	1.5以下	$6\sqrt{A}$	55	5	7.5	Φ4	10	10
	1.5~3.5	*	80	8	10	Φ6	12	10
6	0.5~2.5	*	100	10	14	Φ8	18	12
	2.5~5.0	*	110					
8	2.0~4.0	*	125	12	18	Φ9	22	16
	4.0~6.5	*	140					

単位mm

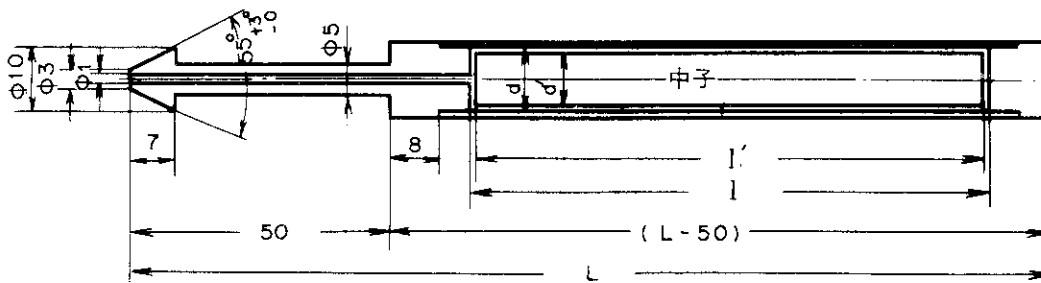
- 注) 1)  $A = W \cdot t$ , Lおよび1.2Lは少数以下4捨5入し読み易い値とする。  
 2) 試験片No.はつかみ部両側に刻印すること。

真空高温引張試験片



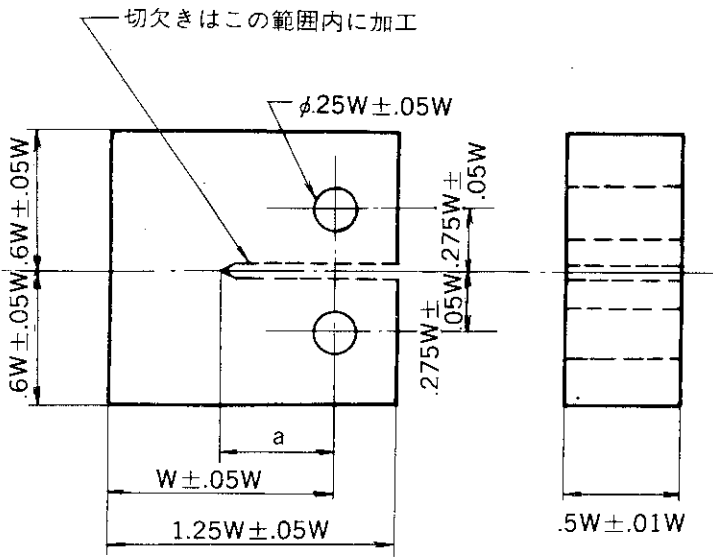
W	t	L	Lt	R	C	d	B
4	1	12	55	5	7.5	Φ4	10
	1	30	90	17	10	Φ6	13

第 3.35 図 JMTR 板状標準試験片

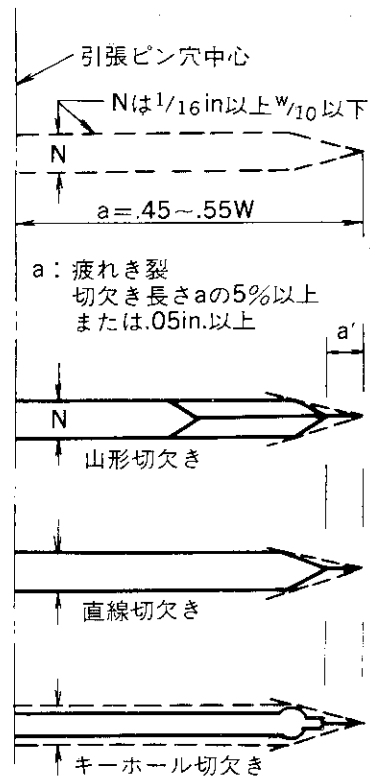


- 注) 1)  $L = 150$ あるいは $250$ ,  $l - l' = 2$ ,  $d - d' = 0.5\text{mm}$   
 2) 必ず中子を封入し, 中子は放射化しにくい材質とする(ステンレス鋼は不可)

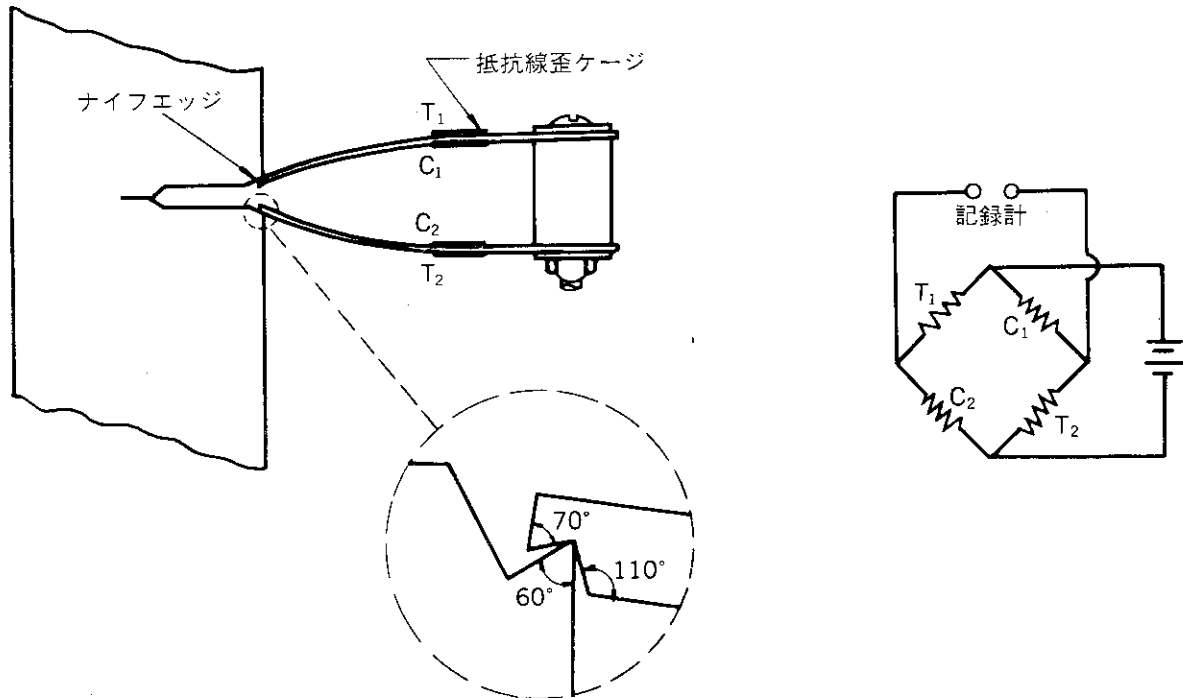
第 3.36 図 バースト試験, 内圧クリープ試験標準試験片



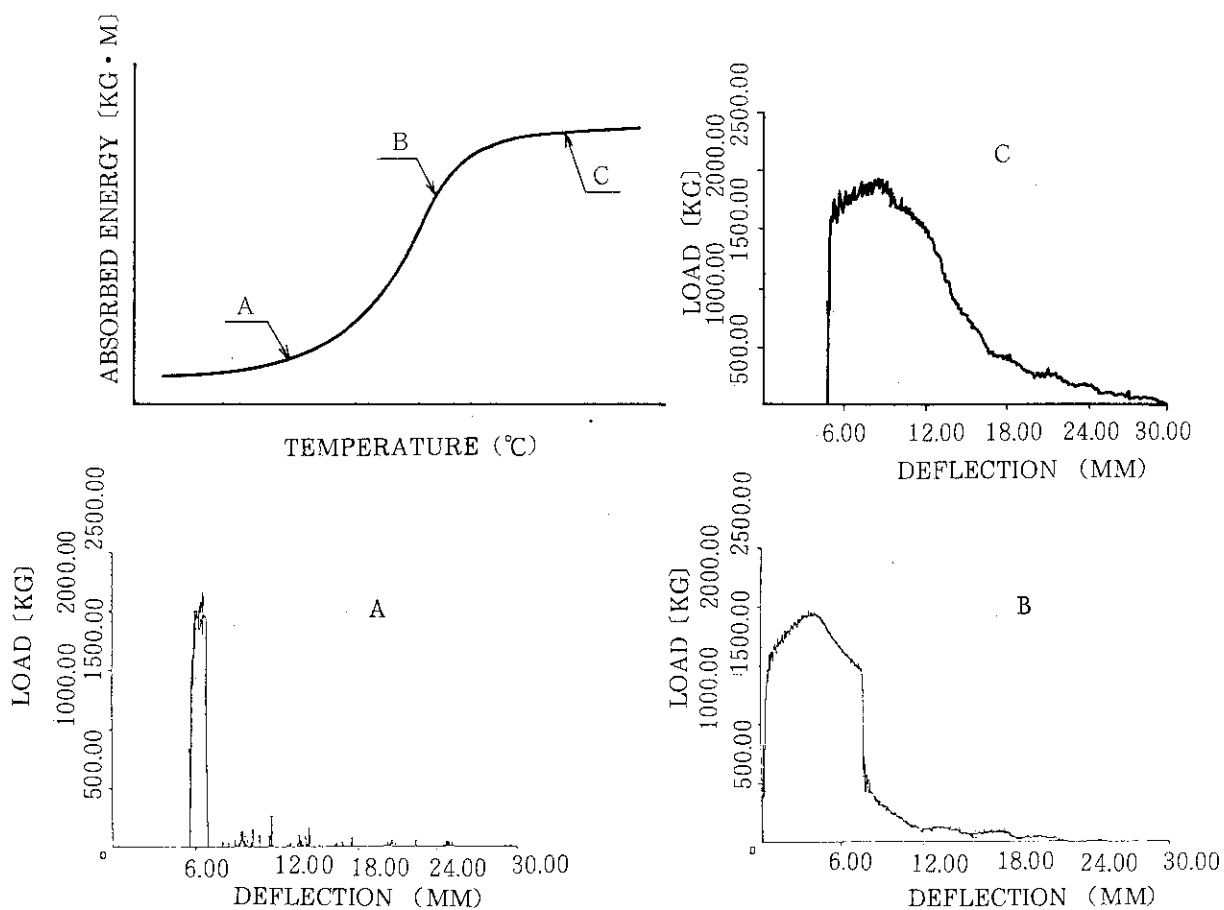
第 3.37 図 C.T 試験片の標準形と寸法許容差  
〔ASTM E-399〕



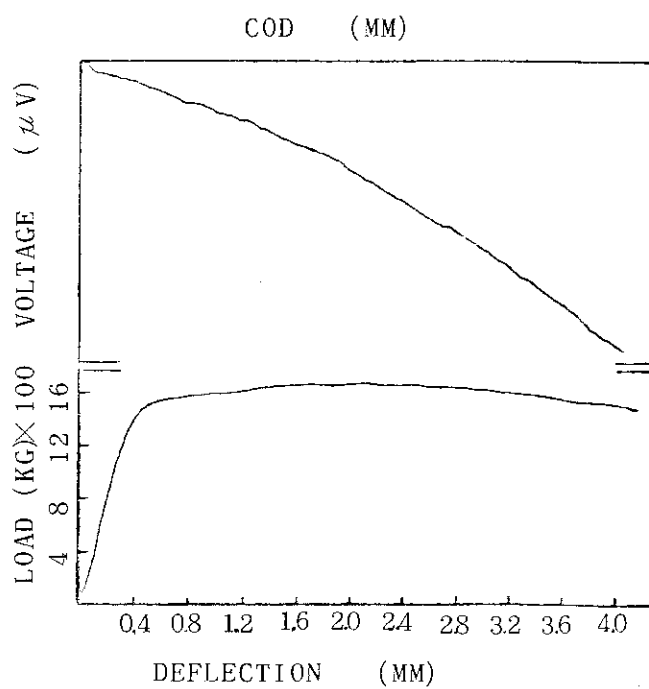
第 3.38 図 クラックスター  
切欠きと疲れき裂切欠きの例



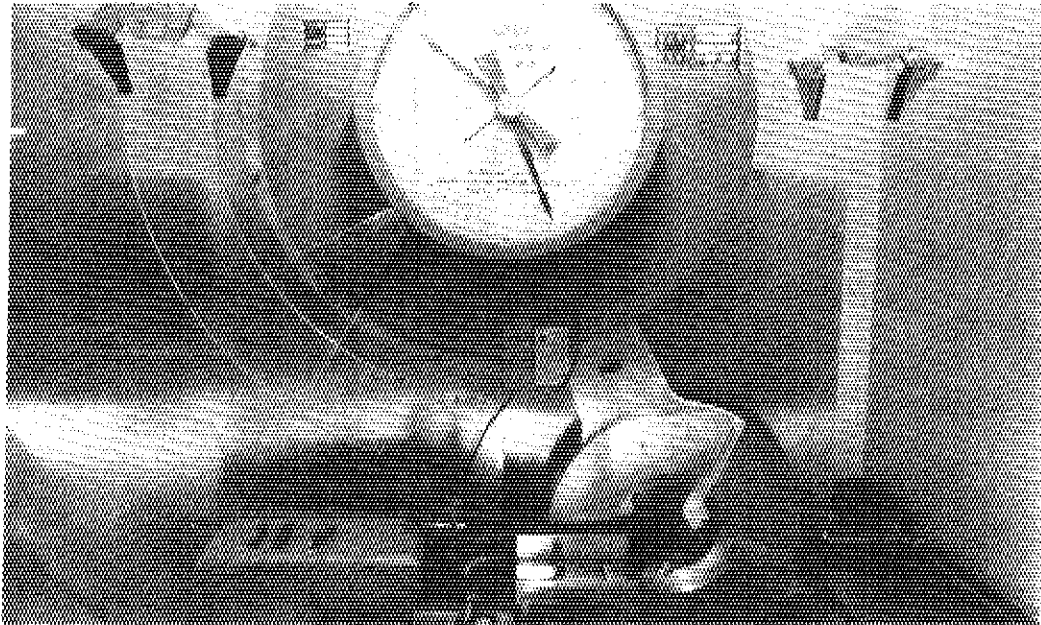
第 3.39 図 二重片持梁変位計によるクラック開口変位測定法



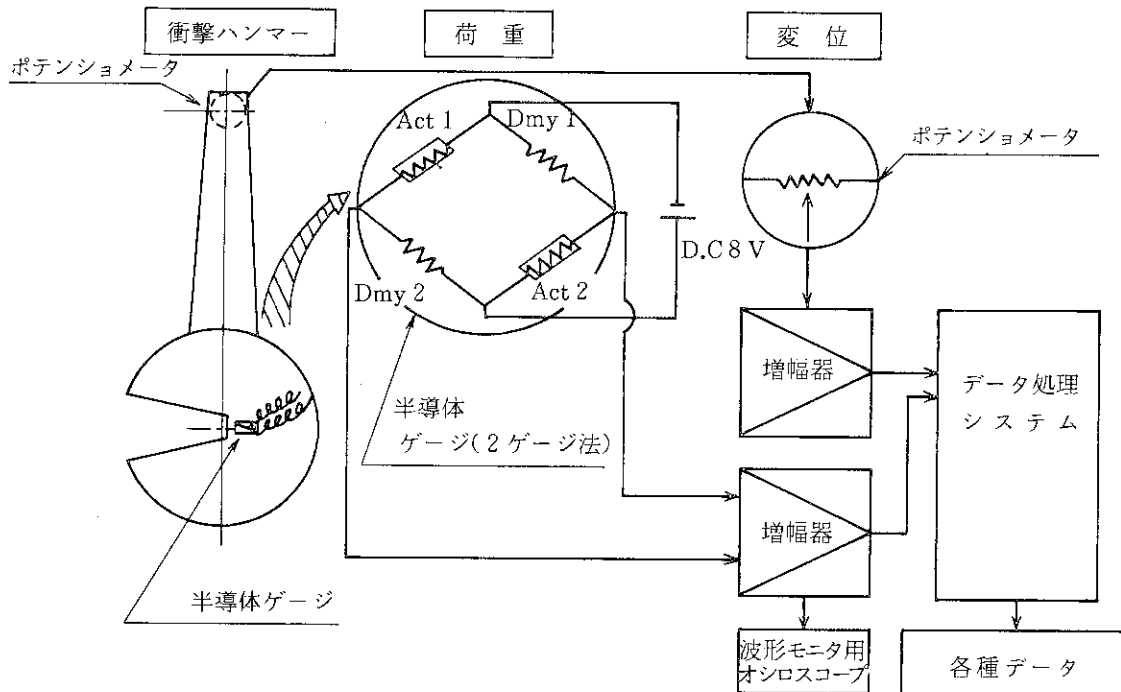
第 3.40 図 計装衝撃試験データの例



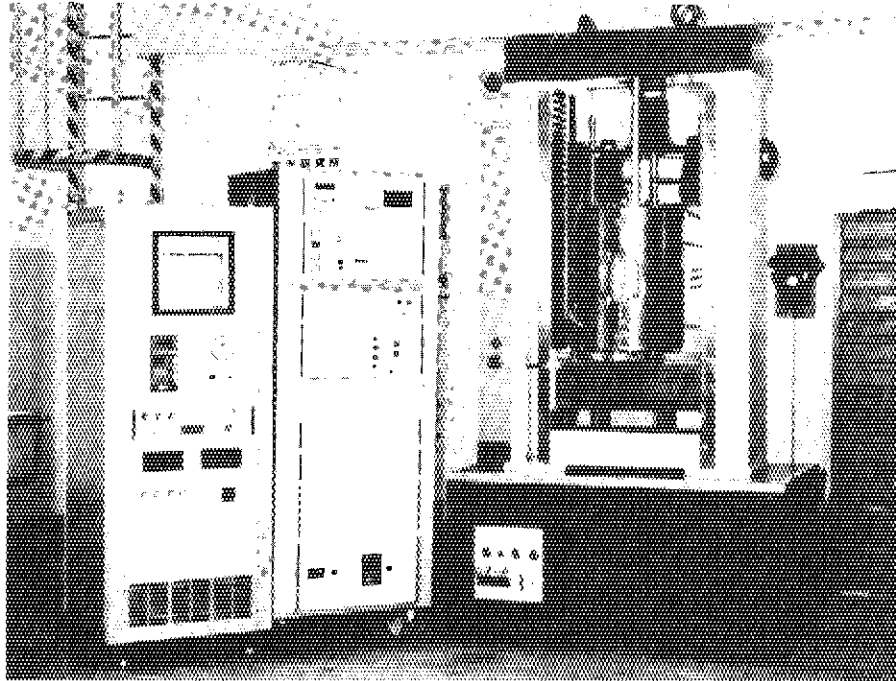
第 3.41 図 CT 試験 (電位差法) データの例



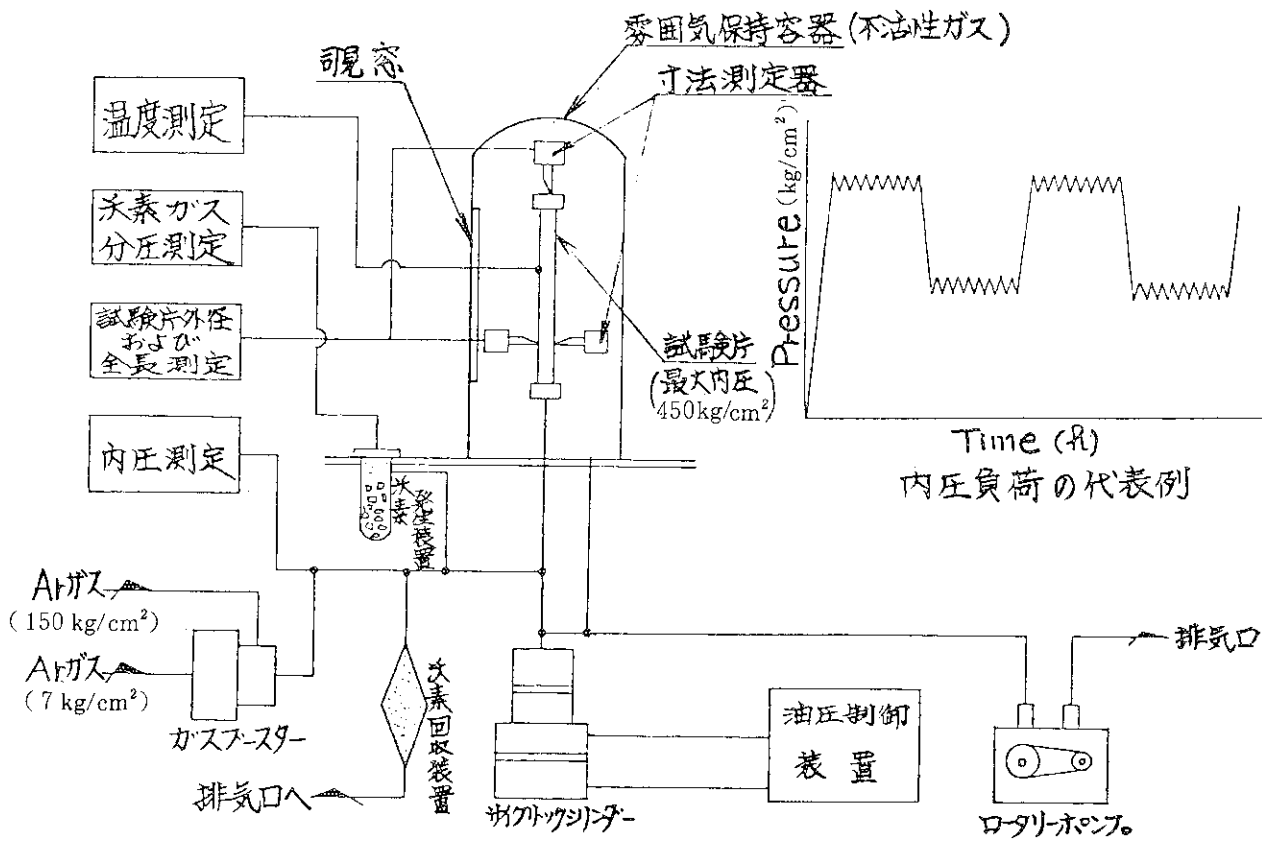
第 3.42 図 シャルピー衝撃試験機



第 3.43 図 計装衝撃試験の計測回路



第 3.44 図 高温引張試験装置



第 3.45 図 PCI/SCC 試験装置概念図

第 3.5 表 JMTR ホットラボで使用許可を受けている放射性同位元素

密封されていない放射性同位元素					
種 類		年 間 使 用 数 量		1 日 最 大 使 用 数 量	
	<sup>7</sup> Be		500 Ci		10 Ci
	<sup>14</sup> C		100		10
	<sup>27</sup> Mg		100		10
	<sup>28</sup> Al		500		20
	<sup>46</sup> Sc		50		5
	<sup>51</sup> Cr		500		10
	<sup>54</sup> Mn		500		10
	<sup>56</sup> Mn		100		10
	<sup>55</sup> Fe		100		10
	<sup>59</sup> Fe		2000		50
	<sup>58</sup> Co		100		5
	<sup>60</sup> Co		100		2
	<sup>65</sup> Ni		500		10
	<sup>64</sup> Cu		50		5
	<sup>95</sup> Zr		1000		50
	<sup>95</sup> Nb		1000		50
	<sup>99</sup> Mo		100		10
	<sup>113</sup> Sn		100		10
	<sup>115</sup> Cd		50		5
	<sup>116</sup> In		50		5
	<sup>165</sup> Dy		50		5
	<sup>181</sup> Hf		500		10
密封された放射性同位元素					
種 類	数 量	種 類	数 量	種 類	数 量
<sup>3</sup> H	100 Ci × 10 個	<sup>65</sup> Zn	10 Ci × 100 個	<sup>168</sup> Tm	10 Ci × 200 個
<sup>14</sup> C	10 × 100	<sup>72</sup> Ga	10 × 100	<sup>170</sup> Tm	200 × 200
<sup>22</sup> Na	10 × 100	<sup>75</sup> Ge	10 × 100	<sup>169</sup> Yb	10 × 100
<sup>24</sup> Na	10 × 100	<sup>86</sup> Rb	10 × 100	<sup>180</sup> Ta	10 × 100
<sup>31</sup> Si	10 × 100	<sup>90</sup> Sr	10 × 100	<sup>182</sup> Ta	10 × 100
<sup>32</sup> Si	10 × 100	<sup>99</sup> Mo	100 × 100	<sup>183</sup> Ta	10 × 100
<sup>32</sup> P	300 × 100	<sup>99</sup> Tc	20 × 100	<sup>181</sup> W	10 × 100
<sup>35</sup> S	300 × 100	<sup>110</sup> Ag	10 × 100	<sup>185</sup> W	10 × 100
<sup>40</sup> K	20 × 100	<sup>113m</sup> Cd	10 × 100	<sup>192</sup> Ir	10000 × 100
<sup>42</sup> K	10 × 100	<sup>115</sup> Cd	10 × 100	<sup>194</sup> Ir	200 × 100
<sup>41</sup> Ca	20 × 100	<sup>120</sup> Sb	10 × 100	<sup>195m</sup> Pt	10 × 100
<sup>45</sup> Ca	100 × 100	<sup>122</sup> Sb	50 × 100	<sup>192</sup> Au	10 × 100
<sup>49</sup> Ca	10 × 100	<sup>124</sup> Sb	10000 × 100	<sup>198</sup> Au	200 × 200
<sup>48</sup> Sc	10 × 100	<sup>127m</sup> Te	500 × 100	<sup>197</sup> Hg	20 × 100
<sup>51</sup> Ti	10 × 100	<sup>131</sup> Te- <sup>131</sup> I	1000 × 100	<sup>203</sup> Hg	50 × 100
<sup>52</sup> V	10 × 100	<sup>131</sup> I	1000 × 100	<sup>204</sup> Tl	20 × 100
<sup>51</sup> Cr	20 × 100	<sup>137</sup> Cs	10 × 100	<sup>241</sup> Am	500 × 200
<sup>54</sup> Mn	10 × 100	<sup>138</sup> Cs	10 × 100	<sup>242</sup> Cm	20 × 100
<sup>56</sup> Mn	10 × 100	<sup>133</sup> Ba	10 × 100	<sup>244</sup> Cm	20 × 100
<sup>60</sup> Co	5000 × 200	<sup>153</sup> Sm	10 × 100	<sup>249</sup> Bk	10 × 100
<sup>63</sup> Ni	20 × 100	<sup>148</sup> Eu	10 × 100	<sup>250</sup> Cf	10 × 100
<sup>64</sup> Cu	10 × 100	<sup>149</sup> Eu	10 × 100	<sup>252</sup> Cf	10 × 100
<sup>66</sup> Cu	10 × 100	<sup>155</sup> Eu	10 × 100		

Ci 数は 1 個当りの最大数量, 個数は年間取扱える最大個数とする。

## 4. 中性子束分布・発熱量等の決定

## 目 次

4.1 概 要 .....	179
4.2 炉心配置の決定 .....	179
4.3 核計算による炉心配置の検討 .....	181
4.4 核計算による試料発熱量推定精度 .....	188
4.5 キャプセル試料発熱量の推定 .....	189
4.6 ループ試料発熱量の推定 .....	197
4.7 $\gamma$ 加熱と $\gamma$ 線スペクトル .....	201
4.8 中性子スペクトルと中性子照射量 .....	204

## 表 一 覧

第 4.1 表	スペクトル補正領域の区分	181
第 4.2 表	1 核分裂当たりのエネルギー	182
第 4.3 表	$Q_{CAL}$ の精度	188
第 4.4 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	206
第 4.5 表	中性子スペクトル指標	206
第 4.6 表	$\Phi^{EDN}$ と $\Phi (> 1.0 \text{ MeV})$ の関係	206
第 4.7 表	JMTR で照射された材料試料中のはじき出し損傷率	207
第 4.8 表	JMTR で照射された材料試料中のガス生成率	207
第 4.9 表	各種原子炉におけるはじき出し損傷率およびガス生成率の比較	208



資料一覧

資料 4.1	中性子照射量報告書 (キャプセル名: 77 M-13 A)	
	中性子照射量の評価 (> 1 MeV) .....	213
資料 4.2	中性子照射量報告書 (キャプセル名: 73 F-16 A)	
	熱中性子照射量の評価 .....	217

## 図 一 覧

第 4. 1 図	炉心配置決定までのフローチャート	180
第 4. 2 図	核計算法フローチャート	183
第 4. 3 図	熱中性子等束線図（軸方向セル平均値）	184
第 4. 4 図	高速中性子等束線図（軸方向セル平均値）	184
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）	185
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	185
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	186
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	187
第 4. 9 図	中性子束と中性子照射量	188
第 4. 10 図	燃料試料の濃縮度に対する Depression Factor (Dp)	190
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)	190
第 4. 12 図	燃料試料内の熱中性子密度	191
第 4. 13 図	各種燃料試料の断面図	191
第 4. 14 図	各種燃料試料の濃縮度に対する Depression Factor (Dp)	192
第 4. 15 図	各種燃料試料の濃縮度に対する Fuel Disadvantage Factor (F <sub>f</sub> )	192
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)	193
第 4. 17 図	燃料濃縮度の線出力・セル平均熱中性子束におよぼす効果 （Al 反射体要素に装荷された場合）	193
第 4. 18 図	燃料濃縮度の線出力・セル平均熱中性子束におよぼす効果 （Be 反射体要素に装荷された場合）	194
第 4. 19 図	各種燃料試料内の熱中性子密度	194
第 4. 20 図	FBR 燃料試料の Pu 富化度, <sup>235</sup> U 濃縮度に対する Depression Factor (Dp)	195
第 4. 21 図	Pu 富化度の線出力・セル平均熱中性子束におよぼす効果	195
第 4. 22 図	FBR 燃料試料内の熱中性子密度	196
第 4. 23 図	各種材料試料内の熱中性子密度	196
第 4. 24 図	OWL-1 における線出力の推定	198
第 4. 25 図	OWL-1 <sup>235</sup> U 量とループ出力の関係	198
第 4. 26 図	OWL-1 水平方向出力分布因子 (F <sub>H</sub> )	199
第 4. 27 図	OWL-2 <sup>235</sup> U 量とループ出力の関係	199
第 4. 28 図	OWL-2 燃料試料内の熱中性子束分布	199
第 4. 29 図	OWL-2 燃料試料各ピンの出力分布	200
第 4. 30 図	OGL-1 <sup>235</sup> U 量と線出力の関係	200
第 4. 31 図	Fe の $\gamma$ 加熱率分布（軸方向ピーク値） 付表 $\gamma$ 加熱率の物質依存係数	202
第 4. 32 図	$\gamma$ 線スペクトル	203

第 4.33 図	各照射領域における中性子スペクトル .....	209
第 4.34 図	各種原子炉の中性子スペクトル .....	210
第 4.35 図	各種原子炉の積分中性子束 .....	210
第 4.36 図	軸方向の中性子照射量分布 .....	211
第 4.37 図	キャプセル内の望ましいフルエンスモニタの配置 .....	211
第 4.38 図	照射孔における $^{54}\text{Fe}$ の実効断面積 .....	211
第 4.39 図	標準型フルエンスモニタ .....	212

## 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) JMTRC による模擬実験
- (3) 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（核計算、JMTRC による模擬実験）
- (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、これらについては、

- (1) 核計算
- (2) JMTRC による模擬実験
- (3) 照射試料に取り付けたフルエンスモニタ
- (4) 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）

などから求まる。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。

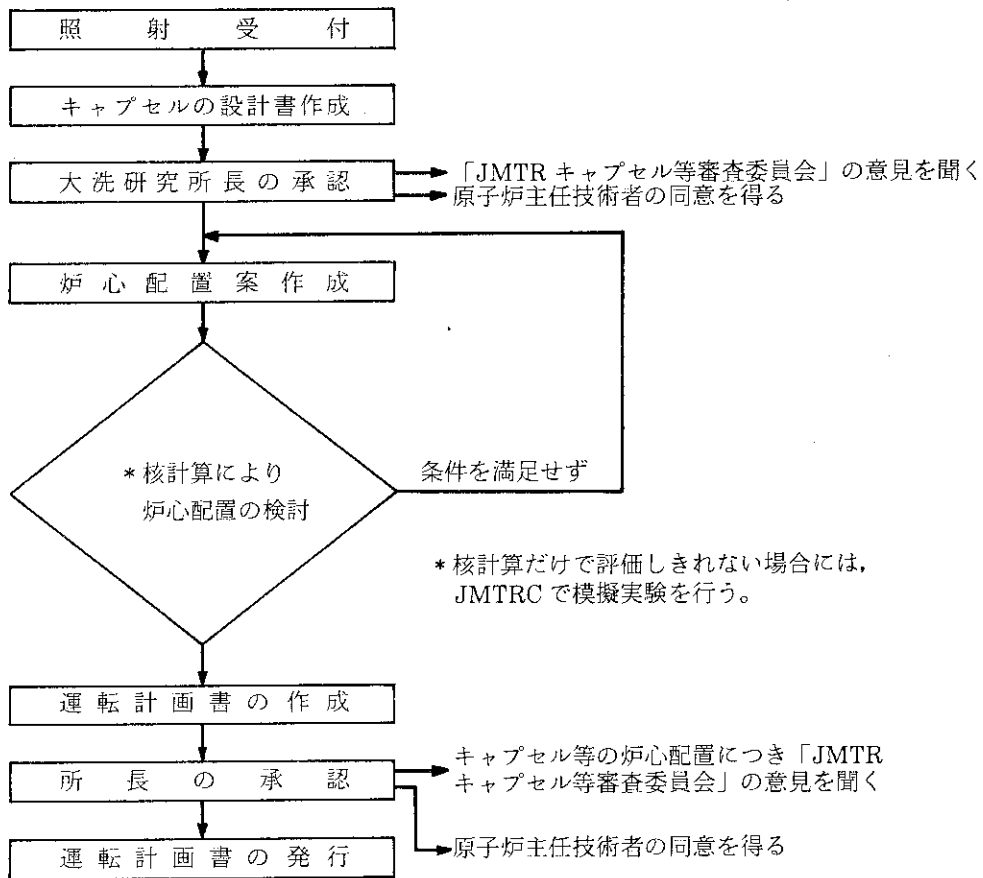
## 4.2 炉心配置の決定

各サイクルの炉心配置の決定にさいしては、

- (1) 原子炉の反応度条件などの核的基準
- (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。



第 4.1 図 炉心配置決定までのフローチャート

### 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およ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。

計算の詳細は次のとおりである。

#### (1) 高速群定数

標準照射物装荷炉心の領域依存の中性子スペクトルを、板状モデルについてANISNコードにより求める。各領域のスペクトルを用いて各セルの高速群定数を、GGC-4コードにより計算する。エネルギー群数は3群で、第1群は14.92 MeV ~ 1.00 MeV、第2群1.00 MeV ~ 183 keV、第3群183 keV ~ 0.6826 eVである。

#### (2) 熱群定数

各セルについてTHERMOS-JMTRコードにより、エネルギー範囲0 ~ 0.8346 eVを30群に分ける。空間は25メッシュに分けスペクトルの計算を行い、エネルギー0.6826 eV以下を熱群定数として求める。

THERMOS-JMTRコードは1次元なので、キャプセルまたはプラグを含むセルを等面積円筒におきかえて計算する。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。

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)
OWL-2		ベリリウム	10
NCF		ベリリウム	1
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

#### (3) 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

\* 群定数：次の4つの定数をいう。

D : 拡散定数

$\Sigma_r$  : 減速 (除去) 断面積

$\Sigma_a$  : 吸収断面積

$\nu\Sigma_f$  : 分裂中性子数と分裂断面積の積

軸方向の中性子束分布およびそのサイクル中の変動は、第4.8図を使って求める。

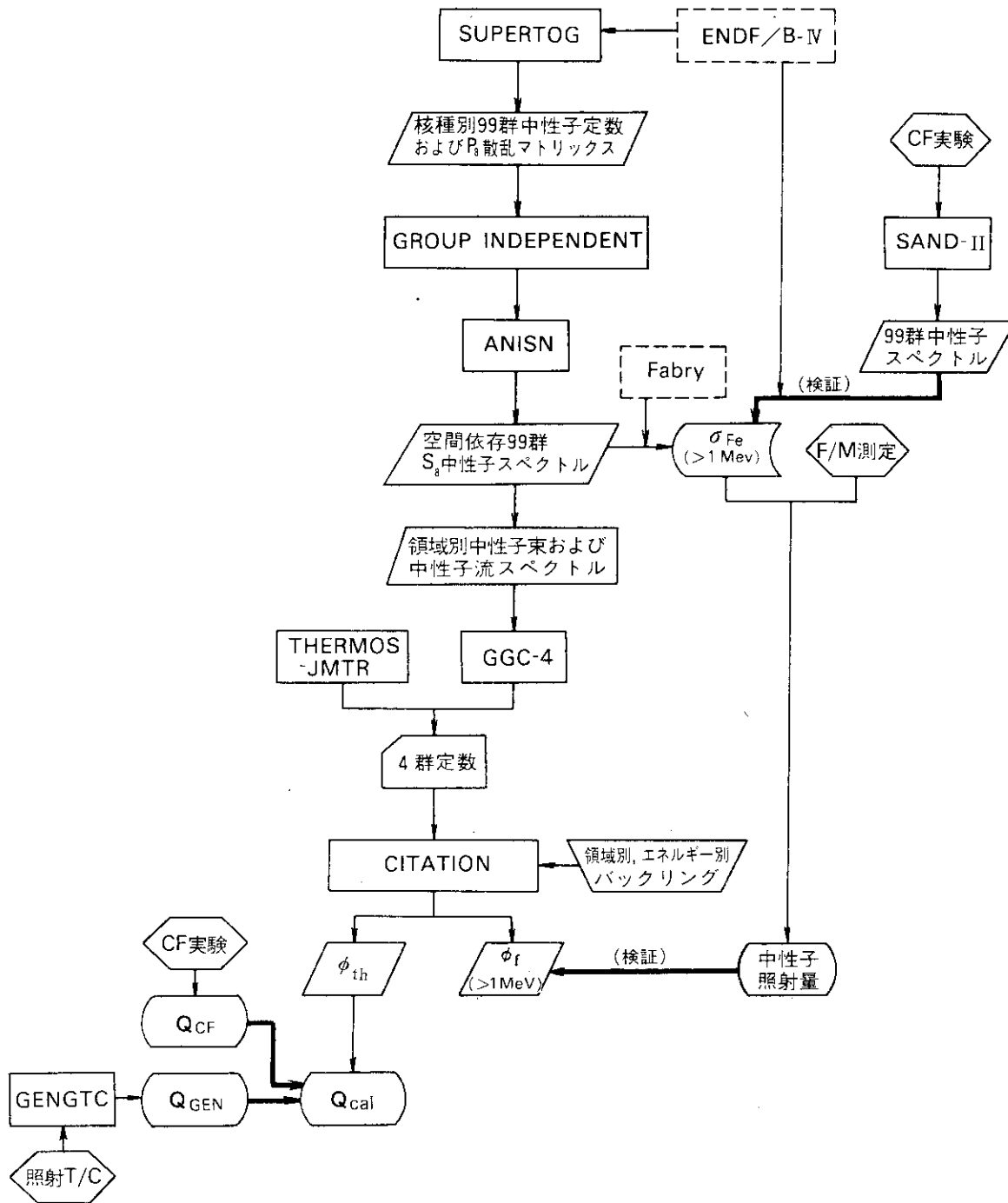
発熱量計算に必要な1核分裂当たりのエネルギーは第4.2表による。

拡散計算の出力である水平方向中性子束分布は、各メッシュ点および各セル(7.72 cm × 7.72 cm)ごと(セル内での平均値)に求められる。拡散計算へ入力している群定数は、各セル内で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。従って各メッシュ点における中性子束は物理的意味が少なく、各セルごとの中性子束が意味をもつ。また、実測値と計算値を比較する場合には、実測値はセル内横断面で平均した値を採用しなければならない。

第4.2表 1核分裂当たりのエネルギー\* (Keepin)

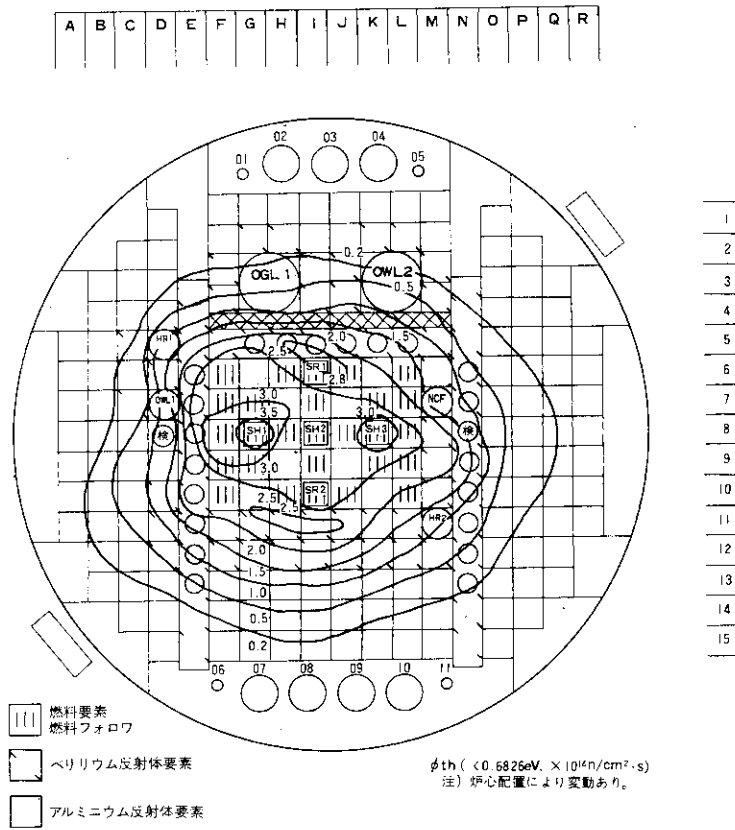
照射物種類	1核分裂当たりのエネルギー		
	MeV	ワット・秒	
キャプセル	176	$2.82 \times 10^{-11}$	
OWL-1	燃料ピン3本以内	176	2.82
	" 4本以上	186	2.96
OWL-2	" 10本以内	176	2.82
	" 11~20本	186	2.96
	" 21本以上	195	3.12

\* Pu 富化試料の場合補正を要す

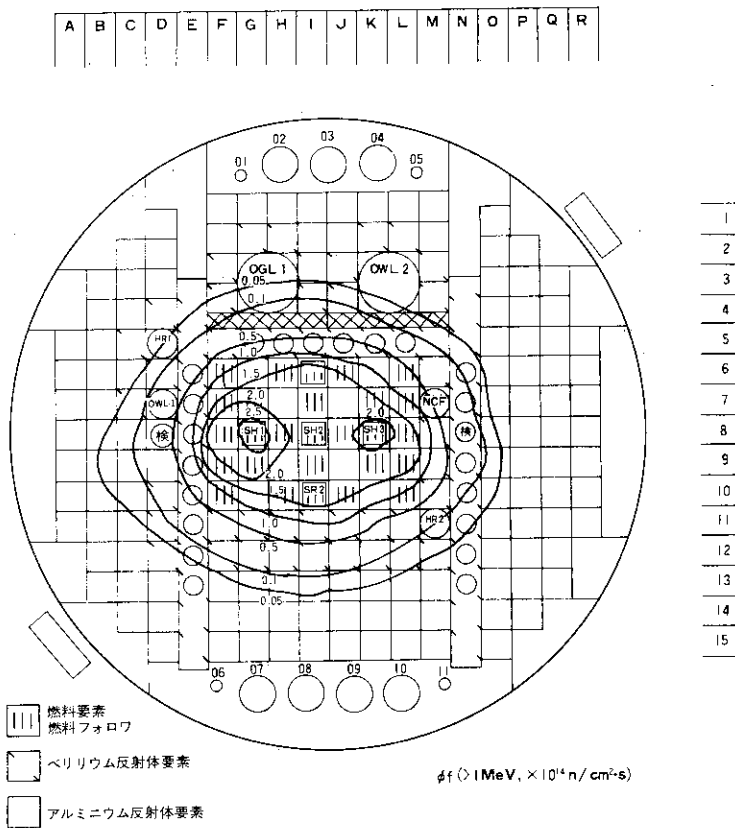


第 4.2 図 核計算法フローチャート

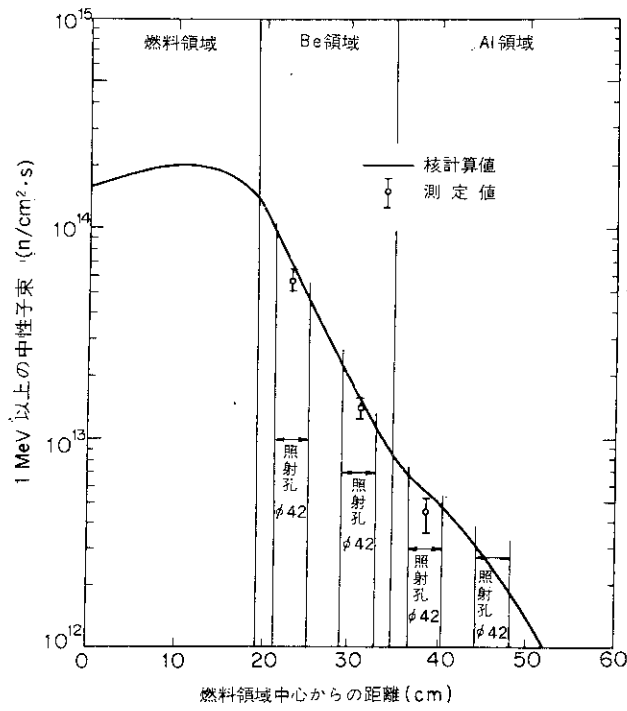




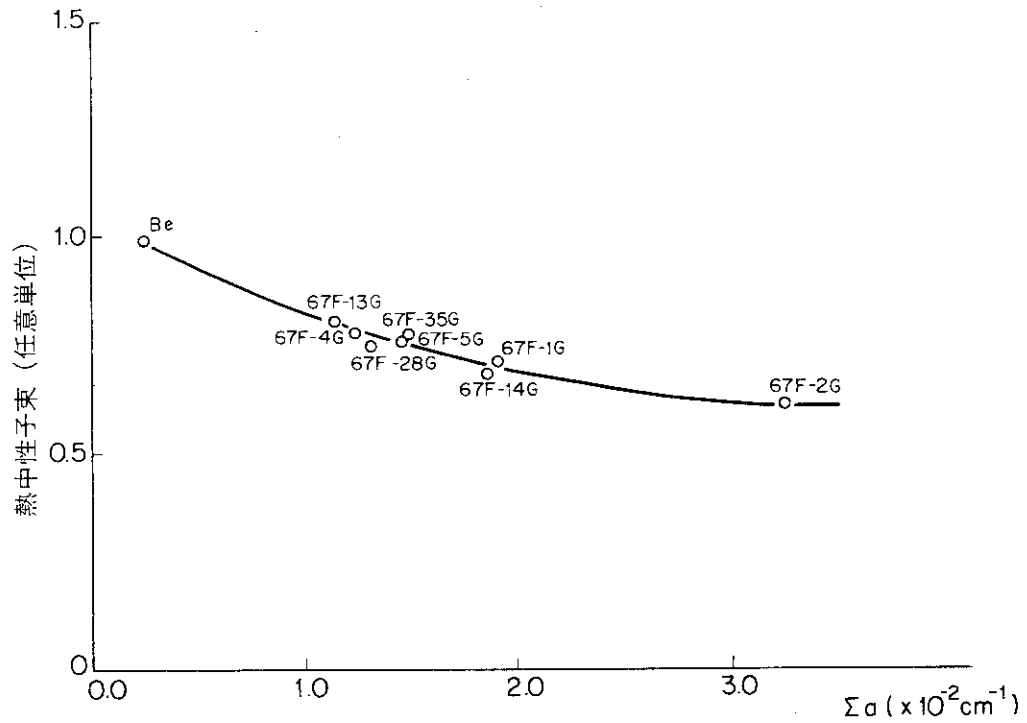
第 4.3 図 熱中性子等束線図 (軸方向セル平均値)



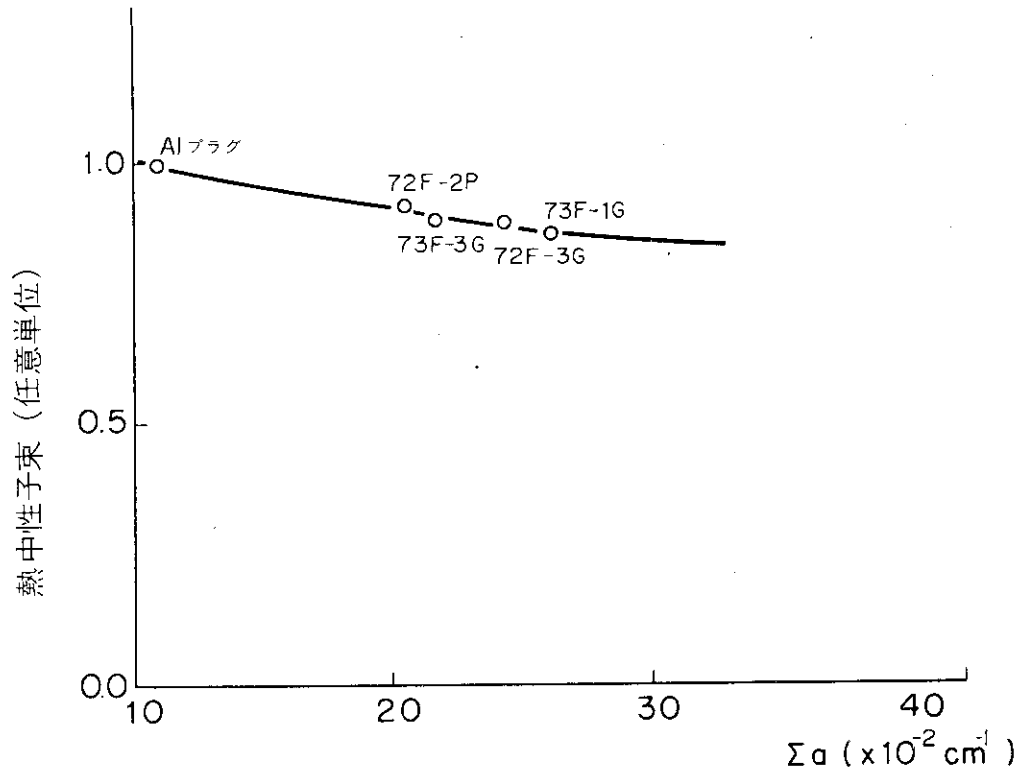
第 4.4 図 高速中性子等束線図 (軸方向セル平均値)



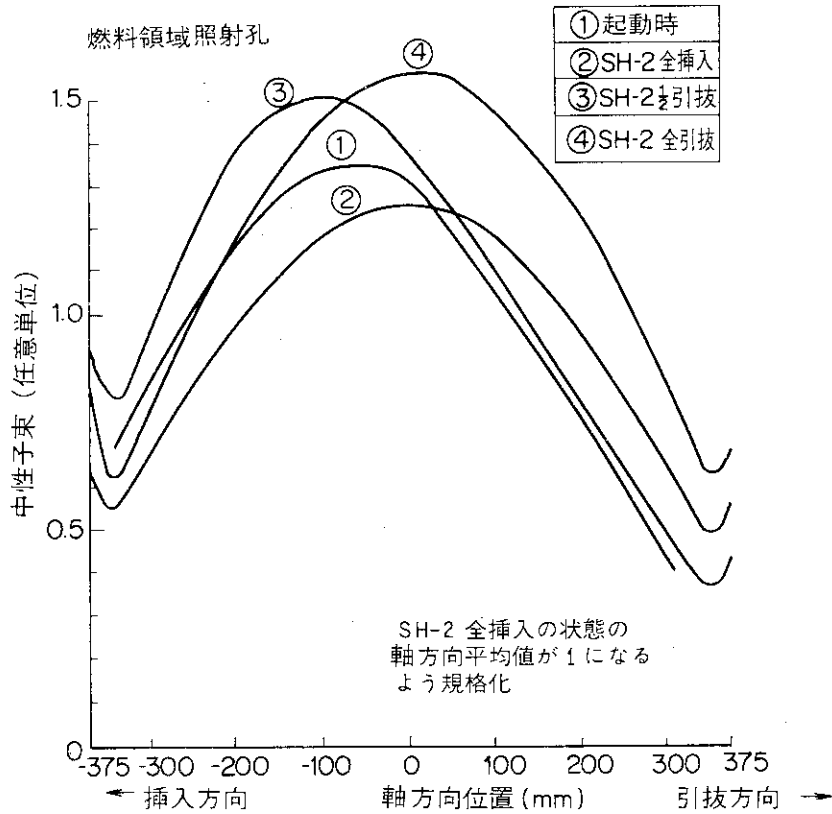
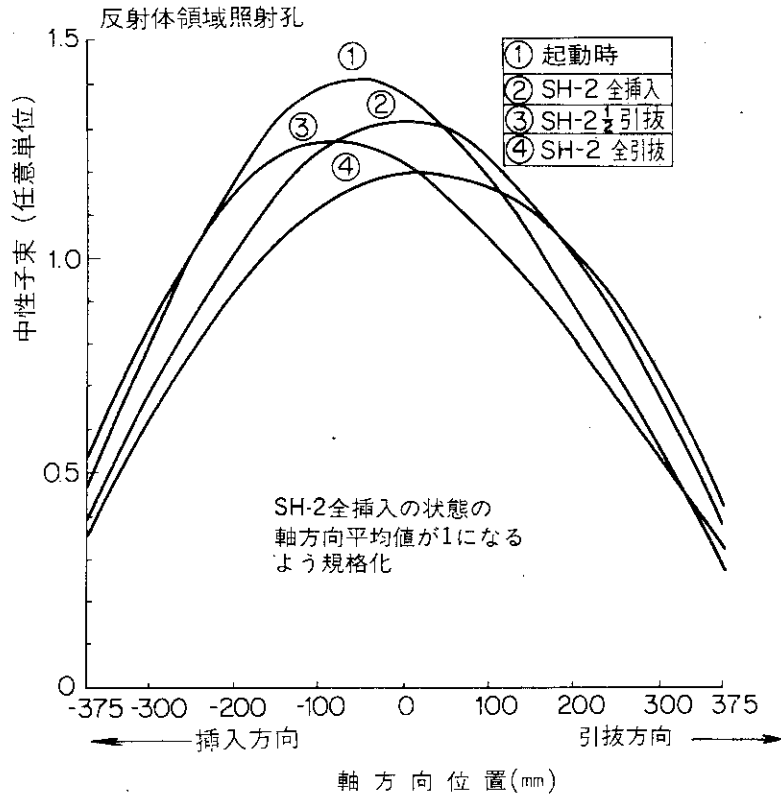
第 4.5 図 J 列 (南側) における高速中性子束分布 (軸方向セル平均値)



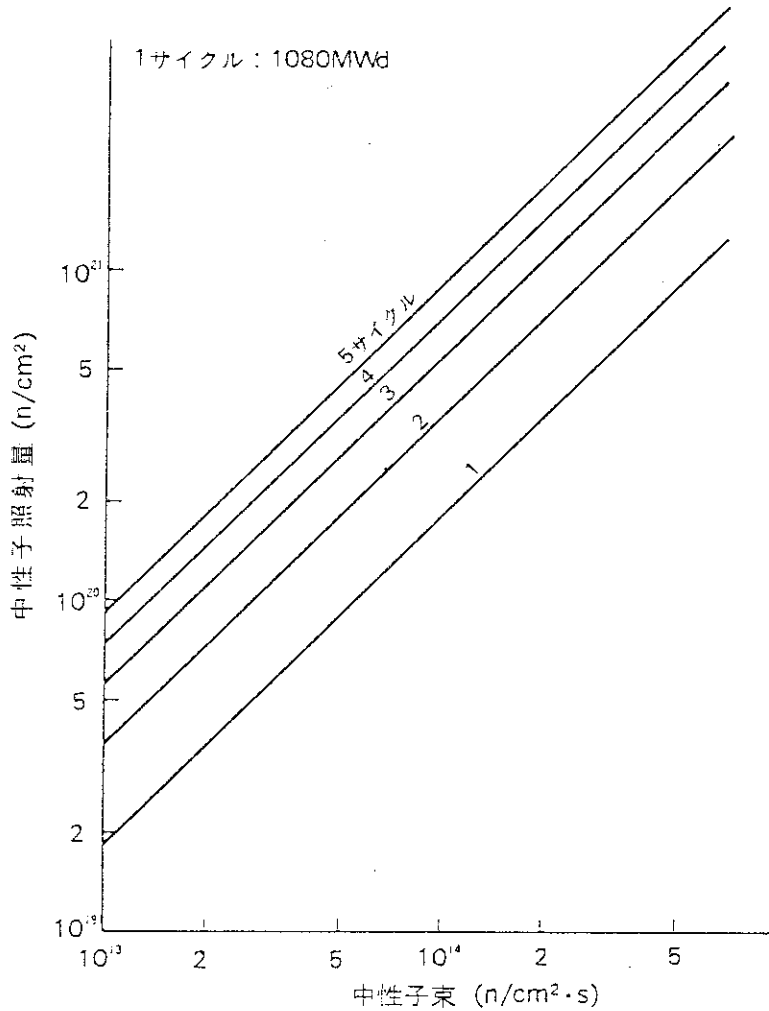
第 4.6 図 Be 反射体に燃料キャプセルを装荷した場合の熱中性子束の減少例



第 4.7 図 A1 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

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( $Q_{LOOP}$ )およ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4.3表に $Q_{CAL}$ の精度(標準偏差値)を示す。OWL-2を除いては、大体よい一致度を示している。

第 4.3 表  $Q_{CAL}$  の精度

	比の平均	標準偏差(%)	データ数	データ採取サイクル
$Q_{GEN}/Q_{CAL}$	1.03	21.8	62	12~35
$Q_{CAL}$	OWL-1	1.00	11	12~37
	OWL-2	1.30	14	12~37
$Q_{LOOP}$	OGL-1	1.04	6	42~47
$Q_{BU}/Q_{CAL}$	0.95	18.8	4	3~11

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

#### 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、JMTRCに核的モックアップを装荷し、その熱中性子束測定結果から推定する方法と、核計算により推定する方法があるが、現在では核計算の信頼度が高くなったので、特殊な試料を除いては、ほとんど核計算によっている。

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  $D_p$  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のがわかる。なお、JMTRC 実験では、 $B_4C$  粉末を燃料試料の代用として用いることがあるが、精度はあまりよくない。また、 $^{235}U$  濃縮度の増加に伴い、計算精度が悪くなるので、そのような試料については本照射用試料または核的モックアップにより JMTRC 実験を行う。

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  $D_p$  を、ペレット径の変化に対して示したものである。濃縮度の増加およびペレット径の増加により  $D_p$  は小さくなるのがわかる。

第4.12図：燃料試料内の径方向の熱中性子密度について、72 F-12 J 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。 $D_p$  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。

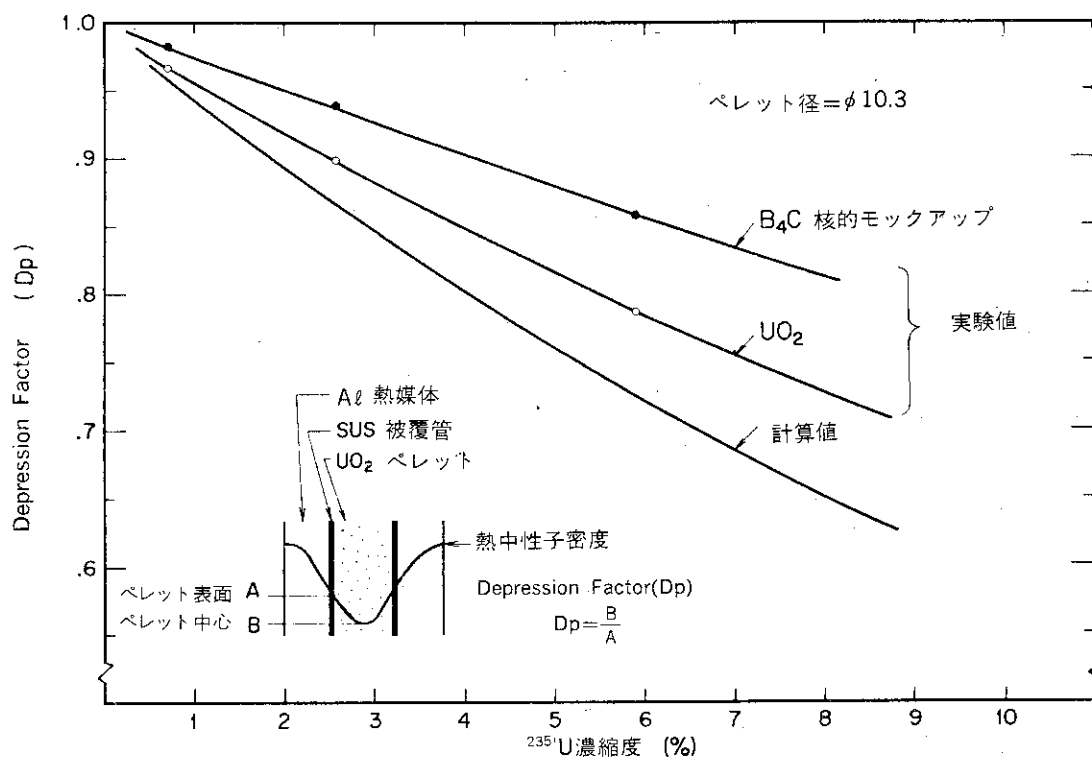
第4.14図：BWR, PWR, ATR, FBR ( $UO_2$  ペレット) の燃料試料について、 $D_p$ , Fuel Disadvantage Factor ( $F_f$ ), 熱中性子利用率 ( $f$ ), セル平均熱中性子束の減少度合、軸方向平均線出力等を、各試料の  $^{235}U$  濃縮度の変化に対して示したもので、これらの図を利用して、おおよその発熱量を推定することができる。

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、 $H_2O$  の減速および吸収効果が大きいことが、④ PWR の図からわかる。

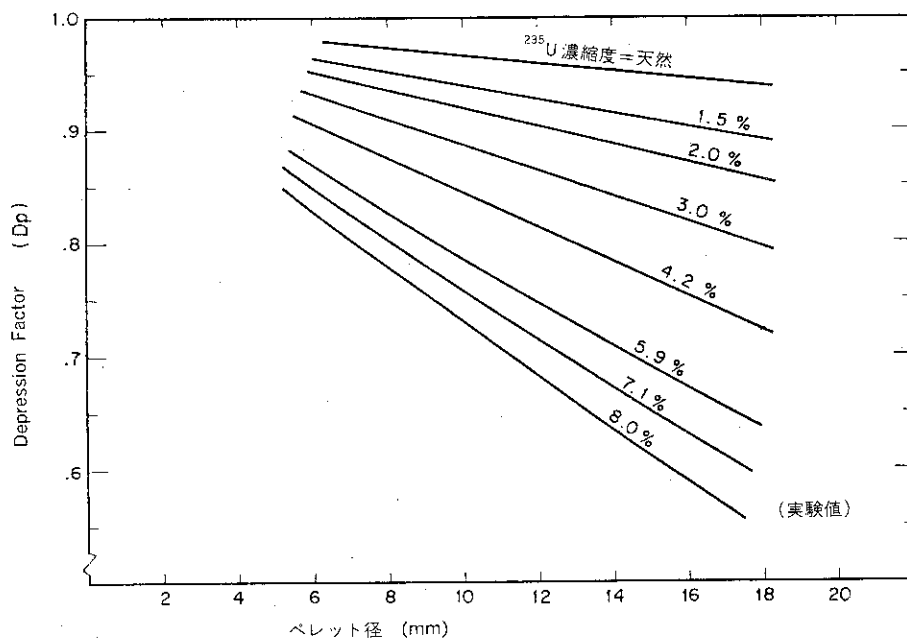
第4.20図：FBR の燃料試料について、 $D_p$ , セル平均熱中性子の減少度合、軸方向平均出力  
～4.21図 を、Pu 富化度と  $^{235}U$  濃縮度の変化に対して示したもので、これらの図を利用して、FBR 燃料試料のおおよその発熱量を推定することができる。

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がわかる。(第4.19図参照)

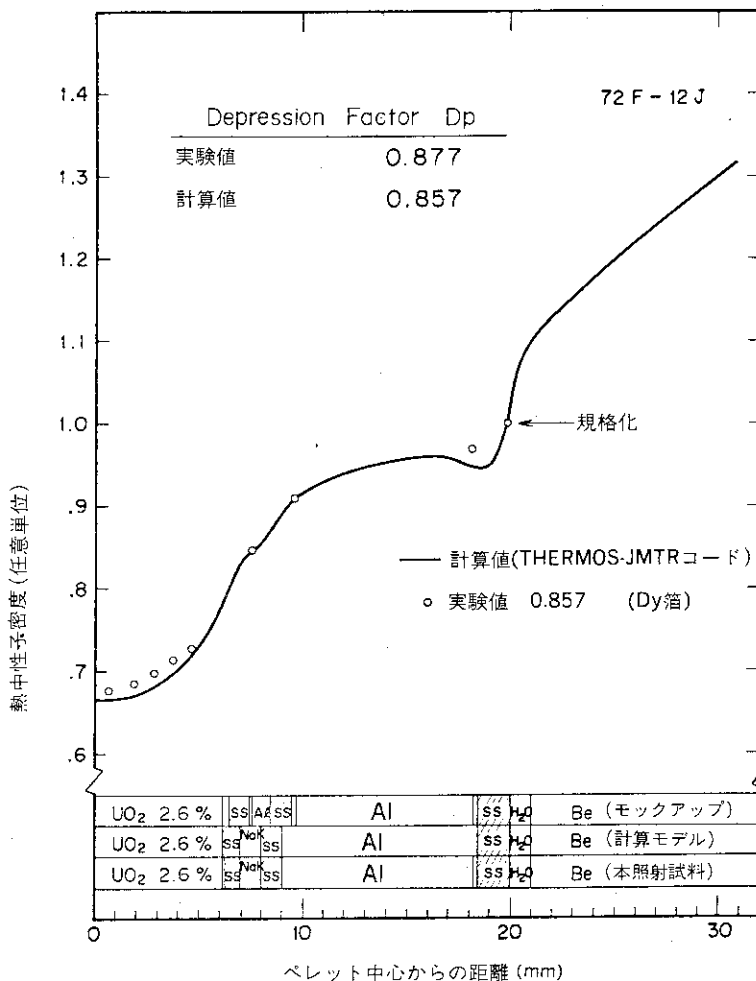
第4.23図：各種材料試料内の径方向の熱中性子密度を示したもので、吸収効果の小さい材料試料ほど、径方向の熱中性子密度の変化が少ないことがわかる。



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

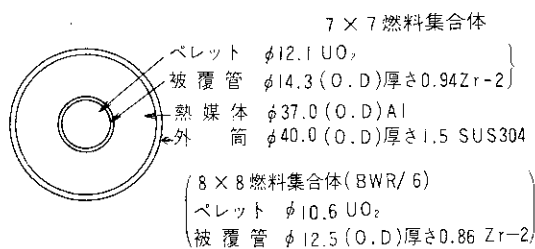


第 4.11 図 燃料試料の濃縮度とベレット径に対する Depression Factor (Dp)

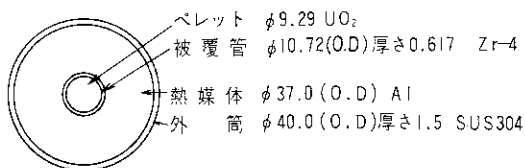


第 4.12 図 燃料試料内の熱中性子密度

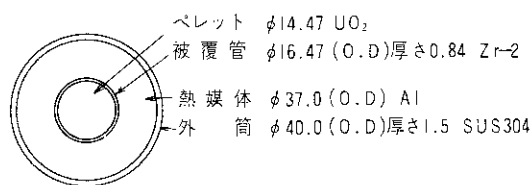
BWR ペレット密度 95% T.D = 10.4 g/cm<sup>3</sup>



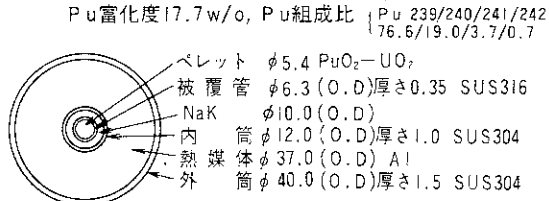
PWR ペレット密度 93% T.D = 10.2 g/cm<sup>3</sup>



ATR ペレット密度 95% T.D = 10.4 g/cm<sup>3</sup>

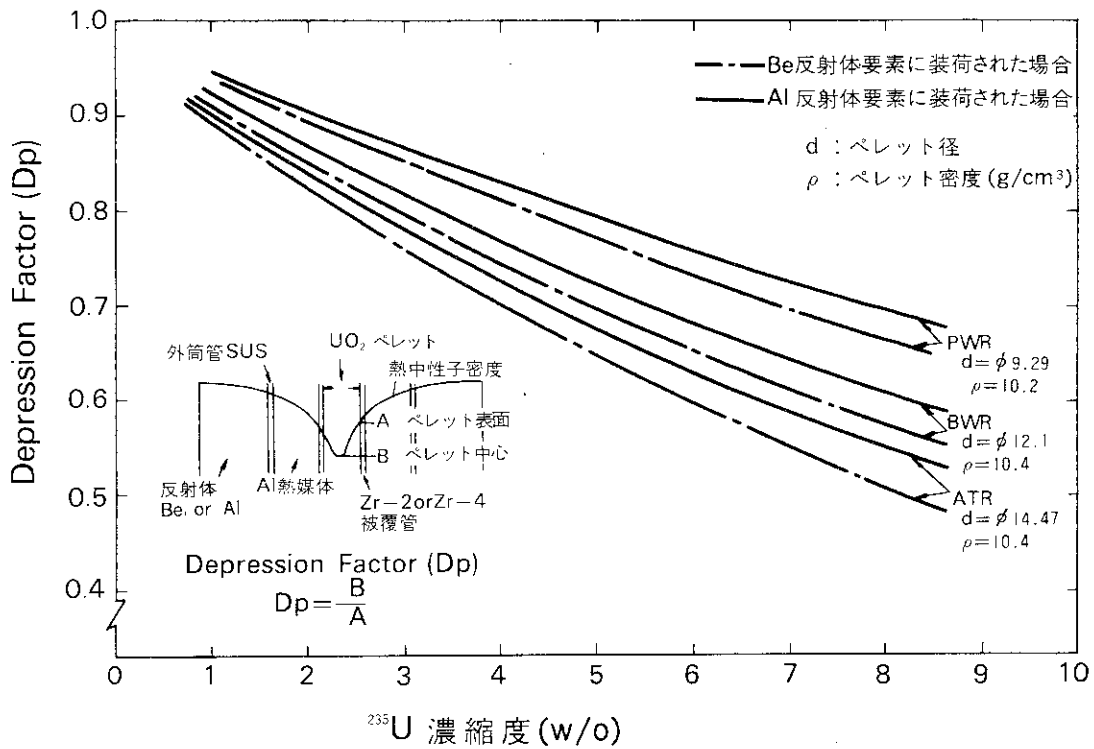


FBR ペレット密度 94% T.D = 10.44 g/cm<sup>3</sup>

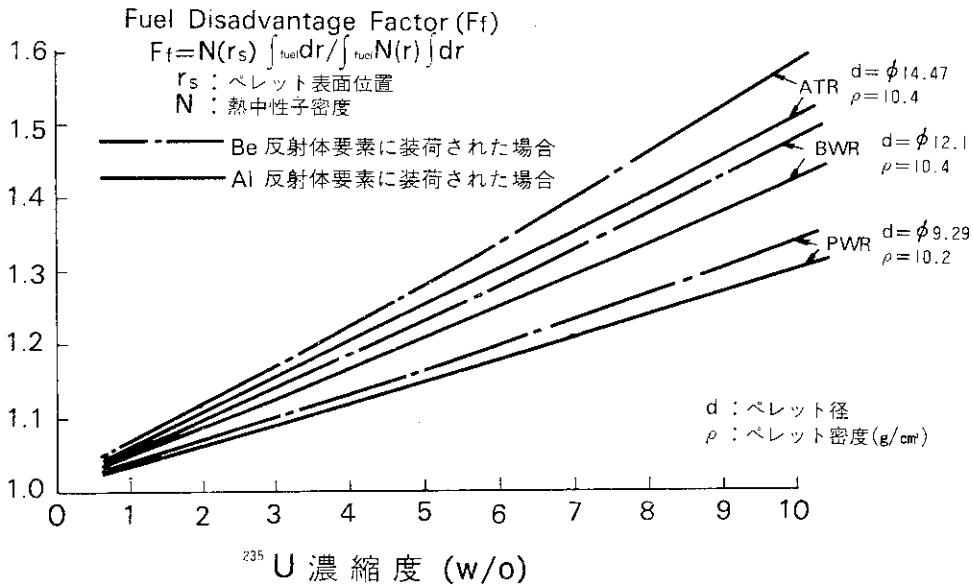


第 4.13 図 各種燃料試料の断面図

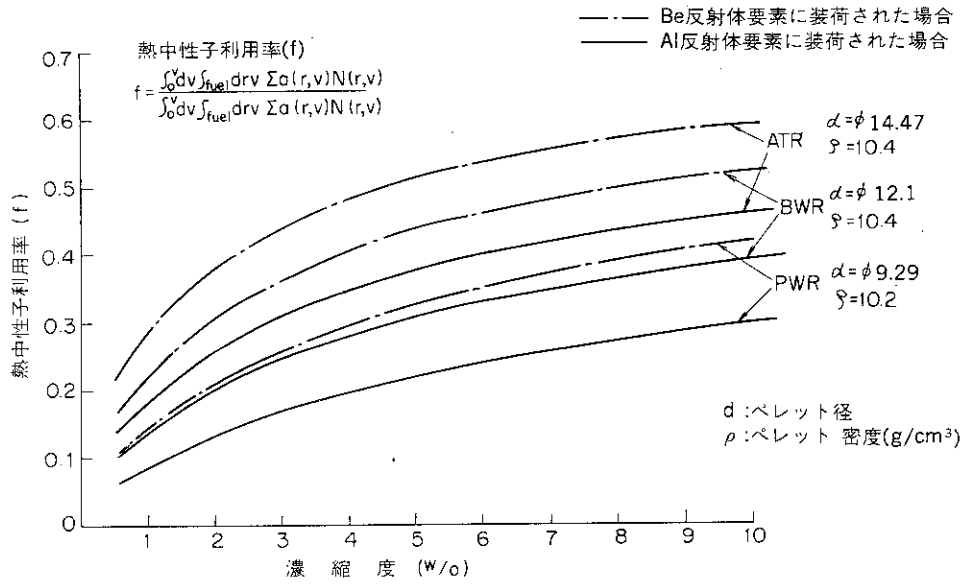




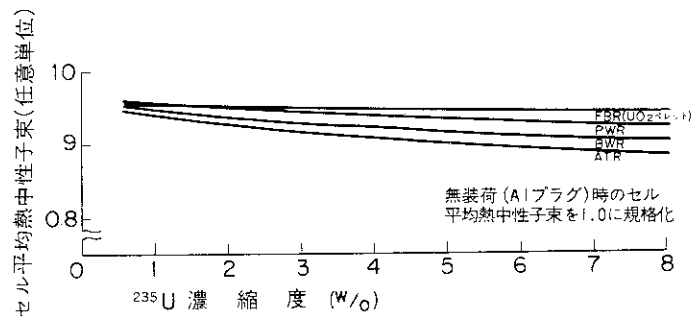
第 4.14 図 各種燃料試料の濃縮度に対する Depression Factor (Dp)



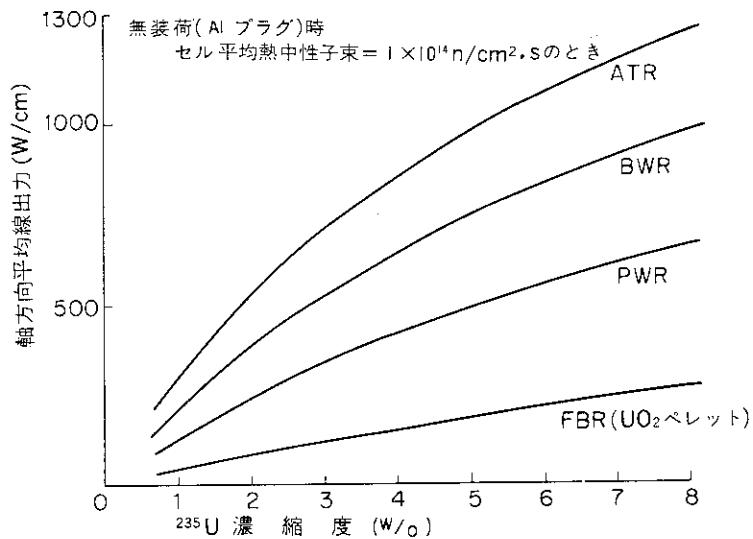
第 4.15 図 各種燃料試料の濃縮度に対する Fuel Disadvantage Factor (F<sub>f</sub>)



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)

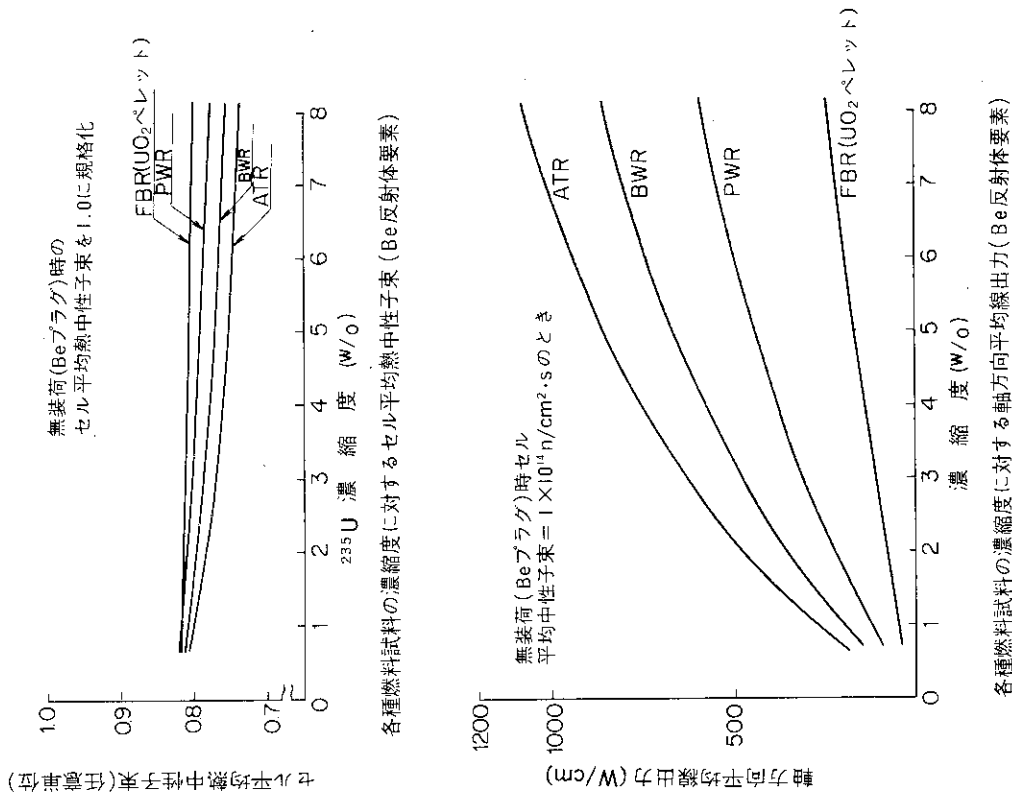


各種燃料試料の濃縮度に対するセル平均熱中性子束 (Al反射体要素)

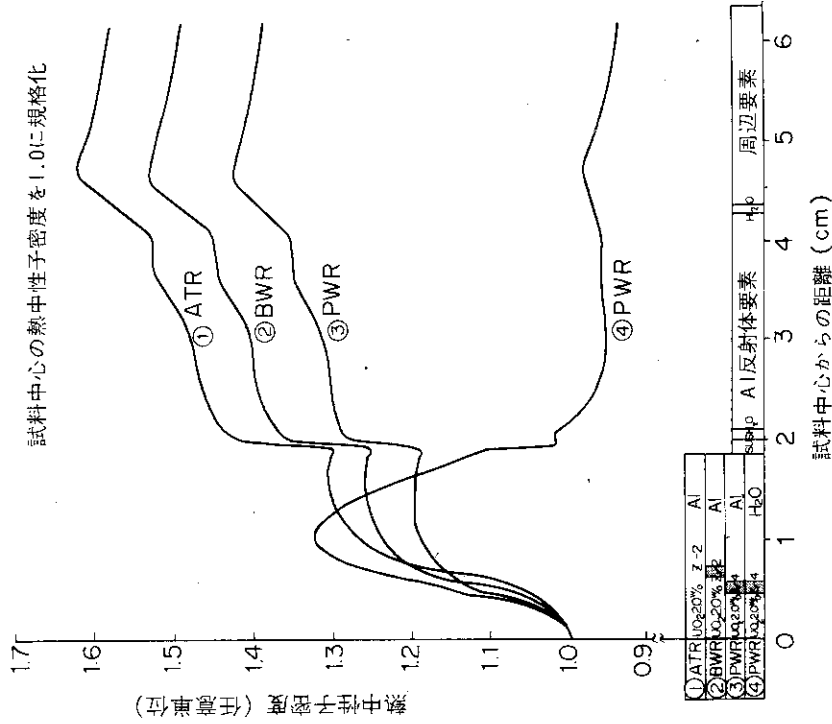


各種燃料試料の濃縮度に対する軸方向平均線出力 (Al反射体要素)

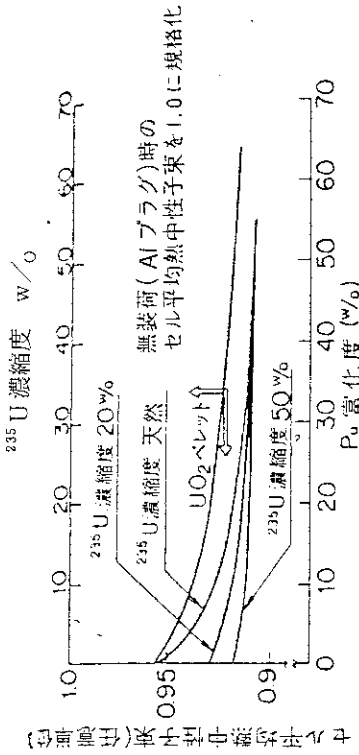
第 4.17 図 燃料濃縮度の線出力・セル平均熱中性子束におよぼす効果 (Al反射体要素に装荷された場合)



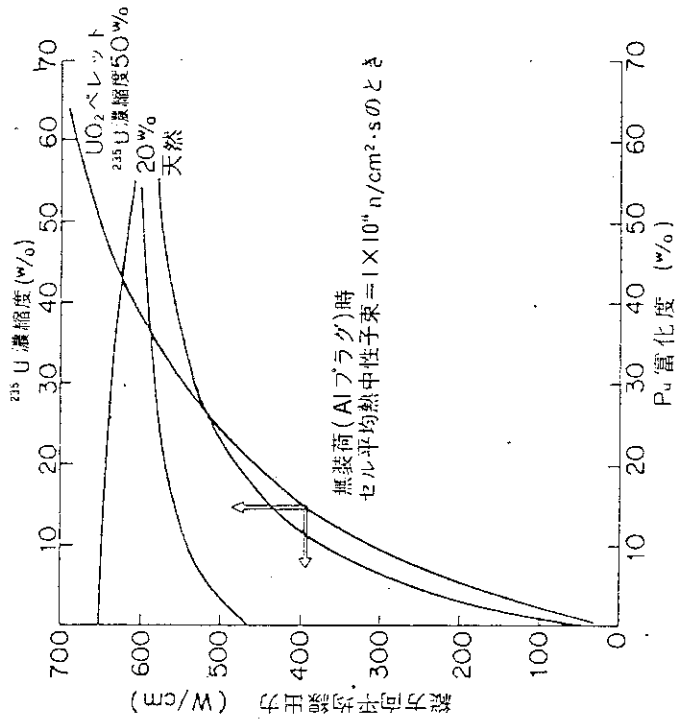
第4.18図 燃料濃縮度の線出力・セル平均熱中性子束におよぼす効果 (Be反射体要素に装荷された場合)



第4.19図 各種燃料試料内の熱中性子密度

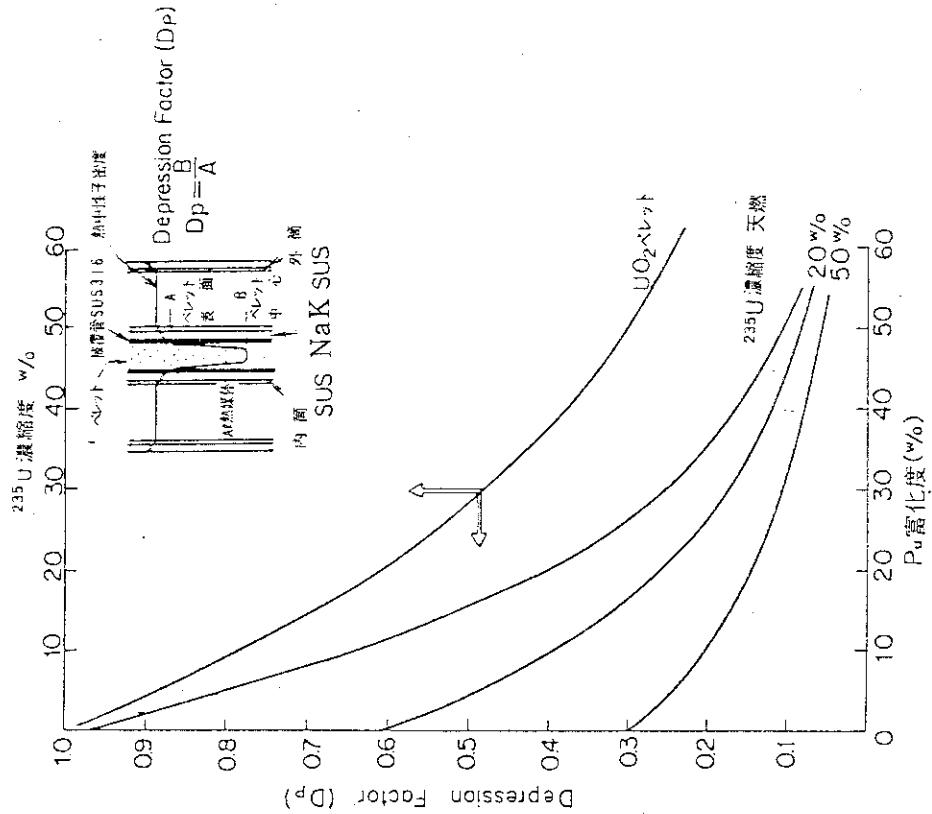


FBR燃料試料のPu富化度、<sup>235</sup>U濃縮度に対するセル平均熱中性子束 (Al 反射体要素)

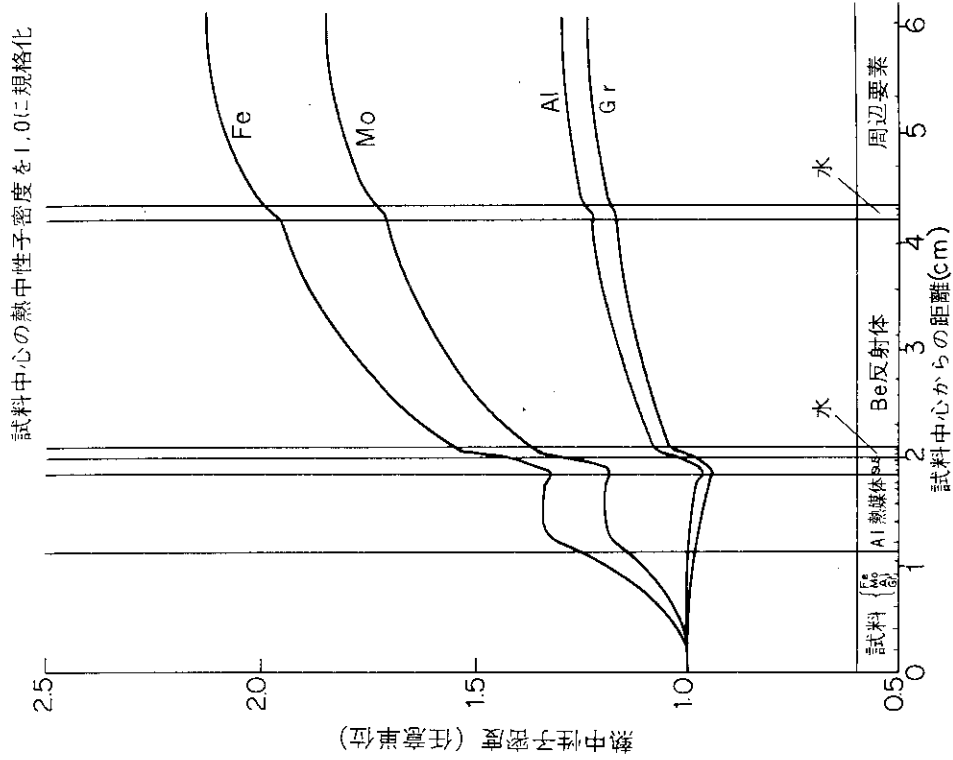


FBR燃料試料のPu富化度、<sup>235</sup>U濃縮度に対する軸方向平均線出力 (Al 反射体要素)

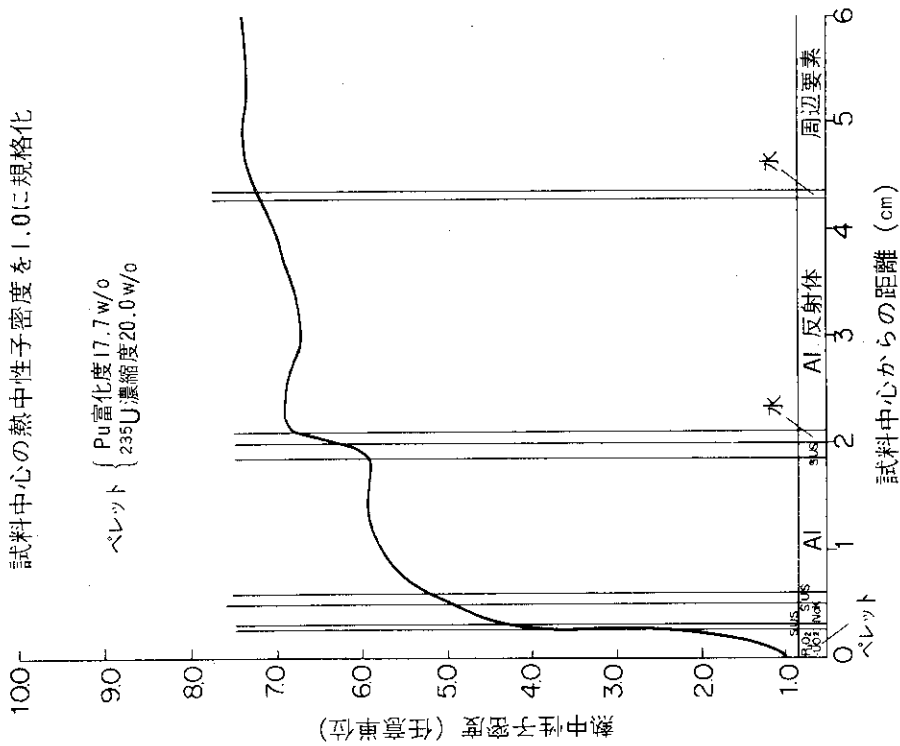
第 4.21 図 Pu 富化度の線出力・セル平均熱中性子束におよぼす効果



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



第 4.23 図 各種材料試料内の熱中性子密度



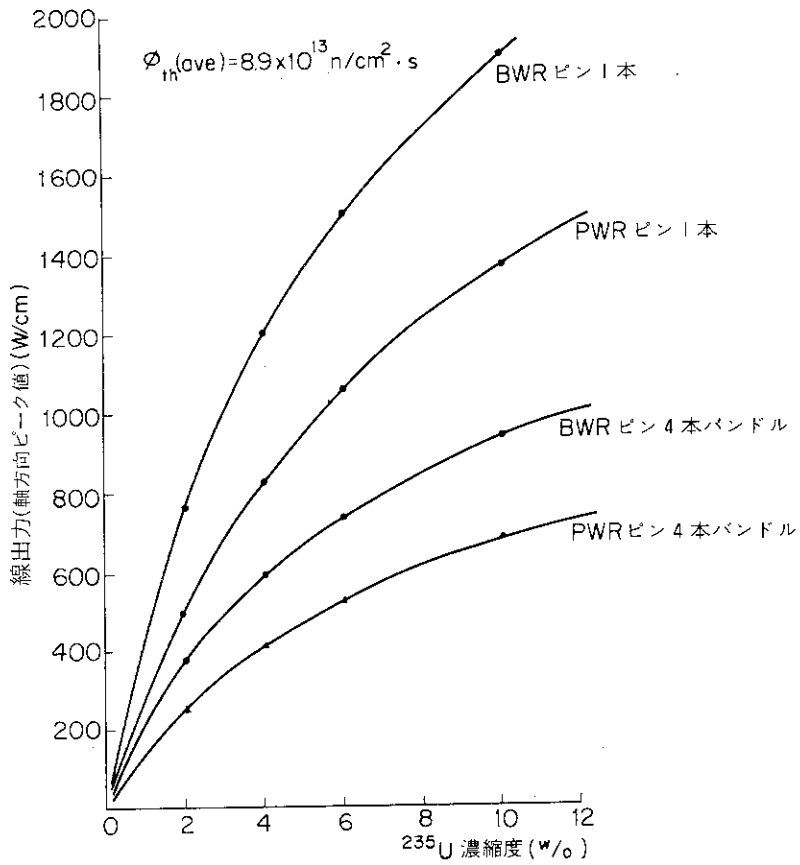
第 4.22 図 FBR 燃料試料内の熱中性子密度

#### 4.6 ループ試料発熱量の推定

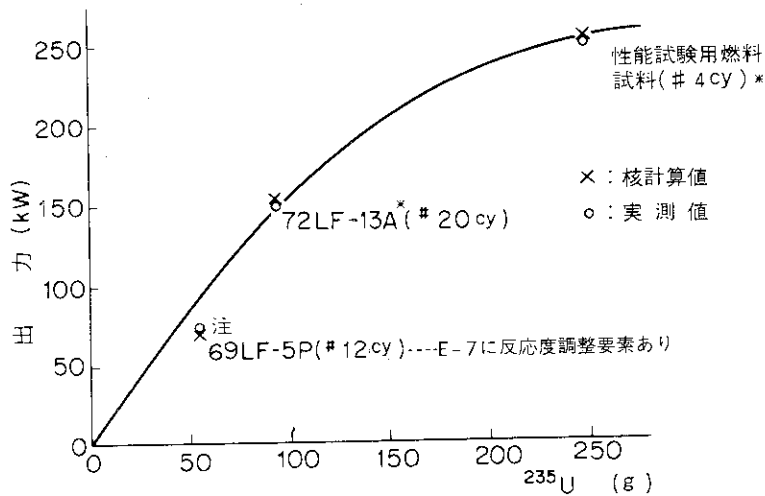
ループ試料についても、キャプセル試料と同じく、ほとんど核計算によってその発熱量を推定しているが、バンドル試料の水平方向出力分布因子( $F_H$ )については、JMTRCに本照射用試料あるいは核的モックアップを装荷し、その熱中性子束分布測定結果から、 $F_H$ を求める場合もある。

第4.24図～4.30図にループ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4.24図 : OWL-1 燃料試料の濃縮度変化による線出力(軸方向ピーク値)を示したものである。4本バンドル試料の場合、バンドル間の相互作用および $H_2O$ /燃料比が小さくなるため、ループ内の熱中性子束が全体的に下がり線出力は減少する。
- 第4.25図 : OWL-1 燃料試料の $^{235}U$ 量とループ全出力との関係を示したものである。第4.24図～4.25図を利用して、OWL-1 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4.26図 : OWL-1 燃料試料の水平方向分布を6本バンドル試料についてJMTRCで測定した結果である。炉心側とその反対側とでは、出力分布に大きな差があることがわかる。発熱量の推定に当たっては、照射中の試料の安全確保(溶融、破損防止)上、この水平方向出力分布因子( $F_H$ )が重要な因子の一つであり、JMTRCにより実験的に求める場合が多い。
- 第4.27図 : OWL-2 燃料試料の $^{235}U$ 量とループ全出力との関係を示したものである。この図を利用して、OWL-2 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4.28図 : OWL-2 燃料試料内各ピンの熱中性子束分布(出力分布)についてJMTRCで測定した結果である。これは水平方向出力分布因子( $F_H$ )に相当するが、その重要性については先に(第4.26図説明参照)述べたとおりである。
- 第4.30図 : OGL-1 燃料試料の $^{235}U$ 量と線出力(軸方向ピーク値)との関係を示したものである。この図を利用して、OGL-1 燃料試料のおおよその発熱量を推定することができる。

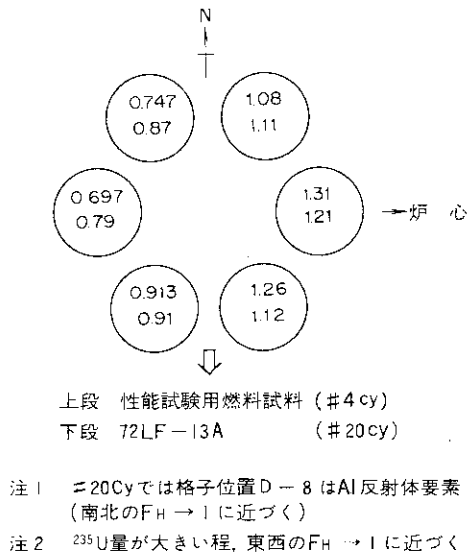


第 4.24 図 OWL-1 における線出力の推定

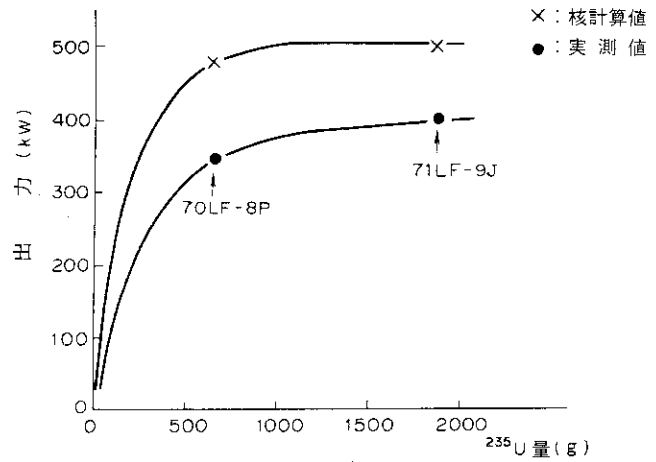


\* 各燃料ピンの濃縮度を同一 (3.5%) とした場合に換算している。

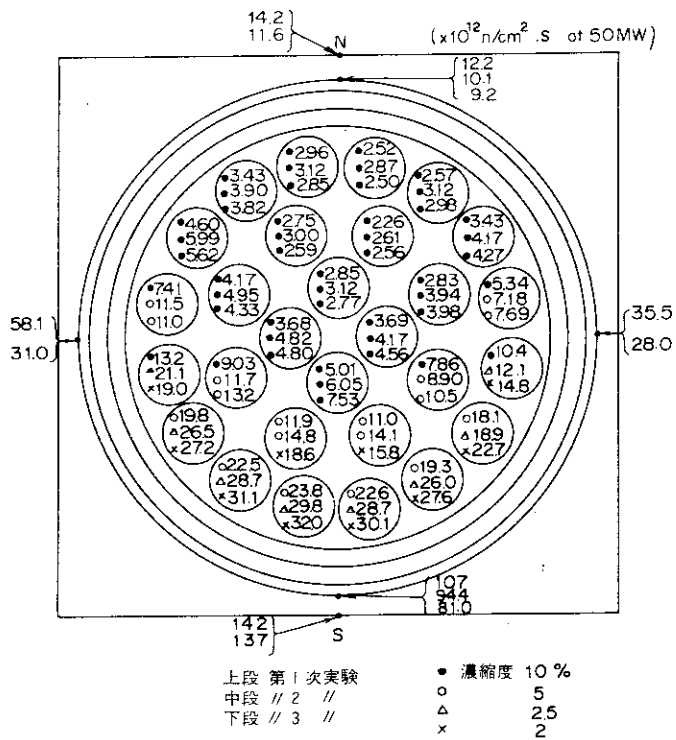
第 4.25 図 OWL-1  $^{235}\text{U}$  量とループ出力の関係



第 4.26 図 OWL-1 水平方向出力分布因子 (F<sub>H</sub>)



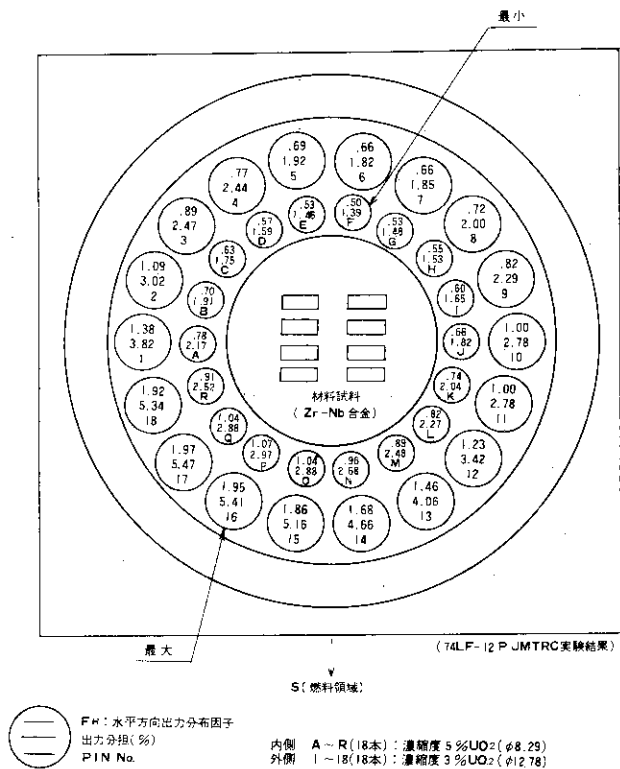
第 4.27 図 OWL-2 <sup>235</sup>U量とループ出力の関係



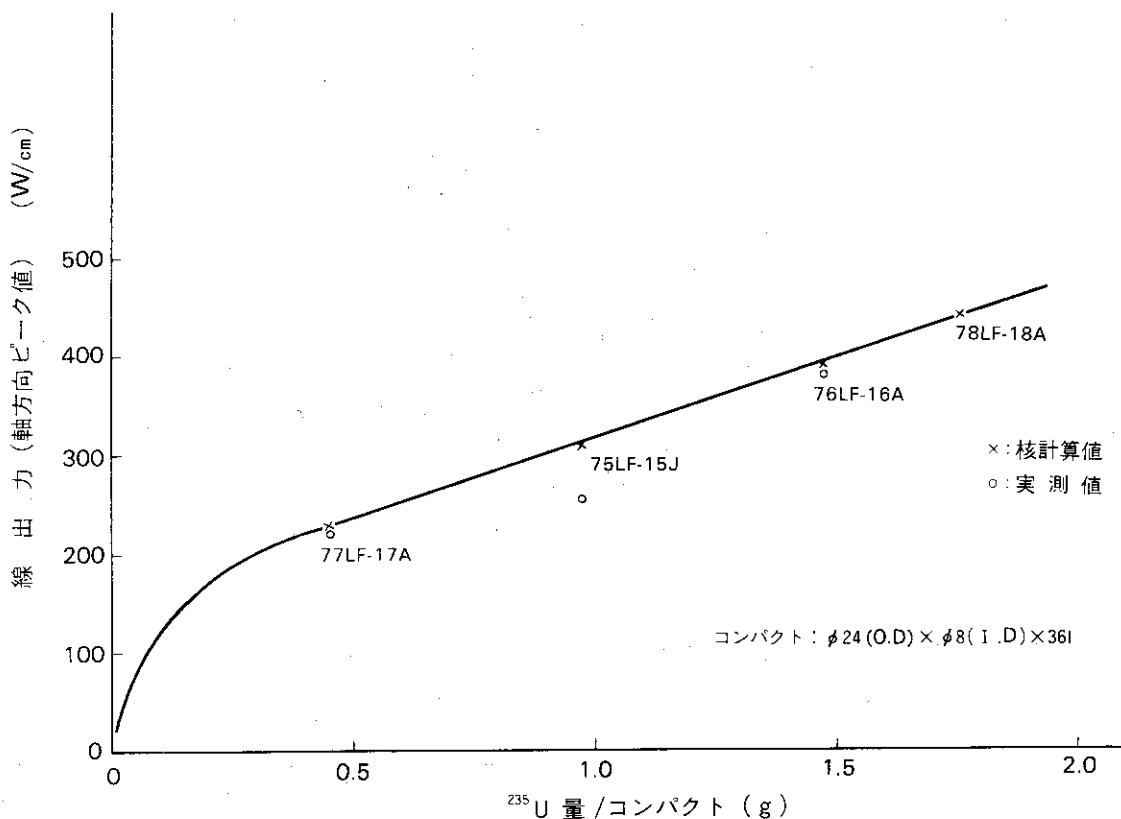
71LF-9J (#14, 15 cy) 先行試験(B.C使用) 結果

第 4.28 図 OWL-2 燃料試料内の熱中性子束分布





第 4.29 図 OWL-2 燃料試料各ピンの出力分布



第 4.30 図 OGL-1 <sup>235</sup>U 量と線出力の関係

#### 4.7 $\gamma$ 加熱と $\gamma$ 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 $\gamma$ 加熱率を正確に知る必要がある。

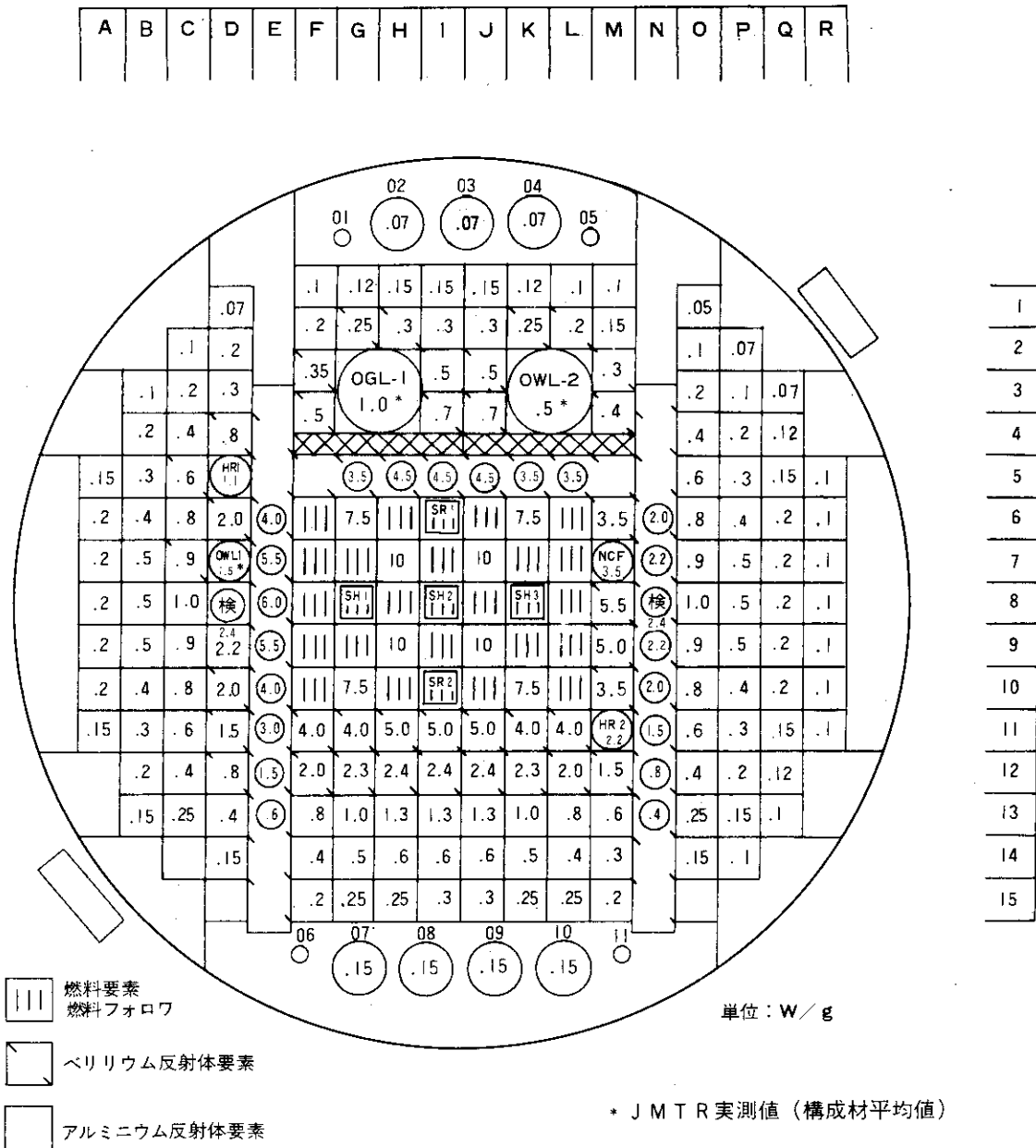
一方、キャプセル設計上からも、正確な $\gamma$ 加熱率を知ることは、燃料試料、材料試料に関係なく、試料を目標温度にするためのキャプセル構造および温度制御方式を決定するうえで、重要である。

$\gamma$ 加熱は、物質に依存するとともに、照射場の線量率およびそのエネルギースペクトルに依存する。しかし、炉内実験によって $\gamma$ 線スペクトルを求めることは困難である。そこで、 $\gamma$ 線スペクトルに依存しない $\gamma$ 加熱の測定方法として、次のような方法により実験を行った。

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

若干の不確定要素はあるが、現在までに得られた Fe の $\gamma$ 加熱率分布を第 4.31 図に示す。また、第 4.31 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 4.32 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。



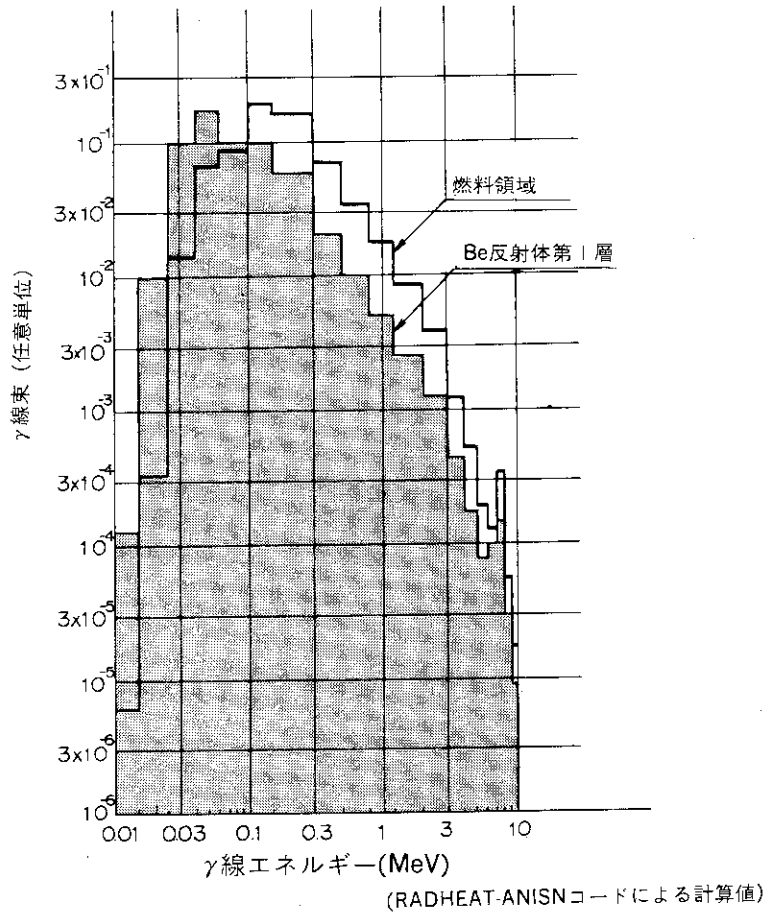
第 4.31 図 Feの $\gamma$ 加熱分布 (軸方向ピーク値)

第 4.31 図付表  $\gamma$ 加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
照射領域 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	0.4*	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JMTR実験値



第 4.32 図 γ線スペクトル

## 4.8 中性子スペクトルと中性子照射量

### (1) 中性子スペクトル

フルエンスモニタ（以下 F/M と表わす）を用いて中性子照射量を評価するためには、後述するように中性子スペクトルが必要となる。そこで JMTR の中性子スペクトルについて、ANISN コードにより計算した。第 4.33 図に照射領域別の中性子スペクトル計算結果を示す。これらの中性子スペクトルの妥当性に関しては、JMTRC における組合わせ箔放射化法により確認している。

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 軽水動力炉（PWR, BWR）のように承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 4.34 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。

また、F/M を用いて熱中性子照射量を評価するときに必要な熱中性子スペクトルに関しては、照射試料の材質に強く影響を受けるので、照射試料ごとに THERMOS-JMTR コードにより計算する。各原子炉の積分中性子束を比較して、第 4.35 図に示す。

### (2) 中性子照射量

中性子照射量は、核計算、また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 DIDO Ni fission neutron fluence（以下  $\Phi^{EDN}$  と表わす）、はじき出し損傷率（以下 dpa—displacement per atom—と表わす）およびガス（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 0.835 MeV の  $\gamma$  線を大型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 4.36 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 4.37 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 4.36 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。第 4.38 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 Schenter と Mann によって評価された断面積（ $\sigma$ ）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 4.4 表に示す相対誤差で一致している。±10%以内で一致している燃料領域をはじめとして、今後は反射体領域についても F/M の数を減らしていく予定である。F/M 使用上の注意については、第 4.4 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 45 d）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 4 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 4.39 図は、標準型 F/M の写真で、通常アルミニウム管またはセラミック管にモニタワイヤを封入して用いている。（形状、寸法等については第 2.6 表参照）

0.1 MeV 以上の中性子照射量（以下  $\Phi(> 0.1 \text{ MeV})$  と表わす）、および 0.18 MeV 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、 $\Phi(> 1.0 \text{ MeV})$  の値と第 4.5 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  $\Phi(< 0.683 \text{ eV})$  で表わす）を評価するためには、F/M として 0.17 w/o Co-Al ワイヤまたは、1 w/o Co-Ti 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 1.333 MeV の  $\gamma$  線を大型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てある。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およびキャプセル内のマイ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 4.37 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 THERMOS-JMTR コードによる計算結果を利用して求める。

第 4.39 図は、標準型 F/M の写真で、通常アルミニウム管またはセラミック管にモニタワイヤを封入して用いている。（形状、寸法等については第 2.6 表参照）

## ③ Equivalent DIDO Ni fission neutrou fluence

$\Phi^{\text{EDN}}$  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  $\Phi^{\text{EDN}}$  で示される。 $\Phi^{\text{EDN}}$  は  $\Phi(> 1.0 \text{ MeV})$  の値と第 4.6 表から求めることができる。

## ④ はじき出し損傷率およびガス (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 および H は、 $(n, \alpha)$  反応および  $(n, p)$  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 およびガス (He, H) 生成量は、 $\Phi(> 1.0 \text{ MeV})$  の値と第 4.7 表および第 4.8 表から求めることができる。ただし、第 4.7 表および第 4.8 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 4.9 表に JMTR と他の原子炉における dpa およびガス生成量に関する比較を示す。

第 4.4 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	特殊な試料* 以外使用しない。 1 キャプセル 4 個以内とする。中性子束勾配が測定できるように配慮すること。 (第 4.37 図参照)
Be 反射体第 1 層	± 15	
Be 反射体第 2 層	± 20	
Al 反射体第 1 層	± 20	

\* 制御用材料, 燃料試料等

第 4.5 表 中性子スペクトル指標

照射領域	$\frac{\Phi (> 0.1 \text{ MeV})}{\Phi (> 1.0 \text{ MeV})}$	$\frac{\Phi (> 0.18 \text{ MeV})}{\Phi (> 1.0 \text{ MeV})}$
	燃料領域	2.20
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
OGL-1	2.80	2.48

第 4.6 表  $\Phi^{\text{EDN}}$  と  $\Phi (> 1.0 \text{ MeV})$  の関係

照射領域	$\Phi^{\text{EDN}}/\Phi (> 1.0 \text{ MeV})$
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 4.7 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 ( $\times 10^{-8}$ 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	—
SUS 316	40	1.43	1.46	1.56	1.59	—
SUS 304	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  $1.0 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>・s に対応するものである。

第 4.8 表 JMTR で照射された材料試料中のガス生成率

物質名	成生ガス生成率 ( $\times 10^{-9}$ 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	—	—
SUS 316	8.04*	144	8.84*	139	8.29*	123	7.96*	116	—	—
SUS 304	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 段反応  $^{58}\text{Ni}(n, \gamma)^{59}\text{Ni}(n, \alpha)^{56}\text{Fe}$  によって生成される He は考慮されていない。

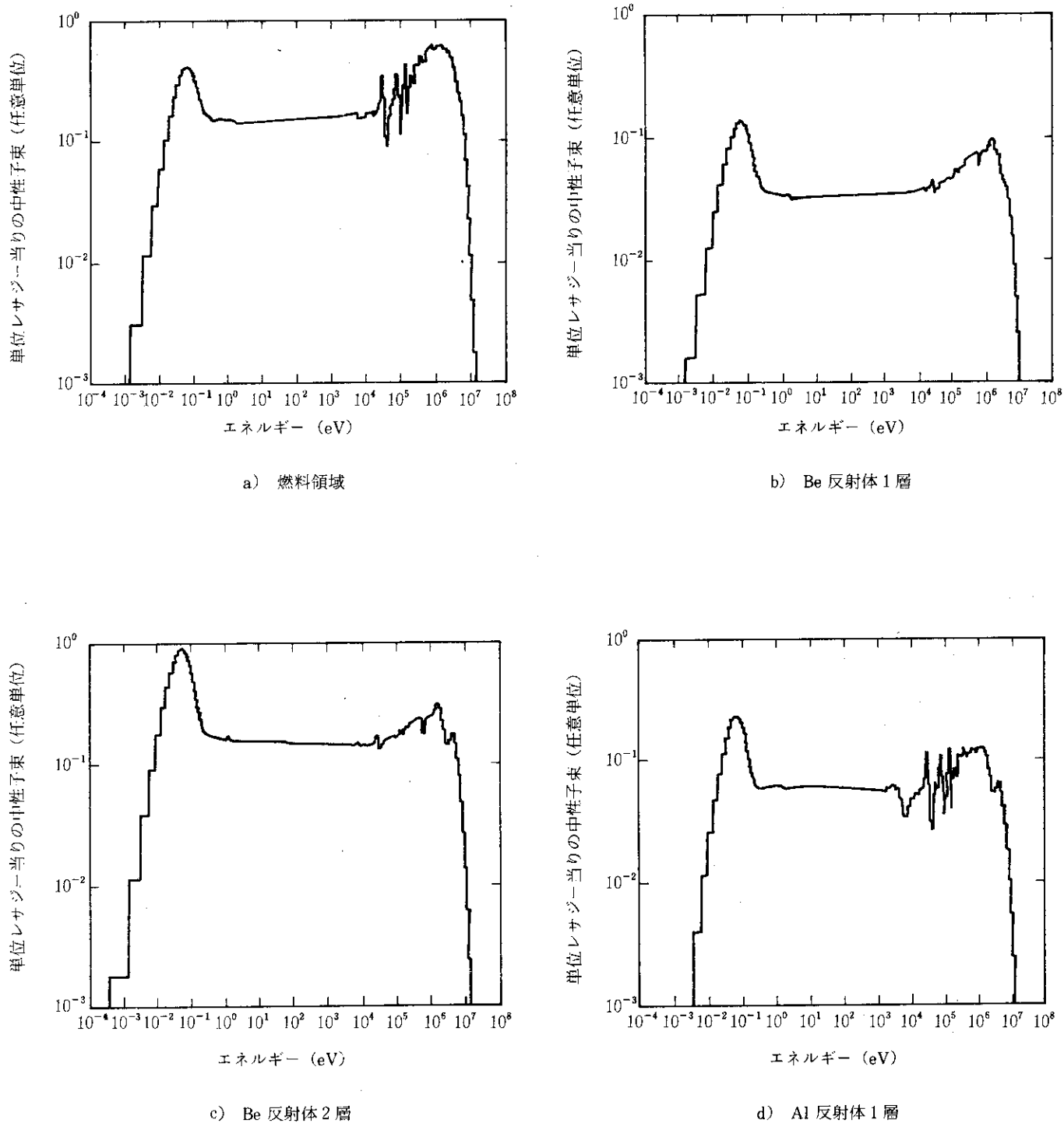


第 4.9 表 各種原子炉におけるはじき出し損傷率およびガス生成率の比較

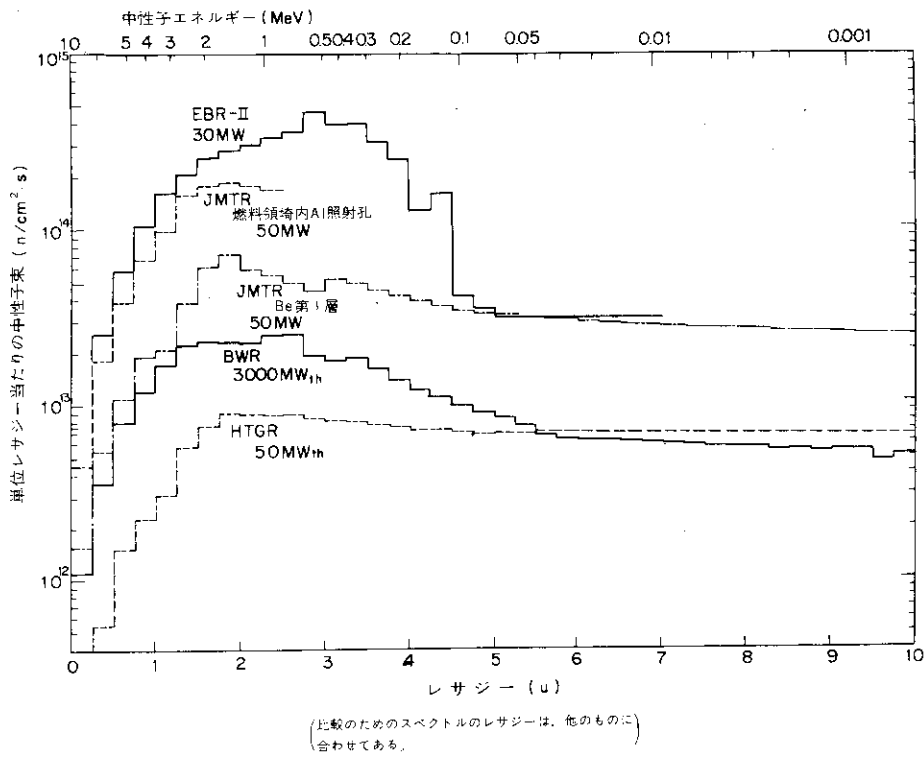
物質名	実効はじき出しエネルギー eV		JMTR 燃料領域		ORR C-3		HFIR PTP		FBR-II Row 2			核融合炉 第 1 壁**			
	dpa $\times 10^{-7}$	dpa/s	He $\times 10^{-7}$ appm/s	H $\times 10^{-7}$ appm/s	dpa $\times 10^{-7}$ dpa/s	He $\times 10^{-7}$ appm/s	dpa $\times 10^{-7}$ dpa/s	He $\times 10^{-7}$ appm/s	H $\times 10^{-7}$ appm/s	dpa $\times 10^{-7}$ 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	2.16	0.473	0.473	9.44	2.13	0.623	10.7	10.2	2.84	52.4	9.93	35.3	3.62	34.9	151
Ni	2.27	7.10*	7.10*	122	2.25	8.88*	136	11.0	42.5*	671	11.0	424	3.87	130	397
Cr	2.12	0.155	0.155	2.48	2.41	0.227	3.14	11.6	0.990	14.9	11.4	11.7	3.58	32.6	100
SUS 316	2.15	1.21*	1.21*	21.6	2.18	1.53*	24.2	10.4	7.23*	119	10.3	77.1	3.61	45.4	169
Nb	1.46	0.0896	0.0896	0.849	1.43	0.155	1.10	6.77	0.715	5.14	7.51	4.13	2.31	9.18	33.3
V	2.51	0.0288	0.0288	1.41	2.65	0.0468	1.90	12.8	0.182	9.08	12.4	7.28	3.63	15.0	78.2

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

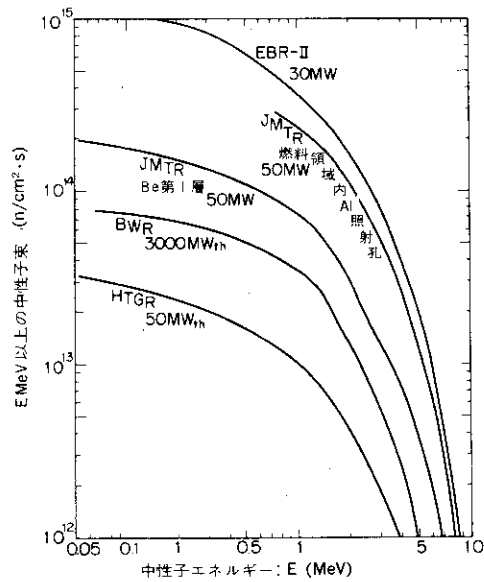
\*\* エネルギー負荷率 = 1 MW/m<sup>2</sup>



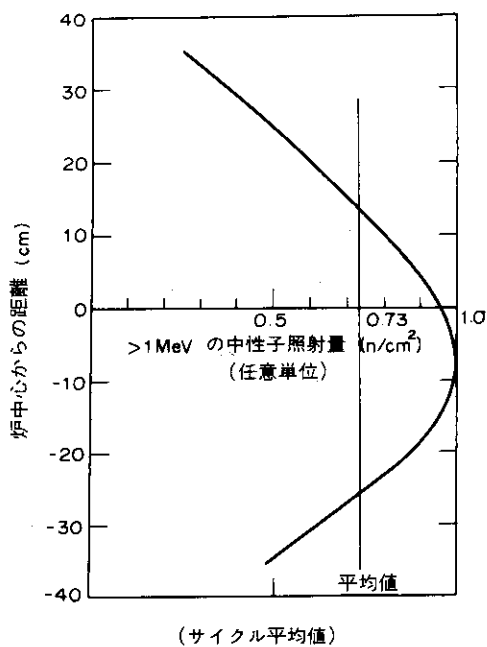
第 4.33 図 各照射領域における中性子スペクトル



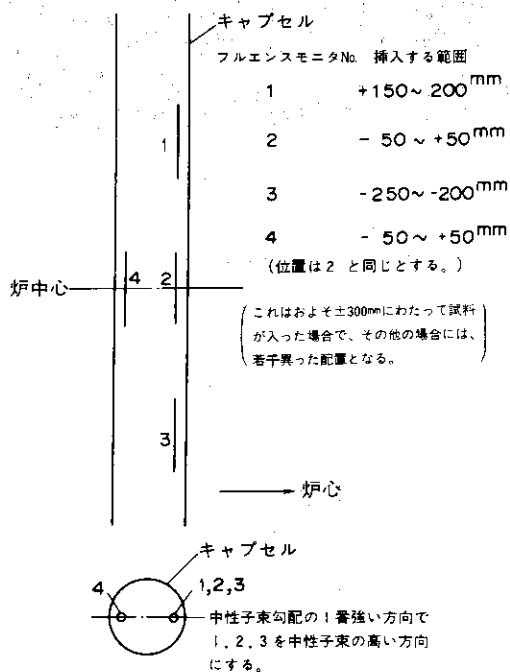
第 4.34 図 各種原子炉の中性子スペクトル



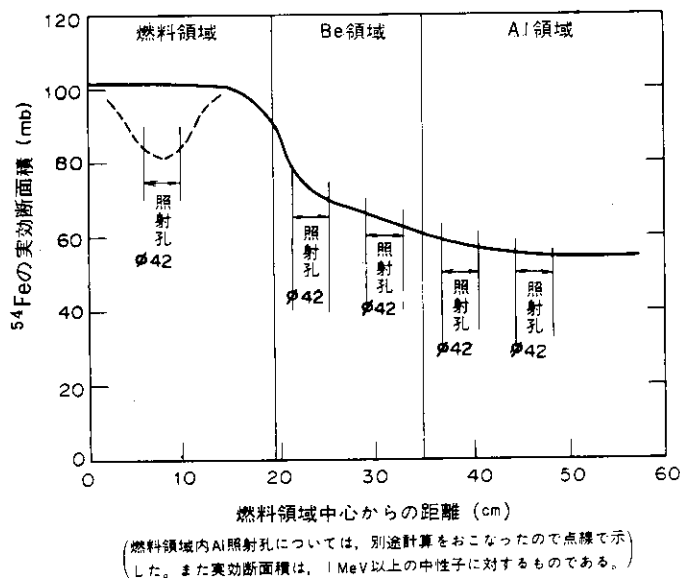
第 4.35 図 各種原子炉の積分中性子束



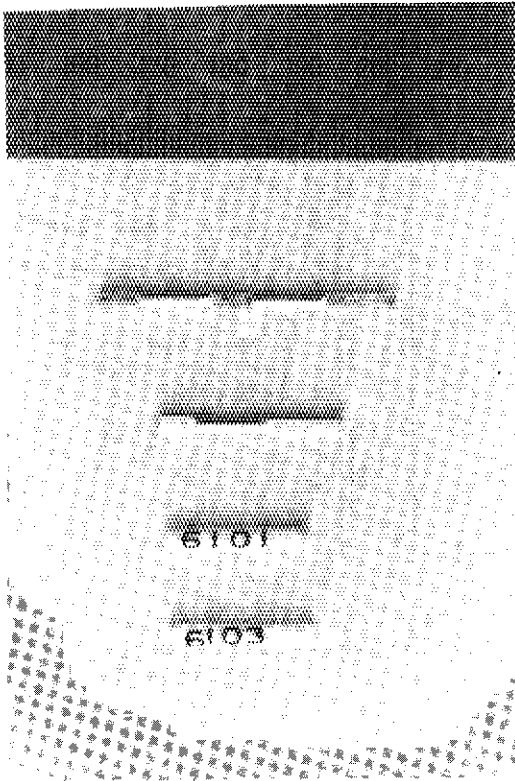
第 4.36 図 軸方向の中性子照射量分布



第 4.37 図 キャプセル内の望ましいフルエンスモニタの配置



第 4.38 図 照射孔における <sup>54</sup>Fe の実効断面積



アルミニウム管型は照射温度 500℃まで、セラミック管型は 1000℃まで使用可能である。今後は主として、セラミック管型を使用していく予定である。

第 4.39 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 (キャプセル名: 77M-13A)

### 中性子照射量の評価 (>1MeV)

#### 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

##### 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

- Φ : 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 (dps)
- G : 鉄の原子量 (55.9 amu)
- 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 :  $^{54}\text{Fe}$  の天然存在化 (5.84%)
- σ<sub>1.0</sub> : 実効断面積 (cm<sup>2</sup>)
- t<sub>i</sub> : 照射時間 (s)
- λ : 崩壊定数 (2.56 × 10<sup>-8</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 σ<sub>1.0</sub>

一般に実効断面積 σ<sub>eff</sub> 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。

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

ただし

- E<sub>eff</sub> : 反応の起こる実効的なエネルギー
- φ(E) : 中性子スペクトル
- σ(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 σ<sub>1.0</sub> は、(2)式において E<sub>eff</sub> 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，ベリリウム反射体領域第2層，アルミニウム反射体領域第1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次元円筒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  $\sigma(E)$

iii)  $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$  反応の微視的断面積  $\sigma(E)$  は，Schenter および Mann により評価されたデータ\*を採用した。

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)
77M-13 A	燃料領域	G-10	81.0
—			
—			
—			

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添付のグラフ中に示した。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）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( $\text{n}/\text{cm}^2$ )
77M-13 A	$3.15 \times 10^{20}$	$3.26 \times 10^{20}$

\* Schenter, R. E., and Mann, F.N., "ENDF/B-U Dosimetry File", BNL/NCS-17541 (ENDF-201), Tap No 531 and Mat. No 6430 (1980).

3. 原子炉運転実績, 炉心配置

JMTR 時報 No. 42 を参照されたい。

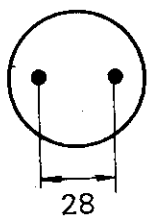
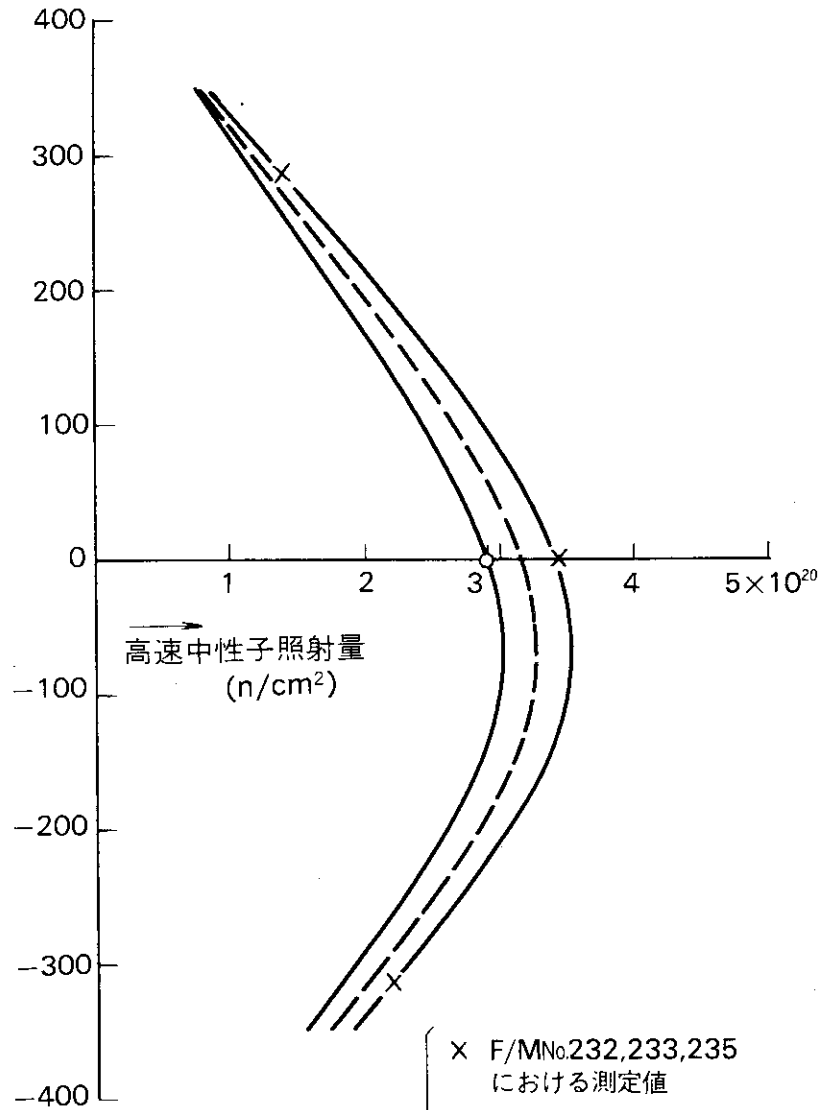
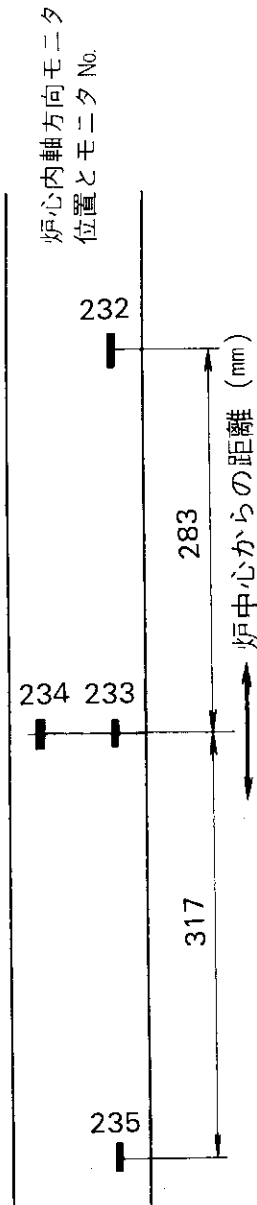
4. その他

---

\* 2次元拡散方程式計算コード CITATON で計算して求めた。



キャプセル名	77M-13A
照射孔	G-10
照射サイクル	48
モニタ	Fe



core center  
●印はキャプセル内のF/M位置を示す。

× F/MNo.232,233,235  
における測定値  
○ F/MNo.234における  
測定値  
--- キャプセル中心推定値

## 資料4.2 中性子照射量報告書 (キャプセル名: 73F-16A)

### 熱中性子照射量の評価

#### 1. 測定方法

0.17 w/o Co-Al 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  $^{60}\text{Co}$  (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。

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

ただし

- $\phi$  : 熱中性子照射量 ( $\text{n}/\text{cm}^2$ )
- A : 測定によって得られる放射能 (dps)
- G : コバルトの原子量 (58.9 amu)
- $N_0$  : アボガドロ数 ( $6.02 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1}$ )
- M : モニタの重量 (g)
- F :  $^{59}\text{Co}$  の天然存在比 (100%)
- $\hat{\sigma}$  : 平均断面積 ( $\text{cm}^2$ )
- $t_i$  : 照射時間 (s)
- $\lambda$  : 崩壊定数 ( $4.16 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ )
- $t_w$  : 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) 平均断面積 $\hat{\sigma}$

一般に平均断面積  $\hat{\sigma}$

$$\hat{\sigma} = \frac{\int_0^\infty \phi(E) \sigma(E) dE}{\int_0^\infty \phi(E) dE} \dots \dots \dots (2)$$

ただし

- $\phi(E)$  : 熱中性子スペクトル
- $\sigma(E)$  :  $^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$  反応の微視的断面積

熱中性子として考える上限のエネルギーを 0.683 eV とすると、熱中性子に対する平均断面積は、(3)式で表わされる。

$$\sigma = \frac{\int_0^{0.683\text{eV}} \phi(E) \sigma(E) dE}{\int_0^{0.683\text{eV}} \phi(E) dE} \dots\dots\dots (3)$$

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

i) 熱中性子スペクトル  $\phi(E)$

1次元輸送方程式計算コード THERMOS-JMTR 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/Ⅲ のものを採用した。

以上の手順により、平均断面積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	$\sigma$ (b)
77 F - 16 A	Be 第2層	D-11	25.6
—			
—			
—			

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 ( $\text{n}/\text{cm}^2$ ) 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。

3. 熱中性子束分布

1) 熱中性子束の算出法

照射中の平均熱中性子束は、熱中性子照射量と 50 MW での実効運転時間から(4)式で求められる。

$$\phi = \frac{\Phi}{T} \dots\dots\dots (4)$$

ただし

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

(4)式により、各モニタについて照射中の平均熱中性子束を求め図2に示した。

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 THERMOS-JMTR によって求

めた結果を図3に示した。この図は、キャプセルの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. 原子炉運転実績，炉心位置

JMTR 時報 No. 33～38 を参照されたい。

5. その他

キャプセル名	73F-16A
照射孔	D-11
照射サイクル	38~44
モニタ	Al-Co 0.17%

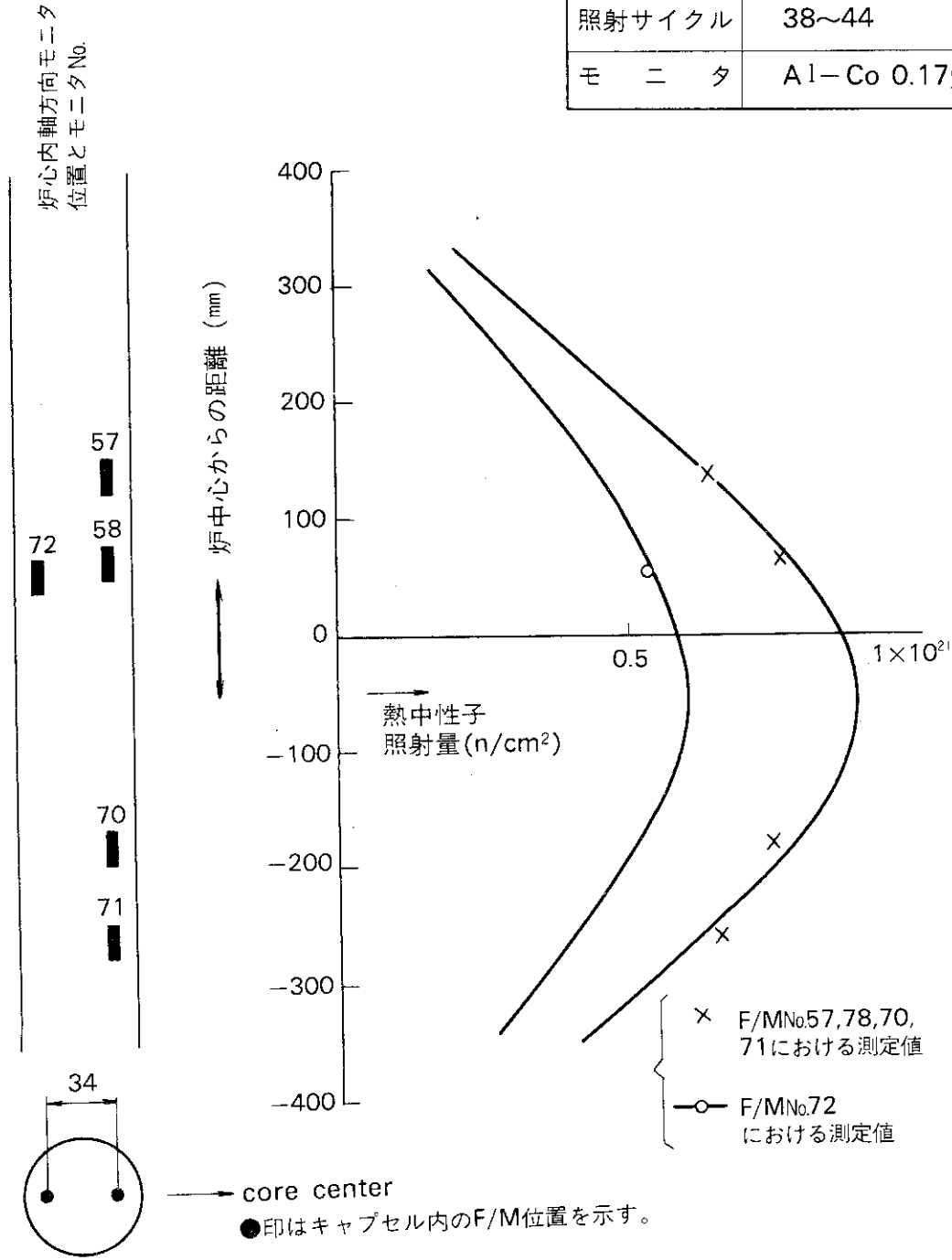


図1 熱中性子照射量

キャプセル名	73F-16A
照射孔	D-11
照射サイクル	38 ~ 44
モニタ	Al-Co 0.17%

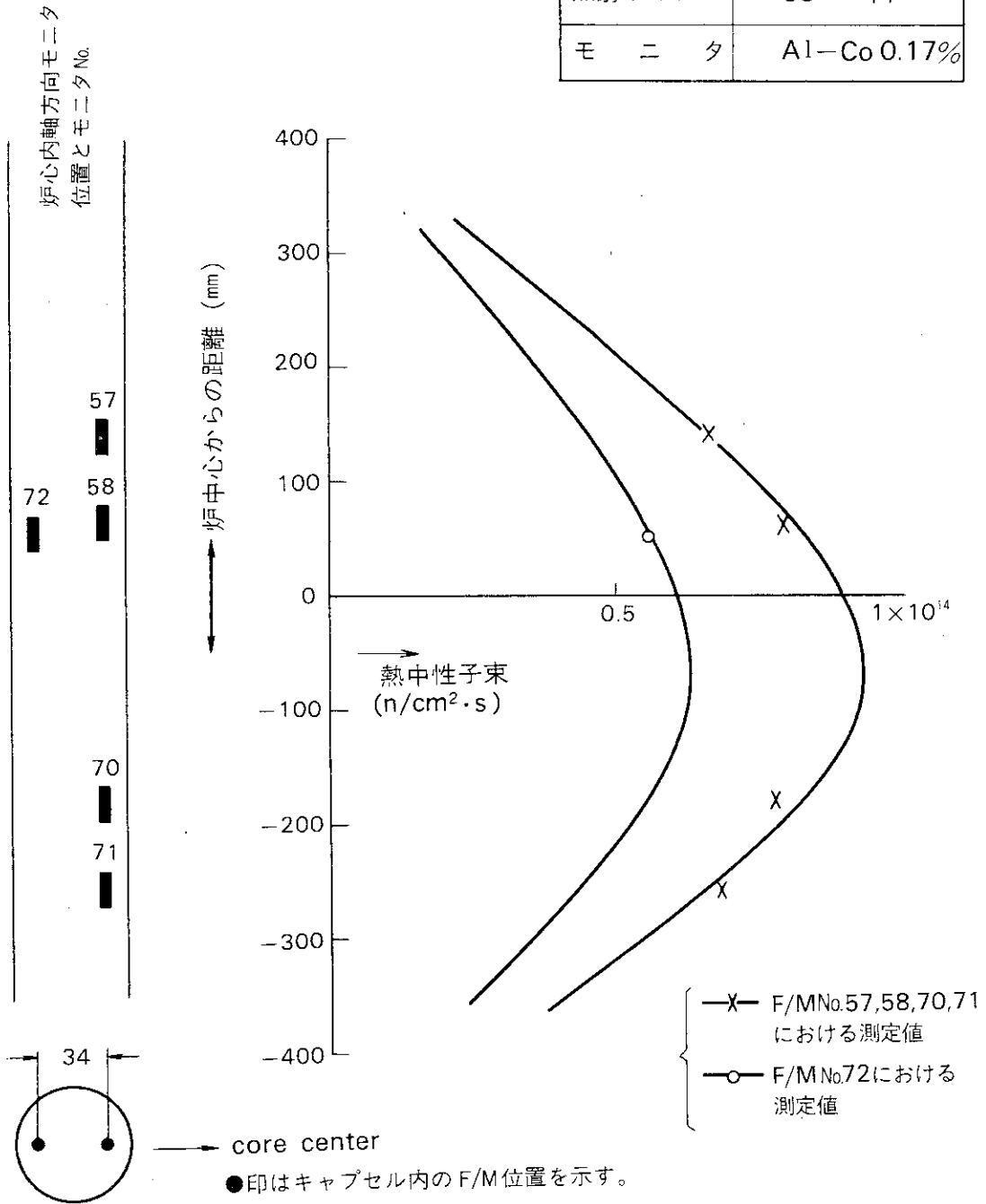


図2 熱中性子束

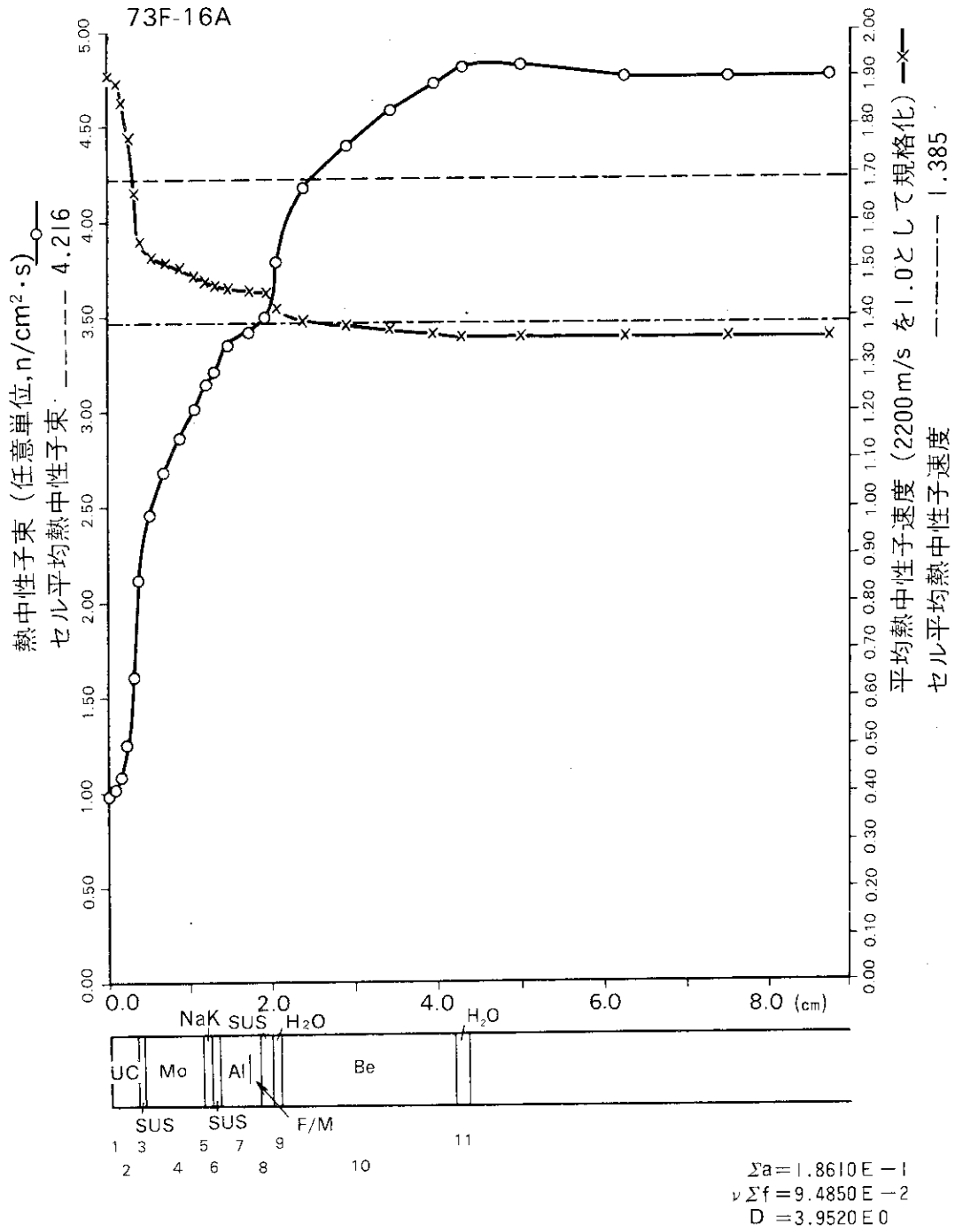


図3. 73F-16A キャプセルの径方向熱中性子束分布

## 5. JMTRC

### 目 次

5.1 概 要 .....	227
5.2 核的モックアップと中性子束分布の測定 .....	232



表 一 覧

第 5.1 表 JMTR と JMTRC の炉心比較相違点 .....	228
第 5.2 表 JMTRC での諸実験 .....	228

## 図 一 覧

第 5.1 図	JMTR と JMTRC の炉心領域比較 (相違点)	229
第 5.2 図	JMTRC 炉心部	230
第 5.3 図	JMTRC 炉心ブリッジ	231
第 5.4 図	JMTRC 制御盤	231
第 5.5 図	キャプセル内の径方向熱中性子束分布	233
第 5.6 図	OWL-1 燃料試料中性子束分布測定点	234
第 5.7 図	OWL-2 燃料試料核的モックアップの中性子束分布測定点	234

## 5.1 概要

JMTRCはJMTRの炉物理特性を実験的に調べることを目的として設置された臨界実験装置であり、炉心が設置されたプールは、JMTRのカナルに通じている。JMTR炉心とJMTRC炉心とは、製作された時期の違いや、設計条件の相違から、第5.1表に示すような相違点が残っている。第5.1図に両者の炉心領域の比較を示す。第5.2図～5.4図にJMTRCの炉心部、炉心ブリッジ、制御盤を写真で示す。

JMTRCは、許可条件（出力100W、過剰反応度15% $\Delta k/k$ 、 $^{235}\text{U}$ 装荷量8kg）を超えない限り、自由な炉心配置を組むことができ、JMTR炉心の炉物理特性および燃料試料の発熱量の推定に供するデータを得るために使用される。

JMTRは出力密度が非常に高い（500kW/l）ので、燃料要素の熱的検討が重要であるうえに、各サイクルで照射される試料が異なるため、以前は予定された照射試料全てについて、核的モックアップ（Nuclear Mock-up, 以下N.Mと略す）を用意し、各サイクルのJMTRの炉心配置をJMTRCに実現して、各照射試料の照射条件等を確認していた。

しかし、平行して行われてきた核計算の改良により、その信頼度が向上したので、現在では、サイクルごとの定常的な核特性の推定作業は核計算を中心に行っている。ただし、次のような試料については、今後もN.M実験によりその照射条件を確認する場合もある。

- ① 核分裂性物質の充填率が非常に大きい試料
- ② 中性子吸収の非常に大きい材質を使用した試料
- ③ バンドル燃料（ループ試料）、その他形状が過去に類例のない試料（高さ方向に著しく炉物理的性質の異なる試料の並んだキャプセル等）

今後のJMTRC実験は、上記N.M実験の他、核計算法の検証（ベンチマーク実験）、中性子スペクトル測定、 $\gamma$ 加熱率測定、新照射装置の開発に伴う基礎実験等が主要な項目となろう。

なお、世界的なすう勢として、研究炉燃料の濃縮度低減化の開発計画が進められており、JMTRCでの臨界実験も予定されているが、その炉物理特性測定実験は、今後の重要項目の一つとなろう。

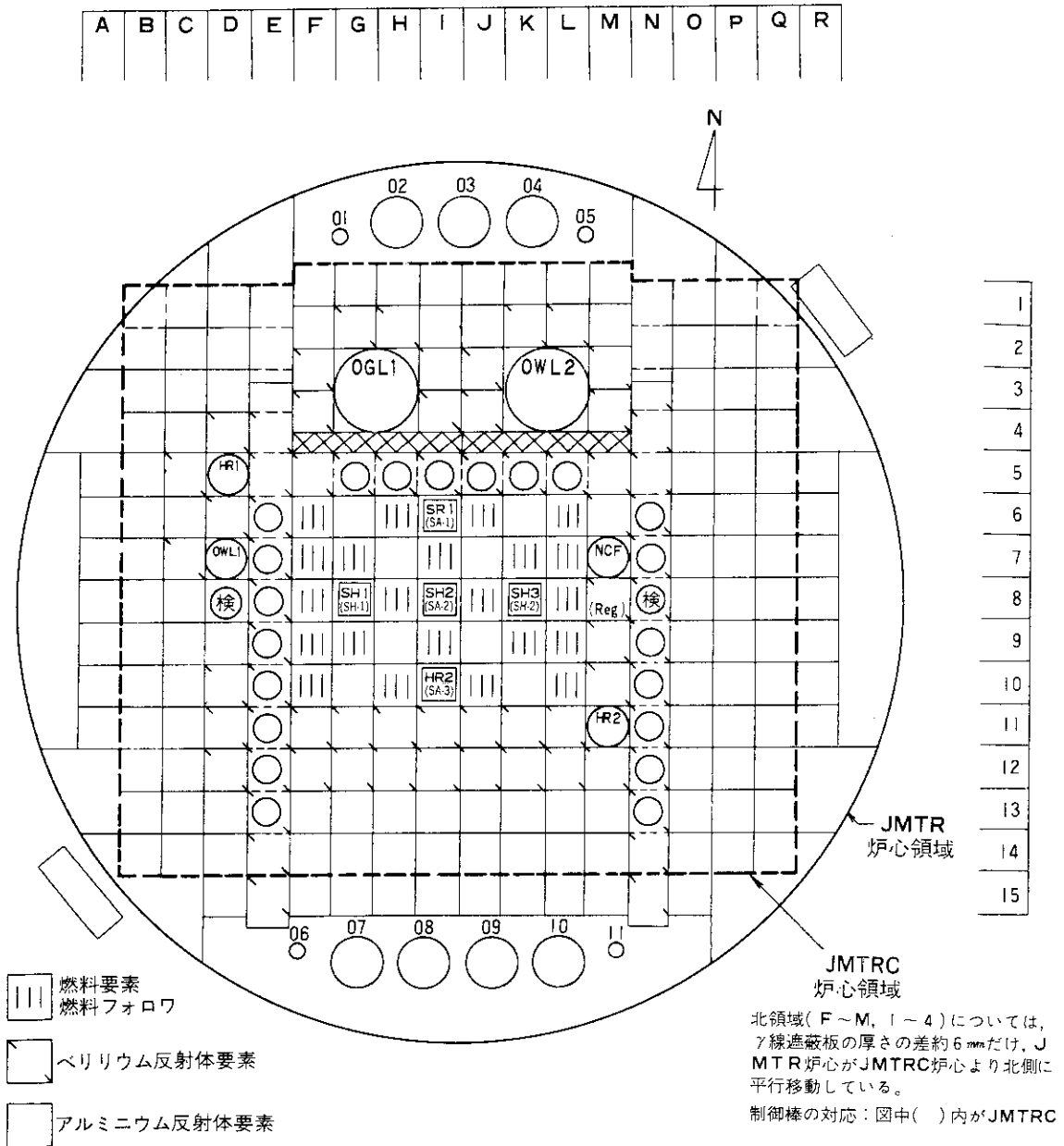
第5.2表に、JMTRCでの諸実験をまとめて示す。

第5.1表 JMTRとJMTRCの炉心比較相違点

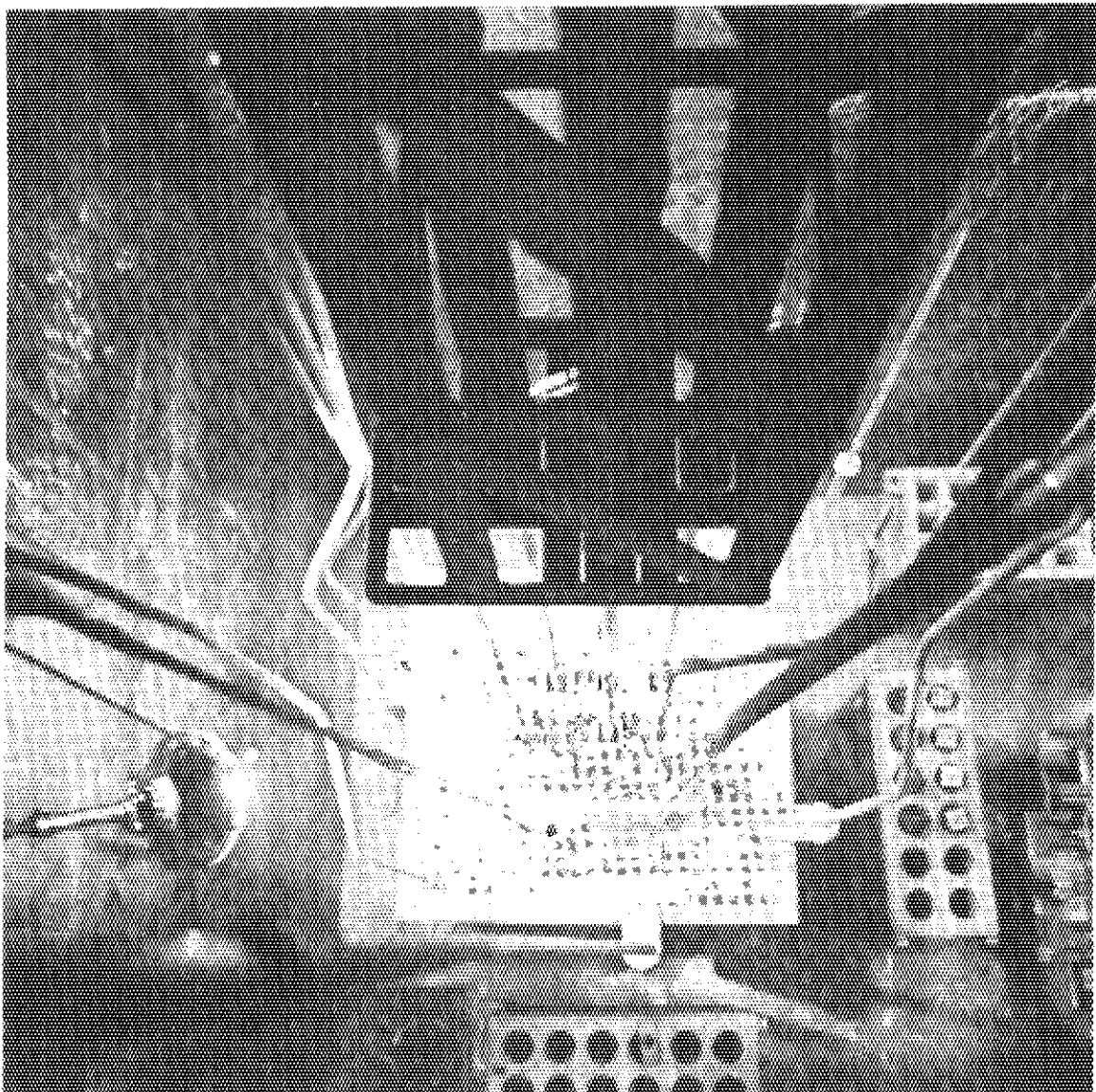
項目	JMTR	JMTRC
最大熱出力	50 MW	100 W
格子板	円形(A-R, 1-15)	角形(B-Q, 1-14)
制御棒駆動方向	下方駆動	上方駆動
制御棒吸収体	ハフニウム	ボロン入りステンレス鋼
制御棒本数	最大7本	5本+微調整棒(フォローはベリリウム)
$\gamma$ 線遮蔽板材質	ジルカロイ-2	鉛またはアルミニウム
$\gamma$ 線遮蔽板厚さ	38 mm (格子ずれ38.6 mm)	30 mm (格子ずれ32 mm)
ベリリウム反射体	H棒と $\phi$ 42プラグ孔付要素との組合せ	$\phi$ 32, $\phi$ 34, $\phi$ 38, $\phi$ 42 プラグ孔付およびプラグ孔なし要素の組合せ 要素間の水ギャップはJMTRより小さい。
標準燃料要素	$^{235}\text{U}$ 279 g	$^{235}\text{U}$ A 229 g B 237 g C 195 g
制御棒フォロー	コーム付き $^{235}\text{U}$ 195 g 専用取扱具により取外し可	コームなし $^{235}\text{U}$ 195 g 制御棒吸収体とビス連結

第5.2表 JMTRCでの諸実験

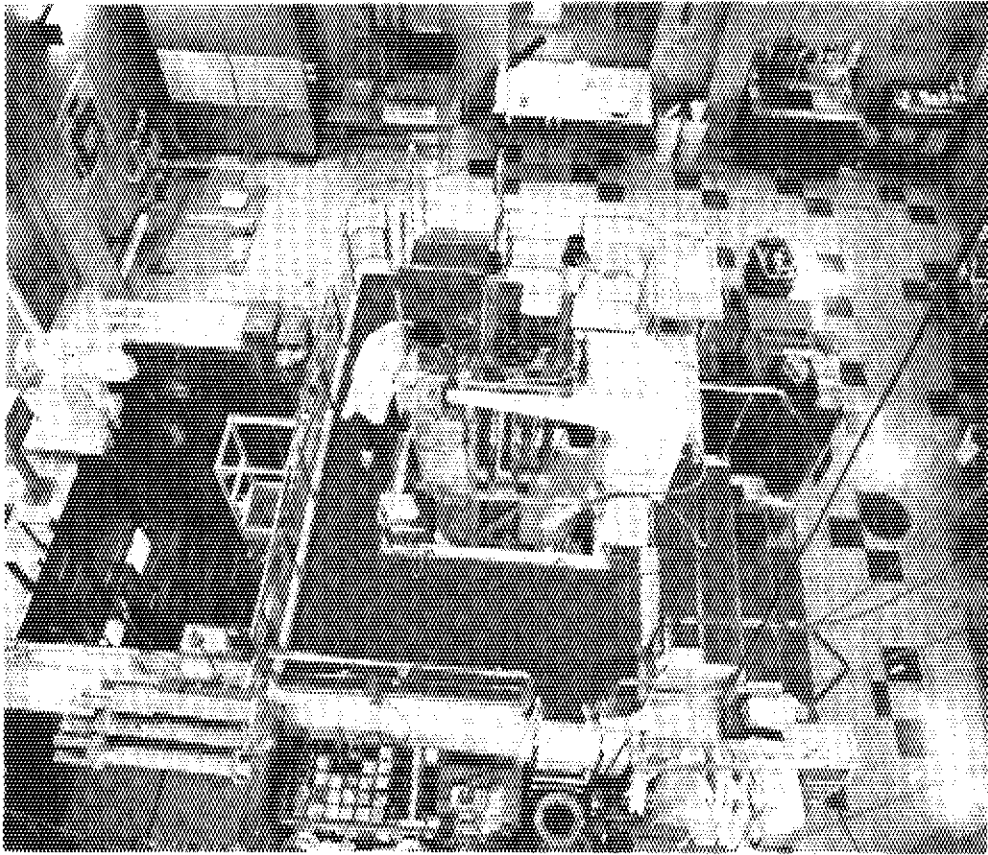
実験項目	測定対象	測定方法	測定範囲	精度	備考
反応度及び動特性因子測定	制御棒	ペリオド法, 比較法	0.04 ~0.13% $\Delta k/k$	0.2%/回	
	各種炉心要素 各種炉内挿入実験物 } $1/\beta (= \alpha_0)$ 未臨界度 制御棒ギャング等価反応度	比較法	0.001 ~1% $\Delta k/k$	0.001% $\Delta k/k$	
		パルス中性子法	$k_{\text{eff}} = 1 \sim 0.85$	$\beta k \approx 0.03$	
		パルス中性子法 ペリオド法		at $k_{\text{eff}} = 0.85$	
熱中性子束分布測定	燃料要素内微細分布 反射体領域分布 } キャプセル, ループ内微細分布	箔放射化法 (In, Au, Dy, 核分裂箔)	$\phi = 10^4 \sim 10^{10}$	5%	
中性子スペクトル測定	熱中性子領域 } 共鳴領域 高速領域	組合せ箔放射化法 (しきい検出箔, 共鳴検出箔)	$10^{-8}$ ~10MeV	20%	
炉出力測定	炉出力	UICまたはCICからの出力信号の雑音解析 箔放射化法 (Au, Dy, 核分裂箔)	0.1 ~ 200 W 0.1 ~ 100 W	4 ~ 5 % 3%	
核計算法の検証 (ベンチマーク実験)	実効増倍係数 ( $k_{\text{eff}}$ ) 熱中性子束分布 高速中性子束分布	燃料追加法, 制御棒 反応度 箔放射化法 (Au, Dy, 核分裂箔) 箔放射化法 (In箔)			
$\gamma$ 加熱率測定	$\gamma$ 線量率	熱蛍光線量計(TLD) フィルムバッジ			
照射装置の開発実験	反応度 熱中性子束分布	制御棒反応度 箔放射化法 (Au, Dy, 核分裂箔)			



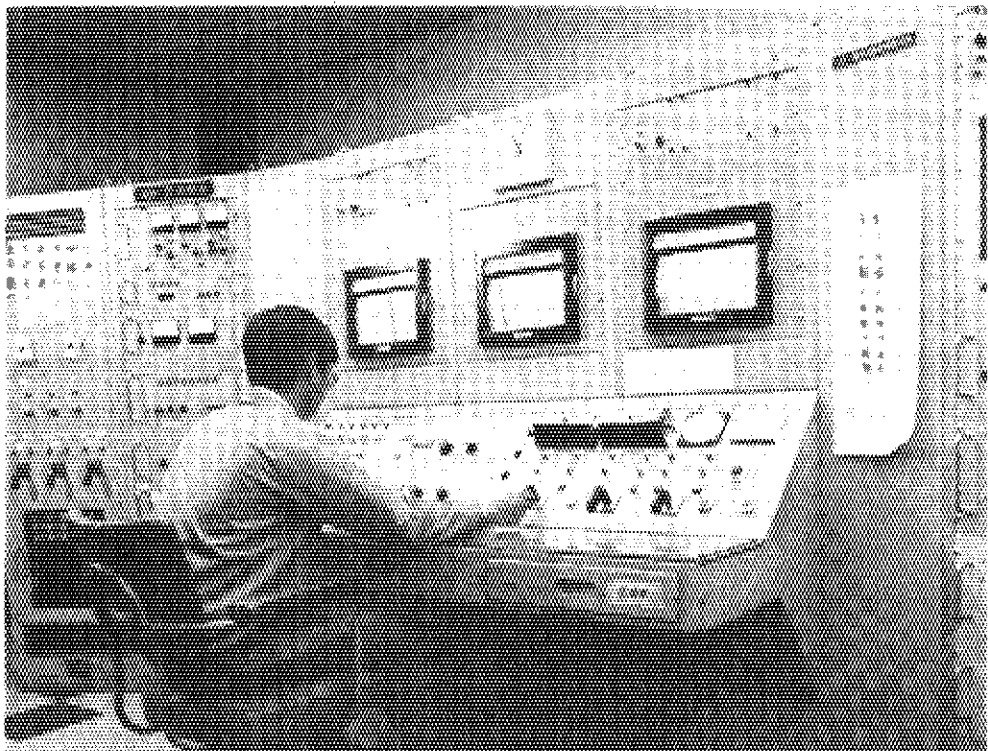
第 5.1 図 JMTR と JMTRC の炉心領域比較 (相違点)



第5.2図 JMTRC 炉心部



第 5.3 図 JMTRC 炉心ブリッジ



第 5.4 図 JMTRC 制御盤

## 5.2 核的モックアップと中性子束分布の測定

燃料試料をJMTRで照射するに当たり、目標とする発熱量を実現するため、そのN.Mを利用した臨界実験を行い、詳細な中性子束分布を測定する方法がしばしば用いられる。目的を要約すると次の2点になる。

1. 核計算の裏付けデータを得る。
2. 核計算にのり難い形状の照射試料の詳細な中性子束分布を得る。

### (1) 燃料キャプセルの場合

N.Mを必要とするのは、 $\text{UO}_2$ 以外の燃料試料、ガドリニア等のポイズン入り燃料試料、仕様の異なる短尺ピンが上下数段にわたって入っている燃料試料、燃料試料でなくても周辺の中性子束への影響または反応度効果の大きさからみて臨界実験が必要と判断される試料等である。

第5.5図は、ガドリニア入り $\text{UO}_2$ 燃料ピンに横穴を設け、それにDyワイヤを挿入して測定した径方向熱中性子束分布を示している。濃縮度、Pu富化度、ピン径等をパラメータとして、このような測定データとTHERMOSコード等による計算値との対応をとることにより、計算コードの適用範囲や境界条件、更には断面積データの良否を知ることができる。

また、炉心配置の決定にさいしては、上のようなキャプセル内部の問題ばかりでなく、キャプセルが装荷されたことによる周囲の中性子束への影響あるいはキャプセル同志の相互干渉効果も考慮する必要がある、これらに対する情報もJMTRC実験から得ている。

### (2) ループ試料の場合

ループ燃料試料の濃縮度（またはPu富化度）の決定はJMTRCにおけるN.M実験によるところが大きい。中性子束勾配の大きい反射体領域において、特に燃料バンドル内の詳細な中性子束分布を計算で求めることは（発熱量を求める上で重要であるにも拘らず）困難であり、最大線出力の推定も含め、これらの情報はN.Mを使った実験からのデータがベースになる。

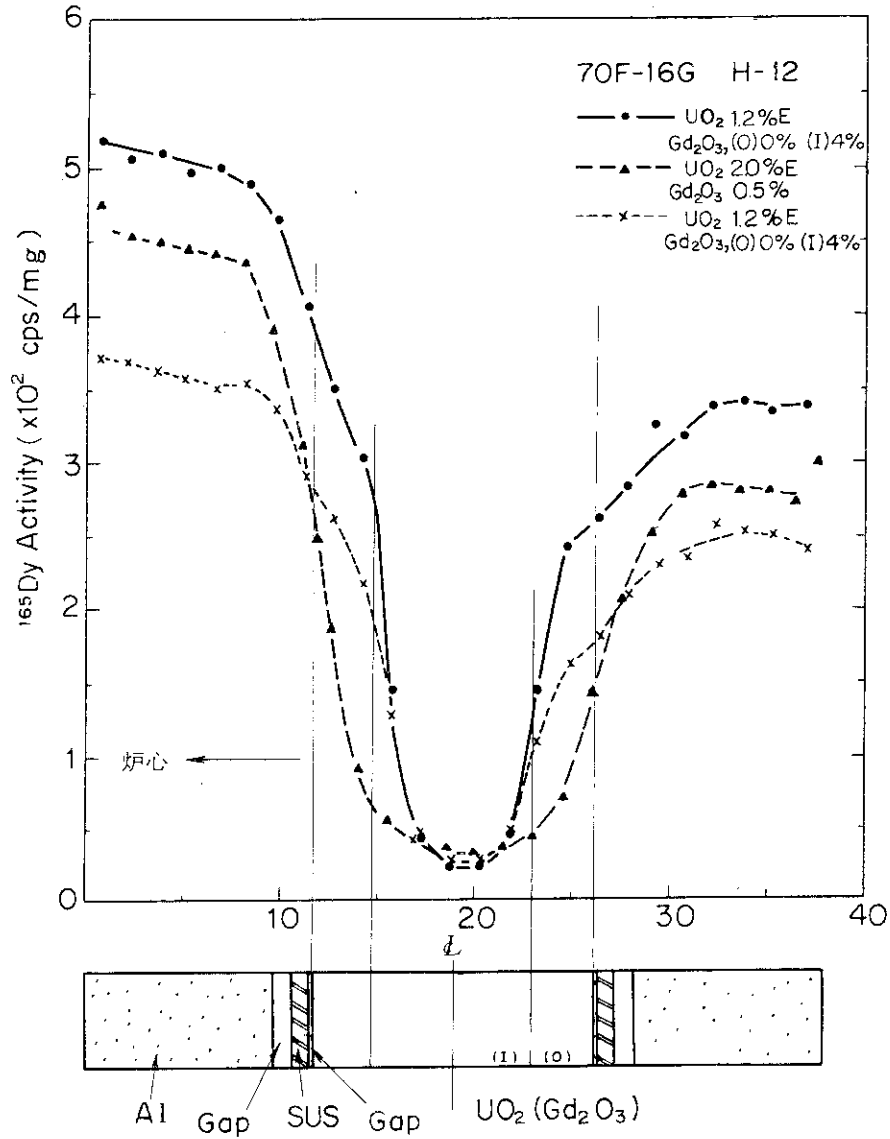
第5.6図に第4サイクル炉心に装荷されたOWL-1特性試験用燃料試料の濃縮度を決定するためにJMTRCで中性子束分布を測定したさいの測定点を示す。この場合は濃縮度の異なる燃料バンドルを2体用意し、その一方（10%濃縮）をJMTRCに装荷して実験を行った。その結果、もう一方（8%濃縮）の安全が確認されて本照射用に採択された。

第5.7図は第14サイクルでOWL-2に装荷される燃料バンドルのN.Mを用いて本照射における燃料の濃縮度を決めることになり、そのときに提案された2種類の濃縮度と中性子測定点を示している。この実験では $\text{UO}_2$ の代りに $\text{B}_4\text{C}$ -アルミナ混合粉末を各濃縮度に対応するように $\text{D}_2\text{O}$ を調整して模擬燃料ピンとした。この2種類の濃縮度は、中性子束勾配に対して、できるだけ発熱分布を平坦にするように決めたものである。更に高さ方向に中性子束分布を測定することにより、出力ピーク値およびその位置を予想することができる。この実験の結果、本照射における試料の濃縮度として2%、5%、10%の3種類を採用することになった。

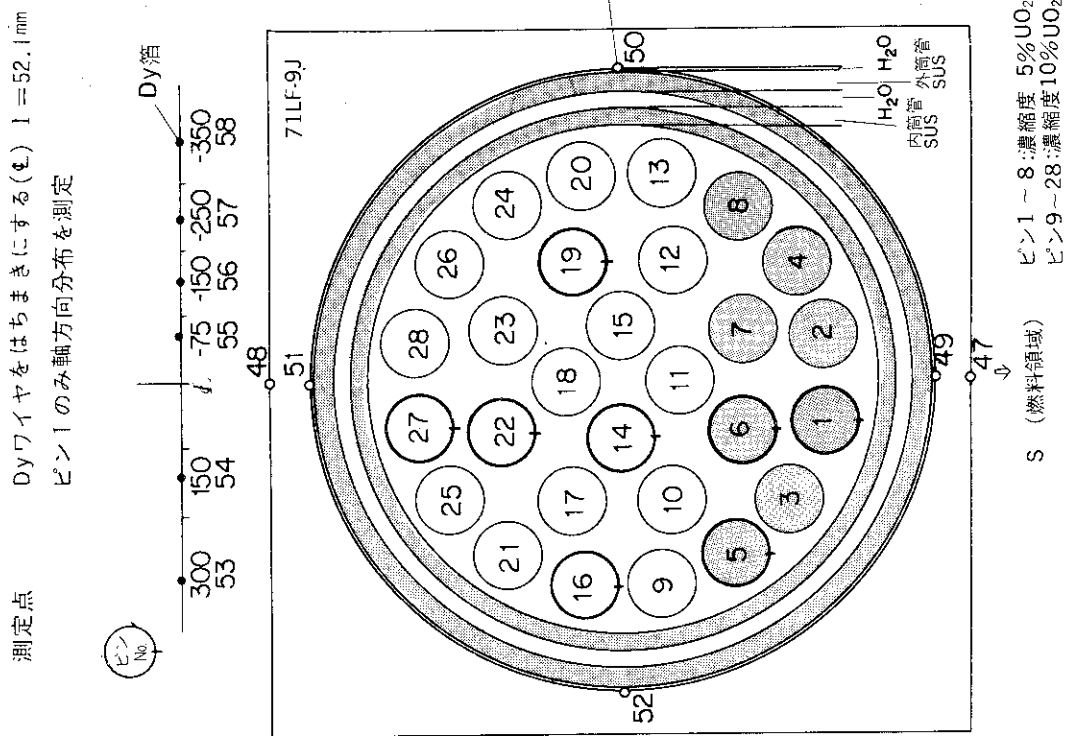
この例のように $\text{B}_4\text{C}$ 粉末を燃料試料に代用してJMTRC実験に用いることはしばしばあるが、特にバンドル型燃料試料の場合、試料からの発生中性子の効果を見逃し得ないという問題がある。



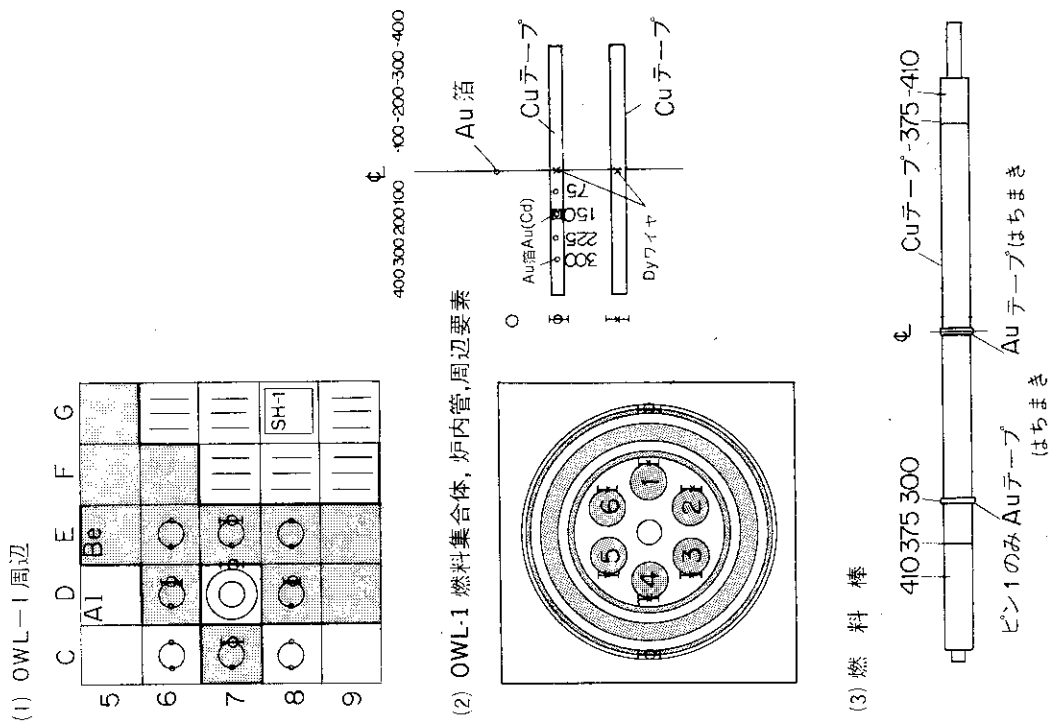
今後は、これまでの実績をもとに燃料試料の濃縮度を決定し、本照射用試料バンドルまたは本照射用と同じ燃料を用いた N.M による JMTRC 実験から、発熱量推定のデータを得ることを考えている。



第 5.5 図 キャプセル内の径方向熱中性子束分布



第 5.7 図 OWL-2 燃料試料核的モックアップの中性子束分布測定点



第 5.6 図 OWL-1 燃料試料中性子束分布測定点

## 6. 放射性同位元素の製造

### 目 次

6.1 概 要 .....	239
6.2 放射性同位元素の製造方法 .....	239
6.3 中性子源用 $^{124}\text{Sb}$ の照射 .....	241

表 一 覧

第 6.1 表 JMTR で生産される主な放射性同位元素 ..... 240

## 図 一 覧

第 6.1 図	RI 製造用キャプセル	239
第 6.2 図	RI 製造用水力ラビット	240
第 6.3 図	$^{124}\text{Sb}$ 線源照射用キャプセル	242
第 6.4 図	熱中性子束と $^{124}\text{Sb}$ の生成量	243
第 6.5 図	崩壊熱と被覆管表面温度の計算例	243

### 6.1 概要

JMTRを利用したRI製造のための照射は、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。現在JMTRで生産されているRIは、第6.1表に示すように、10種類をこえている。

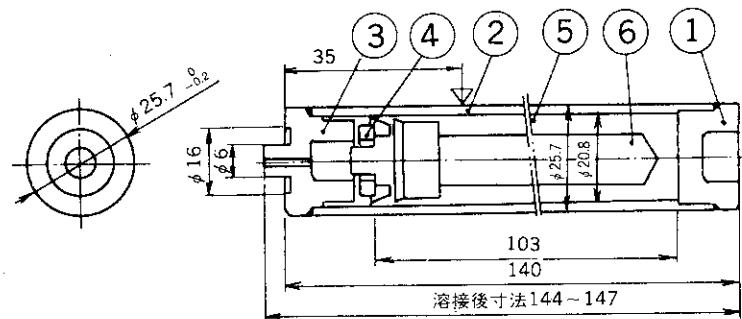
JMTRで照射されたRIは、RI製造部で精製、商品化し、アイソトープ協会を通して一般に頒布されている。このためRI製造部では、JMTRの年間運転計画を基に、RIの年間製造出荷計画をたてRIの安定供給を図っている。

RI製造の特殊な例としては、原子炉起動用中性子源のガンマ線源として使用される<sup>124</sup>Sbの照射がある。

### 6.2 放射性同位元素の製造方法

#### (1) キャプセルによる照射

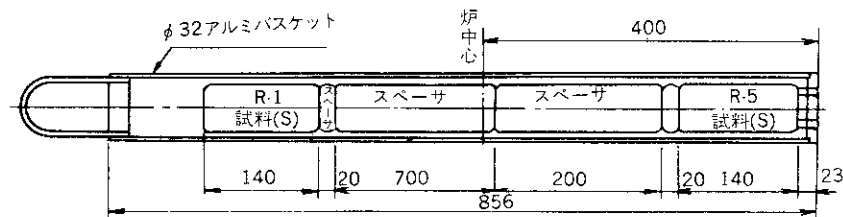
RI製造に使用されるキャプセルは、すべて無計測であり、照射孔によって外径の違いはあるが、ほとんど同じ構造をしている。照射期間は、<sup>32</sup>Pの1サイクルから<sup>14</sup>Cの13サイクルと多岐にわたっている。照射終了したキャプセルは、ホットラボで外筒を切断したのち試料のみRI製造部に引き渡される。RIキャプセルの形状を第6.1図に示す。



注

1. ▽位置に切断マークを設けること
2. 外筒内にHeを封入すること
3. 外筒表面にキャプセル名称を印字すること

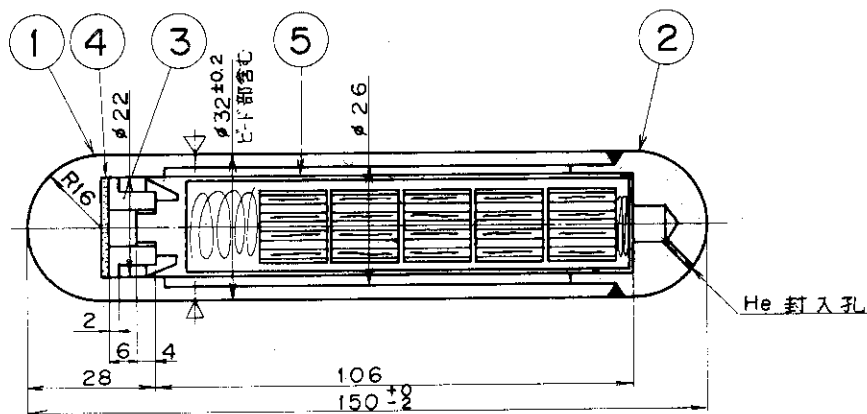
6	試料	S		
5	DL型インナーキャプセル			
4	スペーサ	A 1100	1	
3	上部端栓	A 1100	1	
2	外筒	A 1100	1	
1	下部端栓	A 1100	1	
品番	部品名	材質	個数	



第6.1図 RI製造用キャプセル

(2) 水カラビットによる照射

水カラビットによるRIの製造は、特定の核種に限定されており、照射の頻度も年間約10件とキャプセルに比較して非常に少ない。照射終了した水カラビットは、そのままの形状でRI製造部に引き渡される。水カラビットの形状を第6.2図に示す。



- 注) 1. 外筒表面中央水平方向にラビット番号ヲ印字スル。  
 2. He 封入孔ヨリHe ガスヲ充填シ溶接ヲ塞グ。  
 3. V 箇所ニ切斷マ-フヲ設ケル。

番号	品名	材質	買数	備考
5	試料			
4	緩衝材	ゴルクール	一式	
3	スペーサ	A1050	1	
2	端栓	A1100	1	
1	外筒	A1100	1	

第6.2図 RI製造用水カラビット

第6.1表 JMTR で生産される主な放射性同位元素

用途	放射性同位元素	ターゲット量	生成核反応	半減期	生成量	照射時間
医療用	<sup>32</sup> P	S 30 g	<sup>32</sup> S (n, p)	14.3 d	94 Ci	1サイクル
	<sup>35</sup> S	KCl 3 g	<sup>35</sup> Cl (n, p)	87.9 d	10 Ci	1サイクル
	<sup>51</sup> Cr	Cr 5 mg	<sup>50</sup> Cr (n, γ)	27.8 d	2.5 Ci	1サイクル
	<sup>60</sup> Co	Co 1.5 g	<sup>59</sup> Co (n, γ)	5.26 y	100 mCi	96 時間
	<sup>198</sup> Au	Au 1.5 g	<sup>197</sup> Au (n, γ)	2.69 d	150 Ci	42 時間
工業用	<sup>14</sup> C	AlN 175 g	<sup>14</sup> N (n, p)	5730 y	1 Ci	12サイクル
	<sup>35</sup> S	KCl 3 g	<sup>35</sup> Cl (n, p)	87.9 d	10 Ci	1サイクル
	<sup>192</sup> Ir	Ir 36 g	<sup>191</sup> Ir (n, γ)	74.2 d	4,200 Ci	1サイクル
研究用	<sup>45</sup> Ca	CaCO <sub>3</sub> 10 mg	<sup>44</sup> Ca (n, γ)	165 d	10 mCi	5サイクル
	<sup>65</sup> Zn	Zn 20 mg	<sup>64</sup> Zn (n, γ)	245 d	20 mCi	5サイクル

### 6.3 中性子源用<sup>124</sup>Sbの照射

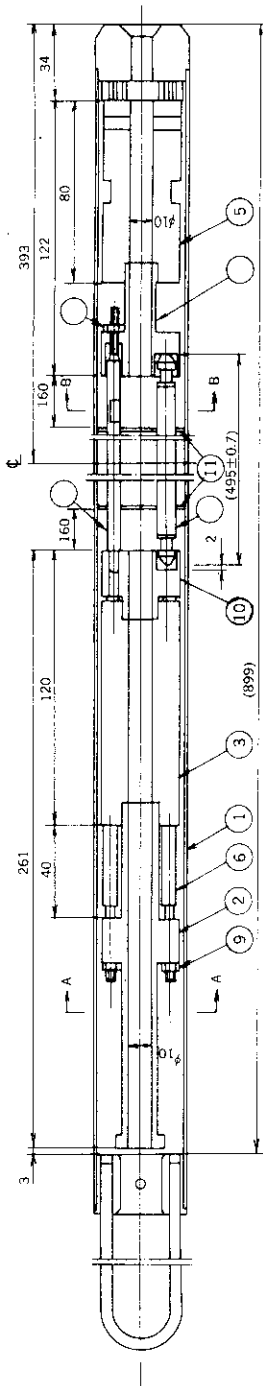
<sup>124</sup>Sbは、発電炉を含めた原子炉の起電用中性子源のためのガンマ線源を得ることを目的に照射される。中性子源として利用するには、<sup>124</sup>SbとBeを組合せ、<sup>124</sup>Sbからのガンマ線によりBeから中性子を発生させる。

Sb試料は、第6.3図に示すようなSUS 304被覆管に挿入され、被覆管はアルミニウムバスケットに装荷される。<sup>124</sup>Sbの生成量と熱中性子束の関係は、第6.4図に示すとおりであるので、使用時期等を考慮して照射時期、照射孔を決めなければならない。

<sup>124</sup>Sbは照射後、水中で必要期間冷却したのちアルミニウムバスケットを解体して取出し、輸送容器に収納して搬出されるが、<sup>124</sup>Sbおよび同時に生成される<sup>122</sup>Sbの崩壊熱により被覆管温度が上昇し、破損することもあるので、<sup>124</sup>Sbの生成量が $10^4$  Ciをこえるような場合には注意しなければならない。被覆管がSUS 304の場合には、表面温度が580℃程度でも強度に影響を及ぼすとされているので、被覆管の表面温度が500℃以下になるまで水中で冷却することが望ましい。第6.5図に<sup>124</sup>Sbの生成量が $1.64 \times 10^4$  Ciの場合の崩壊熱と被覆管表面温度の計算結果の1例を示す。

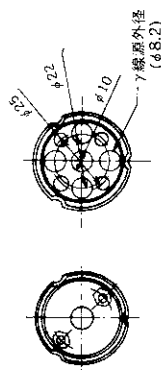
上記計算例の場合、被覆管表面温度を500℃以下にするためには照射終了後約8日間カナル水中で冷却しなければならない。その後ホットラボに搬入してアルミニウムバスケットを解体し、<sup>124</sup>Sbを取出し輸送容器に収納して搬出するので、サイトに搬出するまでに照射終了後約15日見込む必要がある。



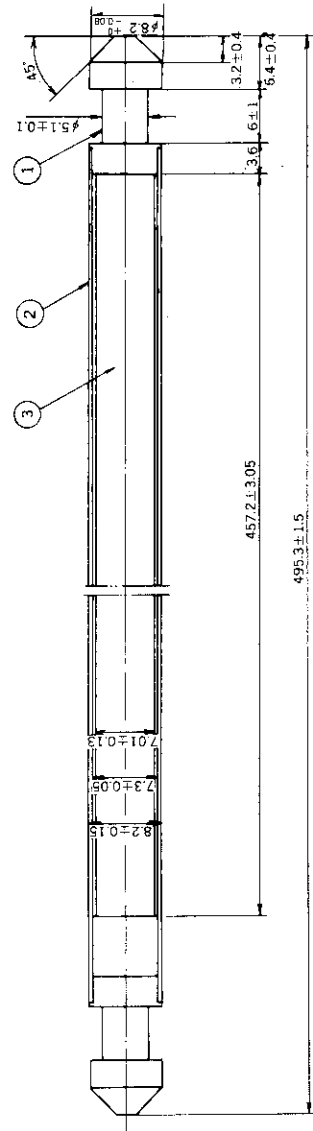


品番	名称	個数	材料名
11	保持金具	6	SUS304
10	上部環台	1	SUS304
9	テフロン	18	SUS-304
8	ワッシャー	10	SUS-304
7	スタッド	2	SUS-304
6	スタッド	2	SUS-304
5	下部ベアラー	2	A-5056
4	環台	1	SUS-304
3	上部ベアラー	1	A-5056
2	ガイド	1	A-5056
1	427Pm(239Pu)	1	アルミ合金

アンチモン照射  
キャプセル 組立図



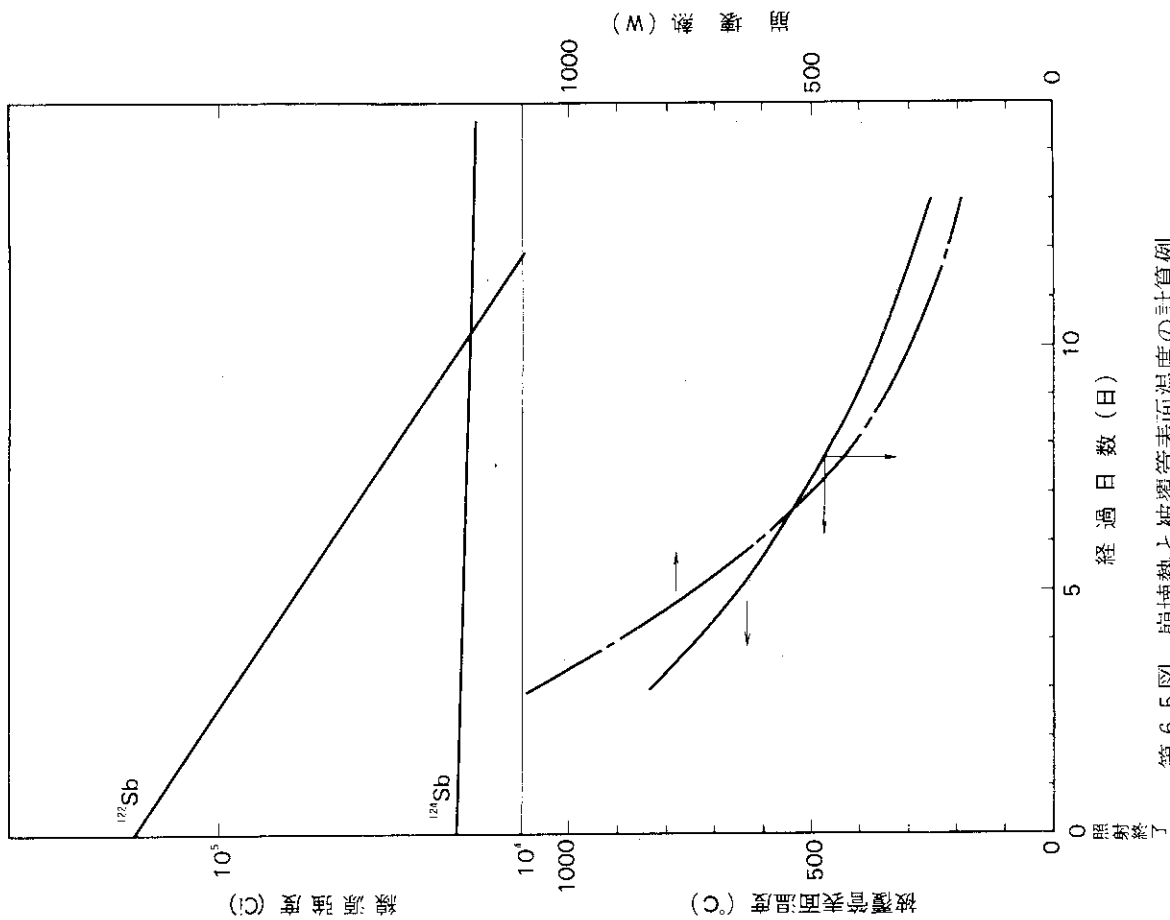
断面A-A 断面B-B



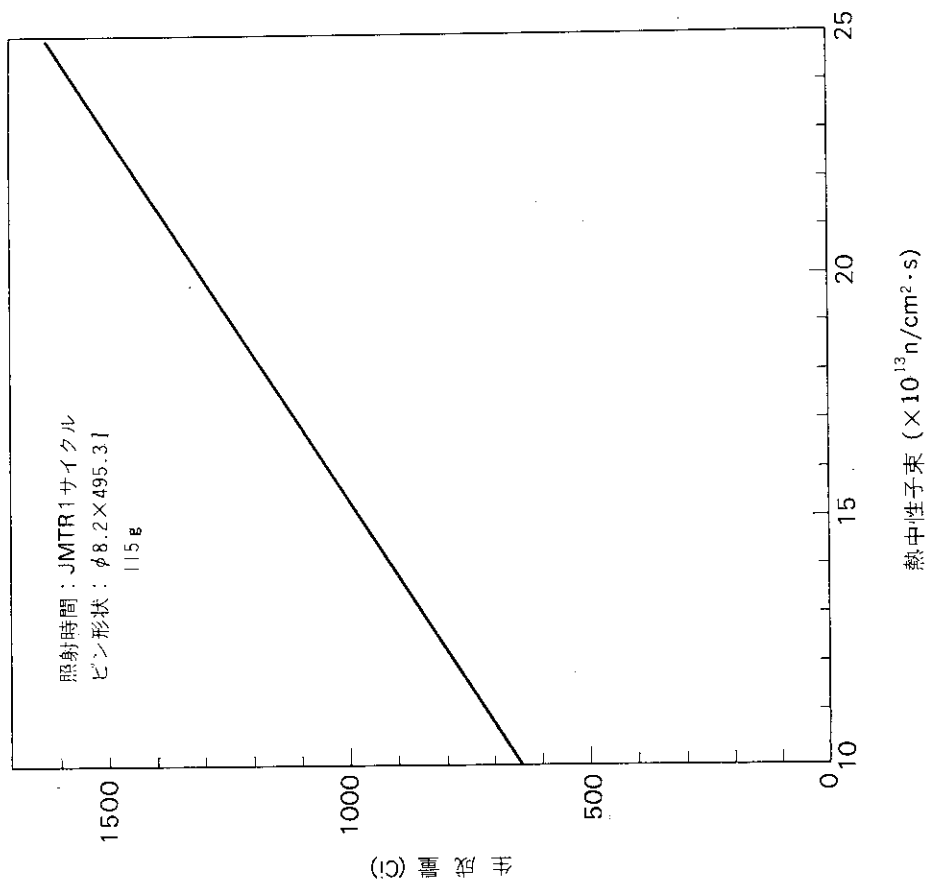
品番	名称	数量	材質
3	アンチモン材料	1	Sb
2	接ぎ管	1	SUS304
1	端栓	2	SUS304

アンチモンピン組立図

第 6.3 図 124 Sb 線源照射用キャプセル



第 6.5 図 崩壊熱と被覆管表面温度の計算例



第 6.4 図 熱中性子束と  $^{124}\text{Sb}$  の生成量

## 7. JMTR の運転および利用実績

### 目 次

7.1 JMTR の運転実績 .....	249
7.2 照射実験の状況 .....	249
7.3 照射後試験の状況 .....	

表 一 覧

第 7.1 表 JMTR の運転および照射実績 .....	251
第 7.2 表 照射設備別利用件数 .....	257

## 図 一 覧

第 7.1 図	JMTR の運転状況	254
第 7.2 図	積算出力と運転日数の変遷	255
第 7.3 図	運転サイクル別積算出力および積算出力の低減原因	256
第 7.4 図	利用者別利用件数	258
第 7.5 図	照射目的別利用件数	258
第 7.6 図	キャプセルの利用者別利用件数	259
第 7.7 図	キャプセルの照射目的別利用件数	259
第 7.8 図	キャプセル型式別利用件数	260
第 7.9 図	燃料キャプセルの試料の分類	260
第 7.10 図	水力ラビット 1 号機利用状況	261
第 7.11 図	“ 2 号機 ”	261
第 7.12 図	OWL-1 利用状況	262
第 7.13 図	OWL-2 “	262
第 7.14 図	OGL-1 “	263
第 7.15 図	ループ試料の照射目的別利用件数	263
第 7.16 図	JMTR ホットラボ年度別利用実績	264

## 7.1 JMTRの運転実績

原子炉が本格的な高出力運転を開始してから約13年経過した。この間極めて数多くの照射実験が行われ、成果をあげてきた。運転開始当初は30 MW・21日連続運転が標準の運転パターンであったが、現在は50 MWで前半サイクル約12日の運転、燃料交換のための2日の中間炉停止および後半約12日の運転を1サイクルとした運転パターンである。1サイクルの標準積算出力は、1,080 MWdである。

JMTRの運転は、年間5サイクルを予定しており、毎年7月～9月にかけて長期間、原子炉を停止し、原子炉本体施設、照射施設および照射後試験施設等のオーバーホールを行っている。

JMTRの運転サイクルは、昭和57年(1982年)7月上旬で第59サイクルの運転が終了した。しかしこの間、制御棒のトラブル等により中止されたサイクルがあるため、実質的には延55サイクルの運転が実施されたことになる。以下に主なトラブルと影響を受けたサイクルを示す。

48年度	第23サイクル中止	制御棒案内管の固定スプリング破損補修のため
49年度	第28, 29サイクル中止	制御棒駆動機構のボールネジのロック補修のため
52年度	第41サイクル中止	一次冷却系圧力サージ管補修のため
53年度	第43サイクル後半 サイクル中止	OWL-1漏水箇所の補修のため

JMTRの運転状況を第7.1図に、積算出力と運転日数の変遷を第7.2図に、運転サイクル別積算出力および積算出力の低減原因を第7.3図に示す。また、第1サイクルから第59サイクルまでのJMTRの運転および照射実績を第7.1表に示す。

## 7.2 照射実験の状況

JMTRは、昭和44年(1969年)12月に第1サイクルの運転が開始されて以来、昭和57年(1982年)7月までに延55サイクルの運転が行われ、数多くの照射実験が実施された。

これまでの利用状況の特徴的なことを例示すると、

- (1) 照射実験の種類が極めて広範囲にわたっている。
- (2) 照射試料の照射時間が比較的短いものが多い。
- (3) ループは、主として動燃事業団と原研で利用しており、FP放出実験、ATR特殊燃料、高温ガス炉用燃料、材料等の照射が行われている。
- (4) 水カラビット試料は、10時間程度の短時間照射が全体の50%位を占めている。

等である。

照射時間の単位は、運転中に試料の出し入れができる水カラビットを除いては、原則として1サイクルであるが、キャプセルは無計測タイプに限り、中間炉停止期間に取出すことも可能なので、半サイクル照射もできる。

以下に第58サイクルまでの利用状況を示す。

照射設備別利用件数を第7.2表に、利用者別利用件数および照射目的別利用件数をそれぞれ第7.4図、第7.5図に示す。また利用件数の約70%を占めるキャプセルの利用状況については、利用

者別利用件数を第 7.6 図に，照射目的別利用件数を第 7.7 図に，型式別利用件数を第 7.8 図に，燃料キャプセルの試料の分類を第 7.9 図に示す。

大学関係が圧倒的に多い水力ラビット 1 号機および 2 号機の利用状況を，それぞれ第 7.10 図，第 7.11 図に示す。

動力炉と同等の雰囲気での照射試験を実施できる OWL-1 の利用状況を第 7.12 図に，OWL-2 の利用状況を第 7.13 図に， OGL-1 の利用状況を第 7.14 図に示す。またプール試料の照射目的別利用件数については，第 7.15 図に示す。

第 7.1 表 JMTR の運転および照射実績

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 カ ラ ビ ッ ト 照 射 キ ャ プ セ ル		
								照 射 キ ャ プ セ 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	21	—	—	—	—	—	—	
		第 3 (45.9.4 ~ 45.9.25)	488.5	78	1,846.8	450 : 19	1,953 : 16	36	H 1 L 1	—	38	76	8	—	
運 用 期 間	45	第 4 (45.10.16 ~ 45.11.6)	479.4	76	2,326.2	484 : 49	2,438 : 05	37	H 1 L 1	39	76	8	—		
		第 5 (45.11.27 ~ 45.12.18)	559.0	89	2,885.2	465 : 08	2,901 : 13	43	H 1 L 1	45	90	13	—		
		第 6 (46.1.22 ~ 46.2.12)	636.1	100	3,521.3	513 : 37	3,414 : 50	47	H 1 L 1	49	98	16	—		
		第 7 (46.3.4 ~ 46.3.26)	567.2	90	4,088.5	490 : 42	3,905 : 32	42	H 1 L 1	44	88	13	—		
		第 8 (46.4.15 ~ 46.5.7)	524.7	83	4,613.2	440 : 03	4,345 : 35	43	H 1 L 1	45	90	15	—		
		第 9 (46.5.28 ~ 46.6.17)	603.05	96	5,216.25	499 : 48	4,845 : 23	47	H 1 L 1	49	98	10	—		
実 用 期 間	46	第 10 (46.7.9 ~ 46.7.30)	574.5	91	5,790.75	495 : 18	5,340 : 41	44	H 1 L 1	46	92	9	—		
		第 11 (46.8.13 ~ 46.9.3)	631.2	100	6,421.95	516 : 56	5,857 : 37	41	H 1 L 1	43	86	13	—		
		第 12 (46.10.28 ~ 46.11.30)	1,352.0	100	7,773.95	741 : 55	6,599 : 32	44	H 1 L 1	46	84	13	—		
		第 13 (47.1.13 ~ 47.2.10)	1,111.4	84	8,885.4	608 : 00	7,207 : 32	52	H 1 L 2	55	100	13	—		
		第 14 (47.3.10 ~ 47.4.6)	1,094.8	83	9,980.2	566 : 41	7,774 : 13	49	H 1 L 2	52	95	12	—		
		第 15 (47.5.5 ~ 47.6.1)	1,185.9	90	11,166.1	590 : 46	8,364 : 59	46	H 1 L 2	49	89	12	—		
		第 16 (47.6.25 ~ 47.7.22)	1,092.8	83	12,258.9	551 : 09	8,916 : 08	54	H 1 L 2	57	104	14	—		
		第 17 (47.10.7 ~ 47.11.2)	1,102.1	84	13,361.0	582 : 56	9,499 : 04	57	H 1 L 2	60	109	15 (並列運転)	—		
		第 18 (47.11.16 ~ 47.12.14)	1,233.6	94	14,594.6	605 : 51	10,104 : 55	57	H 1 L 2	60	109	14	—		
		第 19 (48.1.14 ~ 48.2.10)	1,093.0	83	15,687.6	528 : 54	10,632 : 49	57	H 2 L 2	61	111	10	5		
第 20 (48.3.2 ~ 48.3.31)	974.8	74	16,662.4	492 : 34	11,125 : 23	49	H 2 L 2	53	96	6	5				
第 21 (48.5.12 ~ 48.6.9)	1,062.9	81	17,725.3	542 : 05	11,667 : 28	48	H 2 L 1	51	93	5	6				
第 22 (48.7.2 ~ 48.7.14)	508.6	39	18,233.9	261 : 04	11,927 : 32	62	H 2 L 1	65	118	5	1	制御棒不調のため後半サイクルの運転中止			
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			
運 用 期 間	48	第 24 (48.11.19 ~ 48.12.15)	929.9	71	19,163.8	507 : 01	12,435 : 33	62	H 2 L 2	66	120	8	12		
		第 25 (49.1.24 ~ 49.2.18)	897.9	68	20,061.7	461 : 47	12,897 : 20	66	H 2	68	124	9	14		
		第 26 (49.3.11 ~ 49.3.18)	331.1	25	20,392.8	172 : 18	13,069 : 38	62	H 2 L 1	65	118	3	4	制御回路増巾器故障のため起動後 8 日で運転中止	



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 ラ ビ ッ ト 照 射 キ ャ プ セ ル		
								照 射 キ ャ プ セ ル	そ の 他	合 計		HR-1		HR-2
実 用	49	第 27 (49. 5. 13 ~ 49. 5. 26)	368.8	33	20,761.6	212:52	13,282:30	69	H2 L1	72	120	12	5	自動制御棒異常原因調査のため後半サイクルの運転中止
		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						
	50	第 30 (49. 12. 10 ~ 49. 12. 23)	485.7	43	21,247.3	276:23	13,558:53	66	H2 L1	69	115	8	6	
		第 31 (50. 1. 28 ~ 50. 2. 22)	1,084.8	97	22,332.1	549:36	14,108:29	70	H2 L1	73	122	15	18	
		第 32 (50. 3. 17 ~ 50. 4. 11)	1,084.1	97	23,416.2	546:45	14,655:14	55	H2 L2	59	98	12	21	
	51	第 33 (50. 5. 29 ~ 50. 6. 17)	601.2	54	24,017.4	320:48	14,976:02	43	H2 L2	47	78	30	12	
		第 34 (50. 12. 10 ~ 51. 1. 22)	1,085.1	97	25,102.5	546:20	15,522:22	49	H2 L2	53	88	43	26	
		第 35 (51. 2. 17 ~ 51. 3. 13)	1,102.7	99	26,205.2	551:28	16,073:50	51	H2 L2	55	92	13	15	
	52	第 36 (51. 4. 5 ~ 51. 4. 30)	938.3	84	27,143.5	483:22	16,557:13	47	H2 L1	50	83	11	13	
		第 37 (51. 5. 24 ~ 51. 6. 18)	1,096.3	98	28,239.8	526:13	17,083:26	45	H2 L2	49	82	19	14	
		第 38 (52. 1. 12 ~ 52. 2. 6)	1,084.3	97	29,324.1	520:28	17,603:54	42	H2 L2	46	77	13	9	
53	第 39 (52. 3. 8 ~ 52. 3. 29)	888.4	79	30,212.5	426:26	18,030:20	46	H2 L2	51	85	20	20		
	第 40 (52. 5. 13 ~ 52. 6. 7)	1,060.4	95	31,272.9	509:00	18,539:20	50	H2 L2	54	90	6	7		
	第 41	中					止					一次冷却系圧力サージ管の補修のため運転中止		
54	第 42 (52. 12. 13 ~ 53. 1. 26)	987.1	88	32,260.0	473:49	19,013:09	57	H2 L2	61	102	11	11		
	第 43 (53. 2. 25 ~ 53. 3. 13)	479.4	43	32,739.4	230:07	19,243:16	47	H2 L2	51	85	4	5	OWL-1 漏水管所の補修のため後半サイクル運転中止	
	第 44 (53. 6. 12 ~ 53. 7. 8)	1,061.2	95	33,800.6	509:22	19,752:38	44	H2 L1	47	78	12	13		
55	第 45 (54. 1. 13 ~ 54. 2. 16)	1,055	94	34,855.6	506:24	20,259:02	46	H2 L2	50	83	15	8		
	第 46 (54. 3. 29 ~ 54. 4. 24)	972.9	90	35,828.5	467:00	20,726:02	42	H2 L2	46	77	12	8		
	第 47 (54. 6. 18 ~ 54. 7. 13)	1,060.5	98	36,889	509:02	21,235:04	42	H2 L2	46	77	11	11		
56	第 48 (54. 11. 12 ~ 54. 12. 7)	1,067	99	37,956	512:09	21,747:13	50	H2 L3	55	92	9	10		
	第 49 (55. 1. 18 ~ 55. 2. 10)	963.2	89	38,919.2	462:20	22,209:33	47	H2 L3	52	87	10	9		
	第 50 (55. 3. 4 ~ 55. 3. 29)	1,036.3	96	39,955.5	497:25	22,706:58	44	H2 L2	48	80	8	8		
57	第 51 (55. 5. 16 ~ 55. 6. 7)	834.7	77	40,790.2	400:39	23,107:37	47	H2 L3	52	87	5	7		
	第 52 (55. 12. 15 ~ 56. 2. 1)	989.9	92	41,780.1	475:09	23,582:47	50	H2 L3 N1	56	93	7	9		
	第 53 (56. 2. 28 ~ 56. 3. 24)	937.7	87	42,717.8	450:06	24,032:53	46	H2 L3 N0	51	85	13	8		
58	第 54 (56. 5. 9 ~ 56. 6. 3)	1,084.8	100	43,802.2	520:42	24,553:35	40	H2 L3 N0	45	75	9	6		
	第 55 (56. 9. 24 ~ 56. 10. 19)	1,081.8	100	44,884.0	519:16	25,072:51	43	H2 L3 N1	49	82	9	9		
	第 56 (56. 11. 16 ~ 56. 12. 10)	954.0	88	45,838.0	457:55	25,530:46	42	H1 L3 N1	47	78	8	0		
59	第 57 (57. 1. 19 ~ 57. 2. 13)	974.2	90	46,812.2	467:37	25,998:23	36	H2 L3 N0	41	68	9	4		
	第 58 (57. 3. 13 ~ 57. 4. 7)	1,084.9	100	47,897.1	520:45	26,519:08	42	H2 L3 N0	47	78	12	6		
60	第 59 (57. 6. 12 ~ 57. 7. 7)	1,094.1	100	48,991.2	525:10	27,044:18	40	H2 L3 N0	45	75	8	11		

## 備考

- ① イ) 30 MW運転の場合の運転効率および利用率の算出は次のとおりである。

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

- ロ) 50 MW運転の場合の運転効率および利用率の算式は次のとおりである。

$$\text{(#12~)} \quad \text{運転効率} = \frac{\text{実績 MWd}}{\text{運転予定出力量 (1,318) MWd}}, \quad \text{利用率} = \frac{\text{利用孔数}}{\text{標準照射孔数 (55)}}$$

$$\text{(#27~)} \quad \text{運転効率} = \frac{\text{実績 MWd}}{\text{運転予定出力量 (1,118) MWd}}, \quad \text{利用率} = \frac{\text{利用孔数}}{\text{標準照射孔数 (60)}}$$

$$\text{(#46~)} \quad \text{運転効率} = \frac{\text{実績 MWd}}{\text{運転予定出力量 (1,080) MWd}}, \quad \text{利用率} = \frac{\text{利用孔数}}{\text{標準照射孔数 (60)}}$$

- ハ) 原子炉の出力

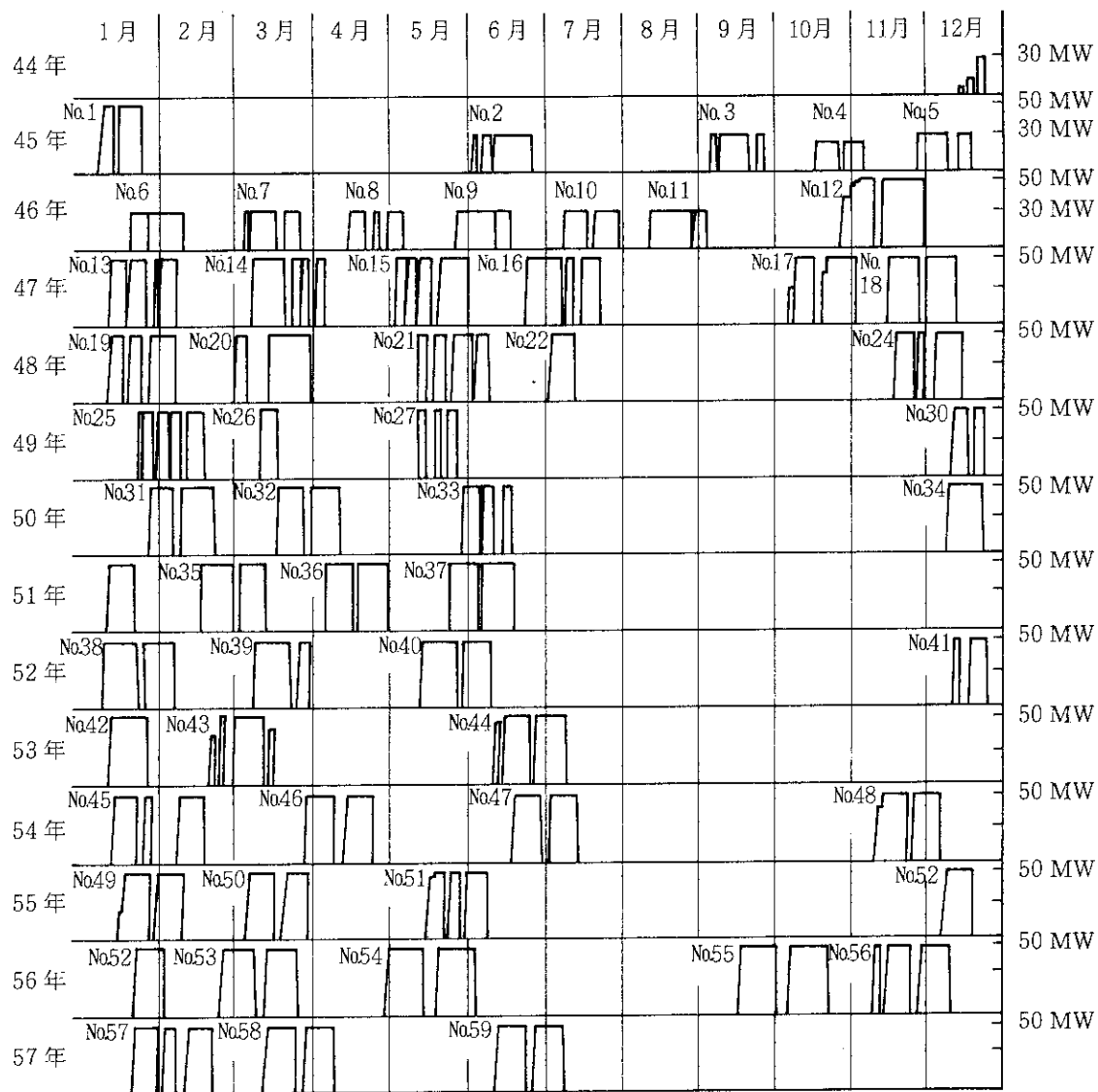
第1サイクル	50 MW
第2サイクル～第11サイクル	30 MW
第12サイクル以降	50 MW

- ② 利用関係, その他の欄のHは水力ラビット照射設備, Lはループ照射設備を示す。

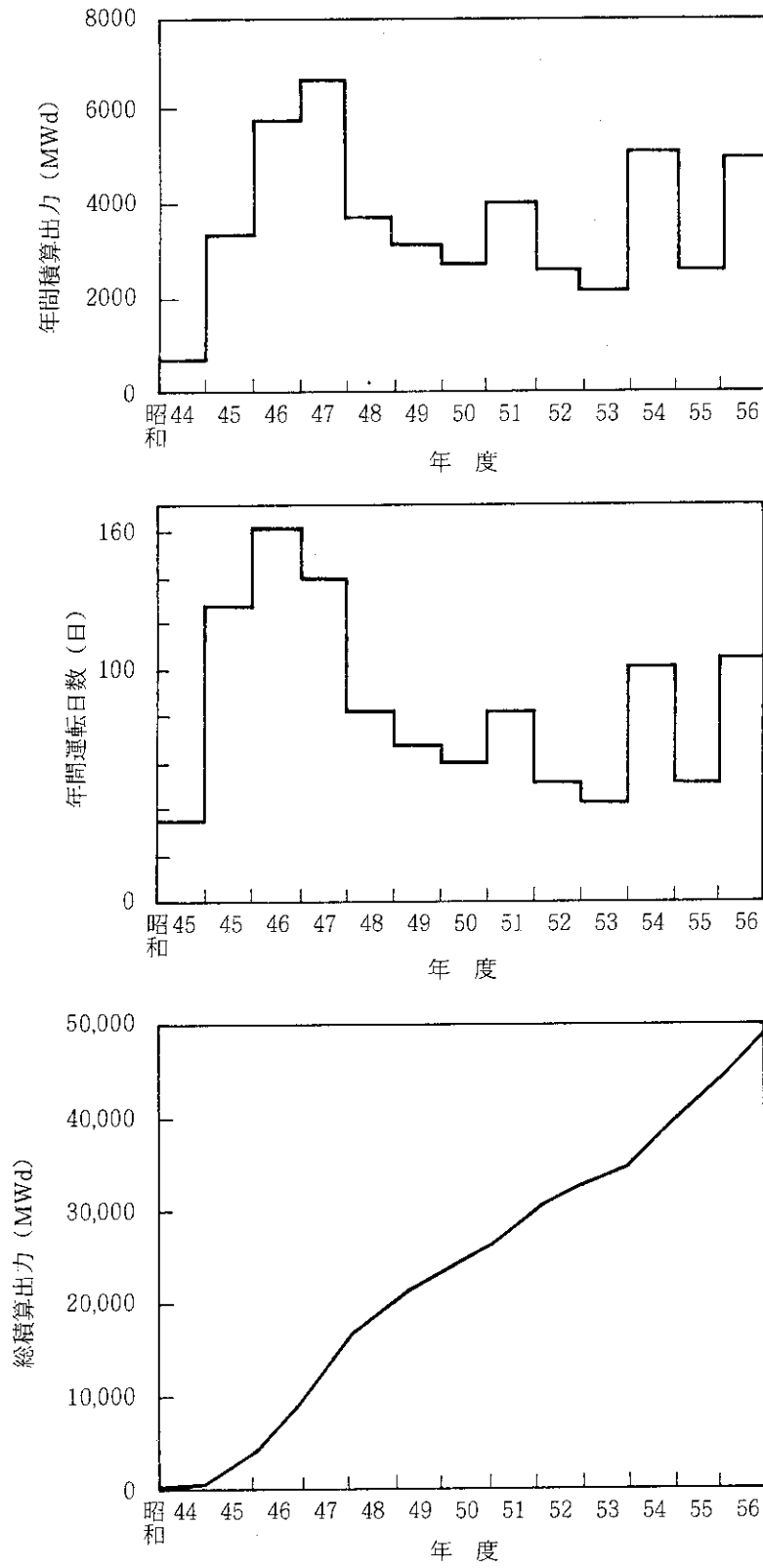
- ③ 第1および第2サイクルは特性試験のため利用計数の計上はない。

- ④ 原子炉積算出力量

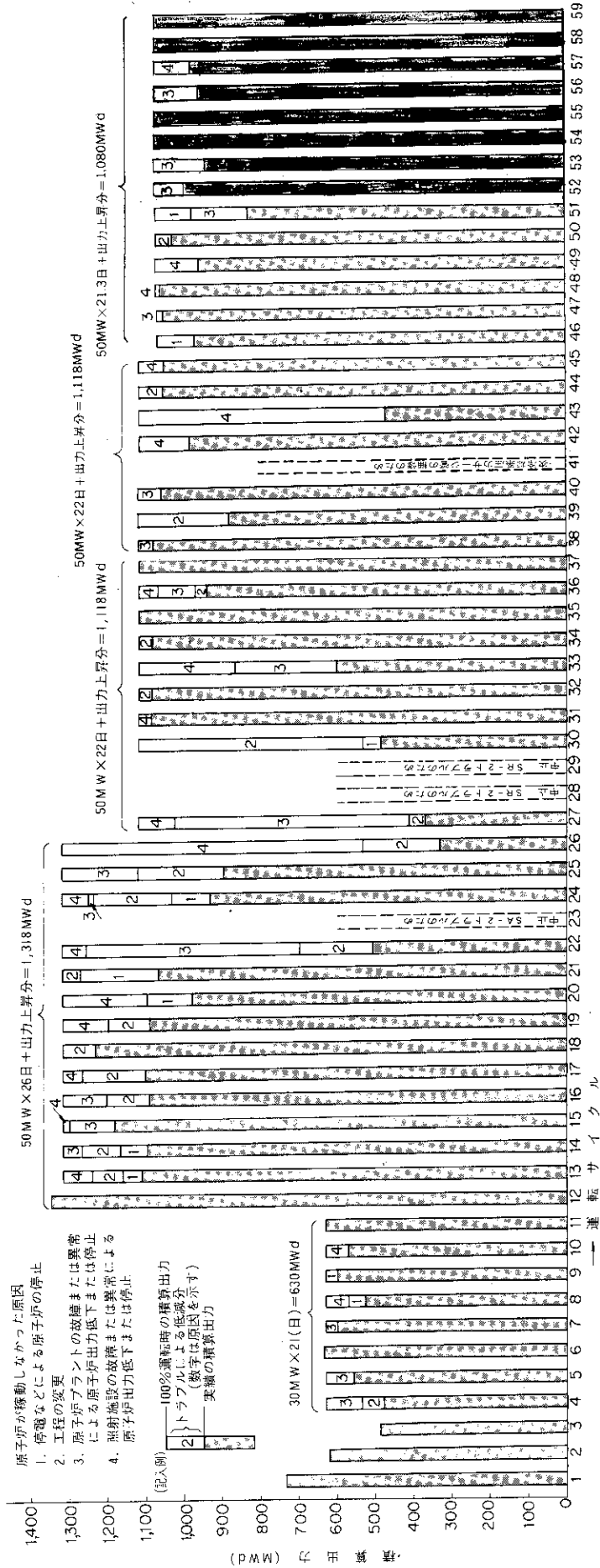
5,000MWd 達成	46. 6. 8	10,000MWd 達成	47. 5. 6
15,000MWd 達成	48. 1. 25	20,000MWd 達成	49. 2. 17
25,000MWd 達成	51. 1. 20	30,000MWd 達成	52. 3. 25
35,000MWd 達成	54. 4. 1	40,000MWd 達成	55. 5. 17
45,000MWd 達成	56. 11. 20		



第 7.1 図 JMTR の運転状況



第 7.2 図 積算出力と運転日数の変遷



第 7.3 図 運転サイクル別積算出力および積算出力の低減原因

第 7.2 表 照射設備別利用件数

(57年4月7日現在)

照射設備 利用者		キャプセル	水力ラビット	ループ	計
		原研外	287	699	—
大学連合	246	28	32	306	
P N C	131	39	—	170	
一般	1,093	107	59	1,259	
原研内	602	97	—	699	
RI 製造部	2,359 (69.0)	970 (28.4)	91 (2.6)	3,420	
計					

( )内は%を示す。 単位：サイクル・本<sup>(注)</sup>

(注)サイクル・本：1本のキャプセルを1サイクル照射した場合の単位であり、2サイクル照射した場合は2サイクル・本となる。

### 7.3 照射後試験の状況

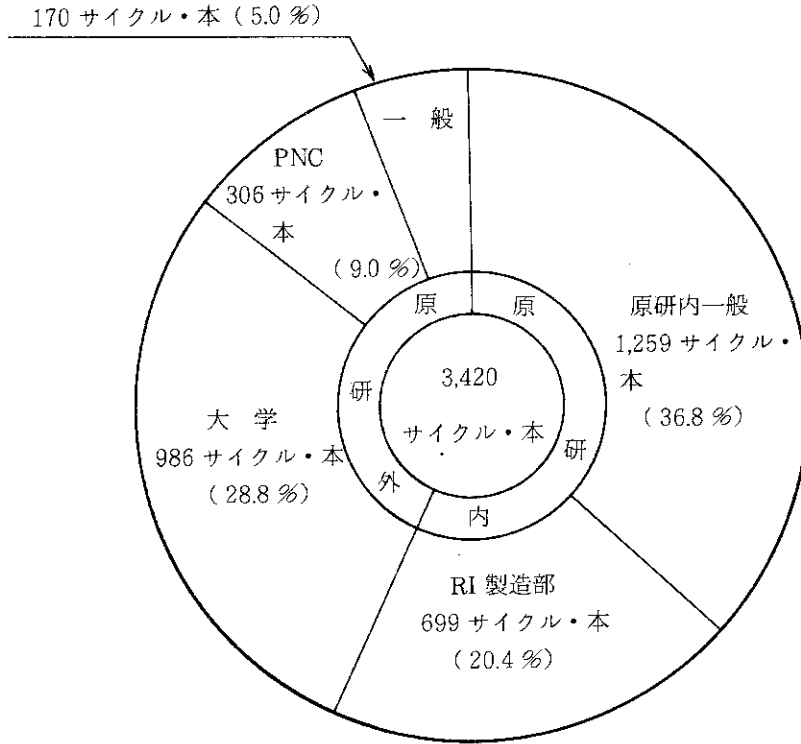
原子炉で照射した試料は、原則として水中で1～3ヶ月冷却したのち、カナルを通して直接ホットラボに移送され、利用者の希望する照射後試験が行われる。

キャプセル試料のうち、RI製造部および大学の試料は、解体のみで照射後試験は実施されないで搬出される。

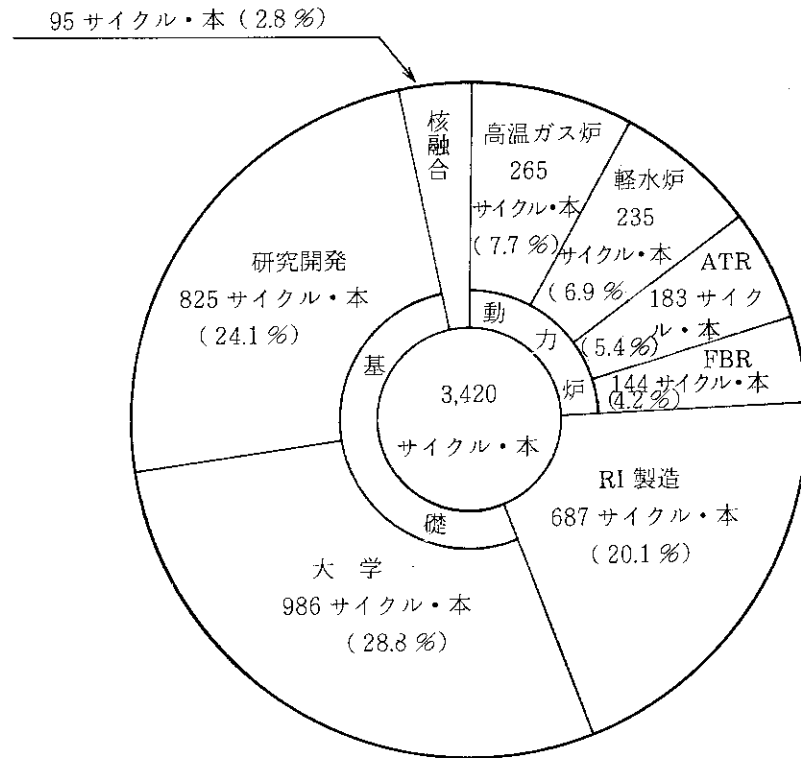
水力ラビット試料については、照射後試験はほとんど利用者が行うため、ホットラボを経由せずに水力ラビット照射設備に付属したキャスク設備を使用して輸送容器に収納し搬出される。

ループ試料については、照射後試験を行うものと、解体後搬出するものに分けられるが、OGL-1で照射された試料はすべて東海研ホットラボへ搬出されて照射後試験が行われる。

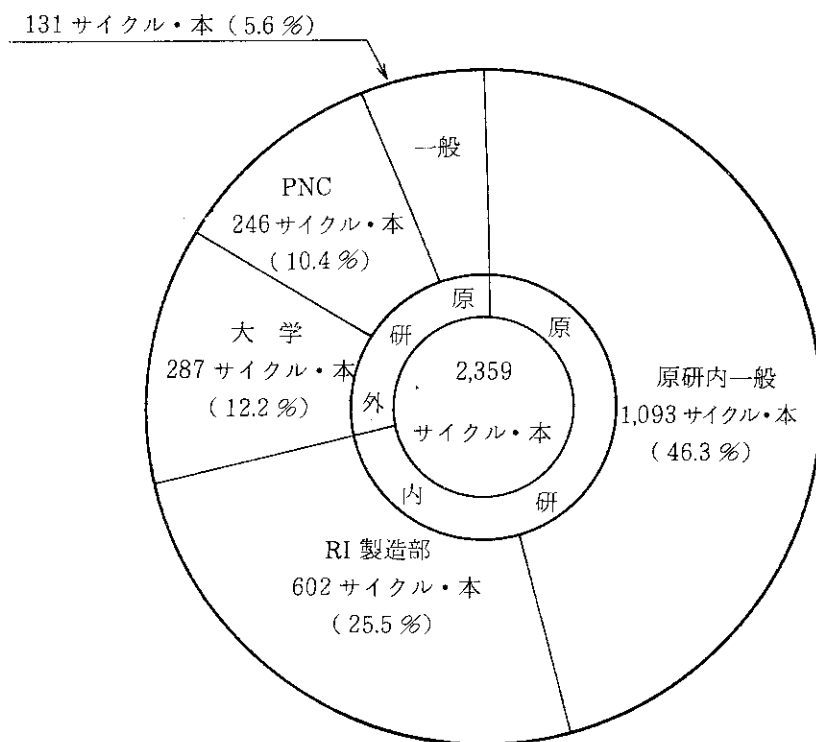
第 7.16 図に、照射後試験の実施状況を示す。



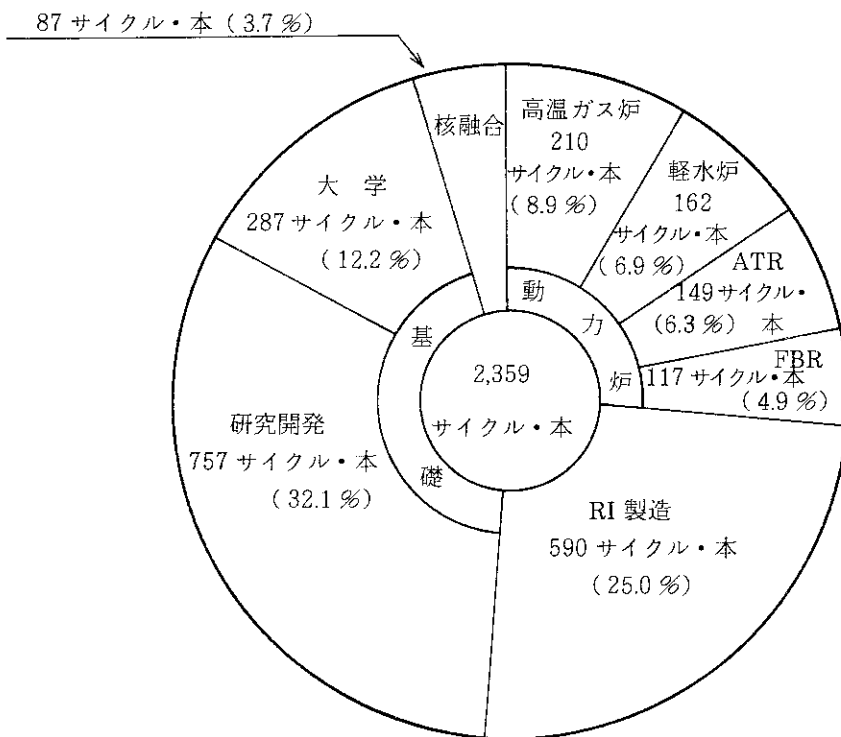
第 7.4 図 利用者別利用件数



第 7.5 図 照射目的別利用件数

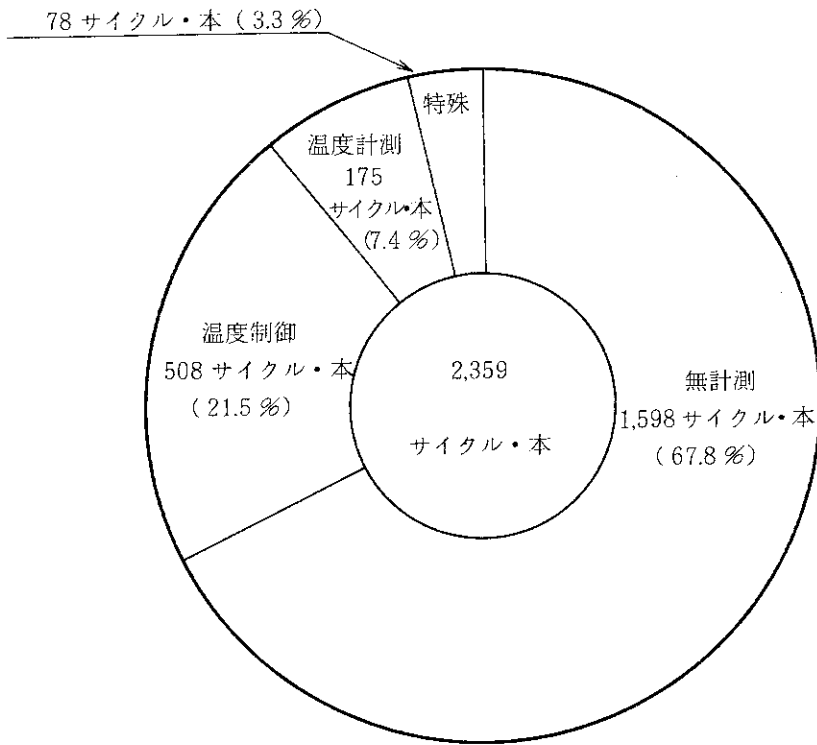


第 7.6 図 キャプセルの利用者別利用件数

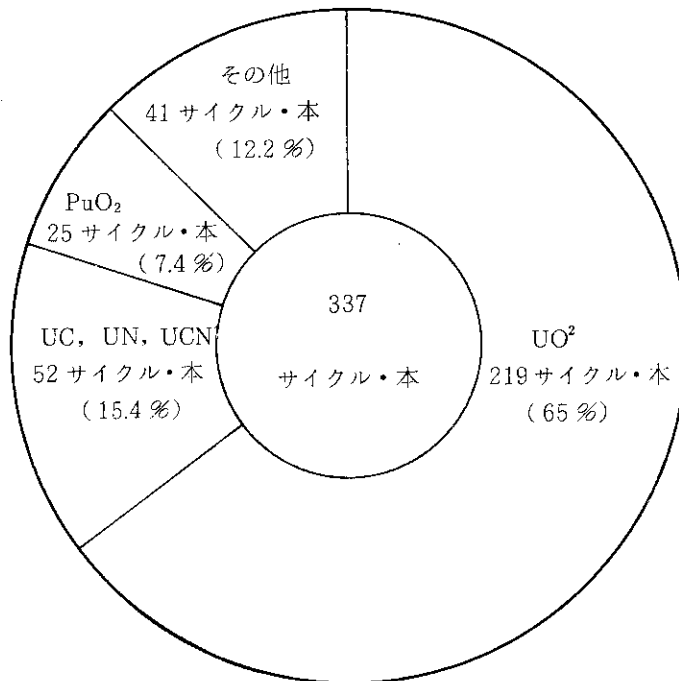


第 7.7 図 キャプセルの照射目的別利用件数

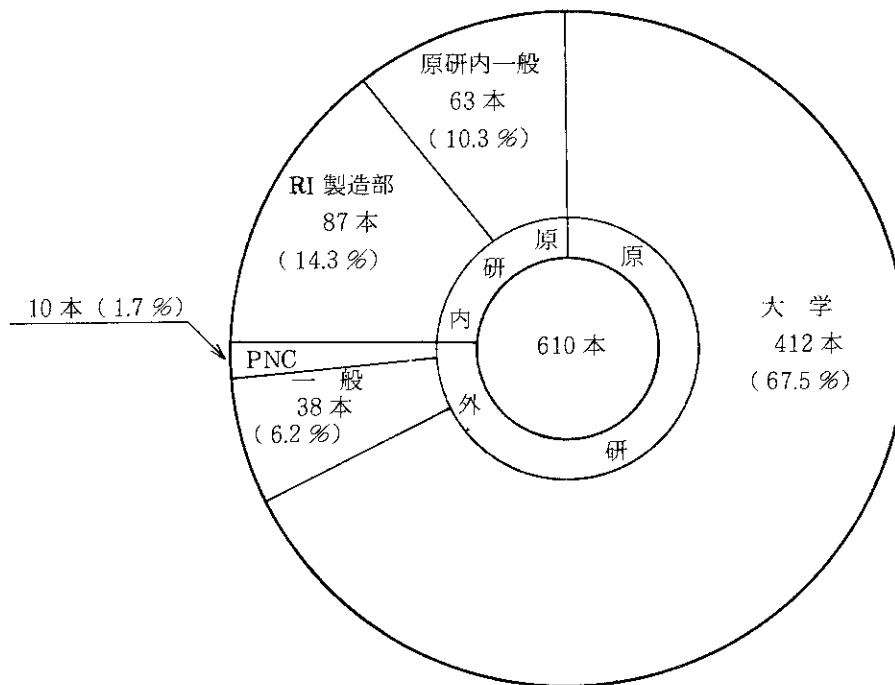




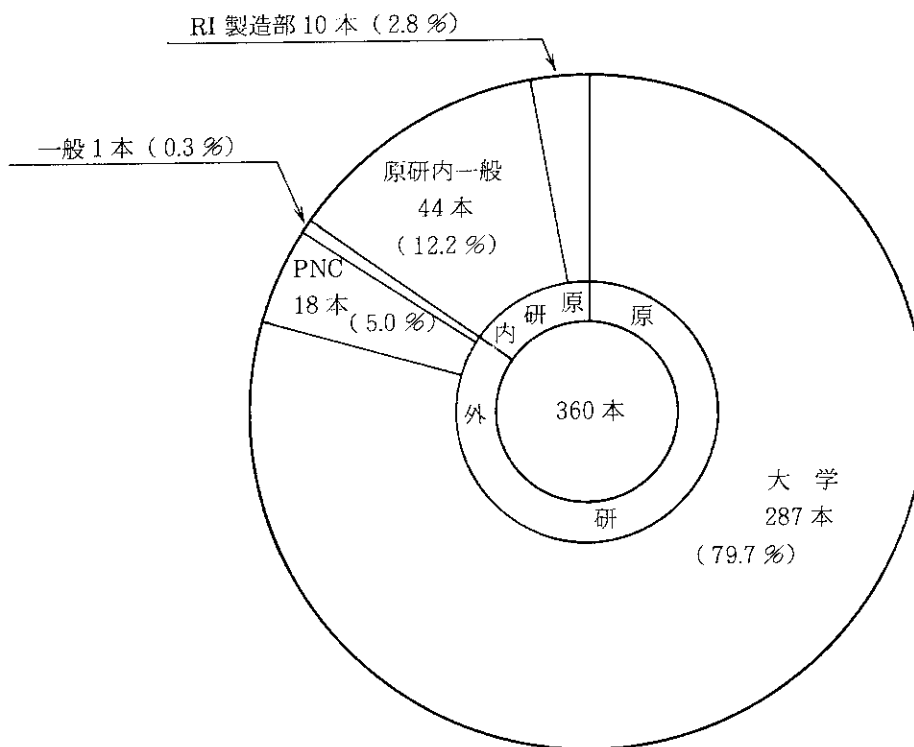
第 7.8 図 キャプセル型式別利用件数



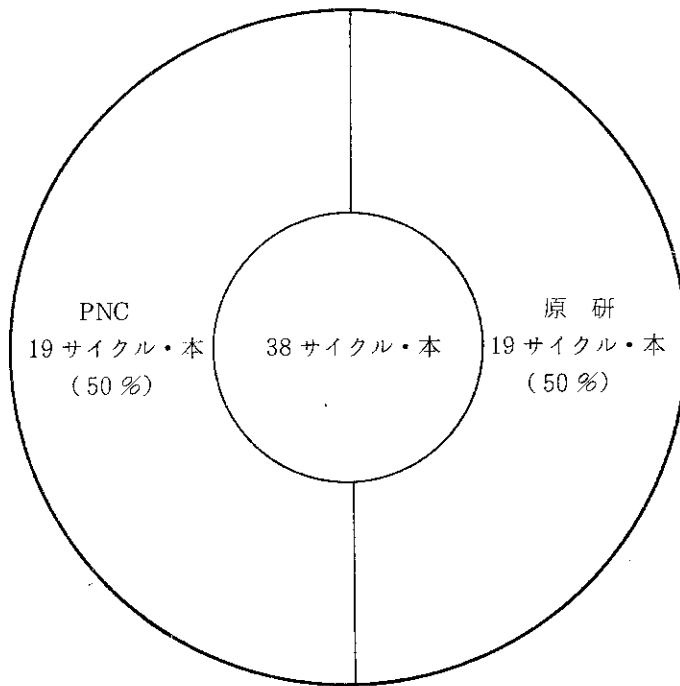
第 7.9 図 燃料キャプセルの試料の分類



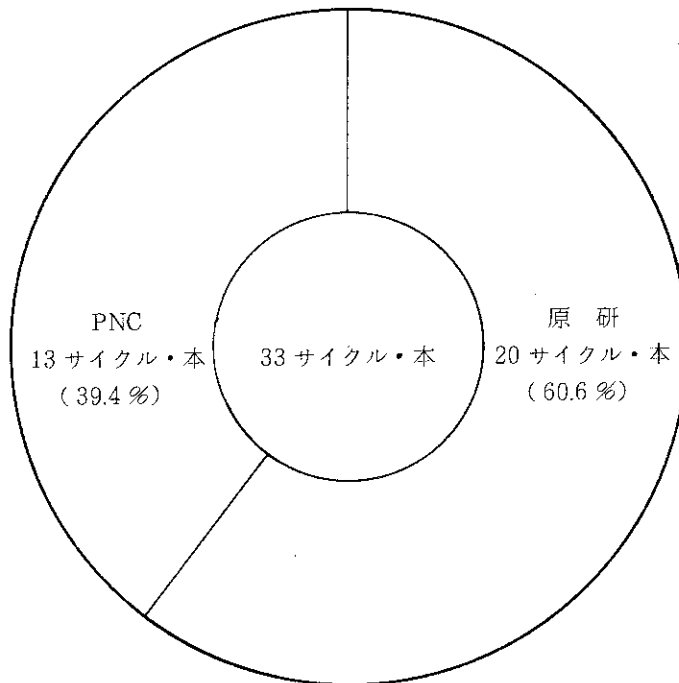
第 7.10 図 水カラビット 1 号機利用状況



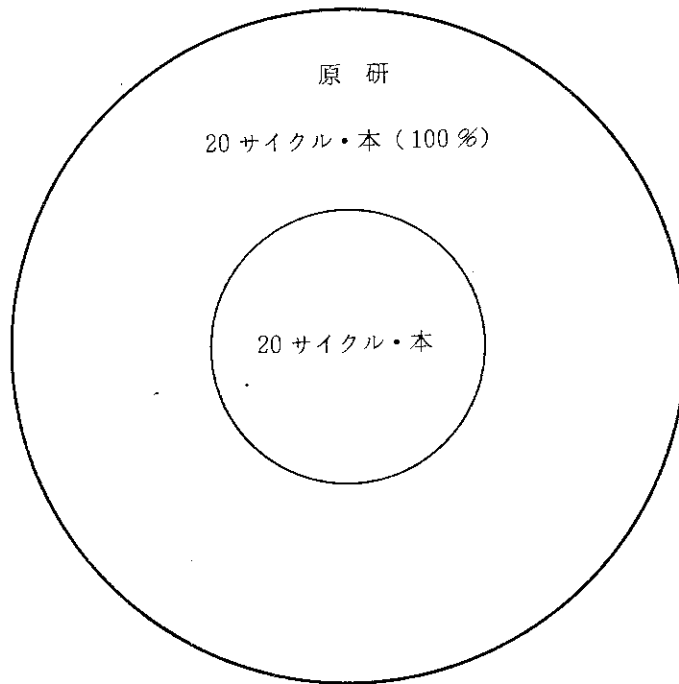
第 7.11 図 水カラビット 2 号機利用状況



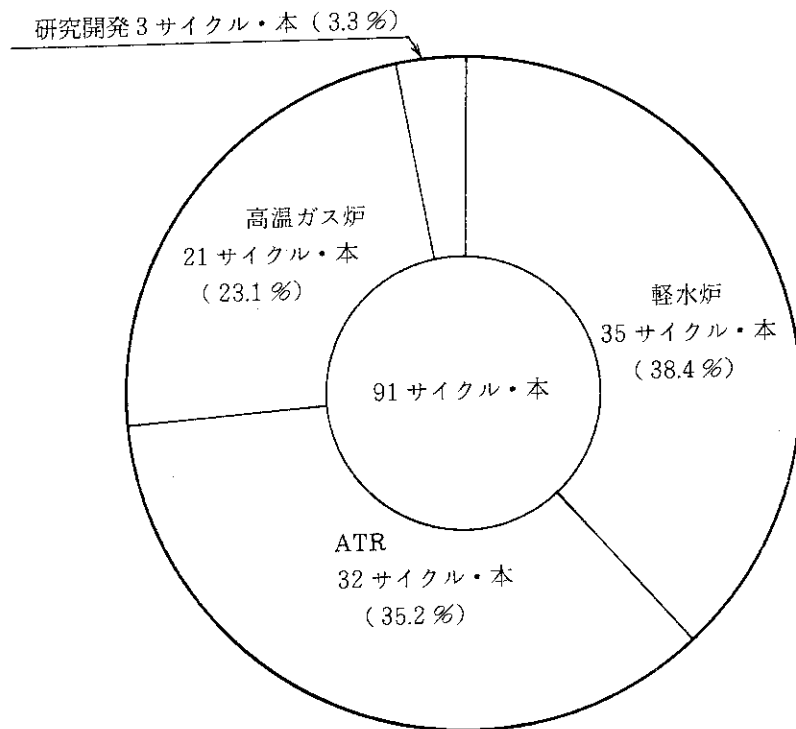
第 7.12 図 OWL-1 利用状況



第 7.13 図 OWL-2 利用状況

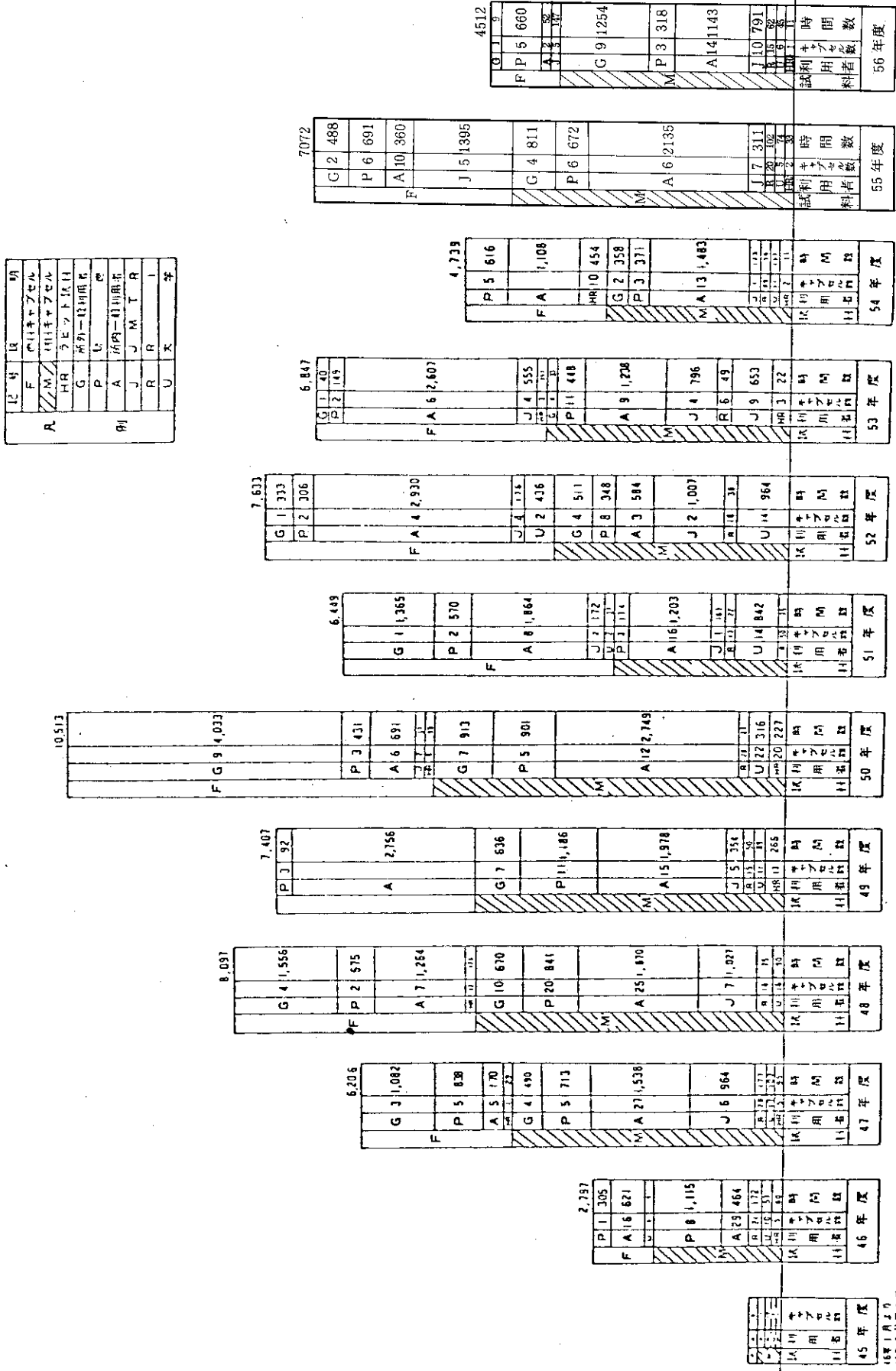


第7.14図 OGL-1利用状況



第7.15図 ループ試料の照射目的別利用件数

記号	説明
F	内口キヤプセル
M	内口キヤプセル
HR	ラレット状口
G	所外一組用器具
P	U
A	所内一組用器具
J	J M T R
R	R
U	U



第7.16図 JMTR ホットプレート年度別利用実績

## 8. 整備計画

### 目次

8.1 概要.....	269
8.2 シュラウド照射装置.....	269
8.3 濃縮度低減化燃料の開発.....	271

## 表 一 覧

第 8.1 表	シュラウド照射装置の仕様	269
第 8.2 表	JMTR 燃料の仕様	272
第 8.3 表	現行炉心と新炉心の核特性比較	272

図 一 覧

第 8.1 図 シュラウド照射装置 (OSF-1) の概要図..... 270



## 8.1 概要

JMTRには、各種の目的に応じて照射試験ができるように多種多様の照射設備が用意されており、原研内外から広く利用されている。しかし高度化する照射要望に答えるために、測温技術、制御技術の開発に努めるとともに、新しい研究開発の動向に沿うために、照射設備の整備に努めている。

## 8.2 シュラウド照射装置 (OSF-1, Oarai Shroud Facility No.1)

本装置は $^3\text{He}$ 出力可変装置を発展させて、JMTR運転中に照射中のキャプセルを交換できるようにするものである。したがって本装置は $^3\text{He}$ 出力可変装置と、JMTRから独立した冷却系からなっている。冷却系は第8.1図に示すように、シュラウド炉内部と炉外冷却系から構成されており、JMTR運転中においても、シュラウド炉内部上部よりキャプセルの交換が可能である。 $^3\text{He}$ 出力可変装置の $^3\text{He}$ スクリーンはシュラウド炉内部の中に設けられており、炉外部の制御装置およびガスの純化装置は前項で述べた $^3\text{He}$ 出力可変装置と同一である。

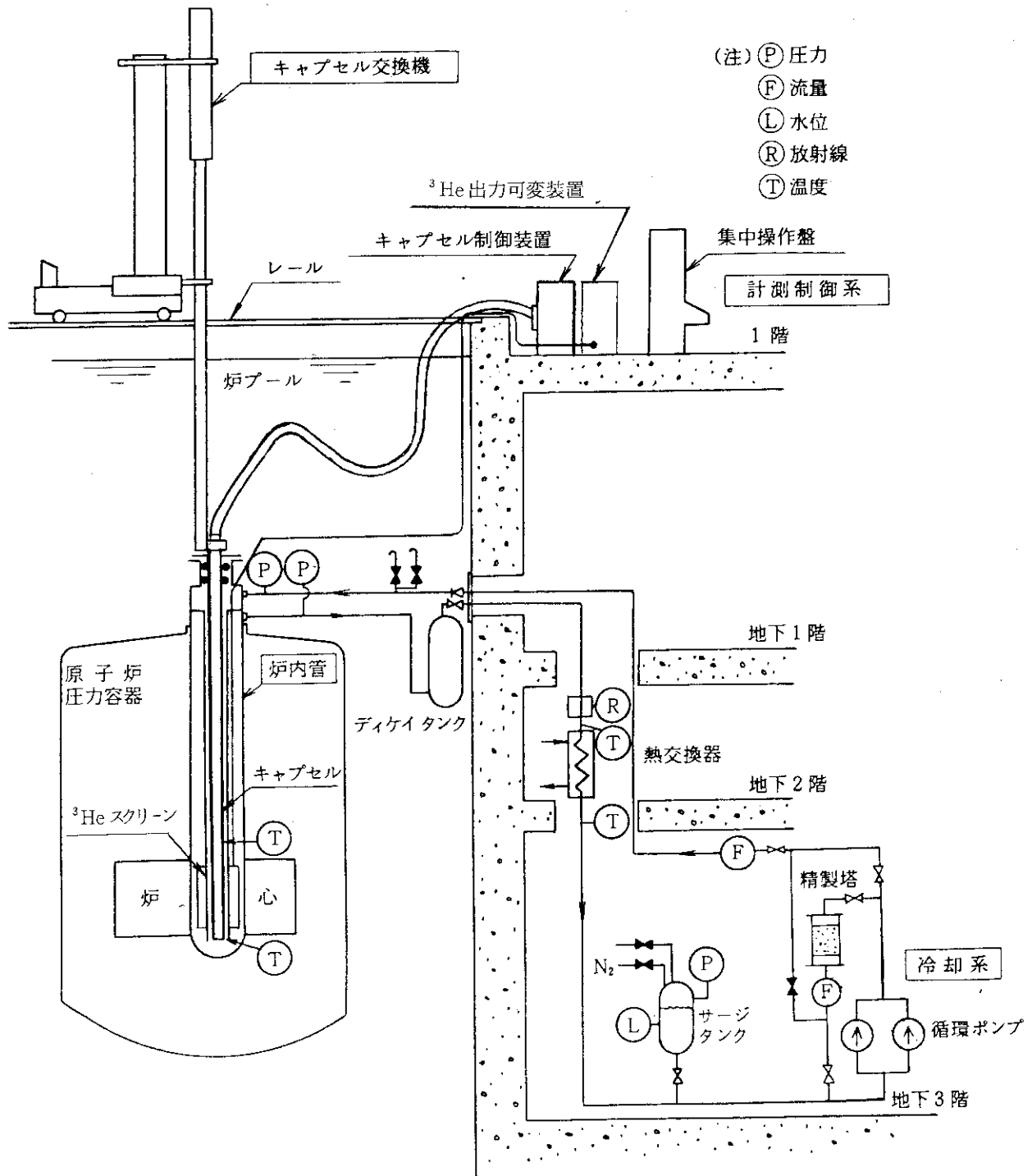
なお、本装置の炉内管は、軽水型動力炉用高性能燃料の確性試験を実施するため将来ジルコニウム合金製のものに変更する予定である。すなわち、動力炉で高燃焼度まで燃焼した燃料は実効濃縮度が低下しているため、出力急昇試験時に目標とする高い線出力が得られない。このため炉内管の材質をステンレス鋼から、より中性子吸収断面積の小さいジルコニウム合金製のものに変更し、高い線出力が得られるようにするものである。

第8.1表に主な仕様を示す。

第8.1表 シュラウド照射装置の仕様

項 目	仕 様	
炉 心 位 置	D-9	
熱中性子束(注1)	$3 \sim 8 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ (可変)	
高速中性子束	$2.2 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$	
$\gamma$ 加熱率	2.2 W/g	
試料最大発熱量	30 kW	
冷 却 系	冷 却 材	純 水
	最 高 使 用 圧 力	18 kg/cm <sup>2</sup> G
	最 大 流 量	5 m <sup>3</sup> /h
	最 高 使 用 温 度	90 °C
	炉心部冷却水差圧	3.2 kg/cm <sup>2</sup>
キャプセル寸法	$\phi 32 \times 400 \text{ l}$	

(注1) 炉内管材質をステンレス鋼からジルコニウム合金に変更した場合、熱中性子束は約40%増加し $4 \sim 11 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  (可変)となる。



第 8.1 図 シュラウド照射装置 (OSF-1) の概要図

### 8.3 濃縮度低減化燃料の開発

#### (1) 概要

現在、JMTR および東海研の研究炉の燃料は、アメリカから入手した濃縮度 93 % の高濃縮ウランを使用しているが、アメリカの核拡散防止政策により、高濃縮ウランの入手は以前ほど円滑には行かなくなってきた。その対策のため高濃縮ウラン燃料から濃縮度低減化燃料に切換えるための計画が進められており、JMTR、JMTRC および研究炉でも近い将来濃縮度低減化燃料が実用化されようとしている。切換えにさいしての基準は、安全余裕および燃料の健全性が現行の高濃縮ウラン燃料より低下しないこと、ならびに炉性能が低下しないことなどである。

以下に濃縮度低減化の問題点および開発計画について説明する。

#### (2) 濃縮度低減化に関する問題点

濃縮度低減化燃料使用に伴う過剰反応度低下を補償するために、燃料要素中のウラン含有量を増加しなければならない。このため燃料芯材の製作を現在の溶解法から粉末冶金法に変更するなどの対策が必要である。

#### (3) 計画概要

JMTR の場合濃縮度低減化燃料の使用はまず 45 % EU を予定し、20 % EU はその次の段階で予定する。

45 % EU の場合、芯材中のウラン含有率は 42 w/o とし、寸法は一切変えない燃料を使用する計画である。

新燃料の仕様を現行燃料と対比させて第 8.2 表に示す。また新燃料を装荷した炉心の核特性を現炉心と比較して第 8.3 表に示す。

42 w/o の燃料はすでに実用化されているとはいえ、そのレベルまで到達するには燃料メーカーとしてはかなりの製造技術開発を必要とする。そのため当分の間燃料を海外から輸入することとし、JMTR 用を西独の NUKEM 社へ発注する予定で計画を進めている。

開発試験項目としては、次のものを計画しており、そのうち①はすでに終了した。

- ① 流動試験
- ② JMTRC による臨界試験
- ③ 試作燃料要素の照射試験および照射後試験

フルコアによる実証試験は昭和 60 年度に実施する予定である。実証炉心で行う試験内容についての、詳細は現在確定してないが、燃料追加法による過剰反応度の測定、温度係数の測定および制御棒較正などを計画している。そのため照射利用に多少の影響はでるが、大幅な制限が加わることはないと思われる。

第8.2表 JMTR燃料の仕様

	現 行 燃 料		新 燃 料	
	燃料要素	燃料フォロア	燃料要素	燃料フォロア
濃 縮 度	93	93	45	45
<sup>235</sup> U量 / 要素 (g)	279	195	310	205
燃料板枚数/要素	19	16	19	16
芯 材 形 状 (mm)	0.50×59.5 ×752.5	0.50×47.6 ×743.5	0.50×59.5 ×752.5	0.50×47.6 ×743.5
被 覆 厚 さ (mm)	0.385	0.385	0.385	0.385
燃 料 板 厚 さ (mm)	1.27	1.27	1.27	1.27
燃 料 板 間 隔 (mm)	12×2.67 2×2.92 4×3.02	2.59	12×2.67 2×2.92 4×3.02	2.59
芯材中のウラン含有率 (w/o) (gU/cm <sup>3</sup> )	22 0.68	22 0.70	42 1.6	42 1.6
燃 料 要 素 形 状 (mm)	76.2×76.2 ×1200	63.6×63.6 ×890	76.2×76.2 ×1200	63.6×63.6 ×890
燃 焼 限 界 (%)	40	40	40	40
最 大 平 均	22	22	22	22

第8.3表 現行炉心と新炉心の核特性比較

項 目	炉 心	
	現行炉心	新 炉 心
U 装 荷 量 (kg)	6.5	7.6
標 準 燃 料 要 素		
本 数	22	22
<sup>235</sup> U量/要素 (g)	279	310
フ ォ ロ ワ		
本 数	5	5
<sup>235</sup> U量/要素 (g)	195	205
過 剩 反 応 度 (%Δk/k)	11.5	11.7
熱中性子束 (< 0.6826 eV) * (× 10 <sup>13</sup> n/cm <sup>2</sup> · s)		
燃料領域照射孔	27.1	24.3
Be 反射体1層	24.6	22.8
Be 反射体2層	11.5	11.2
速中性子束 (> 1.0 MeV) * (× 10 <sup>13</sup> n/cm <sup>2</sup> · s)		
燃料領域照射孔	15.1	15.2
Be 反射体1層	5.26	5.28
Be 反射体2層	1.10	1.11

\* 各照射孔の平均値。

## 9. JMTR の利用の手引き

### 目 次

9.1	利用業務の概要	277
9.2	利用の手順	279
9.3	利用申込の方法	283
9.4	利用料金	286
9.5	報告書	290

## 表 一 覧

第 9.1 表	業務と料金表	278
第 9.2 表	適用料金表	286
第 9.3 表	照射孔別照射費 (中性子料金)	287
第 9.4 表	水カラビットの照射費例 (中性子料金)	287

図 一 覧

第 9.1 図 燃料キャプセルの標準的工程例..... 281

## 資 料 一 覧

資料 9.1	利用申込書（記入例） .....	285
資料 9.2	利用計画書 .....	291
資料 9.3	照射条件に関する技術情報 .....	292
資料 9.4 - 1	照射試験実績記録（燃料照射の場合） .....	293
資料 9.4 - 2	照射試験実績記録（材料照射の場合） .....	294



## 9.1 利用業務の概要

材料試験炉部が利用者のため行う主な業務は大別すると次のとおりである。

### (1) 準備業務

利用者からの問合せに答え、JMTR 利用申込を受けて、その内容を検討し、試験の基礎となる「JMTR 利用計画書」をとりまとめ、受入れを決定する。

### (2) 照射前業務

(イ) 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

(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援助（キャプセルメーカーとの技術打合せ・承認図の検討等）

(ニ) キャプセル等の検査

(ホ) JMTRC による確認試験（必要に応じて）

### (3) 照射業務

キャプセル等を炉心に装荷し、所定の期間の照射を行い、必要な場合は照射中に温度等の測定や制御を行う。

### (4) 照射後試験業務

(イ) ホットラボで行う照射後試験

(ロ) 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

(ハ) これらに伴う放射性廃棄物の処理

### (5) 付帯業務

JMTR の利用に付帯して生ずる業務で、安全審査・官庁手続等がある。

材料試験炉部では照射試験等を、安全に精度よく実施するために、上記業務を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を原則としている。また、試料を搬出する場合、輸送基準に適合したキャスクを利用者が準備するのを原則としている。

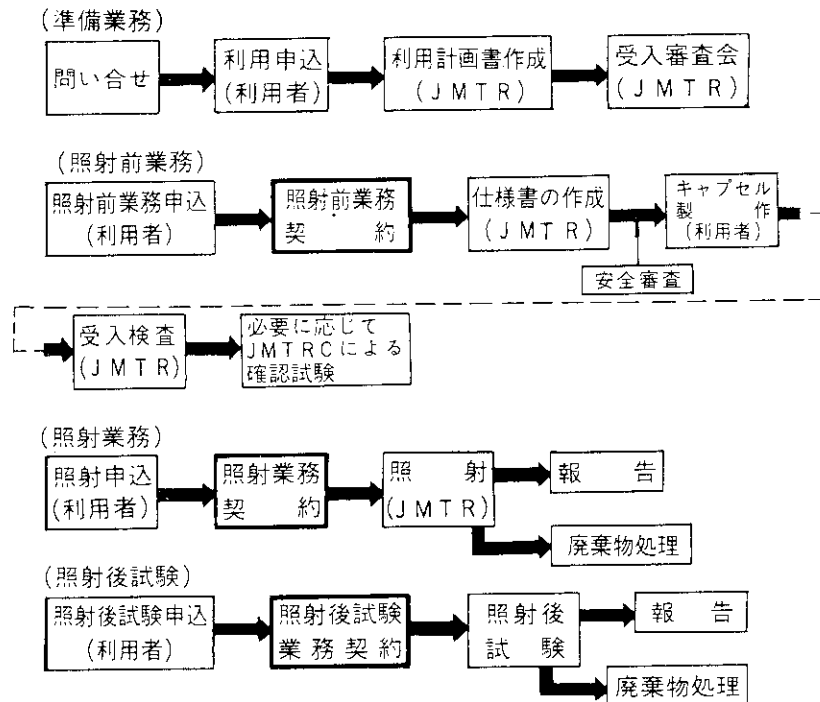
第 9.1 表に材料試験炉部の業務と料金（原研以外の利用者について適用）の関係を示すが、(1) から(5)まで、どの部分の業務をどれだけ材料試験炉部に依頼するかにより、料金も異なってくる。詳細は 9.4 利用料金の項で説明する。

第 9.1 表 業務と料金表

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援助			
		(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		料 金 表		
(4)	照 射 後 試 験 業 務	(イ) 照射後試験業務			
		(ロ) 放射性廃棄物処理業務			
(5)	付 帯 業 務		実 費	前項に包含されない業務	

## 9.2 利用の手順

利用者が照射の希望をもって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ブロックダイアグラムで示す。



上記各ブロックの業務内容を次に説明する。

### (1) 利用申込書

利用者が、資料 9.1 の「JMTR 利用申込書」に必要事項を記入して提出する。

### (2) 利用計画書

利用申込を受けて、照射試料の寸法、数量、照射方法、照射時期等の照射条件、照射後試験および報告等について利用者と協議し、それを基に資料 9.2 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、これを JMTR で照射することの可否について、技術的、法規的な検討を行う。

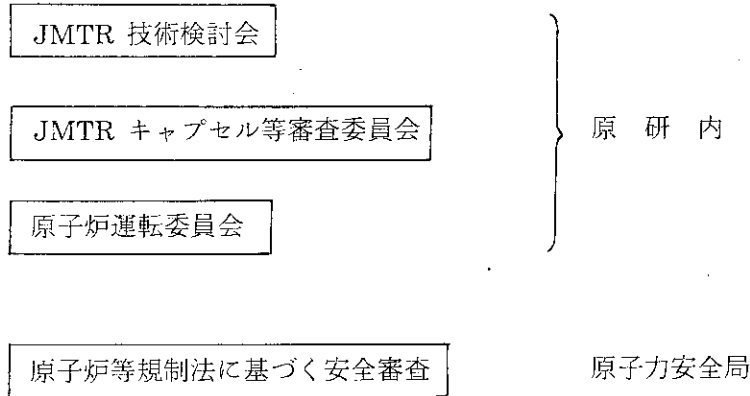
照射の安全性については、材料試験炉部が責任を負うので、このために必要な資料等の提出を求めることがある。

### (4) 契約

利用計画書およ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（含廃棄物処理）」および「照射後試験業務契約（含廃棄物処理）」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、それぞれの業務ごとに契約する分割方式か、一括契約方式のいずれでもよい。

(5) 安全審査

どのような照射でも、何らかの形の安全審査を受けることになる。審査機関には、下図に示すようなものがある。



(イ) 試料、キャプセル等の設計

試料およびキャプセル等の設計は、大洗研究所長の定める設計基準によらなければならない。設計終了後、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行う。さらに、安全性の程度によっては、原子炉運転委員会にかけられることもある。

材料試験炉部以外で設計する場合も、この基準によらなければならない。これに準拠できない特殊なものは、原子力安全局に設計工事認可申請を行い認可を得る必要がある。

(ロ) 試料、キャプセル等の検査

製作された試料、キャプセル等は、大洗研究所長の定めるキャプセル等検査基準により、検査を行う。

(6) 試料、キャプセル等の設計、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および検査についての仕様書を提出する。

製作発注は、この仕様書に基づき利用者が行うが、製作メーカーとの技術的打合せ等については材料試験炉部で援助する。

通常、照射キャプセルは照射開始予定日の2ヶ月前に納入するのを原則とする。

(7) 照 射

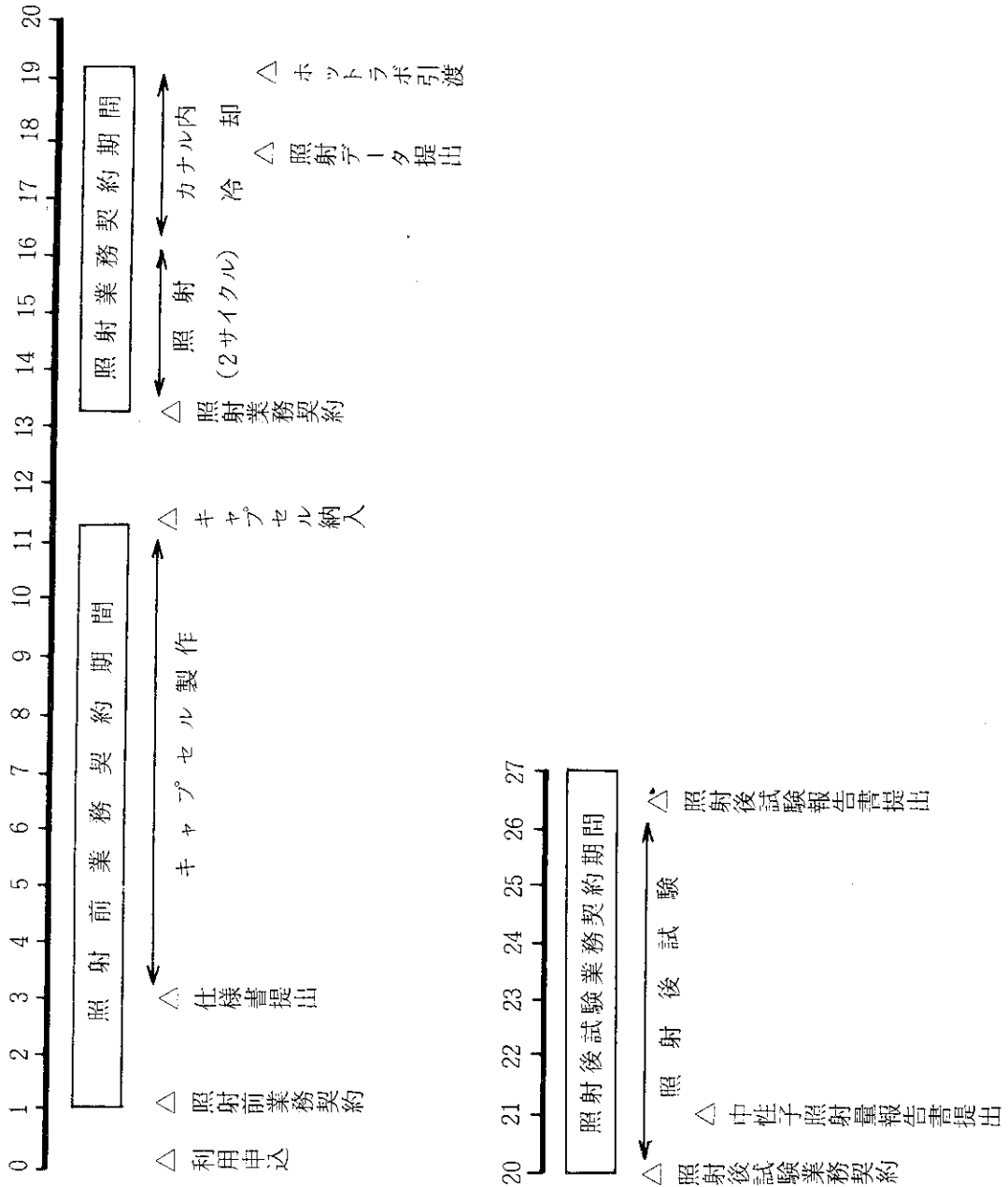
利用者から納入された照射キャプセルは、JMTR 炉心へ装荷のための準備作業を行った後、炉心の所定位置に装荷し、計測線の接続等の作業を行う。照射中は所定の測定や制御を行い、異常があれば利用者へ連絡する。

所定の期間の照射が終了した後、炉心からキャプセルを取出し、必要期間冷却する。

冷却期間の目安は	材料試料	約1カ月
	燃料試料	約3カ月

である。

数字は月数を示す。



第 9.1 図 燃料キャプセルの標準的工程例

(8) 照射後試験

冷却終了後、キャプセル等は JMTR ホットラボへ移送され、キャプセル等の解体、試料取出し、試験、持ち帰り試料のキャスクへの装荷、廃棄物処理等の業務を行う。キャプセル等の解体がない場合は、カナルより直接キャスクに入れて搬出する場合もある。照射後試験を行う場合には、試料の図面や検査成績書、照射前試験結果等を照射終了時まで提出すること。

また、試料を搬出する場合は、予め輸送基準に合格したキャスクを準備するとともに同キャスクの図面をできるだけ早く提出すること。キャスクへの試料の装荷は材料試験炉部で行うが、輸送のための官庁申請、輸送車の手配等は利用者が行うこと。

JMTR での照射により生じた放射性廃棄物の処理は材料試験炉部で行う。

なお、試料は試験後3ヶ月間保管し、特に要望のない場合は処理する。

(9) 報告書

JMTR を利用し、業務を実施する場合、各種の報告書（詳細 9.5 報告書の項で説明）が、利用者に提供される。

報告書の種類、提出期限等については、契約で定める。

キャプセルについての利用申込みから照射後試験終了までの標準的な必要期間をまとめると以下ようになる。

業務区分	作業項目	必要期間
(準備業務)	利用申込	}
	↓	
	利用計画書作成	
(照射前業務)	↓	}
	受入審査会	
	↓	}
	設計・仕様書作成	
(照射業務)	↓	}
	製作	
	↓	}
	受入検査	
(照射後試験業務)	↓	}
	照射	
(照射後試験業務)	↓	}
	カナルでの冷却	
	↓	
	照射後試験	
(照射後試験業務)	↓	}
	中性子照射量報告書	
	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 ※	

※ 照射期間は1サイクル約1.5ヶ月

以上の作業工程について燃料キャプセルの例を第9.1図に示す。

### 9.3 利用申込の方法

#### (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下記のとおりである。

茨城県東茨城郡大洗町成田町（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 計画課  
 電話 02926-7-4111（代）内線 347

#### (2) 利用の申込み

JMTR を利用する場合は、「JMTR 利用申込書」を上記宛に送付のこと。

申込書用紙は、材料試験炉部に用意してあるので上記宛請求のこと。

利用申込書は、材料試験炉部が照射試験の概要を知り、安全上・法規上受入可能か否かを検討し、利用条件を検討するためのもので、利用業務の基礎となるものである。

申込書記入上で不明な点については、下記の記入要領を参照するか、上記の材料試験炉部計画課宛連絡のこと。

記載内容が申込書に記入しきれない場合は、別紙に記入し添付のこと。

なお、商業機密等の関係で特別な扱いを希望する場合は協議のこと。

#### (3) 利用申込書記入要領

記入要領は以下に示す通りであるが、資料 9.1 の「JMTR 利用申込書」の記入例を参照のこと。

○ テーマ

照射試験のテーマおよびテーマNoを記入のこと。

○ 照射目的

利用者の意図する照射内容をできるだけくわしく記入のこと。複数の照射試験で照射時期、試料、照射条件等を関連づけたい場合は、その目的、理由を記入のこと。

○ 照射設備

キャプセル、水力ラビット、インパイル・ループ、縦駆動照射設備の別を記入のこと。

○ 照射時期

利用者の希望する照射時期、または報告書入手時期を記入のこと。

○ 照射試料

照射する試料の名称、材質、組成、形状、寸法、数量、重量、被覆状態および試料提供時期を記入のこと。照射方法や安全性、照射後試験の検討に必要である。

材料の強度試験片等については、なるべく JMTR 標準試験片（3.3 照射後試験の項参照）の形状、寸法を使用のこと。標準試験片以外のものを希望するときは、別途協議のこと。

○ 照射条件

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），中性子照射量，線出力，バーンアップ，放射化量，温度条件等および測定あるいは制御を希望する項目を記入のこと。

また，数値の上限および下限も同時に記入のこと。

○ 照射後試験

JMTR ホットラボで照射後試験を行う場合の作業および試験項目を記入のこと。特殊な作業が必要な場合はその旨を特記のこと。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のこと。

○ 予定経費

申込者の予算額を記入のこと。また出来れば，○年度実施とか，○年度予算にて実施予定，または予算要求中とかを記入のこと。





9.4 利用料金

利用料金は次のとおりとし、国内の研究開発を目的とした利用ならびに国内の営利を目的とした利用およ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、昭和57年4月1日に改定したものである。

利用料金

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

A: 照射費

D: 廃棄物処理費

F: 利用料金

B: 施設利用料

Z: 付帯業務費

H: 取扱手数料

C: 照射後試験費

第9.2表 適用料金表

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 グループ照射	1件当り	60,000		60,000		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	"	20,000		20,000		
A 照射費 (中性子料金)	1照射 単位当り	19,800		29,800		照射費は次式によって 算出する。 照射 = 1照射単位の $\times \frac{N}{10^{21}}$ 費 A = 中性子料金 $\times \frac{N}{10^{21}}$ $N = (\phi_f + \phi_{th}) \times V \times t$ V = キャプセル体積 $t = (1.86624 \times 10^6) \times$ (サイクル数) ただし、ラビットの場 合 t は照射時間により 別途算出 1照射単位は $1 \text{ cm}^3$ 当 り $10^{21} \text{ n/cm}^2$	
B 施設 利用料	1. OWL-1	1サイク ル当り	22,258,000	18,963,000	34,490,000		30,273,000
	2. OWL-2	"	33,819,000	30,661,000	55,289,000		51,247,000
	3. 水力ラビット (HR-1.2)	24時間 当り	60,300		98,300		
	4. 縦駆動照射 設備(NCF)	1サイク ル当り	3,223,000		4,925,000		
	5. 計測付キャ プセル	"	1,491,000	870,000	2,251,000		1,456,000
	6. 無計測キャ プセル	"	184,000		236,000		
C 照射後 試験費	1. コンクリー トセル	1時間当 り	25,500		45,100		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 $\times$ 1 時間当りの利用単価) を算出する。
	2. 顕微鏡セル	"	7,980		13,900		
	3. 鉛セル	"	12,800		20,300		
	4. X線・ $\gamma$ スキャン	"	36,800		63,600		
	5. XMA	"	60,900		108,000		
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サイクルは、1080 MWd.

上記利用料金のうち、照射孔別照射費(中性子料金)を第9.3表に、水力ラビットの照射費(中性子料金)例を第9.4表に示す。

第 9.3 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: 1080 MWd/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						402 606	492 740	557 839	609 917	649 977	526 793	437 658	371 558					
2						1041 1568	OGL-1		1522 2291	1399 2106	OWL-2		955 1438		402 606	228 344		
3		226 340	398 599	704 1060		3869 5823	OGL-1		5115 7699	4244 6387	OWL-2		2340 3522		848 1277	375 564		
4		351 528	639 962	1805 2716											1233 1856	580 873		
5		525 790	1125 1693	HR1			8225 12380	9301 13846	9558 14386	8628 12986	7001 10538	6060 9121			1466 2207	720 1084		
6		737 1110	1600 2408	4760 7165	5548 8350	12850 19341		SR1			11457 17244		8466 12742	2297 3457	1666 2508	814 1225		
7		829 1247	1964 2956	OWL1 4287 6453	6637 9989		9579 14417	9520 14328	9069 13550	8874 13355			NCF 6332 9530	2656 3997	1759 2648	842 1268		
8		923 1390	2193 3301	検	7706 11598		SH1		SH2		SH3		11555 17391	検	1640 2468	783 1179		
9		908 1367	2488 3745	3767 5669	7175 10799		10264 15449	9520 14328	8952 13473	9383 14122			10944 16547	2837 4270	1306 1966	646 972		
10		848 1276	1849 2783	5718 8606	5850 8805	13094 19707		SR2			11318 17034		8156 12275	2132 3209	895 1348	476 717		
11		655 985	1253 1885	3598 5416	3985 5997	9914 14922	10803 16259	12074 18172	12425 18701	11245 16924	9225 13884	7386 11117	HR2	1235 1859	559 842	322 485		
12		445 669	766 1154	1854 2791	2164 3257	5112 7694	5673 8538	6094 9172	6143 9245	5669 8533	4764 7170	3598 5416	2264 3407	675 1016	339 511	206 310		
13		283 427	476 717	822 1238	900 1355	1929 2903	1987 2991	2061 3102	2041 3072	1889 2843	1627 2448	1301 1959	1018 1532	370 557	201 302	123 185		
14			283 427	448 675		1017 1532	1043 1570	1066 1604	1048 1577	975 1467	853 1284	709 1068	592 891					
15																		

第 9.4 表 水力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
HR-1	8.400 12.600	16.800 25.200	33.600 50.500	67.200 101.100
HR-2	12.200 18.300	24.400 36.700	48.800 73.500	97.600 147.000

## ○ 料金計算例

以下に、国内の研究開発目的利用の場合の料金を適用した計算例を示す。

なお付帯業務費については、利用者の試験内容等により異なるのでX円として表わす。(単位：千円、千円未満省略、取扱手数料、照射費、施設利用料は、第9.2表～9.4表料金表を参照のこと)

## 1. 材料試料 (キャプセル)

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	60 千円
照射費	$8,874 \times 3 = 26,622$
施設利用料	$870 \times 3 = 2,610$
照射後試験費	7,364 (試験内容等は下に示す)
付帯業務費	X
<hr/>	
	36,656 + X 千円

計測付材料キャプセルの照射後試験

試験内容	料金
キャプセル解体および外観検査等	510 千円
X線検査	276
室温引張試験 (試料数 30 ケ)	781
高温引張試験 (試料数 30 ケ)	2,509
寸法測定 (GL間および絞り 30 ケ)	205
金相試験 (試料数 12 ケ)	1,016
” (組織写真 72 枚)	1,306
線量測定	153
計装衝撃試験 (試料数 20 ケ)	371
熱処理 (試料数 20 ケ)	237
計	7,364

## 2. 燃料試料 (キャプセル)

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	60 千円
照射費	$6,094 \times 2 = 12,188$
施設利用料	$1,491 \times 2 = 2,982$
照射後試験費	8,133 (試験内容等は次に示す)
付帯業務費	X
<hr/>	
計	23,363 + X 千円

## 計測付燃料キャプセルの照射後試験

試験内容	料金
キャプセル解体および外観検査等	510 千円
X線検査 (キャプセル, 試料)	552
γスキャンニング	1,472
NaK キャプセル開封, 廃液処置	446
寸法測定	179
FP ガス捕集, ガス分析	663
樹脂注入	306
金相試験 (試料数 6 ケ)	1,301
〃 (組織写真枚数 128 枚)	1,021
オートラジオグラフィ (試料数 12 ケ)	663
密度測定 (試料数 12 ケ)	1,020
計	8,133

## 3. 水力ラビット

HR-1 で 6 体, 12 時間照射する場合

取扱手数料	20 × 6 体 = 120 千円
照射費	8.4 × 6 体 = 50
施設利用料	60.3 × 6 体 = 361
照射後試験費	1,149 (試験内容等は下に示す)
付帯業務費	X
計	1,680 + X 千円

## 水力ラビットの照射後試験

Al ラビット 6 体

試験内容	料金
ラビットの解体および外観検査 (ローディングを含む)	281 千円
試料の外観写真撮影写真枚数 6 枚 (試料数 5 ケ/体)	485
試料の重量測定, 各試料毎測定 (試料数 5 ケ/体)	179
試料の線量測定 (グロス)	153
試料の搬出 (利用者への引渡し)	51
計	1,149

## 9.5 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等が利用者に提供され、希望照射条件および試験項目の確認ができるようになっている。

### (1) 準備業務

#### JMTR 利用計画書

利用申込を受理したのち、照射試料、照射方法、照射時期等の照射条件および照射後試験等について、技術的、法規的な観点から受入の可否を検討し、その結果を「JMTR 利用計画書」に記入して、利用者に報告する。

### (2) 照射前業務

#### (イ) 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、提供する。

#### (ロ) 受入検査報告書

製作された試料、キャプセル等について、材料試験炉部において、受入検査を行い、検査報告書を提出する。

### (3) 照射試験業務

#### (イ) 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、発熱量等の推定値を資料 9.3「照射条件に関する技術情報」に記入し、提出する。

#### (ロ) 照射試験実績記録

照射サイクル終了ごとにそのサイクルの温度の実測値、運転時間等をもとに中性子照射量、発熱量等を資料 9.4「照射試験実績記録」に記入し、提出する。なお、長期間照射のものについては、積算値も記入される。

また、照射記録として、2.8 照射データの計算機処理の項で述べている第 2.31 図の照射履歴および第 2.19 表の照射記録を提出する。

### (4) 照射後試験業務

#### (イ) 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報告する。

#### (ロ) 中性子照射量報告書

中性子照射量は、キャプセル解体後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報告する。報告書の提出は、照射後の冷却（燃料試料 3 ヶ月、材料試料 1 ヶ月）、解体後、1 ヶ月以上あとになる。

以上のほか、結果の評価、解析についても特に希望があれば協力ができる。

なお、データ、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。

昭和 年 月 日  
計画課長

JMTR利用計画書

1. キャプセル名 .....

2. 利用者 .....

実施責任者 .....

実施担当者 .....

3. 利用目的 .....

4. 試料 .....

5. 照射条件

照射サイクル .....	照射孔 .....
中性子束 $\phi f(> \text{MeV})$ .....	nv .....
$\phi_{th} \times 10$ .....	nvt .....
線出力 .....	w/cm .....
	温度 .....
	燃焼度 .....
	MWD/T .....

6. 照射方法

NM .....

FM .....

7. 照射後試験 (PIE)

8. その他 .....

照射条件に関する技術情報

材料試験炉部

計画課長

キャプセル番号	資料番号
	提出年月日

試験名称			
依頼元	責任者		
	担当者		
希望照射度	$\phi_f$ (軸方向ピーク) ( $>$ Mev) $\phi_{th}$ (軸方向平均)	$\times 10$	nvt
希望線出力 希望燃焼度		w/cm MWD/T	特記事項
希望照射温度		°C	

設計限界線出力		w/cm	備考	
推定線出力		w/cm		
推定照射量	$\phi_f$ (軸方向ピーク) ( $>$ Mev) $\phi_{th}$ (軸方向平均)	$\times 10$		nvt
試料推定温度		(50MW運転時)		

照射孔	
照射サイクル	

日本原子力研究所





# 照射試験実績記録

キャプセル番号		No.	
		年月日	

試験名称 (試料)	キャプセル型式 (T/C, F/Mなど)	希望照射量 (位置など)
依頼元	照射孔	希望照射温度 (位置など)
実施期間	照射サイクル	

サイクル数	照射サイクル		照射時間		照射量		線出力		燃焼度 積算 MWD/T	特記事項
	開始日	終了日	サイクル別 照射時間 hr	積算 hr	サイクル別 照射量 nvt	積算 nvt	サイクル平均 W/cm	W/cm		
1										
2										
3										
4										
5										
6	PIE予定期間									
7	備									
8	考									
9	1. サイクル日付は出力上昇・下降の日									
10	2. 時間は50MW換算時間数									
	3. 照射量は推定値									
	単位は n/cm <sup>2</sup>									
	位置はヒーク値									
	輪方向平均値									

日本原子力研究所 材料試験炉部

## あしがき

材料試験炉部は「JMTR照射ハンドブック」第3版を発行するため、部内に第3版作成委員会を設置した。

当委員会は第3版を作成するに当って、JMTR本体に関する内容をより一層充実することを主眼とし、また、現在まで整備されている照射施設等についても見直すこととした。

当委員会の構成委員は次のとおりである。

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	"

なお、初版及び第2版のJMTR照射ハンドブック作成委員会の構成委員は次のとおりである。

## 初版（51年9月）

委員長	大内 信平	材料試験炉部	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	"	業務課

## 第2版（55年9月）

委員長	神原 忠則	材料試験炉部	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	"	業務課
"	成田 猛	"	"

謝 辞

「JMTR 照射ハンドブック」のなお一層の充実の必要性を指摘された大洗研究所長鳥飼欣一氏及び当委員会の設置から第3版発行まで、常に御指導をいただいた材料試験炉部次長藤間達三氏及び同次長佐藤雅幸氏に感謝します。

また、計画課桜井文雄氏及びホットラボ課環順市氏には、本ハンドブックの一部見直しをしていただいたことを記し感謝します。