

JAERI-M

8045

軽水炉燃料のためのFP放出実験データ集(I)

1979年1月

山本克宗・中崎長三郎・石渡名澄
伊丹宏治・都甲泰正*

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

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

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

軽水炉燃料のためのF P 放出実験データ集(I)

日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部

山本克宗・中崎長三郎・石渡名澄⁺

伊丹宏治・都甲泰正^{*}

(1978年12月18日受理)

JMTR・OWL-1において、一連のF P 放出実験を遂行してきた。F P 放出実験の目的は、①通常運転時の軽水炉プラントにおける破損燃料棒よりのF P 放出の挙動と機構を解明することと②BWRの主蒸気管破断やPWRの蒸気発生器細管破断のような事故に起因した破損燃料棒よりのF P ヨウ素の追加放出量を求めることである。この報告書では、F P 放出実験と実験装置・施設の概要を解説し、炉外予備実験、準備的なF P 放出実験および第1回と第2回のF P 放出実験のデータを記載した。本報告書は、軽水炉燃料のためのF P 放出実験データ集の第1報であり、順次に続報を刊行する予定である。

⁺ 東海研究所安全工学部

^{*} 東京大学

Data Sheets of Fission Product Release Experiments
for Light Water Reactor Fuel (I)

Katsumune YAMAMOTO, Chozaburo NAKAZAKI, Nasumi ISHIWATARI,⁺
Hiroharu ITAMI and Yasumasa TOGO^{*}

Division of JMTR Project, Oarai, JAERI

(Received December 18, 1978)

A series of fission product (FP) release experiments is proceeding with Oarai Water Loop 1 (OWL-1) installed to the JMTR. The purpose is to clarify behavior and mechanism of FP release from a defective fuel rod in normal operation light water reactor (LWR) plants, and to estimate the iodine spiking amount from a defective fuel rod in accidents such as the main steam pipe breakage of a BWR plant and the steam generator tube breakage of a PWR plant.

The present report describes an outline of the FP release experiments and facility and results of the preliminary out-pile, preparatory, first and second FP release experiments.

Keywords: Light Water Reactor, Fission Products, ^{131}I ,
FP Release, Defective Fuel, Pin-Hole, JMTR, OWL-1

+) Division of Reactor Safety, Tokai, JAERI

*) The Faculty of Engineering, University of Tokyo

目 次

1. FP 放出実験について.....	1
1.1 まえがき.....	1
1.2 FP 放出実験の背景.....	1
1.3 FP 放出実験の目的.....	2
1.4 FP 放出実験の概要.....	2
1.5 問題点.....	3
2. 実験装置の説明.....	7
2.1 JMTR の概要	7
2.1.1 JMTR およびその付属施設	7
2.1.2 炉心部.....	7
2.1.3 JMTR の運転	7
2.1.4 放射性廃棄物の廃棄施設.....	8
2.2 OWL-1 の概要	25
2.2.1 設計条件.....	25
2.2.2 照射特性.....	25
2.2.3 OWL-1 の構成	26
2.2.4 OWL-1 の運転および shut down work の概要	30
3. 関連実験.....	50
3.1 炉外実験.....	50
3.1.1 まえがき.....	50
3.1.2 微小孔を通過する窒素気体の放出速度の測定.....	50
3.1.2.1 実験装置.....	50
3.1.2.2 実験操作.....	51
3.1.2.3 実験結果.....	51
3.1.3 UO ₂ ペレットと水蒸気の反応.....	52
3.1.3.1 実験目的.....	52
3.1.3.2 実験方法.....	52
3.1.3.3 実験結果.....	52
3.2 JPDR における人工欠陥燃料棒の照射	59
3.2.1 実験目的.....	59
3.2.2 実験装置.....	59
3.2.3 実験方法	59
3.2.4 分析方法.....	60
3.2.5 実験結果.....	63

4. 実験データ	68
4.1 第1回F P 放出実験	68
4.1.1 第1回実験の概要	68
4.1.2 照射実験用燃料試料	68
4.1.3 実験内容	68
4.1.4 試料水の採取方法	69
4.1.5 分析方法	69
4.1.6 測定結果	70
4.1.7 OWL-1キュービクル周辺空間線量率および外部被曝線量	70
4.1.8 照射後試験の結果	70
4.2 第2回F P 放出実験	88
4.2.1 第2回実験の概要	88
4.2.2 照射実験用燃料試料	88
4.2.3 実験内容	88
4.2.4 試料の採取方法	90
4.2.5 分析方法	90
4.2.6 測定結果	91
4.2.7 γ モニター指示	92
4.2.8 試料温度測定結果	92
4.2.9 OWL-1キュービクル周辺空間線量率および外部被曝線量	92
あとかき	128

Contents

1. FP release experiment	1
1.1 Introduction	1
1.2 Back ground	1
1.3 Object	2
1.4 Outline	2
1.5 Discussion	3
2. Experimental facility	7
2.1 Outline of JMTR	7
2.1.1 JMTR and it's attached facilities	7
2.1.2 JMTR core	7
2.1.3 Operation of JMTR	7
2.1.4 Facility for treatment of radioactive waste	8
2.2 Outline of OWL-1	25
2.2.1 Design	25
2.2.2 Character	25
2.2.3 Constitution	26
2.2.4 Operation and shutdown work	30
3. Corelated experiment	50
3.1 Out-pile experiment	50
3.1.1 Introduction	50
3.1.2 Measurement of release rate of nitrogen gas through a pin-hole	50
3.1.2.1 Apparatus	50
3.1.2.2 Method	51
3.1.2.3 Result	51
3.1.3 Reaction between UO ₂ pellet and steam	52
3.1.3.1 Purpose	52
3.1.3.2 Method	52
3.1.3.3 Result	52
3.2 Preparatory FP release experiment at JPDR	59
3.2.1 Purpose	59
3.2.2 Facility	59
3.2.3 Method	59

3.2.4	Radiochemical analysis method	60
3.2.5	Result	63
4.	Experimental data	68
4.1	The first FP release experiment	68
4.1.1	Outline	68
4.1.2	An artificially pin-holed fuel rod	68
4.1.3	Content	68
4.1.4	Sampling method of radioactive coolant water	69
4.1.5	Radiochemical analysis method	69
4.1.6	Result	70
4.1.7	Gamma radiation dose of space around OWL-1 cubicle and full body dose exposed to external gamma radiation ...	70
4.1.8	Result of post-irradiation examination	70
4.2	The second FP release experiment	88
4.2.1	Outline	88
4.2.2	An artificially pin-holed fuel rod	88
4.2.3	Content	88
4.2.4	Sampling method of radioactive coolant water	90
4.2.5	Radiochemical analysis method	90
4.2.6	Result	91
4.2.7	γ -ray monitor levels	92
4.2.8	Result of temperature measurement of specimen	92
4.2.9	Gamma radiation dose in space around OWL-1 cubicle and full body dose exposed to external gamma radiation ...	92
	Acknowledgement	128

List of Tables

Table 1.4.1	List of runs of fission product release experiments (performed and planned)
Table 2.1.1	Characteristics of JMTR
Table 2.2.1	Characteristics of OWL-1
Table 2.2.2	Activity monitoring system of OWL-1
Table 2.2.3	Calculated capacity of each primary system component and calculated amount of water in operating conditions
Table 3.1.1	Half life of pressure of N ₂ gas in pressure vessel C
Table 3.1.2	Normalized flow rate of pressurized N ₂ gas through hole to atmosphere
Table 4.1.1	Characteristics of artificially pin-holed fuel rod and irradiating conditions for the 11th cycle
Table 4.1.2	Results of chemical analysis of UO ₂ pellet (the 11th cycle)
Table 4.1.3	Concentrations of ¹³¹ I and grossβ activity in the primary coolant of OWL-1 (the 11th cycle)
Table 4.1.4	Average external dose to staffs engaged in chemical analysis (the 11th cycle)
Table 4.2.1	Characteristics of pin-holed fuel rod and irradiating conditions for the 16th cycle
Table 4.2.2	Results of chemical analysis of UO ₂ pellet (the 16th cycle)
Table 4.2.3	Operating conditions of OWL-1 in the 16th cycle
Table 4.2.4	Grossβ activity in the primary coolant of OWL-1 (the 16th cycle)
Table 4.2.5	¹³¹ I concentration in the primary coolant of OWL-1 (the 16th cycle)
Table 4.2.6	¹³¹ I activity in the primary coolant of OWL-1 (the 16th cycle)
Table 4.2.7	Off-gas activity of OWL-1 (the 16th cycle)

List of Figures

- Fig. 2.1.1 JMTR site plan
- Fig. 2.1.2 Bird's-eye-view of JMTR
- Fig. 2.1.3 Main floor of reactor hall
- Fig. 2.1.4 Cross-sectional view of reactor building (N-S)
- Fig. 2.1.5 Cross-sectional view of JMTR tank
- Fig. 2.1.6 Cutaway view of internals of reactor vessel
- Fig. 2.1.7 Reactor core configuration
- Fig. 2.1.8 Operating log of the 11th operating period
- Fig. 2.1.9 Simplified flow diagram of air supply and exhaust systems
- Fig. 2.1.10 Drainage system of JMTR
- Fig. 2.1.11 Flow diagram of waste disposal process
- Fig. 2.2.1 In-pile tube location in reactor core
- Fig. 2.2.2 Flow diagram of OWL-1
- Fig. 2.2.3 OWL-1 in-pile tube
- Fig. 2.2.4 In-pile tube location in reactor pressure vessel
- Fig. 2.2.5 Coolant circulation path in pressurized mode operation
- Fig. 2.2.6 Coolant circulation path in boiling mode operation
- Fig. 2.2.7 Flow diagram of clean-up system
- Fig. 2.2.8 Ion exchange resin column
- Fig. 2.2.9 Location of γ -ray monitors and sampling lines
- Fig. 2.2.10 Numbering of each piping and instrument of OWL-1 for Table 2.2.3
- Fig. 2.2.11 Block diagram of drainage system
- Fig. 2.2.12 Container for failed fuel specimen
- Fig. 2.2.13 Operating sequence of OWL-1
- Fig. 2.2.14 Typical operating pattern of OWL-1
- Fig. 3.1.1 Simplified flow diagram of pressurized gas jetting apparatus
- Fig. 3.1.2 Jet of N_2 gas through the pore of Dia. 20 μm
- Fig. 3.1.3 Jet of N_2 gas through the pore of Dia. 30 μm
- Fig. 3.1.4 Jet of N_2 gas through the pore of Dia. 50 μm
- Fig. 3.1.5 Jet of N_2 gas through the pore of Dia. 100 μm
- Fig. 3.1.6 Jet of N_2 gas through the pore of Dia. 200 μm
- Fig. 3.1.7 Jet of N_2 gas through the pore of Dia. 400 μm
- Fig. 3.1.8 Jet of N_2 gas through the pore of Dia. 500 μm
- Fig. 3.1.9 Unpolished surface of unirradiated UO_2 pellet ($\times 300$)

- Fig. 3.1.10 Unpolished surface of unirradiated UO_2 pellet ($\times 1000$)
- Fig. 3.1.11 Unpolished surface of UO_2 pellet irradiated at $100^\circ C$ ($\times 300$)
- Fig. 3.1.12 Unpolished surface of UO_2 pellet irradiated at $100^\circ C$ ($\times 1000$)
- Fig. 3.2.1 Simplified channel address of artificially pin-holed nuclear fuel rod charged in JPDR core
- Fig. 3.2.2 Simplified cross-section of rig for irradiation of artificially pin-holed nuclear fuel rod
- Fig. 3.2.3 Simplified flow diagram of primary coolant system of JPDR-I
- Fig. 3.2.4 Dimensions and specification of artificially pin-holed nuclear fuel rod
- Fig. 3.2.5 JPDR power run normalized to MWD
- Fig. 4.1.1 Specimen (70L-7A) for the 11th cycle
- Fig. 4.1.2 Assembly of artificially pin-holed fuel rod (70L-7A, the 11th cycle)
- Fig. 4.1.3 Assembly drawing of 70L-7A (the 11th cycle)
- Fig. 4.1.4 Pin-hole through the clad of 70L-7A (the 11th cycle)
- Fig. 4.1.5 Calculated temperature distribution across the specimen (the 11th cycle)
- Fig. 4.1.6 Flow diagram of FP release test
- Fig. 4.1.7 Operation log of reactor and OWL-1 (the 11th cycle)
- Fig. 4.1.8 ^{131}I determination process ($NaNO_2$ oxidation method)
- Fig. 4.1.9 Variation of ^{131}I concentration, gross β activity and dose rate (the 11th cycle)
- Fig. 4.1.10 Location of monitors around the loop cubicle (the 11th cycle)
- Fig. 4.1.11 Dose rates around the loop cubicle (the 11th cycle)
- Fig. 4.1.12 Pin-hole after FP release experiment (the 11th cycle)
- Fig. 4.1.13 Results of measurements of neutron flux monitors (the 11th cycle)
- Fig. 4.2.1 69L-4P specimen (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.2 69L-4P specimen (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.3 Calculated temperature distribution across UO_2 pellet (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.4 Operation log of reactor and OWL-1 (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.5 Flow diagram of off-gas system
- Fig. 4.2.6 ^{131}I determination process ($NaNO_2$ oxidation method)
- Fig. 4.2.7 Variation of ^{131}I concentration in the loop water (the 16th cycle)

- Fig. 4.2.8 ^{131}I behavior during operation mode change (June 26, the 16th cycle)
- Fig. 4.2.9 ^{131}I behavior during the clean-up system out of service (July 5, the 16th cycle)
- Fig. 4.2.10 ^{131}I behavior during reactor power level variation (July 6, the 16th cycle)
- Fig. 4.2.11 ^{131}I behavior during middle shutdown (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.12 ^{131}I behavior during start-up after refueling (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.13 ^{131}I behavior during reactor shutdown (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.14 ^{131}I behavior during reactor start-up and loop pressure variation (July 15, the 16th cycle)
- Fig. 4.2.15 ^{131}I behavior during pressure variation (July 17, the 16th cycle)
- Fig. 4.2.16 ^{131}I behavior during pressure variation (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.17 ^{131}I behavior during cyclic pressure variation (July 20, the 16th cycle)
- Fig. 4.2.18 ^{131}I behavior during reactor shutdown (July 22, the 16th cycle)
- Fig. 4.2.19 Off-gas activity and flow rate during reactor shutdown (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.20 Activity levels during the 16th cycle
- Fig. 4.2.21 Activity levels during pressure variation (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.22 Activity levels during pressure variation (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.23 Activity levels during pressure variation (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.24 Activity levels during cyclic pressure variation (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.25 Activity levels during flow rate variation (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.26 Radiation levels during reactor start-up (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.27 Radiation levels during reactor power variation (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.28 Radiation levels during loop cool-down (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.29 Radiation levels during shutdown (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.30 Results of specimen temperature measurement (the 16th cycle)
- Fig. 4.2.31 Distribution of dose rates around the loop cubicle (the 16th cycle)

1. FP放出実験について

1.1 まえがき

軽水炉においては、少数の燃料棒の被覆に欠陥が生じ、核分裂生成物(FP)が放出されても、運転に支障がないように設計上の考慮がなされている。しかし、被覆に欠陥のある燃料棒(以下、破損燃料棒という)からのFP放出挙動は、プラントの信頼性、保守性、安全性などに大きな影響を与える。

通常運転時には、破損燃料棒が生じると、欠陥部からFPが放出されるので、一次冷却系の放射線レベルが上昇し、プラントの運転や保守がやりにくくなる。とくに点検や保守作業時における従業者被ばくの増加が問題となるほか、プラント外への放射能放出量も増大する。

このため、破損燃料棒の数が増加すると、やがては原子炉を停止して破損燃料棒を取出す必要を生じるので、プラントの信頼性にも影響することになる。

事故時には、反応度事故、BWRの主蒸気管破断事故、PWRの蒸気発生器細管破断事故などの際に、燃料棒の新たな破損が生じなくても、すでに破損燃料棒が存在していれば、それよりFPが放出されることになる。

とくに、BWRの主蒸気管破断事故やPWRの蒸気発生器細管破断事故時には、破損燃料棒よりの事故発生後のFP追加放出量が、被曝評価結果にかなり寄与する。

1.2 FP放出実験の背景

軽水炉において、破損燃料棒よりのFP放出をはじめて経験したのは、1958年2月でアメリカのBORAX-IVであった。

BORAX-IVでは、 UO_2-ThO_2 の混合セラミック燃料をAl-Ni合金で被覆した燃料棒を使用していた。

当時の経験によると、破損燃料棒が生じた後、タービン室などの放射線レベルがかなり上昇したが、放出されたFPがガス状のものが主であったため、原子炉停止後は放射線レベルが急速に低下し、保守に困難を来たすことは無かった。

その後、アメリカのEBWR、VBWR、カナダのNRXなどにおいて、 UO_2 燃料棒に、人工的に欠陥孔を付した欠陥燃料棒(以下、人工欠陥燃料棒とする)を装荷してFP放出実験が行なわれている。

これらの実験は、破損燃料棒よりのFP放出の様相を調べるのが目的であった。つまり、欠陥孔の大きさにより、放出されるFP核種や、放射線量がどのように変わるかを測定し、破損燃料棒が生じて、急いで原子炉を停止する必要のないことを実証した。

JMTRの水ループ(OWL-1)を用いて、人工欠陥燃料棒よりのFP放出実験を行なうことの利点は、冷却材の温度、圧力、流量、燃料棒温度(熱電対で実測)などの実験パラメータを変え

ることが容易で、かつ正確に押えることができる点にある。このため、破損燃料棒よりのF P 放出機構の研究に好都合である。

1.3 F P 放出実験の目的

本実験の目的は次の通りである。

(1) 通常運転状態における破損燃料棒よりのF P 放出挙動の把握および放出機構の解明
破損燃料棒よりのF P 放出挙動に影響を及ぼすパラメータとしては、次のようなものがある。

(a) 燃料棒パラメータ

UO₂密度と寸法, gas 寸法, プレナム寸法, 燃焼度, および欠陥の形状, 寸法など。

(b) 運転パラメータ

出力 (UO₂ 温度), 冷却材の流量, 温度, 圧力, など。

これら, 種々のパラメータを変えて実験を行なう。

(2) 事故時, とくにBWR の主蒸気管破断事故, PWR の蒸気発生器細管破断事故時における破損燃料棒よりのF P 追加放出量の解明。

これらの事故条件を模擬して実験を行なうことが望ましいが, F P 放出機構の解明ができれば, 事故条件下のUO₂ 温度, 冷却材圧力など諸種のパラメータの経時変化に対応するF P 放出量を求めることができる。この解析には, 欠陥孔の大きさが必要になるが, これは, 通常停止時に観測されるヨウ素スパイクのデータを用いて, F P 放出機構により推定できる。

1.4 F P 放出実験の概要

日本原子力研究所において行なった人工欠陥燃料棒よりのF P 放出実験の概要は, 次の通りである。

(1) JPDR

人工欠陥燃料棒を照射する方法により, 燃料棒から冷却水系に漏出するF P の放出速度を測定すること, および湿式シッパー法により破損燃料棒を含む燃料集合体を検出する方法を検証すること, などを目的として, 1968年4月3日~5月11日および1969年7月24日~9月1日の期間に, JPDR炉心において人工欠陥燃料棒を照射し, F P 放出実験を行なった。人工欠陥燃料棒の仕様の主要項目は次の通りであった。UO₂ペレット (スタック長さ=720.9 mm, 直径=10.6 mm, 全重量=673 g, ²³⁵U濃縮度=2.6 w/o), 被覆管 (材質=ジルカロイ2合金, 厚み=0.7 mm), 被覆管の欠陥孔 (直径=0.5 mm, 個数=2)。原子炉水中の¹³¹I および¹³⁷Cs の測定結果から, 各核種の見かけ放出速度を求めた。湿式シッパー法による検査用の封入容器中に人工欠陥燃料棒を収納し, 封入容器内水中の¹³¹I と¹³⁷Cs の含有量レベルを測定した。

(2) 炉外実験

軽水型動力炉運転時の炉内冷却水の温度と圧力に類似した照射条件において, 人工欠陥燃料棒を照射する方法により, 冷却水中にF P を放出する実験を実現するため, 微小孔を通過する水蒸気の挙動を明らかにすること, および強 γ 線の場合において水蒸気と接するUO₂ペレット表面の状

態を調べることを目的とする炉外実験を行なった。耐圧容器を含む実験装置を組立て、粘度において水蒸気と類似する窒素気体を用い、温度 293~573 °K、圧力 10~70 kg/cm²G の範囲において、直径 20~500 μm、長さ 1.5 ± 0.5 mm の孔から大気中に吹き出す流出速度を測定した。UO₂ ペレット (²³⁵U 2.6w/o、重量約 14 g) 1 個と水約 0.2 g をジルカロイ 2 製被覆管 (12.2 mm O.D. × 220 mm L) に減圧密封した試料 2 本を製作し、各試料を (300 °C, 1.15 × 10⁶ R) および (100 °C, 1.15 × 10⁶ R) の条件で γ 線 (⁶⁰Co) 照射し、走査型電子顕微鏡により UO₂ ペレット表面の状態を観察した。炉外実験の結果から、微小孔における水蒸気の流動について予備的な知見を得、強 γ 線の場合において水蒸気と接触することにより生じる UO₂ ペレット表面の状態変化について、定性的な示唆を得た。

(3) 本実験 (JMTR・OWL-1)

前述 (1.3) の目的の下に、人工欠陥燃料棒の仕様条件 (UO₂ 量、U-235 量、試料の寸法、欠陥孔径とその位置) と炉内水ループの照射運転条件 (線出力密度、冷却水の温度、圧力、流量など) を組合わせ、各種実験条件における冷却水中の FP (¹³¹I, ¹³⁷Cs など) の放出の様相を測定した。一連の実験の概要を Table 1.4.1 に示す。Table 1.4.1 の実験番号②により、ループ冷却水中に放出される FP の定常的レベルを確定し、FP 放出実験の実施に対するループ性能の限界を検知した。同じく実験番号③において、実用炉における外乱付与時の FP 放出挙動—特に FP 追加放出現象—を模擬し得る程度・範囲を追求した。実験番号④~⑧において、各種パラメータを変えながら、主にループ冷却水の圧力または温度が人工欠陥燃料棒よりの FP 放出の様相に及ぼす影響を究明した。

1.5 問題点

JMTR の OWL-1 ループを用いて、FP 放出実験を行なう上での主な問題点は次の通りである。

(1) 環境問題

OWL-1 ループの建設時に、人工的に FP 放出を行なう実験に対処するための対策が十分考慮されていなかったことと、近年、軽水炉の ALAP 指針の採用にともなって、JMTR でも厳しい放出管理が要求されるようになったため、放出量の多い FP 放出実験を行なうには、環境対策設備の増強が必要である。

(2) 実験後の処置

FP 放出実験後の試料の移動、ループの洗浄などに多くの時間を要するため、JMTR の運転スケジュールに支障を来たすおそれがある。

(3) 放出 FP の測定精度

現在の OWL-1 ループでは、放出された微量の FP ガスをループ水と分離できぬので、主に水中のヨウ素濃度の測定を中心とした。ヨウ素は放出後ループ水中を循環するので、バックグラウンドとなり、速い応答の実験に不向きである。

これに反し、希ガスを分離し、放出することができれば、それを測定することにより、測定精度の向上と速い応答が期待できる。しかし、ヨウ素と希ガスで、放出機構が異なることも考えられるので、さらに検討が必要である。

(4) 実験者被曝

極力、実験者被曝が少なくなるように努力はしたが、将来、FP放出量の大きい実験を行なうには、さらに被曝低減の対策を考慮する必要がある。

Table 1.4.1 List of runs of fission product release experiments
(performed and planned)

Exp. No. Parameter	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Facility	JPDR(17-01)*	JMTR, OWL-1	JMTR, OWL-1	JMTR, OWL-1	JMTR, OWL-1	JMTR, OWL-1	JMTR, OWL-1	JMTR, OWL-1	JMTR, OWL-1
Exp. Period	Apr. 3 ^o May 11, '68 Jul. 22 ^o Sept. 1, '69	Aug. 13 ^o Sept. 3, '71	Jun. 25 ^o Jul. 22, '72	May 29 ^o Jun. 17, '75	Feb. 17 ^o Mar. 13, '76	May 24 ^o Jun. 18, '76	Mar. 8 ^o Mar. 29, '77	Feb. 25 ^o Mar. 13, '78	
Fuel No.	Y-03	70L-7A	69LF-4P	72LF-19P	73LF-21A	75LF-25A	75LF-27A	76LF-29A	76LF-31A
Number	48	1	1	2	2	2	2	2	2
²³⁵ U, w/o pellet	2.6	2.7	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Dia., mm	10.6	10.6	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4
H., mm	720.9	14.7	18.0	18.0x2	18.0x2	18.0x2	18.0x2	18.0x2	18.0x2
Material	Zircaloy-2	Zircaloy-2	SUS32	SUS316	SUS316	SUS316	SUS316	SUS316	SUS316
L., mm	794.8	85.0	108.0	126	135	135	135	77	77
O.D., mm	12.2	12.2	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Thick., mm	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Hole [†] Faced	plenum	plenum	plenum	plenum	pellet	pellet	pellet	plenum	pellet
through Dia., μm	500	20, 200	200	100	100	50	500	50	50
Clad Number	2	2	1	1	1	1	1	1	1
Main Experimental Item	(i) Measurements of ¹³¹ I, ¹³⁷ Cs in reactor water (ii) Measurements of ¹³¹ I, ¹³⁷ Cs in can water for wet sipper method	(i) Measurements of ¹³¹ I in loop coolant (ii) Measurements of ¹³¹ I release at from Liq. phase to Gas phase. (iii) Effect of coolant pres. to I behavior	(i) Measurements of ¹³¹ I in loop coolant (ii) I release at depressurization, cooling down of loop coolant and reactor shut down	(i) Measurements of ¹³¹ I in loop coolant (ii) I release at depression of pressure and temperature of loop coolant	(i) Measurements of ¹³¹ I and ¹³⁷ Cs in loop coolant (ii) I and Cs release at depression of pressure and temperature of loop coolant	(i) Measurements of ¹³¹ I and ¹³⁷ Cs in loop coolant (ii) I and Cs release at depression of pressure and temperature of loop coolant	(i) Measurements of ¹³¹ I and ¹³⁷ Cs in loop coolant (ii) I and Cs release at depression of pressure and temperature of loop coolant	(i) Measurements of ¹³¹ I and ¹³⁷ Cs in loop coolant (ii) ¹³¹ I release at pressure depression of loop coolant (iii) Temperature of fuel rods	(i) Measurements of ¹³¹ I and ¹³⁷ Cs in loop coolant (ii) ¹³¹ I release at depression of pressure and temperature of loop coolant
Reference	this report	this report	this report	to be published	to be published	to be published	to be published	to be published	(?)

* Channel address of artificially pin-holed nuclear fuel rod charged in JPDR core

[†] nominated value

2. 実験装置の説明

2.1 JMTRの概要^{脚注)}

2.1.1 JMTR およびその附属施設

JMTR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、原子炉施設の他、ループ、キャプセルなどの照射施設および照射後試験を行うためのホットラボ等の附属設備、附属施設がついている。

材料試験炉は昭和43年3月に初臨界を迎え、本格的な高出力運転は昭和44年12月から開始され、第1サイクルから第11サイクルまでは、30 MWの定格出力で運転され、12サイクル(昭和46年10, 11月)から50 MW 定格出力で運転され今日に至っている。

JMTRの配置、断面図等をFig. 2.1.1~4に示した。

2.1.2 炉心部

炉心部は、燃料要素、制御要素、反射体要素、ループ周辺要素などの炉心要素、ベリリウム枠、アルミニウム枠およびこれらを支持する格子板、格子板支持枠、内部タンクなどからなり、原子炉圧力容器に納められている。この原子炉圧力容器は、高さ9.5 m、直径3 mのステンレス鋼(SUS 304 L)製で、直径6 m、深さ11.8 mの原子炉プールの中に納められている。圧力容器は、炉プール側壁に埋め込まれた圧力容器支持脚によってそのスカート部を支持され、炉プール底部と圧力容器下蓋部とは、ダイアフラムによって連結されている。

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枠で囲まれている。内側はH型をしたベリリウムの仕切枠で4領域に区切られている。この炉心部には、77.2 mm角を単位とする合計204の格子位置があり、各種の炉心要素が充填されている。ベリリウム枠、反射体要素などに垂直にあけられた穴は、キャプセルなどのホルダとなる。ループ、水カラビット、内圧クリープ照射試験装置、縦駆動照射設備などは、夫々専用の格子位置をもつ。

炉心へのアクセスの簡便さをはかるために、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。

Table 2.1.1にJMTRの設計諸元を、原子炉本体縦断面図および同俯瞰図をFig 2.1.5~7に示した。

2.1.3 JMTRの運転

運転開始当初は、30 MW 21日連続運転を標準の運転パターンとした。現在では、50 MWで22~24日運転を1サイクルとし、サイクル中間に、2日間の燃料交換のための、運転停止を含む方式がとられている。照射時間の単位は、運転中に試料の出入れができる水カラビット照射設備を除いて、原則として1サイクルであるが、前述のサイクル途中での運転停止時に取り出すことも

脚注) 日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部編「JMTR照射ハンドブック」(1976年9月)より一部引用した。

可能である。

JMTR の運転は、現在のところ、1年間に6サイクルと想定している。

毎年、原則として夏期の8～9月は、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、原子炉の長期運転停止を行うのが通常である。

Fig. 2.1.8 に JMTR 運転サイクルの工程例を第11サイクルについて示してある。

2.1.4 放射性廃棄物の廃棄施設

(1) 概要

JMTR で発生する放射性廃棄物は、気体、液体および固体廃棄物に分類され、それぞれについて廃棄施設が設けられている。固体廃棄物、液体廃棄物は、大洗研究所内に設置されている廃棄物処理場にて処理されるので、比処では、JMTR の施設についてのみ述べる。

(2) 給排気施設

JMTR 炉室は常時7～10 mm水柱程度の負圧に維持し、毎時2～3回の割合で換気する。そのための給排気系統は次の通りである。

給気第1系統 (炉室, 制御室, カナル室, 制御棒駆動装置室, 炉下室)

給気第2系統 (一次冷却系機器室, 排水ポンプ室など)

排気第1系統 (炉室, 制御室, カナル室, 一次冷却系機器室, 排水ポンプ室)

排気第1-2系統 (炉室非常用排気系統で第1系統の容量の1/10)

排気第2系統 (ループキュービクル, サンプリングボックス)

排気第3系統 (炉下室, 制御棒駆動装置室)

これら給排気系の系統図を Fig. 2.1.9 に示してある。

(a) 給気系統

給気系統は給気第1系統および第2系統から成り、第1系統は空調され、その風量は約1900 m³/min であり、第2系統は、冷房は行なわず暖気換気のみとし、その風量は約200 m³/min である。

(b) 排気系統

排気第1系統は、炉室、制御室、カナル室、一次冷却系機器室、排水ポンプ室などの通常排気系統で、排気量は、同室の内容積が40,000 m³ であるから換気回数が毎時3回程度になるように、1,861 m³/min と定められている。

本系統のフィルタバンクには、AECフィルタ及びチャコールフィルタ保護のために、粗大な粒子を除去するプレフィルタ群を設け、次に排気ガス中の0.3ミクロンの粒子を99.9%以上の効率で捕集するAECフィルタ群、更にヨウ素を除去するチャコールフィルタ群から構成され、フィルタバンク数は3系列あり、常用2系列予備1系列から成る。

(c) 排気第1-2系統および排気第2系統

排気第1-2系統は、炉室非常用排気系統で排気第1系統の容量の約10% (200 m³/min) となっている。本系統のフィルタバンクには、AECフィルタ及びチャコールフィルタ保護のために、モイスターエリミネータおよびAECフィルタ群、更にヨウ素除去のためのチャコールフィルタ群を2群及びチャコールフィルタから漏れるチャコール捕集のためのAECフィ

ルタ群から構成されている。

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ならびにサンプリングボックスなどの特殊排気の系統である。排気量は、ループキュービクルの内容積が約 $1,200\text{m}^3$ であるから、換気回数が毎時10回程度となるよう $200\text{m}^3/\text{min}$ と定められている。本系統のフィルタバンクは、排気第1-2系統と同一構成である。両系統のフィルタバンクは、各系統とも1系統で、共用予備1系列から構成されている。

(d) 排気第3系統

排気第3系統は炉下室、制御棒駆動装置室が密室となるため、特設した通常排気系統である。

排気量は同室の内容積が 250m^3 であるから、換気回数が毎時10回程度となるように $45\text{m}^3/\text{min}$ と定められている。本系統のフィルタバンクは前2者と類似の構成となっている。

以上の排気第1-2,第2,第3系統の排気ガスは各フィルタバンクを出たのち排風機により、 80m 排気筒から大気へ放出される。

(3) 液体廃棄物

液体廃棄物および放射性汚染のおそれのある液体は、各排水系統に分類して集められ、タンクヤードを経由して廃棄物処理場に送られる。

(a) 第1排水系：主として、一次冷却系統、プール・カナル循環系統など純水を保有する系統を対象とし、排水系統としての役割のほか、これらの系統の保有水の操作や1時貯留の機能をも有する。

(b) 第2排水系：ループなどの照射実験装置からの廃水、廃液や除染作業からの廃液など、高度の放射性汚染の頻度の高いもの、溶存塩分の多いものを対象とする。

(c) 第3排水系：各イオン交換塔の使用済樹脂やフィルタの逆洗水など、固体粒子や懸濁物を含む廃液を対象とする。

(d) 第4排水系：常時は放射性汚染が考えられないが、事故時には汚染するおそれのあるものを対象とする。

各排水系貯槽に貯留した液体は、炉建屋外タンクヤード内の廃液タンクに導き、ここでサンプリングの上、その放射性物質の濃度、化学的性状を考慮して、下水や廃棄物処理場へ送り出す。タンクヤード内には7基のタンクが設けてある。

これらの系統図をFig.2.1.10に示す。又処理場における液体および固体廃棄物の系統図をFig.2.1.11に示す。

Table 2.1.1 Characteristics of JMTR

原子炉出力	定格 MW	50	²³⁵ U含有量	合金重量比, w/o	21.5	
	出力運転時変動MW	± 0.1		要素当り, g	195	
	平均* MW	46.3		濃縮度, %	93	
中性子束(最大)	燃料領域 ϕ thn/cm ² sec	~4×10 ¹⁴	反応度効果	制御棒反応度効果 全制御棒 % Δ K/K	30.3	
	ϕ f	~4×10 ¹⁴		(第Ⅱ期炉心7本制御棒)		
	反射体領域 ϕ th	~4×10 ¹⁴		過剰反応度(最大) % Δ K/K	15	
	ϕ f	~1×10 ¹⁴		反応度バランス(50MW-12日運転)		
使用材料	冷却水及び減速材	軽水	ゼノン・サマリウム吸収効果(平衡), % Δ K/K	4.1		
	反射材	軽水, ベリリウム	燃焼効果, % Δ K/K	4.8		
	燃料ミート	U-A ℓ 合金	温度及び運転余裕, % Δ K/K	0.8		
	燃料被覆材	A ℓ 合金	合計, % Δ K/K	9.7		
	キャプセルホルダ	アルミニウム, ベリリウム	過剰反応度 % Δ K/K	12~13		
	炉心構造材	ステンレス鋼	反応度温度係数, °C ⁻¹	1.1×10 ⁻⁴		
	原子炉圧力容器	ステンレス鋼	炉心	有効高さ, mm	750	
	冷却系配管	ステンレス鋼		容積, ℓ	102	
				等価炉心径, mm	416	
				水/金属体積比(燃料要素)	3.45	
機械的設計因子	標準燃料要素	型式	改良ETR型	A ℓ / ²³⁵ U原子数比(燃料要素)	75.7	
		形状, mm	76.2カク×1200	燃料燃焼, g ²³⁵ U/50MWD	62.7	
	燃料板	枚数	平板 19枚	中性子寿命, sec	7.5×10 ⁻⁵	
		板厚, mm	1.27	炉内装荷 ²³⁵ U量, kg	6.6	
		長さ, mm	778	熱水力設計因子	一次冷却水温度	冷却水入口温度, °C
	被覆厚さ, mm	0.38	冷却水出口温度, °C		56	
	ミート	厚さ, mm	0.51		燃料表面温度, °C	175
		有効長, mm	750		(最高熱負荷条件時), °C	205
	²³⁵ U含有量	合金重量比, w/o	21.5	飽和温度, °C	190	
		要素当り, g	279	流量	流路断面積(標準燃料要素), m ²	3.75×10 ⁻³
濃縮度, %		93	燃料板間流速, m/sec	10		
炉心装荷本数**		20	標準燃料要素当り流量, m ³ /hr	140		
制御要素	型式	下方挿入駆動方式, 燃料フォロア付き	炉心当り流量, m ³ /hr	6,000		
	員数	最大 7	標準燃料要素m ³ /hr	2,800		
吸収体	材質	ハフニウム	燃料フォロアm ³ /hr	900		
	形状, mm	63.5カク×800	キャプセルホルダm ³ /hr	2,300		
燃料フォロア	型式	ボックス型	冷却水圧力	炉心入口kg/cm ² G	14	
		ETR型	出入口圧力差	kg/cm ² G	3.3	
	形状, mm	63.6カク×890	冷却水流路	標準燃料要素燃料板間隔, mm	12×2.67, 2×2.92	
	燃料板	枚数	平板16枚		4×3.02	
		板厚, mm	1.27	燃料板巾, mm	66.6	
		長さ, mm	769	燃料フォロア燃料板間隔, mm	2.59	
	ミート	破覆厚さ, mm	0.38	燃料板巾, mm	54	
		厚さ, mm	0.51			
		有効長, mm	750			

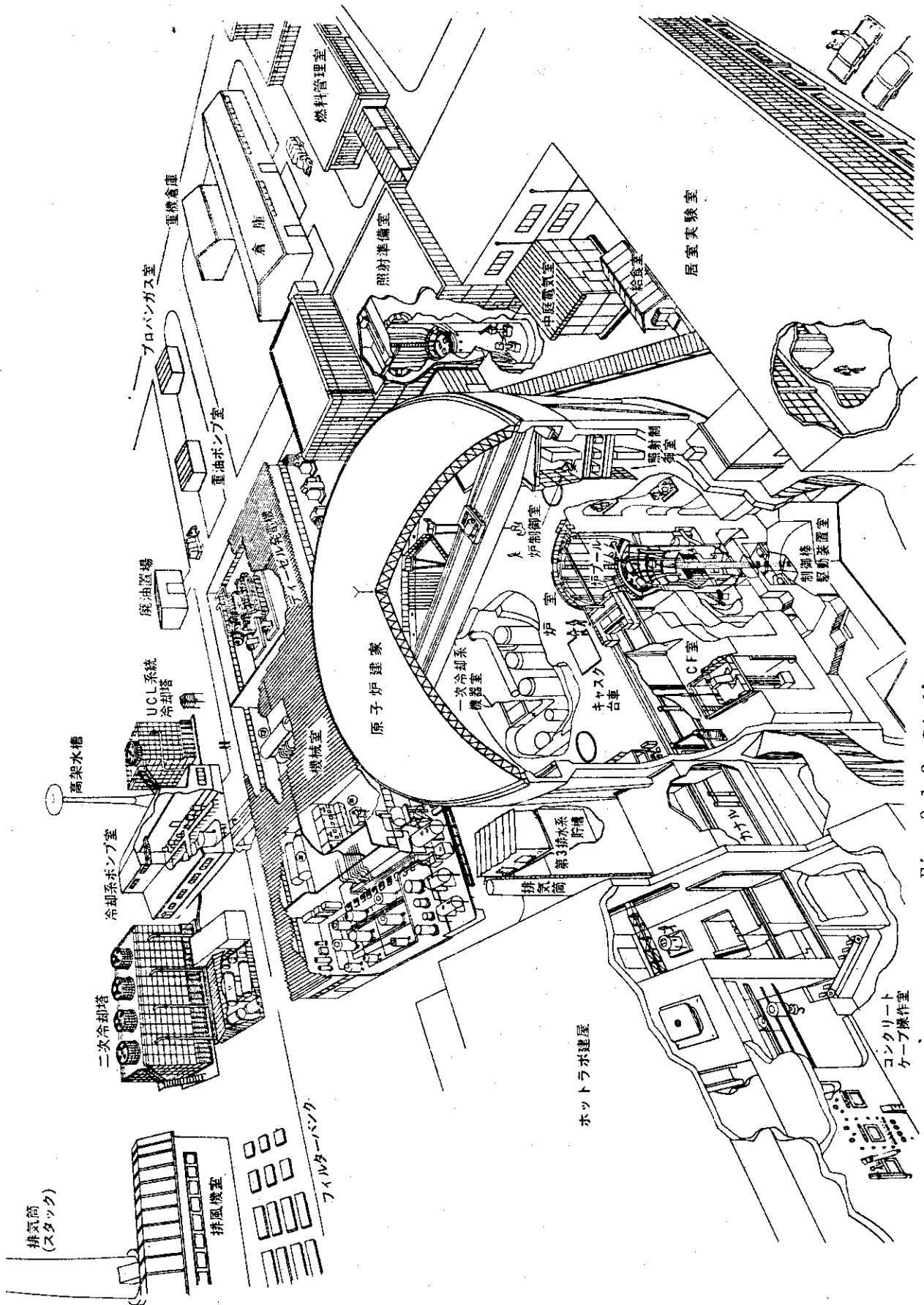


Fig. 2.1.2 Bird's-eye-view of JMTR

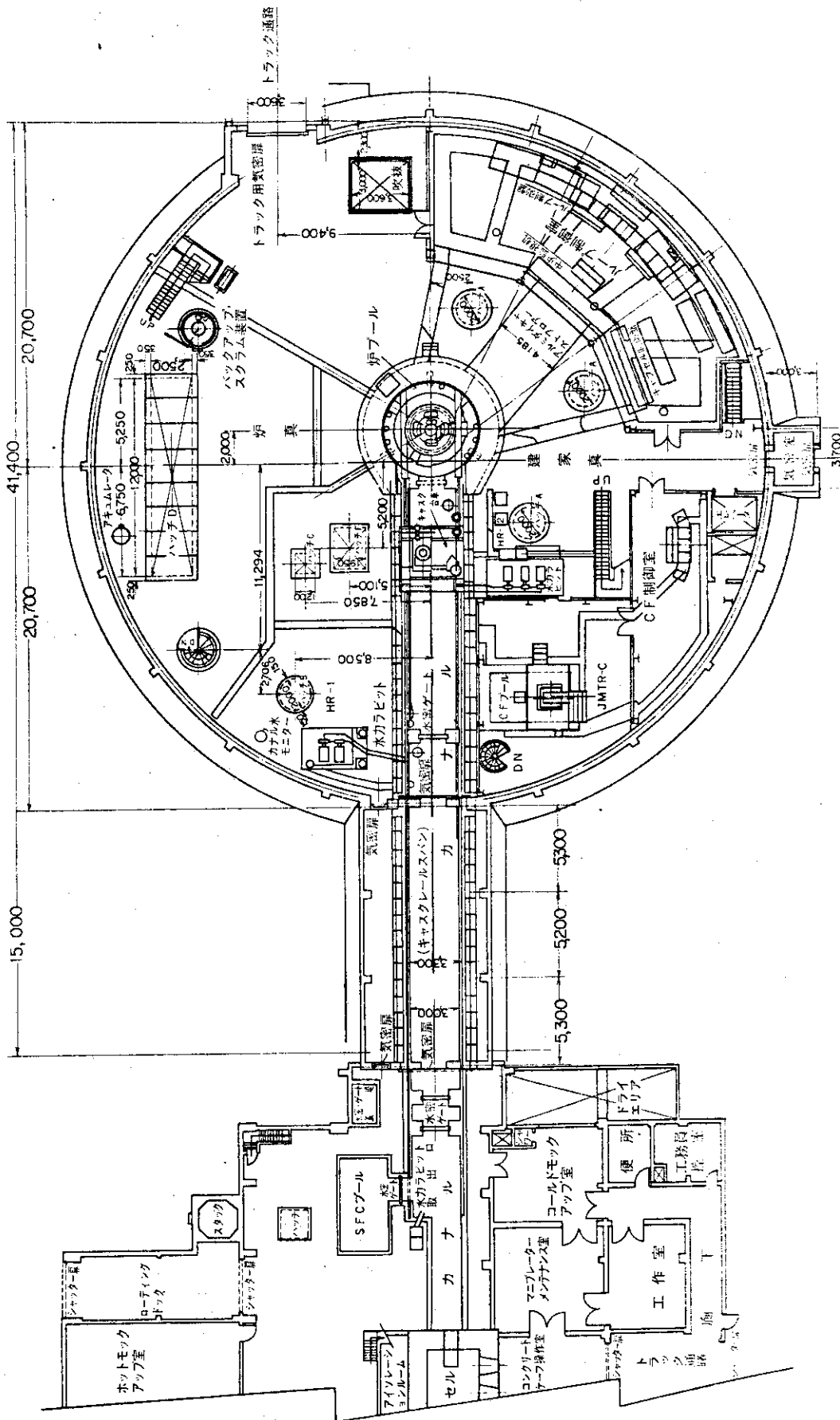


Fig. 2.1.3 Main floor of reactor hall

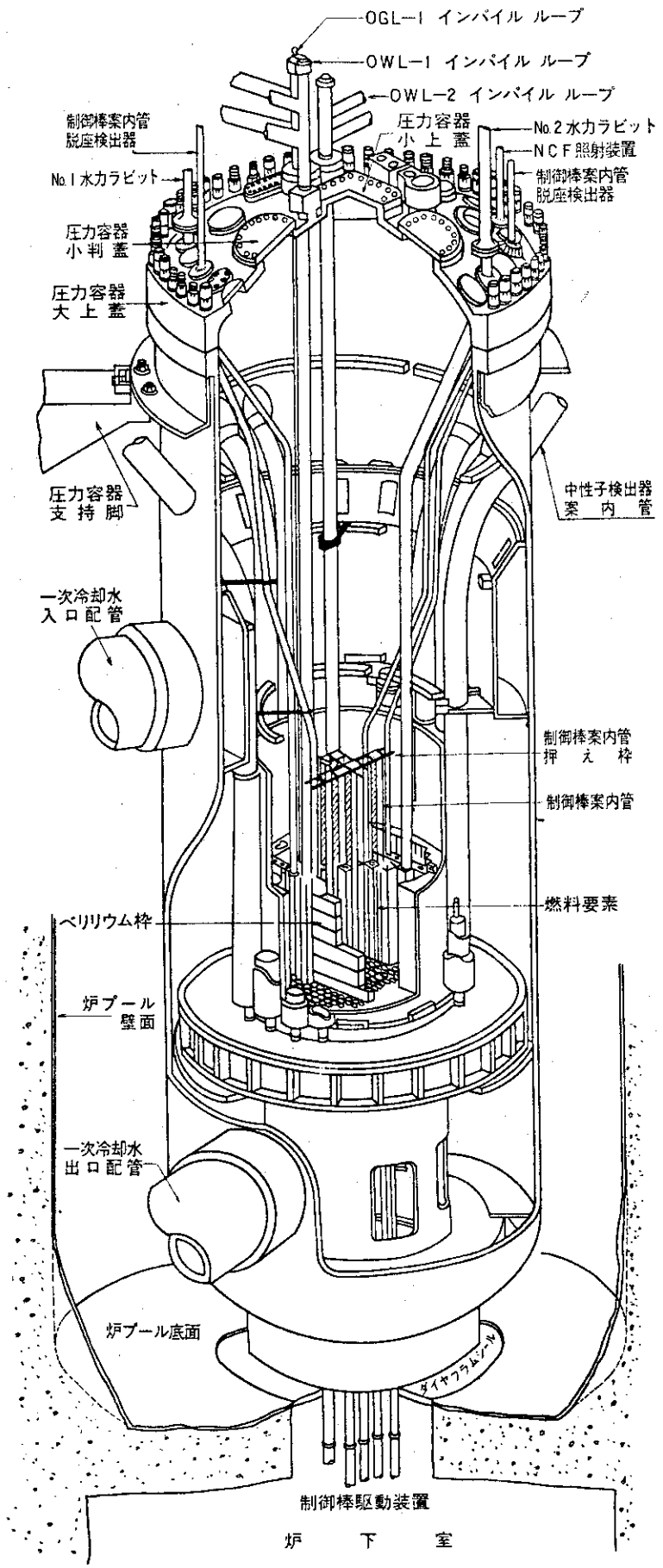


Fig. 2.1.6 Cutaway view of internals of reactor vessel

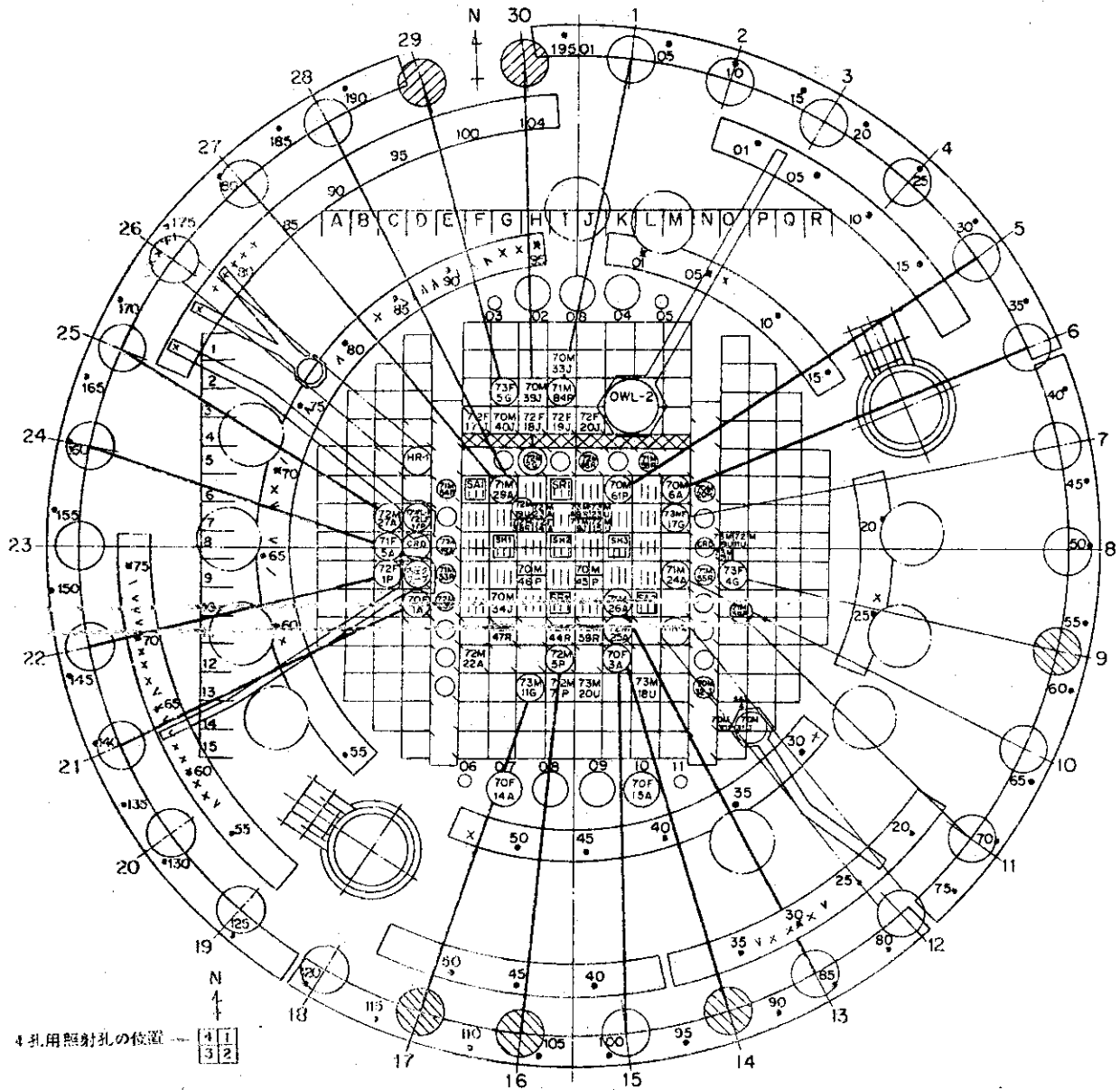
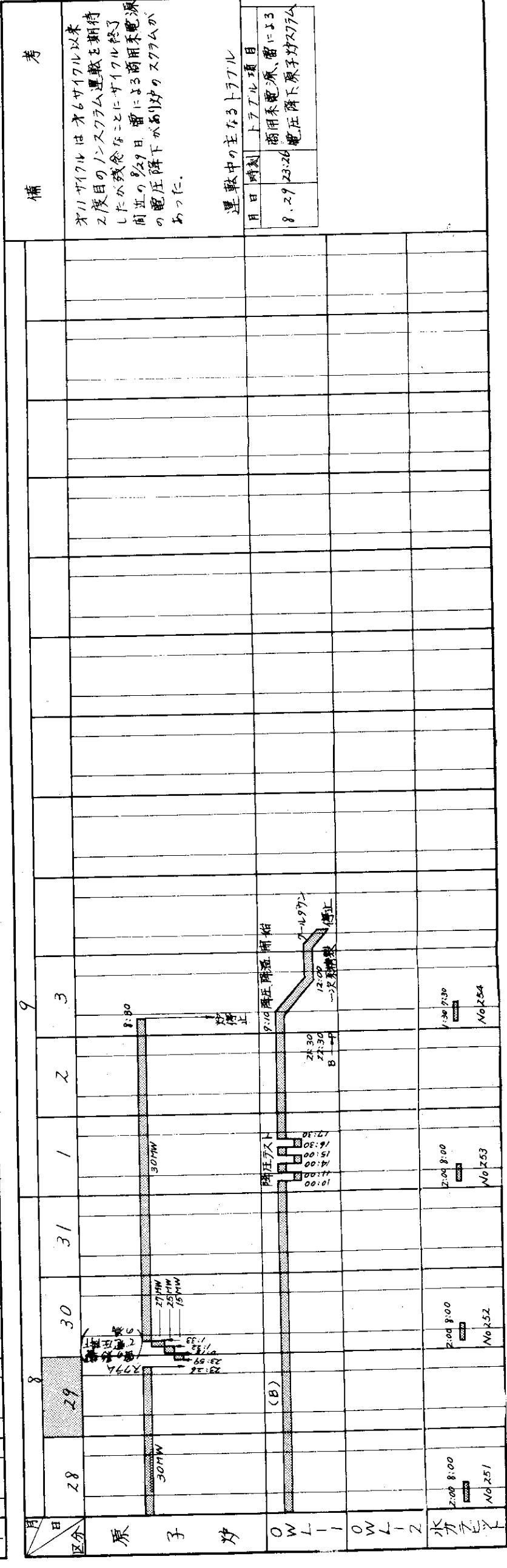
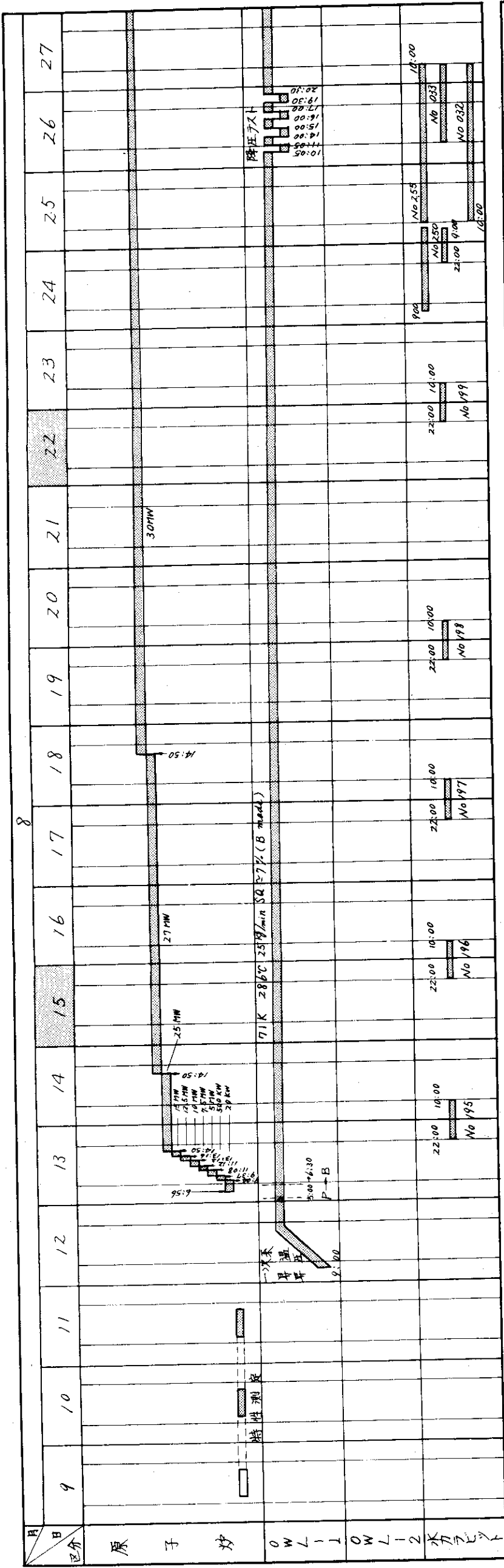


Fig. 2.1.7 Reactor core configuration

サイクル	11	最高熱出力 (MW)	32	積算出力量 (MWD)	631.2	累計 (MWD)	6422.0
------	----	------------	----	-------------	-------	----------	--------

Fig. 2.1.8 Operating log of the 11th operating period



備考
 本サイクルはサイクル以来
 2度目のノンプログラム運転を期待
 したが残念なことにサイクル終了
 直前の8月29日中に商用系電源
 の電圧降下があつた。
 運転中の主なトラブル
 月日時 トラブル項目
 8.29 23:26 商用系電源、留による
 電圧降下原子炉スラム

- 注
1. 主循環系内蔵水量 (精製系含む) : 160 m³
 2. 精製系内蔵水量 : 20 m³
 3. ループの内蔵水量
 OWL-1 : 1 m³
 OWL-2 : 4 m³
 4. 数字の単位 : m³/hr

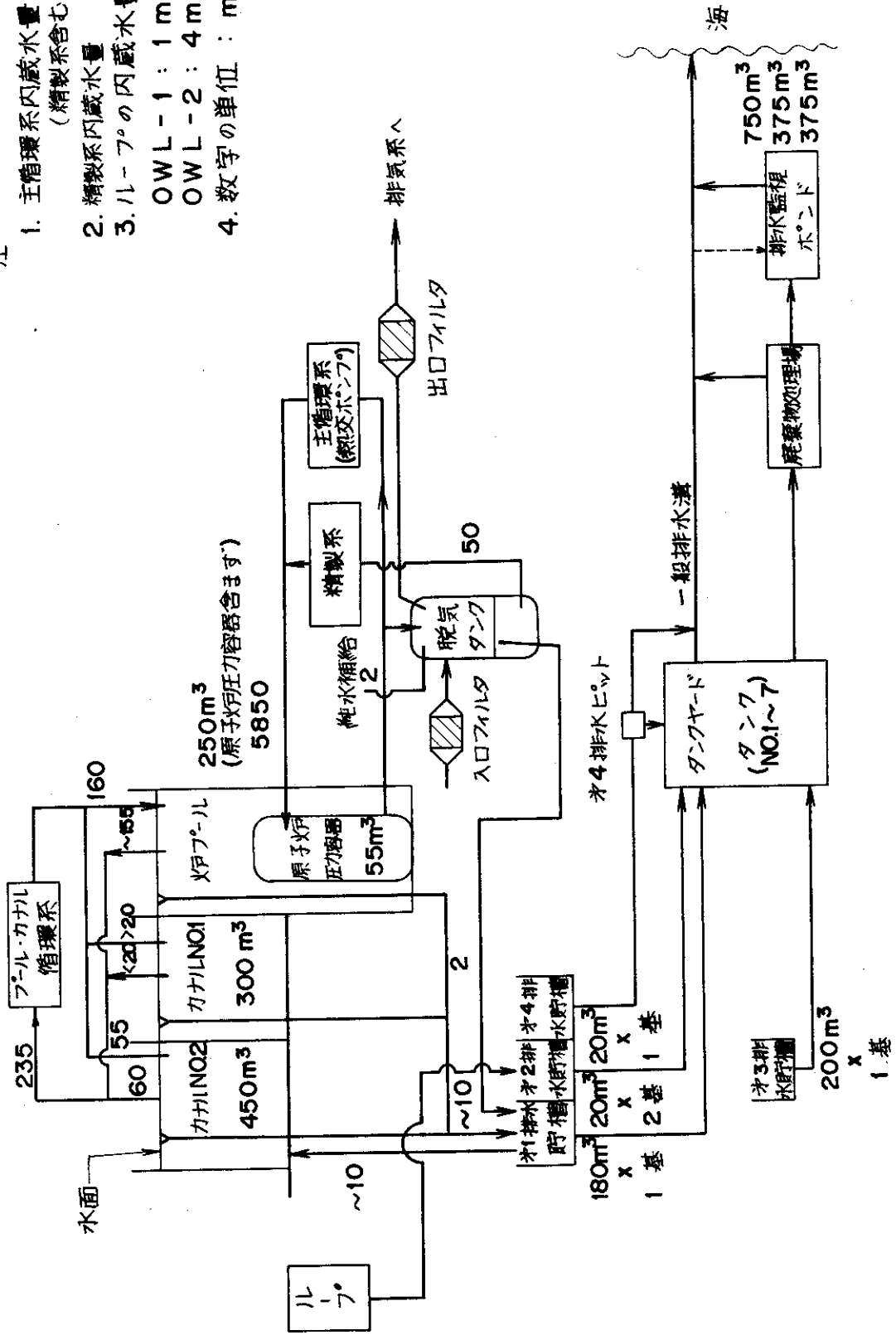


Fig. 2.1.10 Drainage system of JMTR

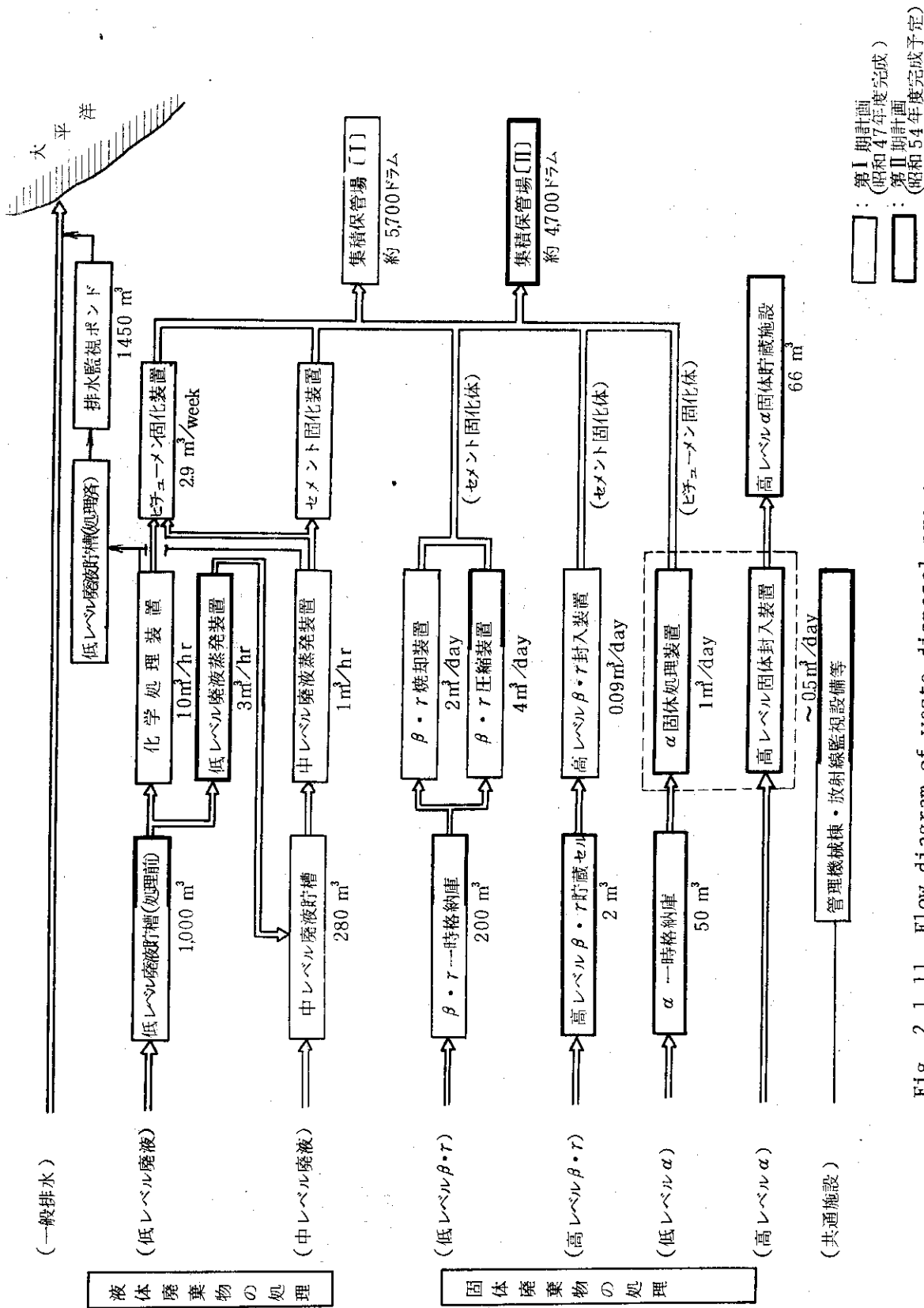


Fig. 2.1.11 Flow diagram of waste disposal process

2.2 OWL-1の概要

OWL-1は高温高圧水ループで、下記の実験を目的として製作されている。

- (1) 各種のPWR, BWR, ATR用燃料, 材料の照射実験。
- (2) 同上燃材料の両立性試験, 冷却材による腐食試験。
- (3) 各種破損燃料実験。
- (4) 燃料要素アセンブリーの熱, 水力学的試験。

これらの試料は、それぞれ実験者より提供されるものであり、従って、その実験目的に応じて、寸法、形状が異なる。

2.2.1 設計条件

OWL-1の一次系は、次の使用条件を満たすよう設計、製作されている。

Table 2.2.1 Characteristics of OWL-1

Parameter	Mode	
	加圧水型	沸騰水型
炉内テストセクション最大流量	300 kg/min	200 kg/min
炉内テストセクション出口最高温度	320 °C	320 °C
炉内テストセクション出口最高圧力	150 kg/cm ² G	115 kg/cm ² G
炉内テストセクション試料最高発熱量	200 kW	200 kW
炉内テストセクション出口最高蒸気含有率	—	20 wt %
ループ最高除熱能力	250 kW	250 kW

二次系は次の使用条件を満足するよう設計、製作されている。

最高使用温度	225 °C
最高使用圧力	26 kg/cm ² G
二次冷却器除熱能力	370 kW

2.2.2 照射特性

照射試料を装荷する炉内テストセクションは、炉心格子位置D-7 (Fig. 2.2.1) に挿入されており、中性子束は次の通りである。(但し炉出力 30 MW時)

Thermal Flux	平均	5.0×10^{13}	n/cm ² ・sec
	最大	6.7×10^{13}	"
Fast Flux	平均	1.0×10^{13}	"
	最大	1.3×10^{13}	"

Fig. 2.2.1 に OWL-1 の炉心配置図を示す。

2.2.3 構成

OWL-1は大別して一次系，二次系，給水系，補助系，安全系，計測制御系などから構成され，Fig. 2.2.2にそのフローシートを示す。

(1) 一次系

一次系は炉内テストセクションに挿入された試料の発熱を完全に除去し，これを熱交換器を介して二次系に伝える閉回路の冷却水循環系である。

系は，次のような各系から構成されている。

- (a) 炉内部分
- (b) 主循環系（主循環ポンプ，流量温度調節装置）
- (c) 蒸気系（気水分離器など）
- (d) 圧力調節系（サージタンク，コンデンサー，ボイラ）
- (e) 主冷却系（冷却器など）
- (f) 精製系（イオン交換樹脂など）
- (g) 試料採取系
- (h) 放射能検出系（D/Nモニタ， γ モニタなど）
- (i) その他の配管および弁類

(a) 炉内部分

炉内部分は照射試料を加圧水，または沸騰水下で中性子照射するための圧力容器である。構造はFig. 2.2.3と2.2.4に示すような折返し型で，耐圧管，流路仕切管，外套管，枝管などから構成されている。

炉内部分は炉本体圧力容器の上蓋を貫通して内部に入り，炉心格子位置D-7まで垂下している。

照射試料は耐圧管上蓋（グレーロック型フランジ）を通して流路仕切管内の炉心相当位置（高さ75 cm）に挿入される。流路仕切管の炉心部有効寸法は39.7 mm ϕ × 750 mmLで，装荷試料としては，長さ75 cm，外径11 mm ϕ のものが6本，外径14 mm ϕ ならば4本，外径16 mm ϕ ならば3本程度挿入可能である。照射試料の冷却水は，炉プール壁を貫通する冷却水入口枝管をへて，耐圧管と流路仕切管の間を下方に流れ，耐圧管下部で反転し，仕切管内を上方に流れ，照射試料を除熱し，炉プール壁を貫通した冷却水出口枝管を通り主循環系へもどる。

耐圧管および枝管と外套管の間は真空又は断熱ガスを充填して熱的絶縁を行ない，高温の圧力管および枝管が反射体要素や原子炉冷却水と直接接触れるのを避けている。炉内部分の耐圧管にはステンレス鋼種43種（SUS 316相当）を採用している。

(b) 主循環系

主循環系は照射試料を所定の冷却水条件で除熱するための流路系で，冷却水は，ループ運転条件によって以下に記す系路を循環する。

1) 加圧水型で運転する場合（Fig. 2.2.5）

主循環ポンプを出た冷却水は，流量調節弁で所定流量に調節され，温度調節装置で所定温度にした後，炉内テストセクションを通り照射試料を除熱する。

炉内テストセクションを出た高温の冷却水は単相の状態、蒸気系をバイパスし主冷却器で除熱され主循環ポンプの吸込側にもどる。冷却水圧力は、圧力調節系のサージタンク水温を、照射試料部の冷却水温度より高い温度に維持し、その平衡蒸気圧で系全体を加圧し、沸騰をおこさないようにする。

ii) 沸騰水型で運転する場合 (Fig. 2.2.6)

沸騰水型で運転する場合はFig. 2.2.6に示すように流量、温度を規定値に制御された冷却水が照射試料を除熱する時、一部が沸騰し、二相流となってでて来る。二相流の冷却水は更に蒸気系の気水分離器で蒸気と水に分離される。分離した蒸気はコンデンサー上部に入り、圧力調節系のスプレー水で凝縮され、気水分離器で分離された水と合流し、主冷却器で更に除熱され主循環ポンプの吸込側にもどる。

主冷却器を出た冷却水の一部は圧力調節系循環ポンプおよび冷却器を通り、コンデンサーにスプレー水として送られ、気水分離器で分離した蒸気を凝縮するのに使用される。この時系の圧力はコンデンサー内で蒸気を所定圧力の飽和温度にして凝縮させ、所定の一定圧力に維持する。

主循環系の構成材料は、18-8系ステンレス鋼27種 (SUS 304相当) を使用し、主循環ポンプにはキャンドモーター型ポンプを使用している。

(c) 蒸気系

蒸気系は気水分離器、蒸気加熱器、流量計などから構成され、炉内テストセクションでの蒸気発生量を測定することができる。系の構成材料は全て18-8系ステンレス鋼27種 (SUS 304相当) を使用している。

(d) 圧力調節系

圧力調節系は一次系の圧力を規定値に一定に保持すると同時に、一次系の昇温、降温時および、沸騰水型で運転する場合の炉内テストセクションでの沸騰に伴う冷却水の容積変化を吸収するためのものである。

系は冷却器、循環ポンプ、コンデンサ、サージタンク、ボイラーなどから構成されている。循環ポンプは主循環ポンプと同様、キャンドモーター型ポンプを使用している。

コンデンサーは縦型のジェットコンデンサーで、サージタンクは球型構造である。系の圧力調節法は、スプレー水温を一定に保ち、スプレー水流量を調節する方法と、スプレー水流量を一定に保ち水温を調節する二つの方法が可能であるが、通常は、前者の方法を採用している。サージタンクの容積は炉の緊急出力低下、停止によって圧力制御喪失を防止出来るのに十分な容積をもっているが、その他緊急用の蒸気供給用ボイラーを設置している。圧力調節系の構成材料は18-8系ステンレス鋼27種 (SUS 304相当) を使用している。

圧力調節系は系の圧力調節を行なうと同時に脱ガス装置をもかね、コンデンサーで冷却水中の非凝縮性ガスを分離させ、脱ガス系から系外に放出させることが出来る。

(e) 主冷却系

主冷却系は照射試料を除熱した高温の冷却水を除熱、冷却すると同時に主循環ポンプおよび圧力調節系循環ポンプのキャビテーションを防止するものである。

系は冷却器で構成され最高250 kWの除熱能力を有するが、広範な運転条件を満足できるよ

うに2分割されている。

系の構成材料には18-8系ステンレス鋼27種(SUS 304相当)を使用している。

(f) 精製系

精製系はループ水の一部を連続的に通し、冷却水中の溶解性、不溶解性腐食生成物(crud)およびFPを除去すると同時にループ精成材料の腐食を抑制するため冷却水の水質(pH, 電気伝導度など)を規定値に保つもので、イオン交換樹脂塔、水質監視計、crud probeなどから構成されている。

精製系はFig. 2.2.7に示すように主循環系と並列に設置され、精製系を流れるループ水はイオン交換樹脂の使用限界温度以下に冷却される。イオン交換樹脂塔は混床型で、充填容量は10ℓでその構造をFig. 2.2.8に示す。樹脂塔はループ運転中精製能力が低下してもループ運転に支障のないよう1基予備を設け予備との切換は遠隔操作で行なうことができる。

精製系構成部品のうちcrud probe, サンプルポンペなどはサンプリングボックス内に収め、ループ運転中に試料水の採取、薬品、添加ガスの注入などが可能である。系の構成部品の接液部は全て18-8系ステンレス鋼を使用している。

(g) 放射能検出系

放射能検出系は一次冷却水中の放射能レベルを監視し、照射試料の破損を検出すると同時に人工欠陥燃料棒試験の際は破損部から放出される放射性物質の放出挙動などを調べるためのもので、 γ モニタ、D/Nモニタなどから構成されている。

γ モニタとして炉内管出口、精製系イオン交換塔、蒸気系、脱ガスライン出口に電離箱型もしくはシンチレーションカウンタをそれぞれ1基設けてある。

D/Nモニタは遅発中性子を検出する目的でBF₃カウンタをセパレータ液相出口に設けてある。

OWL-1に取付けてある γ モニタの配置をFig. 2.2.9に、 γ モニタの詳細をTable 2.2.2に示した。

(h) 脱ガス系

脱ガス系は一次冷却水中の溶存ガス濃度を制御したり、圧力調節系で分離される放射性ガスを含む各種ガスをループ運転中連続的、あるいは間歇的に放出する系で冷却器、弁、配管などから構成されている。

(i) 試料採取系

試料採取系は冷却水の分析用試料を採取するための配管系で、冷却器、配管、弁類などから構成されている。

系は炉内管出入口、気水分離器液相出口と気相出口、精製系などから運転中に試料水が採取可能であり、キュービクル外のサンプリングボックスに試料水採取口が設けてある。

(2) 二次系

OWL-1の二次系はFig. 2.2.2に示すように、一次系の発熱を除熱する閉回路の循環系で、構成機器、部品は一次系とほぼ同じで次のようなものから構成されている。

(a) 主循環系

(b) 圧力調節系

- (c) 冷却系
- (d) 精製系
- (e) 放射能検出系
- (f) その他の配管, 弁類
- (3) 給水系

給水系は一次系, 二次系に脱ガス, 脱イオン水をループ運転前および運転中必要に応じて給水するための系で, 次の部品類から構成される。

- (a) 脱ガスホールドアップタンク
- (b) 低圧給水ポンプ
- (c) 給水ポンプ
- (4) 補助系

補助系は次の部品類から構成されている。

- (a) 薬剤注入系
- (b) 廃水タンク

一次系の排気, 廃水を一時的に収容し放射線強度を減衰させて, 炉本体廃水タンクもしくは排気系統へ排出させるためのもので, その内容積は 1.2m^3 である。

タンクは一次系と同様キュービクル内に設置し, 十分な放射線遮蔽がほどこされてある。

なお, OWL-1一次系各部の内容積と運転中の保有水量をTable 2.2.3 と Table 2.2.4 に, 廃水の処理系統図をFig. 2.2.11 に示した。

- (c) サンプリングボックス

一次系の試料採取口, crud probe, 薬剤注入ポンプ, 試験用イオン交換塔などを収容し, ループ運転中試料水を採取したり, 一次冷却水中にガス添加が可能な構造, 配置となっている。

サンプリングボックスは気密構造で, 内部は炉建屋の第2排気系統に接続され, 常時負圧に維持され放射性物質の逸散を防止している。

- (5) ループキュービクル

OWL-1の一次系はループ運転中高放射能をもつので, 厚さ1mのコンクリートブロックなどで放射線遮蔽をしたキュービクル内に収め, キュービクル表面線量率が通常運転の場合 10mrem/hr 以下におさえられている。又キュービクル壁は有害な放射性物質が外部に漏れない様な気密構造となっており, ループ運転中常に水柱で最低5mm以上の負圧に保たれている。

- (6) ループ運転操作盤

OWL-1の計測制御は原子炉と同様, 集中制御方式となっており, ループ運転操作に必要な計測制御盤は, 炉室1階の照射制御室に設けられている。現場との連絡, 操作指示はインターホンによって行なうが, 現場にも必要な指示盤を設けループの運転状態が集中して判るようになっている。

- (7) 照射試料の取扱設備

炉プール水と接触してもよい照射試料は炉本体附帯設備のキャスク台車, クレーンを利用して炉内管上蓋より取出し, 水中を移動してホットラボへ運搬する。

F P 放出実験用試料のように炉プール水を汚染する場合は、炉プール水と照射試料が接触しないような構造の試料取出容器に格納した後、密封状態で保管、移送が行なわれる。Fig. 2.2.12 に照射試料取扱容器の構造を示してある。

2.2.4 運転およびシャットダウンワークの概要

OWL-1による照射試験は、通常以下に述べるようなパターンで行なわれている。まず、シャットダウンワーク期間に、試料のテストセクションへの挿荷と、冷却水の張水、水圧漏洩試験、安全動作の設定確認などの一連の運転準備作業が行なわれる。運転準備完了後、原子炉出力上昇開始の前日に、Fig. 2.2.13 に示す要領で、OWL-1の起動、昇温昇圧を行なって、原子炉の出力上昇を待つ。原子炉が定格出力に到達した後、OWL-1を照射条件運転状態とし、所定期間照射運転を実施し、原子炉停止、OWL-1のクールダウン、停止が行なわれる。この照射運転期間中に、各種の実験が実施される。照射運転が終了した後、シャットダウンワーク期間に入り、F P 後処理、除染、試料の取出し保管、などの一連の作業が行なわれ照射が完了する。これら一連の概要をFig. 2.2.14 に示す。

Table 2.2.2 Activity monitoring system of OWL-1

モニタ名称	設置場所	測定対象	検出器	指示範囲
炉内管出口	炉内管出口 (B1Fキュービクル内)	一次冷却水 γ 線	Na I (TL) シンチレーション	$0 \sim 10^5$ cps
2次主冷却器入口	二次冷却器入口 (B1F 2次系)	二次冷却水 γ 線	GM 計数管	$0.1 \sim 10^5$ cps
サンプリングボックス排気	V S I 盤 (B 1 F)	サンプリングボック ス内排気 γ 線	"	$0.1 \sim 10^5$ cps
第2排気系	B 2 F 第2排気系配管	キュービクル内排 気 γ 線	"	$0.1 \sim 10^5$ cps
キュービクル内	B1Fキュービクル内入口部	γ 空間線量率	対数電離箱	$10^{-8} \sim 10$ R/h
1次精製系	イオン交換塔内 (B1Fキュービクル内)	一次冷却水 γ 線	Na I (TL) シンチレーション	$0.01 \sim 10$ R/h
脱ガスモニタ	コンデンサー出口 (B1F 32ラック前)	"	Na I (TL) シンチレーション	$3 \times 10^2 \sim 10^5$ cps
蒸気モニタ	気水分離器出口 (B1Fキュービクル内)	"	Na I (TL) シンチレーション	$3 \times 10^2 \sim 10^5$ cps
遅発中性子モニタ	テストセクション出口 (B1Fキュービクル内)	遅発中性子	B_3F 計数管	$30 \sim 6 \times 10^5$ cpm
キュービクル外	B 1 F 北側壁	γ 空間線量率	対数電離箱	$10^{-2} \sim 10^2$ mR/h

Table 2.23 Calculated capacity of each primary system component and calculated amount of water in operating conditions

番号 (注)	配管長 m	配管内径 mm ϕ	内容積 ℓ	Pモード(圧力60kg/cm ² G, 温度270℃)			Bモード(圧力60kg/cm ² G, 蒸気含有率10%)		
				温度℃ 蒸気含有率%	比容積 ℓ /kg	保有水量 kg	温度℃ 蒸気含有率%	比容積 ℓ /kg	保有水量 kg
1	0.65	38.4	76	260/0	1.273	59.7	260/0	1.273	59.7
2	0.75	"							
3	0.75	"							
4	0.05	"							
5	1.50	"							
6	0.60	"							
7	0.35	"							
8	2.50	"							
9	1.60	"							
10	1.00	"							
11	2.25	"							
12	0.45	"							
13	3.30	19.4							
14	0.98	38.4							
15	1.00	19.4							
16	0.20	38.4							
17	2.50	"							
110	-	-							
111	-	-							
54	0.80	38.4							
55	0.75	"							
56	2.55	"							
57	1.80	"							
58	2.20	"							
59	0.70	"							
60	0.25	"							
61	2.35	"							
74	2.16	"							
18	15.80	49.5	31	265/0	1.287	24.1	265/0	1.287	24.1
19	8.85	38.4	12	270/0	1.301	9.2	270/0	1.301	9.2
20	1.00	"							
112	1.60	-	180	270/0	1.301	26.9	275.4/5	2.897	12.1
21	1.50	38.4	57	270/0	1.301	46.2	275.4/10	4.44	12.8
22	0.35	"							
113	1.20	45							
23	2.40	38.4							
24	5.20	"							
25	1.75	"							
26	5.55	"							
114	-	-							
27	6.45	38.4							

Table 2.23 (Continued)

番号(注)	配管長 m	配管内径 mm φ	内容積 ℓ	Pモード(圧力60 kg/cm ² G, 温度270 °C)			Bモード(圧力60 kg/cm ² G 蒸気含有率10%)		
				温度°C 蒸気含有率%	比容積 ℓ/kg	保有水量 kg	温度°C 蒸気含有率%	比容積 ℓ/kg	保有水量 kg
28	1.80	38.4							
29	2.50	"							
30	1.30	"							
115	1.20	45							
31	0.72	38.4							
116	1.70	180.3	42	270 / 0	1.301	32.2	275.4 / 100	32.54	0.5
32	5.25	38.4	11	270 / 0	1.301	8.5	275.4 / 0	1.318	8.3
33	1.10	"							
34	1.50	"							
35	2.00	"							
36	0.73	"							
37	0.38	"							
62	1.15	38.4	13	275 / 0	1.318	9.9	275.4 / 100	32.54	0.8
63	0.40	"							
64	0.25	"							
117	1.20	45							
65	0.80	38.4							
66	0.27	"							
67	2.52	49.5							
68	1.40	38.4							
69	0.70	"							
41	0.30	38.4	11	272 / 0	1.307	8.4	275.4 / 0	1.318	21.3
42	1.58	"							
43	0.48	"							
46	1.63	"							
47	1.25	"							
53	0.83	"							
38	0.20	"							
39	0.20	"							
40	1.85	38.4	19	236 / 0	1.217	15.6	230 / 0	1.205	15.8
118	4.00	"							
44	1.85	"							
45	1.78	"							
48	0.35	"							
49	1.20	"							
119	2.00	"							
50	3.45	"							
51	0.60	"							
52	0.58	"							
122	4.83	38.4							
88	0.75	25.0							
89	1.79	"							
90	0.28	"							

Table 2.2.3 (Continued)

番号 ^(注)	配管長 m	配管内径 mm φ	内容積 ℓ	Pモード(圧力60 kg/cm ² G, 温度270°C)			Bモード(圧力60 kg/cm ² G, 蒸気含有率10%)		
				温度°C 蒸気含有率%	比容積 ℓ/kg	保有水量 kg	温度°C 蒸気含有率%	比容積 ℓ/kg	保有水量 kg
91	3.02	25.0	15	140 / 0	1.076	13.9	140 / 0	1.076	13.9
123	2.40	38.4							
94	5.73	25.0							
95	1.08	"							
97	1.35	"							
98	1.00	"							
99	2.60	"							
100	0.52	"							
75	0.20	38.4	33	230 / 0	1.205	27.4	230 / 0	1.205	27.4
76	0.35	"							
77	2.15	"							
78	1.05	"							
120	-	-							
121	-	-							
79	0.60	38.4							
80	0.60	"							
81	1.15	"							
82	0.05	"							
83	5.80	25.0							
84	0.40	"							
85	2.00	"							
86	1.43	"							
87	1.93	"							
92	1.08	"							
93	0.25	"							
96	1.58	"							
101	0.18	25.0	7	200 / 0	1.153	6.1	200 / 0	1.153	6.1
102	0.50	"							
103	0.50	"							
104	2.00	"							
105	0.50	"							
106	0.60	"							
107	1.14	"							
108	0.90	"							
109	0.65	"							
124	1.47	180.3	596	275.4 / 3.84	2.518	236.7	275.4 / 3.84	2.518	236.7
125	(985mm φ 球)								
70	2.70	38.4							
71	1.80	"							
72	3.25	"							
73	1.15	"							
126	4.0	38.4	550	275.4 / 4.0	2.518	218.4	275.4 / 4.0	2.518	218.4
127	(985mm φ 球)								
合計	-	-	1653	-	-	743.2	-	-	667.1

(注) 番号は, Fig. 2.2.10 参照

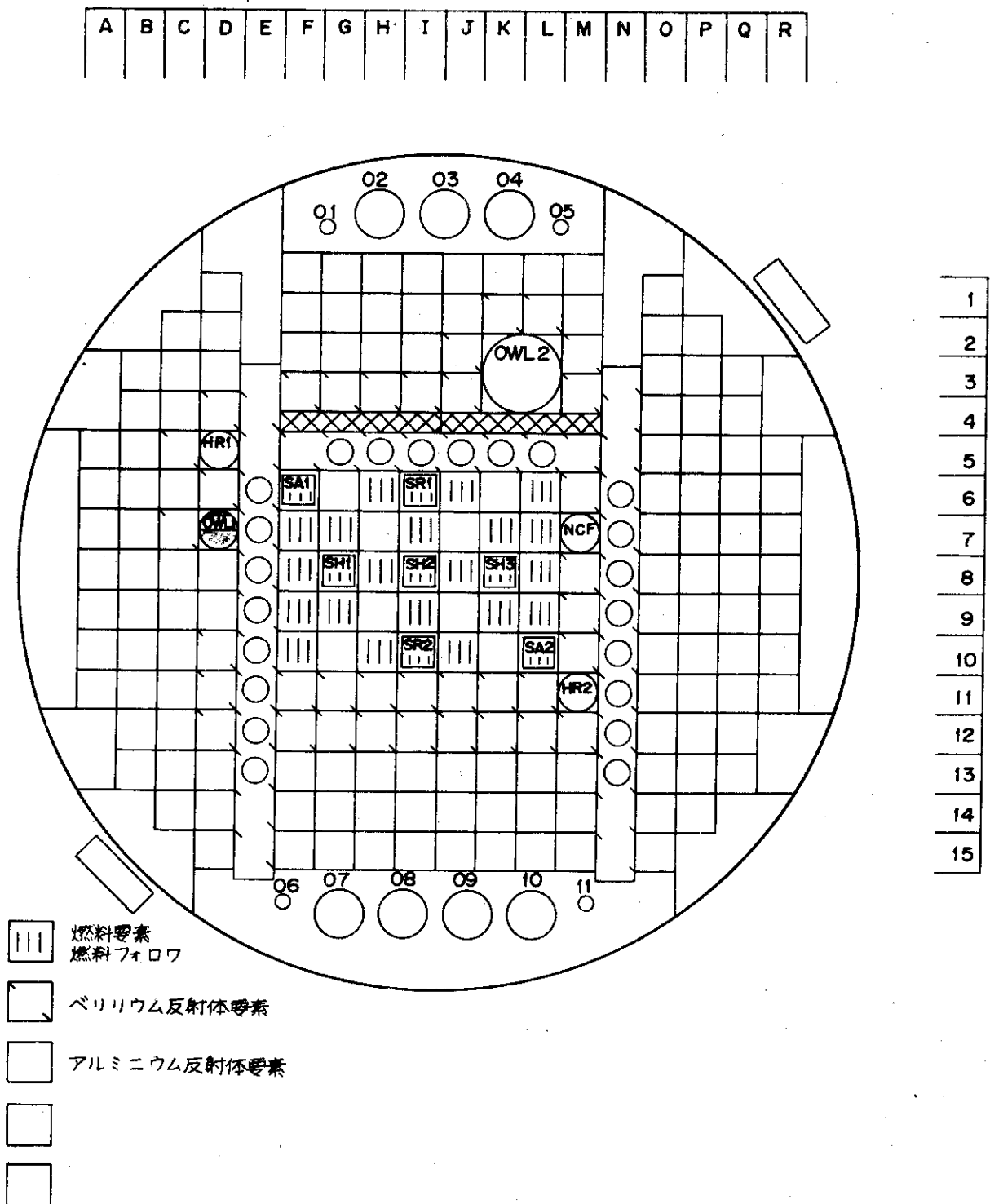


Fig. 2.2.1 In-pile tube location in reactor core

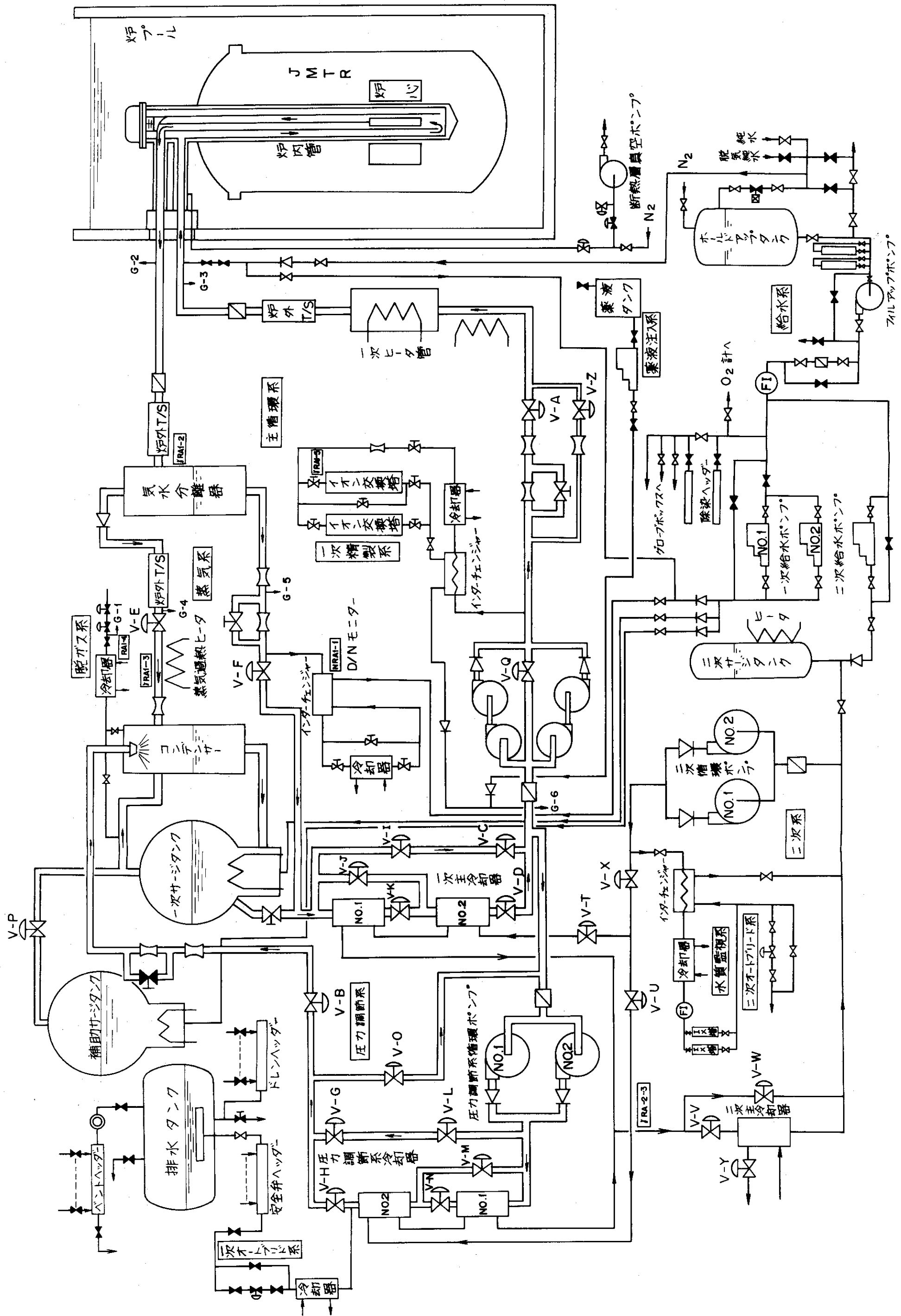


Fig. 2.2.2 Flow diagram of OWL-1

64	緊急排水用蓋	1/2	SUS327P	1	130.17	1
63	排水用蓋	1/2	SUS327P	1	130.18	1
62	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.04	1
61	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.04	1
60	排水用蓋	1/2	SUS327P	1	130.10	1
59	排水用蓋	1/2	SUS327P	1	130.10	1
58	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.09	1
57	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.12	1
56	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.12	1
55	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.13	1
54	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.13	1
53	排水用蓋	1/2	SUS327P	1	130.12	1
52	排水用蓋	1/2	SUS327P	1	130.12	1
51	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
50	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
49	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
48	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
47	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
46	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
45	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
44	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
43	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
42	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
41	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
40	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
39	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
38	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
37	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
36	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
35	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
34	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
33	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
32	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
31	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
30	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
29	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
28	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
27	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
26	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
25	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
24	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
23	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
22	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
21	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
20	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
19	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
18	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
17	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
16	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
15	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
14	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
13	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
12	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
11	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
10	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
9	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
8	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
7	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
6	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
5	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
4	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
3	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
2	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1
1	排水用蓋	1/2	SUS316	1	130.01	1

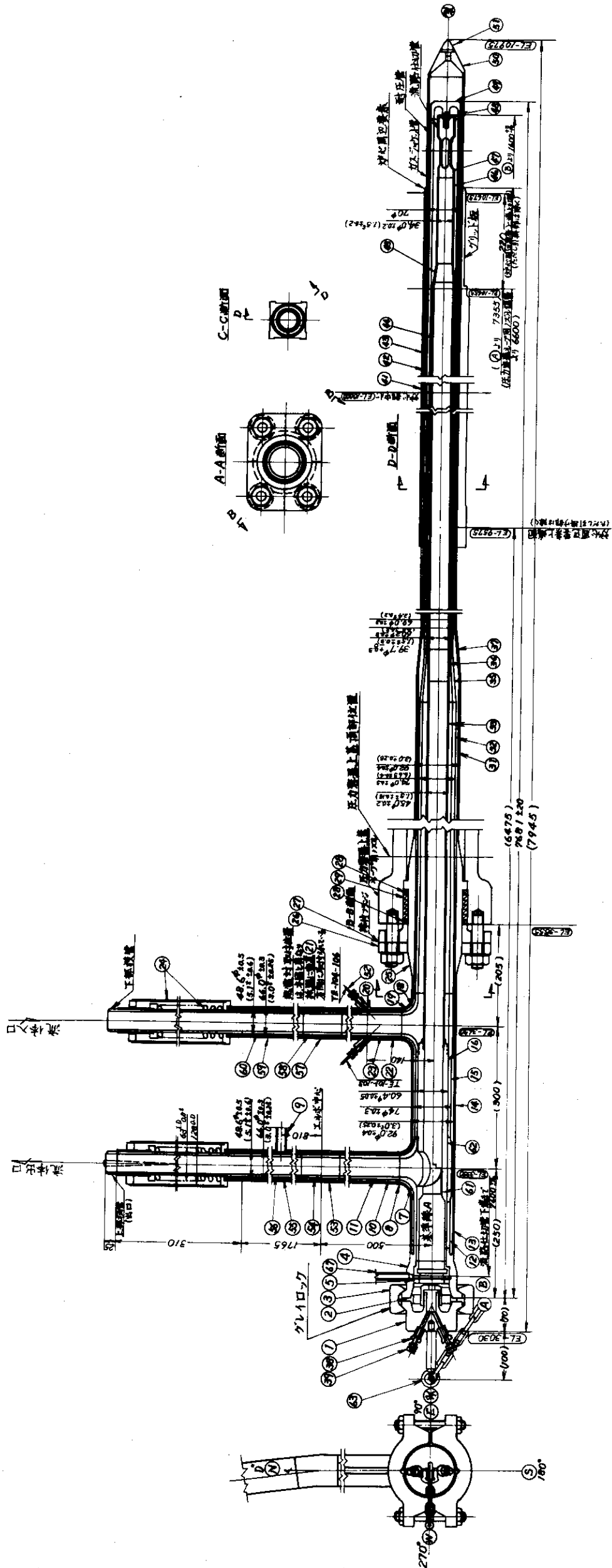


Fig. 2.2.3 OWL-1 in-pile tube

1. 本図の炉内部 (インパイル・チューブ) の挿入孔はD-7である。
2. 本図のElevationの出所は原研図面による。

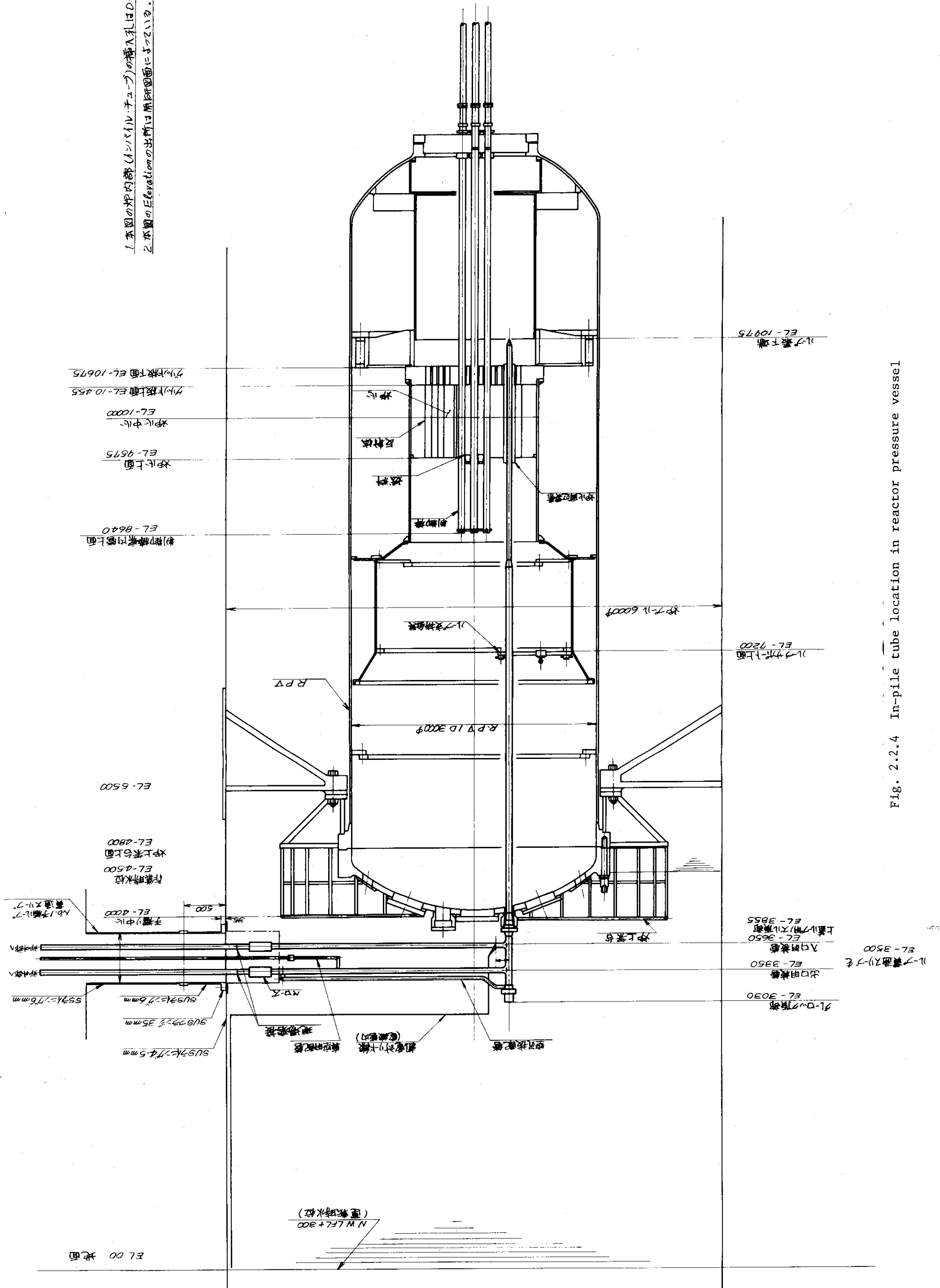


Fig. 2.2.4 In-pile tube location in reactor pressure vessel

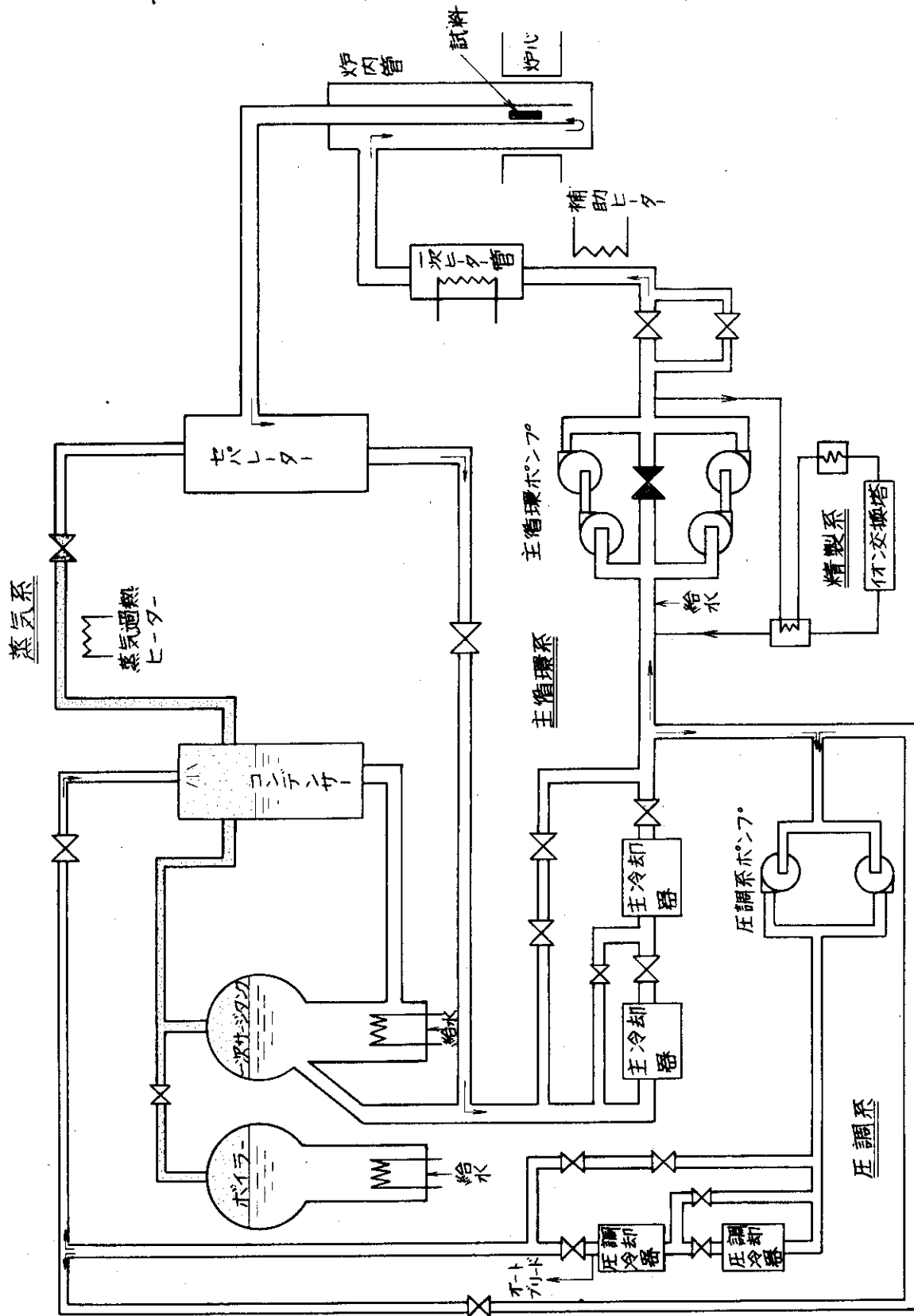


Fig. 2.2.5 Coolant circulation path in pressurized mode operation

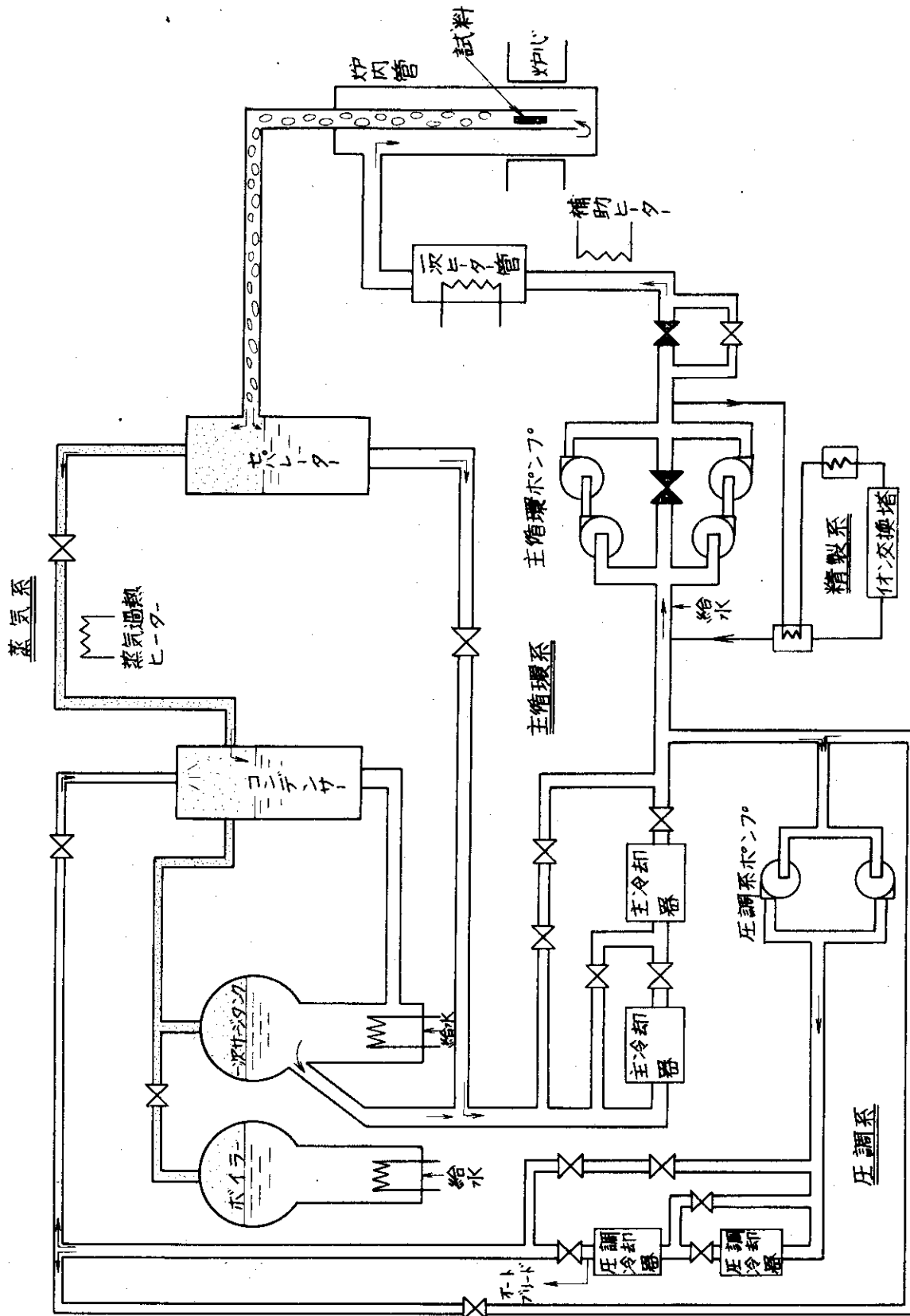


Fig. 2.2.6 Coolant circulation path in boiling mode operation

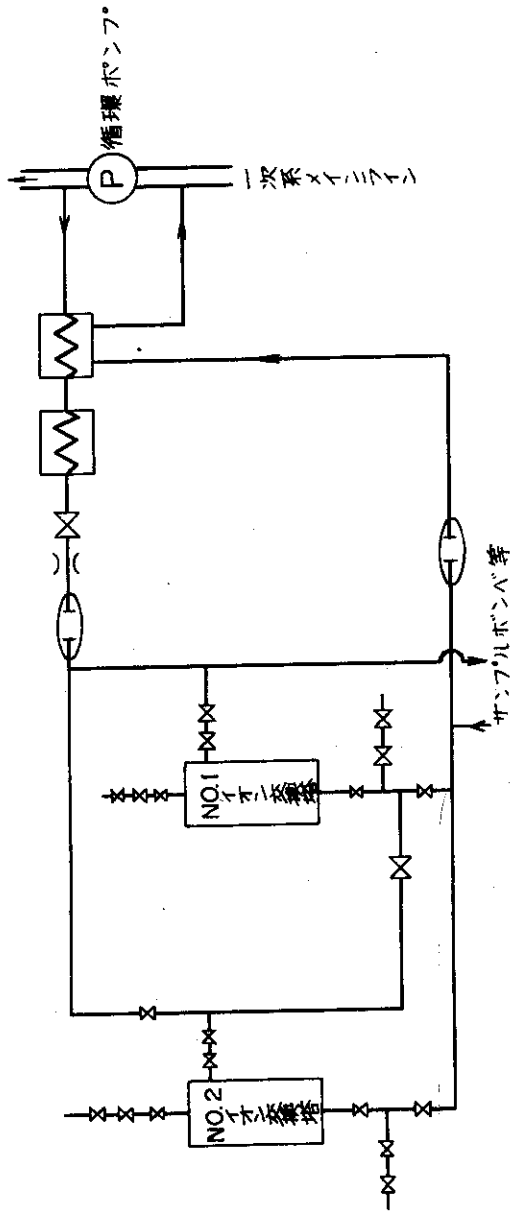


Fig. 2.2.7 Flow diagram of clean-up system

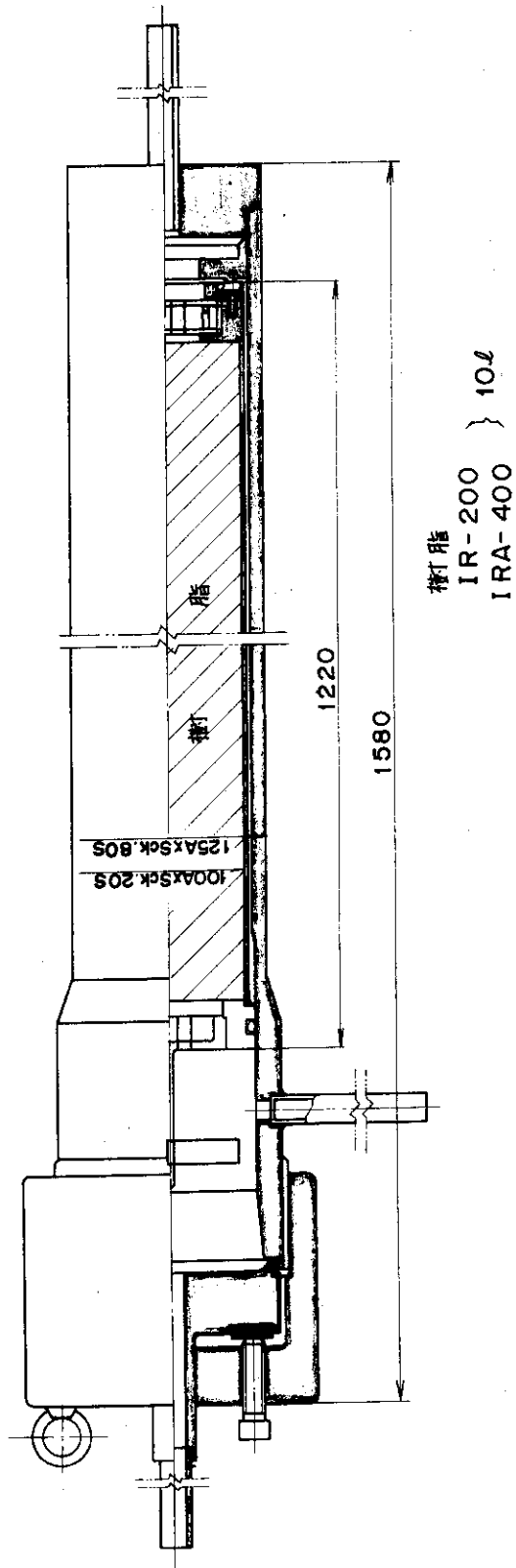


Fig. 2.2.8 Ion exchange resin column

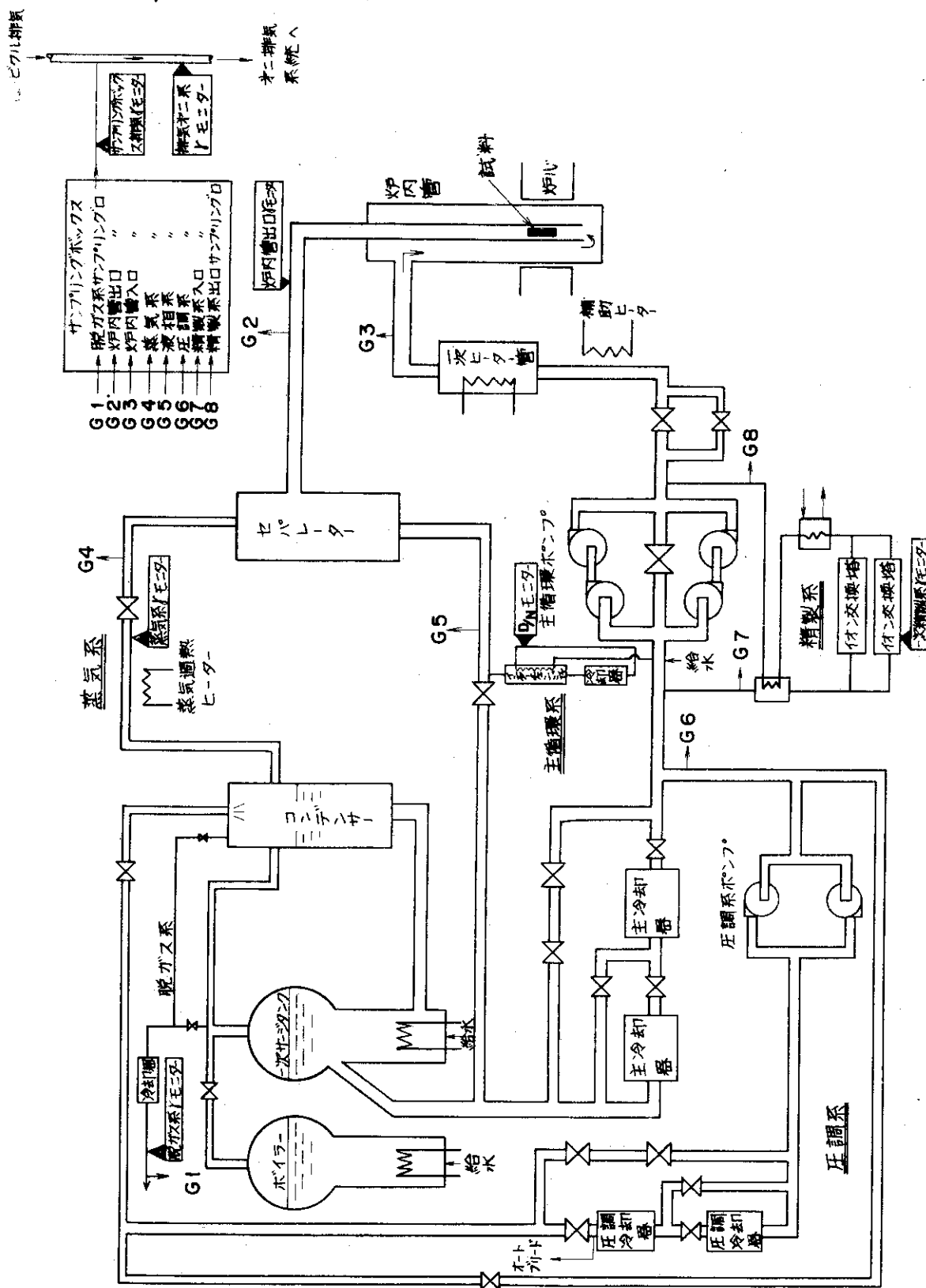
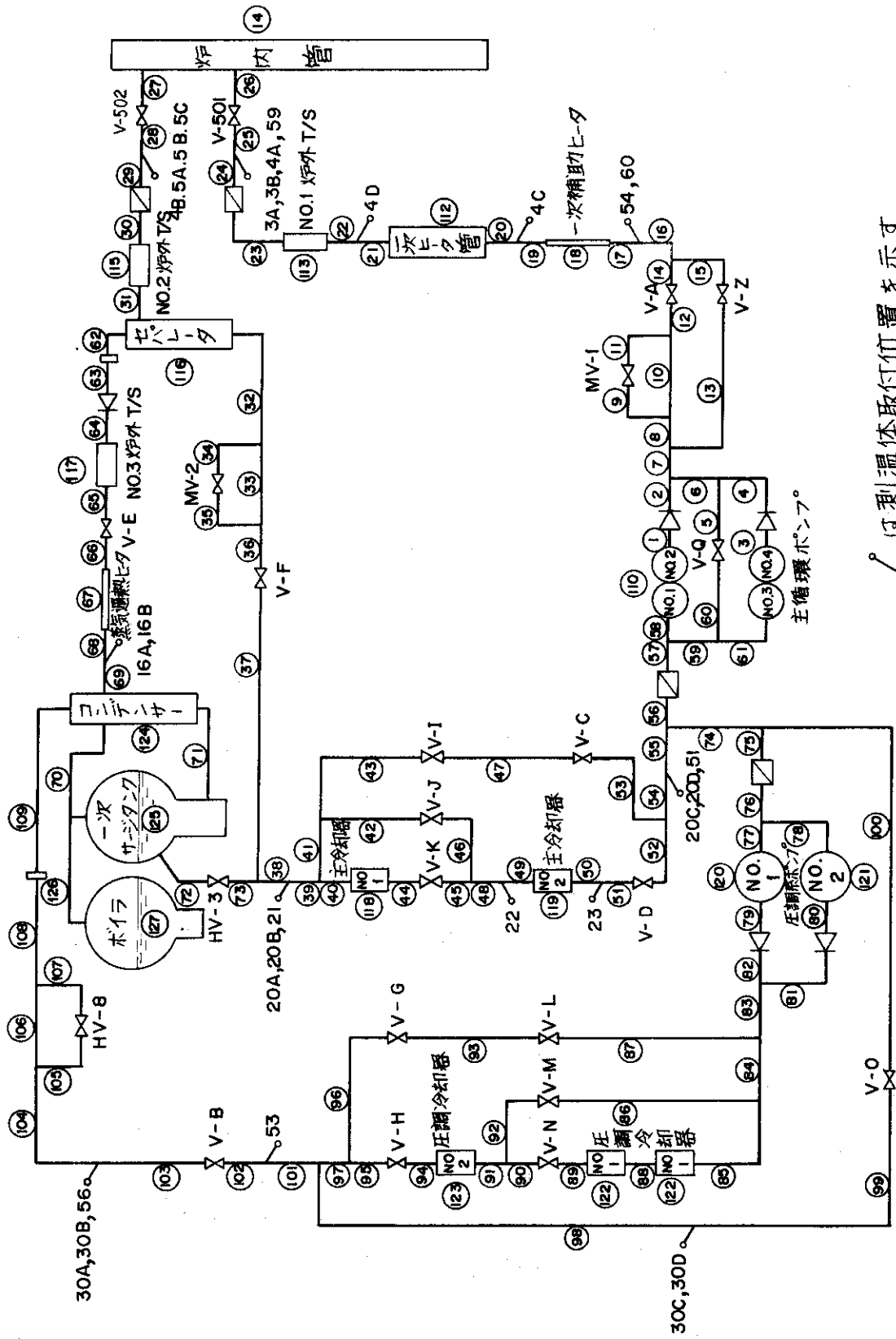


Fig. 2.2.9 Location of γ -ray monitors and sampling lines



ノは測温度取付位置を示す

Fig. 2.2.10 Numbering of each piping and instrument of OWL-1 for Table 2.2.3

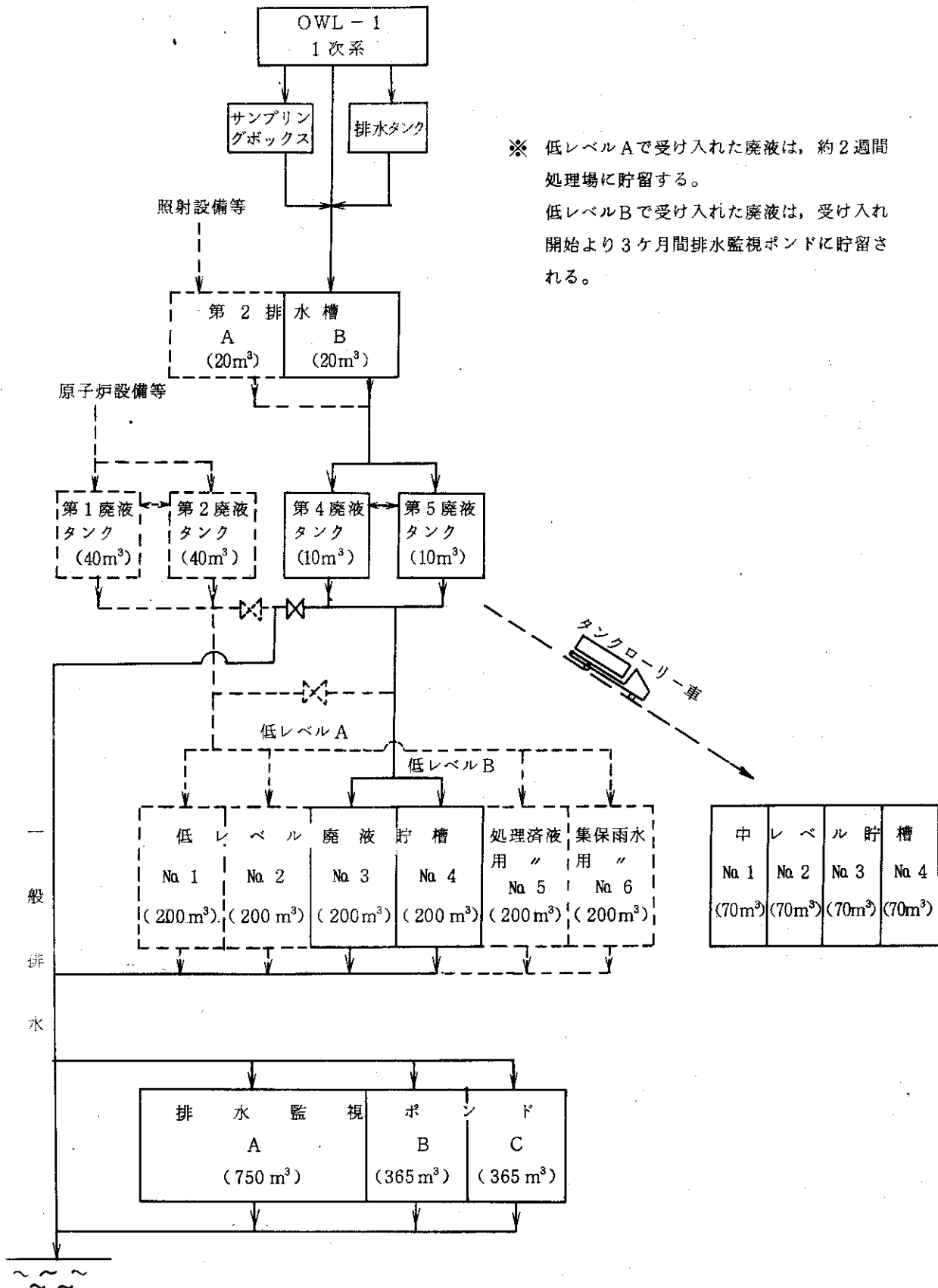


Fig. 2.2.11 Block diagram of drainage system

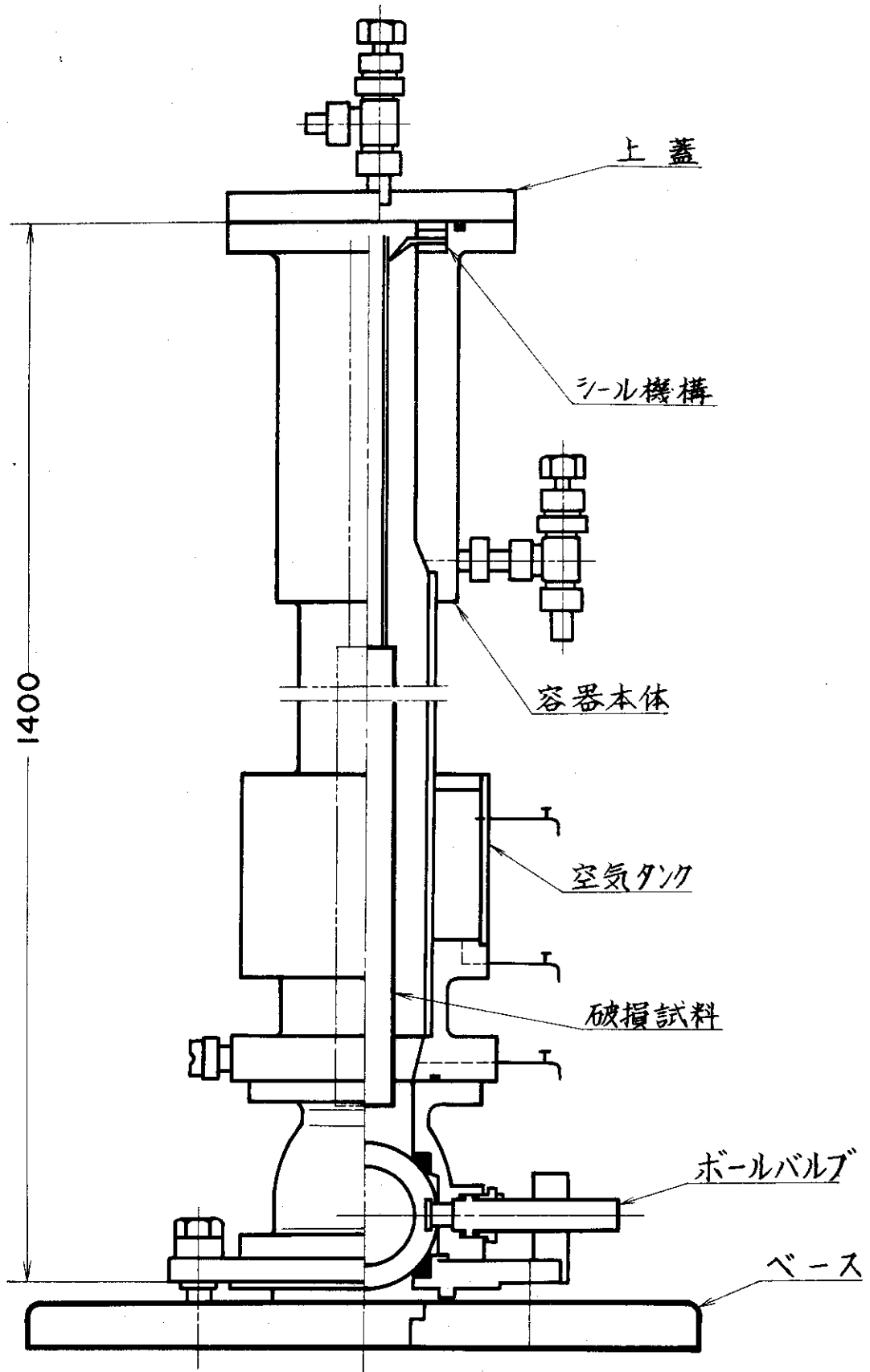


Fig. 2.2.12 Container for failed fuel specimen

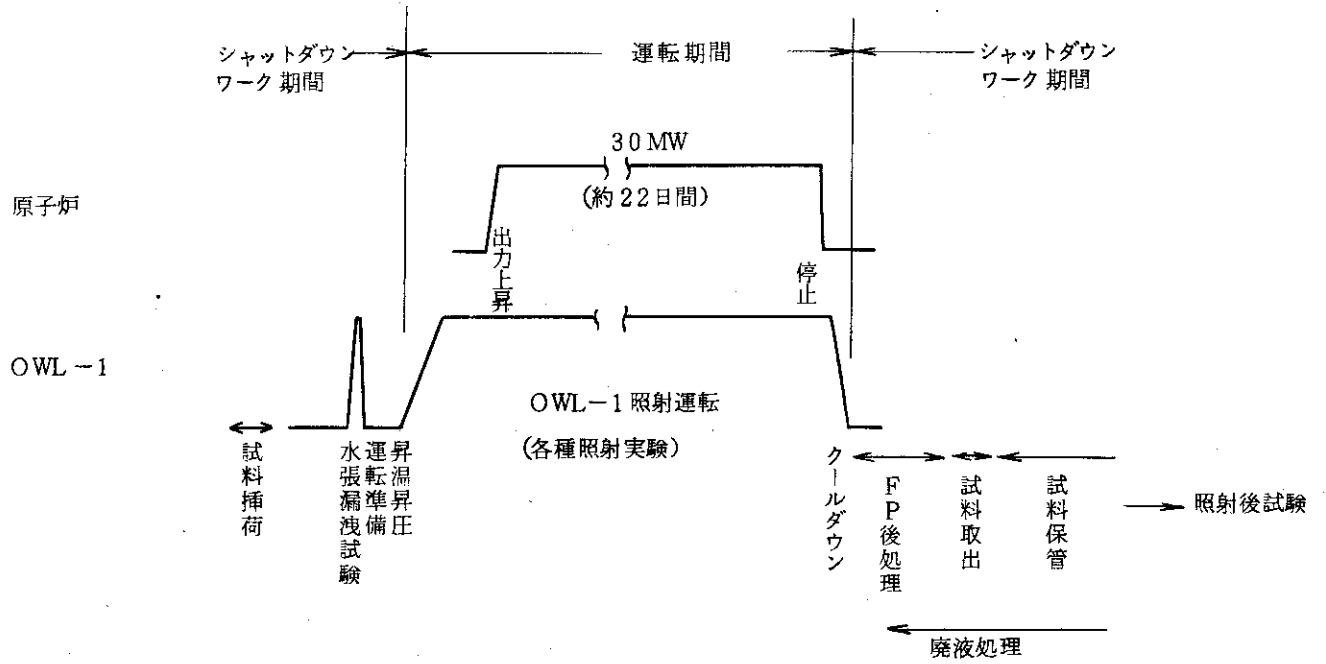


Fig. 2.2.14 Typical operating pattern of OWL-1

3. 関連実験

3.1 炉外実験

3.1.1 まえがき

軽水動力炉の運転時の原子炉水の温度と圧力に類似した照射条件において、人工欠陥燃料棒から冷却水中にFPを放出させるような実験は、国内の原子炉内水ループではこの報告に記した実験が行なわれるまで、未だ経験が無かった（人工欠陥燃料棒名称=70L-7A）。

被覆管に人工的なピンホールを作ったような燃料試料を中性子照射した場合、約70 kg/cm²G、約300℃附近のループ冷却水雰囲気において、被覆管ピンホールを經由して出入りする物質として、量的に主要なものは水蒸気（水分も含む）であろうと想定した。燃料試料被覆管のピンホールから管外周囲の冷却水中に放出されるFPの挙動特性は、ピンホール部分における流体の挙動により影響を受けることが考えられた。そして強 γ 線の場合においてUO₂と水蒸気（または水分）の間に生じる反応により、ペレット表面の状態に変化が生じ、その結果としてペレット表面からペレット粉末が離脱し、さらにペレット粉末は燃料試料から冷却水中に移行し、冷却系内に拡散することが考えられた。

上に記した理由から、炉内水ループを利用して人工欠陥燃料棒を照射することによりFP放出実験を行なうためには、被覆管ピンホールより放出される水蒸気の挙動および人工欠陥燃料棒プレナム部水分と接するUO₂ペレット表面の状態の変化について、予備的および定性的な知見を補足する必要があると思われた。

3.1.2 微小孔を通過する窒素気体の放出速度の測定

炉内水ループ照射によるFP放出実験に供用される人工欠陥燃料棒は、冷却水の温度・圧力の面において、軽水動力炉の炉心相当の条件下に置かれるが、窒素は粘度に関して水蒸気と類似した挙動を示すので、窒素を用いて実験を行なうことにより、被覆管欠陥部分の流体挙動について有用な示唆を得ることが可能であると考えられた。よって、(a)室温下の微小孔よりの窒素気体の放出速度の測定、(b)高温下の微小孔よりの窒素気体の放出速度の測定、の二項目について実験を行なった。

3.1.2.1 実験装置

使用した実験装置の流路線図をFig. 3.1.1に示す。CとFは両端が半球状の円筒であり、C(上側部分)とF(下側部分)をフランジ接続する方式を採用した鉄製耐圧容器である。Cは外周覆囲式の電力加熱線Yを装備し、Fは内装コイル式の電力加熱線Zを装備している。CとFは、C側のフランジ部断面において中仕切りにより隔離されている。中仕切り中心部に円筒管(20mm ϕ O.D. \times 60 mm L)を溶接し、この管の先端部分の底部の中心の穴を通し、CとFを導通させている。管の先端部分には鉄の小円板を固定して穴を密閉することが可能であり、小円板の中心に微小孔が明いている場合には、高圧容器側気体が微小孔を通過して低圧容器側に流れる。Cに高

圧窒素（最大圧力、80 kg/cm²G）を詰め、微小孔E（20, 30, 50, 100, 200, 400 または 500 μm φ の孔、互換可能な円板の中心に付いている）を通してF に放出することができる。耐圧容器には、安全弁A（吹き出し設定値 100 kg/cm²G）、圧力計B, H（0~200 kg/cm²G）、熱電対検出端子部装着部D, Gが装備されている。銅製配管M（6mm φ I.D）を通して連成型圧力計KとニードルバルブI, Jを経て、ボンベLから耐圧容器に窒素を送入することができる。系内の窒素気体は、ニードルバルブNを経て大気中に放出することができる。

3.1.2.2 実験操作

(1) Fig. 3.1.1において、E部分に微小孔（20, 30, 50, 100, 200, 400 または 500 μm φ）付円板を固定したのち、Nを閉、IとJを開の状態にKを開いた。BとHが約50~60 kg/cm²Gを示したらKを閉じ、装置系の漏洩の有無を石けん液法により検査した。系に漏洩点がないことを確認したのち、Kを開いて系内圧力を70~80 kg/cm²Gまで上げた。K, I, Jの順に閉じ、BとHの指示値を確認した。それからN, Jの順に開いてHが零点を指示した時に、Bの指示値を読み取った。そしてBの指示値の経時変化を記録した。

(2) Fig. 3.1.1において、E部分に微小孔（200 μm φ）付円板を固定したのち、以下(1)項と同様な手順で実験装置系に漏洩がないことを確認し、系内圧力を大気圧まで下げた。それからNを閉じ、Kを開いて系内圧力を約35 kg/cm²Gまで上げた。K, I, Jの順に閉じ、BとHの指示値を確認してから電熱加温系Y, Zを作動させて、系の指示温度を300℃（±10%）に調節した。それからN, Jの順に開いてHが零点を指示した時にBの指示値を読みとった。そしてB指示値の経時変化を記録した。

3.1.2.3 実験結果

半対数グラフ用紙上に、経過時間（x軸）に対してB指示値（y軸）を目盛った場合、10~70 kg/cm²Gの圧力範囲において、各測定点がほぼ直線上に乗ることが判った。実験結果をFig. 3.1.2~8に示す。測定の結果から、室温下の圧力差P（耐圧容器内気体圧力（10~70 kg/cm²G）—大気圧）における窒素気体の流出速度を求めた（Table 3.1.1と3.1.2）。吹き出し流出速度Wの平均値を用いて整理することにより、次のような実験式を得た。

$$W = \alpha \cdot P \cdot s \cdot T^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ただし、W = 流出速度（g・sec⁻¹）

α = 変換定数

P = 圧力（kg/cm²G）

s = 穴の断面積（mm²）

T = 温度（°K）

すなわち、温度293~573°K、圧力10~70 kg/cm²Gの窒素気体が直径20~50 μm、長さ1.5±0.5 mmの孔から大気中に吹き出す場合、その流出速度は実験式(1)にしたがう。この実験装置の場合、α = 4.2 sec⁻¹・°K^{1/2}（誤差±40%、この誤差は微小孔の径の精度に起因するものと考えられる）であった。実験の結果から、微小孔（20~500 μm φ）における気体（粘度において水蒸気と類似した気体として窒素を使用）の流動は、室温~300℃の温度範囲および10~70 kg/cm²Gの圧力範囲において、臨界流のための流出速度を表わす公式をそのまま適用できることがわかった。

3.1.3. UO₂ペレットと水蒸気の反応

3.1.3.1 実験目的

軽水動力炉における破損燃料を模擬するため、被覆管に欠陥孔を作った人工欠陥燃料棒を炉内水ループで照射する場合、欠陥孔から被覆管内に入った水と照射中のUO₂ペレットが直接に接触することが考えられる。UO₂ペレット表面の状態の変化により、ペレットからその粉末が離脱し、そしてループ冷却系内に移行し、その結果として系内ウラン汚染をもたらすことが推測される。それ故、炉内水ループの照射条件下において、ペレット表面と水の間には反応が起る可能性について、予備的および定性的に確認して置くことが望ましいと考えられた。

3.1.3.2 実験方法

UO₂ペレット (²³⁵U 2.6 w/o, 重量約 14 g) 1個を約 0.2 ml (加熱しながらγ線照射を行なった時、試料容器内の圧力を最大50気圧以内に保つため)の水を封入した石英ガラス製封管1本とともにジルカロイ-2製管 (12.23 mmφ×220 mmL) に減圧密封して照射用試料を製作した。照射用試料は2本製作した。日本原子力研究所東海研究所コバルト照射室において、上記の試料にγ線を照射し、走査型電子顕微鏡により照射後のUO₂ペレット表面を観察した。試料照射の条件は次のとおりであった。2本の試料の中の1本は300℃雰囲気中で全照射線量が1.15×10⁸R (線量率(3.8×10⁵R/hr)・照射時間(303.47 hr))であり、他の1本は100℃雰囲気中でγ線の照射条件が先の試料と同一であった。

3.1.3.3 実験結果

γ線照射後の試料被覆管内よりUO₂ペレットを取り出し、走査型電子顕微鏡によりペレット表面を観察した。観察結果の一部を写真(Fig. 3.1.9~12)に示す。一方、ジルカロイ-2製の封管内部では石英ガラスが破砕し、水滴の存在は全く認められなかった。UO₂ペレットの表面は、γ線照射の前後において差異が認められ、粉粒状物体の層が形成することを示唆しているように見受けられた。この結果は、UO₂ペレット表面に変化が起り、生成した粉粒状物体の離脱が生じる可能性を示唆しているように見受けられ、人工欠陥燃料棒の照射において考慮を払うに値する事実を示したものと考えられた。

Table 3.1.1 Half life of pressure of N₂ gas in pressure vessel C

Hole dia. (μm)	20	30	50	100	200	400	500
Half life (sec)	3.546×10^4	8.34×10^3	3.9×10^3	4.9×10^2	1.78×10^2	8.3×10	3.8×10
					$1.40 \times 10^2^*$		

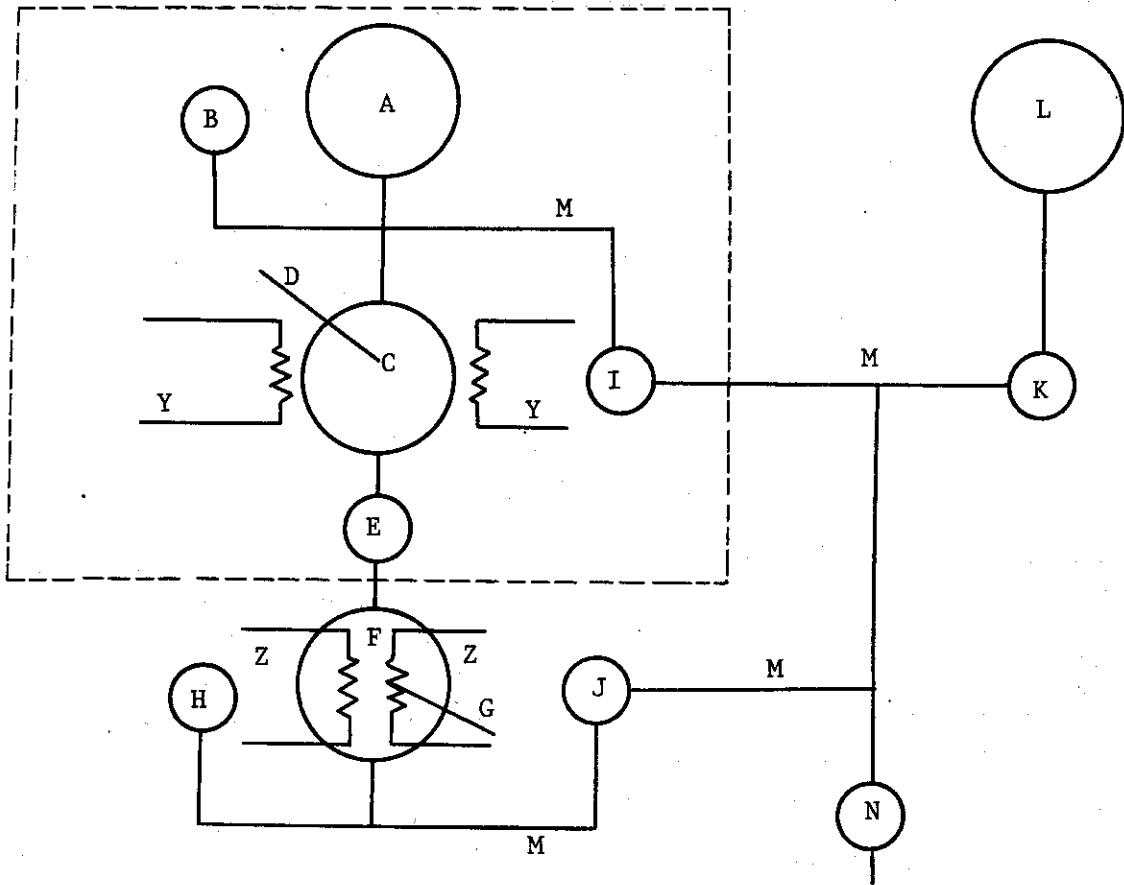
* $300 \pm 30^\circ\text{C}$ Table 3.1.2 Normalized flow rate of pressurized N₂ gas through hole to atmosphere

Hole dia. (μm)	20	30	50	100	200	400	500
Flow rate* (g/sec/mm ²)	9.9	19.3	15.0	29.5	20.2	10.9	15.1

* Calculated value normalized to 1 mm².Reference; Flow rate of liquid water at room temperature and 70 kg/cm²·G (ΔP)**

Hole dia. (μm)	20	50
Flow rate	25mg/30min.	5g/30min.

** The results of measurements of amounts of water leaked out from a hole of part E in Fig. 3.1.1.



- A Safety Valve (max. 100 kg/cm²)
- B,H Pressure Gauge (0 ~ 200 kg/cm², 5 kg/cm²/div.)
- C Pressure Vessel (Volume, 1.937 ℓ)
- D,G Thermo Couple (IC)
- E Pinholed Disk
- F Pressure Vessel (Volume, 2.7 ℓ)
- I,J,N Needle Valve
- K Pressure Gauge
- L Pressurized N₂ Storage
- M Pipe (In. Dia. 6 φ)
- Y,Z Electric Heater (2 kW)

Fig. 3.1.1 Simplified flow diagram of pressurized gas jetting apparatus

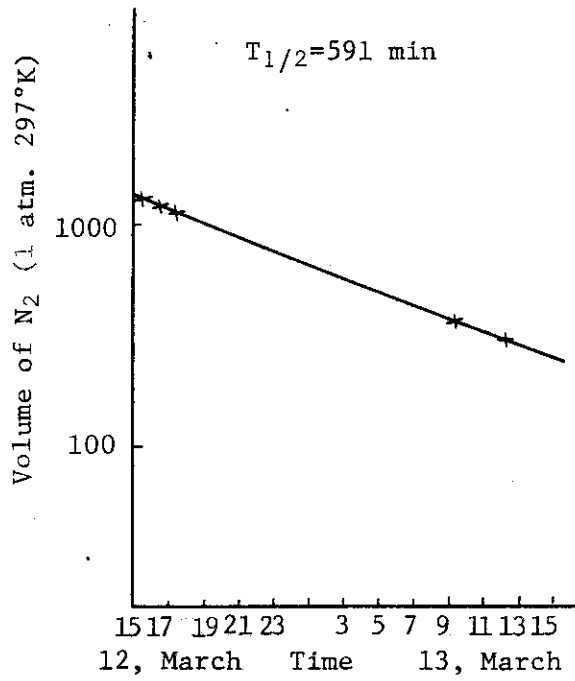


Fig.3.1.2 Jet of N₂ gas through the pore of Dia. 20 μm

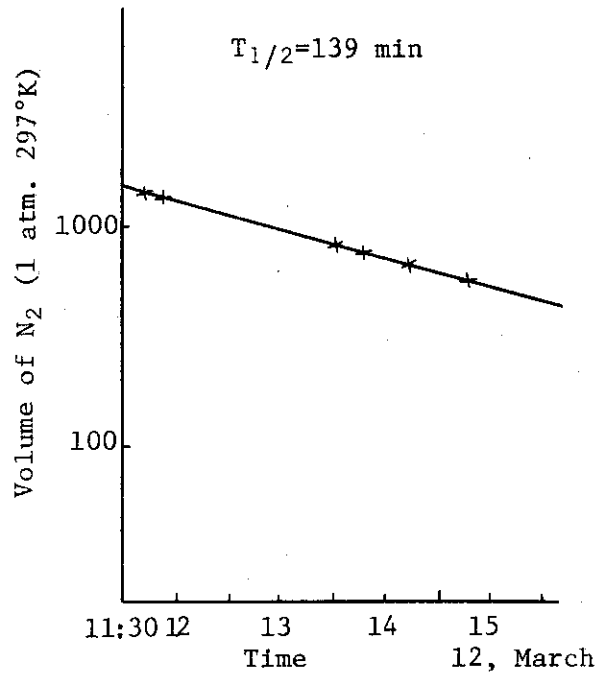


Fig.3.1.3 Jet of N₂ gas through the pore of Dia. 30 μm

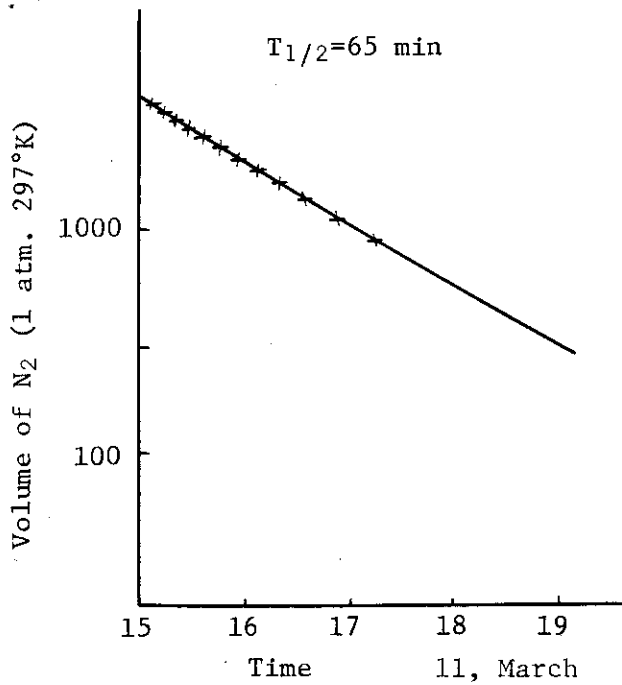


Fig.3.1.4 Jet of N₂ gas through the pore of Dia. 50 μm

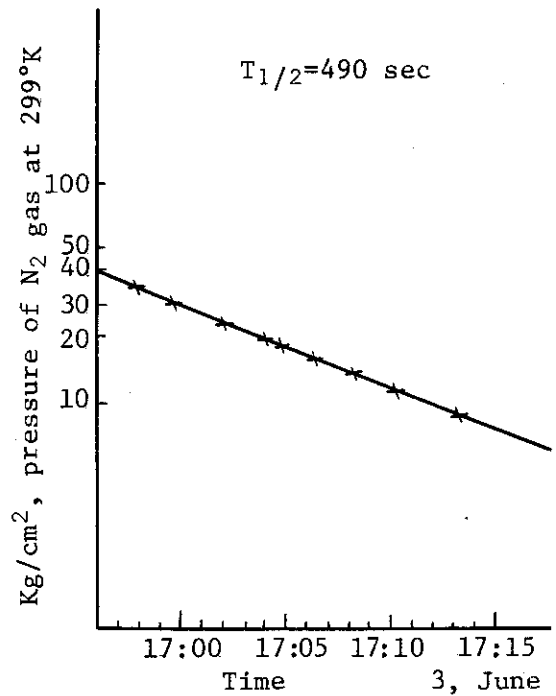


Fig.3.1.5 Jet of N₂ gas through the pore of Dia. 100 μm

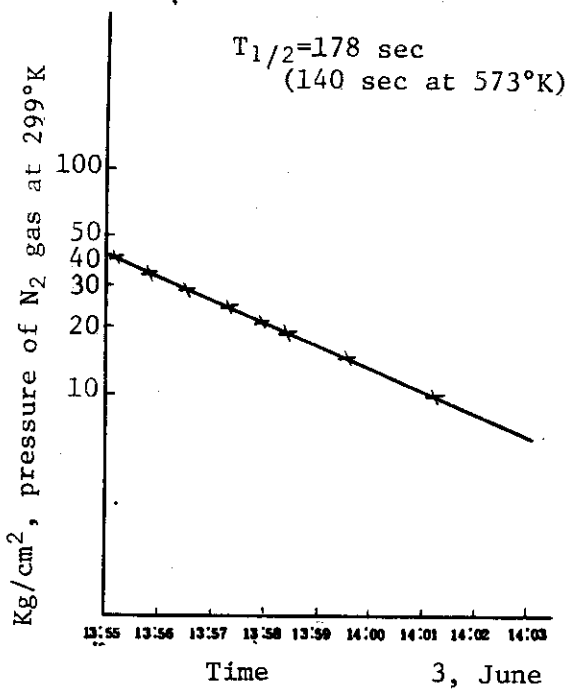


Fig.3.1.6 Jet of N₂ gas through the pore of Dia. 200 μm

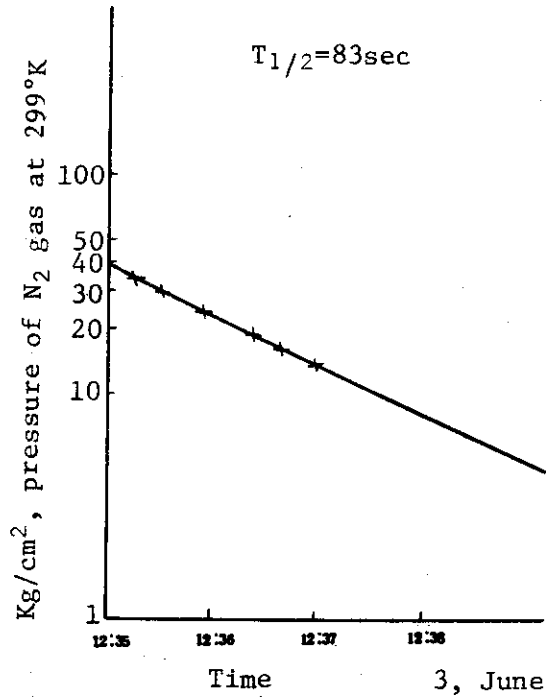


Fig.3.1.7 Jet of N₂ gas through the pore of Dia. 400 μm

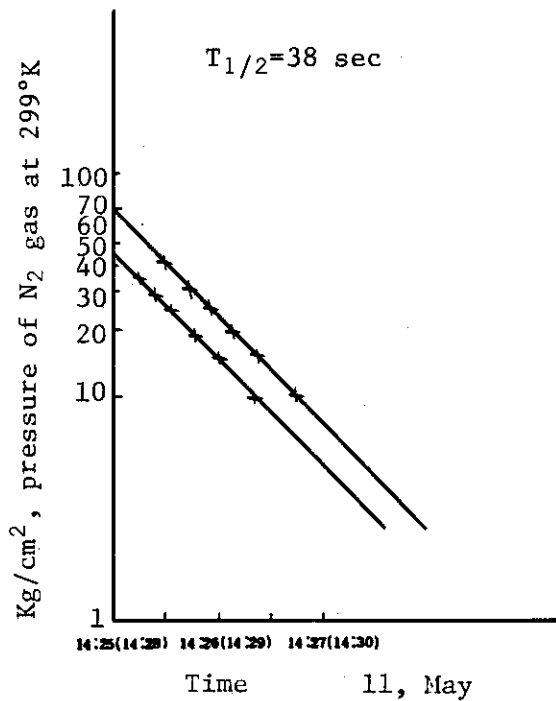


Fig.3.1.8 Jet of N₂ gas through the pore of Dia. 500 μm

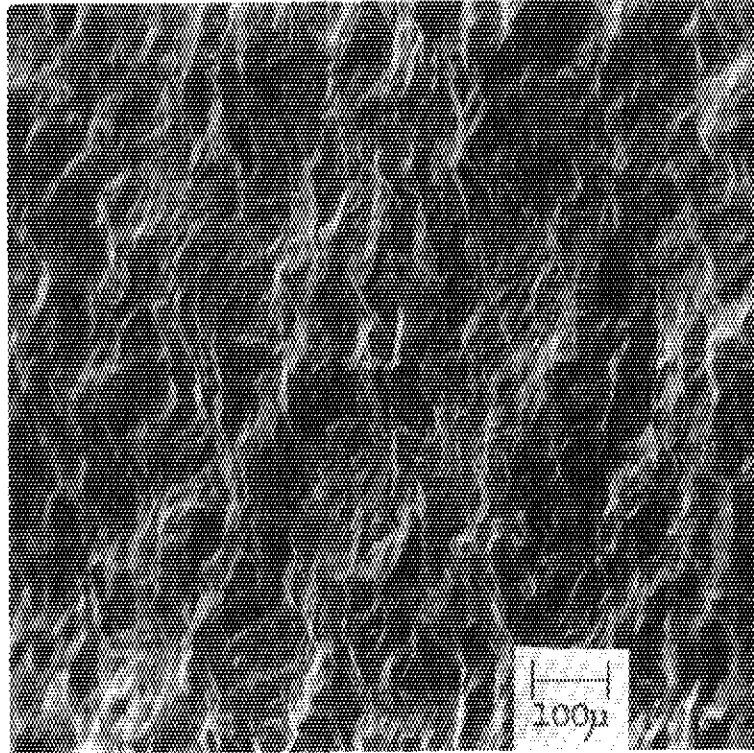


Fig. 3.1.9 Unpolished surface of unirradiated
UO₂ pellet (×300)

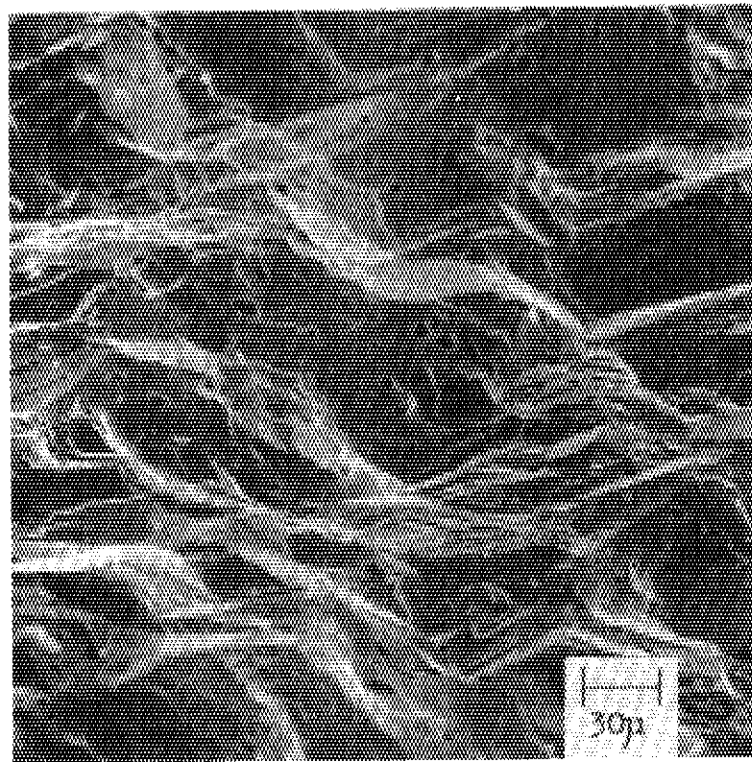


Fig. 3.1.10 Unpolished surface of unirradiated
UO₂ pellet (×1000)

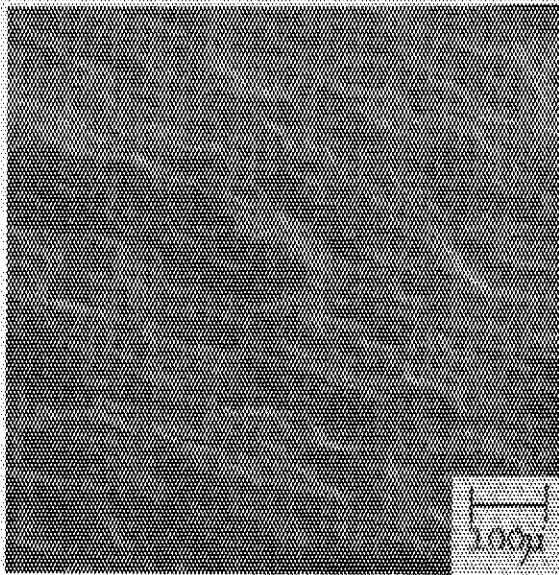


Fig. 3.1.11 Unpolished surface of UO₂ pellet irradiated at 100°C, (×300)

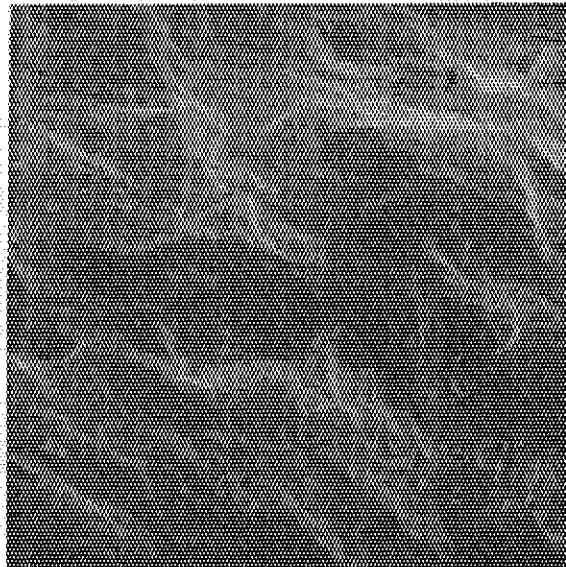


Fig. 3.1.12 Unpolished surface of UO₂ pellet irradiated at 100°C, (×1000)

3.2 JPDRにおける人工欠陥燃料棒の照射

3.2.1 実験目的

この実験の目的の一つは、JPDRにおいて人工欠陥燃料棒を照射し、FPの放出速度を測定することにあり、他の一つは、湿式シッパー法により破損燃料棒を含む破損燃料集合体を検出する方法を検証することにあった。

3.2.2 実験装置

実験目的を達成するために、人工欠陥燃料棒をJPDR炉心に装荷して照射した(Fig. 3.2.1)。燃料棒を照射するための装置(リグ)は、Fig. 3.2.2に示すように装置自体が燃料照射試験のために用意した部分を備えている。リグの中の燃料を照射試験する部分は、円筒状(23.2 mm I.D × 146.7 cm L)である。そしてJPDRの燃料集合体が装荷された炉心位置と同様な条件の下で冷却水を流すことができると考えられている。本実験を行なった当時のJPDR一次冷却系の流路の略図をFig. 3.2.3に示す。

3.2.3 実験方法

原子炉水浄化用イオン交換樹脂脱塩器の流入側附近で、試料水を採取した。定格出力運転時における代表的な原子炉水条件を以下に記す。

原子炉水温度	277 °C
原子炉水圧力	61.5 kg/cm ² G
一次系主蒸気流量	68 ton/hr
原子炉水浄化脱塩器流量	3.4 ton/hr
原子炉水の溶存酸素量	0.3~0.4 ppm
原子炉水の電気伝導度	< 1 μS/cm at 25 °C
原子炉水のpH	5.5~7.5

人工欠陥燃料棒は、健全なセグメント1本および欠陥孔付セグメント1本を含むセグメント2本から構成されている。人工欠陥燃料棒の仕様を以下に記すとともに、寸法と形状の概要をFig. 3.2.4に示す。

UO ₂ ペレットスタック長さ	720.9 mm
UO ₂ ペレット直径	10.6 mm
UO ₂ ペレット全重量	673 g
U-235濃縮度	2.6 w/o
被覆管材質	ジルカロイ-2合金
被覆管厚み	0.69 mm
被覆管欠陥孔(直径×個数)	0.5 mm × 2

人工欠陥燃料棒の照射は、1968年4月3日から5月11日および1969年7月24日から9月1日の期間に行なわれた。前半の照射期間中のJPDRの出力運転状態をFig. 3.2.5に示す。原子炉水浄化脱塩器流入側附近で採取した冷却水試料中の放射性ヨウ素および放射性セシウムは、化学

分離操作後に γ 線波高分析器により測定し、 ^{131}I と ^{137}Cs の見かけの放出速度を求めた。

原子炉格納容器内の使用済燃料貯蔵プール中に、破損燃料検出用の燃料集合体封入容器を備えつけた。燃料集合体封入容器は、プール底面に直立した状態で定置した。封入容器の仕様を以下に記す。

燃料集合体封入容器の仕様

使用材質	ステンレス鋼
有効体積	約 33 ℓ
全 長	206 cm
断 面	13.4 cm × 13.4 cm

容器内水採取用保護導管付の容器フタの仕様

容器フタ材質	ステンレス鋼
導管の長さ	637 cm
導管内径	5 cm

原子炉停止直後より2週間経過してから、照射後の人工欠陥燃料棒をリグとともに炉心からプール中の封入容器に移し、試料水採取用保護導管付の容器フタで密封した。封入容器中の試料水は真空ポンプを用いて吸引採取した。試料水中の放射性ヨウ素および放射性セシウムは、化学分離操作後に γ 線波高分析器により測定し、封入容器内水中の ^{131}I と ^{137}Cs の含有量を求めた。

3.2.4 分析方法

(1) 放射性ヨウ素

(a) 試 薬

ヨウ素担体溶液 (10 mg I/ml) : ヨウ化カリウム 13.08 g を水に溶かし、水で薄めて正しく 1 ℓ にした。

次亜塩素酸ナトリウム 5% 溶液、炭酸ナトリウム飽和溶液、亜硫酸水素ナトリウム 1 M 溶液、硝酸銀 0.1 M 溶液、塩酸ヒドロキシルアミン飽和溶液、濃硝酸、四塩化炭素、アセトン。

(b) 分析操作

- (i) ミリポアフィルタ HA (最多数分布孔径 0.45 μm) を用いて試料水を減圧ろ過した。分液漏斗にろ過処理済み試料水 100 ml を移し、炭酸ナトリウム飽和溶液 2 ml、ヨウ素担体溶液 2.0 ml、次亜塩素酸ナトリウム溶液 2 ml を加え、1 分間十分に振り混ぜた。
- (ii) 四塩化炭素 10 ml、塩酸ヒドロキシルアミン溶液 3 ml、濃硝酸 3 ml を加え、ただちに水相の褐色が消えるまで振り混ぜ、ヨウ素を四塩化炭素に抽出した。
- (iii) 四塩化炭素相は、水 10 ml、濃硝酸 1 ml、塩酸ヒドロキシルアミン溶液 1 ml を入れた分液漏斗に移し、30 秒間振り混ぜた。
- (iv) 四塩化炭素相は、さらに水 10 ml、亜硫酸水素ナトリウム溶液 1 ml を入れた分液漏斗に移し、有機相の赤紫色が消えるまで振り混ぜてヨウ素を水相に移し、有機相は捨てた。
- (v) 水相はビーカーに移し、硝酸銀溶液 2 ml、濃硝酸 2 ml を加えてヨウ化銀を沈でんさせ、沸騰するまで加熱して沈でんを凝固させた。放冷したのち、秤量済みのろ紙で沈でんをろ過し、水ついでアセトンで洗浄した。

(vi) 赤外線ランプでヨウ化銀沈でん (AgI) を乾燥したのち秤量し、化学収率を求めるとともに γ 放射能を測定した。

(c) 使用機器

TMC 256 チャンネル γ 線波高分析器 (出力ユニット; モデル 220, パルスハイトロジックユニット; モデル 210, 256 チャンネルデジタルコンピュータユニット; モデル CN-110)

Harshaw NaI 検出器 (5" ϕ \times 4")

Fluke 高電圧電源 (モデル 412 B)

較正用比較線源 (^{133}Ba , 日本アイソトープ協会)

試料水中の ^{131}I 含有量は次式により算出した。

$$^{131}\text{I} (\mu\text{Ci/ml}) = C / (3.7 \times 10^4 \cdot \epsilon \cdot \gamma \cdot y \cdot V \cdot t \cdot e^{-\lambda t'})$$

ϵ = 測定器の計数効率 (注 1)

γ = γ スペクトルの測定対象エネルギーにおける 1 壊変当りの γ 線放出数

y = ヨウ素の化学分離操作における回収率 (注 2)

V = 測定に供用した試料水の量, (ml)

λ = ^{131}I の壊変定数, (sec^{-1})

t = 計数時間, (sec)

t' = 試料水を採取した日付・時刻より計数した日付・時刻に至るまでの経過時間, (sec)

C = γ 線計数値, (counts) (注 3)

注 1)

$$\epsilon = C / (\gamma \cdot t \cdot d)$$

C = 較正用比較線源の γ スペクトルの測定対象エネルギーにおける γ 線計数値, (counts)

t = 計数時間, (sec)

d = 較正用比較線源の放射能の大きさ, (壊変数/sec)

γ = 較正用比較線源の γ スペクトルの測定対象エネルギーにおける 1 壊変当りの γ 線放出数

注 2)

$$y = (m_2) / (m_1)$$

m_1 = 試料水に一定量のヨウ素担体 (mg) を添加し、所定の分離操作により、担体ヨウ素の

100% が回収された場合の最終化学形化合物の重量, (mg)

m_2 = 試料水に一定量のヨウ素担体 (mg) を添加し、所定の分離操作により、実際に回収され

た担体ヨウ素の最終化学形化合物の重量, (mg)

なお crud (試料水を減圧ろ過した際、ミリポアフィルター側に残留した分) 試料の場合、 m_1 はミリポアフィルター-HA によるろ過処理に供用した試料水の量に相当し、 m_2 は測定に供用した試料水の量に相当する。

注 3)

$$C = C_1 - C_2$$

$$C_1 = \sum_{x=1}^b F(x) - \sum_{x=1}^{a-1} (x)$$

$$C_2 = \{F(a) + F(b)\} \cdot (b - a + 1) / 2$$

- a = 測定試料の r スペクトルの測定対象エネルギー範囲の低エネルギー側端チャンネル番号
 b = 測定試料の r スペクトルの測定対象エネルギー範囲の高エネルギー側端チャンネル番号
 F(x) = 任意のチャンネル番号に対応する (counts / チャンネル) 値

(2) 放射性セシウム

(a) 試薬

セシウム担体溶液 (10 mg Cs/ml) : 塩化セシウム 12.67 g を水に溶かし、水で薄めて正しく 1 ℓ にした。

鉄担体溶液 (1 mg Fe/ml), セリウム担体溶液 (1 mg Ce/ml), ジルコニウム担体溶液 (0.5 mg Zr/ml), 水酸化ナトリウム 4 N 溶液, 塩酸 1 N 溶液, 塩化白金酸 4 % (W/V) 溶液, エタノール, 濃塩酸。

(b) 分析操作

- (i). ミリポアフィルター HA (最多数分布孔径 0.45 μ m) を用いて試料水を減圧ろ過した。
- (ii). ろ過処理した試料水 (2 ℓ 以下) に濃塩酸 (10 ml 以下) とセシウム担体溶液 2.0 ml を加え、蒸発操作によりその体積を 20~30 ml に減少した。
- (iii). 試料溶液に鉄担体溶液, セリウム担体溶液およびジルコニウム担体溶液を各 1 ml 加え、十分にかき混ぜてから水酸化ナトリウム溶液を用いて溶液の pH を約 10 に調節し、これらの金属の水酸化物を沈でんした。
- (iv). 溶液が沸騰するまで加熱し、放冷した後に沈でんをろ過して除いた。ろ液に対してもう一回、このスカベンジングの操作をくり返した。
- (v). ろ液に塩化白金酸溶液 2.0 ml を加え、水酸化ナトリウム溶液を用いて溶液の pH を約 10 に調節した。十分にかき混ぜた後 30 分間放置した。
- (vi). 沈でんは秤量済みのろ紙 (Whatman No 540 相当) を用いてろ過した後、水 10 ml, エタノール 10 ml の順に洗浄した。
- (vii). 沈でんをろ紙とともに赤外線ランプで乾燥した後秤量し、その化学収率を決定した。

(c) 使用機器

校正用比較線源 (^{137}Cs , 日本アイソトープ協会) 以外は、すべて 3.2.4(1) と同じであった。試料水中の ^{137}Cs 含有量は次式により求めた。

$$^{137}\text{Cs} (\mu\text{Ci/ml}) = C / (3.7 \times 10^4 \cdot \epsilon \cdot r \cdot y \cdot V \cdot t \cdot e^{-\lambda t'})$$

ϵ = 測定器の計数効率 (注 1)

r = r スペクトルの測定対象エネルギーにおける一壊変当りの r 線放出数

y = セシウムの化学分離操作における回収率 (注 2)

V = 測定に供用した試料水の量, (ml)

λ = ^{137}Cs の壊変定数 (sec^{-1})

t = 計数時間, (sec)

t' = 試料水を採取した日時・時刻より計数した日付・時刻に至るまでの経過時間, (sec)

C = r 線計数値 (counts) (注 3)

注 1)

$$\epsilon = C / (r \cdot t \cdot d)$$

C = 校正用比較線源の r スペクトルの測定対象エネルギーにおける r 線計数値, (counts)

t = 計数時間, (sec)

d = 校正用比較線源の放射能の大きさ, (壊変数/sec)

r = 校正用比較線源の r スペクトルの測定対象エネルギーにおける一壊変当りの r 線放出数
注 2)

$$y = (m_2) / (m_1)$$

m_1 = 試料水に一定量のセシウム担体 (mg) を添加し, 所定の分離操作により担体セシウムの 100% が回収された場合の最終化学形化合物の重量 (mg)

m_2 = 試料水に一定量のセシウム担体 (mg) を添加し, 所定の分離操作により実際に回収された担体セシウムの最終化学形化合物の重量 (mg)

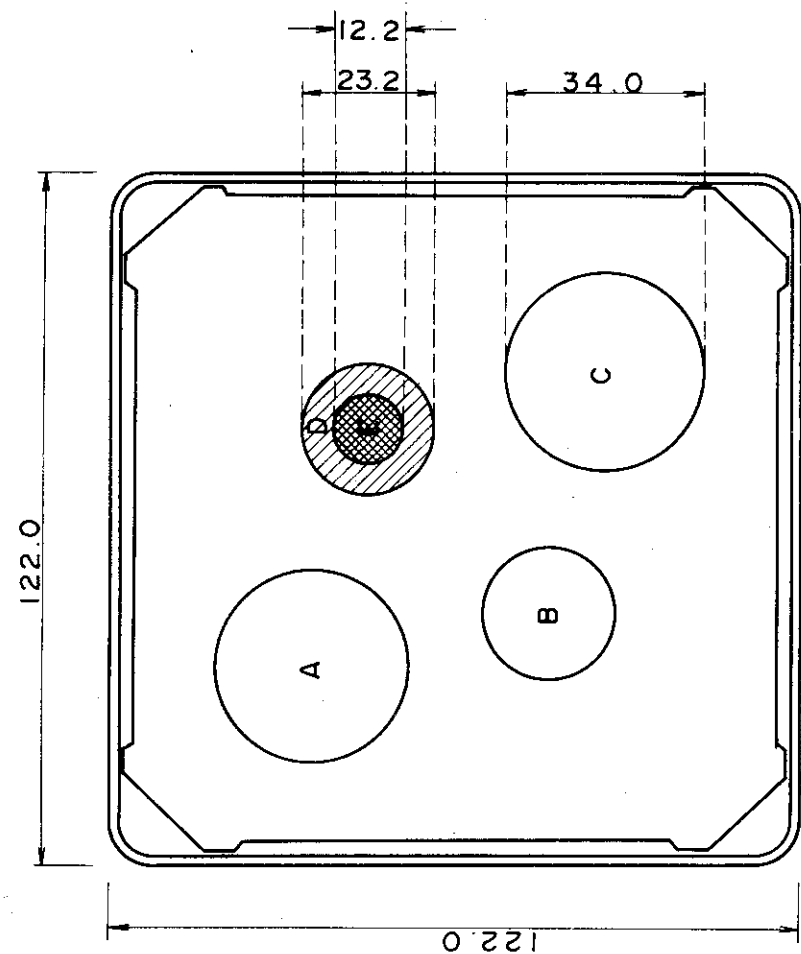
注 3)

3.2.4(1)の(注3)を参照すること。

3.2.5 実験結果

原子炉水中に放出された放射性核種の測定結果から, ^{131}I および ^{137}Cs の見かけ放出速度を求めた。 ^{131}I の放出速度は $7.9 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{sec}$ の範囲にあり, ^{137}Cs の放出速度は $7.7 \times 10^{-5} \sim 4.0 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{sec}$ の範囲にあった。

照射後の人工欠陥燃料棒をリグとともに破損検出用封入容器中に密封した直後から1週間経過した時, 封入容器内水中の ^{131}I と ^{137}Cs の含有量は, それぞれ $3 \times 10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{ml}$ および $4 \times 10^{-6} \mu\text{Ci}/\text{ml}$ であった。



A, B and C; Plugged guide tube for Coolant flow, D; Guide tube for coolant flow, E; Artificially pin-holed nuclear fuel rod (unit, mm)

Fig. 3.2.2 Simplified cross-section of rig for irradiation of artificially pin-holed nuclear fuel rod

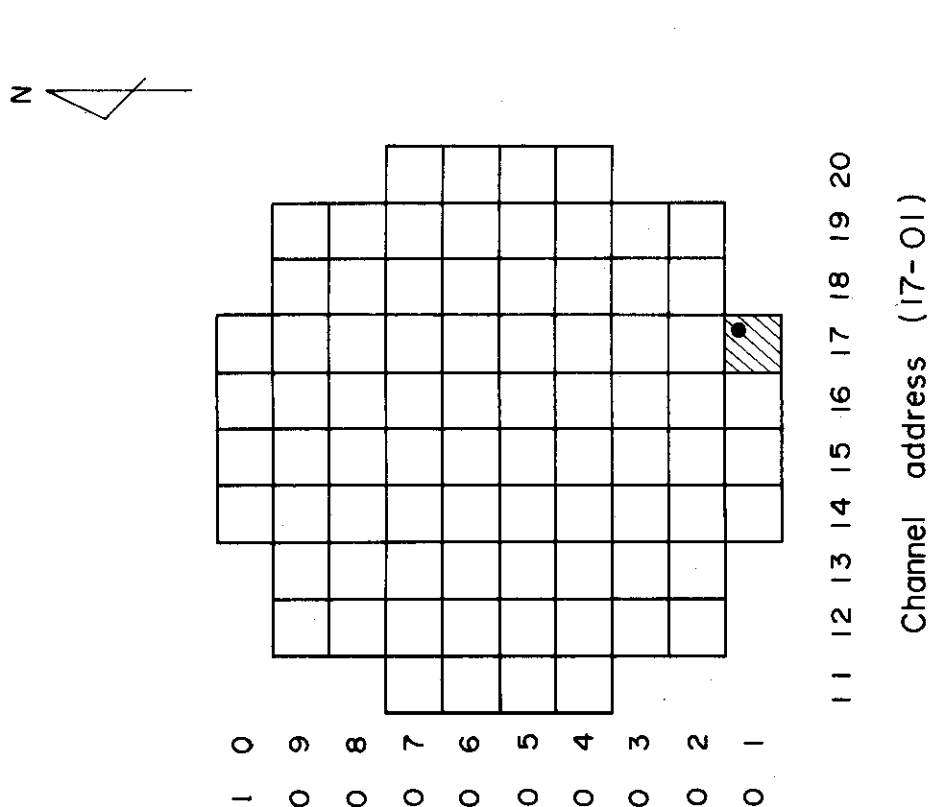


Fig. 3.2.1 Simplified channel address of artificially pin-holed nuclear fuel rod charged in JPDR core

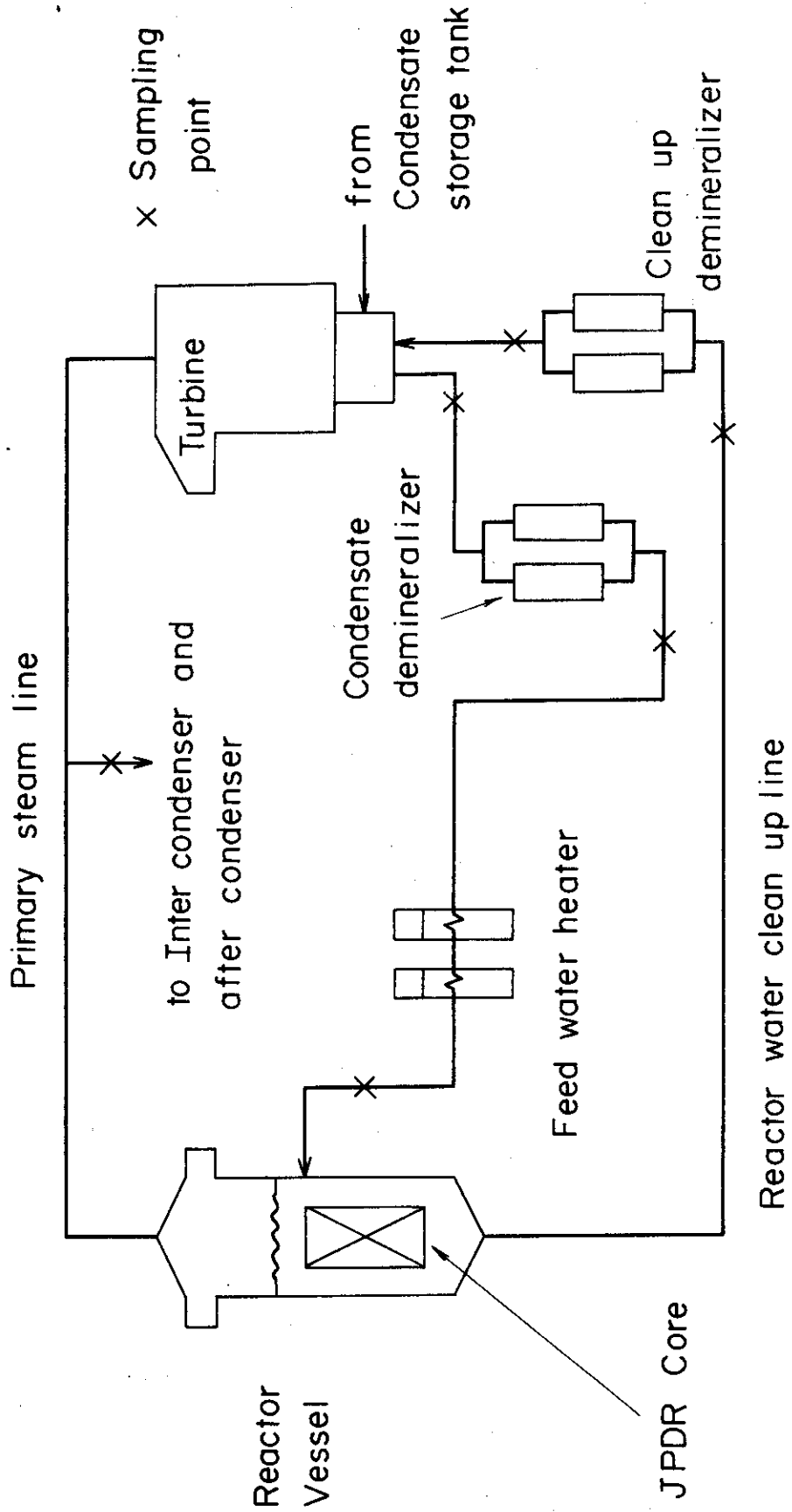
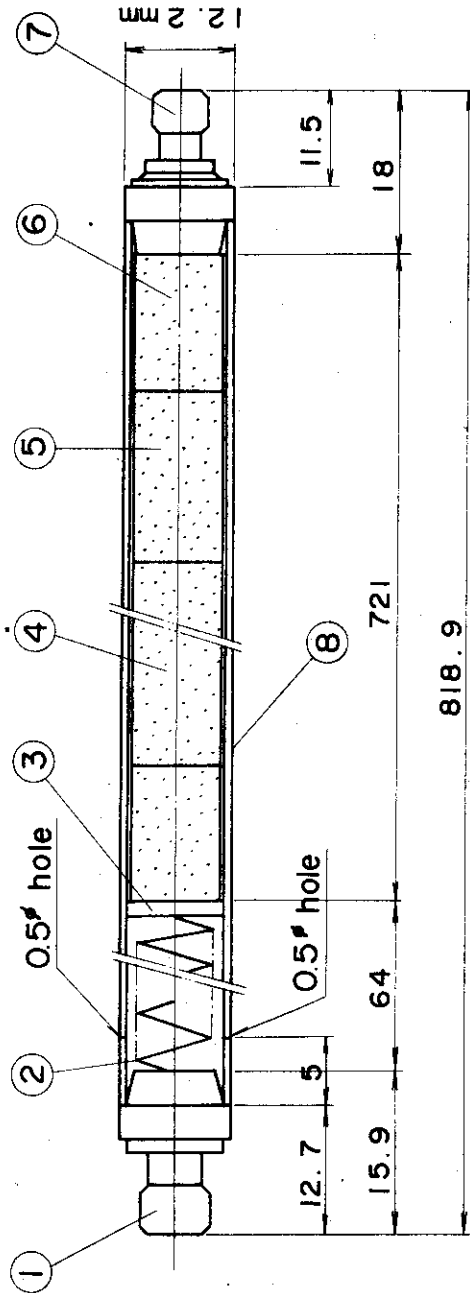
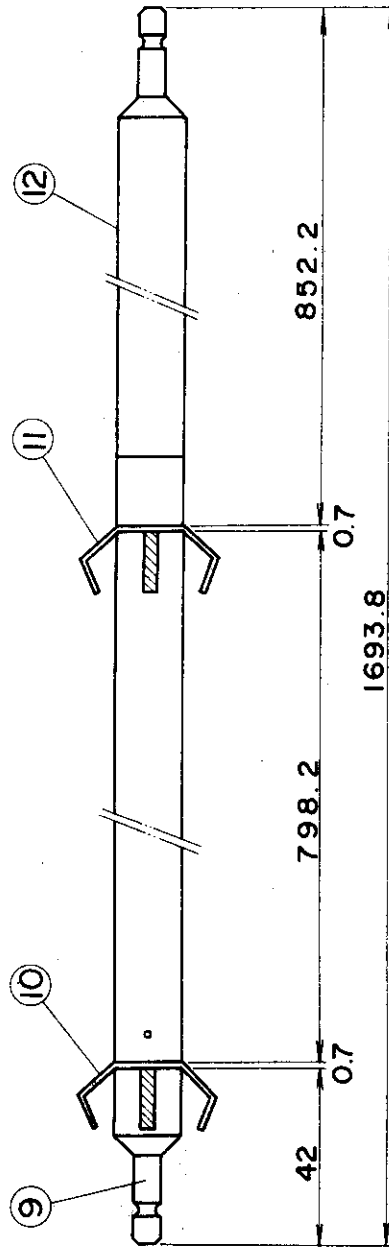


Fig. 3.2.3 Simplified flow diagram of primary coolant system of JPDR-I



NO	Name
1	Upper end cap
2	Spring
3	Stopper
4	UO ₂ pellet 2.6 w/o U235
5	UO ₂ pellet 2.6 w/o U235
6	UO ₂ pellet Dy2O ₃
7	Lower end cap
8	Zircaloy 2 clad
9	Upper end cap
10	Springy holder
11	Springy holder
12	Lower segment

Upper segment with clad artificially pin-holed



Artificially pin-holed nuclear fuel rod

Fig. 3.2.4 Dimensions and specification of artificially pin-holed nuclear fuel rod

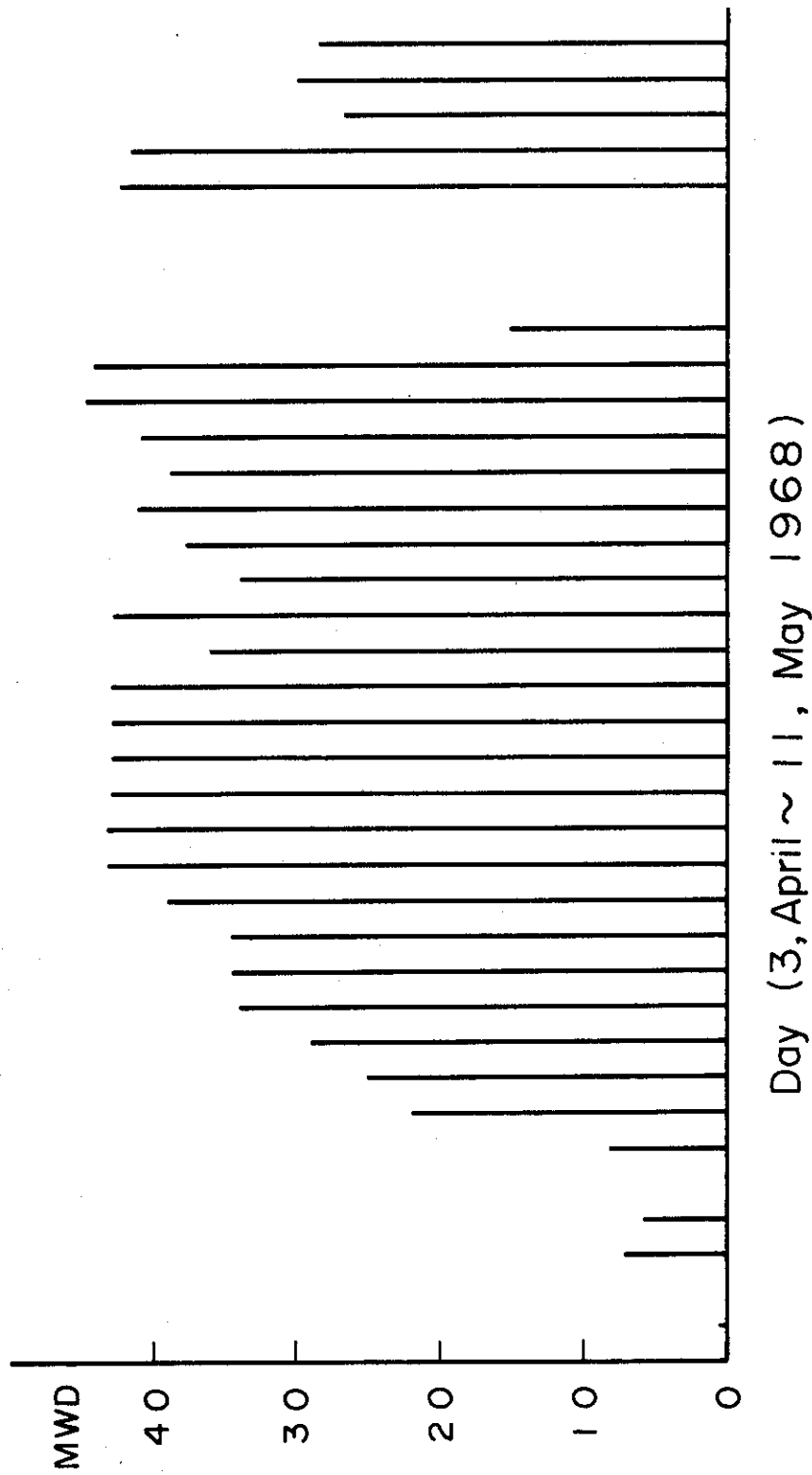


Fig. 3.2.5 JPDR power run normalized to MWD

4. 実験データ

4.1 第1回FP放出実験

4.1.1 第1回FP放出実験の概要

JPDRにおける水化学の研究成果および人工欠陥燃料棒の照射実験の結果から、原子炉内の破損燃料棒よりのFPの放出挙動を解明する目的に原子炉を直接利用する照射実験は、実験条件および実験頻度ともに十分確保できないことが判った。それ故に、原子炉内水ループを利用して人工欠陥燃料棒を照射することにより、パラメトリックなFP放出実験を展開する必要があると考えられるに至った。

上に記した理由から、原子炉内FPの放出挙動を明らかにする目的で、実用炉における破損燃料棒を模擬した人工欠陥燃料棒を製作し、炉内水ループで照射する手法により、昭和46年8月13日～9月3日の期間に、第1回FP放出実験を行なった。

4.1.2 照射実験用燃料試料

第11サイクル照射試料は、70L-7Aと称し、人工欠陥孔付燃料試料と材料試料が組み込まれている。その概要をFig. 4.1.1に示す。

FP放出照射実験用の人工欠陥孔付燃料（以下燃料試料という）は、Fig. 4.1.2に示すように、ステンレス鋼（SUS 304）製の試料ホルダーで固定されている。また、このホルダーには、中性子測定用モニタリングワイヤーが組込んである。燃料試料は、Fig. 4.1.3に示すように、直立した状態において、最下部に UO_2 ペレットがおかれ、その直上にプレナム部分がある。上部端栓のプレナム側から約5mm離れた被覆管の円周上に、約1/4円周の間隔で、 $20\mu m\phi$ および $200\mu m\phi$ の人工欠陥孔がそれぞれ1個ずつ付いている。 $20\mu m\phi$ 人工欠陥孔の状態をFig. 4.1.4に示す。また燃料試料の諸元等をTable 4.1.1に、 UO_2 ペレットの分析結果をTable 4.1.2に示す。照射運転中の UO_2 ペレット内の温度分布の計算結果をFig. 4.1.5に示す。

4.1.3 実験内容

(1) 照射実験

水ループによる孔あき燃料試料のFP放出実験は、国内では初めての試みである。特にループ一次冷却水に放出されるFPの取扱いについても当然未経験であるため、OWL-1の運転管理および保守上の安全性、排気廃水等の環境への影響等について十分な検討が行なわれた。

照射運転中は、原子炉施設を含め各種のFP監視が行なわれるとともに、運転終了後のFPを含む廃水の処理作業についても、安全確保に細心の注意を払って実施した。

照射済試料については、FPが作業環境へ放出されないよう設計製作した特殊な密封容器中に、OWL-1炉内管から直接封入し、一時冷却保管をした後、ホットラボ施設に移送し照射後試験を実施した。今回実施した照射実験の経過をFig. 4.1.6に示した。

(2) JMTR および OWL-1 の照射運転

OWL-1 は、昭和 46 年 8 月 12 日に運転を開始し、13 日に加圧水型定常状態にした後、照射運転条件である沸騰水型定常運転とした。

原子炉は、OWL-1 が沸騰水型運転になる直前に起動し、13 日に熱出力 25 MW まで出力上昇を行ない、14 日からの 27 MW 運転を経て、18 日に定格出力である 30 MW に到達した。その後 30 日に原子炉スクラムが生じ約 2 時間停止したが、9 月 3 日まで 30 MW 運転が行なわれた。この間 OWL-1 は、2 回圧力変動実験を行なうとともに、照射運転条件（炉内管出口温度：286 °C、圧力：71 kg/cm²G、主流量：25 kg/min、蒸気含有率：約 7%、精製系流量：2~3 kg/min）を維持し、9 月 4 日に運転を終了した。Fig. 4.1.7 に、原子炉出力および OWL-1 主要運転条件の経過を示す。

(3) 圧力変動実験

圧力変動実験は、沸騰水型定常運転状態である圧力 71 kg/cm²G から急激に 69 kg/cm²G まで降圧し、1 時間保持した後、もとの圧力に復帰させた。降圧および昇圧速度は、ともに約 2 kg/cm²/min であった。実験は、原子炉出力上昇開始から 14 日、および 20 日経過後に実施され、10.5 時間間に 4 回づつ行なわれた。変動実験時は、約 15 分間隔で OWL-1 一次系水を採取し、¹³¹I 濃度の測定を行なった。

4.1.4 試料水の採取方法

予定した日付・時刻に、Fig. 2.2.9 の G 2, G 3, G 4, G 5 の各場所から、ポリエチレン製容器（0.5 ℓ, 1 ℓ または 2 ℓ）に試料水を採取して密栓した。試料水採取時に、容器内に気相部分および気泡を残さないように注意した。採取した試料水は、¹³¹I などの各種の測定項目を対象に、化学・放射化学分析に供用した。

4.1.5 分析方法

(1) ¹³¹I

¹³¹I の分析は次の三通りの方法で行なった。

(a) 直接測定法

ポリエチレン瓶に採取された試料水を 2~3 日間放置して短半減期核種を減衰させた後、1 mℓ を正確にポリエチレン棒状瓶（16 φ × 86.5 h）に秤り取り、 γ 線測定を行なった。¹³¹I の放出する γ 線のうち 0.364 MeV の γ 線ピークに着目し、このカウント数から ¹³¹I 濃度（試料採取時の濃度）を求めた。直接測定法は ¹³¹I 濃度が 10⁻³ μ Ci/mℓ 以上の場合に多く用いられた。

γ 線測定にはウェル型シンチレーションカウンター（NaI (Tℓ), 1 3/4" φ × 2", アロカ製 NDW-351 型）と 400 チャンネル波高分析装置（日立製作所製 RAH-403 型）を用いた。また較正用比較線源は日本アイソトープ協会の棒状線源（²⁴¹Am, ⁵⁷Co, ²²Na, ¹³⁷Cs, ⁵⁴Mn, ⁶⁰Co）を用いた。

(b) 四塩化炭素抽出-ヨウ化銀沈殿法（亜硝酸ナトリウム酸化法）

ポリエチレン瓶に採取された試料水から 100~300 mℓ を分液ロートにとり、Fig. 4.1.8 に

示す方法で処理した。ロ紙上に捕集されたヨウ化銀の沈殿をロ紙ごとポリエチレン棒状瓶(16φ×86.5h)の底部に挿入し、 γ 線測定をして ^{131}I 濃度を求めた。

γ 線測定装置および校正用比較線源は「直接測定法」と同じである。

(c) 四塩化炭素抽出-ヨウ化銀沈殿法(次亜塩素酸ナトリウム酸化法)

3.2.4(1)と同じ。

(2) gross β

試料水1mℓを正確にステンレス鋼製試料皿(25φ×6h)に秤り取り、赤外ランプで乾燥した。乾燥後、サンプリングより30分経過した時点でGM計数管により β 線測定を行なった。 β 線測定にはアロカ製GM-2504B型GM計数管とアロカ製TDC-1型放射能測定装置を用いた。また校正用比較線源にはNEW ENGLAND NUCLEAR社の β 線源 ^{210}Bi を用いた。

4.1.6 測定結果

第1回実験(第11サイクル)におけるOWL-1一次冷却水中の ^{131}I 濃度およびgross β の測定結果をTable 4.1.3およびFig. 4.1.9に示した。

4.1.7 OWL-1キュービクル周辺空間線量率および外部被曝線量

JMTR 炉室地下1階にあるOWL-1ループキュービクルの周辺に γ 線エリアモニタを設置し、FP放出実験中の空間線量率を測定した。モニタの設置位置をFig. 4.1.10に示す。

測定結果はFig. 4.1.11に示した。

ループ一次冷却水の分析を担当した者6名の平均被曝線量をTable 4.1.4に示した。FP放出実験を行なう前(6~9サイクル)ではほとんど被曝は検出されなかったが、本実験の行なわれた昭和46年度第2四半期には、全身および局部でそれぞれ57および74mremの被曝量であった。

Table 4.1.4 Average external dose for staffs engaged in chemical analysis (the 11th cycle)

被曝部位		期間 (運転サイクル)	昭和45年度第4四半期 (6, 7)	昭和46年度第1四半期 (8, 9)	昭和46年度第2四半期 (10, 11)
全	身		0 mrem	0 mrem	57 mrem
局 部	γ		0	0	62
	β		0	0	12

4.1.8 照射後試験の結果

第1回FP放出実験に供用した人工欠陥燃料棒について、実験終了後に欠陥孔近傍の外観検査と中性子照射量の評価を実施した。孔径200 μm の欠陥孔の外観を写真に示す(Fig. 4.1.12)。中性子照射量測定用モニタの測定結果をFig. 4.1.13に示す。

Table 4.1.1 Characteristics of artificially pin-holed fuel rod and irradiating conditions for the 11th operating period.

試料名		70 L - 7 A
照射期間		JMTR第11サイクル(S.46.8/13~9/3)
UO ₂ ペレット	個数	1 個
	密度	94 ~ 95 TD%
	²³⁵ U濃縮度	2.7 W/O
	UO ₂ 量	13.3315 g*
	²³⁵ U 量	0.32 g
	ペレット外径	10.632 mm ϕ *
	ペレット長さ	14.66 mm*
被覆管	材質	Zry-2
	長さ(含, 端栓)	84.94 mm*
	外径	12.218 mm ϕ *
	肉厚	0.698 mm*
プレナム内の体積		4.6 cm ³
被覆管の人工欠陥孔	位置	プレナム部
	孔径	20 μ m, 200 μ m
	孔数	各 1 ケ
原子炉熱出力		30 MW
ペレット(中心)照射位置		D-7 (OWL-1 炉内管) 原子炉燃料中心より 150 mm 上部
ペレット中心位置の熱中性子束密度		2.76×10^{18} n/cm ² ·sec**
試料発熱量		340 w/cm**
試料中心温度		1500 °C**
その他	フラックスモニターワイヤー	3 本
	特記事項	燃料試料の上・下に材料試料を積載

* 実測値(検査成績書より)

** 推定値

Table 4.1.2 Results of chemical analysis of UO₂ pellet
(the 11th cycle)

ppm on U-base

不純物	分析値	測定法
Cl	< 10	Pyrolysis 塩化銀比濁法
F	< 1	Pyrolysis - ALC 比色法
C	58	燃焼電導度法
Si	25	分光分析
Ca	< 25	"
Al	29	"
B	< 0.2	"
Cd	< 0.1	"
Cr	20	"
Cu	0.7	"
Fe	69	"
Pb	< 1	"
Mo	< 2	"
Ni	22	"
Ag	< 0.1	"
Sn	< 5	"
Mg	< 2	"
N	12	酸分解, 水蒸気蒸溜 - ネスラー比色法
水分	検出されず	(=< 0.001%, 12.4 μl/g)
蒸発性不純物	53 ml/g	
O/U 比	2.00 ₂	

Table 4.1.3 Concentrations of ¹³¹I and gross β activity in the primary coolant of OWL-1 (the 11th cycle)

サンプリング 日付	時間	JMTR出力 注1)	gross β (μCi/mL)		¹³¹ I 濃度 (μCi/mL)			セパレータ液相出口	セパレータ気相出口	¹³¹ I 測定方法 注2)	備考
			炉内管入口	炉内管出口	炉内管入口	炉内管出口	セパレータ液相出口				
8/13	8:10	20kW		28 × 10 ⁻⁶							
	9:55	5 MW		3.42 × 10 ⁻⁴							
	11:28	10 "		1.40 × 10 ⁻³							
	13:31	15 "		2.28 × 10 ⁻³							
	15:08	25 "		2.83 × 10 ⁻³							
8/14	9:55	"		5.25 × 10 ⁻³							原子炉出力上昇
8/16	9:52	26.3 MWt	3.61 × 10 ⁻³	4.38 × 10 ⁻³							
8/17	10:01	26.5 "		6.45 × 10 ⁻³							
	15:05	"			4.94 × 10 ⁻⁵	5.27 × 10 ⁻⁵	5.75 × 10 ⁻⁵	2.79 × 10 ⁻⁷	(c)		
8/18	9:33	27 MWt		7.66 × 10 ⁻³	6.75 × 10 ⁻⁵	7.36 × 10 ⁻⁵			(b)		
8/19	9:45	30.7 "			2.00 × 10 ⁻⁴				(b)		
	"	"			1.91 × 10 ⁻⁴				(a)		
	9:50	"		8.43 × 10 ⁻³		1.64 × 10 ⁻⁴	1.87 × 10 ⁻⁴	1.25 × 10 ⁻⁶	(b)		
8/20	9:30	31.7 MWt	6.41 × 10 ⁻³		2.14 × 10 ⁻⁴				(b)		
	9:36	"		9.11 × 10 ⁻³							
	15:05	"			2.12 × 10 ⁻⁴	9.27 × 10 ⁻⁵	2.08 × 10 ⁻⁴	6.02 × 10 ⁻⁷	(c)		
8/21	9:29	31.8 MWt		5.40 × 10 ⁻³							
8/23	9:49	31.4 MWt			1.71 × 10 ⁻⁴				(b)		
	9:51	"		6.50 × 10 ⁻³		1.61 × 10 ⁻⁴			(b)		
8/24	10:04	31 MWt			7.96 × 10 ⁻⁴				(b)		
	"	"			8.24 × 10 ⁻⁴	7.47 × 10 ⁻⁴	1.23 × 10 ⁻³		(a)		
	13:30	"				9.51 × 10 ⁻⁴	1.09 × 10 ⁻³	1.67 × 10 ⁻⁶	(b)		

Table 4.1.3 (continued)

サンプリング 日付	時刻	JMTR出力 注1)	gross β (μCi/mL)		131I 濃度 (μCi/mL)				注2) 131I測定方法	備考
			炉内管入口	炉内管出口	炉内管入口	炉内管出口	セパレータ液相出口	セパレータ気相出口		
8/24	15:05	31 MWt			6.95×10 ⁻⁴	8.50×10 ⁻⁴	1.34×10 ⁻³	9.26×10 ⁻⁶	(c)	
	17:30	"		8.23×10 ⁻³						
8/25	9:44	31.9 MWt			3.38×10 ⁻³				(b)	
	9:46	"		4.71×10 ⁻²		3.26×10 ⁻³			(b)	
8/26	14:20	"		4.02×10 ⁻²						
	9:30	"			1.02×10 ⁻²	1.02×10 ⁻²			(c)	
	9:45	"		4.24×10 ⁻²	7.54×10 ⁻³	8.13×10 ⁻³			(b)	
	10:15	"			1.14×10 ⁻²	1.02×10 ⁻²	5.10×10 ⁻³		(c)	
	10:30	"			8.04×10 ⁻³	7.94×10 ⁻³	8.92×10 ⁻³		(c)	
	10:35	"				3.27×10 ⁻²				
	10:45	"			8.45×10 ⁻³	8.26×10 ⁻³	8.97×10 ⁻³		(c)	
	13:30	"			1.12×10 ⁻²	1.11×10 ⁻²	8.41×10 ⁻³		(c)	
	14:15	"			6.49×10 ⁻³	1.03×10 ⁻²	1.17×10 ⁻²		(c)	
	14:30	"			9.57×10 ⁻³	9.90×10 ⁻³	1.07×10 ⁻²		(c)	
14:45	"			1.12×10 ⁻²	1.01×10 ⁻²	1.08×10 ⁻²		(c)	圧力変動実験	
16:00	"			9.32×10 ⁻³	9.56×10 ⁻³	1.02×10 ⁻²		(c)		
16:45	"			9.34×10 ⁻³	1.02×10 ⁻²	8.95×10 ⁻³		(c)		
17:00	"			1.00×10 ⁻²	9.40×10 ⁻³	1.05×10 ⁻²		(c)		
17:15	31.9 MWt			9.68×10 ⁻³	7.71×10 ⁻³	1.08×10 ⁻²		(c)		
19:00	"			9.18×10 ⁻³	9.75×10 ⁻³	9.72×10 ⁻³		(c)		
19:45	"			9.65×10 ⁻³	9.97×10 ⁻³	9.94×10 ⁻³		(c)		
20:00	"			8.92×10 ⁻³	1.04×10 ⁻²	1.03×10 ⁻²		(c)		
20:15	"			9.20×10 ⁻³	1.02×10 ⁻²	1.01×10 ⁻²		(c)		

Table 4.1.3 (continued)

サンプリング 日付	時刻	注1) JMTR出力	gross β (μCi/mL)		131I 濃度 (μCi/mL)			注2) 131I 測定方法	備考
			炉内管入口	炉内管出口	炉内管入口	炉内管出口	セパレータ液相出口		
8/27	9:43	31.8MWt		2.76×10 ⁻²	1.01×10 ⁻²			(b)	
8/28	9:40	"		2.01×10 ⁻²					
8/30	10:10	"		5.16×10 ⁻³					
8/31	9:58	31.9MWt		4.39×10 ⁻²		2.67×10 ⁻²		(b)	
	10:20	"			2.68×10 ⁻²			(a)	
	10:35	"			1.88×10 ⁻²			(b)	
9/1	9:30	"			2.38×10 ⁻²	2.63×10 ⁻²	2.75×10 ⁻²	(c)	
	9:50	"		6.61×10 ⁻²					
	10:15	"			2.78×10 ⁻²	2.64×10 ⁻²	2.96×10 ⁻²	(c)	
	10:30	"			2.64×10 ⁻²	2.15×10 ⁻²	2.98×10 ⁻²	(c)	
	10:45	"			2.54×10 ⁻²	2.70×10 ⁻²	2.79×10 ⁻²	(c)	
	13:30	"			2.58×10 ⁻²	2.60×10 ⁻²	2.22×10 ⁻²	(c)	
	14:15	"			2.44×10 ⁻²	1.51×10 ⁻²	1.88×10 ⁻²	(c)	
	14:30	"			2.37×10 ⁻²	2.49×10 ⁻²	2.57×10 ⁻²	(c)	圧 力 変 動 実 験
	14:45	"			2.55×10 ⁻²	2.69×10 ⁻²	2.65×10 ⁻²	(c)	
	16:00	"			2.28×10 ⁻²	2.65×10 ⁻²	2.84×10 ⁻²	(c)	
16:45	"			2.54×10 ⁻²	2.59×10 ⁻²	2.69×10 ⁻²	(c)		
17:00	"			2.28×10 ⁻²	2.18×10 ⁻²	2.66×10 ⁻²	(c)		
17:15	"			2.45×10 ⁻²	2.74×10 ⁻²	2.56×10 ⁻²	(c)		
19:00	"			3.70×10 ⁻²	2.60×10 ⁻²	4.28×10 ⁻²	(c)		
19:45	"			3.65×10 ⁻²	4.42×10 ⁻²	4.56×10 ⁻²	(c)		
20:00	"			4.11×10 ⁻²	4.18×10 ⁻²	4.56×10 ⁻²	(c)		
20:15	"			4.44×10 ⁻²	4.78×10 ⁻²	4.62×10 ⁻²	(c)		

Table 4.1.3 (continued)

サンプリング 日付	サンプリング 時刻	注1) JMTR出力	gross β ($\mu\text{Ci}/\text{mL}$)		^{131}I 濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{mL}$)				注2) ^{131}I 測定方法	備考
			炉内管入口	炉内管出口	炉内管入口	炉内管出口	セパレータ液相出口	セパレータ気相出口		
9/2	9:53	31.9 MWt			5.26×10^{-2}					(b)
	9:57	"		6.82×10^{-2}						
9/3	8:25	"			2.59×10^{-1}		3.07×10^{-1}	2.99×10^{-1}		(c)
	9:00	0			3.81×10^{-1}		3.81×10^{-1}	4.34×10^{-1}		(c)
	9:40	"		8.47×10^{-1}						
	9:45	"			3.19×10^{-1}		4.08×10^{-1}	4.24×10^{-1}		(c)
	10:00	"			3.74×10^{-1}		3.66×10^{-1}	2.76×10^{-1}		(c)
	10:30	"			3.90×10^{-1}		3.07×10^{-1}	3.85×10^{-1}		(c)
9/4	11:00	"			2.97×10^{-1}		3.74×10^{-1}	3.41×10^{-1}		(c)
	11:30	"			3.25×10^{-1}		3.56×10^{-1}	3.28×10^{-1}		(c)
	13:20	"		5.02×10^{-1}						
	16:15	"		1.06×10^{-1}						
	17:15	"		7.24×10^{-2}						
9/4	9:30	"		1.97×10^{-2}						

注1) MWは核計装出力を, MWt は熱出力を示す。

注2) ^{131}I 測定方法a), (b), (c)は4.1.5(I)の(a), (b), (c)と対応している。

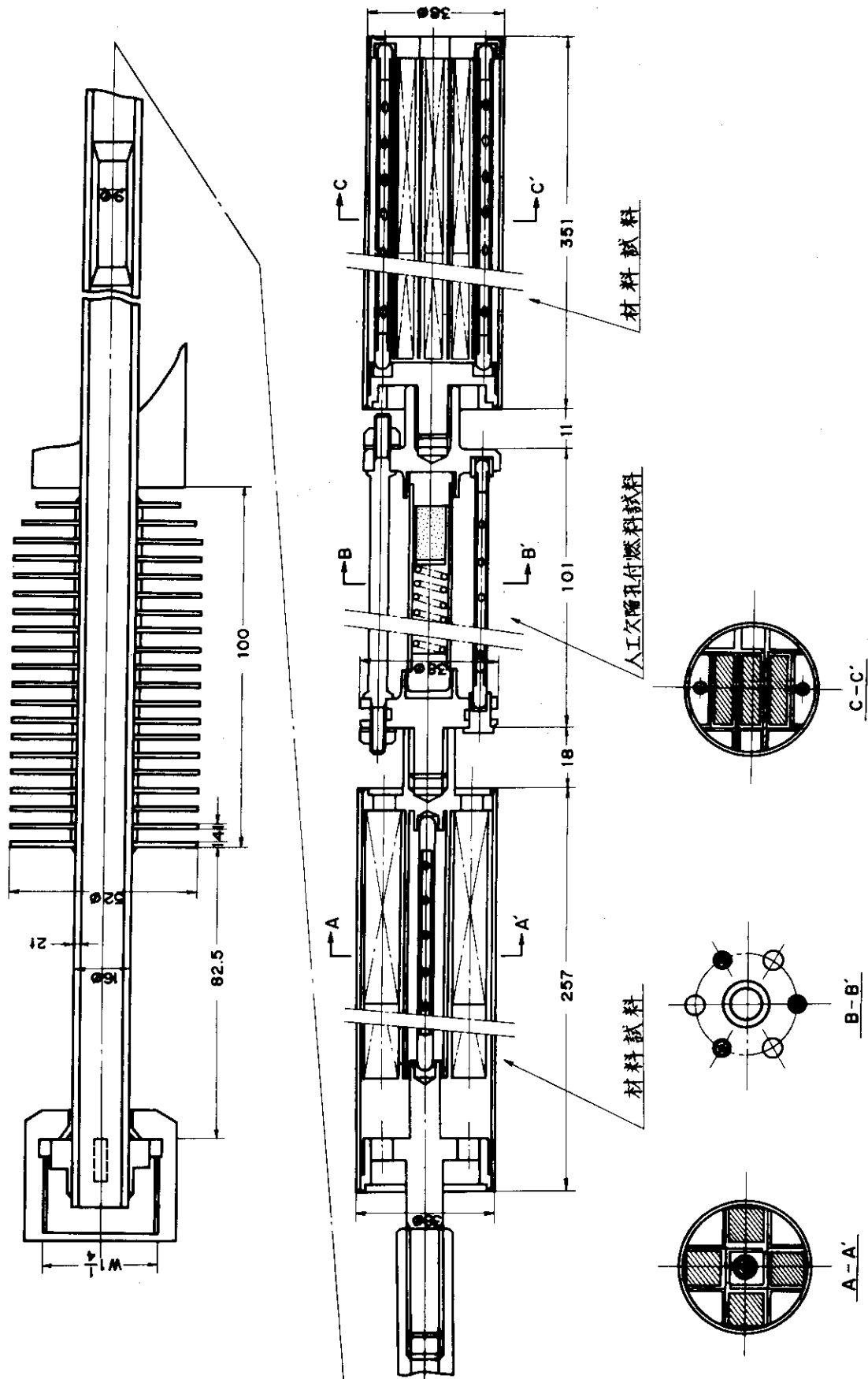


Fig. 4.1.1 Specimen, 70L-7A, for the 11th cycle

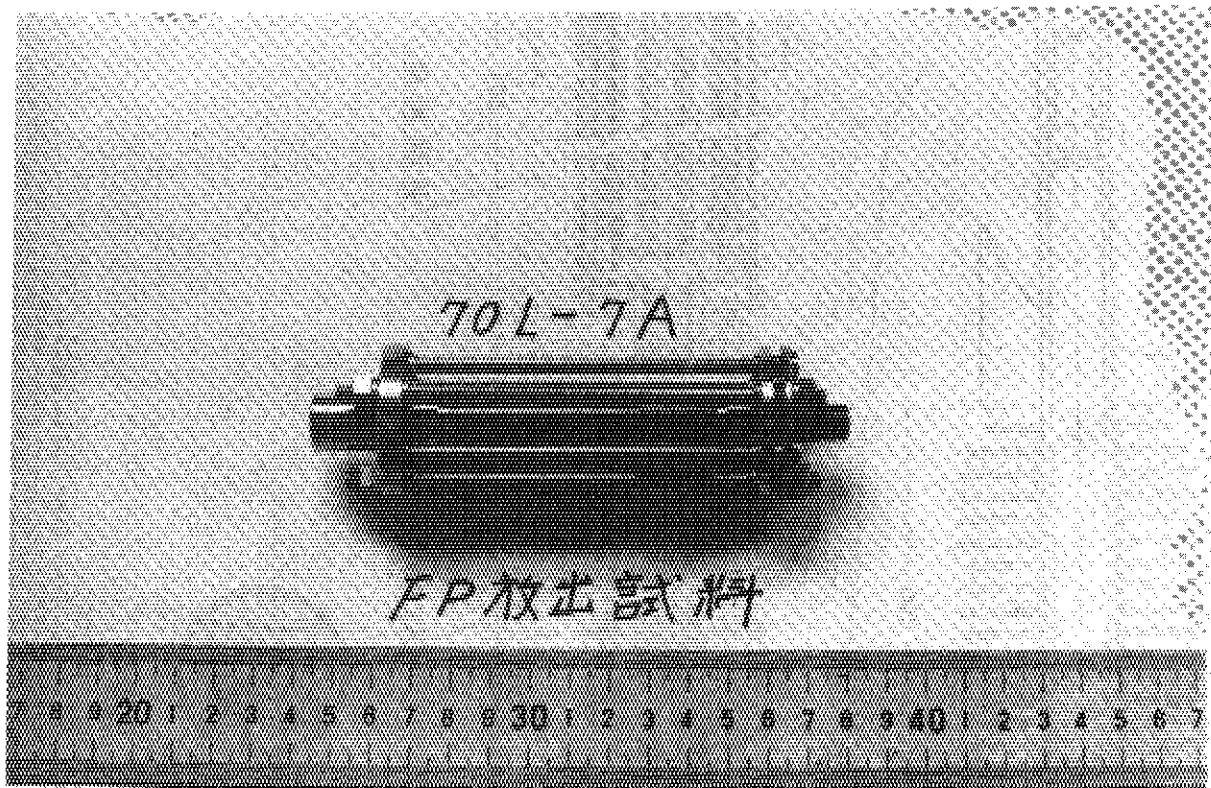


Fig. 4.1.2 Assembly of artificially pin-holed fuel rod (70L-7A, the 11th cycle)

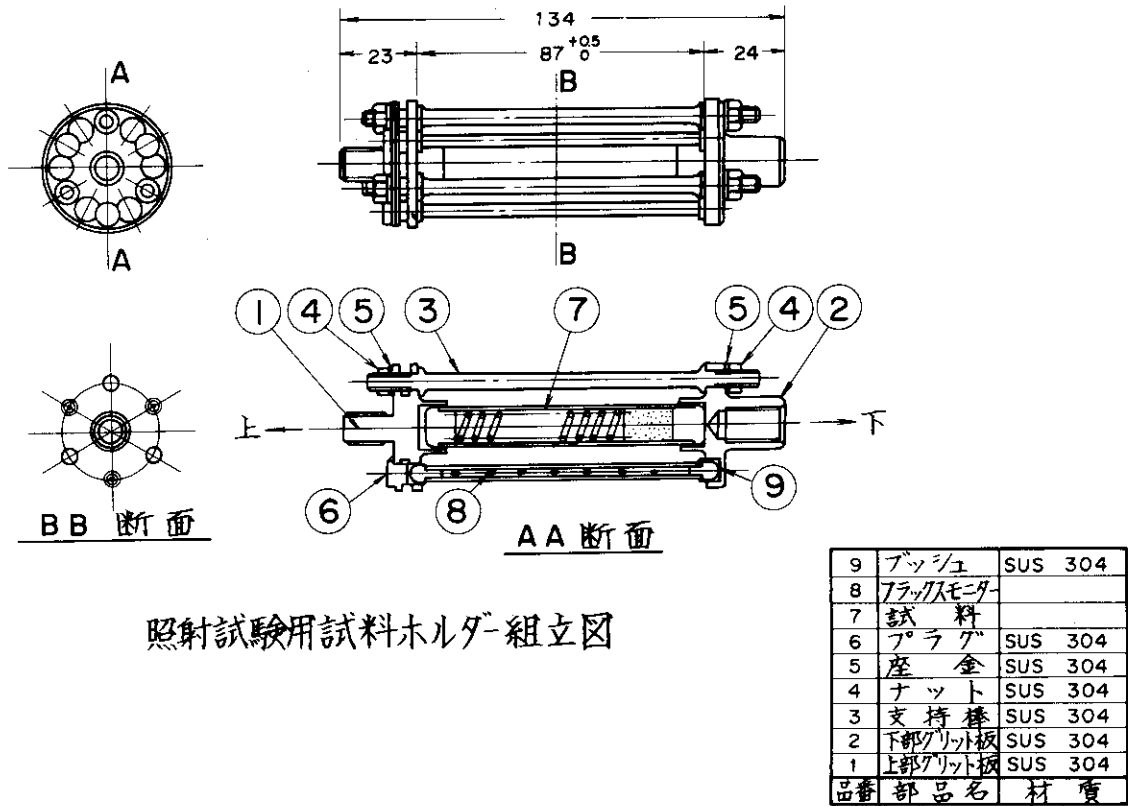
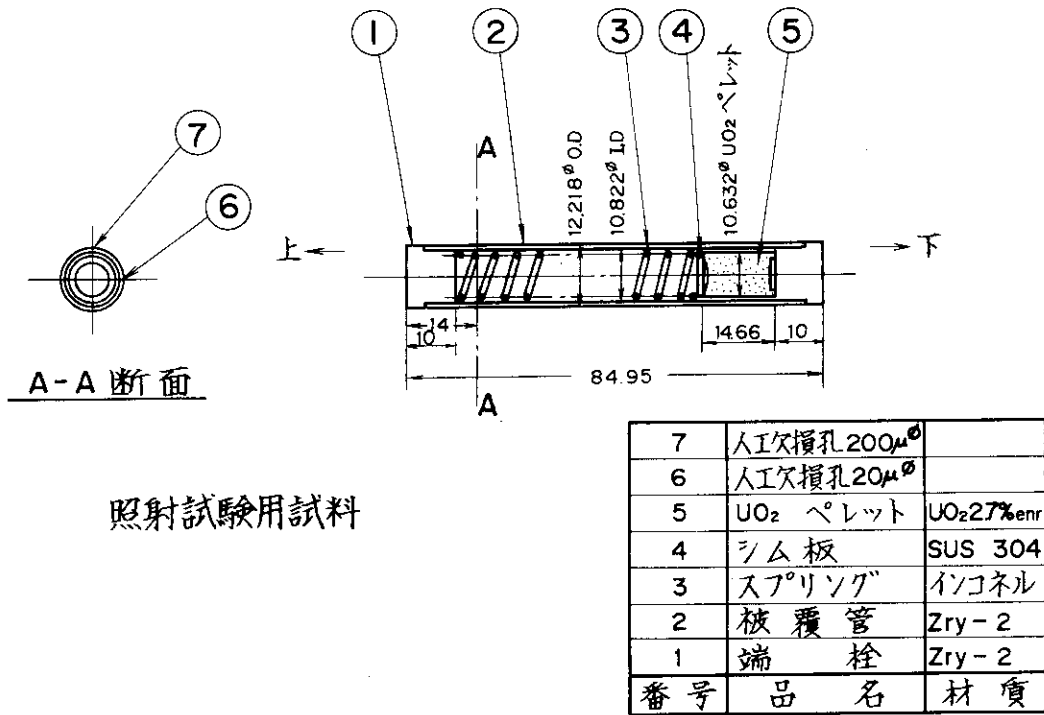
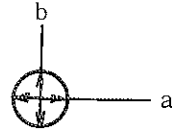


Fig. 4.1.3 Assembly drawing of 70L-7A (the 11th cycle)



$$a = 20 \mu\text{m}\phi$$

$$b = 21 \mu\text{m}\phi$$

孔の測定値

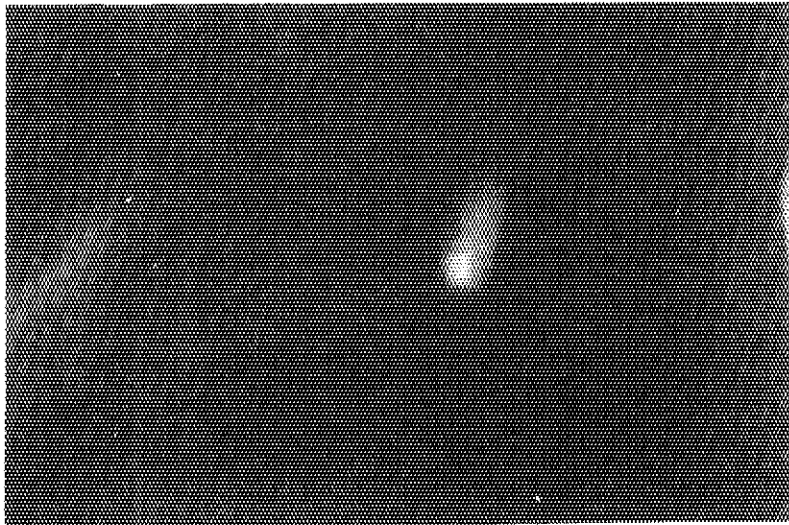


Fig. 4.1.4 Pin-hole through the clad of 70L-7A
(the 11th cycle)

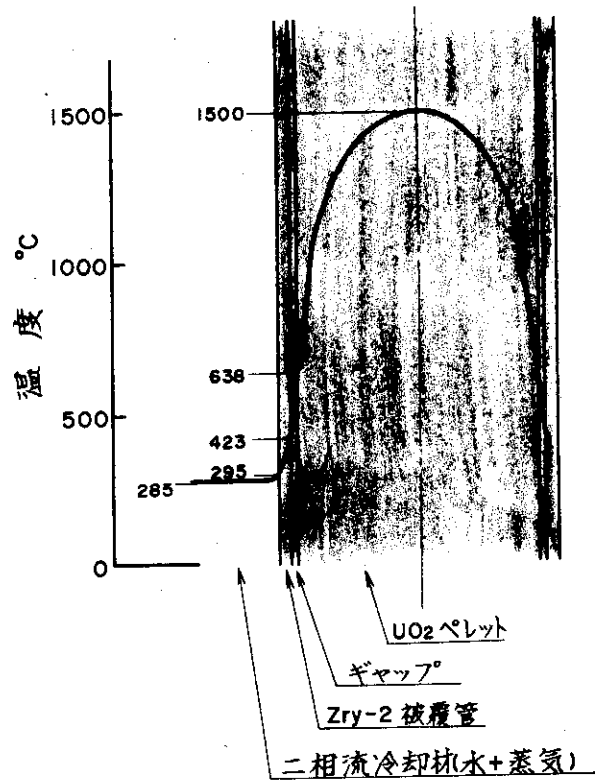


Fig. 4.1.5 Calculated temperature distribution across the specimen (the 11th cycle)

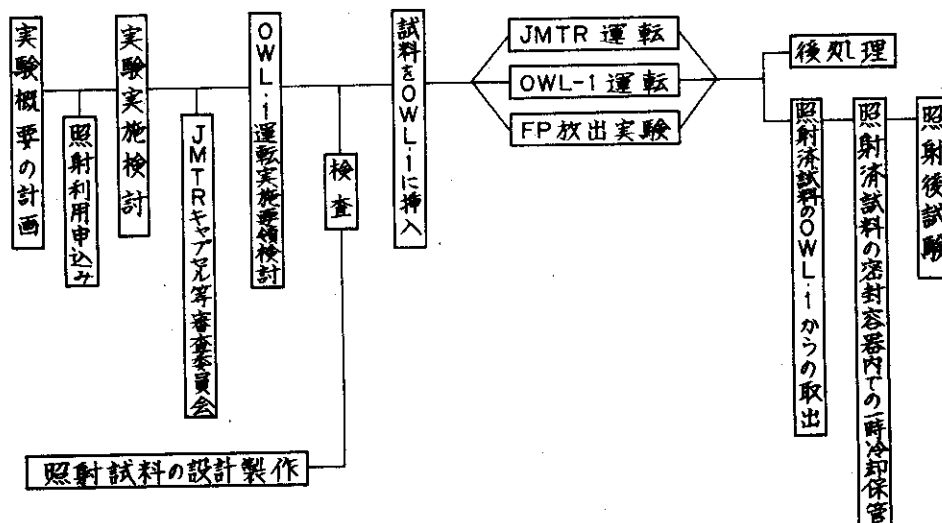


Fig. 4.1.6 Flow diagram of FP release test

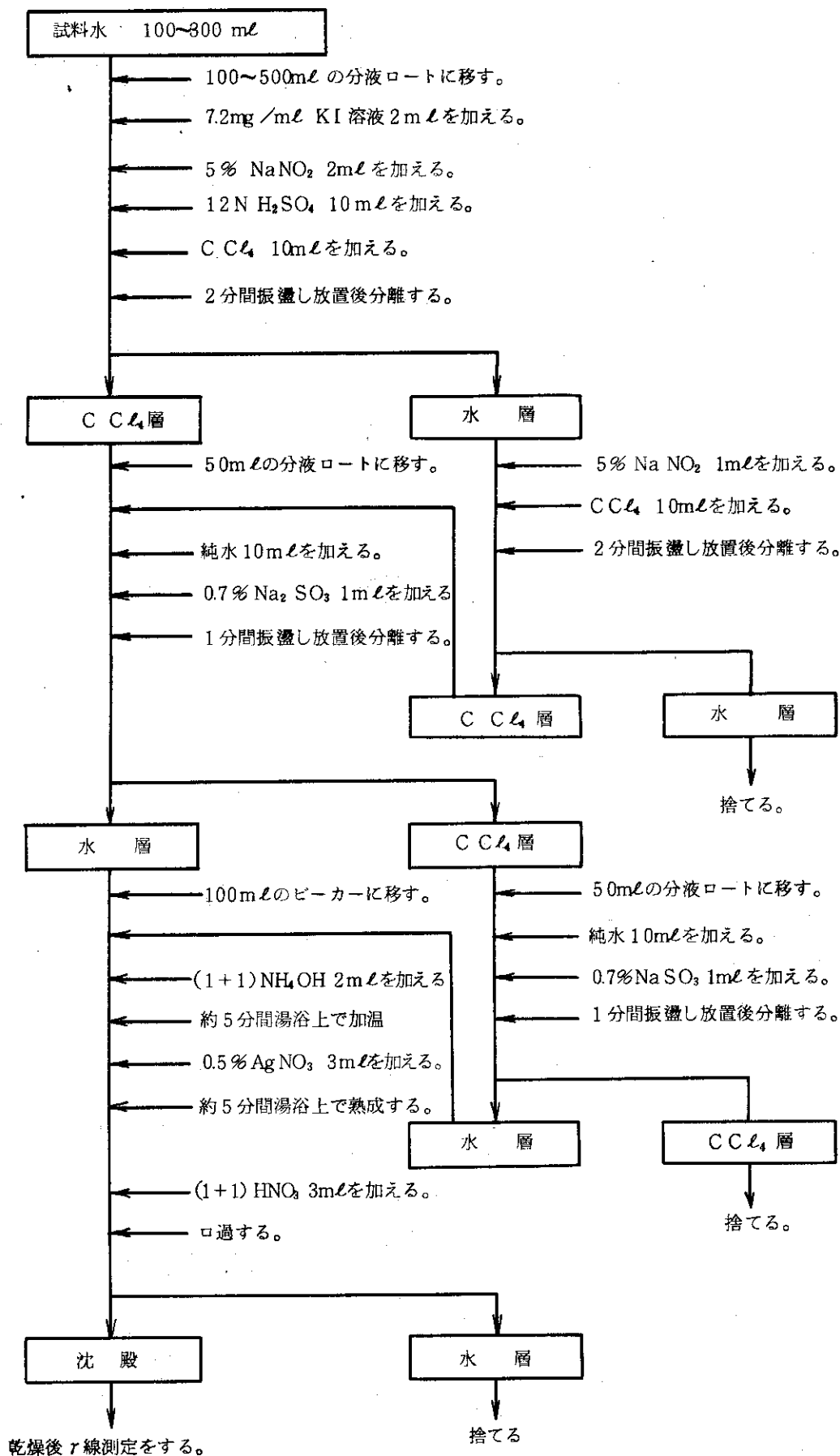


Fig. 4.1.8 ¹³¹I determination process (NaNO₂ oxidation method)

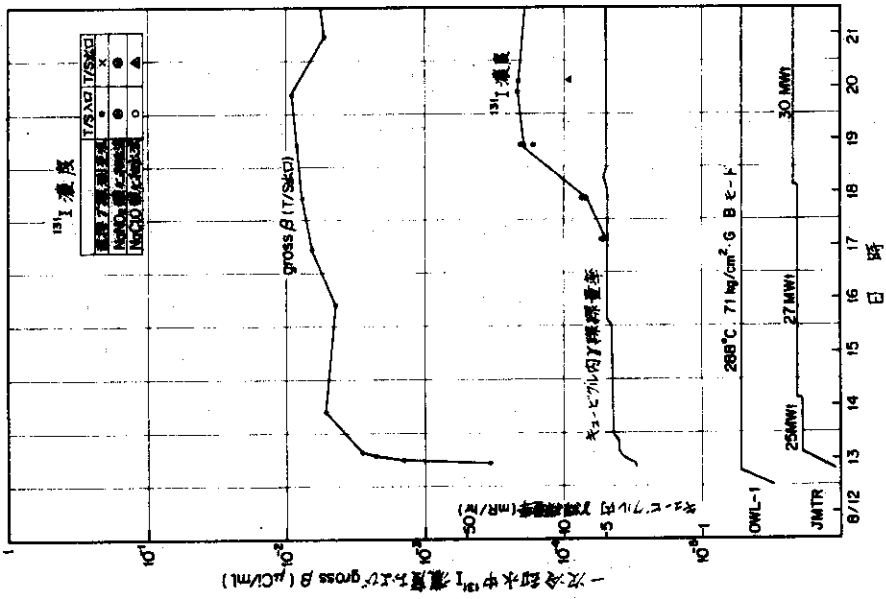
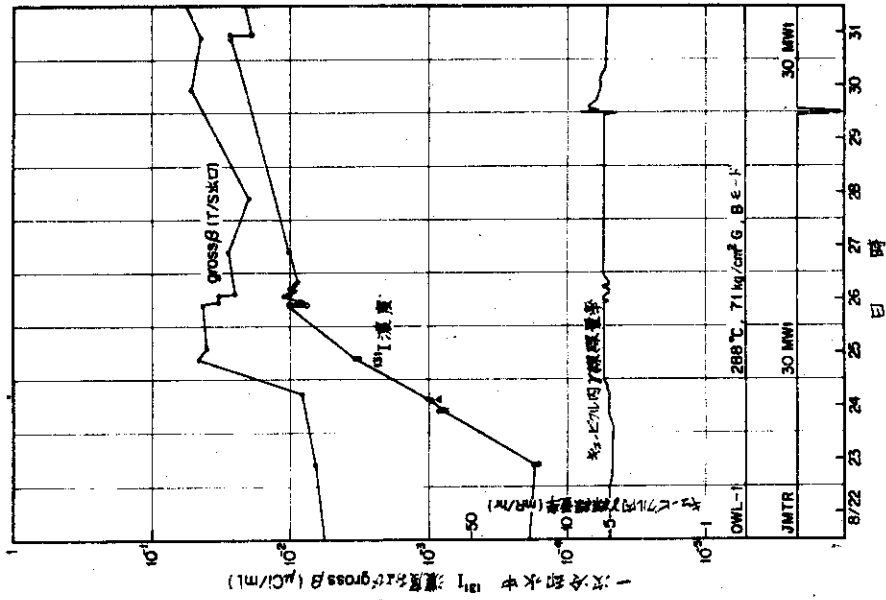


Fig. 4.1.9 Variation of ¹³¹I concentration, gross β activity and doserate (the 11th cycle)

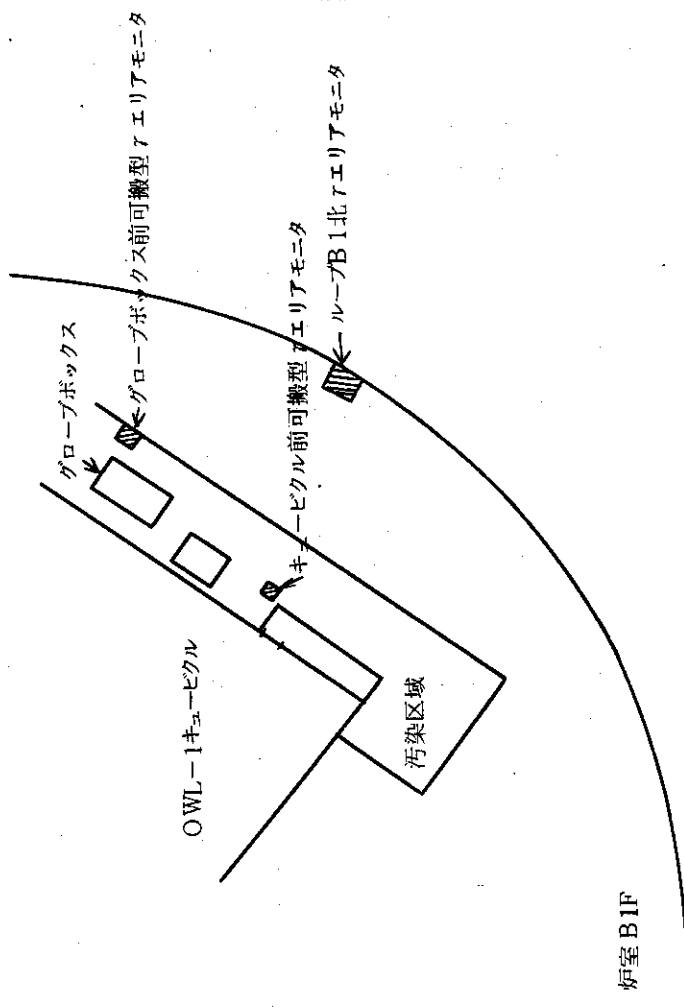


Fig. 4.1.10 Location of monitors around the loop cubicle (the 11th cycle)

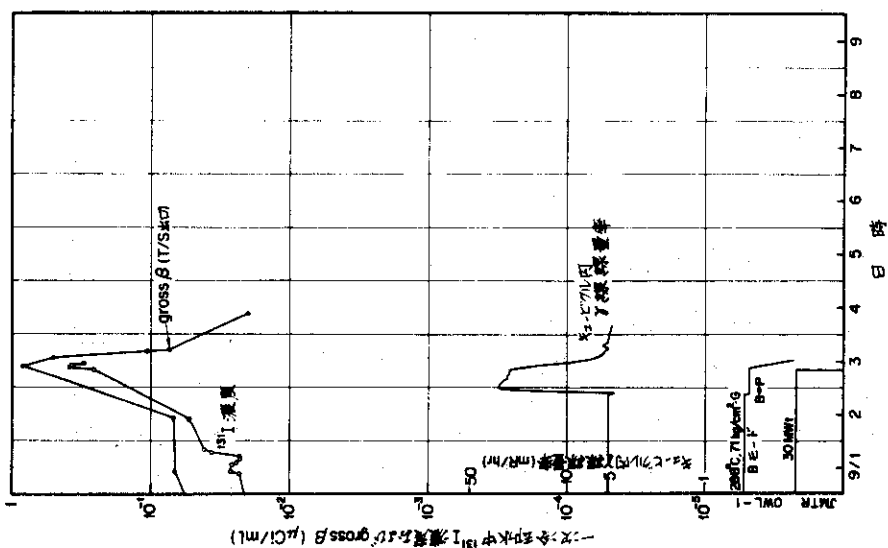


Fig. 4.1.9 (continued)

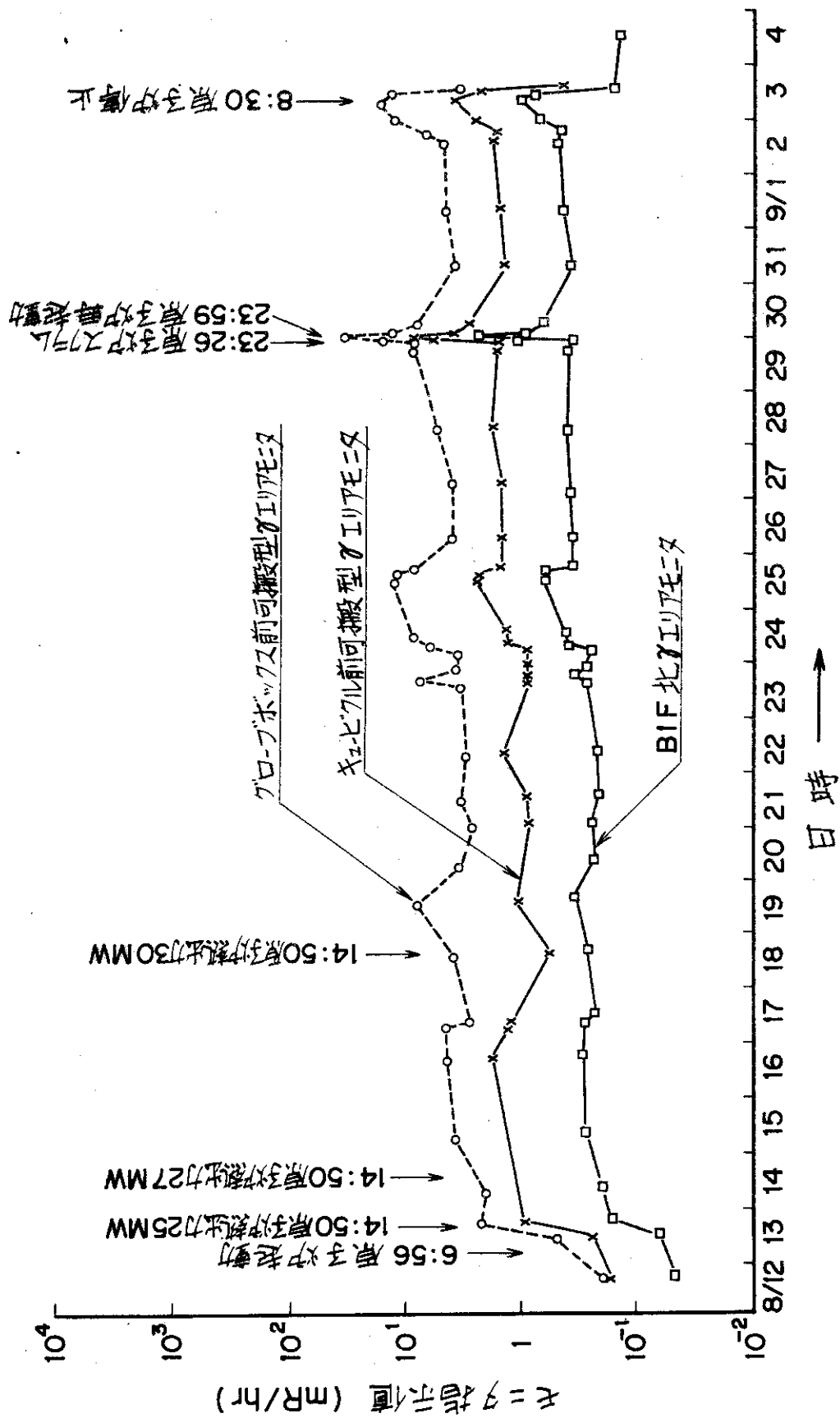


Fig. 4.1.11 Doserates around the loop cubicle (the 11th cycle)

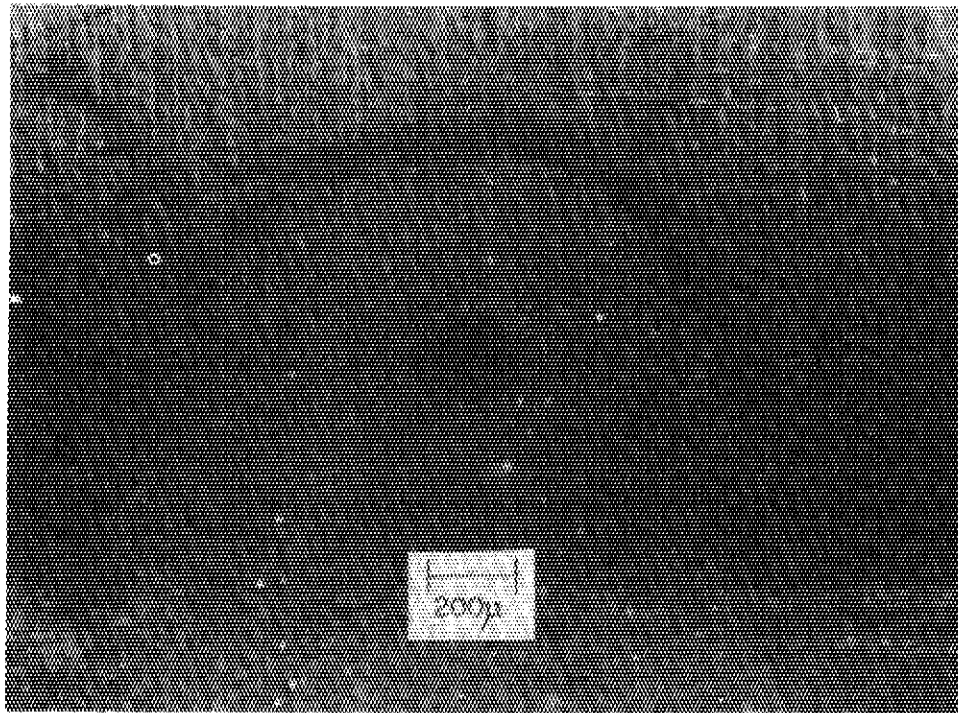
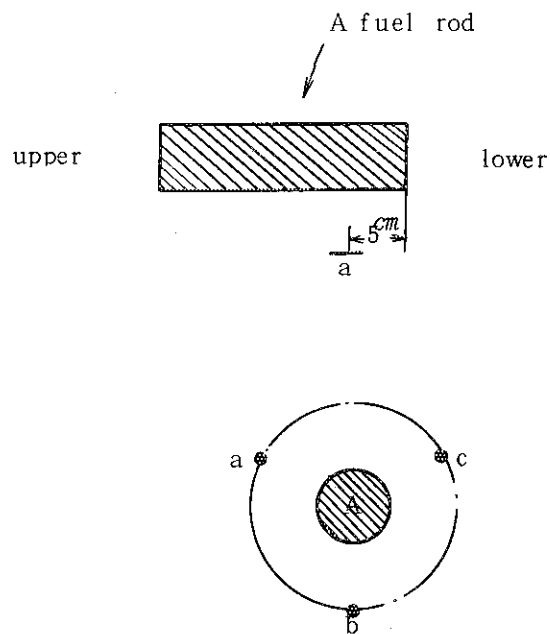


Fig. 4.1.12 Pin-hole after FP release experiment (the 11th cycle)



monitor	nv	nut
a	4.08×10^{13}	7.41×10^{19}
b	3.67×10^{13}	6.67×10^{19}
c	3.01×10^{13}	5.48×10^{19}

Fig. 4.1.13 Results of measurements of neutron flux monitors (the 11th cycle)

4.2 第2回F P 放出実験

4.2.1 第2回F P 放出実験の概要

原子炉内水ループ中で人工欠陥燃料棒を照射する手法により、冷却水中に存在するF P 量と欠陥より放出されるF P 量の相関関係および冷却水条件の変動が欠陥より放出されるF P の挙動に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、昭和47年6月25日から7月22日の期間に、第2回F P 放出実験を行なった。

4.2.2 照射実験用燃料試料

第16サイクル照射試料は、69L-4Pと称し、その概要をFig. 4.2.1に示す。燃料試料は、ステンレス鋼(SUS 304)製の試料ホルダーで固定してある。このホルダーには、中性子測定用モニタリングワイヤーが組込んである。燃料試料は、Fig. 4.2.1と4.2.2に示すように、直立した状態において、最上部から、断熱材、 UO_2 ペレット、断熱材の順に組込まれ、スプリングで押えられており、ペレットの下部にプレナム部分がある。ペレット下端から35mm下のプレナムのほぼ中央の被覆管に、 $220\mu\text{m}$ ϕ の人工欠陥孔が1ヶ付いている。 UO_2 ペレットには、温度測定用CA熱電対が2本、5mmおよび2mmの深さに挿入されている。燃料試料の諸元等をTable 4.2.1に、 UO_2 ペレットの分析結果をTable 4.2.2に示す。照射運転中のペレット内温度分布の計算結果をFig. 4.2.3に示す。

4.2.3 実験内容

(1) JMTR の運転

第16サイクルのJMTR(以下原子炉と記す)の運転は、昭和47年6月25日に出力上昇を開始し、26日3時22分に定格出力である熱出力50MWに到達し、7月22日に運転を終了した。原子炉は、第1回目のF P 放出実験を実施した第11サイクルでは、30MWであったが、第12サイクル以降は、50MWに増強されており、本サイクルでも50MWで運転された。ただし、出力の増大に伴って、運転サイクルの中間に、燃料交換が加わり、約2日間の中間炉停止期間が設けられた。本サイクルでは、この中間炉停止以外には、一度だけ約2日間の予定外炉停止があった。また、F P 放出実験の原子炉出力変動実験のために、7月6日13時30分に50MWから45MWに出力を下げ、2時間保持した後50MWにもどした(この間OWL-1精製系を停止)。第16サイクルの原子炉の運転経過をFig. 4.2.4に示す。

(2) OWL-1の運転

第16サイクルのOWL-1の運転は、6月24日に開始された。前半サイクルは沸騰水型(以下Bモードと記す)、後半サイクルは加圧水型(以下Pモードと記す)で運転し、7月22日に停止した。この間の主要運転条件をTable 4.2.3に、運転経過をFig. 4.2.3に示す。また、中間炉停止期間は、低温運転を行ない、本サイクル終了時には、一次冷却水中に溶けているF P ガスを、サージタンク内に集めて排気系に放出する目的で、数時間のBモード運転を行なってからクールダウンした。F P 放出実験のための各変動実験、条件変更、およびOWL-1の変更ヶ所などを以下に示す。

(a) ループ流量変動実験

後半サイクル開始の原子炉出力上昇時(7月10日)に流量変動実験を2回行なった。OWL-1Pモード定常運転の流量45 kg/minから20 kg/minまで下げ、1時間保持した後45 kg/minにもどした。第1回目は、10時から11時まで行ない、この時の原子炉出力は10 MWであった。第2回目は13時50分から14時50分まで行ない、この時の原子炉出力は30 MWであった。

(b) 圧力変動実験

圧力変動実験は、後半サイクルのPモード運転時に合計4回実施した。圧力変動方式は、急激に圧力を変動させるために圧力を制御しているジェットコンデンサーのスプレー水流量を人為的に増減する方式を採用した。圧力変動速度は、約1 kg/cm²/minを目標にして行なった。

各圧力変動実験は次に示すように実施された。

(i) 第1回実験

原子炉出力50 MW到達直後の7月15日14時30分に71 kg/cm²Gから圧力降下を開始し、6分後に64 kg/cm²Gに到達した。この間の平均変動速度は約1 kg/cm²/minであった。64 kg/cm²Gで約1時間保持後、定常圧力にもどした。

(ii) 第2回実験

原子炉出力50 MW到達2日後の7月17日9時59分に71 kg/cm²Gから圧力降下を開始し、11分後に64 kg/cm²Gに到達した。平均圧力変動速度は約0.7 kg/cm²/minであった。64 kg/cm²Gで5時間保持した後、定常圧力にもどした。

(iii) 第3回実験

原子炉出力50 MW到達3日後の7月18日11時に71 kg/cm²Gから圧力降下を開始し、5分後に64 kg/cm²Gに到達した。平均圧力変動速度は、約1.5 kg/cm²/minであった。64 kg/cm²Gで24時間保持した後、定常圧力にもどした。

(iv) 第4回実験

第4回目は、前3回とは異なり、サイクル変動を与えた。原子炉出力50 MW到達5日後の7月20日10時20分に開始し100分後に終了した。この間に圧力を71 kg/cm²Gから68 kg/cm²Gに下げ約5分後にもとの圧力にもどす操作を10回くりかえした。なお圧力の変動巾は、目標値3 kg/cm²に対し、2.4~4 kg/cm²と、多少バラツキを生じた。

(c) 運転モードの変更

本サイクルでは、Bモード運転に伴う運転モードの変更が行なわれた。運転モードの変更には、PモードからBモードへの変更(P→Bチェンジ)と、その反対のB→Pチェンジがある。変更方式には、いくつかの方式が考えられるが、通常は(圧力一定の場合)、流量の変更を行なった後に、試料入口温度を変更して、所定の運転条件とする方式で行なわれている。また、本サイクルの試料は、発熱量が小さく、炉内管試料部での蒸気発生が出来ないため、あらかじめ炉内管入口に設けてある一次ヒーター管内で蒸気を発生させ、二相流状態で、炉内試料部を通過する方式のBモード運転を行なった。モード変更は以下に示すように行なった。

(i) 第1回モード変更(P→B)

原子炉出力50 MW到達1日後の6月26日11時10分に、Pモード定常の流量45 kg/min

から 25 kg/min に変更した後、温度を 265 °C から約 60 °C/hr の昇温速度で圧力 71 kg/cm² G の飽和温度 (286.4 °C) まで上げた。ここで蒸気発生開始を確認した後、蒸気含有率 7~8 % になるように一次ヒーター管入口温度を上げ、B モード定常状態とした。なお、B モード定常を確認されたのは、14 時 50 分であった。

(ii) 第 2 回モード変更 (B → P)

前半サイクル終了前日の 7 月 7 日 19 時 (原子炉 50 MW 定格定常運転中) に、B モード定常流量 25 kg/min から 45 kg/min に変更し、温度を下げ蒸気発生の停止を確認 (P モード) した後、引き続きクールダウンを行なった。

(iii) 第 3 回モード変更 (P → B → P)

前 2 回は原子炉出力 50 MW 運転状態でのモード変更であったが、第 3 回目は、本サイクル最終日の 7 月 22 日の原子炉停止直後の 9 時 30 分から 10 時の間で、P → B チェンジを行なった。B モードで 5 時間保持後、B → P チェンジを行ない引き続きクールダウンに入った。

(d) 精製系停止実験

OWL-1 運転中は、主流量の一部 (2~3 kg/min) を精製系 (イオン交換樹脂塔) で精製している。第 1 回目の精製系流量停止は、原子炉 50 MW 定常運転中の 7 月 5 日 13 時 30 分から 19 時 30 まで行なわれた。第 2 回目は、7 月 6 日 11 時 20 分から 17 時 35 分まで停止した。なおこの間に、13 時 30 分から 15 時 33 分の間、原子炉出力は原子炉出力変動実験のため 45 MW に低下した。

(e) 脱ガス測定系の設置

脱ガスは、OWL-1 サージタンクとジェットコンデンサーの蒸気相部から取り出し、冷却器を経てサンプリングボックス内に放出する。今回は脱ガス中に含まれる F P 核種の分析測定を行なうために Fig. 4.2.5 に示すようなチャコールトラップ付きの脱ガス測定系を新たに設置した。この系では、脱ガス系から出てくる水とガスの混合流体は気水分離器によって水とガスに分離され、ガスは差圧発信式流量計およびフロート式流量計を経て NaI (Tℓ) による γ 線測定部に入る。その後ガスは、パラジウムを含むアルミナ粒を充填した再結合器に入り、水素と酸素は反応して水となり、水は次の除湿器で冷却除去される。残りのガスのうち、窒素と F P ガスは、液体窒素で冷却されたチャコールトラップに吸着し、ヘリウムガスだけがサンプリングボックス内に放出される。また気水分離器で分離した水は、流量計を経て排水系に流れる。気水分離器出口には、注射器を用いてガスサンプリングの出来るゴム板製のサンプリング口が設けてある。

4.2.4 試料の採取方法

予定した日付・時刻に、Fig. 2.2.9 の G 2 から、ポリエチレン製容器 (250 ml ~ 1 ℓ, 2 ℓ) に試水を採取して密栓した。採取した試料水は、¹³¹I など各種の測定項目を対象に、化学・放射化学分析に供用した。

4.2.5 分析方法

(1) ¹³¹I

^{131}I の分析は次の三通りの方法で行なった。

(a) 直接測定法

4.1.5(1)の(a)に同じ。

第16サイクルの7月7日以後は ^{131}I 濃度が $1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{m}\ell$ 以上であり、すべて直接測定法で測定した。

(b) 四塩化炭素抽出法(亜硝酸ナトリウム酸化法)

ポリエチレン瓶に採取された試料水から100~300 mℓを分液ロートにとり、Fig. 4.2.6に示す方法で処理した。四塩化炭素からの逆抽出液(水層)のうち、正確に5 mℓをポリエチレン棒状瓶(16φ×86.5 h)に秤り取った後、 γ 線測定を行ない ^{131}I 濃度を求めた。

γ 線測定装置および校正用比較線源は4.1.5(1)の(a)と同じである。

第16サイクルの初めから7月6日まではすべてこの方法で測定した。

(c) 四塩化炭素抽出-ヨウ化銀沈殿法(次亜塩素酸ナトリウム酸化法)

3.2.4(1)に同じ。

(2) gross β

4.1.5(2)に同じ。

(3) crud 中の ^{131}I

冷却水中の ^{131}I の存在状態に対し、crud分が与える影響を評価することを目的として、crud中の ^{131}I 量の測定も加えた。試料を採取してから約100時間経過したのち、ミリポアフィルターHAを用いて試水をろ過した。ろ紙上の残留分(crud)について直接 γ 線測定をし、 ^{131}I 量を求めた。

(4) 脱ガス中のFP

脱ガス中のFPの測定は次の三通りの方法で行なった。

(a) サンプルングによる方法

脱ガス系気水分離器のガスラインの出口付近から注射器を用いて20 $\mu\ell$ 程度ずつサンプルングした。採取したガスを予め減圧した内容積3 mℓのガラスビンに注入し、 γ 線測定して $^{85\text{m}}\text{Kr}$ と ^{135}Xe の濃度を求めた。 γ 線測定装置および校正用比較線源は4.1.5(1)の(a)と同じである。

(b) 連続測定法

Fig. 4.2.5に示す脱ガス系にウェル型NaI(Tℓ)シンチレーションカウンター(日立製作所製R-451型)を取り付け、シングルチャンネルアナライザー(日立製作所製RAH-11型)につないで、流れてくる脱ガスの放射能を連続的に測定記録した。この場合、計数する γ 線エネルギー範囲を0.1~0.3 MeVに設定し、脱ガス中FPの主成分である $^{85\text{m}}\text{Kr}$ (0.15 MeV)と ^{135}Xe (0.25 MeV)の放射能測定を行なった。

4.2.6 測定結果

第2回実験(第16サイクル)におけるOWL-1一次冷却水のgross β の測定結果をTable 4.2.4に、また ^{131}I 濃度の測定結果をTable 4.2.5と4.2.6およびFig. 4.2.7およびFig. 4.2.8~18に示した。また脱ガス中のFP濃度の測定結果をTable 4.2.7とFig. 4.2.19に示した。

4.2.7 OWL-1 γ モニター指示

第16サイクル照射運転中のOWL-1各 γ モニターの指示をFig. 4.2.20に示す。圧力変動実験時におけるOWL-1各 γ モニターの指示をFig. 4.2.21～24に示す。

また、流量変動実験時、原子炉出力上昇時、原子炉出力変動実験時、および、OWL-1クールダウン時におけるOWL-1 γ モニター指示をFig. 4.2.25～29に示す。

4.2.8 試料温度測定結果

UO₂ペレット内および、被覆管表面に取付けた、C/A熱電対による照射運転中における試料温度の測定結果をFig. 4.2.30に示す。なお、UO₂ペレット内に取付けた熱電対のうち、1本は運転初期からの熱電対のトラブルにより測温できなかった。また他の1本は、運転開始8日目から指示不良となった。

4.2.9 OWL-1キュービクル周辺空間線量率および外部被曝線量

第16サイクルにおけるキュービクル周辺空間線量率の1例をFig. 4.2.31に示した。

外部被曝線量は、常時サンプリングや分析作業に携わっていた者5名について平均した全身被曝線量が90 mrem、臨時にこれらの作業に携わった者1名について全身被曝線量が検出限界以下、局部被曝線量が γ 線で90 mremであった。

Table 4.21 Characteristics of pin-holed fuel rod
and irradiating conditions for the
16th cycle

試料名		69 L - 4 P
照射期間		第16サイクル (S.47.6/24~7/22)
UO ₂ ペレット	個数	1 個
	密度	94.5 TD%
	²³⁵ U 濃縮度	1.5 W/O
	UO ₂ 量	25.5 g*
	²³⁵ U 量	0.38 g
	ペレット外径	13.45 mm φ*
	ペレット長さ	17.7 mm*
被覆管	材質	SUS-32
	長さ	108 mm
	外径	15.00 mm φ*
	肉厚	0.6 mm
プレナム内の体積		≒ 9 cm ³
被覆管の人工欠陥孔	位置	プレナムのほぼ中心 (UO ₂ ペレット下端より 35 mm 下側)
	孔径	220 μm
	孔数	1 個
原子炉熱出力		50 MW
ペレット (中心) 照射位置		D-7 (OWL-1 炉内管) 原子炉燃料中心より 254 mm 上部
ペレット中心位置の熱中性子束密度		$5.83 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}^{**}$
試料発熱量		383 W/cm**
試料中心温度		1650 °C (加圧水型運転時)** 1500 °C (沸騰水型運転時)
その他	フラックスモニターワイヤー	1 本
	测温用 CA 熱電対	UO ₂ ペレット内 2 本 被覆管表面 1 本
	特記事項	燃料試料の下側に 3 段, 材料試料を積載

* 実測値 (検査成績書より)

** 推定値

Table 4.2.2 Results of chemical analysis of UO₂ pellet (the 16 th cycle)

不純物	分析値	備考
Al	8.5 ppm	
B	0.3 "	
C	9.6 "	
Cd	0.03 "	
Cr	22 "	
F	4 "	
Fe	186 "	
N	21 "	
Mo	1.0 "	
Mg	9 "	
Pb	2.4 "	
Cu	10 "	
Ni	17 "	
Si	6.4 "	
Ag	0.2 "	
Sn	3.6 "	
Ca	4.0 "	
U	88.07 %	
O/U	2.00	
ガス量	15 μ l/g	

Table 4.2.3 Operating conditions of OWL-1 in the 16th cycle

項目	加圧水型	沸騰水型	中間炉停止時
炉内管入口温度	265 °C	285.4 °C	100 ~ 120 °C
炉内管入口圧力	71 kg/cm ² G	71 kg/cm ² G	71 kg/cm ² G
炉内管入口流量	45 kg/min	25 kg/min	45 kg/min
精製系流量	2~3 kg/min	2~3 kg/min	2~3 kg/min
蒸気含有率	~	7~8%	-

Table 4.24 Gross β activity in the primary coolant of OWL-1 (the 16th cycle)

日付	サンプリング時刻	JMTR 出力	gross β ($\mu\text{Ci}/\text{ml}$)
6/25	10 : 36	0	5.0×10^{-5}
	14 : 18	500 kW	3.31×10^{-4}
	14 : 40	10 MW	1.02×10^{-3}
	15 : 10	15 MW	4.60×10^{-3}
	19 : 25	40 MWt	2.88×10^{-2}
6/26	13 : 40	50.5 MWt	4.04×10^{-2}
6/28	9 : 33	50 MWt	7.05×10^{-3}
6/29	9 : 40	49.7 MWt	3.87×10^{-3}
6/30	9 : 40	50 MWt	4.73×10^{-3}
7/1	9 : 31	50 MWt	4.90×10^{-4}
7/3	9 : 40	49.8 MWt	5.74×10^{-3}
7/4	9 : 44	49.5 MWt	4.72×10^{-3}
7/5	10 : 10	50 MWt	3.08×10^{-3}
7/6	9 : 40	49.5 MWt	4.50×10^{-3}
7/7	9 : 43	50 MWt	8.78×10^{-3}
7/8	9 : 33	0	2.47×10^{-1}
7/10	10 : 05	10 MW	2.06×10^{-1}
	14 : 00	30 MWt	3.44×10^{-1}
	15 : 40	40 MWt	3.76×10^{-1}
	17 : 00	45 MWt	3.54×10^{-1}
7/11	10 : 00	50 MWt	4.67×10^{-1}
7/12	10 : 30	50 MWt	5.76×10^{-1}
7/13	9 : 30	20 kW	6.15×10^{-1}
7/14	10 : 00	0	1.13×10^{-1}
7/15	10 : 10	10 MW	1.10×10^{-1}
	11 : 44	40 MWt	5.18×10^{-1}
	14 : 00	50 MWt	3.84×10^{-1}
7/17	9 : 32	50 MWt	3.73×10^{-1}
7/18	9 : 30	50 MWt	1.42×10^{-1}
7/19	9 : 30	50 MWt	1.89×10^{-1}
7/20	9 : 20	50 MWt	1.57×10^{-1}
7/21	9 : 30	50 MWt	1.25×10^{-2}
7/22	10 : 00	0	1.76

注1) 試料水はすべて炉内管出口より採取した。

注2) MWは核計装出力を, MWtは熱出力を示す。

Table 4.2.5 ^{131}I concentration in the primary coolant of OWL-1
(the 16th cycle)

日付	サンプリング時刻	^{131}I 濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{mL}$)	原子炉出力	OWL-1圧力 ($\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$)	備考
6/25	15:10	B.G.	15 MW	71	原子炉出力上昇
	18:30	2.34×10^{-5}	30 MWt	"	
	19:25	6.30×10^{-5}	40 MWt	"	
	20:00	4.39×10^{-5}	45 MWt	"	
6/26	9:30	4.04×10^{-4}	50 MWt	71	
	9:45	5.95×10^{-4}	"	"	
	10:00	5.30×10^{-4}	"	"	11:00よりOWL
	10:51	4.98×10^{-4}	"	"	-1のP→B
	11:00	6.62×10^{-4}	"	"	change 開始
6/26	11:20	6.48×10^{-4}	"	"	
	11:40	5.95×10^{-4}	"	"	
	14:35	4.52×10^{-4}	"	"	
	15:05	4.74×10^{-4}	"	"	
	15:20	5.05×10^{-4}	"	"	
6/26	15:40	3.39×10^{-4}	"	"	
	16:00	3.75×10^{-4}	"	"	
	16:30	3.66×10^{-4}	"	"	
	17:15	4.11×10^{-4}	"	"	
6/27	16:25	1.42×10^{-4}	50 MWt	71	
6/28	9:33	1.55×10^{-4}	50 MWt	71	
	13:48	9.56×10^{-5}	"	"	
6/29	9:30	1.06×10^{-4}	50 MWt	71	
	14:40	1.59×10^{-4}	"	"	
	16:35	8.00×10^{-5}	"	"	

Table 4.2.5 (continued)

日付	サンプリング時刻	^{131}I 濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{mL}$)	原子炉出力	OWL-1圧力 ($\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$)	備考
6/30	9:40	1.00×10^{-4}	50 MWt	71	
7/1	9:31	1.07×10^{-4}	50 MWt	71	
7/3	9:45	7.20×10^{-5}	50 MWt	71	
	13:40	5.58×10^{-5}	"	"	
7/4	9:45	1.00×10^{-4}	50 MWt	71	
	13:30	8.48×10^{-5}	"	"	
7/5	12:00	1.52×10^{-4}	50 MWt	71	7/5の13:30より
	13:17	1.58×10^{-4}	"	"	19:30まで精製系を
	13:35	1.69×10^{-4}	"	"	停止
	15:00	1.80×10^{-4}	"	"	
	15:30	2.01×10^{-4}	"	"	
7/5	16:15	2.18×10^{-4}	"	"	
	18:45	2.74×10^{-4}	"	"	
	19:16	3.38×10^{-4}	"	"	
7/6	11:00	2.96×10^{-4}	50 MWt	71	①原子炉出力変動
	11:30	3.83×10^{-4}	"	"	実験
	13:35	4.48×10^{-4}	45 MWt	"	②11:20より17:
	13:45	4.95×10^{-4}	"	"	35までI.X.停止
	14:00	3.86×10^{-4}	"	"	

Table 4.2.5 (continued)

日付	サンプリング時刻	¹³¹ I 濃度 (μCi/ml)	原子炉出力	OWL-1 圧力 (kg/cm ² G)	備考
7/6	14:20	4.69×10 ⁻⁴	45 MWt	71	
	14:40	5.37×10 ⁻⁴	"	"	
	15:00	5.97×10 ⁻⁴	"	"	
	15:25	5.48×10 ⁻⁴	"	"	
	15:45	5.66×10 ⁻⁴	50 MWt	"	
7/6	16:00	5.84×10 ⁻⁴	"	"	
	16:20	5.54×10 ⁻⁴	"	"	
	16:50	6.00×10 ⁻⁴	"	"	
	17:30	5.87×10 ⁻⁴	"	"	
7/7	9:43	1.02×10 ⁻³	50 MWt	71	19:00よりOWL-1
	13:30	1.17×10 ⁻³	"	"	はB→P change
	20:00	9.21×10 ⁻²	"	"	し, cool-downに
	20:40	2.76×10 ⁻¹	"	"	入る
	21:15	4.30×10 ⁻¹	"	"	
7/7	21:45	4.82×10 ⁻¹	"	"	
	22:10	4.75×10 ⁻¹	"	"	
	22:40	4.57×10 ⁻¹	"	"	
	23:10	4.39×10 ⁻¹	"	"	
7/8	1:00	3.69×10 ⁻¹	"	71	①AM1:33に原子
	1:20	3.54×10 ⁻¹	"	"	炉停止
	1:40	3.44×10 ⁻¹	0	"	②OWL-1冷却水温
	4:00	2.52×10 ⁻¹	"	"	度110℃
	9:33	1.00×10 ⁻¹	"	"	
7/10	9:25	2.14×10 ⁻²	0.5 MW	71	①9:00より原子炉出
	10:05	7.45×10 ⁻²	10 MW	"	力上昇
	10:30	9.48×10 ⁻²	"	"	
	11:05	1.15×10 ⁻¹	"	"	②OWL-1冷却水温度
	11:30	1.11×10 ⁻¹	10→15 MW	"	は260℃
7/10	11:50	1.39×10 ⁻¹	15 MW	"	
	13:10	1.24×10 ⁻¹	"	"	
	13:30	1.18×10 ⁻¹	25 MWt	"	
	14:00	1.21×10 ⁻¹	30 MWt	"	
	14:30	1.07×10 ⁻¹	"	"	

Table 4.2.5 (continued)

日付	サンプリング時刻	^{131}I 濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{mL}$)	原子炉出力	OWL-1炉力 ($\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$)	備考
7/10	15:00	1.19×10^{-1}	30 MWt	71	
	15:40	1.24×10^{-1}	40 MWt	"	
	16:20	1.09×10^{-1}	"	"	
	17:00	1.14×10^{-1}	45 MWt	"	
	17:33	1.02×10^{-1}	"	"	
7/11	10:05	4.98×10^{-2}	50 MWt	71	
7/12	10:40	4.20×10^{-2}	50 MWt	71	
7/13	9:30	3.68×10^{-2}	50 MWt	71	
	9:45	3.76×10^{-2}	"	"	主循環ポンプ異常によ
	10:02	4.05×10^{-2}	30 MWt	"	り10:27に原子炉停止
	10:15	6.21×10^{-2}	0.5 MW	"	
	10:30	6.47×10^{-2}	0	"	9:00より16:40まで
7/13	10:45	7.02×10^{-2}	"	"	OWL-1の精製系停止
	11:00	8.10×10^{-2}	"	"	
	11:15	7.91×10^{-2}	"	"	
	11:30	8.99×10^{-2}	"	"	
	11:50	9.25×10^{-2}	"	"	
7/13	13:15	1.25×10^{-1}	"	"	
	13:45	1.20×10^{-1}	"	"	
	14:25	1.29×10^{-1}	"	"	
	15:00	1.20×10^{-1}	"	"	
	19:06	9.76×10^{-2}	"	"	
7/14	10:00	2.77×10^{-2}	"	71	
	15:20	2.39×10^{-2}	"	"	

Table 4.2.5 (continued)

日付	サンプリング時刻	^{131}I 濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{mL}$)	原子炉出力	OWL-1圧力 ($\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$)	備考
7/15	9:36	1.68×10^{-2}	0.02 MW	71	9:00より原子炉出力
	10:10	1.24×10^{-2}	10 MW	"	上昇
	10:32	2.86×10^{-2}	"	"	
	11:12	6.20×10^{-2}	30 MWt	"	
	11:30	1.51×10^{-1}	37.5 MWt	"	
7/15	11:45	1.40×10^{-1}	40 MWt	"	
	12:30	1.35×10^{-1}	"	"	
	13:15	1.15×10^{-1}	"	"	
	13:45	1.11×10^{-1}	45 MWt	"	
	14:00	1.16×10^{-1}	50 MWt	"	
7/15	14:30	9.73×10^{-2}	"	64	14:30よりOWL-1
	14:45	9.47×10^{-2}	"	"	圧力変動実験開始
	15:00	9.23×10^{-2}	"	"	
	15:15	8.46×10^{-2}	"	"	
	15:45	8.38×10^{-2}	"	71	
7/15	16:00	9.01×10^{-2}	"	"	
	16:15	8.30×10^{-2}	"	"	
	16:45	8.26×10^{-2}	"	"	
	17:15	7.63×10^{-2}	"	"	
7/17	9:18	2.46×10^{-2}	50 MWt	71	10:10よりOWL-1
	9:32	1.97×10^{-2}	"	"	の圧力変動実験開始
	9:59	1.92×10^{-2}	"	"	
	10:10	2.03×10^{-2}	"	64	
	10:20	1.84×10^{-2}	"	"	
7/17	10:40	1.95×10^{-2}	"	"	
	11:00	1.79×10^{-2}	"	"	
	11:30	1.83×10^{-2}	"	"	
	11:50	1.66×10^{-2}	"	"	
	13:15	1.79×10^{-2}	"	"	
7/17	14:00	1.82×10^{-2}	"	"	
	14:55	1.90×10^{-2}	"	"	
	15:15	1.67×10^{-2}	"	64→71	
	15:30	1.80×10^{-2}	"	71	
	16:00	1.93×10^{-2}	"	"	

Table 4.2.5 (continued)

日付	サンプリング時刻	^{131}I 濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{mL}$)	原子炉出力	OWL-1 圧力 ($\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$)	備考
7/17	16:30	1.93×10^{-2}	50 MWt	71	
	17:00	1.86×10^{-2}	"	"	
7/18	9:30	1.30×10^{-2}	50 MWt	71	
	10:00	1.06×10^{-2}	"	"	
	10:30	1.04×10^{-2}	"	"	
	11:00	1.04×10^{-2}	"	"	11:00より OWL-1
	11:15	1.11×10^{-2}	"	64	の圧力変動実験開始
7/18	11:30	1.10×10^{-2}	"	"	
	11:56	1.06×10^{-2}	"	"	
	13:15	1.12×10^{-2}	"	"	
	14:20	1.19×10^{-2}	"	"	
	15:05	1.27×10^{-2}	"	"	
7/18	16:30	1.52×10^{-2}	"	"	
	17:20	1.47×10^{-2}	"	"	
7/19	9:30	2.23×10^{-2}	50 MWt	64	
	10:00	2.28×10^{-2}	"	"	
	10:30	2.34×10^{-2}	"	"	
	11:00	2.25×10^{-2}	"	"	11:00に OWL-1 の
	11:15	2.34×10^{-2}	"	71	圧力を上昇
7/19	11:30	2.36×10^{-2}	"	"	
	11:45	2.34×10^{-2}	"	"	
	13:15	2.13×10^{-2}	"	"	
	14:35	1.99×10^{-2}	"	"	
	15:02	2.02×10^{-2}	"	"	
7/19	17:00	1.88×10^{-2}	"	"	

Table 4.2.5 (continued)

日付	サンプリング時刻	^{131}I 濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{mL}$)	原子炉出力	OWL-1圧力 ($\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$)	備考
7/20	9:20	1.85×10^{-2}	50 MWt	71	
	10:22	1.67×10^{-2}	"	}	10:20より12:00まで
	10:30	1.75×10^{-2}	"		OWL-1の圧力変動
	10:40	1.52×10^{-2}	"		実験
	10:50	1.69×10^{-2}	"		71→68
11:00	1.68×10^{-2}	"	→71		
7/20	11:10	1.67×10^{-2}	"	(10分/cycle)	
	11:20	1.67×10^{-2}	"		
	11:30	1.63×10^{-2}	"		
	11:40	1.44×10^{-2}	"		
	11:50	1.59×10^{-2}	"		
7/20	12:00	1.53×10^{-2}	"		
	13:20	1.39×10^{-2}	"	71	
	13:50	1.55×10^{-2}	"	"	
	15:22	1.35×10^{-2}	"	"	
	7/21	9:30	1.04×10^{-2}	50 MWt	71
13:30		1.05×10^{-2}	"	"	
7/22	8:30	9.76×10^{-3}	50 MWt	71	8:30に原子炉停止操
	8:36	1.59×10^{-2}	35 MWt	"	作開始
	8:45	1.88×10^{-2}	"	"	
	8:50	3.27×10^{-2}	"	"	
	9:00	3.85×10^{-2}	"	"	
7/22	9:15	1.59×10^{-1}	20 MWt	"	
	9:45	1.73×10^{-1}	0	"	9:30にOWL-1
	10:00	3.57×10^{-1}	"	"	P→B change
	10:30	1.92×10^{-1}	"	"	
	11:00	1.41×10^{-1}	"	"	
7/22	11:30	8.90×10^{-2}	"	"	
	11:50	7.50×10^{-2}	"	"	15:00にOWL-1
	13:15	2.28×10^{-2}	"	"	B→P change
	14:00	1.61×10^{-2}	"	"	cool-downに入る
	15:00	8.06×10^{-3}	"	"	

Table 4.2.6 ^{131}I activity in the primary coolant of OWL-1
(the 16th cycle)

Date and Time (1972), Sampled	^{131}I activity at sampling time ($\mu\text{Ci}/\text{gH}_2\text{O}$) Test Section Effluent ^(注) (in Crud)
July 7, 20:00	2.36×10^{-1} (1.55×10^{-1})
" 7, 20:40	1.81×10^{-1} (0.12×10^{-1})
" 7, 21:15	2.01×10^{-1} (0.01×10^{-1})
" 7, 21:45	2.72×10^{-1} (3.10×10^{-3})
" 7, 22:10	2.88×10^{-1} (4.83×10^{-4})
" 7, 22:40	3.29×10^{-1} (5.08×10^{-4})
" 7, 23:10	2.93×10^{-1} (3.38×10^{-4})
" 8, 1:00	3.58×10^{-1} (3.36×10^{-4})
" 8, 1:20	4.21×10^{-1} (2.39×10^{-4})
" 8, 1:40	4.23×10^{-1} (2.89×10^{-4})
" 8, 2:00	4.13×10^{-1} (1.20×10^{-4})
" 8, 3:05	3.94×10^{-1} (1.27×10^{-4})
" 8, 4:00	2.86×10^{-1} (2.30×10^{-4})
: 8, 4:45	5.74×10^{-2} (1.20×10^{-4})

注) ^{131}I 濃度はすべて 3.2.4(1)の方法で測定した。

Table 4.2.7 Off-gas activity of OWL-1
(the 16 th cycle)

日付	サンプリング時刻	^{85m}Kr 濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{m}\ell$)	^{136}Xe 濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{m}\ell$)	備 考
6/26	9 : 52	2.51	5.27	
"	10 : 25	6.33	5.93	P→B mode 変換
"	11 : 30	4.93	5.41	
"	13 : 45	5.75	7.60	
6/29	17 : 08	0.357	0.92	
6/30	10 : 30	0.266	0.63	
7/4	10 : 02	0.467	1.21	
7/7	11 : 21	2.06	5.77	
7/8	10 : 18	0.216	2.12	Shuffling
7/13	10 : 45	18.5	36.0	原子炉停止中
7/15	13 : 25	2.06	9.14	原子炉出力上昇
7/17	9 : 35	19.3	68.1	圧力変動実験
"	13 : 30	19.2	61.4	
"	16 : 20	19.8	68.8	
7/18	9 : 30	19.1	63.2	圧力変動実験
"	13 : 30	16.0	44.8	
7/19	10 : 10	20.5	67.7	圧力変動実験
"	13 : 55	10.6	38.7	
7/20	11 : 30	17.5	50.2	圧力変動実験
"	15 : 30	9.77	29.1	
7/21	10 : 06	16.9	55.4	

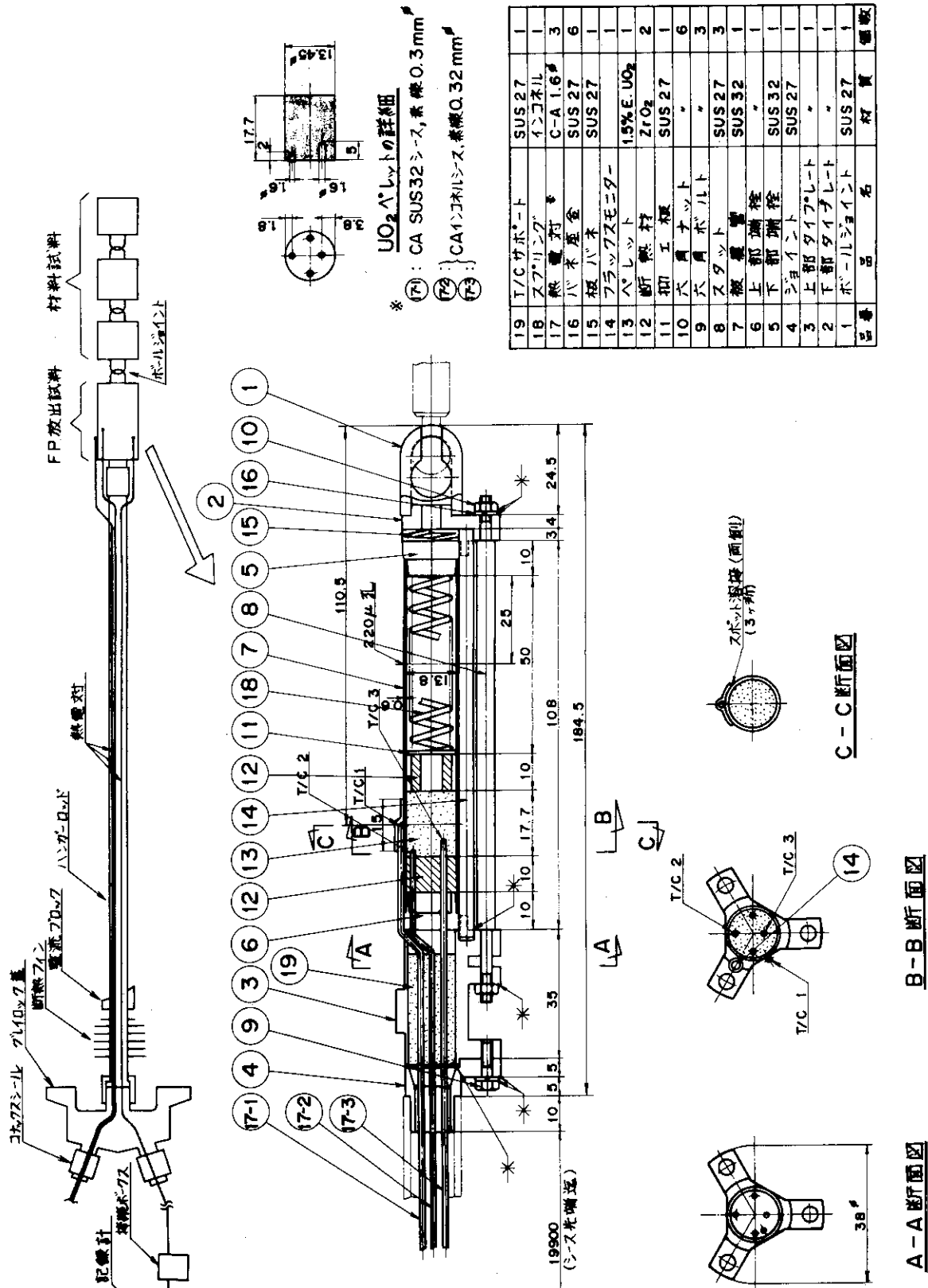
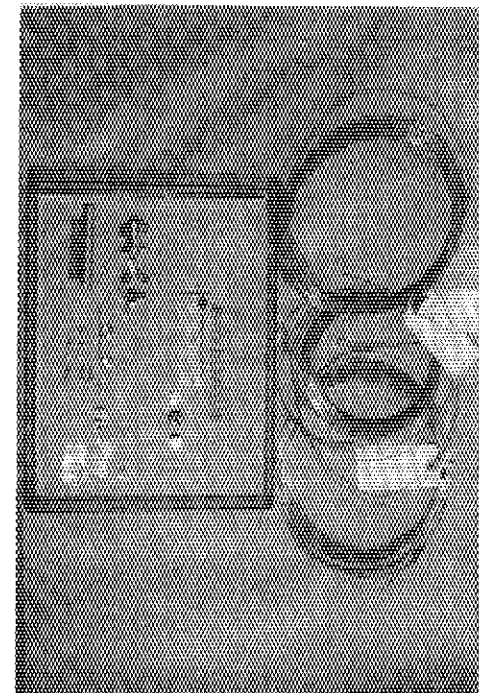
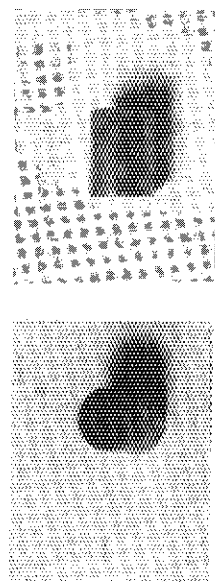


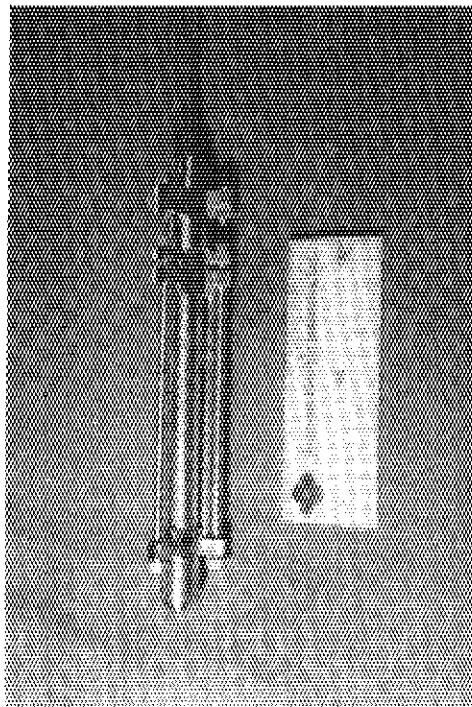
Fig. 4.2.1 69L-4P specimen (the 16th cycle)



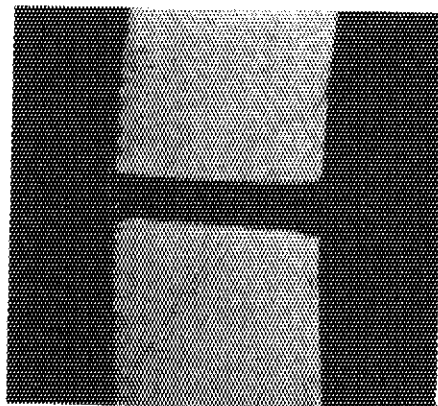
試料部品



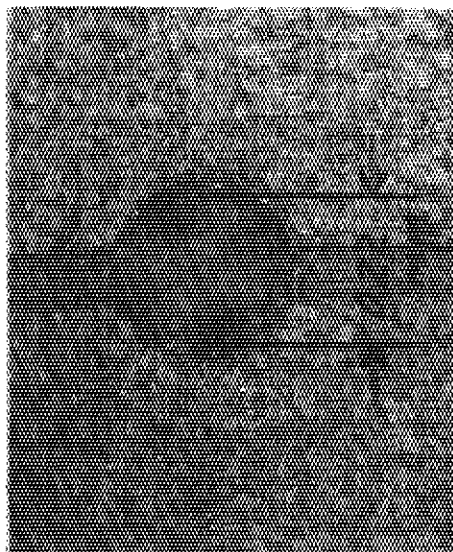
UO₂ ペレット



試料組立状態



(断面)



被覆管の人工欠陥孔

Fig. 4.2.2 69L-4P specimen (the 16th cycle)

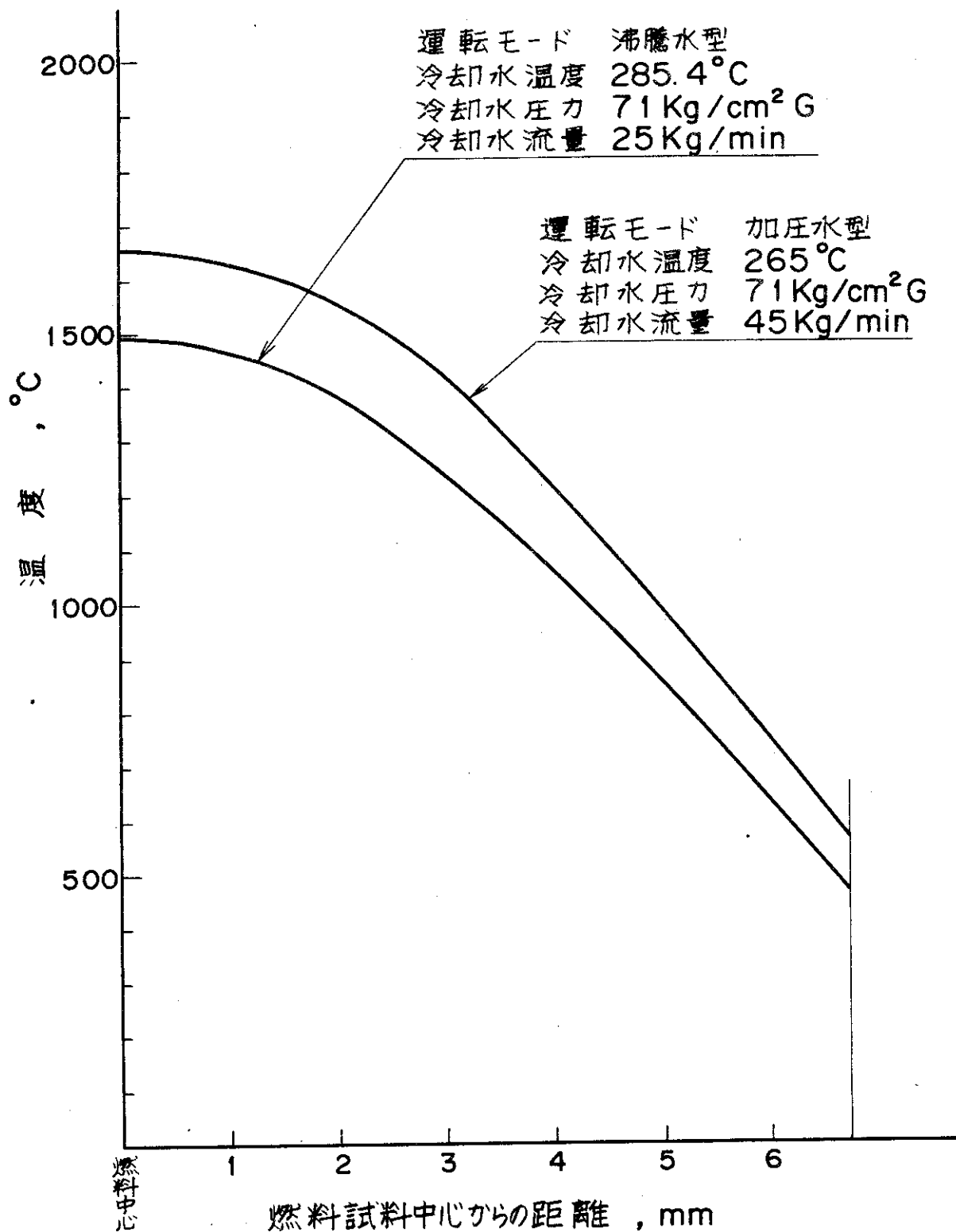


Fig. 4.2.3 Calculated temperature distribution across UO₂ pellet (the 16th cycle)

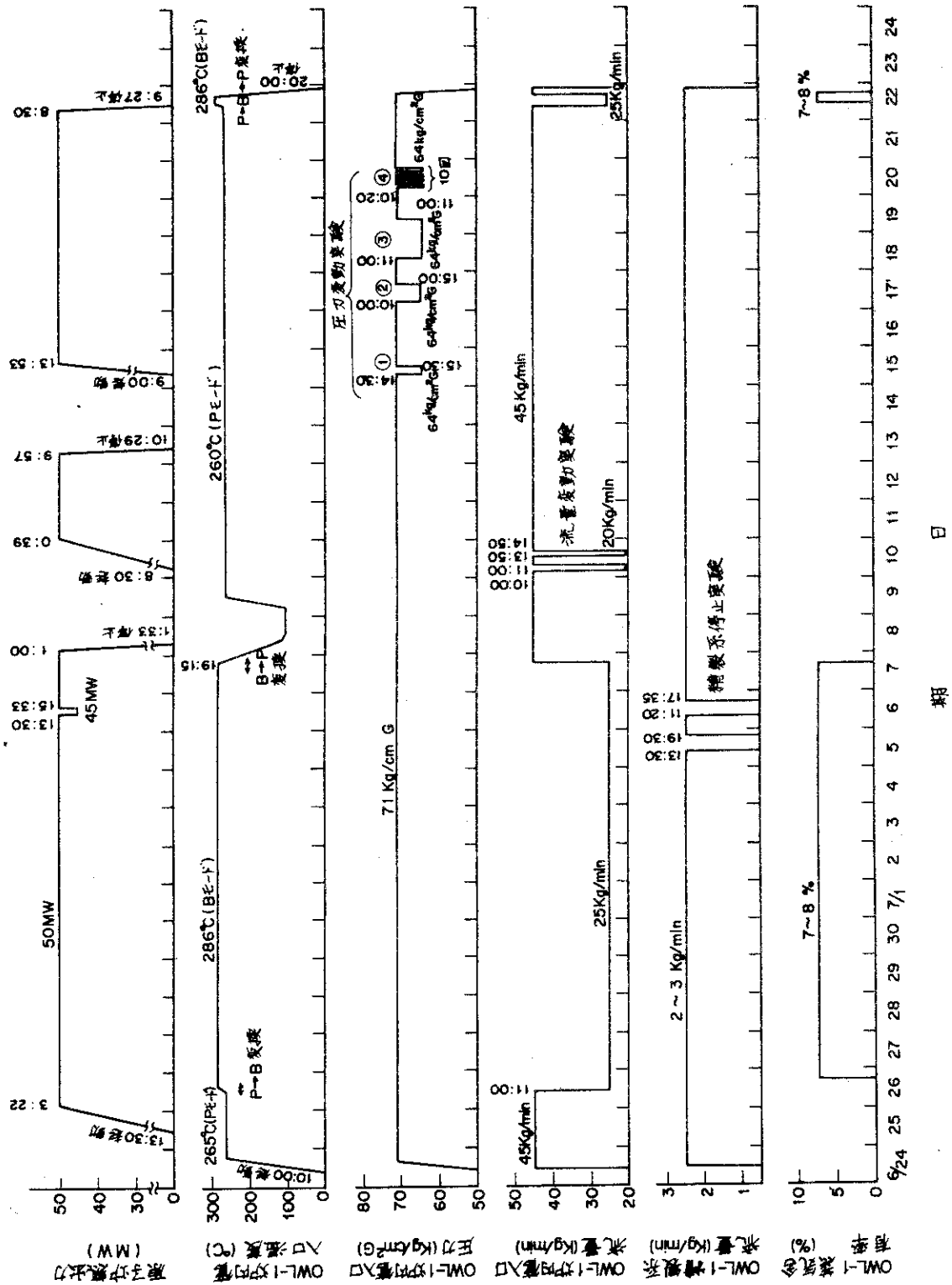


Fig. 4.2.4 Operation log of reactor and OWL-1 (the 16th cycle)

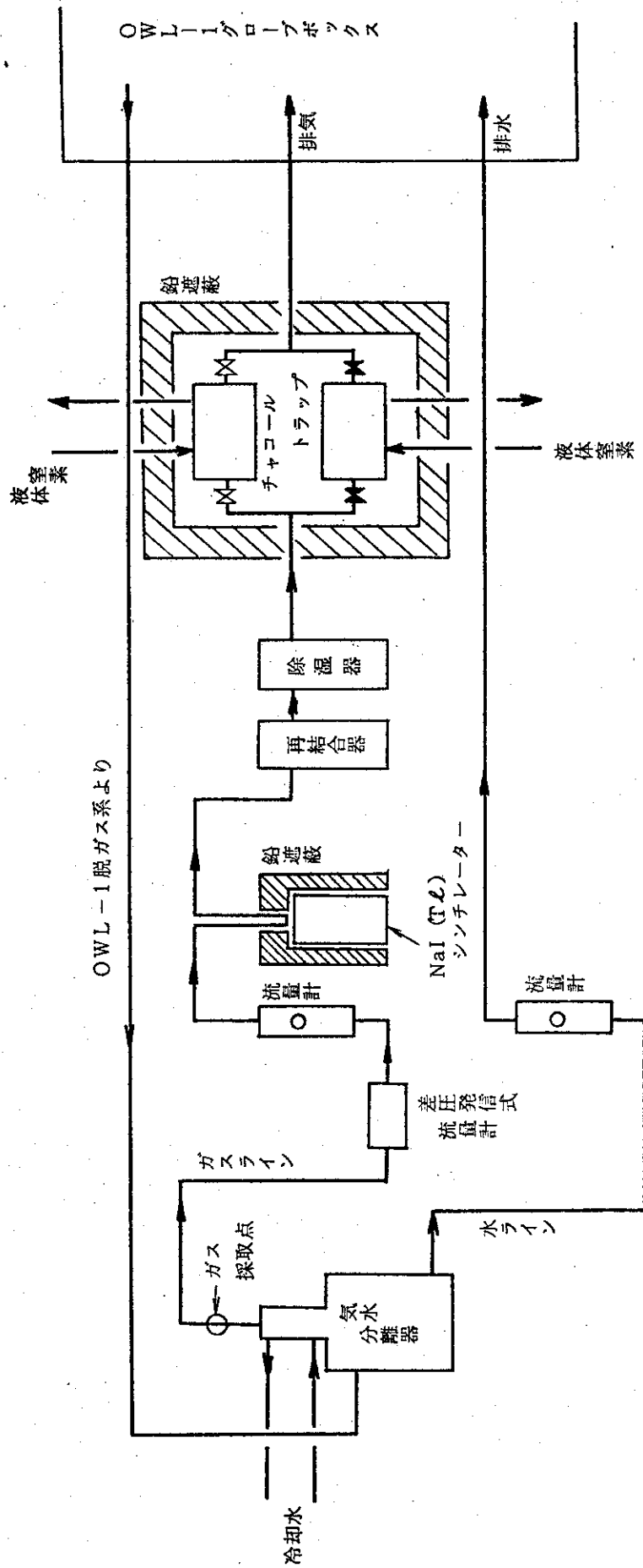


Fig. 4.2.5 Flow diagram of off-gas system

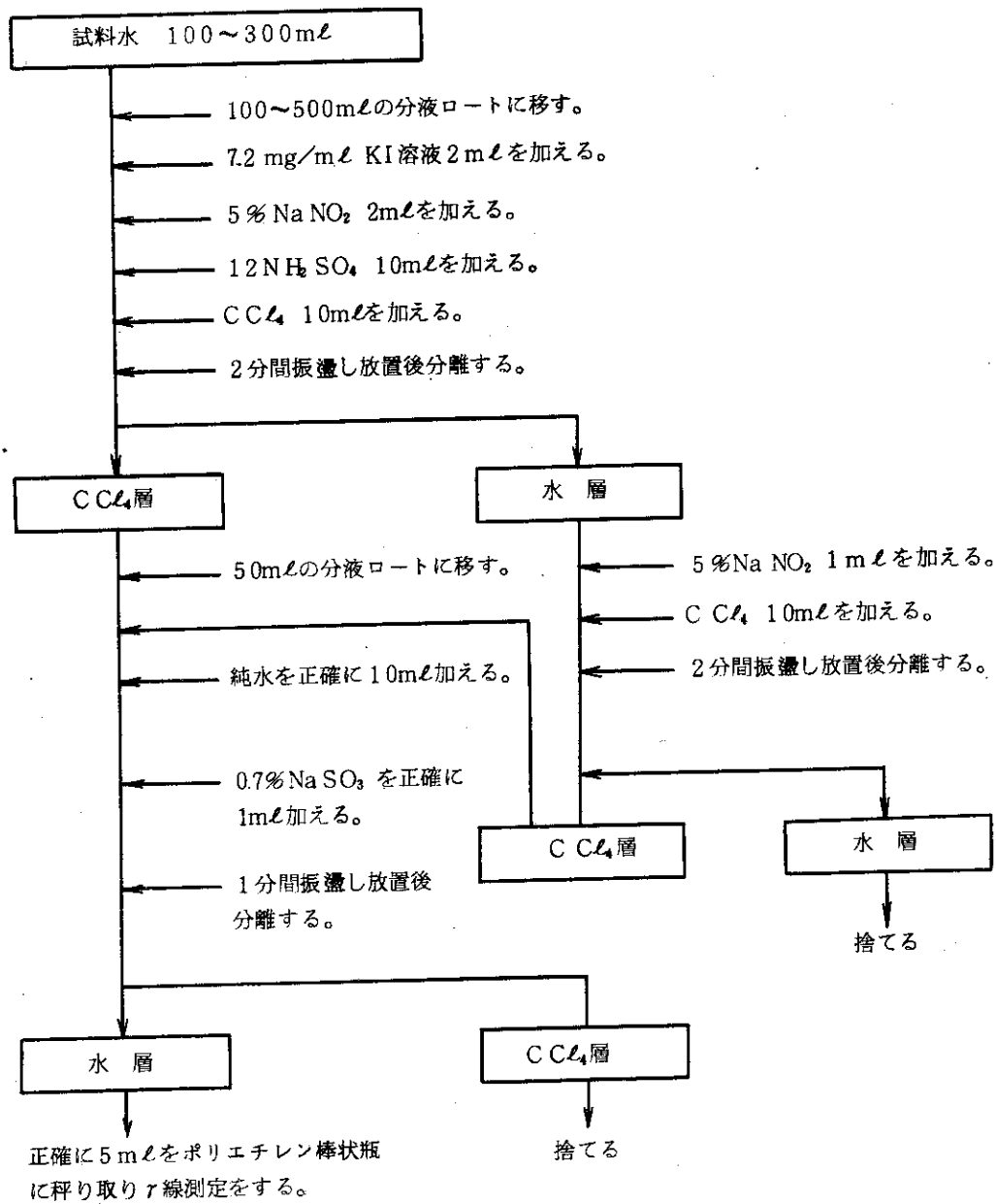


Fig. 4.2.6 ¹³¹I determination process.
(NaNO₂ oxidation method)

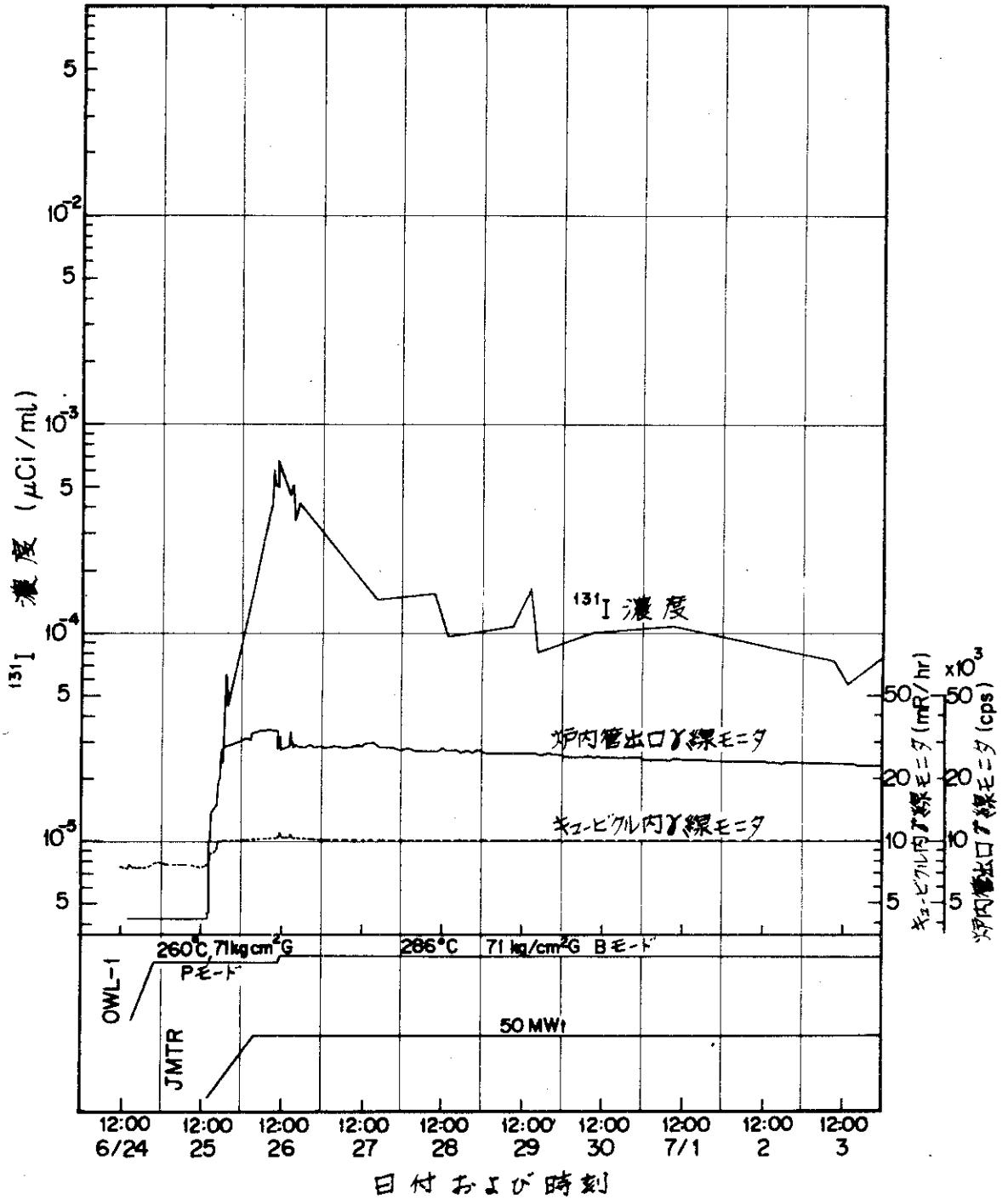


Fig. 4.2.7 Variation of ^{131}I concentration in the loop water (the 16th cycle)

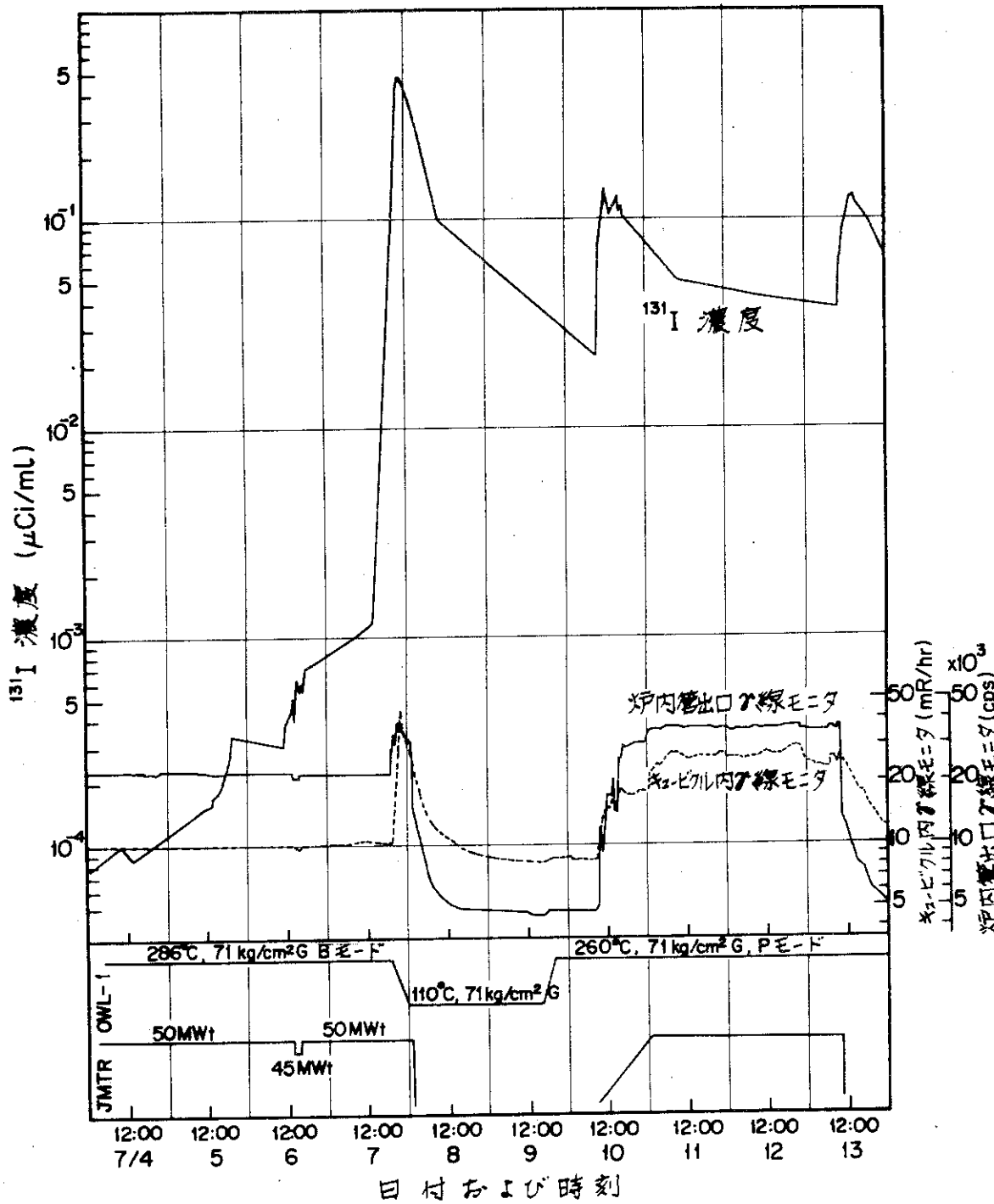


Fig. 4.2.7 (continued)

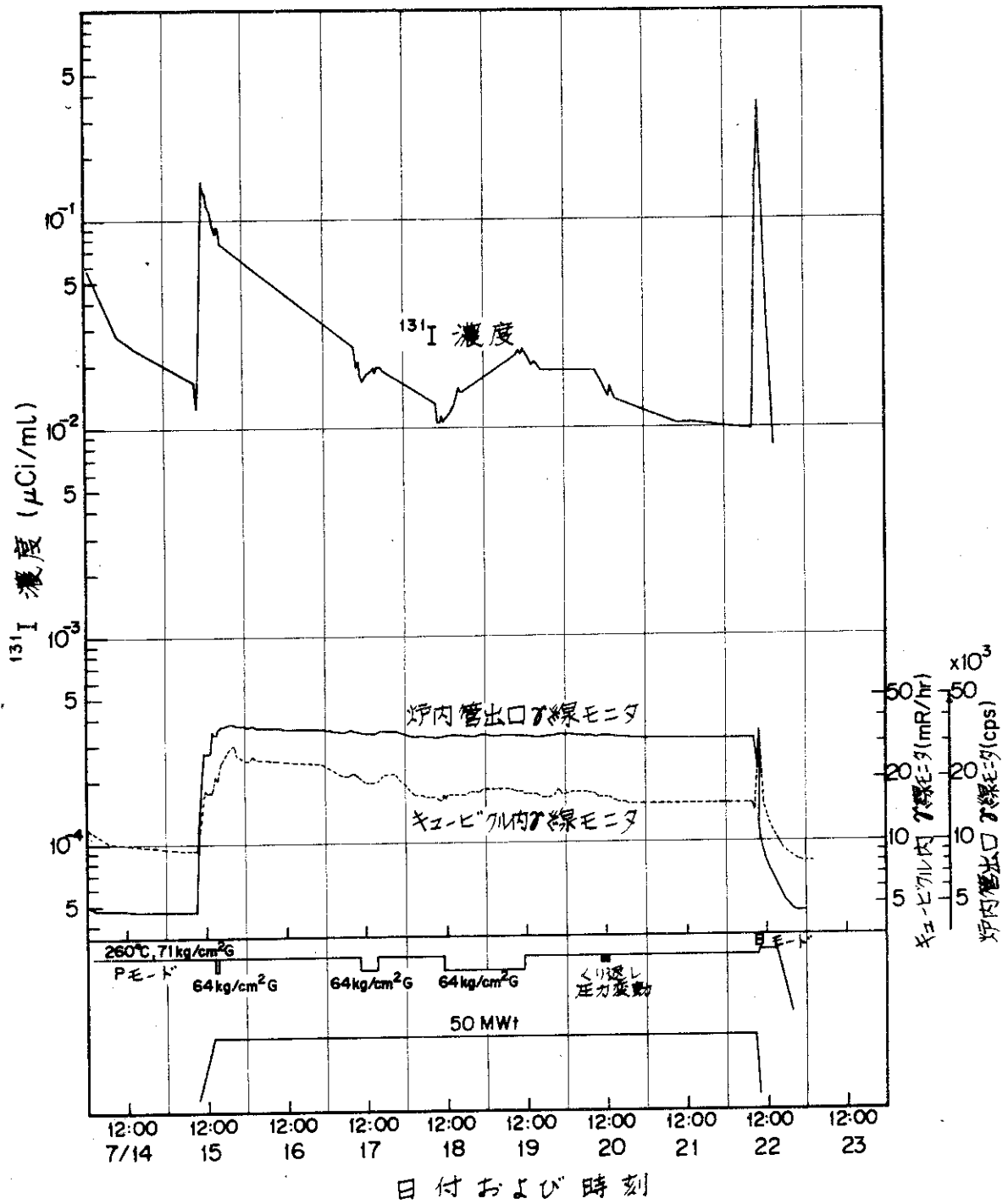


Fig. 4.2.7 (continued)

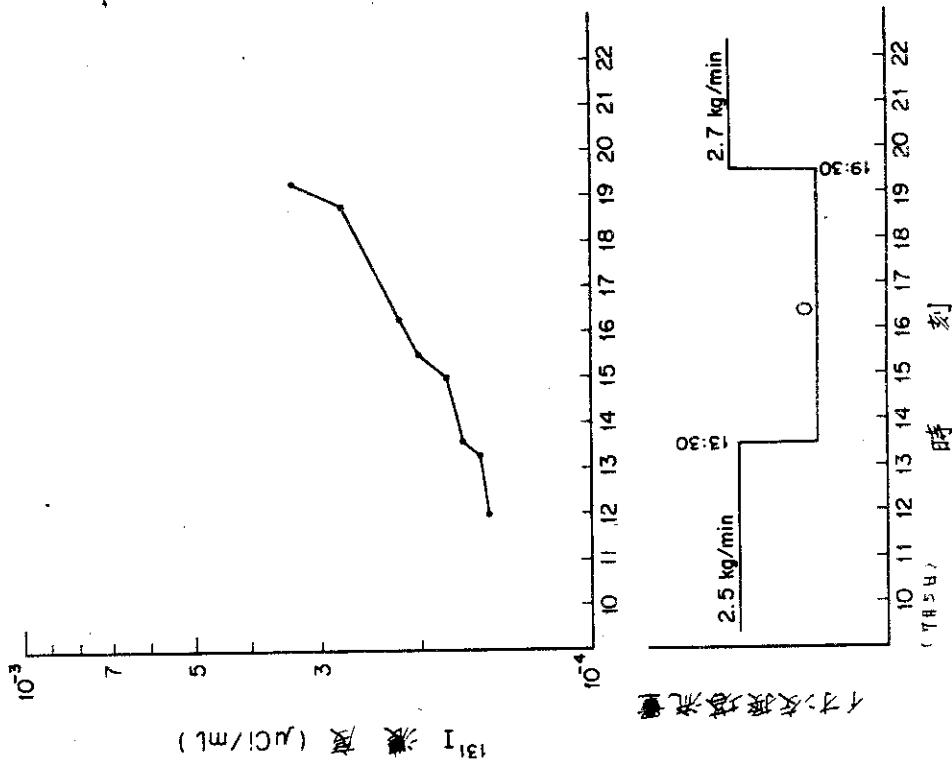


Fig. 4.2.9 ^{131}I behavior during the clean-up system out of service (July 5, the 16th cycle)

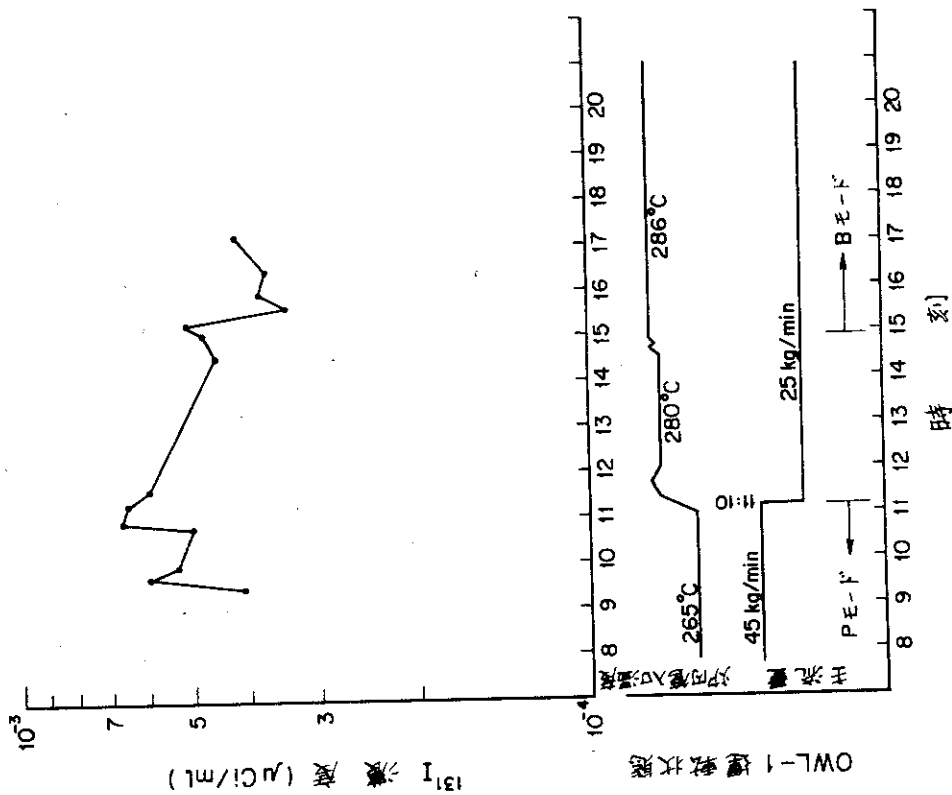


Fig. 4.2.8 ^{131}I behavior during operating mode change (June 26, the 16th cycle)

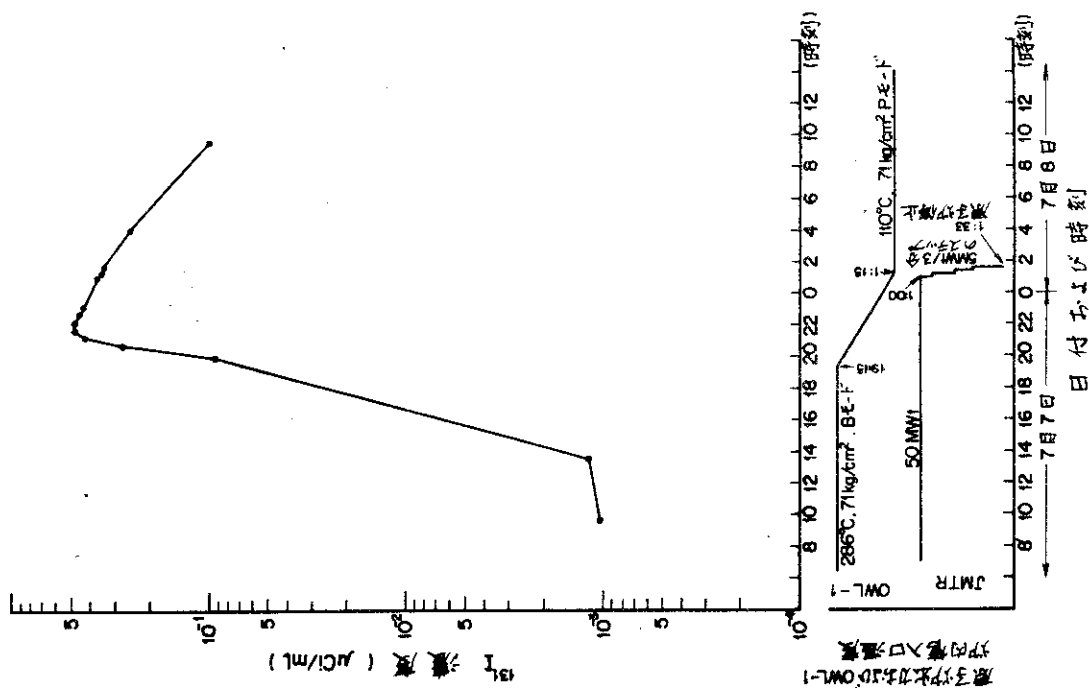


Fig. 4.2.11 ¹³¹I behavior during middle shut-down (the 16th cycle)

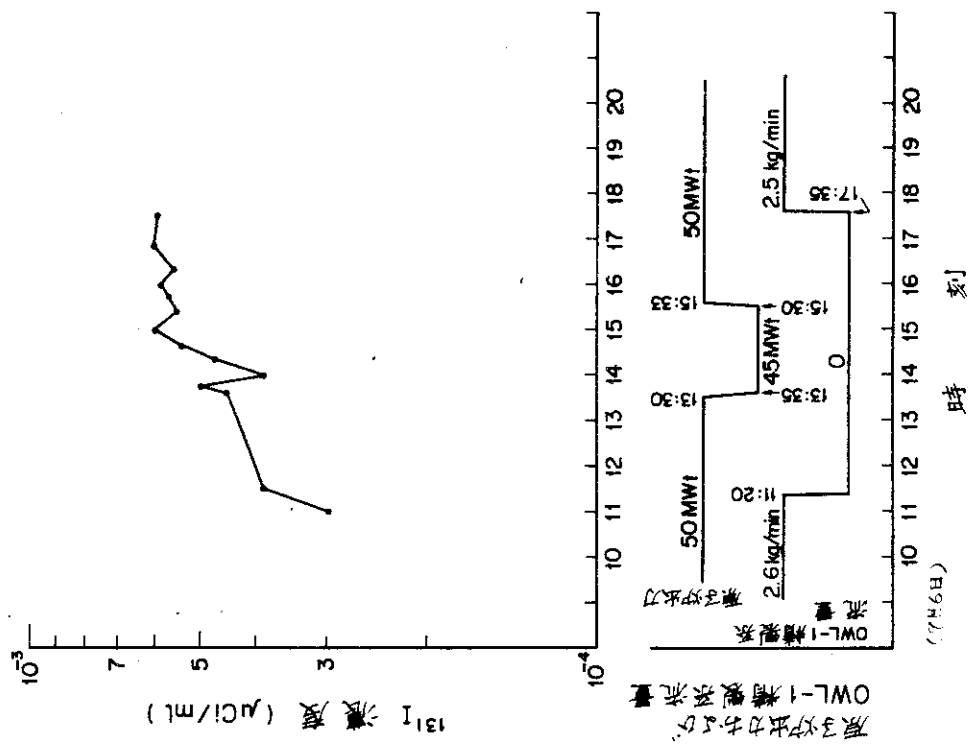


Fig. 4.2.10 ¹³¹I behavior during reactor power level variation (July 6, the 16th cycle)

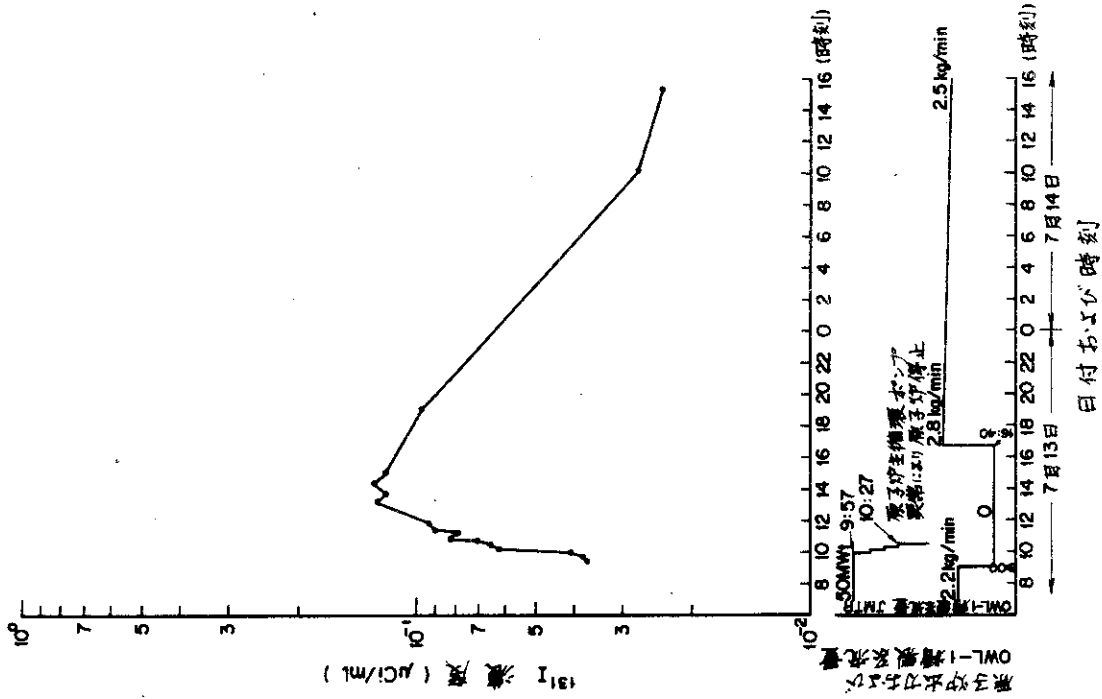


Fig. 4.2.13 ¹³¹I behavior during reactor shut-down (the 16th cycle)

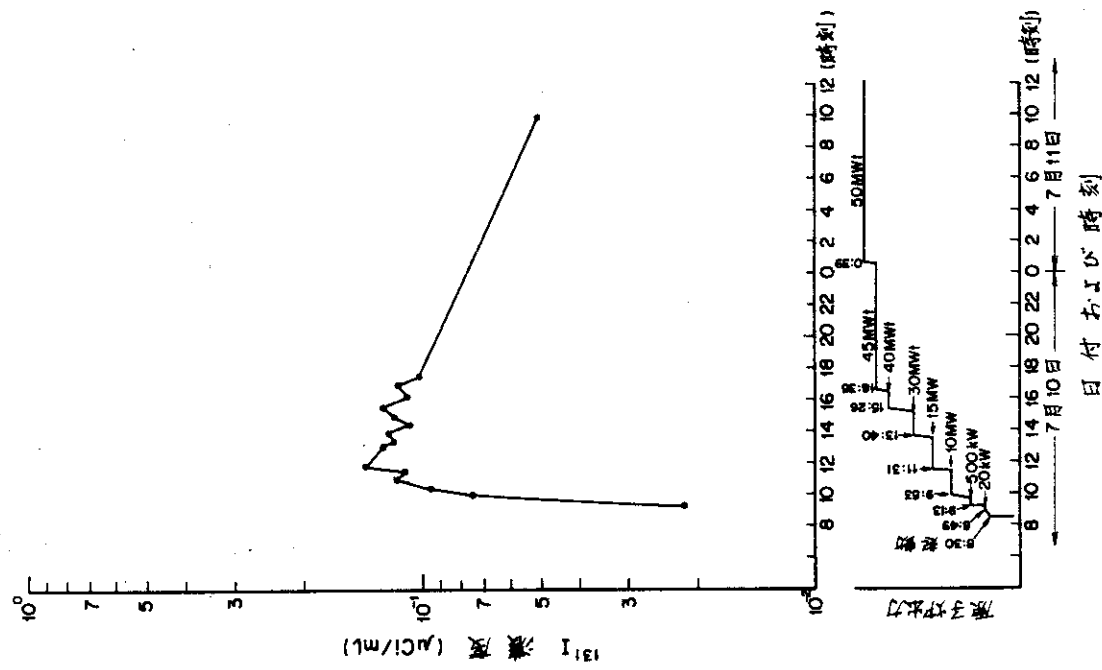


Fig. 4.2.12 ¹³¹I behavior during start-up after refueling (the 16th cycle)

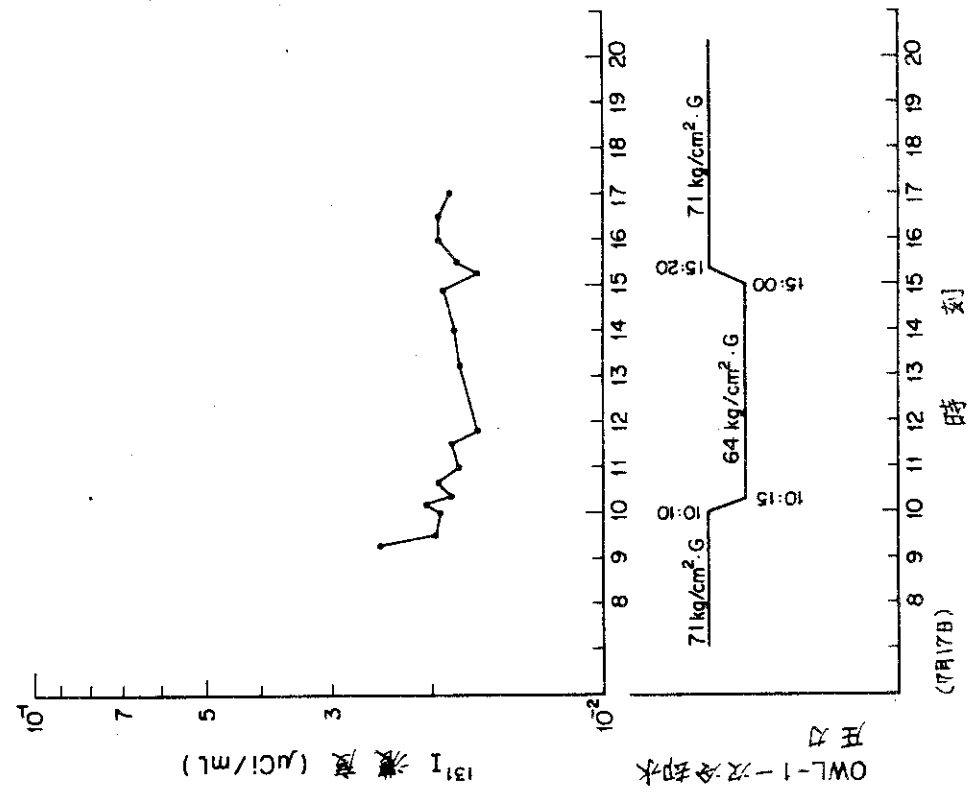


Fig. 4.2.15 ^{131}I behavior during pressure variation (July 17, the 16th cycle)

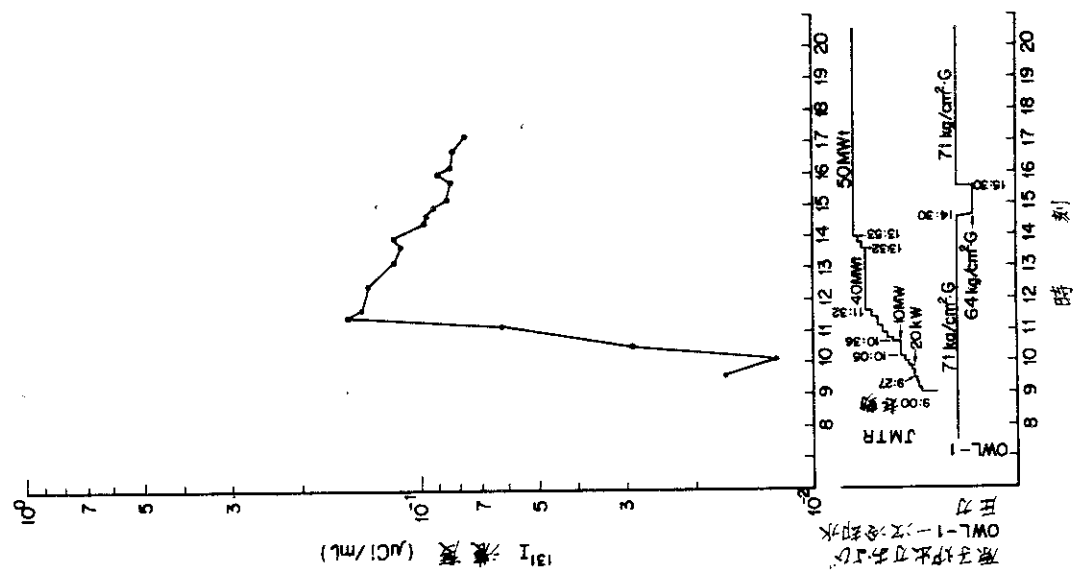


Fig. 4.2.14 ^{131}I behavior during reactor start-up and loop pressure variation (July 15, the 16th cycle)

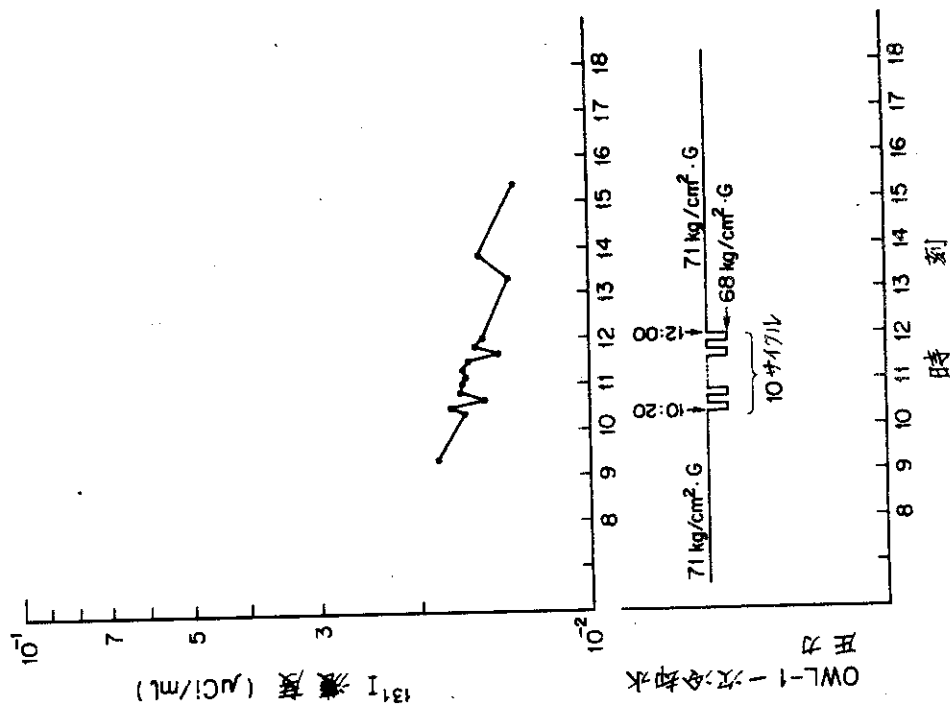


Fig. 4.2.17 ¹³¹I behavior during cycle pressure variation (July 20, the 16th cycle)

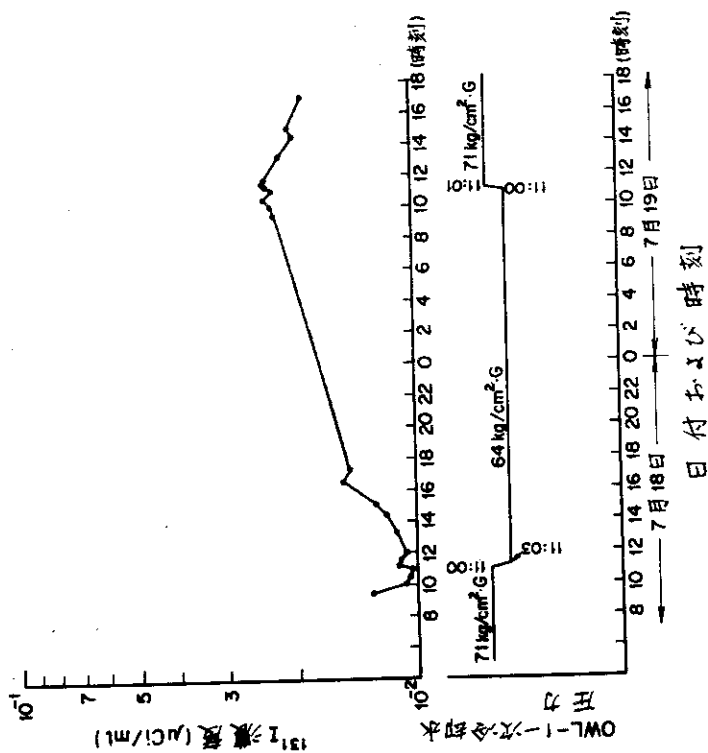


Fig. 4.2.16 ¹³¹I behavior during pressure variation (the 16th cycle)

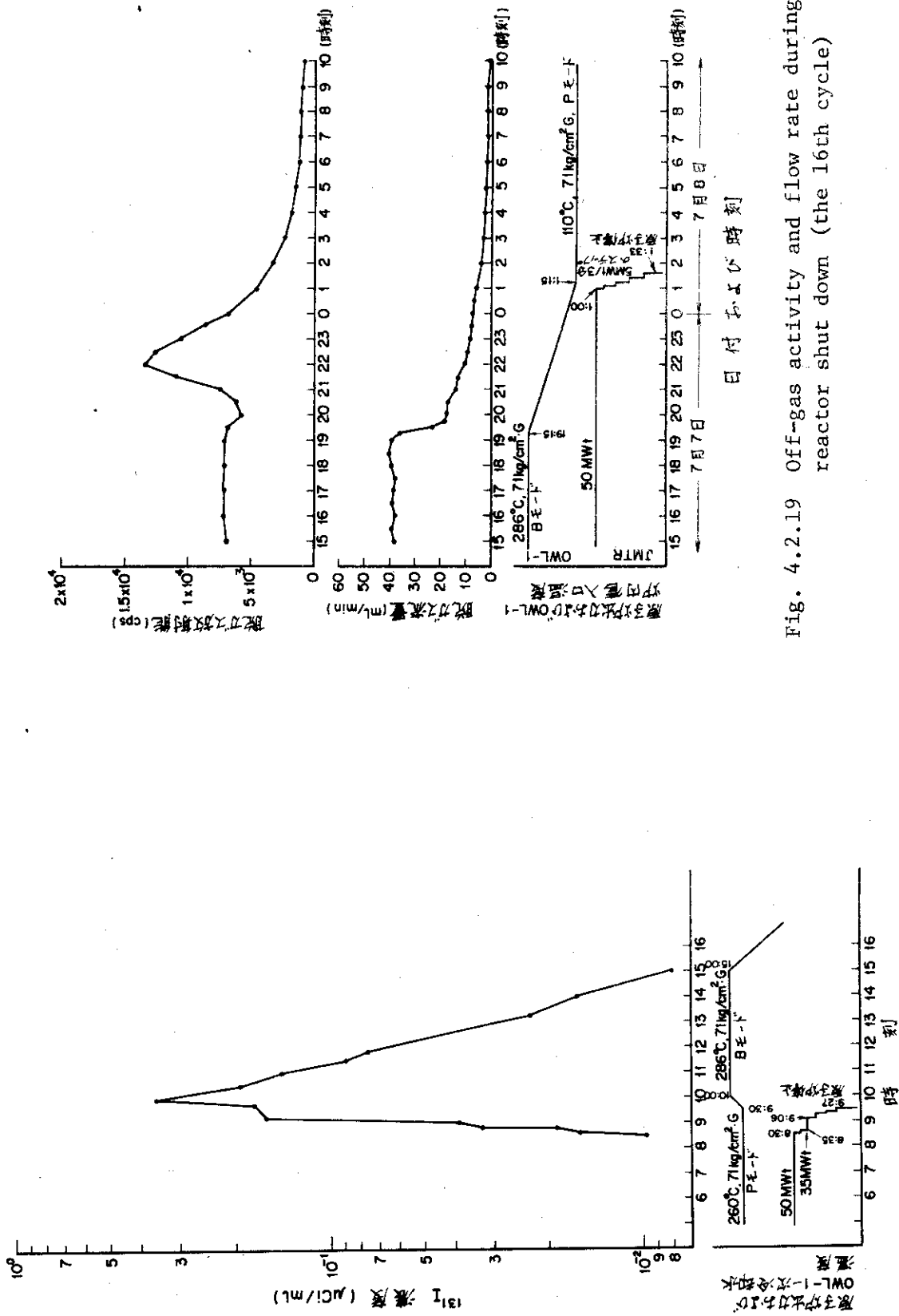


Fig. 4.2.18 ¹³¹I behavior during reactor shut-down (July 22, the 16th cycle)

Fig. 4.2.19 Off-gas activity and flow rate during reactor shut down (the 16th cycle)

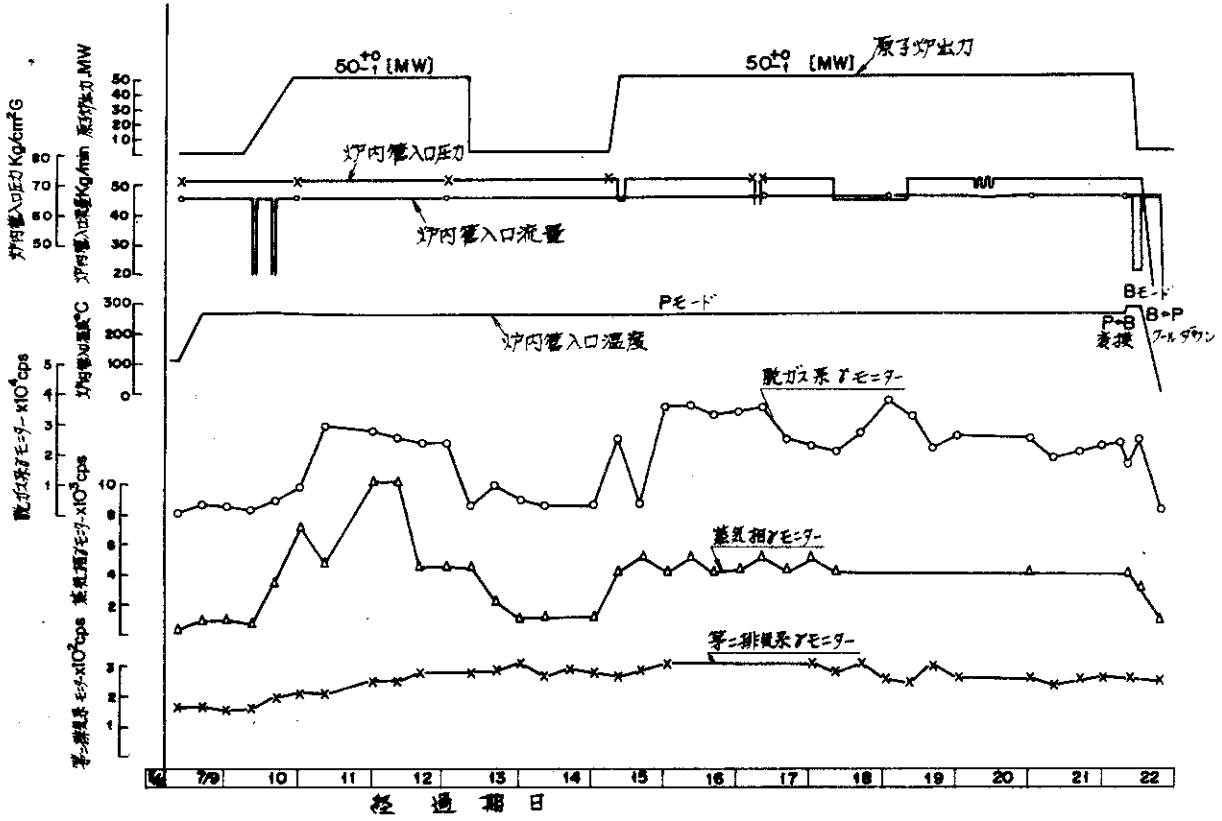
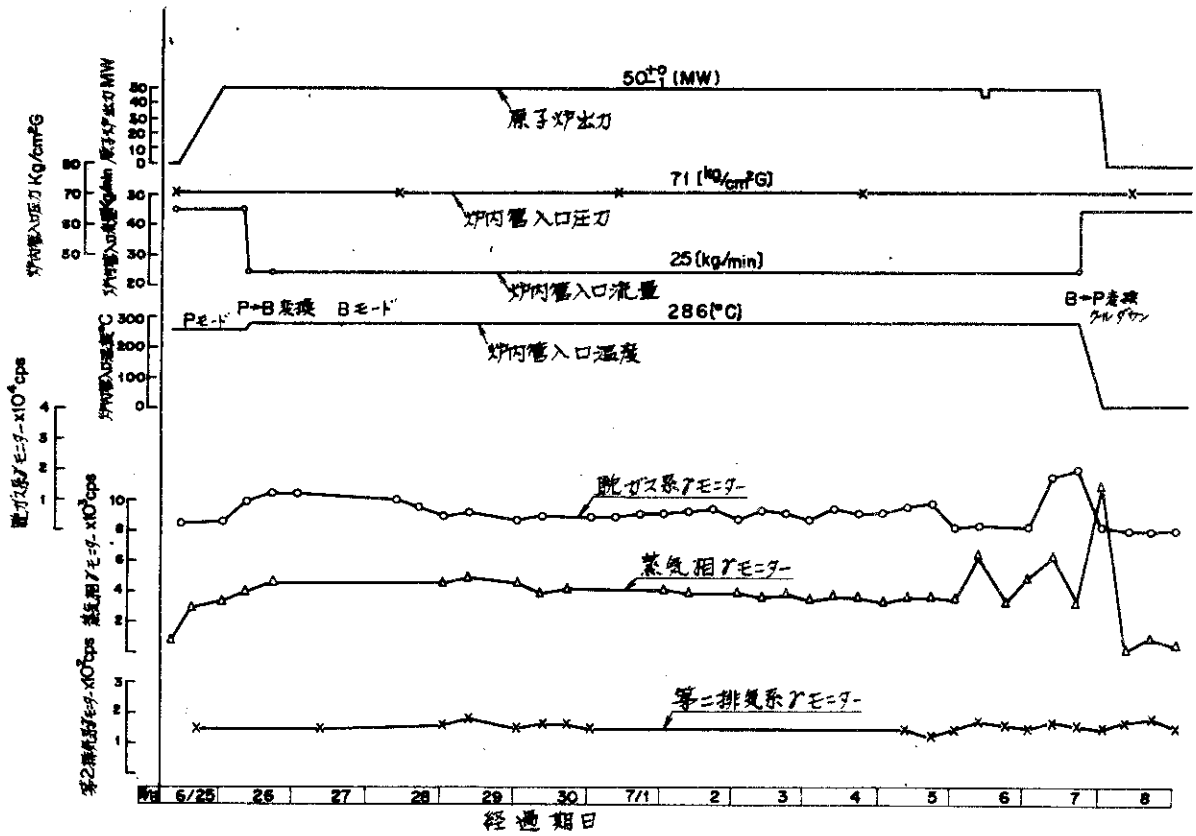


Fig. 4.2.20 Activity levels during the 16th cycle

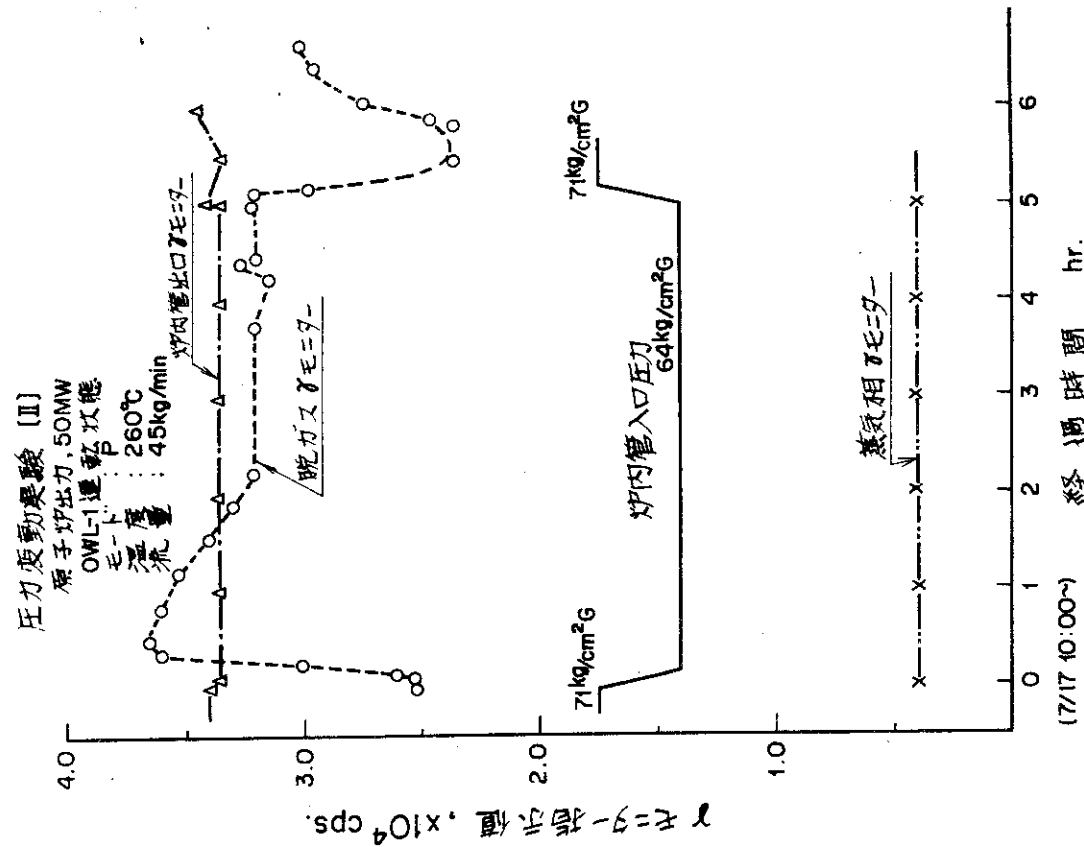


Fig. 4.2.21 Activity levels during pressure variation (the 16th cycle)

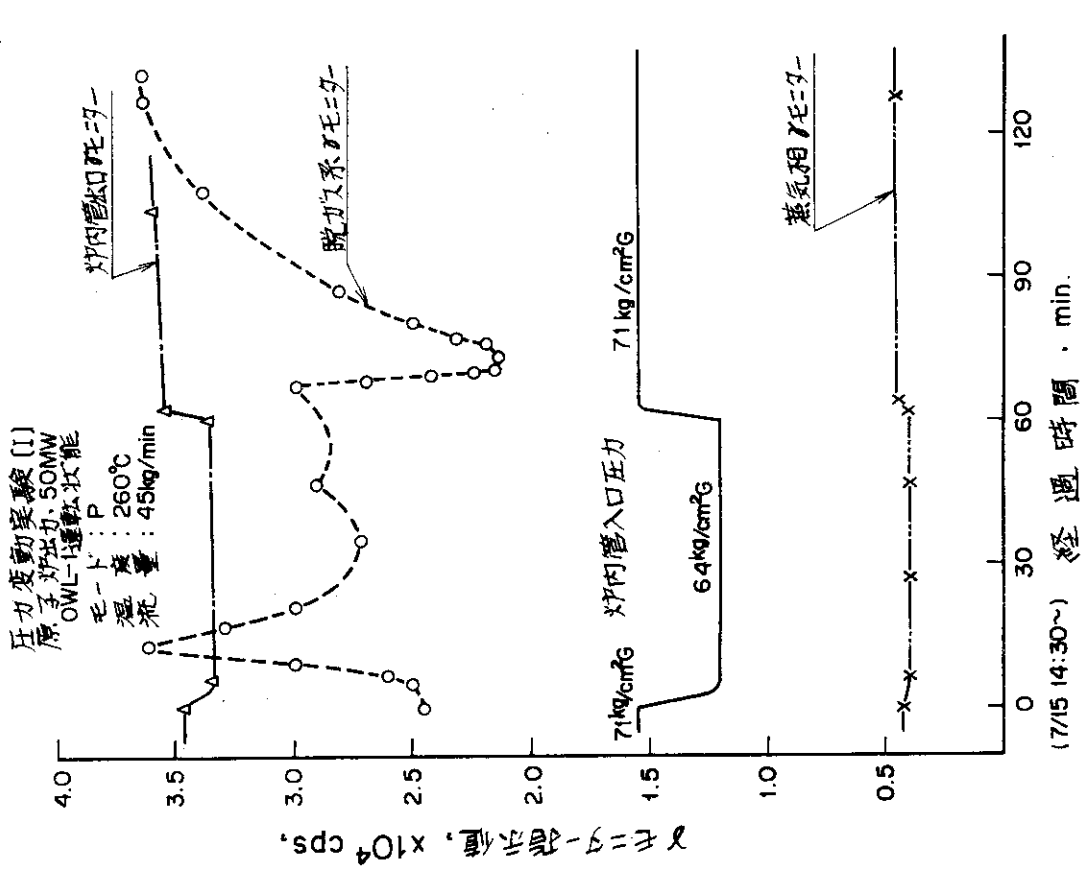


Fig. 4.2.22 Activity levels during pressure variation (the 16th cycle)

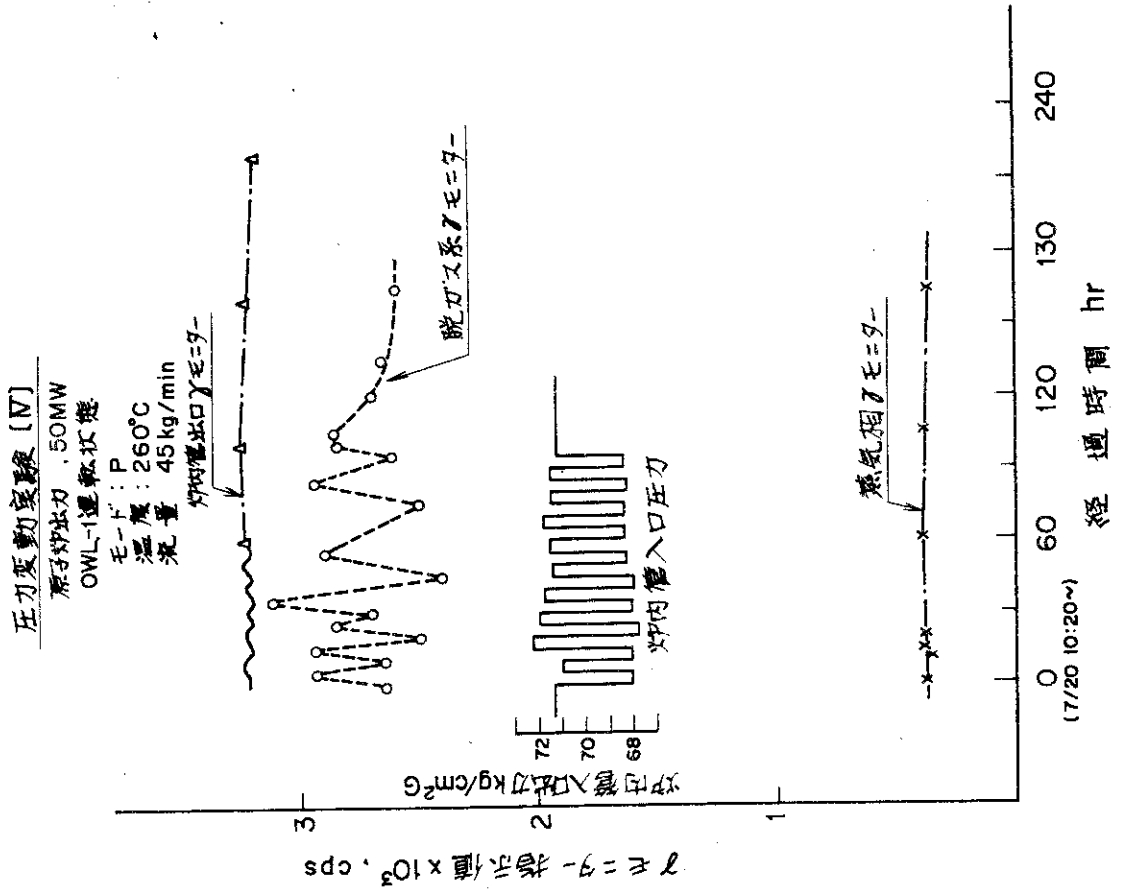


Fig. 4.2.23 Activity levels during pressure variation (the 16th cycle)

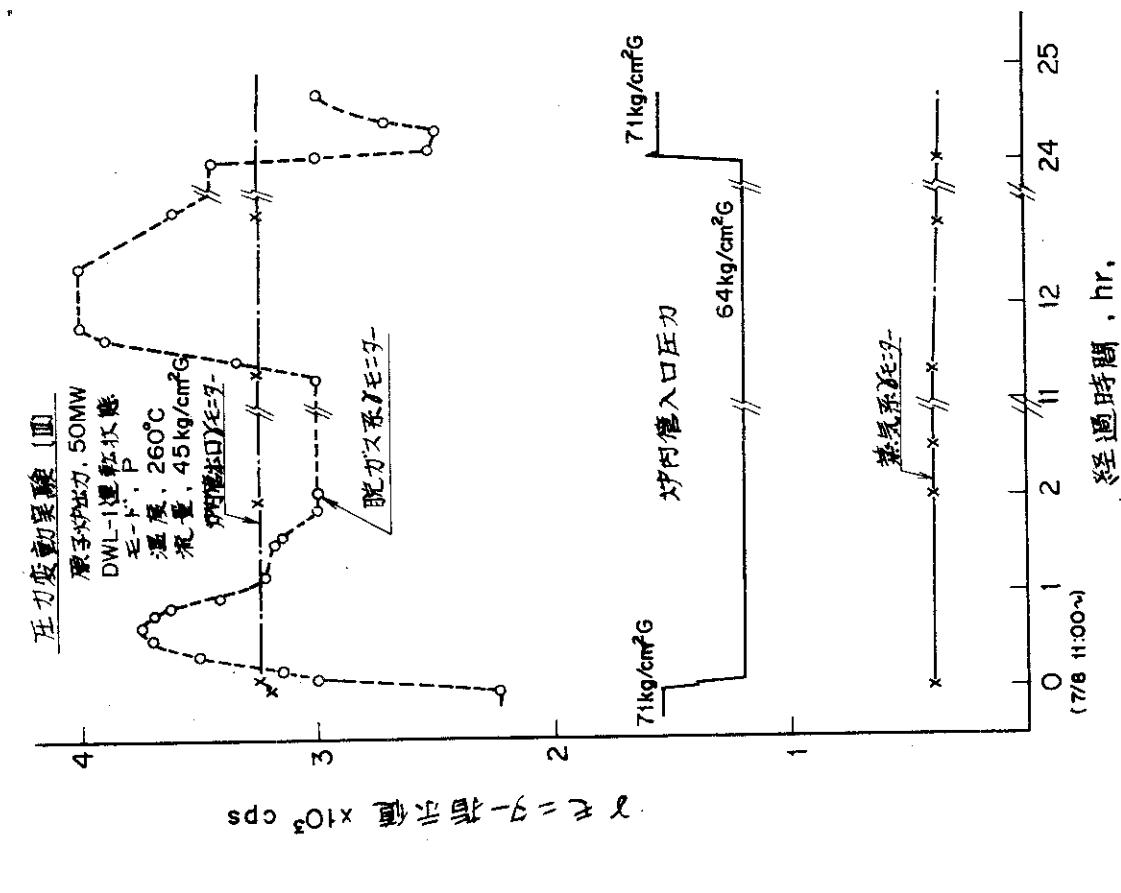


Fig. 4.2.24 Activity levels during cyclic pressure variation (the 16th cycle)

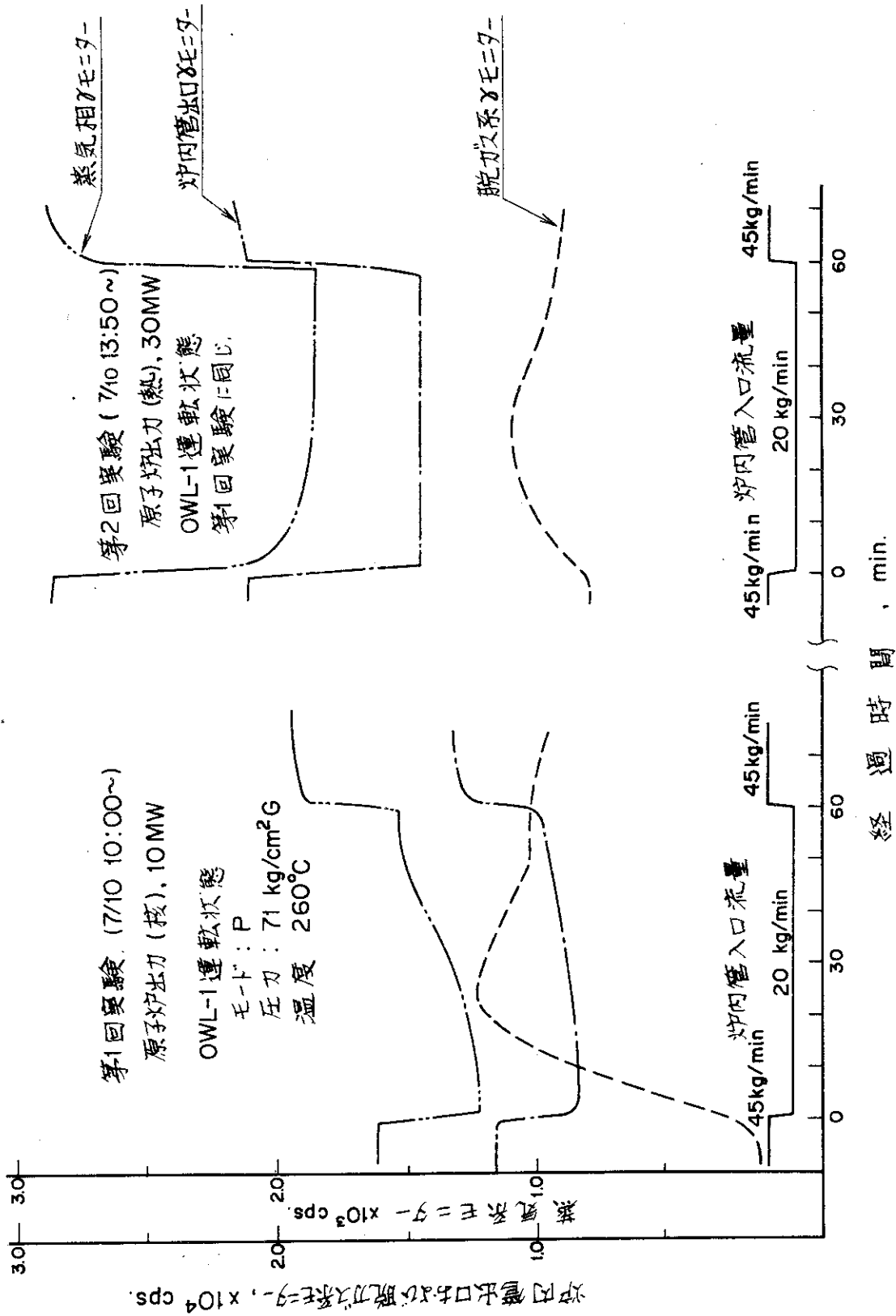


Fig. 4.2.25 Activity levels during flow rate variation (the 16th cycle)

OWL-1 運転状態

モード: B
 圧力: 71 kg/cm²G
 流量: 25 kg/min
 温度: 286°C
 精製系流量: 0 kg/min 炉内管出口

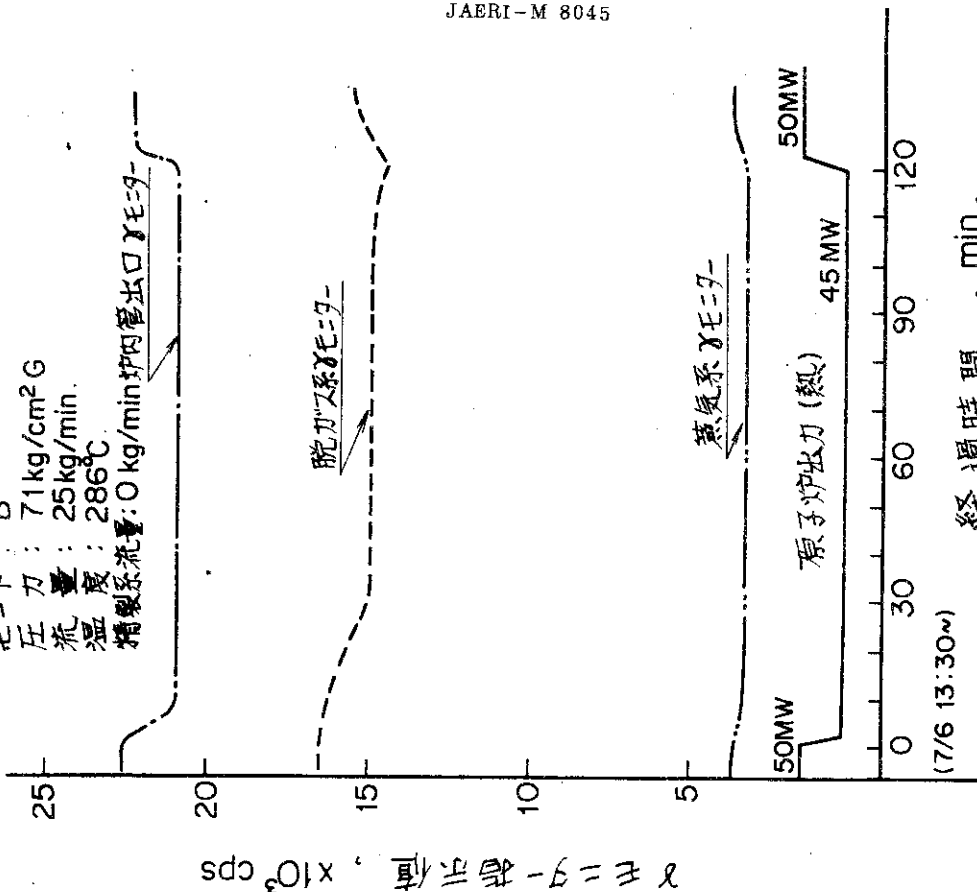


Fig. 4.2.27 Radiation levels during reactor power variation (the 16th cycle)

OWL-1 運転状態

モード: P
 圧力: 71 kg/cm²G
 温度: 265°C
 流量: 45 kg/min

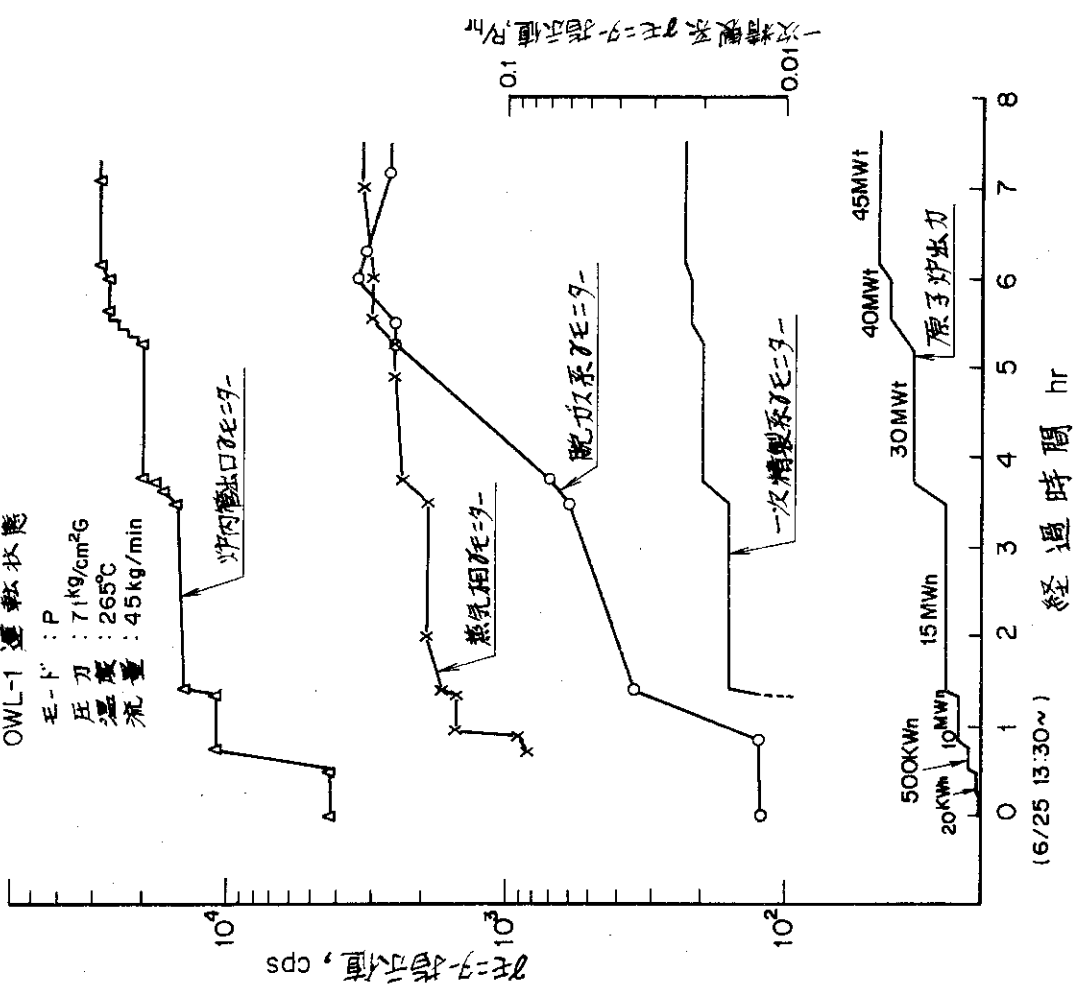


Fig. 4.2.26 Radiation levels during reactor start-up (the 16th cycle)

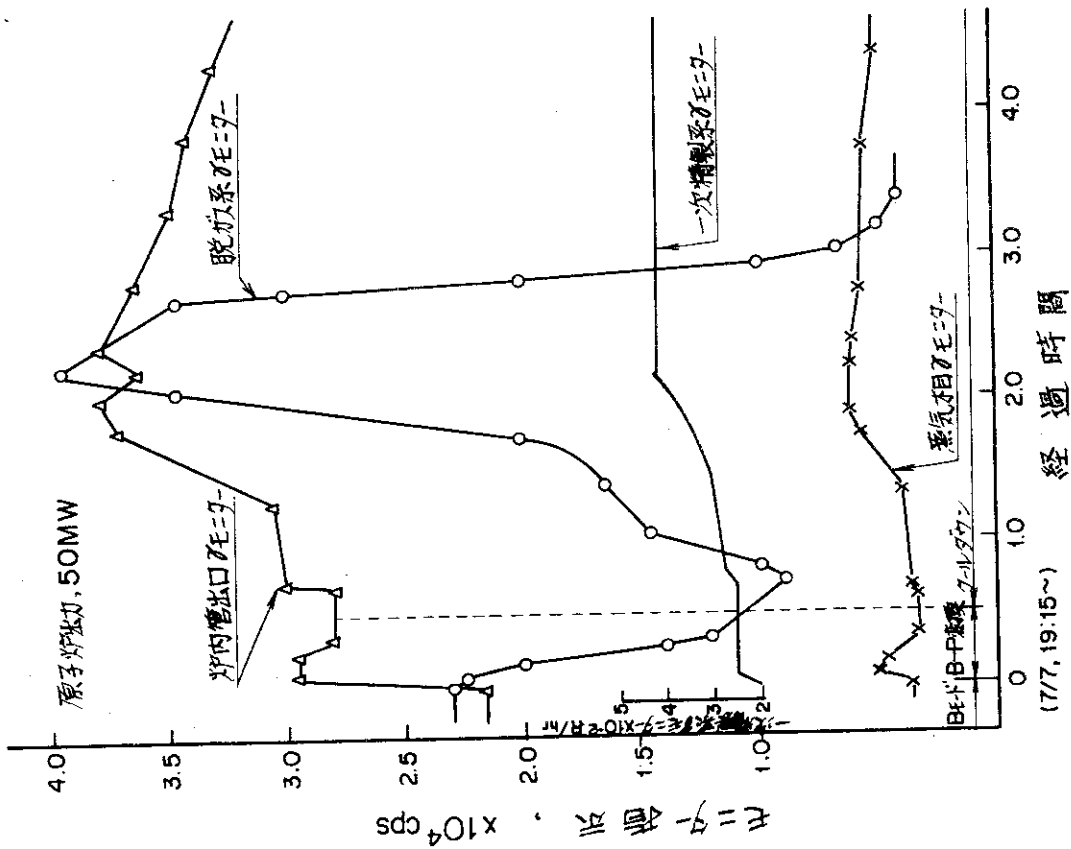


Fig. 4.2.28 Radiation levels during loop cool-down (the 16th cycle)

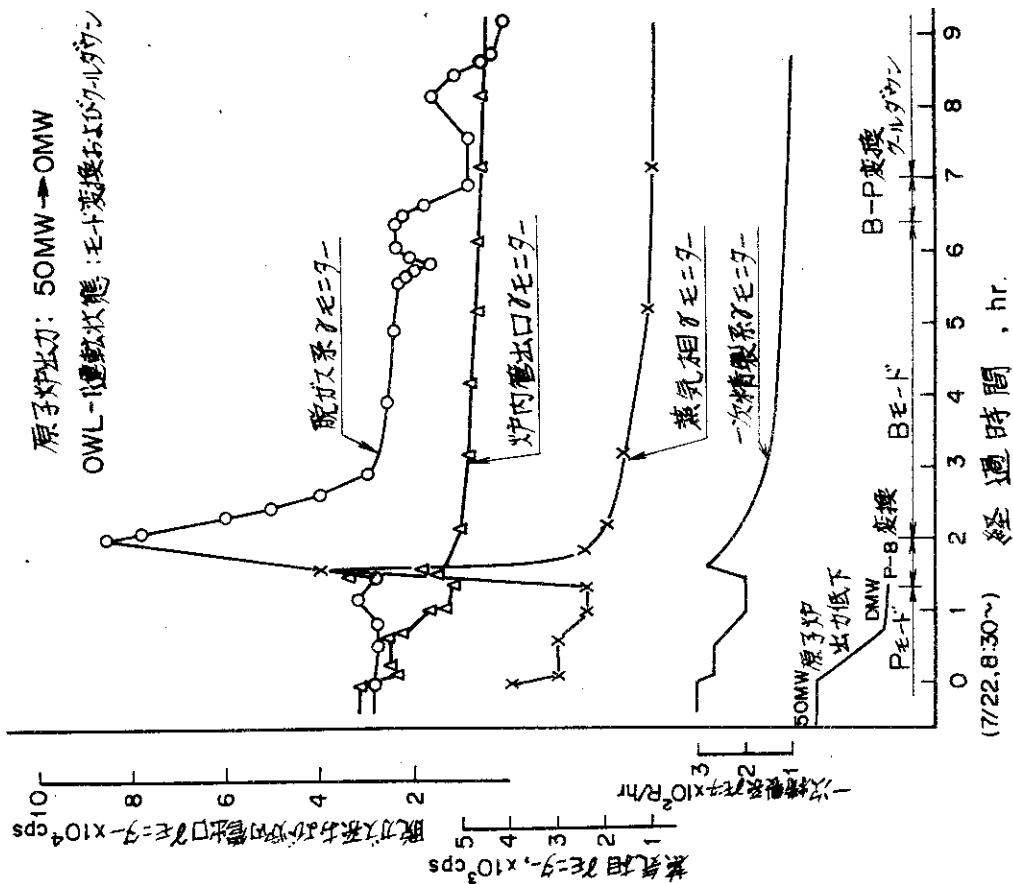


Fig. 4.2.29 Radiation levels during shut-down (the 16th cycle)

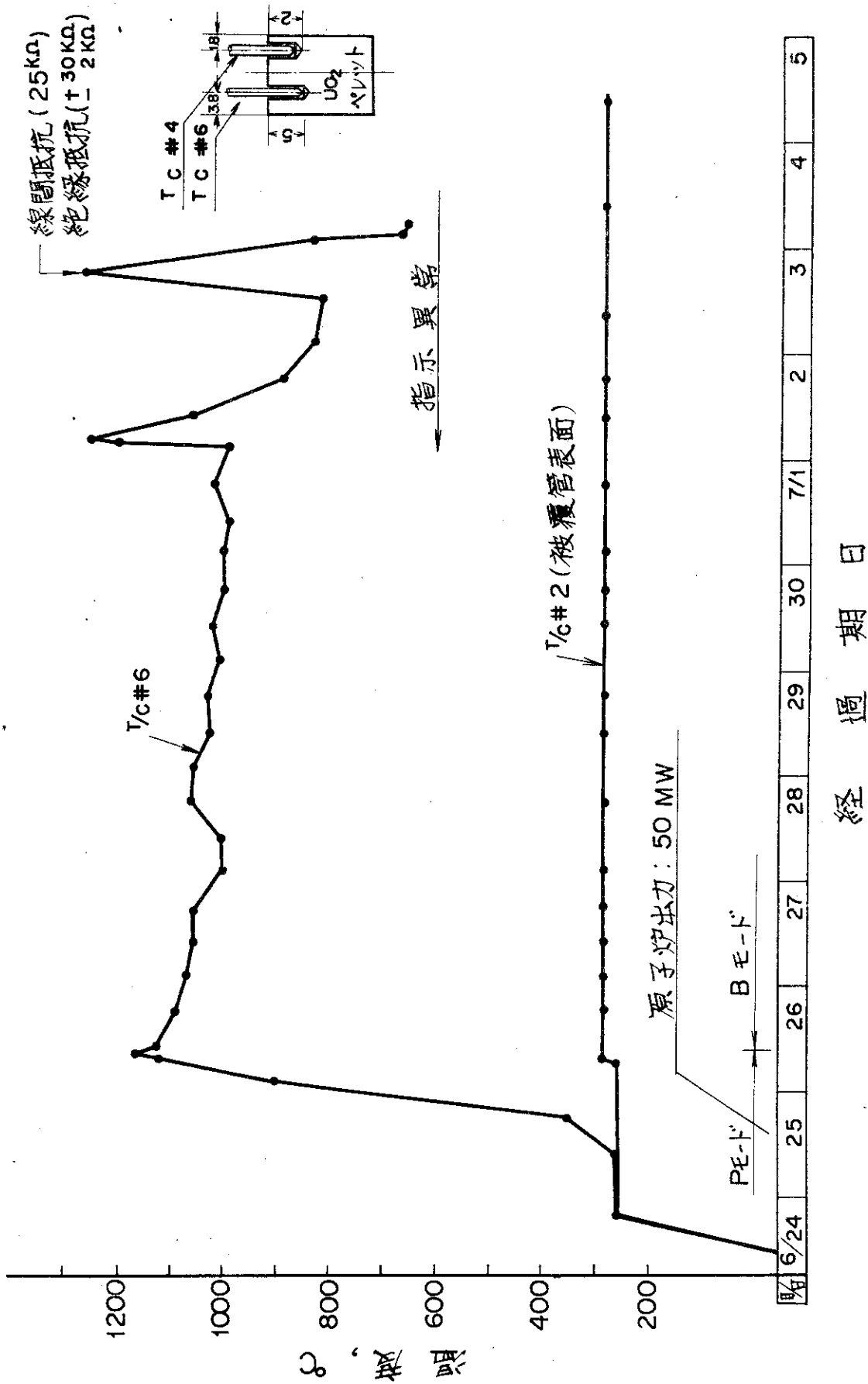


Fig. 4.2.30 Results of specimen temperature measurement (the 16th cycle)

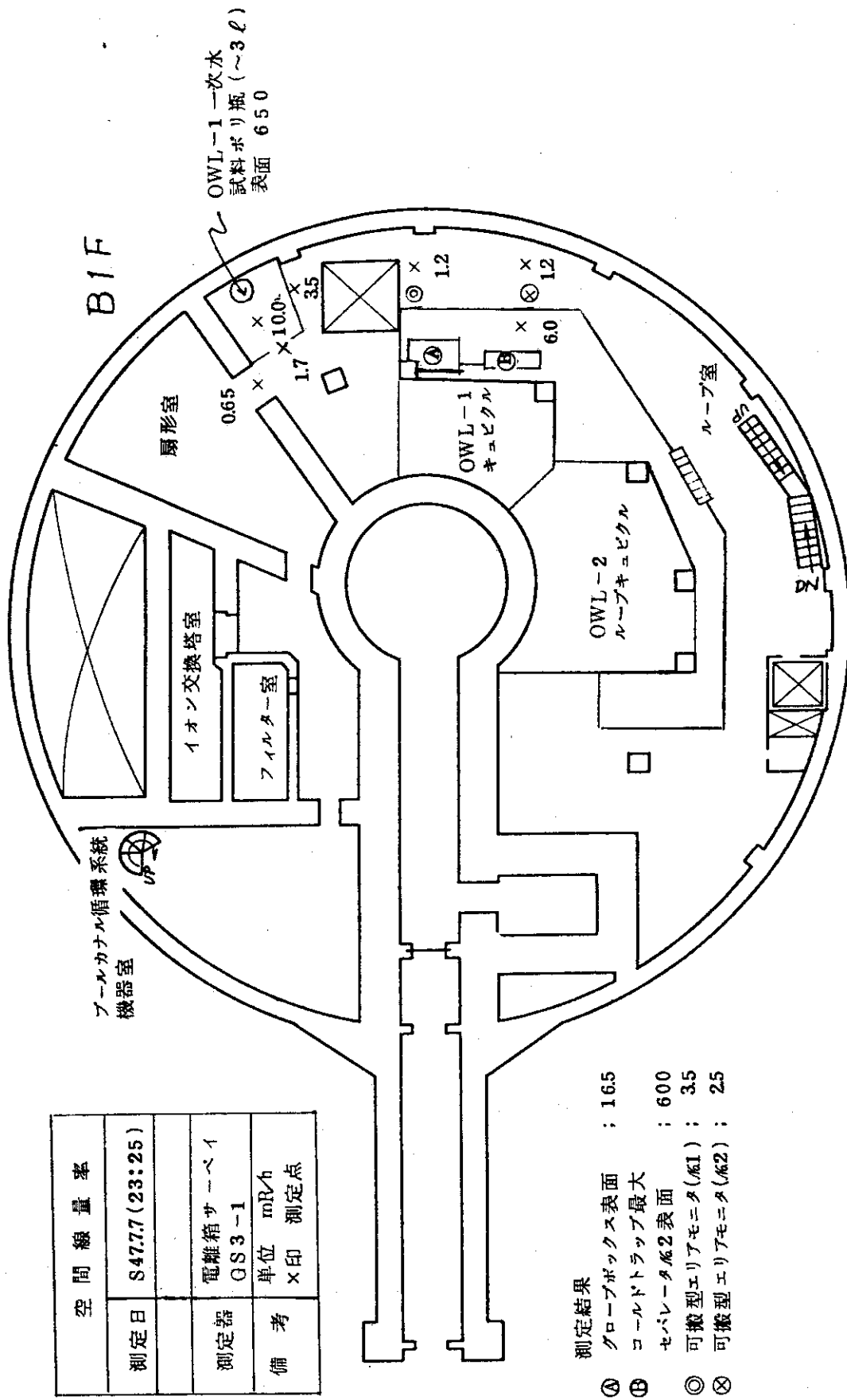


Fig. 4.2.31 Distribution of dose rates around the loop cubicle (the 16th cycle)

あ と が き

本報告にまとめられたF P 放出実験は、我国における高温高圧炉内水ループ（OWL-1）による最初の本格的F P 放出実験で、試験の実施に当り、未経験の分野が多く、多くの苦勞を伴ったが、JMTR 部内の各課、および、放射線管理課、廃棄物処理課の多大な協力のもとに、これらの困難を克服して、貴重なデータを得ることが出来た。ここに御協力いただいた各課の方々に謝意を表します。

又、第11サイクル、第16サイクルのデータをまとめるに当り、試験の具体的実施計画の立案、ループの運転管理、照射データのまとめを担当された、当時の照射第二課長、佐藤雅幸氏を始め、青山功、大島邦男、坪 長、米川出、本間健三、広田徳造、根本正、小向文作、大津洋、角興四郎、金谷邦雄、鍋谷栄昭、大沢謙次、高橋邦裕、三瓶真一、F P の分析を担当された、当時の照射第3課分析係長の戸根弘人氏をはじめ、岡川誠吾、横内猪一郎、宮内正勝（旧姓後村）の諸氏に厚く感謝致します。