

核分裂ガス拡散ループ

1967 年 1 月



日本原子力研究所

Japan Atomic Energy Research Institute

日本原子力研究所は、研究成果、調査結果の報告のため、つぎの3種の研究報告書を、それぞれの通しナンバーを付して、不定期に公刊しております。

- | | | |
|---------|----------------------------------|-----------------|
| 1. 研究報告 | まとまった研究の成果あるいはその一部における重要な結果の報告 | JAERI 1001-3999 |
| 2. 調査報告 | 総説、展望、紹介などを含め、研究の成果、調査の結果をまとめたもの | JAERI 4001-5999 |
| 3. 資料 | 研究成果の普及、開発状況の紹介、施設共同利用の手引など | JAERI 6001-6999 |

このうち既刊分については「JAERI レポード一覧」にタイトル・要旨をまとめて掲載し、また新刊レポートは「原研びふりお」でその都度紹介しています。これらの研究報告書に関する頒布、版權、複写のお問合せは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あてお申し越しください。

Japan Atomic Energy Research Institute publishes the nonperiodical reports with the following classification numbers:

1. **JAERI** 1001-3999 Research reports,
2. **JAERI** 4001-5999 Survey reports and reviews,
3. **JAERI** 6001-6999 Information and Guiding Booklets.

Any inquiries concerning distribution copyright and reprint of the above reports should be directed to the Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

核分裂ガス拡散ループ

要 旨

動力炉用燃料としては高燃焼度と高温燃焼に耐える燃料が要求される。核燃料の燃焼につれて蓄積する核分裂生成物は燃料組織とは異質なものであるから、燃料組織の変質、損傷、破損の原因となる。その影響は燃焼度と燃焼温度を高める程きびしくなる。

本装置は燃料の安全上大きな影響を与える核分裂キセノン、クリプトンおよびヨウ素ならびに燃料からの各種発生ガスについて、その挙動を高温、照射下において追跡するための実験装置である。

本装置は大別してプラグおよび炉外装置よりなっている。プラグは JRR-3、炉心タンク内実験孔 (VC-3) に挿入され、その先端部には冷却水ジャケットおよび断熱材または熱反射板で包まれた試料部が設けられている。試料部の熱中性子束は約 $6 \times 10^{12} \text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ であり、その温度は $1,000^\circ\text{C}$ までの任意の温度に保持することができる。炉外装置は炉外装置 I、II、III、冷却水系、廃ガス貯槽、計測制御装置、 γ 線スペクトロメータ、ガスクロマトグラフなどよりなっている。これらの装置により試料部の照射条件を計測制御し、試料から放出される核分裂キセノン、クリプトン、ヨウ素および不純物ガスの定性定量が可能である。

本報告ではループ各部の詳細、しゃへい計算、安全対策などについて報告する。

1966年8月

日本原子力研究所東海研究所

燃料開発部、燃料照射第2研究室

亀本雄一郎、柴 是行、半田宗男、矢島聖使*

Fission Gas Release Loop

Summary

In a power reactor, the high burn-up and high-temperature operation of fuel are desirable. The accumulation of fission products produced by burning the nuclear fuel is responsible for distortion, damage and rupture of the fuel, because the fission products are different substances from the fuel. These effects become larger as the burn-up and burning temperature are increased.

The Fission Gas Release Loop is for the study of the behaviors of fission xenon, krypton and iodine and other impurity gases, which affect the nuclear reactor safety to a great extent. The loop consists of two main parts, i. e., the in-pile (plug) and out-pile portions. A plug is inserted in the vertical experimental hole VC-3 of the Japan Research Reactor No.3 (JRR-3). A specimen chamber is installed at the top of an inner plug, surrounded by heat reflector or insulator and cooling-water jacket. The neutron flux at the specimens is about $6 \times 10^{12} \text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ and the fuel specimen can be heated to an arbitrary temperature and up to $1,000^\circ\text{C}$ by the combined action of its own fission and a Pt wire heater.

The out-pile portion consists of out-pile apparatuses I, II and III, cooling water and control systems, off-gas tank, γ -ray spectrometer and gas chromatograph. By means of the apparatuses, it is possible to control the irradiation condition of specimens and to analyze the fission xenon, krypton and iodine, and impurity gases released from the fuel specimen. In the present paper, details of each apparatus, shield calculation and hazard analysis are reported.

Aug., 1966

Y. KAMEMOTO, K. SHIBA, M. HANDA and S. YAJIMA*

Division of Fuel Research and Development,
Tokai Research Establishment,
Japan Atomic Energy Research Institute

* 前所員、現嘱託、東北大学教授

目 次

1. まえがき	1	3.4 試料部交換装置	20
1.1 概要	1	3.4.1 試料部切断溶接装置	20
1.2 仕様	1	1) 切断装置	20
2. 装置の構成	2	2) 溶接装置	20
2.1 装置の概要	2	3) 制御装置	20
2.2 実験方式とガス流路	4	4) 電源部	20
2.2.1 Flow 方式	4	3.4.2 カプセルオープナ	21
2.2.2 Suction 方式	6	1) 切断機	21
2.2.3 Circulation 方式	6	2) 操作盤	21
3. 各部の詳細	7	3.5 計測制御装置	21
3.1 炉内装置 (プラグ)	7	3.5.1 制御盤A	21
3.1.1 外筒	7	3.5.2 制御盤B	21
3.1.2 内筒	7	3.5.3 制御盤C	21
3.1.3 試料部	9	3.5.4 制御盤D	23
1) 保温材方式試料部	9	4. 安全対策	25
2) 反射板方式試料部	9	4.1 安全機構	25
3.1.4 シャへいプラグ	9	4.2 シャへい	26
3.2 ガス系炉外装置	12	4.2.1 プラグのシャへい計算	26
3.2.1 炉外装置Ⅰ	12	4.2.2 ホールドアップタンク兼熱交換器のシャへい計算	28
3.2.2 炉外装置Ⅱ	12	4.2.3 キセノンおよびクリプトントラップのシャへい計算	28
3.2.3 炉外装置Ⅲ	14	4.3 事故時の安全解析	30
3.2.4 液体窒素自動注入装置	14	4.3.1 計測設備の故障	30
3.2.5 グローブボックス	15	4.3.2 核分裂ガスの漏洩	30
1) 炉外装置Ⅱ用グローブボックス	15	4.3.3 プラグ冷却系の故障および破損による事故	31
2) 炉外装置Ⅲ用グローブボックス	15	4.3.4 考えられる最大事故	31
3) 排気ダクト	16	5. 試験片および廃棄物の処理	34
3.2.6 廃ガス貯槽	16	5.1 トラップに捕集された放射性希ガス	34
3.2.7 圧力測定装置 (Pressure Switch)	16	5.2 使用済み試料部	34
3.2.8 バルブボックス	16	5.3 ループ取りはずし時の対策	34
3.2.9 ヘリウム配管	16	6. 設計の基礎資料	35
3.2.10 放射線測定装置	16	6.1 余剰反応度消費量の測定	35
1) 400 チャンネル γ 線スペクトロメータ	16	6.1.1 ダミープラグの設計と製作	35
2) γ 線スペクトロメータ	17	6.1.2 ダミープラグによる余剰反応度消費量の測定	36
3) 排気モニタ	17	6.1.3 実験結果の検討	36
3.2.11 プロセスガスクロマトグラフと自動テプラポンプ	17	6.2 中性子束の測定	37
3.3 水系炉外装置	18	6.3 生成放射能	37
3.3.1 ホールドアップタンク兼熱交換器	18	6.3.1 プラグ各部の生成放射能	37
3.3.2 循環ポンプ	18	6.3.2 冷却水の生成放射能	38
3.3.3 緊急給水用電磁弁	18	6.4 発熱量と温度分布	39
3.3.4 断水継電器	18	6.4.1 γ heating を含む発熱量	39
3.3.5 水位計	19	6.4.2 プラグ内温度分布	39
3.3.6 配管	19	付録 装置の炉外試験	41
3.3.7 弁類	19		
3.3.8 イオン交換塔	20		
3.3.9 流量計	20		

Contents

1. Introduction	1	1) Cutter	20
1.1 Outline	1	2) Welder	20
1.2 Specification	1	3) Controller	20
2. Composition of Fission Gas Release Loop	2	4) Power Supply	20
2.1 Outline	2	3.4.2 Capsule Opener	21
2.2 Experimental Method and Gas Flow Sheet	4	1) Cutter	21
2.2.1 Flow Type	4	2) Controller	21
2.2.2 Suction Type	6	3.5 Instrumental Panels	21
2.2.3 Circulation Type	6	3.5.1 Panel A	21
3. Details of Components	7	3.5.2 Panel B	21
3.1 In-pile Portion (Plug)	7	3.5.3 Panel C	21
3.1.1 Outer Plug	7	3.5.4 Panel D	23
3.1.2 Inner Plug	7	4. Safety Countermeasure	25
3.1.3 Specimen Chamber	9	4.1 Safety Mechanism	25
1) Thermal Insulator Type	9	4.2 Shield	26
2) Heat Reflector Type	9	4.2.1 Calculation for Plug	26
3.1.4 Shield Plug	9	4.2.2 Calculation for Heat Exchanger	28
3.2 Out-pile Portion of Gas System	12	4.2.3 Calculation for Xenon and Krypton Traps	28
3.2.1 Out-pile Equipment I	12	4.3 Hazard Analysis	30
3.2.2 Out-pile Equipment II	12	4.3.1 Troubles in Instruments	30
3.2.3 Out-pile Equipment III	14	4.3.2 Release of Fission Gas	30
3.2.4 Automatic Liquid-nitrogen Feed Apparatus	14	4.3.3 Troubles and Failure in Plug Cooling System	31
3.2.5 Glove Boxes	15	4.3.4 Maximum Credible Emergency	31
1) Glove Box for Out-pile Equipment II	15	5. Disposal of Wastes	34
2) Glove Box for Out-pile Equipment III	15	5.1 Radioactive Rare Gases Trapped in Disposal Vessel	34
3) Exhaust Duct	16	5.2 Irradiated Specimen Chamber	34
3.2.6 Off Gas Tank	16	5.3 Dissection of the Whole Equipments	34
3.2.7 Pressure Switches	16	6. Basic Data for Design	35
3.2.8 Valve Box	16	6.1 Measurement of Excess Reactivity Consumed by Plug	35
3.2.9 Helium Gas Piping	16	6.1.1 Design and Construction of Dummy Plug	35
3.2.10 γ -ray Counter	16	6.1.2 Measurement of Excess Reactivity by Dummy Plug	36
1) 400 Channel γ -ray Spectrometer	16	6.1.3 Discussion of Experimental Results	36
2) γ -ray Spectrometer	17	6.2 Measurement of Neutron Flux	37
3) Off Gas Monitor	17	6.3 Calculation of Induced Activity	37
3.2.11 Process Gas Chromatograph and Automatic Toepler Pump	17	6.3.1 Induced Activity of Each Section of Plug	37
3.3 Out-pile Portion of Water System	18	6.3.2 Induced Activity in Cooling Water	38
3.3.1 Heat Exchanger	18	6.4 Calculation of Calorific Value and Temperature Distribution	39
3.3.2 Feed Pump	18	6.4.1 Calorific Value by Gamma and Decay Heat	39
3.3.3 Electromagnetic Valve for Cooling Water in an Emergency	18	6.4.2 Temperature Distribution in Plug	39
3.3.4 Flow Indicator and Alarm	18	Appendix Out-pile Test of Fission Gas Release Loop	40
3.3.5 Level Indicator and Alarm	19		
3.3.6 Piping	19		
3.3.7 Valves	19		
3.3.8 Ion Exchanger	20		
3.3.9 Flow Meter	20		
3.4 Exchange Equipment of Specimen Chamber	20		
3.4.1 Apparatus for Cutting and Welding	20		

目 次

Fig. 1 ループ配置図	3	Fig. 16 アナラス (Fig. 13 の間隙部拡大図)	28
Fig. 2 フローシート Flow 方式	4	Fig. 17 ホールドアップタンク兼熱交換器の しゃへい	29
Fig. 3 フローシート Suction 方式	5	Fig. 18 キセノンおよびクリプトントラップ のしゃへい	29
Fig. 4 フローシート Circulation 方式	5	Fig. 19 事故直後よりの被ばく線量	33
Fig. 5 プラグ	8	Fig. 20 放射性ガス保存容器	34
Fig. 6 A 保温材方式試料部	10	Fig. 21 A 核分裂ガス拡散ループプラグ冷却 水ジャケット部断面図	35
Fig. 6 B 反射板方式試料部	11	Fig. 21 B ダミープラグ冷却水ジャケット部 断面図	35
Fig. 7 炉外装置 I	13	Fig. 22 ダミープラグによる反応度消費量の測定	36
Fig. 8 炉外装置 II	14	Fig. 23 試料部の中性子束	37
Fig. 9 炉外装置 III	15	Fig. 24 内筒の中性子束	37
Fig. 10 プロセスガスクロマトグラフ流路図	17	Fig. 25 外筒の中性子束	37
Fig. 11 ホールドアップタンク兼熱交換器	19	Fig. 26 プラグ横軸方向の温度分布	40
Fig. 12 A 計測制御展開図-1	22	Fig. 27 試料部縦軸方向の温度分布	40
Fig. 12 B 計測制御展開図-2	23		
Fig. 13 プラグ本体のしゃへい部	27		
Fig. 14 ヘリウムもどり管の近似	27		
Fig. 15 冷却水管の近似	28		

目 次

TABLE 1 核分裂ガス拡散ループの構成	2	TABLE 7 ステンレス鋼 (SUS 27, 1g) の生 成放射能	38
TABLE 2 制御関係安全機構表	25	TABLE 8 プラグ各セクションの体積, 質量 および平均中性子束	38
TABLE 3 円柱プラグのしゃへい計算	27	TABLE 9 プラグ各セクションの生成放射能	39
TABLE 4 アナラスによる影響	28	TABLE 10 検査項目一覧	41
TABLE 5 キセノントラップのしゃへい	29		
TABLE 6 クリプトントラップのしゃへい	30		

List of Figures

Fig. 1	General Arrangement of Out-pile Equipment	3	Fig. 15	Approximation of Cooling Water Pipe	28
Fig. 2	Flow System	4	Fig. 16	Annulus (Enlarged Figure of Gap in Fig. 13)	28
Fig. 3	Suction System	5	Fig. 17	Shield of Heat Exchanger	29
Fig. 4	Circulation System	5	Fig. 18	Shield of Xenon and Krypton Traps	29
Fig. 5	Plug	8	Fig. 19	Exposure Dose after Emergency	33
Fig. 6 A	Specimen Chamber (Thermal Insulator Type)	10	Fig. 20	Disposal Vessel of Radioactive Gas	34
Fig. 6 B	Specimen Chamber (Heat-Reflector Type)	11	Fig. 21 A	Section of Cooling Water Jacket of Genuine Plug	35
Fig. 7	Out-pile Apparatus I	13	Fig. 21 B	Section of Dummy Plug	35
Fig. 8	Out-pile Apparatus II	14	Fig. 22	Measurement of Excess Reactivity Consumed by Dummy Plug	36
Fig. 9	Out-pile Apparatus III	15	Fig. 23	Thermal Neutron Flux of Specimen Chamber	37
Fig. 10	Flow Diagram of Process Gas Chromatograph	17	Fig. 24	Thermal Neutron Flux of Inner Plug	37
Fig. 11	Heat Exchanger	19	Fig. 25	Thermal Neutron Flux of Outer Plug	37
Fig. 12 A	Electrical Control Schematic	22	Fig. 26	Temperature Distribution of Plug along Radial Axis	40
Fig. 12 B	Electrical Control Schematic	23	Fig. 27	Temperature Distribution of Specimen Chamber along Vertical Axis	40
Fig. 13	Shield of Plug	27			
Fig. 14	Approximation of Helium Pipe	27			

List of TABLES

TABLE 1	Composition of Fission Gas Release Loop	2	TABLE 7	Induced Activity of Stainless Steel (AISI 304, 1 g)	38
TABLE 2	Safety Mechanism of Controlling System	25	TABLE 8	Volume, Mass and Average Neutron Flux of Each Section of Plug	38
TABLE 3	Shield Calculation of Columnar Plug	27	TABLE 9	Induced Activity of Each Section of Plug	38
TABLE 4	Effect of Annulus	28	TABLE 10	List of Test Items	41
TABLE 5	Shield of Xenon Trap	29			
TABLE 6	Shield of Krypton Trap	30			

1. ま え が き

1.1 概 要

本装置は高温照射下において、セラミックス燃料から発生する核分裂ガスの特性および挙動に関する研究をおこなうための実験装置である。その目的は、

- (1) 高温照射下における燃料組織の変化と核分裂ガス放出速度の関係。
- (2) 燃料中の核分裂ガスの拡散機構の解明。
- (3) 高温照射下における燃料組織からの発生ガスの挙動。
- (4) セラミックス燃料要素破損検知法の開発。
- (5) 照射下における燃料の組織、形状変化の解析。
- (6) インターナルトラップの開発。

等の研究資料を得ることにある。

本装置はこれらの研究目的にかなうため、JRR-3 炉

心タンク内実験孔 (VC-3) を利用し、熱中性子束 $6 \times 10^{12} \text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 、温度 1000°C で約 240 時間の連続照射実験をおこなえるように設計してある。

1.2 仕 様

使用流体	ヘリウムガス
使用圧力	大気圧以下
試験片温度(最高)	1000°C
プラグ表面温度(最高)	70°C
試験片材質	各種セラミックス燃料 (核分裂性物質の量は ^{235}U 0.7 g 相当量)
試験片寸法	$22 \phi \times 40 \text{ mm}$
連続運転時間(最高)	240 時間

2. 装置の構成

2.1 装置の概要

本装置は大別してプラグおよび炉外装置よりなっている。プラグは先端部がアルミニウムおよびステンレス鋼製で、他はすべてステンレス鋼製である。冷却水ジャケ

ットおよび保温材または反射板で包まれた試料部がプラグ先端部に設けられている。

プラグの中央部には重モルタルを充てんし、試料部からの戻り管、水ジャケットからの連絡管、各種電線が螺旋状に埋込まれており、プラグ部には把握部、ヘリウムおよび冷却水の出入口、キャノン・プラグが設けられている。プラグ全体は試料部の取付け、取外しを容易にす

TABLE I 核分裂ガス拡散ループの構成

機器名称	構成機器	仕様概略	備考	機器名称	構成機器	仕様概略	備考
プラグ本体	外筒	○先端はステンレス、アルミニウム製ジャケット構造 ○中間部、後部はステンレス二重管重モルタル充てん	水冷却 中性子、放射線しゃへい		水位計 (2 個)		アラーム
	内筒	○ステンレス製、重モルタル充てん、先端に試料部付	中性子、放射線しゃへい	廃ガス貯槽		○ステンレス製 1.1 m ³	重コンクリートしゃへい
	試料部	○ステンレス製 ○白金箔発熱体 ○試験片 ○Internal trap	ヨウ素の捕獲	放射線測定器	TMC-γ線スペクトロメータ	○400チャンネル	核分裂ガス用
炉外装置 I	ヘリウムガス定流量装置	○定流量弁 ○流量計 ○バッファータンク	アラーム付	TEN-γ線スペクトロメータ	○シングルチャンネル	核分裂ガス用	
	ヘリウム純化装置	○銅 鋼 ○スポンジチタン	酸素除去 窒素除去	TEN-γ線スペクトロメータ 排気モニタ	○シングルチャンネル ○レートメータ	¹⁶ N 用 廃ガス用	
	圧力計			ガスクロマトグラフ	プロセスガスクロマトグラフ	○2 段カラム方式	発生ガス分析用
	警報用圧力スイッチ		スクラム	計測制御装置	計装盤 A	○電圧計 ○フューズブレーカ ○ポンプ用スイッチ ○分電盤	
炉外装置 II	キセノントラップ	○活性炭ベッド	キセノンの捕獲	計装盤 B	○温度記録調節計 ○ヒータ操作器	試験片測定用	
	警報用圧力スイッチ		スクラム	計装盤 C	○温度記録調節計 ○圧力記録調節計 ○リレー箱および警報表示灯	{プラグ、ジャケット、試料部測定用 ループ内圧力調節、温度警報、流量警報、原子炉スクラム、インタロック、圧力調節用電磁弁、リセット	
炉外装置 III	クリプトントラップ	○活性炭ベッド ○液体窒素自動注入装置	クリプトンの捕獲	計装盤 D	○サーマルオーバーロードリレー ○リレー箱	冷却水流量、圧力スイッチ	
	警報用圧力スイッチ		スクラム	試料部交換装置	溶接装置	○ヘリアーク方式 ○遠隔操作式	ホットケーブル内設置 試料部を内筒に溶接
冷却装置	ホールドアップタンク兼熱交換器	○ステンレス製 ○水位計付	一次冷却水、二次冷却水間の熱交換 重コンクリートしゃへい壁	切断装置	○グラインダ方式 ○遠隔操作式	ホットケーブル内設置 試料部と内筒の切断	
	断水継電器		ポンプ切換え	カプセルオーブナ		ホットケーブル内設置 試料部細分	
	断水継電器		非常用水				
	循環ポンプ	○43l/min×40 m	2 台				
	イオン交換塔	○モノベット					

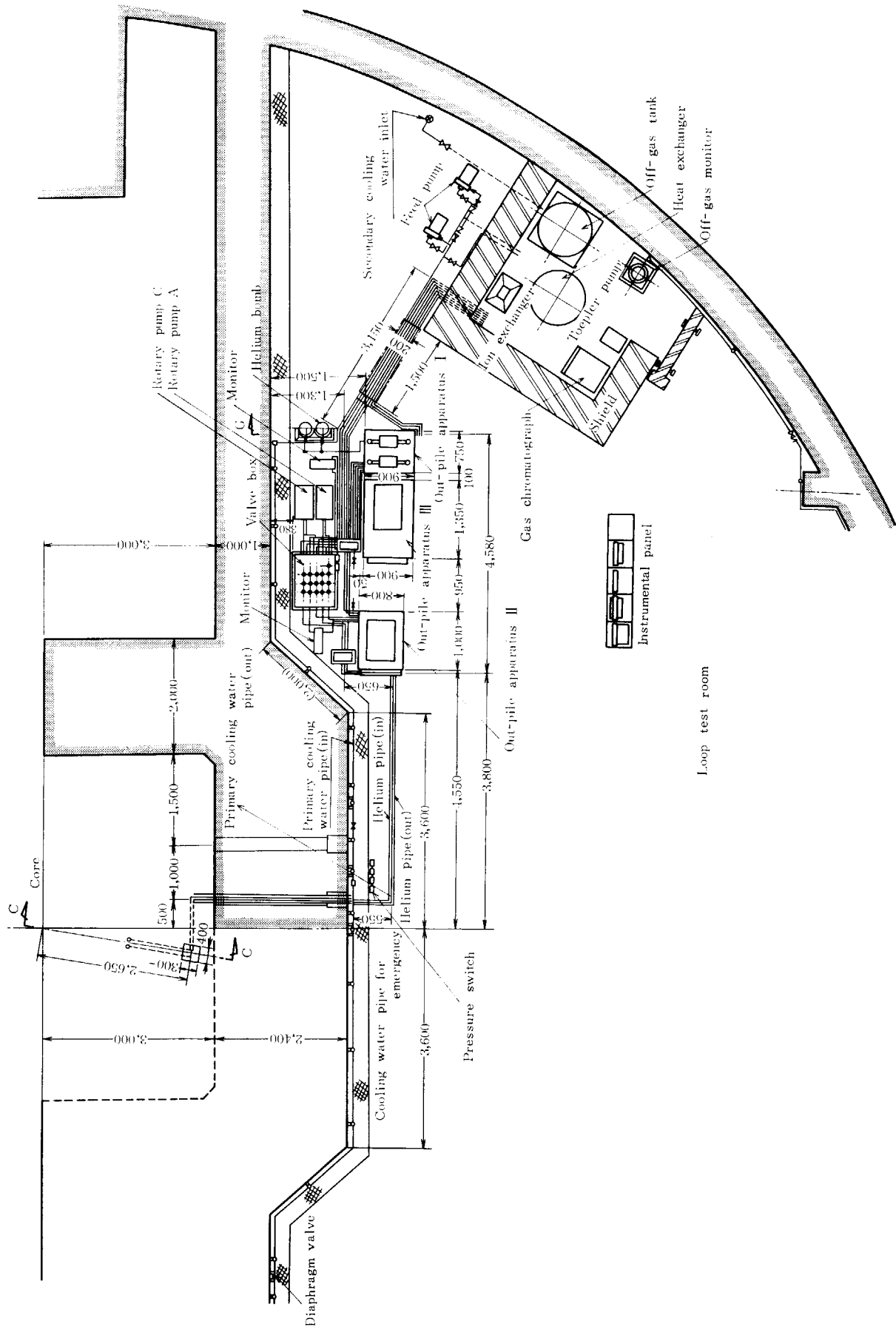


Fig. 1 General arrangement of out-pile equipment

るため、外筒に内筒を挿入する二重構造となっている。

炉外装置は炉外装置Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、冷却水系、廃ガス貯槽、ヘリウムガス系および計測制御装置よりなり、JRR-3 ループテスト室に配置されている。(Fig. 1 ループ配置図および Figs. 2~4 フローシートを参照のこと)

炉外装置Ⅰには、定流量装置、ヘリウム純化装置、バッファタンク、サージタンク、真空ポンプ等を収納してある。炉外装置Ⅱには、キセノントラップを、また炉外装置Ⅲにはクリプトントラップを収納してある。

ヘリウムガス系の放射線測定器は、キセノントラップの前に設けられた TMC-400 チャンネルγ線スペクトロメータ、クリプトントラップの前に設けられた TEN-γ線スペクトロメータおよび廃ガス中の放射能レベルを測定する排気モニタよりなる。これらの放射線検出器はすべて NaI (Tl) シンチレータで核分裂ガスの γ線をヘリウム管の外側より検出できる。

また冷却水中の ^{16}N の γ線は、TEN-γ線スペクトロメータにつないだ NaI (Tl) シンチレータで測定される。

照射中に燃料から発生した不純物ガスの分析、燃料および炉材料と種々のガスとの反応の研究などのために、ヘリウムガス系にテプラポンプおよびプロセスガスクロマトグラフが設置してある。

冷却水系は、ホールドアップタンク兼熱交換器、循環ポンプ、イオン交換塔、配管等からなり、プラグを冷却する。一次冷却水は常時二次冷却水にて冷却される。流量喪失等の事故時には JRR-3 非常用高架水槽からの冷却水にてプラグが冷却される。

計測制御装置は、多点式温度記録警報計、温度記録調節計、圧力指示計、圧力記録調節計、流量指示計、水位計、断水継電器等よりなっている。

JRR-3 ホットケーブル内には試料部交換装置が設置してある。本装置は切断溶接装置、カプセルオープナよりなり、使用した試料部と新しい試料部の交換を遠隔操作でおこなえるように設計されている。

装置の概要について、TABLE 1 にまとめて示した。

2.2 実験方式とガス流路

2.2.1 Flow 方式

高温照射下にセラミックス燃料より放出される核分裂ガスおよび発生ガスをヘリウムガスで連続的に炉外に導き、その放射能を測定するかあるいはガスクロマトグラフで分析する方式である。核分裂ガス拡散ループの実験でもっともよく使用される方法であり、流路系統の概略を Fig. 2 に示す。

ポンペより供給されたヘリウムガスは定流量弁により定流量化され、減圧下 (500~600 mmHg), 60 ml/min の一定流速で流れる。このヘリウムガスの流速が長時間運転中に一定に保たれるように、サージタンクの圧力により開閉する抵抗管 (毛管) を設けた。定流量化されたヘリウムガスは純化装置により精製されたのち、プラグに送られる。試料部先端に設けた小孔より試料部に入ったヘリウムガスは試験片表面をスイープし、試料より拡散す

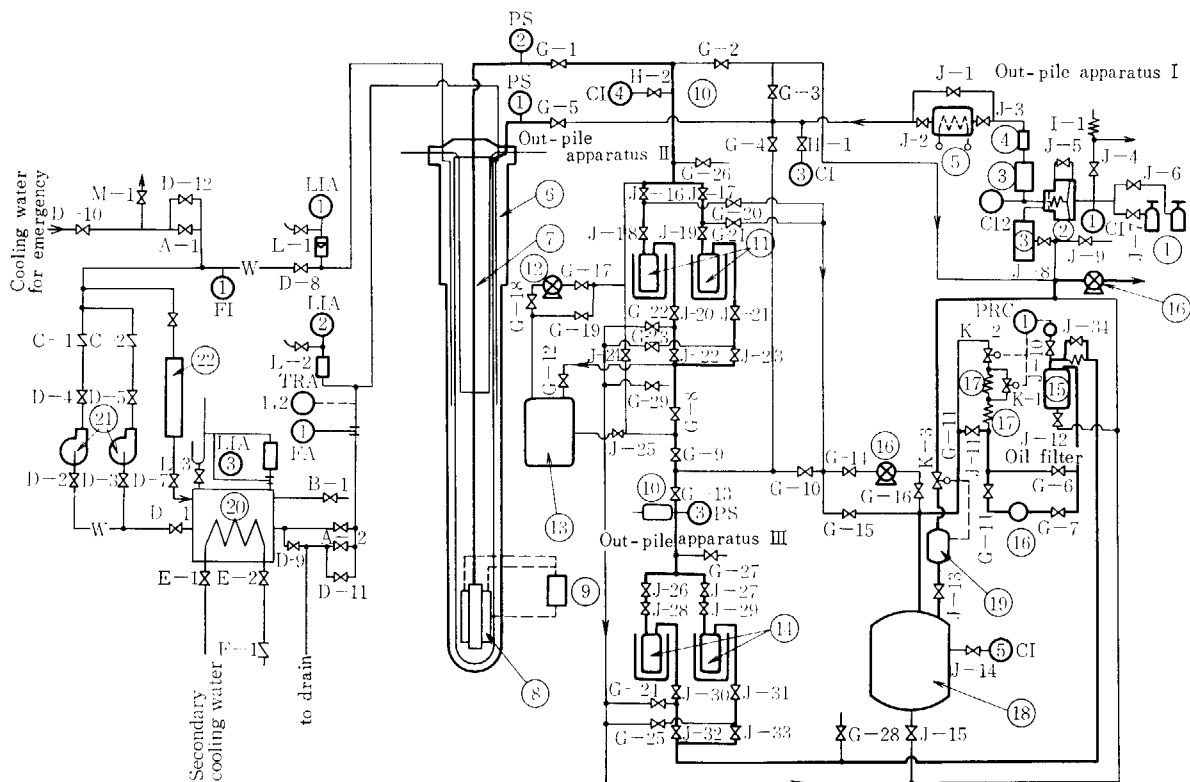


Fig. 2 Flow system

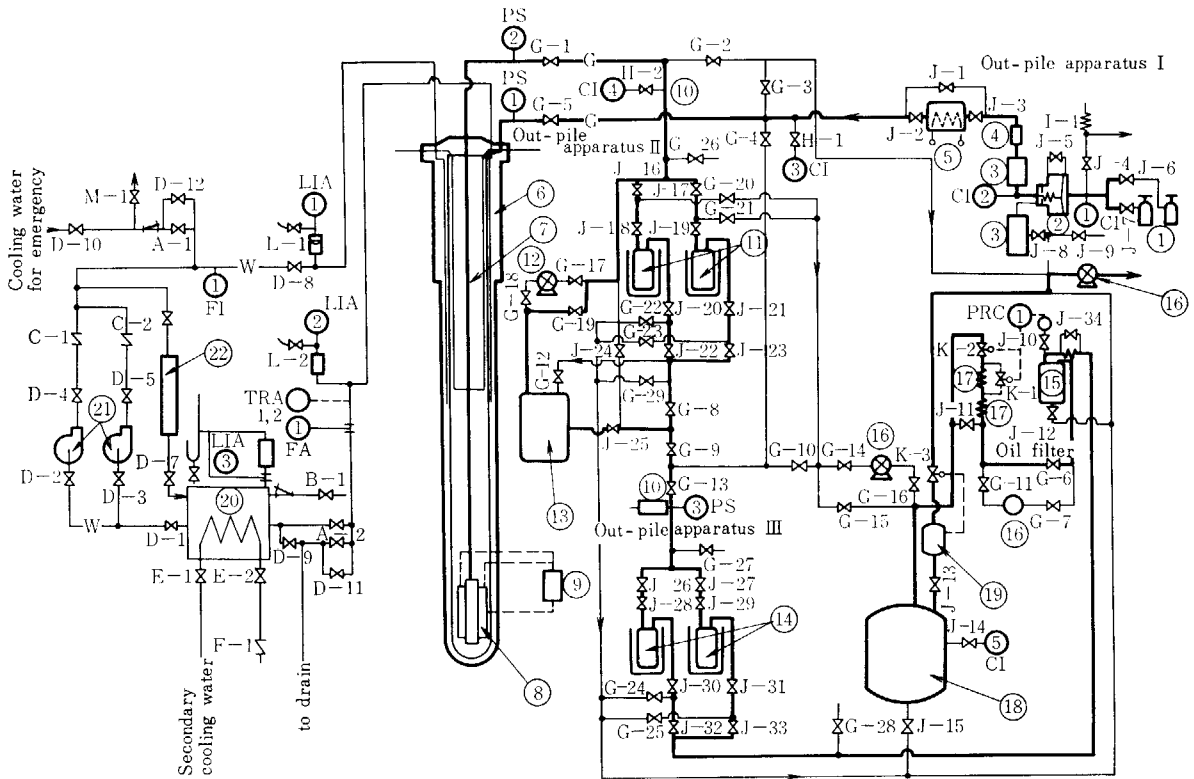


Fig. 3 Suction system

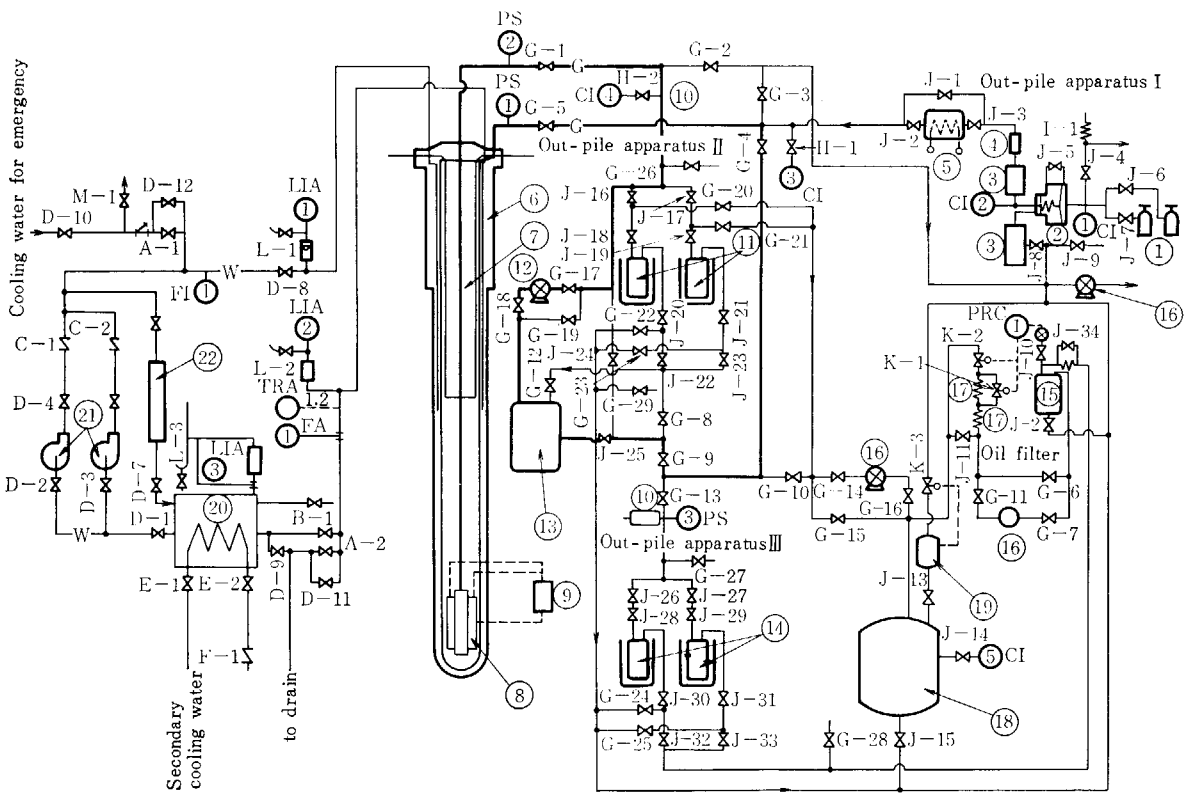


Fig. 4 Circulation system

Symbols in Fig. 2~4

①	Helium bomb	㉔	Ion exchanger
②	Flow regulator	PS 1~3	Pressure switch
③	Buffer tank	J 1~34	Bellows valve
④	Flow meter	G 1~29	Bellows valve
⑤	Purification apparatus for He gas	K 1~3	Electromagnetic valve
⑥	Outer plug	I 1	Safety valve
⑦	Inner plug	CI 1~5	Pressure indicator
⑧	Specimen chamber	PRC	Pressure recorder and controller
⑨	Temperature recorder and controller	H 1~2	Bellows valve
⑩	Monitor	A 1~2	Electromagnetic valve (Normal close)
⑪	Xenon trap	B	Electromagnetic valve (Normal open)
⑫	Toepler pump	C 1~2	Stopper for back-flowing
⑬	Gas chromatograph	D 1~12	Diaphragm valve
⑭	Krypton trap	E 1~2	Diaphragm valve
⑮	Surge tank	F	Stopper for back-flowing
⑯	Rotary pump	L 1~2	Valve for air-escape
⑰	Capillary tube	M	Valve
⑱	Off-gas tank	LIA 1~3	Level indicator and alarm
⑲	Off-gas monitor	FI 1	Flow indicator
⑳	Heat exchanger	FA 1	Flow indicator and alarm
㉑	Feed pump		

る核分裂ガスおよび反応ガスを炉外に運ぶ。核分裂生成物のうち、ヨウ素は試料に近接して設けたインタナルトラップに捕集され、プラグ外に導かれるものは核分裂キセノンとクリプトンおよび反応ガスだけとなる。キセノンおよびクリプトンの放射能を γ 線スペクトロメータにより測定した後、ガスの流れをキセノントラップに導く。トラップを出たガス中のクリプトンは別の γ 線スペクトロメータにより測定される。その後クリプトントラップを経て廃ガス貯槽に導かれる。すなわち、キセノンおよびクリプトンの各核種の定量とその放出率の変化の連続測定とがおこなえる。

一方、反応ガスはガス流路系の切換えによりガスクロマトグラフに導かれ、連続的に定量することが可能である。

2.2.2 Suction 方式

高温照射下にセラミックス燃料より放出される核分裂ガスを真空ポンプで炉外に導き、その放射能を測定する方式である。Flow 方式に比較して核分裂ガスを速やかに炉外に導くことができる。流路系統の概略を Fig. 3 に

示す。流路系統は、G-5 のバルブを閉じること、J-34 および J-11 のバルブを開けてバイパスを作ることおよび真空ポンプを働かせることのほかは Flow 方式とさしたる違いはないので説明は省略する。

2.2.3 Circulation 方式

高温照射下に一定量のヘリウムガスを循環し、セラミックス燃料より発生するガスを連続的にガスクロマトグラフで分析する方式である。発生ガスが蓄積してくるので、Flow 方式にくらべて微量の発生ガスを分析することができる。また循環ガス中に少量の他のガスを入れることにより、そのガスと試料との反応を検討することができる。流路系統の概略を Fig. 4 に示す。

精製したヘリウムガスの一定量を Fig. 4 の太線の系に入れる。このヘリウムガスはテプラポンプの作動によりガスクロマトグラフ→プラグ→試料部→テプラポンプ→ガスクロマトグラフのように循環し、試料よりの発生ガスはこの間にガスクロマトグラフにより連続的に定量される。

3. 各 部 の 詳 細

3.1 炉内装置 (プラグ) (Fig. 5 参照)

プラグ本体は外筒, 内筒および試料部よりなり, JRR-3 炉心タンク内垂直実験孔 (VC-3) に挿入される. 実験終了後は RI キャスクにより内筒および試料部を外筒より引抜き, プラグ置場に格納する. VC-3 実験孔に固定されている外筒にはしゃへいプラグを挿入し, 中性子および炉内 γ 線の漏洩を防ぐ.

3.1.1 外 筒

外筒の先端部はジャケット構造となっており, 外面にはアルミニウム, 内面にステンレス鋼を使用してある.

炉上面しゃへい体内に挿入される部分 (中段部および上段部) は, 内外管ともステンレス鋼を使用し, この円管部にはしゃへい用重モルタルが充てんされ, この先に約 100 mm の鉛と 1/4" 厚ボラル板 (B₄C とアルミニウムの混合物) とが取付けられている. このしゃへい用重モルタルの中に 4 本の冷却水管が, ら旋状に埋込まれ, ジャケット部と上段フランジの間を連絡している. 冷却水入口管 2 本は中段のプレナム室に入って, 4 本にわかれ, 先端でジャケット中に噴き出す. ジャケット中に噴き出した冷却水は反転上昇してジャケット上端部で 2 本に分岐した配管を通り, プラグ上段部に戻る. 本構造は試験片の核分裂および放射線吸収による発熱を充分除去し, プラグ外面温度を 70°C 以下に保つようになっている.

仕 様

外形寸法

先端部	124.5 ^{0D} × 1438.5 mm
中端部	124.5 ^{0D} × 84.9 mm
上段部	159 ^{0D} × 996 mm
プラグ全長	3333.5 mm

材質および板厚

先端部内管	配管用ステンレス鋼管 27 種 (ジャケット部まで)	(SUS 27 TP)
先端部外管	耐食アルミニウム合金管 1 種 (ジャケット部)	(A2T1)
管 厚	3.5 mm	
中段部内外管	配管用ステンレス鋼管 27 種	(SUS 27 TP)
管 厚	3 mm	
上段部外管	配管用ステンレス鋼管 27 種	(SUS 27 TP)

管 厚 4 mm

上段部内被覆 配管用ステンレス鋼管 27 種
(SUS 27 TP)

管 厚 3 mm

しゃへい材

ボラル板 板厚 4.5 mm

鉛 厚さ 100 mm

重モルタル 厚さ 1760 mm

比重 3.5

SUS 27 厚さ 100 mm

冷却水管

材 質 配管用ステンレス鋼管 27 種
(SUS 27 TP)

寸 法 13.8^{0D} × 2" mm

本 数 4 本

3.1.2 内 筒

プラグ内筒の構造は, すべてステンレス鋼製で, 内部にしゃへい用重モルタルが充てんされており, この中にヘリウム戻り管, 熱電対用補償導線およびヒータ用ニンプロックスが, ら旋状に埋込まれている. プラグ先端部に試料部を取付けた後, 外筒内に挿入して, 内筒フランジを, 外筒フランジヘナット締めで固定する. 内筒フランジには, プラグの挿入, 取出しをおこなうための把握部が取付けられており, この把握部は RI キャスク (JRR-3 付属) へ接続できる.

仕 様

外形寸法

先端部外径	81 mm
先端部全長	1040 mm
上段部外径	86 mm
上段部全長	890 mm
内筒全長	1930 mm

材質および板厚

先端部	配管用ステンレス鋼管 27 種 (SUS 27 TP)
管 厚	3 mm
上段部	配管用ステンレス鋼管 27 種 (SUS 27 TP)
管 厚	3 mm
フランジ	ステンレス鋼板 27 種 (SUS 27)
板 厚	30 mm
把握部	ステンレス鋼棒 27 種 (SUS 27 P)

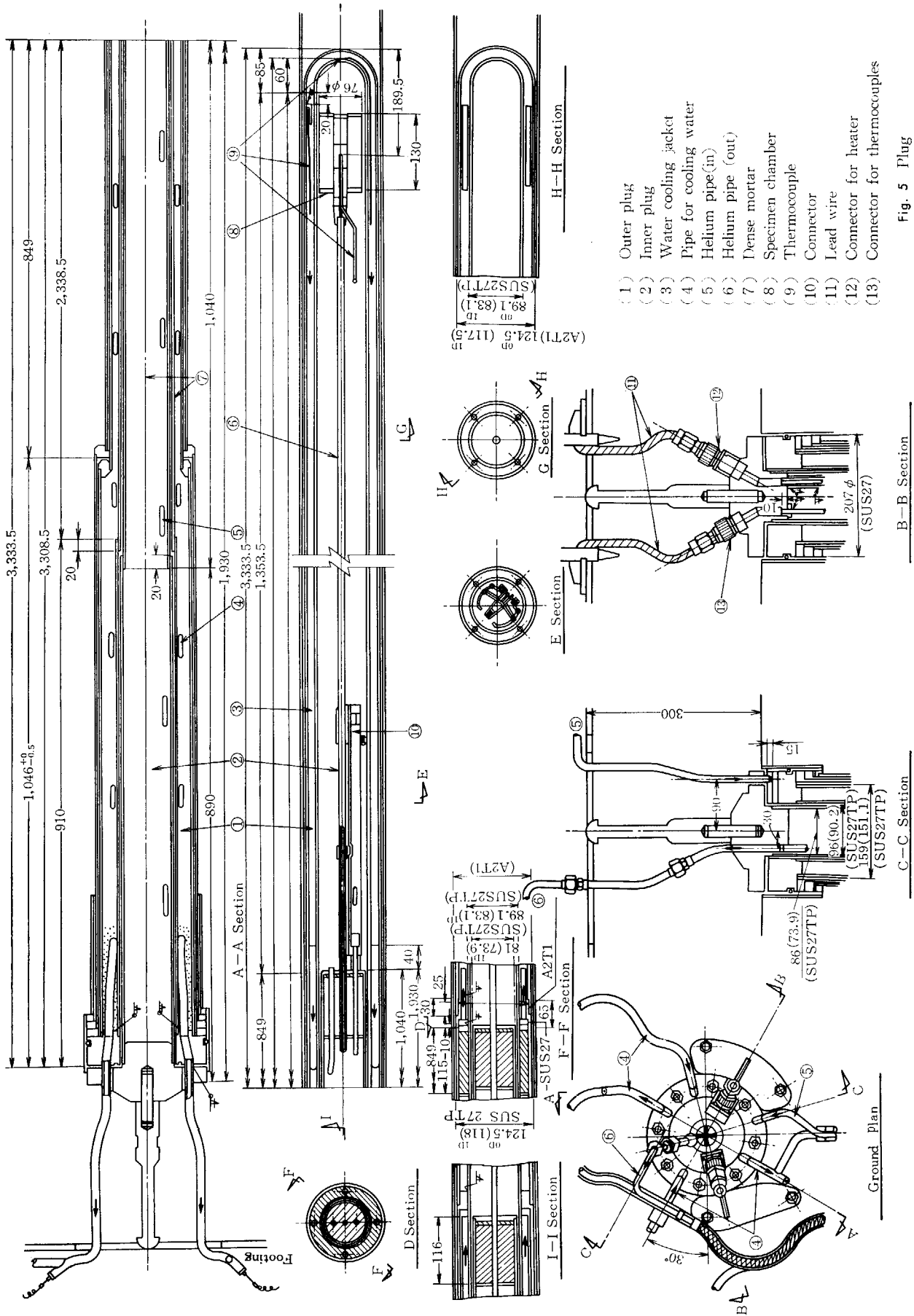


Fig. 5 Plug

しゃへい材

ボラール板	板厚	4.5 mm
鉛	厚さ	100 mm
重モルタル	厚さ	1760 mm
	比重	3.5
SUS 27	厚さ	100 mm

ヘリウム管材質

配管用ステンレス鋼管 27 種
(SUS 27 TP)

寸法 10.5^{OD}×1^tmm

3.1.3 試料部

試料部には保温材方式試料部 (Fig. 6 A 参照) および反射板方式試料部 (Fig. 6 B 参照) がある。

1) 保温材方式試料部

この試料部は燃料試験片を保持する試料部内管と加熱部および保温部からなっている。

試料部内管内に燃料試験片を封入し、上端部はヘリウム戻り管に接続されている。

加熱用白金ヒータはちょう密アルミナ磁器管の外部に巻きつけられており、その外部に粉末アルミナを主体とした保温材が配置されている。試料部の外面はステンレス鋼板にて覆われている。

この試料部には熱電対が4本取付けられており、燃料中心温度、ヒータ表面温度、試料部上端温度および試料部外面温度を測定する。

仕様

外形寸法

径	76 mm
全長(試料部内管)	188 mm
(加熱保温部)	130 mm

材質および寸法

試料部内管材質	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)
寸法	24 ^{OD} ×1 mm
試料部外板	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)
板厚	1 mm
試料部鏡板	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)

板厚(上端)	6 mm
板厚(下端)	6 mm

加熱ヒータ

材質	白金
寸法	5*×0.1 ^t mm
使用温度	1000°C
出力	最大 0.8 kW

保温材

材質	ちょう密アルミナ磁器管 多孔性アルミナ磁器
----	--------------------------

粉末アルミナ

熱電対

高温測定部 2 箇所 白金-白金ロジウム
AISI 310 被覆

低温測定部 2 箇所 クロメル-アルメル
AISI 347 被覆

2) 反射板方式試料部

この試料部は燃料を保持する試料部内管と加熱部および反射板からなっている。

カンタル・ヒータは、石英ガラス管の外部に巻きつけられており、その外部に多層反射板が設けられている。

試料の外面はステンレス鋼板にて覆われている。

この試料部には熱電対が4本取付けられており、燃料中心温度、ヒータ表面温度、試料部上端温度および試料部外面温度を測定する。

仕様

外形寸法

径	76 mm
全長(試料部内管)	340 mm
(加熱部)	270 mm

材質および寸法

試料部内管材質	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)
寸法	24 ^{OD} ×1 ^t mm
試料部外板材質	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)
寸法	76 ^{OD} ×1 ^t mm
試料部材質	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)

板厚(上端)	1 mm
板厚(下端)	10 mm

加熱ヒータ

材質	カンタル
使用温度	1000°C
出力	最大 1.4 kW

反射板

材質	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)
----	-------------------------

反射板数	9
板厚	0.5 mm

熱電対

高温測定部 2 箇所 白金-白金ロジウム
AISI 310 被覆

低温測定部 2 箇所 クロメル-アルメル
AISI 347 被覆

3.1.4 しゃへいプラグ

しゃへいプラグの構造は、すべてステンレス鋼製である。その内部にはしゃへいプラグ先端より順にボラール板、鉛、重モルタルが充てんされ、炉内よりの速中性

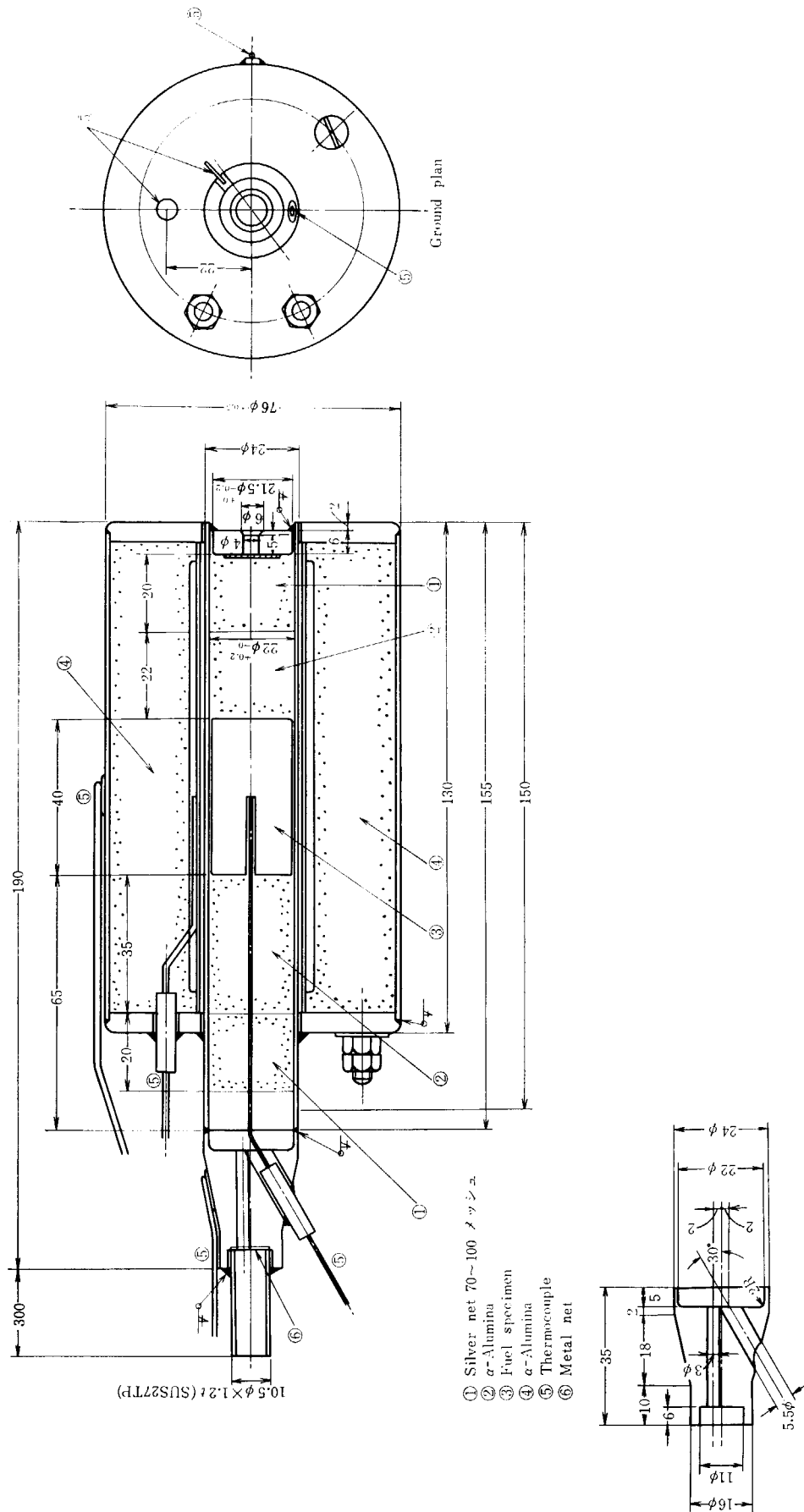
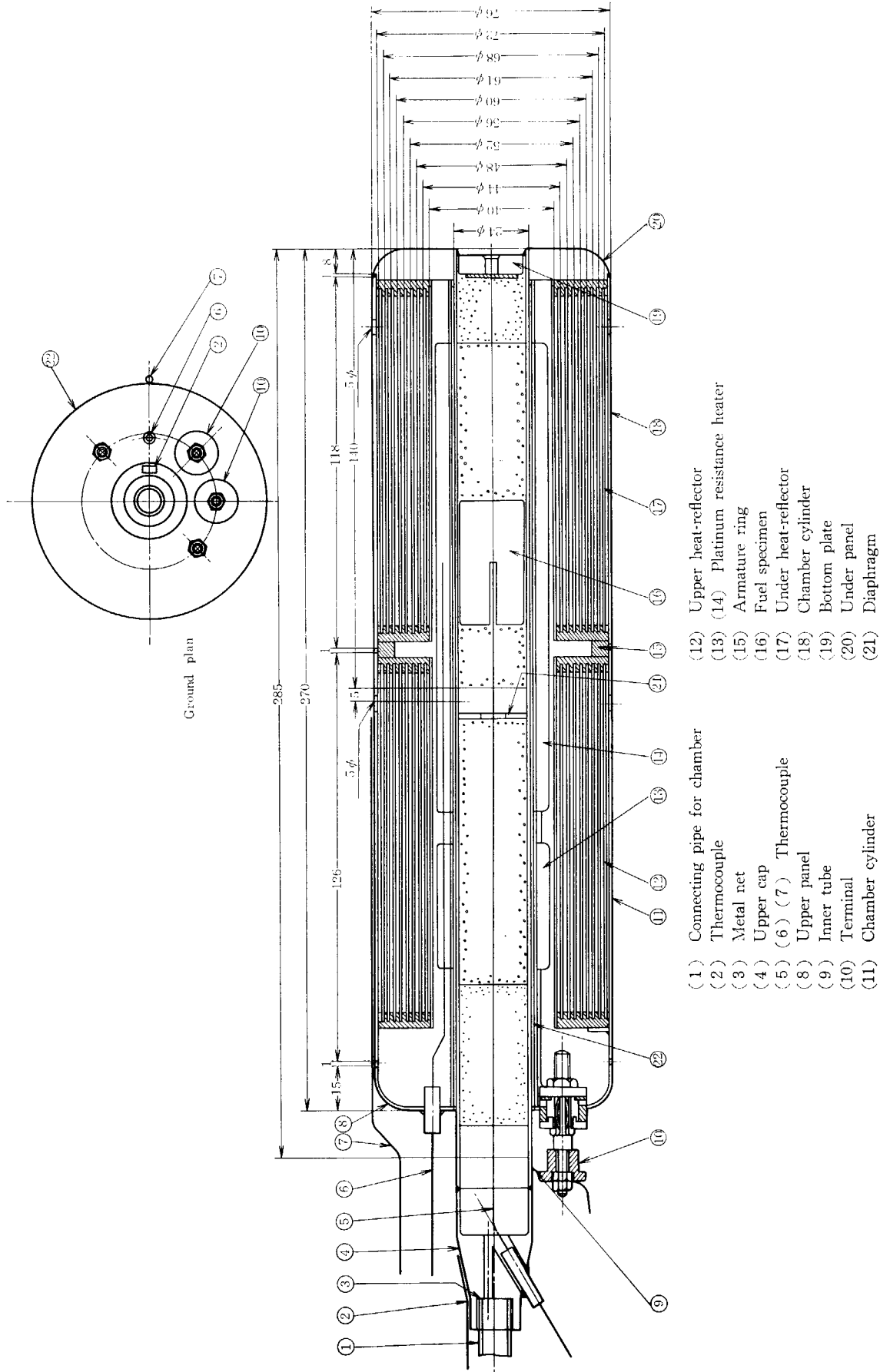


Fig. 6 A Specimen chamber (Thermal insulator type)



- (1) Connecting pipe for chamber
- (2) Thermocouple
- (3) Metal net
- (4) Upper cap
- (5) (6) (7) Thermocouple
- (8) Upper panel
- (9) Inner tube
- (10) Terminal
- (11) Chamber cylinder
- (12) Upper heat-reflector
- (13) (14) Platinum resistance heater
- (15) Armature ring
- (16) Fuel specimen
- (17) Under heat-reflector
- (18) Chamber cylinder
- (19) Bottom plate
- (20) Upper panel
- (21) Diaphragm

Fig. 6 B Specimen chamber (Heat-reflector type)

子、熱中性子、 γ 線の漏洩を防いでいる。外筒に挿入して、しゃへいプラグのフランジを外筒フランジヘナット締めして固定する。しゃへいプラグのフランジには、プラグの挿入、取出をおこなうための把握部が取付けられている。この把握部は、RI キャスクに接続できる。

仕様

外形寸法

先端部外径	81.0 mm
先端部全長	779.5
上端部外径	86.0
上端部全長	840.0
しゃへいプラグ全長	1619.5

材質および板厚

先端部	ステンレス鋼管 27 種 (SUS 27 TP)
管厚	3.5 mm
上端部	ステンレス鋼管 27 種 (SUS 27 TP)
フランジ	ステンレス鋼板 27 種
板厚	30 mm
把握部	ステンレス鋼棒 27 種 (SUS 27 P)

しゃへい材

ボラル板	板厚 1/4"
鉛	厚 100 mm
重モルタル	比重 3.5

3.2 ガス系炉外装置

Flow 方式のガス流路にしたがって、各構成機器について説明する。

3.2.1 炉外装置 I (Fig. 7 参照)

本装置には主としてヘリウムガス定流量装置とヘリウムガス純化装置が取付けられている。

ヘリウムガス定流量装置は定流量弁、バッファタンク、サージタンク、圧力記録計検出端、抵抗管(毛管)、電磁弁よりなっている。プラグ入口のヘリウムガス圧は定流量弁およびバッファタンクで一定に保たれ、ヘリウムガス系出口のガス圧はその他の機器により一定に保たれる。ガス系入口と出口の一定のヘリウムガス圧力差により、ガスの定流量化がおこなわれる。

定流量化されたヘリウムガスは、流量計をへてヘリウムガス純化装置に入る。ヘリウムガス純化装置は 300°C に加熱された銅網、800°C に加熱されたチタン、水酸化カリウムベッド、過塩素酸マグネシウムベッドよりなり、脱酸素、脱水などがおこなわれる。

仕様

外 枠

外形寸法	750×900×1357 ^H mm	
材 質	鋼板および形鋼製	
定流量装置	1 式	
定流量弁	1 個	
流量設定用ニードル弁	1 個	
バッファタンク	1 個	
外径寸法	60.3 ^{OD} ×208 mm	
容 積	0.5 l	
材 質	SUS 27	
サージタンク	1 個	
外形寸法	268 ^{OD} ×398 mm	
容 積	18 l	
材 質	SUS 27	
抵抗管(毛管)	0.3 ϕ mm 毛細管 3 個	
電磁弁	1/2 B 電磁弁 2 個	
流量計	1 個	
圧力記録計検出端	1 個	
	横河 TSP 型圧力変換器	
真空ポンプ	1 $\frac{1}{2}$ IP 油回転横型真空ポンプ	
1 $\frac{1}{2}$ B 安全弁	1 個	
ヘリウム純化装置	1 式	
	300°C に加熱された銅網 (1kW 電気炉, 酸素除去用)	
	800°C に加熱されたチタン (1 kW 電気炉, 微量酸素, 窒素除去用)	
	水酸化カリウムベッド (炭酸ガス除去用)	
	過塩素酸マグネシウムベッド (水分除去用)	
ヘリウム配管	1 式	
	寸法	材質
管	10 ^{OD} ×1.6 ^t mm	STC 52A (化学工業用鋼管)
	20 ^{OD} ×2 ^t mm	STC 52A
	1/2 B	SGP (配管用炭素鋼鋼管)
	1 $\frac{1}{2}$ B	SGP
弁	6 ϕ mm ベローシール止弁	6 個

3.2.2 炉外装置 II (Fig. 8 参照)

本装置には下記の機器が取付けられている。トラップ類を取外すさいに核分裂ガスが外部へ漏洩するのを防ぐため、グローブボックスが設けられている。キセノントラップ周辺およびヘリウム配管には放射線を許容線量以下にするため鉛しゃへいをおこない安全に操作できるようにしてある。

核分裂ガスのうち、キセノンを吸着 delay する装置でキセノントラップ、ジュワ瓶およびトラップ切換え用弁類よりなっている。

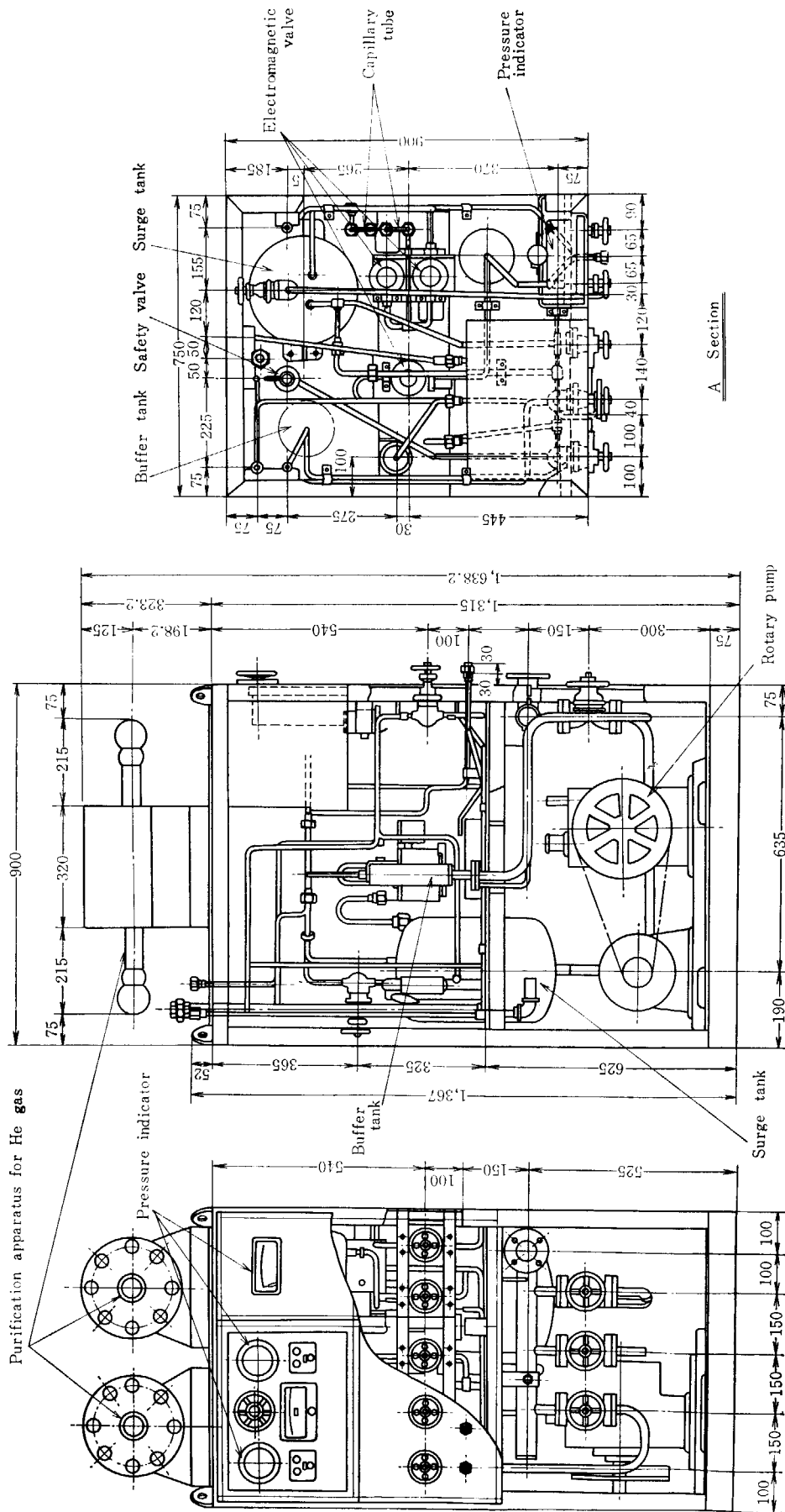


Fig. 7 Out-pile apparatus I

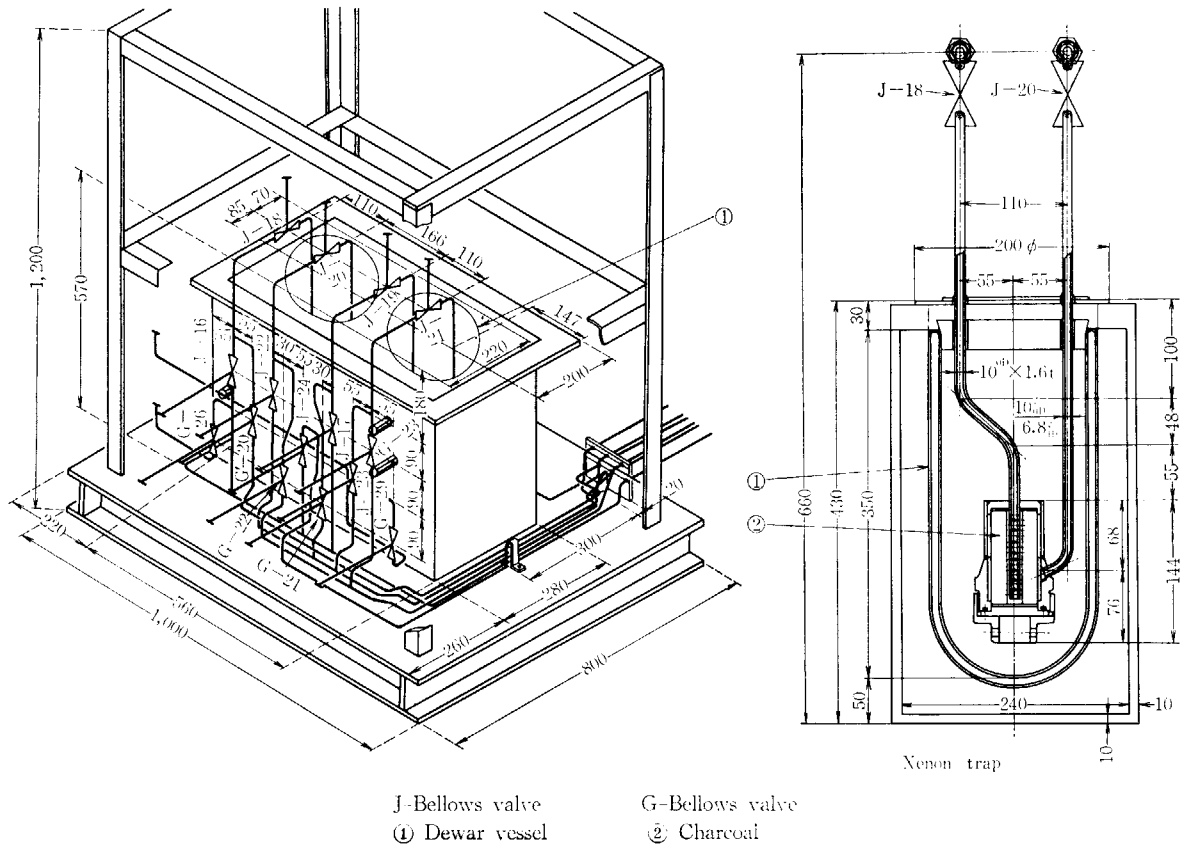


Fig. 8 Out-pile apparatus II

仕様

外 枠

外形寸法 800×1000×1250^Hmm

材 質 鋼板, 形鋼製

キセノントラップ 2式

吸着剤 活性炭

容 器 SUS 27, 48^{OD}×100 mm 容量

出入口弁 6φ ベロシール止弁各2個

ジュワ瓶

外 形 260^{OD}×430^Hmm

容 積 5 l

弁 類

弁 ベロシール止弁

管 10^{OD}×16^tmm STC 52A

仕様

外 枠

外形寸法 1040×1540×1322^Hmm

材 質 鋼板および形鋼製

クリプトントラップ 2式

吸着剤 活性炭

容 器 SUS 27, 0.3 l

出入口弁 6φmm ベロシール止弁

ジュワ瓶

外 形 260φ×430^Hmm

容 積 5 l

弁 類

弁 6φmm ベロシール止弁

管 10^{OD}×1.6^tmm STC 52A

3.2.3 炉外装置 III (Fig. 9 参照)

炉外装置IIに隣接して配置され、下記の機器を収容しており、クリプトントラップの取換えを考慮してグローブボックスが取付けられている。なお、このトラップの周囲およびヘリウム配管には、鉛しゃへいを積み、安全な取扱いができる。

核分裂ガスのうち、クリプトンを活性炭によって吸着する装置で、クリプトントラップ、ジュワ瓶およびトラップ切換え用弁類よりなっている。トラップは液体窒素によって冷却される。この液体窒素は100 l入のジュワ瓶より自動注入される。

3.2.4 液体窒素自動注入装置

本装置は炉外装置IIIのクリプトントラップを液体窒素で冷却するためのものである。炉外装置IIIのジュワ瓶に示差熱式クロメル-アルメル熱電対を設け、液体窒素の液面を検出する。熱電対の起電力はガルバノメータにより測定される。規定の液面以下になると、ガルバノメータの信号により、コンプレッサが働く。コンプレッサからの圧縮空気は100 l入液体窒素ジュワ瓶に送込まれる。押出された液体窒素はガラス製断熱管を通つて、炉外装置IIIの5 l入ジュワ瓶に注入される。規定の液面以上になると、ガルバノメータの信号により自動的にその

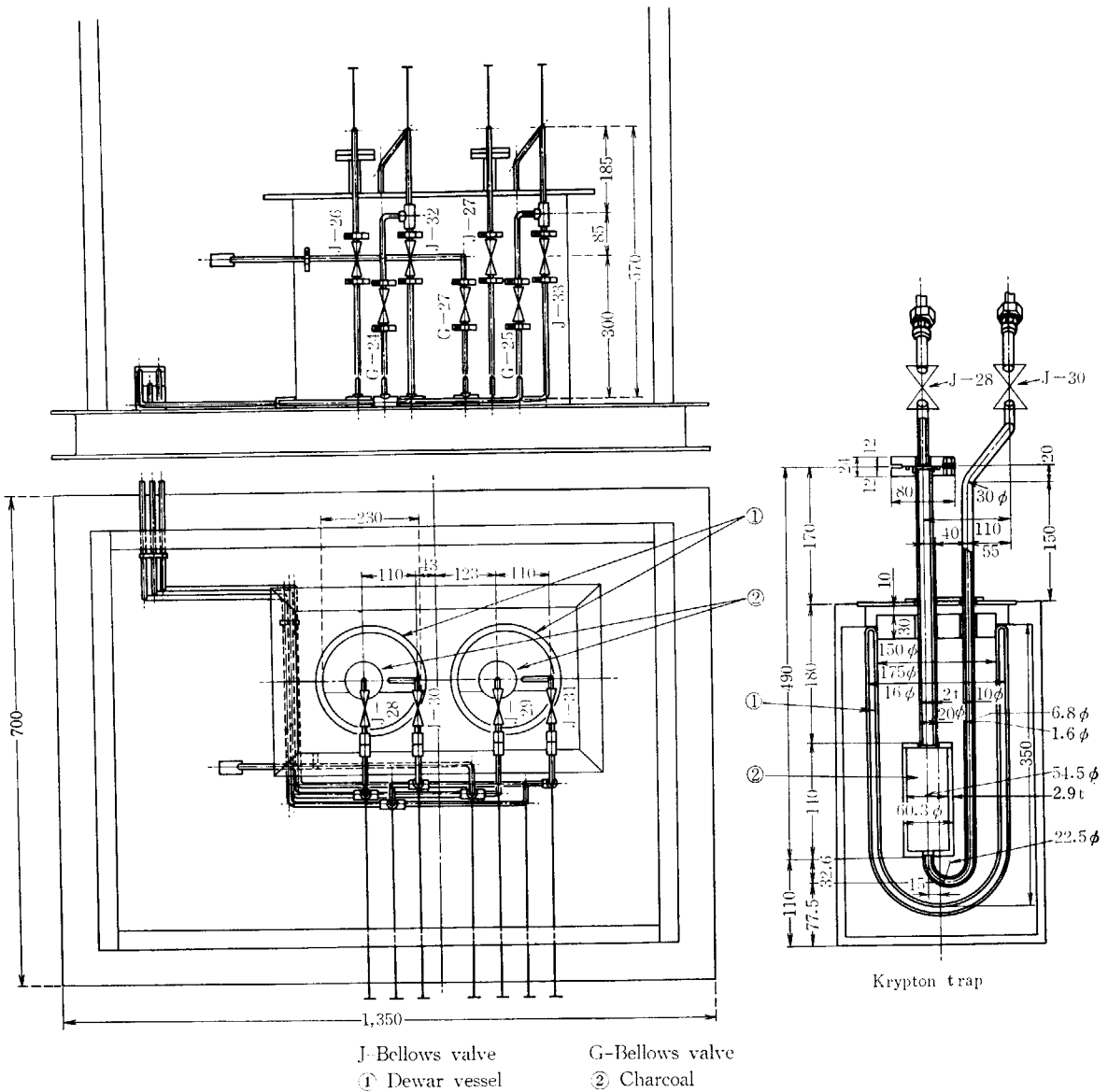


Fig. 9 Out-pile apparatus III

注入が停止させられる。

3.2.5 グローブボックス

キセノントラップ、クリプトントラップ等を収容する炉外装置ⅡおよびⅢにはグローブボックスを取付け、上記トラップ類の交換をおこなうとき核分裂ガスのループテスト室内への拡散を防ぐことができる。

1) 炉外装置Ⅱ用グローブボックス

形式	箱型
寸法	800×1000×1200 ^H mm
材質	側面 1.2 mm 鋼板防食塗装 前面 10 mm アクリル樹脂板 後面 10 mm アクリル樹脂板 上面 1.2 mm 鋼板防食塗装
取付方法	フレーム 一般構造用圧延鋼板 ダンパ 一般構造用圧延鋼板 前・後面外板はネオプレンパッキン

グローブ

を介しボルト締めでフレームに取付けてある。

4 個 (2 対)	5 本指
最大口径	200 mm
長さ	600 mm
材質	ネオプレン
附属品	ダンパ付ダクト接続部 (グローブボックス上面) 1 個 蛍光灯 20 W 1 個 ハッチ 300×300 mm 1 個 780×450 mm 1 個 ドライアイス注入口 2 個 マンメータ用貫通孔 1 個

2) 炉外装置Ⅲ用グローブボックス

形式	箱型
寸法	900×1260×1110 ^H mm
材質	側面 1.2 mm 鋼板防食塗装

	前面	10 mm	アクリル樹脂板
	後面	10 mm	アクリル樹脂板
	上面	1.2 mm	鋼板防食塗装
	フレーム		一般構造用圧延鋼板
	ダンパ		一般構造用圧延鋼板
取付方法	前・後面外板はネオプレンパッキンを介し、ボルト締めでフレームに取付けてある。		
グローブ	4 個 (2 対)	5 本指	
	最大口径	200 mm	
	長さ	600 mm	
	材質	ネオプレン	
附属品	ダンパ付ダクト接続部 (グローブボックス上面)		
		1 個	
	蛍光灯	20 W	1 個
	ハッチ	500×400 mm	1 個
		780×450 mm	1 個
	液体窒素注入口		2 個
	マノメータ用貫通孔		1 個

3) 排気ダクト

1) および 2) のグローブボックス上部からの排気ダクトは、JRR-3 ループテスト室内に設置されている照射空気ダクトに接続されている。

寸法	200×200 mm
材質	亜鉛引鉄板防食塗装
長さ	20 m

3.2.6 廃ガス貯槽

本貯槽は重コンクリートしゃへい壁の中に配置され、ループより出てきた廃ガスを一時貯蔵し、実験終了後真空ポンプにより照射空気ダクトへ廃棄するものである。

また本器はループに対し、充分大きな容積をもつ真空系とすることにより、ループ内圧力の調節をおこなうことができる。

仕様

個数	1 個
容積	1.1 m ³
外形寸法	1050×1050×2094 ^H mm
外板材質	鋼板および形鋼製
貯槽材質	SUS 27

3.2.7 圧力測定装置 (Pressure switch)

プラグ入口、出口およびキセノントラップとクリプトントラップの間に、それぞれ 2 個の圧力測定装置が設置されている。

1 個を系内圧力が 600 mmHg に上昇したとき、ブザーおよび表示灯の発信用に、他の 1 個を系内圧力が 700 mmHg に上昇したとき炉のスクラム発信用に使用している。

この圧力測定装置は、圧力の変化に応じて、装置内の

ベローズが伸縮し、水銀スイッチが作動して電気回路を開閉する。

外形寸法	88.1×63.5×144.5 mm
測定範囲	300 mmHg~760 mmHg
最大許容圧力	0.35 kg/cm ² G
調節法	外部調節ねじ (ケース上面)

3.2.8 バルブボックス

本ボックスはヘリウムガス系にある 16 個の弁をひとまとめにしたもので、鉛のシールドを施し、弁の開閉を表示灯で指示するなど安全確実に弁の開閉操作がおこなえるようにしてある。

仕様

個数	1 個
外形寸法	1000×800×700 ^H mm
外板材質	鋼板
鉛シールド厚	50 mm
格納弁数	16 個 (G 1~G 16)
弁開閉表示灯	16 個

3.2.9 ヘリウム配管

ヘリウム配管系はすべてステンレス鋼管を用い、プラグ上段部など操作上やむを得ぬ部分を除いて溶接接手を使用し、また弁は漏洩を防ぐためベローシール止弁を使用する。炉外装置 I II III 以外の配管につく弁はバルブボックス内にまとめて設けられており、弁の開閉は表示灯によって知ることができる。

仕様

管	材質	配管用ステンレス鋼管 27 種 (SUS 27 TP)
	寸法	1/8 B×Sch. 10 S
弁	形式	ベローシール止弁
	寸法	6 φmm
	主要材質	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)
	個数	29 個

3.2.10 放射線測定装置

本ループに使用される放射線測定装置は、TMC-400 チャネル γ 線スペクトロメータ 1 台、TEN-シングルチャネル γ 線スペクトロメータ 2 台および TEN-排気モニタ 1 台により構成される。TEN-γ 線スペクトロメータ 1 台は冷却水中の ¹⁶N を測定する。他の測定器はすべてヘリウムガス中の核分裂ガスの測定に用いられる。キセノントラップの入口および出口には、それぞれ TMC-γ 線スペクトロメータおよび TEN-γ 線スペクトロメータのシンチレーションプローブが設置されている。排気モニタのシンチレーションプローブは廃ガス貯槽の出口に設けられている。

1) 400 チャネル γ 線スペクトロメータ

本装置は試料より放出された核分裂ガスをステンレス鋼管の外側より任意の時間々隔で測定する。測定値はX-Y レコーダおよびプリンタにより記録される。

- 1) シンチレーションプローブ:
1 3/4"φ×2"NaI (TI) クリスタル
- 2) 波高分析器: TMC 404-6 型
- 3) プリンタ : TMC 500 P 型
- 4) 記録計 : Moseley 2D-2 型

2) γ線スペクトロメータ

本装置は、シングルチャンネル波高分析器、ベースライン・ウインド幅設定器、計数率計および記録計よりなり、任意の4個所のエネルギー範囲のγ線を一定の時間々隔で連続的に測定できる。それらの測定値は自動的に6打点式記録計に記録される。

- 1) シンチレーションプローブ: TEN-PS-400 型
- 2) リニアアンプ : TEN-01T-002 型
- 3) 波高分析器 : TEN-03T-002 型
- 4) リニアレトメータ : TEN-11T-001 型
- 5) 低圧高圧電源 : TEN-12T-013-3 型
- 6) ベースライン・ウインド幅設定器
- 7) 6打点式電子管式記録計

3) 排気モニタ

本装置はシンチレーションプローブおよび計数率計より構成され、その測定値は上記6打点式記録計により記録される。また本装置は任意のレベルに警報設定ができる。放射能レベルが設定値を越える場合は、警報ランプの点灯とともに排気系の電磁弁を閉じる信号を出す。

- 1) シンチレーションプローブ: TEN-PS-600 型

- 2) リニアレトメータ : TEN-RH-900 型

3.2.11 プロセスガスクロマトグラフと自動テブラポンプ

照射中に燃料組織から発生した不純物ガスの分析、燃料および炉材料と種々のガスとの反応の研究などのため設置されたプロセスガスクロマトグラフである。

無機ガスおよび有機ガスを同時に分析できるように、2種のカラム (モレキュラシーブ-5A, 1.5m, ジメチルスルホラン, 5m), 2種の検出器, 2種の記録計を備えている。

放射性ガス試料の分析をおこなうために、装置は分析部とプログラマ部に大別される。

分析部はコンクリートしゃへい壁内に、プログラマ部はループテスト室内に設置され、遠隔操作による分析がおこなえる。

検出方法は熱伝導度方式で、検出最小値は約 50 ppm である。記録計はガス組成の大きく異なった各成分の自動分析ができるように、3段の自動感度切換え操作が可能である。

試料は、12時間以内の任意間隔で導入することができる。

ガスクロマトグラフからでた放射性ガスを含むキャリアガスは、クリプトントラップの活性炭ベッドで放射性ガスを除去したのち、前記した廃ガス貯槽に導かれる。また分析部は、鉄製のキャビネット内に格納されており、放射性ガスがループテスト室に漏出することのないよう留意されている。

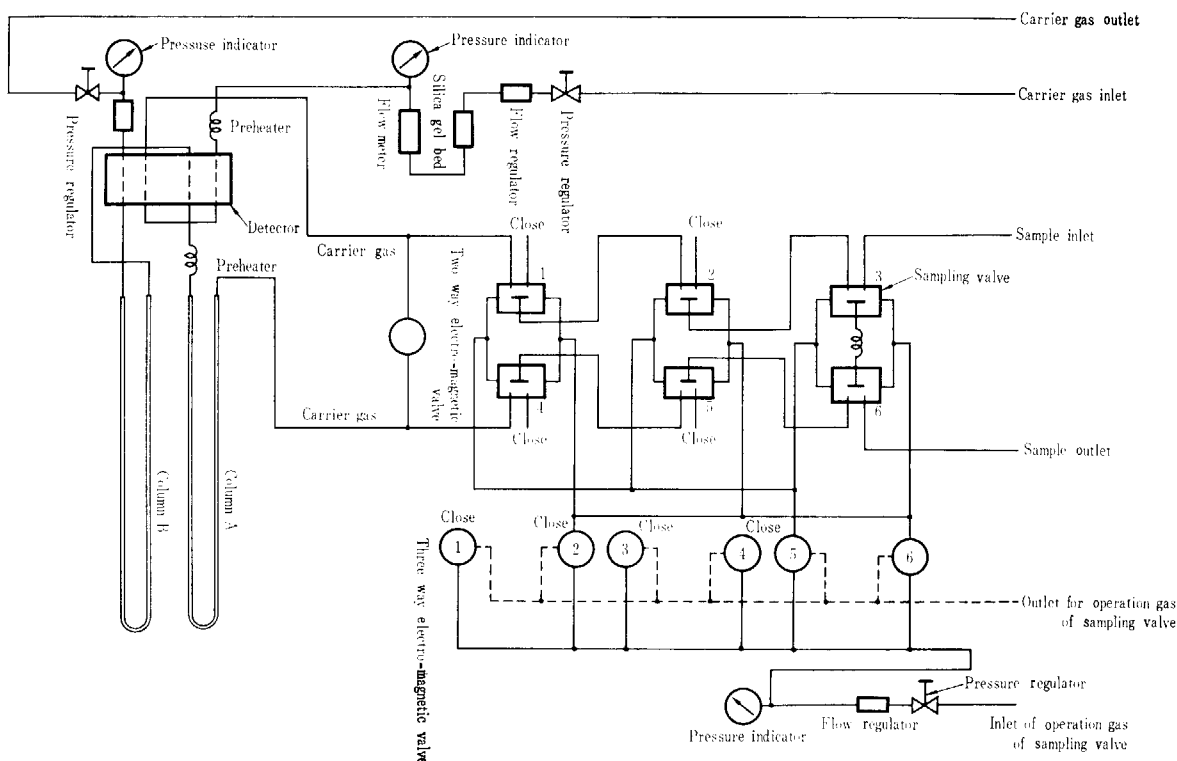


Fig. 10 Flow diagram of process gas chromatograph

燃料および炉材料と種々のガスとの反応において、反応ガスをプラグと炉外装置の間を循環させるために、自動テプラポンプがコンクリートしゃへい壁内に設置されている。この自動テプラポンプも、分析部と同様に、キャビネット内に格納されている。

流路図を Fig. 10 に示す。

仕様

外形寸法

分析部	670×500×1220 mm
プログラマ部	1060×500×1770 mm
検出方式	熱伝導度方式
最小検出量	50 ppm
試料導入	12 時間以内の任意時間
試料導入手量	5 ml
キャリアガス	ヘリウム
恒温槽	ステンレス鋼張り、カラム恒温槽とセル恒温槽と分離、独立制御 カラム恒温槽：メインヒータ 300W コントロールヒータ 150W セル恒温槽：白金抵抗感温体による電子管式リレー制御
カラム	モレキュラシーブ-5 A, 1.5 m, ジメチルスルホラン, 5 m
記録計	電子管式自動平衡方式 2 mV/フルスケール, 記録紙幅 200 mm 自動零点調整付

自動テプラポンプ

外形寸法	400×300×700 ^H mm
最大吐出量	300 ml/min
使用圧力範囲	0~1.5 kg/cm ²

3.3 水系炉外装置

本装置は、試料部加熱ヒータおよび放射線吸収によりプラグ内に発生する熱を除去し、プラグ表面温度を 70°C 以下に保つように設計されている。

プラグを冷却する一次冷却系は閉ループである。ホールドアップタンク兼熱交換器内のイオン交換水は循環ポンプによりくみ上げられ、断水継電器、流量計および水位計を経て、プラグに送込まれる。プラグを冷却した水はプラグ出口の水位計を通り、再びホールドアップタンク兼熱交換器に入る。この熱交換器には水位計が備えられている。循環ポンプの出口には、フィルタ→イオン交換塔→ホールドアップタンク兼熱交換器へのバイパス弁が設けられている。一方、同じ場所に、緊急給水用電磁弁の出口が接続されている。

ホールドアップタンク兼熱交換器は、冷却水中に生じた ¹⁶N を壊変させるとともに、一次冷却水の除熱をコイル

状に流れる二次冷却水によりおこなう。二次冷却水には JRR-3 の炉過水を使用する。2 台の循環ポンプのうち 1 台は予備で、断水継電器からの流量減の信号により自動的に切換え運転がおこなわれる。2 台のポンプが停止した場合は、緊急給水弁が開き、JRR-3 高架水槽から給水される。3 個所に設けた水位計は各位置における水位を指示し、水位に変動がある場合は警報を発する。

3.3.1 ホールドアップタンク兼熱交換器

外形寸法

タンク	1006 φ×1509.2 ^H mm
内径	1000 mm
高さ	1200 mm
容量	940 l
材質	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)
円筒部板厚	3.2 mm
底部板厚	6 mm
熱交換器	
形式	コイル式
一次冷却水出口温度	35°C
二次冷却水入口温度	27°C
一次冷却水流量	43 l/min
二次冷却水流量	約 150 l/min
冷却容量	約 5300 kcal/hr
冷却管材質	配管用ステンレス鋼 27 種 (SUS 27 TP)
寸法	25 A×Sch. 20

3.3.2 循環ポンプ

	2 台
形式	渦巻型
容量	43 l/min×40 m
接液部材質	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)
電動機出力	5 kW, 200 V, 3 相, 50~
回転数	3000 rpm

3.3.3 緊急給水用電磁弁

	3 個
形式	直動式電磁弁
接液部材質	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)

3.3.4 断水継電器 (FA-1)

	1 個
定常流量	43 l/min
警報流量	上接点 30 l/min 下接点 5 l/min

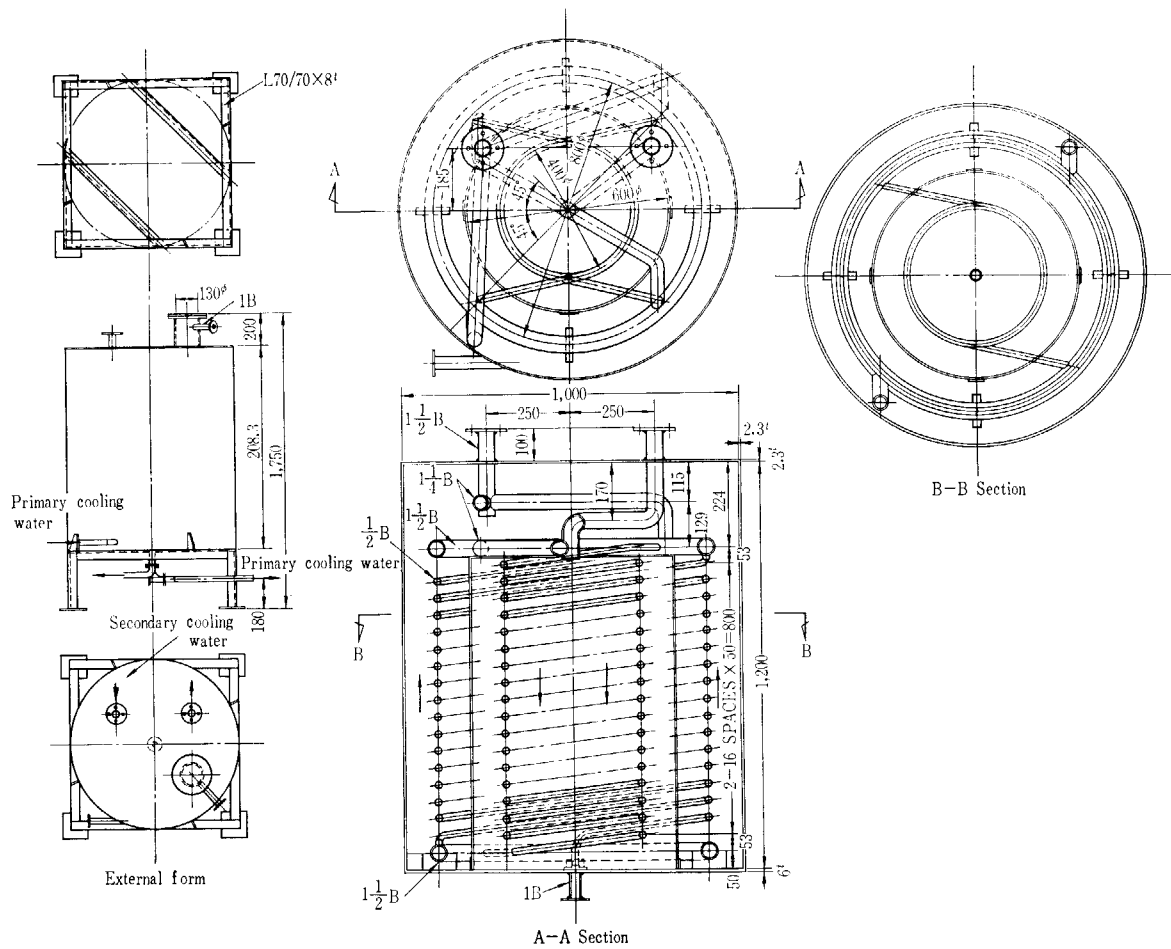


Fig. 11 Heat exchanger

用途 上接点 ポンプ切換え, ヒータ電源
 下接点 警報の発信
 警報およびスクラム信号
 の発信, ヒータ電源シャ
 断, 緊急給水弁開

形式	ダイヤフラム弁
寸法	1B
材質	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)
一次系電磁弁	2 個
形式	直動式電磁弁
寸法	1B
材質	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)
一次系空気抜弁	2 個
形式	玉形弁
寸法	1/8B
材質	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)
一次系逆止弁	2 個
形式	スイング式
寸法	1B
材質	ステンレス鋼 27 種 (SUS 27)
二次系手動止弁	2 個
形式	ダイヤフラム式
寸法	1½B
材質	ネズミ鋳鉄品 3 種 (FC 20)
二次系逆止弁	1 個
形式	スイング式
寸法	1½B
材質	青銅鋳物 2 種 (BC 2)

3.3.5 水位計

3 個
 形式 高精度フロート式
 精度 ±2 mm
 ディスプレーサの受ける浮力変化により液面を検知し,これを電気信号に変換し計装盤Dへ伝送指示される.

3.3.6 配管

一次冷却水系 配管用ステンレス鋼管 27 種
 (SUS 27 TP)
 寸法 1B
 二次冷却水系 配管用炭素鋼鋼管白管
 (SGP)
 寸法 1½B

3.3.7 弁類

一次系手動止弁 12 個

緊急給水用検水弁	1個
形式	玉形弁
寸法	1B
材質	青銅鋳物 (BC)

3.3.8 イオン交換塔

形式	モノベッド式
主要寸法	160φ×1080 ^H mm

3.3.9 流量計

形式	フロート式
最大流量	70 l/min
最小流量	6 l/min
材質	SUS 27 (サイドガラスはポリカーボネート)

3.4 試料部交換装置

本装置は試料部切断溶接装置およびカプセルオープナより構成される。試料部切断溶接装置は照射済試料部を内筒より切離し、新しい試料部をその切断箇所に溶接するための装置であり、切断装置、溶接装置、制御装置および電源部よりなる。切断装置および溶接装置は JRR-3 附属ホットケーブル内に、制御装置および電源部はホットケーブル外に設置されている。カプセルオープナは切離された試料部を更に細分するための装置であり、切断機および操作盤よりなる。切断機はホットケーブル内に、操作盤はホットケーブル外に設置されている。VC-3 実験孔から内筒を引抜き、ホットケーブル内の試料部切断溶接装置まで運搬する操作および新しい試料部が溶接された内筒を VC-3 実験孔に挿入する操作はすべて JRR-3 附属 RI キャスクを用いておこなわれる。

3.4.1 試料部切断溶接装置

1) 切断装置

本装置は照射済試料部と内筒とをグラインダにより切離すためのものである。切断される管は、材質 SUS 27、外径 10.5^{+0.1}mm、厚さ 1mm である。

- グラインダアームアセンブリ
グラインダ : 12.7φ×100φ×1' mm
グラインダ回転数: ステンレス用, 600 rpm
グラインダ駆動電動機: 400W, 2極, 3相, 200V
- クランプアームアセンブリ
ワーククランプエアシリンダ: 50mmφ×20 ストローク
アーム回転電動機: 5 kg-cm, 4極, トルク電動機 3相, 200V
- サドルアセンブリ
サドル昇降範囲 : 100 mm

昇降用電動機 : 5 kg-cm, 4極, トルク電動機 3相, 200V

d) コラムアセンブリ

2) 溶接装置

本装置は新しい試料部を内筒に溶接するもので、トーチ回転円周水平溶接をおこなう。

- トーチ: 大阪変圧器 HW-9 型ヘリアークトーチ
- 上部アームアセンブリ
ワーククランプエアシリンダ: 50mmφ×20 ストローク
トーチ回転用電動機: DC 120W
トーチ回転速度 : 3~60 rpm, 無段変速
トーチ前後調整範囲: 20 mm
アーム昇降範囲 : 100 mm
アーム昇降用電動機: 5 kg-cm, 4極, トルク電動機 3相, 200V

c) 下部アームアセンブリ

- ワーククランプエアシリンダ: 50mmφ×40 ストローク
ストッパ調整範囲: 80 mm
アーム昇降範囲 : 100 mm
昇降用電動機 : 5 kg-cm, 4極, トルク電動機 3相, 200V

d) コラムアセンブリ

3) 制御装置

本装置は切断装置および溶接装置の制御をおこなう。

- 制御箱
エレクトロニックガバナ
クレータフィラ用可変抵抗器
タイマ
リレー
- 操作盤
電圧計
電流計
溶接速度計
押ボタンスイッチ
表示灯

4) 電源部

電源部は溶接装置に直流電源を供給する。

- 大阪変圧器 FRM-130 型直流アーク電源
一次電源 : 3相, 200V
一次電流 : 27A
二次無負荷電圧 : 65V
出力電流 : 130A
- 大阪変圧器 FRM(S)-500 型直流アーク電源
一次電圧 : 3相, 200V
一次電流 : 107A
二次無負荷電圧 : 66V
出力電流 : 500A

3.4.2 カプセルオプナ

本装置は切断された試料部を shear cutting 方式で細分する。切断できるステンレス鋼管は、外径 76 mm および 24 mm の二種類である。

- 1) 切断機
 - a) 試料部回転機構
 - b) カッタ送り機構
 - c) 切断位置調整機構
 - d) 切断位置検出器
- 2) 操作盤
 - a) 電源
 - b) 押ボタンスイッチ
 - c) 表示灯

3.5 計測制御装置 (Fig. 12 A, B 参照)

計測制御装置は本ループの運転状態を連続的に指示記録して実験条件を示すとともに安全性を確保するために下記の機能を有する。

- 1) 試料部試験片温度の記録調節
- 2) ループ各部の温度 (6 箇所) の記録警報
- 3) ループ内圧力の記録調節警報
- 4) ループ内各部の圧力指示および警報
- 5) ヘリウムガス流量の指示調節
- 6) 冷却水流量の警報
- 7) 安全回路
- 8) 異常が発生した場合のスクラム信号の発信

以上の計測制御装置の内現場指示計、検出端等はループ各部に、記録計、調節計安全回路等は 4 面の移動用パネルに収容してループテスト室に配置してある。

制御および計測装置は次の機器によって構成されている。

3.5.1 制御盤 A

装置運転用各電源が収容されている。

パネル

寸法 630×961×1739^Hmm

材質 鋼板および形鋼製

収容機器

- 1) 電圧計 AC 150 V 1 式
AC 300 V 1 式
およびノーフェーズブレーカ 2 式
- 2) ヘリウム純化装置用および真空ポンプ (A) 用スイッチ 1 式
- 3) B 盤へのコネクタ 1 式

3.5.2 制御盤 B

試料部ヒータの制御用計器が収容されている。

パネル

寸法 630×961×1739^Hmm

材質 鋼板および形鋼製

収容機器

- 1) 温度記録調節計 1 式
試料部の温度記録、調節および警報をおこなう。
測定点 試験片中心温度 1 点
計器 全電子管式記録調節計
レンジ 600°C~1400°C
精度 ±0.5% (計器のみ)
調節動作 P. I. D. 動作
制御装置 2.2 kW 可飽和リアクトル
検出端 2 心 Pt-PtRh エアロパック熱電対 1 本
- 2) ヒータ操作器
スイッチおよび表示灯 1 式
電流計 1 式
- 3) 真空ポンプ (B) (C) 用スイッチ 1 式
- 4) A 盤, C 盤へのコネクタ 1 式

3.5.3 制御盤 C

各点における温度の記録警報計、圧力記録調節計および警報表示灯、リレー箱等が収容されている。

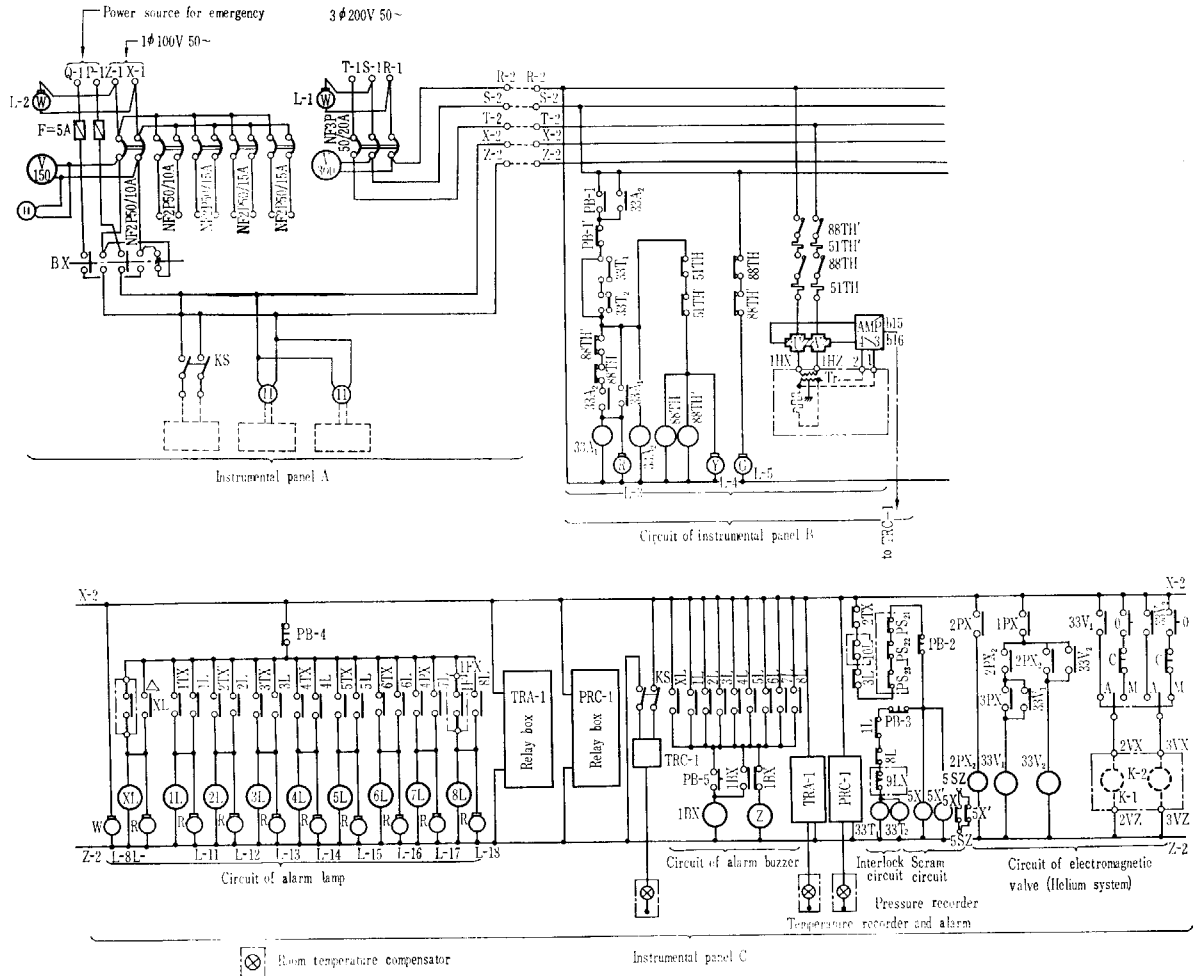
パネル

寸法 630×961×1739^Hmm

材質 鋼板および形鋼製

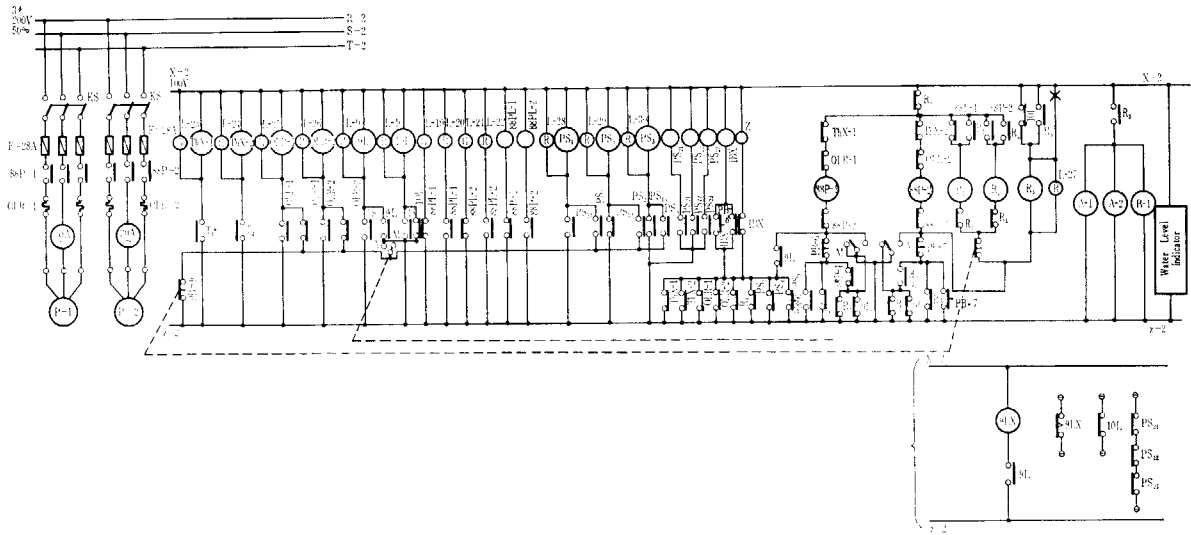
収容機器

- 1) 温度記録警報計 (6 点式) 1 式
測定点 プラグ外筒水ジャケット内壁温度 1 点
プラグ冷却水出口温度 1 点
プラグ外筒水ジャケット外壁温度 1 点
試料部外壁温度 1 点
試料部上端温度 1 点
試料部ヒータ表面温度 1 点
計器 電子管式自動平衡 6 点温度記録警報計
精度 フルスケールの ±0.5% (計器のみ)
レンジ クロメル-アルメル熱電対 5 点→ 0~600°C
白金-白金ロジウム熱電対 1 点→ 0~1200°C
警報 選別警報
検出端 クロメル-アルメルエアロパック熱電対 5 本
白金-白金ロジウムエアロパック熱電対 1 本
- 2) 圧力記録調節計
ループ内のガス圧力を一定に調節するものである。



- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> XL Spare relay IF Reactor scram 1TX Temperature of heater surface, above 1200°C 2TX' Temperature of outer wall of cooling water jacket, above 60°C 2TX Temperature of outer wall of cooling water jacket, above 70°C 3TX Temperature of cooling water, above 60°C 4TX Temperature of inner wall of cooling water jacket, above 100°C 5TX Temperature of upper panel of specimen chamber, above 350°C 6TX Temperature of chamber cylinder, above 700°C 4PX Pressure of helium gas, above 0 kg/cm²G 33A Delayed relay 5X' Auxiliary relay 5X Relay for sending scram TRC-1 Temperature recorder and controller 1PX Above 450 mmHg (Pressure of surge tank) 2PX Above 460 mmHg (Pressure of surge tank) 3PX Above 470 mmHg (Pressure of surge tank) K-1 Electromagnetic valve K-2 Electromagnetic valve 9LX Time limit relay Tr Saturable reactor Tr Transformer 88TH Electromagnetic switch 88TH' Electromagnetic switch 51TH Thermal-overload relay 51TH' Thermal-overload relay | <ul style="list-style-type: none"> Amp Amplifier Z Buzzer 1BX Buzzer reset relay BX Switch PS_{21~23} Pressure switch for sending scram L-1 Display lamp of AC 200 V L-2 Display lamp of AC 100 V L-3 Display lamp of heater trouble L-4 Display lamp of heater on L-5 Display lamp of heater off L-8 Display lamp of AC 100 V L-9 Display lamp of flow rate of cooling water, below 30 l/min L-10 Display lamp of flow rate of cooling water, below 5 l/min L-11 Display lamp of heater temperature, above 1200°C L-12 Display lamp of outer wall of cooling water jacket, above 60°C L-13 Display lamp of cooling water temperature, above 60°C L-14 Display lamp of inner wall of cooling water jacket, above 100°C L-15 Display lamp of upper panel of specimen chamber, above 350°C L-16 Display lamp of temperature of chamber cylinder, above 700°C L-17 Display lamp of pressure of helium gas, above 0 kg/cm² G L-18 Display lamp of reactor scram LX Spare display lamp |
|---|--|

Fig. 12 A. Electrical control schematic



KS	Knife switch		
P-1, P-2	Feed pump	L-25	No. 2 winding Display lamp of over-current of feed pump No. 1
88P-1, 88P-2	Electromagnetic switch	L-26	Display lamp of over-current of feed pump No. 2
OLR-1, OLR-2	Thermal-overload relay	L-27	Display lamp of electromagnetic valve
ThX-1, ThX-2	Auxiliary relay for protecting winding	L-28}	Display lamp of pressure of helium gas, 600 mmHg
T ₁ , T ₂	Thermostat of feed pump	L-29}	
		L-30}	
88PL-1, 88PL-2	Auxiliary relay of electromagnetic switch	L-9	Display lamp of flow rate of cooling water, below 30 l/min
1S'	Below 30 l/min of cooling water	L-10	Display lamp of flow rate of cooling water, below 5 l/min
1S	Below 5 l/min of cooling water	R ₁	Auxiliary relay
1BX	Buzzer reset relay	R ₂	
Z	Buzzer	R ₃	
PB-6~9	Switch	PS _{11~13}	Pressure switch for alarm
L-19	Display lamp of feed pump No. 1 in suspension	PS _{21~23}	Pressure switch for sending scram
L-20	Display lamp of feed pump No. 1 in operation	PS _{1~3}	Auxiliary relay for pressure switch
L-21	Display lamp of feed pump No. 2 in suspension	9L	Relay
L-22	Display lamp of feed pump No. 2 in operation	9LX	Time limit relay (On delay relay 5~10sec)
L-23	Display lamp of over-heat of feed pump No. 1 winding	10L	Relay
L-24	Display lamp of over-heat of feed pump No. 2 winding		

Fig. 12 B Electrical control schematic

- | | | | |
|------|-----------------------------|--|-------------------------------|
| 測定点 | サージタンク (炉外装置 I 内) | 試料部温度 | 1200°C 以上 |
| 計器 | 電子管式大型記録調節計 | 試料部上端壁温度 | 350°C 以上 |
| レンジ | -0.5~0 kg/cm ² G | 試料部外壁温度 | 700°C 以上 |
| 精度 | フルスケールの ±1% (計器のみ) | プラグ外筒水ジャケット内壁温度 | 100°C 以上 |
| 調節動作 | 3 位式 on-off 動作 | 無停電電源故障 | 停電 |
| 制御装置 | 1/2B 電磁弁 2 個 | 圧力調節用電磁弁操作オートマチック, マニュアル切替スイッチおよび電磁弁開閉スイッチ | ブザーを止めるリセットボタンおよび警報表示灯リセットボタン |
| 検出端 | 圧力変換器 | | |
- 3) リレー箱
 圧力調節, 温度警報, 流量警報, 原子炉スクラム, インタロック, その他の警報, 原因指示の諸動作をおこなう回路が収容されている。
- 4) 警報表示灯および各種操作器
 下記の表示灯および操作器が設けられている。
 原子炉スクラム
 プラグ水ジャケット外壁温度 60°C 以上および 70°C 以上
 プラグ冷却水温度 60°C 以上
 ループ内圧力 600 および 700 mmHg 以上
- 5) D盤, JRR-3 のスクラム回路への接続コネクタ
- 3.5.4 制御盤 D
 水位計, 電流計, 循環ポンプ起動停止スイッチ, 各種警報表示灯, リレー箱等が収容されている。
- | | |
|-----|------------------------------|
| パネル | |
| 寸法 | 630×961×1739 ^H mm |
| 材質 | 鋼板および形鋼製 |

収容機器

1) 水位計	3 式
測定点	
一次冷却水プラグ入口水位	1 点
一次冷却水プラグ出口水位	1 点
ホールドアップタンク兼熱交換器水位	1 点
形式	フロート式
レンジ	0~250 mm
2) 電流計	2 個
レンジ	0~30 A, AC 200 V, 50 \sim
等級	2.5 級

3) 警報表示灯および各種操作器

下記の表示灯および操作器が設けられている。

- 一次冷却水流量 30 l/min 以下
- 一次冷却水流量 5 l/min 以下
- ヘリウム系内圧力 600 mmHg 以上
- 一次冷却水水位低下

電磁弁切換動作

循環ポンプ起動・停止スイッチ, 循環ポンプ操作オートマチック・マニュアル切換スイッチ, ブザーを止めるリセットボタンおよび警報表示灯リセットボタン

4. 安全対策

4.1 安全機構 (Fig. 5, Fig. 12A, B 参照)

本装置の計測系には警報装置を設け、温度、流量、圧力および放射線レベル等が所定の値を越えた場合にはブザーが鳴り、それぞれ別々の赤色表示灯が点灯し、各原因を選別指示して運転員の注意をうながすように設計されている。

本ループに設けた各種機器、操作器および警報器等の間には密接な関連を持たせてあり、誤操作による事故を防ぎ安全かつ確実に運転できるように、これら関連設備

の間にインタロック回路を設けている。

本ループは原子炉に挿入するため、装置の安全性が原子炉の安全性に関連することになる。したがって上記警報装置以外にスクラム回路を設け、重大事故が発生する前に自動的に原子炉をスクラムするように設計されている。スクラム信号の検出端は計器類の故障を十分考慮して設けられ、考えられる事故について少なくとも3個所からスクラム信号を独立に発する。これらの安全機構をまとめて TABLE 2 に示す。

TABLE 2 の各項目について以下に説明を加える。

- 1) プラグ外筒水ジャケット内壁温度 100°C 以上 (TRAI-1)

TABLE 2 制御関係安全機構表

	接点	ブザー	表示灯	スクラム信号	ヒータ断	ポンプ交換	緊急弁開閉用電磁	電源切換	ガ電磁出口弁
1) プラグ外筒水ジャケット内壁温度 (TRAI-1) 100°C 以上	4TX	4L	L-14						
2) プラグ冷却水出口温度 (TRAI-2) 60°C 以上	3TX	3L	L-13	{5X 5X'}	{33 T ₁ 33 T ₂ }				
3) プラグ外筒水ジャケット外壁温度 (TRAI-3) 60°C 以上	2TX'	2L	L-12						
4) プラグ外筒水ジャケット外壁温度 (TRAI-3) 70°C 以上	2TX			{5X 5X'}	{33 T ₁ 33 T ₂ }				
5) 試料部ヒーター表面温度 (TRAI-4) 1,200°C 以上	1TX	1L	L-11				{33 T ₁ 33 T ₂ }		
6) 試料部上端壁温度 (TRAI-5) 350°C 以上	5TX	5L	L-15						
7) 試料部外壁温度 (TRAI-6) 700°C	6TX	6L	L-16						
8) 冷却水 (FA-1) 30 l/min 以下	1S'	9L	L-9		{33 T ₁ 33 T ₂ }	{88 P ₁ 88 P ₂ }			
9) 冷却水 (FA-2) 5 l/min 以下	1S	10L	L-10	{5X 5X'}	{33 T ₁ 33 T ₂ }		R3		
10) 水位計 (炉上面 1) (炉上面 2) (熱交換器上面)		○ ○ ○	○ ○ ○						
11) ループ内圧力 PS ₁₁ (600 mmHg 以上) PS ₁₂ (600 mmHg 以上) PS ₁₃ (600 mmHg 以上)	PS ₁₁ PS ₁₂ PS ₁₃	PS ₁ PS ₂ PS ₃	L-28 L-29 L-30						
12) ループ内圧力 PS ₂₁ (700 mmHg 以上) PS ₂₂ (700 mmHg 以上) PS ₂₃ (700 mmHg 以上)	PS ₂₁ PS ₂₂ PS ₂₃			{5X 5X' 5X' 5X' 5X' 5X'}	{33 T ₁ 33 T ₂ 33 T ₁ 33 T ₂ 33 T ₁ 33 T ₂ }				
13) ヒータ過負荷	51TX		L-3			{88 TH 88 TH'}			
14) 停電						{33 T ₁ 33 T ₂ }		B X	
15) 無停電電源故障				{5X 5X'}					
16) 原子炉スクラム信号の発信	1F	8L	L-18			{33 T ₁ 33 T ₂ }			
17) 廃ガス放射能レベル 10 ⁻⁷ μCi/cc 以上			○						K-3

- ブザーが鳴り赤色表示灯がつく。
- 2) プラグ冷却水温度 60°C 以上 (TRAI-2)
ブザーが鳴り、赤色表示灯がつく。同時にヒータが切れスクラム信号を出す。
 - 3) プラグ外筒水ジャケット外壁温度 60°C 以上 (TRAI-3)
ブザーが鳴り赤色表示灯がつく。
 - 4) プラグ外筒水ジャケット外壁温度 70°C 以上 (TRAI-3)
プラグ表面温度がさらに上昇し、70°C に達すると、ヒータが切れ原子炉をスクラムする。
 - 5) 試料部ヒータ表面温度 1200°C 以上 (TRAI-4)
ブザーが鳴り、赤色表示灯がつく。ヒータが切れる。
 - 6) 試料部上端壁温度 350°C 以上 (TRAI-5) ブザーが鳴り、赤色表示灯がつく。
 - 7) 試料部外壁温度 700°C 以上 (TRAI-6)
ブザーが鳴り、赤色表示灯がつく。
 - 8) 冷却水流量の減少 (30 l/min 以下) (FA-1)
ブザーが鳴り、赤色表示灯がつく。ヒータが切れポンプが切替わる。
 - 9) 冷却水流量の減少 (5 l/min 以下) (FA-2)
ブザーが鳴り、赤色表示灯がつき、ヒータが切れる。同時に原子炉をスクラムし、緊急用冷却水が流れる。
 - 10) 水位計
規定値を越えると赤色表示灯がつき、ブザーが鳴る。
 - 11) ループ内圧力 600 mmHg 以上 (PS₁₁, PS₁₂, PS₁₃)
ブザーが鳴り、赤色表示灯がつく。
 - 12) ループ内圧力 700 mmHg 以上 (PS₂₁, PS₂₂, PS₂₃)
原子炉をスクラムし、ヒータが切れる。
 - 13) 試料部ヒータ過負荷
同ヒータが切れる。
 - 14) 停電時は計器電源のみ無停電電源と切換えられ、冷却水ポンプは非常用電源に切換えられる。
 - 15) 無停電電源故障
原子炉をスクラムする。
 - 16) 原子炉スクラム信号の発信
ブザーが鳴り、赤色表示灯がつき、ヒータが切れる。
 - 17) 廃ガス放射能レベルが許容値 ($10^{-7}\mu\text{Ci/cc}$) 以上電磁弁閉。

廃ガス貯槽より排気ダクトにヘリウムガスを排出する場合、許容線量以下にならない場合には排出できないようにする。

なお、電源が1度 (off) となると再び (on) のポ

タンを押すまではヒータは (on) にならない。

4.2 シャへい*

プラグ内外筒には前述のようにボラール板、鉛、重モルタルが埋めこまれ、炉内の中性子、 γ 線などの放射線の外部への漏洩を防いでいる。(プラグ内筒および外筒の項参照)

プラグ内外筒の他に、ホールドアップタンク兼熱交換器、イオン交換塔、廃ガス貯槽、ガスクロマトグラフ分析部、テプラポンプ、排気モニタ検出部などは放射性物質が滞留するので、ループテスト室内の一部に重コンクリートブロックによりシャへいされた区域を設け、このシャへい区域内に上記機器が格納されている。シャへい壁には鉛ガラス製シャへい窓2個を取付け、内部の監視ができるようにし、また定常運転時に操作を必要とする弁は連結棒を用い、シャへい壁の外側で操作できるようになっている。

炉外装置Ⅱ、Ⅲのうちキセノントラップおよびクリプトントラップは、それぞれ厚さ 100 mm および 200 mm の鉛のブロックにより、シャへいされている。

JRR-3 機械室壁 6 インチスリーブから出てくる 1 次冷却水出口管、ヘリウム管および各炉外装置の間を連絡するヘリウム配管は、厚さ 50 mm の鉛でシャへいされている。

仕様

ループテスト室内シャへい壁

材質	磁鉄鉱重コンクリートブロック
比重	3.5
厚さ	600 mm
出入口扉	車輪付重コンクリートスクリーン
材質	磁鉄鉱重コンクリートブロック
比重	3.5
厚さ	200 mm

各トラップシャへい材質

材質	鉛
厚さ	100 mm および 200 mm

配管シャへい

材質	鉛
厚さ	50 mm

4.2.1 プラグのシャへい計算

プラグ本体については、ほぼ同じ形のプラグについての JRR-3 設計計算書^{*)}があり、ここで取扱っているプラグがこの計算書のプラグと異なる点は、プラグ内部から旋ダクトが挿入されていることである。したがって本プラグの計算では、JRR-3 設計計算書結果のうち使用可能なものは、なるべく利用し、核常数、その他も上記計算書の値を使用した。なおら旋ダクト・アナラス間隙等

* シャへいの計算は日本原子力事業株式会社に依頼した。詳細は安全審査資料「核分裂ガス拡散ループ遮蔽計算書」および 1), 3) 参照

に対する計算は安全側に見積るような計算式を用いた。

1) 円柱プラグ (Fig. 13 参照)

しゃへい体の寸法は、外筒を計算対象としてボイドを無視する。

なお、下図は重モルタル部分の外筒しゃへい体の寸法である。

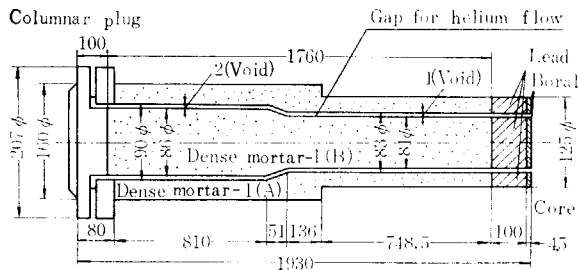
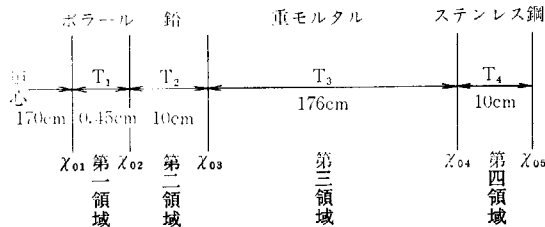


Fig. 13 Shield of plug



上図、点 x_{01} の中性子束、 γ 線束の値は JRR-3 設計計算書の値を用いた。

すなわち

$$\begin{aligned} \text{速中性子束 } \phi_1(x_{01}) &= 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec} \\ \text{熱中性子束 } \phi_2(x_{01}) &= 4.5 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec} \\ \gamma \text{ 線束 } \phi_\gamma(x_{01}) &\begin{cases} 8 \text{ MeV: } 1.4 \times 10^{12} \gamma/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \\ 5 \text{ MeV: } 3.0 \times 10^{11} \gamma/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \\ 2 \text{ MeV: } 1.5 \times 10^{12} \gamma/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \end{cases} \end{aligned}$$

TABLE 3 円柱プラグのしゃへい計算

		炉外部線量 (mrem/hr)
速中性子		1.09×10^{-3}
熱中性子		3.89×10^{-6}
一次 γ 線	炉心	8 MeV: 9.99
		5 MeV: 1.12
		2 MeV: 4.26×10^{-4}
二次 γ 線	第一領域	8 MeV: 3.81×10^{-3}
		5 MeV: 2.72×10^{-3}
		2 MeV: 2.04×10^{-5}
	第二領域	8 MeV: 1.08×10^{-4}
		5 MeV: —
		2 MeV: —
	第三領域	8 MeV: 2.28
		5 MeV: 3.40×10^{-2}
		2 MeV: 8.64×10^{-1}
	第四領域	8 MeV: 1.86×10^{-5}
		5 MeV: 1.29×10^{-5}
		2 MeV: 4.74×10^{-6}
総計		14.3

中性子、一次ガンマ線・二次ガンマ線の減衰計算をおこなった。結果を TABLE 3 に示す。

以上の計算結果で全線量率は 14.3 mrem/hr となり、8 MeV の一次ガンマ線束がその大部分である。

2) ヘリウムガスもどり管の影響 (Fig. 14 参照)

内筒にはヘリウムガス管をらせん状に埋込んである。この管内での散乱透過計算のためらせん管を多重ベントに近似し、中性子およびガンマ線の計算をおこなうと次の各線量率が得られる。

$$\begin{aligned} \text{速中性子: } &0.53 \times 10^{-13} \text{ mrem/hr} \\ \text{熱中性子: } &1.1 \times 10^{-10} \text{ mrem/hr} \\ \text{ガンマ線 8 MeV: } &2.4 \times 10^{-13} \text{ mrem/hr} \\ \text{5 MeV: } &2.9 \times 10^{-13} \text{ mrem/hr} \\ \text{2 MeV: } &1.8 \times 10^{-13} \text{ mrem/hr} \end{aligned}$$

らせん管の第2の効果 (密度減少) を 8 MeV の一次ガンマ線について求めると (ただし鉛の部分での減衰を無視する) 0.65 mrem/hr となる。したがってらせん管の密度効果の方が大きく管内散乱透過は無視してよい。

なお、上記の 0.65 mrem/hr の値は鉛の効果は無視しているため実際には1桁ないし2桁小さい。したがってヘリウムガス管からの漏洩放射線は十分無視できる。

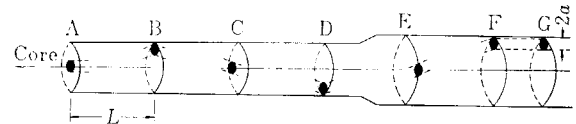


Fig. 14 Approximation of helium pipe

3) 冷却水管の影響 (Fig. 15 参照)

ヘリウムガス管と同じように計算すると散乱透過効果として次の値が得られる。

$$\begin{aligned} \text{速中性子: } &2.2 \times 10^{-11} \text{ mrem/hr} \\ \text{熱中性子: } &1.1 \times 10^{-11} \text{ mrem/hr} \\ \text{ガンマ線: } &\begin{cases} 8 \text{ MeV: } 6.4 \times 10^{-14} \text{ mrem/hr} \\ 5 \text{ MeV: } 9.0 \times 10^{-14} \text{ mrem/hr} \\ 2 \text{ MeV: } 1.3 \times 10^{-14} \text{ mrem/hr} \end{cases} \end{aligned}$$

密度減少効果

(鉛の効果は無視)

0.81 mrem/hr となる

(註) 以上ヘリウムガスもどり管および冷却水管の計算は実際のプラグより、これらの管のらせんピッチを大きく取ったので、線量率は計算値を下廻ることは確実である。

4) アナラスの影響 (Fig. 16 参照)

アナラスの図を Fig. 16 に示す。

A, B, ... E 領域とは P 点を通り、円筒軸に水平な平面上の空隙部分を指す。

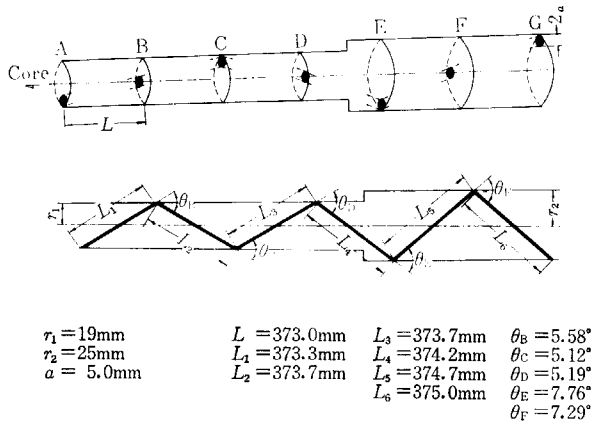


Fig. 15 Approximation of cooling water pipe

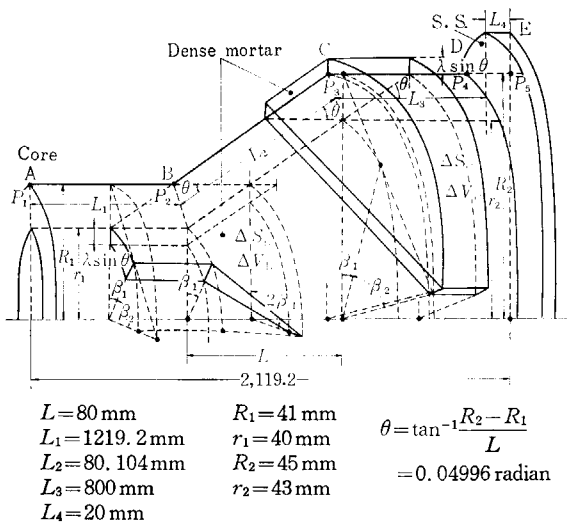


Fig. 16 Annulus (Enlarged figure of gap in Fig. 13)

TABLE 4 の計算で速中性子と熱中性子の減衰効果は同じものとしている。

TABLE 4 より、アナラスから洩れ出る放射能は 1.5 mrem/hr で速中性子の洩れが大きく、ガンマ線は無視できる。

TABLE 4 アナラスによる影響

		A	B	C	D	E	しゃへい 体外線量率 (mrem/hr)
		領域	領域	領域	領域	領域 (しゃへい 体外)	
速中性子束 ϕ_1 [n/cm ² ·sec]		1×10^{12}	2.34×10^6	5.19×10^4	8.00×10^1	6.93×10^1	1.32
熱中性子束 ϕ_2 [n/cm ² ·sec]		4.5×10^{12}	1.05×10^7	2.33×10^2	3.66×10^2	7.64×10^1	0.61
$E_0=8$ MeV $\mu=0.095$ (cm ⁻¹)	ϕ_γ [γ /cm ² ·sec] $\sigma(\theta)$ (barns) E' (MeV)	1.40×10^{12}	4.62×10^6 7.62×10^{-2} 7.84	2.47×10^3 7.62×10^{-2} 7.686	9.19×10^{-2}	5.74×10^{-2}	5.17×10^{-4}
$E_0=5$ MeV $\mu=0.1045$ (cm ⁻¹)	ϕ_γ [γ /cm ² ·sec] $\sigma(\theta)$ (barns) E' (MeV)	3.0×10^{11}	9.90×10^5 7.73×10^{-2} 4.94	4.91×10^2 7.73×10^{-2} 4.88	1.69×10^{-2}	1.04×10^{-2}	6.55×10^{-5}
$E_0=2$ MeV $\mu=0.148$ (cm ⁻¹)	ϕ_γ [γ /cm ² ·sec] $\sigma(\theta)$ (barns) E' (MeV)	1.5×10^{12}	4.95×10^6 7.85×10^{-2} 1.99	1.76×10^3 7.85×10^{-2} 1.95	4.35×10^{-2}	2.25×10^{-2}	7.20×10^{-5}
炉外線量率 [mrem/hr]							1.48

4.2.2 ホールドアップタンク兼熱交換器のしゃへい計算

ホールドアップタンクを ¹⁶N 172 mc (6.3 生成放射能の項参照) を帯びた冷却水が入っているホールドアップタンク等方有限円柱源とみなして計算した。

ただし、線吸収係数は以下の通りである。

γ -energy: 6 MeV

H₂O Fe Pb 重コンクリート
 μ (cm⁻¹) 0.0273 0.241 0.495 0.1025

タンク表面 P₁ (Fig. 17 における値)

ガンマ線束: $\phi_\gamma=6.24 \times 10^{14}$ (γ /cm²·sec)

線量率 : $D_\gamma=0.47$ (rem/hr)

厚さ 60 cm の重コンクリートしゃへい板後面 P₂ (Fig. 17) における値

ガンマ線束: $\phi_\gamma=22.7$ (γ /cm²·sec)

線量率 : $D_\gamma=0.17$ (mrem/hr)

炉室床面における値 P₃ (Fig. 17)

線量率 : $D_\gamma=0.017$ (mrem/hr)

4.2.3 キセノンおよびクリプトントラップのしゃへい計算

キセノンおよびクリプトントラップに捕集される放射性キセノンおよびクリプトンは、有限円柱状に分布するが漏洩放射能を求める場所は、線源から約 20 cm 離れているので安全のため線源は点状とし、線源から最短距離の点の放射能を求める。(Fig. 18)

以上により照射試験片に生成した核分裂ガスがトラップ内に捕集された場合、しゃへい上問題になる核種は比較的エネルギーの高いキセノン-135 (0.61 MeV; 9.13 hr), クリプトン-87 (1.9 MeV; 78 min) だけである。その値は鉛しゃへい体後面で

キセノントラップ ¹³⁵Xe: 4.0×10^{-4} mrem/hr

クリプトントラップ ⁸⁷Kr: 8.2×10^{-2} mrem/hr

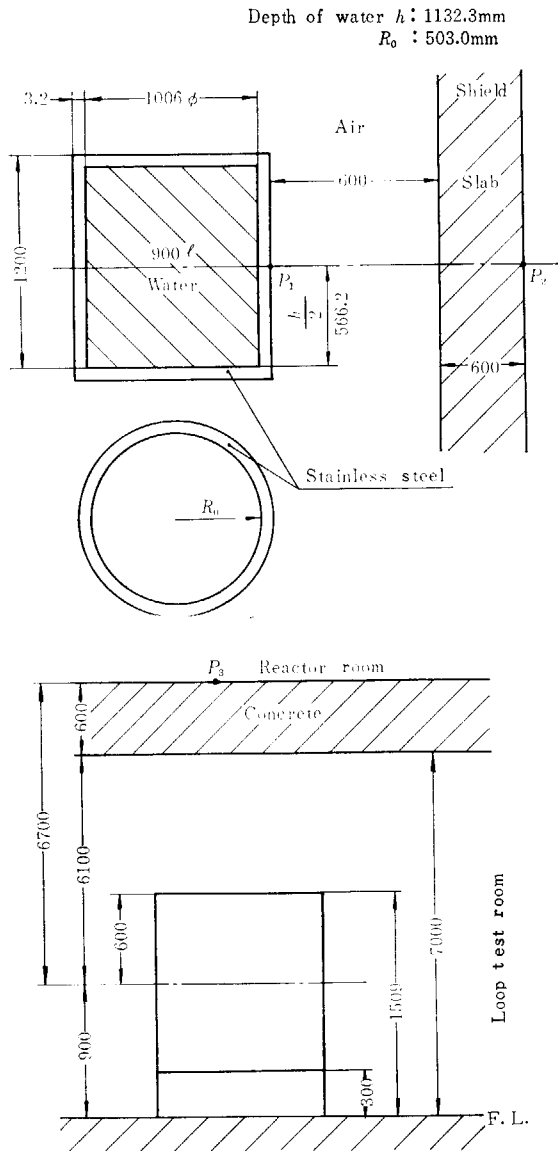


Fig. 17 Shield of heat exchanger

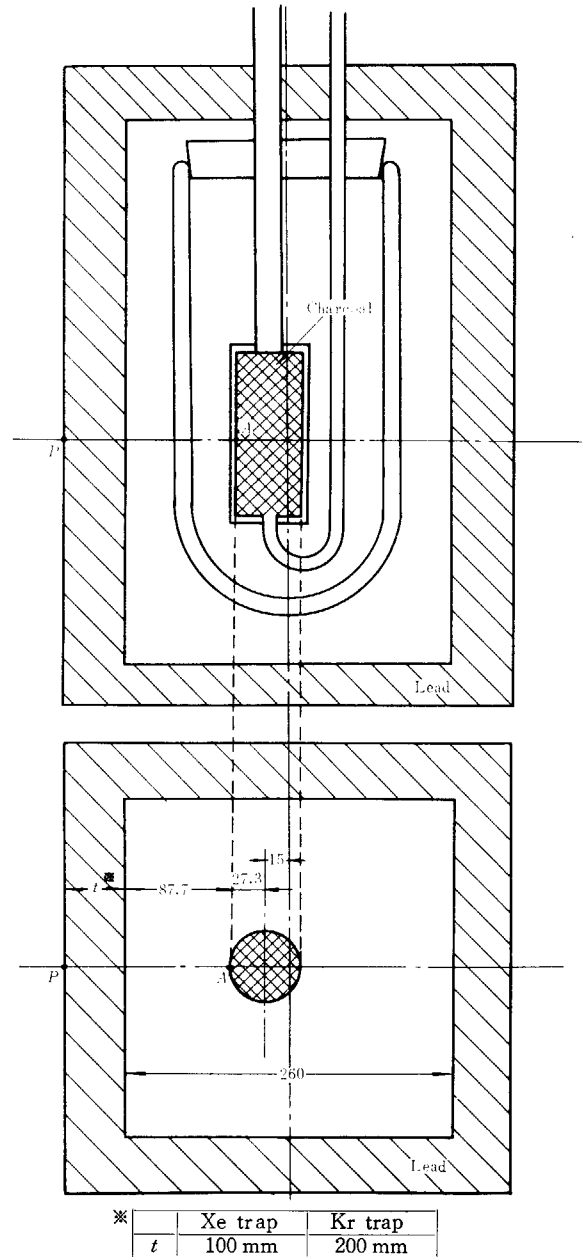


Fig. 18 Shield of xenon and krypton traps

TABLE 5 キセノントラップのしゃへい

	γ -線源 (mCi) 1g U, $\phi=10^{13}$ 10d照射 (ループ実験)	γ -線 ²⁾ エネルギー [MeV]	So 2x線源 [mCi]	Pbの μ^3 [cm ⁻¹]	Pb 10cm ¹⁾ に対するドーズ ビルドアップ 係数	P点(Fig. 18) の γ 線束 ϕ [photon cm ² ·sec]	線量換算 ³⁾ 係数: $K(E)$ [photon ·(mr/hr) cm ² ·sec]	P点の線 量率 (mr/hr)
Xe-131 m (12.0 d)	~0							
Xe-133 m (2.3 d)	5	0.233 (100%)	10	7.72	2.8 (0.5MeVの値)	0.709×10^{-29}	4.5×10^{-4}	0.322×10^{-32}
Xe-133 (5.27 d)	194	0.081 (100%)	388	11.35 (0.2MeVの値)	2.8 (0.5MeVの値)	0.469×10^{-42}	1.3×10^{-4}	0.609×10^{-46}
Xe-135 (9.13hr)	168	0.25 (97%)	325.92	6.75	2.8 (0.5MeVの値)	0.352×10^{-22}	5×10^{-4}	0.174×10^{-25}
		0.61 (3%)	10.08	1.41	4.7 (1.0MeVの値)	0.309	1.28×10^{-3}	0.401×10^{-3}
計								4.0×10^{-4}

TABLE 6 クリプトントラップのしゃへい

	γ -線束 [mc] 1g U, $\phi=10^{13}$ 10d 照射 (ループ実験)	γ -線 ²⁾ エネルギー [MeV]	So 2×線源 [mCi]	Pb の μ^3 [cm ⁻¹]	Pb 10 cm に ¹⁾ 対するドーズ ビルドアップ 係数	P点(Fig. 18) の γ 線束 Φ [$\frac{\text{photon}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec}}$]	線量換算 ³⁾ 係数: $K(E)$ [$\frac{\text{cm}^2 \cdot \text{sec}}{\text{photon}}$] · ($\frac{\text{mr}}{\text{hr}}$)	P点の線 量率 ($\frac{\text{mr}}{\text{hr}}$)
Kr-83 m (114m)	9	0.032 (100%)	18	11.35 (0.2MeV の値)	2.8 (0.5MeV の値)	1.11×10^{-92}	1.30×10^{-53}	2.84×10^{-96}
Kr-85 m (4.4 hr)	9	0.305 (22%)	3.96	4.43	2.8 (0.5MeV の値)	4.36×10^{-35}	4.78×10^{-24}	2.68×10^{-38}
		0.15 (78%)	14.04	11.35 (0.2MeV の値)	2.8 (0.5MeV の値)	8.66×10^{-99}	1.30×10^{-53}	2.23×10^{-97}
Kr-85 (10.3 y)	~0							
Kr-87 (78m)	60	0.41 (75%)	90	2.59	2.8 (0.5MeV の値)	1.06×10^{-17}	6.41×10^{-15}	8.94×10^{-21}
		1.9 (25%)	30	0.522	3.0 (2.0MeV の値)	2.66×10^7	7.73×10^{-5}	8.22×10^{-2}
Kr-88 (2.77 hr)	100	0.028 (68%)	200	11.35 (0.2MeV の値)	2.8 (0.5MeV の値)	1.23×10^{-92}	1.69×10^{-53}	4.10×10^{-96}
計								8.2×10^{-2}

となる。

天然ウラン 100 g を使用しても充分なしゃへい効果を有することがわかった。

4.3 事故時の安全解析

4.3.1 計測設備の故障

1) 熱電対の故障による事故

本ループの水系には、プラグ外筒水ジャケット内壁および外壁、プラグ冷却水出口また試料部には上端壁、外壁およびヒータ表面に熱電対検出端を取付け、常時温度を測定している。

これら計測系はインターロック回路、警報回路およびスクラム回路に接続してある。本系の一部が故障した場合にも十分安全が確保されるよう設計されている。

実際に熱電対検出端が故障する場合としては壁への接着不備または放射線損傷による性能劣下等が考えられる。この点を十分考慮して冷却水の温度測定点は3箇所より検出し1箇所の熱電対が故障しても他の2つの熱電対が働き、警報およびスクラム信号を発生する。特に熱電対に関しては高放射線下に取付けられるため、各測定箇所には1本の予備熱電対が取付けられている。万一熱電対が全部故障し、温度によるインターロック、警報およびスクラムが不可能になった場合でも冷却水の出口に設けた断水継電器より警報、インターロックおよびスクラム回路に信号が発せられ事故の発生を防止する。

2) 断水継電器の故障による事故

プラグ冷却系に設けた断水継電器は規定流量 (5l/min)

以下になった場合、警報回路、インターロック回路およびスクラム回路に信号が発せられる。もし継電器の故障により上記各信号が発せられない場合にも温度測定検出端より発せられた信号により原子炉はスクラムする。

4.3.2 核分裂ガスの漏洩対策

試験片からの核分裂ガスは原子炉本体の安全性には直接重大な影響はないが、運転員が核分裂ガスの漏洩箇所接近した場合、放射線の直射を受けることになり、運転員の安全性から当然万全の注意を払う必要がある。

1) 安全対策

a) ループ運転時

イ) ループは運転前に真空テストをおこない、漏洩のない (10^{-6} cc/sec 以下) ことを確認する。運転中ヘリウムガス流路系は減圧 (400~600 mmHg) にたもたれているので、たとえヘリウムガス流路系に小さなクラックが生じて、空気が系内に流入するだけで核分裂ガスが外部に漏洩するおそれはない。

ロ) ヘリウムガス流路系に大きなクラックを生ずることはほとんど考えられない。ヘリウムガス流路系に、実験中やや大きなクラックが生じたとする。そのときは外部より空気が流入し、系内圧力が次第に上昇する。その際、試料部の前後およびキセントラップ出口の3箇所に設けられた圧力スイッチは600 mmHg でアラーム信号を発し、700 mmHg でスクラム信号を発する。原子炉スクラムにより、核分裂ガスの生成はとまり、同時に試料部のヒータは切れ試験片からの核分裂ガスの拡散は急減する。したがって、問題となる核分裂ガスは、ヘリウム配管中に残留するもののみである。これらのガスを管内が1気圧に達する以前にへ

リウムによりトラップ類または廃ガス貯槽に導入すれば系外への漏洩はない。次に配管にクラックが生じた際の核分裂ガスの漏洩を下記の仮定のもとに検討した。

- 仮定 ①クラックは 0.5 cmφ
 ②廃ガス貯槽内圧力は 0.5 気圧
 ③核分裂ガスの残留する配管は、
 0.8 cmφ × 30 m
 (1.51 × 10³ ml)
 ④ヘリウム流量は 50 ml (STP)/min

$$P_1 v_1 = \frac{\pi(P_1^2 - P_2^2)}{16l\eta} a^4$$

ただし、 P_1 , P_2 は管内外の圧力、 v_1 は空気の流入速度

l は管の長さ

η は空気の粘性

a は穴の半径

より $v_1 \doteq 280$ ml/sec

ゆえに 1 気圧になるまでに要する時間は 30 min である。一方配管に残留する核分裂ガスをヘリウムによりトラップまたは廃ガス貯槽に導くに要する時間は約 30 min である。

この結果より配管に 0.5 cmφ 以下の穴を生じたとしても核分裂ガスの系外への漏洩は無視しうる。

(これ以上のクラックについては最大事故の解析結果を参照)

ハ) キセントラップおよびクリプトントラップにひび割れが生ずることはほとんど考えられない。万一あったとしても、寒剤または液体窒素で冷却されているので核分裂ガスは活性炭に吸着固定されている。予備のトラップに切換えることにより以後拡散してくる核分裂ガスは正常に固定される。したがって系外への漏洩はあり得ない。

b) ループ停止時

トラップに捕集した核分裂キセノンおよびクリプトンはループ運転停止時(ループ実験終了後)ただちに別に用意した廃棄用ステンレス鋼製トラップに移す。廃棄用トラップは鉛キャスクにおさめて廃棄物処理場に運搬する。したがって、トラップ破損による事故は起きない。

2) 試料部取換え時の漏洩

原子炉停止後は、燃料試験片中に含まれる核分裂生成物のうち、ほとんどの物質は室温で個体であるため試験片より拡散するものは、キセノン、クリプトン等の希ガスのみである。原子炉停止後放出される核分裂ガスは親核種より β 壊変したものだけと考えられる。

この親核種は半減期が短いため、短時間にキセノン、クリプトン等になる。これらのヘリウム流路系に残存する核分裂ガスは原子炉の停止後数時間ヘリウムガスをループ内に流すことにより除去される。この操作の後プラ

グ内筒と外筒を取外すので、試験片取換え時には、特に問題とする程の核分裂ガスの漏洩は考えられない。

4.3.3 プラグ冷却系の故障および破損による事故

1) 循環ポンプの故障および破損による事故

循環ポンプは安全のため、2台並列に設けられている。1台が故障し、冷却水流量が規定流量(30 l/min)以下になった場合には、系内に設けてある断水継電器(FA-1)からの信号により自動的に切換えられる。この場合試料部ヒータはインタロックにより切れる。ポンプが2台とも故障したり、停電のためモータが停止し、プラグ冷却水の流量が減少あるいは停止した場合には、系内に設けてある別の断水継電器(FA-2)からの信号によりインタロックされ、試料部ヒータが切れ、炉はスクラムする。この場合 JRR-3 高架水槽からの緊急冷却水が自動的に入り、試料部を冷却する。

2) 冷却水配管の破損による事故

本ループは、すべて 0.6 G の地震にまで耐えるよう設計がなされている。この耐震性は、原子炉本体と同程度であるので配管の破損等はほとんど考えられない。万一冷却水配管が破損し、冷却水の供給ができなくなっても、プラグ本体が垂直に挿入されているため、ジャケット部に冷却水約 5 l が残存する。原子炉はスクラムし、試料部ヒータは切れるので以後の加熱源としては decay heat のみとなる。

いま decay heat (²³⁵U 0.7 g; 240 W) による温度上昇を計算してみると、ジャケットの水は完全な断熱状態にあって、外部への熱の流出はないと仮定しても、20°C の冷却水 5 l が 100°C になるまでに約 2.5 時間かかり、6 時間後にも 450 ml の水が蒸気になるだけである。

外部へ流れる熱がないとの仮定でおこなった上述の計算結果からも外筒、内筒が melt down することはあり得ない。

また、試験片を 1000°C に保つには、約 300 W 必要という実験結果と、試験片を加熱するに有効な decay heat が約 240 W であることと比較すれば、試験片の温度は 1000°C になり得ないことは明らかである。

これらのことから、万一冷却水配管に破損を生じても大事故とはならない。なお、冷却水流量低下に際しては緊急冷却水が JRR-3 高架水槽より供給される構造となっている。

系外に漏出した水には ¹⁶O(n, p)¹⁶N により生じた ¹⁶N の放射能を含むがこの半減期は 7 秒であり数分間で壊変しつくす。したがって放射能による障害は考えられない。

4.3.4 考えられる最大事故

本ループの安全対策は、二重、三重に考慮されている。考えられる重大な事故として、これらの安全対策の故障が幾つか重複して起る確率はほとんど零に近いが、

考えられる最大の事故としては大きな地震などによるヘリウム配管破損を考えればよいであろう。

この場合の条件は次のとおりである。

- (1) 系内圧力上昇により炉はスクラムし、ヒータは切れる。
- (2) ヘリウム配管中に残存していた核分裂ガスが炉室内に拡がる。
- (3) 配管破損と同時に、配管内に炉室内空気が流入し、圧力が平衡に達してから核分裂ガスは拡散によって炉室内へ出て行く。しかし解析上は配管が完全に破断し、瞬時に核分裂ガスは炉室内に散逸するとする。
- (4) 着目する核種はキセノン、クリプトンである。したがって作業員に対する全身被ばくを考えればよい。

以上の条件で解析をおこなった結果を 4.3.4 の 1) に示す。結果としては最悪の事態においても作業員は 60 mrem 以上の被ばくを受けることはなく、天然ウラン 100 g 使用した場合も 6 rem 以上の被ばくをうけることはない。

キセノン、クリプトンのみに着目し、ヨウ素を考慮に入らなかったのは、その必要がないからで、その理由を 4.3.4 の 2) に示した。

1) 核分裂ガス拡散ループ事故解析

a) 事故条件

イ) 試験片は天然ウラン 1 g で、運転中これは 1000°C に加熱され 1×10^{13} n/cm²·sec の中性子束を受けている。

ロ) 240 時間の連続運転後 (運転停止直前)、ヘリウム配管が炉上面で破損する。

ハ) ヘリウム配管中に残存していたキセノン、クリプトンが瞬時に均一に炉室内に拡散する。

ニ) ヘリウム配管が破損すると同時に炉はスクラムし、ループのヒータは切れる。

b) 解析目的

イ) 換気なしの場合、炉室内の作業員が事故直後より受ける線量を知る。

ロ) 換気ありの場合、前項と同様の線量を知る。

c) 解析条件

イ) a 項で述べた各条件

ロ) 任意の時間に対する炉室内空気濃度は、炉室内のいかなる点においても同一である。

なお着目する核種はキセノン、クリプトンであるから全身被ばくを考えればよい。

d) 計算結果

イ) 放出される核分裂生成物とその放射能

ロ) 換気なしの場合、事故直後より炉室内作業員が受ける全身被ばく量 (R_1)

$$R_1 = \sum_i \left[\int_0^t \frac{1}{2} \cdot \frac{(C_{i0}) (3.7 \times 10^4) (\sum E) (1.6 \times 10^{-6})}{(1.00 \times 10^2) (1.2 \times 10^{-3})} \cdot \frac{P_t}{P_a} e^{-\lambda_i t} dt \right]$$

核種	放射能 (μ Ci)	初期炉室内比放射能 (μ Ci/cm ³)
^{133m} Xe	1.61×10^2	8.47×10^{-9}
¹³³ Xe	5.06×10^2	2.66×10^{-8}
^{135m} Xe	4.89×10^4	2.57×10^{-6}
¹³⁵ Xe	6.11×10^3	3.21×10^{-7}
¹³⁷ Xe	3.81×10^5	2.00×10^{-5}
¹³⁸ Xe	1.41×10^5	7.42×10^{-6}
¹³⁹ Xe	4.15×10^5	2.18×10^{-5}
^{85m} Kr	2.00×10^2	1.05×10^{-8}
⁸⁵ Kr	4.05×10^{-1}	2.13×10^{-11}
⁸⁷ Kr	1.31×10^4	6.89×10^{-7}
⁸⁸ Kr	1.11×10^4	5.84×10^{-7}
⁸⁹ Kr	3.07×10^5	1.61×10^{-5}
計	1.32×10^6	6.95×10^{-5}

$$\left. \frac{P_t}{P_a} e^{-\lambda_i t} dt \right]$$

R_1 : Dose rem

C_{i0} : Initial concentration of i nuclide

$\sum E$: $\sum f_i E_i + \sum f_i (E_i)_{av}$:

$$(E_i)_{av} = 0.33 E_i (1 - \sqrt{3}/50) (1 + \sqrt{E_i}/4)$$

Z : Atomic number of the radionuclide emitting the β -ray

f : Fraction of the disintegrations of the type considered

E : Maximum energy (MeV) of the type considered

P_t/P_a : 1.13 Stopping power of tissue relative to air

λ_i : Decay constant sec⁻¹

t : time (sec)

計算結果は Fig. 19 に示す。

ハ) 換気ありの場合、事故直後より炉室内作業員が受ける全身被ばく量 (R_2)

$$R_2 = \sum_i \left[\int_0^t \frac{1}{2} \cdot \frac{(C_{i0}) (3.7 \times 10^4) (\sum E) (1.6 \times 10^{-6})}{(1.2 \times 10^{-3})} \cdot \frac{P_t}{P_a} e^{-(\lambda_i + W/V)t} dt \right]$$

$$\left. \frac{P_t}{P_a} e^{-(\lambda_i + W/V)t} dt \right]$$

V : 炉室体積: 1.9×10^{10} cm³

W : 換気速度: 3.48×10^{10} cm³/hr

計算結果は Fig. 19 に示す。

e) 結論

Fig. 19 に示すように、換気なしの場合、事故直後より作業員が炉室内に連続して滞在しても 60 mrem 以上の全身被ばくを受けることはない。また換気ありの場合には 18.6 mrem 以上の全身被ばくを受けることはない。

また天然ウラン 100 g を使用したときは上述の条件でそれぞれ 6 rem, 1.86 rem 以上の全身被ばくを受けることはない。

2) 事故時ヨウ素が炉室内に放出されない理由

a) 過去数年間にわたる Post-irradiation 実験により、試験片から拡散してくる核分裂ヨウ素は、不活性

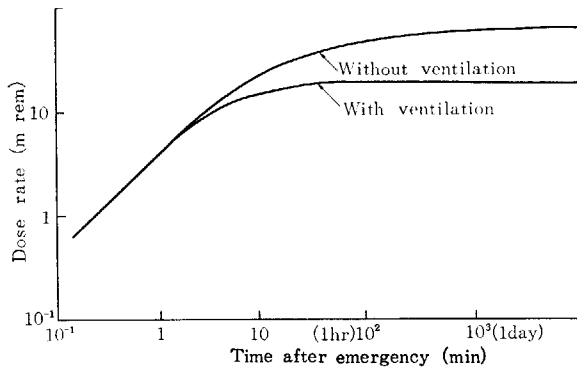


Fig. 19 Exposure dose after emergency

雰囲気では約 1000~500°C の温度で沈着する⁴⁾。

b) 試験片前後には α-アルミナ、銀メッキした銅網よりなるヨウ素捕集用インタナルトラップが設けてある。したがって試験片から拡散した核分裂ヨウ素はここで完全に捕集固定される。このことは ¹³¹I をトレーサとしておこなった実験により確認された⁵⁾。

c) 放出された核分裂ヨウ素はステンレス鋼管により炉外に導かれるので、ステンレス鋼との反応による固定も考えられる。

d) プラグ本体上部の約 2m の温度は 60°C を越えることはない。この温度はヨウ素の融点をしたまわるものである。

上記の理由により万一ヘリウム配管が炉上面で破損しても核分裂ヨウ素がプラグより系外に漏洩することはあ

り得ない。ここで参考のため幾分か核分裂ヨウ素が漏洩したとして全身被ばく量を計算してみる。

- (1) 天然ウラン: 100 g
- (2) 照射時間: 10 days
- (3) 中性子束: 1×10^{13} n/cm²·sec
- (4) 生成した核分裂ヨウ素のうち 1% が炉室へ漏洩したとする。これは実験結果からみて極めて安全側である。
- (5) 炉室へ漏洩した核分裂ヨウ素は瞬時に炉室内に均一に広がるものとする。
- (6) 各核種は壊変しないものとする。

核分裂ヨウ素の同位体は ¹³¹I~¹³⁵I を考慮しなければならない。各核種の上記条件下の炉室内濃度は、それぞれ 4.6×10^{-6} , 7×10^{-6} , 1.03×10^{-5} , 1.2×10^{-5} , 9.4×10^{-6} , μCi/cc である。JAERI 6011「日本原子力研究所の立地条件と放射線安全対策」⁶⁾によれば、ヨウ素同位体の中 ¹³¹I についての被ばく線量を求めれば他のヨウ素同位体による被ばく線量は無視しうる。したがって ¹³¹I の 1 μCi/hr/cc あたりの線量換算係数 1.85×10^6 を 4.6×10^{-6} μCi/cc に乗ずることにより、炉室の換気なしの場合 1 時間炉室に滞在したときの被ばく線量は、8.5 rem となる。換気ありの場合は 1 時間炉室にいた場合に約 3.6 rem の被ばくをうける。これらの値はそれぞれヨウ素の許容被ばく線量 30 rem/year (甲状腺線量) に対し) の約 1/3.5, 1/8 である。

5. 試験片および廃棄物の処理

5.1 トラップに捕集された放射性希ガス

照射実験終了時、放射性キセノンはキセノントラップに、放射性クリプトンはクリプトントラップに捕集されている。キセノントラップを熱湯で暖め、ヘリウムをキャリアガスに用いて、放射性キセノンをクリプトントラップに移す。クリプトントラップを液体窒素で冷却した状態で、バルブ、J-26~J-33 (Fig. 2 フロシット参照) を閉める。次にバルブ G-28 にヘリウムポンペを、バルブ G-27 に Fig. 20 の放射性ガス保存容器入口を真空用ゴムパイプにて結合する。放射性ガス保存容器を液体窒素で冷却し、クリプトントラップを熱湯で暖める。キャリアガスを 50~100 ml/min で流し、放射性キセノンおよびクリプトンを放射性ガス保存容器に移す。容器を液体窒素で冷却した状態で容器内を真空にし、出口、入口のバルブを閉める。なお、これらの放射性ガスの移動操作は、すべて炉外装置Ⅲのグローブボックス内にておこなう。

放射性ガス保存容器は鉛コンテナに入れた状態でグローブボックスより取出し、ホットラボラトリのホットケーブルに運ぶ。マニプレータを用いて放射性ガス保存容器を処理場指定のカートリッジ (140φ×200 mm) に格納する。このカートリッジを処理場の運搬用コンテナに入れて、処理場まで運搬し、地下格納倉庫に納める。

5.2 使用済み試料部

照射実験終了後、本ループの全ガス系路にヘリウムを流し、系内の核分裂ガスを完全に追出す。

次に RI キャスクを用いて、内筒を引抜き、代りに JRR-3 VC-3 実験孔にはしゃへいプラグを挿入する。内筒を格納した RI キャスクを炉上面から、JRR-3、ホットケーブル上面に移動し、内筒をホットケーブル内につす。続いて、ホットケーブル内に前もって設置してある遠隔操作式グラインダ切断機を用いて、試料部に近接した部分のヘリウム戻り管 (φ 10.5 mm, 厚さ 1 mm, ステンレス鋼パイプ) を切断する。内筒より切りはなされた試料部 (80φ×150 mm) は、ホットケーブル附属のトレイロッドを利用して、ケーブル内より取出し、同時に鉛コンテナに格納する。この鉛コンテナをホットラボラトリのホットケーブル内に移し、ここで照射済み燃料の検査および試験をおこなう。ホットラボラトリにおける検査

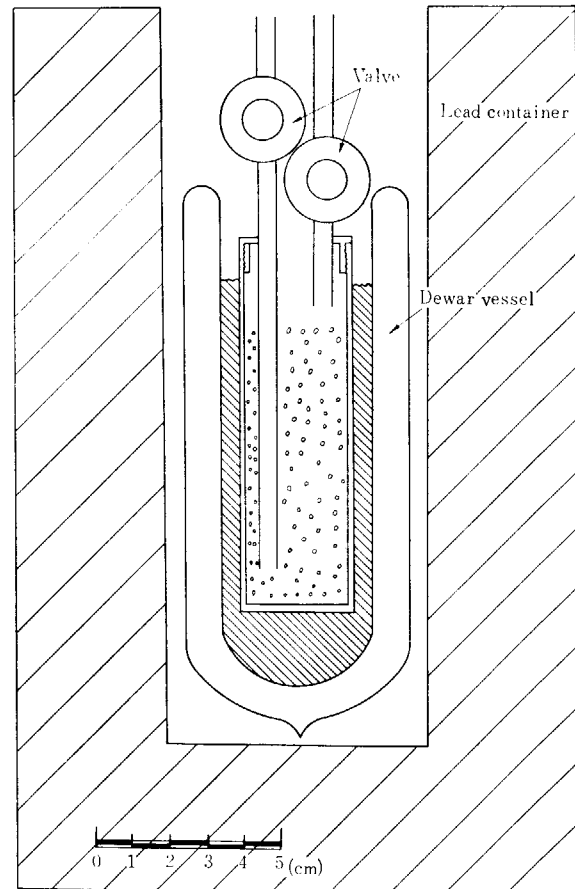


Fig. 20 Disposal vessel of radioactive gas

終了後、試料部は廃棄物処理場の運搬用鉛コンテナに入れて、処理場まで運搬し、処理場の地下格納倉庫内に納める。なお JRR-3 ホットケーブル附属のトレイロッドは最大容積 150×100×100mm のものしか取出すことができない。大型の試料部 (80φ×300 mm) を使用するさいは、この試料部の中間部 (80 mmφ の所) を JRR-3 ホットケーブル内にて、切断しなければならない。そのために、カプセルオープナを準備している。

5.3 ループ取りはずし時の対策

本ループは少なくとも数年間にわたって使用する予定である。ループ取りはずし時には、プラグ内外筒を JRR-3、RI キャスクにより VC-3 実験孔から抜きとり、JRR-3 ホットケーブルに移す。本ケーブル内にて、遠隔操作式ヘリアークにより寸断する。各切断部分はドラム缶中に重コンクリートで固定、しゃへいする。これを廃棄物処理場に運搬する。炉外装置には、放射能は残留することがないので危険はない。

6. 設計の基礎資料

6.1 余剰反応度消費量の測定

核分裂ガス拡散ループを、JRR-3, VC-3 実験孔に設置することが決定したとき、ループ・プラグが、どれほどの炉反応度を消費するかという問題が生じた。JRR-3 側は 0.2~0.4% の負の反応度を希望し、ループ設置側は、最悪の場合でも試料部の熱中性子束が、 $1 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 以下にならないことを希望していた。そこでダミー・プラグを作製して、プラグの消費反応度を測定した。

6.1.1 ダミー・プラグの設計と製作

ダミー・プラグとしては、本ループのプラグを完全に模擬することが望ましい。しかし実験目的および経済性などを考慮して、次のようなダミー・プラグを作製した。プラグ外筒の冷却水ジャケット内被覆 (SUS 27) は、本体と同一なものを作製した。冷却水ジャケット外被覆 (A2T1), 冷却水 (H₂O) および冷却水ジャケットスペーサ (SUS 27) は、熱中性子吸収について等価体積の SUS 27 を算出して、内筒の周囲に配置することにした。

次に等価体積の計算についてのべる。

熱中性子吸収断面積としては下記の値を採用した。

- ① A2T1 $\Sigma_{A1} = 0.0144 \text{ cm}^{-1}$
- ② SUS 27 $\Sigma_{SS} = 0.244 \text{ cm}^{-1}$
- ③ H₂O $\Sigma_W = 0.0222 \text{ cm}^{-1}$

以下の計算は単位長さ (10 mm) で考える。

各構成材の体積 (Fig. 21 A 参照) を計算する。

- ① A2T1 体積 V_{A1}

$$V_{A1} = \frac{\pi}{4} (128^2 - 121^2) \times 10 \doteq 13700 \text{ mm}^3 = 13.7 \text{ cm}^3$$

- ② SUS 27 体積 V_{SS}

$$V_{SS} = 3 \times 2 (121 - 90) \times 10 = 1860 \text{ mm}^3 = 1.86 \text{ cm}^3$$

- ③ H₂O 体積 V_W

$$V_W = \frac{\pi}{4} (121^2 - 90^2) \times 10 - 1860 \doteq 49500 \text{ mm}^3 = 49.5 \text{ cm}^3$$

次に等価体積 V を計算する。

$$V \Sigma_{SS} = V_{SS} \Sigma_{SS} + V_{A1} \Sigma_{A1} + V_W \Sigma_W$$

より

$$V = V_{SS} + \frac{V_{A1} \Sigma_{A1} + V_W \Sigma_W}{\Sigma_{SS}} = 1.86 + \frac{13.7 \times 0.0144 + 49.5 \times 0.0222}{0.244} \doteq 1.86 + 5.27 = 7.13 \text{ cm}^3$$

ダミープラグ内筒の厚さを増すことにより、ここに求められた体積を均一に分布させると、厚さ増加は約 2.5 mm となり、内筒板厚は 5.5 mm となる。しかし 5.5 mm 板のステンレス鋼板は市販されていない。特注することは非常に不経済となり、実験精度から考えて、上記体積に相当する板厚 3 mm の板 4 枚を Fig. 21 B に示すごとく、内筒の周囲に等間隔に配置するのが妥当と考えられる。1 枚の板の幅 W は

$$W = \frac{7.13}{0.3 \times 1 \times 4} = 5.94 \text{ cm} \doteq 59 \text{ mm}$$

したがって 4 枚の板の間隔 S は、板曲げによる伸縮を無視して

$$S = \frac{90\pi}{4} - 59 \doteq 70.7 - 59 = 11.7 \text{ mm}$$

となる。

それゆえダミープラグ内筒外筒に Fig. 21 B に示すように板厚 3 mm の SUS 27 の同型の板 4 枚を 11 mm の等間隔に配置する。

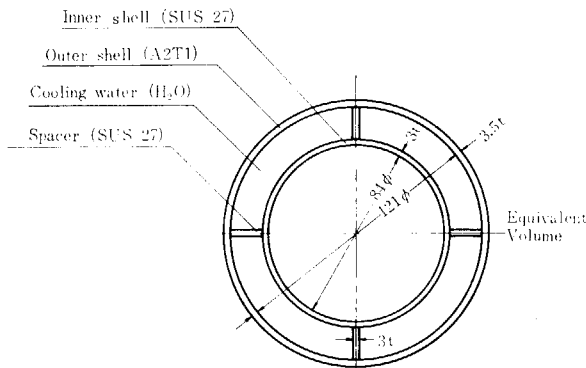


Fig. 21 A Section of cooling water jacket of genuine plug

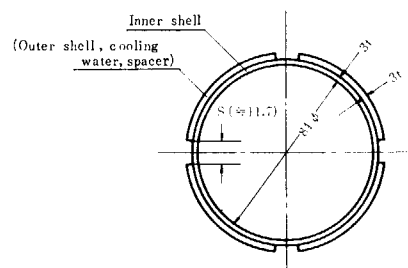


Fig. 21 B Section of dummy plug

6.1.2 ダミー・プラグによる余剰反応度消費量の測定

次の三種の制御棒パターンについて、反応度消費量を測定した。

Aパターン VC-3 実験孔の周りに制御棒が少ない場合

Bパターン VC-3 実験孔の周りに制御棒が多い場合

Cパターン AパターンとBパターンの中間の場合

反応消費量の測定は、制御棒の較正に用いられている正ペリオド法を用いた。得られた結果を次に示す。

Aパターン

プラグ全挿入での臨界点

全挿入 S-2, 6, 7, 12

全引抜き S-3, 4, 5, 8, 9, 10, R-13

S-1 1896 mm 引抜き

S-11 457 mm 引抜き (ただし位置指示計スリップのため正確なる位置不明)

S-14 450 mm 引抜き

プラグ引抜き距離 mm	S-1 位置	S-8位置	ペリオド T_D sec	反応度消費量 $\Delta\rho$ %	$\Sigma\Delta\rho$ %
0	1,896	2,099			0.845
225	1,896	1,110	8.1	0.27	0.575
438	1,896	655	20.99	0.198	0.377
680	1,666 S-1 0	0	18.5	0.175	0.202
1,800	S-11 434	0	13.95	0.202	0

Bパターン

プラグ全挿入での臨界点

全挿入 S-3, 4, 5, 9, 10

全引抜き S-2, 6, 7, 8, 11, 12, R-13

S-1 1485 mm 引抜き

R-14 450 mm 引抜き

プラグ全挿入→全引抜き $T_D=26.2$ sec

S-1 1350 mm→1485 mm $\Delta\rho=0.14$ %

Cパターン

プラグ全挿入での臨界点

全挿入 S-4, 9, 12

全引抜き S-2, 3, 5, 6, 7, 10, 11, R-13

S-1 1260 mm 引抜き

S-8 750 mm 引抜き

R-14 450 mm 引抜き

プラグ引抜き距離 mm	S-1 位置	T_D sec	反応度消費量 $\Delta\rho$ %	$\Sigma\Delta\rho$ %
0	1,260			0.34
220	1,115	47.8	0.096	0.244
528	955	49.3	0.094	0.150
1,229	845	59.9	0.082	0.068
0→1,800		5.15	0.34	—
0→1,019		6.9	0.29	—

以上の結果を Fig. 22 に示す。

ただし、Bパターンについては、Aパターンでの結果から比例するものとして求めた。

なお、重水温度 18°C

重水液面 3045 mm

である。

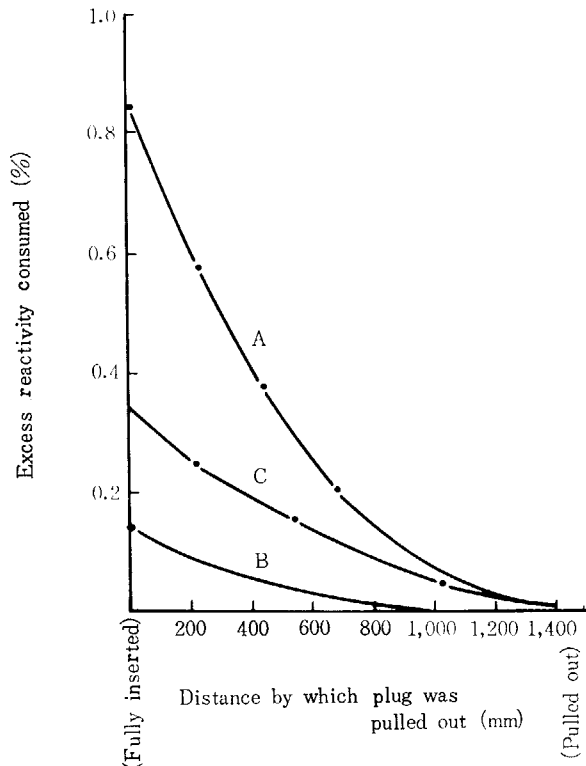


Fig. 22 Measurement of excess reactivity consumed by dummy plug

6.1.3 実験結果の検討

三種の制御棒パターンについて、プラグの挿入位置と反応度消費量の関係を Fig. 22 に示す。最も反応度消費量の大きいAパターンで、0.3%の反応度を消費するまでダミー・プラグを引抜いたとき (500 mm 引抜いたとき)、試料部のうける熱中性子束を実験結果および JRR-3 のデータ⁷⁾を基に計算した。ここで注意しなければならないことは、ダミー・プラグを 500 mm 引き抜いた場合、試料部は、それより約 190 mm 上にあることである。すなわち 500 mm 引き抜いたとき試料部の位置は、VC-3 実験孔の中央部より 500+190=690 mm 上部にある。

10 MW 運転時に、標準熱中性子束分布をしているとすると、VC-3 実験孔で中央部より 690 mm 上部の熱中性子束は $1.6 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ である。

制御棒のAパターンで標準熱中性子束分布ができるとするとBパターンおよびCパターンの場合は、それより低い熱中性子束となり、Bパターンの熱中性子束は最低で、これ以下の熱中性子束になることはない。実際には、Cパターンの場合に、標準熱中性子束分布をしてい

ると考えることが妥当である。反応度消費量は熱中性子束の2乗にきくと考えて、試料部のうける熱中性子束を計算した。結果を次表に示す。

表に示したように、試料部の熱中性子束がプラグを500 mm 引抜いた場所で $1 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 以下にはならないことが解った。それゆえAパターンで、0.3%の反応度を消費するだけ、プラグを引抜いた位置、すなわち試料部を VC-3 実験孔の中央部より 690 mm 上部に設置することにした。

	引抜き距離	反応度消費量 ρ %	Aパターンを標準分布とした場合の熱中性子束	Cパターンを標準分布とした場合の熱中性子束
	mm		$\text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$	$\text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$
Aパターン	500	0.3	$\phi = 1.6 \times 10^{13}$	$\phi' = \phi \sqrt{2} = 2.2 \times 10^{13}$
Bパターン	500	$0.05 \left(0.3 \times \frac{1}{6} \right)$	$\phi \times \frac{1}{\sqrt{6}} = 6.5 \times 10^{12}$	$\phi' = \phi \frac{1}{\sqrt{3}} = 9.3 \times 10^{12}$
Cパターン	500	$0.15 \left(0.3 \times \frac{1}{2} \right)$	$\phi \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 1.1 \times 10^{13}$	$\phi' = \phi = 1.6 \times 10^{13}$

6.2 中性子束の測定

前述のダミー・プラグを使用し、金箔、カドミウムでカバーした金箔および銅線をモニタとして使用し、中性子束測定を行なった。試料部に相等する附近のダミープラグに金箔を4枚、カドミウムでカバーした金箔を3枚、それぞれ適当な間隔を置いて固定し、また試料部先端相等位置から上部に向かって 176 cm の長さに銅線を固定した。JRR-3, VC-3 実験孔にて炉出力 100 W で1時間照射した後 $\beta\gamma$ 同時計数および γ 線計数により放射能を測定した。この放射能の値から各部の中性子束を常法により計算した。炉出力 10 MW 時の試料部の熱中性子束は $6 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 、外筒先端の熱中性子束 $7 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ であった。試料部およびプラグ各部の中性子束の測定結果をそれぞれ Fig. 23 および Fig. 24~25 に

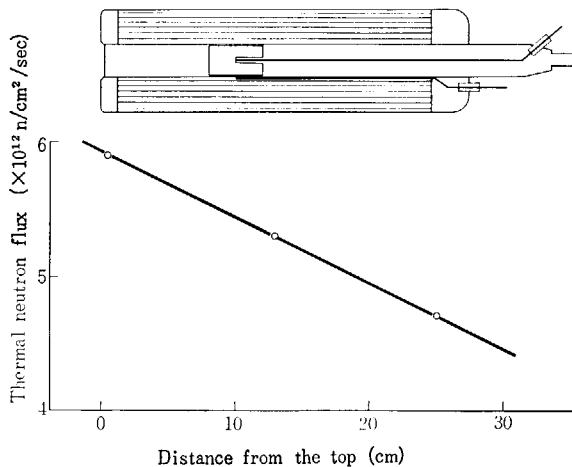


Fig. 23 Thermal neutron flux of specimen chamber

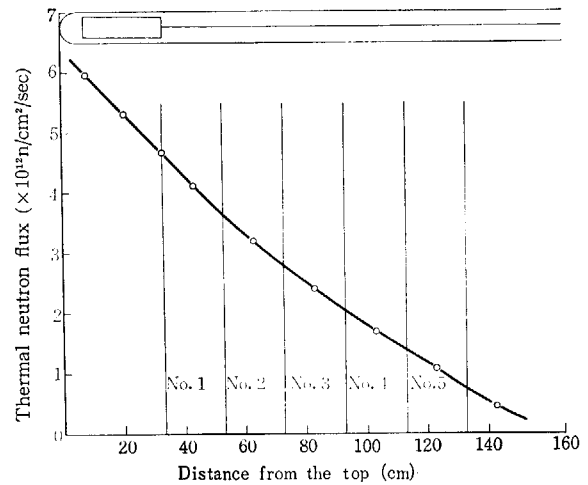


Fig. 24 Thermal neutron flux of inner plug

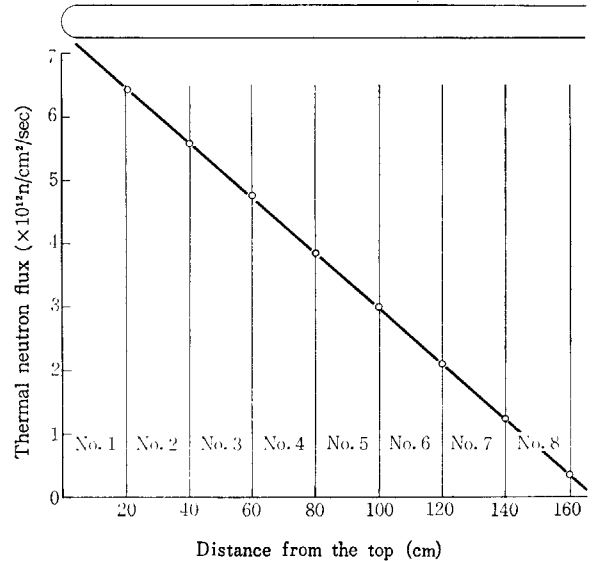


Fig. 25 Thermal neutron flux of outer plug

示す。

6.3 生成放射能

6.3.1 プラグ各部の生成放射能

次の条件を仮定して SUS 27 1g から生ずるプラグ本体および試験片の生成放射能を計算した。

- 照射孔: JRR-3 VC-3
- 中性子束: $10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$
- 照射時間: 10 日
- 試料: SUS 27 1g

ただし半減期 1 min 以下の核種および 1 hr 照射で 10^5 dps 以下の放射能の核種は省略した。

次にプラグを外筒 8 セクション、内筒 5 セクション、試料部 3 セクションに分けて、それらの体積および重量を計算した結果を TABLE 8 に示す。同時に Fig. 23~25 から求めた各セクションの平均中性子束を示す。TABLES 7~8 から求めたプラグ各セクションの生成放射能の計

TABLE 7 ステンレス鋼 (SUS 27, 1g) の生成放射能

成分	SUS 27 1g 中の量(g)	生成 核種	半減期	1hr 照射直 後の放射能(dps)	10 日間 照射		
					直 後 (dps)	5 日間 冷却 (dps)	10 日間 冷却 (dps)
C	8×10^{-4}						
Si	1×10^{-2}	^{31}Si	2.62 hr	1.7×10^6	7.37×10^6	0	0
Mn	2×10^{-2}	^{56}Mn	2.58 hr	7×10^9	2.97×10^{10}	0	0
P	4×10^{-4}	^{32}P	14.3 d	3.6×10^4	6.89×10^6	5.65×10^6	4.82×10^6
S	3×10^{-4}	^{35}S	87.1 d	2.07×10^2	3.89×10^4	3.89×10^4	3.89×10^4
		^{37}S	5 min	1.5×10^3	1.5×10^3	0	0
Ni	1×10^{-1}	^{65}Ni	2.56 hr	7×10^7	2.97×10^8	0	0
Cr	2×10^{-1}	^{51}Cr	27.8 d	1.2×10^7	2.52×10^8	2.29×10^8	2.12×10^8
Fe	6.685×10^{-1}	^{55}Fe	3 y	2.68×10^5	6.42×10^7	6.42×10^7	6.42×10^7
		^{59}Fe	45.1 d	1.34×10^5	2.96×10^7	2.78×10^7	2.60×10^7

TABLE 8 プラグ各セクションの体積, 質量および平均
中性子束

No.	体 積 (ml)	質 量 (g)	中性子束 (n/cm ² ·sec)
外 筒	1	174.10	1.38×10^3
	2	175.30	1.39×10^3
	3	"	"
	4	"	"
	5	"	"
	6	"	"
	7	"	"
	8	"	"
内 筒	1	5.66	4.49×10
	2	"	"
	3	"	"
	4	"	"
	5	"	"
試 料 部	1	41.33	3.28×10^2
	2	28.59	2.27×10^2
	3	42.54	3.37×10^2

算結果を TABLE 9 にまとめて示す。

6.3.2 冷却水の生成放射能

プラグを冷却するための一次冷却水は炉内で中性子照射を受ける。そのため冷却水自体の放射化および水の中に含まれている不純物、腐食生成物の放射化が考えられる。冷却水は純水を用いた冷却系にはイオン交換塔を設け一次冷却水の一部をバイパスして通し、ほとんどの不純物、腐食生成物はここで取除かれるのでこれらの放射化はあまり問題にならず、冷却水自体の放射化 ^{16}O (n, p) ^{16}N だけが問題になる。

本装置の場合、冷却水自体の放射化について計算した結果は下記の通りである。

プラグ出口を毎秒通る ^{16}N の curie 数	0.865 curie/sec
ホールドアップタンク入口	" 1.63×10^{-2} "
出口	" ~ 0 "
プラグ入口	" ~ 0 "
ホールドアップタンク内の ^{16}N の	" 0.172 curie

TABLE 9 プラグ各セクションの生成放射能の計算結果

核種	^{32}P (dps)	^{35}S (dps)	^{51}Cr (dps)	^{55}Fe (dps)	^{59}Fe (dps)	
外 筒	1	5.20×10^9	3.58×10^7	2.11×10^{11}	5.91×10^{10}	2.56×10^{10}
	2	4.61×10^9	3.17×10^7	1.87×10^{11}	5.24×10^{10}	2.26×10^{10}
	3	4.10×10^9	2.82×10^7	1.66×10^{11}	4.66×10^{10}	2.02×10^{10}
	4	3.25×10^9	2.24×10^7	1.32×10^{11}	3.69×10^{10}	1.60×10^{10}
	5	2.53×10^9	1.74×10^7	1.03×10^{11}	2.88×10^{10}	1.25×10^{10}
	6	1.86×10^9	1.28×10^7	7.53×10^{10}	2.11×10^{10}	9.15×10^9
	7	1.21×10^9	8.36×10^6	4.92×10^{10}	1.38×10^{10}	5.98×10^9
	8	4.71×10^9	3.24×10^6	1.91×10^{10}	5.35×10^9	2.32×10^9
total	2.32×10^9	1.60×10^8	9.42×10^{11}	2.64×10^{11}	1.14×10^{11}	
内 筒	1	1.04×10^7	7.16×10^4	4.21×10^8	1.18×10^8	5.12×10^7
	2	8.14×10^6	5.60×10^4	3.30×10^8	9.24×10^7	4.00×10^7
	3	6.10×10^6	4.20×10^4	2.47×10^8	6.93×10^7	3.00×10^7
	4	4.29×10^6	2.96×10^4	1.74×10^8	4.88×10^7	2.11×10^7
	5	2.54×10^6	1.75×10^4	1.03×10^8	2.89×10^7	1.25×10^7
total	3.15×10^7	2.17×10^5	1.28×10^9	3.57×10^8	1.55×10^8	
試 料 部	1	1.02×10^9	7.00×10^6	4.12×10^{10}	1.16×10^{10}	5.00×10^9
	2	6.44×10^8	4.43×10^6	2.61×10^{10}	7.32×10^9	3.17×10^9
	3	8.76×10^8	6.03×10^6	3.55×10^{10}	9.95×10^9	4.31×10^9
total	2.54×10^9	1.75×10^7	1.03×10^{11}	2.89×10^{10}	1.25×10^{10}	

プラグ全体

	外 筒 (dps)	内 筒 (dps)	試料部 (dps)	total (dps)
^{32}P	2.323×10^{10}	3.15×10^7	2.54×10^7	2.608×10^{10}
^{35}S	1.600×10^8	2.167×10^5	1.746×10^7	1.777×10^8
^{51}Cr	9.42×10^{11}	1.275×10^9	1.028×10^{11}	1.046×10^{12}
^{55}Fe	2.641×10^{11}	3.57×10^8	2.89×10^{10}	2.934×10^{11}
^{59}Fe	1.144×10^{11}	1.548×10^8	1.248×10^{10}	1.270×10^{11}
total	1.344×10^{12}	1.819×10^9	1.467×10^{11}	1.493×10^{12} (37.78 Ci)

計算に当っては次の値をとった。

速中性子束	10^{12} n/cm ² ·sec
冷却水流量	50 l/min
プラグ通過時間	12 sec
ホールドアップタンク容量	900 l
プラグ-タンク間の距離	~ 30 m
プラグの外を通るに要する時間	1165 sec

なお以上の計算に当っては、冷却水中の溶存酸素は無視し、ホールドアップタンク中の流れはピストンフローとしている。

6.4 発熱量と温度分布

6.4.1 γ heating を含む発熱量

本ループのダミープラグを JRR-3, VC-3 実験孔に挿入し、各部の中性子束を測定した。(6.2 参照)

この炉内中性子束および γ 線量にもとずき、プラグ各部の Decay heating, γ heating を計算した。計算結果を別表に示す。本表よりわかるようにこれらによる発熱量は 393 W (内筒+外筒=139 W, 試料部=254 W) でありこれに試料部加熱用白金帯ヒータによる加熱量約 300 W を加算しても合計約 700 W にすぎない。この発熱量は本ループ冷却系の冷却能力約 10 kW と比較して極めて小さく、熱的に十分に安全であることが示された。

ループ各部の発熱量の計算結果

条件 decay heating の計算

- ① 中性子束: 6.2 参照
- ② β 線はすべて熱に変るものとする。
- ③ γ 線は 50% 以上の吸収を示す立体角中に放出された γ 線はすべて熱に変るものとする。
- ④ ステンレス鋼の decay heating はマンガンによるものとし他の核種はマンガンに比べ無視するので省略した。

γ heating の計算

γ 線量: 2 MeV の γ 線	3.2 × 10 ¹² $\gamma/cm^2 \cdot sec$	Q_C kcal/hr
5 MeV " "	5 × 10 ¹¹ " "	Q_R kcal/hr

ループの部分名	位置	中性子および γ 線による発熱	decay heating	
			β 線	γ 線
内筒+外筒 (ステンレス鋼) (アルミニウム)	先端~20cm	24W	7.6W	0.53W
	20~40	21	6.7	0.48
	40~60	18	6.0	0.43
	60~80	14	4.7	0.34
	80~100	12	3.7	0.26
	100~120	8	2.7	0.19
	120~140	5	1.8	0.13
	140~160	1	0.7	0.05
小合計		103	33.9	2.41
試料部 (ステンレス鋼)	試料部 total	13	3.7	0.26
	(Al ₂ O ₃) 保温材 +インタナ ルトラップ	34.5	21	1
U 100 g			核分裂生成物の decay heat. 180	
計		150.5	238.6	3.67

8 MeV " " 1.9 × 10¹¹ "

6.4.2 プラグ内温度分布

本ループ試料部は白金帯ヒータと γ heating により 1000°C に加熱するようになっている。そこで試料部のダミーを製作し、実際に通電して温度分布を測定すると共に、温度分布を計算により求めた。

1) プラグ横軸方向の温度分布

次の仮定の下に温度分布を計算した。

[仮定]

- ① ヒータからの熱はすべて外に向って流れる。
- ② 定常状態とする。
- ③ 縦軸方向に熱が流れることはない。

上記の仮定はすべて安全側にとってある。

[記号]

- 中心温度 : t_0 °C
- ヒータ温度: t_1 °C
- 試料部保温材外筒ステンレス鋼温度: t_2 °C
- ヘリウムガス温度: t_3 °C
- 水ジャケット内側ステンレス鋼温度: t_4 °C
- 冷却水温度: t_5 °C
- アルミナの熱伝導度: k_A kcal/m. hr. °C
- ヘリウムの熱伝導度: k_H kcal/m. hr. °C
- 保温材外筒ステンレスとヘリウムガス接触面の熱抵抗 : h_H kcal/m². hr. °C
- 水ジャケット内側ステンレスと水の接触面の熱抵抗 : h_W kcal/m². hr. °C
- ヒータから出ていく熱量: Q kcal/hr
- 保温材からヘリウムの方向に流れる熱量: Q_C kcal/hr
- Q_R kcal/hr

水ジャケット内側ステンレス鋼から水の方向に流れる熱量: Q_W kcal/hr

試料部ヒータ線輪の直径: D_1 m

試料部保温材外筒の直径: D_2 m

水ジャケット内側ステンレス鋼管内径: D_3 m

" " 外径: D_4 m

" 外側 " 内径: D_5 m

内径試料部保温材外筒の長さ : lm

実験結果 $t_0=1000$ °C の時の $t_1=1010$ °C

$Q=220$ kcal/hr (256 W)

$$t_1 - t_2 = \frac{Q \times lm (D_2/D_1)}{2\pi k_A l} \dots\dots\dots ①$$

より $t_2=492$ °C

$$k_H = 1.86 (D_2/l)^{1/3} (Re)^{0.8} (Tr)^{0.4} (C_p \times v \times \rho) \dots\dots ②$$

ただし、 C_p, v, ρ はヘリウム比熱、速度、密度、より $k_H=0.145$

この値は対流の場合通常 10³~10⁴ を示すことを考えれば極めて小さく、ヘリウムが流れているための熱伝達はないと考えてよい。

すなわち $Q_c \approx 0$ ゆえに $Q = Q_R$

$$Q_R = \frac{\pi D_2 l \times \sigma \times [(T_2)^4 - (T_4)^4]}{\left(\frac{1}{\epsilon} - 1\right) + \left(\frac{1}{\epsilon_4} - 1\right) \times \frac{D_2}{D_3}} \dots\dots\dots ③$$

ただし σ : ボルツマン定数
 ϵ : 物体の黒度

$Q_R = Q_W$ とすると

$$h_w = 0.023 (Re)^{0.8} (Tr)^{0.4} (C_p \times v \times \rho) \dots\dots\dots ④$$

ただし C_p, v, ρ はそれぞれ水の比熱, 速度,

密度とする.

④より $h_w = 648$

$$Q = h_w \pi D_4 (t_4 - t_5) \dots\dots\dots ⑤$$

より t_5 を 20°C とすると
 $t_4 = 29^\circ\text{C}$ となる.

これらの値を③式に代入すると $t_2 = 492^\circ\text{C}$ となり①式の結果と一致する. このことは $Q_R = Q_W$ が誤りないことを示す.

以上の方法により横軸方向の温度分布が求まったので実験結果と合せて, 図に示すと Fig. 26 のようになる. 実験によれば外壁, 冷却水の温度は室温と差異なくこの計算結果は満足の数々と思われる.

また冷却水入口温度 20°C , 冷却水量 50 l/min の時 Decay heating, γ heating, ヒータによる発熱の合計熱量により温められた水の温度は 20.14°C に上昇するに過ぎない.

2) 試料部縦軸方向の温度分布

試料部のダミーを使用し試験片を 1000°C に加熱した場合の温度分布を測定し, 結果を Fig. 27 にまとめて示す. 試料部先端で約 250°C 後端で約 200°C の温度を示した.

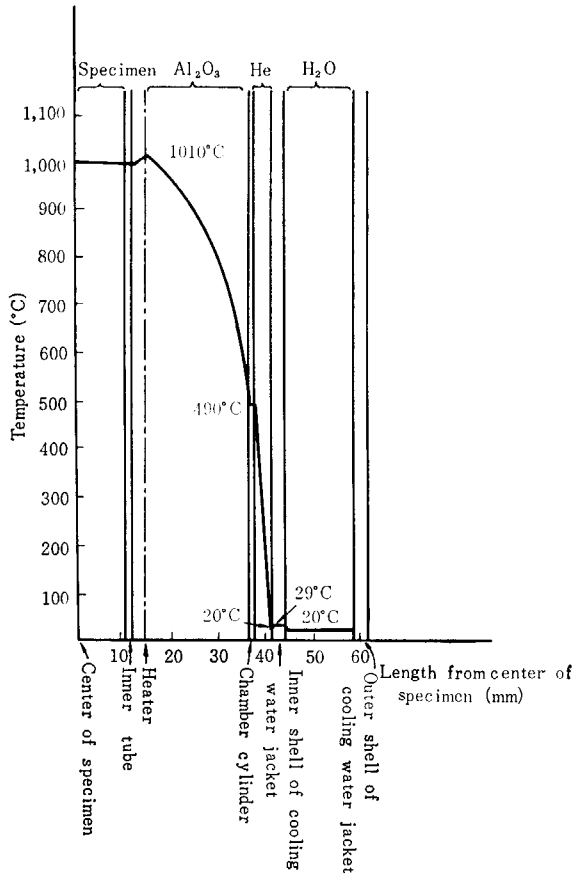


Fig. 26 Temperature distribution of plug along radial axis

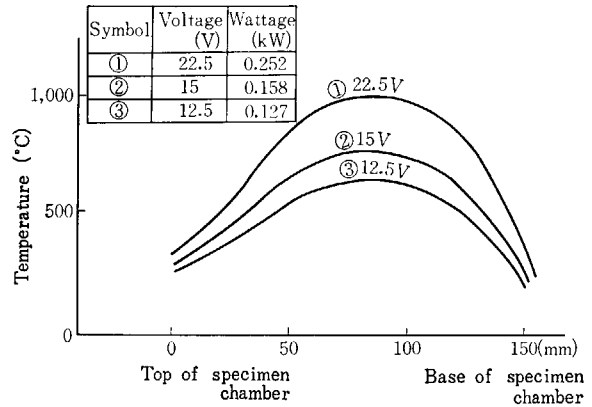


Fig. 27 Temperature distribution of specimen chamber along vertical axis

付録 装置の炉外試験

本ループに使用してある各装置について、組立途上および組立終了後に次に示すような各項目について炉外試験をおこなった。結果は TABLE 10 にまとめて示す。

1. 外観寸法検査

各装置につき所定の寸法、精度であることおよび表面疵の有無等の外観を検査する。判定基準は異状が認められなければ合格とする。

2. 石けん水試験

各装置につき空気圧または窒素圧 0.5 kg/cm² G で加圧し石けん水にて漏洩試験をおこなう。判定基準は気泡の発生が認められなければ合格とする。

3. 真空試験

各装置の出入口を盲にし、1つの口より真空度 10⁻¹ mmHg 以下の真空に引き気密性を検査する。判定基準は系の真空が約1時間放置後 10⁻¹ mmHg を越えなければ合格とする。

4. ヘリウムリーク試験

各装置のガス系配管を盲にし、1つの口をヘリウム漏洩試験機 (CEC 社製) に接続し、溶接部およびユニオン部に外部からヘリウムを吹付け、内部へのヘリウム漏洩を検査する。判定基準は溶接部は指針を 10⁻⁶ cc atm/sec に相当する目盛に合せ、また

ユニオン部は指針を 3×10⁻⁶ cc atm/sec に相当する目盛に合せ、各々の場合に針がふれなければ合格とする。

5. 水圧試験

各装置の出口を盲にし、入口管から給水し、4 kg/cm² G または 2 kg/cm² G に加圧して水圧試験をおこない、耐圧を検査する。判定基準は異常が認められなければ合格とする。

6. 通電絶縁抵抗試験

各装置のヒータ、熱電対、配線について導通および絶縁抵抗を測定する。判定基準は絶縁抵抗値が 1 MΩ 以上あり異常が認められなければ合格とする。

7. 作動試験

上記各種試験完了後、各装置を作動状態にして数時間同一状態に保持し、作動検査をおこなう。判定基準は異常が認められなければ合格とする。アラーム、スクラム回路には人為的にそれぞれの事故に相当する条件を加え、迅速確実に作動することを確認する。

本ループの製作、設置に御配慮をいただいた日本原子力船開発事業団西堀栄三郎氏 (前原研理事)、燃料開発

TABLE 10 検査項目一覧

検査項目 機器名	外観寸法 検査	石けん水 試験	真空試験	ヘリウムリーク 試験	水圧試験	通電絶縁 抵抗試験	作動 試験
プラグ本体	○	○ [空気圧 0.5 kg/cm ² G]	○ [1時間後 <10 ⁻¹ mmHg]	○ [<3×10 ⁻⁶ cc atm/sec]		○ [>1MΩ]	○
ガス系							
水系		○ [同上]			○ [4kg/cm ² G]		
試料部	○					○ [>1MΩ]	○
炉外装置 I	○	○ [窒素 0.5 kg/cm ² G]	○ [1時間後 <10 ⁻¹ mmHg]	○ [<3×10 ⁻⁶ cc atm/sec]		○ [>1MΩ]	○
II	○	○ [同上]	○ [同上]	○ [同上]			○
III	○	○ [同上]	○ [同上]	○ [同上]			○
バルブボックス	○	○ [同上]	○ [同上]	○ [<10 ⁻⁶ cc atm/sec]			○
廃ガス貯槽	○	○ [同上]	○ [同上]	○ [<10 ⁻⁶ cc atm/sec]			○
ホールドアップ タンク兼熱交換 器	○				○ [2kg/cm ² G]		○
ガス系配管	○	○ [窒素圧 0.5 kg/cm ² G]	○ [1時間後 <10 ⁻¹ mmHg]	○ [<10 ⁻⁶ cc atm/sec]			
水系配管	○	○ [同上]			○ [4kg/cm ² G]		
プロセスガス クロマトグラフ	○	○ [同上]		○ [<10 ⁻⁶ cc atm/sec]			○
計装盤 A	○					○ [>1MΩ]	○
B	○					○ [同上]	○
C	○					○ [同上]	○
D	○					○ [同上]	○
試料部交換装置	○					○ [>1MΩ]	○
切断装置	○					○ [同上]	○
溶接装置	○					○ [同上]	○
カプセル	○					○ [同上]	○
オーブナ	○					○ [同上]	○

部部長上田隆三氏, 同次長石原健彦氏, 研究炉管理部次長八劔達雄氏, JRR-3 課員一同, 研究炉業務課長落合甫氏, 契約課係長竹内茂夫氏の諸氏に深謝の意を表す.

参 考 文 献

- 1) 石川寛, 朝岡卓見, 笹倉浩: "JRR-3 (国産一号炉) 設計計算, 研究報告 No. 2", JAERI-1002 (1960)
- 2) D. STROMINGER, J. M. HOLLANDER, G. T. SEABORG: *Rev. Modern Phys.*, **30** (No. 2), Part 2 (1958)
- 3) T. ROCKWELL: "Reactor Shielding Design Manual", McGraw-Hill (1956)
- 4) S. YAJIMA, K. SHIBA, M. HANDA: *Bull. Chem. Soc. Japan*, **36**, 253 (1963)
- 5) *ibid.*, 258
- 6) "日本原子力研究所の立地条件と放射線安全対策", JAERI-6011 (1962)