

JRR-3 (国産1号実験用原子炉) の設計

The Designing of Japan Research Reactor-3

島 井 澄* 江 頭 一 晃*
Kiyoshi Shimai Kazuaki Eto
吉 柳 清 美* 逸 見 文 彦*
Kiyomi Kiryu Fumihiko Itsumi

内 容 梗 概

日本原子力研究所（以下原研という）は JRR-1（ウォータ・ボイラ型）、JRR-2（CP-5 型）の二種の実験用原子炉を輸入した後わが国の技術者の手で設計し、国産材料を用いて製作する JRR-3（国産1号実験用原子炉）の建設を計画し、昭和32年3月国内主要メーカーにその設計を分担させた。日立製作所はそのうち原子炉本体、実験設備、燃料取り扱い設備ならびに重水循環ポンプの設計を分担し原研の指導協力のもとに推進してきたが、本年6月でその設計を完了した。

ここにわれわれの分担した部分の設計についてそのいきさつ、ならびに炉本体の構造、実験装置、燃料取り扱い装置などの概略について述べ、さらに本原子炉に使用する材料および開発試験について簡単に紹介する。

1. 緒 言

わが国の原子力開発の最終目標は原子力発電や船用原子炉のような動力源の確保と、放射性アイソトープおよび放射線利用などの原子力の平和的利用にあることはいうまでもない。

この目標を達成するためには、海外先進国の技術を導入し、これを吸収消化することはもちろんであるが、さらにこれらの技術をみずから手がけ開発することが、先進国の技術に追いつき、さらに独自の分野を開くために絶対に必要なことである。

わが国の原子力長期開発計画において、政府が熱出力 10 MW の天然ウラン—重水型実験炉の国産を当初から計画していたのも、原子炉設計、製作、組立、建設技術、燃料要素の製作、炉材料の製作技術などを原研はじめ広く原子力開発にたずさわっている会社や研究所に研究させ、JRR-3の建設を完遂することにより、原子炉建設技術の推進をはかり、より高級な原子炉の開発に必要な原子炉用機器、部品、材料、燃料要素などの国産化の契機をつくり、これらの製造技術の進歩向上をもたらすためである。したがってわれわれはこの原子炉を国産1号炉とよびその完成に大きな期待をかけているのである。またこの原子炉は日本原子力研究所に設置される第3番目の研究炉となる予定であるので Japan Research Reactor No. 3 略して JRR-3 とも呼ばれている。

1.1 JRR-3 の目的

JRR-3 の建設は次のような目的をもっている。

- (1) 放射性アイソトープの生産
- (2) 動力用原子炉の工学的試験
- (3) Pu の生産

* 日立製作所日立工場

(4) 原子炉運転技術の習得および運転者の養成

(5) 核物理実験

(4)(5) はすでに運転されている JRR-1 や現在建設中の JRR-2 でも実施できることであるので、はじめの3項について説明する。

わが国の放射性アイソトープの需要は年とともに急激に増加しつつあるにもかかわらず、もっぱら輸入に仰いでいる状態である。現在の計画では、JRR-2 および JRR-3 が完成すれば国内の需要はほぼ満たしうるのみならず、現在輸入がむずかしい短寿命の放射性アイソトープも生産可能となる。

JRR-3 は天然ウラン—重水型を採用したため、JRR-2 などに比べ炉心が大きく、実験孔をたくさんとることができ、したがって動力用原子炉や高出力の材料試験炉に使用される燃料要素や、原子炉冷却材、構成材料の工学的試験を遂行することができ、わが国の原子炉開発の基礎とすることができる。

Pu の生産は JRR-3 では 3 kg/年で、今後の人工核燃料として重要性をもってくる Pu の生産、およびその利用研究も可能となり、JRR-3 に続く国産増殖炉の予備試験に供することもできる。

1.2 JRR-3 の計画および設計の経過

JRR-3 の建設は前項に述べた目的をはたすためのもので、この計画は昭和29年に日本学術振興会に“原子炉設計基礎研究委員会”が設けられ、ここで各種原子炉の概略設計に着手したのが初めである。昭和30年3月、原子力利用海外調査団が帰国し、海外における原子力開発の情勢が判明するとともに天然ウランの入手が比較的容易であることから、上記委員会で昭和30年度の主要研究目標を天然ウラン—重水型におき、この型の原子炉のスケルトン設計を同委員会に属する日立製作所、東芝

第 1 表 協同設計幹事会社および設計分担

原子炉本体	正幹事	日立製作所	炉本体, 実験装置, 燃料取り扱い装置
	副幹事	石川島重工	R I 取り扱い装置
水 ガ ス 系	正幹事	三 菱	重水, 軽水, He, CO ₂ 系統
	副幹事	日立製作所	主重水系統
制 御 計 測 系	正幹事	東京芝浦電気	炉制御系統
	副幹事	富 士 電 機	計測系統

石川島, 電気試験所, 科研, 三菱造船, 三菱電機, 東大工学部の各グループでそれぞれ行い昭和 31 年 3 月末に完成した。

日本原子力研究所は, 上記原子炉の設計検討の仕事を学振委員会より引きついだ。

昭和 31 年 5 月, 原研に “国産 1 号炉研究委員会” が設けられ学界, 民間業界より学識経験者が参加して設計, 材料, 計測制御, 建設, 化学処理の 5 分科をもって設けられそれぞれ慎重に検討を重ね, 昭和 31 年 10 月末, “国産 1 号炉設計仕様書 (案)” をまとめた。新たに “国産 1 号炉仕様検討委員会” が昭和 31 年 11 月に発足し, 原子力研究所, 学界および民間より日立, 三菱, 東芝, 富士, 住友の各会社がこれに参加した。原子炉および計測制御の 2 分科会が設けられて原案の検討を行い, 昭和 32 年 3 月末 “国産 1 号炉設計仕様書” を完成した。

これと平行して昭和 31 年度より JRR-3 に使用する燃料要素の開発研究を促進するため “燃料要素委員会” が別個に設けられた。

昭和 32 年度には上記設計仕様書にもとづき詳細設計を進めるため数社の製造会社にそれぞれの設計を分担せしめることをきめた。第 1 表に会社名および設計分担を示す。

またこの基本設計に対して海外先進国の重水炉建設, 運転の経験者より意見, および批判をきくとともに, 運転および利用状態を調査するため, 昭和 32 年 4 月その基本設計をたずさえて, 海外に出張し建設および設計について先進国の経験を取りいれた。

昭和 32 年 10 月末, 1 次詳細設計が終了し, 原子炉用各機器の構造, 材料が明確になった。ついで天然ウラン—重水型について最も経験の豊富なカナダ原子力研究所より第 1 次設計全般の検討を受ける目的で, 昭和 33 年 1 月から 2 月にかけてカナダに出張した。

1 次設計完了後もさらにカナダの意見などを取りいれて細部の設計を進め, 本格的製作の準備にとりかかった。

2. 天然ウラン重水炉の実例

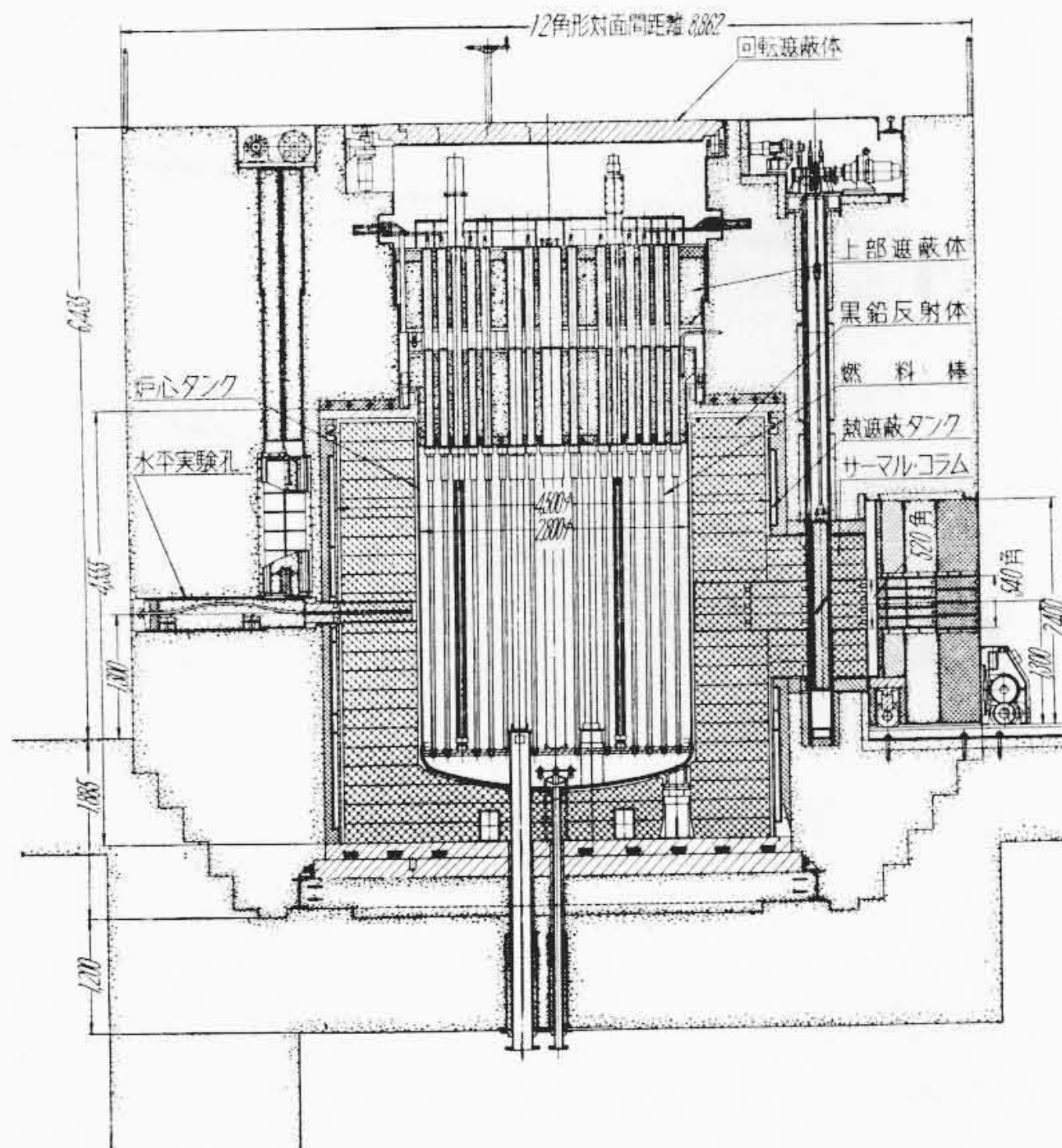
天然ウラン重水炉で現在までに建設されたもの, および計画中のもの諸元をまとめてみると第 2 表に示すとおりである。

CP-3 は世界で最初の天然ウラン重水型原子炉として有名である。その後燃料を濃縮ウランにとりかえて CP-3' に改造され, CP-5 の原型となった。ZEEP はカナダの第 1 号炉であり, きわめて小出力であるが, その後出力の大きな第 2 号炉 NRX, 第 3 号炉 NRU を建設した。NRX は濃縮ウランを用いた材料試験炉 MTR が昭和 27 年に完成するまで最高の中性子束を誇っていたが事故を起したことがある。NRU は現在実験炉としては最大出力のものであるがまだ試験中で全出力はだしていないようである。

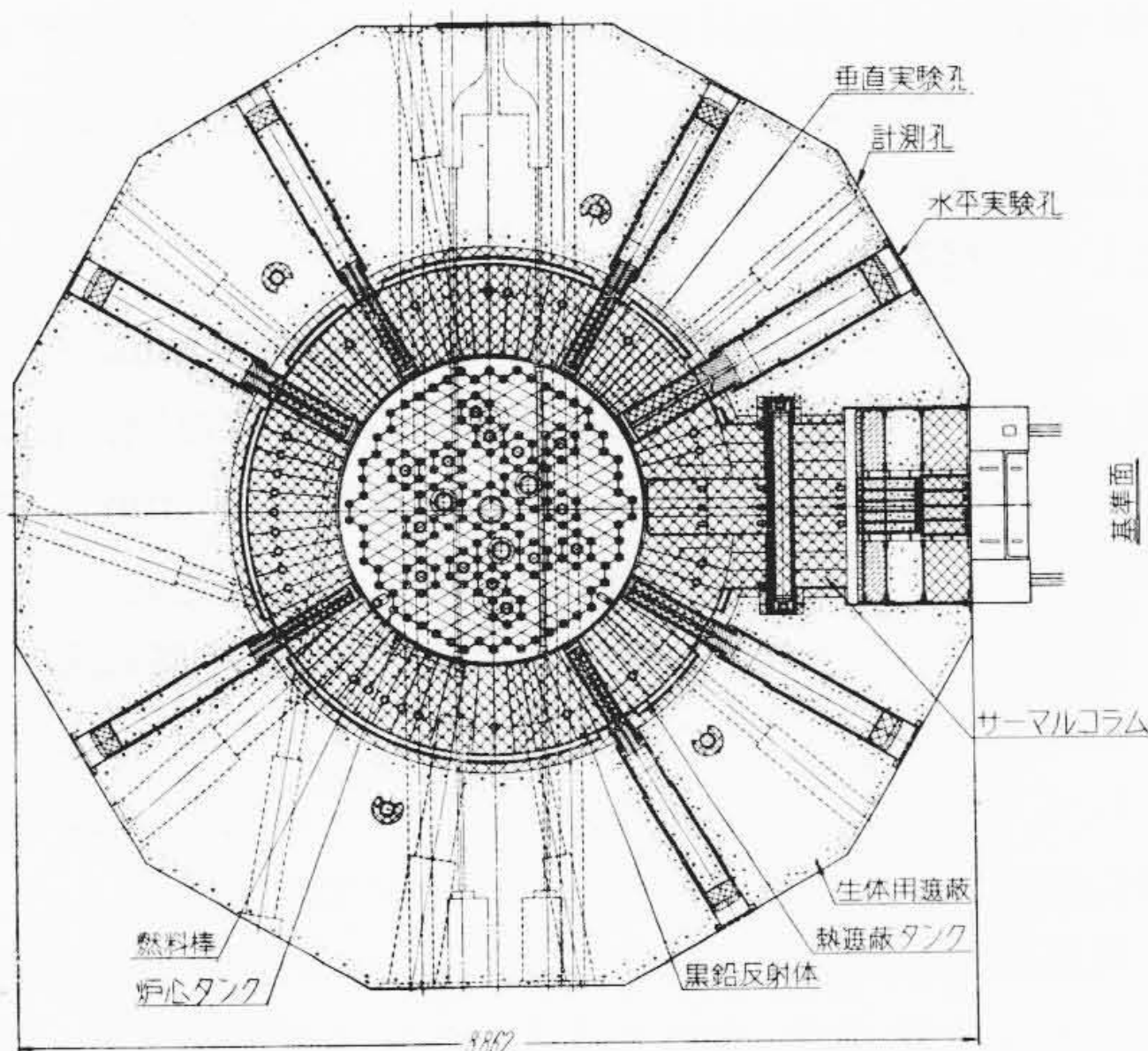
ZOE と P-2 はフランスの第 1 号炉, 第 2 号炉で, 特に P-2 は加圧ガスで冷却しているのが特長である。

第 2 表 外国の天然ウラン重水炉の諸元

名 称	熱出力 (kW)	ウラン 重 量 (t)	中性子束	重水 重量 (t)	燃 料 棒				炉心タンク (mφ×m)	黒鉛反射体 (mm)	制 御 棒	完成年
					径 (mm)	長さ (m)	本 数	ピッチ (mm)				
CP-3 (アメリカ)	300	3	10 ¹²	6.5	28 φ (アルミ被覆)	1.8	120~136	137	1.8×2.7 アルミ	610	Cd 安全 2, 制御 2, シム 3	1944
ZEEP (カナダ)	0.0035 ~0.03		6×10 ⁶	10	32.6 φ (アルミ被覆)	2.91	148	150	2.06×2.58 鋼鉄	760 底面 910 側面	Cd 板 4, 棒 8	1945
NRX (カナダ)	40,000	10.5	max 5.8×10 ¹³	20	34.6 φ (アルミ被覆)	3.04			2.43×3.04		Cd, B 重水液面調整制 御 1, 安全 18	1947
ZOE (フランス)	0.005 ~0.15	3.55 (UO ₂)	2~3×10 ¹⁰	6			69	186○	1.81×2.355 アルミ		Cd 安全 } Cd 制御 } 2 組	1948
(ソ連)	500				22 覆 28 (アルミ被)	1.60	86 292		1.75×1.95	1000 底部 1000 側面	Cd 4 本	1949
P-2 (フランス)	1,500	3.3	max 7×10 ¹²	6.3	28 φ (アルミ被覆)	2.13	136	150△	2.03×2.64	910 底面 910 側面	Cd 板 1(タンク反射体間) 棒 2(タンク内)	1952
JEEP (ノルウェー)	100~350	2.2	10 ¹²	7	25.4 φ (アルミ被覆)	1.9	65~76	180	2×2.5	700	Cd 板 4(タンク反射体間)	1951
SLEEP (スウェーデン)	300	3.0	max 3×10 ¹¹	5	29 φ (MgAl合金)		126	145○	1.85×2.54 Mg-Al 合金	900 底面 900 側面	安全 2 制御板 2(タンク反射体間)	1954
(スイス)	10,000	5.0	max 2×10 ¹³	10.5	25.4 φ	2.4	240		2.3×2.4	400 底面 750 側面	安全 6(60 φ×1500) 制御 2	1959
NRU (カナダ)	200,000	11	8.3×10 ¹³	40	63.5 (板状)	3	201	197			制御 } 安全 } 16	1958



第1図 JRR-3 立断面図



第2図 JRR-3 平断面図

JEEP と SLEEP はそれぞれノルウェー，スウェーデンの第1号炉で構造が非常によく似ている。

3. JRR-3 の概要

JRR-3 は熱出力 10 MW の天然ウラン-重水型実験炉で，その主要部である炉本体の大略の構造は第1図および第2図に示すとおりである。炉本体は燃料および重水をいれた炉心タンク，その周囲の反射体，その外側をとりかこむ遮蔽部の3部よりなり，遮蔽部は水冷却ジャケットをもつ不銹鋼製の熱遮蔽タンクと重コンクリート製の生体用遮蔽とに分かれる。遮蔽体，反射体内には各種実験孔，計測孔が貫通している。このほか付属設備と

第3表 JRR-3 の核および熱特性

熱出力	10 MW 3.7×10^3 MW-day (1年間の総出力)	
熱中性子束	ウラン棒中平均 $6 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$ 核 心 部 平 均 $0.9 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$ 核 心 部 最 高 $2.1 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$	
燃 料 棒	寸 法	外径 25mm, 長さ 883×3, 天然ウラン棒
	アルミ被覆厚	2 mm
	冷却用アルミ管	内径 38mm, 外径 41mm
核 心 部	寸 法	径 2.6m, 高さ 2.7m
	燃 料	246 本を中心間隔 150 mm の正三角形格子配列天然ウラン総重量 6 t
	実験照射孔用管	垂直 中央実験孔 内径 200mm 1 本 垂直実験孔 内径 130mm 3 本 垂直実験孔 内径 60mm 3 本
		水平 ニューマチックチューブ 内径 30mm 2 本
	制御棒用管	微調整棒用 内径 60mm 2 本 粗調整安全棒用 内径 60mm 12 本
		減速材および冷却材 重水 15 t
炉心タンク	寸 法	内径 2.8m 高さ 4.2m
	核 心 部	径 2.6m 高さ 2.7m
	反 射 体	側面 重水層 100mm 厚 底面 隔壁をはさんで重水層平均 250mm 厚 上面 重水層 200mm 厚
	材料重量	天然ウラン 6 t 重水 21 t
黒鉛反射体	側面 808mm 厚, 底面最大 700mm 厚, 総重量約 80 t	
遮 蔽 体	熱 的 遮 蔽	側面 20mm不銹鋼製タンク, 50mm幅の水ジャケット, 6mm不銹鋼の外壁, 5mmボラルさらに外側に100mm厚鉛板
		底面 5mmボラル, 5mm 不銹鋼内張り 155mm厚 鋼板, 200mm 鉄板
		上面 下段遮蔽体の一部 10mm厚 不銹鋼板 5mm厚 ボラル 70mm厚 鉛 16mm厚 鋼板
	生体用遮蔽	側面 2 m厚 の重コンクリート ($\rho=3.8$)
		底面 0.5m 厚 重コンクリート ($\rho=3.8$) 1.2m厚 普通コンクリート
		上面 下段遮蔽体の一部 30mm厚 鋼板で囲んだ重モルタル ($\rho=3.5$) 0.72m 上段遮蔽体 28mm厚 鋼板, 722mm 重モルタル 106mm厚 鉛 回転遮蔽体 200mm厚 鋼板
サーマルコラム	1.5m 角 黒鉛柱 1 基 γ 線遮蔽 150mm厚 鉛板 中性子遮蔽 5mm厚 ボラル 遮蔽ドア 内側より 50mm厚 鉛板, 200mm パラフィン層 338mm 重コンクリート ($\rho=3.8$), 420mm厚 鉛層	
全 寸 法	面間距離 約 8.9m 12角柱 高さ 約 6.4m	
核 的 特 性	理想化状態の各因子の値	$\eta=1.318$ $\epsilon=1.030$ S.C.=0.924 $f=0.938$ $\tau=107\text{cm}^2$ $L^2=188\text{cm}^2$ $k_{\infty}=1.177$
	δk	温度効果 (25°C~45°C) -0.8% 燃料消耗および核分裂生成物 (1年間運転) -2.6% 実験用, 制御用および放射性同位元素生産用 -1.5% } 4.9%
	燃料転換率	ICR=0.73 U^{235} の消耗 10%, Pu^{239} の生産量 3 kg/year
	熱中性子平均寿命	8×10^{-4} s
制 御	粗調整安全棒	外径 56mm のカドミウム中空円筒棒 12本 内側の 6 本(炉の中心から 600mm の位置) $\delta k=6.7\%$ 外側の 6 本(炉の中心から 900mm の位置) $\delta k=3.4\%$

冷 却	微 調 整 棒	外径 56mm のカドミウム中空円筒棒 2本 炉の中心から 650mm の位置 $\delta k=0.6\%$
	循 環 量	17.3m ³ /min
	温 度	原子炉入口 40°C, 原子炉出口 47.5°C
	2 次冷却水	軽 水
	温 度	冷却器入口 最高 27°C, 冷却器出口 33°C
	重水滞留量	約 3.3 t
	燃料棒表面 温度	最高 80°C
	燃料棒中心 温度	最高 200°C

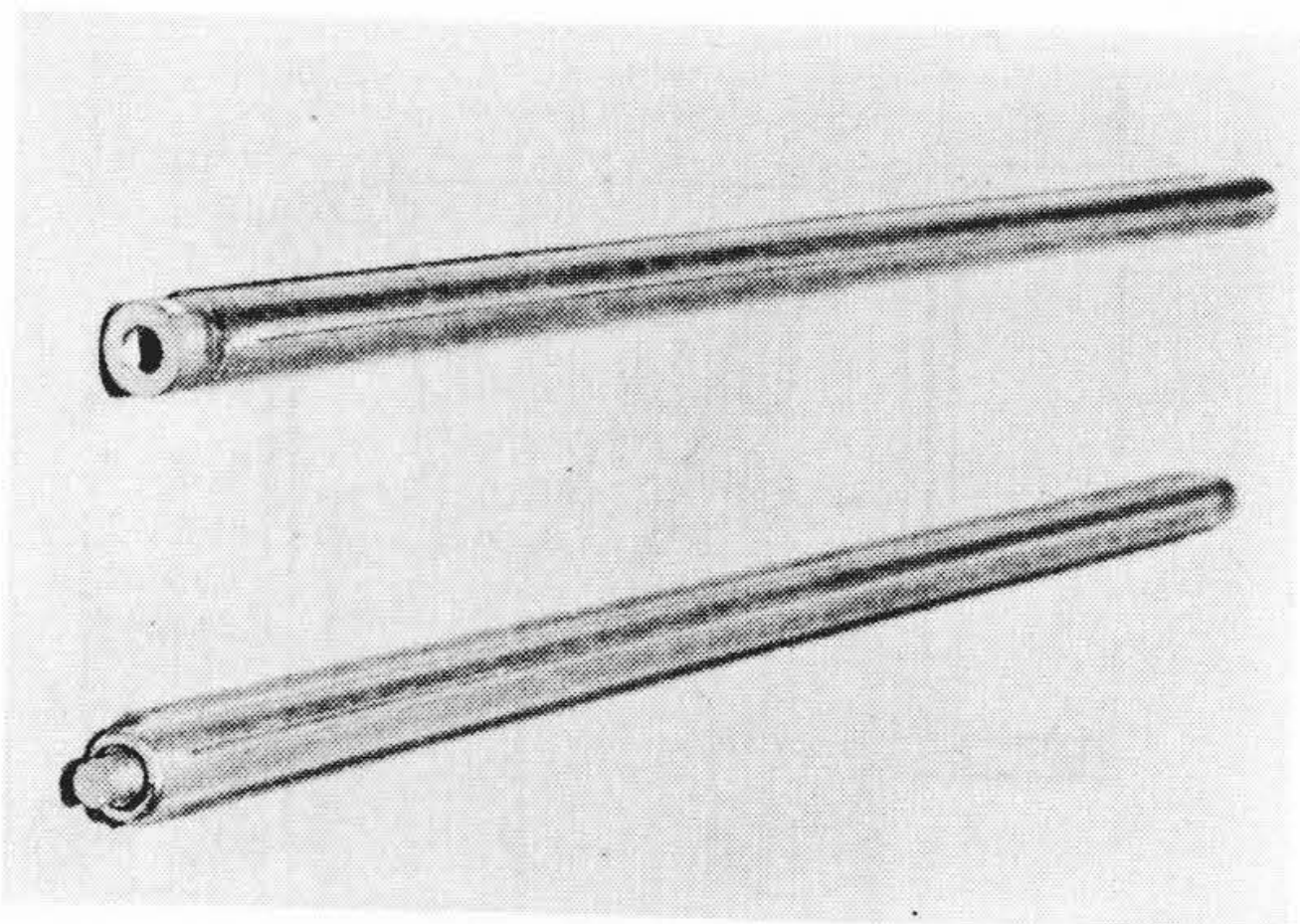
して、水ガス系統、計測制御設備、燃料取り扱い設備、放射性同位元素製造設備などがある。JRR-3 の核特性、熱特性は第 3 表にまとめてある。

3.1 炉本体の構造

炉心タンクは原子炉の中心に位置し核分裂が起るところで、内径 2,800 mm, 高さ 4,230 mm, 厚さ 12 mm の 52S アルミニウム製タンクである。この中に減速冷却用重水を入れ、燃料棒を正三角形格子 150 mm ピッチに配列している。タンクの下部には 1 枚の隔壁があり、重水入口のプレナム室と減速重水室とに分けられている。減速重水室の重水液面を常に一定に保つためと系外の漏洩を検知するためオーバーフロー・パイプ 1 本を設け、ダンプタンクに連結されている。炉内にはさらに 1 本の中央実験孔、3 本の垂直実験孔、2 本の微調整棒、12 本の粗調整安全棒および 3 本の垂直照射孔が垂直に挿入され、2 本のニューマチック・チューブが水平に貫通している。タンクの下部には重水の入口管 2 本、出口管 3 本、オーバーフロー・パイプおよびドレンパイプがそれぞれ 1 本とりつけられている。

燃料棒はアルミニウムで被覆された天然ウラン棒と冷却管よりなる燃料要素と遮蔽プラグの二つの部分から構成されている。天然ウラン棒は放射線損傷による変形、加工法、使用済み燃料の輸送などを考慮して 3 分割されておりそれぞれ別個のフィン付アルミニウム管で被覆し、これをピンでつないで冷却用のアルミニウム管の中心に吊り下げた構造になっている。燃料棒は炉心タンク隔壁上の燃料棒受におかれ、冷却用重水と減速用重水の混合を防止している。燃料棒遮蔽プラグは燃料要素と別個になっているが脱着機構で 1 本物にして炉内に挿入する。燃料棒には 1 本ごとに温度計および冷却水サンプリング・パイプを設け、棒の異常の有無を絶えず調べるようにしている。燃料棒は合計 246 本で、1 年間連続使用可能でそのバーン・アップは約 13% である。第 3 図は日立製作所で JRR-3 用を目的として試作した各種燃料棒の写真である。

炉心タンクと熱遮蔽タンクの間約 800 mm に反射体として黒鉛を入れ、隙間には炭酸ガスを充填させてお



第 3 図 試作模擬燃料棒

く。側面の反射体としては、この黒鉛のほかに炉心タンク内の外周部分の重水約 100 mm 厚もその役割をはたす。底部の反射体は隔壁上の減速重水約 100 mm, プレナム室の冷却重水約 150 mm, および炉心タンク下の黒鉛約 700 mm よりなる。上部の反射体は減速用重水約 200 mm があり黒鉛反射体はない。これらの黒鉛はブロック層からなり、ブロックの形状、寸法を適当に選定して熱膨脹およびウィグナー成長によるブロックの変形に応じうる構造としている。

熱遮蔽タンクは内径 4,500 mm, 高さ 4,700 mm, 板厚 20 mm の不銹鋼製タンクで、その中に反射体の黒鉛および炉心タンクをおさめている。この外壁に 50 mm 幅の水ジャケットをもち、黒鉛およびタンク中に発生した熱を冷却軽水によって除去する。さらにその外側に厚さ 5 mm のボラル、100 mm の鉛を張って炉心タンクよりもれてくる中性子および γ 線エネルギーを吸収して、外側にある生体用遮蔽内の熱の発生を少なくする。

熱遮蔽タンクの鉛の外側には約 2 m の高密度コンクリート（比重 3.8）を打ち込んだ生体用遮蔽があり、これによって炉外表面の放射線の強さを出力 40 MW の運転中でも許容値の $1/10$ 以下に下げることができる。遮蔽全体は面間距離約 8.9 m の 12 角柱状である。熱遮蔽タンクは 6 角形に組んだ I 形鋼の上にのせた遮蔽板の上に据え、I 形鋼の間には高密度コンクリートが埋め込まれている。これらと床面のコンクリートが底部の遮蔽を構成している。

上部遮蔽は水平回転を行う回転遮蔽体と固定式の上部遮蔽体とからなり後者はさらに上、下 2 段に分かれている。上部遮蔽体は、燃料棒の遮蔽プラグをささえると同時にその上面の放射能強さを原子炉停止後 2 時間以内に許容値以下に減衰せしめるに役だつ。またこの上部遮蔽体には燃料棒のほか微調整棒、粗調整安全棒および実験孔など多数の貫通管があり、その周囲はコンクリート層で

第4表 JRR-3 実験設備

品名	員数	記号	仕様
1. 中央実験孔	1	VC-1	内径 200mm
2. サーマルコラム	1	H-1	1,500mm 角
3. 垂直実験孔			
炉心タンク内	3	VC-2~4	内径 130mm
生体用遮蔽内	4	VB-1~4	内径 100mm
4. 水平実験孔			
	1	H-8	内径 300mm
	2	H-3,13	内径 200mm
	4	H-2,9,11,14	内径 150mm
	1	H-12	内径 100mm(炉心タンクに接線方向)
5. ニューマチック・チューブ	2	H-4,5	内径 30mm
6. 垂直照射孔			
炉心タンク内	3		内径 60mm
黒鉛反射体内	27	VG-1~27	内径 60mm
7. 水平照射孔	2	H-12,13	内径 100mm(炉心タンクに接線方向)
8. アイソトープ・トレイン	2	H-6,7	300mm×200mm
9. 計測孔			
	3	I-7,10,11	内径 300mm
	10	I-1~6,8,9,12,13	内径 150mm

注: 記号は第1,2図参照

あるが形状がかなり複雑である。回転遮蔽体は上部遮蔽体をもれてくる放射線を遮蔽し、その上面における放射線の強さを許容値以下になるよう厚みを決めている。またこの遮蔽体にはさらに小回転板を有し、本体の回転と相まって任意の位置の燃料棒を指向することができる。

3.2 実験設備および実験の種類

JRR-3 は実験用原子炉の特長を最大限に発揮するため実験上の要求および使用目的、方法にしたがって種々の特長を備えた実験装置が設けられている。さらに放射性同位元素製造用の照射装置をも有し、これらをできるだけ多く、また大きくするように考慮が払われている。

JRR-3 に設置される実験装置を第4表に示す。

中央実験孔は炉心タンクの中心に位置し上段遮蔽体上面より、炉心タンク隔壁まで伸びた内径 200 mm の垂直実験孔で、燃料棒や原子炉部品の性能試験、寿命試験などのエンジニアリング・テストを行うためのものである。上部には遮蔽プラグを押し込み、実験を行わないときには重水をみたしたアルミニウムのタンクをいれておく。

サーマルコラムは黒鉛の反射体の1部 1,500mm×1,500 mm を生体用遮蔽外面にまで延長し、熱中性子束を取り出し実験するためのものである。サーマルコラムの中心部 500 mm×500 mm の黒鉛は外部より取り出せるようになっている。その外側にはコンクリート、鉛およびパラフィンからなる遮蔽ドアがレールにのっており、取りはずせるようになっている。ドアの内側には高速中性子束を取り出すためのコンバータ用の間隙を設けてある。さらにその内側には 150 mm の鉛のシャッタおよびボラル・カーテンが備えられており、実験の要

求によってはどちらか一方のみを開いて、中性子あるいは γ 線のみを取り出しうるようにしている。

炉心タンク内には内径 130 mm の垂直実験孔3本を設けループテストなどの目的に供せられる。また生体用遮蔽内には内径 100 mm のものが4本ある。これらはいずれも中央実験孔と同じく上部にはプラグを挿入するが、これには冷却用のガス配管を行い、炭酸ガスで冷却している。

水平実験孔は、ほぼ炉心タンクの中央部の水平面上に配置されている。100 mmφ 以外の水平実験孔は側面生体用遮蔽、黒鉛反射体を放射状に貫通しているが、100 mmφ の実験孔のみは炉心タンクの側壁を接線方向に貫通している。水平実験孔は熱遮蔽タンクのすぐ外側を上下に動くシャッタと実験孔に挿入されるプラグで遮蔽を行っている。これらの水平実験孔はビーム試験、たとえば中性子回析、中性子照射実験などに使用されるものである。

ニューマチック・チューブは生体用遮蔽の外側から炉心タンクを水平に貫通して反対側に突き抜け、これからさらにホット・ケブやホット・ラボラトリーに導かれている。これは半減期の短い放射性同位元素を作るのに便利のように設計されたものであって、カプセルに入れた試料を圧縮空気によって炉心内に送り込み、照射した後ふたたび圧縮空気によって各実験室に送りどけるようになっている。

そのほか放射性同位元素製造用として二種類の垂直照射孔が炉心タンク内と黒鉛反射体内にある。また水平照射孔は原子炉の側面から炉心タンクの外壁に接線状に遮蔽体、反射体を貫通した内径 100 mm のもの2本が設けられている。アイソトープ・トレインは炉心タンクの直下を2本水平に貫通しており、放射性同位元素製造のほか、各種物体の照射に用いられる。

計測孔は水平実験孔と同様炉心タンクまで達する内径 150 mm のものと、黒鉛反射体に一部だけ突き出した内径 300 mmφ のものがある。高さは炉心タンクの上部および下部の高さにあり、特に中性子の分布その他をくわしく測定するためのものである。

4. 燃料取り扱い設備

原子炉は核分裂性元素の燃焼、腐蝕による損傷、核分裂生成物の増加などによってある期間ごとに燃料棒を取り替えなければならない。新しい燃料棒を炉に装填し、使用後これを取り出して長期間水中に放冷の後、燃料再処理工場へ送るまでの一連の作業に要する装置一式を燃料取り扱い設備と呼んでいる。

これらの機器は天然ウラニウムを燃料とする JRR-3 の運転保守上きわめて重要な役割をもつが、わが国にお

いて最初の計画であることはもちろん、原子炉の特殊性、たとえば遮蔽、冷却、遠隔間接操作の必要性などの条件から、特殊な機能ひいては複雑な操作機構や精度を要求され、使用材料にきびしい制約をうけて在来の機械技術の経験からでは判断できない、非常に難解な点が多に設備である。海外よりの資料も断片的でその数も少なく^{(5)~(8)}、勢い大部分創意による開発を余儀なくされている。

4.1 燃料棒換装要領と取り扱い上の問題点

固体燃料を用いる非均質炉の燃料取り扱いには次のような考慮を要し、實際上非常に面倒となる。

(1) 燃料の放射能

使用済み燃料は炉停止後も強い γ 線の照射を続けるので操作にあたり常に完全にその直射から遮蔽されなければならない。

(2) 燃料の崩壊熱

放射燃料の分裂生成物の崩壊過程から放出されるエネルギーは、炉停止後2~3時間中はその被覆鞘を溶かし核分裂生成ガスを放散するおそれがあるので、取り扱い中はたえず冷却を要する。発生熱は炉停止後急減するのでなるべく時間をおいて取り出す方が取り扱

い上からは有利である。JRR-3では炉停止後2時間炉内においてから取り出すことにされている。

(3) 冷却材の放射性

燃料を炉から取り出すとき、これに付着した冷却材は放射能をもっている、この漏出や滴下に対する防禦、回収、あるいは炉頂部や取り扱い装置の汚染に対する遠隔洗滌を要する。

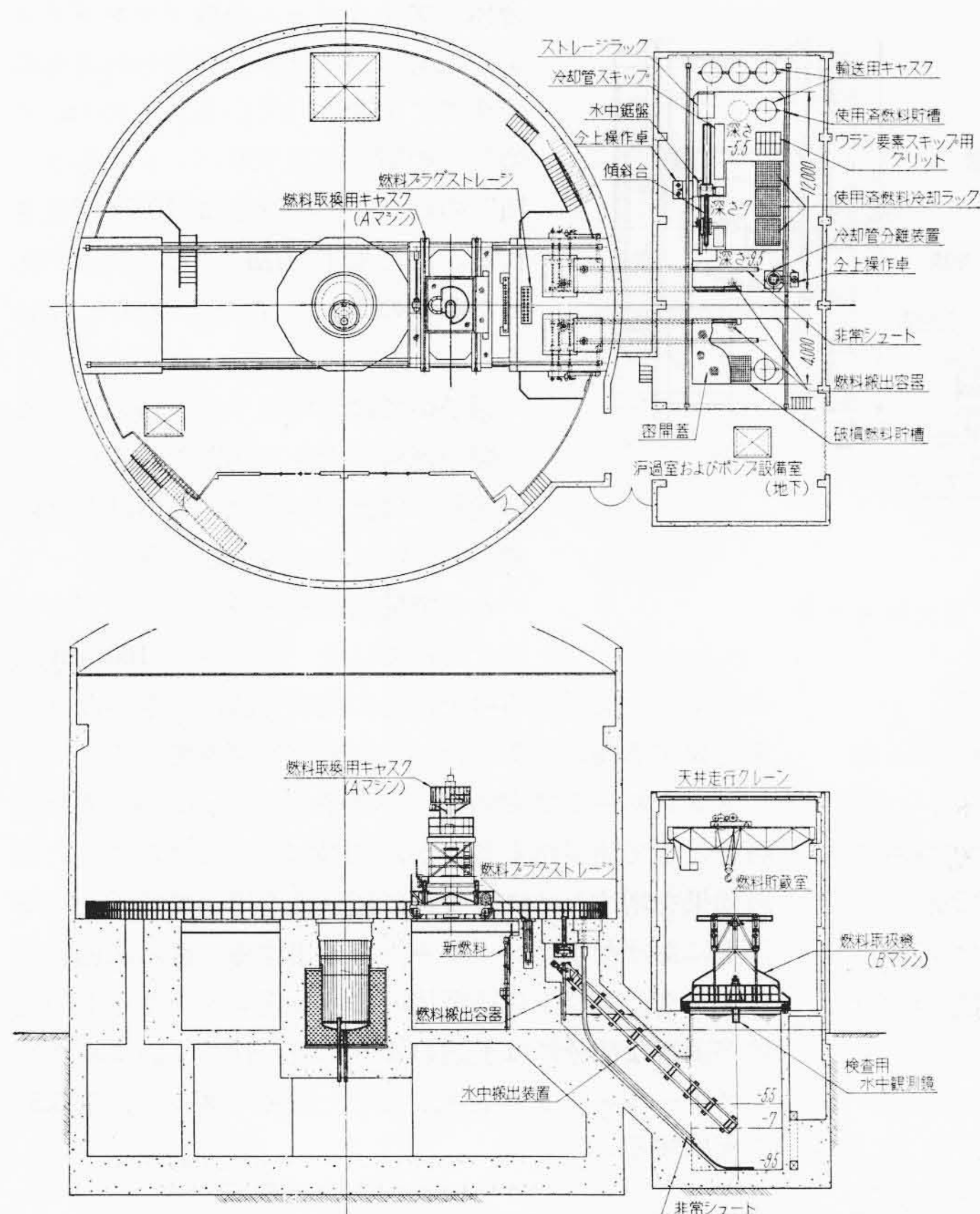
(4) 燃料の破損

使用中燃料棒が変形、腐蝕あるいは被覆材の破損などの損傷をうけるおそれがある。破損燃料を取り扱う場合は核分裂生成物で汚染されるので、洗滌や修理を要する。

JRR-3の換装要領は燃料の自重で垂直に吊り下げて炉心に出し入れし、また炉室の一端に水平に送り、水槽に降して取りはずすという簡単な操作行程にすぎないが、上記のように遮蔽、冷却、汚染処理あるいは有害ガスの拡散防禦対策などの条件に拘束されて、たとえば間接観察による遠隔操作、表示やインター・ロックなどのやっかいな問題があらゆる面に派生し、取り扱い装置を複雑化し、はなはだ手数のかかる作業となる。また作動機構の少ない炉と対照的に取り扱い装置は機動部分が多

第5表 燃料取扱機器の種類とその構成要領

設備区分	配置場所	主要設備機器名	説明(構成要領、用途など)
新燃料組立設備	燃料貯蔵室	燃料冷却水流量補正装置	燃料要素の冷却管を流れる冷却水量を炉心の配列位置に対応した所定値に調整する
新旧燃料換装設備	炉格納室内	ストレージ・パイル	新燃料棒懸架棚
		ストレージ・パイル	模擬燃料装填装置
		ストレージ・パイル	燃料プラグストレージ
		炉頂~ストレージ・パイル上(走行)	自走式燃料取り替えキャスクおよびその付属品
放射燃料排出設備(炉室→貯水槽)	ストレー・搬出・キャパ・パネル	燃料プラグ分離マニプレータおよび観察器具	燃料棒上部の遮蔽プラグ部分と下部の燃料要素部分とを遮蔽壁を隔てて分離する装置一式
		水中搬出装置	放射燃料をもぐり水路を経て水槽に搬出する手動スキップ・ホイスト式コンベヤ
		非常用シュート	非常の場合放射物体を滑り台式に排出する傾斜シュート
		破損燃料排出口	非常の場合放射物体を滑り台式に排出する傾斜シュート
放射燃料貯蔵室水槽設備	貯蔵室(水槽上走行)	放射燃料水中取り扱い装置	水槽に搬入された燃料要素の解体、冷却、輸送キャスク、格納などあらゆる取り扱いを行う。移動橋型台車上につかみマニプレータ、トンダ、ホイストなどの所要機材が装備される。
		使用済み燃料解体装置	○傾斜台(燃料要素を水平に倒す) ○燃料冷却管取去装置および冷却管スキップ ○使用済み燃料ウラン棒分割用水中鋸およびスキップ類 ○同上用操作ディスク
	使用済み燃料貯水槽内	検査用具	解体されたウラン棒を観察検査する水中照明器、水中ペリスコープおよび補助治工具類
		冷却架台類	放射燃料要素を水中冷却する貯蔵架台類(180本分)
		特殊工具および補助器具	ボンダ・ライト、水中観察補助器、清浄器(スプレー・クリナー)、手動挟み治具
	破損燃料貯水槽内	破損燃料貯水槽設備器材	破損燃料および汚染物を貯える水槽内にはストレージ・ラック、格納容器、ボンダ・ライト、ほか所要器材が設けられる



第4図 JRR-3 燃料取り扱い設備全配置図

いが、一般に潤滑剤の使用は制限されて困難な場合が非常に多い。

さらに炉の特定条件として、建屋の配置状態、炉室の設計、炉心タンクの構成と内部機構、インター・ロックの条件、燃料装填孔の構造、燃料棒の構成形状および数量、冷却材の種類、燃料装填溝密閉の要領、必要とされる遮蔽の程度、燃料交換の頻度およびその計画、あるいは取り替えに許される時間など、その炉固有の多くの因子に支配されることはいうまでもない。

JRR-3 においてもいくつかの難解な要求が生じたが、以下簡単に概要を述べる。

4.2 燃料取り扱い作業の種類と計画概要

(1) 新燃料の装填作業

新燃料要素の冷却管内を流れる冷却水量を炉心における配列位置に対応して所定値に調整し、燃料プラグと接合して炉心タンクに装填する。

(2) 燃料装填配置替え作業

平均燃焼度を増加する目的で、要すれば燃料装填配列位置の半径方向の配置替えを行う。

(3) 使用済み燃料の排出作業

炉心より使用済み燃料棒（燃料要素＋燃料プラグをいう）をとり出して、上部の遮蔽プラグ部分と下部の燃料要素部分とに分離し、燃料要素は炉建屋に隣接した貯蔵室水槽へもぐり水路をへて搬出し、燃料プラグは炉室の貯蔵孔に置いておく。貯蔵水槽に搬入された燃料要素は冷却管をとりはずし、アルミ被覆の状況を検査する。ついで長期間（約 100 日の予定）水中冷却ののち適当数に分割して燃料処理工場に発送する。

以上のような正常作業のほか、破損燃料や非常の際に必要な主な取り扱い機器の種類と構成要領を第 5 表に示す。またこれら主要機器の配置状態を第 4 図に示す。

4.3 自走型燃料取り替えキャスク

本機は炉心に対する新旧燃料の換装に任じ、とり出した使用済み燃料棒を炉室内のもぐり水路端にもうけられた排出室に運ぶ。また必要に応じ炉心の燃料配置替えにも使用される。本機の構造を第 5 図に示す。

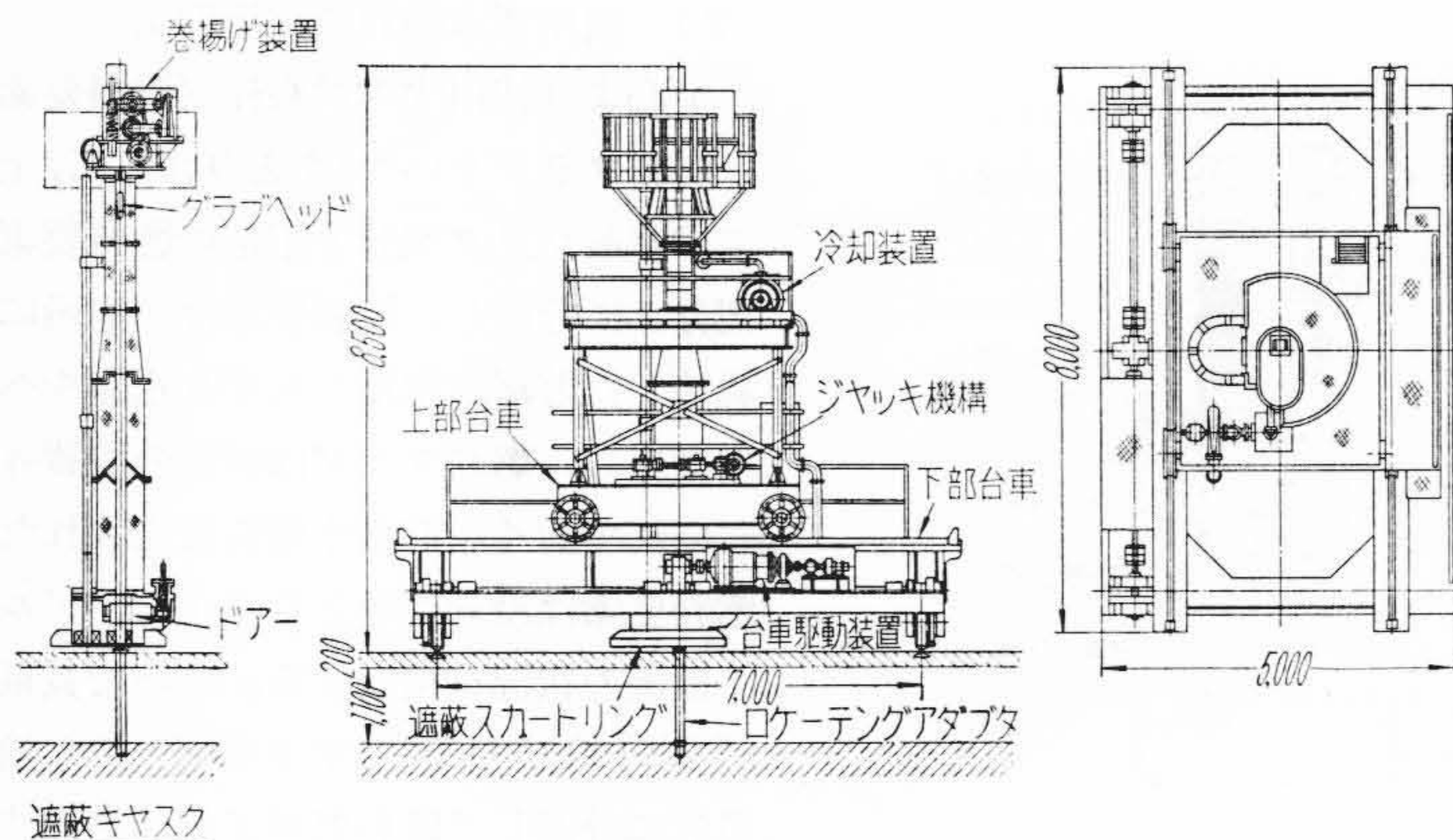
その主要な構成要素は、位置決め機構、換装機構、遮蔽および搬送機構で、運転保守上特に万全の信頼度が要求される。

遮蔽キャスクは外周約 300 mm 厚の鉛で囲った管状容器で、直交 2 方向に走行する台車上に塔載される。このキャスク上部には燃料棒をつかみあげる吊揚装置や燃料の冷却装置が、また底部には遮蔽扉、位置ぎめ装置、遮蔽環などが設けられる。遮蔽環は換装時炉頂の回転遮蔽体上面に着坐して、外周への放射線漏洩を阻止する。

上下台車はそれぞれ 2 台の電動機により大幅な高低二速度に駆走され、付属する位置決め用アダプターを介して高精度の位置決めを半自動的に行う。上部台車には遮蔽環および位置決め機構を昇降する同期ネジ・ジャッキが設けられている。

主要寸法仕様

全 高	約 8.5 m
全 幅	約 5.2 m
全 長	約 8 m
装備全重	約 80 t
走行速度	高速 10m/min, 低速 0.03m/min(可変)
横行速度	高速 5m/min, 低速 0.03m/min(可変)



第 5 図 JRR-3 自走型燃料取り替えキャスク

4.4 ストレージ・パイルおよび貯蔵水槽設備

炉室一端のストレージ・パイルには新燃料架棚、および模擬燃料装填試験装置、燃料プラグ・ストレージが、またその放射燃料排出室には燃料プラグ分離マニプレータが設けられる。放射燃料要素はこの室で分離され、水中チャンネルに設けられた搬出装置で貯水槽に送られ、各種の取り扱いがなされる。これらに必要な設備各機器については第 5 表に見られるとおりである。

5. 原子炉に使用する特殊材料

JRR-3 には燃料の天然ウランは別としてもその構造材として特殊な材料が多い。これらは今までわれわれが材料を選定する場合に考慮する化学的性質、機械的性質のほかに、もう一つ中性子に対する性質というものが大きな要素となってくる。すなわち炉心に用いるものはなるべく熱中性子を吸収せずに核分裂の連鎖反応を容易にするものが望まれ、逆に炉の外側では熱中性子の遮蔽として熱中性子をよく吸収するものが必要になる。これらの点から JRR-3 では炉心には中性子吸収断面積の小さいアルミニウム (0.23 バーン) を採用し、特に燃料棒の被覆には純度の高い 2 S-Al を機械的強度の必要な炉心タンクには 52 S-Al を用いている。アルミニウム製タンクの製作については精度を要求されるため問題点があるが、幸い後述するように実物大のモデルを製作し、製作上の諸問題はすべて解決済みである。

中性子の遮蔽には熱中性子吸収断面積の大きいカドミウムやボロンが用いられる。ボロンとカドミウムを比較するとボロンの方が原子量、比重とも小で、融点が高く中性子吸収材として好適である。さらにカドミウムは (n, γ) 反応で硬い γ 線を発生するが、ボロンは (n, α) 反応でわずかに柔い γ 線を発生するだけである。ボロンは種々の状態で用いられるが、これをボロン・カーバイト (B_4C) とし、このボロン・カーバイトとアルミニウムの混

合体をアルミニウムの板でサンドイッチしたものがボラルと称せられるものですでに国産されている。この (n, α) 型反応の断面積は 750 バーンであり、 $1/4"$ のボラルで中性子は 10^{-10} 減衰される。ただ加工方法にかなり問題があったがこの問題もすでに解決している。

原子炉では熱中性子の遮蔽とともに γ 線の遮蔽が大きな問題であるが、この遮蔽には比重の大きいものほど有効である。特に鉛は優秀な性質をもっているので使用箇所が多い。鉛は別に特殊な材料ではないが、厚さ 100mm 以上

のものを使用するので、その充填方法につきかなり研究を要する問題があったがこれも解決済みである。

コンクリートは安価で、中性子および γ 線の優秀な遮蔽材として使用例も多いが、JRR-3 にはさらにその遮蔽効果を増すために、骨材に磁鉄鉱を用いて比重を 3.8 以上にあげた重コンクリートを使用する。さらに燃料棒のプラグおよび上部遮蔽体のような重コンクリートの充填が困難な部分には前述のように流動性のよいモルタルにスチール・ショットを混合した重モルタル (比重 3.5) を充填する。

6. 今後の計画および開発試験研究

上述のごとく JRR-3 の設計段階はほぼ終了して、製作に移るわけであるが、現在計画されている JRR-3 の建設工程は昭和 34 年 6 月より各機器の現地据付工事は始まり、昭和 35 年 5 月に全機器の据付を完了し、総合試験を 11 月ころまでに行い、昭和 35 年末には臨界に達する予定である。

われわれは設計の途上、図上検討のほか試作および模擬試験など一連の開発試験を行い、あらゆる面から検討を加える必要性が痛感された。

原研においてもかかる開発試験研究の必要性をつとに認め、原研開発試験室においてこの研究を促進することになった。日立製作所はこの計画に参加し

- (1) 模擬燃料棒の流動予備試験装置
- (2) 炉心タンク・プリナム室の流量配分予備試験
- (3) 実物大炉心模型の製作および模擬燃料棒による流量配分試験
- (4) 実物大燃料キャスク製作および燃料棒着脱試験などの実験設備を製作し、日立製作所日立研究所において、原研担当者とともに研究を進めている。

さらに日立研究所では原子力局から JRR-3 の燃料棒を対象とした燃料棒被覆の研究の委託をうけて試作を行

っている。

JRR-3 に関連し今後特に力を注いで研究しておかねばならぬことは、検査方法の基準をもとめるための試験であり、検査設備の整備である。

日本原子力研究所理事杉本朝雄博士、石川寛、平山省一、井出村英雄各氏そのほか関係の皆様は厚く御礼を申し上げます。

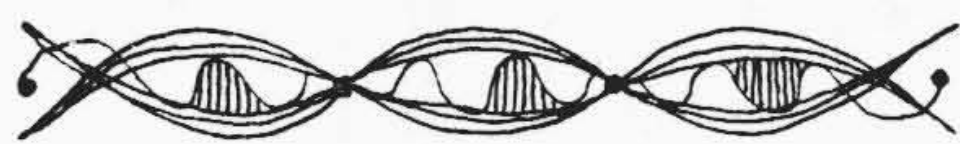
7. 結 言

以上日立製作所が原子力研究所に協力して行ってきた設計について的一端を述べたが、不明の点も多くいろいろ苦心した。これらの多くの問題点も一つ一つ解決し、この製作に自信をもつ段階に達することができた。JRR-3 として何よりもまず確実な製品をつくるということを目指して努力している。みなさんの御指導御鞭撻をお願いしてやまない。

本設計を行うにあたって終始適切な指導を与えられた

参 考 文 献

- (1) 神原, 松本: 原子炉設計基礎研究報告書, 91(昭 31 学振)
- (2) 柴田, 松本, 平山: 機学誌, 59, 500 (昭 31)
- (3) 松本: 原子力工業 2, 7 (昭 31-8)
- (4) 原研: 国産1号炉設計仕様書 (昭 32-3)
- (5) J. A. Bolton et al: Nucleonics 13, No. 6 (June 1955)
- (6) S. Mc Line et al: Trans. A. S. M. E. (1955)
- (7) J. E. Seward et al: Advances in Nuclear Engineering (1957)
- (8) A. H. Barnes et al: Geneva Conf. III (1955)



特 許 と 新 案

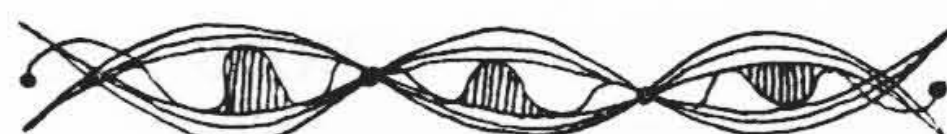


最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その1)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
特 許	244746	蒸 気 タ ー ビ ン 保 安 装 置	日立工場	和田 静哉 菊池 松人	33. 8. 25
"	244757	油 圧 追 従 機 構	日立工場	伊藤 晃二	"
"	244761	油 膜 型 時 限 装 置	日立工場	滑 川 清	"
"	244773	滑 動 環 短 絡 装 置	日立工場	蕨 沢 功	33. 8. 26
"	244774	滑 動 環 短 絡 装 置	日立工場	蕨 沢 功	"
"	244790	液体抵抗器を用いた誘導電動機の制御装置	日立工場	泉 千吉 岩城 秀夫 宮 沢 浄	"
"	244791	空 気 分 離 装 置 の 加 温 装 置	日立工場	松本 嘉雄 黒 沢 光明	"
"	244758	遠 方 監 視 制 御 装 置	国分工場	三 田 勝 茂	33. 8. 25
"	244768	遠 方 操 作 閉 鎖 復 帰 装 置	国分工場	池 田 正 一 郎	"
"	244782	窒素ガス封入碍管の窒素ガス封入法	国分工場	落 合 正 太 郎 清 水 邦 彦	33. 8. 26
"	244789	エスカレータ踏段照明装置	国分工場	神 峰 次 郎	"
"	244753	車 輜 制 動 装 置	水戸工場	古 山 義 雄	33. 8. 25
"	244770	バネクイル式駆動台車の偏揺防止装置	水戸工場	有 井 英 俊	"
"	244776	パンタグラフ昇降装置	水戸工場	山 崎 武 雄	33. 8. 26
"	244777	煙 管 式 ボ イ ラ	笠戸工場	勝 尾 貞 徳	"
"	244747	粒体を含む流体を輸送する装置の吸入弁排出弁洗滌装置	亀有工場	保 延 誠 三	33. 8. 25
"	244755	正逆転クラッチのインターロック装置	亀有工場	渡 部 富 治	"
"	244762	制 動 装 置	亀有工場	渡 部 富 治	"
"	244763	歯 車 の 潤 滑 方 法	亀有工場	保 延 誠 三	"
"	244764	パンコベヤの中間駆動装置	亀有工場	亀 井 茂 樹	"
"	244769	水位調節による採炭装置	亀有工場	保 延 誠 三	"
"	244771	チエンコンベヤの中間駆動装置	亀有工場	盛 武 賢	33. 8. 26
"	244779	水切り部の交換可能なポリュートケーシング	亀有工場	水 口 保 昭 小 野 寺 正	"
"	244783	ロックチャンバ型石炭水力輸送装置	亀有工場	細 田 益 三	"
特 許	244784	ホ ッ パ の 開 閉 装 置	亀有工場	田 中 春 雄 早 川 清	33. 8. 26

(次頁へ続く)



(その2)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
特 許	244785	投 上 型 積 込 機	亀 有 工 場	盛 武 賢	33. 8. 26
"	244787	ロ ッ ク チ ャ ン バ 型 石 炭 水 力 輸 送 装 置	亀 有 工 場	細 田 益 三	"
"	244756	自 動 変 速 装 置	川 崎 工 場	間 宮 健 次	33. 8. 25
"	244788	ブ ロ ヱ ー に お け る ガ ス 漏 洩 防 止 装 置	川 崎 工 場	忍 足 貞 剛	33. 8. 26
"	244754	凹 曲 線 歯 形 を も つ は す ば 平 歯 車 と 鼓 形 ウ ォ ー ム を 組 合 せ た ウ ォ ー ム 歯 車 装 置	多 賀 工 場	景 浦 敬 次 郎	33. 8. 25
"	244759	周 波 数 調 整 装 置	多 賀 工 場	内 田 昭 就	"
"	244760	籠 型 回 転 子	多 賀 工 場	小 沢 重 樹	"
"	244781	行 列 自 動 運 行 ホ イ ス ト 装 置	多 賀 工 場	横 井 俊 雄	33. 8. 26
"	244766	同 期 開 閉 装 置	亀 戸 工 場	和 内 直 中	33. 8. 25
"	244767	同 期 開 閉 装 置	亀 戸 工 場	和田 正 脩 平 三 藏	"
"	244772	通 風 ダ ク ト を 有 す る 鋳 込 籠 形 回 転 子 の 製 作 法	亀 戸 工 場	小 市 安 和 田 林 川 藤 田 林 川 藤 本 正 義	33. 8. 26
"	244786	電 磁 石 装 置	亀 戸 工 場	大 井 田 浩	"
"	244740	誘 導 式 レ ピ ー タ ー に お け る ダ イ ヤ ル イ ン パ ル ス 識 別 方 式	戸 塚 工 場	田 島 喜 平 太 茂 郎	33. 8. 25
"	244741	未 使 用 表 示 を 有 す る 割 込 防 止 多 数 共 同 加 入 電 話 回 線 方 式	戸 塚 工 場	江 上 森 喜 平 太 茂 郎	"
"	244742	未 使 用 表 示 を 有 す る 割 込 防 止 多 数 共 同 加 入 電 話 回 線 に お け る 着 信 方 式	戸 塚 工 場	田 島 喜 平 太 茂 夫 郎	"
"	244743	割 込 防 止 多 数 共 同 加 入 電 話 回 線 に お け る 相 互 通 話 方 式	戸 塚 工 場	江 上 森 喜 平 太 茂 郎 夫 博 郎	"
"	244744	多 数 共 同 加 入 電 話 装 置	戸 塚 工 場	高 猪 瀬 五 郎	"
"	244745	誘 導 衝 流 を 使 用 す る 電 話 中 継 方 式	戸 塚 工 場	江 大 塚 英 次 郎	"
"	244752	熱 的 可 変 抵 抗 体 を 利 用 し た 制 御 用 継 電 器 装 置	戸 塚 工 場	田 島 喜 平 太 基 敏	"
"	244748	ポ リ エ ス テ ル 製 造 方 法	絶 縁 物 工 場	清 北 村 四 郎 弥 善 郎	"
"	244749	新 規 ポ リ エ ス テ ル 製 造 方 法	絶 縁 物 工 場	鶴 古 飯 島 貞 四 郎 弥 善 郎	"
"	244750	共 重 合 体 製 造 方 法	絶 縁 物 工 場	鶴 古 飯 島 貞 四 郎 弥 善 郎	"
"	244751	新 規 共 重 合 体 製 造 方 法	絶 縁 物 工 場	鶴 古 飯 島 貞 四 郎 弥 善 郎	"
"	244765	自 動 移 相 装 置	日 立 研 究 所	小 野 田 芳 光	"
"	244775	含 浸 炭 素 材	日 立 研 究 所	一 木 利 文 信 熙	33. 8. 26
特 許	244778	電 気 ガ バ ナ を 使 用 し て 交 流 発 電 機 の 起 動 お よ び 同 期 化 方 式	日 立 研 究 所	小 近 林 栄 大 吉	33. 8. 25

— 14 —