原 28. 子

ATOMIC ENERGY

昭和35年におけるわが国の原子力開発をふりかえってみると、よ うやく準備段階をおわって、より明確な目標に向かって、実用段階 への第一歩を押し進めることになったといえる。日立製作所におい ても工場、研究所の緊密な協力のもとに築かれた多方面にわたる総 合技術をもとにして多くの成果をあげた。

まず製作部門でみると,東京大学に納入する水減速臨界未満集合 体実験装置 (Sub-Critical Assembly) の製作をなかば完了するとと もに、これに付属する放射線計測装置を受注した。本装置の完成は 昭和36年3月であり、その成果が注目されている。

科学技術庁がわが国の原子力技術の開発向上の助成策として募集 した実験用小形原子炉の製作を行うことになり補助金を交付され た。この原子炉はタンク形プール付熱出力100kWのもので、原子 炉運転訓練を目的とするとともに,中性子照射実験,アイソトープ 生産なども行なえるように考慮したものである。昭和35年5月この 原子炉の設置が許可され、川崎市王禅寺に建設することに決定し、 鋭意製作中であり、わが国最初の純国産民間原子炉として完成がま たれている。

ズマの発生に関する研究

亜酸化窒素の分解による大線量γ線の測定に関する研究 (2)

臨界未満実験装置 28.0.1

新たに原子炉を計画するとき,計算によって臨界量,炉内の中性 子束分布,反応度,制御棒のききかたなどを求めるが,さらに実験 によりこれらの数値を確かめておかなければならない。本装置は東 京大学に納入して、このような実験に使用されるばかりでなく、さ らに基礎的な核物理実験や学生の教育訓練にも利用できるように計 画したものである。

装置の主要部である炉心部は直径 1,650 mm のアルミニウム製タ ンクの中にはいっている。燃料は直径 24mm, 高さ 25mmの天然ウ ラン酸化ウランペレット40個をアルミニウム製の燃料被覆管に挿 入したものを 520 本用意し,酸化ウランの総重量は 2.3 t である。燃 料棒のピッチは4種類に変えられるようになっており、広範囲にか えられる水面調整とともに原子炉の最適の条件を求めることができ る。

減速材はイオン交換樹脂塔をとおし純水にして,加熱器で温度を

東京急行原子力グループが武蔵工業大学に設置する原子炉施設は 技術コンサルタントとしてその計画を進めた。主要設備はアメリカ の General Atomic 社で製作する熱出力 100 kW の研究用原子炉 TRIGA-II 形を中心に、学生の教育訓練に使用しうるものとして RI 実験室,加速器, Co⁶⁰ 照射装置などである。なお日立製作所は、こ の原子炉の据付けおよび炉心タンク,原子炉付属設備の製作を行う ことになった。

日本原子力研究所の国産1号炉の製作は順調に進み,昭和35年3 月の熱遮蔽タンクの現地搬入据付けにはじまり、引き続いて垂直実 実験孔、水平実験孔、サーマルコラム枠、生体遮蔽内配管、スリー ブ類などのとりつけおよび炉心タンクの仮挿入芯出しなどを行なっ た。

一方放射線測定器部門の製作についてみると, 各産業の放射性ア イソトープの利用が急速に増加しており、日立の放射線測定器もこ れにともなって,目的に応じた機種の開発,性能の向上をはかった。

次に研究部門をみると,原子炉物理,核物理をはじめとして原子 炉計測制御,原子炉の安全性,原子燃料加工・再処理技術,放射線 測定装置, RI 利用機器などの研究を引きつづき発展させた。

日立製作所日立研究所でかねてから進めていた Na 系液体金属に よる金属材料の腐食の研究は、日本原子力研究所から協力の要請が あって共同研究を行なうことになった。なおこの付帯設備として液 体金属高速度動的腐食試験装置を製作した。

原子力発電所の実用期に備えて,技術的問題点を解明するための プラントの設計研究を工場,研究所が協力してすすめた。またこの 成果をもとにして,各電力会社と共同設計研究も行った。

原子力船の研究部門では, 飯野海運, 飯野重工, 日立造船株式会社 と協力して進めた間接サイクル沸騰水形原子炉を搭載した 65,000 DWT の油タンカの設計研究を昭和35年7月完成するとともに、日 産汽船,日本鋼管,丸紅飯田株式会社と進めていた46,000 DWT 間 接サイクル沸騰水形原子力鉱石船の協同設計研究を同年10月に完成 した。

一定に保って実験を行なう。

炉心部は天然ウランと軽水より構成されるので絶対に臨界に達す る恐れがなく、したがって安全性は高く、付属設備も簡単である。

炉心タンクの下部には黒鉛をつめたペデスタルがあり, この中に 中性子源をいれて照射を行なう。

臨界にならないので制御系は簡単でよいのであるが、教育訓練用 と将来を考えて原子炉と同じ仕様で構成している。

そのほか付属設備として中性子束分布測定装置,中性子源装置, 燃料組替装置,冷却水循環装置を備えている。

第1図は装置本体の構造を示す。

28.0.2 教育訓練用原子炉

本炉は科学技術庁原子力局から助成金を交付されて製作している もので、国産技術による小形実験用原子炉として注目されている。 設計にあたっては,教育訓練を目的として,制御安全系統を特に重 視し,安全度を高めるとともに,各種実験装置に考慮をはらった。 おもな仕様は次のとおりである。

なお本炉の設置は昭和35年5月許可され、川崎市王禅寺にある東 京原子力産業研究所内におかれることになっている。

本原于炉のおも14仕様は	下記のとおりである。
--------------	------------

炉の形式	濃縮ウラン軽水減速冷却形
燃料	濃縮度10% 酸化ウランセラミック
	初期装てん量 約4kg(u ²³⁵ 重量)
減速材,冷却材	軽水
反 射 体	黒鉛および軽水
熱特性	
熱出力	100 kW
冷却水温	42°C

このほか科学技術庁からの原子力平和利用研究の助成金をうけて 次の研究を進めている。

(1) イオン・サイクロトロン・レゾナンス方式による高温プラ

核特性 熱中性子束 炉心平均 約1.4×10¹² n/cm²s 炉心中心 約2.7×10¹² n/cm²s 超過反応度 約1.25% *Ak*/k 制御棒 3本(ボロン不銹鋼) シム安全棒 調整棒 1本(不銹鋼)



第1図 臨 界 未 満 実 験 装 置



実験設備	
水平実験孔 150 mm¢	4本
水平貫通孔 25 mm¢	1本
気 送 管 25 mm¢	2本
RI製造設備	1式
熱中性子柱	1式
遮蔽実験用プール	1式
アイソトープ・トレン	

200 mm×100 mm 2本 **第2**図は本原子炉の縦および横断 面図を示す。

28.0.3 ヘリウム純化装置

日本原子力研究所 JRR-2 原子炉 の炉心を入れる重水タンクの重水上 部にヘリウムを封入してあるが,燃 料交換時少量の空気がそのヘリウム に混入するためこれを除去する必要 がある。

本装置はこの不純ヘリウムを抜出 して, 混入した空気を除き, ふたた び高純度のヘリウムとして重水タン クにもどす循環系である。

装置は極低温度において吸着材活

性炭が、 ヘリウム中の空気を多量に

①炉 i ② 反 体 射 ③ 炉 心 タ ン ク ④生体遮蔽体 ⑤水平実験孔 水平貫通孔 (6) ⑦気 送 管 ⑧ R I 製造設備 (9) サーマルコラム 遮蔽実験用プール (10) (I) RI トレン 制 (12) 棒 制御棒駆動装置 (13) (14) 中性子計測器 ブリッジ (15) 16 移動用キャスク ⑪ 使用済燃料架台



選択吸着する特性を応用したものである。 本装置は下記のおもな機器から構成されている。 1. ヘリウム圧縮器





210昭和36年1月

H 立.

評 論



(\mathbf{D})	~ "	ワム日	上稲機		(5)	收	体 窒	素
(2)	予	冷	器		(6)	活业	生炭吸	着器
(3)	冷	却	器		$\overline{7}$	活	性	炭
(4)	乾	燥	器		(8)	重	水	溜
	第3	\mathbb{X}	$\sim y$	ウ	ム純化	装置	置系統	\mathbb{Z}

- 2. -J-冷器
- 3. 冷却器
- 乾燥器 4.
- 活性炭吸着器 5.
- 6. 重水溜

第3図に本装置の系統を示す。

28.0.4 燃料体熱伝導測定装置

本装置は日本原子力研究所国産一号炉用燃料体の半径方向の熱伝





導度を測定する装置であり、直径 25 mm 円筒形ウランと、その外 周の被覆アルミニウムとの間の温度降下を測定し熱伝導度を求める ものである。

装置は対流をなくすため真空中で燃料棒の短片を試料として、そ の中央に挿入したヒータにより一定出力で発熱し、試料表面から熱 輻射で真空容器内面にいたる熱流を発生させて、定常状態でウラン 部,アルミニウム被覆部の温度の測定ができる。試料を入れる真空 容器壁は二重にしてその間に冷却水を流し、またヒータの出力は加 減できるので、ウラン部の温度を 300℃から 900℃にわたってデー タをとることができるようになっている。

第4図に本装置の全体を示す。

28.0.5 液体金属高速度動的腐食試験装置

原子炉の冷却材として Na はいくつかの利点をもつが、また反面 欠点もある。その一つとして Na 中に酸素が含まれていると、使用 材料の腐食をいっそう促進するばかりでなく,沈着を起し,ついには 配管系を閉塞する危険がある。本装置は Naによる材料の腐食, Na の純度管理ならびに伝熱などの問題を日本原子力研究所と日立製作 所との間で、協同研究するために、日立製作所日立工場内に設置さ れたものである。装置は600°Cの高温で腐食状態が動的,静的同時に 測定できるようになっている。 Na は貯槽から機器ならびに回路全 体に補給されて電磁ポンプで循環される。

装置の構成機器は下記のとおりである。

- 1. 試験タンク
- 2. 加熱器
- 3. 熱交換器
- 貯 槽 4.
- 冷却器 5.

を減じなければならない。その方法には蒸発濃縮法,イオン交換法, 凝集沈でん法などがあるが、凝集沈でん法は低放射能レベルのもの において独立した方法として用いられるほか、中、高放射能レベル のものに対する蒸発濃縮法やイオン交換法の前処理として用いても 有効な方法である。凝集沈でん法は廃液中で羽毛状の沈でんをつく り, コロイド状の放射性および非放射性物質をつつみこんで除き, 同時に種々のアイソトープイオンを吸着して除去する方法である。 従来は凝集沈でん剤としては水酸化アルミニウムや水酸化鉄が用い られていたが、これらは最も毒性の大きいセシウムやストロンチウ ムを十分に除去することができない。それゆえこれらをも十分に除 去する新しい凝集沈でん剤が求められていた。いままであまり詳し い研究が発表されていないフェロシアン化ニッケルについて調べた 結果セシウムやストロンチウムが単独に存在する時はもちろん、こ れらが共存している場合でも十分に除去されることがわかった。さ らに核分裂生成物に含まれている¹⁴⁴Ce-¹⁴⁴Pr, ⁹⁵Zr-⁹⁵Nb, ¹⁰⁶Ru-¹⁰⁶Rh がおのおの単独に存在する場合の除去について調べた結果, CeおよびRuはpH7以上のアルカリ性では95%以上の除去されZr は pH に関係なく97%以上除去されることを知った。 混合核分裂生成物のフエロシアン化ニッケルによる除去率は pH 8~13においてβ線測定結果では90%以上,γ線測定結果では95% 以上で pH がこれより大きくなっても小さくなっても除去率はやや 低下する。

6. 電磁ポンプ 7. コールドトラップ 8. 架 台 9. 計器その他 第5図に本装置の系統を示す。 28.0.6 放射性廃液処理法の研究 放射性廃棄物のうち,液体廃棄物はなんらかの方法で濃縮し容積

原

子

力

> ⑥ イオン 交 換 器 ①集液槽 No.1 ⑦ 蒸 兊 ② pH 調 整 槽 ⑧ 凝 ③凝集沈澱槽 縮 ⑨復水タンク ④ 集 液 槽 No.2 5 Ji 10 稀 调 器 第6図 放射性廃液処理装置の系統図

次に界面活性剤を含む放射性廃液処理について研究した。界面活 性剤が廃液に含まれると蒸発濃縮法を行なう場合でも,またイオン 交換法を行なう場合でもきわめて発泡しやすく除染係数を十分に高 めることができないと思われる。一般に界面活性剤を沈でんとして 除くことは困難である。しかしある種の界面活性剤はリンタングス テン酸で沈でんするので界面活性剤の定量に用いられている。しか るにこの界面活性剤のリンタングステン酸による沈でんは共存放射 性イオンをも同時に沈でんに吸着除去することが見出された。した がって界面活性剤の種類によっては,活性剤と放射性イオンの除去 とを同時に行なうことが可能である。



(右からチャンネル切換機構部,検出装置,データ処理装置) 第7図 チェレンコフカウンタによる燃料破損検出装置



これらの実験を各種方法と比較しながらモックアップテストをする放射性廃液処理装置を試作中である。

そのおもな仕様は次のとおりである。

凝集沈でん槽 容量 5 m³

蒸発濃縮罐 処理能力 0.2 m³/h(200 kW)電気直熱式

イオン交換塔 処理能力 0.5m³/h(再生式) 第6図に本凝置の系統を示す。

28.0.7 チェレンコフカウンタによる燃料破損検出装置 沸騰水形原子炉における燃料破損の検出に有効であると考えられ る核的方法としては、冷却体試料中の放射能の直接的測定(差動ガ ンマ線スペクトロメータ方式)と、核分裂生成物からの遅発中性子を 検出する方法とが普通に用いられるが、核分裂生成物に特有な高エ ネルギーβ線を利用するチェレンコフ・カウンタによる方法は、数 分の時間遅れを許容すれば、高い感度が期待できる方法である。

燃料チャンネル 480 本の沸騰水形原子炉の各チャンネルより試料 水を採集し,これを電磁弁で切換えることによって15組の検出装置 で検出し,あらかじめ設定した値よりも多過ぎたり,少な過ぎる場 合には操作員に警報を与えることができる。全体はチャンネル切換 機構,検出装置およびデータ処理装置の3部より構成される。各チ ャンネルの測定時間は30秒,チャンネル切換時間 7.5 秒,読み出し 時間 2.5 秒,測定周期20分である。データは最終的には5けたの数 字として印字され,15行32段に作製される。 チェレンコフカウンタを用いる方法を原子炉に対して実用してい る例は未だみられず,本研究がチェレンコフカウンタの工業的応用 いの足掛りとなりうるものと期待できる。第7図に本装置を示す。 28.0.8 マルチチャンネル波高分析装置 ィ線検出器としてのシンチレーションカウンタからの出力パルス 変

第8図 マルチチャンネル波高分析装置



第9図 マルチチャンネル波高分析装置回路図

は、A-D 変換器の入力端子において 0~+100V の範囲にあるよ うに比例増幅器で増幅される。A-D 変換器では一つのパルスが、 その波高に比例した数のパルス群に変換され、この量子化されたパ ルス群は司令回路をとおって計算機部で記憶動作、すなわちアドレ ス選択とメモリ・サイクルとを行なう。 γ線検出器より出た信号は 記憶動作を繰返すことによって磁心マトリックス記憶装置に蓄積さ れ、蓄積された情報はふたたび D-A 変換されることによってブラ ウン管上にアナログ表示されたり、あるいはディジタル量として読 出され印字される。さらにアナログ量の形で記録電圧計にスペクト ルを書かせる表示法も可能である。パルス波高の分割チャンネル数 は16²=256 であり、各チャンネルの記録容量は 2¹⁶-1=65,535、平均 変換所要時間は 80µ 秒、変換精度は 0.2% 程度である。本装置の特



第10図 RHM-2A形 α 線 ハンドフットモニタ

長はアドレス・スケーラと してビーム切換管を使用し たことで,これによって論 理回路が簡単化されたこと

第11図 低バックグラウンドエアモニタ

第12図 RAM-3形エアモニタ



と,将来さらに高速化が要 望されるときに簡単に実現 できることである。

装置の適用対象は単に放 射線エネルギーのみでな く, パルス波高に変換でき る測定量にはすべて適用で ある。たとえば雑音の分 析, パルスの時間分析の測



第13図 H/C メータ

定などへの応用も期待できる。第8図は本装置の外観,第9図はそ の回路図を示す。

28.0.9 放射線測定器

昭和35年度は各種の実験用原子炉の建設が行われ、各産業のアイ ソトープ利用が急速に増加してきた。日立の放射線測定器もこれに 伴なって一段と品種が増し、その性能も向上の一途をたどってい る。特に34年来開発中であった各種モニタはα線ハンドフットモニ タをはじめとしてそのほとんどが製品化された。炉計装としては東 京大学納臨界未満実験装置および TAIC (東京原子力産業会)研究所 納100kW 教育訓練用原子炉制御用計測装置を製作した。一方理化 学器械としてのカウンタや分析装置は、独特のパルス技術によって 著しい発展をみせた。

エアモニタ(ダストモニタ)は改良の結果すべてトランジスタ化さ れ、高性能を発揮している。これは空気中のじんあいを乾式電気収 じん装置によって高い効率で集じんしてその放射能を測定するもの で、約15分の集じんで $10^{-12}\mu c/cc$ の検出感度をもっている。また 科学技術庁から補助金の交付を受けて低バックグラウンドエアモニ タを試作完成した。本装置は空気中の放射能の絶対測定が目的で, 湿式コットレルによって100% 近い集じんを行い, α , β , γ 各放射 線のそれぞれの計数から汚染絶対量を検出するものである。 特に γ 線に対してはアンチョインシデンス法によるバックグラウンドの低 下をはかった。 各種モニタの中でウェストモニタは検出感度の点で最も困難とさ れ、従来は原子炉のアイソトープ処理後の廃液危険濃度の検出を短 時間に自動的に測定できるものがなかった。昭和35年は種々試作の

結果煮沸と滴下,蒸発乾固方式により10⁻⁸µc/ccを100分以内で検 知することに成功した。

計測器ユニットとしては新しく 5kV 高圧安定電源, リニア増幅 器,炉周期増幅器,レートメータなどを製作した。これらはすべて 小形、安定性、性能の面で従来のものより非常にすぐれている。

特殊品としては H/C メータを完成して防衛大学に納入した。こ れは水素原子と炭素原子または他元素の原子とでβ線吸収率が約2 対1の相違を示すことを利用したもので,炭化水素の精密分析に使 用されるが、化学工業への応用が大いに期待される。

28.0.10 β線励起 X線厚み計 放射線厚み計を利用する場合, 1g/cm²以下の厚さに対しては β 線厚み計が、10g/cm² 以上の厚さに対しては Cs¹³⁷ や Co⁶⁰ を用い るγ線厚み計が非常に効果的である。一方両者の中間の1-10g/cm² の厚さに対して適当な放射線は 70-80 kev のXまたは γ線である が、実用的な厚み計に利用できるような放射性物質には、このよう



原

子



力

213

第16図 パルス的に発生された中性子バースト



第15図 パルス発生部

なγ線を放出するものがみあたらない。

Sr⁹⁰—Y⁹⁰ などの β線を鉛ターゲットに当てて発生させた いわゆ る β線励起X線は74 kev の鉛の K-X線を多量に含むので、この目 的には適当であると考えられる。しかしながらこの線源は相当量の 高エネルギー制動放射X線をも含んでいる。また普通に使われてい るイオン槽は,高エネルギーX線に対して感度が良い。したがって, このような線源とイオン槽との組合わせでは、見掛けのX線エネル ギーが 74 kev よりかなり大きくなり、良い結果が得られない。日 立製作所中央研究所では、この問題を解決するために主としてイオ ン槽について研究を進めた。その結果二つの線質特性を異にする平 行板形イオン槽を組合わせた検出器を開発し、それとβ線励起X線 とを用いることによって1-10g/cm²の範囲に適当な厚み計を作る ことができた。第14回にこの厚み計の特性を示す。普通のイオン 槽を用いたものは吸収曲線の傾斜が小さく 1-5g/cm² の範囲では 著しく精度が劣化するが,新イオン槽を用いたものは傾斜が適当で あり1-10g/cm²にわたって最も良い条件で使えることを示してい る。

日立製作所多賀工場ではただちにこの方式を採用し,製品化をす でに完了した。これによりすでに開発されているβ線厚み計および γ線厚み計と合わせて,すべての厚さ範囲に対して放射線厚み計を 提供することができるようになった。

28 0 11 加速哭に上ろ減速材の尚粉測点

第17図 パルス中性子密度の時間減衰常数

クロフトワオルトン形加速器のパルス運転化と,20チャンネル時間 分析装置を完成して,良好な結果を得ている。

第15図にパルス発生部を示す。①はパルス化のための偏向電極, ②は連続ビームによるバックグラウンドを減少するパラフィンと Cd のシールド,③は分析用電磁石,④はターゲット部,⑤は速中性 子用シンチレーションカウンタ、⑥は熱中性子用 BF₃ カウンタ、⑦ はストレイ中性子に対する B₄C シールド、⑧は試料を入れる Al の 容器の上部である。第16 図 にパルス状に発生された中性子バース トの BF₃カウンタによる検出パルスの模様を示す。一つのバースト に対応して数千個の検出パルスがみられ、このパルス数の時間分布 は指数減衰をしている。

このような実験装置を用いて種々のバックリングに対する軽水に よるパルス中性子密度の時間減衰の減衰常数えを求めたものを第17 図に示す。この図の点線がx軸およびy軸と交る点から減速材の種 々の常数が決定される。この例では

 $\begin{cases} 1/\lambda_a = 218 \ \mu \text{sec} \\ D_0 = 2.6 \times 10^4 \end{cases}$

の値を得ている。これを現在一番正しいと思われる 1/λa ≥205, お 上び Do ≈35×104 と比較する時、バックグラウンドの除す、方次 5

28.0.11 加速器による減速材の常数測定	よび D ₀ ≅3.5×10 ⁴ と比較する時, バックグラウンドの除去, 高次モ
パルス中性子技術を原子炉物理実験の研究に応用し、中性子減速	ードの汚染, 実験配置の検討など残された問題も多く, 鋭意続行中
材の減速拡散常数や炉反応度を測定することを目的として、コック	である。

