

27. 原 子 力

ATOMIC ENERGY

わが国の原子力開発は着実に経験を積み重ねつつあるが日立製作所においても、多方面にわたる原子力総合技術の開発、研究、製作を行うために、昨年は原子力部門の陣容を充実するとともに、設備の拡充を行った。すなわち本社に原子力部を新設するほか中央研究所に原子力の基礎研究を目的とした理論、実験の各研究室および加速器、放射性同位元素実験室などからなる中央研究所原子力センターを設置し、日立研究所には原子力燃料の加工、再処理のプラントなどの試作設備を整備し、さらにアイソトープセンターを完成した。これらを中心として各工場の関係部門の緊密な協力のもとに数々の成果を残してきた。

まず研究部門では、原子力発電所、動力用原子炉を主とした原子炉技術、原子燃料の加工・再処理装置、核融合装置、アイソトープ利用などの研究を進めている。特に炉心部の計算にあっては電子計算機による計算方式を完成し著しくその能率を向上することができた。

原子力発電所の第1号として英国形動力炉の輸入が考慮されているが、この形の原子炉の将来の国産化にそなえて東京電力株式会社と電気出力 250,000 kW の天然ウラン黒鉛減速、炭酸ガス冷却の発電所の共同設計研究を行い、種々の物理的現象の解析を行った。また九州電力株式会社とは英国形原子力発電所の共同調査を進め完了した。

原子力船の研究部門では、日立造船、飯野海運、飯野重工業株式会社などと沸騰水形原子炉を動力源とした 65,000 DWT の油タンカーの共同設計研究を、また日本鋼管、日産汽船、丸紅飯田、富士銀行株式会社などと 45,000 DWT の原子力鉱石船の共同設計研究を進めており、近い将来の海運界の要望に応えるべく万全を期している。

科学技術庁の研究助成金をうけて一昨年より引き続いて行っていたウランの同位元素存在比測定用質量分析計、原子炉冷却用液体金属循環用電磁ポンプ、原子燃料の被覆などの製作研究はそれぞれ完成した。さらに昨年は次の項目の補助金の交付をうけて現在その研究を進めている。

- (1) 低バックグラウンドエアモニタの試作
- (2) 液体金属伝熱回路の試作による熱伝達などの基礎研究
- (3) チェレンコフ効果を利用した燃料破損検出装置の試作研究

次に製作部門では、日本原子力研究所に納入する天然ウラン・重水形熱出力 10,000 kW の国産 1 号原子炉の炉

本体、燃料取扱設備および重水循環ポンプの設計を完了し、これとあわせて、この燃料部分の模擬実験装置や炉心タンクの実物大のモデルを作成して各種の実験を行った。この成果をもとにして、現在この原子炉本体、燃料取扱設備などの製作を担当して、慎重な作業を進めている。

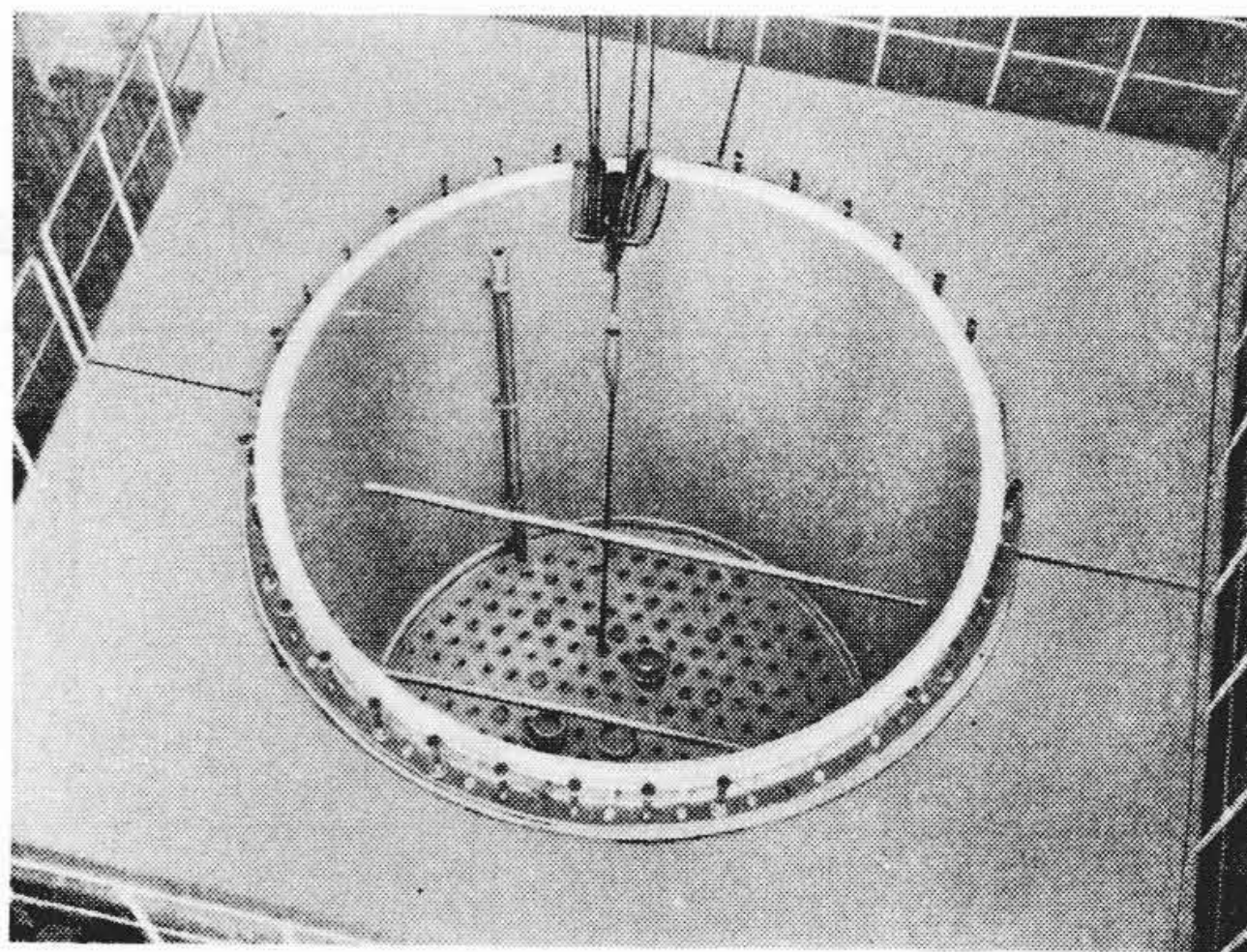
発電用原子炉としては、軽水減速・冷却形の将来性が安全性、経済性の面からクローズアップされてきたが、この形には、水の沸騰による動特性の変化が、非常に重大な影響を及ぼすために、これを十分に究明しておく必要がある。この種の研究実験のための装置として加圧水循環装置を日本原子力研究所に納入した。

重水製造装置としては一昨年より引き続き昭和電工株式会社と各種装置を研究し、昨年は二重温度交換反応装置を納入した。

計測部門では、原子炉内部の中性子のエネルギー分布を測定するために、中性子チョッパーおよびこれのタイムアナライザを製作して日本原子力研究所に納入した。また BF₃ カウターの製作態勢が整備された。原子力研究所で近く運転を開始する JRR-2 は重水冷却の実験原子炉であって、この重水の濃度を厳密に保たねばならない。このために、赤外線吸収差および分子の質量差による測定法を用いて高濃度の重水を高精度で定量する重水濃度測定装置を製作して納入したほかジュネーブに出品した。

27.0.1 国産 1 号原子炉用モック・アップ試験装置

32年度に引き続き計画および設計を続けている熱出力 10,000 kW の国産 1 号原子炉 (JRR-3) は 33 年 6 月第二次設計を完了し、設計分担範囲であった原子炉本体、燃料取扱設備および重水循環ポンプを製作することになり



(吊り下げているのは模擬燃料棒)

第 1 図 組立完了せる Mock Up 炉心タンク

35年8月据付完成を目標に慎重に進めている。これより前、この画期的な原子炉の製作を行うにあたって、試作および実験をあらかじめ行う必要性を認め、日本原子力研究所と協同して日立研究所内に国産1号原子炉開発室が設けられ、日立製作所が試験装置を製作据付し、日本原子力研究所の関係者が実験および資料整理にあっている。

試験装置は予備試験装置と実物大試験装置にわかれ、前者は燃料棒流動試験と流量分配試験、後者は実物大の炉心タンクおよび燃料棒を製作し、実際に水を流して炉心タンク内の流量配分試験を行って炉心タンク内の水の挙動を調べようとするものである。第1図は組立を完了したモック・アップ試験装置の炉心タンクの全景を示す。

27.0.2 加圧水循環装置

本装置は原子炉形式の中で加圧水形(P.W.R.)に属するものの炉内の燃料表面に起る沸騰および沸騰による燃料被覆の破損の現象とその限界などの研究を行うのを目的としており、日本原子力研究所に納入されたものである。

装置の概略は冷却器、予熱器、テスト管、加圧器およびそのほかの部分より構成されている。日立製作所は上記のその主なる部分の製作および据付を行った。装置の配管内を軽水が循環し、予熱器およびテスト管自体に直流を通し加熱する方式を採っている。循環水の温度は予熱器およびテスト管の電流を加減するとともに、加圧器

により圧力、温度が一定に保持する制御を行う。テスト管内の状態がちょうど原子炉内の燃料棒による沸騰現象に近い状態を再現して、燃料棒表面での沸騰による破損の現象と安全なる限界の実験研究を行う。管内現象観察には放射性同位元素を使用している。

その装置を第2図に示す。

なお本装置の日立製作所納入品の機種および仕様を下記に示す。

(1) 機種

- (a) 加圧器
- (b) 冷却器
- (c) 予熱器
- (d) テスト管

(2) 仕様

- 常用圧力 150 kg/cm² g
- 常用温度 300°C

27.0.3 沸騰水形原子炉の炉心部核計算

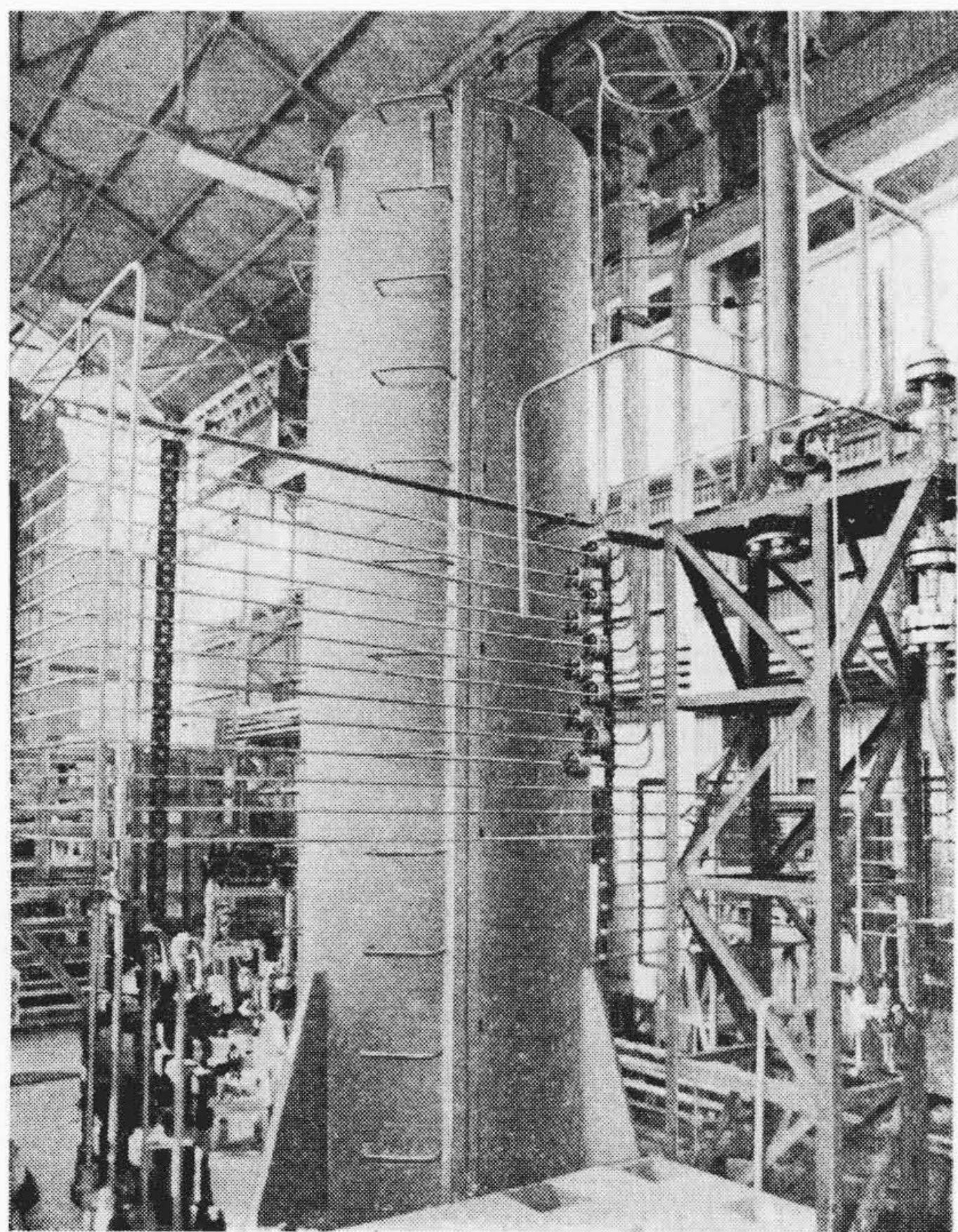
われわれはこれまで沸騰水形、加圧水形、英国形原子炉などの動力用原子炉の設計計算を行ってきた。今回、船用沸騰水形原子炉の設計を機会に、従来の設計方法を整理改良し、これを計算機によって自動的に行うこととした。

原子炉の設計法もようやく4因子公式を基本とする方法に固定してきており、その大綱に大変更を加えなくても当分実用的には役だつようになった。この計算方式は必ずしも大規模高速を競う近代的計算機に適切な方式とはいえないが、現段階ではまずこれまでの筋肉労働的な部分を低速計算機に移すことを一応の目標とした。

この設計方式によれば、設計者は燃料、減速材、冷却材、被覆などの材質、密度、寸法、運転温度などを指定の入力数値の欄に記入しさえすれば、あとは計算機が自動的に k_{eff} (実効倍率) に至る種々の中間データを所定の様式に印刷してくれるというものであり、1回の計算時間は10分あまりである。この方法を使用することによって、種々のパラメータをかえて再計算する手数は簡略となり、容易に原子炉の諸特性が解明されるようになった。

このプログラム(機械計算方式)は、沸騰水形原子炉のみならず、同形式の炉である加圧水形原子炉と共用できるほか、類似の多い英国形にも二、三の注意の上、転用することができる。

現在まで、船用沸騰水形原子炉のほか、ドレスデン原子力発電所の原子炉のボイド特性を求めて次の研究のための出発点を与える一方、ウェスティングハウスの実験結果の再現性を吟味して計算方式や入力数値の妥当性を反省したりして活躍中である。このプログラムは与えられた入力を組合せ計算をする「枠」であるが、根本的な



第2図 加圧水循環装置

問題は入力数値を正しくきめることにあり、このためには高速計算機を、それに適した計算法で駆使しなくてはならない。われわれはもちろんこの方向への努力もおろそかにはしていない。

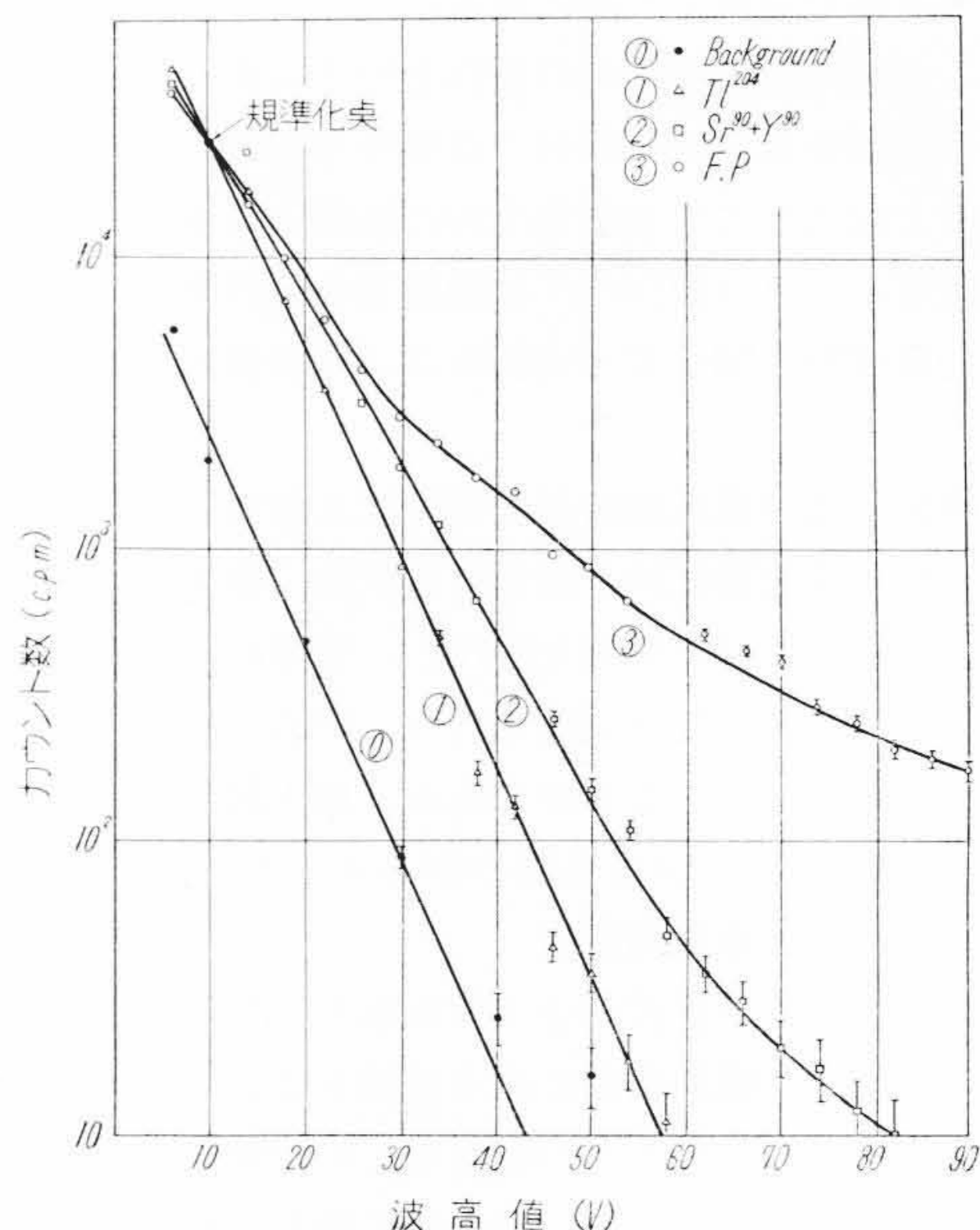
現在までの使用経験と、新しい知識を加え、かつ関係者各位の御批判を仰いで、次第に使いやすく有力な自動設計法に育ててゆくつもりである。

27.0.4 原子炉安全の研究

東京電力株式会社との協同研究になるコールダーホール改良形黒鉛炉の炉心部設計を行ってきたが、わが国への同炉の輸入が現実の問題となり、その安全性の検討が急を要する課題として議論の的となっている。われわれは日本原子力発電会社の要請により、英国形原子炉のダクト破損時の過渡現象の解析に引き続き、特に問題となった(1)クセノンの有害作用による中性子束分布の振動現象および(2)プルトニウムの蓄積による正の温度係数の検討を行った。この第1は大形の熱中性子炉において定常運転中、中性子束空間分布に変形を生ずると、有害物質であるクセノンの濃度分布の変形をもたらし、続いて原子炉の反応度の空間分布が時間的に変化し、たとえ炉の全熱出力が一定であっても、中性子束が時間的に振動を起す現象である。この問題を摂動論により検討し、振動は定常運転時の中性子束分布のモードに近いモードの分布ほど振動を起しやすいこと、および高さ方向の振動は問題にならないことを明らかにした。さらに振動が減衰しなくなる発散限界、振動周期および振幅を求め、報告書として提出した。第2の問題は燃料の照射につれて潜在燃料ウラン-238が転換されて核分裂生成物、プルトニウム-239、240が蓄積するが、これらには約0.3eVに共鳴核分裂吸収がある。このため最初原子炉の温度係数が負であっても、照射に伴い正に変化し運転制御がやっかいになる。この温度係数は有効熱中性子断面積およびその温度変化を正しく扱わなければ信頼できる結果は得られない。われわれはまずエネルギーとともに著しく変化する燃料の断面積を正しく考慮して熱中性子スペクトルを求め、ついで有効熱中性子断面積およびその温度変化を燃料照射率の函数として求め、温度係数を算出した。この計算にはすべて電子計算機を利用した。

27.0.5 原子炉燃料破損検出の研究

発電用原子炉において特有の事故の一つは燃料棒の被覆が破損することである。この破損を初期において発見することは安全運転の立場からきわめて重要なことである。このためには循環している冷却体の放射能を常に監視していて、破損箇所より漏洩して冷却体に混入した微量の核分裂生成物を検出する必要がある。冷却体自身も炉心を通過することによって放射化されるため、検出器は冷却体自身よりの放射線と核分裂生成物よりの放射線を



第3図 チェレンコフカウンタによる β 線エネルギー分布

区別して測定する検出装置でなくてはならない。従来も二〜三の方法が考案され実施されているが、チェレンコフ効果を利用したものは新しい方式で、まだ実際の炉に応用した例は発表されていないが、ほかの方式に比べて検出機構が簡単でかつすぐれた特長を有するものと考えられる。

チェレンコフ効果は1934年ロシアのチェレンコフによって発見された現象で、ある物質中をその物質内での光速より速い速度で高エネルギー荷電粒子が通過する際に、あたかも進行する船が放射状の波を後に造るごとく光を発生する現象をいう。液体冷却炉の場合、液体中に混入した核分裂生成物は、高エネルギーの β 線を放射するためこれによってチェレンコフの光が発生する。これを光電子増倍管で受ければ、核分裂生成物を検出できる。冷却体のもつ放射能はこれに比較すると低いエネルギーの β 線しか放出しないので区別が可能である。われわれはこの検出器の特性を調べるためにまず実験装置を作った。サンプル容器は光電子増倍管に対する面はガラス窓になっており、容器内には各種の β 線放射の同位元素溶液を充填し、光電子増倍管よりの出力パルスの波高分布を調べた。この結果を第3図に示す。 β 線エネルギーが大になるに従って①②③の曲線が示すように、高い出力パルスの数が増している。生成されたばかりの核分裂生成物からは③よりもエネルギーのはるかに大きな β 線が放出されるので、区別は容易になる。なおこの研究は33

年度原子力平和利用補助金を受けてさらに発展させている。

27.0.6 重水製造用二重温度交換反応装置

重水製造の研究は昭和電工株式会社との協同のもとに昭和31年以来進められているが、低濃度濃縮装置である水素、水蒸気交換反応法は工業装置への目的を十分に達成することができたので、次段階として硫化水素、水のガス、液による二重温度交換装置の研究を行うことになり装置の設計・製作をし目下運転中である。

本装置の問題と思われる点は硫化水素の腐蝕による装置の寿命であって、重水価格にも影響するところが大い。

硫化水素は低温と高温において下記のような見掛け上相反する挙動をするので

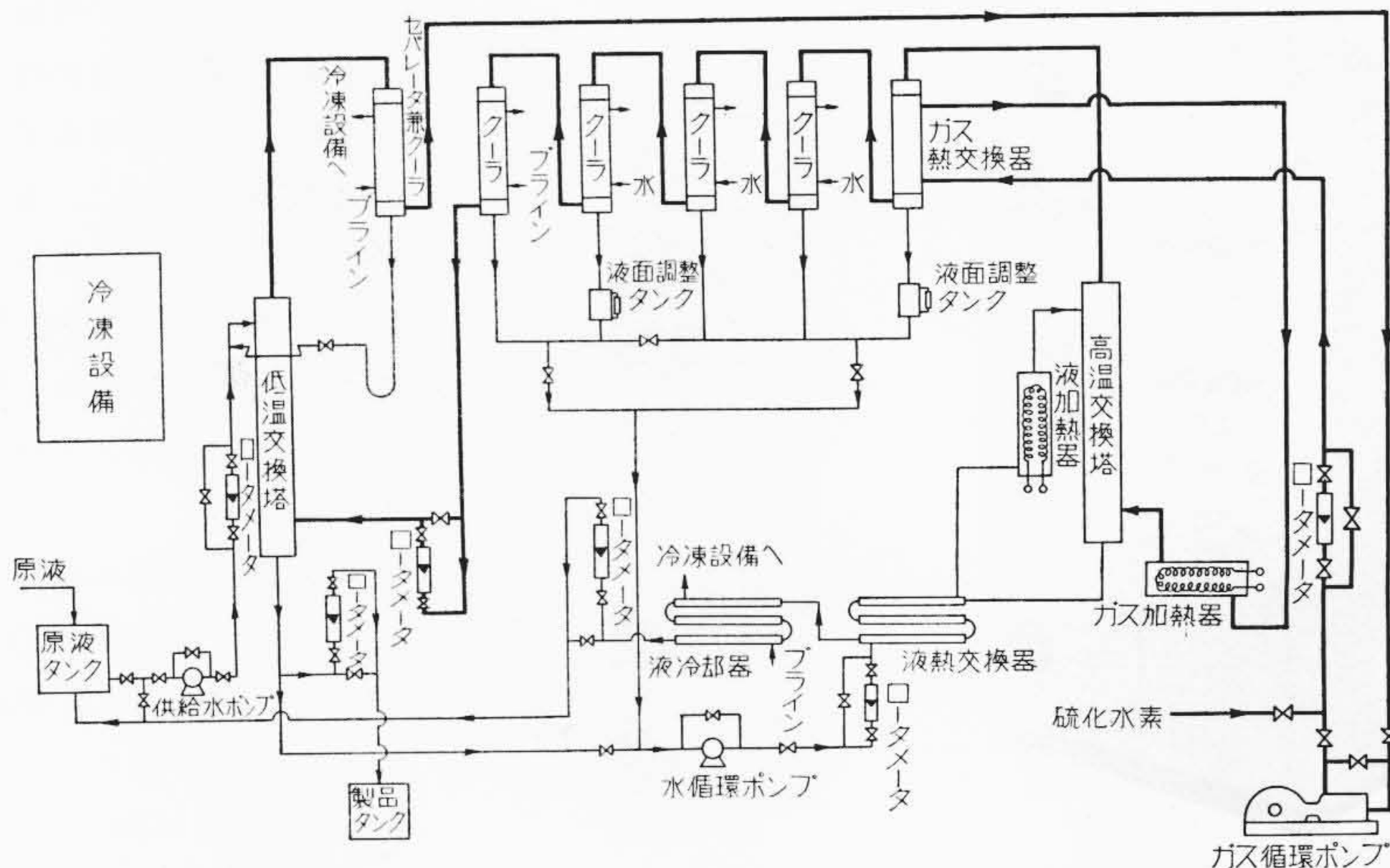


この性質を利用して重水を濃縮するのが本法の原理である。第5図は低温、高温交換反応塔を示す。本研究は工業化への化学工学的問題および材質の選定に重点が置かれているが、取り扱うガスが腐蝕および有毒ガスであるため設計製作に対しては十分な調査と注意を払っている。特に、硫化水素を循環させるためのガス循環ポンプは、カーボンリング式の横形オイルレス圧縮機を用い、またその漏洩防止に特殊な対策を講じている。

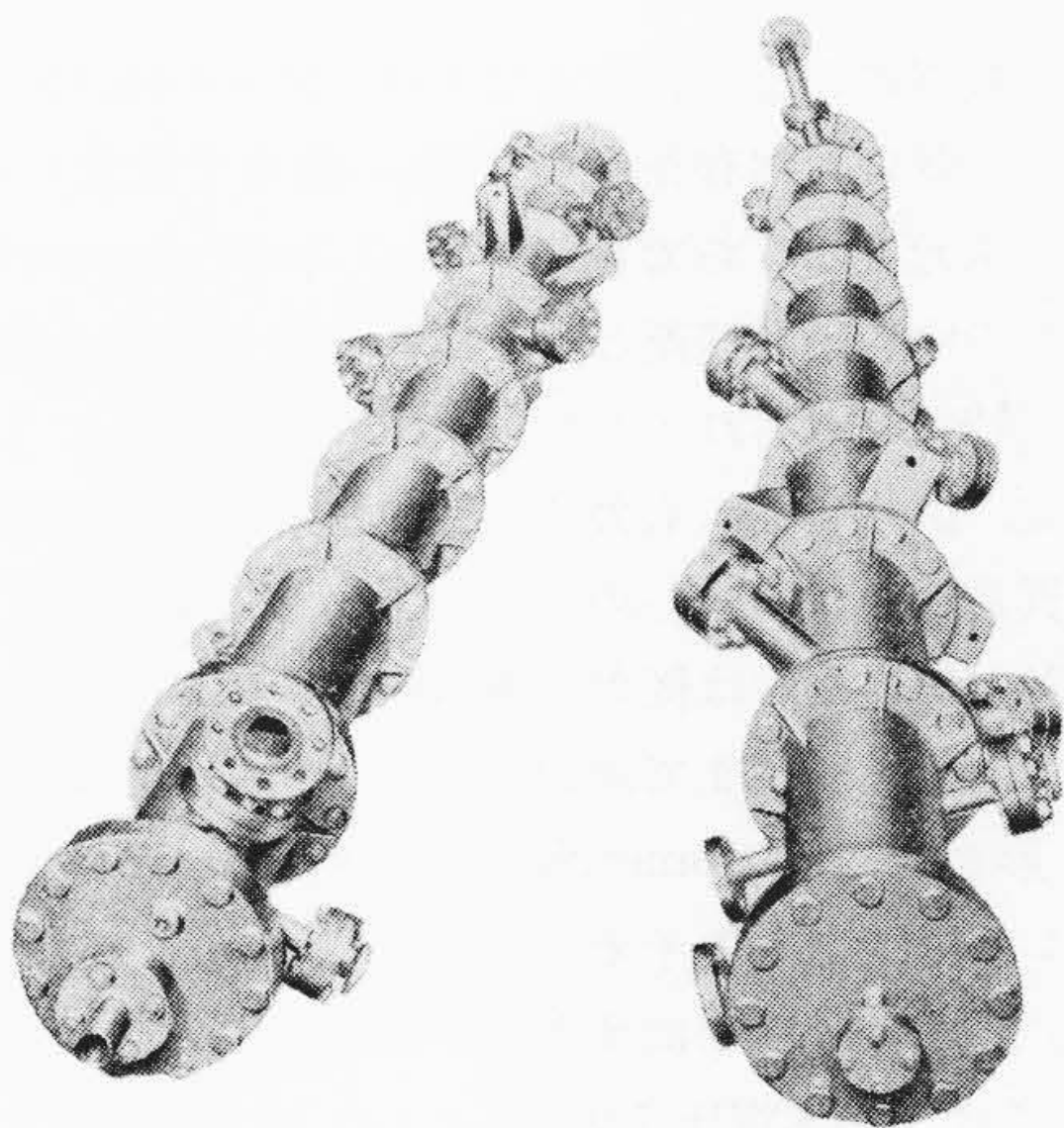
第4図は本装置の概略フローシートを示す。

27.0.7 同位元素用質量分析計

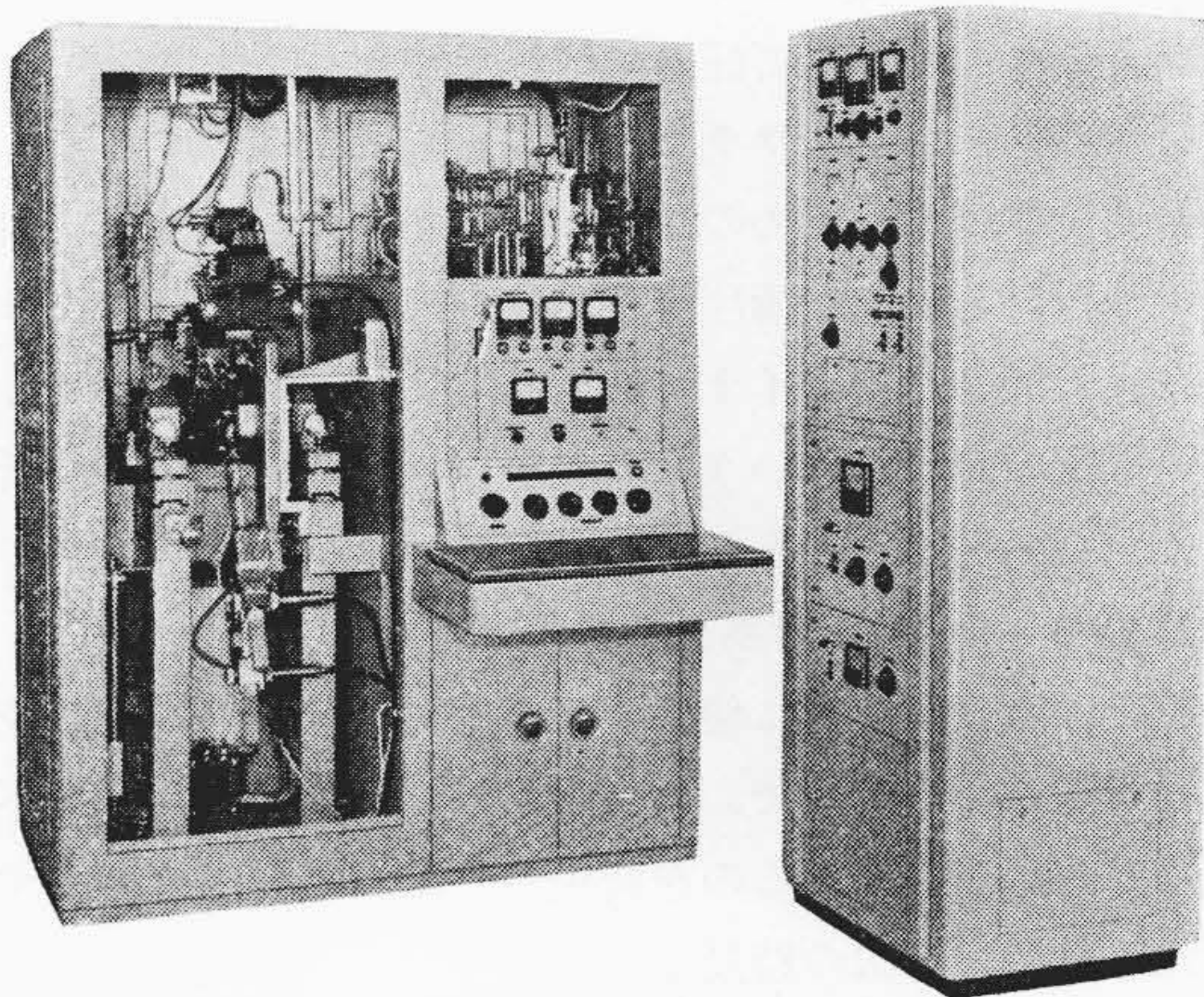
原子力工業の進展に伴い、同位元素の応用はますます拡大の一途をたどりつつあるが、特に安定同位元素の定量に関しては質量分析法が最も精密である。昨年東京都立大学に納入された RMI-1 形質量分析計(第6図)は炭素-13、窒素-15、酸素-18などの存在比を直読測定するための ratiometric mass-spectrometer で、半径 15 cm の 60 度たて形分析管において、2種のイオンを2個のコレクタで同時に受けて別個に増幅し、その出力比を10進ダイヤル式ポテンショメータ零点法によって直読する方式である。試料の種類(M/e 比の大小)に応じてダブルコレクタの一方をフォーカス線上に移動させ、かつその位置を直読できる特殊構造は画期的なものであり、試料の2系統導入方式とともにその成果が期待され



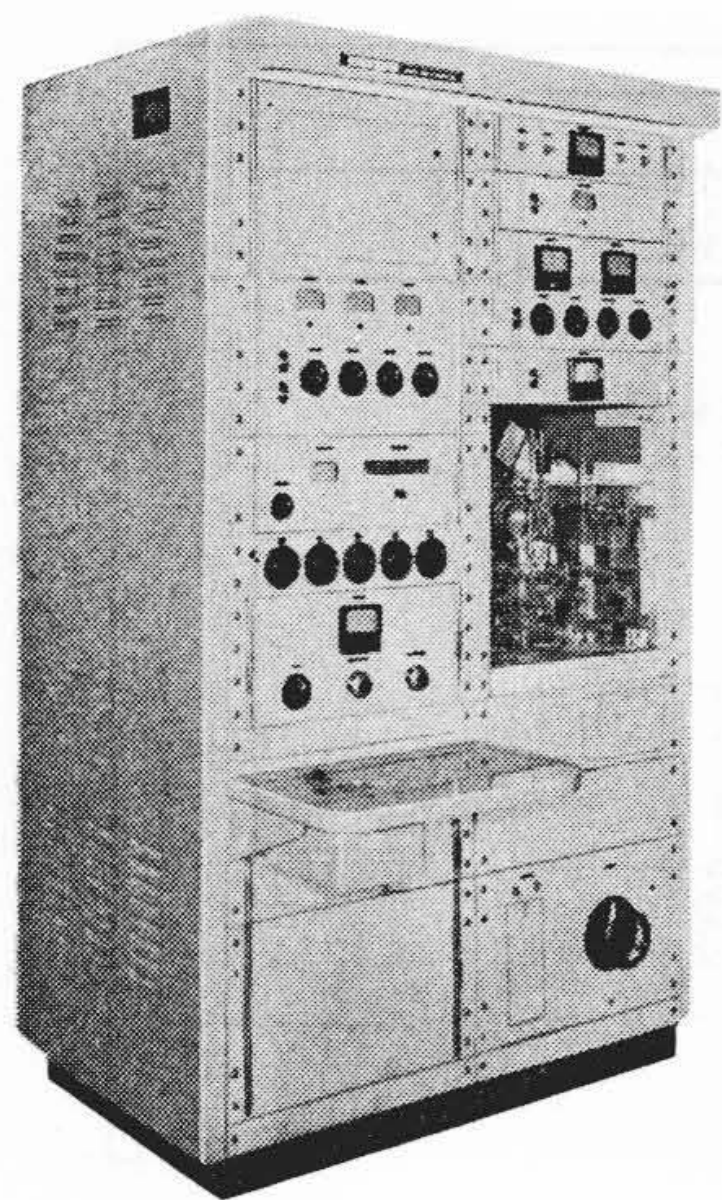
第4図 重水製造用二重温度交換反応装置概略フローシート



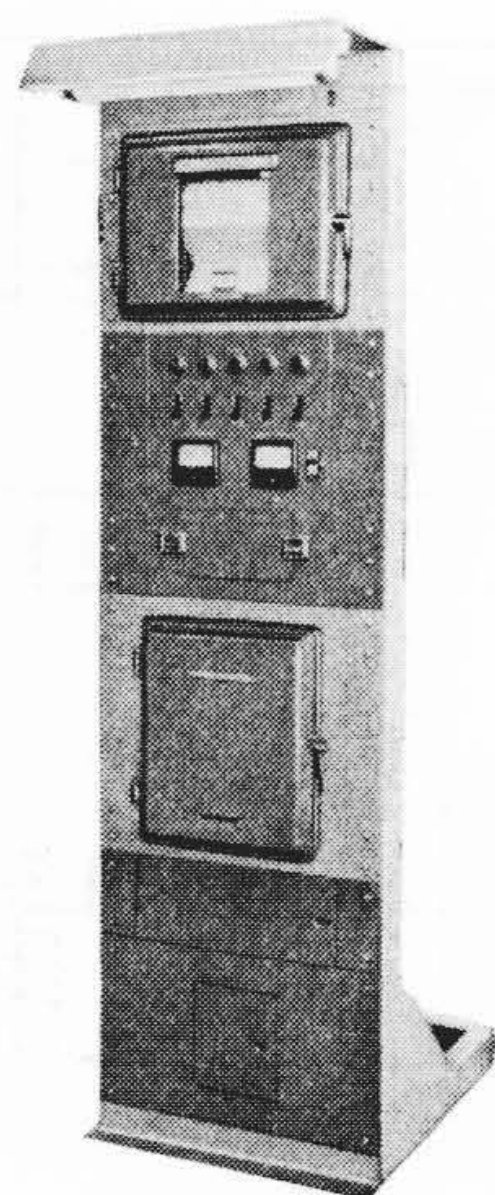
第5図 重水製造用二重温度交換反応塔



第6図 日立RMI-1形質量分析計



第7図 日立 RMD-3 形
質量分析計



第8図 IGA-1D 形
日立高濃度重水用
赤外分析計

る。この装置によるとたとえば CO_2 ($M/e=44, 45$) を用いて炭素-13の天然存在比が0.5%の精度で測定できる。

安定同位元素のうちでも重水素-2 ($\equiv \text{D}$: Deuterium) は原子炉の中性子減速剤として用いられる重水の構成原子として特に注目されており、重水の研究のみでなく製造、検定、炉の運転にも欠くことのできない精密測定器として質量分析計はきわめて重要である。RMD-3 形質量分析計(第7図)は従来の RMD-2 形に改良を加えて全金属化し、高濃度まで測定できるようにしたもので、RMI-1 形と同様 ratiometric mass-spectrometer である。コレクタで受けるイオンが M/e 2, 3 または 4 (それぞれ H_2^+ , HD^+ , D_2^+) にすぎないため、イオン軌道半径 5 cm, イオン加速電圧 1,000 V とかなり小規模にまとめることができた。この装置によるとたとえば天然水から得た水素ガス中の重水素存在比が1%以内の精度で測定できる。本装置はジュネーブで開かれた原子力平和利用国際会議に出品されて好評を博した。

原子燃料としてのウラン-235のウラン-238に対する濃縮比を測定するためのウラン-235同位体存在比測定用質量分析計を科学技術庁原子力局から委託されてこのほど完成した。これはイオン軌道半径 35 cm, 偏向角 90 度, 加速電圧 4,000 V という大形の装置で、今後ウラン分析に威力を発揮することが期待される。

27.0.8 IGA-1D 形高濃度重水用赤外分析計

これは原子炉などに使用する高濃度重水の濃度を連続に分析記録する装置で、重水中に軽水が混入したり、不純物が溶解したりするのを監視し、重水を有効に保守するために用い、次の特長がある。

(1) 液体のまま測定ができる。

(2) 連続分析が可能である。

(3) 迅速に結果が得られる。

(4) 原理的に簡明単純なので操作容易である。

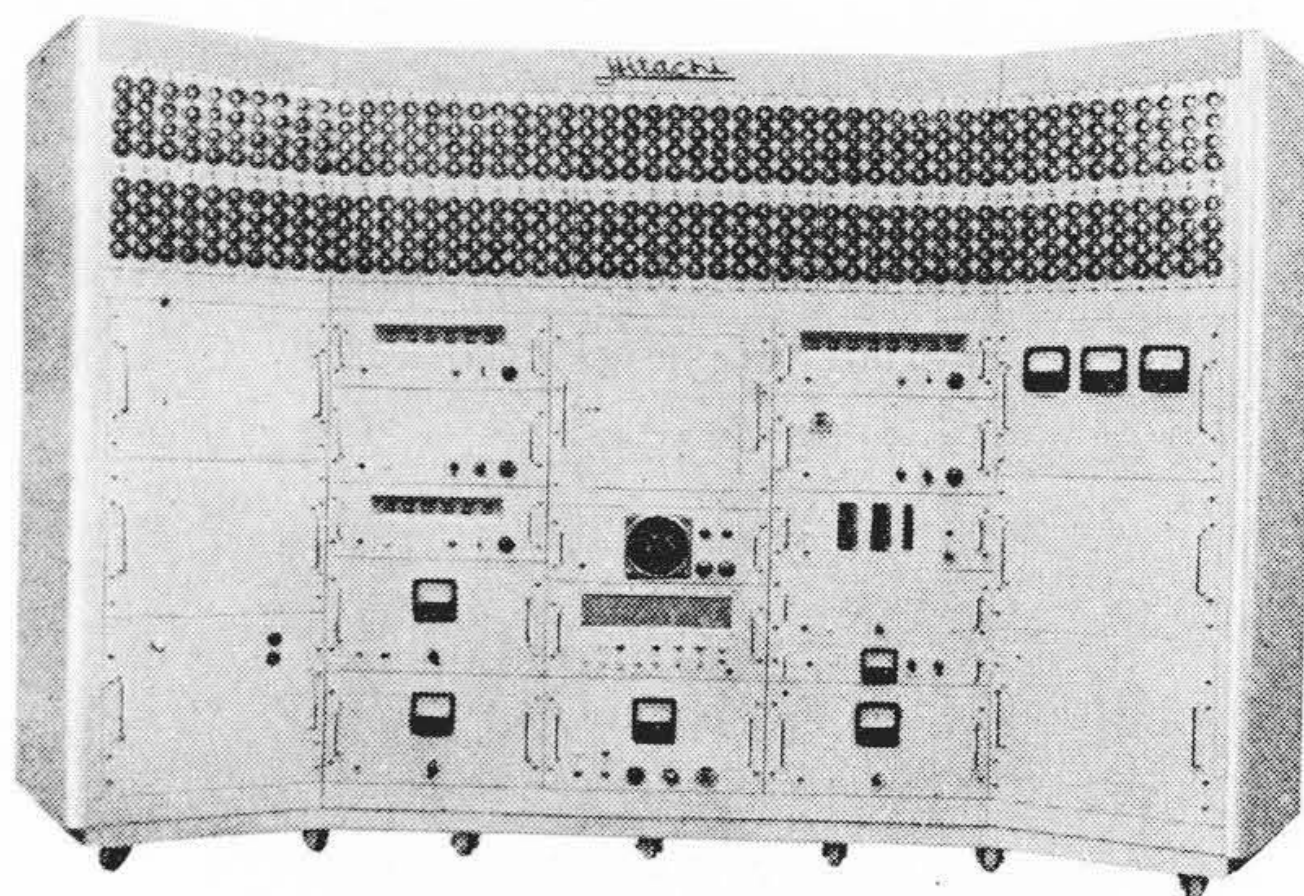
本装置の原理は、重水中に含まれるわずかな水分の赤外吸収帯が 2.9μ にあるので、この波長の吸収割合を光学的に選択測定する。測光方式は分散系を用いない非分散形で複光束である。検知は、マイクロフォン・コンデンサを用いた正フィルタ方式で、アンモニアガスを封入してある。

本装置は測定セル部に特長を有する。赤外線は透過力が弱いため 0.25 mm のセル厚を用いるが、一方この部に常に試料を流動させねばならないので、流動時のみ厚みを厚くするピストンセルが使用されている。精度は、99.75% D_2O に対して $\pm 0.01\%$ D_2O である。

27.0.9 中性子チョップ用タイムアナライザ

原子炉に用いる材料の選択には、炉内中性子の経済を考慮することが必要であるが、そのためにはまず中性子のエネルギースペクトルを知らねばならない。本装置は日本原子力研究所の第1号炉 JRR-1 のエネルギー分析用として設計製作した中性子スローチョップの一部をなすタイムアナライザで、チョップによってパルス化された中性子群が一定の距離(本装置では 5 m)を飛行する時間を測定することによってエネルギーを測定する。いわゆる飛行時間法アナライザである(1 mの距離を飛行する時間は 10 eV の低速中性子では 22.9μ 秒, 0.001 eV の冷たい中性子では $2,286 \mu$ 秒を要する)。

原子炉から出てくる連続的な中性子ビームがチョップによりパルス化されて 5 m の Flight Tube へはいる。この瞬間に対応して光源と光電子増倍管によってパルスが形成せられ、また中性子は Flight Tube を飛行して検出されパルスを生ずる。この2パルスの時間間隔を測定する。本装置は、このパルスの時間間隔を 100 分割して、そのおのおのの時間に入来するカウントをそれぞれに対応した 100 個のスケーラに順次加算するようにしてい



第9図 中性子チョップ用タイムアナライザ

る。この測定をある時間持続せしめればそれぞれのエネルギー範囲に対応したスケーラに頻度が蓄積されスペクトルがとれる。第9図は100チャンネルタイムアナライザのパネル前面を示し、上半部には4本のデカトロンにより構成される100台のスケーラが組み込まれている。

本装置の主要な仕様は次のとおりである。

- (1) チャンネル数 100
- (2) チャンネル幅 5μ 秒 $\sim$ 320 μ 秒 7段切換
- (3) チャンネル計数 10進4桁
- (4) 分析時間範囲 0 $\sim$ 32m秒
- (5) 中性子エネルギー範囲 0.001eV $\sim$ 10eV

27.0.10 1.5 MeV ファンデグラフ形電子加速装置

高分子材料への電子線照射を目的とする本装置は、この種の加速装置の設計資料を提示する上でもきわめて効果的に運転中である。定格ビームは1.5 MeV, 50 μ Aであるが、照射資料に必要とされる値に容易に調節可能である。本装置設計当初封入ガスを窒素ガスだけとしていたが、炭酸ガス混入が電圧安定に有効であることが実験

的にも判明した。またこの種装置の生命というべきベルトについては、日立電線株式会社との協力で長時間の使用に耐えられるベルトの製作方針が確立しつつある。大気圧中の短絡試験では理論的短絡電流の80%を越す状態にあり、高気圧中の短絡試験でも十分短絡電流が得られる。同時に加速管もその材料と形状の両面からの検討が行われ、ビームを取り出している場合でも 10^{-6} mmHgの真空に保たれている。

さらに本装置が安全かつ容易に誰でも運転できるように保護装置を完備させ、少々手荒く取り扱っても危険のないように各部品に考慮をはらっている。設計当初、高気圧タンク内に用いていた真空管類は全数これを取り去り、安全なトランスやセレン整流方式を用いる回路に改めている。

なお付属設備として現在エネルギー測定に用いている波高分析器のほかに磁場によるエネルギー測定装置においてエネルギー測定を完全にすることや工業テレビで照射状況を看視するよう整備中である。



昭和33年度における日立電線株式会社の社外寄稿の成果

(昭和32年11月～昭和33年10月)

		32/11	12	33/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合 計
事業所別	電線工場本社	4	3	3	1	1	5	2	4	6	4	1		33
	計	4	3	3	1	1	5	2	5	6	4	1	0	35
寄稿先内訳	学協会			2		1	4		1	1	2			11
	協その他	1						1	1	1	1			5
	計	3	3	1	1		1	1	3	4	1	1		19
	計	4	3	3	1	1	5	2	5	6	4	1	0	35

昭和33年度における日立電線株式会社の社外講演の成果

(昭和32年11月～昭和33年10月)

		32/11	12	33/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合 計
事業所別	電線工場本社			15	1		3		1	5	22	1	1	49
	計	0	0	15	1	0	4	3	2	5	22	1	1	54
講演先内訳	学協会			15						5	22			42
	協その他				1							1		2
	計	0	0	15	1	0	4	3	2	5	22	1	1	10
	計	0	0	15	1	0	4	3	2	5	22	1	1	54