

# 27. 原 子 力

## ATOMIC ENERGY

昭和 36 年のわが国の原子力開発をふりかえってみると、年頭に原子力開発利用長期計画が発表され、その初年度として、原子力の实用段階への多くの進展と成果がみられた。日立製作所においても原子力関係の研究設備の強化をはかり、川崎市王禅寺に臨界集合体実験装置 (Critical Assembly) を中心にした原子力研究所の設置を決定し、その建設を始めた。また、製作、研究の成果においても、工場、研究所、本社の緊密な連けい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注目すべき機器を完成した。

まず製作部門でみると、水減速臨界未満集合体実験装置 (Sub-Critical Assembly) を完成して東京大学に納入した。これは現在基礎実験が始められており成果が期待されている。

科学技術庁の補助金の交付をうけて製作していた教育訓練用小形原子炉は、年頭から川崎市王禅寺にある東京原子力産業研究所に据付を開始し、現在大半を完了している。さらにこれに使用される濃縮ウラン燃料の加工もほぼ終わり、燃料装荷も間近く、国産初の民間原子炉として近く運転に入る予定であり注目されている。

一昨年から続けられていた日本原子力研究所の国産 1 号炉 (JRR-3) の据付も完了し、現在これの燃料の加工を進めており、近く完成の予定である。また同研究所が、沸騰水形動力用原子炉の試験段階として設置する電気出力 12.5 MW の JPDR (Japan Power Demonstration Reactor) はアメリカ GE 社から輸入されることに決定したが、日立製作所は、これの下請けとして、その主要部分となる原子炉圧力容器およびその他格納容器外の機器を受注しその製作を進めている。沸騰水形原子炉容器は、わが国では初めて製作されるもので多くの新しい技術が採用されている。

核燃料の製作加工は、金属ウランの成形加工被覆、天然および濃縮二酸化ウラン粉末の焼結成形加工 (ペレット製作) などの独特の技術を完成しており、日本原子力研究所納国産 1 号炉、日立教育訓練用原子炉、東京大学納 Sub-Critical Assembly などの燃料の製作を行なっている。

一方放射線計装の部門では、原子炉制御系統の開発をはじめ、それらに用いられる各種測定器の開発も行ない、原子炉およびその他の装置に付属して納入した。

また放射線測定器の製作は、各産業の放射線利用が急速に増加することに伴って、目的に応じた機種の開発製作を行ない、それらの要求に応じた。

その他、加速器類をはじめ原子力研究用機器の開発製作を行ない各大学、研究所などに納入した。

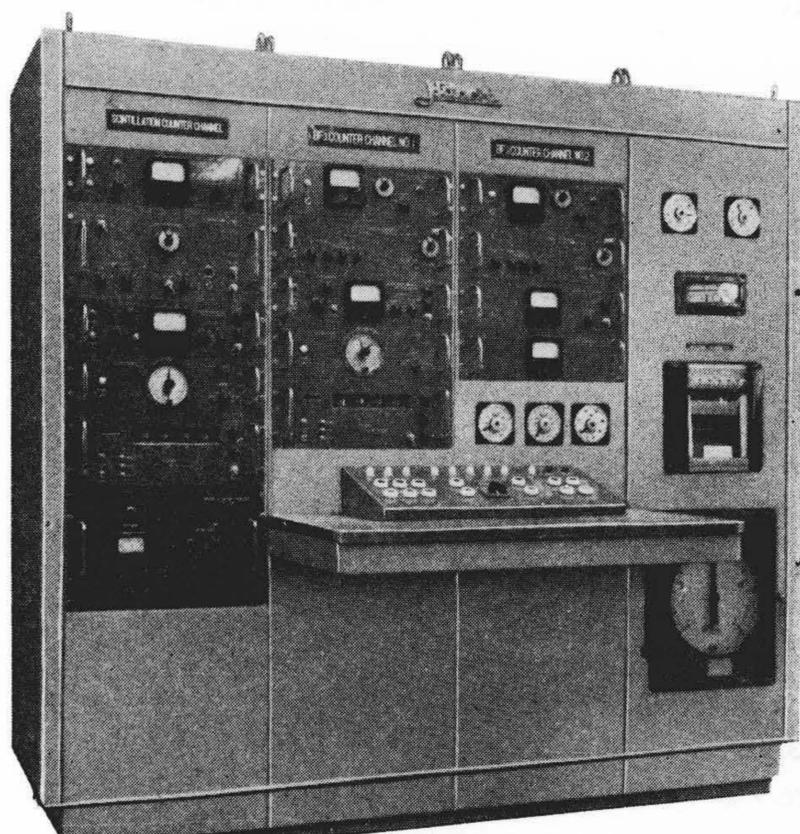
次に研究部門をみると、原子炉物理、核物理をはじめとして原子炉計測制御、原子炉の安全性、原子燃料加工・再処理技術、各種粒子加速器、放射線測定装置、RI 利用機器などの研究を引きつぎ発展させた。

科学技術庁から原子力平和利用研究の助成金をうけて次の研究を進めた。

- (1) プール付タンク形教育訓練用小形原子炉の試作研究
- (2) イオンサイクロトロンレゾナンス方式による高温プラズマの発生に関する試験研究
- (3) 亜酸化窒素の分解による大線量  $\gamma$  線の測定に関する試験研究
- (4) 原子炉雑音周波数分析装置の試作に関する試験研究
- (5) 国産一号炉用燃料要素の放射線照射に関する試験研究



第 1 図 東京大学納臨界未満集合体実験装置



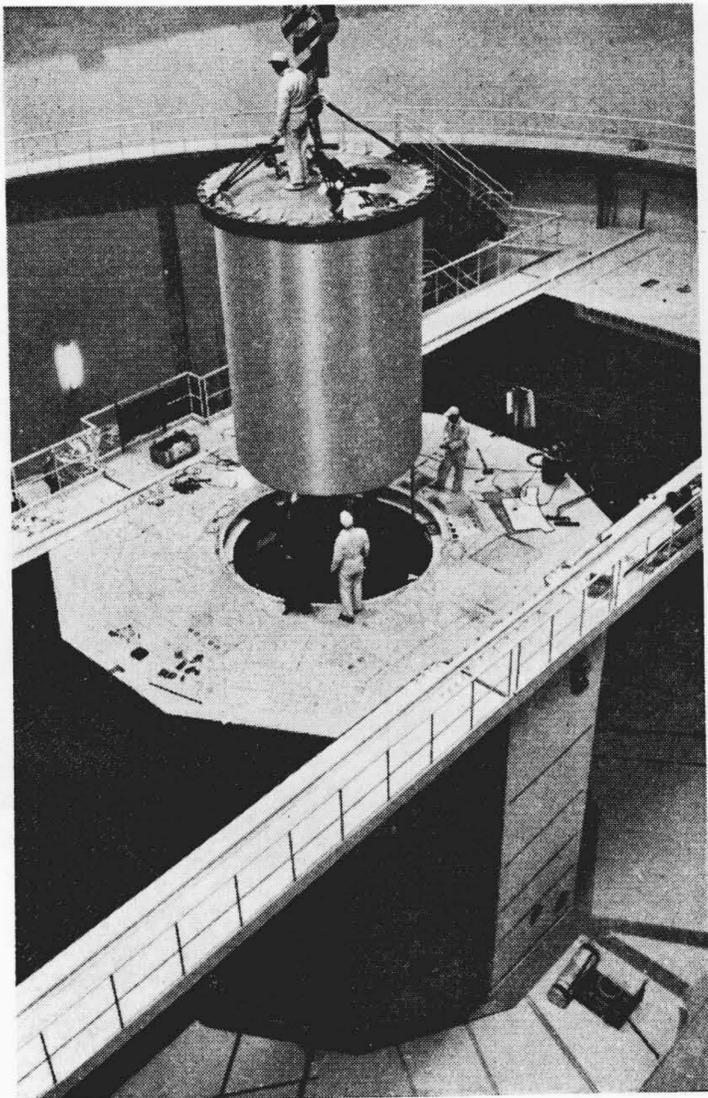
第 2 図 同上用計測制御盤

### 27.1 原 子 炉

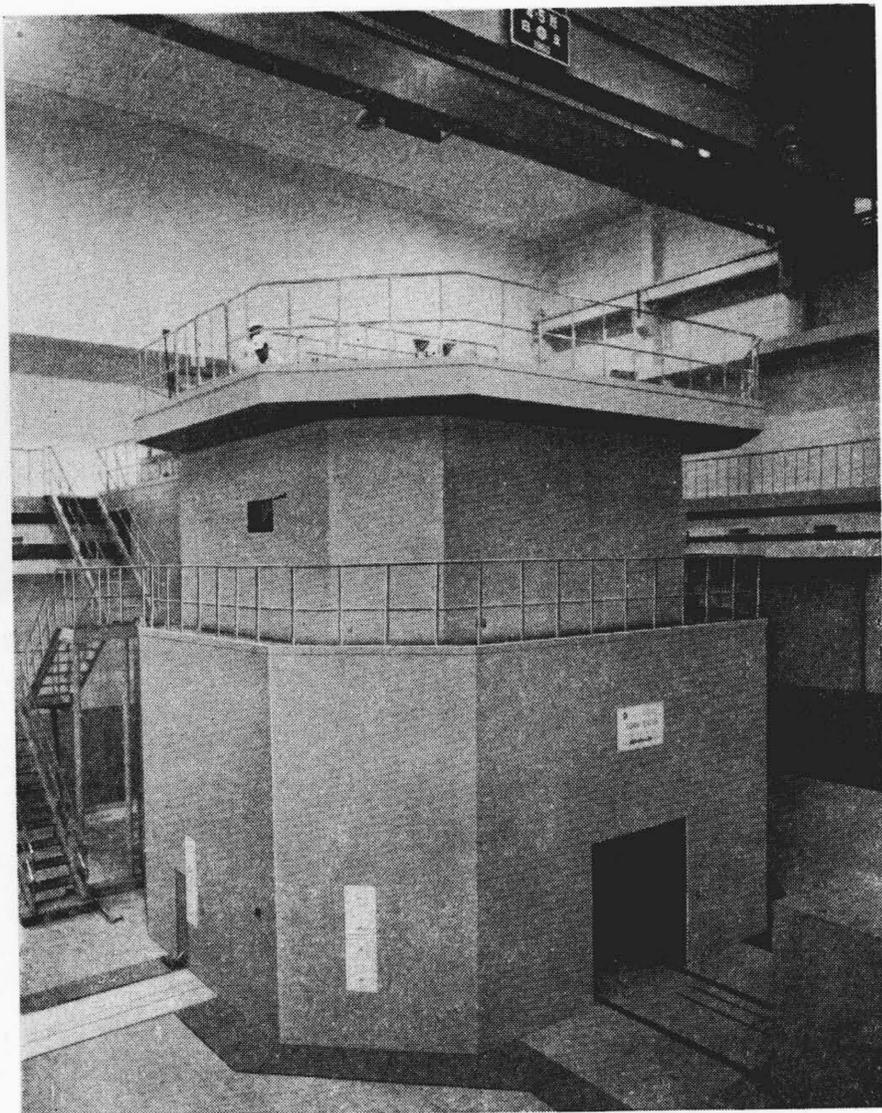
#### 27.1.1 臨界未満実験装置

東京大学納臨界未満実験装置は原子炉装置として大学に始めて設置された製品で、その成果が期待されている。

本装置は二酸化天然ウラン—軽水—非均質形と称せられるもので、絶対に臨界にならず、安全性に富んでいて、学生の実験、教育



第3図 完成近い JRR-3



第4図 建設中の HTR

用には最適のものである。またいろいろな研究ができるように各種の装置が付属している。

本装置で行なえる実験例

(1) 定常中性子源による実験

軽水中の衰弱距離の測定、材料弯曲の計算、反射材による節約の測定計算、無限および実効増倍率の測定、移動面積の測定、温度係数の測定、実験用制御棒の影響の測定、熱中性子利用率の測定、水およびパラフィンなどのアルベドの測定など。

(2) パルス中性子源による実験

中性子の拡散に関する研究、中性子の減速に関する研究、反応度の測定、弯曲の測定など。

第1図は据付を終った臨界未満集合体実験装置本体を、第2図は計測制御盤を示す。

27.1.2 建設途上の原子炉および実験装置

(1) JRR-3 (国産1号実験用原子炉, 熱出力 10,000 kW)

日本原子力研究所東海研究所で建設が続けられ、生体しゃへい用コンクリート打設、反射体用黒鉛の積み上げ、さらに炉心タンクのそう入、上部しゃへい体、回転しゃへい体の据付、実験設備の設置などが行なわれ、10月末には機器の据付が完了した。

また日本原子力研究所がカナダより輸入した天然ウラン燃料要素も各種試験ののち、8月より日立製作所で組立が開始され、11月には完成した。

したがって37年1月には現地作動試験、機能試験を終り、燃料棒をそう入して3月には臨界になり、その成果を世に問うことになる。

(2) HTR (日立教育訓練用小形原子炉, 熱出力 100 kW)

36年初めより川崎市王禅寺において建設が開始され、プールタンクの据付、生体しゃへい用コンクリートの打設、実験装置の据付と順調に進行している。

本原子炉に使用する 10% 濃縮二酸化ウラン粉末も 8月アメリカより輸入し、目下加工中である。

(3) TRIGA-II (トリガII形原子炉 熱出力 100 kW)

HTRと同じ場所に据付けられる武蔵工業大学納の TRIGA 形原子炉はその機器の一部の製作をアメリカ General Atomics 社より依頼され目下鋭意製作中である。

27.1.3 JPDR 原子炉圧力容器およびその他の機器製作進行状況

日本原子力研究所がアメリカ GE 社に発注した同東海研究所内に設置する 12.5 MW 沸騰水形原子力発電用試験炉は、機器の大部分が国内製作される。日立製作所はその最も重要機器の一つである原子炉圧力容器およびその内部構造物を受注し、直ちに設計に着手し、現在綿密なる計画に基いた製作が着々進められている。本原子炉は、国産第一号発電炉であり、これを基底として、本格的な原子力発電用炉へ発展する第一段階として注目に値するものである。

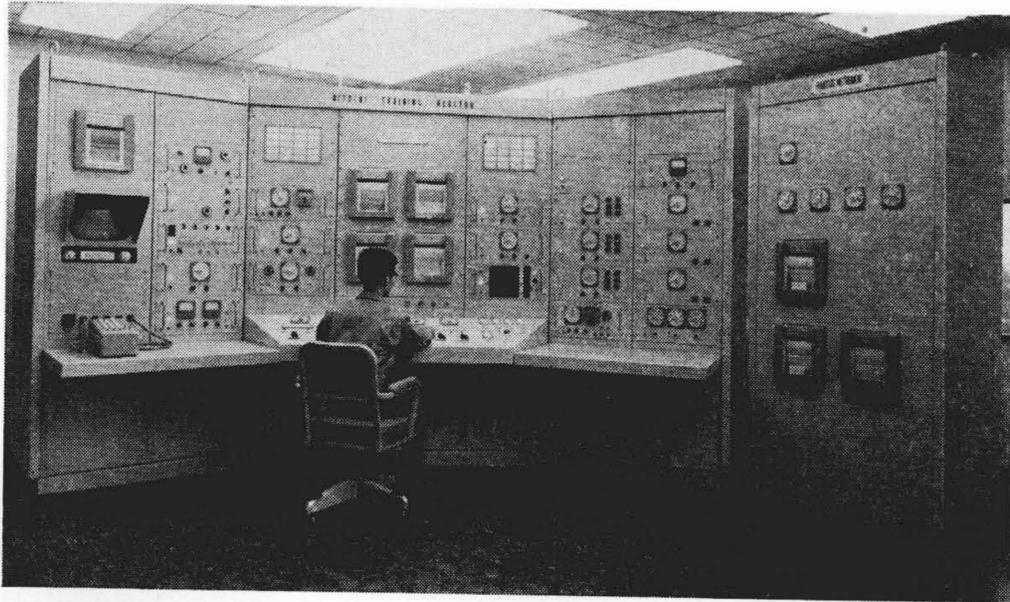
圧力容器と同時に受注した格納容器外の機器類についても、大部分の設計が完了し、これから製作に着手している。

原子炉圧力容器概略仕様

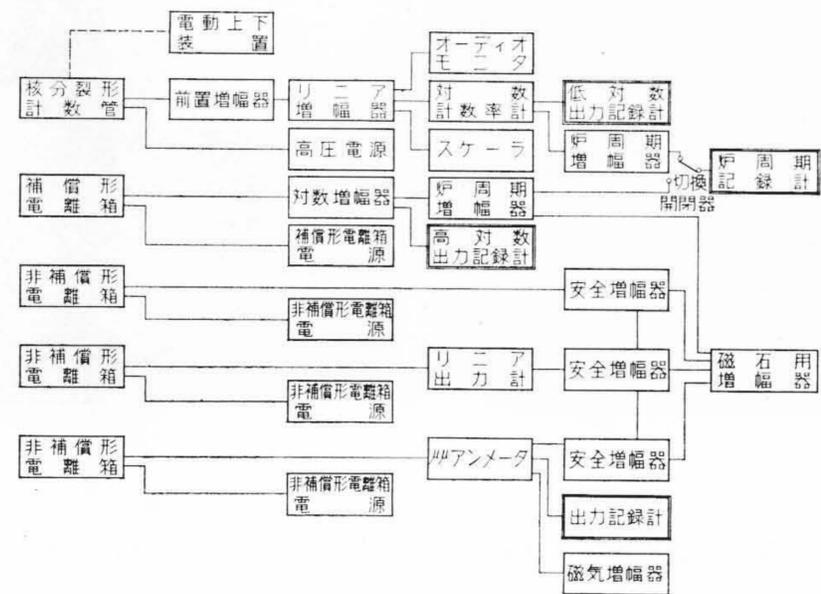
内 径	2,083 mm
胴 体 長 さ	8,180 mm
胴 体 肉 厚	67 mm
設 計 圧 力	77 kg/cm <sup>2</sup>
材 質	ASTMA 302 GrB
容 器 内 面	不銹鋼ライニング

27.1.4 原子力関係制御装置

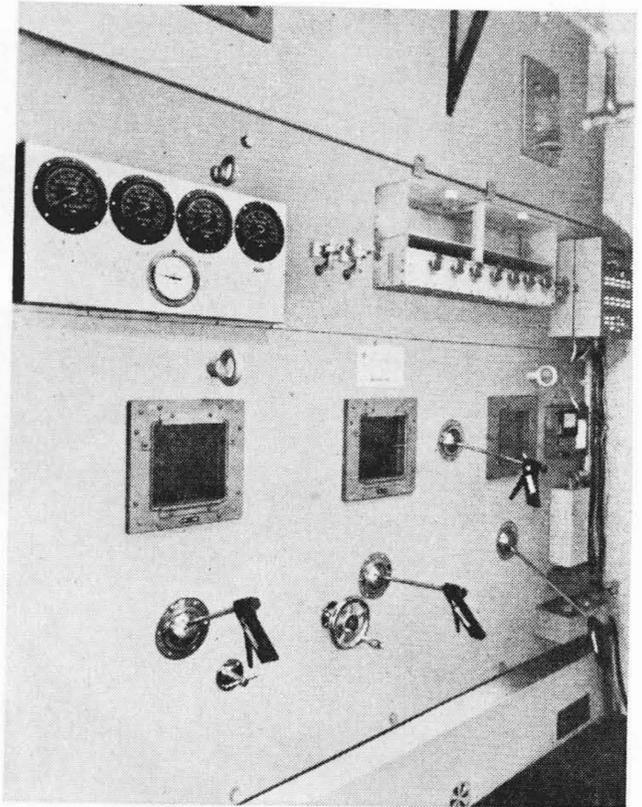
臨界未満集合体実験装置制御計測盤および教育訓練用原子炉制御計測盤が製作され、おのおの東京大学および東京原子力産業研究所に納入された。臨界未満集合体実験装置の中性子計測系統は BF<sub>3</sub> 比例計数管 2 系統とシンチレーション計数管 1 系統とから形成されており、BF<sub>3</sub> 比例計数管を電動駆動機構で移動することによって中性



第5図 東京原子力産業研究所納教育訓練用原子炉主制御盤



第6図 教育訓練用原子炉の計測系統図



第7図 アイソトープ製造用プロセスユニット正面

化学的操作を行なうインナーボックスと、生体しゃへいのための前面しゃへい板、操作室とインナーボックス室との間の空気が直接流通しないための前面仕切板およびカプセル開封装置より成っている。

インナーボックスは気密構造で、内部の操作はすべて遠隔操作しうるようにトング、操作ハンドルなどを設けており、もし内部が汚染された場合には、各種接続を切離し、除染場所へ移動しうるようになっている。カプセル開封装置はカプセルの出入以外はすべて遠隔操作により容易に切断開封しうる構造としてある。

第7図に本装置の操作盤正面を示す。

27.2.2 凝結実験装置用機器

本機器は凝結実験装置の主要部をなす蒸気発生器とテスト部で、

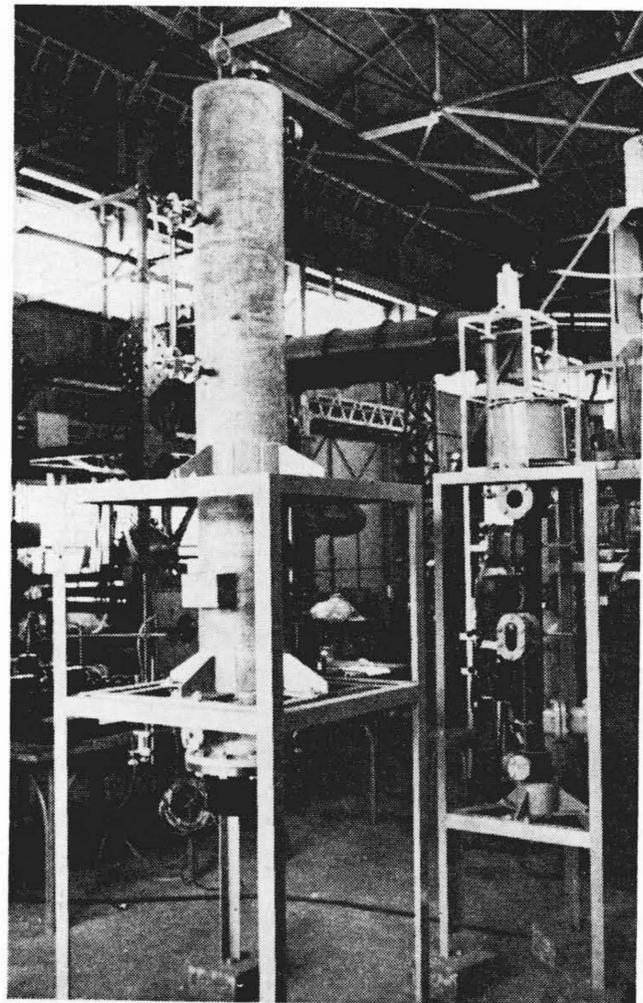
子束分布の測定をすることができる。このさらに発展させた形式のものが京都大学に原子炉シュミレータ制御盤として納入された。

教育訓練用原子炉の中性子計測系統は第6図に示すように核分裂形計数管を用いた起動系統、 $\gamma$ 線補償形電離箱を用いたペリオド系統、3本の非補償形電離箱を用いた線形出力系統、安全系統の合計5系統からできていて11デカードの中性子束測定範囲をもっている。プロセス計測系統は、各部の温度、流量、水位および電気伝導度の測定指示と記録が行なわれ、主制御盤から容易に監視し操作を行なうことができる。安全系統は、原子炉の事故を未然に防止するためのものであるから、信頼度の高い部品を使用して一つ一つの回路の故障の確率を少なくしている。また回路の組合せによりひとつの回路の故障が系統に影響をおよぼさないようにしてあり、万一故障した際にも故障は安全側におこる。さらに常時パルスにより系統の動作の確認が行なわれている。中性子制御系は中性子束を $\pm 0.5\%$ の精度および安定度で一定に制御する。原子炉は反応度一中性子束レベルのゲインが中性子束レベルによって変化する非線形系であるために、このゲイン変化を補正するような特殊なレベル設定回路が用いられ、磁気増幅器と2相サーボモータによる安定で信頼度の高い制御ループが形成されている。

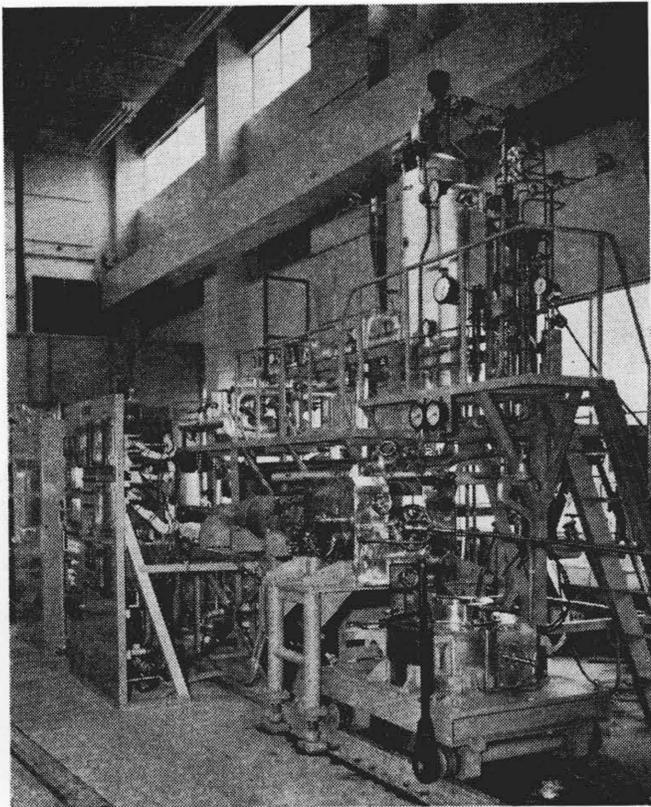
27.2 原子炉用実験装置

27.2.1 アイソトープ製造用プロセスユニット

本装置は日本原子力研究所東海研究所アイソトープ製造工場に設置され、JRR-2 および JRR-3 で照射したカプセルよりラジオアイソトープ ( $P^{32}$ ) を製造するための装置である。



(左: 蒸気発生器, 右: テスト部)  
第8図 凝結実験装置用機器



第9図 ループ基礎実験用装置

日本原子力研究所の東海研究所に納入据付されたものである。凝結実験装置は蒸気が凝縮する際の熱伝達を研究する基本的な実験装置で、蒸気発生器で生成した蒸気は、テスト部の冷却管の表面で凝縮し、復水溜に流下する。

テスト部には非常に細い熱電対を各所に設け、温度分布を測定しようようになっており、また2重ののぞき窓から凝結状態を観測および撮影できるようになっている。外観を第8図に示す。

### 27.2.3 ループ基礎実験用装置

原子炉の燃料要素開発のための照射試験にはいくつかの方法があるが、インパイルテストループ (In pile test loop) が最も進んだ方法で、実際条件に合わせた温度、流動条件で冷却材を循環しながら照射試験ができるうえに、試験条件を途中で適当に調節でき、また万一試料が破損しても炉本体の中の汚染の心配がないなどすぐれた特長を有するものである。

本装置はインパイルチューブを炉の実験孔に入れる前に、十分その特性を確認する目的のもとに設備し、その後インパイルするよ

うに計画したもので、インパイルチューブは2基用意し、Aは試料を定位置にセットし、Bはその試料を周期的に移動しうるように設計した画期的なものである。

装置はインパイルチューブのほかヒータ、プレッシャライザ、キャンドポンプなどを設けた一次循環系と、その冷却水を精製するための精製系とからなる。

### 27.2.4 マニプレータ

原子力工業の発展に伴い、原子炉の運転、原子燃料の取扱、放射性同位元素の製造ならびにその利用など放射能水準の高い物質を取扱う作業がますます増大する。

これらの諸作業一般は放射能障害から人体を保護する遠隔操作装置すなわちマニプレータによりおこなわれる。かねて試作完了のH-4形マニプレータに引続き日立製作所中央研究所 Co<sup>60</sup> 照射室用として完成したHM-II A形マニプレータは10<sup>3</sup> キュリー程度の放射性物質を取扱うことができる機械式マニプレータで、独自の設計によるリニャアクチュエータと称する電動駆動装置を有し、スレーブ側操作範囲を拡大するとともに、マニプレーション速度を一層高めたものである。

本機はすでに名古屋科学館、東京原子力産業研究所などからの受注があり、さきのH-4形とともにRI実験室、Co<sup>60</sup>照射室、原子炉付属設備など原子力産業への応用が期待される。

## 27.3 放射線測定器

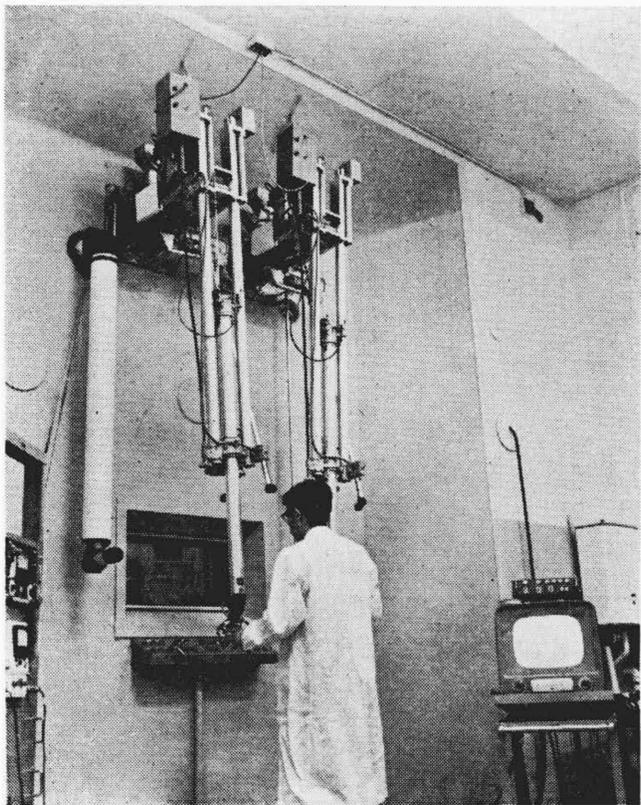
本項については「9.6放射線測定器」を参照されたい。

## 27.4 粒子加速機

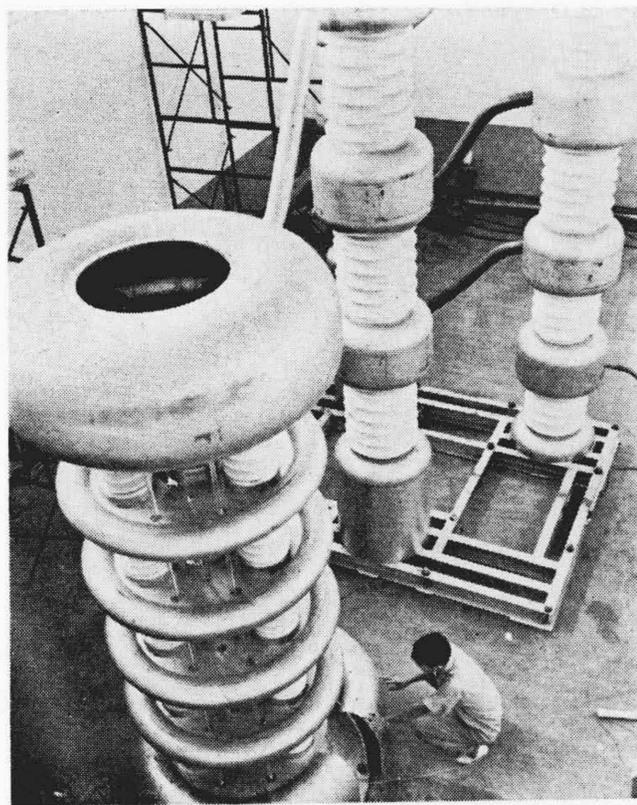
### 27.4.1 日立 500 keV コッククロフト形電子加速装置

高分子照射用 500 keV コッククロフト形電子加速装置を日立製作所下館工場に納入した。高電圧発生部分のコッククロフトは逆耐 200 kV の高圧セレン整流器 6 本と 0.05  $\mu$ F のコンデンサ 6 個よりなっており、電源としては 1 kc の高周波発電機を使用した。

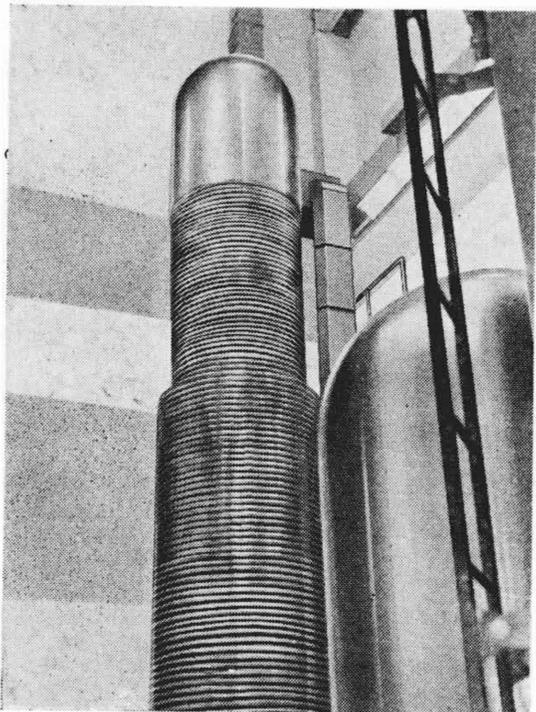
放射線出力は 500 keV 10 mA で国産最大の容量である。コッククロフトの持つ容量負荷を補償するための高圧リアクトルを電源変圧器二次側に接続して、電源容量を極力減らしている。また電子線取り出し窓は、電子線による過熱を防ぐため、高圧空気を噴射して冷却している。



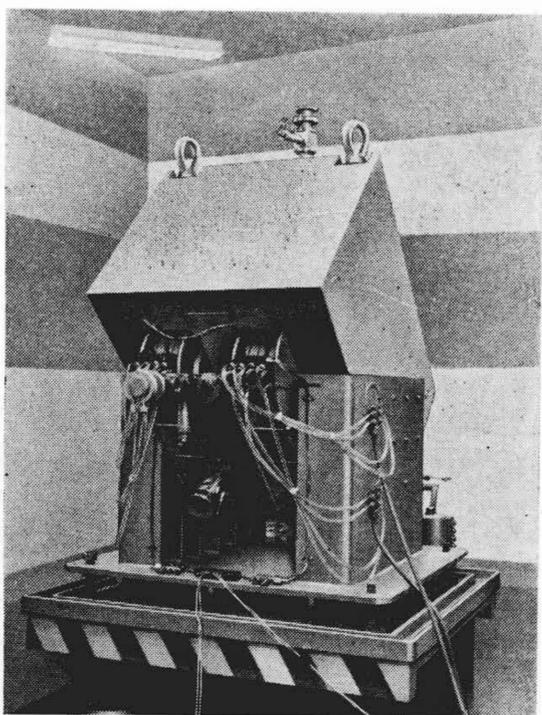
第10図 マニプレータ



第11図 500keV コッククロフト形電子加速装置



第 12 図 パン・デ・グラーフ本体



第 13 図 分析用電磁石

第 11 図は現地据付を終わったコッククロフト部と加速管部を示す。

#### 27.4.2 日立 5 MeV パン・デ・グラーフ形イオン加速装置

本器は東北大学理学部に納入したわが国最大のパン・デ・グラーフ形イオン加速装置で、第 12 図、第 13 図にパン・デ・グラーフ本体と分析用電磁石の写真を示す。

絶縁ガスは炭酸ガス、窒素ガスである。発生電圧は圧力と共に上昇し  $15 \text{ kg/cm}^2$  で  $5.0 \text{ MeV}$  に達した。フロンガスを少量添加することにより  $6 \text{ MeV}$  を記録した。

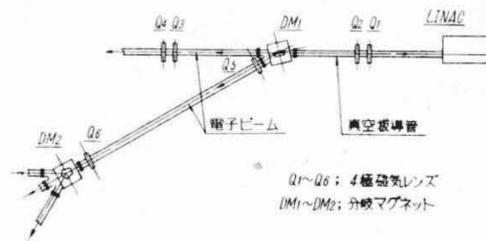
イオンソースは、高周波形で容量結合を使用し、水素イオン、ヘリウムイオンを発生させることができる。加速管は約  $4 \text{ m}$  で、ビームの集束はよく、加速電流は数  $10 \mu\text{A}$  に達した。

従来パン・デ・グラーフ装置で問題になっていた、加速管のローディングは認められず、放置によるローディング開始電圧の低下現象もなくなった。

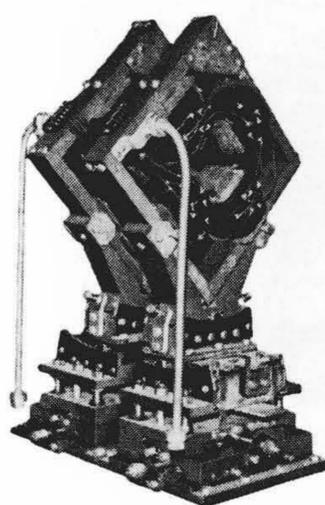
高電圧安定装置は、回転電圧計より撒布電圧にフィードバックする従来の方式を止め、回転電圧計と、分析用電磁石出口スリットでの信号によりコロナポイント電流を調整して発生電圧を安定化する新方式を採用した。

#### 27.4.3 加速器出力荷電粒子分岐収束装置

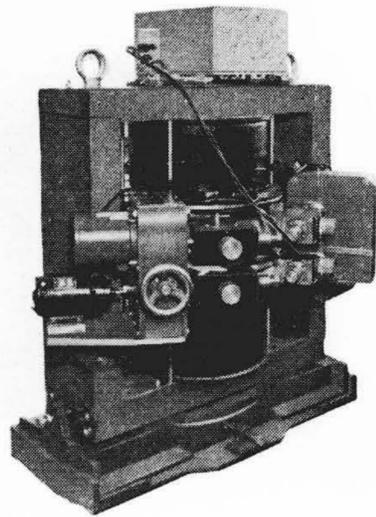
最近わが国でも各種の粒子加速器が数多く建設されているがそれ



第 14 図 電子ビーム分岐収束系



第 15 図 4 極磁気レンズ



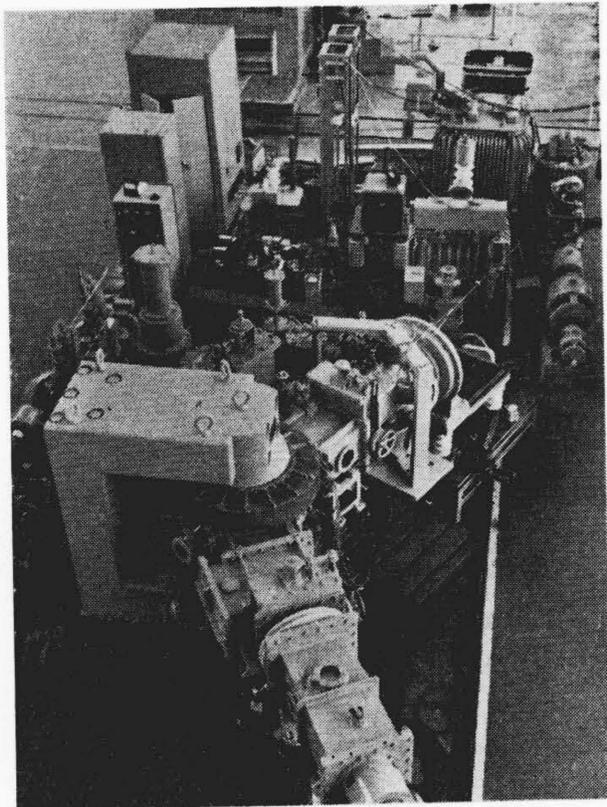
第 16 図 分岐マグネット

に伴ってその出力荷電粒子線を医療、高分子化学合成のための照射、各種物理学実験など各方面の応用研究に使用することも活発になった。このためこれらの荷電粒子を実験場所まで導いたり、エネルギー測定をしたりする分岐収束装置、測定装置などの需要が増大しその要求性能も高度になってきている。日本原子力研究所に納入したこの装置は  $40 \text{ MeV}$  線形電子加速器からの電子ビームを発散損失を少なくして数十メートルの距離にある実験場所、あるいは照射室に導くことを主目的にして製作され、そのほか種々の物理学上重要な、興味ある実験ができるよう考慮されている。本装置は第 14 図に示すように 6 台の 4 極磁気レンズとエネルギー分析に兼用できる 2 台の分岐マグネットから成っている。4 極マグネットは最近強収れんのイオンまたは電子レンズとして注目され、わが国でも原子核研究所などで使用され効果をあげているが本マグネットは磁極面を高精度の双曲線面とし、正確な組立を特殊治具を使用して行なうことにより磁束密度分布の直線性を広い範囲に非常に良く保持し、また前後左右、上下、回転など精密な位置調整機構をつけ、精度性能共画期的なものである。さらに 2 台の分岐マグネットも広い範囲にわたって磁場の均一度が  $10^{-4}$  以下であり、温度、負荷、電源の変動などの大きな外乱に対しても  $10^{-4}$  の安定度を 5 時間以上保持する超精密電磁石である。なお  $0.1 \sim 0.2$  ガウス以下に消磁できる新しいすぐれた消磁装置を付属させ、また核磁気共鳴を利用した磁場測定装置で磁場を精度良く常時測定し、必要に応じて磁場の直接制御法も採用できる。

## 27.5 そ の 他

### 27.5.1 同位元素分離装置

核物理研究用ターゲット、化学工学研究用トレーサーなどに使われる高純度の同位元素を電磁氣的に分離製造する装置で、京都大学、東京大学原子核研究所に既納の同装置に引続き格段の改良を加え東北大学金属研究所に納めた。本装置は、コレクターに達するアルゴンイオン電流  $5 \text{ mA}$  以上、 $\text{Mg}$  を使用しての分解能 200 以上を得ている。本機のおもな特長は、偏向磁場に直角にイオンの打込みを行なう照準機構に、加速電極系を一線に配列したまま  $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ mm Hg}$  の真空を破ることなく、3 次元的に可動な構造を採用し、運転



第17図 東北大学金研納同位元素分離装置

操作の容易と分解掃除の簡単化を計った。真空スルースバルブは摩擦面にローラを採用し、操作、真空密封を容易にしている。補収効率を増すイオンビームの減速設備も備えられておりその効果が期待される。

#### 27.5.2 高温プラズマ発生装置

プラズマ物理、核融合の基礎研究用実験装置として、高温プラズマ発生および閉じ込め装置が製作された。これはたとえば水素、ヘリウムなどの原子を電離してプラズマを作り、これを磁氣的に閉じ込め、エネルギーを与えて数十ないし数十万度に加熱し、核反応を起させることを目的としたものである。

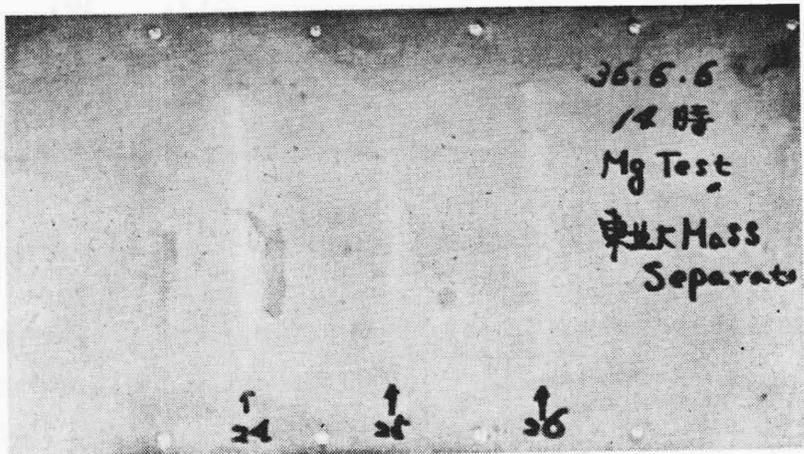
(1) 大阪大学原子核工学教室納、DCX形実験装置の高磁界発生コイルはコイルを移動させて磁界の形状を自由に変えられるように設計されている。

(2) 科学技術庁から原子力平和利用の委託研究費を受けて、東北大学との共同研究で、イオンサイクロトロン・レゾナンスによるプラズマ加熱装置の製作を行ない、このほどこれを完成した。

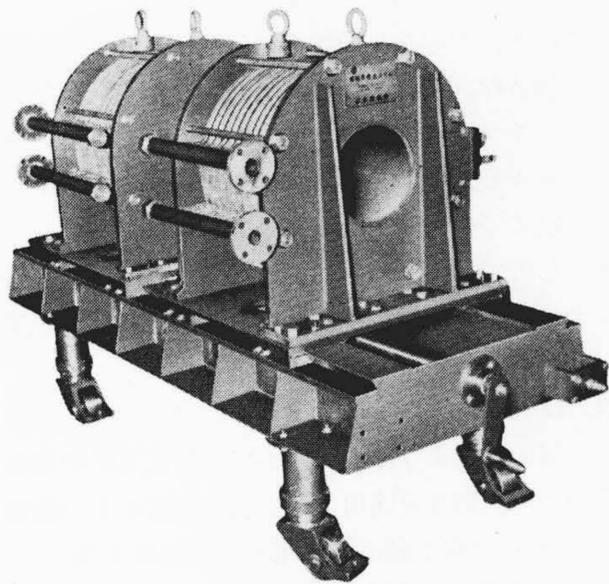
この装置は、最大3万ガウスを発生する高磁界コイル  $1 \times 10^{-7}$  mmHg の高真空容器と排気装置、イオン源、および高周波発振器を備えたもので、この種の装置としてはわが国最大の規模を有するものである。

高温プラズマ装置には、精密高磁界、および高真空が要求される。特に上記(2)の装置ではイオンのサイクロトロン共鳴を行なわせるため、長さ1mにわたって磁束密度1万5千ガウス、均一度1%の磁界が形成されており、また大電流コイルの製作にあたっては幾多の特殊技術が生み出された。

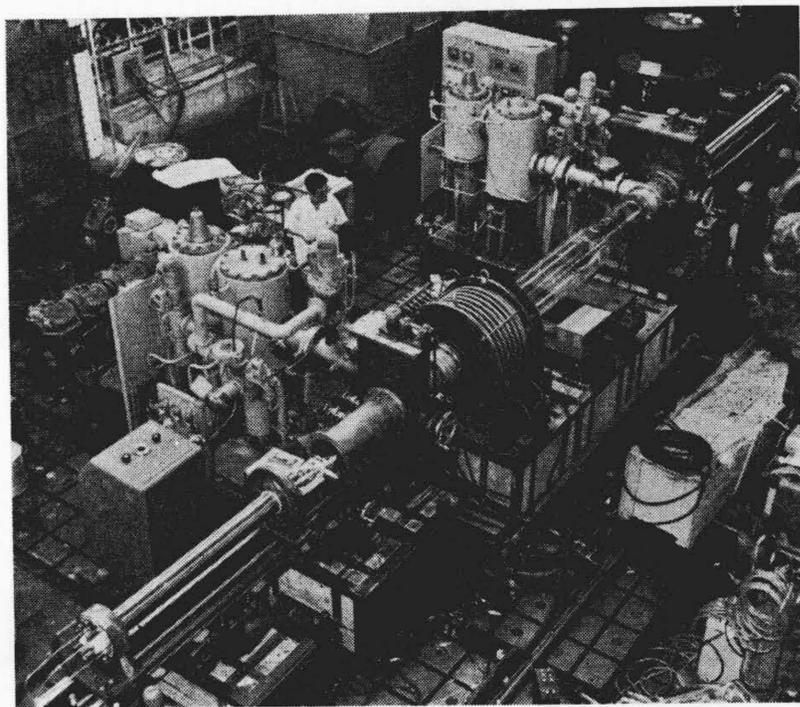
大形の真空容器を超高真空にする技術も種々開発され特にガラス容器と大口徑コバルフランジの接着、真空中への可動部そう入機構、大形真空バルブなど至難とされる技術にも成功をみた。



第18図 Mgの同位元素分離状況



第19図 DCX形電磁界発生装置



第20図 東北大学納イオンサイクロトロン装置

イオンサイクロトロン共鳴によるイオンの加熱は、日立製作所の独自のアイデアによるもので、今後行なわれる実験研究の成果が大いに期待される。