

# 我が国の大学関係原子力研究将来計画

## 付 属 説 明 書

昭和46年3月

日本学術会議原子力特別委員会  
将来計画検討小委員会

京都大学原子炉実験所  
我が国の原子力研究将来計画専門研究会

c113-036-005

## 我が国の大学関係原子力研究将来計画 付 属 説 明 書

### 緒

この冊子は日本学術会議原子力特別委員会においてまとめられた「大学関係原子力研究将来計画」の各部について、計画がまとめられた経緯、規模の根拠、関連して進展が期待される研究分野、実現の具体的方針などの主な点について敷衍したものであって、上記将来計画の参考資料の役割りを果たすよう作られたものである。

したがって各章はそれぞれ将来計画本文の項目に大体対応する形になっているが、この計画に関連する学問分野は、どちらかといえば、原子力の研究に直接かかわると言うより、原子力分野の技術や施設を利用する他分野の基礎または応用研究の部分にも重点があり、このような事情を特に具体的に詳述した本冊子は「原子力」に限らず、関係学問分野全般との関連を明らかにする意味で独立の意義をもつものとする。

日本学術会議原子力特別委員会将来計画検討小委員会委員長  
京都大学原子炉実験所我が国の原子力研究将来計画専門研究会主査

伏 見 康 治

## 目 次

第1章	地区センター	1
第2章	講座，部門の充実	5
第3章	臨界集合体	8
第4章	高中性子束炉	18
第5章	我が国におけるパルス炉開発の進め方について	29
第6章	超ウラン元素研究施設	36
第7章	重イオン科学の研究	44
第8章	大学における核融合プラズマ研究の将来計画	50
第9章	既設の原子力関係施設、設備の問題点	56

## 第 1 章 地区センター

### I. 総 説

各大学におけるアイソトープ・放射線実験ならびに教育訓練施設の整備充実は緊急を要する措置である。現在、日本原子力研究所アイソトープ研修所および放射線医学総合研究所養成訓練部の2つは設備の整った施設で年間数百名におよぶ研修生を訓練してきているが、このうち大学関係者に開放される人員は年間わずかに10名以内にとどまっている。このような制度を大学に対して広く開放するように改めることも一つの方策であるが、年間、2,000名におよぶ学生教職員の研修を引き受けることは到底不可能と考えられる。大学に訓練用の研修施設を設け、同じ地区の大学群によって共同運営を行なうならばこれは可能であり、また施設の有効利用という点で最善の策と考えられるのである。

また、現在我が国の大学にはほとんど原子炉が設けられていない。これは原子力を専攻する年間約300名の学生にとっては勿論のこと、アイソトープ、放射線実験関係学生にとっても重大な問題であって、健全な発展のためには適当な教育訓練用の原子炉の設置を考えねばならない。

しかし、原子炉設置に対しては敷地の確保、技術スタッフの確保、完成後の有効利用等、種々の問題があり、単一大学でもつことは適当でない。地区センターのうちのあるものにはこのような原子炉をもたせることが考えられている。さらに、原子炉はすべての地区センターに必要なではないので、原子炉をもたない地区センターには、別の放射線源としての加速器などの設置が適当である。

これらのセンターにおいては、教育訓練のみならず研究にも志向することはセンター自身が高い水準を保ち教育訓練をより有効にすることになり、かつ施設の効率的利用という点からも望ましい。原子炉や、加速器などの設置はこの意味でも重要である。

このセンターは具体的には〇〇大学附置原子科学△△地区センターと名付けられる。

### II. センターの規模

センターの規模の概要については本文に述べたところであるが、この規模は当面最小限必要と考えられるものであって、将来は拡充強化の必要性が当然起るものと予想される。

センターに設置されるべき部門は、“放射線防護、物理、化学、計測、生物、炉工学などのうち3ないし4部門”としてあるのは、ここにあげた6部門程度はこのセンターの運営に基本的に必要なものであるが、当初定常的になるまでは部門職員を、専門を考えて選考するなどにより、3ないし4部門で発足するという意味である。したがって、それぞれの地区の事情に応じてこのうち3ないし4を選び、他は地区の大学群から適任の教官が併任して指導に当る運営形式が考えられている。また専任者の専門外の講義や実験の指導にはそれぞれの大学群から適任者が選ばれるものとする。

つぎに、研修教育以外の研究活動に関しては、年月の経過とともに共同研究の場としての拡がりが見込まれる。目下のところ、放射性トレーサの標識法の研究ならびにサービスおよび原子炉を併置したセンターにおける中性子放射化分析の研究ならびにサービスを想定しているが、その他い

くつかの共同研究の場となる可能性は大きい。

以下、この規模の根拠について述べる。

現在、理・工・農・医・薬・歯各学部においてアイソトープ・放射線を利用する分野は極めて広くなりつつある。各学部によってかなりの差はあるが、それぞれにおいてアイソトープ・放射線に関する研修・訓練を必要とする学生数は年間およそ次のような数に達すると考えられる。

理学部系(全国学生定員の約1/50)	約100名
工学部系( " 約1/50)	約380名
農学部系( " 約1/30)	約150名
医学部系( " 約1/3)	約890名
薬学部系( " 約1/3)	約300名
歯学部系( " 約1/3)	約100名

計約 1,900名

医・薬学関係の割合が多いのは、医薬用のアイソトープが一般の規制から除外されているので、当然関係者すべてが取扱いに十分習熟している必要があるという理由による。

上記の他に教職員としてアイソトープ・放射線利用に新たにたずさわる者も毎年約100人と推定される。これらを合計すると、前述のとおり年間約2,000名となり、これらに対して研修・訓練を行なわねばならないのである。ところで、研修・訓練には、同種の機器を数多く備えるなど、特別の配慮が必要であり、如何に能率よく手配しても、同時には約30~50名の研修が限度である。従って、年間約50組の研修を必要とするわけであるが、1組の研修に要する期間は約4週間であり、合計約200週分の研修訓練が必要になることがわかる。

現在既に設置されているアイソトープ実験室は、それぞれの分野における、アイソトープ・放射線利用の研究のための施設として極めて活発に利用されているものが多く、また設備も、同一種類のものを重複して数多く備えることなどは不可能なため、教育訓練用に利用できるものはほとんどない。そこで上記約200週分の研修・訓練を行なうためには、新たに少なくとも6カ所の研修訓練のための施設が必要である。これらの施設には同時に約40名の研修が可能なる十分な配慮が必要である。

教官については上述のとおりであるが、講義室、物理系・化学系・生物系各実験室、自習室等及び付属面積として1人あたり約50㎡、計約2,000㎡、その他に、教官室、教官研究室、準備室、放射線管理室、R I貯蔵室、事務室等で約2,000㎡、合計4,000㎡の建家が必要である。また設備は普通の実験装置、測定器各種を少なくとも10組、マルチチャンネル波高分析器など高額のものは3~5組整備するとして、約2.6億円の経費を必要とする。

次に、現在国立大学において原子力工学専門の学生を教育しているが、学生の1学年当りの人数は300名以上と推定される。諸外国の実例からみて、これらの学生に対しては最低約2週間の原子炉実験を履修させることが必要である。これらの実験を同時に行なわせ得るのは学生数にして約10名が、安全・管理・指導上の限度と考えられる。従って、これら学生実験のために必要な原子炉のマシントイムは、約30組、2週間ずつとして約60週分が必要である。

さらに、原子力工学以外を専門とする学科においても、例えば化学における放射化分析など、基礎科学における原子炉の利用は最近ますます盛んになって来ている。このような情勢から、学生に、原子炉に関する基礎知識を与え、取扱いや、実験の手法に習熟させることは安全上極めて必要なことである。このような教育を必要とする学生は、上述の原子力工学専門の学科を有する大学に限らず、多くの大学と、学部、学科に広がっているが、現在この方面においてはすでに、全国で約100余のグループ<sup>\*</sup>の研究者がある。かりにそれぞれが毎年約3名の学生を養成しているとみれば、学生総数は毎年約300名と推定することができる。この場合の実験は、原子力工学専門学生の場合と異なり、約1週間で十分と考えられるので、一応この数から推定すれば、上と同様の考えにより、年間約30週間のマシントイムが必要である。

◇ ◇

\* 原研共同利用、京大原子炉の実績による(研究室単位程度)。

以上を合わせて、年間約90週のマシントイムが学生実験のために用意されなければならない。一つの原子炉では、法定検査、保守、修理、特性試験等のための期間を除けば、年間約30週間のマシントイムが限度なので、この目的のためには、約3基の教育用原子炉が必要である。

現在稼働中の国内の原子炉は、それぞれ設置の目的を果たすために極めて多忙なものも多く、現状のままでは到底この要求には応じられない。そこで、地区センターのうち約3カ所に、この目的、趣旨に沿って、教育・訓練用の原子炉を設置し、地区毎に共同で利用すべきであると考えられる。勿論、主目的たる教育訓練上の要請からも、また完成後の有効利用という面からも、かなりの性能規模をもったものが適当と考えられている。

以下に地区センターに設置されるべき教育訓練用原子炉の構想の概要を述べる。

原子炉の出力は数百kWまでとする。これは、燃料交換の必要のないこと、型式によっては特別な強制冷却設備を必要としないこと、などの簡便さを持ち、しかも熱中性子束 $10^{13}n/cm^2 \cdot sec$ 程度の強度を持ち、かなり広い範囲の照射実験研究も可能という理由からまとめられた考えで、このような場合の国際的な常識ともなっている。

ただ、地区センターにおいて何らかの研究上のピークを出そうとする考えがもり上がって来たとき、これをその都度、試験的なものまで、共同利用研究所や日本原子力研究所の大型炉にもちこむのは、手続のはん雑さなどのために研究意欲を阻害し、新しい芽をつみとる形になるおそれが多い。このような考えから、地区センターの原子炉は、上述の簡便さを保持しながら、かつ、それ自身で高度の研究、実験も計画、実施できるよう、例えば、パルス運転型とするなど、それぞれ工夫することが適当である。

なお、上述のような原子炉を新設する代りに、現存の私立大学所属の原子炉の一部を利用する考えもある。これは種々の条件から考えて有利な策と考えられている。

### III. センターにおける研究的機能

#### (1) 放射化分析に関する共同研究

周知のごとく、放射化分析は今日最も感度の高い化学分析法として、自然科学のあらゆる分野でその利用度が著しく増加しつつある。また同時にその手法も計測器の進歩やコンピューターの導入により精緻をきわめてきている。一方数百kW程度の原子炉はこの分析法に対して十分とはいえないが相当満足できるものである。

このゆえに原子炉の教育訓練と並行してこのような研究ならびにサービスを行なうことは当然行なうべき活動の一つであり、また原子炉の有効利用の点からも望ましいことである。

この種の研究活動には、原子炉に附帯設備を施すことのほかに専用のホットケープ、各種の計測器、コンピューター、その他の設備・材料を必要とする。

#### (2) アイソトープ標識化合物に関する共同研究

アイソトープ利用のうち各分野を通じて最も広くかつ重要な利用法はトレーサー利用である。この目的に必要な欠くべからざるアイソトープ標識化合物の製造に関して共同研究的実験の場をこのセンターに設ける必要がある。我が国は標識化合物を諸先進国から今日なお購入している状態で、わずかに2,3の国内会社で製造しているが、商業的に可能な少数の種類にとどまっているので、複雑多岐にわたる需要を満たすには遠く及ばない。将来はこの広汎な需要に応じ得る試作研究施設および完全な貯蔵設備・試験設備を有し多くの需要者に配布できるような完全に独立した機関を設置することが必要であるが、その時機までの経過措置としてこのセンターに共同研究ならびにサービスのできる機能をもたせるべきである。

#### (3) その他の共同研究

以上の他、それぞれのセンターにおいて、ある程度全国的視野に立った系統的な配慮をした上で、特長ある実験設備を備え、これを中心として全国的な規模での共同研究を行なうことは、地区毎の研修・訓練とともに極めて意義のあることで、センターは、このような場を与える役割をもたせるべきである。

## 第2章 講座、部門の充実

### I. 原子力工学関係

#### I-1 総説

国立大学に設けられた原子力関係施設は7学科、2研究所、1共同利用研究所、2研究施設である。他に私立大学には3学科、1研究所があるが、原子力関係は特に設備に多くの費用を要し、しかも現状ではこれの大部分を国費に頼らざるを得ない。

現在迄国立大学に設けられた原子力(核)工学科関係の講座数は54講座(1学科当り6~9講座)、研究所等関係25部門である。又設備もある程度整えられて来たが、現状では学部学生の教育に多くの人手、設備を要し、大学院における研究、教育が十分に行なわれない状況にある。大学院、研究所等に重点をおいて講座、設備の早急な充実が望まれる。

#### I-2 学科関係講座の増設

原子力関係は分野が非常に多岐にわたるが、大まかな分類をすると次のようになる。

- 1 炉物理、熱工学、制御、安全等原子炉本体に関する分野
- 2 放射線計測、防護、保健物理に関する分野
- 3 核化学、核燃料、炉材料、再処理等化学の分野
- 4 アイソトープ、放射線、原子炉の応用、利用の分野

以上をすべて万遍なく網羅するためには非常に多数の講座・部門を必要とし、それはむしろ不適當と考える。各大学はそれぞれの特色を生かしたような講座構成になるようにし、全体として系統的、総合的な機能を発揮できるよう計画すべきで、それには現講座の再編成も積極的に考えることが必要であろう。しかし現状はこのような手段を考えるとしてみてもなお不足であり、学科としての講座数の規模は、さしあたり12講座前後が適當と考えられる。これは工学部の他の学科の規模が、標準学科(1学科6講座)2学科をまとめて1学科として運営するのが適當であることを見ても妥當な線と考えられる。又将来は原子炉を中心としたハードウェアの学科と、原子力利用のソフトウェアの学科の二つがそれぞれ相補的に運営する方向に向うことも考えられる。又現在は核融合関係は主として原子力関係学科とは遊離した形で研究、教育が進められているが、近い将来には当然この方面も積極的に取入れて行くべきであろう。

#### I-3 研究所等関係部門の増設

研究所等については、共同利用(研究)重要施設・設備関係に付随する部門については各項目にそれぞれ説明されているのでここではふれないが、それ以外にも現有の設備を有数に活用するためには部門を増強し、円滑な運営を考えて行かなければならない。又大学個々の研究所等においても、

学科の増強との関連において、それぞれの特徴を生かした部門の増強を計らなければならない。

講座・部門の増強は、単に数を増すばかりでなく、その内容の充実が更に緊要である。すなわち、原子力関係では放射線管理・大型装置の管理・運転等多くの人手を必要とするので、そのための助手、技官の増員が必要である。

#### I-4 設備の充実

設備については、遅れてスタートした学科については早急な措置が先ず必要であり、又大学院の充実をはかるためには、現在迄に設置した額と同程度の設備（1学科約5億円程度）が必要と考えられる。又研究所等については、一概にいえないが、当該研究所等がそれぞれ独自の特徴を生かすための設備の充実が緊要である。

### II. アイソトープ、放射線利用関係

#### II-1 総説

大学においては、アイソトープ・放射線利用に関する基礎的な物理学・化学・生物学から、工学農学・薬学への応用の基礎学、さらにその取扱技術にわたる教育を行なう必要がある。現在これらの関係講座・部門は約20設置されているが、必要数を満たすには速く及ばない。早急に下記に述べる11分野に対して学部毎に1～3の講座・部門を新增設することが必要である。

同時に大学の各学部・附置研究所におけるアイソトープ・放射線使用可能の各分野専門の研究施設が不可欠であり、高額または大型の設備を集中したセンター的施設も必要である。ことに医学の分野ではアイソトープ診療施設の貧困度が今日著しく目立っているため緊急の措置が必要である。

#### II-2 講座・部門の新增設

理・工・農・医の各分野において講座・部門の新增設を重点的にかつ緊急に行なうべき研究分野は以下のとおりである。

- 1 安全取扱、防護施設、健康管理などに関する分野
- 2 特殊核反応、反跳効果、放射線の性質、年代測定などに関する基礎分野
- 3 反応機構、工程解析、物質移動、放射能標識などトレーサーに関する分野
- 4 放射線の物理作用、放射線化学、エネルギー変換など励起・電離に関する分野
- 5 応用計測、分析、検層などの応用機器に関する分野
- 6 アイソトープによる診断・放射性医薬品などに関する分野
- 7 医療用放射線測定装置・発生装置などに関する分野
- 8 悪性腫瘍の放射線治療などに関する分野

- 9 生物の物質代謝などトレーサーに関する分野
- 10 生態系エネルギー循環の解析に関する分野
- 11 育種・殺菌・殺虫など照射に関する分野

#### II-3 施設の充実

地区センターによっていくつかの大学が共同利用する施設を備え得たにしても、なおかつそれぞれの大学内にまた中・小の研究実験用の施設およびアイソトープ診療施設が必要である。施設の概要は下記のとおりである。

##### (1) アイソトープ実験室

- (a) 大学単位の中型アイソトープ実験室・経費各約1億円
- (b) 学部単位の小規模アイソトープ実験室・経費各約1,900万円

##### (2) アイソトープ診療施設

現在までに満足し得る診療施設または専用病棟はきわめて少なく不完全な施設でこれを行なわざるを得ない現状である。今日国立大学病院に診療施設が21カ所認可されているが、これらのほとんどは密封線源施設であり、直接臨床を対象とした非密封アイソトープ施設は少数にすぎない。

以上のような施設の不備にもかかわらず臨床各科でのアイソトープ利用は急速に増加しているため、病院内の放射能汚染の危険性は大きい。全国各大学病院に法律的基準に合致したアイソトープ診療施設を設置する必要がある。

大施設	経費各約2億円、人員約20名、ベッド数40
中施設	経費各約1.5億円、人員約15名、ベッド数30
小施設	経費各約1億円、人員約9名、ベッド数20

現在各大学とも不十分ながら施設・設備を所有しているため、その不備な点を補うこととする。

##### (3) 放射線育種場共同利用施設

現在行なわれている農林省放射線育種場の施設を利用する共同利用は、現有設備の有効利用の意味で一層の充実が望まれる。

### 第3章 臨界集合体

#### I. 本計画の経緯

昭和39年京都大学原子炉実験所に研究用原子炉が完成し以後極めて順調に稼動してきたが、この共同利用のための炉は原子炉を利用する立場に重点が置かれ原子炉自体の研究のためには必ずしも満足すべきものではなかった。

原子炉の基礎研究には大きく分けて2つの分野がある。1つは原子炉を構成する各種材料の中性子に対する諸性質の研究であり、他の1つはこれらの材料によって実際に炉心を組み立てたときの中性子の振舞いの研究である。前者は微視的性質の研究であり、後者はそれから集成された巨視的振舞いの研究であるともいえる。これらは両者相補ってこそ完全なものになるものであるが、巨視的振舞いの研究のための代表的なものとして臨界集合体がある。もちろん臨界未満の状態でもある程度こうした研究は進められるため、いくつかの大学において未臨界実験装置が設置せられてきたが、やはり実際に炉心部で核分裂連鎖反応を保持しうる臨界集合体なくしては十分な研究は進められないことは明らかである。さらに臨界集合体はこれをうまく使えば第1の分野すなわち各種材料の中性子に対する諸性質の研究のためにも極めて有用な装置ともなるのである。

我が国においては10基に近い臨界集合体が作られてきたが、これらはいずれもある特定の原子炉の建設、または開発とくに動力炉の開発を目的としたものであって、いずれも短期で狭い範囲の目標のみを設定してきた。従って長期にわたる視野をもって基礎的な研究を行なうべき大学の研究者のためには型式として不適であるばかりではなく、それぞれプロジェクトに追われてマシントイムの点からみても流用しうる機会は稀にしかなかった。

こうした現状に鑑み大学関係研究者の間で臨界集合体建設の必要性についての論議がおこり、昭和39年度以降原子力学会の会合などを通じその声はとみに高まってきた。これを受けて昭和41年度より京都大学原子炉実験所に研究専門委員会、研究会が結成され全国大学の代表的な研究者が参加して討議が行なわれ全国的な調査も行なわれた。このようにして装置の型式、管理方式あるいは研究テーマ等の具体案が策定されるに至った。その後ひきつづき研究者の間で研究計画についての討論・調査が行なわれて現在に至っているが、こうした討議の結果大学共同利用の臨界集合体の基本的性格が次のようにまとめられた。

- (1) 多くの大学研究者が共同利用できる型式とすべきこと。
- (2) 広い範囲の研究が行なえる型式であること。
- (3) 新しい分野の研究も行なえること。
- (4) 各大学で保有している未臨界実験装置の延長としての臨界状態の研究もできること。
- (5) 新しい研究炉についての基礎研究もできること。
- (6) 安全性の高い構造であること。
- (7) 取扱いによっては危険な事態も起こりうるので管理体制と敷地については十分な配慮が必要である。

以上のうち第1・第2は従来の臨界集合体の概念からすれば全く実現が困難な要求である。すな

わち臨界集合体は本来特定の原子炉の炉心を模擬して組み立てその特性を実験的に研究するもので安全確保の要請からその組み替えには煩雑な手順を必要とするため研究対象を異にする多くの研究者が自由に実験できるほどの融通性がないのが通常であった。従って、このような装置の共同利用は本来不可能であろうとする意見も強かった。しかし当面このような装置を数多く設けることは敷地その他の関係で困難でありさしあたり集中的に1ヶ所に設置することを考えるとすればこの装置はかなりの融通性をもつことが望まれる。関係研究者の間ではこの問題の解決のために検討考察を深めた結果、複数炉心型という世界にも例をみない新しい構想に到達し、具体化への曙光を見出すことができたのである。

また新しい分野の研究対象の1つとしてはトリウムによる増殖に関する基礎的研究をとり上げるべきであるということに意見が一致した。また一方、高中性子束の研究炉の開発のための基礎的研究のためにも有効にして無二の装置として活用してゆくという方針も掲げられた。さらに各大学の未臨界実験装置の延長としての臨界状態の研究はじめあらゆる実験研究を通じ、関係する分野の全国の大学院学生の教育用にも極めて有意義な役割を果たすであろうこともまた期待されている。

#### II. 研究分野および研究テーマ

本臨界集合体を用いて遂行できる研究分野は、炉物理・炉工学はじめかなり広汎な分野にわたるが、とくに重点的に行なうべき研究テーマとしては次のようなものがあげられる。

##### (1) 臨界量および中性子束分布の研究

臨界集合体を用いて行なわれる最も基本的かつ重要な実験である。臨界量は複雑な物理量を集積したもので、やや異なった炉心を組むと、現在でも計算と実験で相当のくい違いが生じており実験結果の方が信頼されている。本装置では、従来の研究のように実用炉の模範炉心についての特性実験にとどまらず、さらに新たな炉モデルについての研究を目指すものである。それは種々の燃料、減速材、模擬物質等を自由に組合えることによって可能となる。また媒質の組合せと共に幾何学的配置の組合せが相当自由にできれば、企画的な炉型の開発も夢ではない。またエネルギー依存の中性子束分布は、臨界量と表裏一体の物理量でこれも合わせて研究されるべきである。

##### (2) 動特性・ドップラー効果等原子炉の安全性に関する研究

計算の技術が著しく進歩した昨今とはいえ、原子炉の安全性について重要な位置をしめる動特性の研究、ドップラー効果を含む温度係数の研究等は、相変わらず臨界集合体を中心として実験による証明を必要としている。種々の炉心が実現可能な本装置はそういう意味で安全性に関する基礎的な研究が行なわれると期待される。

##### (3) 高中性子束炉等具体的想定炉の基礎的研究

高中性子束の研究炉、例えば熱中性子のピーキング領域を持つような炉を考えると、実験的検討

が絶対必要であろう。それは、実験孔等を炉心内に持つことなどによる複雑な炉心については臨界量その他の基本的量が計算で十分予測することが困難だからである。また、臨界実験装置によって、ピーキングの最大値を少しでも上げることができれば、それだけ高中性子束炉の相対的コストを下げることが可能となる。

(4) トリウムサイクルに関する基礎的研究

ウラン・プルトニウム系増殖炉については、現在、高速炉-新型転換炉を軸として、動力炉核燃料開発事業団および日本原子力研究所が中心となって開発が進められているが、トリウム系に関する研究は国内では殆んど行なわれていない。我が国の資源などの状態を考えると、長期的かつ将来性のあるこのようなテーマを大学関係者で遂行していくことは意義深い。そのためには、トリウム増殖が有利な中性子体系が実現される本装置の利用が待たれる。

(5) 部分的に設けられたテストゾーンによる高速中性子系の研究

核燃料が十分入手できない場合は、全炉心を高速炉系にすることが不可能であるが、核燃料が比較的少量で臨界となるエネルギー領域を設け、これをドライバーとして連鎖反応の大部分を担わせることによって高速炉系の実験も可能となる。即ち別に被測定領域のテストゾーンをおき、そこへ炉心の一部分を挿入することによって、その炉物理的諸量が実験的に求められる。

(6) 各大学が保有する未臨界実験の延長としての研究

現在、原子力関係の講座を持つ主な大学には、何れも未臨界実験装置が設置されているが、所詮未臨界状態であり、臨界状態の研究は不可能である。従って本装置によってこれまで各大学で行なわれた実験研究の延長としての問題が解明できる。また、こうした実験をはじめあらゆる実験研究を通じて、この方面を志す各大学の大学院学生の教育用にも利用できて、大きな効果をあげるものと期待される。

(7) 関連する基礎的分野の研究

以上述べたテーマの他に、さらに基礎的ないくつかのテーマも考えられる。すなわち、断面積の研究、核分裂の研究、中性子相関の研究、中性子波の研究等である。現在この種の研究を行なっている大学関係者は相当数あり、これらの分野でも研究を大きく推進させるであろう。

III. 機能性能上の要請

これまでに述べられた目的・研究テーマを遂行していく上で、本計画の臨界集合体は機能・性能上次のような事項を満足する必要がある。

(1) 共同利用に適していること

現在大学関係者で臨界集合体を利用して研究を行なうことを希望している者はグループ数にして約35、テーマ数にして約80という数に達している。このように多岐にわたる実験研究の要望にこたえ建設後数年の間に実施させるためには単に組み替えが簡単にできる装置というのみでは不十分であってなるべく複数の研究グループが並行して研究できるよう機能性能上とくに工夫が必要でありこのような要請から複数炉心型という世界でも類をみない新しい構想に達したのである。しかもその運転および実験準備等のタイムスケジュールを無駄のないものとする必要がある。

(2) 安全性の高い構造とすること

大学共同利用の臨界集合体として多彩な共同利用研究をこなしてゆくという目的を十分に発揮するとともに、極めて安全性の高い構造としなければならない。このためには複数架台の炉心についてただ1つの架台のみが運転可能となり他のものは休止状態となって実験準備や片づけのみの作業ができるにとどめる。また制御計装系の設計は安全性に十分の注意を払い万一の故障等の場合にも常に運転を停止できるようなフェイルセーフの原則を貫いたものとする。また、燃料等の管理について問題を起こさぬような組織と設備を備えておかななくてはならない。

(3) 大学にふさわしい基礎研究が十分行なえること

これまでの臨界集合体はある特定の炉型の開発を主眼としたもので大学らしい基礎研究には必ずしも適当ではない。そこで本計画の臨界集合体では炉心を複数にして多岐にわたる研究分野を少しでも多く包含できるように考慮するとともに、燃料・材料・その他についてもある特定の炉型を目標としないで広い範囲のテーマをカバーできるような形状にすることが必要である。とくに基本的な原子炉材料は十分にこれを準備しておくことが望ましい。

(4) 装置そのものに融通性があること、それによって新しい分野の研究も行なえること

広い範囲の研究を行なえるようにするため炉心の組合せが自由に行なえることが必要である。一つには種々の媒質に関する研究を行なうとともにそれによって作り得る中性子スペクトルの可変範囲を広くすることが要求される。例えば熱中性子エネルギー領域に限らず中速中性子領域やさらには高速中性子領域の研究が行なえれば画期的な装置となろう。とくに中速中性子領域の研究は未だ殆んどなされていないがトリウム燃料サイクルの基礎的研究のために是非とも必要であり、我が国の資源状況からみても重要なものと考えられる。

(5) 新しい型式の炉心、例えば高中性子束炉の開発のための基礎研究もできること

装置の一つの目的として次に建設が計画されている高中性子束の研究炉の基礎研究も合わせて行なえることが必要である。それは設計水準がいかに進歩した昨今とはいえ炉の性能向上・安全性の立証のためには臨界集合体による実験が最も信頼できるからであり、大型の新型炉の実現の際には必ずこの過程を経ねばならない。考えられる研究炉は軽水減速が最も有力であるから軽水減速の炉心架台を設置することが望ましい。これは同時に各大学の軽水系未臨界実験装置にもつながるも

のである。

#### IV. 実現の構想

以上述べたような大学共同利用の臨界集合体設置に対する要望は強く、また設置された場合の効果も著しいものがあると考えられる。機能性能上の要請を十分考慮し多くの希望をなるべく多く満たすものとして次のような具体的構想が確立された。

##### 1. 構造の概要

複数(3基)の炉心架台を設置する。

固体減速炉心(2基)については、燃料および材料の標準サイズを5cm×5cm、厚さ1ないし5mmとして炉心構成材料の組合せが広範囲に変えられるようにする。この2基の固体減速炉心の1つは比較的高い中性子エネルギースペクトルを実現できるものとし、他の1つは熱中性子に近いスペクトルを実現できるものとする。高速中性子炉心は多くの核燃料物質と少量の減速材から組立てられ、熱中性子炉心では少量の核燃料物質と多量の減速材から組立てられた材料は共通であるからこの2種を同時に作っても必要な材料は1台分とあまり変わらない。

軽水減速炉心は2、3の大学の未臨界実験装置の延長の実験、新しい型の炉とくに高中性子束の研究炉の基礎実験等が容易に行なえるようにする。

固体減速炉心は炉心の一部が上下方向に油圧方式で動き分離できるものとし、出力の異常上昇、炉周期の異常低下など緊急時に際してこの部分が急速に落下して臨界状態から遠ざけるようにする。この他、数本の制御棒を有し、これによるスクラムも行なう。

軽水減速炉心は水位調節による臨界近接を可能とし、異常時には水を落して臨界から遠ざけるようにする。

以上3つの炉心は共通の制御系を持ち、制御棒の駆動機構も1つだけ設ける。各炉心はこの制御系が自己の位置に来たときだけ臨界実験のための運転が可能となり、運転していない炉心では実験準備や解体が行なわれる。

以上のように種々新しい考えを取り入れる結果、機能性能に比して非常に低廉に実現することができる。

本体に要する費用として集合体の架台が約2億円、核燃料約1億3千万円、放射線管理機器約2千万円、合計約3億5千万円である。

装置の概略を参考図1に示す。

##### 2. 附属実験設備

現在本計画の臨界集合体を用いた実験研究を具体的に希望しているグループは全国にわたり約35に達し、テーマ数にして約80の多きを数える。計画が実現した暁にはさらに多くの研究グループが生まれることが予想されるほか、大学院学生の教育用に用いることも予想される。こうした多く

の実験研究のすべてを充足するには必ずしも十分ではないが、さしあたり基本的に備えるべき装置として次のようなものがある。

##### (1) パルス状中性子発生装置および中性子時間分析装置

炉心内にパルス状に中性子を打ち込んでそのあとの中性子の時間的振舞いを測定するための装置である。

##### (2) 動特性実験装置

炉心内の中性子数の時間的分布、相関等を測定することによって原子炉の動特性的研究を行なうための装置であってデジタル相関器中性子検出系および駆動装置、パルス波高分析器より成る。

##### (3) 静特性実験装置

主として炉心内の中性子束を放射化箔やワイヤを使用して測定するための装置であり、箔等遠隔操作装置、カウンターより成る。

##### (4) パイルオッシュレータ

主として燃料材料のドップラー係数や吸収断面積等を反応度変化から求める装置である。

##### (5) 中性子スペクトル実験装置

炉心内の中性子のエネルギースペクトルを測定するための装置である。1つは低速中性子を飛行時間分析法によって測定するチョッパーであり他は中性子スペクトロメータである。双方相補って全エネルギー領域の中性子スペクトルが求められる。

##### (6) データ処理装置

炉心計算および実験データ処理をするための小型の電子計算機と附属装置である。

##### (7) 集合体燃料検査装置

集合体の燃料板等を検査するためのフードおよび鉛フードである。

##### (8) 制御系保守点検装置

制御系保守点検のためのシンクロスコープ、電磁オシログラフ、真空間電圧計、バルサーなど一式。

##### (9) 工作機械

集合体の保守管理上必要な機器工作を行なう装置である。

以上必要経費合計約1億円である。

##### 3. 敷地および建家

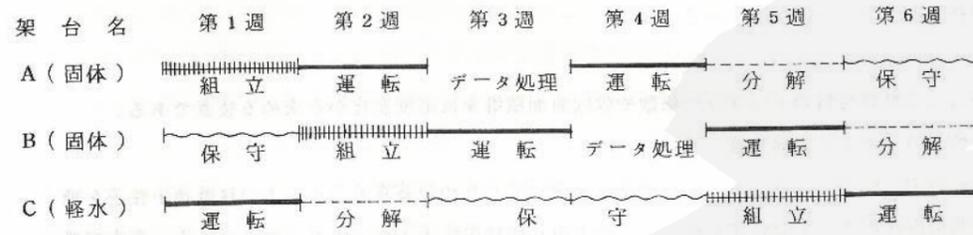
臨界集合体建家は鉄筋コンクリート2階建ただし集合体室は約12m吹抜けの一階建とする。集合体室が約450m<sup>2</sup>、全体で1,200m<sup>2</sup>とし、総経費は約3億5千万円である。この建家の設計に際しては、各架台がしゃへい壁で区切られていること、制御系統が架台間を移動できること、燃料材料も各架台と燃料貯蔵室間で移動できること、建家各部で適当な空気調節と換気をし排気はスタックからすること。約500kVAの電力設備を置くほか約30kVAの非常電源を有すること、その他防火設備、放送設備、監視用工業テレビ、電話、クレーン、ガス(集合体室等は除く)廃水設備等

を考慮する。建家の概念図を参考図 2 ~ 4 に示す。

#### 4. 管理の体制

教授・助教授または講師を原子炉主任技術者に任じ保安の監督を行なわせる。これを支持し研究の監督および指導をもするため一部門（教授 1、助教授 1、助手 2、技官 2）と運転管理委員助手技官その他で 8 名を中心とする。ただし、これは既設の大学附置研究所に併設し放射線管理、施設運転等に協力が得られる場合の数であって、新たにこの集合体を中心とした施設などを考える場合には安全上不十分である。

3 基の集合体の運転スケジュールとして次の表のような 6 週間サイクルが考えられる。これによって研究能率は著しく向上できよう。



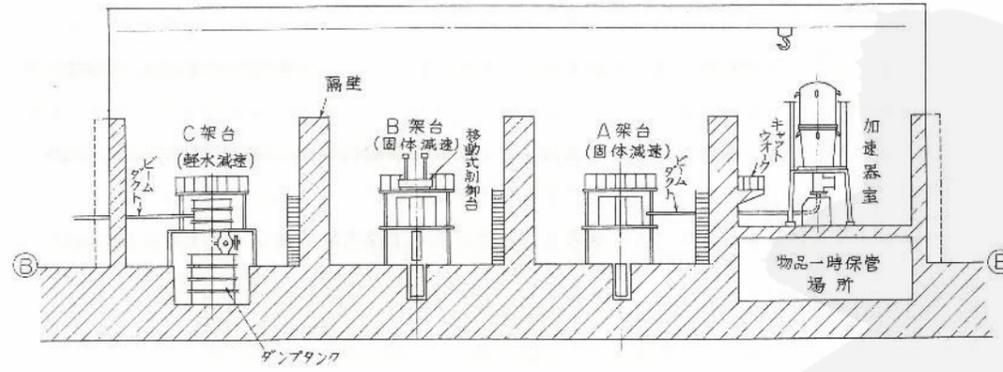
#### 5. 建設に要する期間

次の表のようなタイムスケジュールが考えられる。

月	設置申請書	本 体	建 家	据 付	設 備	実 験
0	起 草					
3	提 出				準備検討	
6	設置承認	詳細設計			発 註	
2 年 間	15	着 工	着 工			
	22	完 成	完 成	開 始		
	24			完 成	一部完成	開 始
	29				完 成	予備実験終了
30					本格的共同利用	

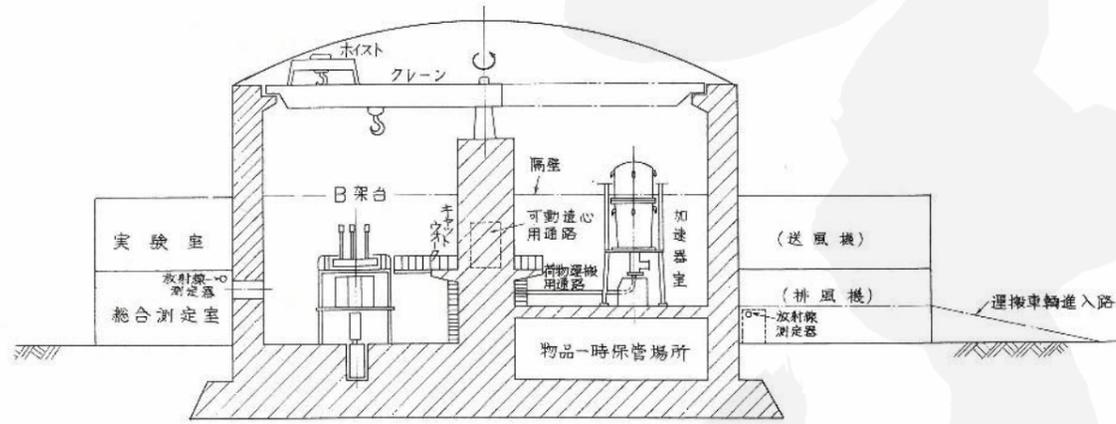
#### 6. 既設の大学共同利用研究所に設置した場合の利点

- (1) 敷地等について問題が少ない。
- (2) 保守管理体制が整っている。
- (3) 原子炉運転管理の経験をつんだ所員と組織がある。
- (4) 炉物理炉工学関係の共同利用がすでに盛んに行なわれている。従って学問的には勿論、事務的にも共同利用が行ないやすい。
- (5) 炉物理炉工学関係の専門家が所の専門研究会などを通じて組織化され、全国の関係研究者の要望が盛り込みやすい。また所内の炉物理炉工学研究者の層も厚い。
- (6) 高中性子束の研究炉建設の要望とも併せ考えると、その予備実験が近くでできることが必要である。



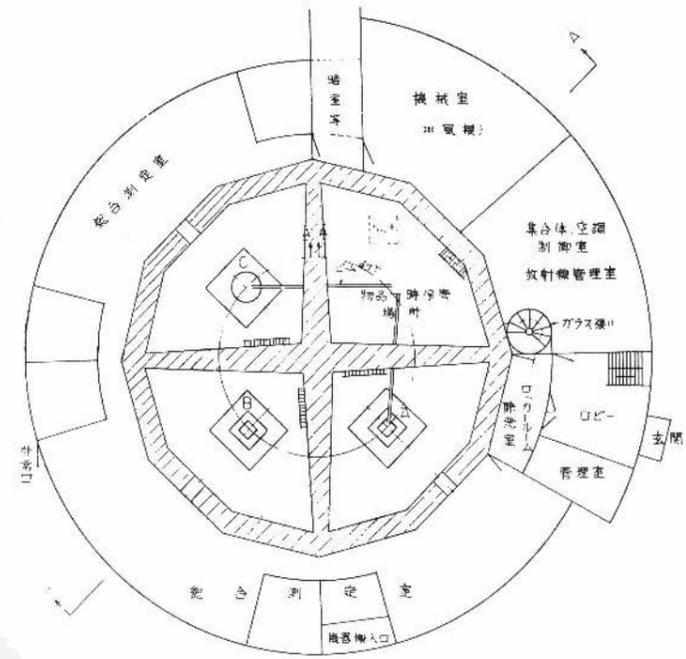
参考図1 臨界集合体建家①-②展開図

5m

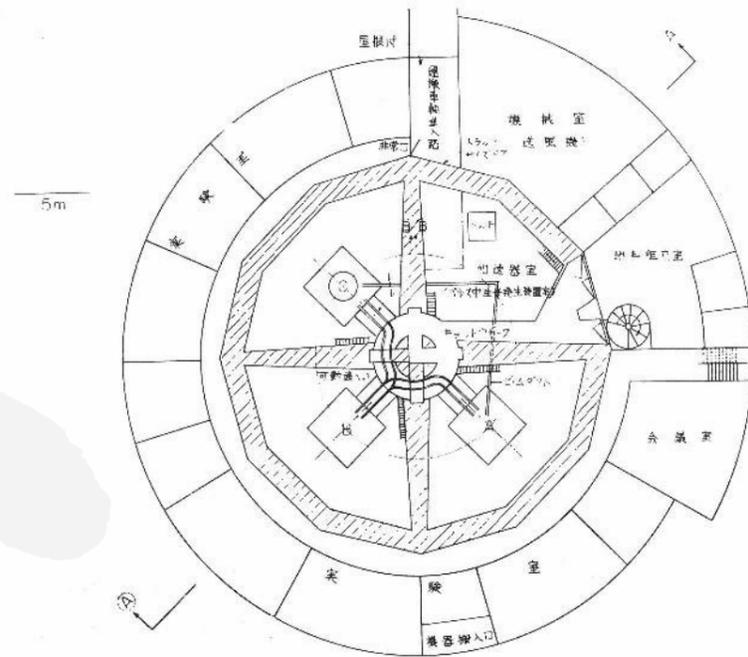


参考図2 臨界集合体建家①-①断面図

5m



参考図3 臨界集合体建家1階平面図



参考図4 臨界集合体建家2階平面図

## 第4章 高中性子束炉

### I. 本計画の経緯

我が国の大学関係における原子炉による実験は最初、日本原子力研究所の研究用原子炉によって始められたが、その範囲はビーム実験としては中性子回折実験に限られ、照射もごく単純なものに限られていた。昭和39年6月、京都大学研究用原子炉が完成するとともに、実験は年を追って盛んになり広い範囲にわたって行なわれるようになってきた。

しかしながら研究の進展にともない、各分野で現有の研究用原子炉では中性子強度が不足であることが次第に認められ始めた。このような情勢に対応して原子炉燃料や材料の照射研究の分野では、先に高出力の材料試験炉(JMTR)が建設され、大学関係者も一部利用できることとなったので、ある程度困難は解消された。しかしJMTRには中性子ビームを外にひき出すビーム孔が設けられていないので、所謂中性子ビーム実験ではこの条件は全く改善されず、諸外国との差は年を追ってひらく一方である。

国内各分野の研究者は種々の機会を作ってこのような現状の打開策を検討してきた。中性子回折関係グループでは、昭和41年~43年の科学研究費総合研究班、その他の種々の分野では、京都大学原子炉実験所における各種の研究会や、学会、学術会議関係の種々の会合において熱心な検討が行なわれた。

上のうち、中性子回折のグループは、昭和44年度末現在、4万kWの重水減速炉、または8万kWの軽水減速炉を早急に建設すべきであるという結論に達している。この結論はその後、学術会議関係の諸会合で公表され、その規模はさておき、この程度の性能をもつ新しい研究炉を早急に建設すべきであるという点についてはすべての分野の研究者の一致した支持を得、各分野においても、その建設を前提として、新しい研究計画が策定されるようになった。

一方、京都大学原子炉実験所においては上述のように大学関係の共同利用第1号炉を建設し、活発な実験研究を続けているが、この原子炉は完成後すでに約7年を経過している。この原子炉はアルミを主体構造としている点などの理由により、安全に運転できる限度としての寿命はあと数年と考えられる。そこでその代替炉を考えるべきであるという意見が全国の利用研究者から強く出てきている。ただ、この代替炉の性能・規模については単に現在の共同利用炉と同等のものとするのではなく、現在までの実績、経験を生かして、世界の最高水準をねらうべきであるとする意見が強く京都大学原子炉実験所としても現在の研究の動向に即してなるべく大規模のものを建設すべきであると考えられている。

さらに九州大学においては、大学関係における大規模施設の維持、管理運転の困難さを除き、利用研究者側より見て非常に合理的な運営方式に基づく、高中性子束炉の建設計画を策定した。この場合の原子炉としては、上述の中性子回折グループの構想をそのままの規模構造が考えられた。

以上のような諸情勢の下で、各分野の関係研究者が、詳しく、検討・討議を行なった結果、以下に述べるような具体的な考え方が確立されるに至っている。

### II. 本計画に係わる研究分野

(高中性子束炉によって行なわれる研究について)

高中性子束炉の実現によって、はじめて可能となる実験研究の種類は枚挙するに暇もない位である。ここではそのような研究のうち、主要なものを取り挙げ、簡単な補足説明をも付け加える。勿論ここにとりあげないものの中にも重要なものがあり、またこれらの中でも高中性子束炉に依存する度合は同列ではないが、一応の目安として下記の如く分類した。

- (1) 炉物理炉工学関係
- (2) 中性子回折関係
- (3) 特殊中性子ビーム実験関係
- (4) 核物理核化学関係
- (5) 化学関係
- (6) 特殊照射関係
- (7) 生物医学実験設備関係

以下それぞれについて概説する。

#### (1) 炉物理炉工学

極めて高い中性子束の研究用原子炉の設計から建設そして試運転への過程そのものが原子炉物理や原子炉工学の分野の大きな研究テーマであるといえる。すなわち、いかにして高中性子束を得るか、運転制御をいかにするか、核燃料や炉材料の選び方、安全性の評価などいずれも詳細な検討が必要とされ、臨界実験装置や既存の研究炉、冷却系ループ、電子計算機などを用いた実験や計算を行なう必要がある。

また、炉物理・炉工学の研究者にとって完成した高中性子束炉のもつ意義も大きい。以下にその代表的な研究テーマについて述べる。

- (a) 高中性子束炉とくに分割炉心等における動特性およびその制御に関する研究
- (b) 高中性子束・高ガンマ線量率の計測法に関する研究
- (c) 燃料材料元素の中性子断面積、反応度に関する研究。ウラン・トリウム・プルトニウムや、他の種々の材料元素の中性子断面積とくに核分裂生成物の断面積、反応度等を測定することは現段階でも重要な課題である。とくに核分裂に関連する諸量はなおかなりの問題点を残している。また、これらのうち核燃料物質の照射済のものについては世界的にもまだ解明の緒についた段階であり、これに関する基礎的研究が最も強く望まれている。
- (d) 熱中性子、冷中性子を用いた炉物理的研究。これによって、空間依存熱中性子スペクトルの実験、中性子波伝播の実験、未臨界系の指数実験、冷中性子の性質に関する諸種の実験などが一層精度よく行なえるようになる。
- (e) 高速中性子を用いた炉物理的研究。熱中性子を濃縮ウラン板に入射して高速中性子を発生させる中性子エネルギーコンバータを用いて高速中性子の減速に関する実験、高速中速等の標準中性子場の開発とそれを用いた各種の実験ができる。
- (f) 原子炉しゃへいに関する実験的研究。中性子、ガンマ線に対するしゃへいの性能の実験、発

熱の実験など。

- (b) 燃料サイクルに関する研究。例えばトリウムサイクルに関する実験的研究が高中中性子束炉を用いて行なうことができる。

## (2) 中性子回折関係

中性子の散乱を応用した中性子線回折の研究は、物性物理学を初めとして、化学、工学、薬学、生物学等広範囲の基礎研究にとって、物質の静的構造のみならず、動的機構の解明のためにも必要不可欠な研究手段である。

原子炉から取り出される中性子線は、適当な方法で単色化したのち測定試料に照射される。試料中には中性子の散乱体である原子核や核外電子の磁気モーメントがあって、中性子はこれらとの相互作用によって、結晶学的、物理学的法則に従って散乱される。この散乱中性子線について、その強度、角度分布、エネルギーや運動量の変化、及びそれらの磁場、電場依存性と温度変化等を測定することが、中性子線回折実験の主題である。中性子線回折のうち干渉性弾性散乱を利用する部分は、X線回折の場合とよく似ているが、散乱の機構がX線のそれと異なっているために、種々の合金、含水素化合物、核燃料化合物、磁性体の磁気構造の解析等についてX線回折法では不可能な部分につき広範囲に應用されている。しかし、従来我が国の原子炉で実施可能であった実験の種類は、わずかに前述の合金や磁体の構造解析のうち限られたごく一部のものにすぎなかった。これは、従来の原子炉の熱中性子線束が低すぎて必要な測定時間があまりにも長くなりすぎたり、あるいはたとえ十分な時間をかけたにしても雑音のために目的の信号が検知できなかったためである。中性子源としての原子炉が高中中性子束炉となれば、中性子回折の最も重要な特徴であり、かつX線や電子線の回折では原理的にみて不可能な「散乱体とのエネルギーの授受が明瞭に感知できること」の性質を利用した各種の実験が可能となる。すなわち干渉性非弾性散乱の測定からフォノン、マグノンの分散関係を求めることにより、固体の微視的動力学的研究が可能となる。又S/N比の向上に伴い液体構造の研究や、固体相転移に際して転移に関与する“乱れ”の相関が直接散漫散乱となって観測される臨界散乱等微弱なシグナルの精密な測定が可能となる。

更に適当な減速材を付加することによって冷中性子や熱外中性子の強度も十分高められるので、ラディカル回転等のような一般的に基準振動として記述できない動的現象機構の解明や、熱外中性子散乱による励起の観測、化学結合に関する知見を得る等研究分野のエネルギー領域が熱中性子のみに限らずその両側に広く拡張させる事が可能となる。そのほか非干渉性散乱測定による磁性体等の研究の精度も著しく向上する事は言うまでもない。このような高中中性子束の原子炉ができることによって中性子回折による研究は、現象機構の本質により深く肉迫することが可能となるわけであって、基礎応用研究の両側面から共に高中中性子束炉の早急な建設が切望される所以である。

## (3) 特殊中性子ビーム実験

分子の自由及び束縛回転並びに振動励起の状態の研究、或は熱平衡にある結晶中でのフォノンの分散関係等を知る場合に、冷中性子を物質に照射すれば、散乱してくる中性子のエネルギー及び角

度分布はそのままその物質の内部の動的状態を反映する。

又単色化された熱中性子或は熱外中性子を用いてもほぼ同様の知識を得ることができる。更に、いくらか高いエネルギーの単色中性子が物質と相互作用した後の角度及びエネルギー分布からは、結合された原子が大きな運動量の変化を受けた場合の非調和振動子としての運動状態に関する知識を、また中性子の相互作用時間から原子の弛緩時間に関する知識が得られる。

このように、冷中性子及び単色中性子は低速中性子の物理学にとって欠くことのできないものであるにもかかわらず、従来あまり研究に用いられていない。これは散乱後の中性子のエネルギーを測定するためには、相当数の中性子が必要であるのに、通常原子炉中の冷中性子束はあまり大きくなく、又単色化すれば更に中性子数は減少するので、それでもなお十分な中性子束を供給できる高中中性子束炉が得られなかったためである。

そこで、冷中性子或は単色中性子を作るにあたっては、できるだけ有効に原子炉の中性子を利用する方法を考えなければならない。これまでのビーム実験では、原子炉の中性子は僅か数平方の面がらとり出されているだけであって、これ以外の面から炉心外へ出た中性子は、シャベル体などの中で無駄に失われている。従って、もっと大きな面積から中性子を取り出し収束して利用する方法を講ずれば、同じ中性子束であっても1桁以上多い冷中性子や単色中性子を得ることが可能である。

冷中性子の場合には、多数の冷中性子反射管を束状にして用いて試料の位置では1点に収束するように配列すれば、1本の反射管の場合よりも1桁多い冷中性子を得ることも容易である。同様に、速度選別機の場合ローターの直径を原子炉から遠くなる程小さくし、その外周のスリットを通して単色化された中性子が1点に収束するようにすれば、従来のものの数十倍の強度の中性子を得ることが出来る。このようなビーム収束の考えは一般にチョッパーについても応用でき、高い精度の実験が可能になる。

## (4) 核物理核化学関係

本計画による、世界第一級の高中中性子束炉を用いれば、原子核物理学やそれに関連した分野においても従来よりも格段に進んだ研究を展開することが可能である。既に諸外国においては、研究用原子炉の建設と共に多くの先駆的な仕事が行なわれ、核反応や核構造の研究にも大きな寄与をなしてきており、現在も新しい装置の開発や新しい実験が次々と行なわれている。わが国においてはこの方面の研究が必ずしも盛んとはいえないが、本計画による高中中性子束を利用すると共に新しい測定装置を開発していくことにより、従来到達し得なかった多くの新しい分野を開拓していくことができる。

高中中性子束炉を用いての核物理関係の主要な研究テーマを大別してみると、i) 熱中性子および共鳴中性子による核分裂に関する研究。ii) 熱中性子、共鳴中性子の捕獲反応および捕獲ガンマ線を用いての $\gamma$ 線非弾性散乱による核構造、物性の研究。iii) 共鳴中性子の全断面積、部分断面積等の測定による複合核準位構造の研究。iv)  $(n, \gamma)$ ,  $(2n, \gamma)$ ,  $(n, f)$ ,  $(n, p)$ ,  $(n, \alpha)$ , その他の反応により生成されるアイソトープを用いての核構造に関する核分光学的研究、メスbauer効果、角相関法等による核物性の研究。v) 核分裂で生成される短寿命核のオンライン法によ

る精密研究および遅発中性子に関する研究。VI) 超ウラン元素に関する研究。VII) 単色冷中性子、偏極中性子等特殊中性子ビームを用いた研究、等が挙げられよう。これらはいずれも核物理学として非常に興味あるばかりでなく、原子力研究の基礎として、又物性研究との境界領域としても重要なテーマである。これらの研究にはいずれもできるだけ高い中性子束が必要であって、高束なるが故に新しい研究が開拓可能となることは言う迄もないが、そのみでは十分でなく、いくつかの大型の附属設備、特にユニークなアイデアに基づく、測定装置等を原子炉建設と同時に考えておくことが研究進展の鍵となることを充分考慮すべきである。

#### (5) 化学関係

$10^{15}$  n/cm<sup>2</sup>·sec 程度の熱中性子束による照射が可能であれば、多重中性子捕獲による生成物も研究対象として利用できることになる。例えば超ウラン元素の製造等の他、短寿命放射性同位元素の照射によって得られる各種の物質も取扱可能となる。更に  ${}^6\text{Li}(n, d){}^3\text{H}$  により発生する 2.7 MeV のトリトンによる 2 次反応を利用して、 ${}^{18}\text{F}$ ,  ${}^{28}\text{Mg}$  等の特殊な放射性物質を製造することもできるようになる。またオンライン質量分析を併用する化学分析により遅発中性子の先行核種に関するより精密な研究も可能になる。

高い中性子束の原子炉から有効にかなりの量の比較的高いエネルギーの単色中性子を取り出すことができれば、ホットアトム化学の発展にも寄与するところが少なくない。但し、この場合には、種々の技術的な困難が残っているので早期に実現することは期待できないが、ラジカル、ホットイオン等の固定のための低温照射設備との組み合わせが望まれる。又各種媒質中での放射線化学的研究は、照射ループを用いて可能となる。

冷中性子、単色中性子による非弾性散乱の実験も、高分子の分子力学的研究に対して、極めて有効な手段となる。ことに特殊な線型高分子などは、それ自体研究対象として興味があるばかりでなく、分子力学の基本的研究方法の開発のためにも当面非常に重要なものである。又数十 eV 程度の単色中性子線の照射によるフェルミレベルの瞬間的変動を利用して、高分子の電子的性質を調べることも可能となる。この結果、特殊な高分子が開発され独自の電子回路素子として利用されることも期待される。迅速化学分離技術の開発と相俟って極微量の不純物の放射化分析法による検出も可能となる。

#### (6) 照射実験

原子炉放射線は多くの種類の放射線の混合されたものである上、その混合の状態も、照射場所によって著しく変化し、さらに、燃料配置によっても変化する。従って種々の物質に対する放射線照射効果を研究する場合、まずその放射線の線質を吟味し、条件を整えなければならない。このように線質を制御するためには一般にフィルターなどを用いるが、この場合フィルターによって、かなり放射線の吸収が起こる。このように吸収があってもなお十分な線量を得るためには、もとの線量が十分高いことが必要であり、逆に、十分高い線量を用いれば原理的には十分な線質制御が可能と

なり、実験の精度は向上する。これが高中性子束炉の重要な意義の一つである。

照射効果の研究にあたって重要なのは温度制御である。上述と同じく、このような温度制御のための装置は一般に照射線量を下げるので、やはり高線量の原子炉であれば十分な温度制御設備を設けても、なおかなりの照射線量が得られる。温度は、液体ヘリウム温度までの低温と、1000℃程度までの高温までの設備が考えられる。このように、高中性子束炉は各種の物質に対する照射効果の実験に単に照射量を増すという単純な利点を生むだけでなく、条件の整理、単純化が進歩するため、照射損傷機構の基礎研究は飛躍的に発展するものと期待されている。しかもこのような実験は、ビーム実験孔の実験をほとんど乱すことなく実施することが可能である。

#### (7) 生物医学実験設備

世界的にみて、生物医学用専用の原子炉というのはあまり例がなく、通常は一般の研究炉の一部を利用して、熱中性子を多量に取り出すようにしている。構造は大向小異で黒鉛、重水、軽水の何れかを使った熱中性子柱とガンマ線しゃへい用のビスマス金属を組合せたものである。これは原子炉に混在する熱中性子線、ガンマ線の生体への効果のうち、熱中性子のみを取り出して利用するためである。

照射量は生体の種類、変化させる目的、条件等によって異なるが、一般に熱中性子量にして単位面積当たり  $10^{11}$ ~ $10^{10}$  個の熱中性子照射を必要とする。

さて、我が国のこの方面の研究は既存の研究炉 (JRR-2, KUR, HTR 等) を用いて若干行なわれているが、装置そのものが最初から目的に合うよう設計されていないこと、出力が低いことが主な理由で、その成果は十分といい難い。高中性子束炉には、これまでの炉より熱中性子束は高く、ガンマ線量の低い生物医学用照射設備を併設することが望ましい。

また、極めて狭い範囲に集中的に中性子を照射するマイクロビーム照射も高中性子束炉によって初めて有効な実験が可能となる。

但し、医学の治療用に利用するにはさらに附帯設備が必要となろうが、とりあえず、十分な基礎研究を行なうことが急務である。

### III. 性能についての具体的要求

新しい研究用原子炉に対する要求は極めて多岐にわたっており、その各要求が各種の条件の下で変化するので、これを単純に具体的数字にして表現することは困難で多くの場合誤りでさえある。例えば熱中性子束に対する要求をとりあげても、高速中性子、ガンマ線等の割合、しゃへい体等から洩れてバックグラウンドになる中性子、ガンマ線の量及びエネルギースペクトル、実験装置と炉心との間の幾何学的条件、中性子束の安定度等に関連があるのであって、こういった条件を全て指定した上で必要な熱中性子束を定めるのでなければ意味がない。しかし、こうした条件の中で特に重要なもの以外は常識的な状態であると考えて、性能についてある程度具体的な像をえがいてみるこ

はできる。

また、このような議論をする場合、装置または試料に入射する中性子束を問題とすべきであるが、比較のためには、炉の性能すなわち炉心における中性子束という同一基準で論ずるのが適当である。これらの関係は炉心と、装置などとの相対関係によるが、ここでは特に記さない限り一応通常の炉心における関係を想定して議論を進めることにする。

熱中性子束について最も強い要求が考えられるのは、熱中性子の非弾性散乱に関する実験である。この場合熱中性子は単結晶によって単色化され、散乱後の中性子の角度及びエネルギーはかなりの精度で測定されなければならない。この場合  $10^{14} \sim 10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$  の高い熱中性子束が必要であり、又高速中性子・ガンマ線はできるだけ少ないのが望ましい。

冷中性子を用いれば、散乱後の中性子のエネルギーは熱中性子の場合程精密である必要はないが、波長  $1 \text{ \AA} \sim 10 \text{ \AA}$  程度の冷中性子では一応単色化しておく必要があるので、 $10^{12} \sim 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$  の冷中性子束が必要で  $10 \text{ \AA}$  以上のものについては  $10^{11} \sim 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$  でよい。ただしこの場合は冷中性子反射管を束にして用いるので、冷中性子源の面積は直径  $30 \text{ cm}$  程度必要となる。冷中性子反射管は高速中性子等はほぼ完全に除去できるという利点がある。

冷中性子源として、反射管の前に低温の減速材を置くことが望ましい。又先の熱中性子による非弾性散乱の場合に、幾分高いエネルギーの中性子を用いて冷中性子の場合とは逆にホノン生成の実験を行なう必要がある。このためには  $4000 \text{ K}$  程度の高温減速材が望まれる。

収束型の速度選別機によっては  $1 \text{ eV} \sim 100 \text{ eV}$  の中性子が単色化され、重い原子の非弾性散乱或は比較的軽い原子の非調和振動等が研究される。この場合も熱中性子の場合と同様な測定を行なうので同程度の中性子束が必要になるが、熱中性子の場合程精度が高くなくとも意味のある結果が得られるので、 $1 \text{ eV}$  で  $10^{13} \sim 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$  の中性子束でよい。更に、このようなエネルギー範囲で単色の中性子が得られれば、特定のレベルの共鳴吸収だけによって放射化された核を作ることができる。このような放射性核の崩壊過程のスピン依存性を調べることによって、核構造に関する重要な知識を得ることが可能となる。

特にビーム実験の場合には、実験装置と原子炉の間が不必要に離れていると中性子の損失を大きくしたり、又装置と原子炉の幾何学的構造が不一致のためしゃへいが困難になって測定精度が低下することがある。このようなことをさけるために、原子炉の炉心、圧力容器、実験孔、生体しゃへい等と実験装置の構造とは互に十分な連けいの下に総合的に設計を進める必要がある。

冷中性子、単色中性子を使用する実験では、原子炉の中性子束の空間分布、エネルギー分布の変化をモニターで補正するのが困難であり、特にバックグラウンドの処理が難しくなる。従って、精度の高い測定のためには中性子束の変動はできるだけ小さい方が望ましい。

超ウラン元素の製造には多重中性子捕獲が必要であり、又、 $^{24}\text{Mg}$  等については  $^6\text{Li}(n, \alpha)$   $^3\text{H}$  により発生する  $2.7 \text{ MeV}$  のトリトンによる 2 次反応を利用する。このため  $10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$  程度の中性子束が望まれる。

純熱中性子による照射或は炉物理実験のためには黒鉛の熱中性子柱を作ることが望ましい。しかも既存炉の中性子束に比べて約 1 桁高いものが得られれば、これまで不可能だった多くの研究が可

能になる。熱中性子温度が変えられるとプルトニウムの研究などでなお有効である。又純粋な高速中性子スペクトル場としては、この熱中性子をウラン 235 の核分裂板に当てて標準核分裂スペクトル場を作ることが望ましい。熱出力約  $1 \text{ kW}$  程度の核分裂板を作ることによって将来性のある高速炉・中速炉関係の基礎研究が可能となる。

純金属およびこれに少量の不純物を加えた試料について炉照射による格子欠陥の生成過程 (production rate) の研究、更に照射後の回復過程の研究には、 $4.2 \text{ K}$  の液体ヘリウム中で  $10^{12} \sim 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$  程度の速中性子束を連続的に照射する必要がある。この場合 1 サイクルの照射量が  $10^{18} \sim 10^{19} \text{ nvt}$  まで得られること、冷却ループ中へ直接試料を取り出せること、照射中ループ内での測定等も可能であることが必要である。又炉材料の開発等のためには高温照射装置も考慮されるのが望ましい。

生物、医学関係、特に中性子医療のためにはガンマ線量ができるだけ低い条件下で高い熱中性子束が必要である。ガンマ線量は  $10^4 \text{ R/hr}$  以下で  $10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$  程度の熱中性子束が得られることが望ましい。また中性子のエネルギースペクトルも多少変えることができることが望ましく、熱外中性子束も得ることができるよう考慮する必要がある。

要するに、この原子炉では冷中性子から熱外中性子、更に速中性子の範囲にわたってできるだけ高い中性子束が望まれると同時に、その中性子束は運転中安定していることが必要である。又ある場合には、速中性子束、ガンマ線量が特に少ないことが要望され、ある場合には、中性子束のとり出し面積の広いことが必要となる。更に原子炉の利用方法も多岐にわたっているので、各種の実験装置を合理的に配置することによって、できるだけ多くの実験を同時に行ない且つ互に干渉しない構造にしなければならない。安定した運転が可能で保守が容易であり、特に改修不能な個所の少ないことが必要である。

#### IV. 実現の構想

ここでは、以上述べたところから帰結される一つの具体案を述べる。

現在の日本原子力研究所の各研究用原子炉、京都大学原子炉、東京大学原子炉等、国内の研究用原子炉の現状を考えれば、新しい原子炉は中性子ビーム実験を主な目的とすべきである。しかし、諸外国の原子炉の例からみても普通のことであるが、研究投資を有効にする意味で、主目的に重大な影響を及ぼさない範囲で、照射などの実験を行なえるようにもすべきである。各研究分野間の協調と、管理・運営体制の確立は、本計画に限らず、大学におけるビッグサイエンスの重大な課題であらう。

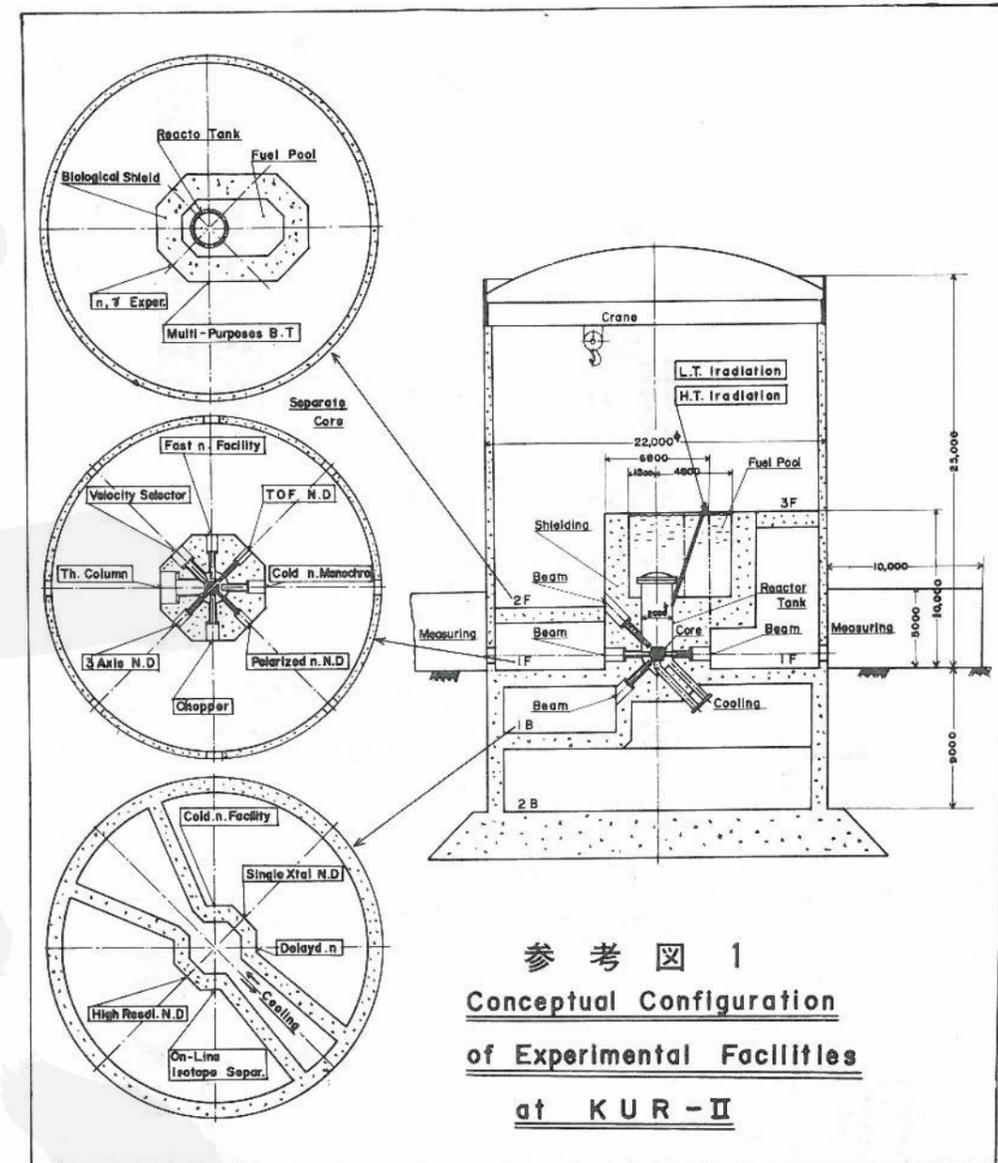
さて、そのような方針で建設されるべき高中性子束炉の具体的な設計例は次のようなものである。

##### (1) 炉心及び熱設計

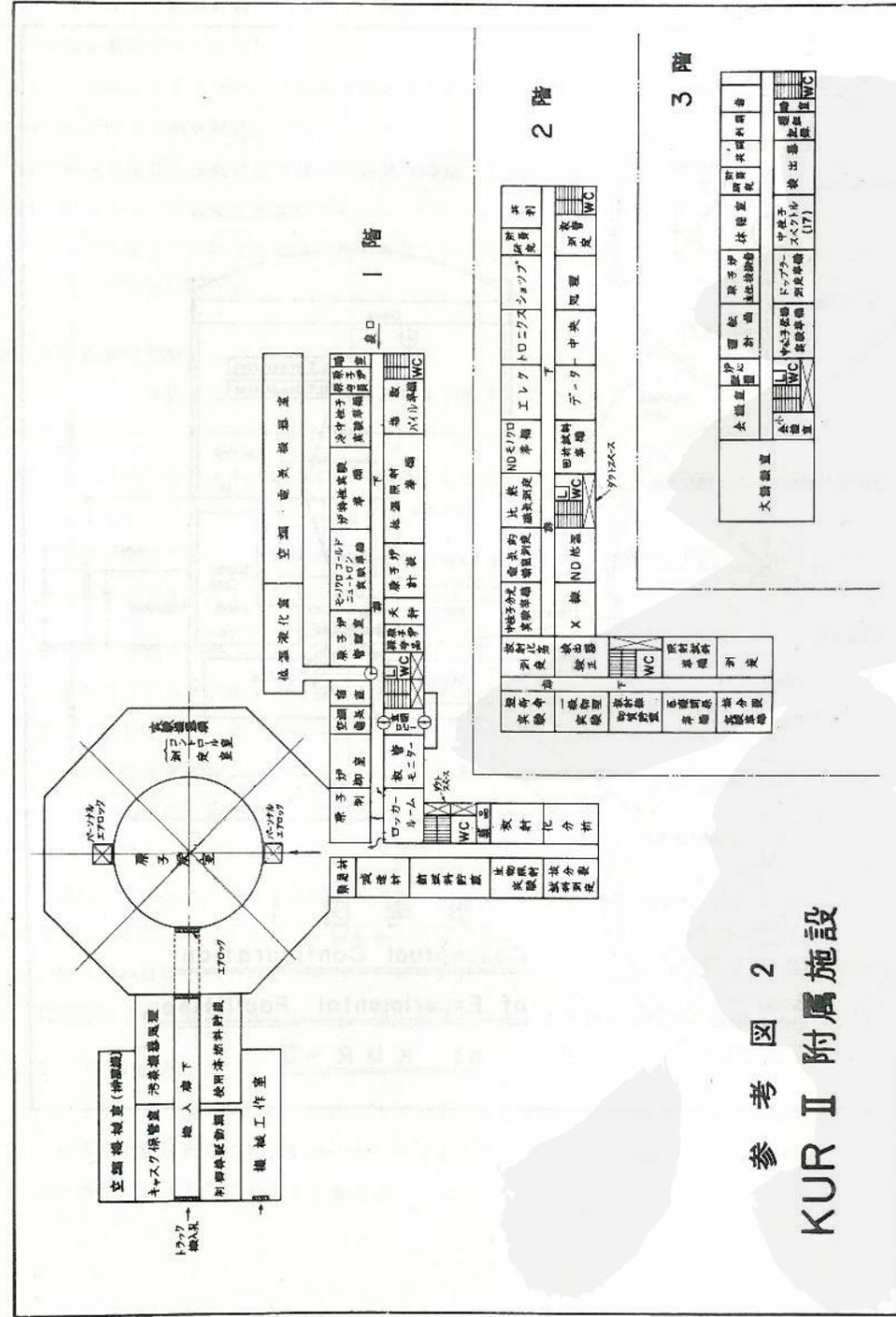
(i) 多量の熱中性子を取り出すには、高い中性子束場から大きい勾配を持つ熱中性子流を取り出すことが必要である。それには小型炉心でかつ熱中性子ピーキング領域を持つ 2 分割炉心とす

る。

- (a) ビーキング領域には、ベリウム・黒鉛・重水・軽水の何れかを用いる。軽水を用いた場合の1例を参考図1に示す。
  - (b) 小型炉心とするためには燃料は例えば高濃縮ウラン板状とする。
  - (c) 出力は30 MW程度にする。
  - (d) 減速材及び冷却材は取り扱いの容易さの点から軽水とする。
  - (e) 炉心タンクは数気圧に加圧する。
  - (f) 1次冷却水の熱除去は数基の熱交換器を通じて、2次冷却水で行なう。2次冷却水は冷却塔によって強制空冷する。
- (2) 実験設備の設計
- (a) ビーム孔は従来のように水平方向のみを利用するのではなく、漏洩中性子を3次的に利用する。
  - (b) 又、従来のビーム孔のようにほぼ線状に引き出すのではなく、面状源としても利用出来る構造とする。
  - (c) 照射設備は、ビーム実験孔の中性子強度、スペクトル等に大きな影響を与えないような位置に設ける。(参考図1参照)
- (3) 運転及び制御の方法
- (a) 中性子ビームを利用する実験のために通常の熱出力一定制御に加えて主なビーム孔の中性子流一定制御をする。又、中性子スペクトルが炉内で部分的に大幅な変動が生じないようスペクトル制御も考慮する。
  - (b) そのためには多数制御棒方式をとり、電子計算機によって、オンライン制御を行なう。
  - (c) 又それによって高いバーンアップが得られ、燃料操作が容易になる。
  - (d) 運転スケジュールは、2週間連続運転、1週間保守修理、実験準備、試料取出し、燃料交換のくりかえし、或はそれ以上の稼働率を考慮する。
  - (e) 燃料交換は炉の出力から、相当高い頻度になるので、上記高バーンアップによる燃料の有効利用を考えると共に交換の際の取り扱いが容易になるよう燃料構造その他に特に工夫をする。
- (4) その他の構造
- (a) 炉心ビーム孔等の構造は、操作しやすいように簡単にし、かつ信頼性の高いものとする。
  - (b) 建家を2領域構造にし、炉室そのものはあまり大きくなく、実験装置の多くはまわりのドーナツ建家におくようにする。(参考図2参照)



第5章 我が国におけるパルス炉開発の進め方について



I. 総 説

パルス炉はこれまでの定常炉では満たしえなかった多くの実験上の利点を有する必要性の高いものであり、高中性子束炉とともに将来の研究炉として最も重要視されるべきものである。しかも、このパルス炉の開発と建設には多額の費用と多数の研究者・技術者の協力を必要とする上、完成すれば、かなりの年月にわたり世界的水準の研究がこの炉によって維持されなければならない。

このような観点から日本におけるパルス炉開発に当っては次のような基本態度をとりたい。

すなわち、これまでの巨大科学の将来計画に往々にして見られたような先進諸国の動向への追従もしくはその単純な模倣であってはならない。あくまで日本という風土における現在および将来の必要性と可能性の両面についての慎重な検討に基づくべきである。以下にのべるのは、文部省科 研費による「パルス炉総合調査」(昭和44年度)、「高速繰返し型パルス炉総合調査」(昭和45 年度)、「中性子回折法の物性への応用」(昭和42年度)、「電子ライナックによる中性子分光 学的研究」(昭和44年度)および日本原子力学会「パルス炉研究専門委員会」(昭和41年以降 通算6ヶ年におよび)において討議されてきた各種の調査・研究の成果としてまとめられたもの の要約である。なお、この基本方針については、原子力シンポジウム、学術会議主催の関連シンポジ ウム、関連学会、諸研究機関の各分野に亘る専門家の会合において紹介され、原子炉を利用する側 と原子炉を開発するのを専門とする側との十分な意見交換の上に確立されたことを附記したい。

II. パルス炉の特長

一般にパルス炉なる名称によって呼ばれている炉型は原理的な共通点を有してはいるものの、目的 や形態によってきわめて多岐にわたっている。しかし、学術的な立場から原子力基礎研究を推進す るための大型研究施設を考えると、「繰返し型高速パルス炉」が最も魅力的な存在となってくる。 この炉は照射実験への多くの可能性を有しつつ、なお主としてビーム実験用の強中性子源として他 にかげがえのない特長を有している。かつこの炉型開発には将来の広範な中性子利用面の開発のみ ならず当面の高速炉技術開発に対する基礎的な寄与をなしうるという効果も大きい。以後、本資料 ではとくに断らない限り、「繰返しパルス炉」と略称することにする。

この炉型に対しては現在のところ物性研究と中性子物理の分野において最も強くその必要性が主 張されているが、核物理、放射線物性、炉物理、核化学、放射化学、保健物理、医学、生物学、放射線化学 などの分野においても要望が高まりつつあり、各分野におけるパルス炉利用の調査やシンポジウム、 委員会活動も盛んとなってきている。

利用面から見たパルス炉の第1の特長はパルスの出力が出ることである。これに伴い利用の仕方は何らかの意味で時間依存の現象を観測するということになる。これはある場合には複雑な、高度の測定技術が必要とし、パルス炉の開発と併行して測定技術の開発がなされねばならないが、パルス炉を利用して時間依存の現象を調べることが、定常的な観測では得られない動的なふるまいにまで立入った知見を与えることになる。例えば放射線損傷の分野では試料をパルスの照射した後の回復現象を調べること、放射線化学の分野ではパルス照射により生じた励起分子の反応の進行を時間的に追うなどの新しい分野の研究（加速器による荷電粒子を用いる場合はすでに行なわれているが）が可能となる。熱中性子散乱の分野では飛行時間法を用いて定常炉での結晶法と同等の測定ができるだけでなく、試料の物理的条件をパルスと同期して変化させて測定を行なうと過渡的な物性の変化を測定することも可能になる。また極端条件下での測定を行なおうとすると、それはパルスのしか実現できないことが多く、この場合はパルスと同期させるのは非常に便利である。炉工学の分野ではパルス炉のパルスの発生→暴走→自己制御性による減衰という時間依存的な測定は原子炉の動特性の研究に、またパルス出力に伴う燃料要素、冷却材などの熱的、機械的変化の様子を時間依存的に観測することは炉の安全性の研究に非常に有用である。核物理、放射化学医学の分野ではパルスの照射により多量に得られる短寿命の放射性同位元素が役に立ち、放射化学分析の分野でも新しい手段が生まれよう。

パルス炉のもう一つの特長は高い中性子束が得られることである。定常研究炉で得られる熱中性子束は今では $10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ に達しているが、これを更に高くすることは従来の炉形式では熱除去、燃料経済の点で限界に達している。これは原子炉の熱中性子束の年代的推移から明らかであり、この頭打ちの傾向をのりこえるにはパルス炉や大出力陽子加速器による中性子発生などの新しい方式による装置しかないことになる。一方、高い中性子束を要求するビーム実験、とくに熱中性子散乱の場合を考えてみると、飛行時間法を用いるかぎり、 $1/1000 \sim 1/100$ 程度の時間的比率でパルスの出力を出すもので十分である。そこでパルスの中性子を発生し、そのピーク中性子束が在来形で得られるものを上まわり、しかも平均出力は小さく止まるというパルス炉が利用面からも好都合であり、現在各国で $10^6 \sim 10^{17} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ のピーク熱中性子束が得られる繰返し形パルス炉あるいはブースターが計画されている。高い中性子束を利用する分野はビーム実験だけではなく、先きのべた燃料、材料の熱的・機械的過渡現象の研究、原子炉の安全性の研究などにも極端な高出力パルスが必要とされる。また特殊な分野としては反ニュートリノの発生、その反応の研究への利用も考えられる。

### III. パルス炉に対する性能上の要請

利用面から要求されるパルス炉の性能は利用目的によって、何が重要であり、どんな性能が必要かは一定でない。パルスの幅に関しては、熱中性子散乱などのビーム実験のためには数～数 $\mu \text{ sec}$ の短いパルス幅が必要であり、とくに高めのエネルギーの中性子を利用するほど短いことが要請さ

れる。

パルスの照射後の過渡現象を調べるためにはその現象の時定数 (Relaxation time) に比べて短いパルス幅が必要であるが、パルス炉を用いて観測できるのは大抵数十 $\mu \text{ sec}$ 以上の現象である。放射線損傷、ホットアトム化学などでは比較的短いパルスが必要とし、燃料要素などの過渡現象、動特性の研究では $m \text{ sec}$ 程度の長いパルスで十分である。

繰返し数が問題となるのは飛行時間法で測定する場合で、 $50 \sim 200$ パルス/秒が普通であるが数パルス/秒の例 (IBR) もある。繰返しの下限は遅い中性子を測定するとき次のパルスの速い中性子が重複しないこと、上限はパルス炉のパルス化機構の駆動速度の制限からきまる。先きのべたようにビーム実験では $10^{16} \sim 10^{17} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ のピーク値が期待されており、照射用では積分熱中性子束 $10^{15} \sim 10^{16} \text{ n/cm}^2$ および積分高速中性子束 $10^{15} \text{ n/cm}^2$ のものが世界各国に現存または計画されている。

利用する中性子のエネルギー領域は短寿命RIの製造などでは熱中性子を用いるが、放射線損傷高速炉用燃料の安全性研究などでは高速中性子を用いる。ビーム実験では利用するのは熱中性子が主であるが、先きのべたようにパルス幅の観点から高速中性子ビームを取出した後、減速材の大きさの選定、吸収材の併用などにより、中性子エネルギーをかなり広い範囲に自由に変えて利用するパルス炉、熱中性子よりかなり高いエネルギーの中性子を相対的に多く得ることができることなどが在来の定常研究炉に比べ優れている。

また、 $\alpha$ 線バックグラウンドを定常炉より低下させ易い点について、生物・医学実験において、中性子照射効果を分離測定しうる可能性を与える。

これらの広範な需要を整理すると、強力パルス中性子源として繰返し型高速パルス炉が満たしうる対象は他のパルス炉よりも極めて広範であり、かつ基礎的な研究分野への寄与において著しいことが分る。また、これらの需要は当面可能な強力パルス中性子源であるリニアックによっても満たすことができず、これに中性子ブースターとして未臨界核燃料体系を附設しようとする計画もあるが、我が国ではまだ実現していない。しかも仮にこれが実現したとしても、このような手段によっては中性子束に限度があり、とうてい実験水準の飛躍的向上は期待しえない。

また、本計画にある高中性子束炉 ( $10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 程度) の建設が実現すれば部分的には需要を満たしうる面もあるにせよ、さらにそれを上まわる強力な中性子束を得る方法としては、繰返しパルス炉による以外の方法は考え難いのである。近時特殊チョッパーの出現などで定常中性子ビームの利用法が向上しているが、パルスビーム利用の技術も今後発達が予想され、パルス中性子源の重要性はいささかも低下していない。定常炉によってはまず $10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 程度の高熱中性子束が限度であり、今後の諸分野の進展からは近い将来 $10^{16} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ またはそれ以上の高中性子束を発生する装置を何らかの形で実現させることが必要となろう。

#### IV. 実現の構想

##### 現状分析

これまで調査検討したところでは、パルス中性子源の有用性は各関係分野において概念的に強く期待されているが、日本では現実に強力なパルス中性子源が存在しないため、分野によってはその有用性が十分に実証されておらず、またその利用技術も開発段階にあるものが多い。しかも、ある程度強力なパルス中性子源がないと利用技術の開発も当面多くは期待できない事情にある。こうしたこともあってパルス炉開発に併行する利用開発への早期努力として、後述の基礎研究段階での強パルス中性子源の共同利用を考えた計画を立てた。

さて、繰返し型パルス炉の建設と単発熱中性子パルス炉の建設とは炉開発上別種の問題を含んでいる。単発パルス炉は炉型としてはいわゆる実証炉であり、世界的に各所に設置されている。これに対し、繰返し型パルス炉は建設されたもの僅かに2基で、なお技術的に種々の問題を残しており、とくに燃料の繰返しパルス照射効果についてはほとんど未知のまま取残されている。従って、この炉の建設には積極的かつ総合的な開発研究が前提とならざるを得ない。しかし、一方ではそれ故にこの開発は高速炉開発への側面的な刺激ともなり、また周辺分野への波及効果も大きいと期待できる。

##### 繰返し型パルス炉

さて、このような開発研究を必要とするので、本格的な繰返しパルス炉の建設は、単に需要の強いことや、利用技術の確立の見通しのみでは時期の設定が困難である。したがって、直ちに下記の段階的計画に着手すれば、約10年後の建設が可能となる。また我が国における高速炉の開発や単発パルス炉での経験が先行して、これによる関連技術および安全性について多くの経験をつんでいることもこれの実現に大きなバックアップとなる。

その時点での利用と建設の両面から見た日本の技術水準を推定すれば、日本が保有する将来の本格的な繰返し高速パルス炉として、平均出力10 MW、ピーク時に利用可能な熱中性子束  $10^{16} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$  程度のものを目標としても不自然ではあるまい。海外での計画例から推算すると、この程度の炉体の建設費は約60億円程度を要すると予想される。

##### 第1段階

この将来の大目標に対して接近するためには次の3段階が考えられる。基礎研究段階ともいえるべき第一、第二段階の研究では、大学のはたすべき比重は極めて大きいと考えられる。

第一段階では、現在までの調査・研究で判明した開発に必要な基礎的な技術水準を早急に向上することに努力しなければならない。その具体的内容は次の通りである。

第一に小型高速炉体系での中性子の振舞いを記述する多次元輸送コードと核データの整備が必要であり、これは既存の動力炉開発用拡散コードの転用のできない問題である。また瞬間的に反射体を

追加して反応度を増すための回転反射体によって投入される反応度変化と、その効果を動特性解析によって評価するため、多領域空間依存動特性解析コードの整備が急がれる。また一点近似極端条件下での単発パルス発生時の諸特性も安全解析には是非必要である。またこれらの諸解析を総合的に実験的に確認するためには、模擬パルス運転時の炉内スペクトルの測定が役立ち、すでに一部で着手されつつある高速炉心スペクトル測定研究の適応が期待される。また繰返し型高速炉のような大線量のパルス中性子発生は他に例がないので、その測定技術を確立する必要があり、またパルスの高さや巾を制御するという在来の炉制御にはなかった新しい制御対象に応じた方法の開発も検討されなければならない。材料面から見れば、繰返しパルス衝撃を受ける核燃料・材料の特殊な試験法の開発が第一に望まれ、一方液体金属冷却系への繰返しパルス中性子による照射によって発生するであろう熱衝撃にも問題がある。加速器ターゲットの構造にも予備実験によって決定すべき要因がない。そして、恐らく最大の技術的難点となることが予測される安定な高速度回転反射体の設計・試作研究は不可欠である。これらの基礎研究の一部はすでに関係者の手によって着手されているが、所要経費の点で、とうてい各研究グループの自発的捻出によるのみでは成果が上りにくい状態にある。そこで科研費などによる重点的研究投資によってこの数年以内に解決しておかなければ、次段階へ進むことが著しく困難となってしまふ。この段階においては主として既存設備を所有するグループが協力することを考慮すれば研究テーマ当り平均2~300万円、計画全体として約5,000万円程度が数ヶ年に亘って投資されるべきである。

##### 第2段階

次に別項の各地区センターの中繰返しパルス炉の研究を研究の中心課題としうるものをえらび、主として既述の基礎研究の上でパルス炉に関連する小型高速中性子炉体系の炉物理と動特性の基礎や効果的な熱中性子ビーム取出しのための総合研究を行なうことが望まれる。これには必ずしも大きな出力の体系を要しない。しかし、リニアックなどの比較的強力なパルス中性子源を必要とし、これと核燃料体系を組合せて、広い立場から実験的、理論的研究を行なう。これらは長期間にわたり高速パルス炉体系での中性子の振舞いを中心とした炉工学を研究するためのものである。既存の設備の利用もある程度までは可能であるが、この段階においてはすでに強パルス中性子利用開発が促進されて、各分野からの利用に対してもある程度のサービスを行なうことは不可避である。したがって国内に複数箇所のセンターがあり、それぞれ開発での分担でも利用面での特長にもかなり変化が生じるようなあり方が望ましく、たとえば、強力ライナックと小型ブースターの組に対して通常ライナックと大型ブースターの組が対応することが考えられる。恐らくこの段階では直接パルス炉の研究に利用しうる施設として、1センター当りライナックや小型ブースターなど5~6億円程度の設備投資を要しよう。

##### 第3段階（中間規模）

第三段階は、上述の基本理念に基づきながら、ライナックを上回る強いパルス中性子源を早くほしいという利用者の当面の希望に答え、現在の技術で見透しうる適当な中間規模の繰返しパルス炉

を建設することである。これは技術的問題解決への準備段階のみならず、パルス炉に関連した分野での人材養成にも非常に有効であると期待される。

この中間規模の設備は最初、平均熱出力ゼロWから始め、信頼性を十分確認したあと、最終的には0.5 MW（ピーク時熱中性子束  $10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ ）程度まで引き上げることを目標とする。この程度のもは現在の日本の技術水準からも直ちに設計に着手しうるもので、少なくとも予算的制約の少ない概念設計に着手し、基本的問題からの検討を始めるべきである。この考えから、関連研究者、技術者が協力してすでに作業を開始し、1971年3月末にその予備設計案が提出される予定である。このように第3段階の予備設計を第1、第2段階に並行して実施することは、一見時期尚早に感じられるが、第1、第2段階の基礎研究に対して明確な技術的課題や要求を与えるためにはこの作業は不可欠である。これは今後共に並行して設計・検討を進めるべきで、2～3年後の時点で実施設計に移行すべきであると考えられる。なお、この段階での建設費は増倍系と大型ライナックを含み約20億円である。

また、本段階では一大学、一研究機関の施設ではなく、日本全体の共同研究施設となろうが、第3段階は本質的に開発のための研究施設としての色彩が濃く、利用も日常的なものより利用開発としての面が強調されよう。従って、この施設に所属する人員は主として開発研究に従事し、かわら利用サービスをも行なう者によって構成されるべきで、純粋な利用者やサービス専門家は不適当である。

このような立場から、本設備には、中性子増倍系部門、入射加速器部門、パルス中性子計測部門担当の教官・技官の他に保物管理・燃料管理担当技官を含め60名の人員を必要としよう。

なお、このような準備と併行して、最終的な大型繰返し高速パルス炉における燃料・材料面での問題については、直ちに実験的な研究に着手すべきである。

#### 大型パルス炉

最終的な大型パルス炉はその予算規模、保守管理の面、利用組織、いずれから見ても1大学のスケールを超えるので、強力な組織を前提とした原子力基礎研究センター的なものにおき、全国的な共同利用に供されるべきである。基礎研究の準備段階である第1段階については、現在の研究グループの人員に経済的補強を行なうことで早急な出発を望みたい。次に高速炉工学の基礎的総合研究を中心とした第2段階の設備は、大学的な立場からなるべく自由な建設と利用にまかせることを前提として、数ヶ所において研究を併行させることが望ましい。第3段階の中間規模の繰返しパルス炉については、各大学や各研究所の全面的な協力体制の可能な組織体におかれるべきで、共同利用というよりは共同研究の対象と考える方が自然である。

なお、繰返し型高速パルス炉についてはとくに国際協力について努力すべきであると考えられる。なぜならば、この種の特種研究炉は多方面にわたる技術的努力と多額の費用を要しながら、その投資には動力炉のような同一炉型量産による開発費回収という経済採算性は期待できない。また動力炉開発に併行して進めなければならぬこれらの計画に動員しうる原子力関係者の人数には相当程度の制約が予想される。しかし、この事情は日本のみではない。したがって、これらの弱点を補うため

にもわれわれとしては単純な技術導入ではなく、あくまで相互補助的な関係において、積極的に海外諸国との技術交流を行なうのが実際的であると考えられる。すでにこの種の炉の開発計画に着手している諸国の計画へ研究者や技術者を派遣することや情報交換のみならず、日本の考えを反映させるために研究計画の立案段階での参加を是非可能ならしめたい。そのためには、動力炉開発とは一応切離した別計画での学術交流的な国際協力のあり方を考えたい。

#### V. 海外の情勢

なお、最近の情報では、ソ連のIBR-II（前出の本格的パルス炉相当）の建設は、すでに建家の工事に入った由であり、多年実施への着手がおくれているヨーロッパ原子力共同体のSORA計画（同程度の規模）もいよいよ71年度より実施設計に入ることとなったと伝えられている。

## 第6章 超ウラン元素研究施設

### I. 概要

プルトニウムその他のアクチノイドは、これらが5f軌道電子をもち、化学的性質が類似した一群の元素として純粋化学的に甚だ重要なものである。また原子炉の発達に伴い、核燃料中に蓄積する多数の超プルトニウム核種の核物理学的諸性質を明らかにすると共に、これらを標的核として更に原子炉又は加速器による照射で生成する多数の未知の核種の研究は純粋物理学的に極めて興味のあることである。これらの基礎研究およびデータの集積は核燃料サイクル確立のため重視すべきことであると共に、新しい形式の原子炉の種々な可能性を検討するために不可欠のものである。また、これらアクチノイド核種の放出するアルファ線、または自発核分裂により生ずる中性子および核分裂片を放射線源又は新しいエネルギー源として利用するための基礎研究も重要なことである。従ってこれら基礎研究を担う大学の研究室においても、これらアクチノイドを緊急に取扱う必要性に迫られている。

しかしアクチノイド核種の大部分が強いアルファ線又は中性子放射体であり、独特の毒性を有するため、放射線防護、毒性対策などの完備した特別の専用施設設備と、信頼しうる保健物理関係の組織を必要とする。このような施設と組織を各大学の研究室毎に設けることは要員・設備費・維持費の関係から極めて困難であるため、大学関係の施設は現在のところ皆無である。このまゝ遷延すれば我が国の基礎研究が決定的に立ち遅れ、将来の我が国の原子力の発展のために障害になることも考えられる。この窮状の打開策として全国大学の研究者が利用できる共同利用施設を早急に設け、これを能率よく活用することが切実に要望されている。

全国の関係研究者の要望を集め、上記の計画を詳細に検討するため、京都大学原子炉実験所に昭和43年度よりプルトニウム研究専門委員会を設け、再後3ケ年にわたり作業を進めて来た。

先ず、昭和43年度においては全国研究者の意向を知るために広く大学の自然科学系部局及び関係研究者にアンケート方式による回答を求めた。昭和44年度においては上記アンケートの集計に基づいて要望されている研究施設全体の構想をねった。この際に廃棄物処理、保健物理などの関連業務の重要性を考慮して既設の共同利用施設に併置するものとして検討を進めた。さらに各研究分野において整備すべき機器をも検討したが、放射線影響関係の研究については既働告の関係二研究所の構想との関連において考慮されるべきものとした。昭和45年度においては上記の計画の最終的検討を行なうと共に、これら施設・設備の必要維持費についても慎重な考慮を加えた。

### II. 研究分野

この施設に関連する研究分野としては次に示すようなものがある。

#### (1) 構造化学的研究

#### (2) 化学反応研究

##### (イ) 溶液化学

##### (ロ) 高温化学

#### (3) 放射化学および放射線化学

#### (4) 熱力学的研究

#### (5) 分離・精製・分析などの研究

#### (6) 物性の研究

#### (7) 核物理・核化学的研究

#### (8) 炉物理学的研究

#### (9) 炉工学的研究

#### (10) 照射研究

#### (11) 放射線計測の研究

#### (12) 環境に及ぼす影響に関する研究

#### (13) 保健物理的研究

#### (14) 廃棄物処理処分の研究

#### (15) 放射線利用の研究

以下それぞれの分野について概説する。

#### (1) 構造化学的研究

アクチノイド元素は5f軌道への電子の充填による、化学的性質の類似した一群の内部遷移元素として特徴づけられている。しかし5f~6d電子の混成軌道の形成、およびこれによるイオン半径の収縮の影響によりアクチノイドに属する元素相互の間にも化学的性質に微妙な差異を生じる。これらの元素の金属、金属間化合物、さらに広く種々の化合物の構造及び挙動に関する知見は基礎学問上甚だ興味あるのみならず、新しい核燃料開発なる応用分野に裨益する処極めて大である。

#### (2) 化学反応の研究

##### (イ) 溶液化学

水溶液のみならず広く無機又は有機溶液中のアクチノイドイオンの挙動は混成軌道の形成による原子価状態の変化、不均化反応、或いは錯塩の形成に関する平衡論的研究はもとより、化学反応速度論の見地からも興味深いものである。

さらに強い電離放射線の存在の下での上述の化学変化については今後開発されるべき学問分野として特に注目されるものであるが、燃料処理などの応用分野にとっても解決が待たれているものである。

##### (ロ) 高温化学

アクチノイド金属、合金および化合物の高温における化学反応、例えば、固体-諸種の気体、固

体-熔融塩、固体-他の金属又は化合物、又は熔融金属-熔融塩の例のように異相間の反応、アクチノイド化合物の解離、熔融塩中の化学反応などの均一系の化学反応は平衡論的にも反応速度論的にも興味ある研究分野である。またこれらの基礎的研究は将来の核燃料およびその処理法の開発上重要視されるべき課題である。

(3) 放射化学および放射化学的研究

比電離能の大きいアルファ線又は核分裂片などの存在の下での化学反応の研究は放射線化学の分野に新しい課題を提供するものであり、今後意欲的に研究が進められるものと考えられる。

さらに見逃し得ないのは、アルファ崩壊又は核分裂による反跳核の荷電分布、エネルギー・トランスファーおよび生成する化学形態などの研究は基礎学問上興味あるばかりでなく、標識化合物の製造などの応用分野にとっても見逃しえない研究分野である。

(4) 熱力学的研究

アクチノイド元素の金属および化合物の融点、沸点、比熱、蒸気圧などの物理的定数は何れの学問分野にも必要な基礎的性質として重要なものである。さらに相変態化学反応、交換反応、抽出反応などの平衡定数、自由エネルギー、エンタルピー、又はエントロピー変化などの熱力学的定数の測定も基礎的性質として全ての学問分野に極めて重要なものである。

(5) 分離・精製・分析などの研究

アクチノイド元素は全て放射能を放出する核種からなっており、安定なキャリアーを使用できないものである。また概して極微量のものを取扱うことも多いため分離・分析などのためには特別の手法を考案しなければならない。さらに短寿命の核種を取扱うことが多くなるため極めて迅速な分離・分析法の開発に迫られている。このために通常の溶液化学的手段の新考案のみならずガス反応を応用する分析手段、或いは電磁気的手段をも併用したイオン-分子反応などを応用する分析方法を検討することが必要である。

さらに核物理又は炉物理の研究のために多数の同位体の中より特定の同位体を濃縮する必要がある。このためには、放射性物質を取扱える質量分離装置の開発にも迫られている。

また化学平衡および反応速に及ぼす同位体効果の基礎的研究も、同位体分離の重要性を考慮すれば等閑に付することができない分野である。

(6) 物性の研究

アクチノイド元素が5f軌道電子をもつことで特徴づけられていることにより、これら元素の金属・化合物の電気的、磁氣的、光学的諸性質は、それらのエネルギー準位との関連して、分子論又は物性論の分野の研究にとって極めて興味のある対象である。さらにこれらの基礎的研究の進展により新しい強磁性体、半導体、レーザー又はメーサーなどの出現が予想され、極めて広い

応用分野の開発が期待されている。

さらにアクチノイドの原子核は変形の極めて大きい領域に属しており原子核の電気四重極子が大きいため、これと核外場との相互作用の研究対象として、また核外電子による強磁場と核磁子との相互作用の研究対象として興味を集めているものである。またこれらの特性を利用しての核物性の研究の進展が期待されている。

(7) 核物理・核化学的研究

アクチノイド核種はその基底状態においてもかなり変形している。これら変形核のアルファ壊変、ベータ壊変、ガンマ転位、自発核分裂についての研究は原子核の変形と核構造とに関連して、原子核の安定性や質量について興味深い知見を与え、原子力の根源を解明するものである。また最近見出された変形核異体や、話題となっている超重元素の探究など興味深々たる課題を含んでいる。

またこれら核種の中性子や荷電粒子による核反応、光核反応などの研究は核反応における角運動の寄与と関連して興味ある課題を提供するのみならず、核分裂反応および破壊反応による生成核種の研究はベータ壊変安定領域から遠く離れた中性子過剰或は不足核種の励起状態や基底状態について重要な知見を与え、原子核に関する新しい研究分野を拓くものと云うことができる。

(8) 炉物理学的研究

炉物理学的な興味はこれらアクチノイド核種による中性子の散乱、捕獲などの断面積や核分裂に関する諸定数を精密に調べることにその主眼がおかれる。この立場より、試料の調整や各種の物理的、化学的手法についての開発が必要である。特に核燃料中に次第に蓄積する超プルトニウム核種についての研究は新しい型式の原子炉の開発に関連して緊急な課題と云える。

(9) 炉工学的研究

この分野で興味の中心となるものは純粋な現象として解析する物性や化学的性質の研究ではなく、他の物質との相互作用、例えば燃料として使用する場合の被覆管との反応や、水溶性、温度による体積変化など、実用的に予想される面から見た複雑な組合せの性質である。これらは勿論物性その他の基礎的な性質の研究との関連を深め、その本質を解明するという基本的態度を保ちながら進めねばならぬことは当然である。

(10) 照射研究

核分裂に伴って生ずる核分裂片の化学的挙動やそれに基づく損傷については、ウラン、プルトニウムなどの現在使用されている核燃料のみならず、他のアクチノイドについても興味のあることである。すなわち、照射による核燃料体の変形、核分裂生成物(希ガス、非金属、又は金属元素)の拡散の挙動、損傷の回復過程等に関して原子炉における照射量、核分裂密度、温度等との

相関関係の知見を得ることは新しい核燃料の開発の見地から極めて重要なことである。

#### (1) 放射線計測の研究

アクチノイド核種は、その核が変形しているために複雑なアルファ線を放出する。従ってアルファ線スペクトロメトリーの研究により核の変形に関する情報が得られるもので、核物理学的にも非常に興味がある問題である。最近の半導体検出器の発達により精密な測定が行なわれるようになったが、更に分解能のよい検出器の開発が望まれる。

さらにアクチノイド元素に特有の自発核分裂の研究には核分裂片の質量とエネルギーを測定する装置についても尚一層の改良が望まれるが、別して重要なものは核分裂の際に放出される中性子(エックス線)のスペクトロメトリーであり、これらの測定器の性能改良が要望されている。

また原子核の安定領域から離れるに従って短寿命となる核種の研究に当っては、これらの核種間の親・子・孫の相関関係を明らかにすることが必要である。このためにはアルファ壊変に伴う原子核の反跳を利用する測定法の開発と、これら放射線間の複雑な相関関係を解明する測定システムの開発が希求されている。

#### (2) 環境に及ぼす影響に関する研究

各種形状の超ウラン元素の物理的、化学的性質の解明と共にその環境中での拡散、沈着に関する基礎研究が必要である。このような基礎研究で得られたデータによって、平常時、事故時において施設から排出されるこれら元素の環境に及ぼす影響の解析、評価がはじめて可能となる。又実験によって放出され、大気圏、水圏、地圏に拡散、沈着したプルトニウムを中心とした超ウラン元素の定量とその影響に関する研究は全地球的汚染の問題として解明を迫られている問題の一つである。

#### (3) 保健物理的研究

超ウラン元素の多くはアルファ崩壊し、一般に高い比放射能を待っている。超ウラン元素に関しては保健物理的に解決を迫られている問題は少なくないが、この分野の研究は世界的に見てもプルトニウムを除いてその緒についたばかりである。我が国においてもプルトニウムについての実験的研究がようやく始められようと言う段階である。

保健物理学的研究としては、①施設設備、人体、汚染密度の迅速精密測定、人体の内部汚染の測定とその対策 ②施設から放出するアルファ放射体の空気中、水中濃度の迅速精密測定と放出量抑制の工学的研究 ③環境からの生体へのとり込みの過程に関する基礎的研究その他開発すべきものとしてダストエアリアモニタリングシステムの研究、肺モニター、傷モニター等の身体負荷量評価の為の測定器の研究、安全取扱用具、防護具の開発研究が必要である。④障害評価とその対策に関する基礎研究などが考えられる。

#### (4) 廃棄物処理処分研究

プルトニウム、その他の超ウラン元素の取扱いによって生じる化学的毒性の強いアルファ放射性廃棄物の処理処分に関する技術については、未だ確立されたものはない。従って廃棄物の状態、超ウラン元素の種類に応じて詳細な処理処分技術の開発についての基礎研究を行ない、適切な取扱い技術を確立する必要がある。

このような処理処分技術のほか、核燃料再処理の具体化に備えて次のような研究が必要である。すなわち、核燃料湿式再処理によって生じる強放射性廃液の固化処理の研究、湿式および乾式再処理で生じる<sup>3</sup>H、<sup>85</sup>Krなどの希ガス廃棄物の濃縮、固定と利用、乾式再処理で生じる強放射性ハロゲン化合物の処分、再処理で生じる廃棄物の利用とくに有用核種の採取の研究および廃棄物の最終処分法確立のための基礎研究がある。

#### (5) 放射線利用の研究

中性子源としてのアルファ線源は最近<sup>239</sup>Pu、<sup>241</sup>Amなどがますます盛んに使用されるようになってきているが、これ以外の多くのアクチノイド核種も利用されることが予想される。さらに<sup>252</sup>Cfの自発核分裂を利用した核分裂片線源が市販されるようになったが、この際に放出される中性子を線源として用いることも予告されている。

さらに遠隔地の気象通信のエネルギー源として、アルファ線のエネルギーを利用することは既に<sup>238</sup>Puを用いて実用にまでなっているが、さらにこれらエネルギー源の使用目的によっては<sup>244</sup>Cmなど半減期を異にする数多くのアクチノイド核種の利用が期待されている。

これらに関連して線源製作上の技術の開発も重要な研究対象の一つであろう。

また近年アルファ線や核分裂片を用いて、チャネリング、ブロッキングなどの物性に関する研究が盛んとなりつつあり、これらの線源としてのアクチノイド核種の利用が注目されている。

### III. 部門数・人員数

以上の超ウラン元素に関する研究を行なうため、この施設に必要な研究部門は最小次の4部門が必要である。

- 第1部門 固体化学・冶金・物性関係
- 第2部門 照射関係
- 第3部門 核物理・核化学関係
- 第4部門 保健物理・環境衛生関係

(各部門教授1、助教授1、助手2、技官2、その他2、計8名)

なお、この他に客員部門を併設し活用することを考慮する。

この他に、この種の施設は特に保安管理が重要であるため、専従職員として少なくとも17名程度の要員が必要である。

#### IV. 主要実験研究設備

主な実験研究設備は便宜上次のような分野に区分して検討し、必要経費を算出した。

高温固体化学・冶金学関係  
照射関係・大型ケーブ  
" " ・小型ケーブ  
核物理・核化学関係(各種測定器を含む)  
再処理関係  
同位体濃縮関係  
一般実験設備関係  
保健物理関係  
保健物理緊急処置関係

計 約10億円

#### V. アルファ放射体実験棟建家

##### (1) 所要面積

区分	面積	備 考
居室等	350	実験準備室、器材室などの非管理区域
実験支援室	1,100	安全管理・保健物理・緊急処置用
実験室	1,700	
機械室	1,400	空調等工務関係
計	4,550 $m^2$	

この他に廊下等共通部分が加算されるため総面積は約6,000 $m^2$ となる。

##### (2) 建家経費

建家関係の経費は、建築費、土木費、電気設備、空調換気設備、給排水衛生設備、アルゴン精製循環設備等を含め計約十億円である。

なおこの施設で取扱い可能な放射能は照射後放射性物質として最大10kCi程度、Puは最大100gr程度と考えている。

#### VI. 維持費

以上の施設の運営のために直接必要な維持経費は、

アルファ放射体実験棟維持運営費	約5千万円
特殊装置維持費	約1億円
高温固体化学・冶金関係	1.5千万円
照射関係	3.0 "
核物理・核化学関係	3.7 "
再処理関係	0.8 "
同位体濃縮関係	0.8 "
廃棄物処理関係	約9千万円
放射線管理費	約9千万円
計	約3億3千万円

である。

## 第7章 重イオン科学の研究

### I. 重イオン科学の重要性

加速器で発生されるエネルギーの高い陽子、重陽子、ヘリウム原子核などのイオンビームは、まず原子核反応の研究や放射性同位元素の製造に用いられて原子核物理学の分野に大きな進歩をもたらした。その後、物性物理学、化学、生物学、医学、工学等の広い分野に利用されて、多方面の学問の進歩を促すに至った。しかしイオンビームの種類という点からみると、これらのイオンはウランに至る広い核種に対して、ごく一部でしかない。もしどのような核種でも加速してイオンビームとして利用できれば、軽イオンでは到達することができなかった未知の可能性を広い学問分野にわたってさぐることができ、その結果として得られる成果も計り知れないものがある。

このことはすでに多くの国々で認識され、いくつかの重イオン専用加速器がすでに建設され、かなりの研究業績があげられている。また高エネルギー、大型のものを含む多数の重イオン加速器が建設あるいは計画中である。

核物理学では重イオン核反応から、いろいろの新知見が期待されるが、就中、ベータ安定線を遠く離れた新核種の製造や、これに関連した超重元素核の探求は重イオン加速器の目指す大きな目標であろう。超重核元素の製造と研究は核化学の大きな課題でもある。放射線物理・物性・化学の領域においても放射線効果の基礎過程の研究、チャンネルング効果、反跳イオンによる化学反応初期過程の研究など興味ある対象は広い。また生物学・医学方面においても、LETが大巾に異なる重イオンの利用は、放射線の生物効果の解明に役立つであろうし、さらに生体組織に局所的に作用する重イオンビームの性質は、放射線治療上からも大きな貢献が期待される。

### II. 外国における重イオン科学研究施設の現状

#### II-1 既設の重イオン加速装置

現在運転されている重イオン加速器の代表的なものを第1表にまとめてしめす。これらの中で Berkeley および Yale のハイラック（重イオン線型加速器）は最も活発に研究がおこなわれてきた装置であって、これを用いて

- (1) 102番元素ノーベリウム、103番ローレンシウム等の超ウラン元素の発見、その他の超ウラン元素の製造および研究
- (2) トリウム、アクチニウム等の多くのアルファ放射性新同位元素の発見
- (3) 重イオン核反応機構の研究
- (4) 反跳イオンを利用した化学反応初期過程の研究
- (5) 重イオンの飛程、重イオンによる低速二次電子放射、蛍光レスポンス等の研究
- (6) 致死効果のLET依存性の研究

#### (7) 突然変異率のLET依存性の研究

等の多くの先駆的研究がおこなわれた。又 Dubna のサイクロトロンでも同様にネオン22照射による104, 105番元素の発見を始め重要な研究が幾多おこなわれている。その他の加速器でこれらの仕事の延長および発展と見られる多数の新しいテーマが取り上げられつつある。

#### II-2 新設または改造計画中の重イオン加速装置

既設の重イオン加速器はイオンの質量数がおおむね40以下に限られ、又エネルギー可変性に乏しいものであった。重イオン科学を更に発展させるためには、ウランに至るなるべく多種類のイオンを多量に加速でき、しかも自由にエネルギーの変えられる装置が望ましい。医学研究への応用ではずっと高いエネルギーの重イオン流が要求される。核物理研究ではエネルギーの均一性、安定性も要求される。これらの線に沿って、最近いくつかの具体的な案が各所で計画され、実現をめざして設計研究がおこなわれている。その主なものを第2表に示す。

### III. 我が国の現状

#### III-1 重イオン科学研究の現状

我が国に現存する加速器で、これまで重イオン加速をおこなったものは第3表のごとくである。核物理の理論の方面では重イオンによる移行反応や弾性散乱の研究がかなりおこなわれている。しかし我が国の加速器でおこなわれた実験としては、京大サイクロトロンによる荷電変換衝突およびクローン励起の研究、京大タンデムバンデグラフによる弾性散乱の研究、理研サイクロトロンによる弾性および非弾性散乱や重イオン・イン・ビーム・スペクトロスコピーの研究があるのみである。また核物理以外の分野では、最近になって理研サイクロトロンの重イオンビームによって放射線生物、放射線化学の研究が、はじまっていたのである。しかし放射線物理、生物、核化学等において我が国の研究者がアメリカの加速器を用いて優れた業績をあげてきており、加速器等の施設が整えばこの方面の研究が画期的に進展する素地はつくられている。

#### III-2 重イオン加速器の要望度

昭和42年、京大原子炉実験所加速器研究専門委員会は重イオン加速器の必要度およびその規模性能などを調査するため関係研究室にアンケートを求めた。アンケートを求めなかった研究室のうち、約10を「必要」に加えるならば、次の結論を得る。

42年の時点で国内約50研究室が必要としており1研究室あたり平均利用者数を5名とすると、250名以上の利用者が予想される。また、核物理より、むしろ物性物理、化学、生物方面に要望が強い。また、必要とする時期については、「早急に設置し、3年後には利用開始」というのが平均的な声であった。性能については第4表に示す大体 Berkeley 相当のハイラックで満足されるようである。

以上は昭和42年度における調査結果であるが、現在においては核物理等も含め要求はさらに広

範囲に、かつ強くなっている。また、諸外国の状況より見てウランまで加速できるように計画を広めるようにとの要望も強い。

#### IV. 重イオン加速器およびその附属設備

重イオン科学研究施設は、加速器を主装置とし、核化学、放射線化学、放射線物理、物性工学、放射線生物学、核物理等の各分野に必要な実験装置を緊密に連繋したもので、完成の後には各分野の研究者がそれぞれの専門知識や技術を生かして密接に協力し、高度精密な研究を実施しうよう配慮する必要がある。重イオン加速器からのビームは、振分電磁石によって多チャンネルのビームダクトに振り分け、各実験装置に連結する。

主加速器に第4表程度のものを採用したときの予算規模、部門、人員等を下に示す。主加速器にウラン迄加速可能なユニラック相当のものを考えたとき予算規模はさらに約10億円増加する。

##### (1) 所要経費

約20億円、内訳、設備費約17億円、施設費約3億円

##### (2) 建設期間

約3年

##### (3) 部門、人員

4部門、約40名

第1部門 (主装置、中央データ処理設備、核物理装置の維持管理)

第2部門 (放射線物理装置の維持管理)

第3部門 (核化学、放射線化学装置の維持管理)

第4部門 (放射線生物学装置の維持管理、放射線管理)

#### V. 必要な準備研究

加速器の機種はいろいろと考えられるが、いまもしハイラック方式を選んだ場合を考えると、それを用いて将来ウラン迄の加速を目指す場合問題となるのは初段加速器 (Pre-stripper) の選び方である。Berkeleyのスーパー・ハイラックではこれに次段 (Post-stripper) と同じくアルバレ型加速器を用いている。しかしこの場合には入射器に2.7MVの高圧容器入りコッククロフトが必要となる。もし初段加速器に低速イオンの加速が可能なスローン・ローレンス型を採用すれば入射器としては約300kVのコッククロフトでよいこととなる。いずれにも得失があるが短寿命が予想されるイオン源の取り変えの容易さ等を考え、スローン・ローレンス型初段加速器を採用するとして準備研究を進めるのも一つの方策であろう。この場合次のような準備研究が必要となる。

##### (1) 重イオン源の開発研究

重イオン加速器の性能はいかに比電荷の大きい良質の重イオン流を多量にイオン源から取出し

うるかに大きく依存する。特に重いイオンほど得られる比電荷の値が小さく、加速がむつかしくなり、その値が加速器全体の大きさを決めるパラメーターとなってくる。これらの点から大きな比電荷イオンの得られる効率のよい重イオン源の開発研究は非常に重要な問題と考えられる。準備研究として気体、固体の各種元素に対し、PIG型や高温蒸発法、スパッタリング法等による新しい型のイオン源を各種試作し、その特性を調べる必要がある。

##### (2) 初段加速器の設計計算、試作研究

重イオン源よりのビームを有効に加速するためには、イオン源より効率よくイオンを引出し一定のエネルギー迄加速する入射器と、そのビームを更に核子当り1MeV程度迄加速してストリッパーへ導く初段加速器が必要となる。この初段加速器にスローン・ローレンス型を用いるとすれば、その高周波特性、イオンの収束性および位相安定性等のイオン加速特性をあらかじめ詳細に計算する必要がある。更にそれらの数値計算は必ずある程度の近似を伴うので、スローン・ローレンス型加速器の最初の部分をモデル的に試作し、その高周波特性を実際に調べて本格的な設計にそなえることが必要である。

##### (3) 次段加速器の空洞の設計計算、モデル空洞による高周波特性の研究

ストリッパーに続く主加速器部は重イオンを同期加速させる大型空洞共振器より成るが、それらの空洞は共振条件とビームの同期条件とを満たすよう綿密に計算、設計されなければならない。又高周波入力と得られる電場の強さ、ビームの収束性、エネルギー可変性等に関しても正確な設計計算が要求される。これらの膨大な数値計算を適当なプログラムを作製して行くと共に、更に計算結果を実験的に確かめて最終的な設計定数を決定せねばならない。さもないこれらの加速空洞は同種の単一空洞の重ね合わせと見られるので、一つのモデル空洞を試作しその高周波特性を測定することによって、より実際に即した設計を行うための基礎資料を得ることができる。

##### (4) モデル加速器による重イオン加速特性の実験研究

重イオン加速においてはごく速度のおそい加速初期におけるビームの収束性が一つの大きな問題であり、真空度や高周波加速と関連しての収束性は必ずしも計算では完全に解けない場合が多い。又高周波加速の特性に関しても(2)で行った電氣的な設計や実測を実際の加速に適用してイオンビームに対する加速特性を確かめておく必要がある。このため(1)で述べた重イオン源をとりつけた簡単な入射器を設置し、(2)で述べたスローン・ローレンス型モデル加速器に入射してイオンの収束性を含む加速特性に関する予備の実験研究を行う。これにより初段加速器のみならず、入射器や重イオン源に関しても本格的な設計の基礎となる種々の重要なデータを得ることができる。

これらの準備研究を行うにあたっては、

(i) 設計計算費として約1,300万円

(ii) 設備費として重イオン源テスト装置2,000万円、コッククロフト型テスト用入射器8,500万

円、重イオン収束テスト装置 1,500 万円、スローン・ローレンス型モデル加速器 8,000 万円、重イオン比電荷分析装置 2,000 万円、モデル空洞実験装置 2,000 万円の計約 2.4 億円  
 (c) 施設費としてこれらの諸設備を収納する建家約 2,000 万円、総計約 2.6 億円が必要である。

第1表 既設の代表的な重イオン加速器

機種	国名・地名	加速イオンの種類	加速エネルギー
ハイラック	米国: Berkeley	He, Li, B, C, N, O, F, Ne, Cl, Ar	10MeV/核子
	米国: Yale	He, B, C, N, O, Ne, Ar	"
	ソ連: Kharkov	Ar迄	9MeV/核子
	英国: Manchester	Ar迄	10MeV/核子
サイクロトロン	米国: Oak Ridge (ORIC)	He, C, N, Ne	N <sup>4+</sup> で100MeV
	米国: Berkeley	He, C, Ne	Ne <sup>5+</sup> で150MeV
	フランス: Orsay (CEVIL)	He, N, O, Ne, S, Ar	Ne <sup>5+</sup> で180MeV
	ソ連: Dubna (JINR)	質量数3~40可能	O <sup>5+</sup> で245MeV { Arで380MeV
タンデム・バンデグラフ	米国ハイボルテッジ社製 EN型, FN型, MP型が世界各地に設置されている。	He, Li, B, C, O, F, Si, Cl, Br, I, Bi, U等	Oで40MeV程度

第2表 新設又は改造計画中の代表的な重イオン加速器

機種	国名・地名	加速イオンの種類	加速エネルギー
ハイラック	西独: Heidelberg (UNILAC)	陽子よりウラン迄	1.5~7MeV核子(連続可変)
	フランス: Lyon		10MeV/核子
	米国: Berkeley (Super-Hilac)		3~7.5MeV/核子(連続可変)
	西独: Frankfurt (Helac)		4.5~7MeV/核子
サイクロトロン	米国: ANL, BNL, Florida, ORNL, Los Alamos等	"	8MeV/核子程度
シロントクロ	米国: Berkeley	陽子よりNe迄	50~400MeV/核子
タンデム・バンデグラフ	米国: Burlington (HILAB) (ハイボルテッジ社 TU+MPタンデム)	陽子よりウラン迄	Z=50で770MeV Z=90で850MeV

第3表 我国での重イオン加速の例

装置名	エネルギー (MeV)	重イオン電流 (μA)
京大サイクロトロン	10 ( <sup>12</sup> C <sup>2+</sup> )	0.1
	12 ( <sup>14</sup> N <sup>3+</sup> )	0.1
京大タンデムバンデグラフ	25 ( <sup>14</sup> N <sup>4+</sup> )	0.01
理研 160 cm サイクロトロン	45~70 ( <sup>12</sup> C <sup>3+</sup> )	5
	50~160 ( <sup>14</sup> N <sup>5+</sup> )	1
	88 ( <sup>16</sup> O <sup>5+</sup> )	0.38

第4表 当面目標とする主加速器の性能

エネルギー	1~10 MeV/核子, 可変
エネルギー巾	1%以内
ビーム電流	平均 1~10 マイクロアンペア
重イオンの種類	ヘリウムよりアルゴンまで少くとも10種類

## 第8章 大学における核融合プラズマ研究の将来計画

### I. まえがき

熱核融合反応の制御に関する研究は、人類のエネルギー資源の究極的解決を与えるものとして、ここ十数年来、世界各国においてその重要性が認識され、とくに米国、ソ連、ヨーロッパ諸国では強力な研究開発がつづけられてきた。急速な経済成長をとげつつある我が国のエネルギー資源の将来と公害問題を考慮すれば、この研究の緊急性はとくに高いものといえる。日本学術会議においても、このような事情を認識し、第29回総会（昭和34年10月）において、全国の研究者の共同研究の場としてのプラズマ研究所の設立を勧告したが、これは昭和36年、名古屋大学の附置研究所として発足して今日に至っている。プラズマ物理学の体系化と高温プラズマの基礎的研究を目ざして出発した同研究所は、その発足にあたり、研究テーマと研究者に関して全国の大学から大いなる協力を得、今日に至るまで、そのような形は共同研究としてひきつがれている。一方プラズマ研の発足以前にいわゆるA・B計画に関する議論があった。A計画というのは、大学を中心とするプラズマの基礎的研究であり、B計画はその当時核融合研究に関して、有望とみられていた大型装置を建設し、プロジェクト的に取り組み早く諸外国の研究レベルに追いつこうというものであった。当時、B計画は時期尚早として見送られ、プラズマ研の創設がまず行なわれたのである。その後、世界各国における核融合研究は迂余曲折をたどりながらも着実な進歩をとげていった。とくに、昭和40年に英国のカラム研究所で行なわれた国際原子力機関（IAEA）主催の第2回“プラズマ物理・核融合国際会議”以来、従来とくにむつかしいとされてきた高温プラズマの閉じこめの研究が、理論・実験ともいちじるしい発展がみられるようになった。我が国における研究も初期的段階を脱し、核融合炉を明確な目標とする総合的かつ大規模な研究開発を開始せねばならないという機運が生まれてきた。このような方針はまず日本学術会議原子力特別委員会核融合部会において第2次将来計画小委員会がとりあげた。その結果、大規模なプロジェクト研究を行うための組織は、大学関係よりむしろ科学技術庁傘下に作るのが妥当であると判断した。当時原子力委員会は原子力開発利用長期計画を策定中であったが、核融合研究の重要性から、従来の基礎研究の初期的段階を脱却して核融合炉を明確な目的とする総合的な研究開発を計画的に実施する必要があるとした。ついで核融合専門部会を設け、その推進方策を諮問した。同専門部会は43年5月に原子力委員会に答申案を提出した。その際、学術会議の部会での意見が尊重されている。その計画の規模は第1次計画として人員約200人、人件費、建築費を除く研究費約33億円を必要としている。

この答申にもとずき、原子力委員会は43年7月に核融合研究を原子力特定総合研究に指定し、日本原子力研究所、電子技術総合研究所、理化学研究所が協力して計画を総合的にすすめることを指示し、44年度から始まる6ヶ年計画はすでに緒についている。実施計画は中間ベータトラスを中心とするものであり、我が国の核融合研究では画期的なものである。

これに対し、プラズマ研究所においても世界の研究情勢に対応し、46年度に始まる総額15億

円に上る5ヶ年計画をたてた。科学技術庁関係とことなり、基礎的研究、共同研究に主眼を置くことにはかわりはないが、従来よりは高温プラズマの発生と保持に重点がおかれる傾向がみられるのは当然であろう。

大学に始まった我が国の核融合・プラズマ研究が、プラズマ研究所の創設、科学技術庁のプロジェクト的研究計画の発足という過程を経て、再び大学における研究体制と計画を論議しなければならぬ段階に入ってきた。プラズマ研究所の創設以来の経過はいりまでもなく、新5ヶ年計画の遂行にも当然のことながら大学研究者の協力が前提とされている。また科学技術庁計画の立案にも大学研究者の支持と援助があったし、計画の実行には大学側からの基礎研究的知識と人材の大幅な供給が望まれている。

このような外部的環境におかれた大学の核融合・プラズマの研究はどのような経過をたどってきたであろうか。昭和32年ごろ、世界の核融合研究の明るい明期において、各大学においてそれぞれ特長のある高温プラズマ発生装置がいくつか建設された。これらの建設費は主として文部省機関研究費でまかなわれた。しかしながら、当時としては止むを得なかつたけれど、高温プラズマの発生技術およびその計測法は意外に厚い壁となり、各グループは悪戦苦闘するという経験をなめた。これら研究グループに共通する隘路として、測定器の入手困難という事情が認められ、昭和38年から3ヶ年間特定研究が実施され、16グループに対し、総額7,500万円の科学研究費が認められた。これによって、これらのグループ関係の研究は息をふきかえし、その後多くの成果があらわれるようになった。これらの業績は学術会議原子力特別委員会核融合部会がとりまとめ、報告書を作成した。（昭和42年）

このようなことがもとになり、16グループのうち、京都大学、大阪大学には研究施設（各1部門）が設置され、それぞれに特別設備費による大型装置が建設され、運転を開始している。しかしながら全国的に言えば大学関係の研究の組織や研究費に対し、特定研究終了後はとくに現実的な手は打たれていない。そこで学術会議核融合部会は以上の経過および必要性にしたがい、ふたたび大学における核融合・プラズマ研究の将来計画の立案を目的とする第3次将来計画小委員会を発足させた。以下にのべる我が国の核融合研究の5ヶ年計画は、プラズマ研究所は同専門委員会と運営委員会が決定したものであり、その他については第3次将来計画小委員会が作成したもので、いずれも学術会議核融合部会の討議を経たものである。

### II. 我が国における核融合研究の必要性

我が国は、年々急速で増大する国民総生産に伴い、その消費するエネルギーも年々急激に増加し、1965年にはその消費エネルギーの66%を、1970年の見込では80%を、石油を輸入することによりまかなっている。1965年における我が国の石油の輸入量は7,600万キロリットル、1970年の見込では2億5,000万キロリットルという急速な増大ぶりをしめしている。世界有数の石油生産国であるソ連の年産が2億2,000万キロリットルであることを考えると、いかに巨大な量

であるかがわかる。1985年にはこの量が更に2倍以上になるものと予想されており、総エネルギー消費の90%を輸入石油に依存することになる。このような状態は我が国の工業生産の原動力が、海外の石油をいかに入手し安全に我が国まで輸送するかにかかっていることを意味している。中東、東南アジアからの石油輸入が、激動する国際情勢により、容易に危険にさらされることを考えるときわめて重大な問題である。我が国の経済発展を持続し、その安全を保つためには、その消費エネルギーを国内のみで供給できる体制をとることは絶対に必要である。しかも増大する重油燃焼は、現在既に重大な大気汚染を発生し、深刻な公害問題を発生しつつある。

我が国のエネルギー消費の石油依存を脱却するためには原子力エネルギーの開発が急務とされているが、核分裂炉は、多量の放射性物質を含み、又廃棄するため、人口稠密の我が国にとって適したものではなく、立地条件もまたきびしく、又高価な燃料はやはり輸入にまたねばならぬ。

核融合による原子エネルギーの解放は、核分裂炉の如き危険性が少なく、立地条件もきびしくなく、燃料の入手も容易であるため、巨大な人口が狭い国土内に住んでいる我が国にとって、最もふさわしいエネルギー源である。核融合の研究は、その融合炉の技術開発も含めて、十分な努力をおこななければ、我が国においても独自に終局の成功を見る可能性があり、少なくとも安易な技術導入という従来への轍を踏むことが避けられるであろう。

このように重大な意識を持つ核融合の基礎的な研究は主として大学関係と科学技術庁関係でのみ行われ、民間企業においては積極的にとりあげられる段階にはいたっていない。これは世界的にみても同じような事情にあるが、その予算規模の大きさ、研究組織の充実ぶりにおいて我が国のそれは余りにも貧弱である。少なくとも今回の将来計画程度の規模の実現は我が国の核融合研究の将来のために是非必要と考える。

### III. 将来計画の具体案

#### III-1 各大学の研究グループに対する措置

現状分析と各グループの将来計画案を詳細に検討することによって、大学におけるプラズマ・核融合研究をさらに強化するために次の3つの措置を講ずることを関係機関に要望することにした。それは、

- (1) 核融合・プラズマ研究が再び特定研究に指定されること。
- (2) 核融合関係研究施設の充実および新設
- (3) プラズマ・核融合関係講座の新設

の3つである。以下項目ごとにその内容と意義を明らかにする。

##### 1. 特定研究指定を要望する件

すでに述べたように第1回目の特定研究はきわめて限られた形で実施されたけれども、大学のゆきづまった核融合研究を蘇生させた点で大きな意義を持つものであった。当時我が国の各大学には

低ベータトラス・ミラー、カस्पなどの各種装置が建設されていた。そして特定研究費によって購入された測定機器は、これらの高温プラズマ実験装置によって作られたプラズマの振舞を知るのに役立った。今日でも以上の形式の磁場配位は依然として研究の対象として残っているだけでなく、各グループに蓄積された基本知識と技術は、その後の急速な世界の超高温プラズマ研究の発展に我が国が競争できる原動力になったとみてよい。我が国のプラズマの基礎実験グループは、当時すでに国際的な業績をあげていたけれど、一部を除いてはあまり国際的に知られる所の少なかった高温プラズマ閉じこめ、発生の研究も、カラム会議とそれに続くノボシビルスク会議などで国際的に知られるようになってきた。

将来計画の項で指摘したように、今後各大学の研究を支障なく続けるためには年間約1億円の研究費を現状に加えて投入することが最低限必要である。現在ではすでに老朽化しつつある各大学の高温プラズマ実験装置を今日的にのみがえらせることは勿論、新たに実力をそなえてきた新鋭グループには将来有望な形式の高温プラズマ実験装置の研究を任務分担して行なってもらい必要がある。またきわめて困難とされている数千万度の高温プラズマの計測法の開発も装置の発達とともに緊急度を増してきた。そこで小委員会は次のような規模の2種類の核融合特定研究の設置を要望する。

- (イ) すでにかんがりの設備を持ち、かつ多くの成果をあげているグループに対し、従来の研究と装置を継続維持する段階から脱却し、既設設備を基盤とした創意ある研究に新しく着手するための研究費として、平均750万円を3カ年間に1回配分する。この件数約20件として、合計約1.5億円を必要とする。この中に総合研究も含ませるものとする。
- (ロ) 従来から研究を続けているが、大きな設備をもたないグループ、あるいは新しく独立した研究グループが、これまでの成果を一段と発展させるための研究費として、平均1,500万円を配分する。この件数約10件として合計約1.5億円を必要とする。

以上合計 約3億円

#### 2 核融合プラズマ関係研究施設の充実および新設の件

大学における研究施設は教室の講座とその運営がことなる。すなわち教室の講座はつねに自由な発想のもとに小型ながら独創的な研究を行ない、優秀な研究者の育成を行なう。研究施設といえどもそれが大学に属するかぎり教育の使命があることにかわりはないが、特長のある研究を強力に行ないうるところに意義がある。現に既に設置されている京都大学、大阪大学の研究施設は前者は各種ヘリオトロン磁場によるプラズマ閉じこめの研究、後者は大電流パルス技術においても大きな特長をそなえている。そしてそれぞれ1億円前後の特別設備費を得て各々各自の装置を開発している。これらの研究施設は現在それぞれ1部門しかないが、このように重大な研究計画をさらに推進するために、部門増を早急に実現せねばならない。これらの施設が充足されるとともに、多様にわたる核融合・プラズマ研究のいくつかの重大なプロジェクトを重点的に育成する必要がある。それには東北地区、関東地区、中部地区、関西地区以西の4地区および公私私立大学関係に、これら地区の各大学の理学部、工学部その他に分散して研究している小研究グループの中心となるべき研究施設を新しく設置されることを要望する。各研究グループが従来の業績、地区の特殊性などを考

慮し、重複をさけるため大体次のような任務分担が考えられる。

京都地区	低ベータトラス (既設1部門)
大阪地区	高ベータプラズマの発生、閉じこめ (既設1部門)
中部地区	電子工学に関連したプラズマ工学
東北地区	プラズマ閉じこめ用磁界に関する研究
関東地区	高周波電磁界によるプラズマの加速と安定化
関西地区以西	衝撃波に関連した高温プラズマ物理
公私立大学	テータピンチ、乱流加熱

各研究施設の規模は3~4部門とし、1部門平均約1億円の特別設備費を必要とする。

合計 約2.1億円 (1施設3部門として)

### 3 プラズマ核融合関係講座の新設

いかなる研究においても後継者の育成が必要欠くべからざる要素であることはいうまでもない。とくに核融合・プラズマ研究はその科学体系が複雑で後進の指導が困難であるにもかかわらず、プラズマ研究所、科学技術庁などのプロジェクトは多数の新進研究者を要求している。その他近い将来急激に増大すると考えられるプラズマ応用分野における産業界の要請があることが考えられる。アンケートによる回答にもこのような事情を反映して講座増設の声が強い。

プラズマ物理学や工学の名を冠した学科が将来新設されることも予想されるが、ひとまず次のような形で講座が新設されることを要望する。すなわち、

北海道地区、東北地区、東京を含む関東地区、中部地区、関西地区、中国地区、九州地区の各有力大学に、理学部関係にはプラズマ物理学の講座を計5講座、工学部にはプラズマ工学の講座を計6講座設け、強力な研究者の育成活動が行なわれることを希望する。

講座の設置にともなり設備費の基準例を以下に示す。

#### 基準例

今後新設が予想される核融合・プラズマ関係の講座は、その特殊性により種々ことなるが、例えば次のような形の設備が望まれる。

#### 例1 定常プラズマの研究

創設費	約 1.800万円
磁場系	
(コイル, 電源など)	
プラズマ源	
測定器	
位相検波形測定器	
シンクロスコープ	2台
レコーダ	

#### 例2 過渡的プラズマの研究

新設費	約 1.800万円
高速度コンデンサバンク	20KJ
低速度コンデンサバンク	20KJ
プラズマ源	
測定器	
シンクロスコープ	2台
分光器	
マイクロ波干渉計	

以上のほか、プラズマ実験装置の改造費を5年毎に要求できるように考えたい。

### III-2 共同利用研究所に対する措置

プラズマ研究所においては創立満10年を迎えるに当たり、同研究所専門委員会において、昭和46年度よりの将来計画を検討してきた。その内容は、要約すれば次のとおりである。増設部門は客員3部門を含めて6部門即ち、

- 1) プラズマ計算機シミュレーション学
- 2) プラズマ保持学
- 3) プラズマ理論第2 (客員部門)
- 4) プラズマ基礎実験第2 (客員部門)
- 5) 高温プラズマ計測 (客員部門)
- 6) 核融合炉物理工学

である。また設備増設については、

1) 外部導体系プラズマ保持装置	1号機	(約 137,000千円)
2) プラズマ試行実験装置		(約 63,000千円)
3) 外部導体系プラズマ保持装置	2号機	(約 450,000千円)
4) 動的制御プラズマ保持装置	1号機	(約 142,000千円)
5) 動的制御プラズマ保持装置	2号機	(約 240,000千円)
6) プラズマ複合圧溶装置	1号機	(約 205,000千円)
7) プラズマ複合圧溶装置	2号機	(約 325,000千円)
8) 相対論的プラズマ保持装置		(約 73,000千円)

合計約 16.3億円

が主なものであり、その他、電子計算機借料、建物、附帯施設等が考慮されている。

これらの計画が着実に具体化され、共同研究の実を挙げ、各大学の研究グループの研究とは量質とも異なった大きな成果をあげることが期待されている。

## 第9章 既設の原子力関係施設、設備の問題点

ここでは既に設けられている各種の研究所、施設、設備や、原研共同利用等の制度における問題点を述べる。これらの諸問題は何らかの方法で早急に解決し、大学における研究本来の使命を達成しなければならない。

### (1) 人員の問題

既に設けられた、中型以上の施設、設備においては、ほとんど例外なく、維持管理委員の不足を訴える声が強い。事実、各大学のこれら設備の稼働率は他機関のそれに比較してかなり低い。

このような事態に至ったことは、3年前までは、大学院学生にその修練の一部としてこれら施設、設備の保守、運転を分担させていたが、学問の進展とともに学生は各自の専門分野の勉学、研究に専心させる必要が大きくなり分担させる余裕がなくなったことにも原因の一つを求めることができよう。

これについては原子力関係のみならず、他の多くの分野においても同様の事態を生じつつあるが、特に、社会的に安全確保の責任の大きい原子力関係においては早急に対策が講じられなければならない。

しかしながら、単に維持要員の定員を増すだけで問題が解決するわけではない。これらの要員としての技官の給与、待遇は一般企業の従業員のそれと比較してかなり差があり、ことに、将来の進路という点に至っては、比較もできないのが現状である。そこで大学研究室の技官は、ごく短期間で転出してしまうのが普通である。これは、現在のように、教官の下に技官をおくという考えに問題の根源があり、この点を解決しない限り、大学においては大規模かつ高度の技術を必要とする装置の運転、維持は困難になり、従ってこれらを利用する研究は次第に不可能になると考えなければならない。

単に教官の使い走りの形の技官でなく、高度の実験技術をもつ研究補助者の集団を組織し、研究者との間に相互に信頼と理解の関係を保ちながら有効に研究を進めることができるよう、制度を整え、研究者、教官の意識も改めた上で必要な定員増など有効な措置を講ずることが当面の問題を解決する道であろう。

### (2) 維持費の問題

現在中型以上の設備について維持費として配分される額は、ごく一部には不足もあり、また、全く配分されない場合もあるが、一般に、単にその設備を運転するというだけならば、一応その役を果たしているものが多い。しかしこれはその設備が新設されたあと1~2年の短期間についてのみ言えることであって、年とともに、その事情はきびしくなるのが現状である。諸物価の上昇も一因である。さらに深刻な要素は、機器の進歩が激しく、絶えず最高水準の研究を行なうためには適当な

改造や、付属品の追加をして行かねばならない点にある。その上、原子力関係に特有の問題としては、研究対象としての試料が極めて高価であり、かつ多量に必要な場合が多いことである。

既設設備の稼働率の低い原因はこゝにもある。既に行なった研究設備投資を一層有効にするためにも、維持費というものを、単に装置を管理する者の権利の指標としてでなく、有効利用の義務遂行という次元で各方面において積極的に考え直す段階に来ていると見て差支えない。

### (3) 施設利用の統一的な計画と調整の問題

原子力関係研究は広い範囲にまたがっており、各分野でそれぞれ大規模な設備の必要なことは事実である。しかしながら前述のようにこのような大規模設備には多くの問題がある。

他の研究分野(学科)のように、そこに所属する研究者が必要とする設備をすべて揃えることは不可能であり、またその必要もない、組織的、系統的な全国的な規模の計画に沿って各大学に、特長ある設備を配置し、これを大学の枠をこえて、研究分野毎に共同で利用することが適当である。このような研究分担の形態は核融合プラズマ研究の分野においては既に考えられつつあるが、極めて広い範囲にまたがる原子力研究の全分野でこのような研究体制をとることは所謂、大学の自治という問題とも微妙に関係し、簡単には実現しないおそれがあるといわれてきた。しかし他の分野に比較して桁違いに大きな経費を必要とすることや、安全管理上、重大な社会的責任をもつことなどの特殊な事情から、このような形態は早急に実現すべきものとする。このような意味で適当な、計画、調整の機能をもつ機関、組織又は制度を早急に考慮するとともに、実現のための裏付けとなる要員、維持費、共同利用のための旅費・宿舍等を逐次準備すべきである。

### (4) 共同利用の質の問題

施設の共同利用は有効利用という点では明らかに優れた制度である。しかし、それは単に見かけ上設備を長時間働かし、多くの研究者が利用するというだけで、本質的な学問の向上には役に立っていないのではないかと。孤独で、自由に深く研究してこそ真の成果が得られるのではないかと。このような疑いは絶えず多くの研究者の間にもたれ、また議論の対象となって来た。残念ながらこれらの疑問についての究極的な回答は今のところ得られていない。しかし、確かなことは、大規模施設でなければできない研究の手法を、孤立している研究者でも自からの研究の一環としてとり入れることができるようになったということである。さらにもっと大切なことは、大学の比較的恵まれた研究環境にある研究者でさえも、今や、上の意味では孤立した研究者となって来ているという事実である。

つまり、このような種々の疑問のある共同利用の制度は、近代的自然科学の研究を志す者の選べられない関門となって来たとも言えるのである。

しかし、我々大学の研究者は自からに課せられた使命から、研究の本質的な成果を得る努力をしなければならぬ。単に短期間の設備利用という形だけでなく、長期にわたる滞在や、画期的な人事交流制を作ることによって現在より一層研究グループの結成や改廃を容易にした上で、積極的な共同研究を行なうことなども、共同利用制を活用する一つの道であろう。いずれにしても今後に残された問題は多く、これは必らず解決されねばならぬ問題でもある。