

# 炉物理の研究

(第 19 号)

1975年5月

巻頭言	山室 信弘	1
特集「京都大学臨界集合体 (KUCA) 特性試験」		2
1 初期特性試験を終えて。	柴田 俊一	
2 興味ある研究テーマ。	住田 健二	
3-1 A 架台 (ポリエチ減速), B 架台 (黒鉛減速) 臨界近接。	小林 圭二	
3-2 B 架台 (黒鉛減速) 臨界近接に参加して。	古橋 晃	
3-3 臨界実験を実習して。	山本 淳治	
4-1 C 架台 (軽水減速) 微分水位反応度の測定概要。	林 正俊	
4-2 KU-C A 特性試験に参加して (C 架台での反応度測定雑考)。	阪元 重康	
5-1 京大臨界集合体 (KUCA) の実験に参加して。	中島 雅	
5-2 京都大学臨界集合体特性測定に参加して。	山根義弘, 高木正人	
「炉中性子利用」研究専門委員会講演要旨 (昭和49年12月11日)		14
1 プリモデレータを用いた黒鉛体系での時間依存スペクトル測定の解析。	高橋亮人, 他 4 名	
2 ダブルシンチレータ法による高速炉心中中性子スペクトルの測定。	趙 満, 他 2 名	
3 高温ホウ素添加黒鉛中の熱中性子スペクトル。	金子 義彦	
4 Time-of-Flight Experiments Using a Pseudo-Statistical Chopper.	相沢乙彦, 神田啓治	
<国際会議報告>		22
炉雑音研究における思潮の一断面 -Farinelli 教授の演説- 遮蔽ベンチマーク実験の専門家会議に出席して。	斎藤 慶一 安 成 弘	
<海外滞在報告>		28
オークリッジでの1年間	平岡 徹	
<研究室だより>		31
1 東京大学工学部関口研究室	関口 晃	
2 Akcasu 先生を迎えて (名大工学部玉河研究室)	伊藤 只行	
◇49年度収支報告/編集後記(仁科浩二郎)◇		33
第7回「炉物理夏の学校」のご案内	(相良・新川)	34

# 巻頭言

東工大 原子炉研

山 島 信 弘

思えば我が国における原子力の開発研究も20年に余る年月を経てきており、その中で炉物理の研究も多くの業績を挙げながらその歴史を築いてきた。われわれが炉物理の教科書で見ることのできる中性子集団の減速-拡散の問題や系の臨界性に関する先駆的な仕事は別として、その後の熱中性子化や炉雑音に因っては学問的興味も高く研究者が取り組むに恰好なテーマであったこととて、我が国でも国際的評価の高い研究が少なからずおこなわれた。これらの研究の背景には熱中性子炉の開発の要請があったのであり、研究成果が直ちに実用に結びつく美でも理想的な状況にあった。その後炉物理研究が高速炉を指向するようになると、系の多様化と共に系の臨界性を調べる解析手法が複雑になり、すべからぬ系に普遍妥当性を有する理論を発見することが困難になって、ここに物理学としては少々質的変更に迫られたと考えられ、この時美で炉物理研究の目標に行ける個々の研究者のいろいろな提案がなされてきている。

昨年度の石油危機以来、地球上におけるエネルギーの総合的開発や、その利用の効率化に因って現在極めて高い関心が拂われており、その中でわれわれの専門である核エネルギーが多くのエネルギー資源の中で今後最も重要な位置を占めようとしている。このことを考えると今後も炉物理学の責任は大人重いのであってわれわれは改めて気持ちを引締めねばならない。従来の開発一本槍の方針がGNPと共に何を招き入れたかは多言を要しないが、今後われわれは専門家でありと共に、我田引水のみをすることとすることのない脱専門家としても一流の研究者と名を挙げたいのであるとするならば、これはとてとても容易ならざる仕事を背負いこむことになる。

私は機会があった去る3月3日から7日付でワシントンで開催された Nuclear Cross Sections and Technology の会議に出席してきた。この会議はもちろんだ核断面積の測定、評価等の発表が最大多数を占めていたが、相当の時間とさい核分裂炉の現状やベントマークテスト、輸送問題、核データの医学や核融合炉への応用などの発表がおこなわれた。会議は二会場が平行に開催されたため、私は多くの有益な炉物理関係の講演を聞き終えているが、我が国でもこのような核物理と炉物理の joint meeting がくりがえし開催されることが必要でないかと痛感した。現在アメリカは不況の影響で研究者が研究費をAECから引出すのに大変苦労している様子であったが、それだけに又研究成果を挙げるために極めて真剣な態度が読みとられた。他山の石としたものである。

以上思いつくままに関連の少ないことを並べたが、それらの文意を込めることは読者に委ねる。要するに私は今後と学に遊ぶ余裕を持つと共に、アメリカのいわゆるプラグマティズムの長所も取り入れてわれわれの責務を果たしたいものと望んでいる。最後に若い方々の今後の健闘を期待して筆をおく。



## 特集「京都大学臨界集合体(KUCA)特性試験」

### 1. 初期特性試験を終えて

京大炉

柴田 俊一

わが国の大学関係の炉物理研究者の待望久しかった臨界実験装置が遂に完成した。「最近の社会情勢では、この種の施設を新設することは極めて困難」と各方面から注目されていたが、幸いにも地元の方々の御理解を得て、完成させることができた。これはまさに、「このような情勢であるからこそ大学の基礎研究の本準を高め、判断を誤まらぬよう、ほしい」という一般住民の大局的な判断と希求がもたらした結果というべきで、われわれは改めてこのことに思いを致し、この装置の運転管理に万全の注意と努力を傾注することは勿論、進んで社会的使命を果たすよう努力しなければならぬと考えている。

ところで、これは内輪の会話なので、少々自慢話めいたことを述べさせて頂きたい。

まず、「このCAは京大原子炉実験所が、今までの経験をもとにして、あらゆる部分に詳しいをこめた珠玉の作品である」と言っておきたい。ただ、一人、二人の力だけでできたのではなく、多くの所員の合作であるということだけは、明らかにしておきたい。もっともどの案でゆくかという最終的な決断は総て私がした。従ってもし、まずいことがあれば、私の責任であることは明らかであるが、うまくいっているところは、その部分の発案者のアイデアの功績という方が実際的である。

完成した装置は、正直言って私自身の予期以上の効果を表わし始めている。濃縮ウランが、3つ設けた炉心全部で臨界にすることができるといいうギリギリの量に予算が査定されたため、悪くすると、学生実験位にしか利用できないのではないかと心配したしかし、今の大学の設備の状態から考えると、それでもやる価値は十分あると、自分自身に言い聞かせて頑張った。

今多くの炉物理研究者が、この装置にとり組んでおられるのを見て、正に苦勞が快く飛びぬける思いである。幸い、関係当局も、この装置については認識を新たに、大きな評価を与えてくれている。1日も早く、高速体系まで実現できる初期の計画が具体化することを皆さんとともに期待したい。

## 2. 興味ある研究テーマ

阪大・工 住田 健二

「KUCAの初期特性試験を終えた後に取り上げるべき興味あるテーマ」について書け、とゆうのが編集者からの依頼であった。私の持論では、「その時兵で自分の全力を投入してよいと思えるテーマがきまれば、仕事は半分できたようなもの」だから、こゝへおろずらとテーマをならべてしまったのではこれからCAにとくんで仕事をしようとする若い人達の楽しみを半分うばってしまうことになる。こゝは抽象論ですませておくのが親切とゆうものだろう……。例によつてきぼづいていきますね」とゆう声も聞こえそうだけれど。

軽水体系については、2分割炉心、重水減速材の炉心持込みとゆう KUR-2の具体的な設計骨子の検討データを出すにやうな当面目標があり、限られた時間と予算の枠内で、しかも proven な実験技術を使って結論を出す必要がある。端的にいえば、取組としての炉物理実験屋の腕の見せ所位と思う。たゞ中性子束ピーキング一つを例にとつても、わが國の研究炉ではCAでの実験結果をよまえた設計が行われた前例もないだけに、実験データを設計へ反映させる段階で、他の要因との力関係で、CA実験の段階が異なるデモンストラーションにあがらねばならぬ、たゞはなにかとゆう反省をさせられることのないよう、十分に説得力を持つデータを出しておきたい所だ。

中速体系については、やはり具体的な設計目標はないのだから、文字通り「中速系の炉物理的理解」のための実験をすゝめるが良からう。'67.9のKUR-CAで、私が行なったコメントをこの層筋のために取り出して見直したが、本質的にはあまり変更の必要がないことを確認して、半ば安心、半ばがっかりした。FCAを中心に進めようとした高・中速体系の炉物理研究で、実験技術面では多くの進歩があるが、ごく少数の人を除いては、大学関係者に対してはやはり親しい分野ではなく、まず中速領域での実験技術の確立にかなりの力をさかざるをえない。上記のコメントで示した「臨界量—スペクトル—反応度係数(特にドップラー、Void)—多価成(ランゲットツオ)動特性」を総おぼえに中心課題があり、特に静・動特性の理論・実験両面をつなぎ目にするスペクトル—反応度係数に重点をおきたいとゆう指適も、まさしくその後FCAなどの実験で具体的に実行されたことだが、やはりKUCAでも同じ道を通る必要が生じよう。トリウム持込を考へると、FCAですんだことだからと、基本スタッフを残さないことはますます壁を厚くすることになる。

勿論軽水系とか中速、トリウム系とゆう柱とは別に、CAのフレキシビリティを利用した実験が可能である。炉推進実験とか、分割炉心のペルス中性子実験とかである。直ちに所要データを出すことはないとしても、将来の可能性の広い技術は他に多くあるにちがいない。マシン、タイムの許す限り、また他の実験との併存可能な限り、この分野へも力をさいて行くことが、大学にあるCAのみに許される特長を生かすことになる筈である。

### 3. A 架台(ポリエチレン減速), B 架台(黒鉛減速)臨界近接実験

#### 3-1. A 架台(ポリエチレン減速), B 架台(黒鉛減速) 臨界近接 — 経過報告 —

京大炉

小林圭二

#### 1. 概要

A 及び B 架台は固体減速材用であって、内法 2°角、長さ約 1.5 m のアルミ製燃料さや中に燃料と減速材とを任意に組合せてつめ、これらを格子板上に並べることによって集合体が構築される。停止時には 6 本の制衝棒安全棒挿入の他に、中心部が分離して下降するようになっている。下降する部分は B 架台では中心 5 行 × 5 列、A 架台では 3 行 × 3 列であり中心架台と呼んでいる。固体減速材として黒鉛とポリエチレンとがあるが、各集合体の初臨界は、B 架台では黒鉛、A 架台ではポリエチレンの単一減速材炉心で行なうことになった。燃料は、いずれも 93% 濃縮ウランのアルミ合金である。

#### 2. B 架台(黒鉛減速) 炉心の臨界近接

一群拡散計算によると、C/U 比を約 3000 にすると、裸の体系で <sup>235</sup>U 約 12 kg (手持ちの全量に相当) が臨界になる。そこで、B 架台の初臨界のために、図 1 のように黒鉛 3°ごとに 1/16" の燃料が 1 枚はいるような燃料体(燃料さや中に燃料と減速材のつまったもの)を 3 種類つくった。3 種類の燃料体は、燃料の位置が 1°ずつずらしてあり、同一平面に燃料の並ぶことがないようにした。臨界近接の手順は、まず黒鉛のみの集合体を作っておき、中心部から始めて周囲の方向へ順番に燃料体を置換えていく。各手順ごとに炉心は正方形のラセンを描いていくようにしてふくれ、最後には、図 2 に示す形状で臨界になる予定であった。実際には、これでは臨界にならず、図 3 の形で達成されたわけだが、これまでに合計 35 の手順を要し、予定の 49 年 11 月 15 日 午後 3 時が大巾に遅れ、翌 16 日の未明 3 時近くまでかかった。図 2 から図 3 に到るまでの主な手順を書くと次のようになる。

(1). 黒鉛反射体の最外周層をポリエチレン反射体に置換える。この結果かなり正に効き、各起動系の計数率が約 4 倍になった。中性子の素外への流れが防止されたためと思われ、反射体として黒鉛の層の厚さが不十分であったことが明らかとなる。

(2). 手持ちの燃料をすべて(約 12.0 kg)を燃料体に組み、炉心に追加したが臨界にはならなかった。

(3). 黒鉛反射体のうち、炉心に接する並びの一部をポリエ

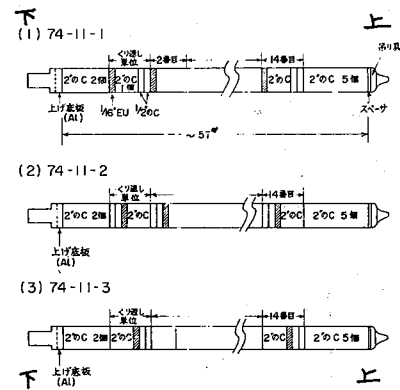


図 1 燃料さや装填図

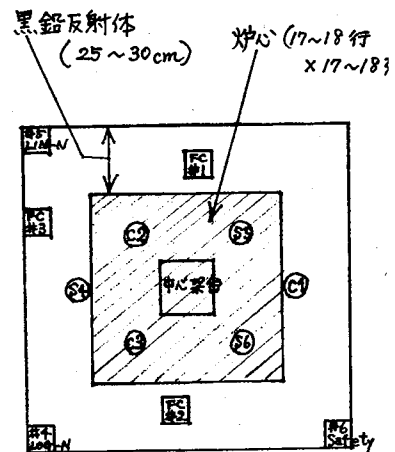


図 2 臨界予定炉心配置図 (B 架台)

千レン反射体に置換えたが負であった。

(4)、炉心部の中性子減速をよくするため、炉心部の燃料体と炉心に接する黒鉛反射体とを交換したが負になった。

(5)、(4)と同じ目的で、炉心部の燃料体の一部を炉心に接する反射体の場所へ移し、空いたところへポリエチレンを詰めたが負であった。

(6)、炉心に接する黒鉛反射体の一部をBe反射体に置換えると、Beの反射体効果がかなり効いて正になった。

(7)、集合体を囲むポリエチレン反射体の層を2倍にしたが、今度は逆に負になった。

(8)、炉心部の形状を直方体からほぼ八角柱に変更したら正になった。

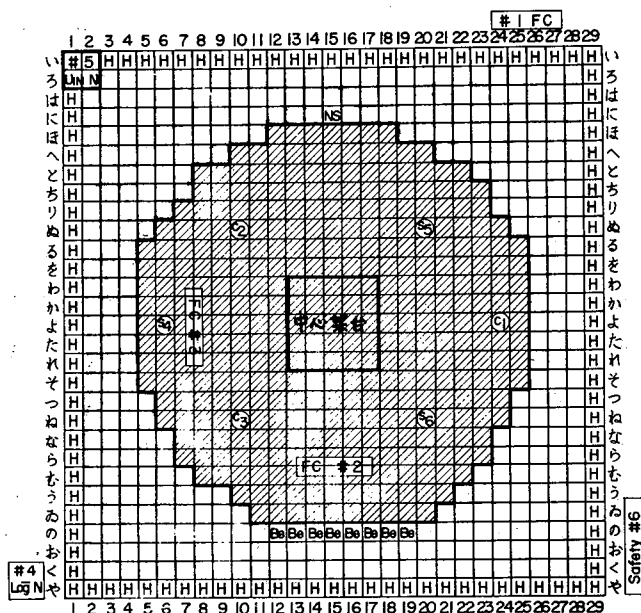
(9)、反射体領域内にあった6系統の核計装用FC及びUICのうち5系統を集合体外へ出し、空いた場所へポリエチレン反射体(最外周)や黒鉛反射体を埋めると、かなり正に効いた。

(10)、炉心部断面の形状をより真円に近づけ(図3)、6本の制御棒安全棒を上限まで引抜いて、辛うじて臨界になる。

以上の手順は、すべて臨界量を減らすために試みたことであるが、期待に反して負に効いたものもあった。93%という高濃縮ウランと黒鉛との組合せは世界にも例がないため、幾つかの予想を裏切る現象が見られた。特に、炉心が減速不十分で、いわゆる *under-moderate* の領域にあると予想していたため(4)と(5)の手順に対する期待は大きかったが、結果は逆になった。

### 3. A架台(ポリエチレン減速)炉心の臨界近接

KURと同じ減速材対燃料体積比(6:1)をもつように、ポリエチレンの厚さ $3/8$ "に燃料を1枚ずつ入れて燃料体を作った。臨界近接の手順は、B架台の場合と同様中心から順にポリエチレン反射体を燃料体に置換えるものである。しかし、今度は逆に予想より少ない21本の燃料体(約1.76 kg)で臨界に到達した。この架台も臨界になるまでに、中心架台反応度(燃料体9本)が大きすぎ、上昇中にペリオド小ディスクラムしたため、炉心中心を格子板中心より3ピッチ分ずらせるなど調整にかなり時間を費し、初臨界はやはり深夜になった。



■	黒鉛	⊙	Control rod
▨	燃料 (356本)	⊙	
□	ポリエチレン	⊙	Safety rod
■	中性子源	⊙	
■	ベリリウム	⊙	
#4~#6: UIC		⊙	

図3 B架台初臨界炉心配置図

### 3-2. B架台(黒鉛減速)臨界近接に参加して

東大

古橋 晃

筆者は1957年8月、JRR-1の初臨界に際して、データの整理と逆増倍プロットの作業を命ぜられ制御室に詰めていた。経過は比較的順調であったが、何回目かのローディングの後地下のサブバイル室で液体燃料の注入を指揮していた松本係長(現名文)が作業服の上へ上った。その時柳原室長代理(現東京=ユニア)が、「やあ穴熊のようなのが出たよ。とみらへったのに対し、松本さんが、「制御室は面白いかもしれんが、炉室は面白くもねえですよ。」と怒ったように答えたのが未だに耳朶に残っている。私はこの時、臨界近接時の燃料装荷を一度は体験しないと、将来管理者としては資格経験に欠けることになるんじゃないかと思った。それ以前の渡来してのAE-6炉の臨界近接を始め、その後何度かの臨界近接の機会において、しかしながら筆者は立場上いつも制御室側に居る廻り合わせとなっていた。

私が今回B架台臨界近接に日程を無理にとっても参加し、燃料室・炉室側要員を志願したのは、まさにこの心情経験の好機であり、管理に生かせるものを掴もうとしたからである。編集者は「解説」を書くようにとのことだが、そのようなわけで、私は今回の臨界近接手順、反応度稼働の手段について、説明者側には立てず、本報執筆の人選としてはむしろ不適当であったろう。私は燃料組立には精を出し、装荷も直接行なってみたが、制御室側の動きについては、むしろやや疎次馬鹿的に、お多弁見といった感じで見ている。柴田先生に、予想本数では燃料を作ったお多弁と云ったが、初めは180本とお多弁と云ったように記憶する。次第に外周へ装荷して少くのと、同一本数に持する炉心バッキングの変化が小さくなって行くにも拘らず、装荷本数がコンサーバティブであったことと、反応度稼働の方法が少しくづいづい変ったため、基準カウンタと横軸単位が度々変り、反って外周を眺めずらくしていったようである。反応度稼働の方法としては、結果論だが、やはりBe反射体と水真円化とを、万人の認めるものがまっ、意見の分れるものはきかぬ。その初臨界と云うのは極めて常識的な現象であると、改めて感じた。やはり意外に思わなかったのは減速度を上げて反応度を稼ぐ多弁きかぬことである。計算の多弁を知らぬので無責任なこととは云えぬが、高濃縮では共鳴逸脱率は改善しようがないが、減速度を増すことは移動面積を減らしてリソースを少なくする効果が主であり、臨界質量は減らしても臨界体積は示さる方向であったのであろう。従って炉心に黒鉛を積み込むにつれて、全系の大きさも増して行けたら反応度は上がったのであろう。反射体が薄くなる方向であったので逆に思ったものと思われる。

装荷側の心情としては、なまじ事情を知らぬ方が、いろいろしなくてよいという皮肉な体験を得た。そして士氣昂揚の最善策は柴田教授の陣頭指揮にあった。某大学ではこうは行かず、この場面では戦力に足りないが、立場の人がやるべきことをやるという、これも本当の常識的なことに、改めて真理があることを痛感した。これが第一の収穫である

### 3-3. B 架台 臨界実験 と 実習 して

大阪大学工学部原子力工学科 四年

山本 淳治

今でも新聞記事を読んで「未明」という言葉が出てくると、昨年秋の臨界実験のことに思い出します。というのは、「16日未明、京都大学原子炉実験所の臨界集合体において濃縮ウラン黒鉛減速炉が臨界に到達した……」という内容の新聞記事を後日読んだとき、この実験に興味をもっていった人々がこの「未明」という言葉もどのように感じただろうとフット考え、読み流してしまいそうなこの言葉も実際にこの実験を体験できたからこそ、この言葉の重みが理解できるのだなあと思われたいと覚えているからです。

実験中制御室から炉心へ指令するためモニター用に設けられた炉心配置図と指示板のまわりを柴田先生を中心として固む人垣の雰囲気には、時間が経過するにつれて並より難い緊張感が生じて、また分担していた仕事も各自あるにもかかわらず手につかず、指示板を固み動こうとしない先生方の人垣が同じく時間が経過して夜が更けるにつれて多く、ていつたへ、さすがに深刻さが増していったことをよく物語っていました。それでも（指示板に基石のようなマーカーを使っているので）「固基の解説のような感じだ」とか「住田先生に中心架台に入ってもらおうと臨界になるのだが？」と言った冗談が飛び出し、また柴田先生も笑い顔を絶やさないなど、即席スタッフのチームワークが乱れないよう雰囲気作りを配慮していたのは、さすが第一線で実験・研究される人の「なんのこれしき」という心意気、迫りを感じました。

以前に行なわれたC架台の軽水炉の臨界実験に比べ協力している先生方・学生数も多く、質量共に充実し準備も完璧であったはずなのになかなか臨界にならず、軽水炉の場合一般的な炉であったことから予定通り実験が進行し終了したことが記憶に新しくなったため、悪戦苦闘する姿が以外すぎて驚きを通り越して、自分がその場にはおらず何かテレビのドキュメンタリーでも見ているような気分になりました。それだけに緊張し祈るような全員の見守りが一つになリペリオド計一点に集中し、臨界に達したときには拍手にも思わず力が入り、演出したような盛り上がりで興奮しました。

臨界実験というのは立会える機会から考えると出産と同じようなものだと聞いたことがありますが、この言葉に借りれば今回の実験はまさに難産でした。苦勞された先生方には申し分ありませんが、一学生にとってはこの実習を通じて、各大学の合同スタッフが協力して仕事をすらすらと進んでいくこと以上に、普段は余裕をもって指導して下さる先生方の研究室にはあまり見られない、苦勞し考え込む姿に接して、今までとは違い身近に感じることができたことが大きな成果でした。

ともあれ、実験後乾杯で飲んだビールのおいしかったことも含めて、貴重な実習を済ませて「どうも、ごちそうさまでした！」。

1975年 3月



## 4. C架台(軽水減速)における反応度測定

### 4-1. C架台(軽水減速)微分水位反応度の測定概要

京大炉

林正俊

我々は、水位反応度が反応度評価の物差しとして利用できることを期待して実験を始めた。微分水位反応度の測定は、まず水位をもって臨界にしておき、微少の水位上昇によって超過臨界状態を得る。そのときの正のペリオドを測定して、そのペリオド値から反応度を算出する方法をとった。ところが、その結果は、非常に再現性が悪く、その原因の解明と対策に約半年を費した。それでもなお、本質的に解決しえない問題を残している。その内容を以下に述べる。

○ C架台の燃料要素は板状燃料である。

我々が初めて水位反応度に接した原研TCAの燃料要素は、棒状燃料であったが、我々の燃料要素は板状燃料であるため、まず第一に水の表面張力の影響が考えられた。しかし、実験結果の中で、燃料板が完全に水没したときのものも同じように再現性が悪かったため、一応却下された。

○ 汚れた水には藻が発生する。

C架台完成後の炉心タンクの洗浄は、まず水道水で荒洗した後、イオン交換水で洗浄する手順を踏んだ。ところが、水位計につながる連通管は炉心タンクの下から出て、排水をしないうり溜り水として残る構造になっている。最初の洗浄のあと排水を行わなかったため、溜り水として水道水が残ってしまった。その結果、水位計のフロート部とガラス管内壁に藻が発生してフロートの動きを阻害していた。フロート及びガラス管を洗浄し、溜り水を排水して実験したらある程度再現性がよくなった。

○ 一定水位の上昇には定体積物の挿入がよい。

実験を繰り返すためには、一定水位の上昇を再現性よく行なう必要があるが、弁の操作で注入量を一定にするには非常に熟練を要する。そこで、定体積物を出し入れするのがよからうと定体積物挿入法を採用することになった。その結果、水位計が炉心タンクの水面上昇を正確に指示しないで、常に低目に指示していることが判明した。

○ 細くて長い配管の抵抗は大きい。

定体積物挿入法によって水位計が炉心タンクの水位に追従しないことに対して、炉心タンクと水位計をつないでいる連通管15mmφ×約7mの抵抗が考えられた。その対策として、配管を叩くことが提案され、定体積物挿入と配管叩きを組合せて、水位計の指示が正確に炉心タンクの水位に追従することが確かめられた。この結果、今まで測られた微分水位反応度は、実際より過大評価していたことが明らかになった。

○ 板状燃料では水の表面張力の効果を無視することはできない。

以上で万事解決かと思われたが、板状燃料では水の表面張力の効果を考えなければならぬことを明らかにする実験結果が現われた。その内容は、水位制御が臨界状態にある炉

心に定体積物を挿入して、一旦超過臨界にしたあと再び定体積物を取り出して臨界にもどることを期待したが、依然として臨界超過の様子であった。これを裏付けるものとして、炉外で2枚のアルミ板と3枚の百円硬貨を使って水の表面張力の効果を観察した。百円硬貨は厚さが2mmであったため、燃料板間隔の2mmを得るために用いた。その結果、アルミ板の濡れの状態によって、板間水位は、周辺水位よりも高くも低くもなることが判明した。

。垂直自立型燃料集合体は固定した方がよい。

同じ炉心の臨界点を日時を変えて測定するとかなり異なる結果になることが問題であったが、これに対して燃料集合体を単に垂直自立させるだけでなく上部で固定することによって改善された。

以上が、C架台で行なった微分水位反応度測定に関連した問題とその対策の内容である。

## 4-2. KU-CA 特性試験に参加して (C 架台での反応度測定雑考)

東海大

阪元重康

全ての原子炉において制御棒反応度の測定は大切な特性測定の一つであるが、特に KU-CA のように原子炉物理の基礎研究を主目的とした臨界集合体では多くの研究対象が何らかの形で反応度に関連をもちているため、あらかじめ基準となる反応度を精密に測定しておかなければならない。このような目的には制御棒の微分反応度曲線が役立つが、臨界集合体ではしばしば炉心の組替えを行うので同一炉心に対して十分な再現性を持つと共に異なった炉心の間でも何らかの関連付けが可能でなければならぬ。

KU-CA では設計の最終段階に入るころからこのような臨界集合体の特殊性を考慮し水位制御を取り入れる必要があるとの意見が各方面より出され、その結果精密水位計、尚歌供水装置等が取り付けられた。

水位制御を用いると臨界炉心を決定する場合に制御棒等を含まない純粋な炉心によって臨界状態とすることができなくなり制御棒配置や吸収材の材質等によって臨界量に変化することがなくなる。ところで一般には冠水炉心を丁度臨界になるように炉心を組立てることは出来ないため、僅かに水位の低い状態で臨界となる炉心を作り水位を加減して正確に臨界水位を求めたから、水位を急速に冠水状態まで上昇させペリオド法によって余剰反応度を測定しその炉心が冠水時を持つ余剰反応度として表現するか、あるいは少量の燃料を追加して同様の測定を行い質量係数を求め冠水炉心での臨界質量に換算して表現する。このような理由から臨界時の水位を正確に測定することが不可欠になるが、すなわち林氏が述べた通り水位の正確な測定は相当に難物である。特に燃料要素の一部が水面に出ている場合は表面張力のために反射体部分(水位計はこの水位を示す)と炉心部分の水位が異なりしかも水位を上昇させようとする時と降下させようとする時と高低の關係が逆になる。この影響は特にロウの狭い炉心で著しく当面の研究対象である HFR 關係のようにアンダーモデレートな炉心では相当に悩まされるものと思う。

水位を一定とし、制御棒を用いて実験を行う場合にも多くの問題があるが、その中でも重要なものとして臨界時の制御棒位置の再現性の問題がある。これは特に制御棒を駆動機構から切り離した時に再現性が悪くなる傾向が強い、その原因は駆動機構、制御棒鞣が天に片支持となっているために両者の結合がりの都度わずかに変化するためと考えられる。また制御棒を切り離さない場合でも制御棒位置を一旦大きく動かすと再現性の異なる問題があるように思われる。原因は制御棒と鞣の間には  $mm$  程度の間隔があることと、先に述べた通り片支持のため、制御棒駆動の度と炉心との位置關係がわずかに変化するためと推測される。前者はスクラム時の制御棒落下の確実性、後者は制御棒駆動装置の移動及び位置変更の容易さとの関連から簡単に解決できる見通しはない。

臨界時の再現性が十分ない場合には温度係数、ポイント係数の位置による変化等、変化量

の少ない測定では再現性に含まれる誤差が測定量を上回り、むしろために何を測定しているのか分からなくなるような場合がある。

臨界近くの正の反応度測定は、水位制御・制御棒制御を問わずバリエーションで行うのが普通であるが、このバリエーションの測定についてもいくつかの注意すべき点がある。まず第一に臨界点の判定であるが、印加反応度が低い時には、その程度は制御機構を停止し出力レベルが変化しないことを確認することが好ましい。又高い出力（臨界点を取るレベルより若干程度以上）で運転した直後に測定を行う時には高いレベルで生成した遅発中性子を十分減衰させてから臨界点を求める必要がある。次にダブリングタイムの測定は少くともバリエーションと同程度の時間を経過してから測定を始めることが大切である。

ダブリングタイムは普通線型出力系のレコーダー又はパネルメーターの指示が倍化する時間をストップウォッチで測定するが、その場合測定者による個人誤差は（ダブリングタイム数ノ秒として）1%程度、又示指針盤の非直線性、中性子束のフラクチュエーションによる誤差はこれを少々上回る程度と考えられる。K<sub>eff</sub> - C<sub>eff</sub> ではその他に LIN-N, LOG-N の記録からバリエーションを読み取ることも試みているが直線性、零点のずれ、レンジ誤差等について十分な較正を行わない限りストップウォッチ以上の結果を得ることはできない様である。他の一つの試みは計数型検出器（起動系の FC 等）の出力を MCS によって測定しグラフからダブリングタイムを求めるもので、この方法では十分な計数率とダブリングタイムの数倍の時間とを測定を行えば、1%以下の誤差で測定することが可能である。又記録が残る為実験後にデータの再検討が可能であるという長所がある。しかしながら今までの実験では起動系の FC をそのまゝ使用したために計数率が高すぎず不感時間による数え落しの影響等のため精度の上からはストップウォッチと同程度の結果であった。

炉心以外で水位反応度の再現性を良くするためには、水位を一方向から所定の水位に近づけて行くことが大切であるので、固体積物挿入を一步進めず、例えば炉心から十分離れた所に数 cm<sup>2</sup> の断面をもつ柱状物質を、制御棒の如くりモトコントロールで水中に挿入して行くような方法が考えられるのではないだろうか。このようにすると水位の微少な変化がスムーズに行き一方向から所定の水位に近づけることが可能であり従って水位の再現性が向上する。

制御棒による制御ではスラッシュ時でも吸収体を落下させる必要のない微調整専用の Rod を作ることによって少なくとも同一炉心内での臨界点の再現性と微少な反応度の測定精度は数段向上するのではないだろうか。

バリエーション測定については LIN-N 系の出力電圧の倍化時間を直接電氣的に測定することによって個人誤差を除くことも可能と思われる。又特に精密にバリエーションを測定する必要がある場合には専用の検出器を使用し MCS により測定したデータを電子計算機で最少二乗法処理して使用するのが最良ではないかと思う。

以上思いつくままに書いておいたが測定精度に対する要求と云うのは限りがないので何時までたっても測定法あるいは装置に対して改善を求め続けて行くことになるであろう。

## 5. 特性測定に参加して

### 5-1. 京大臨界集合体(KUCA)の実験に参加して

神戸商船大

中島

雅

KUCAの特性試験に初参加したのは49年9月30日～10月5日である。原子動力学科の新設後3年目、4講座中最後の原子炉工学講座へ原研から矢野教授が就任して半年目である。矢野、黒沢教授をふくめ職員6名が参加した。KUCAについては、原研の松浦さんから予め話を伺い、KUCAからも資料が送付されていたので、一応の予備知識はあった。この週はC30LGO炉心(軽水型C架台)である。まず、神田さんからKUCAの概略説明と保安教育を受ける。その後、実験テーマの提示と割当あり。北大、東北大、京大をふくめ職員と院生約10数名参加。旧知のベテラン諸氏も多数見受け安心する。昼から直ちに炉心の組立作業に入る。燃料保管室は立派で、高濃縮ウラン-AQの合金板が箱ごとに収納され、これを取出して各燃料フレームにおさめる。加工精度が悪くて燃料板がフレームにはまらないものもあった。炉室はユニークな複数架台方式のため様子が少し違う。可動式の扇形遮蔽を開けると、C架台が目に入り、向う側には固体減速型のA、B架台がある。遮蔽の手前にはパルス中性子発生器もあり、これだけ多くの諸装置を単一の円形建家と制御室に收容するのに大変苦勞されたと思う。運転台は最新設備を誇り、KUCA職員附添いのもとに参加者が順次運転に当り、共同利用の資格取得が得られた。データは臨界近接を我々が、週後半の制御棒軟正と水位反応度測定を北大と東北大がそれぞれまとめる。後半では時間不足となり、秋本(北大)さんは院生と共に徹夜の形、また平川(東北大)さんも水位計の精度に問題がおこり悪戦苦闘の様子。最後の土曜日の討論会では柴田実験所長も交え、この実に議論が集中した。

才2週は50年1月20日～25日の厳寒期。矢野教授以下5名が京大の院生諸氏3名と合流。テーマは京大2号炉の模擬炉心(C35LGT, G10)をC架台に組み、臨界近接と束分布の測定。場馴れもあってこれはスムーズにいったが、非分割炉心の水位反応度の再測定では再現性のある信頼すべきデータが得られず。向題の水位計につき対策を練るも、今のままではどうにもならず、今週は予定どおり続行ときめて、20個以上のdata pointsをとり、後日を後続グループにゆだねる。金曜日の夜おそくデータ整理を始め、レポートを仕上げた全頁を検討を終えたのは夜も白み始める頃。コーヒーの味も格別であった。神田さんは連日の疲勞がたまり医者より絶対安静を命ぜられているにもかかわらず、最後の討論会に出席された。また、KUCAの皆様にも随分お世話になり、参加者一同感謝している。

臨界装置や研究炉も国内に多数あるが、関東方面に偏在し、しかもそれぞれの使命と目的に従って多忙である。今日のKUCAのように、特性試験に際し積極的に参加の機会を与えられたのは最初であり、このことはとくに炉施設を持ち得ない大学には有意義であった。大型炉の建設・管理・維持の困難を考えると、原子力研究・教育の推進のためには、重要センターに重点的に予算・人員の投資を行い、効果的な共同利用を行うことが必要不可欠と痛感する次第である。

## 5-2. 京都大学臨界集合体特性測定に参加して

名大・工 大学院生

山根義宏\* 高木正人\*\*

\*D2, \*\*M2として参加

臨界集合体が建設される前に、京大原子炉での実験に参加した事もあり、また地理的にも名古屋と熊取は比較的近いという事もある。京大原子炉実験所は、日頃から親しみをおぼえる存在でした。研究用原子炉を持たない我々の大学にあっては、その設備の豊富さそこから生れる成果の多様さに感心するばかりでした。

今度は、臨界集合体が完成し、さらに一層炉物理の基礎実験が可能となり、自分事のように嬉しさを感じていました。そして、初期特性試験に参加して、まさしく自分事であると確信するに至りました。初期特性試験の段階から各大学との協力の下に実験を行う体制は

臨界集合体・原子炉の設備を持たずに炉物理を学んでいる我々にとっては、願ってもない機会でした。それは、まず臨界集合体で取り扱われる問題・手法は、我々にとって極めて身近な物であり、教科書による学習、論文による研究を、さらに自からの手で現実の物として実感するまたとない機会であった点。オ二に、日頃論文・教科書を通して親しんでいる他大学の先生方と、いっしょに仕事をし議論をする事が、印刷された物だけからは得られない貴重な勉強になった点。オ三に、単に装置の運転をするだけでなく、広く深い炉物理の知識に裏付けられた現場の実感を我々に伝え、実験を遂行しながら我々と議論をし

同時に適確な判断を下していく若い職員の方々と仕事が出来た点。オ四に、他大学の同年代の人々と共通の実験を通して知り合い、実験について、また一般に各大学の各研究室の仕事・雰囲気について、お互いに平直な意見の交換が出来た点があげられます。

しかし、今さら炉物理基礎実験でもあるまいという声があるかもしれません。ですが実験に参加してみると、炉物理は通常我々が教科書で学ぶほど単純でも、完成された物でもない事が解ると思います。例は、B架台(黒鉛減速炉心)の臨界実験、C架台(軽水減速炉心)の微分水位反応度実験の問題は、我々の炉物理の知識がどのほど自からの手になる実験的基礎の上に立っていたのかと反省させられる代表例だと思います。やはり自からの手で基礎を固める作業はまだまだ必要であり、臨界集合体の建設と、そこでの基礎実験の重要性はまだまだ色あせていないと思われれます。

ただ心配な事は、有能な若い同世代の職員の人達が、研究とサービスの間で余りに大きな負担を担っている事です。この負担を少しでも和らげ息の長い仕事を行うには、同世代の我々が今以上に実験に積極的に参加し、ただデータの提供を受けるだけでなく、実験の諸準備の段階から協力を惜しまない事だと思います。同時に、若い職員の人達も、もっと遠慮なく我々を使っていっても良いと思います。それが、お互いに我々若い世代にとっては将来の大きな力を生む源になっていくと考えます。

京大臨界集合体での協同実験は、我々の様に原子炉・臨界集合体設備を持たないで炉物理を学ぶ者だけでなく、全国の炉物理を学ぶ特に若い人々にとって有意義だと思います。

# 炉中性子利用研究専門委員会講演(昭和49年12月11日)要旨

## 1. フリモデレータを用いた黒鉛体系での時間依存スペクトル測定の解析\*

阪大工 高橋亮人, 京大炉 藤田薫頭, 東海大 阪元重康, 東大 相沢乙彦, 阪大 住田健二

1.) 小さな結晶性媒質での中性子エネルギースペクトルの時間依存の振舞は, パルス中性子実験の固有値問題に関連して古くより興味をもたれ, Be, BeO ではかなりの実験が行われた。しかし, 臨界バックリング  $B_{max}^2$  をこえるような小さな黒鉛体系については, なぜかデータがでていなかった。これは, ライナック等の普通のパルス中性子源を用いる場合, 体系に打ちこまれた速中性子が減速熱化されて検出器にかゝるまでに体系から流れ出てしまつて統計が上がるほど測定にかゝらないためと思われる。しかし図1に示すように, 例えばポリエチレンのような含水素物のフリモデレータ層を置くことにより, 黒鉛体系からの流出熱中性子強度を大きく増加させることができる。しかも熱化した中性子パルスを打ちこむことになるので, 速中性子を打ちこむ場合に例へて, 非常に遅い時間領域までの測定が可能となる。しかし, 用いたフリモデレータが測りたい体系に影響を及ぼさないという保障がなければならぬ。また, 側面より熱中性子パルスを打ちこむことになるので空間依存性が残ることが考えられる。

2.) そこで, 空間モード展開タイムステップ法(SMETS)及び時間と空間の両方について差分方程式を解く方法(TREDE)を用いて, 図1に示す体系での時間・空間依存スペクトルの数値計算を行い, フリモデレータの影響及び空間依存性について検討し, 実験結果との比較を行つてみた。図2に, 同一の計算コード(TREDE)を用いて, ポリエチレン-黒鉛二領域体系及び黒鉛のみの一領域体系の

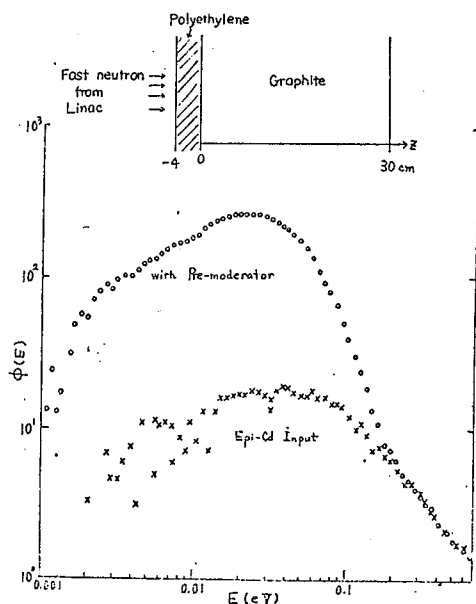


図1 フリモデレータによる熱中性子の増大

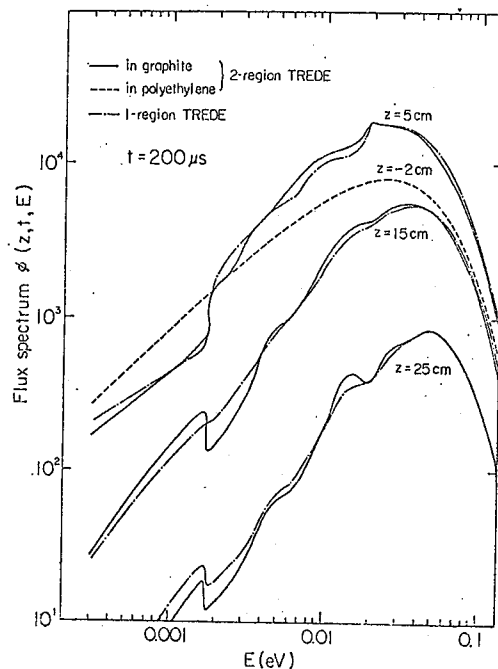


図2 フリモデレータの有無によるスペクトルの違い

それぞれについて計算した時間・空間依存スペクトルの比較の一例を示す。ポリエチレン中のスペクトルは、室温のMaxwell分布にほぼ完全に一致してゐる。黒鉛中では、黒鉛独特の形をしていて、全体的に於て黒鉛のみの場合のスペクトルをよく再現してゐる。ポリエチレン層と黒鉛層ではスペクトルはほぼ独立であると考へてよい。

空間分布については、ポリエチレンを反射体として取り扱ひ、「反射体節約 $Q_r$ 」だけ大きい黒鉛体系と考へてほゞ良いことがわかつた。図3に示すように、ポリモデレータが時間減衰カーブに与える影響は小さく、むしろ熱中性子パルスが端面から打ちこまれることによつて生ずる空間依存性が遙か時間まで残存する。図4に示すように、スペクトルも又強い空間依存性を示してゐる。このスペクトルの空間依存性は、熱的非弾性散乱によるスペクトルバランスが充分に起つてゐない過渡期での“伝播硬化効果”によるものとして説明される。実験に現れた空間依存性は、計算によつてよく再現されてゐる。また、解析法としては、黒鉛だけの一領域を扱う空間モード展開タウムステップ法で、スペクトル変化の定性的説明には充分こと足りてゐる。

3.) このよふな実験における中性子スペクトルの振舞の時間的経過は次のよふになると考へられる。i) パルス打ちこみ後の早い時間帯では伝播硬化効果により遠り場所ほゞスペクトルは硬化してゐる。ii) 中間領域では、伝播硬化と拡散冷却の競合によりスペクトルが空間的に次第に落着いてゆく。iii) 最後に、拡散冷却効果によるスペクトルの軟化(Braggピークへのトラッピング)及びBragg切断下の非常に低エネルギーでのトラッピングが支配的となる。

\* 詳しは

- 1) Takahashi, A., et al. : Theoretical Analysis on Time-dependent Energy Spectra of Neutrons in a Small Graphite Assembly (J. Nucl. Sci. Technol. 投稿中)
- 2) Fujita, Y., et al. : Measurements of Time-dependent Energy Spectra of Neutrons in a Small Graphite Assembly (J. Nucl. Sci. Technol. 投稿中)

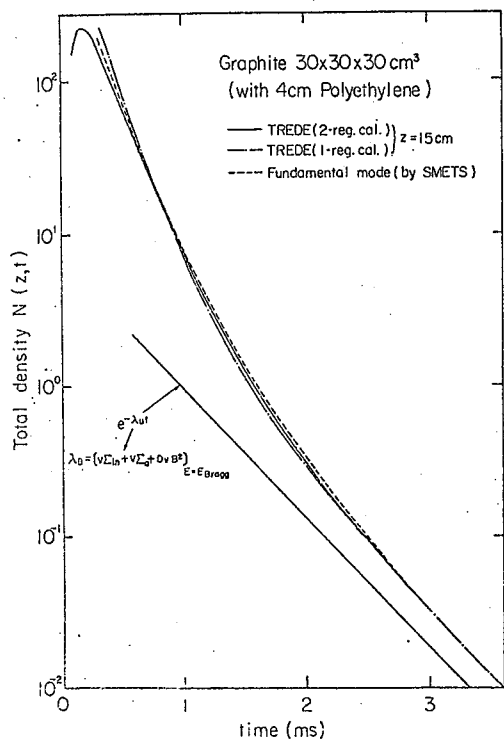


図3 中性子密度時間減衰の比較

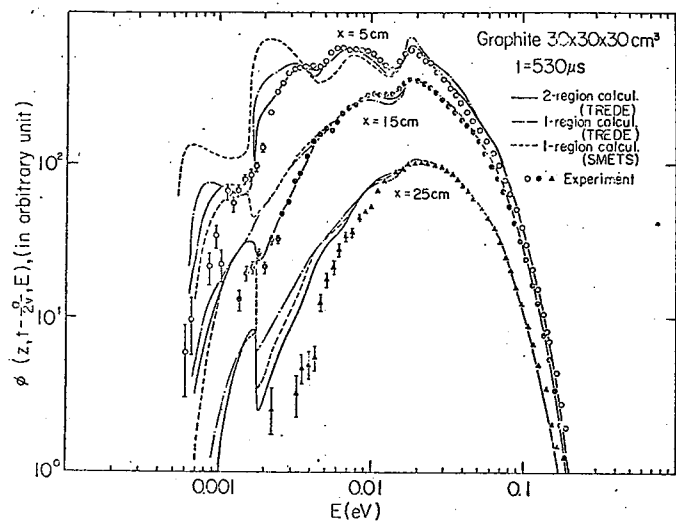


図4 エネルギースペクトルの空間依存性



## 2. ダブルシンチレータ法による高速炉心中性子スペクトルの測定

原研, \*韓国原研 趙満\*, 白方敬章, 飯島勉

序 ダブルシンチレータ法<sup>1)~4)</sup>は体系より引出した中性子ビームを1stシンチレータで散乱させ2ndシンチレータとの間の飛行時間の測定により入射中性子のエネルギースペクトルを求めるものである。この方法は本質的に微分測定法であり複雑な unfolding を必要としない長所がある。ここでは本法をFCA炉心その他の高速体系に適用した結果について報告する。

測定系 測定系のブロック図をFig. 1におす。1stシンチはナショナルシンチライト約 $10\text{cm}^{\phi} \times 1\text{mm}$ 又は $3\text{mm}$ 厚プラスチック, 2ndシンチはNE102  $5^{\phi} \times 2^{\prime\prime}$ プラスチックである。1stシンチは内面にリフレクターペイントを塗った薄肉のコーン型Al製中空管によってPM tubeの感光面と向き合っている。このPM tubeには低雑音管(EMI 9813 KB)を用いているので暗電流によるバックグラウンドカウンタは数100 CPS以下である。2ndシンチには2本のPM tubeを用いコインシデンスによりtubeノイズを消している。1st, 2ndチャンネルともfast-slow方式によりtiming信号用デスクリレベルはエネルギーデスクリレベルより低く設定しタイムジッターを減らしている。TAC/PHAのレンジは $800\text{ns}/1024\text{ch}$ , 飛行距離は $1\text{m}$ , 散乱角は $45^{\circ}$ に固定して用いている。タイムスペクトルにおける $\gamma$ ピークの時間分解能は $5.4\text{ns}$ である。エネルギー分解能は20%以上になるが, これは主として検出器相互の幾何学的な配置によるものである。

1stシンチからの波高分布もタイムスペクトルの中性子部分とコインシデンスをとることにより $45^{\circ}$ 方向に散乱された $1/2 E_n$ の反跳陽子のみを記録することが可能であり, これも入射中性子エネルギーと1対1に対応する微分測定法になり得る。

測定体系および測定結果 FCA VI-2炉心スペクトル(「もんじゅ」内側炉心モックアップ<sup>5)</sup>, 東大炉「弥生」を中性子源とし約4トンの天然ウラン体系による天然ウラン体系固有(平衡)スペクトル, および $\text{Cf-252}$ 自発核分裂スペクトルについての測定結果(タイムスペクトル)の例を夫々Fig. 2, 3, および4におす。時間依存バックグラウンドについては鉄製shadow coneを両シンチレータ間に挿入してチェックしたが, ほとんど無視出来ることが合った。スペクトロメータ効率のエネルギー依存性は $\text{Cf-252}$ 核分裂スペクトル( $T=1.406\text{MeV}$ のマックスウエル分布と仮定)とバンデグラフ加速器による単色中性子で較正した。

測定されたスペクトル(Fig. 2~4)に分解能補正(三角形レスポンスと仮定<sup>6)</sup>)を行なってデルタ関数レスポンスに対するスペクトルを求め, バックグラウンドを差引いた後, 効率関数で割って中性子スペクトルを求めた。FCA VI-2炉心に対する結果をFig. 5におす。

考察 これまでに得られた結果よりダブルシンチレータ法は従来他のスペクトロメータに比べて種々の点で優れていることが明らかになった。特に本質的に微分測定法であるという点が結果の中性子スペクトルの精度にとって極めて有利である。現在のところ測定可能レンジは $200\text{keV}$ ~数 $\text{MeV}$ であるが, 下限を $100\text{keV}$ , 上限を $15\text{MeV}$ まで広げることが可

能であると考えられる。最大の問題はスペクトロメータ効率のエネルギー依存性を如何にして精度良く較正するかということである。得られる中性子スペクトルの精度は大部分この効率較正曲線の精度に依る。Cf-252核分裂中性子による較正, V.d.G. 等による単色中性子による較正, および検出器効率の理論計算の3通りの較正方法があるが各々一長一短があり総合的に評価することが必要である。現在の残りの較正曲線は不十分な点が多いので精度の良い較正のための研究を続ける予定である。

- 参考文献;
- 1) J.E. Sanders et al., Proc. Int. Symp. on Physics of Fast Reactors, Vol. II, P908, Tokyo (1973)
  - 2) 加藤正美他, 原子力学会 49年春会 B43
  - 3) 趙満他, 49年炉物理分科会 B49
  - 4) 加藤正美他, 50年春会 B36
  - 5) 飯島勉他, 49年春会 D19
  - 6) K.H. Beckurts and K. Wirtz, Neutron Physics, PP321-324, Springer-Verlag 1958

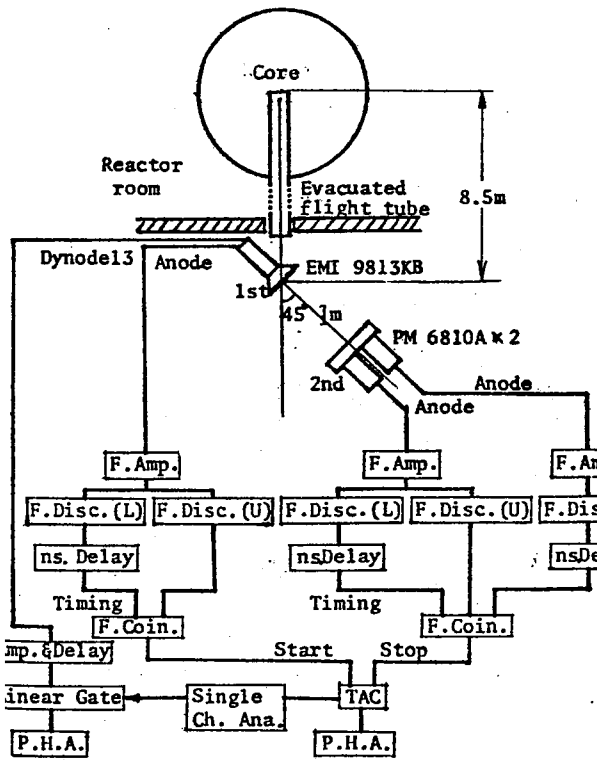


Fig.1 測定系ブロック図

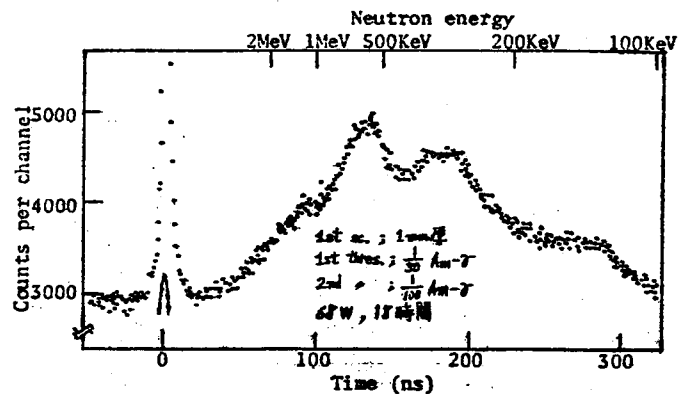


Fig.2 FCA VI-2炉心のタイム・スペクトル

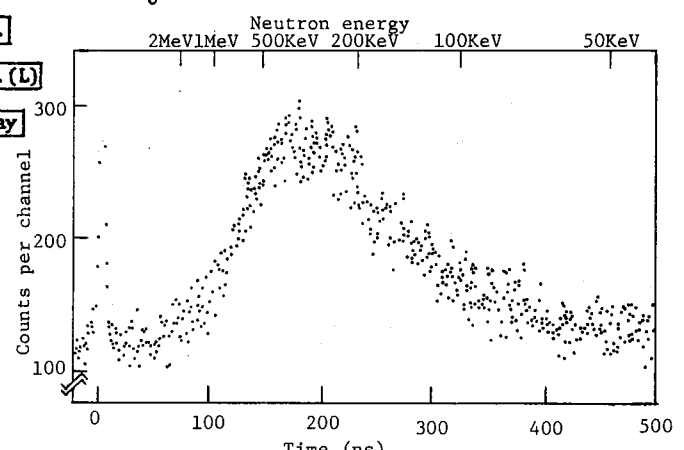


Fig.3 天然ウラン体系のタイム・スペクトル

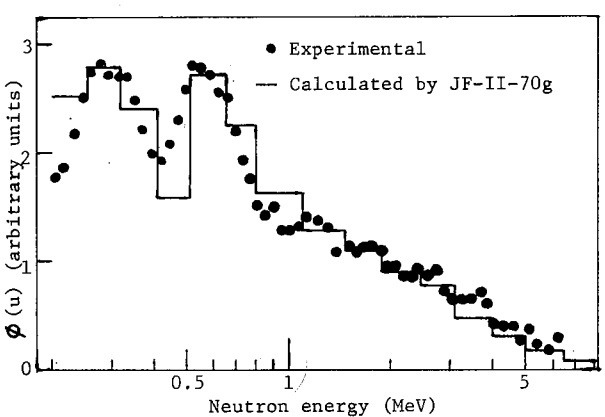


Fig.5 FCA VI-2炉心中性子スペクトル

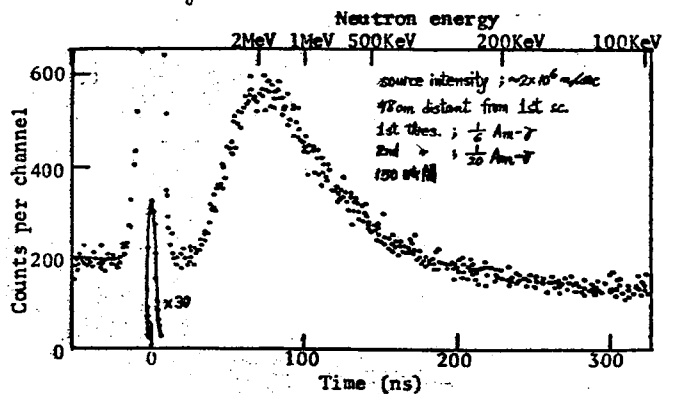


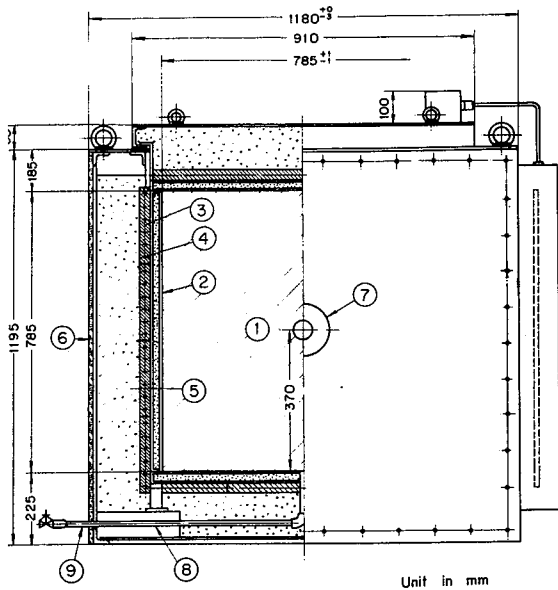
Fig.4 Cf-252 タイム・スペクトル

### 3. 高温ホウ素添加黒鉛中の熱中性子スペクトル

日本原子力研究所 金子 義 考

黒鉛の熱中性子散乱核の高温領域における熱中性子スペクトル記述精度と確証する目的をもって、ホウ素添加黒鉛パイル(95および179 ppm)と800°Cまでの昇温装置(図1)を製作し実験を開始した。ホウ素添加黒鉛ブロックは黒鉛粉に $B_4C$ 粒(約350メッシュ以下)を均等に混合し、ワークスロツケで練って約2000°Cで焼成したものである。このブロックを積み上げて42×78×78 cm<sup>3</sup>の直方体パイルをつくり、昇温装置の厚さ1.5 cmの $B_4C$ 中性子遮蔽層を有するSUS42製の気密容器に収納し電気加熱により約800°Cまで昇温した。ニクロム線ヒーターはSUS容器の外壁に密着する熱板中に収められ最高33 kWの電力が加えられた。外気への熱漏洩を防止するため熱板の外側は約15 cmのカウール断熱層をもうけた。黒鉛とこの断熱層の熱伝導度の大きな差による蓄熱効果により、黒鉛パイル中の温度の平坦度は±2%くらいにおさえることができた。黒鉛パイルの側面にあけた中性子線取出し孔(6 cmφ)は、Ni箔によってシールされると共に、断熱層中においては、対流伝熱防止のため一枚の黒鉛膜がしきり板として使用された。(図2) 昇温中は2~5 l/min程度の $N_2$ ガスを流して黒鉛の酸化を防止した。L/NACバルス中性子源として40 mの飛行管を使った中性子飛行時間法により約0.01~10 eVの間のエネルギー領域について熱中性子スペクトルの測定を行った。図3に測定結果の例を示したが、792°Cの実験では、当然のことであるが、非常に硬化した熱中性子スペクトルが得られた。理論解析は進行中であるが、その一部を図4に示し、実験と比較してみると、常温(296°K)であるにもかかわらず、両者の一致は良くない。計算値は、DTF-4コードを用い、 $S_8$ 近似、熱中性子38群、空間42メッシュ、中性子散乱の $P_0$ と $P_1$ 成分の考慮等の条件のもとに得られたものであって通常の熱中性子スペクトル解析に用いられる手法を採用している。熱中性子散乱核としては、ENDF AのYoung-Koppelの $S(\alpha, \beta)$ を使用しているのであるが、高温領域における非弾性散乱の変化、弾性散乱部分の減少等の問題を考える予定である。実験面では、中性子線取出し孔の擾動効果と2次元 $S_N$ コードを使って精密に調べることがまず第一に重要で、直径6 cmの場合、最高25%くらいの擾動があるものと思われる。また、 $B_4C$ 粒の自己遮蔽効果も350メッシュの粒度といえども10~20%くらいあるおそれがあるので、定量的に実験によって評価する必要があると判断している。

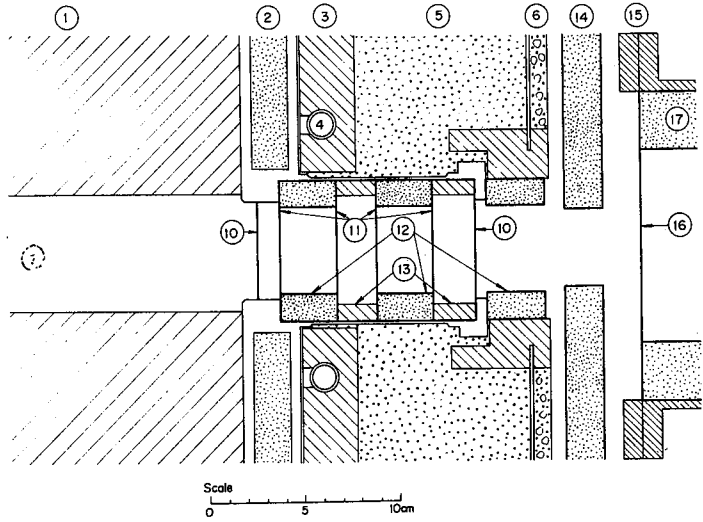
本実験は、日本原子力研究所において、秋濃藤毅、黒川良右、北館憲二および竹内兼充氏の協力のもとに行つたものであり、L/NACの運転については、竹腰秀邦室長はじめ核物理系研究室の方々のお世話にまつた。また昇温装置の製造は日本カーボン社に担当していただいた。ここに謝意を表す。



Keys

Number	Comment
1	Borated graphite 95 or 179 ppm
2	Neutron shield box SUS 42 B <sub>4</sub> C 1.5 cm
3	Heating plate alumina
4	Nichrom line heater 30 kwatt max.
5	Thermal shield Kawo wool
6	Biological thermal shield, rock wool plate
7	Reentrant hole 6.0 cm $\phi$

図1. 黒鉛パイル昇温装置



8	Refractory brick
9	N <sub>2</sub> gas inlet $\frac{1}{4}'' \phi$
10	Nickel foil 0.2 mm thick
11	Carbon film 0.3 mm thick
12	Neutron collimator ring B <sub>4</sub> C 4.5 cm $\phi$
13	Thermal shield ring alumina
14	Neutron collimator B <sub>4</sub> C 2.0 cm thick 4.0 cm $\phi$
15	Neutron flight tube 39.9 m long
16	Aluminum window
17	Neutron shield hollow tube 10 cm $\phi$

図2. 中性子線放出孔

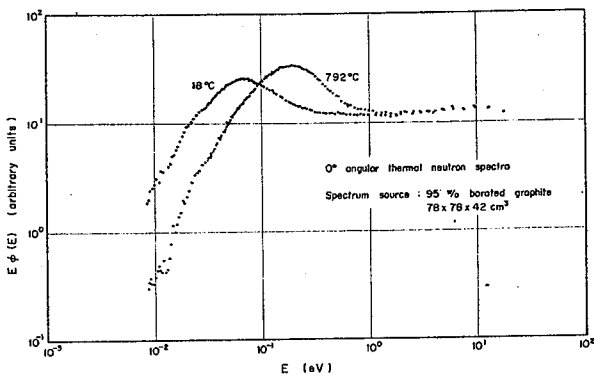


図3. 黒鉛パイルの熱中性子スペクトル

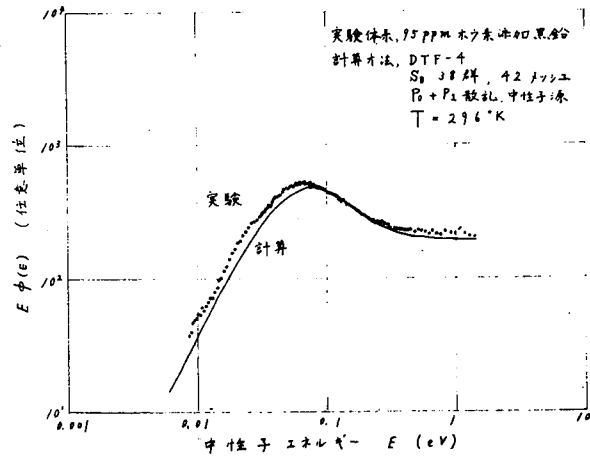


図4. 計算と実験の比較

#### 4. Time-of-Flight Experiments Using a Pseudo-Statistical Chopper

東工大 \*京大炉

相沢乙彦 \*神田啓治

##### I. Introduction

シュード・ランダムパルス化法は最初加速器のビームに対して適用され、微分断面積の測定が行なわれた。(1) その後、原子炉からの中性子ビームに対しては Karlsruhe の Gompf (2) らによってはじめて適用され、42 meV の単色中性子を用いてバナジウム金属による非弾性散乱実験が行なわれた。我々はこの方法の利点と欠点とを理解する為に、速度スペクトルの測定と散乱スペクトルの測定を行ない、通常のコロッパーによる方法との比較検討を行なった。(3)

##### II. Principles of the Method

線型な系のインパルス応答を  $h(t)$  とすると、或るインパット  $a(t)$  に対するアウトプット  $b(t)$  は

$$b(t) = \int_0^{\infty} h(\lambda) \cdot a(t-\lambda) d\lambda \quad (1)$$

と与えられる。(4) さてインパット  $a(t)$  とアウトプット  $b(t)$  の間の相互相関関数  $\phi_{ab}(\tau)$  は

$$\phi_{ab}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T a(t) \cdot b(t+\tau) dt \quad (2)$$

と定義されるので、(1) 式を (2) 式に代入し、積分の順序を入れ換えると、

$$\phi_{ab}(\tau) = \int_0^{\infty} a\lambda \cdot h(\lambda) \cdot \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T a(t) \cdot a(t+\tau-\lambda) dt \quad (3)$$

が得られる。

ここでインパット  $a(t)$  の自己相関関数の定義式

$$\phi_{aa}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T a(t) \cdot a(t+\tau) dt \quad (4)$$

を用いて (3) 式を書き換えると、

$$\phi_{ab}(\tau) = \int_0^{\infty} h(\lambda) \cdot \phi_{aa}(\tau-\lambda) d\lambda \quad (5)$$

が得られる。ここでもしインパット  $a(t)$  の自己相関関数が  $\delta$  関数であれば、(5) 式より

$$\phi_{ab}(\tau) = h(\tau) \quad (6)$$

が得られ、相互相関関数がインパルス応答に等しい

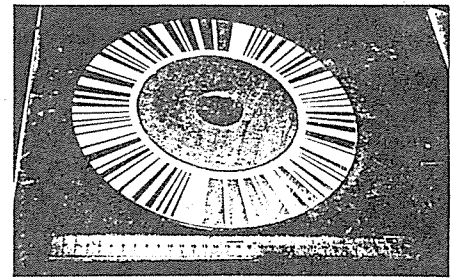


Photo. 1 Pseudo-Statistical Chopper Manufactured

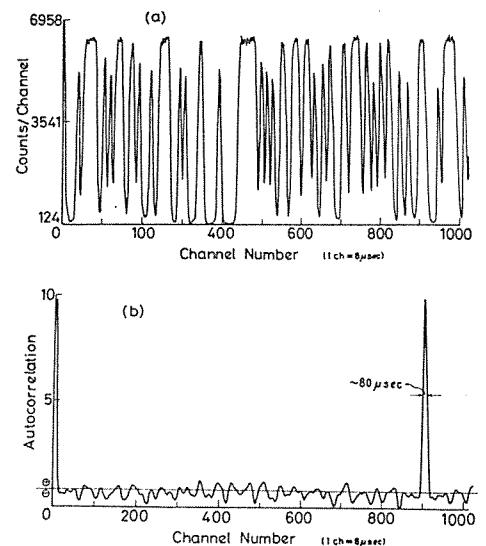


Fig. 1

(a) Raw data of signal function  
(b) its autocorrelation function

という極めて簡単な関係が得られる。

### III. Experimental Equipment

さて(6)式を成り立たせる為には、インプットの自己相関関数が  $\delta$  関数でなければならぬわけであるが、そのような binary signal は feedback shift register<sup>(2)</sup> でつくるこゝが出来た。即ち  $1/\Delta t$  の周波数をもつたクロックパルスで、 $n$  段の feedback shift register をトリガーすると、 $(2^n - 1) \cdot \Delta t$  の周期をもつたシユード・ランダムパルス列が得られる。 $n=7$  の場合についてそのパターンを計算機で求めておいて、そのパターンに合わせて中性子吸収材 ( $Gd_2O_3$  粉末、 $^{10}B$  金属粉末) をアラルダイトにとかして固めてシユードチヨッパーを試作した。Photo. 1 がその写真である。

### IV. Experimental Results and Discussions

さてこの試作したシユードチヨッパーを用いて、KUR 重水設備からの熱中性子パルスをシユードランダムパルス列に切り、その性能を調べてみた。

Fig. 1 (a) はシユードチヨッパー透過後の中性子密度分布を測定したもので、同図 (b) は (a) の自己相関関数を求めたものである。こゝをみると 0 ch. と 9/11 ch. とに  $\delta$  関数が得られているこゝがわかる。次にシユードチヨッパーの直後に Be 金属板

5 cm をおき、透過中性子を 5.4 m 飛行させた場合の TOF スペクトルが Fig. 2 (a) である。こゝを Fig. 1 (a) との相互相関関数を計算すると、Fig. 2 (b) のように透過スペクトルが得られる。Fig. 2 (c) は通常のチヨッパーによる同じサンプルの透過スペクトルである。Fig. 2 (b) と (c) とを比較すると、全体としての形はよく一致しているが、シユードチヨッパーによる測定の方に微細構造が現われているこゝに気づく。こゝ外の詳細な議論は Reference (3) をみていただきたいが、こゝのと散乱スペクトルの測定も行ない、この方法の利点と欠点とについて調べた結果、シユードチヨッパーを用いた方法は、統計が悪くていくつかのピークをもつスペクトルの測定、即ち非弾性散乱スペクトルの測定等には適しているが、スムーズな連続スペクトルの測定には適していないこゝが分かった。

### References

- (1) M. J. Ohanian et al., "Nuclear Data for Reactors" Vol. I p. 445 (1967)
- (2) F. Gompf et al., "Neutron Inelastic Scattering" Vol. II p. 417 (1968)
- (3) O. Aizawa, K. Kanda, Bulletin of the Tokyo Institute of Technology (1975)
- (4) J. D. Balcomb et al., Nucl. Sci. Eng. 11, 159 (1961)

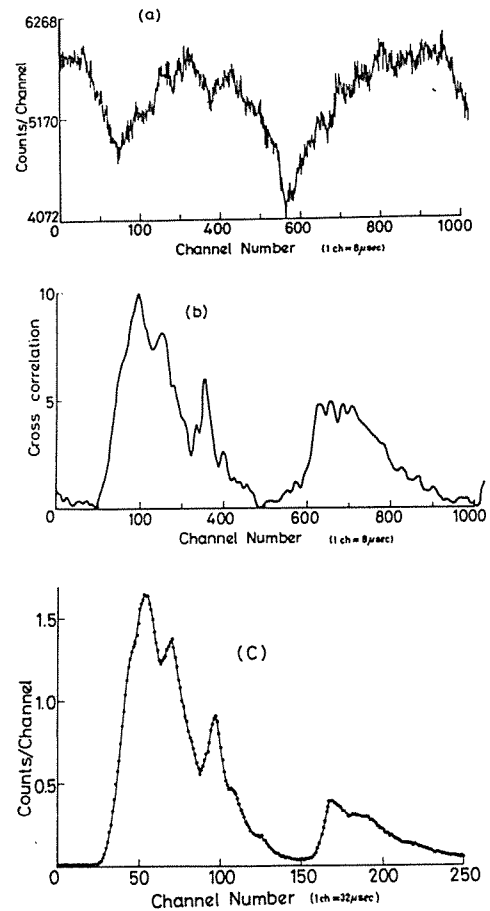


Fig. 2

## < 国際会議報告 >

### 1. 炉雑音研究における思潮の一断面

—— Farinelli 教授の演説 ——

北大工 齋藤慶一

昨年10月、ローマで炉雑音に関する第1回専門家会議と銘打った会議が開かれた。その概要は、学会誌4月号に掲載済であるが、その背景と開会にあたって、Farinelli 教授が行った演説(以下、F-演説と略す)の抄訳を記す。

今回の会議で、Scientific Secretary を担当した Pacilio 教授は、時間領域に限ってはいるが、259 篇の文献を蒐集、分類したレポートを、1972年に刊行した(RT/P(7)113) それによると de Hoffman が、46年に発表したもの(MDDC-333)が、炉雑音に関係した最初の文献である。零出力炉に関するものは、ほぼ、片がついたといわれたのは、70年代に入ってからと思う。この間、フロリダで Uhrig 教授により、2年おいて引き続き2回(64, 66年)シンポジウムが行われ、国内みすらも何人か参加した。さらに、2年後の68年には、東京-京都で、日米セミナーが開催されたし、ヨーロッパでは、67年に、Petten で国際会議が行われた。成書も Thie (63年), Uhrig (70年), Williams (74年) の3部作がそろった。

一方、原子炉の診断技術を駆使しようとする場合の診断情報として、炉雑音も注目を集めているが、この分野の会議も、アメリカ(67年), ヨーロッパ(72年)で開催されたし、日本でも、研究専門委員会が、73年に設置された。

このような状況のもとで、炉物理委員会(NEACRP)が、炉雑音を次のように定義づけて、初の万国会議の開催をよびかけた。

Any type of noise related to reactor systems, inherent and/or induced by imposed perturbations of stochastic or psued-stochastic nature. It may deal with fluctuations, Vibrations, boiling, temperature, acoustics monitoring of anomalies and diagnosing malfunctions. The basic idea is that of covering the widest possible area and to understand where the borderlines with other disciplines are.

会が、開催されるに及んだ前提は、F-演説に次のようにのべられている。

「零出力炉雑音の基礎は、現在では、相当よく理解されている。測定解析も、臨界実験装置では、ルーチン化しており、動特性パラメータ、反応度効果に関する有用な情報を提供しているし、また、中性子スペクトルのチェックをしたりするのに用いられている。この分野で残されている問題は、疑いもなく沢山あるが、今日では、興味の対象は、今回の会議の副題にも挙げたように、FROM CRITICAL ASSEMBLIES TO POWER PLANTS と移行しつつある。零出力時の場合に適用するために展開されたような系統的方法論を高出力時の場合に、拡張し応用することが、高出力炉雑音の基礎を明らかにするのに役立つと期待される。いひかえれば、本会議の意図するところは、Let the glory and tradition of zero power reactor noise shed its light to the dark convolution of power noise !」

このような檄文に呼応して、当時者の期待をはるかに越える参会者を前に、F-教授は、刺戟のためにいくつかの問題点の提起を行った。その内容は、やや、どきつきが含蓄に富むものであり、すでに、4分の1世紀を越えようとしている炉雑音研究の思潮を鋭角的にえ

ぐりだしていると思われる。

—— 零出力炉雑音に関する問題点 ——

初期の段階では、たとえば、すでに1957年にOrndorffが高速炉の臨界装置で行った Rossi- $\alpha$ 法のように、実験技術は、たったひとつの単純な理論に基づいて進展してきた。

その後、いくつかの包括的理論が、分枝過程論の一般論や輸送方程式の確率論的定式、Markov過程の基礎式であるChapman-Kolmogorov方程式等を背景に発展し、代表的なものとして、時間領域の炉雑音理論分野では、特に、Pál-Mogil'ner-Zolotukhin-Bell-Babala (PMZBB) が導出し、解析してきた中性子数の確率母関数の従う後向き輸送型・非線型微積分方程式ができた。しかし、その数学的形式はわずらわしいし、こけいしているので、物理的側面からも数学的側面からも、大胆な簡略化を行うことが必要になったが、その当然の帰結として、最終結果の信憑性が減ずるし、適用範囲の見積りも難しくなる。だから、実験技術の方は、むしろ、現象論的かつ半経験的理論に基づいて進展してきた。あるいは、間違っているかも知れないが、PMZBBのような基礎理論から得られたもので、実際上意義のあるものはなかったのではなからうか。基礎的アプローチには、思弁的かつ根元的興味があることは確かである。ただ、それが過去において果してき機能の概略をのべてみた。

過去においては、と私はいった。状況は、急激に変わりつつあるという徴候が随分とある。現在では、●一般理論は、よりよく理解されている。●異なった種々な基礎的方法論相互の結びつきもできた。●さらに一般的な定式を行うことにより、解析的にも数値的にも扱いやすい成果が、一昔前とは比べものにならない程、次々と挙がっている。●厳密な理論が、種々な実験的方法に用いられるようになった。●これらの理論を用いて、新しい、しかも、潜在力の大きい実験法をみつけ、発展させることもできそうに思える。

これらのことは、現在、進展中であり、非常に心強い。が、遅すぎたのではなからうかという懸念をもつ。今日、零出力炉雑音で、改良された方法を必要とする実際的要請が、本当にあるのだろうか。それとも例えば、次のような問題を解決するに足る潜在的用途があるのだろうか。すなわち、高速炉における中心反応度価値の不一致の問題、再処理プラントのような不特定で変形しやすい形状の燃料を扱うところで、大きな負の反応度をモニターし、偶発的な臨界事故をさけるようにする問題、あるいは、safeguardsに関連した問題等々。

零出力炉雑音分野で残された応用で、重要なものはなくても、高出力炉の分野に移せるものもあるだろうという人もいよう。この“fall-out”も、論点の一つである。

—— 高出力炉雑音に関する問題点 ——

高出力炉の場合と状況が異なる点は、次の3点である。

1. 雑音を研究することの動因が、ずっと強く、また、はるかに刺戟的なことである。まだ、いずれも実証されていないが、雑音を測定することにより、安全性のモニターをした



り、常とは異なる運転状態になっていることを早期に発見したり、計器類が正確に働いていることを連続的に査定したりするといった経済的に大きな潜在力をもつ技術と、開発できる可能性がある。また、ゆらぎを用いて、炉の特性をルーチン的に測定する方法も確かに興味があるし、Campbell の原理で電離箱を使うといった方法も一つの例である。

2. 高出力炉は、零出力炉より "noisy" であり、中性子の分枝反応よりはるかに重要な雑音源が、一般には存在する。その雑音源が、炉の伝達関数を通じてどのように観察されるかを知ることが、われわれの研究の真の目的となる。この目的は、伝達関数の逆関数を作用させ、雑音源のはっきりした特性を考究することにより達成できる。このことは、高出力炉の雑音源を研究する必要性につながるし、また、非核的研究と直面する必要性にもつながる。たとえば、炉外ループを用いての温度や流れのゆらぎの研究や炉内の機械的振動に関する研究である。

3. 高出力炉雑音の理論は、臨界装置のものに比べて、はるかに複雑である。というのは、雑音源は多様であり、種々なタイプのフィード・バックが存在するからである。純粋な時間遅れをもついて非線型性の強いものもあるし、過程が非マルコフ的になったり、システムを記述するのに状態量の数を非常に多くとらざるをえなくなったりする。

——— 以上の相違点からひきたせる結論 ———

相対するものが2つある。

1. 状況が零出力炉の場合よりもっとひどくなる。すなわち、実際的な結果にたいする要請が強い反面、理論がむずかしいので、経験的な方法と一般かつ包括的 (cosmological) な理論とつへだたりが、はるかに大きくなる。経験的な方法は、現実の実験に基礎をおくものであり、あまりに経験的すぎて、適用してみた原子炉や実験条件がほんのちょっと変わると、外捜が利かなくなってしまう。一方、cosmological な理論の方は、現実の原子炉のような trifling practicalities など、おかしく扱えなくなってしまう。

2. これとは全く逆な行き方がある。高出力炉雑音を正しく理解するのが困難であるからそれ故に、より深い洞察力を傾けて理論造りをしていこう。一方、理論が複雑だし、多くの場合、解析的にはとりあつかえず数値的にしむ扱ひようのなり雑音源ととり組む必要があるので、實際上興味ある場合に適用できる理論的方法を発展させていこう。こうなると、理論と実践との間のギャップは、急速に埋まることになる。この意味では、零出力炉雑音の発展の歴史の negative な側面を学ぶことのほうが、零出力炉雑音の研究の疑いもなく positive な成果を利用することよりも、はるかに実りあるのではなからうか。

快活な気性の Farinelli 教授は、さらに続けて、noise community は noisy だれと概をとばし、以降5日間におよぶ強行軍の General Chairman を務められた。

昭和50年3月 斎藤慶一記

## 2. 遮蔽ベンチマーク実験の専門家会議に出席して。

東大 工学部

安 成 弘

### I. 経緯

1973年6月に行はれた、OECDのNuclear Energy Agency European and American Committee on Reactor Physics (略称EACRP)において、遮蔽ベンチマーク実験の国際協力を行うべきことが提案された。各国代表も、これに同意し、NEAとEURATOM (欧州原子力機構) が主催して、本年 (昭和49年) 4月17日から19日の3日間、遮蔽ベンチマーク実験の専門家会議が、イタリアのイスプラで開催され、日本、英国、フランス、ドイツ、イタリア、スイス、米国から、参加した。主催者より、安 (東大)、兵藤 (京大)、金森 (三井造船) の出席が要請され、安、中村 (京大兵藤代理)、金森が出席した。尚、各国からの参加者は、以下の通りである。会議は、英国のButler氏の座長のもとに行はれた。

参加者、日本、安 (東大)、金森 (三井造船)、中村 (京大)、フランス、C. Deuillers (CEA-Saclay)、米国、R.J. Labawre (LASL)、ドイツ、G. Hehn (Univ. of Stuttgart)、スイス、R. Richmond, V. Herrnbergen (EIR Würenlinger)、英国、J. Butler, A.K. McCracken, (AEE, Winfrith)、A.D. Kriep (Univ. of London)、イタリア、U. Farinelli (CNEN)、A. Rantaleo, R. Deleo (Univ. of Bari) その他、イスプラ、R. Nicks, G. Berlini, A. Marchal (CCR)、G. DeViedma (CPL) その他、OECD、L. Lesca、オランダ、K.A. Verscheur (RCN)

### II. 会議の内容

4月17日

- 1). 座長、J. Butler氏のあいさつ。
- 2). R. Nicks氏よりベンチマーク実験の定義と、その目的に関して、"Shielding Benchmark Experiments - A tool for Verification of Transport Code and Validation of data Sets" を発表した。
- 3). 各国より、ベンチマーク実験に関係ある、遮蔽研究の現状について説明が行はれた。
  - a). イタリア、高速中性子源炉TAPIRO (He冷却、5 kw) で遮蔽実験を行っている。測定は、放射化箔サンドウィッチ箔、NE-213、プロトンリコイルカウンター、TLD等を用い、実験としては、鉄や、Na中の中性子輸送、ガンマドーズ等の測定を行っている。又、TAPIROでの、Activation Detectorの断面積のためのベンチマーク実験を行っている。
  - b). フランス、高速中性子源炉Harmonie (空気冷却、2 kw) で遮蔽実験を行っている。放射化箔のプロトンリコイルカウンター等で測定し、鉄体系での透過実験を行っている。
  - c). 日本、8線の後方散乱、透過、及びドーズビルドアップについての仕事が行はれた。

JRR-4で、水中、非含水素煤質中及びダクト中での中性子輸送及びスペクトル測定が行われた。高速中性子源炉「弥生」で、コンメーテッド、ビームにより、鉄板の中性子透過実験を行っている。京大原子炉実験所で、ライナックを用いて、黒鉛、鉄、等での、中性子スペクトルのタイム・オブ・フライト実験を行った。

d) スイス、原子炉 *Protens* の中心部に、ガス冷却高速炉の燃料領域を作り、中性子ストローミング実験をする予定、又、ガス冷却高速炉の炉心上部の鉄、コンクリートの遮蔽についての実験をする予定である。現在は、炉心の中性子スペクトルを測定中である。

e) 米国、遮蔽に関する核データは、ORNLの *Radiation Shielding Information Center* で管理されている。ENDF/B-IVには、遮蔽に関係深い情報が含まれており、鉄の断面積等の新しいデータが入っている。米国で、ベンチマーク実験としては、単一物質による実験で、核データのチェックを目的とするものと、多物質のピックアップ実験で、計算手法のテストを目的とする2種類があり、前者の代表的なものとして、*Broomstick* 実験、後者の代表的なものとして、*Tower Shielding Reactor* での実験がある。又、高速炉遮蔽のための重要問題として、中性子の深い透過、2次γ線の生成、γ線発熱、ポン、ダクト及びキャビティ漏洩がある。

f) ドイツ、振動的的手法による *Sensitivity Study* を行っている。*Sensitivity Study* は、実験結果の解釈、及び実験計画の立案に重要である。ANISN及びSWANLAKEを用いて、PWRの圧力容器の放射線損傷や加熱に関する *Sensitivity Study* が行われた。

g) 英国、ベンチマーク実験計画としてDATAM計画がある。実験は、LIDO、NESTOR、及びZEBRA等の装置を用いて行われてきた。プロトンリコイルカウンター、NE213を用い、鉄の透過実験が行われた。結果は、2次元除去、拡散コードやモンテカルロ法による計算と比較された。又、ZEBRAにより、γ線のエネルギーデポジションについての、実験が、TLD等を用いて行われた。測定結果のアンフォルディングの計算コード、RADAKが作成された。

4月18日

h) ユーラトム(イスラ) 原子炉ISPR-1(CP-5型)に付属した $U^{235}$ の90%のコンバータを使用する遮蔽用実験設備EURACOSで実験が行われた。テーマとしては、層状の鉄、水遮蔽や、重コンクリート中での中性子輸送、高速炉のNaパイプを模擬したダクト実験、鉄中のエネルギー、デポジションの測定等が行われた。

### Ⅲ. 協カプログラムについての討論

ベンチマーク実験の国際協カプログラムについて、対象とする材料、計算手法、実験手段、相互比較、等について、種々意見の交換が行われ、まず最初のステップとして、何処の研究所でも、実験がやり易く、原子炉材料として、重要である鉄について、実験が行われることになった。又、検出器の標準化の必要性、解析のためのグループコンスタント、中性子源のスペクトラムの相違の影響等について議論が行われた。更に、この様な協カプログラムの実施に関して、各国での計画について意見が述べられた。又、各国でのベンチマーク実験結果の報告のためのフォーマットの議論が行われ、標準フォーマットが提案さ

いた。尚、夕方、放射化検出器についてのワーキンググループ会合がもちかれ、日本から、村氏が参加した。

11月19日。

前日に引きつづき、協力プログラムを遂行するための問題点について議論が行われた。まず、前日夕方に開かれた、ワーキング・グループの作業結果の報告が行われ、つづいて、解析のための共通は、グループセットについて、及び、系統誤差のチェックについての討議、目標精度 及び、スペクトロメータによる実験経験について意見が述べられた。

#### IV. 次回の会合。

次回の会合について意見交換が行われ、時期は、1975年6月頃、又、会合のテーマは、"Sensitivity Audies and Benchmarks" とすることになったが、これについては、の変更があり、1975年4月24、25日に、英国、ウインフリス研究所で、又、10月、パリで、専門家会議が開かれることとなった。

#### V. 総括。

最後に、本専門家会議での国際協力計画の討議の総括が行われた。その概略を以下に記述する。

- 1). 対象物質、鉄、黒鉛、ナトリウム、アルミニウム、等が、原子炉の構成要素として重要であり、実験の対象とする物質と考えられる。その中で、特に鉄は高価でなく、扱い易く、何処の研究機関でも実験しやすいので、まずこれを共通な対象物質とする。
- 2). 中性子源、a) 高速中性子源炉「弥生」(日本) TAPIRO (イタリー) HARMONIE (フランス)、b) 核分裂コンバーター、英国、ドイツ、イタリー、スイス等での、熱中性子炉。
- 3). 実験手段、a) 放射化法による測定、放射化箔としては、Al, Mn, Au, In, Ni, S, Va, Ph, Cu, W, 等があげられた。放射化法の規準化をする必要がある。b) カウンターによる測定、放射化法による測定と相補的なものとして重要である。カウンターによる測定について、既に多くの経験を持っている日本及び英国が分担する。
- 4). 解析手法、計算コードとして、ANISN, DOT, MORSE, を用いる。
- 5). 解析に用いる中性子断面積セット、ANISNの入力用として100群の断面積セットを用意する。これは、ドイツのHehn氏 及び、イスララのNicko氏が協力して作成する。
- 6). 相互比較、一次元の体系に対してANISNコードで計算する。カウンター及箔の交換をする。中性子源、測定法、較正法の規準化を行う。
- 7). 実験結果の集録、実験結果は、一定のフォーマットにして、イスララのESIS (European Shielding Information Service) (NEAの下部機構) に提出する。

## <帰朝報告>

オークリッジでの一年間

原研

平岡 徹

英国の Culham 研究所で開かれた IAEA 主催の Workshop からフランス、西ドイツをまわって、Oak Ridge に着いたのは、昨年2月末で、それから一年間、ORNL, Thermonuclear Division (TD と略称されていた) に籍を置いて、Tennessee の四季を楽しむことになった。もともとプラズマ物理など、全く知らない素人なので、まさに盲、蛇ではあったが、少しはプラズマに関した素人向きの仕事として、トカマク炉のエネルギーバランスを動的に考えてみようという事になった。

トカマク炉においては不純物がプラズマに混入すると燃焼時間が短くなることが予想されるために、不純物のない理想的な状態についてのこれまでのような静的なエネルギー評価は意味を失うことになり、動的な解析を必要とする。また、プラズマ内のみならず、プラズマを燃焼させるに直接必要な系(例えば、加熱系、マグネット系、排気系等)も含めて、エネルギーバランスを考慮しなければならない。小半径、3.6m、アスペクト比3.0のプラズマを有するトカマク炉を解析の対象としてえらび、炉系について0次元のモデルを立て、プラズマの加熱に始まり、ほぼ定常的な燃焼を経て停止し、排気燃料再注入という1サイクルについて、エネルギーバランスを調べた。第1壁内に存在する各種の粒子(プラズマ粒子、中性粒子、不純物粒子)の密度、およびエネルギーについて、時間依存の連立微分方程式を解き、それを基としてエネルギーバランスの解析を行った。このモデルには中性粒子による荷電交換、中性粒子の第1壁における反射の影響も含まれている。このモデルの解析の結果は次のようなものであった。

不純物が混入しない“きれいな”炉と、混入した“きたない”炉とではエネルギーバランスの様相が大きく異なる。きれいな炉では1000秒以上のほぼ定常な燃焼が可能で、全サイクルに亘ってのエネルギー増倍度 $Q$ は2~300に達し、平均電気出力も数1000 MWe も望み得、炉として成立し得る。一方、不純物対策を何策講じないステンレス鋼の第1壁の炉では、不純物の混入による radiation loss により、燃焼時間は10秒前後に落ち、 $Q$ も約10に止り、平均電気出力は1200~1300 MWe に低下する。この燃焼時間は第1壁の材料に極めて敏感であり、Nb, Mo は Fe に比べてはるかに悪く、C と言えども、最近報告されているような高いスパッタリング比では、当初考えられていたような救世主であるとは必ずしも言えない。勿論、ダイバーターや壁面の特殊な構造は、放出された不純物粒子をうまく捉えてくれるれば燃焼時間を延ばすのに有効である。不純物の蓄積により、自己加熱が出来なくなったプラズマを再加熱してやれば燃焼時間を延長できるがエネルギーバランスから見て必ずしも得策とは言えない。

きれいな炉およびきたない炉の何れにおいても、プラズマが充分、高い出力密度に達した後、低いエネルギーで燃料を供給してやる cold fueling への切り替えを行わないとプラ

ズマは "blow-out" を起して拡散してしまい、 $Q$  は極めて小さくなる。また古い炉では初めの加熱に、新しい炉に比して大きなエネルギーを要し、cold fueling への切り替へのタイミングも新しい炉より自由度が小さい。このモデルにおいてポロイダル磁場コイルおよび垂直磁場コイルに銅を用いた場合には、最大のエネルギー消費は新しい炉ではこれらのコイルにおけるジュール熱であり、また古い炉の場合は、各サイクルにおける加熱に費すエネルギーである。

このエネルギーバランスの解析を通して、我々、炉物理屋にも手をつけられる案に様々な研究テーマが存在することを知ったのは最大の収穫であった。

次に ORNL Thermonuclear Division (TD) の概要を述べてみよう。ここは Princeton Plasma Physics 研究所 (PPPL) と共に、米国におけるトカマク型装置についての研究の中心である。ORNL TD は、中2次大戦末期における原子爆製造のための強磁場による同位体元素分離に端を発しており、そのための敷地も ORNL 本部から離れた Y-12 にある。PPPL が純粋なプラズマ物理の研究の色彩が強いのに対して、ORNL TD は、総合研究所の一部内である特色を生かして、核融合炉を指向した研究体制を一層明確にとり始めた。

ここでは ORMAK というトカマク実験装置が研究センターの一つになっている。この ORMAK の他 EBT というミラーをトーラス状につけた実験装置を有している。ORNL TD の特色は先に述べたように将来の融合炉を目指していることで、その中心となるものに、中性粒子によるプラズマ加熱技術、超電導マグネットの開発、一次容器壁材料の検証がある。加熱技術はこの看板であり、ORMAK における実験で大きな成果を挙げている。また、超電導マグネット関係は cryogenic 技術も含めて FY1975 の予算が 3.3M\$ の巨額にのぼり、トロイダルマグネットのモックアップにとりかかっている。さらに、TD に何人かの Manager を置いて、ORNL の他の部門との連携を強めて、内題外を追求している。例えば、重要な問題であるプラズマ容器壁からのスパッタリングについては ORNL の Material Division および Metal & Ceramic Division に研究テーマを掲おして、予算の裏づけのもとに集中的に成果を挙げる体制をとっている。

将来計画に関しては、Advanced Systems Department を設けて、積極的に計画を押し進めている。その中には不純物の問題に主眼を置いた ISX (断面が正方形の小型トカマク) 計画 (ERDA に承認された)、超電導マグネットを用いた大型トカマク装置 TTA 計画 (現在、ERDA に proposal 中)、実験炉計画、さらには原型炉調査研究が含まれている。

これらすべての研究を理論面からバックアップするものに、Plasma Theory Department があり、25名のスタッフを有し、最近、急激に拡大して PPPL に追いつこうと努力している。その Theory Department に Plasma Engineering という group があり、Modeling Group と共に、実験炉のプラズマ設計を支援しているのも特長の一つである。

原研との大きな違いの一つに Division 全体にわたって、Union Carbide の Engineering Services の強力な支援があることがあり、新しいアイデアが TD で生れるとすぐに設計が行われ、短期間にそれが製造されてしまう (例、中1壁の honeycomb 構造)。これは研究を

進める上で非常に大きな力となっている。この他に研究の大きな支えとなっているものに専用の図書館があり、3人のスタッフがきめ細かいサービスを行っている。このように現在のORNL T Dは約80名のスタッフとほぼ同数のtechnicianの人員を擁し、ORNLの他のDivision及びUnion Carbideの強力なバックアップのもとで、核融合炉を目指した有機的な研究体制を整えたと言える。

最後に、彼等の研究体制の處について少し述べてみたい。ORNLに限らず、海外で研究生活を送った経験のおありになり方なら誰でも感じておられることであろうが、日本との研究環境の差は絶望的である。研究者には個室がつき、有能な秘書のサポートがあり、くだらない雑務から解放されて、トリ小屋の鶏よろしく、せつせつと卵を産むことに専念させられる。Supervisorの権限は絶対で、その考案のもとに下のものは研究テーマを決められる。その代り、Supervisorはその成果に一切の責任をもつ。この鶏は卵を産まなくなると首をしめられることも確かで、日本の雇用制度が海外で見直されていると言われて有頂天になっている我々ではこのような制度は通用しそうにない。日本のような終身雇用・年功序列制も一般の雇用形態としては、いろいろと良い点があるが研究者についてはどうであろうか。若い研究者の意欲を削いでしまい、従ってこのユニークな年功序列制の無失業者主義国から世界をリードするような成果が矢継ぎ早に生れるのはおもしろいだろうか。所詮、日本の社会構造が研究の分野では決して、世界の先頭を切って走れるようにはなっていない。常に二番手以降からついていくのに正にぴったりなであろう。

他の大きなハンデに日本の僻地性がある。ORNLにおける仕事は、自分の所のスタッフのみならず他の研究所(ヨーロッパも含めて)の非常に新鮮な成果(まだdraftの段階のものも多い)の上になって進めることが出来、且つ、自分のやった仕事に対するresponseが素早くはね返って次の研究に生かされる。普通に仕事をしていれば必ずと世界の先端に行く仕事となる。これ程、研究者冥利につまることがあるだろうか。このコミュニケーションのネットワークから日本が疎外されていることが何に起因しているか考えてみる必要がある。要は、彼等は日本からは何らcontributionを期待しなくても、彼等の間だけの競争で、仕事を進められるのである。もう一つに、日本は貧乏であるということがある。こういふと、日本は経済大国と思っ込んで居られる方々からお叱りを受けるだろうが、日本の経済が本当に巨大科学を充分にサポートしていただくだけの厚みを持っているかどうか、再検討してみる必要がある。研究の分野での無失業者主義も、日本がtry and errorの失業者許せる程に豊かではないからではないだろうか。

こういったものの見方は、誰しも海外の研究生活を送った者の一時的な気持のたかぶりで、半年もたてば消えてしまうものである。また消えれば日本では生きていけない。数々の妄言、お許しの程を。

## <研究室だより>

### 1. 東京大学工学部 原子力工学科 関口研究室

## 関口 晃

当研究室には現在大学院生として博士課程2名、修士課程3名が所属しており、さらに学部学生3名が卒業研究を行なっております。職員は関口教授、長谷川助教授、竹内助手、中沢助手の外、技官1名、秘書1名がおりますが、このうち竹内助手はブラジルサンパウロの国立原子力研究所に出張しており、2月初めに1年半ぶりで帰国する予定です。

当研究室では原子炉の計装や中性子スペクトル関係の研究を主に行なっておりますが、特に東海の弥生炉に関連したテーマが多く、例えば弥生炉を利用しての中性子スペクトロメータの総合比較や、高速中性子遮蔽の研究は他大学の人を含めた協力研究テーマとなっております。

現在まとりつつある成果としては、炉計装用のワイドレンジ高速ログアンプ(1μA入力で10MHz迄)や核分裂計数管の領域拡大化の新方式(計数率一定なようにディスクリ値を自動可変とし、その値から炉出力を得る広域パルス方式と直流再生方式を組合せたもの)、また放射化管の反応率から炉内照射物質の反応率を直接算出する方法を導出し、誤差解析を行った研究、あるいは高速炉体系内の中性子スペクトルをパラメータ表示して標準化をはかり、かつ実測値により確認した成果などがあります。ちなみに49年度に発表した報告例をあげておきます。

(発表論文)

A. Sekiguchi, S. Shiroyama, et al.: Development of the In-Core Neutron Detectors for the LMFBR, Proc. of Nuclear Power Plant Control and Instrumentation, 757-767, IAEA (1973)

I. Tai, K. Hasegawa, A. Sekiguchi: A Real Time Correlator with a Peak Detector, to be published to Jour. Sci. Inst.

関口、中沢、小佐古: 高速炉内中性子スペクトルのパラメータ表示、東京大学工学部紀要(A), 昭49

(口頭発表)

#### 1. 49年春原子力学会

田井、長谷川、関口: ピーク検出機構をもつ実時間相関器

小佐古、中沢、関口: 炉内中高速中性子のスペクトル表示

中沢、関口: 高速炉内における共鳴放射化管反応率の簡単な計算法

#### 2. 49年秋炉物理、炉工学講演会

小佐古、中沢、秋山、若林、関口外: 弥生中速中性子柱スペクトロスコピー

#### 3. 第12回原子力総合シンポジウム

関口: 商用発電炉における原子力計装の動向(最近の研究開発の動向)



## 2. Akcasu先生を迎えて

名大工学部 原子核工学科 玉河研究室

昨年5月初旬から6月末日までの約スヶ月間<sup>\*</sup>、Michigan大学のZiya A. Akcasu教授が、我々の研究室に客員教授として滞在された事を御存知の方も多いいことと存じます。それから早くも一年になろうとしており、いささか、遅過ぎたレポートの感じがしないでもありませんが、先生と同じ部屋に机を並べた一人として、当時の研究室の状況を、思い出すま以下に記してみようと思います。 \*この間、玉河教授は、ORNLへ出張中。

Akcasu先生は、炉雑音解析、液体による中性子の散乱、等、統計的手法を駆使する分野において、数多くの論文を発表しておられますが、我々の研究室では、今まで、この分野に関する活動を行っていませんでしたので、限られた期間内に出来るだけ多くの事を吸収するにはどうすればよいか、皆で話し合った結果、に科助教授以下、新4年生まで、事務職員を除く全員が、各自一編ずつAkcasu先生の論文を読み、紹介し合おうと云う事になりました。この事は又、紹介側の礼儀でもあると考えられました。

さて、講義についてですが、Akcasu先生の方から、「炉雑音解析について白紙の人を対象に、確率過程の初歩から始めて、雑音解析に関する最新の論文を読める所まで引っ掛けて行くつもりである。その為には、2時間単位で22~25回程度の時間が必要である。」と云う申し出がなされておりました。これに成えるため、大学院の炉物理の講義の時間(担当に科)、研究室の輪講の時間及び研究会の時間(月、火、木の午前中)を当てる事にしました。連休明け、いよいよ講義が始まってみると、心配されていた言葉の障壁も、理解の妨げになるほどではなく、これによる落伍者は一人もありませんでした。これは、毎回講義に先立って詳しいノートを配布された事、語彙をしぼって繰返し説明された事、明確な発音で意識してゆっくり話して下さった事等々、Akcasu先生の御甚かによる結果であります。又、単語と牛まねの混合物から成る質問或は意見に対しても、実に察しが早く、一種の能力を具えておられる感がありました。週3回の講義のためのノートの作成だけでも、相当のエネルギーと時間を必要とする上、原子力学会中部支部、同関西支部、原研、京大炉、学内、と、講演の準備にも急がしく、傍で見ている、体ももつかない気になる位の毎日でした。

日常の活動としては、講義の他に、研究室の一人一人と、その人の研究テーマについてdiscussionを行って下さった事も、我々にとって大きな贈物でありました。

勉強を離れた日常の接触においても、文学の話、宗教の話、三重県の多度へ祭りに見に行った時の事、前衛音楽を聞きに行った時の事、広島へ行って大きな感銘を受けられた事等々、研究室の一人一人の胸の内に忘れ難い思い出を残して、6月30日、残り1ヶ月の滞在先、東海大学へ向けられました。Akcasu先生の御滞在を契機として、先生の専門分野での研究が、我々の研究室に身生えなかつた事は、少々淋しくもありませんが、ゼロから出発してのスヶ月間では、無理からぬ事の様にも思えるこのごろです。伊藤 只行 記。

49年度「炉物理連絡会」収支報告

(収 入)			(支 出)		
費 目	金 額	備 用	費 目	金 額	備 用
前年度繰越金	24,002		会 議 費	11,300	4/2, 10/19 総会
会 費	239,700	48, 50年度会費を含む	通 信 費	20,730	
会報売上金	500	16号	雑 印 刷 費	8,400	
寄 付 金	4,000	古橋晃氏より	会報印刷代	110,000	Vol.17, Vol.18 (250部)
			原稿用紙代	3,325	
			小 計	153,755	
			次年度繰越金	114,447	
合 計	268,202		合 計	268,202	

編 集 後 記

最初予定していた通り、5月中に、充実した35頁の会誌を送り出せて、幹事校の世話人一同喜んでいきます。特に、お願した期限通り、学会年会前後のお忙しい折にも拘らず原稿を提出して下さい下さった方々に感謝致します。また、炉中性子利用季発表、国際会議報告、帰朝報告をセミナースペースに書いて下さった方々、どうも有難うございました。

京大臨界集合体については、多くの方々の文が、おのずから多様性のある共同利用形態を反映しています。私は、以前米国でボイド係数の測定と、炉心高速スペクトルの測定による決定を行いました。その時痛感したのは、制御台に座る人々が炉物理に興味を持っていないと、良い炉物理測定が出来ないという事でした。京大臨界集合体では、制御台の若い職員の方々が、積極的に測定をプランし、検討し、意見を言われるので、実験中頼み多く、嬉しく思いました。これらの方々は、現在大変忙しく、重い責任を持って居られますが、今後も活躍されることを期待し、応援したいと思えます。

夏の学校の計画もいよいよかたまり、幹事、幹事校一同、張切って準備を進めています。この後記の後に御案内と申込用紙を付けました。どうか奮って御参加下さい。

最後に、この会誌の年2回発行を守るためには、連絡会費未納の方は至急納入願います。現在の納入状況は、会員数190名中、49年度納入が87%、50年度納入が57%です。なお、48年度以前の会費未納の方々は、会誌の発送を中止させて頂きました。思しかう可御了承下さい。 1975. 5. 15 (仁科浩二郎 記)

本会主催、大学原子力教官協議会協賛  
第7回「炉物理夏の学校」の御案内

今年は、新潟県妙高高原において開校いたします。全国各地から、多数の会員が参加され、共に勉強し、討論し、またお互いの親睦を深められることを期待しております。

今回は、「炉雑音解析と原子炉診断技術」と、「原子力施設と環境問題」の2つのテーマについて行うことになりました。これらは共に、原子炉において重要であるにも関わらず、なかなか取り上げられる機会も少ない、ということで、昨年行いましたアンケートにも基づき、今回取り上げることになりました。

詳細は次の様ですので、お早めにお申し込み下さい。

- とき 7月23日(水)～7月26日(土)
- ところ 新潟県中頸城郡妙高村 妙高パークホテル TEL 025582-3141(代)  
信越本線関山駅下車バス接続
- プログラム
  - 第1日 7月23日(水)  
～19:00 集合, 夕食
  - 第2日 7月24日(木)  
開校挨拶 玉河 元 (名大)  
[ 炉雑音解析と原子炉診断技術 ]
    - 9:30～11:00 基礎概念 須田信英 (阪大)
    - 11:15～12:45 ゼロ出力炉への応用 須田信英 (阪大)
    - 14:00～15:30 高出力時の炉雑音解析と問題点 斎藤慶一 (北大)
    - 16:00～17:30 原子炉診断技術 その1. 炉雑音による解析法 西原英晃 (京大)
  - 第3日 7月25日(金)
    - 9:30～11:00 その2. その他の方法 西原英晃 (京大)
    - 11:15～12:45 雑音解析の現状と問題点, 国内外の動向 斎藤慶一(北大)
  - [ 原子力施設と環境問題 ]
    - 14:00～15:30 環境問題の概論 服部 学 (立教大)
    - 16:00～17:30 プルトニウム・ホット・パーティクル問題 松岡 理 (放医研)
  - 第4日 7月26日(土)
    - 9:30～11:00 ラスマッセン報告書について 都甲泰正 (東大)
    - 11:15～12:45 討論会
- 閉校挨拶
- 参加費 (テキスト代を含む)
  - 正会員 3,000円 学生会員 2,500円 非会員 4,000円
- 宿泊費 1泊3食付 3,000円 (うち300円は予約金)

○ 申込方法

別紙申込書に次のことを明記の上、参加費と宿泊予約金（1泊につき300円）を添えて下記申込先まで御返送下さい。

参加者氏名、所属、学会員の別、参加日と食事、

参加費と予約金の総額、朝食の和・洋の別

代表者の氏名と連絡先

○ 申込締切 7月5日(土)

尚、参加取消しの場合、前金は締切以前ならば返却、それ以後は返却できません。その場合、テキストは配布いたします。（ただし、定員約50名になり次第締切）

○ 問合せ、申込先

(〒464) 名古屋市千種区不老町 名古屋大学工学部原子核工学科

仁科浩二郎

(TEL 052-781-5111 内線 4680)

-----切 取 線-----

第7回「炉物理夏の学校」参加申込書

○ 参加者

氏 名	所 属	正会員 学生会員 非会員 } の別	朝参加日 朝 昼 食 ~ 朝 日夕 食 日夕 食	前 金	朝食の 和, 洋

計¥

○ 代表者の氏名と連絡先

氏名 ( )

連絡先 ( )