

# 炉物理の研究

(第 28 号)

1979年12月

## <特集>

稼動中の研究炉・臨界集合体における制御棒校正の現状	.....	1
1. JMTR	..... 中田宏勝	2
2. JPDR	..... 江連秀夫, 小林岩夫	5
3. NSRR	..... 大西信秋	7
4. FCA	..... 中野正文	9
5. SHE	..... 金子義彦, 秋濃藤義, 安田秀志	11
6. 「弥生」炉	..... 岡 芳明, 中沢正治	13
7. 立教炉	..... 原沢 進	15
8. 武蔵工大炉	..... 松本哲男	17
9. 近畿大炉	..... 三木良太	19
10. KUR	..... 藤田薫頭	21
11. KUCA	..... 林 正俊, 小林圭二	24

## <炉中性子工学研究専門委員会講演要旨>

1. 角度依存散乱スペクトルと熱中性子全断面積の測定	..... 相沢乙彦	26
2. スーパーミラーによる中性子導管の改善	..... 海老沢徹	28

## <トピックス>

SMORN-IIIの開催準備について	..... 西原英晃	31
--------------------	------------	----

## <講演要旨>

About Ultracold Neutrons	..... Albert Steyerl	34
--------------------------	----------------------	----

## <アナウンス>

ENDF/B 引用の際のガイドラインについて	.....	39
------------------------	-------	----

## <帰朝報告>

カールスルーエ原子力センター滞在の記	..... 高橋亮人	41
--------------------	------------	----

## <夏の学校報告>

1. 「夏の学校」の一巡を体験して	..... 古橋 晃	44
2. 炉物理夏の学校をふり返って	..... 山内章義	45
3. 炉物理夏の学校に参加して	..... 野村俊文	47
4. 炉物理夏の学校舞台裏奮戦記	..... 中込良広	49
5. 炉物理夏の学校を終えて	..... 神田啓治	51

## <報告>

KUCA 5周年記念講演会を終えて	..... 神田啓治	52
-------------------	------------	----

## <研究室だより>

(近畿大) 原子炉工学科炉物理研究室, (阪大工) 関谷研究室, (名大工) 加藤研究室, (船研・東海) 遮蔽効果研究室, (北大工) 井上研究室, (川崎重工) 原子力本部・開発1・2課	.....	54
----------------------------------------------------------------------------------------------------	-------	----

◇「炉物理連絡会 第24回総会」報告◇	.....	60
---------------------	-------	----

◇編集後記◇	.....	50
--------	-------	----

<炉物理連絡会会員名簿>	.....	61
--------------	-------	----

## 《特集》

### 稼働中の研究炉・臨界集合体における制御棒校正の現状

原子炉や臨界集合体の設置許可には超過反応度や制御棒の等価反応度等々において法的な規制値が伴っており、少なくとも使用前検査・定期検査においてはこれらを測定し、規制値を満足していることを確かめなければならぬ。このように法規で義務づけられた測定とは別に、各炉においては運転管理上の必要性或は実験研究上の必要性から必ず反応度の測定が行われている。反応度の問題は炉物理分野での重要な課題であり、数年前の原子力学会での指定テーマとなったことがあり、その時点でのまとめには“さらに解明すべき多くの問題が残っている”ことがあったと記憶している。その後の進展については興味があるが、今回の企画は研究上の進展に関するものではなく、現在稼働中の炉でどのようにして反応度の測定がなされているか、特に規制値の確認・各炉に特有な問題の処理の方法・今後の課題等について、各炉の主任技術者或はこれらの仕事をされている方から現状の報告をお願いした。

同種の仕事をしているものによって、各々炉型は異ってはいるが、他炉での経験や技術に関する情報は極めて有益である。又、一般会員の諸氏にも“現場での反応度測定”に興味を持って下さる方が多いと思う。

発電炉は対象外となったが、JMTRやJPDRの大型炉、弥生などのバルス炉、各種の臨界集合体などからの報告が集まり、内容は多様になった。

各報告は原則として次のようになっていた。

- I. 原子炉の構造等 (炉心の概要, 制御棒の概要, 規制値等)
- II. 制御棒校正 (測定法, データ処理, 補正等)
- III. 炉物理上の問題点, 研究課題等

(京大炉・藤田薫頭)

今号の特集中には、国内の全ての研究炉・試験炉・臨界集合体をとりあげたわけではない英をおこわりにお話びておきたい。その他に原研のJRR-2~4や勸燃等、重要な炉があり、編集の時間的制限や紙数の関係等で勝手ながらとりあえず以下の様な内容とさせていた。 (編集子)

J M T Rにおける制御棒校正の現状

原研 ( J M T R )

中 田 宏 勝

1 原子炉の構造等

J M T R は、熱出力 5 0 M W、軽水減速・冷却のタンク型汎用材料試験炉であり、昭和 4 3 年 3 月に臨界に達し、昭和 4 4 年 1 2 月から昭和 4 6 年 9 月まで 3 0 M W での照射運転を行ったのち、炉心構成の一部変更を行って以後 5 0 M W での照射運転を行っている。

炉心は直径 1, 5 6 0 m m、有効高さ 7 5 0 m m の円柱状で、2 2 本の燃料要素および燃料フォロアを有する 5 本のハフニウム制御棒から成る燃料領域と、それらを取り囲む多数のベリリウムおよびアルミニウム反射体から成る反射体領域により構成されており、高さ 9. 5 m、直径 3 m のステンレス鋼製圧力容器内に納められている。原子炉冷却水 ( 約 4 0 ° C ) は 1 4 k g / c m<sup>2</sup> G に加圧され炉心を下降しつつ燃料要素などの炉心構成要素を冷却する。制御棒を除く全ての要素は下端に取りつけられるアダプタにより圧力容器内の格子板に挿入され自立する構造となっている。燃料領域内および周辺のベリリウムおよびアルミニウム反射体には照射孔があげられており、照射試料を保持したキャプセル等が圧力容器上蓋を貫通して挿入される。キャプセルが挿入されない場合は同材のプラグが挿入される。

Table-1 炉心構成要素の主要諸元

燃料要素 (燃料フォロア)		ハフニウム吸収体	
未使用時U-235含有量	279 (195) g	外形寸法	63 <sup>□</sup> ×800
燃料板厚さ	1.27mm	吸収材厚さ	5mm
標準冷却水流路巾	267 (259) mm	駆動ストローク	800mm
ミート巾	62 (50) mm	駆動速度 (高速)	200mm/分
ミート部有効長	750mm	落下時間	約0.3秒

燃料要素は 9 3 % 濃縮ウランとアルミニウムの合金 (ミート) をアルミニウム合金で被覆した燃料板 1 9 枚を冷却水流路を確保して側板に固定したものであり、ハフニウム吸収体の下方に結合され制御棒が引抜かれたとき炉心に位置する燃料フォロアは若干小形ではある

が同じ燃料板を 1 6 枚側板に固定したものである。また、ハフニウム吸収体は内部を冷却水が流れるボックス形であり、燃料フォロアと一体となって圧力容器下方に設けられた制御棒駆動装置により上下駆動され、スクラム時には駆動装置との結合がはずされて自重および水流力によりハフニウム吸収体が炉心に位置するように落下する。炉心構成要素の主要諸元を Table-1 に示す。

Table-2 J M T R の核的制限値

	核的制限値	54年度定検実績
U-235装荷量	8kg以下	6.6kg
コールドクリーン換算過剰反応度	1.5%ΔK/K以下	1.02%ΔK/K
全制御棒挿入時実効増倍率	0.9以下	0.81
ワンロードスタッククライテリア	未臨界	未臨界

J M T R は照射炉であるため挿入される照射設備の種類や数、要求される照射運転期間によって炉心内の燃料要素、制御棒および反射体の種類と数を変える必要がある。このため、設置許可条件では安全対策上必要な範囲で Table-2 に示すような核的制限値が定められ、

これらの範囲内で任意の炉心構成を行ってよいこと

になっている。

現在は Fig - 1 に示すように 22 本の燃料要素と 5 本の制御棒で炉心を構成し、24 日間の 50 MW 運転を行っているが、24 日間の連続運転に必要な U - 235 量を一度に装荷すると Table - 2 に示す核的制限値をこえることはないが過剰反応度が大きくなり、運転の初期に制御棒が深く挿入される結果、中性子束分布に大きな歪を生じさせることになるため、12 ~ 16 本の燃焼燃料を装荷して運転開始時における U - 235 量を約 6.5 kg に抑え初期過剰反応度を 10% ΔK / K 程度にしている。Xe や Sm などの毒物蓄積効果と U - 235 の燃焼により、12 日間で全制御棒が上限となるため、炉を停止して燃料要素のうち燃焼の進んだものを新燃料と交換し、U - 235 装荷量を再び 6.5 kg にもどして残りの 12 日間の運転を行っている。

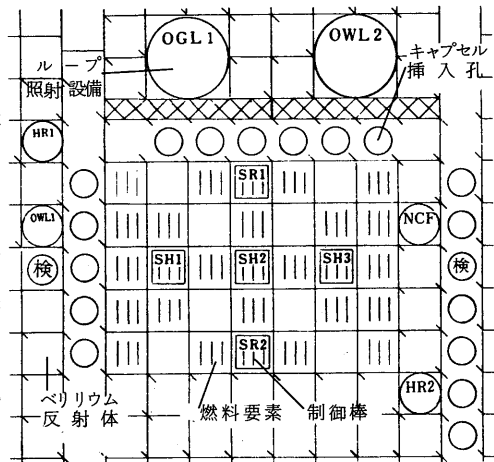


Fig - 1 J M T R 炉心の主要部

## 2 制御棒校正

J M T R では運転毎に照射設備や燃料要素の配置が変わるので、あらかじめ炉心の核熱計算を行って核的制限値が満足されること、燃料要素や照射試料の発熱量が安全限界をこえないことを確認するとともに、運転開始時に過剰反応度および停止余裕の測定とワンロードスタッククライテリアの確認を行っている。J M T R の炉心は小型で、制御棒の占める割合が大きいため、制御棒の位置が中性子束分布に与える影響が大きく、かつ相互干渉も大きい。従って、個々の制御棒の等価反応度を求め過剰反応度や停止余裕を求める代わりに、運転操作上あり得る制御棒の引抜パターンに従って反応度付加率を測定し過剰反応度を算出するとともに、全制御棒挿入時の投入反応度を求め停止余裕を算出している。

過剰反応度は、定期検査時には燃料追加法により、通常は定期検査時との臨界位置のちがいをペリオド法により校正して求めている。燃料追加法では、最小臨界炉心を組んだのち、燃料要素を 1 本ずつ追加するたびに運転中とは逆の順序で挿入される制御棒の区間についてペリオド法で校正し、求められた付加反応度から実効増倍率の増分を計算して加え、全燃料挿入状態での実効増倍率を求め過剰反応度を算出している。なお、過剰反応度は核的制限値および核計算結果と比較するため、計算により Xe, Sm, および長半減期 FP による吸収反応度を補正してコールドクリーン状態値に換算している。燃料要素を追加するたびに臨界点付近で測定される反応度付加率は、運転にともなって制御棒が引抜かれつつあるときの引抜位置での値に等しいことが実験的に確かめられている ( Fig - 2 )。

ペリオド法による反応度付加率測定は臨界から  $1 \sim 2 \times 10^{-2} \% \Delta K / K$  相当程度制御棒を引抜き出力を約 10 倍変化させ炉心の外側に配置された線型出力計指示の倍加時間を測定する方法で行っている。倍加時間を測定する出力範囲は温度上昇による効果と、燃焼燃料や構造材からのガンマ線によりベリリウム反射体から生ずる光中性子によるバックグラウンド ( 30 W 相当 ) の効果を最小にするよう 20 KW から 200 KW としている。この時、水温の上昇をさけるため、炉心には緊急冷却ポンプにより全出力時の約 1 / 10 の流量

を流すようにしている。なお、J M T Rではペリオ  
ド法を補完するため、J M T R Cで較正したアナロ  
グ型反応度計（専用の炉心外C I Cを使用）を使用  
しているが、指示値は倍加時間測定法による値と良  
く一致している。

停止余裕は通常の引抜パターンの臨界位置から手  
動スクラムにより全制御棒を落下挿入し、中性子束  
の時間減衰を測定する落下法により行っている。投  
入反応度はスクラム後10秒か  
ら70秒までの60秒間の起動  
チャンネルの積分計数とスクラ  
ム前の計数率の比から求めてい  
る。スクラム前出力は積分計数  
の統計誤差を小さくするため起  
動チャンネルの上限出力（20  
KW）としている。また、積分  
計数からは無限大時間経過後の  
バックグランド計数を差引いて  
補正している。3つの起動チャ  
ンネルは炉心外周に分散配置されて  
いるためスクラム前後で  
の中性子束分布の変化によりチャ  
ンネル間に差が出るが、3  
チャンネルの算術平均値を測定値  
としている。初臨界時に行  
ったパルス中性子法で得られた値  
との比較では良い一致を示  
している（Table-3）。

ワンロードスタッククライテリアでは、全制御棒挿入状態  
から、1本ずつ制御棒を上限まで引抜き、起動チャンネルに  
より未臨界を確認している。

### 3 炉物理上の問題点、研究課題等

多少の誤差は見込まれるもののJ M T Rの運転管理上確認すべき核的制限値は、ほぼ満  
足すべき精度で測定されているものと考えている。

なお、J M T Rには最大熱出力100Wの臨界実験装置（J M T R C）が付属しており  
、J M T Rの核的モップアップとして中性子束分布や反応度などの炉物理上の問題を解決  
するために用いている。核的制限値はJ M T Rと同一であり、同一の方法で過剰反応度や  
停止余裕の測定を行っている。ただし、使用する燃料は専用のもので、反応度測定は30  
～300mWの出力で、中性子束分布の測定は90Wの出力で行っている。J M T Rおよ  
びJ M T R Cとも現在の炉心構成について、 $\alpha = 105$ 、 $\beta_{eff} = 0.76\%$ と計算され  
ている。

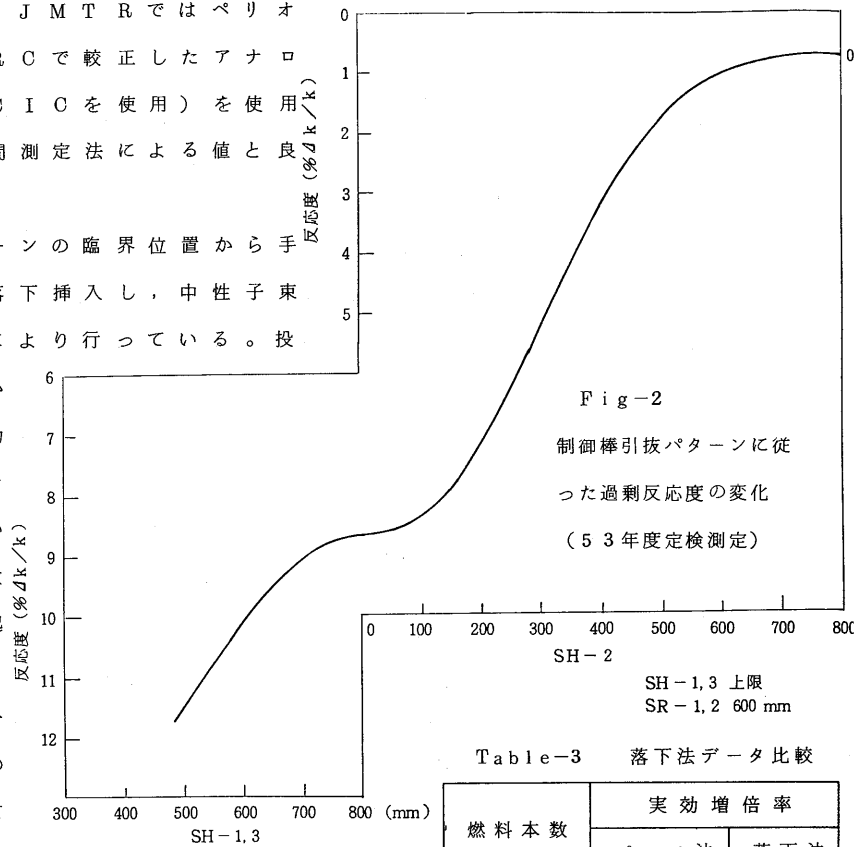


Table-3 落下法データ比較

燃料本数	実効増倍率	
	パルス法	落下法
15	0.660	0.679
16	0.673	0.720
17	0.677	—
18	0.703	0.740
19	0.737	—
20	0.782	0.796
21	0.791	0.803
22	0.805	0.818

## JPDRの制御棒フース測定

日本原子力研究所

江連 秀夫、小林 岩夫

1. まえがき BWRでは制御棒の較正は慣例でない。電気出力100KW級の商業炉は100本もの制御棒がある。研究炉のように数少ない制御棒がある炉心では、制御棒の引抜きパターンが限られ、制御棒のフース曲線は容易に求められるが、商業炉では数多くの制御棒の引抜きパターンがあり、一義的には制御棒のフース曲線は求められない。

また、BWRは炉出力でペリオド法、制御棒落下法、未臨界法、パルス中性子法等によって、反応度の測定が可能であるが、運転中の反応度の測定は、温度及びボイド効果のため困難である。むしろ、炉出力と制御棒引抜きとの関係が重要である。

BWRの制御棒について、(1)1本の制御棒がスタックしたときの反応度マージン(スタックロットマージン)(2)全制御棒が全挿入された時の反応度マージン(停止マージン)を定期的に測定し、それらを原子炉の運転の維持基準としている。

余剰反応度は制御棒の持つフースと臨界位置とから求められるが、制御棒が数多くあると、停止マージン、臨界位置等の測定結果と計算結果とを参照して確認されている。

2. スタックロットマージン BWRのスタックドマージンは、0.3%  $\Delta k/k$  以上であることが判定基準とされている。一本の制御棒を引抜き、その近くの制御棒を引抜き、臨界位置までの炉心の反応度の差を、制御棒落下法、未臨界法、ペリオド法及びパルス中性子法等で測定されている。

未臨界法 臨界の前後の制御棒のフースはペリオド法によって測定し、制御棒の挿入が進み、未臨界度が強い領域は中性子増倍係数を測定したデータから求める。炉心が大きくなると、部分的に制御棒が引抜かれた領域は臨界になり、他の残りの炉心は遮蔽材となつて、中性子検出器は中性子の増倍を正しく検出できない。従つて、中性子検出器の位置によって、スタックロットマージンの測定値もばらつく。

制御棒落下法 JPDRでは一本の制御棒を引抜き、<sup>の更に、</sup>その近くの制御棒を引抜き、臨界にして、後から引抜いた制御棒のみをスクラムさせ、スクラム後、30~90  $\mu$ cの中性子の計数と臨界時の計数率とを測定して、スタックロットマージンを求めている。この方法も未臨界と同様に、中性子検出器と引抜かれた制御棒の位置によって、中性子検出器によって、表2に示すようにスタックロットマージンの測定値に差がある。図1に中性子検出器と二組の引抜き制御棒(○印)を示す。

パルス中性子法 炉心の側面にパルス中性子源と中性子検出器を設置して、パルス中性子に対する中性子の減衰を測定して、King-Simonの法によって、反応度を求めた。パルス中性子法について、その場所依存の実験はしなかった。

また、スタックロットマージンは、炉心の燃焼が進むと一般に大きくなる。JPDRにおける測定結果を図2に示す。

3. 停止マージン 未臨界度が深い範囲の反応度変化を測定すると、特に測定誤差が大きくなる。停止マージンは制御棒落下法で測定されている。その結果を表3に示す。JPDR

では、臨界にする制御棒引抜きパターンは二つが採用され、その臨界位置の燃焼度依存特性が測定されている。その二つのパターンについて、停止マージンを測定した結果もそれぞれ検出器によって異なる。

4. その他の制御棒のフースの測定 J P D R では炉物理特性の測定をすることを目的として、最小臨界炉心、6×6、8×8燃料体炉心及び全炉心で、制御棒フースの測定をバルス中性子法及び未臨界法でおこなった。後者は測定誤差が多く、前者と差が大きい。

余剰反応度は直接求められないが、臨界位置の測定値として+βから、炉心の平均増倍率が求められる。制御棒が全引抜きしたときの幾何学バックリングを用いれば、余剰反応度を簡単に求められるので、すべての制御棒のフースを求めよ必要はない。

5. 問題点 大型商業炉では、J P D R のスタックロットマージンの測定でみられるように、反応度の測定に空間依存特性がある。これは出力炉の空間依存動特性として取扱う範疇であり、大型炉の具体的な例として、数値解析をし、問題点の整理をする必要がある。

我々は空間動特性の解析において、基本モードがパーシステントであると考えているが、これは Prompt neutron 及び正のペリオドを持つ系に対しては正しいとしても、未臨界では、Delayed neutron の減衰係数はモードによって、大差がなく、理論的に基本モードと高次モードが分離できたとしても、それらの測定では分離が困難である。更に、非物質になればなる程、スクラム時のモードの動特性が単純ではないので、Delayed neutron の基本モードがパーシステントになりにくくなるであろう。

表1 J P D R (BWR) の諸元

項目	J P D R 1	J P D R 2
炉出力	45 MW	90 MW
制御棒	16本	16本
燃料集全体	72体	72体
濃度	2.6%	平均2.6%
ポイズンカーテン	24枚	24枚
炉心冷却	自然循環型	強制循環型

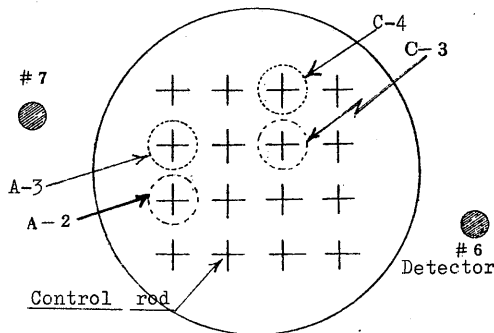


図1 スタックロットマージン測定の制御棒パターンと検出器位置

表2 スタックロットマージン(JP-1)(1966年3月)

制御棒引抜き	検出器	測定値
A3 Full out	B6	2.38% Δk/k
A2	B7	4.09
C4 Full out	B6	3.56
C3	B7	4.65

表3 停止マージン(1964年11月)

制御棒パターン	検出器	停止マージン
Normal	B6/B7	7.95 9.75 %Δk/k
gang	B6/B7	6.74 8.35

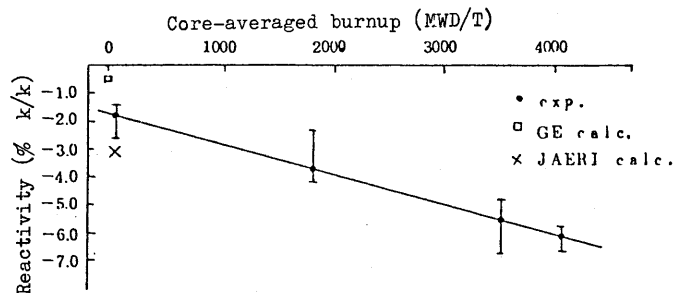


図2 スタックロットマージンの燃焼度特性

## NSRRの概要と制御棒校正について

日本原子力研究所

大西 信秋

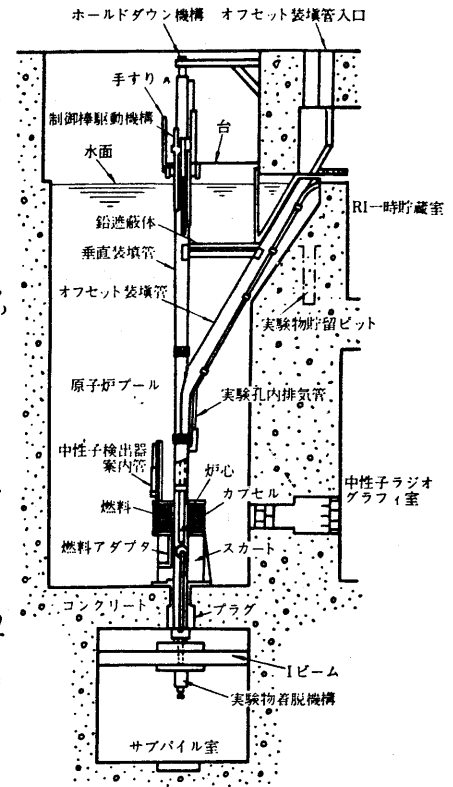
### I. 原子炉の構造

NSRRは軽水動力炉の反応度事故時の燃料挙動を実験的に究明することを目的として設置された安全性研究用ペルス炉である。本炉は、3本のトランジエント棒の急速引抜きにより、最大4.7 $\beta$ までの反応度投入が可能で、最大投入反応度におけるペルス性能は、ピーク出力約21000MW、積分出力約130MW $\cdot$ sec、最短炉周期約1.3msecである。炉心は、TRIGA-ACPR (TRIGA - Annular Core Pulse Reactor) を一部改良したもので、Fig. 1に示すように、中央部に直径約23cmの正六角形の実験孔とそれを取囲む15本の燃料要素および計11本の制御棒から構成されている。燃料要素はU-ZrHミート、SUS被覆の棒状燃料である。Fig. 1に示すように、炉心は深さ約12mのスイミングプールの底部に設置されており、自然対流によって冷却されるようになっている。なお、NSRRの主要諸元をFig. 2に示す。

ペルス出力を発生させる3本のトランジエント棒は、吸収材がB<sub>4</sub>C、被覆がアルミニウム製である。これらは圧縮空気により約100msecで炉心領域から引抜かれる。3本のトランジエント棒のうち、2本は高速トランジエント棒であり、残りの1本は調節用トランジエント棒である。調節用トランジエント棒は、空圧シリンダ高速引抜き方式とラックピニオン方式の2種類の駆動機構からなり、ペルス運転前の引抜き位置を変えることにより投入反応度を調節できるようになっている。高速トランジエント棒は、全長が炉心高さの約2倍になっており、吸収材部分が炉心領域から引抜かれるまでにある程度の初速度が与えられ、極く短時間で反応度が投入できるように工夫がなされている。安全棒および調整棒は全長約166cm、直径約3.8cmの燃料フォロー型 (B<sub>4</sub>C吸収材、SUS被覆) である。なお、Fig. 2にNSRRの主要な核的制限値を示す。

### II. 制御棒校正<sup>(1)</sup>

NSRRにおける制御棒校正は、一般的に用いられているペリオド法、比較法および落下法を用いて行われた。高速トランジエント棒については、ペルス炉の特徴を生じてペリ



第1図 炉心本体断面図

第2表 NSRRの主要諸元

型 式	スイミングプール円環炉心定出力ペルス両用炉	
熱出力	定出力	300kW
	ペルス 瞬間最大出力	21, 100MW
炉 心	有効高さ	約38cm
	等価直径	約63cm
燃料棒	種 類	濃縮ウラン-水酸化ジルコニウム
	形 状	丸棒 (約3.56cmφ × 約38cm)
	ウラン濃縮度	20%
	H/Zr原子数比	1.6
	燃料要素数	157本
被 覆 材	SUS 304	
制御棒	安全棒	2本
	調整棒	6本
	トランジエント棒	3本
減速材	水酸化ジルコニウムおよび軽水	
反射材	半径方向	軽水
	軸 方 向	黒鉛および軽水
炉容器	スイミングプール 縦 3.6m、 横 4.5m、 深さ 12m	

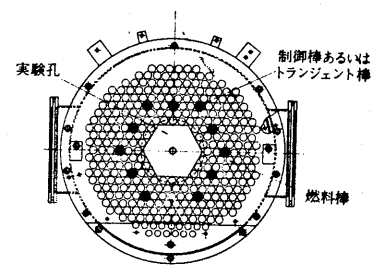


オド法が用いられた。また、調節用トランジエント棒、安全棒および調整棒については、落下法を主体とし、代表的なものについてペリオド法により微分曲線が求められた。特徴的なことは、調整棒6本のバンクにおける較正曲線が最小臨界炉心から標準炉心に構成中に求められたことである。その方法は、安全棒およびトランジエント棒がすべて全引抜きで臨界状態にある炉心から1本のトランジエント棒を全挿入して燃料要素を1本追加し、その後全挿入のトランジエント棒を急速引抜きし、ペリオド法により燃料要素1本の反応度を測定する。次に、調整棒6本をバンクで挿入して再臨界とし、挿入量と反応度の関係を求める。以上のようにして測定した較正曲線は、最終炉心におけるものではないが標準炉心において測定した部分的なバンク較正曲線と比較的よく一致した。

測定においては、制御棒と検出器の位置関係による差異をさけるために、各制御棒間および制御棒と検出器の位置の対称性が得られる炉心中央部の実験孔内にCエCが設置された。CエCからの信号は、反応度計およびペンレコーダに導びかれ、ペリオドの直読および2倍時間の測定により反応度が求められた。また、トランジエント棒の反応度較正には、原研において開発された高速応答の対数出カ-ペリオト計と伝播時間が無視できる1線検出器が用いられた。

### III. 炉物理上の問題点、研究課題

制御棒落下が完了し、中性子束分布が歪み基本モードのみの分布になった状態における出力減衰曲線は空間依存性が少ないというところに着目して考えられた改良落下法により行われた反応度較正の測定結果は、ペリオド法による測定結果ともよく一致した。今後の課題として、改良落下法による測定では1点近似動特性コードの計算結果が用いられたが、さらに精度をあげるために空間依存動特性コードの適用が考えられる。また、動特性計算コードに用いられる $\beta$ 等の動特性パラメータの精度をあげる必要がある。次に、パルス運転における投入反応度は3本のトランジエント棒の組合せにより最大約4.7本まで連続的に変えることができるようになっているが、実際的には、トランジエント棒1本から2本になる場合、2本の場合から3本になる場合で反応度が不連続になり、組合せによって炉心内の中性子束分布が変化し、反応度に影響することが明らかとなった。この問題については、他の安全棒、調整棒のパターンおよび高さ位置等を変えることにより、3本のトランジエント棒の反応度がどのように変化していくか検討していく考えである。



第2図 NSRR 炉心構成図

第2表 主要な核的制限値

最大過剰反応度	0.073 $\Delta K$	以下
停止余裕 (最大反応度制御棒1本引抜時)	0.01 $\Delta K$	以上
トランジエント棒による最大挿入反応度	0.0343 $\Delta K$	以下
実験物による最大の負反応度	0.0256 $\Delta K$	以下

### IV. 参考文献

- 1) 安全工学部, NSRR管理室, 反応度安全研究室, NSRR 臨界および特性試験報告, JAERI-M 6791, 1976.
- 2) 富井裕三, 他, J. At. Energy Soc. Japan, Vol. 19, No. 11 pp 763~765 (1977)

# FCAにおける制御棒校正

原 研

中野正文

## [ FCA制御棒の概要

高速炉臨界実験装置FCAは水平2分割型の格子管集合体であり、燃料板や希釈材、冷P材等の種々の模擬板を装填した引出しを格子管集合体に装荷することにより体系が構成される<sup>(1)</sup>。格子管集合体は固定側1/2集合体と移動側1/2集合体に分かれており、引出しは通常両1/2集合体に等分して装荷される。反応度制御系として、両1/2集合体ごとに1組の制御棒と最大6組の安全棒が設置され、1/2集合体の後方から水平方向に駆動するが、最大の特長は燃料引抜き方式を採用していることである。したがって、通常の臨界状態では安全棒は完全挿入であり、制御棒のうち余剰反応度に相当する部分のみがボイド状態で残ることとなる。駆動装置(ストローク600mm,挿入・引抜き速度1mm/sec)は一種類であり、制御棒と安全棒の区別はない。したがって、制御棒と安全棒の入れかえが容易にできる。なお、スクラム時には、圧縮空気により、200msec以内に全制御棒および安全棒のストロークの80%が抜け、同時に1/2集合体が分離する。

炉心構成の核的制限値を表1に、最近の実験体系の一例としてFCA VIII-2集合体の炉心断面図をFig.1に示す。VIII-2集合体は中心にPu燃料の試験領域があり、その周りを<sup>235</sup>U燃料のドライバーと劣化ウランから成るブランケットで囲んだ円筒体系で炉心高さ(軸方向長さ)は約1000mm(1/2集合体ごとに約450mm)である。本炉心では両1/2集合体ごとに、1組の制御棒と3組の安全棒がドライバー領域に設けられている。各制御棒、安全棒は引出し2本で構成され、2本1組の引出しを1個の駆動装置で駆動する。制御棒および安全棒の軸方向位置は1/100mm単位で表示されるが、引出しの位置精度(表示と実位置との差)は±0.05mm以内である。制御棒、安全棒用の引出しには通常燃料模擬物質板が装填されるが、限られた引出し本数で核的制限値を満たすために燃料濃度が周辺に比べて濃くなる場合が多く、VIII-2集合体では<sup>15</sup>Uの濃度がドライバー領域に比べて約1.4倍の特異性になっている。しかしながら、制御棒安全棒を炉心の断面に内外接する円環領域に一様に分散させた簡単な計算により制御棒、安全棒の反応度価値が十分な精度で予測できる。

表1 炉心構成の核的制限値

制限事項	基準値
全制御棒等価反応度	0.5%Δk/k以上
全安全棒等価反応度	2%Δk/k以上
最大過剰反応度	0.8ドル以下
定着時における体系の未臨界度	0.5%Δk/k
制御棒反応度付加率	0.01%Δk/k/秒以下

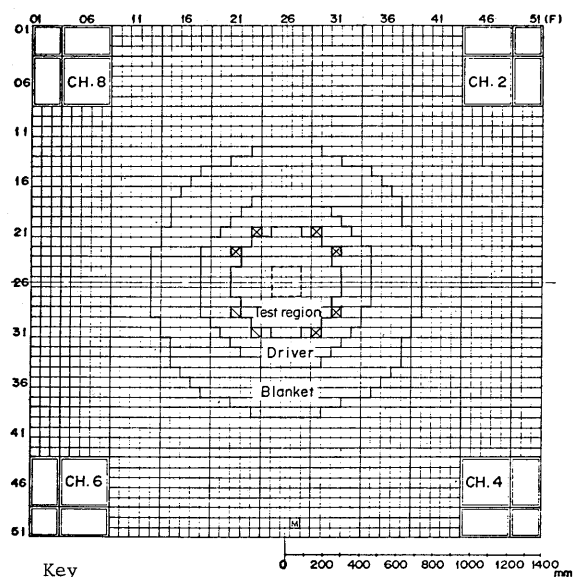


Fig.1 Vertical cross section of FCA Assembly VIII-2

## II. 制御棒校正

FCAにおける通常の制御棒校正は、基準反応度値 $\rho_0$ を単位にした比較法による校正曲線の測定と $\rho_0$ の絶対値即ち反応度スケールの測定とに分けることができる。基準反応度値としては制御棒と干渉効果の少ない位置にある安全棒の完全挿入からストローク50mm程度を選ぶ。炉心高さ900mmの体系ではこのストロークはペリオド100秒強に相当する。制御棒の位置精度は0.05mmなのでこの出し入れに伴う誤差は0.1%のオーダーである。2本の制御棒の校正曲線は基準反応度値 $\rho_0$ の出し入れに伴う反応度変化を2本の制御棒を用いて交互に補償することによって $\rho_0$ 単位で逐次求められる。Pu体系では崩壊による発熱のために集合体は強制空冷されている。しかしながら、 $1/2$ 集合体の分離時と密着時では冷却風の流れるために $1/2$ 集合体の密着により炉心温度が変動し、密着後2時間以上経過した後でも温度変化による反応度ドリフト効果として $1\rho_0$ に対して最大0.5%程度の補正が必要になる場合がある。なお、炉出力に対して90%程度のbacking current sourceを用い、出力変動を拡大して制御することにより、臨界点を制御棒位置0.05mm以内で決定することは困難ではない。

基準反応度値 $\rho_0$ の絶対値はペリオド法によって校正する。ペリオドは、格子管集合体の4隅に設置されている核計装のうちの線形出力計(Ch.6)による出力のdoubling timeをストップ・ウォッチで測定して求める。測定は通常所定の出力レンジで最低3個の独立した出力中で行うが、測定値のバラッキは0.3%程度である。Pu体系では自発核分裂による外部中性子源を体系から取り除くことができないために、ペリオドの測定は外部中性子源の影響を無視できる程度にまで出力を上げて行う必要がある。通常の臨界バランスの決定は炉出力1W程度で行うが、この出力は例えばVIII-2集合体では $0.1\rho_0$ 以上の未臨界状態である。そのために、まず中性子源がない場合の臨界点を外挿により求め、その体系にさらに基準反応度 $1\rho_0$ を投入することになるが、測定すべき $1\rho_0$ に対して外部中性子源の影響を0.1%以下にするためにはdoubling timeは炉出力100W以上で測定しなければならない。

基準反応度値の絶対値( $\Delta k/k$ 単位の値)はペリオドの測定値から逆時間公式によって算出する。遅発中性子データとしてはTomlinsonの評価した値を用いることが多い。遅発中性子の割合 $\beta$ は核種(Pu,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ )によって大巾に異なるために、Pu燃料とU燃料を併用した体系ではソースデータの不確か他に、体系の実効値を求める際の計算精度も問題になってくる。遅発中性子データに依らない反応度スケールの校正方法としてFCAでは燃料組成密度係数法による測定が行われている。この方法は、体系を構成する燃料(Pu,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ 等)の一樣な微小密度変化による反応度効果は計算精度が極めて高いことを利用して、基準反応度 $\rho_0$ を単位に測定した燃料密度係数を計算値に規格化して反応度スケールを決める方法であり、絶対精度は1~2%程度と考えられている<sup>(2)</sup>。いくつかの炉心における実験の結果、Keepinの $\beta$ 値を用いた場合、ペリオド法は密度係数法に比べて反応度スケールを5%以上小さく見積るが、Krick-EvansやTomlinsonのデータを用いた場合、両者の違いは3%以内であった。

### 参考文献

- (1) J. Hirota et al.: JAERI-Fast Critical Facility, ANL-7320, P776~784 (1966).
- (2) 飯島 勉 他 : FCA VII-2 集合体の臨界実験, JAERI-M 7888 (1978).

# 空間積分法による大きな負の反応度の決定

原 研

金子義彦、秋濃藤義、安田秀志

未臨界体系の反応度を1点炉モデルに基づいて測定する場合、実験方法や検出器位置によって測定結果がしばしば異なる。この問題を解決し、体系の状態に固有な反応度を求める方法として空間積分法による各測定法の改良が提案され(1)、平均値臨界実験装置SHEを用いた実験によりその有効性が示された。

空間積分法では、体系のロスに等しい反応断面積を持つ中性子検出器を用いて測定した応答の空間分布を、体系の静的な核分裂中性子のインポートランスを重みとして、体系全本にわたって積分する。この積分操作により、測定データに含まれる空間的な高調波成分の動的歪曲による効果が消去される。その結果、第1表にまとめられているように、従来の1点炉モデルの場合と相似な評価式を使って反応度を正確に求めることができる。

この方法を黒釜減速20%濃縮U平均値体系(SHE-T1炉心、 $C/^{235}\text{U}=6624$ ,  $C/^{232}\text{Th}=2560$ ,  $\beta_{\text{eff}}=0.0067$ )における多数本制御棒反応度効果の測定に適用した結果を第2表に示す。各点の反応度観測値は、第1図に示すように測定位置に強く依存し、また、測定方法間でも系統的な差が大きかった。しかし、空間積分法を適用するとこれらの不一致は注目し値するほど解消し、次のような結論が得られた。

第1表 空間積分法による反応度評価式

測定方法	1点炉	空間積分法 <sup>(4)</sup>
パルス中性子法 <sup>(1)</sup> (面積法)	$\frac{\rho}{\beta_{\text{eff}}} = -\frac{A_p(r)}{A_d(r)}$	$\frac{\rho}{\beta_{\text{eff}}} = -\frac{\bar{A}_p}{\bar{A}_d}$
中性子源増倍法 <sup>(2)</sup>	$\rho = -\frac{S}{A_t(r)}$	$\rho = -\frac{\bar{S}}{\bar{A}_t}$
制御棒落下法 <sup>(3)</sup> (中性子源引抜法)	$\frac{\rho}{\beta_{\text{eff}}} = -\frac{A_c(r)}{\lambda A_r(r)}$	$\frac{\rho}{\beta_{\text{eff}}} = -\frac{\bar{A}_r}{\lambda \bar{A}_r}$

注(1)  $A_p(r)$   $A_d(r)$ はパルス中性子投入後、即発中性子モードが遅発中性子モードで減衰する核分裂中性子数の曲線下の面積

(2)  $A_t(r)$ は炉心における核分裂中性子数  $S(r, v)$  は中性子源の強度であり  $S = \int_0^{\infty} S(r, v) dv$

(3)  $A_c(r)$ と  $A_r(r)$ 制御棒落下前の核分裂中性子生成率と落下後の核分裂中性子数

(4) 空間積分法の欄の各量の上に付した $\bar{\phantom{x}}$ は  $\int_0^{\infty} N_s^+(r, v) f_s(v) dv$ を重みとする空間積分量を示す。ここに、 $N_s^+(r, v)$ : 静的共役関数  $f_s(v)$ : 核分裂スペクトル

1) 各測定方法による反応度  $\rho_{\text{RKS}}$ ,  $\bar{\rho}_{\text{ST}}$ ,  $\bar{\rho}_{\text{SM}}$ ,  $\bar{\rho}_{\text{ROD}}$ の間の系統的な相異は殆んど消失し、約-50ドルまでの相異が5%以内となった。

2) 6S炉心においては安全棒が非対称に挿入されたにも拘らず、 $\rho_{\text{RKS}}$ ,  $\bar{\rho}_{\text{ST}}$ ,  $\bar{\rho}_{\text{SM}}$  および  $\bar{\rho}_{\text{ROD}}$ は互いにかなりよく一致した。

3) 核分裂中性子のインポートランスを1とおいて空間積分を実行すると、Vandeplasの提唱したPlain integration method<sup>(2)</sup>となる。これを今回の実験データについて実行した結果は表2中の( )内に示したが、 $\bar{\rho}_{\text{ST}}$ と  $\bar{\rho}_{\text{RKS}}$ の一致はよいが  $\bar{\rho}_{\text{SM}}$ はこれらの値とく、違いが出た。 $\bar{\rho}_{\text{SM}}$ の不一致の原因は中性子源のインポートランスを正確に評価しなかったことにあり、8群計算が精密に随伴関数を求めて空間積分を行った結果は(1)にも述べた通り良好な値となった。<sup>(3)(4)</sup>

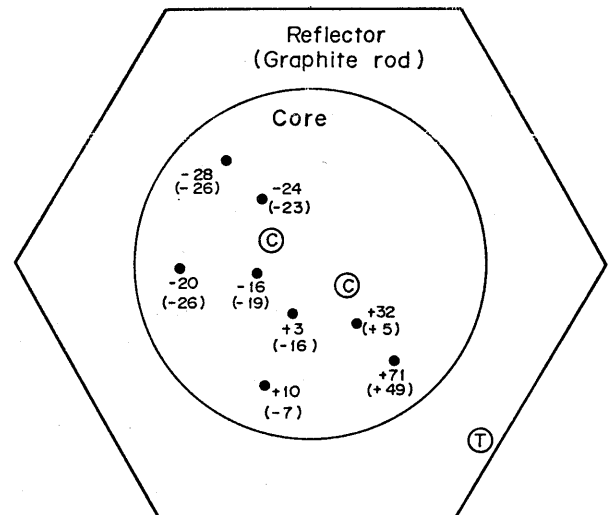
References

- (1) Kaneko, Y. : J. Nucl. Sci. Technol., 4(8)400~407(1967).
- (2) Vandeplas, P. : Proc. Symp. Petten, Dec. 12-19  
RCN-555, p.555(1967)
- (3) 投稿中 J. Nucl. Sci. Technol.
- (4) 投稿中 ibid

第2表 多数本の制御棒の挿入された  
SHE-TI炉心の負の反応度  
の空間積分法による測定結果

Core configuration	Measured value (1) (\$)					
	Pulsed neutron (2)			Source multiplication $\beta_{SM}$	Rod drop $\beta_{ROD}$	Substitution by fuel rods worths
	$\rho_{KS}$	$\rho_{RKS}$	$\bar{\rho}_{SJ}$			
0C	0.649	0.861 $\pm 0.044$	0.799 $\pm 0.012$ (0.792)	—	—	0.811 $\pm$ 0.020
1C	11.8	17.7 $\pm 0.6$	18.5 $\pm 0.4$ (18.4)	17.8 $\pm 0.4$ (19.47)	—	—
2C	19.2	34.4 $\pm 1.4$	34.2 (33.8)	33.7 $\pm 1.4$ (38.7)	—	—
3C	23.2	48.4 $\pm 2.6$	51.6 $\pm 2.1$ (50.7)	47.0 $\pm 2.7$ (57.9)	—	—
6S	11.3	12.2 $\pm 0.4$	13.2 $\pm 0.5$ (13.8)	13.0 $\pm 0.5$ (14.3)	12.1 $\pm 0.5$ (12.9)	—

- (1) The reactivity values listed here are corrected to the reactivity change due to insertions of detectors (7.3¢ at 2.31cm) as well as Am-Be neutron source (3.3¢ at core center). The reactivity values in parenthesis stand for ones with the adjoint function weights being unity.
- (2) The value of  $\alpha_c$  used is  $6.02 \pm 0.12$ .
- (3)  $\rho_{KS}$  and  $\rho_{RKS}$  are determined by using the one point formulas.
- (4) The reactivity values of 6S core are normalized to the value of the core loaded with 94 fuel rods.



◎ 実験用制御棒挿入位置

中性子検出器は1/2集合体束着面から40cm離れた面上およびさらに40cm離れた面上に置かれた。( )内の数値は後者の場合を示す。また、この炉心の反応度-34.2¢は以上の16個所において観測された中性子検出器の応答から空間積分法による測定された。

第1図

SHE-TI炉心におけるパルス中性子法(面積法)による負の反応度測定結果の検出位置による依存性の百分率表示

# 東大「弥生」炉の制御棒校正

<特集>

東大工学部

岡 芳明, 中沢 正治

## I. 「弥生」炉の構造

図1に「弥生」炉心構成を示す。炉心燃料は約 $12.4\text{cm}^3$ のディスク状の93%濃縮ウラン3体より成っている。これを劣化金属ウランブランケット(約 $10\text{cm}$ 厚)がとり囲みさらにこれを鉛の反射体でとり囲んでいる。制御棒は合計6本あり、すべて劣化ウラン金属製である。これらの制御棒はブランケット中を水平方向に駆動され、ストロークは $200\text{mm}$ である。1.安全ブロック( $120\phi \times 102\text{mm}$ ), 2.安全棒( $55\phi \times 233\text{mm}$ ), 3.シム安全棒( $55\phi \times 233\text{mm}$ ), 4.シム棒1( $60\phi \times 233\text{mm}$ ), 5.シム棒2( $45\phi \times 233\text{mm}$ ), 6.調整棒( $40\phi \times 233\text{mm}$ )の寸法を持ち、ナット式のホールねじ機構で $2\text{mm/sec}$ の速度で挿入される。これらのうち、安全ブロック、安全棒、シム安全棒は電磁力で押しつけたスプリングを開放することによりスクラム動作が行える。シム棒1は弥生の6ヶ所ある運転位置の違いによる反応度の変化を調節するためのもので、運転位置により挿入深さが決ま、これより運転中は動かさない。シム棒2と調整棒が、運転のための細かい反応度調整に使われる。これらの制御棒の反応度制御能力は表1に示すとおりである。

図1. 「弥生」炉心部構成と制御棒配置

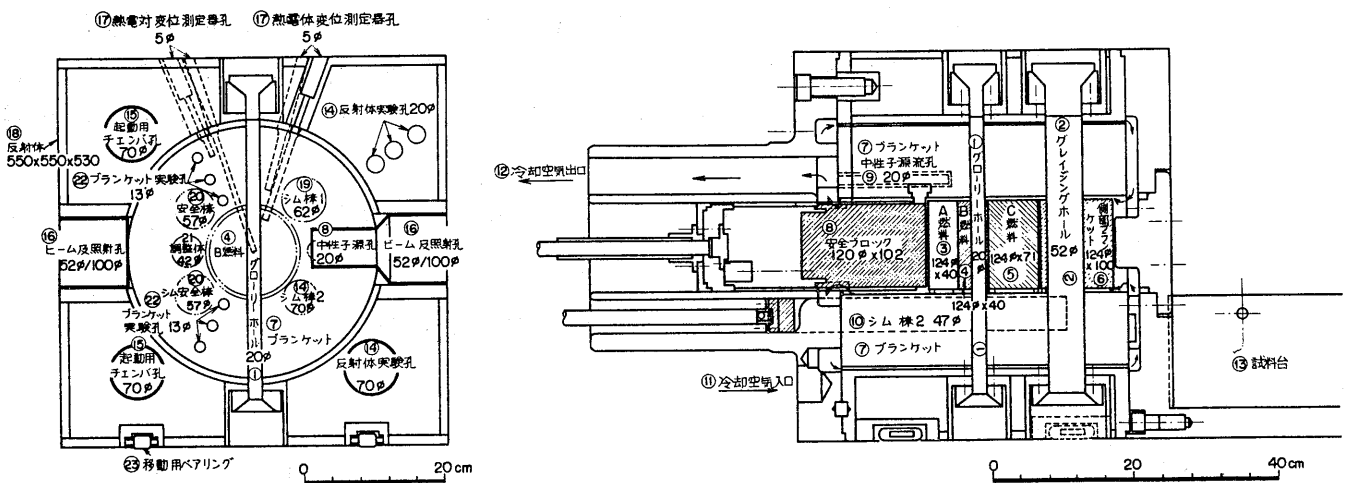


表1. 「弥生」制御棒反応度制御能力(規制値)

	反 応 度	反 応 度 変 化 率
安全ブロック 安 全 棒 シム安全棒	合計 $3\% \Delta K/K$ 以上	各約 $0.016\% \Delta K/K/sec$
シム棒 1	最大 $1.1\% \Delta K/K$ , 最小 $0.8\% \Delta K/K$	約 $0.021\% \Delta K/K/sec$
シム棒 2	最大 $0.7\% \Delta K/K$ , 最小 $0.4\% \Delta K/K$	約 $0.011\% \Delta K/K/sec$
調 整 棒	最大 $0.7\% \Delta K/K$ , 最小 $0.3\% \Delta K/K$	約 $0.008\% \Delta K/K/sec$

「弥生」の制御棒の特徴は乏の炉心スペクトルが極めて硬いため、中性子の漏れを制御していることである。そのため通常の吸収体制御棒とはことなり、制御棒を炉心に挿入すると反応度が印加され、引き抜くと炉は停止する。

なお、「弥生」は非定常運転・反応度パルス運転を行うので、その目的のための反応度投入機構が、これ以外に6種類ある。

## II. 制御棒の校正

制御棒の校正は、ペリオド法、置換法により行っている。安全棒関係の3本については、落下法を用いている。データ処理は、遅発中性子6群の動特性方程式をもとに解析を行っている。

## III. 制御棒校正上の問題点

「弥生」は小さい炉心に制御棒が集中しているので、制御棒の干渉が問題となった。図1に示すように、調整棒と安全棒、シム安全棒とが隣接している。定常運転の場合は、安全ブロック、安全棒、シム安全棒は完全挿入されているので問題はないのだが、非定常運転を行う際にはシム安全棒を完全挿入せず、調整棒で投入反応度の測定と臨界調整を行う。ところが非定常運転（遅発起臨界、即発未臨界の運転）で得られた Doubling time から求めた、投入反応度素子の反応度と、static に調整棒との置換で求めておいた反応度が若干異なることが判明した。そこでシム安全棒の挿入深さをパラメータとして、調整棒のトータルワースを非定常運転のダブリングタイムより校正する方法で求めるところ、図2の結果が得られ、シム安全棒と調整棒に干渉があることがわかった。ここに示すように、シム安全棒の挿入深さが浅いほど、調整棒のトータルワースが下がっており、シム安全棒が完全挿入されず、ボイドができて、その影響で近傍にある調整棒のトータルワースが下がることかわかる。

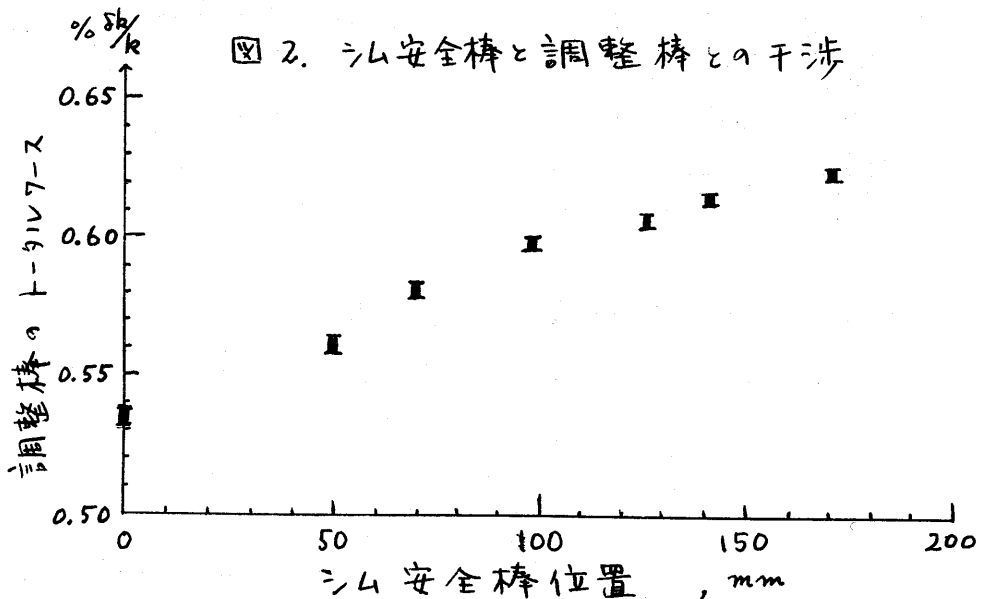
なお、即発起臨界にする反応度パルス運転では、投入反応度の正確な測定は、パルス出力規模の精度を左右するので、重要である。

又燃焼に伴う問題、炉心変更に伴う問題は、「弥生」の場合生じない。

### 参考文献

(1) H. Watabayashi et al.  
"Operating Experience of YAYOI" Proc. US/JAPAN seminar on Fast Pulse Reactors, Tokai, Jan. 19-23, (1976) p.138.

(2) 高速中性子炉「弥生」の機構概要、昭和47年11月  
東大・工・原力工研研究施設  
原子炉管理部。



立大原研

原沢 進

1. 原子炉の構造

1.1 炉心 炉心の概要を図1に示す。炉心は燃料-減速棒と冷却水により構成されている。燃料-減速棒と冷却水との体積比は、ほぼ1である。冷却は自然対流により行なわれているので、冷却管は無い。冷却水は減速材としても働いている。燃料要素中のU,ZrおよびHの比と重量を表1に示す。また、現在までの炉心の燃料-減速棒装荷記録を表2に示す。

1.2 制御棒 制御棒は3本ある。それぞれ、安全棒、シム棒、および調整棒と名付けられている。すべてB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>で作られており、外径31.7mm (1-1/4"), ストロークは、炉心の高さより約7%長い380mm (15")である。駆動はウォーム・ギアにより行なわれ、スクラム時には重力により冷却水中へ落下する。安全棒とシム棒は共に中心より約80mmはなれた位置にそう入されており、それぞれ1本のみで過剰反応度を十分抑制できる。調整棒は中心より約160mm離れた位置にそう入されていて、1本では過剰反応度を抑制することは出来ないが、出力の制御に用いられている。

表 1

燃料-減速棒中のU-Zr-H合金部

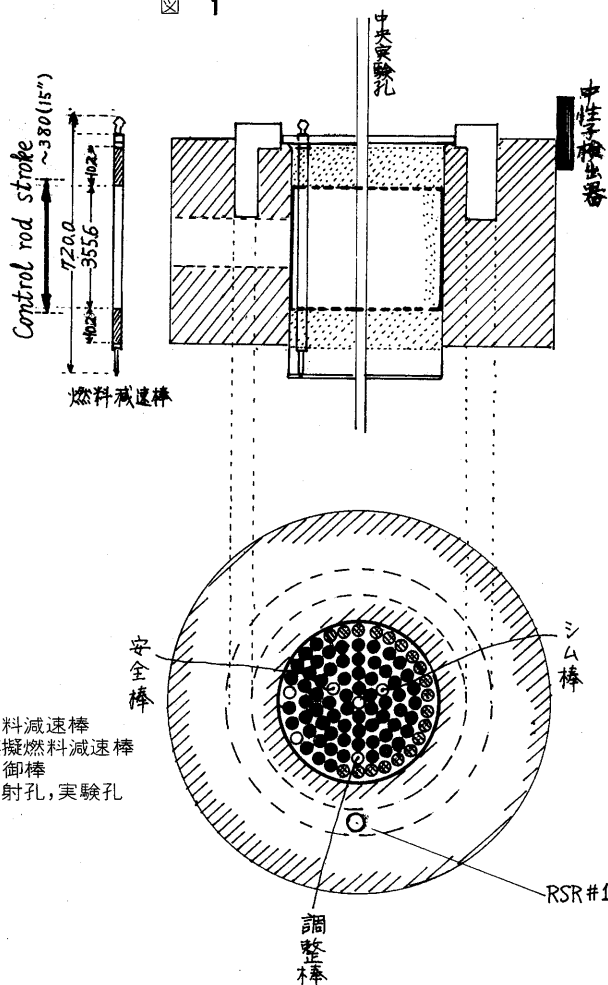
寸法	直径 35.97 mm, 長さ 355.8 mm
合金重量	2270 g ± 25 g
U%wt	8.00 ± 0.05 wt%
H / Zr	1.0
-----	
U重量	約 182 g/本
<sup>235</sup> U重量	約 36 g/本

表 2

燃料-減速棒の本数

時刻	装荷本数	未使用	備考
1961, 12, 8	62本	1本	臨界時
1964, 6, 12	62本	4本	3本購入
1967, 3, 27	64本	2本	2本そう入
1973, 9, 21	65本	1本	1本そう入
1975, 9, 21	66本	0本	
現在 (1979. 12. 8)	66本	0本	発注済 (5本)

図 1





1.3 限界値 保安規定において表3のような制限値および制御棒の作動条件が設定されている。

表3 立教炉の制限値および作動条件

原子炉の核的制限値		原子炉熱的制限値等	
事項	値	事項	値
最大過剰反応度	1.6%Δk以下	原子炉一次冷却水最高温度	45℃
全制御棒等価反応度	5%以上	最大電気伝導度	2μV/cm
制御棒1本動作不能事の停止余裕	3.2%以上		

制御棒の作動条件		スクラムの作動条件	
項目	限界値	項目	作動条件
制御棒のスクラム時間	1.0 sec 以下	スクラムボタンを押す	安全計 110% 以上
引き抜き速度	1 cm/sec	線型出力計	高電圧 遮断
反応度平均そう入率	約0.03%Δk/k以下	ペリオド計	地震計 100ガル以上

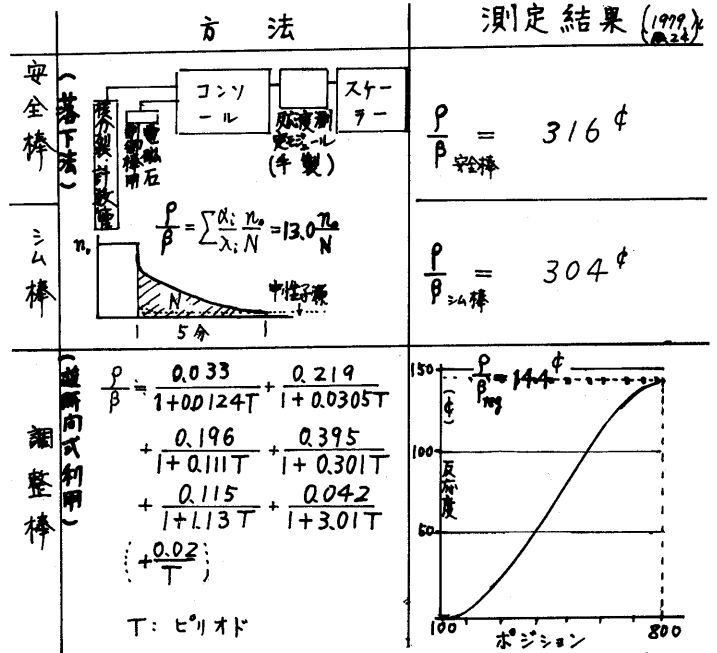
2. 制御棒こう正

2.1 安全棒・シム棒 積分型落下法を用いている。落下時刻を示す信号は、スクラムを押した時働らく電磁石回路から取り、核分裂計数管の全計数を求める。この目的の回路は自製してある。

2.2 調整棒 ペリオド法をくり返してこう正曲線を作っている。1回の測定には反応度で 20~25φ, すなわちペリオドで 25~35 sec 程度になるように分割している。この測定の再現性は大変良く、また、18年間こう正曲線の変化は認められない。

3. 問題点

- (1) 反応度の単位： 測定に用いる式はドル単位で表わされているが、限界値などは %Δk/k で与えられている。現在は GA-471 に出ている  $\beta_{eff} = 0.79$  を用いて換算しているが実測値ではない。しかし、測定する予定はまだ無い。
- (2) 中性子源の影響： 水中に天然に存在している重水素が主として  $^{241}\text{Am}$  からの 2.5 Mev の  $\gamma$  線により光分解しているため、常時中性子が存在していて、取り去ることが出来ない。立教炉では現在ほぼ  $2 \text{ n/cm}^3 \cdot \text{sec}$  発生していると推定されている。この中性子源の影響はペリオド法にも落下法にも誤差を与える。ペリオド法においては、臨界点のずれとなる。測定中温度効果が入らないように、なるべく低出力で実験したいという要請が一方にあるが、現在は 500 mW 付近で臨界点を求めていて問題にならないように注意している。落下法に対しては積分計数を無限に大きくするように働らく。中性子源の影響を取り除くため、長時間 (30分ぐらい) たった計数率を中性子源の計数として補正して良い結果を得ているが、定期的な点検においては計数時間を約5分とし、ディスプレイレベルを上げて、中性子源効果を小さくして測定している。
- (3) 落下法における検出器の位置：影響を観測している。定期測定では考慮していない。



# 武蔵工大炉における制御棒校正の現状

武蔵工大・原研

松本哲男

## I. はじめに

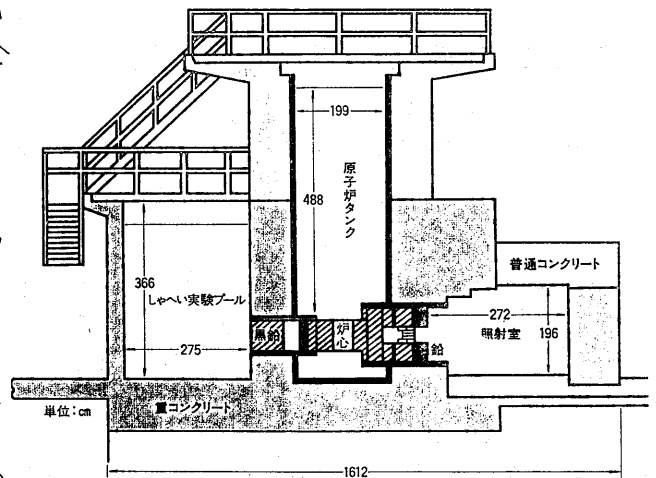
当研究所の原子炉は、熱出力 100 kW の TRIGA II 型であり、主に放射化分析や医療照射等の全国共同利用を初め、教育訓練その他の研究\*に使用されている。オ1図に原子炉の縦断面図を示す。医療照射、生物照射は熱中性子照射室を用い、試料の照射は各種実験管を用いて行なわれている。オ1表に原子炉の規格性能を示す。ここで取り上げられる制御棒校正等の核特性の測定については、固定炉心、固定検出器位置であることから、年々回定期自主検査時のみ行っている程度である。その方法については良く使われているペリオド法と落下法であり、その際、マイクロコンピュータを併用して、同時解析が行なわれている。

## II. 原子炉炉心の構造等

炉心構造、配置をオ2図に示す。炉心は、等価直径が 35.6 cm、有効高さが 35.6 cm の円筒状で棒状の燃料要素より構成されている。燃料要素はグリッド板により保持され全体が軽水中に浸されていて水は炉心容積の 36% を占めている。又、炉心には中央実験管、気送管などの照射管と 3 本の制御棒用導管が挿入されている。制御棒は、B4C 粉末を Al 被覆したもので、微調整棒 (45.4 cm $\times$  2.2 cm $\phi$ ) と安全棒、粗調整棒 (共に、45.4 cm $\times$  3.2 cm $\phi$ ) の 3 本であり、タンク上部のプラットフォームに取付けられ、ラックアンドピニオン方式で駆動されている。電磁石の励磁電流を遮断すると制御棒は重力により炉心へ落下する。3 本の制御棒は相互にインターロックされ、2 本以上の制御棒を同時に引き上げることはできない。制御棒行程は約 38 cm、引抜速度は約 5 mm/sec であり、スクラム時の落下時間は、約 500 msec である。オ2表に制御棒抑制効果等の規制直を示す。

\* 炉物理の研究 オ25号 “研究室だより” 1978年5月

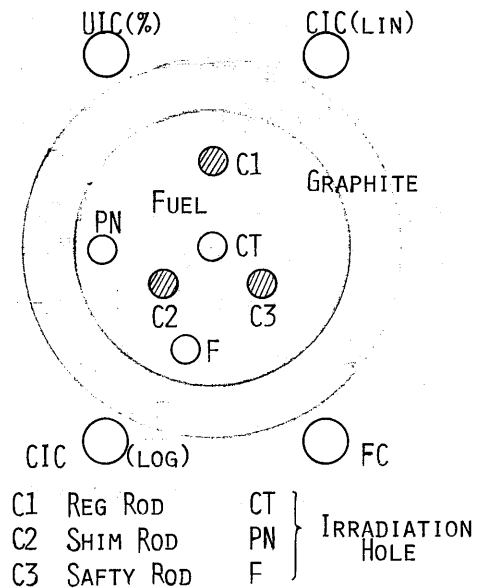
オ1図 原子炉縦断面図



オ1表 原子炉の規格、性能

○原子炉の規格・性能	
型 式	トリガII型
最 高 熱 出 力	100kW
冷 却 の 方 法	軽水の自然対流
熱 中 性 子 束 (100kWで)	中央実験管 4×10 <sup>12</sup> n/cm <sup>2</sup> ·sec 気送管 1×10 <sup>12</sup> n/cm <sup>2</sup> ·sec 照射管 4×10 <sup>11</sup> n/cm <sup>2</sup> ·sec 照射室 1.3×10 <sup>9</sup> n/cm <sup>2</sup> ·sec
燃 料 装 荷 量	<sup>235</sup> U約2.3kg
燃 料 要 素	大きさ:直径3.7cm、長さ:72cm(現在62本そ入) 材料:ウランと水素化ジルコニウムの均質合金 (U:8w/o, Zr:91w/o, H:1w/o)
ウランの濃縮度	20% <sup>235</sup> U
被 覆 材	アルミニウム
炉 心	円筒形で有効直径、高さとも35.6cm、直径約2m、深さ約6.5mの軽水を満たしたアルミニウム製タンクの底部にある。
反 射 体	グラファイト
制 御 棒	炭化ホウ素棒 3本
生 体 しゃへい	普通コンクリート及び一部重コンクリートと水

オ2図、原子炉炉心配置図



	安全棒	粗調整棒	微調整棒
制御棒抑制効果 (%Δk/k)	2.0	2.0	0.5
最大反応度印加率 (%Δk/k/sec)	0.065	0.065	0.014
内蔵余裕剰反応度 (%Δk/k)	1.6		

オ2表  
規制値

### Ⅲ. 制御棒校正の方法及び問題点

#### 1. ペリオド法

原子炉の出力を 100 mW<sup>\*\*</sup> で臨界とし、校正すべき制御棒を引き抜いて、その時の出力 (CIC LIN) の上昇を 3 領域 (0.3→0.6, 1→2, 3→6 W) で測定する。倍加時間はバックアップシステムとしてのマイクロプロセッサによる計測以外に、ストップウォッチを用いて測定し、通常用いられている逆時間方程式より反応度 ρ を求めている。ρ は計算機により、倍加時間の表で与えられる。

$$\frac{\rho}{\sigma\beta} = \frac{l}{\sigma\beta T} + \sum_{i=1}^6 \frac{\alpha_i}{1 + \lambda_i T} \quad \begin{matrix} \sigma\beta = 0.008 \\ l = 0.8 \times 10^{-4} \text{ (sec)} \end{matrix}$$

#### 2. 落下法

出力を 100 mW で臨界とし、その時の FC の計数  $N_0$  (cpm) を 3 回計数する。次に求めうる制御棒を最上限より落下させた後、計数を測定し、一般に用いられている積分法の式より反応度 ρ を算出している。

$$\frac{\rho}{\sigma\beta} = \sum_{i=1}^6 \frac{\alpha_i}{\lambda_i} \frac{\bar{N}_0 - N_b}{\int_0^{\infty} N(t) dt - N_b'} = 0.2173 \frac{\bar{N}_0 - N_b}{\int_0^{\infty} N(t) dt - N_b'}$$

#### 3. 比較検討

昭和 54 年 春に行なわれた定期自主検査の結果をオ3表に示し、比較してみる。

オ3表	スケーラー	ストップウォッチ	マイクロコンピュータ	
	落下法	ペリオド法	落下法	ペリオド法
	安全棒	4.010	—	4.019
粗調整棒	3.317	—	3.318	—
微調整棒	0.883	0.814	0.883	0.824

単位  
%Δk/k

マイクロコンピュータを用いた結果は、落下法あるいは、ペリオド法別の比較においては、非常に良く一致しているので、システムがダウンしない限りにおいては、繁雑さをなくす上で有効であろう。ペリオド法と落下法の値の違いについては、検出器の種類の違い (CIC と FC) 位置の相違の他に、落下時のタイミング依存性があり、算出式の相違などを含めて、しかたのないことだろう。

\*\* この原子炉出力は、統計変動及び雑音を無視できるレベルである。

# 近畿大炉における制御棒校正の現状と問題点

近畿大 原研

三木良太

## I. 原子炉の構造等

近大炉は90%EUの平板状MTR型燃料を用いた変形アルゴノート型原子炉で、2分列炉心をもち、各6本の燃料要素をおさめた2つの燃料タンクの周囲は黒鉛反射体で、各燃料タンクの外側に対称的に制御棒が2本ずつ配置されている。熱出力1W、プロセス系はなく、減速水は計120l、燃料タンク間の間隔は46cmで結合度は大きくないため、臨界質量はU-235 3,018gと比較的大きい。図1に炉断面図、図2に炉心平面図を示す。制御棒は1mm厚Cd板で、安全棒とシム安全棒は18x18cm、調整棒は5x5cmで、燃料タンクの外壁の黒鉛反射体内のスリット中を垂直に上下する。安全棒は2本とも上限と下限でのみ停止し、中間では停止せず、かつ引上げのみ可能である。スクラム時の落下時間は310~330msecである。申請書記載の等価反応度は調整棒0.1%δk/k以上、シム安全棒と安全棒#1,#2は0.54%δk/k以上である。燃料要素は燃料板12枚を組立てて構成し、バラバラに分解できる。k<sub>ex</sub>は最大0.5%δk/kであるが、自然冷却のため温度効果を考慮して通常は約半分に抑えている。燃料タンク内の燃料装荷は均一でなく、中央部の装荷量を大きくしてあり、かつ4隅の燃料要素は全装荷でない。通常時の装荷量を図3にCORE Aとして示す。北(N)側がN-1の10枚目の分だけ装荷量が多い。

## II. 制御棒校正

調整棒は正ペリオド法で、また安全棒は部分引抜き停止ができないので落下法で測定しているが、k<sub>ex</sub>が小さいためシム安全棒全挿入で臨界に到達せず、シム安全棒は上部を正ペリオド法、下部を落下法で測定し加算している。臨界の判定は充分時間をかけて注意して行い、正ペリオド法では安定ペリオドに到達したことを確認した後、倍増時間をストップウォッチで測定している。落下法では選択スイッチにより、測定対象の制御棒が最下部に達すると、スケーラーにスタート信号が送られる。残留γ線の影響がほとんどないので、測定時間は10minである。落下法の場合の検出器は通常の場合、起動系のFCを流用している。遅延中性子のデータは、炉心構成の類似したアルゴノート炉のもの<sup>(1)</sup>

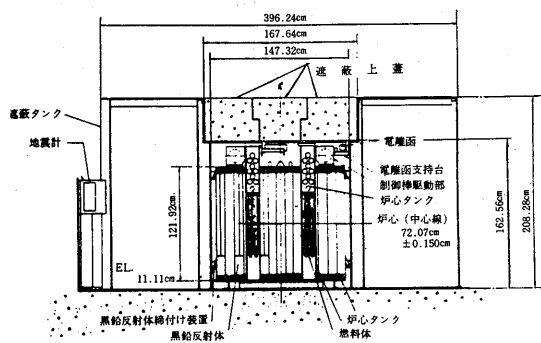


図 1

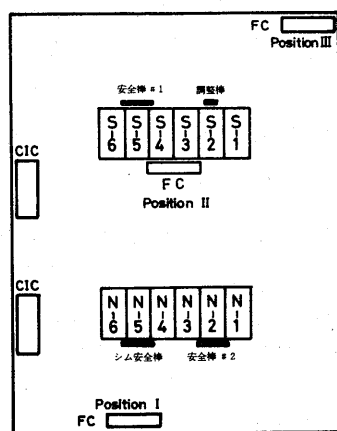


図 2

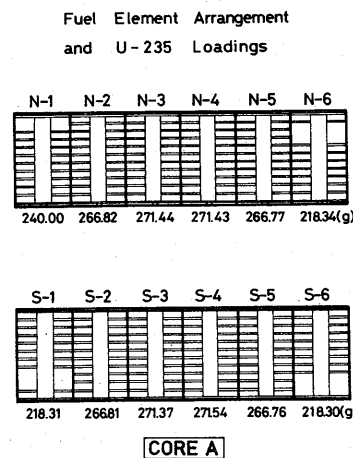


図 3

を用い、落下法は Hogan の積分法によっている。なお調整棒位置を一定に保ちつつシム安全棒の引抜き位置を変えて隣接制御棒の影響を調べるため、黒鉛反射体中央のストリンガーを全挿入から  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  と入替え、 $k_{ex}$  を変化させる方法を用いた。

### Ⅲ. 炉物理上の向題点

制御棒較正に関する向題点は、測定値が燃料装荷状態、燃焼度、

Fuel Element Arrangement and U-235 Loadings

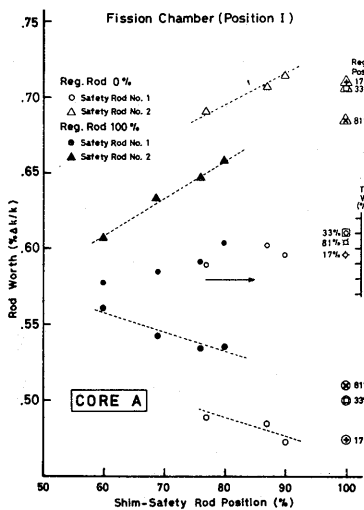
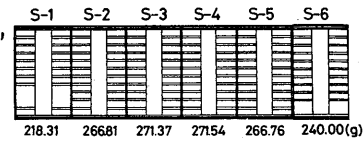
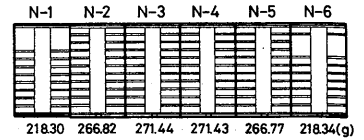


図 5

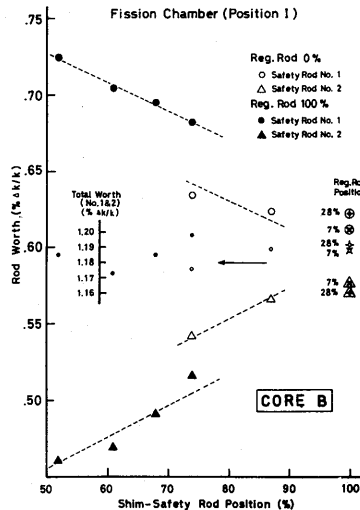


図 6

検出器位置、他の制御棒の干渉など多くの要因

CORE B

図 4

によって影響を受けることである。この効果を実験によって定量的に求めることは一般に容易でなく、殊に近大炉のような2分割の直方体炉心で燃料装荷が一枚でなく、かつ制御棒も各燃料タンク外側の黒鉛反射体内に配置されている場合には、計算に乗り難いので、数年前から実測によってこれ

らの影響を詳しく調べてきた。検出器位置依存性と隣接制御棒の影響については既に発表したので、今回は装荷燃料の分布状態の影響について紹介する。既述のように CORE A では北側炉心は南側より約 22g (臨界量に対し北側は 0.5096, 南側は 0.5014 で約 0.72%) 多く装荷されている。対称位置の N-1 と S-6 要素を入替えて (図 4 に CORE B として示す) 測定すると、正ペリオド法による調整棒の  $\rho$  は、1.10%  $\Delta k/k$  (A) から 1.28%  $\Delta k/k$  (B) と約 16% も増加する。ただし正ペリオド法では検出器位置依存性は全く認められない。落下法による対称位置の安全棒 #1 と #2 の  $\rho$  の測定では、図 5 と 6 に示すように、同一検出器位置で、すべての点で全く反対の傾向を示す。わずか 0.72% の装荷燃料の入替えによって、このような大きな影響が現われることは注目される。 $\rho$  の変化は 50% 近くにも及んでいるが、安全棒 #1 と #2 の合計値は  $\pm 2.5\%$  以内におさまっており、検出器位置を図 2 の (Ⅱ), (Ⅲ) と変えても  $\pm 5\%$  程度の变化しかない。これらの事実から、個々の制御棒の  $\rho$  の測定に当っては、特に落下法の場合、充分な配慮が必要であり、燃焼度が大きくなる高出力炉では、燃焼度が進むにつれて制御棒効果も著しく変化することを留意すべきである。なお炉の安全性の立場からは、個々の制御棒の  $\rho$  の値を向題にするのはあまり意味がなく、全制御棒の  $\rho$  の合計値を把握すればよいのであるが、制御上は個々の値も無視することはできない。

(1) Kimel, W.R. et al.; Nucl. Sci. Eng. : 6 233-237 (1959)

(2) 三木; 1979年秋の分科会 (C-63)

# KURにおける制御棒校正

京大炉

藤田 薫 頭

## 1. 原子炉の構造等

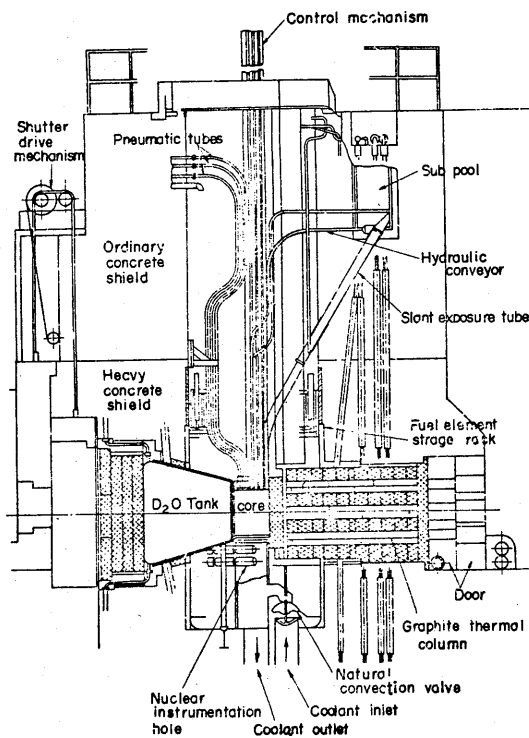
KURは93%濃縮ウランによるMTR型燃料を用いた軽水減速・冷却のタンク型研究用原子炉である。熱出力は5000kW, 主にXe蓄積を補償するため、約5%Δk/kの超過反応度をもたせており、U-235の装荷量は約3.8kgである。反射体は炉心側面が主として黒鉛、上下が軽水となっている。熱中性子設備として重水のタンクが炉心近傍にあり、(γ, n)反応による中性子が発生し、反応度の測定においてこれを考慮する必要が生じる。

炉心の構成はオス図のようであるが、この配置は一列であって、燃料の燃焼度合によって燃料の装荷本数は22~27本の範囲になる。(制御棒要素用燃料及び半装燃料はU-235量が標準の燃料の18%に約1/2となり、半本と数えている。) 各週約70時間の運転を行ない、25%までturn-upさせているので3週間に平均1本の燃料の出入りを行なうことになる。

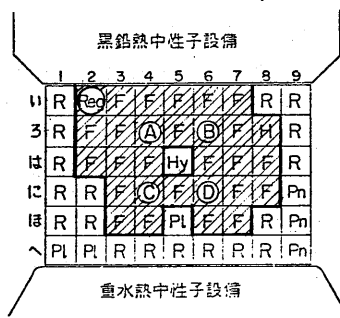
制御棒としては粗調整(安全)棒が4本炉心内に、微調整棒が1本炉心と反射体の境界にある。いずれもボロン入りステンレス製で、断面が小判型をした吸収体である。粗調整棒は電磁石釣下げモーター駆動で、スクラム時には約550msで炉心内へ自然落下する。微調整棒はモーター駆動のみで落下はしない。フローワーはついていない。

主な核的規制値は次のとおりである。

- 最大超過反応度 (Δk/k) : 5%  
(粗調整棒) (微調整棒)
- 制御棒当りの最大反応度 (Δk/k) : 2~4% 0.1~0.3%
- 制御棒当りの最大反応度印加率 (Δk/k·sec) : 0.008~0.015% 0.006~0.018%
- 粗調整棒2本同時に引抜くときの最大反応度印加率 (Δk/k·sec) : 0.03% —
- 全体としての反応度抑制効果 (Δk/k) (最小値) : 10.0%



オ1図 KUR立断面図



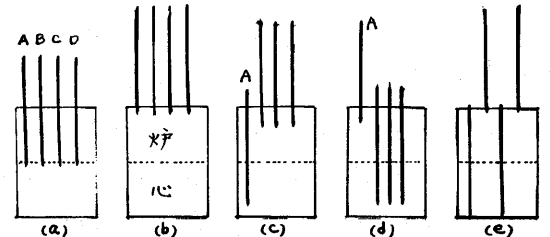
オ2図 KUR炉心平面図

F: 標準燃料, H: 半装燃料, Pn: プラグ  
R: 黒鉛反射体, Hy: 水圧輸送管  
Pn: 圧気輸送管, Reg.: 微調整棒  
ABCD: 粗調整棒

## 2. 制御棒の較正法

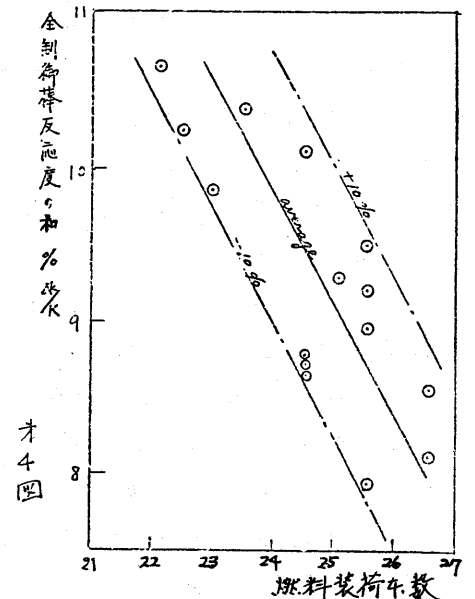
較正は定期検査時、定期自主検査時、燃料が新しいものと大幅に交換された時などに、正炉周期法（補償法を含む）によって行っている。CIC線型出力計の信号をマイクロコンピュータに取り込んで処理し、反応度の計算までを一応自動化している。測定中は炉心の温度を一定に保つため冷却系統は運転せずにおき、20Wでのレベリングを行なう。5MWでの長時間（～70hr）の運転に先立ち、制御棒位置がオ3図(a)のような燃料本数の加減によって超過反応度が調整されるが、運転開始後はXe蓄積のための制御棒はほぼ揃って引抜かれ、しばらくして(b)のような状態になる。

この引抜きパターンの途中の状態のいくつかを基準点としての測定が考えられるが、実際には(a)の状態を基準としての測定が行われる。この場合、例えばA棒の全ストロークについて微分反応度曲線を得ようとする(c)及び(d)の状態でのレベリングを行なうと4本の棒の干渉が測定結果に複雑に影響していると思われる。



オ3図 説明のための粗調整棒位置図

測定結果に対する補正で主要なものは、重水設備における<sup>定常</sup>光中性子の存在に関するものである。補正量を決定するのに定常中性子源存在の一点炉一群の式を用いて行っているが、中性子源の強さを実測し、これを用いる必要があり、次のように行っている。制御棒を全挿入すると  $k_{off} \sim 0.95$  になる。制御棒の反応度を先ず信用し、制御棒を引抜きながら臨界近傍まで数段階にわけていわゆる中性子源増倍実験を行なうと、中性子検出器の位置によって制御棒反応度による未臨界度の値と増倍率の間に近づき合う場合と合わない場合とがある。検出器が重水設備より遠く、炉心に近い場合には比較的



オ4図

的かつ、この検出器によれば一点炉の取扱いができると考え、増倍実験のデータ停止時の反応、20Wでの検出効率を信用し、残留する光中性子の量を推定すると約  $0.07W$  の fission source に相当し（典型例）、20Wでのレベリングを行っても実際には  $\sim 18 \times 10^{-4} \text{ \$/k}$  だけ未臨界の状態にあることになる。正炉周期法で一度に測定する反応度量が  $1 \times 10^{-3} \text{ \$/k}$  程度であるから、適当な補正のいることは明らかであり、測定結果に対する補正の割合は通常数%になっている。補正法の妥当性はレベリングレベルで一度に測定する反応度の量をパラメータとして、一定点における測定を行ない、補正後はパラメータに関係なく同じ結果が得られることをもって確かめられている。

$\beta_{eff} (= 0.95 \times 10^{-3})$  は全く計算によっており、 $\beta$  に反ぼす光中性子の効果は重水設備が炉心とは別れておりインポーツが小さいと思われるため無視している。

## 3. 問題点、その他

検査時に、炉心の状態を毎回同じにして測定すれば種々望ましい点もあると思われるが、炉の利用計画から考えると無駄な面も多い。従って、検査時点での炉心状態を用いて測定を行

うため 毎回の測定結果が異ってくる。装荷している燃料の本数によって制御棒反応度の測定結果が異なり、過去数年間の結果をまとめてみたのがオ4図である。装荷本数の増加とともに全制御棒の反応度の和は小さくなり、11~12%の周で変化するため測定結果の解釈には十分な注意が要する。

制御棒間での干渉効果の測定を系統的に行ったことはなく、機会があればと考えているが、炉周期法を用いる限り、通常の使用状態と相対的に異なる燃料配置や制御棒の位置関係での結果ではあまり実用的価値がないので、他の測定法を用いる必要がある。パルス中性子法が当炉で使えるかなどを検討してみるべきだろう。

1 MW時代の古いデータであるが、停止余裕を落下法で測定し、炉周期法での測定と比較してみたことがある。(オ1表) オ3図の(a)に近い状態より(1) ABCD棒を各1本づつ(2)干渉の比較的不なりと思われろ AD, BCの組合わせ(3) 4本とも同時に、これを落下させたときの結果を炉周期法による継ぎ合わせの結果と比較してある。これによると、(1)(2)の場合はほぼ同じ結果を得ているが、(3)の場合には落下法の場合が  $(6.33+6.76)/2 = 6.55\%$ 、炉周期法での結果が 7.55% であり、相対的に15%ほどの差がみとめられる。この程度の干渉効果があるのであろう。

Dropped Rod	Rod-positions at critical (mm)					ρ (%)		ρ (%) period method
	A	B	C	D	P	FC=1	FC=2	
A	384.8	385.8	384.5	384.3	465.0	2.17	2.30	2.24
B	384.5	385.8	384.5	384.3	462.5	1.95	1.87	1.91
D	384.5	385.3	384.5	384.3	484.3	1.65	1.66	1.66
C	384.5	385.3	384.5	385.3	447.5	1.79	1.82	1.91
A,D	383.3	383.9	383.9	383.8	528.1	3.77	3.74	3.76
B,C	383.0	384.0	383.0	384.0	475.0	3.06	3.56	3.51
A,B,C,D	383.0	384.0	382.7	384.0	482.0	5.33	4.25	6.33
A,B,C,D	384.5	385.0	383.5	384.5	344.0	6.32	7.00	6.76

Xeの蓄積によってオ3図(a)から(b)になる場合の反応度の変化、即ち超過反応度は、Xeの防害度が正確に与えられれば求まる。当炉の場合もオ1表 落下法と炉周期法の比較データの試算を行っているが、この方法によって与えられる結果と炉周期法の結果を比較して4本の干渉効果を論じるほどには今のところ信頼性が上がっていない。理由はXeの防害を推定するのに必要な平均中性子束の値に十分信頼できる情報のないことによる。

重水設備よりの光中性子の影響を外部中性子源、βの増加の面から正しく評価しようとすれば空間依存動特性方程式を解くコードの助けを借りる必要があるだろう。

最後に shim range 方式について述べておきたい。当炉では制御棒を半分以上炉心から抜いた状態を shim range にあるといて、各制御棒がこの range に入っていないと炉の運転が出来ないことになっている。いずれかの制御棒を半分以上も挿入しなければならぬほど燃料を装荷することは出来ないのである。従って制御棒の全反応度が小さくなってても自動的に超過反応度低下してくるようになる。実際、燃料の装荷本数が増えるとオ4図のように10%以上という規制値に達しないが、安全上は支障ないとしている。燃料追加など炉心の操作は制御棒位置をオ3図(e)のようにして行おうので、2本がスタックしても炉は停止する。

以上のように、炉の運転・管理或は安全上の必要性からは一応制御棒の価値を把握しているが、さらにつめてみるべき問題は残されていると思う。



# KUCAにおける制御棒校正の現状

京大炉 林 正俊, 小林 圭二

KUCA (京都大学臨界集合体実験装置) は、A, B及びCの3つの架台を持つ。A, Bの両架台は、固体減速炉心用、またC架台は、軽水減速炉心用である。3つの架台をそれぞれ円型建屋を4分の1に区切った室の1つに設置している。計測制御系は、全体で1組だけが設けられ、各架台に共通のものである。従って、架台の運転及び燃料操作は、この計測制御系を取付けた1架台のみ可能である。

A, Bの両架台は、ほぼ同じ構造の固体減速架台である。炉心は、最大29行×29列の格子板上に燃料を装填した「さや」を立てて構成される。炉心格子の中心部は、周辺の固定部から分離されて独立に落下するようになっている。この中心部の大きさは、5行×5列と3行×3列がある。この中心部は、油圧によって下から押し上げられ、スクラム時、自重によって落下し、制御棒の挿入に対して独立した系統の反応度抑制機構を形成する。とくに停止時、完全な分離による未臨界状態維持の機能を果す。炉心を構成する標準の燃料さやは、有効長さ約1.5 m、断面約5.5 cm×5.5 cmの角形で、この中に約5 cm×5 cm角の板状燃料・減速材が入る。燃料は、93%濃縮のウランアルミ合金で、表面にプラスチック被覆を施している。減速材は、燃料と同じような形状とした黒鉛、ベリリウム、ポリエチレンなどで、燃料と一緒にさやの中に重ねて入れ、燃料棒を作る。

C架台は、軽水減速炉心用で、直径約2 m、高さ約2 mのアルミ製炉心タンクの中に設けられる。炉心は、水平に2分割できる格子板上に立てる構造である。臨界近接は、水位制御または制御棒駆動によって行なう。スクラム時には、炉心タンク水内空気室の空気を解放する緊急水位下降装置が作動して、直ちに水位を下げると共にダンブ弁を開いて、炉心タンクの水を下へダンブタンクに落とす。これは、制御棒の炉心挿入に対して独立した系統の反応度抑制機構を形成し、とくに停止時、完全な未臨界状態維持の機能を果す。燃料は、93%濃縮のウランアルミ合金にアルミ被覆を施した長さ65 cmの平板と彎曲した燃料板がある。燃料集合体は、溝のピッチが3 mm～4.5 mmで設けられた燃料要素支持フレームに燃料板をはめ込んで構成される。

制御棒は、中性子吸収型で、A, B, C各架台に6本の固有の制御棒を持っていて、A, B架台用の制御棒は、外径約40 mm、有効長さ約1.5 mの中空鋼内に無水ホウ酸 ( $B_2O_3$ ) の粉末を充填してある。C架台用の制御棒は、外径約48 mm、有効長さ約0.7 mの不銹鋼の中空管内にカドミウム板をアルミ管で固定したものの外、小判型断面、36 mm×13 mmと27 mm×7 mmのアルミ中空管の中にアルミ板で固定したカドミウム板を挿入したものがあつた。

## 最大過剰反応度

固体減速炉心 : 0.35 % $\beta$ k , 軽水減速炉心 : 0.5 % $\beta$ k

## 減速材対燃料の割合

### 固体減速材心

ポリエチレン減速の場合  $H/U-235$  の原子比約  $0.4 \times 10^3$  以下

黒鉛減速の場合  $C/U-235$  の原子比約  $1.6 \times 10^4$  以下

### 軽水減速材心

$H/U-235$  の原子比約  $0.4 \times 10^3$  以下

## 反応度抑制能力

制御棒の反応度抑制効果 過剰反応度 + 1 %<sup>mk</sup> 以上

ただし、全体として 4 %<sup>mk</sup> をこえない。また、最も反応度の大きい制御棒でも全体の 1/3 をこえない。

中心架台落下による反応度効果 過剰反応度の 125 % 以上

ダンプ排水による反応度効果 過剰反応度の 125 % 以上

## [制御棒校正]

反応度の測定は、ペリオド法、補償法、落下法、パルス法及び中性子源増倍法の5通り  
の方法を種々組合わせて用いている。種々のサンプル反応度及び反応度係数の測定は、  
原則として過剰反応度の変化から求めることにしている。規制に係わる反応度抑制効果は、  
主に簡便な落下法(積分法)を用いている。

データ処理は、ミニコン(DKITAC 4300)及び卓上計算機を用いており、十分に速応性  
がある。

補正は、落下法で特に空間的影響を受けた値を除去する程度である。ペリオド法の測定  
には、炉心操作時の被ばくを軽減するため、低出力で行なう。このため統計的ばらつき  
の大きい所で測定するが、線型出力計を見て、ストップアウトを押す方法から求めた値  
と、VFコンバーターを介して出力値を計算機に入れて、最小二乗法で処理した値とよく  
一致している。

非常用制御設備の中心架台落下及びダンプ排水の反応度抑制効果の測定は、落下法を専  
用しているが、どちらの場合も、動作時間が長いので、精度のよい値を得ることができ  
ない。それでも、過小評価となるこの方法でも、十分に規制値を満足している。

## [課題]

- 反応度の大きな、中心架台落下及びダンプ排水の精度のよい反応度測定。
- 固体減速材の制御棒の抜けたおとのボイドの解析上の取扱い。
- 45%濃縮燃料の実験計画があるが、現在の測定出力で自発核分裂の影響などの程度が
- ファイマン法による反応度測定法の確立。
- 即発中性子寿命  $l_p$  と実効遅発中性子生成率  $\beta_{eff}$  を個別に測定する。
- 水位反応度の測定、現在、燃料板間隙での表面張力の影響があって、再現性が非常に  
悪く行き詰まっています。

はじめに 炉中性子工学研究専門委員会も、昭和53年度で無事終了の運びとなり、最後の同委員会が、昭和54年1月30日に開催された。それからほぼ1年を経過したが、やはりこれを署かなければ、完全に終了したとみなせないらしく幹事氏より依頼がきてしまった。以下にその時の話しを思い出しながら筆をとった。

I. 角度依存散乱スペクトルの測定

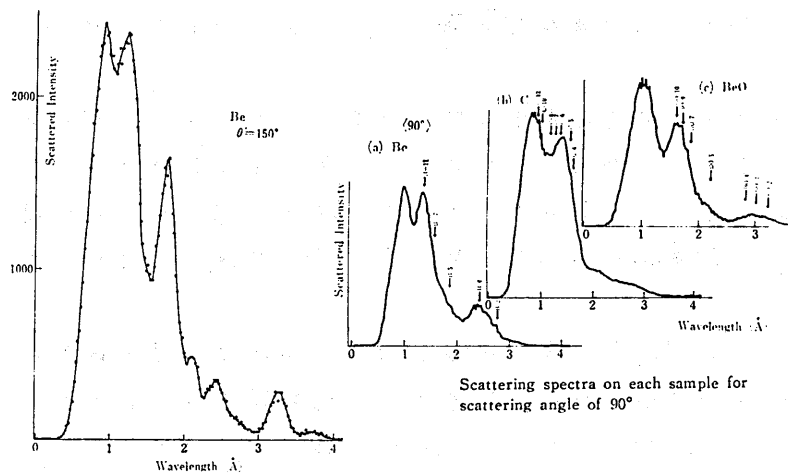
この実験は、KUR共同利用により、4~5年前に重水設備を用いて行なったもので、入射中性子スペクトルが Maxwell 分布であることを利用し、Scattered Neutron Intensity

$$I(E_0, \theta) = \phi(E_0) \cdot \int \sigma(E_0 \rightarrow E, \theta) \cdot E(E) \cdot dE$$

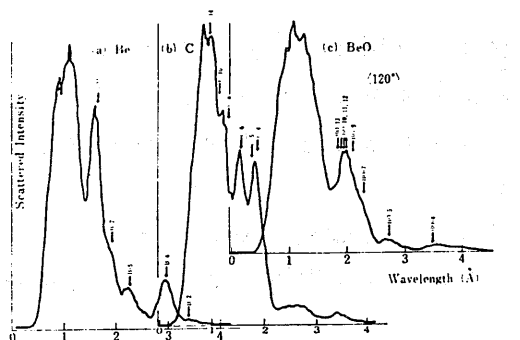
を散乱角  $\theta$  を変えて測定したものである。そのうち数例を下図に示す。このうちベリリウムに関しては、最近 NSE<sup>(\*)</sup> にインドの Kothari Group が解析を試みており、それによると、Calculated results are found in good agreement with the corresponding observed results. となっている。

(\*) Nucl. Sci. Eng. Vol. 72 No. 2  
Nov. 1979 pp 160-174

"Anisotropy in the Scattering of Thermal Neutrons in Crystalline Moderators - Beryllium" by A. N. Verma, Balash Verma, Feroz Ahmed and L. S. Kothari



Example of smoothly-fitted curve of raw data



Scattering spectra on each sample for scattering angle of 120°

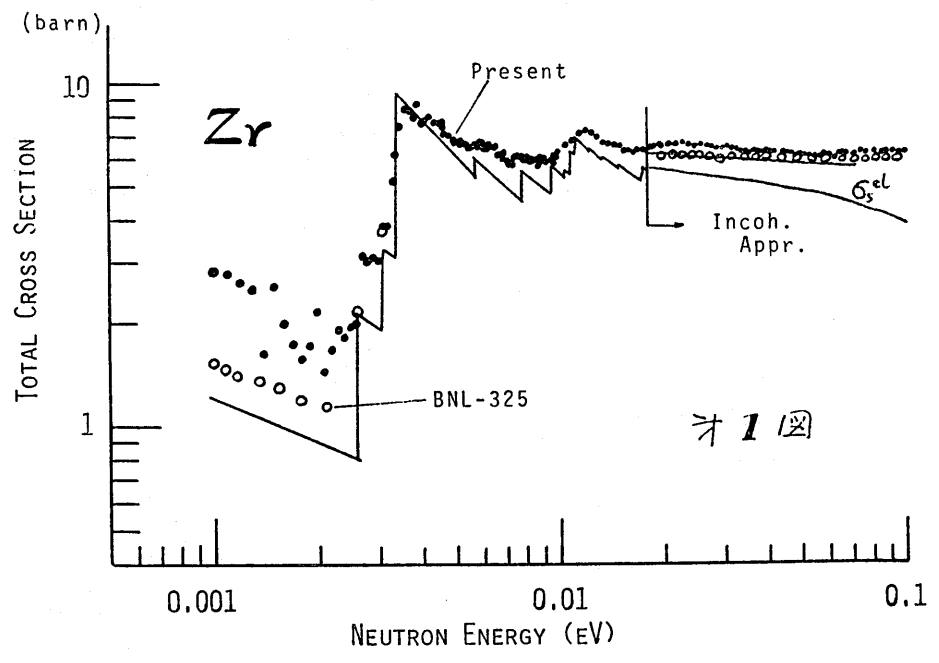
II. 熱中性子全断面積の測定

次に、当研究所の原子炉 (TRIGA-II, 100 kW) の水平実験孔に設備されているチヨッパー TDF 実験装置により、最近行なっている全断面積測定の実状について報告した。現在までに測定されたサンプルは、まず Be について測定系、データ処理系のチェックを行ない、その後 Fe、Zr、<sup>93</sup>Nb について測定を行なった。Zr については、0.003 eV と 0.02 eV の周が測定されていなかったこと、<sup>93</sup>Nb については、

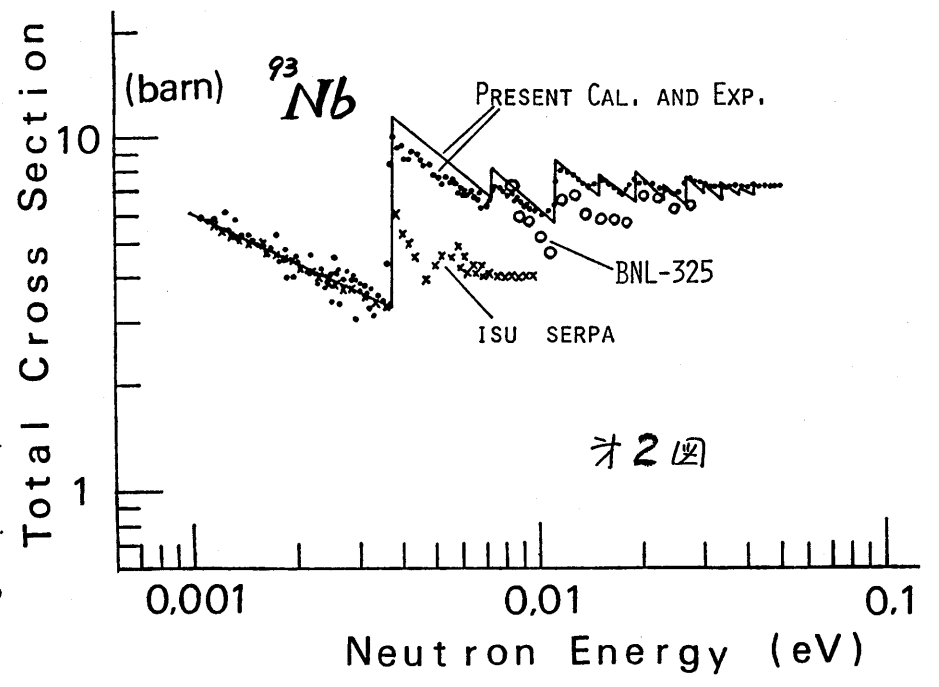
BNL-325には0.008 eV以下のデータがなく、原研核データセンターに依頼して NEUDADA File を調べてもらったところ、1970年に測定された ISU の Serpa のデータが見い出されたが、0.01 eV附近で BNL-325 のデータと著しく異なっていたことなどが、これらの元素を選んだ理由である。才1図および才2図に Zr と  $^{93}\text{Nb}$  について、実験結果と計算結果ならびに今までに測定されている BNL-325 のデータなどを比較して示した。このうち計算は、非弾性散乱断面積  $\sigma_s^{inel}$  と THRUSH コードで、干渉性弾性散乱断面積  $\sigma_{s,coh}^{el}$  を UNCLE-TOM コードで行なった。計算に用いた物理定数は、Zr の場合  $A=91.22$ 、結晶形 HEX、 $a=3.23 \text{ \AA}$ 、 $c=5.14 \text{ \AA}$ 、

デ바이温度  $\theta_D=310 \text{ }^\circ\text{K}$ 、 $\sigma_a=0.185 \text{ b}$ 、 $\bar{\sigma}_s=6.4 \text{ b}$ 、 $a_{coh}=0.70 \text{ barn}^2$  であり、 $^{93}\text{Nb}$  の場合、 $A=92.91$ 、結晶形 bcc、 $a=3.2941 \text{ \AA}$ 、デバイ温度  $\theta_D=252 \text{ K}$ 、 $\sigma_a=1.15 \text{ b}$  (0.0253 eV)  $\sigma_{coh}=6.35 \text{ b}$  である。

才1図の Zr について検討してみると、今まで未測定部分だったエネルギー領域が、かなりの精度で測定され、計算値とほぼ同程度の精度で一致していること、また才2図の  $^{93}\text{Nb}$  については、ISU の Serpa のデータとは、Inelastic Scattering と Absorption の領域ではよく一致しているが、Elastic Scattering Cross Section の部分ではかなりの違いがみられ、計算値は、我々の実験データの方に近いことがわかる。



才1図



才2図

京大炉 海老沢 徹

中性子導管を利用すると、純粋な低速中性子ビームを得ることだけでなく、1つの実験孔に多数の導管が設置でき同時に多数の実験を可能にする。これによって、中性子導管は研究用原子炉の利用効率を高めるために有効な装置であり、よく利用されている。これによって、現在導管に用いられているNiによる全反射を利用した中性子鏡(Niミラー)は熱中性子( $\sim 1\text{\AA}$ )に対して小さな臨界角(全反射)しか持たない。そのため熱中性子用の中性子導管では、それによって得られる中性子の強度が小さくなることに加えて、装置自体が長大になりその設置も容易でない。ところで、導管用の中性子鏡としてNiミラーより効率よく中性子を反射させることができるスーパーミラーを用いると、上述の欠点は改善することができる。以下にスーパーミラーとしてどの程度の性能のものが期待できるか、また、そのようなスーパーミラーを用いることにより、中性子導管の性能はどの程度改善されるかについて述べる。

1. スーパーミラーの実現可能な反射特性

中性子導管用の実用的なスーパーミラーは未反作られていないが、スーパーミラーに関する中性子反射特性はこれまでいろいろ調べられている<sup>(1)~(3)</sup>。我々が製作したスーパーミラーの代表的な反射特性を図1に示す。横軸の波長はミラーに垂直な運動量成分に対応する波長( $\lambda_{\text{inc}} \sin \theta \approx \lambda/\theta$ )で示されている(反射率は $\lambda/\theta$ に依存する)。このスーパーミラーは240層の層数を有し、最小層厚が55Åのものである。反射率の谷の部分には、スーパーミラーの蒸着の過程でヒーターの交換のために真空を破ったことにより生じる反射率の減少であることが判明している。蒸着源として電子銃を用い真空を破らずにスーパーミラーが蒸着できるようにすれば、この種の減少は解消されるものと期待される。また、短波長側で反射率が60%前後まで減少している。この減少の1因は多層膜による中性子の吸収であるが、他の原因については明らかでない。

これによって、後者のような反射率の減少は不可避であるとしても、スーパーミラーの反射特性として、240層程度の層数では図1の太線で示されるような反射率が期待できる。スーパーミラーにより反射率は幾分劣るが、Niミラー

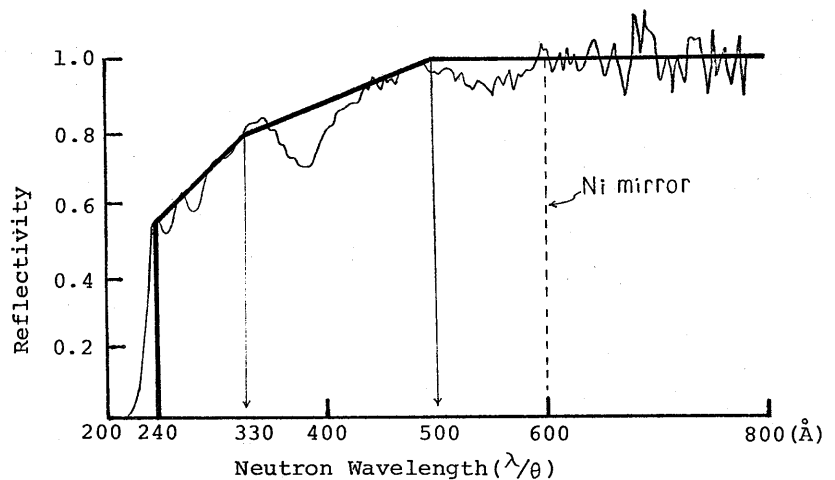


図1 実験的に得られた代表的なスーパーミラーの反射特性(細線)と期待される反射特性(太線)

の臨界波長 ( $600 \text{ \AA}$ ) に比べて、 $\frac{1}{2.5}$  の臨界波長 ( $240 \text{ \AA}$ ) の中性子鏡が得られることにはなる。

## 2. スーパーミラー中性子導管の予想される性能

スーパーミラー中性子導管の性能を調べるために、従来のNiミラーを用いた中性子導管の性能との比較を行う。中性子導管の性能は用いられる中性子鏡の反射特性及び導管の形状によって異なる。すなわち、導管へ入射する中性子の波長、導管入口における中性子の入射場所とその発散角を各々適当な数に分割、指定すると中性子の導管内における軌跡がきまり、中性子が導管を透過できるかどうか評価できる<sup>(4)</sup>。ただし、中性子の入射場所とその発散角に関しては二次元的(横方向と縦方向)に考える必要があるが、それらは各々独立に評価することになるのである。

まず、横方向のみを考慮した場合について導管の中中性子収率に関する計算結果を図2、図3に示す。スーパーミラーの反射特性として図1の期待される反射特性(太線)を用いる。図2は京大炉に設置されている導管と同じ形状のスーパーミラー導管とNiミラー導管との中性子収率の比較である。この場合、スーパーミラー導管に関して、その特性波長が  $1.14 \text{ \AA}$  とNiミラー導管の特性波長 ( $2.85 \text{ \AA}$ ) の約  $\frac{1}{2.5}$  に行っているので、短波長側で中性子収率が著しく増加する。

図3は  $1.14 \text{ \AA}$  の同一の波長特性を有するNiミラー導管とスーパーミラー導管との中性子収率の割合である。この場合、スーパーミラー導管は、Niミラー導管に比べて中性子強度で約1.7倍に行っており、必要寸長さも  $\frac{1}{2.5}$  で済むことになった(表1参照)

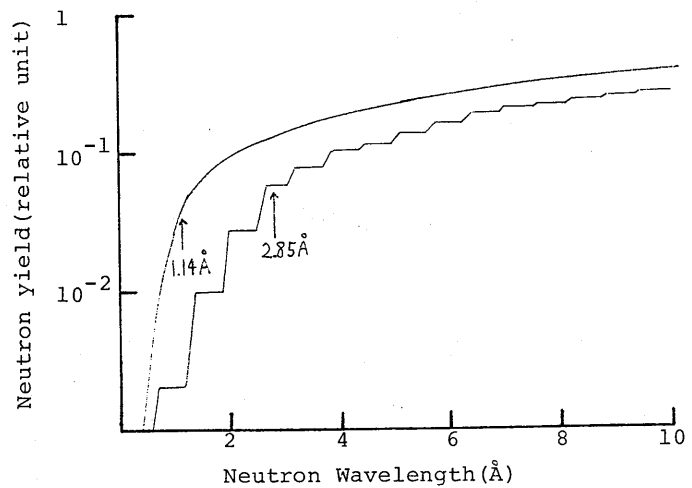


図2 京大炉中性子導管と同じ形状のスーパーミラー導管とNiミラー導管との中性子収率の比較

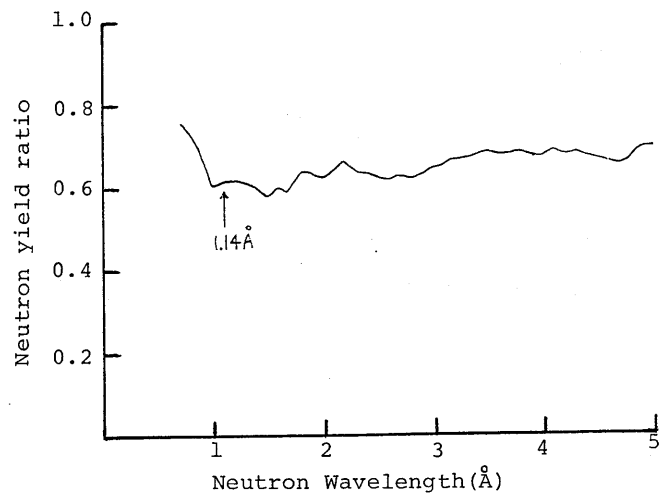


図3  $1.14 \text{ \AA}$  の特性波長を有するNiミラー導管とスーパーミラー導管との中性子収率の割合

これらの計算結果は導管から得られるビームの中を  $d$ 、導管の必要長さ  $l$  とすると  $d/l = \text{一定}$  の導管に対して同一である。

次に、中性子の縦方向の発散を考慮する。この場合、導管内の上面と下面の中性子鏡による中性子の反射を無視する。この反射は多くの場合側面の中性子鏡による反射に比べて小さいと、導管を透過する中性子強度は縦方向の幾何学的な発散角の大きさに比例する。最終的に二次元的な中性子の発散を考慮すると、超中性子用導管（特性波長  $1.14 \text{ \AA}$ ）に対して導管から得られる中性子強度の割合は表1に与えられるものとなる。表1からNiミラーの代わりにスーパーミラーを用いると、中性子強度で約4倍となる一方、必要長さは、 $1.14 \text{ \AA}$  の特性波長で  $2 \text{ cm}$  のビーム中の場合、約  $5.8 \text{ m}$  のものが  $2.3 \text{ m}$  で済むことになり導管用の建屋、遮蔽体等の費用も大巾に軽減されることを意味する。

以上述べたようにスーパーミラーの利用価値は大きいので、実用的なスーパーミラーが比較的容易に得られる技術的開発が重要である。

表1.  $1.14 \text{ \AA}$  の特性波長を有するスーパーミラー導管とNiミラー導管の諸特性

	ミラーの 臨界波長( $\lambda_c$ )	導管の ビーム中( $d$ )	必要長 導管の長さ( $l$ )	導管の ビーム高さ	横方向 の収率	縦方向 の収率	二次元的 中性子収率
スーパーミラー導管	$240 \text{ \AA}$	$2 \text{ cm}$	$2.3 \text{ m}$	$1.2 \text{ cm}$	1.7	2.5	4.2
Niミラー導管	$600 \text{ \AA}$	$2 \text{ cm}$	$5.8 \text{ m}$	$1.2 \text{ cm}$	1.0	1.0	1.0

注. 導管の特性波長  $\lambda^*$  及び必要長さ  $l$  は、導管のビーム中  $d$ 、導管の曲率半径  $R$  及びミラーの臨界波長  $\lambda_c$  と次式によって関係づけられる。

$$\lambda^* = \lambda_c \sqrt{\frac{2d}{R}} \quad l = 1.2 \sqrt{8dR}$$

#### 参考文献

- (1) Mezei, F.: *Commun. Phys.* 1, 81 (1976).
- (2) Yamada, S., et al.: *Annu. Rep. Res. Reactor Inst. Kyoto Univ.* 11, 8 (1978).
- (3) Ebisawa, T., et al.: *J. Nucl. Sci. Technol.* 16, 647 (1979).
- (4) Yamada, S., et al.: KUR 中性子導管の収率 (1974), 京大炉原子炉設備部門.

京都大学原子炉実験所

西原 英晃

原子炉雑音に関する\*3回専門学会議 (Third Specialists Meeting on Reactor Noise, SMORN-III) が1981年秋に我が国で開催される予定となり、その準備が始まっているので、連絡会誌の誌面を借りて紹介してみたい。

御承知のようにこの国際会議はOECDのNEACRPとCSNI とが主催して過去に3回開催されている。\*1回目は1974年にイタリアで、\*2回目は1977年にアメリカでそれぞれ開催されている。過去の例からいうと、1980年に\*3回目が開催されるはずであるが、種々の事情から4年目の1981年に予定されることとなった。\*2回目の折、幾つかの国が\*3回目をホスト国として各策りを上げたが、結局日本でお世話することとなったのは、この方面において大きな貢献をしてきたことから言っても喜ばしいことである。

炉雑音解析の技術を完全に確立し、動力炉の安全性に寄与できるものとするには、なお多大の努力を払う必要があることがSMORN-IIで指摘されているが、SMORN-IIIではこの点に応えるため、次の4つの主なproblem areasが提唱されている。

- i) Mathematical and Physical Interpretation of At-Power Reactor Noise
  - Mathematical analysis of reactor noise (e.g. non-linear, non-stationary, non-Gaussian reactor noise processes, space dependent reactor noise, etc.....).
  - Noise source modelling (e.g. thermo-hydraulic fluctuations, mechanical vibrations, etc.....).
  - Dynamic models of power reactor-plant noise processes.
- ii) Innovation of Analysis Methods and Instrumentation
  - New methods of reactor noise measurement, analysis and physical parameter estimation.
  - New sensors and instruments for reactor noise measurement and data processing.
- iii) Safety Related Applications
  - Meaning and criteria of diagnosis and prognosis via noise analysis.
  - Use of externally applied noise-like perturbations for diagnostic purpose.
  - Noise diagnostics applied to off-normal reactor-plant situations and post-accident analysis.
  - Automated surveillance and diagnostic systems applying noise analysis methods.
- iv) Efforts for Standardization of Noise Analysis Techniques
  - Data-base problems relevant to practical application and international collaboration.



- Standardization of data presentation.
- Benchmark test of conventional and new methods of noise analysis.

このうち、最後の項目の *benchmark test* は、炉物理の炉心計算やしゃへい計算ではおなじみのものであるが、炉雑音の分野では私の知るかぎりまだ試みられていない。これを行う目的は

Various methods and techniques of noise analysis ( analog and digital, time-domain and frequency-domain, with and without pre-processing, etc.....) have been applied so far to reactor noise. But because of this variety, there are sometimes the cases where the same source data may be led to the results which are more or less different quantitatively depending on the methods and techniques used. The objective of the proposed benchmark test , therefore, is to make some comparisons of proper characteristics among various methods used for the reactor noise analysis that will be reported at SMORN-III.

ということであるが、言うはやすくして、これを実施するには多くの困難が予想される。

A set of noise data artificially synthesized using noise generators and a multi-input and multi-output system will be prepared according to a specified procedure that will be given later on. The parameter values for the benchmark test will be kept unknown to the applicants until the meeting.

The test noise data recorded on a magnetic tape in either digital or analog form will be sent to the applicants by five months before the meeting. However, the types of magnetic tape and recording will be limited to those most widely used by reactor-noise-people.

このように準備されたデータについて各国それぞれの機関で解析した結果は次のようにまとめることになる。

The applicants will be requested to make a short report on the results of benchmark test according to a specified format to facilitate comparison of the results obtained by different methods. The report should be sent to the organizing committee by four weeks before the meeting to make it possible for a reporter to summarize the results of the benchmark test at SMORN-III.

この問題の作製は日本で行うことになるが、SMORN-IIIの主権で最も大変な作業の一つとなる(以上英文は我が国のSMORN-III準備委員会から提出した提案書による)。

SMORN-IIIの開催準備のため、原研の炉物理研究委員会内に開催準備委員会が設けられ、黒田委員長(東海大)の下に64年度から活動を開始している。折から米国スリー・マイル・アイランド原子力発電所の事故が起り、原子炉の安全性の見直しの声が高い。大統領特別委員会の報告書 (Kemeny Report) にも、... There should be a program

for the systematic assessment of experience in operating reactors, with special emphasis on discovering patterns in abnormal occurrences. ...  
とあり、diagnostics の重要性がくりかえし説かれている。原子炉診断の基礎学としての  
雑音解析の重要性が益々増加しているので、多くの研究者、技術者がこの分野に興味を  
示し、SMORN-III を盛り立てていただろう。

## 〈講演要旨〉

About Ultracold Neutrons

Techn. Univ. Muenchen,  
pres.: Research Reactor  
Kyoto University

Albert Steyerl

(“加速器による中性子実験専研”  
(昭54.12.18.於京大炉)講演要旨)

### 1. Introduction

The special properties and possible applications of neutrons with wavelengths in the range from  $\sim 10$  to  $1000 \text{ \AA}$  and energies well below  $10^{-4}$  eV have been the subject of investigations in a number of different laboratories during recent years [1]. Such neutrons have been termed "very cold neutrons" (VCN) or "ultracold neutrons" (UCN), where the designation "ultracold" is specifically used for neutrons with energies of the order of  $10^{-7}$  eV or below. Such neutrons cannot penetrate matter but experience total reflection from walls made of suitable substances, at any angle of incidence, even normal to the wall. This unique property of UCN's makes them suitable for storage in closed cavities, the so-called "neutron bottles". The neutrons are contained in such vessels travelling to and fro between the walls from which they rebound many times, until loss processes due to imperfect reflection or the lifetime for beta-decay become noticeable. Unfortunately, the intensity of neutrons of such low energies is very small, even at a high-flux reactor, using a "cold source" of liquid hydrogen or deuterium for cooling the thermal neutron spectrum. Recently, specific non-equilibrium moderator systems, the so-called "super-thermal UCN sources" have been proposed for more efficient UCN production [2,3]. At present it is not clear, however, whether the principal advantages of such arrangements can be exploited in practice.

In spite of their low intensity, a number of attractive applications of UCN's have been demonstrated or proposed. These applications take advantage of the long observation times due to the possibility of storage, or of their low energy and long wavelength. UCN containment is utilized in experiments investigating properties of the neutron itself, like its electric dipole moment or lifetime for radioactive decay. The low energy of these neutrons seems to make them suitable for very-high-resolution spectroscopy of low-energy excitations in condensed matter. A third branch of attractive physics with ultracold neutrons seems to be neutron optics, and some aspects of the optics of neutrons of very long wavelengths will be the subject of the present paper.

### 2. Peculiarities of UCN Optics

Dealing with neutrons of extremely low energy we must take into account a number of interactions which are usually negligible in thermal or fast neutron research because of their weakness, but play an important role at very low energies. These interactions include the gravitational potential ( $mg \approx 10^{-7}$  eV per m of height), the interaction of the neutron magnetic dipole moment  $\vec{\mu}$  with a magnetic field  $\vec{B}$  ( $\mu \approx 6 \times 10^{-8}$  eV/tesla), and the interaction with the "scattering potential"  $U$  which arises as an effect of multiple coherent scat-

tering in forward direction and gives rise to refraction and total reflection, as in light optics. For most substances,  $U$  is of the order of  $10^{-7}$  eV. These various interactions may be incorporated in a spatially variable index of refraction,

$$n(r) = [1 - (V(r) \mp \mu B(r) + mgz)/E]^{1/2}.$$

The sign of the magnetic term  $\mp \mu B$  is negative for neutron spin  $\vec{\sigma}$  antiparallel to  $\vec{B}$  and positive for  $\vec{\sigma} \parallel \vec{B}$ . (The magnetic interaction can be included in this simple form whenever the "adiabatic condition" is satisfied, i.e., changes of magnetic field direction "sensed" by the neutron along its trajectory occur slowly compared with the frequency of Larmor precession in the local magnetic field.)

As a consequence of the gravitational interaction even empty space in the absence of magnetic fields may be considered as a refracting medium with a spatially variable index of refraction. Therefore, the optics of ultracold neutrons deals with curvilinear rays, and this introduces some new features into the usual framework of optics.

All of the above interactions, the scattering potential, magnetic dipole force and gravity, may be utilized for neutron containment. A Russian group obtained confinement lifetimes of up to 600 s for flat, bowl-like traps with freshly evaporated surface materials, where gravity takes care of the upper lid [4]. The longest lifetime reported so far, however, was achieved by a group of the University of Bonn who used magnetic confinement in a "magnetic storage ring" [5]. They reached the limit of the lifetime for beta-decay and hope to be able to improve on its value with a modified version of magnetic trap.

### 3. Focusing of Ultracold Neutron Beams

#### 3.1 Focusing in two dimensions

Specific properties of the flight parabola described by particles in the gravitational field have been utilized for spatial UCN beam focusing in two dimensions (line-to-line focusing). Fig. 1 shows the scheme of the "gravity diffractometer" installed at the Research Reactor, Munich. In this instrument the narrow entrance slit is imaged onto the exit slit. This allows a precise definition and analysis of the vertical component of neutron momentum as a function of fall height from the slits. Rather wide ranges are admitted for the horizontal momentum components. Therefore, this instrument is well suited for measurements requiring a high resolution only in one direction, like the reflection from flat mir-

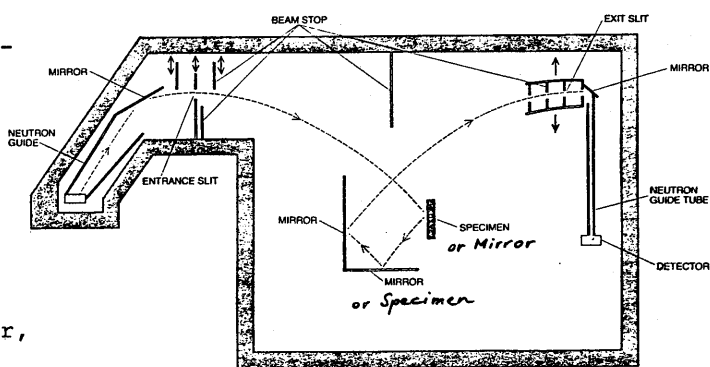


Fig. 1: Scheme of the "gravity diffractometer" at Garching. The entrance slit is imaged onto the exit slit.

rors (arranged horizontally) or the diffraction from a ruled grating (arranged vertically). The instrument admits of a resolution of 2 neV for the energy corresponding to the vertical neutron motion.

Until now the "gravity diffractometer" has been used in simple neutron optical experiments [6], studying the diffraction of neutrons with wavelengths of about  $1000 \text{ \AA}$  by a reflection grating, the interference pattern arising in reflection from thin films of homogeneous thickness, and the surface quality of glass mirrors. The latter experiment provided an indication of an unexpectedly high concentration of hydrogenous compounds on glass, which could explain the relatively short confinement lifetimes observed in all UCN bottle experiments and considered as a puzzle for a long time. Further experiments with multilayered structures [7] showed the sharp reflection and transmission resonances due to quasi-bound states, which are characteristic of the Fabry-Perot interferometer in light optics.

Another property of the flight parabola is utilized for two-dimensional beam focusing in another instrument being set up in Garching, which we call a "neutron gravity spectrometer" (NESSIE, for "NEutronen-Schwerkraft-Spektrometrie") [8]. In this instrument we exploit the property of the flight parabola that its reach is stationary at its maximum value, which is achieved for a launching angle of  $45^\circ$ . This means that a small change of the angle about  $45^\circ$  results only in a second-order change of the reach. This allows neutrons of given energy to be focused at a certain distance from the source. It turns out that the energy resolution of a spectrometer using this principle for beam monochromatization and analysis should be of the order of  $10^{-8}$  eV, exceeding that of the back-scattering spectrometer by one order of magnitude. This resolution as well as the possible ranges and resolution in momentum transfer seem to make such an instrument suitable for high-resolution studies of quasi-elastic scattering due to the slow dynamics of macromolecules, or the investigation of small hyperfine splittings by inelastic nuclear-spin-flip scattering, or for studies of critical magnetic scattering. The scheme of the design in Garching is shown in Fig. 2.

### 3.2 Focusing in three dimensions

As a last example of optics with ultracold neutrons I should like to deal, in somewhat greater detail, with the possibility of three-dimensional (i.e., point-to-point) image for-

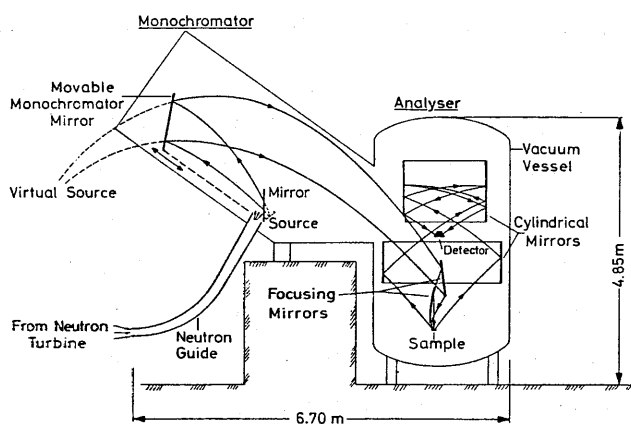


Fig. 2: Design of the "gravity spectrometer" NESSIE. Reach focusing is used for monochromatization and energy analysis.

mation. Here again we have to face the problem of gravitation, and so we are dealing with the optics of curvilinear beams. One consequence of this is that a concave mirror, which is completely achromatic in light optics, shows strong chromatic aberration with UCN's since neutrons of different wavelength experience a different curvature of their flight path.

One way of coping with this problem consists in "crossing" a concave mirror with a Fresnel-zone plate to obtain a "zone mirror" [9]. The underlying idea is that a conventional zone plate in light optics, used as an imaging system, shows chromatic aberration, and it is possible to compensate the chromatic aberration of the mirror due to gravity, by the aberration of the zone plate.

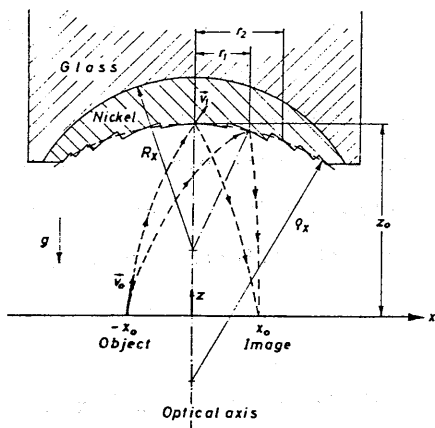


Fig. 3: Schematic drawing of the "zone mirror" for achromatic imaging with UCN's

Such a hybrid between a concave mirror and a diffracting zone plate was produced in the form of a pyramid-like nickel structure galvanically deposited on a concave glass substrate, as shown in Fig. 3. This structure constitutes a reflecting zone plate with a ring profile chosen in such a way as to concentrate the diffracted intensity into one

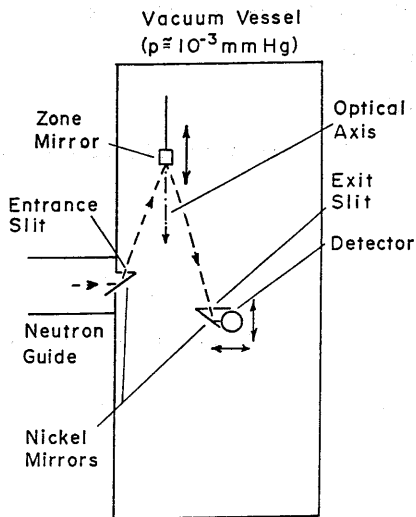


Fig. 4: Arrangement used for scanning the image of a slit produced by a zone mirror

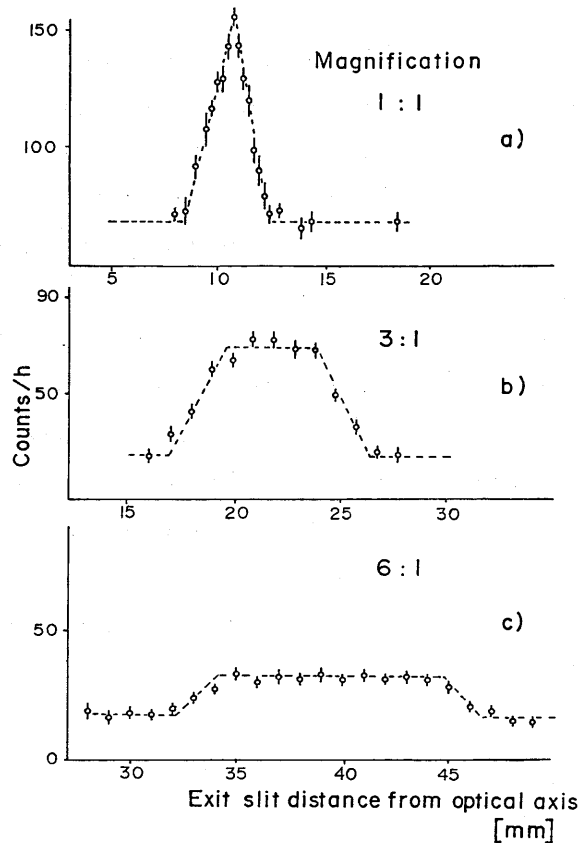


Fig. 5: Images of a 2 mm wide entrance slit measured by a 2 mm wide exit slit. The dotted lines correspond to unblurred images.

order of diffraction. For properly chosen ring dimensions and substrate curvature this system should be able to produce achromatic real images not only in the symmetrical case indicated, where the magnification equals one, but also within a fairly wide range of magnification.

The zone mirror was tested at the High-Flux Reactor, Grenoble, using the setup shown in Fig. 4. The real image of a 2 mm wide entrance slit could be scanned by a slit of the same width. The results of such scans [10] are shown in Fig. 5 for magnifications 1, 3, and 6. The triangular intensity distribution observed for magnification 1 is expected for the convolution of the two identical rectangular resolution curves for the entrance and exit slits. The trapezoidal distributions for magnifications 3 and 6 also correspond to the expectation for unbroadened images. This indicates that, within the resolution of about 0.1 mm, no image blurring due to diffuse scattering occurred.

Of course, the step from this modest beginning to, perhaps, a neutron microscope will be very difficult in view of the intensity problem. Nevertheless, the remote possibility of imaging with a resolution of several hundred angstroms and a contrast quite different from that produced by electrons in an electron microscope, might justify the efforts necessary.

#### References

- 1 For reviews on ultracold neutrons see, for instance: a) A. Steyerl, in Springer Tracts in Modern Physics, ed. by G. Höhler (Springer-Verlag, Heidelberg, 1977), Vol. 80, p. 57; b) R. Golub, W. Mampe, J.M. Pendlebury, P. Ageron: Scient. Amer. 240,6, p. 134 (1979)
- 2 R. Golub, J.M. Pendlebury: Phys. Lett. 62 A, 337 (1977)
- 3 V.A. Namiot: Sov. Phys. Doklady 18, 481 (1974)
- 4 Experiment by A.V. Strelkov et al., Dubna and Dimitrovgrad, described in Ref. 1b
- 5 K.-J. Kügler, W. Paul, U. Trinks: Phys. Lett. 72 B, 422 (1978)
- 6 H. Scheckenhofer, A. Steyerl: Phys. Rev. Lett. 39, 1310 (1977)
- 7 K.-A. Steinhauser, A. Steyerl, H. Scheckenhofer, S.S. Malik: "Observation of quasi-bound states of the neutron in matter", to be published
- 8 A. Steyerl: Z. Physik B 30, 321 (1978)
- 9 A. Steyerl, G. Schütz: Appl. Phys. (Springer) 17, 45 (1978)
- 10 G. Schütz, W. Mampe, A. Steyerl: "Image formation with ultracold neutron waves", to be published

<アナウンス>



BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY  
ASSOCIATED UNIVERSITIES, INC.

Upton, New York 11973

National Nuclear Data Center  
Bldg. 197D

(516) 345-2901, 2902  
FTS 666

October 25, 1979

Atomic Energy Society of Japan  
c/o Japan Atomic Energy Research Institute  
No. 1-13  
Shimbashi 1-chome  
Minato-ku, Tokyo, Japan

Dear Sirs:

The National Nuclear Data Center distributes the Evaluated Nuclear Data Files (ENDF/B) which is produced by the Cross Section Evaluation Working Group (CSEWG). CSEWG believes that the international use and referencing of the ENDF/B necessitates some standard form of referencing. A recommendation concerning the referencing of ENDF/B produced by CSEWG has been adopted.

Measurers of nuclear data often reference ENDF/B for comparison purposes. Reactor physicists use the files or group constants derived from it for reference design calculation. Finally, other nuclear data evaluators often compare their results with ENDF/B.

I urge you to consider adopting the attached guidelines for use by authors who publish in your journal and reference ENDF/B.

Sincerely yours,

Handwritten signature of Charles L. Dunford in cursive script.  
Charles L. Dunford

CLD:mr  
Attachment



REFERENCE GUIDELINES FOR ENDF/B

Case I: Use of ENDF/B evaluations in a secondary manner, where many elements are used together, or other cases where NO CONCLUSIONS ARE DRAWN CONCERNING QUALITY OF EVALUATIONS. In this case we propose the following form for ENDF/B-V.

"ENDF/B Summary Documentation, BNL-NCS-17541 (ENDF-201), 3rd Edition (ENDF/B-V), edited by R. Kinsey, available from the National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, Upton, N.Y. (July 1979)."

Case II: Use of ENDF/B evaluations in a direct manner, for example comparing measured results with evaluated results, or ANY CASE WHERE CONCLUSIONS ARE DRAWN ABOUT AN EVALUATION FOR A PARTICULAR MATERIAL. We propose, for  $^{12}\text{C}$  from ENDF/B-V as an example:

"ENDF/B data file for  $^{12}\text{C}$  (MAT 1306,MOD 1), evaluation by C.Y. Fu and F.G. Perey (ORNL), BNL-NCS-17541 (ENDF-201), 3rd Edition (ENDF/B-V), edited by R. Kinsey, available from the Brookhaven National Laboratory, Upton, N.Y. (July 1979)."

Case III: Use of ENDF/B evaluations to generate a multigroup library. In this case we propose that the report describing the library contain a table which includes the following information for each evaluation:

<u>Material</u>	<u>MAT,MOD</u>	<u>Authors</u>	<u>Institution</u>
-----------------	----------------	----------------	--------------------

This table may contain in addition other useful information concerning the multigroup library. Finally, a general reference should be given of the type described in Case I.

As shown in Cases II and III, a correct reference would contain the material name, MAT number, author list and institution(s), along with a reference to the Summary Documentation. In addition, for ENDF/B-Version V, updates will be allowed to the evaluations prior to the release of ENDF/B-VI. Thus, references to ENDF/B-V evaluations should also contain the appropriate MOD number, which serves to define the current status of an evaluation. All of this information is readily available in File 1 of each evaluation. The only exception to the above cases would be where a published document, prepared by the authors of the evaluation, is available. This document should then be referenced directly.

## 〈帰朝報告〉 カールスルーエ原子力センター滞在の記

阪大 工

高橋 亮人

1978年5月より1年4ヶ月、西ドイツカールスルーエ原子力センター(KfK)の中性子炉物理学研究所(INR)で Fusion Reactor Neutronics 関係の仕事を行って、この夏帰国した。西ドイツ全体及び同センターの組織と活動状況については、本会報27号に大木啓祐先生が紹介しておられる。そこで私は個人まわりの体験を中心に、とりとめよきの記としたい。

私にとって初の外国である西ドイツのFrankfurt空港については、1978年の2月末であった。空港には、INRでの1年余を通じて最良の同僚であり、後見人となったRusch氏が迎えてくれた。はじめに Karlsruhe の町は、ドイツ代名詞の暗い天気(dunkeltes Wetter)の下とはいえ、相当美しく見えた。KfKは、この町から果敢なく北方に続く平野の森の中、町より12kmあまりのところに位置している。ここは、ライン川を挟んでフランス国境がすぐ近くである。(気が付いてみると、国内深くの安全な場所等ドイツには存在しないのである。だから、ラインやネッカーの河畔に原発を建設したり、東ドイツの国境のAsseに廃棄物処理施設を設けたり、同様どころに核燃料再処理工場を作るとしたりしている。政治的よりは、物理的・環境的安全が重視されている。)その日のうちに、KfK最寄りの村Leopoldshafenに、INR実験部門のリーダーKüchle氏とRusch氏の努力で、窓からKfKの建物群を見渡せるアパートを確保することができた。このアパート(Hochhaus)に、家族ともども1年余りを過ごすことになったのである。

さて、ドイツ語が全く話せなかった私は、フンボルト財団の奨学研究員として渡独したため、MainzとKoblenz間のBoppardという小さな古い町にあるGoethe Institutに、2ヶ月間語学研修生として半強制的に入れられた。結果は上々でなく、研究所での生活はすべて英語に頼むという決心をして、4月末Karlsruheに舞いもどった。実感として、ドイツ人とドイツ語で対論するとなると、こちらに8分の利があったとしても言い負かされると思う。お互い外国語でやり合おうと、ますますの土俵になるようである。

渡独前に私がコンタクトした相手は、INR前所長のProf. K. Wirtzである。彼は、Prof. Beckurtz(現Jülich研究所長)との共著“Neutron Physics”で日本の炉物理仲間でもなじみの名前である。ちなみに、BeckurtzやKüchleらは、Wirtzの下で、Göttingen年代そしてKfK創立(1957年)のためにKarlsruheに来て以来、働いてきた人々である。“Neutron Physics”は、Göttingen時代の成果にそうだが、名は出していないがKüchleの貢献は大きいと聞いた。ドイツも“古い時代”であったそうである。Küchleは、物理への執着の余り、帯妻のひまがなかったようで、未だ独身である。Wirtzは、Heisenbergの直弟子でWeitzseckerの親友であるが、政治的動きのうらやましい70才の学究であり、所長を引退した今も研究所にきて、“Lectures on Fast Reactors”等の彼の最近の著書とみかえしている。彼の一生の大部分は、FBR開発に消費されたと言えそうである。

さて、私が一年余、輸送コードシステムNITRANの開発とLi球フランクット実験の解

析に取りくんに相棒の Dr. Rusch は、CERN での中間子の実験をへて10年程前から KfK の INR 実験部門にうつり、Küchle の下に、SUAK (高速未臨界集合体) 建屋でコックワロフト型パルス中性子源を用い、U, Fe, Li 体系等の高速中性子スペクトル測定に取りくんできた中心人物である。(彼等の習慣では、発表論文の著者の順序はアルファベット順となっており、日本の習慣と異なるので、彼がリーダーとは外からわからなかった。著者順序について、彼と一ヶ月以上に及び激論をしたのは記憶に新しい。) 私の行った時点で、このスペクトル測定実験は、私の期待に反して、中断となっていた。理由の主なものに、理論計算 (DTK, DTF-IV と同様なコード) と核データファイル KEDAK を使用) の行き詰まり (実験との不一致があまりにも大きい) があつた。彼等は別の計算法を探していた。これが、ブランチット基礎実験の解析のために独自の手法で輸送計算を試みていた私が、彼等のところに受け入れられた理由であつた。この偶然に、彼は後になって非常に感謝した。幸いにして、二人の一年半に及び努力の結果出来た計算システムは、彼等の実験をうまく説明する計算結果を示したからである。(仕事の詳しい内容については、学会誌 Vol. 21, No. 12 に解説したので、お読みいただければ幸いである。)

私の滞在中の INR での Fusion Neutronics の activity は、120人程の所員中2人にだけあつた。しかし、高速炉開発プロジェクト部門から来た新しい所長の Dr. Kepler は、我々を大いにサポートしてくれた。Kepler や Rusch らのねらいは、INR の新しいプロジェクトとして、Fusion 関係の activity をとりあえず 10% まで高めることであつた。1979年2月より、Inertial Confinement Fusion に的を絞つた、長期セミナーが開始され、センター内他研究所の Fusion 関係者 (中性粒子インジェクター、SCM, 材料、INS で activity がある) や LASL, Sandia 研, Wisconsin 大の人達も次々に講師に招かれ、サーベイ研究が続けられ、活気が次第に上昇中というところで、私の滞在期限が切れに (8月末) のは残念であつた。親しいドイツ人の話によると、所内他研究所との間の、又 Garching のプラ研や Jülich 研の Fusion 関係 activity との関連や EC 内諸国間調整の関連もあり、新しいプロジェクトを立ち上げるには、いさゝか同じなやみがあるようであつた。Fusion 用材料損傷研究のための D ビーム-Li ターゲット強力中性子源計画や高中性子束研究炉、Spallation Source 計画等も同様な状況下にあるようである。

INR での中心研究課題は、やはり高速炉開発であり、安全性研究にかなり重点が向いている。例えば、SNEAK (高速臨界集合体) では、現在非均質炉心増殖炉のモックアップをしているが、Na ボイド係数をいかにして安全側 (負側) にするかが課題とかの話であつた。Heterogeneous Core そのものについては、Breeding Ratio が外部ブランチット方式に比べて 5% も良くなれば、とのことであつた。また、軽水炉についても、Core melting 等の安全性実験研究を行っている。核データ部門は、Burn-up 時 isotope の核データ整備に重点をおいていた。核燃料の Physical Protection には、非常に熱心で、センター内警官の常駐ももとよりで、ある時 SNEAK 建屋上で三角屋根を取りつける工事をしているので、何かと聞くと、テロリスト (過激派) のヘリコプターによる侵入を防ぐとのことであつたには驚いた。

所員の研究生活は、いたってのんびりしているようにみえる。それでいて、仕事の配分・くみ上げ機構とで組織がしっかりしているようで、Output はきちんとできるようである。日本では一人でやることも二人はついているともみえる。彼等は、仕事後の夕方や Urlaub (休暇) を楽しむために仕事をしている観もある。しかし、Phoenix 等の国外での仕事に派遣されている人達が帰った時は、働き蜂の印象も与える。昼食時は、連れ立って、正門外の食堂で 2.5 マルク程の食事をすする。かなり良い内容で、これが彼らのその日の Hauptessen である。昼食時は雑談の時である。Rusch や同室の Kappler に、京大の小林氏ともども、いろいろ難題を吹っかけて談笑したのがつかしい。昼食後は、2 時頃までゆっくりと tea time で、各部門の tea room に集まり、雑談に花が咲く。午後は、あまり仕事に付かない。月 8 時より午前中充分に働いたのもので、それでいいのであろう。(どれかが学位を取ったとか、この退職者が出るとか、いったんどこかあると、午後から中庭でビールとバーベキュー(肉、ソーゼージ)・パン(Brezel)で屋外パーティをする。費用は、日本と反対で、祝われる者がすべし。祝う者は皆客である。しかし 100 人招待しても、自前パーティだから、一人の負担は 200 マルク(2 万円程)以下ですむ。集ってガヤガヤと話し合ひ、Rusch 達がにぎやかに楽器演奏をする。夜遅くまで残って話している人もいるが、いつとはなしに人が減ってパーティは終る。私が INR を去る(Abschied)ときも、同様で、“Ein Japaner, klein und schlau!” と即席の詩にフォーアのメロディをつけて、大勢で歌ってくれた。Vergiß niemals deutsch! (ドイツ語を忘れるなよー!) とも。

書き残したことは山ほどありそうである。しかし、そろそろ読者諸兄の興味からすすすはすすすきそうなので、この辺で雑文の終りとすする。

## 〈夏の学校報告〉

「夏の学校」の一巡を体験して

動 燃 古 橋 晃

動燃に移籍してからは大学の時のようには自由も余裕もないので、どうしようかと暫く考えたが、丁度幹事校が一巡した記念すべき年でもあり、秋神温泉の寺小屋を思い出させるような西原・大塚両先生のセッションもあるというし、京大炉の方々の二巡への取り組みも見ておきたいと思ったので、休暇を取って自費参加した。もっとも高野山が初めてだという打算と、帰途吉野へ廻ってやるという下心があったのも事実である。

行って見て時折ふっと感じたことは、10年間のタイムトンネルをくぐって秋神温泉に戻ったのではないかと錯覚するような昔懐かしい雰囲気だった。同じ人達が同じようなことをやっている。殊に大学は人の動きが少いこともあって、10年前と同じ人が同じ地位のまままた幹事を勤めさせられているのには同情した。してみるとこの間各校を卒業した膨大な数の若い方はどこへ行ってしまったのだろうか。そう云えば大学院生連合による夏の学校の自主管理への移行ということは遂に掛声だけに終わったのかしうん。この思いは帰宅後の感想文を指名で求められた時に更に強くなった。1回目に参加記を書いた(本誌第8号36頁)者が10年後に又書くようでは、(決してそうではないのだが、知らない人から見ると)夏の学校と本誌に閉鎖性があるのではないかと疑われるといけないと思っ、この原稿書きも実はやや躊躇した。また私は私自身及び原子力界のこの十数年の星霜に郷愁の夢を感じて帰って来た一殊にこの頃草創期の勇士の定年退職が多く、その感がある——ので、どうも若い人の読む学術誌に書くのは不適当ではないかとも思った。

しかし折角の御依頼でもあり、多分11回中9回参加という実績を買われ、この間を通しての感想と提案を求められたものと思っ、以下に数行を綴ってみよう。これ迄共通して云えることは幹事校の方一殊に若い人——は皆献身的に努めて来たということである。受講者と同程度の数の人が動いて、手作りの味で夏の学校を支えて来たのである。従って実質的には非常に高価なものであり、比較的少人数しか聞かないというのは勿体無いことである。しかし参加する側から見ると旅費・宿泊費がかなり痛く、所属機関が出張扱いにしてくれないと出にくいということがあろう。今回嬉しかったのは電力会社の人で、上司が1回目に参加して良かったほう、お前も出るよと耳を付けて、送り出されて来たという人が居たことで、無駄ではなかったなあ、と思った次第であるが、ミニコミではやはり限度がある。多くの機関が出張させてくれるためには(権威や功利性に頼るのは本意はいやなのだが)、もう少し学会直営の行事だということをはっきりさせて、炉物理関係の人は顔を出さねば極という雰囲気を醸成するように出来ないかと思う。昔の炉物理だけで分科会をやっていた化学図書館時代の感じを再現できないか、或は1回だけに終わっているトピカルミーティングを併催するようになることは出来ないか。ともかく学会として発表なり講演なりを募集又は依頼するようにすれば人も機関も動くような気がするのだが。また大学原子力教官協議会も名を借すだけでなく実効的な動きをするべきであらう。もっとも、官製に弱い人心を操縦するより、松下村塾で行こうではないかというふう、それも一つの見識ではあるが……。

## <夏の学校報告> 炉物理夏の学校をふり返って

中部電力株式会社  
原子力計画部

山内 章義

暑さも本格的になった或る日、私は課長から「炉物理夏の学校」に参加するようと言われた。電力会社の原子力部門に在籍しているとはいえ、私はまだ経験も浅く、専攻も機械工学なので原子核工学とはあまり縁がなく、炉物理と関りただけで難解な数式が頭の中でちらつき、頭がいたくなるといったしまつである。このような私にとって、炉物理夏の学校はどう考えても場違いのように思われたのだが、案内状の「会場：高野山浄菩提院」を見て気が変わった。高野山へ行くのも宿坊で泊まるのも初めてなので、難解な講義への抵抗感もすっかり影をひそめてしまった。念のため、知人に夏の学校がどういうものなのと尋ねてみたところ、基礎的な内容だとのことだったのでなおさら期待が大きくなった。こうして、私はアルコールや肉類を食べだめして、むし暑い名古屋をぬけ出し、一路高野山へ向かった。

会場に着くまで、原子力学会にはあまりなじみのない私はなんとなく異和感を抱いてはいたが、お寺の雰囲気がいれを和らげてくれた。そのうえ、原子力という科学技術の先端とあったイメージと、日本の古い歴史を象徴するようなお寺の雰囲気のアンバランスに親しめさえ感じられた。そうこうしているうちに夕食となった。いざ、膳が運ばれてくると、魚も魚もあり、おまけにビールまで出てきた。精進料理しかないものと思込んでいた自分がおかしかった。

翌朝からいよいよ私にとっては気がかりの講義が始まった。案の定、原子核工学、特に炉物理には全くなじみのない私にとっては、チンプンカンプンでとても理解の及ばぬ内容であった。知人の言っていた「基礎的」という言葉を私は *elementary* と思い込んでやっていたのだが、実際は *fundamental* という意味であったのだ。

会社での私の業務は、原子力部門とはいえ、書類の山に追われる毎日であり、原子力プラントの概要は知っているものの、原子炉の理論についてはほとんど知識がなかった。機械屋の私にとっては、原子炉はいわゆるブラックボックスのような存在であった。たしかに、原子力プラントといえども、原子炉を除けばポンプとバルブと配管の集合体である。これらの機器・配管系を安全で信頼性の高いプラントに築き上げるのが私の仕事だと、自分なりにわりきってしまっていた。しかし、あらためて考えてみると、プラントの心臓部である原子炉についての知識に暗いのでは、なんともこころもとなり。

これからは、ぜひとも勉強をしなければ、などと考えながら講義に耳をかたむけていたところ、後の席のほうから「あの方がラマーシュの仁科先生だ。」とか、「グラストンの大塚先生」といった学生さん達の会話が聞こえてきた。門外漢の私には、悲しいかなそのラマーシュやグラストンがいったい何なのかさえ知らなかった。ただ、講義の合間に設けられた Tea Time が待ちどおしいといった調子である。とくに、浄菩提院の御住職が全員に差し入れてくださった牛乳の味はことさらであり、講義の落ちこぼれである私にとっては、まさに救いの仏であった。

このように炉物理は全く苦手な私にとっても、興味深い話題がいろいろと紹介された。原子力と医療の講義では、人間の脳の断面のカラーライドが示され、思わず目をやむけたり、放射線を利用した脳腫瘍の治療法にあらためて感心したり、なかなか興味深い内容であった。また、日頃よく耳にする CANDU 炉や INFC E についての講義があったが、これらの話を聞いて初めてポイントがつかめたように思われる。さらに、エネルギー産業にたずさわる者にとっては重要な、原子力の安全性についての討論会が開かれ、夜遅くまでいろいろな意見が述べられた。特に、スリーマイル島原子力発電所での事故発生以来、原子力の安全性問題は世間でもクローズアップされている時期でもあり、能沢先生のお話は大いに参考となった。そのほか、浄菩提院任職の講話の中で「外国人は、信仰心のない者は信頼しない。外人に対して、自分は無宗教だなどとは言わぬほうがよい。」というお言葉があったが、なかなか興味深く思われた。

長いようで、短かった夏の学校も高野山ツアーを最後に幕が閉じた。私にとっては、講義のレベルが少々高すぎたようだが、それは別にして、学生諸氏をはじめ諸先生方もいっしょになって、寺小屋のような長い座机に並んで、アカデミックな毎日が過ごせたこと自体がとても楽しかった。4日間、あい部屋となった〇〇さんが、「いろいろな人達と知り合いになることも、夏の学校の楽しいところなのですよ。」と喋っておられたが、まさにそのとおりだと思う。次回は、上長命令でなく、自主的に参加したいと思ったことだった。

\* \* \* \* \*

現在、私は日本原子力発電株式会社 東海研修所において、炉物理をはじめ原子力工学の基礎を学んでいる。夏の学校では、名前すら知らなかったラマーシュやグラストンも少しは身近な存在となった。もっとも、ラマーシュとはただ今悪戦苦闘の間中である。机の前には、夏の学校で浄菩提院任職から全員に贈られた般若心経の色紙が掲げられている。難解な式に出会い、思わず頭がいたくなりそうになったら、この色紙をみつめて夏の学校でのことを思い出すことにしている。

末文ながら、あのような楽しい企画をたててくださった幹事の方々をはじめ、いろいろなところかかるところにまで気をつけてくださった浄菩提院の御任職に心から感謝の意を表して、結びの言葉にかえたいと思う。

(夏の学校報告) 炉物理夏の学校に参加して

東海大・工 M1 野村俊文

南海電車に長いこと揺られ鬱蒼と繁る山波の中に入って行った。ずいぶん辺鄙な場所へ  
ゆるものだと思っていたが、ケーブルカーに乗り替え、バスに乗ってびっくりした。こ  
な山の上がこんなに開けているのか。バスを降りると困った。どちらへ行ったら良いの  
。私と同じ目的で来たであろう一団を見つけ後をついてゆくことにした。一面識もない  
々であったが、その雰囲気では彼らが炉物理夏の学校へ向っていることが確信できた。不  
義なことであるが-----。

夜の懇親会はなごやかな雰囲気の内に行なわれた。京大炉・神田啓治先生が専ら話を進  
させ、阪大・住田健二先生が酒食を勧められとしてゆくうちに緊張感が徐々にほぐれて  
った。しかし顔つきが違う。学生はやはり学生の顔であるし、第一線で働いていらっし  
る方々はやはりそれなりの厳しいお顔をしておられる。貴重な年休を使って遠路来  
れた方もおいでになるだろうし、やはり社会人は厳しい。自分が社会人となり参加のチ  
ンスがあってもはたしてここへ来る熱意が自分にはあるだろうかと不安にかられた。私  
をこれまで参加の目的として、第一線で活躍していらっしゃる先生方のお顔を拝見し、そ  
講義を聞くことによる社会勉強をしようという気軽な気持ちでいたのだが、反省させ  
れた。しかし席上参加者が参加の目的を述べた時に私と同じような目的で来られた方が  
数あることを知り安心した。

今日のメインテーマである実用原子力数学は名大・仁科塔二郎先生、CRC・角谷浩享  
生共に大変、丁寧に熱心に講義をされていた。ただ私はテキストを当日になって受け取  
たので、予めフォローすることが出来ず、100の内容の内30位しか頭に入らなかつた  
で残念であった。内容は炉物理を志す者なら解る程度の常識というならば自分の不勉強  
恥じるより他ない。誌上を借りて先生方にお詫言申し上げます。

私はメインテーマよりむしろトピックスの方に興味があった。特にスリーマイル島原発  
故の余韻が残っていてホットな時期であっただけに一層であった。

電源開発・大塚益比古先生の「日本もCANDU炉を導入すべきだ」との話を伺ううち  
、私はこれまで「CANDU炉を導入すれば研究者にとっては研究テーマが増え良いで  
ないか」と考えていたので「カナダとの外交上、あるいは資源戦略上も導入にはメリッ  
が多い」との話から大いに導入に共鳴したのであるが、その後の原子力委員会の決定等  
を知り、「これだから学生は何も解っていない」と言われてもしかたがない自分を発見し  
て次第である。

加速器によるRIの消滅と核燃料再生に関連して原研・吉川和男先生が通常の溶融塩炉  
についても熱心に説明された。溶融塩炉の安全性や他の炉型に比しての有利性についてで  
るが、先生のお話からは御苦労と情熱がひしひしと我々に伝わり、独特の論術と相まっ  
、溶融塩炉の実現へと誘われた。そこには研究者のロマンといったものまで感じさせら  
れ感激した。お話では少なくとも溶融塩の取り扱い技術に関しては現在の化学工業の溶融塩



技術で充分に対処できるとのこと。私の知る限りでも最近、米国フォード財団のレポートで溶融塩増殖炉についてその積極的な開発の必要性が叫ばれたとの事であるから、日本でもせめて臨界集合体、実験炉の規模で研究が始まることを願ってやまないものである。

原子力と医療では帝京大匠・天野教義先生が生々しいスライドで解りやすく説明されたが、医学を志していない者にとっては、生身の人間の脳とか、必要な空間を脳の中にある島挿入してあるピンポン玉の入っている写真はショッキングなものであったが、自分がこのような病に侵されるかも知れないと考えると大いに興味をそそられる講義であった。さらに研究が進み、医療専用原子炉や、強力な自発核分裂中性子源が利用され、より一般的になれば、多くの人々が原子力の恩恵を受けることになり、原子力の人類への貢献度は一層大きなものになるう。

さて最大の関心の的であった高野山淨菩提院住職遍照寺大融師の「原子力と仏教」の講義は興味深かった。最初に御住職のアメリカと日本での現在の生活が述べられた後、存ぞ今日この淨菩提院で炉物理夏の学校が開催されることになったかの因縁話。それに関連して良い仕事をするには良い友人が是非とも必要であり、良い友人を得るには、少くともアメリカでは宗教心が絶対必要との事。アメリカへ行き、もしあなたが「あなたの宗教は何ですか？」と問われた時に日本人の感覚で、「特に信心はしていません。」と答えたならばそれだけで全ての信用を失うことになるし、従って友人も出来ないとの事。そのように宗教に対する考え方が違うのであるから、ここに来てこの話を聞くのも何かの仏縁、これを機会に宗教に関心を少しでも持って頂けたらうれしい。原子力の研究にもいつか必ず役に立つ時が来るはずだ。というお話であった。(最後の日、閉校後、高野山内を見学の時、いつもより多く賽銭を出している自分に気がついた。これは私だけであるうか?)

安全性について原研・能沢正雄先生が米国スリーマイル島原発事故について解説されたが関連して我々原子力安全委員会の対応についても詳しく言及された。討論になるとさすがに白熱して、私など学生は恐れ多くて口をはさむ機会が余りなかった程であった。印象に残っているのは、水素が炉内で発生し冷却材ドレンタンク内で爆発したとの事であるが、原文では爆発(Explosion)ではなく、Spikeではないかとの原研・古川和男先生の指摘であった。もう一つはオペレーターの対応という点で、日本の原子炉主任者試験は有用であると京大炉・神田啓治先生が強調されていた点であった。

あっと言う間の4日間であったが、講義の内容は素晴らしく、もう2-3日間会期が長ければとさえ思われた。特に食事は美味しくかつ変化に富んでいて、質素な精心料理を覚互していたのに食後の果実等も添えられ満点であった。しかしながら、会期が短いせいもあり、互いに打ち解けられないからと思うが講義での質問も講師の先生方同志のやりとりが多く参加者の発言が少なかったのは残念でありいささか拍子抜けといった感もあった。(個人的に質問に伺っている方は割にいらしたかもしれぬ)

今回、お世話になった京大炉の方々をはじめ関係者の方々に深く感謝の意を表すると共に、御住職が9年後に高野山大僧上になられたときも、盛況な炉物理夏の学校が開催されていることを願って終らせて頂きます。

# 〈夏の学校報告〉 炉物理夏の学校舞台裏奮戦記

京大原子炉実験所

中込良広

炉物理連絡会の主要な行事の一つである「夏の学校」も、今回で11回目を迎えた。幹事も一巡し再度京大炉となった。

10年前というと、俗に“ひと昔前”ということになり世の中は随分変わったが、幸か不幸か今回の夏の学校担当者はオノ一回の担当者に数名の若手(?)が加わっただけで、そう大きな変化はなかった。“幸”の方では既に経験者がいるため開校までの段取り、開校中の運営、後始末と特に問題なくスムーズにこなせたと思うが、“不幸”の方では新鮮味に欠け、いわゆる“ワンパターン”になったように感じられた。

ま、これらの反省はさて置き、そもそも何故今回の夏の学校の会場が、よりによって真宗大本山の高野山の寺になったのか? 京大炉は高野山と以前から何か深い関係があったのか??? 話しは開校に先立つ1年前に逆のぼる。その年の春、ある米国のロータリークラブの団体が泉佐野市(熊取町の隣町)を訪ずれた際、見学地の一つに京大炉が選ばれた。京大炉の案内役として神田、中込の両名がたまたま担当したが、ロータリークラブの全体の主眼として今回の夏の学校の会場となった高野山浄菩提院住職の遍照寺大融氏がいられた。これが住職と我々との最初の出合いであった。

その年の秋の学会の炉物理連絡会総会で、京大炉が翌春から2度目の当番校となることと決められ、これを契機に夏の学校の準備を開始した。場所としてはまずオノに涼しい所を選ぶことにした。我々も10年前に比べ格段に忙しい日々を送っている関係上できるだけ熊取の近くで、かつ連絡が密にとれる涼しい場所を会場として選んだ方が担当者には都合がよく、又関西地区内でそのような場所が見つかれば、地理的にみて会員の方々の旅費にそれ程大きな負担差が出ず参加しやすくなるのではないかと、などと勝手に考えて候補地を上げて行った。この結果高野山がオノ候補地に選ばれた。“高野山で夏の学校”には宗文的な面で若干危惧したが、この際このことは小事と考え、担当者一同「オノ11回炉物理夏の学校は高野山で!!」を合言葉に具体的な準備にとりかかった。

高野山にはたくさん宿坊があるため宿泊施設についてはそれ程心配していなかったが、具体的にどの宿坊がよいか、いわゆる「最適寺問題」で悩んだ。その時頭に浮かんだのが前述の浄菩提院の住職さんのことであった。早速、住職さんに電話し夏の学校の主旨を説明したところ大いに賛同され、以後この話はトントン拍子に進むことになった。

現地調査、開校までの段取り打合せのため何回か当院には足を運んだが、その都度丁重よもてなしを受け恐縮するばかりであった。「宿坊の施設はそれ程よくないが、食事は他に負けないものを用意するから参加者の皆さんに大いに勉強してもらいたい。」「参加者から『幹事はよくやった』と言われるよう当院は全面的にバックアップするから頑張りなさい。」等々、住職さんの言葉に我々担当者は大いに元気づけられ、これで夏の学校は成功したものだと確信した。

講義場所として当初高野山大学の講義室を借り、机と椅子による講義を計画していたが、

夏季集中講座が当大学で長期間あるとのことで宿泊場所と同じ浄菩提院広間を借りることになった。(結局このことがオノ回夏の学校と同様タタミに文机の寺小屋形式になり“ワンパターン”の色合いを強めたものと思う。)このため住職さんは「開校期間中勉強の邪魔になるといけないから他の泊り客はとらない」と積極的に我々を支援してくれた。

昭和54年春、炉物理連絡会幹事校となり、総会で夏の学校の開催地=高野山に正式に決定した。開校時期については京大炉側の都合(学生実習、CA5周年記念行事等)と寺側の都合(主としてはお盆客の宿泊)で7月31日~8月3日となった。開校日が近づくにつれ担当者(5名+女性3名)間で作業を分担し合い、やれ参加者の状況は?、講師は?、やれ当日持って行く物は?、テキストはどうなっているか?、当日交通ストなど無いだろうか?、忘れものは?、etc 10年前と相変らぬ気のみようであった。

開校日早朝、我々担当者は黒板をはじめ期間中必要なものを車に積み高野山へ向った。寺では事務局造り、各部屋の案内図、コーヒー飲み場の設置(これは担当者の内からの発案で設けたもので、当日参加者の方々から好評を載った。)等の作業を行い、又高野山駅バス停からの会場までの“現地案内ビラ”の貼り作業に汗を流した。参加された方は既に御存知と思うが、開校期間中の住職さんの気の使いようは大変なもので、我々の予想を遙かに上回り、担当者の気が付かない点を十二分にカバーしてくれたお蔭で、我々はらくに“奮闘”せずに済んでしまった。要するに寺側に大いに甘えてしまったわけである。更に最終日には住職さんの名入りの「般若心経」色紙のお土産を全参加者が載った。このようなことはこれまでの夏の学校ではなかったことであり、我々担当者にとって予期せぬうれしい出来事であった。

2回目の夏の学校担当者としての立場から今回の夏の学校を振り返ってみると、場所の選定、会場交渉、当日の運営等初回に比べて格段に楽であったのは、多少2度目という慣れもあったが、会場となった浄菩提院の住職さんの全面的な支援が主因であった。このような住職さんと知り合いになれたのも何かの縁では……。

担当者の半分は10年前と同じメンバーで、運営面ではワンパターンだったかも知れないが、寺という会場、バラエティに富んだ講義、「原子力と仏教」の講義、討論会、etc、やはり今回の夏の学校はこれまでとは一味違ったものとなったのではなからうか。

《編集後記》この余白を借りて書かせていただきます。「特集」の制御棒校正については多くの方々から貴重なデータを盛った原稿を載せ有難うございました。炉中性子工学研専要旨は丁度1年前(54/1/30)のものになり、執筆者にはお手数をかけしおした。「アナウンス」は学会編集委における情報もこちらに載せさせていたございました。「研究室だより」はここ数年向御寄稿いたしていない研究室等に依頼し、原稿が向に合ったものを載せました。その他多くの方々の有益な御寄稿を載せ、当初炉中性子工学が終了したこと等による原稿不足を予想していたのが、「特集」の頁数のおかげもあって、厚いボリュームになりました。連絡会の次期担当者校は、総会報告にもあるように、原研が引き受けて下さることに存りました。(記 宇津呂雄彦)

## 〈夏の学校報告〉

# 炉物理夏の学校を終えて

京大原子炉実験所

神田 啓治

去る7月31日から8月3日までの4日間行なわれた第11回炉物理夏の学校については、すでに学会誌9月号に公式の報告はしてある。昨年北大の井上、成田先生らが頑張られ大盛会だったので、今年もその勢いを保つよう努力した。井上先生とも話し乍ら、参加者数は、①講師とテーマの魅力、②一度は行ってみたい所と考える人が多い開催地、の2要素で決まると考えた。その他は幹事の意気込み、案内パンフレットの出来映なども大分かも知れない。などと考えながら幹事一同細かい点に気を配った。

今後のために幹事の仕事をもとめてみると、①テーマ、講師等プログラムの構成企画、②学会、炉物理連絡会等の承認、③講師との交渉、④テキストの原稿集めと印刷、⑤会場選定と交渉、⑥会場に必要な器材の準備持込み、⑦宣伝活動(パンフレットの印刷発送、学会誌、炉物理連絡会誌への予告記事、KUCA実習生への宣伝、各大学教官へ学生派遣の依頼)、⑧予算と決算、⑨アンケートの整理、⑩報告書(学会、炉物理連絡会、学会誌、炉物理連絡会誌)などである。今回は担当幹事の分担を決めて各自が自主的に働き乍ら、とどろき全体会議を待つて進捗状況をチェックし合った。

今回のアンケートからみると、講師(テーマ)、会場共になかなか好評のようだ。炉物理夏の学校という言葉に相応しい講義は午前中に済ませ、午後からは広いテーマについて話しと討論を中心にした。参考までに印象に残った講義としてアンケートにあずらされたのは、実用原子力工学は当然として、原子力戦略、原子炉医療が特に多く、次にCANDU炉原子力安全性(TMI事故)、加速器によるRIの消滅と核燃料再生などである。これからしても参加者が炉物理の狭い範囲だけでなく、関連する広いテーマの話を聞きたがっていることが分かる。

会を円滑に運営するため、古橋先生が炉物理連絡会へ寄附された通称古橋基金が大いに役立った。それは思い切った講師の選択、立派なテキストの印刷などという形に表わされている。改めて感謝申し上げたい。また会場でも講師の先生方などから寄附金を頂いたことも大変助かった。

今回の特色の一つは、「原子力と仏教」という住職の講話があったこと、日米交換学生として来日中のDon McCoy君(ノースウエスタン大学大学院D3)が参加したことだろう。会を盛り上げるアクセントになった。

暑い夏に数日から仕事を離れて、いろいろな年齢層から、いろいろな所属の人が集って勉強したり、ワイワイ討論するのは大変楽しいことだ。できればメーカーや電力会社の参加を曾やせ、又科学技術庁や通産省の若手が参加したら一段と面白くなるだろう。アメリカでは、国務省、エネルギー省、原子力規制委員会の人達が気軽にこの種の会合へ参加しており、それなりの効果を相互にあずけていることから一考に値しよう。

御協力頂いた多くの方々へ感謝の意を込め、来年からも益々発展することを願って終りにしたい。

# <報告>

## KUCA 5周年記念講演会を終えて

京大原子炉実験所

神田啓治

京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)が初臨界になった日から丁度5年目に当たる8月6日にKUCA 5周年記念講演会が右のプログラムの通り開かれた。当日は午前中に臨界集合体専門研究会(通称CA専研)が開催されたこともあり、約60名の出席者を得て盛大に行われた。

まず、長い間CA専研の主査をされている京大西原宏教授より、本装置の計画の段階から今日に致るまでの流れと研究経過のあらすじが話された。研究者の合意で計画が進められたことを改めて思い出した。昭和41年にCA専研が設置されてからのKUCAの歩みは右下の表に示す通りである。

次に柴田所長から、KUCAの設計の基本的考え方と具体的建設について、幾つかのエピソードをはさみ乍ら話があった。建設着工までには多少モタモタしたところもあったが、それがかえって設計を煮詰めさせ、以後、計画はほぼ順調に進んだ経過が話された。

KUCAはそもそも大学共同利用研究用の装置として作られた。合わせて大学院生の教育を大きな柱として考えられていた。資料(1)に基づいて運転の実績、訓練運転終了者一覧、共同利用の実績、等の説明があった。各大学は年度の上半期と下半期に分けて1週間単位で共同利用を申請し、次頁の表のような件数ほど採択されて共同実験を進めてきた。資料(1)ではその実験報告書も全テーマについて1週間分を1頁にまとめて印刷されている。大学院実験については、教官を代表

### KUCA 5周年記念講演会

日時：昭和54年8月6日(月) 13:30~17:30

場所：京都大学原子炉実験所 応用センター会議室

#### 開会挨拶

1. 京大臨界集合体の計画と専門研究会の役割.....西原 宏 (20分)
2. KUCAの設計と建設.....柴田 俊一 (30分)
3. 共同利用装置としてのKUCAの成果.....神田 啓治 (20分)
4. KUCAによる共同大学院実験.....住田 健二 (20分)
5. KUCA軽水減速炉心の特性.....仁科 浩二郎 (20分)
6. KUCAによる重水2分割炉心の特性測定.....林 正俊 (30分)
7. KUCAによる2分割炉心の動特性.....代谷 誠治 (20分)
8. KUCA固体減速炉心によるトリウム実験.....小林 圭二 (30分)
9. 所感.....武田 栄一 (20分)

#### 閉会挨拶

### 京大臨界集合体実験装置(KUCA)年表

昭和41年4月	臨界集合体研究専門委員会設置
昭和41年3月	原子力学会インフォーマルミーティング
昭和46年6月	学術会議報告
昭和47年4月	臨界集合体施設委員会設置(49年3月まで)
昭和47年5月	設置承認申請
昭和47年8月	設置承認
昭和48年6月	臨界集合体建設本部
昭和48年6月	着工
昭和49年3月	完工
昭和49年4月	臨界集合体共同利用委員会設置
昭和49年8月	C 架台初臨界
昭和49年11月	B 架台初臨界
昭和49年12月	A 架台初臨界
昭和50年2月	使用前検査合格
昭和50年4月	共同利用開始
昭和51年7月	大学院学生実験開始
昭和54年1月	加速器完成

して阪大の住田健二教授から詳しい報告があった。9大学から夏期3週間に70名以上の学生が参加する実習の実体をテーマの選定、教官と学生数の配分、教育的効果などの点から話された。実習生の数は右下の表の3に示してある。

さて、資料(1)をまとめる段階で、これまでKUCA関係で学生発表や出版されたものを一覧表にしてみたところ約100篇もあって驚いた。約1/3は所員以外の共同利用者からの発表であった。その中には研究成果について4人の方からテーマごとに話があった。所外を代表して話された名大仁科浩二部助教授は、KUCAを最もよく利用される方で、所の内部事情も詳しい。従って成果の発表と共に、KUCAの諸々の問題についてするどい指摘があり、考えさせられた。所員からはこれまでの2大テーマ、KUFRのための実験と、トリウム実験について話された。今後は前者より後者の方へウエイトが移っていくだろう。

プログラムのしめくりは計画の当初から常により理解者であられた武田栄一東工大名誉教授にKUCAの一連の仕事についての所感を伺った。「臨界集合体というのは具体的な開発計画に添って作られ、その目的を達成したら閉鎖もしくはスローダウンするものという一般常識を破るいい使い方をしている。それは設計の段階から大学が持つ臨界集合体のあり方をよく考えて、研究者が一致協力して努力したからだ。」という御言葉に、関係者はゾーンとなった。また、当日参加された方の中から実験所初代所長の木村毅一先生から特別にお話を伺った。所誕生のとき苦勞された先生には、やっと一人歩きを始めたドラ息子にも思えたのだろう。大変愛情溢れる温かいお話だった。

会場がKUCA以後に作られた原子炉応用センター(原子力科学館)のホールだったため初めて来られた参加者も多くて宣伝にもなったし、なかなかいいムードだった。KUCAの実験については資料(2)に詳しく述べたのでここでは省略する。資料(1)についてはまだ残部があるので、希望者はお申し出下さい。

#### 資料

1. KUCA共同利用成果報告書。(昭和54年8月)
2. 神田啓治、小林圭二、林正俊、柴田俊一、京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)による炉物理実験、日本原子力学会誌 21〔6〕(1979) 557-567

### 京大臨界集合体(KUCA)利用の実績

#### 1. 運転時間

年 度	時 間
49	870
50	1,096
51	1,319
52	1,056
53	806 (加速器工事)

#### 2. 共同利用件数

年 度	件 数	利用者延数
49	26	160
50	19	100
51	21	178
52	15	106
53	16	88

#### 3. 大学院学生等実習

年度	大学数	他大学	学生数	京都大学学生数
49				20
50	5		24	19
51	7		38	19
52	7		39	23
53	8		40	26
54	8		43	24

## <研究室だより>

近畿大学 原子炉工学科 炉物理研究室 堀部 治

永い間「研究室だより」を始めあらゆる寄稿に対し御無沙汰致し心中申し訳なく思っております。先水と云うのも種がなく皆様の役に立つ記事が無かつたのが理由です。勿論今回もその通りですが、今日の宇津呂様の編集方針に答えると共に、この辺で寄稿して吾々の小企業の存在を認識して頂くのも必要かと思ひ筆をとり次第です。

先づ研究室の陣容ですがこれまで長い間、小生と水本の2人で多くの学生とから教育の合同を利用して細々と研究を続けてきたが、今年ようやく1人の助手が採用出来、現在京大原子核教室より日下部君を迎え3人になりました。しかし、大企業の研究室からいきなり小企業研究室への変化と、恐らく予想もつかなかった学内の風潮と習慣の違いから可成り戸惑い、又これまでの研究の継続から本研究室の戦力は2、3年先に残りそうです。

次は研究活動の方ですが別段とりたてて報告することも有りませんが、これまでの経過を報告しておきます。約15年前に計画した $^{90}\text{Zr}(n,\alpha)^{87}\text{Sr}$ の核分裂中性子スペクトルに対する平均断面積の測定ですがようやく纏り、現在 *Annals of Nuclear Energy* に投稿中です。実はこの研究を始めに当り、 $^{87}\text{Sr}$ の decay scheme が確立されていないことが有り、併行してこの scheme の確立を行う実験を始めました。その直後、1969年米国の連中による $^{87}\text{Sr}$ の decay scheme の結果の発表に会い出鼻をくじかれました。しかし計画通り実験を継続することにしました。如何せん、小人数と旧式の兵器でもって彼等に挑戦したわけは彼等の成果以上の結果は所詮短期間で得られるわけがなく、結局「おぼろ」と「根拠」で長年月をかけることになり、彼等以上の成果を上げ、1972年 *Journal of Phys. Soc. of Japan* に発表出来る所まで進み付りました。結局元々の新面積の測定はこの研究の副産物として得られた結果となり、又同時に $^{87}\text{Sr}$ の  $388\text{keV}$  isomeric transition に対する K 内部転換電子の係数が  $K/(L+M+\dots)$  の値を求めたり、予想外の収穫がありました。以上の様な経過から大気炉物理の直接分野から遠ざかり、現在 $^{99}\text{Tc}$ の decay の研究に首を突込んでおります。勿論「炉物理研究」才16号で概要と述べた $^{95}\text{Zr}(n,\gamma)^{96}\text{Zr}$ の断面積の測定を完成させたいと思っておりますが、実験条件が整わないので中断したままになっております。

以上教育中心の私学で（教育中心を強制されているわけにはなく、小生自身の信條）小企業的研究体制という特異な研究を行つていらっしゃる方々の例からの参考にはなれません。

最後に、この機会を借りて、平素人並のお附合が出来ない無礼なお詫言致しておきます。というのも上記の如き特異な研究を行つて下さる人並のお附合をいってはいは研究内容がうねつたものとなる危険があり、むしろ地味な着実な研究を行い、学問に貢献出来ることこそ唯一のお詫言とも思ひます。

## 大阪大学工学部 関谷 研究室

我々の研究室では、炉心核熱計算法の開発、炉心設計に関する研究を行っている。メンバーは、関谷教授、竹田助教授、錦織助等のほか大学院博士1名、修士7名、夕回生4名の計15名である。

当研究室は動力炉あるいはその関連装置に直接結びつく炉物理研究を目指しており、FBRグループとLWRグループに大別できる。

FBRグループでは

- 1) 高速原型炉"MONJU"および1000MWeクラスの大型炉を対象とした核熱計算法の開発(空間メッシュ、エネルギー群、輸送効果の評価等)
- 2) 臨界集合体区PPR等でのナトリウム・ボイド反応度および反応率分布の実験解析
- 3) 高速炉局所閉塞による温度・流量ゆらぎの解析
- 4) オンライン炉心性能監視のための核熱計算法の開発
- 5) 断面積作成のための理論的解析

等の研究を進めている。また、LWRグループでは

- 1) BWRの $K_{eff}$ 、出力分布等を精度よく計算するための格子定数作成法の開発並びに格子計算コードの開発
- 2) 応答行列法による核計算法の開発
- 3) PWR高燃焼炉心の設計
- 4) 燃料集合体内熱流力解析コードの開発

等の研究を進めている。これらの動力炉を対象とした理論計算では、大型電子計算機が不足となり、現在、IBM-3032, CRIC-CYBER, 京大、阪大の計算機を使用している。当研究室の特色として、夕回生には、まずCITATION, TWOTRAN, WIMS等の原子力コードをフォローさせ、計算機に慣れてもらった後、新しい研究をしようとする。研究室内はFBR、LWRグループの学生がそれぞれの立場で、核熱の諸問題を議論し、積極的な研究活動が進められている。

### 発表論文

- 1) T.Takeda, Y.Komano "Extension of Askew's Coarse Mesh Method to Few-Group Problems for Calculating Two-Dimensional Power Distribution in Fast Breeder Reactors" J.N.S.T. Vol.15 No.7,1978
- 2) Y.Komano, T.Takeda, T.Sekiya "Improved Few-Group Coarse Mesh Method for Calculating Three-Dimensional Power Distribution in Fast Breeder Reactor" NEACRP-L-204(1978)
- 3) T.Takeda, K.Arai, Y.Komano "Effective Coarse-Mesh Method for Calculating Three-Dimensional Power Distribution in Fast Reactors" Annals.Nucl.Energy Vol.6,1979
- 4) S.Komoda, S.Igarashi "Neutron Cross Sections of Li-6" J.N.S.T. Vol.15 No.1,1978

54.12. 竹田敏一 記



名古屋大学工学部原子核工学教室加藤研究室

私達の研究室は工学部の共通講座としての「応用原子核物理学講座」所属の研究者で構成され、現在は、教授加藤敏郎、助手雨宮進、河本清、山本洋が研究スタッフで他に技官釣田幸雄、事務官森さき子があります。学生は、昭和54年3月に博士後期から1名厚研の高速炉物理に移って以来後期学生は0となり、現在は前期2年2名、1年3名、学部4年5名です。

研究の内容は、炉物理からはやや離れて、中性子を用いた核物理および計測、加速器を利用した元素分析などをおこなっています。具体的には、山本洋を中心としたグループは京大原子炉の2号炉計画の一部としての核分裂片研究用のオンライン同位体分離器計画に参加し、そのうちのヘリウムジェット移送系を分担してかなりの成果をあげています。また、短寿命の核分裂生成物の核分光学的研究を立教大学の原子炉を利用しておこなっています。他に広島大学などと共同でガンマ線測定、精密化も行なっています。河本清は現在ドイツのユーリッヒでやはりオンライン同位体分離器に関する研究をおこなっています。雨宮進を中心としたグループは、最大2 MeVのバンデグラフを用いて元素分析をおこなうことをしており、核反応による荷電粒子、ガンマ線、陽子励起X線を検出する方法など各種の方法を有機的に結びつけて分析を行なっています。グラフアイト中のボロンの分析ステンレス中の不純物分析、河川水分析などそろそろ成果があらわれつつあります。以下に最近の発表論文、学会発表などを記しておきます。

1) Y. Ikeda, H. Yamamoto, K. Kawade, T. Katoh, T. Nagahara,\*

"Level Properties of  $^{146}\text{Nd}$  in the Decay of  $^{146}\text{Pr}$ ", J. Phys. Soc. Japan vol.45, (1978) p725, \*立教大

2) Y. Ikeda, H. Yamamoto, K. Kawade, T. Takeuchi, T. Katoh, T. Nagahara,\*

"Decay of  $^{148}\text{Pr}$  isomers to levels of  $^{148}\text{Nd}$ ", J. Phys. Soc. Japan, Vol.47, (1979) p1039, \*立教大

3) Y. Ikeda, H. Yamamoto, K. Kawade, T. Katoh, T. Nagahara,\*

"Decay study of  $^{144}\text{La}$ ", J. Phys. Soc. Japan, vol.47 (1979) p1389, \*立教大

4) 雨宮, 野村, 竹内, 釣田, 加藤 「2 MeV Van de Graaff を用いたプロトン励起X線測定法による微量元素分析」 第16回X線分析討論会

5) 吉沢\*, 加藤, 岩田\*, 賀来\*, 飯沼\*\*, 阮\*\*, 小島\*\*, 河田\*\*, 「ガンマ線強度の精密測定」 JAERI-M 8196, \*広島大, \*\*立教大, \*\*\*電総研

6) 雨宮, 釣田, 竹内, 野村, 猪飼, 中村, 増田, 宮田, 加古, 加藤 荷電粒子照射心臓分析 原子力学会中部支部発表会 (昭和54年12月)

7) 雨宮, 釣田, 竹内, 野村, 猪飼, 中村, 増田, 宮田, 加藤, 西沢 「トモラストの分析」 原子力学会中部支部発表会 (昭和54年12月)

8) 山本, 花田, 天野, 加藤 「ガスジェット法による核分裂片の研究」 原子力学会中部支部発表会 (昭和54年12月)

久しく研究室のよりを書いておりませんが、このため数平分をまとめて書くことにします。当研究室では信頼心きき遮蔽設計計算法の確立を目的として、理論的研究と実験的研究を実施しております。その理論的研究としては、当所が開発した輸送方程式の直接積分法にもとづく PALLAS コード（1次元、2次元のうす様に2次元）と Sn コードの DOT を対象に計算コードの評価と、(1) 中性子ストリーミング問題、(2) スカイシヤイン問題 (3) 14 MeV 中性子透過問題等の計算へ適用した場合について実施し、さらに (4) PALLAS コードによる lay effect 発生を軽減する目的の First Collision 法の導入も実施しております。一方、実験的研究では上記の計算コードの評価のために JRR-4 において次のような実験を行っております。すなわち、(1) ストリーミング実験、(2) 透過実験、近い将来 (3) Cavity 内散乱実験、(4) 高エネルギー (6.2 MeV) γ線透過実験等です。(1) では主として円環状外漏減中核子の空間分布と放射化法、比例計数管、TLD 等での反率、スペクトル、線量率の形で求め、また (2) では水あるいは鉄、水多層透過中核子の反率およびスペクトルを放射化法により求めてゐる。

(発表論文)

- 三浦他 "Fast Neutron Streaming through a Cylindrical Air Puct in Water" Papers Ship Res. Inst. No. 48 (1975)  
 三浦他 "単色中性子に注ぐ He 比例計数管の放射化法による計算" 船研報告 12 巻 6 号 (1975 年)  
 三浦他 "A Two-Dimensional Benchmark Experiment for Neutron Transport in Water" J. Nucl. Sci. Tech. (1977)  
 三浦他 "Fast Neutron Transport through Laminated Iron-Water Shield" ibid, 16 (1979)  
 三浦他 "円環状外漏減放射線測定と計算" 船研報告 16 巻 6 号 (1979)  
 竹内 "PALLAS-2DCY-FC, A Calculational Method and Radiation Transport Code in Two-Dimensional (R, z) Geometry, Papers Ship Res. Inst. No. 57 (1979)

三浦, 竹内 "An Improvement of the PALLAS Discrete-Ordinates Transport Code" Nucl. Sci. Eng. 71, 3 (1979)  
 (学会口頭発表)

理論計算の (1) に関し 53 年分科会 (I) C 60 および 54 年分科会 (I) B 1, 2, 5 により (3) に関し 52 年年会 (I) D 24 および 53 年分科会 (I) C 72 により、また (4) に関し 53 年分科会 (I) C 69 および 54 年年会 (I) F 40 により発表を行なつてゐる。その他 53 年年会 (I) C 11 および C 12 により Discrete Ordinates コードの精度評価の発表を行つた。実験の (1) に関し 50 年分科会 (I) A 48, 51 年年会 (I) C 30 および 53 年年会 (I) C 16 により、さらに 53 年分科会 (I) C 64 および C 65 により発表を行なつてゐる。

以上の基礎研究の他に 50~51 年度には「むつ」遮蔽改修工程への実験に参加してあり、これは 52 年年会 (I) D 28~33 により発表を行なつてゐる。(竹内記)

井上研究室 (北海道大学工学部・原子工学科・放射線源工学講座)

これまで10年近い長い年月をかけて進めてきた装置の開発がようやく一段落した。45 MeV電子線型加速器冷中性子源、それを使った準弾性散乱分光器、統計データ解析コードシステムのハードからソフトまでの全システムの各機能が所期の目標レベルを越える域に達した。加速器冷中性子源は、動き出してから既に数年たつが、現在でも性能向上の改良が行なわれている。分光器はパイロリテック黒鉛結晶片約600枚からなる最適形状大面積の高感度アナライザーミラーを4台備えたものとなった。加速器線源の減速材表面中性子束は熱中性子束換算で $\phi_{th} \sim 10^{11} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ にすぎないが、準弾性散乱分光器としては、 $\phi_{th} \sim 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 級原子炉のものにまさる性能を備えている。

この分光器を使って面白いことをやるためには、準弾性散乱のスペクトルプロファイルから必要なデータを引き出さねばならない。ハードウェアの開発に並行して、初期からこのソフト面での開発を行ってきたが、こちらの方がむしろ難しい面が多かった。散乱断面積に含まれる非線型の数個の未知パラメータを、比較的単純な形のサンプルスペクトルを用いて明確に決定できるものであるかどうかは、当初は全く雲をつかむような感であった。最近になって統計データ解析システムとして実用になるようになった。

これで、研究装置システムの車の両輪が揃ったわけである。人の異動を行ない、研究室の能勢を整え直して、ようやく本格的に仕事に取り組み始めたところである。主な狙いは、水、水溶液、水和現象、高分子、生体分子などであるが、この装置でやれる仕事へは全部手を出そうと欲ばったことを考えている。実験、データ集積、データ解析には殆んど人手を要さないようにシステムを作り上げて、ひたすら考えることだけに集中できるようになっているので、欲ばることも可能である。振り返って見ると、原子力で発展した技術を使って境界領域に踏み込んできたわけであるが、炉物理・原子炉・中性子断面積・中性子計測・原子力コード・安全性・低温技術・プロジェクトの進め方・フィロソフィなど原子力で多方面にわたり色々なことを学び経験させてもらったことが全て結実して役立った。

以上が研究室内の現状であるが、他方、筑波の高エネルギー物理学研究所において、筆者の畏友石川教授(東北)が指導者となって高工研の渡辺教授(東北核理研からの後継者)やその他の方々と力を併せて我が国最初のスパレーションによる強パルス中性子源計画(KENS)を進めておられる。当研究室もこれに参加・協力させてもらっており、数台の分光器の中の一つを分担している。これは北大のものと同設計のもの及び高分解能のもの組み合わせで、前者は極めて高感度の装置として働く予定である。KENS計画の一環として、超冷中性子関係を吉城教授(高研)が担当しておられるが、当研究室からも鬼柳講師が協力している。KENSは55年後半に動き出すことになっている。

研究室内の仕事の面でも、KENSでの共同研究の面でも、内外ともに55年は大変忙しいが、面白い実りある年になりそうである。

(井上記)

# 川崎重工業 原子力本部 南発才1課2課

## 1. はじめに

川崎重工業では昭和54年1月に組織変更があり、原子力に関連する業務は原子力本部に統合され、ライン組織となつた。本組織内で炉物理に関連する課は、炉心を担当する開発第1課と遮蔽関係の開発第2課とでつた。従つて、ここでは炉心・遮蔽の二つに分けて以下に紹介する。

## 2. 炉心関係

当課は総勢7名で、核熱・流動関係のソフトウェアの開発、及び設計~~解析~~<sup>解析</sup>業務を行つてゐる。主たる目標はガス炉に向けられており、その70%強が高温ガス炉関係である。

炉物理関係では、VHTRの設計業務と並んで、設計精度の把握と向上を当面の主目標としてゐる。すでに公開プログラムを主とする概念設計用システムの精度の検討は燃焼関係を除き、ほぼ終了した。<sup>(1)(2)(3)</sup> 現在はそこから指摘された以下に述べる二つのテーマを中心に努力してゐる。

(1) 定数関係； ENDF/B-4の<sup>235</sup>Uに疑問が生じてゐる。このために粒子性を考慮した詳細処理プログラムを開発した。現在はJENDL-2のデータへ変更することと検討中である。

(2) 制御棒関係； VHTRはその特殊性から多群3次元計算が必須と考えられてゐる。しかし、そのために、メッシュ数、群数がとれない上に、現在の制御棒定数作成方法の改良が要求されておる。この面でのR&Dを行つてゐる。

## 3. 遮蔽関係

当課では総勢15名中、遮蔽関係(広い意味で放射線安全)を主たる担当業務にしてゐるのは4名である。この4名で主として放射線安全関係のソフトを中心に、研究開発及び設計解析業務を行つてゐる。メーカーという立場からみれば、製品の受注というよりは、第一目標であり、原子炉関係の製品の場合、必ず放射線安全という問題がつかまはる。比較的多忙であり、どちらかという、定型的業務に追いつかれ、なかなか、将来をいらした研究開発的業務にまで手が回つてゐない面がある。ソフト面に限つても、計算コードの導入・整備等、なかなか思うにまかせないのが実状である。当部門の掲げている研究開発の重点目標としては次のことが挙げられる。

(1) 効率的な設計業務を行つたためのソフトウェアの開発・整備及びシステム化

(2) 設計用ソフトウェアの最新データによる評価

(3) 設計作業を効率的(マンパワーの面からみれば)に行つたための従来の枠(放射線安全)を越えて、熱・伝熱・構造・製図等とも準備範囲(1人)に出来る多能的人材の育成、及び必要なシステムの開発

最後に2月前から現在に至る当課の放射線安全部門で担当した業務を挙げておく(順不同)。

① 放射線損傷函数の研究                      ② 放射線除熱冷却結合コードのシステム開発

③ ストリーミング手法の適用性評価

④ 事故時放射能漏洩計算コードの開発

{参考文献}

⑤ VHTR遮蔽設計及び関連研究開発(線源関係)

(1) FAPIG 84, 2 (1977)

⑥ 常陽Naインハイリループの遮蔽<sup>設計</sup>

(2) FAPIG 88, 7 (1978)

⑦ トリチウム研究施設遮蔽設計

(3) FAPIG 91, 9 (1979)

## 炉物理連絡会 第24回総会報告

日・時： 昭和54年10月26日 11:05-12:05

場所： 原子力学会秋の分科会C会場 日本原子力研究所

第24回本連絡会総会は約60名の出席で標記の場所で開催された。議題及び内容の概要は次の通りである。

1. 炉物理夏の学校報告  
神田幹事(京大炉)より報告。出席者の評価はよか、た今回は、特に炉物理以外の話題をとりあげた、和尚さんの講演が印象に残った等報告。
2. KUCA大学院実験  
引るつづき神田氏より今年の実験予定について及び8月6日5周年記念会を開催したことなど報告
3. 会誌「炉物理の研究」編集  
藤田幹事より6月に次一回配布をしたこと、今迄は、学会の専門委員会報告などがあつたが今後のvolumeの埋め方を検討すること等報告、続いて宇津呂より12月頃に次る回目を編集予定、特集記事として制御棒 *work* について幾つかの Reactors からの寄稿をお願いしたい等報告。さらに出席者から記事の提案として科研費について、炉物理関係を紹介してはとの話があり、種々意見が出た。
4. 次期当番校  
現当番校より初回のサイクルから考えれば原研の方をお願いしたいと考えているが、この提案があり、これに対し原研の朝岡次長より承諾があり、原研をお願いすることに決定。
5. 各種委員会報告等
  - a) 企画委員会(平川委員)-----担当幹事が日豆の小林氏となり、たこの他TMIに対するの学会の対応や post INFCE 等の件があること、学会は来春は名大、秋は東北薬科大の予定等報告
  - b) 編集委員会(金子委員)-----6月に委員の交代があり、新委員長石原氏担当理事に大田、佐田両氏。最近学会誌の英文投稿数及び和文誌の企画記事がのびのびやんでいるので、ふる、7投稿提案してもらいたい等報告。関連して出席者から大学院留学生の状況のPRをしてはとの意見が出た。
  - c) 炉物理特別委(弘田委員長)-----専門部会を原子炉システム、核融合炉、及びしゃへいと改めたこと。SMORN-IIIの準備(黒田準備委員長)について原子炉安全診断への応用やベンチマークのとりあげを予定していること等の報告があつた。
  - d) 原子力教育特別委(山室委員)-----小沢主査のもとで各大学のカリキュラムの一覧表を作成、次期には大学とX-カ(産業界)の座談会を考えている等報告
6. 理事会報告  
佐田炉物理担当理事より学会事務局秘転、予算状況とくに関連し、法人会員の増加をはかる等会員増努力をお願いしたい等の報告

(記録:小林捷平)

「炉物理連絡会」会員名簿 (◎は54年度幹事, ○は新入会)

(1979年12月25日現在)

(北大・工)	武田 栄一	(京大・原研)	(神戸商船大)	松浦祥次郎
秋本 正	山室 信弘	星野 力	中島 雅	○三谷 浩
井上 和彦	(東海大・工)	若林 二郎	(九大・工)	向山 武彦
大友 詔雄	石田 正次	(京大炉)	大沢 孝明	安野 武彦
小川 雄一	黒田 義輝	◎市原 千博	大田 正男	(動燃事業団)
小沢 保知	阪元 重康	宇津呂雄彦	片瀬 彬	飯島 一敬
成田 正邦	砂子 克彦	海老沢 徹	工藤 和彦	大谷 暢夫
松本 高明	永瀬慎一郎	◎神田 啓治	◎中島 秀紀	大山 彰
(弘前大)	中土井昭三	◎木村 逸郎	◎峯 雅夫	三田 敏男
葛西 峯夫	(都立大・理)	小林 捷平	(原 研)	中村 邦彦
(東北大)	久世 寛信	小林 圭二	朝岡 卓見	野本 昭二
木村 一治	(武蔵工大)	古林 徹	石川 寛	○古橋 晃
梶山 一典	相沢 乙彦	佐藤 孝司	桂木 学	宮脇 良夫
平川 直弘	○松本 哲男	柴田 俊一	金子 義彦	村松 精
本多 毅	(早大・理工)	代谷 誠治	菊池 康之	望月 恵一
(筑波大)	並木美喜雄	中込 良広	○黒沢 一男	湯本 鏢三
斎藤 慶一	(名大・工)	西原 英晃	五藤 博	吉川 栄和
(東 大)	○伊藤 只行	林 脩平	後藤 頼男	(原子力安全
秋山 雅胤	加藤 敏郎	林 正俊	小林 岩夫	委員会)
安 成弘	玉河 元	◎藤田 薫頭	近藤 育朗	吹田 徳雄
清瀬 量平	◎仁科浩二郎	○森 貴正	○新藤 隆一	(原子力局)
小佐古敏荘	○橋本 憲吾	山田 修作	杉 暉夫	天野 文雄
近藤 駿介	○村田 尚之	米田 憲司	関 泰	(原船団)
坂田 薫	山根 義宏	(阪大・工)	田次 邑吉	○伊勢 武治
関口 晃	(岐阜大)	◎住田 健二	中川 正幸	板垣 正文
○谷口 武俊	岸田 邦治	関谷 全	中田 宏勝	(船舶技研)
都甲 泰正	(京大・工)	高橋 亮人	中野 正文	伊従 功
中沢 正治	○青木 一彦	竹田 敏一	中原 康明	竹内 清
○服部 弘己	◎小林 啓祐	錦織 毅夫	○中村 知夫	布施 卓嘉
森 洋介	○武田 正幸	(大阪市立大)	能沢 正雄	(電総研)
若林 宏明	○須藤 収	鵜飼 正二	平岡 徹	工藤 勝久
(東工大)	秦 和夫	(近 大)	弘田 実弥	清水 定明
井頭 政之	西原 宏	堀部 治	古田 悠	(防衛庁)
北沢日出男	兵藤 知典	三木 良太	前川 洋	佐久間雄平
関本 博	森島 信弘	水本 良彦		

(原 電)	小松 一郎	(日立エンジ)	(京大炉研G)	(日 揮)
武田 充司	角山 茂章	堀江淳之助	石黒九州男	上野 茂樹
立花 昭	野村 孜	(MAPI)	(呉羽化学)	(JNF)
(電源開発)	水田 宏	片岡 巖	松井 一秋	清水 康一
大塚益比古	門田 一雄	小林 隆俊	(原燃工)	(日立造船)
平田 昭	(日 立)	○田宮 勉	川本 忠男	小林 徹二
(東 電)	大西 忠博	渡海 親衛	(住友原子力)	山田 毅
北野 昭彦	金沢 信博	(石川島播磨)	松延 広幸	(富士電機)
(中部電)	小林 節雄	倉重 哲雄	(住友重機)	中村 久
金井 英次	駒田 正興	(核管センタ)	三井 鞆	(三井造船)
(NAIG)	齊藤 正之	宮坂 駿一	(CRC)	○谷 雅典
青木 克忠	○三田 敏男	(川崎重工)	角谷 浩享	(三菱電機)
飯島 俊吾	瑞慶覧 篤	田中 義久	(東 芝)	路次 安憲
植田 精	武田 征一	田中 良信	深井 佑造	(韓国原研)
亀井 孝信	三木 一克	(木村化工機)	(東洋エンジ)	○趙 満
黒沢 文夫		豊田 道則	木邨 祐二	

(計 195 名)

## 炉物理連絡会の概要

(1968年4月)

1. 趣意 原子力研究の最近の進歩は誠に目ざましいものがあり、本学会の責任もますます大きくなってきた。また、とくに原子力研究においては、諸外国との交流がきわめて重要なものとなってきた。このような情勢に対処するためには、まず、国内における研究者間の十分な情報交換や連絡・調整が大切である。この点については、従来わが国の原子力研究体制の進展があまりに急であったため、必ずしも適当な現状にあるとはいえない。かねて炉物理関係研究者の間において、約2年前より4回にわたる“炉物理研究国内体制のインフォーマルミーティング”を初め、いろいろの機会をとらえて、意見の交換が重ねられた結果、本学会内に常置的な組織を設け、その活動を通じてこれらの問題を解決して行くべきであるという方針により、この連絡会が設置された。

2. 事業 国内における炉物理研究者間の相互連絡、調整の役割りを果たすため、年間約6回連絡会報として、『炉物理』(B5判オフセット印刷20~30頁)を編集刊行する。『炉物理』はオリジナルペーパーの前段階としての報告・発表・検出器・試験装置など研究に関する情報交換、研究を進める上で必要な各種の意見発表および討論等を活発に行う

ためのもので、さらに、関連するニュースをも含ませ、また諸外国からのインフォメーションも伝わるように努める。また、春秋に総会を開催し、討論会・夏の学校なども計画して、学会行事として実施する。

3. 対象 対象とする専門分野の範囲は、つぎのとおり。

- ① 原子力の基礎としての核物理
- ② “ ” 中性子物理
- ③ 原子炉理論
- ④ “ ” 実験
- ⑤ “ ” 核計算 (Burnup Physics を含む)
- ⑥ “ ” 動特性
- ⑦ 原子炉遮蔽
- ⑧ 関連する計測
- ⑨ その他の関連分野

(たとえば、エネルギー変換の基礎反応)

4. 運営 理事1名のほか、企画・編集両委員より各2~3名および加入会員より選出した幹事若干名により運営する。

5. 連絡会員 本連絡会に加入する本会会員は、氏名・専門分野・所属・連絡先を明記して書面で事務局へ申込み、連絡会費を前金で納付する。なお、前金切れと同時に失格する。