

6/6 200 8p

炉物理の研究

(第 25 号)

1978年5月

特集〈最近設置または設置予定の中性子源〉

- | | | |
|---|------|---|
| 1. ^{252}Cf 核分裂中性子実験装置について…………… | 兵藤知典 | 1 |
| 2. 東大・核融合炉ブランケット設計基礎実験装置における
中性子源…………… | 中沢正治 | 4 |
| 3. 核融合炉物理用中性子源 (FNS)…………… | 中村知夫 | 6 |

〈炉中性子工学研究専門委員会講演要旨〉

- | | | |
|---|------|----|
| 1. 熱中性子標準場について…………… | 神田啓治 | 8 |
| 2. 高速中性子標準場…………… | 木村逸郎 | 10 |
| 3. 結合炉動特性方程式の導出と結合・反射体効果に対する
物理的考察…………… | 森島信弘 | 12 |
| 4. 2分割炉心の動特性パラメータ測定—KUCA—パイルオシレータ実験
…………… 田中数馬, 山根義宏, 仁科浩二郎, 玉河元, 代谷誠治, 神田啓治 | | 14 |
| 5. アナログ計算機による2分割炉心原子炉の自動制御に関する
模擬実験…………… 山本修二, HFR Control ワーキンググループ | | 16 |
| 6. 結合炉の非干渉制御…………… 辻 雅司, 小川雄一 | | 18 |
| 7. 多重帰還を持つ二点炉の安定性…………… 山田 澄, 松田茂彦 | | 21 |

〈海外調査報告〉

- | | | |
|-----------------------------|------|----|
| 米国におけるトリウムに関する炉物理研究の現状…………… | 神田啓治 | 23 |
|-----------------------------|------|----|

〈研究室だより〉

- | | | |
|--|--|----|
| (武蔵工大) 原子力研究所, (東北大) 楢山研究室, (九大) 大田研究室,
(NAIG) 総合研究所…………… | | 25 |
| ◇「炉物理連絡会第21回総会報告」◇…………… | | 31 |
| ◇炉物理夏の学校10回の歩み◇本年度夏の学校のアンケートのまとめ…………… | | 33 |
| ◇「第10回炉物理夏の学校」案内◇…………… | | 34 |
| ◇編集後記◇…………… | | 37 |

特集 《 最近設置された設置予定の中性子源 》

1. ^{252}Cf 核分裂中性子実験装置について

京都大学工学部

矢藤 知典

1. まえがき

昭和52年度文部省特別設備費で、京大工学部原子核工学教室に中性子安全研究実験装置が設置された。これは中性子しゃへい、中性子照射装置設計などの基礎テーマであり、中性子の物質透過と散乱の研究や、生物体に対する中性子照射などの研究と行なう目的で設置された。この中性子安全研究実験装置は、1. ^{252}Cf 核分裂中性子実験装置、2. 遮蔽実験供試体、3. 計測器で構成された。本稿では ^{252}Cf 核分裂中性子実験装置について述べる。

2. ^{252}Cf 核分裂中性子実験装置

この装置は ^{252}Cf 2mg 線源と、これを格納する厚コンクリート遮蔽体（便宜上本体とよぶ）とからなり、補助線源として ^{252}Cf 0.1mg、 ^{252}Cf 5 μg が格納されている。

2-a, ^{252}Cf 中性子源

中性子源は日本アイソトープ協会を通じて購入した。米国製の ^{252}Cf と英国の Radio Chemical Center で2種のステンレス鋼に封入したものがある。 ^{252}Cf はパラジウムとのサーマット合金とすることが多い。

2mg 線源は0.5mg 線源4個に分割された。これは次の理由による。Radio Chemical Centerの技師が来日説明したとき、分割しておけばどうしても単体で取出して使用したいとき可能であるから便利であると言ったこと、勿論注文であればどのような線源強度でも製作することは可能であるが、このようにお求めた上規格品のものであるから入手が早いのではないかと思つたからである。現在単体の0.5mg 線源を使用する計画はない。単体で使用する目的で0.1mg 線源を購入した。5 μg 線源は測定器の校正用である。

2-b, 線源構

0.5mg 4個の2mg 線源は、一括して線源構先端部に格納されている。先端部は長さ100cm、直径3.4cmのアリミニウム合金の構である。先端より47cm付近に線源が格納されている。この先端部は長さ2.5cmのステンレス鋼のパイプに絶縁されている。このパイプには、中性子漏洩を防ぐためポリエチレンペレットが詰められている。

2-c, 本体

本体は ^{252}Cf 線源の貯蔵容器と照射装置を兼ねたものである。外1層は円筒、内2層はバルク実験孔の中心で切った断面図を示す。これは中央部に直径60cmの円筒型の空間を有する、座上高さ3.0m、四隅を適宜にカットした1.5m \times 1.6mの平面を有する、厚コンクリートの塊である。座上1.3mの水平方向に、中性子実験孔、バルク実験孔

熱中性子及びγ線実験孔(略してγ線実験孔), 斜方向に照射実験孔を有してゐる。これらの実験孔と中央部空洞はステンレス鋼に内張されてゐる。これらの実験孔は, 使用しない時はプラグを挿入してある。これらのプラグはステンレス鋼の外面を製作し, 重コンクリートとつめてゐる。中心部空洞の上部は重コンクリートとつめて上部プラグを挿入してある。上部プラグの軸および中心部空洞の下部の中央から垂直に鉛浮棒を通す穴があけてある。上部プラグの穴は鉛浮棒先端部の寸法より細いので, 鉛浮棒全部を引ぬくことは出来ない構造で, 安全構造となつてゐる。鉛浮棒の移動は手動であり, 所定の場所にピンをさして止めるよになつてゐる。

外部実験台(移動式)の上はレーン置き, バルク実験孔プラグを手動で引ぬくことが出来る。このプラグの内側に動物容器を入れた場所が用意してある。動物ははつかぬがみ等の小動物である。中性子実験孔プラグとγ線実験孔プラグは, 途中で人力で引ぬき, その後クレーンの補助で引ぬくことが出来る。照射実験孔は, 2mg 鉛浮の貯蔵場所の最も接近するようになつてゐる。小物体の照射と, 中央空洞の水たまりをこぼした時さまより乾燥させること, 動物照射場所を貫通することから, 動物への送気, 中央部空洞の測定器を置いておきケーブルの通路となるよう考へてある。プラグはバルク実験孔と2分割され, 下部プラグの先端に照射用カプセルが設けてある。現在0.1mg 鉛浮が此處に貯蔵してある。

本体, プラグなどに使用したコンクリートは黄鉄釘を骨材とする重コンクリートである。我が国では兼平針山産の磁鉄釘が重コンクリート骨材としての評価が高かつたのであるが掘り盡され, 外国より輸入する磁鉄釘は, 熔釘針へ直接入れたい粒状のを3つをもの取出しが困難となつてゐる。本装置では試験的に梅原針山産の良質の黄鉄釘を使用し⁽¹⁾。黄鉄釘コンクリートは似る組成のコンクリートに対する計算値⁽²⁾および日本原子力研究所の試験研究の結果⁽³⁾を参考にして, 外壁上の位置の真と鉛浮を結ぶ直線上1.2m以上の重コンクリートにあつたようにした。これが本装置の大きさを決定した。鉛浮格納直後, 本装置の周辺の鉛量分布を測定して見ると, 充分の厚さであつた。

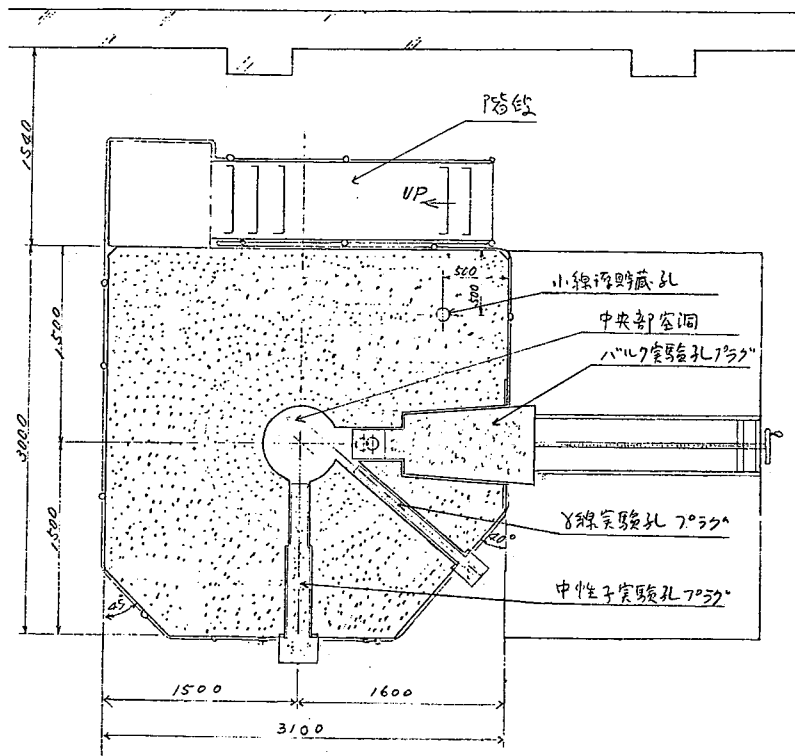
3. ^{252}Cf 鉛浮の性質 (2.4)

^{252}Cf は自発核分裂(半減期 85.5 ± 0.5 年)とα崩壊(半減期 2.731 ± 0.005 年)を有する核種である。したがつて両者の合計した値ものが鉛浮の半減期である⁽⁴⁾ 2.65年である。毎秒放出される中性子数は1mg あたり 2.3×10^9 個⁽⁴⁾ または 2.4×10^9 個⁽²⁾ とされてゐる。また正確には測定してゐないが, 我々の2mg 鉛浮は 4×10^9 個の中性子を放出すると考へてよい。中性子スペクトルには核分裂スペクトルである。

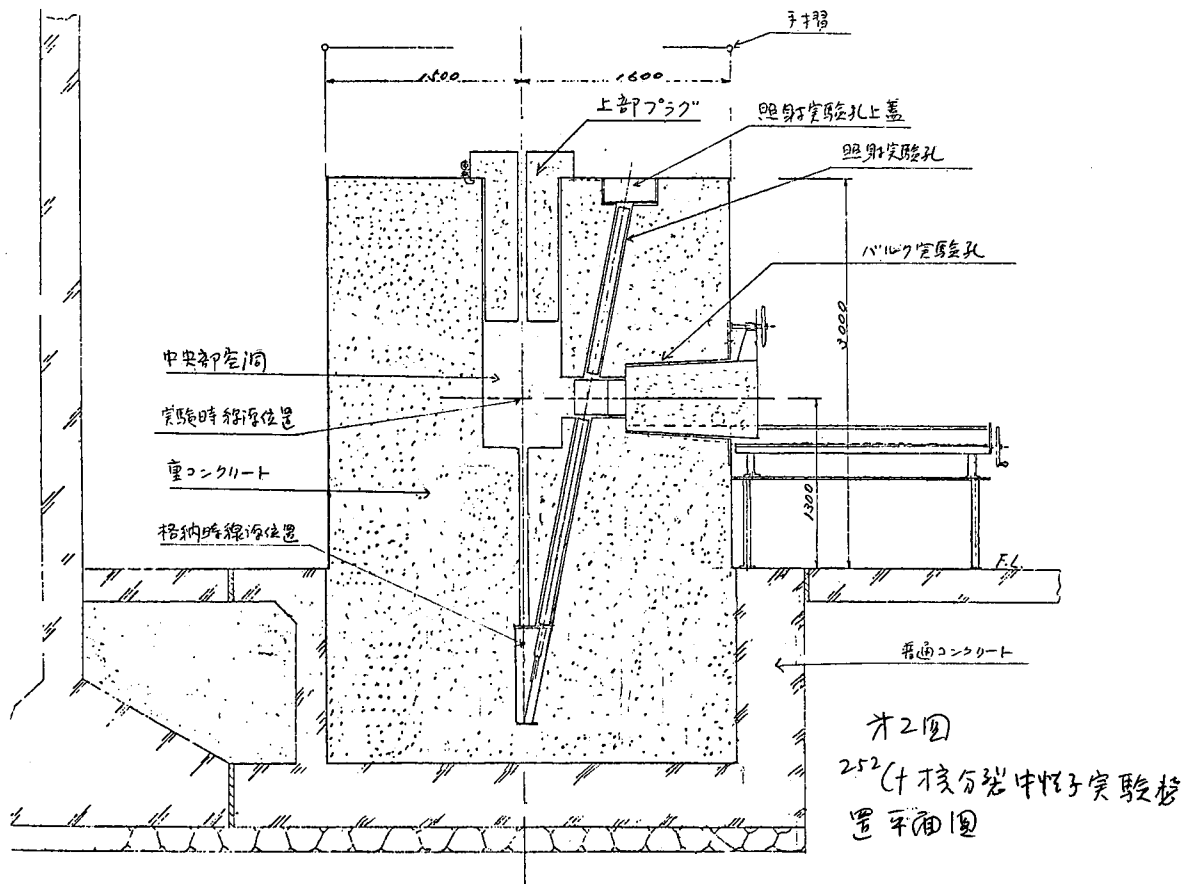
4. あとがき

本装置の設計は日本鋼管株式会社梅田巖氏に負つたのである。本体は日本鋼管株式会社に設計した。重コンクリート打設, 建設にかかる検討は産田建設株式会社合原一夫氏, 本体の建設の監盤を同和工業株式会社山崎榮造氏にして頂いた。厚く謝礼申し上げる。

引用文献 (1) 中尾 隆, 日本針業誌 91, 208(1975), (2) D.H. Stoddard, H.E. Hootman, DP-1246(1971)
(3) The Radiocemical Center, Technical Bulletin 72/7(1972), (4) 菅坂 賢一 et al. JAERI-Memo-5737(1974) 所掲載



才1回 252 (十核分裂中性子実験装置平面図)



才2回
252 (十核分裂中性子実験装置平面図)

2. 東大核融合炉ブランケット設計基礎実験装置における中性子源

東大工. 原子工学
研究施設

中沢正治

東大工学部原子工学研究施設敷地内に、ブランケット棟と呼んでいる新しい建屋が完成し（昭和51年9月竣工）、核融合炉ブランケット設計に関連した基礎的な研究を開始している。核融合炉の実現のためには、プラズマ物理を含め広範な炉工学分野での研究が、有機的に進められる必要がある。本実験装置は、そのような総合的研究の一環としてブランケット領域における工学的研究を中心としており、まずその概要を主要な7種の実験装置について説明する。

1. 重イオン照射実験室

400kV及び100kVのコッククロフト型重イオン加速器と電子顕微鏡が設置されており、異種イオンの同時照射、照射中のその場観察を含め、核融合炉を模擬した条件下での照射損傷効果の研究が進められている。

2. 中性子工学実験室

200kVのコッククロフト型中性子発生装置を用い、ブランケット模擬材中での中性子の挙動及び測定法の開発が進められている。

3. 極低温工学実験室

極低温超臨界圧ヘリウム生成装置を中心とする極低温工学実験設備があり、大型超電導マグネットの設計を目標とした研究が進められている。

4. 中性子源開発実験室

将来の核融合炉用材料照射実験炉を目標として、小型のプラズマ・フォーカス型中性子発生装置の試作、特性改善等の研究が進められている。

5. トリチウム実験室

核融合炉燃料としてのトリチウムの分離回収・濃縮生成等の技術開発を目標とした非密封のR.I.実験室である。

6. 液体金属伝熱流動実験室

小型のナトリウムループ、及び水銀ループがあり、液体金属核融合炉冷却材としての諸特性、特に磁場下での伝熱流動特性についての研究が進められている。

7. 構造工学実験装置

大容量コンデンサ（2×9kJ、強力中性子源と共用）を用いて、バースト状電磁力を発生させ、炉容器及びマグネット構造物等の強度特性に関する実験を行っている。

又、これらの主要実験装置に対応して、核融合炉のシステム設計研究も実施されている。

以上の実験装置で、中性子源として利用しているのは、200kVコッククロフト中性子発生装置であり、その任様を表-1にまとめ示した。なお、プラズマ・フォーカス型中性子発生装置は、現在研究中であり、主として放電電極形状因子と中性子発生率の関係が調べられ、

例えは 3 kJoule のエネルギーに対し $\sim 4.5 \times 10^8$ n/burst の値が報告されている^① (つまり、中性子パルスは nsec のオーダーであるが、くり返しは約 1 sec である。) この装置の今後の進展に期待するとともに、中性子工学として利用している加速器は、いわゆる強力中性子源としては不十分であり、現在の核、炉物理的な実験を目的としている。例えば、模擬ブランケット (LiF, 炭化ウラン, 鉄, 黒鉛の組合せなど) における中性子、ガンマ線の測定、或いはトリチウム生成率、発熱率分布測定、遮蔽実験、超電導材料に対する中性子照射効果などが計画されている。なお、材料照射効果については、重イオン加速器によるツミエレーション実験が行われている。

とここで、この型の中性子発生装置は、吸蔵型のトリチウムターゲットを使用しているが、最近このターゲットからのトリチウム漏洩が問題視され、科学技術庁からも昭和 55 年 3 月末迄に、非密封として扱えるように措置した方がいいという通達が来ている^②。本装置の場合も、トリチウムターゲット装着の際の室内表面汚染が観測されたり、排気系統のモレキユラーブ吸着材からトリチウムが検出されるなどの経験があり、中性子工学実験グループとしても等閑にできないところか、むしろ積極的に取り組むべき問題であるように認識している。実際、核融合炉を目的とする場合、トリチウムの考動、吸脱着、金属膜透過性及び、モニタリング、処理廃棄等を含めた放射線管理などは重要課題の一つであるし、より短期的には強力中性子源の開発の場合にも必須のデータになるであろう。

Reference.

- ① 関口 晃, 東京大学工学部総合試験所年報 第 36 巻 p183 (1977) "核融合炉ブランケット設計基礎実験"(3)
- ② 科学技術庁原子力安全局, 52 安局(放安)第 64 号 "トリチウム・ターゲットの放射線障害防止法上の取扱いの変更について(通知)"
 なお、トリチウムターゲットからのトリチウム漏洩については、
 - ・大野明他 "密封線源の安全性に関する研究"(II) *Radioisotope Vol. 23 No. 5 p52 (1974)*
 - ・石田純一郎他 "中性子発生装置のトリチウムターゲットによる表面汚染とその除染" *保健物理 12, 95-103 (1977)*
 を参考にするとよい。

表-1

14 MeV 中性子発生装置の仕様

型式	-----	KAMAN, A-1254
中性子発生量	-----	2.5×10^{11} , 14.3 MeV n/sec.
中性子束	-----	5.0×10^{10} n/cm ² .sec (Max.)
イオン源	-----	ペニングイオン源
加速電圧	-----	0-190 kV
ビーム電流	-----	> 3.2 mA
ターゲット電流	-----	> 2.2 mA
集束	-----	直径 0.63~2.5 mm 内で調整
ターゲット	-----	約 7 Ci の TiT ターゲット
冷却	-----	フロン循環方式
ターゲット寿命	-----	~ 4 mA·hour
ターゲット間隔	-----	約 3 mm の距離 (最少)
真空排気系		{ ローターポンプ $\phi = 2 < 10^{-3}$ Torr 後 スリットポンプ $\phi = 7 \phi = 2$ 約 10^{-8} Torr }
排気速度	-----	
絶縁ガス	-----	SF ₆ ガス
パルス運転	-----	パルス巾 0.5 μ sec 以上

3. 核融合炉物理用中性子源 (FNS)

原研原子炉工学部

中村 知夫

D-T反応を用いた核融合炉におけるブランケットは、(i) 核エネルギーの熱エネルギーへの変換 (ii) トリチウムの生成 (iii) 超電導コグネット等の遮蔽など、炉を構成する上で重要な役割を持っている。特にそのニュートロニクスは、ブランケットの材料の選定や構造の検討に大きな関連を持ち、設計を進める上で早急に研究を進める必要がある。

原研においては、核融合炉ブランケット炉物理、遮蔽の研究のための強力な14 MeV中性子源 FNS の建設を昭和52年度から、3年計画で進めている。その概要及び現状を簡単に紹介する。

FNSは：加速器システムを中心にターゲット・アセンブリー、トリチウム関連設備および放射線管理設備から構成される。

A 加速器システム

加速器システムは、米国の General Ionex 社で製作を行うもので、400 KV のユウククロフト型である。高圧電源は 100 KV ~ 400 KV 連続可変 電流 80 mA のオープンタイプであり、高圧端供給施設として 25 KVA の MG を 2基備えている。実験上の要求から Ionex 740 A、720 と大小2個のデュオプラスマトロニ型イオン源を備えていて切替えて用いる。共に 90°分析磁石を用いて D⁺のみを加速するようになっている。加速管は大電流ビームの広がり最小にするため、加速距離を短くした高電界型を用いている。ビームラインは二本あり一つは直進、他は偏向磁石で 80°曲げられる。真空系はトリチウムを考慮して全て TMポンプ (Balzers TPH 500) を用いる。

パルス化装置として高圧端に発振部、チョッパー及びデフレクターを、加速後にポストデフレクター及びバンチア部分を備えている。又イオン源のアーチパルス化も行える。

ターゲット位置でのビーム電流(D⁺)の性能保証値は次の通りである。

(a) 中性子発生量の多い実源用 (0°ビームライン)

ビーム電流: 20 mA 以上, ビームスポット: 15 mm 以下

(b) 中性子発生量の度化の大きい実源用 (80°ビームライン)

ビーム電流: 0.1 μ A ~ 3 mA [小イオン源], 3 mA ~ 10 mA [大イオン源]

ビームスポット: 15 mm 以下

(c) パルス中性子源用 (80°ビームライン)

	バンチング方式	ステップ方式	アーチパルス方式
パルス中	2 ns (FWHM)	20 ns ~ 8 μ s	5, 10 μ s
パルス間隔	0.5 ~ 256 μ s	2 ~ 512 μ s	1 ms ~ ∞
ピーク電流	25 mA 以上	3 mA 以上	5 mA
ON/OFF 比	10 ⁵ 以上	10 ⁴ 以上	10 ⁴ 以上

B ターゲット・システム

強中性子源に於ては、ターゲット冷却が大きな問題となる。a仕様で8KW、b仕様でも1.2或いは4KWの熱が15mmφの面積で発生する。このためメタルターゲットからのトリチウムの逸散を防ぎ、寿命を可能な限り長く保つたために種々検討の結果0°ビームラインではLLLのRTNS-1と同型の回転ターゲット(直径23cm、トリチウム量約2,000Ci、毎分1,100回転)を用いる。80°ビームラインにはMulti volt社の回転ターゲット及び原研で現在開発試験中の5cm角に収まる水冷却止ターゲットを使用する。

C トリチウム関連設備

FNSでは上述の大量のトリチウムを使用するのでその取扱いに関して特別の考慮を必要とする。ターゲットは密封容器に保管し、その開封及びターゲットの健全性の確認装置を行うためのグローブボックス設備等を備える。真空排気系は全て閉回路でトリチウム濃度の高いターゲット付近では特にSORB-ACポンプを備えている。排気ガスはトリチウム処理設備(TAP)へ送られ、基準濃度を超える場合は酸化触媒によりトリチウム水に変換してモレキュラー・シーブに吸着固定する。

D 放射線管理設備

通常のガンマ線モニター、中性子モニター、ガスモニターの他に室内各所及びスタッフ出入口のトリチウム濃度を、サンプリング出来る固定型のガスモニターならびに移動型のトリチウムモニターを備える。

FNS建家は原研東海研海岸地正に建設される。建物面積は1700㎡で主要部分である実験用フロアは、2つのターゲット室、加速器室、ターゲット保管取扱室、作業室から成る。第1ターゲット室は80°ビームラインを用いて物理実験を行う室で遮蔽壁厚2m、15m×15mの広さを有し、Room Returnの影響を下げると共に内部での諸実験のためのスペースを確保してある。またスカイシャイン効果実験、タイム・オブ・フライト実験等開口部が用意されている。第2ターゲット室は0°ビームラインを用いる照射用の室で5m×5m、実効厚2.5mの遮蔽壁を持つ。第1ターゲット室に向けてビーム取出口のポートを設けてあり、ターゲット付近の高中性子束での照射ポートからの強力なビームを利用しての遮蔽実験が行える。ターゲット保管取扱室は10,000Ciのトリチウムの貯蔵およびその取扱いをする設備を備えている。

更に周辺設備として10m、20m、40mにステーションを持つTOF設備、第1ターゲット室に格子管集合体移動架台及び角度依存測定用回転台、第2ターゲット室照射試料移送用気送管設備、制御室にFNS管理およびデータ処理用の小型計算機等を整備してゆく計画を立てている。

加速器の製作は現在General Ionex社で着々と進められており本年度末には工場試験を完了する。建家は本年5月着工し、年度末に竣工する。建家完成と共に加速器の搬入据付に入り、諸試験が順調に進めば54年9月末に引渡しが行われる。引き続き別途製作のターゲット・アセンブリー、トリチウム関連設備等組合せて中性子での総合試験を行ない54年度中に実験を開始する予定である。実験計画については又別の機会に詳しく述べたい。

1. 熱中性子標準場について

京大原子炉実験所

神田啓治

1. はじめに

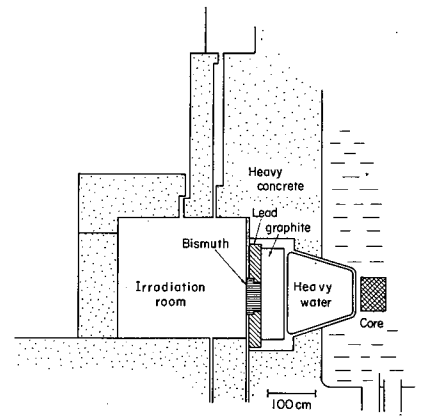
一般的な標準中性子場については、本誌第15号⁽¹⁾及び学会誌⁽²⁾に書いたもので、ここでは第9回炉中中性子工学研究専門委員会で講演したもののうち、特に京大原子炉(KUR)の重水標準熱中性子場について記述する。ここで得られるMaxwell分布をもつ熱中性子場は、1976年11月に開催されたIAEAの標準中性子場に関する専門家会議において、標準場として採択されたものである。これ以上詳しく知りたい方は、文献(3)を参照されたい。

2. KUR重水標準熱中性子場

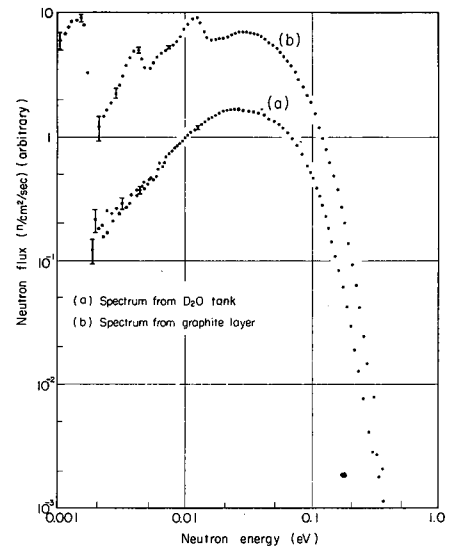
KUR重水設備の構造は第1図に示す通り、炉心に隣接された厚さ1.4mのタンクに重水2.2tonが入っており、この重水が炉心からの中性子をすべて熱中性子へエネルギーを揃えてくれる。中性子束は5MW運転時に、重水タンク表面で $1.4 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$ 、ビスマスの表面で $3.0 \times 10^9 \text{ n/cm}^2/\text{sec}$ である。

さて、中性子チョッパーを用いて飛行時間法による熱中性子スペクトルの測定をしたものが、第2図に示してある。また、そのときの実験体系を第3図に示す。第2図から分るように、黒鉛のように結晶構造をもつものは、中性子断面積にも凸凹があり、従って中性子スペクトルにも同じような凸凹が現われる。(ただし断面積とスペクトルには凸凹が同じエネルギーで全く逆方向にでる。)そのため標準場としては通常の黒鉛熱中性子柱よりも重水設備の方が優れていることが分かる。ちなみに $1/10$ 断面積を持つ物質と黒鉛スペクトルの反応では、 0.002 eV 以下のエネルギーが占める割合は2%程度である。

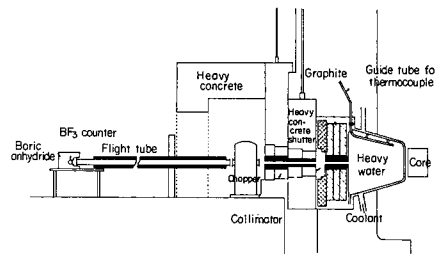
次に、第2図の(a)、(b)のスペクトルで、第1表に示す各種の中性子検出器とフィルター



第1図 KUR重水標準熱中性子設備



第2図 KUR重水設備の重水タンク表面及び黒鉛層からの流出スペクトル



第3図 中性子チョッパー飛行時間法の実験体系

表1 中性子温度測定用の中性子箔とフィルター

	Isotope	Natural abundance (%)	σ_a 2200 m/s (b)	Half-life	Main resonance	Thickness	Purity (%)
箔	¹⁹⁷ Au	100	98.5	2.697 d	(thermal region)	0.05 mm	99.99
	¹⁶⁴ Dy	28.2	2100	2.32 h	-	0.025 mm	99.9
	¹⁷⁶ Lu	2.6	2073	6.72 d	0.142	0.1 mm	99.9
	¹⁵¹ Eu	47.8	7380	9.2 h	0.327	10 mg/cm ²	99.9
					0.461		
フィルター	Gd	-	46000	-	-	0.025 mm	99.99
	Cd	-	2450	-	-	0.5 mm	99.9

を組み合わせて、中性子温度を測定した結果を表4図に示す。○印が(a)に相当し約60°C、×印が(b)に相当し約20°Cであることが分かる。

3. インドの実験との比較

原子炉の側に直径60cmの重水入りドラム缶を置き、そこから出スペクトルを測定した結果が表2回ジェネーブ会議に報告されているが⁽⁴⁾、表5図に示すようにMaxwell分布から相当隔たっている。

そこでKUR重水設備にも同じドラム缶を置いて測定してみたが、缶を原子炉に隣接させていることもあ

り、やはり同じようにMaxwell分布を示した。表6図には15cm x 15cm x 10cm³の体系の実験と計算値が示してある。重水中性子場設備としては、一度大きな重水タンクを通過することが重要であることが理解できる。

なお、実験に当っては、当所の小林幸二氏、小塚敏彦氏らの協力を得た。スペクトルの計算には、CRCの角谷浩彦氏の協力を得た。感謝致します。

参考文献

- (1) 神田啓治, 「標準中性子場」, 本誌, 15, (1976) 41
- (2) 木村逸郎, 神田啓治, 「標準中性子スペクトル場」, 日本原子力学会誌, 1978年5月号掲載予定
- (3) K. Kanda et al., "Thermal Neutron Standard Field with a Maxwellian Distribution Using the KUR Heavy Water Facility", Nucl. Instr. Methods, 148 (1978) 535
- (4) R. Ramanna et al., "On the Spectrum of Neutrons Emerging from Moderators", 2nd Geneva Conf. P/1638 (1958)

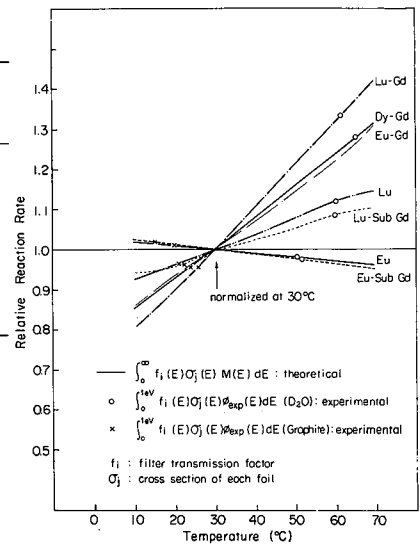


表4図 放射化箔の中性子温度に対する感度

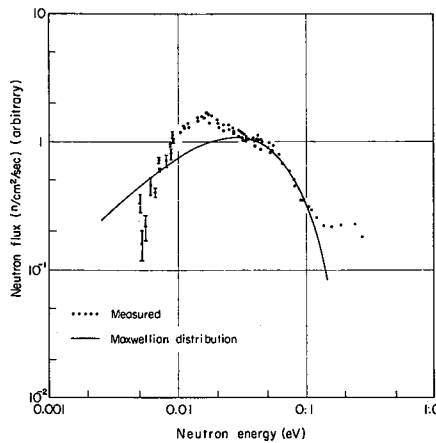


表5図 インドの実験

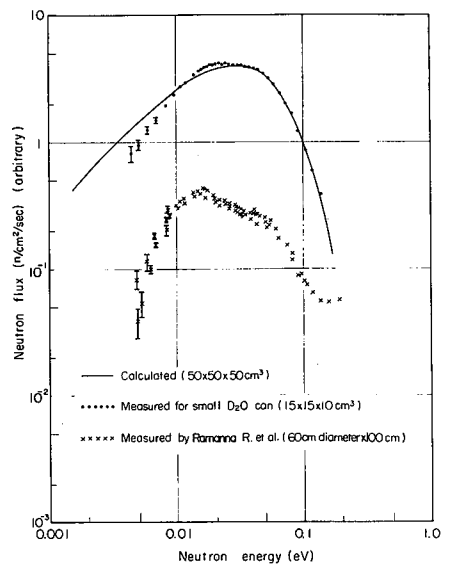


表6図 小さな重水体系の中性子スペクトル

2. 高速中性子標準場*

京大原子炉実験所

木村逸郎

1. 序言

高速中性子のエネルギー範囲はふつう $0.5 \sim 20 \text{ MeV}$ だが、ここでは中速領域も包含して、 $1 \text{ keV} \sim 20 \text{ MeV}$ を考える。標準場としては、単色又はそれに近い場合もあるが、ここでは連続したエネルギースペクトルの中性子を扱う。即ち、スペクトルの形状が標準的なものを考える。もちろん中性子束(発生率)もなるべく高精度で既知であることが望ましい。必要性とその背景についてまとめよう。

- (背景)
- (1) 高速炉の開発**：出力分布, 燃焼(いずれも目標 $1 \sim 3\%$), 照射損傷等
 - (2) 軽水炉の諸問題：遮蔽, 照射損傷とくに圧力容器
 - (3) 核融合炉の研究：照射損傷, 発熱, 遮蔽, 誘導放射能等
 - (4) 中性子照射効果の定量化：燃料, 構造物, 生物人体
- (必要性)
- (1) 中性子断面積の評価：組定数, 中性子測定用断面積等(エネルギー依存断面積 $\sigma(E)$ には系統的誤差が入り易い。
 - (2) 計算法のテスト：計算モデル, 計算法等
 - (3) 中性子測定法の検討, 中性子検出器の較正
 - (4) 中性子照射効果：照射損傷関数, 生体への効果

条件は、熱中性子の場合と同様である。主なものを下に列記する：

- (1) エネルギースペクトル既知、単純な構造,
- (2) エネルギースペクトルの空間的変化, 時間的変化, 方向依存性がいずれも小さいか既知,
- (3) 装置が簡単で作るのが容易,
- (4) 再現性,
- (5) バックグラウンドが少い,
- (6) 試料により影響を受けにくい。

標準中性子スペクトル場について、1976年11月の IAEA Consultants Meeting では、standard field, reference field 及び Controlled environment に分類された⁽¹⁾。standard field がもっとも標準的で再現性のあるものであり、高速領域では ^{252}Cf の自発核分裂中性子がこれに入る。従来よく使われている $^{235}\text{U}(n.f)$ の中性子は reference field に入っている。

2. 各論

^{252}Cf は米國 NBS 及び西独 PTB で標準場として積極的に使用されている。NBS のものは中性子発生率 $\sim 5 \times 10^9 \text{ n/s}$ (精度 1.1%) である。中性子スペクトルの形状は平均エネルギー 2.13 MeV の Maxwell 分布にほぼ合うとされているが、なお次表のような不確

* 原子力学会誌に近く解説として掲載の予定、研費のメモ入用の方は著者まで。

** 1971年 AEC のスポンサーで ILRR 計画として進められた。Nucl. Tech., 25 No.2 (75) 参照

Eight-Group Tabulation of Fission Neutron Spectrum Evaluation with Uncertainties (2)

かさがある⁽²⁾。²³⁵Uの核分裂中性子(右欄)と比べると0.25~8 MeVで不確かさは小さいが、これ以上のエネルギーでは不確かさが大きい*。

Energy Boundaries	Californium-252 (Spontaneous Fission)			Uranium-235 (Thermal-Neutron-Induced Fission)		
	Group Flux	Error		Group Flux	Error	
		1σ (%)	2σ (%)		1σ (%)	2σ (%)
0.0	0.047	±13	±26	0.054	±16	±32
0.25	0.184	±1.1	±3.3	0.197	±4.1	±6.2
0.8	0.220	±1.8	±3.6	0.229	±3.0	±4.8
1.5	0.194	±1.0	±3.1	0.195	±3.1	±5.2
2.3	0.200	±2.0	±3.0	0.192	±2.0	±3.0
3.7	0.146	±2.1	±4.8	0.127	±4.8	±8.0
8	0.0087	±8.5	±17	0.0056	±5.3	±11
12	(0.00058)			(0.00026)		
20						

原子炉あるいは臨界集合体の炉心を標準場とする場合がある。世界で最も有効、

かつよく用いられているのは、東大炉 YAYOI である。その他 ILRR 計画に関連して設定されたものとして、10% ²³⁵U を用いた BIG-TEN⁽³⁾ 及び軽水減速ドライバークル炉内に作られた CFRMF⁽⁴⁾ がある。

²³⁵U の核分裂核は優れた標準場であり、従来多くのしきい反応断面積の測定等に用いられてきているが、高速炉炉心等と模擬するためにはウランを球殻状にして、その内部に B+C を内張りした ΣΣ facility などがある。ベルギーの CEN/SCK にある ΣΣ は、その内部における中性子スペクトルの国際比較も行われ、standard field に近い⁽⁵⁾。

電子線型加速器等駆動の標準場と中性子飛行時間分析法と組合せるとエネルギー依存の中性子検出効率の校正などに利用できる。著者等はボロン黒鉛パイプをこの目的に使用している⁽⁶⁾。核融合炉開発とからみ、より高いエネルギーの標準場を設定しようとする動きがある。例えば ANL タンテム VdG の ⁹Be(d,n) 反応や UC-Davis cyclotron の ⁹Be(d,n) 反応などがある。また、Los Alamos SL の INS facility をベンチマークにしようという提案もある。一方、軽水炉圧力容器近傍を模擬した標準場設定の提案もある。

3. 結 言

背景、必要性とグローバル化などからして、高速中性子標準場の設定はや、"標準" という言葉から外れるようなものもあるような気がする。より厳密な考証があって然るべきかともいえるが、どんどん進正動力炉開発に進められてあまり中々くりしてられないのかも分らない。中味からすると照射効果定量化のための標準場が今後重要であろう。

(文献) (1) M. F. Vlasov (ed.): INDC (NDC)-81/L+M (77), (2) J. A. Grundl et al.: Nucl. Tech., 32 315 (77), (3) E. J. Dowdy et al.: ibid., 25 341 (75), (4) J. W. Rogers et al.: ibid., 25, 330 (75), (5) A. Fabry et al.: ibid., 25 349 (75), (6) I. Kimura et al.: NIM, 137 85 (1976)
* 著者等の最近の実験(学全年会 C-30, (78))でも約8 MeV以上でもう少し軟い方がよい結果が出た。

3. 結合炉動特性方程式の導出と結合・反射体効果に対する物理的考察

京大工

森島 信弘

原子炉の炉心を coupled core または coupled module の集合とみなす結合炉という考え方はよく知られてゐる。この考え方にすれば、炉心の各領域の間には中性子密度変動の結合があり、それにより原子炉を臨界にしてゐるこゝになる。そこで、この結合効果の評価と原子炉動特性への寄与の様子を調べる努力が、かなり以前より現在まで続けられてゐる。

本研究もこうした流れに沿つたものである。はじめに拡散方程式より出発して結合炉動特性方程式の導出を述べる。次に結合効果が固有値に及ぼす影響を反応度方程式を導いて解析する。以下では1次元5領域モデルを例にして述べるこゝにする。

1. 拡散方程式より多点炉動特性方程式の導出

中性子密度 $n(x)$ が従う方程式を先行核の効果を含めて周波数領域 ($s=i\omega$) で記すと、

$$S \hat{n}(x) = -\nabla \cdot \hat{j}(x) + \hat{M}_0(x) \hat{n}(x) + \hat{f}_0(x) \quad (1)$$

$$\text{ここで, } \hat{M}_0(x) = -\nu \Sigma_a(x) + \bar{\nu}_0 \nu \Sigma_f(x) + \sum \lambda_i (s + \lambda_i)^{-1} \nu \beta_i \nu \Sigma_f(x) \quad (2)$$

$$\hat{f}_0(x) = \hat{f}_m(x) + \sum \lambda_i (s + \lambda_i)^{-1} \hat{f}_i(x) \quad (3)$$

各記号は慣用のものを用いた。外力は炉雑音解析の場合、ランダム力を意味し、パルプ実験やパイロオキシド実験の場合には、 \hat{f}_m は外部中性子源、 $\hat{f}_i = 0$ とする。

領域 l における平均中性子密度 \hat{N}_l を次のように定義する。

$$\hat{N}_l = \nu_e^{-1} \int_{V_l} n(x) dx \quad \text{for } l=1, 2, 3, 4, 5 \quad (4)$$

各領域内で組成が均一として中性子密度 \hat{N}_l が従う方程式は、(1)式より求める。

$$S \hat{N}_l = -\nu_e^{-1} \int \nabla \cdot \hat{j}(x) dx + \hat{M}_l \hat{N}_l + \hat{F}_l \quad (5)$$

$$\text{ここで, } \hat{M}_l = \hat{M}_0(x), \quad \hat{F}_l = \nu_e^{-1} \int_{V_l} \hat{f}_0(x) dx \quad \text{for region } l \quad (6)$$

次に、(5)式の右辺が1項が空間的結合効果と認めつくこゝを示す。(1)式にフイックの法則 $\hat{j}(x) = -D(\nu) \text{grad } \hat{n}(x)$ を代入して、中性子密度 $\hat{n}(x)$ を求める。

$$\hat{n}(x) = \sum_{x_0} \int_{V_2} dx_0 \hat{G}_r(x, x_0) \{ \hat{S}_0(x_0) \hat{n}(x_0) + \hat{f}_0(x_0) \} \quad (7)$$

$$\text{ただし } \hat{G}_r = \text{div}(D \text{grad}) \hat{G}_r - R_0 \hat{G}_r + \delta(x-x_0) \delta(t-t_0) \quad (8)$$

$$R_0(x) = \nu \Sigma_a(x), \quad \hat{S}_0(x) = \bar{\nu}_0 \nu \Sigma_f(x) + \sum \lambda_i (s + \lambda_i)^{-1} \nu \beta_i \nu \Sigma_f(x) \quad (9)$$

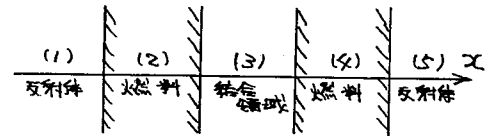
応答関数 $\hat{G}_r(x, x_0)$ を次の平均化を用いた応答関数 $\hat{G}_r(x, t)$ でおきかえて近似する。

$$\hat{G}_r(x, t) = \nu_e^{-1} \int_{V_2} dx_0 \hat{G}_r(x, x_0) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{従つて, } \hat{n}(x) &= \sum \hat{G}_r(x, t) \int_{V_2} dx_0 \{ \hat{S}_0(x_0) \hat{n}(x_0) + \hat{f}_0(x_0) \} \\ &= \sum \hat{G}_r(x, t) \nu_e (\hat{S}_e \hat{N}_e + \hat{F}_e) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{ここで } \hat{S}_e = \hat{S}_0(x_0) \quad \text{for } x_0 \in \text{region } l \quad (12)$$

この結果より問題としてゐる拡散項は次のように書くこゝができる。



(1)内は領域に付した番号
1次元5領域左右対称炉心とする。

図1. 結合炉モデル

$$\begin{aligned}
 -\nabla_e^{-1} \int_{\Sigma} \nabla \cdot \hat{j}(x) dx &= -\nabla_e^{-1} \int_{\Sigma} \hat{j} \cdot dS && \text{(ガウスの定理)} \\
 &= \nabla_e^{-1} \int_{\Sigma} D(x) \operatorname{div} \hat{M}(x) dS && \text{(7.177の法則)} \\
 &= \sum_R \hat{G}_{eR} (\hat{S}_R \hat{N}_R + \hat{F}_R) && \text{(111)式を利用}
 \end{aligned} \tag{43}$$

$$\text{ここで, } \hat{G}_{eR} = \nabla_R \nabla_e^{-1} \int_{\Sigma} dS D(x) \operatorname{div} \hat{G}_R(x, R) \tag{44}$$

以上の結果を(4)式に代入すれば多体炉(5点炉)動特性方程式が求められる。

$$S \hat{N}_e = \hat{M}_e \hat{N}_e + \sum_R \hat{G}_{eR} \hat{S}_R \hat{N}_R + \hat{F}_e + \sum_R \hat{G}_{eR} \hat{F}_R \tag{45}$$

2. 結合炉動特性方程式と反応度方程式

燃料領域における中性子密度 \hat{N}_2 と \hat{N}_4 に注目して、その他の変数を消去すれば、結合炉動特性方程式が得られる。ただし、外力は省略して扱う。

$$\begin{cases}
 S \hat{N}_2 = \hat{k}_2 \Delta^{-1} \hat{N}_2 + \frac{k_c \Delta \hat{\rho}_c}{c} \hat{N}_4 + \hat{F}_2 \\
 S \hat{N}_4 = \frac{k_c \Delta \hat{\rho}_c}{c} \hat{N}_2 + \hat{k}_4 \Delta^{-1} \hat{N}_4 + \hat{F}_4
 \end{cases} \tag{46}$$

$$\text{ここで 増倍係数, } \hat{k} = \bar{k} \hat{\rho}(s)$$

$$\text{結合係数, } k_c = \bar{V} \hat{G}_{24}(0) Z_4 / Z_2^{\dagger}$$

$$\bar{k} = \bar{V} (1 + \hat{G}_{22}(0)) Z_4 / Z_2^{\dagger}$$

$$\text{結合による遅れ, } \hat{\rho}_c = \hat{G}_{24}(s) / \hat{G}_{24}(0) \tag{47}$$

$$\text{反射係効果, } \hat{\rho} = (1 + \hat{G}_{22}(s)) / (1 + \hat{G}_{22}(0))$$

遅延中性子の効果,

$$\text{中性子寿命, } \tau = (\nu Z_2^{\dagger})^{-1}$$

$$\Delta = 1 - \beta + \sum \lambda_i \beta_i (s + \lambda_i)^{-1}$$

(46)式の係数行列の固有値を求め、因子 Δ について解けば反応度方程式が求められる。

$$\hat{\rho}^{\pm} = (1 + \tau S)^{-1} (\tau S + S \sum \beta_i (s + \lambda_i)) \tag{48}$$

$$\text{ここで 反応度, } \hat{\rho}^{\pm} = (\hat{k}_t^{\pm} - 1) / \hat{k}_t^{\pm}$$

$$\text{遅延係数, } \hat{k}_c^{\pm} = \hat{k} \pm k_c \hat{\rho}_c \tag{49}$$

反射係効果 $\hat{\rho}$ は結合効果 \hat{k} に比べて周波数依存性は分り高い所まで一様性を示す。

ここで、 $\hat{\rho} = 1.0$ 、 $\hat{\rho}_c = \{d_c / (s + d_c)\}^2$ として(48)式の右辺と左辺と下図に示す。

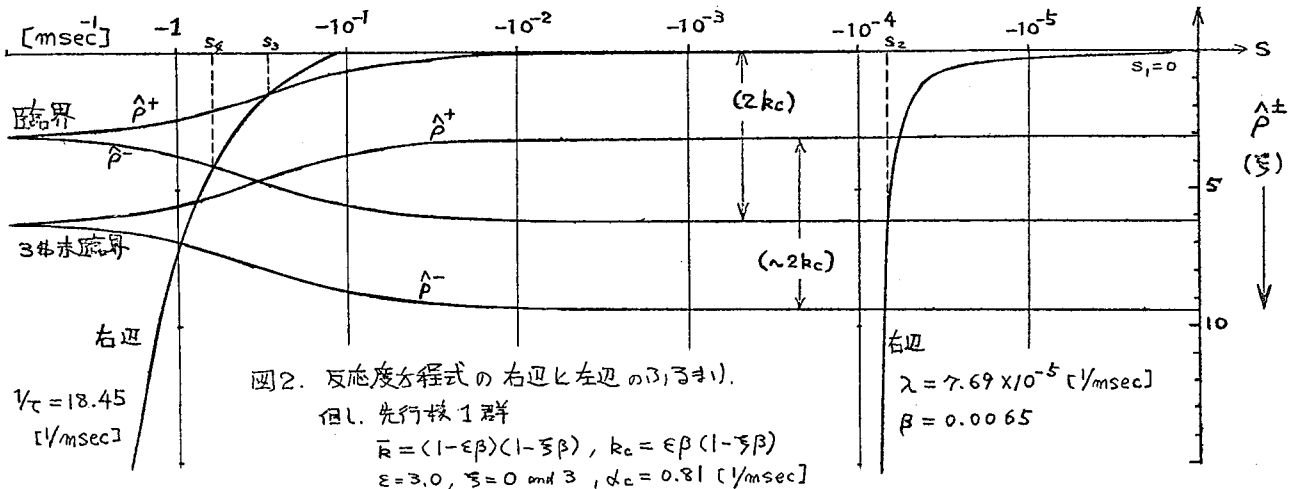
高い周波数領域では結合による時間遅れが顕著になり ($|\hat{\rho}_c| \ll 1$ 程度)、それぞれの燃料領域は単独で存在している状態に近くなる。固有値 s_1 と s_2 の違いは結合係数による。その理由は以下の通りである。臨界条件、 $\bar{k} + k_c = 1.0$ 、及び $|s_1| \ll d_c$ の領域では $\hat{\rho}_c = 1.0$ であり

$$\hat{\rho}^+ = (\hat{k}_t^+ - 1) / \hat{k}_t^+, \quad \hat{k}_t^+ = \bar{k} + k_c = 1.0 \tag{50}$$

$$\hat{\rho}^- = (\hat{k}_t^- - 1) / \hat{k}_t^-, \quad \hat{k}_t^- = \bar{k} - k_c = 1 - 2k_c$$

これらの差を求めれば

$$\hat{\rho}^+ - \hat{\rho}^- = 2k_c / (1 - 2k_c) \doteq 2k_c \tag{51}$$



4. 2分割型炉心の動特性パラメータ測定 —— KUCA パイルオシレータ実験 ——

名大・工 田中教馬 山根義宏 仁科浩二郎 玉河元
京大炉* 代谷誠治* 神田啓治*

序 2分割型炉心の動特性・安定性を論じる際、結合係数・遅れ時間・中性子生成時間などの動特性パラメータが重要な量となる。これら3つのパラメータの内、結合係数は既にパイルオシレータ法やノイズ法で実験的又は半実験半解析的に測られて⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾いるが、他の2つはほとんど得られていない。また解析的には一昨年新川が1次元1群応答関数による新しい2炉心近似モデルを提唱し、3つのパラメータを式で表現した。ここでは2炉心の周波数応答から上記パラメータが簡単な演算で得られることを示し、この手法をパイルオシレータ実験に適用した結果を報告する。また同時に新川のモデルの妥当性を検討する。

原理 新川が示した1次元1群応答関数による2分割型炉心の動特性方程式⁽⁵⁾のラプラス変換形において、応答関数を $\tilde{G}(s) \rightarrow \tilde{G}(0) + \tilde{G}'(0) \cdot s$ と近似すると、各炉心の周波数応答は次のように書ける。但し両炉心は対称で、炉心1に周期的外乱を与えたとする。

$$\text{炉心1: } \tilde{\Sigma}_{11}(i\omega) = \frac{\tilde{H}^1(i\omega)}{[\tilde{H}^1(i\omega)]^2 - [\tilde{Q}(i\omega)]^2} \quad \text{①} \quad \text{但し } \tilde{Q}(i\omega) = \varepsilon(1 - i\omega\tau) \quad \text{③}$$

$$\text{炉心2: } \tilde{\Sigma}_{12}(i\omega) = \frac{\tilde{Q}(i\omega)}{[\tilde{H}^1(i\omega)]^2 - [\tilde{Q}(i\omega)]^2} \quad \text{②} \quad \tilde{H}^1(i\omega) = \left[\frac{\beta}{\beta} i\omega + \varepsilon + \frac{i\omega}{i\omega + \lambda} \right]^{-1} \quad \text{④}$$

ここで \sim は複素量を示し、 ε は結合係数、 τ は遅れ時間、 β は中性子生成時間を示す。さて、実験的に $\tilde{\Sigma}_{11}(i\omega)$ 、 $\tilde{\Sigma}_{12}(i\omega)$ が得られたとすると、 $\tilde{Q}(i\omega)$ 、 $\tilde{H}^1(i\omega)$ は次式から求まる。

$$\tilde{Q}(i\omega) = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\tilde{\Sigma}_{11}(i\omega) - \tilde{\Sigma}_{12}(i\omega)} - \frac{1}{\tilde{\Sigma}_{11}(i\omega) + \tilde{\Sigma}_{12}(i\omega)} \right] \quad \text{⑤}$$

$$\tilde{H}^1(i\omega) = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\tilde{\Sigma}_{11}(i\omega) - \tilde{\Sigma}_{12}(i\omega)} + \frac{1}{\tilde{\Sigma}_{11}(i\omega) + \tilde{\Sigma}_{12}(i\omega)} \right] \quad \text{⑥}$$

③式より周波数 ω と無関係に ε 、 τ が $\varepsilon = \text{Re}[\tilde{Q}(i\omega)]$ 、 $\tau = -\text{Im}[\tilde{Q}(i\omega)]/\varepsilon \cdot \omega$ から決まり、一方④式より $\tilde{H}^1(i\omega)$ は裸単一原子炉の周波数応答と同形で、そのゲイン特性に見られる折角周波数が $f_0 = \frac{\beta}{2\pi\lambda}(1+\varepsilon)$ に等しく、従って $\beta = \frac{2\pi f_0}{1+\varepsilon}$ より中性子生成時間が得られる。

実験 実験はKUCAの軽水減速架台を用いて行なった。その時の炉心配置を図1に示す。2つの炉心は軽水タンク中に3.5 mm ピッチ燃料集合体によって対称に構成されており、また炉心間隔を10 cm に取った(C35G10炉心)。臨界状態でパイルオシレータを回転させ、炉心1に周期的外乱を与えて各炉心中央に設置された He^3 -検出器で約0.2~175 Hzにおける13本の周波数応答を測定した。尚、測定系は実験精度を上げるためにトリガー-信号系統を改良したことを除き、Ref.(6)と同様である。

結果と考察 周波数応答の測定結果と新川のモデルによる計算結果を図2に示す。両者は比較的良い一致を示し、特に高周波数側の位相において計算値は測定値を極めてよく再現した。次に測定した周波数応答より動特性パラメータを求めた結果を計算値と共に表1に

示す。但し $f_s \cdot l$ は図3より求めた。参考までに単一炉心 (C35G0 炉心) の l は $52 \pm 1 \mu\text{sec}$ ⁽⁷⁾ であり、この場合従来のごとく2分割型炉心の l の代わりに単一炉心のものを使っても悪くないことが分った。またでは計算値と測定値でよく一致したが、 ϵ と l は 20~30% の差が生じた。理由として次のことが考えられる。即ち、 τ は中央減速材の大きさや群定数から計算されるが、 ϵ と l は炉心・反射体・中央減速材の全てに依存する。しかも実際の片側炉心幅約 25 cm に対し計算による臨界幅は約 2.5 cm であり、主にこの食い違いが ϵ と l の計算値と測定値の不一致の原因ではないかと考えられる。(実際、炉心幅が大きくなれば ϵ と l は測定値に合う方へ向く。) これは1群モデルの限界故かも知れないが、逆に1群計算にしてはよく測定値を再現したと言って過言でない。従って2分割型炉心の動特性の荒い検討には、このモデルは十分役立つと考えられる。

尚、以上は C35G10 炉心 に関しての検討であり、今後炉心間隔を変えた実験が望まれる。

謝辞 この実験は京都大学原子炉実験所共同利用実験の一環として行なわれ、(京大炉) 林正俊氏・小林圭二氏・木村康洋氏、(阪大) 住田健二教授・飯田敏行氏、(東海大) 阪元重康助教授・中土井昭三教授・永井慎一郎氏・橋本光弘氏等の協力により行なわれました。ここに感謝の意を表します。

	結合係数 ϵ [%]	遅れ時間 τ [μsec]	中性子生成時間 l [μsec]	折衷周波数 f_s [Hz]
測定値	3.50 ± 0.3	173 ± 5	51 ± 1	106.6 ± 2.5
計算値	4.40	172	65	100.6

表1. 動特性パラメータ

参考文献 (1) T.Kawai, Journ. Nucl. Sci. Technol. 2, 245 (1965).

(2) R.A.Hendrickson and Danofsky, "Proc. of National Topical Meeting on Coupled Reactor Kinetics," Texas A&M Univ. Press (1969) P506.

(3) E.Viehl, Nucl. Sci. Eng. 56, 422 (1975).

(4) W.Seifritz and R.W.Albrecht, Nucleonik 11, 149 (1968).

(5) 新川稔, 他, 日本原子力学会S51年度年会 (D26).

(6) 代谷誠治, 他, 日本原子力学会S52年度分科会 (D44).

(7) 寺川和良, 京都大学工学部修士論文 (1977).

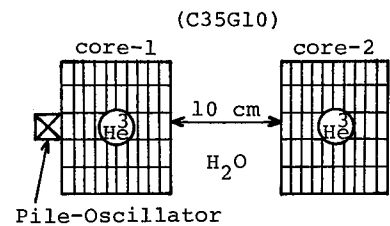


図1. 炉心配置

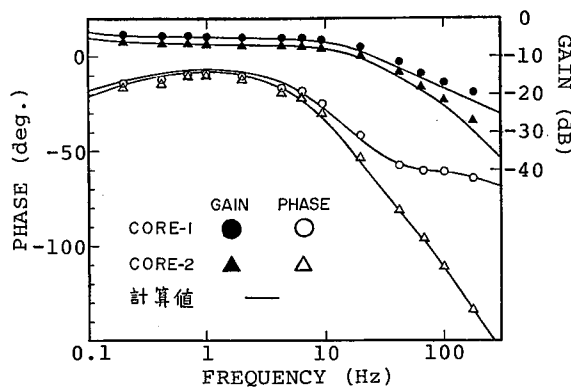


図2. 周波数応答 (C35G10 炉心)

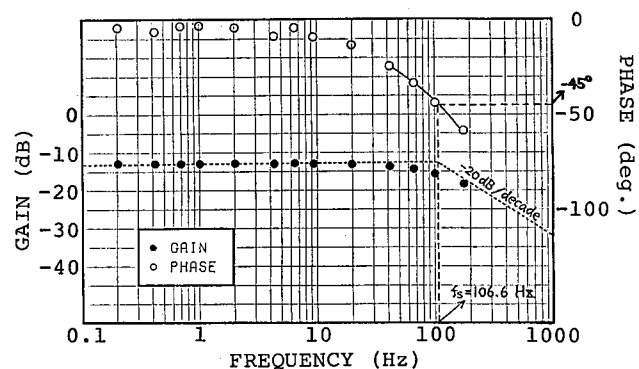


図3. $H(s)$ の周波数応答

5. アナログ計算機による2分割炉心原子炉の自動制御に関する模擬実験

京大炉

山本修二, HFR Controlワーキンググループ

【概要】 京都大学原子炉実験所の2号炉として計画が進められている高中性子束炉¹⁾²⁾は、軽水減速重水反射体付2分割炉心構造であり、その出力は、2分割炉心において各々の炉心の中性子束が一定になるように自動制御される。このため各炉心には、各々線形出力系のと線補償型電離箱を設けるとともに各々1系統ずつの自動制御系が設けられる(第1図)。このような場合、炉心間の核的結合による制御系への影響について調べておく必要がある。

2分割炉心の動特性については、1959年に発表されたG.C. BALDWINによるアルゴノート炉の解析³⁾を始めとし、多くの論文が発表されているが、上に述べたように各炉心が各々自動制御系を持つ例としては、ドイツの*FMRB⁴⁾で経験がある程度である。ここでは、アナログ計算機を用いた2分割炉心原子炉の自動制御に関する模擬実験の結果について報告する。

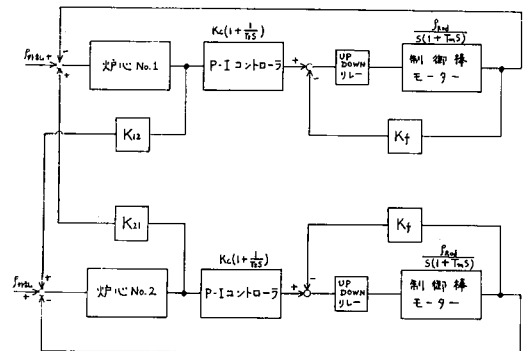
【2分割炉心原子炉の動特性方程式】 炉心部の動特性は(1)式に基づき1群2点炉近似を用いた。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_i(t)}{dt} &= \frac{\rho_i(t) - \lambda\beta}{\lambda_i} N_i(t) + \lambda C_i(t) + \frac{K_{ji}}{\lambda_j} N_j(t), \\ \frac{dC_i(t)}{dt} &= \frac{\lambda\beta}{\lambda_i} N_i(t) - \lambda C_i(t), \quad i, j = 1 \text{ 又は } 2, \quad i \neq j \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$

K_{ji} は炉心*j*から炉心*i*への結合係数で、*j*炉心において単位時間に発生する中性子の内*i*炉心へやってくる割合を意味する。この時、結合による相手側炉心への影響の時間的遅れはないものとする。また、遅発中性子は1組のみとし、温度係数によるフィードバックは無視し、両炉心は対称炉心と仮定した。

【自動制御系】 ここで用いた制御系⁵⁾は、2モード(比例、積分)コントローラ、UP-DOWNリレー、制御棒駆動モータ及び制御棒位置フィードバック部より構成されている(第1図)。UP-DOWNリレー部においてコントローラ出力電圧と、制御棒の位置に対応した電圧の差及びその方向を検出して、UP又はDOWNリレーを作動させて制御棒駆動モータを駆動する。こうして、制御棒はコントローラ出力に対応した位置に調節される。

【結果】 制御系の応答を調べるため、定常運転中、片側炉心(No.1)へ1¢のステップ状反応度外乱を加え、その時の両炉心の出力変化の様子を観察した。第2図

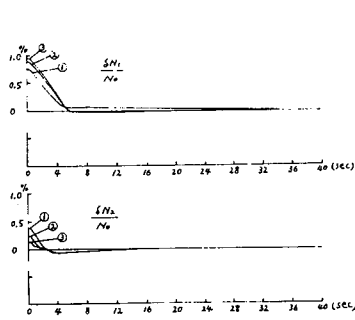


第1図. 両炉心に自動制御系を持つ2分割炉心原子炉のブロック図

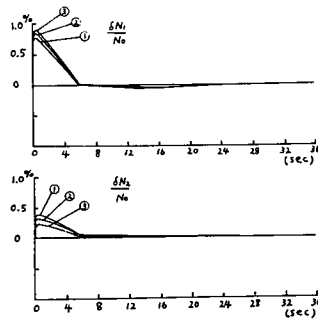
は、 K_{ij} の値を変えた場合の結果である。これからわかるように、結合が強くなるに従って、相手側炉心の出力変動は大きく、反対に外乱の入った側は小さくなっていくことがわかる。つまり結合が強くなるに従って相手側炉心への影響が大きくなり、片側炉心に外乱を加えたにもかかわらず両炉心の出力変化の様子が等

*FMRB(Measuring and Research Reactor Braunschweig): 軽水減速・反射スライミングプール型原子炉で、結合領域に重水タンクを持つ2分割炉心構造。出力1MWで原子炉放射線測定の開発研究と標準化の他、中性子物理、固体物理に関する研究、R.I生産着を目的に作られた。

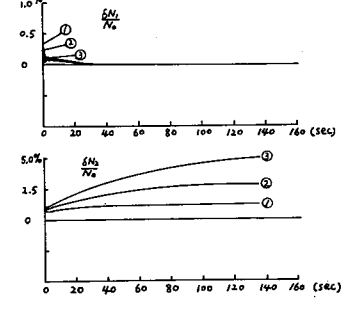
しくなる傾向を示している。このことは2分割炉心原子炉において、その結合が強くなるれば単一炉心の原子炉に近づくことを示すもので妥当な結果と言える。また $K/q = 10 \sim 50$ 程度の結合では、始めに予想した制御系相互の干渉等による問題はなく安定な制御が行えることがわかる。さらに、結合がこれより弱く、あるいは強くなってもオ2図より推定して特に問題はないうである。なお、ここでは温度上昇による温度係数のフィードバックは無視したが、1%程度の小さな反応度印加にともなう1%以下の出力変動の場合その影響は殆んど問題ないと考えられる。この点については別にそれを考慮した1点炉近似の結果⁶⁾からも確認した。ところで結合が強くなると2分割炉心は単一炉心に近づく制御系も1系統でよいことになる。そこで片側の制御系(No.2炉心)を取りはずし同様な実験を行ってみた。まず制御系のある炉心に1%のステップ状反応度外乱を加えてみた。この場合はオ3図に示したように制御系は1系統でも問題ないようである。次に制御系のない方(No.2炉心)へ同様に1%の外乱を加えてみた。オ4図に結果を示す。この場合制御系のある方の炉心は定常出力に制御されるが、制御系を持たない炉心出力は、結合が弱くなるに従って定常値からはずれた所におちついていくことがわかる。つまり結合が弱くなると1系統の制御系では不十分であることを示している。逆に結合が強くなるとこのずれは小さくなってくる。どの程度で単一炉心とみなし、制御系を1つにするかは一概に言えないが、特に両炉心の出力のアンバランスをさけたい高出力炉等では強い結合が必要と言える。



オ2図 t=0で炉心No.1へステップ状外乱1%印加
 ① $K/q = 50$ $\beta_{red} = 0.0015 \% \text{ / sec}$
 ② $K/q = 20$ $K_c = 30$
 ③ $K/q = 10$ $K_f = 1$
 $T_x = 10$
 $T_m = 0.2$



オ3図 t=0で炉心No.1へステップ状外乱1%印加
 ① $K/q = 50$ $\beta_{red} = 0.0015 \% \text{ / sec}$
 ② $K/q = 20$ $K_c = 30$
 ③ $K/q = 10$ $K_f = 1$
 $T_x = 10$
 $T_m = 0.2$



オ4図 t=0で炉心No.2へステップ状外乱1%印加
 ① $K/q = 50$ $\beta_{red} = 0.0015 \% \text{ / sec}$
 ② $K/q = 20$ $K_c = 30$
 ③ $K/q = 10$ $K_f = 1$
 $T_x = 10$
 $T_m = 0.2$

オ2図 反応度外乱に対する両炉心の出力変化(結合係数を変証場合)

オ3図 反応度外乱に対する両炉心出力の変化(No.1炉心のみ制御系を有する場合)

オ4図 反応度外乱に対する両炉心出力の変化(No.1炉心のみ制御系を有する場合)

[射 辞] 本実験は日本鋼管株式会社技術研究所制御研究室のアナログ計算機により行ったもので、同研究室の水村、細野、布施氏等の御協力に感謝する。また、実験を進めるに当り適切な助言と御支援を賜り、京都大学原子炉実験所木村逸郎教授に感謝する。

[参考文献] 1) 京大高中性子束炉構造の概要, 昭和52年8月, 京都大学原子炉実験所
 2) 原子炉設置変更承認申請書(高中性子束炉増設), 昭和51年10月, 京都大学
 3) G.C. BALDWIN: Kinetics of a Reactor Composed of Two Loosely Coupled Cores, NSE 6, 320-327 (1959)
 4) G. Schweizer: Zeitverhalten und Regelung des PTB-Reactors mit geteilter Spaltzone, PTB Bericht Nr. 6-13 1965
 5) 3動作原子炉調節計説明書(京大原子炉(KUR)用), 山武ハネウエ計器株式会社, 1964
 6) 山本修二, HFR Control ワーキンググループ: アナログ計算機による2分割炉心原子炉の自動制御に関する模擬実験, KURRI-TR-164, 1977年10月。

6. 結合炉の非干渉制御

北大・工

辻 雅司・小川 雄一

非干渉制御の定義として次の様に述べる事ができる：対象としている系の興味のある幾つかの出力が、各々それと対応する一つの入力によってのみ影響を受け、他の入力からの影響を受けない時、その出力は非干渉化されたと言ひ、この事を可能にする制御を非干渉制御と言う。1963年にB.S.Morganによつて提起された非干渉制御問題は、1967年にP.L.Falbらによつて線形時間不変系に対する非干渉制御の存在に関する必要十分条件が与えられ、さらに1969年には、E.G.Gilbertによつて一応の完成を見込以後、より一般的な系へと理論の拡張が行なわれ、今日、実り豊かな成果が得られている。

非干渉制御理論の研究の当初より、この分野の研究者たちによつて、原子炉の制御に非干渉制御理論の適用の可能性について示唆されてきた。即ち、多変数、多入力、多出力系である原子炉に、非干渉制御を適用するならば、原子炉は、互いに独立な一入力一出力系の、より低い次元の系の幾つかの集りとして捉えることができ(系の低次元化)、更に、非干渉化された一入力一出力系において、他の系には無関係に制御設計を行うことができるため、全体の系の制御設計を容易にすることができる。このことは、今日、大型化の傾向にある発電用原子炉の出力の領域制御に対する、非干渉制御の適用は、非干渉制御による出力の領域における“非干渉化”と空間依存の制御を扱うことによつて、更に多変数化した原子炉の“低次元化”という面において、非干渉制御の優れた特徴を生かすことができ、今後、この種の制御において有力な方式の一つと考えられる。

非干渉制御理論の原子炉への応用は、結合炉の出力制御に理論的に適用したという数例の報告に見られる。このことには、原子炉として特異な形態を持つ結合炉が、通常の原子炉に比べて、空間的な効果を考慮に入れた制御が特に必要であるために、非干渉制御の原子炉への適用の恰好の対象であったという背景の他に、今日においては、結合炉の非干渉制御によつて得られた知識や技術を、“拡張された結合炉モデル”として捉えることができる大型原子炉の出力の領域制御において非干渉制御を実行する際に応用できるという重要な意義を持っている。

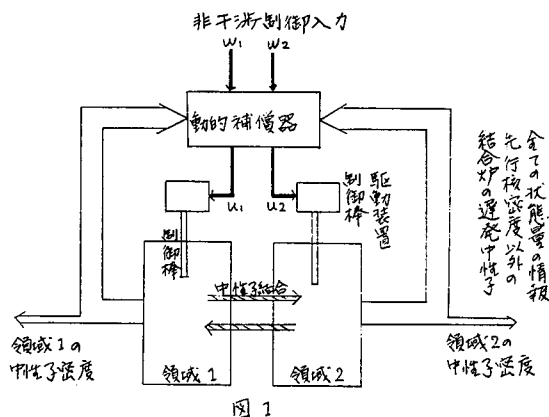
発表された報告は、用いられた理論が線形系に関するものか、非線形系に関するものかに大きく分けることができる。またそれぞれを、状態フィードバック制御を暗黙の前提としているこれらの理論を、遅発中性子先行核密度のような直接観測できない状態量を持つ原子炉に適用するための工夫の方法によつて、細かく分けることができる。即ち、線形系の理論を用いた報告に関して海外においては、線形時間不変系において記述された結合炉の出力制御に、全ての状態量が直接観測できるものとして状態フィードバックによる非干渉制御を適用した報告(G.V.S.Raju, 1970)⁽¹⁾、オブザーバを用いて直接観測できない状態量を推定し、これを状態量として用いた状態フィードバック制御による非干渉制御を扱った。

報告 (G.V.S.Raju, 1974)⁽²⁾、更に筆者らによる前置動的補償器を用いた出力フィードバック制御による非干渉制御を扱った報告 (辻, 小川, 1975, 1976)⁽³⁾、非線形系の理論を用いた報告では、出力変更問題を扱うために非線形状態方程式で記述された結合炉の、非線形系のオブザーバを併用した非線形状態フィードバック制御による非干渉制御の試みも扱った報告 (辻, 小川, 1977)⁽⁴⁾、などが在る。いずれの報告においても、非干渉制御が設計通り行なわれることが確かめられた。

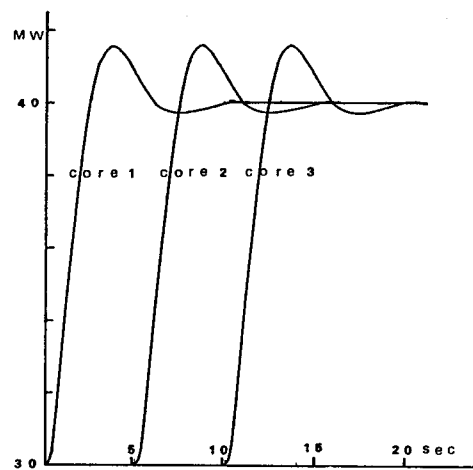
結合炉の非干渉制御の一例 —— 動的補償器による非干渉制御

用いた結合炉のモデルは、3領域より成り領域間には中性子の流れによるCouplingがあるものとし、各領域は、中性子密度、遅発中性子先行核密度、炉心温度、制御棒挿入位置、制御棒挿入速度の状態量によって記述される。非干渉化したい出力は、各領域の中性子密度とし、入力には制御棒駆動装置への信号とする。また、各領域の遅発中性子先行核密度は直接観測できないものとする。このように観測できない状態量をもつ結合炉を非干渉的に制御するために動的補償器を導入した。この動的補償器は遅発中性子先行核密度以外の全ての状態量と、各領域の出力である中性子密度にそれぞれ対応する非干渉制御入力を入力とし、出力は非干渉制御入力に対応する各領域の中性子密度を非干渉化するために必要な制御棒駆動装置への信号としている。

結合炉、動的補償器の関係を簡単に為し2領域より成る結合炉の場合について図1に示す。図2~4は、領域1に対応する非干渉制御入力に単位ステップ入力を加えてから5秒後に領域2に対応する入力にも単位ステップ入力を加え、更に5秒後に領域3に対応する入力にも単位ステップ入力を加えたときの、各領域の中性子密度、制御棒による加えられた印加反応度、また、動的補償器よりの制御棒にどのような作動を行なわせる制御棒駆動装置への信号の挙動について示してある。これらの図より、このような結合炉において非干渉制御が行なわれていることが判る。



動的補償器は入力 w と結合炉の各状態量の情報より、非干渉制御に必要な制御棒駆動装置への信号を作り出し、各領域の制御棒駆動装置は、この信号を受け、制御棒を作動させて結合炉を非干渉化する。



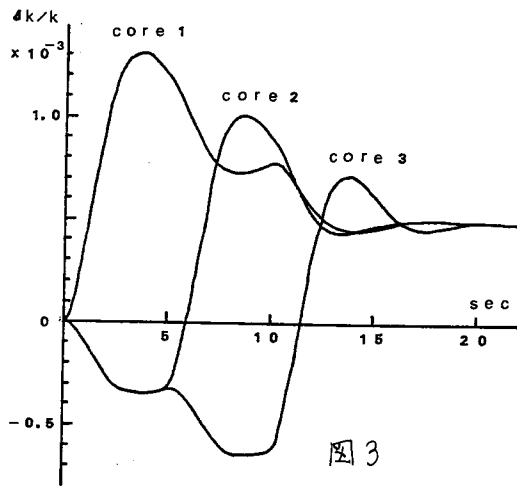


図3

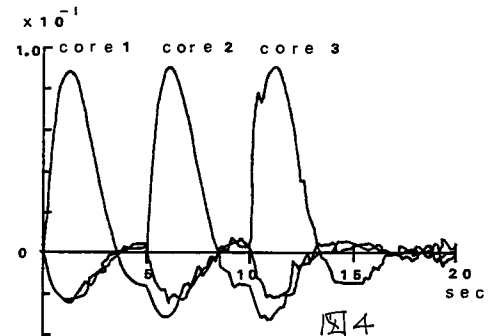


図4

非干渉制御の原子炉への実際の適用に際して、用いられる原子炉モデルの妥当性、従来の制御方式との比較、非干渉制御系の演算精度、また非線形系の非干渉制御系においては安定性の問題、等の更に検討を要する問題があり、今後より一層非干渉制御の実行に即した研究が必要となろう。

〔参考文献〕

- (1) G.V.S.Raju: IEEE Trans., NS-17, No-1, p. 541., 1970
- (2) G.V.S.Raju: IEEE Trans., NS-20, No-1, p. 668., 1973
- (3) a 辻, 小川: 北海道大学工学部研究報告, 第78号, 1976
 b 辻: 北海道大学大学院修士課程論文, 1975
- (4) 辻, 小川: J.Nucl.Sci.Technol., Vol-14, No-12, p. 859., 1977

多重帰還を持つ二点炉の安定性

阪大工

山田澄

松田茂彦

はじめに 現在京都大学原子炉実験所の二号炉として計画中の研究用原子炉(KUR-II)は、二分割炉心軽水冷却重水反射体を持つ高中性子束炉である。本報告はこの様な特殊な形の炉をモデルとして二分割炉の定格運転中の安定性と制御系を付加した場合の炉全体の安定性について古典制御理論を用いて解析した結果を簡単に述べる。

動特性方程式

出力運転中の二分割炉の動特性を記述するため次の仮定を行う。
 (a) 二分割炉の核的動特性は定数結合係数を用いた二点炉近似動特性方程式⁽¹⁾で表わせ、遅発中性子一群近似とする。
 (b) 熱的動特性は燃料、冷却材、反射体の平均温度に対する方程式を用いる。このとき冷却材は夫々の炉心に独立した循環系を持ち、重水は充分攪拌されて一様な温度となる。
 (c) 光遅発中性子は重水反射体内で一様に発生する。
 (d) 温度反応度効果としては冷却材と重水反射体についてのみに考える。
 (e) キセロンの毒作用は時定数が大きいので比較的短時間での安定性の問題と切り離して考える。
 (f) 解析結果の物理的意味を把握するために二分割炉の対称性を仮定する。

以上の様な仮定のもとで、対称二分割炉動特性方程式は次の連立微分方程式となる。

$$\begin{aligned} \dot{N}_i &= \frac{1}{L}(\beta_i - r\beta)N_i + \lambda C_i + \frac{D}{L}N_j + \frac{1}{2}\alpha\lambda pP & (1) \\ \dot{C}_i &= \frac{I\beta}{L}N_i - \lambda C_i & (2) \\ \dot{P} &= \frac{m}{L}(N_1 + N_2) - \lambda pP & (3) \\ C_f \dot{T}_{fj} &= AN_i - h(T_{fj} - T_{wi}) & (4) \\ C_w \dot{T}_{wi} &= h(T_{fj} - T_{wi}) - c_w m_w(T_{wi}^{out} - T_{wi}^{in}) & (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_R \dot{T}_R &= A'(N_1 + N_2) - c_R m_R(T_R^{out} - T_R^{in}) & (6) \\ T_w &= \frac{1}{2}(T_w^{out} - T_w^{in}), \quad T_R = \frac{1}{2}(T_R^{out} - T_R^{in}) \\ i, j &= 1 \text{ or } 2 \quad (i \neq j) \end{aligned}$$

N, C は各炉心の総中性子数、総遅発中性子先行核数、 T, c は温度及び熱容量、 P, m は反射体中で発生する光遅発中性子の先行核数及びその発生分率、 h は熱伝達係数、 c_m は冷却材又は反射体の単位時間当り単位温度差当り持ち去る熱量、 A, A' は炉心及び反射体中での発生熱量を表わし、添字 f, R, W は夫々燃料、反射体、冷却材を表わす。

対称二分割炉の伝達関数

各変数の定常値は添字 0 を、定常値からの偏差は添字 δ を付けて表わす。反応度帰還として冷却材と重水の温度効果のみを考慮し、その係数を $\epsilon_{TW}, \epsilon_{TR}$ とすると、各炉心への反応度入力は

$$\delta \rho_i = \delta \rho_i^0 + \epsilon_{TR} \delta T_{Ri} + \epsilon_{TW} \delta T_{wi} \quad (7)$$

で与えられる ($\delta \rho_i^0$ は外部より入る反応度)。 (1) ~ (7) 式を定常値からの偏差について線型化し、ラプラス変換を行うと $\delta \rho$ と δN の間に次の関係が成り立つ。

$$\begin{bmatrix} \delta N_1 / N_0 \\ \delta N_2 / N_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1(s) & g_2(s) \\ g_2(s) & g_1(s) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \delta \rho_1' \\ \delta \rho_2' \end{bmatrix} \quad (8)$$

(8) 式のマトリックスを対角化し、各要素について式を分解すると次式を得る。

$$(\delta N_1 + \delta N_2) / N_0 = \frac{1}{g_1(s) + g_2(s)} (\delta \rho_1' + \delta \rho_2') \quad (9)$$

$$(\delta N_1 - \delta N_2) / N_0 = \frac{1}{g_1(s) - g_2(s)} (\delta \rho_1' - \delta \rho_2') \quad (10)$$

(9), (10) 式から明らかで、(1) ~ (7) 式は夫々入力 $\delta \rho_i$ の出力 δN_i の二分割炉の動特性は夫々入力 $\delta \rho_i$ で出力 δN_i である全く独立な二つの一入

れ一出力系の動特性に等価である。

$G^\pm(s) = (g_1(s) \pm g_2(s))^{-1}$ と定義すると、

$$G^+(s) = \left[\lambda s - (\beta_0 + D - \beta) - \frac{\lambda \beta B}{s + \lambda} - \frac{\alpha m \lambda P}{s + \lambda P} - \frac{2 A' N_0 \epsilon_{TR}}{C_{RS} + 2 C_{RM}} - \frac{A N_0 \epsilon_{TW} h}{C_w C_f s^2 + \{h(C_w + C_f) + 2 C_0 m_0 C_f\} s + 2 C_0 m_0 h} \right]^{-1}$$

$$G^-(s) = \left[\lambda s - (\beta_0 - D - \beta) - \frac{\lambda \beta B}{s + \lambda} - \frac{A N_0 \epsilon_{TW} h}{C_w C_f s^2 + \{h(C_w + C_f) + 2 C_0 m_0 C_f\} s + 2 C_0 m_0 h} \right]^{-1}$$

$G^+(s), G^-(s)$ の安定性 $G^+(s), G^-(s)$ が安定であるためには夫々の伝達関数の全ての極が負の実数部を有すれば良い。その為の条件は Hurwitz の方法により求められる。しかし $G^\pm(s)$ の極を与える特性方程式は s について 7 次式となり、一般的に安定条件を求める事は非常に困難である。そこで KUR-II の予備実験により求められた表 1 のデータを用い、数値計算と組合せに解析を行い、 $G^+(s), G^-(s)$ が安定であるための条件として次の結果を得た。

$$C_w m_w \leq 4.17 \times 10^5 \text{ cal/deg}\cdot\text{sec}, C_{RM} \leq 1.133 \times 10^5 \text{ cal/deg}\cdot\text{sec}$$

$$\epsilon_{TR} < 2.97 \times 10^{-3} \Delta K/K/\text{deg} \text{ に対して}$$

$G^+(s) > 0$ 即ち $(A \epsilon_{TW} / C_w m_w) + (A \epsilon_{TR} / C_{RM}) < 0$ (9) であれば、 $G^+(s), G^-(s)$ は常に安定である。

従って温度反応度係数 $\epsilon_{TW}, \epsilon_{TR}$ が共に負の場合のみならず、重水反射体温度係数が正の場合でも (9) 式が満たされれば炉は安定となる。

制御系を付加した二分割炉の安定性

二分割炉の炉心に夫々独立した制御系 $F(s)$ を付加した場合の炉の安定性を検討しておく事は非常に重要である。各炉心出力が測定可能とし、外乱反応度を δp_0° とすると炉心に加わる反応度は次式で与えられる。

$$\begin{bmatrix} \delta p_1^\circ \\ \delta p_2^\circ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta p_0^\circ \\ \delta p_0^\circ \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} F(s) & 0 \\ 0 & F(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta N_1 / N_0 \\ \delta N_2 / N_0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

この式を (8) に代入し、マトリックスの対角化と要素についての分離を行うと、

$$(\delta N_1 + \delta N_2) / N_0 = \frac{G^\pm(s)}{1 + G^\pm(s) F(s)} (\delta p_1^\circ + \delta p_2^\circ)$$

$$(\delta N_1 - \delta N_2) / N_0 = \frac{G^\mp(s)}{1 + G^\mp(s) F(s)} (\delta p_1^\circ - \delta p_2^\circ)$$

となり二分割炉の安定性は $G^+(s), G^-(s)$ に夫々 $F(s)$ を付加しに全く独立な二つの系の安定性に帰着される。従って二分割炉の安定性判別、制御系 $F(s)$ の設計には従来広く用いられている古典制御理論の手法が全て適用でき、従って $F(s)$ は線型のみならず非線型の場合でも比較的容易に解析が行える。

数値解析

(1) ~ (8) 式に表 1 で与えられる定数を用い、制御系として位置フィードバックを持つ制御機駆動系 ($G_R(s) = \frac{1}{s(1 + 0.2s + 0.02s^2)}$) と位相補償 ($G_C(s) = \frac{1 + 0.22s}{1 + 0.002s}$) を持つ二分割炉制御系を例にとり、この応答をルンゲ・フック法により数値解析した。その結果、一方の炉心に 5% の反応度と外乱として与えた場合、制御系フィードバックゲインが 12.7 で明らかに振動発散解となる。同じ系を線型化して解析した結果安定限界を与えるゲインは 12.58 となり数値解と比較的よく一致を示している。

終わりに

非線型制御系を付加した場合の炉の安定性については紙面の関係で省略した。以上の解析にはかなり大胆な仮定がいくつもあり今後これらに対する検討を更に加える必要がある。

$\beta B = 0.00739$	$\lambda = 0.077 \text{ sec}^{-1}$	$A N_0 = 3.222 \times 10^6 \text{ cal/sec}$
$m = 0.00739$	$\lambda_P = 0.00069 \text{ sec}^{-1}$	$A' N_0 = 3.580 \times 10^5 \text{ cal/sec}$
$l = 0.00019 \text{ sec}$	$C_f = 6.2 \times 10^4 \text{ cal/deg}$	$C_w m_w = 4.170 \times 10^5 \text{ cal/deg}\cdot\text{sec}$
$\alpha = 0.23$	$C_w = 5.12 \times 10^4 \text{ cal/deg}$	$C_{RM} = 1.133 \times 10^5 \text{ cal/deg}\cdot\text{sec}$
$D = 0.00218$	$C_R = 4.16 \times 10^6 \text{ cal/deg}$	$\epsilon_{TW} = -4.2 \times 10^{-5} \Delta K/K/\text{deg}$
$\beta_0 = -2.00235 \times 10^{-3}$	$h = 1.61 \times 10^5 \text{ cal/deg}\cdot\text{sec}$	$\epsilon_{TR} = +7.9 \times 10^{-5} \Delta K/K/\text{deg}$

表 1

参考文献

- 1) F.C. Duffilippo & R.M. Waldman: N.S.E, 61, pp60~71 (1976)
- 2) 京都大学: 原子炉設置変更承認申請書, 高炉炉心系炉増設, 昭和 51 年 10 月

《 海外調査報告 》

米国におけるトリウムに関する炉物理研究の現状

京大原子炉実験所

神田啓治

1. はじめに

昭和52年11月25日から12月16日まで、訪米した際にいくつかの研究機関を訪れ、Thの研究について討論したので、その大要を述べる。この問題に関する主な訪問先は、レンスラー工科大学(RPI)、アルゴンヌ国立研究所(ANL)、アトミックス・インターナショナル社(AI)、ジェネラル・アトミックス社(GA)、などである。

2. Thの中性子断面積

現在使われているThの断面積は、10数年前にGAが中心になってまとめたGGC-4又はこれを書きかえたENDF/B-IV(=ENDF/B-III)である。それによると $\sigma_a(2200\text{m/sec}) = 7.4\text{ barn}$, $RI = 85.3\text{ barn}$ の方がよいのではないかという意見があり、また共鳴領域もこれまでの値よりも少し低い方が適当だという意見があるので、OECDのDr. H. Derrienのグループ、米国のANL、ORNL(オークリッジ国立研究所)などで再評価の作業をしているという。共鳴領域については、最近ベルギーの国立研究所GEEL、米国のコロンビア大学及びORNLで測定のやり直しが行われ、これらの間では一応より一致をみたというが、もう少しつめた方がよいという人もいる。

ENDF/B-Vを目下編集中で、これにはThに限らず全ての断面積の再評価が含まれる。53年の1月にそのPhase Iを作り、それに基づいて各種の計算を行なってC/Eを求め、5月には一応の目やすを出す予定である。従って、近いうちにENDF/B-Vが公開されるものと思われる。米国内では10数ヶ所の大学や研究所から研究者が集まり、そのための作業を精力的に進めている。

3. Thの積分測定

Thメタルを用いた積分実験は、10数年前までAIのAETR(Advanced Epithermal Thorium Reactor)を用いて行われていたが、それ以後実験は完全に中断していった。AETRにあった約1000 KgのThメタルは、380 KgがANL Idaho BranchのZPPR(Zero Power Plutonium Reactor)へ、350 Kgが京大のKUCA(Kyoto University Critical Assembly)へ移された。両者共近日中に約100 Kgずつ増量される予定である。

最近カーター大統領が核不拡散に関連して、トリウムサイクルの再評価を提案したことから、AIにAETRのデータの詳細を公開するよう求める声がある。AIには当時のデータは何も残っておらず今さらそんなことを云われても困ると云っていた。Nucl. Sci. Eng.等に発表したデータ以外は全部処分したし、当時の実験は、現在の技術に比べて不十分なので、たとえ残っていたとしてもあまり役に立たないようだ。

ANLでは、これまで主にsmall sampleを用いた実験を高速臨界集合体で行っていたが、今後は大量のThメタルとThO₂を用いて実験するよう丁度作業が進められていた。

しかし何れも実験体系は高速中性子領域に限られており、熱中性子及び熱外中性子領域は京大のKUCAに期待すると云われた。

4. 京大KUCAの実験

KUCAでは、53年の10月からThメタルを入れた臨界実験を始めたが、これについて米
国が寄せる期待が大きいのに驚いた。要約すると (i) ENDF/B-Vの改訂の時期であり、
カーター大統領のこともあって good timing である、(ii) 熱中性子領域は few data しか
ない、(iii) AETRはいきなり球近似した体系から始めたので、shape effectの補正、既知
量との比較が難しいが、KUCAは円筒体系で、しかも断面積が既知の黒鉛で臨界調節した
後は、順次黒鉛をThに置きかえていった点が良い、(iv) 何れにしても現段階の実験でC/E
がどうなるかを早く発表して欲しい、ということだった。米国ではカーター大統領の発言
後にThの実験が盛んになったが、KUCAはどのようにしてそれ以前からThをわらっていたの
かと色々な人に尋ねられ、その都度日本の資源の問題などを説明した。

5. その他の話題

U-233の実験：丁度米国滞在中の12月2日に Shippingport にある LWBR (Light Water
Breeder Reactor) が 77,000 kW (e) のフル運転に入り、大統領は "a historic day in
the life of our country" と声明を出してご機嫌だった。このLWBRは、燃料として ^{235}U
ではなくすべて ^{233}U を用いている点が注目される。しばらく運転をしてから燃料を取り出
し、breeding ratioの測定などを行なうと云う。しかし、一般の研究者は大統領のお祭り
騒ぎに対してはかたまり冷淡で、"どうせNavyのやることさ" と云う感じだった。それと
云うのも、 ^{233}U は一般の研究者には使用できない制度になっており、Navy 及びそれに関
連した研究所だけが、秘密裏に研究を進めていることを批判し乍らも、"どうせそんなも
のだよ、しょうがない" とぼやいたり大統領の文句を云ったりしていた。我が国でもTh
の次には少量でもよから ^{233}U を用いて実験しなければならぬので、 ^{233}U の入手につ
いて早急に検討を進める必要がある。

HTGRについて：GAのHTGR (High Temperature Gas-cooled Reactor) はこの数年
不振であったが、大統領の云う20%以下の濃縮ウランとThを使う原子炉ということから
再び着目されそうである。元々HTGRは高濃縮ウランを使用していたが、最近になって20
%でもやって、いつか見通しがあったそうで、GAは大いに張り切っていた。ただHTGRの
再処理の問題はまだまだこれからという印象だった。

6. おわりに

全体的なことだが、会議の途中でやたらと Mr. President とか Mr. Carter が出てくるのは
、時々時だからであろうが少々驚いた。日本では研究者間の話の中に福田首相とか総理大
臣が、なんてことはまず出て来ない。米国に限らず多くの国の原子力は、基礎研究・発電
炉共米国大統領の政策が大きい影響力を持つていることを改めて感じた。

この原稿を書いた直後、4月~5月にまた訪米するので、また興味ある話題に出くわす
かも知れないが、それは次の機会に譲ることにする。

《 研究室 だより 》

1. 武蔵工業大学 原子力研究所

前回の「研究室だより」は、昭和51年4月に書いており、その後丁度2年と経過したので、4の向の活動についてまとめて報告する。

(1) 昭和51年度より、全国国公立大学の教職員に対する武蔵工大炉の共同利用が、東京工業大学原子炉工学研究所を窓口にして開始されたが、順調にスタートし、昭和51年度には20件、昭和52年度には34件の申請があり、全件採択された。

(2) 昭和53年度は、39件の申請が行なわれたが、予算の都合により2回分の都合で、このうち30件が採択された。内訳は、医療照射1件(15回)、生物照射3件(8回)、実験6件(12回)、一般照射20件(37回)である。

(3) 医療照射は、昭和52年3月1日に才1回目が実施されて以来、昭和53年4月末までに、15例の治療が行なわれた。平均すると、1ヶ月に1回以上の頻度である。患者はいずれも悪性脳腫瘍で、患者の年齢は3才から70才まであらゆる年代に及んでおり、現在のところ、男性6例、女性9例である。

(4) 研究活動の支柱は、前回の報告のときと大して変わってはいないが、大別すると

- (a) 放射化学分析に関する研究
- (b) 原子炉制御のオンラインシステムに関する研究
- (c) 医療用照射場における線量測定に関する研究
- (d) 核データの測定と評価に関する研究

に分けられる。このうち、炉物理関係は(c)と(d)であり、(c)に関しては、昭和52年日本原子力学会年会で、

「医療用中性子照射場における線量測定(I)

——凹形照射場と凸形照射場の比較——」[○]相沢、野崎、松本

昭和52年日本原子力学会・炉物理炉工学分科会で、

「医療用中性子照射場における線量測定(II)

——頭部ファントム実験——」[○]相沢、野崎、松本

「医療用中性子照射場における線量測定(III)

——オンライン線量モニター用検出器の開発——」[○]松本、相沢

昭和53年日本原子力学会年会で、

「医療用中性子照射場における線量測定(IV)

——中性子エネルギースペクトル——」[○]相沢、野崎、堀内、松本

の発表を行なった。

(d)に関しては、昭和52年度の共同利用設備費で、フヨッパー・TOF実験装置(炉物理の研究 才24号 p.9~10に概要説明)が設備されたので、その性能測定について

昭和53年日本原子力学会年会で、

「武蔵工大炉チヨツパーの特性測定」[○] 相沢、野崎、堀内、松本の発表を行なったが、現在このチヨツパーを用いて、各種元素の全断面積の測定をシステムアップに行なうべく準備を進めている。

(53. 4. 28 相沢の参記)

2. 東北大学 工学部 原子核工学科 相山研究室

正式名称は「核計測計装工学」研究室で、相山教授、古田島助教授、板垣、北村、岩崎助手が所属しています。この1年間の学生の出入りは近年になくはげしく、昨年3月には大学院後期4名、前期4名、学部4年生7名、研究生1名の総勢21名でしたが、就職や他大学院への進学で本年3月には後期1名、前期3名、4年生7名となり、53年度は後期2名、前期2名、4年生7名に大学院研究生1名と上記職員合計16名です。

当研究室では、多岐にわたる分野の研究を行なっていますが、主力は高速中性子反応断面積の測定(コッククロフトとダイナミトロン加速器による)と確率過程を対象とした解析法の開発(計測スペクトルのunfoldingとreactor noise)で、それに幾つかの小テーマが走っております。「好きこそ物の上手」をモットーに、各人の興味と能力を生かし晴耕雨読ならぬ「晴運動雨研究」に活気のある雰囲気のもとで活動しています。最近1年間にまとまった成果は下記に掲げておきますが、preliminaryな段階のものは本学科研究報告(NETU)の「SCA, FNL Annual Report」に報告されております。

52年度内の動静としては、6月に古田島助教授がミュンヘン工科大学の旧師森永教授のところへ出張、重イオンライナックの建設・調整に活躍して本年2月に帰国、一方、9月には北村助手が米國 Gatlinburg での SMORN-II (The Second Specialists Meeting on Reactor Noise) に2つの論文をひきげて出席、数年にわたって行なってきた時系列の自己回帰モデルによるBWR動特性同定の研究成果を発表するとともに、ORNL、Tennessee大学、Washington工大学をまわって帰国、研究の視野をさらに広くしたようでした。さらに、学振研究員の山本君が原研協力研究先のライナックへ武者修業、white neutronによる断面積研究に参加して腕を磨いてきました。

主な研究成果

- 1) Gamma-Ray Production Cross Sections for Aluminum and Copper at 5.3-MeV Neutron Energy, J. Nucl. Sci. Tech. 15, 85 (1978) —— 檜野、山本、斎藤、荒井、板垣、福島
- 2) Gamma-Ray Production Cross Sections for Interactions of 14.8 MeV Neutrons with O, Na, Al, Cl, Cr, Fe, Ni, Cu and Pb, Submitted to J. Nucl. Sci. Technol. —— 山本、檜野、板垣、福島
- 3) Cross Sections for the Reactions of $^9\text{Be}(n, t\gamma)$ and $^{12}\text{C}(n, n'\gamma)$ Between 13.5 and 15.0 MeV, NETU-26 (April, 1978) and to be submitted to J. Nucl. Sci. Technol. —— 檜野、板垣、山本、福島
- 4) The Application of Evaporation Model to the Calculation of Energy Spectrum and Angular Distribution of Recoil Nuclei from Neutron Induced Reaction, Submitted to Radiation Effects —— 武田、杉本、福島
- 5) Production of ^{29}Mg with 50-MeV Neutrons, Int.J. Appl. Rad. Isot. 28, 631 (1977) — 古田、武田、篠塚、森永(共著)
- 6) A Multivariable Autogressive Model of the Dynamics of a Boiling Water Reactor, Nucl. Sci. Eng. 65, 1 (1978) —— 松原、尾熊(原研)および北村
- 7) Experimental Studies of Core Flow Fluctuations and Neutron Noise in a BWR, Prog. Nucl. Energy 1, 137 (1977) —— 松原、尾熊(原研)および北村
- 8) Identification of BWR Dynamics from Autogressive Analysis of Multivariable Experiments, Prog. Nucl. Energy 1, 231 (1977) —— 北村、および松原、尾熊(原研)
- 9) JPDR - II の動特性測定実験 — 自己回帰モデルの適用 — JAERI-M (1978) 北村、および松原、尾熊(原研)
- 10) 原子炉雑音研究の現状' NETU - 25 (March, 1978) 北村
- 11) Estimation of Unknown Fission Yields for Several Nuclides Related to Nuclear Reactors, NETU-20 (April, 1977) —— 山本、福島
- 12) Prediction of Fission-Product Mass Yields and Related Parameters, Submitted to Annals Nucl. Energy —— 山本、福島
- 13) Summation Calculations of Fission-Product Decay Heat, Their Uncertainties and Their Applications to a Fast Breeder Reactor, NETU-23 (October, 1977) and submitted to Annals Nucl. Energy —— 山本、福島
- 14) $^6\text{Li}(p, ^3\text{He})\alpha$ 核融合反応断面積の測定、原子学会昭和52年年会 D8, - 篠塚、田中、田沼、福島、
- 15) BWR における流量ゆらぎとホワイト"ゆらぎ"の一考察、同上 B31, —— 松原、尾熊(原研)および北村
- 16) 炉雑音解析による JPDR 制御系の特性同定、同上 B32, —— 北村、および松原、尾熊(原研)
- 17) Be, O, Na, Cl, Cr, Ni, Pb の 14MeV 中性子に対する discrete γ 線生成断面積の同定、同分科会 D16, —— 檜野、山本、その他
- 18) 高速炉心における崩壊熱の総和計算とその不確かさの評価、同上 F2, —— 山本、福島
- 19) 自己回帰移動平均モデルによる炉雑音解析、同上 F30 —— 北村、重野、酒井、福島、および松原(原研)
- 20) 中性子エネルギー 13.5 ~ 15.0 MeV による ^9Be および ^{12}C からの γ 線生成断面積、同昭和53年年会 C, 檜野、守屋、板垣、福島
- 21) 炉雑音解析における時系列解析法の比較検討、同上 C46, —— 北村、重野、酒井、福島、および松原(原研)
- 22) 高速中性子による $(n, x\gamma)$ 反応断面積測定上の問題点、理化学研究所「 γ 線の測定技術」研究会(53.3) —— 檜野、板垣、福島
- 23) 数百 KeV 陽子の金属内における荷電交換現象について、原子学会東北支部会議集 p.20, —— 田中、篠塚、青木、吉田、福島

3. 九州大学工学部原子核工学教室 大田研究室

当研究室では、(1) 原子炉核特性・動特性、(2) 核データ、(3) 核融合炉工学、の3つのクルーが、互いに関係をとりつつ、おのれの独自に研究活動をつづけている。

(1) 原子炉核特性・動特性関係では、次のテーマの研究が進められている：

- 高速炉における燃料分布の最適化
- 音響解析による原子炉の異常診断
- 高温ガス炉の動特性

このうち最後のテーマは、原研との協力研究により進められている。

(2) 中性子核データの計算・評価に関しては、次の研究がこれまで行なわれ、あるいは現在進められている：

- 重核の核分裂断面積の解析・計算
- 核分裂障壁パラメータの検討 — 質量分布の対称/非対称比 —
- R行列理論による⁶Liの中性子断面積の解析
- トリウム・サイクルに関連した諸核種の核データ評価

今年度は、国産核データ・ファイルJENDLのversion 2作成の一環として、以前に行なった²³²Thの核データ評価値の見直し・改訂に加えて、新たにThのその他の同位体の評価も行なう予定である。

(3) 融合炉関係では、D-D炉の検討を中心に次の研究が行なわれている：

- D-D炉にフォースマにおけるnon-thermal effectの検討
- 中性粒子入射加熱型トカマクの検討
- D-D炉のフライングネット核特性
- Catalyzed-D 融合炉フライングネットの核特性

(4) 以上のほか、京大原子炉実験所の臨界集合体KUCAを用いた共同利用研究として次の実験を行なった：

- Baumkuchen型炉心の模擬制御棒の反応度・温度係数・ポイド係数等の測定
- 固体減速架台によるトリウム炉の予備実験

[発表論文・講演]

- 1) 「傾斜法による原子炉の出力分布平坦化 — 燃焼の最適化 —」 52年年会B27; 九大工学部集報第50巻4号 p.351 (1977)
- 2) 「多目的高温ガス炉のハイブリッド・シミュレーション(第1報)」 原, 臼井, 工藤, 大田 52年秋の分科会F27
- 3) 「二山障壁モデルによる²³²Thの核分裂断面積の解析」 大沢, 入江, 大田 52年秋の分科会D2
- 4) "Calculation of Neutron Cross Sections of Inelastic Scattering and Some Competing Processes of ²³²Th" T. Ohsawa, M. Ohta and Y. Kawamura, to be published in Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University.

- 5) " Nuclear Characteristics of Molten-Salt Cooled D-D Fusion Reactor Blankets " Y. Nakao, H. Nakashima, M. Ohta and K. Furukawa, J. Nucl. Sci. Tech. 14, 76 (1978)
- 6) " Nuclear Characteristics of Gas-Suspended Boron Carbide Cooling Catalyzed D Fusion Reactor Blankets " H. Nakashima, M. Ohta and Y. Nakao, J. Nucl. Sci. Tech. 14, 916 (1978)
- 7) 「D-D 核融合炉の検討 (X), (XI)」 中島, 中尾, 大田, カス 53 年年会 B10, B11

(大沢寿明記)

4. NAIG 総合研究所

研究室便りという事であるが、私達の所では最近グループ制になり、炉物理或はもう少し広目に解釈して、高速炉炉心理論、BWR 炉心理論関係、臨界実験、放射線技術、遮蔽等々の各グループで夫々の分野を担当している。こゝでは炉心の核的なものに限って、最近の2年程の間に学会やその他に発表した研究から拾って紹介したい。

1. 軽水炉関係

御存知のように BWR 炉心では核、熱、水力状態が互いに強く correlate して居り、その上、燃焼を通じてこれらが historical に関係し合っているので精度の良く速い計算予測が仲々難しく、世界でも進歩を積んでいる分野である。私達の所では以前から速い拡散コードの開発や、共鳴吸収、熱中性子化、減速問題、衝突確率法、等の基礎研究を行っていたが、この基礎の上に立って、この数年末 BWR 炉心計算コードシステム HELIOS-LOGOS を開発して来た (Ref-1)。又、理論だけでなく実験プラントデータの採取と解析、臨界実験装置 NCA を使った部分模擬実験も行っている (Ref-2)。この臨界実験装置は世界でもメーカーとして持ち活用しているのは多分私達の所であり、計算手法の確認や、炉心の新しいアイデアの検証や、測定技術の開発等に大きなポテンシャルとなっている。

もう一つの問題に炉心性能の向上がある。私達の所では東芝原子力本部と協力して軸方向にガドリニアを分布させる方式を骨組とした案を進めて居り良好な結果を得ている。NCA で模擬実験を行ない、軸方向の出力平坦化や制御棒先端での出力変化の緩和、等のデータを得て居り、炉心性能向上の研究を一步々進めている (Ref-3)。

3番目のテーマとして、これは炉制御の部門に入るかと思うが、BWR 炉心運転管理システムの開発を行っている [Ref-4]。これは発電所サイトにおいて、炉心データを計算機で処理し次の運転とどう行おうのか効果的であるかを提示するシステムであり、私達の所ではそのソフトウェアシステムを開発している。担当の者に云わせるとこれが素直に面白そうである。予測した結果がその場で炉心データとして付き合わされて行くという事である。よく米国の戦略眼や高エネルギー加速器の素粒子データの解析に man-in-

machine 対話が出て来るが、私達が目指すのもそれであり、この分野は今後大きく発展する分野であると思っている。

軽水炉の炉物理でまだ私達のやらないといけない研究は沢山あり。相当着目は仲々大変であるが新入社員達も直ぐ戦列に入、て結構楽しんでそうにふうふう云い下ろや。している。大学の皆さんのおいびを歓迎したい。

2. 高速炉関係

常陽の核設計値の導出は私達が担当したのであるが、昨年春に常陽が臨界になり低出力試験が行なわれ、種々の核特性値が設計予測値と大変良く一致し嬉しくも誇り高い気持ちになっている。設計値導出の際は原研FCAによる一連の模擬実験の解打をベースにした訳であるが、当時(昭和45-48年)、原研FCA、PNCの設計とR&D担当着、それに東芝の設計部隊と私達とが同じ目的のため、或る時は学問的に或る時は熱、よく協力し合って作業したことは今思い出しても大変懐かしい。設計値と実機値のずれが一番大きいのが臨界量であって、設計の 61 ± 4 本に対して実際が64本であり、誤差範囲に入っているが約1% ΔKのずれがあった。FCAでの模擬実験解打を用いて尚ずれが生じた事が気に掛る点であり、今後のために調べておきたいと思っている。この他、常陽の試験データは日本として大変貴重なデータであり、今後活用を積極的に行いたいと望んでいる。

高速炉物理の研究は他に主なものとして、アルベドモンテカルロ法での中性子透過[5]、ナトリウムボイド反応度の総合研究[6]、増殖特性向上の研究[7]、実証炉模擬実験のあり方の研究[8]、等を行なった。

今後の進め方として、核データライブラリーを国内で統一することが第一の基盤であると思っている。このため、原研のシグマ委員会に積極的に参加してJENDL作成の作業として ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{242}Pu , Fe, F.P., 崩壊熱の評価を行なって居り、又、JENDL積分テストの作業にも加わっている。高速炉開発は息の長い仕事であるし、常陽を、他に研究所から何人も出向している中で残った着はやりたい仕事は多いし人手は足りないという事で皆フルタイム以上に仕事に掛っているといった状況である。

(NAIG 飯島俊吾)

参考文献

- [1] 原子力学会 S.52年会 C16, C17 (山本, 水田, 他), C18 (千和, 他); M. Tsuiki et al. NSE 64 (1977)
- [2] 同上 S.52年会 C10, C11, C12 (足立, 眞柄, 植田, 他)
- [3] 同上 S.53年会 C38, C39 (横山, 丹沢, 他)
- [4] 同上 S.53年会 C54, C55, C56 (築木, 岡水, 大塚, 他)
- [5] M. Kawai et al., Study of applicability of AM.C method for neutron streaming calc., 5-th International Conf. on Reactor Shielding, April 1977, ORNL
- [6] F. Kamei et al., Contribution to NEACRP meeting, 1977
- [7] I. Otake, K. Aoki, et al. The effect of core design changes on the doubling time and the fuel cycle cost of a 1,000 MWe LMFBR, BNES conference, Dec. 1977
- [8] 原子力学会 S.53分科会 D33 (喜井, 他)

炉物理連絡会第21回総会報告

日時: 昭和53年3月30日12:00~13:00

場所: 工学院大学(原子力学会年会B会場)

第21回本連絡会総会は、約30名の出席を得て行なわれた。議題および内容の概要は次の通りである。

1. 幹事選出の件

1月30日に締切った幹事選挙の結果について北大井上氏から報告があり、本年度の幹事は次の方々にお願いすることに決定した。

井上和彦(北大)、平川直弘(東北大)、神田啓治(京大炉)、古橋晃(動燃)、斎藤慶一(北大)、仁科浩二郎(名大)、成田正邦(北大)の各氏。

投票者人数35名、有効投票総数168票(無効7票)であった。

2. 事務局報告

52年度会計報告が当番校よりなされ承認された。また52年度入会者、退会者が報告され退会者のうち会費滞納によるものについては、納入があった場合会員として認めることになった。

3. 年間行事予定

年間行事予定が認められ、本年度も「炉物理夏の学校」の開催と「連絡会誌」を二号発行することになった。(次ページ年間予定表)

(a) 炉物理夏の学校

アンケートの結果について報告され、種々議論の結果、テーマとして上位の二つ(共に12票)の「炉物理におけるコンピュータ計算法」、「将来の動力炉」を取り上げることになった。場所については、冒険ではあるが北海道で実施することに決定した。[なお総会終了時に幹事から北海道地区国立大学セミナーハウス(大滝村優徳)を使用したいむね提案された。時期についてはアンケートでは7月下旬から8月上旬が多数を占めた。詳細は「夏の学校案内」を参照されたい。]

(b) 連絡会誌「炉物理の研究」

25号(6月発行)は現在原稿依頼中である。研究室だよりは、年間をおよそ2組に分けて依頼することなど、また依頼頻度の間隔の長短について議論された。

4. 各種委員会報告

(a) 企画委員会 (藤田薫頭氏)

次の3件が報告された。①. 本年度、藤田委員は平川委員に交代する。②. 学会20周年記念行事が来年2月頃予定されている。③. 秋の分科会指定テーマとして「原子炉異常診断」と「核融合炉ブランケットのネオトロニクス」が考えられているが、後者の可能性が大きい。

(b) 編集委員会 (朝岡卓見氏)

査読に対する要領と編集委員の心得が検討されて作られた。企画記事の現状について説明があった。編集委員も朝岡委員より平川委員へ交代する。

(c) 「炉中性子工学」研究専門委員会 (神田啓治氏)

この委員会の一年間延長が企画委員会、理事会で認められた。本年度のテーマは、①. 核融合炉の中性子実験 (11月頃) ②. 結合炉の動特性 (8月21日) ③. 熱および冷中性子スペクトル (54年1月30日) ④. 強中性子源(KURを含む) (時期未定) ⑤. 大学に於ける未臨界実験装置の今後の方向 (秋の分科会) が予定されている。

(d) KUCA大学院実験 (神田啓治氏)

本年度の実験は7月10日～15日と7月17日～22日の2週間行われる。本年度から神戸商船大学も新たに参加することになった。テキストを印刷することになった。

(e) 「炉物理研究特別専門委員会」(弘田実弥氏)

日本で開催予定の第21回 NEACRP 会合 (学会誌 Vol. 19 [9] (1977) p. 610: 談話室) が5月から11月に延期された。これに対する議題その他の Contribution, 資料について、協力とお願いが述べられた。

5. その他

井上幹事から次の3項目については、秋の総会までに新幹事を中心にして検討したい旨発言があり、了承された。

- (1). 夏の学校の来年以降のあり方
- (2). 古橋晃氏よりの寄附金の使途
- (3). 当番校をどのようにするか

月 日	事 項
1月	幹事選出の選挙、アンケート依頼
2月初め	選挙開票
3月30日	第21回総会(東京・工学院大学)
5月頃	炉物理夏の学校案内
5月	[炉物理の研究] 25号原稿まとめ
6月	同誌発行
7月末～8月初 (7月30日～8月2日)	炉物理夏の学校開催 (北海道大滝村北海道地産同大セミナーハウス)
10月	第22回総会
11月	[炉物理の研究] 26号原稿まとめ
12月	同誌発行

《 炉物理員の学校の10回の歩み 》

「炉物理員の学校も今年で10回目です。昨年の夏の学校の際に、今後の討論が行われてい
ます。(本誌24号p.30)。本年は、一応場所を新鮮にしましたが、いささか冒険という
意見もあります。今後の検討の資料として10回までのリストと作ってみました。

回	年・月・日 期 間	場 所	主 要 テ ー マ (講 師 姓 の み 敬 称 略)	参 加 費 (円)	宿 泊 費 (円)	当 番 校
1	1969 8.10 ~ 14	岐阜県 祝神温泉	動力炉(望月)、高速炉(西原)、核分裂(片瀬) 核データ(白田)、中性子(井上)、拡散方程式(鶴飼) 熱中性子散乱(飯島)			京大炉
2	1970 8.5(火) ~ 7(金)	茨城県東海 原研講義室	1. 燃焼特性 2. 最適化問題 3. 高速炉・軽水炉実験	正 2000 学 1000 非 3000	45 1100	原 研
3	1971 8.3(火) ~ 5(木)	長野県諏訪市 諏訪湖荘	将来の動力炉(西原、山村、弘田、桂木 大山、守、黒田、若林、石橋)	正 2000 学 1000 非 3000	1600 7420代 1000	阪大工
4	1972 8.1(火) ~ 4(金)	長野県 松本県善行 アルファ座	高速炉(木村、山室、住田、飯島、平田 中川、井上、吉、柳沢、西原)	正 2500 学 1500 非 3500	2000 金食費 500	東大工
5	1973 8.1(月) ~ 8(水)	山梨県 美濃郡川口庄	1. 断面積(菊池) 2. 安全性(神田、近藤) 3. 炉地(柴田、今井)	正 1500 学 1000 非 2000	1600 金食費 500	京大工
6	1974 8.5(月) ~ 8(水)	山梨県河口湖 菅記念研修館	1. 核融合(内田、関、能次) 2. 高速炉(平川、小林、吾谷川、清尾、吉田、関)	正 2000 学 1500 非 3000	2500	東北大工
7	1975 7.23(水) ~ 26(土)	新潟県 妙高パークホテル	1. 炉雑音(須田、斎藤、西原) 2. 環境(服部、松岡、都甲)	正 3000 学 2500 非 4000	3000	名大工
8	1976 7.19(月) ~ 22(木)	長野県茅野市 東海大白樺荘	1. スペクトル(山室、金子、木村、藤田) 2. 核融合核データ(飯島、関、高橋)	正 2500 学 2000 非 3500	3500 懇親会500 7420 2000	東大工
9	1977 8.1(月) ~ 3(水)	神戸市六甲山 関西地区 大学セミナーハウス	1. 核燃料サイクル(清瀬、大竹、石橋) 2. 核データ(五十嵐、神田、瑞慶覧)	正 3500 学 3000 非 4500	3500 懇親会500 7420 500	九大工
10	1978 7.30(日) ~ 8.2(火)	北海道大滝村 北海道地区 大学セミナーハウス	1. コンピュータ計算法(朝岡、竹内、中沢) 2. 特殊炉(トリウム炉)(柴田、住田、安川、三川、柳、南池、松浦)	正 3500 学 3000 非 4500	1500 懇親会500 7420 500	北大工

(主要調査 学会誌員の学校案内、炉物理の研究より)

〈本年度員の学校アンケートのまとめ〉

- [1] 内容 (A) 最近のトピックス紹介 11, (B) テーマを限定した集中的勉強 20
 [2] 時期 (イ) 7月中旬 2, (ロ) 7月下旬 10, (ハ) 8月上旬 10, (ニ) その他 2
 [3] テーマ (イ) 炉物理におけるコンピュータ計算法 12, (ロ) 原子炉計測の電子工学 5
 (ハ) システム工学的診断技術 6, (ニ) 将来の動力炉(トリウム炉など) 12
 (ホ) 加速器の炉物理への利用 10, (ヘ) 強中性子源 6
 (ト) 核融合の炉物理 8, (チ) その他(燃料材料の金属物理的考察
 1, 低速中性子の話 1)
 [4] 場所 (イ) 北海道でよい 11, (ロ) 条件付で北海道可(旅費の援助など) 4
 (ハ) あまり感心しない 2, (ニ) 不可に近いもの 3, (ホ) 意見なし 9。

国会主催、大学原子力教育協議会協賛
第10回「炉物理夏の学校」のご案内

第10回目を迎える恒例の「炉物理夏の学校」を本年は北海道有珠郡大滝村「北海道地区国立大学大滝セミナーハウス」で開校致します。北海道以外の方には遠方ではありますが、支笏洞国立公園に隣接した風光明媚な土地であり、宿泊も安価ですので全国各地から多数の会員が参加され、勉強と討論を共にし、相互に親睦を深められることを期待します。

今回はアンケートの結果要望が多かった「コンピュータ計算法」をテーマ勉強に、またトピックスとしては「将来の動力炉としてのトリウム炉」を取上げました。前者は少数の講師に日頃の研究会では短時間で済まされるところを、じっくりと基礎から講義してもらうことにし、後者では多くの講演者に座談的な話を中心にしてもらう予定です。アンケート第3位の「炉物理における加速器利用」も阪大住田教授に欧州旅行のホットな話を中心にお願い致しました。

詳細は次のようですので、お早目に申し込み下さい。

「テーマ」 I. テーマ勉強 「炉物理におけるコンピュータ計算法」
II. トピックス 「将来の動力炉、トリウム系原子炉など」

「場所」 北海道地区国立大学大滝セミナーハウス : 北海道有珠郡大滝村優徳
(国鉄胆振線優徳駅下車または北湯沢駅(急行停車)下車) tel. (014268) 6155

「日時」 昭和53年7月30日(日) / 2時30分集合
8月 2日(水) / 3時00分解散

「参加費」 (1) 正会員 3500円
学生会員 3000円
非会員 4500円
(2) テキスト代 500円
(3) 宿泊費 / 500円 (1泊3食付)
(4) 懇親会費 500円

「申込方法」 氏名、所属、連絡先、宿泊日、食事の要否を明記して、受講料、テキスト代および宿泊予約金(1泊につき300円)を添えて下記まで申し込んで下さい。
(一括申込用紙および詳細は各研究機関あて送付いたします。)

「申込締切」 7月5日(水) 必着 定員 約50名
なお、参加取消の場合、前金は締切前なら返却、それ以後であれば返却できません。
ただし、テキストは配布します。

※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※ プ ロ グ ラ ム ※

※※※※※※※※※※※※※※※※※※

第1日 7月30日(日)

- 12:30 までに集合
- 13:00~13:10 開会あいさつ
- 13:10~15:00 I-1 中性子輸送コードのあらまし (原研) 朝岡卓見
- 15:10~17:00 II-1 将来としてのトリウム炉の炉物理
トリウム炉の核データについて (原研) 菊池康之
トリウム炉の炉物理 (京大炉) 神田啓治
軽水炉におけるトリウム利用 (原研) 松浦祥次郎
- 18:00~20:00 懇親会

第2日 7月31日(月)

- 9:00~10:30 I-2 デイスクリート・オーテイネイト法 (船技研) 竹内 清
- 10:40~12:10 II-2 パネル討論会「将来の動力炉、トリウム燃料など」
司会 (京大炉) 柴田俊一
(パネラー交渉中) 住田健二、古橋晃、神田啓治、古川和男、安川茂 等
- 13:00~17:00 リクレーション (雨天の場合は3日目午後と交替)
- 19:00~20:30 II-3 加速器の炉物理への応用(強中性子源) (阪大) 住田健二

第3日 8月1日(火)

- 9:00~10:30 I-3 スペクトル計算と群定数 (原研) 朝岡卓見
- 10:40~12:10 I-4 モンテ・カルロ法 (船技研) 竹内 清
- 13:00~15:00 II-4 高温ガス炉 (原研) 安川 茂
- 15:10~17:10 II-5 熔融塩炉 (原研) 古川和男

第4日 8月2日(水)

- 9:00~10:30 I-5 積分的測定データの解析法 (東大) 中沢正治
- 10:40~12:10 I-6 新しい解法について (原研) 朝岡卓見
- 12:10~12:20 開会あいさつ
- 13:00 解散

「問い合わせ、申込先」 〒060 札幌市北区北13条西8丁目

北海道大学工学部原子工学科

成 田 正 邦

tel. 011-711-2111内線6677 (不在の時は内線6650へ)

交通事情など

国鉄は7月1日から値上げを予定しておりますので、列車利用の方は6月中に1ヶ月前の切符を手配しておくことが有利です。以下いくつかの交通の便をお知らせ致します。

○ 札幌 → 千歳 → 優徳間の列車

札幌発(急行ちとせ2号) 8:40 → 千歳 9:16 → 伊達紋別着 10:58(のりかえ) 11:01 → 優徳着 11:54
 この他に循環急行いぶりが、札幌発 11:10(千歳 11:43 経由) → 北湯沢着 14:00、また札幌発 12:20(小樽 経由) → 北湯沢着 16:18 があります。この急行利用の方は北湯沢駅下車、徒歩20分です。

胆振線は列車が少ないので御注意下さい。

○ 函館 → 伊達紋別 → 優徳の列車

多くの特急が伊達紋別ではなく洞爺か東室蘭に停車します(伊達紋別停車特急は北斗1号、北斗2号のみ)。急行は全て伊達紋別に停車します。

洞爺～伊達紋別は列車が少ないので御注意下さい。洞爺駅にタクシーがあります。

○ 東京方面の方に

航空機利用は、早朝 7:00 羽田発 → 千歳着 8:25 で、上記ちとせ2号に間に合います。11時までに千歳に着くと循環急行いぶりに間に合います。(機空港→千歳駅はバスorタクシー利用)
 フェリー-東京発 23:15 → 苫小牧着 6:00 もあります。

○ 関西方面の方に

格安なのはフェリーで、敦賀または舞鶴を 22:00 出港し小樽に翌々日の朝6時に着きます。(2等5300円) 小樽から倶知安乗り換えて優徳へは列車利用。

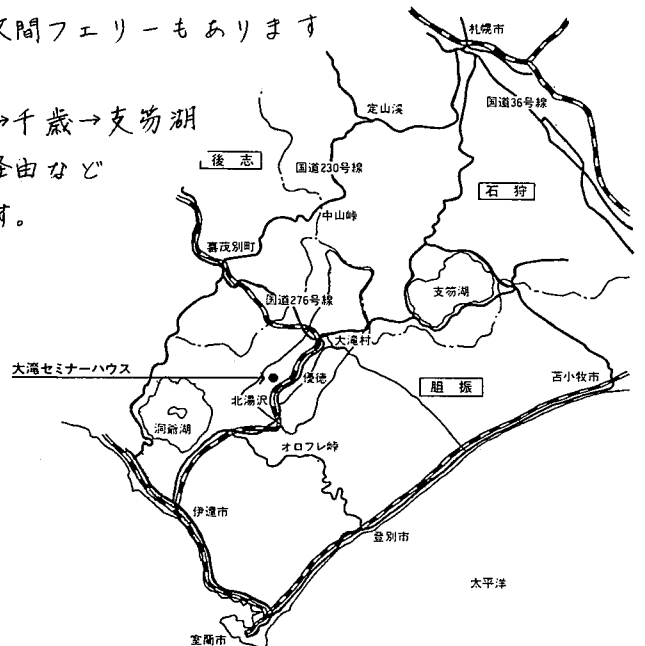
国鉄は日本海経由が東京経由より相当安価です。

○ 水戸・仙台の方に

国鉄が便利でしょう。仙台→苫小牧間フェリーもあります

○ フェリーで車ごと来られる方に

別図を参考にして下さい。苫小牧→千歳→支笏湖
 経由、苫小牧→登別→オロフレ峠経由など
 景色の良い道路が多いのが特徴です。



新入会員紹介 (1978年5月末現在)

小佐古 敏荘 (東京大学・原子核研究所)

◇ 編集後記 ◇

「炉物理の研究」25号をお届けいたします。皆様のお手元へ届くころはそろそろ梅雨の季節であろうかとも思います。例年より倍以上の大雪にみまわれた北海道は、この季節が一番美しく感じる頃です。北国の野山は花という花がいっせいに咲き、季節遷水を取り戻そうとしているわけですね。案内にも出しましたように、本年の夏の学校は北海道で試みてみようということになりました。開催地大滝村は、支笏湖と洞爺湖にはさまれた人口1700余人の小村です。村内には北湯沢温泉とスキー場があり、ニセコにも近いところですね。地名の起源は三階滝から来ております。製材とアスパラガスが産地ということですね。ここに新しいセミナーハウスが4月から開館になり、本夏の学校は借用許可才1号です。今年の夏は北海道へ勉強に行こうと計画をたてられんことを当番校としてお願いしております。例年より若干詳しい案内と載せました。また、夏の学校の今後を考える上での参考資料として、今までの10年の年表を作っておきました。

本号は、最近我国に設置された中性子源と将来設置予定のものの特集しました。阪大にも設置予定と聞いてありますが原稿が間に合いませんでした。次号にでも追加致します。

〈炉中性子工学研究専門委員会講演要旨〉は名大の仁科先生に大変お世話になりました。編集者の手間がずいぶんかかるとは思いますが、深く感謝致しております。

〈研究室より〉は、総会でも議論がでたように毎年同じところが出あべきかどうかなど、色々の意見もあるようです。今回は、前回、前々回に載っていない少数研究室に依頼いたしました。依頼のいかげんかた研究室は次号にお願い申し上げます。

新入会員と退会者名簿をみると、新しい人の入会が少ないように思います。炉物理をやる新人がいっぱいなのか、いとも本会を知らないのか、知っても入らないのか、その辺の事情は不明ですがとにかく少い淋しい感じがします。一方著名な方が会費滞納とかで退会者になっているのも当番校幹事としては、やはり切れない感じがします。お忙しいでしょうが、本会の会費納入をお忘れなく。また新しい人と研究の才1線へ迎えたものです。

(北大工 成田正邦記)

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。