

炉物理の研究

(第 23 号)

1977年6月

＜炉中性子工学研究専門委員会講演要旨＞

第 5 回 (1976 年 12 月 16 日開催)

1. 海外Liブランケット積分実験のサーベイと原研におけるLi体系中の核分裂率分布の測定…………… 前川 洋 1
2. リチウム体系の高速中性子スペクトルの測定…………… 伊藤只行, 前川 洋, 関 泰, 草野譲一, 中岡 弘, 村里和哉, 小倉克規, 三橋偉司, 戎家三津雄 3
3. 核融合炉ブランケット材 (Li, C, Fe 等) からの角度依存もれ中性子スペクトル…………… 高橋亮人, 山本淳治, 戎家三津雄, 住田健二 5
4. D - T 中性子入射による鉄体系からの後方散乱中性子および二次 γ 線…………… 伴 秀一, 秦 和夫, 兵藤知典 7
5. D - T および D - D 中性子源を用いたLi体系からの漏洩中性子スペクトルの測定…………… 神田一隆, 菊地 徹, 角田弘和, 中谷力雄, 籠田清貴, 坂本隆司, 平川直弘 9

第 6 回 (1977 年 2 月 7 日開催)

1. 結合炉の動的測定に関する 2, 3 の考察…………… 古橋 晃 11
2. パイル・オッシレータによる動特性の測定…………… 代谷誠治, 小林圭二, 林 正俊 14
3. Feynman - α の測定…………… 寺川和良, 代谷誠治, 神田啓治 17
4. 重水反射体 2 分割炉心の中性子検出器の位置と感度…………… 辻本日東実, 林 正俊 19
5. 多領域体系の結合反応度と平均寿命に対する考察…………… 新川 稔, 山根義宏, 仁科浩二郎, 赤井礼治郎 21

第 7 回 (1977 年 3 月 1 日開催)

1. 強力14MeV中性子源に関する一般的情勢…………… 住田健二 23
2. 回転ターゲット型強力14MeV中性子源…………… 前川 洋 25
3. Los Alamos INS 計画…………… 白形弘文 28
4. Li-D 型強力中性子源…………… 神田幸則 30

＜研究室だより＞…………… 32

(北大) 小川研, (東北大) 百田研, (東工大) 山室研, (東大) 清瀬研・都甲研・原子力工学研究施設・同原子炉管理部, (名大) 玉河研, (京大) 西原研・原子炉実験所原子炉部門, (神戸商船大) 矢野研, (原研) 高速炉物理研・原子炉数値解析研, (富士電機) 原子力技術部

- ◇ 「炉物理連絡会 第19回総会」報告◇…………… 47
- ◇ 第9回「炉物理夏の学校」案内◇…………… 49
- ◇ 新会員紹介・編集後記◇…………… 50

海外Liブランケット積分実験のサーベイと原研におけるLi体系中の核分裂率分布の測定

原 研 前 川 洋

Li体系での先駆的仕事は、アメリカのLos Alamos研究所で行われたT生成率分布の測定である。⁽¹⁾半径30cmのLiD球体系の中心で14MeVの中性子を発生させ、体系内に置かれた天然Liと⁶Liのサンプルを照射した。各サンプルは熱処理により生成したトリチウムを比例計数管に導き、β線を計測してT生成率を測定した。D. W. Muirらがこの実験をENDF/B-IIIのデータを、1次元SnコードDTF-IVにより P_0 - S_0 近似で解析したところ、計算値は実験と20%以内で一致した。⁽²⁾ドイツのJülich研究所では、中心に直径20cmの穴がある直径120cm、高さ120cmの円筒状のLiタンクを作らした。⁽³⁾このタンクは半径方向に4cm中12本、2cm中2本の実験孔があり、100ℓ、690kgのトリチウムでできている。P. Clochらはこの体系を用い、Liサンプル(1.8g)を照射し、熱処理により生成したトリチウムを比例計数管に導き、T生成率分布を測定した。⁽⁴⁾中性子発生量はY, Naのタイルを用いて(n, αn)反応による²²Y, ²²Naを測定して求めた。また、H. GraessnerらはLiを含む固体飛跡検出器によりT生成率分布を測定した。両者の実験結果はENDF/B-IとIIIのデータを用い、2次元輸送コードDOTおよびモンテカルロコードMORSEによる計算結果と相対値で比較された。⁽⁵⁾

彼らはまた、Thの固体飛跡検出器により核分裂率分布を測定した。T生成率分布の測定はブランケット実験において重要であり、上記方法の他にLiサンプルを化学的に処理して生成したトリチウムを液体シンチレータで測定する方法が提案されている。⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾前川は、LiFのTLDを用い、生成したトリチウムの自己照射により測定する方法を提案し、かなり有望視されている。⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ドイツのKarlsruhe研究所⁽¹¹⁾とアメリカのLawrence Livermore研究所⁽¹²⁾ではLi球体系による中性子スペクトルの測定が行われているが、これらについては別途報告がある。なお当日報告しなかったが、アメリカのM.I.T.において、2LiF・BeF₂のブランケットに黒鉛反射体をつけた体系で実験が行われた。⁽¹³⁾

原研におけるLiブランケット模擬実験は1970年から開始された。実験体系はタンク構造ではなく、厚さ1mmのステンレスで被覆されたLi金属のブロックを引出しに入れ、その引出しを格子管集合体に挿入して、全体として球になるよう組立てられた。引出しおよび格子管はステンレスでできている。

最初に実施された実験は、実効半径24.1cmのLi球体系中の核分裂計数管による²³²Th, ²³⁸U, ²³⁹Np, ²³⁵Uの核分裂率分布と⁶Liのシンチレータによる14MeVの中性子分布の測定である。

ENDF/B-IIIの核データよりSUPERTOGで $1/E$ の荷電関数で作成した4群群 P_5 の群定数を用いて、1次元輸送計算コードANISNで S_0 近似により計算した解析結果は相対的比較ではあるが、実験結果とかなり良く一致した。⁽¹⁴⁾続いて同じ方法により、中心に実効半径10cmのボイドがある半径24.1cmのLi球体系と、更に21cmの黒鉛反射体をつけた体系での4群の核分裂率分布(相対値)と比較された。²³⁸Uと²³⁵Uの核分裂計数管を用いて²³⁸U/²³⁵Uの

核分裂比分布(絶対値)が測定された。(15)核融合・核分裂ハイブリッド体系として、上記2つの体系の中心ボイドのうら330cmから10cmまで天然ウランで置き換えられた体系で同様の実験が行われた。(16)

上記4つの球体系での結果によると、裸のL体系を除き、実験値と計算値とで大きな違いがある。その原因をより明らかにするために、核分裂率分布の絶対測定を試みられた。(17)

この結果は、上記の解析と同じ42群P₅-S₈計算の結果とC/Eの形で比較が行われ、²³⁵Uの核分裂率が大中に違ふことが示された。(18) このことは、今までの解析方法で炉を設計したのではトリチウム増殖比を過大評価し、遮蔽が不十分になることを示している。

これらの不一致の原因を解析の立場から明らかにするために詳細な検討が加えられた。(19)

使用した群定数は、ENDF/B-IVよりP₇PT₇4区コードですでに計算されている体系のスペクトルを荷電関数として100群のものが作成された。²³⁷Np, ²³⁸U, ²³²ThのC/Eは、10~20%程度の範囲で球体系の中心から外に(向うに従って徐々に小さくなる。しかし、²³⁵Uは逆に外に(向うに従って大きくなり、黒鉛領域で15%と依然差は大きい。予想された不一致の原因の一つを取り除くために、非弾性散乱の異方向性が考慮されたプロセスコードNJ0Yで作成した群定数で解析した結果は黒鉛領域で10~20%の改善が見られた。(20)

参考文献

- (1) Wyman, M. E., et al. : LA-2234 (Rev) (2) Muir, D. W., Wyman, M. E. : (ONF-72/11), p. 910, (1974)
- (3) Clath, P. et al. : Nucl. Inst. Meth., 124, 305 (1975)
- (4) Clath, P. et al. : EUR 5/82e (5) Greiser, H., et al. : JÜL-1127-R01 (1974)
- (6) 平岡徹: 私伝 (7) Dierckx, R. : Nucl. Inst. Meth., 107, 397 (1970) (8) Herging, R. et al. : Nucl. Sci. Eng., 60, 169 (1976) (9) 前川 洋: 原子力学会炉物理・炉工学分科会E-51 (1974) (10) 前川 洋: JAERI-M 6055 (11) Kappler, F., et al. : EUR 5/82e, 763-775 (1974) (12) Wong, C., et al. : UCRL-51144, Rev. I (1972) (13) Spangler, P. S. : AD 619671 (1965) (14) Hiraoka, T., et al. : Nucl. Fusion, Special Suppl., Proc. Symp. Fusion Reactor Design Problem, p. 363, IAEA (1974) (15) Maekawa, H., et al. : Nucl. Sci. Eng. 52, 335-340 (1975) (16) Maekawa, H. et al. : NEA CRP-L-165 (1976); JAERI-M 6811 (1976) (17) Maekawa, H., Seki, Y. : J. Nucl. Sci. Technol. 14 (2) (1977) (18) Seki, Y., Maekawa, H. : ibid. 14, 272-275 (1976) (19) Seki, Y., Maekawa, H. : ibid. 14 (3) (1977) (20) Seki, Y., et al. : 投稿予定

リシウム体系の高速中性子スペクトルの測定

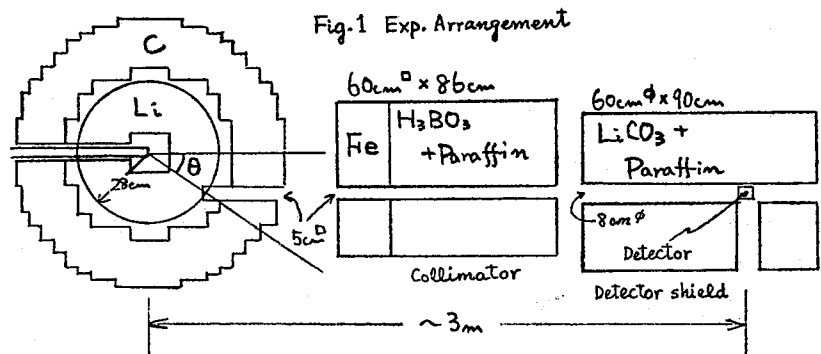
伊藤 只行, 前川 洋*, 関 泰*, 草野 謙一*, 中岡 弘,
 名大・工, 原研*, 阪大・工** 村里 知哉, 小倉 克規, 三橋 偉司, 戎家 三津雄**

序: リシウム体系中に形成される, 或は体系から漏洩する中性子のエネルギー・スペクトルの測定, およびその計算との比較は, 海外においては1972年頃から発表され始めた^{1)~4)}が, 我が国では, 昨秋の介料会における口頭発表^{5)~7)}に始まる。

ここでは, 名大・工・玉河研究室と原研・高速炉物理研究室との協力研究として, 昭和50年度から始められた実験ならびに計算についての現状を主として述べ, 料研費特定研究のリシウムによる結果については付記するに留める。

実験方法: 被測定体系は, SUSによって被覆された金属リシウムのブロッフを, SUS製の格子管集合体(2"×2"メッシュ)に装填して, 半径約34cmの球とし, その周りをグラファイト・ブロッフで厚さ約20cmに取巻いたものである。

中心部6"×6"×6"はボイドになっている。この体系に実験孔を設け, Li領域からの中性子を, 小型の格子管集合体を利用したコリメータを介して, 検出器(4.65cmφ×4.60cm NE-213)⁸⁾まで導いている。



実験孔の底面の中心から体系の中心までの距離は28cmとした。"room-return"中性子による影響を除くため, 検出器は, パラフィンと炭酸リシウム(重量比,1:1)で作られた遮蔽体⁹⁾中に置かれた。中性子源は300keVコックロフトによるD-T中性子で, ターゲット位置は体系の中心である。中性子の発生量は, ²⁴¹Amのαで校正されたSSDによる関連α粒子の計数によってモニターされている。Fig.1は, 上に述べた配置の概略を示す。

実験に当っては, カウンタのゲインが計数率, 入射放射線のスペクトルの形, 温度等によって, run毎にかなりの変動を示すことがわかったので, シンチレータの近くに適当な線源(²²Na)を置いて測定を行い, P.H.軸上のコンプトンピーク的位置を指標として, この影響を除くことを試みている^{*)}。

中性子のパルス・ハイト・スペクトルからエネルギー・スペクトルへの変換はFERDOR¹⁰⁾によって行われている。Fig.2~5にその結果を示すが, 最終的のものではない事をお断りしておきたい。

計算: モデル化された体系¹¹⁾について, Ps, S₆₄でANISNによって行われた。群定数は, ENDF/B-IVのデータをSPTG4Z¹²⁾によって135群に編集したものをを用いている。中性子源の取扱ひ方によって, 得られるエネルギー・スペクトルの形がかなり左右されることが判明したので, D-T中性子源の非等方性を考慮して, "shell source"(ANISNのoption)として入れた。この時, 体系の中心における完全反射の条件をはずす必要がある。Fig.6~9に計

算結果を
示す。
課題:

実験結
果に見ら
れる山や
谷が、必
ずこれ何
を意味す
るのか、
計算結果
には、こ
れほど明
確な構造
は見られ
ないが、
計算方法
や核デー
タの問題
はないか、

等が今後の主要課題となる。

科研費のリシウム・ブロックによる実験:

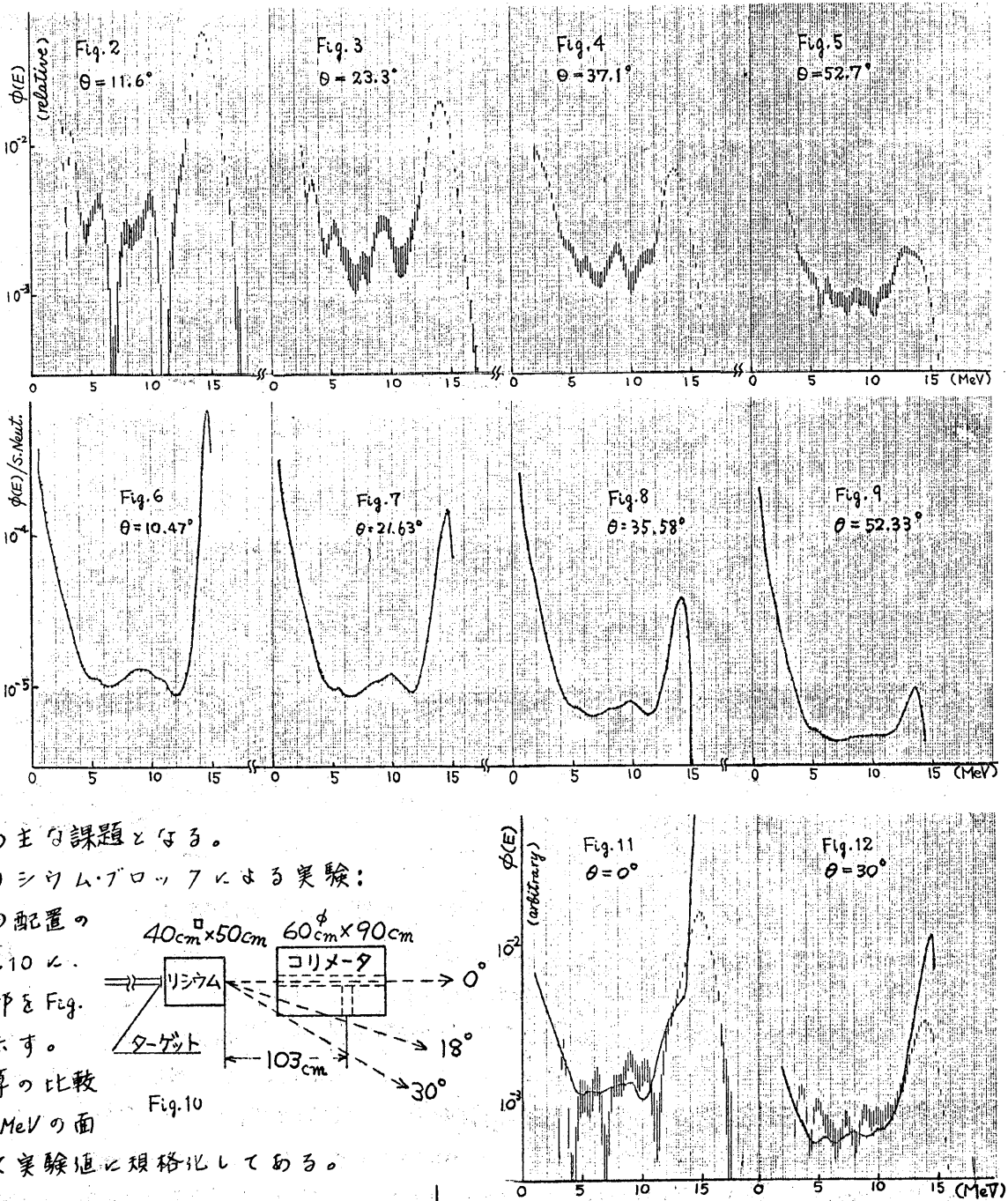
実験時の配置の
概略を Fig. 10 に。
結果の一部を Fig.
11, 12 に示す。

実験と計算の比較

は、3~13 MeV の面
積によって実験値に規格化してある。

参考文献:

- 1). C. Wong et al., UCRL-51144, Rev. I, (1972)
- 2). F. Kappler et al., EUR-5182e, 763~775 (1974)
- 3). L. Kuyper et al., 4th Symp. on the Developments
in Neutron Activation Analysis (Recent) (1975)
- 4). L.F. Hansen et al., N.S.E., 60, 27~35 (1976)
- 5), 6). 高橋亮人他, 51年炉物理分科会, D30, D32
- 7). 伊藤只行他, 同上分科会, A3



- 8). V.V. Verbinski et al., N.I.M., 65, 8~25 (1968)
- 9). D.W. Glasgow et al., N.I.M., 114, 521~534 (1974)
- 10). H. Kendrick et al., GA-9882
- 11). H. Maekawa et al., N.S.E., 57, 335~340 (1975)
- 12). A. Hasekawa, to be published
- *). 昭和52年2月にて発表予定「シンクレーションカウンタ
のゲイン変動の影響の除去」

核融合炉ブランケット材(Li, C, Fe等)からの角度依存もれ中性子スペクトル

大阪大学工学部

高橋亮人, 山本淳治, 戎家三津雄, 住田健二

1. CTRブランケット材・遮蔽材・構造材として考えられている材料(Li, 黒鉛, Al, Fe, Pb, UO_2) についての一連のスペクトル測定と解析の現状についてのべた。実験は、関連粒子法⁶⁾に基づくTOF法によって行っている。Fig.1, 2に実験配置と測定系の概略を示す。14.8 MeV中性子入射によって生ずる角度依存放出スペクトルが測定された。次に、中性子輸送計算コード(ANISN⁷⁾及び逐次衝突法)とENDF/B-IV等の核データを用いたスペクトル計算と実験との比較により、計算上及び核データの問題点につきのべた。

2. 実験条件では、検出する粒子と同時に発生したD-T中性子が、中軸との角で約 $\pm 4^\circ$ のコーン状にコリメートされるため、Dイオン加速エネルギーの条件が加わって、14.8 MeVのほぼ単色の平行ビーム状中性子が平板体系に入射する源条件となる。このためANISNによる解析では角度メッシュはS64とこまかくなっている(S128までが試みられた)。タイムスペクトルをエネルギースペクトルに直す際の補正因子のうち、平均放出時間は、計算値を用いたが、これは大きな体系の低エネルギー側の悪いところでは飛行時間の数%以内

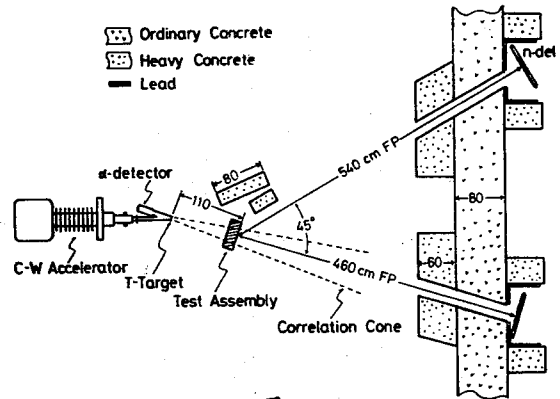


Fig. 1 実験配置

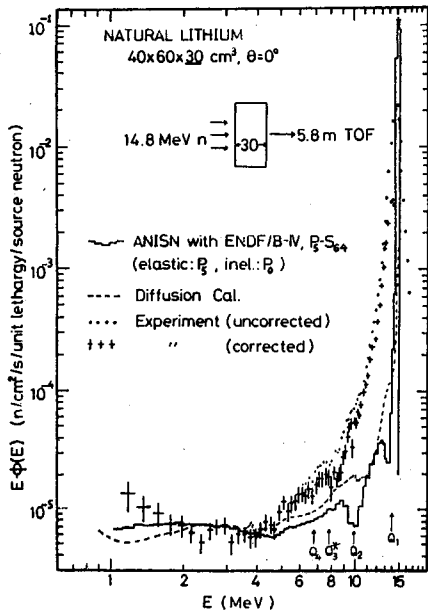


Fig. 3 リリウム ($\theta=0^\circ$)

であった。検出器(KL-236, トルエン)のエネルギー依存相対検出効率は、 ^{252}Cf の自発核分裂中

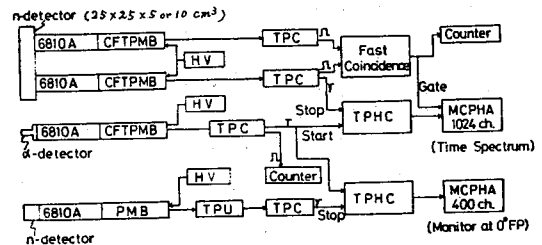


Fig. 2 測定系ブロック図

性子スペクトルを標準としてTOF法で求められたが、10 MeV以上で大きな誤差が見込まれる。測定系全体の時間分解能は、3.5 (トルエン) ~ 4 (KL-236) nsであった。

3. 計算は、ENDF/B-IVの核データをSPTG-4Z⁷⁾で処理したもの(散乱の非等方性については: 弾性散乱核; Legendre P_5 成分まで, nonelastic 散乱核; 重心系等角散乱を仮定した P_0 成分のみ), 135群, を用いANISN(S64)で行った。実験との比較の例をFig.3 ~ 6に示す。実験は $\theta=15^\circ$ (6m FP)でも行われた。

今のところ、次のような結論が得られている。

測定された角度依存スペクトルは、特に非弾性散乱の非等方性に大きく支配されていると考えられる。計算との一致を得るためには、核データの修正又は増加・処理コードの改良・計算法の改良が必要である。

i) 弾性散乱の非等方性の考慮については：

まず 14 MeV 中性子については、Li, C, Al 等では P₅ 成分までで実験を良く再現している。Fe, Pb 等では一致が悪い。10 MeV 程度以下の領域では全般に P₅ 成分まで充分であろう。ただし、P₂ 展開の形で縮約した群定数(散乱核)を用いる場合、エネルギーメッシュが荒いと特に重核で、実質的に散乱の非等方性が扱えていない場合があるので特に注意を要する。このことは、不連続レベルへの非弾性散乱についてもあてはまる。

ii) 非弾性・(n, Xn) 反応については、4 ~ 14 MeV で非等方性(特に前方性)が強く、それがスペクトルを支配しているのので、重心系非等方散乱の扱いにより散乱核の高次 P₂ 成分まで取り入れた解析を行う必要がある。

Li, C では不連続レベルへの非弾性散乱を第一レベル(θ₁) (ENDF/B-IV はこれのみ考慮) 以外に、第二(θ₂) ~ 第四(θ₄) レベルまで取り入れる必要がある。核データファイルの整備が望まれる。重核においても非弾性散乱の前方性が強いので、多くの不連続レベル散乱の非等方性を扱う方法を考えねばならない。

<謝辞> 科研費 Li 供試体の使用にあたり、京大兵藤知典教授にお世話になりました。又、計算にあたっては、原研前川洋氏・岡泰氏の助力を得ました。こゝに感謝します。

<文献> 1~5) 高橋, 山本, 戎家, 他: 核分科会(51年) D-30, 31, 年会(51年) C-7, 8, 年会(52年) C-33, 34, 35
6) O'Neill G. K.: Phys. Rev., 95[5], pp. 1235 (1954) 7) Engle, J. W. W.: K-1693 (1967), Hasegawa, A.: 公刊誌

θ*: 広がりを持つレベル

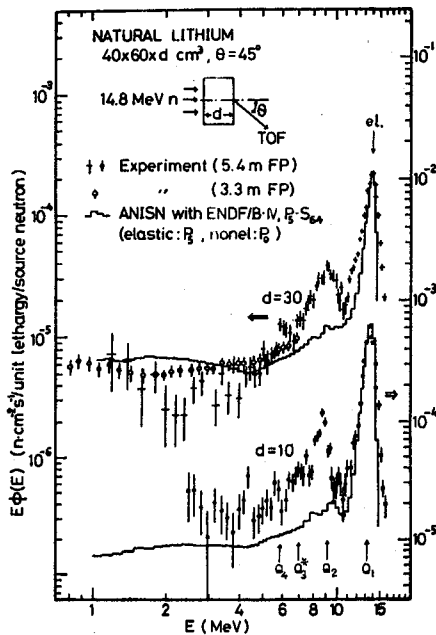


Fig. 4 リチウム (θ=45°)

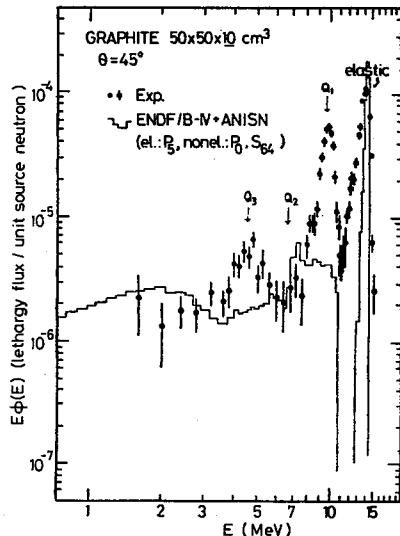


Fig. 5 黒鉛 (45°)

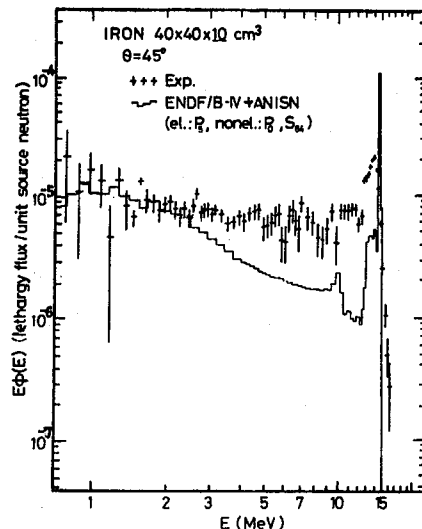


Fig. 6 鉄 (45°)

D-T中性子入射による鉄体系からの後方散乱中性子及び二次γ線

京大・I

伴秀一, 秦和夫, 兵藤 知典

1) はじめに

15 MeV 中性子に対する後方散乱線の測定は、数例報告されているが、角度に対して微分的な結果を得たものは少なく、又、輸送計算の結果とも一致していない。15 MeV 近くのエネルギーの中性子の輸送計算は、断面積の精度を要し、散乱の極端な非等方性もあって困難が多い。一方、二次的に発生するγ線は、体系が厚くなると発熱の主要な成分になるため多くの測定が行われているが、アルパドに関しては、熱中性子による捕獲γ線の測定以外には、ほとんど行われていない。又、(n, Xγ) の断面積は、最近多く測定されているが、14 MeV 付近のエネルギーでの鉄の断面積は、最近の報告で、約40%の違があるなど、不備が目立っている。(2), (6)

本研究は、二のよな中性子及び二次γ線の後方散乱スペクトルを測定し、計算と比較することによって、断面積データの種分チェックを行おうとする他、アルパド計算のためのより正確な計算法の確立を主として、中性子、二次γ線のアルパドデータを系統的に得ようとするを主目的としている。又、unfolding法を使ったスペクトル測定が、単色中性子に対しては難しいことも、スパクトロスコープとしての意義も併せ持っている。

2) 実験方法

コッククロフトワルトン型加速器を用いて、T(d, n)⁴He 反応において約15 MeVの単色中性子源を得た。本研究の目的は単一方向に中性子が入射した際の結果が必要であるが、二のよな測定は、散乱の非等方性が直接に現れ、計算精度を調べるには有利である。そのため、associated particle法を利用して、8 cm中程度の径のビーム状中性子源を得た。Fig. 1に実験配座を示す。供試体は鉄、Lで、測定は主に120°で行った。今回の測定では供試体を取り除いた時の値をBack groundとTcが、大部分 Chance coincidence によるものであった。供試体を取り除いたことによる陽の乱れも考慮に入れて、Back groundは10%以下であると思われた。測定は、2"×2" NE-213有機シンチレータをn-γ波形識別回路と共に用いて、n, γ同時測定を行なった。測定のプロセジプログラムはFig. 2に示したものである。エネルギースペクトルは、TACの出力と、Lin. Ampの出力とから得られる。波高分布はn-γ分離を施した後 unfolding を行ないエネルギースペクトルを得た。二の際使用したSP2又は、中性子計測にも測定条件に合わせて Monte Carlo計算で得た。そして得られた中性子、γ線のエネルギースペクトルをFig. 3, Fig. 4に示す。統計が少し悪くスペクトルには、少し fluctuation が見られる。一方、中性子の飛行時間から得られたエネルギースペクトルは、slight path の短く emission time の短いため高エネルギー部の形ははっきりとは、低エネルギー部については、これにはあまり影響を受けない。

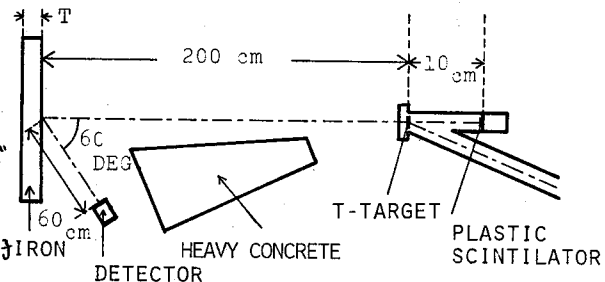


Fig. 1. 実験配座 T=5, 10, 15 cm

3) 解析計算

解析計算としては、point Monte Carlo CIGNUS の他、多群 Monte Carlo、一次元輸送計算 ANISN を試みたが、いずれも不満足であった。まず多群計算では、群定数として、DL-2D, P₀を用いた ANISN では S₁₆ 近似 E、Monte Carlo では、角度については importance sampling を行なって計算し実験と比較した。結果は、他エネルギー部 (E < 5 MeV) で、計算値が低く、15 MeV 付近では逆に計算値が

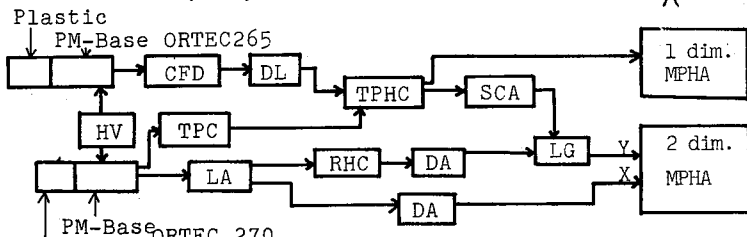


Fig. 2. 回路系

か、お大きく出た。この結果は、ENDF/B-IVの低エネルギーを過少評価していること、非弾性散乱が等方近似されていること、群の中のエネルギー^{角分布}、展開次数が不足し、後方での振動が大きいこと、などに思われる。両方の多群計算間の比較では、計算手法による誤差よりも断面データの問題が支配的である。一方、同じく、鉄に対する CYGNUS (データ ENDF/B-IV) との比較でも、計算値は、低エネルギーで小さく、高エネルギーで大きい^{計算}ことは、 (n, n') の連続バネ $(n, 2n)$ 等が考慮されていないからである。このような事情を考慮し、次のように、CYGNUS の改良を行った。1) Legendre 展開を、全核について P_2 程度まで可能にする。2) (n, np) 、 (n, nn) 等の反応の扱い。3) 核分布の極端化に対応する coreyoun の方法と collision density 法の結合。一方、 γ 線については、多群計算の結果に、 $(n, \gamma X)$ 断面データを乗じ、これを source とし、光子 Monte Carlo 計算を行った。この計算では、主に問題になるのは $(n, \gamma X)$ の断面データで、報告者においては差も大きい^{鉄について}が、今回は ENDF/B-IV と V.J. Orphan のデータとを比較した。

4) 結果と結論

Fig. 3 に、上記改良 CYGNUS による鉄 5cm、120°^{計算}での比較を行っている。全体に一致は良好で、ピーク面積も十数%以内の一致である。計算値に 10MeV 付近でピークが出ている^{データ}は ENDF/B-IV の非弾性散乱に由来する減少確率がこの付近で特に大きい^{計算}ため、実験データの統計が悪く、この評価はできていない。鉄 5cm、60°での比較は、大体同じ程度の一致である。次に Fig. 4 に、ENDF/B-IV の γ 線断面データで計算した γ 線スペクトルを示す。計算値が全体に小さいが、V.J. Orphan の γ 線断面データを使うと、^{正確に}だいぶ改良される^{計算}ことが確かめられた。Li 体系については、解析計算が進行中であり、検討は現在行われていない。今回の検討を通して、ENDF/B-IV の中性子に関するデータは、鉄については、大体よい。しかし、 γ 線断面データ^{正確に}は、誤差が大きい^{計算} (小さい^{計算}) と思われる。

参考文献

- (1) L.F. Hansen et al Nucl. Sci. Eng. 60, 27 (1976) (3) J.K. Dickens et al Nucl. Sci. Eng. 50 311 (1972)
 (2) V.J. Orphan et al Nucl. Sci. Eng. 57 309 (1975)

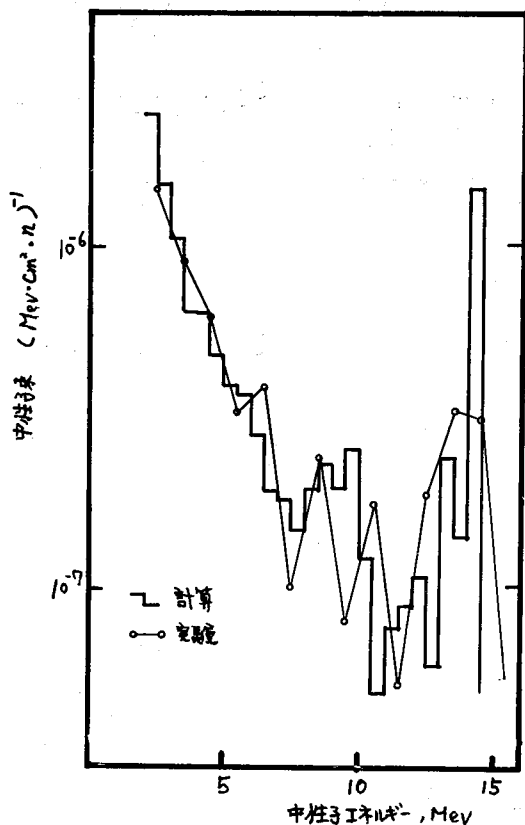


Fig. 3 Fe 5cm 120°におけるスペクトルの比較

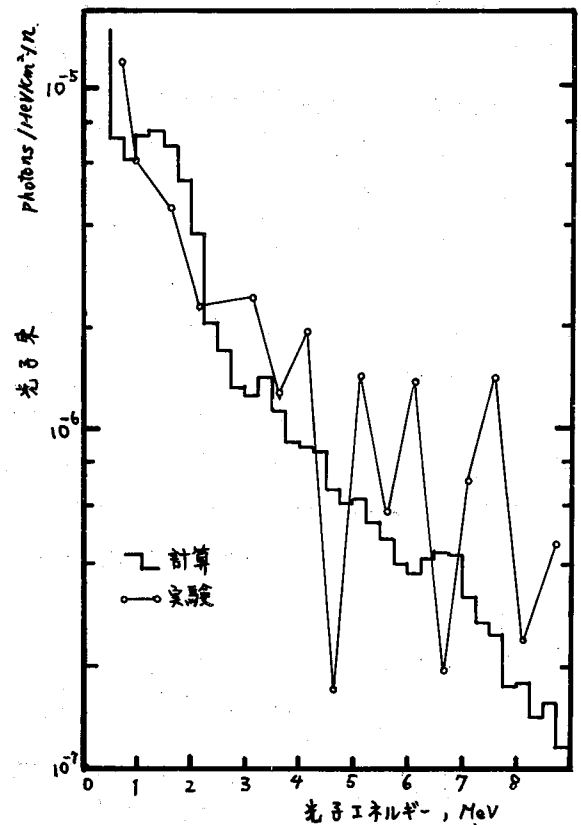


Fig. 4 Fe 5cm 120°での γ 線の比較

1976年12月16日

第5回炉中性子工学研究専門委員会

D-T及びD-D中性子源を用いたLi体系からの漏洩中性子スペクトルの測定

東北大. 工

神田一隆、菊地徹、角田弘和、中谷力雄、
籠田清貴、坂本隆司、平川直弘

はじめに

核融合炉材料として重要なLiを主成分とする体系を組み、D-T及びD-D中性子源を用いた種々の体系からの漏洩中性子スペクトルを波高測定法及びT.O.F.法により測定した。この結果とENDF/B-IVライブラリーから作成した核データをを用いた一次元輸送計算による結果との比較を行った。両者は比較的良い一致を示した。

波高解析法による測定

球体系……Li球体系(実効半径34.1 cm)に、D-T反応による中性子を打込み、球体系の表面からの漏洩中性子スペクトルを測定した。検出器としては $46^\circ \times 30$ NE 213 液体シンチレータを用いた。ターゲットは体系の中心、検出器は体系の表面から30 cmの位置に設置した。D⁺の加速エネルギーは300 keVとした。

結果……実験結果と計算結果の比較をFig. 1に示す。計算はANLISNによるもので、42群、P-5、S-16にて計算された結果である。また、測定データの解析にはFERDORを用いた。測定結果の中の誤差としてはカウント数に由来するもののみで、検出効率の効率は考えていない。計算値と実験値との規格化は1 MeV以上の中性子束を積分して行った。実験結果に振動的傾向が現われているが、これは、解析に用いた応答関数の形が実際のものとは少し違っているためと考えられる。実験結果に振動的傾向が現われているものの両者の全体的な一致は比較的よい。

平板体系……20×20×10 cmのLiブロックを積んで、縦横40 cm、厚さ20, 30, 40 cmの体系を組み、D-D反応による中性子を打込んだときの漏洩中性子スペクトルを測定した。実験配置の略図をFig. 2に示す。検出器としてはLi球体系で用いたものと同じものを使用した。中性子源はダイナミロン加速器により加速された2.2 MeVのD⁺ビームをメタルDターゲットに当てて発生させた。このとき発生する中性子のエネルギーは0°方向で約5.4 MeVである。

結果……40×40×40 cmの体系についての測定結果と計算結果の比較をFig. 3に示す。計算値はANLISNを用いてP-5、S-16で行った。断面積はENDF/B-IVライブラリーから作成された135群のものを用いた。また、実験値の誤差は前者と同様である。両者の規格化は1 MeV以上の中性子束を積分して行った。中性子源としては、D-D反応によるものの他に、C(d,n)反応等による中性子も付随して発生したが、計算ではこの分も中性子源として考慮している。また、放出角度による中性子エネルギーの広がりも考慮している。測定値に中性子源エネルギーよりも高い所に中性子束が現われているが、これは分解能の広がりのためである。中性子源近傍を除けば計算値と実験値はよく一致している。

T.O.F.法による測定

60×60×10 cm, 60×60×20 cmの平板状体系についてT.O.F.法により漏洩中性子スペクトルを測定した。中性子源についてはLi平板体系と同じである。検出器としては5"×2" NE213液体シンチレータを用いた。飛行距離は0°方向でターゲットから11.4 m, 32°方向で12.2 mとした。体系はターゲットから1 cmのところを置いた。検出効率 ϵ は ^{252}Cf を用いてT.O.F.測定を行い、これから相対的に決定した。

結果... 60×60×20 cm体系の0°方向についての結果をFig. 4に示す。計算値は前者同様に105群断面積セットを用いてP-5, S-16にて行った結果である。測定結果の誤差棒にはカウント数及び検出効率の誤差が含まれている。両者の規格化は605 keV以上の中性子束を積分して行った。また、体系からのエミッションタイムの補正は施していない。横軸の誤差はエネルギーにより異なるが、中性子源エネルギー付近の中性子のエミッションタイムの広がりをおよそ5 nsec, 回路系の分解時間を3 nsec以下とすれば、0°方向で約4%の誤差となる。両者は中性子源エネルギー付近を除けば比較的良好に合っている。

検討

D-T, D-D中性子源を用いて各種Li体系からの漏洩中性子スペクトルの測定を行い、ENDF/B-IVライブラリーから作られた断面積セットを用いて計算した結果との比較を行ったが、全体的に両者に特に大きな差は現われていない。ただ、ここで用いた断面積セットでは弾性散乱以外の中性子散乱断面積に対して角度分布の非等方性が考慮されていない。このことが、特に角度依存性の強いT.O.F.測定の結果の4~5 MeV領域における計算値と実験値の差となって現われていると考えられる。計算は全てS-16で行ったが、T.O.F.法と比較するための計算もD-D中性子源の様に、角度によってエネルギー及び強度の変化の大きい中性子源を用いる場合にはさらに ΔN の次数を上げる必要があるであろう。

本研究の遂行にあたり多大な御助力を頂いた日本原子力研究所の前川洋氏、関泰氏、草野譲一氏に深く感謝します。

この研究の一部は特定研究“核融合に必要なニュートロニクス研究”によるものである。

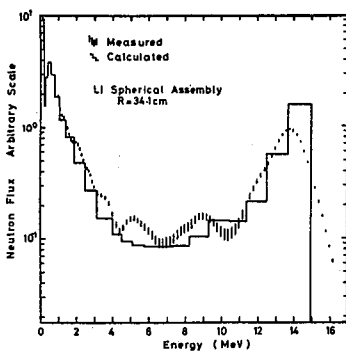


Fig. 1 Comparison between Measured and Calculated Spectrum

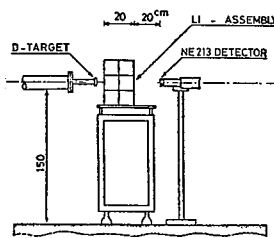


Fig. 2 Experimental Arrangement of Neutron Spectrum Measurement

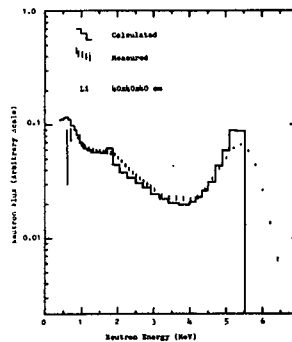


Fig. 3 Neutron leakage spectrum from Li assembly

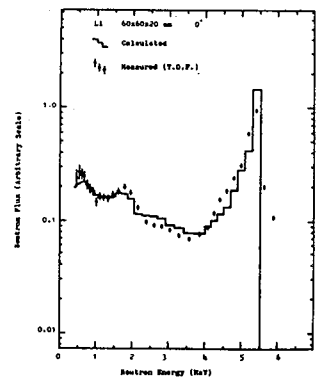


Fig. 4 Neutron leakage spectrum from Li assembly

結合炉の動的測定に関する二・三の考察
——一群二炉モデルによる考察——

東大. I. 原施 古橋 晃

1976年アルゼンチン原研の F.C. DiFilippo と R.M. Waldman は N.S.E. (61), 60 に論文を発表して、下記 (1) 式に基く一群二炉モデルによって、結合炉心のパルス中性子実験の解析などを行ない、いくつかの興味ある結果を提示した。しかしこの論文は数学的処理その他において必ずしも読み易くないので、私は同一 (1) 式に立脚しつつ、私流に解くことにより、彼等の結果も内に含みながら、より広い範囲について考察を行ない、いくつかの有用な式などを導出したので以下にお話しする。(式の番号は当日の配布資料*に従う。)

1. 一群二炉動特性方程式

炉心 a, b に対して次の方程式を立てて考える。ここで結合の特性を表すものは k_{ij} で、炉心 i 側中性子が 1 を失われるにつき炉心 j 側に現われる確率を意味し、時間的には遅延なく反対側の炉心に影響が及ぶものと近似している。なお簡単のため β_{eff} は a, b 両炉心に共通であるとした。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_a}{dt} &= -\alpha_a N_a(t) + \frac{k_{b \rightarrow a}}{l_b} N_b(t) + \lambda C_a(t), & \frac{dC_a}{dt} &= -\lambda C_a(t) + \frac{\beta k_{a0}}{l_a} N_a(t) \\ \frac{dN_b}{dt} &= -\alpha_b N_b(t) + \frac{k_{a \rightarrow b}}{l_a} N_a(t) + \lambda C_b(t), & \frac{dC_b}{dt} &= -\lambda C_b(t) + \frac{\beta k_{b0}}{l_b} N_b(t) \end{aligned} \right\} (1)$$

where $\alpha_a = \frac{1 - k_{a0}(1-\beta)}{l_a}$, $\alpha_b = \frac{1 - k_{b0}(1-\beta)}{l_b}$ (各炉心単独のときの decay const.)

2. 臨界臨界条件

臨界定常状態 $C_i = \frac{\beta k_{i0}}{\lambda l_i} N_i$ 、これを代入して係数行列式を 0 とおくことにより、

$$\Delta k_a \cdot \Delta k_b \equiv (1 - k_{a0})(1 - k_{b0}) = k_{b \rightarrow a} \cdot k_{a \rightarrow b} \quad (2)$$

を得る。

3. 臨界定常時の両炉心の中性子密度相互比

a 炉心の中性子バランスと b 炉心の中性子バランスを考慮することによって $\frac{N_a}{N_b}$ が通りに書き換えるが、(2) 式を考慮すると同一内容であることを分る。

$$\frac{N_a}{N_b} = \frac{k_{b \rightarrow a}}{\Delta k_a} \cdot \frac{l_a}{l_b} = \frac{\Delta k_b}{k_{a \rightarrow b}} \cdot \frac{l_a}{l_b} \quad (4), (4')$$

特に対稱二炉心の場合 $N_a/N_b = 1$, $k_{b \rightarrow a} = \Delta k_a$, $k_{a \rightarrow b} = \Delta k_b$ であり、各炉心のサバクリ度 Δk_i が、他炉心からの結合 $k_{j \rightarrow i}$ によって補われて臨界に在ることを知れる。しかし、サバクリ度が深く、その分を強い結合で補っているのみ、その逆に単独臨界に近いのみは、定常状態の向きは判別できない。その区別をつけるに良い動的測定は何々というものが本報告の主題なのであるが、以下に次第に分るように、その判別及び定量的測定は、必ずしも容易なことではない。

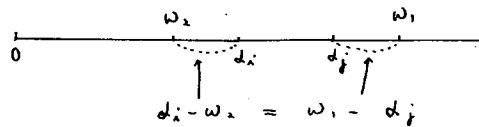
* 当日の配布資料 (17ページ) のコピー、希望者は古橋迄申し出て下されば差し上げます。

4. 結合炉心における遅発中性子の固有減衰モード

(1)式において先行核の decay による寄与を無視し, $N_a(t), N_b(t) \sim e^{-\omega t}$ とおいて, 結合された両炉心に対して共通する減衰定数 ω の取り得べき値を求めると, 固有値 ω を定める永年方程式は, この場合簡単な二次方程式となり

$$\omega^2 - (\alpha_a + \alpha_b)\omega + \left(\alpha_a \alpha_b - \frac{k_{b \rightarrow a}}{\beta_b} \cdot \frac{k_{a \rightarrow b}}{\beta_a}\right) = 0 \quad (9)$$

である。この二根を ω_1, ω_2 ($\omega_1 > \omega_2$) とおくと, 根と係数の関係から, $d_i < d_j$ の時,



d_j より早く減衰する ω_1 モードと, d_i より遅く減衰する ω_2 モードが現れ, 且つ (9) 式の如くズレの絶対値が等しいことが分る。

この遅い方のモード ω_2 が, 通常のパルス中性子実験や Rossi や ν -Feynman- α 実験等の観測対象に在ると考へられるが, ω_1 モードに含まれる情報も大切で, 例えは結合が強い程 ($k_{i \rightarrow j}$ が大) 固有値のズレが大きくなり, ω_1 モードの減衰が早い。

5. a 炉心に中性子を1ヶ投入したときのグリーン函数

やはり遅発中性子を無視した場合, a 炉心に中性子を1ヶ投入 ($t=0$) した後の a 炉心の中性子密度の変化を $G_{aa}(t)$, b 炉心のそれを $G_{ab}(t)$ とすると

$$\left. \begin{aligned} G_{aa}(t) &= \frac{\alpha_a - \omega_2}{\omega_1 - \omega_2} e^{-\omega_1 t} + \frac{\omega_1 - \alpha_a}{\omega_1 - \omega_2} e^{-\omega_2 t} \\ G_{ab}(t) &= -\frac{\frac{k_{a \rightarrow b}}{\beta_a}}{\omega_1 - \omega_2} e^{-\omega_1 t} + \frac{\frac{k_{a \rightarrow b}}{\beta_a}}{\omega_1 - \omega_2} e^{-\omega_2 t} \end{aligned} \right\} (15)$$

になる。b 炉心では ω_1 モードの振動が真に現れるのが特長である。 (ω_2 モードと合わせると $G_{ab}(t)$ は一旦上へてから下る形になる。)

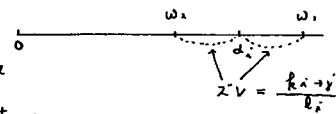
6. 対称炉心におけるパルス中性子実験

対称炉心では $\omega = \alpha_i \pm \frac{k_{i \rightarrow j}}{\beta_i} \quad (18)$

が成り立つので, (15) 式の振動の絶対値がすべて

0.5 に揃ってしまう, 振動からは情報を得られない。

(減衰定数の差からは結合度の情報が得られる。 $\omega_1 - \omega_2 = 2 \frac{k_{i \rightarrow j}}{\beta_i} \quad (19)$)



7. 遅発臨界条件とドル反応度

$\omega_2 = 0$ が遅発臨界条件であり, $\frac{k_{b \rightarrow a}}{\beta_b} \cdot \frac{k_{a \rightarrow b}}{\beta_a} - \alpha_a \alpha_b = 0 \quad (20)$, 又これは

$k_{b \rightarrow a} \cdot k_{a \rightarrow b} = \{1 - k_a(1 - \beta)\} \{1 - k_b(1 - \beta)\}$ と書ける。対称炉心の場合にはドル反応度を

$\beta (\equiv \frac{\rho}{\beta}) = \frac{k_i + k_{i \rightarrow j} - 1}{\beta k_i} \quad (23)$ と定義すれば (2), (20) 式と適合し, 一差炉の式

とも見合ふので, 適当と考へられるが, 非対称炉心に拡張した良しい式は未導出である。

8. 対称炉心での ω_2 モード

(18) 式の負符号の方で ω_2 が与えられるが, 書き直して (23) 式を用い, $\frac{\beta_i}{k_i} = \beta g_i$ と i 炉心の generation time を定義すると, $\omega_2 = \frac{-\rho + \beta}{\beta g_i} \quad (25)$ となる。よって遅発臨界での ω_2 と両方を測定すれば, 一差炉と同様に $\frac{\omega_2}{(\omega_2)_{d.c.}} = 1 - \frac{\rho}{\beta} = 1 + |\beta| \quad (26)$ が成り立ち, ドル反応度が求められる。但し遅発臨界では $k_i < 1$ であるから βg_i と k_i は一致せず $(\omega_2)_{d.c.} = \frac{\beta}{\beta g_i} \neq \frac{\beta}{k_i}$ であることに注意を要する。なお対称炉心の場合(2)

式より $k_{eff} = \frac{k_i}{1 - k_{j \rightarrow i}}$ であることを見出すことが出来るが、これも非対称炉心にはうまく拡張できずにいる。

9. Feynman- α 実験 (Single detector)

a 炉心に置いた検出器で Y_a を測ると、 ω_1 モードによる項と ω_2 モードによる項の両方が現れ、 ω_1 モードの寄与は両炉心が臨界に近く、結合度が小さい (ω_1 が小さい) 場合の方がおしり大きくなる。立式の途中で b 炉心での fission を C.C.A. とする ω_1, ω_2 両モードのクロスペア付、 ω_1 モード振中の符号の性質から、部分的に Y_a に対して負の寄与をすることが分る。

10. Feynman- α 実験 (Two detector の covariance)

a 炉心内に基準検出器 (効率 ω_a) を置き、b 炉心内にもう一つ情報検出器 (効率 ω_b) を置いて $\frac{\overline{C_A \cdot C_a} - \overline{C_A} \cdot \overline{C_a}}{\overline{C_a}}$ をとればこれが (1 がなく直接) Y_a となる。 Y_a の式の形は 9. の場合と同じになる。次に情報検出器 (ω_b) を b 炉心内に置くと $\frac{\overline{C_A \cdot C_b} - \overline{C_A} \cdot \overline{C_b}}{\overline{C_b}} = Y_b$ において ω_1 モードの振中は全体として正になる。(対称炉心の場合、絶対値は Y_a にあける ω_1 モード振中 (正) に等しい。一方 ω_2 モードは Y_a と変化する。) よって Y_a と Y_b との差から ω_1 モード、従って結合度 $k_{i \rightarrow j} / k_i$ に関する情報が得られることになる。

11. 伝達函数

(15) 式のラプラス変換を $t < 0$ では 0 とおいてラプラス変換すると、 $\tilde{G}_{aa}(-i\omega), \tilde{G}_{ab}(-i\omega)$ は、結合炉の伝達函数 (遅発定常臨界で先行核の decay を無視しての式) と結びついて次の関係式が成り立つ。

$$\frac{1-\beta}{\lambda_a} \tilde{G}_{aa}(-i\omega) = \frac{1}{\lambda_a} \frac{(1-\beta)(i\omega + d_b)}{(i\omega + \omega_1)(i\omega + \omega_2)} = T_{aa}(i\omega) \quad (\equiv \frac{1}{N_{ao}} \cdot \frac{\Delta N_a}{\Delta k_a}) \quad (42)$$

$$\frac{1-\beta}{\lambda_b} \tilde{G}_{ab}(-i\omega) = \frac{1-\beta}{\lambda_b} \cdot \frac{1 - \frac{k_{bo}}{\lambda_b}}{(i\omega + \omega_1)(i\omega + \omega_2)} = T_{ab}(i\omega) \quad (\equiv \frac{1}{N_{bo}} \cdot \frac{\Delta N_b}{\Delta k_a}) \quad (46)$$

$$\left(\frac{1-\beta}{\lambda_a}\right)^2 \tilde{G}_{aa}(-i\omega) \tilde{G}_{aa}(i\omega) = |T_{aa}(i\omega)|^2, \quad \left(\frac{1-\beta}{\lambda_b}\right)^2 \tilde{G}_{ab}(-i\omega) \tilde{G}_{ab}(i\omega) = |T_{ab}(i\omega)|^2 \quad (41), (48)$$

$$\text{これより } \omega \rightarrow \text{大の高周波領域で } |T_{aa}(i\omega)|^2_{\omega \rightarrow \infty} \sim \frac{1}{\omega^2}, \quad |T_{ab}(i\omega)|^2_{\omega \rightarrow \infty} \sim \frac{1}{\omega^4} \quad (47)$$

と、いさ差が出る。位相は $T_{aa}(i\omega) \rightarrow -90^\circ$ ($\omega \rightarrow \infty$), $T_{ab}(i\omega) \rightarrow -180^\circ$ ($\omega \rightarrow \infty$) となること分る。結局本報のモデルでも伝達函数の概要は導出できる。但し detail は結合の時間遅れや反射体による時間遅れフィードバックを入れる必要が出て来ない。

12. Cross Power Spectral Density と Sink Frequency

Cross power spectral density を $\text{CPSD} = \text{Re } T_{aa}(i\omega) T_{ab}(-i\omega)$ で定義すると (42), (46) 式

$$\text{よって } \text{CPSD} = \text{Re} \left(\frac{1-\beta}{\lambda_a} \right)^2 \frac{1 - k_{bo}}{\lambda_b} \cdot \frac{d_b + i\omega}{(\omega^2 + \omega_1^2)(\omega^2 + \omega_2^2)} = \left(\frac{1-\beta}{\lambda_a} \right)^2 \frac{1 - k_{bo}}{\lambda_b} \frac{d_b}{(\omega^2 + \omega_1^2)(\omega^2 + \omega_2^2)} \quad (51)$$

となるので $\omega \rightarrow \infty$ で $\sim \frac{1}{\omega^4}$ で下がるが、常に正で Sink frequency は現れず。これを表出するには $k_{i \rightarrow j}$ の伝達に $\beta + \lambda$ の通過時間の遅れがあることを取り入れなければならない。これを取り入れると条件によつて ω_1 モードが複素根に在る可能性もある。(この項は 4 月 8 日の補遺全巻 (年令の I.M.) による。)

パイル・オシレータによる動特性の測定

京大炉 代谷誠治, 小林圭二, 林正俊

京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)では、KUR-2として計画が進められている、重水反射体・軽水減速型2分割炉心の設計に必要と思われる種々の特性試験が、軽水減速架台を利用して行なわれている。^{(1)~(6)} 本実験も、その一環として行なわれたものである。

1) 実験目的

原子炉の制御系を設計する際、その動特性をよく知っておかねばならないのはいうまでもないことである。本実験では、臨界状態にある重水反射体2分割炉心(C35(am)G(15D₂O)AL)に、パイル・オシレータで外乱を加え、周波数応答の空間依存性を測定することを目的とした。

2) 実験方法

本実験に用いたパイル・オシレータは、0.5mm厚のカドミウム板で作られた中性子吸収体を短冊状に各4枚ずつ貼った円筒形状の回転子及び固定子から成り、回転子は直流モータによって駆動される。トリガ信号は、直流モータ上部に取り付けられた無接触ポテンシオメータにかけられた電圧のゼロクロス点を検出して出るようになっている。

KUCAは原子炉の核特性を研究する目的で作られた装置であり、燃料操作を含む炉心操作が極めて頻繁に行なわれるため、実験者等の被曝線量を必要最少限に抑えるという観点から、できる限り低出力で運転する必要が生じる。実際、本実験中の炉出力は1Wにも満たなかったため、通常の1スイープでデータをとる方法ではS/N比が悪く、データ解析が困難になると思われたので、超高速直流微小電流増幅器からの出力を電圧/周波数変換器に入れてパルス化し、マルチチャンネルステータを用いて、パイル・オシレータのトリガ信号で外部トリガをなげ、多数回データを加算することによってS/N比を改善する方式を採った。測定系のブロック図をFig.1に示す。

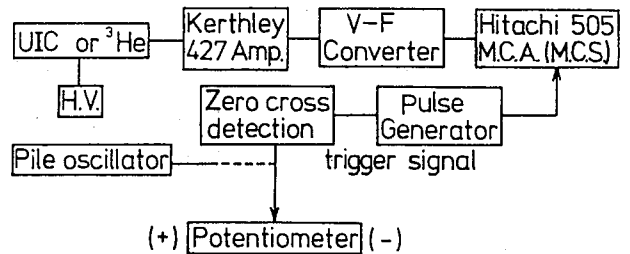


Fig.1 Block Diagram

本実験では、パイル・オシレータを一方の炉心(b炉心)の中央水チャンネル部に置いた時と重水ギャップ寄りに置いた時の2通りの場合について、それぞれ検出器の位置を7通り変え、各々約0.02~100Hzの周波数範囲で約20点、回転数を変化させて、周波数応答の空間依存性をL.I.C. 或いは電流型³He検出器を用いて測定した。

3) 実験結果

本実験で用いたパイル・オシレータによる印加反応度の形状は、正弦波状のものではなくて三角波を基本とし、それに幾分高調波成分を含んだような形をしている。

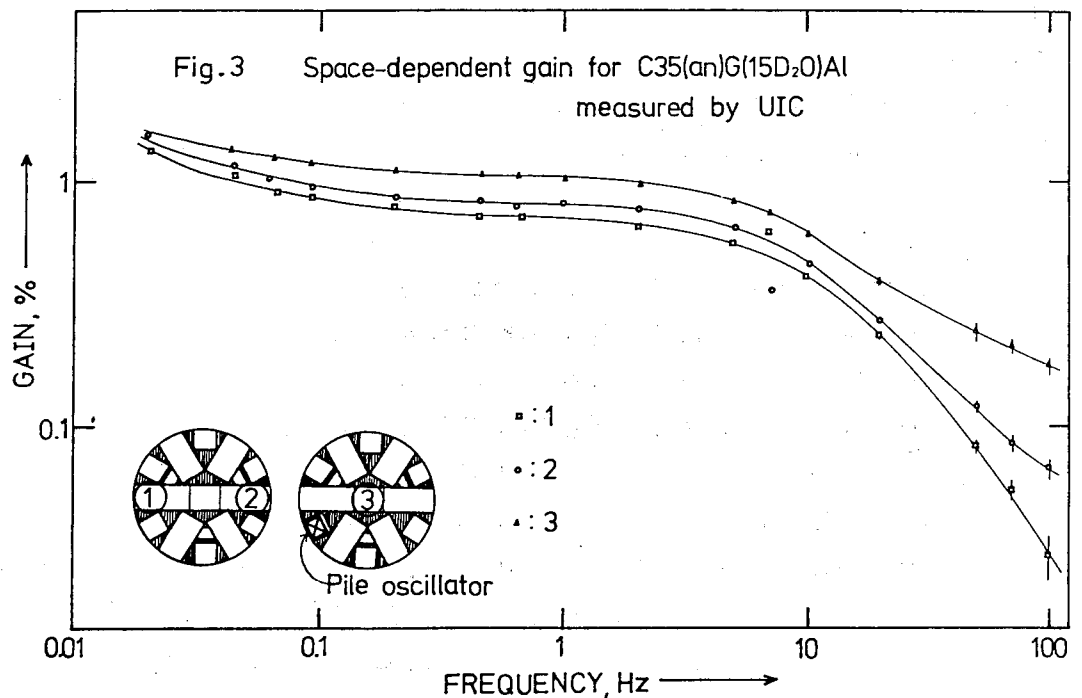
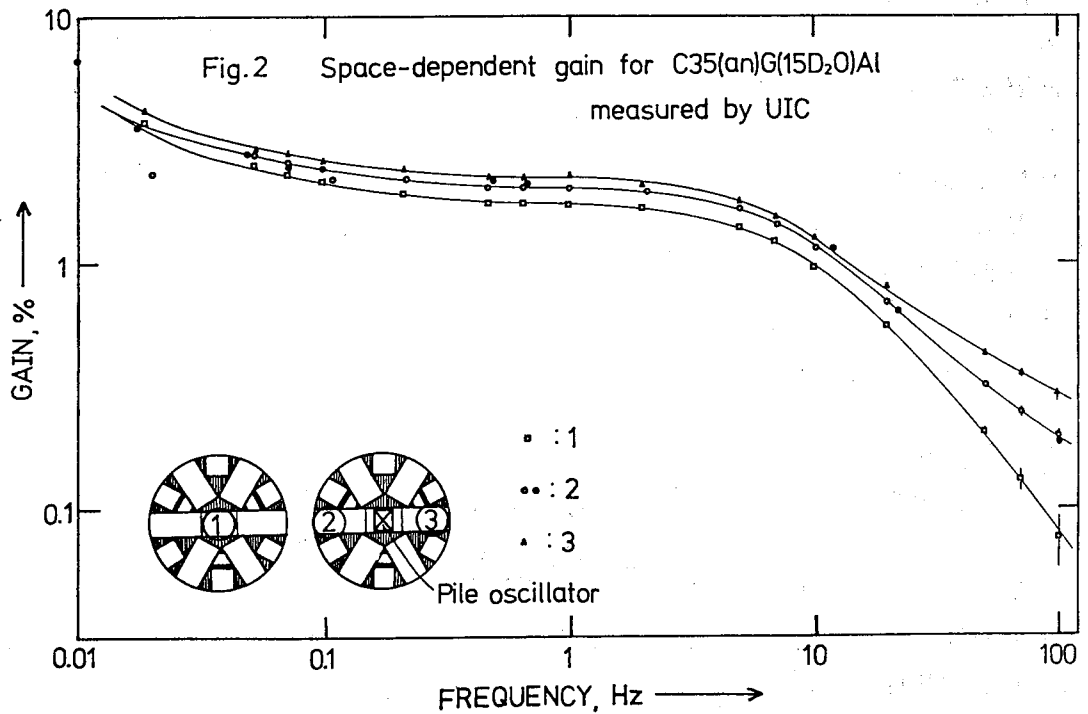
データ処理はフーリエ解析の一手法であるチャンネル分割積分法を用いて行ない、6分

割を選ぶこと
 によって、4
 次までの高調
 波とそれ以上
 の次数の偶数
 調波を消し去
 り、基本波に
 対する利得反
 び位相特性を
 求めた。⁽⁷⁾その
 オ2周期の解
 析によって得
 られた利得特
 性の数例を

Fig. 2 ~ Fig. 4 に
 示す。位相特
 性については
 、実験の再現
 性が悪く、ト
 リが信号の取
 り出し方法等
 に改善の余地
 を残しており
 、今のところ
 、必ずしも満
 足な結果を得
 るまでには到
 っていない。

図をみてわ
 なるように、
 利得特性は、

パイルオシレータと検出器の距離が離れるに従って利得が下がること、その傾向が高い周波数領域で顕著となること、特異点らしきものも見当たらないこと等、単一炉心の場合とほぼ同様な挙動を示しており、⁽⁸⁾特に重水反射体2分割炉心の制御に際して向題となることはなさそうである。但し、Fig. 2に見られるように、パイルオシレータと検出器の距離が同じであっても、利得特性が若干異なるというように、単一炉心の場合とは違って、2分割炉心の両炉心向の結合によるものと思われる挙動も現われている。又、Fig. 4でわかるように



、炉心中に挿入した³He検出器と燃料フレーム上に置いたU.I.C.検出器とによる測定結果は、互いによく合っている。

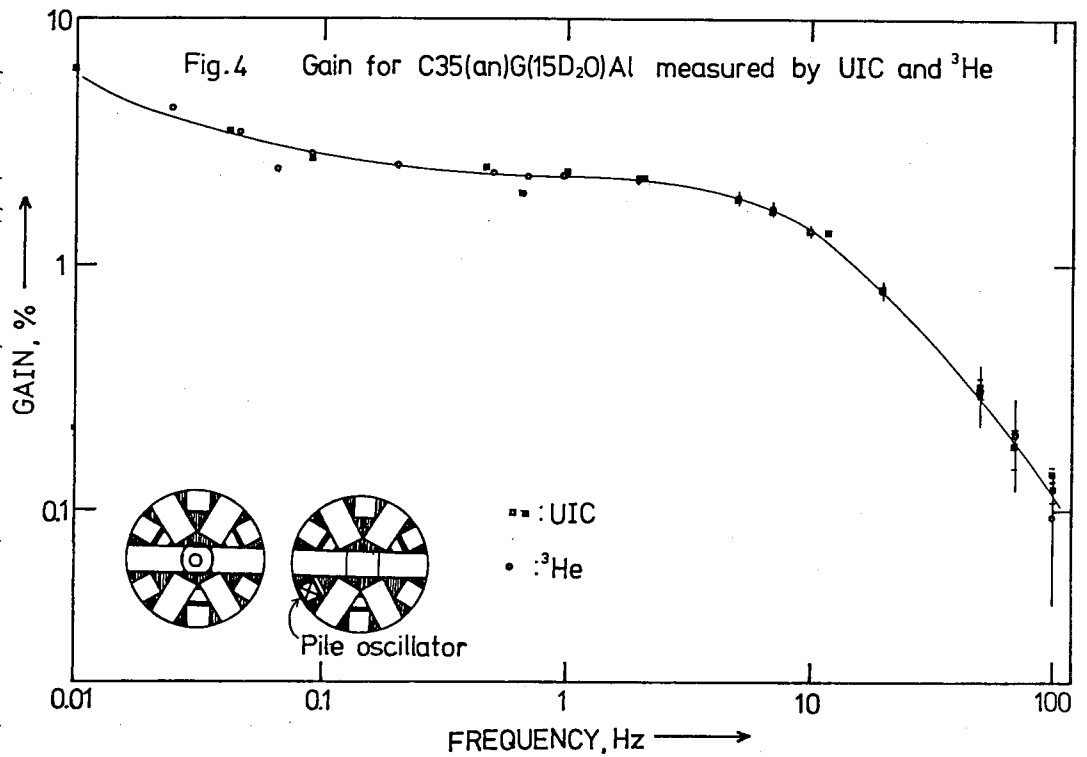
ちなみに、本実験で得られた利得特性曲線の折点周波数は7Hz近傍であり、これより動特性パラメータ

を求めると約44 sec⁻¹となる。

最後に、本実験はKUCAの共同利用として、他大学の多くの方々の協力を得て行なわれたものであり、御協力を頂いた各位に深く感謝の意を表する次第です。

参考文献

- (1) 神田啓治他；原子力学会昭和50年度分科会 B22
- (2) 小林圭二他；原子力学会昭和50年度分科会 B23
- (3) 林正俊他；原子力学会昭和50年度分科会 B24
- (4) 小林圭二他；原子力学会昭和51年度年会 C17
- (5) 林正俊他；原子力学会昭和51年度年会 C18
- (6) 林正俊他；原子力学会昭和51年度分科会 A38
- (7) 仁科若二郎他；「ギャップ部近傍に置いたパイルオシレータによる周波数応答測定」
KUCA特性実験報告書 11月24日～26日 (1976)
- (8) Charles E. Cohn, et. al. ; Nucl. Sci. Eng., Vol. 26 P.198～206 (1966)



Feynman- α の測定

京大炉

寺川和良, 代谷誠治, 神田啓治

本実験は、軽水単一炉心において成功した Feynman- α 実験を⁽¹⁾、KUR-2として計画中の重水反射体・軽水減速型2分割炉心に適用することを試みたものである。

1) 実験目的

重水反射体2分割炉心(C35(am)G(15D₂O)Al及びC45(am)G(15D₂O)Al)における動特性パラメータ β/λ を求めること、2つの炉心(a炉心とb炉心)を対称、及び非対称にした時、各炉心における中性子相関の程度に差を生じるか否かを調べること、又、相関パラメータ γ と Σ の大勢を把握し、2分割炉心の特徴が現われるか否かをみることを目的とした。

2) 実験方法

2つの炉心の各中央部(通常は水チャンネル部)に、それぞれ³He比例計数管を設置し、外部源(Am-Be中性子源)がある時とない時の各定常状態で測定を行なった。時間幅は、パルス発生器を用いて、即発中性子にのみ相関があると考えられる1~150msecの間に十数点設定し、上記時間幅内に計数されるパルス数に応じてチャンネルに振り分ける機能をもつパルスレートアナライザを使用し、頻度分布を直接的に測定した。測定系のブロック図をFig.1に示す。

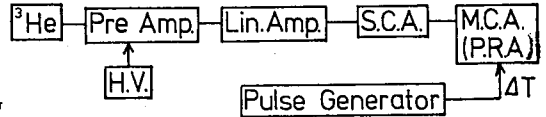


Fig.1 Block Diagram

対称炉心は、両炉心の燃料装荷枚数を同一にし、制御棒挿入状態もほぼ同様となるように調整して達成し、非対称炉心は、両炉心の制御棒状態を不均衡にすること、或いは、装荷燃料枚数に差をつけること等によって作成した。

3) 実験結果

測定によって求められた頻度分布から、相関パラメータ γ と Σ が次式によって求まる。

$$\gamma = [\bar{c}^2 - (\bar{c})^2] / \bar{c} - 1, \quad \Sigma = [\bar{c}^2 - \bar{c}] / (\bar{c})^2 - 1$$

但し、 \bar{c} : 一定時間幅 T 内の計数

上式を用いて求めた γ と Σ の一例をFig.2に示す。又、一点炉近似の理論式は、

$$\gamma = \frac{\epsilon \lambda_p (\lambda_p - 1)}{\alpha^2 \tau_f^2} \left[1 - \frac{1 - e^{-\alpha T}}{\alpha T} \right], \quad \Sigma = \frac{\lambda_p (\lambda_p - 1)}{\alpha^2 \tau_f^2 F} \cdot \frac{1}{T} \left[1 - \frac{1 - e^{-\alpha T}}{\alpha T} \right]$$

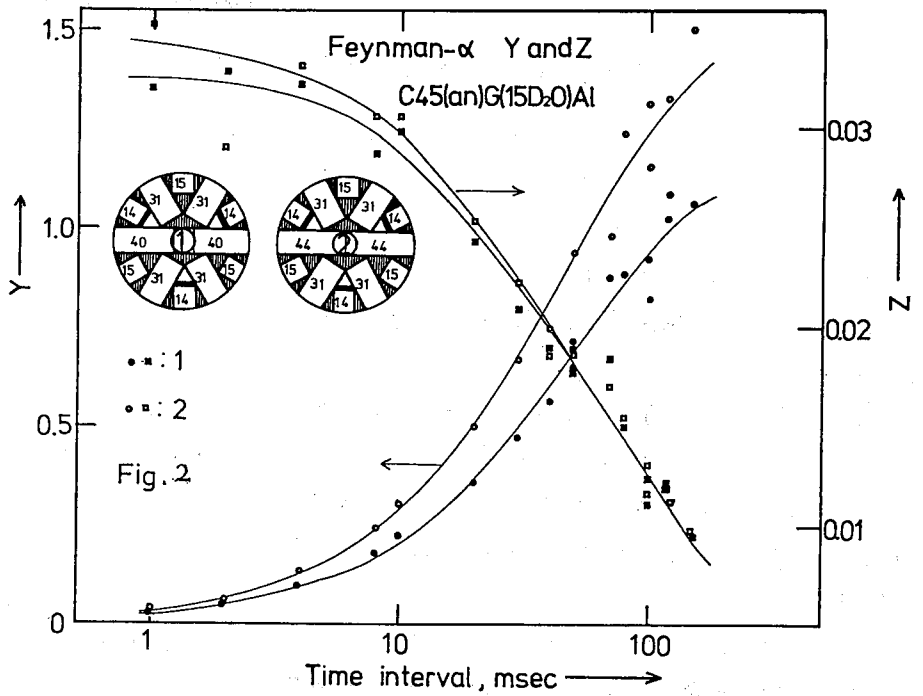
$$\gamma_{\text{sat}} = \lim_{T \rightarrow \infty} \gamma = \frac{\epsilon \lambda_p (\lambda_p - 1)}{\alpha^2 \tau_f^2}, \quad \Sigma_0 = \lim_{T \rightarrow 0} \Sigma = \frac{\lambda_p (\lambda_p - 1)}{2\alpha \tau_f^2 F}$$

但し、 ϵ : 1核分裂当りの検出効率, λ_p : 1核分裂当りの即発中性子発生数
 F : 全核分裂率, $\tau_f = 1/\nu \Sigma_f$: 核分裂の中性子寿命

で表わされる。これらの式に最少自乗フィットして求めた γ_{sat} , Σ_0 , α , $\gamma_{\text{sat}}/\text{cps}$ (計数率)の値を、Table 1に示す。

C35(am)G(15D₂O)Alで求めた β/λ (臨界時の α)の値は、パイル・オシレータ実験から類推した値

と良い一致を示す。制御棒非対称炉心では対称炉心との差は殆んどなく、燃料非対称炉心では、両炉心向の α の大小関係が逆転している。本実験の範囲では、相関パラメータ Y, Z は一点炉近似の理論式によく合っており、2分割炉心の特徴は現われていないように思える。最後に、本実験は他大学の多くの方々の協力を得て行なわれたものであり、ここに記して謝意を表する次第です。 Table 1 $\alpha, Y_{sat}, Y_{sat}/cps, Z_0$ Value



Exp. No.	Core	Fuel No.	α (sec ⁻¹)	Y_{sat}	$\frac{Y_{sat}}{cps}$	Z_0	Remarks	
C35(an)G(15D ₂ O)Al	1	a	45.5±1.18	4.64	0.00733	0.167	[1]Critical, [2]Symmetrical [3]Counter position:10cm above core	
		b	42.4±1.24	3.57	0.00758	0.161		
	2	a	45.1±1.45	3.97	0.00614	0.138	[4]Unsymmetrical [5]All rods in b-core:U.L. [1], [3]	
		b	42.4±1.11	4.55	0.00654	0.139		
	3	a	365	57.4±2.05	16.7	0.00203	0.583	[6]Source-critical(Photoneutron) [7]Counter position:in core [2]
		b	365	51.8±0.83	19.0	0.00225	0.585	
4	a	365	168.4±5.82	2.45	0.00260	0.219	[8]Source-critical(Am-Be source) [2], [7] Reactivity:-1.9\$(Rod-drop)	
	b	365	156.4±4.29	3.04	0.00458	0.358		
5	a	365	99.5±3.53	5.26	0.00572	0.285	[4], [7], [8] Reactivity:-0.84\$(Rod-drop)	
	b	365	91.7±2.65	7.90	0.00859	0.388		
C45(an)G(15D ₂ O)Al	6	a	295	50.1±1.75	5.52	0.00729	0.183	[9]Counter position:on core [2], [6]
		b	295	48.3±2.20	5.73	0.00748	0.181	
	7	a	295	49.3±1.97	5.02	0.00660	0.162	[4], [5], [6], [9] Changing counter positions with another
		b	295	47.0±1.79	6.56	0.00694	0.163	
	8	a	291	36.0±1.59	1.28	0.00173	0.0308	[3], [4], [5], [6]
		b	299	39.1±1.89	1.67	0.00169	0.0330	

参考文献

- (1) 寺川和良他；原子力学会昭和51年度分科会 A52
- (2) 伏見康治編；「原子炉」，共立出版(1972)

重水反射体2分割炉心の中性子検出器の位置と感度

京大炉

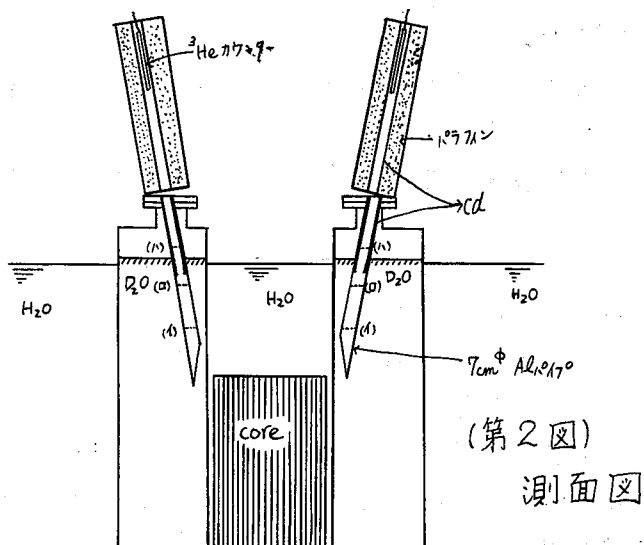
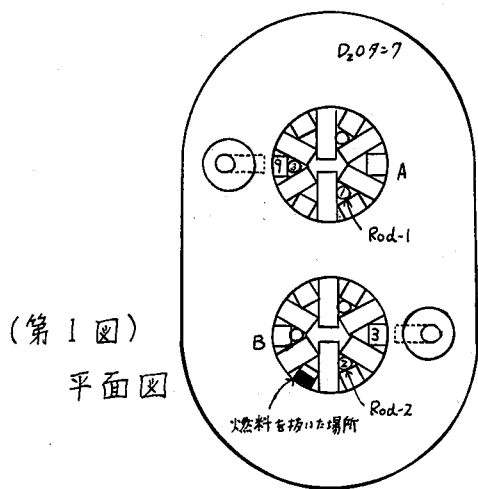
辻本日東實 林正俊

(目的) 京都大学高中性子束炉(HFR)を模擬したKUCA重水反射体2分割炉心(ギャップ15cm)において、A及びB炉心の、おのおのの重を観測するために、独立に2本の計測孔を設け計測孔から導かれる中性子を検出器で計測する。このA、B炉心の重を故意に非対称として、各炉心の重の測定が他の炉心に影響されず、いかに正確に計測できるかを調べる。また、計測孔の先端と炉心の側面との間の重水層の厚さ、と計測精度(計測比)との関係をも調べる。

(方法) A及びB炉心の対称運転は、A、Bとも297枚で、制御棒引き抜き高さRod-1 29cm Rod-2 34cmとして行なった。(第1回参照)非対称運転は、A 297枚 B 290枚で、Rod-1 41cm Rod-2 2cmとして、B炉心の重を下げて非対称を作った。

重水層の厚さによる計測は、計測孔に重水を入れて炉心との間に重水層を作り行なった。重水を入れた水位は、第2図(イ)、(ロ)、(ハ)の高さである。

計測孔は、重水タンク内の部分はCd(1.4mm²)を巻いたアルミパイプで、上部にはCdとパラフィンを巻いたコリメーターを設置してHFRを模擬した。検出器は1/2インチの³Heカウンターを使用した。この計測と炉心の重を比較するため、炉心に金(Au)を置き放射化法による熱中生子も同時に測定した。



第1表 実験結果

計測法	実験炉心	対称炉心	非対称炉心			
金(Au)によるA、B炉心の重測定之比		A:B → 1:1.01	A:B → 1:0.79 (A9:B3 → 1:0.76)			
			A:B →	(イ)ほど重水を入れた時	(ロ)ほど重水を入れた時	(ハ)ほど重水を入れた時
³ HeカウンターによるA、B炉心の重測定之比		A:B → 1:1.00	1:0.82	1:0.76	1:0.79	1:0.85

(討論) 2炉心のHFRは、30MWの熱出力で各炉心ごとに15MWずつ分担させる必要がある。その出力は計測孔より導かれた中性子をCICで計測して、炉心のバランスがとれているか否かを知らなければならぬ。

実験はHFRの検出器配置を模擬して行なった。すなわち、重水反射体タンクに70mm ϕ 3mm \times 600mm 2 のアルミパイプ製計測孔を挿入して、出口側にコリメーターを設置し、その内部に ^3He カウンターを入れてHFRの配置を模擬した。計測孔の先端と炉心との距離は(軽水、アルミ、重水の層約4cmずつ)約12cmである

HFRで問題としているのは、出力が対称の時だけでなく非対称になった時である。非対称を作るのに、A炉心Yod-1(0.4% dk/k)をUP、B炉心Yod-2(0.65% dk/k)下限では、A:Bの比は1:0.96の非対称しか得られなないので、さらにB炉心から燃料を7枚抜きとり(A297枚:B290枚)

非対称比を1:0.79(金による重測定比)までにして実験を行なった。この比(1:0.79)に対して、計測孔を通しての ^3He のカウント比は1:0.82となり各炉心がよく観測された。次に、両計測孔に重水層10cmを作ると、カウント比は1:0.76、さらに11cm追加すると1:0.79、最後にさらに11cm追加すると1:0.85となった。重水層が増えると廻っている炉心の中性子よりも、他方の炉心から回り込む中性子の割合が増え、比が1:1に近づく傾向が表われた。しかし1回目の重水追加の際に比が0.82から0.76になった。この理由については不明であるが、局所的な金による重測定比 A-9:B-3の比1:0.76と同じになった。この傾向は再三の実験において同様であった。重水を入れたことによる反応度変化によるYod-positionの変化が影響しているのかと調べると、1回目の重水追加でYod-1が約1cm低く臨界となった程度であまり影響は考えられない。(参考はこの場所での重水350cc \times 2は、プラスの反応度で約8 $\times 10^{-3}$ % dk/k である。)

計測孔の各重水水位における ^3He のカウント量は、同じ出力(線形出力計)で運転したのに対して、カウント比として、重水なし(1): a の位置まで重水(0.92): b の位置まで重水(0.26): c の位置まで重水(0.05)となった。 b (a)で急にカウントが減少した理由は、 b (c)についてはCdコリメーターに重水層が近づいたため、 a については回りに重水が無い部分まで重水層を作ったためScatter outの増加が考えられる。また、重水を入れない計測孔では各炉心の中性子Intensityは相当に強いものである。また、中性子強度の一番弱い c の状態でも比として1:0.85とある程度の非対称を示すことが明らかとなった。

この様に計測孔に重水の層が相当に厚くあっても、出口側で十分コリメートされると、ある程度その炉心の非対称を計測することが可能である。また、重水内にRe-entrant状に計測孔を設けた場合、他方の炉心から回り込む中性子よりもその炉心の中性子Intensityが、十分に強く、片方だけの炉心の情報を十分計測できることが明らかとなった。

次にYod-3(Aの計測孔の前の制御棒)を上下して、制御棒によるShadowingを調べた。Yod-position 65cmの時の ^3He のカウントを1として、同じ出力で29cmにした時のカウント比は0.96と約4%のShadowingがあったが計測孔の直前の制御棒であるにもかかわらず、予想よりも少ない結果であった。

1977年2月7日

第6回炉中性子工学研究専門委員会

多領域体系の結合反応度と平均寿命に対する考察

名古屋大学工学部 新川 総, 山根 義宏, 仁科 浩二郎
赤井 礼治郎

1. まえがき 既発表の2分割炉心動特性方程式^{(1),(2)}を近似を用いて変形し、反射体効果、中央減速材領域効果、反対側炉心結合効果の物理的解釈がしやすい表現とする。単一炉心も同一手法で解析する。モデルは1次元1群、先行核は1組である。以下学会52年年会発表⁽³⁾を引用しつつ説明する。

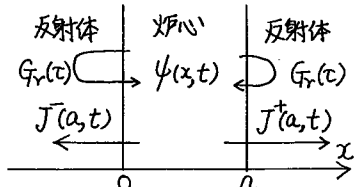


Fig.1. 無限反射体つき単一炉心 (Gr(t): 減速材領域応答関数)

2. 無限反射体つき単一炉心 Fig.1の体系で炉心中性子束 $\psi(x,t)$ を、Amplitude factor $P(t)$ と shape factor $\phi(x,t)$ の積で表わし⁽⁴⁾、各々をRef.3の如くえらう。初め反応度が ρ_0 で、外部源 $S(x)$ が分布していた炉心は、反応度変化 $\delta\rho(t) \equiv -\int_0^a \phi_0^*(x) \delta\psi(x,t) \phi(x,t) dx / \nu \Sigma_f \int_0^a \phi_0^*(x) \phi(x,t) dx$ が加わるとして、裸炉1群炉方程式と同型の次式が導ける。

$$\left(\frac{dP}{dt}\right) = \left\{ (\rho_0 + \delta\rho - \beta) P / l_p \right\} + (\lambda\beta/l_p) \int_0^t e^{-\lambda(t-\tau)} P(\tau) d\tau + (l_3 S_0 / l_p) \quad \text{--- ①}$$

ただし、次の近似が必要である。 $\int_0^\infty P(t-u) G_r(u) du \approx \int_0^\infty \left\{ P(t) - u \frac{dP(t)}{dt} \right\} G_r(u) du$ --- ②

また次の各量を定義した。 $S_0 \equiv \int_0^a \phi_0^* S(x) dx / \int_0^a \phi_0^* \phi(x,t) (1/\nu) dx$ --- ③ $l_3 \equiv (\nu \Sigma_f V)^{-1}$ --- ④

$$l_p \equiv l_3 + \left\{ 4 \int_0^a J_0^*(\omega) J_0(\omega) \bar{\tau}_r + 4 \int_0^a J_0^*(0) J_0^*(0) \bar{\tau}_r \right\} / (\nu \Sigma_f C) \quad \text{--- ⑤}$$

他記号はRef.1~3の定義通り(特にRef.3)だが、本稿では外部源を仮定したので、 J_0^\pm は変化以前の系での固有基本モード(固有値は ρ_0) 中性子束の±方向の current⁽⁵⁾、 ϕ_0^* は同じ系の随伴固有関数、 $J_0^\pm(x)$ は $\{ \phi_0^*/4 \} \pm \{ D/2 \} \phi_0^*(x)$ (±方向の adjoint current) と言いかえる。

上記⑤式の定義は、①式を導く上から要請されるが、次の如く物理的解釈からも導ける。

中性子生成時間⁽⁷⁾ $l_p \equiv l_1 / k_{eff}$ --- ⑥; 平均寿命 $l_1 = P_{NL} l_{\infty} + P_L P_{ref} (\bar{\tau}_r + l_1)$ --- ⑦

$P_L \equiv$ (洩れによる炉心の Im の減少率 / 炉心の Im の減少率総計)

$P_{NL} \equiv$ (吸収, 拡散による炉心の Im の減少率 / 炉心内の Im の減少率総計)

$l_{\infty} \equiv$ (炉心内の Im の合計 / 炉心内での Im の減少率総計) ; Im : インポートンス

$\bar{\tau}_r$: 反射体中での平均滞在時間 $\equiv \int_0^\infty G_r(\tau) \tau d\tau / \int_0^\infty G_r(\tau) d\tau$

さて⑤, ⑦式は生成時間を $\bar{\tau}_r$ とインポートンスで表現して物理的解釈がしやすく、解析的に生成時間を与える。基本モードに基づく表現なので、空間分布が一定に保たれるパルス減衰実験ではよい値を与えるであろう。事実、SHE-5のパルス実験^{(8),(9)}に適用してみ

ると、実験値、時間固有値による計算値の双方にかなりよく一致する(オ1表)。

3. 2分割炉心への適用

同じ手法を用いる。境界の洩れについてたとえば $x=a$ では

$$J(a,t) = \int_{-\infty}^t J(a,\tau) G_{gr}(t-\tau) d\tau + \int_{-\infty}^t J(b,\tau) G_{gt}(t-\tau) d\tau \quad \text{--- ⑧}$$

オ1表 生成時間 l_p の値 (単位: msec)

測定値 ⁽⁸⁾	計算値(時間固有値) ⁽⁹⁾		上記⑤式による	
	裸モデル	反射体つき	裸モデル(l_3)	反射体つき
1.19	0.358 [*]	1.17 [*]	0.315	1.23

* $\beta=0.0068$ としてRef.8,9の α_0 から計算

とおき、単一炉心の場合と同様、 $J^+(a,t) \approx P_I(t) J_0^+(a) \dots (10)$ を仮定し、(2)に類似の近似を行う。その結果炉心Iの生成時間向は次式で与えられる。(Fig. 2 参照)。

$$l_{pI} \equiv l_3 + \{4 J_0^+(0) J_0^*(0) \bar{c}_r + 4 J_0^+(a) \int_0^a G_{gr}(t) dt \cdot J_0^*(a) \bar{c}_r\} (\nu \Sigma_f C_I)^{-1} \dots (11)$$

ここで \bar{c}_r は中央減速材領域へ洩れた中性子が、再び炉心Iに戻るまでの平均時間向である。ARGONAUT 炉について各項を計算すると、(11)式の順序で $l_{pI} = 49.5 + 88.6 + 53.4 = 191.5 \mu\text{sec}$ となり、Kawai⁽¹⁰⁾の実験値 $180 \mu\text{sec}$ に近い。

一方、Kawai⁽¹⁰⁾は各炉心の未臨界度を結合係数であるとし、周波数によらない定数として値を決定した。我々が得た伝達関数⁽²⁾の中で、これに相当する項は周波数に依存する。つまり、より一般的な表現が得られたと考えられるが、比較のため(2)に相当する展開を行うと、

$$\text{我々の結合係数は } 4 J_0^+(b) \int_0^b G_{gt}(t) dt \cdot J_0^*(a) \cdot (\nu \Sigma_f C_I)^{-1} = 1.47\beta \text{ (ARGONAUT XF)} \dots (12)$$

となる。これは Kawai⁽¹⁰⁾の実験値 1.6β に近い。

なお注意すべきは、(11)式中に炉心IIの影響が $J_0^+(a)$ 、 $J_0^*(a)$ を通じて含まれていること。炉心IとIIが非対称ならば、結合係数(12)は、炉心IがIIに及ぼす結合効果の係数とは異なる。また Fig. 3 からわかるように、炉心Iに対する中央減速材の影響は、透過入射流よりも反射流を通じてのものが大きいこと、などである。

4. おすび 簡単なモデルにより、平均寿命、結合係数を支配する機構が明らかとなった。これらを天降り的にでなく、基礎方程式から導いたことは収穫である。既存の仕事と比べると、特にオ2節の項目について、Kameko⁽¹¹⁾のモード展開は現象の位置依存性を知るに適し、我々の方程式および(5)は反射体効果の検討に適する。また黒井⁽¹²⁾は(8)式と類似の考察から平均寿命を求めた。現在我々の(5)式を2群に拡張したものは、黒井⁽¹²⁾の公式と一致しない。仮りに一致したとしても、我々の動特性方程式に近似を施して得た l_p の表現式が、黒井の定常状態平均寿命と一致するのは自明ではない。なお本稿には2月7日発表以後の進展も含めて加筆訂正した。^(1977. 5. 15)

5. References (1)新川 稔ほか; KUCA 専研資料(S.51. 1.12). (2)新川 ほか; 学会51年年会D-26. (3)新川 ほか; 学会52年年会C-15. (4)A.F. Henry, Nucl. Sci. Eng. 3, 52(58). (5)ラズン=エドランド著, 伏見=大塚訳「原子炉の理論」P.78, みすず書房(昭30). (6)Komata, M., Nucl. Sci. Eng. 38, 197(69). (7)須田信英, 「原子炉の動特性と制御」P. 71, 同文書院(昭44). (8)Kameko, Y., et al, Nucl. Sci. Eng. 50, 175(73). (9)Kameko, Y., et al, J. Nucl. Sci. Tech. 4, 465(67). (10)Kawai, T., J. Nucl. Sci. Tech. 2, 245(65). (11)Kameko, Y., J. Nucl. Sci. Tech. 12, 402(75). (12)黒井英雄 学会和文誌 3, 13(61).

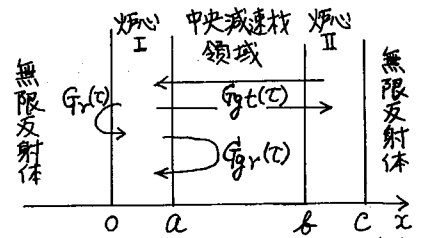


Fig. 2 2分割炉心。Ggt: 透過応答関数; Ggr(t): 反射応答関数

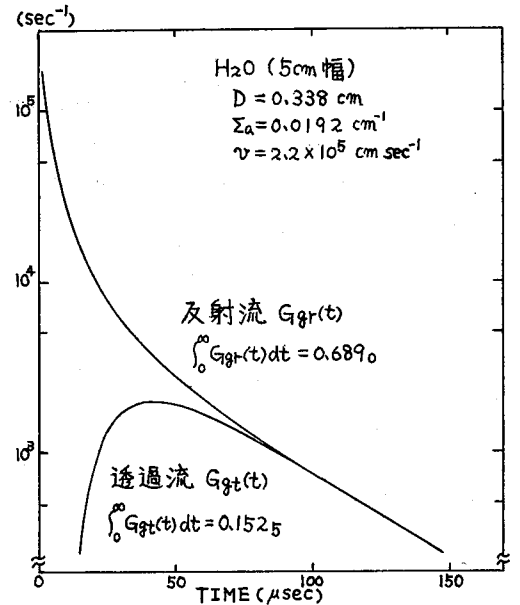


Fig. 3. 応答関数 G_{gr} , G_{gt} の 1 例。

強力14MeV中性子源に関する一般的情勢

大阪大学工学部 住田健二

核融合炉工学における“強力中性子源”の位置づけ

D-T核融合炉の開発において、D-T反応により発生する14MeV中性子の挙動、たとえば、中性子の核反応、輸送、空間、時間分布、材料に対する各種の照射効果などは極めて重要な問題であり、これらの知見がなければ engineering feasibility はもとより、scientific feasibility さえも得られない緊急な研究課題が内包されている。中性子源としては現在二種類のものが利用可能である。一つは原子炉であり、一つは加速器である。原子炉は flux および fluence とともに十分大きいものを提供し得るが、エネルギーが2MeV以下であり、この結果を14MeVに外挿することは非常に危険である。さらにD-T反応の際には3.5MeVのHeが放出され、この効果が現われない。一方、加速器ではトリチウムターゲットを用いることにより、D-T反応を起すことができるが、現在のものでは flux が小さく、研究上の要求を満たすことができない。なお、材料の中性子損傷の研究のためには、重イオンビームによる照射損傷の研究が非常に有効であるが、イオンビームと中性子ビームとのシミュレーション則が確立しておらず、これを確立する上にも、重イオン加速器に合わせて、強力中性子源が必要である。

このように十分な flux と fluence とを提供できる14MeV強力中性子源が核融合炉の開発には不可欠であるが、強力中性子源の建設ないし開発は、融合炉工学の研究分野に応じて、ほぼ二つの段階でなされるのが合理的である。一つは現在既存の技術で建造できる強力中性子源であり、他はなお開発研究を要し、使用ははやくとも5年先と見られるものである。前者に属するものには回転ターゲット型中性子源があり、中性子強度は 3×10^{12} n/sec ながら、これによりほとんどの主要なニュートロニクスの実験が可能である。また、plasma-wall interactionの研究、その重要な要素である材料表面のスパッタリング、プリスタリングの実験が可能である。この種の研究は極めて精密な測定を要し、そのためにはむしろこの種の中性子源が適しているといえよう。plasma-wall interactionの解決が核融合炉の scientific feasibility を得るための critical pass であることを考えると、この種の中性子源は緊急に設置されねばならない。第二の段階に属する強力中性子源としてはガスジェット型、D-Li型、各種プラズマ装置型のものがあり、いずれも中性子強度 10^{15} n/sec 以上を目指している。この段階における最も重要な研究テーマは炉壁材の放射線損傷であり、14MeV中性子による“はじき出し”と“核反応”に基づく損傷の評価は engineering feasibility を得るための key problem である。材料開発が10年単位で教えられる長期の開発期間を要することを思うと、この種の強力中性子源もまた緊急に手がけられなければならない。

研究（開発）の現状

(1) 回転ターゲット型中性子源（RTNS）

国外では Lawrence Livermore Laboratory (U.S.A), KFA (Jülich, W Germany) Chalk River (Canada) フランス, 英国などがすでに1～数基ずつ設置しており, たとえば LLL ではこれによってニュートロニクス, プリスタリングの研究を行っている。国内では 科技厅関係で日本原子力研究所が52年度から設置の予定である*。文部省関係ではいくつかの大学から予算要求がなされてきたがまだ認められていない。ターゲットは回転型であると同時にトリチウム補給型であることが望ましく, この研究は特定研究「核融合」強力中性子源グループによって行われている。 (*52年度より予算約10億円でスタート, 建屋建設費を含む)

(2) ガスジェット型強力中性子源（INS）

トリチウムビームを重水素ガスジェットに打ち込み, これによって強度 10^{15} n/sec 程度の中性子源を得ようとするもので, LASL で建設がはじまっている。運転は1980年10月1日の目標で, 予算は\$25.4Mが見込まれている。OECDのうち5ヶ国が国際協力し, わが国も原研から一人(イオン源の分野)参加する。大部分のものは現在の技術で建造できるが, 1.1Aのトリチウムイオンビームを安定に作ることとジェットターゲット部分における発熱の効果についてはつっこんだ研究が必要である。

(3) Li(d, n) 中性子源

約33MeVの重陽子ビームを液体Liに打ちこみ, 14MeV付近にピークを持つ高エネルギー中性子を発生させる装置で, 強度 10^{17} n/sec という最も強力な中性子源である。BNL, Hanford, Livermore, ORNL から proposal が提出されており, 1982頃に運転開始が見込まれている。この建設には大電流イオンビームを安定に, 連続して出せること, 大きな熱負荷に耐えられるターゲット, 液体リチウムの取扱など, まだ開発しなければならない問題が多い。

(4) FERF

プラズマフォーカス, θ -ピンチ, ミラー型などのプラズマ発生装置で発生する中性子を中性子源に転用しようとするものであるが, 上述のような目的の強力中性子源として実用するには, なお多くの問題を解決しなければならない。

(5) 重イオン加速装置

中性子源そのものではないが, 材料照射に関して中性子との間にシミュレーション則が確立されれば, 炉材料の開発において特に大きな役割を持つ。現在, 国内では特定研究「重イオンの科学」によって研究が促進されており, その成果が融合炉工学に応用されること, さらに炉工学の観点からの重イオン加速装置による研究が発展させられることが大いに期待される。

1977年3月1日

第7回炉中中性子工学研究委員会

回転ターゲット型強力14MeV中性子源

泉 研

前 川 洋

D-T核融合炉の開発をしていく過程で炉心プラズマの周辺を研究する場合、14MeVの中性子源は不可欠である。ブランケットの中性子物理や遮蔽実験をする場合でもかなり強力な中性子源が必要であるが、第一壁などの材料照射実験では特に強力な中性子源が要求されている。14MeV中性子源として、重陽子加速、トリチウムメタルターゲットを使用したものが広く利用されており、国内各大学、研究所では加速電圧150~300kV、ビーム電流0.1~1mA、中性子発生量 10^{10} /s前後のもの稼働している。京大原子炉実験所のものが、今のところ国内で一番強力な中性子源であるが、現在調整中で最近5mAのビーム電流が得られている。

海外で稼働ならぬに計画中の14MeV強力中性子源のうち代表的な装置の主な仕様を文献とともにもとめて表に示す。HENREは水爆の影響などを知るために特別に計画された装置で、450mの塔の上で動作するようになっている。使用した大型のトリチウムメタルターゲットはORNLで開発製作された。他は殆んど核融合炉用の材料照射研究を目的として計画された装置である。

RTNS-1は現在稼働している世界最大の14MeV中性子源で、各種材料の照射実験が精力的にすすめられている。この加速器は1966年HVEC社により製作されたが、1971年より大電流を実現するために改良が研究所の手ですすめられた。使用している回転ターゲットはR. Boothらが開発したオリング・ミールのもので、ターゲットの寿命(中性子発生量が半減する時間)を延ばすために次の工夫がなされている。

- (1) D^+ のみをビームを用いる。
- (2) ターゲットを回転することにより、冷却効果を良くする。→ビーム電流の増加
- (3) Ti-Tの蒸着面積の増加

LLLで使用した初期の回転ターゲットは直径50cmのものであったが、今は表に示したように直径25cm、1100rpmの回転にカムとベローズを用いた首振りを加えたスパイラル運動でターゲット面を有効に利用している。これにより上記(3)が達成され、100時間程度寿命が得られた。LLLではRTNS-1の経験を基に現在RTNS-2が1977年完成予定で建設中である*。ビーム電流150mA、将来は400mAに増力を予定している。回転ターゲットは直径50cm、回転スピード5000rpmであり、differential pumpを利用したair bearing sealsが行われている。計画では全く同じの2つのシステムが別々の部屋に設置され、実験の効率が上げられるようになっている。ターゲットアッセンブリーおよび照射サンプルはリモートコントロールで交換できるようになっている。

カナダのAECL, Chalk River研究所のIFNSはメーカーの手を借りず、独自に開発されたものである*。ターゲットはLLLと異なりドラム状である。ドラムの外径25

cm, 垂直軸のまわりに 1100rpm で回転し、カドドラム自身が上下運動してターゲット表面を有効に使用できるようになってきている。加速器の絶縁材が多量に発生するX線で絶縁破壊し、初期に予定したビーム電流が達成されていない。

フランスでは NaK を冷却材とした回転ターゲットによる中性子源が計画された。最近の情報によると CEA の指導で CGRMET 社が製作した。ターゲットアセンブリーはリモートコントロールで交換する。^{**}

ドイツの Jülich 研究所では強力X線発生装置に用いている回転ターゲットの経験を基に 14 MeV 中性子源の建設が計画されている。この加速器の特徴は二つあり、一つは D-T 混合イオンを加速するいわゆる drive-in ターゲット方式であり、もう一つは Y を Ti の代りに用い、かつ、スパタリングで失われる Y を追加する装置を持っていることである。

現在、この程度まで進行しているかは不明である。

強力 14 MeV 中性子源についてはターゲットを中心にして、京研の塚田甲子男氏が JAERI-memo 6506「Intense 14-MeV Neutron Sources - Neutron Producing Targets -」(1976) としてまとめられているので参考にすると良い。

最後に、京研で計画している核融合炉物理用中性子源 (FNS) の基本仕様(期待値)を以下に示す。数値はあくまでも期待値であって、実際に建設されるものは購入する場合に保証される現実的な値となる。

FNS 基本仕様(期待値)

- (1) 高圧電源: 電圧 100~400 kV (連続可変), 電流 50 mA, 安定度, リップル $< \pm 0.1\%$
- (2) ビームの条件: A. 強力な直流
直流運転 ビーム電流 30 mA 以上, ビームスポット 15 mmφ以下(90%)
B. 中性子発生量の变化が大きい直流
直流運転, ビーム電流 0.1 μA~6 mA (連続可変)
ビームスポット 15 mmφ以下(95%以上)
- (3) パルス中性子源: パルス運転(加速電圧 400 kV 固定), ビームスポット 15 mmφ以下(95%以上)
ON/OFF 10⁵以上
 - i) バンチングの場合 パルス中 2 ns, ピーク電流 20 mA 以上
 - ii) スレープの場合 パルス中 10 ns~1 μs, ピーク電流 6 mA
 - iii) アークパルスの場合 パルス中 5, 10 μs, ピーク電流 1~30 mA

* 筆者は LLL および Chalk River 研究所を見学してまたの機会に公表したいと考えている。

** 加速器名は Lanceat といふ資料は トムソン・CGR ジャパン社を通じて入手可能である。システムも同社を通じて購入できる。

表 稼動ならびに計画中の海外強力14 MeV中性子源

名 称	HENRE	RTNS-1	IFNS	RTNS-2		INS	
場 所	Nevada Test Site アメリカ	L.L.L. アメリカ	C.R.N.L カナダ	L.L.L. アメリカ	C.E.N. フランス	Jülich ドイツ	L.A.S.L. アメリカ
完 成 年	1967	稼動中	完成間近	1977完成予定	計 画	計 画	計 画
加 速 電 圧	150KV	400KV	300KV	400KV	250KV	200KV	270KV
加 速 粒 子	D mixed ion	D ⁺	D ⁺	D ⁺	D ⁺	D, T mixed ion	T ⁺
イオンソース	duoplasmatron DCX-1, DCX-2	duoplasmatron	duoplasmatron 40 mA	MATS II 1.5A (H ⁺)	duoplasmatron	duopigatron multi-aperture type 1.5A	annular duoplasmatron 1.1A
ビーム電流*	400 mA	22 mA		150 mA → 400 mA		1.5 A	
ビームスポット*	~3.5 cm φ	1.6 cm φ (6 m.m.φ)		1.3 cm φ (10 m.m.φ)	4 cm φ	3 cm ²	1 cm ²
ターゲット	large disc target 1000 cm ²	rotating target 2重直振り 23 cm φ ~ 2000 c.i. 1100 rpm	rotating drum- shaped target 1100 rpm	rotating target 2重直振り 504 cm φ ~ 6KC 5000 rpm	Rotating target 35 cm φ 1200 rpm	rotating self- charging target 7000 rpm	D ₂ gas jet density 2×10 ¹⁹ D ₂ /cm ³
ターゲット冷却	水 90 L/min	水	水	水	水又はNaK	水	gas jet
中性子発生量	1.5×10 ¹³ ~ 1.5×10 ¹² n/sec	6×10 ¹² n/sec	4×10 ¹² n/sec	4×10 ¹³ ~ 10 ¹⁴ n/sec	3×10 ¹³ n/sec	6×10 ¹³ n/sec	10 ¹⁵ n/sec
最大中性子束	7×10 ¹⁰ ~ 5×10 ⁹ n/sec			1.5×10 ¹³ n/cm ² ·s	3×10 ¹² n/cm ² ·sec	3×10 ¹² n/cm ² ·sec	10 ¹⁴ n/cm ² ·sec
主真空ポンプ	油拡散ポンプ 18000 L/sec			1000 L/s T.M.ポンプ 3台	cryogenicポンプ 22000 L/sec		turbomolecularポンプ cryosorptionポンプ
参考文献	CEX-65シリーズ Nucl. Inst. Meth. 120 (1974) 353, 102 (1972) 501-512	LBL-3399, Nucl. Inst. Meth. 120 (1974) 353, ibid 99 (1972) 1-4 I. E. E. E. NS-20 (1973) 472 ANL/CTR-75-4 171-182 (1975)	I. E. E. E. NS-22 (1975) 1809	UCRL-76856 (1975) (conf. 750723-6) ANL/CTR-75-4, 183-220 (1975) (上と同じもの) UCRL-78053 UCRL-28299	Nucl. Inst. Meth. 92 (1971) 589-594 ANL/CTR-75-4, 201-226 (1975)	J. Darvas私信 ANL/CTR-75-4, 243-249 (1975)	LA-UR-75-1262 (1975) (conf. 750723-8) ANL/CTR-75-4, 261-314 (上と同じもの)

1977年3月1日

第7回炉中性子工学研究専門委員会

ロスアラモス INS 計画

日本原子力研究所 白形弘文

1. はじめに

核融合炉用燃料の開発に関連して、14 MeV 強力中性子源設置の必要性が叫ばれ、各国で建設計画が立案されている。本計画は、米国ロスアラモス科学研究所(LASL)が、現在稼働されている回転ターゲット型中性子源(RTNS)の次のステップの強力中性子源として提案した超音速重水素ガスジェットターゲット型強力中性子源(INS)の建設計画である。LASLでは、この装置で 10^{15} 個/secの高速中性子を生じさせ、核融合炉燃料の放射線損傷の研究およびトリチウム取扱技術の習得を目的とする開発研究を行う計画である。

2. ロスアラモス強力中性子源(INS)装置の概要

INS装置は、約1 Aのトリチウムイオンビームを270 keVに加速し、超音速重水素ガス流のターゲットに照射することによって 10^{15} 個/secの14 MeVの中性子を連続的につくる装置である。本装置は、トリチウムイオン源および加速部、ビームトランスポート部、超音速ジェットターゲット、重水素ループ、トリチウムループ、同位体分離系などから成っている。本装置の基本ブロックダイアグラムをFig. 1に示す。

次に、主要構成要素について説明する。

① イオン源部

トリチウムイオンビームは、環状デュオプラズマトロン型イオン源(Fig. 2参照)によって生成され、ピアスタイプの加速電極によって270 keVに加速される。ビーム引き出し電流は1.6 A(連続)、イオン源近傍のビーム径は7~8 cm ϕ である。なお、イオン源用電源の容量は300 kV, 2 A(連続)である。

② ビームトランスポート部

引き出されたイオンビームは、四重極マグネットで収束されながら、8~9 mはなれたターゲット部へ導かれる。ターゲットへ入射直前にソレノイド収束マグネットによって、ビーム径を1 cm ϕ にちぎめる。

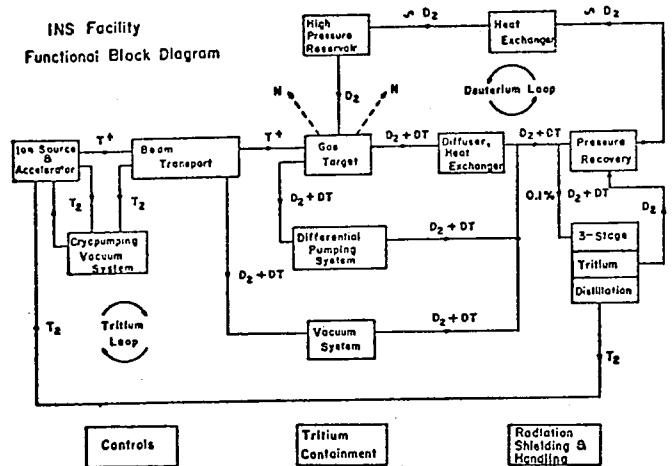


Fig. 1 INS装置の基本ブロックダイアグラム

③ 超音速ジェットターゲット

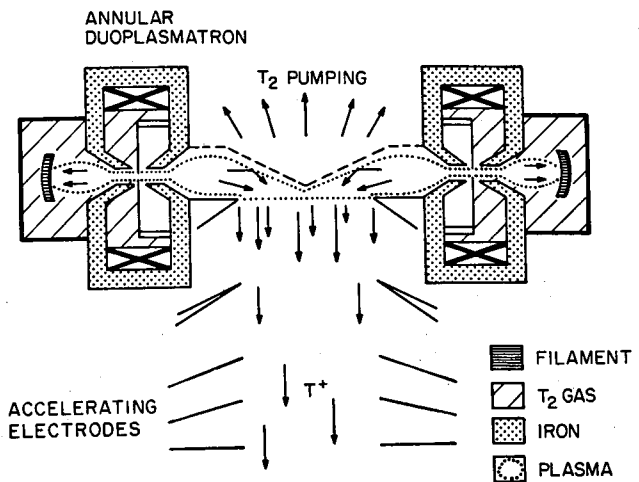
重水素超音速ジェットターゲットは、高圧で運転されるプラグ型の拡大ノズルでつくられる。その流速はマッハ6である。この超音速流によって、270 keV, 1.1 A のトリチウムビームとの衝突によって生ずる 1/3 MW の熱を除去することが出来る。ターゲットの有効体積は約 1 cm³ である(オ3図)。拡大ノズルの側壁は、超音速流によって冷却され、またそれ自身照射試験材料で作られている。この壁の外側は照射試験領域で、最高 2×10^{14} n/cm²sec のフラックスが得られる。

④ 重水素ループ、トリチウムループおよび同位体分離系

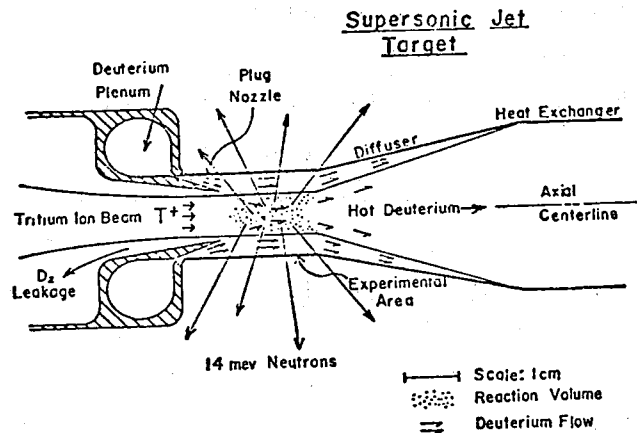
本装置は、トリチウム(インベントリー; 約30g)が使用されることから、このシステムは閉ループ構成となっている。イオン源からビームトランスポート部へ流出したトリチウムガスは、クライオポンプによってイオン源へ返される(オ1図参照)。一方、高圧貯気槽からターゲットへ入った超音速重水素ジェット流は、圧力回復され、熱交換器を通して高圧貯気槽にみちみかれ、重水素ループを形成する。このとき、ターゲット室にて重水素流はトリチウムに汚染される。この重水素中のトリチウムのビルドアップを防ぎ、更にトリチウムインベントリーを安定化させるため、重水素流の一部をサイドループにみちみく。そのサンプル流は深冷分離システムによって、トリチウムと重水素に分離される。分離された重水素は重水素ループへ、トリチウムはイオン源へ返される。

最後に、本装置の主要パラメータを Table 1 にまとめおく。

- (参考文献) (1) C.R. Emigh; "Tritium Ion Beam for Intense Neutron Source, IAS," 5th Symp. in Eng. Programs for Fusion Research, (1973) p.272.
 (2) D.D. Armstrong et al.; "A 14-MeV Intense Neutron Source Facility," 19th NEA NDC Meeting (1976).



オ2図 環状デュオプラズマトロン型イオン源



オ3図 超音速ジェットターゲット

TABLE I
INTENSE NEUTRON SOURCE
CHARACTERISTICS

Continuous Output	10 ¹⁵ n/s
Angular Distribution	Isotropic
Neutron Energy	14.06 ± 1.4 MeV
Target Size	1 cm ³
TRITIUM BEAM	
Current	1.1 A
Energy	300 keV
Mass Flow	20.7 μg/s
DEUTERIUM JET	
Density	2 × 10 ¹⁹ D ₂ /cm ³
Flow Velocity	3 × 10 ⁵ cm/s
Mass Flow	80 g/s
Temperature Rise	1400°K

Li-D 型強力中性子源

九大 工

神田 幸則

中性子源は各分野で利用され、それぞれの分野に適する中性子源が開発されている。ここでとりあげる中性子源は、核融合炉に用いる材料の試験を一つの目的としにわつである。この目的にかはう中性子源の条件は、簡単にいって、14 MeV 中性子束が 10^{14} n/cm²·sec 以上あるということである。これは D-T 核融合炉の第一壁が、この程度の中性子照射を受けると考えられるためである。現在使われている 14 MeV 中性子源の 10^3 倍以上である。まず、この差を埋めるために回転ターゲットとか、D₂ ジェットターゲットとかが開発・開発されている。

核融合炉材料の開発・試験に使われる中性子源は 10^{14} n/cm²·sec より強ければ強い程目的にかはう。強中性子源としての方式は次のようなものが考えられる。i) 核分裂炉、ii) 高エネルギー加速器、iii) 大電流加速器、iv) 核融合材料試験炉。これらを簡単に比較してみる。i) では核分裂中性子のエネルギーが低いし、必要とする照射条件を考えると適当でない。ii) では中性子が原子核から蒸発されるような発生機構になり、最多中性子エネルギーは 2~3 MeV である。iii) が最も有望で、利用可能な反応は (d, n) である。本来なら T(d, n) が一番よい。しかし、中性子強度をあげるためには、d ビーム電流をあげなければならず、ターゲットでの熱出力が高くなり、D₂ ジェットターゲットが限度であろう。それ以上の中性子強度は以下にとりあげるような方式とほびであろう。iv) が最終的には一番良のかも知れない。しかし、核融合炉自体を作らなければはうはりから、実現までには時間がかかるであろう。

厚い Li ターゲットを使った際に Li(d, n) 反応により発生する中性子量の測定例を Fig. 1 に示す。約 30 MeV に加速した d を使うと 14 MeV 中性子が得られることがわかる。D(d, n), Be(d, n) でも同様の結果となる。これらの場合、中性子エネルギーは相当地広く分布するが、強度が強くなるという点でこの程度の広がりには妥協する。このように入射 d のエネルギーが高くと、前方への運動量が大きいために、発生する中性子は殆ど前方に出るので照射試料はその方向に置けばよい。この点、この種の中性子源は発生中性子を有効に利用できるという意味で、非常に有利である。前述の中性子強度を達成するためには、Fig. 1 から 0.1 A 程度の d ビームが要求される。そうすると Li ターゲットでは 3 MW のエネルギーを除去しは

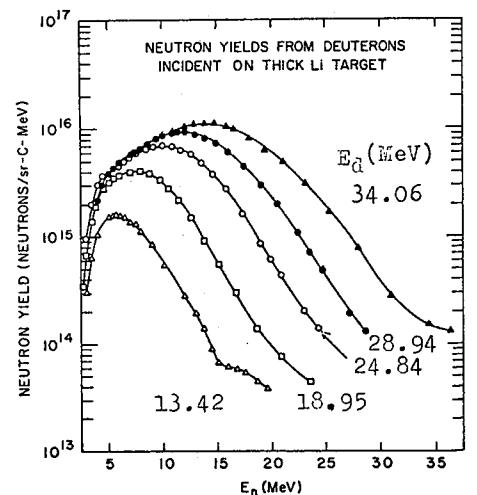


Fig. 1

ければならぬ。

以上の条件を勘案して、d を加速する線型加速器 (d-Linac) と高速液体リタージェットの組合せが考えられる。この考えに基づく提案が BNL と ORNL からなされた。以下に BNL の提案をもとに具体的説明をする。

Linac の諸パラメータを Table 1 に示した。実際に作るとなると、電源、真空、中性子遮蔽、使用部品の中性子照射による損傷など多くの問題がある。Li ジェットターゲットは Fig. 2 のような構造である。10 x 10 cm の面で厚さ 1.5 ~ 2.0 cm, 6 m/s の流れで 3 MW の熱を除くとすると、ターゲット部は温度が約 700 °C, 圧力は約 1 torr と計算されている。加速器もターゲット室も地下に入れて中性子遮蔽をする。いずれも相当の技術開発を必要とするが、現有技術から予測して充分可能な範囲である。費用の見積りは明確でないが、\$ 40 ~ 60 M とされている。

以上はアメリカの話であるが、日本の話に移して問題点を考察してみる。

まず、こんな中性子源が必要か。核融合が本気で開発しようとするならば、必ずいるうごはないか。核融合炉心がどんな型であれ炉心が発生した中性子エネルギーを熱エネルギーに変換するブランケット部が必要である。中性子束は高い程よいから、それに耐える材料の開発が必要だ。そのためには二つ程度の中性子源がなければならぬ。

次に、誰がつくるのか。この種の Linac に経験のある人の意見では、技術的には可能であり、もし実際につくるとなれば是非手がけたらということである。原子炉と中性子源とする場合、ある程度使うことも目的とした人達がつくってきた。14 MeV 中性子源も今迄は使う人が自からつくれた。しかし、上に述べた中性子源は使う人とつくる人は分離せざるをえない。したがって、充分な協力が必要である。それが可能になる組織作りから始めなければならぬ。そのためには、まず使う人が中心にあって関心のある人々が集まり、相当に綿密なそして具体性のある計画をたてなければならぬ。この稿のように、他所の計画を解説するような域を早く脱出できる状態にしなければならぬ。

参考文献

- K. Batchelor et al. : IEEE Transaction on Nuclear Science, NS-22, 1772 (1975)
 A.N. Goland et al. : ibid. 1776

TABLE I - BASIC MACHINE PARAMETERS

INJECTION ENERGY	0.500 MeV
INJECTION CURRENT	200-400 mA
INJECTED RADIAL EMITTANCE (β_{ys})	$7\pi \times 10^6$ m Rad.
OPERATING FREQUENCY	50 MHz
AVERAGE ACCELERATION RATE	0.75 MeV/m
STABLE PHASE ANGLE	30°
NO. OF ACCELERATING CAVITY SECTIONS	8
TOTAL CAVITY LENGTH	39.5 METERS
TOTAL NO. OF DRIFT TUBES	66
TOTAL RADIO FREQ. CAVITY POWER	1.4 MW
TOTAL BEAM POWER	3-6 MW
OUTPUT ENERGY	30.1 MeV
OUTPUT CURRENT	100-200 mA
OUTPUT ENERGY SPREAD F.W.M.H.	~ 200 KeV
OUTPUT RADIAL EMITTANCE (β_{ys})	$\sim 2\pi \times 10^5$ m. Rad.

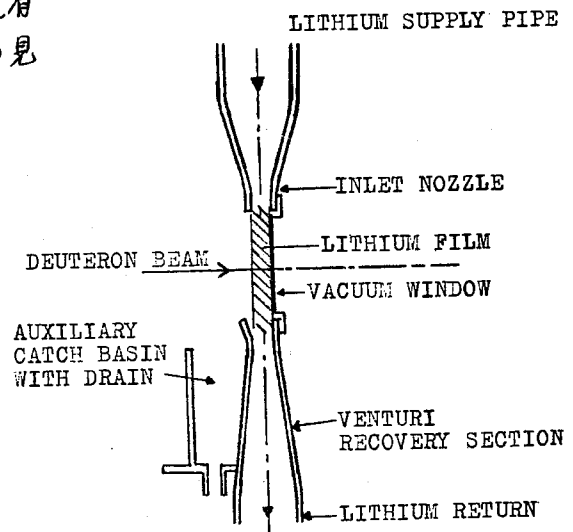


Fig. 2 Liquid Lithium Target

《研究室だより》

1. 北海道大学原子工学科 小川研究室 (原子炉工学講座)

本研究室は現在

- ①原子炉の動特性、制御、安全性に関する解析的研究
 - ②高速中性子体系中の時間依存スペクトルの実験研究
- を対象にして研究を進めている。

①については結合炉の制御を目的として、非線形系に対する Decoupling Theory を適用し、各炉心を非干渉的に出力変更することを計っている。又、多重おくれと非線形要素を含む原子炉制御系の安定性をパラメータプレーン法で解析することを行っている。

②については、北大の45 MeV電子線ライナックを使用して測定実験を行うべく、目下計算コードの整備、コリメーターの開発、検出器効率の評価などについて、準備を進めている。なお、予備実験として鉄体系中の定常スペクトルの測定を行っている。

(発表論文) Stability of a Power Reactor with Multiple Transport Lags and Nonlinear Characteristics of Controller ,

Makoto TAKANO , Yuichi OGAWA , J.Nucl.Sci.Technol. , Vol. 13 ,
No. 8 , (1976)

Decoupling Control of a Nonlinear Coupled Core Reactor ,

Masashi TSUJI , Yuichi OGAWA , J.Nucl.Sci.Technol.,

(小川雄一)

2. 東北大学工学部原子核工学科 原子炉物理学講座 (百田研究室)

本研究室では主に三つのテーマ、即ち、原子炉安全解析、中性子反応微分断面積測走および、断面積の積分実験による評価に関して研究が盛んに行われている。最近の活動状況は以下の通りである。

シンセシ法による空間依存原子炉動特性方程式の解法の研究、

KUCA-C 集合体制御棒反応度価値解析、

KUCA-B 集合体燃料集合体反応度価値と、制御棒領域空間吸収断面積の研究

MELT-II コードによる反応度挿入事故解析

${}^7\text{Li}(n,n')\text{X}$ 反応断面積及二次中性子スペクトル測走

同じく白色スペクトル中性子源を用いる測走法の研究 (${}^7\text{Li}(\alpha,n)$ 中性子源使用)

${}^7\text{Li}(\alpha,n)$ 反応による中性子収率とスペクトルの測定

NE213 中性子検出器の応答関数の研究

漏洩中性子スペクトル測定による断面積の積分評価

時間依存中性子スペクトルの研究 等)

発表論文(口頭)の例を以下に示す。

シンセシ法による二次元動特性方程式解析 井筒, 平川 (51年学会(秋) B1.), (52年学会 B2)

$Li(n, n')$ 反応による二次中性子の測定(II) 宮本, 馬場, 遂瀨, 市川, 百田 (51年学会(秋) C6)

Li 体系からの漏洩中性子スペクトルの測定 (I) 神田, 菊地, 角田, 中谷, 籠田, 坂本, 平川 (52年学会 C30)

鉄体系からの漏洩中性子スペクトルの測定 (I) 菊地, 神田, 角田, 坂本, 中谷, 籠田, 平川 (同上 C31)

T.O.F. 法による鉄およびLi 体系からの漏洩中性子スペクトルの測定

角田, 神田, 菊地, 籠田, 中谷, 坂本, 平川 (同上 C32)

(遂瀨 卓郎)

3. 東京工業大学 原子炉工学研究所 原子炉物理部門 山室・北沢研究室

本会報第21号の研究室により、本研究室の報告を12から約1年になる。この間、研究室は以前報告したペレット建設が明け暮れたという感じがする。しかし研究の方も、修士論文をひとつの目標としてかなりいい仕事が出来たと思っている。これから修士課程修了者が去った後、また新たに学生をむかえ、現在構成人員は教授1名、助教授1名、助手1名、教官2名、秘書1名、博士2年1名、研究生2名、修士2年4名、修士1年5名、学部4年3名の計21名から成っている。研究室は更に次の3グループに別れ、お互いに連絡をとりながらそれぞれのテーマに従って研究を続けている。

1. Neutron Capture

2. Fast Neutron

3. Neutron Spectrum

1のグループは一貫して中性子捕獲断面積の精密測定を続けてきている。2のグループに関しては、この1年と線生成断面積の研究(NAIG, 船研との共同研究)と核融合炉材料の核データの中、(n, p)反応断面積の評価に大きな進展をみせた。3のグループは核融合炉ブランケットにおける中性子スペクトルの研究を実験及び計算の両面からおこなっている。また上記3つのグループに共通な事柄として、片年度からのペレットを用いた実験に備えて、データ処理装置(CAMACシステムを含む)、および検出器系(Ge(Li)コンプトン除去用円筒型NaI, 遮蔽体, ギニオメータ等からなる)が整備された。

<修士論文>

- 磯貝「核融合炉材料の(n, p)反応断面積に関する理論的評価」
- 江本「C₆D₆液体シンチレーターのα線応答関数の測定とその応用」
- 斎藤「KeV領域における中性子捕獲断面積の測定と評価」
- 佐野「高速中性子によるα線生成過程の研究」
- 矢橋「有機液体シンチレーターによる高速中性子スペクトル測定法の研究」

<学会口答発表>

- 佐野他「高速中性子によるα線生成断面積の計算」昭和51年秋分科会C4
- 奥本「放射化法による測定から中性子スペクトルを求める新しいUnfolding法の開発」昭和52年春会C35
- 佐野他「高速中性子によるα線生成断面積の計算」同日3
- 磯貝他「核融合炉材料の(n, p)反応断面積の理論的評価」同日7

(奥本博記)

4. 東京大学工学部原子カエ学科 清瀬研究室

現在の清瀬研究室の人員構成は教授、助教授、助手1名、技官1名、大学院生5名それに研究生1名となっている。それぞれ各人が原子力化学工学の分野で活発に研究活動を行っており、ここにその最近の概要を簡単に紹介する。清瀬研究室では実験及びソフトの両分野にわたって研究が行われており、実験的研究の主なものには「核融合炉燃料処理プロセスの工学的基礎研究」があり、すでに成果として学界にも報告¹⁾されている。放射性であるトリチウムは金属を良く透過し、環境中に漏れ出した場合、公衆被曝の危険性がある。このトリチウムの閉じ込め、ないしトリチウムの安全取扱いは核融合炉燃料サイクルを考えるにおいて重要課題であり、その基礎的研究として、a) ニオブ膜の水素、重水素透過性(気相中)、b) パラジウム膜による水素-重水素の同位体分離、c) 液体リチウムに接触したニオブ膜の水素透過性がある。一方、ソフト関係の研究は至としてエネルギーシステムに関するもので線型計画法によって代替エネルギー利用に関する最適政策決定モデルやエネルギーシステムというものを形態学的に把握しようという試みがなされている。³⁾有限資源である石油、石炭エネルギーと原子力エネルギーさらには太陽熱エネルギー利用、水素エネルギー利用間の相互の関連について、経済との相関をふまえてエネルギー需要や技術的開発速度、実用化時期に関する制約の下に、分析、検討を行っている。その他、原子力施設の環境に対する安全性に関する研究も行われはじめ、そのひとつに「海洋環境のモデル化に関する研究」⁴⁾がある。原子力施設における沿岸海洋環境に対するモデリングは、従来いろいろの方法が提案されているが、ここでは湾の形状(開放型、半開放型、閉鎖型)を考慮したモデルについて検討が加えられた。さらに、発展的課題として、三次元拡散問題への拡張、有限要素法、流速分布計算、複雑な沿岸流の取扱いや潮汐効果の導入などが残されている。また、UF₆取扱い施設におけるHot UF₆ Cylinderの破断に

よるUF₆蒸気の噴出量及びその噴出時間の推算も行われた。⁵⁾

- 1) Liと接触したNbの水素透過-コールドトラップ, 4タンゲッターによるH, N濃度制御の影響. 日本原子力学会年会 (1977), A24.
- 2) 長期エネルギー戦略のシステム分析, 日本原子力学会誌 Vol. 18. No. 8 (1976)
- 3) マクロエネルギーモデルによる超長期需要予測, 日本原子力学会・分科会. (1976) B 17.
- 4) 石油海洋環境のモデル化. 日本原子力学会年会 (1977) E4.
- 5) UF₆ Cylinder 破断事故時の放出量評価, 日本原子力学会年会 (1977) E1.

5. 東京大学工学部原子力工学科原子炉工学研究室

しばらく御報告を怠っていましたが、研究室の活動内容は前回とそれほど変わっていません。研究の中心はFBRですが、比較のためにLWRやHTGRを考察することもあります。FBRについては、まず炉心特性解析、炉心管理の問題が、小林康弘君（現日立）を中心に研究されてきました。炉心管理については、optimizerとMan-Machine interactive systemの形にまとめることができました。炉心特性については、サンドイッチ炉心の提案などを行ったさきですが、最近、工学的設計も含めて見通してみようという若い人もいます。FBR安全性については、炉心溶融事故の解析から出発し、燃料-冷却材相互作用（FSI）の解明が、その中心的課題であるとの認識から、模擬実験をいくつか行なってきました。最近ではAgclをUO₂の模擬物質に用いるのが面白い結果を与えることがわかり、また、FSIの構造も煮つまってきましたので、もう一押しと思っています。さらに、安全設計はFSIを併なり爆発の格納で全て片がつくわけではないので、PAHR（post accident heat removal）相についても研究の手をのびしていく予定です。またオーの防護ラインの強化の観点から異常検出という分野にも手を出して、炉雑音、同定問題についての仕事をしています。またその基本となる燃料集合体内流動についてもニ、方君の精力的な博士論文で、集合体内の多流路過渡圧縮性二相流動解析の可能性が実証されました。一方、安全設計ではこうしたcapabilityとならんでreliabilityを確保することも重要です。この分野ではFault treeの自動作製法に始まり、保守計画の最適化や南登途中の機器についての信頼性設計などを手がけています。その他、人工気相燃料によるFP放出挙動解析実験、核融合炉炉心動特性、グラントット核熱構造設計解析、エネルギーシステム分析、研究南登計画論などを考えている人もいます。研究室は都甲教授をはじめ下遠野、小平両助等の他、D2(1)、D1(1)、M2(3)、M1(2)の構成ですが、当学科の中では他大学出身の院生の多いところではあります。なみ、研究施設の原子炉設計工学部門（安教授）とは院生居室が一纏であり、双方併せて約15名の人がいますが、M1の諸君はテーマを求めてさまよい歩き、M2の諸君はようやく決めたテーマに顔色を変えて励むのがこの季節です。

（近藤記）

6. 東京大学 工学部 原子力工学研究施設

本誌第18号に「跡生の共同利用による炉物理実験」を寄稿し、同号に若林助教授により研究室便りが書かれてから、思いがけず早く2年半の月日が流れた。この間当施設においては、「跡生」における共同研究がテーマをしばった形で進行する一方、ライナック及び核融合炉ブランケット工学基礎実験装置の建設が行なわれ、共に51年度後半に建屋が完成し、収容する実験設備類もかなり整備されて来ている。このうち後者(ブランケット)は東大工学部各学科の共用研究設備のような運用になるので、学外者の利用は原則として行なわれないうが、前者(ライナック)は原子炉の附属実験設備の一つ(中性子発生装置)として、近い将来「跡生」との連動パルス運転に供せられ、そのテーマにおいて学外者を含む共同利用(共同研究)に使われることになる。またライナックは単独に電子線のみの照射実験にも使われ、その場合も或る程度の規模で共同利用(共同研究)に供せられる予定である。「跡生」においては50,51両年度の間、上記の如く、わりに少く研究テーマ(遮蔽ベンチマーク実験、医療用照射のための基礎研究、照射実験、反応度パルス運転、崩壊熱の研究、ストリーミング実験、その他の小グループ実験)も通して行なってきたが、中でも反応度パルス運転に力が注がれ、結局51年度に至って、即発臨界超過約0.2%の反応度の通過性印加によって、ピーク出力が1GW、半値中約200 μ sの最大パルス運転に成功した。但しこの間マシンタイムの約半分はこの目的のために使われたので、その他のテーマに対する利当りは十分なものと云うなふった氣味がある。

さて去る3月30日の当施設運営委員会が決定された52年度の「跡生」利用のテーマは

- 52K-1 遮蔽ベンチマーク (テーマ推進者 安成弘; 幹事 岡芳明)
- 52K-2 医療用照射のための基礎研究 (安成弘; 古橋 晃)
- 52K-3 高速中性子の照射効果 (田畑米穂; 石橋顯吉, 田川 精一)
- 52K-4 中速中性子柱ニュートロニクス (若林宏明; 秋山雅胤, 中沢正治)
- 52K-5 遮蔽実験 (兵藤知典; 岡芳明)
- 52K-6 高温照射の研究 (田村孝章; 松岡伸吾)
- 52K-7 スカイシャイン・環境測定実験 (関口 晃; 若林宏明, 中沢正治)
- 52K-8 小グループ実験A (炉物理・炉工学) (古橋 晃; 中沢正治, 若林宏明, 成田正邦)
- 52K-9 小グループ実験B (照射) (田畑米穂; 井形直弘, 石橋顯吉, 石野 梨, 斎藤晴男, 柳 季治)
- 52M-1 崩壊熱の測定 (安成弘; 秋山雅胤)
- 52M-2 キャピラー遮蔽実験 (安成弘; 岡芳明)
- 52M-3 反応度パルス運転 (田村孝章; 若林宏明)

であり、再び膨張の氣味であるが、工事・検査もあるので、マシンタイムは年間で49日しかとれない。細目は実験計画委員会で決定されるが、今年度よりそのメンバーは上記格別内の人を中心に組織されることに改められた。なおライナックについても4テーマが決定されており、「跡生」とは別にライナック実験計画委員会が近く結成される見通しである。

(古橋 晃)

7. 東京大学工学部附属原子力工学研究施設原子炉本部・原子炉管理部

原子炉本部は、東大高速中性子源炉「弥生」施設の保守管理運転を掌る section である。原子炉本部は、原子炉管理部、放射線管理部、技術部（内 1 名はライティング建設に従事中）である。このうち、原子炉管理部の守備範囲は、原子炉本体、冷却系統、計測制御系統、原子炉格納施設、附属実験設備（パルス中性子発生装置、パルスオシロスコープ等）であり、又この他、炉の運転を行う際の crew 人員を供出している。（弥生の運転は原子炉本部長（教授）を supervisor として複数の section より人員を供出して行なわれる。）

弥生は我が国最初の可動型小型炉心構造をもつ高速炉タイプの研究炉（1971年4月初臨界）であり、その保守管理には、自らから個々の hardware 自体の保守（おとし）の、この炉についての R & D を進めるための認識を実験的に得ることが基本的炉性能の把握と共に software として必要不可欠である。その一環として、これまでこれ等を中心として安全余裕評価に関連する核熱結合動特性実験を継続している。'71~'72年にかけて本所弥生の代表的実験炉である炉心貫通実験炉内での種々 material worth についての static traverse 実験を行い、反応度印加物質についての基本的データを得た。その結果を基に 6 種類のパルスオシロスコープ（POS と通称している。）を作製し、'73年にこれら POS を使用して即発未臨界領域での「非定常運転」を行い、最大値として反応度振中 $\approx 1.4\% \Delta k/k$ ($5 \sim 15 Hz$) の繰返し印加、反応度印加反度量 $\approx 0.65\% \Delta k/k$ ($\approx 7 sec$ 放置) の印加による最大出力 $200 kW$ の発生（おとしも弥生は steady power operation 時 $2 kW$ として冷却性能を設計している。）を経験し、主として炉心部の熱特性（熱容量、発生出力歪等）に付する実験データを得た。その後 '75年末よりこれらの実績を踏まえて POS 5（高速繰返しタイプの POS ($1000 \sim 6000 r/s$, $< 900 spm$)) による即発超臨界状態の制御実験「反応度パルス運転」を開始し、これまでに印加反度量 $\approx 0.9\% \Delta k/k$ (反応度印加時間中 $\approx 430 \mu sec$) の印加によるピーク出力 $\approx 1.9 W$ (半値中 $\approx 100 \mu sec$) のパルス出力発生と、

繰返し周期 $\approx 100 \mu sec$ で連続 6 パルス出力発生（ピーク出力 $\approx 30 \sim 40 MW$) の制御に成功し、即発反度量に及ぼす反射体効果、パルス出力発生による炉心部の機械的振動現象（今のところ燃料体自体の振動とは明らかでない。）等興味ある実験結果が得られており、これら実験データの解析と分析を現在進めつつある。又、これら一連の実験を通じて、制御装置の改良、種々検出器システムの高速化への開発も平行して進められている。（ストライド系、高速ペリオド計、非接触変位計等）

今後の計画としては、POS 4, 4S による反応度パルス化（パルス出力発生時のフィードバック効果）並びに C-ライティング建設協力炉との連動運転（injector による $4xL$ pulse neutron の効果）を計画しており、準備が進められている。以下に昨年以降の主な発表論文と学会日頭発表を示す。

(May 1977 春 藤 野 記)

- (1) H. Wakabayashi, A. Furuhashi, S. An, and T. Tamura: Design Aspects of Fast Neutron Source Reactor YAYOI as a Fast Pulse Reactor, Pro. of US/Japan Seminar on Fast Pulse Reactors, 45 (1976)
- (2) H. Wakabayashi, I. Saito, A. Furuhashi, S. An and T. Tamura: Operational Experiences of YAYOI, Pro. of US/Japan Seminar on Fast Pulse Reactors, 131 (1976)
- (3) H. Wakabayashi, I. Saito, T. Tamura and S. An: Characteristics of YAYOI Pulse Operation by Reactivity Insertion with R-Pulsor, J. of the Fac. of Eng., the U. of Tokyo (B) Vol. XXXIV, No.1 (1977)

(口頭発表)

- (1) 蒼藤他「P型弥生反応度特性」昭和51年原子力学会秋の分科会 A 46
- (2) 若林他「パルス炉としての「弥生」(P型弥生)(II)」同上 D 37
- (3) 岡村他「P弥生の運転制御システム」同上 D 38
- (4) 蒼藤他「P弥生出力上昇特性」同上 D 39
- (5) 吉井他「「弥生」反応度パルス運転時、炉心部変位計測器応答」同上 D 40
- (6) 駒川他「反応度パルス運転における非定常応力測定」
- (7) 吉井他「P弥生液形計測システムの性能」昭和52年原子力学会年会 B 15
- (8) 蒼藤他「P弥生用パルスオシレータPO54性能」同上 B 16
- (9) 若林他「「弥生」の新しい運転位置 C[±], D」同上 E 11

8. 名古屋大学工学部 原子核工学教室 玉河研究室

5月1日付で奨励研究員の山根が教務員に採用され、新職員を迎えてのスタートである。近年来当研究室に定着しつつある新4年生(今年度は5名)歓迎訓練実習が、伊藤、三橋の指導により行われている。4年生が各自のテーマを持つ前に共通のテーマで仕事をし、さらにその報告書を提出する事は、後で卒論をまとめる上にも大いに役立つそう。

48年度に半ば自然発生的に生まれた3つのグループが、実を熟し始めたようである。

I. 重イオン源グループ [玉河教授, 大森助手, 寺浦(M2), 笠井(M1)]

特定研究重イオン科学の多価重イオン源開発の一テーマとして、磁場中のマイクロ波による電子サイクロトロン共鳴を利用した、実用的重イオン源の開発を進めている。現在、試作第1号装置が完成し、その特性試験を実行中である。

II. 中性子スペクトルグループ [伊藤_只助手, 三橋(M1)]

昨年度に引続き、原研高速炉物理研究室との協力によるLi体系角度依存中性子スペクトルの測定を計画している。また、シンプレックス法を用いたシンチレーションカウンターのゲイン変動の補正法は、今後のこのグループの活動に大きな力を発揮するであろう。

III. Wave, KUCAグループ [仁科助教授, 山根教務員, 田中(M2), 赤井(研)]

昨年度はKUCA動特性実験に積極的に参加すると共に、反射体付原子炉又は結合炉の動特性方程式を導き、伝達関数を求めることに力を注ぎ、一応の成果を得た。今年度はその手法の各種動特性実験、雑音実験への応用が進められている。

その他、若松(技官)は引続き原子力コードの整備を、前川(M2)は一匹狼で有限要素法を用いたトカマク型核融合炉の非定常中性子束の計算を行っている。

[発表論文]

- 1) S. Itoh and H. Tamagawa, "Rigorous Treatment of the Spectral Distortion Caused by the Use of Time-to-Amplitude Converter", Memoirs of the Faculty of Engineering, Nagoya Univ., 28, 1, 1976
- 2) Y. Yamane, K. Nishina and H. Tamagawa, "The Neutron Wave Interference Associated with the Neutron Slowing-Down in Graphite", Atomkernenergie (発表月は未定)

[口頭発表]

イオン源とイオン装置シンポジウム(電気学会主催 1977年2月)

玉河 保持型イオン源(カーベイ)
玉河, 大森, 寺浦 コンパクトなECRイオン源

昭和51年秋の分科会

A3 (名大)伊藤_只 他(原研)前川, 前, 草野

黒鉛反射体付Li体系中の角度依存中性子スペクトルの測定

昭和52年春季学会年会

A47 (名大)伊藤_只 他(原研)前川, 前, 草野 (阪大)戎家

黒鉛反射体付Li球体系中の角度依存中性子スペクトルの測定 (II)

C13 伊藤_善 他 中性子波伝播モデルによるKUCA 2分割炉心周波数応答の計算

C14 山根 他 結合炉の動特性解析(II), KUCA動特性実験との比較

C15 新川 他 1長炉動特性方程式における反射体効果

(文責 田中教馬)

9. 京都大学工学部原子核工学教室, 西原研究室

今春3月には例年になく多くの院生を送り出した。(修士課程, 炉物理関係6名, プラズマ関係4名) 研究内容も, 従来の研究の流れに乗りながらも各人の個性が発揮され, 多岐にわたっている。その成果を要約し紹介してみる。

○原子炉材料の中性子断面積の評価

LINAC-TOF法により高速中性子エネルギースペクトルを測定し, 組定数利用による数値解析結果と比較検討して, 断面積を評価することを主目的としている。その際に感度係数解析を導入した点が今回の特長である。断面積の値の変化に知する中性子スペクトルへの変化をあらかじめ調べることにし, 逆に測定値が問題としている断面積の評価にどの位有効であるかを判定しようとしたものである。small sampleを銚で囲んだ2領域体系のチェック及びLIF実験体系の大きさの決定に利用された。

○中性子拡散方程式の数値解法

これまで有限フーリエ変換を用いて, X-Y, Y-Z, 6角セルに於いて拡散方程式を解っていた。今回は断面積一定の3角形領域に対する2次元拡散方程式の解法に適用した。計算は6角セルを正, 直角, 不等辺3角形に分割して行い, 精度良い値が得られた。従って問題とする領域と適当な3角形領域に分け, 本方法を適用すれば, 任意の形状に於いて数値解が求められることが分った。高速炉への適用も考える。

○結合炉の動特性

主な目的は(1)動特性方程式を多群拡散方程式よりsystematicに導くこと, (2)各種炉物理実験(moise, pulse, pile oscillator等)での測定量に結びつけた表式を得ること, (3)結合炉としての特徴が炉全体の動特性にどの様に反映されているかを明らかにすることである。今回はneutronic coupling effectとreflector effectに注目し, 軽水炉, 黒鉛炉として重水炉に於いて解析した。京大炉KVUCAでの測定結果とも比較検討を行った。今後は高速炉運転時のXe毒作用の問題を安定性の面から調べてみたいと考えている。

○冷中性子源としての液体水素, 重水素の核特性

断面積モデルとしてYoung-Koppelモデルがあるが, 我々は更に液体分子の拡散運動の効果及び分子間の衝突相関の効果(干渉散乱)を加えた。ほぼ満足ゆく結果を得たが, 最近には拡散運動のみより正確な取り扱いを回せしている。又冷中性子弾性散乱実験の面からも研究することに予定している。冷中性子エネルギースペクトルの計算も始まる。

4月に入って新人を迎え, 更に新テーマを加え(例えば, 中性子推高の計算機シミュレーション等)活動を始めつつある。なお研究室にとって今年度の大きな出来事として, 西原教授の工学部長就任, 小林助教授のドイツへの外国出張, そして深尾助手のUCLAへの外国出張がある。

(森島信弘記)

10. 京大原子炉実験所 原子炉部門

1. 概要

現在、柴田俊一教授以下教官21名、技官16名その他の大所帯でKUR及びKUCAの2つの原子炉とLINACを切りまわしながら、原子炉物理、原子炉工学、放射線効果などの研究を進めている。さらに部門員の大半は、高中中性子束炉の建設準備に取り組んでいる。

現在、柴田教授はIAEAのザルツブルグ会議出席中であり、宇津呂助教授と中込助手がそれぞれフランス Grenoble の高中中性子束炉及びアメリカレンスラー工大に滞在中である。これに先立ち、小林(捷)助手が同じレンスラー工大に1年間留学した。なお、昨秋、筆者がIAEA中性子標準場の会議に出席し、その速報を本誌番号に掲載した。

現在進められている炉物理関係の仕事は大別すると次のようになる：

- (1) 臨界実験と解析、とくに高中中性子束炉の核特性、動特性、遮蔽など (KUCA)
- (2) 中性子断面積の測定、高速から冷中性子まで (KUR, LINAC 々の他)
- (3) 中性子スペクトルの測定と解析 (KUR, LINACなど KUCAでは加速器建設中)
- (4) 中性子測定法の研究、原子炉計算機制御、破損燃料検出器、原子線と線測定法など
- (5) 医療用中性子場の開発、中性子とガン細胞の関係など (KUR 々の他)
- (6) 中速中性子炉の研究 (KUCA)

2. 発表論文 (昭和51年～現在) (順不同)

- (1) K. Kanda and O. Aizawa : Total Neutron Cross Section of Lead, *NSE*, 60 230 (1976).
- (2) K. Kanda, K. Kobayashi (小林捷) and T. Shibata : Thermal Neutron Standard Field with the KUR Heavy Water Facility, *IAEA* (1976).
- (3) Y. Fujita, K. Kobayashi (小林捷) et al. : Measurement of the Neutron-Proton Total Cross Section Using 24 keV Iron Filtered Neutrons, *Nucl. Phys.*, A 258 (1976).
- (4) I. Kimura, S. A. Hayashi, K. Kobayashi, S. Yamamoto et al. : Calibration of Neutron Detectors for Time-of-Flight Experiments by Making Use of a Borated Graphite Standard Neutron Spectrum Pile, *Nucl. Instr. Meth.*, 137 85 (1976).
- (5) I. Kimura, K. Kobayashi, S. A. Hayashi, S. Yamamoto et al. : Measurement and Evaluation of Threshold Reaction Cross Sections in Standard Neutron Fields, *IAEA*, in print.
- (6) K. Kobayashi, I. Kimura et al. : Fission Spectrum Average Cross Sections of Some Threshold Reactions Measured with Fast Reactor, *YAYOI, J. Nucl. Sci. Technol.*, 13 531 (1976).
- (7) Hiroshi Nishikawa, I. Kimura, K. Kobayashi, S. A. Hayashi, S. Yamamoto et al. : Measurement and Analysis of Neutron Spectrum in a Spherical Pile of Thorium,

J. Nucl. Sci. Technol., in print.

- (8) K. Kabayashi, Fission Spectrum Averaged Cross Section for the $^{232}\text{Th}(n, f)$ Reaction, Ann. of Nucl. Energy, in print.

3. 科学研究費, 他機関共同研究など

(1) 科学的研究費 (他機関のオに協力したもののなど省略)

(一般 A) 柴田, 神田, 林(西), 小林(吉) 他: 中速増殖炉の安全性に関する基礎研究
(中速炉, トリウムサイクル, 安全性(ドックラー)など)

(一般 C) 木村(通), 神田, 林(西), 古林, 山本(隆) 他: 再化リケウム中の中性子スペクトルの測定と解析

(試験 I) 神田, 古林, 代谷 他: 中性子遮蔽織組の開発

(奨励 A) 古林: 再化リケウムのトリウム保持性に関する研究

(2) 原研共同利用

1. 神田 他: 2 分割炉心の解析 (TCA との協力研究)

2. 柴田 他: 高速中性子測定法の研究 (炉計測研との協力研究)

3. 西原(法), 木村(通), 林(西), 小林(隆) 他: 原子炉材料中の中性子スペクトル (核設計研との協力研究)

(3) 東大炉共同利用

代谷: 中性子ストリーミング実験

(4) 武蔵工大炉共同利用

神田, 佐藤, 小野, 古林: 医療中性子場の開発

4. おわりに

少し急いで調査したため大所帯全員の仕事の様子と十分に紹介しきれなかったところがあつた。さらに現在 外国出張中の部門員関係のことは全く紹介不十分になつた。また折があれれば、もう少しの方から本誌への報告なども期待したい。また、学会での口頭発表や、所内報での論文も割愛してしまつた。さらに、炉物理関係以外の仕事についても省略した。

(文責, 木村逸郎)

11. 神戸商船大学 原子動力学科 原子炉工学研究室

原子動力学科は昭和47年新設され、現在固有の4講座を持ち、機関学科(10講座)の協力も受けて運営されている。これら講座は、大部分が船用機関を中心とする機械工学的色彩を持ち、放射線を取扱うのは「放射線管理学」(道嶋教授)を含め2講座のみである。

当研究室は矢野(教授)、中島(助教授)、北村(助手)の外、今年から院生3名、学生10名で構成され、上述の理由でその受持分野は広範囲に及んでいる。教育面は炉物理、遮蔽、計測を、研究面では核融合と中性子工学である。研究テーマはつぎのとおり。

- (1)大電流パルスイオンビーム(陽子、重陽子)の発生法、収束、伝播とその応用、
- (2)中性子の発生、計測、遮蔽およびその応用。

上記(1)は、学科新設費の一部で500keV、260Jのマルクス発電器使用のパルス高電圧電源を製作し、その出力特性を測定した。メッシュ型レフレックス・ストライオードも試作し、イオン電流パルスの出力を改善した。名大プラズマ研の別枠共同研究費や科研費の援助を受け、本番の性能向上や動作機構の解明を行っている。将来は大強度パルスイオンビームによるペレット核融合を目指している。

また(2)は、上記装置が研究(1)と連動中であり、主として設置場所の理由で中性子発生が出来ないため、現在のところは ^{252}Cf などのRI中性子源により、中性子の計測や遮蔽などの実験を行っている。この小型装置のみでは十分な研究と教育が出来ないため、(1)と(2)の研究をさらに強力に進めるべく、目下強力な大電流パルス高電圧電源を主体とする「核エネルギー変換工学実験装置」を特別設備費で要求中である。最近の研究成果はつぎのとおり。

学会発表

- 1)北村晃、中島雅、矢野淑郎、“大電流パルスイオンビームの測定”、日本物理学会秋の分科会予稿集、5a-D-10(1976)。
- 2)矢野淑郎、葉愷東、西原宏、“一次元輸送理論による中性粒子スペクトルの基礎計算”、同上8p-C-1(1976)。
- 3)北村晃、中島雅、矢野淑郎、“大電流パルスイオンビームの測定II”、日本物理学会春の分科会予稿集、5p-R-2(1977)。
- 4)矢野淑郎、葉愷東、西原宏、“一次元輸送理論による中性粒子スペクトルの基礎計算II”、同上7a-Q-2(1977)。
- 5)中島雅、北村晃、矢野淑郎、“Andersson & Braun型Liカウンターの線源距離に対する応答”、昭和52年原力学会年会、B3(1977)。

論文発表

- 1)K. Toi, T. Takeda, N. Suzuki, T. Sugawara, S. Itoh, H. Shirakata, S. Yano, “Behaviour of Tokamak Plasma in the Dynamic Limiter Experiment”, *Nuclear Fusion*, 15, 637(1975)。
- 2)中島雅、北村晃、矢野淑郎、“二領域型中性子源貯蔵容器の放射線遮蔽について”、神戸商船大学紀要-才2類(1977)。
- 3)H. Takeuchi, A. Funahashi, K. Takahashi, H. Shirakata, S. Yano, “A 10-Channel Neutral Particle Energy Analyser for Measurements of Ion Temperatures on Tokamak Plasmas”, *Japanese Journal of Applied Physics*, 16(1), 139(1977)。

(中島雅 記)

12. 日本原子力研究所原子炉工学部高速炉物理研究室

高速炉物理研究室の最近のトピックは、52年度予算として2年計画で核融合炉物理用中性子源(FNS)を建設することが認められたことである。当研究室では昭和48年秋よりPNS-Aを用いて核融合炉のブランケットの炉物理に関する研究を開始し、ハイブリッド系も含め4つのリチウム体系について実験と解析を行って来たが、トリチウム生成に関する研究などのためにはより強力な中性子源が必要であった。さらに、核融合炉における遮蔽の問題は、マグネットや周辺機器も含め重要な課題となって来ている。FNSはPNS-Aの 10^2 倍以上の中性子強度を目指しており、同クラスの加速器の稼働状況、回転ターゲット、トリチウムの安全対策などの調査のため、前川洋氏が3月末に出発し、3週間ばかり米国およびカナダに出張した。FNSの敷地はFCAの北側でTCAの東側の地点が選定され、加速器の仕様や建屋の検討に忙しい毎日である。FNSの建設のためこの4月に新卒1名の配属があったが、当研究室としては本当に久しぶりのことであった。FCAでは「もんじゅ」のための模擬実験を続けている。ナトリウムタンクを格子管集合体の上部に設置し、「もんじゅ」の燃料貯蔵ラックに貯蔵された燃料集合体の発熱に関するデータを得ることを中心とした周辺部模擬実験をⅣ-1集合体により行った。ついで、燃焼炉心の特性を研究することを主目的としたゾーン系のⅣ-2集合体を1月に組み、この集合体の試験領域に15種類の天然核種よりなる模擬FP板を装荷し、臨界性、サンパルおよびナトリウムボイド反応度に対するFP効果の測定を行った。さらに、B4C板を装荷して同様の測定を行っている。これら燃料ラック実験やFP効果実験はいずれも特長のある実験であり、貴重なデータを得ることができた。しかし、FCAの建設以来種々の実験で中心的役割を果たして来た飯島勉氏が4月1日付でJT-60の建設の方へ移ったことは淋しい限りである。また、PPに関してFCAは原研での唯一のオ/級警備区域であり、フェンスの工事が開始され、3月末にはカードシステムが導入されるなど、出入管理が厳重となって来ている。

当研究室の51年度における主な研究論文は以下のようである。

- 1) N. Mizoo, M. Nakano, T. Mukaiyama; Reactivity Measurement on Far-Subcritical Fast System, NEACRF Specialist Meeting, April 21 & 22, 1976
- 2) Y. Seki, H. Maekawa; Preliminary Analysis of Absolute Fission-Rate Measurement in Lithium and Hybrid Fusion Blanket Assemblies, J. Nucl. Sci. Technol., 13, 272 (1976)
- 3) K. Shirakata, T. Iijima, K. Yamagishi; A Study of Anisotropic Diffusion Effect in Flate Lattice Assembly, NEACRF-A-260
- 4) H. Mitani; Convergence and Error Estimate of Perturbation Method in Reactor Calculation, J. Nucl. Sci. Technol., 13, 413 (1976)
- 5) H. Mitani; Estimation of Multiple Control Rod Worth with Strong Interaction Effect in Large Fast Reactor, *ibid.*, 13, 517 (1976)
- 6) K. Koyama et al.; ANISN-JR: A One-Dimensional Discrete Ordinate Code for Neutron and Gamma-Ray Transport Calculation, JAERI-M 6954
- 7) H. Maekawa, Y. Seki; Absolute Fission-Rate Distributions in Lithium and Hybrid Fusion Blanket Assemblies, (I) Experimental Method and Results, J. Nucl. Sci. Technol., 14, 97 (1977)
- 8) Y. Seki, H. Maekawa; Absolute Fission-Rate Distributions in Lithium and Hybrid Fusion Blanket Assemblies, (II) Analysis and Evaluation, *ibid.*, 14, 210 (1977)

(弘田 実 弥)

13. 日本原子力研究所・原子炉工学部・原子炉数値解析研究室

本研究室は、昭和51年度も有限要素法、モンテカルロ法の応用開発研究、及び科学計算用基本サブルーチンのアルゴリズム研究が中心となった。有限要素法に関しては、3角柱と4角柱の集合体として炉心を扱う3次元多群拡散コード FEM-BABEL が、巨大マトリックスを緩和法で扱うことにより完成し、これの入力の簡便化のため、大型PWR炉心用の汎用性の高い自動メッシュ分割オンラインプログラム LOOM-P が開発され、JAERI-M レポートにまとめられた。また Sandia で開発された自動メッシュ分割プログラム QMESH が整備され、これにチェック用のプロッタールーチンも付加された (JAERI-M 7078)。一方、2次元 (r-z) S_N 方程式を有限要素法で解く FEMRZ コードの性能評価が完了し、その成果をまとめて J. Nucl. Sci. Technol. に投稿した。

モンテカルロ法に関しては、粒子飛行方向バイヤス法の改良が行われ、粒子源の系統的抽出法と共に MORSE コードに導入され、評価がなされた。この成果は J. Nucl. Sci. Technol. に投稿している。また相関標本抽出法による原子炉反応度擾動計算、及びトラス・プラスマ中の入射中性粒子輸送解析 (JAERI-M 6777) が完了し、それぞれ成果のまとめが進められている。

科学計算用基本サブルーチンのアルゴリズムに関しては、オイラー・フレッドホルム型積分方程式をスプライン関数近似を用いて最小自乗法で解くルーチンを整備し、数値解の振動を抑えるための手法の評価も行った。また連立1次方程式については、対称係数行列に対する共役傾斜法のルーチン、粗行列に対する LU 分解法のルーチンの整備、テストがなされた。その他、最適ルンゲクッタ法による常微分方程式解法ルーチン、Madsen アルゴリズムによる代数方程式の解法ルーチン、連分数あるいは自然スプライン関数による内挿ルーチン、単体法による線型計画法ルーチンなども整備されテストが進められた。また2次元データの標準的グラフ化プログラム STDPL の開発が完了し、その成果がまとめられた (JAERI-M 7100)。なお、現在原研に登録されている基本サブルーチン全部のマニュアルが、JAERI-M レポートとして編集された。

これらの他に、原船団、船研との3者共同研究で実施された原子力船「むつ」の遮蔽モックアップ実験の解析を担当して行った [原船団、原研、船研の実験報告書 (1976), 及び 5th Int. Conf. Reactor Shielding の2論文 (1977)]。また、この解析に付随して遮蔽群定数作成コードの整備 (JAERI-M 6935)、 S_N コードの改造 (JAERI-M 6954) なども実行された。

その他、高特性コードの数値解法とベンチマークテストの現状評価がなされると共に (JAERI-M 6853)、時間依存中性子輸送方程式に媒質原子の反跳の影響を平均力場として取り込む研究も進展した (J. Phys. Soc. Japan, 41, 2020)。更に、高エネルギー入射電子のチャンネルリングによる結晶格子欠陥生成への効果の解析が実行されると共に (JAERI-M 6867)、放射線照射損傷シミュレーションコードとして、2体衝突カスケード法の MARLOWE コード、初期回復過程を扱う DAIQUIRI コードが整備され、これらと CASCADE/CLUSTER コードとの結合もなされた。
(朝岡卓見)

14. 富士電機製造(株) 原子力)技術部

当社の炉物理関係の仕事は、その殆んどを、原研あるいは動燃のプロジェクトに参加するという形で進めている。最近の活動状況について、下記にまとめられた。

1. 炉心核熱設計関係 (1) 原研多目的高温ガス実験炉の炉心概念設計。この作業のために、二、三年前より、セル燃焼計算コード WIMS-FE4 の整備・開発を行ってきた。これは、従来の WIMS-D (英国で開発) に、臨界実験解析および炉心計算の両方に使用できるように、いくつかのオプションを追加したものである。その適用性の検討も進行中である。(2) ライブラリ・データ整備。実験データの解析を通じて、明らかな矛盾が生じない限り、現在の WIMS ライブラリを使用する。一方では、原研データ・ファイル JENDL-1 の作成に、Mn あるいは FP データの調査・評価などを通じて協力してきたので、今後は、この利用も考えておきたい。
2. 遮蔽、放射能関係 (1) FBR 燃料取扱系の遮蔽設計。Sn 法を主体にした計算手法と、複雑な体系のモデル化のためのマニュアルからなる評価システムを準備して、多種・広範にわたる設計体系をカバーする体制をとっている。最近、このシステムの第 1 回目の改訂を計画中である。(2) 線源評価、放射能移行など。ORNL の ORIGEN コードとそのライブラリ・データを用いてきた。高温ガス炉に関連して、炉心および冷却材(系)内での放射能の振舞いを取扱うプログラムも、上記と関連して、開発中である。

(文責 中村 久)

「炉物理連絡会 第19回総会」報告

日時：昭和52年4月8日

場所：近畿大学（原子力学会年会会場）

約30名の会員の出席を得て、本連絡会第19回総会がおこなわれた。議題の項目および内容の要旨は次の通りである。

(1) 幹事選出の件（九大・大田氏）

1月25日に締切られた幹事選挙の結果、本年度の幹事は次の方々にお願いすることになったことが報告された：大田正男（九大）、住田健二（阪大）、高橋亮人（阪大）、平川直弘（東北大）、仁科浩二郎（名大）、若林宏明（東大炉）の各氏。なお、小林啓祐氏（京大）は、当選されたが3月末より海外出張のため辞退された。有効投票総数は30票であった。

(2) 「夏の学校」開催について

まず先般おこなわれたアンケートの結果が報告され、それをもとに議論された。

テーマ	核燃料サイクル	6票	安全性	3
	核データの測定・計算・評価	6	数学（微分方程式の数値解法等）	2
	CAを用いた炉物理実験	5	臨界管理・臨界安全性	1
	核融合炉の設計	3	遮蔽設計	1
	動力炉各論	3	炉物理の基礎	1

上位3テーマのうち、「核燃料サイクル」は夏の学校で最近とりあげられたことがないので、これを含めて2テーマを強んで実施することになった。

方式 多数の講師による講演はシンポジウム化して夏の学校らしくないので、テーマと講師を絞ってじっくりと話を聞くのがよい、という意見がアンケートの多数を占めた。今年の場合、会場の都合もあって時間がやや制約されるので、この線で計画を立てることになった。

期日 アンケートでは、7月下旬（8票）、8月上旬（14票）という分布を示した。8月の希望が多いのは、企業等の場合、8月に入ってからの方が休暇をとり易いという事情があるためである。京大炉でのCA大学院実験（今年は7月11～16日および7月18～23日）との関連については、昨年度は旅行の便宜を考えて連結して行なうたが、そのメリットが生かされた例はなかったと報告された。結局、8月1～3日の案で考えることになった。

場所 かねてより提案のあった「関西地区大学セミナーハウス」（六甲）を利用することになった。但し、会場の都合で例年より1泊少なく2泊3日になった。遠方からの参加者のために前夜（7/31）からの宿泊もできるように、との希望が出された（後日、会場に内いあわせたところこれは可能であることが判明した）。

(3) 会誌 No. 23 発行の件

炉中核工学研究専門委員会の第5回会合（'76年12月）での「核融合中性子実験」についてこの発表要旨は、すでに当番校に原稿が集まっているので、さらに第6回（'77年2月）および第7回（3月）会合での発表要旨もあわせて掲載することになった。この要旨は、委員会所定の様式に従って記載することになっている旨の注釈が、神田啓治氏よりあった。ついで、「海外校より」、「研究室校より」への投稿の依頼があった。

(4) 企画委員会報告（松浦祥次郎氏）

まず年会や分科会の際にもたれるインフォーマル・ミーティングの数が最近特に増加する傾向があるので整理する必要があることが指摘された。それに伴ない、インフォーマル・ミーティングの性格を再確認することも必要、とされた。ついで、今秋の分科会での指定テーマの選択について提案が求められ、席上、担当者の西原英晃氏（京大）から今度は炉工学に重心をおいたものと考えてはどうか、との提言があった。このほか、これまで候補に上ったもののうちやり残したものをとり上げては、という意見もあった。この問題については、今後さらに関係者間で検討を進めることになった。最後に、企画委員が次期より藤田薫巖氏（京大炉）にバトンタッチされることが報告された。

(5) 編集委員会報告（仁科浩二郎氏）

学会誌の特集として2月号に「高速パルス炉の開発と利用の現況」が掲載されたが、今後、「天然原子炉」（黒田氏）、「反応度測定」（昨秋の指定テーマ）の掲載が予定されているほか、「多目的高温ガス炉」、「放射化分析」なども計画されている。また、欧文誌への論文投稿状況について、例えば今年の1～3月の場合、全投稿論文33編のうち20編が第2（炉物理）部門関係のものであり、審査にやや滞りがちであるとの報告があった。

(6) 炉中核工学研究専門委員会（住田健二氏、神田啓治氏）

昨年は5回委員会を開催した。最近は、'76年12月16日に「核融合中性子実験」、'77年2月7日に「臨界集合体」、同3月1日に「強中性子源」を主題として会合をもったことが報告された。

(7) 京大炉CA大学院実験（神田啓治氏）

今年度は7/11～16 および7/18-23の2週間にわたって実施の予定である。第1週には北大、東北大、阪大、東海大、第2週は東工大、名大、阪大、九大が参加する計画であると報告された。

原子力学会主催，大学原子力教官協議会協賛
第9回「炉物理夏の学校」のご案内

今年度の「炉物理夏の学校」を、神戸・六甲の北、「関西セミナーハウス」において開校いたします。多数の会員が参加され、勉強と討論を共にし、相互の親睦を深められることを期待いたします。

時：8月1日(月)～8月3日(水)

所：関西地区大学セミナーハウス

神戸市北区道場町生野字ロクゴ

(Tel. 07956-4-4391)

＝ フォーラム ＝

(第1日) 8月1日(月) 正午まで集合 (敬称略)

開校挨拶 (九大) 大田正男

I-1. 炉物理屋のための核燃料サイクル

(東大) 清瀬量平

I-2. U-Puサイクルの現状と問題点

(動燃) 大竹 巖

(第2日) 8月2日(火)

I-3. Thサイクルの可能性 (東大) 古橋 晃

I-4. 討論会

II-1. 核データ研究における理論計算の役割

(原研) 五十嵐信一

II-2. 核データの評価 (九大) 神田幸則

II-3. JENDL-1の作成 (原研) 五十嵐信一

(第3日) 8月3日(水)

II-4. 核データ (利用者の立場から)

(動燃) 瑞慶覧篤

○参加費

(1) 受講料 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(1泊3食付) 3500円

(会期前日の7月31日より宿泊可能)

(4) 懇親会(8月1日夜) 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400円)を添えて下記宛に申し込んでください。(一括申込用紙および詳細は各研究機関宛送付いたします)

○申込締切 7月2日(土) 定員約40名で締切。なお、参加取消の場合、前金は締切前なら返却、それ以後は返却できません。但しテキストは配布します。

○問合せ・申込先

(〒812) 福岡市東区粕崎 6-10-1

九州大学工学部応用原子核工学教室

大沢孝明 Tel. (092) 641-1101

内線 3732

新入会員紹介 (1977年1~4月)

井頭政之 (東京工業大学 原子炉工学研究所) 古林 徹 (京都大学 原子炉実験所)

岸田邦治 (大阪大学 工学部 原子工学科) 代谷誠治 (京都大学 原子炉実験所)

編集後記

「炉物理の研究」第23号をお届けします。本号は「炉中性子工学」研究専門委員会の第5回~第7回会合での講演要旨をまとめて収録しましたので、50ページと普通より部厚い号が出来上りました。内容も、核融合炉中性子実験、臨界集合体を用いた炉物理実験、14 MeV強加中性子源、と多岐にわたり、それだけに読みごたえもあるものと思います。ご多忙にもかかわらず原稿の依頼にこたえてくださり、ごまっさご枚数制限の無理な注文に応じて原稿をまとめていただいた寄稿者の方々にふかく感謝いたします。

研究室よりは、会員名簿を頼りに約40の研究室に原稿を依頼しましたが、不注意のため依頼が届かなかったところがあるのではないかと心配しております。そのような例にお気づきでしたらお知らせ願いたく思います。

恒例の「炉物理夏の学校」は、今年は「核燃料サイクル」と「核ターボ」の2テーマのもとに行ないます。「核燃料サイクル」がテーマにとり上げられたことは最近ではないことなので、炉物理屋にとっては良い勉強の機会になるものと思います。「核ターボ」の方は昨年のテーマにもあがっていましたが、今回は国産核データライブラリ JENDL-1 に引っかけて、評価・計算・利用という面からとり上げてみました。現在、幹事校一同、張り切って準備を進めているところです。

昨年秋に東工大・東海大から幹事校を引き受けていらい、これが九大が担当して発行する第1冊目の会報です。不慣れなことが多く、ゆきとどかぬ面も多いと思いますが、この会報や炉物理連絡会の運営について、お気づきの点や積極的な提言などをお知らせいただければありがたく思います。

(大澤孝明)

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。