

「中性子科学研究計画」ワークショップ

東北大学工学部

馬場 護

e-mail:baba@rpl.nucle.tohoku.ac.jp

1.はじめに

表題のワークショップが本年3月12、13の両日、原研東海研で開催された。このワークショップは昨年2月7、8日に同じく東海研で開催された「大強度陽子加速器の利用に関するワークショップ」(JAERI-Conf 95-017)に引き続くもので、原研で計画されている1.5 GeV x 10 mA (第1期1mA)の大型陽子加速器を用いた研究と加速器仕様などについて検討することを目的としたものである。ワークショップのプログラムを添付する。計画の概要、加速器の開発状況に引き続き、各分野からの研究計画、加速器への要望などが発表された。

この陽子加速器施設は従来「陽子工学センター」と呼ばれていたが、最近の基礎研究重視指向に沿って同施設での研究も基礎研究志向にシフトしたこと、及び中性子科学を研究の柱として明確化することのために「中性子科学研究計画」と改められたものである。これに伴い研究の重心は消滅処理などの応用分野から基礎物理に移り、核データ関連設備の名称も「核データ測定センター」から「中性子核物理研究施設」へ変更されている。また、この計画との関連が問題となっていたJHP(Japan Hadron Project)は、より高いエネルギーを目指して別途進められることになったとのことである。

ワークショップの報文集が刊行されることになっているので、本報では核データに関連の深い「中性子核物理」セッションでの話題を中心に述べ、他については印象などを述べるにとどめたい。なお、研究計画や加速器仕様はまだ十分煮詰まったものではないので、本報の内容もワークショップ時点でのtentativeなものとして理解いただきたい。また、筆者の誤解による誤りもあると思われるのでご指摘いただければ幸いである。

2.中性子核物理関連の話題

中性子核物理のセッションでは、(原研)菊池康之、千葉敏氏から研究計画、それに必要な実験設備とパルス仕様について提案があり、続いて(京大炉)中込良廣氏から核分裂、

(九大)石橋健二氏から陽子、中間子入射反応について研究の現状と今後の方向が述べられた。陽子、中間子入射反応は中性子核反応と密接な関係にあり、中性子データの観点からも不可欠であることから、この範疇に入れることになっているものである。

2.1 研究計画の概要と加速器仕様

最初に菊池氏、千葉氏による研究計画の概要と加速器のビーム条件の検討について述べる。菊池氏は研究課題を次のように整理した。

1) 中高エネルギー中性子実験

a) 核反応機構、b) 核分裂現象、c) 核構造、d) 放射化、e) 標準断面積、

2) 低エネルギー中性子実験

a) 核力の基本対象性、b) 核分裂、c) 複合核過程、d) 天体核物理、e) 微量同位体・放射性核種断面積、

3) 陽子・パイ中間子入射実験

a) 数 100 MeV - 1.5 GeV 陽子の核反応 (断面積、二次粒子エネルギー・角度分布 (DDX)、フラグメンテーション、放射化など)

b) 同領域でのパイ中間子の核反応 (同上)。

これらの研究を実施するための施設として図 1 が提案され、パルス条件が検討された。この案は基本的に 1), 3) の実験を実施するためのもので、2) の実験は中性子散乱の実験設備を利用して行うことを前提としている。これは、核破砕反応による連続中性子を用いる場合、1) の実験では短パルス (<1ns) で高い繰返し率 (0.5MHz 程度) のビームが必要なものに対して、2) の実験 (特にテーマ e) では幅はマイクロ秒以上で良いが大強度が必要であり、両者を 1 施設で両立させるのは困難との判断に基づく。短パルスのみとするとビームの平均電流が低下し、遮蔽が大幅に楽になるメリットがあり、LAMPF でも同様な考え方がとられている。中性子散乱への"相乗り"に関して同グループとの議論があり、基本的に了解が得られたものとする。

従って、図中右半分の中性子実験設備は、中高エネルギー中性子を対象としたもので、500m までの飛行管と各種微分実験のための専用ステーションとともに RI 製造や遮蔽用積分実験のステーションが計画されている。

短パルスビームはマイクロパルス (200 ps 幅) の間引きによって得るとすると、加速器のビーム電流は第 1 期で 10 μ A (200ps x 0.5MHz)、第 2 期で 100 μ A (同) となる。図 2 に、W ターゲットを用いた場合の中性子収量を、現在世界最高の LAMPF/WNR (800MeV x 2 μ A) の場合と比較する。この条件でも WNR に比してエネルギー範囲が広い上に競合する領域でも数段上の強度が得られることが分かる。ビームパルスの時間構造を図 3 に示す。

陽子、中間子実験には一次陽子ビーム中に散乱体を置き、二次ビームを運動量分析して用いることが想定されている。荷電粒子測定用各種装置と中性子の TOF 測定用のビームスウィンガーが考えられている。なお、この場合偏極ビームを得る手段を検討する必要がある（研究内容については下で触れる）。

中性子実験の中でも、核種生成や放射化などの連続スペクトル中性子源では測定不可能なものについて、 ${}^7\text{Li}(p,n)$ の準単色中性子源を用いることが検討されている。陽子エネルギーを可変にする方法として、1)整形リング、2)デグレダ、3)二次陽子の利用が考えられるが、1)は建設費用が高いので除外するとして、2), 3)それぞれ長短があり、さらに議論をつめる必要がある。(加速器の1次ビームエネルギーを変えるのは他の実験との兼ね合いからも非現実的であろう。)

2.2 核分裂の研究

中込氏は中性子核分裂研究について京大炉における実験を交えてレビューし、核分裂断面積、核分裂片の質量、運動エネルギー、即発中性子数とそのスペクトルなど核分裂エネルギーの利用と機構解明に重要な事項について実験とモデルの進展をまとめた。液滴模型、二重障壁模型から最近の multi-mode fission 模型への進展によって多くの実験事実の説明が可能となってきた(図4)、まだ現象の全体像を解明できるに至っていない。

核分裂現象の理解を進めるには、核分裂片の質量、運動エネルギー、及び核分裂中性子のエネルギー分布のデータが基本的な物理量であるとし、最近 LAMPF/WNR で行われた ${}^{238}\text{U}$ についての 450MeV までの核分裂片質量と中性子の相関測定の例を挙げた。図5にその1部を示す。このデータは38ケの半導体検出器で両核分裂片を、6ケの中性子検出器で中性子スペクトルを相関測定して得たもので、複合核の励起エネルギーが中性子エネルギーとともに上昇し、質量分布が変化する様子が見事にとらえられている。200 MeV 以上での対称核分裂は集団運動的な様相を示している。

今後の課題は、1)低励起領域、2)中間励起(共鳴)領域、3)高励起状態に分類でき、それぞれ核分裂障壁と複合核のスピン依存性、核分裂モードとスピンの相関、核分裂機構の集団運動化への遷移及び重イオンによる Fusion-Fission との対応など、を通して核分裂機構の解明に重要である。また、最近の計算機技術の進展を生かして多次元データの獲得が重要なことが指摘された。(そのためにも大強度中性子ビームは極めて重要であろう)。

2.3 陽子、中間子を用いる実験

石橋氏は 300 MeV-1.5 GeV 領域における陽子、中間子入射核反応の特徴と研究の現状、将来の方向性を議論した。1.5GeV の陽子ビームとともに内部標的による二次ビー

ムを用いることによりそれ以下の種々のエネルギーで実験が可能になる。それらを用いて、弾性・非弾性散乱、全反応断面積、二次粒子 DDX などの測定を行うことにより、1)核子・核子衝突における媒質効果、非弾性衝突（デルタ、 N^* 生成）、2)励起関数、フラグメンテーション、3)パイ中間子反応、4)光学ポテンシャル、などについて新しいデータが得られる。これらは核子・核子衝突と核反応機構の理解を深め、カスケード計算やQMD(量子論的分子動力学)のモデル検証を可能とする。また、図6に示すように現在非常に不十分なフラグメンテーションデータについても、カウンター法による運動量測定を含めて新しい情報が得られる。さらに陽子入射反応についての全反応断面積が得られれば、光学ポテンシャルの荷電対称項を精密に決定する事ができ、陽子、中性子両者を含めたグローバル光学ポテンシャルを求めることができる。

なお、実験に使用される二次ビームは、正電荷では陽子、パイ+の主成分にミュー+、 e^+ が混じったもの、負電荷ではパイ-の主成分にミュー-と e^- が少し混じったもので、収量の少ない d+などの場合でも全反応断面積の測定は可能とのことである。これらの情報を有効に引き出すためには、なるべく多くの二次粒子について、エネルギー、角度、及び粒子間相関をふくむいわゆる"exclusive"な実験が必要である。そのための実験装置として図7の装置が提案された。この装置では、中央部の CDC(円筒型ドリフトチェンバー)におかれたターゲットで生成する荷電粒子、中間子、中性子を大きなアクセプタンスで計測し、散乱断面積、カスケード反応、粒子生成 DDX などの相関データを得ることができる。

3.全体の印象

今回のワークショップは昨年を引き続くものであるため、基本コンセプトに変更があったとはいえ各分野とも内容がより具体的になったとの印象を受けた。

この点で印象に残るとともに気になったのは、消滅処理研究のビーム要求が第1期で従来の1 mA から100 μ A に変更されたことである。これは消滅処理のベンチマーク実験体系について放射能や放射化の具体的な評価が進んだためと推察されるが、加速器ビーム強度の基礎となっていた消滅処理分野のスケールダウンは大きな論議を呼んだ。この変更は原研内部でまだコンセンサスのないものだったらしく、とりわけ原研内からストレートな発言が相次いだ。1 mA か100 μ A かは加速器開発や他の多くに多大な影響を及ぼす問題ではあるが、純工学的立場で合理的な解を出すしかないと思うので、原研内部での意志疎通を図り方針を明確化して欲しいと思う。

中性子核物理に関しても内容の具体化が進んできたが、研究内容や施設仕様に関してツメなければならない点が多くあると思われる。この装置はまさに世界トップを行くものとなり、研究に多くの新しい切り口を提供するものと期待される。この魅力的な研

究施設をフルに生かすために研究上のアイデアとともに実験手法に関して具体化を急ぐ必要があるのではないだろうか。

ビーム量の議論を除けば、昨年のような激論があまり見られなかったのは、最初に述べた理由で JHP 関係者が少なかったためであろうか。それでも、最後の全体討論では、中性子源と、研究のオリジナリティの重要性などについて熱っぽい討論があった。中性子散乱は今や先端科学・技術に不可欠であり、今後、原子炉中性子源が次第に姿を消すことを考えると、加速器中性子源の成否は科学・技術の将来に関わる問題であるとの渡辺昇氏の基調報告での指摘は印象的であった。このことは、中性子核物理に関してもそのまま当てはまるのではないだろうか。

この報告をまとめるにあたり菊池康之、千葉敏、中込良広、石橋健二、高田弘の各氏から資料とコメントをいただきましたことに感謝します。

「中性子科学研究計画」に関するワークショップ プログラム

日 時 : 平成8年 3月12日(火)～13日(水)

場 所 : 日本原子力研究所 東海研究所 大講堂

3月12日(火)

- | | | | |
|---------------|---|----|--|
| 10:00 - 10:10 | 開会の挨拶 | | 齋藤伸三(原研) |
| 10:10 - 12:00 | 特別講演
中性子科学研究計画の概要(30分)
大強度陽子加速器開発の現状(40分)
50 GeV陽子加速器計画の概要(40分) | 座長 | 渡辺 昇(原研)
鈴木康夫(原研)
水本元治(原研)
森 義治(核研) |
| 12:00 - 13:10 | 昼食 | | |
| 13:10 - 14:30 | 中性子散乱・回折
1. LPSNS(長パルス)/SPSNS(短パルス)の検討とその利用
2. SSSNS(定常)の検討とその利用
3. 中性子研究連絡会将来計画委員会より報告・要望
4. ユーザーからの研究提案 | 座長 | 森井幸生(原研)
新村信雄(原研)
相澤一也(原研)
山田安定(早大)
藤井保彦(東大) |
| 14:30 - 15:10 | ターゲット
1. ターゲットの核発熱とバルク遮蔽の検討
2. ターゲット冷却限界の検討 | 座長 | 数土幸夫(原研)
高田 弘(原研)
日野竜太郎(原研) |
| 15:10 - 15:30 | コーヒーブレイク | | |
| 15:30 - 16:10 | 材料照射
1. 材料照射施設の概要
2. パルス中性子照射を用いた材料研究 | 座長 | 勝田博司(原研)
野田健治(原研)
田辺哲朗(名大) |
| 16:10 - 17:10 | スポレーションRI
1. 2次ビーム用イオン源の開発と研究施設
2. 不安定核ビームを用いた核分光
3. 中性子過剰核や不安定核の関与する重イオン反応
(最近のトピックス) | 座長 | 大島真澄(原研)
市川進一(原研)
郷農靖之(九大)
岩本 昭(原研) |
| 18:00 - 19:30 | 懇親会(阿漕ヶ浦クラブ) | | |

3月13日(水)

- 9:10 - 10:30 ミュオン・中間子 座長 棚瀬正和(原研)
1. JHP-M アレナ計画と国際会議「 μ SR96(日光)」 永嶺謙忠(東大/理研)
2. 超低速正ミュオンビームの発生と利用;現状と将来展望 三宅康博(東大)
3. 理研RALミュオン施設におけるミュオン触媒核融合実験 松崎禎市郎(理研)
4. μ SR物性の最近の話題 渡辺功雄(理研)
- 10:30 - 10:45 コーヒーブレイク
- 10:45 - 12:05 中性子核物理 座長 馬場 護(東北大)
1. 中性子核物理研究施設の概要 菊池康之(原研)
2. 中性子核物理研究施設におけるパルス条件 千葉 敏(原研)
3. 中性子を用いる核分裂研究の現状と展望 中込良廣(京大)
4. 陽子および π 中間子を用いる実験 石橋健二(九大)
- 12:05 - 13:10 昼食
- 13:10 - 14:10 消滅処理 座長 向山武彦(原研)
1. 消滅処理の研究課題と研究施設 滝塚貴和(原研)
2. 消滅処理用核破砕ターゲット実験の検討 佐々敏信(原研)
3. 加速器利用TRU消滅処理に関する炉物理研究開発 安田秀志(原研)
- 14:10 - 14:30 コーヒーブレイク
- 14:30 - 15:50 全体討論 座長 鈴木康夫(原研)
基調講演 中性子源は如何にあるべきか 渡辺 昇(原研)
- 15:50 - 16:00 閉会の挨拶 鈴木康夫(原研)

- 一般講演は全て20分
- 講演時間は質疑応答含む

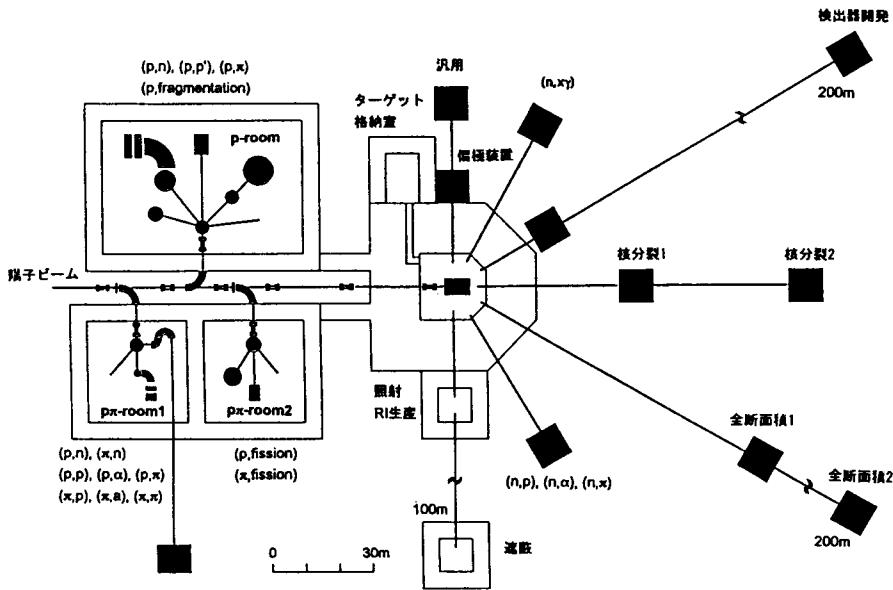


図1 中性子核物理研究施設の概念図

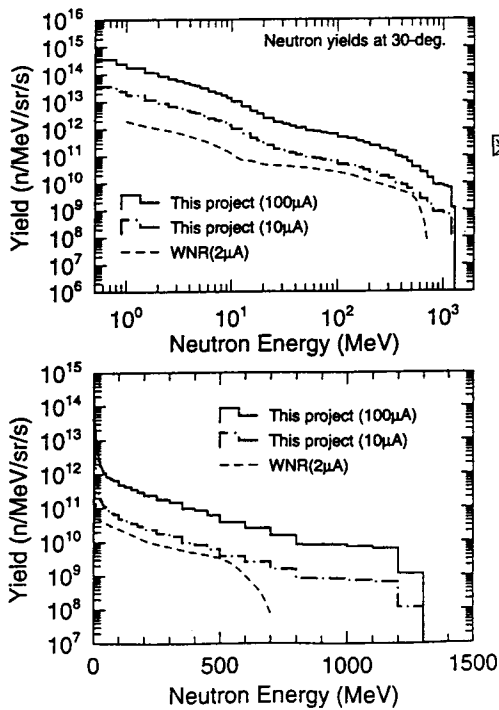


図2 高エネルギー中性子発生ターゲットから得られる中性子強度

Macro structure



図3 ビームパルスの時間構造

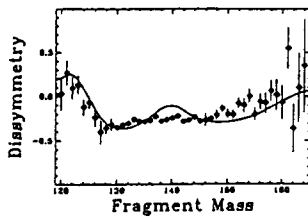
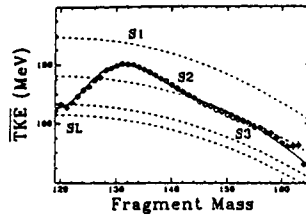
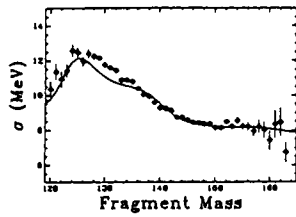
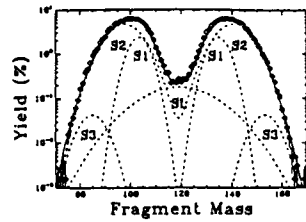


図4 Multi-mode fission モデルによる ²³⁷Np核分裂の解析 (En=5.5 MeV)

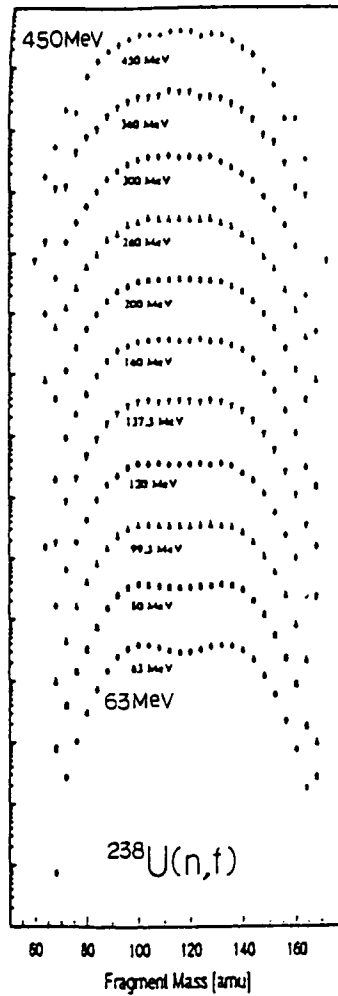


図5 En=63 MeV-450 MeV における ²³⁸Uの核分裂片質量分布

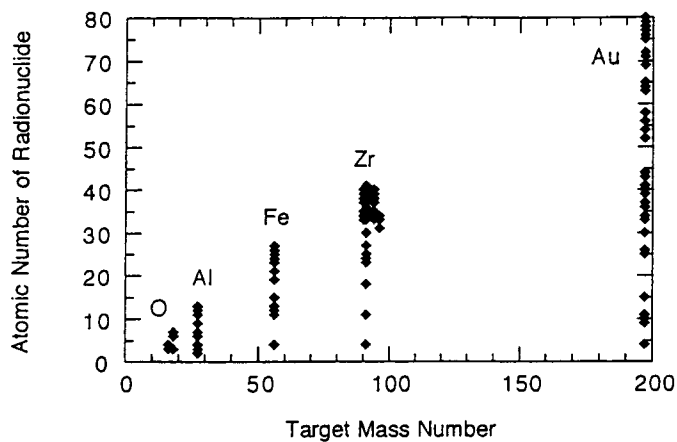


図6 陽子エネルギー1-2 GeVにおける放射性核種生成断面積データの現状

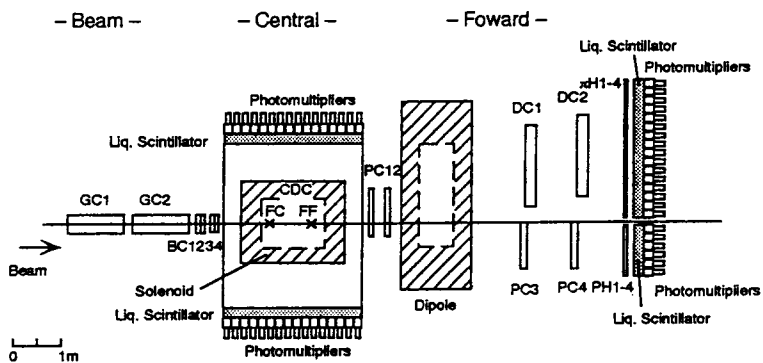


図7 中間エネルギー中性子荷電粒子検出器システムの例