

会議のトピックス(VII)

## 「第5回 ANNRI 研究会」 会議報告

共催： 日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター  
J-PARC センター (JAEA&KEK)、東京工業大学 先導原子力研究所  
首都大学東京

日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター  
中村 詔司 [nakamura.shoji@jaea.go.jp](mailto:nakamura.shoji@jaea.go.jp)  
藤 暢輔 [toh.yosuke@jaea.go.jp](mailto:toh.yosuke@jaea.go.jp)  
木村 敦 [kimura.atsushi04@jaea.go.jp](mailto:kimura.atsushi04@jaea.go.jp)

東京工業大学 先導原子力研究所  
片渕 竜也 [katabuchi.t.aa@m.titech.ac.jp](mailto:katabuchi.t.aa@m.titech.ac.jp)

### 1. はじめに

J-PARC 物質・生命科学実験施設 (MLF) に設置された中性子核反応測定装置 (ANNRI) による分野横断的な研究がプロジェクト課題「パルス中性子による中性子核反応研究」として進んでおり、一般課題として多数の新しい研究も始まっている。

ANNRI により切り拓かれつつある研究を中心に、関連する分野の最前線の研究成果について講演頂き、専門分野を超えて議論すると共に今後の利用を推進する上での課題や必要な取組について討議する事を目的として、「第5回 ANNRI 研究会」が2016年8月4日(木) 10:20~17:30の日程で、東京工業大学 先導原子力研究所 大岡山北2号館6階会議室にて、日本原子力研究開発機構 (JAEA) 原子力基礎工学研究センター、J-PARC センター (JAEA & KEK)、東京工業大学 先導原子力研究所、及び首都大学東京との共同主催で開催された。また、今回は ANNRI 建設にご尽力頂いた井頭政之教授の特別講演も企画した。

本研究会では、ANNRI を用いた研究開発の現状と検討課題等の情報交換・共有、及び分野横断的なプロジェクト課題「パルス中性子による中性子核反応研究」を推進するために、大きく3つのカテゴリ、即ち核データ研究、非破壊分析、宇宙核物理研究に分けて、それぞれの分野の研究について報告を行い、最後に全体討論を設けて、研究を推進してい

く上での課題と今後必要な取組について議論した。

当日、夏真っ盛りの猛暑日にもかかわらず、異なる研究分野で活躍する多くの研究者、総数 34 名（内訳：JAEA/J-PARC：14 名、大学：14 名、外部機関：6 名）ものご参加を頂いた。参加者の情報を、巻末表 1 に纏めてある。複数の研究分野に関わる場合は、主な分野欄に記載した。また、参加者の集合写真を写真 1 に添えてある。本研究会のプログラムを表 2 として載せてある。以下、本研究会における各セッションの概要を報告する。



写真 1 第 5 回 ANNRI 研究会の参加者集合写真  
(午前のセッション終了時、北谷氏撮影)

## 2. 研究会の概要

### (1) 井頭政之教授 記念講演

東京工業大学（以下、東工大）先導原子力研究所 井頭政之教授（写真 2）より、特別講演を行って頂いた。井頭先生は、ANNRI の計画段階から常にプロジェクトの中心的役割を担ってこられ、今日の ANNRI の礎を築いてこられた。講演の内容は、ANNRI に関するもののほか、東工大に助手として採用されてから取り組まれたペレット加速器を用いた中性子施設の立ち上げ、それを用いた先生の仁科賞受賞に繋がる実験まで、様々なエピソードや井頭研究室での教育方針など非常に興味深い内容をちりばめて語られた。特に基礎研究への姿勢や外部資金を申請する際の心構えに関することは、多くの聴講者にとって参考になる貴重な講演であった。



写真2 井頭政之教授による記念講演会の様子

## (2) セッション1「井頭研における核データ研究とその展開」

本セッションでは、井頭研究室をご卒業された3名のOBの方から、現在のご研究、仕事について、過去の井頭研究室における微笑ましいエピソードや写真などを交えて発表があった。

○水野哲氏（福島県原子力安全対策課）（写真3）より「井頭研と福島県」と題して、先ず、福島県の原子力安全対策行政について、東日本大震災前後の対策を紹介した。

震災以前では、安全協定は、県、立地町、事業者において取り交わされていた。環境放射能においては、発電所から10km圏内とし、モニタリングの実施とそのデータの公表は県の責務としていた。また、地域防災計画について、法律に基づいてオフサイトセンターの設置、避難計画の策定等を実施してきた。

震災時、津波の被害でモニタリングポスト等が破損してしまった。そのために、環境放射能の定点モニタリングを行い、県民からの問い合わせに対応した。また、KURAMAを用いて走行サーベイを、50～100mピッチで実施した。モニタリングポスト23局を復旧し環境放射能のモニタリングに努めた。一時、非常に高い線量を示すこともあった。環境放射能の状況を、リアルタイムにて測定マップを作成して公開していった。

震災後、安全協定は13市町村に及んで取り交わされ、廃炉安全監視協議会、廃炉県民会議などが新たに設置された。環境放射能の監視は、福島県内全域へと拡大された。また、防災計画も全面的に改訂された。

次に、井頭研究室時代の思い出を、写真とともに紹介した。ゼミの雰囲気やペレットロン加速器を用いた実験の様子などを示した（写真4参照）。また、井頭先生が、“ひらめいた！”と、一晩で設計して出来上がった NaI 検出器の写真を示した。これが、現在、J-PARC/MLF/ANNRI 装置に装備されている NaI 検出器とのものである。その他、先生が“研究には体力が大事”とのことで、研究室で参加した学内マラソン大会など、当時の井頭研究室の思い出を語って頂いた。



写真3 水野哲氏（井頭研 1999 年卒）



写真4 ペレットロン加速器の整備の様子

○山本風海氏（J-PARC/JAEA）（写真5）より、「J-PARC 3 GeV Rapid Cycling Synchrotron」と題して、発表があった。最初に、J-PARC 加速器施設の概要について説明された。

デモで 1MW 出力運転の際、ビームロスが少なく、MLF に向けての 1MW 出力は、単発の運転では確立した、とのことである。

ターゲット保護のためには、幅が広くかつピークが小さいビームが必要であるが、一方、Main Ring（MR、シンクロトロン、エネルギー 50GeV（現在、30GeV で運転））には幅が狭いビームが必要とのこ



写真5 山本風海氏（井頭研 1999 年卒）

とであり、相反する条件を満たさなければならない。Rapid Cycling Synchrotron (RCS、シンクロトロン、エネルギー3GeV) では、入射中に周回ビームのエミッタンスを変更するバンパ電磁石の励磁パターンを切り替えて、MLF と MR へのビーム形状を変えているとのことである。課題として、MR に向けてビームエミッタンスを小さくした際に発生するビーム不安定性があるが、現在2つの解決方法を検討中とのことである。

より大強度でのシングルバンチ運転は、ユーザーコミュニティで要望をまとめて依頼してもらえれば、加速器として要望に応えられるように準備、試験を行うことは可能である、とのことである。シングルバンチ運転で大強度出力を目指す際には、中間バンチの時間構造を作るリニアックのチョッパーで、キックしたビームを吸収させるスクレーパの熱の問題があるとのことである。

最後に、井頭研究室での楽しい思い出を添えて頂いた (写真6 参照)。



写真6 ゼミが終わった後の懇親会の様子 (その1)

○堀 順一氏 (京都大学原子炉実験所 (京大炉)) (写真7) より、「Ge 検出器を用いた中性子捕獲反応の研究」と題して発表があった。井頭研究室での研究、そしてそれがどのように ANNRI 装置を用いた研究に繋がっていったか、井頭研究室、京大炉、そして J-PARC/ANNRI へと順を追って、発表した。

先ず、井頭研究室時代における研究について、東工大 ペレトロン加速器を用いて、keV 領域の幅の広い共鳴の測定や 2s1d 殻領域の核について、Ge 検出器を用いた奇-偶核、 $^{23}\text{Na}(n,\gamma)$  反応について調べた。正味のパルス波高スペクトルからカスケード $\gamma$ 線を同定



写真7 堀順一先生 (井頭研 2001 年卒)

し、 $^{24}\text{Na}$  からの 4909keV 準位を新たに発見し、 $\gamma$  線遷移強度から部分放射幅、全放射幅を初めて導出されたことを発表した。

次に、京大炉にて、 $4\pi\text{Ge}$  を用いた MA 測定から、 $^{243}\text{Am}$  断面積を、0.01~400eV のエネルギー領域について測定されたことを発表した。

最後に、J-PARC へ研究が展開していき、J-PARC 120kW 出力運転時に、 $^{93}\text{Zr}$  測定を行い、基底遷移法を適用して断面積を導出され、ENDF を支持する結果が得られたことを発表した。



写真 8 ゼミが終わった後の懇親会の様子 (その 2)

### (3) セッション 2 「核データ研究の最前線」

○寺田和司氏 (JAEA) より、「 $^{241}\text{Am}$  の中性子全断面積及び捕獲断面積の測定」と題して発表があった。

ANNRI 装置において、新たなデータ収集システムの構築と中性子検出器の整備を進めている。透過実験による全断面積測定の原理、整備した中性子検出器 (Li-glass) やデータ収集系の測定システムについて説明した。本測定システムを用いて今年 (H28 年) 6 月に実施した  $^{241}\text{Am}$  の透過実験について報告し、実験で得られた  $^{241}\text{Am}$  の全断面積データの暫定結果を示した。ANNRI 装置にて、透過法により全断面積測定実験ができるようになり、今後、研究の幅が一層広がることが期待される。

○木村敦氏 (JAEA) より、「ANNRI における Sn 安定同位体の断面積測定」と題して発表があった。

J-PARC/ANNRI 装置の Ge スペクトロメータを用いて、Sn 安定同位体の系統的な測定を行ってきており、今回、偶核  $^{120}\text{Sn}$ ,  $^{122}\text{Sn}$ ,  $^{124}\text{Sn}$  について中性子捕獲断面積の測定結果を報告した。得られた中性子捕獲断面積測定データと評価済データとを、それぞれの同位体核種毎に比較して図示し、多くの共鳴のミスアサインがあることを示した。安定同位体核種であっても、中性子捕獲断面積データが不十分であることを報告した。

○片渕竜也氏（東工大）より、「ANNRI-NaI(Tl)検出器を用いた長寿命放射性核種の中性子捕獲断面積測定」と題して、核データ測定について発表があった。

ANNRI 装置に装備されている NaI(Tl)検出器の説明と、測定に使用しているデータ収集システム、及び不感時間の補正方法について説明した。検出器周り、ビームコースの遮蔽を強化することにより、数百 keV の領域までもデータが取得できるように改善され、長寿命放射性核種のうち  $^{99}\text{Tc}$  について、熱領域から非分離共鳴領域までの広いエネルギー領域にわたる中性子捕獲断面積の測定結果を報告した。検出器周りの遮蔽強化、データ収集系、データの補正法、解析手法が確立され、今後、系統的な測定が行われることが期待される。

#### (4) セッション3「非破壊分析と宇宙核物理研究」

○早川岳人氏（量子科学技術研究開発機構（量研機構））より、「アイソマー生成比と s 過程への寄与」と題して、発表があった。

天体起源が不明な同位体の 1 つである  $^{115}\text{Sn}$  について、その天体起源を解明するために  $^{113}\text{Cd}$  に着目し、 $^{113}\text{Cd}$  の中性子捕獲においてアイソマーとグランドの生成比が、その起源解明のためのキーとなることを説明した。ANNRI 装置を用いることで初めて可能となった生成比の測定結果では、アイソマーとグランドの生成比は測定されたエネルギー範囲では一定であることを示した。

○黄明輝氏（JAEA）より「ANNRI における TOF-PGA 分析」と題して、ANNRI において開発されている即発ガンマ線分析（PGA）と飛行時間法（TOF）を組み合わせた“TOF-PGA”法に関する発表があった。

TOF-PGA では、中性子やガンマ線の自己吸収効果に加えて、時間に依存するデッドタイムやパイルアップを考慮するなど複雑な補正が必要となるが、PHITS を用いたシミュレーションと経験式による補正法を確立したと報告した。この補正法を適用した TOF-PGA と従来法である PGA や TOF と比べた場合では、従来法が共存する元素の影響を受けて正しい分析値が得られないのに比べ、TOF-PGA では共存する元素の影響を受けず、確度の高い分析値が得られることを示した。

○木野幸一氏（産業技術総合研究所（産総研））より「ANNRI の産業応用研究」と題して、特に、微量ホウ素のイメージングを目指した研究について、発表があった。

鉄鋼材料においては、ホウ素の添加効果により焼き入れ性が向上するとのことである。しかし、ホウ素は熱によって容易に取り出されてしまうので、効果が得られる実際の含有量がどれだけなのか把握する必要がある。また、植物に関して、土壌にホウ素が含まれていると育たないと言われている。これらについて、ホウ素のイメージングができれば、産

業応用に貢献できるのではないかと、との着眼を得て、ホウ素の模擬試料を用いて、ANNRIで測定実験を実施した。純鉄板とホウ素を染みこませた紙を層状にして照射し、ホウ素濃度をガンマ線測定により定量した。実験とシミュレーション結果とが概ね一致したことを示した。応用について、鉄鋼メーカーと話をしているとのことである。今後の産業利用への発展が期待される。

○土屋晴文氏 (JAEA) より「中性子共鳴反応を利用した核物質の非破壊測定技術の開発」と題して、原子力センシング研究グループにて進められている中性子を用いた核物質の非破壊測定技術開発研究の中で、組成の不明な核物質混合物中の核物質量を測定するための中性子共鳴濃度分析法開発について発表した。

混合試料を解析する際に、含まれる試料の粒子サイズ分布を考慮した手法を開発し、参照試料の面密度を精度良く導出できることを示した。さらに、ベルギー (GELINA) で実施されたデモ実験において、測定者には分からないように封入された模擬核物質を同定し、2%の精度で定量できることを実証した。

## (5) 全体討論

本セッションでは、「ANNRIにおける研究開発成果の最大化を目指して」と題して、参加者に自由に議論して頂いた。発言された意見・質疑応答・要望などを、下記のように纏めてある。

○論文成果を増やし、かつ論文の質の向上のために何が必要か

- ・検出器開発や測定システム技術開発、新分析法の開発などの比較的に成果が出るまでに時間がかかる研究課題と測定すれば結果を論文にできる研究課題の割合がおかしいのではないかと？ 研究開発の採択を少なくして、成果が見込める研究申請に採択を絞るべきである。

⇒ ユーザーが申請する一般課題については、共同利用実験 審査委員会からは、この課題を何日実施するよう指示があるために、我々では研究課題の選択ができない。

- ・プロジェクト課題については、論文が出てきているが、一般課題からはあまり出てきていないようである。

- ・論文の投稿料を出してもらえれば増えるのではないかと？

⇒ 投稿料の問題ではないのではないかと。(当事者が) どれくらい重要であるかを認識しているかどうか。Outcome として質の高い研究拠点となることを考えなくてはいけない。そのためには、Output が必要である。

- ・課題審査のレフリーには、論文を出しているか、何日マシンタイムを取っているかの情報を付けたらどうか？

#### ○装置の高度化について

- ・ビームモニタの確定的なものが必要と思う。
  - ⇒ 透過型 Li-glass GS30 がビームモニタに使うことを、今後の開発項目に加えておく。
- ・試料を繰り返して、交換できるように出来ないか。
  - ⇒ 透過実験用にロータリータイプのサンプルチェンジャを、産総研 木野氏 (当時、北大) が開発した。
- ・データ収集系が複雑になっているので、(ユーザーへの) フォローや維持管理が難しくなってくる。特に、ポスドクの方が居なくなったら、維持が難しくなる。
  - ⇒ これに対して、パーマネントが維持管理を行い、ポスドクは論文成果を出す、というのが本筋ではないか。
  - ⇒ 基本的にはそのような体制となっている。
- ・測定システムなどは、技官の方とか技術系の人で対応できるのではないか。
  - ⇒ 任期 5 年とかのスパンで居てくれれば良い。

#### ○人材の確保について

- ・外部の方が行ってみたいという研究テーマや、産業分野と関連して異分野の方々を巻き込んでいくことが考えられる。
- ・海外の人でも良いだろう。n\_TOF のメールリストだと募集の情報が回りやすいだろう。JAEA の HP のみだと情報が回りにくいのではないか。
- ・日本の大学に来たいという海外の方や日本で仕事をしようとする研究者も居るだろう。
- ・雇用する場合、予算も必要である。そのためにも、次の特会予算を獲得すべき。

#### ○産業利用について

- ・核セキュリティや放射光にしても、すぐに使えないと産業利用は難しいだろう。
- ・産業利用を目指した基礎研究ならば、OK であろう。
- ・産業利用は、経済ファクターを考えないといけないので、大変だと思う。

#### ○要望

- ・現在、シングルバンチのうちに実験成果を論文にして、J-PARC の加速器の方々に、このような成果が出たということを積極的に見せていけば、シングルバンチの要望を出し易いとする。
- ・ニーズを出してもらえば、(J-PARC 加速器の立場としても) 研究のモチベーションがあがるだろう。しかし、なかなか (加速器の方まで) 声が届いて来ない。
- ・ミュオンの方では、分解能を上げる努力をされており、はやぶさ 2 プロジェクトに目標を設定している。核データ測定も、シングルバンチをリクエストするための明確な目

標をまとめた方が良い。

## (6) 閉会挨拶

JAEA 原子力基礎工学研究センター 岡嶋成晃センター長より挨拶を頂いた。

『(全体討論では、) 個人の話と組織の話が混在している印象を受けた。ANNRI のような優れた装置は積極的に社会にアピールしていかなければならず、さらに論文を出していくべきである。人材については、JAEA としては予算が厳しい状況である。外国人を雇用しているが、(彼等は) 非常に優秀な反面ドライなところもあるので、任期中で辞める場合もあり、リスクがある。このようなリスクの対応については、この研究会で議論するだけでなく、組織で考えるなり、コミュニティなりでもっと時間をとって考えていくべきである。そのことも含めて、皆様に今後ともご協力を宜しくお願い申し上げます。』

## 3. 最後に

異なる 3 つの各研究 (天体核、核データ、分析) 分野で活躍する研究者の他に、核理論、素粒子実験、加速器、中性子工学、炉物理分野から多くの研究者にご参加いただいた第 5 回 ANNRI 研究会は、盛況のうちに閉会致しました。分野を跨いだ波及効果が得られるように連携を強化し、世界最高ともいえる測定装置をさらに高度化すべく技術開発を推進するとともに、ANNRI 装置を用いた革新的な研究成果の創出と、世界最高水準の研究者を輩出すべく人材育成にも貢献していきたいと考えております。ANNRI 研究会は、異なる分野の研究者が交流を深める良い機会ともなっており、2017 年にも第 6 回研究会を開催する予定です。

## 謝辞

当研究会の開催にご支援いただいた日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター、J-PARC センター (JAEA&KEK)、東京工業大学 先導原子力研究所、首都大学東京の関係各位に、この場を借りて感謝の意を表します。

(研究会幹事一同より)

表1 ANNRI 研究会における参加者情報

研究分野	出席者名（所属） （敬称省略）
宇宙核物理分野 （8名）	井頭政之、片渕竜也、斎藤辰宏、藤岡 諒、武部花凜、関根千加 （東工大）、早川岳人（量研機構）、牧井宏之（JAEA）
元素分析分野 （4名）	松尾基之（東大）、三浦 勉（産総研）、藤 暢輔、黄 明輝（JAEA）
核データ測定分野 （6名）	堀 順一（京大炉）、木野幸一（産総研）、原田秀郎、木村 敦、 寺田和司、中村詔司（JAEA）
その他の分野 核理論, 素粒子理論, 中性子工学, 炉物理, 加速器等 （16名）	水野 哲（福島県庁）、新井拓朗（原子力規制庁）、 松崎禎市郎（理研）、原かおる（北大）、千葉 敏、韓治膜、 登坂健一、小林能直、学生1名（東工大）、山本海風（J-PARC/JAEA） 岡嶋成晃、遠藤 章、岩本 修、岩本信之、北谷文人、土屋晴文 （JAEA）

表2 第5回 ANNRI 研究会プログラム

<p>日時：平成 28 年 8 月 4 日（木）10 時 20 分～17 時 30 分</p> <p>場所：東京工業大学 大岡山キャンパス 先端原子力研究所 大岡山北 2 号館 6 階会議室</p> <p>共催：原子力機構 原子力基礎工学研究センター、J-PARC センター（JAEA、KEK）、東工大先端原子力研、首都大学東京</p>
10:20～11:50
1. 井頭政之教授 特別講演
11:50～12:00 写真撮影 12:00～13:00 昼食（休憩）
10:15～11:55
<p>2. セッション 1「井頭研における核データ研究とその展開」:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「井頭研と福島県」 水野 哲（福島県原子力安全対策課）(20)</li> <li>・「J-PARC 3 GeV Rapid Cycling Synchrotron」 山本風海（J-PARC/原子力機構）(20)</li> <li>・「Ge 検出器を用いた中性子捕獲反応の研究」 堀 順一（京大炉）(20)</li> </ul>
14:00～15:00
<p>3. セッション 2「核データ研究の最前線」:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「Am-241 の中性子全断面積及び捕獲断面積の測定」 寺田和司（原子力機構）(20)</li> <li>・「ANNRI における Sn 安定同位体の断面積測定」 木村 敦（原子力機構）(20)</li> <li>・「ANNRI-NaI(Tl)検出器を用いた長寿命放射性核種の中性子捕獲断面積測定」 片渕竜也（東工大）(20)</li> </ul>
15:00～15:15 休憩
15:15～16:35
<p>4. セッション 3「非破壊分析と宇宙核物理研究」:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「アイソマー生成比と s 過程への寄与」 早川岳人（量研機構）(20)</li> <li>・「ANNRI における TOF-PGA 分析」 黄 明輝（原子力機構）(20)</li> <li>・「ANNRI の産業応用研究」 木野幸一（産総研）(20)</li> <li>・「中性子共鳴反応を利用した核物質の非破壊測定技術の開発」 土屋晴文（原子力機構）(20)</li> </ul>
16:35～16:40 休憩
<p>5. 全体討論:</p> <p>ANNRI における研究開発成果の最大化を目指して</p>

( ) は発表時間（討論を含む）