

研究室だより

京大炉における断面積の測定・評価活動 — 一緒に断面積を測りましょう！ —

京都大学原子炉実験所

中島 健

nakajima@rri.kyoto-u.ac.jp

堀 順一

hori@rri.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

断面積を測るといっても、物差しで縦横の寸法を測って掛け合わせればよい、というものではありません。ここでの断面積とは、中性子による核反応断面積のことです（本誌の読者にとっては、当然のことかと思いますが）。

さて、京都大学原子炉実験所には中性子核反応に関する実験を行なう主な施設として、研究用原子炉（KUR）、臨界集合体実験装置（KUCA）、電子線型加速器（LINAC）の3つがあります。これら施設の簡単な説明と、LINAC（以下、ライナック）を用いた実験の計画については、2004年の本誌（No.78）に掲載されています¹⁾ので、お時間がある方は、そちらもご覧下さい。本稿では、その後の進展を中心として、京大炉グループの活動の様子を紹介します。

2. 最近の状況

京大炉グループと書きましたが、実態は筆者の2名であり、このうちの1名（中島）はライナックの施設責任者ということになっていますが、この他に京大炉にある2基の原子炉の管理者にもなっており、規制の厳しい原子炉の管理等に多くの時間を取られています。このため、ライナックを用いた実験研究は実質的に1名（堀）が行っていることとなります。ただし、研究テーマによっては、所内の他グループの研究者も参加しています。このような状況ではありますが、京大炉の良いところは、全国大学共同利用研究所であることで、各機関（大学及び公的研究機関）の核データ測定の実験家及び学生が、ライナックを使った実験を行うために京大炉へやってきます。私達は実験の場を提供するだけでなく、彼等と一緒に研究を行ないます。この結果、ライナックを中心と

した各機関の専門家との有機的な連携ができ、これが研究を進める大きな力となっています。特に、年長の専門家の方々（誰とはいいませんが）は、多くの断面積測定実験の経験があり、一緒に実験を行ないながら、多くのノウハウを教えていただいています。京大炉では2004年春に、それまで長年にわたりライナックを使って多くの断面積測定を行なってこられた小林捷平教授（当時）が退官され、核データ研究活動が途絶えてしまう可能性もあった訳ですが、こうした各機関の専門家との連携により、現在では非常に多くの実験研究が行なわれるようになっており、ライナックの利用時間も40年以上の長い歴史の中で最長記録を更新しています（図1参照）。なお、このようにライナックを長時間利用できるのは、私達の研究を支えてくれている技術職員の日頃の努力のおかげであることを、ここに記しておきます。

3. 研究成果など

このような共同利用研究のメリットを最大限に生かすために、私達はライナックを中心とした断面積測定研究を取りまとめたプロジェクトを立ち上げました。ここでのプロジェクトとは、共同利用研究の公募要領において「実験所において機動的に推進すべきプロジェクトについて、原則として所員が中心となって研究グループを組織し、長期的展望に立って共同利用研究を総合的かつ能率的に行うものです」と定義されているものです。要は、いくつかの研究グループの研究テーマを大きな枠組みで一括りにして、効率的に研究を進めようというものです。私達は、平成16～18年度の3カ年にわたりプロジェクト研究「各種中性子源を用いた中性子反応断面積の研究」を実施しました。これには、外部の6機関を含む計7つの研究グループが参加し、ライナック実験を中心とした研究が行なわれました²⁾。

プロジェクト研究「各種中性子源を用いた中性子反応断面積の研究」は、その名称が示すとおり、京大炉にある各種の中性子源、具体的には、ライナック、KUR、KUCAを有効に利用して、系統的な高精度の核データを取得しようというものです。外部機関としては、東京工業大学、新潟大学、東北大学、九州大学、日本原子力研究開発機構が参加し、この他協力機関として東芝も加わっています。7つの研究テーマの多くはライナックを利用したのですが、KURによる中性子照射実験や、KUCA臨界実験データを用いた解析的研究も含まれています。また、ライナック実験においても中性子核反応の他に光核反応を用いた研究もあり、京大炉グループにとっては、研究を行う上で多くの刺激を受けました。このうち、京大炉グループを中心として取り組んだのは、いかに実験の誤差を低く抑えるか、という古臭くかつ地味ではありますが、未だに重要なテーマです。

近年、革新炉や核変換施設的设计などの観点から、精度の良い核データが要求されている長寿命核分裂生成物（LLFP）やマイナーアクチニド（MA）では、断面積を測定しようと思っても高純度の同位体サンプルを入手することは困難です（核種によっては、低純度でも入手できません）。このため、測定においては対象としていない同位体や他の

不純物の影響が常につきまとい、これが誤差の要因となります。そこで私達は「断面積測定実験における不純物の影響に関する研究」というテーマで、中性子捕獲反応断面積測定における不純物の影響を明らかにし、その影響を低減するための方法を検討しました。この研究では、重要度の高い LLFP のうち、高純度同位体サンプルの入手が困難な ^{129}I 、 ^{93}Zr 、 ^{107}Pd を対象として、ライナックを用いた飛行時間法による捕獲断面積の測定を行い、不純物の影響を調べました（ただし、今回の測定では天然 Zr 及び天然 Pd を使用）。この結果、測定される捕獲ガンマ線の波高の違いを利用することによる核種（同位体）弁別の可能性や発生するガンマ線多重度（1回の捕獲反応でいくつのガンマ線が（ほぼ）同時に発生するか）の違いを使用した核種弁別の可能性を見出しました。図 2 には、天然 Zr におけるガンマ線多重度の違いを利用した同位体弁別の結果を示しています。通常の測定では、サンプル中に含まれている ^{91}Zr と ^{96}Zr の捕獲ガンマ線が観察されています（破線、一部実線と重なっている）が、同時計数法により多重度の低いガンマ線を排除することによって、 ^{91}Zr のガンマ線のみを取出すことができました（実線）。このようなガンマ線の特性的違いを上手く利用することにより、同位体不純物が含まれているサンプルでも、捕獲断面積を精度良く測定する可能性が明らかとなりました。

この他、近年のデジタル計測・信号処理技術の進展により、捕獲ガンマ線の波形をそのまま（デジタル化して）記録して、後で（または同時に）データ処理ができるようになってきました。この技術を使用して、これまでは大きなノイズ（ベースラインの変動）の中に埋もれていた信号を取出して処理することが可能となっています。ライナックを利用した断面積測定では、ライナックのパルスに同期した大きな誘導ノイズや大量のガンマ線（ガンマバースト）が邪魔をして、高エネルギー領域（時間初期の領域）の中性子反応を測定することができなかつたのですが、東北大学が中心となっている研究において、このデジタル計測・信号処理技術の利用により、これまでよりも高エネルギー（約 100keV）の測定が可能となりました。

4. 今後について

上述のプロジェクト研究は、平成 18 年度をもって終了しましたが、ここで得られた成果をもとにして、研究をより進展させるために、本年度から新しいプロジェクト研究「MA 及び LLFP 核種の核データに関する研究」（平成 19～21 年度）を開始しました。このプロジェクトでは以下の 6 つの研究テーマに取り組んでいます。

- ① 高エネルギーガンマ線分光法による中性子捕獲反応の研究
- ② 各種検出器を用いた MA、LLFP 核種の中性子捕獲断面積の研究
- ③ マイナーアクチニド核の中性子誘起核分裂の研究
- ④ 核データの信頼性向上にむけた放射化学的サンプル調整法及びサンプル中の不純物分析に関する研究
- ⑤ 長寿命放射性廃棄物の光核反応に関する研究

⑥ パルス状中性子スペクトル測定に関する研究

なお、このプロジェクトに参加しているメンバーの多くは、現在、東海村に建設されている J-PARC に設置される中性子実験装置の利用者となります。同施設は京大炉ライナックに比べて大強度・高エネルギーの中性子源であり、予定通り平成 20 年に施設の運転が開始されると、京大炉で実施している中性子実験の多くが J-PARC へ移ることとなります。しかし、ライナックはその利用が容易で、小回りが効くという特徴を生かし、J-PARC 中性子実験装置での実験と相互に補完する形での利用がなされるものとの見通しを持っており、今後もライラック実験のニーズは続くものと考えています（楽観的かもしれませんが・・・）。ただし、このニーズに応えるためにはライナックを長期に安定して運転するための必要な手当（設備面及び人材）が必要であり、このためには利用者の皆さんのこれまで以上の支援が必要となります。利用者の皆様、ご協力の程よろしくお願いたします。

最後になりましたが、この記事を読まれて、自分でも断面積を測ってみたい、ライナックを使って実験してみたい、と思ったあなた、当実験所のウェブサイトをご覧になるか、あるいは中島まで直接ご連絡下さい。一緒に断面積を測りましょう！

（京都大学原子実験所 <http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/>）

参考文献

- 1) 中島健, 「京都大学における核データ測定の見通し」, 核データニュース, No.78, p.11 (2004).
- 2) 中島健 他, 「各種中性子源を用いた中性子反応断面積の研究」, 京都大学原子実験所第 41 回学術講演会報文集, p.187 (2007).

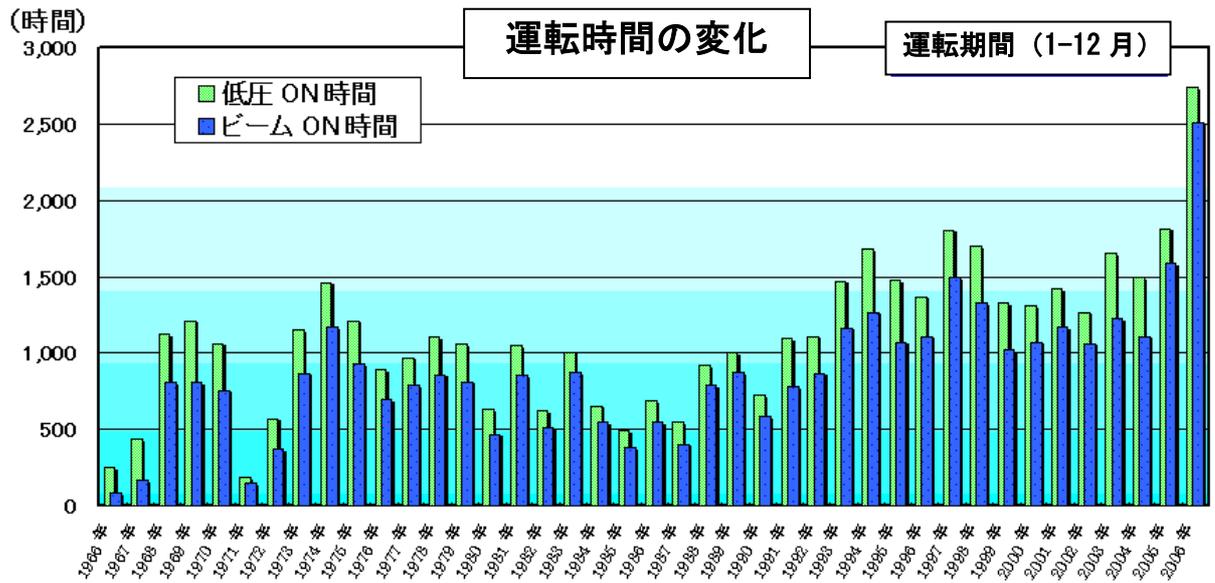


図1 ライナック利用状況の推移
(1966年～2006年のデータ)

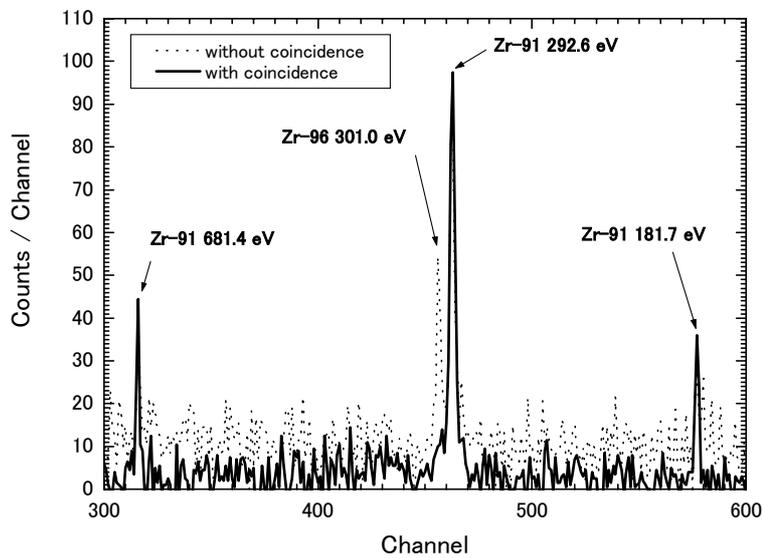


図2 飛行時間法による Zr サンプルの捕獲ガンマ線測定
(横軸：中性子飛行時間、縦軸：ガンマ線計数)

多重度の低いガンマ線を排除することにより、実線のように⁹⁶Zrの捕獲反応を取り除くことができる。