

二国間交流事業 共同研究報告書

令和4年4月14日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[代表者所属機関・部局]

国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器科学研究センター

[職・氏名]

チームリーダー・羽場 宏光

[課題番号]

JPJSBP1 20193808

1. 事業名 相手国: ハンガリー (振興会対応機関: HAS) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 核医学診断治療のための新規放射性同位体 Sc-47 と Cu-67 の加速器製造法の探索

(英文) Optimization of accelerator production routes of the new theranostic radioisotopes Sc-47 and Cu-67

3. 共同研究全実施期間 2019年4月1日～2022年3月31日 (3 年 ヶ月)

4. 相手国代表者(所属機関・職・氏名【全て英文】)

Institute for Nuclear Research (ATOMKI) ・ Senior research
associate ・ Sándor Takács

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		4,599,400	円
内訳	1年度目執行経費	2,281,400	円
	2年度目執行経費	2,318,000	円
	3年度目執行経費		円

6. 共同研究全実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	8名
相手国側参加者等	3名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	5(4)	0	4(4)
2年度目	0(0)	0(0)	0(0)
3年度目	0(0)	0(0)	0(0)
4年度目			()

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣:本委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。
受入:相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は本委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流実績の概要・成果等

(1)研究交流実績概要(全期間を通じた研究交流の目的・研究交流計画の実施状況等)

原子核反応実験で得られる核反応断面積などの各種情報(核データ)は、原子力分野のみならず、理学、工学、医学などの様々な分野で応用されており、入射粒子、エネルギー、核反応過程などに関する多様な情報を網羅する必要がある。放射性同位体(RI)もまた様々な分野で利用されており、特に医学分野においてはがんなどの診断や治療に利用されている。このような診断や治療に利用されている RI の生成断面積や収率は、重要な核データの一つである。しかし、未だ誤差が大きい場合や報告されたデータ間の不一致、測定が不十分な核反応系も多く存在しており、より誤差の小さい、信頼性の高いデータが必要になっている。

本研究では、医療用 RI の断面積測定で実績のあるハンガリー原子核研究所(ATOMKI)の研究者と共同研究を行い、ATOMKI の MGC-20 サイクロトロンと理化学研究所(理研)RI ビームファクトリー(RIBF)の AVF サイクロトロンを用いて、スカンジウム-47(^{47}Sc)や銅-67(^{67}Cu)等、将来の核医学診断・治療に期待されている様々な RI について、陽子(p)、重陽子(d)、アルファ(α)粒子誘起反応の断面積を系統的に取得した。取得したデータは、先行研究の結果と詳細に比較し、さらに核反応計算コード TALYS を用いて評価した。本研究で取得した有用 RI 製造のための断面積や収率は、国際的科学技術論文誌上で発表するとともに、国際交換書式 EXFOR のデータベースに収録し、世界の利用者にウェブ公開した。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

本研究では、ATOMKI と RIBF のサイクロトロンを用いて、それぞれ最大 18 MeV、24 MeV、50 MeV まで加速した p、d、 α を多様な標的物質に照射し、積層標的箔放射化法とガンマ線スペクトロメトリーによって、有用 RI の生成断面積を測定した。具体的には、RIBF において、 $^{27}\text{Al}(\alpha, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{Ca}(p, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{Ca}(d, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{Ca}(\alpha, x)$ 、 $^{45}\text{Sc}(p, x)$ 、 $^{45}\text{Sc}(d, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{Cr}(d, x)$ 、 $^{55}\text{Mn}(p, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{V}(d, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{Ni}(\alpha, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{Ag}(\alpha, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{Sb}(\alpha, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{La}(\alpha, x)$ 、 $^{141}\text{Pr}(p, x)$ 、 $^{141}\text{Pr}(d, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{Nd}(\alpha, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{Gd}(d, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{Gd}(\alpha, x)$ 、 $^{159}\text{Tb}(\alpha, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{Dy}(\alpha, x)$ 反応、ATOMKI で $^{\text{nat}}\text{V}(p, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{Cr}(p, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{La}(p, x)$ 、 $^{169}\text{Tm}(p, x)$ 、 $^{\text{nat}}\text{Ta}(p, x)$ 反応によって生成する様々な RI の核反応励起関数を測定した。本研究では、特に核医学診断・治療に期待される ^{67}Cu と核医学治療に期待される ^{47}Sc について、それぞれ $^{64}\text{Ni}(\alpha, p)^{67}\text{Cu}$ 、 $^{44}\text{Ca}(\alpha, p)^{47}\text{Sc}$ 反応の信頼性の高い励起関数データを取得できた。 $^{64}\text{Ni}(\alpha, p)^{67}\text{Cu}$ については、これまで 5 報の報告があるが、データ間で大きな不一致が生じていた。また、 $^{44}\text{Ca}(\alpha, p)^{47}\text{Sc}$ については、先行研究が 1 報あるにすぎず、早急な実験が必要であった。本研究で取得した膨大な実験データについて、先行研究との比較や核反応計算コード TALYS による評価を行った。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

世界最先端の加速器、照射設備、放射線計測装置等を用いて、ATOMKI と RIBF の両施設で核反応断面積測定を実施し、欠落しているデータを取得すると同時に比較することで、信頼性の極めて高い実用データを取得することができた。また、医療用 RI の生成断面積測定で豊富な実績のある ATOMKI の研究者と共同研究を行うことによって、実験手法やデータ解析法について貴重なノウハウを学ぶことができた。相手国においても、RIBF の AVF サイクロトロンを用いることによって、ATOMKI では実施不可能なイオンビームを用いた実験を行うことができ、より系統的な断面積測定とその評価を実施することができた。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

近年、 ^{47}Sc や ^{67}Cu 等、核医学治療に必要な短寿命 RI のニーズが世界的に急増している。本研究で取得した

核反応断面積は、医学利用を可能とする高純度の RI を定量的かつ効率的に製造する上で不可欠の基本データである。本研究によって、多数の有用 RI 製造の核反応過程、入射エネルギー、標的厚、照射時間、生成放射能等を最適化できるようになった。また、本研究で取得した核反応データは、国際科学技術論文誌上で発表するとともに、国際交換書式 EXFOR のデータベースに登録し、世界中のユーザに広く提供されている。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取り組み、成果)

本共同研究には、日本側から大学院生 4 名(博士課程 1 名、修士課程 3 名)と若手研究者 2 名が参画した。大学院生や若手研究者は、ATOMKI と RIBF の最先端の実験設備・装置を利用し、ATOMKI の著名な研究者と共同研究を実施することにより、実験手法、データ解析、論文作成等について貴重な知識と技術を学ぶことができた。本共同研究に参加した修士課程の学生の一人は、博士課程に進学した。

(6)将来発展可能性(本研究交流事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

本研究で取得した精密核反応断面積データは、医学だけでなく、物理学、化学、生物学、農学、工学、環境科学等、様々な分野において利用可能な有用 RI の製造において極めて重要なデータである。本研究交流事業により、ATOMKI の研究者と強力な研究協力関係を築くことができた。今後も共同研究を継続する計画である。

(7)その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果があれば記述してください)

相手側の研究者を客員教員として北海道大学へ、客員研究員として理研に招へいし、集中講義やセミナー等を行うことで、本共同研究に参加しなかった多数の大学院生や若手研究者の養成に貢献した。

ATOMKI の研究者から、ルーマニア物理学及び核工学 Horia Hulubei 国立研究所(IFIN-HH)の研究者を紹介してもらい、RI の製造技術開発に関わる研究交流を行うことができた。