



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Production of medical radioisotopes ^{68}Ga and ^{45}Ti in deuteron-induced reactions in cyclotrons [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Tsoodol, ZOLBADRAL
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(医理工学)
Dissertation Number	甲第14716号
Issue Date	2021-09-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/83038
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Zolbadral_Tsoodol_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（医理工学） 氏 名 ZOLBADRAL Tsoodol

主査 教授 合川 正幸
審査担当者 副査 教授 久下 裕司
副査 助教 水野 雄貴

学 位 論 文 題 名

Production of medical radioisotopes ^{68}Ga and ^{45}Ti in deuteron-induced reactions in cyclotrons
(サイクロトロンを用いた重陽子入射反応による医療用放射性同位元素 ^{68}Ga と ^{45}Ti の生成)

放射性核種は工学や医学などの分野で利用されている。核医学においては、治療及び診断で使用されており、その一つに陽子過剰核が壊変時に放出する陽電子を用いる陽電子放出断層法（Positron Emission Tomography: PET）がある。多数存在する陽電子放出核の中から PET での使用に適した核種を選択するには、半減期や陽電子のエネルギーなどの性質のみならず、陽電子放出核を生成する際の核反応やその効率などが重要となる。PET 用核種は陽子過剰核であるために、荷電粒子入射反応で生成する場合が多い。陽子、重陽子、アルファ粒子などの荷電粒子入射反応では、目的核種が標的とは異なる元素になるため、化学分離技術により比放射能の高い目的核種を得ることが期待できる。

このような核反応に関しては、断面積と呼ばれる、原子核反応が起こる確率に関するデータが不可欠である。しかし、現在の個々の核反応に関する断面積データは十分に揃っているとは言い難い状況である。また、信頼性が低い、誤差が大きいなど、問題がある断面積データも多く存在する。

このような状況のもと、本論文では、PET で使用可能な核種であるガリウム 68 (^{68}Ga) 及びチタン 45 (^{45}Ti) の生成核反応に着目した。 ^{68}Ga は半減期約 68 分、 ^{45}Ti は半減期約 185 分の陽電子放出核である。これらの核種の生成については複数の核反応が存在する。まず、 ^{68}Ga の生成については、亜鉛への陽子、重陽子、アルファ粒子入射反応及び銅へのアルファ粒子入射反応などが考えられる。これらの核反応のうち、重陽子入射反応の先行研究が 3 件と特に少なく、かつそれぞれの実験値が大きく異なっていることが分かった。また、 ^{45}Ti の生成については、スカンジウムへの陽子、重陽子、アルファ粒子入射反応及びカルシウムへのアルファ粒子入射反応などが考えられる。このうちスカンジウムへの重陽子入射反応については先行研究が 1 件しか存在しないことが分かった。そのため、先行研究で示された実験値を追試研究で確認する必要がある。そこで本論文では、重陽子入射反応によるこれらの核種の生成断面積を実験的に取得した。

実験は、放射化積層箔法と高純度ゲルマニウム検出器を用いたガンマ線分光法を用い、理化学研究所周回変動磁場型サイクロトロンにて実施した。それぞれの実験により、目的核種である ^{68}Ga 及び ^{45}Ti のほか、不純物となる副生成物についての生成核反応断面積を得た。さらに、実験で得

られた断面積を用いて入射粒子当たりの生成量を算出した。その結果を先行研究で得られている陽子入射反応実験の生成量と比較した。これにより、重陽子入射反応と陽子入射反応のうち、より適した反応を選択することが可能となった。結果として、 ^{68}Ga 及び ^{45}Ti の生成については、重陽子と陽子それぞれの入射反応で同程度の生成量が得られるものの、不純物を抑制する観点から、陽子入射反応がより適しているという結論が得られた。これらの成果についてはそれぞれ学術論文として発表している。

審査にあたり、まずは副査の水野助教から、 ^{68}Ga の生成に関して、陽子入射反応が重陽子入射反応に比べて適していると結論づけた理由について質問があった。申請者からの回答として、生成量はほぼ同等であるものの、不純物となる放射性核種 ^{67}Ga や安定核種 ^{69}Ga の生成を考慮すると、陽子入射反応が優位である旨の回答があった。次に、副査の久下教授から、目的核種である ^{68}Ga から、 ^{67}Ga などの同一元素不純物の分離手法について質問があった。申請者の回答として、同一元素の場合には化学分離を行うことができず、分離は難しいこと、そのため、同一元素の放射性同位体は入射エネルギーを調整することで抑制する必要がある旨の回答があった。最後に、主査の合川教授から、陽子捕獲反応における副生成物の生成量が少なくなる理由に関して質問があった。この質問に対しては、陽子捕獲反応は一般的に断面積が非常に小さくなるとの説明があった。

この論文は、陽電子放出断層法で利用可能な放射性核種 ^{68}Ga 及び ^{45}Ti の生成に関する新たな知見を与えている。審査員一同は、これらの成果を高く評価し、大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ、申請者が博士（医理工学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。