

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	BNCT用中性子源陽子 リチウム反応中性子源からのガンマ線発生に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	齋藤辰宏
Author(English)	Tatsuhiko Saito
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10493号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:井頭 政之,小栗 慶之,千葉 敏,林崎 規託,片淵 竜也
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10493号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	原子核工学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 (工学)	Doctor of
学生氏名 : Student's Name	齋藤辰宏		指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	井頭政之	
			指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)	片渕竜也	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

現在、浸潤性がんの放射線治療法としてホウ素中性子捕捉療法 (BNCT: Boron Neutron Capture Therapy) が注目されている。近年、従来の原子炉中性子源を用いた BNCT の法的規制等の問題点を克服するために、小型加速器中性子源を用いた BNCT が提案されている。加速器中性子源の中で、 ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ 反応中性子源は有力な候補の一つとなっている。この反応は、BNCT に必要な低いエネルギーの中性子を得るための大がかりな中性子減速体系を必要としない利点がある。しかし、陽子をリチウムに照射すると、中性子が発生するだけでなく副次的に γ 線発生反応による γ 線が発生し、その中でも ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ 反応と ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$ 反応による γ 線は BNCT を行う際の患者の被曝線量に寄与してくる。したがって、陽子-リチウム中性子源を用いた BNCT を実用化させるためには、これらの γ 線が患者への被曝線量にどれくらい影響するかを評価する必要がある。しかし、陽子-リチウム反応で発生する γ 線に関するデータは非常に乏しく、現状では線量評価が精度良く行われているとは言い難い。そこで本研究では、 ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ 反応と ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$ 反応からの γ 線を精度良く測定して γ 線発生量及び角分布を求め、さらに、得られた測定結果を用いてこれらの γ 線の BNCT 患者への被曝線量の寄与をモンテカルロシミュレーションにより評価することを目的とした。

測定実験においては、東京工業大学の 3UH-HC 型ペレトロン加速器からの陽子ビームを Li ターゲットに照射した。ターゲットには、 ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ 反応のしきいエネルギー (1.880MeV) 近傍の陽子の飛程よりも十分厚い Li の層を持つ厚いターゲット (厚さ約 300 μm で、「厚いターゲット」と呼ぶ。)と陽子の飛程よりも薄い中性子発生には十分な厚さの Li 層を持つターゲット (厚さ約 10 μm で、「薄いターゲット」と呼ぶ。)を使用した。厚いターゲットは銅板上に Li 箔を圧着させることによって作製し、薄いターゲットは金属 Li を銅板上に真空蒸着させて作製した。

これらのターゲットを用いて、 γ 線発生反応による γ 線発生量のデータを得た。まず、陽子ビーム軸方向に対して 0° 方向にコンプトン抑止型 NaI(Tl)検出器を設置し γ 線波高スペクトルを得た (実験 1)。次に、 γ 線発生反応により放出される γ 線の角分布を測定するために、ビーム軸方向に対して 0° , 30° , 55° , 90° , 125° 方向にコンプトン抑止型 NaI(Tl)検出器を設置し γ 線波高スペクトルを得た (実験 2)。照射陽子エネルギーは、実験 1 では、厚いターゲットに対しては ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ 反応しきいエネルギーよりも 210 keV 低い 1.670 MeV と 10 keV 低い 1.870 MeV、薄いターゲットには 1.870 MeV と 22keV 高い 1.902 MeV であった。実験 2 ではそれぞれの角度において、厚いターゲットに対しては 1.920MeV と 1.870 MeV の陽子ビームを照射し、薄いターゲットに対

しては 1.920 MeV の陽子ビームを照射した。

測定の結果、過去の陽子 - リチウム中性子源を用いた BNCT の線量評価の文献で報告されていた γ 線発生量と比較すると、 ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ 反応では、本研究で得られた値は 40-85%低いことが分かった。また、厚いターゲットと薄いターゲットからの γ 線発生量を比較すると、薄いターゲットを用いることによって厚いターゲットよりも γ 線発生量を 75%低減できることが分かった。また、 ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$ 反応では、今まで線量評価の文献で報告されていた γ 線発生量よりも 2 桁大きな値が求められた。また、過去の ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$ 反応断面積測定データから算出した γ 線発生量と比較すると、本研究で得られた値は 40-50%低い値となった。また厚いターゲットと薄いターゲットからの γ 線発生量を比較すると、薄いターゲットを用いることによって γ 線発生量を約 90%低減できることが分かった。

本研究で得られた ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ 反応及び ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$ 反応からの γ 線発生量及び角分布を用いて、BNCT 治療時における患者の被曝線量を光子・粒子輸送計算コードシステム PHITS を用いて計算した。その結果、これらの γ 線の吸収線量は ${}^{10}\text{B}(n,\alpha){}^7\text{Li}$ 反応による吸収線量と比較して 1 桁以上小さいことが分かった。また、生体中の水素等によって起こる中性子捕獲反応からの γ 線量と比べても 1 桁から 2 桁小さくなることが分かった。また、薄いターゲットを用いると、厚いターゲットよりも患者の被曝線量が ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ 反応では約 75%、 ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$ 反応については約 90%低減できることが分かった。これらのことから、BNCT において陽子-リチウム中性子源を用いる場合、 ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ 反応及び ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$ 反応からの γ 線による患者の被曝線量は重要でないことが分かった。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	原子核工学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 (工学)	Doctor of
学生氏名 : Student's Name	齋藤 辰宏		指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	井頭 政之	
			指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)	片瀬 竜也	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Boron neutron capture therapy (BNCT) has attracted attention as effective treatment of infiltrating cancers over years. BNCT has been practiced using neutron beams from nuclear reactors. However strict safety regulations associated with nuclear reactors limit clinical practice of BNCT. Recent years, in order to overcome such limits, small accelerator-based neutron sources have been proposed for BNCT. The ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ reaction is one of the candidate neutron production reactions for accelerator-based BNCT. The emitted neutron energy of the ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ reaction is suitably low enough for BNCT, thus a large neutron moderation system unnecessary. However, one potential disadvantage of the p-Li neutron source is that not only neutron production reaction but also γ -ray production reactions occur. The γ -rays from ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ and ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$ may have serious impact on patient absorbed dose. Contribution of the γ -rays to the patient dose must be evaluated based on reliable nuclear reaction data. However, existing nuclear data of those γ -ray production reactions are insufficient for dose evaluation. Thus, the objective of the present study is to experimentally determine the γ -ray production yields and the angular distributions of ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ and ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$ and, then evaluate their contribution to the patient absorbed dose based on the present experimental data.

Experiments were carried out in the Tokyo Institute of Technology. A Li target was bombarded with a proton beam from a 3UH-HC Pelletron accelerator. Li targets were made in two types: thick and thin. The “thick” target had a thickness of about 300 μm , thick enough to stop the incident protons near the threshold energy of ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ (1.880 MeV). On the other hand, the “thin” target was very thin, about 10 μm thick. The incident protons pass through the thin Li target with a small energy loss but the thickness is enough for neutron production. The thick targets were fabricated by attaching metal Li foil onto a copper plate with a hand press. The thin targets were made on copper plates by vacuum evaporation.

Using these Li targets, γ -ray production yields were measured. First, γ -rays from ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ and ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$ were detected with an anti-Compton NaI(Tl) detector at a detection angle of 0° with respect to the proton beam. The pulse height spectra at 0° were measured (Experiment 1). Next, the angular distributions of the γ -rays were measured, changing the detection angle at 0° , 30° , 55° , 90° and 125° (Experiment 2). In Experiment 1, for the thick target, the incident proton energy was set at 1.870 and 1.670 MeV, which were 10 and 210 keV below the neutron threshold. For the thin target, the incident proton energy was 1.870 and 1.902 MeV. In Experiment 2, the proton energy was set at 1.920 and 1.870 MeV for the thick target, and 1.920 MeV for the thin target.

As a result, the present γ -ray production yield of ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ was 40-85% smaller than a previously reported value. Comparing the ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ yield between the thick and thin targets, the yield can be reduced by 75% when a thin target is used. For the ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$ reaction, the present thick-target yield was 40-50% smaller than an estimation from previous experimental cross-section data. The yield can be decreased by 90% by using a thin target.

Including the obtained γ -ray production yields and angular distributions of ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ and ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$, the patient absorbed dose in BNCT using a p-Li neutron source was evaluated by using the Monte Carlo simulation code PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System). It is found that γ -ray absorbed dose was one order of magnitude smaller than that of ${}^{10}\text{B}(n,\alpha){}^7\text{Li}$, and one or two orders of magnitude smaller than dose of γ -rays from neutron capture reactions in human body. By utilizing a thin Li target, the γ -ray dose can be reduced by 75% for ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ and by 90% for ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$. It is concluded that the γ -ray production reactions ${}^7\text{Li}(p,p'\gamma){}^7\text{Li}$ and ${}^7\text{Li}(p,\gamma){}^8\text{Be}$ do not significantly affect the patient absorbed dose in BNCT using a p-Li neutron source.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).