

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 22 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K19788

研究課題名(和文) PET核種製造用サイクロトロンにおける熱中性子束の簡易的測定法の検討

研究課題名(英文) Development of an easier method for measuring thermal neutron flux in PET cyclotron

研究代表者

堀次 元気(Horitsugi, Genki)

大阪大学・医学部附属病院・特任研究員(常勤)

研究者番号：70646231

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：PET核種製造用サイクロトロンにおける熱中性子束を複数の放射線検出器を用いて評価し、より簡易的な熱中性子束の評価法を検討した。自己遮蔽型サイクロトロンの熱中性子束をHP-Ge半導体検出器、CdZnTe半導体検出器、CsIシンチレーション検出器を用いて測定したところ、それぞれの検出器で得られた値に有意差はなかった。非自己遮蔽型サイクロトロンの壁表面における熱中性子束をCdZnTe半導体検出器、CsIシンチレーション検出器を用いて測定したところ、それぞれ 3.08×10^5 、 1.84×10^5 、 3.30×10^5 、 1.98×10^5 /cm²/sであった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to evaluate the thermal neutron flux using three spectrometers (HP-Ge detector, CdZnTe detector and CsI detector) and to develop an easier method for evaluation of thermal neutron. The gold foil activation method was used for measurement of the thermal neutron flux.

As the result, the thermal neutron fluxes in the self-shield measured using three spectrometers were $2.58 \times 10^6 \pm 1.75 \times 10^5$ (HP-Ge detector), $2.19 \times 10^6 \pm 2.72 \times 10^5$ (CdZnTe detector) and $2.55 \times 10^6 \pm 1.51 \times 10^5$ (CsI detector) /cm²/s, respectively. No significant difference was observed in measuring thermal neutron flux among three spectrometers. It is easier to measure the thermal neutron flux using CdZnTe detector or CsI detector than using HP-Ge detector.

Thermal neutron fluxes in wall surface of cyclotron room measured by CdZnTe detector and CsI detector were $3.08 \times 10^5 \pm 1.84 \times 10^5$ and $3.30 \times 10^5 \pm 1.98 \times 10^5$ /cm²/s, respectively.

研究分野：医歯薬学

キーワード：サイクロトロン 中性子 放射化

1. 研究開始当初の背景

改正放射線障害防止法が平成 24 年 4 月 1 日に施行されたことで、Positron Emission Tomography (PET) 核種製造用サイクロトロンにおいて PET 核種製造時に発生する放射化物が本格的に法規制の対象となった。サイクロトロンでは放射化に寄与する中性子の発生量が多いため、装置の廃棄や更新の際には壁や床などのコンクリート、サイクロトロン本体など非常に多くの放射化物が発生し、その廃棄処理には大きな費用が発生する。自己遮蔽体が無いサイクロトロンの場合には自己遮蔽体による中性子の遮蔽がないため、建屋のコンクリートが放射化物として扱わなければならない。放射性廃棄物の量が大幅に増大する。現時点において床や壁のコンクリートのどこをどの程度の深さまで放射性廃棄物としなければならないか決まっていない。そのため、施設ごとにコンクリートの放射化の程度を実測と計算により評価しなければならない。放射化の程度を計算により求めるためにはサイクロトロン使用時における熱中性子束を測定する必要がある。

これまでの報告では、熱中性子束の測定には金箔放射化法が選択されており、放射化させた金箔の放射能を求めるために High Purity-Germanium (HP-Ge) 半導体検出器が用いられている。HP-Ge 半導体検出器は高価で取扱いが難しいことから PET 検査を行う施設には導入されていないことが多い。そのため、ほとんどの施設においては HP-Ge 半導体検出器を用いた方法で熱中性子束を測定することはできない。そこで、HP-Ge 半導体検出器の代わりとなる放射線検出器を用いた方法を確立することで簡易的に熱中性子束を評価することが可能となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、サイクロトロン使用時に発生する熱中性子を HP-Ge 半導体検出器と Cadmium Zinc Telluride (CdZnTe) 半導体検出器および Cesium iodide activated thallium (CsI (Tl)) シンチレーション検出器を用いて測定し、検出器の違いによる測定値を比較評価し、この結果から、HP-Ge 半導体検出器の代わりとなる放射線検出器を用いた簡易的な熱中性子束測定法を検証する。その後非自己遮蔽型サイクロトロンにおける建屋コンクリートの放射化を計算し、評価する。

3. 研究の方法

(1) 金箔放射化法に用いる放射線検出器の基礎的検討

放射能標準 線源を用いてそれぞれの放射線検出器のエネルギー校正及び計数効率校正を行う。また、モンテカルロコード (Particle and Heavy Ion Transport code System : PHITS) を用いた幾何学的効率の

補正を行う。今回の実験で用いる CdZnTe 半導体検出器、CsI (Tl) シンチレーション検出器は持ち運びが容易なものである。

(2) 熱中性子束の簡易測定法の検討
放射化検出器 (金箔及びカドミウム箔) をサイクロトロン (CYPRIS HM-12S、住友重機械工業、加速エネルギー : proton-12MeV、deuteron-6MeV、最大ビーム電流 100 μ A) の室内に配置する (図 1)。サイクロトロンで ^{18}F を製造し、その際に金箔が二次的に発生する中性子と ^{197}Au (n, γ) ^{198}Au 反応を起こすことによって放射化する。HP-Ge 半導体検出器、CdZnTe 半導体検出器、CsI (Tl) シンチレーション検出器を用いて ^{198}Au から放出される γ 線 (412 keV) を測定し、それぞれの検出器を用いた場合の熱中性子束を比較する。



図 1 . 放射化検出器 (左 : 金箔、右 : カドミウム箔で覆った金箔) の設置



図 2 . 測定に用いた各放射線検出器 (左上 : CdZnTe 半導体検出器、左下 : CsI シンチレーション検出器、右 : HP-Ge 半導体検出器)

(3) 簡易測定法を用いたサイクロトロン室内の熱中性子束分布の測定

非自己遮蔽型サイクロトロン (CYPRIS HM-18、住友重機械工業、加速エネルギー : proton-18MeV、deuteron-9MeV、最大ビーム電流 70 μ A) 室内における壁のコンクリート表面に放射化検出器を設置 (図 3) し CdZnTe 半導体検出器、CsI (Tl) シンチレーション検出器を用いて熱中性子束分布を測定する。

(4) 建屋コンクリートの放射化を計算により評価
簡易測定法で熱中性子束分布を評価した後、

コンクリートの放射化の程度を計算により評価する。

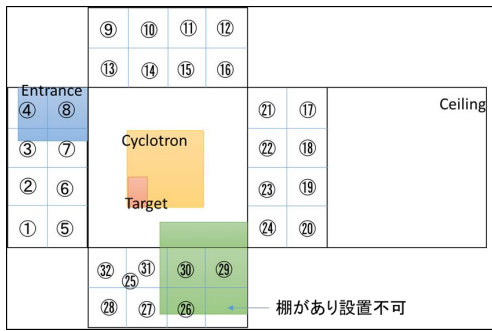


図3．非自己遮蔽型サイクロトロン室内壁の測定位置

4．研究成果

(1) HP-Ge 半導体検出器と CdZnTe 半導体検出器および CsI シンチレーション検出器で同じ放射能標準線源を用いてエネルギー校正、計数効率校正を実施した。また、モンテカルロ計算により標準線源と金箔との幾何学的な違いについて補正を実施した。

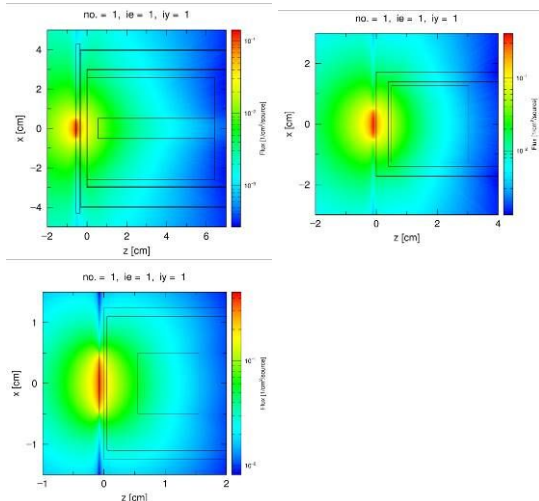


図4．それぞれの検出器におけるモンテカルロ計算（左上：HP-Ge 半導体検出器、右上：CsI シンチレーション検出器、左下：CdZnTe 半導体検出器）

(2) 自己遮蔽型サイクロトロンのターゲット直下の床に放射化検出器を設置し、¹⁸F 製造時の熱中性子束の測定を実施した。各検出器を用いて得られた熱中性子束はそれぞれ、HP-Ge 半導体検出器： $2.58 \times 10^6 \pm 1.75 \times 10^5 / \text{cm}^2/\text{s}$ 、CdZnTe 半導体検出器： $2.19 \times 10^6 \pm 2.72 \times 10^5 / \text{cm}^2/\text{s}$ 、CsI シンチレーション検出器： $2.55 \times 10^6 \pm 1.51 \times 10^5 / \text{cm}^2/\text{s}$ であり、それぞれの値に有意差は見られなかった。(図5) この結果から、金箔放射化法において放射化箔の測定に CdZnTe 半導体検出器や CsI シンチレーション検出器を用いることで HP-Ge 半導体検出器を用いるよりも簡便に熱中性子束を測定することが可能であることがわか

った。

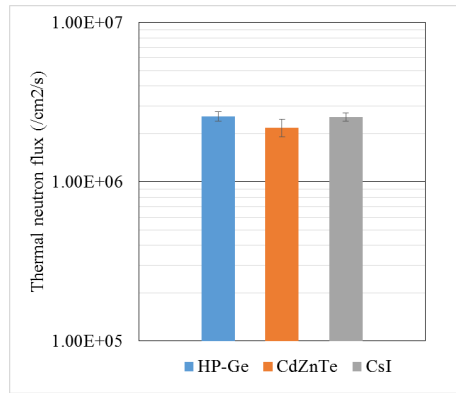


図5．各検出器より得られた熱中性子束

(3) HP-Ge 半導体検出器がない施設において非自己遮蔽型サイクロトロンの室内壁に放射化検出器を 32 箇所設置し、金箔の放射化を CdZnTe 半導体検出器および CsI シンチレーション検出器を用いて測定した。得られた熱中性子束の平均値は CdZnTe 半導体検出器： $3.08 \times 10^5 \pm 1.84 \times 10^5 / \text{cm}^2/\text{s}$ 、CsI シンチレーション検出器： $3.30 \times 10^5 \pm 1.98 \times 10^5 / \text{cm}^2/\text{s}$ であった。(図6)

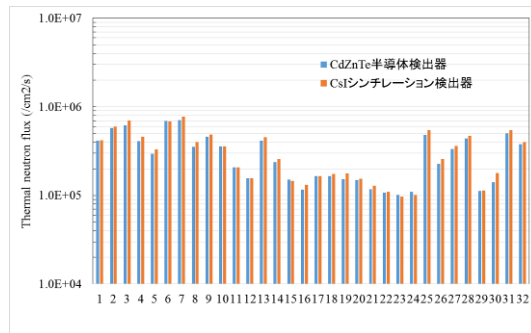


図6．室内壁における熱中性子束分布

(4) 3で得られた熱中性子束から建屋コンクリートの放射化を計算した。熱中性子束 $3.08 \times 10^5 / \text{cm}^2/\text{s}$ を用いて計算した場合、1日あたりの照射時間を2時間で計算すると、10、20、30年の運転期間すべてでコンクリートの放射化はクリアランスレベルを超えた。1日あたりの照射時間を1時間とし、運転期間を20年とした場合にはクリアランスレベルとの比(D/C)は0.97となり1を超えなかった。

The purpose of this study was to evaluate the thermal neutron flux using three spectrometers (HP-Ge detector, CdZnTe detector and CsI detector) and to develop an easier method for evaluation of thermal neutron. The gold foil activation method was used for measurement of the thermal neutron flux.

As the result, the thermal neutron fluxes in the self-shield measured using three spectrometers were $2.58 \times 10^6 \pm 1.75 \times 10^5$

(HP-Ge detector), $2.19 \times 10^6 \pm 2.72 \times 10^5$ (CdZnTe detector) and $2.55 \times 10^6 \pm 1.51 \times 10^5$ (CsI detector) /cm²/s, respectively. No significant difference was observed in measuring thermal neutron flux among three spectrometers. It is easier to measure the thermal neutron flux using CdZnTe detector or CsI detector than using HP-Ge detector. Thermal neutron fluxes in wall surface of cyclotron room measured by CdZnTe detector and CsI detector were $3.08 \times 10^5 \pm 1.84 \times 10^5$ and $3.30 \times 10^5 \pm 1.98 \times 10^5$ /cm²/s, respectively.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計1件)

1. Genki Horitsugi, Yasukazu Kanai, Tadashi Watabe, Sadahiro Naka, Eku Shimosegawa, Jun Hatazawa, Evaluation of thermal neutron flux in the cyclotron room using three spectrometers. (サイクロトロン室内の熱中性子束評価：複数のスペクトロメータによる比較) 第56回日本核医学会総会学術大会 2016年11月3日-5日、名古屋

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

堀次 元気 (HORITSUGI, Genki)
大阪大学・医学系研究科・特任研究員
研究者番号：70646231

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()