

## 別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 YAP(Ce)シンチレータの性能評価と  
高分解能エックス線カメラへの応用に関する研究

氏 名 中西恒平

## 論 文 内 容 の 要 旨

## 緒言

近年、標的アイソトープ治療に用いる核種としてアルファ線放出核種が注目されている。これらのアルファ線放出核種の多くは 80 ~ 90 keV 程度の特性エックス線も放出するため、標的アイソトープ治療用アルファ線放出核種の臨床応用に向けた小動物実験では臨床用シンチレーションカメラを用いた特性エックス線イメージングが行われている。しかし、臨床用シンチレーションカメラではアルファ線放出核種分布の高空間分解能画像を得ることが難しく、低エネルギーエックス線用高空間分解能シンチレーションカメラの開発が望まれている。

YAlO<sub>3</sub>:Ce (YAP(Ce))シンチレータは低エネルギー放射線に対して高い固有空間分解能を有しているシンチレータであり、低エネルギーエックス線用高空間分解能シンチレーションカメラの開発に有望なシンチレータである。一方で、YAP(Ce)の物理特性は添加されている Ce 濃度に依存する事が知られており、高空間分解能な YAP(Ce)イメージング検出器の開発には適切な Ce 濃度を有する YAP(Ce)を用いる必要がある。しかし、低エネルギーエックス線用高空間分解能イメージング検出器の開発に適した YAP(Ce)の Ce 濃度は明らかにされていない。本研究の目的は低エネルギーエックス線用高空間分解能イメージング検出器の開発に適した YAP(Ce)の Ce 濃度を明らかにすること及び低エネルギーエックス線用高空間分解能 YAP(Ce)カメラを開発し、開発したカメラで標的アイソトープ治療用アルファ線放出核種 At-211 を投与した小動物の高空間分解能イメージングを実現することとした。

## 方法

本研究では含有する Ce 濃度が 0.05% Ce、1% Ce、2% Ce である 3 種類の YAP(Ce) シンチレータ間で性能比較を行った。全ての YAP(Ce)シンチレータのサイズは 10 mm × 10 mm × 0.5 mm とした。それぞれの YAP(Ce)を高量子効率型光電子増倍管 (Photomultiplier tube : PMT) の受光面の中心に設置し、662 keV ガンマ線、122 keV ガンマ線、60 keV ガンマ線及び 32 ~ 35 keV エックス線を YAP(Ce)に照射してそれぞれの放射線に対するエネルギースペクトルを取得した。取得したエネルギースペクトルを用いて YAP(Ce)シンチレータの発光量、エネルギー分解能及び非線形性の評価を行った。また、60 keV ガンマ線を YAP(Ce)に照射することで生じた高速 PMT からの信号をデジタルオシロスコープに送信し発光減衰曲線を取得して発光減衰時間を算出した。

上記の比較にて優れた性能を有していた Ce 濃度を含有する YAP(Ce)を用い、イメージング検出器の開発を行った。38 mm × 38 mm × 1 mm の YAP シンチレータと位置有感型光電子増倍管を光学結合しエックス線イメージング検出器を開発し、視野外放射線を遮蔽するために開発した検出器をタングステン容器に入れた。タングステン容器はパラレルホールコリメータとピンホールコリメータを切り替えて装着できる構造とし、撮像目的に応じたコリメータを使用できる低エネルギーエックス線用 YAP(Ce)カメラを開発した。開発したエックス線カメラシステムを用いて 1 MBq の At-211-NaAt を投与したマウスの撮像を行った。5 mm 厚パラレルホールコリメータを装着し 15 分間撮像を行いマウスの全身像を得た。また、コリメータを 1 mm 径ピンホールコリメータに切り替えて撮像を行いマウスの甲状腺の 20 分撮像拡大画像及び 60 分撮像拡大画像を得た

## 結果

エックス線及びガンマ線に対する YAP の発光量と Ce 濃度の間には正の相関が確認された。0.05% Ce 添加、1% Ce 添加及び 2% Ce 添加 YAP の 60 keV ガンマ線に対するエネルギー分解能はそれぞれ、24.4 %FWHM、20.8 %FWHM、18.4 %FWHM となり、Ce 濃度とエネルギー分解能の間には負の相関が存在した。非線形性は Ce 濃度が上昇することでわずかに大きくなった。発光減衰時間は Ce 濃度と負の相関関係を有し、0.05% Ce 添加、1% Ce 添加及び 2% Ce 添加 YAP の発光減衰時間はそれぞれ、46.3 ns、39.6 ns、33.2 ns となった。以上の結果より 2%Ce 添加 YAP が低エネルギーエックス線用イメージング検出器に用いるシンチレータとして適していることが明らかになった。

2%Ce 添加 YAP を用いてエックス線イメージング検出器を開発した。開発した検出器の 60 keV ガンマ線に対する固有空間分解能は 1.2mm FWHM、エネルギー分解能は 22% FWHM であった。開発したエックス線カメラに 5 mm 厚パラレルホール

コリメータ装着した際のシステム空間分解能及び感度はコリメータ表面から 10 mm の距離でそれぞれ 3.8 mm FWHM、 $8 \times 10^{-4}$  となった。一方で 1 mm 径ピンホールコリメータ装着時のシステム空間分解能及び感度はコリメータ表面から 10 mm の距離でそれぞれ 1.8 mm FWHM、 $3.5 \times 10^{-4}$  となった。また、マウスの撮像を行い、At-211 のマウス体内の全身分布画像及び甲状腺の高空間分解能画像を得ることに成功した。

#### 考察

開発した YAP(Ce) エックス線カメラシステムで撮像したマウス全身画像では、従来の装置では観察できなかった低い集積部位も観察可能になった。ピンホールコリメータで撮像した甲状腺拡大画像では、甲状腺の形状を描出することに成功した。

#### 結論

本研究では、Ce 濃度が異なる YAP(Ce) シンチレータの性能比較を行い、エックス線イメージング検出器には 2%Ce 添加 YAP(Ce) が最も適していることを明らかにした。2%Ce 添加 YAP(Ce) を用いて低エネルギーエックス線カメラを開発し、At-211 の高空間分解能インビボイメージングが可能であることも実証した。本研究の成果から、2%Ce 添加 YAP(Ce) は今後、高分解能放射線イメージング装置へ応用されることが期待される。