

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：82502

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K14556

研究課題名（和文）植物体内の複数物質同時イメージング用PETIS/コンプトン融合機の開発

研究課題名（英文）Development of a PETIS/Compton fused device for simultaneous imaging of plural substances in a plant body

研究代表者

長尾 悠人（Nagao, Yuto）

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 放射線高度利用施設部・技術員（定常）

研究者番号：60622545

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：植物体内の複数の物質を同時に可視化することを目的として、ポジトロン放出核種を一度に一種類だけ撮像可能な既存の植物研究用ポジトロンイメージング（PETIS: positron-emitting tracer imaging system）技術に、次世代のガンマ線イメージング技術であるコンプトンイメージング技術を融合させた新たな植物研究用ガンマ線イメージング装置「PETIS/コンプトン融合機」を考案した。本研究課題では融合機開発の第一段階として小型のプロトタイプ装置を試作し、融合技術の有用性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、PETIS/コンプトン融合機のプロトタイプ装置を試作し、融合技術の有用性を実証した。この融合技術は、植物研究に新たな研究ツールを提供するものであり、これにより植物体内のあらゆる物質輸送を可視化すれば、複数の元素が拮抗作用し合う植物の栄養吸収・代謝メカニズムの包括的な解明につながり、植物の多様な代謝・生理機能や環境適応のシステムの理解を通じた作物の生産性向上、ひいては我が国の将来にわたる安全な食料の安定供給が期待される。

研究成果の概要（英文）：We have devised a new gamma-ray imaging device for plant studies named "positron-emitting tracer imaging system (PETIS)/Compton fused device" for simultaneous imaging of plural substances in a plant body by fusing an existent positron imaging technique for plant studies (i.e. PETIS technique) and a Compton imaging technique, which is a next-generation gamma-ray imaging technique. In this study, we have developed a small prototype device to demonstrate the effectiveness of the fusion technique.

研究分野：放射線計測

キーワード：コンプトンカメラ ポジトロンイメージング

1. 研究開始当初の背景

世界的な穀物不足と肥料価格の高騰に加え、地球温暖化による気候変動が大規模な凶作を生むとの予測もあり、植物生理機能の解明研究を通じた「安全な食料を安定的に生産する科学技術」と「生理機能を活用した環境浄化技術」の開発が国家的課題となっている。これらの観点から植物生理のメカニズムは分子レベルで理解されつつあるが、生理機能が生産性に及ぼす影響といった農学的見地から発せられる問いに対して、分子レベルの知見が直接答えを与える例は少なく、分子メカニズムと個体の生理応答の中間レベルとして、ミリメートルオーダーの組織・器官レベルにおける生理機能の解明が必要となる。

生体内の事象を組織・器官レベルで画像化する「分子イメージング研究」が近年注目されている。これは生体内のマクロな物質動態から分子プロセスの可視化を目的とした基礎研究と開発手法による応用研究を指し、イメージング技術を用いて、生命現象を明らかにしていこうとする学際研究分野である。植物研究を目的とした分子イメージング研究の有用性も示され、核磁気共鳴画像法 (MRI: magnetic resonance imaging) による維管束流速画像や、ベータ線イメージング装置を用いたリン酸動態の可視化など世界各国で実施されている。中でも、量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所で開発された植物研究用ポジトロンイメージング (PETIS: positron-emitting tracer imaging system) 技術は、植物体内の炭素動態や窒素固定といった栄養動態のみならず、カドミウムなどの環境汚染物質の動態の可視化に成功し、国内外で高い評価を得ている。

しかしながら、PETIS 装置により可視化できる元素は一度に一種類のみで、例えば、カリウムとナトリウムの動態を同時に可視化することはできない。カリウム、鉄、銅、亜鉛などの栄養元素や、ナトリウム、カドミウムなどの有害元素を含めた植物体内のあらゆる物質輸送を可視化すれば、複数の元素が拮抗作用し合う植物の栄養吸収・代謝メカニズムの包括的な解明につながると考え、本研究課題の着想に至った。

2. 研究の目的

植物体内の様々な物質動態を同時に可視化することを目的として、ポジトロン放出核種を一度に一種類のみ撮像可能な既存の植物研究用ポジトロンイメージング技術に、次世代のガンマ線イメージング技術であるコンプトンイメージング技術を融合させることにより、複数の放射性トレーサを同時に撮像可能な新たな植物研究用ガンマ線イメージング装置「PETIS/コンプトン融合機」を開発する。本研究課題では融合機開発の第一段階として、融合技術の有用性を実証するための小型のプロトタイプ装置を試作する。

PETIS 技術の中核をなすポジトロンイメージング技術は、ポジトロン (陽電子) と電子の対消滅により互いに正反対の方向に放出される 511 keV (キロ電子ボルト) のエネルギーを持つガンマ線対を、対向する検出器で検出することによりポジトロン放出核種の分布を可視化する技術である。医学分野を中心にポジトロン放射断層撮影法 (PET: positron emission tomography) として、国内外で広く利用されている。一方、コンプトンイメージング技術は、コンプトン散乱とそれに続く光電吸収などの反応のそれぞれの位置に加え、各々の付与エネルギーを精確に測定することにより、ガンマ線放出源 (核種) の分布を可視化する次世代のガンマ線イメージング技術である。その装置はコンプトンカメラと呼ばれ、国内外で開発が進められており、粒子線治療イメージングや分子イメージング、放射性セシウムの環境モニタリングなど、様々な分野への応用が期待されている。

コンプトンカメラはポジトロン放出核種を含む多種多様な核種を同時に撮像することが可能であるが、ポジトロン放出核種に対する空間分解能の点では PETIS 装置の方が優れている。そこで、ポジトロン放出核種は PETIS 装置で、そのほかのガンマ線放出核種はコンプトンカメラで同時に撮像することができれば、ポジトロン放出核種に対する空間分解能を劣化させることなく、複数の核種を同時に撮像することが可能となる。しかし、医学分野における PET/MRI 装置のように、単に二つの装置を並べただけでは、撮像視野を同時に共有することができないため、同時に撮像することはできない。

そこで、検出器を一部共有し、コンプトンカメラに対向する PETIS 用吸収体検出器を導入することにより、コンプトンイメージング技術に PETIS 技術を融合させる。この方法ではシステム自体をコンパクトにできるため、イメージング装置のほかに照光装置や水位維持装置などの様々な装置を人工気象器の中に設置するスペースが確保でき、植物イメージングの現場に適用可能である。また、検出器や電子回路を有効利用することにより、コストを抑えることができる。この融合技術は、植物研究に新たな研究ツールを提供するものである。

3. 研究の方法

科研費・挑戦的萌芽研究の研究課題 (課題番号: 16K15351) において開発した、光収率の高い GAGG (gadolinium aluminium gallium garnet, $\text{Ce:Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$) シンチレータ及び PET 装置用の電子回路を用いたコンプトンカメラに、PETIS 用吸収体検出器及び電子回路等を追加し改造する

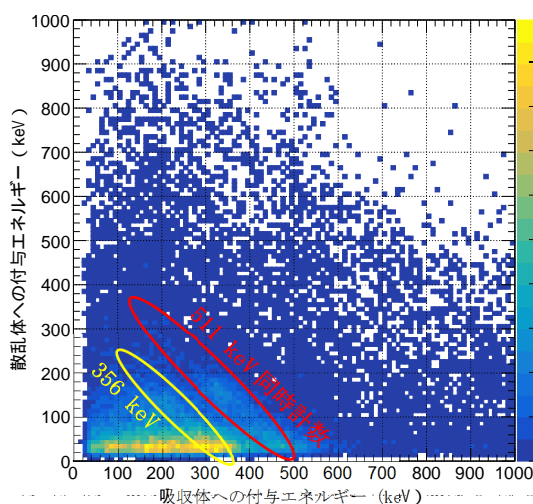
形でプロトタイプ装置を試作した。具体的には、コンプトンカメラの吸収体と同仕様の GAGG シンチレータアレイ (44×44 ピクセル、1 ピクセル 0.85 mm×0.85 mm×10 mm)、フラットパネル光電子増倍管 (H10966A-100)、ゲイン調整基板、ウェイトサム基板、アナログ・デジタル変換基板等を追加しコンプトンカメラのコインシデンス基板に実装した上で、3つ以上の検出器の内
の任意の2検出器間で同時計数を取得可能とするように、コンプトンカメラの計測プログラムを改造した。また、計測後のデータを取り扱うデータ処理プログラムを新たに開発した。

試作したプロトタイプ装置の性能を評価するため、2種類の点線源 (^{22}Na 及び ^{133}Ba) の同時撮像実験を実施した。

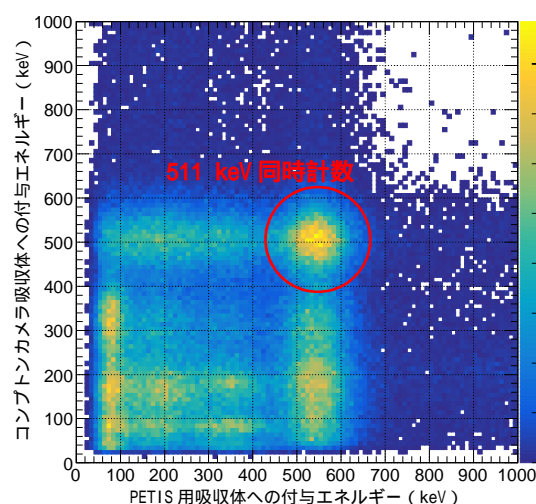
4. 研究成果

図1に2種類の点線源の同時撮像実験の結果を示す。図1(a)及び(b)の2次元スペクトルに示すように、コンプトンカメラ (356 keV 及び 511 keV) 及び PETIS 装置 (511 keV) としての同時計測に成功した。また、図1(c)及び(d)に示すように、コンプトンカメラの逆投影法によるイメージングにより、互いに 2 cm 離れた2種類の点線源を弁別することに成功した。

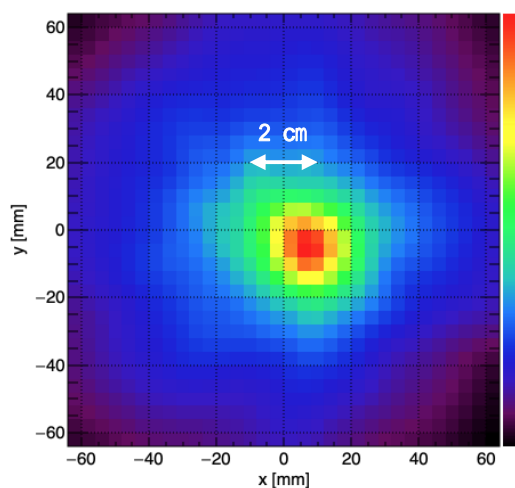
今後、詳細な実験データ解析及び論文としての取りまとめを進め、国際誌へ投稿予定である。



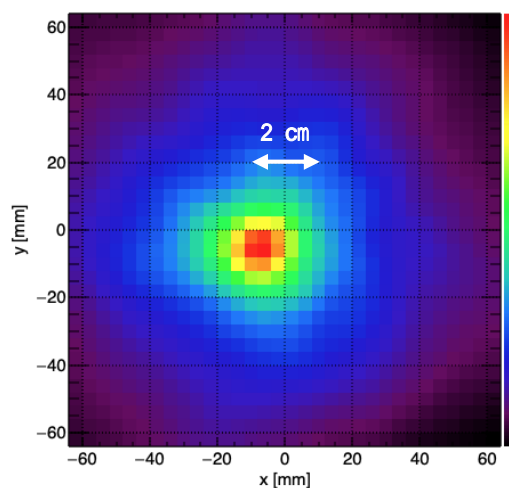
(a) コンプトンデータの2次元スペクトル



(b) PETIS データの2次元スペクトル



(c) ^{133}Ba 画像



(d) ^{22}Na 画像

図1 点線源の同時撮像実験の結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|