

天体ガンマ線イメージング技術の社会応用を目指して

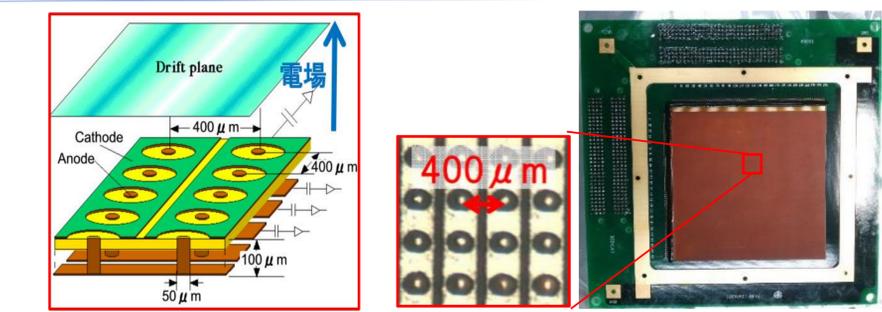
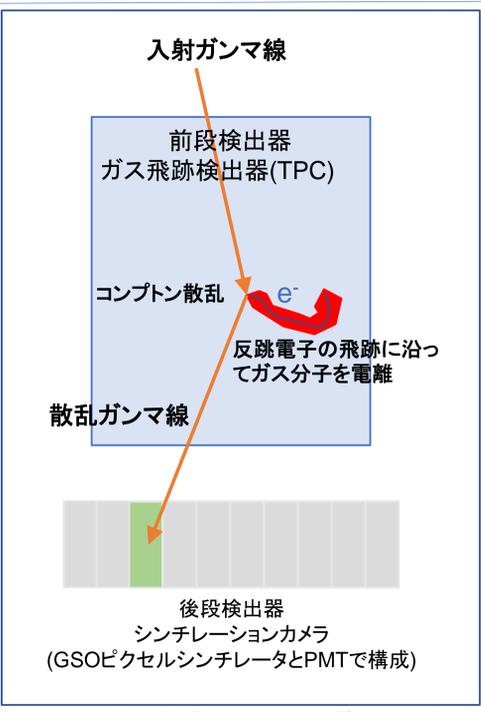
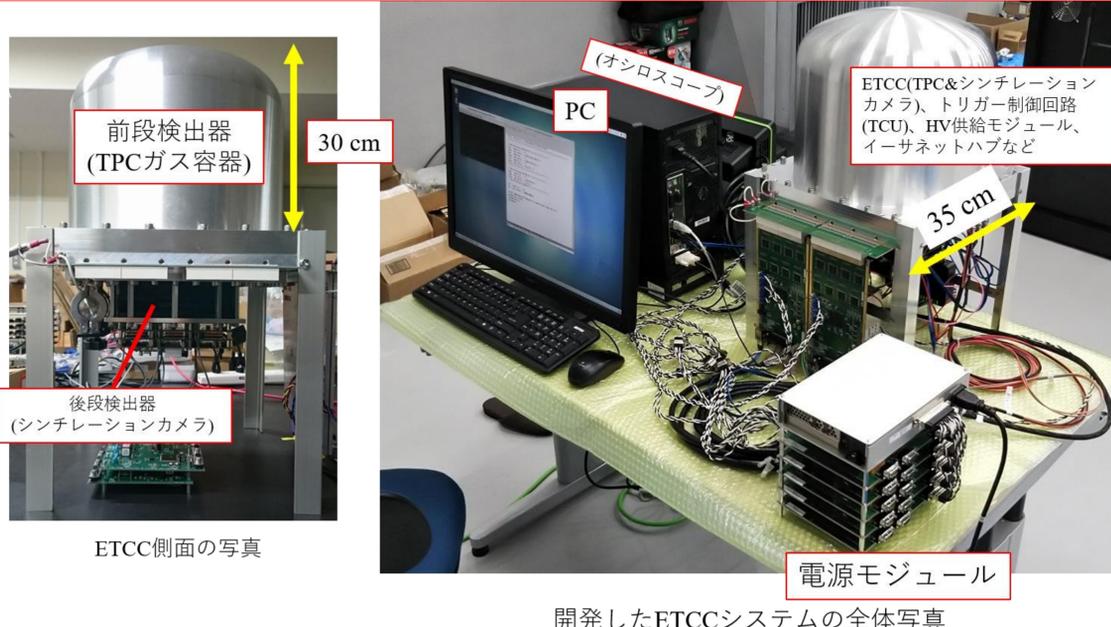
水本哲矢(株式会社京都Space Gamma)、園田真也(株式会社京都Space Gamma)、乙武昌邦(株式会社京都Space Gamma)、石本学(株式会社京都Space Gamma)、高田淳史(京都大学理学研究科)、谷森達(京都大学理学研究科)

天体ガンマ線観測技術として京都大学で開発されてきたETCCはガンマ線のコンプトン散乱を利用した検出器で、1光子毎にエネルギーと到来方向を求めることができ、高い雑音除去能力を持ち、広視野(3str以上)、サブMeV~MeVの広いエネルギー範囲のガンマ線に感度を持つガンマ線イメージング検出器である。

- ETCCの医療応用例**
- ✓ ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)の478keV即発ガンマ線イメージングによる治療効果確認
 - ✓ 粒子線治療においてガンマ線イメージングによる治療効果確認
 - ✓ 核医学イメージング装置であるSPECT、PETからの代用。使用できるRI製剤の範囲が広がる

- ETCCの環境ガンマ線測定への応用例**
- ✓ ガンマ線イメージングを用いた土壌の放射性物質による汚染状況の確認。
 - ✓ 原子力施設等において放射性物質の漏れのモニタリング

ETCC = 前段検出器(TPC) + 後段検出器(シンチレーションカメラ)
前段検出器(TPC): 入射ガンマ線のコンプトン散乱発生。コンプトン散乱点の位置、電子の反跳方向とエネルギーを取得。
後段検出器(シンチレーションカメラ): 前段検出器で散乱されたガンマ線を吸収。散乱ガンマ線の吸収位置とエネルギーを取得。
 →コンプトン散乱を再構成するのに必要な情報をすべて取得。1光子毎に入射ガンマ線のエネルギー、到来方向を再構成することが可能。



左図:前段検出器(TPC)の概念図。右図: TPCに使用している二次元ガス増幅器uPICの写真。TPC内の反跳電子の飛跡に沿って生成された電離電子を電場でuPICに移動させ、信号増幅、ストリップ信号読み出しを行う。信号検出時刻情報、直交する2種類の電極(Anode、Cathode)のストリップ位置情報で飛跡を3次元に再構成できる。

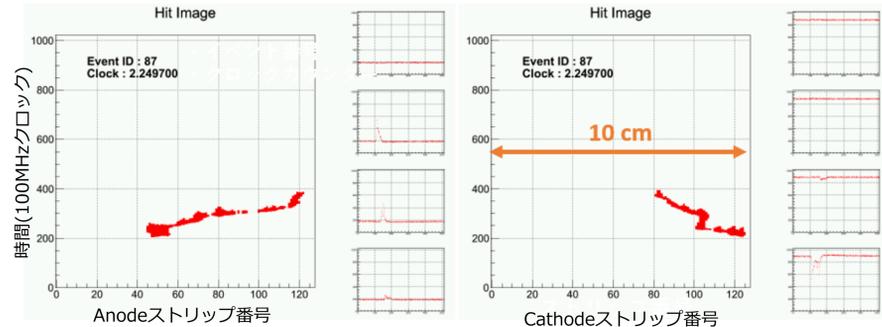
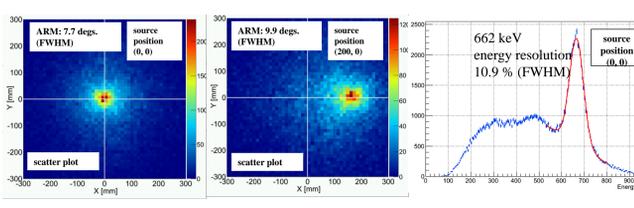
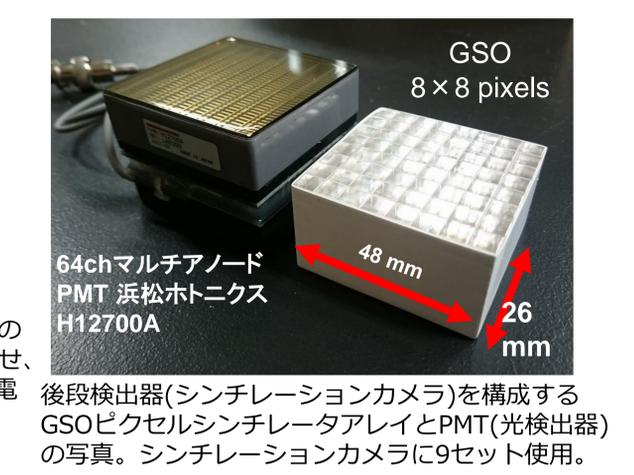


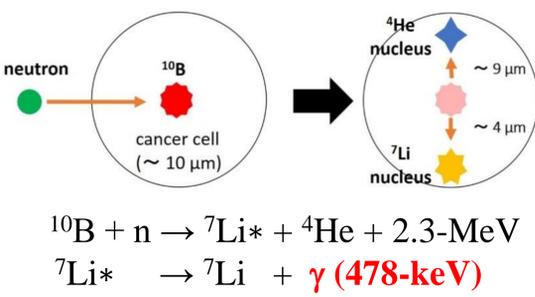
図: TPCで測定された電子イベントの例



137Cs点線源からの662keVガンマ線のETCCによるイメージングとスペクトルの測定結果の例

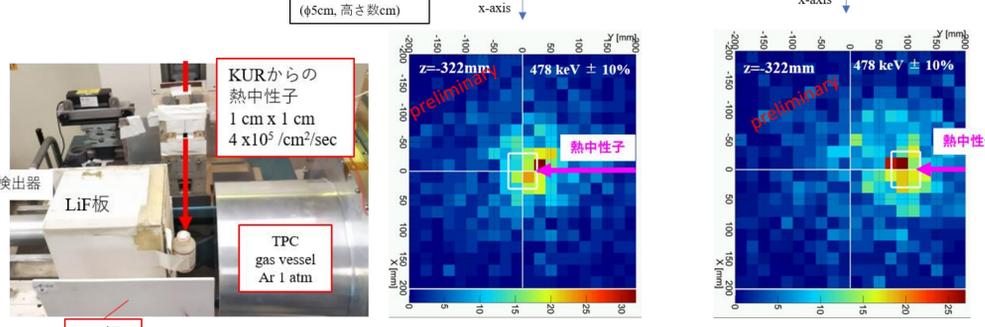
ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)におけるETCCを用いた478keV即発ガンマ線イメージングによる治療効果確認を目指して

- BNCTの流れ**
- ①がん細胞に選択的に取り込まれるホウ素薬剤を投与
 - ②中性子線を照射
 - ③がん細胞内で¹⁰Bと中性子の核反応で高エネルギーの⁴Heと⁷Liが発生
 - ④がん細胞を選択的に破壊



→反応の際に478keVの即発ガンマ線が発生。これをイメージングできれば治療の効果を確認できる。

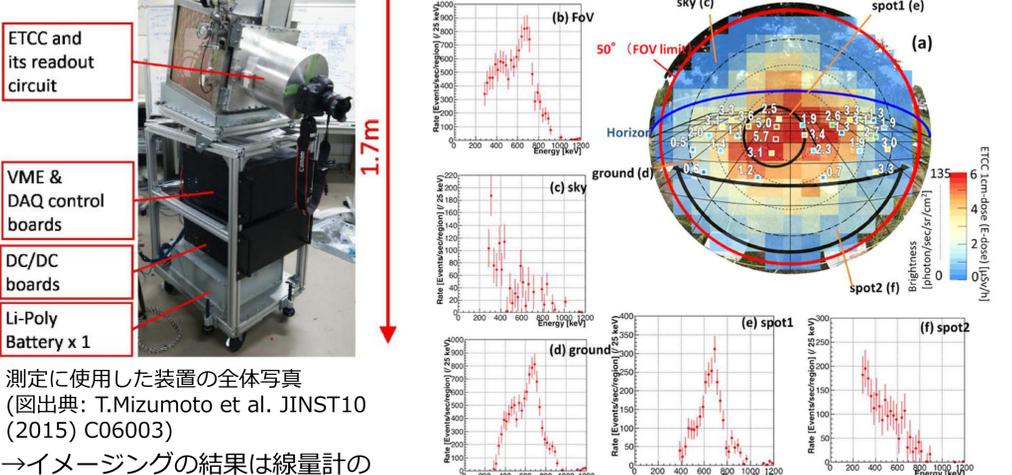
京都大学複合原子力科学研究所で研究用原子炉(KUR)からの熱中性子線をホウ素入り溶液に照射し、ETCCで478keV即発ガンマ線イメージングできるか確認、試験した。



熱中性子線方向、ホウ素入り溶液の位置等の測定条件(上図)とその測定条件で得られたETCCの478keVガンマ線画像(下図) → 478keV即発ガンマ線のイメージングに成功。実際のBNCT治療の条件での動作確認は今後の課題

ETCCの環境ガンマ線モニタリングへの応用(京都大学)

屋外で使用できるように可搬でバッテリー駆動の装置を製作し、¹³⁷Cs、¹³⁴Csで汚染された土壌からのガンマ線のイメージを取得



測定に使用した装置の全体写真(図出典: T.Mizumoto et al. JINST10 (2015) C06003) →イメージングの結果は線量計の測定結果と矛盾しないことを確認。また、ガンマ線イメージで領域ごとに分けてスペクトルを描くことで散乱ガンマ線成分と直接成分の割合の場所ごとの違いを確認。

まとめ
 電子飛跡検出型コンプトンカメラ(ETCC)は天体ガンマ線観測用の技術であると同時に天体観測以外にも利用可能な技術であり、医療応用などを狙って開発している。これまで、BNCTや粒子線治療における治療効果確認などの医療応用を目指して基礎的な試験を行いETCCの有用性を示してきた。また、環境ガンマ線測定を行い線量計と矛盾ない結果を得ており、環境ガンマ線モニタリングへの応用も可能なことを示してきた。実用的なものにしていくために高線量、高雑音環境下でのETCCの動作確認と改良や、製品としての完成度を高めていくことが今後の課題である。