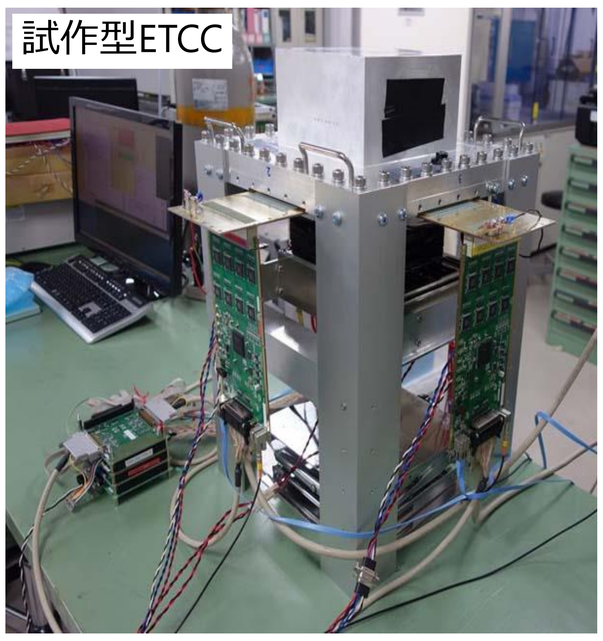
宇宙ガンマ線望遠鏡の社会応用
電子飛跡検出型コンプトンカメラの医療応用

奈部谷章 (キヤノン)、木村寛之 (京都大学、環境安全保健機構)、株木重人 (東海大学、医学部)、
高田淳史、窪秀利、古村翔太郎、谷森達、松岡佳大、水村好貴 (京都大学、宇宙線研究室)、
澤野達哉 (金沢大学、宇宙物理学研究室)、初川雄一、塚田和明、永井泰樹、佐藤哲也、浅井雅人 (日本原子力研究開発機構)

電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC) の特徴と医療応用への期待



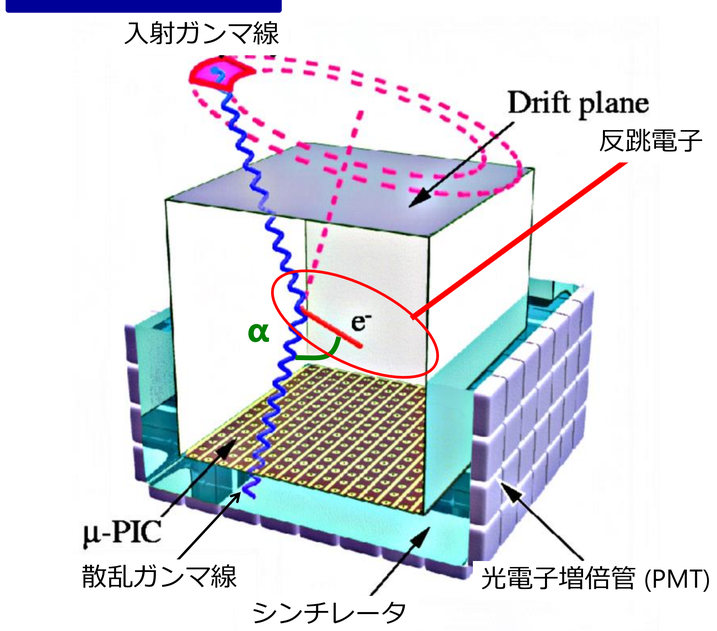
核医学イメージング装置であるSPECT、PETは機能画像イメージングに大きな貢献をしているが、SPECTは300KeVまでのγ線しか扱えず、PETは電子陽電子対生成を起こす製剤しか利用できない。一般的に電子陽電子対生成を起こす製剤は半減期が非常に短く取り扱いが難しい。このような中、使用できる製剤の範囲が広い新たなγ線イメージング装置の開発には多くの期待が集まっている。

コンプトンカメラはコンプトン散乱を利用してγ線を測定するため広いエネルギー測定レンジを持つ。ETCCは反跳電子飛跡測定が可能なため、コンプトンカメラの医療応用実用化への可能性を一気に高めた。我々は医療用ETCCを開発し利用可能なRI製剤の範囲を広げることで医療機能イメージングの可能性を広げ、医療に貢献することを目指している。

ETCCの特徴	医療応用への期待
γ線エネルギー広測定領域	多剤同時撮影、粒子線治療モニタリング
広視野角 (3str)	術者への空間確保 (少ない台数で3次元撮像可能)
γ線の到来方向を完全に決定	位置分解能の向上
運動学的手法による雑音除去	高感度化 = 低被曝化

ETCCについて

ETCC模式図



- TPC (Time Projection Chamber)
  - ✓ GEM、μ-PIC、ガスチェンバー
  - ➢ 反跳電子のエネルギーと3次元飛跡を検出
- ピクセルシンチレータ + 光電子増倍管 (PMT)
  - ➢ 散乱ガンマ線のエネルギーと吸収点を検出

→ 入射ガンマ線のエネルギーと到来方向を一意に決定可能

ETCCで測定可能な放射線源

	Ce-139	Cr-51	Ba-133	I-131	Au-198	Na-22	F-18	Cu-64	Cs-137	Mn-54	Fe-59	Zn-65	Co-60
Energy [keV]	167	320	354	364	410	511 1275	511	511	662	835	1095 1292	1116	1173 1333
Life	137.6 day	27.7 day	10.52 year	8.01 day	2.6 day	2.609 year	109.8 min	12.70 hour	30.04 year	312.1 day	44.5 day	244 day	5.271 year

SPECT　PET

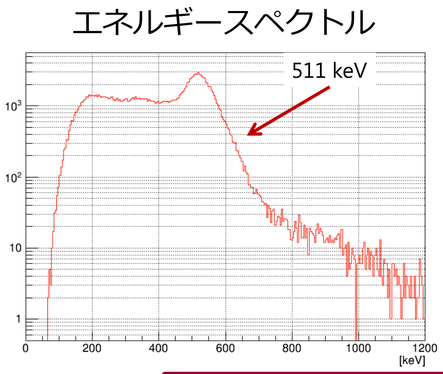
ETCC (ダイナミックレンジ: 167 keV ~ 1333 keV)

医療応用例

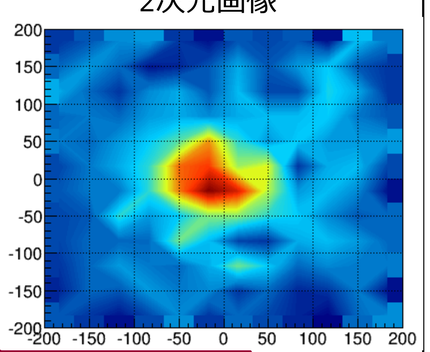
FDG イメージング試験

FDGとは...
- ✓ がんの診断のために使用されるPET製剤
- ✓ 電子陽電子対生成により511keVのγ線を放出
- ✓ 半減期 = 約110分

エネルギースペクトル



2次元画像

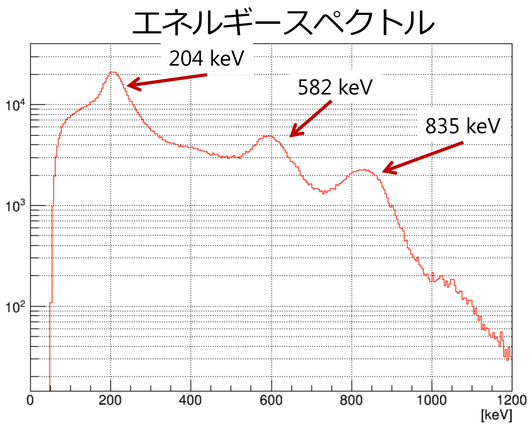


PET製剤をイメージング可能

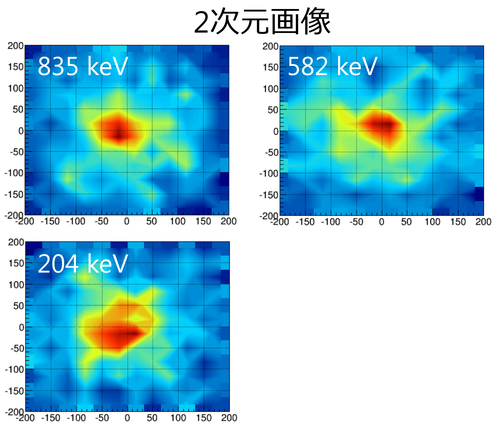
Tc-95m イメージング試験

Tc-95mとは...
- ✓ 835keV, 582keV, 204keVのガンマ線を放出
- ✓ 半減期 = 約60日

エネルギースペクトル

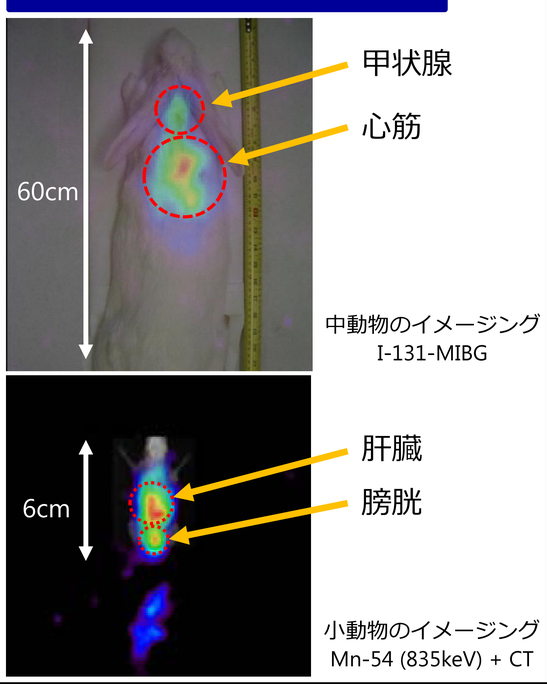


2次元画像

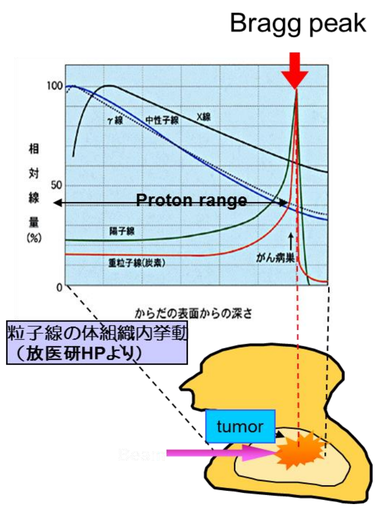


幅広いエネルギーのγ線を同時測定、イメージング可能

動物イメージング試験



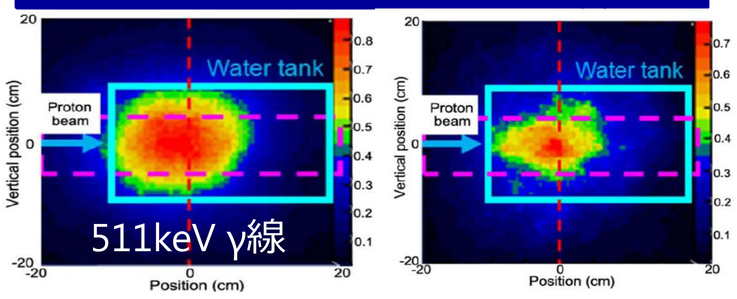
陽子線治療とは

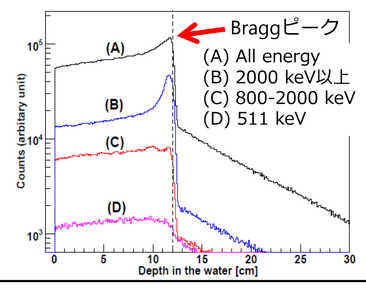


陽子を腫瘍に照射してBraggピークを腫瘍の位置に合わせて治療する。ピークの位置がずれると正常な細胞を殺してしまうリスクがあるのでピークの位置をモニターする方法が研究されている。

ETCCはリアルタイムモニタリングに使用できる可能性がある。

粒子線治療イメージング試験 (2010年)

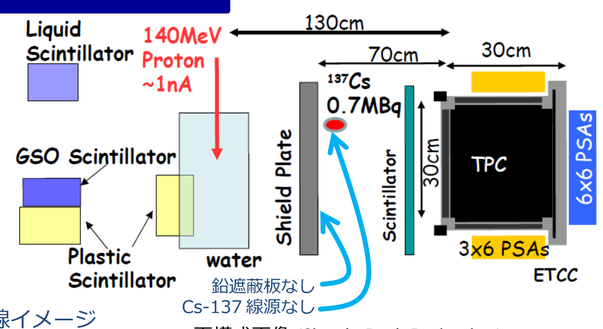




世界最初のガンマ線イメージング

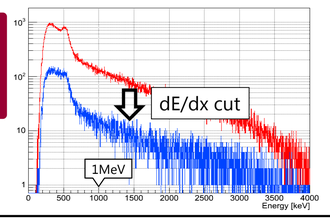
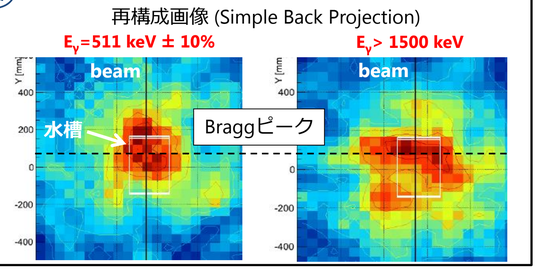
陽子ビーム試験 (2014年)

- ✓ 陽子ビーム強度 0.1nA (陽子線治療の10分の1)
- ✓ 高雑音環境下でCs-137線源の撮像を行った。



水ターゲットからのγ線イメージ

ETCCエネルギースペクトル



再構成画像 (Simple Back Projection)