

# 修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01 / 06 / 2016

専攻名 (専門分野) Department	物理学及び応用物理学専攻	氏名 Name	辻川 貴之		指導員 Advisor	片岡 淳 印 Seal
研究指導名 Research guidance	放射線応用物理学研究	学籍番号 Student ID number	5314A047-3			
研究題目 Title	MPPC を用いた高精度時間計測法の開発と ToF-PET への応用					

## 【研究背景】

陽電子断層撮影 (PET) は、ガン細胞が多量のブドウ糖を摂取する特徴を利用し、ガンの活動度や位置情報を得る断層撮影法である。ブドウ糖の一部を  $\beta$  + 崩壊する核種に置換した薬剤を患者に投与することで、511keV ガンマ線が対方向に放出され、これをリング状に配置した検出器によって同時計数する。これまで、実用化された PET 装置の光センサーには光電子増倍管 (PMT) が用いられているが、解像度が悪い (5-10mm 程度)、装置が大型であること、磁場耐性がないことといった多くの欠点が指摘されている。近年、これらを克服する次世代 PET 技術として (1)ToF-PET (2)MRI-PET (3)DoI-PET の 3 つの技術が注目されている。我々の研究室では、小型で高ゲインかつ磁場耐性を持つ Si-PM (半導体光素子) の一種である MPPC (Multi-Pixel Photon Counter) に着目し、これを PET の要素技術に組み込むことで次世代 PET に必要な 3 つの要素技術の統合を目指してきた。本研究のテーマである、ToF (Time-of-Flight) 技術では対消滅ガンマ線の到達時間差を計測し、その時間差情報を画像再構成の際に利用することで、PET による断層撮影画像の SNR (Signal to Noise Ratio: 信号対雑音比) を劇的に向上させることができる。一方で、ToF 技術には検出器から信号処理回路において非常に高精度な時間分解能が要求される。本研究では、シミュレーションにより ToF 情報による画質向上の定量評価と、先行研究により開発された ToF-PET 用の LSI (MPPC32, MPPC16) を活用して高精度な時間計測法の開発を行った。

## 【ToF 情報による画質向上の定量評価】

GEANT4 により図 1 のようなガントリ (1×1×3mm<sup>3</sup> の Ce:LYSO を 4 層積み重ねた検出器を内径 100mm のリング状に 24 個配置: 図 1 左) を模擬して ToF-PET シミュレーションを行った。シミュレーションの結果、ガントリ径が 100mm においては時間分解能が ~400ps の場合 ToF 情報による SNR 向上は見込めず、300ps の時間分解能があれば SNR は約 1.67 倍、200ps で約 2.25 倍となることから、時間分解能は少なくとも 300ps は必要であると言える。

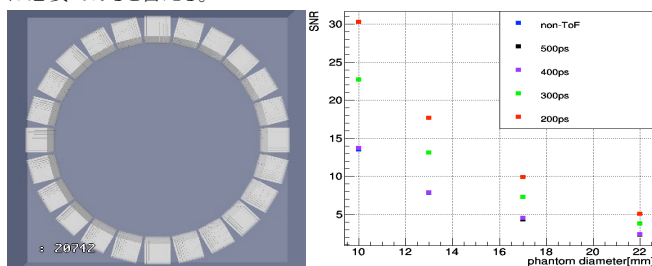


図 1. シミュレーションで仮定したガントリ概観 (左) と時間分解能ごとの SNR 評価結果 (右)

## 【高精度な時間計測法の開発】

シミュレーションの結果より 300ps の時間精度を目標として高精度な時間計測法の開発を行った。第 1 段階として、以下に挙げる 2 つの方法の比較検討を行った。

- 市販の波高弁別器と複数レベルのコンバータを用いる方法
  - MPPC からの信号をデジタルオシロスコープで波形データとして取り込み、適当なフィルタリングと波形解析で最適な時間精度を得る方法
- 1) の手法では 383ps (FWHM) という結果が得られたのに対し、2) では 213ps (FWHM) と 1) と比較してもかなり精度よく時間計測が出来ること became clear. しかしながら、2) の手法は波形サンプリングによりデータ量が膨大になり計算コストが増大することに加えて、消費電力も大きく実用的な手法であるとは言い難い。そこで 1) の手法に先行研究において開発された ToF-PET 用の LSI (MPPC32, MPPC16) を組み合わせることで高精度

化を図った。

1) の手法と LSI を組み合わせて測定した結果を図 2 に示す。

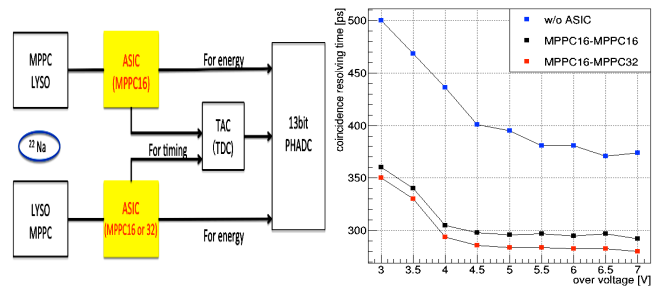


図 2. 1) の手法と LSI を組み合わせた際の測定系 (左) と時間測定の結果 (右)

1) の手法と LSI を組み合わせることによって、時間分解能は大幅に向上し 280ps (FWHM) と 300ps を切る時間精度を達成することができた。さらなる高精度化のために反応シンチレータの深さ方向の情報 (DoI 情報) を得ることで、結晶内の光路長の揺らぎによって生じる ToF 誤差の補正を試みた。その結果を図 3 に示す。DoI 情報を元に ToF 誤差を補正することで時間分解能は 390ps (FWHM) から 352ps (FWHM) と有意に改善した。

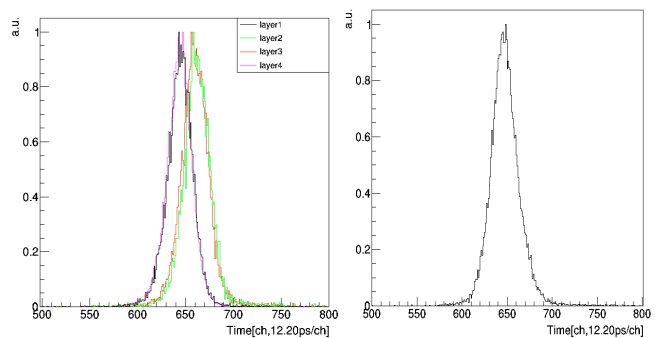


図 3. 各反応シンチレータにおけるタイミングヒストグラム (左) と DoI 情報を元に ToF 誤差を補正したタイミングヒストグラム (右)

## 【単素子 MPPC を用いた点線源イメージング】

単素子 MPPC と回転ステージを使用して PET ガントリを模擬して視野中心に <sup>22</sup>Na 点線源を配置し、イメージング試験を行った。この際の時間分解能は 292ps (FWHM) で、ToF 情報を用いて画像再構成を行うことで SNR は 1.68 倍向上した。この結果はシミュレーションともよく一致し、ToF-PET の有意性が確認できた。

## 【まとめ】

本研究では MPPC を用いた ToF-PET 実現に向けてシミュレーションにより ToF-PET に要求される時間分解能を見積もり、高精度な時間計測法の開発を行うことで 300ps を切る時間分解能を得ることができた。またイメージング試験において実測とシミュレーションが概ね一致することを確認した。今後の展望として、ToF-DoI 測定の MPPC アレイへの拡張を行い、ToF-DoI-PET 装置の開発を目指していく。

## 【研究業績リスト】

- 【国際会議】T. Tsujikawa et al., IEEE NSS/MIC 2014 (poster)
- 【国内学会】辻川 貴之 他, 「Time of Flight (ToF)-PET に向けた MPPC の限界性能評価」, 第 75 回秋季応用物理学学会秋季学術講演会