

# 修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission 01/10/2017

専攻名 (専門分野) Department	物理学及応用物理学専攻	氏名 Name	大島翼	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	CD 5315A018-1		
研究題目 Title	MPPC を用いた革新的スペクトラル CT の開発				

## 【研究背景】

X線CTは現在の医療画像診断において根幹をなす重要技術である。しかしながら、CTで必要とされる高精細画像を得るには、 $10^{8-9}$ /cts/s/mm<sup>2</sup>もの大強度X線を人体に当てる必要があり、その被ばく量は1回で10mSvにも及ぶ。そのため、医療被ばくにおけるCTの割合が深刻化している。CTメーカー各社は、画像再構成アルゴリズム等を新たに開発することで低被ばく化を目指しているが、十分な低被ばく化は実現できていない。技術面では、臨床で用いられているX線CTの多くはシンチレータとフォトダイオード(PD)を用いたエネルギー積分型CTである。すなわち、X線によって生じた電荷を一定時間蓄積して電流値を読み出すため、エネルギー情報は失われる。画像はCT値(線減弱係数)のみをパラメータとするモノクロ画像となり、CT値が同一の物質の弁別が困難、ビームハードニングアーチファクトが生じるなどの問題が生じる。この問題を解決するためにCdTeなどの半導体を用いたスペクトラルCTが開発されているが、素子内部での電子・ホールの移動速度は遅く、臨床で求められる高計数に耐えるにはピクセルあたりの受光面積を小さくする必要があり、その結果読み出しチャンネル数は膨大となるなど、多くの課題を残している。

本研究ではMulti-Pixel Photon Counter (MPPC)と高速シンチレータを用いて、「低被ばく」かつ「多色」撮影が可能で、全く新しい革新的X線CTシステムを提案する。MPPCは約100万倍もの大きな内部増幅機能をもつ半導体光子素子で、微弱信号への感度が極めて高い。この大きな内部増幅により、従来型CTより遥かに低い線量で同等以上のS/Nを実現し、一方では個々のX線パルスを弁別することで多色イメージングも可能である。本研究では1mm角のPD, APD, MPPCを用いてCT撮影を行い、低コントラスト分解能評価と空間分解能評価を行った。またMPPCを用いたK-edgeイメージングやビームハードニングの低減など、多色イメージングの効果を実証した。シンチレータは従来型CTで用いられるGd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S (GOS)を用い、電流を一定間隔で読み出すことで投影データを取得した。MPPCでは電流・パルスの2つの読み出しを行い、パルス読み出しでは時定数の短いCe:YAPを用いた。

## 【低被ばく化の実証実験】

### ① 低コントラスト分解能評価

各素子において、CT値が近いアルコールと水のコントラストの分解能を評価した。分解能は二つの物質のCT値差 $\Delta\mu$ を画像ノイズ $\sigma$ で除したcontrast-noise-ratio (CNR)で評価した。管電圧は120kVに固定し、管電流を0.1mAから1.0mAまで変化させた時のCNRを図1に示す。電流モードにおいてMPPCとAPDのCNRはPDよりも高いことがわかる。これは内部増幅機能により暗電流よりも遥かに高い信号電流が得られたからである。また、MPPCパルスモードにおいては突出してCNRが高いことがわかる。これは、内部増幅機能に加えて、パルス読み出しをしたことにより、信号のノイズ成分を除去することができたからであると考えられる。

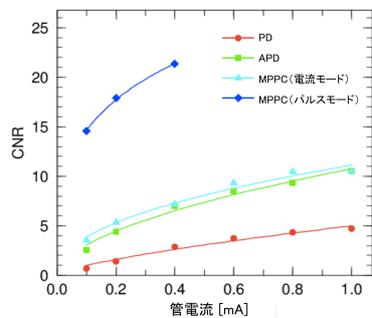


図1 管電流を変化させたときのCNR

### ② 空間分解能評価

管電圧120kV、管電流0.1mAにおいてΦ0.3-Φ2.5まで異なる径の穴が空いた直径8cmのアクリルファントムを各素子でCT撮影した。従来の検出器のPDでは0.1mAという低線量下においてはどの径の穴も全く弁別することができないがAPD、MPPCでは穴の弁別ができるようになり、MPPCパルスモードではさらに明確にそれぞれの穴を分離することができた(図2)。

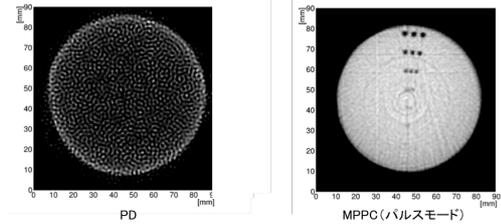


図2 空間分解能ファントムのCT画像(120kV, 0.1mA)

## 【多色イメージングの実証実験】

### ① K-edge イメージング

臨床的に造影剤としてよく用いられるヨードのK吸収端は33.2keVにあり、このK吸収端の前後で反応イベントを計測しCT画像を取得し、画像サブトラクションを行うことでヨードの分布を特異的に示すことが可能となる。管電圧120kV、管電流0.1mAにおいて、水中に入れたヨード造影剤(30mg/mL)をK吸収端の前後20keVのエネルギー幅でCT撮影した。画像サブトラクションを行った結果、ヨードのみを特異的に示すことができた(図3)。

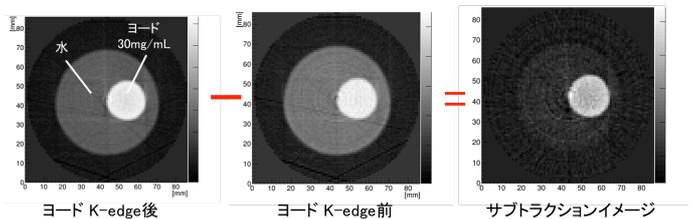


図3 K-edgeイメージング

### ② ビームハードニングアーチファクト低減

混合エネルギーのX線が物質を透過する際、低エネルギーのX線が多く吸収され、X線の実効エネルギーが高くなる現象をビームハードニング(BH)とよぶ。これにより、高原子番号の被写体をCT撮影した際にアーチファクトが生じる。ここでは2本のアルミニウム柱を水中におき、全エネルギーではなく90-120keVのエネルギー帯の反応イベントのみを用いてCT画像を取得した結果、BHアーチファクトを大幅に低減することに成功した(図4)。

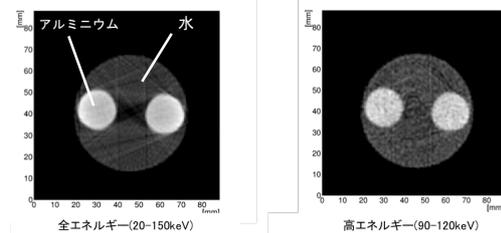


図4 ビームハードニングアーチファクトの低減

## 【まとめと今後の展望】

本研究では、MPPCを用いたX線CTの「低被ばく」かつ「多色」化の実証を行った。どの評価においてもMPPCでは従来型CTのPDよりも同じ線量でも圧倒的に優れた結果が得られ、低線量下でもPDと同様に高い画像S/Nを実現できることが実証された。また、多色化することでK-edgeイメージング、BHアーチファクト低減、物質同定などを可能にすることが実証された。今後はMPPCを2次元にアレイ化し、高精細シンチレータと組み合わせた「多色マルチスライスX線モジュール」の開発を考えている。

## 【研究業績リスト】

- (1) [国際会議(Oral)] T.Oshima et al., "Development of a high-precision color gamma-ray image sensor based on TSV-MPPC and diced scintillator arrays" IEEE NSS/MIC (2015) M4B2-8
- (2) [投稿論文] T.Oshima et al., NIMA 803 (2015) 8-14