

審査の結果の要旨

氏名 石 伯軒

ポジトロンエミッショントモグラフィ (PET) は、放射性薬剤を用いることで、体内の機能情報を可視化することに用いられ、近年多くの成功をおさめている。しかし、こと分解能となると、代表的な PET においては、数 mmにとどまっており、X線 CT や MRI などの他の医用イメージング手法と比較して、劣っている。本研究では、この点を改善し、高分解能の PET を実現するために必要な要素技術として、 γ 線検出器からの新しい信号読み出し手法の研究を行ったものであり、特に、従来、見落とされがちであったデジタル信号に含まれる時間軸の情報の有効な利用について詳細な検討を経て、新しい信号処理システムの提案を行い、その有用を示したものである。本論文は、以下に示す 7 章から構成されるものである。

第一章は、序論であり、本研究の背景と研究に至るモチベーションを示したのち、PET の現状を紹介し、分解能という点でまだ不十分とはいえ、大いなる研究の必要性があることを示している。その後、高分解能化における本研究の位置づけについて、特に多重化が重要であり、それを実現するために時間領域のデジタル信号を用いることが有効であるということを示している。

第二章では、PET の一般的な説明を行っており、PET の歴史から紐解き、PET の原理、また、放射性薬剤と応用分野、さらには PET-CT などのマルチモダリティ化について述べている。

第三章は、高分解能 PET の実現に焦点を絞り、前章で述べた PET の原理における空間分解能特性との関連について物質と放射線との相互作用、検出器の動作原理とシステム構成などの諸観点から、詳細に議論を行っている。また、装置の直径や検出器結晶のサイズなどのパラメータと空間分解能特性のマップを示したのち、視野周辺における分解能における深さ方向の位置検出 (Depth of Interaction: DOI) の重要性について議論している。

第四章は、PET におけるフロントエンドエレクトロニクスについてまとめたものであり、本研究において前提として扱っている、集積回路技術の基礎からはじめて、現状技術のサーベイを経て、新しい高分解能 PET の原理とシステム構成について波形サンプリング手法と時間幅の利用という 2 つの可能な手法の提案までを行っている。

第五章は、前章で提案された波形サンプリング手法によるフロントエンド ASIC

(Application Specific Integrated Circuit) の開発について述べたものである。初めに、ASIC の内部構成として、プリアンプ、VGA, 高速 ADC とメモリからなることを示したのち、プリアンプ ASIC の内部回路構成と評価結果について示し、その性能が十分であることを実験的に示している。その後、波形サンプリング手法に用いられる ASIC の各部の性能として、十分な評価結果が得られていることを示している。さらに、この波形サンプリングシステムの高分解能化のために、プリアンプの減衰波形の時定数を各チャンネル毎に変化させることで、複数のチャンネルを測定し、デコードすることが可能であることを実証している。

第六章では、時間幅情報を用いた PET フロントエンドについての議論を行っており、シンプルな回路構成ゆえに、極めて多くのチャンネルを扱うことが容易である特性に注目し、特に波高値とパルス幅の関係における直線性についての議論を行っている。これらの間の関係の改善には、動的にしきい値を変化させる手法が有用であることを見出し、その特性の評価を行っている。これにより、本手法の実用化に一步近づくことができることを示している。

第七章は、結論であり、本研究において初めて示された新しいマルチプレクシング法と動的なしきい値の変化などの手法が、高分解能化において、極めて有効に機能し、高分解能 PET の実現に一步近づけたとまとめている。

以上のように、本研究は PET の高分解能化を目指して、新しい信号処理法の開発について、示したものであり、その成果は大規模・高分解能 γ 線計測システムとしての新世代 PET 実現にむけて極めて重要な分野をカバーするものであり、工学、特に原子力工学の進展に寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の請求論文として合格であると認められる。