

審査の結果の要旨

氏名 山脇 正人

ポジトロン放出核種を使用した PET(Positron Emission Tomography) システムは、ガンの早期発見に有効な診断法であることから広く使用されるようになってきた。本研究は光ファイバを駆使した TOF (time of Flight)測定による原理的に簡便で感度の高い新しい PET システム、光ファイバサーキット型 PET を新たに提案した。さらに、この新システムを実現するためには、ファイバによる光伝送時の光量の減少抑制と、時間分解能の劣化回避が必須の条件であることから、これら実現のための技術開発を実験とシミュレーションにより検討したものである。

論文全体は五章からなっており、第一章は序論である。最近、日本人の病種別死亡率の第一位にガンが位置するようになり、ガンの早期発見に PET 技術が有効であること、現在使用されている以上の高性能のシステムが期待されている背景を紹介するとともに、新しい PET システムを提案し、その実現のための技術開発を本研究の目的としたことが述べられている。

第二章は新システムの原理について述べている。ここで提案した光ファイバサーキット型 TOF-PET 方式は、光ファイバを利用して光信号の段階で合成処理を行い、パルス状の個々の光信号を合成して得られたパルス列光信号を PMT によって電気信号に変換・増幅して、パルス間の時間差として観測される TOF 時間差をデジタルオシロスコープの処理機能を活用して測定する。このことにより、TOF 処理関連電子機器を大幅に増加させることなく、TOF-PET 方式を実現するものである。光ファイバを用いて多数のシンチレータの信号を収集し、TOF 遅延回路などを付加した後、PMT で合成する方法は、明らかに電子機器の削減が可能であるだけでなく、電磁干渉が予想される環境での PMT による γ 線観測に有効であることが期待される。

しかし、提案方式の PET の実現性を検討するため、光信号の伝送・合成処理の手段として光ファイバを使用した場合の光量の減少、TOF 信号の立ち上がり時間及び時間分解能に関する予備実験を行い、実現のための問題点として、光ファイバ伝送における光損失が比較的大きな問題であることを述べている。また、TOF-PET 方式の従来 PET に対する優位性を明らかにするため確率論的な考察を加え、TOF-PET 方式において求められる時間分解能の程度について検討すると共に、TOF の利用が画像生成の過程において視覚的にどのような意味を持つかを検討するためにパソコンによるシミュレーションを行い、3次元 CAD を用いた画像化を試みている。

第三章では、第二章で述べた問題点について実験およびシミュレーションにより定量的な検討を加えている。特に光信号の伝送効率を高めるには、シンチレータ表面にどのような反射材を用いるべきか、シンチレータ・光ファイバ間の光学接続をどうすべきかについて検討を加え、反射材については乱反射材と鏡面反射材の併用、光学接続についてはグリース等を用いないで、空隙とすることにより、ある程度の改善が可能であることを示した。

第四章では、シンチレータの光信号を光ファイバを用いて伝送・合成した場合の時間分解能に関するシミュレーションを実施して、実際にその改善策が時間分解能の向上に繋がるのかを検討している。そして、シンチレータの形状に応じて乱反射材と鏡面反射材とを適切に併用することが時間分解能及び伝送効率の改善に有効であることを述べている。さらに、光ファイバ使用による伝送効率の低下という問題を緩和するために、光ファイバサーキットの代わりに電気信号ケーブルを用いて遅延時間の付与するケーブルディレイ方式についても検討を加え、TOF-PET方式の新たな可能性を示している。

第五章は結論と今後の展望をまとめている。特に、近年のシンチレータや光電子増倍管等の技術開発の進歩を考慮すると、本研究が検討課題とした要素技術は、近い将来、さらに検討するに値するものになると思われる。今回、光ファイバサーキット方式によるPETシステムを提案し、その実現のための検討を行った。確かに、本方式は光ファイバを用いることでPMT本数を大幅に減らすことが可能であるが、光ファイバ伝送時に光量が大幅に失われてしまうため、時間分解能が2倍程度に劣化するであろうことは否めない。PMTのコンパクト化、低価格化、さらに新規光計測機器の登場等、最近の光計測技術の分野における発展を考えると、光ファイバサーキット方式とケーブルディレイ方式のどちらの方式がシステム設計上有効であるかは、今後の技術開発の展開次第であると思われる。従って、今後も関連技術の進展に合わせて本研究を進め、TOF-PET装置のシステム設計をさらに高める必要がある、とまとめている。

以上をまとめると、従来ない光ファイバを使用する新PETシステムの提案を行い、その実現のために必要な項目の技術開発を実験とシミュレーションを用いて進めたもので、放射線・量子ビーム利用分野への寄与は大きい。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。