

|         |                         |
|---------|-------------------------|
| 氏名(本籍)  | 小林哲哉(長野県)               |
| 学位の種類   | 博士(工学)                  |
| 学位記番号   | 博甲第5670号                |
| 学位授与年月日 | 平成23年3月25日              |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当            |
| 審査研究科   | システム情報工学研究科             |
| 学位論文題目  | 先見情報を利用したPET画像再構成に関する研究 |

|    |         |        |      |
|----|---------|--------|------|
| 主査 | 筑波大学教授  | 工学博士   | 工藤博幸 |
| 副査 | 筑波大学教授  | 工学博士   | 平井有三 |
| 副査 | 筑波大学教授  | 博士(工学) | 牧野昭二 |
| 副査 | 筑波大学教授  | 工学博士   | 久野誉人 |
| 副査 | 筑波大学准教授 | 博士(工学) | 滝沢穂高 |

## 論文の内容の要旨

本論文は、PET（ポジトン CT）と呼ばれる生体機能を画像化する医用診断装置の画像再構成に関するものである。商用の PET 装置では、最尤推定に基づく MLEM 法や OSEM 法などの画像再構成法が採用されているが、画質は X 線 CT などの装置と比較して劣っているのが現状である。主に画質の劣化は測定データに加わる統計雑音によって生じ、腫瘍などの病変を識別し難くする形で現れ、PET 画像再構成において統計雑音の抑制と病変のコントラスト保存を両立した画像を生成することは重要である。本論文では、通常の PET 検査においては X 線 CT や MRI の形態画像を同時に撮影することに着目して、形態画像を先見情報として利用して PET 画像の画質を改善する新しい画像再構成法を構築している。論文全体の基本となる考え方は、(1) 事後確率最大 (MAP) 推定の枠組みに基づき画像再構成の評価関数を設計、(2) 画像を病変画像と正常画像の和で表現して各々の性質を考慮して平滑化を行う新しい正則化の枠組み、(3) Majorization Minimization 法と呼ばれる一般的な関数の最小化法に基づく逐次近似画像再構成法の導出、の 3 つである。具体的には、統計雑音の抑制と病変のコントラスト保存を両立できる 2 つの新しい画像再構成法を提案している。1 つ目の手法は、画像を正常画像と病変画像の和で表現する SOS (Spots-On-Smooth) モデルと呼ばれる画像モデルに基づき、両者を分離して別々に推定する画像再構成法である。2 つ目の手法は、結合エントロピーと呼ばれる統計雑音の抑制と病変のコントラスト保存を両立できる性質を持つ評価関数を利用した画像再構成法である。

第 1 章は序論であり、本論文の背景と目的について述べている。第 2 章では、第 3 章以降で必要となる PET の原理・画像再構成の基礎概念・先見情報を利用した画像再構成の先行研究について述べている。第 3 章では、上述の SOS モデルに基づき正常画像と病変画像を別々に分離して推定する SOS-MAP 法と呼ばれる画像再構成法を提案している。SOS-MAP 法の特徴は、正常画像と病変画像に各々の性質を考慮した正則化を施すことで、統計雑音の抑制と病変のコントラスト保存を両立できる点にある。また、正常画像と病変画像を別々に画像生成することは、従来は別々のソフトウェアやアルゴリズムにより実現されていた画像再構成と病変検出のデータ処理を 1 つに融合する医用画像分野における新しい概念の提案に相当することを述べ

ている。第4章では、SOS-MAP法の画質性能評価を行っている。具体的には、PET腫瘍検査を想定したシミュレーション実験を行い、コントラスト対雑音特性の数値評価及びコンピュータオブザーバと呼ばれる病変検出能の評価手法に基づき、SOS-MAP法が従来のMAP推定に基づく画像再構成法より優れた病変検出能を持つことを示している。また、PET全身腫瘍検査の実データへの適用例を示している。第5章では、上述の結合エントロピーを評価関数に用いるMAP-JE法と呼ばれる画像再構成法を提案している。特に、結合エントロピーは非凸関数であり最小化が困難であるが、結合エントロピー最小化がクラスタリングと類似の問題である事実に着目して非凸性を克服する巧妙な最小化法を提案している。シミュレーション実験を行い、非凸性を考慮した手法が同じ問題に対する従来手法と比較してより安定に動作することを示している。第6章は本論文のまとめである。

## 審査の結果の要旨

本論文は、(1) X線CTやMRIの形態画像を先見情報としてPETの画像再構成に利用、(2) 画像を正常画像と病変画像の和で表現して別々の平滑化を施す新しい正則化の枠組み、などの医用画像や画像処理分野における新しい概念に着目して、PETにおける画像再構成法の構築を行ったものである。得られた画像再構成法が優れた特性を持ち、従来困難と考えられてきた統計雑音の抑制と病変のコントラスト保存の両立を実現できることが、詳細な実験により示されている。同じ問題に対する従来の類似研究と比較して、アイデアや理論構築に十分な新規性が認められ、また提案手法の画質改善効果もより大きいと判断される。更に、第3章で述べられている画像再構成と病変検出のデータ処理を1つに融合する提案は、医用画像分野において独創性が高いアイデアであり高く評価できる。研究の着目点、新規性、有効性、実用性のどれをとっても優れた研究であり、医用画像や画像処理分野への貢献が少なくなく、博士(工学)の学位を受けるにふさわしい優れた論文と評価する。

よって、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。