

## 学位論文の審査結果の要旨

X線CT画像は医療における画像診断や、工業における非破壊検査に広く活用されるようになっている。しかし、例えば生体内の金属のように、被写体内にX線吸収の度合いが極端に異なる物質が含まれるとメタルアーチファクトと呼ばれる虚像が現れ、診断や検査に甚大な支障を及ぼしてしまうため、その改善が強く求められている。本論文は、X線CT画像におけるメタルアーチファクト低減について取り組んだものであり、140ページほどの英語論文として以下のように構成されている。

第1章では、X線CTを取り巻く背景とメタルアーチファクトに関する問題提起、本課題に対する従来研究を総括し、研究目的と論文構成を述べている。

第2章では、X線CTの原理をまとめ、複数の画像再構成手法について数学的に説明している。そして、X線CT画像にメタルアーチファクトが生じる物理的起因としてCT撮影に用いられるX線が連続X線であることを提起している。

第3章では、その後の検討に用いるX線CTのシミュレーションシステムについて説明している。本システムでは連続X線を計算機内で被写体に仮想投影することを可能としており、得られるデータを再構成することによって実際のX線CT画像と同等なメタルアーチファクトを再現している。また、画像の評価指標として一般的に用いられるRMSEに加え、よりX線CT画像の特性を表す指標として画像の周波数特性から求めるSLPを提案している。

続く2つの章において、本研究の骨子となるメタルアーチファクト低減手法を2種類提案している。

第4章では、X線CT装置の内部データとなるサイノグラムの特徴抽出に基づくメタルアーチファクト低減手法を提案している。本手法(MAR1)は、X線CT撮影の幾何学条件からサイノグラムにおける金属領域の位置を特定することにより、金属領域と非金属領域を分離して再構成する手法である。本手法は非常に高速であるという長所を有している。

第5章では、連続X線のエネルギー情報を考慮したメタルアーチファクト低減手法を提案している。本手法(MAR2)は、CT撮影に用いられるX線が連続X線であり、そのことが第2章で述べたようにメタルアーチファクトの原因となっていることに着目し、第3章で説明したシミュレーションシステムを繰り返し適用することによって逐次近似的に被写体内部の材料分布を推定して画像を再構成する手法を提案している。本手法はMAR1に比べて低速であるが、パラメータチューニング次第でMAR1よりも正確にメタルアーチファクトを低減することが可能という長所を有している。

第6章では、MAR2を三次元に拡張している。これまでの議論は二次元断層画像に限定していたが、実用性を高めることを目的として三次元に拡張し、被写体内部を三次元的に観察することを可能としている。

第7章では、本論文の結論をまとめ、展望および残された課題を述べている。

以上のように、実業界から強く改善を求められるX線CT画像のメタルアーチファクトについて、本論文が述べる理論的な考察は計測技術分野で高い学術的価値を有するとともに、本論文で提案する低減手法は実用性が高く有用である。また、本論文の成果は、審査付き原著論文2報とレフェリー制のある国際会議議事録1報に基づいてまとめられており、これは申請者が所属する生命機能・ファイバー工学専攻 感性生産システム工学講座の審査基準を満たしている。以上のことから、審査委員全員一致で博士(工学)の学位に値するものと判断した。

## 公表主要論文名

- 加納徹, 小関道彦: 二次元的なメタルアーチファクト低減手法と三次元データへの拡張, 計測自動制御学会論文集; Vol.50, No.9, pp.633-639, 2014.
- 加納徹, 小関道彦: X線 CT 画像における逐次近似法を用いたメタルアーチファクト低減, 計測自動制御学会論文集; Vol.51, No.12, pp.836-844, 2015.
- Toru Kano, Michihiko Koseki: CT Image Reconstruction Algorithm to Reduce Metal Artifact; IFMBE Proceedings Vol. 43, pp.140-143, 2013.