

# 論文審査の結果の要旨

氏名 上杉 健太郎

本論文は放射光 X 線を利用し、定量的な X 線吸収係数の分布を得ることができる X 線マイクロ CT 装置の開発と高度化を行い、同時にいくつかの応用研究に活用したものである。全 7 章で構成される。

第 1 章では、医療診断用に開発された X 線 CT 装置がどのように発展したかを示し、ラボ用から放射光を利用した X 線 CT 装置の特徴を示している。また、世界で利用されている X 線 $\mu$ CT 装置の性能と現状での問題点を挙げている。

第 2 章では放射光 X 線を利用した X 線 CT 装置の持つ特徴や仕組みを、空間分解能や撮影技術（吸収コントラスト法・位相コントラスト法）ごとに説明し、世界の放射光施設においてどのような性能の装置が稼働しているか示した。またここでは、投影像から CT 像を得るための画像再構成法に関して Filtered back projection 法の詳細な説明もなされている。

第 3 章では本研究のメインテーマの 1 つである、X 線 CT 撮影の高速化に関してどのような現象を捉える事を目的としているかを示した。また、高速撮影のために整えなければならない要素を具体的に示し、改良点を述べている。

第 4 章では本研究のテーマの 1 つである、検出器の最適化に関して述べている。通常、X 線用の画像検出器は X 線を可視光に変換し、可視光用の撮像素子でデジタル信号化する。この際に、可視光光学系をどのように構築すると、蛍光面から撮像素子まで効率よく可視光が伝送されるかを、レンズカップル式とファイバーカップル式の検出器を直接比較検討した。また、X 線 CT 用の検出器としてどのような条件を満たさなければならないかも検討し、高空間分解能型はレンズカップル式が優れており、 $20\mu\text{m}$  程度の空間分解能ではファイバーカップル式のほうが効率がよく、優れていることが示された。また、レンズカップル式は倍率の変更が容易なことから、カメラとの組み合わせが容易に変更可能であることが優位な点であることも示された。

第 5 章では、単色 X 線を利用する事で得られる定量的な X 線線吸収係数(LAC)に関して議論されている。LAC の実験値は計算値に対して基本的には検出器の応答特性に準じて一定の割合でシフトするが、その値をキャリブレーションデータを取得して決定することで、線吸収係数に関する校正曲線を得ることができた。

第 6 章はここまで開発してきた X 線 CT 装置がどのような応用研究に用いられているかを示した。まず最近話題となっていた、小惑星探査機はやぶさにより持ち帰られたイトカワ粒子の分析に関してである。ここでは、これまでの X 線 CT 装置では全く実現不可能だった、2つのエネルギーの X 線を利用する事で構成鉱物の種類とその形状の 3次元分析を行う事が出来たことを示した。次に、第 5 章で得られた知見を基に、3次元元素濃度マップを実現した例が示された。この研究までには、元素の吸収端を利用したいく

つかの研究があったものの、電子顕微鏡などと直接比較できるような精度での分析はなされていなかったが、本論文の第5章と著者である池田らの入念な特性評価もあり可能となった分析である。最後に、高速化の話題として、マウス肺の4D-CT実験の例が示され、地球科学の分野だけでなく生物分野におけるX線CT装置の有用性が示された。この研究はラボ用のX線管球を用いた装置では全く実現不可能な測定が、放射光X線を利用する事で可能となった好例である。

第7章では、本論文で実現された装置の性能をまとめ、今後の装置開発に関する展望が述べられている。

ここで、第4章は八木直人・星野真人、第5章は土山明・中野司・池田進、第6章は世良俊博・横田秀夫・藤崎和弘・深作和明・立花博之・八木直人・姫野龍太郎・池田進・中野司・土山明・鈴木芳生・中村光一・中島善人・吉田英人・上相真之・松島亘志・道上達広・門野敏彦・中村智樹・Scott Sandford・野口遼・松本徹・松野淳也・永野宗・今井悠太・竹内晃久・大神稔皓・片桐淳・海老原充・Trevor Ireland・北島富美雄・長尾敬介・奈良岡浩・野口高明・岡崎隆司・塚本尚義・Mike Zolensky・向井利典・安部正真・矢田達・藤村彰夫・吉川真・川口淳一郎・星野真人との共同研究であるが、論文提出者が主体となって装置開発及び実験検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。