

審査の結果の要旨

氏名 薛林

機械部品の 3 次元的な寸法・形状計測には、これまで接触式の座標計測装置や非接触・光学式の表面計測装置が使われてきたが、近年、産業用 X 線 CT 装置の性能が向上し、利用されるようになってきた。しかし、その計測精度は他の装置に比べて依然として劣るために、それを向上させるための技術の開発が求められている。本博士論文では、そのような技術の一つとして、精度を劣化させる重要な要因の一つである CT 画像のアーチファクト問題、特にコーンビームアーチファクト、あるいは FDK アーチファクトの問題に注目している。製造現場で広く使われている CT 装置は、コーンビーム型と呼ばれる構造をもっており、このアーチファクトはその構造に起因しているため、大きな問題となっている。本博士論文の第 1 章では、このような背景について述べ、研究の目標を設定している。

第 2 章では、現状の産業用 X 線 CT 装置と計測手法の概要を述べ、特に、CT 画像の再構成技術や、アーチファクト問題とその改善技術について、様々な先行研究を紹介している。そして、それらに対して本論文で扱う課題を絞り込んでいる。

第 3 章では、球や円柱といった基本形状の FDK アーチファクトについて分析をしている。実際の CT 計測では、様々なアーチファクトが複合的に表れるために、ここではシミュレーションを用いて、FDK アーチファクトのみを再現した。基本図形について、特に、その位置や姿勢が FDK アーチファクトに影響があることを計算で示し、また、その寸法計測精度への影響を調べている。これによって、姿勢の影響が大きいこと、またその原因が透過 X 線の減衰に関する FDK アルゴリズムの近似計算にあり、それによって透過 X 線の陰の領域にアーチファクトが発生することを確認した。

上記の第 3 章により FDK アーチファクトが、計測物の姿勢に影響を受けることを受けて、第 4 章では、できるだけ精度の良い計測を行うための姿勢を求める問題を扱っている。FDK アーチファクトや他のアーチファクトが発生すると、多くの場合、物体表面部分に画像のボケた領域が発生し、それが計測精度

に影響する。そこで、ボケが少ない姿勢で撮像することが計測精度を高める必要条件となる。本論文では、画像エントロピーを、寸法を計測する形体ごとに計算し、それが最小になるような姿勢を求める方法を提案した。シミュレーションの実際の計測に適用し姿勢を求めている。また結果を、CT計測の専門家に定性的に評価させることによって、手法の妥当性を確認している。

第5章では、コーンビーム型のCTの特性を活かした方法を提案している。アーチファクトはCT画像において発生するもので、透過像では発生しない。従って、透過像から直接寸法が計測できれば、アーチファクトの影響を回避することができる。コーンビーム型のCTでは、透過像が2次元ディテクターによって画像として得られるので、円柱を撮像すると、透過像には円柱の輪郭線が写る。第5章では、この輪郭線から3次元空間で円柱に接する平面を推定し、複数の投影像から作られる平面群に対して、円柱をフィッティングすることによって、円柱の半径を求める方法を提案している。複数の円柱面を持つ物体の投影像に適用し、従来法よりも精度よく寸法を計測することができることを示した。また、本手法では、CT再構成のように、必ずしも多数の投影像を必要としないことから、計測時間の効率化を行える可能性を示した。

第6章では、本博士論文のまとめとして、目的や提案手法についてまとめを行い、また今後の課題について述べている。重要な課題は、本論文の手法が、円柱などの単純な形状を扱うものになっており、さらに複雑な形状に拡張することや、ビームハードニングなどのアーチファクトへも拡張する点が挙げられる。

産業用X線CT装置による寸法計測は、その利用の歴史が浅く、特にアーチファクトの計測精度に与える影響や、精度向上のための計測法案の最適化などに対する知見が不足している状況にある。そのような中で、本論文は、FDKアーチファクトを中心として、アーチファクトの発生と寸法計測精度への影響を分析し、また、簡単な計算により画像のボケ量を評価することによって最適な計測姿勢を求めるなどの研究を通じて、本技術分野へ重要かつ有用な知見を提供している。また、従来のCT画像によらない投影像からの寸法計測という手法も、寸法計測の高精度化のための新しいアプローチとして位置付けることができ、今後の技術開発にとって貢献度の高いものである。

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。