

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18188

研究課題名(和文) 金属デバイスの非破壊精密検査を目的とした多軸X線CTの開発

研究課題名(英文) Development of a multi-axis X-ray CT for highly accurate inspection of electronic devices

研究代表者

加納 徹 (Kano, Toru)

東京理科大学・工学部情報工学科・助教

研究者番号：40781620

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：非破壊で被写体の断層画像を取得可能なX線CTは、電子デバイスなど被写体内部に金属が含まれるとき、メタルアーチファクトと呼ばれる激しい放射状のノイズが発生する。本研究では、X線CTにおけるメタルアーチファクトを低減するため、多軸回転機構を持つX線CTを提案した。多軸回転により、被写体の姿勢をさまざまに変化させ、金属によるX線強度の飽和およびデータの損失を防ぐというものである。投影データ上の金属領域の面積に注目した姿勢制御の最適化を行うことで、効率的に金属の重畳を避けることに成功し、メタルアーチファクトの発生強度を大きく抑制可能であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

X線CTは非破壊検査装置として活用されてきたが、撮影対象に金属が含まれるとメタルアーチファクトと呼ばれる激しいノイズが発生する課題が残されている。本研究では、多軸回転機構を用いた新しいX線CT撮影手法の提案により、メタルアーチファクトを抑制し、これまで困難であった電子デバイスの非破壊精密検査の実現可能性をシミュレーション上で示した。今後、実環境での実装を進めることで、金属の影響を受けない非破壊精密検査が可能となり、工業製品の欠陥特定や疲労評価、および品質向上に大いに寄与することが考えられる。さらには、検査用途だけではなく、材料科学における新たな知見の獲得に繋がることが期待される。

研究成果の概要(英文)：As an established non-destructive diagnostic/inspection technique, X-ray CT has been pervasive in our lives. However, when inspecting electronic devices that contain many metallic components, a strong radial noise called metal artifacts are generated from the metallic portions.

In this study, to reduce metal artifacts in X-ray CT, we proposed a multi-axis X-ray CT and the optimization algorithm of its rotation control. By rotating objects around two or three axes while avoiding overlapping metals on X-ray beams, both saturated regions in projection data and metal artifacts were effectively suppressed. Our results demonstrated that it is possible to inspect electronic devices with X-ray CT, even if they contain numerous metals.

研究分野：計測工学、非破壊検査

キーワード：非破壊検査 X線CT メタルアーチファクト 計測 画像再構成

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

X線CTは、被写体の周囲方向からX線投影データを集め、断層画像を再構成する装置である。非破壊で物体の内部計測が可能な本技術は、医療・産業分野に多大な恩恵をもたらしてきた。しかし、歯部に金属インプラントが埋め込まれた患者や、金属部品で構成された基板など、被写体の中に金属が含まれるとき、メタルアーチファクトと呼ばれる激しいノイズが発生する。このとき、被写体の正確な断層画像が得られないため、診断や検査が行えなくなる。ソフトウェアの修正によるメタルアーチファクト低減技術はさまざま提案されてきたが、要素として金属を多く含む電子デバイスを対象としたとき、透過X線強度の飽和により十分なデータが得られないため、適用が困難であった。

### 2. 研究の目的

本研究では、多軸回転機構を用いた新しいX線CT撮影手法、および再構成アルゴリズムを提案し、X線CTにおけるメタルアーチファクト低減技術、ひいては電子デバイスの非破壊精密検査技術を確立する。本技術は、工業製品の欠陥特定や疲労評価だけでなく、ものづくりにおけるリバースエンジニアリングの重要な基盤技術となり得る。さらには、材料科学における新知見の獲得に繋がることが期待される。

### 3. 研究の方法

本研究では、多軸機構を有するX線CT撮影と再構成アルゴリズムの開発を行う。まず、被写体をさまざまな姿勢で撮影可能な多軸投影機構を設計し、シミュレーション上で実装する。合わせて、FDK法(L.A. Feldkamp et al. (1984))を拡張した、任意方向からの投影データによる画像再構成アルゴリズムを開発する。このとき、多軸投影の実装によって、投影情報を大幅に増加させることができるが、それは撮影時間と再構成計算に要する時間の著しい増加にもつながる。このため、再構成に必要な条件を満たしながら、金属の飽和を回避する投影方向を探索する、効率的な姿勢制御アルゴリズムの検討も行っていく。手法の有効性は、電子デバイスを模擬した数値ファントムや単純な試験片に対して適用することで確認する。

### 4. 研究成果

初年度は主として多軸X線CTの再構成アルゴリズムに関する検討を行った。まず、多軸投影および多軸投影データを用いた画像再構成を実施可能なシミュレーションソフトウェアを開発した(図1)。そして、基盤を模擬した三次元数値ファントムを作成し、シミュレーション上で二軸投影実験を行った。その結果、精度良く再構成計算を行うためには、各軸を連続的に変化させること、および投影データの角度分布に偏りを持たせないことが必要であることが明らかになった。

次に、金属による飽和を回避するための二軸姿勢制御の最適化アルゴリズムを提案した。一軸は被写体を設置するステージの回転軸であり、通常のX線CTと同様に360度回転させる。もう一軸を、ステージの回転角に対して鉛直方向に定義し、投影毎に軸角度を微小範囲内で動かし、X線強度の飽和領域が少ない投影データを探索しながら収集していく。このようにして

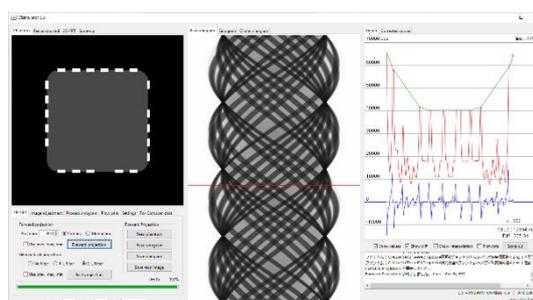


図1: シミュレーションソフトウェア

収集した飽和領域の少ない投影データを逆投影することで、メタルアーチファクト発生を抑制するというものである。

提案手法の効果をシミュレーション上で確認した結果、姿勢制御の最適化アルゴリズムを適用することで、メタルアーチファクトの発生強度を大きく低減できることが明らかになった。一方で、発生強度は抑えられているものの、二軸回転によってメタルアーチファクトは三次元的に広がることも確認された。

次年度は、姿勢制御の最適化についてより深い検討を行った。提案した多軸 X 線 CT の姿勢制御フローは次のとおりである。まず、予備投影として通常の一軸回転による投影を行う。その際に、投影データ上の金属領域の面積を記録し、面積が極小となる投影角度を抽出する。面積が極小となる投影角度からのデータは、多くの金属が重畳しているため、強度値が飽和する可能性が高い。そこで、面積が極小となる各投影角度において、予備投影に用いた軸以外の軸を回転させ、金属の面積が最大になるような投影角度を三次元的に探索し記録する。さらに、記録した離散的な投影角度をスプライン補間により滑らかに接続することで、投影角の制御関数とする。この制御関数を用いて被

写体を回転させることで、効率良く金属の重畳を避けながら投影を行うことが可能となる。

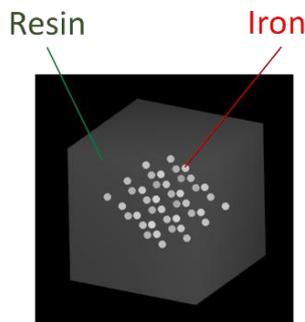


図 2: 数値ファントム

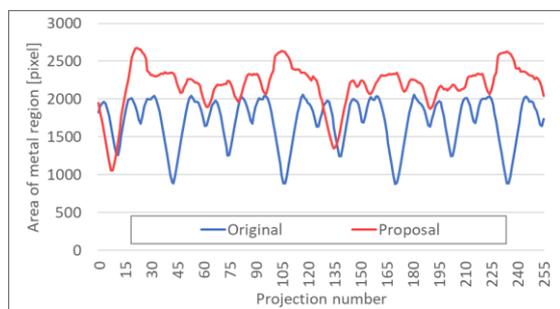
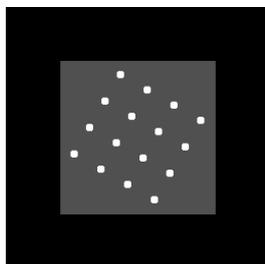


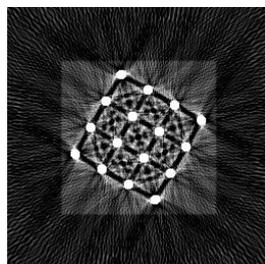
図 3: 投影データ上の金属領域の面積変化

提案した姿勢制御フローをシミュレ

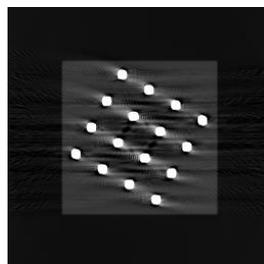
ーション上で実装し、樹脂内部に金属球を多数含む数値ファントム (図 2) に対して二軸回転での実験を行った結果、投影データ上の金属領域の面積は大幅に増加し、金属の重畳を効率よく回避すること



(a) ファントム



(b) FDK 法



(c) 提案手法

図 4: 二軸回転制御の最適化アルゴリズム適用結果

ことに成功した (図 3)。また、本実験で得られた投影データを再構成することで、メタルアーチファクトの発生強度を大きく抑制できることを確認した (図 4)。本手法は初年度に提案したものと比べ、より短時間で効率的に、安定した結果を出すことが可能となっている。

次年度から三年度にかけては、シミュレーション上で三軸回転を実装し、姿勢制御アルゴリズムの拡張を行った。その結果、投影軸を二軸から三軸にすることで、金属の重畳および金属による X 線強度の飽和をより効率的に避けることが可能となったが、回転角分布の偏りに由来するエイリアシングアーチファクトが増加する傾向が確認された。同時に、回転制御における目的関数を、単純に飽和領域の面積の最小化とするよりも、投影データ全体の透過強度分布の分散を最小化するものとしたほうが、良好にメタルアーチファクトを低減できることが明らかになった。今後、回転角分布の偏りによる不均質なラドン空間を修正する再構成アルゴリズムの実装を検討することで、従来よりも精密かつ実用的な検査技術の確立が期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Toru KANO and Michihiko KOSEKI
2. 発表標題 Development of a Multi-axis X-ray CT for Metal Artifact Reduction
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toru KANO and Michihiko KOSEKI
2. 発表標題 Optimization of multiple axes control for metal artifact reduction in X-ray CT
3. 学会等名 9th Conference on Industrial Computed Tomography (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira TAKEBAYASHI, Toru KANO, Hiroaki YAMAMOTO and Shohei KASUGAI
2. 発表標題 Method for Reducing Metal Artifacts in Dental CBCT
3. 学会等名 Academy of Osseointegration 2019 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加納 徹, 小関 道彦
2. 発表標題 高精度非破壊検査のための多軸X線CTの開発 (姿勢制御と再構成アルゴリズムの最適化)
3. 学会等名 計測自動制御学会 第34回センシングフォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 加納 徹, 小関 道彦
2. 発表標題 多軸X線CTの画像再構成におけるエイリアシング低減に関する検討
3. 学会等名 計測自動制御学会 第36回センシングフォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮岡 慧, 加納 徹, 小関 道彦, 赤倉 貴子
2. 発表標題 X線CTにおけるメタルアーチファクト低減のための最適投影軌道の提案
3. 学会等名 計測自動制御学会 第36回センシングフォーラム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>[講演] 3次元内外計測コンソーシアム 第9回総会・研究会  <a href="https://unit.aist.go.jp/riem/dms-std/xctcons/">https://unit.aist.go.jp/riem/dms-std/xctcons/</a></p>
---

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考