

高精度 X 線 CT を用いた MEMS デバイスのリバースエンジニアリング (メタルアーチファクト低減を目的とした画像再構成アルゴリズムの提案)

東京工業大学 小関 道彦, 佐藤 慎平, 木村 仁, 伊能 教夫

Reverse Engineering of MEMS Devices using High Precision X-ray CT
(Proposal of the image reconstruction algorithm for eliminating the metal artifacts)

Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology
Michihiko KOSEKI, Shinpei SATO, Hitoshi KIMURA and Norio INOU

Micro-computed tomography (μ CT) is quite useful for the quality evaluation of MEMS devices because it provides three-dimensional geometrical information of internal structures of the devices. However, large differences in X-ray absorption coefficients of materials produces streak and star pattern artifacts in the CT images. This study aims to develop a new reconstruction algorithm to reduce the artifacts from the images. In this paper, we discuss one of the cause of the artifacts using CT data of a sample. Examining the CT data of the sample, we find there are some variations in the amount of the X-ray absorption depending on the direction of the X-ray radiation. Then, we verify the influence of the correction of the variation on the appearance of the artifact.

Key words: X-ray CT, Image reconstruction, Metal artifact, MEMS device

1. はじめに

近年,多くのパーツによって構成された MEMS デバイスが量産されるようになってきている.このようなデバイスの場合,それぞれの構成パーツの加工精度だけでなく,ユニットとしての組み立て精度によって商品価値が大きく左右される.このため, MEMS デバイス全体の組み立て精度を評価する技術が求められている.

MEMS デバイスの内部構造を観察するためには,3次元の形状情報を直接的に得られるマイクロ X 線 CT が非常に有効であると考えられる.しかし現在の X 線 CT では,撮影対象物に X 線吸収率の大きく異なる物質が混在すると,CT 画像内にメタルアーチファクトと呼ばれる放射状のノイズが発生するという問題がある.例えば,多くの携帯電話に搭載されているカメラレンズユニットは,樹脂・ガラス・金属・セラミックなど多くの素材で構成されている.樹脂やガラスの X 線吸収率は低いため,CT 撮影には低強度の X 線を用いる必要がある.しかし,低強度 X 線で CT 撮影を行なうと金属部分からメタルアーチファクトが発生してしまうという問題がある.

そこで本研究では,メタルアーチファクトを低減することによって,X 線吸収係数の差異に関わらず鮮明な画像を得る CT 画像の再構成アルゴリズムについて検討することを第一の目的とする.そして第二に, MEMS デバイスの組み立て品に対して CT 画像から個別の有限要素モデルを作成し,リバースエンジニアリングを支援する技術を確立することを目的とする.

これまでに筆者らは,生体の CT 画像を対象とし,インプラントなどの金属から発生するメタルアーチファクトの低減を実現する画像再構成アルゴリズムを提案している¹⁾.しかし, MEMS デバイスをはじめとする人工物は生体内のインプラントよりも非常に複雑な形状であるため,より詳しい検討が必要となる.本稿では,多端子のコネクタを模擬した撮影サンプルを用いてメタルアーチファクトの原因についてより詳細に考察する.そして,メタルアーチファクトを低減する手法について検討を行う.

2. 撮影サンプルの X 線 CT 撮影

電子基板同士を結合するコネクタ類は, MEMS デバイスを含む精密機器を製造する上で欠かせないものであり,非常に多くの端子からなるものも広く普及している.コネクタは導電性の金属と絶縁性の樹脂材料によって製作されており,樹脂の整形不良は接触不良をもたらすため出荷前の検査が重要である.しかしすでに述べた通り, X 線 CT を用いた出荷前検査では金属材料からメタルアーチファクトが発生するため,完成状態での検査が困難であるという問題がある.

今回は多端子コネクタを模擬した撮影サンプルを用いてメタルアーチファクトの原因について考察を行った.作成した撮影サンプルを図 1 に示す.このサンプルは直径 20mm のアクリル円柱に直径約 0.8mm の軟鉄製のクギ 9 本を挿入したものである. CT 撮影にはマイクロ X 線 CT 装置 (コムスキヤンテック (株): ScanXmate-A130SS940) を用いた.撮影条件は以下の通りである: X 線管電圧 = 90kV, X 線管電流 = 18 μ A, X 線照射方向数 = 334 (約 200 度).

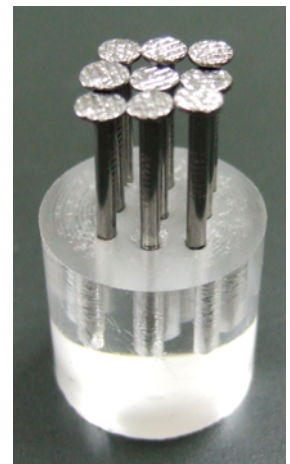


Fig. 1 Sample for CT imaging.

X 線 CT は,被写体に対して多数の方向から X 線を照射して得られる透過データ (シノグラム) を逆演算 (画像再構成) することによってスライス画像を得ている.すなわち,図 2(a) に示すように被写体に照射した X 線を一列に並んだ検出器で検知する操作を,被写体を回転させて繰り返すことによってシノグラムを得ている.図 2(b) にサンプルのシノグラムを示す.シノグラムは,一列の検出器が検知した X 線吸収量の分布を x 軸方向にプロットしたものを,回転方向ごとに y 軸方向に並べたものである.この図では,白い領域が X 線吸収係

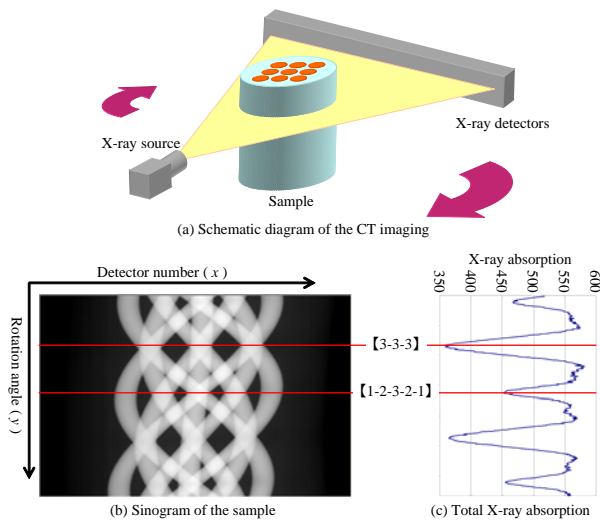


Fig. 2 Block diagram of accuracy improvement algorithm.

数の高い物質を透過した状態を示している。

ここで今回の撮影条件では、いずれの方向から X 線を照射した場合についても、検出器が X 線を検知する範囲内に被写体である撮影サンプルは全て含まれる。このためサンプルによって吸収された X 線量は、全ての方向で等しくなっていると予想される。このことを確認するために、それぞれの角度で被写体によって吸収された総 X 線量を、各検出器が検知した X 線吸収量の総和として算出した。結果を図 2(c) に示す。なお、グラフにおける X 線吸収量は X 線検出器の出力値である。これを見ると、予想に反して X 線吸収量には角度によって大きな差が生じていることがわかる。特に、今回の撮影サンプルで特徴的な角度である、金属棒を 3 本ずつ重ねて X 線が透過した方向（【3-3-3】と呼ぶ）や、金属棒が 1 本・2 本・3 本・2 本・1 本と重なって透過した方向（【1-2-3-2-1】と呼ぶ）では、その他の方向に比べて X 線吸収量が大幅に低くなっている。これは、X 線の周波数成分ごとに物質の X 線吸収係数が異なることによって引き起こされる現象であると予想しており、今後さらに検討する予定である。

3. シノグラム補正による画像再構成

X 線照射方向によってサンプルによる X 線吸収量が異なることを補正し、CT 画像でのアーチファクトの発生状況について検証を試みた。オリジナルデータについて、【3-3-3】方向および【1-2-3-2-1】方向の X 線吸収量のプロフィールを図 3 に示す。

シノグラムの補正は、それぞれの方向での総 X 線吸収量が最大のものに等しくなるように行う。今回は簡単のため、2 本以上の金属棒を通過した領域だけを補正の対象とし、X 線吸収量が 2.0 よりも大きい領域について値の大きさに応じて比例的に補正量を配分することにした。補正後の X 線吸収量のプロフィールを図 4 に示す。

オリジナルのシノグラムおよび補正後のシノグラムを用いて一般的な画像再構成手法である FBP 法により CT 画像再構成を行った。結果を図 5 に示す。今回実施した補正は簡単なものであるが、アーチファクト低減に効果が見られた。これより、アーチファクト発生の原因の一つとして X 線照射角度ごとに X 線吸収量が異なることを挙げられることがわかった。

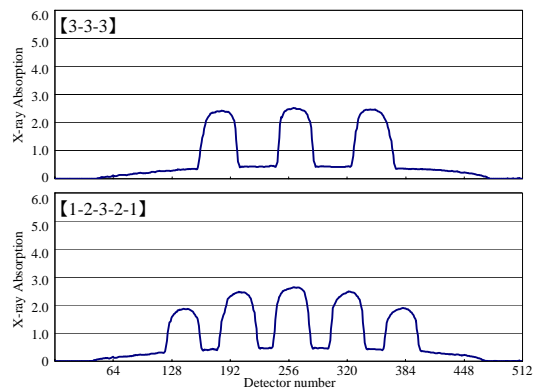


Fig. 3 Profile of the X-ray absorption (original data).

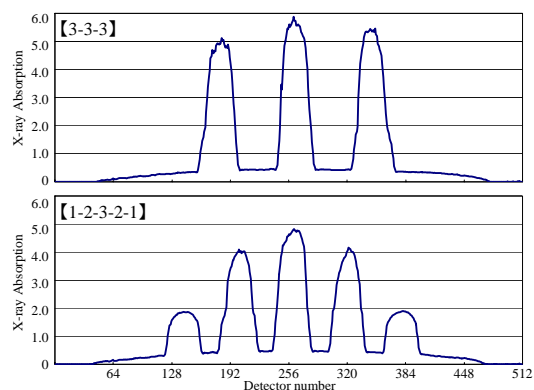


Fig. 4 Profile of the X-ray absorption (corrected data).

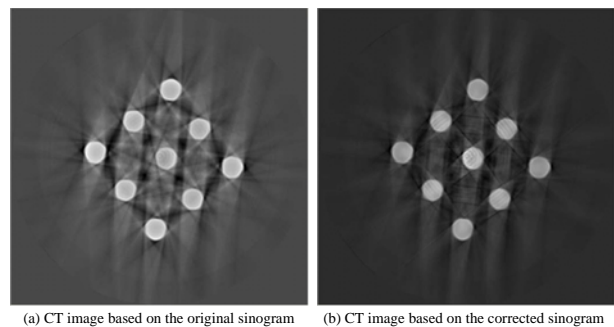


Fig. 5 Reconstructed CT images.

4. まとめ

CT 画像におけるアーチファクトの発生には、X 線吸収係数が材質ごとに極端に異なることだけでなく、本稿で検証したように X 線照射角度毎に X 線吸収量が異なっていることも影響している。筆者らは前報¹⁾にて X 線吸収係数の差異を考慮したシノグラムの改変手法を提案している。今後、アーチファクト発生 of 物理的要因を総合的に考慮した再構成アルゴリズムに発展させたいと考えている。

謝辞

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 産業技術研究助成金 (プロジェクト ID 05A29002d) によって行われた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 橋本周平・小関道彦・木村仁・伊能教夫: X 線 CT 画像に基づく個体別有限要素モデリング (金属アーチファクト低減を目的とした画像再構成アルゴリズムの提案); 日本機械学会 第 17 回パイオエンジニアリング講演会講演論文集 [04-48], (2005), 133-134