

# X線 CT 画像の画質向上に関する研究 (メタルアーチファクトの低減手法の提案)

## A Study of Quality Improvement of X-ray CT Image (Proposal of a reduction method of metal artifacts)

○ 正 小関道彦(東工大)                      佐藤慎平(東工大)  
正 木村 仁(東工大)                      正 伊能教夫(東工大)

Michihiko KOSEKI, Shinpei SATO, Hitoshi KIMURA and Norio INOU  
Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8550 JAPAN

Micro-computed tomography 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 the cause of the artifacts using CT data of a sample. Examining the CT data of the sample, we find that there are significant variations in the amount of the X-ray absorption depending on the direction of the X-ray radiation. Then we measure the relationship between thickness of the metallic object and x-ray attenuation and perform numerical simulation based on the measured result.

**Key Words:** X-ray CT, Image reconstruction, CT artifact, Filtered back projection.

### 1. 緒言

近年、機械デバイスや電子デバイスが様々な部品を複合した一体品として製造・出荷されるようになってきている。このようなデバイスの内部構造を非破壊検査するためには、三次元の形状情報を直接的に得ることが可能なマイクロ X 線 CT が非常に有用である。しかし現在の X 線 CT では、金属部分から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し、画像が乱れ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し、鮮明なスライス画像を得る撮影手技および画像再構成手法を開発することを目的としている。本稿ではメタルアーチファクトが発生する原因について考察する。

### 2. CT 画像におけるメタルアーチファクト

直径20mmの亚克力円柱に直径約2mmの軟鉄製のクギ9本を挿入した撮影サンプルを CT 撮影すると、X 線 CT 装置に一般的な画像再構成手法では図 1 に示す画像のように非常に多くのメタルアーチファクトを含む CT 画像が得られる。CT 画像にこのようなアーチファクトが発生する原因は、画像再構成に用いる投影データに矛盾が生じているためであると考えられる。CT 撮影では、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、被写体を回転しながら繰り返すことによって図 2(b)に示すような投影データを得ている。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、サンプルによって X 線が遮られる領域を検出器がカバーしている。このため、サンプルによって吸収された各方向の総 X 線量は、撮影角度に関わらず一定となっていることが期待される。しかし、図 2(c)のグラフによると、撮影角度によって大きな差が生じている。この結果は、X 線が透過する金属の厚みによって吸収量に差が生じることを意味している。

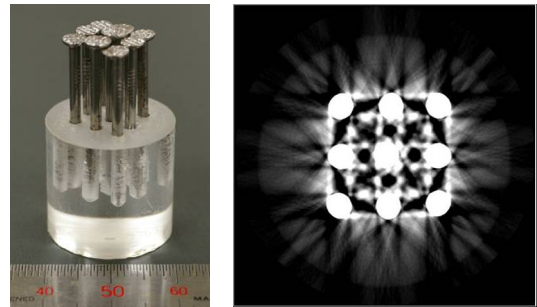


Fig. 1 A sample and its reconstructed CT image.

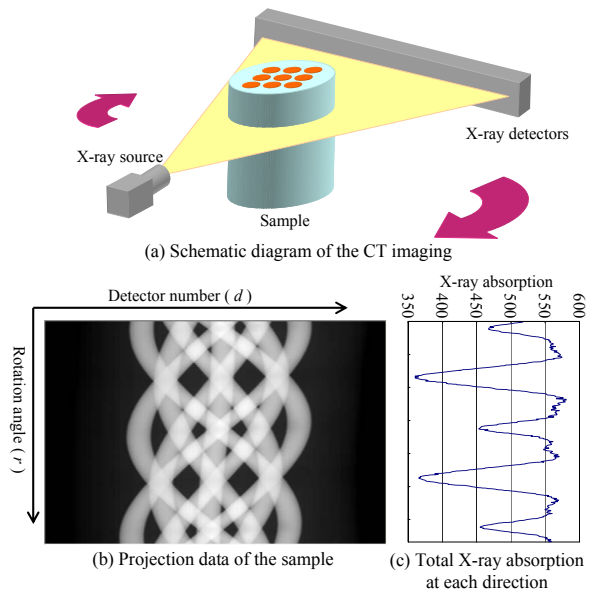


Fig. 2 Measured projection data of the sample.

本研究ではこの点に着目し、このような現象とメタルアーチファクトとの関係を明確にするとともに、メタルアーチファクトの低減手法の開発を目指している。

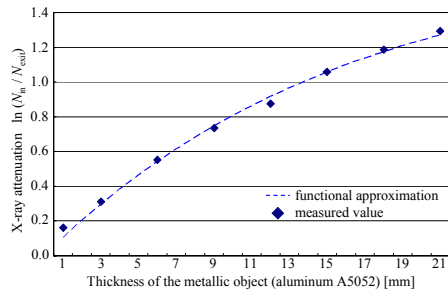


Fig. 3 Relationship between thickness of the metallic object and x-ray attenuation.

### 3. 数値シミュレーションによる考察

X線の吸収とメタルアーチファクトの発生原因の関係をより詳細に考察するため、以下の手順で数値シミュレーションを行った。

- step 1. 金属厚と X線吸収量の関係を数式化
- step 2. 数値モデルの作成
- step 3. 計算機上で順投影
- step 4. 投影データを 1. で作成した数式によって変形  
それぞれのステップでの操作を具体的に説明する。

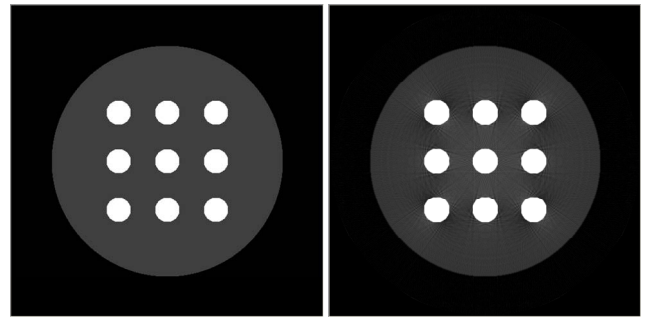
まず step 1 において、金属試験片の厚みと、X線吸収量との関係について、実際の CT 撮影に利用する装置（コムキャンテクノ(株) ScanXmate-A130SS940) を用いて測定を行った。結果を図 3 に示す。X線 CT の画像再構成においては、金属の厚みと X線吸収量が線形の関係性を有していることを期待しているが、実際には図 3 に示すように非線形の結果となっている。そこでこれを次式に示す関数でモデル化した。

$$f(x) = a(1 - b^x) \quad (1)$$

ここで  $x$  は金属の厚み、 $f(x)$  はそのときの X線吸収量を示しており、 $a$  および  $b$  は係数 ( $0 < b < 1$ ) である。

次に、step 2 において理想的な被写体のスライス画像を計算機上に構築し、これに対し step 3 において計算機上でのフォワードプロジェクション (仮想的な X線照射) を行うことによって投影データを得る。ここでは、X線の吸収が理想的な状態で行われるものとする。すなわち、金属領域の厚みと X線吸収量は線形な関係を有する。step 2 で構築したスライス画像を図 4(a) に、step 3 で得られた投影データをバックプロジェクション手法で再構成した画像を図 4(b) に示す。理想的な X線吸収が行われている場合には、両者はほぼ同等の画像となっており、メタルアーチファクトの存在しない鮮明な画像が再構成できている。

最後に step 4 において、step 1 で実験的に得られた X線吸収と金属厚の非線形な関係に基づき、step 3 で得られた理想的な投影データを変更する。図 5 は X線吸収の非線形性を考慮した投影データで再構成した画像である。この画像には、図 1 に示した実際の CT 画像と非常に良く似たアーチファクトが発生している。このため、この数値シミュレーション手法によって、金属による X線吸収と CT 画像におけるメタルアーチファクトの発生について定量的に議論することが可能であると考えられる。



(a) Original image (b) Reconstructed image using a calculated projection data

Fig. 4 Numerical analysis of the metal artifact.

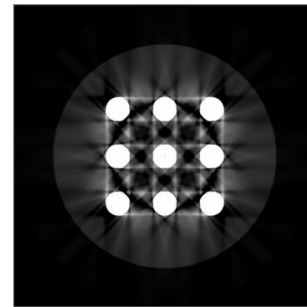


Fig. 5 Reconstructed image based on the numerical projection data.

### 4. まとめ

CT画像におけるメタルアーチファクトの発生には、物質によるX線吸収量の非線形性が影響していることを確認した。この非線形性は、一般的なX線CT装置が備えるX線源が複数の波長を持つX線を出力していることが原因であると考えられる。このようなX線源の場合、付加する電圧を変更することによって異なる波長スペクトルを有するX線が出力され、物質によって吸収されるX線量の非線形性が変化することを確認している。筆者らは前報<sup>1)</sup>において生体用X線CT画像の画質向上を目指したメタルアーチファクト低減手法を提案した。この方法は、生体の被曝を回避するため1回だけしかX線を照射しないことを前提としているが、人工デバイスの場合には複数のX線を照射することが可能である。このため両者を組み合わせた画像再構成によって画像を効果的に改善することが可能になると考えている。

### 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。

### 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); 第 17 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集[04-48], (2005), 133-134.