

# X線CT画像におけるメタルアーチファクト低減手法

## CT Image Reconstruction Algorithm to Reduce Metal Artifact

学 加納 徹 (信州大) 正 小関 道彦 (信州大) 正 森川 裕久 (信州大)

Toru KANO, Michihiko KOSEKI, Hirohisa MORIKAWA  
Shinshu University, 3-15-1, Tokida, Ueda, Nagano, JAPAN

**Keywords:** X-ray CT, Nondestructive Inspection, Image Processing, Metal Artifact.

### 1 はじめに

X線CT装置は、被写体に周囲方向からX線を照射し、その投影データから物体の断層画像を再構成する装置であり、医療・産業分野で急速に普及し、診断・検査等に活用されている。非破壊で物体の断層画像が得られる優れた技術であるが、被写体に金属等が含まれている場合、その部分から放射状のノイズが発生することがある。この放射状のノイズはメタルアーチファクトと呼ばれ、X線CT画像の精度における大きな問題となっている。

本研究では、ソフトウェア的手法によるメタルアーチファクト低減手法を開発し、従来よりも優れた診断・検査技術を確立することを目的としている。

### 2 メタルアーチファクト発生要因

各元素のX線吸収係数は、エネルギー  $E$  の関数  $\mu(E)$  として実験的に求められている。更に、透過するX線の強度  $I$  は、金属の厚みを  $t$ 、入射X線の強度を  $I_0$  とすると、次のように表される

$$I(E) = I_0(E) \times \exp(-\mu(E) \times t) \quad (1)$$

また、X線の減弱を示す吸光度  $A$  は

$$A = \ln \frac{I_0(E)}{I(E)} = \mu(E) \times t \quad (2)$$

と表され、X線のエネルギーが単一であるならば、物質の厚みに対して線形の値をとることがわかる。X線CTではこの線形性を持つ吸光度を用いて、断層画像の計算を行っている。ところが、一般にX線CTに使われるX線は、連続エネルギー分布を持つ連続X線であり、X線吸収係数  $\mu(E)$  は、照射X線のエネルギーが高くなるにつれて非線形に減少する。したがって、使用するX線管の管電圧を  $P$  とすると、透過X線の強度  $I$  は次のようになる。

$$I(E) = \int_0^P I_0(E) \times \exp(-\mu(E) \times t) dE \quad (3)$$

本来ならば、この計算式から吸光度を求めるべきであるが、技術的な問題から、現状のX線CT装置ではエネルギー別のX線強度を取得するのは困難である。そこで、多くのX線CT装置では、連続X線を単一エネルギーのみを持つ単色X線であると仮定して、計算を行っている。この理由は、被写体が人体や樹脂であれば、連続X線による吸光度の非線形性は微小であり、線形と近似しても問題が無いためである。しかし、吸光度のエネルギーに対する非線形性は、金属において顕著に現れる。このため、被写体に金属が含まれるとき、物質厚みに対する吸光度の非線形性が顕著となり、投影データに矛盾が生じる。この矛盾が、メタルアーチファクトの原因となる。

### 3 シミュレーションソフトウェア

コンピュータ上でX線の透過と吸収を模擬し、画像再構成処理を再現するシミュレーションソフトウェアを作成した (Fig.1)。

このソフトウェアを用いて、樹脂の中に金属柱が埋め込まれた実験用サンプル (Fig.2) の仮想的な断層画像を作成し (Fig.1: 左)、この断層画像に対して連続X線を照射した際のシノグラム

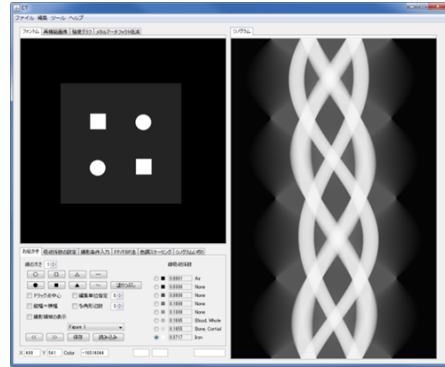


Fig.1 Simulation Software

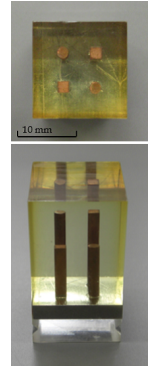


Fig.2 Sample

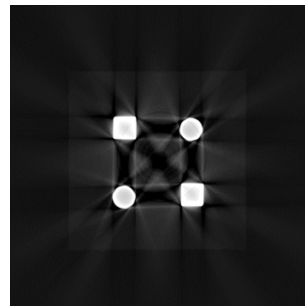


Fig.3 Actual Result

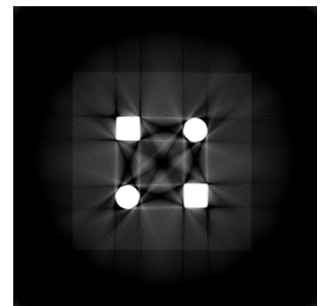


Fig.4 Simulation Result

ム (Fig.1: 右) を計算した。ここでシノグラムとは、被写体を360度各方向から撮影した投影データを縦に並べた画像を指す。

Fig.2に示した実験用サンプルを実際のX線CT装置で撮影した断層画像が Fig.3 であり、シミュレーションソフトウェアで作成した断層画像が Fig.4 である。両者は定性的に良く似ており、開発したシミュレーションソフトウェアがメタルアーチファクトを再現できていることがわかる。

次に、このシミュレーションソフトウェアに考案したアルゴリズムを適用していき、メタルアーチファクト低減の可能性について検討していく。

### 4 メタルアーチファクト低減アルゴリズム

先に述べたとおり、メタルアーチファクトが発生する要因は吸光度の非線形性にある。一方、被写体を回転させながら投影データを取得することから、ある物体領域のシノグラムは必ず、周波数が一定のサインカーブを描く性質を持つ。そこで、このシノグラムの性質に着目し、投影データが合成されて非線形性が顕著になる前のサインカーブに分離することを考えた。

サインカーブを抽出し、シノグラムを再計算するアルゴリズムを Fig.5 に示す。シノグラム上に存在しうる、異なる振幅と位相差を持つあらゆるサインカーブを仮定し、曲線上のX線透過強度を比較していくことで、金属が描いている可能性が高いサインカーブを抽出していく。そして、振幅に依存する重み関数を利用することで、新しいシノグラムを計算していく。重み

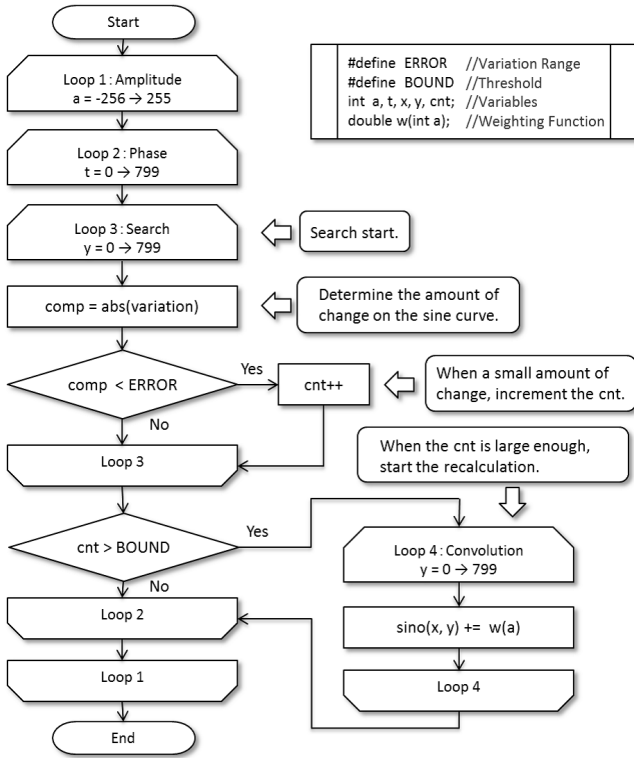
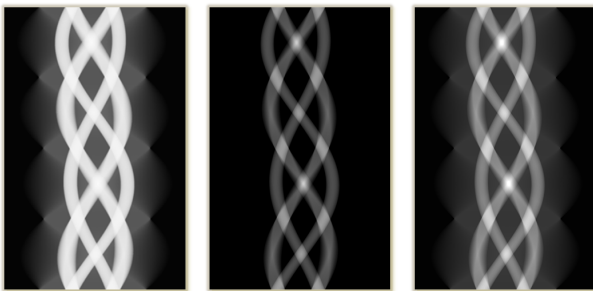


Fig.5 Sine Extraction Algorithm



(a)Raw Sinogram (b)Recalculation (c)Completion

Fig.6 Result of Applying the Algorithm

関数を利用する理由は、サインカーブは振幅が小さいほど多く抽出されやすく、振幅が大きいほど抽出されにくい傾向があるためである。また、今回金属領域以外の部分に対しては、金属領域のサインカーブを抽出した後、周辺の透過強度の情報から線形補完を行う。

## 5 アルゴリズム適用結果

### 5.1 シミュレーションデータへの適用

Fig.6(a) のシノグラムの金属領域部に対し、本アルゴリズムを適用した結果、17802本のサインカーブが抽出された。抽出されたサインカーブを再計算して作成したシノグラムを Fig.6(b) に、金属領域以外の部分を補完して合成したシノグラムを Fig.6(c) に示す。Fig.6(b) を再構成した画像が Fig.7 であり、Fig.6(c) を再構成した画像が Fig.8 である。Fig.8 では若干のアーチファクトが見られるが、Fig.4 に示した通常の再構成画像と比べてメタルアーチファクトの少ない、鮮明な画像となっている。

### 5.2 実際に撮影したデータへの適用

CT 装置で実際に実験用サンプルを撮影し、それら投影データに対して本アルゴリズムを適用した結果を Fig.9 に示す。いずれの実験用サンプルも、通常の画像再構成では金属柱部分からメタルアーチファクトが発生しているが、本アルゴリズムを

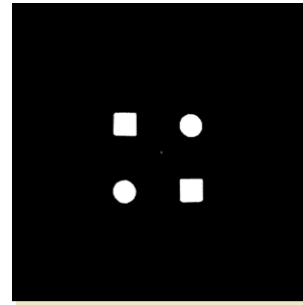


Fig.7 Metal Extraction

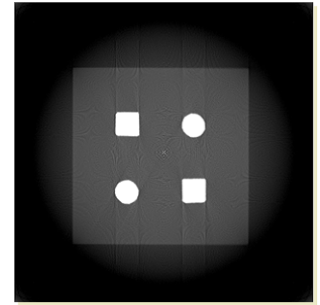
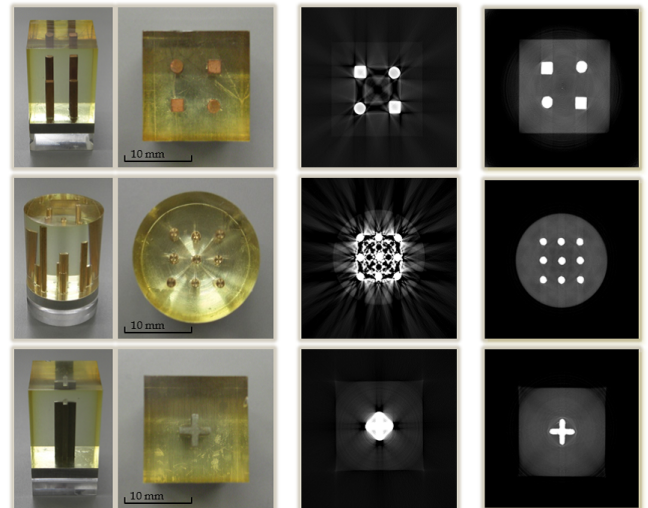


Fig.8 Synthetic Result



(a)Samples (b)Raw Image (c)Fixed Image

Fig.9 Result of Applying to the Actual Data

適用することでシミュレーション結果と同様に、メタルアーチファクトを低減することができた。

## 6 まとめ

通常のシノグラムでは、金属領域が描くサインカーブが重なる部分において、吸光度が非線形に減少する。シノグラムから、重ね合わさる前のサインカーブを抽出し再計算することで、物質厚みに対する吸光度が線形となるシノグラムを再現できた。このシノグラムからは、メタルアーチファクト発生要因が除去されているため、Fig.7 のようにメタルアーチファクトの一切発生しない再構成画像が得られる。Fig.8 に見られる若干のアーチファクトは、画像処理的なサインカーブ抽出の不正確さと、金属領域以外の部分の補完法が不十分であることが考えられる。

また、今回はメタルアーチファクトが減少するように、マニュアルでサインカーブ抽出の精度 (ERROR, BOUND) を調整する必要があった。特に十字型のような凹部を持つ形状では、パラメータの微調整が必要であった。実際の診断や検査に適用するためには、メタルアーチファクトが発生していると決定する数値的な判断基準および、サインカーブ抽出パラメータの自動決定法が必要である。

## 7 今後の予定

本手法を、複雑な断層を持つ未知物体にも適用可能にするために、抽出精度を示すパラメータ決定法、サインカーブ抽出法の開発を行っていく。

また、医療や産業で撮影された断層画像は、再構成画像のみを保存してシノグラムを保存していないことが多い。そこで、メタルアーチファクトが発生している断層画像からシノグラムを変換し、メタルアーチファクトを低減した断層画像に生成する一連のアルゴリズムについても検証していく。