

12p-PA2-19 高エネルギーCT画像の参照によるアーチファクト削減方法

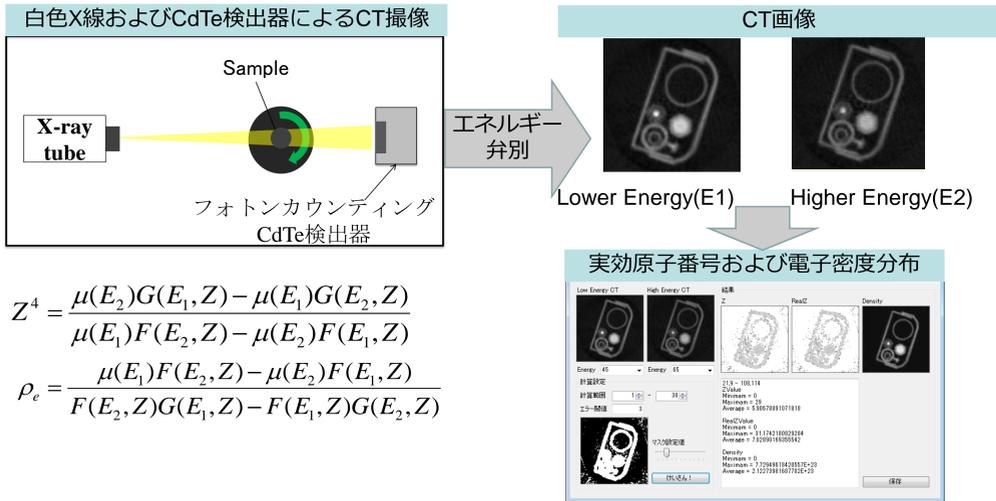
静岡大院創造¹, 静岡大電研²,

○井村 ゆき乃^{1,2}, 柳田 拓人², 根尾 陽一郎², 三村 秀典^{1,2}, 青木 徹^{1,2}

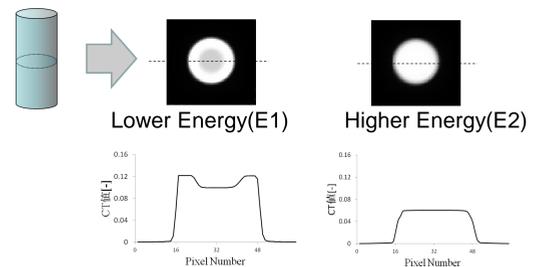
Abstract

X線CT撮像は検査対象の内部の情報を得られるため多くの分野において応用されている。X線のエネルギーごとの減弱の違いにより、CT画像を用いて実効原子番号および電子密度を求めるDual Energy X-ray CT (DXCT) はこれまで医療分野での応用が進められてきた。我々はセキュリティや非破壊検査の分野におけるDXCTの適用を目指し、従来型の白色X線管と光子カウンティング型検出器による材料識別を検討している。DXCTでは二つの異なるエネルギーにおけるCT画像の線源係数の差を利用して材料識別を行うため、二つのエネルギーは十分に離れている必要がある。従来型の白色X線管を利用する場合、数十 keV程度の低いエネルギー帯域を用いる必要があるが、このような帯域では検出器におけるカウント数と物質の透過距離との間の線形性が失われ、CT画像にアーチファクトが発生して材料識別の精度を下げる原因の一つとなっている。本研究はこの非線形性によるアーチファクトを、より高いエネルギーのCT像を参照することにより低減することを目的とする。逐次近似画像再構成法の一つであるAlgebraic Reconstruction Technique (ART) - Total Variation (TV)法へ、より高いエネルギー帯域でのCT像を参照し補正するステップを組み込む方法を提案した。この方法によりチタンシリンダーのCT像を再構成し、アーチファクトが低減することを確認した。

Dual Energy X-ray CTによる材料識別



アーチファクト削減



- ・低エネルギー側：同一物質だがCT値が中央部で低下 (ビームハードニングによるアーチファクト：Cupping Effect)
- ・高いエネルギーのCT像ではこのアーチファクトが出現しにくい

↓
高いエネルギーのCT像を参照しながら逐次的に画像再構成することでアーチファクトを低減

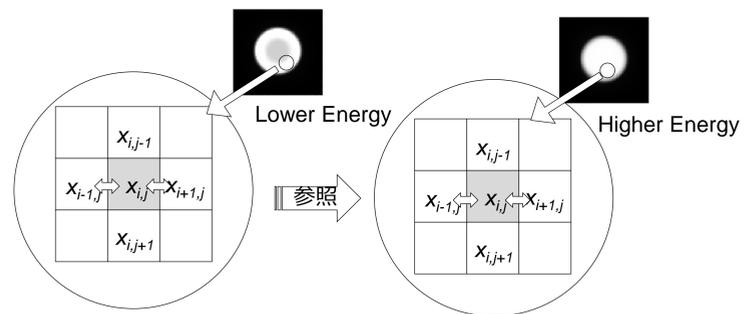
Methods

- ・欠損箇所を含む撮像データから画像を再構成する方法として検討されているAlgebraic reconstruction technique (ART) - Total variation (TV)法を拡張
- ・低いエネルギーのCT画像に現れるビームハードニングによるアーチファクトの部分により平らにするFlatten Gradient (FG)ステップを開発・追加しART-FG-TV法
- ・FGステップでは、与えられたCT画像の勾配を、高いエネルギーにおけるCT画像の勾配を参照して重み付け

Procedure FG(f, h, θ, α, R)

```
d ← vector of the same size as f
for all r ∈ R do
  for i = 1 to size(r) do
    if |hr[i]| < θ then
      s ← fr[i-1] + fr[i+1] - 2fr[i]
      if s > 0 then
        dr[i] ← dr[i] + αs length(r[i])
      end if
    end if
  end for
end for
return d / V {view size}
```

- ・引数 f は画像行列
- ・ h はより高いエネルギーの画像の勾配を表すベクトルで、高いエネルギーCT画像へラプラシアンフィルタを適用することにより求める
- ・ θ と α はそれぞれ閾値とプロシージャの強さを表す定数
- ・ R は f のインデックス (X線の経路が横切る部分)
- ・FGステップでは、画像 f はピクセルごとにX線経路 R にそってトレース
- ・対象ピクセルに対し、参照画像の同じ位置の配が閾値 θ より小さい場合、強さパラメータ α と隣接するピクセルとの間の差 s の積が加算される



ART-FG-TV法

(1) ART

$$f_{n+1} = f_n + \frac{g_i - H_i f_n}{\|H_i\|^2} H_i, i = 1, \dots, P$$

(2) FGステップ

$$f_{n+1, m+1} = f_{n+1, m} + \text{FG}(f_{n+1, m}, h, \theta, \alpha, R), m = 1, \dots, S$$

(3) Positive constraint

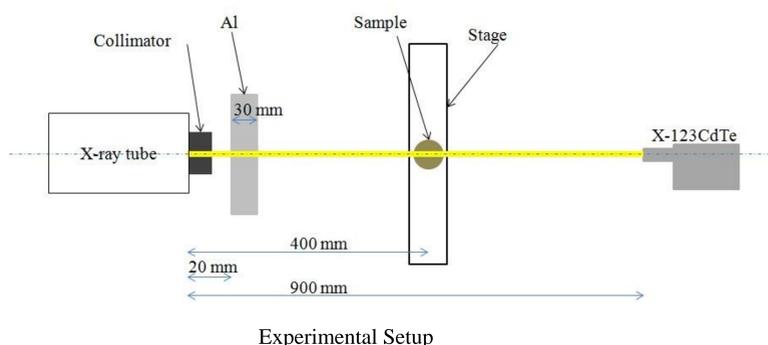
$$f_{n+1} = \begin{cases} f_{n+1} & f_{n+1} \geq 0 \\ 0 & f_{n+1} < 0 \end{cases}$$

(4) TV minimization

$$f_{n+1, l+1} = f_{n+1, l} + d \frac{\partial \text{TV}(f_{n+1, l})}{\partial f_{n+1, l}}, l = 1, \dots, Q$$

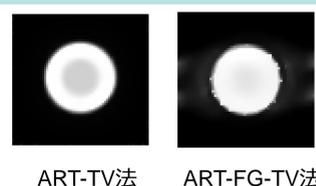
- f : 再構成画像
- g : プロジェクションデータ
- H : プロジェクション行列
- P : プロジェクション数
- Q : TVイタレーション回数
- S : FGステップのイタレーション回数

Experiment and Results

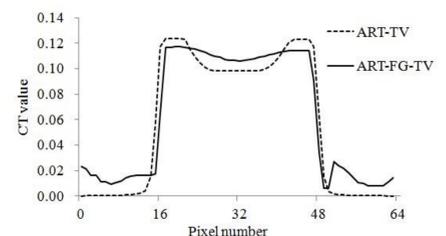


- ・サンプル：チタンシリンダー
- ・検出器のパイルアップを避けるため、アルミ板をX線管とサンプルとの間に設置
- ・50keV撮像データを本方法で再構成
- ・110keV撮像データをART-TV法で再構成した画像を参照

50keV チタンシリンダーのCT画像



ART-TV法およびART-FG-TV法によるCT画像のイメージプロファイル



- ・イメージプロファイルより (CT画像の中央部分のCT値)

ART-TV法 : 0.098
ART-FG-TV法 : 0.106
・実効原子番号で0.84の改善

- ・ART-FG-TV法で得られたCT画像ではTiの領域の中央部の値がART-TV法の値よりも高く、より一様なCT像に近づいた

Conclusions

- ・減弱と物質の暑さとの間の非線形性に起因するCT画像のアーチファクトを削減する方法としてART-FG-TV法を提案した。
- ・本方法により、低いエネルギーのCT画像のアーチファクトの削減が確認できた。
- ・FGステップでは、高いエネルギーのCT画像を参照するが、この方法は光子カウンティング型検出器によるエネルギー別によりエネルギー別の光子数が正確に取得できることにより可能となる。