生体断層計測への超微弱光量検出法の応用に関する研究

井　尻　和　夫*

［要　　旨］

近年、Ｘ線を受けない断層投影技術として生体・機能情報を画像化する光CTへの期待が高まっている。光CTは、医用の分野だけでなく、光散乱媒質で形成されている動物や植物など様々な生体の透視装置として、その利用の可能性が高いものと予測されている。

本研究では、これまでに考案してきた超微弱光の高感度計測方法に基づき、光CTの装置化の原型となるＸ線CTと等価な投影方法を用いた投影画像の再構成方法について検討し、光CTの装置化の可能性を検証した。

1　緒　言

医療現場において、従来のＸ線やMRI, 超音波等による断層投影装置は、生体内の疾患を計測する高度医療の必須の医用測定装置となっているが、大掛かりな高額医療設備であり、局部疾患の診断やモニタリングに利用できる低コストの簡易断層投影装置の開発が求められている。

レーザ光をプローブとした光断層計測手法は、生体へのダメージを与えず、生体の局部に発生した疾患の計測や、筋肉や皮質・肉質・血液などのヘルスモニタリングができるなど、様々な生体情報の計測を可能とするもので、従来のＸ線やMRI, 超音波等の断層投影装置などの一部の測定機能を補完するだけでなく、「異なる診断機能を有する装置」実現への高い可能性を持っている。

これまでに、生体の窓と呼ばれている600～1200nmの近赤外域の低周波パルス変調LD光源を用いた２つの高感度計測技術を考案し、その技術の有効性を検証してきた[1)]。

本試作実験では、この計測方法を用いた光CTの装置化を検討するため、透過光量の投影データから画像を再構成する方法についてシミュレーションを行い、その可能性を検証した。

〈２つの計測方法〉

（１）低周波パルス変調LD光源とロックイン検出法を用いた計測方法

（２）ＰＩＮフォトダイオードの接合容量変位に着目した超微弱光量の計測方法

2　実験方法

低コストの光CTを実現するには、生体の肉質など高光散乱媒質の光軸中心近傍の透過減衰量が、Lambert-Beerの法則に従って深部に達する超微弱光量を計測する必要がある。 図１は、既に考案してきた計測方法を用いて、人体と類似した豚肉を主原料とした加工肉を供試体として深さ40数mmまでの透過光量を計測した結果である。

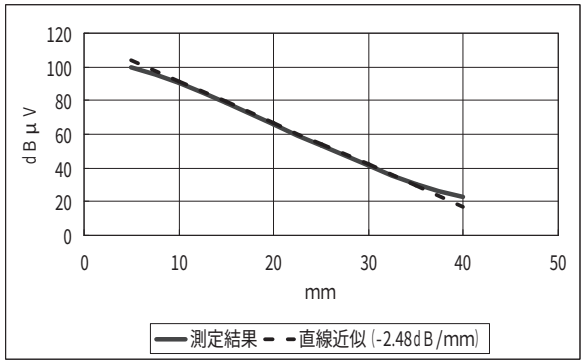


図１　加工肉の肉厚に対する透過光減衰量

＊　研究開発課

本試作実験では、次に示した光CTシステムの構成要素の中で、投影データから断層画像を再構成する部分の画像データ処理の基本部分について、次に示す画像再構成の手順に従って疑似投影データから画像再構成を行うことにした。

光ＣＴシステムの構成要素

① 投影機構（メカ部＆光学系）
　投影面の平行移動（１軸制御）
　投影面の回転移動（回転移動）
　近軸散乱光計測の光学系
② ディテクションと信号処理
③ 画像再構成

次に、画像再構成手順の詳細を示す。

画像再構成の手順

① 疑似画像データの作成
② 投影面の回転と投影データの生成
③ 投影データから投影画像の２次元フーリェ変換画像の生成
④ ２次元画像データの再構成

(１)疑似画像データの作成

疑似画像として、矩形画像の中に色階調の高い円画像を配置した複合画像を作成することにした。複合画像の色階調差は、外層矩形画像の１画素当たりの透過減衰量を図１に示した「加工肉の肉厚に対する透過光減衰量」2.48dB/mmの50倍とし、内層円画像の１画素当たり250倍に設定することにした。

(２)投影面の回転と投影データの生成

ラドン変換法による疑似投影データは、図２に示すようにｘｙ座標面に被写体とした擬似画像を配置し、回転角θのＸＹ座標面にＹ軸に平行した強度Ｉ$_0$のLDビームを照射し、透過減衰光のＸ軸上の投影データを生成した。

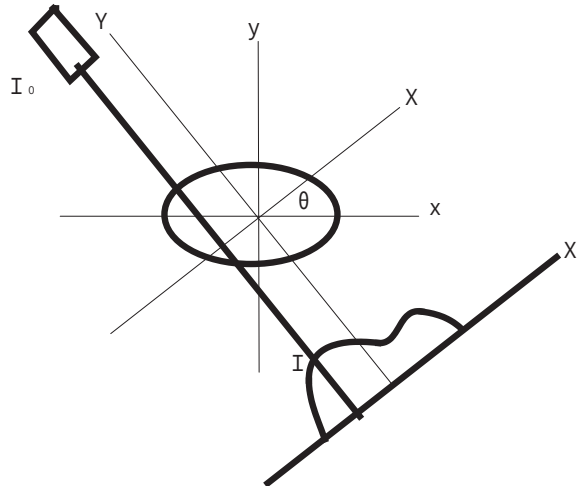


図２　擬似投影データの生成

Ｉ(Ｘ, θ)： 被写体透過後の強度

$\boldsymbol{g}$(Ｘ, θ)： ビーム減衰率の対数変換

ｆ(ｘ, ｙ)： 被写体の減衰係数の分布

$x = X\cos\theta - Y\sin\theta$

$y = X\sin\theta + Y\cos\theta$

$$I(X,\theta) = I_0 \exp -\int_{-\infty}^{\infty} f(x,y)\,dy$$

$$\boldsymbol{g}(X,\theta) = \log\left[\frac{I_0}{I(X,\theta)}\right] = \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y)\,dy$$

サイノグラムは、疑似画像の360度をｎ分割した角度の平面上で投影したｎ枚の投影データＩ(Ｘ, ｎθ)を縦に並べたて作成した。

回転投影面のデータは、線形補間法を用いて算出し、投影線上の画素の階調データを累積加算することで線積分し求めた。

(３)投影データから投影画像の２次元フーリェ変換画像の生成

投影画像の２次元フーリエ変換画像は、ｎ枚の投影データを１次元フーリエ変換した後、座標中央に０点を移動させて算出した周波数領域（Ｓ, θ）軸上の成分を極座標軸上に線形補間法を用いて転写して生成した。

画像再生の精度を上げるためには、算出した周波数領域のデータにフィルター処理を行う必要がある。

（4）2次元画像データの再構成

画像再生は、周波数領域に変換した回転投影データ（フーリェ変換画像）を2次元逆フーリェ変換して、元画像を生成することによって求めた。

3　実験結果

（1）疑似投影データの生成

生成した矩形、円画像と色階調の異なる疑似複合画像を図3に示す。画像の構成データを次に示す。

画面の画素数　64＊64

矩形画像　　30＊30　　色階調：135

円画像　　直径：13　　色階調：635

（2）投影面の回転と投影データの生成

図4に線形補間法を用いて生成した矩形画像の回転角45度の投影画像を示す。図5に疑似複合画像のサイノグラムを示す。図6に図5の滝グラフを示す。

（3）投影データから投影画像の2次元フーリェ変換画像の生成

図7のａ～ｆに、投影データから2次元フーリェ変換像を生成する過程の画像を示す。ｆは、ｅの滝グラフである。dのフィルタ処理には、Shepp-Loganフィルタを使用した。

図8に、図3の疑似複合画像を直接2次元フーリェ変換した結果を示す。投影画像から1次元フーリェ変換をして生成した結果とほぼ一致しているが、周辺部のデータは不鮮明となっている。これは、高周波域のデータが不鮮明であるために生じているもので、画像の小さい凹凸を不鮮明にする要因となる。

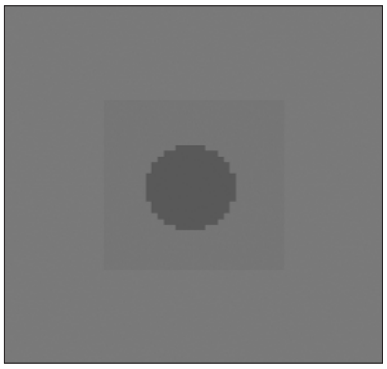


図3　疑似複合画像

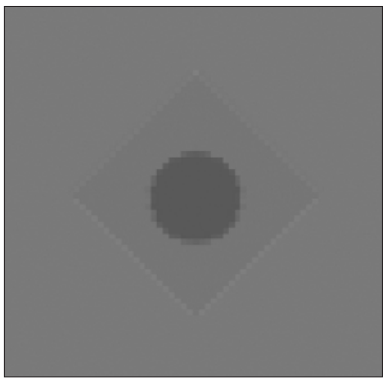


図4　回転角45度の投影画像

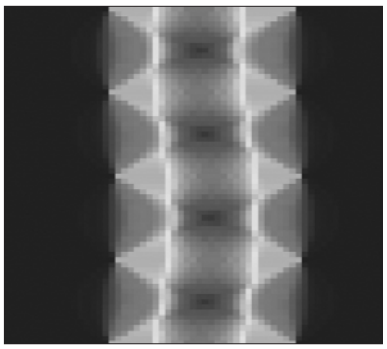


図5　サイノグラム

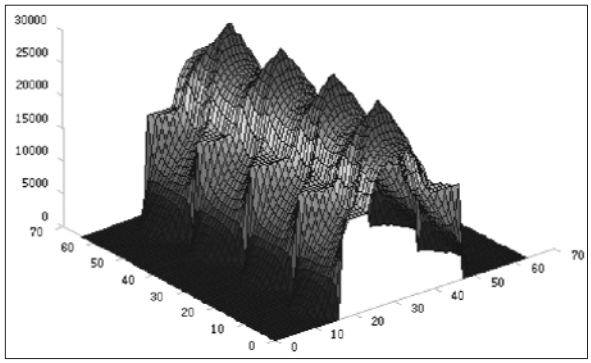
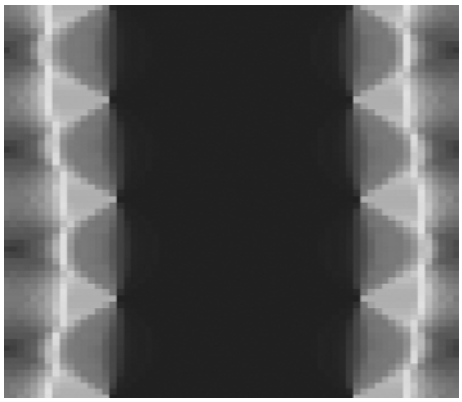
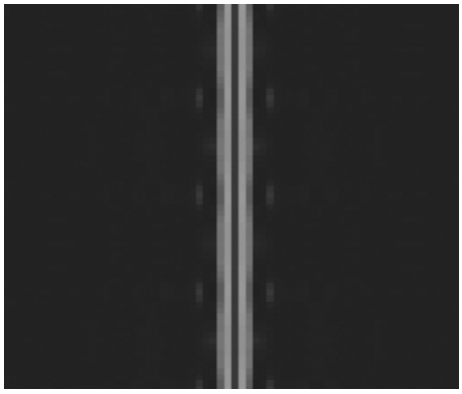


図6　サイノグラムの滝グラフ

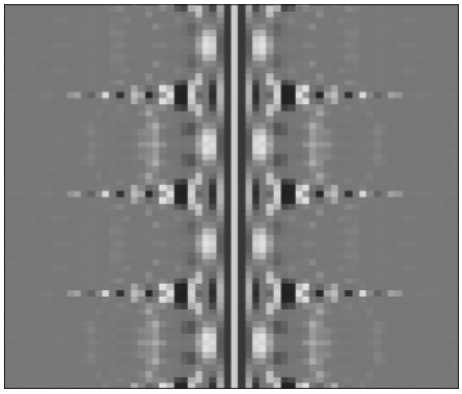


a　サイノグラムの０点移動

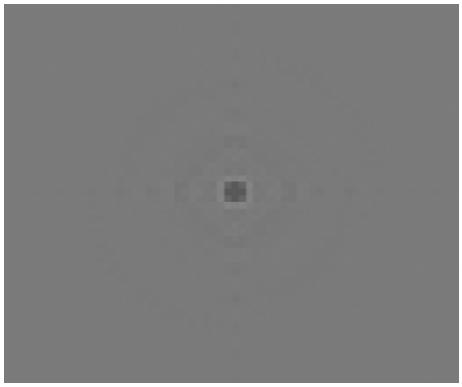
b　ａの１次元フーリェ変換



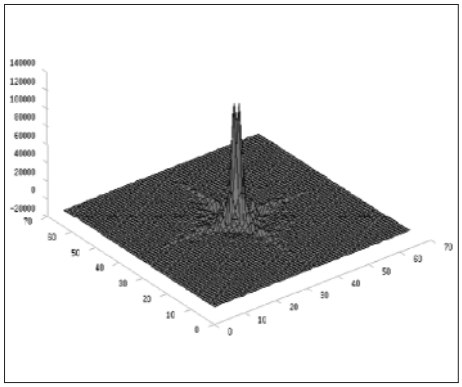
c　ｂの０点移動



d　ｃをフィルタ処理

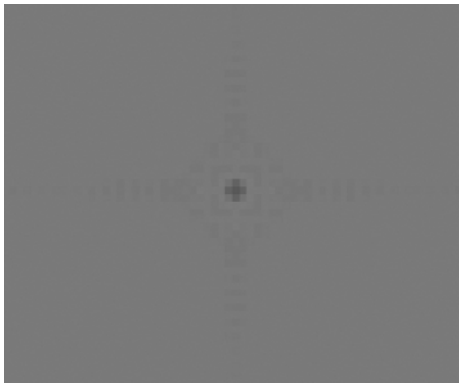


e　ｄの極座標変換

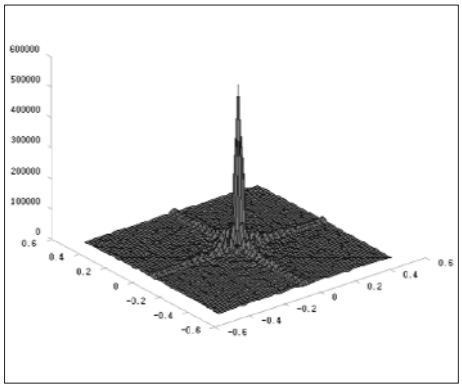


f　ｅの滝グラフ

図７　投影データから２次元フーリェ変換像を生成する過程の画像

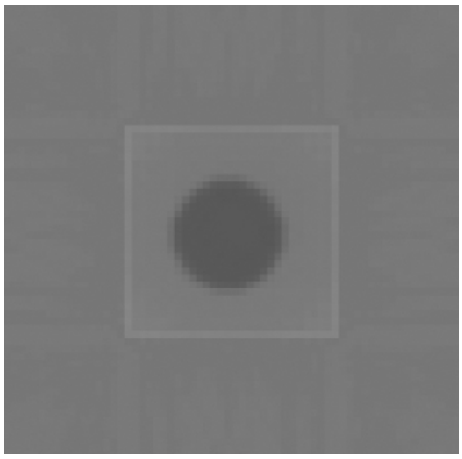


a　極座標表示

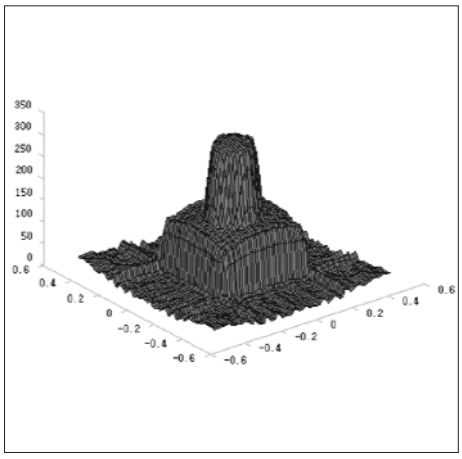


b　滝グラフ表示

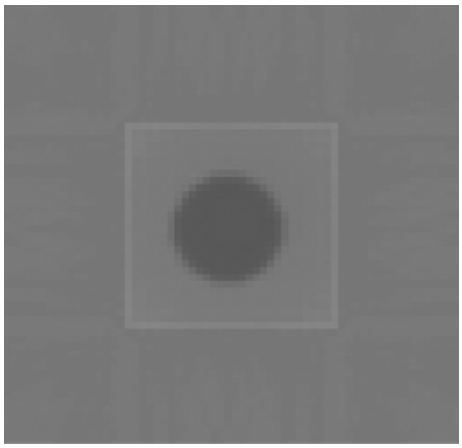
図８　図１の疑似複合画像の直接２次元フーリェ変換した画像



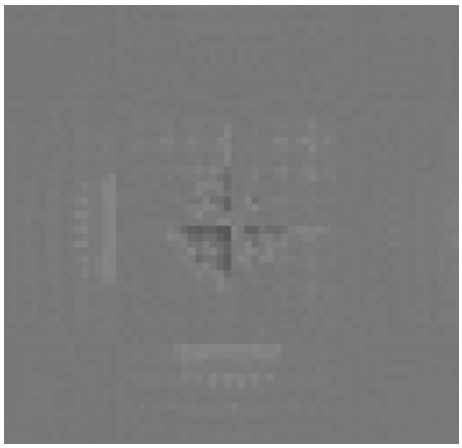
a　再構成画像



b　aの滝グラフ表示



c　aの実数部画像



d　aの虚数部画像

図９　再構成画像

（４）２次元画像データの再構成

回転投影データの１次元フーリェ変換結果から得られた投影データの２次元フーリェ変換画像（図７ｅ）を２次元逆フーリェ変換して生成した再構成画像を図９に示す。ａは、生成した再構成画像、ｃ、ｄは、その実数部画像と虚数部画像である。

実数部画像は、画像の強度分布が鮮明であり、虚数部画像は、輪郭を鮮明に表している。

４　考　察

今回の試作実験は、Ｘ線CTと同一のフーリェ変換法を用いて断層画像を生成する方法について、画像再構成を行う手順に沿った画像処理のプログラムをフリーフォーマットのＣ言語で作成した。１投影面を64点の点画像（線画像）で構成し、64枚の回転投影面で擬似投影した投影データから画像再構成を行い検証した。

再構成した実数部画像は、投影データの階調の特徴を強調した画像となっており、虚数部画像は、境界域の輪郭を強調した画像として再生できた。図９－ａの再構成画像は、図３に示した色階調の異なる矩形画像と円画像の輪郭を明示しており、良好な結果を得ることができた。

再生画像中央部の突出部は、投影データの１次元フーリェ変換した周波数領域の成分を極座標軸上に線形補間法を用いて転写する処理方法が不完全であったことと、画素数が少ないために生じた

ものであり、画素数を高めると共に線形補完法のデータ処理部の改良が必要である。

また、今回の試作実験では、１次元フーリェ変換面上でのフィルター処理は行っていないが、画像の特徴を捕えることはできた。不完全なデータ処理の改良を行った後、各種のフィルター処理について、さらに検討して行く必要がある。

５　結　言

今回の試作実験では、光CTの主要な構成要素である投影データから断層画像を再構成する基本部分について、シミュレーションを行ったもので、データ処理に若干の改良を要するが、画像再生の方法について確認することができた。

今後は、線形補間やフィルタ処理等、不完全なデータ処理の改良を行い実用化を図ると共に、光断層計測手法を用いた新しい生体計測の可能性について、筋肉や皮質・肉質・血液などのヘルスモニタリングの領域を中心にした検証を進めていく予定である。

使用ソフト

データ解析･表示ソフト　DADiSP/2000　アストロデザイン株式会社　製

（参考文献）

１）井尻和夫：京都府中小企業総合センター技報、32､32(2004)

２）井尻和夫、黒川悟、安達雅治、大東卓央：京都府中小企業総合センター技報、30､36(2002)

３）財団法人　京都産業21［光断層像技術に関する可能性調査］（平成13､14年度　山形大学　湯浅哲也　助教授に委託）