

MDCTのSSP測定：傾斜ワイヤ法の問題点と直交ワイヤ法による改善

著者	三浦 巧磨, 水口 早苗, 加藤 壮敏, 後藤 光範, 千葉 幸, 木村 智圭, 佐藤 和宏, 小山内 実, 町田 好男, 森 一生
雑誌名	東北大学医学部保健学科紀要
巻	19
号	2
ページ	95-106
発行年	2010-07-31
URL	http://hdl.handle.net/10097/48877

MDCT の SSP 測定

—傾斜ワイヤ法の問題点と直交ワイヤ法による改善—

三浦巧磨¹, 水口早苗¹, 加藤壮敏², 後藤光範², 千葉幸³,
木村智圭³, 佐藤和宏³, 小山内実¹, 町田好男¹, 森一生¹

¹東北大学大学院医学系研究科 保健学専攻

²仙台厚生病院 放射線部

³東北大学病院 診療技術部放射線部門

SSP Measurement of MDCT : The Flaw of Slant Wire Method and Improvement by Cross Wire Method

Takuma MIURA¹, Sanae MINAKUTI¹, Masayuki KATO², Mitsunori GOTO², Sachi CHIBA³, Tomonori KIMURA³,
Kazuhiro SATO³, Makoto OSANAI¹, Yoshio MACHIDA¹ and Issei MORI¹

¹*Health Sciences, Tohoku University Graduate School of Medicine*

²*Radiology Department, Sendai Kousei Hospital*

³*Department of Radiology, Tohoku University Hospital*

Key words : Slice Sensitivity Profile, SSP, MDCT, Slant Wire, Cross Wire

There are two ways to measure the SSP (Slice Sensitivity Profile) of CT images. In impulse method, the imaging object is thin disk or micro-bead which can be regarded a delta function along z -axis. In slant wire method, thin wire tilted at some angle is imaged. For helical scan images, it is well known that the slant wire method is inaccurate in principle, and the impulse method is predominantly used. However, the impulse method is too inconvenient to assess SSP's positional distribution because of the difficulty of precise alignment of plural impulsive objects. Further, it requires many number of slices to measure position-dependent SSPs of non-helical scan for MDCT (multi-detector-row CT), and required number of slices is almost prohibitive for area-detector CT that has 256 or 320 detector rows. Therefore, the slant wire method is commonly used for non-helical SSP measurement because of its simplicity, and its validity has been so far unquestioned for both of single slice CT and MDCT. However, we doubt its validity when applied to non-helical MDCT, and have proven that the conventional slant wire method gives substantially inaccurate SSP. As a betterment, we have developed cross wire method in which two slant wires, orthogonal to each other, are scanned. We have proven that the cross wire method is substantially more accurate than the conventional slant wire method and can be applied to even helically scanned images. However, when applied to 2 mm slice images, the width of SSP obtained by using the cross wire method is several percent different from the value obtained by using the impulse method. There remains room for improvement especially to apply to thinner slices.

はじめに

CT 画像は z 軸方向（体軸方向）に厚みを持っている。すなわち、 z 軸方向に広がった感度分布を持っており、この感度分布のプロファイル SSP (Slice Sensitivity Profile) という。SSP は、スライス厚を評価するために用いられ、 z 軸方向の空間分解能と直結する指標である。

MDCT (multi-detector-row CT) の SSP 測定には、マイクロディスク法などのインパルス法や傾斜ワイヤ法が用いられている^{1,3)}。インパルス法とは、 z 軸方向についてデルタ関数的とみなせる高減弱体の画像を z 軸方向に稠密なピッチで多数得て、 z 方向の信号値プロファイル SSP とするものである^{2,3)}。インパルス法はヘリカルスキャンでは簡単だが、コンベンショナルスキャンでは被写体を小ピッチで移動しながら多数回のスキャンを繰り返す必要があるため、手間がかかる。傾斜ワイヤ法とは、傾斜させた細いワイヤをスキャンし、画像上のワイヤの長手方向 (x 方向もしくは y 方向) の信号値プロファイルを得て、 x もしくは y 座標を z 軸方向に換算して SSP とするものである。

傾斜ワイヤ法による SSP 測定はヘリカルスキャン、コンベンショナルスキャンのいずれにおいても簡便であるが、ヘリカルスキャンで用いるのは不適切だと報告されている^{3,5)}。その理由は、画像上に現れるワイヤの長さはワイヤ走行と直交する方向の投影データで支配され、ワイヤ走行と平行する方向の投影データは関与しないため、全方向の投影データからなる SSP を正しく反映しないからである。しかしながら、その理由からすれば、二つの直交するワイヤを用いて、それぞれが互いに直交する方向の投影データに対して感受性を持つようにして両者の結果を平均すれば、全体の投影データの影響による SSP に近い測定結果となると予想される。即ち傾斜ワイヤ法もヘリカルスキャンにも用い得るようになる、少なくとも問題は緩和されると考えられる。この方法を本論文では、「直交ワイヤ法」と呼ぶ。本研究では、MDCT のヘリカルスキャンにおける直交ワイヤ

法をマイクロディスク法と比較し、直交ワイヤ法の妥当性を確認した。

一方、MDCT のコンベンショナルスキャンでは殆どの場合傾斜ワイヤ法が用いられている^{3,6)}。その理由は、MDCT の検出器列数が多い場合はインパルス法では極めて多数回のスキャンを繰り返す必要があり現実的ではないことと、MDCT であってもコンベンショナルスキャンにおいては傾斜ワイヤ法の妥当性についてこれまで疑念は呈されていないからである。しかし、MDCT のコンベンショナルスキャンにおいても、ヘリカルスキャンと同様の理由で、傾斜ワイヤ法は次のように不適切な可能性がある。即ち、投影データは z 方向について離散的にしか得られておらず、かつその離散位置はある x, y 座標について見れば投影角依存である。離散的データを逆投影するにあたっては z 方向の補間が発生する。その補間状況は投影角依存である⁷⁾。傾斜ワイヤ法は特定の方向の逆投影に感受性を持つのであるから、その方向の逆投影において補間に用いる投影データが観測位置のごく近傍にあるか否かで、言い換えればワイヤの走行方向次第で SSP 測定結果は大きく変わることが予想される。そこで、本研究ではこのような問題が傾斜ワイヤ法に存在するのかを確認し、また直交ワイヤ法を用いると問題は緩和するのではないかということについても確認した。

なお、MDCT の SSP 評価は回転中心軸付近だけで行われることが多い³⁾。しかし、特にヘリカルスキャンの場合、SSP 分布は均一ではなく回転中心軸から離れた場所では悪化し、かつ複雑に分布することが一部には知られている。回転中心軸付近だけの SSP 評価は不完全なのであるが、インパルス法でこの SSP 分布を見ることは困難である。SSP 分布は管球軌道とともに回転していくため、管球軌道の再現性のないヘリカルスキャンで複数箇所の SSP を見るためには複数のインパルス被写体が正確に同じアキシアル面に位置するようファントムのアラインメントをして、1 回のスキャンで測定を完了しなければならない（同時多点計測）。軌道同期ヘリカルのオプションを用いて毎回のヘリカルスキャンの管球軌道を再現す

ればインパルス状被写体の配置を毎回変えて SSP 計測することも可能だが、このような特殊機能は必ずしも使えないし、インパルス状被写体の正確な再配置も容易ではない。厚いスライス厚での同時多点計測なら、インパルス法でも同一アキシャル面にピーク値をもってくるようにファントムのアラインメント調整を行うことは可能ではあるが、薄いスライス厚では困難である。これに対し、傾斜ワイヤ法の同時多点計測はマイクロディスク法と比べて簡易である。なぜなら、傾斜ワイヤ法は z 方向に長さがあるため、多少ずれてもワイヤは必ず所望のアキシャル面に入るからである。したがって、直交ワイヤ法で精度よく SSP 測定できたら、ヘリカルスキャンでの場所依存の SSP 測定が容易になると考えられる。

目 的

コンベンショナルスキャンにおいて、傾斜ワイヤ法でインパルス法と整合した SSP を得ることができるか確認する。また、傾斜ワイヤ法に問題があるとしても、直交ワイヤ法を用いることにより、問題が緩和するかどうかを確認する。

また、ヘリカルスキャンにおいても、コリメーション幅が厚ければ、インパルス法でも慎重なアラインメント調整により同一アキシャル面内の同時多点計測は可能である。そこで、厚いコリメー

ション幅の条件において直交ワイヤ法とインパルス法の両者で SSP の同時多点計測を行い、直交ワイヤ法の妥当性を確認する。インパルス法としてはマイクロディスク法を用いる。

方 法

ファントムと SSP 計測位置

ファントムは手作りのものを使用した。

図1は直交ワイヤファントムの概略図であるが、スライス面と浅い角度で交差する二本のワイヤで構成されている。 y 軸方向に走行するものを縦ワイヤ、 x 軸方向に走行するものを横ワイヤと呼ぶことにするが、縦ワイヤと横ワイヤとはアキシャル面内で直交している。ワイヤは直径 0.3 mm の銅線であり、図示しないがプラスチック枠（横×縦×奥行き：87 mm×87 mm×74 mm）に張っている。図2のように縦ワイヤ横ワイヤとも z 軸に対するワイヤの角度は 75 度程度、すなわちワイヤの傾斜 $\tan \theta$ は 4 程度とした。

マイクロディスクファントムは真鍮薄板 (t0.15 mm) から 0.75 mm×0.75 mm の正方形で切り出し、厚さ 1 cm 程度の発泡スチロールで挟んだものを使用した。コンベンショナルスキャンの際は固定した電子ノギスの先にファントムを取り付け、マイクロディスクの z 位置を微調整できるようにになっている。

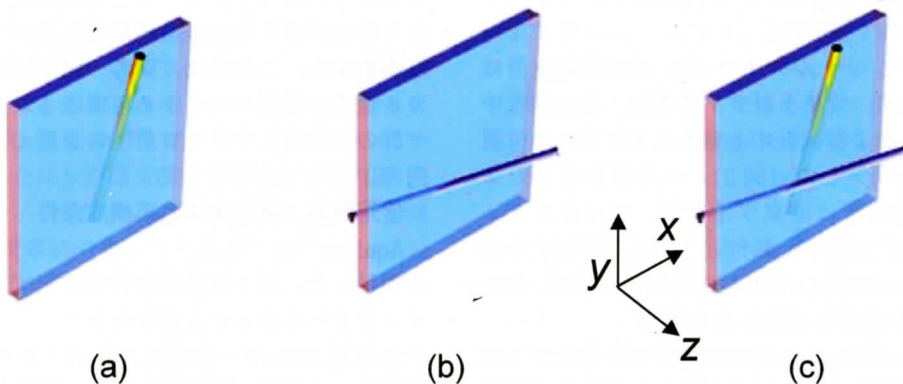


図1. 直交ワイヤ法の概略図

(a) y 軸方向に走行している縦ワイヤ、(b) x 軸方向に走行した横ワイヤ、(c) 縦、横ワイヤを合わせた直交ワイヤ。

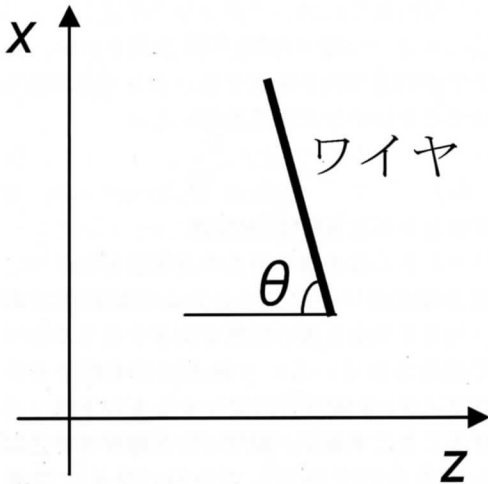


図2. 横ワイヤの傾斜の概略図
横ワイヤはz軸に対して θ で傾けている。縦ワイヤも同様にして傾けている。

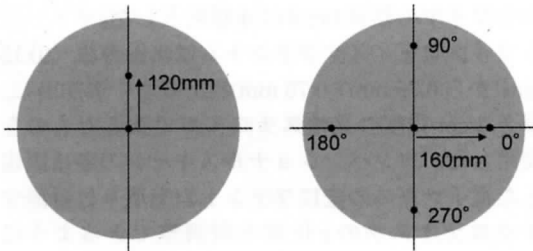


図3. SSPの計測位置
(左) コンベンショナルスキャン, (右) ヘリカルスキャン。

コンベンショナルスキャンのSSP測定位置は直交ワイヤ法, マイクロディスク法, 共に回転中心軸付近, および回転中心軸から120mmの位置の各1点を測定した(図3)。ヘリカルスキャンのSSP測定位置は直交ワイヤ法, マイクロディスク法, 共に回転中心軸付近, および回転中心軸から160mmの同心円上4箇所(90°刻み), 計5箇所を測定した(図3)。

ヘリカルスキャンの際には図4のようなファントム取り付け台をもちいた。即ち, 回転中心軸付近, および回転中心軸から160mmの同心円上4箇所の角度位置(90°刻み), 計5箇所の測定点に

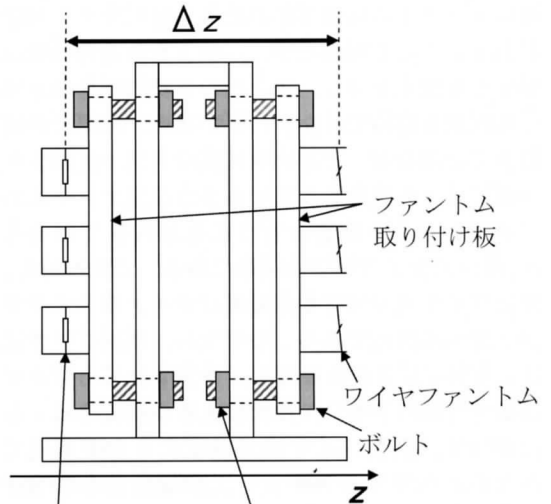


図4. ファントム取り付け台(ヘリカルスキャン用)
ボルトを回すことにより, ファントムを取り付けた板の角度を調整するとともに, ワイヤファントム群とマイクロディスク群との距離 Δz を調整することができる。

直交ワイヤ, マイクロディスクを取り付けられるようになっている。アラインメントについては, 全てのマイクロディスクのピーク値が同一アキシャル画像におさまるように取り付け板の角度を微調整する。さらに, ワイヤファントム群とマイクロディスクファントム群の距離 Δz の調整を行えるようになっている。そして Δz は, 一回転当たりの寝台送り量の整数倍離れた配置となるように調整する。これにより両者の画像は同様のヘリカル軌道の投影データから再構成され, 直交ワイヤ群のz位置とマイクロディスク群のz位置の面内SSP分布は同等となる。

使用機器, 撮影条件と再構成条件

AquilionTM64(東芝メディカルシステムズ社製)を使用した。以下に撮影条件等を記す。

・コンベンショナルスキャン

管電圧120kV, 管電流50mA, コリメーション厚2mm, ガントリ回転速度1回転/秒, スキャンFOV 500mm ϕ , 16列で撮影し, 再構成関数FC13(腹部標準関数), 再構成スライス厚2mm,

再構成 FOV 500 mm ϕ で再構成した。

SSP 測定対象のアキシャル画像の z 座標は、回転中心面の z 座標を中心に -15mm から $+15\text{mm}$ の範囲で 2mm 刻みの 16 箇所である。すなわち、MDCTのコンベンショナルスキヤンの通例に倣い、画像再構成面は各検出器列の投影データが回転中心軸をよぎる位置である。従って、コンベンショナルスキヤンの場合の慣習に従い、以下ではこれらの画像とその z 座標を、検出器列番号 $1\sim 16$ で表すこととする。

マイクロディスク法は電子ノギスでマイクロディスクを 0.5mm ずつ z 方向に移動してスキヤンを繰り返した。直交ワイヤ法は直交ワイヤファントムを寝台上の取り付け台に固定し、寝台を毎回 1.0mm ピッチで z 方向に移動させてスキヤンを繰り返して、その中から、ワイヤが適切な半径位置にくる画像を選択した。

・ヘリカルスキヤン

管電圧 120kV 、管電流 50mA 、コリメーション厚 2mm 、ガントリ回転速度 1 回転/秒、スキヤン FOV $500\text{mm}\phi$ 、ビュー数 $1,800$ view で撮影し、再構成関数 FC13、再構成スライス厚 2mm 、再構成間隔 0.4mm で再構成した。なお、各 SSP 計測位置を中心に、直交ワイヤ法は $280\text{mm}\phi$ 、マイクロディスク法は $250\text{mm}\phi$ の再構成 FOV で拡大再構成した。ヘリカルピッチ(ディテクタピッチ)は $11, 15, 19, 23$ の4つについて測定した。

直交ワイヤ法解析方法

傾斜ワイヤ法は y (or x) 方向プロファイルで z 方向に換算するためにワイヤ傾斜を実測する必要がある。コンベンショナル、ヘリカルスキヤン共に多数の z 位置の画像でワイヤのCT値のピーク値の x または y 座標を求め、プロットして回帰直線を得る。(図5)。この直線の傾きをワイヤ傾斜 $\tan\theta$ とする。

次に、ROIのとり方は、コンベンショナルスキヤンの場合、両ワイヤが重ならず、ワイヤからのびるアーチファクトが他方にかからない程度に離れ、画像上のワイヤの位置が測定半径から遠く離れすぎている画像を選択し、ワイヤを中心にある幅 W のROIをとる(図6)。また、ヘリカルス

キヤンの場合、直交ワイヤの画像はマイクロディスクの位置から一回転当たりの寝台送り量の整数倍離れた位置の画像を選択し、ワイヤを中心に幅 W のROIをとる。ROIの幅 W は、コンベンショナルスキヤンでは 3mm 、ヘリカルスキヤンでは原則 3mm としたが、アーチファクトが強い場合は 1mm とした。

以下の処理は Mathematica™ による自作プログラムを使用した。上記のROI内で幅 W 方向に画素値を積分し、プロファイルを得る。得られたプロファイルはシェーディングによるレベルシフトと傾斜を伴っているのを、これを補正する。そのためには、プロファイル値が背景レベルになっていると思われる2つの位置を目視的に選択して、その2点を結ぶ直線をベースラインとする。そして、プロファイルからベースラインを減算する。以下、これをベースライン補正と呼ぶ。その後、座標値を z に換算、プロファイル面積を1とするように高さの正規化をして1本のワイヤのSSPを得る。以上の処理過程を図7に記す。縦、横ワイヤそれぞれのSSPを求めた後、重心を合わせ、加算平均して直交ワイヤ法のSSPを得る。

マイクロディスク法解析方法

まず、得られた画像上にマイクロディスクのROIを設定する。ROIはピーク値を中心とし、約 3mm 四方にとる。

以下の処理は Mathematica™ による自作プログラムを使用した。ROI内の画素値の積算値を各 z 位置で得ることにより、積算値の z 方向のプロファイルを得る。続いて、シェーディングを補正するためにベースライン補正を行い、次に、プロファイル面積を1とするように高さの正規化をしてSSPを得る。

結 果

1) コンベンショナルスキヤンにおける比較
コンベンショナルスキヤンでは、SSP分布とSSPのFWHM (Full Width at Half Maximum) について、直交ワイヤ法とマイクロディスク法を比較した。

回転中心軸付近のSSPでは、傾斜ワイヤ法と

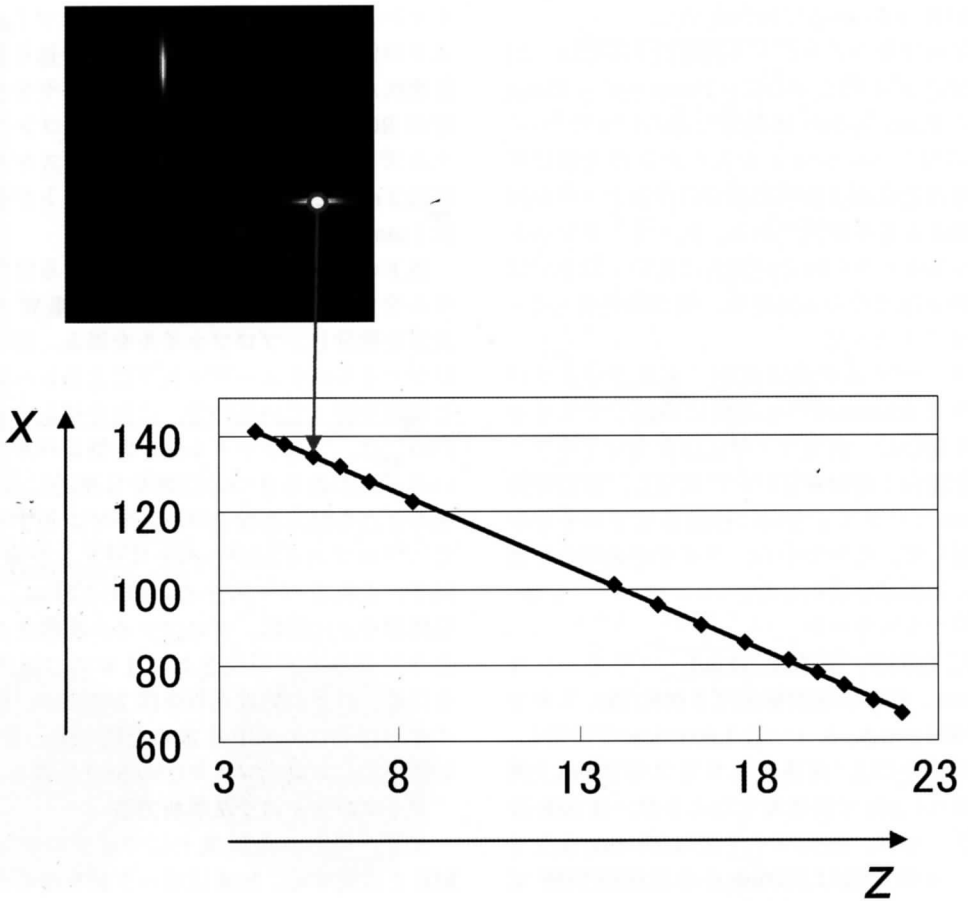


図5. 横ワイヤの傾斜算出方法の概略図
 縦軸 (x), 横軸 (z) とともに単位は mm。
 各 z 座標におけるワイヤのピーク値の x 座標をプロットしていき、帰直線を得ることにより、横ワイヤの $\tan \theta$ を算出する。同様に、縦ワイヤの $\tan \theta$ も算出する。

直交ワイヤ法はマイクロディスク法と比べ、外側の検出器(検出器列番号 1, 2, 15, 16)の SSP のピーク値がやや下がっており、すなわち SSP がやや広がっている (図 8)。しかし、おおまかに SSP 形状は傾斜ワイヤ法, 直交ワイヤ法, マイクロディスク法全てで同等のものであった。回転中心軸から 120 mm の位置では、単独のワイヤでもある程度 SSP 挙動をとらえているが、直交ワイヤ法の方がマイクロディスク法に近いように見受けられる (図 9)。

FWHM で比べると、横ワイヤと縦ワイヤでは、

特に検出器列番号 4, 12, 13, 16 の位置の FWHM が異なっている (図 10)。すなわち、1 本のワイヤではワイヤの走行方向により異なったデータになることを示している。さらに、回転中心軸から 120 mm の位置において、傾斜ワイヤ法および直交ワイヤ法の FWHM をマイクロディスク法の FWHM で割ったもの、つまりマイクロディスク法の値を基準として、ワイヤ法の相対的乖離を見ると、横ワイヤの検出器列番号 4, 縦ワイヤの検出器列番号 4, 5, 12, 13, 16 のようにマイクロディスク法の FWHM と大きく異なっていることが分か

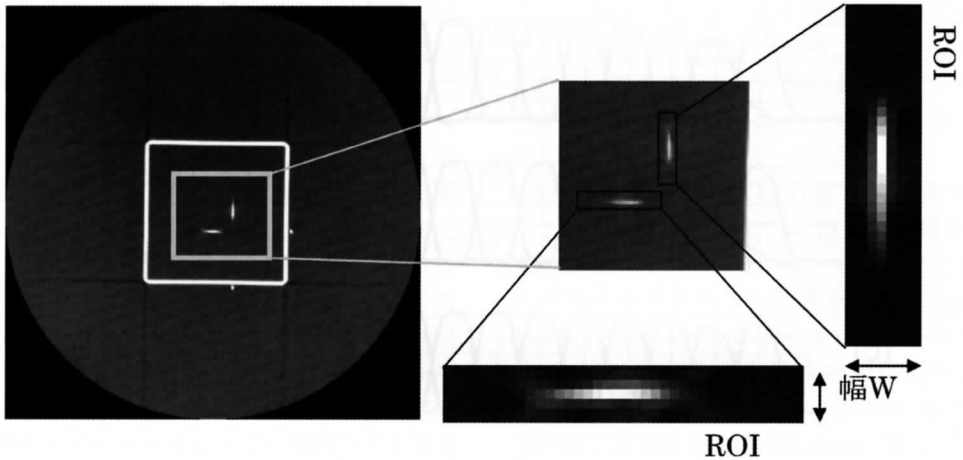


図 6. 直交ワイヤ法の ROI のとり方
横、縦ワイヤそれぞれで、ワイヤを中心にある幅 W の ROI をとる。コンベンショナルスキャンの画像を例として示したものである。

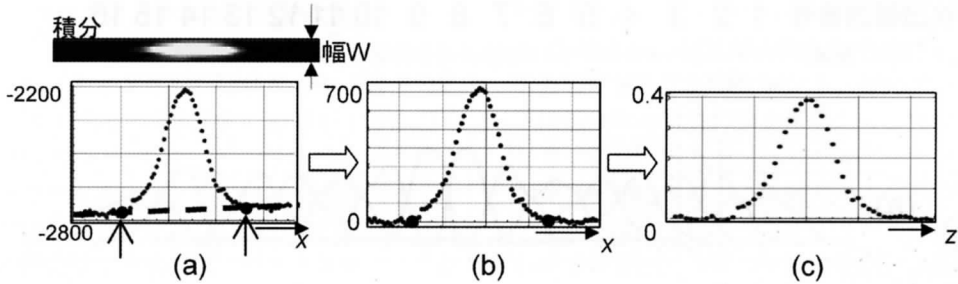


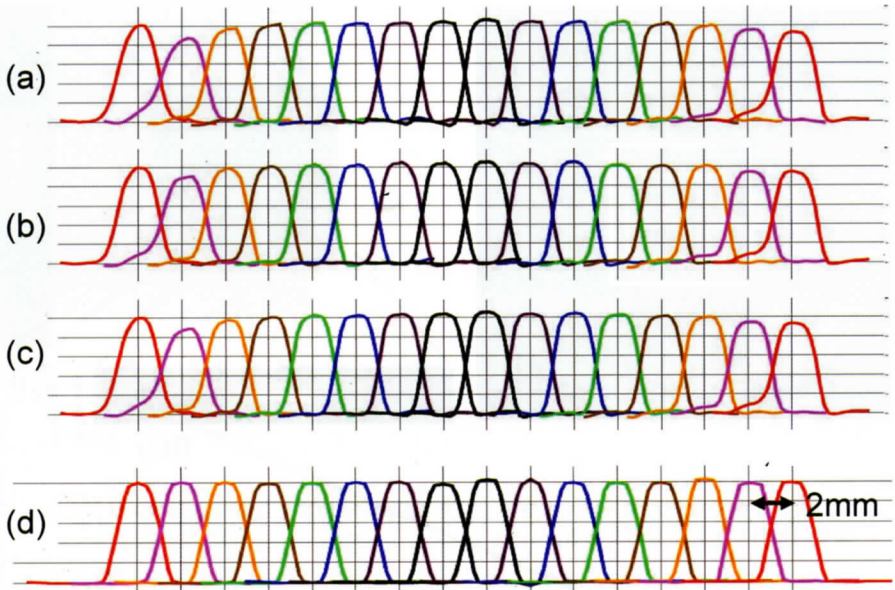
図 7. 傾斜ワイヤ法の処理手順
(a) ROI 内の画素値を幅 W 方向に積分して、得たプロファイル。矢印の 2 点を指定し、ベースラインを定める。(b) (a) のプロファイルをベースライン補正したもの。(c) (b) の座標値を z に換算、プロファイル面積を 1 とするように高さの正規化をして SSP を得る。

る。しかし、直交ワイヤ法では傾斜ワイヤ法とマイクロディスク法との大きな相違を抑制することができた (図 11)。

2) ヘリカルスキャンにおける比較

ヘリカルスキャンでは、回転中心軸付近と回転中心軸から 160 mm の同心円上 4 点 (90° 刻み) の同時多点計測を行い、直交ワイヤ法の FWHM をマイクロディスク法の FWHM と比較した。どのヘリカルピッチにおいても同様な挙動であったので、ヘリカルピッチ 11 のデータを代表して挙げ、ほかのデータ提示は省略する。

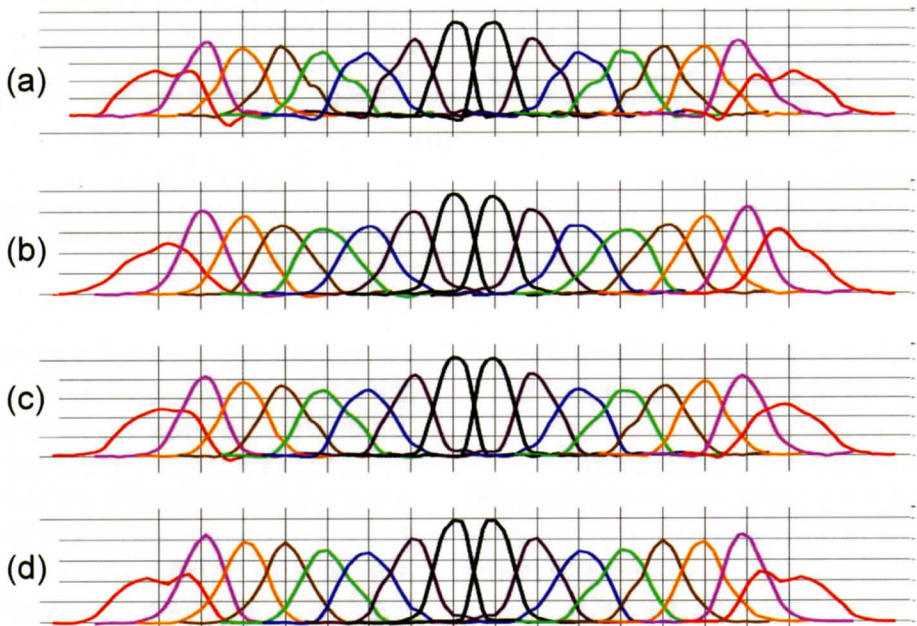
どの測定法でも、ヘリカルスキャンにおいては SSP がコリメーション幅より有意に広がるというよく知られたことを反映するデータになっているが、図 12 のように縦ワイヤでは 180° の位置、横ワイヤでは 270° の位置でマイクロディスク法の FWHM との大きな相違がでていることがわかる。一方、直交ワイヤ法ではマイクロディスク法との相違を緩和することができた。また、傾斜ワイヤ法および直交ワイヤ法の FWHM とマイクロディスク法の FWHM との比を見ると、図 13 のように傾斜ワイヤ法ではマイクロディスク法に比べ、



検出器列番号 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

図 8. コンベンショナルスキャンの回転中心軸付近の SSP

(a) 横ワイヤ, (b) 縦ワイヤ, (c) 直交ワイヤ, (d) マイクロディスク。



検出器列番号 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

図 9. コンベンショナルスキャンの回転中心軸から距離 120 mm の SSP

(a) 横ワイヤ, (b) 縦ワイヤ, (c) 直交ワイヤ, (d) マイクロディスク。

±10% 前後の違いに達するが、直交ワイヤ法ではほぼ±5%に収まった。

考 察

コンベンショナルスキャンで、単独のワイヤによる通常の傾斜ワイヤ法は、大まかには SSP 形状を捉えられていた (図 8, 9)。しかし、ワイヤの走行方向依存性が顕著で、縦横両ワイヤの FWHM は場所により 1.4 倍程度の違いが生じた (図 10)。また、傾斜ワイヤ法の FWHM とマイクロディスク法の FWHM の相違は±10% を超えている (図 11 (a) (b))。これらのことから、コンベンショナルスキャンであっても傾斜ワイヤ法を MDCT に用いるには問題があることが確認された。したがって、傾斜ワイヤ法は簡便法と捉えるべきである。しかし、二方向の傾斜ワイヤを用いる直交ワイヤ法では、傾斜ワイヤ法の問題は緩和され、マイクロディスク法との乖離は半減した (図 11 (c))。

ヘリカルスキャンでも、傾斜ワイヤ法は、マイクロディスク法との FWHM の相違が±10% 近く生じた (図 13)。したがって、単独のワイヤによる傾斜ワイヤ法ではヘリカルには不適であることを示している。それに対し、二方向の傾斜ワイヤを用いる直交ワイヤ法では、マイクロディスク法との違いは半減した。

以上のように直交ワイヤ法による合算 SSP は従来の傾斜ワイヤ法よりも明らかに改善傾向にある。しかし、マイクロディスク法と完全に一致するに至っているわけではない。マイクロディスク法それ自身にもある程度の測定誤差はあるはずで、その誤差の程度についての報告例は無いが、我々の感触では直交ワイヤ法とマイクロディスク法の結果の違いを説明できるほどに大きくはない。すなわち、直交ワイヤ法とマイクロディスク法との結果の違いの大部分は、直交ワイヤ法に依然として残っている測定誤差であると考えている。その誤差要因については次のようなものが考えられる。

(1) ヘリカルアーチファクトおよびファントムに用いたプラスチック枠のアーチファク

ト: 図 14 のようにワイヤ画像にはヘリカルアーチファクト⁸⁾が見受けられる。また、ワイヤ画像付近に近傍のファントム枠のからのアーチファクトがかかることがあった。これらにより、SSP が歪んでしまった。

(2) ROI 幅の選択の恣意性: 雑音やアーチファクトを伴う画像では ROI 幅の選択により SSP 測定結果は多少変わる。近傍ファントム枠からのアーチファクトの影響を排除するには ROI 幅は狭い方がよいのは明らかだが、ヘリカルアーチファクトに対しても狭めの ROI 幅のほうが経験的に安定な SSP が得られる傾向があったので、本研究では ROI 幅は通常は 3 mm、特にアーチファクトが顕著なケースでは 1 mm とした。常時 1 mm としなかったのは、非常に狭い ROI 幅では ROI 位置の設定の恣意性の問題も新たに生じ得るからである。このように ROI 幅の選択には恣意性があるが、アーチファクトが顕著な場合には、図 15 のように ROI 幅の選択の恣意性による影響も顕著である。近傍ファントム枠のアーチファクトは低吸収の材質の枠を用いたり、枠の形状変更などで緩和できるが、ヘリカルアーチファクトの影響の解決は今のところ難しい。ヘリカルアーチファクトは小さなヘリカルピッチでは穏やかと言われているが、今回の実験で用いた比較的小さめのヘリカルピッチ 11 でもヘリカルアーチファクトは既に無視できないレベルであり、本件は測定精度向上のための検討課題である。

(3) ベースライン設定の恣意性: ROI 内の画素値を幅方向に積算したプロファイルのベースラインを定めるために、背景レベルと思われる二箇所を目視的に選択した。しかし、アーチファクトにより乱れたプロファイルの場合にはこの選択は自ずから恣意的となり、ベースライン補正に多少の誤差を生じ、SSP 測定結果にも多少影響していると考えられる。本件への対応の意味でも、ファントム枠からのアーチファクトおよびヘリカルアーチファクトの問題緩和が精度向上に必要である。

(4) ワイヤ傾斜の実測精度: ワイヤ画像のピーク値を示す画素の座標をプロットして傾斜を

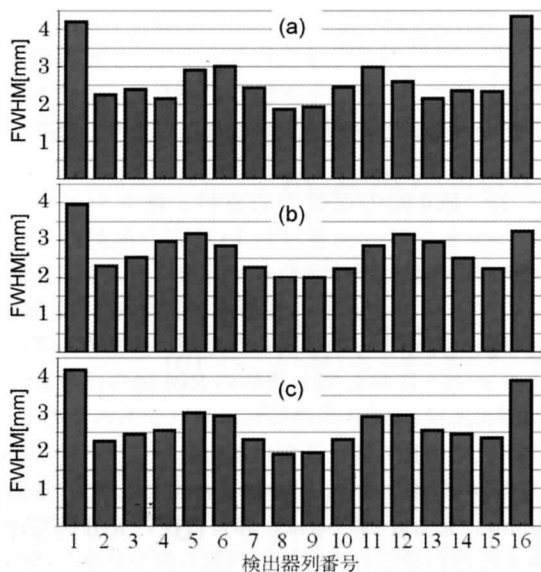


図 10. コンベンショナルスキャンで測定された SSP の FWHM
縦軸は FWHM (単位は mm), 横軸は検出器列番号。回転中心からの距離 120 mm。
(a) 横ワイヤ, (b) 縦ワイヤ, (c) 直交ワイヤ。

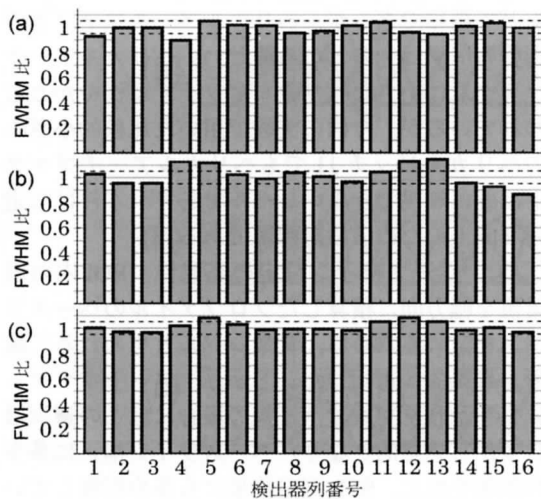


図 11. コンベンショナルスキャンで測定された傾斜ワイヤ法および直交ワイヤ法の FWHM とマイクロディスク法の FWHM との比
縦軸は比, 横軸は検出器列番号。回転中心からの距離 120 mm。点線は 1 ± 0.05 の範囲を示している。
(a) 横ワイヤ, (b) 縦ワイヤ, (c) 直交ワイヤ。

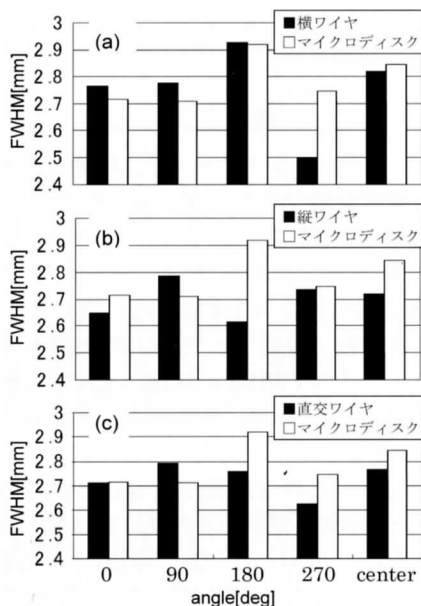


図 12. ヘリカルピッチ 11 における傾斜ワイヤ法, 直交ワイヤ法とマイクロディスク法の FWHM の比較
縦軸は FWHM (単位は mm), 横軸は測定位置。
(a) 横ワイヤ, (b) 縦ワイヤ, (c) 直交ワイヤ

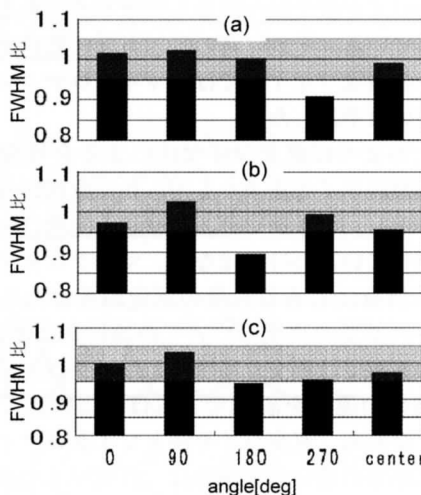


図 13. ヘリカルピッチ 11 における傾斜ワイヤ法および直交ワイヤ法の FWHM とマイクロディスク法の FWHM との比
縦軸は相対値, 横軸は測定位置。帯は $\pm 5\%$ の範囲。
(a) 横ワイヤ, (b) 縦ワイヤ, (c) 直交ワイヤ

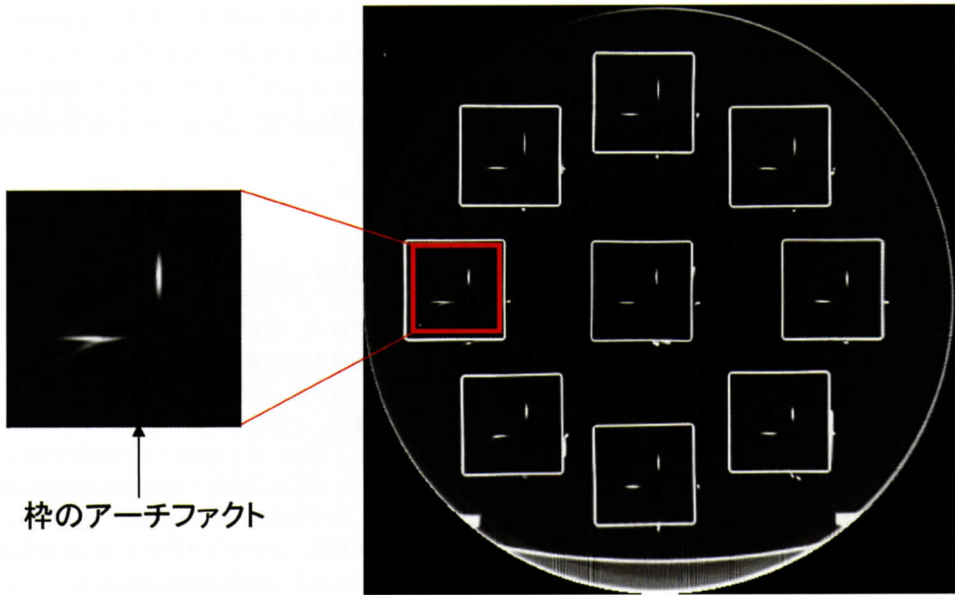


図 14. 傾斜ワイヤ法の画像
 左の図中の矢印がファントムに用いたプラスチック枠のアーチファクト。また、ヘリカルアーチファクトが強くでている。

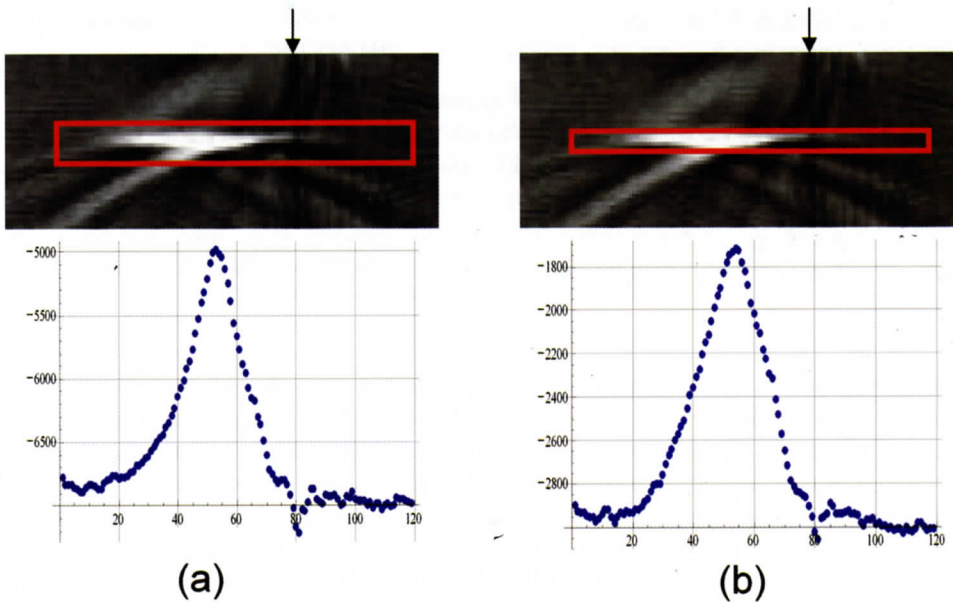


図 15. ROI 幅とアーチファクトの影響
 図上の矢印部の縦線が枠のアーチファクト。
 (a) ROI 幅 3 mm, (b) ROI 幅 1 mm。

算出したが、アーチファクトによって、ピーク位置がずれている可能性がある。ピーク位置にかえて重心位置から求めることにより、誤差が改善できる可能性がある。

ところで、本研究では触れていない PSF (Point Spread Function) による影響も考えられる。すなわちアキシャル面内のボケがワイヤの像を SSP 実態よりも長く見せてしまう問題であり、今回の実験条件では影響が小さいと試算したので、これに対する補正はしていない。実測結果でも、傾斜ワイヤ法と直交ワイヤ法の SSP がマイクロディスク法の SSP と比べて平均的に広がっているということはなかったため、今回の測定にはさほど影響していないと判断される。しかし、今回よりも薄いスライスでの SSP 測定では、PSF の影響を少なくするためにワイヤの傾きを大きくする必要はあるが、それでもボケ補正が必要になると考えられる。

結 論

コンベンショナルスキャンで一般に行われている傾斜ワイヤ法は、投影角依存の問題により大きな誤差を伴うことが実証できた。そして、直交ワイヤ法を用いることにより問題が緩和された。また、ヘリカルスキャンにおいても、傾斜ワイヤ法は不適切であることを確認でき、直交ワイヤ法を用いることで問題が緩和されるという結果が得られた。しかし、今回の測定ではマイクロディスク法と十分に一致しなかったため、誤差要因をさら

に改善する必要がある。また、1.0 mm, 0.5 mm などの今回よりも薄いスライスについて未確認であり、ヘリカルアーチファクトの対策やボケ補正等の開発要素を残しており、その点も今後の課題である。

文 献

- 1) 片倉俊彦, 森一生, 辻岡勝美, 市川勝弘, 鈴木憲二, 山口功, 宮下宗治, 風間正博, 植林義統, 村上克彦, 片山雅人, 郷野誠: MDCT 装置の性能評価に関する基準案の提案班報告, 日本放射線技術学会雑誌, **65**, 491-502, 2009
- 2) 原孝則, 津坂昌利, 桜井直之: マイクロディスク法による Multi-slice Spiral CT の対軸方向の MTF 測定—ビーズ法との比較と幾何学的な影響に関する検討—, 日本放射線技術学会雑誌, **59**, 1391-1398, 2003
- 3) 市川勝弘, 村松禎久: 標準 X 線 CT 画像計測, オーム社, 東京, 2009, p 157-178
- 4) Polacin, A., Kalender, W., Brink, J., Vannier, M.: Measurement of slice sensitivity profiles in spiral CT, Med. Phys., **21**, 133-140, 1994
- 5) Mackie, A., Hart, G., Williams-Butt, J.: Ramp test objects for slice sensitivity profile measurement in spiral CT, The British Journal of Radiology, Vol 70, Issue 837, 942-945, 1997
- 6) Hsieh, J.: Analytical models for multi-slice helical CT performance parameters, Med. Phys., **30** (2), 169-178, 2003
- 7) 森一生, 山形仁, 町田好男: CT と MRI—その原理と装置技術—, コロナ社, 2010 (in press), p 71-75
- 8) Silver, M., et al.: Windmill artifact in multi-slice helical CT, Proc. of SPIE, 2003, 5032