

基礎連続講座

CT講座

X線CT装置の機器工学(4)

- マルチスライスCTの開発 -

藤田保健衛生大学衛生学部 辻岡勝美

最近のCT研究の中心といえはマルチスライスCTである。従来のシングルスライスCTによるヘリカルスキャンが開発されてから約10年、ヘリカルスキャンがボリュームCTデータの第一歩で、現在のマルチスライスヘリカルスキャンがその第二歩である。将来的には面検出器による連続ボリュームデータ収集の時代も遠くない。従来の二次元画像装置であったCTが三次元画像装置を超えて四次元画像装置となるのである。

1. シングルスライスCTからマルチスライスCTへ

従来のノンヘリカルスキャンからヘリカルスキャンへ、それは画像診断において画期的な進歩であった。従来の二次元的な画像診断から三次元的な画像診断、検査時間の短縮による造影効果の増大、1回の呼吸停止でのスキャン、等々、その臨床的有用性は一時MRIの登場に押されざりであったCTを復活させた感じであった。そして、その熱の冷めないうちに開発されたのがマルチスライスCTである。マルチスライスCTは構造的にはCT装置の検出器を体軸方向に複数設置しただけという感じもする。しかし、そこには多くの革

新的技術が存在する。また、マルチスライスCTによるヘリカルスキャンにはシングルスライスCTによるよりも多くの臨床的な有用性も存在する。本章では、マルチスライスCTの構造的な特性と画像再構成について解説する。

2. 多列検出器

従来のシングルスライスCTでは数百の検出器が1列に並んでいた。これにより1回転のデータ収集で1枚の画像再構成が行われた。マルチスライスCTでは検出器列が複数になった。ここでは従来のスライス面(XY面)方向をチャンネル方向、体軸方向に並んだ列をエレメント方向と呼ぶ。マルチスライスCTにおける検出器の構造はメーカーによって異なっており、均等に配列したタイプ、周辺に対して中央部分を細かくしたタイプ、また、検出器の配列とその直前につけた遮蔽板で検出器幅を決定するタイプと各種が開発されている(Fig. 1)。マルチスライスCTと言っても検出器の列数がスライス数を決定するものではなく、データ収集システム(DAS: data acquisition system)の数で再構

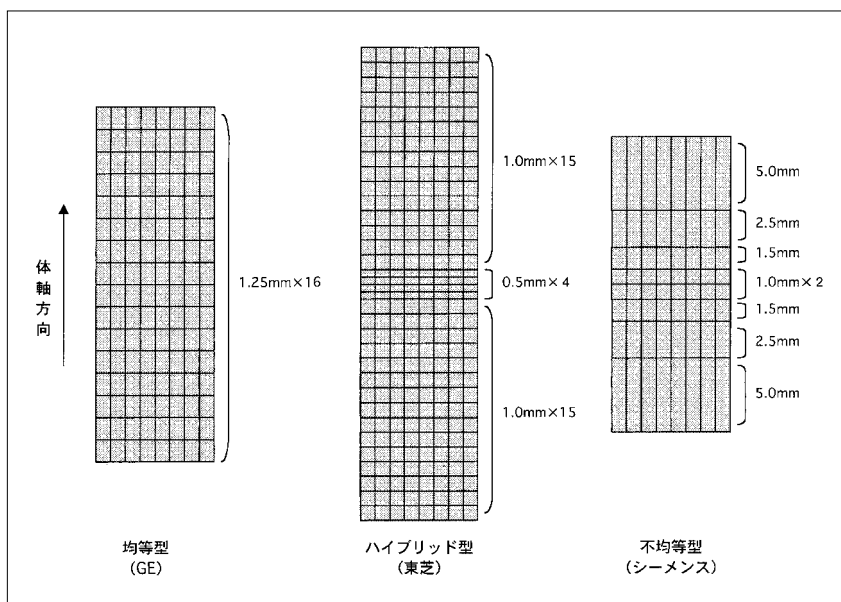


Fig. 1 4 DASマルチスライスCTの検出器
4 DASマルチスライスCTでは各種の検出器形式がある。スライス枚数はDASの数で決定される。

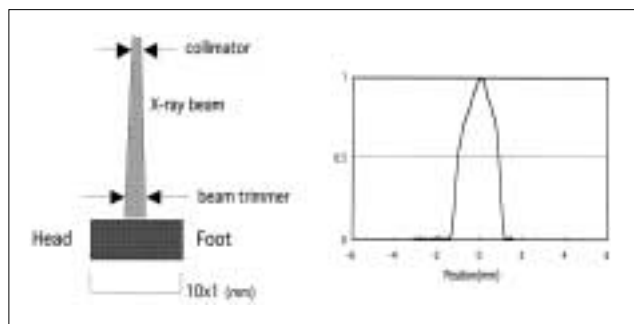


Fig. 2 シングルスライスCT(ビームトリマ有)の検出器の構造とスライス感度プロフィール
 シングルスライスCTでは薄いスライス厚の実現に多くの苦労があった。2 mm以下のスライス厚ではビームトリマを利用してスライス形状の整形が行われていた。

成画像数が決定する。現在普及しているマルチスライスCTでは4 DAS, 近年8 DAS, 16DASのものも開発され、それぞれに異なった特性を有する。このことからマルチスライスCTでは4 DAS, 8 DASとDAS数をつけて呼ぶことが望まれる。特に、研究発表、論文等での呼び名は気をつけるべきと思うがいかがだろうか。

マルチスライスCTの検出器について、特筆すべきは体軸方向のスライス感度プロフィールの形状である。後述するIsotropic dataの収集にはこの特性が有効となる。Fig. 2に従来のシングルスライスCTの検出器構造とそれによるスライス感度プロフィールを示す。従来のシングルスライスCTではX線管に取り付けられたコリメータによりX線ビームは薄い扇状に制限される。被写体を透過したX線ビームは検出器に到達する。5 mm, 10mmの比較的厚いスライス厚ならばこれでよいのであるが、2 mm以下の薄いスライス厚では検出器の直前に設置されたビームトリマでX線ビームの整形が行われる。これにより十分に薄いスライス厚が実現できる。しかし、このような場合、被写体には照射したが、検出器には到達しないX線が存在することになる。被曝の問題が発生する。Fig. 3に4 DASマルチスライスCTの検出器構造と各スライス感度プロフィールを示す。マルチスライスCTではビームトリマを設置することなく良好な薄いスライス厚が実現できる。

3. 画像再構成

マルチスライスCTでヘリカルスキャンを行った場合、その投影データはシングルスライスCTによるヘリカルスキャンに比べて複雑な螺旋軌道を描く。ここでも前回と同様に展開図を用いれば容易に理解できる。Fig. 4に4 DASマルチスライスCTでヘリカルピッ

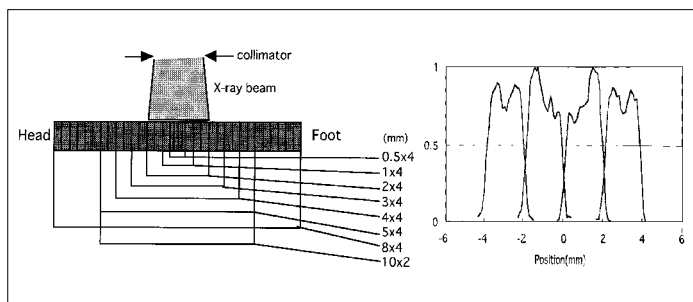


Fig. 3 マルチスライスCT(ハイブリッド型)の検出器の構造とスライス感度プロフィール
 マルチスライスCTではビームトリマなどを用いることなく薄いスライス厚が実現できる。そのスライス感度プロフィールは良好である。スライス感度プロフィールの上部の変形は検出器の隔壁の影響であるが、画像上では問題とはならない。

チを各種変化させたときの展開図を示す。ここで、マルチスライスCTのヘリカルスキャンにおけるヘリカルピッチとは一つのスライス厚に対するX線管1回転の寝台移動距離をいう。シングルスライスCTによるヘリカルスキャンではヘリカルピッチは自由に選択でき、画像再構成される実効スライス厚はヘリカルピッチに比例して増加した。マルチスライスCTでは基本的に180度補間が使われているが、ヘリカルピッチにより投影データの分布は均一であったり、不均一であったり、複雑に変化する。ここで目的位置の画像再構成を考えた場合、投影データの補間は存在する投影データに依存して実行される。特徴的なのはヘリカルピッチが4のとき、実データと対向データが重複してしまい、180度補間ではあるが、実データしか利用されない。このことから、ヘリカルピッチ4では他に比べて実効スライス厚は厚くなる(Fig. 5)。画像ノイズについていえば、ヘリカルピッチ4では画像ノイズが低下する(Fig. 6)。

シングルスライスCTによるヘリカルスキャンに比べ、マルチスライスCTによるヘリカルスキャンでは投影データが非常に高密度になる。これを利用して行われるのがZ軸フィルタである(Fig. 7)。実際には不均等に分布した投影データについてリサンプリングにより均等分布にした後、フィルタリングが行われる。Z軸フィルタによりスキャン後であってもスライス感度プロフィール、実効スライス厚の変更が自由に行える。

シングルスライスCTでは画像再構成は二次元的な考えでのみ行われてきた。これは、X線ビームの形状が扇状であり、体軸方向で見れば拡がりのない形状であったからである。現在普及している4 DASのマルチスライスCTでは体軸方向に若干の拡がりがあるものの、実際的な影響がないことから従来の画像再構成が

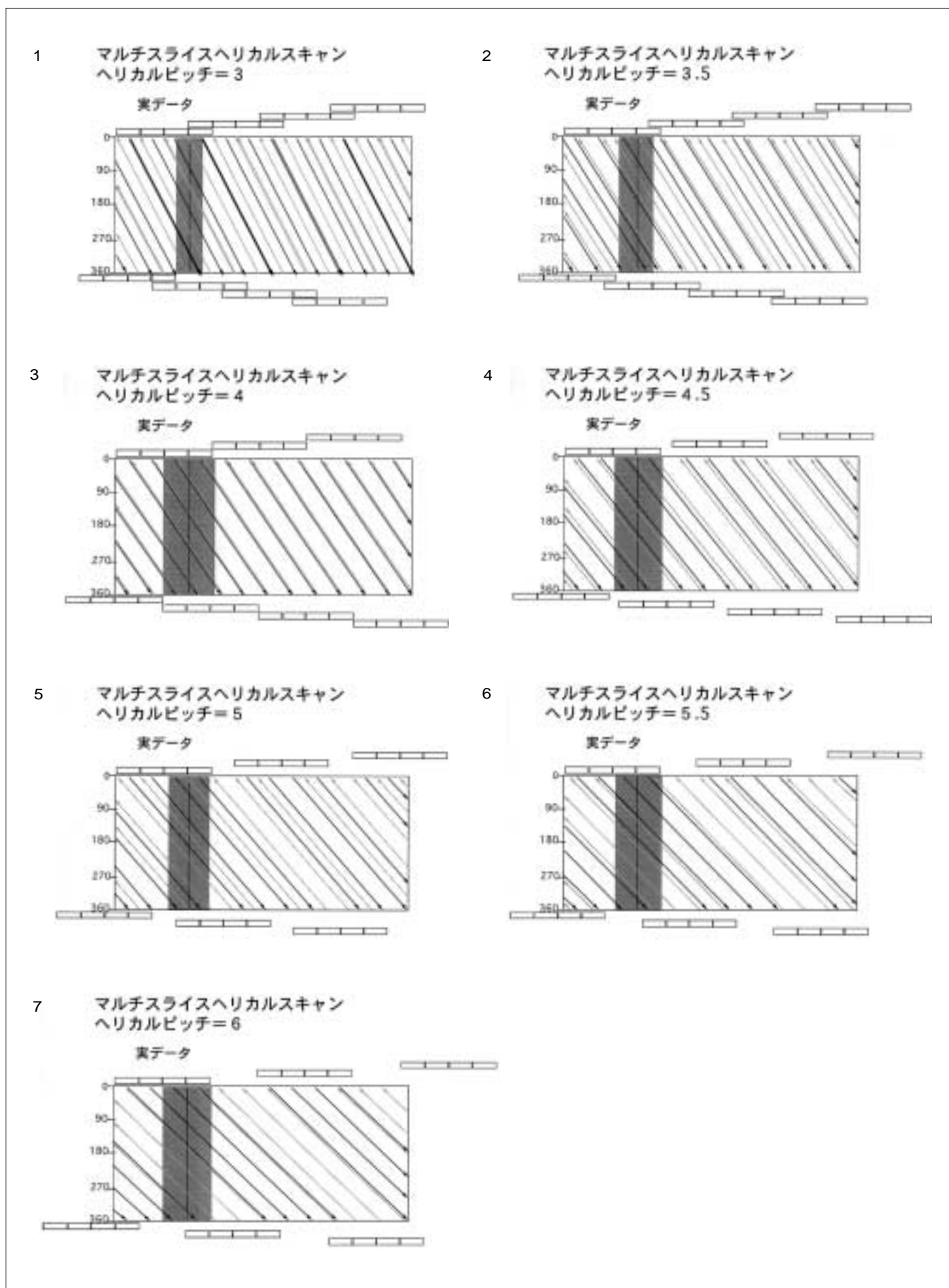


Fig. 4 4 DASマルチスライスにおける展開図

マルチスライスCTでは投影データの分布密度が高い。また、投影データの分布はヘリカルピッチ3, 4, 6では均等であるが、それ以外では不均等となる。

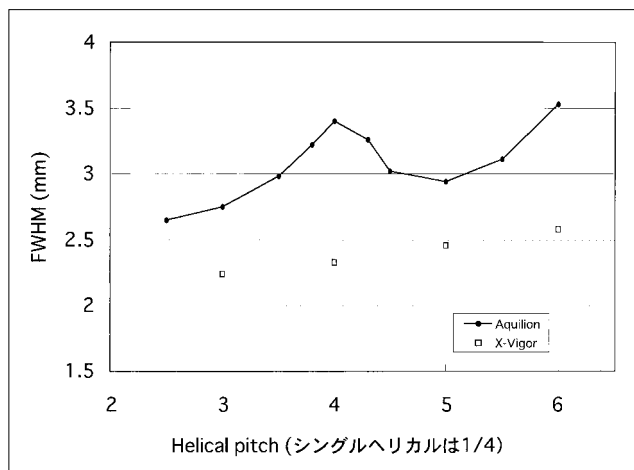


Fig. 5 4 DASマルチスライスCTにおけるヘリカルピッチと実効スライス厚の関係
シングルスライスCTによるヘリカルスキャンではヘリカルピッチと比例して実効スライス厚は厚くなった。それに対し、4 DASマルチスライスCTによるヘリカルスキャンではヘリカルピッチ 4 付近でスライス厚の特異的な変化が見られた。ただし、これはZ軸フィルタを2点補間としたときの結果である。

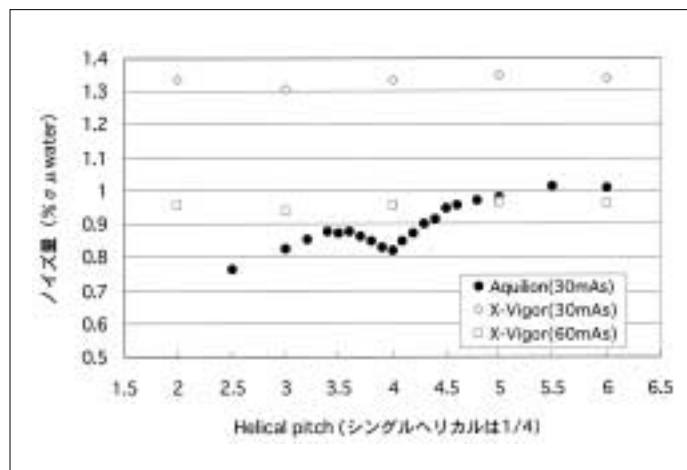


Fig. 6 4 DASマルチスライスCTにおけるヘリカルピッチと実効スライス厚の関係
シングルスライスCTによるヘリカルスキャンではヘリカルピッチが変化しても画像ノイズの変化はなかった。それに対し、4 DASマルチスライスCTによるヘリカルスキャンではヘリカルピッチ 4 付近で画像ノイズの特異的な変化が見られた。ただし、これはZ軸フィルタを2点補間としたときの結果である。

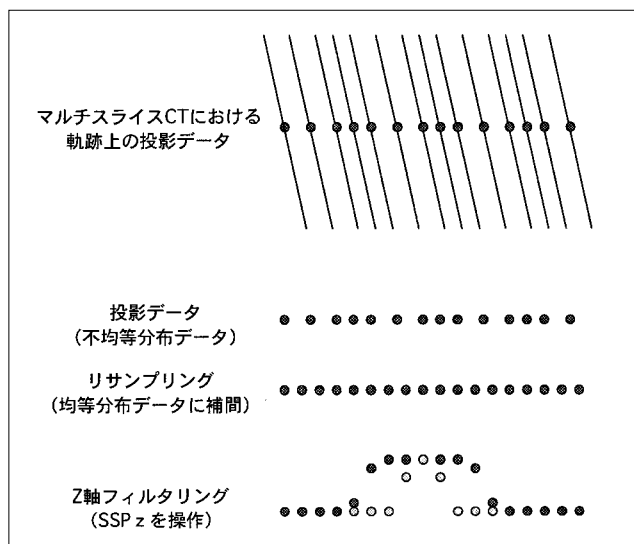


Fig. 7 マルチスライスCTにおけるZ軸フィルタ
マルチスライスCTでは投影データの空間的密度が高いためZ軸についてのフィルタリングが行われる。これにより、スキャン後であってもスライス感度プロフィールや画像ノイズを調整することができる。

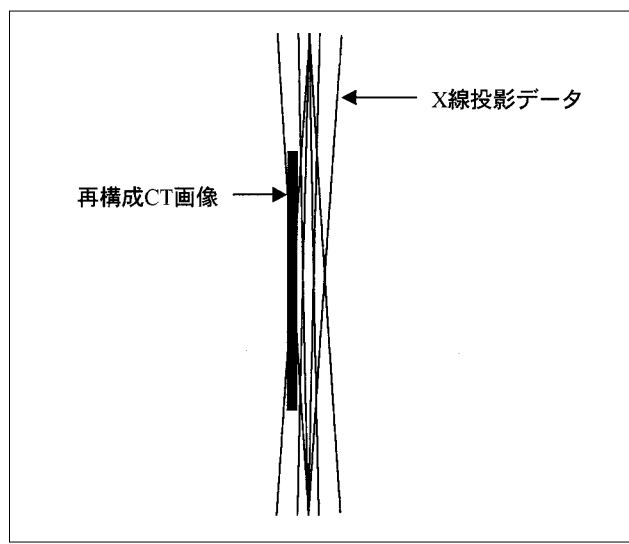


Fig. 8 従来の4 DAS小コーン角における画像再構成法
マルチスライスCTでも4 DAS程度でコーン角が小さければ従来の二次元的な画像再構成が利用できる。

使用されている (Fig. 8)。これが8 DAS, 16DASといったマルチスライスCTとなると体軸方向に広がりを持ったコーンビームとして画像再構成を考える必要がある。従来の二次元的な画像再構成ではアーチファクトの発生を招くことになる (Fig. 9)。これは、マルチスライスCTのスライス数が増加し、検出器の端の列でスライス厚が薄くなることにより顕著になる。この現象を低減する目的で利用される再構成法がよく知られているfeldkamp法である (Fig. 10)。いわゆる三次元逆投影法である。ただし、feldkamp法は非ヘリカルス

キャンで行われるものであり、実際のマルチスライスCTによるヘリカルスキャンでは、feldkamp法を応用した手法が採用される。feldkamp法によればコーン角が広がってもアーチファクトのない画像が得られる。しかし、その計算量は通常の画像再構成の場合に比べ膨大であり、実用化には若干の障害もある。feldkamp法とは別な方法にASSR (advanced single slice rebinning) と呼ばれる方法がある (Fig. 11)。これは、従来の二次元画像再構成を採用しながら、コーン角の影響を減少しようというものである。しかし、この方

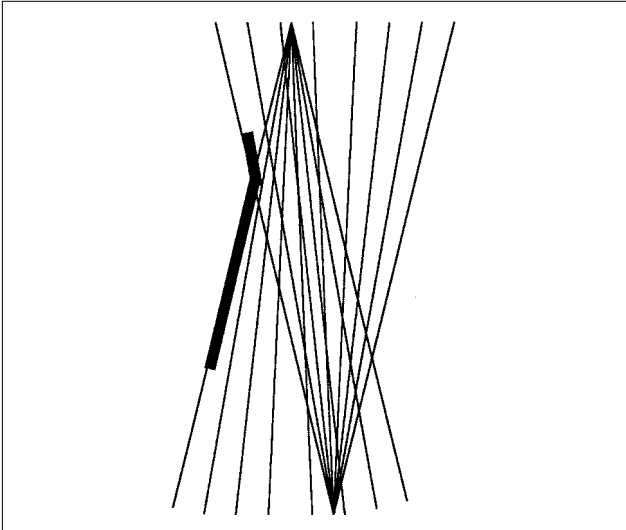


Fig. 9 多数DAS大コーン角では従来再構成が利用できないマルチスライスCTのDAS数が増加し、コーン角が増加した場合、従来の画像再構成はアーチファクト発生のために利用できない。

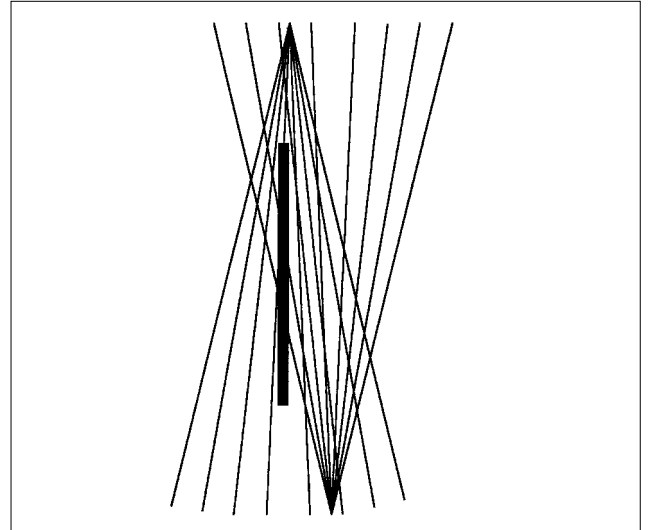


Fig. 10 マルチスライスCTのヘリカルスキャン時のFeldkamp法
Feldkamp法によればコーン角が広くてもアーチファクトの発生のない再構成画像を得ることができる。

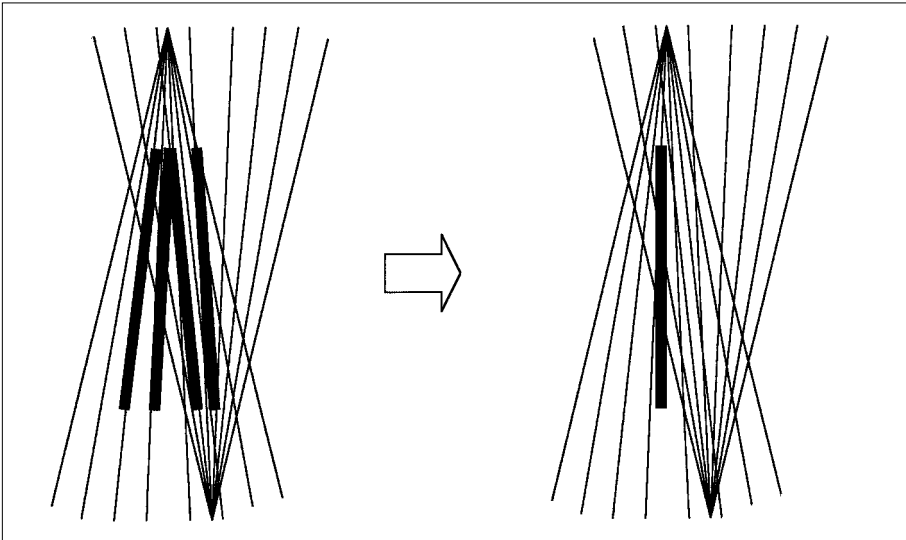


Fig. 11 マルチスライスCTのヘリカルスキャン時のASSR法
ASSR法は計算速度の速さで有利であるが、アーチファクトを完全には消失することはできない。

法ではコーン角の影響を原理的に解決するものではないことから、feldkamp法に比べアーチファクトの低減効果は少ない。マルチスライスの多DAS化が進んでいった場合、このような技術革新が重要な要素となる。

4. マルチスライスCTの臨床的效果

4 DASマルチスライスCTの登場により、多くの臨床的效果が報告された。4DASマルチスライスCTは、従来のシングルスライスCTにおける1列の検出器を体軸方向に四つに分割したと考えれば、良好な体軸方向の空間分解能の実現が可能となる。また、従来のシングルスライスCTにおける1列の検出器を四つ体軸方向に並べたと考えれば、スキャン時間の短縮が可能となる。ここでは、良好な体軸方向への空間分解能に

より可能となる「isotropic resolution」、「スキャン時間の短縮」について述べる。

4-1 isotropic resolution

マルチスライスCTの登場で临床上、最も注目されるものにisotropic resolutionがある。従来のCTではスライス面方向(XY方向)の空間分解能に比べて、体軸方向(Z軸方向)の空間分解能が十分でなかった。マルチスライスCTの登場により体軸方向の空間分解能をスライス面方向と同等にすることが可能となった。また、そのデータの収集も容易となった。このことはMPR表示、三次元表示などを行った場合、どの方向から見ても同等の空間分解能を実現することとなった(Fig. 12, 13)。このことは、従来の「CTは軸位断」と

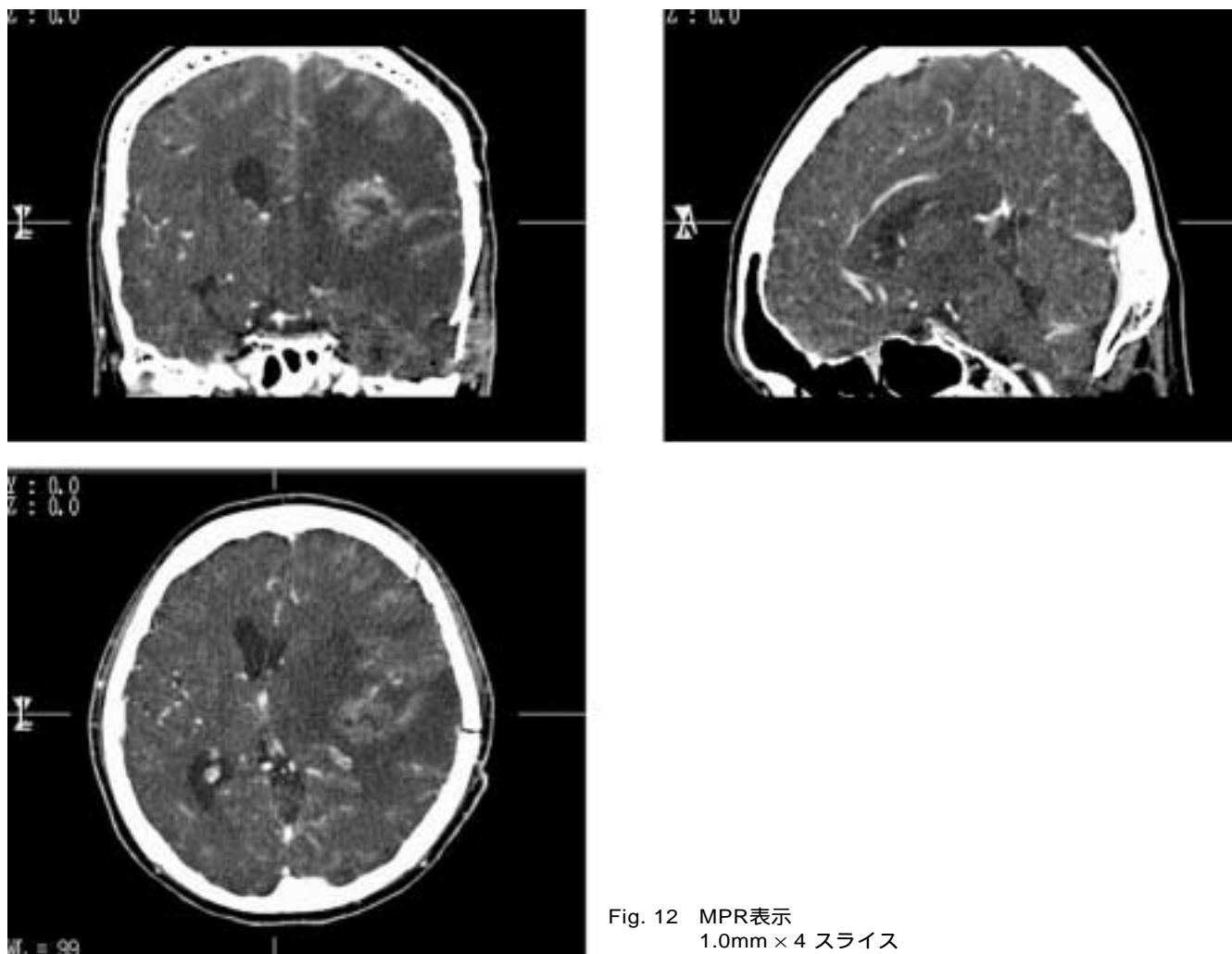


Fig. 12 MPR表示
1.0mm × 4 スライス

いう考えを覆すものである。診断目的によっては軸位断よりもMPRで他の方向から診たほうが有効な場合もある。また、たとえば胸部CTにおいて、従来なら軸位断では多くの画像観察が必要とされた。これを前額断とすることにより観察画像数は少なくできる。三次元表示の高精度化も有効であることは言うまでもない。従来、三次元表示はオリエンテーション程度のもので扱われてきた。isotropic resolutionにより、三次元表示を使って診断するという状況にもなっている。

4-2 スキャン時間の短縮

マルチスライスCTのもうひとつの利点としてスキャンの短時間化がある。それは「1回の呼吸停止でスキャンができる」「CT検査が早く終わる」ということのほかに、CT検査の四次元化の可能性が挙げられる。Fig. 14にマルチフェイズの造影ヘリカルスキャンの結果を示す。ヘリカルスキャンで三次元データが収集できるのは当然であるが、マルチスラ

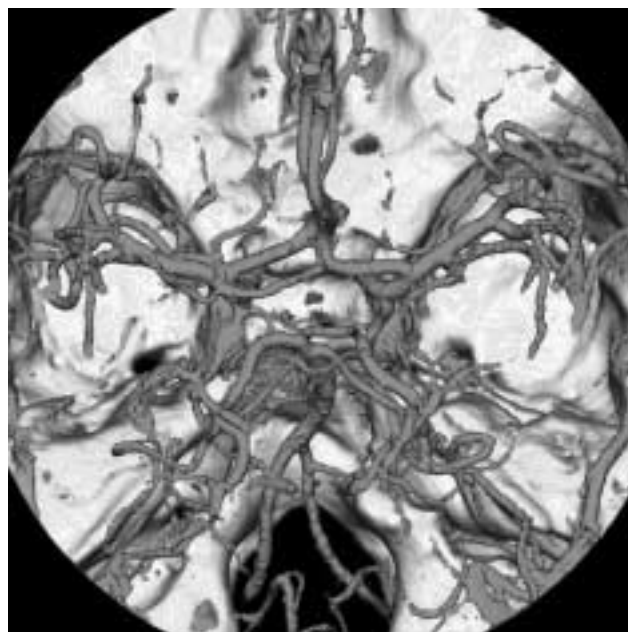


Fig. 13 三次元表示
0.5mm × 4 スライス

イスCTでスキャンが高速化することにより、三次元データを時間的な連続性をもって収集できるのである。

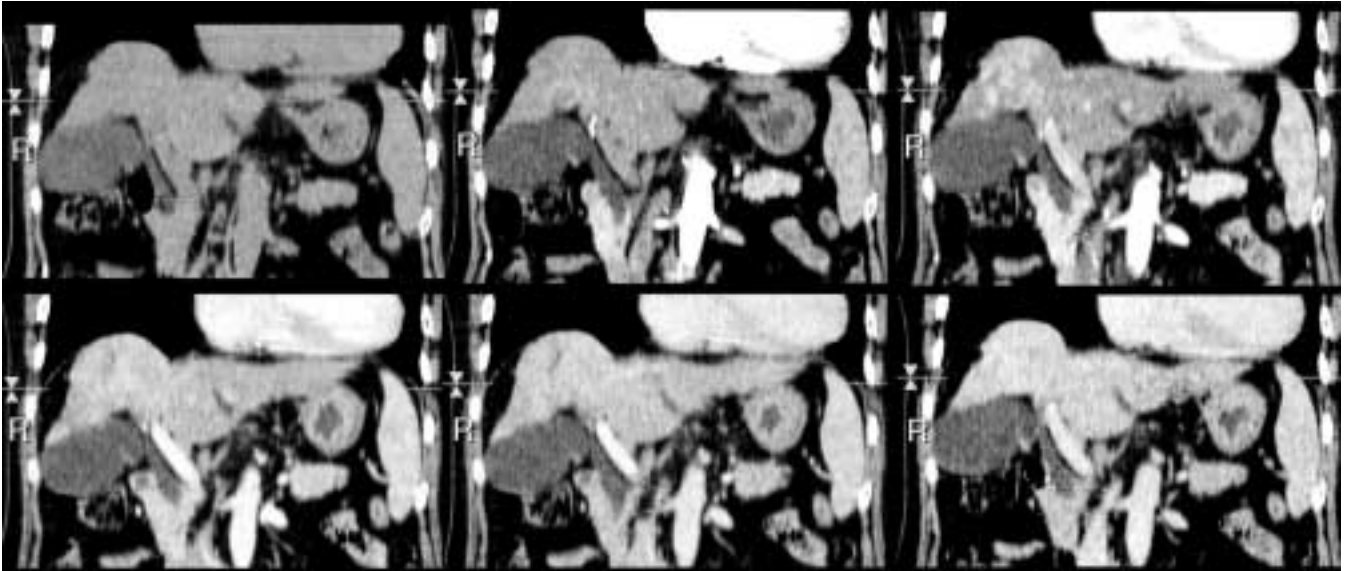


Fig. 14 マルチフェイズ造影ヘリカルスキャン(MPR表示)
5.0mm × 4スライス

5. マルチスライスCTの課題と解決策

5-1 被曝は？

前述したように、マルチスライスの登場による臨床的な利点は多い。しかし、CT装置がX線を利用している限り、それによる被曝について注意する必要がある。薄いスライス厚でスキャンした場合、薄い一枚一枚の画像のノイズを低減させようとするれば、管電流を増加させ、結局、被曝を増加させることにもなりかねない。また、マルチフェイズで造影ヘリカルスキャンを行えば、それだけで被曝も増加する。要は、CT検査で得られるデータの価値に相当した被曝で検査を終えることが重要であろう。

5-2 膨大なデータ管理と画像観察

マルチスライスの出現で問題化したものに、その膨大なデータ量がある。従来のノンヘリカルスキャンならば1回のCT検査で数十枚というところであったものが、ヘリカルスキャンでは百枚程度、マルチスライスCTでは千枚を超えることもある。これをフィルムに焼き付けていたのでは仕事にならない。CRT診断が必要になる。CRT診断ならば、リアルタイムMPR、リアルタイム3Dも可能となり、診断の質も向上するものと考えられる。最近ではHIS(hospital information

system)、RIS(radiology information system)の構築が盛んになってきた。マルチスライスCTから発生する膨大なデータに対応したシステムの構築が望まれる。折角の良質なデータを無駄にしないためにも重要なことである。

6. マルチスライスCTの次は・・・

4 DASマルチスライスCTの登場によってCTの開発、研究は活発になってきている。そこで考えるのが「4 DASマルチスライスCTの次は？」ということである。近未来でいえば、8 DAS、16DASのマルチスライスCTであろう。この場合、前述した画像再構成についての進歩が必要となってくる。そして、その先はといえば、平面的な検出器を有したCT装置である。これができるれば完全な四次元CT検査が可能となる。実際に256DASのCT装置について研究が進んでいる。従来のノンヘリカルスのシングルスライスCTからは想像もつかなかった「夢のCT装置」が登場しようとしている。

次回は「X線CT装置の機器工学(5)- アーチファクト -」

参考文献

- 1) 瓜谷富三, 岡部哲夫: 医用放射線科学講座13 - 放射線機器工学 - . 医歯薬出版, (1998).
- 2) 辻岡勝美: CT自由自在. メジカルビュー社, (2001).
- 3) 森一生, 鈴木達郎: アドバンストマルチスライスCT Aquilionの開発. メディカルレビュー, Vol. 25, No. 4, (2001)