

マルチスライスX線CT装置 - CT技術ビジョン “人体内部を自在に観察する”

Multislice CT System Provides Unrestricted Observation of the Human Body's Internal Structure

荒館 博
ARADATE Hiroshi

齊藤 泰男
SAITO Yasuo

二次元検出器を採用したマルチスライスX線CT(Computed Tomography)装置を開発した。30,000素子を持つ二次元検出器,4スライスを同時にデータ収集可能なデータ収集システム,新たな画像再構成法,3スライスをリアルタイムに再構成演算の可能な高速演算装置を開発し,マルチスライスCTを実用化した。高速に,広範囲を,高分解能でスキャンでき,軸断面だけでなく三次元画像,任意方向の断面が容易に得られる。これにより,CT画像診断が革新され,三次元画像診断,治療への応用が更に普及,発展していくものと期待される。

A newly developed multislice X-ray CT system includes a two-dimensional multislice detector with 30,000 elements, a data acquisition system permitting 4 slices to be acquired simultaneously, a new reconstruction algorithm, and a high-speed reconstruction system. The new multislice CT system, which provides fast, high-resolution scanning over large areas, makes it easy to obtain 3D images, sectional images of arbitrary orientation, and axial images. The system will enable the further evolution of CT diagnosis, resulting in the more frequent use of 3D images in diagnosis and the development of new therapy applications.

1 まえがき

X線CT装置(以下,CTと略記)が,1970年代に登場してから20数年を経て,その性能は著しく進歩した。最初の10数年は,1断層像に対する,高速スキャン,高分解能の追求であったと言える。スキャン時間は数分から1秒,分解能は数mmから0.3mm程度へと向上した。もちろん,データ量の増大に伴う高速演算装置,大容量ファイル装置などのエレクトロニクスの進歩にも支えられた。

80年代には,1秒連続回転が可能なスリップリングCTが登場し,ダイナミックスキャンを中心に時間分解能の要素も加わり,臨床応用が進展した。なかでも,CTルネッサンスと言われるヘリカルスキャンの登場はCTを革新したと言える。これは,高速にボリューム(立体)をスキャンでき,しかも体軸方向の連続性が優れている。良好な三次元画像が比較的容易に得られ,三次元画像診断への道が切り開かれたと言える。

ヘリカルスキャンの普及に伴い,ボリュームを高分解能でしかも更に高速にスキャンしたいという要望が高まった。しかも,従来と同等以上の画質が得られなければならない。この強い市場からの要求にこたえ,マルチスライスCT実現への挑戦となり,このシステムを実用化した。その概要を紹介する。

2 マルチスライスCTのターゲット

“断層画像から,立体画像へ”/“人体内部を自在に観察する”,このビジョンを掲げ,人体をスキャンし,リアルタイムで立体あるいは任意の断面が表示でき,かつ立体の動きをも描

出する四次元スキャナを目指した(図1)。この四次元スキャナの第一歩がマルチスライスCTであり,人体内部をより自在に観察でき,三次元画像診断の発展と普及をもたらすと確信された。

例えば,1mmスライスで頭部スキャンをしようとするれば,従来スキャナでは100秒程度掛かってしまう。これが10秒でスキャンできたら無理なく検査も可能となる。

診断目的によりどんな画像を作成するかも自由となる。検査は薄いスライスで行い,必要な画像は後処理で自由に得ら

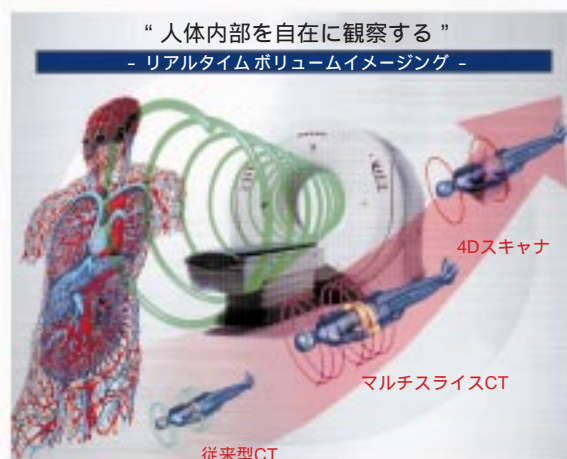


図1. CTスキャナの近未来ビジョン “人体内部を自在に観察する”を目指し,シングルスライスから,マルチスライスCT,四次元スキャナへと展開する。

Conceptual drawing of X-ray CT Scanner

れる。このように、マルチスライスCTは“ポリュ-ムスキャナ”としてCT検査/診断に革新をもたらすと期待した。

“ハ-フセカンド”スキャン、“二次元検出器”、“ハ-フミリ”スライス、“リアルタイム”再構成、を基本コンセプトとして世界的に前例のない二次元検出器CTの開発を進めた。要素技術開発着手は93年のことである。多々曲折はあったとはいえ、いくつかの大きな技術的挑戦に成功し実用化できた。

3 マルチスライスCTを支える要素技術

マルチスライスCTでは、様々な要素技術における挑戦が必要であった。ここでは、ブレークスルーを達成し、マルチスライスCTの実現につながった要素技術について述べる。

3.1 マルチスライス検出器(SSMD検出器)

実現した二次元検出器は、チャンネル方向、体軸方向に、合計30,000以上の検出素子を二次元に配列し、最小スライス厚は0.5mmである。

SSMD方式とは、Selectable Slice-thickness Multi-row Detectorの頭文字を取ったもので、スライス厚が可変な二次元検出器を示す。検出素子と、データ収集装置(DAS: Data Acquisition System)との間に、スイッチを配置し、スイッチを切り換えることにより、収集時のスライス厚を可変にした。設定されたスライス厚について、4スライス分のデータをDASに出力する(図2)。

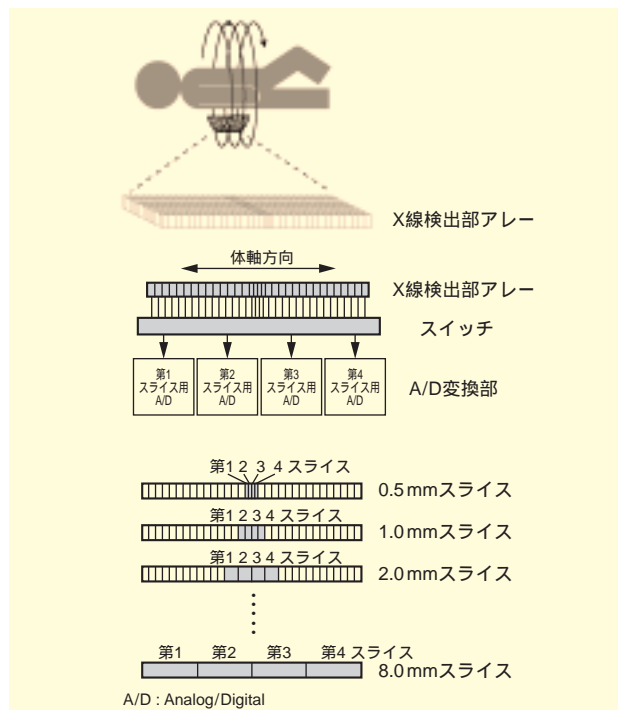


図2 . マルチスライス検出器の構成と、スライス厚変更方法 検出素子とデータ収集回路との間にスイッチを設け、スイッチを切り換えて、収集データの厚みを変更する。

Selectable slice-thickness multi-row detector

スライス厚は、最小0.5 mmから、最大10 mmまで選択可能である。0.5 mm, 1 mmなどの高解像度モードから、5 mm, 8 mmなどの広範囲、高速モードまで、検査の目的に応じて自由に選択できる。

3.2 マルチスライスCT用DAS

4スライス同時収集を可能とするマルチスライスCT用DASは、従来の4倍の回路数が必要となるが、スキャナ本体への実装スペースは従来同等に抑える必要があり、1回路当たり従来比1/4の実装スペースという高密度実装が要求された。また、0.5秒回転に対応した高速化、従来同等の消費電力、更に、SSMD検出器のスイッチ制御に応じたゲインの切換えなどが必要であった。

フロントエンドに2個の積分器を使用し、また、従来と同サイズで2チャンネル入力のADC(Analog-Digital Converter)チップを開発して上記要求を達成した。

3.3 画像再構成アルゴリズム

従来の再構成法を単純に拡張するだけでは、強いアーティファクトが発生してしまうため、Multislice Cone-beam Tomography再構成法(以下、MUSCOT再構成と略記)を開発して問題を解決した。

MUSCOT再構成法は、高密度サンプリングスキャン法と、フィルタ補間の組合せである。まず、高密度サンプリングスキャンにより、体軸方向に密に並んだデータを収集し、次に、フィルタ補間により空間分解能、画像ノイズをコントロールしながら、コーン角度(アキシアル平面からの角度)の影響を抑え、実効スライス厚が薄い画像を再構成する(図3)。

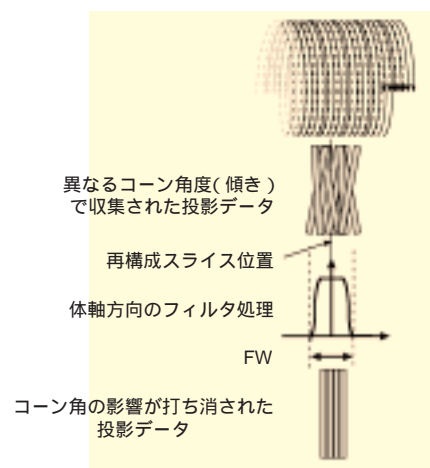


図3 . MUSCOT再構成法の原理 体軸方向に密に並んだデータを収集し、フィルタ補間でコーン角度の影響を抑える。

Multislice cone-beam tomography reconstruction algorithm

- (1) 高密度サンプリングスキャン 高密度サンプリングスキャン法は、ヘリカルピッチを調整して、体軸方向のサンプリング密度を上げることである。ヘリカルピッチを、

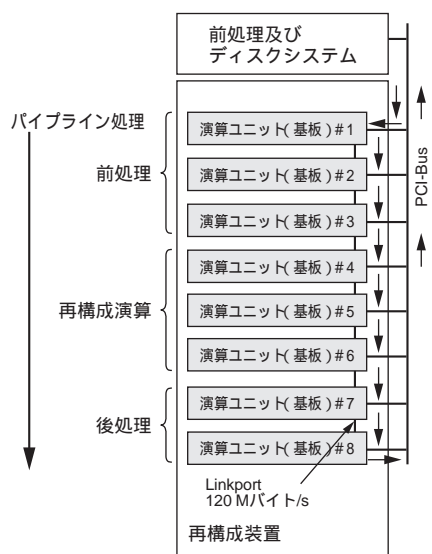
データの軌跡がわずかにずれるように設定し、体軸方向に密度の高い、理想的なデータを得るのが高密度サンプリングスキャンである。

- (2) フィルタ補間 フィルタ補間法は、体軸方向にある幅の領域(フィルタ幅:FW)を設定し、その範囲の高密度サンプリングデータを、フィルタ処理する概念の重み付け多点補間である。フィルタの形状、幅によって、スライスプロファイルの形状や実効スライス幅などのスライス分解能、あるいは、画像ノイズ特性などが変化する。FWを広げると、補間に用いるデータの数が増え、画像ノイズが低減する。

3.4 マルチスライスCT用超高速画像再構成装置

MUSCOT再構成法、及びマルチスライスでのリアルタイム画像再構成を実現するためには、従来の画像再構成装置では不十分であったため、専用の超高速画像再構成装置が必要となった。

最新のDSP(Digital Signal Processor)を約150個使用し、複数のDSPで構成されるDSPクラスタをパイプライン接続しており、すべての計算をソフトウェアにて実行する(図4)。



PCI: Peripheral Component Interconnect

図4. マルチスライスCT用再構成装置の構成 DSPクラスタをパイプライン構成し、モードごとに割り当てる処理を変更し、DSPの使用効率を最適化する。

High-speed reconstruction system for multislice CT

各DSPクラスタに割り当てる前処理、再構成演算、後処理を、スキャンモードに応じてフレキシブルに切り換え、プロセッサの使用効率を最大にすることで、それぞれの再構成時間の短縮を図っている。

4 マルチスライスCTの効果

マルチスライスCTにおける代表的な撮影法を紹介し、その効果を述べる。

4.1 寝台停止スキャン(非ヘリカルスキャン)

寝台を止めてスキャンすると、同時に4スライス分のボリュームを観察できる。例えば、腫瘍(しゅよう)を中心にスキャンすれば、腫瘍周辺、特に上下スライスでの栄養血管の走行がその場で観察可能であり、術中などリアルタイム性が必要なケースで有効である。

4.2 寝台停止でのダイナミックスキャン

ダイナミックスキャンでは、寝台を止めて連続的にスキャンし、注目部位の時間濃度変化から機能解析などを行う。従来から、シングルスライスCTを使ったダイナミックスキャンが、血行動態観察、脳血流計測、動きの解析や虚血部位の同定などに利用されてきたが、マルチスライスCTでは範囲を広げられることで、それらの価値が飛躍的に高まる。体軸方向に4スライス分のボリュームをカバーできるので、注目部位を含むボリュームとして機能解析、動態観察したり、注目部位を薄くスライスしたりできるほか、体軸方向に変化が伝達していくようすも把握できる。

4.3 マルチスライスCTヘリカルスキャン

マルチスライスCTを使うとシングルスライスCTに比べて、同じボリュームを撮影するための時間が格段に短くなる。シングルスライスCTの約4倍の速度でスキャンできるので、体軸方向の同じ領域に対して、シングルスライスCTの約1/4の時間でスキャンしても、同じ実効スライス厚の画像を得ることが可能である。図5は、約50cmの領域を、3mmスライスで、約20秒でスキャンしたものであり、息止め時間が1/4になるので被検者の負担を大幅に軽減できる。

ヘリカルピッチの高速化は、空間分解能の向上ももたらす。撮影スライス厚をシングルスライスCTのときより薄く設定しても、同等以下の時間でスキャンが完了する。また、薄いスライスの使用条件が広がり、耳小骨などを対象とした1mm以下の極薄いスライスについても、これまで以上に一般的に使われるようになる。

4.4 マルチスライスCT透視

マルチスライスCTでは、CT透視で複数のスライス分のボリュームをリアルタイムに観察できる。同時に寝台位置の異なる3スライスの画像を表示することが可能なので、術中スキャンでも器具の挿入位置確認などに有効である。例えば、腫瘍(しゅりゅう)を含むスライスと両側の隣接スライスを常に観察できるので、呼吸による動きで患部と針を見失うことを格段に減らすことができる。また、スライス厚を薄くすれば検査精度を向上できる。図6(a)のシングルスライスCTでは、針が患部に命中しているかのように見えるが、図6(b)のマルチスライスCTは外れていることが明確である。

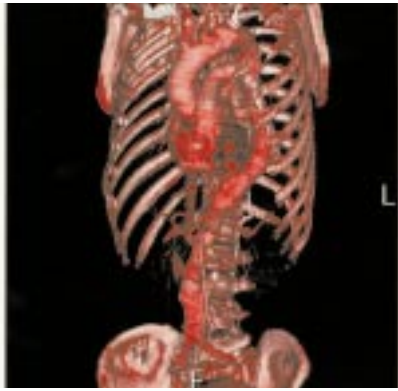
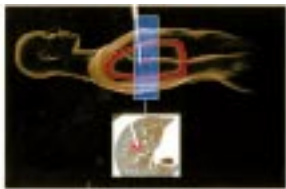


図5 .臨床画像例 - long case 約50 cmの領域を、3 mmの厚みで、約20秒でスキャンした例を示す。
3D image of long case



(a) 従来のシングルスライスCT透視



(b) 3断面同時に表示可能なマルチスライスCT透視

図6 . マルチスライスCT透視 スライス厚を薄くすれば検査精度は向上できる。
Multislice CT fluoroscopy

5 あとがき

マルチスライスCTの臨床応用研究は進展し、CT用途が拡大される一方、マルチスライスCTで確立した二次元検出器技

術は、よりいっそうの“高速ボリュームスキャナ”を生み出すステップとなるであろう。高速な一回転で緻密(ちみつ)な立体データを収集し、連続スキャンにより立体的動きをとらえる四次元スキャナへと技術開発は向かう。この実現にも大きな課題が山積みし、技術的挑戦が必要だが、この努力もまた十分に価値あるものと考えている。

謝 辞

マルチスライスCTの開発・製品化にあたり、ご助言、ご協力いただいた関係者各位、及び臨床画像のご提供をいただいた藤田保健衛生大学に深く感謝の意を表します。

文 献

- (1) Taguchi, K.; Aradate, H. A New Algorithm and Evaluation for Image Reconstruction in Multi-slice Helical CT. Supplement to Radiology. 205, 1997.
- (2) Taguchi, K.; Aradate, H. Algorithm for image reconstruction in multi-slice helical CT. Medical Physics. 25, 1998, p.550 - 561.
- (3) Saito, Y. Multislice X-ray CT Scanner. Toshiba Medical Review. 66, 1998, p.1 - 8 .
- (4) 渡邊尚史, 他. 全身用X線CT装置 Aquilion . 東芝レビュー. 54, 2, 1999, p.57 - 60 .
- (5) 田口克行, 他. マルチスライスCT . 日本放射線技術学会雑誌. 55, 2, 1999, p.155 - 164 .
- (6) 齊藤泰男. マルチスライスX線CTスキャナ . 映像情報MEDICAL. 31, 6, 1999, p.256 - 259 .



荒館 博 ARADATE Hiroshi

医用システム社 医用機器・システム開発センター 開発第一担当主幹。X線CTスキャナシステムの企画・開発に従事。日本放射線技術学会、日本医用画像工学会、日本ME学会会員。

Medical Systems Research & Development Center



齊藤 泰男 SAITO Yasuo

医用システム社 医用機器・システム開発センター 開発第一担当主査。X線CTスキャナの検出器、及びシステムの研究・開発に従事。日本放射線技術学会会員。

Medical Systems Research & Development Center