

人体を自由に観察できる高速ヘリカル CT

High-Speed Helical CT Enabling "Fly-Through" Imaging of the Human Body

信太 泰雄
Y. Nobuta

鈴木 薫
K. Suzuki

平岡 学
M. Hiraoka

X線 CT (Computed Tomography) スキャナは全身用画像診断機器として今日広く普及している。特に最近ではヘリカルスキャン技術が実用化され、がんの早期発見、早期治療などに医療現場で広く活躍している。高速ヘリカル CT は、世界最高速のヘリカルスキャン技術により検査時間の大幅な短縮とともに X 線被曝(ばく)線量の低減や造影剤の低減を可能とし、人に優しい医療を旨として開発したものである。この高速ヘリカル CT で得られた三次元ボリュームデータをさらにリアルタイムで画像処理することにより、人体内部を自由に観察できる三次元画像診断が近い将来広く臨床現場で応用されることを強く期待している。

X-ray computed tomography (CT) scanners have become widely applied to imaging diagnosis for the whole body. The helical scan technique has been developed and applied to early detection and treatment of cancer and other diseases.

We have developed a high-speed helical CT scanner that increases patient throughput and decreases the dose of X-rays and contrast enhancement medium for patients. The real-time imaging processing of three-dimensional volume data obtained by the high-speed helical CT scanner is strongly expected to enable "fly-through" imaging of the human body in the near future.

1 まえがき

近年、X線 CTをはじめとして、MRI (磁気共鳴イメージング装置)、超音波診断装置、核医学診断装置など、人体を傷つけずに(無侵襲で)人体内部の情報を画像に可視化するさまざまな医用画像診断機器が、医療の最前線で活躍している。さらに、三次元画像処理技術の進歩により各種画像の三次元画像診断が実用化されてきた。

ここに紹介する高速ヘリカル CT は、X線 CT による画像診断をさらに進化させる画期的な技術として近年注目されている新しい画像診断技術である。高速ヘリカル CT とは、人体の周囲をらせん状に高速にかつリアルタイムで画像を再構成することにより、従来十数分を必要としていた検査時間を、十数秒で、例えば1回の息止め期間中に、三次元ボリュームデータを得る診断技術である。さらに、高速ヘリカル CT で得られた連続性のよい三次元画像を用いて人体内部を自由に観察できるフライスルー(内視モード)が可能となり、今後その臨床応用が拡大するものと期待できる。

2 高速ヘリカル CT の特長

2.1 高速ヘリカル CT の原理

X線 CT は、人体の断層像を得るために人体の周囲を回転しながら X 線を人体に照射し、その投影データを収集して再構成する。従来の X 線 CT では回転部と固定部をケーブルで結んでいるため連続回転は不可能であったが、最近で

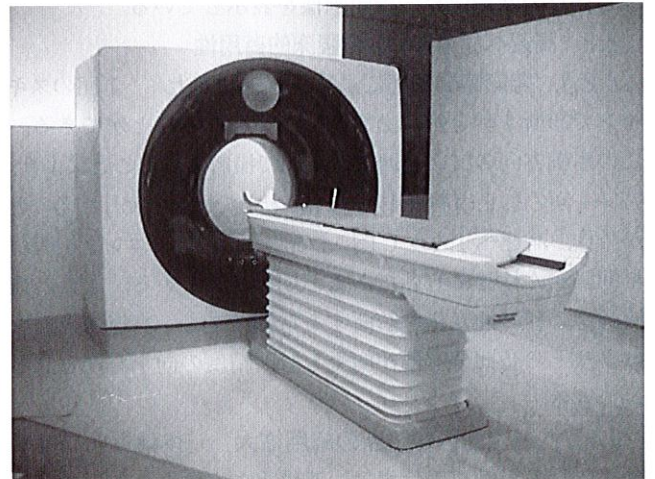


図1. 高速ヘリカル CT の外観 架台、寝台、コンソールから構成される。展示用に透明カバーを使用している。

External view of high-speed helical CT scanner

はスリッピング機構を用いて X 線管とこれに対向する X 線検出器を人体の周囲で高速に連続回転可能な X 線 CT が実用化され、この連続回転方式の X 線 CT が現在の主流となっている。今回開発した高速ヘリカル CT は世界最速 0.75 秒の撮影(1回転)が可能である(図1)。

高速ヘリカル CT はこの連続回転方式の X 線 CT の利点を生かして、人体の体軸方向の広い範囲を短時間に撮影する技術である。原理的には X 線管が人体の周囲をらせん状

3 リアルタイム再構成技術

高速ヘリカル CT によりデータ量が大幅に増大することになり、また三次元的画像診断で要求される再構成画像の枚数も増大し、高速なデータ処理装置が望まれた。この専用データ処理装置の開発は、当社独自のリアルタイム再構成技術として実用化された。高速ヘリカル CT で得られたデータからの画像再構成は膨大な計算を要するため従来は撮影後に時間をかけて画像にしていた。このために、撮影が終わっていても、画像ができるまで患者は待たなくてはならなかった。これを解決したのは、プロセッサの高速化・並列処理などのコンピュータ技術の発展とともに新しい再構成アルゴリズムの開発である。

従来の画像再構成法では、1枚の画像は1回転つまり360度分の人体を透過してきたデータ(投影データ)から生成されていた。この投影データを6分割して、1/6だけでデータを再構成してできた画像部分を前回の画像に加えて、前回の画像の頭の1/6の画像部分を減らすことで、0.125秒後に画像がつねに連続して得られるようになった(図3)。

この一連の高速連続回転技術、高速再構成技術、高速表示技術からなるリアルタイム再構成技術の開発により、スキャン中の断層面をリアルタイムにモニタできるようになった。リアルタイムに画像が観察できることにより、必要な撮影結果が得られたことを直ちに確認ができ、患者は撮影終了とともに帰ることができる。加えて撮影範囲も必要な領域だけと減らせることが可能となり患者の負担を軽減させることができる。また、X線CTではコントラストを向上させるために造影剤が使用されることが多いが、リアルタイムに造影の染まり具合を観察することで確実に最適なタイミングでの造影撮影が可能となり、造影剤量の減少を図れる可能性もでてきた。さらに、この技術により体内での動態を観察することができるため、CT透視と呼ぶ新しい

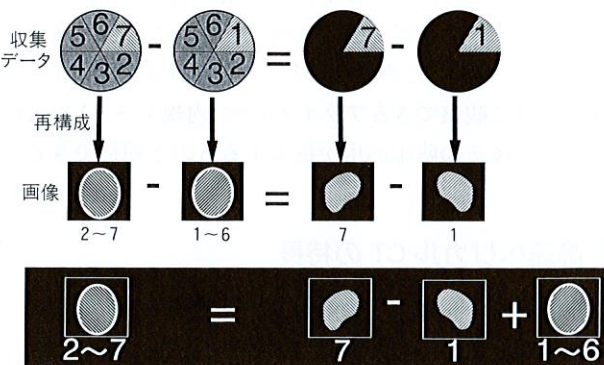


図3. リアルタイム再構成の原理 6分割して再構成することによりリアルタイム再構成が可能になる。

Real-time reconstruction algorithm

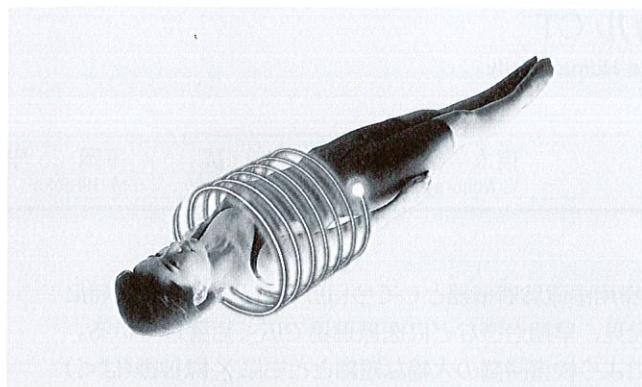


図2. ヘリカルスキャンの概念 連続回転と寝台移動により、らせん状のデータ収集を行う。

Concept of helical scanning

(ヘリカル)に連続回転するわけであるが、実際のX線CTでは、連続回転中に人体を体軸方向に一定スピードでスライドさせることにより人体に対して相対的にらせん運動の軌道を実現している(図2)。さらに、このようにして得られた連続性のよい三次元ボリュームデータを大容量のメモリや専用のハードウェア、高速演算装置を使って高速に処理し任意の断面像や三次元画像を表示している。

2.2 高速ヘリカルCTの臨床的有用性

2.2.1 撮影時間短縮による診断能力向上 1回のスキャンで診断すべき部位を短時間で撮影することができる。この体軸方向の広い範囲を短時間で撮影できることにより、特に1回の息止め期間中(15~20秒)で撮影を完了することができ、高速ヘリカルCTによる胸部スクリーニング検査が早期肺がん検診に有効であると期待されている。また、血流動態の経時変化を診断する造影検査も、高速スキャンによりその時間分解能が向上し診断精度の向上を図ることができる。

2.2.2 三次元画像診断の応用拡大 体軸方向に呼吸動や体動の影響を受けずに、連続データすなわち三次元ボリュームデータを得ることができる。この体軸方向の空間分解能の向上により、肺野内血管や脳血管を連続的に表示することができ、断面変換や三次元画像による診断が期待されている。

この三次元画像は手術シミュレーションや患者への説明などにも応用が期待されている。

2.2.3 患者負担の軽減と検査効率の向上 撮影時間の大幅な短縮により患者負担を軽減し、さらにスループット(検査効率)を向上できる。従来の撮影方式ではスキャンのたびに何回も息止めに強いられていたが、高速ヘリカルCTでは1回の息止めで済むため、特に老人や重篤な患者への負担を軽減できる。また、造影検査の短時間化による患者負担の軽減も可能となる。

臨床応用も生まれてきている。

4 人体内フライスルー技術

呼吸性移動の影響のない広い範囲の連続データが収集できることから、三次元画像の構築および観察が正確かつ容易にできるようになったことも高速ヘリカルCTの特長の一つである。脳血管の三次元画像は、動脈瘤(りゅう)など、スライス画像の組合せでは診断しにくい三次元の形態診断症例に有効である。また、この三次元画像を用いることにより外科手術の術前シミュレーションにも応用されている。

この三次元画像診断をさらに発展させたフライスルー技術(内視モード)を今回開発した。

4.1 フライスルーの原理

高速ヘリカルCTで得られた一連のスライス画像から、所定の器官を抽出することができる。抽出したい器官のCT値範囲の設定とそのスライス画像上での位置の指定により、抽出処理を開始する。指定された位置を始点として、指定されたCT値範囲の領域をリージョングロウイング(region growing)法によって抽出する。抽出された領域の表面に複数の三角形のポリゴンを設定することによって、表示画像のデータを作成する(図4)。

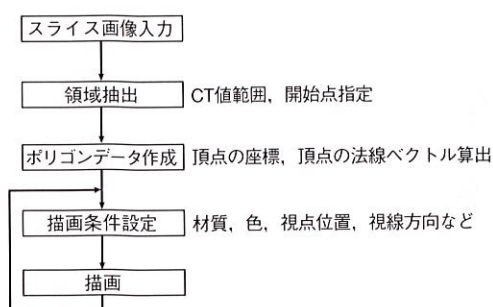


図4. フライスルー技術の処理フロー ポリゴンデータの作成と描画のフローを示す。

Flowchart of fly-through imaging

三角形のポリゴンは三つの頂点の座標 (x, y, z) と三つの頂点の法線ベクトル $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ で構成されている(図5)。頂点の法線ベクトルは、その点をポリゴンの構成点とするすべてのポリゴンの面の法線ベクトルの平均値として計算する。したがって三つの頂点の法線ベクトルはそれぞれ異なる値をもつ。この法線ベクトルを使用することによって、複数の三角形で近似された抽出物体の表面を滑らかに表示することができる(図6)。

複数の三角形のポリゴンデータにポリゴンの材質、色、視点位置、視線方向、視野角、照明の位置・強さなどを指定することにより、表示画像を作成することができる。ポ

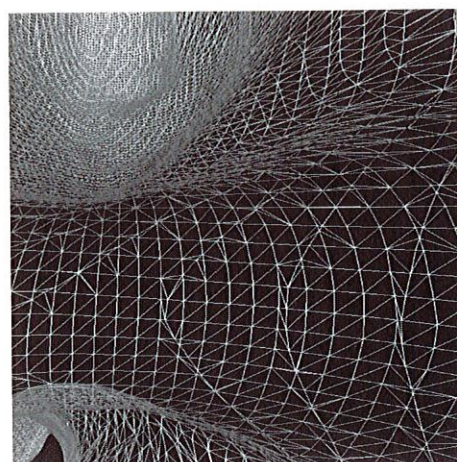


図5. ポリゴンデータの辺表示 ポリゴンデータをメッシュで表示した例。法線ベクトルはメッシュ各頂点の法線のデータである。

Example of polygon display in mesh mode

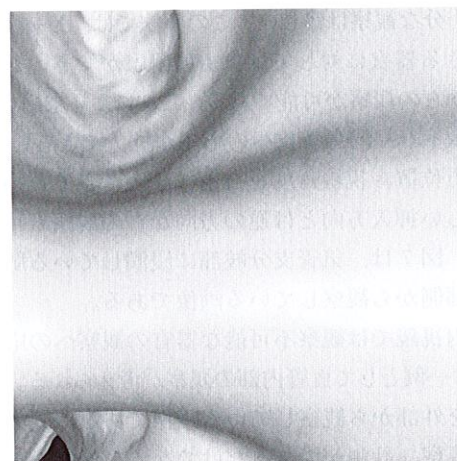


図6. フライスルー表示 法線ベクトルを用いて処理した滑らかな面表示の例。

Example of fly-through imaging

リゴンの材質とはその指定色と連携した、光に対する、反射率、透過率、表面の散乱の度合いなどのことであり、金属的な表面の光沢やつや消し物体表面のような表現を行うために使用するものである。照明は、物体表面に陰影をつけることができるため、その立体感を表現することができる。上記条件を加味したポリゴンを高速に描画するハードウェアを使用することにより、高速に表示することができる。

4.2 フライスルー技術の臨床応用

一つは内視鏡が適用できない範囲を観察できることである。内視鏡は物理的に一定の大きさをもっており、内視鏡の挿入できる範囲が限られている。挿入できたとしても視野制御に機械的限界があり、内視鏡の先端と同等の内径の



図7. 肺がんの例 内視鏡では観察が難しい観察も可能。(データ提供先：京都桂病院)

Fly-through image of lung cancer

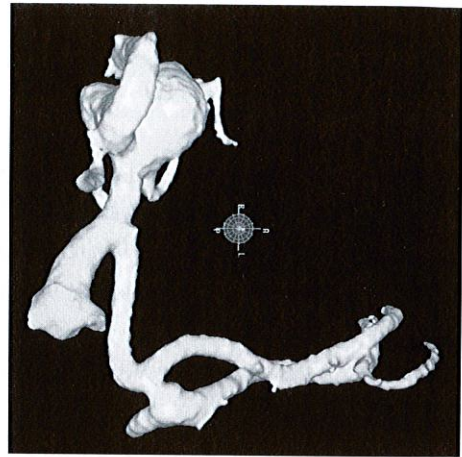


図8. 脳動脈瘤の例 脳動脈瘤と関連する血管を自由に観察できる。(データ提供先：藤田保健衛生大学病院)

Fly-through image of cerebral aneurysm

器官では十分な観察は難しい。この手法では、X線CTで分離計測できる器官に対しては自由に観察ができ、数mmの管の内部からの観察が可能である。これにより末梢(しょう)気管支、狭窄(さく)気管支への応用が拡大できると考える。また、視点位置、視線角度を自由に設定できるため、内視鏡では難しい挿入方向とは逆の方向からの観察も可能である(図7)。図7は、気管支分岐部に浸潤している肺がんを気管末梢部側から観察している画像である。

次に、内視鏡では観察不可能な器官の観察への応用が考えられる。一例として血管内部の観察が考えられる。図8は脳動脈瘤を外部から観察している画像である。脳動脈瘤を内部から観察、計測ができるだけでなく、外部から観察して他血管との相対位置関係を把握し、手術のアクセス方向を決定するなどの応用が考えられる。さらに、決定したアクセス方向から観察されるはずの画像をシミュレーションすることもできる。

である。今日、X線CTをはじめとしてさまざまな画像診断機器が臨床現場の最前線で活躍しているが、ここで紹介した高速ヘリカルCTがこれまでのX線CTによる画像診断をさらに発展させ、人体内部を自由に観察できる三次元画像診断技術として今後広く臨床の場で活躍することを期待している。

5 あとがき

人体内部を切り開くことなく観察できることは人類の夢



信太 泰雄 Yasuo Nobuta

那須工場医用機器第二技術部グループ長。
X線CTシステムの開発・設計に従事。
Nasu Works



鈴木 薫 Kaoru Suzuki

那須工場医用機器第二技術部副参事。
三次元画像処理ワークステーションの開発・設計に従事。
Nasu Works



平岡 学 Manabu Hiraoka

那須工場医用機器第二技術部主務。
X線CTシステムの開発・設計に従事。
Nasu Works