

低被ばくで3次元動態観察を可能にする 320列マルチスライスCT装置 Aquilion ONE / ViSION Edition

Aquilion ONE / ViSION Edition CT Scanner Realizing 3D Dynamic Observation with Low-Dose Scanning

風間 正博

斉藤 泰男

■ KAZAMA Masahiro

■ SAITO Yasuo

CT（コンピュータ断層撮影）装置は、3大疾患である脳血管疾患、心疾患、及びがんをはじめとして、様々な医療現場において欠かせない画像診断装置として進化を続けてきた。

東芝メディカルシステムズ(株)は、ヘリカルCT装置、マルチスライスCT装置を経て、1回転で160 mm幅の範囲を撮影できる320列マルチスライスCT装置 Aquilion ONEを開発し、脳や心臓などを3次元（3D）で観察することを可能にした。今回、最新の技術を導入することにより、従来機種よりも更に撮影時間を短縮するとともに大幅な被ばく低減を実現した、新世代のCT装置 Aquilion ONE / ViSION Editionを開発した。低被ばく撮影の実現は、Aquilion ONEの開発初期からのコンセプトであった連続回転スキャンによる3D動態観察を現実的なものとし、得られた4Dデータ（空間の3Dに時間軸を加えたデータ）に基づく新たな診断の実用化に大きく貢献すると考えられる。

Computed tomography (CT) scanners have been continuously advancing as essential diagnostic imaging equipment for the diagnosis and treatment of a variety of diseases, including the three major disease classes of cerebrovascular disease, cardiovascular disease, and cancer.

Through the development of helical CT scanners and multislice CT scanners, Toshiba Medical Systems Corporation has developed the Aquilion ONE, a CT scanner with a scanning range of up to 160 mm per rotation that can obtain three-dimensional (3D) images of the brain, heart, and other organs in a single rotation. We have now developed the Aquilion ONE / ViSION Edition, a next-generation 320-row multislice CT scanner incorporating the latest technologies that achieves a shorter scanning time and significant reduction in dose compared with conventional products. This product with its low-dose scanning technology will contribute to the practical realization of new diagnosis and treatment modalities employing four-dimensional (4D) data based on 3D dynamic observations through continuous rotations.

1 まえがき

CT（コンピュータ断層撮影）装置は、1970年代前半に実用化されてから既に40年以上が経過し、現在ではスクリーニングから精密検査まで様々な医療現場において欠かせない画像診断装置に進化した。実用化の初期には、一つの断面を、より短時間で、より細かく描出するための改良が進められた。そして、1990年前後に患者を移動させながら連続撮影するヘリカルスキャンが実用化されると、人体を3次元（3D）で捉える装置に変化してきた⁽¹⁾。更に1990年代末に登場した複数断面の同時撮影が可能なマルチスライスCTにより、ヘリカルスキャンの有用性は飛躍的に拡大した⁽²⁾。その後、東芝メディカルシステムズ(株)は、ヘリカルスキャンをすることなく、1回転で一つの臓器をスキャンし、連続回転スキャンにより臓器の動きを捉えるという将来ビジョンを掲げ、256列のプロトタイプ装置⁽³⁾を経て、2007年、1回転0.35秒で連続回転スキャンを実現する320列マルチスライスCT装置 Aquilion ONEを実用化し、3D動態観察を可能にした。Aquilion ONEは、従来のヘリカルスキャンを中心としたCT検査法とは異なる新たなCT検査法を実現した装置であることから、Area Detector CT (ADCT)、



図1. Aquilion ONE / ViSION Edition — 160 mm幅の領域に対して、低被ばくで3D動態観察を可能にするCT装置である。
Aquilion ONE / ViSION Edition CT scanner

若しくはDynamic Volume CTとも呼ばれている。

今回、当社が開発した新世代のCT装置 Aquilion ONE / ViSION Editionは、スキャン時間の短縮や、低被ばく化、操作性の向上、省電力化などを実現し、患者に優しく、より使いやすいCT装置へと進化した（図1）。特に、低被ばく撮影の実現は、連続スキャンによる3D動態観察の対象を拡大し、動

態に基づく機能診断の領域が広がりつつある⁽⁴⁾。

ここでは、Aquilion ONE / ViSION Editionの特長、それを支える最新技術、及び将来展望について述べる。

2 Aquilion ONE / ViSION Editionの特長

CT装置は、X線管とX線検出器とを被写体を挟んで対向する位置に配置し、被写体の周囲を連続回転しながら360°分の投影データを収集し、コンピュータにより被写体内部のX線減衰係数の3D分布を画像化する装置である。

Aquilion ONEでは、体軸方向に160 mm幅という広い撮影領域をカバーするX線管とX線検出器を実装し、1回転のスキャンで脳や心臓などの臓器全体を3D画像として描出でき、連続回転スキャンを行うことにより臓器の3D動態観察を可能にした。

新世代のCT装置 Aquilion ONE / ViSION Editionは、以下に示す特長を備えている。

2.1 スキャン時間の短縮

スキナ本体の耐遠心力性能を向上させることで、従来0.35秒であったスキャン時間を20%以上短縮し、最短0.275秒を実現した。これにより、高心拍の患者でもぶれの少ない画像が得られるようになり、低被ばくの1心拍撮影がしやすくなった。

2.2 低被ばく化

従来比で1.4倍の高感度化を実現した新X線検出器と、画像ノイズを最大50%低減（線量換算で最大75%の低減に相当）する画像再構成技術AIDR 3D（Adaptive Iterative Dose Reduction 3D）を搭載している。これらにより、連続回転スキャンが必要な3D動態観察時の被ばくを大幅に低減させることが可能になり、動態診断における臨床研究の加速につながっている。

2.3 操作性の向上

スキナ本体内部のユニットをコンパクト化することにより、CT装置のボア（開口径）を780 mmに拡大し、検査中の患者へのアクセス性を改善するとともに、撮影中に関節などを積極的に運動させる動態観察をしやすくした。

2.4 メタルアーチファクトの低減

医療現場では、様々な金属が治療などに使用されているが、今回、それらの金属から発生するアーチファクトを精度よく低減する処理SEMAR（Single Energy Metal Artifact Reduction）を搭載した。その結果、従来は困難であった金属周辺部の診断が可能になった。

2.5 省電力化

消費電力の多くは待機時の電力が占めるため、画像再構成ユニットの最適化、及び架台のスリープモードを導入し、約40%の消費電力削減を実現した。

また、撮影時間の短縮や、AIDR 3Dなどによる撮影条件の低線量化は、同時に撮影時の消費電力を低減するという波及効果をもたらし、病院経営や、地球環境に対しても優しいCT装置を実現した。

3 3D動態観察を支える被ばく低減技術

Aquilion ONEの開発コンセプトである3D動態観察は、同じ領域に対する連続回転スキャンが前提となるため、被ばく低減が必須である。2007年の実用化とともに、3D動態観察が可能になったものの、検査全体の被ばく線量の増加につながるため、その対象は限られていた。3D動態観察の対象を広げ、新しい機能検査として普及させていくためには、連続撮影しても従来の通常検査と同程度の被ばくに抑えることが求められる。

3D動態観察における被ばく線量を劇的に低減するためには、X線検出器感度の向上や、ノイズを抑える画像再構成技術などの基本的な部分において大幅な改良が必要である。ここでは、Aquilion ONE / ViSION Editionに用いた高感度大視野X線検出器と、AIDR 3Dについて述べる。

3.1 高感度大視野X線検出器

Aquilion ONEでは、1回転で160 mm幅の範囲に対してスライス厚0.5 mmの高精細な投影データを収集するため、約30万画素の検出素子を高精度に配列した大視野X線検出器が必要である。今回、Aquilion ONE / ViSION Editionでは、低線量でも高画質を維持することを目的に、感度を大幅に向上させた新しいX線検出器を開発した（図2）。

画像ノイズに対してはX線検出器のSN比（信号対雑音比）が大きく影響するが、SN比を改善するには、X線検出器の効率（幾何学的効率、吸収効率、発光効率、及び集光効率）を改善し、感度を増大させることが求められる。

入射X線に対するデッドスペースを最小限に抑えつつ反射率を最適化する素子間セパレータや、X線を光に変換するシンチレータでの光のロスを抑え効率よく光センサに導くためのシンチレータ加工プロセスなどによって、幾何学的効率と集光効

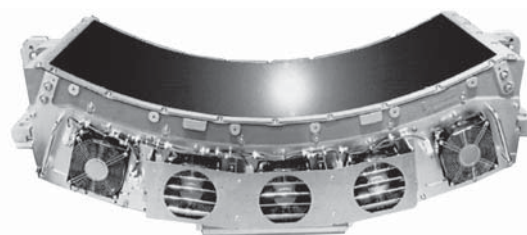
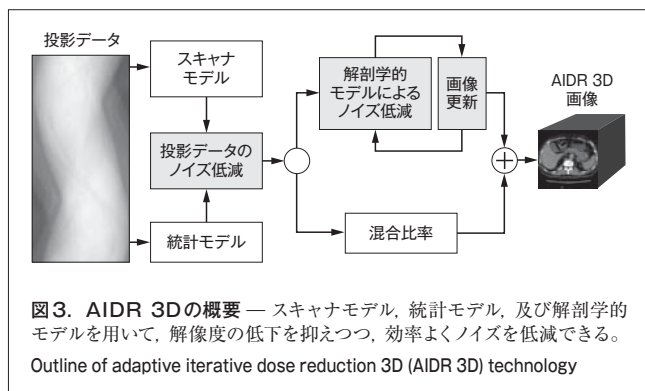


図2. 高感度大視野X線検出器 — 従来比で1.4倍の高感度化を実現し、低線量撮影でも高画質を維持できる。
High-sensitive large-area X-ray detector



率をバランスよく改善し、シンチレータ素材の改良による発光効率の向上と合わせて、従来比1.4倍の高感度X線検出器を実現した。

これは、低被ばく撮影において、被ばく低減効果に換算して最大30%に相当する。

3.2 AIDR 3D

画像再構成におけるノイズ低減処理は、CT装置の開発当初からの課題であり、様々な方法が適用されてきた。しかし従来のノイズ低減処理は、基本的には解像度とのトレードオフになり、いずれか一方を優先した場合、他方に大きな影響をもたらすものであった。

AIDR 3Dは、被写体である人体の特徴も考慮した逐次近似法の概念を組み合わせることによってノイズを低減した画像を再構成する技術であり、必要な部分の解像度の低下を抑えつつ、均質であるべき部分のノイズを大幅に軽減できる。

投影データに対してはスキャナモデルと統計モデルに基づくノイズ成分を、画像データに対しては撮影部位と組織構造に基づく3D解剖学的モデルに基づくノイズ成分を、それぞれ抽出する。ノイズ成分の抽出と除去を繰り返すことで、3D空間分解能の低下を抑えつつ、効果的にノイズを低減できる(図3)。

最大50%のノイズ低減効果があり、同じノイズの画像を得るための線量に換算すると、最大75%の低減効果(すなわち、従来の1/4の被ばく線量)に相当する。

再構成時間も従来と大差はなく、スキャンと連動して線量を設定できることもAIDR 3Dの特長であり、従来と比較してもスループットを低下させることなく使用できるノイズ低減処理になっている⁽⁵⁾。

4 3D動態診断のための4Dアプリケーション

より低被ばくの連続回転スキャンが可能になったAquilion ONE / ViSION Editionにおいて実用化が加速している3D動態データを用いた診断のために、様々な4Dアプリケーションソフトウェアを提供している。ここでは代表的な最新アプリケーションについて述べる。

4.1 脳血管領域の4D Cerebral Artery Morphological Analysis

脳動脈瘤(りゅう)の破裂リスク評価をサポートするには、脳動脈瘤を可視化し、高精度に測定することが求められる。

4D Cerebral Artery Morphological Analysisは、脳動脈瘤を自動的に抽出し、長径や、容積、アスペクト比、開口部分に対する容積の比などを計測する機能を備えている(図4)。

現在、臨床研究を進めており、連続回転スキャンで収集された経時的に変化する画像データに対して、心電図波形に同期した解析を行うことで心拍中の動脈瘤の壁の変化を捉えられ、破裂リスクの高い部分を認識できることが期待される。

4.2 胸部(気管)領域の4D Airways Analysis

気管軟化症やCOPD(慢性閉塞性肺疾患)の診断には、呼吸サイクル中の複数の位相における気管の3D画像を観察することが有効である。

4D Airways Analysisは、呼吸サイクル中に変動する気管を高い精度で追跡し、自動的に気管の直径や断面積を計測する機能を備えている(図5)。

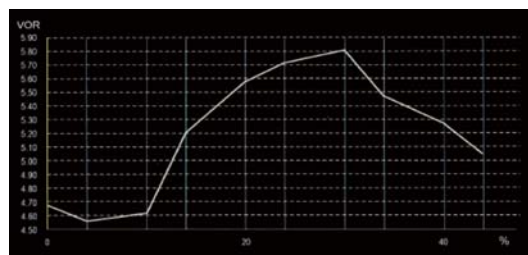
呼吸中の気管の形状変化を定量的に捉えることで、気管軟化症やCOPDの診断精度を向上させることが期待されており、この機能を用いた臨床研究も進めている。

4.3 整形領域の4D Orthopedic Analysis

日常生活で関節などを動かしたときに苦痛を感じる患者の中には、形態的には、はっきりとした異常を伴わない場合も少なくない。そのような場合、連続的な動きを可視化することで、患者の症状に対応した複雑かつメカニカルな異常を捉えられる場合がある。4D Orthopedic Analysisは、関節の異常



(a) 脳動脈瘤の経時的な変化を観察する複数の画像

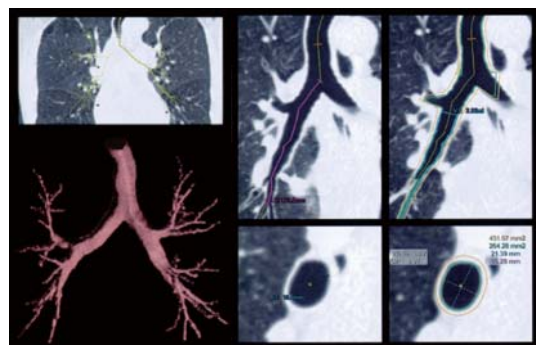


(b) 脳動脈瘤の開口部と容積の比の経時的な変化を心電位相に対してプロットしたグラフ

データ提供: 学校法人 藤田学園 藤田保健衛生大学病院

図4. 4D Cerebral Artery Morphological Analysisを用いた脳動脈瘤データの例 — 脳動脈瘤の経時的な変化を可視化して計測することで、破裂リスクが高い部位を抽出できる。

Example of temporal changes of cerebral aneurysm obtained by 4D cerebral artery morphological analysis



(a) 3D, 各断面を動態で観察できる複数の画像



(b) 指定した計測データの変化を、呼吸位相に対してプロットしたグラフ

(c) 計測データの位置 (ROI) と種類 (距離、面積、体積など) を示す一覧表

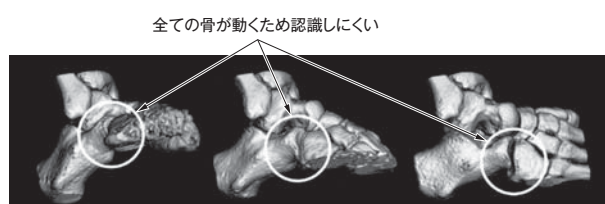
データ提供：一般財団法人 大原綜合病院

図5. 4D Airways Analysisを用いた気管データの例 — 気管の直径や断面積が、呼吸サイクル中にどのように変化するかを計測できる。

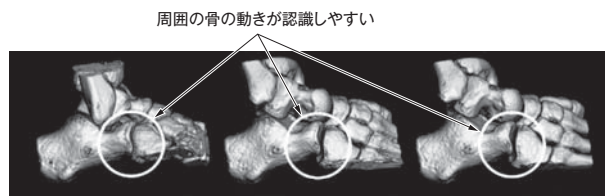
Example of data of trachea per one breathing cycle obtained by 4D airway analysis

を精度よく認識するための可視化・計測機能を備えている。

関節など複数の骨の複雑な動きに対しては、全ての骨が動く表示方法よりも、特定の骨を固定した表示方法のほうが、動きの異常を直感的に認識するために有効である。



(a) 従来の表示方法



(b) 指定した骨を空間上に固定した表示方法

データ提供：C.H.U. Central Hospital (フランス ナンシー市)

図6. 4D Orthopedic Analysisを用いた関節データの例 — 事前に指定した骨を固定して表示することで、動きの異常を認識しやすくする。

Example of 4D data of joint obtained by 4D orthopedic analysis

4D Orthopedic Analysisでは、関節などの動きを捉えた4Dデータを3次元表示する際に、視点の位置と向きを空間に対して固定するのではなく、事前に指定した骨に対して固定するように座標軸を変化させる機能を備えており、該当の骨を固定して観察できる。この機能により、複数の骨の複雑な動きに対して、異常を直感的に認識しやすくしている (図6)。

また、4D Orthopedic Analysisでは、複数の骨の4Dデータに対して、距離や角度を自動的に計測し、その経時的な変化を定量的に示す機能も備えており、動きの異常を定量的な指標で評価することも可能である。

5 あとがき

Aquilion ONEは、人体の動きまでも自在に観察したいというニーズを実現させることをコンセプトとして、20年以上前に開発がスタートした。今回開発したAquilion ONE / ViSION Editionでは、より低線量での3D動態観察が可能になったことにより、開発当初に目指した将来ビジョンが現実のものとなりつつある。

当社は、CT装置の進化に対して、より速く、より細かく、より広く、より低被ばくで、という方向を目指している。スキャン時間の更なる短縮、解像度の向上、撮影領域の拡大、及び飛躍的なノイズ低減に向けて、ハードウェアや、ソフトウェア、アルゴリズムなど、全ての角度から、CT装置の基本性能の革新、及び更なる被ばく低減を追求し、広く医療に貢献していく。

文 献

- (1) 木村和衛 他 監修. ヘリカルスキャンの基礎と臨床. 東京, 医療科学社, 1993, 294p.
- (2) Saito, Y. Multislice X-ray CT Scanner. Medical Review. **66**, 1998, p.1-8.
- (3) Endo, M. et al. Development and performance evaluation of the first model of 4-D CT-scanner. IEEE Trans. Nuclear Science. **50**, 5, 2003, p.1667-1671.
- (4) 片田和広. 面検出器CTの進化. INNERVISION. **27**, 6, 2012, p.62-63.
- (5) 杉原直樹. Aquilion ONEとAIDR 3Dの技術. 新医療. **38**, 12, 2011, p.92.



風間 正博 KAZAMA Masahiro

東芝メディカルシステムズ(株) CT事業部 CT開発部主査。
X線CTシステムの開発に従事。日本放射線技術学会会員。
Toshiba Medical Systems Corp.



斉藤 泰男 SAITO Yasuo

東芝メディカルシステムズ(株) CT事業部 CT開発部主査。
X線CTシステムの開発に従事。日本放射線技術学会会員。
Toshiba Medical Systems Corp.