医療被ばくの低減に向かう X 線 CT 装置*

X-ray CT System Working on Dose Reduction of Medical Exposure

五反田克己**
Katsumi GOTANDA

Key words

CT system, dose reduction, medical exposure, active collimation, helical scan, CAE analysis, tolerance analysis

1. はじめに

X 線 CT 装置は、被写体を挿入できるように中央部分に穴が開いている「ガントリ」、被写体を載せて撮影位置まで動かす「寝台」、および撮影条件設定・画像再構成・表示などを行う「コンソール」から構成されている（図 1 参照）。ガントリには図 2 のように X 線を照射する「X 線管装置」と X 線を検出する「検出器」が「回転ベース」に実装され、それらが対となって被写体の周りを回転するような機構になっている。

X 線管装置から発生した X 線は被写体を透過し、この透過した X 線の量を検出器で計測することができる。被写体内部の臓器によって X 線の吸収率が異なるため、X 線が透過した臓器により検出器で異なる X 線の量を計測できる。X 線 CT 装置では検出器で取得した 1 回転分の計測値から被写体内部での吸収率の分布を計算し画像を再構成することにより、鮮明な断層画像を得ることができる。現在、X 線 CT 装置では検出器の多列化が進んでおり、1 回転で複数の断層画像を撮影することが可能な装置が主流となっている¹⁾。

X 線 CT 装置は断層画像を得られるだけでなく、脳や心臓などの臓器全体を 3 次元画像として得られることから、検診から精密検査まで幅広く用いられている。そのため、検査にともなう被ばくへの関心が高まっており、被ばく低減技術の開発が重要となっている。

X 線 CT 撮影時の被ばく低減の手法としては、画像再構成の処理方法を見直すことで少ない X 線でも従来と同等の画像を得る手法や体形に合わせた最適な出力で撮影を行う手法²⁾などさまざまな方法があるが、本稿では特に精密な機構動作で被ばくを低減する手法であるアクティブコリメーションを紹介する。

図 2 に示すように、X 線 CT 装置ではガントリ内の X 線管装置の直下に X 線検出器機構が搭載されている。X 線検出器機構を高精度に動作させることで、必要な範囲にだけ X 線が照射できる。アクティブコリメーションは、この X 線検出器機構を精密に動作させることで被ばくを低減する技術である。

図 1 X 線 CT 装置

図 2 ガントリ内部構造

*原稿受付 令和元年 6 月 20 日

**キャノンメディカルシステムズ(株) (栃木県大田原市下石上 1385 番地)

図3 X線絞り機構

図4 ヘリカルスキャン

2. X線絞り機構

X線絞り機構の構造を図3に示す。X線絞り機構にはX線を遮蔽することができるスリットブレードが2枚取り付けられている。スリットブレードには、X線を遮蔽するためにモリブデンや鉛などの比重の大きな材料が使用されている。スリットブレードはモータを駆動させることで位置をスライドすることができ、2枚のスリットブレードの間隔を変更することで、その隙間から出てくるX線の照射範囲を変更することが可能となる。

3. アクティブコリメーションの原理

被写体に対し全身の検査が必要な場合、短時間で全身の撮影を完了させるため、ガントリを回転させながら寝台を動かすことでらせん状に撮影を行う場合がある(図4参照)。これをヘリカルスキャンという。近年、X線CT装置の回転速度は飛躍的に高速化しており、現在では1回転0.2秒を達成している。ガントリを高速で回転させながらヘリカルスキャンを行うことで、全身の撮影を数秒で完了させることが可能である。

ヘリカルスキャンではらせん状に撮影を行うため、図5に示すように撮影の最初と最後に断層画像の再構成に必要

アクティブコリメーションなしのヘリカルスキャン

アクティブコリメーションありのヘリカルスキャン

図5 アクティブコリメーション

図6 回転速度と遠心加速度

な1回転分のデータを得られない部分が出てしまう。この部分は画像として使えない部分となり、被写体にとっては不要な被ばくとなってしまいます。アクティブコリメーションは、ヘリカルスキャンに合わせてスリットブレードを高速で動作させることで、この断層画像の再構成に使用できない部分のX線を遮蔽し、被写体の被ばくを低減する機能である。

4. アクティブコリメーション機構

アクティブコリメーションを実現するためには、図5に示すように撮影開始時と撮影終了時にX線絞り機構に搭載されている2枚のスリットブレードを独立して駆動させる必要がある。また、ガントリ1回転の約半分の時間(100 msec程度)でスリットブレードの位置をスライドできる動作速度が要求される。このときスリットブレードを

図7 スリットブレードの遮蔽範囲

図8 強度・剛性解析

図9 公差解析と寄与度

高精度に位置決めすることができれば、X線の照射範囲をより最適に設定することができるため、スリットブレードの位置決めは数 μm の精度が要求される。一方で、ガントリを回転させると回転にともなう遠心力が発生する。そのため、X線絞り機構は遠心力加重下で、高速高精度で位置決めが可能な機構を実現する必要がある。

図6に回転速度とスリットブレードが受ける遠心加速度との関係を示す。前述のとおりガントリの回転数は近年飛躍的に高速化しており、高速回転領域では、スリットブレードに重力加速度の20倍以上の遠心力が発生する。このような大きな遠心力によりスリットブレードがたわむと、X線を遮蔽する位置がずれ、結果的に被ばくが増えることとなる(図7)。

そこで、遠心力が負荷されたとしてもスリットブレードがたわまないように、X線絞り機構の強度・剛性解析を行っている。例えば、図8のように解析結果の応力分布図から応力集中箇所や変形状態・変形の起点などを観察することによって、スリットブレードを保持するフレームの肉厚はどの程度必要なのか、X線絞り機構のどの部分に補強が必要なのか、強度・剛性に寄与しない不要な部分はどこなのかなどを検討し、形状の最適化を行っている。

X線絞り機構の組み立て時のばらつきもスリットブレ

ードの位置決め精度を悪化させる要因となる。組み立て時のばらつきは、X線絞り機構を構成している各部品の寸法が一品一品異なることによって生じる。そこで、各部品の寸法のばらつきがあったとしてもスリットブレードの位置決め精度を確保できるように、各部品の寸法公差・幾何公差を設定している。これらの公差の設定に当たっては、公差解析を用いて部品の寸法精度がばらついたときの位置決め精度をシミュレーションすることで確認している。スリットブレードを構成する各部品の寸法公差・幾何公差を設定し、それらを基に公差解析を実施すると、図9のように位置決め精度の最大値、最小値、および位置決め精度に対する影響の大きい寸法公差・幾何公差を求めることができる。このシミュレーションを繰り返すことで、アクティブコリメーションの精度を確保するために必要な各部品の寸法公差・幾何公差を導き出し図面に反映させることで、組み立て時のばらつきの最小化を図っている。

スリットブレードの高精度な位置決めを実現するためには、組み立て時の調整も重要である。例えばスリットブレードが傾いて取り付けられているとX線絞り機構が想定どおり動作したとしても、X線を想定どおりに遮蔽することができなくなる。そのため、スリットブレードの取り付け位置や傾きを数 μm の範囲で調整する必要がある。こ

マイクロメータ レーザ スリットブレード X線絞り機構

図 10 スリットブレード調整

れを実現するため、図 10 に示すようなレーザセンサとマイクロメータが取り付けられた組み立て調整治具を使用し、高精度な組み立て調整を行っている。レーザセンサは、スリットブレードの位置を数 μm の精度で検出することが可能である。また、マイクロメータは、スリットブレードの位置を数 μm 単位で調整することが可能となっている。組み立て調整時はレーザセンサでスリットブレードの位置を常時確認しながら、マイクロメータを用いてスリットブレードの取り付け位置や傾きを調整することで最適化を行っている。

このような設計から生産までの一連の取り組みを行うことで、アクティブコリメーション機能に求められる高精度な位置決めを実現している。

アクティブコリメーション機能を用いることで得られる被ばく低減の効果についてはこれまでにいくつかの報告があるが、例えば上野らの報告³⁾によると、アクティブコリメーションを用いることで画像の再構成に使用できない範

囲の線量を減少でき、被写体に与えられる線量の減少につながる事が示されている。

5. お わ り に

現代医療では X 線 CT 装置を用いた画像診断は欠かせないものとなっており、CT 撮影にともなう被ばくを低減する技術の開発もますます重要となっている。本稿では被ばく低減技術の一例であるアクティブコリメーションを紹介した。

X 線 CT 装置ではアクティブコリメーション以外にもさまざまな被ばく低減技術の開発が進められており、今後も医療に貢献していくために機器開発とともにさらなる被ばく低減への取り組みを進めていく。

参 考 文 献

- 1) 内蔵啓幸, 奥村美和, 津雪昌快: 3 大疾患の診断に活躍する CT 装置, 東芝レビュー, **62**, 1 (2007) 11.
- 2) 日本医用画像工学会: 医用画像工学ハンドブック, (2012) 236.
- 3) 上野博之, 松原孝祐: 多列検出器型 CT におけるアクティブコリメータの線量低減効果に関する検討, 日本放射線技術学会雑誌, **73**, 12 (2017) 1238.

五反田 克己

2004 年九州大学大学院工学府機械工学専攻修士課程修了, 東芝メディカルシステムズ(株) (現 キヤノンメディカルシステムズ(株)) 入社. CT 開発部配属, CT 装置の機構設計に従事.