X 線 CT 装置

X-ray CT System

執筆者プロフィール

松澤 洋平

Yohei MATSUZAWA

■1999 年九州大学工学部機械工学科卒業, 2001 年九州大学大学院工学府機械航空工学科修了

■主として行っている業務・研究

・X 線 CT 装置の開発に従事

■勤務先

東芝メディカルシステムズ(株) CT 事業部
CT 開発部 機構設計課 主任

(〒324-8550 栃木県大田原市下石上 1385)

E-mail: yohei3.matsuzawa@toshiba.co.jp

1. はじめに

X 線 CT 装置は、図 1 のように X 線を出す「X 線管」と X 線を検出する「検出器」が対になって「回転ベース」に実装され、それらが回転しながら

被写体に X 線を透過させ、その透過量を収集してコンピュータにて断層画像を作成する装置である。また、図 2 のような外観であり、被写体が挿入できるように中央部分に穴があいている「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・画像作成・表示などを行う「コンソール」から構成されている⁽¹⁾。X 線 CT 装置は、単なる断層画像だけでなく、撮影範囲分の各断層画像から三次元画像も表示できるので、画像診断機器として医療現場において幅広く用いられている。本稿では、この X 線 CT 装置に対して、機械設計がどのように関わっているのかを紹介する。

2. X 線 CT 装置における重要な性能と課題

X 線 CT 装置における重要な性能の一つにスキャン時間(ガントリ 1 回転あたりに要する時間)がある。これはカメラでの写真撮影と対比させて考えてみるとわかりやすい。カメラで写真を撮るためには光が必要である。また、動いている被写体をブレなく撮るためには、速いシャッタースピードが必要となる。これを X 線 CT 装置に置き換えると、光⇒X 線、シャッタースピード⇒スキャン時間となり、X 線 CT 装置でも同様に、「画像がブレな

く撮影できること」は、装置の性能を語るうえで、重要な項目となる。カメラでは、ブレない写真を撮るために、被写体が動かないよう工夫することもできるが、X 線 CT 装置においては、人体内部の各臓器の動きを止めることはできない。すなわち X 線 CT 装置においては、ブレない画像を撮影するために、「スキャン時間はより短いこと」が求められる。しかしその一方で、図 1 のように、回転ベースに X 線管や検出器、高電圧ユニットなどを実装する必要があり、それら回転ユニットの総重量は約 0.5t にもなる。これらを高速で回転させると、各回転ユニットは大きな遠心力を受けることになり、また振動も発生しやすくなる。

3. 遠心力への対応

図 3 にスキャン時間と、回転ユニットが受ける遠心力との関係を示す。約 15 年前は、1 回転あたり 1 秒以上かかっていたものが、最近では 0.35 秒まで短縮できるようになった。その代わり、回転ユニットが受ける遠心力も飛躍的に大きくなっており、スキャン時間が 0.35 秒においては、重力加速度の約 26 倍の遠心力が発生するようになった。このような大きな遠心力により、X 線管や検出器を実装している

図 1 X 線 CT 装置 回転ユニット 概略図

図 2 X 線 CT 装置 外観図

図3 スキャン時間と遠心力の関係

図4 X線焦点から検出器までの幾何学的配置図

回転ベースが撓み、X線焦点位置がずれたらどうなるのか？図1のXZ平面における断面図を図4に示す。X線焦点～X線絞りまでの距離、X線絞り～検出器までの距離を図4のように仮定すると、X線焦点位置がZ軸方向に0.1mmずれた場合、幾何学的に検出器上では0.4mm(4倍)もずれることになる。X線を検出したい位置と実際の検出位置が変わることは、撮影画像に悪影響を与えるため、上述のような遠心力がかかったとしても、回転ベースはできる限り撓まないことが求められる。このため、「どのような形状が最も撓まないのか」を追求し、強度・剛性シミュレーションを用いて検討を重ねた結果、図1のような各回転ユニットにかかる遠心力を内周面で受けるような「シリング形状の回転ベース」が考案された⁽²⁾。さらに、図5のようにシミュレーション時の応力分布図・応力集中箇所・変形状態・変形の起点などを観察することによって、回転ベースの肉厚はどの程度必要なのか、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を検討・評価し、最適な形状づくりに取り組んでいる。

4. 振動への対応

一方、スキャン時間の短縮に伴い、振動も二次関数的に大きくなっていく⁽³⁾。この振動も撮影画像へ悪影響を与えるだけでなく、患者に不安を与える要因にもなる。では、X線CT装置において何が振動を発生させているのか？回転ベースには、前述のとおりX線管、検出器、高電圧ユニットなど多数の質量の大きいユニットが実装されているが、それぞれの重心位置は異なる。この「各回転ユニットの重心位置の違い」が、回転部のアンバランスとなり、高速回転すると大きな振動を発生させる。すなわち振動を低減するためには、アンバランスな状態を極力低減させる必要があり、回転ベースにはバランス調整用のおもりを実装している。回転時の振動変位の実測データから、図6のようなシミュレーションを用いて、回転周方向、回転軸方向

図6 回転アンバランス調整シミュレーション例

におけるアンバランス位置を把握し、そこから調整用おもりの最適位置、質量を算出してバランス調整を実施している。さらに、ガントリの振動は回転アンバランスだけでなく、装置各部の剛性の影響も受ける。このため、実測データから装置の振動モードを可視化できるようにして、振動に影響を及ぼす部位がどこなのかを考察し、さらなる振動低減に取り組んでいる。

5. おわりに

本稿では、ガントリ回転時に発生する遠心力・振動への対応を中心に紹介してきた。なお、動きが速い心臓を撮影して全くブレない画像を得るためには、通常の心拍数であればスキャン時間は0.125～0.25秒程度必要といわれており⁽⁴⁾、さらなるスキャン時間の短縮が今後も求められる。また、遠心力・振動の分野以外においても、X線CT装置には、排熱・騒音低減への対応、コンパクトな外形の実現、超精密加工への挑戦など、さまざまな機械設計技術が必要であり、機械設計技術者が活躍できる分野が多数存在する。

文 献

- (1) 山中健史・豊嶋 毅・信藤康孝, CT装置の回転バランス調整技術, 東芝レビュー, 66-9 (2011), 36.
- (2) 森下康之, マルチスライスCT技術, 日本放射線技術学会雑誌, 56-12 (2000), 1398.
- (3) 山中健史・豊嶋 毅・信藤康孝, CT装置の回転バランス調整技術, 東芝レビュー, 66-9 (2011), 37.
- (4) 山下康行, 極めるマルチスライスCT, (2001), 120, 中外医学社.