

# エックス線 CT による画像計測の高精度化に関する研究

材料技術課 林 千歳<sup>\*1</sup> 山本 貴文 住岡 淳司

## 1. 緒言

エックス線 CT は、非破壊検査や 3 次元計測に加え、3D スキャナとして STL データ作成が可能であり、ものづくりの各段階における有用なツールである。しかしながら、CT 像の撮影条件は適正な範囲が狭く、ノイズやボケ、試料のブレ等の影響により良好な断層像が得られないことが多いため、読影や計測、STL データ作成に支障があった。

そこで本研究では、エックス線 CT システムのスキャン条件と寸法精度、画像の像質、および分解能の関係を明らかにすることを目的とした。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験装置

本研究では、当センターのエックス線 CT システム (Yxlon International GmbH 製 Y.CT Compact 450XL-Y) を用いた。エックス線管球は、焦点寸法が 400 $\mu\text{m}$  (EN12543)、管電圧が最大 450kV、管電流が最大 1.55mA である。試料テーブルは、Fig. 1 に示すようにエックス線管球と LDA (ラインセンサ) の間を三段階移動できる構造となっている。LDA は、有効長 573mm で、16bit センサ素子が 250 $\mu\text{m}$  間隔で配置されており、テーブル中心からオフセットして設置し、180° の回転で全体をスキャンする標準スキャンと、360° の回転で全体をスキャンするオフセットスキャンの両方に対応できるようになっている。また、主要なスキャン条件は、プロジェクション数 (試料 1 回転あたりの撮影コマ数に相当)、積分時間 (1 コマの撮影時間に相当) 等である。

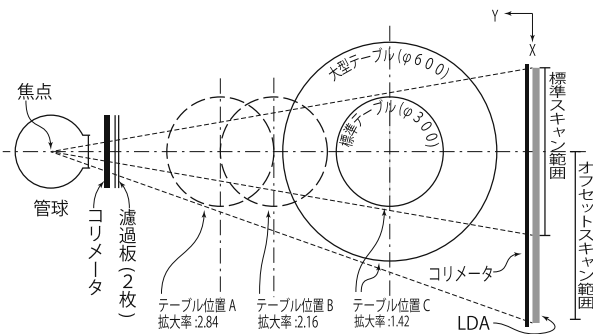


Fig. 1 CT 装置内部のレイアウト

### 2.2 試験および評価方法

#### (1) 寸法精度

Fig. 2(左) に示す試験片を用い、各テーブル位置において、試験片の重心を試料テーブルの中心に設置し、標準スキャンにて 450kV、1.55mA の照射条件で板厚方向の中心部をスキャンの後、CT 制御ソフトにより直径 5mm の穴

の中心間の距離を測定し、本装置の寸法精度を評価した。

#### (2) エックス線照射条件と解像度の関係

Fig. 2(右) に示す直径 80mm 厚さ 15mm の Al 合金製丸棒に 0.2、0.3、0.4、0.5mm のドリル孔を空けた試験片を用い、断層像中のドリル孔の輝度分布から、スキャン条件と解像度の関係を評価した。

#### (3) 試料位置と分解能の関係

Fig. 3 に示す分解能測定用ラインペア (LP) ゲージ (1.0 ~ 3.2LP/mm) を  $\phi 90\text{mm}$  の紙製円筒に貼り付け、試料テーブル上の様々な位置に設置して CT スキャンを行い、試料位置やスキャン条件と分解能の関係を調査した。

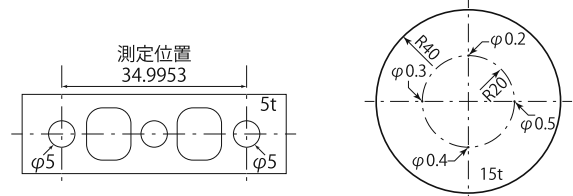


Fig. 2 寸法精度測定用 (左) と解像度測定用 (右) 試験片

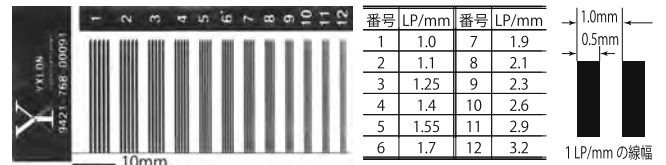


Fig. 3 分解能測定用ラインペアゲージ

## 3. 実験結果および考察

#### (1) 寸法精度

Table 1 に、CT での測定値と三次元測定器による測定値から求めた測定誤差を示す。この値は、断層像の空間分解能、CT テーブルの位置精度に起因するもので、メーカー保証値である  $\pm 50\mu\text{m}$  の範囲内であった。

Table 1 各試料テーブル位置での寸法誤差

テーブル位置	拡大率	測定値 (mm)	誤差 ( $\mu\text{m}$ )
A	2.84	35.0064	11
B	2.16	34.9590	-36
C	1.42	35.3514	40

#### (2) スキャン条件と解像度の関係

テーブル位置 C で  $\phi 600\text{mm}$  のテーブル端に試料を置き、管電圧 450kV、管電流 1.55mA、積分時間 30ms 一定として、プロジェクション数を変化させ試料の断層像を撮影した後、ドリル孔の確認を行った。その結果の一例を Fig. 4 に示す。 $\phi 0.2\text{mm}$  のドリル孔は、900 プロジェクションでは

<sup>\*1</sup> 現 ものづくり研究開発センター

ノイズに埋もれ確認できないが、3,600 プロジェクションではその存在が明確に確認できた。テーブル位置 C では 250 $\mu$ m 間隔のセンサ素子に平均 1.42 倍拡大して投影されることや、焦点が 400 $\mu$ m の線源を用いていることから、0.2mm のドリルホール (2.5LP/mm に相当) は本 CT システムで確認できる下限に近い大きさであると考えられる。

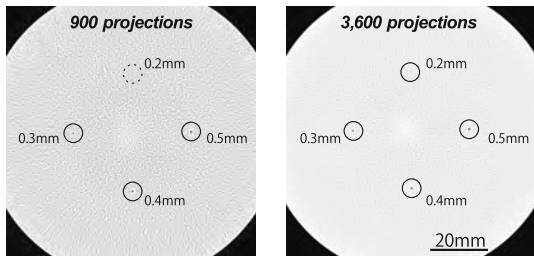


Fig. 4 ドリル孔試験片の断層像の例

### (3) スキャン条件と分解能の関係

試料テーブルの中心に LP ゲージを貼り付けた円筒を置き、テーブル位置、プロジェクション数を変化させたときの、LP ゲージの隣り合う 2 本の分離が確認できる位置 (LP 値) と、プロジェクション数と積分時間から求められる LP ゲージの移動速度の関係を示す。

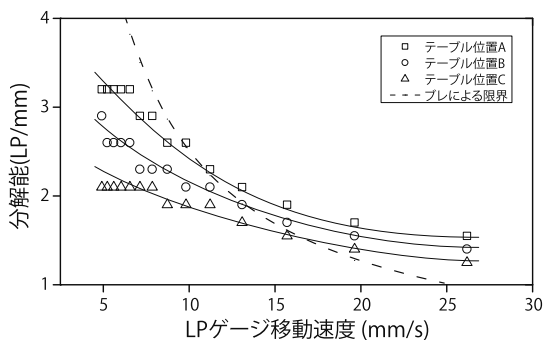


Fig. 5 試料テーブル位置を変えたときの LP ゲージ移動速度と LP 値 (分解能) の関係

拡大率が大きな位置ほど分解能が高く、LP ゲージ移動速度の増加に伴い分解能が低下する。図中に破線で示した「ブレによる限界」は、積分時間 (20ms) の間に LP ゲージが移動し、線間の隙間を隠すことによる分解能の限界を示したものである。実際には、この限界速度を超えた

キーワード: エックス線 CT、寸法精度、解像度、分解能、STL

## The Improvement of the Spatial Resolution of a CT Measurement

Material Technology Section; Chitoshi HAYASHI, Takafumi YAMAMOTO and Junji SUMIOKA

A method of evaluating the performance of the computed tomography (CT) system with the line pair specimen was investigated.

As a result, the measurement accuracy and the spatial resolution of the CT system is affected by a multitude of factors such as the X-ray source (focal spot size), the detector (pixel size), and the used magnification in fan-beam geometry. Also the measurement conditions, especially the number of projections per full rotation have a great influence.

条件でも、エックス線の回折やノイズのため、Fig. 6 のように隣接する 2 本が分離しているように見えることがあった。



Fig. 6 の LP ゲージの透視像の例

Fig. 7 に、テーブル位置 C で  $\phi$ 600mm のテーブルを取り付けた際に、テーブル中心からの距離を 45-295mm に変えて LP ゲージを置き、プロジェクション数を変化させたときの、LP 値 と、プロジェクション数と積分時間から求められる LP ゲージの移動速度の関係を示す。

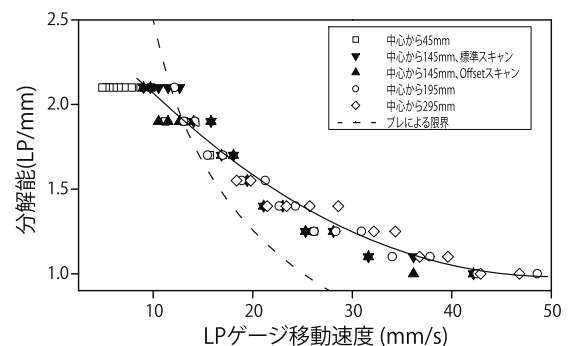


Fig. 7 試料設置位置を変えたときの LP ゲージ移動速度と LP 値 (分解能) の関係

中心から 145mm の位置に LP ゲージを置き、標準スキャンとオフセットスキャンを行い、分解能の差を評価したが、両者に有意な差は認められなかった。分解能は、試料位置によらず LP ゲージの移動速度のみに支配されている。また、Fig. 5 と同様に「ブレによる限界」を示したが、回折等による透視像のノイズ等のため、LP ゲージが高速で移動する条件で、見かけ上の分解能が高くなった。

### 謝辞

寸法精度測定用試料を貸与いただいた (株) エクスロン・インターナショナル、解像度測定用試料を貸与いただいた (独) 宇宙航空研究開発機構に深く感謝いたします。