

X線CTスキャンMCT225による3D造形体の内部品質評価

Internal quality evaluations of 3D molding products by X-ray CT scan “MCT 225”

久世 哲嗣

Tetsuji KUSE

1. はじめに

金属3D造形は複雑形状の部品、金型等を効率的に製造する画期的な次世代技術として、航空・宇宙、自動車、エネルギー、生体材料等様々な分野で注目を集めている。3D造形に使用される金属粉末は、造形装置内でスムーズに搬送されるよう流動性の高い球形状であることが求められている。このような市場要求に対して、当社のガスアトマイズ粉末は高い球形性を確保していることに加えて、低酸素であること、多品種対応が可能であることといった特徴を有しており、3D造形市場でも優位性を発揮できると期待している。

当社では3D造形に必要な粉末特性を基礎的に検討することと、ユーザーでの造形開発を積極的にサポートすることを目的に、2015年に造形装置を1台導入した。さらに2017年3月、開発サポート体制の更なる強化を目的に、2台目の造形装置を導入した。

一方、金属粉末の溶融・凝固を繰り返すニアネットシェイプ工法である3D造形技術において、造形体の内部欠陥（空孔）の発生状況を定量的に解析すること、および得られた造形体の寸法精度を検証することは必須である。このような評価は現状エンドユーザーにて検証されているが、粉末供給メーカーとして粉末の品質を実証するためのデータの蓄積が必要になってきている。

上記背景のなか、当社粉末事業部では2017年3月に非破壊内部検査装置として、Nikon社のX線CTスキャン「MCT225」を導入した。本稿ではその設備の概要と解析結果の一例を紹介する。

2. X線CTスキャンの基本原則

X線とは波長1pm（ピコメートル:1mmの10億分の1）から10nm程度の電磁波のことを言い、物質へ入射すると吸収されながら物質内部を通過する。CTスキャン装置は、X線が透過する際の物質ごとの「透過のしやすさ」の違いを利用して、対象物の内部構造を解析する。対象物の内部に密度差のある介在物や空孔が存在する場合、X線の透過率に差が生じる。X線CTスキャン装置は、被検査物に様々

な方向からX線を入射し、その透過量を計測することで、内部欠陥の位置や大きさを評価することができる非破壊検査装置である。

図1にCTスキャンによる画像解析処理のイメージを示す。X線源から照射されたX線が被検査物を透過することで、一枚のスライス画像が作成される。2次元で構成されるスライス画像を深さ方向に連続的に撮影し、再構成処理を施すことで、三次元的な内部構造を把握することが可能となる。また、内部欠陥（空孔）の情報については、その位置や大きさを全数取り込み、統計処理を施すことも可能である。

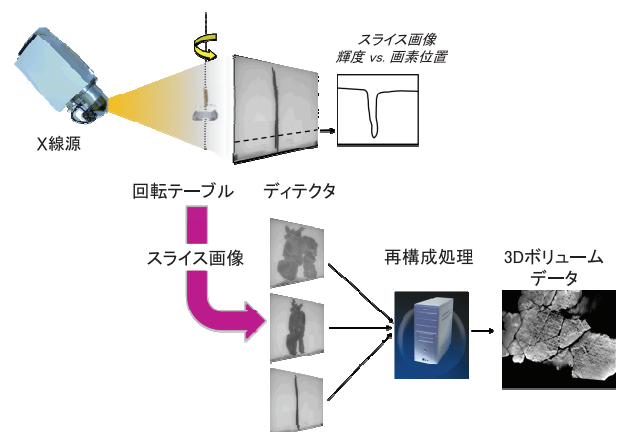


図1 Nikon提供の画像解析処理イメージ

当社では、内部欠陥の位置精度レベルと分解能の観点から重視しNikon社の装置MCT225を選定した。

3. 設備概要

MCT225の外観写真を図2、仕様を表1に示す。本装置の測定精度は約10μmであり、このような高い位置精度を保証するために、メーカーでは下記の技術を採用している。

- キャビネット内の温度制御を行うことで熱膨張による伸び縮みを抑制している。
- 部材や装置全体の剛性を高め、測定対象物の位置制御を正確におこなう。
- トレーサビリティのとれている専用校正ツールによって校正をおこなう。

また、当装置で取得できる主なデータは下記の通り。

- ・内部の断面写真
- ・内部欠陥（空孔）の位置
- ・内部欠陥（空孔）の大きさの個数分布
- ・形状のCAD情報変換

本装置は、形状をCAD情報に変換できるので、本機構により、図面のない複雑形状の部品をCAD変換し、その情報をもとに所望の金属粉末で同一形状の3D造形を施すことも可能となる。



図2 MCT225装置の外観¹⁾

表1 MCT225装置の仕様 (Nikon社カタログ値¹⁾)

測定精度(μm) [*]	約 10 μm
最大測定サイズ	外径 250mm, 高さ 450mm
最大測定荷重	5kg
移動範囲	X: 480mm, Y: 450mm Z: 730mm, R: 360deg
ディテクタ	16bit 4M pixels
倍率	1.6×～150×
欠陥認識サイズ	2D 2 μm
X線源	開放管反射型 225kV/225W
スポットサイズ	3 μm マイクロフォーカス
キャビネット温度	19～21℃
周辺温度	17～25℃
X線漏洩線量	<1 μSv/hr
キャビネットサイズ	W2214mm×D1275mm×H2205mm
装置重量	4200kg

^{*}最大外径 250mm、高さ 250mm、単一素材サンプル測定時

4. 当社での内部品質評価例

3D積層造形品をX線CTスキャンで評価した結果の一例を紹介する。用いた金属はインコネル718相当成分で、当社300kg炉ガスアトマイズ装置にて粉末を作製後、所定

粒度(10 μm～50 μm程度)を篩により分級して取り出した。その粉末を当社で導入済の3D積層造形装置(EOS M280)にて、所定形状に造形し供試材とした。

4.1. 内部の断面写真

内部断面写真の一例として、図3に示すギア形状についての解析結果を紹介する。X線CTスキャン条件は、管電圧220kV、管電流660 μAで、測定時間は約50分であった。取り込んだスライス画像は1500枚で、画像の1例を図4に示す。

CT画像の明瞭さは、測定対象物を透過するX線の量と透過力(エネルギー)によって決まる。X線量が多いと測定対象物の隅々にまでX線が透過するため、得られる画像の寸法精度は高くなる。一方、X線のエネルギーが高いと、密度やサイズの大きな測定対象物の欠陥も捕捉することができる。しかし、エネルギーが高過ぎるとコントラストが付かなくなるため、内部欠陥が見落とされるリスク要因となる。よって、X線の量と透過力を変化させる、管電圧と管電流を最適な数値に設定することが重要である。

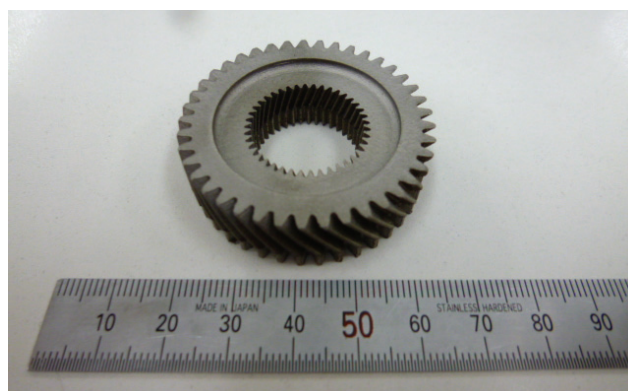


図3 3D積層造形装置で造形したギアの外観

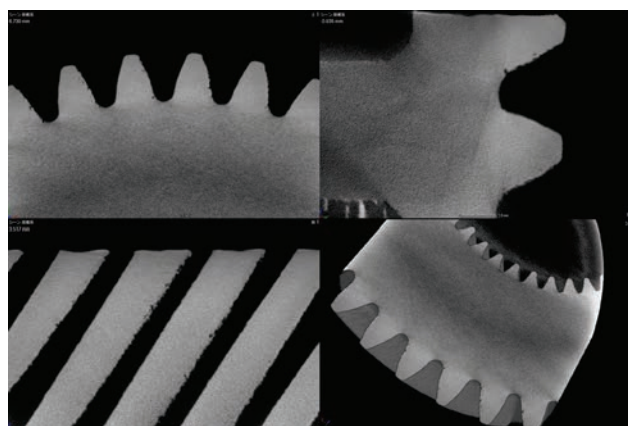


図4 CTスキャン像の一例

4.2. 内部欠陥（空孔）解析

3D造形体を作製する際は、レーザーにより粉末を溶融しながら積層させて目的形状を得る。その際のレーザー照射強度（エネルギー密度）を変化させて2種類の造形体（試験片サイズ10mm角）を作製し、X線CTスキャン解析に供した。図5に得られた断面写真の一例を示す。

本画像解析では、内部空孔の大きさを色別で階層化することが可能である。図5の断面写真の比較により、エネルギー密度の大きい条件において、空孔の少ない良好な造形体が得られることが定性的に確認できる。一方、エネルギー密度が小さい条件においては、数十 μm から最大で150 μm 程度の空孔が存在していることが確認できる。

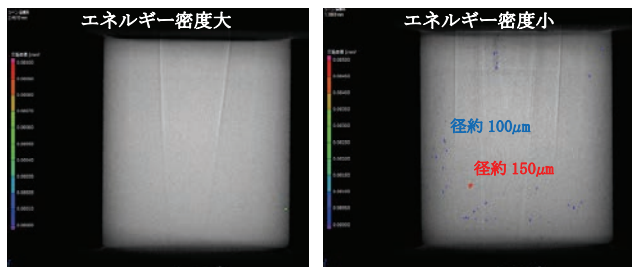


図5 造形体のCTスキャン画像

図6は本解析により得られた全ての断面画像から得られた情報をもとに、空孔の大きさとその頻度を統計処理したデータ例である。いずれの条件においても、最小で約30 μm 程度の空孔を捕捉できていることが分かる。また、その頻度（個数）は、エネルギー密度大の条件でより少ないことが定量的にも確認できる。同時に試料に存在する空孔のトータル体積率も計算可能であり（図中の空孔率参照）、この数値比較からも本実験ではエネルギー密度大の条件において良好な造形体が得られていることが分かる。

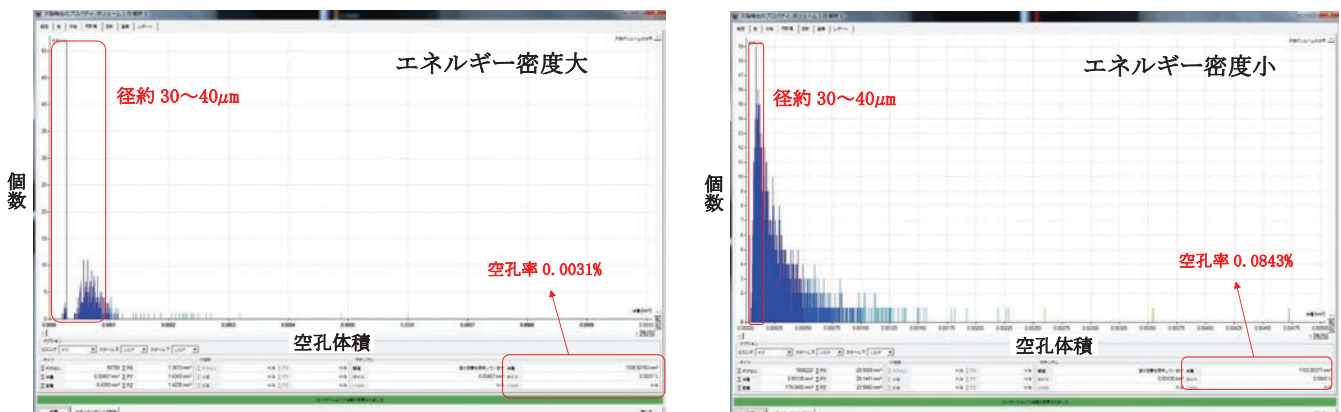


図6 造形体の空孔個数分布

5. おわりに

当社は新規にNikon製X線CTスキャン装置「MCT225」を導入した。本装置を用いて、すでに当社に導入されている3D造形装置で作製した造形体サンプル（10mm角）を解析したところ、最小で30 μm 程度までの空孔を捕捉することが可能であった。さらに本装置を用いることにより、造形品の寸法精度も把握することができる。

現状、3D造形装置を保有して、非破壊検査による内部品質データも検証しながら開発を行う粉末メーカーは少ないと考えられ、ユーザーでの開発スピード促進に貢献し、当社粉末製品の拡販につながるものと期待している。

参考文献

- 1) ニコンインステックホームページ
<http://www.nikon-instruments.jp/jpn/industrial-products/xray-ct-inspection/ct/mct225>