

CTスキャンによる3Dデジタルモデルの産業応用に関する研究

坂下勝則*¹、花坂寿章*¹、徳本真一*¹

要 旨

CTスキャンによる断面画像を積層して得られる3Dモデルを用いた内部欠陥解析、三次元測定、レプリカ作成等の産業支援技術について解説するとともに、独自のX線CT実験システムを開発したのでその概要を報告する。

1. はじめに

より良い製品づくりをめざし、開発・設計・製造にコンピュータが活用されている。しかし、CADモデルと現物の形状が異なれば、シミュレーションと実験の不一致を招くことになる。そこで、現物から得た高精度な仮想現物と設計したCADモデルとを融合させることで、品質や性能向上などの設計問題を解決するクローズドループエンジニアリング（あるいは現物融合型エンジニアリング）が提唱されている。^{1) 2)}

本研究では、X線CTが複雑な内部構造を観察できることを利用し、現物を高精度にデジタル化する技術を開発し、産業支援への応用と可能性を探った。

また、内外形状測定を主目的とする独自のX線CT実験システムを開発した。

研究を進めるにあたり、既存産業用CTスキャナ³⁾のワークステーションおよびソフトウェアをリニューアルし、計算処理の高速化と大容量化を達成した。ソフトウェアは、独自のスキャンモードを提案し、高品質な3Dデジタルモデルが構築可能なデータを短時間で取得できるようになった。また、最新モデリングシステムとの融合により、処理容量を増大させ、従来と同等の分解能(0.3mm)でφ600mmエリアの3Dモデル化を実現し、研究を効率化した。

2. 3Dデジタルモデル

X線CTによる断面画像を積層することで得られる3Dモデルは、画像のピクセル(pixel)に相当するボクセル(voxel)と呼ばれる微小立方体で満たされた空間モデルで、CT値を濃度として表現する。CT値は、空気-1000、水0の値を持つ。また、ボクセルモデルの空気と物体の境界に連続した微小平面を生成することで、ポリゴンモデル(多面体)が得られる。³⁾ 本研究では3Dデジタルモデルとして、ボクセルモデルとポリゴンモデルを扱っている。図1はデッサン用小型石膏像のボクセルモデルをレンダリングした画像である。スキャン時間は212分、断面画像数は215枚、ボクセルサイズ0.293mm、ボクセル数は(x, y, z) = (1511, 1265, 734)で、モデル容量は2.676GBである。



図1 石膏像の一括スキャンモデル

3. アルミダイカストの内部欠陥解析

アルミダイカスト等の鋳造部品では、凝固時の収縮による引け巣や空気の巻き込み巣等の内部欠陥が生じることがあり、鋳造シミュレーションによる不良品対策や鋳造方案設計が行われている。X線CTによるボクセルモデルを用いた内部欠陥解析は、鋳造シミュレーション結果の検証に有効であるとともに、鋳造技術の開発、改良に効果的である。

図2は、アルミダイカストの内部欠陥解析の例で、ボクセルサイズは0.293mm、欠陥抽出のための閾値(CT値)はキャリブレーションによる値を用いた。最小欠陥容積はボクセル8個分に相当する0.2mlとした。

欠陥解析結果と鋳造シミュレーション結果を重ね合わせることで、シミュレーション精度の検証を行うことができる。また、ボクセルモデル用の可視化ビューアソフトを用いることで、一般のPCで観察することが可能であり、ビューアがない場合は様々な動画を作成し欠陥の分布状況を知ることができる。

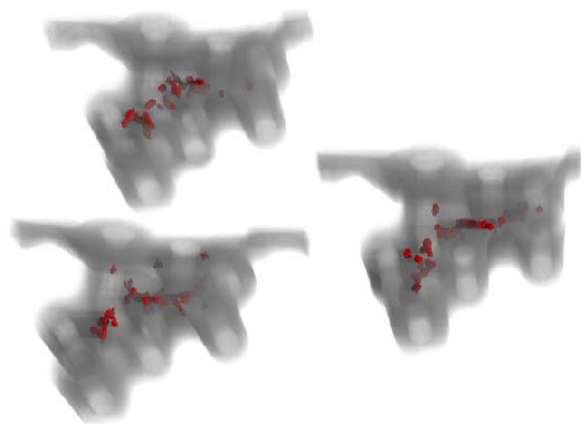


図2 内部欠陥解析の例

4. ボクセルモデルを用いた形状測定

三次元座標測定は、スタイラスを対象物表面に接触させた点の座標を計算し、複数の点から平面や円筒などの要素を定義し、寸法測定を行う。一方、ボクセルモデルや光学式3次元スキャナによる点群モデルでは、凹凸を含む多数の離散データから算出した面要素であり、接触式座標測定による面要素とは一致せず測定結果が異なるため、そのままでは従来の寸法検査と置き換えることはできない。現在、精度の評価方法等の標準化⁴⁾が進められている段階である。

産業用CTスキャナを用いてアルミフレーム材をスライス厚1mmでスキャンしたボクセルサイズ0.293mmのボクセルモデルについて仮想三次元座標測定を行った結果、直径6.70mm（ノギス測定）の穴径測定において、平均6.748mm、分散（ 4σ ）0.15～0.25mmで、穴の向き（姿勢）によって分散が異なる傾向があった。この分散は実際の穴径のバラツキではなく、円筒面定義した際のボクセルモデルの表面の凹凸である。このことから、ボクセルサイズよりも小さい誤差で測定できるが、接触式測定の面よりは後退した面での測定となることが確認できた。

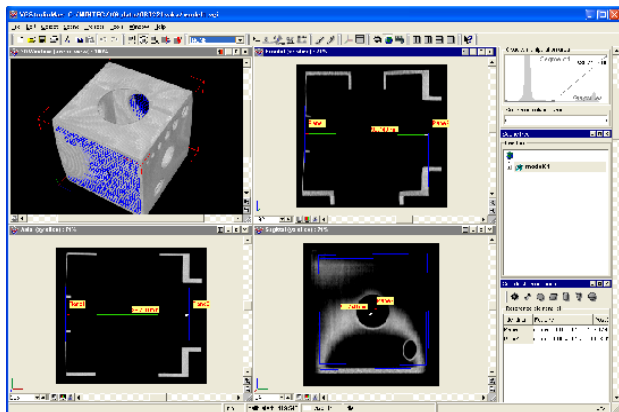


図3 評価用光造形モデルの形状測定

プラスチック成形品が冷却（収縮）速度差によってヒケやソリで変形するのと同様に、光造形においても硬化面の収縮により既造形部分が変形する。光造形において、変形しやすい形状の評価用モデルを作成し三次元測定した例を図3に示す。

5. X線CT実験システムの開発

産業用CTスキャナは医療用CTと異なり、X線源と検出器を固定し、対象物を回転させることで、断面再構成データを取得している。そのため、姿勢によって変形するような柔軟物には不向きである。ここでは、対象物を固定することなく（置くだけで）計測可能なCT実験システムの開発を目標とし、入手可能な最新機器で安価にシステムを構成し、X線源、検出器、回転ステージ等の機器制御、RAW画像（全く手が加わっていない画像）の取得と処理、3次元再構成のためのパラメータ処理等のシステム開発を行った。

現在、精度検証のため、対象物を回転させて投影画像を取得し、解像度 $50\mu\text{m}$ の3次元再構成に成功している。表1はシステムの主要な仕様、図4はX線CT実験システムの検出部外観で左側がX線源、右側が検出器である。図5はプラモデルをスキャンし、再構成したボクセルモデルの画像である。

表1 X線CT実験システムの仕様

X線源	管電圧 max. 50kV 管電流 max. 1mA 焦点 $70\mu\text{m}$ 照射角 25°
X線検出器	フラットパネル型検出器 (CsI) 画素サイズ $50 \times 50\mu\text{m}$ 受光面 $120 \times 120\text{mm}$ 画素数 2400×2400 (有効 2240×2344) フレームレート 2 フレーム/s
スキャン方式	コーンビームCT（第3世代）
アルゴリズム	Feldkamp（3次元逆投影法）
再構成ボクセルモデルの例	投影画像 $2048 \times 2048 \times 360$ 枚 サイズ $25.6 \times 25.6 \times 25.6\text{mm}$ ボクセル数 $512 \times 512 \times 512$ 階調 12bit

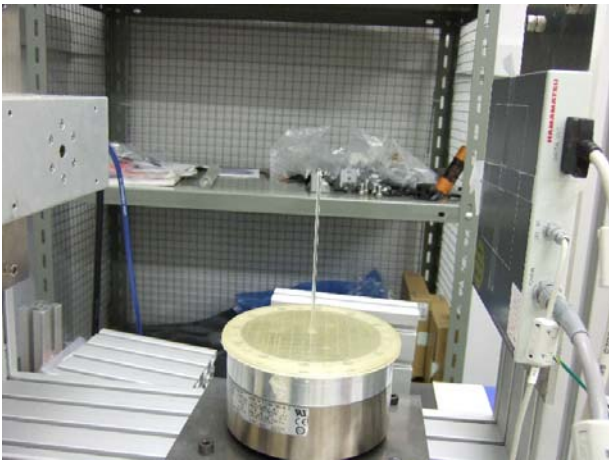


図4 X線CT実験システム（検出部）

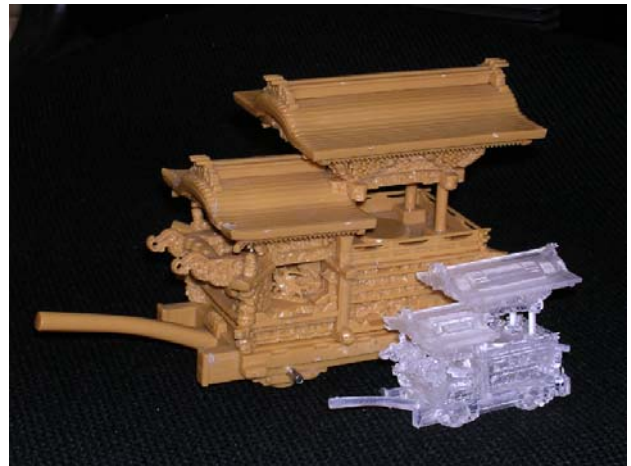


図6 だんじりのミニチュア

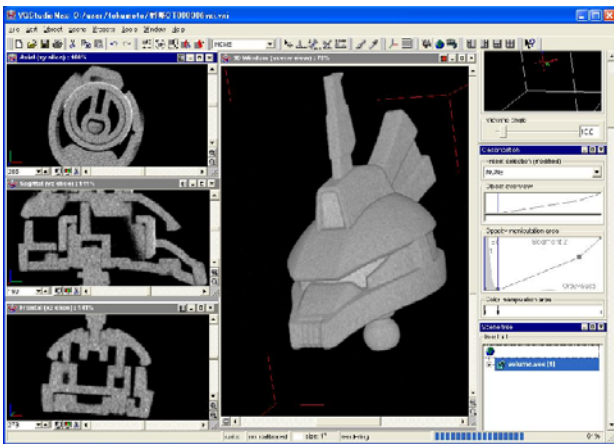


図5 再構成ボクセルモデル

既存産業用CTスキャナでは、1断面ずつ再構成し積層するため、XYとZの解像度が異なるため、全体形状を補間したボクセルを生成するが、開発したX線CT実験システムでは、3次元一括再構成を行い、XYZの解像度が等しい等方性ボクセルが得られるのが特徴である。精度及びCT値については基準となるファントムをスキャンして検証を進めていく予定である。

6. 立体コピーによるレプリカの事業化調査

図6はだんじりのプラモデルをスキャンし、光造形で製作したミニチュアモデルである。光造形はラピッドプロトタイピングとして試作用途に使用されるが、金型や消失型でもできない複雑な物も造形できるという特徴を持っている。また、短納期が要求される試作品と異なり、光造形スケジュールの空き時間を活用することで低コスト化し、複雑なミニチュアモデルとしての商品化の可能性を検討している。

7. おわりに

本研究は、平成17年度から3年間、戦略的研究開発プランとして実施した。X線CTは断面を観察するだけでなく、3Dデジタルモデル化することで、ものづくりにおけるリバースエンジニアリングなどの工学分野だけでなく自然科学などの学術研究、文化財等の調査などにおいても可能性が広がっている。本報告では述べていないが、柔軟物の内部変形、粉体成型品の密度分布、梅果の空洞、青果物の空洞及腐れ、鍛造における内部空隙の変形、木材分解の定量評価、ステントの変形、等々について研究を支援した。今後も、開発したX線CT実験システムの高性能化を進めるとともに、様々な研究課題に取り組みたいと考えている。

参考文献

- 1) 鈴木宏正；デジタルエンジニアリングを支える離散幾何モデル、精密工学会誌、vol. 69, no. 4, pp. 469-472, 2003
- 2) <http://www.den.rcast.u-tokyo.ac.jp/~suzuki/research/cle.html>
- 3) 坂下勝則 産業用CTスキャナとボリュウムレンダリングによる自由形状物のモデリング、非破壊検査、vol. 50, no. 11, pp. 704-709, 2001.
- 4) 光学式非接触三次元測定機精度評価法標準化コンソーシアム <http://optcmm-cons.metrology.jp/>