



実物の内部構造 3D データを用いた 透明可視化模型の製作と評価*

鈴木悠平** 高橋尚吾*** 間杉綾乃† 滝 克彦† 越水重臣††

The development and evaluation of a transparent 3D model from the internal structure of original objects

Yuhei SUZUKI, Shogo TAKAHASHI, Ayano MASUGI, Katsuhiko TAKI and Shigeomi KOSHIMIZU

We produced transparent models that visualize the internal structure of original objects, utilizing latest 3D imaging devices such as X-Ray CT, engineering software and processing technique. Whereas the models produced with a 3D printer usually have several shortcomings, including cloudiness in vertical direction and limitations in size, material and durability, the new method enables us to produce a low-cost, high-quality transparent models by effectively coordinating each step in the procedure. As an example application of this method, we produced transparent models that visualized internal shapes of garden hoses and conducted an experiment and evaluation using them. These transparent models are effective for the observation of internal phenomena and state. Thus, this method of reverse engineering has great potential applications in the areas of industrial products, medicine and education.

Key words: transparent 3D model, reverse engineering, internal structure, 3D scanning technology, X-Ray CT

1. 結 言

三次元画像化や三次元計測といったイメージング/スキャニング技術を利用すれば、対象物の 3D データを得ることができる。中でも X 線 CT は、内部構造を伴う対象物の連続的な断層像を非破壊で得られるため、近年では可視化やリバースエンジニアリングに広く用いられるようになった¹⁾。一方、3D データの出力方法の一つとして、試作や意匠確認に用いられる 3D プリントは、一般に外形形状の再現を目的としている。そのため、内部構造を可視化した模型を製作するためには、透明な材料で出力できる高額な装置が必要であり、安価な装置では製作が困難である。透明な材料を用いたとしても、樹脂を積層した境界や部位の厚みによって透明度が落ち、内部が良く見えない場合があったり、サイズや素材、耐久性に制約が生じる。これまで、人体における内部構造（声道）を CT 画像から忠実に造形する試み²⁾が行われてきた。しかし、気体を流す実験は可能であるが不透明な模型であるため、液体を流し観察するといったニーズに応えるためには更なるアプローチが必要である。

そこで本研究では、三次元イメージング/スキャニング装置から得た内部構造をもつ現物の 3D データを元に、その内部構造を可視化した透明模型の製作と評価を行った。この模型の製作にあたり、3D プリントを使用せず、一般的に使用される加工機、透明レジンを用いることで、低コストでの加工が可能となった。また、デジタルエンジニアリングによる 3D データ処理手法を駆使することにより、現物に即した内部構造を持ち、実験や観察に適した透明模型を容易に製作することができた。

ポンプや食品製造機などの流体を扱う工業製品の解析、実習用生体模型などの医学分野、博物館における動態展示などの教育

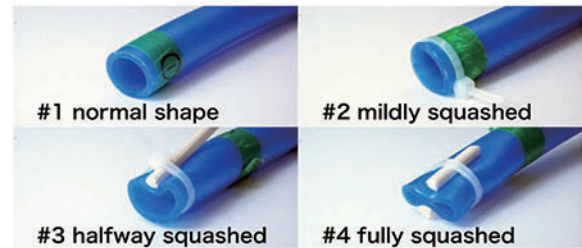


Fig.1 Four differently shaped hoses for 3D scanning

用途で同様なる可視化、観察のニーズがあり、技術の応用と展開が可能である。

2. 透明可視化模型の製作

2.1 製作の概要

内部構造を伴う透明模型を製作するためには、除去可能な材料で最終的に空洞となる部分をつくり、その周囲に透明な材料を流し込み、後から内部構造となる部分を除去することが必要となる。そこで型の材料にはロウを、模型自体の材料には透明レジンを用いた。ロウは、湯煎によって容易に除去することができるうえ、常温では切削が可能であり、また、レジンと混ざりにくいため、本手法向きの素材といえる。

今回、本手法の適用例として、水撒きホースの内部構造（図 1）の透明可視化模型を製作した。これを選定した理由は、身近なものでありながら、人が内部状況を確認することが困難であるためである。そして、この模型に実際に水を流すため、これに接続するための継ぎ手をサーフェス系 CAD ソフトを用いて作成した。以下ではそのプロセスを示す。

2.2 3D データの処理

2.2.1 リバースエンジニアリングソフトを用いた処理

4段階に潰れ方を変えたホース（図 1）を X 線 CT（島津製作所製、inspeXio SMX-225CT）で撮像した。撮像したボリュウムデータのサイズは 512×512×480pixels、画素サイズは 0.0499453mm/pixels である。リバースエンジニアリングソフト（日本ビジュアルサイエンス製、PointMaster）を使用し、撮像したボリュウムデータからホースの内部構造を抽出し、ポリゴ

* 原稿受付 平成 27 年 4 月 2 日

掲載決定 平成 27 年 9 月 4 日

** 学生会員 産業技術大学院大学（東京都品川区東大井 1-10-40）

*** 産業技術大学院大学（東京都品川区東大井 1-10-40）

† 日本ビジュアルサイエンス(株)（東京都新宿区新宿 6-26-2）

†† 正 会 員 産業技術大学院大学（東京都品川区東大井 1-10-40）

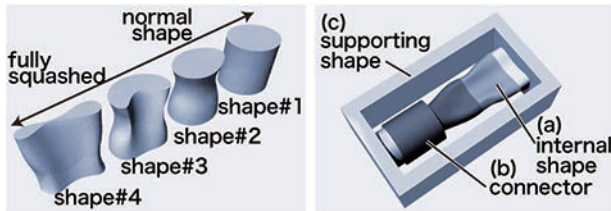


Fig.2 Inner shape of hoses

Fig.3 3D data for cutting work



Fig.4 The wax block after cutting work



Fig.5 A resin model of the inner shape of a hose



Fig.6 A transparent model with hose connector

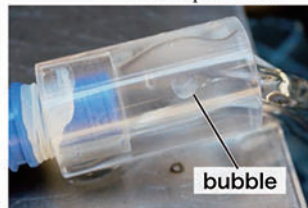


Fig.7 Bubbles diminishing by water flow

ン化を行った (図 2) . さらに, このポリゴンデータからサーフェスを生成し, IGES ファイルとして出力した. このような曲面連続のデータに変換することで, サーフェス系 CAD ソフトを用いたモデリングが容易になる.

2.2.2 サーフェス系 CAD ソフトウェアによるモデリング

サーフェス系 CAD ソフト (Rhino5) を使用して継ぎ手とホースの内部構造とを滑らかに補間する形状をモデリングした. 図 3(a)はホースの内部形状, 図 3(b)はモデリングによって補間した部分, 図 3(c)は切削加工時にモデルが外れないようにするための補助部である.

2.3 加工プロセス

2.3.1 ロウ型の切削加工と透明レジンの封入

Roland DG 製モデル MDX-40A (以下, 切削加工機) を使い, ホースの空洞部分のロウ型(図 3)を両面切削した. エンドミルは R1.5 Ball で, 切り込み量, ツールパス間隔はともに 0.1mm ピッチである. 切削後のロウ型を図 4 に示す. これを透明レジン (日新レジン株式会社製, クリスタルレジン) を用いて円柱型に成型・封入した (図 5) . レジンは硬化時に熱が発生するため, ロウが溶けないよう数回に分けて流し込んだ. また, レジンへの気泡混入防止策として真空脱泡機を使用した.

2.3.2 透明模型の切削加工と湯煎によるロウの除去

図 5 に示したように, ロウ型が完全に封入されるように多めにレジンを流し込んでいるため, レジンによって蓋がされている状態となっている. このままでは湯煎をしてロウを除去することができないため, 切削加工機を使い不要な部分を切削した. 湯煎の際は, お湯の温度が高すぎるとレジンがやわらかくなり変形してしまうため注意が必要である. その後, ヤスリがけ, コンパウンドによる研磨をして表面を透明に仕上げた.

3. 透明可視化模型を用いた実験

図 6 に示したようにホースの透明可視化模型とホース継ぎ手を接続し, 水を流したときの様子を観察した. この様子を図 7

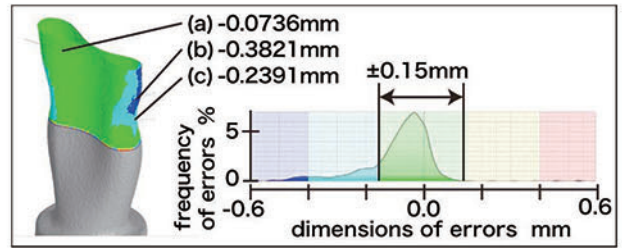


Fig.8 The result of evaluation of a 3D model relative to an original object

に示す. その結果, 透明模型内部に気泡が停滞している様子を確認することができた. 今回, 模型を円柱型に成型したため, 内部が拡大されてみえている.

4. 評価

4.1 加工精度の評価

評価準備として, 製作したホース透明模型を X 線 CT で撮像した. このボリュームデータのサイズは 1024 × 1024 × 738pixels, 画素サイズは 0.0775242969mm/pixels である.

リバースエンジニアリングソフトを用いて, 現物のホースと製作したホース透明模型の形状を比較した結果を図 8 に示す. その結果から, 模型全体のうち 80.4%(図 8(a)などの部分)が ±0.15mm の精度で製作できていることが分かった. 一方で, F 図 8(b)や図 8(c)に示したように, 0.38mm~0.24mm 程度模型のほうが小さい箇所があった. これは, 両面切削にあたってワークを反転させる際の位置合わせのズレによる加工誤差と推察される. また, 模型のほうが全体的に小さい傾向があるのはレジン重合による収縮が原因と推察される.

4.2 透明性の評価

模型の材料に透明レジンを使用したことで, 厚みによって透明度が落ちることはなかった. しかし, 視認性に問題が起きるほどではないが, 内部構造の表面が多少濁って見える(図 6). これは, ロウ型の微細な凹凸が転写されたことで表面が荒れたものと推察される. 表面がより滑らかなロウ型を用いることで透明度を改善できると考えられる. あるいは, 別の改善方法として研磨が挙げられるが, ホースの内部空間が狭いため, ヤスリがけやコンパウンドによる研磨は困難であるという課題が残る.

5. 結 言

本研究では, 次のような結果を得た.

(1)三次元画像から内部構造を再現した透明可視化模型の製作を行った. 3D プリンタを使用せず, 一般的な加工機, リバースエンジニアリングソフトを組み合わせることで, 実験や観察などの用途に適した, 現物に即した形状の透明模型を簡易かつ低コストに製作できた.

(2)実際にホースの内部構造を可視化した透明模型の製作を行い, 加工精度の評価を行ったところ, 全体の 80.4%が ±0.15mm の精度で加工できていた. 一方, 内部構造の表面に多少の濁りがみられるため, 今後製作手法を改善していく必要がある.

参 考 文 献

- 1) 滝彦彦, ほか: 三次元画像処理のためのソフトウェア技術の実際, 日本非破壊検査協会講演大会講演概要集, (2011) 225.
- 2) 白坂康俊, ほか: 声道の立体模型作成の試み, 弘前医療福祉大学紀要, (2010) 37