

鼻腔・副鼻腔模型の造形精度の調査*

○北村達也 (甲南大) 杉浦唯 竹本浩典 (千葉工大) △鴻信義 (慈恵医大)

1 はじめに

ヒトの鼻腔・副鼻腔は複雑な形状をしており、その音響特性は音声にさまざまな影響を及ぼす。鼻腔・副鼻腔およびそれらを含む声道の模型を作成し、その音響特性を計測する研究は古くから試みられており [1]、近年の3Dプリンタの普及によってこの方法による研究は増えている [2]-[6]。しかし、模型の造形精度を検証した研究は見当たらない。そこで、本研究では製作した模型の形状をCTスキャンにより精密に計測し、模型の元となったCADデータとの比較を行う。

2 方法

2.1 実験協力者のCT撮像

本研究で対象としたのは健常な成人男性1名のCTデータである。これは杉浦ら [7] が対象にしたものと同一である。撮像に先立ち研究の趣旨等を文書に基づいて説明し、同意書への署名にて承諾を得た。CT装置は東京慈恵会医科大学附属病院に設置されたCANON Aquilion Primeである。撮像は実験協力者が仰臥位にて鼻音/m/発声中に行い、空間解像度は $0.38\text{ mm} \times 0.38\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$ 、撮像時間は1 sであった。/m/の発声は、舌を口蓋に密着させ発声しやすい高さで行わせた。なお、本研究は同病院の倫理委員会の承認を受けている(受付番号: 30-471(9492))。

2.2 声道領域の抽出と模型データの作成

Mimics (マテリアライズ社)にて声道領域(鼻腔、副鼻腔領域を含む)および顔面の領域を抽出した。その際、杉浦ら [7] により決定されたCTデータ上の体組織と空気の閾値 -190 を用いた。声門は開口された状態である。次いで、3-matic (同社)にて抽出した領域に厚さ3 mmの壁を付与し、STL形式にて保存した。本稿ではこれを原データと呼ぶ。原データを図1に示す。

2.3 模型の製作

DMM.com社の3Dプリントサービスを利用し、ナイロン素材で模型を一体成型した。3Dプ

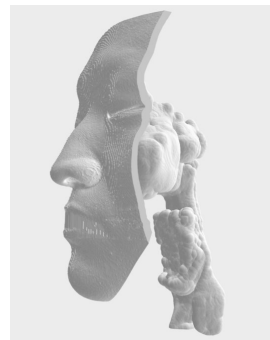


Fig. 1 STL data of nasal and paranasal sinuses with 3-mm thick wall.

リントは粉末焼結方式のEOSINT P760 (EOS社)である。積層ピッチは0.12 mm、参考値として示されている精度は $\pm 0.30\text{ mm}$ かつ長軸方向に $\pm 0.15\%$ である。

この素材は不透明であり、中空構造の成型が可能であるが、材料を抜くため直径5 mm以上の穴が必要とされている [8]。副鼻腔には直径5 mm以下の空間もあるため、これらが再現されているかが着目点の1つである。

2.4 模型のCT撮像

クロスメディカル社に設置された産業用CT装置METROTOM 800 130 kV (カールツァイス社)にて模型の3次元形状を撮像した。撮像条件は以下の通りである。管電圧100 kV、管電流110 μA 、集積時間500 ms、感度8.0X、テクタモード 2×2 、イメージサイズ横728 pixel \times 縦920 pixel、ピクセル/ボクセルサイズ比100%、ボクセルサイズ190.38 μm 。なお、模型のサイズが1度に撮影できるサイズを超えていたため、2回に分けて撮影したものを統合した。得られたCTデータから模型の領域を抽出し、STL形式にて保存した。本稿ではこれを計測データと呼ぶ。

2.5 造形精度の検証

CT用ソフトウェアVGSTUDIO MAX (ポリウムグラフィックス社)にて原データと計測データとを自動的に位置合わせし(ベストフィットモードを使用)、各点の偏差を求めた。

*Verification of modeling accuracy of 3D-printed nasal and paranasal model by KITAMURA, Tatsuya (Konan Univ.), SUGIURA, Yui, TAKEMOTO, Hironori, (Chiba Institute of Technology), and OTORI, Nobuyoshi (The Jikei Univ.).

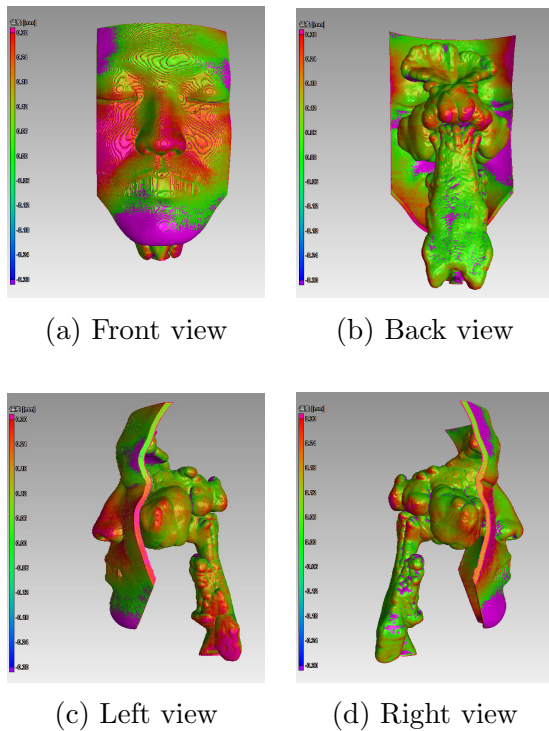


Fig. 2 Color maps for deviation between the original and measured STL data.

3 結果と考察

原データと計測データの表面における偏差のカラーマップを図2に示す。この図では -0.30 mm から 0.30 mm の偏差が青から赤のグラデーションで示されており、その範囲を超える領域はマゼンタ、紫で示されている。緑で示されている領域は偏差が0に近い領域である。図2によると、ほとんどの領域にて偏差が $\pm 0.30\text{ mm}$ の範囲にあるが、オトガイ部など一部でそれを超えている部分もある。この結果は上記の3Dプリンタの精度(参考値)におおむね対応する。

偏差に関する統計値を求めたところ、偏差の絶対値の最大値はそれぞれ 0.57 mm であった。また、表面積の90%で偏差が 0.21 mm 以内、98%では 0.30 mm におさまっていた。

原データと計測データの差異が顕著であった横断面を図2に示す。青とマゼンタの線はそれぞれ原データ、計測データに対応する。矢印で示した部分で2つの輪郭線に大きなずれがあることがわかる。また、本稿では図示しないが、ごく一部の断面にて原データでは分割されている領域が計測データでは結合しているケースも見られた。ただし、目視により観察した限りでは、原データに存在する小腔が計測データで完全に充填されていることはなかった。

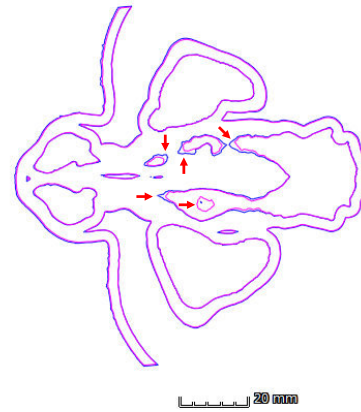


Fig. 3 Original and measured STL data on a transverse plane. Blue and magenta lines show the original and measured data, respectively.

以上のことから、3Dプリンタによる一体成型によって原データはほぼ再現されるものの、3Dプリンタの精度に応じた偏差が生じ、ごく一部ではそれを超える偏差が生じる場合があると結論できる。

4 おわりに

本稿では、民間の3Dプリントサービスにて鼻腔・副鼻腔模型を一体成型にて製作し、その造形精度をCTスキャンにより調査した。そして、模型の音響計測とシミュレーションの比較[4]の基礎となるデータを示した。

謝辞 本研究はJSPS科研費(No. 19K12031)の支援を受けた。本研究の実施にあたり、内尾紀彦氏、慈恵医大 今川記恵氏、(株)クロスメディカル 菅原慧氏、植原良太氏、(同)DMM.com 杉谷氏の協力を得た。

参考文献

- [1] 小山, 日本耳鼻咽喉科学会会報, 69, 1177-1191 (1966).
- [2] 平瀬ら, 日本建築学会環境系論文集, 80, 751-758 (2015).
- [3] Havel *et al.*, *Rhinology*, 55, 81-89 (2017).
- [4] Kitamura *et al.*, *Proc. Inetspeech2017* 3472-3476 (2017).
- [5] 松崎ら, 音講論(春), 767-768 (2019).
- [6] Shiraishi *et al.*, *J. Voice* (in printing).
- [7] 杉浦ら, 音講論(春), 767-768 (2020).
- [8] ナイロン (DMM.make), <https://make.dmm.com/print/material/5/>