

3Dプリンタを活用した音響教育のための教材作成 —言語聴覚士養成コースでの取り組み事例—*

◎辻慎也, 荒井隆行 (上智大)

1 はじめに

言語聴覚士の養成校において、音響音声学・聴覚心理学は必修科目になっており[1], 国家試験の出題範囲としても重要な位置を占めている[2]。

音響音声学において音声生成の音響理論[3-5]を講義などで扱うとき、音声を発する際の声道形状を模擬した物理モデルである声道模型[6-8]を活用することで教育効果を高めることが可能である[9]。言語聴覚士養成校の学生の多くは必ずしも理系的な背景を有さず[10], 声道模型による教育効果は特に高いと考えられる。

実際に、近年刊行された言語聴覚士養成校向けの教科書『最新言語聴覚学講座 音響学』の第4章・第5章では、音源フィルタ理論の解説にあたり、母音の声道形状を3円筒管で近似したスライド式3音響管や日本語5母音の声道模型による実験が体系的に取り上げられている[11]。

上智大学荒井研究室のホームページでは、音響音声学デモンストレーション[12,13]の一部として、スライド式3音響管が紹介されている他、3Dプリンタにより印刷可能な日本語5母音の声道形状に対応する声道模型(VTM-T20)が公開されている。

声道模型により音を産出する際は、リード式音源などの喉頭音源を模擬した音源が必要となる。音響音声学デモンストレーションのページでは入力する音源の例として、電動式人工喉頭や笛式人工喉頭が紹介されている。音声言語医学の観点からも、それらは自身が非常に優れた教材である。一方、専用の音源を教育現場ごとに新たに準備することが難しい場合もある。

そこで、本稿では、上記の教科書に沿った講義・実習など、声道模型を教育の場で活用する機会を更に広げるために、3Dプリンタで

印刷可能なスライド式3音響管やVTM-T20に対応するリード式音源部分などの作成に取り組んだ。また、言語聴覚士養成コースでの実践を通じて検討した教育的効果についても報告する。

2 作成した3Dモデル

本稿で作成した3Dモデルは全て、GitHubリポジトリ[14]にて公開している。3Dモデルの開発にはOpenSCAD(2021.01)[15]を用いた。作成したモデルの印刷はPLA素材を用いて家庭用の3Dプリンタ(Anker, AnkerMake M5)とスライサーソフトウェア(Anker, eufyMake Studio 3D)により行った。

2.1 スライド式3音響管

3Dプリンタにより印刷されたスライド式3音響管をFig. 1に示す。音響管本体とそれに対応するリード式音源・狭めのスライダのアタッチメントとで構成されるようにした。

音響管は設計値で全長170 mm, 外径26 mm, 内径20.3 mmとした。この内径は樹脂の収縮を考慮して、出力後の実寸がおおよそ20 mmとなるような設定であった。

リード式音源は音源部分の本体とその中に設置するリード固定パーツとで構成された。音源部分は設計値で外径18 mm, リード室長40 mmとし、外径20 mm, 内径8 mmのプラグにより音響管と接続するようにした。固定パーツは30 mmのリードを幅10.2 mm, 長さ10 mmのスリットに差し込んで固定するもので、振動長は20 mmとした。リードに用いるプラスチック素材の厚さに応じて、0.2 mm, または0.3 mmのスリットの高さに対応した固定パーツを作成した。リード受けの曲率半径は約46.7 mmであった。リードを取り付けたパーツを本体に挿入し、呼吸や空気ポンプで気流を送ることにより音源を駆動する構造とした。

狭めのスライダの内径は8 mmとした。

* Utilizing 3D printing to create teaching materials for acoustics: A practice in a speech-language-hearing therapist training course, by TSUJI, Shinya and ARAI, Takayuki (Sophia Univ.).

また、外径を設計値で 19.6 mm とすることで音響管内の移動がスムーズになるようにした。ロッドの接続部を設けて、外部からスライドさせることで狭め位置を調整する方式とした。

2.2 VTM-T20 のアタッチメント

2.2.1 リード式音源

Fig. 2 に 3D プリンタによって出力されたリード式音源部分を示す。外径 10 mm のプラ

グにより VTM-T20 と接続するようにして、その他の設計値はスライド式 3 音響管のものと同様とした。

2.2.2 リード裁断用の治具とリードケース

市販されているクリアファイルなどを元に、カッターを用いて上記のリード式音源部分に対応するサイズ (幅 10 mm × 長さ 30 mm) にリードをカットする治具を作成した (Fig. 3)。

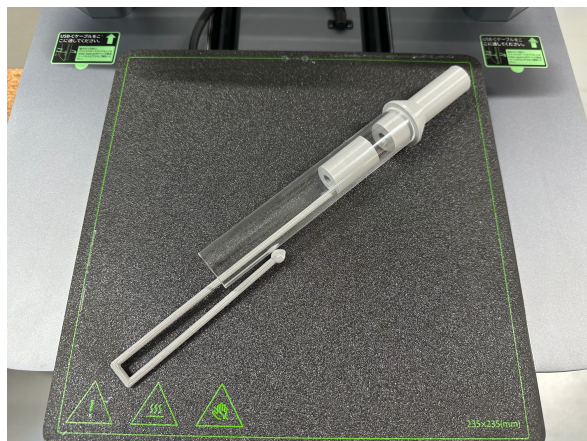
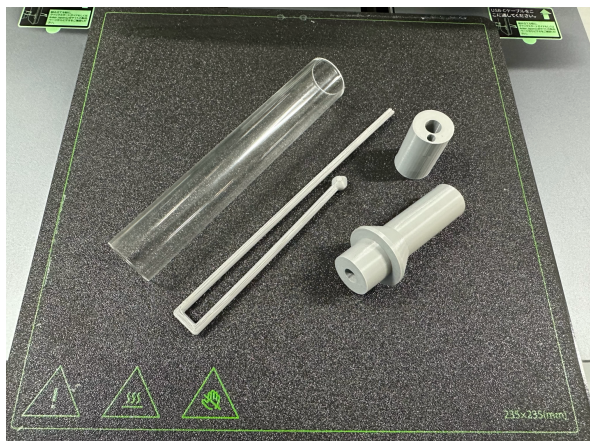


Fig. 1 3D-printed attachments of the sliding three-tube model. The left picture shows the 3D-printed attachments, and the right picture shows the attachment assembled and inserted into the acoustic tube.
Note: To make the slider easier to see, a commercially available transparent acrylic tube is used.

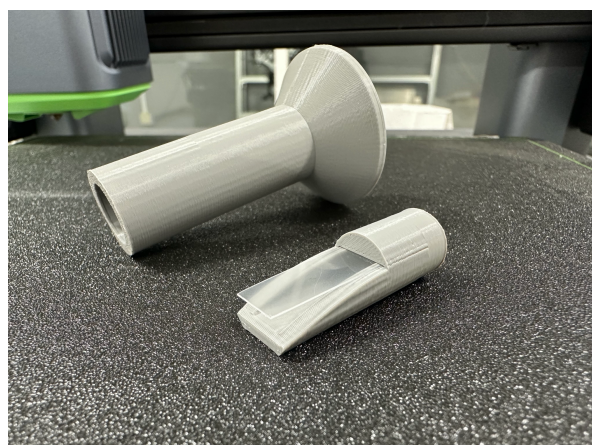


Fig. 2 3D-printed reed-type sound sources. The left picture shows the sound-source body and the reed holder, and the right picture shows the reed holder inserted into the sound-source body.

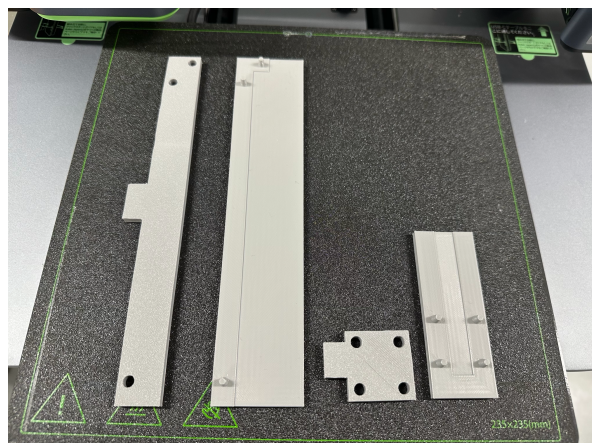


Fig. 3 A 3D-printed jig for cutting reeds.

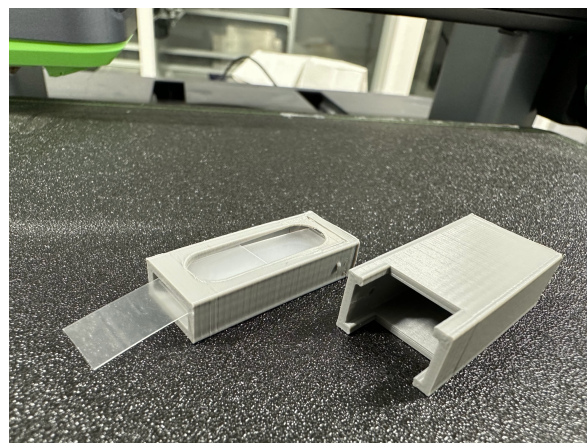


Fig. 4 A 3D-printed storage case for cut reeds.

Table 1 Students' feedback on a lecture using 3D-printed teaching materials.

A	・声道模型の音のアクティビティは非常に面白かったです。 ・アナログな模型であるのに、実際の人の声のように音が聞こえることが興味深かった。
B	・声道の形状が母音の音質に関係していることは説明では理解できているが、「音声はどのように作られるのか？」を直感的（視覚的？）に知ることができた。 ・実際に模型を用いていたことで、頭の中や自分の身体を使ってイメージするよりも、もっと具体的にイメージしやすくなりました。
C	・確かに母音を発しているようには聴こえたものの、母音が分かりづらい音もありました。次はこの母音がくる、とあらかじめ予測（知覚）しているからこそ、その母音を聴き取ることができているのではないかと考えました。
D	・アクリルなどで中の構造がより見えると子供が見ても楽しそうだなと思った。

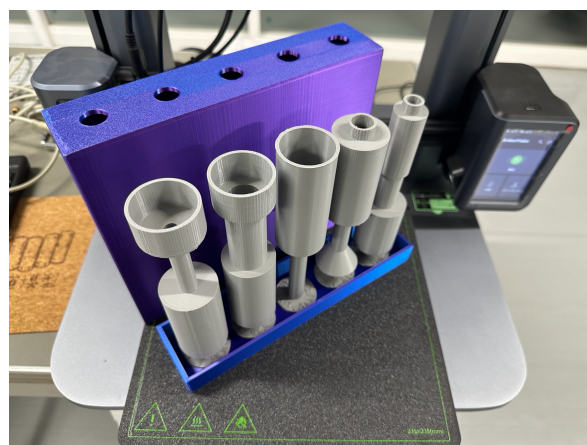
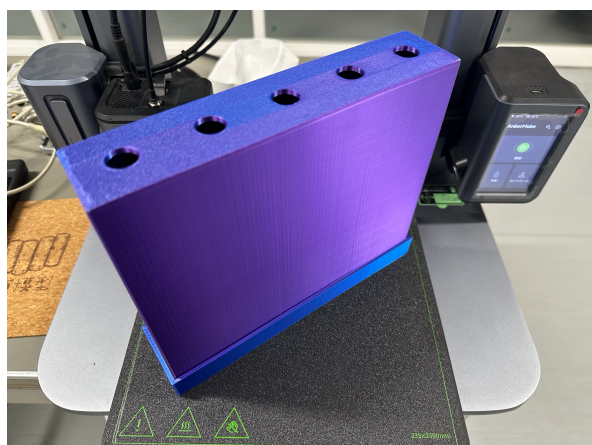


Fig. 5 A 3D-printed case for the 3D-printed VTM-T20. The left picture shows the case attached to the VTM-T20, and the right picture shows the VTM-T20 displayed with the case removed.

また、裁断後のプラスチック製リードを収納・運搬するためのケースを作成した (Fig. 4)。

2.2.3 VTM-T20 用のケース

VTM-T20 の効果的な展示・持ち運びを容易にするためのケースを作成した (Fig. 5)。土台と蓋を兼ねる部分には VTM-T20 を固定するペグを設けたほかテーパー構造を採用して、適度な摩擦を生じさせることによりケースを固定し、最小限の力で開閉可能な構造とした。

3 言語聴覚士養成コースでの実践

武蔵野大学の言語聴覚士養成課程（専攻科）にて、音響音声学の講義における音声生成の音響理論の単元で本稿で作成した VTM-T20 とそのアタッチメントを用いて音源フィルタ理論に関するデモンストレーションを行った。また、VTM-T20 により産出された母音に対し Praat[16]によって録音・音響分析を行い、基本周波数とフォルマント周波数を記録する実習を行った。実習で得られた VTM-T20 の母音空間図を Fig. 6 に示す。

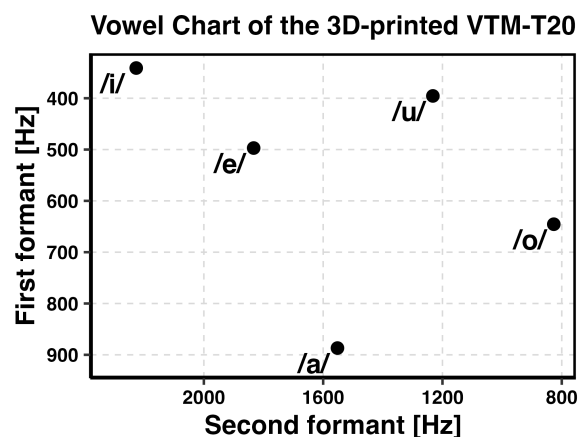


Fig. 6 Vowel chart of the 3D-printed VTM-T20 with the attachments developed in this study.

講義に対する学生からのフィードバックを Table 1 に記す。学生に対して、本稿で作成した教材を用いた講義について自由記述にて感想を求め、13 名から回答を得た。その結果、多くから肯定的な反応を得るなど、作成した教材の有効性が示唆された。講義に対する主な感想として、(A)「声道模型による音声生成への驚き」、(B)「音声生成の音響理論に対す

る理解の促進」, (C)「音声知覚への発展的な考察」, (D)「教材の改善案」が挙げられた。

4 おわりに

本稿では、声道模型による音響教育をより多くの教育現場で実施可能にすることを目的として、3D プリンタで印刷可能なスライド式 3 音響管、VTM-T20 に対応するリード式音源などのアタッチメントを作成した。

作成した教材を用いて、言語聴覚士養成校にて音源フィルタ理論に関する講義・実習を実施した結果、音源フィルタ理論の直感的な理解が促進され、音声生成に対する学習効果の向上に寄与することが示唆された。

GitHub リポジトリ[14]において、本稿にて作成した 3D モデルに加え、印刷時の留意点なども公開している。

なお、本稿では 1 校・少人数のコースでの講義で得られた自由記述による評価に留まり、客観的な学習到達度との関連づけや対照群を設けた比較検証は今後の課題である。今後、3D プリンタにより作成可能なリード式音源の音質改善、様々な基本周波数への対応などに取り組むとともに、対象人数や実施施設を拡大した検証を行うことで、その教材としての効果をより定量的に検証していきたい。

謝辞

本稿では 3D モデルの作成に際して、生成 AI を補助的に利用しました。作成した教材の一部は上智大学四谷キャンパス、および Sixth Joint Meeting Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan にて開催された音声生成の音響理論に関するワークショップで用いられた教材から発想を得ました。3D プリンタの運用・リード式音源の印刷などに関して鈴木良平氏、渡邊梨子氏にご助言をいただきました。武蔵野大学 言語聴覚士養成課程の皆さまへ感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 竹内他, 音講論 (春), 9–10, 2023.
- [2] 公益財団法人医療研修推進財団監修, 言語聴覚士国家試験出題基準 令和5年4月版, 医歯薬出版, 2023.
- [3] G. Fant, *Acoustic Theory of Speech Production*, Mouton, 1960.

- [4] J. L. Flanagan, *Speech Analysis Synthesis and Perception* (2nd ed.), Springer, 1972.
- [5] K. N. Stevens, *Acoustic Phonetics*, The MIT Press, 1999.
- [6] T. Chiba and M. Kajiyama, *The vowel: its nature and structure*, Kaiseikan, 1941.
- [7] T. Arai, *J. Phonet. Soc. Jpn.*, 5(2), 31–38, 2001.
- [8] T. Arai, *Acoust. Sci. & Tech.*, 37(4), 148–156, 2016.
- [9] T. Arai, *J. Acoust. Soc. Am.*, 131(3), 2444–2454, 2012.
- [10] 竹内他, 音講論 (秋), 961–962, 2024.
- [11] 今泉, 荒井, *最新言語聴覚学講座 音響学*, 医歯薬出版, 2026.
- [12] T. Arai, *J. Acoust. Soc. Am.*, 148(4S), 2609, 2020.
- [13] T. Arai (©2013–2026), “Acoustic-Phonetics Demonstrations (APD),” <https://splab.net/apd/> (2026/08/03 参照).
- [14] S. Tsuji, “3D printable tools for vocal tract models,” 2026. https://github.com/Tsutchy011/3d-printable_tools_vocal_tract_models (2026/08/03 参照).
- [15] The OpenSCAD Developers, “OpenSCAD (Version 2021.01),” 2021. <https://openscad.org/> (2026/08/03 参照).
- [16] P. Boersma and D. Weenink, “Praat: Doing phonetics by computer (Version 6.6.30),” 2026. <https://www.fon.hum.uva.nl/praat/> (2026/08/03 参照).