

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K10148

研究課題名（和文）快音歯科ドリルの設計に向けた流体音響工学アプローチ

研究課題名（英文）Fluid engineering approach for dental drill design

研究代表者

山田 朋美（Yamada, Tomomi）

大阪大学・大学院歯学研究科・助教

研究者番号：70452448

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）： 歯科治療において歯を削る歯科ドリル音は不快感や恐怖心を与えるものであり、患者が快適に治療を受けるために歯科ドリル音対策は重要な課題である。代表的な歯科ドリルは圧縮空気により作動する。本研究では、流体音響工学（流体力学と音響工学の融合）という新たな分野を組み込み、数値流体音響シミュレーションによる歯科ドリルの発音現象をとらえることを目的とした。高速に回転する歯科ドリル内部の空力騒音のシミュレーションをスーパーコンピュータによる計算で求めた。歯科ドリル音の予測シミュレーションについて、歯科診療室において実際に歯科ドリルを操作し測定して得た音響データと比較し、精度の高い成果であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歯科治療において歯を削る歯科ドリル音は不快感や恐怖心を与えるものであり、その対策は患者が快適に治療を受けるための重要な課題である。本研究で得られた歯科ドリル音の予測シミュレーションは、歯科ドリル音を改善するために必要な情報であり、近い将来において快音歯科ドリルの設計つなげる社会的意義のあるものである。

研究成果の概要（英文）：Dental drilling sounds give discomfort and fear for patients in dental offices. Dental drill sound measures are an important task for patients to be comfortably. Typical dental drills operate by compressed air. In this study, the purpose was capturing the acoustical phenomenon of dental drills by numeric fluid acoustic simulation using fluid acoustic engineering. Aerodynamic noise simulation inside the dental drill, which rotates very fast, was calculated by a supercomputer. Furthermore, the simulation result was confirmed a high-precision result compared to the data obtained by actually operating and measuring the dental drill.

研究分野： 歯科保存学

キーワード： 歯科ドリル 音 流体

## 1. 研究開始当初の背景

歯科ドリルは治療に欠かせない機器である一方で、発生する音は二人に一人が不快に感じており歯科受療行動の阻害因子となっている(Yamada, Ebisu et al., J.Acoust. Sci.Tech., 2006)。国民の 90%が歯科受診の経験があることから、歯科での快適な音環境の提供は重要な課題である。歯科ドリル音対策は患者が快適に治療を受けるための重要な課題である。これまで「歯科ドリル音の何が嫌なのか?」という問いの解を求め、幅広い年齢層を対象に主観的心理評価実験および非侵襲脳機能解析装置による検討や音響物理評価を行い、歯科ドリル切削音の高周波成分が不快感に関与していることを示した(Yamada, Hayashi et al., Plos One, 2016)。さまざまな歯科ドリル音の解析を行う中で、本研究課題である「歯科ドリルのどこから(なぜ)不快な音が発生するのか?」という新たな問いが生まれた。不快と感じる音響物理的特徴を基に流体音響工学アプローチを行えば、今までできなかった歯科ドリル内部の流体の可視化につながり「なぜ嫌な音が発生するのか」の解を明らかにできるものと考え、本研究を着想した。

## 2. 研究の目的

歯科用エアタービンハンドピースは、圧縮空気によりドリル内部のインペラーが高速に回転する。タービンの回転に伴い引き起こされる気流により発生する歯科ドリル音について、数値流体音響シミュレーションによってその発音現象をとらえることを目的とする。

歯科ドリルの不快音の発生メカニズムを明らかにすれば、音響物理評価や心理評価と組み合わせることで、不快音の発生を抑えた画期的な歯科ドリルの設計や歯科診療室の音環境の改善につながるという意義がある。

## 3. 研究の方法

### (1) 形状モデルデータ作成

歯科ドリル内部の計算領域のデータ化を工業用 CT を用いて行う。切削用ポイントをセットした歯科ドリルヘッド部およびヘッド部より取り出したインペラーを含むカートリッジ部に対し、それぞれ管電圧 150 kV、管電流 90  $\mu$ A、分解能 16.667  $\mu$ m で撮影し、DICOM データ・フォーマットによりデータ化する。得られたデータを STL 化し、形状モデルデータを作成した。

### (2) 計算格子の生成

インペラー(回転領域)とボリュート(静止領域)の計算格子(メッシュ)を生成した。

### (3) 数値流体計算

計算領域に回転領域と静止領域の両方が存在するため、数値流体計算手法としてメッシュの移動を伴わない方法(Multiple Reference Frame (MRF))を選択する。想定するインペラーの回転数は毎分 40 万回転で 52,333 rad/s となり、羽根車の半径 5 mm とすると 262 m/s である。従ってマッハ数は 0.769 であり、空気の圧縮性の影響が発生すると予想される。そのため、数値流体シミュレーションでは圧縮性のナビエ・ストークス方程式を解くことで、羽根車の流れ場と音場を同時に求める。圧縮性のナビエ・ストークス方程式を有限体積法によって離散化し、さらに乱流モデルとしてラージエディシミュレーション(LES)を用いてスーパーコンピュータにて計算を行った。

### (4) 計算精度の検討

形状モデルを作成した歯科ドリルを用いて、実際に高速回転して計測した歯科ドリル音を収録した。高速フーリエ変換したしゅろくデータとシミュレーションにより得られたデータから、音響物理的特徴を比較し数値シミュレーションの精度を確認した。

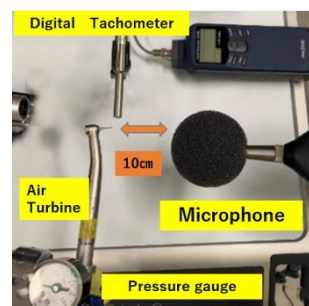


図1 歯科ドリル音測定環境

### (5) 歯科診療室での騒音に関する調査と心理実験

歯科診療室の様々な音源やその音圧レベルを調査し、これらの音を用いた心理実験を行い主観的心理評価と音響物理量との関係について調べた。

#### 4. 研究成果

不安を軽減するには、歯科用ドリルからの空力音響メカニズムを理解することが重要である。高い回転速度 (>160,000 rpm) と 歯科用ドリル内部のインペラの複雑な形状による複雑な流体現象をとらえるための新しい数値フレームワークを提案し、スーパーコンピュータを用いてのシミュレーションに成功し、国際学会にて報告した。

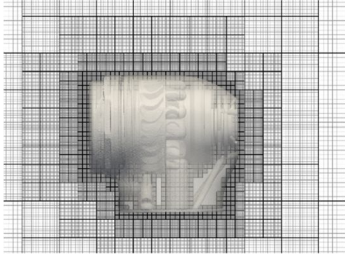


図1 メッシュ作成

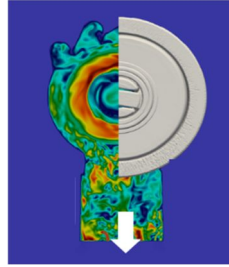


図2 数値計算により得られた予測シミュレーション

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yamada Tomomi、Nozaki Kazunori、Kuwano Sonoko、Hayashi Mikako	4. 巻 263
2. 論文標題 Impact of COVID-19 on the sound environment in a dental office - a case study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 1688 ~ 1694
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3397/IN-2021-1900	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山田朋美、桑野園子、野崎一徳、林美加子	4. 巻 November
2. 論文標題 コロナ下における歯科診療室の音環境	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集	6. 最初と最後の頁 17 - 18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山田朋美	4. 巻 77
2. 論文標題 歯の治療音と痛さについて	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本音響学会誌	6. 最初と最後の頁 811 - 812
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamada Tomomi、Kuwano Sonoko、Ebisu Shigeyuki、Hayashi Mikako	4. 巻 177
2. 論文標題 Effect of processing of dental drill noise on subjective impression	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Acoustics	6. 最初と最後の頁 107895
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.apacoust.2020.107895	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 李 崇綱, 山田 朋美, 野崎 一徳, 林 美加子, 坪倉 誠	4. 巻 November
2. 論文標題 A High Performance Computing Framework for the Aeroacoustic Noise Prediction of the Dental Air-Turbine Handpiece	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集	6. 最初と最後の頁 143-144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamada, T., Hayashi, M., Kuwano, S.	4. 巻 -
2. 論文標題 Psychoacoustic effect of air-conducted sound on bone-conducted sound in dental drilling noise	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. Internoise2019	6. 最初と最後の頁 1 - 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamada, T., Kuwano, S., Hayashi, M.	4. 巻 -
2. 論文標題 Application of psychoacoustics in dental drill evaluation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. ICA 2019	6. 最初と最後の頁 7737-7742
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Yamada T, Nozaki K, Kuwano S, Hayashi M
2. 発表標題 Impact of COVID-19 on the sound environment in a dental office - a case study
3. 学会等名 50th International Noise Control Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田朋美、野崎一徳、林美加子
2. 発表標題 口腔外吸引装置を用いた歯科診療室の音環境
3. 学会等名 第155回日本歯科保存学会2021年度秋季学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田朋美、桑野園子、野崎一徳、林美加子
2. 発表標題 コロナ下における歯科診療室の音環境
3. 学会等名 日本騒音制御工学会 2021年秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 李 崇綱, 山田 朋美, 野崎 一徳, 林 美加子, 坪倉 誠
2. 発表標題 A High Performance Computing Framework for the Aeroacoustic Noise Prediction of the Dental Air-Turbine Handpiece
3. 学会等名 日本騒音制御工学会 2020年秋季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田朋美、李崇綱、野崎一徳、坪倉誠、林美加子
2. 発表標題 数理計算手法を用いた歯科用エアタービンの空力音響解析
3. 学会等名 第153回日本歯科保存学会2020年度秋季学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田 朋美, 林 美加子, 桑野 園子
2. 発表標題 歯科用エアタービンハンドピースによる切削音の音響心理評価
3. 学会等名 日本機械学会 第97 期流体工学部門 講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamada, T., Kuwano, S., Hayashi, M.
2. 発表標題 Application of psychoacoustics in dental drill evaluation. 23rd International Congress on Acoustics
3. 学会等名 23rd International Congress on Acoustics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamada, T., Hayashi, M., Kuwano, S.
2. 発表標題 Psychoacoustic effect of air-conducted sound on bone-conducted sound in dental drilling noise.
3. 学会等名 48th International congress on Noise Control Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	野崎 一徳  (Nozaki Kazunori)  (40379110)	大阪大学・歯学部附属病院・准教授    (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------