

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03655

研究課題名（和文）大規模数値解析を用いた管楽器の発音機構の解明とその応用

研究課題名（英文）Study and application of the sounding mechanism of wind instruments with large-scale simulations

研究代表者

高橋 公也（Takahashi, Kin'ya）

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号：70188001

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：DNSおよびLESを用いた圧縮性流体の大規模数値計算を行い、管楽器の音源である流体音（空力音）の発生機構とその特性を解析し、音源と管体の相互作用により発振する楽器の発音機構の解析を行った。また、その成果を応用し、音響機器の解析を行った。具体的な対象は、オルガンパイプ等のエアリード楽器、クラリネット等のリード木管楽器と金管楽器のマウスピースである。また、運指と音のピッチの関係の基礎研究として遅延方程式モデルの解析も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、管楽器の発音機構を低マッハ数における流体音の問題として捉え、大規模流体音響解析を用いて楽器音の発生過程を明らかにした点に学術的な意義がある。研究手法や得られた成果は、管楽器の設計だけでなく、音響機器の設計、キャビティ騒音の発生機構の解析等の広い応用が見込まれる。特に、オルガンパイプのフットの解析成果は、パイプオルガンやその他のエアリード楽器の設計開発に役に立つと考えられる。また、多重遅延系の基礎解析の成果は、遅延方程式でモデル化可能な様々な現象の解析への応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：Large-scale numerical simulations of compressible fluids using DNS and LES were performed to analyze the generation mechanism and characteristics of aerodynamic sound, which is the sound source of wind instruments, and to explore the sounding mechanism of musical instruments that owing to the interaction between the sound source and the wind body. We considered the application of the results to analyses of acoustic equipment. The specific targets are flue instruments such as organ pipes, reed woodwinds such as clarinets, and mouthpieces for brass instruments. In addition, delay equation models were analyzed as a basic study of the relationship between fingering and sound pitch.

研究分野：非線形物理学

キーワード：流体音 管楽器 圧縮流体 遅延方程式

1. 研究開始当初の背景

管楽器の発音機構の解析は、実験や力学モデルの解析が主体であったが、2010年代に入り圧縮性流体の数値解析が広く行われるようになった。研究代表者の高橋と共同研究者は、小型エアリード楽器(小型のオルガンパイプ)の圧縮性 LES(Large Eddy Simulation)を用いた数値解析を行い、基本的な発音特性が再現されることを示した[①]。その後、エアリード楽器の圧縮性流体解析が世界的にも行われるようになった。圧縮性流体解析を行うことで、実験では得られない管体内部の音波や流体的な流れを直接調べることが可能になり、それをもとに歌口から流入するジェットから音波が発生する過程を理解できるという機運が高まっていた。一方、遅延方程式モデルを用いた解析により、管楽器の発振を非線形力学の分岐理論を用いて理解することが可能になってきていた。高橋らは、クラリネットにおいて3倍音の発生に使われるレジスターホルルの機能を2重遅延系の分岐理論を用いて説明することに成功していた[②]。管楽器の発音機構の統合的な理解には、上述した2つのアプローチを統合した見方が必要であるが、そのような方向の研究は十分には行われていなかった。

2. 研究の目的

圧縮性流体の大規模数値計算を行い、管楽器の音源である流体音(空力音)の発生機構とその特性を解析し、音源と管体の相互作用により発振する楽器の発音機構を明らかにすることが目的である。さらに、その成果の楽器や音響機器の設計への応用を考える。具体的には、圧縮性 LES およびより厳密な圧縮性 DNS (Direct Numerical Simulation) 用いて大規模数値解析を行い、小型エアリード楽器とその音源となるエッジトーンにおけるジェットの流速と音響エネルギーの関係、音響エネルギー発生メカニズム等を明らかにし、エッジトーンと管体を持つ楽器の発音機構の違いを考察する。また、現実の楽器の問題として、オルガンパイプのフットの役割の解析、音孔の開閉(運指)による音の変化の再現とそれに伴う異音発生の問題の解析、リード木管楽器および金管楽器のマウスピース内での流体音の発生機構の解析等の解析を行う。音響機器への応用として、スピーカーのポートノイズと熱音響機器の発音機構の問題を扱う。さらに、運指と音のピッチの関係の基礎研究として遅延方程式モデルの解析も行う。

3. 研究の方法

管楽器の圧縮性流体解析を行い、流体場と音場を同時に計算し、楽器の発音状態を再現する。流体場と音場を同時に再現することで、流体場と音場の相互作用の詳細を評価することが可能になる。3次元モデルの大規模解析には、OpenFOAMの圧縮性 LES ソルバーである rhoPimpleFoam を用いた。乱流モデルは One-equation-model を用いた。同様の手法を、発展課題である音響機器の解析にも適用した。より厳密な解析が必要な場合には、圧縮性 DNS を用いて2次元モデルの解析を行った。圧縮性 DNS のソルバーは、服部らによって開発されたもので、個体境界の処理には、Immersed boundary 法の一つである Volume Penalization 法(VP法)を採用している。遅延方程式モデルの解析では、パラメーターに依存した発振モードの種別を行うが、これには高橋らが発展させてきた線形安定性解析をベースとしたモード選択則の判別法を用いる。

4. 研究成果

研究成果は、エアリード楽器を中心に、他の管楽器や音響機器および遅延方程式と多義にわたる。以下、その成果をテーマ別に示す。

(1) エッジトーンの解析

圧縮性 DNS を用いて2次元モデルの厳密解析を行い、圧縮性 LES を用いて3次元モデルの大規模解析を行った。エッジトーンの振動モードは、ジェットの流速に対し履歴的な遷移をするが、2次元モデルの解析では、1次モードと2次モードの変化をほぼ正確に再現することができた。一方、3次元モデルの解析では、1次モードはほぼ正確に再現されるが、2次モードでは発振周波数に実験との違いが現れた。そのため、3次元モデルでは、1次モードの解析に集中した。エッジトーンは、双極子放射であり、放射音響強度はジェットの流速の6乗で増大する(6乗則)。ただし、2次元の場合は、5乗で増大する(5乗則)ことが知られている。2次元モデルでは、1次モード、2次モードともに5乗則に従うことが確認された(ただし、比例定数は異なる)。一方、3次元モデルでは、6乗則に従うことが確認された。このように、本研究の数値計算の再現度は極めて高い。

2次元モデルの解析では、ジェットの振動振幅と流速との関係をしらべ、各モードにおいて、振動振幅はジェットの流速に対してほぼ一定になることを発見した。ただし、ジェットの流速の増大とともに、ジェットの流速分布の歪みが大きくなり、釣鐘型からずれることを示した[③]。

3次元モデルの解析では、エッジトーンのフィードバック機構について評価を行った[⑤]。ジェットの振動は、ジェットとエッジの衝突で発生した渦や音波によるジェット上流へのフィードバックにより維持されている。これまで、フィードバックの主体が、流体的なものであるか音響的なものであるか、長い間議論されてきた。本研究では、非圧縮性 LES の計算を行い、ジェット

振動を再現し、圧縮性 LES の解析結果と比較することでフィードバック機構の評価を行った。図 1 (a)に示すように、ノズルの出口のジェットの下上に観測点を置き、そこでの圧力 p_{up} と p_{down} の差がジェットへのフィードバックを作り出すと考え、差の絶対値 $|p_{up} - p_{down}|$ の時間平均値をフィードバック強度と定義した。それを図 1 (b)に示す。2つの線 comp と incomp は、それぞれ圧縮性 LES と非圧縮性 LES の結果である。これより、フィードバック強度の大部分は非圧縮性流体に起因するものであると結論づけられる。しかし、圧縮性成分からの寄与も無視できない程度あり、流速が増加するにつれてその割合が増加する。したがって、フィードバックの主体は流体的なものであるが、音響的なものも無視できないと言える。

(2) 小型エアリード楽器の解析

図 2 (a)に示す、長さ 9cm の管体を持つ小型オルガンパイプの 3次元解析を行い、エアリード楽器の基本特性と発音機構の解析を行った。オルガンパイプの実験によれば、その音響強度は、エッジトーンのように 6 乗則には従わず、対数関数的になる。図 2 (b)に示すように、数値解析で得られた音響強度は、6 乗則に従うのはごく小さな流速領域で、全体としては対数関数に近い変化をして、定性的にはあるが実験結果をよく再現している。音場と流体場間のエネルギー遷移は Howe のエネルギー推論(HEC)で評価でき、体積 V における単位時間辺りの音響エネルギー発生は、以下のようになる。

$$\Pi_g = -\frac{1}{2}\rho_0 \frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \mathbf{v}^2 dV \approx -\rho_0 \iiint_V (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}) \cdot \mathbf{u} dV \quad (1)$$

ここで、 \mathbf{v} 、 $\boldsymbol{\omega}$ 、 \mathbf{u} 、 ρ_0 は、それぞれ、流体流速、渦度、音響的粒子速度、流体の静止密度である。数値計算では、 \mathbf{u} は音響ソルバー FDTD を使って再現される[④]。積分核 $\Pi_{gker} = -\rho_0(\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}) \cdot \mathbf{u}$ が正值を取ると音波が発生し、負値を取ると音波が吸収される。図 3 (a)には、歌口近傍の積分核 Π_{gker} のある時刻の分布を示す。赤で示す $\Pi_{gker} > 0$ の領域で音響エネルギーが発生し、青で示す $\Pi_{gker} < 0$ の領域で音響エネルギーの吸収が起きる。エッジに近いジェットの後流で、強い音響エネルギーの発生が起きる。図 3 (b) は、音響エネルギーの発生(吸収)の時間変化をジェットの変位 ξ_j と比較したものである。図 3 (a)の赤の点線で示すジェット領域からの結果と黒の実線で示すエッジの上下も含めた全領域の結果を比較すると、伴に、ジェットの打ち上げ時と打ち下げ時にピークをもつが、ジェットのみの場合は打ち上げ時に、全領域では打ち下げ時にピークを持つ[④]。これは、エッジの上下の渦と音場の相互作用が無視できないことを意味し、本研究で明らかになった重要な点である。

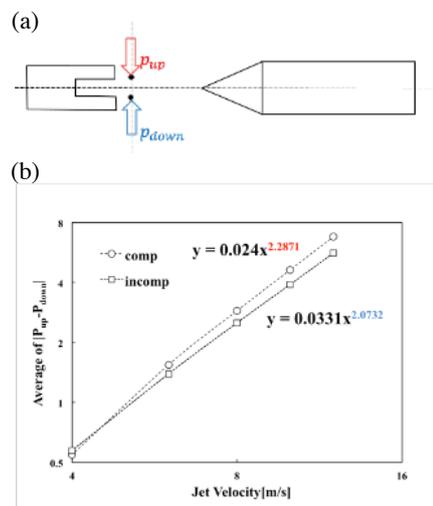


図 1 エッジトーンのフィードバックの評価 (a) 圧力の観測点 (b) フィードバック強度 vs ジェット流速

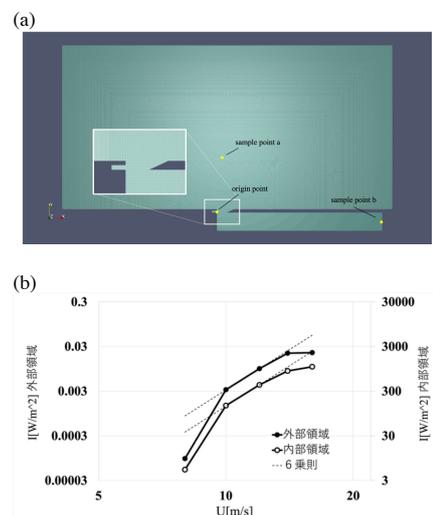


図 2 小型エアリード楽器の解析 (a) モデル(2次元断面) (b) 音響強度 vs ジェット流速

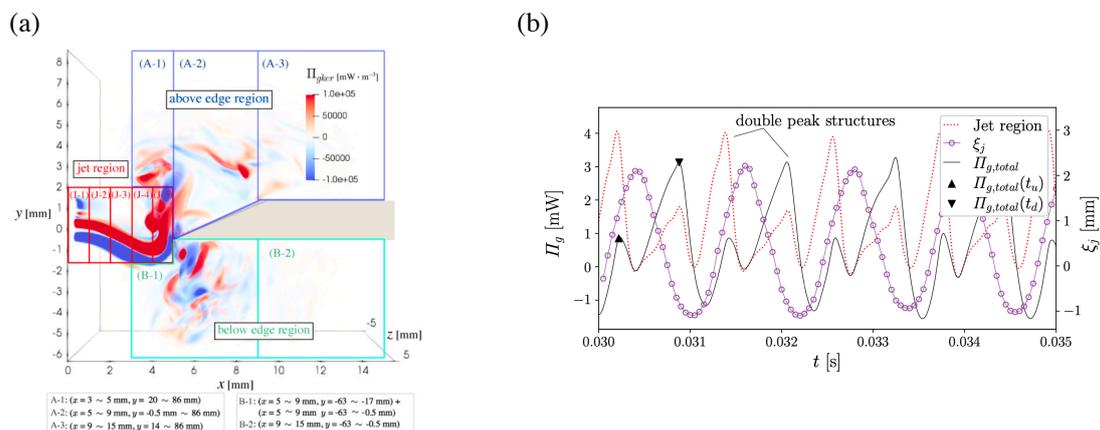


図 3 HEC の解析結果 (a) 歌口近傍で得られた HEC の積分核 Π_{gker} の分布 (b) ジェット領域と全体領域における音響エネルギー発生(吸収)の時間変化とジェットの変位 ξ_j の比較

(3) オルガンパイプのフットの役割

図4に示すように、オルガンパイプには、フットと呼ばれる空気溜があり、そこからノズルを通しジェットを作り出し、管体を駆動する。フットはヘルムホルツ共鳴器と見なせ、体積が変化するとその共振周波数 f_F が変化し、その影響で楽器の発振状態が変化する。本研究では、図5に示す3つのフットモデルについて解析した[10]。定常発振状態では、管体内音圧がフット内音圧を強制振動していることを見なせ、フットの共鳴周波数 f_F の変化とともに管体内音圧とフット内音圧の間に位相差が変化する。図5(a)に示す Stiffness-Controlled region ($f_F < f_a$: f_a は管体の共鳴周波数) では、フットは管体から π 遅れ、(b)に示す Damping-Controlled region ($f_F \approx f_a$) では、フットは管体から $\pi/2$ 遅れ、(c)に示す Mass-Controlled region ($f_F > f_a$) では、フットと管体はほぼ同期する。しかし、共振状態の Damping-Controlled region では、管体内音圧が他と比べて小さい。そこで、ノズル出口のジェット流速の水平成分 v_x と垂直成分 v_y を調べると、Damping-Controlled region では、 v_y が一周期の大部分で正の値を取り、ジェットが管体内に十分に流入せず発振が抑制されることを見出した。

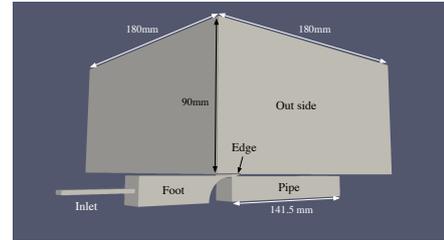


図4 フット付きオルガンパイプのモデル

(4) 木管楽器の音孔の解析

木管楽器は、音孔を開閉することで様々な音をつくりだす。本研究では、圧縮性 LES を使い、2の音孔を持つエアリード楽器の2次元モデルの解析を行い、音孔の開閉に伴う周波数変化を再現した[6]。図6(a)には、発振している状態の流速分布を示す。図6(b)には、2つの音孔を同時に閉じて行く時の管内の圧力分布の変化を、(c)にはその時間領域ごとの周波数変化を示す。各 interval で 0.2mm ずつ音孔とパット間の距離が縮まる。音孔とパットの距離が 0.4mm 以下になると、周波数が約 1500Hz から約 1100Hz に変化する。これは、実験結果とも定性的に一致する。音孔を開いていく時にも同様な変化が見られる。

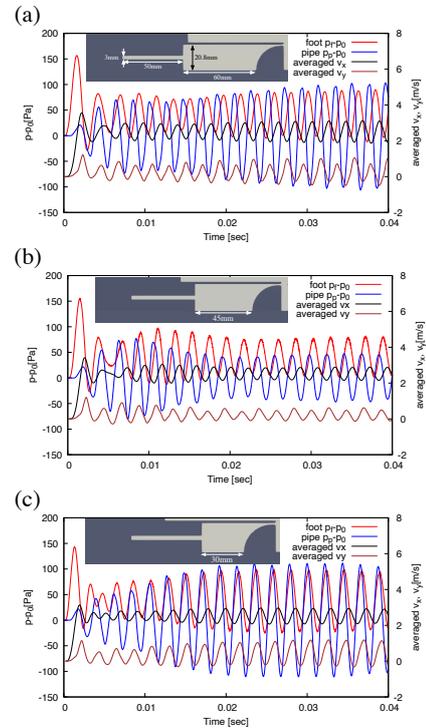


図5 フット付きオルガンパイプの解析 (a) Reference model (b) Mid model (c) Short model

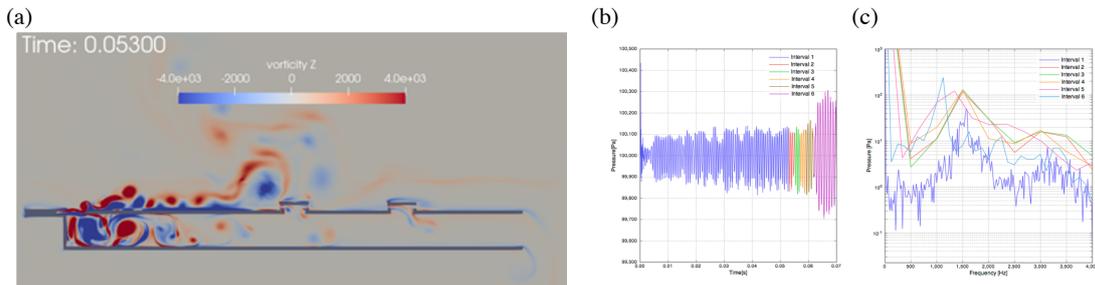


図6 2つの音孔を持つエアリード楽器モデルの解析結果 (a) 流速分布 (b) 音孔を閉じていく時の管体内の圧力変化 (c) 周波数変化

(5) 金管楽器とリード木管楽器のマウスピースの役割

金管楽器やリード木管楽器のマウスピース内で流体から音波が発生する。そこで、マウスピースの役割を調べるために、LES を用いた3次元解析と DNS を用いた2次元解析を行った。対象としたのは、クラリネット、ホルンのマウスピース、オーボエのリード等である。ここでは、ホルンのマウスピースの DNS 解析結果について紹介する[7]。その解析ではマウスピースに唇を模擬したものを取り付け、それを振動させ隙間を周期的に閉じる解析を行った。また、口腔の効果を考察するために、マウスピース後方に口腔を取り付けたモデルの解析も行った。具体的に行った解析は、a) 唇を固定し一定流速を与えたもの、b) それに周期的な流速を与えた

もの、c) 唇を振動させ一定流速を与えたもの、d) それに口腔を取り付けたモデルで行ったもの、計 4 種類である。振動の周期はマウスピースのヘルムホルツ共鳴周波数としている。モデル a) では、減衰振動が見られたが、モデル b)-d) では 周期的な音波の放射が見られた。図 7 (a) に、唇の後方に口腔を配置したモデルのマウスピース近傍の流速分布を示す。流速分布を見るとマウスピースのカップ内と口腔内に渦が発生している。図 7 (b) にカップ内の圧力振動の結果を示す。唇を固定し周期的な流速を加えたモデルでは、振幅は大きいほぼ正弦波である。唇を振動させるモデルでは、振幅は小さくなり若干ではあるが正弦波的でなくなる。口腔を取り付けたモデルでは、振幅は小さくなるが、その波形は正弦波とは異なり、現実のマウスピースのバジングと呼ばれる演奏音に近いものが得られる。

(6) 音響機器の解析

管楽器の解析手法を応用し、スピーカーのバスレフポートのノイズの解析と熱音響機器の解析を行った。バスレフポートの解析では、簡略化した 3 次元モデルを用いポートノイズの再現に成功し、Howe のエネルギー推論を持ちいたノイズ発生機構の解析を行い、ポートの入り口から少し入った部分でノイズの発生源となる渦が発生していることを示した[⑧]。熱音響機器の解析では、試験管型熱音響エンジンの発振のモデルを解析し初期化過渡状態の発振を再現した。

(7) 遅延方程式の解析

木管楽器は遅延方程式を用いてモデル化できる。マウスピース部分から管体に送られるパルスは、開口端や音孔で反射され戻ってきて遅延を作り出す。したがって、木管楽器は多重遅延系と見なせ、遅延時間の比を変えると敏感に発振モードが変化する。これまでに、高橋らはクラリネットのレジスターホールの機能の説明に成功している[②]。本研究では、管体の凹凸を考慮した、正負の遅延を持つ 2 重遅延系のモード選択則の特徴を分岐理論をもちいて明らかにした。正負の遅延がある場合には、2 つの正の遅延があるときと明らかに異なるモード選択則がある。本研究でその背後にあるメカニズムを明らかにした。さらに、マウスピース部分の力学を担う非線形振動子を変えると、発振モードの安定性に重要な影響を与えることを示した[⑨]。

<引用文献>

- ① M. Miyamoto *et al.*, Acta Acust united Ac **99** (2013) 154-171.
- ② K. Takahashi, K.Goya, S.Goya, J.Phys.Soc.Jpn. **83** (2014) 124003.
- ③ S. Iwagami *et al.*, Int. J. Aeroacoust. **20** (2021) pp.283-316.
- ④ R. Tabata *et al.*, J. Acoust, Soc. Am. **149** (2021) pp.4000-4012.
- ⑤ T. Onomata *et al.*, T. Kobayashi, K. Takahashi, "Numerical study of the feedback mechanism of the edge tone", Proceedings of ICA2022 (2022) ABS-0251.
- ⑥ S. Takanami *et al.*, ' Numerical approach for aerodynamics around two tone holes of woodwind instruments', Proceedings of ICA2022 (2022), ABS-0259.
- ⑦ R. Sumita *et al.*, ' Numerical study of a French horn mouthpiece accompanied by vibrating lips and an oral cavity with compressible direct numerical simulation', Proceedings of ICA2022 (2022) ABS-0100.
- ⑧ K. Uryuu *et al.*, "Aeroacoustic analysis of port noise by using a three-dimensional numerical model of a bass reflex speaker system", Proceedings of ICA2022 (2022) ABS-0192.
- ⑨ K. Takahashi, T. Kobayashi, J. Phys. Soc. JPN. **91**, (2022) 104007.
- ⑩ S. Ikoga, *et al.*, "Numerical study on a three-dimensional model of a flue organ pipe: relative phase between pipe and foot, and stability", Proceedings of Forum Acusticum 2023,(2023) pp.4439- 4442.

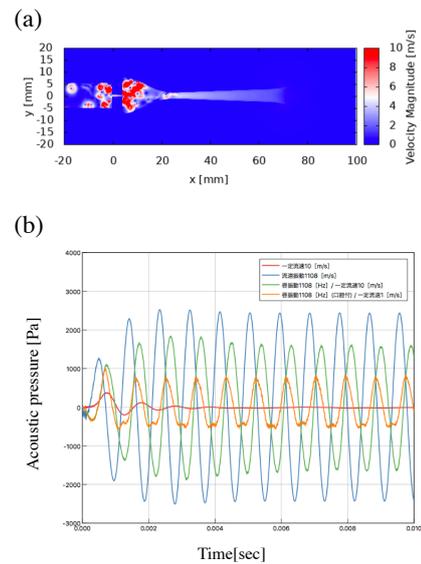


図 7 ホルンの解析結果 (a) マウスピース+口腔モデルの流速分布 (b) マウスピース内の圧力振動

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 K.Takahashi, T.Kobayashi	4. 巻 91
2. 論文標題 Two-Delay System Including the Logistic Map: Disappearance of Attractors Owing to Anomalous Bifurcation Process	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J.Phys.Soc.Jpn.	6. 最初と最後の頁 104007
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.91.104007	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 Tabata Ryoya, Matsuda Rei, Koiwaya Toshiaki, Iwagami Sho, Midorikawa Hiroko, Kobayashi Taizo, Takahashi Ki' nya	4. 巻 149
2. 論文標題 Three-dimensional numerical analysis of acoustic energy absorption and generation in an air-jet instrument based on Howe's energy corollary	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of the Acoustical Society of America	6. 最初と最後の頁 4000 ~ 4012
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1121/10.0005133	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 S. Iwagami, R. Tabata, T. Kobayashi, Y. Hattori, K. Takahashi	4. 巻 20
2. 論文標題 Numerical Study on Edge Tone with Compressible Direct Numerical Simulation: Sound Intensity and Jet Motion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Aeroacoustics	6. 最初と最後の頁 34 ページ
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/1475472X211003296	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 高橋公也	4. 巻 35
2. 論文標題 管楽器の大規模流体音響解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 サウンド	6. 最初と最後の頁 9-13
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 高橋公也, 岩上翔, 田畑諒也, 岡田紘彰, 小岩屋 寿晃, 小林 泰三, 高見 利也	4. 巻 38-6
2. 論文標題 エアジェット楽器の流体音響解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 音楽音響研究会資料	6. 最初と最後の頁 105-110
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 高橋公也, 合屋佳奈, 合屋沙耶, 堤元氣, 小林泰三	4. 巻 38-8
2. 論文標題 クラリネットのレジスターホールの機能	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 音楽音響研究会資料	6. 最初と最後の頁 21-26
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 Ikoga S., Onomata T., Tabata R., Iwagami S., Kobayashi T., Takahashi K.	4. 巻 2
2. 論文標題 Numerical study on a three-dimensional model of a flue organ pipe: relative phase between pipe and foot, and stability	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proceedings of the 10th Convention of the European Acoustics Association Forum Acusticum 2023	6. 最初と最後の頁 4439-4442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.61782/fa.2023.0425	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 -

〔学会発表〕 計31件(うち招待講演 5件/うち国際学会 26件)

1. 発表者名 Y. Nakahara, R. Sumita, R. Tabata, S. Iwagami, T. Nanri, T. Kobayashi, Y. Hattori, K. Takahashi
2. 発表標題 Numerical Study on Wind Instruments with Compressible Direct Numerical Simulation
3. 学会等名 Proceedings of the Twenty-second International Symposium on Advanced Fluid Information 163-164 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. SUMITA, R. TABATA, S. IWAGAMI, Yuki NAKAHARA, T. NANRI, T. KOBAYASHI, Y. HATTORI, K. TAKAHASHI
2 . 発表標題 Numerical study of a French horn mouthpiece accompanied by vibrating lips and an oral cavity with compressible direct numerical simulation
3 . 学会等名 Proceedings of the 24th International Congress on Acoustics ABS-0100 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 T. ONOMATA, S. IWAGAMI, R. TABATA, T. OHNO, T. NANRI, T. KABAYASHI, K. TAKAHASHI
2 . 発表標題 Numerical study of the feedback mechanism of the edge tone
3 . 学会等名 Proceedings of the 24th International Congress on Acoustics ABS-0251 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Y. TASHIMA, T. OHNO, T. NANRI, T. KOBAYASHI, K. TAKAHASHI
2 . 発表標題 Compressible fluid analysis on basic properties of a thermoacoustic equipment
3 . 学会等名 Proceedings of the 24th International Congress on Acoustics ABS-0250 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. URYUU, R. TABATA, T. OHNO, T. NANRI, T. KOBAYASHI, K. TAKAHASHI
2 . 発表標題 Aeroacoustic analysis of port noise by using a three-dimensional numerical model of a bass reflex speaker system
3 . 学会等名 Proceedings of the 24th International Congress on Acoustics ABS-0192 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 S. TAKANAMI, R. TABATA, S. IWAGAMI, T. OHNO, T. NANRI, T. KOBAYASHI, K. TAKAHASHI
2. 発表標題 Numerical approach for aerodynamics around two tone holes of woodwind instruments
3. 学会等名 Proceedings of the 24th International Congress on Acoustics ABS-0259 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. NAKAHARA, R. SUMITA, R. TABATA, S. IWAGAMI, T. NANRI, T. KOBAYASHI, Y. HATTORI, K. TAKAHASHI
2. 発表標題 Aeroacoustic analysis of oboe reeds with compressible direct numerical simulation
3. 学会等名 Proceedings of the 24th International Congress on Acoustics ABS-0249 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野又樹, 岩上翔, 田畑諒也, 大野泰治郎, 小林泰三, 高橋公也
2. 発表標題 3次元圧縮性LESを用いたエッジトーンの再現とそのフィードバック機構の考察
3. 学会等名 第 36 回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野又樹, 岩上翔, 田畑諒也, 大野泰治郎, 小林泰三, 高橋公也
2. 発表標題 LESを用いたエッジトーンの3次元流体音響解析
3. 学会等名 第 128 回日本物理学会九州支部例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋公也,小林泰三
2. 発表標題 多重遅延系のモード選択則と管楽器モデル
3. 学会等名 2022 年度 RIMS 共同研究(公開型)「時間遅れ系と数理科学:理論と応用の新たな展開に向けて」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Takahashi, R. Tabata, S. Iwagami, S. Ikoga, R. Sumita, S. Takanami, T. Kobayashi, Y. Hattori
2. 発表標題 Numerical study on sounding mechanism of air-jet instruments with compressible fluid simulation
3. 学会等名 The 18th International Conference on Flow Dynamics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Sumita, R. Tabata, T. Kobayashi, K. Takahashi, Y. Hattori
2. 発表標題 Numerical Study of a French Horn Mouthpiece with Compressible Direct Numerical Simulation
3. 学会等名 The 21st International Symposium on Advanced Fluid Information (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Ikoga, R. Tabata, S. Iwagami, T. Kobayashi, Y. Hattori, K. Takahashi
2. 発表標題 Numerical analysis of three-dimensional model of flue organ pipe
3. 学会等名 The 18th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Takanami, T. Kobayashi, Y. Hattori, K. Takahashi
2 . 発表標題 Numerical study of note transition with fingering on a woodwind instrument
3 . 学会等名 The 18th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 R. Tabata, H. Midorikawa, T. Kobayashi, K. Takahashi
2 . 発表標題 Three-dimensional numerical analysis of acoustic energy transfer in air-jet instrument
3 . 学会等名 The 180th Meeting of the Acoustical Society of America (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 R. Tabata, S. Iwagami, T. Kobayashi, K. Takahashi, Y. Hattori
2 . 発表標題 Numerical Analysis of Air-jet Instrument 's Sound Sources by Compressible Direct Numerical Simulation
3 . 学会等名 17th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 R. Sumita, R. Tabata, T. Kobayashi, K. Takahashi, Y. Hattori
2 . 発表標題 Numerical study of a French Horn Mouthpiece with Compressible Direct Numerical Simulation
3 . 学会等名 20th International Symposium on Advanced Fluid Information (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋公也
2. 発表標題 正負の遅延を持つ2重遅延系の モード選択則
3. 学会等名 シンポジウム「複雑系数理: 物 理・化学・生物・情報 と カオス」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Takahashi, S. Iwagami, S. Tateishi, G. Tsutsumi, T. Kobayashi, T. Takami
2. 発表標題 Anti-phase synchronization between the oscillation in the pipe and that in the foot of a flue organ pipe
3. 学会等名 The 23rd International Congress on Acoustics (査読付 プロシーディングス)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Iwagami, T. Kobayashi, K. Takahashi, Y. Hattori
2. 発表標題 Reproducibility of Mode Transition of Edge Tone with DNS and LES
3. 学会等名 The 23rd International Congress on Acoustics (査読付 プロシーディングス)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Kobayashi, D. Wakasa, S. Iwagami, T. Takami, K. Takahashi
2. 発表標題 Numerical Approach for Aerodynamics around a tone hole of woodwind instruments: an example solving moving boundary problems with topologically change
3. 学会等名 The 23rd International Congress on Acoustics (査読付 プロシーディングス)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Takahashi, K. Goya, S. Goya, G. Tsutusmi, T. Kobayashi
2. 発表標題 Numerical study on the function of the register hole of the clarinet
3. 学会等名 International Symposium of Music Acoustics (プロシーディングス) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Koiwaya, S. Iwagami, T. Kobayashi, K. Takahashi
2. 発表標題 Numerical study on unsteady fluid flow and acoustic field in the clarinet mouthpiece with the compressible LES
3. 学会等名 International Symposium of Music Acoustics (プロシーディングス) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Okada, S. Iwagami, T. Kobayashi, K. Takahashi
2. 発表標題 Numerical Simulation of Aerodynamics Sound in an Ocarina Model
3. 学会等名 International Symposium of Music Acoustics (プロシーディングス) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Tabata, T. Kobayashi, K. Takahashi
2. 発表標題 Numerical study of synchronization phenomena of an air-jet instrument using finite-difference lattice boltzmann method
3. 学会等名 International Symposium of Music Acoustics (プロシーディングス) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Iwagami, R. Tabata, T. Kobayashi, K. Takahashi, Y. Hattori
2. 発表標題 Numerical Study on Relation between the Jet Oscillation and Acoustic Pressure in Edge Tone
3. 学会等名 The Sixteenth International Conference of Flow Dynamics (プロシーディングス) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Iwagami, R. Tabata, T. Kobayashi, K. Takahashi, Y. Hattori
2. 発表標題 Numerical Study on Air-jet Instruments Compared with Edge Tone
3. 学会等名 The Nineteenth International Symposium on Advanced Fluid Information(プロシーディングス) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryoya Tabata, Hiroko Midorikawa, Ki ' nya Takahashi
2. 発表標題 Performance Evaluation of Acoustic FDTD(2,4) Method Using Distributed Shared Memory System mSMS
3. 学会等名 2020 International Conference on High Per- formance Computing in Asia-Pacific Region HPC Asia 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋公也, 小林泰三
2. 発表標題 ロジスティック写像を 取り込んだ2重遅延系のモード選択則と分岐現象
3. 学会等名 日本物理学会 第 75 回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Nakahara, R. Sumita, R. Tabata, S. Iwagami, T. Nanri, T. Kobayashi, Y. Hattori, Kin'ya Takahashi
2. 発表標題 Numerical Study on Sound Generation Process of an Oboe Reeds with DNS
3. 学会等名 Twentieth International Conference on Flow Dynamics(プロシーディングス)(国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Tashima, T. Ohno, T. Nanri, T. Kobayashi, Y.i Hattori, K. Takahashi
2. 発表標題 Numerical Study on Fundamental Process of a Thermoacoustic Engine
3. 学会等名 Twentieth International Conference on Flow Dynamics(プロシーディングス)(国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 亀川 徹, 足立 整治, 西口 磯春, 松谷 晃宏, 高橋 公也, 若槻 尚斗, 星野 悦子, 谷口 高士, 山本 由紀子, 三浦 雅展, 大田 健紘, 丸井 淳史	4. 発行年 2023年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 316
3. 書名 音響学講座9 音楽音響	

1. 著者名 柳田益造, 高橋公也, 西口磯春, 若槻尚斗	4. 発行年 2024年
2. 出版社 コロナ者	5. 総ページ数 252
3. 書名 音響入門シリーズ A-5 楽器の音	

〔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	服部 裕司 (Hattori Yuji) (70261469)	東北大学・流体科学研究所・教授 (11301)	

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