

令和 2 年 6 月 7 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05477

研究課題名(和文) 管楽器の発音機構の基礎問題

研究課題名(英文) Fundamental problems in sounding mechanism of wind instruments

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)：流体音響解析と遅延方程式モデルを用いた解析の2種類のアプローチで管楽器の発音機構の解析を行った。

流体音響解析の成果は以下の通りである。1) Howeのエネルギー推論を用いて、エアリード楽器の音の発生源と音響エネルギーの評価を行った。2) オルガンパイプのフットの役割を明らかにした。3) DNSを用いて2次元エッジトーンの厳密解析を行い、モード遷移を再現した。

遅延方程式の解析では、クラリネットのレジスターホールの機能を明らかにした。さらに、多重遅延系モデルの線形安定解析を行い、様々な条件におけるモード選択則を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、楽器の研究を通し低マッハ数における流体音発生メカニズムを明らかにした点に学術的な意義があると考えられる。特に、楽器特有の共鳴管がある場合の様々な問題を数値解析により明らかにした。楽器の発音機構は、基本的にキャピティ騒音の発生機構と同じであり、研究成果の広い応用が見込まれる。さらに、オルガンパイプの成果は、パイプオルガンやその他のエアリード楽器の設計に役に立つと考えられる。

多重遅延モデルを用いたクラリネットのレジスターホールの解析の成果は、音楽音響の分野における重要な進展である。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問題への応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：Sounding mechanisms of wind instruments was studied in two ways: aeroacoustic analysis and analysis by using delay equation models.

Results of the aeroacoustic analysis are as follows. 1) By using Howe's energy corollary, the sound source of a small organ pipe was detected and the sound intensity was estimated. 2) The role of foot of a flue organ pipe was clarified. 3) The edge tone was numerically studied with DNS and mode transitions were accurately reproduced.

By using a delay differential equation model, the function of the register hole was explained. The mode selection rules for multi-delay systems were studied with the linear stability analysis and their mechanisms were clarified in several situations.

研究分野：非線形物理学

キーワード：流体音 管楽器 遅延方程式

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 管楽器の発音機構の研究には、流体音響的アプローチと遅延方程式モデルを用いたアプローチの2つがある。流体音響的アプローチは、主に、エアリード楽器(フルート、リコーダー等)の楽器に適した解析法で、厳密ではあるが解析は極めて難しい。遅延方程式モデルを用いたアプローチは、主に、リード木管楽器(クラリネット、オーボエ等)や金管楽器に適した解析法で、モデル化が比較的容易で物理的な解釈がしやすいという利点があるが、理論的な解析は難しい。この2つのアプローチは相補的であり、管楽器の発音機構の理解には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ほとんど行われていなかった。

(2) エアリード楽器の音源はエッジトーンと呼ばれる流体音である。流体音の発生メカニズムは高マッハ数と低マッハ数では異なる。高マッハ数の問題は航空機騒音等の問題として研究されているが、流体音発生メカニズムは完全には解決されていない。一方、低マッハ数の流体音では流体音源(エッジトーン、エオルス音)に依存してその特性が変わることが予想されるが、楽器に関連した研究は本研究者の研究も含め始まったばかりの段階であった。

(3) 遅延方程式モデルによるアプローチは、1980年代 McIntyre らにより提案されて以来、Keefe の音孔モデルの提案と相まって、取り扱いの簡単さから大きな発展をとげ、簡単な楽音の再生が可能なレベルにまで来ている。しかし、遅延方程式の分岐理論にもとづいた発振機構の研究は、本研究者が行ったレジスターホールの解析等ごく少数のものに限られていた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、管楽器の発音機構の物理的な解釈を与えることである。解析には、流体音響的なアプローチと遅延方程式モデルを用いたアプローチの2種類の方法が使われる。流体音響的なアプローチは流体音の理論を用いた厳密な方法で、圧縮流体の数値計算を用いてエアリード楽器の解析を行い、流体音源とそこから発生した流体音の特性について解析する。遅延方程式モデルを用いたアプローチでは、クラリネット等の音孔開閉パターンを模擬した多重遅延モデルを構築し、多重遅延系におけるモード選択則を明らかにし、最適モードとしての楽音発生メカニズムを考察する。2つのアプローチの成果を非線形物理学の立場から相補的に解釈し、管楽器の発音機構の全体像を統一的に理解することを目指す。

### 3. 研究の方法

(1) 流体音響的アプローチでは、楽器のモデルを圧縮流体の数値計算で直接解き、発振状態の流体場と音場を同時に再現し、流体音の発生メカニズムやそれを含めた楽器の発音機構の解析を行う。大規模2次元3次元モデルの解析には、Large Eddy Simulation (LES) を用いる。より厳密な解析には、2次元モデルに限られるが、Direct Numerical Simulation (DNS)を用いる。流体音の発生メカニズムの解析には、Lighthill の理論やそれから発展した Howe のエネルギー推論(HEC)をもちいる。HEC は間接的な方法で精度は落ちるが取り扱いが容易なため、近年、実験等でも流体音発生メカニズムの検証に使われている。

(2) 遅延方程式モデルを用いたアプローチでは、複数の音孔を開けたクラリネットを単純化した多重遅延モデルを作成し理論的な解析を行う。遅延方程式は多重アトラクター系であり、個々のアトラクターが楽器の発振モード(楽器の音)に対応する。クラリネットには、レジスターホールと呼ばれる音孔があり、これを開くと演奏音を1オクターブと5度(ほぼ3倍音)あげることができる。レジスターホールを模擬したモデルを作り、その機能の解析を行う。さらに、より単純化した多重遅延モデルを用いて、遅延時間の比(音孔の位置)を変えたときの発振モードの選択則を、線形安定性解析を用いて解析する。

### 4. 研究成果

#### (1) 流体音響的アプローチ

##### a) Howe のエネルギー推論を用いた音響的エネルギー発生機構の解明

我々は、本プロジェクトの先行研究として[①]、2次元小型エアリード楽器モデルに Howe のエネルギー推論(HEC)を適用し、唄口近傍での音響エネルギーの発生機構を調べた[②]。その結果、音響エネルギーの発生は、主にエッジに近いジェットの下流部分で起きることが判明した。この結果は、Howe の理論予測及び吉川らの実験結果と良い一致を示す。本研究では、そのメカニズムを詳細に検討するために、ジェット理論モデルを構築し、HEC の計算を行った。その結果、数値解析と同様に、音響エネルギーがジェットの下流で発生することが明らかになった。音響エネルギーの発生には、ジェットが湾曲していること、ジェット縦方向の流速と管体の共鳴音場の音響的粒子速度がほぼ逆位相になっていることが必要であることがわかった。逆に、湾曲が小さく同位相である上流では、音響エネルギーの吸収が起きる。これは、管体の共鳴音場がジェットの振動を同期させるために音響エネルギーが消費されたと解釈できる。

これらの成果を踏まえ、準3次元モデルを用いた解析を行った[③]。このモデルは、2次元モデルに1cm の一様な厚みを持たせたもので、流体的には3次元であるが、音響的には2次元である。その結果を図1および表1に示す。図1(a)は唄口近傍の流速分布でノズルから出たジェ

ットが振動している。図 1 (b) は中心断面で見た、HEC で得られたある時刻における音響エネルギー発生率である。ジェットの下部の赤の部分で音響エネルギーが発生し、上部の青の部分で音響エネルギーが吸収される。半周期後には、上下の分布が逆になる。表 1 は、図 1 (b) に示す各領域における音響エネルギー発生率の時間平均をとったものである。これまでの結果と同じく、ジェットの下流の領域 (3), (4) で音響エネルギーの発生が起きている。上流の領域 (1), (2) で吸収された音響エネルギーは、管体の共鳴音場がジェットの振動を同期させるために使われる。領域 (5)-(7) における吸収は、音場がエッジに衝突して渦に変化することによる音響エネルギーの消失と考えられる。

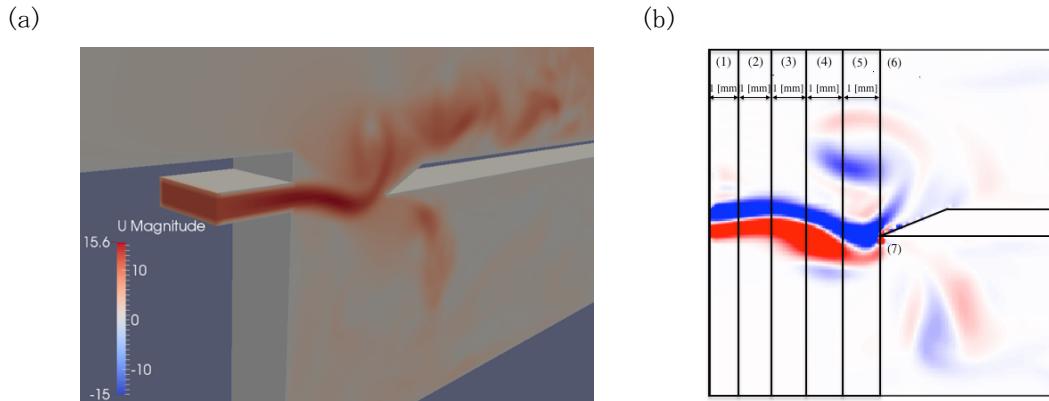


図 1 HEC の解析結果 (a) 流速分布 (b) HEC によって得られた音響エネルギー発生率分布

表 1 HEC によって得られた音響エネルギーの発生率の時間平均

領域	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	合計
Ea [mW/m]	-20.34	-9.89	37.73	59.03	-30.14	-12.81	-0.68	22.9

b) オルガンパイプのフットの役割

パイプオルガンのフルー管には、図 2 (a) に示すように、フットと呼ばれる空気溜があり、楽器の発振の安定性に影響を及ぼすと考えられてきた。そこで、本研究ではフルーオルガンパイプの 2 次元モデルの解析を行いフットの役割を明らかにした[④]。フットはヘルムホルツ共鳴器として働き、その共鳴周波数を管体の共鳴周波数よりも半値全幅 (FWHM) 程度低く設定すると最も安定な発振が起き、図 2 に示すように共鳴管体とフットの音場は逆位相で同期する。このとき、共鳴管体の音場が強いため、ヘルムホルツ共鳴器であるフットを強制振動する。外力である共鳴音場の周波数がヘルムホルツ共鳴周波数よりも半値全幅高いので、180 度の位相遅れが起きる。これが、逆同期のメカニズムである。フットの共鳴周波数を管共鳴周波数と同じにすると、管体とフットの間流体的非線形相互作用が強くなり、強制振動の理論は使えなくなり、かえって不安定化する。フットの共鳴周波数はその形状によって決まるので、オルガンパイプの発振を安定化させるためには、フットの設計は重要なファクターとなる。

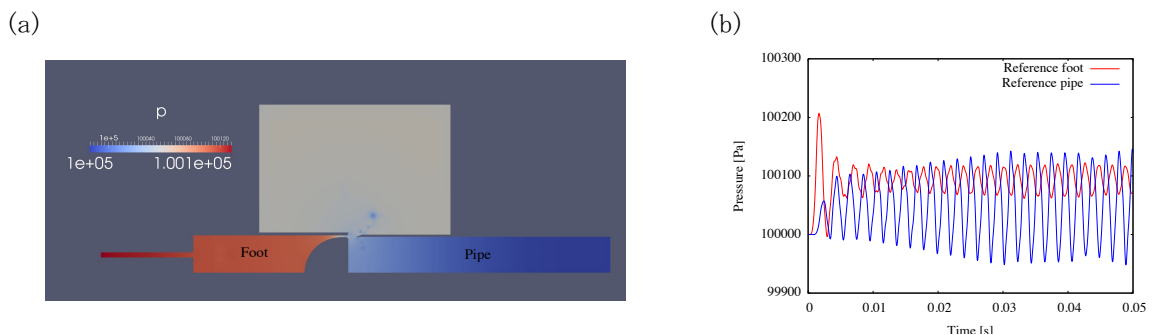


図 2 オルガンパイプの解析結果 (a) 圧力分布 (b) 管体とフットの圧力振動

c) DNS を用いたエッジトーンの解析

エアリード楽器の音源はエッジトーンと呼ばれる流体音 (空力音) である。エッジトーンは細いノズルから出たジェットがエッジと衝突することで発生するジェットの自励振動から発生する。エッジトーンの詳細な解析には、LES よりもより精度の高い DNS が適している。例えば、流速を上げていくと 1 次モードから 2 次モードへ履歴的な遷移を起こすが、LES では定性的な再現は可能であるが定量的な再現は難しい。これに対し、DNS では定量的に実験結果をよく再現する計算結果を得ることができる。図 3 にその結果を示す。図 3 (a) は、ジェットの流速と周波数の関係を示したものである。青と緑の実線は、Brown の式から求めた 1 次モードと 2 次モードの

周波数である。青の影の部分が履歴的遷移領域である。数値計算で求めた周波数は、遷移現象を再現し、周波数の値もほぼ一致していることがわかる。挿入図の流速分布を見ると、振動するジェットの様子が1次モードから2次モードに遷移していることが確認できる。図3(b)に、音波の強さと流速の関係を示す。1次モードと2次モード共に流速の5乗で音波の強さが増加している。これは、エッジトーンが双極子放射によって作られていることを示している。2次モードの方が音波の強さが小さいのは、ジェットの振動振幅が小さくなったためである。

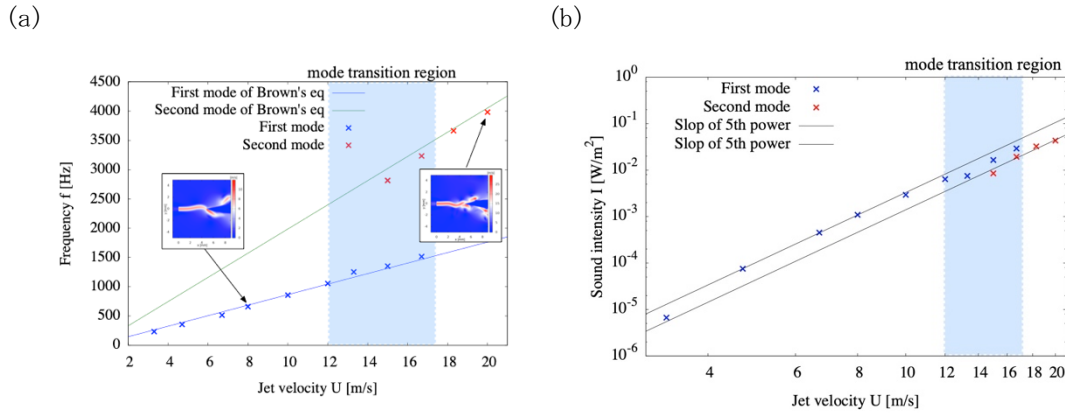


図3 DNSを用いたエッジトーンの解析結果

(a) 周波数と流速の関係 (b) 音波の強さと流速の関係

d) その他の成果

ヘルムホルツ共鳴器を共鳴器として持つオカリナとクラリネットのマウスピースのLESを用いた3次元モデルの解析を行った。これらは共に1億6千万メッシュでスーパーコンピュータを用いた大規模な解析が必要となるが、再現性の高い解析結果が得られた。さらに、音孔の開閉を再現した2次元モデルの解析(トポロジー変化を伴う移動境界問題の解析)を行い、音孔の開閉に伴う共鳴音場の変化を再現することに成功した。

(2) 遅延方程式モデルを用いたアプローチ

a) レジスターホールの解析

クラリネットには、レジスターホールと呼ばれる小さな音孔があり、これを開くと1オクターブと5度高い音(ほぼ3倍音)を発振することができる。レジスターホールは、1オクターブ以上の広い音域で機能する。基音の1/4波長を実行管体長として、レジスターホールが機能する状態を示したものを図4(a)に示す。レジスターホールと管体長が1:3の場合(適合条件)、3倍音は境界条件に合っている。1:2や1:4の場合(非適合条件)、3倍音は境界条件と合わないが、レジスターホールが小さい場合はうまく機能する。しかし、図4(b)のように音孔を大きくすると、1:2や1:4の場合には、近似的に境界条件を満たす高次奇数高調波が発振する。先行研究で、我々は、開口端とレジスターホールにおける反射を2重遅延とみなした遅延方程式モデルを用いて、レジスターホールの機能を理論的に説明することに成功した[5]。本研究では、より現実のクラリネットに近づけるために、管端のベルとマウスピース内部の段差による反射の効果を取り入れたモデルの解析を行った[6]。図5に、実行管体長と音孔の大きさをパラメータとしたときの発振モードの相図を示す。黒線で囲んだ部分がレジスターホールが機能している領域である。音孔が大きくなると非適合条件( $t_0/t_1=2$ )の周りで高次奇数高調波が発生していることが確認できる。詳しい解析をすると、ベルは高次高調波の発振を抑えるがレジスターホールの機能する領域を狭めてしまう。これに対し、マウスピースの段差は機能する領域を広げるので、それを補うことがわかった。

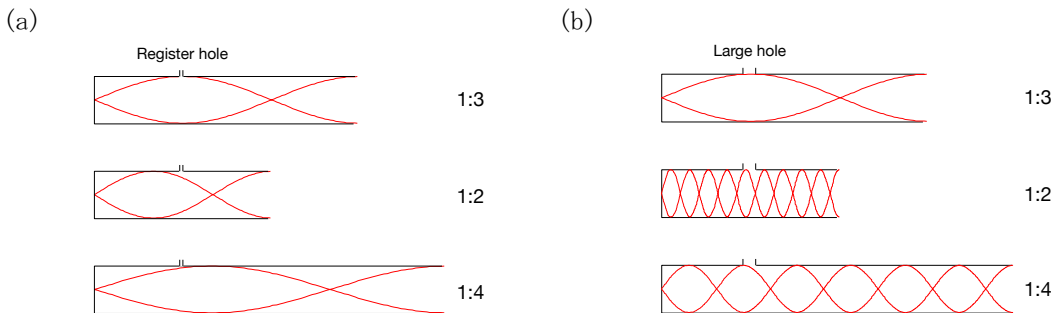


図4 クラリネットのレジスターホールの機能 (a) レジスターホール (b) 大きな音孔

## b) 多重遅延系の基礎解析

先行研究で行ったレジスターホールの解析では、発振モードを特定するために線形安定性解析を使った〔⑤〕。管楽器の演奏では複数の音孔が開いている状態が普通である。そこで、手始めに、2つの音孔が開いている状態をモデル化した3重遅延モデルの解析を行った〔⑦〕。開口端からの反射の遅延を  $t_f$ 、2つの音孔からの遅延を  $t_1, t_2$  とする。このとき、図6に示すような音孔の配置を取ると、開口端と2つの音孔の境界条件を満たす発振状態は存在しない(非適合条件)。このような配置の近傍では、高次奇数高調波の発振が起きる。遅延時間で表すと、 $t_1+t_2=t_f$  の場合に相当する。遅延時間  $t_1, t_2$  をパラメータとした発振モードの相図を図7に示す。 $-45$ 度の対角線が  $t_1+t_2=t_f$  に対応する。その周りでは極めて高い高次高調波の発振が見られる。さらに、 $k_1 t_1+k_2 t_2+k_f t_f=0$  ( $k_1, k_2, k_f$  は整数) の条件を満たす線上では、3つの遅延が作る境界条件を満たすことができないので、高次奇数高調波の発振が観測される。一方、 $t_1:t_2:t_f=奇数:奇数:奇数$  となる場合(適合条件)、3つの境界条件を満たすために、その近傍で低次奇数高調波の発振が観測される。したがって、単純な3重遅延モデルでも複雑なモード選択則が存在することがわかった。このモデルでは、音孔からの反射強度を開口端と同じにしている。音孔からの反射強度を小さくすると高次モードの発振が抑えれ、相図は単純になっていく。実際の楽器はそのような場合に相当し、極端な高調波の発振は起きない。

楽器には、音孔だけでなく図8に示すような段差が存在する。図のような段差が存在するときは、正負の遅延をもつ2重遅延系になる。この場合、適合条件は、 $t_1:t_2=奇数:奇数$  ではなく、短い遅延の強度に依存して  $t_1:t_2=偶数:奇数$  または  $t_1:t_2=奇数:偶数$  となる。このような適合条件の変化のメカニズムを線形安定性解析により明らかにした〔⑧〕。開口端や音孔では分散的な反射が起き、反射ピークの幅が広がる。非分散極限を取ると完全反射が起きる。このような極限は特異摂動極限となるが、解析は容易になる。特異摂動極限では、遅延比が  $t_1:t_2=n:m$  となる場合  $m$  次元写像に帰着できる。この写像は、元の遅延方程式と同じモード選択則に従う。そこで、この写像の性質を調べ、モード選択則のメカニズムを明らかにした〔⑨〕。モード選択則の解析では、制御パラメータ(例えば吹鳴圧)を上昇させたときに最初に分岐するモードを最適発振モードとする。さらに制御パラメータを上昇させると次々と分岐が起きるが、そのような分岐も  $m$  次元写像の解析から予想できること示した。

このような解析は、楽器の運指と演奏音のピッチの関係さらにその安定性を考える上で、重要な知見を与える。さらに、音孔の開閉の流体音響解析の成果と比較検討することで、音孔の機能や演奏音と運指の関係の統合的な解釈が可能になると考えられる。

### <引用文献>

- ① T. Kobayashi, T. Akamura, Y. Nagao, T. Iwasaki, K. Nakano, K. Takahashi, M. Aoyagi, Fluid dyn. Res. **46** (2014) 061411.
- ② K. Takahashi, S. Iwagami, T. Kobayashi, T. Takami, J. Phys. Soc. Jpn. **85** (2016) 44402.
- ③ 高橋公也, 数理科学 **651** (2017) 69-76.
- ④ S. Tateishi, S. Iwagami, G. Tsutsumi, T. Kobayashi, T. Takami, K. Takahashi, Acoust. Sci. & Tech. (2019) 29-39.
- ⑤ K. Takahashi, K. Goya, S. Goya, J. Phys. Soc. Jpn. **83** (2014) 124003.
- ⑥ K. Takahashi, K. Goya, S. Goya, G. Tsutsumi, T. Kobayashi, Proceedings of ISMA, Detmold (2019) 219-226.
- ⑦ K. Takahashi, T. Kobayashi, J. Phys. Soc. Jpn. **86** (2017) 124005.
- ⑧ K. Takahashi, T. Kobayashi, J. Phys. Soc. Jpn. **87** (2018) 44001.
- ⑨ K. Takahashi, T. Kobayashi, J. Phys. Soc. Jpn. **88** (2019) 24002.

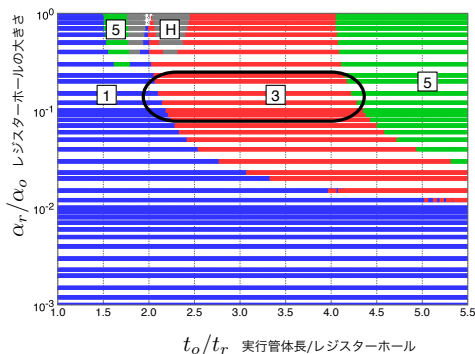


図5 レジスターホールの解析: 発振モードの相図 (Hは高次モード)

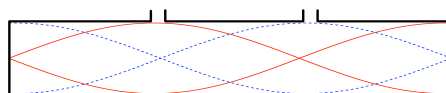


図6 非適合なモデル音孔配置

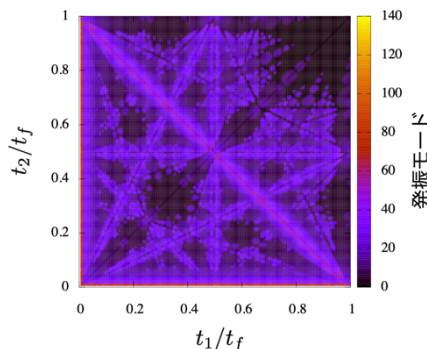


図7 3重遅延系の発振モード

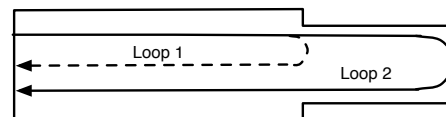


図8 段差のある管体

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 S.Tateishi, S.Iwagami, G.Tsutsumi, T.Kobayashi, T.Takami, K.Takahashi	4. 巻 40
2. 論文標題 Role of the foot chamber in the sounding mechanism of a flue organ pipe	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acoustical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 29 ~ 39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1250/ast.40.29	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 K.Takahashi, T.Kobayashi	4. 巻 88
2. 論文標題 Mode Selection Rules and Bifurcation Diagrams for Two-Delay Systems: Underlying Mechanism Controlled by Embedded Multidimensional Maps	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 024002 ~ 024002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.024002	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 K.Takahashi, T.Kobayashi	4. 巻 87
2. 論文標題 Mode Selection Rules for a Two-Delay System with Positive and Negative Feedback Loops	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 044001 ~ 044001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.044001	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 K.Takahashi, T.Kobayashi	4. 巻 86
2. 論文標題 Mode Selection Rule for Three-Delay Systems	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 124005 ~ 124005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.124005	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 651
2. 論文標題 管楽器の数理	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 数理科学	6. 最初と最後の頁 69-76
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 K.Takahashi, S.Iwagami, T.Kobayashi, T.Takami	4. 巻 85
2. 論文標題 Theoretical Estimation of the Acoustic Energy Generation and Absorption Caused by Jet Oscillation	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 44402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.85.044402	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, 岩上翔, 松清一樹, 松田怜, 小林泰三, 高見利也	4. 巻 35
2. 論文標題 Howeのエネルギー推論を用いたエアリード楽器の音響エネルギー発生メカニズムの解析	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 音楽音響研究会資料	6. 最初と最後の頁 37-42
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 立石修平, 堤元気, 小林泰三, 高見利也, 高橋公也	4. 巻 35
2. 論文標題 アンブシュアを考慮したエアリード楽器の流体音響解析	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 音楽音響研究会資料	6. 最初と最後の頁 31-35
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 -

〔学会発表〕 計47件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 17件）

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 S. 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. Tsutsumi, 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, T. Kobayashi, K. Takahashi, Y. Hattori
2. 発表標題 Mode Jump of Edge Tone Captured by Direct Numerical Simulation
3. 学会等名 Fifteenth International Conference on Flow Dynamics (プロシーディングス) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S.Tateishi, S.Iwagami, G.Tsutsumi, T.Kobayashi, T.Takami, K.Takahashi
2. 発表標題 Numerical Study on a Flue Organ Pipe with Compressible LES Focusing on the Role of the Foot Chamber
3. 学会等名 Fifteenth International Conference on Flow Dynamics (プロシーディングス) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H.Yokoyama, S.Iwagami, T.Kobayashi, K.Takahashi, Y.Hattori
2. 発表標題 Numerical Study on Aeolian Tone with Compressible LES
3. 学会等名 Eighteenth International Symposium on Advanced Fluid Information (プロシーディングス) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田紘彰, 岩上翔, 小林泰三, 高橋公也
2. 発表標題 オカリナの流体音響解析
3. 学会等名 音楽音響研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小岩屋寿晃, 岩上翔, 小林泰三, 高橋公也
2. 発表標題 シングルリード木管楽器のマウスピース内の流体音響解析
3. 学会等名 音楽音響研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 若狭大輝, 小林泰三, 松田秀隆, 高見利也, 高橋公也
2. 発表標題 木管楽器の音孔と移動境界 IV
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田紘彰, 岩上翔, 小林泰三, 高橋公也
2. 発表標題 オカリナの流体音響解析
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小岩屋寿晃, 岩上翔, 小林泰三, 高橋公也
2. 発表標題 シングルリード木管楽器のマウスピース内の 流体音響解析
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩上翔, 小林泰三, 服部裕司, 高橋公也
2. 発表標題 DNSを用いたエッジトーンの解析
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 立石修平, 岩上翔, 堤元気, 小林泰三, 高見利也, 高橋公也
2. 発表標題 圧縮性 LES を用いた 2 次元オルガンパイプのフットの役割の解析
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田紘彰, 岩上翔, 小林泰三, 高橋公也
2. 発表標題 オカリナの流体音響解析 2
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小岩屋寿晃, 岩上翔, 小林泰三, 高橋公也
2. 発表標題 シングルリード木管楽器のマウスピース内の流体音響解析 II
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林泰三, 若狭大輝, 松田秀隆, 高見利也, 高橋公也
2. 発表標題 木管楽器の音孔と移動境界 V
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田畑諒也, 小林泰三, 高橋公也
2. 発表標題 エアリード楽器の同期現象の数値解析
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩上翔, 小林泰三, 服部裕司, 高橋公也
2. 発表標題 DNSを用いたエッジトーンのモード遷移の再現
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Iwagami, T. Kobayashi, K. Takahashi, Y. Hattori
2. 発表標題 Fundamental Mechanism of Fluid-Acoustic Interaction in Edge Tone
3. 学会等名 Seventeenth International Symposium on Advanced Fluid Information (プロシーディングス) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋公也, 小林泰三
2. 発表標題 2重遅延系の非適合条件近傍のモード選択則とファレイ数列
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋公也, 小林泰三
2. 発表標題 非分散極限における2重遅延系のモード選択則
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林泰三, 若狭大輝, 岩上翔, 高見利也, 高橋公也
2. 発表標題 木管楽器の音孔と移動境界III
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横山博一, 小林泰三, 高見利也, 高橋公也
2. 発表標題 圧縮性LESを用いたエオルス音の流体音響解析
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 桑原拓也, 松清一樹, 岩上翔, 小林泰三, 高見利也, 高橋公也
2. 発表標題 バスレフポートスピーカーのポートノイズの流体音響解析II
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩上翔, 小林泰三, 高見利也, 服部裕司, 高橋公也
2. 発表標題 エッジトーンの基本問題の流体音響解析III
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 立石修平, 堤元気, 小林泰三, 高見利也, 高橋公也
2. 発表標題 オルガンパイプの発音機構におけるバックチャンバーの役割
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩上翔, 小林泰三, 服部裕司, 高橋公也
2. 発表標題 エッジトーンのDNSを用いた解析
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S.Iwagami, T.Kobayashi, K.Takahashi, Y.Hattori
2. 発表標題 Fundamental Mechanism of Fluid-Acoustic Interaction in Edge Tone
3. 学会等名 Sixteenth International Symposium on Advanced Fluid Information (プロシーディングス) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 K.Takahashi, S.Iwagami, T.Kobayashi, T.Takami
2. 発表標題 Energy Transfer between Jet Oscillation and Acoustic Field: Fundamental Mechanism of Flue Instruments
3. 学会等名 Thirteenth International Conference on Flow Dynamics (プロシーディングス) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 K.Takahashi, S. Iwagami, T.Kobayashi, T.Takami
2. 発表標題 Acoustic energy generation of “air-jet” instruments: Energy transfer between jet oscillation and acoustic field
3. 学会等名 Acoustical Society of America/Acoustical Society of Japan 5th Joint meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S.Iwagami, T.Kobayashi, K.Takahashi, Y.Hattori
2. 発表標題 Numerical study on acoustic intensity of edge tone with change of jet velocity
3. 学会等名 Acoustical Society of America/Acoustical Society of Japan 5th Joint meeting (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S.Tateishi, G.Tsutsumi, T.Kobayashi, T.Takami, K.Takahashi
2. 発表標題 Numerical study of the influence of the mouth-flue-foot geometry on sounding mechanism of an “air-jet” instrument model
3. 学会等名 Acoustical Society of America/Acoustical Society of Japan 5th Joint meeting (国際学会)
4. 発表年 2016年



1. 発表者名 T.Kobayashi, H.Matsuda, T.Takami, K.Takahashi
2. 発表標題 A numerical simulation for the moving pad on a tone hole of flue musical instrument
3. 学会等名 Acoustical Society of America/Acoustical Society of Japan 5th Joint meeting (国際学会)
4. 発表年 2016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 2
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 高橋公也,小林泰三
2. 発表標題 正負のフィードバックの入った2重遅延系のモード選択則
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 立石修平,堤元気,小林泰三,高見利也,高橋公也
2. 発表標題 アンブシュアを考慮したオルガンパイプの流体音響解析
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 松清一樹,野見山亮,篠原浩佑,馬場玲於,岩上翔,小林泰三,高見利也,高橋公也
2. 発表標題 閉管楽器のレジスターホールの機能における流体音響解析
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 馬場玲於,三木晃,鬼束博文,宮川矩昌,岩上翔,堤元気,松清一樹,小林泰三,高見利也,高橋公也
2. 発表標題 フルート唄口近傍の流体音響解析
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 小林泰三,松田秀隆,高橋公也,高見利也
2. 発表標題 木管楽器の音孔と移動境界
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 岩上翔,小林泰三,高見利也,服部裕司,高橋公也
2. 発表標題 エッジトーンの基礎問題の流体音響解析
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 松田 怜, 松清一樹, 岩上翔, 小林泰三, 高見利也, 高橋公也
2. 発表標題 エアリード楽器の3次元流体解析
3. 学会等名 日本物理学会第72回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 若狭大輝, 小林泰三, 松田秀隆, 高見利也, 高橋公也
2. 発表標題 木管楽器の音孔と移動境界問題II
3. 学会等名 日本物理学会第72回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩上翔, 小林泰三, 高見利也, 服部裕司, 高橋公也
2. 発表標題 エッジトーンの基礎問題の流体音響解析II
3. 学会等名 日本物理学会第72回年次大会
4. 発表年 2017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	高見 利也  (Takami Toshiya)  (10270472)	大分大学・理工学部・教授   (17501)	

## 6. 研究組織（つづき）

	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	小林 泰三  (Kobayashi Taizo)  (20467880)	帝京大学・福岡医療技術学部・准教授    (32643)	H31年より九州大学情報基盤研究開発センター学術研 究員