

研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

(/)

研究題目	管楽器の大規模流体音響解析	報告書作成者	高橋 公也
研究従事者	小林泰三		
研究目的	<p>管楽器の発音機構の解明は、音楽音響分野の重要な問題であり、楽器の開発改良のために重要な知見を与える。管楽器の音源は、空気流が音波に変わる流体音(空力音)であると考えられる。そのため、管楽器の厳密な数値解析には、流体と音波を同時に再現できる圧縮流体の大規模解析が必要になる。本研究では、オルガンパイプ、オカリナ、クラリネットおよびホルンのマウスピースの圧縮性 LES を用いた数値解析を行い、管楽器の発音機構の解明を目指す。オルガンパイプとオカリナは、エッジトーンを音源とするエアジェット楽器(エアリード楽器)であるが、オルバンパイプでは、空気ジェットを作り出すフットの役割についての解析を行う。一方、オカリナは、ヘルムホルツ共鳴器を持つ楽器であり、その特徴が発振音にどのような影響を与えるかについて解析を行う。クラリネットはリード木管楽器に、ホルンはリップリード楽器に分類される。そのため、空気流が音波に変化する過程はエアジェット楽器とは異なることが予想される。その解析の最初の段階として、マウスピース内の音波発生を再現することを目指す。</p>		

研究内容	<p>研究内容は以下の3項目である。</p> <p>1) フルーオルガンパイプのフットの役割の解明:我々は、“S.Tateishi <i>et al.</i>, “Role of the foot chamber in the sounding mechanism of a flue organ pipe”, <i>Acoust. Sci. & Tech.</i>, 40, pp.29–39 (2019)”で、2次元モデルの数値解析を行い、フットがヘルムホルツ共鳴器の役割をはたし、安定な発振状態では管体とフットの音圧振動が逆同期状態になることを見出した。具体的には、フットのヘルムホルツ共鳴周波数を楽器の発振周波数から半値全幅だけ低く設定すると、安定化することを見出した。一方、フットの共鳴周波数を発振周波数と同じにすると、フットの振動が管内の振動より$\pi/2$遅れ、不安定になることを見出した。本研究では、その解析を進め、管体、フット、ジェット振動の間の位相の関係を調べ、オルガンパイプが安定に発振するための条件を詳細に検討する。さらに、3次元モデルの作成を行う。</p> <p>2) オカリナの流体音響解析: オカリナは、菅共鳴ではなく、ヘルムホルツ共鳴により発振するエアジェット楽器である。また、構造的にも、横笛の楽器に近く、発振状態での音場や流体場の振る舞いがリコーダー等の縦吹き笛とは異なり、発音機構に違いが現れることが予想される。本研究では3次元モデルを作成し、ジェットの流速を変化させたときの発振状態の変化を考察する。</p> <p>3) クラリネットとホルンのマウスピースの流体音響解析: リード木管楽器や金管楽器のマウスピース内で、口腔から吹き込まれた空気流が音波に変わる機構の解明は未解決である。クラリネットとホルンのマウスピースの3次元モデルの流体音響解析を行い、流体音の発生過程を再現する。本研究では簡単のために、リードや唇の振動を再現する代わりに、リードや唇の隙間を固定し、交流的な流速を与え、発振状態を再現する。</p>
------	--

研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

(/)

<p>研究のポイント</p>	<p>流体音の発生機構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よく研究されているが、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、エオロス音）に依存してその特性が変わることが予想される。本研究では、管楽器の発音機構に注目し、3次元モデルおよび2次元モデルのLESを用いた大規模解析を用いて、エアジェット楽器、リード木管楽器、リップリード楽器の流体音の発生および共鳴器との間のフィードバックについて詳細な解析を行い、その特徴を明らかにした。これが本研究のポイントである。</p>
<p>研究結果</p>	<p>1) フルーオルガンパイプのフットの役割の解明：2次元モデルの解析データから、安定性解明の鍵となる、フット内の圧力、ジェットの流速、管内の圧力の相対位相について解析を行いその関係を明らかにした。特に、フットの形状が適切なものと不適切なものとの違いを、位相関係から考察した(説明書 図1)。さらに、3次元モデルを作成し、粗いメッシュのモデル(約7千3百万メッシュ)を用いて予備計算を行った。</p> <p>2) オカリナの流体音響解析：3次元モデル(約1億6千万メッシュ)の解析を数種類の流速で計算し、実験データとの比較を行い、高調波成分が少ないオカリナ特有の発振が再現されていることを確認した(説明書 図2)。</p> <p>3) クラリネットとホルンのマウスピースの流体音響解析：クラリネットのマウスピースの3次元モデル(約1億6千万メッシュ)の解析を行い、Lighthillの音源分布の計算し、音波の発生がマウスピースの入り口近くで起きることを見出した(説明書 図3)。また、ホルンのマウスピースの3次元モデル(約3千6百万メッシュ)の解析を行い、マウスピース単体の共鳴振動を再現した(説明書 図4)。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>1) フルーオルガンパイプのフットの役割の解明：より細かなメッシュの3次元モデルの解析を行い、フットの役割が、2次元モデルと比較してどのように変わるかを考察する。さらに、現実のオルガンパイプにおけるフットの形状の設計指針をあたえることが、今後の課題である。</p> <p>2) オカリナの流体音響解析：音孔を付けたオカリナモデルの解析を行い、音孔の開閉に伴う、ピッチの変化を再現することが、今後の課題である。</p> <p>3) クラリネットとホルンのマウスピースの流体音響解析：クラリネットのマウスピースのそのリード振動およびホルンのマウスピースの唇の振動を再現可能なモデルを作成することが、今後の課題である。</p>

1) フルーオルガンパイプのフットの役割の解明:

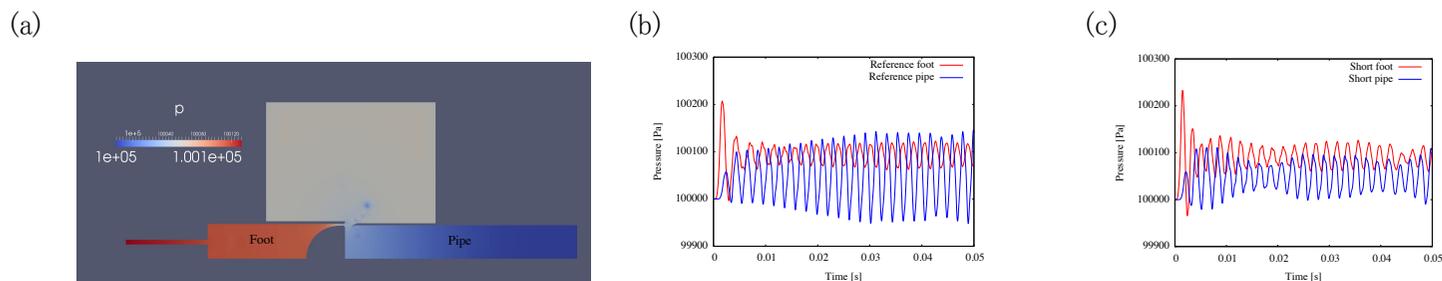


図 1 オンガンパイプの解析結果 (a) 適切なフットの発振状態(圧力) (b) 管体とフットの圧力振動(適切なフット) (c) 管体とフットの圧力振動(不適切なフット)

2) オカリナの流体音響解析:

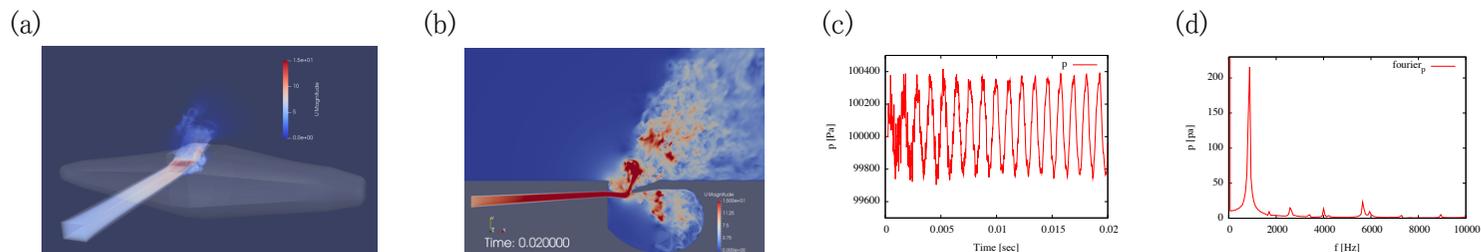


図 2 オカリナの解析 (a) 流速(3D) (b) 流速(2D 断面) (c) 共鳴器内部の圧力振 (d) フーリエスペクトル

3) クラリネットとホルンのマウスピースの流体音響解析:

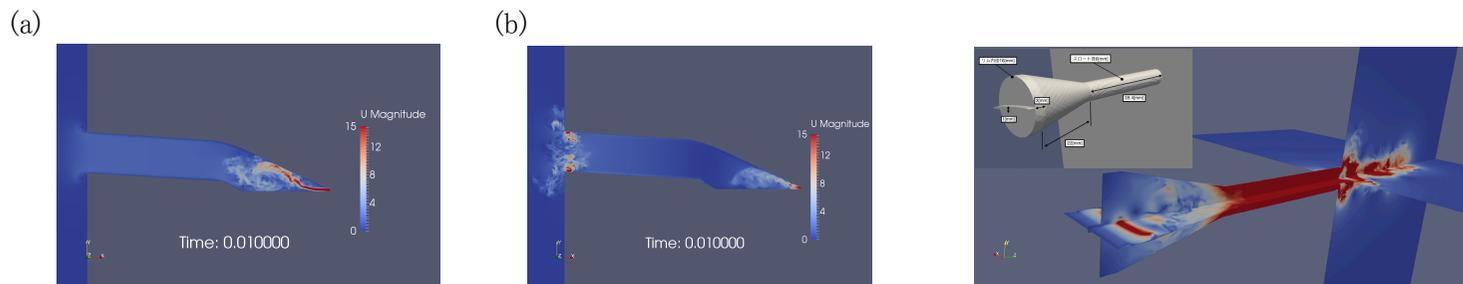


図 3 クラリネットのマウスピースの解析(流速) (a) 直流駆動 (b) 交流駆動

図 4. ホルンのマウスピースの解析(流速)

(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)