

研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

(1/3)

研究テーマ	動作・姿勢がクラリネット発音に与える影響分析を実現する奏者生体―楽器連成モデルの開発	報告書作成者	松浦一雄
研究従事者	松浦一雄, 永田真悠		
研究目的	クラリネットを上手に操り観客に優雅な演奏を提供するためには、奏者は正しい姿勢で腹式呼吸して吹き、キーをスムーズに操作することが大切である。演奏の仕組みを科学的に理解できれば、より深く正確に演奏法を習得できると考えられる。本研究では、演奏姿勢がクラリネット流入空気の向きや速さに与える影響や呼吸時空気吸込量に与える影響、およびキーの状態や押し方が発音に及ぼす影響を研究する。この目的の実現に向け、まずは奏者の気道に着目した生体構造と楽器内部の発音機構とが連成するモデルを開発し、数値計算を行う。加えて、奏者の姿勢に応じた楽器からの放射音を実際に測定し、モデル構築に活用する。		

研究内容

研究目的の達成に向け、①音響計測システムの開発と姿勢が演奏に与える影響の計測、数値計算に向けた②肺—楽器のマクロモデリング、③肺—楽器のミクロモデリングを研究した。特に、②ではクラリネットの発音機構を記述する Schumacher 方程式(R.T. Schumacher, Acustica, Vol. 48, No. 2, pp. 71-86, 1981)と肺の呼吸力学を記述するモデルを連成するモデルの開発を行い、③は呼吸気流と楽器構造の関係によって音が発生する一シナリオであるフィードバック系をモデル化した例であるリングトーン系の実験および直接音計算を行った。特に、実験では研究①で開発した計測システムを利用した。

① 音響計測装置の開発と姿勢が演奏に与える影響の計測

クラリネット生演奏時の音をスペクトログラム解析できる音響解析システムを開発した。そのシステムを用いて、クラリネットおよびサクソフォンに関して良い姿勢および悪い姿勢時のスペクトログラム分析を行った。実験の様子を図1に示す。



(i) 良い姿勢



(ii) 悪い姿勢

(a) クラリネット (愛媛大学教育学部1年・永田真悠氏)



(i) 良い姿勢



(ii) 悪い姿勢

(b) サクソフォン (愛媛大学教育学部1年・武方悠朗氏)

図 1. クラリネットとサクソフォンに関する良い姿勢および悪い姿勢の比較

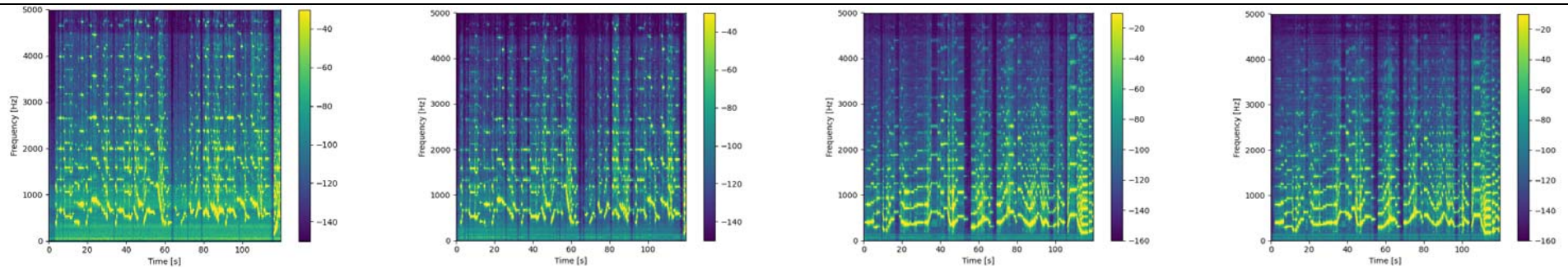
② 肺—楽器のマクロモデリング

文献 S. Marconi, C. D. Lazzari, Mathematics and Computers in Simulation 177, pp. 603-624(2020)を参考に、肺の呼吸力学を電気回路のアナロジーとして微分方程式系によりモデル化した。これに含めることができる吹鳴圧力を Schumacher 方程式と共有することで両者をカップリングするモデルを開発し、数値計算した。

③ 肺—楽器のミクロモデリング

リングトーン系の実験および計算を行い、実験と計算がどの程度整合性を持つか検討すると同時に、実験システムの微小な設定変化が発生音に与える影響を調べた。また、今後の気道・クラリネット系の数値流体力学シミュレーションに備えて、クラリネット形状を3D スキャンした。

研究のポイント	本研究のポイントは、生体機構と楽器機構を考慮した流体構造連成シミュレーションおよび、奏者・クラリネット内外部における音響計測・信号処理を通じて、奏者の動作・姿勢がクラリネット発音に与える影響を明らかにする点である。この目標の実現に向けて、音響計測装置の開発と姿勢が演奏に与える影響の計測、マクロ・ミクロ両観点から肺―楽器連成系の数値計算モデリングを実施、それに必要な数値モデルの精度検証を行う。
研究結果	① の研究では、演奏による音をスペクトログラム分析できる音響解析システムを開発した。クラリネットおよびサクソフォンによる演奏を良い姿勢および悪い姿勢の両2ケースに対して、各2分間ずつの演奏に対してスペクトログラム分析し、姿勢変化に対する放射音の違いを比較することが可能になった(図 2)。 ② の研究では吹鳴圧力を内部変数として Schumacher 方程式と呼吸力学を連成する数値計算モデルを提案し、マクロな観点による連成システムの挙動解析が行えるようになった(図 3)。 ③ の研究では、音が発生する機構を直接的に計算する数値流体力学解析(CFD)と風洞実験が、最も卓越するピーク音なら現状として概ね一致することが分かった(図 4)。3D スキャナによりクラリネット形状のデジタルデータ化を行い、CFD 解析に向けメッシュ作成に見通しを得た(図 5)。
今後の課題	奏者姿勢、呼吸に伴う肺・横隔膜の連動、上下気道における空気流動、クラリネット内の発音・共鳴機構の流れ構造連成シミュレーションといった、より現実的な生体動力学および楽器構造を考慮して、目的とする連成シミュレーションを実現することが課題である。加えて、数値シミュレーションと実際の演奏との整合性の確認、および動作・姿勢がクラリネット発音における影響分析を行っていくことが今後の課題である。



(i) 良い姿勢

(ii) 悪い姿勢

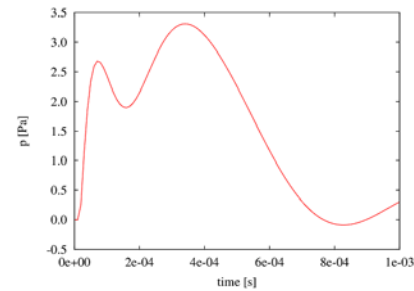
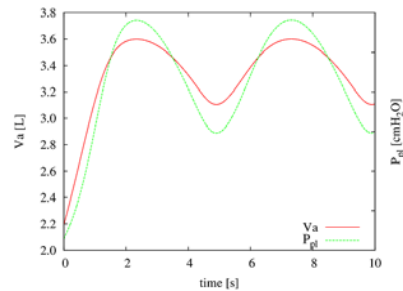
(a) クラリネット (愛媛大学教育学部1年・永田真悠氏)

(i) 良い姿勢

(ii) 悪い姿勢

(b) サクソフォン (愛媛大学教育学部1年・武方悠朗氏)

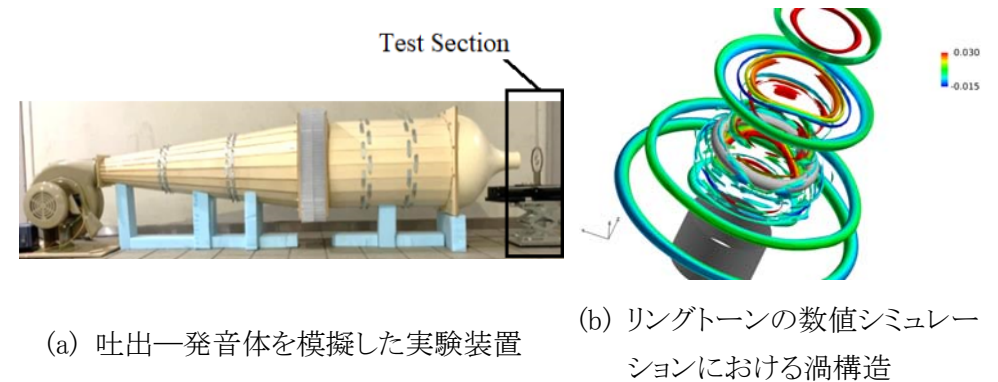
図 2. 各姿勢での2分間演奏に対応したスペクトログラム



(a) 肺胞領域および胸腔内圧の時間履歴

(b) Schumacher 方程式により計算されたマウスピース内圧力の時間履歴

図 3. 肺—楽器のマクロモデリングに関する数値計算結果



(a) 吐出一発音体を模擬した実験装置

(b) リングトーンの数値シミュレーションにおける渦構造

図 4. リングトーンの実験および数値流体力学解析



図 5. 申請者が 3D スキャナでデータ化したクラリネット上管