

平成 30 年 5 月 21 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01366

研究課題名(和文)筋活動を考慮した鼻咽腔閉鎖不全による構音障害の流体音響構造連成シミュレーション

研究課題名(英文) Fluid acoustic structure coupled simulation of articulation disorder due to nasopharyngeal closure failure considering muscle activity

研究代表者

野崎 一徳 (Nozaki, Kazunori)

大阪大学・歯学部附属病院・助教

研究者番号：40379110

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：発話時の声道形状変化を計測するため、発話時における咽頭内圧計測と声道三次元形状を同時に計測し、陰関数として声道形状を表現することに成功した。
 安静時と発音時の形状間の変位が、筋線維応力により発生したと仮定し、舌体をMooney-Rivlin体として表現することにより、最小二乗法を用いて筋線維応力を近似的に推定した。
 数値流体シミュレーションを行い、気道形状中の空気の流れベクトルと圧力の変化を求めた。鼻咽腔閉鎖機能による摩擦音への影響を調べ、摩擦音が生じる際に必要となる口腔先端付近の加速について、鼻咽腔閉鎖及び前舌挙上と同時に達成されることが必要であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In order to measure changes in the shape of the vocal tract during utterance, we measured the internal pressure of the pharynx during speech and the three-dimensional shape of the vocal tract at the same time and expressed the shape of the vocal tract as an implicit function.
 The muscle fiber stress was approximately estimated by using the least squares method by expressing the tongue as a Mooney-Rivlin body, assuming that the displacement between the shapes at rest and pronunciation occurred due to the muscle fiber stress.
 Numerical fluid simulation was carried out to obtain the velocity vector of air in the airway shape and the change in pressure. It is necessary to investigate the influence on the fricative sound by the nasopharyngeal closure function and to clarify that it is necessary for simultaneous achievement of nasopharyngeal closure and anterior tongue elevation for acceleration around the tip of the oral cavity which is necessary when a fricative sound occurs.

研究分野：発音

キーワード：空力音 舌運動 調音 気流 筋活動 数値シミュレーション 構音障害 流体音響

1. 研究開始当初の背景

これまで/s/の構音の物理的メカニズムは口腔内に限局して明らかにされてきた。しかしこれらの事実は、構音時に鼻腔と口腔が咽頭部において軟口蓋の挙上により閉鎖されることが前提となる。この機能は鼻咽腔閉鎖機能といわれ、その障害により発生する音を開鼻声とよび、その治療には言語訓練や外科手術が必要とされる。特に、先天性疾患である口唇口蓋裂や顎変形症患者に、鼻咽腔閉鎖不全がみられ、それによる開鼻声が問題となる。/s/構音時に開鼻声の発生を予防、治療するためには、/s/を含む「うすい」のような単語を対象とし、開鼻声の物理的発生メカニズムを明らかにする必要がある。

図1に示すように、鼻咽腔閉鎖機能は「う」や「い」発音時には鼻腔を開放する。そして/s/構音時に0.2秒間程度閉鎖する。この閉鎖によって口腔内圧が高まり、舌先端の前歯部口蓋側への挙上により高いレイノルズ数のジェットが発生すると考えられる。このような口腔内圧の上昇を生む鼻咽腔閉鎖を司る筋組織は、口蓋帆張筋、口蓋垂筋、口蓋帆挙筋、咽頭収縮筋等があり、これらが協調して鼻腔の閉鎖を実現していると考えられている。すなわち、「うす」等の母音-子音(VC)となる単語を発音する際、鼻咽腔閉鎖がなされつつ、舌先端部の挙上が始まり、上顎中切歯歯頸部後方に狭めをつくる。開鼻声等の構音障害の治療を実現するためには、いくつかのケースを考える必要があり、鼻咽腔閉鎖が解剖学的に不可能な場合と解剖学的には問題はないが神経筋機能に問題がある場合とに大別される。後者は、鼻咽腔閉鎖機能不全や舌先端部挙上機能不全と、さらに考えられるのは、鼻咽腔閉鎖と舌先端の挙上のタイムラグが問題となる場合とに分けられる。/s/発音時の口蓋帆挙筋の活動を筋電計で計測し、さらに口腔内圧を計測した結果、筋電計での電圧上昇、口腔内圧の上昇、そして/s/音の発生の間には、それぞれにタイムラグが存在していることが報告されている。これまでの報告によると、口唇口蓋裂患者における中顔面劣成長の治療のため上顎骨前方移動術(2次手術)を行った後の患者と健常者とを比較すると、高い口腔内圧を要する子音の構音時の筋電位は2倍以上であり、構音に要する筋活動のコストが大きいことが示されている⁽¹⁾。従ってより構音コストの低い鼻咽腔閉鎖機能の維持、回復手法について、医学的、生理学的、物理学的な視点を取り入れた治療指針の提案が必要とされている。その実現のためには、まず脳神経からの筋収縮指令を運動単位で考え⁽¹⁾、それぞれの筋収縮の特性を変化させることにより、音の発生原因である気流の乱れの特性に、舌先端部挙上と鼻咽腔閉鎖の順序・タイムラグがどのような影響を及ぼすかについて、流体音響学的に解明する必要がある。

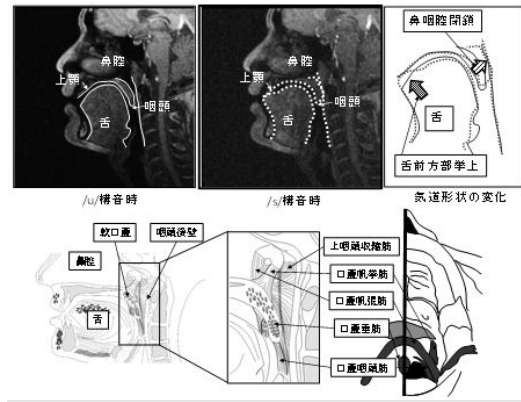


Fig. 1 鼻咽腔閉鎖機能とそれに関連する筋組織

2. 研究の目的

/s/のような乱流を発生させることで構音される音素について、VCもしくはVCVとなる単語を発音する際の、鼻咽腔閉鎖と舌先端部挙上との間に存在する流体音響学的関係性が、関連するそれぞれの筋収縮の特性によりどのように変化するかを調べ、そしてその変化が、開鼻声等構音障害をどのようにして引き起こすのかについて、物理的な観点から明らかにする。

3. 研究の方法

(1) MR撮像による舌形状と軟口蓋部の筋繊維走行の取得

近年、舌筋群の筋繊維走行をMR撮像によって同定する取り組みが行われており、特にスピンエコー法による脂肪組織が発する信号を捉えることで間接的に筋繊維走行を同定することができている⁽³⁾。また、脳神経研究分野では拡散テンソル画像(DTI)を撮像することで神経線維の走行を同定する方法を、舌筋群の筋繊維走行の同定に応用した研究も報告されている⁽⁴⁾。本研究では、DTIの精度に確証が得られないため、舌筋群と鼻咽腔閉鎖機能関連筋についてスピンエコー法による同定方法を試みる。

(2) 時系列MR撮像による気道(舌・軟口蓋)形状の陰関数表現

MRの高速撮像手法⁽⁵⁾により、単語発音時の気道を時系列的に撮像することが出来る。この撮像方法により、非等方性の3次元時系列信号強度情報が得られる。これを4次元MR情報とみなすと、気道形状は、一般的にはポリゴンや曲面として得られるが、本研究では、時間的な形状変化が後の物理解析に大きな影響を及ぼすため、3次元の陰関数として形状を表現した上で、1次元高次の4次元関数を考えることで、時々刻々と変化する多自由度の気道形状を表現する⁽⁶⁾。

(3-1) ばね質点モデルによる神経筋組織のシミュレーション・コーディング

計測により得られた筋繊維方向データに基づき、形状変形シミュレーションを実装する。これまで発音時の舌運動のシミュレーション

ョンでは、超弾性体による等方弾性体の中に、筋繊維方向の異方性を加えることにより筋肉の収縮を模擬した。さらに神経からの運動指令をモデル化し用いることにより、各筋繊維を時間差で収縮、伸長させ、発音時の舌の形状変化を再現した⁽⁷⁾。本研究では、臨床応用を視野にいれるため、形状変化に関する計算コストを極力低減する必要がある。そのため、ばね弾性モデルを用いて神経からの運動指令を考慮した筋組織収縮、伸長を実現する。具体的には、顔の表情変化の物理シミュレーションにおいて、実際のヒトの表情変化を移した映像を基に、ばね質点モデルのパラメータを設定し、様々な表情を実現する手法を応用する⁽⁸⁾。

(3-2) ばね質点モデルのパラメータ設定

4次元の陰関数として表現される気道形状に沿うように、ばね質点モデル中の筋アクチュエータに与えるパラメータ値を調整する。例えば、収縮率や組織（スプリングネットワーク）中の筋アクチュエータのブレンド率等を、時系列 MR 画像より得られた陰関数との法線方向の距離が最小となるよう最適化する。

(4-1) 神経筋機能を反映した構音シミュレーションによる摩擦音発生再現

最適化により求められたパラメータを用いたばね質点モデルにより、気道形状の時間的変化が得られる。その変化を強制変位として、レイノルズ方程式の非線形有限要素解法における各節点に速度ベクトルを与え剛性マトリックスに組み込み、時間発展的に強連成問題として解く。さらに、求まった流れ場より変動レイノルズ応力が求まるため、Lighthill の音響アナロジーから音源成分が算出できる。この結果から音源の発生と形状変化の特徴との関係性を調査する。

(4-2) 舌先端挙上と鼻咽腔閉鎖のタイミング変化が空力音源特性に及ぼす影響の調査

ばね質点モデル中の筋アクチュエータは、スピンエコー法より得られる筋繊維方向に準じて配置される。構音に関わる一次運動野 (M1) からの運動指令を、体性遠心性の神経線維を含む脳神経 (三叉, 舌咽, 迷走, 咽頭, 舌下神経) と各筋との神経筋接合部から、運動単位で各筋繊維に与え、さらに属性として神経支配比を設定することで、外科手術による構音器官修復後の筋活動状態を表現する。これら運動単位と神経支配比、神経繊維による伝達応答速度、各筋繊維収縮のタイミング等をパラメータとし、これらのパラメータを変更することにより、それぞれの筋活動の状態変化を発生させる。その結果、舌先端挙上と鼻咽腔閉鎖のタイミングの変化を表現し、その影響が流れ場と空力音源発生の強度や位置に変化を及ぼすか、そしてその変化が、開鼻声等構音障害に繋がるのかについて、物理的な観点から明らかにする。

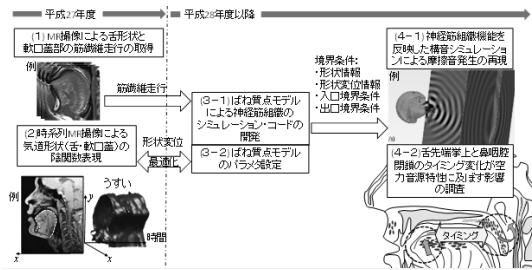


Fig.2 研究計画の概要

参考文献

- (1) Kuehn D. et al. (1995) Levator Vel Palatini Muscle Activity in Relation to Intraoral Air Pressure Variation in Cleft Palate Subjects, The Cleft palate-craniofacial journal.
- (2) Ferrand CT. (2007) Speech Science -An Integrated Approach to Theory and Clinical Practice- 2nd Ed., Pearson.
- (3) 高野ら (2011) 口腔咽頭領域の高精細 MRI, 音声言語医学
- (4) Srboljub M. et al. (2012) Derivation of a finite-element model of lingual deformation during swallowing from the mechanics of mesoscale myofiber tracts obtained by MRI, J. Applied Physiology
- (5) 島田ら (2002) Synchronized Sampling Method (SSM) を利用した 4D-MRI, 日本放射線技師学会雑誌
- (6) Osher S. et al. (2002) Level Set Methods and Dynamic Implicit Surfaces, Springer
- (7) Buchaillard S. et al. (2009) A Biomechanical Model of Cardinal Vowel Production: Muscle Activations and the Impact of Gravity on Tongue Positioning, J. Acoust. Soc. Am.
- (8) Terzopoulos D. et al. (1990) Physically-Based Facial Modeling, Analysis and Animation, Journal of Visualization and Computer Animation

4. 研究成果

(1) MR 撮像による舌形状と軟口蓋部の筋繊維走行の取得

大阪大学大学院歯学研究科・歯学部附属病院倫理審査委員会承認の下で以下の計測を実施した。

1) 舌形状取得のため、大阪大学歯学部附属病院放射線科 (村上教授・内山助教) の協力を得た。MRI 装置 (1.5 T, GE 社製) を用いて、スピンエコー法により舌外形とオトガイ舌筋等の主な舌筋群の走行に関する情報を計測した。(関連業績: 3, 7, 12)

2) 発話時の声道形状変化を計測するため、松坂済生会総合病院歯科口腔外科 (佐藤部長) の協力を得た。発話時における咽頭内圧計測と声道三次元形状を同時に計測した。(関連業績: 1, 2, 9, 11, 14)

(2) 時系列 MR 撮像による気道(舌・軟口蓋)形状の陰関数表現

時系列 MR 撮像は時間解像度の点で優れているが、空間解像度の点で問題があり、特に三次元形状が必要な本研究においては適していなかった。そのため、時間と空間解像度において問題が少ない320列エリアディテクターCTを用いた。これにより、「うすいみそしる」と発話した際の計72コマの三次元声道形状データを計測した。計測により得られたデータは医療用標準画像形式DICOMデータ(冠状スライス320枚,ピクセル数512×512,ボクセルサイズ0.488×0.488×0.5mm)となっており、1コマ毎に画像処理ソフトウェアAmiraを用いて興味領域である声道領域を抽出した。この処理により各コマの声道形状はSTL形式となり、点群データとしても扱うことが可能となった(Fig.3)。得られた点群データを元に、陰関数として声道形状を表現することに成功した。一方で、複雑な形状を効率よく扱うため、Partition Of Unit(POU)による分割処理を行った。陰関数を生体形状表現に導入する利点は接触判定や変位量を用意に扱える点にある。(関連業績:3, 9, 11)

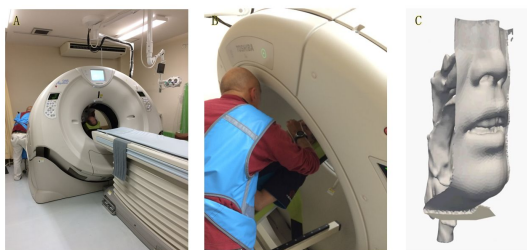


Fig.3 A:320列エリアディテクターCT, B:着座時の姿勢にて気道形状計測が可能, C:可視化した気道形状のSTLデータ

(3) ばね質点モデルによる神経筋組織のシミュレーション

一般に、舌運動シミュレーションを行う際に、標準的な筋組織の形状情報とバネ弾性モデルや、体積変化を考慮した有限要素法による力学モデルを用いて、陽的に筋収縮活動を模擬させることがほとんどである。ただし、この方法では、筋収縮活動をモデルとして内挿する必要があり、必要なパラメータを含め制度検証に関して、モデル完成後、統計的な検証が必要となる。本研究では、安静時と発音時の形状間の変位が、舌筋組織を超弾性体と仮定し、筋線維応力により発生したと仮定し、舌体を二次のMooney-Rivlin体として表現することにより、最小二乗法を用いて筋線維応力を近似的に推定した。さらに運動単位に近似した筋収縮方向を有限要素法における各要素の異方性として与えた。但し、各筋線維の配置と配向方向については、解剖学データ(Miyawaki, 1974; Takemoto, 2001)に基づいて決定した。筋線維は、前部オトガイ舌筋(GGa), 中部オトガイ舌筋(GGm), 後部オトガ

イ舌筋(GGp), 舌骨舌筋(HG), 茎突舌筋(Sty)の5つの外舌筋と、上縦舌筋(IL), 下縦舌筋(SL), 横舌筋(Trans), 垂直舌筋(Vert)の4つの内舌筋の計9つに分けて配向させた。

この舌筋活動シミュレーションを用いて、最も難度の低いと予想された母音/u/に対する逆解析を行った。正中矢状面, 冠状面, 横断面における舌の輪郭をそれぞれ評価した。逆解析によって得られた形状は各断面で目標形状と定性的に一致した。但し、舌先端部や側面部において両者の形状はあまり一致しなかった。舌背と舌咽頭表面では、両者の形状は各断面で定性的に一致した。舌下面形状の不一致が著しかったが、その原因としてオトガイ舌筋の筋線維の三次元的な配向方向に問題があったと考えられる。また評価関数Jの値は、初期の値の10.5%であった。筋線維応力Fについては、GGaに最大の筋線維応力が発生し、GGa, GGm, GGp, HGに収縮応力が発生した。また、いくつかの筋線維に負の筋線維応力が発生した。具体的にはSty, SL, Trans, Vertに負の応力が発生した。

推定された筋線維応力は、どちらも負の応力が発生した。これは筋線維が伸張する方向に応力が発生したことを示している。本研究では安静位の舌を初期形状として使用したが、その時の舌は応力ゼロ状態ではなく、安静位の形状を保つために収縮応力が作用していたと考えられる。そのため、これらの負の応力は初期状態ですでに収縮していた筋線維が弛緩することで発生したとみなすことができる。実際にNiimi et al. (1994)のEMG測定では、母音/a/, /o/発話時よりも安静位の方がオトガイ舌筋の活動レベルが高かったことが示された。このことは、安静位ですでに筋線維は収縮しており、発話による舌変形に伴い筋線維が弛緩したことを示している。したがって、逆解析で推定された筋線維応力のうち、正の値を持つ筋線維が母音/u/の発話時に活動した筋線維と考える。

逆解析によって得られたどちらの結果においても、最大の筋線維応力はオトガイ舌筋で推定された(GGa)。この結果は、Takano and Honda (2007)の母音発話時にオトガイ舌筋が最も支配的な機能を果たす、という主張を支持している。また、以前の変形シミュレーションによる研究(BuchaiIard et al., 2009; Fang et al., 2009)で得られた結果やEMGの測定結果(Miyawaki et al., 1975; Baer et al., 1988)とも一致した。一方で、本研究で推定された結果では茎突舌筋には収縮応力が発生しなかった。この結果は、BuchaiIard et al. (2009)とFang et al. (2009)のシミュレーションの結果や、Baer et al. (1988)のEMG計測とは異なる傾向を示していた。対照的に、Takano and Honda (2007)は、MRIより得られる茎突舌筋の長さが母音/u/発話時には変化しなかったことから、茎突舌筋は母音/u/では収縮しないことを示唆しており、本結果と同様の傾向を示していた。(関連業

績：3, 7, 12)

(4) 神経筋機能を反映した構音シミュレーションによる摩擦音発生再現

本研究では、被験者が「うすいみそしる」と発音した際の気道立体形状を0.05秒毎にCTを用いて計測した。それぞれの計測で得られた画像データから気道部分を抽出し、生理的な流入条件を与えた後、有限体積法による数値流体シミュレーションを行い、時々刻々と変化する気道形状中の空気の流れと圧力の変化を求めた。

被験者に関する鼻咽腔閉鎖関連筋群・舌筋群の活動による気道形状の変化と口腔、鼻腔、咽頭腔における気道トポロジーの変化が流れ場と圧力分布に及ぼす影響を明らかにした (Fig.4)。

有限体積法における流体解析手法において用いた直交格子による形状表現では、気道壁面における流れ境界層の解析精度に問題が生じた。ただし、狭窄部以外の領域における主流の解析精度については妥当な結果が得られた。(関連業績：1, 9, 11, 15)

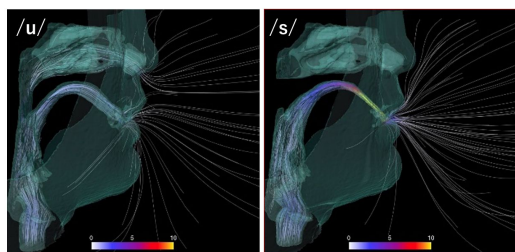


Fig.4 鼻咽腔閉鎖時と開放時の声道形状と気流の違い

次に、鼻咽腔閉鎖機能による摩擦音への影響を調べるために、単純な数理モデルを Fig.5 のように作成した。ここでは、口蓋帆挙筋、口蓋帆張筋、口蓋垂筋等の活動によって鼻咽腔閉鎖機能が果たされる事象と、舌前方部が挙上され口蓋との間で狭窄が形成される事象について、それらの事象間でどのような流体学的関係性が存在するのかについて調べた。その結果、摩擦音が生じる際に必要となる口腔先端付近の加速について、鼻咽腔閉鎖及び前舌挙上と同時に達成されることが必要であることが示された。このことについて、被験者の咽頭に障害物を挿入し人工的に鼻咽腔閉鎖機能不全を生じさせた実験によると、直径数ミリの隙間であっても摩擦音構音に影響を与えることが報告されている。さらに、(未発表であるが)我々が行った機械モデルを用いた物理実験の予備実験では、鼻咽腔閉鎖のタイミングと舌前方部の挙上のタイミングの関係と発生する摩擦音との関係を調べた。今後、機械モデルを用いて構音関連筋群の筋収縮のタイミング制御機構の解明を進めていく予定である。(関連業績：15)

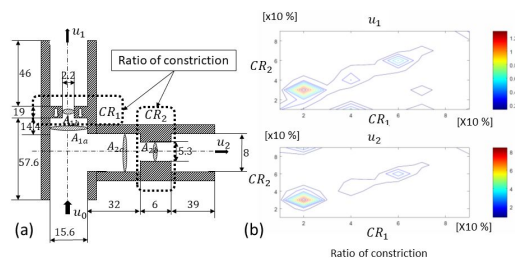


Fig.5 摩擦音構音時の鼻咽腔閉鎖と前舌挙上との流体学的関係

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5 件)

1. Satoh K.*, Suzuki T., Kariyasu M., Nozaki K., Tsuji T., Okuno E., Kogo M., 2015, Dynamic evaluations of speech organs using a 320-row area detector CT, International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery 44, e136. Impact Factor: 1.918, Times Cited: 0.
2. Yoshinaga T., Nozaki K.*, Wada S., 2017, Effects of tongue position in the simplified vocal tract model of Japanese sibilant fricatives /s/ and /ʃ/, The Journal of the Acoustical Society of America 141 (3), EL314. Impact Factor: 1.503, Times Cited: 0.
3. Koike N., Ii S.*, Yoshinaga T., Nozaki K., Wada S., 2017, Model-based inverse estimation for active contraction stresses of tongue muscles using 3D surface shape in speech production, Journal of biomechanics 64, pp. 69-76. Impact Factor: 2.664, Times Cited: 0.
4. Yoshinaga T., Van Hirtum A.*, Nozaki K., Wada S., 2018, Influence of the Lip Horn on Acoustic Pressure Distribution Pattern of Sibilant/s/, Acta Acustica united with Acustica 104 (1), pp.145-152. Impact Factor: 1.119, Times Cited: 0.
5. Yoshinaga T., Nozaki K.*, Wada S., 2018, Experimental and numerical investigation of the sound generation mechanisms of sibilant fricatives using a simplified vocal tract model, Physics of Fluids (17 Feb. 2018 accepted). Impact Factor: 2.232, Times Cited: 0.

[学会発表](計 17 件)

6. 小池成彦, 吉永司, 野崎一徳, 伊井仁志, 越山頭一朗, 宮崎浩, 和田成生, 歯茎摩擦音 s 発生時の口腔内単純形状モデルを用いた数値流体音響解析, 関西学生会平成 26 年度学生員卒業研究発表講演会 .2015 年 3 月 14 日, 大阪.
7. 小池成彦, 吉永司, 野崎一徳, 伊井仁, 和田成生, 舌形状に基づく発音時の舌筋線

維収縮力の逆問題推定, 日本機械学会第 26 回バイオフロンティア講演会, 2015 年 10 月 12 日, 仙台.

8. Yoshinaga T., Koike N., Nozaki K., Wada S., Study on production mechanisms of sibilant /s/ using simplified vocal tract model, Inter Noise 2015, 503, p. 1-8, 10 August 2015, San Francisco USA.

9. 野崎一徳, 杉山千尋, 畠中耕平, 中川真智子, 佐藤耕一, 苅安 誠, 野原幹司, 玉川裕夫, 山城 隆, 阪井丘芳, 古郷幹彦, 鼻咽腔閉鎖機能を考慮した構音野流体解析, 第 40 回日本口蓋裂学会総会・学術集会, 2016 年 5 月 27 日, 大阪.

10. Yoshinaga T., Nozaki K., Wada S., Experimental validation of sound generated from flow in simplified vocal tract model of sibilant /s/, Proceedings of INTERSPEECH 2016, pp. 3584-87, 12 June 2016, San Francisco USA.

11. Hatanaka K., Nakagawa M., Watanabe M., Nozaki K., Tamagawa H., Kogo M., Surface Model Construction from 4D-CT for Articulation Simulation, WCCM XII, 25 June 2016, Seoul Korea.

12. Koike N., Yoshinaga T., Nozaki K., Ii S., Wada S., Image-based analysis for inverse estimation of muscle fiber forces in the tongue, Summer Biomechanics, Bioengineering and Biotransport Conference, 30 August 2016, Washington DC USA.

13 小池成彦, 吉永司, 野崎一徳, 伊井 仁志, 和田 成生, 舌先端と下前歯の間のキャピティが歯茎摩擦音/s/に与える影響, 日本機械学会2016年度年次大会 2016年9月13日, 福岡.

14. Yoshinaga T., Nozaki K., Wada S., Effect of tongue position in the simplified vocal tract model of sibilant fricatives /s/ and /ʃ/, Proceedings of 5th joint meeting of the ASA and ASJ, 140(4), pp. 3221-3221, 30 November 2016, Honolulu USA.

15. Nozaki K., Tamagawa H., Sugiyama C., Nohara K., Sakai T., Hatanaka K., Nakagawa M., Satoh K., Kariyasu M., Yamashiro T., Kogo M., Velopharyngeal Closure Function Strategy in Articulation: Mechanical Dynamics Modeling of Air Flow in the Vocal Tract, IEEE 16th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), 1 November 2016, Taichung Chinese Taipei.

16. 吉永 司, 野崎一徳, 和田成生, 口腔単純形状モデルを用いた摩擦音/s/と/sh/の空力音響解析, 第 29 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2017 年 1 月 19 日, 名古屋.

17. 小池成彦, 吉永 司, 野崎一徳, 伊井仁

志, 和田成生, 医用画像に基づく舌筋線維応力の逆解析, 第 29 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2017 年 1 月 20 日, 名古屋.

18. Yoshinaga T., Nozaki K., Wada S., Effects of tongue position on flow and sound in a simplified vocal tract model of sibilant fricatives, Proceedings of 5th Japan-Switzerland Workshop on Biomechanics, 17 September 2017, Zermatt Switzerland.

19. Yoshinaga T., Nozaki K., Wada S., A relationship between simplified and realistic vocal tract geometries for Japanese sibilant fricatives, Proceedings of 11th International Seminar on Speech Production, 17 October 2017, Tianjin China.

20 吉永 司, 野崎一徳, 安福健祐, 木戸善之, 下條真司, 和田成生, 空力音響シミュレーションと大規模可視化システムを用いた摩擦音発音の可視化, NICOGRAPH2017, pp.056-059, 2017 年 11 月 11 日, 盛岡.

21. 吉永 司, 野崎一徳, 和田成生, 摩擦音発音の口腔実形状モデル及び単純形状モデルに発生する流れ場と音場の関係性, 第 30 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2017 年 12 月 14 日, 京都.

22. 野崎一徳, Human fricatives, ISMHT2017, 2 September 2017, Himeji, Japan.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野崎 一徳 (NOZAKI, Kazunori)
大阪大学・歯学部附属病院・助教
研究者番号: 40379110

(2) 研究分担者

古郷 幹彦 (KOGO, Mikihiro)
大阪大学・大学院歯学研究科・教授
研究者番号: 20205371

(4) 研究協力者

Annemie van Hirtum
Grenoble Universities, Gipsa-lab, France

杉山 千尋 (SUGIYAMA, Chihiro)
大阪大学・歯学部附属病院・技術職員