

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：34428

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06475

研究課題名（和文）乳児の吸啜時における舌運動の計測とメカニズムの解明

研究課題名（英文）Measurement of the tongue movement and elucidation of the mechanism during infant sucking

研究代表者

西 恵理（Nishi, Eri）

摂南大学・理工学部・講師

研究者番号：80757435

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、哺乳時における乳児の吸啜メカニズムを解明するために、開発したセンサーデバイスを用いて舌の力を計測し、母乳摂取動作に関与する舌運動モデルの構築を行った。

主な成果は次の4点である。(1)吸啜時における舌の力計測について、被験者数80名の実績を得た。(2)計測データから良好な吸啜を形成しているパラメータ抽出に成功した。(3)PC上で人工乳首の簡易モデルを構築し、シミュレーションを通じて乳汁流出量の推定に成功した。(4)舌運動簡易モデルを試作し、乳児の舌運動と同様の動作が再現できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

女性の社会進出を後押しする政策に伴い、女性が働きながら子供を産み育て、女性目線で社会に貢献できる仕組みを整備することが重要である。産後の速やかな社会復帰において、人工ミルクよりも栄養・免疫・健康面で優れている母乳を確保することが求められている。

しかし母乳の確保のために用いられる現在の搾乳器は乳児の舌の動きに則していないため、「痛みを生じる」「搾出量が少ない」等の問題を抱えている。これを解決するための第一歩として、まず乳児の吸啜メカニズムの解明が不可欠である。吸啜メカニズムの解明を通じて母乳摂取に有効な舌運動モデルの構築が可能と考えられることから、本研究は学術的な意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, to elucidate the sucking mechanism of infants, we measured the force of the tongue during sucking using the developed sensor device, constructed a tongue movement model related to breastfeeding. The main achievements are the following four points. (1) We measured the force of the infant's tongue in 80 subjects. (2) We succeeded in extracting the parameters in good sucking from the measurement data. (3) We constructed a simple model of an artificial nipple on a PC and succeeded in estimating milk outflow through simulation. (4) We made a prototype of a tongue movement model and confirmed that it was able to reproduce the same movement as the infant's tongue.

研究分野：生体計測

キーワード：計測 舌運動 吸啜 乳児 哺乳 運動メカニズム 計測工学

## 1. 研究開始当初の背景

人口減少社会を迎える中で、我が国の持続的成長を実現し社会の活力を維持していくためには、最大の潜在力である「女性の力」の発揮が不可欠である。政府は「女性活躍加速のための重点方針 2015」を発表し、成長戦略の一環として女性の活躍を後押しする政策を推進中である。社会での女性活用を推進するためには、子育て中の母親が抱える問題を解決する必要がある。子育て中の働く母親は保育園などに乳児を預けることになるが、栄養・免疫・健康面から人工ミルクよりも母乳を与えることが推奨されており、母乳の確保が第一優先となる。市販されている搾乳器は、乳首に空気圧を一気にかける構造をしているため、痛みを生じやすく乳腺炎になる人も少なくない。乳腺炎の罹患をはじめ、痛みや腫れなど軽度の症状を含めると母乳を与えている母親にトラブルのない者はいない。つまり、母乳の確保および乳腺炎の防止の観点から搾乳器を上手に利用することが重要となる。しかし、現存する搾乳方法は何らかの問題を有している。特に、乳腺炎を起こさないようするための搾乳方法は現時点では存在せず、母体を傷つけず、安心して使用できる搾乳器の開発が乳児を持つ母親から切望されている。

これまで舌運動様態においては、超音波断層法やビデオカメラ等を用いて観察されているが直接舌の力を計測した例はない。さらに、画像から舌運動を推定し、それを考慮した搾乳器が報告されているが、力学的作用を十分考慮したとは言い難く舌運動機構の決定には至っていない。つまり、搾乳器開発にあたり核心となる、母乳摂取動作の「舌運動のモデル化」どころか、その基盤となる乳児の「吸啜メカニズム」ですら解明されていない現状である。

## 2. 研究の目的

本研究では、まだ解明されていない哺乳時における吸啜メカニズムを明らかにするとともに、母乳摂取動作に関与する最適な舌運動モデルの構築を目的とする。具体的には、(1)開発したセンサデバイスを用いて、乳児の吸啜時における舌の力を多点で計測する。次に、(2)計測結果から良好な吸啜を形成しているパラメータ(力の最大値,位相差,周期等)を明らかにする。また、搾乳器への開発へ発展すべく(3)人工乳首の簡易モデル構築と乳汁流出量の数値シミュレーションをし、(4)舌運動を再現したモデルを構築する。

## 3. 研究の方法

### (1)吸啜時における舌の力に関する計測<sup>[1],[2]</sup>

本研究で使用したセンサデバイスは人工乳首型および手袋型である。手袋型センサデバイスを図1に示す。感圧センサ(イナバゴム株式会社製、感圧導電性ゴムセンサ「イナストマー」)を天然ゴムラテックス製手袋の小指の先に縦に3つ、横に2つ、計6つ配置し、シート状のポリプロピレンで覆った。センサの感圧面は2mm(縦)×2mm(横)×0.5mm(厚さ)と非常に小さく、薄いことが特徴である。感圧センサchannel 1(以下 ch.1 と記す)および ch.4 は小指の末節骨付近に、ch.2 および ch.5 は小指の遠位指節間関節付近に、ch.3 および ch.6 は小指の中節骨の先端付近に配置した。6個の感圧センサのうち、ch.1 および ch.4 は舌根部に、ch.3 および ch.6 は舌尖部に接触すると考えられる。

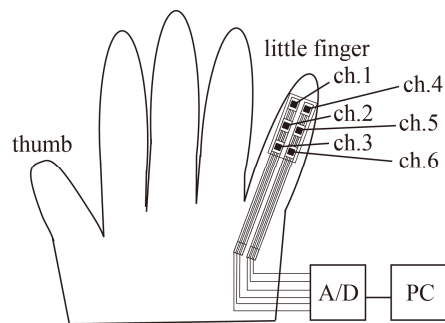


図1 手袋型センサデバイス<sup>[1]</sup>

### (2)良好な吸啜を形成するパラメータの抽出<sup>[3]-[5]</sup>

健常児の計測データにおける特徴的な要素(力の最大値,位相差,周期等)を用いて、良好な吸啜を形成しているパラメータを抽出するために重回帰分析を行った。目的変数は母乳摂取量,説明変数は,A.先端側に配置したセンサの最大値,B.根元側に配置したセンサの最大値,C.吸啜周期,D.最大値に達する時間差,E.日齢である。A~Dにおいては出力波形における平均値を用いた。また、過去の約100名の計測データに加え、本研究で得られたデータを用いて、良好な吸啜を示すパラメータを抽出し、外観からチェックできるシステムを構築した。

### (3)人工乳首の簡易モデル構築と乳汁流出量の数値シミュレーション<sup>[6]</sup>

3D-CAD ソフトを用いて人工乳首の簡易モデルを構築し、舌運動を模擬した変位を人工乳首部に与え、乳汁流出量を数値シミュレーションにより推定した。具体的には、人工乳首モデルとして、人工乳首部と開放部に関する簡易的な数値解析モデルを作成した。同モデルについて、汎用熱流体解析ソフトウェア(ANSYS CFX17.0)を用いて有限体積法での解析を行った。なお、非定常解析の全要素数は約 170 万、作動流体は水とし、乱流/SST モデルを使用した。境界条件は、開放部左端を開口端に設定し、人工乳首下部の壁面移動による体積変化に伴って、流体の流入出が自由にできるように設定した。複数の変位パターンを入力条件とし、得られた乳汁流出量を用いて重回帰分析を行った。

### (4)舌運動を再現したモデルの構築

本格的な舌運動モデル構築に向けた前段階として、簡易モデルの構築を行った。(2)で明らかになったパラメータをインテリジェントブロックとプログラミング&データロギングソフトウェア(株式会社アフレル製、教育版レゴ® マインドストーム® EV3)を用いて再現した。

## 4. 研究成果

(1)図 2 に計測した圧力の時系列波形および圧力分布を示す<sup>[1]</sup>。上段は圧力波形、下段は 0.05s 間隔で推定した圧力分布である。0.05s (a) から 0.10s (b) において、まず ch.3 から接触し、ch.2 および ch.5 に圧力が加えられている。次に、ch.2 および ch.5 の圧力が大きくなり((c),(d))、その後、ch.1 に大きな力が加えられている(e)。つまり、吸啜開始時に舌尖から圧力が加えられ始め、その後舌根側へと移動し舌根部において極めて大きな圧力が加えられていることが示された。この結果は、舌の蠕動様運動によるものであると考えられ、画像で視認された結果と同様であった。画像で舌運動を観察する際、精密な機械が必要となるが、本センサデバイスは手部に装着し、乳児の口腔内に挿入するだけで計測することが可能である。また、左側に設置した感圧センサ(ch.1, 2 および 3)と右側に設置した感圧センサ(ch.4, 5 および 6)を比較すると、左側の方が大きい圧力値が出力されている。このように左右差の検討を加えることができた。

(2)変数減少法を用いて重回帰分析を行った結果、 $Y$  を母乳摂取量、 $X_1$  を先端側に配置したセンサの最大値、 $X_2$  を根元側に配置したセンサの最大値、 $X_3$  を吸啜周期とした回帰式が得られた。また、重相関  $R$  は 0.84、重決定  $R^2$  は 0.71、 $P$  値は 0.05 未満を得ることができた。

さらに、良好な吸啜を形成している 2 つの条件(舌尖部および舌根部の最大値に達する時間差が周期の 8% 以上であること、舌尖部の最大値が舌根部の 50% 以上であること)を用い、乳児の口腔内にセンサデバイスを挿入するだけで吸啜能力を評価できるシステムを構築した。図 3 に吸啜能力評価時の分布図を示す<sup>[3]</sup>。x 軸は最大値に達する時間差/吸啜周期(に対応)、y 軸は舌尖部/舌根部の最大値(に対応)である。 のエリアにプロットが集中している場合、吸啜能力が良好であると評価できる。このシステムは乳児にセンサデバイスを咥えさせるだけで、即時に評価結果が表示される。

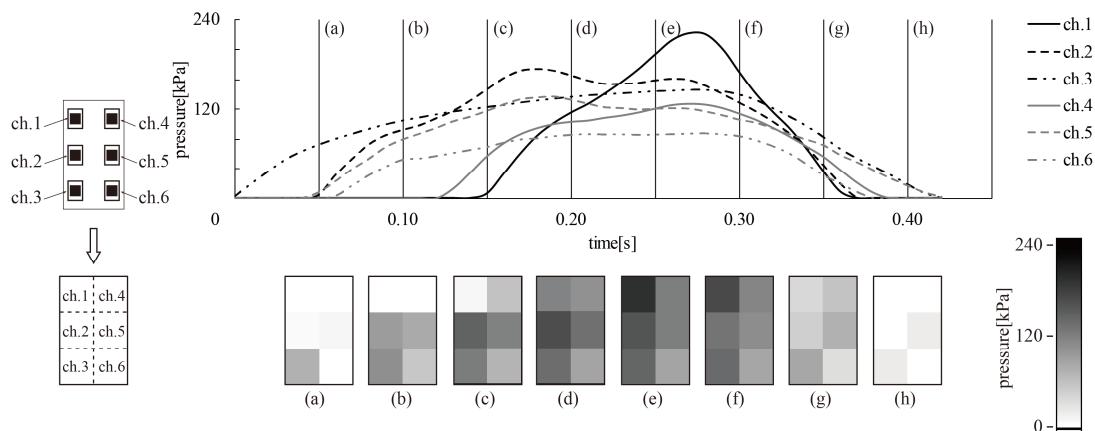
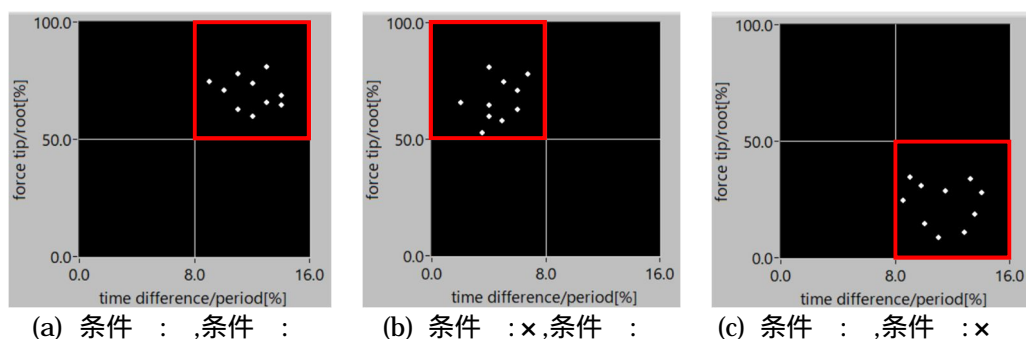


図2 圧力の時系列波形および圧力分布<sup>[1]</sup>

(3)研究成果(1)の計測結果を正弦波で近似し,吸啜時における舌の動きを超音波断層法で撮影した動画を用いて変位を推定した。推定式は  $f(t)=A\sin(\omega t+\phi)$  とし,人工乳首下部の壁面移動の式を入力条件とした。様々な舌運動を模擬するため,式中の  $A, \omega, \phi$  の値を変更してシミュレーションを実行し,乳首先端部の穴に相当する直径 1mm の円筒部の体積流量を算出した。体積流量は,「位相差がある場合」と比較し「位相差がない場合」が大きくなった。さらに,変位が大きくなるほど体積流量も大きくなることが分かった。このことから,蠕動様運動の有無および舌の力の違いによって,人工乳首から流出される乳汁量が変化すると考えられる。

また,数値シミュレーションの結果を用いて乳汁流出量に関する重回帰分析を変数減少法で行った。目的変数は,人工乳首モデルから流出した体積流量を「乳汁流出量:  $Y$ 」とし,説明変数は 3 箇所における変位:  $X_1, X_2, X_3$ , 位相差  $X_4$ , 周期  $X_5$ , とした結果,回帰式  $[Y=0.37X_1+0.41X_2+0.43X_3 - 2.3X_4 - 6.4X_5+0.89]$  が得られた。また,重相関  $R$  は 0.89, 重決定  $R^2$  は 0.71 となり,全要素の  $P$  値は 0.01 未満を得ることができ,舌運動を模擬した変位,位相差および周期から人工乳首の乳汁流出量を推定できる可能性を見出した。

(4) インテリジェントブロックを用いて乳児の舌運動に模した力の作用点を試作し,プログラミング&データロギングソフトウェアを用いて乳児の吸啜時における舌の力の「最大値」「周期」および「チャンネル間の位相差」をベースデータとし動作させた。この際に研究成果(1)および(2)で明らかにした舌の動きのパラメータ(舌尖から舌根の方向への力移動,吸啜周期,舌の力の最大値)の特徴から,研究成果(2)で示した良好な吸啜を形成している 2 つの条件が出力されていることを確認した。このように,舌運動モデルの試作を通じて,乳児の舌運動と同様の動作を再現することができた。



(a) 条件 : ,条件 :  
 (b) 条件 : x,条件 :  
 (c) 条件 : ,条件 : x

条件	舌尖部および舌根部の最大値に達する時間差が周期の 8%以上であること
条件	舌尖部の最大値が舌根部の 50%以上であること

図 3 吸啜能力評価時の分布図<sup>[3]</sup>

<引用文献>

[1]西恵理,奥田遼友,平岡勝之,永井聡,利光勝久:“乳児の吸啜時における舌の圧力分布計測システムの構築”,電気学会論文誌 C, Vol.138, No.11, pp.1327-1333(2018)  
 [2]西恵理,奥田遼友,平岡勝之,利光勝久:“吸啜時における手袋型センサデバイスを用いた舌運動の推定”,システム制御情報学会論文誌, Vol.33, No.4, pp.128-130(2020)  
 [3]Eri Nishi, Yuiko Nagamatsu and Takuya Niikawa:“Construction of Sucking Ability Evaluation System for Infants”, 39<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE EMBC Short Papers, FrDT5-06.1 (2017)  
 [4]西恵理,上野毅之,新川拓也:“吸啜時における乳児用玩具を利用した舌運動検出システムの構築”,電気学会論文誌 C, Vol.138, No.1, pp.88-89(2018)  
 [5]Eri Nishi, Ryosuke Okuda and Takuya Niikawa:“Evaluation of sucking ability in infants by using a portable tongue movement detection device”, 41<sup>st</sup> Annual International Conference of the IEEE EMBC Short Papers, WePOS-19.15 (2019)  
 [6]奥田遼友,堀江昌朗,西恵理:“人工乳首モデルを用いた乳汁流出量の推定”,電気学会論文誌 C, Vol.139, No.11, pp.1275-1276(2019)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4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 0件）

1. 著者名 奥田遼友, 堀江昌朗, 西恵理	4. 巻 Vol.139, No.11
2. 論文標題 人工乳首モデルを用いた乳汁流出量の推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 1275-1276
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.1275	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 西恵理, 奥田遼友, 平岡勝之, 利光勝久	4. 巻 Vol.133, No.4
2. 論文標題 吸啜時における手袋型センサデバイスを用いた舌運動の推定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 システム制御情報学会論文誌	6. 最初と最後の頁 128-130
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 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 西恵理, 奥田遼友, 平岡勝之, 永井聡, 利光勝久	4. 巻 Vol.138, No.11
2. 論文標題 乳児の吸啜時における舌の圧力分布計測システムの構築	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 1327-1333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1541/ieejeiss.138.1327">https://doi.org/10.1541/ieejeiss.138.1327</a>	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 西恵理, 上野毅之, 新川拓也	4. 巻 Vol.138, No.1
2. 論文標題 吸啜時における乳児用玩具を利用した舌運動検出システムの構築	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 88-89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1541/ieejeiss.138.88">https://doi.org/10.1541/ieejeiss.138.88</a>	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 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Eri Nishi, Ryosuke Okuda and Takuya Niikawa
2. 発表標題 Evaluation of sucking ability in infants by using a portable tongue movement detection device
3. 学会等名 41st Annual International Conference of the IEEE EMBC (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新川拓也, 西恵理
2. 発表標題 吸啜時における舌 人工乳首接触力の計測
3. 学会等名 令和元年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥田遼友, 平岡勝之, 利光勝久, 西恵理
2. 発表標題 人工乳首内蔵型および手袋型センサデバイスを用いた乳児の吸啜時における舌の力計測
3. 学会等名 令和元年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥田遼友, 堀江昌朗, 西恵理
2. 発表標題 人工乳首簡易モデルを用いた乳汁流出量の推定
3. 学会等名 摂南大学理工学部融合科学研究所講演会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 奥田遼友, 平岡勝之, 利光勝久, 西恵理
2. 発表標題 吸嚙時における手袋型センサデバイスを用いた舌運動の推定
3. 学会等名 第63回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥田遼友, 利光勝久, 平岡勝之, 西恵理
2. 発表標題 乳児の吸嚙時における手袋型センサデバイスを用いた舌運動評価システムの構築
3. 学会等名 第29回ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥田遼友, 平岡勝之, 利光勝久, 西恵理
2. 発表標題 感圧センサを用いた人工乳首の違いにおける舌の力の計測
3. 学会等名 第28回ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥田遼友, 堀江昌朗, 西恵理
2. 発表標題 人工乳首モデルにおける乳汁の流出量の推定
3. 学会等名 平成30年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西恵理
2. 発表標題 乳児の吸啜時における舌運動の計測とその応用
3. 学会等名 摂南大学理工学部融合科学研究所研究講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Eri Nishi , Katsuyuki Hiraoka , Ryosuke Okuda, Takuya Niikawa and Katsuhisa Rikoh
2. 発表標題 Measurement of Tongue Force with Different Artificial Nipples During Infant Sucking
3. 学会等名 40th Annual International Conference of the IEEE EMBC (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥田遼友, 西恵理
2. 発表標題 吸啜時における舌の圧力分布計測システムの構築
3. 学会等名 平成29年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金濱圭佑, 網島蓮, 西恵理, 新川拓也
2. 発表標題 無線通信システムを用いた吸啜機能評価装置の開発
3. 学会等名 第27回ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 奥田遼友, 平岡勝之, 永井聡, 西恵理
2. 発表標題 乳児の吸嚙時における舌の圧力分布の推定
3. 学会等名 第27回ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Eri Nishi, Yuiko Nagamatsu and Takuya Niikawa
2. 発表標題 Construction of Sucking Ability Evaluation System for Infants
3. 学会等名 39th Annual International Conference of the IEEE EMBC (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 乳児の吸嚙動作時における舌運動モニタリング装置及び方法	発明者 西恵理, 他2名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-212296	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	新川 拓也  (Niikawa Takuya)  (50340641)	大阪電気通信大学・医療健康科学部・教授   (34412)	
研究 協力者	奥田 遼友  (Okuda Ryosuke)		