

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：32706

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04456

研究課題名（和文）「のど」周辺の皮膚変化を立体的に可視化する新たな嚥下機能評価法の開発

研究課題名（英文）Development of a new swallowing function evaluation method that visualizes skin deformation around the "throat" in three dimensions

研究代表者

森 貴彦（Mori, Takahiko）

湘南工科大学・工学部・准教授

研究者番号：20332025

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：ひずみゲージ2枚を使って構成される皮膚センサを25セット使用した多点計測用高密度皮膚センサシートの作製を行った。また、安定かつ高増幅率を確保した小型化皮膚センシング用プリント基板を試作した。さらに、健康な2名の被検者に協力を頂いて嚥下を行う時の喉仏の動きをハイスピードカメラで撮影した。その撮影した動画を高性能運動解析ソフトDIPP-Motion V/2Dで解析し、動的な皮膚凹凸変化の可視化として時変する皮膚表面の曲率分布を提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的は、新たな嚥下機能評価法を開発するために、「のど」周辺の皮膚変化を立体的に可視化することである。工業用途のひずみゲージを軟部組織上に付いている皮膚に適用できるようにするためには、センサ作製技術の確立、極めて微小な皮膚変形でも高感度かつ正確なアナログ/デジタル回路の実現および自動調整アルゴリズムの統合化が必要である。本研究では、多点計測用高密度皮膚センサシートの作製と小型皮膚センシング用プリント基板の試作に成功した。また、高性能運動解析ソフトを用いて動的な皮膚凹凸変化の可視化として時変する皮膚表面の曲率分布の提示を実現した。

研究成果の概要（英文）：We fabricated a high-density skin sensor sheet for multi-point measurement using 25 sets of skin sensors consisting of two strain gages. In addition, a miniaturized printed circuit board for skin sensing with stable and high amplification rate was fabricated. In addition, we used a high-speed camera to capture the movement of the larynx during swallowing with the cooperation of two healthy subjects. By analyzing the video images with DIPP-Motion V/2D, a high-performance motion analysis software, we presented the time-varying curvature distribution of the skin surface as a visualization of dynamic skin irregularity changes.

研究分野：制御工学，計測制御

キーワード：皮膚センシング回路 皮膚センサシート 動画解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

皮膚センシング技術では、計測を開始する前に出力値を一定の電圧範囲に維持するためのキャリブレーションが重要となる。しかし、開始当初はキャリブレーション機能を実現する計測制御技術がなく、また、柔らかい皮膚表面の極めて微細な変形を高感度かつ正確に計測すること自体前例がなかった。そのため、森(研究代表者)は、皮膚部位の任意の1カ所を測定対象とした単点計測に限定することで課題を平易化し、2017年9月に高感度かつ正確な計測の安定化が達成された。

一方、昭和大学医学部などの医療現場では、摂食嚥下診断アシスト向上の観点から喉全体の皮膚変形(起伏)そのものを可視化したいニーズが従前から顕在化していたものの、柔らかい皮膚表面の極めて微細な変形を高感度かつ正確に計測できるセンサシートやセンシング技術を有しておらず、高度な皮膚センシング技術を有するライフサイエンス分野との医工連携が望まれていた。そこで、森(研究代表者)・渡邊(研究分担者)グループの持つ皮膚センシング技術および皮膚センサ配置問題の数理解析技術が、飯塚(研究分担者)の持つセンサ作製・診断技術とマッチングを果たし、共同研究を行うこととなった。

2. 研究の目的

高度な皮膚センシング技術を有する森(研究代表者)、皮膚センサ配置問題の数理解析技術を有する渡邊(研究分担者)、および「飲み込み」機能に詳しい飯塚(研究分担者)が共同で、「のど」周辺の皮膚変化を立体的に可視化する新たな嚥下機能評価法を開発することである。

3. 研究の方法

(1) 一辺が5mm以下のセンサで構成された高密度皮膚センサシートの作製(2019~2020年度)

2019年度は、一辺が5mm以下のセンサで構成された皮膚センサ(最大8枚)を直交方向に配置する簡単な条件下で仕様を策定し、高密度な多点計測用皮膚センサシートの事前試作・作製・検証を行う。一方で、立体的な生体の皮膚形状をメッシュ構造として捉えて数理解析法で計算し、皮膚変形量が最大となる皮膚センサの配置を選定する。2020年度は、選定したセンサの構造的な配置と医療現場の情報やニーズに基づいて仕様を策定し、高密度な多点計測用皮膚センサシートの作製と検証を行い、安全性と有用性の観点で性能評価する。

(2) 認識率90%以上の皮膚凹凸変化判別アルゴリズムの作成(2019年度)

多点皮膚センシング技術を用いた動的皮膚凹凸分布の可視化を実現するためには、皮膚センサの出力電圧に対応した曲率が一意に求められることが必要不可欠であり、そのため、両者間の相関係数を事前実験で求めてテーブル化しておく必要がある。しかし、曲率測定装置は通常、光学レンズの曲率測定を対象とするものが多いが、それ以外は皆無である。本研究では、以下に挙げる独自の手順[1]-[4]で皮膚センサの曲率を求めて出力電圧と比較できる。

- [1] 皮膚センサを貼った基材の構造的変形を動画撮影
- [2] 画像解析ツールでマーカー追跡して座標データを出力
- [3] 任意の3点のマーカー座標を抽出し、幾何学とベクトルから曲率を計算
- [4] 皮膚センサの出力電圧を測定

(3) 皮膚凹凸変化の計算と動的な皮膚凹凸変化のオンライン可視化(2019~2020年度)

作製した多点計測用高密度皮膚センサシートの極微小な出力信号を多点計測型皮膚センシング回路で増幅し、増幅された多点出力信号をリアルタイムに処理できる高速信号処理ボード DSP を介して汎用コンピュータに取り込み、2次元分布マップの作成および時変する3次元分布マップの提示を行う。なお、高速信号処理ボード DSP には、事前に制御系設計ツール Mat lab を用いて作成した皮膚凹凸計算プログラムをダウンロードしておくことでリアルタイム性が確保されるため、高速処理およびオンライン可視化が可能である。

(4) 有限要素法解析ソフトウェア Abaqus を用いた3次元モデルの構築(2020~2021年度)

2020年度は、まず、制御系設計ツール Mat lab と高速信号処理ボード DSP で構成するリアルタイム計測システムで計算処理された時変3次元分布マップデータを汎用有限要素法解析ソフトウェア Abaqus で扱えるようにデータ変換を行う。次に、Abaqus を用いた簡易モデルによる変形解析を行い、ひずみ・曲率変化が集中する部位を確認する。2021年度は、時変する3次元分布マップと整合するようにさらに高精度のモデリングを進めて、メッシュ構造で構成された喉スキムモデルの完成を目指す。

4. 研究成果

2019年度では、(1)皮膚センシング用プリント基板回路の製作、(2)多点計測用高密度皮膚センサシートの仕様策定と一部作製、(3)嚥下時の撮像画像に基づく皮膚凹凸変化の計算と動的な皮膚凹凸変化の可視化をそれぞれ実施した。

(1) 皮膚センシング用プリント基板回路の製作では、皮膚センシング回路の動作安定性を向上するため、回路設計ソフトを導入して設計を行い、電子工作用のブレッドボードを使った回路からプリント基板化された回路に移行した。その結果、増幅率に関わらず安定した計測に成功した。

(2) 多点計測用高密度皮膚センサシートの仕様策定と一部作製では、まず、実装するひずみゲージの仕様(種類や寸法)を、高密度を実現するため最も面積が小さいKFGS-4N-120-C1-23 N30C2(共和電業、ポリイミドシートの外寸 8.0mm, 1.4mm)に決定した。次に、ひずみゲージ2枚を使って構成される皮膚センサ1個の仕様(素材や寸法)を決定した(図1左)。さらに、皮膚センサを25個使用した多点計測用高密度皮膚センサシートと接続ケーブルの仕様(形状や素材、長さや接続方法)を決定した(図1右)。必要な材料を準備して各皮膚センサを作製した。各皮膚センサを組み合わせさせたシートの作製は次年度に実施する。

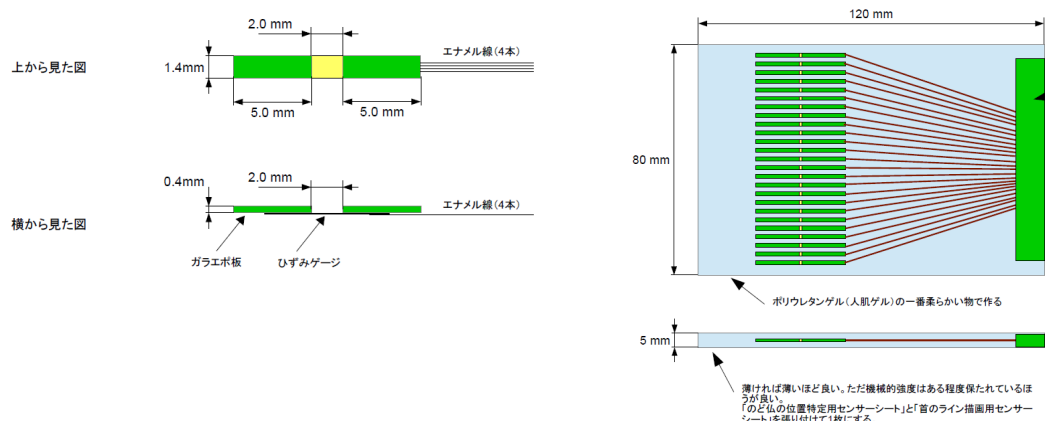


図1 ひずみゲージ2枚を使って構成される皮膚センサ1個の仕様(左)と皮膚センサを25個使用した多点計測用高密度皮膚センサシートの仕様(右)

(3) 嚥下時の撮像画像に基づく皮膚凹凸変化の計算と動的な皮膚凹凸変化の可視化では、まだ皮膚センサシートが完成していないので実験データを使った計算と可視化の実施はできない。そこでまず、実験後に実施予定だった評価の準備(非接触・非侵襲で計測された喉の形状データの入手)を前倒して実施した。基礎医学研究用機器メーカーの協力の下、特殊な運動解析装置(図2左)を用いて嚥下時の撮像画像(図2右)を入手した。次に、制御系設計ツールMatlabを用いて喉の皮膚表面の座標点2次元分布マップの作成(図3)および時変する座標点3次元分布マップの提示(図4)を実施した。曲率分布や曲率変化の計算は次年度に繰り越した。



図2 運動解析装置(左)と嚥下時の撮像(右)

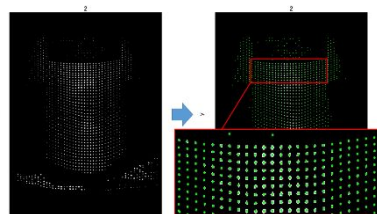


図3 作成した座標点2次元分布マップ

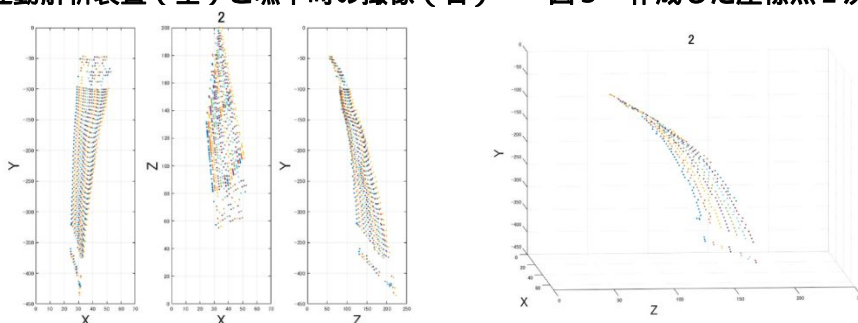


図4 時変する座標点3次元分布マップの提示

2020年度では、(1)多点計測用高密度皮膚センサシートの作製、(2)皮膚センシング用プリント基板回路の設計・試作、(3)Matlabを用いて曲率分布や曲率変化の計算の実施を計画した。

(1) センサシートの試作を協力する会社がコロナ禍による影響で経営状態が急激に悪化して倒産の危機に瀕した。そこで、従業員のほとんどを解雇して社長だけで業務を行ってきたが、社長の過労と心労が原因で本研究の遂行に重大な支障をきたし、多点計測用高密度皮膚センサシートの作製を次年度に見送ることとなった。

(2) 安定かつ高増幅率、および多チャンネルの機能を有する皮膚センシング用プリント基板回路を設計・試作した(図5)。その結果、安定かつ高増幅率を確保した皮膚センシング用プリント基板の製作に成功した。ただし、A4サイズ位の面積まで大きくなり、取り扱いにくいサイズであることが動作確認をする際に判明した。

(3) 前年度に実施した制御系設計ツールMatlabを用いて喉の皮膚表面の座標点2次元分布マップの作成および時変する座標点3次元分布マップに基づき、曲率分布や曲率変化の計算を実施した(図6)。

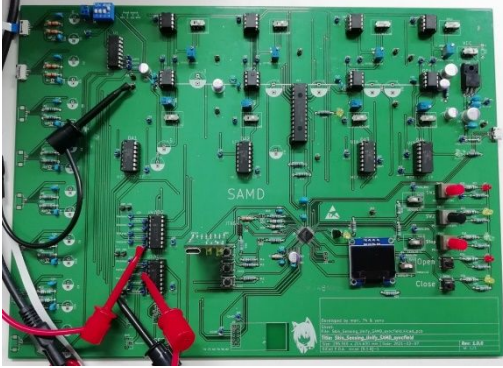


図5 皮膚センシング用プリント基板回路

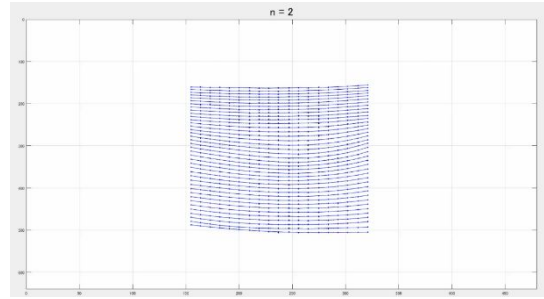


図6 多項式曲線近似した曲率分布・変化

2021年度では、(1)多点計測用高密度皮膚センサシートの作製、(2)皮膚センシング用プリント基板回路の小型化、(3)嚙下時に撮影した動画に基づいて高性能運動解析ソフトを用いた動的な皮膚凹凸変化の可視化をそれぞれ実施した。

(1) 多点計測用高密度皮膚センサシートの作製について報告する。ひずみゲージ2枚を使って構成される皮膚センサを25セット使用した多点計測用高密度皮膚センサシートの作製および皮膚センシング用プリント基板回路への配線用にコネクタの接続を行った(図7)。

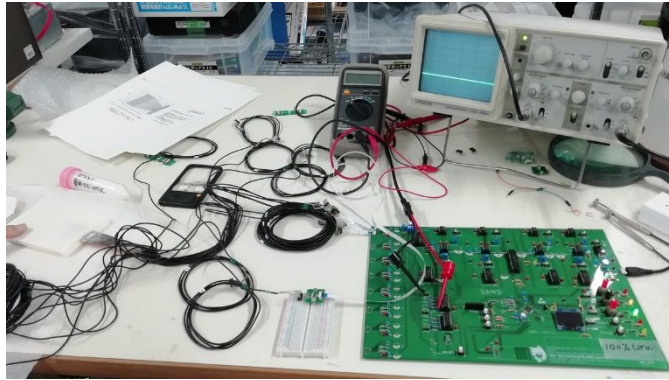


図7 多点計測用高密度皮膚センサシートに接続した皮膚センシング用プリント基板回路

(2) 皮膚センシング用プリント基板回路の製作について報告する。前年度に製作した皮膚センシング用プリント基板回路は、安定かつ高増幅率、および多チャンネルを実現するためにA4サイズ位の面積まで大きくなり、取り扱いにくいサイズであることが動作確認をする際に判明した。さらに、アナログ増幅器の反応速度がチャンネルの切替速度に間に合わず、1枚のプリント基板回路で多チャンネルを実現することが困難であることが動作確認をする際に判明した。そこで、1枚の皮膚センシング用プリント基板回路で担う機能を単チャンネルのみとすることを決定した。それに伴ってサイズダウンが可能となるため、大幅な設計変更と試作を行った(図8)。その結果、安定かつ高増幅率を確保した皮膚センシング用プリント基板の小型化に成功した。ただし、25チャンネル分の計測のために25枚の皮膚センシング用プリント基板回路とそれらを制御する回路が必要となるが、本年度では時間と予算の制約で25枚の製作と制御回路の準備を断念した。

(3) 嚙下時に撮影した動画に基づいて高性能運動解析ソフトを用いた動的な皮膚凹凸変化の可視化について報告する。健康な2名の被検者に協力を頂いて、60Hzのハイスピードカメラで撮影した喉の動画に対してDIPP-Motion V/2Dを用いて解析し、時変する皮膚表面の曲率分布の提示を実施した(図9)。

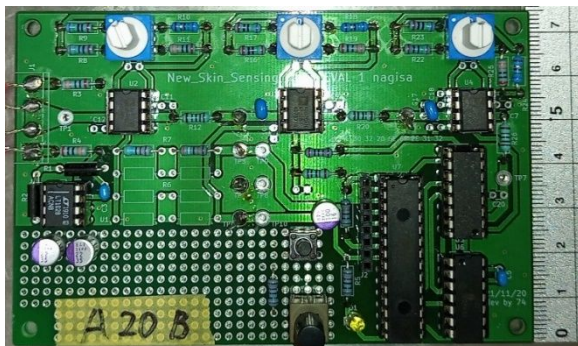


図8 小型皮膚センシング用プリント基板

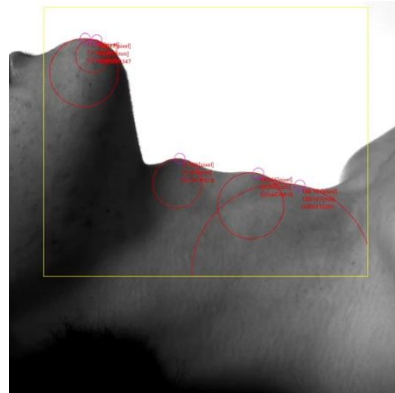


図9 可視化された時変する皮膚表面の曲率分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 関口 賢, 森貴彦
2. 発表標題 機械学習を取り組んだ皮膚変形の計測法
3. 学会等名 電子情報通信学会回路とシステム研究会（会場:岩手大学）
4. 発表年 2019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	飯塚 眞喜人 (Iizuka Makito) (40274980)	昭和大学・医学部・准教授 (32622)	
研究分担者	渡邊 尚彦 (Watanabe Naohiko) (50550034)	岐阜工業高等専門学校・その他部局等・准教授 (53701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------