

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：33924

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650397

研究課題名(和文) ウェアラブルな呼吸センサ開発と実践応用に関する研究

研究課題名(英文) Development of Wearable Respiratory Sensor and Practical Application

研究代表者

佐々木 実 (Sasaki, Minoru)

豊田工業大学・工学部・教授

研究者番号：70282100

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：提案している呼吸センサ信号の周波数特性を考察し、信号はほぼ容量性でありその値は皮膚周辺で決まっていること、容量そのものが変化していることが分かり、電気的な皮膚の厚み変化が信号発生の主原因であると考えられた。そこで、皮膚に密着する電極により、体の信号を正確に測定する方針を進めた。電極貼り付けが安定すると、長時間計測が可能で、食事による体のふくらみの変化も静電容量の変化となって表れる。また運動しながらの呼吸計測を行い、ノイズは生じるものの、歩行、走行、上半身ねじり、前後屈の動きの中で被験者の呼吸信号を継続計測できた。

研究成果の概要(英文)：The proposing respiratory sensor measuring the body impedance is analyzed in the frequency characteristics, and the following things are found. The impedance is nearly capacitive and its value is decided around the skin, and the capacitance itself changes with the respiration. The gap of the electrical thickness of the skin is considered to be the main factor which causes the change synchronous with the respiratory cycle. Based on these founding, the electrode which contacts with the skin is introduced for obtaining the pure signal avoiding the artificial noise. When the pasting condition becomes stable, the long-time measurement can detect the minute change of the body filling due to the eating as the capacitance increase. The respiration is measured during the exercising. Although the noise increases, the patients' respiration signal can be obtained during walking, running, twisting, and bending.

研究分野：センサおよび微細加工技術

キーワード：ウェアラブルセンサ 呼吸センサ 容量計測 締め付け無し 運動中の呼吸測定 周波数特性 皮膚  
長期安定性

## 1. 研究開始当初の背景

医療・健康分野では様々な生体信号を計測したいというニーズがある。近年はスマートフォンなどによるデータの送受信環境が整ってきたため、日常の生体信号を上手に測定できるようにし、病院などに送ってデータ解析ができれば、病気の早期発見などにつながると期待されている。このためには、衣服のような新しいセンサを実現することが効果的である。製品例が出てきているが、心電、心拍、体温など測定し易い信号からスタートしている。呼吸計測のニーズは大きい、センサの発展が遅れている。呼吸法がスポーツで重要視されるように、呼吸は随意的にもコントロールできる点が他の生体信号と異なります。センサを身に着けても自然な状態を保つことが特に重要となります。従来の呼吸測定装置(息による空気流れを測定するスパイロメータやサーミスタ、または、体の膨張収縮を測定する機械的な締め付けを伴うセンサ)は、被験者の動きを拘束、不自然にする。

研究代表者らは、体を挟んだ適切な電極を作り、その容量を計測すると、呼吸に合わせて値が変化することに気付いた。容量計を小型化して衣服に装着することも可能であるため、安静時から活動時までの計測に応用できると考えた。但し、信号発生の原因や、実践応用に必要な運動中の計測は実現できていなかった。

## 2. 研究の目的

以下の項目AからCに分けて研究目的を明確にし、それぞれについて取り組んだ。

A. 原理解明は、実践応用やデータ解析のためにも不可欠なため、モデル実験や信号特性評価等の実験を行った。

B. 容量信号が、呼吸の繰り返しパターンだけでなく、長時間離れたデータと比べられる体の情報を表すか(体調の目安となる値が得られるか)を検討した。

C. 無拘束かつ体を動かす条件で有効なセンサシステムを構築する。

## 3. 研究の方法

研究目的で示した項目AからCに対して、それぞれの研究方法を採用し進めた。定量性が重要な計測には、インピーダンスアナライザを用いた。

A 原理解明: モデル実験、周波数特性(50k-5MHzの範囲)など、様々な信号特性評価を行った。

B 医療向け体調信号が得られるかの検討: Tシャツ裏側に固定した電極では、体-衣服間ギャップが信号源ともなり、体由来の信号が混じり紛らわしいため、導電性布電極を体に密着した。

C センサシステムの構築: 容量検出が胸と腹部の2箇所できるように2チャンネル化した。バッテリー駆動回路による、無線によ

る信号転送を実現した。

齊藤教授は、製作した有線型センサを使って、運動時の呼吸信号測定実験を進めた。合わせて、佐々木らの進捗を踏まえ、医学的見地から議論した。

## 4. 研究成果

A センサ信号の周波数特性から、インピーダンス絶対値が $1/f$ の周波数依存性を持ち、信号変化は容量そのものの変化であることを明確にした。皮膚周辺で値が決まっていること、皮膚の伸縮に伴う厚み変化が信号発生の主要原因であると結論付けた。

B (a)体に密着し易い腹巻型センサはデータを安定化した。装着して3時間睡眠したところ、1-2サイクル分だけ無呼吸になっているデータも得られた。(b)皮膚に貼り付けて密着する電極により、体の信号を正確に測定する方針を進めた。電極貼り付けの際には、通気性のある絶縁フィルムを電極下地に貼る方法が良いと分かった。汗による計測不良を回避し、固定の安定化により再現性が向上した。(c)電極を腹部に貼り付けたまま、朝、昼食前、昼食中、昼食後、15時、16時の計6回、姿勢を安定させて平常呼吸を測定した。息を吸ったときは容量が増加し、吐いた時は減少する(約10pF)に加えて、空腹時は静電容量のベースラインが減少し、満腹時は増加した。

C 無線ユニットにより被験者の運動を可能にした。(a)上半身を約 $110^\circ$ ひねった条件、(b)前後屈の条件で平常呼吸を計測した。体動は多少のノイズを生じたが、呼吸信号が観察できた。皮膚がたるんだり伸びたりすると変化の割合が小さくなることから、静電容量の変化は皮膚の変化に相関があると再確認した。容量値の最大/最小は4倍程度で、センサが用意すべき計測範囲は問題にならないと考える。

他にも以下のような知見が得られた。(a)体動や姿勢の変化が、容量信号を変化させることを確認した。電極から離れた部分の体動は影響しない。(b)周波数がMHz以上に高くなると、容量性から誘導性(利用したケーブル類の性質とも考えられる)に変化し、呼吸測定は数100kHzで行うことが好ましい。(c)全身を導電性布で覆うと、測定値が安定し易い。(d)電極貼り付けが安定すると、長時間で安定した計測が可能で、食事による体のふくらみのような変化も静電容量の変化により計測できる。数例、歩行、走行、上半身ねじり、前後屈の動きの中で被験者の呼吸信号を継続計測できた。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

[1] "A Wearable Capacitive Sensor to Monitor Human Respiratory Rate",

Subrata Kumar Kundu, Shinya Kumagai, Minoru Sasaki, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 52 (2013) 04CL05  
dx.doi.org/ 10.7567/JJAP.52.04CL05

〔学会発表〕(計 5 件)

国際会議

[5] “Wearable Capacitive Breathing Sensor”,  
Subrata Kumar Kundu, Shinya Kumagai, Minoru Sasaki, Extended Abstracts of the 2012 International Conference on Solid State Devices and Materials, Late News, PS-11-14L (2012.9.26, 京都) pp.386-387

国内学会

[4] 「容量計測型呼吸センサのための衣服組み込み電極」寺澤慎恵、熊谷慎也、佐々木実、第 62 回 応用物理学会 春季学術講演会 (2015.3.11, 東海大学) 11p-A29-9

[3] 「容量計測による衣服型呼吸センサ」クンドウ スプラタ クマル、熊谷慎也、佐々木実、第 31 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム(2014.10.21, 島根) 21pm3-PS082

[2] 「運動時の呼吸リズム観察への新しい呼吸モニターへの応用」齊藤満、水藤弘史、佐々木実、第 18 回日本体力医学会東海地方会学術集会 (2014.3.16, あいち健康の森健康科学総合センター)

[1] 「着衣可能な容量型呼吸センサ」クンドウ スプラタ クマル、熊谷慎也、佐々木実、第 60 回応用物理学会春季学術講演会 29p-PA4-9 (2013.3.29, 神奈川工科大学) p.22-020

〔図書〕(計 0 件)  
該当無し。

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 2 件)

名称：呼吸センサおよび呼吸を計測する方法  
発明者：佐々木実、寺澤慎恵、鈴木陽久、水野寛隆

権利者：株式会社榎屋、学校法人トヨタ学園  
種類：特許  
番号：特願 2015-02331  
出願年月日：2015 年 2 月 9 日  
国内外の別： 国内

名称：呼吸センサ  
発明者：佐々木実、スプラタ クマル、クンドウ、池田幸治、鈴木陽久、江島充晃  
権利者：株式会社榎屋、学校法人トヨタ学園  
種類：特許  
番号：特願 2012-24913

出願年月日：平成 24 年 2 月 8 日

国内外の別： 国内

○取得状況 (計 0 件)

該当無し

(現在、特願 2012-24913 を審査中)

〔その他〕

豊田工業大学 マイクロメカトロニクス研究室ホームページ  
<http://www.toyota-ti.ac.jp/mems/index.htm>

愛知学院大学 心身科学部 健康科学科ホームページ  
<http://psyphy.agu.ac.jp/kenko/teachers/saito/>

公益財団法人 豊秋奨学会 平成 25 年度研究助成 (平成 25 年 9 月 30 日から 2 年間)「電気配線と着心地機能を安定両立する衣服型呼吸センサ」を獲得した。

第 62 回 応用物理学会 春季学術講演会 11p-A29-9 は、注目論文に選出された。以下のホームページに示されている。  
[https://www.jsap.or.jp/pressrelease/press\\_130304.pdf](https://www.jsap.or.jp/pressrelease/press_130304.pdf)

2014 年の国際会議 International Conference on Solid State Devices and Materials にて発表予定，“Capacitive Breathing Sensor and Evaluation of Body Movement Noise”，PS-11-17 (予稿集には掲載)であったが、発表者の手違いのため、未発表扱いとなった。

2015 年の国際会議 International Conference on Solid State Devices and Materials (2015.9.27-30) に投稿中，“Respiratory Sensor Measuring Capacitance Constructed Across Skin”，採択率 約 70%。

第 7 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム (2015.10.28-30) オーガナイズドセッション：健康診断・ヘルスケアのためのマイクロシステム応用、に投稿予定。

雑誌名：愛知学院大学論叢 心身科学部紀要 第 11 号 2015 年 12 月 発刊予定  
著者：齊藤満、水藤弘史、佐々木実

高校生向け研究紹介記事として掲載予定 (理工、生命系学部・学科進学ブック「テクノ・コム'16」西北出版株式会社 (発刊部数 10 万部)「研究室訪問：センサ付き衣服で日常の生体信号を測定」

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐々木実（豊田工業大学）  
研究者番号：70282100

(2)研究分担者

齊藤満（愛知学院大学）  
研究者番号：80126862

熊谷慎也（豊田工業大学）  
研究者番号：70333888

Kundu Subrata  
（豊田工業大学）  
研究者番号：00621327