

令和 2 年 5 月 18 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13767

研究課題名(和文)呼吸を正確に計測する呼吸計の創成

研究課題名(英文)Respiratory rate sensor for precise monitoring

研究代表者

加納 伸也 (Kano, Shinya)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・研究員

研究者番号：20734198

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：呼吸計の高速化・高感度化を目的として、呼吸検知に利用する湿度センサのインピーダンス分光解析を行った。恒温恒湿槽を用いて、各種湿度環境下において湿度センサのインピーダンス分光解析を進めた。ナノ粒子のサイズと塗布条件を調節して、湿度センサの応答時間を2秒とすることに成功した。市販の医療用酸素マスクにセンサチップ部とデータロガーを張り付けることで、ポータブルな呼吸計を試作した。この試作品を装着することで、対象者の安静/歩行/走行時の呼吸数計測が可能であることを示した。既存の呼吸計測装置との比較対照実験を行い、走行時の呼吸数を試作品で精度よく計測できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、高速に応答する湿度センサの研究が盛んに行われている。今回の研究成果はこの分野への貢献をするものである。高速に応答する湿度センサが一般に普及することで、一般の社会へより精密な湿度コントロールを提供することが期待できる。また、呼吸計に関しては、今回の方式での呼吸計測法が普及すると、今まで呼吸計測が難しかった振動や体動がある場面での計測が行えることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to produce a precise portable sensor to monitor human respiratory rates under body motions. We carried out an impedance analysis of nanoparticle-based humidity sensors using an environmental-controlled chamber. We investigated an appropriate size of nanoparticles and coating condition. Fabricated sensors showed 2 s of response time. We fabricated a portable respiratory rate sensor using an oxygen mask. A humidity sensor chip and a data logger were attached on the mask. We showed the respiratory rate sensor could monitor respiratory rates of subjects at rest/walking/running. We also compared the sensor with a conventional instrument for respiratory monitoring and found that the monitored respiratory rates under running were valid.

研究分野：センサ、ナノ材料

キーワード：呼吸 湿度センサ ナノ粒子

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

バイタルサイン(血圧、脈拍、体温、呼吸)を測定するバイタルセンシングは、人間の健康状態の把握に使われる。血圧・脈拍・体温は、一般家庭で測りたい時に測定ができるセンサが容易に手に入る(例:血圧計、体温計)。一方、呼吸の回数は電氣的な計測が非常に難しく、一般家庭に普及するような高精度な呼吸センサは存在しない。医療現場では、呼吸の回数は熟練した医療従事者により目視で計測する手法が、最も正確とされている。電氣的に呼吸回数を計測する手法として、胸部の動きをインピーダンス変化で捉える「経胸壁インピーダンス法」も採用されているが、本手法は体動の影響を強く受ける。そのため、ベッド上で体動が少ない患者に対してのみ使用されるにとどまっている。誰でも簡便に呼吸回数や呼吸パターンを測れる電氣的計測法は、現状では存在しない。

他の測定手法として、鼻にチューブを入れて呼気中の二酸化炭素を検知する「カプノメトリー」や、胸にバンド型のひずみセンサを密着させて胸部の動きを検知する「バンド型センサ」が提案されている。これらは計測の精度も比較的高いが、装着時の違和感が問題となる。呼吸は感情に影響を受けるため、装着時の違和感が本来の呼吸状態を乱すノイズ源となり得る。「正確な呼吸計測」だけでなく、「装着時の違和感なく自然に使用できる」というのも、呼吸計に必要な条件である。

呼吸計測は、呼吸器疾患の早期発見に利用できる可能性がある。たとえば、不可逆的に進行する重篤な肺疾患で知られる慢性閉塞性肺疾患(COPD)や、睡眠時無呼吸症候群(SAS)は、早期に発見する必要がある疾患といえる。一般家庭に呼吸計測する装置「呼吸計」があれば、これらの疾患を早期に発見し、患者を病院へと向かうよう促すことが可能となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「人間の呼吸を高精度に計測する呼吸計を創成する」ことである。今回申請者は、高速応答する湿度センサで呼気に含まれる水分を検知する「水分検知型」を、呼吸センサの原理として採用する。シングルナノメートルの大きさのナノ粒子を均一に堆積させた薄膜を利用して、人間の呼吸を遅れなく検出できるセンサを形成する。身体に自然と装着できる呼吸センサデバイスを完成させ、体動がある環境でも安定して長時間呼吸をモニターできることを実証し、誰でも呼吸が正確に測定できる呼吸計を社会へと提案する。

3. 研究の方法

- ナノ粒子を使った呼吸センサを高速化、高感度化する。水分検知型呼吸センサの応答速度はナノ粒子薄膜に対する水分子の吸着・脱離の速さで決まる。ナノ粒子薄膜中の空孔の大きさは、構成するナノ粒子の大きさに依存することが予想される。そこで、ナノ粒子の大きさに応じた吸着脱離の速さを調査した。
- 自然な装着感が得られる呼吸センサを構築する。表面実装型の基板で外部回路を構成し、湿度センサを比較的違和感が少ない医療用マスクに貼り付ける構造をめざす。被験者の呼吸を乱さないような、軽量で柔らかい呼吸センサを追求する。
- 歩行中の被験者、睡眠時の被験者の呼気状態を安定して計測する。一般の呼吸センサでは難しい、歩行中や走行時の呼吸回数やパターンをモニターする試験を、既存の据置型装置を併せて使い計測する。

4. 研究成果

- 研究の主な成果
呼吸計の高速化・高感度化を目的として、呼吸検知に利用する湿度センサのインピーダンス分光解析を行った。補助金で導入した恒温恒湿槽を用いて、各種湿度環境下において湿度センサのインピーダンス分光解析を進めた。(論文投稿中)ナノ粒子のサイズと塗布条件を調節して、湿度センサの応答時間を2秒とした。これは、従来の湿度センサの応答時間(数秒~数十秒)と比較して、早いものといえる。また、研究初期段階の湿度センサよりも、ヒステリシスの低減を行うことができた。

市販の医療用酸素マスクにセンサチップ部とデータロガーを張り付けることで、ポータブルな呼吸計を試作した。データロガーはボタン電池型の製品を活用した。この試作品を装着することで、対象者の安静/歩行/走行時の呼吸数計測が可能であることを示した。既存の呼吸計測装置との比較対照実験を行い、走行時の呼吸数を試作品で精度よく計測できることを示した。(S. Kano, IEEE EMBC 2019)

- 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト
呼吸数計測法をまとめた総説(C. Massaroni, "Contact-Based Methods for Measuring Respiratory Rate" Sensors 19 908 (2019).)に、"Nanocrystals and Nanoparticles Sensors"という項が作られ、本技術についての解説がなされた。近年、ナノ材料を用いた高速に応答する湿度センサの開発と呼吸センシングの報告が国外で増えている。本研究の元となった論文

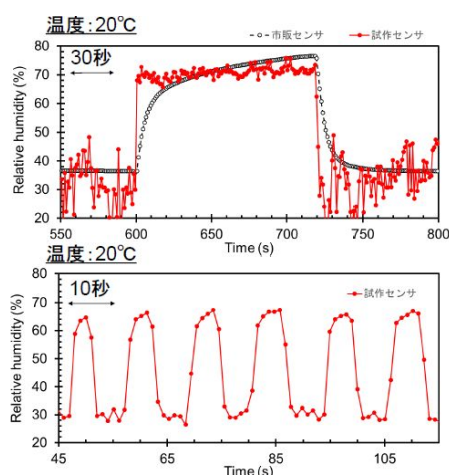
(S.Kano, ACS Sensors, 2 828 (2017).)のWeb of Knowledgeでの論文引用回数も大幅に伸びており(66回, 2020年5月時点)、今後も引き続き注目が集まる研究分野となると予想される。本補助金により、一足早く本分野の研究が詳細に行え、体動(歩行/走行)のある環境での呼吸計測が行えることを示すことができたと考えている。

● 今後の展望

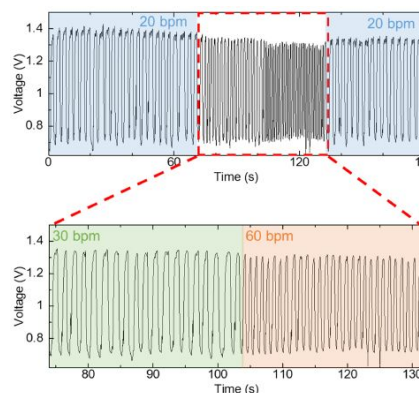
高速に応答する湿度センサ開発は今後も国内外で盛んに行われると予想される。ナノ材料の改良によって、さらなる応答性の向上を進める。呼吸計に関しては、医学/保健学研究者との協業に取り組むことにより、社会実装の方法を探索する。

● 当初予期していなかった新たな知見

安価で容易な水分検知チップの開発法を見出した。鉛筆を用いて描いた炭素電極と、筆でコロイド状ナノ粒子を塗布して形成した湿度検出層を組み合わせ、湿度センサを形成した。金属蒸着やスピコートといった作製プロセスを経て作製する既存のセンサチップと同様に、この簡便に作製したセンサが呼吸数検知を行えることを示した。この成果は、センサチップが印刷法でも十分形成可能であることを示唆するものである。(S. Kano, ACS Sustainable Chem. Eng. (2018).)



試作センサの応答(赤線)



マスクに貼付けて
安静時の呼吸検知デモ

研究成果の図

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3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 加納伸也	4. 巻 -
2. 論文標題 マスク型デバイスを用いたヒトの呼吸数計測	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 セイフティダイジェスト	6. 最初と最後の頁 -
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 無
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 Kano Shinya, Mekaru Harutaka	4. 巻 -
2. 論文標題 Respiratory and Cardiac Signal From Accelerometer Gently Contacting on Torso	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 IEEE International Symposium on Inertial Sensors and Systems (INERTIAL)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/INERTIAL48129.2020.9090066	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 Kano Shinya, Yamamoto Akio, Ishikawa Akira, Fujii Minoru	4. 巻 -
2. 論文標題 Respiratory rate on exercise measured by nanoparticle-based humidity sensor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/EMBC.2019.8856875	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 Shinya Kano, Minoru Fujii	4. 巻 6
2. 論文標題 All-Painting Process To Produce Respiration Sensor Using Humidity-Sensitive Nanoparticle Film and Graphite Trace	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Sustainable Chemistry & Engineering	6. 最初と最後の頁 12217 ~ 12223
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acssuschemeng.8b02550	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12件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Shinya Kano and Harutaka Mearu
2. 発表標題 Respiratory and Cardiac Signal from Accelerometer Gently Contacting on Torso
3. 学会等名 2020 IEEE International Symposium on Inertial Sensors and Systems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kano Shinya, Yamamoto Akio, Ishikawa Akira, Fujii Minoru
2. 発表標題 Respiratory rate on exercise measured by nanoparticle-based humidity sensor
3. 学会等名 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加納 伸也, 山本 暁生, 石川 朗, 藤井 稔, 銘苅 春隆,
2. 発表標題 水分を検出原理としたポータブル呼吸センサの開発
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本 暁生, 加納 伸也, 石川 朗
2. 発表標題 ナノ粒子塗布に基づく柔軟な湿度計を用いた運動時の呼吸位相計測
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本 暁生, 加納 伸也, 石川 朗
2. 発表標題 柔軟なナノ粒子湿度計を用いた運動時の呼吸位相計測の妥当性
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinya Kano, Minoru Fujii
2. 発表標題 Portable Respiration Sensor Using Nanoparticle Film for Monitoring Respiratory Condition
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinya Kano, Minoru Fujii
2. 発表標題 Solution-Processed All-Inorganic Silicon Nanocrystal Thin Film for Electronic Device Application
3. 学会等名 MNC 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加納 伸也, 藤井 稔
2. 発表標題 手書き作製したナノ粒子湿度センサによる呼吸数計測
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土橋 侑弥, 加納 伸也, 藤井 稔
2. 発表標題 ナノ粒子湿度センサのインピーダンス分光解析
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加納 伸也
2. 発表標題 ナノ粒子塗布薄膜を用いたフレキシブル湿度センサと呼吸数計測への応用
3. 学会等名 フレキシブルセラミックスコーティング技術調査専門委員会研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加納 伸也
2. 発表標題 ナノ粒子湿度センサを利用したウェアラブル呼吸計の開発
3. 学会等名 第1回医工連携マッチング例会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加納 伸也
2. 発表標題 ナノ粒子塗布膜を活用した高速応答湿度センサとその応用
3. 学会等名 応用物理学会関西支部 平成30年度 第1回講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 加納伸也 (分担)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 株式会社 技術情報協会	5. 総ページ数 -
3. 書名 生体情報センシングと人の状態推定への応用	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----