

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：17201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560239

研究課題名(和文) 睡眠時無呼吸状態症候群に対する非接触型寝返り誘導装置の開発

研究課題名(英文) A Development of non contact type turning over induction device for patient of sleep apnea syndrome

研究代表者

佐藤 和也 (Sato, Kazuya)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30284607

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：睡眠時無呼吸症候群の発生を予防する装置の開発を行った。本装置ではいびき音がある閾値を超えた大きさになったのち、一定時間無音状態が続いた場合、ロボットアームが作動し、アーム手先が利用者の顔に触れ、寝返りを誘発する。本装置は基本的な設置場所は変わらないが、アームの手先が利用者の顔に触れることが重要であるため、ロボットの各リンクの長さが自由に変更できる必要がある。リンク長さが変更された場合、アームを動かすトルクを変更する必要があるが、自動的にトルクが調整される制御法を用いることで問題を解決し、利用者は簡単に装置を利用することができる。

研究成果の概要(英文)：It is known that sleep apnea syndrome (SAS) is a serious problem in developed nations. According to the statistics data, it is said that SAS patient has a traffic accident-generation risk of approximately three times in comparison with non-SAS patient. The device which it is simple and is easy to use should be developed to prevent the SAS situation for the mild and moderate patients. In this paper, we develop an automatic judgement system of apnea state for a SAS patient and an adaptive control of a robotic arm system which stimulates turning over in bed for SAS patients only using non-contact type sensors. Experimental results are given to show the effectiveness of our developed equipment.

研究分野：制御工学

キーワード：睡眠時無呼吸症候群 ロボットアーム

### 1. 研究開始当初の背景

2012年現在、わが国のSAS患者は2000万人以上と言われている。SAS患者の交通事故率が非SAS患者に比べ、平均で約3倍という統計データもある (<http://www.sas-support.or.jp/safety/>)。さらにSASは様々な疾病を誘発するが、一般的に本人による自覚が難しく、自覚しても放置している人が多いのが現状である。軽～中度の場合は生活習慣の改善を指導されるのみで、症状がすぐに緩和されるとは言い難い。重度の場合はCPAP法と呼ばれる装置を睡眠時に装着する治療法があるが、機器の価格は20～40万円と高価であり、保険適用のレンタルでも月額5000円と決して安価なものではない。さらにCPAP法ではマスクを装着する必要があり、身体との接触部のかぶれ、空気漏れ、無意識下での取り外しなどの問題もある。2011年国際ロボット展において、早稲田大学可部教授の研究チームが枕型と指装着型を組み合わせたSAS患者サポート装置「じゅくすい君」を発表している。本装置はマイクによるいびき音の測定と指に装着したセンサによる血中酸素濃度の測定により無呼吸、低呼吸状態を判断し、枕に取り付けられたアームが患者を触り、寝返りを促す仕組みとなっている。しかし枕の形状によってはいびき音を増大させたり、睡眠の質や寝相に及ぼす影響は大きく、指に装着したセンサも無意識化で取り外す可能性が高い。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、非接触センサのみを用いた無呼吸状態の自動判定と、ロボットアームによる寝返り誘導システムの開発および実用化である。SASの要因は、患者が仰向けに寝ている際に舌根が気道を閉塞することが発生原因であることが知られている。そこで、寝相といびき音の大きさの関係を暗視カメラ、深度センサ、マイクなどで計測しデータを得ながら、簡便に無呼吸状態を自動的に判定方法を得ることを第一段階の目標とする。得られた判定方法をもとに、最小限必要なセンサの組合せよりパッケージ化し、システムを構築することを最終目標とする。

### 3. 研究の方法

本研究では非接触型センサのみを用いた睡眠時無呼吸状態の判定と、その結果に基づきロボットアームを用いた寝返りの誘導を行わせるシステムの開発を最終目的とする。

本手法の特徴は、ロボットアームの先端もしくは本体下部に付けられたマイク、カメラなどを通じて患者のいびき音、寝相などをモニタリングし、その情報をもとに無呼吸状態を自動判定し、寝返りを誘導するためにアームが駆動して患者の体の一部に触れる。本システムによれば患者とロボットシステムは常時接触しておらず、寝返りを誘導する際にみに接触するため、患者の通常就寝時のス

タイルを崩す必要はない。また、設置するロボットアームはベッドサイドに置く読書灯と同様なスタイルであるため、男性にとっても受け入れやすいスタイルとなる。睡眠時無呼吸状態の判定にはいびき音、血中酸素濃度、呼気の有り無し、起床後の自覚症状などを総合的な症状より判断するが、簡便かつ簡易で安価な装置により寝返りを誘導するシステムを開発するには、つぎの事項を明らかにすることが重要である。

- ・無呼吸状態といびき音、寝相の相関を明らかにする

- ・いびき音が過大な状況から無音状態（無呼吸状態）になったときの判定

いびきを発生する要因となる寝相をモーションキャプチャーにより解析し、同時にマイクによるいびき音の収録、血中酸素濃度のモニタリング等により、どの情報が一番睡眠時無呼吸状態に關与しているのかを検討する。呼吸が止まらない低呼吸状態と呼ばれる状況でもSASの症状を発症することがあるので、判定基準として血中酸素濃度を知ることは必要である。しかしいびき音と寝相がSASの症状に及ぼす影響が大きいとすれば、接触型センサである指に装着する血中酸素濃度測定器は不要であると考えられる。これは従来型のSAS患者のサポート装置にはない発想であり、いびき音と寝相にともなうSAS発症の相関が明らかになれば、非接触型の睡眠時無呼吸状態の判定と寝返り誘導システムの開発につながる。いびき音などを時系列データとして取り扱い、音声データとして無呼吸状態を判定する際、特に比較的静かではあるが時計の音や外界からの音などの影響を取り除きつつ無音状態になった状況の判定方法を検討する。高速フーリエ変換などを用いて処理能力の大きいPCなどを利用すれば判定は可能であるが、携帯端末レベルの処理能力により音声データを周波数レベルで判定するには工夫が必要である。開発レベルにおけるシステム構築に際しては、患者の寝相の体勢、いびき音、血中酸素濃度などと睡眠時無呼吸状態との相関を詳細に検討する必要がある。最初にモーションキャプチャーシステムにより寝相を解析するシステムを構築する。本装置により、頭の向きと肩の位置関係など、より詳細な寝相の体勢を明らかにする。

このデータ計測と同時にマイクによるいびき音と血中酸素濃度を測定し、睡眠時無呼吸状態となった状態をPCにより判定するシステムを開発する。判定においては、いくつか特徴的な寝相を抽出し、どの寝相であるかを機械学習のプログラムを用いてPCによる自動判定システムを構築する。さらに自動判定の精度を高めるために多数の被験者のデータをもとに機械学習によるパターン判定を行い、判定の精度を高める。また、寝相と同時にいびき音と血中酸素濃度のデータより、どのような状況で無呼吸状態が発症するのか/しないのかを教師あり学習の手法を

用いて学習し、PCにより自動的に睡眠時無呼吸状態の判定が行えるアルゴリズムの開発を行う。ある程度の機械学習による判定方法が構築できたのち、無呼吸状態の最終的な判定に際して必要なデータの選別を行う。睡眠時無呼吸状態を知るうえで最も重要となるのは音データであると考えられる。一般には呼吸が10秒以上止まっている状態を無呼吸といい、この無呼吸状態が1回の睡眠(約7時間)に30回以上、または1時間あたり5回以上ある状態をSASと言うが、軽～中程度のSAS患者の場合は無呼吸状態の回数が少ないことが予想される。さらには、無呼吸状態が持続する時間はできるだけ短いほうがよいので、いびき音と寝相を組み合わせたより正確な呼吸/無呼吸状態の判定を先に機械学習による判定結果といびき音データを用いて詳細に検討する。

上記で得られた知見により、いびき音の観測に基づいて、ロボットアームが動作を開始するように制御システムを構築する。ロボットアームのリンク角度には一般的に知られているPID制御や、必要に応じてロバスト制御法などを適用し、ロボットアームの先端がユーザーに触れることで寝返りを誘導する構成とする。ロボットアームの形状と構成は一般的な多リンクアーム型とし、運動学モデル、動力学モデルを用いることで、適切な動作が得られるようにロボットアームを設計し、適切な制御系を設計することで制御目的を達成するシステムを構築する。

#### 4. 研究成果

睡眠時無呼吸症候群の発生を予防する装置の開発を行った。

まず、睡眠時無呼吸症候群が専門の研究者と議論した結果、軽～中程度のSAS患者の場合は無呼吸状態の回数が少ないことが判明した。大半の患者は、大きないびき音を生じたのち、無音状態になった時間が10秒を超えると無呼吸状態であると判定されるため、その状態を回避することが最重要であるとの知見を得た。また無呼吸状態における寝相は関係ないことが判明した。すなわち、無呼吸状態になった際に、とにかく寝相を変えさせることで、呼吸を再開させることが最重要であることがわかった。そこで、本研究で開発した装置ではいびき音がある閾値を超えた大きさになったのち、10秒間無音状態が続いた場合、アーム手先が利用者の顔に触れ、寝返りを誘発する構成とした。

本システムの設置場所はベットサイドテーブルが置かれる位置とした。この構成であればユーザーの性差に関わらず違和感もなく、布団により就寝するスタイルの場合も同様な位置に設置することが可能となる。そのため、設置場所は基本的にはユーザー毎に大差はないが、アームの手先が利用者の顔に触れることが重要である。そこで、ロボットの各リンクの長さが自由に変更できるように

設計した。アーム長の変更のみで対応出来る理由としては、睡眠時無呼吸状態を発症する大人であれば、ほぼ枕を利用して就寝すること、大人であれば寝相は悪くないこと、そもそも無呼吸状態になるということは、寝相を変えず一定状態で寝ていることが原因であることによる。

ロボットシステムにおいて、アームの長さの変更されると慣性モーメントなどの物理パラメータが変動するため、アーム長さを変更する前と後ではアームを駆動するトルクを変更する必要がある。一般的な制御則においては、制御対象の物理パラメータの値に応じて制御則の設計パラメータを変更する。すなわち本提案法においては、アームの角度を制御する制御則において設計パラメータを変更する必要が生じる。一般ユーザーの利用を想定した場合、ユーザーが自分の睡眠時の状態に合わせて本装置の設置を行い、適切なアーム長を自ら設定するまでは良いが、さらにリンクの角度を制御するパラメータまで調整するのは一般的に無理である。さらにそのような構成にした場合、うまく動作しない場合は、装置が使われないことも容易に想像でき、本装置の開発や目的とは本末転倒となる。そこで、本研究においては、アームの長さなど物理特性の変動にロバストな制御法である適応制御法をロボットアームのリンク角度制御に適用した。適応制御法を用いた結果、ユーザーがアームの長さを変更したとしても、制御システムが適応的に動作し、ロボットアームのリンク角が適応的に制御され、目標角度に精度よく追従することが可能となった。その結果、アームの手先位置を適切に制御することが可能となり、アームの長さ変更に対してリンク角度の制御においてユーザーは何も気にする必要がないことが示された。本研究成果を2014年8月に開催されたInternational Conference on Advanced Mechatronic Systemsにて発表したところ、Best Paper Awardを受賞した(発表総数102件に対して2件に贈呈)。また制御方法を改良し、制御性能を高めた内容が2015年にInternational Journal of Advanced Mechatronic Systems誌に掲載された。また2015年11月にはWeb媒体であるScience Spot(<http://sciencespot.co.uk/strange-robotic-bed-fellow-for-snorers.html>)に論文の内容が紹介された。

さらに、簡単なマイコンを利用してユーザーの顔の位置を認識し、逆運動学を用いてリンク角の適切な角度を算出し、その角度にリンク角が制御されるようにシステムを改良した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1件)

K. Sato, M. Tanaka: Sleep apnea syndrome prevention system using a robotic arm with adaptive control, International Journal of Advanced Mechatronic Systems, Vol. 6, No. 4, pp. 184-192, 2015 (査読有)

〔学会発表〕(計 2件)

1. K. Sato, M. Tanaka: An adaptive control of a robotic system to prevent sleep apnea syndrome, Procs. of 2014 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, SunA03-02, 2014 (査読有)

2. 田中将徳, 佐藤和也: 睡眠時無呼吸症候群(SAS)を抑制する簡単なロボットシステムの開発, 生活生命支援医療福祉工学系連合大会 2014 資料, 2014 (査読無)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

佐藤 和也 (SATO, Kazuya)  
佐賀大学・大学院工学系研究科・教授  
研究者番号: 30284607

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: