

ロボットアームを用いたバイタル測定システム

大野 健介^{1,a)} 三枝 亮^{1,b)}

概要: 介護施設スタッフにとって入居者のバイタル測定は時間的拘束の大きな業務のひとつでありロボットを利用した支援が期待される。本研究ではロボットによるバイタル測定業務の代替を目的として、自律移動型ロボットの頭部に搭載されたロボットアームを用いてバイタル測定機器を患者に接近させるシステムを提案する。ロボットは患者の差し出した手の三次元位置を深度センサと画像解析から算出して、対象者の手指の近傍にロボットアームを降ろす。ロボットアーム先端の握り部には血中酸素飽和度 (SpO₂) センサおよび圧力センサを配置し、センサが指に触れていることを維持しながら計測する。施設での運用を想定した実験として、健康成人に異なる4種類の姿勢(立位, 端座位(椅子), 端座位(車椅子), 長座位(ベッド))をとらせてバイタル測定を実行し、被験者が無理のない姿勢で手を差し出すだけで測定ができる条件を探索した。

キーワード: パルスオキシメータ, 圧力計測, ロボットアーム

Vital Measurement System Using a Robot Arm

Abstract: For staffs of nursing institutes, taking vital signals of residents is one of the most time-consuming tasks, and it is expected to be supported by robots. In this study, we propose a system that uses a robot arm mounted on the top of the head of an autonomous mobile robot to bring the robot's vital measurement device closer to the patient. The robot calculates the three-dimensional position of the patient's hand from depth sensors and image analysis, and lowers the robot arm close to the hand. A blood oxygen saturation (SpO₂) sensor and a pressure sensor are affixed to the gripping handle at the end of the robot arm, and measurements are taken while ensuring that the sensor is touching the finger. As an experiment for use in a facility, we had healthy adults to be taken vital signals in four different postures (standing, end sitting on a chair, end sitting on a wheelchair, and long sitting on a bed), and searched for conditions in which subjects could take measurements by simply holding out their hands in a comfortable posture.

Keywords: Pulse Oximeter, Pressure measurement, Robot arm

1. はじめに

医療介護施設において患者や入居者の健康状態把握のために行うバイタルチェック(脈拍, 血圧, 体温, 呼吸, 血中酸素飽和度の測定)は欠くことのできない業務である。研究報告会によれば看護師が1日8時間の業務のうち約1時間をバイタルチェック(データ入力含む)業務に費やしているとされており, ロボットや福祉機器による業務支援や業務代替への期待が高まっている[1][2]。体温, 呼吸等を非接触で計測する技術の報告は散見される一方, 血中酸素

飽和度 (Saturation percutaneous Oxygen, 以下 SpO₂) など接触を伴う計測については職員の支援が必要な場面が多く, 計測行為を自動化する方法は確立されていない[3]。

施設におけるバイタルチェック業務の自動化を試みる手段として, 移動巡回型ロボットが測定器具を患者に手渡しで測定を見守るという方法が報告されている[4]。この方法は測定中に患者が立ち去っていないか, 正しく装着できているかなどをロボットに搭載したカメラ画像から判断する必要があり, 患者自身の認知機能に問題がある場合は測定が困難となる。任意の身体部位へ接触する手段としては, ロボットアームにバイタルセンサを搭載する方法がある。先行研究ではロボットアームの先端にレーザ式血流計を搭載し, 生体に対し適切な位置・角度に調整を行う試み

¹ 神奈川工科大学
Shimoogino 1030, Atsugi, Kanagawa 243-0203, Japan

a) kensuke.ohno@syblab.org

b) ryo.saegusa@syblab.org



図 1 自律移動型ロボット”Lucia”.
Fig. 1 Autonomous mobile robot ”Lucia”.

が認められる一方 [5], ロボットアームへの接触でバイタルチェックを行う方法はこれまで報告がない。

私たちは接触を伴うバイタルチェック業務の自動化を試みる。具体的な手段として、本研究室で開発・改良中の医療介護施設用の自律巡回型ロボット”Lucia”(Fig.1)のロボットアーム先端にバイタル測定用ハンドルを実装する。将来的には複数の計測機器の搭載が可能であると考えられるが、本稿ではバイタル計測器のなかでも接触を必要とするパルスオキシメータを搭載する。パルスオキシメータには挟み込み型(透過型)と反射型(接触型)の2種類が存在する。透過型はクリップで測定部位を挟み込むのに対して、反射型はサージカルテープなどで測定部位に固定して計測を行うことが一般的である。指先で触れるだけで計測できる反射型の方が挟み込みを必要とする透過型よりも対人的な親和性が高い。しながら、反射型パルスオキシメータでの測定では接触圧を保障できないという弱点がある。

パルスオキシメータは接触圧が高すぎると血流が障害され脈拍が検出できなくなり、脈拍と同期して算出されるSpO₂の精度も引きずられて低下する。逆に接触圧が低すぎると脈動を検出できず体動・外部光の影響で計測誤差が増大する。またセンサ受光部は外乱光の影響を極力受けないように指で完全に覆い隠す必要があるが、接触が不十分だと指とセンサの間隙から外乱光が入り込み正しい値が計測できなくなるため、測定に適した接触圧を維持することが肝要となる。また、パルスオキシメータで計測される脈拍は取得値の変動量が十分に小さいことを前提として正確に計測されていると判断されることがあるが、脈拍自体は常に変動しているため、力学的な情報に基づいて測定者自身が圧力を調整することで計測の信頼性を確保することは意義があると考えられる。

本研究では反射型パルスオキシメータの計測安定性と手指の圧分布の関係を調査し、また計測安定性が高いときの圧分布を視覚フィードバックすることが計測安定性に寄与するか検証する。

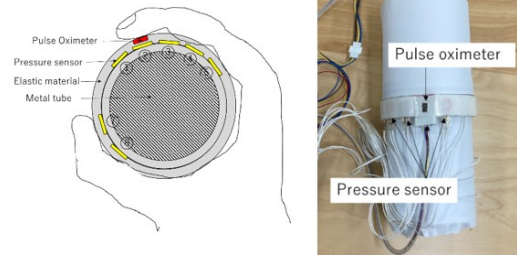


図 2 脈拍 SPO₂ 計測ハンドルの外観
Fig. 2 Over view of Pulse/SpO₂ measurement handle.

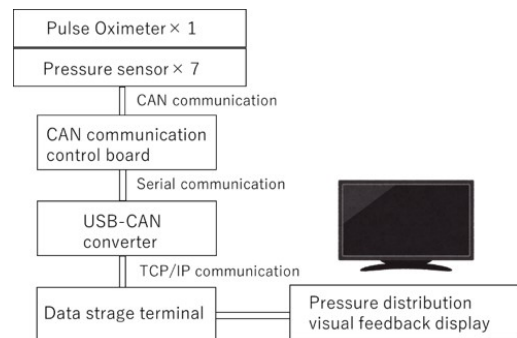


図 3 システム構成.
Fig. 3 System configuration.

2. 接触圧計測システム

試作したバイタル計測用ハンドルを Fig.2 に示す。センサと血管の走行が平行となるよう調整が必要となるが、接触面が平面であると指先を伸展させなければならず、麻痺などで指先の伸展に制限がある患者では困難な動作である。このため、測定者が自身で容易に接触圧を調整できるよう、ハンドル形状は手指全体で握ることが可能な円筒型とし、また表層には2層のクッション材を巻くことで弾性をもたせ握りやすくした。反射型パルスオキシメータはクッション材で挟み込み、照射部及び受光部のみ露出させた。計7個の圧力センサはクッション材の間に円周方向に並べて挿入した。挿入位置は脈拍センサの直下に1個、それよりも示指の先端方向に1個、基節部方向に3個、母指の接触位置に2個とした。

計測システムの全体構成を Fig.3 に示す。パルスオキシメータで計測される脈拍及び SpO₂ は CAN 通信制御用基板にて同期された後、USB-CAN 変換器を介して Linux パソコンに接続されデータ保存される。

3. バイタル計測実験

実験風景を Fig.4 に示す。実験には成人男性1名(23歳)が参加した。提案システムで計測される脈拍の妥当性については、市販の脈拍計測器(ゼノアックリソース社製光電式パルスチェカ、以下パルスチェッカ)で取得される参考値との平均二乗平方根誤差から判定する。

被験者の左手示指先端の腹にパルスチェッカのプローブをテープで固定し脈拍の参照値を取得する。右手側には提案システムであるバイタル測定ハンドルを配置した。プローブとパルスオキシメータは心臓と同高度となるよう台座や椅子の高さを被験者の姿勢に無理が無い範囲で調整した。

実験 1 では特別な指示無く握らせたときの計測成功率を調査した。被験者は無作為にハンドルを握り、測定者が指先にパルスオキシメータのセンサ部に触れていることを確認し、脈拍と SpO₂ を 1 秒間隔で 30 秒間、パルスチェッカの脈拍と同期して計測した。握ってから手を放すまでを 1 試行とし、練習 2 試行の後、本計測を 20 回行った。ハンドルを握った際に指先がセンサから外れていた場合は再計測とした。全試行のうち、30 秒間の時系列データの標準偏差が 2 を上回ったものと下回ったもので分別し、下回ったもののみを平均し、その圧分布を実験 2 における圧分布視覚フィードバックの基準値とした。

実験 2 では被験者の正面に設置されたディスプレイにて圧分布がリアルタイムに提示され、被験者は実験 1 で求めた基準値に合わせて込むように握力を調整しながら 30 秒間計測した (Fig.5)。フィードバック以外の条件は実験 1 と同様とした。

実験 1,2 の測定成功率を Fig.6 に示す。計 20 試行のうちセンサエラーにより計測値が取得できなかった 4 試行を除いた 16 試行の取得波形のうち、30 秒間の時系列データの標準偏差が 2 を下回った試行は 8 試行、上回った試行は 8 試行であった。下回った試行より圧分布の基準値は 1 から 7 の順番で 0,5,2,0,0,5,5,6,20 と求められた。実験 2 の視覚フィードバック条件では、全 8 試行で時系列データの標準偏差が 2 以下となった。

以上の結果より、圧分布の視覚フィードバックを行うことでセンサ値取得の成功率が向上することが示唆された。また圧分布の基準値に対する誤差と計測精度の関係を Fig.7,8,9 に示す。参照値 (パルスチェッカ) で計測された脈拍は、提案法 (パルスオキシメータハンドル) での取得値での脈拍と比較して、誤差が有意に大きい結果となった。

基準値との誤差は、示指の先端 (P2)、母指の付け根 (P6) で正に大きく、母指の先端では負に大きいことが確認された。示指の先端はセンサへの直接的な接触圧であり、その圧力が高すぎることで血流が阻害され、脈波の検出精度が低下したと考えられる。また母指の付け根の圧力が高すぎたことは、対角線の示指の第二関節から第三関節の腹あたりに大きな力が加わることとなり、示指先端の血流低下につながった可能性が示唆された。指先の血流は垂直方向の圧力だけでなく剪断力に影響を受けるとする報告がある。圧分布がほとんど変わらないにも関わらず脈拍の測定値の安定性に差があった (Fig.10,11)。



図 4 実験風景.

Fig. 4 Experimental scenery.

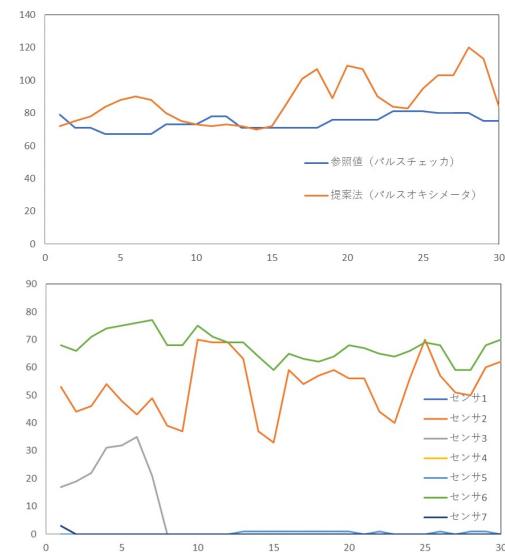


図 5 脈拍の参照値と提案法での取得値および動悸して取得された圧分布の時系列データ.

Fig. 5 Time-series data of pulse reference value, proposed method acquisition value, and pressure distribution acquired in synchronization.

	Type of Hand Grasping	
	Random	Visual force feedback
Success [Times]	8	8
(Root mean square error > 1.0)		
Success [Times]	8	0
(Root mean square error ≤ 1.0)		
Failure [Times]	4	0
(Could not get data because of sensor error)		
Success rate [%]	40	100

図 6 データ取得成功率.

Fig. 6 Experimental scenery.

4. ロボットアームを用いたバイタル計測

試作したバイタル計測ハンドルを Fig.12 に示す。指の握りこみが行えるように溝をデザインし、円周方向に加工した溝の部分に圧力センサを埋め込んだ。上段の溝は示指・母指、下段の溝は中指による握りこみにフィットする構造となっている。圧力センサの表面にはスポンジを貼付した。ハンドルは Fig.12 のようにロボットアームの先端に接

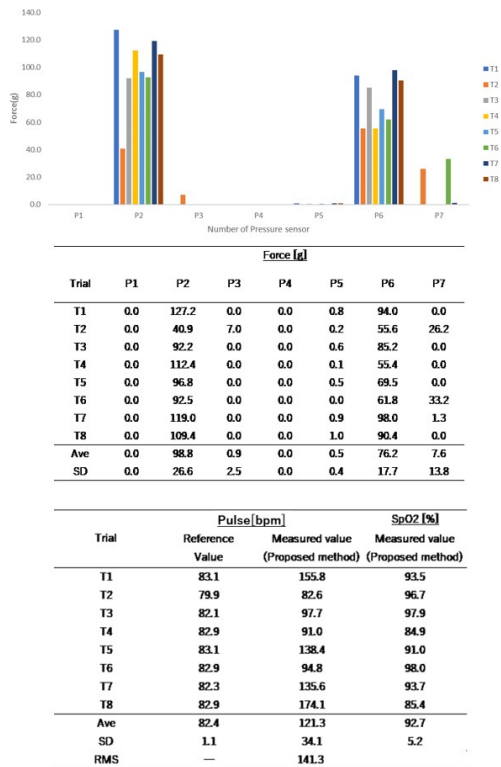


図 7 無作為な握り動作で測定安定性の低かった群の圧分布。
Fig. 7 Lower stability group at random grip.

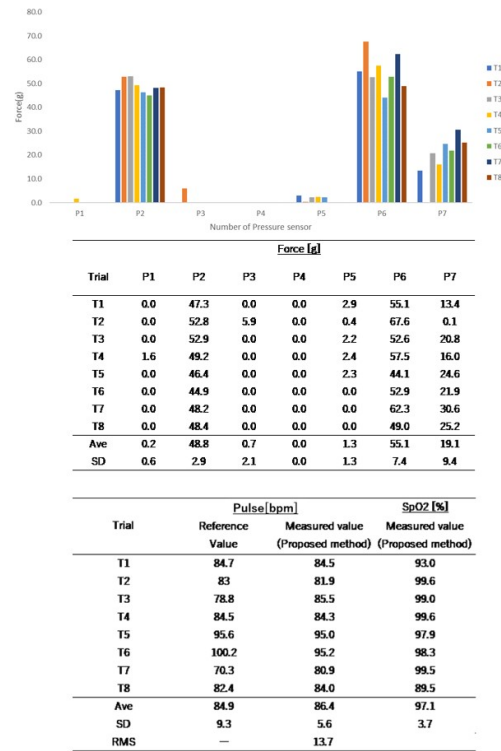


図 9 フィードバック有の握り動作で計測した群の圧分布。
Fig. 9 Pressure distribution of the group measured by gripping motion with feedback.

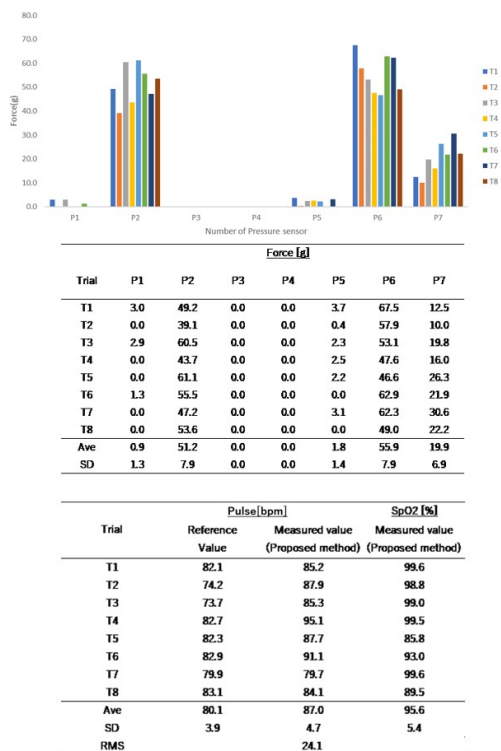


図 8 無作為な握り動作で測定安定性の高かった群の圧分布。
Fig. 8 Higher stability group at random grip.

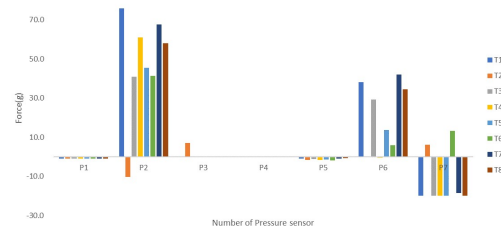


図 10 脈拍の時系列データ標準偏差 2 以下の試行における圧分布の基準値との誤差。
Fig. 10 Time-series data of pulse error with reference value of pressure distribution in trials with standard deviation of 2 or less.

続し、取り付ける。

ロボットにはカメラと深度センサが搭載されており、人が差し出した手の 3 次元位置を検出して、アームを接近さ

せる。このシステムにより患者は無理な体勢の変更なく、計測することが可能である。

脈波を検出する場合、測定部位と心臓の相対的な高さの差、肘、手首などの角度などが影響すると考えられている。介護施設や病院でのシステム運用を考える場合、患者の姿勢はさまざまである。本研究では、立位、端座位（椅子、車いす）、ベッド（長座位）の 4 種類の姿勢にて提案システムでの計測が可能であるか調査を行った (Fig.13)。

旧型のバイタル計測アームでは計測値が安定しないという欠点があった。これは握り方や接触圧が担保されていないことでセンサ受光部が指に上手く触れていなかったことが原因であったと考えている。本研究では検出に適した握りであるかを確認しながら計測を行うために、旧型の測定

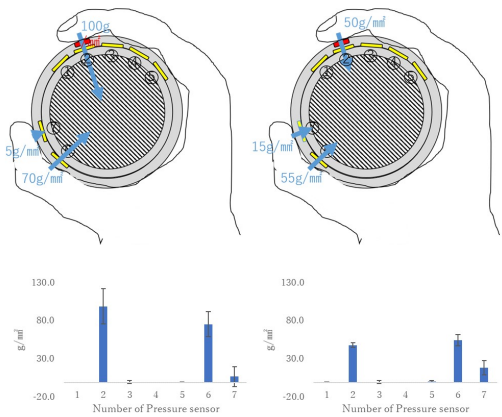


図 11 円筒物体を握ったときの SpO2 センサ接触部位と圧分布 (円筒の直径 70mm, 示指の長さ 85mm の場合).

Fig. 11 SpO2 sensor contact site and pressure distribution of the sensor when grasping a cylindrical object (when the diameter of the cylinder is 70mm and the length of the finger is 85mm).

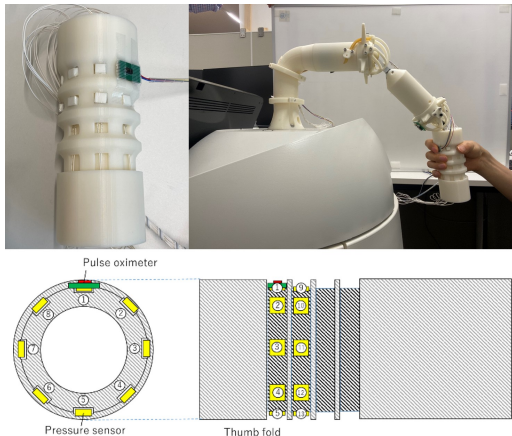


図 12 改良したバイタル計測ハンドル.

Fig. 12 Improved vital measurement handle.

デバイスに圧力センサを貼付し、圧分布を確認しながら計測できる仕様に変更した。

4つの計測姿勢において、提案システムにおける脈拍の精度が高かった時の圧力分布を Fig.14,15 に示す。

5. まとめ

本研究によりパルスオキシメータの圧分布と計測精度に一定の関連性が認められた。しかし実際のハンドルを握った際の指や掌の接触する部位や圧力は手指の長さにより変動すると考えられるため、追加検証していく必要がある。今後は本研究で得られた知見を用いて計測に適した握りの誘導方法を提案し、測定対象者に対して計測状態を音や LED などによりフィードバックする機能を実装する予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 18H03558 の助成を受けて行われた。



図 13 異なる姿勢での計測 (立位, 端座位 (椅子), 端座位 (車椅子), 長座位 (ベッド)).

Fig. 13 Measurement in different posture.

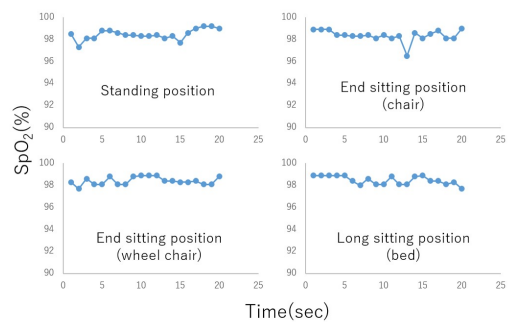


図 14 異なる姿勢での SpO2 計測.

Fig. 14 SpO2 measurement in different posture.

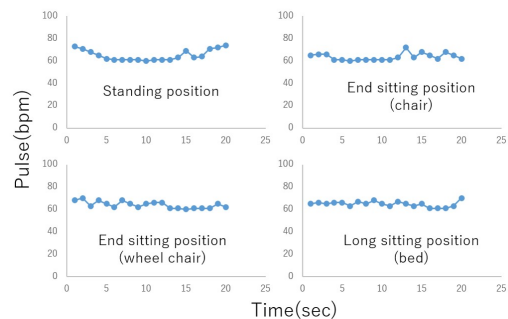


図 15 異なる姿勢での脈拍計測.

Fig. 15 Pulse measurement in different posture.

参考文献

- [1] 山田 憲嗣: 介護ロボットの現状と課題, 日本老年医学, vol.52, pp.322-327 (2015)
- [2] 伊藤 正: 医療用ロボットとアクチュエータ, 日本ロボット学会誌, vol.33, No.9, pp.677-679 (2015)
- [3] 伊藤 美奈子: 看護職が行うバイタルサイン測定の実態, 聖路加看護学会, vol.19, No.1 (2015)
- [4] 若本 真司, 大村 廉: 行動認識に基づく自律回診支援ロボットシステムの実現, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, pp.144-151 (2014)
- [5] 日夏 俊: 基節部における脈波計測を利用した指先接触力推定, vol.55, No.3, pp.115-124 (2017)