

アクティブ 3 次元センサを用いた簡易型非接触呼吸計測

青木 広宙[†] 宮崎 雅樹^{††} 仲村 秀俊^{††} 古川 亮[†] 佐川 立昌^{†††} 川崎 洋^{†††}

[†] 広島市立大学大学院情報科学研究科 〒731-3166 広島県広島市安佐南区大塚東 3-4-1

^{††} 慶応義塾大学医学部 〒160-8582 東京都新宿区信濃町 35

^{†††} 産業技術総合研究所 〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 つくば中央第 2

^{††††} 鹿児島大学大学院理工学研究科 〒890-0065 鹿児島市郡元 1 丁目 21-40

E-mail: [†] haoki@hiroshima-cu.ac.jp, ^{††} hnakamura@cpnet.med.keio.ac.jp,

^{†††} ryusuke.sagawa@aist.go.jp, ^{††††} kawasaki@ibe.kagoshima-u.ac.jp

あらまし 本研究では、肺機能検査の簡便な実施を目的として、パターン光投影によるアクティブ 3 次元センサである Kinect を用いた簡易型非接触呼吸計測について提案する。提案手法においては、Kinect の人体抽出機能を応用することで被験者の胸腹部領域の体積変化を算出することで呼吸波形を得る。本稿では、提案手法による非接触呼吸計測と呼気ガス分析装置による直接流量計測との比較実験により、提案手法の妥当性について検討した。呼気ガス分析装置との同時計測の結果、2 つの測定結果の間には高い相関性が認められた。本結果は、提案手法により定量的な呼吸計測が非接触で実施可能であることを示唆するものと考えている。

キーワード 呼吸計測, 非接触生体計測, 三次元計測, 肺機能検査

Simple Non-contact Respiration Measurement Using Active 3-D Sensor

Hirooki Aoki[†] Masaki Miyazaki^{††} Hidetoshi Nakamura^{††} Ryo Furukawa[†]

Ryusuke Sagawa^{†††} and Hiroshi Kawasaki^{††††}

[†] Hiroshima City University 3-4-1 Odukahigashi, Asaminami-ku, Hiroshima, 731-3161 Japan

^{††} Keio University 35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo, 160-8582 Japan

^{†††} AIST Tsukuba Central 2, 1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-8568 Japan

^{††††} Kagoshima University 1-21-24 Korimoto, Kagoshima, 890-8580, Japans

E-mail: [†] haoki@hiroshima-cu.ac.jp, ^{††} hnakamura@cpnet.med.keio.ac.jp,

^{†††} ryusuke.sagawa@aist.go.jp, ^{††††} kawasaki@ibe.kagoshima-u.ac.jp

Abstract We have examined a non-contact respiration measurement using the Kinect, that is 3D sensor based on structured light, in order to decrease the burden of the pulmonary function test. In our proposed method, the respiratory waveform is produced from the volume change of thoracoabdominal part of examinee measured by the three-dimensional measurement function of the Kinect. In this paper, we examine the validity of our proposed method by simultaneous measurement with our proposed method and the expiration gas analyzer. As the result of the simultaneous measurements, respiratory volume change obtained by the Kinect is correlated with respiratory flow volume obtained by the expiration gas analyzer. The result implies that our proposed method realize quantitative respiration measurement without contact-type sensor.

Keyword Respiration measurement, Non-contact biomedical measurement, 3-D measurement, Pulmonary function test

1. はじめに

慢性閉塞性肺疾患（COPD: Chronic Obstructive Pulmonary Disease）は、世界保健機関によると 2030 年には死因の第 4 位になるものと予想されており [1], 早期のスクリーニングが必要であると考えられている。現在、COPD スクリーニングを目的として、スパイロメータと呼ばれる呼気流量を直接的に計測する装置を用いた肺機能検査（スパイロメトリー）が実施されて

いる。しかし、スパイロメータは、鼻栓の使用により被験者に少なからず拘束感を与えたり検査毎にマウスピースの交換が必要であったりするため、多人数を対象とするような一般健康診断で使用するには十分な簡便性を備えているとは言い難い。実際、スパイロメトリーは、人間ドッグと言った精密検査では行われているが、一般健康診断では実施されていない。

われわれは、これまで、三次元計測技術を応用した

非接触呼吸計測に関する研究について取り組んできた。そして、これを肺機能検査に適用することで、COPDの簡易スクリーニングが実現できるものと考えた。

われわれが提案する非接触肺機能検査においては、ドットマトリックス状のパターン光を被験者の胸部・腹部に投影し、ドット群の分布を画像解析することで被験者の胸部・腹部の三次元形状を取得し、呼吸に伴う胸部・腹部の体積変化から呼吸波形を求める[2][3][4]。手法の妥当性について検討した結果、スパイロメータで取得される呼吸波形とわれわれの提案手法により取得される呼吸波形との間には高い相関性が示され、胸部・腹部の体積変化から求められる呼吸波形を用いて肺機能検査が実施できる可能性が示唆された。

提案手法においては、三次元センサとして、光ファイバによる透過型回折格子[5]を用いたアクティブ型三次元センサであるファイバグレーティング視覚センサ（FG視覚センサ）を利用している。しかし、FG視覚センサは製品化されていないため、完全に手作りの開発が必要である。このため、多くの医療現場において実際に使用してもらうことが出来ず、手法の有効性を検証していく上での障壁となっていた。

一方、2010年末にテレビゲーム用のインタフェースとして発売されたMicrosoft社のKinectは、PrimeSense社が開発した“Light coding”[6]と呼ばれるパターン光投影を用いた三次元計測手法を応用したもので、FG視覚センサと同様に投影されるパターン光を撮影することで三次元復元を行うアクティブ型三次元センサの一種である。最近ではWindows PCでの利用がサポートされるようになったことから、様々な分野の研究者・開発者の注目を集めている。そこで、われわれは、FG視覚センサの代替としてKinectを用いることで、簡易型肺機能検査方法を実現できるか検討することとした。

本稿では、Kinectを用いた非接触呼吸計測手法を実装した実験用システムを構築し、呼気ガス分析装置との比較実験によりKinectによる非接触呼吸計測の妥当性に関して基礎的な検討を行なったので報告する。

2. システムの構成

無拘束・非接触に呼吸機能検査を行うために、本研究では、図1に示すような構成の測定システムにより呼吸運動計測を行う。

本システムのセンサ部は、被験者の正面に配置されたKinectである。被験者はKinectの正面に設置された背もたれ付きの椅子に座るものとする。

Kinectは、主に、カラーカメラ、近赤外線カメラ、パターン光投影機によって構成される（図2）。カラー

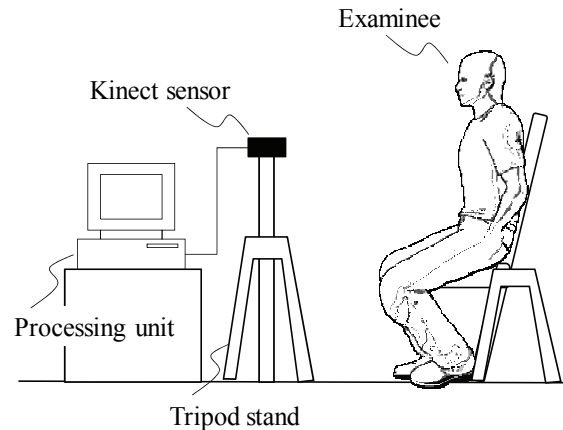


図1 システムの構成



図2 Kinect

表1 Kinectの仕様

Item	Specification
Range of color and depth stream	1.2 to 3.5 meters
Range of skeletal tracking	1.2 to 3.5 meters
Viewing angle	43 degrees vertical/ 57 degrees horizontal
Mechanical tilt range	27 degrees (vertical)
frame rate	30 frames per second
Resolution, depth stream	QVGA(320 x 240)
Resolution, color stream	VGA(640 x 480)

カメラにおいては、VGA（640×480ピクセル）のカラー画像が取得され、これと同時に近赤外カメラとパターン光投影機によるアクティブ三次元計測が行われQVGA(320×240ピクセル)の距離画像が取得される。Kinectにより取得される距離画像においては、各画素において13bitの情報量を有し、ミリメートルオーダーの距離情報が得られる[7]。

3. Kinect による呼吸運動計測

Kinect を用いて非接触で呼吸運動を計測する方法について示す。

まず、被験者が Kinect の正面に着座する。Kinect においては、距離画像の取得が行なわれており、被験者が着座した際に、センサの持つ人体抽出機能により被験者が存在する領域の抽出が行なわれる。人体抽出と同時に、骨格抽出機能により、人体抽出領域に対する人体の骨格の抽出が行なわれる。骨格を構成する関節は、図 3 に示すように、頭(HEAD)、肩中心(SHOULDER CENTER)、右肩(SHOULDER RIGHT)、左肩(SHOULDER LEFT)、右肘(ELBOW RIGHT)、左肘(ELBOW LEFT)、右手首(WRIST RIGHT)、左手首(WRIST LEFT)、右掌(HAND RIGHT)、左掌(HAND LEFT)、腰(SPINE)、股間中心(HIP CENTER)、右股関節(HIP RIGHT)、左股関節(HIP LEFT)、右膝(KNEE RIGHT)、左膝(KNEE LEFT)、右足首(ANKLE RIGHT)、左足首(ANKLE LEFT)、右足先(FOOT RIGHT)、左足先(FOOT LEFT) の 20 箇所からなる。提案する呼吸運動計測においては、図 4 に示すように、肩中心、右肩、左肩、右股関節、左股関節に内包される領域を被験者の胸部・腹部に対応する胸腹部領域と定義する。そして、胸腹部領域の体積変化を求める。

Kinect により取得される距離画像の各画素と実世界での三次元座標 (X, Y, Z) の関係は三角測量の原理により算出可能である。

$$\begin{aligned} X &= \frac{(x_p - p_h/2)\tan(\theta_h/2)}{p_h/2} z_p \\ Y &= \frac{(p_v/2 - y_p)\tan(\theta_v/2)}{p_v/2} z_p \\ Z &= z_p \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 x_p は距離画像における水平座標、 y_p は距離座標における垂直座標、 z_p は (x_p, y_p) における距離情報、 p_h は距離画像の水平方向の画素数、 p_v は距離画像の垂直方向の画素数、 θ_h は距離画像センサの水平方向の画角、 θ_v は距離画像センサの垂直方向の画角を示している。

各画素について算出された三次元座標は空間的に離散して分布する。これらの三次元座標を線形補間三角網法[8]でリサンプリングし(図 5)、数値積分することで胸腹部領域に該当する部分の体積を求める。そして、フレーム間での体積変化を求めることで、呼吸波形が算出される。

4. 実験

呼気ガス分析装置との同時計測により、提案手法の妥当性について検討した。ここで、使用した呼気ガス分析装置は、ミナト医科学社製 AE-280S である。

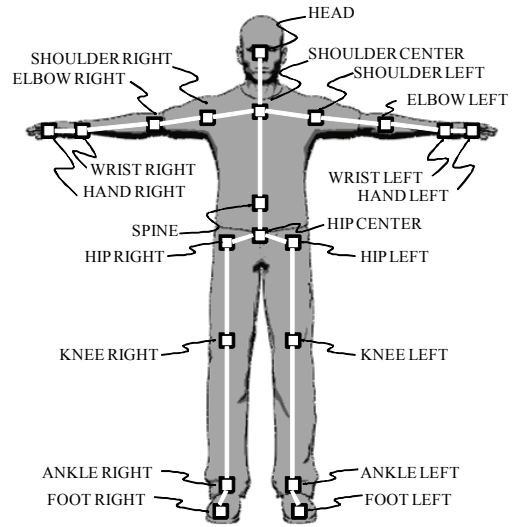


図 3 Kinect により抽出される骨格と関節

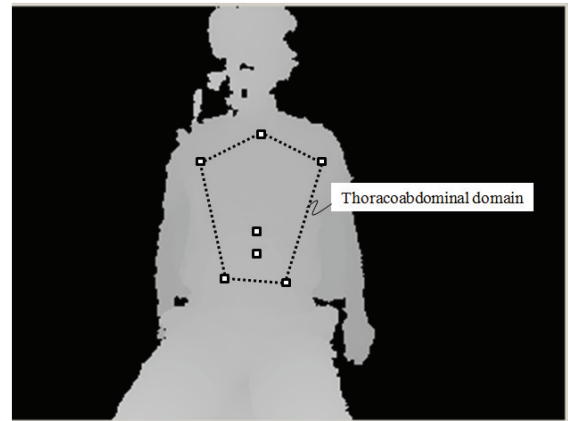


図 4 胸腹部領域

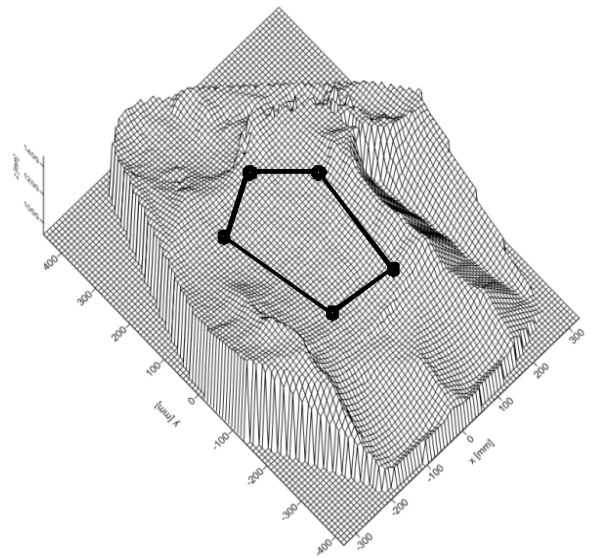


図 5 三次元形状

AE-280S においては、図 6 に示すように、マスクに接続された熱線式フロートランスデューサにより Breath-by-breath での呼気流量の計測を行うことが可能である。

本実験の被験者は、男性 4 名（年齢：34±4 歳，身長：172.35±6.15cm，体重：78.25±5.95kg）である。なお、本稿に示す実験の実施に際しては、被験者に実験の趣旨を口頭並びに文書にて説明し、実験協力に関し文書による同意を得ている。

計測に際しては、被験者は白色またはグレーの T シャツを着衣している。計測時間は 1 名あたり 180 秒とした。計測中、被験者は呼吸流量が様々な値となるように、呼吸を故意に大きくしたり小さくしたりすることとした。



図 6 呼気ガス分析装置（センサ部）

図 7 に Kinect より得られた呼吸波形を示す。呼吸波形において、振幅値を求めることで呼気 1 回当たりの体積変化量を算出し、呼気ガス分析装置によって得られる一回換気量（呼吸 1 回当たりの呼気流量）と比較することとした。図 8 において、◇印は Kinect より得られた呼気 1 回当たりの体積変化を、+印は呼気ガス分析装置により得られた一回換気量を、それぞれ示している。図より、両者の値が同じような変化傾向を示していることがわかった。

図 9 は、Kinect より得られた体積変化と呼気ガス分析装置により得られた一回換気量との相関性を求めた結果である。回帰分析を行い相関係数について調べた結果、全被験者において相関係数の値は 0.98 以上の高い値を示した。なお、用いた回帰直線は、原点を通る直線である。

図 10 は、同時計測結果の Bland-Altman 図である。

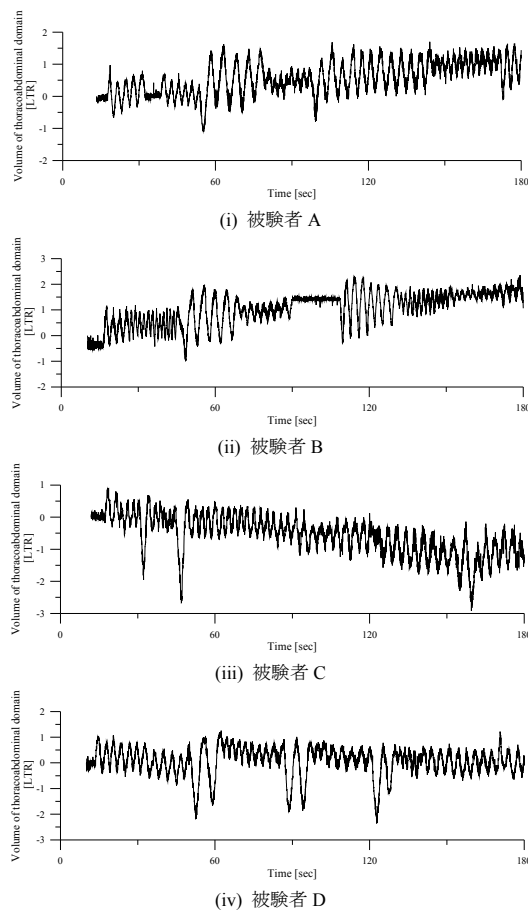


図 7 Kinect より得られた呼吸波形

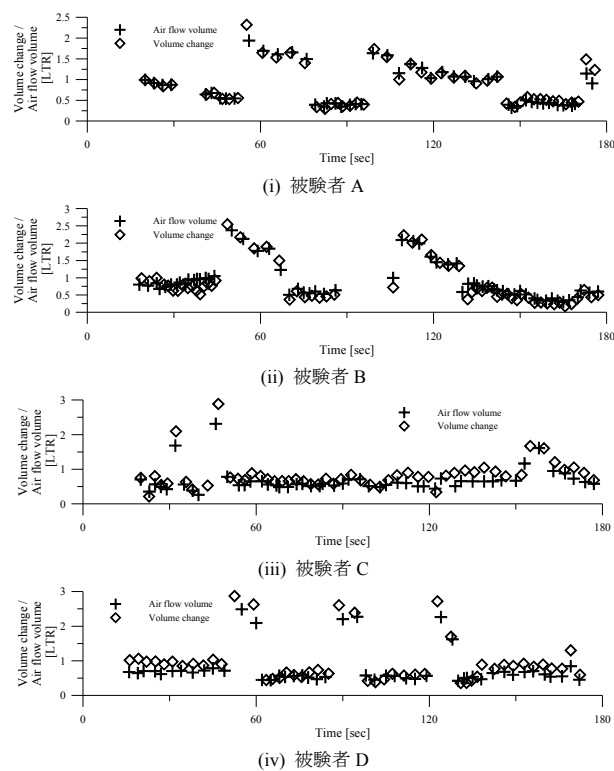


図 8 同時計測結果の変化トレンドの比較

被験者 C, D においては、若干の加算誤差が見られるものの、全ての被験者において顕著な比例誤差は見られなかった。

5. おわりに

Kinect を用いた非接触呼吸計測手法を実装した実験用システムを構築し、呼気ガス分析装置との比較実験

により Kinect による非接触呼吸計測の妥当性に関して基礎的な検討を行なった。その結果、提案手法により取得される呼吸に伴う胸腹部の体積変化と呼気ガス分析装置により取得される一回換気量とが高い相関性を示すことが、明らかとなった。また、Bland-Altman 分析の結果、計測結果に大きな系統誤差が含まれていないことが明らかとなった。以上の結果より、Kinect を用いることで定量的な非接触呼吸計測が実現する可能性が示唆された。

とは言え、今回の実験においては被験者数が 4 名と少なく、今後、被験者の人数を増やして、手法の妥当性についてさらなる検討を加える必要があるものと考えられた。また、提案手法を COPD スクリーニング用の指標の算定に適用することについて、今後、検討していく予定である。

なお、本研究の一部は、内閣府・最先端次世代研究開発支援プログラム (LR030)、日本学術振興会・科研費 (23700576)、堀科学芸術振興財団・研究助成による

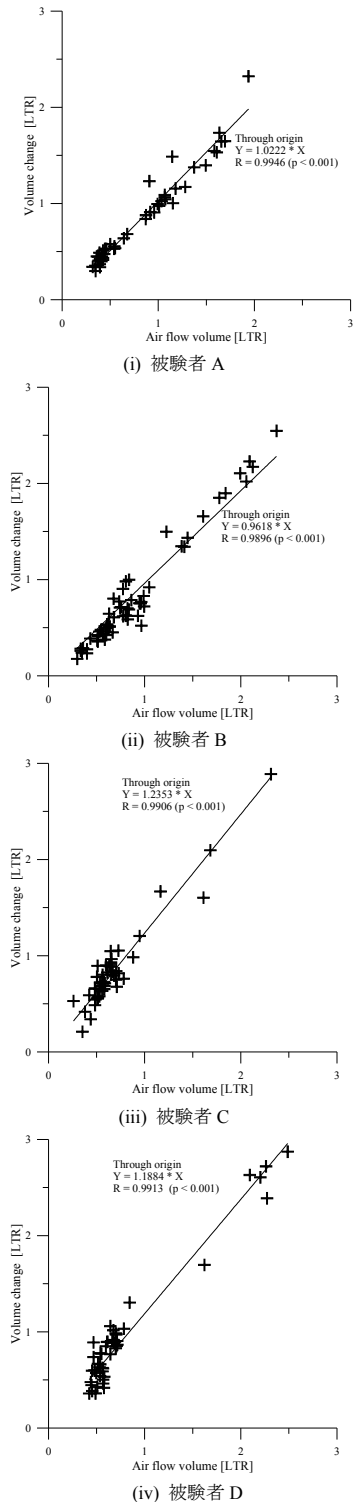


図 9 同時計測結果の相関関係

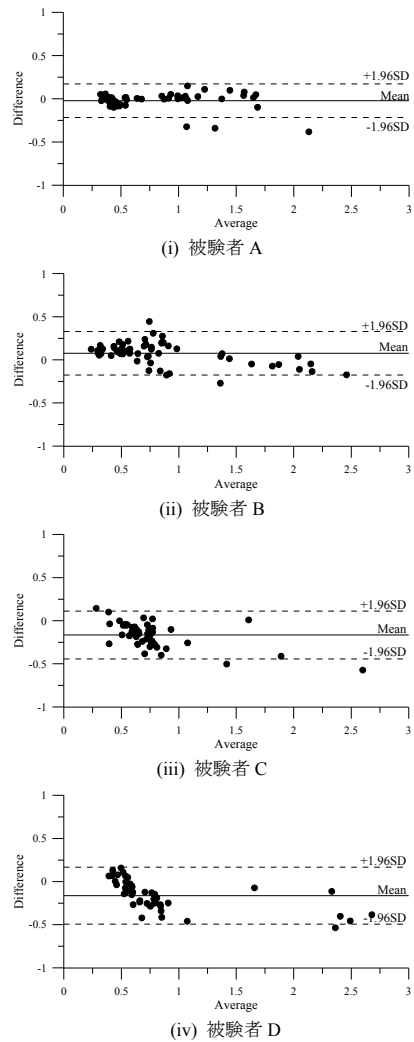


図 10 同時計測結果の Bland-Altman 図

助成を受けて実施されたものである。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] GOLD EXECUTIVE COMMITTEE: “Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease”, Medical Communications Resources, 2008.
- [2] 青木広宙, 越地耕二: “パターン光投影を用いた非接触肺機能検査に関する検討”, 電学論 C, Vol. 130-C, No. 5, pp. 813-821, 2010.
- [3] Y. Mizobe, H. Aoki, K. Koshiji: “Proposal on Nonrestraint Pulmonary Function Test Using Active 3D Measurement for Body Surface”, World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006, pp.747-750, 2006.
- [4] Y. Mizobe, H. Aoki, K. Koshiji: “Basic Study on Relationship Between Respiratory Flow Volume and Volume Change of Thorax Surface”, Proceedings of International Special Topic Conference on Information Technology Applications in Biomedicine 2007, pp.219-222, 2007.
- [5] H. Machida et al : “High-efficiency fiber grating for producing multiple beams of uniform intensity”, Appl. Opt., Vol.23, No.2, pp.330-332, 1984.
- [6] B. Freedman, A. Shpunt, M. Machline, Y. Arieli: "Depth mapping using projected patterns", US Application Publication, US 2010/0118123 A1, 2010.
- [7] Microsoft Research : “Programming Guide - Getting Started with the Kinect for Windows SDK Beta from Microsoft Research -”, p. 11, 2011.
- [8] D.T. Lee, , and B.J. Schachter,: “Two Algorithms for Con-structing a Delaunay Triangulation”, International Journal of Computer and Information Sciences, Vol. 9, No. 3, pp. 219-242, 1980.