

# 深呼吸を評価するウェアラブルデバイスの検討

天満洋紀<sup>†</sup> 今井隼人<sup>†</sup> 西垣佑章<sup>†</sup> 前田悟次<sup>†</sup> 山崎真由<sup>†</sup>  
佐保秀弥<sup>†</sup> 松下宗一郎<sup>†</sup>

**概要**：人の呼吸法は胸式呼吸と腹式呼吸の2つに大別される。特に腹式呼吸は自律神経系に影響を与えストレス軽減などの効果があり、禅やヨガにおける正しい呼吸法とされているが、正しく行えているかどうかを客観的に判断することは困難であった。そこで本研究ではモーションセンサと心拍センサを用いて腹式呼吸を判定する身体装着型デバイスを作成し、呼吸の状態を評価するインタラクティブなシステムの実験を行った。

## A Wearable Device that Tells How Deeply You Are Breathing

HIROKI TEMMA<sup>†</sup> HAYATO IMAI<sup>†</sup> YUKI NISHIGAKI<sup>†</sup>  
SATOSHI MAEDA<sup>†</sup> MAYU YAMAZAKI<sup>†</sup>  
SHUYA SAHO<sup>†</sup> SOICHIRO MATSUSHITA<sup>†</sup>

**Abstract**: Generally speaking, there are two different types of breathing, that is, thoracic respiration and abdominal respiration. It is said that the Abdominal respiration has some positive influences on automatic nerves system, and it is considered to be an appropriate breathing method in Zen and Yoga. In this paper, we propose a wearable device that tells how the user has achieved a 'good respiration' by using an accelerometer and an ECG sensor.

### 1. はじめに

人間が生きていく為に必要な運動の一つである呼吸では、通常は胸式呼吸と腹式呼吸の要素が混ざり合った胸腹式呼吸が行われている。そして、心拍に合わせて意図的に腹式呼吸を行うことで、自律神経系に影響を与えストレスの軽減や血圧上昇抑制などの効果があることが知られている。一方、センサ等の機器を用いて呼吸を評価する研究としては、被験者を拘束せず呼吸・心拍の測定を行う MIMO システムが報告されている[1]。ここでは、アンテナ及びセンサを多数使用することで身体運動の正確な計測を行い、どのような呼吸運動が行われたのかの判別がなされている。しかしながら、機器のコストや使用する際の手軽さを考えた場合、いつでもどこでも利用できるものとはなっていない。

そこで本研究では、身体に装着する小型のセンサならびにマイクロコンピュータにより、呼吸の仕方を判別するシステムの実現を目指している。具体的には、呼吸運動と密接な関係がある心拍の R-R 間隔を計測する ECG センサとともに、利用者の腹部に呼吸による運動姿勢変化を検出する 6 軸ワイヤレスモーションセンサを用いることで、呼吸状態の評価を行うことを考えた。ここで、「良い呼吸」とであると判別する際の基準としては、

- ・腹式呼吸ができていないか
- ・深い呼吸になっていないか
- ・吸う時より吐く時の方が長時間になっているか

の3つの項目を考え、ECG センサならびに運動センサによる計測結果を数値的に分析することで判定を試みる。また、座禅を日常的に行う修行僧が千日回奉行と呼ばれる修行を

行っていた際に、本来は人間を恐れて近寄ってこないはずである鳥が、ついには修行僧の肩に止まったという故事が存在する。それをもとに、利用者にビジュアルなフィードバックを行うことで、自身の状態に深く心を向けるマインドフルネスの効果を高めると共に、呼吸技術を習得して行くコンピュータインタラクティブなシステムを考えた。

### 2. 呼吸の仕方を計測するデバイス

図1に呼吸を評価するためのセンサデバイスを装着した被験者による実験風景を示す(鳥はイメージ)。ここで、心拍の計測では耳たぶや指先といった身体抹消部にクリップにて装着する光学式の ECG センサを使用しており、胸部に装着する医療用心電計による心拍拍動 (R-R) 間隔計測に対し、数ミリ秒程度の誤差範囲に収まっていることが確認されている。また、利用者の腹部には伸縮性のある帯状の装具上に加速度 3 軸、角速度 3 軸の運動計測を行うモーションセンサを装着し、ECG センサの計測結果とともに、ノート PC ヘデータ信号をワイヤレスにて送信している。

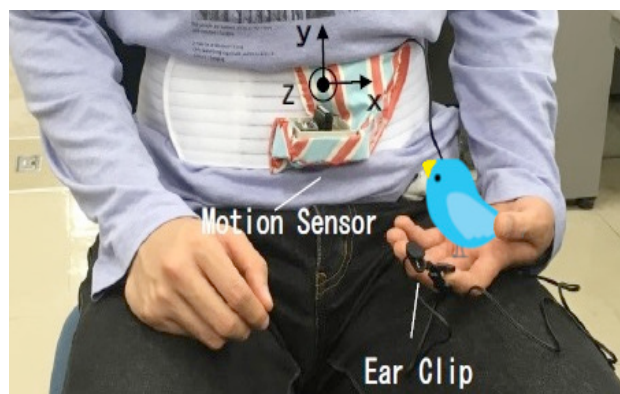


図1 ウェアラブル呼吸状況センサ  
Figure 1 Way of breathing sensor device

<sup>†</sup> 東京工科大学コンピュータサイエンス学部  
School of Computer Science, Tokyo University of Technology

ここで、ECG センサでは、心電図の QRS 波における R 点のタイミングをミリ秒単位にて計測し、直前の R 点からの経過時間を整数値にて出力している。また、モーションセンサについては図 1 に示す 3 つの感度軸のうち、腹部の地面への傾斜角を反映する Z 軸方向への加速度  $A_z$  を毎秒 50 回サンプリングし、 $\sin^{-1}A_z$  にて傾斜角へと変換して表現することとした。

### 3. 呼吸の仕方を判別する実験

「良い呼吸」を判別するためには、まず最初に利用者が腹式呼吸を行っているのか、それとも胸式呼吸となっているのかを調べる必要がある。しかしながら、呼吸における身体運動には個人差が大きく、本研究における 6 名の健常者による実験においても明確な判別基準を設けることは困難であった。そこで、「良い呼吸」は通常の呼吸状態では達成されていないことを仮定し、意識的に深い呼吸を腹式呼吸にて行うよう注意を払うことで、通常の状態とは異なる呼吸が発現していることを 2 種類のセンサによる測定結果から判別することを考えた。

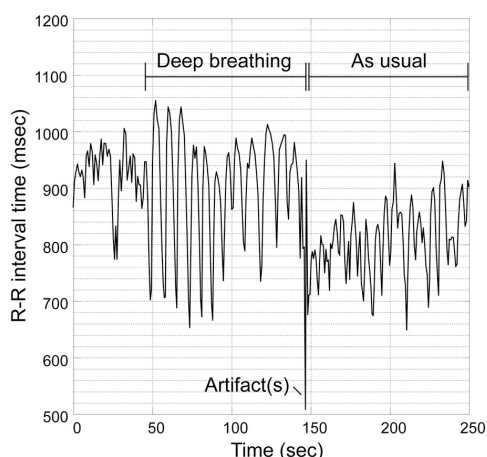


図 2 深呼吸による R-R 時間間隔の変化

Figure 2 Changes in R-R interval time due to deep breathing

図 2 は、健常な被験者が着席している際の心拍 R-R 間隔を、呼吸方法を変化させつつ計測した結果であり、実験開始直後では普段の方法にて呼吸をしてもらった後、約 50 秒後より腹式呼吸による深呼吸を約 100 秒間に渡り継続し、最後に約 100 秒の間、普段の呼吸方法に戻している。この結果、深呼吸を行った場合には R-R 間隔の変動幅が顕著に大きくなることが分かった。また、この現象は実験に参加した 6 名全ての被験者について見られた。一方、光学式 ECG センサにて大きな問題の 1 つとなる利用者の身体運動等に伴うアーチファクトについては、呼吸の仕方を意図的に変えようとした際の身体運動に対応すると見られる信号が散見された他には、特に計測に大きな影響を与えるものではないことが分かった。また、心拍拍動 R-R 間隔の計測では、

典型的には数 100 秒程度以上における R-R 間隔時間の標準偏差を用いた  $CV_{R-R}$  という指標[2]が知られているが、深呼吸時に  $CV_{R-R}$  の値が上昇し、副交感神経が活性となっていることが示唆されている。

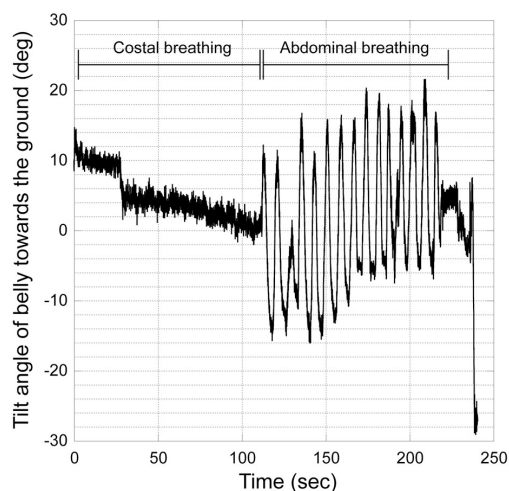


図 3 呼吸法の違いによる腹部傾斜角の時間変化

Figure 3 Changes in tilt angle of belly for two breathing ways

続いて、被験者に腹式および胸式の呼吸方法を行ってもらった際の腹部の傾斜角変化の様子を図 3 に示す。ここでは、計測の広範における腹式呼吸時では腹部の形状変化が大きくなることを反映し、加速度センサによって推定した傾斜角の変位が顕著に増大していた。また、腹式呼吸を行っている際の腹部の傾斜角変化では、吸気時と吐出時を時間帯として区別することができるものと思われる。

以上により、「良い呼吸」となっていることを判別する 3 項目については、腹部傾斜角の計測データから「腹式呼吸を行っていること」、並びに「息を吸い込む時間よりも、息を吐いている時間の方が長くなっていること」という 2 つの項目について推定を行えることが示唆された。また、ECG センサによる心拍 R-R 間隔から、「深い呼吸が行えていること」を判別し、これら 2 つの計測結果を組み合わせることで、「良い呼吸」の判別は可能であると考えられる。

### 4. まとめと今後の展望

本研究では、利用者の腹部と指にセンサデバイスを装着することによって、「良い呼吸」が行えていることを判別する手法の提案を行った。今後は呼吸状態の効果的なフィードバック方法の検討を進めることで、健康管理分野等における応用を図って行きたいと考えている。

#### 参考文献

- [1] MIMO センサを用いた呼吸・心拍の計測法. 今日向, 今岡星, 佐藤宏明, 恒川佳隆, 本間尚樹. 計測自動制御学会東北支部第 272 回研究集会 (2012.5.30)
- [2] 心電図 R-R 間隔変動: CV を中心に. 持尾聡一郎. 日本自律神経学会編 自律神経機能検査第 4 版. 159-163 頁. 2007