

## 遠赤外線画像を用いた鼻呼吸検出の自動化に関する一検討 A Study on Automation of Nasal Breathing Detection by Using Far Infrared Imaging

埴大\*1 柳沼 洋平\*1 榎本 裕亮\*2 小出 泰介\*3 小口 喜美夫\*2

Dai Hanawa Yohei Yaginuma Yusuke Enomoto Taisuke Koide Kimio Oguichi

### 1. はじめに

近年の急速な高齢化社会の進展、及び若年層の健康への意識の向上に伴い、在宅での日常的な健康管理・健康支援を行えるホームヘルスケアシステムの開発が望まれている。とりわけ、睡眠時無呼吸症候群による突然死や、乳幼児突然死症候群の発生により、呼吸モニタリング技術の必要性は、年々その度合いを強めている。既存の呼吸検出法として、サーミスタ呼吸ピックアップ[1]や胸郭呼吸ピックアップ[2]などによる手法が提案されている。しかしながら、これらの方法は、人への継続的なセンサ装着が必要なため、センサ脱着の危険性や、身体的・心理的負担などの問題が挙げられる。

そこで筆者らは現在、遠赤外線画像を用いた、非接触かつ非侵襲による呼吸検出法(以下、提案手法)の検討を進めている[3]-[7]。本稿では、遠赤外線画像より取得した鼻部領域の温度変化から、人の鼻呼吸を非侵襲で検出する手法の自動化について検討する。具体的には、遠赤外線カメラ(以下、FIR カメラ)により取得した人の顔面熱画像における鼻部領域の温度の時系列データから、鼻による一呼吸のタイミングをリアルタイムで検出するアルゴリズムを与え、筆者らの手法の基本性能について考察する。シミュレーション実験の結果、鼻部の正確な追跡が可能であれば、比較的良好な精度で呼吸検出が可能であることを示す。

### 2. 関連研究

これまでに、非接触による呼吸検出法がいくつか報告されている。例えば文献[8]では、ドーム天井型マイクロフォンを用いた呼吸音の検出法が提案されている。また文献[9]では、超広帯域無線を用いた呼吸監視システムが提案されている。しかしながら、遠赤外線画像を用いた呼吸検出の研究は報告されていない。また、遠赤外線画像を用いることで、呼吸検出以外に、顔面温度変化のリアルタイム測定も可能である。

一方文献[10]では、睡眠中の胸部及び腹部の拡大画像を用いた睡眠時無呼吸症候群の診断手法が提案されている。文献[11]では、ベッドに内蔵された圧力センサによる睡眠中の呼吸検出法が提案されている。しかしながらそれぞれ、室内に一定以上の明度が必要とされるため特に就寝時の測定には不向き、専用ベッドが必要、といった点が挙げられる。

遠赤外線画像を用いた研究としては例えば、室内の人間

検出[12]、車載設置による歩行者検出[13]、車両検出[14]、人の快不快状態の推定法[15][16]、生体情報の評価法[17]などが挙げられるが、呼吸検出への応用事例はあまり報告されていない。このような数少ない報告例として、Zhen Zhu, Jin Fei らによる呼吸検出法が挙げられる[18][19]。しかしながら、測定結果に基づく定性的な考察しかなくおらず、自動かつリアルタイムでの呼吸検出法については述べられていない。

以上より、遠赤外線画像を用いた鼻呼吸の自動検出の検討は、筆者ら独自の試みと言えよう。

### 3. 呼吸検出のアルゴリズム

人が息を吸った場合、外気が吸入されるため鼻腔の温度は一時的に低下する。一方、息を吐いた場合、体内で暖まった空気が排出されるため、その温度は一時的に上昇する。この一連の動作を繰り返すことで、鼻腔の温度は周期的に変動すると考えられる。そこで本稿では、この点に着目したアルゴリズムを導入する。

具体的には、FIR カメラを用いて、鼻呼吸をしている人の顔面熱画像を取得する。ここで FIR カメラには観測対象の鼻部、及び両鼻腔が必ず撮影されているものとする。次に取得した画像から、鼻部領域を抽出し、その領域内の平均温度を算出する。ここで、鼻部領域の平均温度を  $A$  で表し、これを時間の関数とすると、FIR カメラのフレーム画像取得時刻  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$  における鼻部領域の平均温度は、 $A(t_1), A(t_2), A(t_3), \dots, A(t_n)$  などと書くことができる。

筆者らのこれまでの基礎検討[3]-[7]において、

- 安静呼吸時に時々刻々測定される  $A(t)$  の値は、ほぼ周期的に変化すること
- $A(t)$  の時間変化には若干の高周波成分を含むこと
- $A(t)$  の一定時間あたりの平均値は時間とともに変化すること

を確認している。そこで、 $A(t_i)$  の  $i \sim i-n$  フレーム移動平均

$$A'_n(t_i) = (A(t_i) + A(t_{i-1}) + A(t_{i-2}) + \dots + A(t_{i-n})) / n \quad (1)$$

を求め、平滑化を行う。一方、 $A(t_i)$  の一定時間あたりの平均値  $E(t_i)$  を閾値して用い、これとの差分

$$D(t_i) = A'_n(t_i) - E(t_i) \quad (2)$$

を計算する。 $D(t_i)$  が負の値から 0 (もしくは正の値から 0) となるゼロクロスタイミングを検出することで、一呼吸の動作を検出する方法を用いる。上記アルゴリズムを適用した提案手法の流れを図 1 に示す。これら一連の処理を繰り返すことで、鼻呼吸の自動検出が可能と考えられる。

### 4. 評価実験

提案手法、及び前述のアルゴリズムによる呼吸検出の精度を評価するため、シミュレーション実験を行った。

\*1 成蹊大学理工学部情報科学科

Department of Computer Information Science,  
Faculty of Science and Technology, Seikei University.

\*2 成蹊大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology,  
Seikei University

\*3 成蹊大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Seikei University

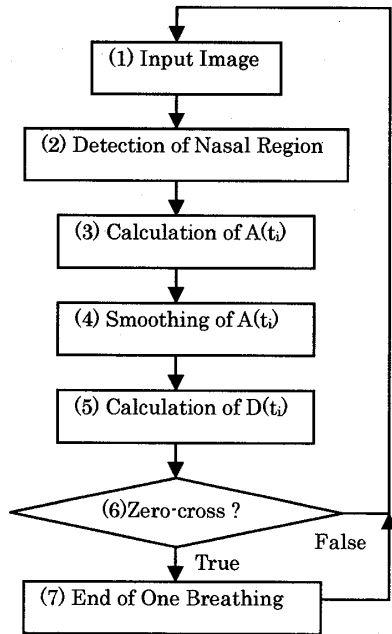


図1 提案手法の処理手順

のこれまでの基礎検討[3]-[7]における傾向などから、経験的に定めた。

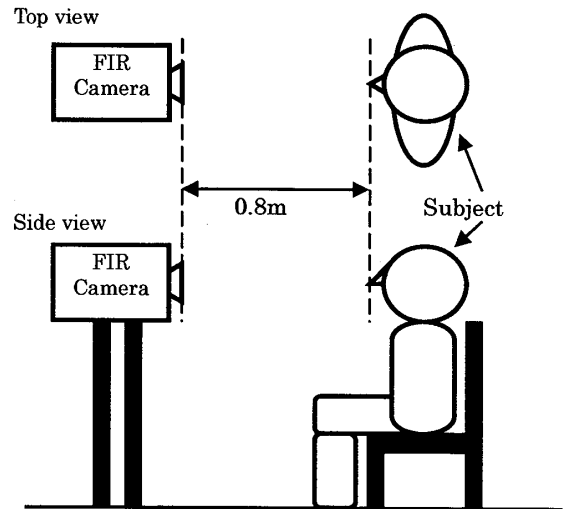


図2 被験者と FIR カメラの位置関係

#### 4.1 実験方法

はじめに、FIR カメラを用いて、被験者の顔面熱画像の動画撮影を行った。室温は 26℃とし、FIR カメラを被験者の鼻部先端との距離 0.8m の位置に設置した。使用した FIR カメラの概要、及び設定を以下に示す。

- 使用機材：NEC/Avio, TH7102MX
- 波長帯域：8-14 [μm]
- 温度分解能：0.06 [°C]
- 画像解像度：320×240 [pixels]
- 階調：8bit, Gray Scale
- フレームレート：30 [fps]
- 中心温度：35.0[°C]
- 測定温度レンジ：中心温度±4 [°C]

上記の設定による FIR カメラを用いて、安静座位状態の健康者 10 名(22~24 歳, 男性)に対し、真正面の顔面熱画像の撮影を 5 分間行った。撮影時のカメラ・被験者の位置関係を図 2 に示す。なお、カメラを設置する高さは、被験者の座高に合わせて調節した。

次に、撮影した動画の各フレームより、鼻部領域を切り出し、領域内の鼻腔部分の平均温度  $A(t)$  を算出した。本実験では鼻部領域として、全被験者の両鼻腔を含む矩形領域を切り出し、切り出す領域は被験者毎に全フレームで一定とした。切り出した領域の具体的なサイズは、横 29~37[pixel]、縦 9~17[pixel]の範囲であった。これは、被験者間で鼻の大きさにばらつきがみられたためである。撮影した顔面熱画像、及び鼻部領域の一例を図 3 に示す。また、鼻部領域の平均温度の時間変化の一例を図 4 に示す。

以上の手順により得られた平均温度  $A(t)$  の時系列データより  $A'_n(t)$ 、及び  $D(t)$  を算出し、呼吸検出のタイミングを記録した。なお、平滑化に用いるフレーム数  $n$  は 15 とした。また、 $E(t)$  は  $A(t)$  の 5 秒間の平均値を用い、5 秒間隔で更新されるよう設定した。なお、これらの設定は、筆者ら

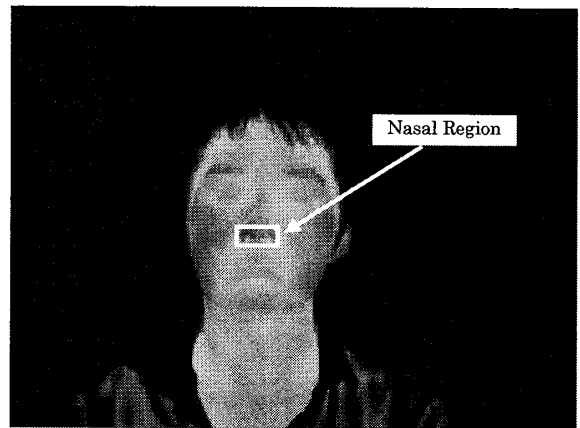


図3 顔面熱画像と鼻部領域の一例

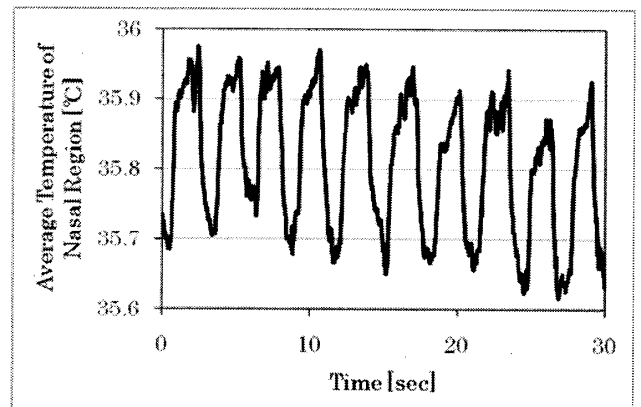


図4 鼻部領域の平均温度の時間変化の一例

## 4.2 実験結果

提案手法による鼻呼吸の誤検出率, 未検出率を表 1 に示す. 誤検出率, 及び未検出率は, 実際の総呼吸数を用いて, それぞれ以下の式により求めた.

$$\text{誤検出率} = \text{誤検出回数} / \text{総呼吸回数} \quad (3)$$

$$\text{未検出率} = \text{未検出回数} / \text{総呼吸回数} \quad (4)$$

また, 被験者毎の鼻部領域の平均温度の時間変化に対するフレーム平均, 標準偏差, 最小値, 並びに最大値を表 2 に示す.

表 1 提案手法による鼻呼吸検出の精度

| 被験者 | 総呼吸数   | 誤検出率(回数)      | 未検出率(回数)      |
|-----|--------|---------------|---------------|
| A   | 82 回   | 1.22% (1 回)   | 0% (0 回)      |
| B   | 59 回   | 5.08% (3 回)   | 0.03% (2 回)   |
| C   | 47 回   | 10.63% (5 回)  | 0% (0 回)      |
| D   | 57 回   | 3.51% (2 回)   | 3.51% (2 回)   |
| E   | 74 回   | 6.76% (5 回)   | 8.11% (6 回)   |
| F   | 45 回   | 24.44% (11 回) | 0% (0 回)      |
| G   | 57 回   | 3.51% (2 回)   | 7.02% (4 回)   |
| H   | 40 回   | 17.50% (7 回)  | 0% (0 回)      |
| I   | 77 回   | 9.09% (7 回)   | 5.19% (4 回)   |
| J   | 45 回   | 22.22% (10 回) | 15.56% (7 回)  |
| 平均  | 58.3 回 | 9.09% (5.3 回) | 4.29% (2.5 回) |

表 2 鼻部領域の平均温度 (°C)

| 被験者 | 平均値   | 標準偏差 | 最小値   | 最大値   |
|-----|-------|------|-------|-------|
| A   | 36.08 | 0.22 | 35.62 | 36.58 |
| B   | 35.58 | 0.20 | 35.13 | 35.94 |
| C   | 35.57 | 0.14 | 35.16 | 35.84 |
| D   | 34.56 | 0.15 | 34.21 | 35.03 |
| E   | 33.35 | 0.35 | 32.87 | 34.20 |
| F   | 34.27 | 0.26 | 33.87 | 34.82 |
| G   | 33.97 | 0.37 | 33.44 | 34.66 |
| H   | 33.79 | 0.87 | 32.69 | 35.59 |
| I   | 35.35 | 0.14 | 34.96 | 35.62 |
| J   | 35.97 | 0.18 | 35.67 | 36.34 |

表 1 より, 誤検出率, 未検出率の平均はいずれも 10%未満となっており, 呼吸検出に比較的単純なアルゴリズムを用いたにも関わらず, 概ね良好な精度で被験者の呼吸を検出できたことがわかる. 未検出率については, 被験者 J を除いて, いずれの被験者も 10%以内であった. さらに表 2 より, 被験者間で鼻部領域の温度変化に個人差が見られる状況下でも, 概ね対応可能であることが伺える. したがって, 観測対象の顔面熱画像を真正面から撮影可能であり, かつ鼻部領域を正確に追跡できれば, 概ね良好な精度で呼吸検出が可能であると考えられる. また, 呼吸検出に用いたアルゴリズムの更なる改良により, 誤検出率, 及び未検出率の低減が期待される.

一方, 誤検出, 及び未検出の要因としては, 撮影時のノイズにより, ゼロクロスのタイミングが正しく検出されなかったためと考えられる. 表 1 より, 今回の実験では, 10 名中 4 名の被験者に, 比較的高い誤検出率が見られた. 提案手法における撮影環境の影響については, 定性的な傾向

を文献[6]において確認している. したがって, 今回の実験結果より, ノイズを含む撮影環境の変化に頑健な呼吸検出アルゴリズムの必要性を改めて確認できた. 併せて筆者らは, 観測対象の体位変化への対応の必要性を確認している [7]. すなわち, 鼻腔を撮影できない場合, 呼吸自体を検出できない可能性が極めて高い. これらについては, 今後の課題である.

## 5. まとめ

本稿では, 遠赤外線画像を用いた, 非接触かつ非侵襲による呼吸検出の自動化について検討した. 評価実験の結果, 鼻部領域の温度変化に着目した筆者らの手法は, 鼻部の正確な追跡が行えれば, 比較的高精度で呼吸の自動検出が可能であることが示された.

今後は, 鼻部の自動追跡, 及び高精度な呼吸検出アルゴリズムを組み合わせた, より頑健な手法の考案とその評価が挙げられる.

## 謝辞

本研究の一部は, 文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の支援を受けて行った.

## 参考文献

- [1]独立行政法人 医薬品医療機器総合機構, 医薬品医療機器情報提供ホームページ, サーミスタ呼吸ピックアップ TR-511G, [http://www.info.pmda.go.jp/ygo/pack/13B1X00206000232\\_A\\_01\\_01/](http://www.info.pmda.go.jp/ygo/pack/13B1X00206000232_A_01_01/) (last accessed 2010.3.28).
- [2]独立行政法人 医薬品医療機器総合機構, 医薬品医療機器情報提供ホームページ, 胸部呼吸ピックアップ TR-512G, [http://www.info.pmda.go.jp/ygo/pack/13B1X00206000233\\_A\\_01\\_01/](http://www.info.pmda.go.jp/ygo/pack/13B1X00206000233_A_01_01/) (last accessed 2010.3.28).
- [3]T. Koide, S. Terada, D. Hanawa, K. Oguchi, "Breathing Detection by Far Infrared (FIR) Imaging in a Home Healthcare System", Proc. of ISMICT 2009 (USB Memory), (2009).
- [4]小出泰介, 鈴木慧, 山川慎吾, 埜大, 小口喜美夫, "ホームヘルスケアシステムにおける遠赤外線画像を用いた鼻呼吸検出法の検討", 信学技報, MVE2009-32, pp.49-52, (2009).
- [5]T. Koide, S. Yamakawa, D. Hanawa, K. Oguchi, "Breathing Detection by Far Infrared (FIR) Imaging in a Home Health Care System", IEEE Proc. of ISBB 2009, pp.206-209, (2009).
- [6]T. Koide, S. Yamakawa, D. Hanawa, K. Oguchi, "Breathing Detection by Far Infrared (FIR) Imaging in a Home Healthcare System", IEEE Proc. of IBASH 2009 (USB Memory), pp.144-147, (2009).
- [7]小出泰介, 山川真悟, 山本秀春, 鈴木慧, 埜大, 小口喜美夫, "遠赤外線カメラを用いた鼻呼吸検出法における頭部の回旋角度と撮影距離の考察", 信学技報, MVE2009-63, pp.23-24, (2009).
- [8]西田佳史, 堀俊夫, 末廣尚士, 平井成興, "ドーム天井型マイククロフォンを用いた呼吸音の検出", 信学技報, MBE2000-47, pp.61-66, (2000).
- [9]東桂木謙治, 中畑洋一郎, 松波勲, 梶原昭博, "超広帯域無線を用いた呼吸監視特性について", 電学論 C, Vol.129, No.6, pp.1056-1062, (2009).
- [10]西田佳史, 森武俊, 溝口博, 佐藤知正, "視覚情報による睡眠時無呼吸症候群診断手法", 日本ロボット学会論文誌, Vol.16, No.2, pp.274-281, (1998).
- [11]西田佳史, 武田正資, 森武俊, 溝口博, 佐藤知正, "圧力センサによる睡眠中の呼吸・体位の無侵襲・無拘束な計測", 日本ロボット学会論文誌, Vol.16, No.5, pp.705-711, (1998).
- [12] M. Bertozzi, A. Broggi, C.H. Gomez, R.I. Fedriga, G. Vezioni, M.D. Rose, "Pedestrian Detection in Far Infrared Images based on the use of Probabilistic Templates", Proc. of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Istanbul, pp.327-332, (2007).

- [13] 斉藤裕昭, 荻原剛, 畑中健一, 沢井孝典, “遠赤外線カメラを用いた歩行者検知システムの開発,” SEI テクニカルレビュー, 第171号, pp.80-85, (2007).
- [14] 南方寿夫, 谷口祐一, 白永英晃, 西原勉, “遠赤外線式車両センサの開発,” SEI テクニカルレビュー, 第164号, pp.43-46, (2004).
- [15] 善住秀行, 野澤昭雄, 田中久弥, 井手英人, “鼻部皮膚温度変化による快-不快状態の推定,” 電学論 C, Vol.124, No.1, pp.213-214, (2004).
- [16] 水野統太, 野澤昭雄, 井手英人, “放射温度計による鼻部表面温度の微分補正フィルタリングによるノイズ成分の除去,” 電学論 C, Vol.128, No.8, pp.1251-1256, (2008).
- [17] 苗鉄軍, 清水俊行, 下山修, “鼻部熱画像のフラクタル解析による生体の状態変化の評価,” “ヒューマンインターフェースシンポジウム2004,” pp.895-896, (2004).
- [18] Z. Zhu, J. Fei, I. Pavlidis, “Tracking Human Breath in Infrared Imaging,” Proc. of the 5th IEEE Symposium on Bioinformatics and Bioengineering, pp.227-231, Minneapolis, Minnesota, USA, (2005).
- [19] J. Fei, I. Pavlidis, “Analysis of Breathing Air Flow Patterns in Thermal Imaging,” Proc. of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference, pp.946-952, (2006).