

## VDT 作業時の鼻部温度自動計測の試み

津田 良一\* 井上 和彦\*\*

### A Nasal Temperature Detection Method during VDT Operation by

Ryoichi Tsuda and Kazuhiko Inoue

(Received: September 30, 2012, Accepted: February 20, 2013)

#### Abstract

Recently, visual display terminal (VDT) work has become general with the progress of information technology. Mental workload (MWL) induced by VDT work would be a factor of health hazards such as human errors and VDT syndromes. However, quantitative evaluation method has not been obtained. The aim of this research was to develop a non-contact nasal skin temperature detection system using an infrared thermography during VDT work. Upper 95% normal detection rate of this system was obtained.

Key Words :VDT 作業、鼻部温度、赤外線サーモグラフィ、自律神経活動

#### 1. はじめに

近年、急速な IT 化と共にインターネットが普及し、デスクトップやノートパソコンを利用している事業所は 95.9%、インターネット利用者数は 9408 万人となっており、Visual Display Terminal (VDT) 作業をする時間が増大している<sup>1),2)</sup>。

VDT 作業とは、ワープロ・PC・携帯用情報通信機器等の VDT 機器を使用して、データの入力・検索・照合、文章・画像等の作成・編集・修正、プログラミング、監視等を行う作業をいう。VDT 作業では、長時間ディスプレイを見つめ作業をするケースが多く、目を酷使することによる眼精疲労やドライアイ、長時間同一姿勢による肩こりや筋肉痛などの VDT 症候群が問題となっている。このような過度の VDT 作業はヒューマンエラーを引き起こし、事故の要因となる可能性がある。そのため、精神的疲労を引き起こす VDT 作業に伴う疲労の客観的評価の必要性が指摘されているが、現段階において、有効的な客観的評価の構築には至っていない。

我々は、VDT 作業環境改善を目的として、生体情報を用いた VDT 作業時の疲労評価を試みている<sup>3)</sup>。代表的な生体情報として、中枢神経系活動を反映する脳波や自律神経系活動を反映する心電図等があるが、これらは生体に電極を装着するため、作業者に負担をかける。皮膚表面温度は自律神経系活動を反映し、交感神経活動優位では毛細血管の収縮によって皮膚表面温度が低下するとい

われている。特に鼻部は血流に敏感に反応する場所である<sup>3)</sup>。

そこで本稿では、赤外線サーモグラフィを用いて VDT 作業中の鼻部を自動検出し、鼻部表面温度を自動計測するシステムを作成したので報告する。

#### 2. 自律神経活動と鼻部温度

##### 2.1 鼻部温度

生体の体表面温度は人間の生理心理状態を反映すると考えられている。特に鼻部周辺は毛細血管の血流量を調整する動静脈吻合血管 (Arterio-venous Anastomoses:AVA) が、他の体部位に比べて多く分布しており、他の体部位では血管が脂肪層の下を走っているのに対し、鼻部周辺では皮膚と鼻骨の脂肪の少ない隙間を走っている。また、体表面の中で日常的に露出している鼻部表面は測定に適している<sup>4),5)</sup>。

体表面温度の測定方法は、サーミスタや熱電対などの温度センサを測定部位に接触させることで測定する方法と、赤外線サーモグラフィ装置などを用いて人体から放出されている赤外線放射エネルギーなどを検出し、温度を測定する手法がある。赤外線サーモグラフィ装置を用いる手法では、測定部位に直接温度センサを貼り付ける手法とは違い、対象から放出されている赤外線より温度情報を得るため、被験者に温度センサをつける必要もなく、面の温度分布として捉えることができ、非侵襲且つ非拘束で測定できる。しかし、特定部位に設置している温度センサを用いる方法とは違い、対象が赤外線サーモ

\* 産業工学部電子知能システム工学科教授

\*\* 2010 年度大学院工学研究科情報工学専攻修士

グラフィの範囲内に存在する必要がある。また、対象が不特定の動作をする場合、動作の度に対象の特定部位を検出し、温度情報を取得しなおさなければならないという問題点がある。そのため、赤外線サーモグラフィを用いて特定部位の温度を取得するには、特定部位の手動又は自動的な追跡が不可欠である。

そこで、可視画像より鼻部の位置を特定し、熱画像より温度を取得する方法を用いた。

## 2.2 鼻部自動検出

サーモグラフィより鼻部温度を取得するために、通常は目視で確認して手動で鼻部と思われる箇所の温度を取得する。しかし、この手法では熱画像枚数が増えるほど作業が増大し、相当の時間がかかる。そこで本研究では、鼻部温度取得の自動化を試みた。

### 2.2.1 Haar 分類器を用いた物体検出

ここでは、Paul Viola と Michael Jones が開発した Viola-Jones 検出器<sup>6)</sup>を用いた。本手法は、オープンソースのコンピュータビジョンライブラリである OpenCV に Haar 分類器として組み込まれており、Haar-like 特徴を用いるブースティングされた分類器のカスケードを用いて判別する手法である<sup>7)</sup>。この Haar 分類器は、図1に示すような幾つかの単純な分類器より構成されている。

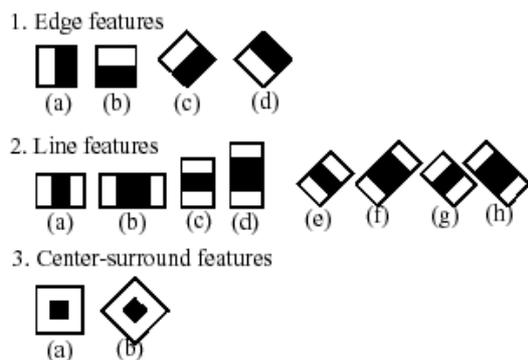


図1 Haar 分類器の例

OpenCV に用いられている Haar 分類器は、機械学習を用いて作成される。図1に示す1-(a)を正解画像と不正解画像に適用し、正解画像より検出率を求め、不正解画像の検出率を誤検出率として求める。これを分類器 F1 とする。以後、次々に別の分類器を同じように画像に適用し、F2~F4 までの分類器を得る。この得られた F1~F4 までの分類器を検出率ならびに誤検出率が高い順に並べる。そして F1 から順に画像に適用していくことで、画像

から対象を検出する。これは、一般に検出率の高さに比例して誤検出率は高くなり、更に誤検出率が高い分類器は複雑度が低く計算量が低いためである。つまり、検出率が高く誤検出率の低い分類器は、複雑度が高く計算量が大きい。単純な計算量の低い分類器を複数用いることで高速に、且つ精度良く検出することができる。

OpenCV に含まれている Haar 分類器を関心領域に対して適用することで物体を検出する。今回、鼻部検出に用いた Haar 分類器は、OpenCV2.1 に保存されている「haarcascade\_mcs\_nose.xml」を用いた。

### 2.2.2 鼻部検出システム

今回、非拘束型システムの構築のため、可視画像より鼻部を自動的に検出して熱画像より鼻部の温度を抽出するシステムを作成した<sup>8)</sup>。システムの簡易フローチャートを図2に示す。まず可視画像を読み込み、Haar 分類器を用いた鼻部検出処理を行う。可視画像より求められた鼻部座標を元に、熱画像より鼻部温度を取得する。

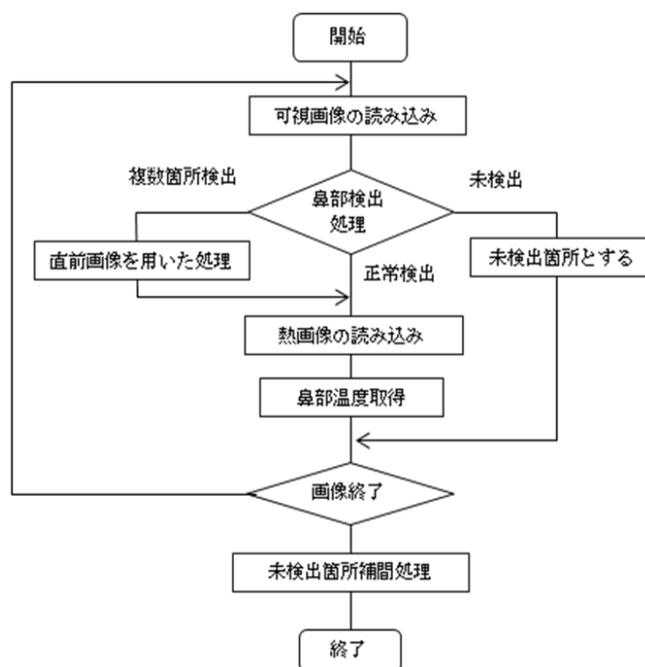


図2 鼻部検出の簡易フローチャート

図2に示す通り、直前に鼻部が正常検出された画像の座標に最も近い座標を鼻部と判断して、その座標を元に鼻部温度を取得する。これは、VDT 作業と安静状態の動作では、直前の正常検出箇所から遠くない位置に鼻部が位置していると考えられるためである。もし鼻部候補を一カ所も検出できない場合は、未検出位置であるとして、鼻部検出処理終了後に補間処理を行う。

可視画像より鼻部を検出する箇所はOpenCVを用いてC言語で作成し、可視画像より得られた鼻部の座標を元に熱画像より鼻部の温度を抽出する箇所は、MATLABを用いて作成した。MATLAB上で、C言語で記述されたプログラムを動作させる方法として、MEX (Matlab Executable)ファイルを用いる方法がある。MEXファイルとは、MATLABから呼び出しが可能なC言語、又はFortran言語で記述されたプログラムのことである。MEXファイルとして記述されたC言語を、MATLAB上でVCなどのコンパイラを使用してコンパイルすることにより、MATLABのスク립トやコマンドラインから呼び出せる各種MATLAB関数と同じ形式で呼び出すことが可能となる。

TVS-500EXで取得された熱画像及び可視画像は独自の熱動画ファイル形式であるirmファイルフォーマットとして双方保存されているため、TVS-500EX付属のThermo Movie Editorを用いて熱画像ファイルのiriファイルと可視画像ファイルのjpgにわかる。iriファイルは熱画像ファイル形式であり、TIFF-パレットカラー形式を12ビット以上に拡張し、プライベートTAGと温度テーブルを付加したファイル構成となっている。このiriファイルの温度データはデジタルデータとして保存されてお

り、デジタル値から温度を求めるには(1)式を用いる必要がある。

$$C = B_0 + B_1 \times d + B_2 \times d^2 + B_3 \times d^3 + B_4 \times d^4 - 273.15$$

$C$  : 近似温度値(セルシウス温度: °C)

$B_0 \sim B_4$ : システム情報のB係数

$D$  : カウント値

$d$  :  $D$ の4乗根

..... (1)

jpgファイルは静止画像のファイルフォーマットの一種である。iriファイルとjpgファイルはそれぞれ対となっている必要がある。

図3はサーモグラフィで採取したVDT作業中の鼻部温度自動計測の一画面である。「前額部取得」というチェックボックスにチェックを入れ、鼻部中心位置からの距離を入力することにより、前額部の温度も測定することができる。可視画像で鼻部を検出した鼻部領域の温度を熱画像から読み取り、その平均温度を求めている。

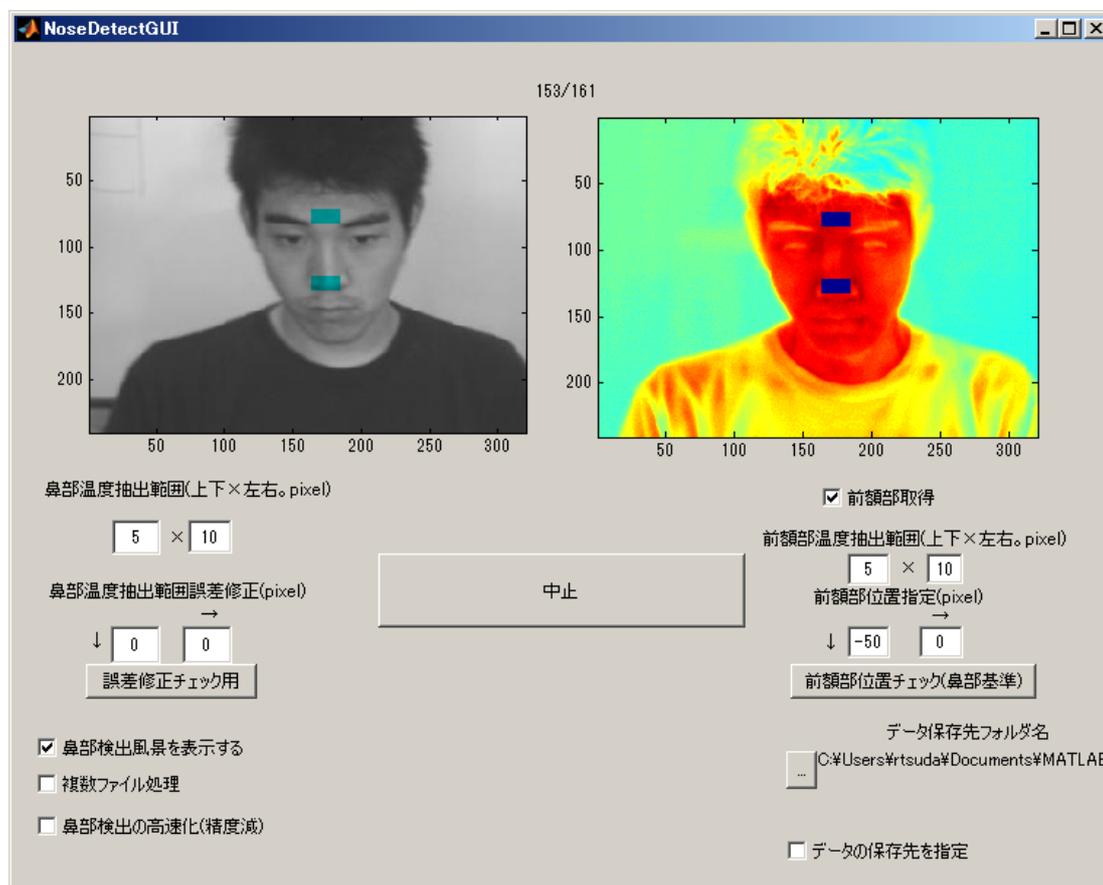


図3 鼻部自動抽出の一画面

### 3. 実験

鼻部温度は赤外線サーモグラフィ TVS500- EX (NEC/Avio 社製) を用い、熱画像と可視画像の両方取得了<sup>8)</sup>。赤外線サーモグラフィ TVS 500-EX には、可視画像と熱画像を重ね合わせるイメージミキシング機能が搭載されている付属の Thermo-Controller を用いた。TVS-500EX の最小温度分解能は 0.05°C 以下、空間分解能は 1.07mrad である。赤外線放射率は 0.98 に設定した。

解析および実験に使用したソフトの一部は、MATLAB (Math Works 社) を用いて開発した。本システムの有効性を確認するために、図 4 に示すように VDT 作業中に休憩をはさんだ測定シーケンスに従って鼻部温度を測定した。2 分間の休憩と 5 分間の VDT 作業を 3 回繰り返した。

休憩	VDT	休憩	VDT	休憩	VDT
----	-----	----	-----	----	-----

図 4 測定シーケンス

VDT 作業は英文入力課題である。被験者はデスクトップパソコン画面の上段に表示される文書を下段の入力箇所に入力する。英文文書はあらかじめ準備した文書ファイルからランダムに選択表示する。被験者に作業ストレスを与えるために、表示文書を 2 分毎に切り替えて提示した。英文入力システムでは、総入力文字数、1 分間当たりの入力文字数、入力ミス回数等の行動データも蓄積される。測定結果の一例を図 5 に示す。

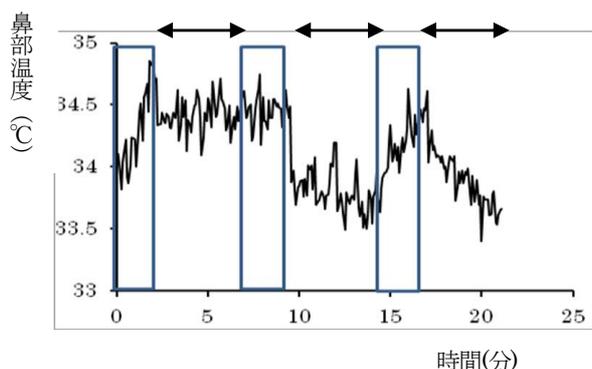


図 5 VDT 作業中の鼻部温度変化

矢印区間が VDT 作業を示す。作業中は交感神経優位となって鼻部温度が低下するが、休憩により温度が一時的に回復することがわかる。

被験者の鼻部がカメラの撮像範囲外に出ることなく、被験者の体位変化が激しくなければ、このシステムを用いてほぼ 100%鼻部温度を検出できることを確認した。被験者の体位変化によって鼻部を検出されない場合でも、

鼻部温度が急激に変化することはないため、未検出区間の鼻部温度を未検出区間前後の鼻部温度で補間しても問題は無いと考えられる。

### 4. おわりに

本研究では、赤外線サーモグラフィを用いて、VDT 作業中の鼻部温度計測を試みた。VDT 作業等の比較的体位変化が少ない作業では、本方式を用いて鼻部を検出し、鼻部温度を自動計測することができることが示された。また、鼻部検出により鼻孔部追跡も可能となり、鼻孔を流出入する空気の温度変化により、非接触の呼吸変化も可能となる。今後は精神作業課題時のストレス評価について検討する予定である。

### 謝辞

Haar-like 特徴を使用した鼻部抽出に関してご助言をいただいた産業工学部電子知能システム工学科岩崎洋一郎教授に深謝します。本研究の一部は、東海大学総合研究機構プロジェクト (平成 21 年度～平成 23 年度) の援助により行われた。

### 参考文献

- 1) 厚生労働省:平成 20 年技術革新と労働に関する実態調査結果の概況, 2008 年
- 2) 総務省:平成 21 年「通信利用動向調査」、2009 年
- 3) 井上和彦: VDT 作業環境改善のための生体情報の計測と評価に関する研究, 東海大学大学院産業工学研究科情報工学専攻修士論文, 2010
- 4) 水野統太, 野村収作, 野澤昭雄, 浅野裕俊, 井出英人: 鼻部皮膚温度によるメンタルワークロードの継続の評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J93-D, No. 4, 2010
- 5) 山越健弘, 松村健太: 差分顔面皮膚放射温度を用いた運転ストレス評価の試み—単調運転ストレス負荷による基礎的検討—, 生体医工学, Vol. 48, p. 163-174, 2010
- 6) Gary Bradski, Adrian Kaehler, : 詳解 OpenCV, 訳 松田晃一, オーム社, 2009
- 7) 内村圭一, 岩崎洋一郎, 松島宏典: 画像処理入門, 培風館 (2010)
- 8) 岩崎洋一郎, 中宮俊幸, 津田良一: 赤外線温度画像の特性を活かした自動計測手法の開発と温度変化現象の特性解明, 学校法人東海大学総合研究機構「プロジェクト研究」最終報告書, 2012