呼吸検出に基づいたバスルーム用監視システムの開発

学生員 西浦 朋史* 正員 中島 真人*

Development of the Bathroom Watching System Supported by the Breath Detection

Nishiura Tomofumi*, Student Member, Nakajima Masato*, Member

Recently, domestic accidents caused by sudden illness are increasing in Japan. We developed a detection and alarming system for the dangerous state in a bathroom. FG sensor which has been developed in our laboratory is used in this system to get respiratory information of bathing person. It becomes possible to watch the person in a bathroom by this sensor, without invading his privacy. We applied the developed system to an actual bathroom, and carried out several experiments supposing various situations. As a result of the experiment, we confirmed that this system can acquire the person's respiratory information and can emit alarms correctly for emergency.

キーワード：緊急，浴室，急病，人物追跡，領域分割，リアルタイム処理

Keywords: emergency, bathroom, sudden illness, person tracking, domain decomposition, real-time processing

1. はじめに

家族の高齢化，核家族化とともに，家庭内における不慮の事故が増加しており，統計によると，年間の死者数は交通事故の数にほぼ匹敵する⁽¹⁾。中でもバスルームにおける事故は，高齢者による家庭内事故の約25%を占める⁽²⁾。この事故は，その大半が浴槽内における体温の急激な上昇によって引き起こされる心筋梗塞や脳出血に起因するものである⁽³⁾。さらに，これらの事故は密室空間において発生するものであるため，常に発見が遅れがちとなり，手遅れとなる（仮に一命を取り留めたとしても，重大な後遺症が残る）場合が多い⁽⁴⁾。

このような事故を防ぐため，病院や介護施設の多くは浴室内に非常ボタンを設置し，本人の意思によって人を呼ぶことができるようにしているものの，現実にはボタンを押せないまま失神してしまうといった事例も多く，非常ボタンのみでは不十分との意見が強い。そこで，最近では赤外線センサやCCDデバイスを用いて浴室内における人や物の様子を取得し，一定時間以上動きがない場合，自動的に警報を発するというシステムが提案されている（例えば文献5）。ところがこれらのシステムでは，失神状態だけでなく，くつろぎ状態をも危険と判断してしまう可能性があるため，動き停止を検知してから警報を発するまでの時間を

長めに（一般に5分以上）設定している。また，発報前に複数回の安否確認を実施することによって，誤報を回避する仕組みになっているものもあるが，安否確認自体，入浴者にとってくつろぎの妨げとなる。現実には人が水に溺れて心拍や呼吸が停止した場合は，一刻も早く救急処置がなされなければならない。したがって，人命を救うこと，また手当てや治療の後，当事者を発作発生以前の健康な状態に戻すことを第一の目的とする場合には，早期段階での信頼性の高い発報が必要となる。

そこで我々は，3次元情報取得装置の一種であるファイバ・グレーティング視覚センサ（以下，FG視覚センサ）を用いて，入浴者の体動やバイタルサインとしての呼吸信号をリアルタイムで取得し，呼吸停止状態を検知した場合には，同居の家族や隣家の住人に，自動的に通報するシステムの開発を行った。FG視覚センサは，本論文の筆者の一人中島の共同研究者世古ら⁽⁶⁾によって1984年に発明されたもので，その後各種の応用研究が進められてきた3次元視覚センサの一つである。これまでには，ロボット視覚システムへの応用⁽⁷⁾，交通画像処理への応用⁽⁸⁾，呼吸モニタリング装置への応用⁽⁹⁾，トイレ監視装置への応用⁽¹⁰⁾などがあるが，バスルーム監視を目的とした研究は行われていない。本報告では，我々が提案する監視手法と，試作装置を研究室内のバスルームに設置して行った模擬実験について述べる。

2. 試作システム

2.1 ファイバ・グレーティング視覚センサ ファイ

* 慶應義塾大学大学院 理工学研究科

〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

Keio University Graduate School of Science and Technology

3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223-8522

図 1 FG 視覚センサの構成

Fig. 1. Schematic arrangement of FG.

バ・グレーティング視覚センサは、図 1 のように主として半導体レーザ、ファイバ・グレーティング素子（以下、FG 素子）および CCD カメラより構成される。FG 素子は、直径数十 μm の光ファイバをシート状（数 $\text{mm} \times$ 数 mm ）に並べた透過型回折格子の一種である⁽⁶⁾。この FG 素子を互いに直交するように 2 枚貼り合わせてレーザ光を垂直入射すると、対向平面上に正方格子状の配列を持つ多数の輝点群が生じ、これを FG 素子に隣接して設置した CCD カメラで撮像すると図 2(a) のような画像が取得される。この対向平面上に図に示されるような物体を挿入すると、取得される輝点群の一部が図 2(b) のように一定方向（図 2(b) では y 方向）に移動したものとなる。任意の輝点が当たる点 P の高さが Z の場合、物体がない場合を基準としたイメージプレーンにおける輝点の移動量 δ は、三角測量の原理により、次式で表されるものとなる。

$$\delta(Z) = \frac{dlZ}{h^2 - hZ} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 h は基準とする平面からレンズまでの距離、 d は基線長（FG 素子とレンズ間の距離）、 l はレンズからイメージプレーンまでの距離である。

ただし、計測対象となる平面上には多数の輝点を格子状に照射するため、物体が存在しない場合の輝点の格子間隔が Δ であるとき、(1) 式で求まる移動量の絶対値が $\Delta/2$ を超えてはならない。なぜならば、移動量の絶対値が $\Delta/2$ を超えると、移動前の輝点と移動後の輝点の対応付けが困難となり、距離変化を正確に求めることができなくなるからである。(1) 式を δ の関数と見なすと、次式のようになる。

$$Z(\delta) = \frac{\delta h^2}{\delta h + dl} \dots\dots\dots (2)$$

輝点の対応付けが可能なのは $-\delta/2 < \Delta \leq \delta/2$ を満たす場合であるから、FG 視覚センサで計測が可能な距離変化の範囲は次式のようになる。

$$Z(\Delta/2) - Z(-\Delta/2) = \frac{2\Delta h^2 dl}{4d^2 l^2 - \Delta^2 h^2} \dots\dots\dots (3)$$

図 2 投影される輝点と凹凸による輝点移動

Fig. 2. Projected bright spots and their movement by the object insertion.

FG 視覚センサで距離計測をする場合は、(3) 式が適当な範囲となるよう、光学配置を決定する必要がある。

2.2 システムの構成 実験システムの構成を図 3 に示す。使用した浴室は、マンションの新築・改築時に採用される標準的なユニットバスである。まず、浴槽と洗い場の境界の真上に基線が来るように CCD カメラと FG 素子を設置する。本システムにおけるセンサ設置パラメータは、床からのカメラの高さ $h = 1900\text{ mm}$ 、レンズ イメージプレーン間距離 $l = 6.0\text{ mm}$ 、基線長 $d = 900\text{ mm}$ である。

FG 輝点投影器は、前述の通り、FG 素子と半導体レーザ光源（波長 810 nm 、光出力 930 mW ）から構成されている。FG 輝点投影器から室内に向けて投影された輝点群（輝点数約 330 個）を CCD カメラで撮影する。投影される輝点は赤外光であるため、人の目には見えない。また、CCD カメラのレンズ部には赤外光透過バンドパスフィルタ（通過帯域 $760\text{--}900\text{ nm}$ 、90%透過）が組み込まれているため、室内の人物の様子は、輝点のみが撮影された画像として取得される（図 4(b)）。浴室外に設置した処理装置は、CCD

図 3 実験システムの構成
Fig. 3. Experimental system.

図 5 処理の流れ
Fig. 5. Flow of data processing.

図 4 取得データ
Fig. 4. Acquired image.

カメラとレーザの制御を行う。レーザはパルスレーザ化され、レーザの発光タイミングと CCD のシャッタータイミングとの同期をとることにより外乱光の影響が軽減されている。

本システムが室内の人物の危険を検知した場合には、室外のスピーカーにより自動的に通報するが、入浴者自ら外部に救助を求める場合も想定し、内壁に非常ボタンが設置されている。

また、画像処理及び状態判別処理は浴室天井裏に設置した処理装置内で行うのが本来の運用形態であるが、本研究においては、システム開発を容易にするため、CCD カメラによって取得される輝点画像を PC 内の画像ボードによって取り込み、画像処理及び状態判別処理もこの PC 上で行うようにした。さらに、警報発報用のスピーカーもこの PC に接続して用いた。

2・3 本システムの使用環境 なお、本システムは以下に挙げる環境で使用することを想定している。

- 幅 250 cm、奥行き 250 cm、高さ 250 cm 以下のユニットバス
- 直射日光を避けるため、窓がある場合は赤外線遮断フィルムシートを貼付
- 湯気が充満しないように、入浴時には常に換気扇が作動
- システムが監視状態に入るために、バスルームの照明スイッチ付近に人感センサを設置

図 6 輝点移動のパターン
Fig. 6. Variety of bright spot's movement.

3. ソフトウェア

3・1 監視アルゴリズム 監視中は、CCD カメラにより輝点画像が連続的 (0.25 sec/frame) に取得され処理される。式 (1) に示したとおり、輝点の移動は物体の高さ方向の変化と関係がある。したがって、浴室内に人物が侵入すると輝点の配列に歪みが生じる。さらに、浴室内の人物が呼吸をしたり体を動かしたりすることで、撮影される輝点の座標も時々刻々と変化する。この輝点移動に注目し

て人物の状態を判別する。処理の流れを図5に示す。これらの処理においては、通常入浴者は浴槽内でくつろぐこと、また、バスルームにおける死亡事故の約80%がその浴槽内で発生していることから、浴槽内における呼吸信号の検知に重点を置いている。

2.1 節で述べたように、本システムでは呼吸程度の高さ変化が計測可能となるように基線長 d を定める。このような光学系における、輝点移動の要因とその特徴を挙げると以下ようになる(図6)。

(a) 呼吸による移動：呼吸による身体表面の動きに連動して、基線上を往復運動する。

(b) 体動による移動：(a) 同様、輝点は基線方向に移動するが、移動量は呼吸よりもはるかに大きくなる。

(c) 水の揺れによる移動：浴槽内の水面が揺れることにより、輝点群は基線方向とは関係なくランダムに移動する。

以上の特徴を踏まえ、次節以降に述べる手法で輝点の移動を解析する。

3.1.1 輝点移動量算出 まず、任意の t フレームにおける取得画像を2値化する。次に、ラベリングによって輝点構成画素をグループ化し、各画素グループの重心を算出することによって各輝点の位置を決定する。そして、同様の処理を行った $t-1$ フレームの取得画像と比較して、各輝点の移動量を求める。

以下に上記各処理の詳細を示す。

(a) 任意の t フレームにおける輝点構成群の重心を中心とする探索窓を設け、 $t-1$ フレーム画像中に含まれる輝点のうち、上記探索窓の中であって、かつその中心との距離が最小となる輝点を探索する。

(b) 輝点の探索に成功した場合は、注目輝点が呼吸程度の高さ変動をしたと考えられるので、注目輝点を「呼吸クラス」に分類する。次に、探索された輝点から注目輝点ま

での変位 (dx, dy) を輝点移動量として算出しておく。ただし、取得画像に含まれるノイズの影響を考慮し、 (dx, dy) が微小なものは「不動クラス」に分類し、以下の処理では無視する。

(c) 輝点の探索に失敗した場合は、注目輝点が探索窓外から大きく移動してきたと考えられるので、注目輝点を「体動クラス」に分類する。この場合、移動元の輝点を特定することができないので、移動量の算出は行わない。

この処理を t フレームにおける各輝点について行い、

- クラス (呼吸 / 体動 / 不動のいずれか)
- 重心座標 (x, y) (呼吸 / 体動クラスのみ)
- 輝点移動量 (dx, dy) (呼吸クラスのみ)

の各情報を算出する。図7は、 t フレーム中で探索に成功した輝点と失敗した輝点の例を示しているが、実際は t フレームの全輝点に対して上記の作業を行い、輝点リストを作成する。

3.1.2 呼吸情報の取得 前節で得られた輝点リストを用いて、人物がいると考えられる領域を画像中から検出する。人物の腹部や胸部に当たった輝点群は、呼吸に同期したタイミングで高さが上下する。そのため撮像面上における各輝点は、方向・大きさともに、ほぼ揃った動きをする。一方、水の揺らぎによって移動が起こった輝点群は移動方向が無秩序となる。したがって、重心間距離が互いに小さく移動方向が揃った輝点群を抽出することにより、呼吸と水の揺らぎを区別することが可能になるものと考えられる。また、呼吸による体の膨張・収縮は胸部と腹部に大きく現れ、肩や背中にもその膨張・収縮が伝わるため、横臥の姿勢でない場合にも呼吸情報の取得は可能である。

まず、呼吸クラスに分類された輝点群を用いて呼吸情報の取得を試みる。輝点の重心座標 x, y および輝点移動量 dx, dy を軸とする4次元空間を考え、呼吸クラスに分類さ

図7 輝点探索と輝点リストの作成

Fig. 7. Searching the corresponding spot and making out the spot list.

■ Acquisition of Breathing Information

■ Acquisition of Body Movement Information (In case Breathing is not found)

図 8 人物領域の検出

Fig. 8. Detection of the region of person.

れた各輝点をこの 4 次元空間にマッピングする。次に、空間上の輝点のうち、距離の小さい点を互いに統合する（図 8）。この統合によって作られる部分空間のうち、構成輝点数が最大となる部分空間を構成する輝点群をもって、支配的な呼吸情報を与えるものとする。

呼吸情報を与える各輝点に対し、基線方向の移動量（本システムでは dy ）を平均したものを注目フレームにおける平均輝点移動量とする。この量は、輝点群の移動を時間微分したものであって、実際に起こっている身体の高さ変化と同じ周期性を持つものと考えられる。図 9 は、実験によって得られた平均移動量の波形の一例である。

そして、呼吸情報を与える輝点群で構成される矩形領域を、注目フレームにおける人物領域とする。なお、所定個数（ N_b 個）以上から構成される部分空間がなく、呼吸情報が取得できない場合には、人物領域の決定を行わず下記プロセスにしたがって体動情報の取得を行う。

3.1.3 体動情報の取得 呼吸情報が取得できない場合には、体動クラスの輝点群を用いて人物領域の決定を試みる。体動クラスの輝点は重心座標 x, y の 2 情報しか持っていないため、これらを軸とする平面上に各輝点をマッピングする。呼吸情報同様、距離の小さい点を互いに統合し、構成輝点数が最大の部分空間を構成する輝点群をもって、支配的な体動情報を与えるものと考え、これらの輝点群で構成される矩形領域を人物領域とする。なお、所定個数（ N_m 個）以上から構成される部分空間がなく、体動情報もまた取得できない場合には、「人物領域なし」として次の処理に進む。

3.1.4 次フレームにおける ROI の算出 呼吸情報または体動情報が得られた場合には、該当する輝点群に外接する矩形領域を t フレームにおける人物領域とする。

図 9 呼吸情報の検出

Fig. 9. Detection of breathing information.

図 10 次フレーム ROI の決定

Fig. 10. Determination of the ROI of next frame.

人物領域は、画像取得間隔が適度に短ければ、次フレームにおいて算出される人物領域と大部分が重なると考えられる。そこで、算出された人物領域を四方に一定幅（ m pixel）ずつ拡大した領域を ROI (Region of Interest) とし、次フレームでは、この ROI に限定して前述の画像処理を実施する（図 10）。ただし、監視開始時と人物領域が算出できない場合は画像全体を処理対象とする。ROI を導入することによって、処理の軽減になるとともに、人物とは無関係な領域における輝点の誤検出を防ぐことができるので、算出される人物領域の信頼性が向上する。

3.1.5 退室判定 3.1.2 および 3.1.3 節の処理で人物領域が検出されない場合は、入浴者が不在であるか、意識を失って呼吸が停止しているかのいずれかであるものと推定される。この 2 状態を区別するために在室判定を行う。入浴者が入室する直前（例えば、2.3 節で触れた人感センサが人物を検知した瞬間）に、無人の状態での輝点画像（以下、基準画像）を取得し、予め各輝点の重心座標

表 1 画像処理プログラムにおけるパラメータ設定

Table 1. Parameters of the image processing.

Image resolution	640(W)×480(H) pixel	
Sampling period	0.25 sec./frame	
PC	CPU : Pentium III 1.4 GHz Memory : 256MB	
Size of searching window	12(W)×9(H) pixel	
Movement regarded as noise	Under 0.3 pixel (both dx and dy)	
Number of bright spots required as a valid subspace	$N_b = 8, N_m = 4$	
Expansion Width applied to region of person	$m = 50$ pixel	
Unification condition	dx	Difference is within 0.3 pixel
	dy	Difference is within 1.0 pixel (Same sign)
	x, y	Difference is within 50 pixels

図 11 開発プログラムのインタフェース

Fig. 11. Interface of the developed system.

を算出しておく。在室時における輝点の配置は、おのずから基準画像のそれと異なったものになる。そこで取得画像と基準画像とを常に比較し、その差分が大きい場合に在室と判定する。

3・1・6 危険の通知 人物領域が検出されず、かつ在室と判定されるフレームが連続した場合は、入浴者が危険な状態に陥っていると判断し、浴室内の人物に対して音声によって安否の確認を行う（内部警告）。それでもなお人物領域が消失した状態が続いた場合には、入浴者が仮死状態にあるものと見なし、浴室外部のスピーカー等によって緊急事態を知らせる警報（外部警報）を発するものとする。

3・2 プログラミング まず、表 1 のシステム設置条件をもとに、呼吸運動によって移動する輝点の移動量を算出する。ある輝点の Z 座標が Z_0 から Z_1 に移動した時の輝点移動量は、次式のようになる。

$$\delta(Z_1) - \delta(Z_0) = \frac{dl(Z_1 - Z_0)}{(h - Z_1)(h - Z_0)} \dots\dots\dots (4)$$

一例として、振幅 3.0 mm の周期的な高さ変動が $Z = 300$ mm を中心として起こっている場合、イメージプレーン上の輝点移動は、(4) 式に $Z_1 = 303$ mm, $Z_0 = 297$ mm を代入することにより、0.0127 mm と算出される。使用した CCD は 6.4×4.8 mm で解像度は 640×480 pixel であるから、CCD の 0.01 mm 四方が 1 pixel に相当し、上記の移動は取得画像上で 1.27 pixel 相当と算出される。

また、3・1・3 で述べた 4 次元空間を用いた輝点統合の考え方には、以下の問題がある。

(a) 隣接輝点間の距離は約 30 pixel で、呼吸運動による輝点移動に比べてはるかに大きい。したがって、 x, y 軸のスケールと、 dx, dy 軸のスケールを同一にはできない。

(b) dx, dy は正負の値をとり、絶対値の小さなものは不動クラスに分類することから、 dx, dy 平面上における距離をそのまま統合の根拠にすることはできない。

以上を考慮し、画像処理上の各パラメータを表 1 のように設定した。図 11 は開発プログラムの画面である。

4. 実 験

本システムの有効性を検証するため、マンションの新築・改築時に採用される標準的なユニットバス（浴室サイズ：幅 170 cm，奥行き 130 cm，高さ 200 cm）に本システムを設置して実験を行った。

4・1 実験方法 状態判別時にエラーが発生する状況としては、以下の 2 つが考えられる。

- 誤報：入浴者が安全な入浴をしているにもかかわらず危険であると判断して警報が発せられる場合。
- 見落とし：入浴者が危険状態にもかかわらず危険ではないと判断し続け、アラームが発せられない場合。

3・1・6 節で述べたように、本システムでは人物領域の消失したフレームが連続した場合に警報が発せられる。このアラームに必要な連続フレーム数（以下、NCF: The number of consecutive frames）によって、誤報・見落としの頻度がどう変化するかを調べた。危険な状態を模したデータは、被験者が意図的に呼吸を止めることで取得した。呼吸停止の時間は 30 秒で、演技開始時と終了時には浴室外から被験者に声をかけることで合図した。データ整理に際してはこの 30 秒の演技を「1 回の事故」と見なした。

また、人物領域の消失したフレームが連続している中に人物領域の検出される少数のフレームが孤立している場合は、それらを無視するようにする。無視する孤立フレームの数がアラーム精度にどう影響するかについても検証した。実験の仕様は以下の通りである。

- 被験者は、360 フレーム（90 秒相当）の通常入浴の後、120 フレーム（30 秒相当）の呼吸停止に陥る演技を行う。
- 通常入浴 + 呼吸停止の演技を 1 セットとし、各被験者は 10 セット（浴槽で呼吸停止となるシーンと洗い場で呼吸停止となるシーンをそれぞれ 5 セット）ずつ行った。

図 12 NCF と誤報率・見落とし率の関係

Fig. 12. Relationship between NCF / false alarm and oversight.

●被験者は 10 名で、計 100 セットのデータが得られた。
実験データから、誤報率・見落とし率をそれぞれ以下の
方法で求める。

(a) 誤報率

- 通常入浴シーン 360 フレームが対象。
- 360 フレーム中には、NCF 個の連続フレームが 360-NCF+1 組含まれる。このうち、NCF 個のフレームすべてにおいて人物領域が検出できなかった組の数をカウントし、これを「アラーム回数」とする。
- 1 セット誤報率 = アラーム回数 / (360-NCF+1)
- 誤報率：上記 100 セットの誤報率の平均

(b) 見落とし率

- 呼吸停止シーン 120 フレームが対象。
- 人物領域の検出できないフレームが NCF 個連続する箇所が 1 つでも存在する場合は「通報成功」、そうでない場合は「通報失敗」とする。
- 見落とし率 = 通報失敗セット数 / 100

4.2 実験結果と検討 図 12 は、NCF に対する誤報率および見落とし率の 100 セットの演技に対する平均回数をプロットしたものである。

図 12 に示したとおり、誤報率と見落とし率はトレードオフの関係にあり、NCF、つまりアラームの待機時間の設定によってシステムの性能が決定する。仮に、誤報と見落としを同程度の割合で重視するのであれば、誤報率・見落とし率の各曲線の交点をアラームの待機時間に設定すればよい。図 12 によれば、両者の交点は NCF=47(11.8 秒相当)

表 2 各誤報率に対する必要な NCF

Table 2. Required NCF for each false alarm rate.

False alarm rate	Required NCF (sec)
less than 1.0%	44 (11.0)
less than 0.1%	70 (17.5)
less than 0.01%	96 (24.0)
less than 0.001%	122 (30.5)
less than 0.0001%	147 (36.8)

付近で、このときの誤報率は 1.01%、見落とし率は 1%となる。しかし、この種のセキュリティシステムにおいては、異常がない状態の誤報が利用者の信用を極度に失わせるおそれがあるため、我々は誤報率を低水準に抑えることを重視した時間設定が適切と考えている。NCF の増加にともなって誤報率が減少することは確実であるが、これらの誤報率は、セキュリティシステムの有効性を評価するために必要とされる 0.001% (10 万回に 1 回のエラー)、あるいは 0.0001% (100 万回に 1 回のエラー) という精度を持たない。そこで、得られたプロットを指数曲線で回帰し、この程度の誤報率をシステム要件とする場合の NCF を推測した (表 2)。推測の結果、誤報率を 0.0001% 未満にするためには、NCF を 147 (秒換算で 36.8 秒) とすればよいことがわかった。これは、呼吸停止を検出してから 36.8 秒待機して発せられたアラームは、99.9999% 以上の精度をもつことを意味している。救命の分野で広く用いられているカーラーの救命曲線によると、呼吸停止状態に陥った場合、3 ~

表 3 各被験者の輝点の最大移動量

Table 3. The maximum amount of movement of spots.

Examinee	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Average
Body weight[kg]	89	70	78	66	54	64	59	64	64	76	69
Amount of movement[pixel]	1.15	1.13	1.32	1.13	0.94	0.92	1.01	0.98	1.14	1.16	1.09

5分経過したところで生存率が下がりはじめ、停止から10分で生存率が50%に減少するとされている⁽¹¹⁾。したがって、呼吸停止から40秒弱でほぼ正確なアラームを発することは、人命救助の目的に十分寄与すると考えられる。

一方、見落としについても検討したところ、孤立フレーム除去を行わない場合、NCFの増加にしがって見落とし率が増加するが、除去対象とする連続フレーム数を増やしていくと見落とし率は減少し、連続フレーム数を4にしたところで見落としはなくなった。したがって、孤立フレーム除去を行うことで、見落としを十分防ぐことができることがわかった。

5. 検 討

5・1 浴室特有の問題 浴室特有の問題として、水および石鹸やシャンプーの泡の問題が想定される。今回に実験においてこれらの点について観察したところ、水で皮膚が濡れている場合は問題なく監視できることを実験によって確認した。石鹸やシャンプーの泡に関しては検出可能な場合と不可能な場合があり、一般的な入浴行動では常に検出可能であったが、昔の映画で女優が入浴するシーンのように上半身を完全かつ厚く泡で包むようにした場合には、検出不可能となった。

浴室特有の問題としては、湯気の問題も挙げられる。湯気が発生するとカメラ画像の視認性が悪くなるため、呼吸の検出は困難になると考えられる。本実験では室内の換気扇を作動させて実験を行った。最近のユニットバスでは、暖房機能によって湯気を発生させないようにすることが可能なので、本システムの開発もこれらの機能と併用することを想定している。また、湯気の発生に起因して機器の光学窓に付着する水滴も問題となるが、本システムでは、吸水性素材からなる曇り防止フィルムをセンサの表面に貼り付けることにより、この問題にも対応している。なお、本システムに赤外光を使用していることに関しては、波長が可視光に近い場合、湯気などに対する透過率アップの効果はほとんど期待できないと考えられる。

5・2 入浴者の個人差の問題 呼吸の検出において最も影響があると思われる、輝点の移動量の個人差について検討した。各被験者が安静に入浴している(呼吸をしている)状況における最大輝点移動量について、表3を得た。概ね体重の大きな被験者ほど輝点移動量は大きくなっていて個人差が認められたが、本システムでは0.3pixel未満の移動をノイズレベルと見なしているため、呼吸の検出には支障がなかった。

6. ま と め

浴室における事故や発作の早期発見を目的としたバスルーム用セキュリティシステムを提案し、試作したシステムを実際のバスルームに設置して行った実験について述べた。ここでは、マンションの新築・改築時に採用される標準的なユニットバスを対象とし、窓には赤外線遮断フィルタシートが貼られ、換気扇は常に作動していて、大量の湯気が生じない環境下にあるものとする。

本手法では、FG視覚センサを用いて浴室内に多数の輝点を照射し、輝点画像を連続的に取得する。入浴中は、隣接フレームにおける移動量をもとに、入浴者の呼吸情報を取得する。これにより、比較的長いくつろぎ状態に対しても頑健な監視を実現することが可能となった。また、呼吸情報が取得できない場合は体動情報を取得し、室内における入浴者の動きを追跡する。そして、呼吸情報も体動情報も得られない状態が一定時間以上続いた場合には外部に警報が発せられる。

この手法を実際のバスルームに適用して模擬実験を行った。安全入浴90秒+呼吸停止30秒の演技データを100セット用いて、誤報および見落としの頻度を調べた。その結果、危険と判断するフレーム数を147とした場合に生じる誤報が0.0001%未満になると推定された。また、孤立フレームを除去することにより、見落としを回避できることが確認された。

このように、本実験によって、本システムは99.9999%以上の精度をもつ警報を呼吸停止から40秒弱で発報できるものであることが示された。

謝辞：本研究を進めるにあたって貴重なご意見をいただいた、住友大阪セメント株式会社、竹村安弘氏、味村一弘氏に感謝いたします。また、長時間の入浴実験に協力してくださった慶應義塾理工学部中島研究室の皆さんに感謝します。

(平成15年11月20日受付,平成16年9月16日再受付)

文 献

- (1) 厚生労働省：「人口動態統計」,(2000)
- (2) 国民生活センター：「家庭内事故—その実態を探る」,
<http://www.kokusen.go.jp/news/> (1999)
- (3) 東京ガス都市生活研究所：「入浴中急死の事例検討」,都市生活レポート,Vol.2001, No.10, pp.17-23 (2001)
- (4) 堀 進吾他：「高齢者・入浴中急死の病態解明に関する提言」,日本

- 救急医学会誌, Vol.9, No.9, pp.407-416 (1998)
- (5) 安藤由紀・森 幸夫・内田亜紀子:「動き検知センサ『風呂用心』」, 三洋電機技報, Vol.33, No.3, pp.31-38 (2001)
- (6) H. Machida, J. Nitta, A. Seko, and H. Kobayashi: "High-efficiency fiber grating for producing multiple beams of uniform intensity", *Appl. Opt.*, Vol.23, 330 (1984)
- (7) K. Nakazawa, M. Nakajima, M. Shimizu, and S. Yuta: "Development of robot vision system using fiber grating—Extraction of planar, spherical and conic surface by Hough transform", *Proc. of The 8th Annual Conference of the Robotics Society of Japan*, Vol.8th, No.3, pp.783-786 (1990) (in Japanese)
中沢和夫・中島真人・清水雅芳・油田信一:「ファイバグレーティングを用いたロボット視覚システムの開発—Hough 変換による平面, 円筒面, 円錐面の検出」, 日本ロボット学会学術講演会予稿集, Vol.8th, No.3, pp.783-786 (1990)
- (8) 山口順一・中島真人:「画像情報を用いた状況把握 ファイバグレーティング視覚センサを用いた自動車後方監視システム」, センサ技術, Vol.13, No.4, pp.18-22 (1993)
- (9) H. Aoki, H. Aoki, and M. Nakajima: "Non-contact and Unrestrained Respiration Monitoring System for Sleeping Person Using Near-infrared Bright Spots Matrix Irradiation", *IEEJ Trans. EIS*, Vol.124, No.6, pp.1251-1258 (2004-6) (in Japanese)
青木広宙・青木広市・中島真人:「近赤外輝点マトリックス照影による非接触・無拘束就寝者呼吸監視システム」, 電学論 C, 124, 6, pp.1251-1258 (2004-6)
- (10) S. Imai, H. Aoki, T. Honda, and M. Nakajima: "System for Sensing the Lavatory using Fiber Grating Vision Sensor", *Proc. of the SII '99*, pp.159-164, Yokohama, Japan (1999) (in Japanese)

今井聡子・青木広宙・本田 正・中島真人:「FG 視覚センサを用いたトイレ用監視システム」, 第 5 回画像センシングシンポジウム講演論文集 pp.159-164 (1999)

- (11) 東京救急教会: Web page, <http://www.teate.jp/>

西 浦 朋 史 (学生員) 1976 年生。2000 年 3 月慶應義塾大学理工学部電子工学科卒業。2002 年 3 月同大学院理工学研究科修士課程修了。現在, 同博士課程在学中。主にコンピュータビジョンに関する研究に従事。

中 島 真 人 (正員) 1973 年慶應義塾大学大学院工学研究科博士課程修了, 工学博士。1972 年慶應義塾大学工学部助手, その後専任講師, 助教授を経て, 1988 年同大理工学部教授, 現在に至る。その間, 1996—2002 年, 慶應義塾評議員, 2000—2004 年慶應義塾先端科学技術研究センター所長, 1977—1996 年ホロメディア (株) 社長, 1979—1989 年 (株) 光技研取締役, 1989—2000 年 (株) 理想科学研究所社長。現在, 香川大学客員教授, 徳島大学非常勤講師 (財) 慶應工学会評議員, 電子情報通信学会, 応用物理学会各会員。