

## FG視覚センサを用いた就寝者監視システムの開発

Development of Sensing System for Sleeping Person using Fiber Grating Vision Sensor

青木広宙<sup>1</sup>      竹村安弘<sup>2</sup>      味村一弘<sup>2</sup>      中島真人<sup>1</sup>  
 Hirooki Aoki<sup>1</sup>      Yasuhiro Takemura<sup>2</sup>      Kazuhiro Mimura<sup>2</sup>      Masato Nakajima<sup>1</sup>

<sup>1</sup>慶応義塾大学理工学部電子工学科      <sup>2</sup>住友大阪セメント株式会社

<sup>1</sup> Dept. of Electrical Engineering, Fac. of Sci. and Tec., Keio Univ.

<sup>2</sup> Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.

**ABSTRACT** We have developed a visual sensing system for finding the elderly or sick people's paroxysm accidents while in bed. The system utilizes our developed fiber grating vision sensor to get the three-dimensional information of the person on the bed. A visual sensor installed over sleeping person monitors respiration and rolling over of the person non-restrictively without disturbing his /her privacy. This paper describes the configuration of the system for finding paroxysm accidents while asleep using fiber grating vision sensor. And, we installed our trial system and performed an experiment assuming various situations on the bed. In this experiment, we proved that the system detects the respiration pattern with accuracy.

## 1.はじめに

社会福祉の充実が求められる社会情勢を背景として、病人や高齢者の日常生活における安心や安全確保に照準を合わせたセキュリティ技術の研究開発が盛んに行われるようになってきている。病人や高齢者の用心を支援するセキュリティ技術の提供を目的として、様々な状況や場面にに対し画像処理技術を適用する試みがなされ始めている<sup>[1]-[3]</sup>。

ところで、近年、突然死の発生件数の増加が報告されており、その数は年間2万件以上ともいわれている。突然死が発生する状況は、就寝中が最も多く、全体の約3分の1と非常に高い割合を示している。突然死の原因としては、心臓疾患が最も多く、次いで脳血管疾患が挙げられている。未明から早朝に掛けての時間帯に発生しやすいことが報告されており、これらの時間帯においては、周囲も寝静まっている状況であるため、他者による発見の可能性は非常に低いと考えられる。就寝中はプライバシーが保護された状況にあることも加味すれば、心臓疾患や脳血管疾患の発症を即座に見つけることは、極めて困難であろう。

発症の早期発見には、生体情報のモニタリングの実施が有用であると考えられているが、特に、家庭などで通常の生活を営んでいるような人々や、または、病院に入院していても一般の病棟で生活しているような人々を対象とする場合には、拘束性の低い状態でのモニタリングが求められる。

そこで、われわれは就寝者の事故や疾患の早期に発

見することを目的とした就寝者監視システムの開発に取り組んでいる。このシステムは、レンジファインダの一種であるファイバグレーティング視覚センサを用いて就寝者の呼吸数を非接触で計数し、就寝者の安否を監視する。

本稿では、監視システムの構成とその動作原理について報告する。また、呼吸数をカウントするためのアルゴリズムを提案し、その有効性について検討した。

## 2.ファイバグレーディング視覚センサ

ファイバグレーディング素子（以下、FG素子）は、図1に示すように、直径数十 $\mu\text{m}$ の光ファイバーを平板状に並べた光ファイバー・シート2枚を、互いに直交するように張り合わせた位相分布型回折格子である<sup>[4]</sup>。このPG素子に対し、垂直にレーザー光を入射することにより、対向する平面上には多数の輝点群が照射される。このとき、FG素子に隣接して設置されたCCDカメラには、正方格子状の並んだ輝点群が撮像される。そして、平面とFG素子の間に物体がある場合、その物体に当たった輝点は、三角測量の原理に基づきCCDカメラの撮像面（イメージプレーン）上で一定方向に移動する。イメージプレーン上における各輝点の移動量は、物体の形状によって決まることから、各輝点の移動量の分布を測定することにより、物体の大まかな形状に関する情報が算出される。

図2に示した光学配置において、撮像面における輝点の移動量より、物体上の輝点が投影されている3

じげん座標(X,KZ)は次式のように与えられる。

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

$$X = \frac{x}{l}(h - Z) \quad (II)$$

$$Y = \frac{y + \delta}{l}(h - Z) \quad (III)$$

ここで、 $h$ は平面からレンズまでの距離、 $d$ はFGとレンズとの距離、 $l$ はレンズとイメージプレーンとの距離を示す。

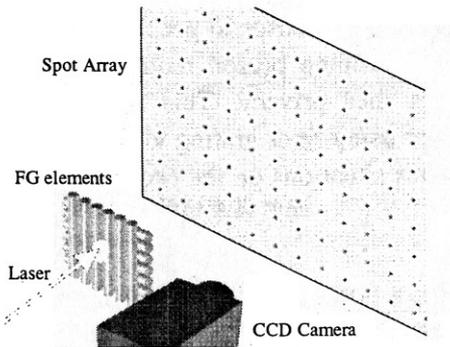


Fig.1 Pattern of bright spots produced by FG elements

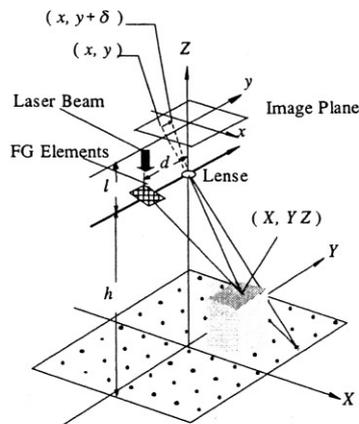


Fig.2 Optical schematic of a FG vision sensor

### 3.就寝者の監視方法

#### 3.1.センサ部の構成

われわれが開発した就寝者監視システムでは、以上で説明したFG視覚センサを用いて、就寝者の体動をモニターする。大きな体の動きがない場合には、呼吸による寝具の僅かな上下動を検知することが可能であり、これにより呼吸数を算出することができる。

監視システムの構成としては、図3に示したように、就寝音上にPG輝点投影器とCCDカメラを一行に配置する。

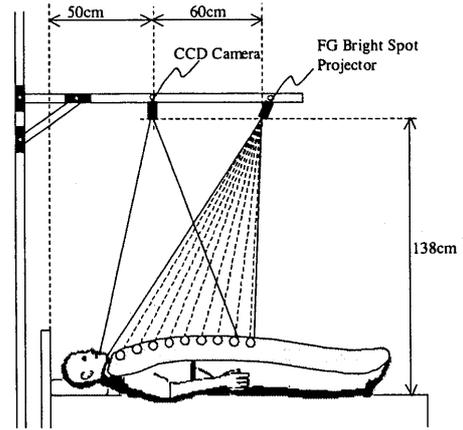
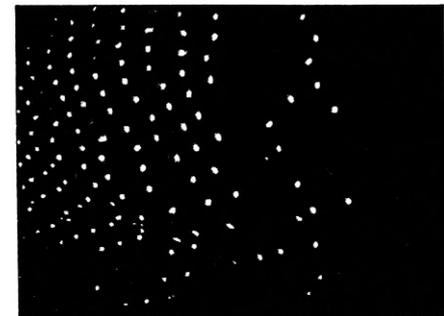
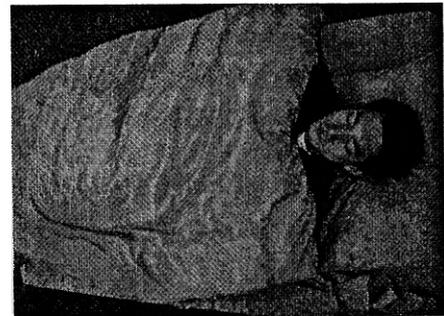


Fig.3 Arrangement of the sensing system

FG輝点投影機は、前述の通り、FG素子とレーザー光源から構成されている。レーザー光源には、赤外光半導体レーザーが用いられている。FG輝点投影機から就寝者に対して投影され輝点群を、他方のCCDカメラにより撮影する。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。CCDカメラのレンズ部に赤外光透過バンドパスフィルターが組み込まれているため、実際に人が寝ている様子(Fig.4(A))は、輝点のみが撮影された画像として取得される(Fig.4(B))。レーザーにはパルスレーザーを用いており、レーザー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で、外乱光の影響を軽減している。



(B) Bright spot image

Fig.4 Image obtained by FG vision sensor

### 3.2.監視アルゴリズム

この監視システムにおいては、マットレスの下には、感圧スイッチが備え付けられており、人が寝ることで、感圧スイッチがONになり、監視を開始する。

監視時には、一定間隔で処理装置部への画像の取得が行なわれる。

式(1)に示したとおり、輝点の移動量は物体の高さ方向の変化と関係をもっている。したがって、就寝者が呼吸をしたり体を動かしたりすることで、就寝者や寝具（掛け布団）の形状が変化する。輝点の投影される高さが変化することで、画像に撮影される輝点の重心の座標も時々刻々と変化する。

ある時刻 $t$ のフレームにおける輝点の重心の座標が、続く時刻 $t+1$ のフレームにおいてどれだけ移動したかを、輝点の移動量として算出する。輝点の移動量を時系列に並べると、Fig.5に示されるような波形を示す。

安静な状態では、体の動きは呼吸によるものであるから、波形は周期的である。高さ方向の変化が極めて小さいことから、同様に移動量の波形の振幅も微小となる。

Fig.6は、センサ部から100cm下方にZステージを設置し、高さの移動量と輝点の重心の移動量との関係について調べた結果である。Zステージを設置した高さは、人が寝ている状態における寝具表面の高さを想定している。

Fig.7(A)は、就寝状態において寝具に投影された輝点の重心位置のフレーム間の移動量について示したものである。前述の通り、周期的な波形を示している。Fig.7(B)は、Fig.7(A)で示した輝点の重心位置のフレーム間の移動量の積分を示したものである。Fig.7(B)の波形の振幅が1回の呼吸による輝点重心の移動量に相当する。波形の振幅は約2ピクセル程度であることから、呼吸による実際の高さ方向の移動量をFig.6より逆算すると、約4mm程度であると考えられる。

一方、就寝者が大きく体を動かした場合には、波形のもつ周期性は失われる。また、寝具の形状の高さに関する変化が大きくなるため、輝点移動量の波形の振幅も大きくなる。

移動する複数の輝点についてそれぞれ移動量を算出し、個々の輝点の移動量が呼吸による小さな移動量が寝返りなどの大きな体動を示す大きな移動量の何れかのカテゴリに属するかを閾値により分類する。それぞれのカテゴリについて移動量の総和を求め、大きな移動量を持つ輝点が支配的である場合に、就寝者が体を動かしている常態にあると判別し、逆に、小さな移動量を持つ輝点が支配的である場合に、安静に呼吸をしている状態にあると判別する。

2つのフレーム間の輝点の移動量は、高さの時間変化を表すものであるから、息を吸っている状態（吸気

状態）と息を吐いている状態（呼気状態）とでは符号が反転する。一定時間あたりのゼロクロスの個数を求め、それを半分にした値が、就寝者の呼吸回数となる。

成人の安静時の呼吸数（1分あたりの呼吸の回数）は、一般に10～24回/分といわれている<sup>[5]</sup>。この範囲から大きく外れるような呼吸数を示した場合に、何らかの障害が就寝者に発生したものと考えられる。このシステムでは、算出された呼吸数が、一般的な安静時における呼吸数を大きく外れた場合に、就寝者の呼吸が異常な状態にあると判別する。

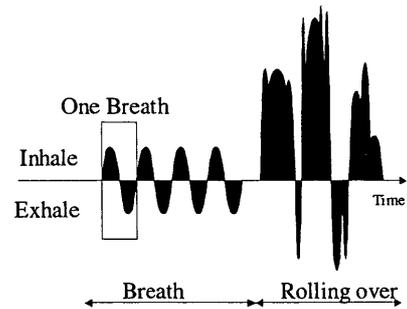


Fig. 5 Curve of shift quantity of bright spot

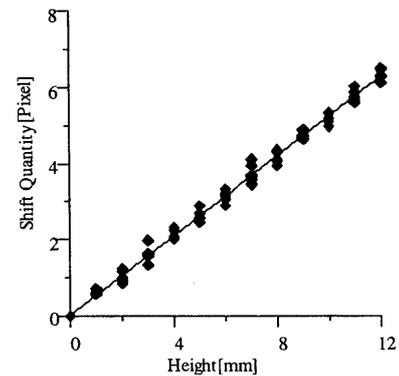
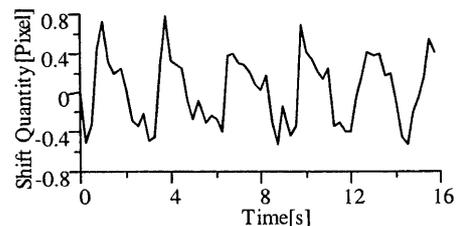
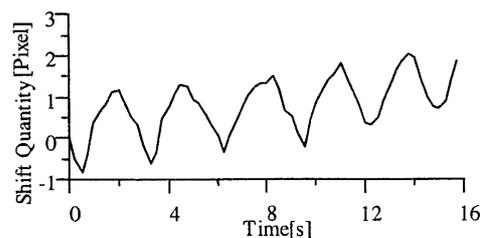


Fig. 6 Relation between Shift quantity and height



(A) Shift quantity of bright spot between frames



(B) Integration of shift quantity of bright spot

Fig. 7 Breath curve

