



色素ドーブプラスチックファイバによる 呼吸状態の光学的モニタシステム

森澤 正之・深沢 明彦・小川 孝行・武藤 真三

山梨大学工学部電子情報工学科 〒400 甲府市武田 4-3-11

(1990年6月28日受付, 1990年11月7日受理)

Optically Monitoring System of Human Breath Condition Using Dye-doped Plastic Fibers

Masayuki MORISAWA, Akihiko FUKASAWA, Takayuki OGAWA
and Shinzo MUTO

Department of Electrical Engineering and Computer Science,
Faculty of Engineering, Yamanashi University,
4-3-11, Takeda, Kofu 400

(Received June 28, 1990; Accepted November 7, 1990)

Two types of breath condition monitoring system have been studied. These systems consist of fluorescent and absorptive dye-doped optical fibers and signal processing circuits. When these dye-doped fibers are exposed to human expiration, the fluorescence intensity or absorption coefficient changes by water vapor containing in human expiration. As the result, the present systems were demonstrated to be useful for a real time monitoring of abnormal breathing such as a cough and the counting of breath number per minute.

1. はじめに

高齢化社会が進むに伴って、脳梗塞や脳溢血などの重度の成人病患者や寝たきり老人の数は増加傾向にあり、その看護が一つの社会問題になりつつある。このような重症患者に対しては、つねにだれかが付き添って容体の変化に即座に対応できるのが理想的であるが、現実問題としては、医師や看護婦あるいは家族が24時間付き添うのは経済的、精神的にも負担が大きく、一般に不可能といえる。このような問題を解決するためにも、ナースセンターなどで複数の患者の容体変化を常時モニターするようなシステム化が望まれ、最近、その開発の重要性が高まっている。

患者の容体の変化は通常心拍数、体温の変化とともに、呼吸状態の変化に直接現れる¹⁾。そこで著者らは、この呼吸状態のリモート光センシングを試みることにした。その理由は、光センシングデバイスが一般に感度、

応答性に優れ、かつ電磁的障害を受けず、小型軽量で堅固などの利点を有するので²⁾、このような医療応用にも非常に有望であると期待できるからである。とくに本論文では、光センサーヘッドとして色素ドーブの光ファイバを用い、呼気に含まれる水分量の変化から呼吸状態をモニタする方法を検討した。また、この光学系に、信号処理系を加えることにより、呼吸数の定時間ごと(1分ごと)の自動計数化も図った。

以下にこの呼吸状態モニタシステムの詳細を示す。

2. 呼吸状態センサーの原理

呼吸状態の観測法としては、気密した箱に被検者を閉じ込め、箱内空気の出入りより計測する方法や、気流計、差圧計を用いた方法などがある³⁾。しかし、これらはいずれも計測装置が大規模、高価となり、また原理的に被検者への負担を大きくする。

☐これに対して、本論文では呼気に含まれる水分の検出

を利用する方法に着目した。すなわち鼻孔付近での湿度は呼吸に含まれる水分により室内の定常値と比較して微小に変化する。それゆえ、この湿度の変動を測定できるならば、呼吸状態のモニタとして利用が可能となる。

しかし、湿度センサーを呼吸モニタ用として使用する上で、いくつかの条件が要求される。すなわち、

- (1) センサーの感度が高く、呼吸による微小な湿度変化を検出できること。
- (2) センサーの応答が呼吸の変化や周期に追従できるよう十分高速であること。
- (3) 長期使用に耐えること。

などである。

これまでも種々の機構の湿度センサーが開発されている。その例をあげると、水分吸着による高分子膜の電気抵抗の変化や⁴⁾、電極間誘電体材料の膨潤による静電容量の変化を利用したもの⁵⁾ などであるが、それらの応答は数10秒から数分と一般に遅い。これに対して、最近著者らが開発した色素ドープの吸収型光ファイバおよび蛍光型光ファイバを用いる湿度センサーは、きわめて速い応答速度と高い感度をもつ^{6,7)}。それゆえ、これらの光ファイバ湿度センサーを呼吸状態モニタに利用すれば、重症患者などの容体の実時間リモートモニタが可能になるであろう。

Fig. 1, Fig. 2 に、それぞれこのような吸収型および蛍光型色素ドープ光ファイバによる呼吸状態モニタの具体的動作原理を示す。

吸収型光ファイバは、フェノールレッド色素 (PR 色素) をドープした厚さ 2 μm のポリメタクリル酸メチル (PMMA) をクラッドとする光ファイバである。このファイバ中の PR 色素は湿度環境下で波長 530 nm 付近の主吸収スペクトルにおける吸収特性が変化し、その応答は2秒以下と速い⁶⁾。それゆえ、Fig. 1 のように動作点を適当な値に設定すれば、呼吸による湿度変化を実時間で検出できる。

一方、ウンベリフェロン色素 (UM 色素) をドープした PMMA をクラッドとする蛍光型光ファイバは、紫外光によって励起されると波長 400 nm 付近にピークをもつ青色蛍光を発するが、その強度は湿度に対して直線的に変化する。Fig. 2 は実験的に得られた湿度に対する蛍光強度の変化を示したものである。この光ファイバの応答特性も吸収型光ファイバと同様に可逆的かつ 0.5 秒以下の応答速度をもち⁷⁾、呼吸による湿度変化の検出用として利用できる。このように Fig. 1, Fig. 2 とともに光強度変化を検出する機構のために感度は高く、光源の強

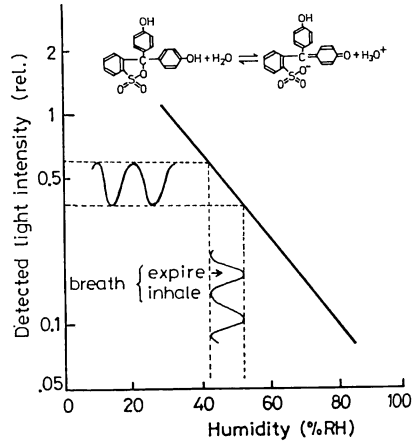


Fig. 1 Principle of breath condition monitor using absorptive dye-doped optical fiber.

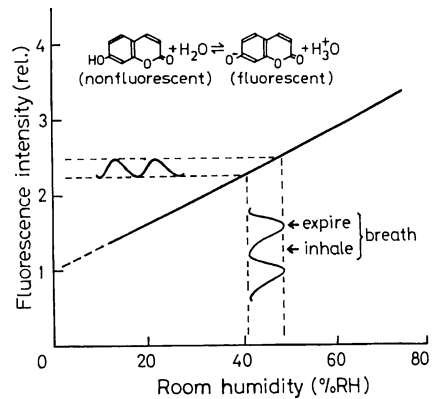


Fig. 2 Principle of breath condition monitor using fluorescent dye-doped optical fiber.

度ゆらぎや光検出器の暗電流などによるノイズ以上の光信号強度が得られれば十分に動作する。ちなみに実験で設定できる限界の ±2% RH の変化は十分に検出可能であった^{6,7)}。

さらに、これらの光ファイバセンサーを用いると、いずれも患者に非接触で呼吸の光センシングが行える。実際の測定では、作成した色素ドープファイバ湿度センサーを鼻孔から 10 cm の位置に設置して行った (Fig. 3 参照)。そのため、患者に苦痛を与えることはない。

3. 呼吸モニタシステムおよび実験方法

Fig. 3 に吸収型、蛍光型色素ドープ光ファイバを用いたそれぞれの呼吸状態モニタシステムを示す。このシステムは定時間毎の呼吸数計測と観測光信号による呼吸波形の実時間モニタを行うことを目的としている。

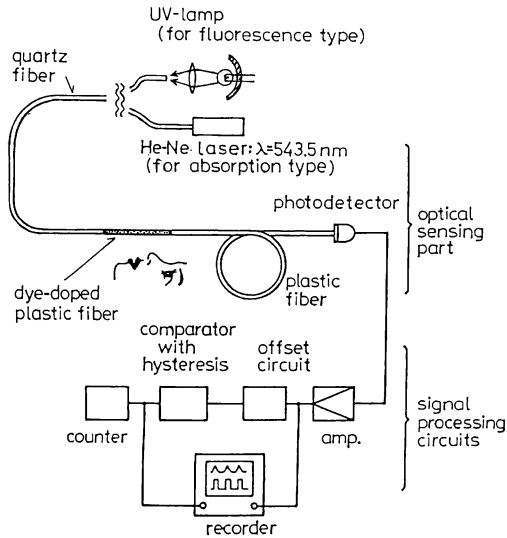


Fig. 3 Breath condition monitor system.

これら二つのシステムはともに、光源、色素ドープのファイバセンサー、光信号伝送ファイバ、光検出部よりなる光学系とオペアンプ、カウンタ IC 等を用いた信号処理回路系より構成される。

光源としては、吸収型のときは緑色 He-Ne レーザー光 (波長 544 nm)、蛍光型の場合は重水素紫外線ランプを使用した。光検出器には光電子増倍管を用いた。

信号処理回路は、光検出器で受光した呼吸に対応する光強度信号 (以下、呼吸信号と略す) をデジタルパルスに変換する回路と、そのパルスを一定時間ごとに計数するカウンタ回路をもつ。

呼吸信号のパルス変換回路を Fig. 4 に示す。この回路では、呼吸信号の増幅、オフセット、ノイズの除去を行い、かつ呼吸信号を 0V と 5V の 2 値のデジタル信号 (パルス) に変換する。このパルスは呼吸信号の変化に伴って発生するので、実際の呼吸数に一致することに

なる。また、これに続くパルス計数回路で、前段のパルス変換回路で得られる電気パルスの 1 分ごとの数を計数する。また、その結果は LED に表示させた。

呼吸波形の観測は、信号処理回路の初段オペアンプの出力をレコーダで記録することによって得られる。

実験では、安静時と運動後の呼吸状態のモニタを試み、1 分ごとの呼吸数計測と呼吸波形の記録を行った。

4. 結 果

Fig. 5 は、センサーヘッドに吸収型色素ドープ光ファイバを使用したときの、呼吸波形とパルス信号のモニタ結果の 1 例である。(a) は安静時の呼吸に対応するものであるが、このように呼吸波形の周期に対応して矩形パルスは発生し、1 分ごとのこのパルスをカウントすることにより呼吸数の自動計数ができた。

また、(b) は運動後の呼吸状態をモニタしたものである。同図に見られるように、周期の速い呼吸であっても本論文の呼吸センサーは追従し、かつ、パルス落ち等の誤動作が見られない⁸⁾。

一方、蛍光型色素ドープ光ファイバを用いた場合の結果も吸収型と同様に、呼吸状態に対応した光信号の変化が感度よく得られている⁹⁾。その 1 例として、Fig. 6 には突然咳をしたときの呼吸波形と、カウンタ出力パルスの変化を記録した結果を示した。このように蛍光型光ファイバを使用した場合には、咳などきわめて急峻な呼吸変化に追従し、その波形は微小呼吸時から強呼吸時への流速、流量に対応する応答を示すものでもありと考えられる。

個人差による呼吸波形などの違いなどについては、まだ測定していないが、これらの測定と個人差などの定量化に関するデータの蓄積が今後必要となる。また、呼吸センサーヘッドの寿命についての詳細な検討はしていないが、素子作成から 1 年経過した状態でも顕著な劣化

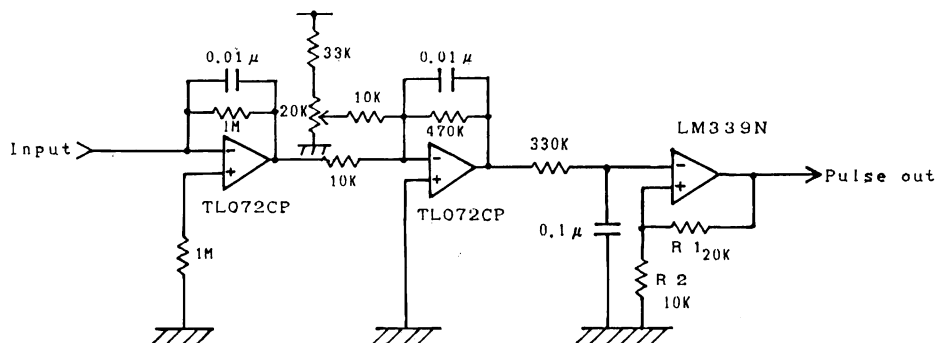


Fig. 4 Circuit for converting light breath signal into electronic pulse.

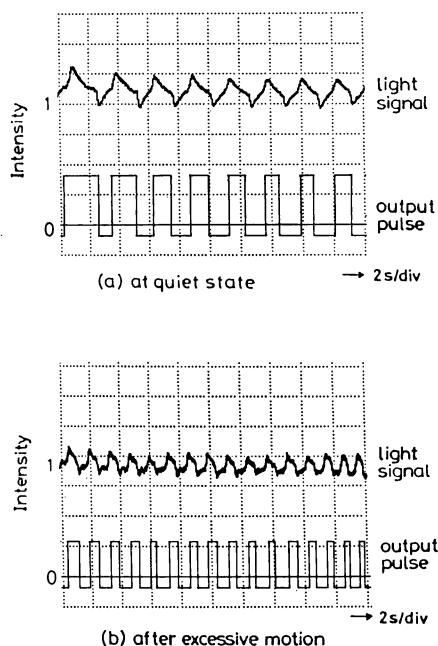


Fig. 5 Waveforms of the detected light signal and the processed electronic pulse in absorption type: (a) for steady state and (b) for throbbing state after excessive motion.

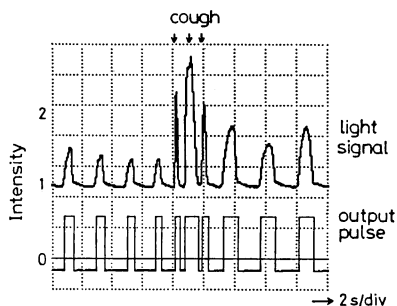


Fig. 6 Waveforms of the detected light signal and the processed electronic pulse in fluorescence type for a few coughs.

は現在のところ現れておらず、長時間の使用にも耐えられるものと考えられる。

以上のように、2種類の色素ドーブ光ファイバを用いる呼吸モニタシステムの動作例を示したが、いずれも呼吸状態の実時間モニタや呼吸数の自動計測に利用できる

ことが明らかにされた。特に、蛍光型色素ドーブファイバを用いるものはより応答性が速く、かつ呼吸状態を忠実に波形化していると考えられるので、喘息や気管支炎などによる微妙な呼吸波形変化の診断用としての利用の可能性もある。

5. ま と め

本論文では、重症患者の容体などを実時間で、かつ、遠隔モニタする方法の一つとして、呼吸状態の光センシングについて検討を試みた。その結果、呼気に含まれる水分量の変化を色素ドーブ光ファイバで検出することにより、咳やたん詰りなどの異常呼吸状態を高感度に、かつ、実時間でモニタできることが明らかにされた。また、呼吸数の自動計数も簡単に実現できた。このなかでも、とくに蛍光型色素ドーブ光ファイバを使用したシステムでは、呼吸状態をより忠実に反映した波形が得られるようなので、呼吸器系の診断への応用も期待できる。今後これらのシステムのよりコンパクト化と種々の環境下におけるデータの蓄積を通して、その実用的な応用について詳細に検討していきたい。

文 献

- 1) 齊藤正男: 生体工学 (コロナ社, 東京, 1985) pp. 39-44.
- 2) 大越孝敬: 光ファイバセンサ (オーム社, 東京, 1986) pp. 5-11, 162-163.
- 3) 片岡照栄, 紫田幸男, 高橋 清, 山崎弘郎: センサハンドブック (培風館, 東京, 1986) pp. 1070-1083.
- 4) 清水哲郎: 化学センサ (共立出版, 東京, 1985) pp. 37-48.
- 5) 新田正義, 武田義章, 原留美吉: ガスセンサとその応用 (パワー社, 東京, 1987) pp. 128-131.
- 6) S. Muto, A. Fukasawa, T. Ogawa, M. Morisawa and H. Ito: "Optical detection of moisture in air and in soil using dye-doped plastic fibers," Jpn. J. Appl. Phys., **29** (1990) L 1023.
- 7) S. Muto, A. Fukasawa, M. Kamimura, F. Shinmura and H. Ito: "Fiber humidity sensor using fluorescent dye-doped plastics," Jpn. J. Appl. Phys., **28** (1989) L 1065.
- 8) 深沢明彦, 小川孝行, 森澤正之, 武藤真三, 伊藤 洋: "色素ドーブの吸収型光ファイバによる湿度呼吸センシング", 第37回応用物理学関係連合講演会予稿集 (1990) p. 950.
- 9) 森澤正之, 深沢明彦, 小川孝行, 武藤真三, 伊藤 洋: "色素ドーブファイバによる呼吸状態の光センシング", 第50回応用物理学学会学術講演会講演予稿集 (1989) p. 46.