

プログラマブル人工呼吸器による 階層型ファジィ制御

- Hierarchical fuzzy control of human respiration using programmable respirator -

嘉本光雄* 若松秀俊** 影井清一郎*

*横浜国立大学 工学部 **東京医科歯科大学 医学部

1 まえがき

人間の呼吸器系を制御対象とみなし、体組織中の代謝量に変動があっても肺胞気炭酸ガス濃度を一定に保つ制御器を作ろうとする試みがこれまで幾つか行われてきた。これらの多くはPID制御方式を用いている。^[1]ところが、呼吸器系は非線形性を含んでおり、また、個体差^[2]、経時変化などもあるので、呼吸器系を線形近似して制御法則のパラメータを決定している従来のPID制御方式には限界がある。

本報告では、呼吸器系の非線形性や個体差にも対応する階層的なファジィ制御を考案した。この制御器は、代謝量に変化しても肺胞気炭酸ガス濃度(出力)を一定に保つように肺胞換気量(入力)を調整する。

2 方法

2.1 制御系の構成

図1に、制御入力を肺胞換気量、出力を肺胞気炭酸ガス濃度とするファジィ制御器を含んだフィードバック制御系を示す。図中のパラメータ調整部では個体差によるデータから入力の変動分 Δu のウエイトを決定し、ファジィコントローラ部では代謝量の変動を外乱とみなし制御偏差 e から Δu を次式で与える。

$$\Delta u = f(e) \times \text{weight} \quad (1)$$

ここで、 $f(e)$ は、ファジィ規則から決定される個体によらない値である。

2.2 パラメータ調整部におけるウエイトの決定

複数の個体データから Δu のウエイトを決定する。体格の違い(大人と子供、身長、体重、性別)や遺伝的優劣(スポーツ経験の有無、喫煙の有無)などにより肺胞気炭酸ガス濃度(出力)に与える影響が異なるため、式(1)の weight を変える必要がある。しかし、人工呼吸器が医療現場で用

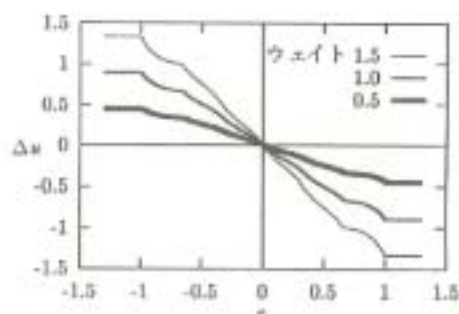


図2: e と Δu の関係(ウエイト1.5,1.0,0.5の場合)

いられるときは、制御対象(患者)から得られるデータには限りがある。そこで、正確な値が分からない時にはおおよその値(ファジィ値)を与えることにより、図1のパラメータ調整部でファジィ推論を行って Δu のウエイトを決定する。

2.3 ファジィコントローラ部における Δu の決定

制御偏差 e から入力の変動分 Δu を決定する。代謝量を外乱とみなすので、外乱の影響が一番小さい積分動作だけを用いた。これはシミュレーションや実験からも確認できた。実際に用いたファジィ制御規則(ファジィ推論)は、目標値と出力値の差(制御偏差 e)が正の大きい値なら入力量を前回の入力量より大きく減らせ(Δu を負の大きな値にせよ)といった、いくつかのif-then形式のファジィ規則をor結合したものである。^[3]この制御偏差 e と入力の変動分 Δu の関係を図示すると図2のようになる。ただし、 e 、 Δu 共に $[-1, 1]$ に規格化してある。また、直線の傾きは前述の Δu のウエイトにより変化する。

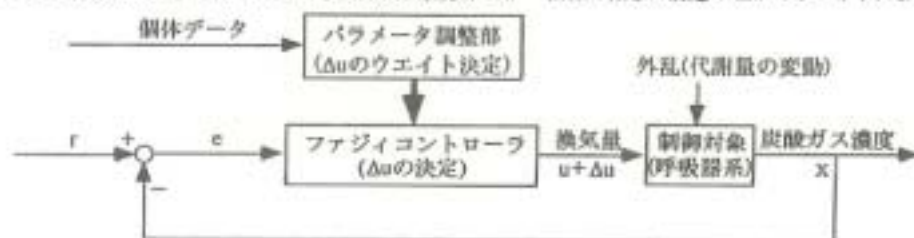


図1: 制御系の構成

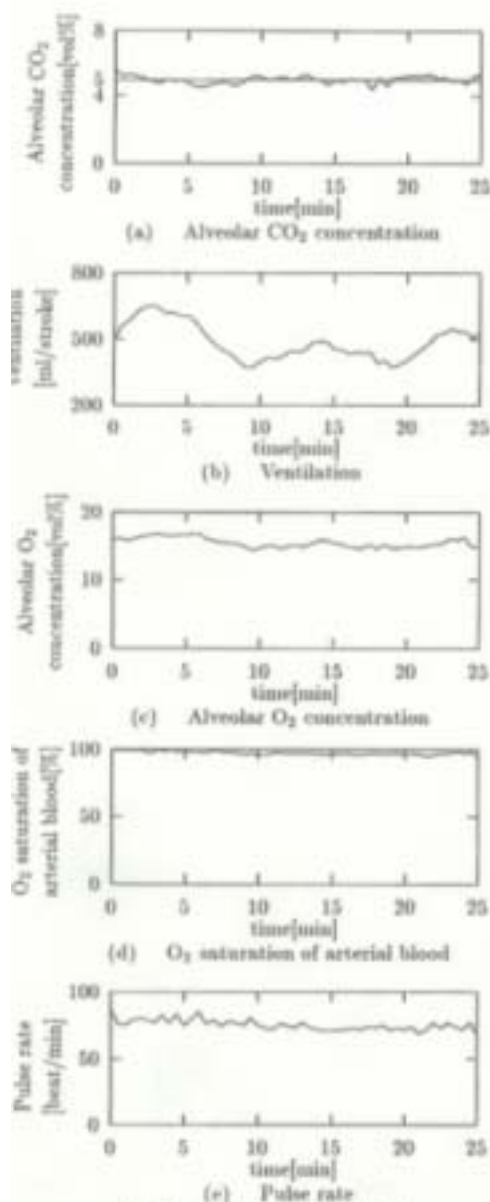


図3 : 実験結果 (目標値 5%)

2.4 シミュレーション

呼吸器系のモデルとして知られている双線形モデル式(2)を制御対象として図1のシミュレーションを行い、本方法の妥当性を調べた。

$$\left. \begin{aligned} V_1 \frac{dx}{dt} &= a \{ F^i(CO_2) - x \} + Q(y - Box - \beta) \\ V_2 \frac{dy}{dt} &= m - Q(y - Box - \beta) \\ \frac{d(Q - Q_0)}{dt} &= a_Q(Q - Q_0) + b_Q(m - m_0) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで、 x は肺胞気炭酸ガス濃度 [vol%]、 y は混合静脈血の炭酸ガス濃度 [vol%]、 m は炭酸ガス体積に換算した単位時間当たりの体内の代謝量 [l/min]、 a は肺胞換気量 [l/min]、また、 V_1 は肺胞の全容積 [l]、 V_2 は体組織の等価全容積 [l]、 Q は血流量 [l/min] である。なお、 Q_0 、 m_0 は平衡点での値、 $F^i(CO_2)$ 、 B 、 α 、 β 、 a_Q 、 b_Q は定数である。^[4]

シミュレーションでは、代謝量 m を平衡点での値からその±10%の範囲で乱数を用いて変化させて外乱とした。

3 人工呼吸装置による肺胞気炭酸ガス濃度の制御

プログラマブル人工呼吸装置^[5]を用いて、健康者に対する実験を行った。結果を図3に示す。本方法により、満足できる制御が得られている。

4 おわりに

呼吸器系のファジィ制御器を階層的に構成し、シミュレーション及び実験でその性能を確かめた。本方法は様々な条件に適応可能かつ安定性にも優れている。なお、制御に用いるデータは無侵襲かつ容易に得られるため、患者にとって負担が少なく実用性に富んでいる。

個体データを与えずとも学習により自動的にウエイトを調整できるような制御器の構成は今後の課題である。

参考文献

- [1] Wakumoto, H. (1993): Comparison of control performances in artificial respiration by different adaptive methods using programmable respirator. prepr. World Congr. IFAC Biomed. Control, 467-472.
- [2] 橋本晋一 他 (1987.5): 新編臨床検査講座 臨床生理学. 医歯薬出版株式会社. 291-343.
- [3] 菅野道夫: ファジィ制御. 日刊工業新聞社.
- [4] 若松, 野城, 影井 (1981): 非線形逆系を用いた肺胞気炭酸ガス濃度の定値制御. ME誌. 19, 438-441.
- [5] 若松, 梅沢, 高草 (1991): プログラマブル人工呼吸装置の開発と呼吸器系の特性測定. 創学社報. MBE91, 74.