

B-7 人工呼吸による肺胞気炭酸ガス濃度の定値制御 — ファジイ推論を用いたPIコントロール —

影井清一郎・大里有生(横浜国大・工)、若松秀俊(福井大学・工)

〔概要〕 双線形微分方程式で与えられる呼吸器系のモデルを用いて、肺胞気炭酸ガス濃度を一定に保つPIコントローラの設計を試みた。通常のPIコントロールでは、非線形性のため、代謝量の変動の大きさによって系が理論上不安定になることがある。このため、制御対象の動作と7個の規則からファジイ推論を用いて、コントローラの比例および積分動作の係数を更新する。シミュレーションの結果、代謝量の変動によって生ずる可能性のある振動が理論上抑えられることがわかる。

〔呼吸器系のモデル〕 臨床上重要な人工呼吸制御の一つとして、体組織中の代謝量: m [l/min] の変化に対し肺胞気炭酸ガス濃度: x [vol%] を一定に保つように肺胞換気量: u [l/min] を調節する定値制御がある。ここでは、呼吸器系のモデルとして、従来の双線形微分方程式によるモデル [1, 2] に、実際の制御系を念頭において、 u についての遅れ時間: T_d [min] を考慮した次式を用いる。

$$V_1 \frac{dx(t)}{dt} = [F(CO_2) - x(t)]u(t - T_d) + [y(t) - B\alpha x(t) - \beta]q(t) \quad (1)$$

$$V_2 \frac{dy(t)}{dt} = m(t) - [y(t) - B\alpha x(t) - \beta]q(t) \quad (2)$$

$$\frac{dq(t)}{dt} = -a_0[q(t) - q_0] + b_0[m(t) - m_0] \quad (3)$$

なお、 q は血流量 [l/min]、 y は混合静脈血の平均炭酸ガス濃度 [vol%]、また、 V_1 、 V_2 、 $F(CO_2)$ 、 B 、 α 、 β 、 a_0 、 b_0 は定数、 q_0 、 m_0 は q 、 m の平衡値である。

〔PIコントローラの設計〕 平衡状態 $x = x_0$ 、 $y = y_0$ 、 $m = m_0$ 、 $u = u_0$ 、 $q = q_0$ にある呼吸器系に $t = 0$ で $m = m_0(1 + \Delta M)$ なる外乱が加わったとする。このとき、 $x = x_0$ となるように u を操作することを考える。いま、サンプリング間隔: Δt における u の変化量を次式で与える。

$$\Delta U = A e + B \Delta e \quad (4)$$

ここで、 $U = (u - u_0) / u_0$ 、 $e = (x - x_0) / x_0$ 、 A 、 B は、それぞれ、積分および比例動作の係数に対応している。 A 、 B は、次式で与えられる評価関数: E が十分小さくなるように決められる。

$$E = \frac{1}{\Delta M} \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (5)$$

文献 [2] に示されている数値例 (および、 $\Delta t = 0.2$ [min]、 $T_d = 0.4$ [min]) について、 $E = 0.3$ [min] となる曲線を A — B 平面で描いたのが図 1 である。 ΔM の範囲を決めれば、この図を用いて、適当な A 、 B の値を選ぶことができる。例えば、 $\Delta M = -0.5 \sim 1$ のとき、 $A = 1.2$ 、 $B = 2$ とする。

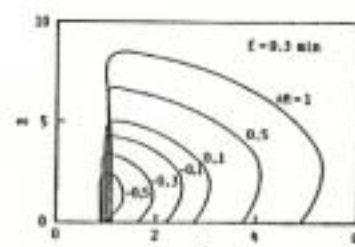


Fig. 1 Evaluation of PI Control System.

〔ファジイコントローラ〕 ΔM が設定値の範囲外るとき、制御系が理論上不安定になることがある (図 3 a 参照)。そこで、図 2 に示すような制御系を考える。ここでは、対象の動作に追従させて PI コントローラのパラメータ: A 、 B を更新する。このパラメータの更新にファジイ推論を用いる。

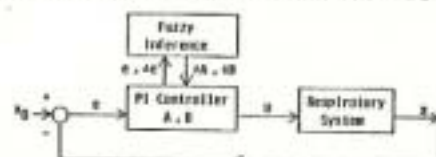


Fig. 2 Fuzzy Control System of respiration.

このファジイPIコントローラを用いると、図 3 に示されるように、通常のPIコントロールで生ずる可能性のある振動が理論上回避できることがわかる。

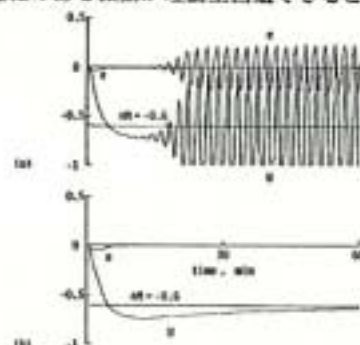


Fig. 3 Comparison of Response Curves. (a) conventional PI controller; (b) fuzzy PI controller.

〔参考文献〕 1. Mäthler, R. P., Bilinear control processes, Acad. Press, N.Y. (1973).
2. 若松他, 医用電子と生体工学, 13, 438 (1981).