

## 2030 入出力静特性を用いた呼吸調節系の制御

東京医科大学 高野 健爾, 若松 秀俊, 宮原 逸郎, 石田 明允  
 東産医用電子(株) 梅垣 齊裕  
 Control of respiratory system using its input-output static characteristics.  
 I. Takahara\*, H. Wakamatsu\*, I. Miyazato\* and A. Ishida\*  
 I. Ueogaki\*\*

\* Faculty of Medicine, Tokyo Medical and Dental University, Yushima, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan  
 \*\* Toa medical electronics Co. Ltd., Takatsukadai, Nishiku, Ichibanji, Hyogo, 651-22, Japan

ABSTRACT A respiratory system is treated as a linear system with time-varying characteristics, although it has a nonlinear characteristics depending on the difference of individuals and chronic change of their parameters and physiological state. Its dynamics is characterized by a single input-output system whose input and output are ventilation and alveolar  $\text{CO}_2$ -concentration, respectively. As a respiratory system has an approximately proportional relation between various constant ventilation amounts and their corresponding settling values of alveolar  $\text{CO}_2$ -concentration, an adaptive control method using an input-output static characteristics is applied to the control of alveolar  $\text{CO}_2$ -concentration. The method is confirmed to give a good control performance in clinical experiments of artificial respiration for subjects both at rest and at light exercise.

1. はじめに  
 呼吸調節系は生体機能特有の非線形性や個人差、経時変化に加えて、代謝量の変動が肺胞気炭酸ガス濃度に影響を与えるなど、大きな非線形性をもっている。しかしながら、本研究ではこれらの非線形性をすべて呼吸調節系の特性の変化とみなして、換気量を入力量、肺胞気炭酸ガス濃度を出力量とする一入出力系と仮定した<sup>1)</sup>。一定の換気量に対する肺胞気炭酸ガス濃度を測定し、呼吸調節系の入出力静特性を求めた。その結果から、先に提案した入出力静特性に注目した適応制御系<sup>1)2)3)4)</sup>を用いて呼吸調節系の制御系を構成し、肺胞気炭酸ガス濃度の制御を行い、その有効性を確かめた。

### 2. 呼吸調節系の制御

#### 2.1 呼吸調節系の入出力静特性

本研究者が開発したプログラマブル人工呼吸装置<sup>5)</sup>を用いて、呼吸調節系を換気量および肺胞気炭酸ガス濃度を入出力量とする一入出力系とみなして、その静特性を測定した。測定はFig. 1 に示した機器構成で行った。

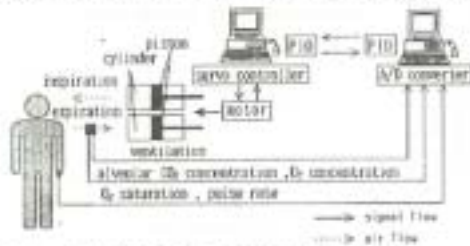


Fig. 1 呼吸調節系の静特性測定機器構成図

サンプリング周期を 30 [sec] とし、1 割換気量を 100 [ml] から 15 [min] おきに 100 [ml] ザラ増加させたときの肺胞気炭酸ガス濃度の変化の様子を Fig. 2 に示した。それぞれの換気量に対する肺胞気炭酸ガス濃度の安定値はほぼ一直線上に並んでいることがわかる。

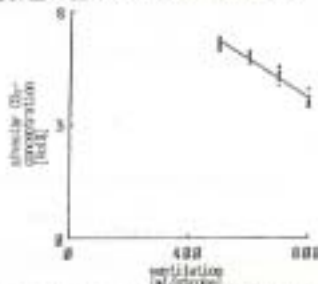


Fig. 2 一定換気量に対する肺胞気炭酸ガス濃度の変化

#### 2.2 肺胞気炭酸ガス濃度の制御

2.1 で得られた呼吸調節系の入出力静特性の結果から、Fig. 3 に示した入出力静特性を利用した肺胞気炭酸ガス濃度の適応制御系を構成した。制御システムは Fig. 1 と

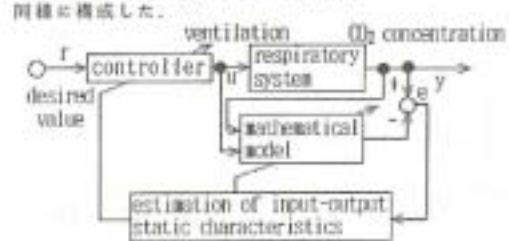


Fig. 3 制御系のブロック線図

同様に構成した。  
 安静な臥位状態にある健康者を対象に、サンプリング周期を 30 [sec] とし 10 [min] 制御した。この際、被験者の肺胞気炭酸ガス濃度の平衡点から制御開始後 15 [min] で -1.0 [k] だけステップ状に変化するものを目標値として選んだ。さらに、制御系のロバスト性を確認するために、同様的目標値を設定して、制御開始後 15 [min] から 20 [min] まで、被験者に荷臥状態のままエルゴメータによる軽い運動負荷を与えることにより代謝量を変動させた。Fig. 4 および Fig. 5 にそれぞれの制御結果を示した。Fig. 4 では、肺胞気炭酸ガス濃度はほぼ目標値に追従していることがわかる。目標である積分 2 乗誤差も平均になっており、十分に制御できたと考えられる。Fig. 3 についても、制御開始後 15 [min] から 20 [min] までの代謝量の変動が肺胞気炭酸ガス濃度を増加させるのに対応して、換気量が増加しており、肺胞気炭酸ガス濃度は目標値に追従している。安静時、運動負荷時のどちらの場合についても、その他の生理的なデータは安全な範囲で変動しており、実験環境に問題のなかったことを示している。

### 3. おわりに

入出力静特性直線を用いた制御法に基づいて、健康者を対象にして肺胞気炭酸ガス濃度の適応制御を行った。安静時および運動付加時の被験者のいずれも、代謝量の変動にもなる状態の変化に対応して適応的に入力が与えられ、有効な結果が得られた。しかしながら、制御系全体に関する安定性については今後の検討が必要である。また、制御中入力として設定した換気量の上限が続くことがあるなど、人工呼吸に応用するためには検討を要すと考えられる。

#### 参考文献

- 梅垣齊裕, 若松秀俊, 高野健爾: 入出力静特性直線を用いた制御系の設計. 医用電子と生体工学, 31, 114, (1993).
- 梅垣齊裕, 若松秀俊, 高野健爾: 呼吸静特性直線を用いた肺胞気炭酸ガス濃度の制御. 医用電子と生体工学, 31, 114, (1993).
- Wakamatsu H.: Comparison of control performances in artificial respiration by different adaptive methods using programmable respirator. Proc. IFAC 12th World Congr., to appear, (1993).
- 高野健爾, 若松秀俊, 石田明允, 梅垣齊裕: 制御対象の入出力特性を利用した一制御法. 第 36 回自動制御連合講演会論文集, (1993).
- 高野健爾, 若松秀俊, 宮原逸郎, 石田明允: プログラマブル人工呼吸装置を用いた肺胞気炭酸ガス濃度の制御. 第 10 回呼吸管理の総研学会資料, (1993).

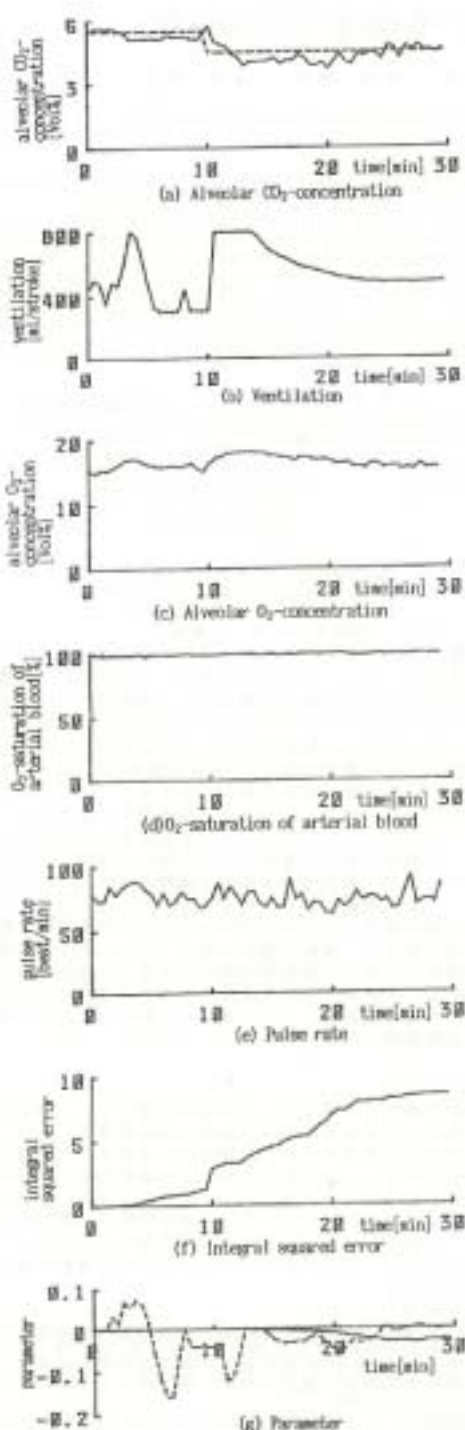


Fig. 4 安静な被験者に対する肺動気炭酸ガス濃度の制御結果

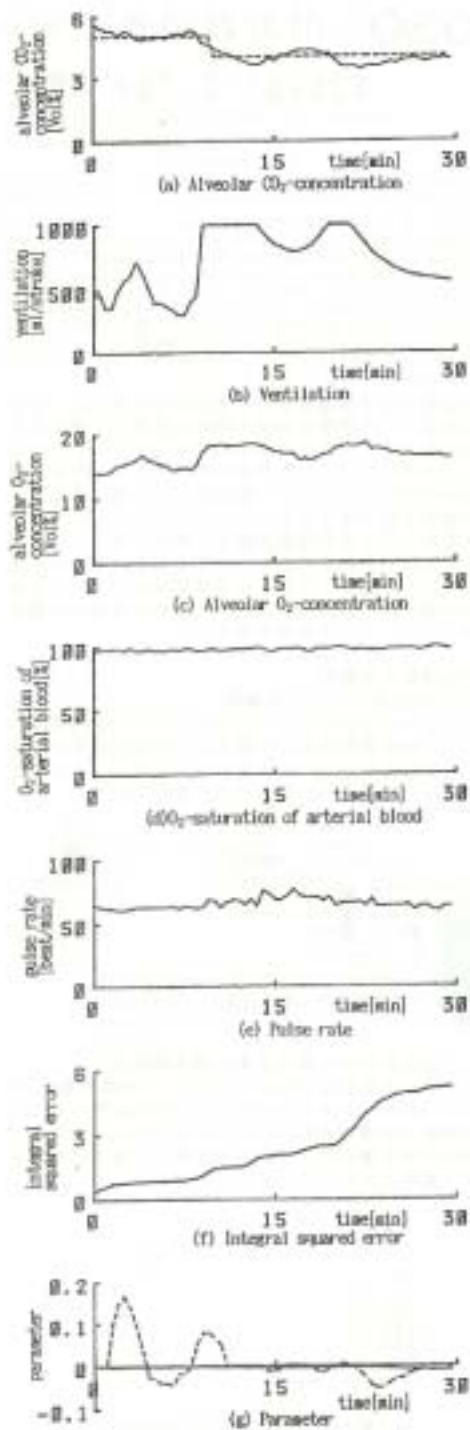


Fig. 5 運動負荷を与えた被験者に対する肺動気炭酸ガス濃度の制御結果