

# 制御理論に基づいた呼吸換気曲線の調節

Regulation of Ventiratory Curve based on PI-control

---

○本間 達 若松 秀俊  
東京医科歯科大学大学院 保健衛生学研究科  
生体機能支援システム学

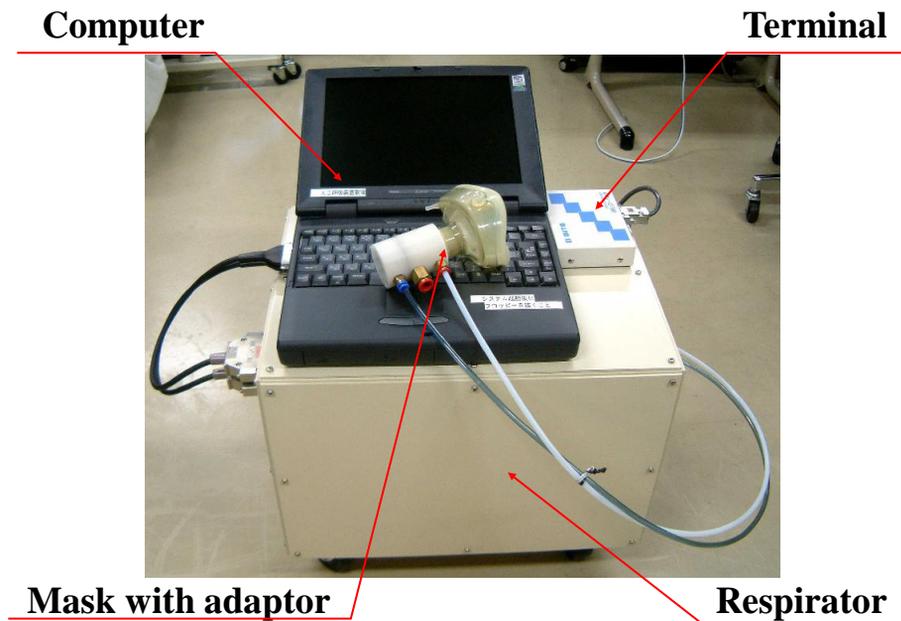
Satoru HONMA Hidetoshi WAKAMATSU  
Department of Biophysical System Engineering  
Graduate School of Health Sciences ,  
Tokyo Medical and Dental University

## 研究の背景

- ◆ ネットワーク回線を介してモニタリング可能な呼吸管理システムの開発
- ◆ 緊急時における遠隔の医療機関への救援要請と医師の操作による換気の調節
- ◆ 健常人の呼吸データに基づく新しい換気入力モデルの提案

## 研究の目的

- ★ 個体差・病態変動・経時変化にともなう換気曲線の自動調節アルゴリズムの構築  
従来提案してきた換気入力モデルを基礎に制御理論を用いて呼気ガス流量を決定
- ★ 自動調節した換気曲線と従来手法との比較検討  
健常人による実験データの検討

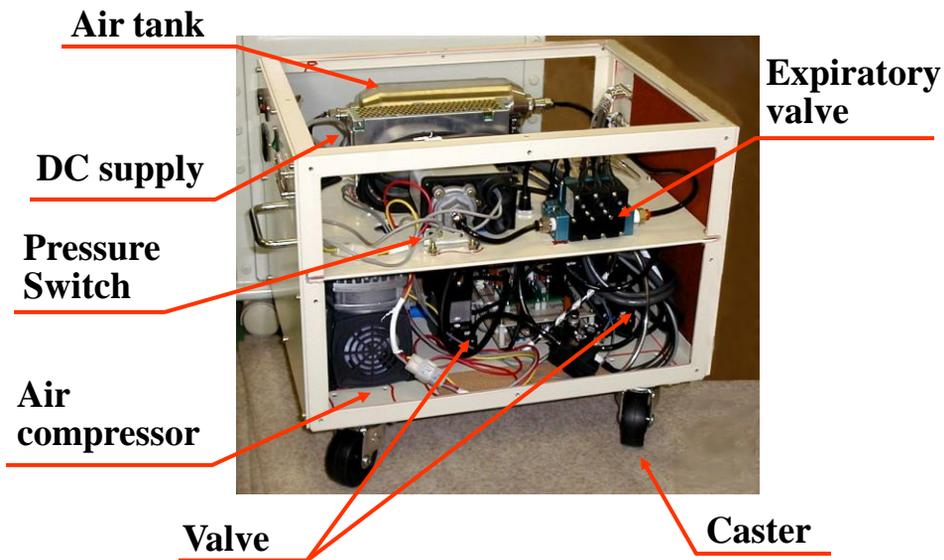


**Fig.1 Respirator with equipment for telecommunication**

Fig.1は遠隔ネットワーク通信対応の人工呼吸実験装置である。

コンピュータと接続した端末装置でインターネットもしくはLANを介して通信を行い，ネットワークカメラからの画像と，モニタリングデータによって遠隔の医師の診断を仰ぎ，必要に応じて遠隔から呼吸管理と機器の操作を行うことができる。

起動と同時に患者の呼吸状態に合わせて換気曲線を調節し，自動的に呼吸管理を行うと同時に，遠隔の医療機関などに救援を求めることが可能である。



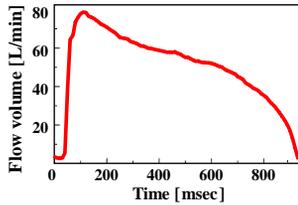
**Fig.2 Inner view of respirator**

Fig.2は人工呼吸実験装置の内部を表示している。

コンプレッサと2つの電磁弁を内蔵しており、単独で吸気ガスの流量を任意に調節可能である。必要に応じて酸素ポンペを接続し、酸素濃度を精密に調節して呼吸管理を行うことが可能である。

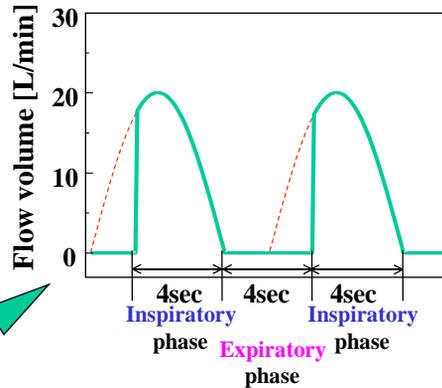
各機構の配置を工夫して小型軽量化した。重量8[kg]、大きさは445×290×360[mm]であり、キャスターによって移動は容易に行える。このため任意の場所で使用できる。

Mask with flow meter and adapter to the respirator



Ventilatory curve obtained from the healthy in inspiration

Tidal Volume = 500mL



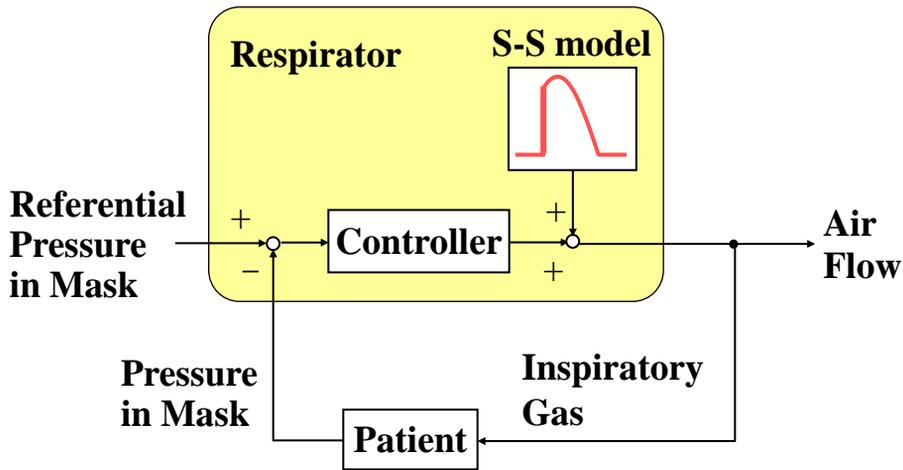
Newly proposing ventilation pattern (S-S model)

Fig.3 Outline of Step-Sinusoidal model

Fig.3は熱線流量計を用いて測定した健常人の呼吸曲線に基づいて作成した換気曲線入力モデルである。

吸気の開始時点ではStep状に入力し、その後正弦波(Sinusoid)状に変化する波形なので、Step-Sinusoidal model(S-S model)と定義する。

図のように最大値が20[L/min]で、吸気時間を4秒とした場合、1回換気量が500[mL]となり、**平均的な成人男性の換気量を保証**している。



**Fig.4 Block diagram of feedback control for pressure in mask with S-S model**

Fig.4はS-S modelを基本として患者の呼吸にあわせて換気曲線を調整するFeedback制御のブロック線図である。

患者の呼気により変化するマスク内の圧力を一定に保つように吸気ガスの調整量を決定し、S-S modelを調整した流量設定値で、人工呼吸装置から吸気ガスを送出する。

送出されたガスの呼吸により、マスク内圧力は常に変化するが、生じた変化量に応じて、吸気ガスの流量が調節される。

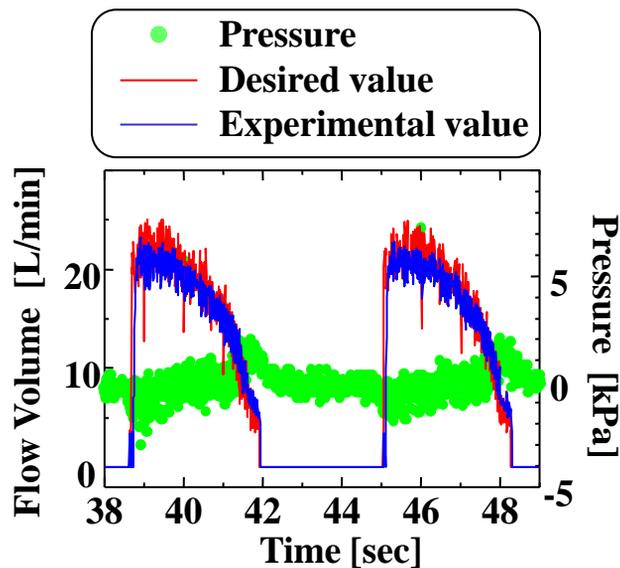


Fig.5 Response of the respirator in assisted respiration.  
(O<sub>2</sub> concentration 21.0% S-S model with P control)

Fig.5はS-S model(最大値20[L/min])を基本として、Fig.4に示したFeedback制御(P制御)により、患者に送出するガス流量を決定した場合の実験データである。

●は実測したマスク内圧力，赤線が決定したガス送出流量設定値，青線は実際に送出したガス流量である。酸素濃度は21.0%一定である。

患者が吸気し，マスク内圧力が下がるとガス流量設定値が生じて吸気相に移行し，マスク内圧力が上昇するとガス流量設定値が0となり，呼気相に移行する。

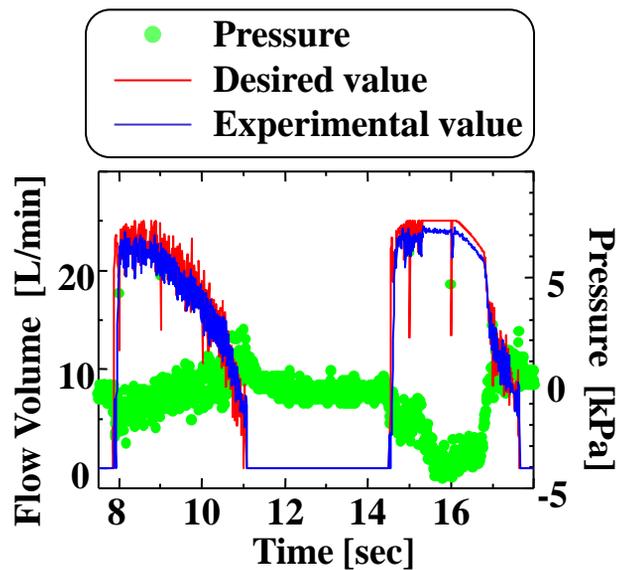


Fig.6 Response of the respirator in assisted respiration.  
(O<sub>2</sub> concentration 21.0% S-S model with P control)

Fig.6はS-S model(最大値20[L/min])を基本として、Fig.4に示したFeedback制御(P制御)により、患者に送出するガス流量を決定した場合の実験データである。

●は実測したマスク内圧力、赤線が決定したガス送出流量設定値、青線は実際に送出したガス流量である。酸素濃度は21.0%一定である。

吸気相で患者の深呼吸などにより(図右呼吸曲線)、マスク内圧力が低下すると、それに応じてガス送出流量が増加し、患者の必要とする換気が行われていることが示されている。

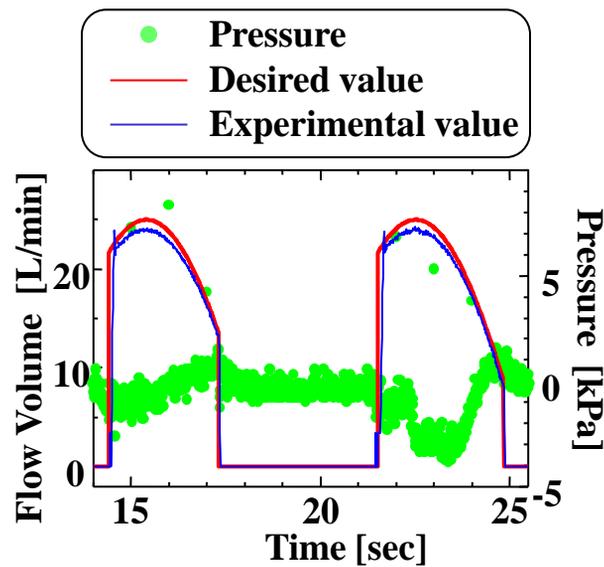
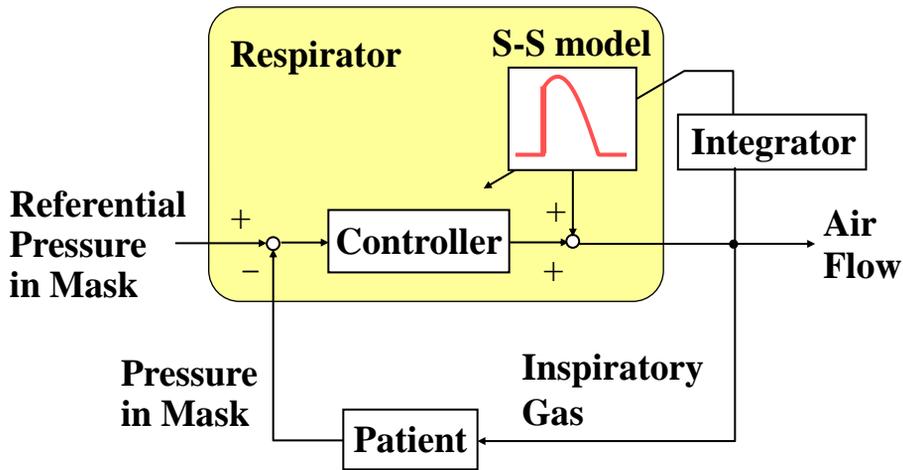


Fig.7 Response of the respirator in assisted respiration.  
(O<sub>2</sub> concentration 21.0% S-S model only)

Fig.7はS-S model(最大値25[L/min])により、患者に送出するガス流量を決定した場合の実験データである。

●は実測したマスク内圧力，赤線が決定したガス送出流量設定値，青線は実際に送出したガス流量である。酸素濃度は21.0%一定である。

吸気相で患者の深呼吸などにより(図右呼吸曲線)，マスク内圧力が低下しても，呼吸管理曲線には反映されない。



**Fig.8 Block diagram of feedback control for pressure in mask with S-S model regulated by respiration.**

Fig.8はS-S modelを基本として患者の呼吸にあわせながら換気曲線を調整し、さらに換気ごとの一回換気量を反映して、S-S modelを患者の病態変化に合わせて逐次調整する制御のブロック線図である。

このアルゴリズムの実装と有効性の検討については、今後の研究課題であるが、その実現により、さらに個体差・経時変化・病態変化に対応出来るようになる予定である。

また、酸素濃度の変化による病態改善への有効性についても検討していく予定である。

## まとめ

- ★健常人の呼吸曲線に基づく Step-Sinusoidal model を制御理論により逐次調整し、使用者の呼吸に追従する呼吸管理アルゴリズムを構築した.
- ★従来手法と比較して本手法では、使用者の呼吸に追従し、自動調整可能なことを確認した.