

平成 22 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19560408
 研究課題名（和文） 呼吸システムの実用的数理モデルの構築方法とその人工呼吸への応用
 研究課題名（英文） Construction method of practical mathematics model of respiratory system and its application to the artificial respiration.
 研究代表者
 金江 春植（KANAE SHUNSHOKU）
 福井工業大学・工学部・准教授
 研究者番号：90274555

研究成果の概要（和文）：本研究は，人工呼吸のための実用的な数理モデルの構築を目的とし，呼吸モデルの推定方法やその人工呼吸への応用について研究開発を行った．呼吸モデルの特徴や運用環境を勘案し，呼吸の周期性に基づくパラメータ推定法，デュアルレートシステムの同定法，異なる未知時間遅れをもつ連続時間システムの同定法，バイアス補償原理に基づく補助変数推定法，履歴特性を考慮した呼吸モデルとその推定法などの提案し，さらに換気条件を設定する方法として静的 P-V 曲線回転変換法を開発した．

研究成果の概要（英文）：In this project, estimation method of respiratory model and its application to artificial respiration are investigated for constructing practical mathematics model. Taking the feature of respiratory model and environment of artificial respiration system into consideration, parameter estimation method considering respiratory periodicity, identification method of dual-rate sampled-data system, identification method of continuous-time systems with multiple unknown time delays, bias-compensated instrumental variables type estimation method, a respiratory model considering hysteresis and its parameter estimation method are proposed. Furthermore, a method of rotation transformation of static P-V curve is developed for decision of ventilation condition.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
H19 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
H20 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
H21 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度	-	-	-
年度	-	-	-
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：システム工学

キーワード：呼吸モデル，システム同定，パラメータ推定，ヒステリシス，人工呼吸，換気条件，連続時間モデル，数値積分

1. 研究開始当初の背景

肺のエラスタンスや気道の空気抵抗等の呼

吸システムの特徴は人の年齢、性別、体質、病状などによって千差万別であるが、人工呼

吸の設定に関しては個々の医師がそれぞれの経験や勘によって行うのが現状であり、新米の医師はもちろんのこと、ベテランの医師もその設定に迷うことが多い。我々がこの課題に注目したのも数年前のあるベテラン小児科医からの相談がきっかけである。この先生は呼吸能力も不完全な未熟児の治療に当たっていたが、人工呼吸時の気圧、流量、体積などの測定値から何らかのヒントが得られないかとのことであった。

学術的には、肺のモデルについてはかねてから医学界では解剖学・物理学的アプローチにより研究が進められ、呼吸の力学に関する一定の医学的知見が得られているが、そこに用いられた測定手法は摘出肺の直接計測に代表される研究のための手法であって、決して治療のための手法ではなかった。後に、Otis, MeadやMountらがそれぞれ呼吸系の圧力と体積を関係づける2次線形微分方程式モデルを提案し、モデル推定時に体内に計測機器を挿入することなく、呼吸器側の圧力・流量・体積の測定値だけによる推定を可能にしたが、肺のエラスタンスは定数と仮定しているため、圧力限界点の検出が不可能であり、人工呼吸の設定には向いていなかった。また、村松らが肺のエラスタンスを体積の多項式で表現した非線形回帰モデルを提案し、エラスタンスの非線形性を表現している点では前進したが呼吸の動特性を十分に表現できず、結果的に信頼できるエラスタンスの推定が得られなかった。

このような状況を踏まえ、我々は「人工呼吸における医療支援システムの開発」という課題を立案し、3年近くの研究を経て、エラスタンスとレジスタンスの多項式表現による非線形微分方程式モデル、およびエラスタンスとレジスタンスのRBFネットワーク表現による非線形微分方程式モデルを提案し、そのモデルの推定や得られたモデルに基づく気道内圧上限値の決定について一定の知見を得ていたが、研究が深まるにつれ、オンラインで処理する場合のデータの前処理方法、人間の呼吸システム特性の揺らぎの対処、呼吸深度の不十分によるデータ不足の対処、インターネットを介在して遠隔モニタリングする場合通信不良によるデータの欠損の対処、呼吸状態の善し悪しを判別する評価基準の確立、観測データから気道内圧上限値の最適値を決定する直接法の開発などの問題が明白になり、本研究でこれらの問題の解決策を考えることとなった。

2. 研究の目的

(1) 呼吸の揺らぎや呼吸系特性の変化、及び観測雑音やドリフトに対応できる適応型

パラメータ推定法を確立する。

(2) 気道内圧上限の保守的設定による情報不足や通信不良によるデータ欠損への対処法を確立する。

(3) 患者の肺のエラスタンス特性と呼吸時の気圧、流量、体積諸量の測定値から人工呼吸の最良設定を直接推定する方法を開発する。

(4) インターネットを介在した遠隔モニタリング。

これによって、医師は人工呼吸を受ける患者の呼吸状態を正確に把握でき、容易に各々の患者に適した人工呼吸の最良設定が可能になる。また、人工呼吸の遠隔モニタリングは遠隔医療や在宅看護の技術基盤となる。

3. 研究の方法

(1) 研究の目的に沿って、研究課題をモデル構造の決定、パラメータ推定法の開発、データの前処理方法の調査、モデルと推定法の検証、換気条件の設定法の開発など、各サブテーマに分け、研究代表者と分担者がそれぞれ分担して研究開発し、緊密に研究討論を重ねる。また大学院生に一部のテーマを分担させ、積極的に研究活動に参加するようにする。

(2) モデル構造、パラメータの推定法、換気条件の設定法など、理論的な構想を数値シミュレーションや医療の実データにより検証し、またその構想を見直すという作業を繰り返しながら、各手法を確立させる。また、必要に応じて医療の専門家を招いて議論し、検証を行う。

(3) 開発のモデルや手法を積極的に学会などの場で発表し、関係者以外の方からも広く意見を聞き、各アルゴリズムや手法の改善を図る。

4. 研究成果

(1) 呼吸の周期性と変動を考慮した呼吸モデルのパラメータ推定法の提案。呼吸の摂動や計測装置のドリフト、ノイズの影響により、各呼吸サイクルにおける呼吸モデルのパラメータと静的P-V曲線の推定結果が大きく変動することがあり、気道気圧の上限値の決定を難しくしている。そこで、呼吸の周期性に着目し、適切な周期数に渡るa)データ平均；b)パラメータ平均；c)静的P-V曲線の平均の各方法を提案し、比較検討した。この手法により安定した推定値を得ることができるようにした。(学会発表、)

(2) デュアルレートシステムの同定法。人工呼吸において計測装置の違いにより、各計測変数のサンプリング周期が異なるケースも想定される。ここで、リフティング手法により、デュアルレートシステムが状態空間表現できることを明らかにし、この場合におけ

る因果関係に注意して、状態空間モデルの推定に有効とされる N4SID 法を修正適用することでモデルのパラメータを推定する。(雑誌論文)

(3) 多数個の未知時間遅れを持つ連続時間システムの同定法。インターネット越しで人工呼吸の医療支援システムを運用する場合、データの収集に異なる未知時間遅れが存在する。本研究は、連続時間システムに異なる未知時間遅れが入力に存在する場合、時間遅れと伝達関数のパラメータを分離して推定する繰り返しグローバル分離型非線形最小二乗法というアルゴリズムを導出し、さらにこのアルゴリズムを分離型非線形補助変数法に発展させ、パラメータ推定値のバイアスをなくすことが出来るように工夫した。(雑誌論文)

(4) Error-in-variables モデルのパラメータ推定法の改良。微分方程式で記述された呼吸モデルのパラメータを推定するためにこれに対応する離散時間型同定モデルの回帰式に変形する必要があるが、このとき、各変数には観測雑音や変換による誤差が含まれ、一種の Error-in-variables モデルを同定する問題となる。本研究は、バイアス保証の基本原則に基づき、種々の改良型補助変数法を提案した。(雑誌論文 , 学会発表)

(5) 呼吸の履歴特性を考慮した呼吸システムのモデル構造の提案とそのパラメータ推定について。以前の研究において、人工呼吸の数理モデルとしてエラスタンスの多項式表現による非線形二階微分方程式モデルと RBF 表現による非線形二階微分方程式モデルを提案しているが、このようなモデルでは呼吸全過程において肺の特性が同一であると仮定している。しかし、吸気相と呼気相では肺の特性が異なり、肺の圧力と気量の関係を表す静的 P-V 曲線は履歴特性を示している。本研究では、肺のエラスタンスに特有の履歴特性を考慮し、呼気と吸気とで異なるパラメータをもつモデルを提案した。さらに、呼気と吸気の相が変わるポイントでは動的 P-V 曲線と静的 P-V 曲線が重なる点に注目し、拘束付きパラメータ推定問題として、モデルのパラメータを推定する。(学会発表)

(6) 換気条件の設定法に関して。気圧上限値は人工呼吸において換気条件を決める重要な設定値である。本研究では、肺のエラスタンス特性の推定に基づく人工呼吸の気圧上限値の決定する回転変換法による決定アルゴリズムを提案した。この手法は曲率を直接計算する方法よりも計算が簡単で、しかも観測雑音に強い特徴を持っている。本手法は

実臨床データによりその有用性が確認された。(雑誌論文 , 学会発表 , ,)

(7) その他、呼吸状態を評価する合理的な数値的基準の設置はシステムティックに最良換気条件を決定する上で欠かせないものであり、その評価基準を試行しているなかで、呼吸の気圧、流量、気量のみならず、血中酸素濃度などの有効情報を取り入れ、総合評価をする必要があるとの認識にいたり、現在も調査を続けている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

金江春植, 呼吸システムのモデリングと人工呼吸の換気条件の設定について, 計測と制御, 査読有, Vol.49, No.7, 2010, (掲載決定)

M. Ikenoue, S. Kanae, Z.J. Yang, and K. Wada, Identification of errors-in-variables model via bias-compensated instrumental variables type method, Int. J. of Innovative Comp., Info. & Cont., 査読有, Vol.2009, 2009, pp.29-40

P. Qin, S. Kanae, Z.J. Yang, and K. Wada, Identification of lifted state-space models for a class of dual-rate systems from input-output data, Research Reports on Information Science and Electrical Engineering of Kyushu University, 査読有, Vol. 12, 2007, pp.69-74

Z.J. Yang, T. Nagai, S. Kanae, K. Wada, Identification of continuous-time Systems with multiple unknown time delays by global nonlinear least-squares and instrumental variables methods, International Journal of Systems Science, 査読有, Vol. 43, 2007, pp.1257-1264

[学会発表](計7件)

市川篤紀, 金江春植, 和田清, 入出力観測雑音がある場合のシステム同定 - 補助変数の観点から -, 第38回制御理論シンポジウム, 大阪, 2009

金江春植, 楊子江, 和田清, 肺のエラスタンスの履歴特性を考慮した呼吸システムの同定について, 第53回システム制御情報学会研究発表講演会, 神戸, 2009

S. Kanae, Z.J. Yang, and K. Wada, Decision of Air-Pressure Limit Value

in the Case of Artificial Respiration, The 2008 IEEE International Conference on Information and Automation, ZhangJiaJie, China, 2008
金江春植, 楊子江, 和田清, 呼吸の周期性と変動を考慮した呼吸モデルのパラメータのオンライン推定について, 第52回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都, 2008
金江, 柳原, 楊, 和田, 人工呼吸における気道気圧上限値の設定について, 平成20年電気学会全国大会, 福岡, 2008
柳原, 金江, 楊, 和田, 呼吸モデルのパラメータ推定精度の向上について, 第26回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 鹿児島, 2007
S. Kanae, Z.J. Yang, and K. Wada, A Decision Method for Air-Pressure Limit Value Based on the Respiratory Model with RBF Expression of Elastance, Lecture notes in computer science 4492, Advances in neural networks - ISSN 2007, Nanjing, China, 2007

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金江 春植 (KANAE SHUNSHOKU)
福井工業大学・工学部・准教授
研究者番号：90274555

(2) 研究分担者

楊 子江 (YANG ZI-JIANG)
九州大学・システム情報科学研究院・准教授

研究者番号：30243984
(H21：連携研究者)

和田 清 (WADA KIYOSHI)
九州大学・システム情報科学研究院・教授
研究者番号：60125127
(H21：連携研究者)