

(様式2)

学位論文の概要及び要旨

氏 名 寺前 達也

題 目 マッサージシステムにおける生体信号処理と知的制御に関する研究

学位論文の概要及び要旨

【本論文の概要】

本論文はマッサージシステムにおける生体信号処理および知的制御について論ずるものである。ここで、マッサージには整体のような傷病を治療するものと、クイックマッサージのようなリラックスを求めるものがある。前者は医療行為であり、本論文におけるマッサージシステムでは後者のマッサージを対象とする。Fig. 1にプロのマッサージ師のマッサージプロセスと本論文で提案する制御手法の概要を示す。Fig. 1上図に示すように、一般的にマッサージ師は患者の身体的状態（コリや経穴位置、疲労など）および精神的状態（快-不快、興奮、鎮静など）を触診や会話などによって推察し、これらを考慮して過去の経験やノウハウから最適なマッサージを患者に施している。一方、機械的にマッサージを実現するマッサージチェアでは、あらかじめ決められた動作プログラムを実現するのみであり、使用者の状態に対して適応的にマッサージをすることができない。そこで、本論文では生体信号に基づく使用者の状態を考慮した知的制御手法を開発し、マッサージチェアにおいて実現することを目的とした。ここで、マッサージ師が行っているような身体的状態と精神的状態の両面を考慮した手法は非常に複雑となり、また身体と精神はそれぞれ相互に影響を及ぼしているため、システムの実現性や有用性の検証が困難となる。そこで、本論文では身体的状態を考慮した手法と精神的状態を考慮した手法の2手法を提案し、検証した。

【身体的状態を考慮した知的マッサージシステム】

使用者の身体的状態を考慮した手法として、Fig. 1下左図に示す皮膚筋系弾性特性に基づくマッサージ力制御手法を提案する。手法の流れは、i) 使用者の皮膚筋系弾性特性の推定、ii) 弾性特性とマッサージ力を関連付けたDBからマッサージ力の決定、iii) 決定した力のインピーダンス制御による実現、iv) 使用者の脳波から快-不快の推定、v) 推定結果に基づくDBのマッサージ力の更新、となる。このシステムはマッサージ師の触診プロセスに相当し、本システムによって使用者の身体の硬さ・コリに応じた力でマッサージが可能となる。また、その際にはマッサージ師と同様な押し込みを実現するため、インピーダンス制御を適用した。さらに、脳波による快-不快推定に基づき、使用者好みのマッサージ力を提供するようなDBへ更新していくとことで、システムが未知の使用者に対して適応可能となる。

第2章では、提案手法の詳細と検証について述べている。検証として6名の被験者で構築した皮膚筋系弾性特性とマッサージ力を関係付けたDBを構築し、現行のマッサージチェアを基にした実験機を用

いて i)～iii) の手順を実行した。この検証実験により、皮膚筋系弾性特性の推定と推定値からDBに基づいて決定したマッサージ力をインピーダンス制御によってマッサージ師と同様な押し込みで実現できることを確認した。また、本手法によるマッサージの前後に筋活動電位を取得することでコリ度合いを推定し、本手法の身体的な効果を確認した。以上の結果より本手法の実現可能性を見出した。本内容は論文「皮膚筋系の弾性特性に基づく知的マッサージシステムの構築」に相当する。

つぎに第3章では、手順iv)の脳波を用いた快-不快推定手法とその検証について述べている。推定手法として脳波データの相関性を考慮したk-means法による分類と追加学習型NNを用いた快-不快推定を提案した。検証では、17名の被験者に対して心地良いと感じているときと痛みを感じているときの指圧時脳波を取得し、相関性を考慮したk-means法によって5つのクラスに分類、クラスごとにNNを構築した。構築したNNによって検証データの識別を行い、各クラス82%以上の識別率を得た。また、上記の17名以外の未知の被験者9名に対しては識別率が60%となったが、NNの追加学習を行うことで識別率が79%以上に向上した。以上の結果より、本手法によって既知・未知に関わらず複数被験者の快-不快を高精度で推定できることを確認できた。本内容は主論文「k-means法とNNを用いたEEGに基づく快-不快推定とマッサージチェアへの応用」に対応している。

【精神的状態を考慮した知的マッサージシステム】

第4章では、精神的状態を考慮したシステムとしてFig. 1下右図に示す脳波に基づくマッサージ力制御手法の詳細とその検証について述べている。手法の流れはI) 使用者に対して現試行の入力であるマッサージ力の付与、II) マッサージ力の計測、III) マッサージ中の脳波の取得、IV) 取得した力と脳波、目標値から繰り返し学習制御を用いた次試行のマッサージ力の算出、V) I)～IV)を1試行分繰り返し、VI) 次試行のマッサージ力の更新、となる。このシステムでは使用者の精神状態の指標として脳波を扱い、繰り返し学習制御によって使用者の脳波を所望の状態に制御することを目指している。これは、マッサージ師が運動前では心身ともに興奮を促すようにマッサージを行い、逆に運動後では沈静化するようにマッサージをしていることに相当する。現行のマッサージチェアを用いて手順I)～VI)を7試行分実行し、試行ごとに被験者の脳波と目標値との誤差が減少することを確認した。また、従来法として同じマッサージ動作を7試行繰り返し与えたとき、被験者の脳波と目標値の誤差は変化しない傾向を示しており、提案する学習制御が正しく機能していることを確認した。また、手法の実現にはマッサージ力の計測が必要となる。そのため、本論文では加速度センサによる力推定を提案し、力センサ値と推定値の誤差平均が6%と十分な精度であることを確認した。以上の結果より、本手法の実現可能性を見出した。本内容は投稿中の論文「EEGを用いた繰り返し学習制御による快適マッサージの実現—力センサレス化と実機による制御実験—」に相当する。

【本論文の構成】

本論文は全5章で構成され、第1章では人間機械システムについて述べた後、対象をマッサージシステムとし、マッサージ全般およびマッサージ関連の先行研究について述べた。また、生体信号を人間機械システムへ応用した際の有用性および課題について論じ、最後に本論文の目的について記している。第2,3章で身体的状態として皮膚筋系弾性特性に基づくマッサージ力制御手法の実現性および有用性を検証した。第4章では精神的状態として脳波を用いた繰り返し学習制御によるマッサージ力制御手法の検証について記した。第5章では本論文の結論と今後の課題について論じた。

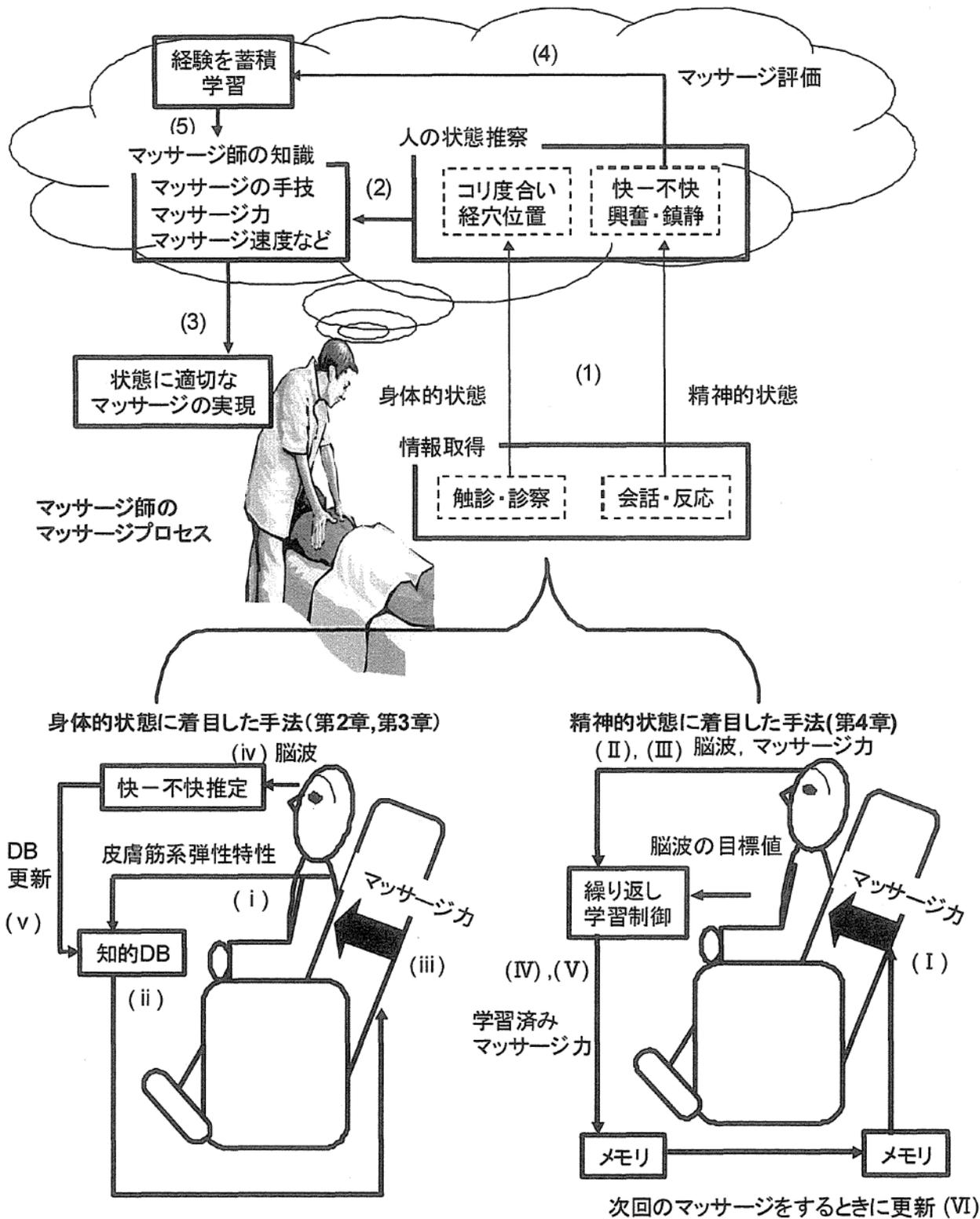


Fig. 1 マッサージ師のマッサージプロセスと提案手法の概要