

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 原田 達也

本論文では、成人かつ重篤でない人を対象にベッド上での関節動やねじりなどの大きな体動から呼吸や心拍などといった小さな体動までトータルに無拘束計測可能なシステムの提案と実現を行なった。これを実現する過程で得られた成果と知見は以下のようにまとめられる。

第1章では本研究の背景と目的について述べ、従来研究と比較により本研究の位置づけを明らかにした。

第2章では体動について整理し分類した。ここでは体動を大きく分けて微動と粗動に分類した。分類の基準は、骨格筋が主に働いて生み出される動作を粗動とし、横紋筋や心筋や内臓筋の動きの支配が大きな動作を微動とした。体動の中でもっとも大きなレベルを人の存在の有無とし、その下のレベルを人の姿勢、姿勢より細かいレベルでは関節の動きとした。さらに細くなると呼吸運動や心拍などとなる。関節動以上の動きは骨格筋の働きが支配的であるので粗動、呼吸より細かい動きは横紋筋や心筋や内臓筋の動きの支配的となるので微動とした。

第3章では体動計測システムについて述べた。本論文では重篤でない成人を対象としているため、軽度の人や健康者を対象とするには、計測対象者に精神的、肉体的な負担を与えないように、環境側に埋め込んだセンサ群により計測する機能が必要となる。また体動として計測される対象は、位置、四肢の動作、呼吸、心拍がメインであるのでこれらを計測できる必要があり、これらの必要機能を満たすために圧力センサを多数敷き詰めた体動計測システムを構築した。

第4章では粗動計測について述べた。一般的な健康な成人男性安静時の運動エネルギーはオーダー的には同じであり、これを基準とするとベッド上に人以外の物体を載せると運動エネルギーは一桁小さいことを示した。これよりベッド上での運動エネルギーを見積もることで人と物体との判別が可能であることを示した。ただし頭部の運動や目線の運動や呼吸運動なども抑制させた場合は、人と物体との判別は困難であることも示した。このような場合でも、人は非常にゆっくりとした動きをしており、この動きを観察すれば判別が可能であることも示した。人の姿勢を決定する重要な部位は骨突起部になっており、この部位は高い圧力のピークを示すため、圧力のピークと部位との対応を推定することでベッド上の人々の姿勢が決定できることを示した。圧力センサ分布面と身体との間の布団などの中間層が弾性体と仮定できる場合には、圧力センサ面で計測される圧力はセンサと身体との距離に反比例することを示した。これにより身体の表面形状モデルを利用することで圧力分布面の圧力は計算可能であると述べた。さらに計算される圧力分布と計測される圧力分布との誤差を利用することで寝ている人の関節の動きを追跡可能であることを示した。

第5章では微動計測について述べた。ベッド面で計測される呼吸曲線は計測部位により位相が異なるため、単純なセンサ同士の圧力の総和をとると呼吸曲線が相殺されてしまうが、安静時には呼吸運動が身体運動の中で支配的になるために、圧力分布から運動エネルギーを推定することで、呼吸曲線を相殺することなく計測が可能であることを示した。胸部や腹部の圧力分布上での位置が分かれば、その位置の圧力センサの出力をみることで呼吸曲線が計測可能であることを示した。心拍の振幅はノイズの振幅レベルとオーダー的に同じであっても周波数領域が異なれば計測可能である。さらに、本論文で提案した手法が麻酔時でも計測可能であることを示し、臨床でも利用可能であることを実証した。また麻酔深度と体動の大きさとの比較を行ない、完全覚醒時の体動の運動エネルギーは麻酔深度が深くなるにつれて小さくなることが示され、手術を行なえる麻酔深度の体動の大きさは覚醒時の運動エネルギーを基準とすると二桁ほど小さくなることを示した。

第6章では粗動と微動の統合計測について述べた。姿勢認識だけでは人と物体との判別ができずに誤認識を起こすが、ベッド上での運動エネルギーなどをみることでこの誤認識の可能性を減らすことができる。また関節動追跡の成否は追跡の初期位置に依存しているが、姿勢認識との組み合わせで初期位置を推定可能であり、この問題を回避可能になる。微動計測は、粗動計測の結果を利用しなくても計測可能であるが、胸腹部の位置が推定できればその位置のセンサ出力のみを考慮するだけでよく計測精度の向上が望めることを示した。

第7章では本研究での知見をまとめ、また将来どのように本研究を展開していけばよいのかについて述べた。

以上の成果や知見は機械工学に貢献するものである。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。