

<研究課題>ソフトアクチュエータを用いた自動体位変換による褥瘡予防装置の開発

代表研究者 大阪工業大学 ロボティクス&デザイン工学部 准教授 谷口 浩成
共同研究者 大阪工業大学 知的財産工学部 准教授 高田 恭子
大阪工業大学 知的財産工学部 准教授 松井 章浩

【まとめ】

本研究では、後頭部の褥瘡予防を目的とした頭部回旋運動装置を試作した。本装置は、ソフトアクチュエータ、支持部、昇降部から構成され、それぞれを連動させて動かすことで頭部の回旋運動を検討した。そして、人体骨格模型の頭部(3kg)およびマネキンの頭部(5.8kg)を用いた回旋動作実験では、20度以上の回旋角度を確認した。これより、考案した頭部の回旋手法の妥当性および装置開発の基盤を構築した。

1. 研究の目的

1-1 背景

褥瘡とは、寝たきりなどによって体重で圧迫されている場所の血流が悪くなったり滞ることで、皮膚の一部が赤い色味を帯びたり、ただれたり、傷ができてしまうことである。褥瘡が発症した場合、その治療は長期間となり患者の負担も大きい。そのため、褥瘡を予防することが重要視されており、褥瘡を予防するための体位変換が行われている。体位変換は、昼夜問わず2時間ごとに行う必要があり、介護者と患者ともに精神的・肉体的負担が大きい。また、患者の睡眠を妨げてしまうといった問題点がある。そのため、体位変換を自動で行う装置は有益であるといえる。

そこで、本研究グループでは、形状記憶合金(Shape Memory Alloy, SMA)とシリコンゴムによって構成されるソフトアクチュエータを独自に開発し、これを駆動源として用いた後頭部褥瘡予防装置を開発している。後頭部は、褥瘡の好発生部位とされており、頭

部を左右に回旋することで体圧を分散させ、褥瘡を予防する。本装置は、静かにゆっくりと頭部を回旋し、患者の睡眠を妨げずに体位変換を行うことをコンセプトとしている。これは、SMAの特長である高い静音性と緩やかな動作、そしてシリコンゴムの特長である高い柔軟性を組み合わせることによって実現する。

1-2 目的

本研究の目的は、ソフトアクチュエータの配置および制御方法、シリコンゴムの形状・配置などの技術的な課題を検討し、試作した後頭部の褥瘡予防装置を用いて本手法による褥瘡予防の基盤を構築することである。

2. 研究の方法・経過

2-1 後頭部褥瘡予防装置の構造

後頭部褥瘡予防装置の使用イメージを図1に示す。患者が使用する枕には、本装置が内蔵され、これによって患者の頭部を左右に回旋する。本装置は、ソフトアクチュエータ、支持部、昇降部から構成され、それぞれの構造を図2に示す。

ソフトアクチュエータは、SMA、ワイヤとシリコンゴム製の角柱によって構成される。SMAで引っ張られたワイヤによってシリコンゴムの角柱が湾曲する。そして、角柱の先端と接触している頭部を回旋させる。SMAが停止すると、シリコンゴムの弾性力によって角柱は初期状態に戻る。支持部は、頭部を支えることで回旋動作の補助を行う。昇降部は、ソフトアクチュエータと支持部のそれぞれ下部に取り付けられており、これらを

上下に昇降させる。

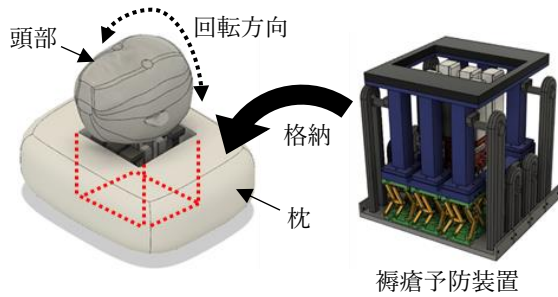


図1 後頭部褥瘡予防装置の使用イメージ

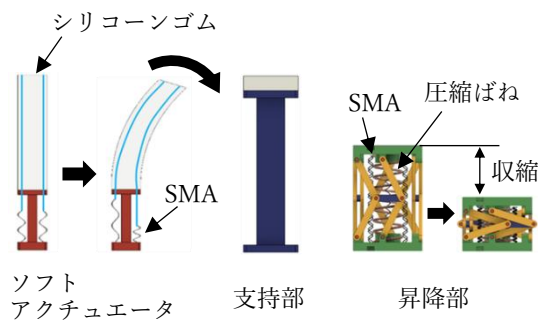


図2 後頭部褥瘡予防装置の構成要素

2-2 頭部の回旋方法

図3に頭部の回旋方法を示し、各動作について説明する。まず①において、後頭部褥瘡予防装置に頭部を乗せ、ソフトアクチュエータと支持部で頭部を支える。これを、初期状態とする。②において、支持部を下降させ、ソフトアクチュエータだけで頭部を支える。③においてソフトアクチュエータを湾曲させ、頭部を回旋させる。④において、ソフトアクチュエータを湾曲させる前の状態に戻して下降させると同時に支持部を上昇させ、支持部だけで頭部を支える。⑤において、ソフトアクチュエータを上昇させ、初期状態へ戻る。その後は、②から⑤の動作を繰り返すことで、頭部を少しずつ回旋させる。

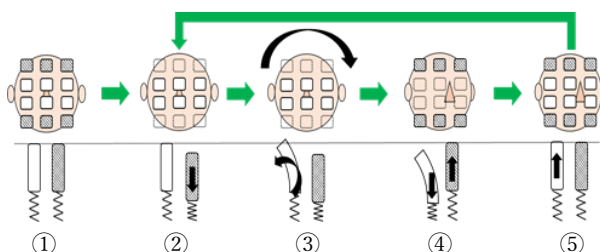


図3 頭部の回旋方法

2-3 ソフトアクチュエータの設計

後頭部褥瘡予防装置の使用者は、主に70歳以上の高齢者を想定しており、日本における70歳以上の男性平均体重は約60kgであることを考慮し、使用者の体重上限を90kgに設定した。従って、人間の頭部の質量は体重の約10%とされていることから、頭部の最大質量は約9kgと想定した。ソフトアクチュエータは6本用いるとし、頭部質量が均等に分散すると仮定すると、ソフトアクチュエータ1本あたりにかかる荷重は、約15Nとなる。

そこで、ソフトアクチュエータのシリコンゴム製の角柱に、最大で約15Nの荷重が加わると想定し、Autodesk社の3DCADソフトFusion 360を用いた非線形静的応力解析によって、最適な角柱の寸法について検討した。シリコンゴムの特性値には、信越化学工業株式会社の二液型RTVゴムKE-1603-A/Bを使用した。角柱の寸法は、高さを75mm、横幅と奥行きを20×20mm、21×21mm、22×22mm、23×23mm、24×24mm、25×25mmとし、計6種類について解析した。

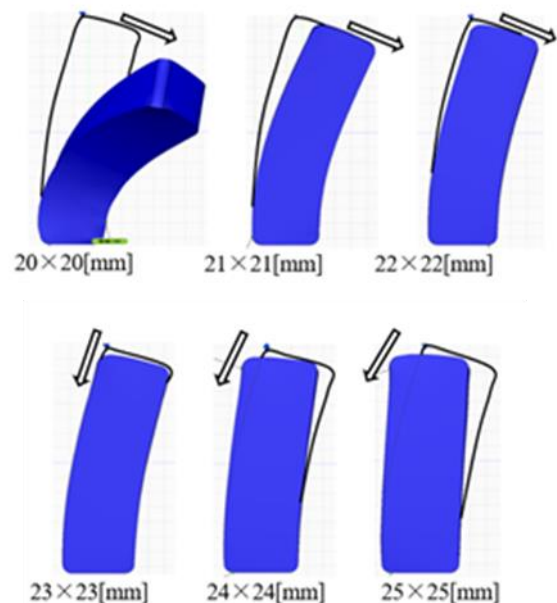


図4 シリコンゴム製の角柱の非線形静的応力解析の結果

図4に解析結果を示す。解析結果より、それぞれの変形量は、23×23mmが最も小

さく、湾曲状態を維持した。このとき、 $23 \times 23 \text{mm}$ の最大荷重は 29.1N であり、この値は屈曲部に生じる想定した荷重 15N の約 2 倍となった。これらの結果を踏まえて、ソフトアクチュエータのシリコンゴムロッドの寸法を、 $23 \times 23 \times 75 \text{mm}$ に決定した。

2-4 後頭部褥瘡予防装置の試作

図 5 に試作した後頭部褥瘡予防装置の外観を示す。ソフトアクチュエータや支持部の横ぶれを防ぎ安定した動きを行うために、ガイドを取り付けた。また、支持部の上面には、頭部を保護するための低反発ウレタンシートを設置した。

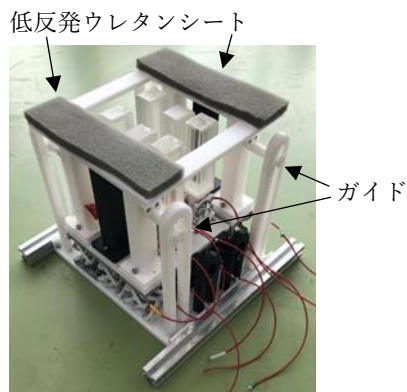


図 5 試作した後頭部褥瘡予防装置の外観

3. 研究の成果

3-1 人体骨格模型を用いた回旋動作試験

本試験では、頭部の目標回旋角度は 30 度とし、回旋方向は左向きの 1 方向とした。また、人間の代わりに人体骨格模型（日本スリービー・サイエンティフィック株式会社）を使用し、骨格模型の内部におもりを付加することにより頭部質量を 3kg とした。これは、人体骨格模型の構造上、質量増加の上限値が 3kg であったためである。

実験構成図を図 6 に示す。装置に骨格模型の頭部を乗せ、30 分間動作させた。動作中の頭部の様子を民生用ビデオカメラにより撮影し、株式会社ディテクト社の 2 次元運動解析ソフト DIPP-Motion を用いて、頭部の回旋角度を測定した。

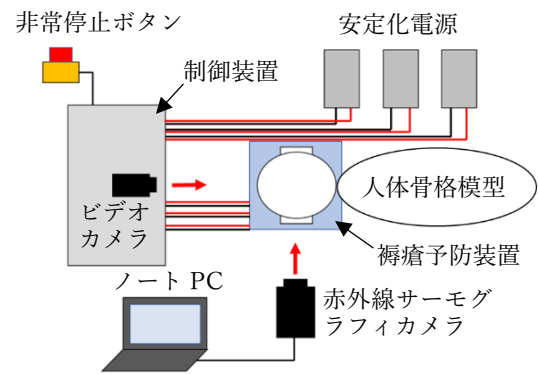


図 6 実験構成図

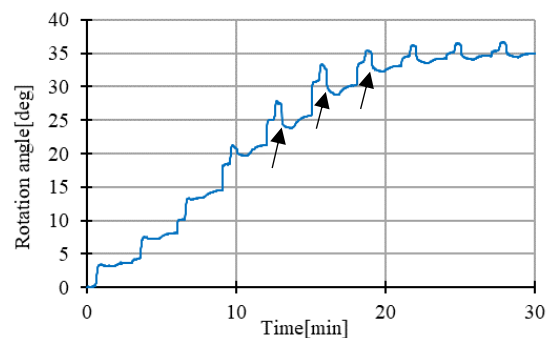


図 7 人体骨格模型による頭部回旋角度

頭部の回旋角度の遷移図を図 7 に示す。骨格模型の頭部を 30 分で約 35 度回旋させることができることを確認した。しかし、ソフトアクチュエータの湾曲動作と異なるタイミングで頭部が回旋していることがあった。これは、ソフトアクチュエータが初期状態に戻らず湾曲した状態で頭部と接触し、頭部が傾いたことが原因であると考えられる。また、図中の矢印にみられるように、逆方向へ頭部を回旋させていることを確認した。これは、ソフトアクチュエータの下降と湾曲動作の終了タイミングが同時であったため、頭部が接触した状態でソフトアクチュエータが初期状態に戻ったことが原因として考えられる。

3-2 マネキンを用いた回旋動作試験

3-1 で示した人体骨格模型では、質量を焼く 3kg にしかできなかったため、発砲スチロール製のマネキンの頭部を用いて回旋実験を行った。頭部の質量は、マネキンの構造上の上限である 5.8kg とした。実験の様子を図 8 に、実験の結果を図 9 に示す。

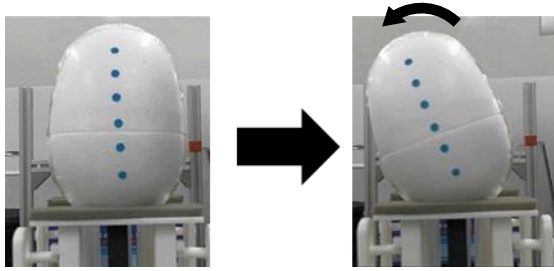


図8 マネキンによる頭部回旋実験の様子

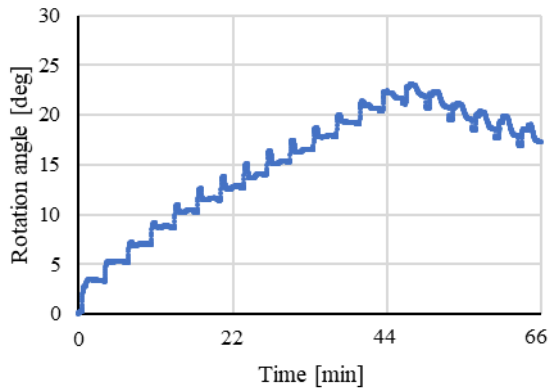


図9 マネキンによる頭部回旋角度

装置を連続で動作させ 45 分後において、23 度の頭部回旋角度を確認した。これ以降は、回旋角度が小さくなった。これは、頭部を支えるソフトアクチュエータのシリコーンが変形したことや、ソフトアクチュエータの配置によりできた隙間が影響したと考えられる。その他にも、SMA の温度による昇降部の変形や、昇降部の上部に設置したウレタンの沈み込みにより屈曲終了直後の回旋角度が小さくなるなどの問題が見られた。

4. 今後の課題

本研究において、頭部の質量を重くすると、回旋角度が減少することがわかった。これは、ソフトアクチュエータに用いているシリコーンゴム製の角柱の剛性と、頭部と接触する箇所形状が問題であると考えられる。したがって、これらの検討が必要である。

また、ソフトアクチュエータの配置や、回旋方法の見直し、昇降部の上部に設置した低反発ウレタンシートを変更するなど、装置の構造と材料の改善が必要である。

5. 研究結果の公表方法

本研究の成果は、日本機械学会 2020 年度年次大会にて発表した。今後は、さらなる改良を行い、国内外の関連学会で発表するとともに、学術論文としての投稿を予定している。