

学 位 論 文 題 名

移乗動作解析に基づく介助支援システムに関する研究

学位論文内容の要旨

我が国では、総人口がピークを迎える 2015 年には、高齢者人口比率が 25.2%に達し、国民の 1/4 は高齢者であるという他国が未だ経験したことのない長寿社会を迎えることになる。そのため、手足の機能が衰えて生活する上で不自由になる高齢者も急増することが予想されている。ヒトはベッド上で安静状態が長期間続くと廃用症候群いわゆる寝たきりの状態になる恐れがあり、高齢になるほどその確率は高くなる。寝たきりを防ぐためには、ベッドから車椅子等の移動器具へ移ることを可能にし、極力ベッドから離れた生活を促すことが必要である。しかし、在宅や施設での介助の現状をみると、腰への負担が非常に大きい移乗介助を全面的に人の力だけに頼るのは事実上困難である。最近、介助者の肉体的負担を軽減する介助機器の必要性は非常に高まってきているが、従来の介助機器では被介助者の移乗をただ単に「物を移動させる」かのように考えて設計されているなどの理由で広く普及した移乗介助装置はない。

本研究の目的は、被介助者の「移乗動作」を多角的（生理学的、心理学的、人間工学的等）な観点から調べ、得られた解析結果から被介助者と介助者の両方からみて負担の少ない移乗介助動作を実現させるような機器を設計することである。また、移乗介助機器に動力源を持たせ、能動的に機能させることで介助者への肉体的負担がなく、そして被介助者の運動能力に合わせた出力を出すようなリハビリ機能を兼ね備えた移乗介助機器を実現することである。

本論文では、ヒトの移乗動作を定量的に解析した結果について述べ、その結果に基づいて設計した負担の少ない移乗介助機器を提案した。

本論文は全 7 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の背景である我が国における急速な人口の高齢化と高齢者介護の現状を概観した上で、移乗介助機器の必要性を述べ、本研究の目的を述べた。

第 2 章では、廃用症候群によって引き起こされる症状を挙げ、寝たきりが引き起こす弊害について述べた。さらに現在利用されている移乗介助機器の利点、問題点や介助機器に求められることを挙げた。また、従来の動作解析に関する研究の中で、ヒトを物として扱わないような介助機器の開発を念頭に置いて進められた研究について述べた。

第 3 章では、まず移乗介助動作の選定を行い、その介助方法の第一段階である「立ち上がり動作」の解析について述べた。被介助者の初期姿勢（初期足関節角度と初期体幹角度）に着目し、初期姿勢の変化が立ち上がり動作に及ぼす影響を調べた。実験では、三次元動作解析装置による姿勢計測、表面筋電計による下肢筋の筋活動量計測、フォースプレートによる重心動揺計測、被験者からの内観報告を行った。その結果、初期足関節角度が小さいときは、前脛骨筋の活動量が増加し、初期足関節角度が大きいときは大腿直筋の活動量が増加し、重心動揺も大きくなることが分かった。なお、初期体幹角度にはシートオフ時の体幹角度を採用した。以上の知見等を考慮することにより、立ち上がり動作において、被介助者の初期足関節角度が約 70° 、初期体幹角度が約 45° のときに負担の少ない動作が可能になることが分かった。

第4章では、福祉機器用途として考えられるアクチュエータを挙げ、おのおのの特徴を述べた。次に、本研究で開発する移乗介助機器向けに新たに試作した水素吸蔵合金アクチュエータの特徴について述べた。そして第3章の結果をもとに試作した移乗介助機器（1号機）の評価実験を行った。評価としては、まずアクチュエータ単体を材料試験機に組み込み、出力特性を調べた。その結果、水素圧力差による位置制御、水素圧力和によるコンプライアンス可変性を確認することができた。さらに、機器のアーム部に荷重をかけた状態で初期水素圧を変化させ、アームの昇降特性を調べた。その結果、介助機器を適正に動作させることのできる初期水素圧力を求めることができた。最後に被験者を用いた立ち上がり動作介助実験を行った。その結果、機器を使用することで、被験者の下肢筋に対する立ち上がり時の負荷の低減が見られ、介助機器としての有用性が確認された。その一方で、アーム部の支持圧が被験者の脇の下に集中するという問題点が明らかにされた。

第5章では、介助機器のアーム部から受ける被介助者上腕部への支持圧を適切に軽減させることを目的とした「膝当て」部の設計について述べた。まず、従来の介助機器に見られる「膝当て」の問題点を挙げ、次により有用な「膝当て」の設計指針を得るための立ち上がり動作実験を行った。初めに、固定式の「膝当て」を用いた場合、その取り付け角度が被験者の立ち上がり動作に与える影響を調べた。その結果、被験者の立ち上がり初期時の足関節角度が 70° になるように固定式膝当てを配置した場合、被験者の立ち上がり動作が容易になることが分かった。しかし、一般的なヒトの立ち上がり動作においては、足関節は立ち上がり動作中一定に保持されず、一度背屈した後、底屈することが明らかになった。そこで、ヒトの膝の動きに追従する動的な膝当て機構に必要な設計指針を求めた。その結果、膝当てを $0.1\sim 0.2\text{kg/mm}$ 程度の弾性を持たせながらスライドさせたときに立ち上がり動作が最も容易になることが分かった。

第6章では、移乗介助動作の最終段階であるヒトの着座動作の解析を行った。立ち上がり動作の解析時と同様に、被介助者の初期姿勢（初期足関節角度と初期体幹角度）に着目し、初期姿勢の変化が着座動作に及ぼす影響を調べた。計測の際は、三次元動作解析装置による姿勢計測、表面筋電計による下肢筋の筋活動量計測、およびフォースプレートによる重心動揺計測を行い、さらに被験者に内観報告をさせた。その結果、初期体幹角度が小さいときは、重心動揺が大きくなり、初期体幹角度が大きいときは着座開始時の初期姿勢を保持するのが困難であるということが分かった。以上から、着座動作において、被介助者の初期足関節角度が約 70° 、初期体幹角度が約 60° のとき、負担の少ない動作が可能になることが示された。最後に、これらの結果を取り入れた改良型の移乗介助機器（2号機）について述べた。

第7章では、本研究の結論と今後の課題と展望について述べた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 伊 福 部 達
副 査 教 授 河 原 剛 一
副 査 教 授 三 田 村 好 矩
副 査 講 師 井 野 秀 一

学 位 論 文 題 名

移乗動作解析に基づく介助支援システムに関する研究

我が国は、2015年には他国が未だ経験したことの無い長寿社会を迎えることになる。そのため、手足の機能が衰えて生活する上で不自由になる高齢者も急増することが予想されている。ヒトは寝たきりが続くと廃用症候群になる恐れがあり、それを防ぐためには極力ベッドから離れた生活を促すことが必要である。しかし、移乗介助を全面的に人の力だけに頼るのは介助者の負担が大きくまた介助者の絶対数が少ないことから事実上困難である。そこで、介助機器の導入が考えられるが、従来の機器では被介助者の移乗をただ単に「物を移動させる」かのように考えて設計されているなどの理由からヒューマン・インタフェースに問題があり、実際、広く普及したものはない。

本研究の目的は、被介助者の「移乗動作」を多角的に調べ、得られた解析結果から被介助者と介助者の両方からみて負担の少ない移乗介助動作を実現させるような機器を設計することである。本論文では、ヒトの移乗動作を定量的に解析した結果について述べ、その結果に基づいて設計した負担の少ない移乗介助機器を提案している。本論文は全8章から構成されている。

第1章では、本研究の背景である我が国における急速な人口の高齢化と高齢者介護の現状を概観した上で、移乗介助機器の必要性を述べ、本研究の目的を述べている。

第2章では、廃用症候群による症状を挙げ、寝たきりが引き起こす弊害について述べている。また、現在利用されている移乗介助機器の問題点を指摘し、移乗介助動作に基づいた介助機器の研究についても触れている。過去の研究を元に、移乗介助動作の評価のための生体計測として、被介助者の物理的負担量が反映する下肢部の筋電の大きさと、平衡感覚、体性感覚、視覚などによる姿勢制御の特性が反映する重心動揺の大きさが重要であることを示している。

第3章では、まず移乗介助動作の選定を行い、その動作の第一段階である「立ち上がり動作」時における筋電と重心動揺に基づいた解析結果について述べている。被介助者の初期姿勢に着目し、その変化が動作に及ぼす影響を調べている。その結果、立ち上がり動作において、被介助者の初期足関節角度が約 70° 、

初期体幹角度が約 45° のときに負担の少ない動作が可能になることを明らかにしている。また、被介助者の足底部の感覚情報を利用して被介助者自身で姿勢をどこまで保持できるかを調べるために、足底部の皮膚感覚特性と立ち上がり動作との関係を求めている。その結果、足底部皮膚感覚の低下が、立ち上がり動作に影響を与えることを明らかにしている。

第4章では、前章の結果を踏まえて評価用の移乗介助機器を試作し、実験結果の妥当性を実証している。評価用介助機器の動作確認を終えた後、被介助者による評価実験を行っている。その結果から、機器の使用により、立ち上がり時の負担が大きく低減されることを実証している。しかし、支持圧が被験者の脇の下に集中し、そこに痛みを感じるという問題が生じることを示している。

第5章では、被介助者の脇の下への支持圧を適切に軽減させることを目的とした「膝当て」部の設計指針と筋電と重心動揺による評価結果を述べている。そのため、まず、固定式の「膝当て」を用いて、その取り付け角度が被験者の立ち上がり動作に与える影響を調べている。その結果、被験者の立ち上がり初期時の足関節角度が 70° になるように固定式膝当てを配置した場合、被験者の立ち上がり動作が容易になることを明らかにしている。しかし、固定式の場合は膝の動きがスムーズにいかないことを見出さしている。そこで、バネを利用したヒトの膝の動きに追従する動的な膝当て機構を提案している。評価実験の結果から、膝当てのバネで $0.1\sim 0.2\text{kg/mm}$ 程度の弾性を持たせながら膝当てをスライドさせたときに立ち上がり動作が最もスムーズになることを明らかにしている。

第6章では、ヒトの着座動作を筋電と重心動揺の観点から解析している。立ち上がり動作の解析時と同様に、被介助者の初期姿勢に着目し、初期姿勢の変化が着座動作に及ぼす影響を調べている。その結果、初期体幹角度が小さいときは、重心動揺が大きくなり、初期体幹角度が大きいときは着座開始時の初期姿勢を保持するのが困難であるということを明らかにしている。以上から、着座動作において、被介助者の初期足関節角度が約 70° 、初期体幹角度が約 60° のとき、負担の少ない動作が可能になることを示している。

第7章では、これらの結果を取り入れて、水素吸蔵合金アクチュエータを利用して試作した移乗介助機器について述べている。

第8章では、本研究の結論と今後の課題と展望について述べている。

以上のように、本研究は移乗介助機器に関する研究を人間の運動・感覚系の両方の基礎特性を調べながら機器設計までも含めて総合的に行っており、福祉機器におけるヒューマン・インタフェースの設計指針を提言したことから、生体工学や人間工学に寄与するところが大きい。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。