

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲	第 10620号
------	-----	----------

氏 名 邸 需

論 文 題 目

Intelligent Cane Robot for Human Walking Assistance
(人の歩行補助のための杖型知能ロボット)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	准教授	関山 浩介
委員	名城大学	教授	福田 敏男
委員	名古屋大学	教授	大日方 五郎
委員	名古屋大学	教授	山田 陽滋
委員	名古屋大学	教授	武田 一哉

論文審査の結果の要旨

邸君提出の論文「Intelligent Cane Robot for Human Walking Assistance (人の歩行補助のための杖型知能ロボット)」は6章から成っており、歩行能力に支障がある高齢者や障がい者の歩行補助のための杖型ロボットを開発し、センサ及びシステムを構成する要素デバイスの開発・評価について論じたものである。

第1章では、研究の背景、目標について述べている。過去数十年間に及ぶ多数の歩行機器やリハビリテーションロボットの開発の歴史について記し、それらが抱える課題について詳述した。特に、そのサイズ及び重量の大きさが使用者の使用に制限を与えている点について述べ、本研究で取り組むべき課題について明確化している。

第2章では、歩行支援用リハビリロボットの研究に重要な役割を果たす、ユーザの歩行意図の認識について述べている。定量的にユーザの歩行の意図を記述するために、「意図方向 (Intention Direction: ITD)」と呼ぶ概念を提案した。状態モデルとITDの観測モデルの両方から可能な歩行モードを列挙し、人間とロボットの相互作用力と歩行の意図との関係を分析した。これら二つのモデルから、ユーザの歩行意図をオンラインカルマンフィルタリングによって推測した。推定された意図に基づいた新たなアドミタンス運動制御方式を提案し、この制御手法を検証するため平らな地面とスロープ上で杖型ロボットを用いたユーザの歩行実験を実施した。

第3章では、高齢者にかかる負荷を軽減し、筋肉疲労を緩和する杖型ロボットの「サポートする機能」について述べている。高齢者は脚筋力が低下しているため、若年者と同様に歩くことは困難である。歩行において患脚支持期にあるときは、杖型ロボットが患脚にかかる負荷を負担するために停止する必要がある。一方、健脚支持期にあるときは、杖型ロボットはITDに従って前進する必要がある。このように、杖型ロボットの運動は高齢者の歩行パターン特性を考慮し制御する必要がある。そのため、歩行パターンに基づいた最適な運動制御特性を提案した。また、靴型荷重計測センサ (On-shoe Sensor) を用いることで、杖型ロボットを用いたときの患脚へかかる負荷の減少を評価した。

第4章では、歩行介護ロボットにおいて最も重要な安全性について述べている。杖型ロボットは高齢者が転倒する前に転倒リスクを検出し、転倒を防止するため高齢者を支援することが必要である。本章では、ゼロモーメントポイント (ZMP) の安定性理論に基づいて転倒リスクを推定するアルゴリズムを提案した。靴型荷重計測センサによって足接地反力を測定し、その値とレーザレンジファインダにより測定された足位置からZMPを計算した。ZMPが杖型ロボットとユーザの足位置により得られる支持三角形の外に移動したら、ユーザは倒れてしまうため、ZMPと支持三角形の中心との間の相対的な位置が重要となる。この相対的な位置は二次元ベクトルによって記述され、ユーザが正常に歩いている間に得られたデータから支持三角形とZMPの関係を明らかにし、転倒検出に利用した。

第5章では、人間と杖型ロボット間の安全性を高めるため、人間と杖型ロボットの両方が転ばず移動することを可能とする方法のコンセプトについて示している。この方法では、ユーザの転倒を防止するため人体の重心や中心の加速度がある閾値以下になるように杖型ロボットを制御した。Human-in-the-loopシステムといえるこの方法では、杖型ロボットのユーザは制御不可能なオブジェクトであるが、ユーザが転倒しかけた際に杖型ロボットが適切な位置に移動することでユーザをサポートする。この時、杖型ロボットがユーザのバランスをサポートすると共に、杖型ロボット自身の安定性も確実にする必要がある。そのため、ニュートン-オイラー法による動的モデルによって、ユーザと杖型ロボットシステムの安定性について論じた。ユーザの転倒防止のために必要な杖型ロボットの位置、姿勢、および力制御を達成するためにインピーダンス制御を使用した。杖型ロボットを使用したシミュレーションおよび実験結果により、杖型ロボットに

論文審査の結果の要旨

よるユーザの転倒防止の性能について示した。

第6章は結論であり，論文のまとめと今後の課題，展望について述べている。

以上，本論文で提案した手法及び得られた知見は，高齢者の歩行補助をするためのロボット技術に寄与するところが大きく，論文提出者の邸霏君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があるものと判定した。