

共創モデルを活用した歩行介助ロボット“Walk-Mate”の有効性評価

東京工業大学 総合理工学研究科

○渥美将利, 三宅美博 (東工大), 國見ゆみ子, 野村進, 別府政敏 (神奈川県総合リハビリセンター)

Co-creation model based Walk-Mate and its effectiveness

○Masatoshi ATSUMI, Yoshihiro MIYAKE

Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

Yumiko KUNIMI, Susumu Nomura, Masatoshi Beppu Kanagawa Rehabilitation Center

Abstract: In this research, to evaluate the effectiveness of walking support robot Walk-Mate based on Co-creation model, we applied Walk-Mate to a hemiplegic patient. We analyzed the Walk-Mate from the kinematics-viewpoint. As a result, it was shown that Walk-Mate was effective as Co-creation interface in the walking support.

1. はじめに

患者と療法士との間における歩行介助は患者と療法士が身体的コミュニケーションを介してお互いが環境の変化に適応しあう中で共創出されている。しかし、歩行介助を目的とする歩行支援装置に目を向けてみると、機械と人間がお互いに環境の変化に応じた支援を創出しているとは言いがたい。例えば杖や歩行器は人間が機械に対して一方的に適応するものであり、電動車椅子やパワーアシストは機械が人間に対して一方的に作用するものである。このような背景から人間-機械系で共創出される歩行支援インターフェースが期待される。

2. 共創型歩行介助ロボット Walk-Mate

我々は患者と療法士の間で創出される協調歩行を実現するために、共創出をモデル¹⁾を活用した歩行介助ロボット“Walk-Mate”²⁾を構築してきた。その概要をFig. 1に示す。これは小型PC上にシミュレートされた歩行ロボットと人間とが足音を介してコヒーレントな協調歩行をする。ロボットの歩行リズムは人間の二重性¹⁾に着目した共創モデルで制御している。モデルの詳細については別文献を参照していただきたい²⁾。そしてこれを用いて実際にリハビリの現場で歩行障害を有する高齢者に対して協調歩行の実験を行った。

有効性の評価指標としては時間因子である歩行周期から脚の左右対称性を評価し周期の揺らぎから歩行の円滑度を評価してきた³⁾。しかし、歩行障害が出るとも障害部位によって歩容が異なり様々な歩行障害が表出される。加えて固有の歩容特性もあり一概に時間因子のみで歩容の変化を定量化することは困難である。従って、従来の計測方法に加えて3次元光学式計測機器と床反力装置を導入することで運動学的視点から歩容の変化を詳細に観察し、有用性を明確にすることを本研究の目的とする。

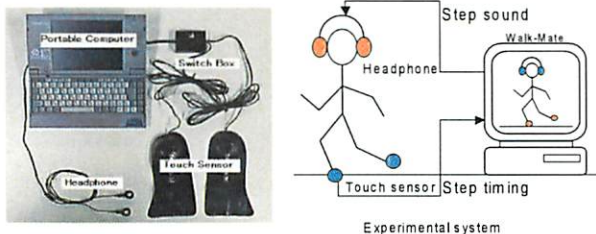


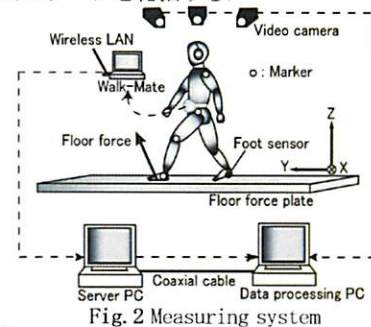
Fig. 1 Walk-Mate

3. 実験方法

3.1 計測システム

歩容データを計測する装置は次の3つである。被験者の各関節に光学マーカを取り付け、歩容をビデオカメラで取り込み画像処理することで各関節の位置を計測する3次元光学式計測装置(VICON MOTION SYSTEMS製 VICON370)、歩行時の足底にかか

る3次元方向の力を計測する床反力装置(アニマ株式会社 床反力計G3100S)、歩行時の接地タイミングを計測する足底圧力センサ(オジデン OT-N0-1)である。これらの計測装置の全体図をFig. 2に示す。計測の流れはビデオカメラからサンプリング周波数60Hzで歩行画像を取得をし、同時に床反力を計測してデータ処理PCに送られる。足の接地信号はWalk-Mateで制御した後、無線LANでServer PCに送信する。そしてデータ処理PCにおいてすべてのデータを総括する。



3.2 被験者

実験被験者は40代、男性、脳出血による右脚片麻痺の患者1名である。接地感覚は認識可能であり聴覚に異常はない。また、健側は神経学的異常はみられず自立歩行が可能な被験者である。片麻痺歩行は左右対称性が大きく患側の支持性が低いことと歩行時の患側の股関節筋と足関節の背屈筋の低下により重心の前上方への移動が困難なことが特徴である⁴⁾。

3.3 実験手順

実験手順は初めに60sec間自由歩行をして次に120sec間Walk-Mateと協調歩行をする。そして最後に60sec間自由歩行を行う。全体で240sec間の歩行である。人間とロボット間の目標位相差は患側を-0.2rad、健側を+0.2radに設定した。目標位相差とはロボットと人間の歩行リズムの位相差のことであり、患側の位相差を負に設定することで歩行を促進させ、健側を正に設定することで歩行を抑制させている。

3.4 データ解析

従来用いられてきた時間因子による解析手法に加え3次元光学式計測装置から距離因子による解析手法を試みる。今回は片麻痺歩行の特徴的要素である重心軌跡に着目した。また床反力装置からは前進する力が反映される足底にかかる進行方向の力を解析する。

4. 協調歩行による有効性の解析

協調歩行による歩容の変化を大域的かつ局所的に解析を行う。大域的解析とは自由歩行と協調歩行の一連の流れの中で生成される歩行動作の変化を解析することである。局所的解析とはその流れ中のある一定期間の歩行の変化を解析することである。

4.1 時間因子による大域的解析

人間とWalk-Mateの歩行リズムの位相差を時系列変化でFig. 3に示す。図中の矢印は協調歩行の開始と終了を示す。この結果より、図のSection Aで位相差が目標位相差に近づいているので人間とWalk-Mateの同調性が高いといえる。次に左右非対称性の時系列変化をFig. 4に示す。左右の非対称性とは左右脚の接地時刻の差を歩行周期で除したものであり、0%から遠ざかるほど非対称な歩行を表す。非対称性の平均は初めの自由歩行では6.25%、Section Bの協調歩行では4.91%であり協調歩行により21.4%減少した。検定結果から $p < 0.01$ で有意差が認められたことから左右非対称性が緩和されたと考えられる。従って人間とWalk-Mateがお互いに同調することで歩行が安定に向かうことが示唆された。

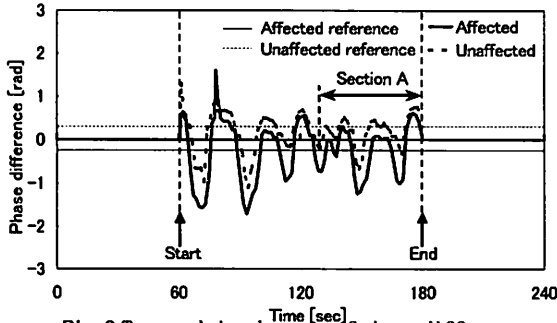


Fig. 3 Temporal development of phase difference

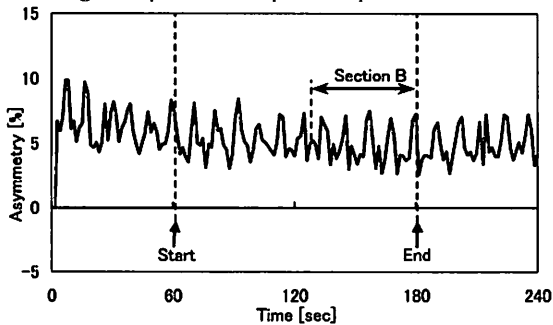


Fig. 4 Temporal development of asymmetry

4.2 距離因子による局所的評価

Fig. 5, と Fig. 6 のグラフはFig. 4におけるSection Bの非対称性が緩和されたデータを用いている。

協調前と協調歩行の鉛直方向の重心変動をFig. 5に示す。縦軸の重心変動は現重心位置から静止時の重心位置を引いて算出した。横軸は2立脚期分であり100%で正規化している。このグラフから協調前と協調歩行とで健側の立脚中期 (ML) から患側の立脚中期 (MR) まで重心変動の差が顕著に変化している (Section C)。Section Dは協調前より協調歩行の方が重心変動が減少し、矢印 (Min) で示した重心変動の最小値も大きくなっている。また、Section Eは患側の重心変動が最大値に到達する時期が早い。これらの結果からSection Dでは健側から患側への重心移動を円滑に誘導し、矢印 (Min) は患側の支持性が向上したことが示唆され、Section Eは歩行促進のため患側が重心を上昇させたと考えられる。つまり随意運動制御を困難とする患側に対して重心をかけない無意識的な抑制作用を取り払ったと考えられ、その結果患側の支持性が向上したと示唆される。

4.3 床反力成分による局所的評価

Fig. 6は協調前と協調歩行の患側と健側の進行方向の力積である。進行方向の力積は立脚期 (脚が地面に接地している時期) における進行方向の床反力成分から算出した。負の成分は脚の制動性 (Break), 正の成分は駆動性を (Drive) 表している⁹⁾。協調前と協調歩行とを比較すると患側は制動成

分が21.9%増加し、駆動成分は13.2%減少している。また健側は制動成分が40.6%減少し駆動成分は22.5%増加している。被験者当人は協調前よりも協調歩行のほうがリズムに同調できて、歩きやすく、リズム音に対して前や後ろに牽引されなかったという報告を併せると、自然に健側が歩行の推進力に対して強く影響したことを示唆している。

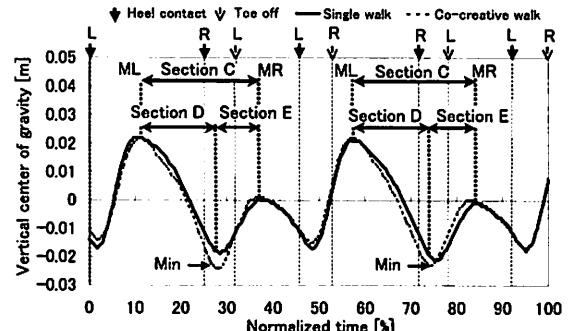


Fig. 5 COG fluctuation in normalized time of two stance phase

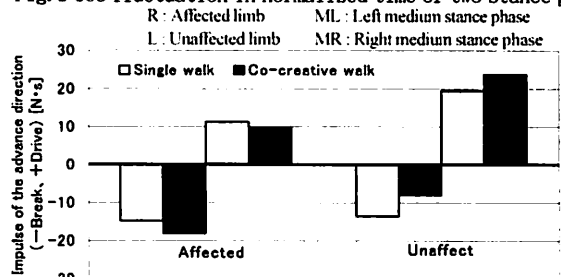


Fig. 6 Impulse of the advance direction

5. まとめ

我々の先行研究からWalk-Mateと協調歩行をすることによって左右非対称性が緩和される事実がある³⁾。本研究では協調関係が時間経過に伴って形成されていくことで非対称性が緩和することを前提とし、その時期の歩容の変化を局所的に解析した。その結果、片麻痺患者の健側から患側への円滑な重心移動と患側の支持性の向上、健側の進行方向力積成分の増減より片麻痺患者に対するWalk-Mateの役割を発見することができた。つまり、目標位相差の制御によって左右個別の歩行リズムを生成するロボットに対して人間が歩調を合わせることで健側が患側への重心移動を促している。これは人間とロボットの双方の歩行プロセスが同期して、無意識的に患側を相互補償することで歩行の安定化を図っていると示唆される。更に人間側において、力積の解析から相互補償は健側が強く関与していることが認められた。これらからWalk-Mateは歩行助成支援における共創型インターフェースとして有効であることを示している。

今後は片麻痺患者の被験者数を増やすとともに自発的障害を有するパーキンソン病やランスアダムス症候群などの基底核障害者を対象に実験を行いたい。

参考文献

- 1) 三宅, 宮川, 田村: 共創型コミュニケーションとしての人間-機械系, 計測自動制御学会論文集, Vol. 37, No. 11, 1087/1096 (2001)
- 2) 田村寧健, 三宅美博: 相互適応的な歩行助成システム, 第10回自律分散シンポジウム資料, 247/250 (1998)
- 3) 高梨豪也, 三宅美博: 共創型歩行ロボット "Walk-Mate" の歩行障害への適用 計測自動制御学会論文集 (in press)
- 4) 山本澄子: 脳血管障害の歩行分析, 理学療法科学, Vol. 17, No. 1, 3/10 (2001)
- 5) 森田, 占屋, 山本, 奥村: 片麻痺歩行の床反力解析, 総合リハビリテーション医学, Vol. 17, No. 10, 771/775 (1989)