

トレッドミル歩行中の杖ロボットキャンセレーションシステムの開発 (29-34)

主任研究者 相本 啓太 国立長寿医療研究センター リハビリテーション科部 (理学療法士)

研究要旨

本研究では、バーチャルリアリティシステムを搭載したトレッドミル (Gait Real-time Analysis Interactive Lab : GRAIL) 上で、対象者に自動追従する当センターで開発した杖ロボットでの歩行を解析するためのキャンセレーションシステムの開発を実施する。

GRAIL は、デュアルベルト・トレッドミルとモーションキャプチャ・システム、180°のバーチャルリアリティシステムを搭載した歩行解析および歩行訓練機器である。歩行速度、歩幅・歩隔、関節角度、関節モーメント、筋活動などの歩行パラメータをリアルタイムで分析し、フィードバックすることが可能である。さらに、GRAIL は、対象者のセルフペースでトレッドミル上を歩行することができ、多角的視点で歩行分析や歩行訓練を実施することが可能である。

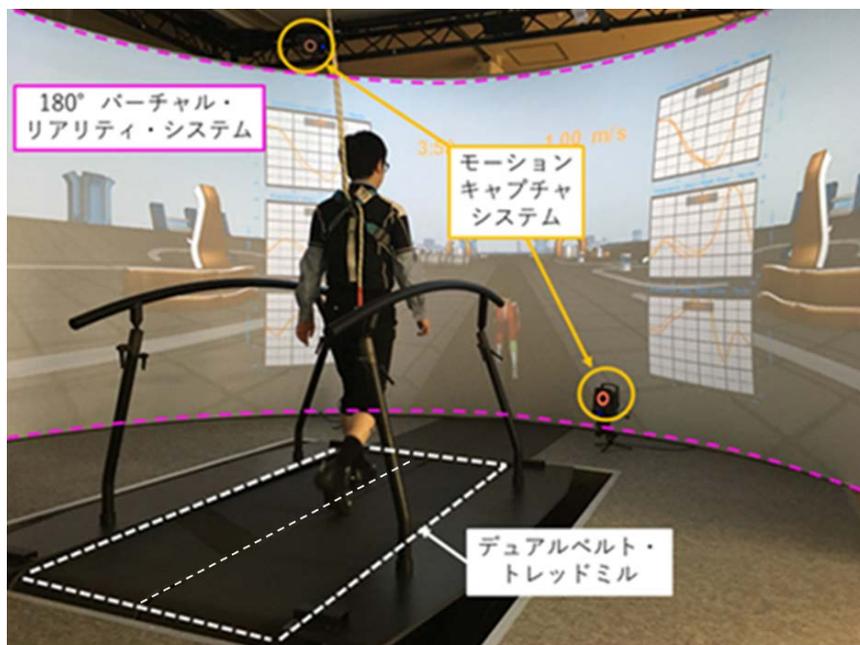


図 1 Gait Real-time Analysis Interactive Lab

当センターが開発した杖ロボット（図 2）は、倒立振り制御を採用しており、対象者が押した方向にロボットが自動追従する。対象者が杖ロボットにライトタッチ・コンタクトすることにより、立位や歩行時の重心動揺範囲が狭小化し、安定性向上が期待できる。しかし、杖ロボットをトレッドミル上に乗せることによって、対象者のみにおける圧力中心（COP：Center of Pressure）のデータ算出は困難である。そのため、現在まで GRAIL での研究において、杖などの歩行補助具を用い、評価項目を COP とした研究はない。



図 2：杖ロボット

主任研究者

相本 啓太 国立長寿医療研究センター リハビリテーション科部（理学療法士）

分担研究者

近藤 和泉 国立長寿医療研究センター リハビリテーション科部（部長）

加藤 健治 国立長寿医療研究センター 健康長寿支援ロボットセンター
ロボット臨床評価研究室（室長）

高野 映子 国立長寿医療研究センター 健康長寿支援ロボットセンター
ロボット臨床評価研究室（流動研究員）

長谷川泰久 名古屋大学大学院工学研究科 マイクロ・ナノ機械理工学専攻（教授）

福田 敏男 名城大学 理工学部 メカトロニクス工学科（教授）

A. 研究目的

本研究では、杖ロボットの重量をキャンセレーションするシステムの開発をする。対象者が杖ロボットを押す力を検知し、杖ロボットにマーカを貼付することで、杖ロボットの

GRAIL 上の位置座標を特定する。以上により、杖ロボットを GRAIL に乗せることによる圧力中心 (Center of Pressure) への影響をキャンセルするシステムを開発する。

B. 研究方法

対象者は、若年健常者 3 名 (男性 1 名、平均年齢 27 ± 6 歳) とした。計測および動作解析には、GRAIL を使用した。GRAIL のトレッドミルは 2 つのベルトから構成されており、それぞれのベルトにおいて荷重量と COP (圧力中心) を求めることができる。杖ロボットには、位置特定のために杖ロボットの前後にマーカを 2 つ貼付した。なお、トレッドミルの速度は 0.8m/s とした。

研究手順は、以下の条件 1 と条件 2 を設定した (図 3)。条件 1 は右脚と杖ロボットが右ベルト上、左脚は左ベルト上での歩行とした。条件 2 は、杖ロボットは右ベルト上で、両脚は左ベルト上での歩行とした。条件 1 では、左右それぞれのベルトの COP、杖ロボットの位置座標、杖ロボットへのライトタッチ荷重量を計測した。計測項目は、図 4 の計算式に基づいて、杖ロボットの重量をキャンセルした対象者のみの COP を算出した。条件 2 では、左ベルトの COP (対象者のみの COP) を計測した。

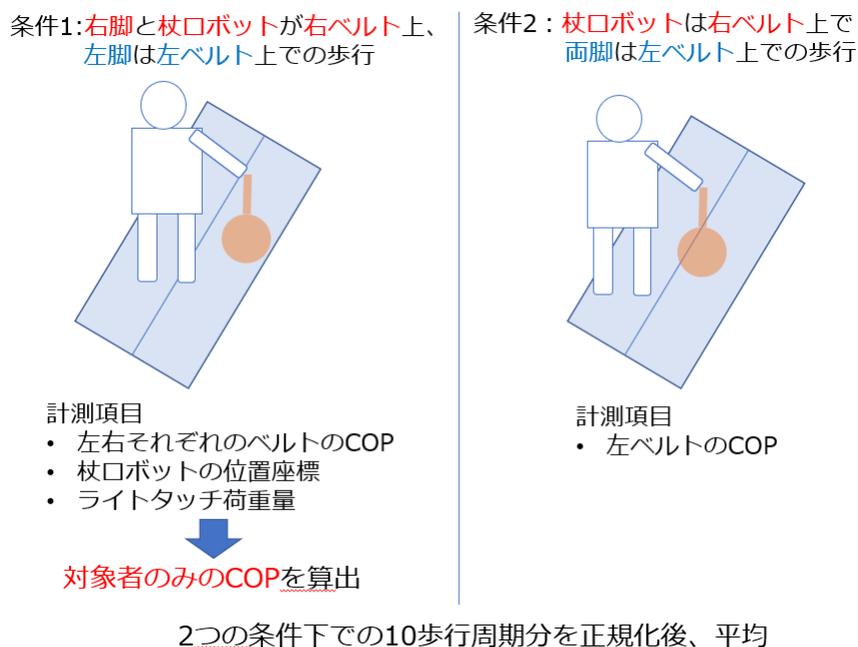
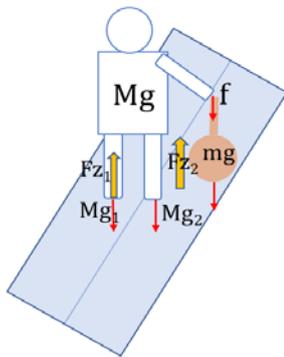


図 3 : 計測条件

条件 1 (COP を計算により算出) と条件 2 (左ベルトの COP 生データ) における COP の前後、側方成分を対象者ごとに相互相関関数により比較した。また両条件における歩幅と歩隔 (両足部の側方間隔) を算出した。



未知： X_{M2} :対象者のみ右合成側方COP位置
 既知： Mg :体重
 Mg_1 :左下肢による左ベルトへの荷重
 Mg_2 :右下肢による右ベルトへの荷重
 mg :杖ロボット重量,
 f :杖ロボットを押す力
 Fz_1 :左床反力、 Fz_2 :右床反力
 X_1 :左ベルト上のCOP位置
 X_2 :右ベルト上のCOP位置 (対象者と杖ロボットの合成)
 X_m :杖ロボットCOP位置

※関係式： $Fz_1 + Fz_2 = Mg + mg + f$, $M = M_1 + M_2$
 $Fz_2 = Mg_2 + mg + f$, $Fz_1 = Mg_1$

右ベルト上におけるCOP関係式

$$\Leftrightarrow X_2 = \frac{(Mg_2)X_{M2} + (mg)X_m}{Mg_2 + (mg + f)}$$

$$\Leftrightarrow X_2(Fz_2) - (mg)X_m = (Mg_2)X_{M2}$$

$$X_{M2} = \frac{X_2(Fz_2) - (mg)X_m}{Mg_2} = \frac{X_2(Fz_2) - (mg)X_m}{Fz_2 - mg - f}$$

合成重心 (X_M :対象者のみの側方COP位置)

$$X_M = \frac{Mg_1X_1 + Mg_2X_{M2}}{Mg_1 + Mg_2} = \frac{(Fz_1)X_1 + (Fz_2 - mg - f)X_{M2}}{(Fz_1) + (Fz_2 - mg - f)} = \frac{(Fz_1)X_1 + (Fz_2 - mg - f)X_{M2}}{Fz_1 + Fz_2 - mg - f}$$

図4：計算過程

なお、右ベルトにおけるCOPの関係式の算出過程において $(Fz_2 - mg - f)$ で割り算をしているが、ゼロやマイナスにならないことを前提で計算している。実際の生データでは、杖ロボットの位置のゆらぎ等に伴い、 $(Fz_2 - mg - f)$ がマイナスや過剰となることがあり、明らかにCOPの結果が妥当ではない結果が認められた。そのため、これらの点について事前に検討した。その結果、 $(Fz_2 - mg - f)$ におけるゆらぎ等の過剰成分を考慮し、右ベルトの床反力垂直成分が30N以下となったときには、右のベルト上では右足部は離床しており、何も乗っていないものとして計算を進めることが妥当と考えられた。図4の計算式に、この条件を加えて計算を実施した。

(倫理面への配慮)

本研究を実施するにあたっては、国立研究開発法人国立長寿医療研究センターに設置されている倫理・利益相反委員会の承認を得た上で、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」を遵守し、研究の内容や参加を拒否しても不利益にならないことなどを説明してインフォームドコンセントをとった上で実施する。データの取り扱いおよび管理に当たっても、研究対象者の不利益にならないような配慮を行う。

個人情報保護の保護についての対策と措置

計測によって得られたデータおよび個人情報は、連結可能匿名化を行い、キーファイルとデータファイルは別々の鍵のかかる保管庫に収納する。また、データ保存時には暗号化を行い個人情報の保護に努める。

本研究の計画内では、実験動物を使った研究は行わない。

C. 研究結果

各被験者の COP のリサーチ曲線と側方・前後成分における条件 1 と条件 2 の波形を相互相関関数によって求めた結果を図 5 と表 1 に示した。なお、図 5 では、右足部をベルト上に接地したときの COP をグラフの原点座標に合わせて、グラフを示した。また条件 1 と条件 2 における歩隔と歩幅の結果を表 2 に示した。

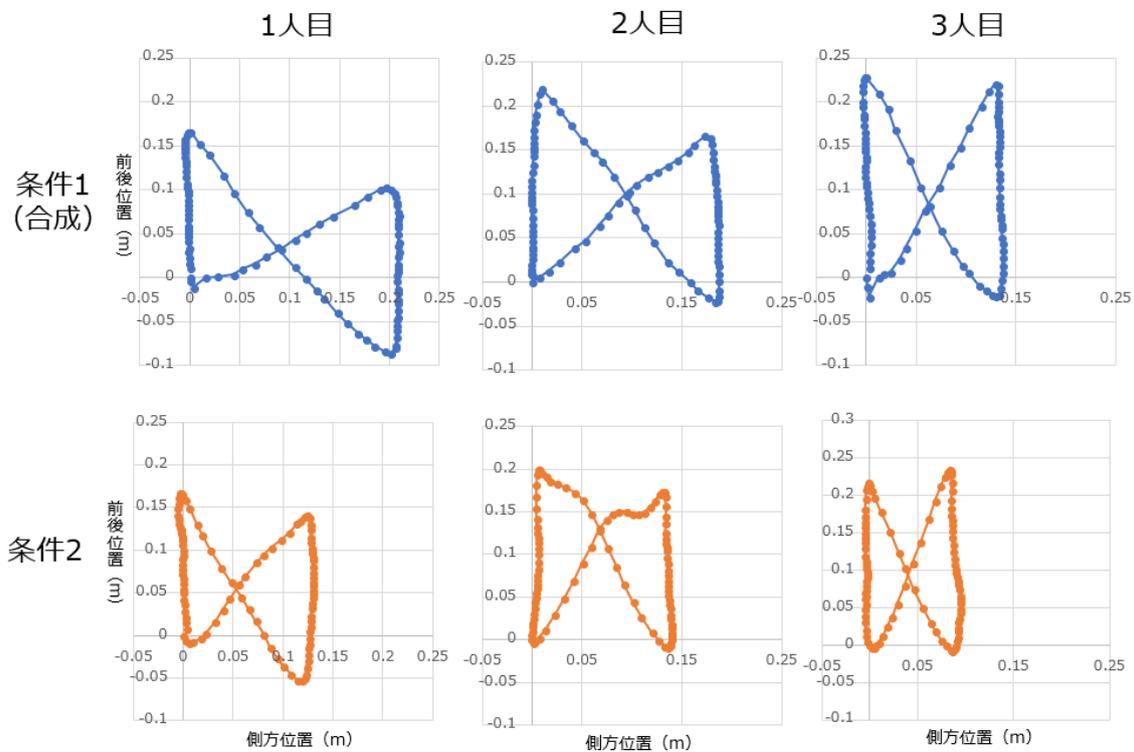


図 5 : 各対象者の COP のリサーチ曲線

表 1 : COP の側方・前後成分における相互相関係数

	側方	前後
1 人目	0.999	0.958
2 人目	0.982	0.960
3 人目	0.997	0.985

表 2：条件 1 と条件 2 における歩隔と歩幅

歩隔 (cm)	条件 1	条件 2	歩幅 (cm)	条件 1	条件 2
1 人目	15.2	9.4	1 人目	43	42
2 人目	13.5	8.7	2 人目	41	47
3 人目	10.8	6.8	3 人目	48	49

D. 考察と結論

条件 1 と条件 2 における相互相関係数は 0.95 を超える高い結果となり、本方法での杖ロボットの荷重キャンセルによる COP 算出方法は妥当な方法であった可能性がある。一方で、リサーチ曲線における側方 COP データから、側方 COP は条件 2 と条件 1 を比較すると、条件 1 では 3 人とも小さい傾向であった。条件 1 (左右のベルトをまたぐ) と条件 2 (左のベルト内で歩く) では、対象者の歩隔が異なっていることが原因と考えられた。この歩隔の影響も本 COP の算出方法では加味された結果として算出できている可能性が高い。

本研究における限界としては、事前検討において計算式の条件を変更したように、杖ロボットの荷重量が床反力垂直成分データから正しく算出できないことがあげられる。また杖ロボットへのライトタッチやトレッドミルの床反力を垂直成分のみしか考慮していないこと、さらに条件 1 と条件 2 の歩行が完全に一致したものではないことがあげられる。

今後は本算出方法をもとに、バランス能力が低下した高齢者に対して杖ロボットのライトタッチ効果を検討していく。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

※発表誌名、巻号・頁・発行年等も記載すること。

2. 学会発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし