

インテリジェント歩行支援機の汎用的な歩行追従動作の開発

Development of General-purpose Walking Tracking Motion for Intelligent Walking Support Robot

知能機械工学コース

知能ロボティクス研究室 松久 来希

1. 緒言

超高齢化社会が加速する日本では、高齢者は増加の一途をたどっている。総務省の統計⁽¹⁾では、2025年時点で65歳以上の高齢者の割合が29.4%を占めている。また、2045年には35%を超える見込みである。高齢者は、加齢や事故により身体機能の衰えが見られる。足腰が弱くなったケースでは、QOLの低下や、介護が必要になる場合がある。本研究室では、これらの要歩行支援者を対象に安全・安心で全方向の歩行支援を行うインテリジェント歩行支援機（以降は、「支援機」とする）の開発が行われている。支援機の継続的な使用により、歩行者自身の歩行による足腰の機能改善や、健康増進、それに伴う要介護状態への移行の防止が期待できる。

先行研究では、歩行方向意図の同定法が提案されており、その同定に有効な様々なツールが活用されている⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。本研究ではそれらの成果や課題をもとにさらなる改善を行う。日常生活での歩行支援を目的とし、複数人へのデータ計測実験とLSTM(Long Short Term Memory)を用いた歩行の状態と方向の識別を行い、その性能を評価し有効性を示す。LSTMとは、時系列データを扱えるRNN(回帰型ニューラルネットワーク)の発展形である⁽⁵⁾。

2. データ計測実験

2.1 計測環境

本研究では、要歩行支援者の歩容・歩行方向を識別し追従する動作の開発のため、LSTMの構築を行う。そのためには、学習モデルに用いる歩行時の特徴を計測したデータが必要となる。先行研究⁽²⁾より、支援機のアームレスト内に搭載されている4つの力覚センサを用いることが歩行意図の同定に有効であると考えられる。したがって、データ計測に用いるツールは、力覚センサとARマーカーを使用する。実験時の計測環境を図1に示す。

2.2 計測実験①

本実験の目的は、歩行追従動作開発のためのデータ計測を行うことである。そのために、8人の健常な男性を対象に、静止した支援機を用いた課題動作を行ってもらい、それぞれの上半身の力と下半身の位置を記録する。安静状態の定義は、歩行者が支援機のアームレストにもたれかかり、楽な姿勢で何もしていない状態を指している。課題動作の詳細は図2に示す。また、実験手順を以下に示す。

- ① 被験者にマーカー付きの靴を着用してもらい、支援機前の図1に示される目印に配置した。
- ② 支援機のアーム部分をつかんだ状態で、アームレストにもたれかかり、テーブルの高さを被験者が快適だと感じるように調整した。
- ③ 前、右、右上の3方向での課題動作を10試行ずつ行い、そのときの力覚センサ、ARマーカーの値を計測した。

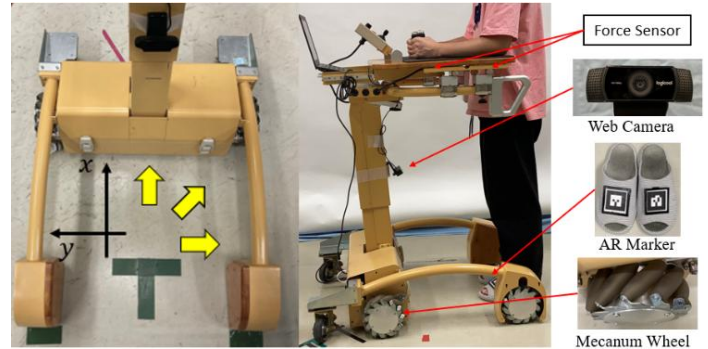


Fig1 Measurement Environment

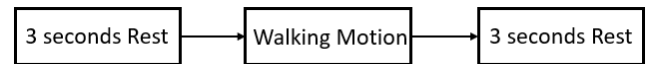


Fig2 Task Movement

計測結果の一例を以下に示す。

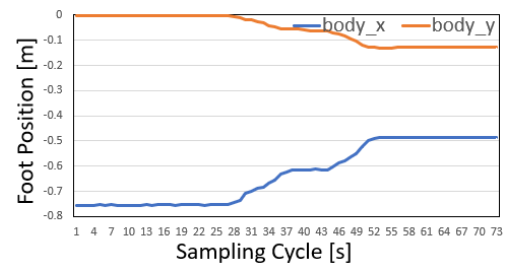


Fig3 Transition of Foot Position Coordinate

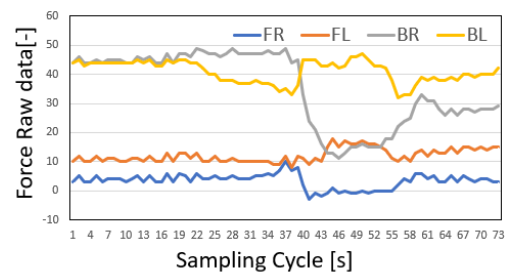


Fig4 Transition of Force Raw data

図4より、安静時→歩行動作への移行時に、BR、BLの特徴的な変化が見られる。これは、すべての被験者の計測結果で同様の特徴である。したがって、本実験を通して歩行者の歩行意図を力覚センサから読み取れることが確認された。

2.3 計測実験②

計測実験①で、安静時から歩き出しまでの有効なデータが計測できた。さらに有効な歩行データを拡張するため力覚センサの値をもとに式(1)のような歩行動作の判別式を立式し、

歩行追従プログラムを作成した上で,再度計測実験を行う.以下に,動作判別式の詳細を示す.なお,歩行意図を判別する閾値は,2.0 とする.計測実験②の手順は①と同様である.相違点は,支援機が歩行方向に合わせて移動する点である.

$$A_B = \frac{|F_{BR} - \mu_{BR}| + |F_{BL} - \mu_{BL}|}{\sqrt{\sigma_{BR}^2 + \sigma_{BL}^2}} \quad (1)$$

Table1 Details of each Variable

A_B	Movement discrimination amount
F_{BR}, F_{BL}	Values from two force sensor at the rear of robot
μ_{BR}, μ_{BL}	Average values of 15 sensor samples at rest
$\sigma_{BR}^2, \sigma_{BL}^2$	Variance of 15 sensor samples at rest

計測結果の一例を以下に示す.

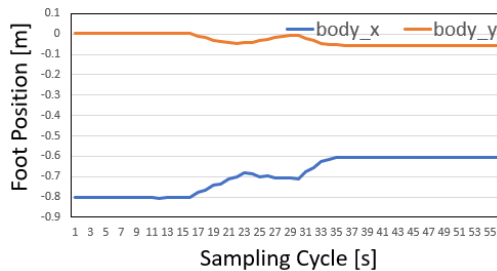


Fig5 Transition of Foot Position Coordinate included tracking

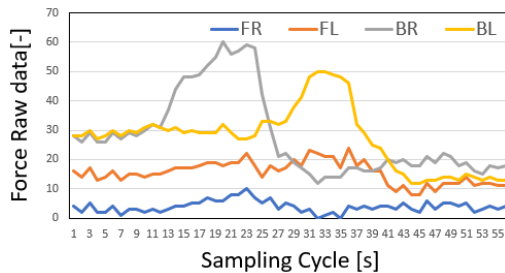


Fig6 Transition of Force Raw data included tracking

図 5 を見ると,歩行者の位置座標が実際に変化した後,支援機の移動によって,波のような変化が観察できることから,追従動作がうまく機能していることがわかる.これらの結果から,歩行者の安静時から歩行中の期間を含んだ歩容を力覚センサと足の位置座標として取得できていることが確認できる.

3. LSTM の実装と識別

上記の計測実験を通して,ニューラルネットワークの総データ数 240 個から成る学習用データセットを作成した.このデータセットをもとに,学習モデルを構築し,LSTM を用いた,3 つの歩行状態(安静,歩行意図,歩行中)と歩行方向(前,右,右上,無方向)の識別を行った.LSTM の詳細を述べる.隠れ層のニューロン数を 32,バッチサイズを 16 とした.最適化手法には Adam 法を用いた.出力層の活性化関数は,softmax 関数とし,損失関数は交差エントロピー誤差で求めた.学習の繰り返し回数を 1000 回として,学習用データによる,学習を行った.学習を終えたモデルにテスト用のデータ 72 個を入力した際の正答率を表 3 で示す.そして,学習中の歩行状態,歩行方向の損失の推移を図 8 に示す.これらの結果から,歩行状態の識別精度は,歩行方向と比較して高い結果となった. また,図 8 を見ると学習の途中で損失の値の推移が小さくなっている.こ

れは,過学習により学習用データセットに過度に適応した結果と考えられる.汎用的な追従動作に使用するためには,学習モデルの改善を行い,より高い識別精度の LSTM モデルが必要となる.

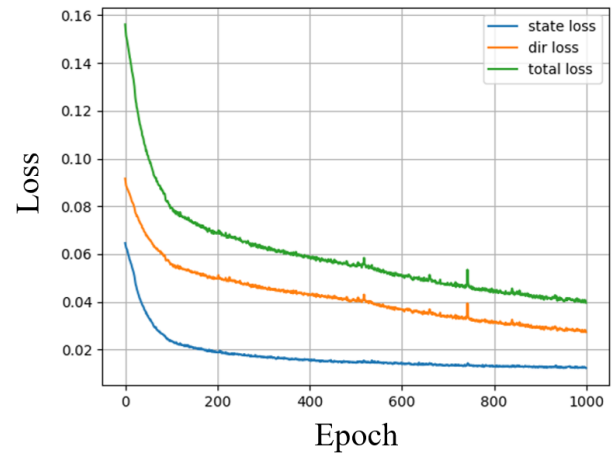


Fig7 Transition of each loss

Table3 Accuracy of Walking State and Direction

State	86.64%
Direction	71.2%

4. 結言

本研究では,力覚センサと AR マーカーを用いて,複数の被験者に対する計測実験を行った.また,歩行動作判別式を立式し,歩行追従動作の一部を開発した.また,LSTM による歩行状態と歩行方向の識別を行い歩行方向の判別を含めた追従動作への拡張の可能性を示した.今後は,LSTM による追従動作を開発し,停止動作を含めた歩行データの計測と追従動作への実装を行う.また,識別できる歩行方向を拡張し,全方向移動への対応を行う.そして,歩行動作中の急な方向転換や,歩行状態の変化へ対応するような,より汎用性のある追従動作の開発を目指す.

参考文献

- (1) 総務省統計局「統計からみた我が国の高齢者」(2025 年 9 月 15 日推計)
<https://www.stat.go.jp/data/topics/pdf/topics146.pdf>
閲覧日(2026/01/16)
- (2) 宮地大稀,王碩玉,“歩行意図の認識法及び転倒防止法の開発とその歩行支援機への応用”,日本機械学会中国四国支部第 63 期総会・講演会 講演論文集, 2025, <https://doi.org/10.1299/jsmeecs.2025.63.04A1>
- (3) 大寺真生,王碩玉,王義娜,“モーションセンサを用いた歩行方向意図識別方法の検討”,第 28 回バイオメディカル・ファジィ・システム学会年次大会 講演論文集, vol. 28, 2015, pp 117-118
- (4) 荒木みくに,王碩玉,“表面筋電位を用いた歩き出し歩行意図識別手法の開発”,日本機械学会中国四国支部第 63 期総会・講演会 講演論文集, 2025, <https://doi.org/10.1299/jsmeecs.2025.63.04A3>
- (5) 斎藤康毅,ゼロから作るディープラーニング②-自然言語処理編,株式会社オーム社, 2023, 412P