

要約

本研究では精神疾患患者を対象とする福祉研究である。先行研究の多くは足裏センサを用いて歩行実験を行いその特徴を調査したが、実用化に向けた研究はあまり進んでいない。本研究は実用化に向けて足元センサデバイスの提案，不安障害を緩和させるシステムを開発し歩行支援を行う。

キーワード：不安障害，機械学習，足元センシング

1 はじめに

歩行は生活に欠かせない重要な人間の行動の一種である。しかし，精神疾患患者は不安な感情などから歩行に関して難しさを感じている人が一定数存在する。うつ病や統合失調症の患者は不安に感じる事がよくあるため，歩行困難に陥る場合がある。このような症状は総称して不安障害とよばれる。不安障害とは心配や不安が過剰になり，日常生活に影響を及ぼしてしまうレベルのものを指し，心と体に様々な不快感を及ぼす。具体的にはパニック障害，社会不安障害，強迫性障害，全般性不安障害がある[1]。

本研究は精神疾患患者を対象としたの歩行支援を目的として研究を行う。そこで，タッチエンス株式会社のショッカクシューズを高額なセンサデバイスとして用い，自作デバイスと比較することで安価なデバイスでも十分にデータ解析ができることを示すと同時に，患者の不安障害を和らげ，歩行支援を行うシステムの提案を行う。

2 運動学習と脳の習熟の関連

2.1 内部モデルの作成

先行研究では，なぞり運動における脳の習熟メカニズムを示した[2]。内部モデルとは，外界の仕組みを脳の内部シミュレーションをする神経機構のことであり，これにより人間は運動する際に事前に行動を予測する。内部モデルを工学的に考える手法でカルマンフィルタとよばれる状態空間モデルにおいて内部の見えない「状態」を効率的に推定するための計算手法がある。

実験は心理実験ツールである PsychoPy を用いて行う。PC 上に出現する星形図形をマウスパッドを用いて 30 回なぞる。本データを収集する前に練習を 3 回行う。まず，PsychoPy の使い方を覚えるために正方形のなぞり書き 2 周を行う。次に，実験で行う上下反転する動き方を経験するために正方形のなぞり書きを上下反転でカーソルが動く設定で 2 周行う。最後に，星形のなぞりについて書き順を覚えるために星形のなぞり書きを 2 周行う。

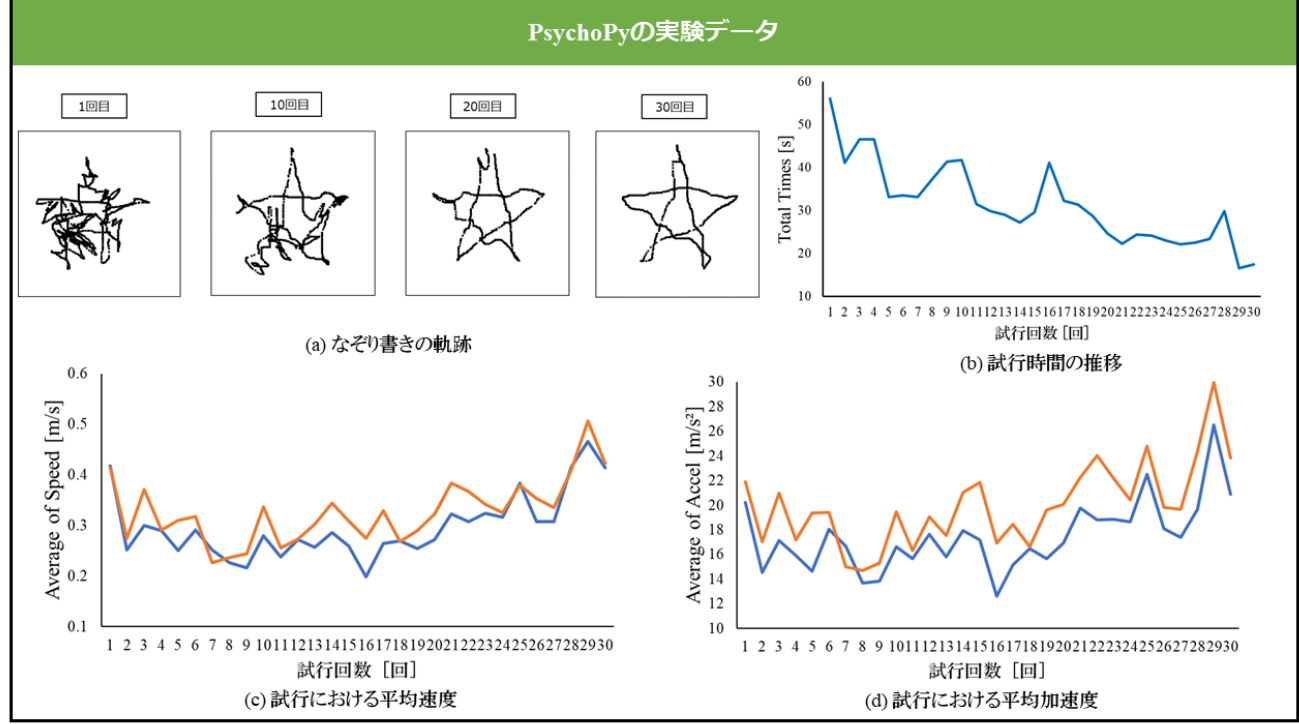


図1 PsychoPy で得られるデータ

図1はPsychoPy で得られたデータを可視化したものである。(a)は実際に被験者がなぞった軌跡である。(b)はなぞり書きを1周終わるのにかかる時間をグラフ化したものである。(c)および(d)は1周にかかる平均速度および平均加速度で，青線がx方向，橙線がy方向を示す。

2.2 インピーダンス推定

インピーダンスを用いる考え方にインピーダンス制御がある。インピーダンスパラメータは慣性行列，粘性行列，剛性行列であり，慣性行列は角運動量と角加速度の比例定数，粘性行列は物体の滑動における摩擦力に抗う力積を単位平方メートルあたりの定数で示し，剛性行列は単位平方メートルあたりに外部から力を加えることによる物体の反力，曲げやすさを示す定数である。

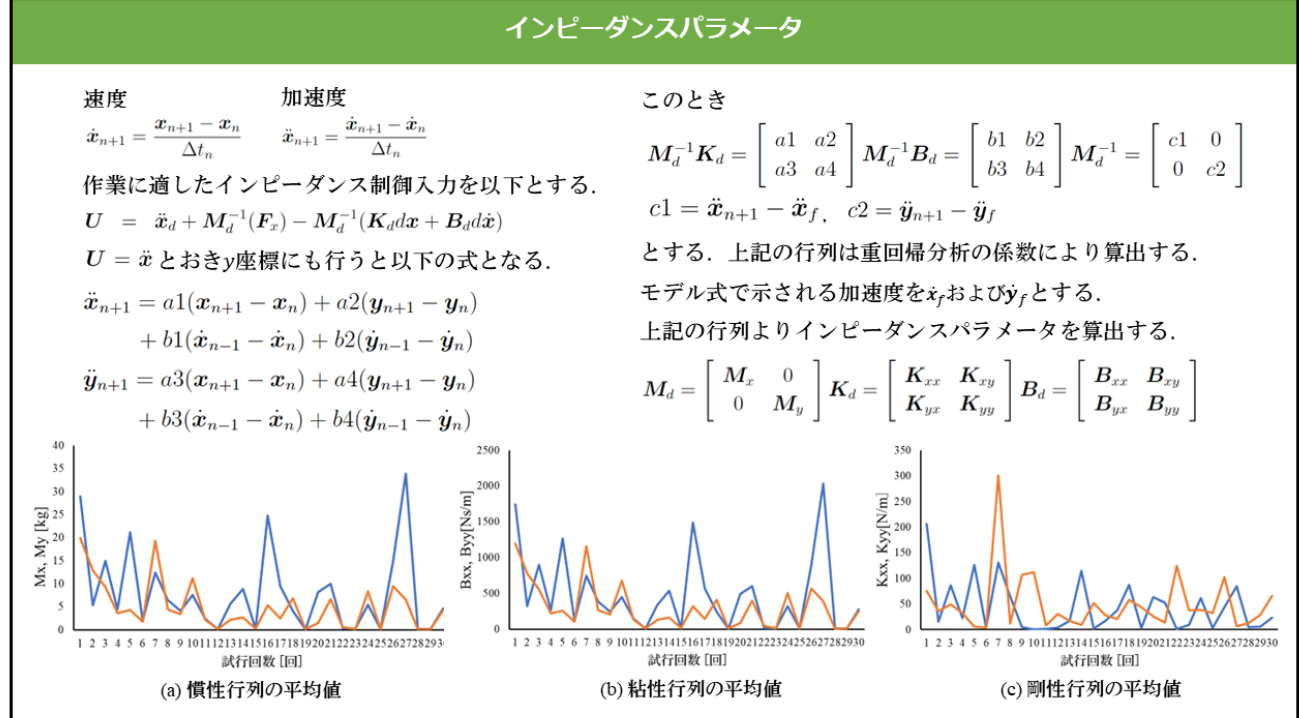


図2 インピーダンスパラメータの推移

実験データを解析した結果を図2に示す。(a)，(b)，(c)において青線はx方向，橙線はy方向を示す。試行回数を

重ねるごとにインピーダンスパラメータの数値が小さくなっていった。すなわち，最初は運動を理解するために力がかかっていたがある程度学習が進むと少しずつ力が抜けていくことがわかった。

2.3 内部モデルの信頼度

「内部モデルの信頼度」とは，内部モデルの適応の進み具合をシステム内部で評価したものである。人間は，目標行動に慣れるに従って身体の動きを大きくしていく。慣れに応じて適切な運動指令を生成するためには，内部モデルの適応進み具合を評価する必要がある。

図3は1回の試行における誤差と信頼度の推移をグラフに表したものである。試行回数の増加に伴って信頼度も上昇した。これにより，人間は同じ動作を繰り返し行うことで脳が目標行動を学習し，適切な運動指令を出せるようになることがわかる。

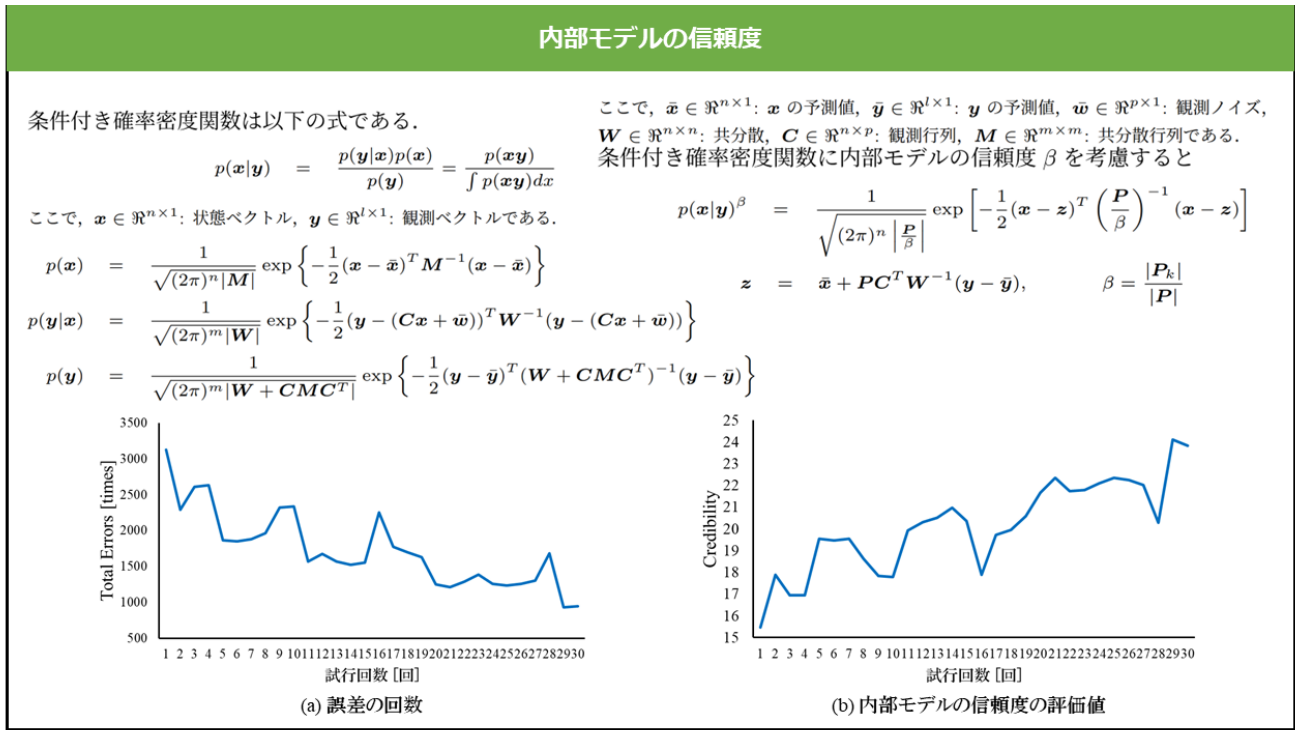


図3 誤差と信頼度

3 足裏圧センサデバイス

3.1 足裏センサの研究

先行研究では歩行時に影響を与えることのない足裏部の3軸応力分布システムの有効性を確認している[3]。これを用いて傾斜路歩行時と階段昇降時の足裏応力分布を計測し，各測定点での3軸応力のピーク値や時間的推移，足裏で生じる応力の空間的な推移の様子など，定量的なデータを得ることができた。それぞれのデータにおける足圧の特徴量を見出すことができおり，歩行に影響しないコンパクトなセンサデバイスを提案した[4, 5]。

3.2 ショッカクシューズと自作センサ

ショッカクシューズはタッチエンス株式会社の足裏センサで，6軸触覚センサが3つと中央に6軸MPUが搭載されており，重心，3軸情報(地面反力，推進力，左右揺動力)を得られたセンサデータからタッチエンス社独自AIで解析できるデバイスである。

自作センサはFSR402圧力センサが6つとMPU9250センサを1つ搭載しており，ショッカクシューズと比較し圧力センサの数を2倍の6個搭載した。また，MPU9250は足首に装着するように設計した。これにより加速度，角速度を足首から取得することができる。

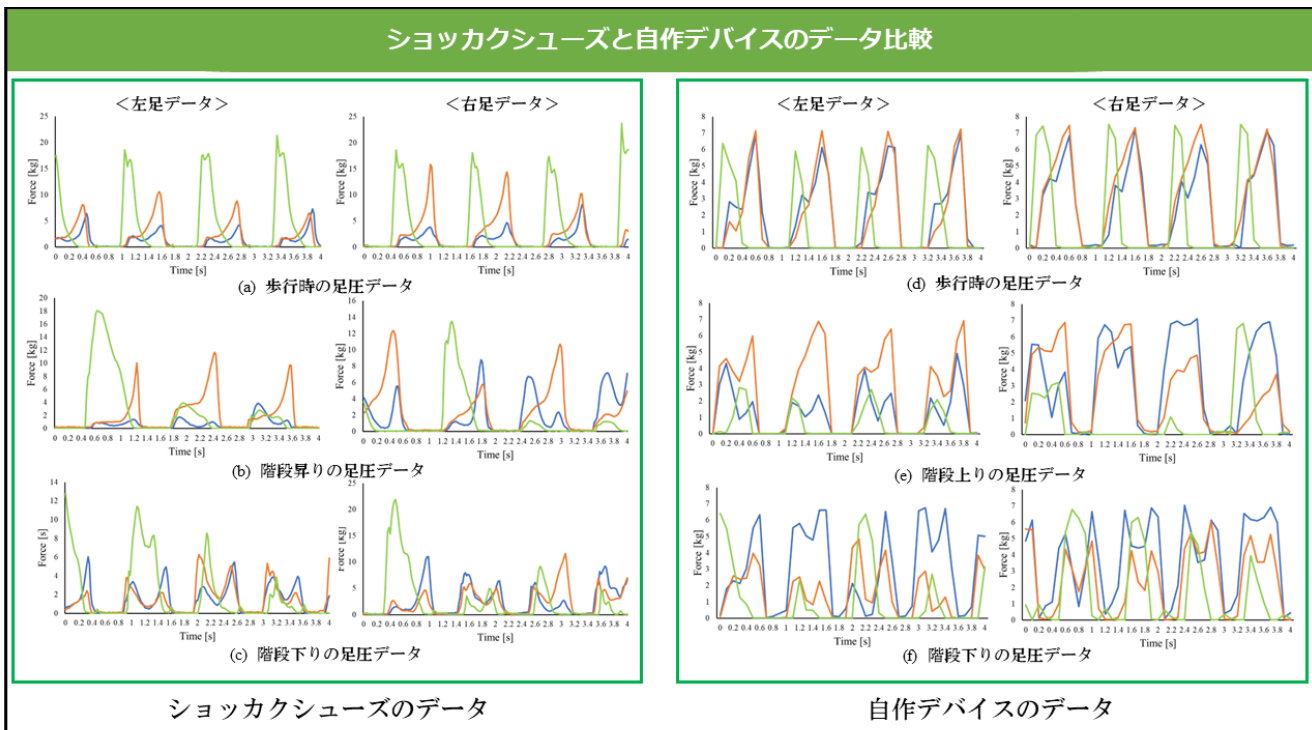


図4 ショッカクシューズと自作デバイス

図4にショッカクシューズと自作デバイスのデータをグラフにして示す。グラフの線はそれぞれ青は母指球，橙は子指球，黄緑は踵を表す。どちらも歩行時の特徴を示すことができおり，自作センサを用いて高額なセンサデバイスと同じ特徴を提示することを可能とした。

3.3 自作センサの有意性

ショッカクシューズと自作デバイスを比較し，自作デバイスの利点を示す。図5は自作デバイスの概要と有意性を示したものである。ショッカクシューズの触覚センサは母指球，子指球，踵の3か所にそれぞれ配置されているが自作センサはさらに中節骨，楔状骨(けつじょうこつ)，立方骨にそれぞれ1つずつ配置した。それにより細かな身体のバランスを測ることを可能とした。

また，ショッカクシューズはバッテリー持続時間を30分ほど，加えて充電時間が2時間としているが，自作デバイスのPiSugar2は約4時間ほどの駆動を可能とし，長時間の利用を可能とした。さらに充電時間を30分としたためバッテリー切れになっても短い時間で充電を終えることができる。これにより，日常生活で用いることができるため実用化に近づく。



図5 自作デバイスの概要

4 提案手法

本研究は行動識別のために，最適化アルゴリズムAdamを用いて機械学習を行う。このとき，8割を学習データ，2割をテストデータとする。また，拡張カルマンフィルタを用いて内部モデルを予測し，足元の状態推定を行う。

歩行，階段昇り，階段降り，右片足立ち，左片足立ち，着席，走行，直立の8つの行動データを，足元データが両足で24種類，拡張カルマンフィルタの結果が両足で18種類，重心の座標が両足で4種類の計46種類を機械学習させ，結果をもとに被験者の行動を予測し歩行を促すように応答を行う。上記の提案手法の概要を図6に示す。

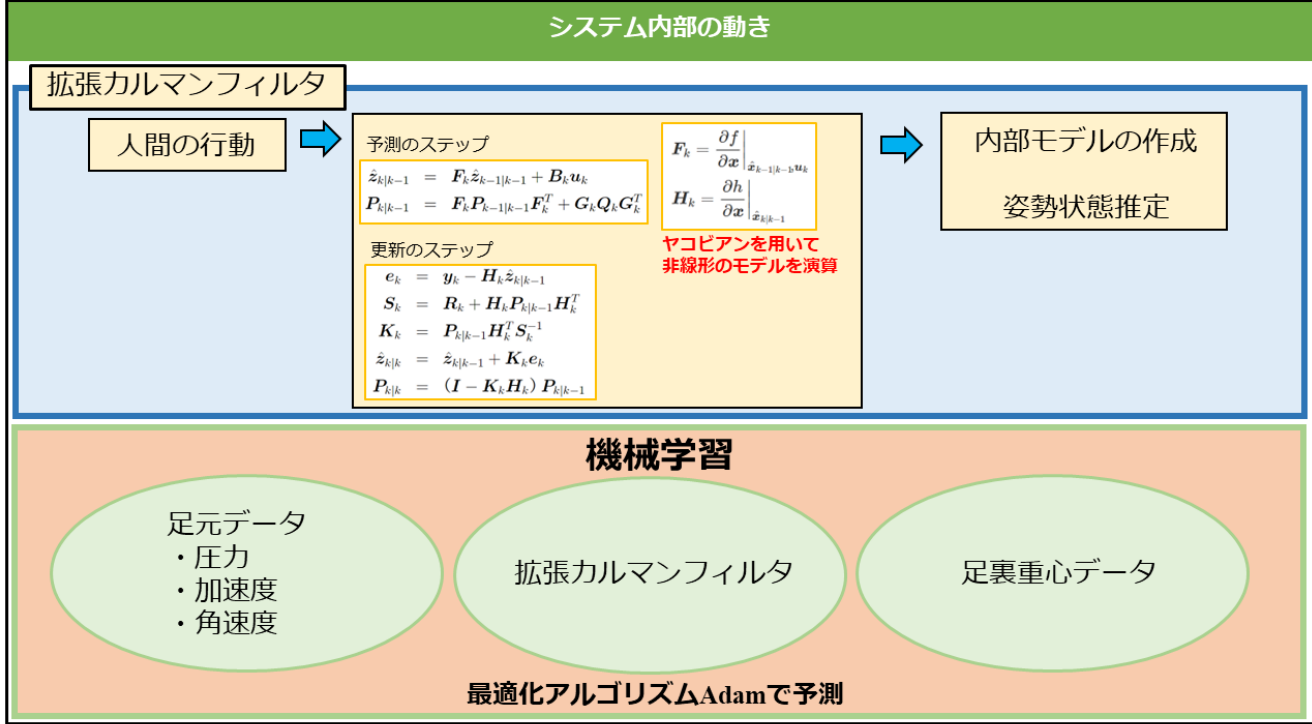


図6 提案手法の概要

5 数値実験並びに考察

実験に用いる機械学習の教師用データは，上記の46種類を8つの行動分で合計3681610個のデータを用いる。これをもとに2022年10月23日午後4時47分から午後6時15分までの1時間28分間の行動と2022年10月25日午前0時30分から午前1時30分の1時間の行動を予測する。数値実験の結果を図7に示す。実際の行動と比較して高い確率で行動を予測することができた。しかし，現在の分析法では土の上を歩いているのか砂利道を歩いているのかといった，細かい条件が分からない。そのため行動条件を追加し，それに合わせて危険予測を行う必要がある。

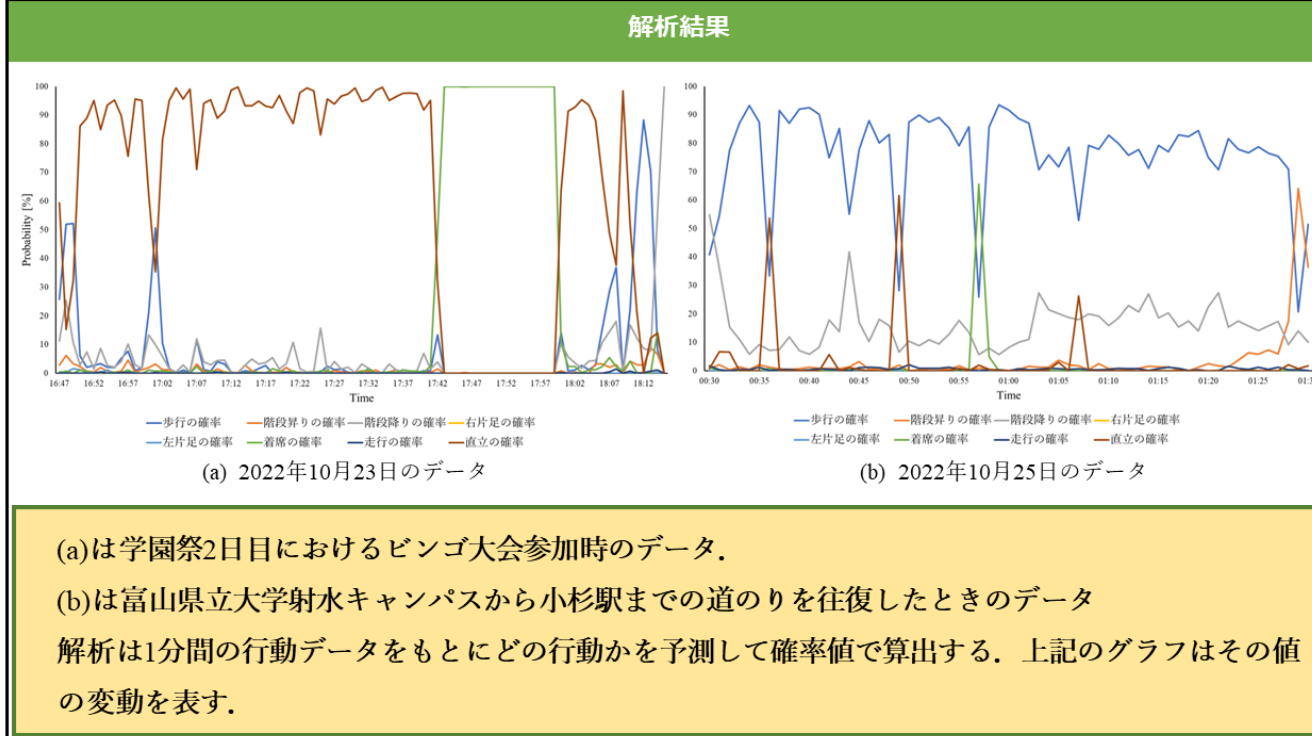


図7 実験結果

6 おわりに

精神疾患患者に向けた歩行支援を行うセンサデバイスを開発した。今後の展開として，機械学習の教師用データを歩行条件によって増やし，より細かな行動識別を行えるシステムの開発を目指す。

参考文献

- [1] “厚生労働省 不安障害 こころの病気を知る”，<https://www.mhlw.go.jp/kokoro/youth/stress/known>，閲覧日 2022, 10, 20
- [2] 清水 豪士，“運動学習におけるインピーダンスの習熟と内部モデルの信頼度”，富山県立大学学位論文, 2021
- [3] 中井 亮仁, 永野 顕法, 高橋 英俊, 松本 潔, 下山 勲 “インソールに配置したMEMS3軸力センサによる足裏応力分布計測” *Proceedings of the 2013 JSME Conference on Robotics and Mechatronics*, No. 13-2, 2013
- [4] 中井 亮仁, 森下 康彦, 下山 勲 “MEMS3軸力センサを用いた傾斜路歩行時の足裏応力分布計測” 日本機械学会 No. 14-40 シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2014
- [5] 中井 亮仁, 永野 顕法, 高橋 英俊, 松本 潔, 下山 勲 “MEMS3軸力センサを用いた階段昇降時の足裏応力分布計測” 日本機械学会 No. 13-34 シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2013