

# 左右方向のアシストを行う歩行支援ロボットの提案と単一IMUに基づく歩行イベントの検出と予測

朱 天意 尾形 邦裕 藤本 雅大 松本 吉央 生活機能ロボティクス・運動機能拡張研究チーム

## ■ はじめに

人は加齢により左右方向のバランス能力が低下し、歩行中転倒するリスクが増加する。特に、左右方向への転倒は大腿骨頸部骨折などの深刻な外傷を起こし、高齢者が要支援・要介護の状態になる。したがって、身体左右方向に安定な歩行を実現する支援機器が高齢者には必要であると考えられる。本研究では、左右方向のアシストを行う歩行支援ロボットを提案し、その制御に必要な歩行イベントheel strike (HS)・toe-off (TO) の瞬間と支持脚判断を推定できる方法の開発を目的とした。圧力センサとフォースプレートを用いた、HS・TO の瞬間の検出と支持脚判断の検証実験の結果、開発したアルゴリズムにより90 %以上の正解率でそれら歩行イベントの検出・予測に成功した。

## ■ 左右の歩行を支援するロボットの提案

本研究では空気圧アクチュエータと慣性計測ユニット (IMU) から構成されるパンツ型の柔軟な歩行支援ロボットを提案する (図1)。IMU によって検出・推定した歩行イベントに基づいて、アクチュエータにより股関節外転筋を補助することで、身体左右方向に安定した歩行に誘導するデバイスである。

## ■ IMUに基づく歩行イベントの検出

人の歩行には一定の周期性があるため、一歩行周期中の腰の加速度特徴と倒立振り子モデルに基づいて、HS、TO の検出と支持脚の判断と予測を可能にするアルゴリズムを構築した。具体的には：

- **HSの検出**(図2)： 条件1 鉛直方向加速度 = 極大値  
条件2 前進方向加速度 = 極大値
- **TOの検出**(図2)： 前進方向加速度 = 極小値
- **左右支持脚の判別** (図3)：左右加速度の対称性を利用し、一歩分の速度の変動から判別した。
- **歩行イベントの予測** (図4)：前3歩の平均時間を利用し、次のHSとTOの発生時間を推算した。

## ■ 検証実験

圧力センサとフォースプレートのデータを用い、提案した歩行イベント検出手法の精度を評価した。2名の健常成人男性から実験協力を得、左足スタートと右足スタート各6回 (合計24回) の歩行データを収集した。図6に示すように、IMU をベルトで腰につけ、身体右方向がX+, 身体前進方向はY+, 鉛直上方向はZ+ となるように設置した。また、プッシュボタンスイッチを用いて、IMU 及び各計測装置との時間同期化を実現している。

### 計測装置：

- 9軸センサBMX055 (3軸加速度・3軸角速度・3軸磁気)：データ計測
- LPC1768マイコン：データ収集・処理
- サンプル周波数：160Hz

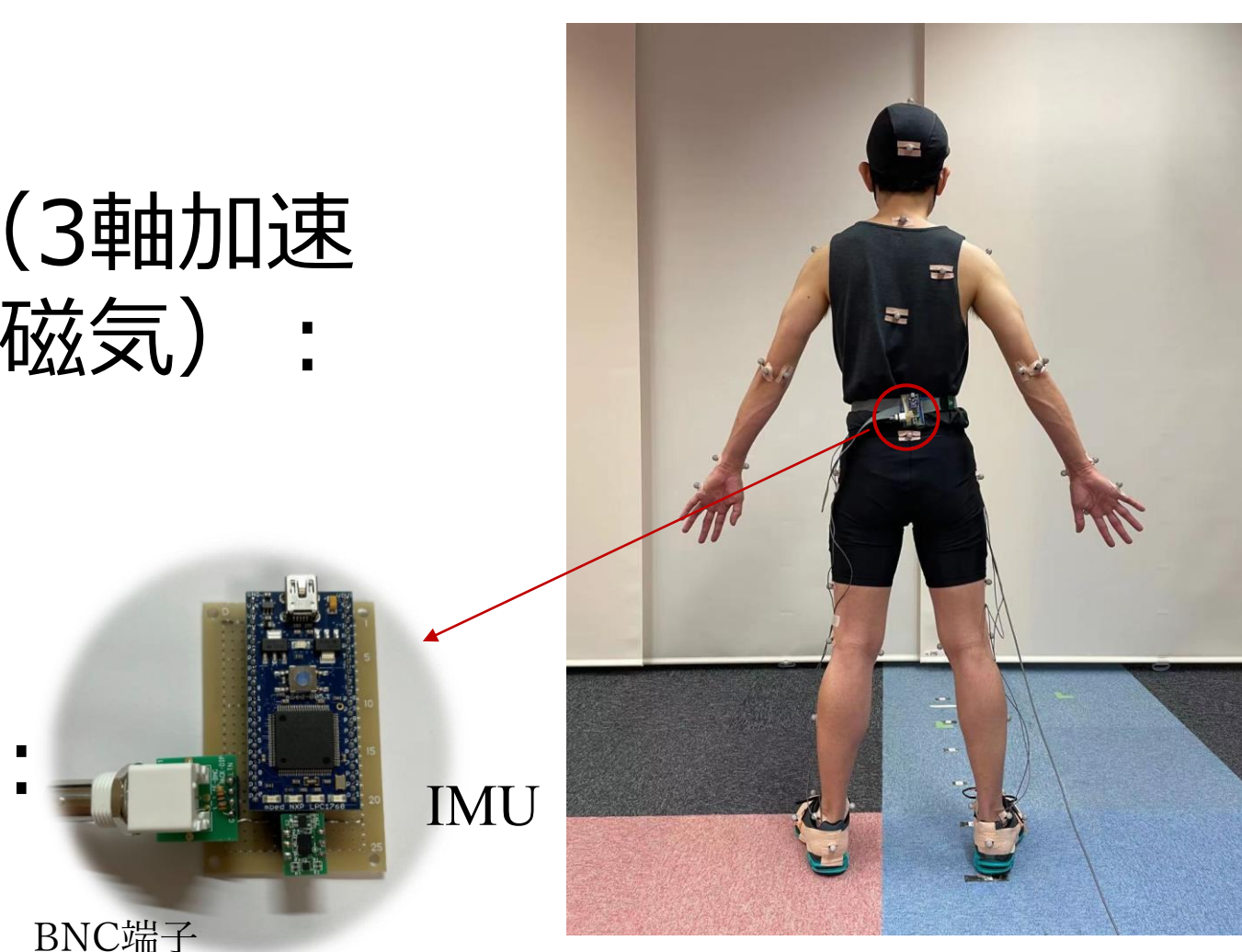


図5 実験装着

## ■ 結果分析

|          | 圧力センサ | フォースプレート |
|----------|-------|----------|
| HS検出誤り率  | 0.33% | 0.72%    |
| TO検出誤り率  | 0.33% | 0.72%    |
| HS予測誤り率  | 0.36% | 0.00%    |
| TO予測誤り率  | 0.36% | 0.72%    |
| 支持脚判断誤り率 | 0.79% | 0.72%    |

|          | 圧力センサ | フォースプレート |
|----------|-------|----------|
| HS検出時間誤差 | 9.62% | 7.45%    |
| TO検出時間誤差 | 3.40% | 2.48%    |
| HS予測時間誤差 | 7.01% | 8.64%    |
| TO予測時間誤差 | 4.42% | 4.04%    |

$$\text{※HS/TO検出 (予測) 誤り率} = \frac{\text{IMUで検出 (予測) 誤ったHS/TOの数}}{\text{Reference Sensorで記録されたHS/TOの総数}} \times 100\%$$

$$\text{※HS/TO時間誤差} = \frac{\text{検出 (予測) したHS/TOと実際の時間差}}{\text{平均歩行間隔}} \times 100\%$$



連絡先：情報・人間工学領域研究戦略部  
rp-ith-ml@aist.go.jp

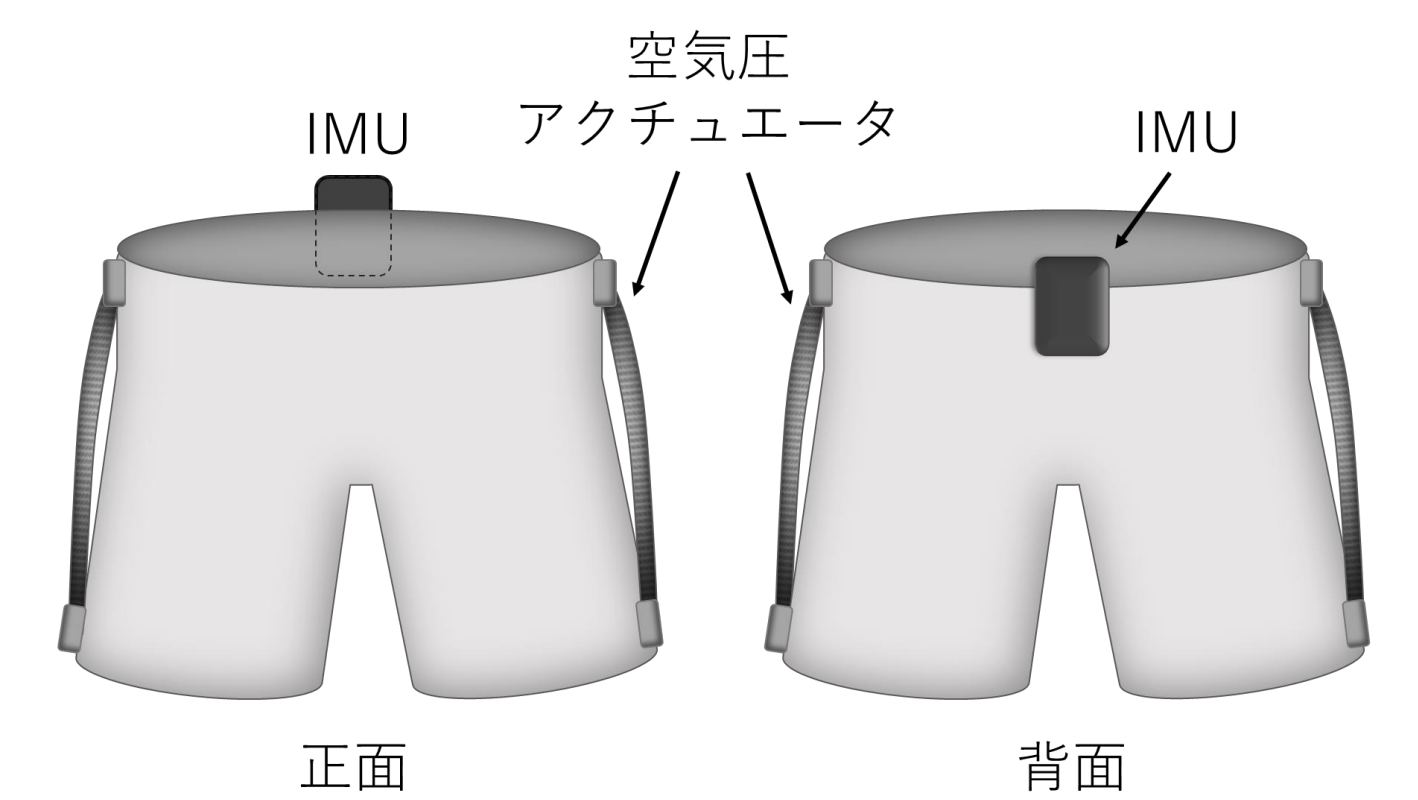


図1 提案する歩行支援ロボットの略図

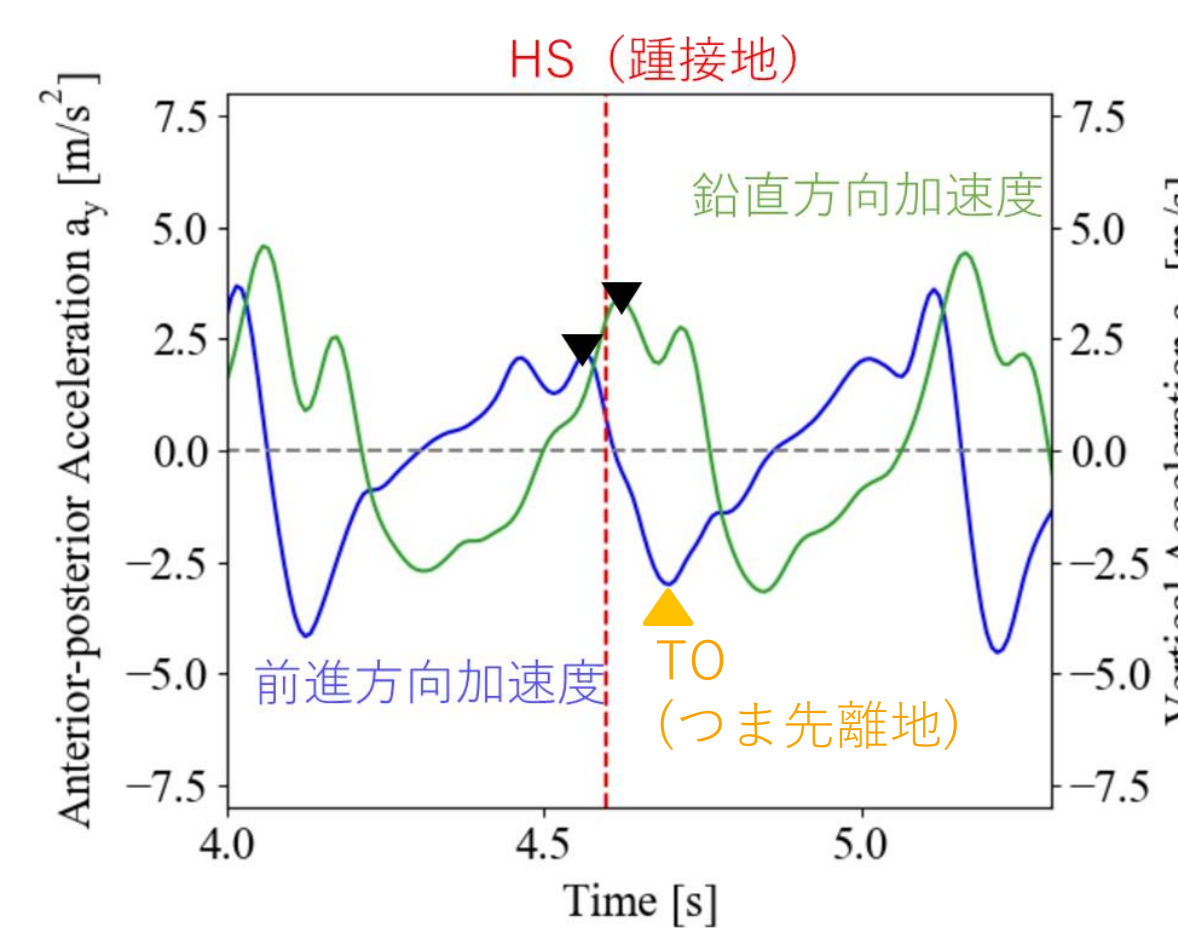


図2 HS・TO検出の加速度特徴

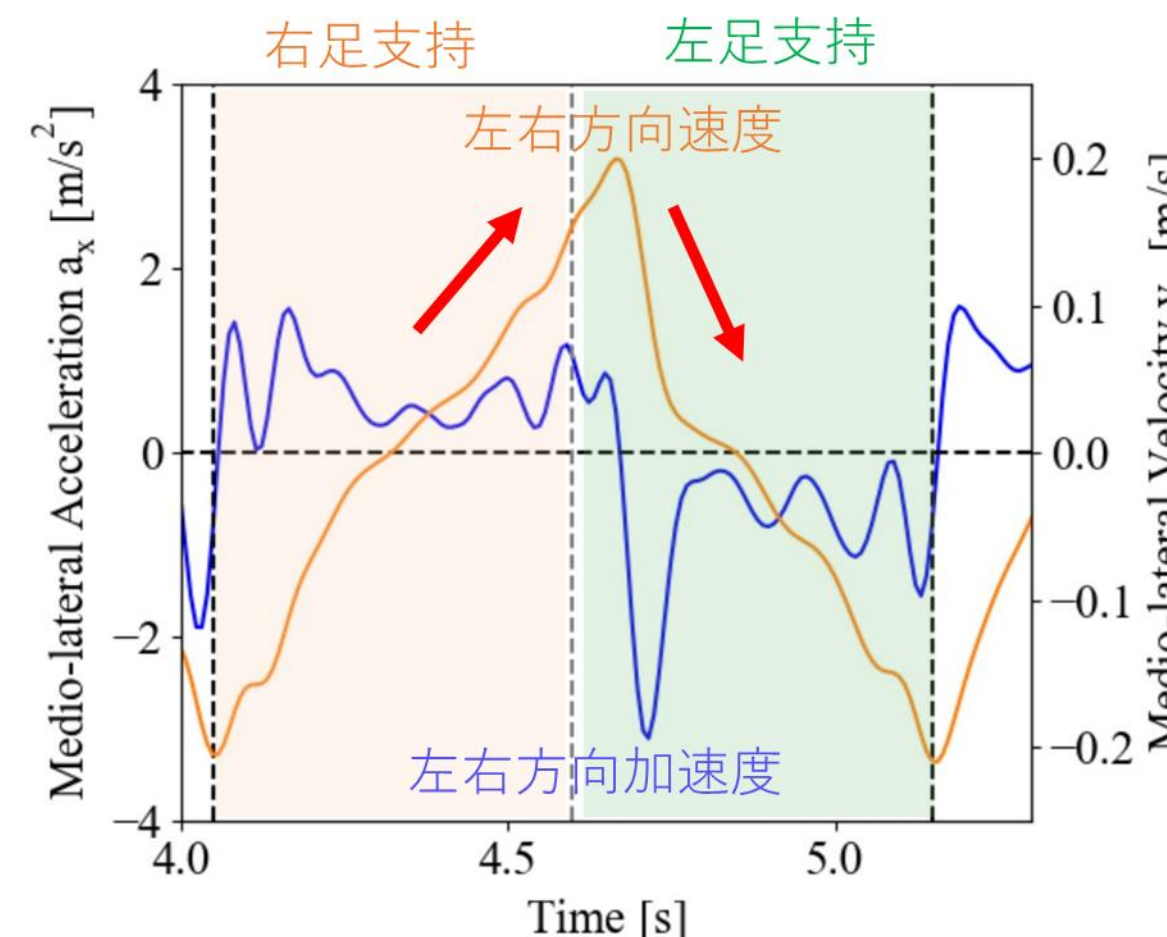


図3 支持脚判別の加速度特徴

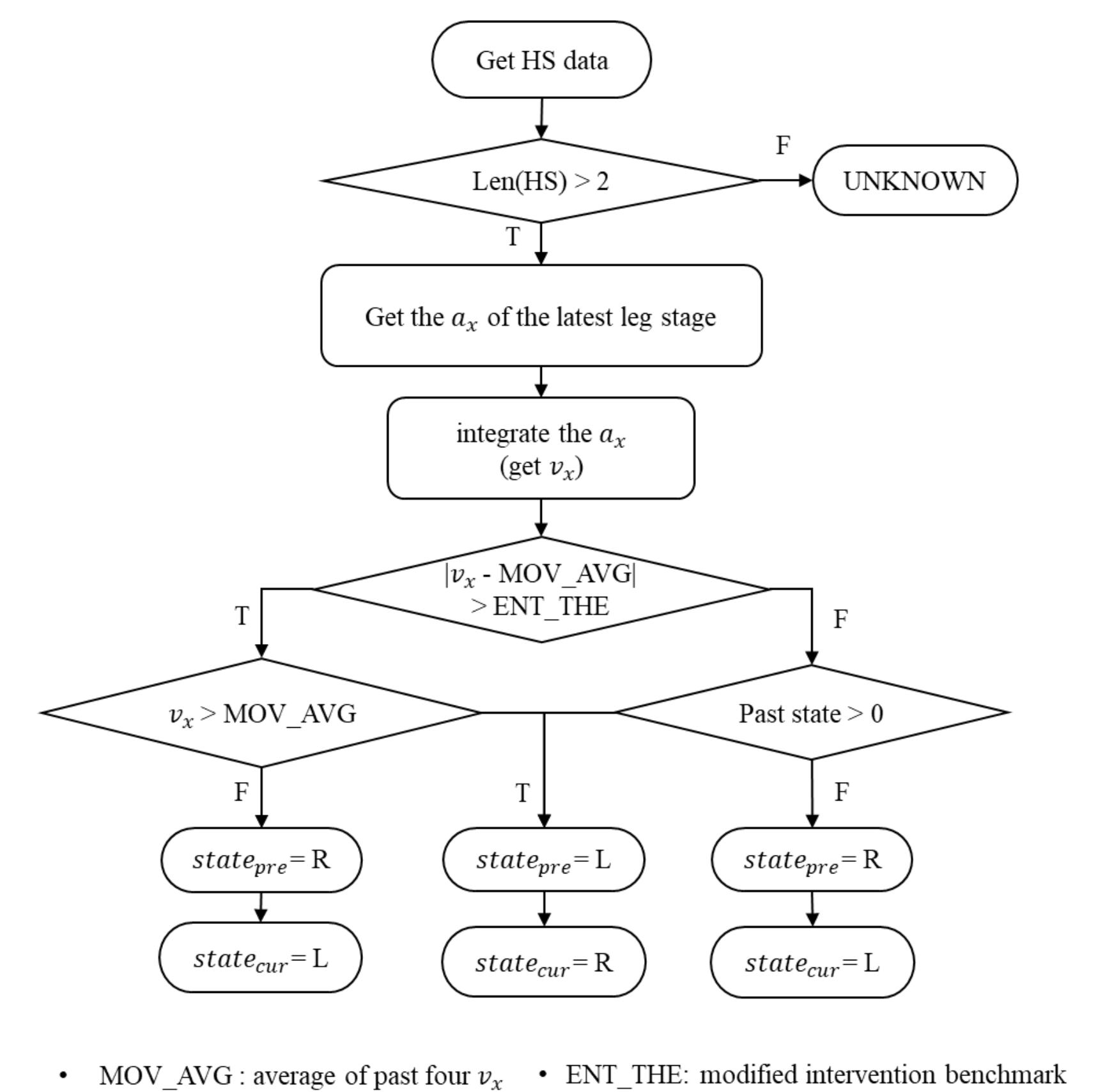


図4 歩行イベント予測のアルゴリズム

### 検証装置：

- 圧力センサ (DHK(株)のPH-450A 4ch FS アンプ)：
  - ・ 4つをそれぞれ両足のインソールのつま先と踵の付近に固定した
  - ・ OFF = 5V, ON = 0V (HS: 0V⇒5V, TO: 5V⇒0V)
  - ・ サンプル周波数: 1kHz

### ■ フォースプレート

- ・ 9つが実験室の床に埋め込まれている (実験協力者には第5歩からの連続6歩が1~6の各フォースプレートに接地するように指示した)
- ・ HS: > 10N の瞬間
- ・ TO: < 10N の瞬間
- ・ サンプル周波数: 200Hz

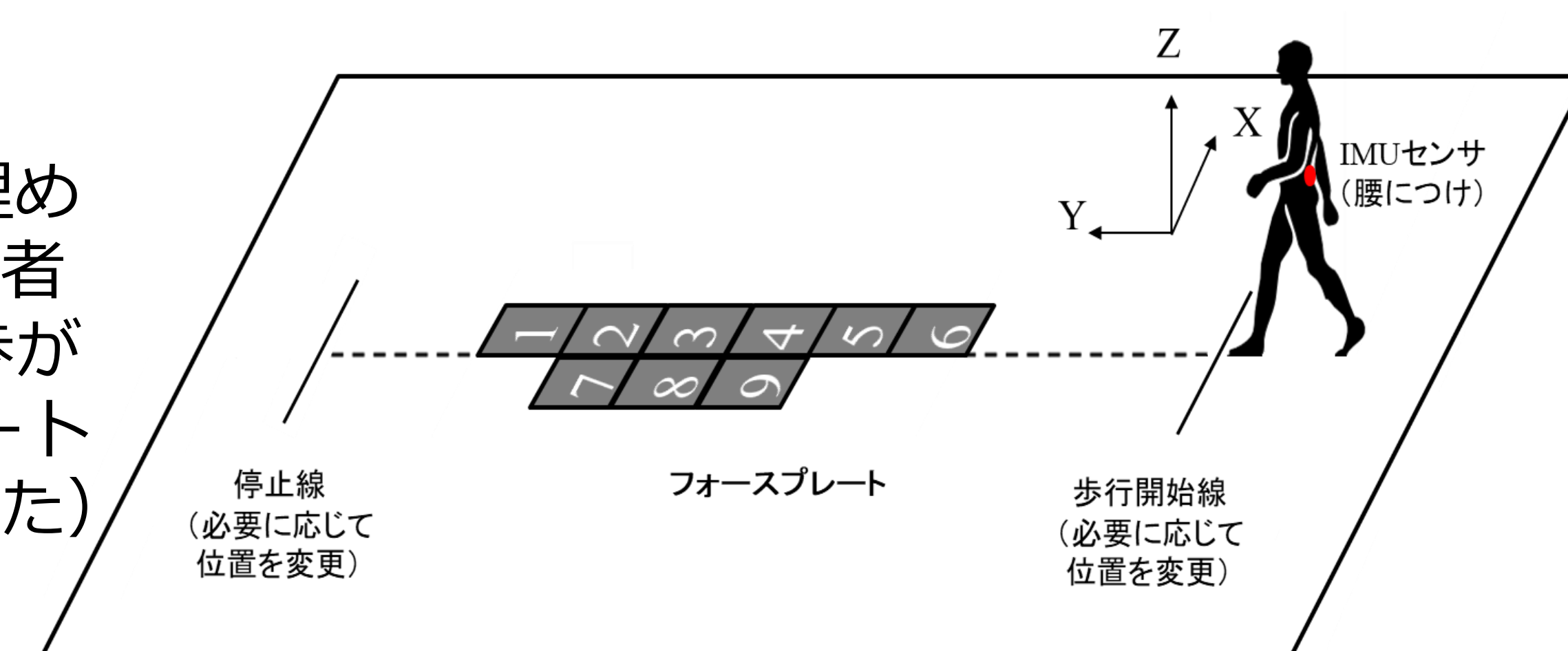


図6 実験環境

## ■ 考察・まとめ

- 圧力センサとフォースプレートのデータを比較した結果、提案した歩行イベントの検出と予測手法の検出誤り率は1%以下であり、時間誤差は10%以下である
- 今回は閾値を用いて歩行イベントの検出を行ったが、今後は高い検出・推定精度と汎化性の両立に向けてアルゴリズムの改良を行う
- ロボットウェアに本手法を搭載し、歩行支援を実現することを目指す