

補助事業番号 2024M-491

補助事業名 2024年度 中敷型足圧計測装置WonderStepの開発 補助事業

補助事業者名 公立大学法人会津大学上級准教授 荊 雷

## 1 研究の概要

場所を選ばず、短時間の歩く動作だけより、転倒リスクを測定できる中敷型足圧計測装置、および転倒リスク推定AIモデルの研究開発

## 2 研究の目的と背景

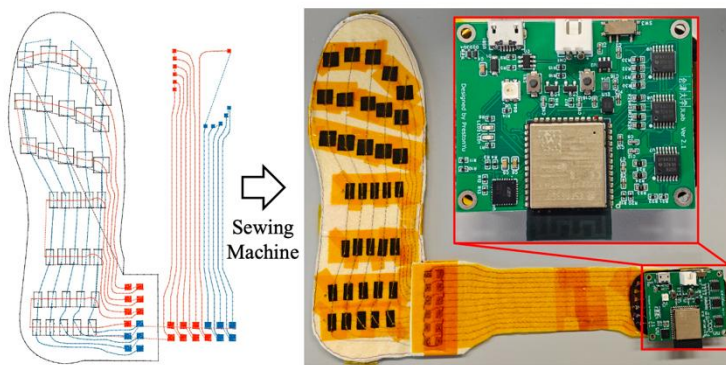
高齢化社会の進展により、転倒は高齢者の主要な事故原因として医療・介護現場で深刻な課題となっています。従来の転倒リスク評価は施設内の観察や問診に依存しており、定量的かつ日常的な評価が困難でした。

本研究では、圧力センサを内蔵した中敷（インソール）と慣性センサ（IMU）を用いたウェアラブルデバイスを開発し、歩行中の足圧と動作データからAIによって転倒リスクを推定する手法を確立することを目的とします。これにより、家庭や施設内において簡便かつ低コストでの継続的な転倒リスク管理を可能にし、高齢者の自立支援と予防医療への貢献を目指します。

## 3 研究内容 <https://isensing.u-aizu.ac.jp/jka-project/>

### A. 中敷型足圧計測装置WonderStepの開発

圧力感知材料を使用し、35点の圧力センサを刺繍機で配置したE-Textile中敷を開発。ESP32マイコンと9軸IMUを組み合わせた装置により、足圧と動作データをリアルタイムで収集・無線送信する低コスト・高耐久なシステムを実現。



簡易着脱可能な専用マイコン ケースを設計し、快適性と耐久性も両立。 図 1 試作した中敷型足底圧力分布計測装置

### B. 教師用データの収集

福島県内の病院や大学内で、転倒リスクの異なる高齢者・若年者約50名を対象に実験を実施。立位・歩行・起立動作を含むシナリオ下で、足圧・IMUデータ、および



図 2 病院でデータ収集の様子

び病院提供の評価スコア（リスク指標）を併せて取得。センサのばらつき・経時変化に対応するため、簡易二点法キャリブレーションを各センサに適用。



図 3 装置を靴の中に入れて装着した様子

#### C. 転倒リスクを予測するモデルの訓練

高次元・少数データ（HDLSS）に対応した1D-CNN+Transformerベースの分類モデルを構築。加えて、歩行周期ごとのデータ拡張（時系列変調・ノイズ注入）を導入し、データ多様性と汎化性能を向上。圧力・IMU融合によるマルチモーダル入力により、従来の単一センサモデルを大幅に上回る性能を確認。

#### D. システムの性能評価

収集データを用いた5分割交差検証により、転倒リスク二値分類（転倒リスクありとなし、2種類）において平均90%以上の精度を達成。

Fold	Validation Loss	Validation Accuracy
1	0.6418	82.56%
2	0.1016	100.00%
3	1.2371	79.84%
4	0.2733	100.00%
5	0.4990	90.89%

図 4 二値分類の結果（転倒リスクなし、あり）

収集データを用いた5分割交差検証により、転倒リスク四つ分類（転倒リスクなし、リスク低、リスク中、リスク高）において平均45%ぐらいの精度。これは以下の具体的な分析より、各クラスデータのアンバランス、および教師データの不正確だと考えられる。

まず、混同行列は、4クラス分類モデルのFold 2における予測結果を示している。クラス0（転倒リスクなしのクラス）は正確に分類されており、モデルが特徴を正しく捉えていることが分かる。一方で、クラス1～3では誤分類が多く、特に隣接するリスクレベル間での混同が顕著である。

さらに、Transformerモデルの出力特徴量を2次元に圧縮し、転倒リスクスコア（またはクラス）ごとに色分けして可視化したものである。全体として、クラス間での分離が十分でなく、特に低リスク（スコア0～5）のデータが混在していることが確認できる。これは、モデ

ルの特徴抽出が不十分であるか、または教師データのラベルに連続性や曖昧さがあるためと考えられる。さらに、高リスク（スコア10）のデータ点が散在していることから、クラス不均衡や学習不足も分類精度の低下要因であると推察される。以上より、分類精度を向上させるためには、データの分布改善や特徴量の設計見直しが必要である。

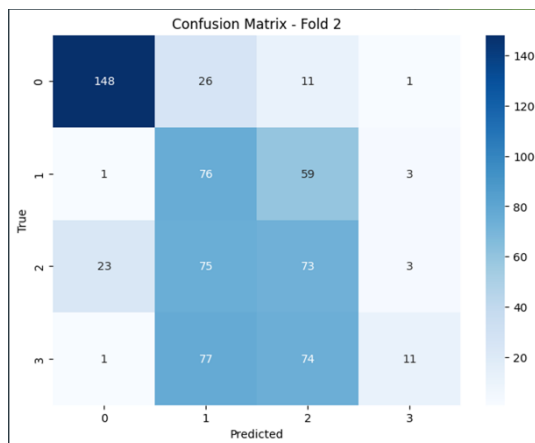
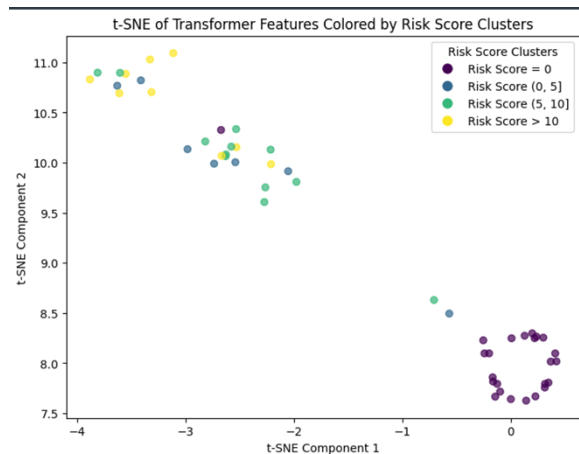


図 6 転倒リスクを4クラス分類する混同行列



4 本研究が実社会にどう活かされるか—展

図 5 五十人データのクラスタリング結果

#### 望

本研究で開発した中敷型足圧計測装置「WonderStep」は、簡便かつ低コストに個人の歩行データを収集・解析できる点で、在宅介護や高齢者施設における日常的な転倒リスクのモニタリングに活用が期待されます。従来の病院内評価や映像分析と異なり、プライバシーや設置環境の制約が少なく、多拠点・長期間での利用が可能です。

また、スマートフォンやクラウドと連携することで、家族や医療従事者が遠隔でリスク状態を把握し、早期介入を行うこともできます。さらに将来的には、転倒予測に基づく介護支援システムや、リハビリテーション効果の定量評価、労働現場での安全管理などへの応用も見込まれます。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

申請者はこれまで、ウェアラブルセンサ、E-Textile、AIによる人間動作解析を中心に研究を展開してきた。特に、圧力センサやIMUを用いた姿勢・動作の計測と認識に関する研究を継続的に行っており、手指動作認識（スマートグローブ）、労働姿勢評価、AIによる運動分類など、複数の応用分野に成果を残しています。

本研究はこれらの知見と技術基盤を応用し、高齢者の転倒リスクという社会的課題に対する応用展開であり、学術的にも社会実装面でも発展性の高いプロジェクトです。特に、デバイスの低コスト化、簡易キャリブレーション法の確立、AIモデルの設計といった要素は、今後

の研究・教育活動における重要な応用基盤となります。将来的には、在宅医療、遠隔介護支援、産業用安全管理などへの発展が見込まれます。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

### 特許 1 件 (1 件出願済み)

- (1) 「推定モデルおよび姿勢推定システム」(特願2025-70908)

### 論文集2本 (出版済み)

- (1) L. Jing, Y. Matsumoto, and Z. Zhang (Eds) (2024). “Exploring IoT Sensors and Their Applications: Advancements, Challenges, and Opportunities in Smart Environments”, Micromachines, ISBN978-3-7258-2024-5, doi.org/10.3390/books978-3-7258-2023-8
- (2) L. Jing, J. Zhou, and Z. Zhang (Eds) (2024). “Wearable Sensing Devices and Technology”, Electronics, ISBN978-3-7258-1984-3, doi.org/10.3390/books978-3-7258-1983-6

### 国際ジャーナル論文 (10本公表済み)

- ① Y. Zhang, Z. Pu, and L. Jing. (2025). “A Time-series Data Augmentation Model Through Diffusion and Transformer Integration.” arXiv preprint arXiv:2505.03790
- ② A. Watanabe, R. Aisuwarya, and L. Jing. (2025). “P2P-Insole: Human Pose Estimation Using Foot Pressure Distribution and Motion Sensors,” arXiv preprint arXiv:2505.00755
- ③ Yuriya Nakamura and Lei Jing. (2025). “Skeleton-Based Data Augmentation for Sign Language Recognition Using Adversarial Learning,” in IEEE Access, vol. 13, pp. 15290-15300
- ④ Shunsei Yamagishi and Lei Jing. (2024). “The Unscented Kalman Filter With Reduced Computation Time for Estimating the Attitude of the Attitude and Heading Reference System,” in IEEE Journal of Indoor and Seamless Positioning and Navigation, vol. 2, pp. 320-332, 2024
- ⑤ Chenghong Lu, Hongbo Chen, Menglei Li, and Lei Jing. (2024). “Attention-Guided and Topology-Enhanced Shift Graph Convolutional Network for Skeleton-Based Action Recognition” Electronics 13, no. 18: 3737.
- ⑥ Zeping Yu, Chenghong Lu, Yunhao Zhang, and Lei Jing. (2024). “Gesture-Controlled Robotic Arm for Agricultural Harvesting Using a Data Glove with Bending Sensor

and OptiTrack Systems” *Micromachines* 15, no. 7: 918.

- ⑦ Yuki Iijima, Xin Zhu, Lei Jing, Yan Pei, Yumiko Kaneko, Ken Iseki. (2024). “Chest Compression Evaluation based on Pose Estimation” , *WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine*, Volume 21, No. 32
- ⑧ Wei Guo, Xiaoyang Liu, Chenghong Lu, and Lei Jing. (2024). “PIFall: A Pressure Insole-Based Fall Detection System for the Elderly Using ResNet3D” *Electronics* 13, no. 6: 1066.
- ⑨ Chenghong Lu, Wu-Chun Hsu, and Lei Jing. (2024). “Recognizing Complex Activities by Combining Sequences of Basic Motions” *Electronics* 13, no. 2: 372.
- ⑩ Wei Guo, Shunsei Yamagishi and Lei Jing. (2024). “Human Activity Recognition via Wi-Fi and Inertial Sensors With Machine Learning,” in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 18821–18836, 2024

#### 国際会議論文(9本発表済み)

- ① Zhongnan Pu, Daisuke Miyata, and Lei Jing. (2024). “An Efficient Method for Calibrating Piezoresistive Pressure Sensor” , the 6th IEEE International Conference on the Challenges, Opportunities, Innovations and Applications in Electronic Textiles (E-Textile2024), Berlin, Nov., 2024
- ② Yunhao Zhang and Lei Jing. (2024). “Sign Language Recognition based on Data Glove with Bending Sensor” , 2024 IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2024), Kokura, Japan, Oct., 2024
- ③ Ye Li and Lei Jing. (2024). “AttFallNet: Attention-Guided Fall Detection System Using Improved YOLOv8 Network” , the 17th IEEE International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc2024), Malaysia, Dec., 2024
- ④ Motoki Kagami and Lei Jing. (2024). “Japanese Sign Language Vocabulary Recognition Only with Tactile Sensing Glove” , the 17th IEEE International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc2024), Malaysia, Dec., 2024
- ⑤ Shunsuke Suzuki and Lei Jing. (2024). “Gait Analysis from Pressure Distributions for Patients with Becker Muscular Dystrophy” , the 12<sup>th</sup> European Workshop on Visual Information Processing (EUVIP2024), Geneva, Switzerland, Sep., 2024
- ⑥ Yuki Iijima, Xin Zhu, Yumiko Kaneko, Lei Jing, Yan Pei, Ken Iseki. (2024). “Chest Compression Evaluation Based on Pose Estimation” , 28th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC2024), July, Greece.
- ⑦ Kazuma Sato and Lei Jing. (2024). “The Development of a Data Glove-Based System

for Assisting the Solution of Puzzles”, IEEE CTSoc Conference on Gaming, Entertainment and Media (GEM2024), Italy, Jun, 2024

- ⑧ Keigo Minakawa, Kazuma Sato and Lei Jing. (2024). “Development of a Flexible and User-Friendly UI to Visualize the Invisible Pressure Distribution”, IEEE CTSoc Conference on Gaming, Entertainment and Media (GEM2024), Italy, Jun, 2024
- ⑨ Shunsei Yamagishi and Lei Jing. (2024). “The Extended Kalman Filter with Improved Computation Time for Pedestrian Dead Reckoning”, the 11<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Inertial Sensors & Systems, Hiroshima, Japan, March, 2024

## 7 補助事業に係る成果物

### (1) 補助事業により作成したもの

中敷型足圧測定システム

### (2) (1) 以外で当事業において作成したもの

当事業で開発した技術はデータグローブ、アームバンド、感圧シートなどの研究開発にも応用されています。

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 会津大学コンピュータ理工学部（アイツダガコンピユタリコウガクブ）

住 所： 〒965-8580

福島県会津若松市一箕町鶴賀上居合90

担 当 者： 大島 なみ紀（オシマ ナミキ）

担 当 部 署： 企画連携課連携支援係（キカレンケイカレンケイシエンカリ）

E - m a i l： cl-innov@u-aizu.ac.jp

U R L： <https://u-aizu.ac.jp/>

<https://www.u-aizu.ac.jp/~leijing/>