

スマート盲導杖「みちしる兵衛」 ～AI 搭載白杖による視覚障害者歩行支援～

群馬県立高崎高等学校

高田 悠希

要旨

本研究では、視覚障害者の歩行中の事故を防ぐデバイスとして、横断歩道や線路を始めとした危険物を認識する画像認識 AI、及びそれを搭載した白杖『スマート盲導杖「みちしる兵衛」』（以下、本白杖）を開発した。

従来の製品では難しかった、白杖単体での横断歩道の検知・駅ホームからの転落防止が可能となっており、また白杖の利点を生かした横断歩道や駅ホームの踏み外し防止機能なども実現した。実際に視覚障害者の方々に使用していただき、有用性も確認できている。

1. 問題提起、研究目的

自分は実際に視覚に障害を持つ方々と話したり、白杖使用を体験したりした経験があり、以前より視覚障害者の方々の安全の実現について考えていて、昨年度から研究を続けている¹⁾。現在、視覚障害者が駅のホームから転落あるいは列車に接触する、街中でも横断歩道に気づくことができずに、もしくは踏み外すことにより交通事故で死亡する、といった重大事故が後を絶たず、大きな社会問題となっている。その原因として挙げられるのが、環境整備の不十分さである。全国でホームドアの設置率は943/9258駅²⁾であり、設置率は一割程度にとどまる。特に自分の住む群馬県などの地方都市ではそれが顕著であり、最大の駅である高崎駅にもホームドアは設置されておらず、点字ブロックすらない駅も存在する。

そのため、環境対策に頼らずに、視覚障害者の歩行中の事故を防ぐ方法が必要とされている。例えば、最も一般的なのが盲導犬である。しかし、盲導犬は500万円/匹という高コストな育成費³⁾により多くの視覚障害者に普及させることは難しい。このため、より安価で作成可能な視覚障害者支援デバイスの研究も進められている。先行の研究では、三次元測域センサにより段差を検知することで、駅ホームでの線路を検知するもの⁴⁾や、RFID タグをホームなどに埋め込んで検知するというもの⁵⁾が存在する。しかし、前者は段差を検知しても、それが線路なのか、ほかの段差なのかがわからず、後者はRFID タグを埋め込むという新たな環境整備の必要性があるため、本当に必要とされる地方都市での普及が難しい。これらの点から、現在の解決策ではどれも、十分に要求を満たしているとは言えない状況にある。

そこで、「追加の環境整備を要せずに駅ホームや横断歩道、歩行者等とのすれ違いなどといった状況での事故を防止し、視覚障害を持つ方々の歩行をより安心なものとする」ことを目的として、本研究に着手した。

実装形態としては視覚障害者の84%が用いており⁶⁾、周囲状況を探索するのに一番慣れ親しんだ道具である“白杖”の形態で提供することにした。これは現状の視覚障害者の多くが使っている白杖の使い方はそのままに、そこに更なる機能を付加するという形が、より高い安全性と使いやすさを提供するために最適な形態であると考えたからである。目的達成のため、以下3点の機能実現を研究のゴールとして設定した。

- ①線路・横断歩道の検出・通知をする機能
- ②駅ホームや横断歩道を踏み外さないように角度を修正する機能
- ③進行方向にいる歩行者や自動車などを検知する機能

昨年度の自身の研究¹⁾では、自作 AI により上記機能①と③が一応は果たせているものの、塩化ビニルパイプ

による簡易的な実装であった。また熱暴走と性能不足により、長時間の安定した動作が不可能で、実用的とは言い難く、実使用環境でのユーザーテストも不可能だった。そのため、上記①～③の機能を実使用環境で十分に使用に耐えうるレベルで実装することを目標に、昨年度から継続して今年度の研究を行った。

2. 研究方法

上記3つの機能を実現するため、以下の3つのステップで開発を行った。

Step1.機械学習モデルの構築(上記機能①、③を実現するAIの開発)

Step2.デバイスとしての実装(白杖形態で、安定した動作の提供)

Step3. 三軸加速度センサと組み合わせた踏み外し検知機能の実装(上記機能②の実現)

2-1. 機械学習モデルの構築(Step1)

追加の環境整備を要さないで危険の検出を行うという目的達成のためには、線路や横断歩道の見た目そのものを画像検出する方式が最も適している。

そこで、線路や横断歩道を検出するための機械学習モデルの自作を行った。そのための教師データは、“白杖にカメラを取り付けて街中を歩行する”ことによって自ら収集した。(図1)

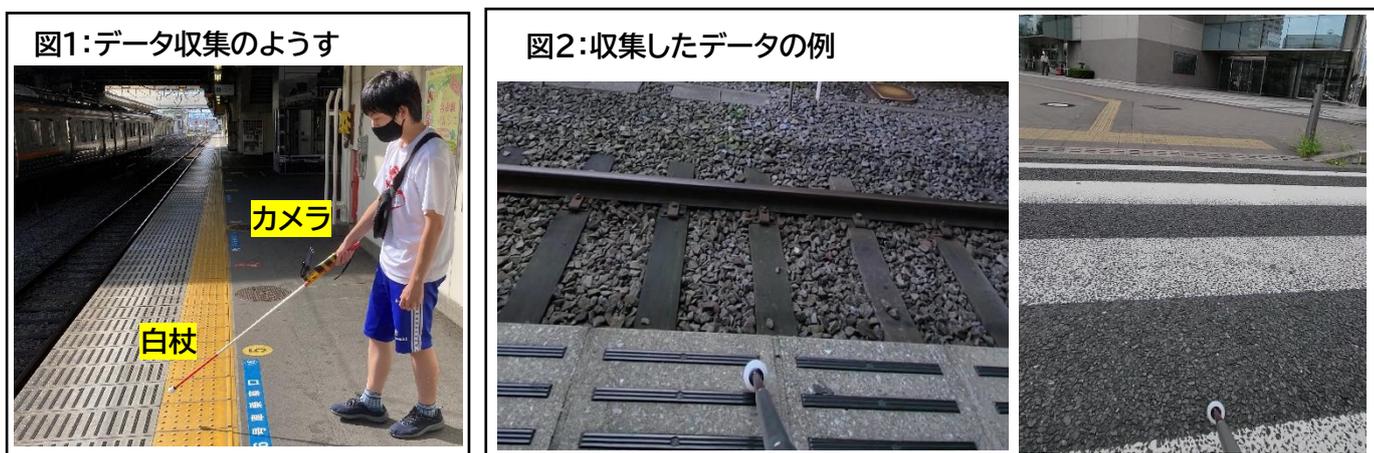
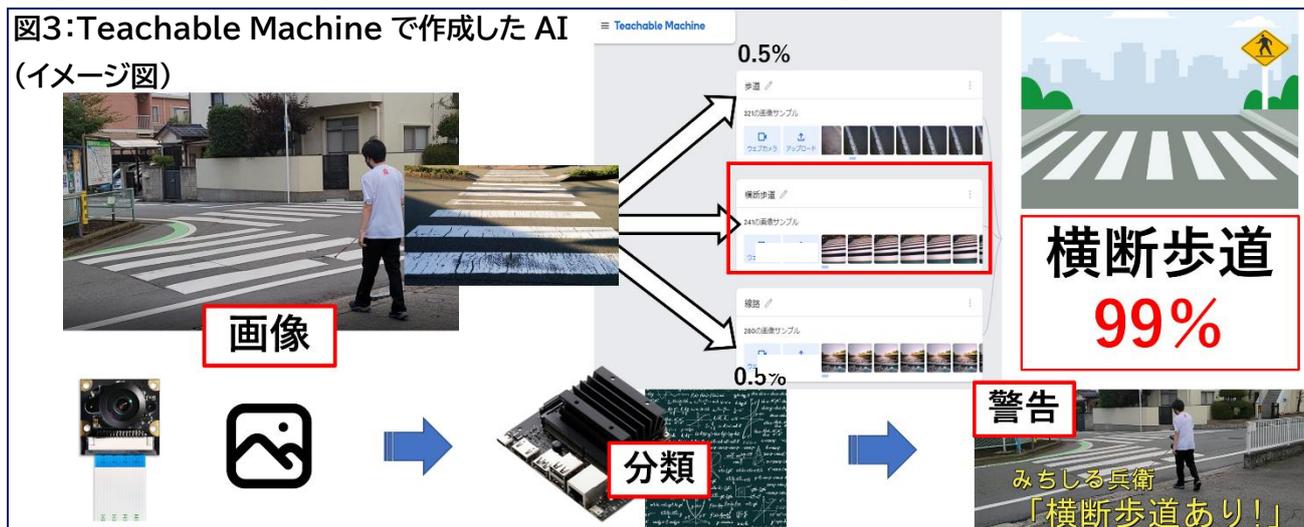


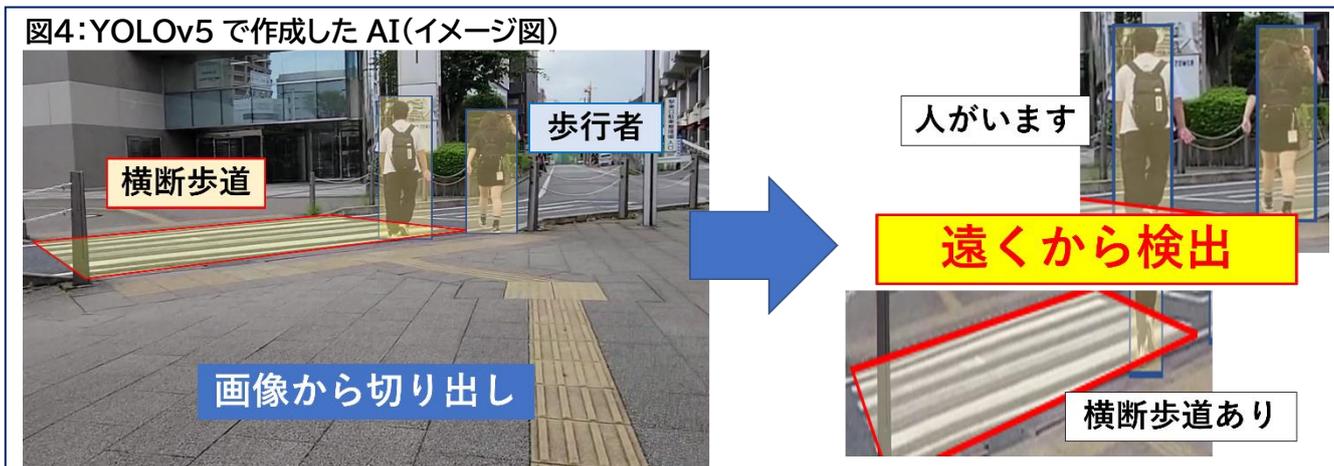
図1で収集した白杖の視点のデータ(図2)を用い、Googleの「Teachable Machine」及びPyTorchをベースとした高速な「YOLOv5」にて画像認識/物体検出AIを作成した。YOLOv5に学習させるためのアンノテーションには、「vott」というツールを使用している。(学習にYOLOv5xを使用、epoch数1000回、batchサイズ16)

画像分類(Image Classification)であるTeachable MachineのAIは、図3のようにカメラが入手した現在の画像全体を教師データと比較、「歩道(その他)」「横断歩道」「線路」の3つのクラスに分類し、現在の状況を把握する、といったものになっており、計算が単純でモデル作成も容易である。



一方、物体検出(Object Detection)である YOLOv5 で作成した AI は、あらかじめ画像をグリッドセルに分割しておき、オブジェクトの位置を求め、クラスに分類するという手法を取る⁷⁾。そのため、図4のように「歩行者」「横断歩道」といったクラスを画像から“切り出して”検出するため、遠くに映ったものや複数のもの、その位置が認識可能な一方で、計算やモデル作成が複雑となる。(その中でも YOLO はかなり高速な手法) また、YOLOv5 の汎用モデルを活用することで、歩行者、自転車、クルマ、トラックなどの検出も可能となる。

図4:YOLOv5 で作成した AI(イメージ図)



※現時点では「横断歩道(自作)」「線路(自作)」「歩行者や自動車など」を検出する YOLO の AI は独立しており、実際には図4のような横断歩道と人の同時検出は、“YOLO 単独動作では”不可能(転移学習が必要)。

これらの AI を作成し、Raspberry Pi4 + “Intel Neural Compute Stick 2”(NCS2) 上で動かした(図5)ところ、検出速度は表1のようになった。Teachable Machine の方がより検出速度が速く、また画像分類でも十分に横断歩道や線路が検出できることが確認できた。

Teachable Machine の方が新規のモデルを作成しやすいということもあり、現状、本白杖では、遠くにあるときに検知する必要性が薄く、且つすぐさま検出する必要がある横断歩道や線路を Teachable Machine の画像分類で検出する一方で、遠くにあっても検出する必要がある人やクルマなどといったものの検出に物体検出の YOLOv5を用いるという、それぞれ分担・平行して危険を検知する方法を採用している。

図5：二つの AI の動作(Raspi4+NCS2)



AI の種類	平均の検出速度
Teachable Machine	約 19.4 fps
YOLOv5	約 10.3 fps

表1：二つの AI の検出速度(fps)

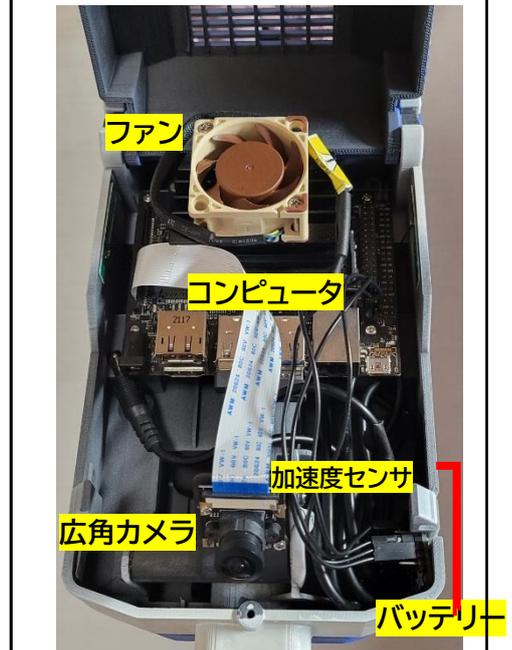
しかしながら、後述する「Jetson Nano」では、Teachable Machine で使用するモデル変換形式「keras」との相性が悪く、並列処理よりも YOLOv5 単独で動かした方が横断歩道検知においても検出速度が速い(電力供給が十分なら 20fps 以上)ということが判明した。そのため現在は転移学習によって、YOLOv5 の AI のみですべての検出物を検出できるよう、モデルの再整備を行っている。

2-2. デバイスとしての実装(Step2.)

図6:開発したデバイス



図7:デバイス内部



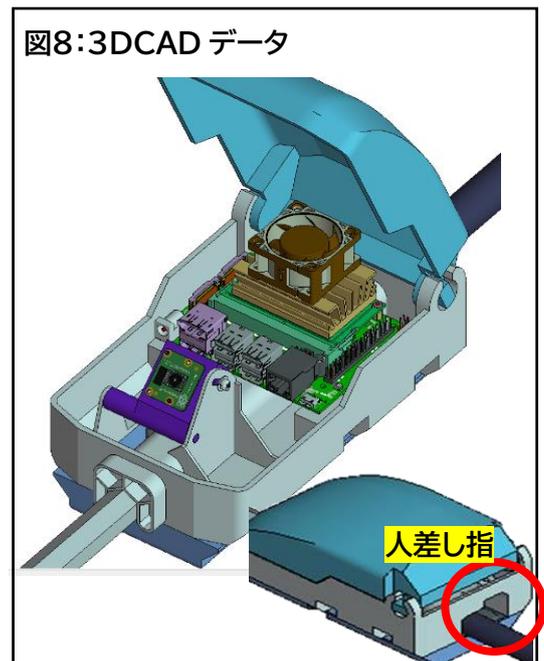
上記の AI を搭載したデバイスを開発した(図6)。このデバイスは市販の白杖に取り付ける形式となっており、ユーザーがもともと使っていた白杖をそのまま使うことができる。また、白杖が持つ折り畳み機能なども損なわない上、「周囲に自身が視覚障害者であることを知らせる」という社会的な効果も保持することができる。

図7は、デバイス内部の構造である。AI その他プログラムを動かすための演算装置として、「Jetson Nano」という NVIDIA 社の小型コンピュータを使用。「Jetson Nano」は GPU に128基の CUDA コアを搭載した、推論処理などに強い小型コンピュータである。また、金属のヒートシンクと冷却用のファンを取り付け、夏場での長時間使用にも耐えられるようにした。

FOV160の広角カメラを、持った時に地面と平行になるような角度([足から肩までの長さ]/[杖+腕の長さ]のアークサイン)で取付け、10500mAh のバッテリーで給電する(6時間15分の連続稼働)。内側には三軸加速度センサを取り付けている。重量は 772g、材料費は27,532円だった。

図8のように、筐体は 3DCAD ソフトによって設計し、積層式の 3D プリンターによって出力した。筐体には人差し指を入れるスペースがあり、持ちやすく、また視覚障害者の方でも持つ向きが分かりやすいようなデザインになっている。

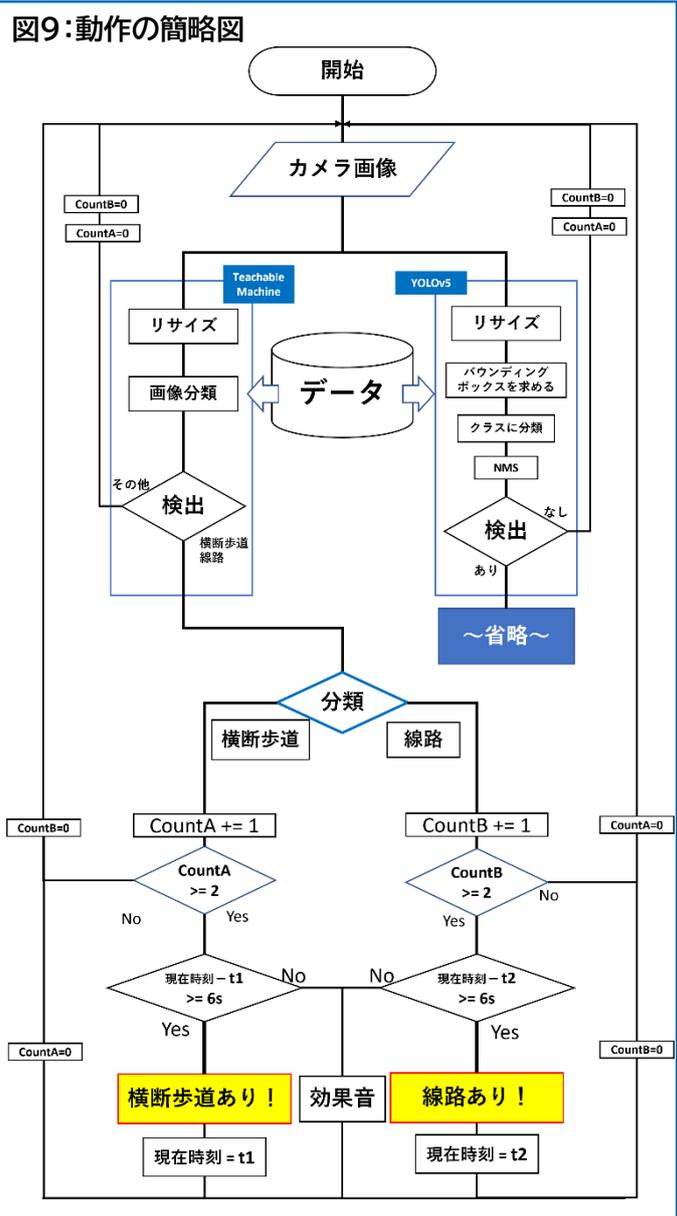
図8:3DCAD データ



このデバイスで先述の自作AIを動作させ、横断歩道や線路の検出・通知を可能としている。

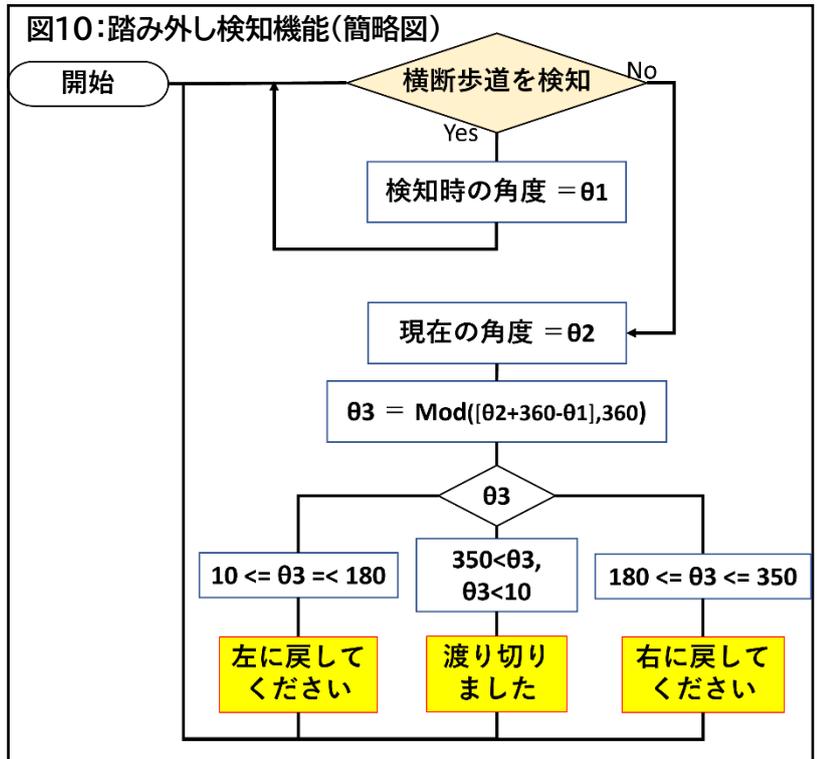
図9に動作のフローチャートを示す。Teachable MachineのAIとYOLOv5のAIがそれぞれリアルタイムにカメラ画像を取得して検出を行っており、図9では省略しているが、YOLOv5のAIでは歩行者、自動車、自転車、トラックの4つのクラスの検出・通知が同様に行われている。

また、横断歩道や線路を検出したときには「横断歩道あり」「線路あり」のようにスピーカーからの音声で通知する。スピーカーは首掛け式で、周囲に音声が漏れにくいことと、聴覚を邪魔しないことを両立する。この通知を連続で6秒以内にはなく、連続で検出している場合は「ピッ、ピッ」といった効果音が鳴るようにした。誤通知防止のため、数フレーム連続で危険物を検出しなければ通知しないようにする、などといった工夫も行った。



2-3. 踏み外し検知機能の実装(Step3.)

視覚障害を持つ方へのヒアリングの際、「横断歩道から踏み外してしまわないか不安」「ちゃんと渡り切ったか不安」といった声を多く聞いた。そこで、彼らが安心して横断歩道を渡れるようにするため、「踏み外し検知機能」を開発した。(図10) この機能ではまず、本白杖に搭載した三軸加速度センサを用い、地面と水平方向の角度 θ を算出する。そして、横断歩道検知時の角度に対して、現在の角度がどの方向にどのくらい変化したかを監視し、横断歩道を検出なくなり、横断歩道からずれた角度に向かっていった場合、横断歩道のある方向に戻るよう音声によって誘導する。(図11)

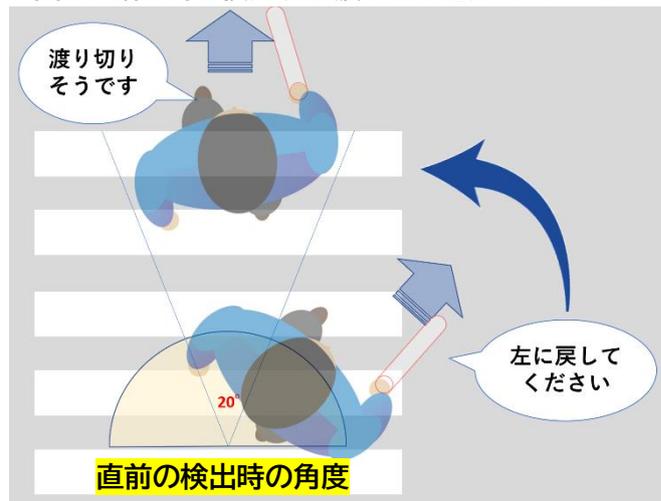


また、**図11**のように、角度が $\pm 10^\circ$ 以上変わっていないにも関わらず横断歩道を検知しなくなったとき、横断歩道を渡り切ると判定。「渡り切りそうです」と音声で通知を出すことにより、視覚障害者の方にもまもなく渡り切ることを伝え、より安全・安心に横断歩道の横断ができるようにサポートする。

さらに、この技術を駅ホームでも応用することで、使用者が線路側に行かないようにし、さらに安全に駅ホームを移動できるようにする機能も開発中である。

これら機能を持った白杖を開発し、実使用環境での動作検証を行い、実用性を評価した。

図11: 踏み外し検知及び渡り切り通知のイメージ



3. 結果

1. 研究目的で述べた①②③の3つの機能を持った、実用的な白杖デバイスを実際に開発できた。

この白杖を実際に街中の実使用環境にて試用した。**図12**のように、実際の街中でも自作 AI は YOLOv5、Teachable Machine とともに動作した。**図13**に、駅ホームや住宅街の横断歩道、市街地での人とのすれ違いなど、実使用環境での動作検証風景を示す。

図12: 横断歩道検出のようす(YOLOv5)

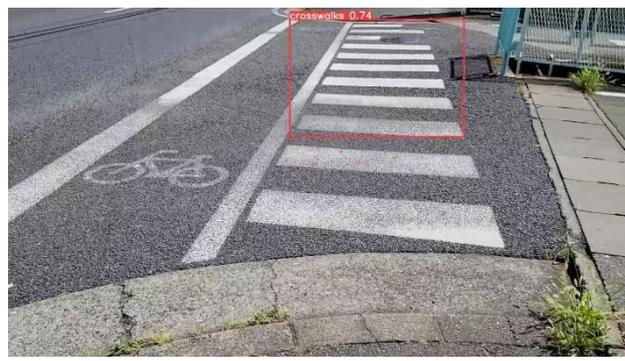


図13 : 実使用での動作検証



図13のように、本白杖が実使用環境においても、十分に実用に耐えうるレベルで動作することが確認できた。それぞれの検出物の手前でAIが危険を検知し、スピーカーからの音声で通知・注意の呼びかけを行っている。

どちらのAIも、基本的な白杖の使い方において、屋外や駅構内では誤検出はあまり見られなかった。一方で、屋内や杖を上に向けたときにおいて、誤検出が散見された。(ビルを横断歩道と誤認識するなど、図14) それらは想定している使い方ではないが、将来の実用化に近づけるためには、誤検出をできるかぎり防止していく必要があるといえる。

また、踏み外し検知機能についても、実際の街中で動作検証を行った。踏み外し検知の動作を図15に、渡り切り通知の動作を図16に示す。



図14:ビルを誤検出した例

図15:踏み外し検知の動作検証



図16:渡り切り通知の動作検証



はみ出し検知・渡り切り検知共に動作した。横断歩道から左に踏み外して進もうとすると「右に戻してください」と音声で警告を行い、横断歩道がある方向に誘導することができている。そして、横断歩道を検出している間は効果音で伝えてくれるため、自分が横断歩道上にいるかどうか、目を瞑っても把握することができた。

しかし、渡り切り通知については、間違えたタイミング(横断歩道を渡り始める前など)に通知してしまうという現象が稀に見られ、まだ改善の余地があった。

本白杖「みちしる兵衛」について、実際に視覚障害者の方々に使ってもらい、意見を頂くこともできた。

地元の群馬県視覚障害者協会の会長様(全盲)に二度インタビューを行い、本白杖の機能の有用性について高く評価していただいた。また、初期の未熟だった試作品を実際に手に取っていただき、折り畳み機能の重要性など、ハード面において必要とされることについてのヒアリングを行うことができた。さらに、白杖型が求められることや、視覚障害者の方にはスマホを使えない人も多いため、スマホが必要なサービスは普及が難しいかもしれないこと、この技術を応用して下向きの階段の検出や、点字ブロックのある方向を指し示す機能が追加できるとさらに良いこと、などをお話いただいた。

図17:横断歩道を横断するユーザーテストの様子



また、東京都の“ダイアログ・インザダーク”⁸⁾の方々の協力で、実際に視覚障害者(全盲)の方に、街中で本白杖を使用させていただくことができた。行ったのは、視覚障害者の方に、本白杖を持って施設周辺の市街地を少し歩行し、横断歩道を渡っていただくというユーザーテストである。(図17)

ユーザーテストの結果、視覚障害者の方から、「どこでも横断歩道を検知できるのは素晴らしい」、「日々の移動を楽しく安心にできそう」、「ぜひ商品化まで行ってほしい」などのご意見を頂いた。

線路検出などほかの機能についても高い評価を頂き、また踏み外し・渡り切り検知機能の高い重要性なども評価していただいた。一方で、音声だけでなく振動などのフィードバックが欲しい、少し重いのももう少し軽量化をしてほしい、信号の色などの検知機能も付けてほしい、といった要望もいただいた。

4. 考察

街中の実使用環境での動作検証により、自作の機械学習モデルに基づくAIにより、今までの製品・研究では難しかった、「白杖単体での駅ホーム転落防止・横断歩道での事故防止」が低コストで実現できることが実証できた。実際の視覚障害者の方にも街中で使用していただき、高い評価を得ることができており、実際のユーザーにとっても本白杖は非常に有用であるといえる。

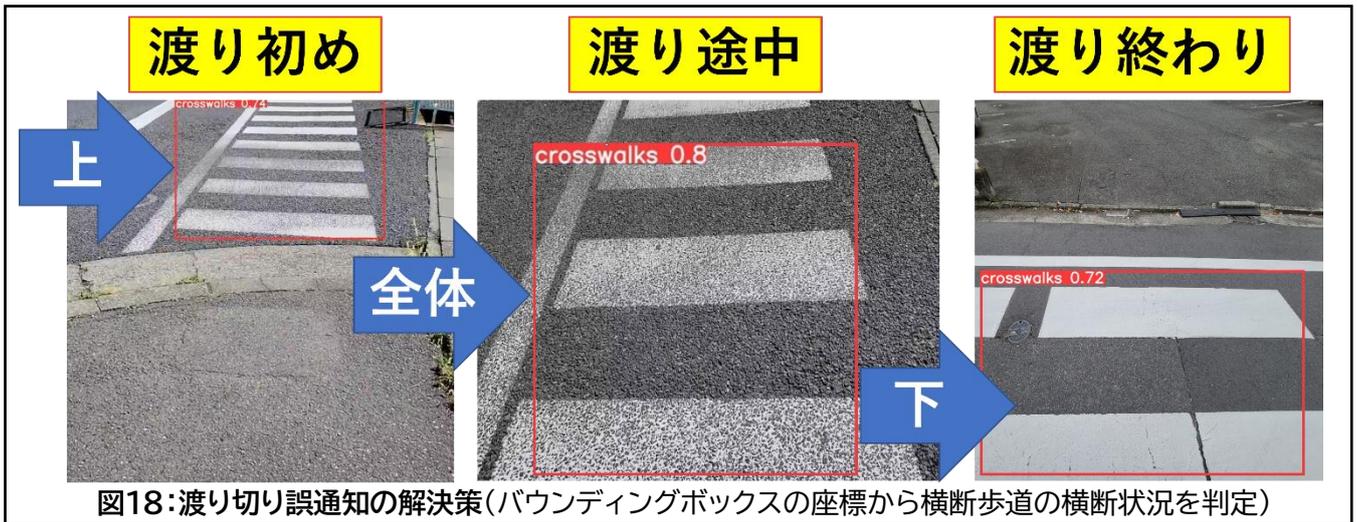
一方、本白杖では検出速度の違いから、「Teachable Machine」と「YOLOv5」のAIを両方採用するという方法を取っていたものの、使用した小型コンピュータ「Jetson Nano」と Teachable Machine で使用するモデル変換形式「keras」との相性問題により、YOLO 単体で動作させた方が横断歩道や線路の検出においても高速であるという結果が出た。(Jetson Nano では、YOLOv5 単体での動作であれば検出速度は20fpsを上回るのに対し、Teachable Machine はfpsが1桁台しか出ない)

さらに、物体検出であるYOLOのAIには検出物の座標が得られるという利点も存在する。そのため、今後は歩行者などの検知に用いている汎用モデルに転移学習を行い、横断歩道や線路などの機械学習モデルを追加で学習させることで、すべての検出をYOLOのAIのみで行っていきたい。

また、視覚障害者の方へのインタビューで要望された、「点字ブロックのある方向を指し示す」、「信号機の色を認識する」といった機能も、同様に機械学習モデルを自作することによって実現していきたい。

動作検証で見られた、渡り初めに渡り切り通知が誤動作する現象については、渡り初めカメラ画像上部に少し横断歩道が映っている状態で一瞬横断歩道を検出し、その後検出しなくなってしまうことが原因と思われる。2フレーム連続で検知しなければ反応しないことで、ある程度は誤動作が抑えられているものの、それのみでは限界があるために稀に誤通知が起こってしまうと考えられるため、追加の解決策を用意する必要がある。

現在考えている解決策は、横断歩道の検出をYOLOで行い、YOLOのAIが検出した横断歩道のバウンディングボックスの座標から、今の状況が「渡り初め」なのか「渡っている途中」なのか「渡り終わり」なのかを認識することによって解決する、というものである。(図18)



バウンディングボックスが画像の上方に位置していたら渡り初め、全体にかかっていたら渡り途中、下方に位置していたら渡り終わりと判定する。(複数のバウンディングボックスがあった場合、縦方向の座標の範囲で見る)現在の検知/不検知と角度の変化から渡り切りを検出する方法と、上記の渡り終わりの判定とを組み合わせることで、誤通知を防ぐことができると考えられる。

今後は、AIの統合と検出物追加、誤検出・誤作動を防止する工夫、及び振動子の取り付けや軽量化などを行っていき、本当の「社会実装」を成し遂げられるよう研究を続けていきたい。

5. 結論

自作の画像認識AIを搭載した白杖『スマート盲導杖「みちしる兵衛」』を開発した。本白杖は追加の環境整備を要さず、視覚障害者の歩行中の多くの危険を認識し、安心・安全な歩行をサポートすることが可能である。実際の動作検証や、視覚障害者の方とのユーザーテストから、実使用上においても高い有用性を持っていることが確認できた。

本白杖は、これから更なる検出物の追加や高速化・軽量化などを行うことで、場所を選ばず、非常に低コストな、次世代の視覚障害者歩行支援のツールとして活躍することができる大きな可能性を秘めているといえる。

参考文献

- 1) 高田悠希、“スマート盲導杖「みちしる兵衛」”、CIEC 春季カンファレンス論文集 Vol.13、p.64、2022年発表
- 2) 国土交通省「ホームドアの設置状況」・R2、2022 年 10月閲覧
https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk6_000022.html
- 3) 兵庫盲導犬協会「盲導犬の仕事内容」、2022 年 10月閲覧
<https://www.moudouken.org/about-guide-dog/guide-dog-work>
- 4) 西野佑基、河潤秀、大矢晃久、坪内孝司、“三次元測域センサを用いた視覚障害者のための駅ホーム転落防止に関する研究”、2018 年発表、’22年10月閲覧
<http://www.cs.tsukuba.ac.jp/~ohya/pdf/SI2018-NSN.pdf>
- 5) 吉岡学、中川浩文、諸菱正典、保高拓哉、“RFID 技術によるスマート白杖を用いた視覚障害者用駅ホーム端検出システムの評価”、2022 年発表、’22年10月閲覧
[PDF]https://www.jstage.jst.go.jp/article/jje/58/3/58_114/_pdf/-char/ja
- 6) 神奈川県視覚障害者福祉協会「視覚障害者の外出に関する意識調査報告書」、2019年発表、’22年10月閲覧
[PDF]<http://www.npo-kanagawa.org/houkoku2019/houkoku2019.pdf>
- 7) Joseph Redmon , Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi, “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection”、2016 年発表、’22 年10月閲覧
[PDF]<https://arxiv.org/pdf/1506.02640v5.pdf>
- 8) ダイアログ・インザダーク、2022年10月閲覧
<https://did.dialogue.or.jp/>
- 9) 東工大メディア研究会「Walky」、2017 年発表、2022 年 10 月閲覧
https://devpost.com/software/tk_1621

謝辞

本校物理部の顧問として、プログラミングや AI のことを全く知らなかった昨年度から、本研究を指導してくださった本校物理教諭の岡田直之先生に深く感謝します。また、今年度より「未踏ジュニア」にて技術的・資金的な支援をしてくださった一般社団法人未踏の皆様、特にメンターとして本研究に様々なアドバイスをくださった、Gunosy 創業者で、Fairly Devices 株式会社の関喜史さんに感謝いたします。

そして、ユーザーテスト・インタビューに協力してくださった群馬県視覚障害者福祉協会、ダイアログ・インザダークの皆様に、たいへん深く感謝いたします。

そのほか、業務用の 3D プリンターを貸し出していただき、筐体の印刷をくださった株式会社ペリテック様、同じ AI 白杖の研究者として意見交換・データ提供などをしてくださった元東京工業大の「Walky⁹⁾」開発者の方、技術的アドバイスをくださった群馬大学・青木悠樹教授、ダイアログ・インザダークでのユーザーテストの実施に協力してくださった株式会社 steAm の中島さち子様、ABC テレビの皆様など、本研究に関わっていただいたすべての方に感謝申し上げます。