

A person in a blue shirt is walking away from the camera, pulling a black rolling suitcase. A camera is mounted on top of the suitcase. The background is a blurred public space with other people sitting on benches.

BBeep:

歩行者との衝突予測に基づく警告音を用いた 視覚障害者のための衝突回避支援システム

粥川 青汰^{1,3} 樋口 啓太² João Guerreiro³

森島 繁生⁴ 佐藤 洋一² Kris Kitani³ 浅川 智恵子^{3,5}

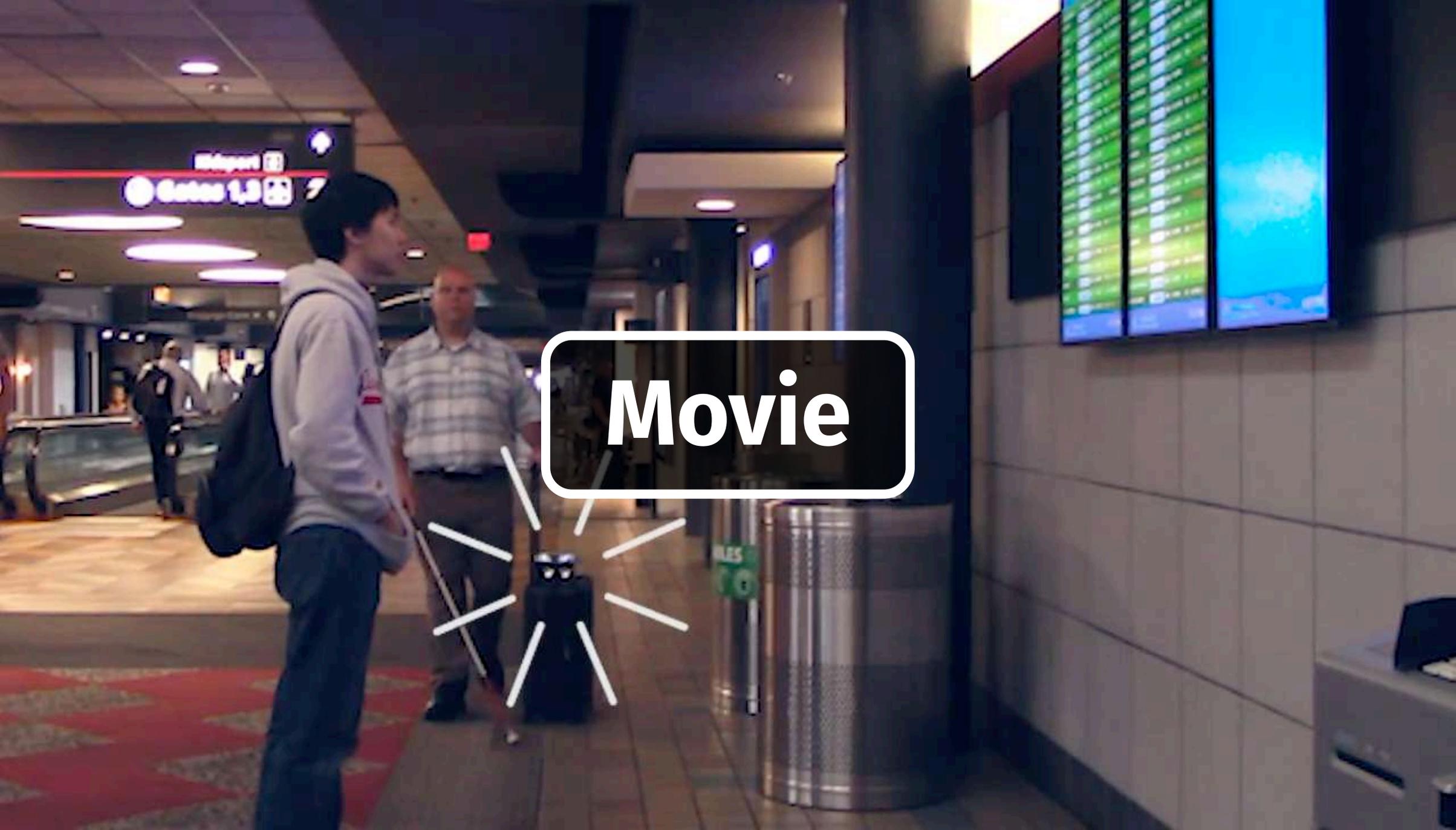
1. 早稲田大学 2. 東京大学 3. Carnegie Mellon University

4. 早稲田大学理工学術院総合研究科 5. IBM Research



BBeep

視覚障害者と歩行者の
衝突回避支援システム

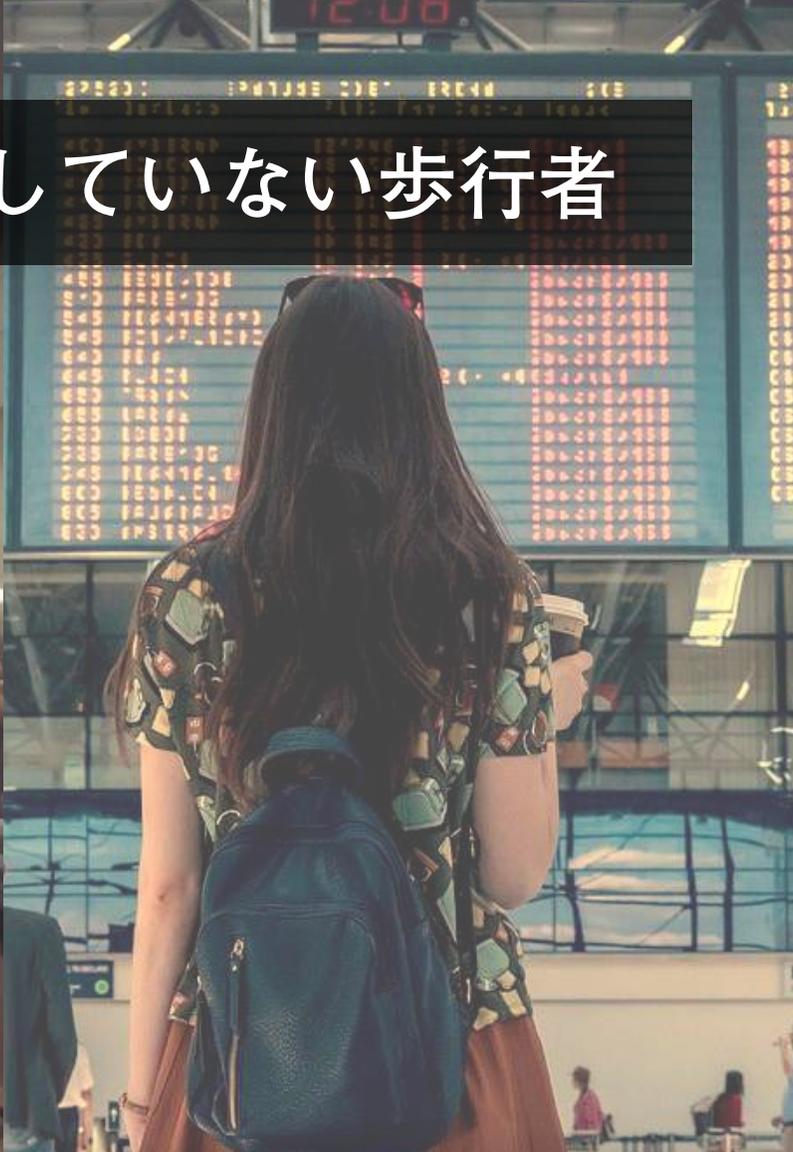
A man in a grey hoodie and dark pants, carrying a black backpack and using a white cane, stands in an airport terminal. A small, black, four-wheeled robot with a camera lens is positioned on the floor in front of him. The robot is surrounded by several white lines radiating outwards, suggesting it is being tracked or monitored. In the background, another man in a plaid shirt is visible, and there are airport signs and a large screen displaying flight information.

Movie

視覚障害者を視認していない歩行者



会話中の集団



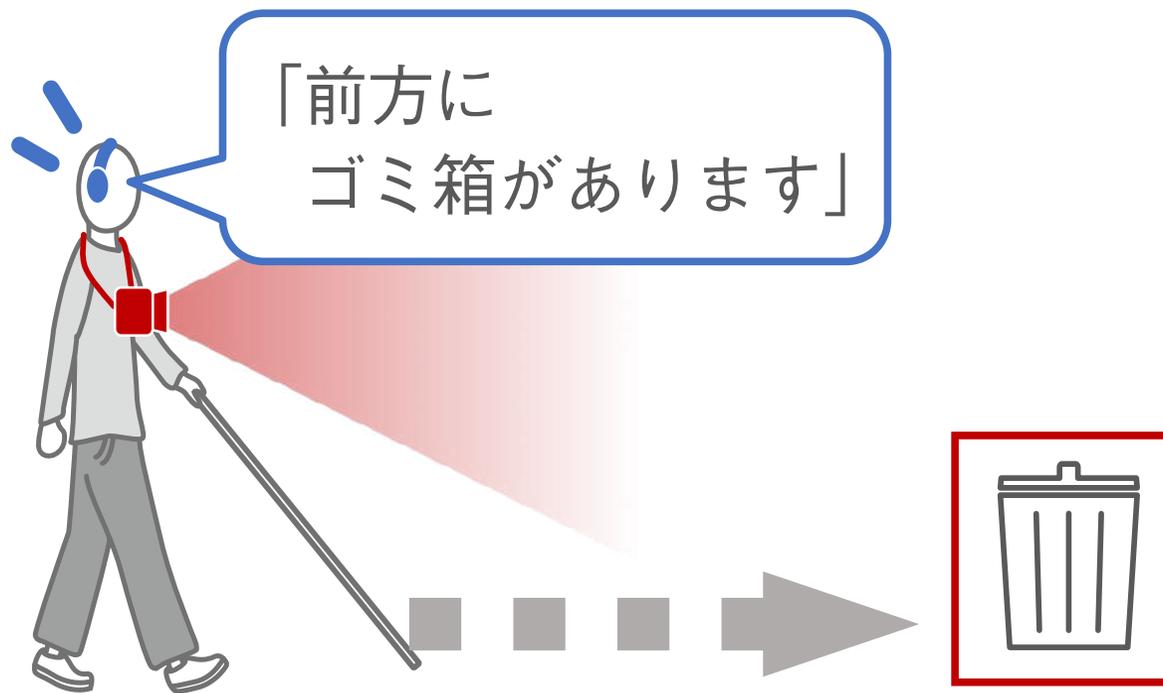
掲示板を確認する歩行者



歩きスマホ

視覚障害者向け障害物検出システム^[1,2,3]

検出した**障害物の情報**を**音声や触覚**を用いてフィードバック



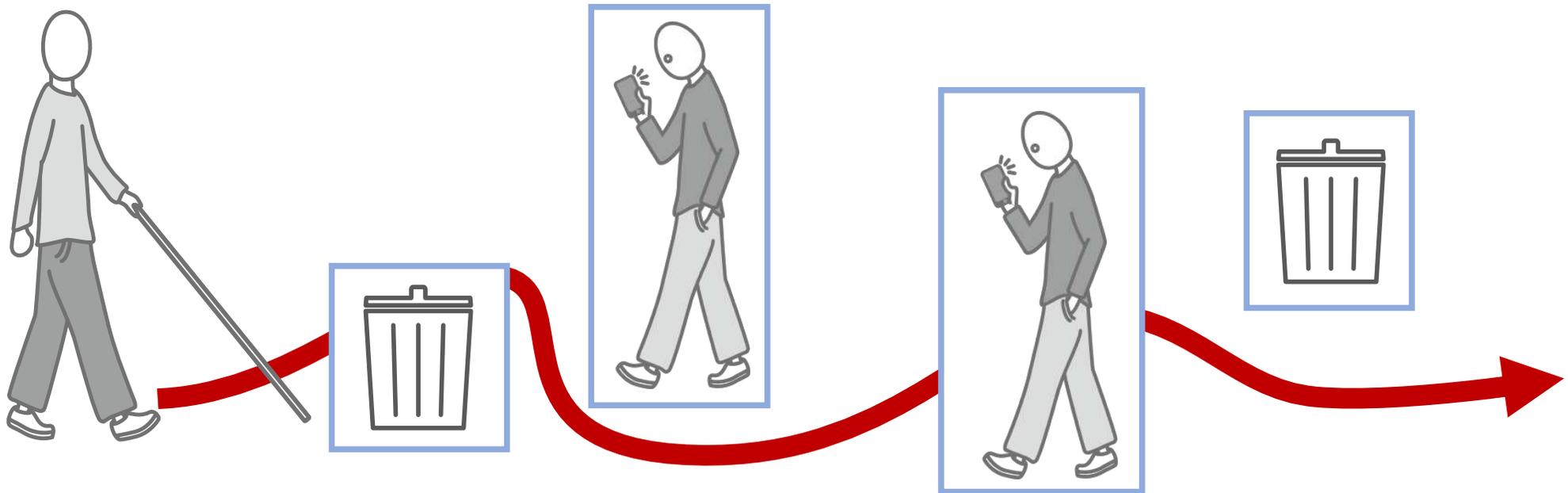
[1] Iwan Ulrich, et al. "The GuideCane-applying mobile robot technologies to assist the visually impaired". IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans 31, 2, 2001.

[2] Bing Li, et al. "ISANA: wearable context-aware indoor assistive navigation with obstacle avoidance for the blind", ECCV'16.

[3] Limin Zeng et al. "Camera-based mobile electronic travel aids support for cognitive mapping of un-known spaces". Mobile HCI'17.

視覚障害者向け障害物検出システム

Limitation: 障害物を回避する経路は**ユーザ自身が設計**



障害物が存在しない経路をユーザに提示することが重要

[1] Iwan Ulrich, et al. "The GuideCane-applying mobile robot technologies to assist the visually impaired". IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans 31, 2, 2001.

[2] Bing Li, et al. "ISANA: wearable context-aware indoor assistive navigation with obstacle avoidance for the blind", ECCV'16.

[3] Limin Zeng et al. "Camera-based mobile electronic travel aids support for cognitive mapping of un-known spaces". Mobile HCI'17.



BBeep

視覚障害者と歩行者の
衝突回避支援システム



ステレオカメラ

スピーカー

ラップトップ

スーツケースの利点

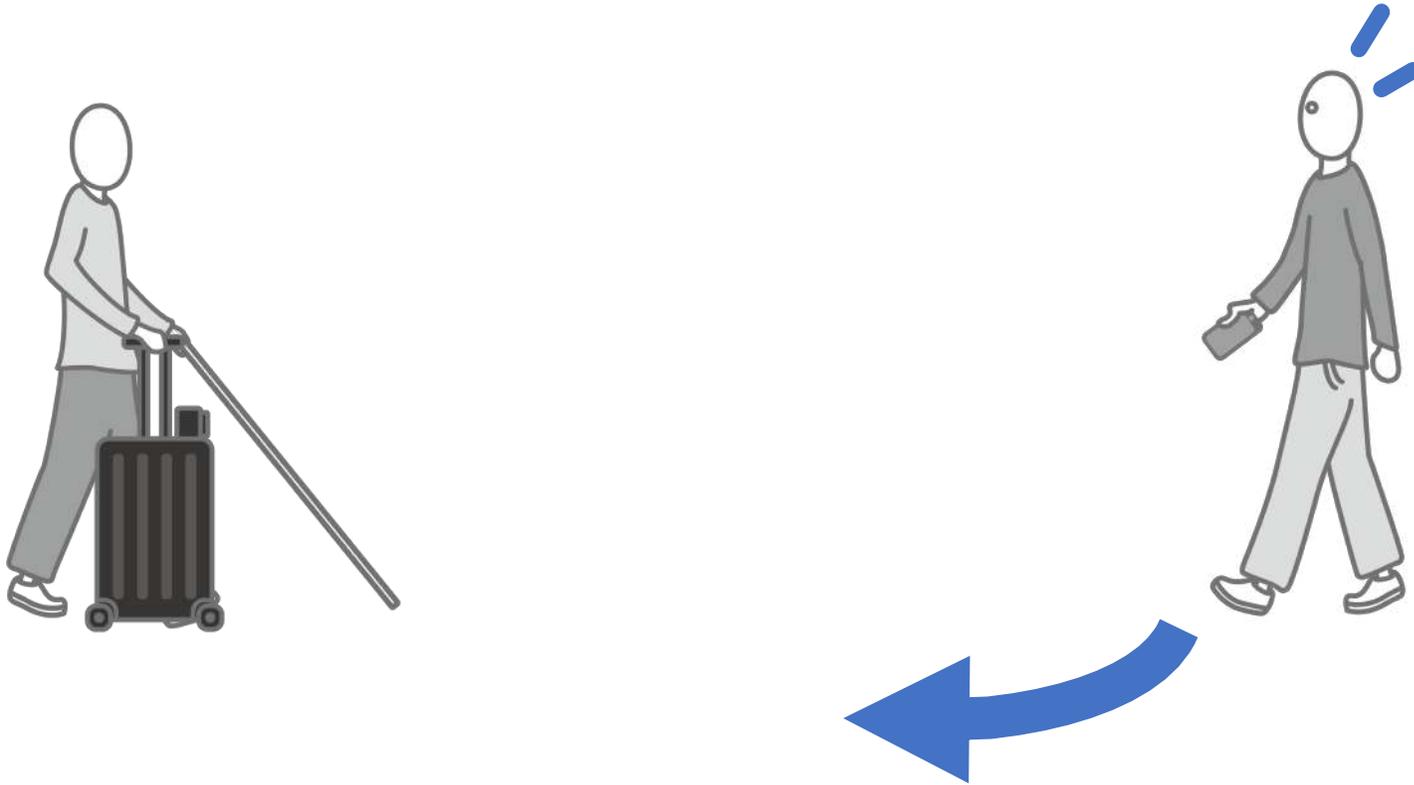
- ・ステレオカメラが**安定**
- ・**小さな力**で移動可能

音を用いた周囲への警告システム



ユーザだけでなく周囲の歩行者にも衝突の危険性を伝える

音を用いた周囲への警告システム



周囲の歩行者に対して視覚障害者の経路を確保するよう促す

音を用いた周囲への警告システムの課題



頻繁に警告音を鳴らした場合、周囲の環境を壊してしまう

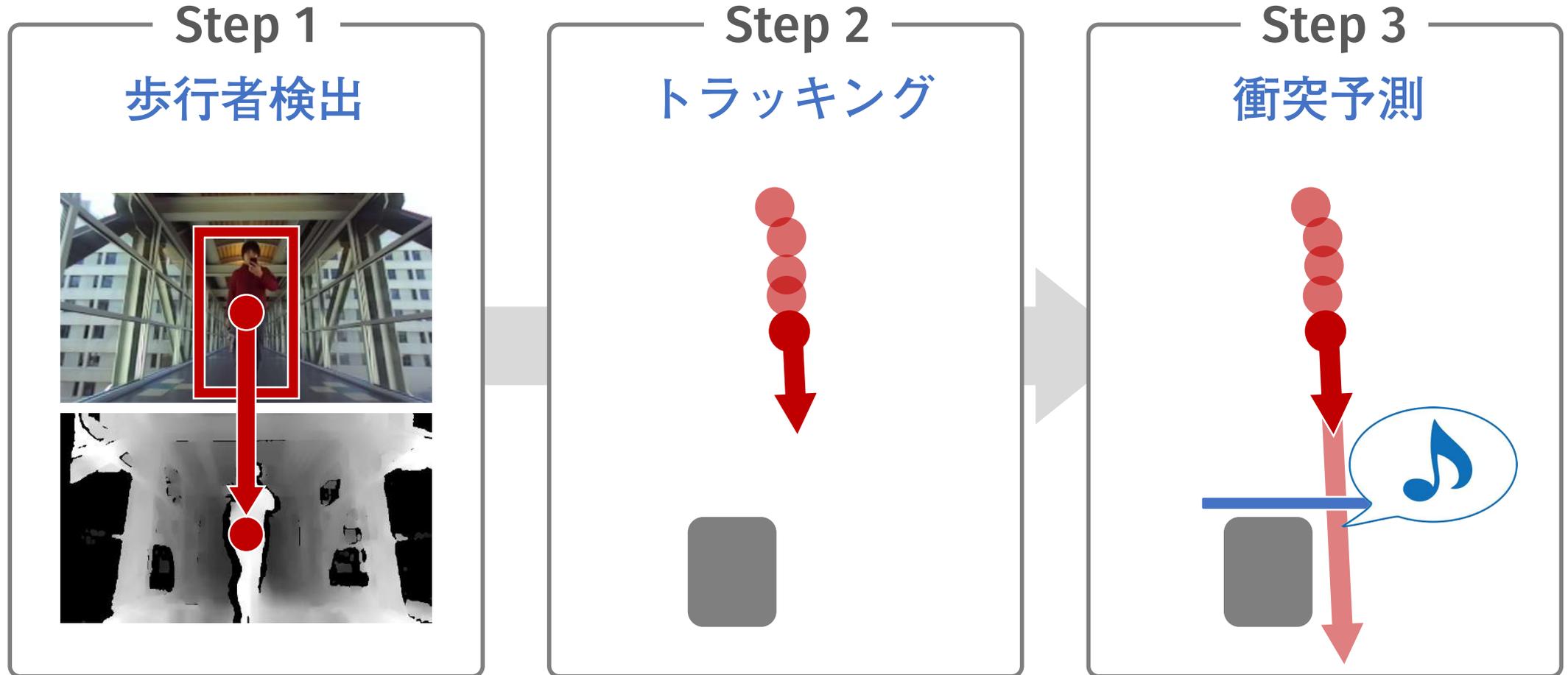
音を用いた周囲への警告システムの課題

歩行者との衝突予測に基づき

必要な時のみ警告音を鳴らすシステムを提案

頻繁に警告音を鳴らした場合、周囲の環境を壊してしまう

衝突予測に基づいた警告システム



Step 1 歩行者の位置検出

歩行者のカメラに対する三次元位置を検出



検出された歩行者の位置



ステレオカメラ

スーツケース



ユーザ

[1] J. Redmon, et al. "YOLO9000: Better, Faster, Stronger" CVPR '17.

Step 2 歩行者のトラッキング

検出した位置情報に基づきトラッキング



過去30フレーム分の位置情報から
カメラに対する**相対速度ベクトル**を計算

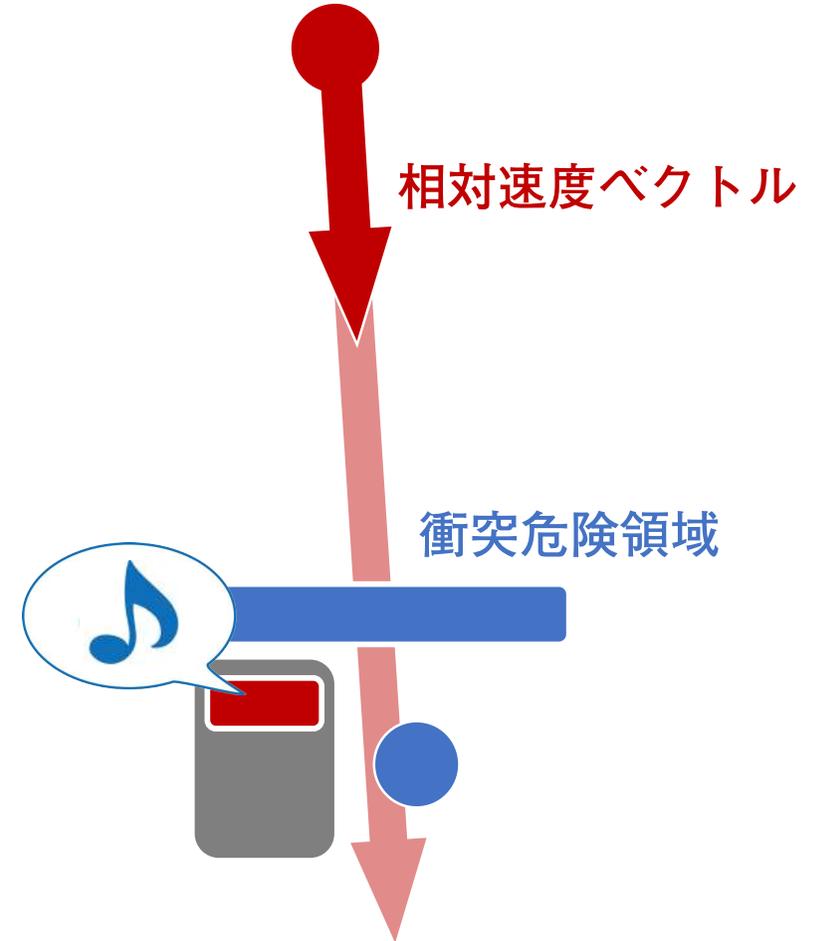


Step 3 歩行者との衝突予測

速度ベクトルをもとに歩行者の**将来経路を予測**



衝突危険領域に侵入する場合に警告音を鳴らす



歩行者検出結果

将来軌道

Movie

BBeep

Top view



Key Idea : 音を用いた周囲への警告システム

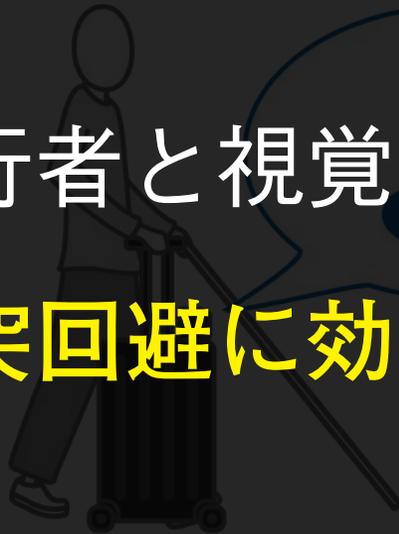


ユーザだけでなく周囲にも衝突の危険性を伝える

Key Idea：音を用いた周囲への警告システム

歩行者と視覚障害者の

衝突回避に効果的な警告音の鳴らし方とは？



ユーザだけでなく周囲にも衝突の危険性を伝える



様々な警告パターンに対する**歩行者の反応を調査**

七種類の警告パターンの準備

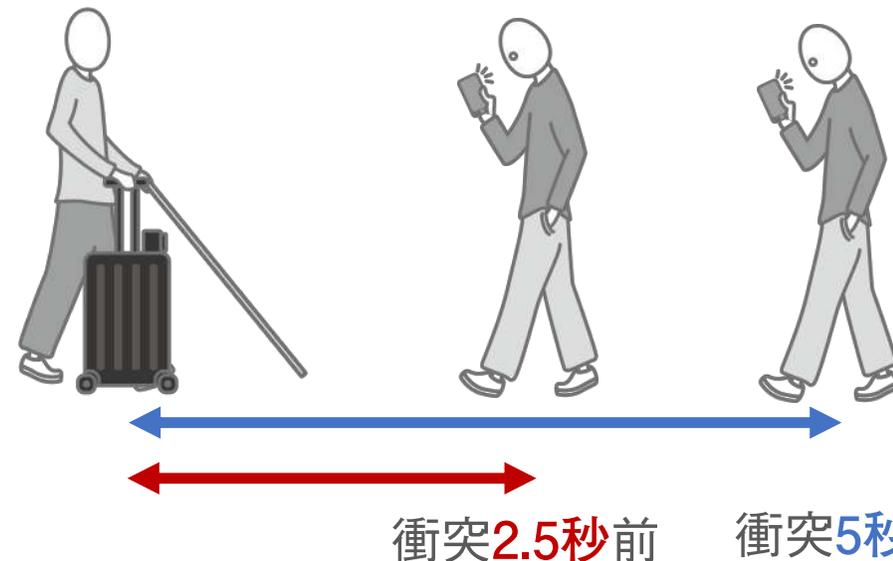
- ・ ビープ音を鳴らさないパターン
- ・ ビープ音を鳴らす警告パターン (六種類)

三種類のビープ音

緊急度^[1]：低, 中, 高



二種類の警告タイミング



×

[1] J. Edworthy, et al. "Improving auditory warning design: Relationship between warning sound parameters and perceived urgency" 1991.



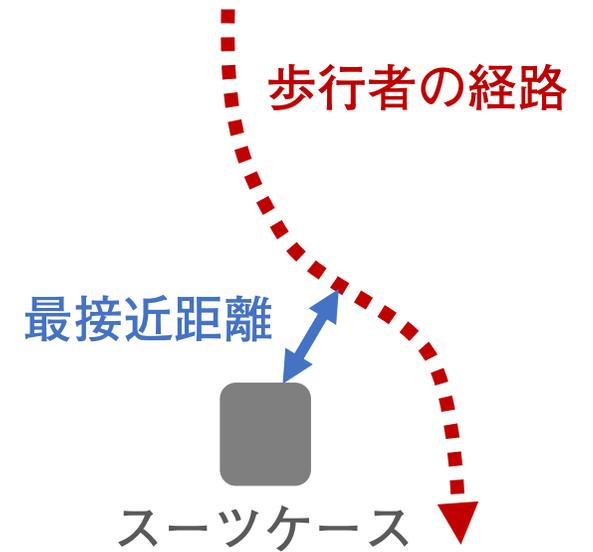
Movie

合計**399人分**の歩行経路を解析

評価尺度

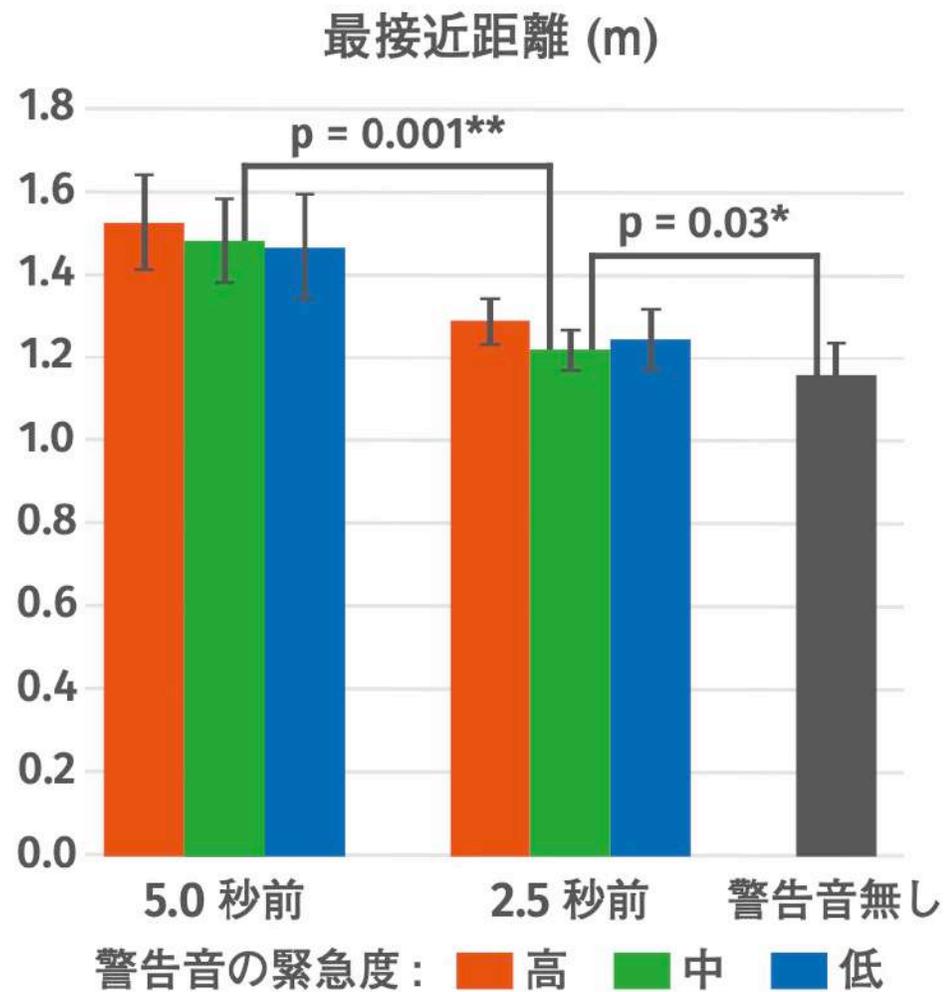
最接近距離

歩行者がスーツケースに最も近づいた時の距離

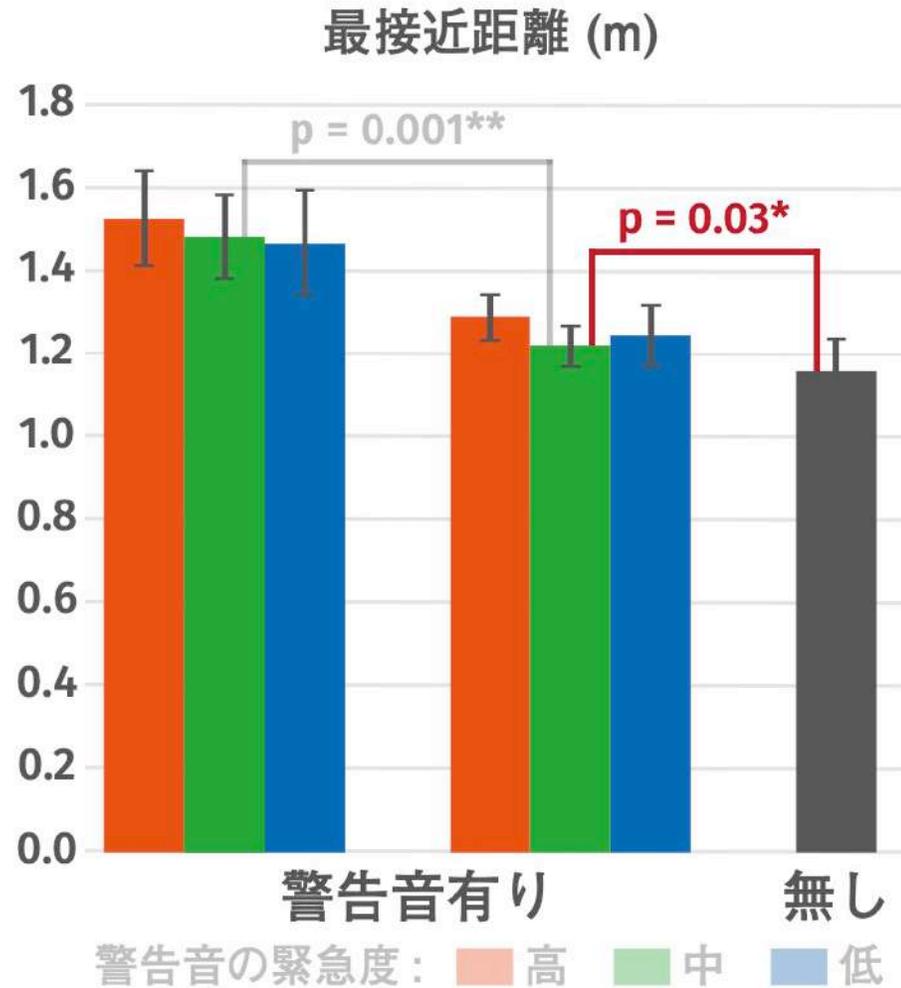


最接近距離が**大きい**警告パターン = ユーザにより**安全な経路**を提供可能

結果



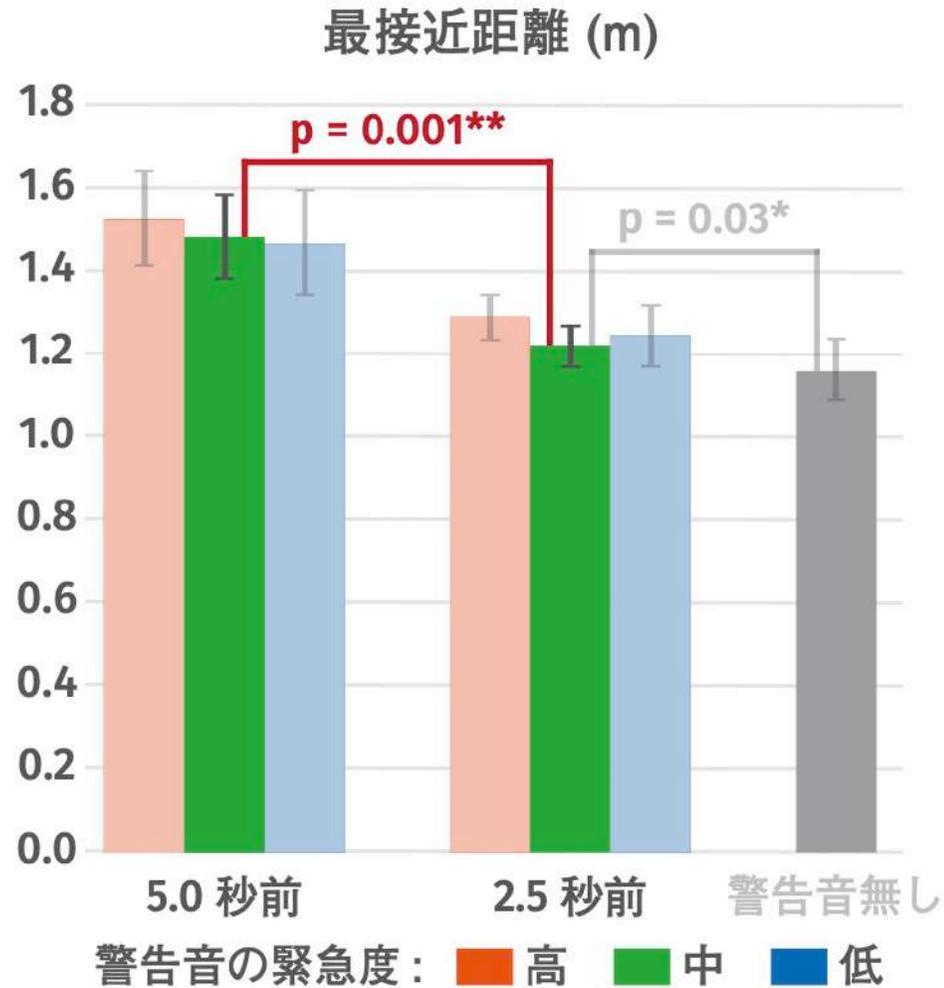
結果



Finding 1

警告音を鳴らすことで歩行者の経路をスーツケースから遠ざけることが可能

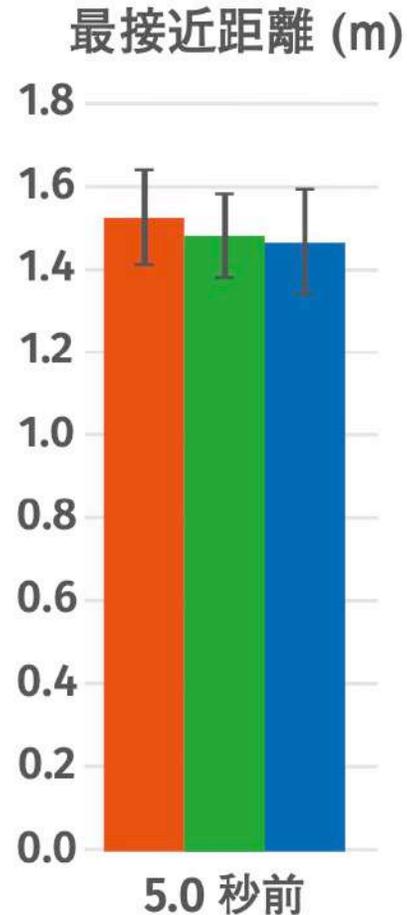
結果



Finding 2

警告音の種類よりも鳴らすタイミングが
歩行者の経路に大きく影響する

警告音の選択



Finding 3

警告音の緊急度の違いは歩行者の経路に影響が少ない

先行調査結果^[1,2]

警告音の緊急度が高いほど聞き手は不快に感じる

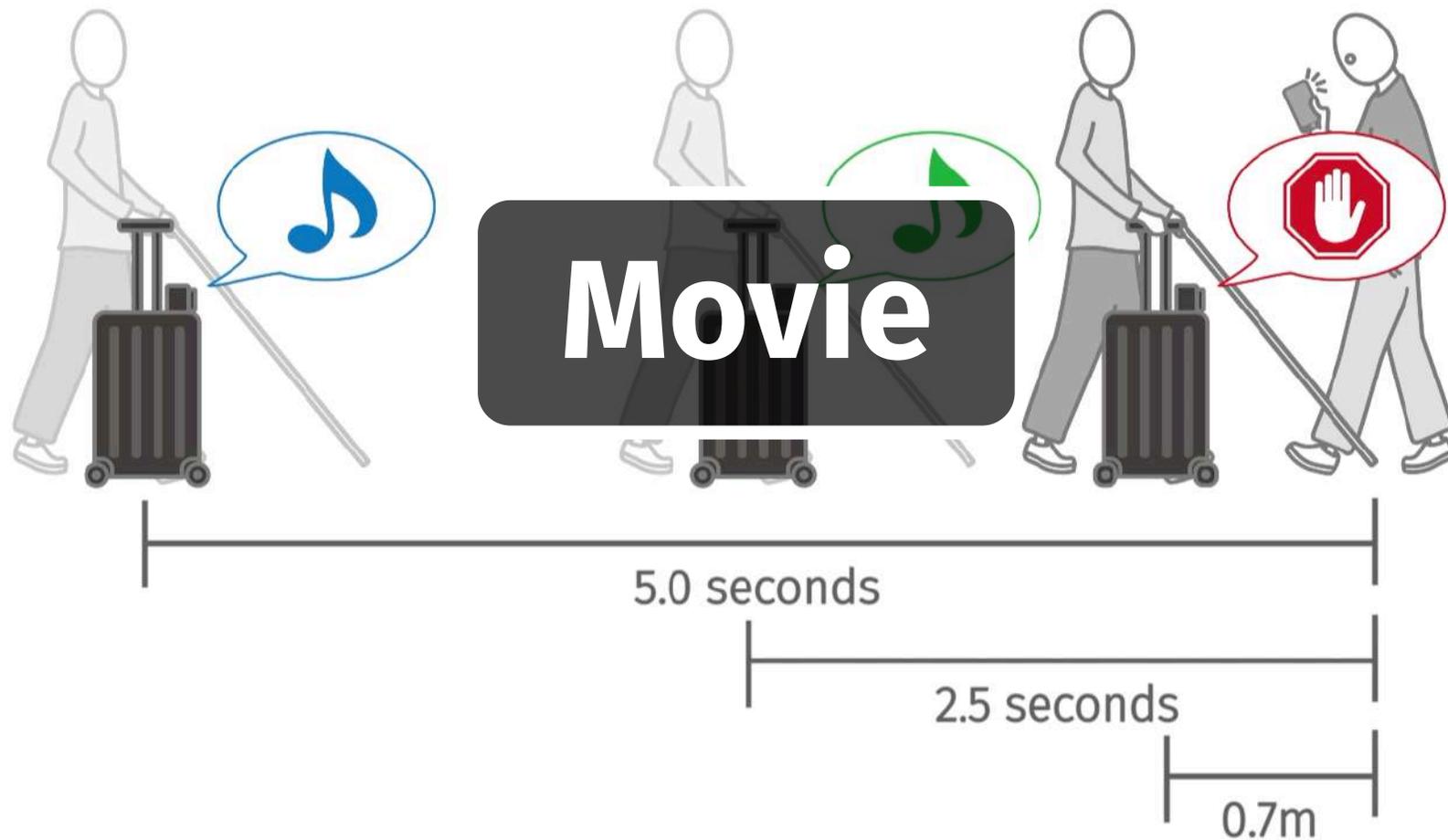


緊急度が低い警告音をシステムに採用

[1] J. Edworthy, et al. "Improving auditory warning design: Relationship between warning sound parameters and perceived urgency" 1991. 27

[2] D. C. Marshall, et al. "Alerts for in-vehicle information systems: Annoyance, urgency, and appropriateness" 2007.

警告ポリシーのデザイン



国際空港内におけるシステムの評価実験



6名の視覚障害者が搭乗中の混雑したゲートを通過するルートを移動

実験設計 - コンディション

インタフェース

BBeep

ヘッドセット

警告音なし



デバイス

スピーカー

骨伝導ヘッドセット

なし

警告音の出力先

ユーザと歩行者

ユーザのみ

なし

総試行回数

2 × 6名

2 × 6名

1 × 6名

Movie



ヘッドセット

視覚障害者のみへ

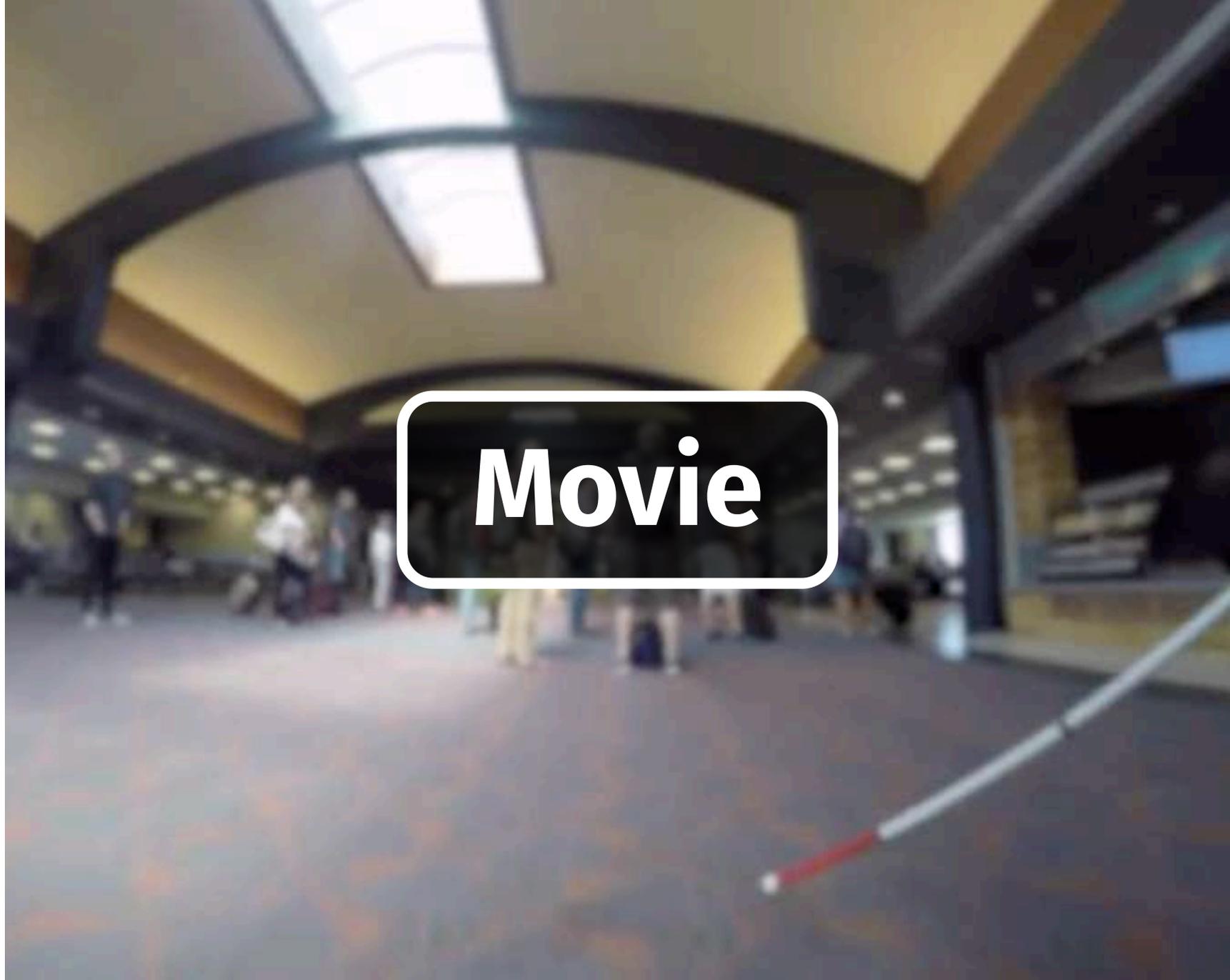
警告



BBeep

視覚障害者と歩行者
両方へ警告

Movie



評価尺度

$$\text{衝突率} = \text{衝突人数} / \text{衝突予測人数}$$

衝突の危険性が検知された歩行者の内、70cm以内まで接近した歩行者の割合

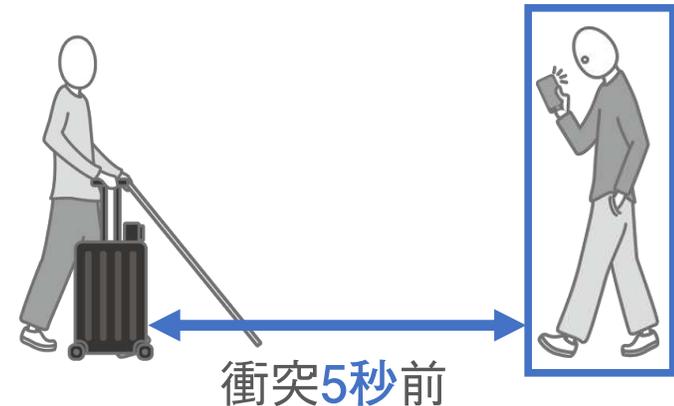
衝突人数

BBeepから70cm以内に接近した歩行者の人数



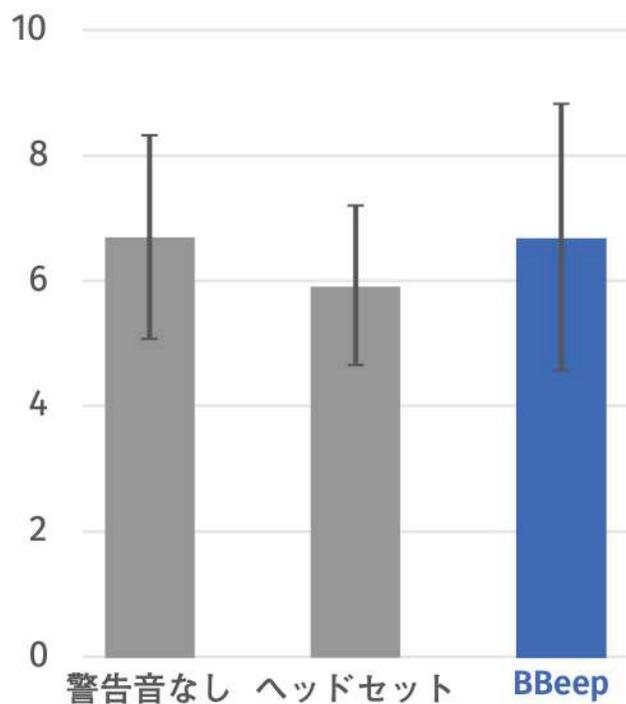
衝突予測人数

Beepが5秒以内に衝突する可能性を検知した歩行者の人数

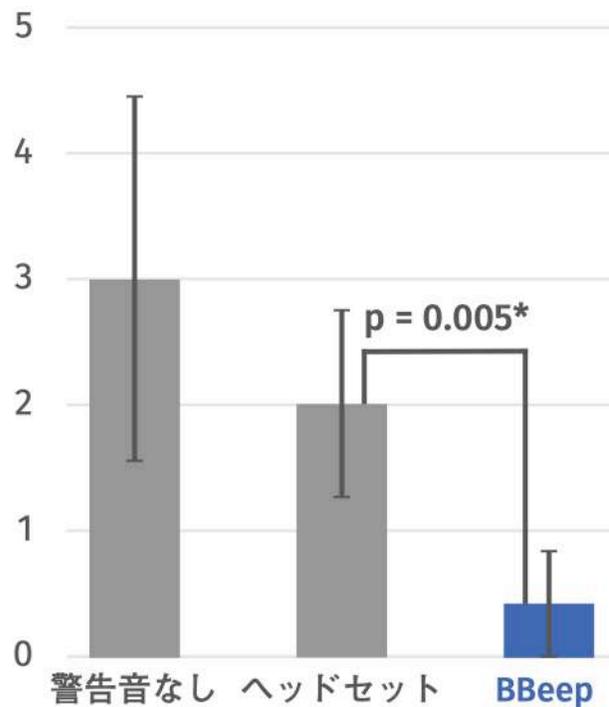


結果

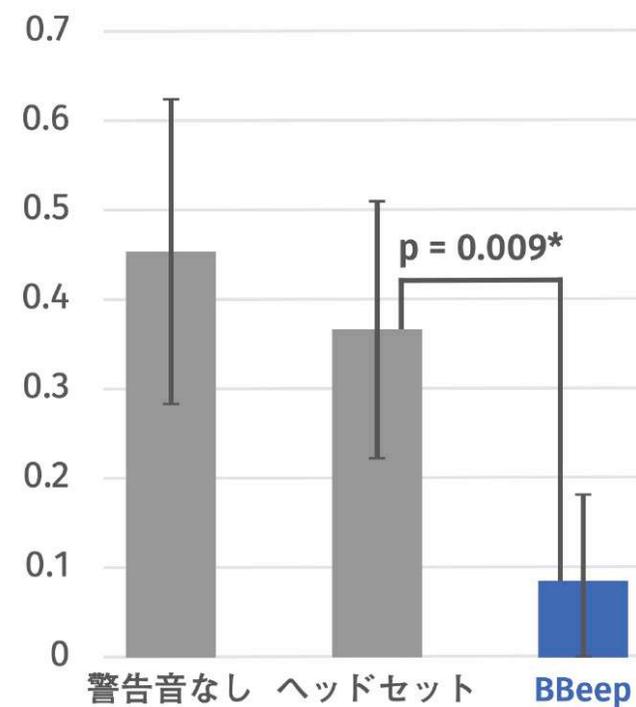
衝突予測人数/試行



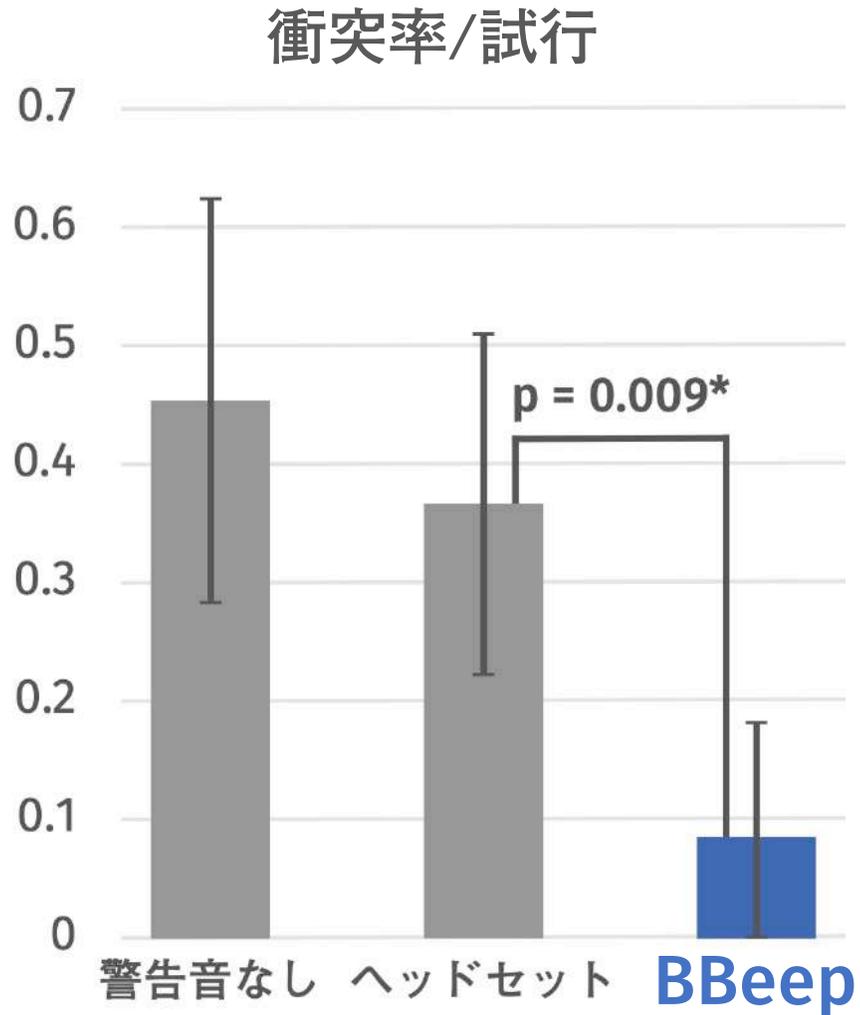
衝突人数/試行



衝突率/試行



結果



BBEEPを用いることで
ユーザと歩行者が衝突する確率が
大幅に低下

BBeepの未来① - 警告回数のさらなる削減

「ヘッドセットインタフェースは**周囲の人の注意を引くことはできないが**
静かである点を評価する。」 (P1, P2)



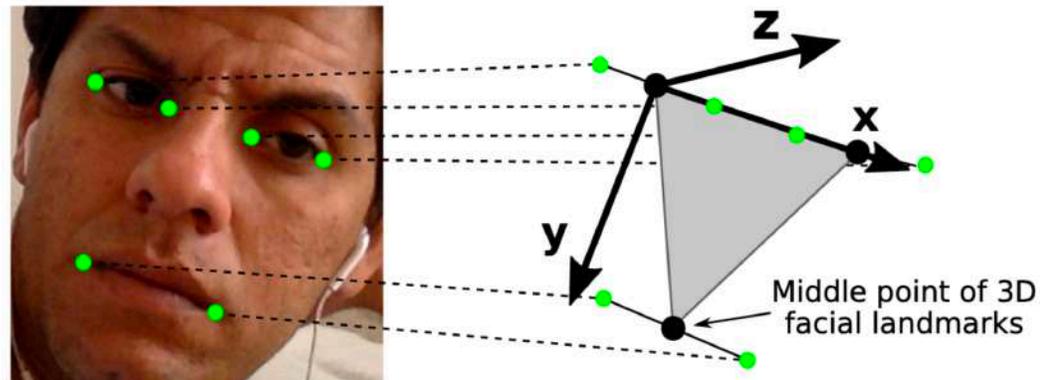
歩行者と衝突しない経路をユーザに提供しつつ、
音を鳴らす回数を減らすことは重要

BBeepの未来① - 警告回数のさらなる削減

BBeepの課題：歩行者の**位置情報のみ**を用いて衝突予測を行う

解決案

顔向きや視線，姿勢などから歩行者がユーザを視認しているかどうかを識別した上で衝突を予測し，警告回数を削減



BBEEPの未来② - 静かな場所におけるBBEEPの使用について

「BBEEPは周囲の人と衝突する危険がない限り警告音を鳴らさないため
人が少ない環境でも有用である。」 (P3)

「病院や図書館など静かに過ごすように求められる環境では
BBEEPを使用することは躊躇われる。」 (P2, P4)

BBeepの未来② - 静かな場所におけるBBeepの使用について

解決案

周囲の環境に応じてBBeepが警告音のパラメータや鳴らし方を変化させる

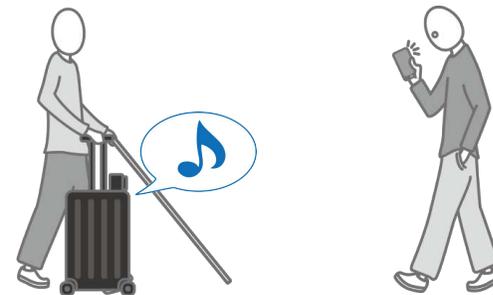
人が多く、騒がしい環境

緊急度の高い音を大きな音量で



人が少なく、静かな環境

緊急度の低い音を小さな音量で



BBeepの未来③ - 周囲の情報を把握することの必要性

「警告音を鳴らして衝突の危険性を知らせるだけでなく、
周囲の状況をもっと詳細に把握したい」 (P2, P3)

解決案

ヘッドセットを通して周囲の状況をユーザへ知らせるシステムを追加



ヘッドセット: ユーザに周囲の状況を説明



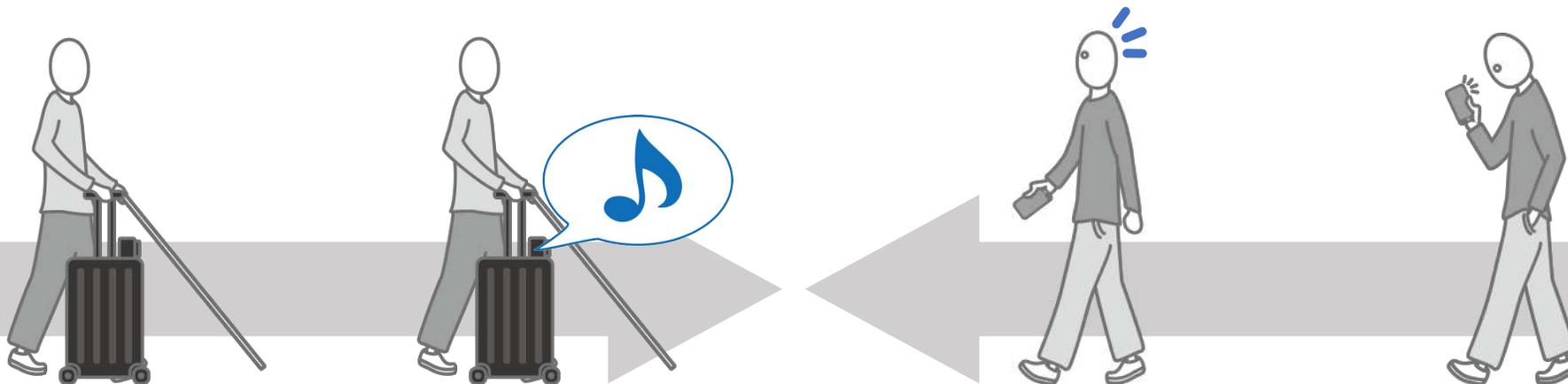
スピーカー: 周囲の人に衝突の危険性を通知

Summary

BBeep: 視覚障害者と歩行者の衝突回避支援システム

歩行者との衝突を予測し，警告音を用いて歩行者に衝突の危険性を通知

国際空港でのユーザ実験を通してBBeepの有用性を検証



Q and A

査読でいただいたコメントとその回答

Q1: サウンドをビープ音に限定したのは？

- ・ **サウンドは無限**にあり，かつ**ユーザの好み**に大きく**依存**するため
その調査はフォーカスしませんでした。
- ・ ビープ音はパラメタの設定が容易だったため使用しました。
- ・ 既存研究^[1,2]からビープ音のパラメタと不快感の関係が示されています。

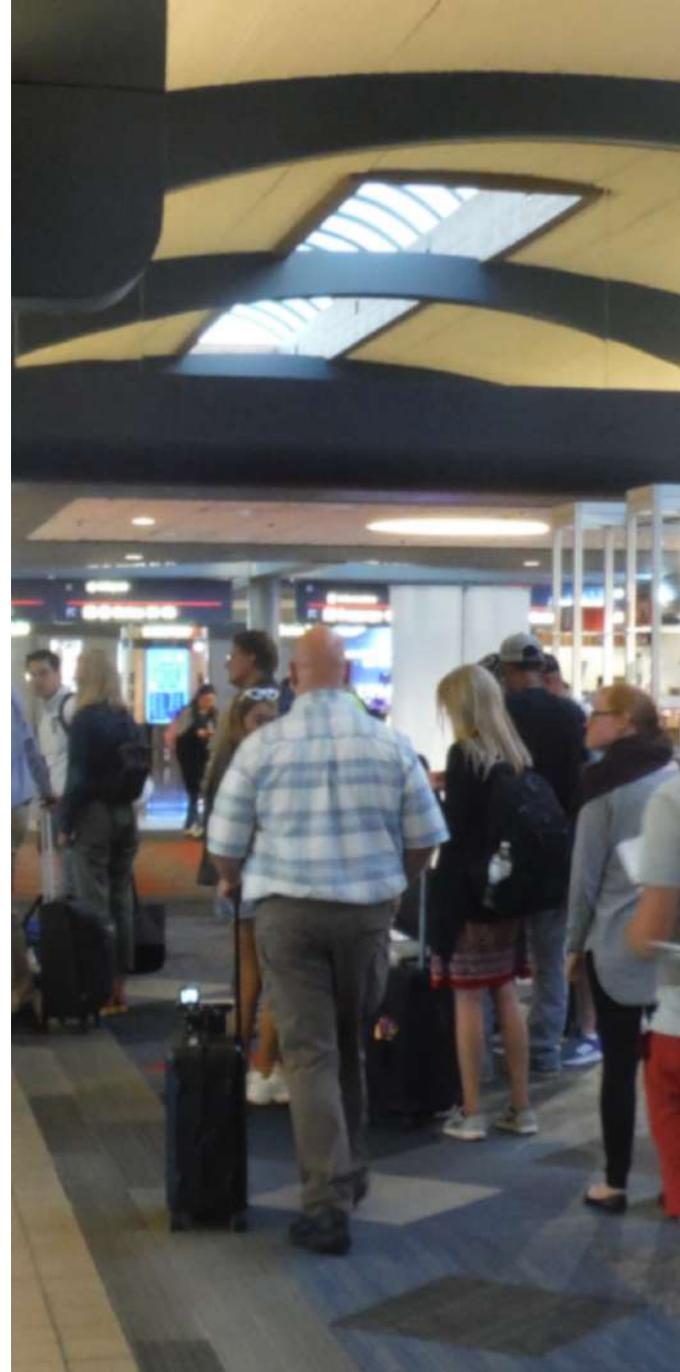


[1] J. Edworthy, et al. "Improving auditory warning design: Relationship between warning sound parameters and perceived urgency" 1991. 43

[2] D. C. Marshall, et al. "Alerts for in-vehicle information systems: Annoyance, urgency, and appropriateness" 2007.

Q2: 空港での実験時に歩行者がシステムに対して抱く印象は調査しなかった？

- **していません。**
- 「提案システムが衝突回避に有用か」のみフォーカスしました。
- 実験時に抗議などはなく、**概ね好意的な反応**でした。
- システムの社会普及を目指すには必ず調査すべきことだと思います。



Q3: 歩行者が容易に移動できない場合もあるのでは？

(大きな荷物を持った人など)

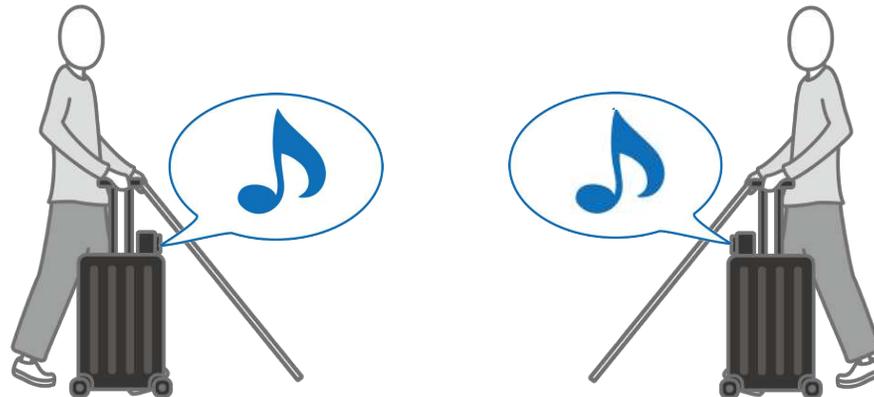
- ・ ユーザ側が避けるべき状況に対応できるように、
視覚障害者に対して周囲の情報を伝達するシステムと組み合わせたいです。
- ・ 人がたくさんいて移動できない場合、道が全て塞がれている場合などに
BBeepを使ってもらいたいです。

Q4: BBeepを持っている人同士が接近したらどうなる？

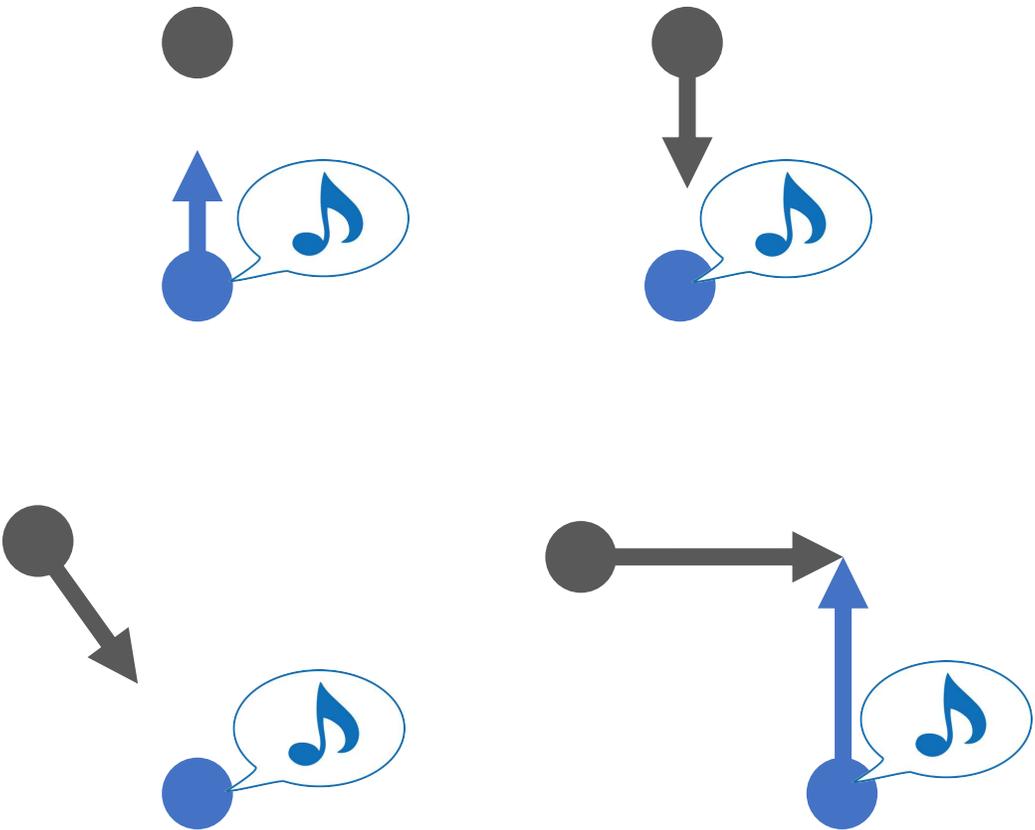
- ・互いに鳴らしあってしまうため、解決策を実装する必要があります。

解決案

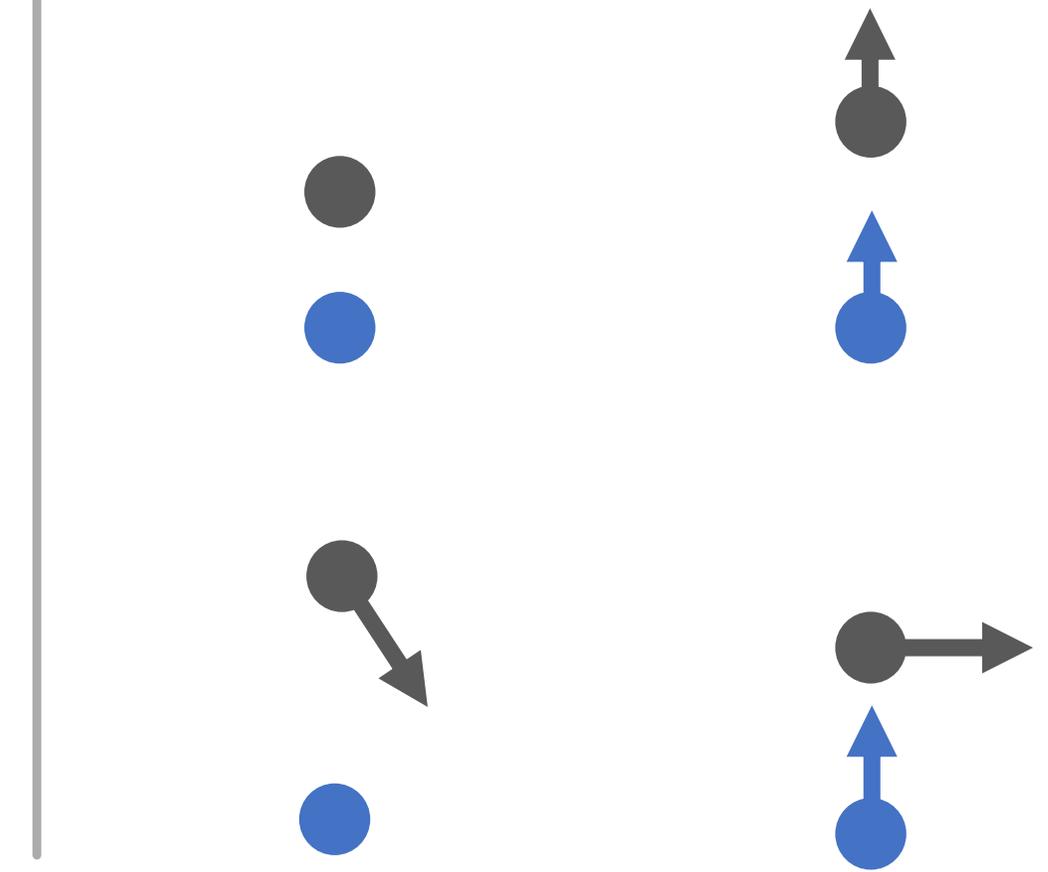
- ・ BBeep同士で通信を行い、互いに回避するように案内する。
- ・ BBeepユーザも検出可能のように画像認識精度を向上させる。



警告音が鳴るケース



警告音が鳴らないケース



● BBeep

● Pedestrian



BBeep:

歩行者との衝突予測に基づく警告音を用いた
視覚障害者のための衝突回避支援システム

粥川 青汰^{1,3} 樋口 啓太² João Guerreiro³

森島 繁生⁴ 佐藤 洋一² Kris Kitani³ 浅川 智恵子^{3,5}

1. 早稲田大学 2. 東京大学 3. Carnegie Mellon University

4. 早稲田大学理工学術院総合研究科 5. IBM Research