

2022年11月22日(火)

パーソナルモビリティの スマートナビゲーション

早稲田大学 理工学術院総合研究所
(フロンティア機械工学研究所)

主任研究員 亀崎 允啓

普及への期待と現状

パーソナルモビリティ(Personal Mobility: PM)

- 1人乗りのコンパクトな移動支援機器
- 歩行者と既存の乗り物(自転車・バイク・乗用車など)の間を埋めることが目的
- 屋内外問わずさまざまな場所を走行可能



しかし、・・・実は、操作が難しい

- 路面のちょっとした凸凹
- 通行できるかどうかわからない(視点が低い)
- 速度の微調整
- 人混みの移動



普及には、PM操作者の支援が不可欠

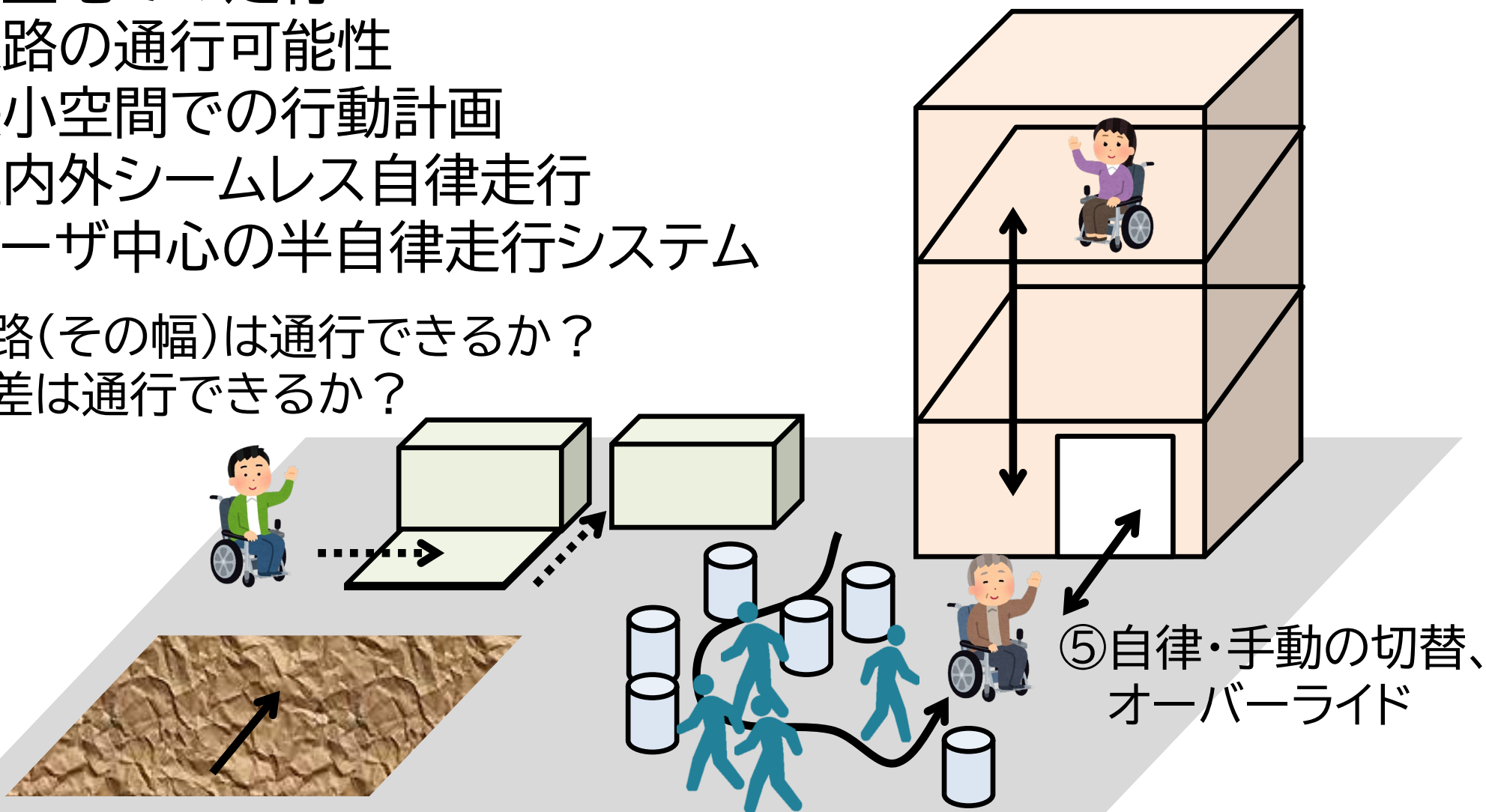


実用化を阻む主要課題

- ① 不整地での走行
- ② 通路の通行可能性
- ③ 狭小空間での行動計画
- ④ 屋内外シームレス自律走行
- ⑤ ユーザ中心の半自律走行システム

- ② 通路(その幅)は通行できるか？
段差は通行できるか？

- ④ 屋内外の移動、階間の移動



- ① 段差、レンガ、砂利道での走行

- ③ 狭小空間での制御

技術開発・実証実験・事業化の動向

技術開発

操作支援

- 二輪車椅子における段差乗り越え支援制御とその快適性評価(平田+、2013)
- 歩行者モデルを用いた電動車椅子の動的障害物回避(中野+、2015)
- 電動カートのエレベータ進入操作支援に関する基礎的研究(柴田+、2017)など

自動制御

- 建物の構図を考慮したルートを自動生成(Sakamaki+、2013)
- 自動停止機能・自律移動機能を有するロボティック電動車いす(上松、2018)
- 電動車いすの屋内外自動走行(森+、2019)など

実証実験

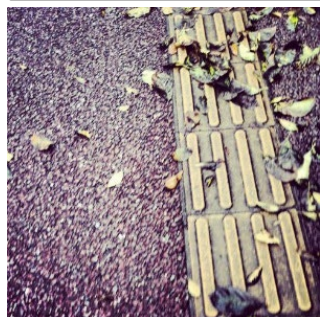
- 空港での自動運転サービス、(WHILL、2019～)
- 高齢者のための移動サービス(つくば市、2021)
- 病院内での移動支援(藤田医科大学病院、2021)



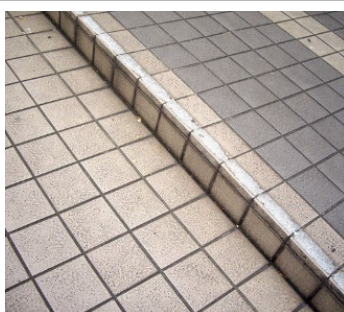
事業化へ至った例は
ほとんどない

理由:上記の5つの課題を考慮したスマートナビゲーション技術がない

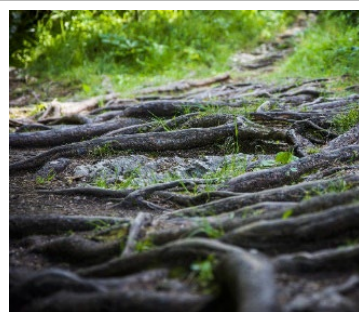
①不整地での走行



点字ブロック



段差



木の根
(丸い凹凸)



石畳
(凹凸路)



砂利道



地面のくぼみ
(轍)

路面から受ける外力の影響で**挙動の予測が難しく、**
操作者の意図しない挙動が発生しやすい



1. 前進方向の段差



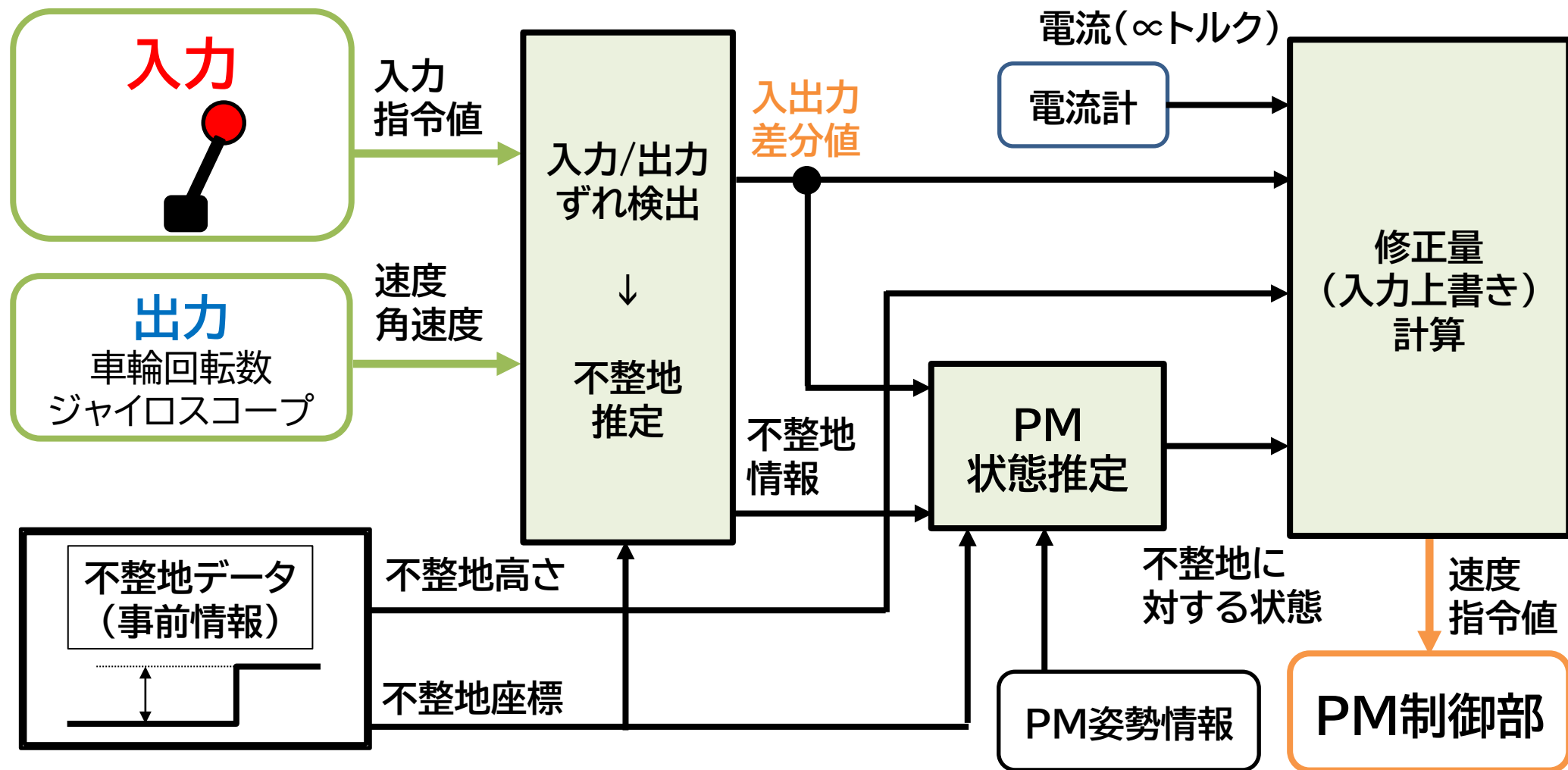
2. 横方向の段差



3. 滑りやすい道

PMの屋外走行において特に問題になりやすい、3種類の不整地に着目

不整地走行システム



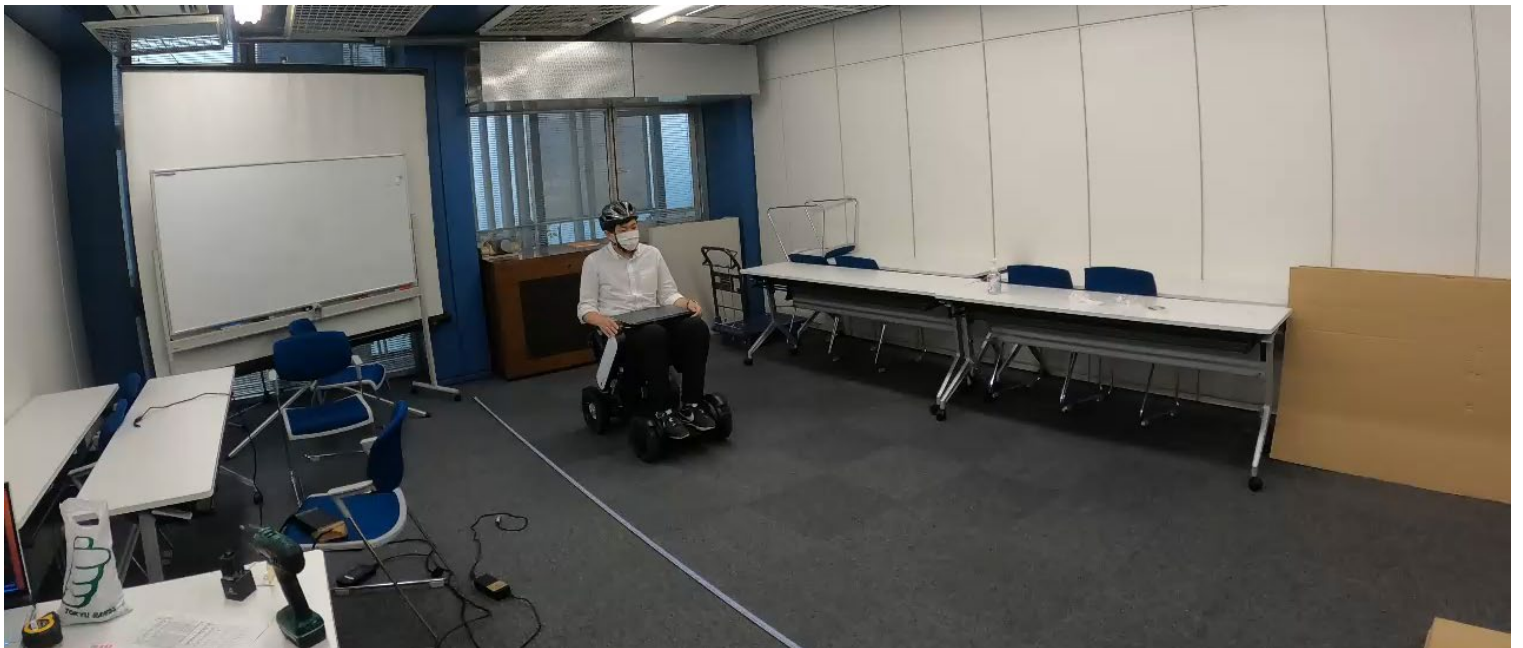
入力と出力の差を減少させるように左右の車輪を独立に制御

前方段差

支援なし



支援あり



側方段差

支援なし



支援あり



左右の摩擦が異なる地面

支援なし



支援あり



②通路の通行可能性



乗り越えができない段差



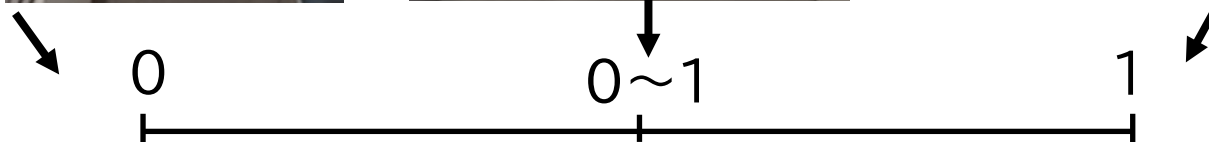
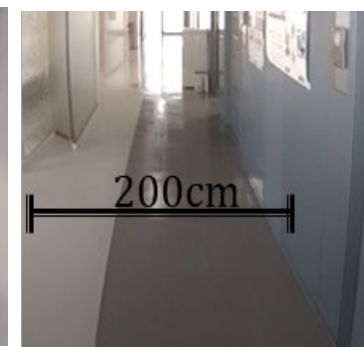
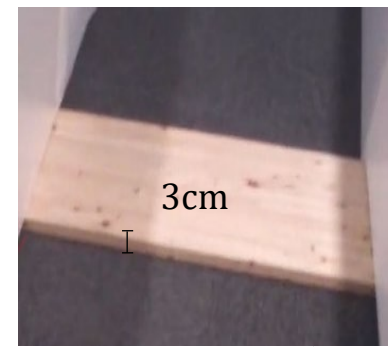
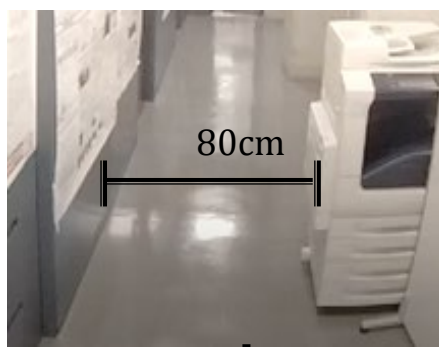
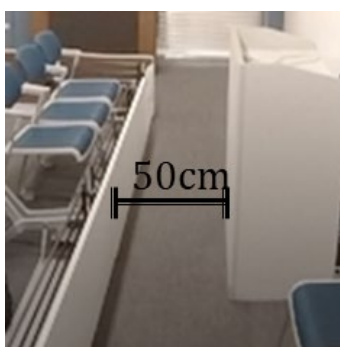
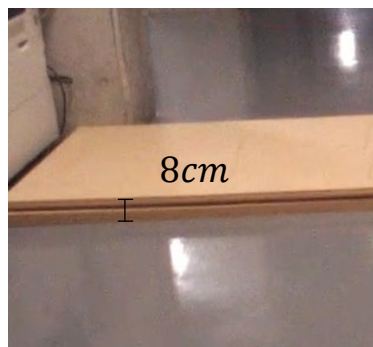
操作ミスによる衝突

未知環境では通路が通れるかどうかの判断が難しく、
また、狭い通路での正確な操作は難しい

プロアクティブ操作支援システム

通行容易性 P : 通行のしやすさを図る指標(0~1)

- 横通行容易性 P_w => 通路幅 vs PMの幅
- 高さ通行容易性 P_h => 地面障害物の高さ vs PMの乗越可能高さ



不可能

注意

可能

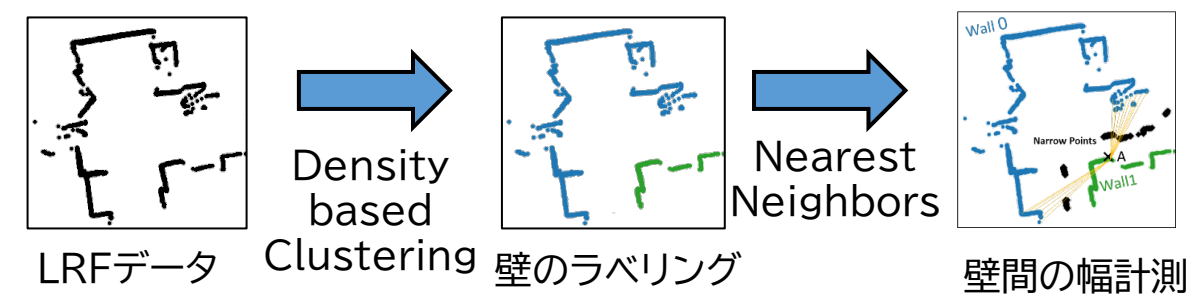
事前情報提示
不必要な試行を削減

制限速度の自動調整
操作者は細かい速度調整がしやすくなる

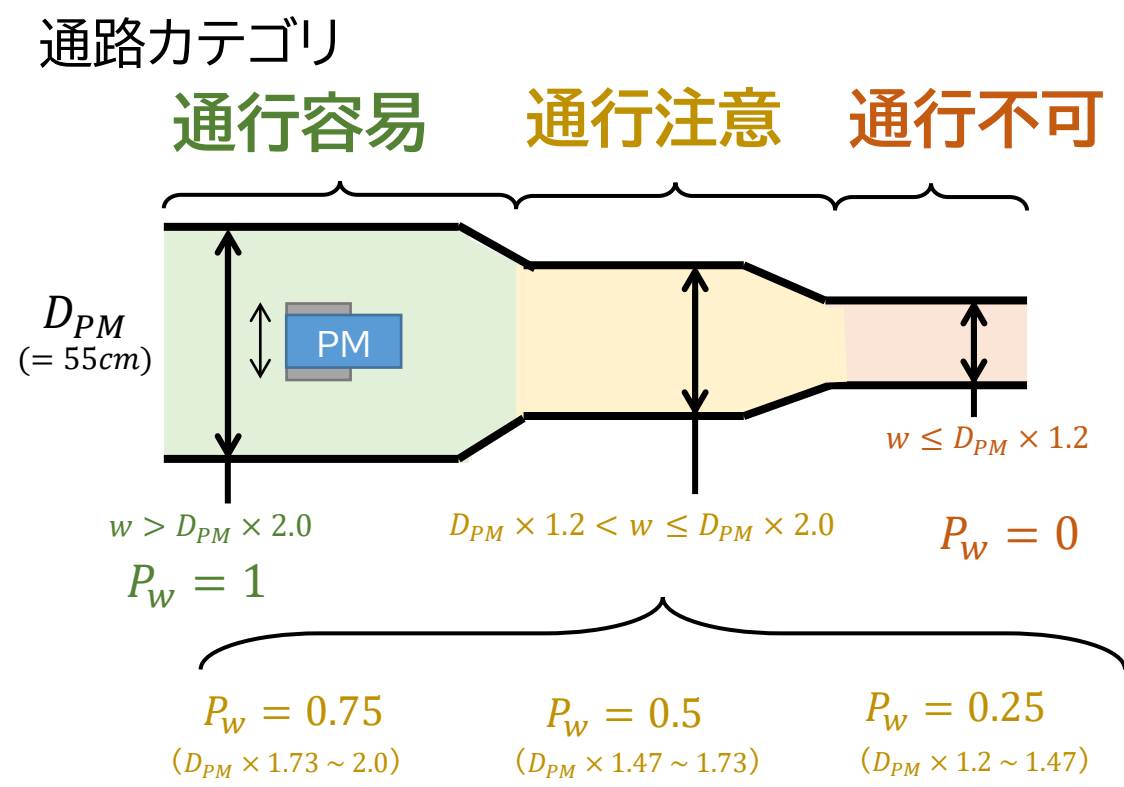
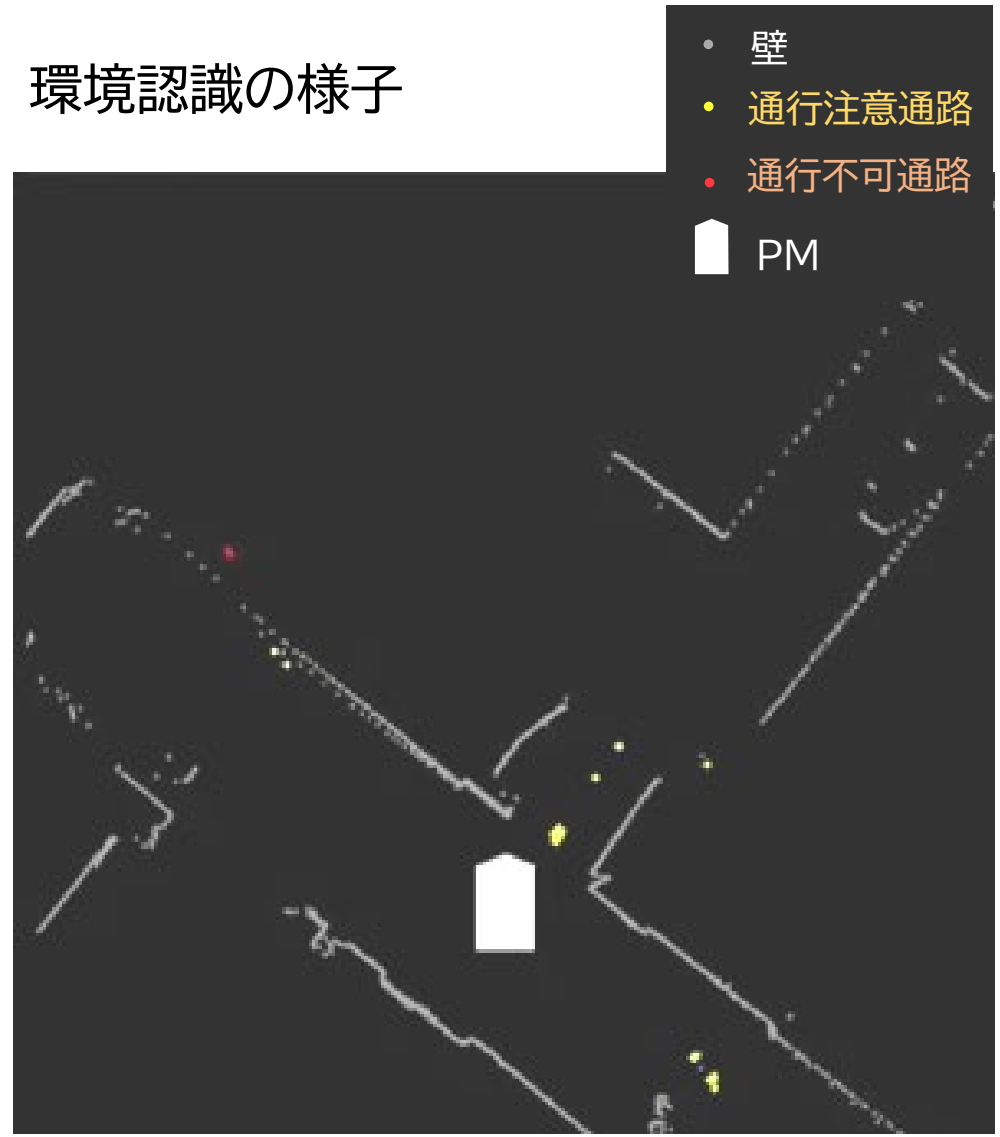
支援なし

通行容易性に基づく支援により、走行パフォーマンスの向上を図る

横通行容易性

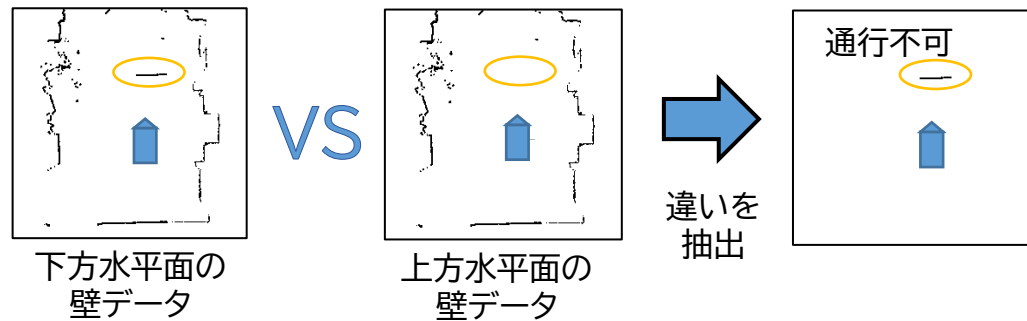


環境認識の様子

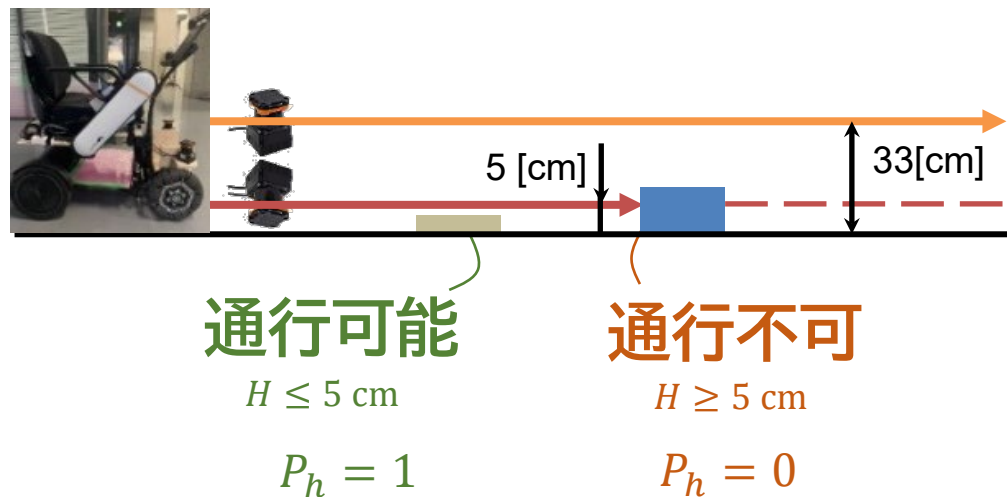


点群から、実時間に「通路」を検出して、「通路幅」を計算する

高さ通行容易性

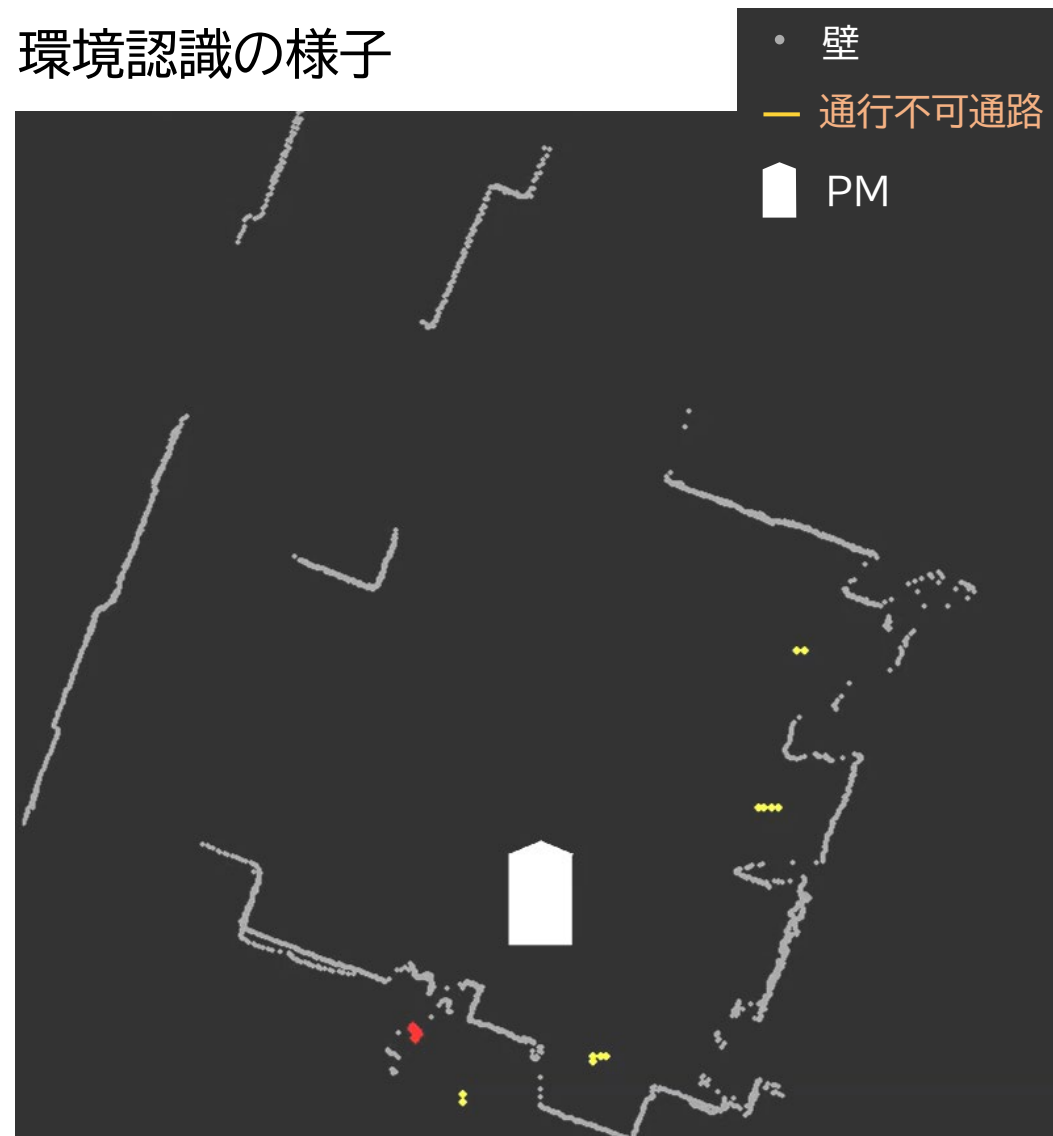


段差カテゴリ



※ WHILLの乗り越え可能段差の高さは“5cm”

環境認識の様子



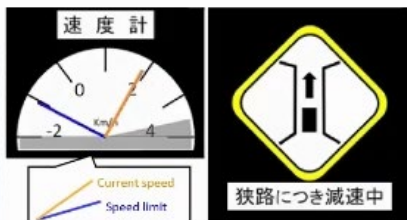
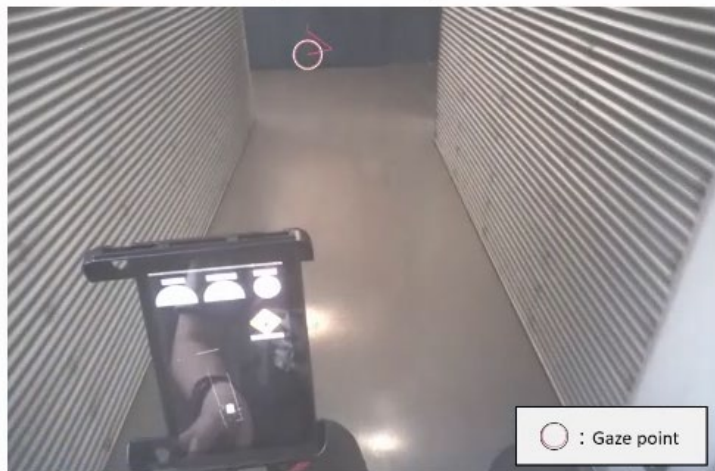
PMが通行できない高さの段差を実時間で検出

プロアクティブ支援

狭い通路におけるゲイン調整支援

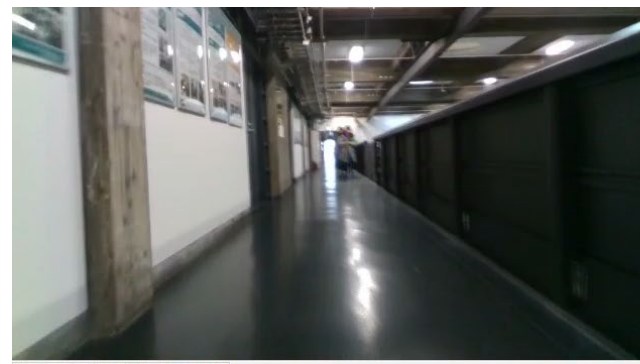
支援作動中

↓ Operator Perspective



↑
Indication

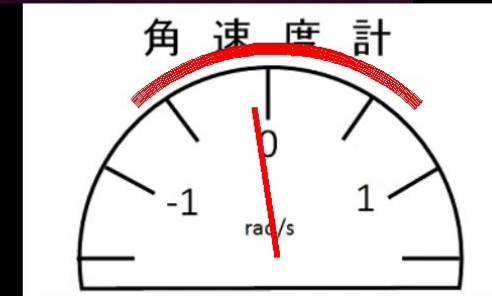
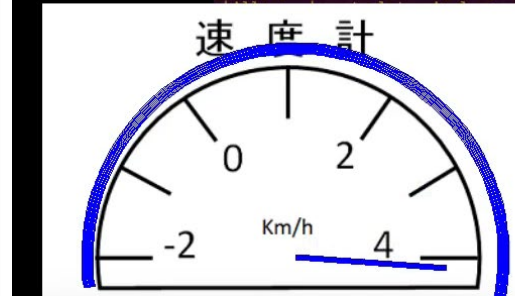
←
Map



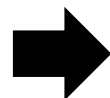
```
cp_test05.launch http://localhost:1131
000000000000[m/s], 目標速度上限
大値(1)変更:1)
on: '[16UC1] is not a color for
sense'
on: '[16UC1] is not a color for
sense'
on: '[16UC1] is not a color for
sense'
on: '[16UC1] is not a color for
sense'
[WARN] [1578626156.008079]: msgで指定された値での速度上限の変更はできません in /
```

(x=430, v=324) ~ R:30 G:41 B:39

[WARN] [1578626156.008079]: msgで指定された値での速度上限の変更はできません in /



深度センサを用いた人骨格推定とLRF
センサに基づく位置情報から、人の位置
・速度を推定



スムーズな走行を実現



狭路進入中

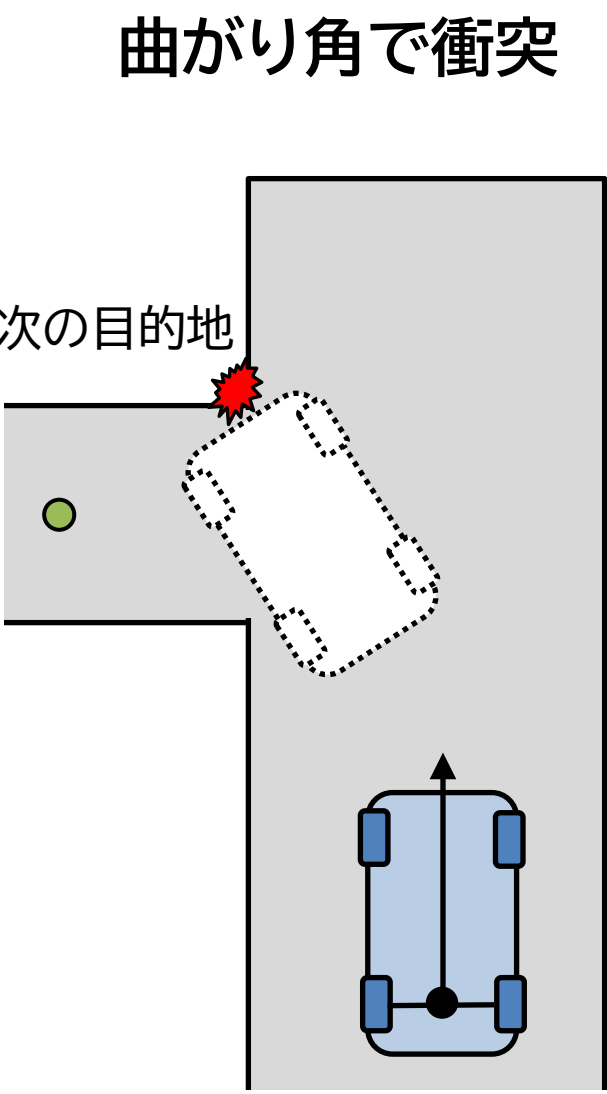
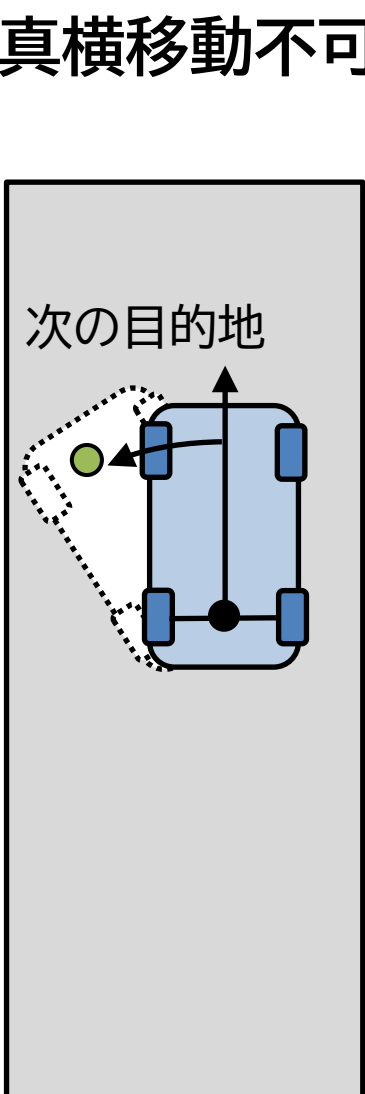
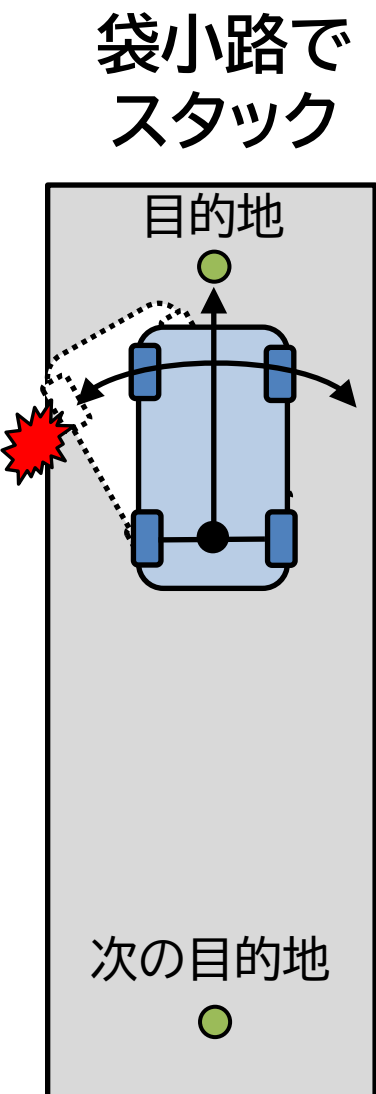
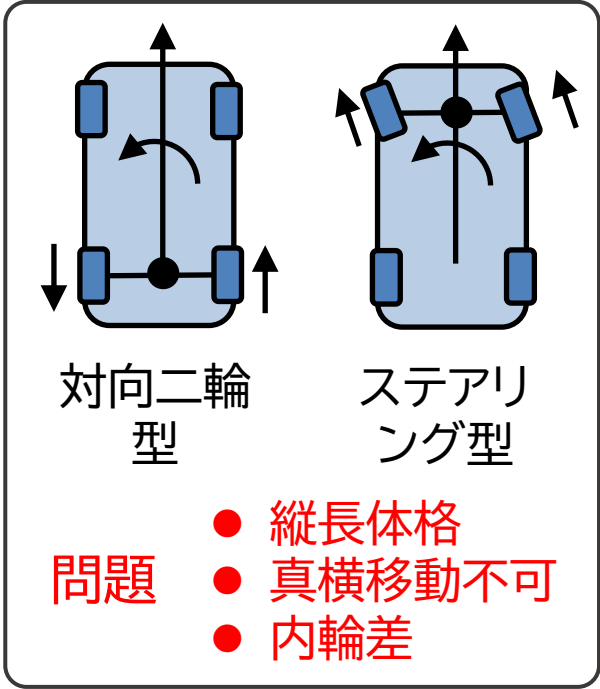
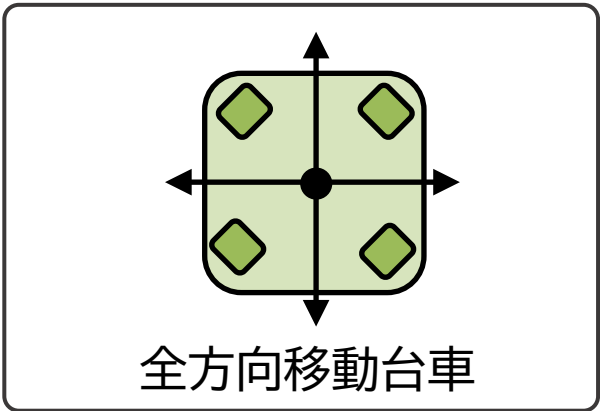
すれ違い中

○ ○ ○ 検出され
た歩行者

● LRF点群

PM

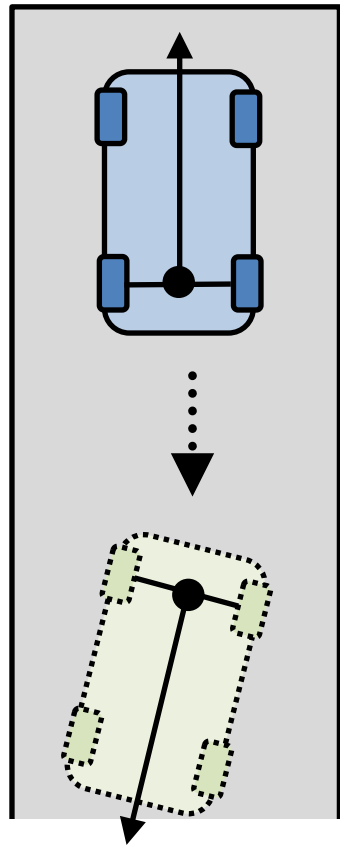
③狭小空間での動作計画



制約の多い狭隘空間において対向二輪PMでは問題が発生

狭所空間での動作制御

袋小路でスタック

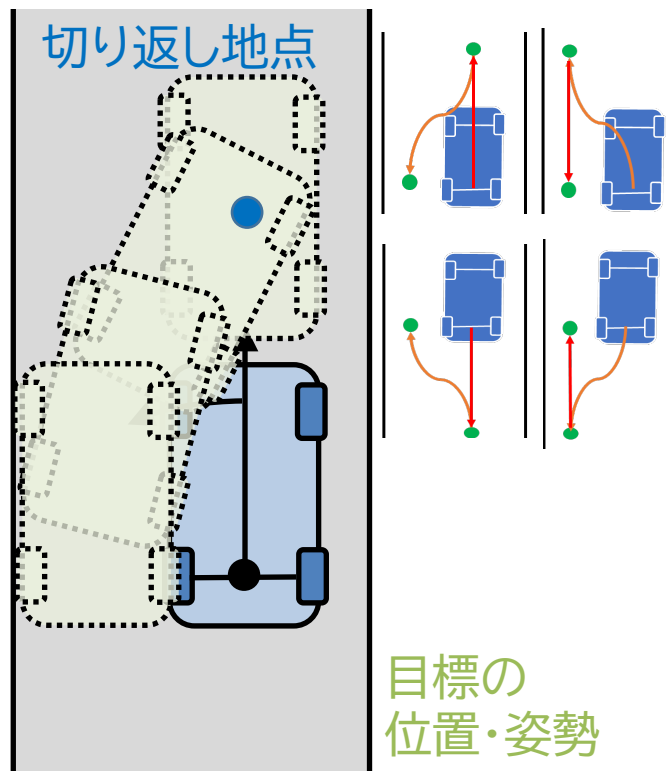


現在の
位置・姿勢

目標の
位置・姿勢

- 現在の位置・姿勢から、目標の位置・姿勢までの移動コストを、前進・後進それぞれで計算.
- コストの低いほうを選択

真横移動不可

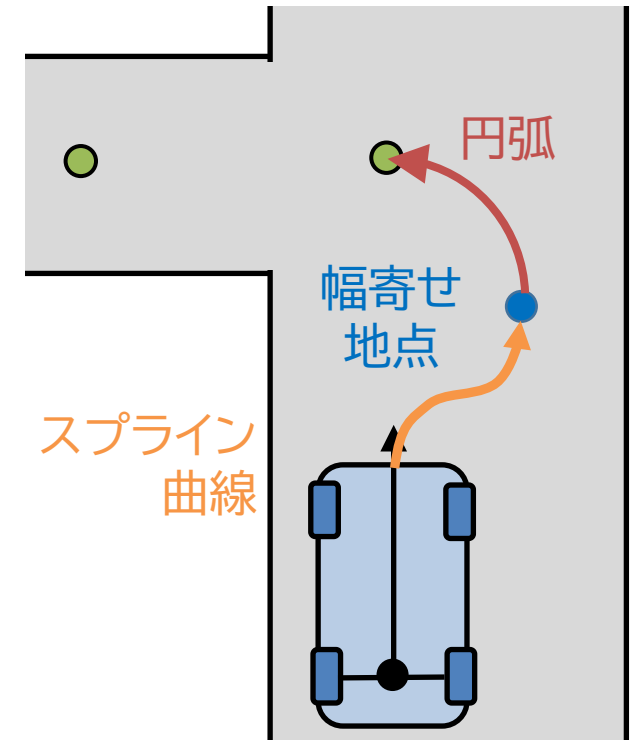


切り返し地点

目標の
位置・姿勢

- 壁と目標の距離から最小旋回半径と切り返し地点を算出し、4種類の軌道で干渉判定とコスト計算
- コストが低い干渉しない軌道を選択

曲がり角で衝突



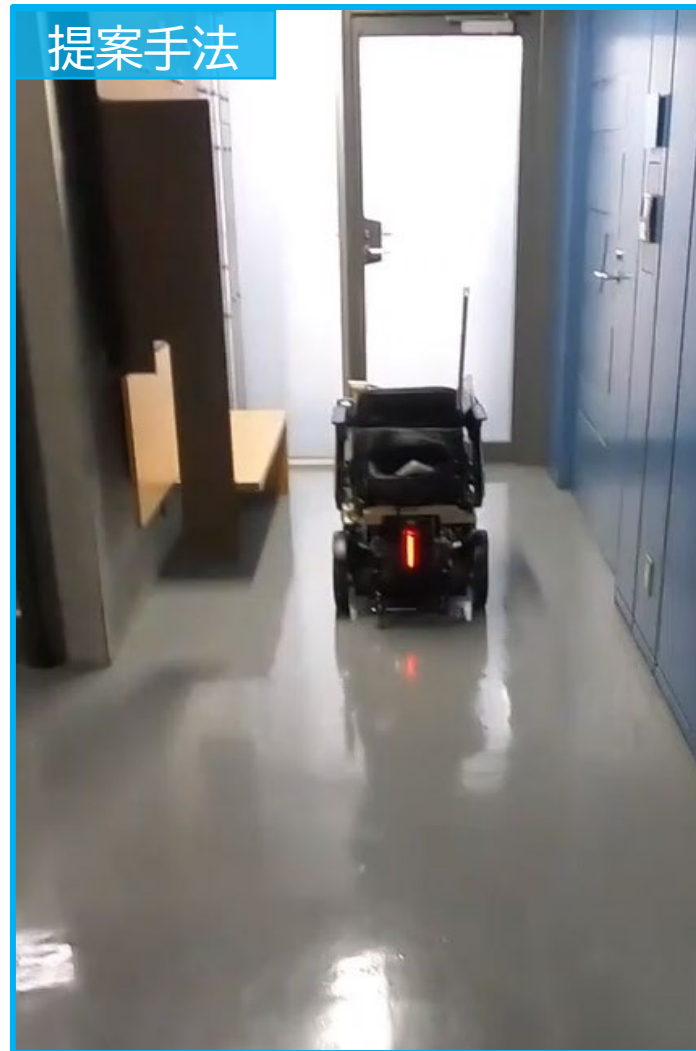
スプライン
曲線

- PMの最小旋回半径で侵入できる一定曲率経路を生成
- LRF点群データより経路の干渉判定
- 円弧の曲率半径最大となる幅寄せ地点を追加

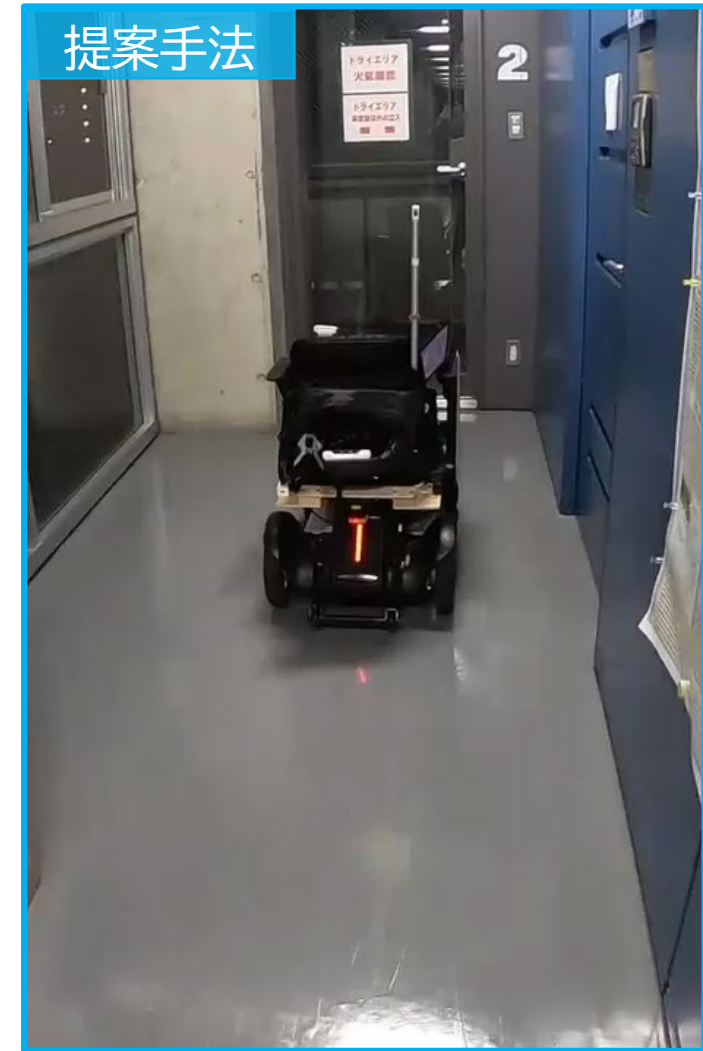
袋小路での後進利用



前進しか選択肢がない
ため道幅の狭い袋小路
では旋回できずスタック



旋回できない道幅
後進を利用

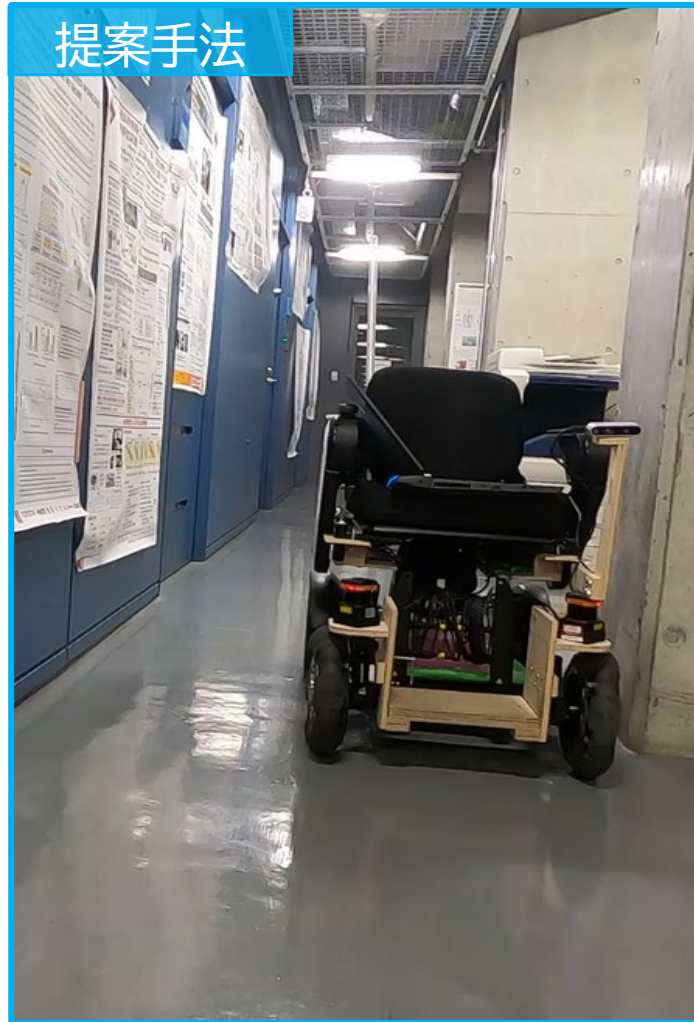


旋回できる道幅
コストが低い前進を利用

切り返しによる真横移動



真横にあるポスターを近くで見たいが真横移動できない



前進できる場合
切り返すことによりポスターに接近



前進できない場合
前に障害物がある場合
先に後進

右左折時の事前幅寄せ

DWA



狭い曲がり角において
右左折できない

提案手法



道幅がそれなりにある

外側に膨らむことにより
右左折可能

提案手法



道幅が狭い

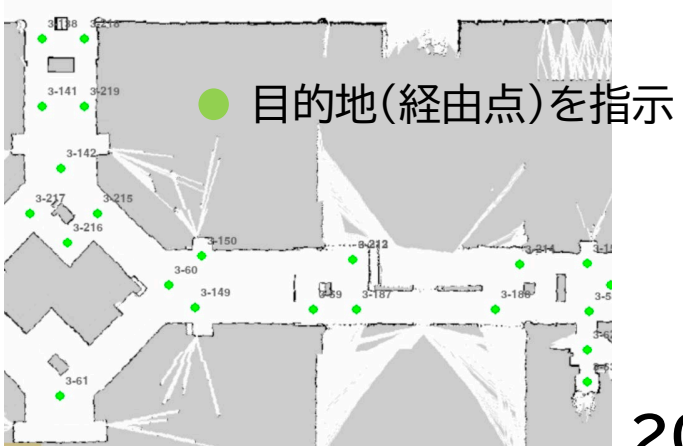
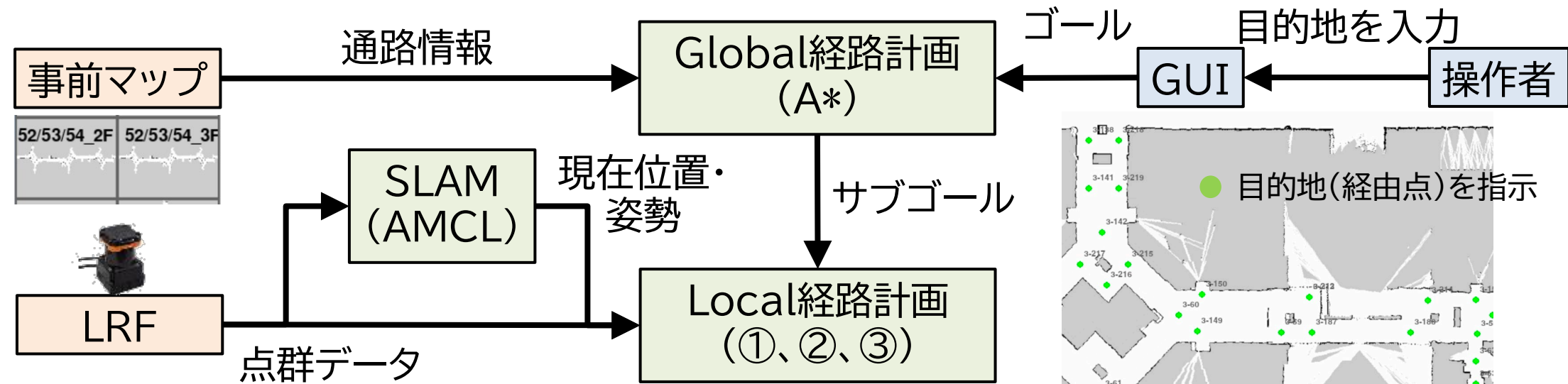
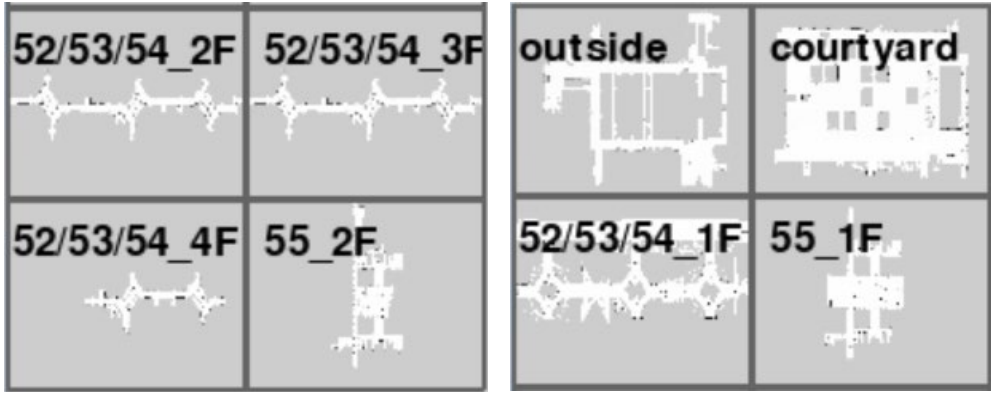
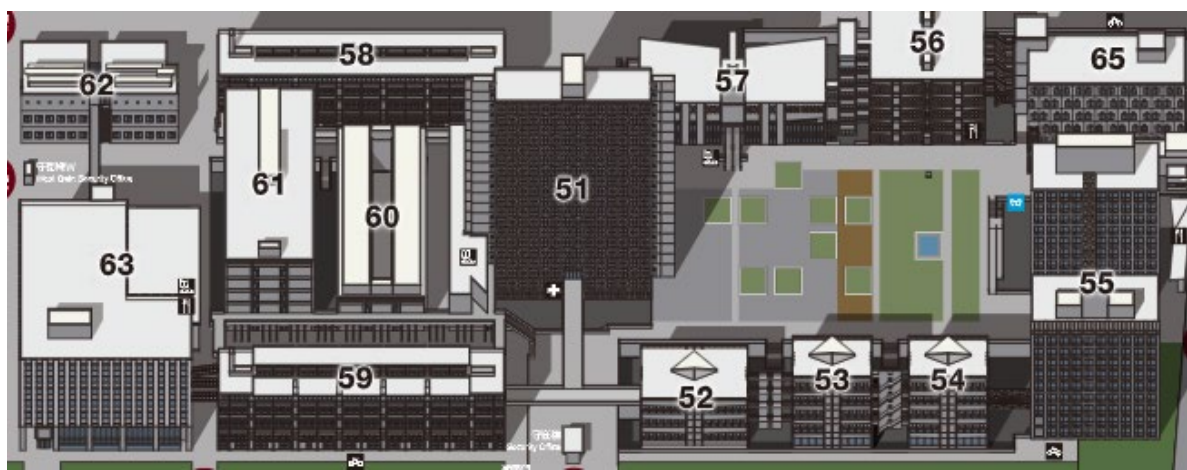
円弧が小さいその場
旋回を行う

④屋内外シームレス自律走行

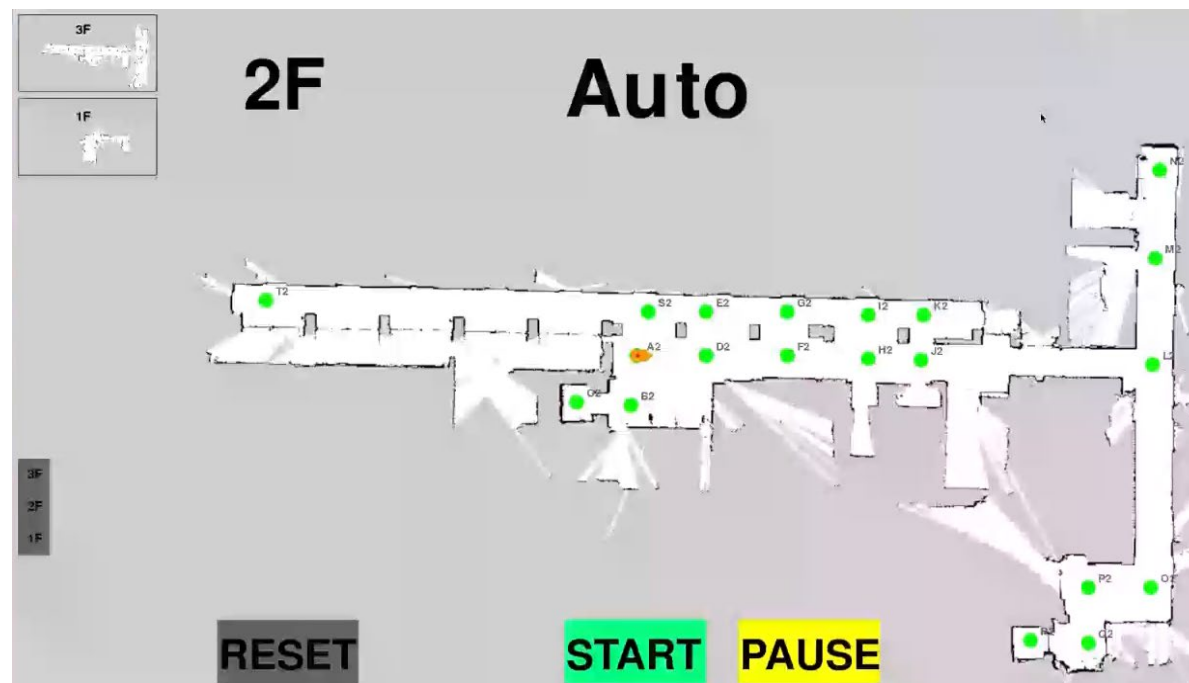
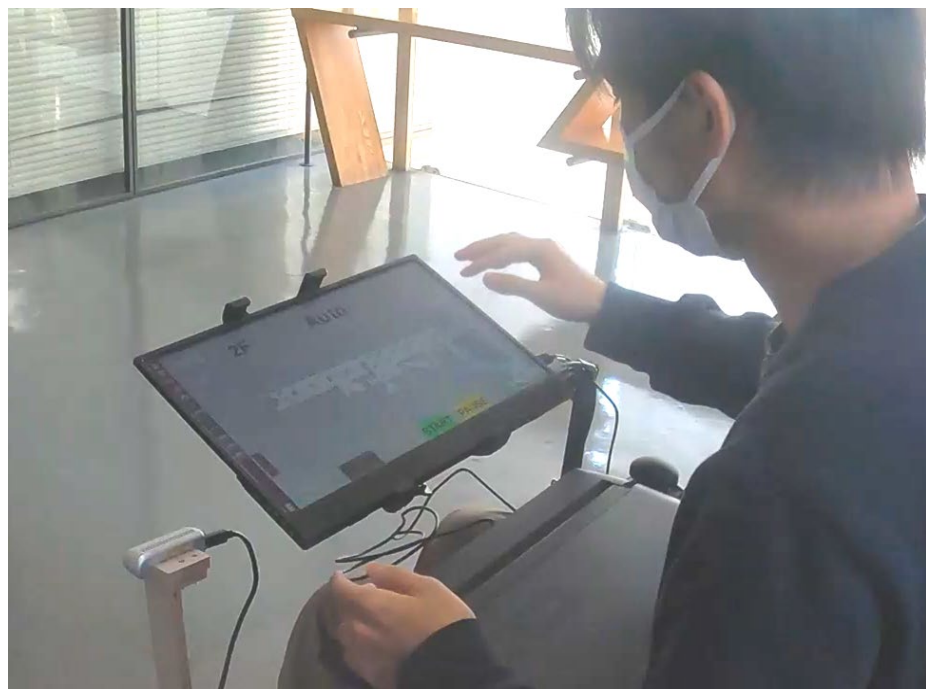
屋内・屋外、さらには、エレベータを使った建物の階層間の移動をシームレスに行えることが重要

対象: 西早稲田キャンパス

区画ごとに地図を作成

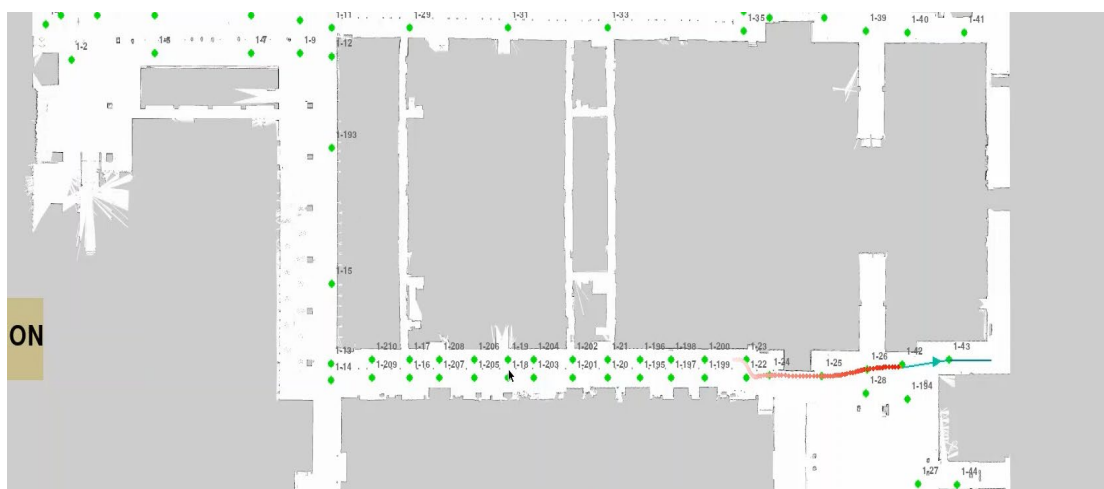


グローバル経路計画



— PMの走行軌跡 — 自動走行予定経路

マルチマップ間のシームレスな移動



エレベータの自動乗降と階認識



実環境において複数階層にまたがった移動が可能
階認識は重力方向の加速度情報を利用

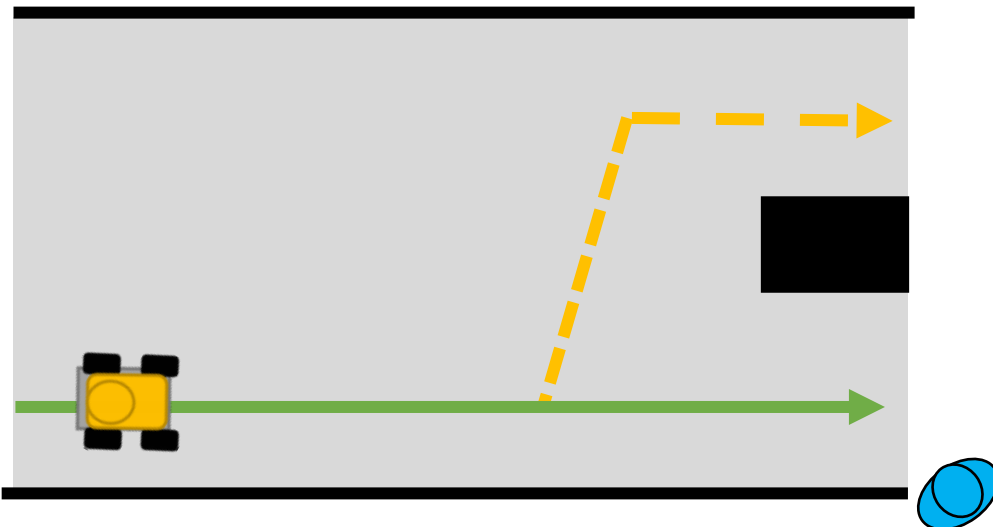
歩行者回避・自律走行



入力した目的地に従って、自動的に経路点を生成し自動走行を行う
静的・動的障害物(歩行者など)の回避・緊急停止機能も備えている

⑤ ユーザ中心の半自律走行システム

人が急に出てきた際に、
瞬時に経路を変えたい



→ 操作者がいきたい経路
→ 自動最短経路



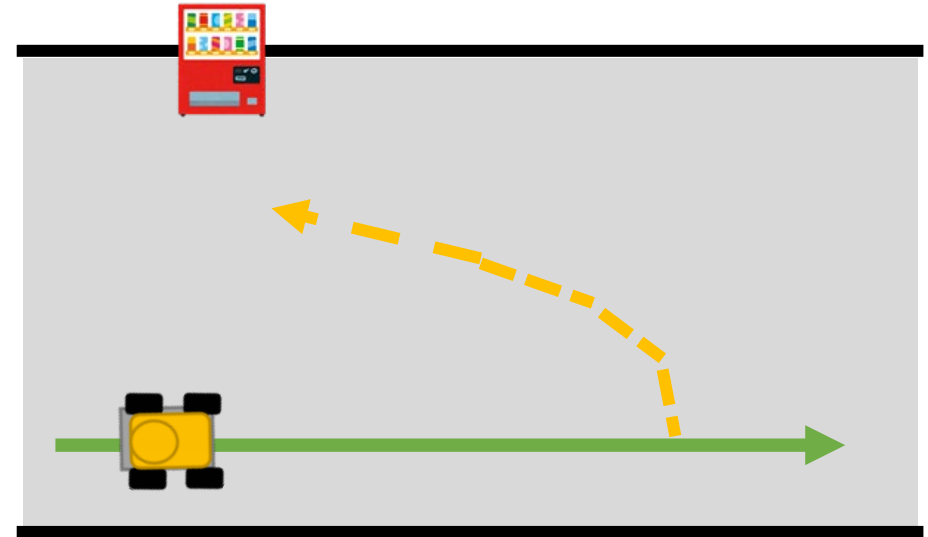
PM



歩行者

— 壁・柱

自販機に寄りたい



→ 操作者が行きたい経路
→ 自動最短経路



PM

— 壁

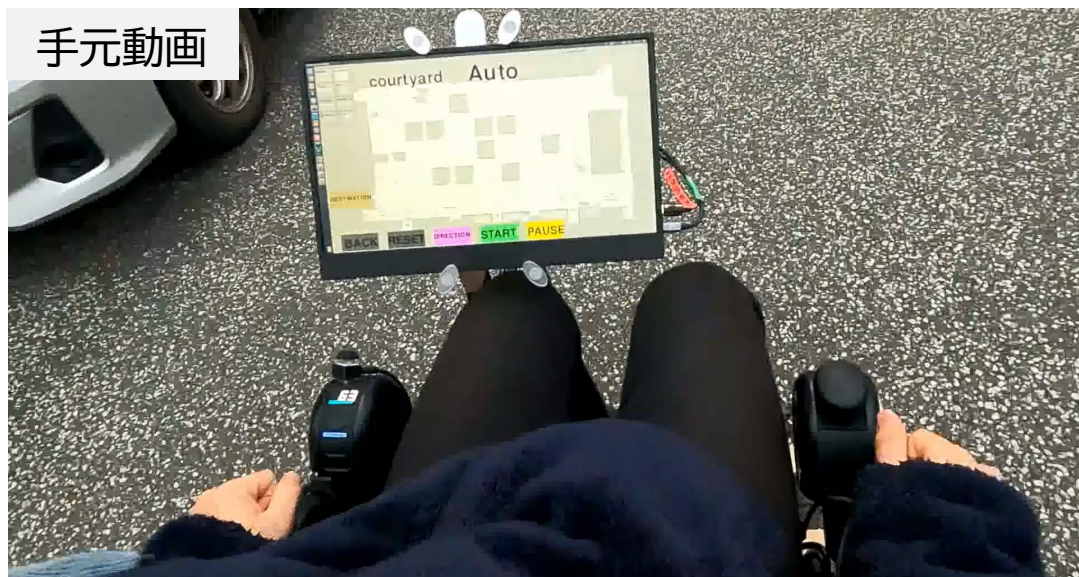
操作者の突発的な介入に対応する自動システムが求められる

突発的な経路変更

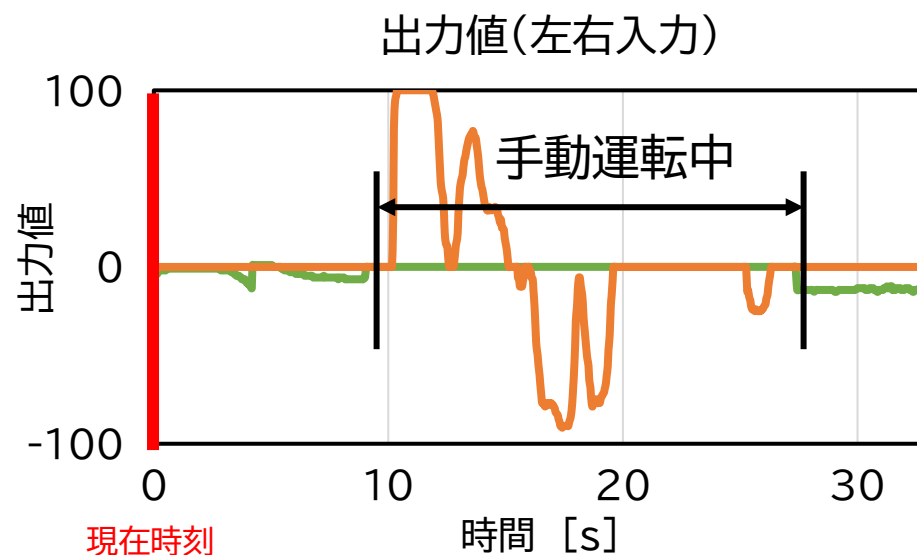
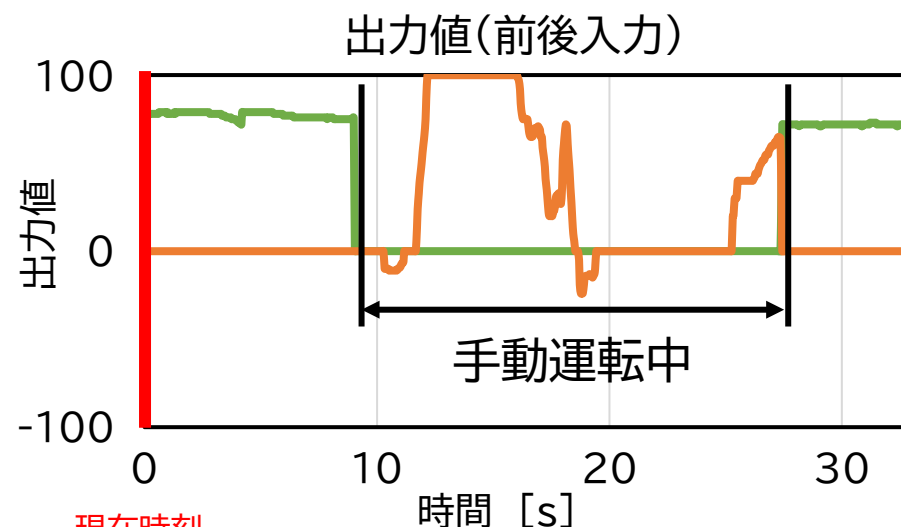
第三者視点動画



手元動画



— 自動値 — 手動値



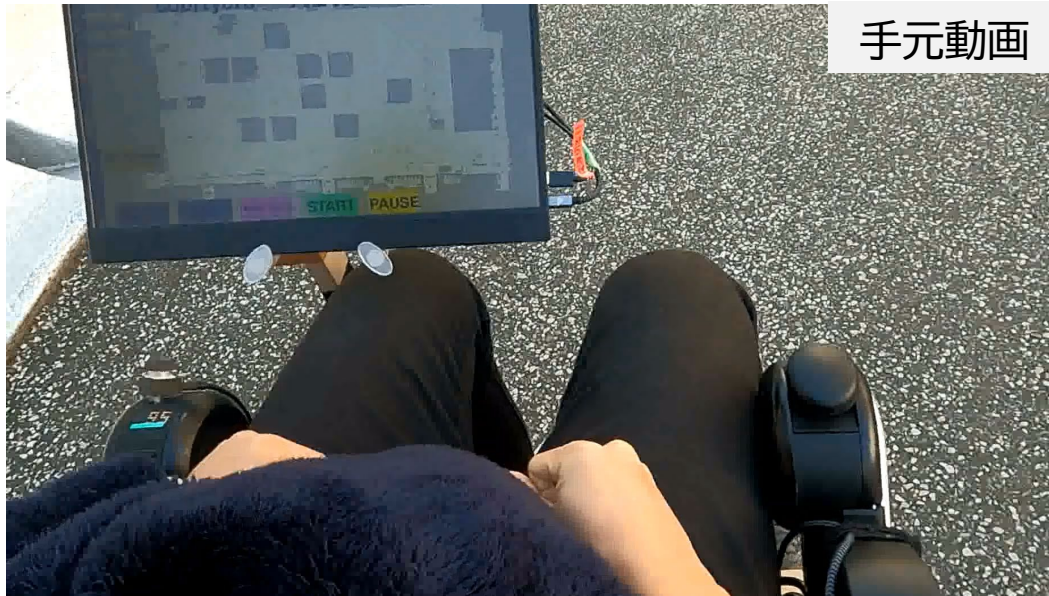
操作者が「自動⇔手動」を即座に変えることが可能

加速・後退・一時停止

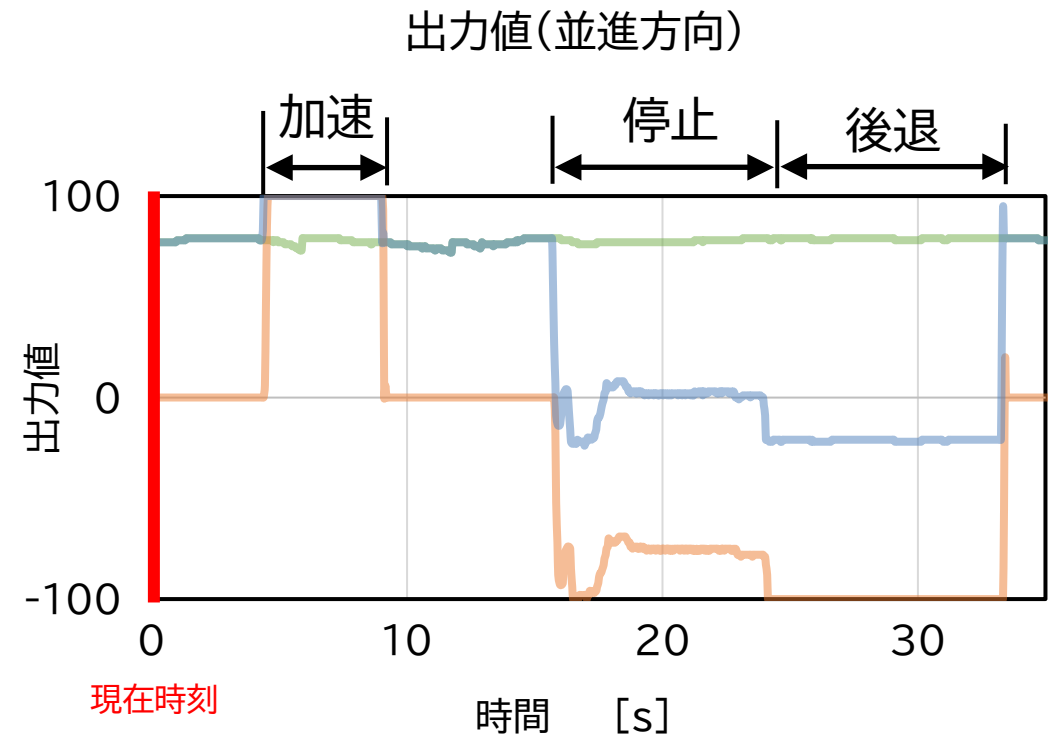
第三者視点動画



手元動画



— 自動値 — 手動値 — 最終出力値



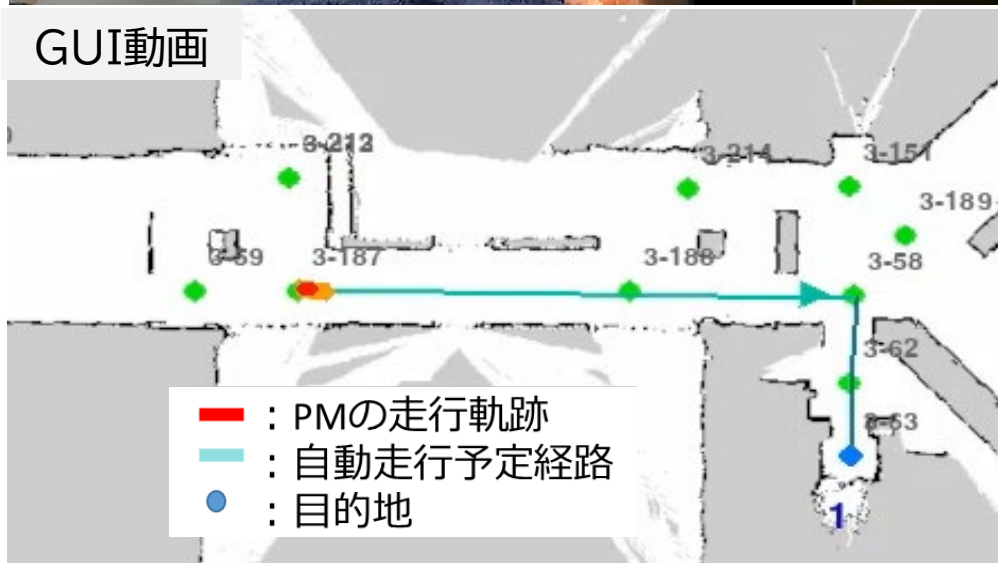
自由に自動システムに介入ができる

オーバーライドによる経路変更

操作者視点動画

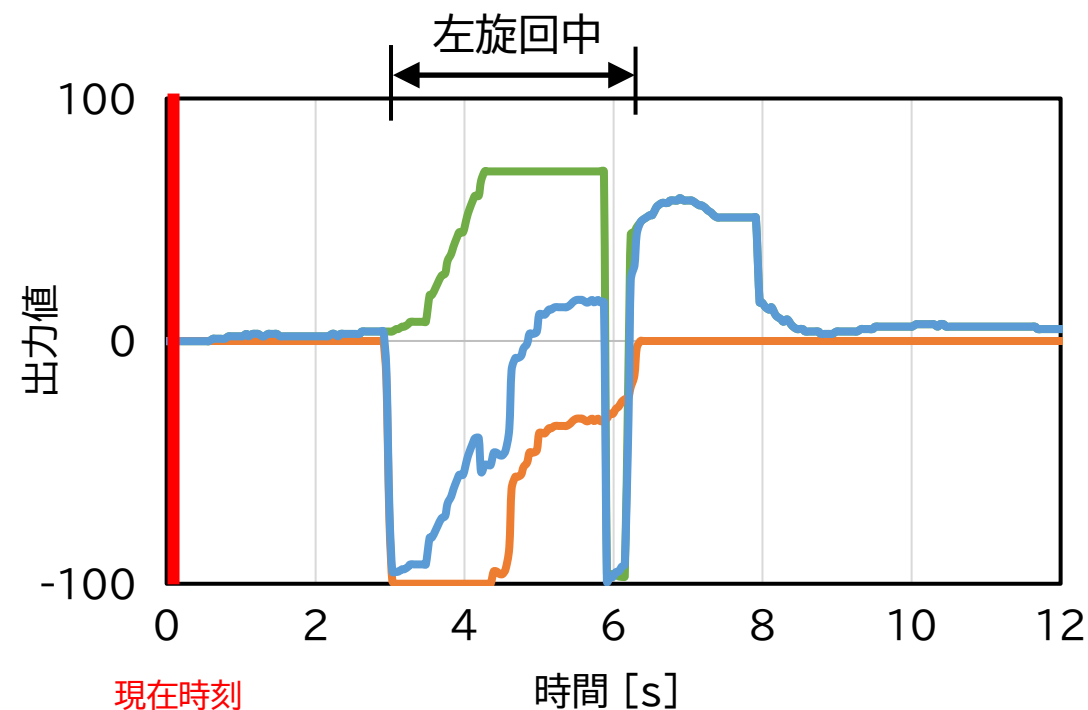


GUI動画



— 自動値 — 手動値 — 最終出力値

出力値(旋回方向)



自由に自動システムに介入ができる

想定される用途・展開

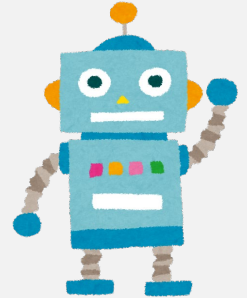
環境タイプ

- 1. 屋内環境
 - 移動支援
 - 駅、空港、ホテルなど
 - 病院内や介護施設
 - 荷物運搬支援
 - 買い物など
 - 案内支援
 - 美術館、博物館など
- 2. 屋外環境
 - 移動支援
 - 駅からスタジアムへ
 - 案内支援
 - 観光地案内
- 3. その他
 - 倉庫内の物品搬送
 - 巡回モニタリング
 - 警備

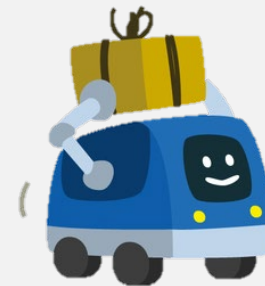
モビリティタイプ



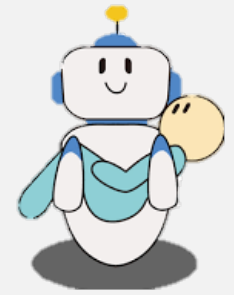
パーソナル
モビリティ



案内ロボット



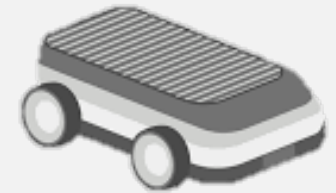
搬送ロボット



介助ロボット



自動車



AGV

×

実用化に向けた課題

「パーソナルモビリティのためのナビゲーション技術」において、基礎モジュールは構築できたとみている。実用化には、実施者(企業)が想定する具体的な現場での検証が不可欠。具体的には、

■ 導入環境に合わせた安全確保技術

- 屋外で公道に出る必要があれば、車や自転車などとの衝突回避、人で混雑する場所では、衝突されないような情動的インタフェースなどの安全技術。→発表者が有する技術を応用可能

■ 導入環境に合わせた環境認識技術

- 屋外で公道に出る必要があれば、信号や道路標識、人で混雑する場所では、歩行者の流れや移動の予測といった、環境に合わせた環境認識技術。→発表者が有する技術を応用可能

企業への期待

パーソナルモビリティを含むモビリティ技術の普及・社会実装を強く志向している企業との協働を期待している。具体的には、

- 本技術の具体的なサービスへの実装・事業化の共同実施
 - 既存事業への応用だけでなく、PMを使った観光地での案内、荷物運搬等の新サービス
- 企業からのニーズに応じたモビリティ技術の研究開発
 - 共同・委託研究、自律移動ロボット全般(工場内でのAGVや搬送ロボット)に広く対応可能(独自の技術・特許を多数有している)

本技術に関する知的財産権

- ① ■ 発明の名称 : 移動体、制御装置及びそのプログラム
■ 出願番号 : 特願2021-97946
■ 出願人 : 早稲田大学
■ 発明者 : 亀崎允啓、他
- ② ■ 発明の名称 : 自律移動ロボット、並びに、その制御装置及び制御プログラム
■ 出願番号 : 特願2020-168491
■ 出願人 : 早稲田大学
■ 発明者 : 亀崎允啓、他

その他5件

お問い合わせ先

早稲田大学

リサーチイノベーションセンター

知財・研究連携支援セクション(承認TLO)

TEL 03-5286-9867

e-mail contact-tlo@list.waseda.jp