

# フィジカルAIで自律走行ロボットを 身近にする

明治大学 総合数理学部 ネットワークデザイン学科  
教授 森岡 一幸

2025年12月2日

# 自動走行ロボットの現状

屋内外で自動走行ロボットは活用され始めている

ビル等での掃除ロボット

レストラン等での配膳ロボット

工場・倉庫等での自動運搬車

国内のごく一部のエリアや海外の一部の都市では、街なかでの配送ロボットサービスもあるが、あまり広がってはいない様子

# なぜ広がらないのか？

走行する環境の「ロボット用の環境地図」を事前に作成しなければならない！

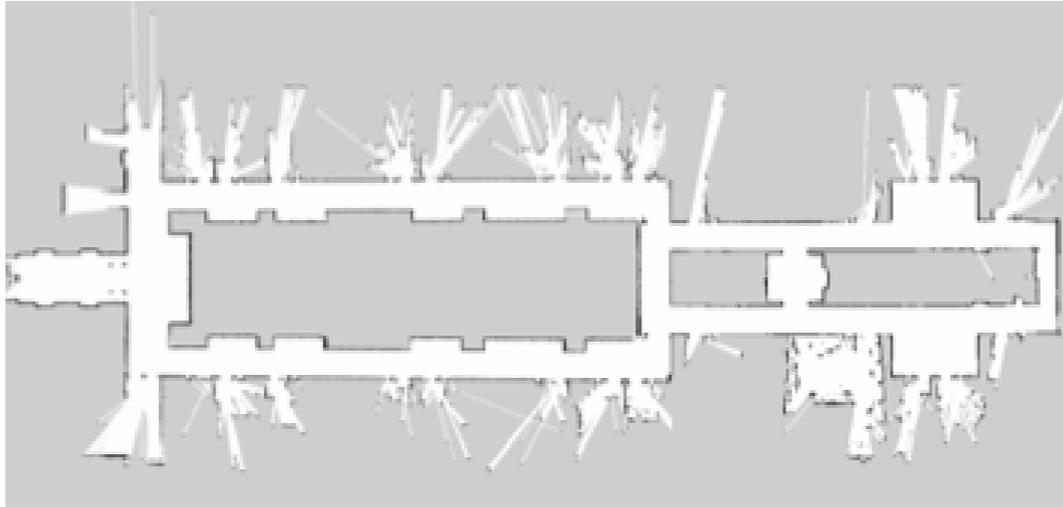
ロボットが走行する場所で、センサーデータを使って正確に地図を作る

- ・単純に作業に時間がかかる
- ・環境の変動に応じて定期的な修正が必要

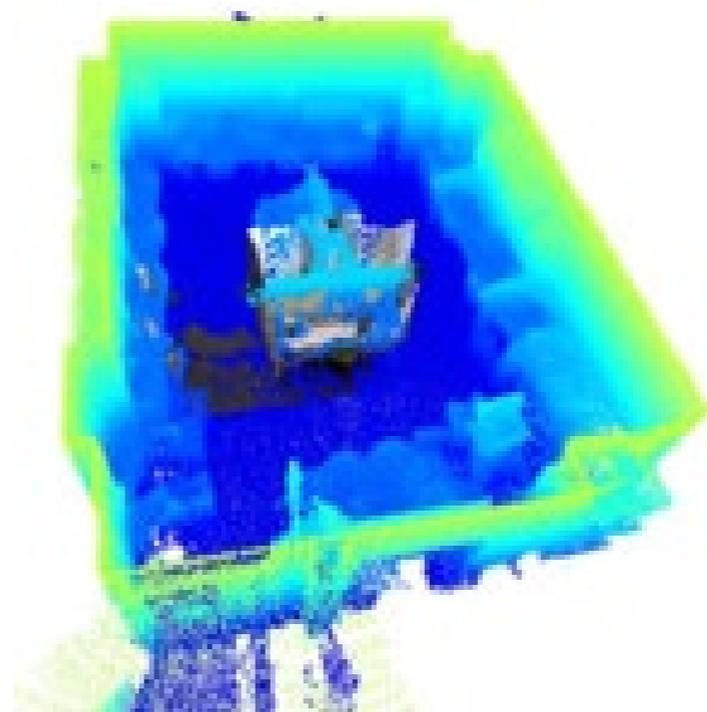
その他にも環境側にマーカーを付けるなど、何らかの導入作業が必須なことが多い

※ロボットを買ってきてすぐに使えるわけではない

# ロボット用の環境地図の例



2D-LiDARで作成した大学構内の二次元地図



3D-LiDARで作成した研究室の三次元地図



←学内で稼働中の掃除ロボットの操作画面  
二次元の占有格子地図を使用している様子

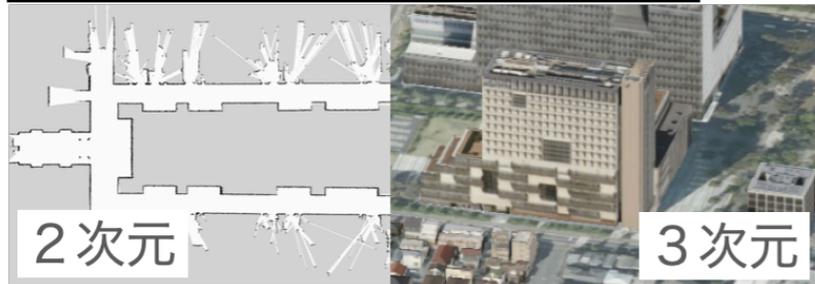
# 我々の開発した技術 人間と同じ地図で自動走行できるロボット

- ロボット用の事前地図を一切必要としない走行システム
- 深層強化学習に基づく汎用的なフィジカルAIにより、高度なセンサ（3D-LiDARなど）が無くても、シンプルなセンサ入力を使って安定して走行できる
- 大幅なロボット開発コスト（事前地図作成、必要なセンサ数、開発期間）の低減が期待される

# 提案する走行システムの基本的考え方

- 人が目で見て移動するのと同じ原理での走行システム
- 人間が初めての場所でも移動できるのと同じような、根本的な移動知能をフィジカルAIにより実現している

## 一般的な移動ロボット



事前に作った環境地図で制御する

正確な地図がなければ走れない！

LiDAR  
搭載



## フィジカルAIによる移動ロボット



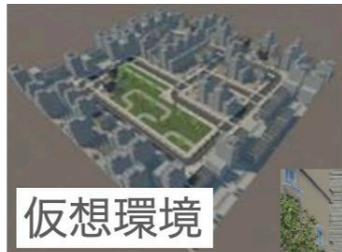
人間はこれだけで移動できる  
ロボットに適用すれば・・・



地図に依存しない本質的な移動能力を持ったロボットができる？

# 我々の技術のポイント

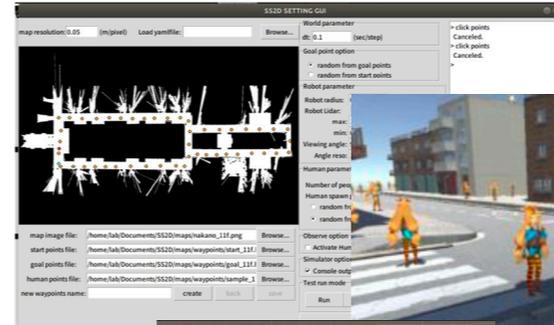
- 仮想環境（シミュレーション）と現実世界の（リアル）のギャップを取り除いて、Sim-to-Real転移を現実的に行える仕組みの開発
- 複雑な実環境での走行安定化に有効な仮想環境での学習システムの開発



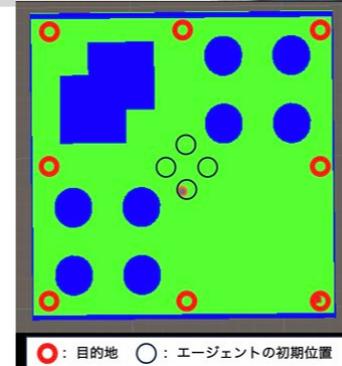
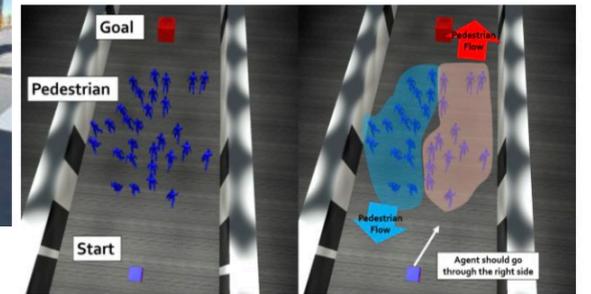
コンピュータ内の仮想環境で  
ロボットが試行錯誤して学習



仮想環境と実環境の  
ギャップの解消が重要！



二次元の簡易仮想環境から、  
三次元都市環境、歩行者環境



実環境を抽象化した学習用仮想環境

# フィジカルAIの現状

## GoogleやOpenAIなどの巨大IT企業

- ChatGPTのような大規模言語モデルと同じ考え方で、大量のデータを集めてあらゆるタスクに適応できるような基盤モデルを作りたい
- テキスト情報や画像情報とは異なり、ロボット用データは世の中にほとんど無く・・・人海戦術でロボットの動作データを作って学習せざるを得ない

## テスラなどの自動車企業

- 販売した自動車からデータを収集して自動運転用のAIを独自に学習
- 基本的には大量データ収集に基づく方向性は同じ

## 我々は完全に逆の発想

- 大量データ収集ではなく、人間が培った知識+学習による柔軟さを両立できる、強化学習ベースのフィジカルAI

# 我々の取り組みの位置付け

現状の移動ロボットビジネス  
国内の多くのロボット研究  
→既存の手法をベースとした開発

ある程度確実な結果が出ることを期待  
(研究もビジネスも)

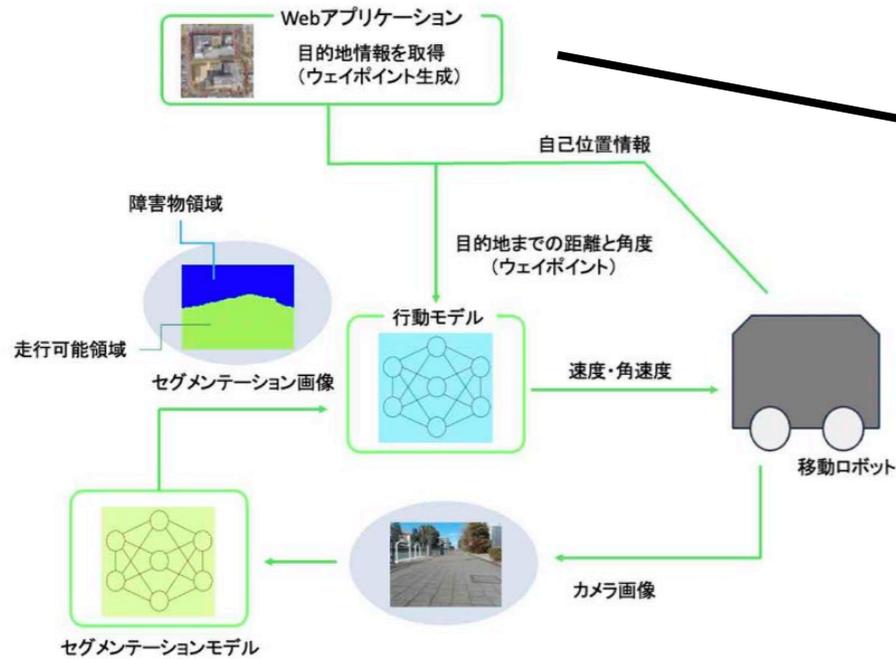
Google, OpenAIなどの巨大IT企業  
米中のトップ大学  
→汎用的なロボット基盤モデルの研究

最先端の研究業績  
LLM同様のビッグビジネスを志向

実はあまり着目されていない領域

特定タスクに対するフィジカルAIを  
簡易な学習で実現  
現実的な手法でSim-to-Realを達成

# 実際に出来ること(屋外走行)

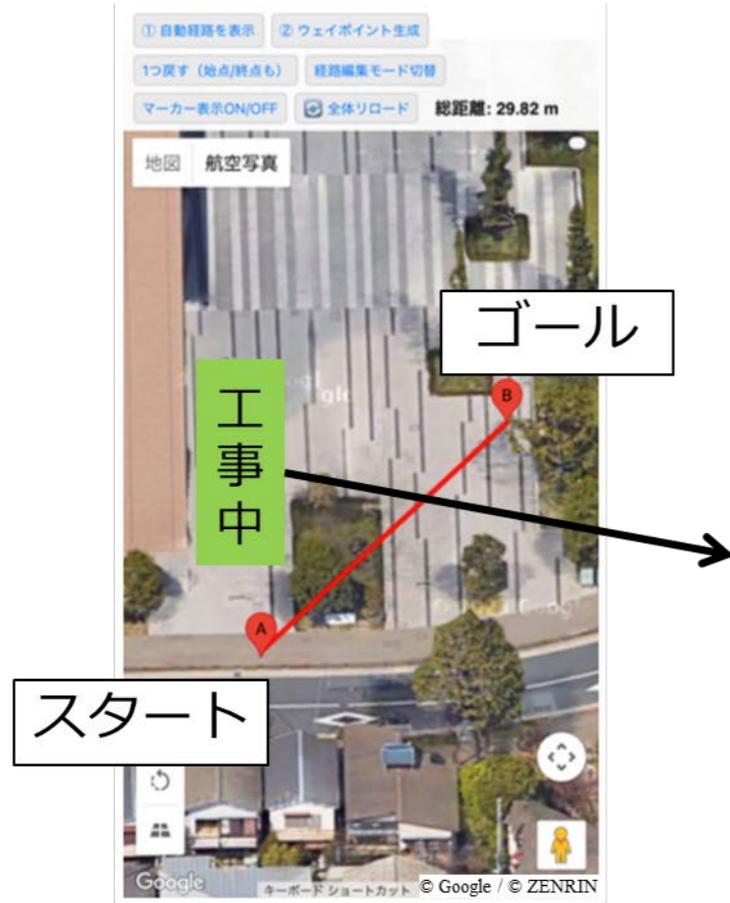


Google Map等で走行経路を作成

WebカメラとGPSで構成されたロボット



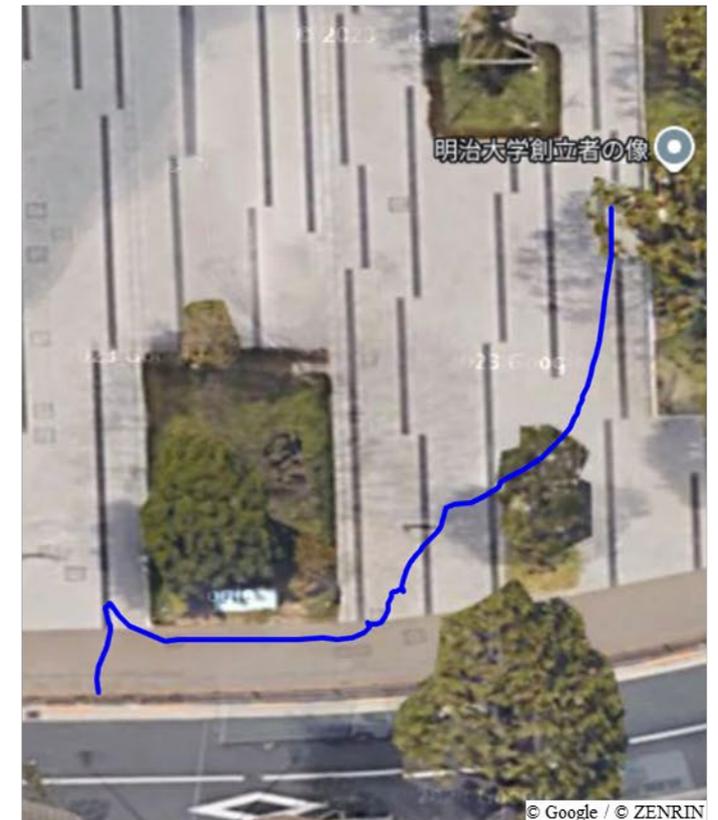
# 実際に出来ること(屋外走行)



元は地図上にはないが  
工事中で走行不可エリア

アプリで適当にスタートとゴールを決めただけ

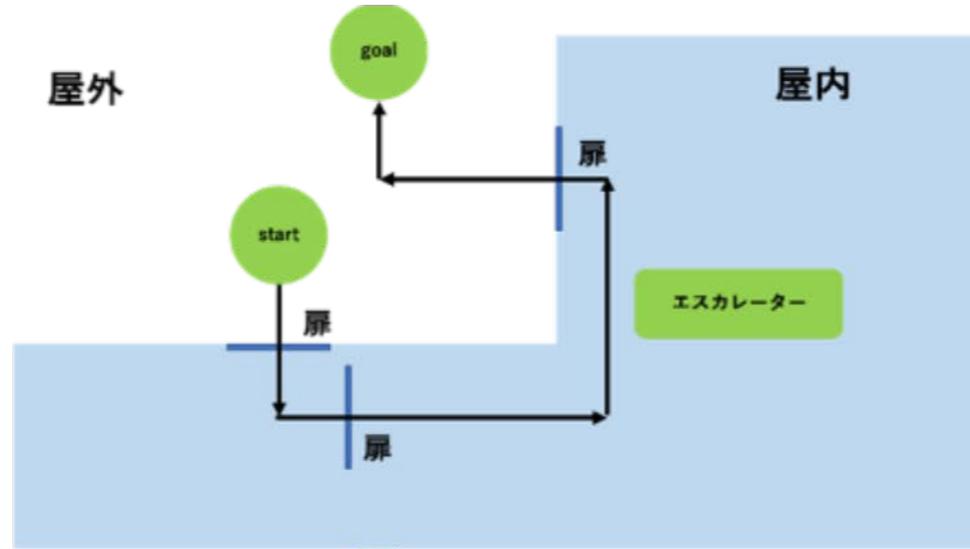
勝手に通れる場所を見つけて  
目的地まで向かった様子



# 実際に出来ること(屋内外シームレス走行)



2D-LiDARとGPSで  
構成されたロボット



人間用のフロアレイアウト図にて、走行経路を指定

屋内でもLiDARによる位置の補正と  
行動モデルによる走行で、レイアウト図での  
経路指定（経由点指定）でも自律走行可能



走行軌跡



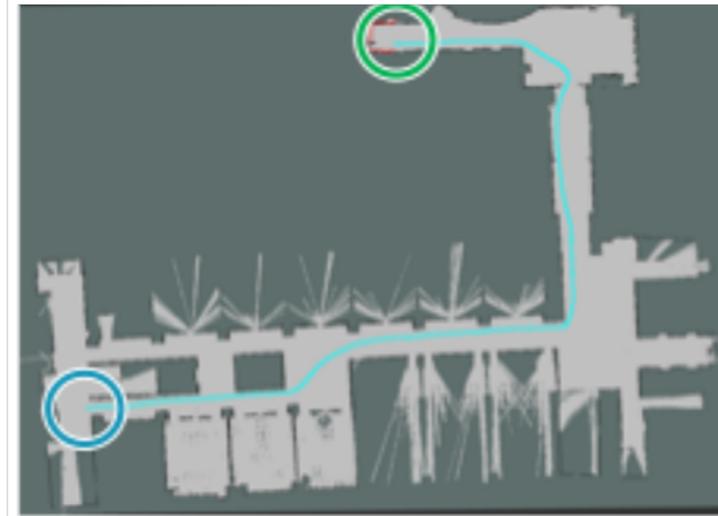
# 実際に出来ること(屋内走行)

同様の構成のロボットで  
例えばCAD図面上で、目標走行経路を指定

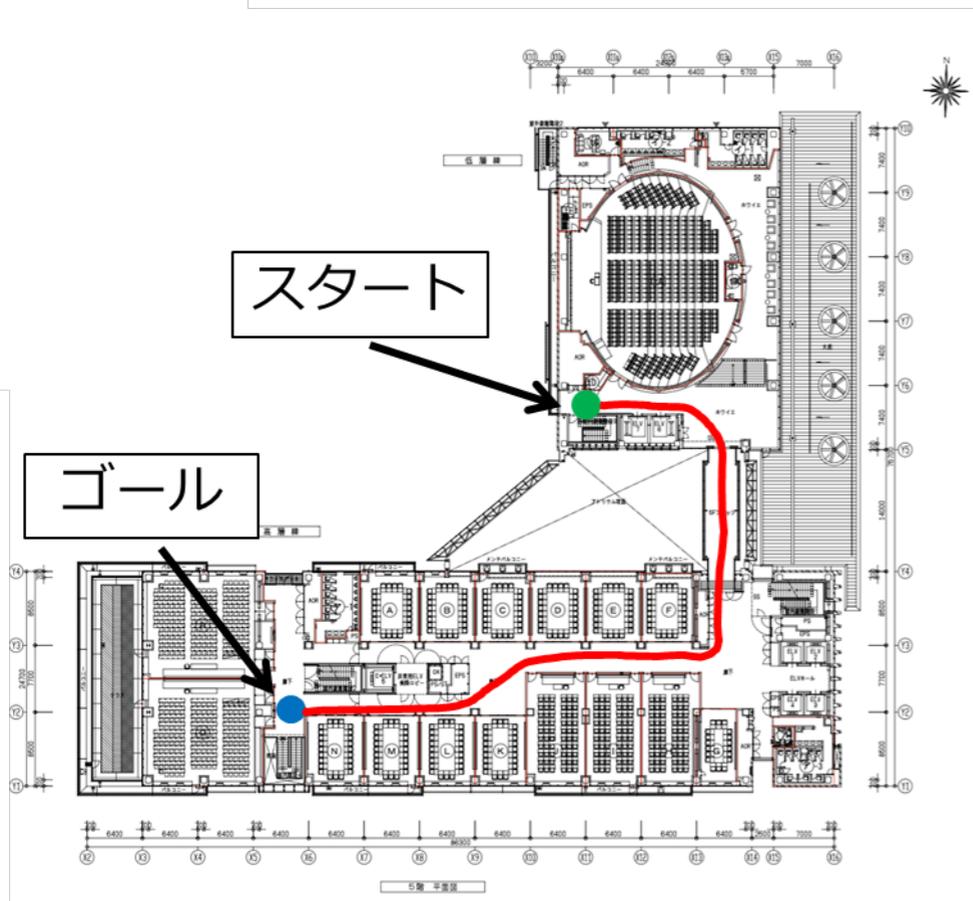
なぜこれが出来るのか？

ルンバのような家庭用掃除ロボットは、新たな場所でも壁にぶつかりながら勝手に走って地図作って自分の居場所を認識します。

我々の屋内走行システムでは、人間の地図を参考にしてフィジカルAIをもとにした走行をしながら、裏で一般的な地図の作成に準ずる処理をして自分の居場所を把握します。



目標経路に沿って実際に走行可能  
(位置の確認用に通常の地図ベースの自己位置推定結果を載せています)



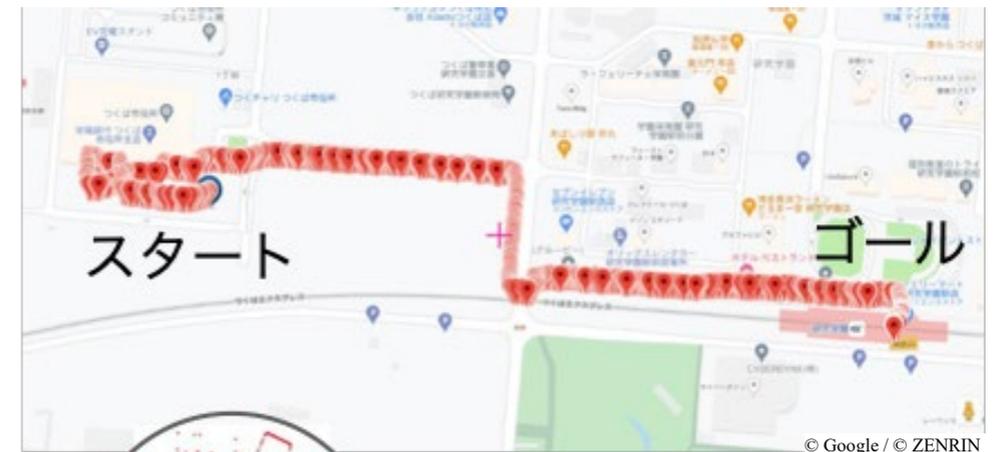
中野キャンパス5階の図面

# 想定される用途

事前に詳細なロボット用の地図を準備する必要なし  
→ **ポータブルなロボットシステムが実現できる**  
自律移動ロボットのレンタルサービスなど

研究室配属したばかりの3年生が  
フィジカルAIを使って走行させた  
「つくばチャレンジ」の走行結果 →

特に後半は、経路を地図上で  
指定しただけで、完全に初見の場所でも  
いきなり走行できた



距離データ入力

約1km走行

茨城県つくば市

## 想定される用途

フィジカルAIは「End-to-Endなモデル」

→ 入力するセンサに合わせてモデルを学習可能

例えば、単眼カメラのようなセンサ入力に対してでも、適切に行動できるモデルが作れる

→ 圧倒的に安価に自律移動ロボットが開発できる



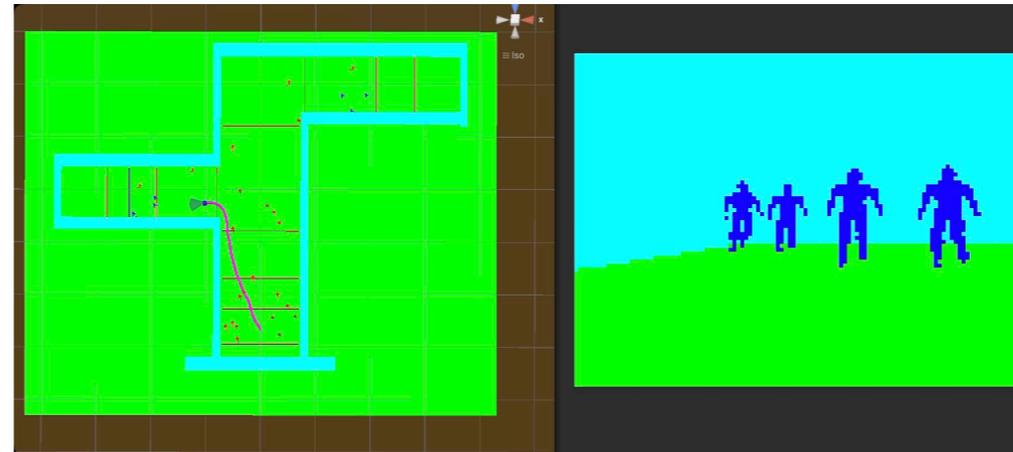
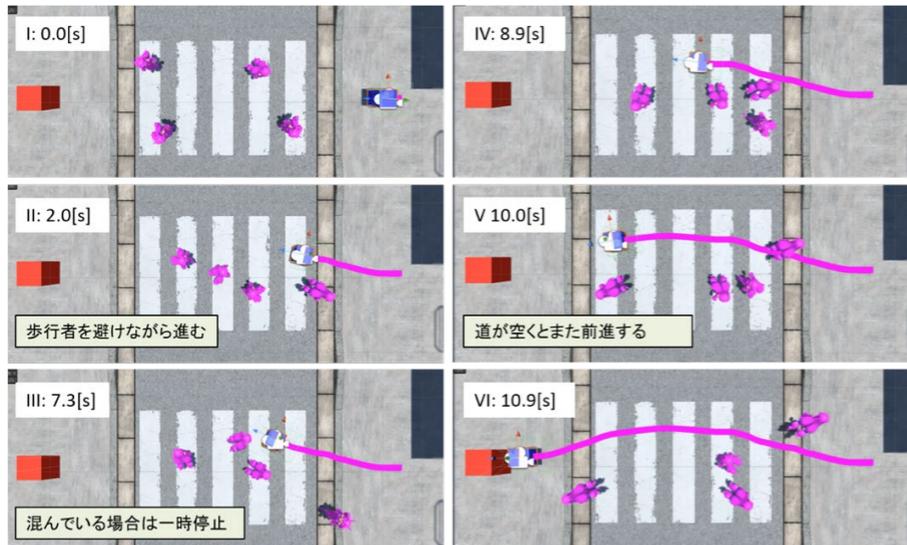
センサ入力と行動出力の関係を適切に学習すれば、基本的には走行できるようになる

# 想定される用途

学習次第で動的環境に柔軟に適応できるモデル作成可能

- 歩行者が多い環境
- 前方の歩行者への追従
- 向かってくる歩行者を回避

すべて同じ枠組みで実現可能



# 実用化に向けた課題

- リアルタイムAI実行環境、バッテリー

センサ入力が画像の場合はGPU等によるAI実行環境が必要になるため、実装方法や電力消費などは問題（現時点では、一般的なゲーミングPCで制御しています）

センサ入力が2D-LiDARの場合は、それほどの電力消費は無く、数世代前のノートパソコン程度でも長時間走行可能です

- 機体に合わせた出力速度の微調整

学習したモデルは再利用できる可能性が高いが、機体の特性に合わせた調整は必要  
実験室レベルでは速度レベルの調整程度で、様々な機体に対して実環境への転移による走行ができています

- （用途によっては）走行精度の向上

手法の特性上、精緻な地図に基づいた自己位置推定等を行わないので、目標軌道からのズレをどの程度許容できるかは、用途によっては問題になります。実験室レベルでの検証では、一般的なビル内の掃除ロボットや屋外の運搬ロボットのような用途であれば、問題なく走行できる見込みです

# 社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	Sim-to-RealによるフィジカルAIによる走行の可能性検証	
現在	事前地図無し環境での屋内外での自動走行を実現	PoC共同実施していただける企業様へのアプローチ開始
1年後	具体的タスクに合わせたSim-to-Real適用可能性の検証 (工場、倉庫、建設現場、農地など)	共同開発先の募集 研究者自身による起業化 JST、NEDO等の助成金に応募し研究資金獲得
2年後	学習したモデルや実環境での走行デモデータを蓄積するプラットフォーム運用に向けたシステム基盤開発	モデル学習やデータ売買のフィジカルAI向けエコシステム運用開始
3年後	フィジカルAIに基づく屋外走行ロボットの最小構成を提案し、ロボットサービスの大規模普及の可能性を探る	パートナー企業と共同で最小構成ロボット開発 屋外歩道走行におけるルールメイキングへの関与

# 企業への期待

- 不整地走行などが可能な移動体のハードウェア技術を持ち、自動走行ビジネス実施中、もしくは新規事業展開を考える企業との共同研究やPoC実施を希望
- 屋内センシングサービスを展開する企業の自動走行ロボットによる自動化推進
- これまでにない規模の配送ロボットサービスの実現に向けた最小構成ロボットの共同開発、出資を期待

# 企業への貢献、PRポイント

- フィジカルAIによる自動走行ロボットの開発の**導**  
**入から実現まで一貫して支援**できる

研究室に配属されてすぐの学生でも使ってロボットを動かせるくらいの技術レベルではあるが、一定のノウハウは必要

- **PoC段階でのコストの大幅削減が可能**、様々なロ  
ボットサービスの実現可能性検討を容易にする

フィジカルAIを使ったロボット開発、屋内外の様々な環境への適用可能性の検証、具体的なロボットサービスのアイデアを、短期間で具現化できる可能性が高い

# 企業への貢献、PRポイント

フィジカルAIのみで移動ロボットの長距離走行を実際に達成しているのは、おそらく国内では我々が唯一  
（自動運転車を除けば世界的にもかなり稀）  
→ 共同研究を通じて社会的に先進性をアピール可能！

着目されるフィジカルAI市場

「フィジカルAI」の新たな地平、10倍株を探す旅「特選5銘柄」  
＜株探トップ特集＞

エヌビディアもファーウェイもソフトバンクも…世界のIT大手がの  
めり込む「AIの次」の事業とは

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：走行モデル生成装置、走行制御装置、走行装置、走行モデル生成方法、走行制御方法、プログラム
- 出願番号：特願2024-146628
- 出願人：学校法人明治大学
- 発明者：森岡一幸、鶴田龍登

# 産学連携の経歴

- 2017年-2018年  
ITシステム関連企業様と共同開発実施
- 2023年-2024年  
機械プラント関連企業様と共同研究実施
- 2025年  
研究室学生による東京都主催ビジネスコンテスト  
参加に向けた技術指導

# お問い合わせ先

明治大学

研究推進部 生田研究知財事務室

T E L 044-934-7639

F A X 044-934-7917

e-mail [tlo-ikuta@mics.meiji.ac.jp](mailto:tlo-ikuta@mics.meiji.ac.jp)