

2021年2月5日(金)

人との身体的接触を考慮した 人共存型モビリティの 協調移動技術

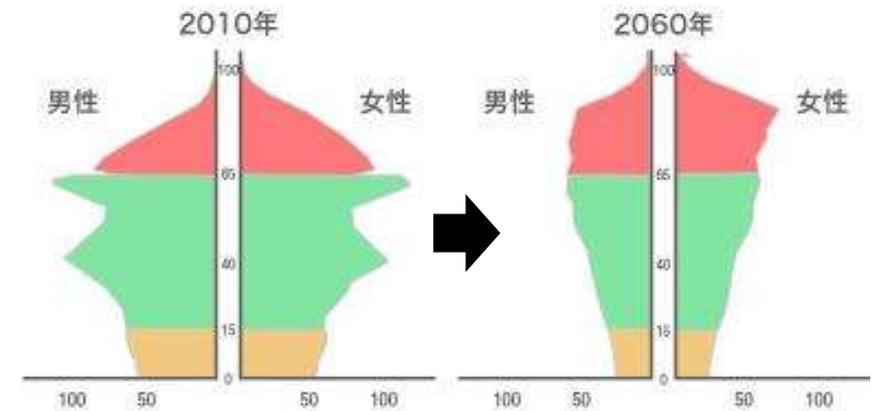
早稲田大学 理工学術院総合研究所

主任研究員 亀崎 允啓

(JSTさきがけ「社会デザイン」)

社会的背景

- 少子高齢化→労働人口減少
- 生活・医療・介護・福祉等の社会基盤の維持
- 「人を支援/代替する人共存型ロボット技術」のニーズ
- 日本は課題先進国（国際的な先駆けとなるチャンス）



国立社会保障・人口問題研究所(2012)

CA: Health Canada

UK: The Health of the Nation



国民の健康の増進の総合的な推進を図るための基本的な方針、厚労省 (2013)



介護ロボット、理化学研究所(2015)



パーソナルケアロボット、DLR(ドイツ)(2012)

「人共存型ロボット」への期待

■ 移動機能(モビリティ)の重要性

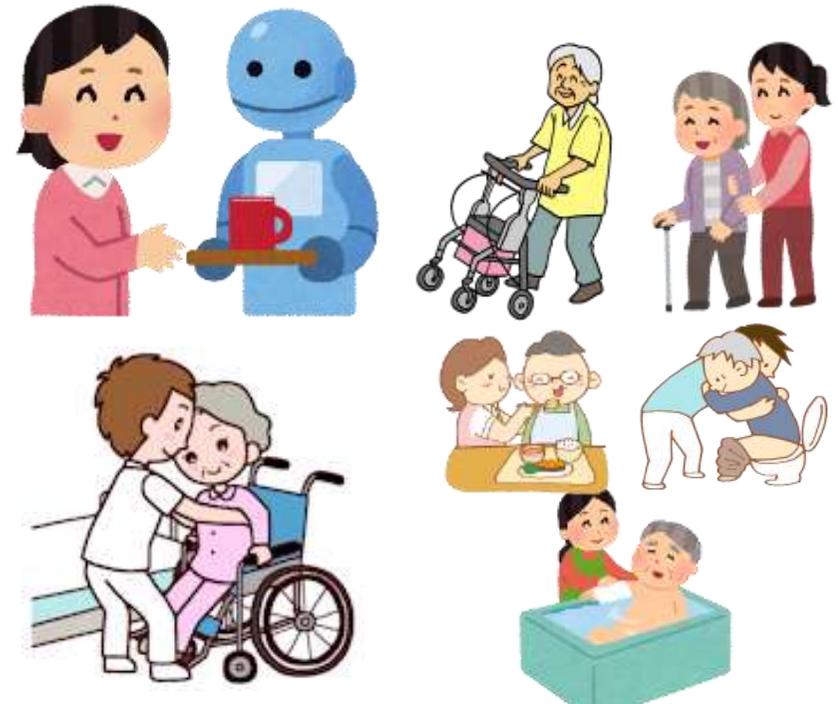
- 多くのサービスにとって不可欠
- 運搬、介助、案内・誘導(障害者など)
- 公共サービスとしての配備にも期待



超スマート社会(第5期科学技術基本計画)、内閣府(2016)



自律型モビリティシステムの開発・実証、総務省(2016)



人と空間を共有するロボット、人に寄り添うロボット

科学的・技術的背景

～人とロボットの近接関係論(Proxemics)～

■ 産業用ロボット

- 要求: 効率の最大化
 - ロボットと人の接近/接触を禁止することで作業性と安全性を確保

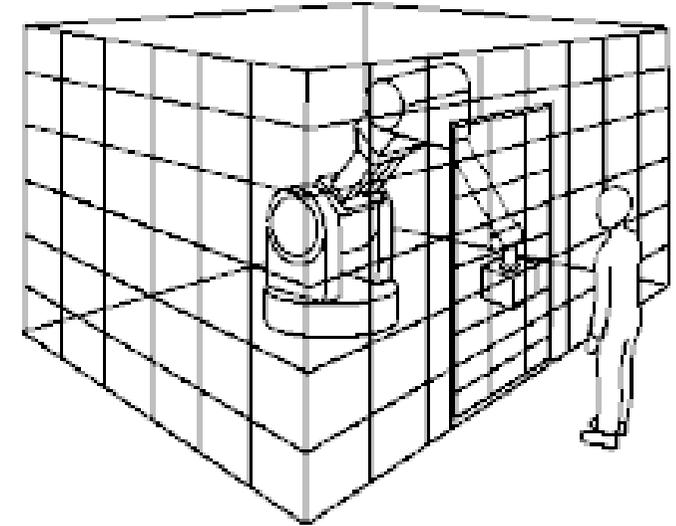
■ 人と共存可能なロボット

- 要求: 人の存在を前提とした作業空間における対人安全性と作業性のバランス
 - ロボットと人の近接関係論、およびそれを具現化する基盤技術は未確立



■ 基盤技術確立の根本的な難しさ

- 作業領域を規定・制限できない
- 人に近づくこと自体もタスクになる
- 安全距離は状況に依存する



完全分離の原則^[1]



共存・協調の原則

[1] 機能安全活用実践マニュアルロボットシステム編, 厚生労働省, 2018年

人共存型モビリティの現状

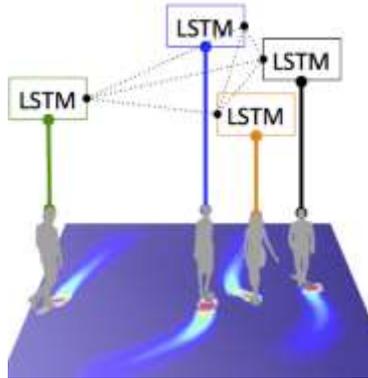
～「回避」・「停止」による絶対的人優先～

■ 自律移動技術

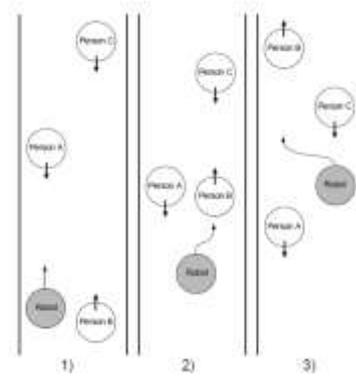
ハードウェア(安全被覆, 緊急停止)による機能安全に加えて、



環境認識(SLAM) [2]

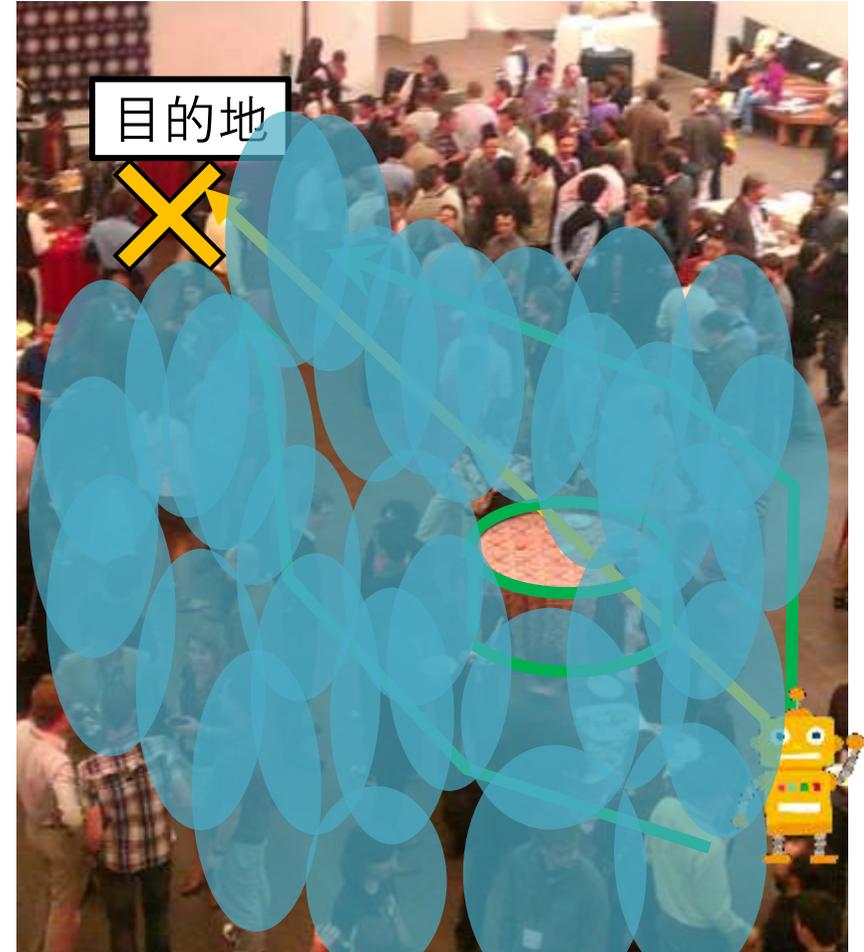


人の移動予測[3]



障害物回避[4]

■ Freezing problem



**移動可能な空間は大幅に
制約されてしまう**

Obstacle-Avoidance-based (Passive) Navigation

- パーソナルスペースに侵入しない戦略
- 経路に干渉がある場合、
 - ❖ 人の移動成立を最優先
 - ❖ 停止、回避、迂回を選択

[2] G. Grisetti+, "A Tutorial on Graph-Based SLAM," IEEE Intell. Trans. Systems Mag., 2 (4), 2010.

[3] Alexandre, "Social LSTM: Human Trajectory Prediction in Crowded Spaces," IEEE CVPR, 961-971, 2016.

[4] 岡田慧他, "三次元フロ-を用いた人込みにおけるロボットの障害物回避", ロボティクスシンポジウム, 214-219, 2000.

次世代の人共存型モビリティ

～Human-Aware Interactive Navigation (HAIV)～

「停止・回避・迂回」という人優先の同調的行動原理だけでは、人共存環境において満足な移動ができない



観察・洞察に基づく接近移動

人への接近(パーソナルスペースへの侵入)という主張的行動原理も併せ持つ必要がある

独りよがりの主張的行動では、人の安全・安心、社会的な自然さが損なわれる可能性がある

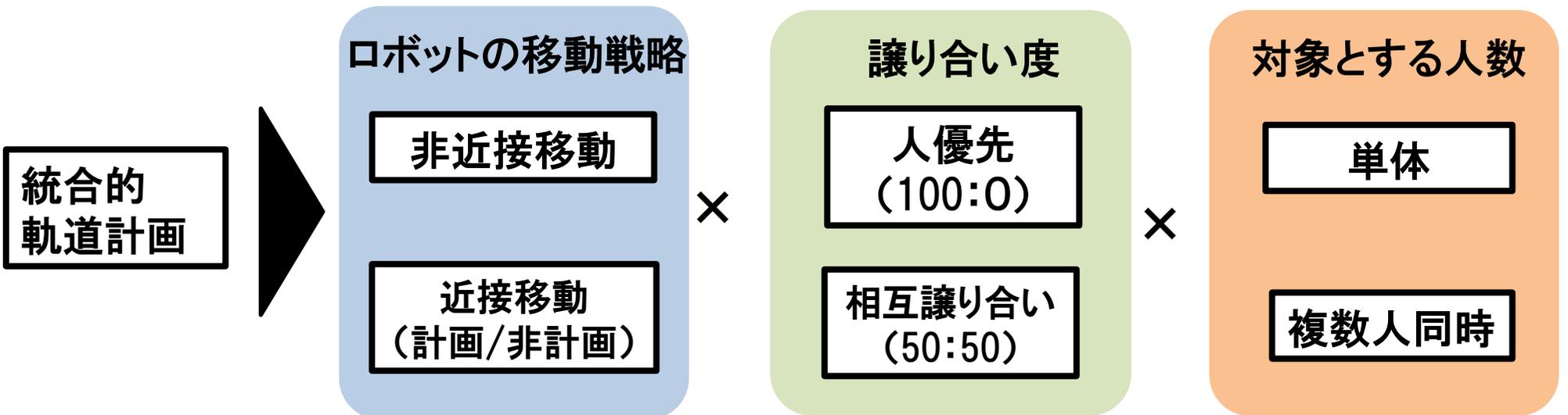
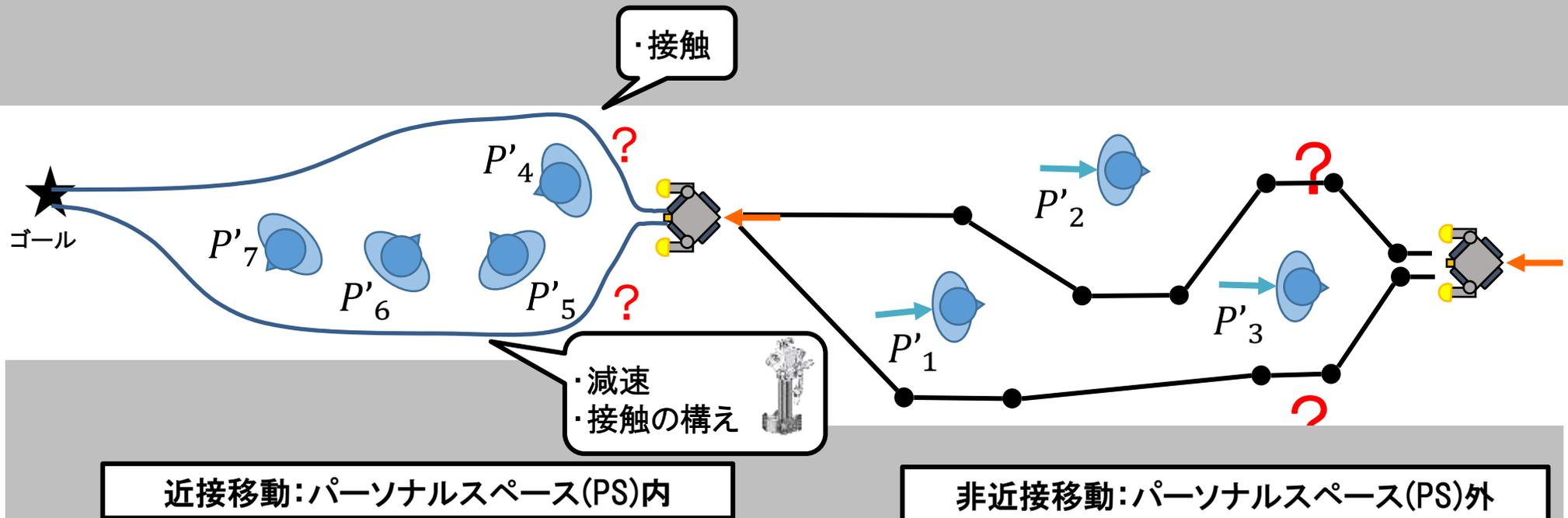
観察した人の動作から、意図を洞察し、同調・主張を適切に選択する「譲り合い技術」を構築する必要がある

同調と主張に基づくHuman-Aware Interactive Navigation

「混雑した状況であってもロボットの移動を成立させる」ため、人と人共存型モビリティが「譲り合いながら協調して移動」を行うための情報基盤技術

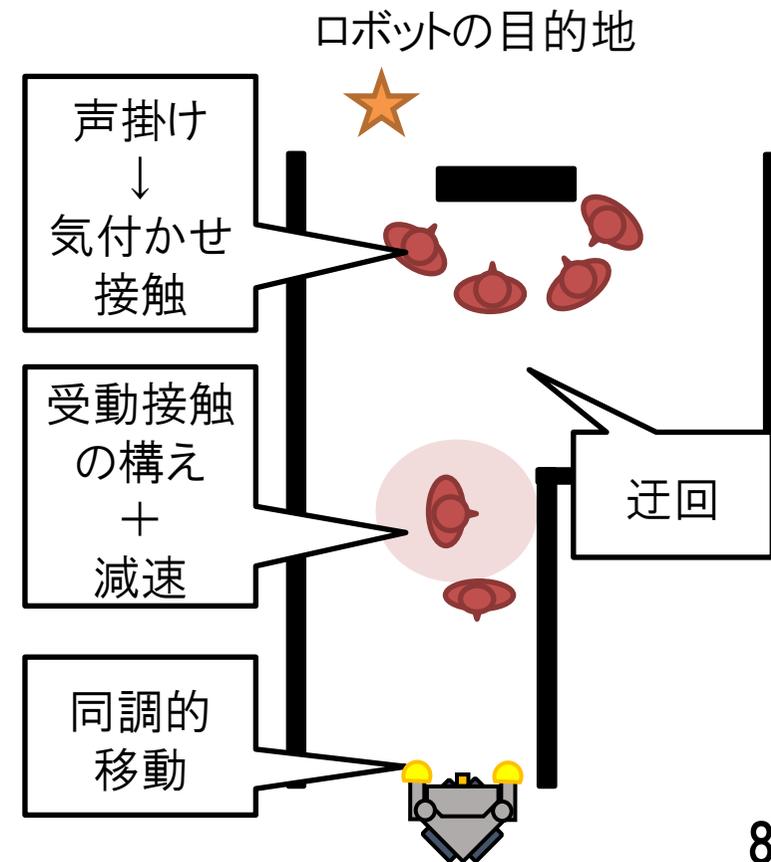
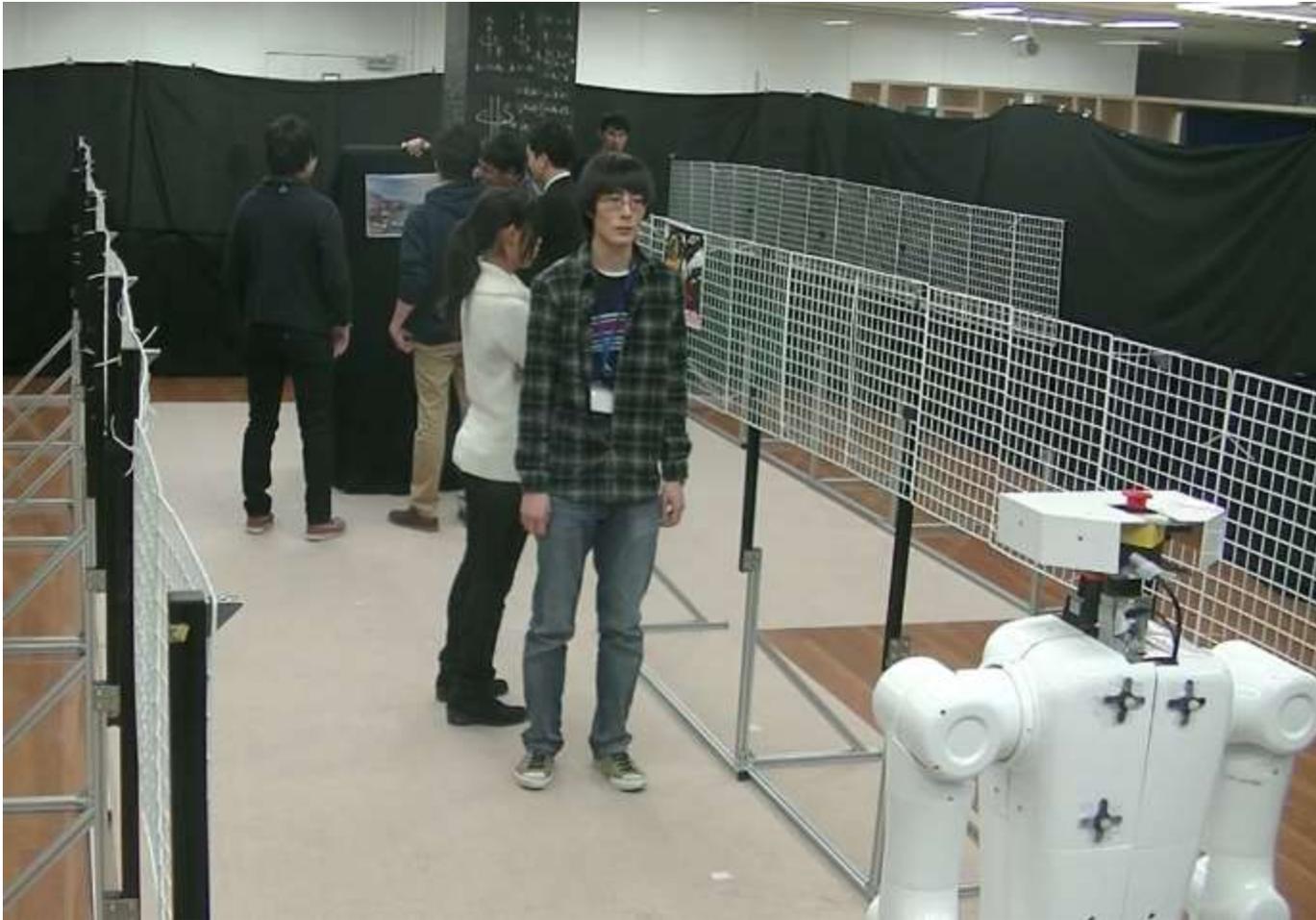
- 接近時の人の安全・安心をどう担保するか？
- ロボットと人の優先関係をどのように考えるか？

実環境における経路計画シーン



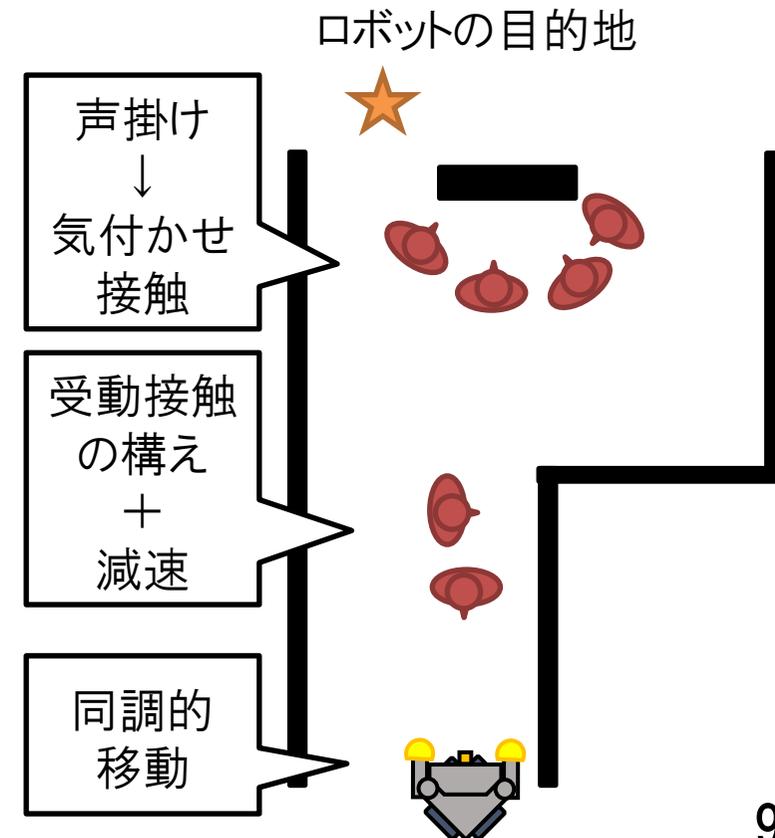
同調と主張の連続動作(動作例)

■ 人が道を譲ってくれなかった場合



同調と主張の連続動作(動作例)

■ 人が道を譲ってくれた場合

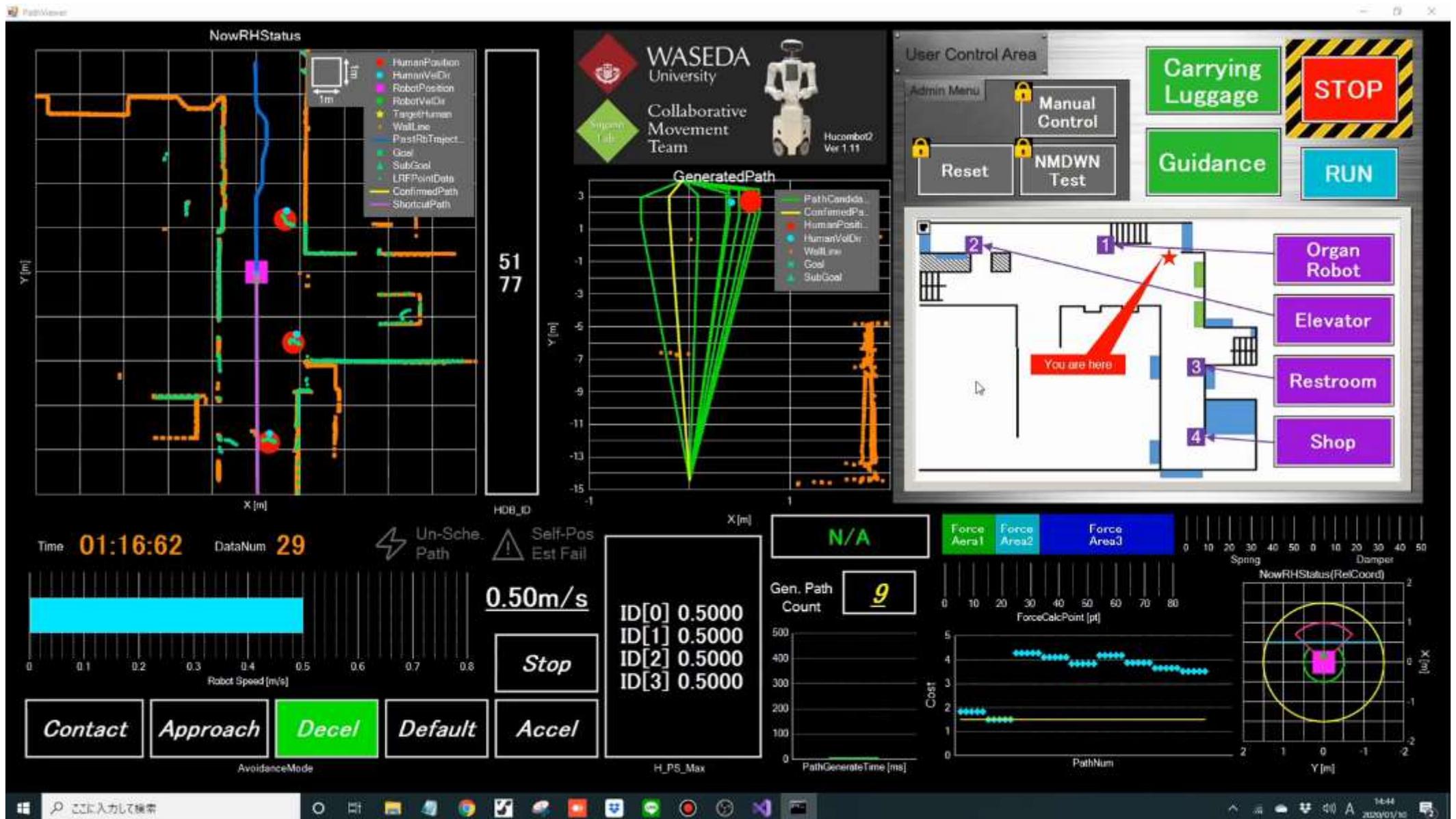




近接移動システムによる動作



ロボットの内部状態表示



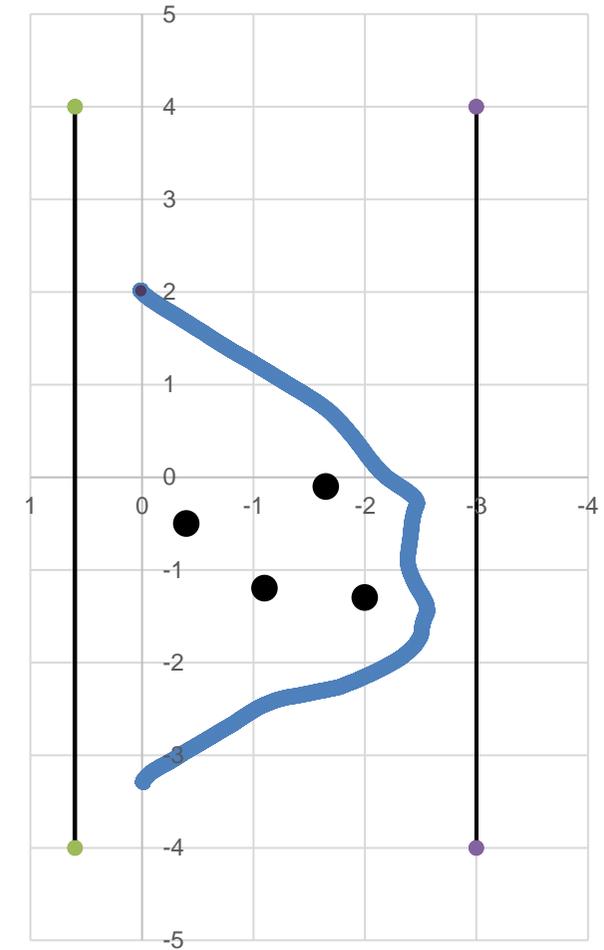
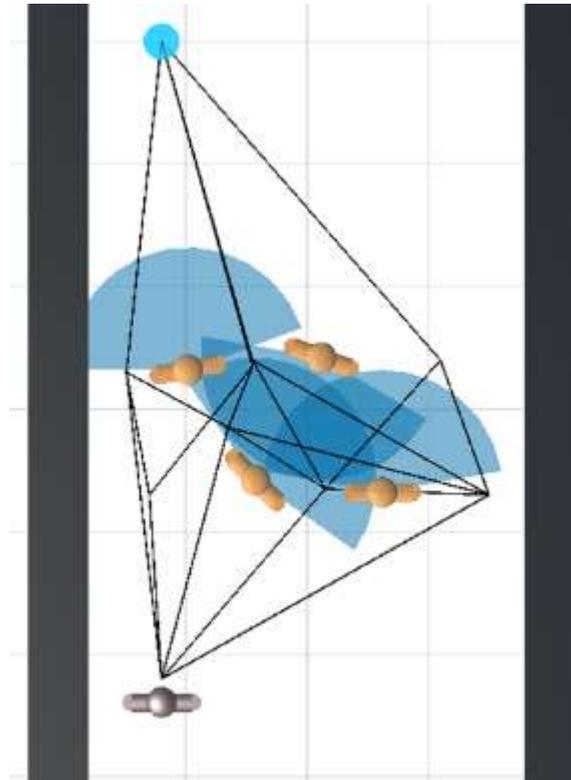
HAIVの主な構成技術

干渉判定 (確率)		人の歩行のブレを考慮した干渉確率推定手法
非近接		複数の動的障害物回避手法 (Dynamic Waypoint Navigation)
近接	計画	リスクとベネフィットを考慮した接近・接触を用いた近接移動システム
	非計画	
譲り合い		人との自然なすれ違いを考慮した相互譲り合い理論
声かけ/接触		マルチモーダルな働きかけに基づく相互誘導手法



近接移動フレームワーク

～従来手法～



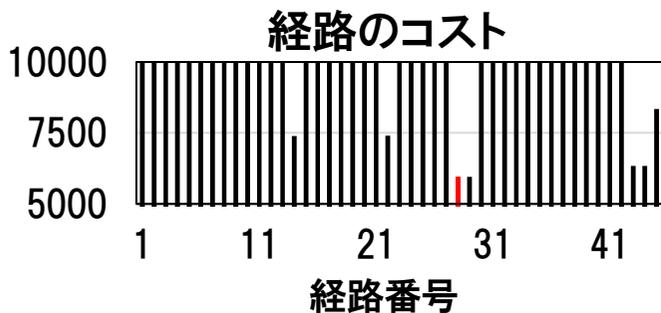
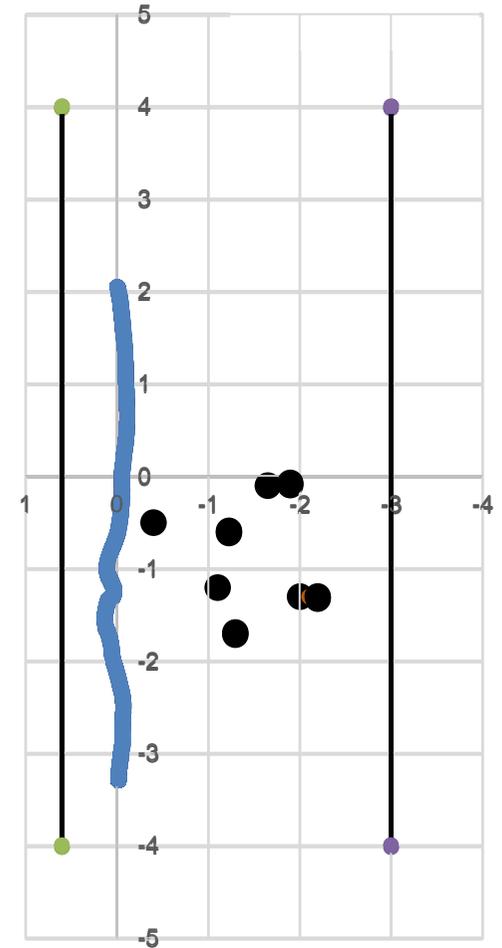
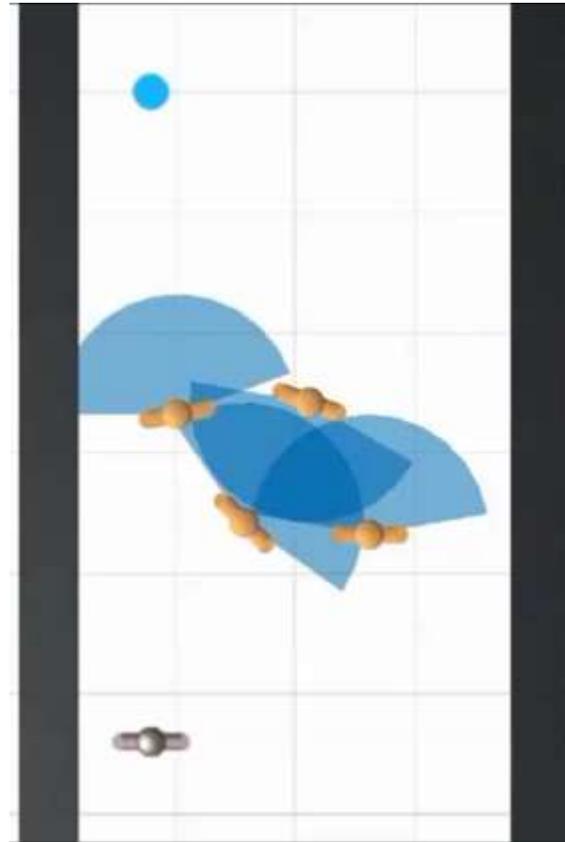
経路計画の計算時間: 約300 ms

ロボットの軌道

パーソナルエリア
に侵入できない → 大きな回避経路
を選択した

近接移動フレームワーク

～提案手法: inducible Social Force Model (iSFM)～



接近し軽接触すること
で道を譲って
もらった



ロボット軌道
大きな回避をせ
ずに済む

経路計画の計算時間: 約300 ms

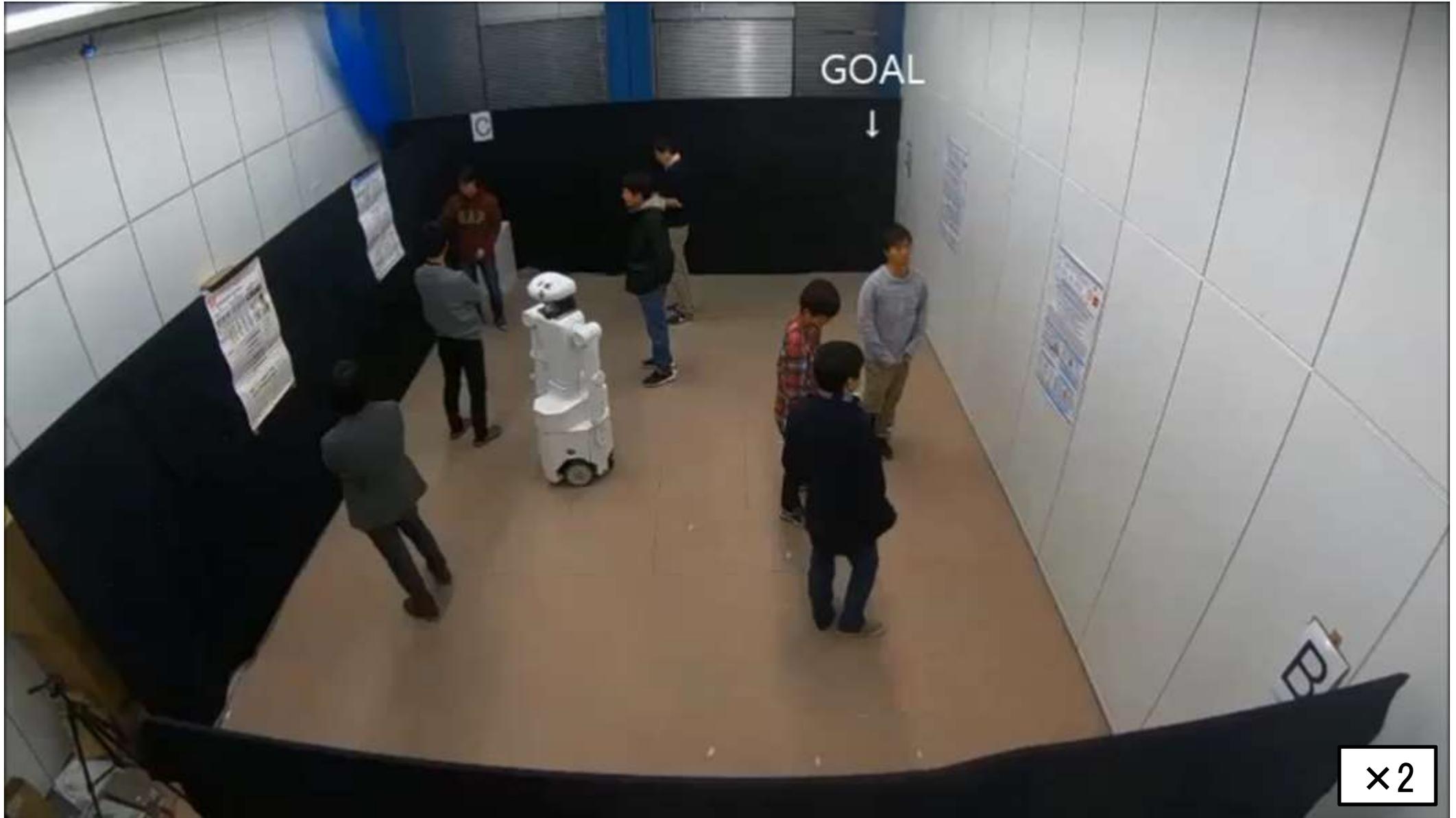
SFM(従来手法)



iSFM(提案手法)



連続動作：ロボットが侵入



連続動作：ロボットが非侵入



×1.5

想定される用途・展開



人共存ロボット



パーソナル
モビリティ



自動車

人共存環境

- 案内・荷物運搬(駅、ホテルなど)
- 介助・介護(個人宅、病院など)
- オフィス等での警備
- 生活支援全般

生産関連環境

- 土木・建築現場や工場内外での巡回モニタリングおよび部品・情報共有
- 倉庫内の物品搬送
- 部品のアセンブリ

公道・その他

- ラストワンマイルの物流
- 有事(災害時)の誘導・警備



実用化に向けた課題(タスク)

ベースとなる「**人共存型モビリティのためのナビゲーション技術**」は成熟したとみている。実用化には、**事業に特化した「周辺技術の実装」**と「**多様性への対処**」が課題(タスク)と捉えている。

■ パラメータチューニング手法の実装

- 譲り合いの度合い等は「つまみ」による調整できる。これらをモビリティ自らが学び適切にチューニングするための技術実装。

■ コミュニケーション機能の拡充

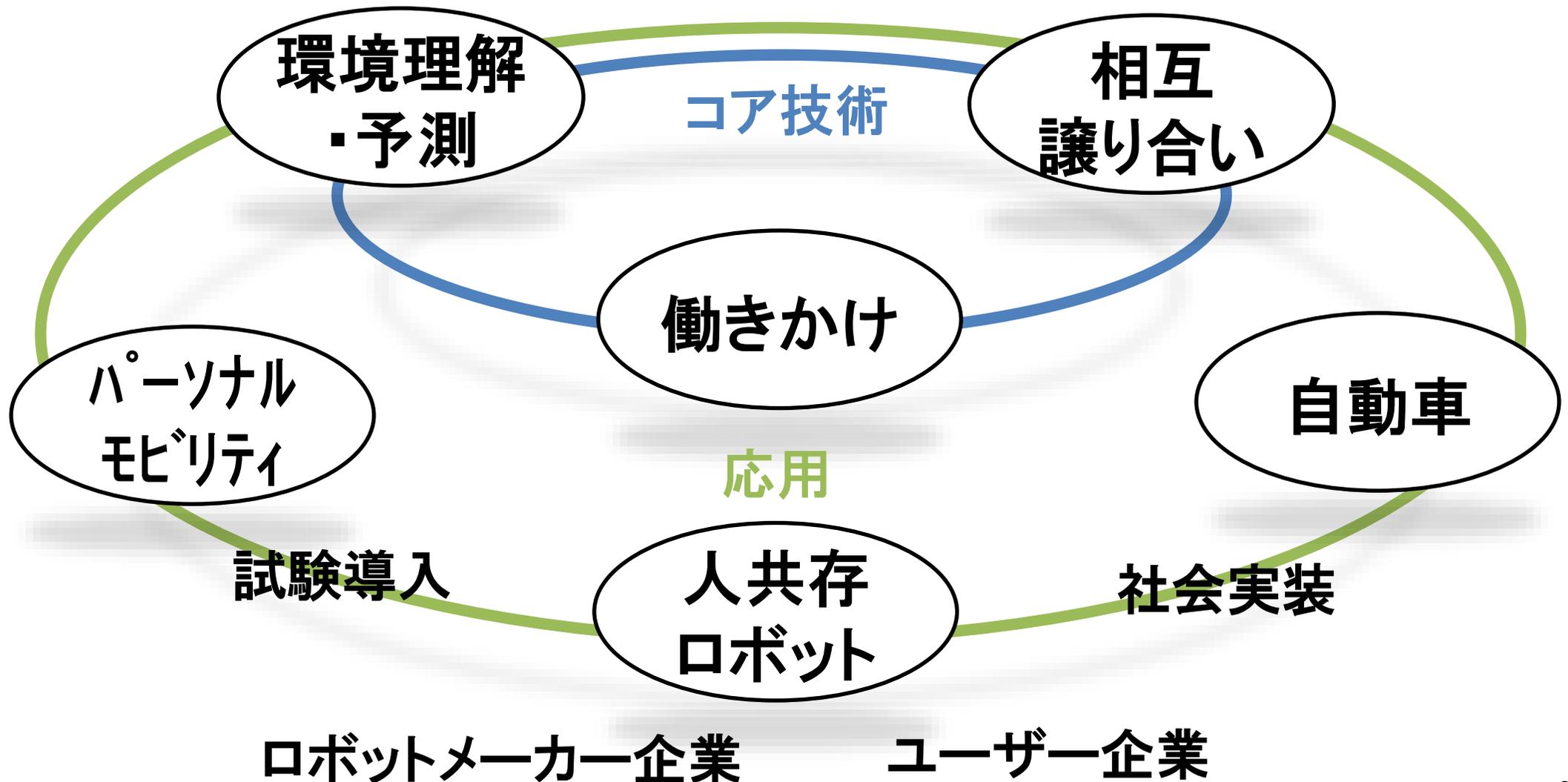
- サービス展開に必要な、意思疎通を行うための顔や音声対話システム、データ連携等の機能の実装。

■ モビリティハードウェアの新たな検討

- 接触をより安全にするための皮膚・関節機構、十分な加速度性能を有する移動機構など、ハードウェア側面のブラッシュアップ。

企業への期待

「能動的な働きかけ技術」に基づき、人とロボットの関係性を新たにデザインし、製品化に繋げたい



本技術に関する知的財産権

- ① ■ 発明の名称 : ロボット、並びに、その行動計画装置及び行動計画用プログラム
- 出願番号 : 特願2018-172850
- 出願人 : 早稲田大学
- 発明者 : 亀崎允啓、他
-
- ② ■ 発明の名称 : ロボット、並びに、その行動計画装置及び行動計画用プログラム
- 出願番号 : 特願2018-172996
- 出願人 : 早稲田大学
- 発明者 : 亀崎允啓、他
- その他5件

産学連携の経歴

- 2004年ー現在 これまでに、約17社と共同研究を実施(現在、7社と継続中)
- 2017年ー JSTさきがけに採択
- 2019年 JST社会還元加速プログラム(SCORE)に採択

早稲田大学

リサーチイノベーションセンター

知財・研究連携支援部門

TEL 03-5286-9867

FAX 03-5286-8374

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