

生活支援ロボット研究の歩みと、 フィジカルAIコミュニティの立ち上げ

立命館大学 情報理工学研究科

Ritsumeikan Physical AI Technology Hub (RPATH)

長谷川 翔一



記号創発システム研究室
Symbol Emergence Systems Lab.

*2026年6月に公聴会済

自己紹介

長谷川 翔一 (Shoichi Hasegawa), 博士5年*

- 立命館大学 総合科学技術研究機構 創発システム研究室 (谷口忠大)
- 立命館大学 情報理工学部 インタクション研究室 (島田伸敬)

経歴

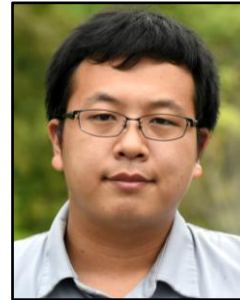
- 2026年～: 立命館発フィジカルAIコミュニティ (RPATH) 代表
- 2022年～: 立命館大学 情報理工学研究科 博士後期課程

研究のモチベーション

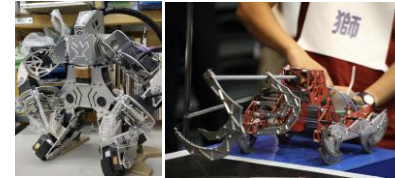
「有用性と愛着を両立した、
家族の一員のように人と関わるロボットをつくりたい！」

専門：サービスロボティクス，マルチモーダル言語理解

博士研究：物体配置における現場知識と常識的知識に基づく推論を活用した生活支援ロボットに関する研究

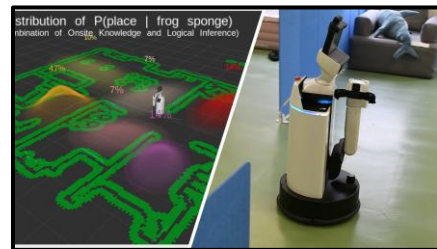


researchmap

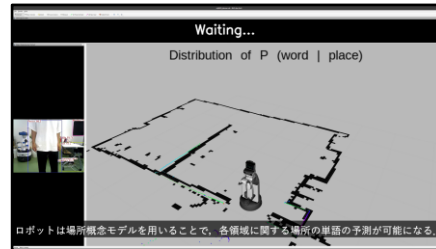


学部生のときの活動

- ROBO-ONE
- かわロボ
- NHK学生ロボコン



Semantic Mapping



LLMによる行動計画・複数ロボット連携



指示語等を含む指示理解

生活支援ロボットの社会的背景

家庭やオフィスなどの人間の環境への生活支援ロボット導入は、
少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少の問題の解決の糸口として世界各国で取り組まれている [1].

(生活支援ロボット: 医療用を除く、人の生活の質の改善に直接寄与する行為を実施するサービスロボット [2])



ロボット掃除機 Roomba
(iRobot 社, 2002年)

...



ネコ型配膳ロボット BellaBot
(Pudu Robotics社)



自律移動型警備ロボット SQ-2
(SEQSENSE 社)



除菌清掃ロボット Whiz
(ソフトバンクロボティクス
株式会社)

[1] 総務省. 令和 7 年版 情報通信白書 ICT 白書, 2025. <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r07/html/nd217530.html>.

[2] 一般財団法人日本規格協会. JIS B 8445:2016, ロボット及びロボティックデバイス-生活支援ロボットの安全要求事項, 2016. <https://kikakurui.com/b8/B8445-2016-01.html>

https://store.irobot-jp.com/client_info/FS/itemimage/img_roomba_800_series.png

<https://www.vie-orner.com/wp-vie/wp-content/uploads/2022/04/6d3e41ac443e1e7eaa74b29fa34d6912-scaled.jpg>

https://ritsumeikanunivpress.com/wp-content/uploads/2023/08/R41_9197-scaled.jpg

https://www.softbankrobotics.com/jp/set/data/product/whiz/img/case/case_detail_ritsumeiji_img01.jpg

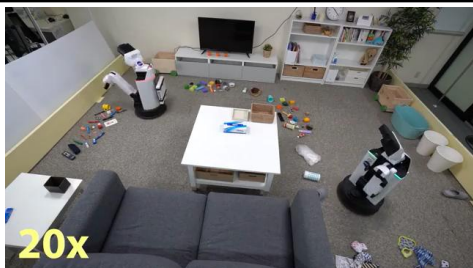
生活支援ロボット研究の技術的変遷

～2022

2022～2024

2024～

Service
Robotics



深層学習ベースの物体認識
ルールベースの行動計画

<https://projects.preferred.jp/tidying-up-robot/>

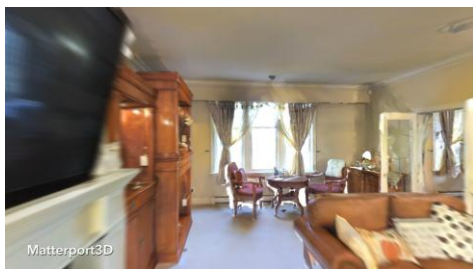


LLM/VLMのロボット応用
SayCan [Ahn *et al.* 2022]



VLAによる物体操作
 π^0 [Black *et al.* 2024]

Embodied AI



Vision-and-Language Navigation
Habitat [Manolis *et al.* 2019]



オープン語彙を含むモバイル
ルマニピュレーション
[Yanamandra *et al.* 2023]

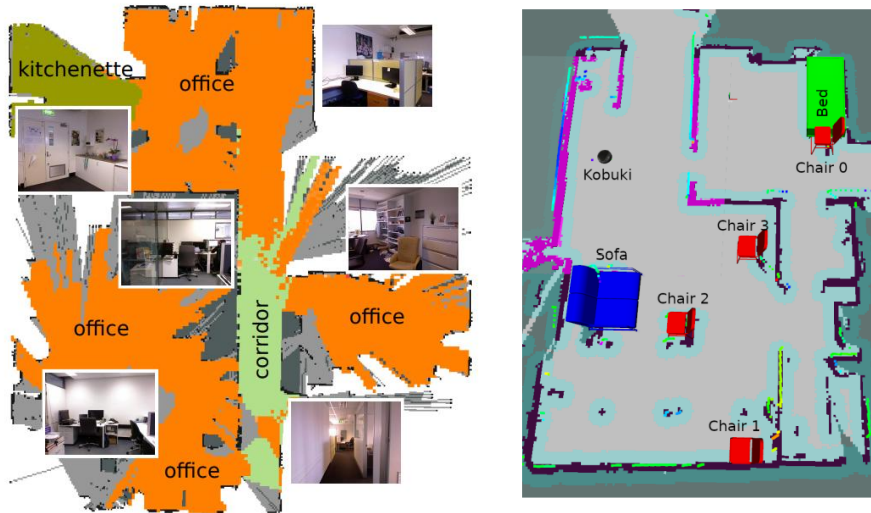


VLA統合へ収束しつつある
OmniVLA [Hirose *et al.* 2025]

ロボットへの期待は「移動」から「物体を扱う物理支援」へシフトしている 4

物理支援の前提：環境の物体配置を理解する

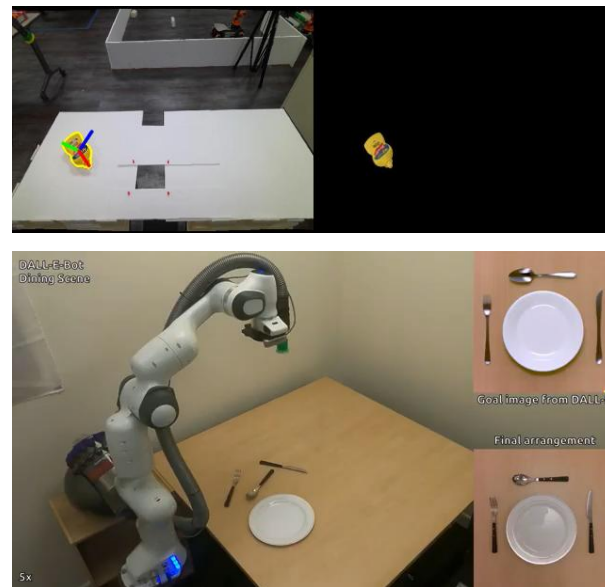
Semantic Mapping [1-3]



ロボットや人が理解できる形で構築された
環境地図に名称やラベルを接地させること

↑ 私の研究ではこちらを扱う

Pose Estimation [4, 5]



目標物体の位置姿勢を推定

- [1] N. Sünderhauf *et al.* "Place Categorization and Semantic Mapping on a Mobile Robot." *IEEE ICRA*, 2016.
- [2] A. Chikhalikar *et al.* "An Object-Oriented Navigation Strategy for Service Robots Leveraging Semantic Information." *IEEE/SICE SII*, 2023.
- [3] S. Garg *et al.* "Semantics for Robotic Mapping, Perception and Interaction: A Survey." *Foundations and Trends® in Robotics*, Vol.8, No.1-2, pp.1-224, 2020.
- [4] B. Wen *et al.* "FoundationPose: Unified 6D Pose Estimation and Tracking of Novel Objects." *IEEE/CVF CVPR*, 2024.
- [5] I. Kapelyukh *et al.* "DALL-E-Bot: Introducing Web-Scale Diffusion Models to Robotics." *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol.8, No.7, pp.3956-3963, 2023.

物体配置の推論に使われてきた常識的知識の変遷

Semantic mappingは大量の観測データを必要とする → 少ないデータでも推論できる常識的知識の活用へ

時代	知識の表現・獲得	活用する知識・推論	代表的な研究	限界
～2020	知識を事前に人手で構築 意味ネットワーク 述語論理	物体の分類・属性・ 空間関係などの概念知識	WordNet Prolog OpenCyc KnowRob	スケール化しにくい 記号接地しない 未観測物体を扱えない (配置情報がない物体)
2020～2023	大規模データから統計量として構築 オントロジーとの ハイブリット	物体と場所の共起確率分布 物体の分類・属性・ 空間関係などの概念知識	[Zhang <i>et al.</i> IEEE TVT, 2019] [Hernandez <i>et al.</i> IROS, 2020] [Liu <i>et al.</i> ESWA, 2022]	環境固有の差異を 吸収できない 未観測物体を扱えない (配置情報ない物体)
2023～	LLM・VLMに内包 されている知識を抽出	場所・状況に応じた 物体配置の推論結果	LLM-MCTS [Zhao <i>et al.</i> NeurIPS, 2023] LLM-GROP [Ding <i>et al.</i> IROS, 2023]	環境固有の配置 を反映できない

常識的知識の表現力は向上してきたが、いずれも「この環境に固有の物体配置」をロボット自身の観測から効率的に学習・統合する仕組みが扱われてきていない

チャレンジ1：参照表現を含むユーザ指示の解釈



Multiple green cups in the environment,

- **Which one** do the user refer to?
- **What action** is appropriate?



LLMに基づくロボットの行動計画手法の問題 [1-3]

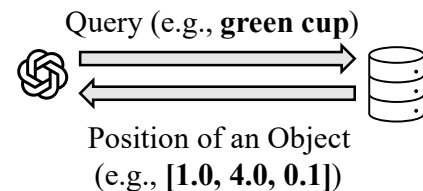
1. Object-level map only, no context

Object	Position (x, y, z)
apple	[1.0, 2.0, 1.0]
green cup	[-3.0, -5.0, 0.5]
...	...



Where is the **green cup** placed?

2. Target misidentification by LLM



Which one ?



[1] B. Chen *et al.* "Open-Vocabulary Queryable Scene Representations for Real World Planning," *IEEE ICRA*, 2023.

[2] C. Huang *et al.* "Visual Language Maps for Robot Navigation," *IEEE ICRA*, 2023.

[3] M. Shirasaka *et al.* "Self-Recovery Prompting: Promptable General Purpose Service Robot System with Foundation Models and Self-Recovery," *IEEE ICRA*, 2024.

同種の物体が複数存在する環境で、場所・周囲物体の情報を含む指示をどう解釈して対象物を特定するか？

チャレンジ2：大規模環境での複数ロボットの協調探索



ロボット1台では探索に時間がかかる
→ **複数ロボットで分担したい**

「どのロボットがどこを探るか」の割り当てには、**各エリアの物体配置の知識が必要**

※ 条件

- 各フロアに専用ロボットを配置
- フロアをまたいだロボットの移動はスコープ外

複数ロボット連携のためのLLMに基づくタスク割当 [1-3]

- 特徴：LLMの常識的知識でタスク割当
- 問題：環境固有の物体配置知識を持たないため、現場の配置に対応できない

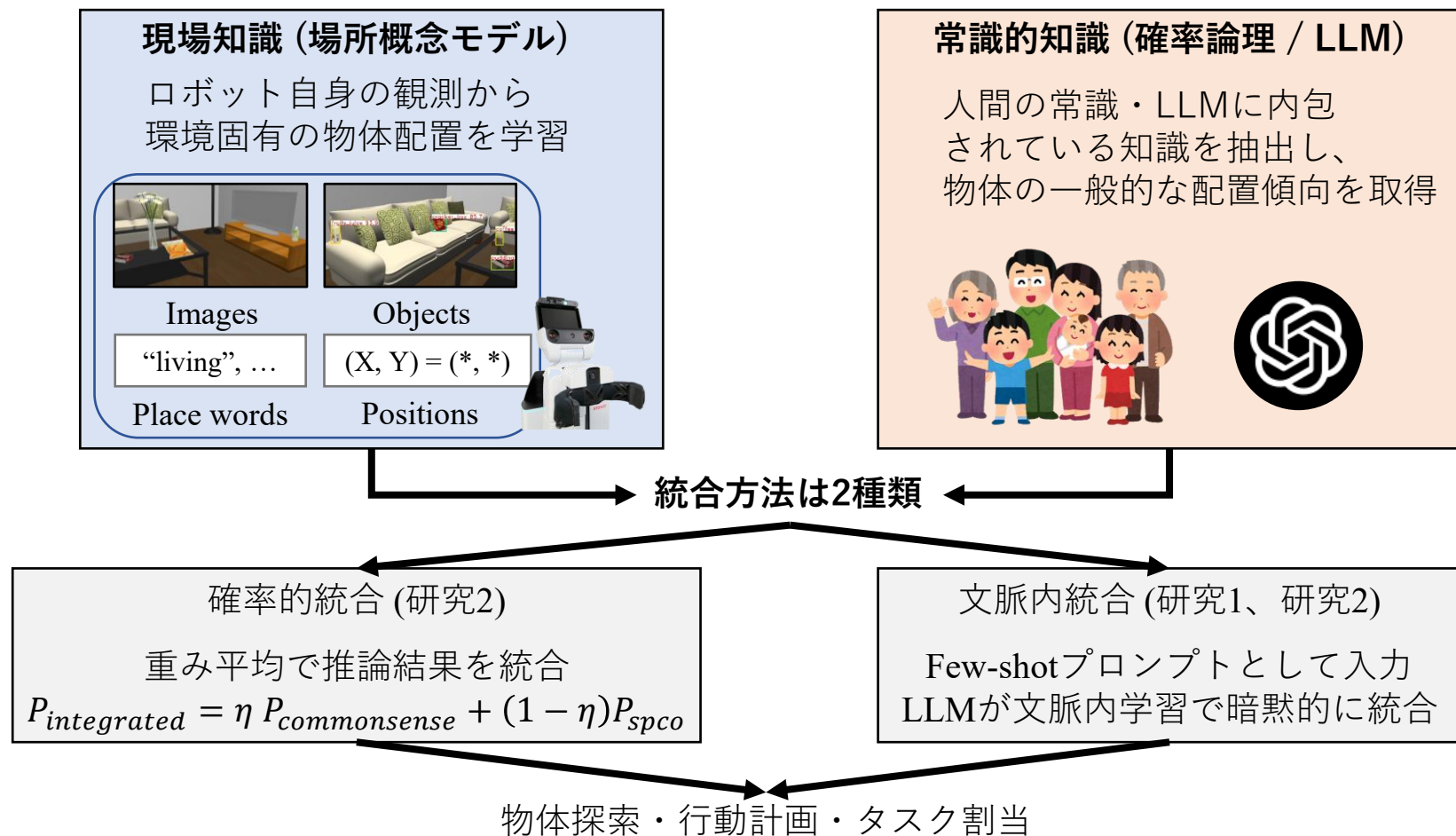
複数ロボットによる物体配置学習 [4-6]

- 物体と場所の階層関係を表す3Dシーングラフ構築 [4]
- 問題：観測データ量の削減には着手できていない

- [1] SS. Kannan *et al.* "SMART-LLM: Smart Multi-Agent Robot Task Planning using Large Language Models." *IEEE/RSJ IROS*, 2024.
- [2] K. Obata *et al.* "LiP-LLM: Integrating Linear Programming and Dependency Graph with Large Language Models for Multi-Robot Task Planning." *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2024.
- [3] C. Rivera *et al.* "FLEET: Formal Language-Grounded Scheduling for Heterogeneous Robot Teams." *arXiv preprint arXiv:2510.07417*, 2025.
- [4] Y. Chang *et al.* "Hydra-Multi: Collaborative Online Construction of 3D Scene Graphs with Multi-Robot Teams." *IEEE/RSJ IROS*, 2023.
- [5] Y. Yue *et al.* "A Hierarchical Framework for Collaborative Probabilistic Semantic Mapping." *IEEE ICRA*, 2020.
- [6] Y. Deng *et al.* "MACIM: Multi-Agent Collaborative Implicit Mapping." *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2020.

大規模環境で複数ロボットが現場知識を効率的に獲得・共有し、適切にタスクを分担するにはどうすればよいか？

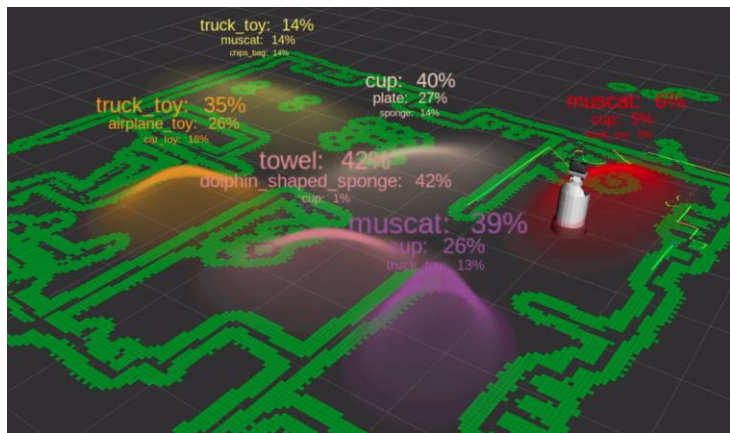
本論文のアプローチ：現場知識と常識的知識に基づく推論



現場環境の学習 (場所概念モデル)

SpCoSLAM 2.0 [3] をベースにした場所概念モデル

- Rao-Blackwellized パーティクルフィルタを学習の枠組みに使用
- 各パーティクルでは場所概念・位置分布のindex C_t, i_t を崩壊型ギブスサンプリングと等価な条件付き事後分布からサンプリングすることで、オンラインで逐次学習

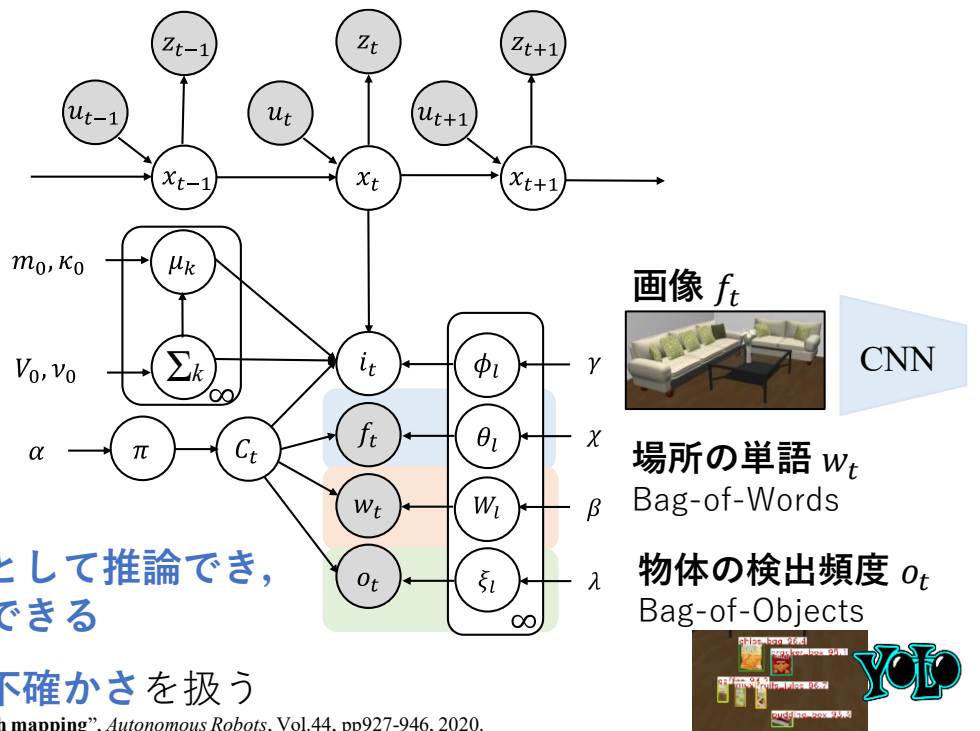


$P(o_t|i_t)$ を計算したもの。
(ガウス分布は学習で得た平均と分散を指定)

場所概念モデルは**環境固有の物体配置を確率分布として推論でき、常識的知識と同一の確率フレームワーク上で統合できる**

観測データが少ない・限られていることから来る不確かさを扱う

- SpCoSLAM2.0との差分
- 地図を既知
 - 物体の検出頻度の追加
 - 言語モデル/音響モデルを削除



[3] A. Taniguchi et al. "Improved and scalable online learning of spatial concepts and language models with mapping", Autonomous Robots, Vol.44, pp927-946, 2020.

研究1の目的

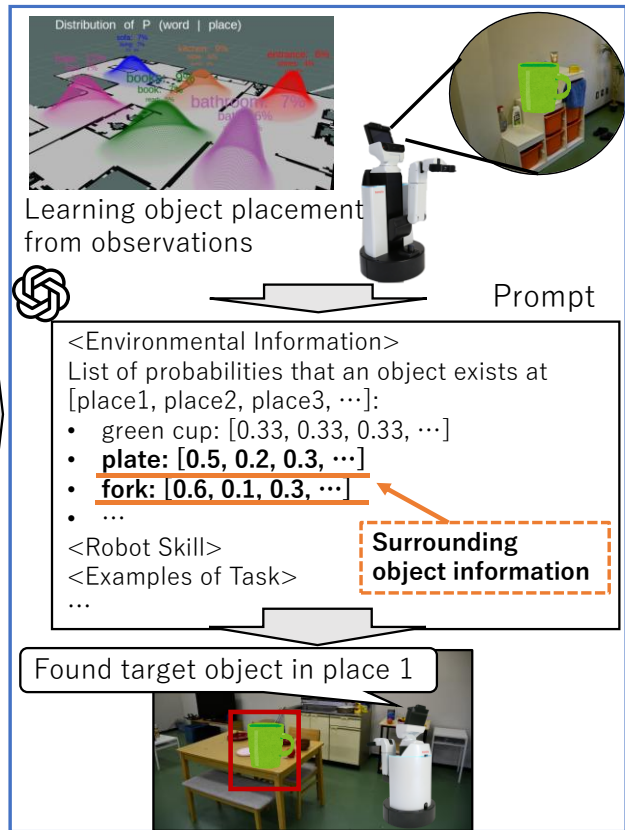
生活環境内に**同種の物体が複数存在する状況**において、**場所概念モデルの推論結果をLLMのプロンプトとして活用**し、ロボットのタスク遂行能力を向上させること



(conventional approach)
navigation (green cup) -> detection (green cup) -> ...



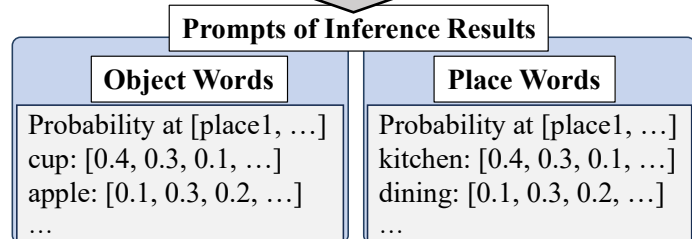
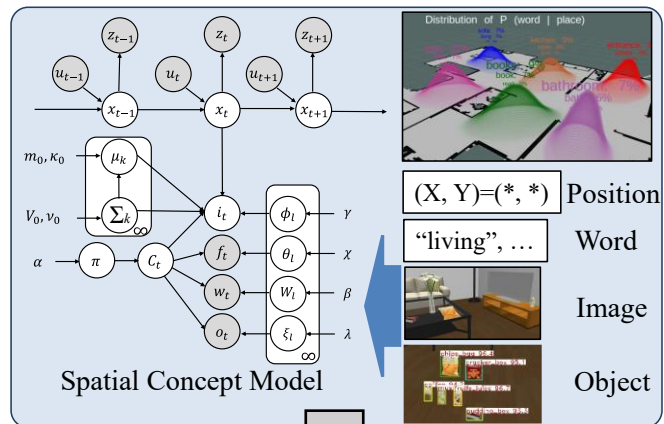
- Multiple green cups in the environment,
- **Which one** do the user refer to?
 - **What action** is appropriate?



提案手法：SpCoRAP

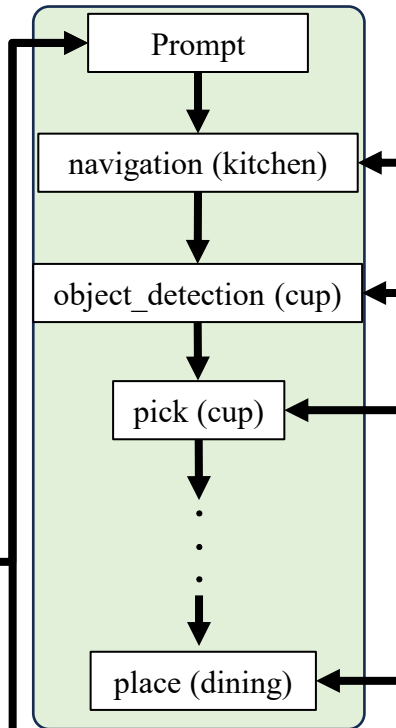
Spatial Concepts-based Prompts with Large Language Models for Robot Action Planning (SpCoRAP)

(a) Prompt Generation from Inference Results based on a Spatial Concept Model

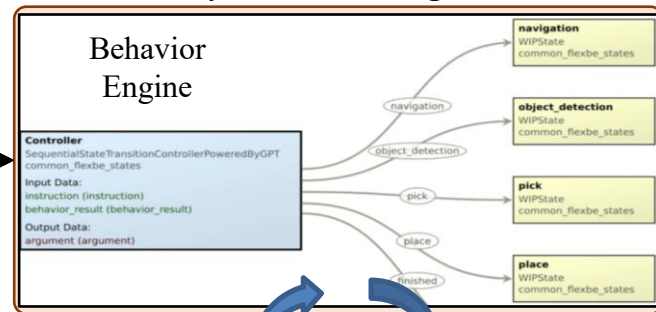


Linguistic Instruction
Bring a cup from kitchen to dining.

(b) Action Planning by an LLM



(c) Sequential Action Execution by a Behavior Engine



Succeeded or Failed

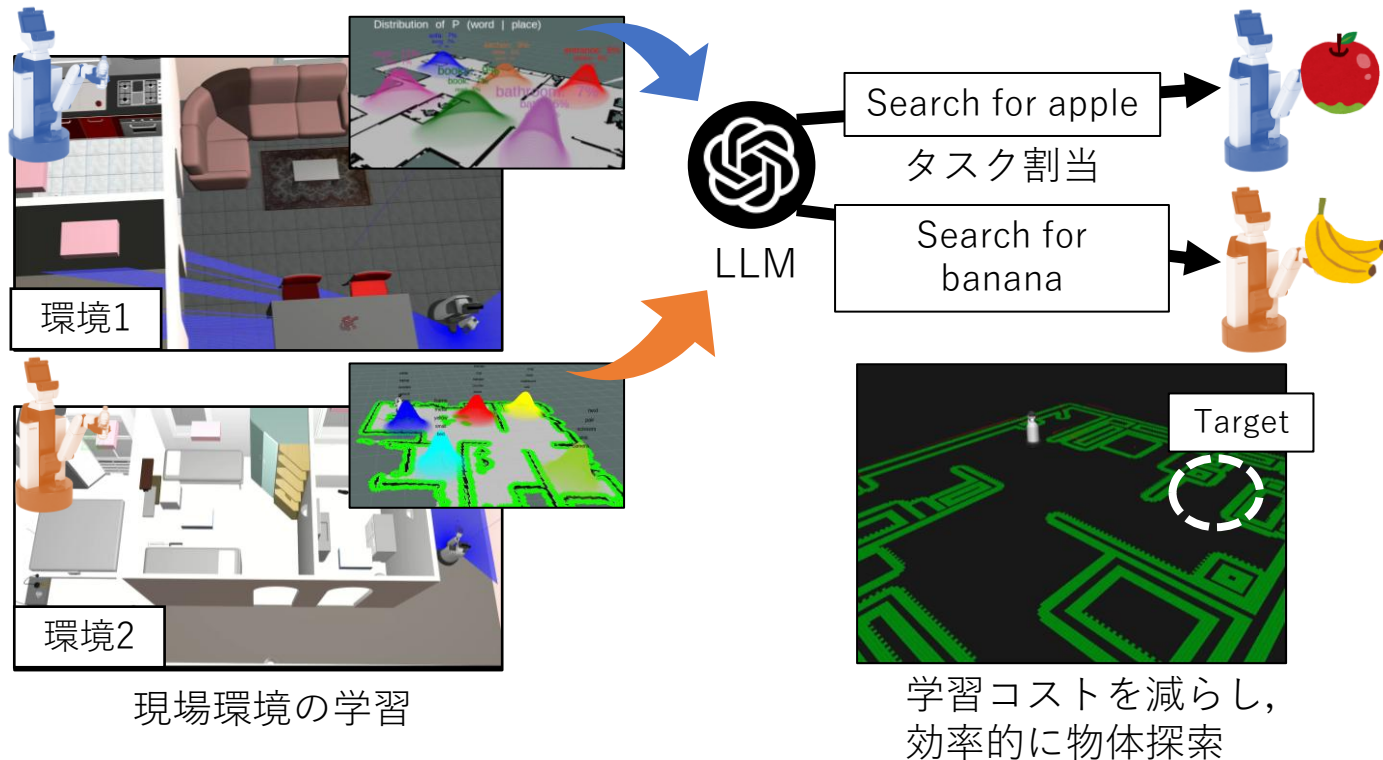
Control Command



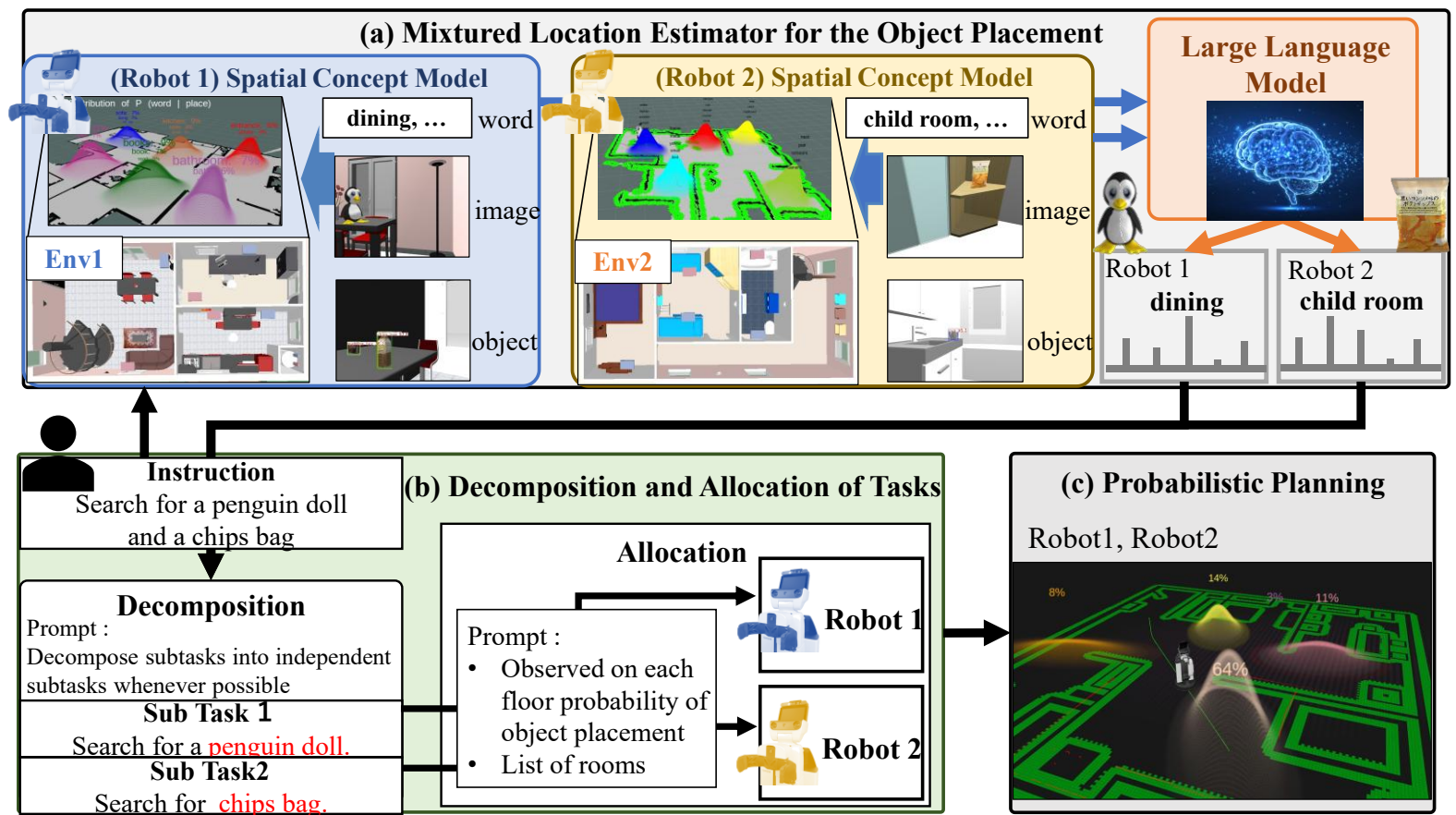
Achievement of Daily Life Support Tasks

研究2の目的

大規模環境において、LLMと場所概念モデルの推論結果を統合することで、複数ロボットによる物体配置の学習コストを削減しつつ、効率的な物体探索タスクの遂行を実現すること。

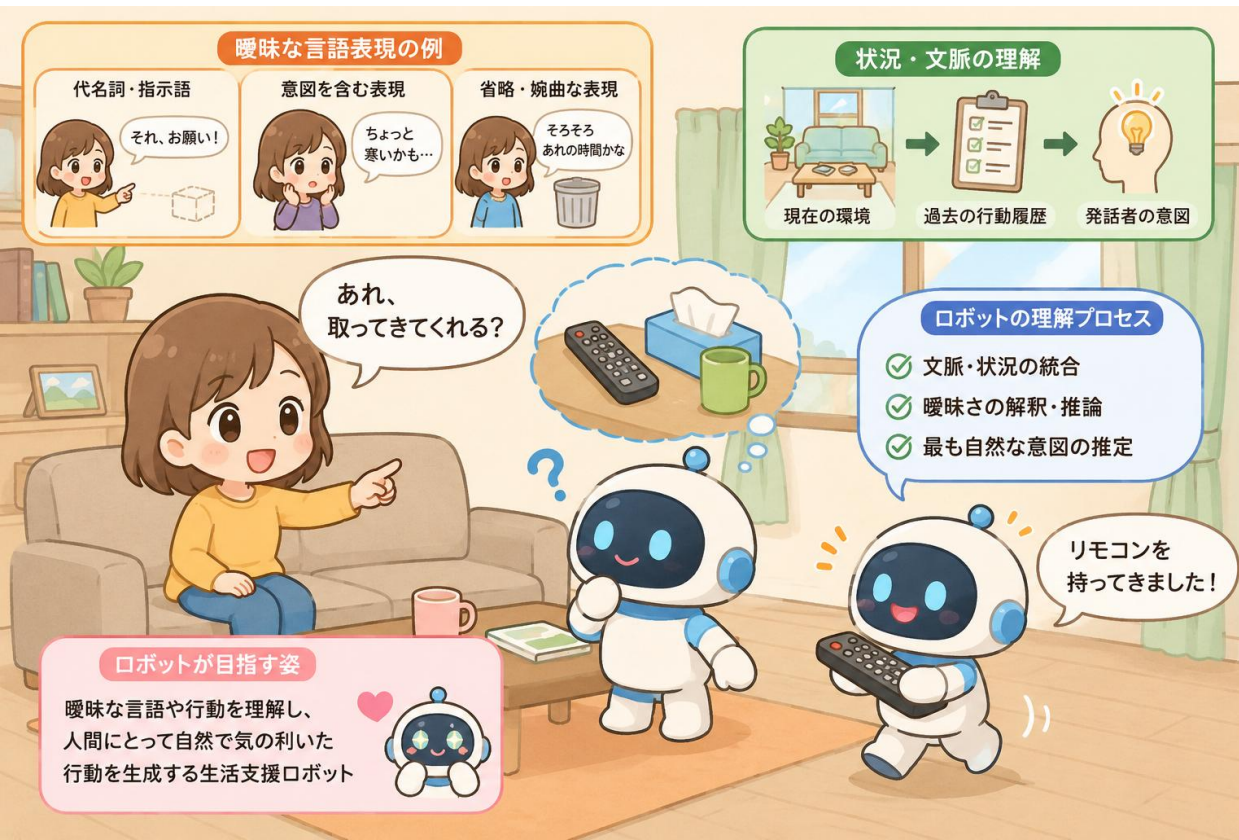


提案手法



今後の展望

人間が日常的に用いる言語や行動に含まれる曖昧さをロボットが理解し、人間にとって自然で気の利いた行動を生成できる生活支援ロボットの実現を目指す



- 常識的知識と現場知識の**矛盾を動的に解消**する推論
- **指示語・所有格・省略など多様な言語表現**への対応
- **VLA**を活用した自然言語指示から動作生成までの統合
- **オンライン学習**と**能動探索**による動的環境への長期適応
- **ユーザ介入・新規タスク**へのリアルタイム対応

RoboCup (ロボカップ) とは

AIやロボット研究を推進し様々な分野の基礎技術として波及させることを目的とした、
自律移動型ロボットによる競技会 (1992年に発足)

夢：
西暦2050年までに、サッカーの世界チャンピオンチームに勝てる、
自律移動のヒューマノイドロボットのチームを作る



ロボカップサッカー



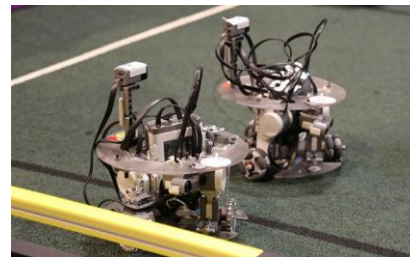
ロボカップ@ホーム



ロボカップレスキュー



ロボカップインダストリアル



ロボカップジュニア
(11歳以上19歳以下が対象)

<https://www.robocup.org/>

<https://www.robocup.or.jp/>

RoboCup@Homeとは

日常生活でのロボットの利用を想定し、
リビングルームやキッチンなどの家庭環境において、
人間との暮らしに役立つ作業をいかに遂行できるかを競う



世界大会は毎年6-7月に開催
(今年は韓国)



オープンプラットフォーム
リーグ (OPL)

自作したロボットを使用

<https://2026.robocup.org/>
<https://www.robocup.or.jp/robocup-athome/>
https://x.com/sobits_soka



ドメスティックスタンダード
プラットフォームリーグ (DSPL)

トヨタ自動車製のロボットHSRを使用



ソーシャルスタンダード
プラットフォームリーグ (SSPL)

ソフトバンクロボティクス製の
Pepperを使用

RoboCup@Homeの競技



RoboCup Japan Open @Home League

RoboCup@Homeの国内大会

公式リーグ以外にも限定リーグもある
(DSPLはBeginner/Advancedにリーグが分かれる)



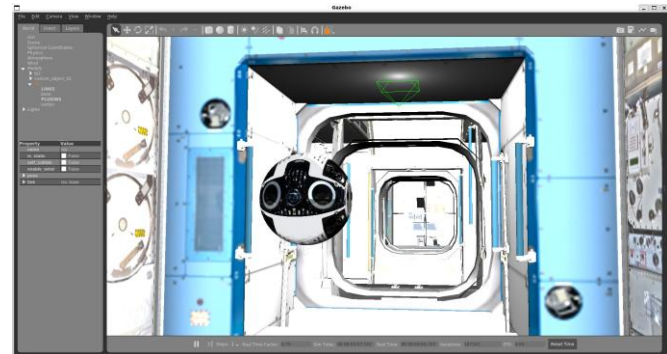
ブリッジ (Bridge) :
教育的効果を重視した入門リーグ

シミュレーションOPL (S-OPL):
SIGVerse (シミュレータ) を使用し、
インタラクションを重視したリーグ

<https://sites.google.com/site/robocuphomejapan/home?authuser=0>
https://www.kawada.jp/csr/report/detail/20250616_439.html
<https://www.nii.ac.jp/news/release/2018/0123.html>
<https://robocupatspacejp.github.io/years/2026.html>



毎年GWに開催 (今年は滋賀)



RoboCup@Space Challenge :
JAXAが開発したISS搭載ロボット
Int-Ball2を使用し、ISSのシミュレー
タ内で宇宙飛行士の支援をするリーグ
(2026年から開催)

RoboCup@Home以外の競技会：FCSC



World Robot Summit

Future Convenience Store Challenge (FCSC)

ロボット技術により従業員の負担を軽減し、顧客に新たなサービスを提供する
未来のコンビニエンスストアを実現することを目的とする競技

WRSの中の
コンペとして開催



<https://worldrobotsummit.org/>

<https://f-csc.org/>

OIT-RITSとは

大阪工業大学 (OIT)と立命館大学 (RITS) による関西合同チーム

(RoboCup Japan Open 2018 @Homeに発足)

- 大阪工業大学 コミュニケーションロボット研究室 (井上 雄紀)
- 立命館大学 創発システム研究室 (谷口 忠大)



① ロボットを堅実に動かす技術に強みを持つOIT, AI研究に強みを持つRITS
が連携することで、**互いの弱みを補完**

② 開発の段階から**研究として成立することを意識**し、開発面・研究面の双方
において、**新規性のある取り組みを実施**



これまでの活動

※ RoboCupでの受賞はOpen Challenge
チームの最新の研究や革新的な
アプローチを実演・デモンストレーション

2



WRS2018

3



RoboCup JP
@Home 2018

2



RoboCup JP
@Home 2019

2



RoboCup JP
@Home 2021

2021年から
長谷川参加

3



WRS2020

2



RoboCup JP
@Home 2023

1



RoboCup JP
@Home 2022

3



RoboCup JP
@Home 2024

※ OIT Challenger & Duckers
はOIT-RITSの前のチーム名

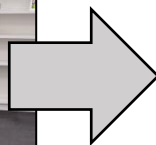
谷口研究室がRoboCupに参加していた理由

① 学生にサービスロボティクスに関する開発技術を身に付けてもらうため



② 実世界で解決されていない問題があることを実感してもらい、研究の問いへとつなげるため

③ 研究室で研究した内容を実際に外部に示せる形として実装し、デモンストレーションとして実施することで、今後の研究の基盤とするため



ムーンショット目標1

ムーンショット目標1 研究開発プロジェクト

誰もが自在に活躍できるアバター共生社会の実現



Dr. Garcia
Gustavo

G4-4: 生活物理支援CAの研究開発

RT3 生活物理支援自在化フレームワーク開発と実証
Software framework for at-use-will CA for DPS

Dr. Lotfi
El Hafi

RT2 生活物理支援のための日常物体CA協調マニピュレーション
Collaborative manipulation of daily objects for DPS

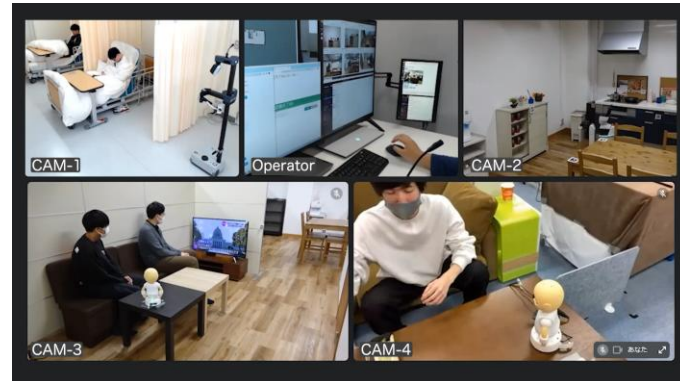


Dr. Yoshinobu
Hagiwara



Dr. Akira
Taniguchi

RT1 生活物理支援のための適応的自在プランニング・ナビゲーション
Adaptive At-user-will planning & navigation for DPS



未来家庭でのサイバネティック・アバターサービス

<https://www.youtube.com/watch?v=QJ7TXb66CbK>



フィジカルAI (VLA) に関する研究も進めている

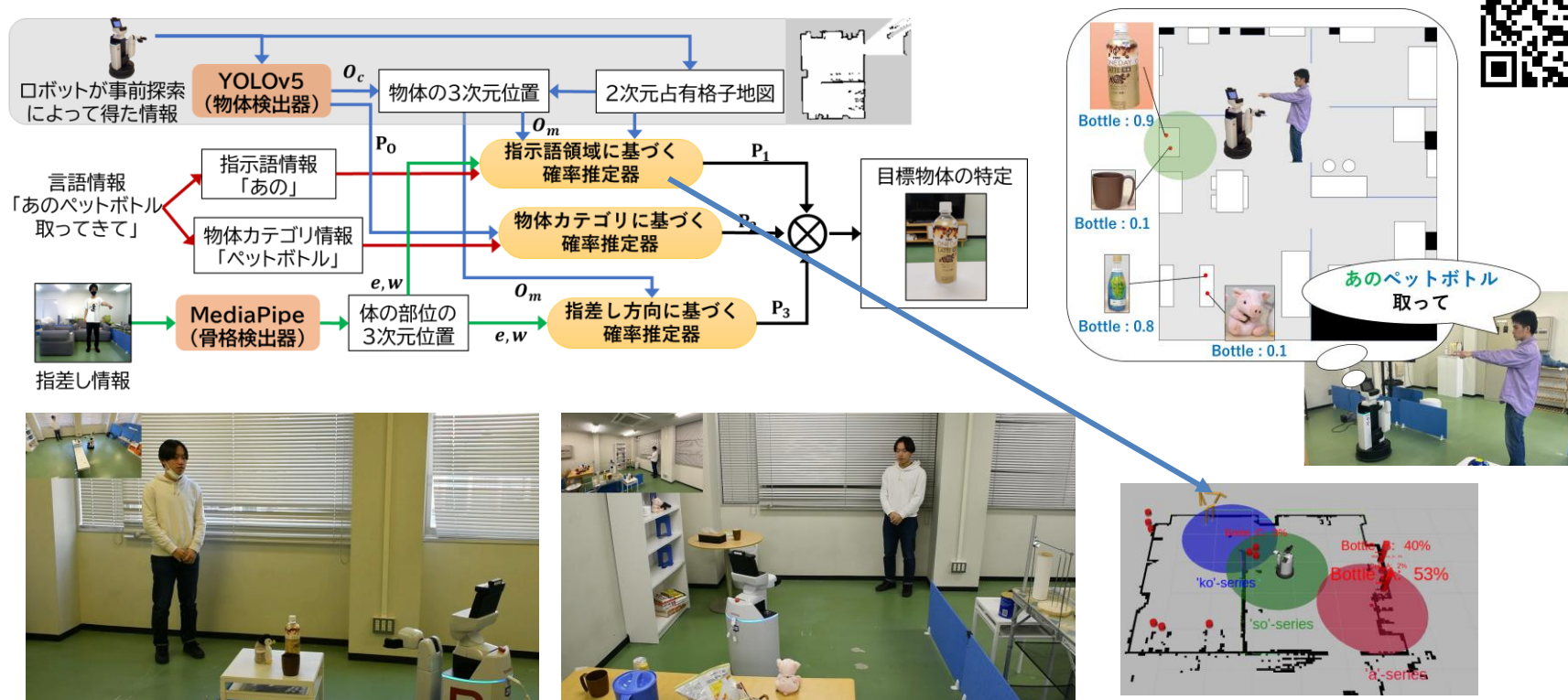
<https://www.youtube.com/watch?v=G-B-WxusoIs&t=12s>

サイバネティック・アバター (CA):

身代わりとしてのロボットや3D映像等を示すアバターに加えて、人の身体的能力、認知能力及び知覚能力を拡張するICT技術やロボット技術を含む概念

<https://avatar-ss.org/index.html>

実世界のマルチモーダル情報に基づく指示語を含んだ言語指示の外部照応解析



サービスロボットに対して指差しや指示語、物体名の一部を含んだ情報からの曖昧指示

- A. Oyama *et al.* "Exophora Resolution of Linguistic Instructions with a Demonstrative based on Real-World Multimodal Information." *IEEE RO-MAN*, 2023 (ロボカップ研究賞).
- 大山瑛 *et al.* "実世界のマルチモーダル情報に基づく指示語を含んだ言語指示の外部照応解析", *NLP*, 2023, (若手奨励賞 受賞).
- OIT-RITS. RoboCup Japan Open 2022 @Home DSPL Technical Challenge, 優勝.

【参考】学生主体のフィジカルAIコミュニティ

KUPAC (けーゆーぱっく)
京都大学発コミュニティ



<https://www.kupac.org/ja/>

2025年7月設立

- 代表：大澤 衡正 (B4)
- 教員代表：八木 聡明

OPAN (おーぱん)
大阪大学発コミュニティ



<https://opan.website/>

2025年12月設立

- 代表：柳田 栞吾 (D1)
- 教員代表：宮澤 和貴

阪大AIロボティクス研究会
大阪大学発コミュニティ



阪大AIロボティクス研究会
Physical AI Osaka

<https://physical-ai-osaka.github.io/official-web/>

2026年4月設立

- 代表：谷垣 慶 (D3)
- 教員代表：八木 聡明

UTAF (ゆーたふ)
東京大学発コミュニティ



UTAF
The University of Tokyo
Autonomy Forge

<https://www.utaf.dev/>

2026年6月設立？

- 代表：川嶋 凌児
- 顧問：河原塚 健人

4月に京大・阪大でフィジカルAI入門講座を実施

身体と知能が融合する未来を体験する
フィジカルAI入門講座
どなたでも参加可能 無料

開催日時・会場
2026年4月18日(土) 13:00 - 17:00
2拠点同時・ハイブリッド開催

京都大学 吉田キャンパス
総合研究7号館 1階 情報1基盤室 (107)

大阪大学 豊中キャンパス
基礎工学部情報 セミナー室

プログラム内容

- 01 フィジカルAI概論：知能の最新動向**
ChatGPTなどの「言葉のAI」が、「現実の体」を持った？ 近年では、ロボットがフィジカルAIの発展により、急がず知能して動く存在へと発展しています。本講座では、近年のロボットがどのようにして物理世界で動いているのか、その多岐と仕組みを概説します。
- 02 ハンズオン：AIの「学習」を体験**
シミュレータを使用し、ロボットが動作を獲得するプロセスを体験。数学やプログラミングの深い知識がなくても直感的に学べます。
- 03 実機デモ：動くロボットを身近で**
最先端ロボットが目の前で稼働。AIによって制御されたスムーズな動きや、複雑なタスクをこなす様子を実際に目で見て体験します。

QRコード
事前予約フォーム (4月15日締切)

タイムスケジュール

第1部：講義・演習	第2部：ラボ見学
13:00 - 13:10 イントロダクション	16:00 - 16:30 希望者へのラボ見学
13:10 - 13:40 講座1：フィジカルAIやロボティクスの全体像	16:30 - 16:40 第2部クロージング
13:45 - 14:15 講座2：ロボットを動かすシミュレーション環境	※当日の都合により、終了時間は前後する可能性があります (最大15分前後)
14:20 - 14:50 講座3：ロボットを動かすAIモデル	
15:00 - 15:40 演習セッション	
15:40 - 15:50 第1部クロージング	

SPONSOR

長野 匡幸
京都大学 情報科学研究科 知能情報学コース
記号制御システム分野 教授

宮澤 和貴
大阪大学 基礎工学部 情報 知能
フィジカルAI / シミュレーション
知能制御ロボティクス

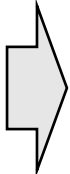
長谷川 輝一
立命館大学 情報工学研究科 知能
制御システム分野 准教授

ORGANIZER
主催：日本ロボット学会 専門的ロボット学習と認知知能研究専門委員会
共催：京都大学大学院情報科学研究科・知能システム研究・記号制御システム分野 自己研究
協力：一般財団法人ロボット学会 (JARR), KUPAC

CONTACT
m.nagano@kyoto-u.ac.jp



立命館にもKUPACみたいな
コミュニティをつくりたい



フィジカルAIコミュニティ
立ち上げへ

立命館大学 B2
加藤さん

立命館大学 助教
安藤先生

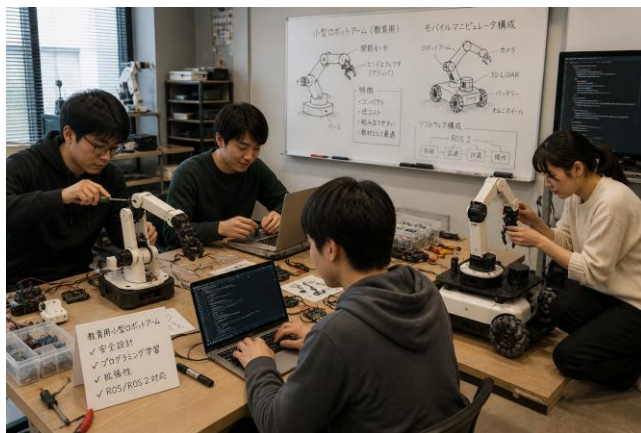
RPATH (あーるぱす) とは

Ritsumeikan **P**hysical **A**I **T**echnology **H**ub



Webサイト

学生主体で、Physical AIに興味を持つ者同士が自由に学び合える場を目指す。
専門領域の垣根を取り払い、Physical AIに関心を持つすべてのプレイヤーに
開かれた、新しい研究・開発の形を追求する。



※ 立ち上げは5月ですが、
本格的な活動開始は8月から

(写真は
イメージです)

R-GIRO「サトウプロジェクト」における派生団体として位置づける。
学生が主体となりフィジカルAIを学び・実践し、Hubとして機能させる場。

<https://web.rpath-org.workers.dev/ja/>

記号創発システム科学創成：

実世界人工知能と次世代共生社会の学術融合研究拠点

PL: サトウタツヤ（総合心理学部）

SubPL: 谷口忠大（総合科学技術研究機構）



Webサイト

2022-2026年度
まで実施



体制



代表

長谷川 翔一（情報理工学研究科 島田研 ・ 谷口研 D5）

R-GIROとの窓口、
技術サポート・指導



教員代表（共同代表）

安藤 潤人（情報理工学部 野間研 助教）

技術サポート・指導



技術支援

藤井 康之（情報理工学部 島田研 特任助教）

技術サポート・指導

運営メンバー等

学生11名（学部生7名、修士学生2名、博士学生2名）

情報理工、
スポーツ健康科学
などの学生が在籍

活動内容 (予定)



LT会・論文紹介 ・勉強会

フィジカルAI関連の
論文・技術をメンバー
が持ち回りで発表
(定期的に開催)



ハイブリット開催してます



ロボット開発PJ

学生主体でテーマを決め
実際にロボットを動かす
プロジェクトを推進

- SO-101
 - OpenDuckmini
 - Challenge ATOM
- etc.



学外交流イベント

他大学フィジカルAI
コミュニティとの
交流、合同勉強会等



阪大AIロボティクス研究会
Physical AI Osaka

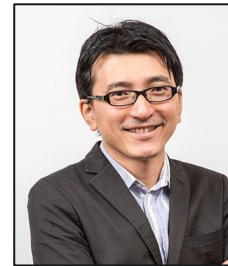


UTAF
The University of Tokyo
Autonomy Forge

宣伝

谷口研に興味がある方、ぜひ来てください！

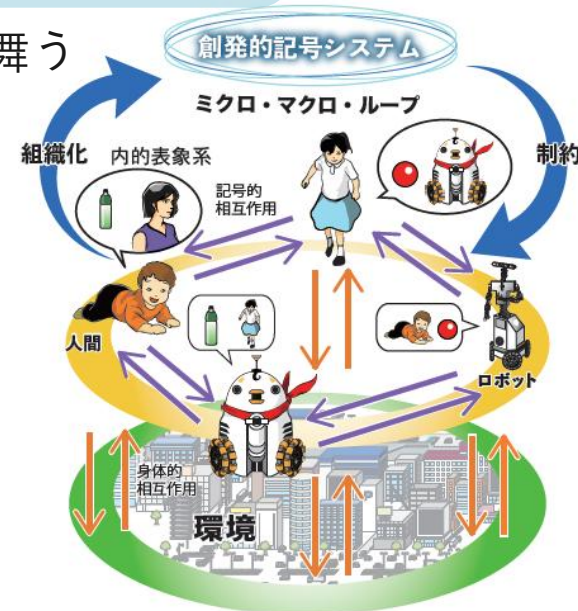
実世界認知にもとづく記号とコミュニケーションの創発を
「知性」の本質的な問いとして、マルチモーダルな経験と
相互作用からどのように生まれるかを探求する



- ・ 人間は実環境の中で適応的に身体を用いて知的に振る舞う
- ・ 言語や行動、社会規範、思想などは、進化や発展の果てに社会として、私たちが得た知的な機能

「本分野」

実世界認知に基づく言語や記号の創発を
知能の核と見た研究を数多く展開



研究室に興味がある・来たい方、
ぜひ来てください！



<https://ses.ist.i.kyoto-u.ac.jp/home-jp/>

A Review of Open-Vocabulary Semantic Mapping and Navigation with Foundation Models for Mobile Robots

[Y. Hagiwara & S. Hasegawa, Zenodo preprint, 2026]

オープン語彙セマンティックマッピングを4分類で整理し、ナビゲーション応用・評価・課題について動向を調査

REVIEW ARTICLE

A Review of Open-Vocabulary Semantic Mapping and Navigation with Foundation Models for Mobile Robots

Yoshinobu Hagiwara^{a,b} and Shoichi Hasegawa^c

^aFaculty of Science and Engineering, Soka University, Tokyo, Japan;
^bResearch Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University, Shiga, Japan;
^cGraduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University, Osaka, Japan;

ARTICLE HISTORY
 Compiled August 19, 2026

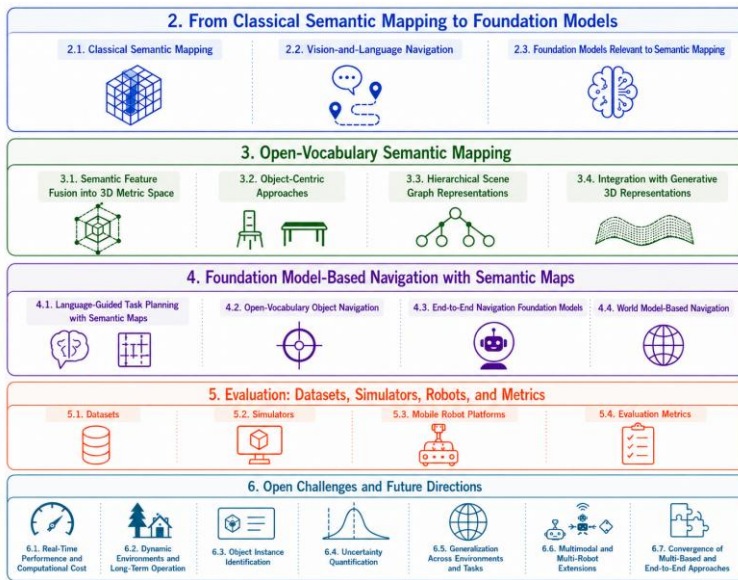
ABSTRACT
 Autonomous mobile robots that coexist with humans must construct not only geometric maps but also semantic maps that can be accessed through natural language. Conventional semantic mapping has mainly focused on assigning labels from predefined closed vocabularies to metric maps, limiting its ability to handle novel objects, open-ended linguistic expressions, and flexible human-robot interaction. Recent advances in large-scale foundation models, particularly LLMs and VLMs, have accelerated research on open-vocabulary semantic mapping. In parallel, generative 3D representations such as neural radiance fields and 3D Gaussian splatting have enabled dense, continuous spatial representations associated with language-derived features. Together, these developments allow robots to acquire spatial semantic representations that connect perception, language, and action. This paper reviews this rapidly evolving field through a four-part taxonomy: (i) fusion of semantic features into 3D metric maps; (ii) object-centric open-vocabulary representations; (iii) hierarchical scene graph representations; and (iv) continuous generative 3D language fields. We also revisit the history of open-vocabulary semantic mapping and provide an overview of foundation model-based navigation using language-accessible maps, ranging from object-goal navigation to LLM-based hierarchical task planning. Finally, we introduce evaluation datasets, simulators, robot platforms, and evaluation metrics, and summarize seven open challenges.

Keywords: semantic mapping; open-vocabulary; mobile robot; foundation models; generative 3D representations

1. Introduction

Autonomous mobile robots coexisting with humans must continuously build and learn a map of their environment that enables both high-precision localization and complex task execution. Metric representations, such as occupancy grids [1], exhibit strong capabilities for obstacle avoidance and path planning, but are limited in their semantic expressiveness. For example, they cannot answer questions or interpret instructions such as “Where is the coffee cup?” or “Go to the room next to the bedroom.” Bridging

CONTACT Yoshinobu Hagiwara. Email: hagiwara@soka.ac.jp



宣伝

インテリジェントホームロボティクス研究会 開催！

9/19-9/20に創価大学（東京）で開催

- 生活環境で動くホームロボットに関する研究の議論が行われ、RoboCup@Home JPの運営
- RoboCupの競技を一部実施し、ポスター発表やフィジカルAIに関する講演等も企画してます！

招待講演・講演



TidyBoy (Seoul National Univ.)

フィジカルAI講習会



WEBサイト

<https://www.i-homerobotics.org/activity/iHR15>

ロボットコンペティション



ポスターセッション



参加費無料！
ポスター発表の
申し込みは9/18まで

宣伝

SI 2026でフィジカルAIに関するOS 開催！

フィジカルAI時代の記号創発システム -現場で学び続けるロボットの実現に向けて-
SI 2026 (計測自動制御学会) はグランキューブ大阪で開催 (12/8-12/10)

▼OS70：フィジカルAI時代の記号創発システム -現場で学び続けるロボットの実現に向けて-

【オーガナイザ】

長谷川 翔一(立命館大学), 間 彦橋(立命館大学)



【OS概要】

大規模言語モデルをはじめとする基盤モデルの発展により、AIを実機に統合し実世界で行動させるフィジカルAIへの期待が急速に高まっている。しかし、人間の生活環境で働くロボットの実現には、事前学習された一般知識だけでは不十分であり、実世界のマルチモーダルな感覚運動情報から概念や語彙を獲得し、記号・言語の意味を環境に接地させ、現場で学習・適応し続ける知能、すなわち記号創発システムが重要である。本セッションでは、記号創発システムの視点から実世界で動作するロボットや知能に関する講演を広く募集する。具体的には、基盤モデルとロボティクスの統合、言語理解と行動計画、概念形成・語彙獲得、空間の意味理解とセマンティックマッピング、画像認識、ロボット聴覚・音響インタラクション、マニピュレーション、模倣学習・強化学習、マルチロボット協調、サービスロボットのシステム統合と実証実験などを対象とし、要素技術から社会実装まで分野を越えた議論の場としたい。



李 周浩
(実行委員長)



下ノ村 和弘
(プログラム委員長)