
令和6年度 修士学位論文

LLM を用いたランドマーク利用型
移動ロボットナビゲーションシステム

指導教員 早川 聡一郎 准教授

三重大学大学院工学研究科
博士前期課程 機械工学専攻
人間支援システム研究室
川口 貴生

目次

目次.....	1
第1章 序論.....	3
1.1 研究背景.....	3
1.2 研究目的.....	4
1.3 本論文の構成.....	4
第2章 ナビゲーションシステム概要.....	5
2.1 移動ロボットの構成.....	5
2.2 想定環境.....	5
2.3 シンボリックマップ.....	6
2.4 ナビゲーション方法.....	8
2.4.1 LLM に与える初期情報.....	8
2.4.2 360 度カメラを用いたランドマーク情報の検知.....	8
2.4.3 シンボリックマップを用いた自己位置推定方法.....	8
2.4.4 シンボリックマップを用いた移動指示方法.....	9
2.4.5 ナビゲーション方法のまとめ.....	9
第3章 実験.....	10
3.1 実験環境.....	10
3.1.1 仮想移動実験の環境.....	10
3.1.2 実験に用いた LLM.....	12
3.1.3 実験に用いた 360 度カメラ.....	12
3.2 初期情報として与えた文章.....	14
3.2.1 シンボリックマップ.....	14
3.2.2 カメラについての説明.....	15
3.2.3 方角の説明.....	15
3.2.4 自己位置推定の説明.....	16
3.2.5 移動指示方法の説明.....	16
3.3 文章による仮想移動実験.....	17
3.3.1 実験方法.....	17
3.3.2 実験で使用する文章.....	17
3.4 カメラ画像を用いた仮想移動実験.....	17

3.4.1 実験方法	17
3.4.2 実験で使用する文章	18
第4章 実験結果及び考察	19
4.1 文章による仮想移動実験の結果	19
4.1.1 エレベーターがカメラの背面に見られた時の指示	20
4.1.2 エレベーターがカメラの左に見られた時の指示	22
4.1.3 ノード g とノード f の間の経路での指示	24
4.1.4 2302 がカメラの左に見られた時の指示	26
4.1.5 2302 がカメラの背面に見られた時の指示	28
4.1.6 2306 がカメラの左に見られた時の指示	30
4.1.7 2308 がカメラの左に見られた時の指示	32
4.1.8 2311 がカメラの左に見られた時の指示	34
4.1.9 2315 がカメラの左に見られた時の指示	36
4.2 カメラ画像を用いた仮想移動実験の結果	38
4.2.1 エレベーターがカメラの背面に見られた時の指示	39
4.2.2 エレベーターがカメラの左に見られた時の指示	42
4.2.3 2302 がカメラの左に見られた時の指示	45
4.2.4 2302 がカメラの背面に見られた時の指示	48
4.2.5 2306 がカメラの左に見られた時の指示	51
4.2.6 2308 がカメラの左に見られた時の指示	54
4.2.7 2311 がカメラの左に見られた時の指示	57
4.2.8 2315 がカメラの左に見られた時の指示	60
4.3 考察	63
第5章 結論	64
5.1 まとめ	64
5.2 今後の課題	65
参考文献	66
謝辞	68

第 1 章

序論

1.1 研究背景

近年, 自律移動ロボットは清掃用^{[1][2]}や配達用^{[3][4]}などで徐々に実用化され社会で活躍している. それらは労働人口不足の解消や生産性の向上など社会的な問題の解決が期待されており^{[5][6]}, 現在もつくばチャレンジ^{[7][8]}など自立移動ロボットに対する研究開発は盛んに行われている. 現在の屋内移動ロボットは LiDAR を主とした SLAM ベースのナビゲーションが主流である. SLAM とは光学式測距センサー、LIDAR (Light Detection and Ranging) など各種センサーを複合的に駆使して自己位置推定と点群による環境地図作成を同時に行う技術であり, 常に大量の点群データを処理し 3 次元の形状を読み取り点群地図と合致させることで細かく精密な自己位置推定を行う^[9]. 一方で人間は目の情報と曖昧な環境情報のみを使用し自己位置推定を行うことができる. このように人間は目から多くの必要な情報を取り出せるが, ロボットは CCD カメラを通して人間のように多くの情報は取り出せないのが現状である. 屋内移動ロボットのカメラを利用した自己位置推定法は従来にも存在し^{[10][11]}, 現在もカメラビジョンを用いた SLAM^{[12][13]}など数多く研究されているがどれも特徴点やエッジ等を利用し環境を認識するものであり人間のように必要な情報を取り出して利用してはいない. このような差は人間の蓄積されている知識とロボットの持ち合わせる情報の差にある. この差を解決するため現在急速に発展している AI 技術の一つである大規模言語モデル(LLM)に着目した. LLM は事前に膨大なテキストデータが学習してあり, LLM の学習済みモデルを利用することで質問応答, テキスト生成, 翻訳, 要約, テキスト分類・評価など様々なタスクが適用できる^[14]. LLM を適用する分野は, マスメディアなどクリエイティブな情報を生成することや, 行政における答弁や説明などに利用するなど検討されており, より特定のドメインにおける専門的な知識を必要とする業務において, 例えば, 法律, 医療, 特許審査などの分野でも適用が期待されている^{[15][16][17]}. また, 入力形式としてテキストだけな

く画像なども利用できるマルチモーダルな LLM が研究開発されている^[18]。現在オープンソースの LLM でも画像認識が可能であり, LLM の画像認識を使用することで従来に比べはるかに画像内の情報を取り出すことができるようになり, 画像の情報を言語化した情報群が得られるようになった。これらのことから本研究では LLM を活用し画像からランドマークなどの必要情報を取り出すことで人間のように言語に基づくナビゲーションが可能ではないかと考えた。

1.2 研究目的

本研究では屋内自律移動ロボット用に LLM を活用して人間のような言語に基づくナビゲーションを行うシステムを提案し, その有効性検証を目的とする。

1.3 本論文の構成

本論文の構成を述べる。第 1 章で研究背景と研究目的について述べた。第 2 章では, ナビゲーションシステム概要について説明する。第 3 章では, 仮想移動実験についての詳細を述べる。第 4 章では, 実験結果と考察について述べる。最後に第 5 章では, 本研究のまとめと今後の展望について述べる。

第2章

ナビゲーションシステム概要

本章では、ナビゲーションシステムの概要について述べる。2.1 節にナビゲーションシステムの構成について、2.2 節に想定環境について、2.3 節にマップの説明について、2.4 節にナビゲーション方法を記す。

2.1 移動ロボットの構成

初めに移動ロボットの構成について記す。自律ロボットの構成機能の単純な分類は、知覚、計画、行動である。今回提案するナビゲーションシステムは知覚、計画部分のシステムである。行動部分の移動ロボットは距離センサーを用いたシンプルな障害物回避アルゴリズムを搭載し、ナビゲーションの指示に従って前進、左 90 度回転、右 90 度回転の 3 つの動作のみで移動する最低限の機能を備えたシンプルな移動ロボットを想定している。そのため今回のナビゲーションシステムでは人など動くものや、障害物など移動部分に影響する事象を考慮しないものとする。ナビゲーション方法は2.4節に記す。

2.2 想定環境

本研究のナビゲーションシステムは屋内用配送ロボットに対するナビゲーションを考える。そのため想定環境としては屋内に限定し、上下左右の4方向で行き来できるシンプルな建物を想定している。また、部屋の中には入らず建物の廊下のみを通るものとし、廊下に部屋番号プレートなど特徴的なランドマークがある場所を想定している。

2.3 シンボリックマップ

SLAM などの高精度な三次元マップに基づくナビゲーションは精度や効率がよい反面、マップ作成に多大な工数がかかり、環境の変化に対応しにくいという問題がある。これに対処する一つの方法は、マップに不正確さを許すことである^[11]。人間が移動する際も、フロアマップのような不正確を許すマップから特定のランドマーク情報を基に経由地点として使用し目的地まで移動する。その際の経路は距離情報なしでも目的地に到達することができる。不正確さを許すマップの例として三重大学機械創成棟3階のフロアマップを Fig. 2.1 に示す。

そのため本研究では不正確さを許すマップに基づくナビゲーションを行う。本研究で使用する不正確さを許すマップとして、シンボリックマップを提案する。シンボリックマップとは経由地点や目的地となる移動場所をノードとし、ノードを認識するためのランドマーク情報である属性、距離情報を与えない移動経路であるリンクの3つを組み合わせたマップである。例として三重大学機械創成棟3階のシンボリックマップを Fig. 2.2 に示す。屋内用配送ロボットに対するナビゲーションを想定し、配達先となる部屋を選び属性とした。シンボリックマップの方角は上が北、下が南、左が西、右が東として表し、丸がノード、四角が属性、黒い太線がリンクである。またノードに付随する属性とリンクの位置はノード a の北に属性 2319 や、ノード b の東と西にリンクなどそれぞれの方角情報を表す。

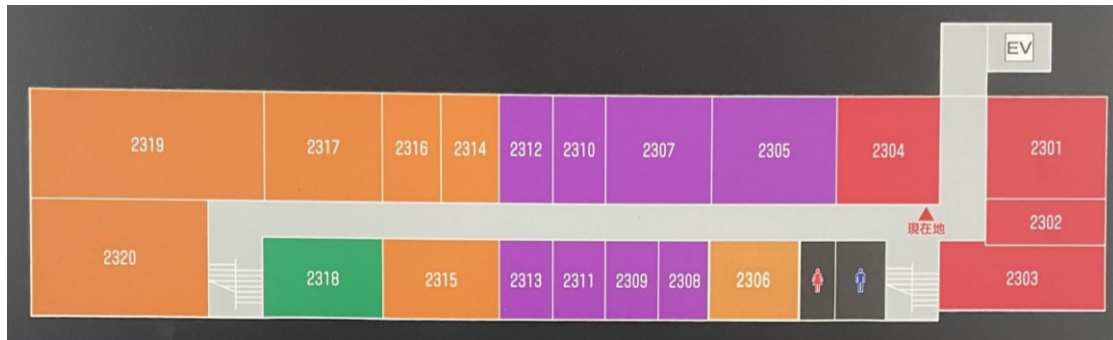


Fig. 2.1 不正確さを許すマップの例

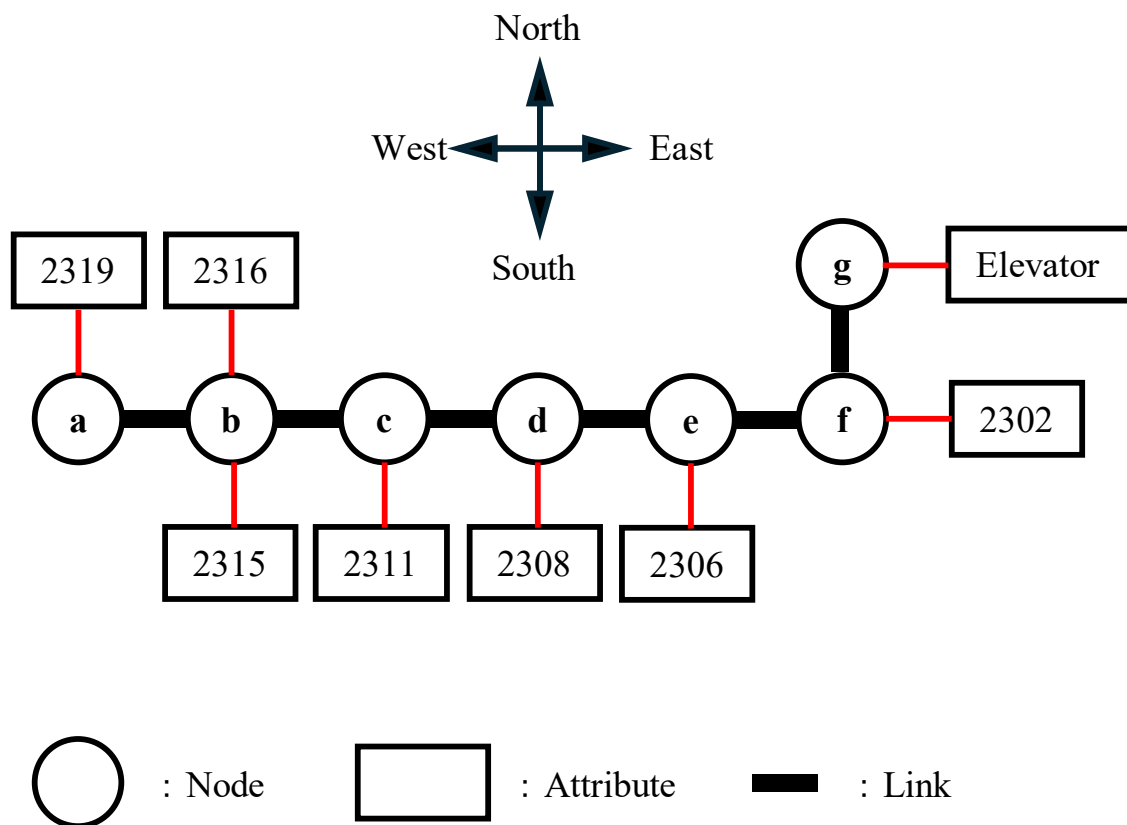


Fig. 2.2 シンボリックマップの例

2.4 ナビゲーション方法

本節では、提案するナビゲーションシステムのナビゲーション方法について述べる。2.4.1 項で LLM に与える初期情報について、2.4.2 項でナビゲーションシステムの知覚部分である 360 度カメラを用いたランドマーク情報の検知について、2.4.3 項、2.4.4 項でナビゲーションシステムの計画部分である自己位置推定方法と行動指示方法について、2.4.5 項でナビゲーション方法のまとめについて述べる。

2.4.1 LLM に与える初期情報

本研究のナビゲーションシステムは知覚部分と計画部分のすべてに LLM を使用し推定を行わせる。そのため 2.3 節で示したシンボリックマップ情報とシンボリックマップを用いた自己位置推定方法、経路決定方法、行動指示方法を LLM に初期情報として文章で教える。

2.4.2 360 度カメラを用いたランドマーク情報の検知

ナビゲーションシステムの入力として、360 度カメラを利用し移動ロボットの前後左右の 4 方向の画像を撮り LLM に入力する。これら 4 方向の画像に LLM の画像認識を用いてそれぞれの方向でシンボリックマップの属性の有無を確認する。

2.4.3 シンボリックマップを用いた自己位置推定方法

2.4.2 で得られた属性情報を基に現在のノード位置と移動ロボットの向きを推定する。初めに画像認識により得られた属性が付随するノードを現在のノード位置と推定する。属性が得られたカメラの方向とカメラ前面の向きとの回転のずれを求める。

- ・カメラの左からカメラ正面は右回り 90 度のずれ
- ・カメラの右からカメラ正面は左回り 90 度のずれ
- ・カメラの背面からカメラ正面は 180 度のずれ

求めたずれを属性のもつ方角情報の方角に適用しカメラ前面の方角を求め、移動ロボットの向きを推定する。

2.4.4 シンボリックマップを用いた移動指示方法

2.4.3 で得られた現在のノード位置と移動ロボットの向きを基に指示を決定する。

指示は前進、右回り 90 度回転、左回り 90 度回転の 3 つを組み合わせで行う。

シンボリックマップに基づいて現在のノードから目的地のノードまでの経路を確認する。確認した経路からシンボリックマップに基づいて次に移動するノードにつながるリンクの方角を確認する。移動するリンクの方角とカメラ正面の向きが一致しない場合、右回り 90 度回転か左回り 90 度回転のどちらかを指示し移動するリンクの方角にカメラ正面の向きを合わせる。移動するリンクの方角と移動ロボットの向きが一致した場合、前進を指示する。

2.4.5 ナビゲーション方法のまとめ

本研究のナビゲーションシステムはすべて LLM に推定させる。2.4.2 節の方法でランドマーク情報を確認した際、2.4.3 節の方法で現在のノードの位置と移動ロボットの向きを推定する。2.4.4 節の方法でシンボリックマップに基づいた経路決定を行い、経路に従い前進、右回り 90 度回転、左回り 90 度回転の 3 つの行動を指示する。ランドマーク情報が得られなかった場合は最後にランドマーク情報が確認できた時の現在のノードの位置と移動ロボットの向きであると仮定し移動ロボットに指示を行う。これらを繰り返し行い目的地である属性が付随したノードまで移動するシステムが今回提案するナビゲーションシステムである。

第 3 章

実験

前章で説明したナビゲーションシステムに基づいた仮想移動実験を行う。本章では、3.1 節で実験環境について、3.2 節で文章による仮想移動実験について、3.3 節でカメラ画像を用いた仮想移動実験について述べる。

3.1 実験環境

本節では、仮想移動実験の実験環境について述べる。3.1.1 項で仮想移動実験の環境について、3.1.2 項で実験に用いた LLM について、3.1.3 項で実験に用いたカメラについて述べる。

3.1.1 仮想移動実験の環境

2.1 節で示したナビゲーションの想定環境に当てはまる場所として三重大学機械創成棟 3 階を実験場所とした。画像を用いた仮想移動実験では実際に移動ロボットは使わず、シンプルな障害物回避アルゴリズムにより廊下の真ん中を移動していると仮定し、360 度カメラを取り付けた三脚をオペレーターが移動させて写真を撮った。三脚の高さは約 130cm の配送ロボットを想定した。移動ロボットを想定して 360 度カメラを乗せた三脚を Fig 3.1 に示す。



Fig 3.1 移動ロボットを想定して 360 度カメラを乗せた三脚

3.1.2 実験に用いた LLM

実験で使用する LLM は OpenAI の ChatGPT-4o を使用する^[19]。OpenAI 社は、イーロン・マスク氏らアメリカの企業家や投資家などによって 2015 年に設立され、人工知能の研究・開発を行っている^[20]。ChatGPT とは、2022 年 11 月に OpenAI 社がリリースした自然言語処理モデルである。対話型の言語モデルを使用しているため、人間のように自然な会話形式で回答できるのが特徴である。また、大量のテキストデータを学習することで精度の高いやり取りを可能にしている。ChatGPT のモデルの一つで 2024 年 5 月に GPT-4o が OpenAI 社から発表された。ChatGPT で利用できる言語モデルで 2025 年 1 月現在、最も高度なものが GPT-4o であり画像を読み込んで認識・処理することも可能である。そのためこのモデルを使用することで今回提案するナビゲーションシステムを実現できると考えた。ChatGPT は基本無料で使用できるが無料版だと GPT-4o のアクセス制限があるため本研究では月額制の ChatGPT Plus というプランに入り使用している。ChatGPT にはメモリという機能があり、「～を覚えておいて」などのテキストを与えるとメモリに保存しチャット間で詳細を記憶しておくことができる^[21]。本研究ではこの機能を使用し、初期情報を ChatGPT に記憶させておく。ChatGPT に与える初期情報については 3.2 節で示す。

3.1.3 実験に用いた 360 度カメラ

実験で使用する 360 度カメラは RICOH の THETA S を使用する^[22]。THETA S は 2 つの 1/2.3 型 12M CMOS センサーと F2.0 レンズにより高解像度で 360° 画像を撮影することができる。360 度画像は 5376px×2688px の 1 枚の画像として出力される。画像例を Fig 3.2 に示す。この一枚の画像を 1344px×1344px のサイズで正面、背面、右、左の 4 方向に切り取り、実験に使用する。画像名を用いて LLM に入力した画像がカメラのどの方向かを判断させるため名前はそれぞれ front_”元の画像名”, behind_”元の画像名”, right_”元の画像名”, left_”元の画像名”とした。例として Fig 3.2 を 4 方向に分けたものを Fig 3.3, Fig 3.4, Fig 3.5, Fig 3.6 に示す。



Fig. 3.2 360度画像例

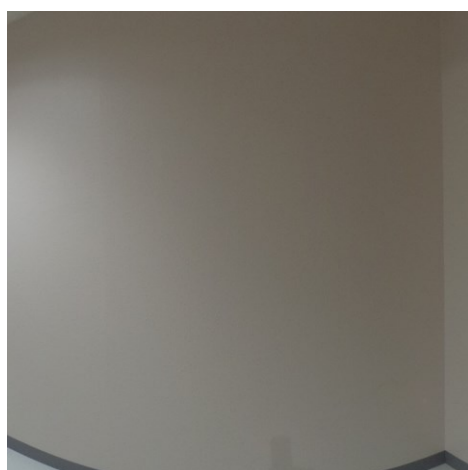


Fig 3.3 切り取ったカメラ正面

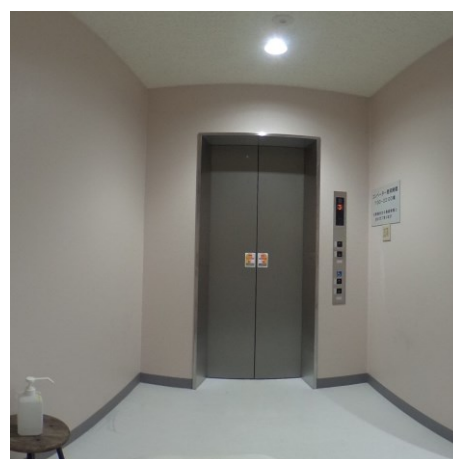


Fig 3.4 切り取ったカメラ背面

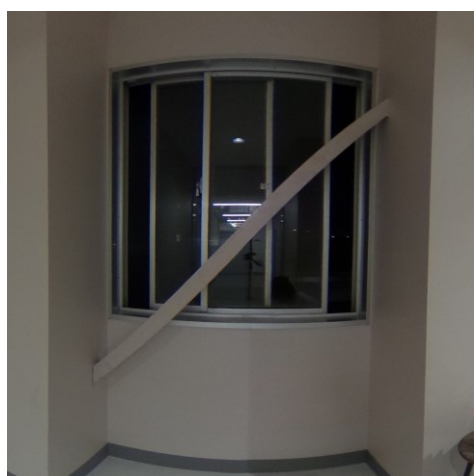


Fig 3.5 切り取ったカメラ右



Fig 3.6 切り取ったカメラ左

3.2 初期情報として与えた文章

本節では、初期情報として ChatGPT に与えた文章について述べる。3.2.1 項でシンボリックマップについて、3.2.2 項でカメラの説明について、3.2.3 項で方角の説明について、3.2.4 項で自己位置推定の説明について、3.2.5 項で移動指示の説明について述べる。

3.2.1 シンボリックマップ

シンボリックマップについての文章情報は以下の文章を覚えさせた。「マップは丸の中に英文字で書かれたノードと黒線で書かれたリンクとノードに赤線でつながっている四角の中にランドマーク情報が書かれた属性の3つで構成されている。ノードは自己位置を特定する場所である。リンクは通路であり移動する際はリンクを通らなければならない。属性はノードを特定するためのランドマーク情報である。マップの方角は北東南西の4方向で表せる。ノード a には東にノード b とつながるリンクが付随しており北に 2319 という属性が付随している。ノード b には西にノード a とつながるリンク、東にノード c とつながるリンク、北に 2316 という属性、南に 2315 という属性が付随している。ノード c には西にノード b とつながるリンク、東にノード d とつながるリンク、南に 2311 という属性が付随している。ノード d には西にノード c とつながるリンク、東にノード e とつながるリンク、南に 2308 という属性が付随している。ノード e には西にノード d とつながるリンク、東にノード f とつながるリンク、南に 2306 という属性が付随している。ノード f には西にノード e とつながるリンク、北にノード g とつながるリンク、東に 2302 という属性が付随している。ノード g には南にノード f とつながるリンク、東に Elevator という属性が付随している。」

この文章情報から ChatGPT により出力されたマップ Fig 3.7 に示す。

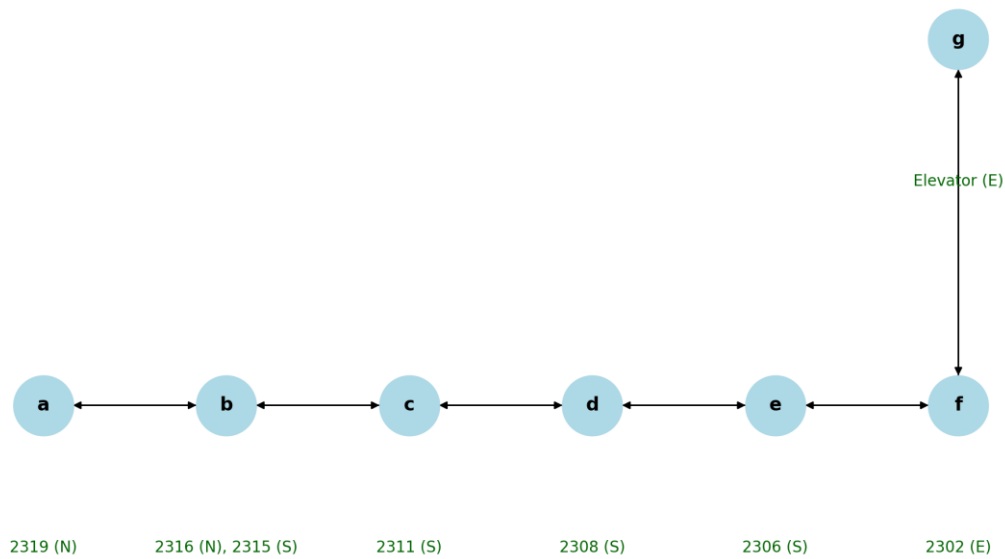


Fig 3.7 ChatGPT により出力されたシンボリックマップ

3.2.2 カメラについての説明

カメラの説明についての文章情報は以下の文章を覚えさせた.

「 [カメラルール]

カメラは正面, 背面, 右, 左の 4 方向で表せる. カメラの正面はカメラの右を左回り 90 度に回転した方角になる. カメラの正面はカメラの左を右回り 90 度に回転した方角になる. カメラの正面はカメラの背面の方角を 180 度回転させた方角になる.」

3.2.3 方角の説明

ChatGPT は方角について東西南北という文字としては知っていたがそれぞれの関係性までは正しく理解していなかった. そのため方角の関係性についても初期情報として教える. 方角の説明についての文章情報は以下の文章を覚えさせた

「 [方角回転ルール]

- ・「北」から「東」は右回り 90 度回転.
- ・「東」から「南」は右回り 90 度回転.
- ・「南」から「西」は右回り 90 度回転.
- ・「西」から「北」は右回り 90 度回転.
- ・「北」から「西」は左回り 90 度回転.
- ・「西」から「南」は左回り 90 度回転.
- ・「南」から「東」は左回り 90 度回転.
- ・「東」から「北」は左回り 90 度回転.
- ・「北」↔「南」は 180 度回転.
- ・「東」↔「西」は 180 度回転.」

3.2.4 自己位置推定の説明

自己位置推定の説明についての文章情報は以下の文章を覚えさせた。

「 [自己位置推定の手順]

1. 属性を認識したカメラの方向を確認する。
2. 属性を認識したカメラの方向からカメラの正面までの回転を[カメラルール]に基づき求める。
3. 認識された属性の付随する方角に、2 で求めた回転を[方角回転ルール]に基づき適用し、カメラの正面の方角とする。
4. 認識された属性の付随するノードを現在のノードとする。
5. 現在のノードとカメラの正面の方角を出力する。

注意点

- ・ マップ情報にある属性以外は使用しない。
- ・ 手順を順に従い正しく行う。
- ・ 勝手な推測をしない。
- ・ 属性が確認できなかった場合、ひとつ前に自己位置推定で出力した回答と同じ回答をする。 」

3.2.5 移動指示方法の説明

移動指示方法の説明についての文章情報は以下の文章を覚えさせた。

「 [移動指示の手順]

1. 目的地までの経路をマップ情報から確認する。
2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方角をマップ情報から確認する。
3. カメラ正面の方角から次に進むリンクの方角の回転を[方角回転ルール]に基づいて求める。
4. 3 の回転があればその回転を出力。回転がなければ前進を出力。

注意点

- ・ 手順を順に従い正しく行う。
- ・ 勝手な推測をしない。 」

3.3 文章による仮想移動実験

本節では、文章による仮想移動実験について述べる。3.3.1 項で実験方法について、3.3.2 項で実験に使用する文章について述べる。

3.3.1 実験方法

3.2 節で示した初期情報を与えた ChatGPT を使用する。

初期位置をノード **g**、カメラの向きは西と仮定し、初期位置から 2315 を属性として持つノード **b** まで仮想移動実験を行う。その際、カメラで確認できるランドマーク情報を LLM に文章で与えてナビゲーションを行う。この実験では与えた初期情報を正しく使用することが可能であるかの確認と、ナビゲーションを行うことが可能であるかの確認した。

3.3.2 実験で使用する文章

以下の文章を元としてカメラの4方向の位置で得られるランドマーク情報を書き込み、ChatGPT に目的地までの指示を出力させた。

「カメラの背面： カメラの正面： カメラの左： カメラの右： 自己位置推定の手順から出力して。目的地を 2315 とする。自己位置推定の手順による出力から移動の方法により出力せよ。」

3.4 カメラ画像を用いた仮想移動実験

本節では、文章による仮想移動実験について述べる。3.4.1 節で実験方法について、3.4.2 節で実験に使用する文章について述べる。

3.4.1 実験方法

3.2 節で示した初期情報を与えた ChatGPT を使用する。

初期位置をノード **g**、カメラの向きは西と仮定し、初期位置から 2315 を属性として

持つノード b まで仮想移動実験を行う。この実験では 3.1.3 節で示した 4 方向の画像を LLM に入力として与えて取り出したランドマーク情報からナビゲーションを行う。しかし、ChatGPT は一度に処理できるテキストの長さや情報量に制限があり、非常に長いテキストや多くのファイル情報を一度に処理しようとする、モデルが効率的に処理するためにその一部を省略することがある。またメモリ制約として各会話には一時的なメモリ制限があり、大量の情報を保持したまま処理を続けることは難しい場合がある。実際にカメラ 4 方向の画像を同時に処理しようすると正確な画像認識がされない。

そこでこの実験では LLM にカメラ画像を 1 枚ずつ入力として与え正しく画像認識させて得たランドマーク情報を使用し、ナビゲーションを行うことができるかを確認した。

3.4.2 実験で使用する文章

以下の文章とカメラ 4 方向の各画像を LLM に入力し、画像からカメラの方向とランドマーク情報を取り出した。

「ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。」

次にカメラ 4 方向の各情報を一つにまとめ、マップに基づく属性の有無を確かめるため以下の文章を入力した。

「4 つ前までの回答からカメラ 4 方向の属性の有無をマップの情報に基づいて確認して」

最後に以下の文章を入力しカメラ 4 方向のまとめた情報から ChatGPT に目的地までの指示を出力させた。

「ひとつ前の回答を用いて自己位置推定の手順に従い出力して。目的地を 2315 とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。」

第4章

実験結果及び考察

本章では、3.2, 3.3 節で述べた仮想移動実験について、4.1 節で文章による仮想移動実験の結果、4.2 節でカメラ画像を用いた仮想移動実験の結果、4.3 節で 4.1 節、4.2 節の結果を関連付けた考察を述べる。

4.1 文章による仮想移動実験の結果

本節では初期位置をノード g, カメラの向きは西と仮定し、初期位置から 2315 を属性として持つノード b まで仮想移動実験を行った。4.1.1 項で初期位置であるエレベーターがカメラの背面に見られた時の指示について、4.1.2 項でエレベーターがカメラの左に見られた時の指示について、4.1.3 項でノード g とノード f の間の経路での指示について、4.1.4 項で 2302 がカメラの左に見られた時の指示について、4.1.5 項で 2302 がカメラの背面に見られた時の指示について、4.1.6 項で 2306 がカメラの左に見られた時の指示について、4.1.7 項で 2308 がカメラの左に見られた時の指示について、4.1.8 項で 2311 がカメラの左に見られた時の指示について、4.1.9 項で 2315 がカメラの左に見られた時の指示について述べる。

4.1.1 エレベーターがカメラの背面に見られた時の指示

初期位置をノード g, 移動ロボットの向きは西を向いていると想定して, その時得られるランドマーク情報を 3.3.2 節で示した文章に追加し ChatGPT に与えた. 与えた文章は以下の通りである.

「カメラの背面: エレベーター カメラの正面: ランドマーク情報なし カメラの左: ランドマーク情報なし カメラの右: ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順に従い出力して. 目的地を 2315 とする. 自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して.」

与えた文章から ChatGPT より出力された文章を Fig 4.1 に示す. ChatGPT により得られた出力は入力したランドマーク情報を適切に使用し, 現在ノード位置をノード g, カメラ正面の向きを西と正しく推定できた. そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し, 推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向きの違いから, 左回り 90 度回転という正しい回転を指示することができた.

カメラの背面：エレベーター カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：ランドマーク情報なし カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順に従い出力して。目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。

自己位置推定の手順に従い計算

1. 属性を認識したカメラの方向を確認する
 - 認識した属性: エレベーター (Elevator)
 - カメラの方向: 背面
2. カメラの方向から正面までの回転を求める
 - 「正面」=「背面」を180度回転 (カメラルールより)
 - 回転方向: 180度
3. 認識された属性の付随する方角に回転を適用する
 - エレベーターはノードgの東にある (マップ情報より)
 - 「東」を180度回転すると「西」 (方角回転ルールより)
 - カメラの正面の方角は「西」
4. 現在のノードを確定する
 - エレベーターはノードgに付随している
 - 現在のノードは「g」
5. 出力
 - 現在のノード: g
 - カメラの正面の方角: 西

自己位置推定の結果

「g, 西」

移動指示の手順に従い計算 (目的地: 2315)

1. 目的地までの経路を確認
 - 目的地は 2315 (ノードbの南にある)。
 - 現在のノードは g。
 - 経路: $g \rightarrow f \rightarrow e \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b$ (2315があるノード)。
2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方角を確認
 - ノードg から ノードf へのリンクは「南」 (マップ情報より)。
3. カメラ正面の方角から次に進むリンクの方角の回転を求める
 - カメラの正面は「西」 (自己位置推定の結果より)。
 - 「西」から「南」への回転を確認
 - 「西」→「南」は左回り90度 (方角回転ルールより)。
4. 回転があれば出力
 - 左回り90度を出力。

最終的な出力

自己位置推定の結果

「g, 西」

移動指示の結果

「左回り90度」

Fig4.1 ChatGPT より出力された文章

4.1.2 エレベーターがカメラの左に見られた時の指示

4.1.1 節の指示により左回り 90 度回転したと仮定する．その時カメラから得られるランドマーク情報はカメラの左にエレベーターである．3.3.2 節で示した文章に追加し ChatGPT に与えた．与えた文章は以下の通りである．

「カメラの背面：ランドマーク情報なし カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：エレベーター カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順から出力して。目的地を 2315 とする。自己位置推定の手順による出力から移動の方法により出力せよ。」

与えた文章から ChatGPT より出力された文章 Fig 4.2 に示す．ChatGPT により得られた出力は入力したランドマーク情報を適切に使用し，現在ノード位置をノード g，カメラ正面の向きを南と正しく推定できた．そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し，推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向きが同じであることから前進を指示することができた．

カメラの背面：ランドマーク情報なし カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：エレベーター カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順に従い出力して。目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。



自己位置推定の手順に従い計算

1. 属性を認識したカメラの方向を確認する
 - 認識した属性: エレベーター (Elevator)
 - カメラの方向: 左
2. カメラの方向から正面までの回転を求める
 - 「正面」=「左」を右回り90度回転 (カメラルールより)
 - 回転方向: 右回り90度
3. 認識された属性の付随する方向に回転を適用する
 - エレベーターはノードgの東にある (マップ情報より)
 - 「東」を右回り90度回転すると「南」 (方向回転ルールより)
 - カメラの正面の方向は「南」
4. 現在のノードを確定する
 - エレベーターはノードgに付随している
 - 現在のノードは「g」
5. 出力
 - 現在のノード: g
 - カメラの正面の方向: 南

自己位置推定の結果

「g, 南」

移動指示の手順に従い計算 (目的地: 2315)

1. 目的地までの経路を確認
 - 目的地は 2315 (ノードbの南にある)。
 - 現在のノードは g。
 - 経路: $g \rightarrow f \rightarrow e \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b$ (2315があるノード)。
2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方向を確認
 - ノードg からノードf へのリンクは「南」 (マップ情報より)。
3. カメラ正面の方向から次のノードに進むリンクの方向の回転を求める
 - カメラの正面は「南」 (自己位置推定の結果より)。
 - 「南」から「南」への回転を確認
 - 回転なし (方向回転ルールより)。
4. 回転がなければ前進を出力
 - 前進を出力。

最終的な出力

自己位置推定の結果

「g, 南」

移動指示の結果

「前進」

Fig 4.2 ChatGPT より出力された文章

4.1.3 ノード g とノード f の間の経路での指示

4.1.2 節の指示により前進していると仮定する. ノード g とノード f の間の経路ではカメラからランドマーク情報は得られない. 3.3.2 節で示した文章に追加し ChatGPT に与えた. 与えた文章は以下の通りである.

「カメラの背面：ランドマーク情報なし カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：ランドマーク情報なし カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順から出力して。目的地を 2315 とする。自己位置推定の手順による出力から移動の方法により出力せよ。」

与えた文章から ChatGPT より出力された文章を Fig 4.3 に示す. ChatGPT により得られた出力は入力したランドマーク情報を適切に使用し, ノード g, カメラ正面の向きを南と正しく推定できた. そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し, 推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向きが同じであることから前進を指示することができた.

カメラの背面：ランドマーク情報なし カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：ランドマーク情報なし カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順に従い出力して。目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。



自己位置推定の手順に従い計算

1. 属性を認識したカメラの方向を確認する
 - 認識された属性: なし (どのカメラ方向にもランドマーク情報なし)。
2. 自己位置推定の特例処理を確認
 - 手順の注意点: 「属性が確認できなかった場合、ひとつ前に自己位置推定で出力した回答と同じ回答をする」
3. 前回の自己位置推定の結果を適用
 - 前回の結果が「g, 南」だった場合、同じ結果を適用する。
4. 出力
 - 現在のノード: g
 - カメラの正面の方角: 南

自己位置推定の結果

「g, 南」

移動指示の手順に従い計算 (目的地: 2315)

1. 目的地までの経路を確認
 - 目的地は 2315 (ノードbの南にある)。
 - 現在のノードは g。
 - 経路: $g \rightarrow f \rightarrow e \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b$ (2315があるノード)。
2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方角を確認
 - ノードg から ノードf へのリンクは「南」(マップ情報より)。
3. カメラ正面の方角から次に進むリンクの方角の回転を求める
 - カメラの正面は「南」(自己位置推定の結果より)。
 - 「南」から「南」への回転を確認
 - 回転なし (方角回転ルールより)。
4. 回転がなければ前進を出力
 - 前進を出力。

最終的な出力

自己位置推定の結果

「g, 南」

移動指示の結果

「前進」

Fig 4.3 ChatGPT より出力された文章

4.1.4 2302 がカメラの左に見られた時の指示

4.1.3 節の指示により 2302 がカメラの左に見られる位置まで前進したと仮定する。3.3.2 節で示した文章にランドマーク情報を追加し ChatGPT に与えた。与えた文章は以下の通りである。

「カメラの背面：ランドマーク情報なし カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：2302 カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順から出力して。目的地を 2315 とする。自己位置推定の手順による出力から移動の方法により出力せよ。」

与えた文章から ChatGPT より出力された文章を Fig 4.4 に示す。ChatGPT により得られた出力は入力したランドマーク情報を適切に使用し、現在ノード位置をノード f、カメラ正面の向きを南と正しく推定できた。そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し 推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向きの違いから、右回り 90 度回転という正しい回転を指示することができた。

カメラの背面：ランドマーク情報なし カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：2302 カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順に従い出力して。目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。



自己位置推定の手順に従い計算

- 属性を認識したカメラの方向を確認する
 - 認識した属性: 2302
 - カメラの方向: 左
- カメラの方向から正面までの回転を求める
 - 「正面」=「左」を右回り90度回転（カメラルールより）
 - 回転方向: 右回り90度
- 認識された属性の付随する方角に回転を適用する
 - 2302はノードfの東にある（マップ情報より）
 - 「東」を右回り90度回転すると「南」（方角回転ルールより）
 - カメラの正面の方角は「南」
- 現在のノードを確定する
 - 2302はノードfに付随している
 - 現在のノードは「f」
- 出力
 - 現在のノード: f
 - カメラの正面の方角: 南

自己位置推定の結果

「f, 南」

移動指示の手順に従い計算（目的地: 2315）

- 目的地までの経路を確認
 - 目的地は 2315（ノードbの南にある）。
 - 現在のノードは f。
 - 経路: f → e → d → c → b（2315があるノード）。
- 現在のノードから次のノードに進むリンクの方角を確認
 - ノードf からノードe へのリンクは「西」（マップ情報より）。
- カメラ正面の方角から次に進むリンクの方角の回転を求める
 - カメラの正面は「南」（自己位置推定の結果より）。
 - 「南」から「西」への回転を確認
 - 「南」→「西」は右回り90度（方角回転ルールより）。
- 回転があれば出力
 - 右回り90度を出力。

最終的な出力

自己位置推定の結果

「f, 南」

移動指示の結果

「右回り90度」

Fig 4.4 ChatGPT より出力された文章

4.1.5 2302 がカメラの背面に見られた時の指示

4.1.4 節の指示により右回り 90 度回転したと仮定する．その時カメラから得られるランドマーク情報はカメラの背面に 2302 である．3.3.2 節で示した文章に追加し ChatGPT に与えた．与えた文章は以下の通りである．

「カメラの背面：2302 カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：ランドマーク情報なし カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順から出力して．目的地を 2315 とする．自己位置推定の手順による出力から移動の方法により出力せよ。」

与えた文章から ChatGPT より出力された文章を Fig 4.5 に示す．ChatGPT により得られた出力は入力したランドマーク情報を適切に使用し，現在ノード位置をノード f，カメラ正面の向きを西と正しく推定できた．そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し，推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向きが同じであることから前進を指示することができた．

カメラの背面: 2302 カメラの正面: ランドマーク情報なし カメラの左: ランドマーク情報なし カメラの右: ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順に従い出力して。目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。



自己位置推定の手順に従い計算

1. 属性を認識したカメラの方向を確認する
 - 認識した属性: 2302
 - カメラの方向: 背面
2. カメラの方向から正面までの回転を求める
 - 「正面」=「背面」を180度回転 (カメラルールより)
 - 回転方向: 180度
3. 認識された属性の付随する方向に回転を適用する
 - 2302はノードfの東にある (マップ情報より)
 - 「東」を180度回転すると「西」(方向回転ルールより)
 - カメラの正面の方向は「西」
4. 現在のノードを確定する
 - 2302はノードfに付随している
 - 現在のノードは「f」
5. 出力
 - 現在のノード: f
 - カメラの正面の方向: 西

自己位置推定の結果

「f, 西」

移動指示の手順に従い計算 (目的地: 2315)

1. 目的地までの経路を確認
 - 目的地は 2315 (ノードbの南にある)。
 - 現在のノードは f。
 - 経路: f → e → d → c → b (2315があるノード)。
2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方向を確認
 - ノードf から ノードe へのリンクは「西」(マップ情報より)。
3. カメラ正面の方向から次に進むリンクの方向の回転を求める
 - カメラの正面は「西」(自己位置推定の結果より)。
 - 「西」から「西」への回転を確認
 - 回転なし (方向回転ルールより)。
4. 回転がなければ前進を出力
 - 前進を出力。

最終的な出力

自己位置推定の結果

「f, 西」

Fig 4.5 ChatGPT より出力された文章

4.1.6 2306 がカメラの左に見られた時の指示

4.1.5 節の指示により 2306 がカメラの左に見られる位置まで前進したと仮定する。
3.3.2 節で示した文章に追加し ChatGPT に与えた。与えた文章は以下の通りである。

「カメラの背面：ランドマーク情報なし カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：2306 カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順から出力して。目的地を 2315 とする。自己位置推定の手順による出力から移動の方法により出力せよ。」

与えた文章から ChatGPT より出力された文章を Fig 4.6 に示す。ChatGPT により得られた出力は入力したランドマーク情報を適切に使用し、現在ノード位置をノード e、カメラ正面の向きを西と正しく推定できた。そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し、推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向きが同じであることから前進を指示することができた。

カメラの背面：ランドマーク情報なし カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：2306 カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順に従い出力して。目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。

自己位置推定の手順に従い計算

1. 属性を認識したカメラの方向を確認する
 - 認識した属性: 2306
 - カメラの方向: 左
2. カメラの方向から正面までの回転を求める
 - 「正面」=「左」を右回り90度回転（カメラルールより）
 - 回転方向: 右回り90度
3. 認識された属性の付随する方角に回転を適用する
 - 2306はノードeの南にある（マップ情報より）
 - 「南」を右回り90度回転すると「西」（方角回転ルールより）
 - カメラの正面の方角は「西」
4. 現在のノードを確定する
 - 2306はノードeに付随している
 - 現在のノードは「e」
5. 出力
 - 現在のノード: e
 - カメラの正面の方角: 西

自己位置推定の結果

「e, 西」

移動指示の手順に従い計算（目的地: 2315）

1. 目的地までの経路を確認
 - 目的地は 2315（ノードbの南にある）。
 - 現在のノードは e。
 - 経路: $e \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b$ （2315があるノード）。
2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方角を確認
 - ノードe からノードd へのリンクは「西」（マップ情報より）。
3. カメラ正面の方角から次に進むリンクの方角の回転を求める
 - カメラの正面は「西」（自己位置推定の結果より）。
 - 「西」から「西」へは回転なし（方角回転ルールより）。
4. 回転がなければ前進を出力
 - そのまま前進を出力。

最終的な出力

自己位置推定の結果

「e, 西」

移動指示の結果

「前進」

Fig 4.6 ChatGPT より出力された文章

4.1.7 2308 がカメラの左に見られた時の指示

4.1.6 節の指示により 2308 がカメラの左に見られる位置まで前進したと仮定する。
3.3.2 節で示した文章に追加し ChatGPT に与えた。与えた文章は以下の通りである。

「カメラの背面：ランドマーク情報なし カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：2308 カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順から出力して。目的地を 2315 とする。自己位置推定の手順による出力から移動の方法により出力せよ。」

与えた文章から ChatGPT より出力された文章を Fig 4.7 に示す。ChatGPT により得られた出力は入力したランドマーク情報を適切に使用し、現在ノード位置をノード d、カメラ正面の向きを西と正しく推定できた。そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し、推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向きが同じであることから前進を指示することができた。

カメラの背面：ランドマーク情報なし カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：2308 カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順に従い出力して。目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。

㊦ 自己位置推定の手順に従い計算

1. 属性を認識したカメラの方向を確認する
 - 認識した属性: 2308
 - カメラの方向: 左
2. カメラの方向から正面までの回転を求める
 - 「正面」=「左」を右回り90度回転（カメラルールより）
 - 回転方向: 右回り90度
3. 認識された属性の付随する方角に回転を適用する
 - 2308はノードdの南にある（マップ情報より）
 - 「南」を右回り90度回転すると「西」（方角回転ルールより）
 - カメラの正面の方角は「西」
4. 現在のノードを確定する
 - 2308はノードdに付随している
 - 現在のノードは「d」
5. 出力
 - 現在のノード: d
 - カメラの正面の方角: 西

自己位置推定の結果

「d, 西」

移動指示の手順に従い計算（目的地: 2315）

1. 目的地までの経路を確認
 - 目的地は 2315（ノードbの南にある）。
 - 現在のノードは d。
 - 経路: d → c → b（2315があるノード）。
2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方角を確認
 - ノードd から ノードc へのリンクは「西」（マップ情報より）。
3. カメラ正面の方角から次に進むリンクの方角の回転を求める
 - カメラの正面は「西」（自己位置推定の結果より）。
 - 「西」から「西」へは回転なし（方角回転ルールより）。
4. 回転がなければ前進を出力
 - そのまま前進を出力。

最終的な出力

自己位置推定の結果

「d, 西」

移動指示の結果

「前進」

Fig 4.7 ChatGPT より出力された文章

4.1.8 2311 がカメラの左に見られた時の指示

4.1.7 節の指示により 2311 がカメラの左に見られる位置まで前進したと仮定する。
3.3.2 節で示した文章に追加し ChatGPT に与えた。与えた文章は以下の通りである。

「カメラの背面：ランドマーク情報なし カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：2311 カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順から出力して。目的地を 2315 とする。自己位置推定の手順による出力から移動の方法により出力せよ。」

与えた文章から ChatGPT より出力された文章を Fig 4.8 に示す。ChatGPT により得られた出力は入力したランドマーク情報を適切に使用し、現在ノード位置をノード c、カメラ正面の向きを西と正しく推定できた。そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し、推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向きが同じであることから前進を指示することができた。

カメラの背面：ランドマーク情報なし カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：2311 カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順に従い出力して。目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。



自己位置推定の手順に従い計算

1. 属性を認識したカメラの方向を確認する
 - 認識した属性: 2311
 - カメラの方向: 左
2. カメラの方向から正面までの回転を求める
 - 「正面」=「左」を右回り90度回転（カメラルールより）
 - 回転方向: 右回り90度
3. 認識された属性の付随する方角に回転を適用する
 - 2311はノードcの南にある（マップ情報より）
 - 「南」を右回り90度回転すると「西」（方角回転ルールより）
 - カメラの正面の方角は「西」
4. 現在のノードを確定する
 - 2311はノードcに付随している
 - 現在のノードは「c」
5. 出力
 - 現在のノード: c
 - カメラの正面の方角: 西

自己位置推定の結果

「c, 西」

移動指示の手順に従い計算（目的地: 2315）

1. 目的地までの経路を確認
 - 目的地は 2315（ノードbの南にある）。
 - 現在のノードは c。
 - 経路: c → b（2315があるノード）。
2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方角を確認
 - ノードc から ノードb へのリンクは「西」（マップ情報より）。
3. カメラ正面の方角から次に進むリンクの方角の回転を求める
 - カメラの正面は「西」（自己位置推定の結果より）。
 - 「西」から「西」へは回転なし（方角回転ルールより）。
4. 回転がなければ前進を出力
 - そのまま前進を出力。

最終的な出力

自己位置推定の結果

「c, 西」

移動指示の結果

「前進」

Fig 4.8 ChatGPT より出力された文章

4.1.9 2315 がカメラの左に見られた時の指示

4.1.8 節の指示により 2315 がカメラの左に見られる位置まで前進したと仮定する。
3.3.2 節で示した文章に追加し ChatGPT に与えた。与えた文章は以下の通りである。

「カメラの背面：ランドマーク情報なし カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：2315 カメラの右：ランドマーク情報なし 自己位置推定の手順から出力して。目的地を 2315 とする。自己位置推定の手順による出力から移動の方法により出力せよ。」

与えた文章から ChatGPT より出力された文章を Fig 4.9 に示す。ChatGPT により得られた出力は入力したランドマーク情報を適切に使用し、現在ノード位置をノード b、カメラ正面の向きを西と正しく推定できた。そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し、目的地であると確認できた。

カメラの背面：ランドマーク情報なし カメラの正面：ランドマーク情報なし カメラの左：2315 カメラの右：2316 自己位置推定の手順に従い出力して。目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。



自己位置推定の手順に従い計算

1. 属性を認識したカメラの方向を確認する
 - 認識した属性: 2315 (カメラの左)、2316 (カメラの右)
2. カメラの方向から正面までの回転を求める
 - 2315 はカメラの左にある → 「正面」=「左」を右回り90度回転 (カメラルールより) → 右回り90度
 - 2316 はカメラの右にある → 「正面」=「右」を左回り90度回転 (カメラルールより) → 左回り90度
3. 認識された属性の付随する方角に回転を適用する
 - 2315はノードbの南にある (マップ情報より)
 - 「南」を右回り90度回転すると「西」(方角回転ルールより)
 - 2316はノードbの北にある (マップ情報より)
 - 「北」を左回り90度回転すると「西」(方角回転ルールより)
 - どちらもカメラの正面の方角は「西」
4. 現在のノードを確定する
 - 2315と2316の両方がノードbに付随している
 - 現在のノードは「b」
5. 出力
 - 現在のノード: b
 - カメラの正面の方角: 西

自己位置推定の結果

「b, 西」

移動指示の手順に従い計算 (目的地: 2315)

1. 目的地までの経路を確認
 - 目的地は 2315 (ノードbの南にある)。
 - 現在のノードは b。
 - ノードbがすでに目的地のノードであるため移動は不要。
2. 出力
 - 「到着」

最終的な出力

自己位置推定の結果

「b, 西」

移動指示の結果

「到着」

Fig 4.9 ChatGPT より出力された文章

4.2 カメラ画像を用いた仮想移動実験の結果

本節では初期位置をノード g, カメラの向きは西と仮定し, 初期位置から 2315 を属性として持つノード b まで仮想移動実験を行った. 4.2.1 項で初期位置であるエレベーターがカメラの背面に見られた時の指示について, 4.2.2 項でエレベーターがカメラの左に見られた時の指示について, 4.2.3 項で 2302 がカメラの左に見られた時の指示について, 4.2.4 項で 2302 がカメラの背面に見られた時の指示について, 4.2.5 項で 2306 がカメラの左に見られた時の指示について, 4.2.6 項で 2308 がカメラの左に見られた時の指示について, 4.2.7 項で 2311 がカメラの左に見られた時の指示について, 4.2.8 項で 2315 がカメラの左に見られた時の指示について述べる.

4.2.1 エレベーターがカメラの背面に見られた時の指示

初期位置をノード g, 移動ロボットの向きは西を向いていると想定する. その時得られる4方向のカメラ画像と 3.4.2 節に示した文章を ChatGPT に入力した.

与えた文章と画像から ChatGPT より画像の情報を取り出した文章を Fig 4.10, 画像の情報からシンボリックマップに基づく情報を取り出した文章を Fig 4.11, シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章からナビゲーションの指示を行った文章を Fig 4.12 で示す. ChatGPT は4つの画像からカメラの向きと画像内の情報を取り出すことができた. ChatGPT により得られた出力は画像の情報を適切に使用し, 現在ノード位置をノード g, カメラ正面の向きを西と正しく推定できた. そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し, 推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向きの違いから, 左回り 90 度回転という正しい回転を指示することができた.



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

⑨ アップロードされた画像のファイル名が "behind_R0010187.jpg" であるため、このファイルは「背面」のカメラで撮影された可能性があります。

画像に写っているもの：

- エレベーター：中央にエレベーターの扉が写っています。
- 操作パネル：エレベーターの右側にボタンや表示があります。
- 案内表示：操作パネルの上に営業時間や注意書きが記載されたプレートが見えます。
- 消毒液：左側に消毒液が置かれています。
- 背景：明るい壁と床のシンプルな室内環境。

この画像のエレベーターは「ノード g」の東側に位置しているエレベーターであると推測されます。



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

⑩ アップロードされた画像のファイル名が "front_R0010187.jpg" であるため、このファイルは「正面」のカメラで撮影された可能性があります。

画像に写っているもの：

- 壁面：シンプルな壁が写っています。
- コーナー：右側に壁の角が見えます。
- 床：明るい色の床が一部見えます。
- 影：カメラまたは何らかの物体の影が一部映り込んでいます。

この画像には特定のランドマークや属性は確認できません。マップ情報と照らし合わせた結果、正面の方向にはランドマークが存在しない可能性が高いです。



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

⑪ アップロードされた画像のファイル名が "left_R0010187.jpg" であるため、このファイルは「左」のカメラで撮影された可能性があります。

画像に写っているもの：

- 廊下：中央には長い廊下があり、奥にドアや消火器が確認できます。
- 掃除用具：廊下の左側に掃除用具（モップやバケツ）が置かれています。
- 床面の物体：手前の床に工具（青と黒の持ち手のついたもの）が置かれています。
- 照明：天井には蛍光灯が並び、明るく照らされています。
- 境目：手前の明るい床と奥のカーペット状の床の境目が確認できます。

この画像の廊下は、ノード g からノード f へと続く方向（西）に対応している可能性があります。ただし、マップ上にこれらの具体的なランドマーク（掃除用具や工具）は記載されていないため、属性としての確認はできません。



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

⑫ アップロードされた画像のファイル名が "right_R0010187.jpg" であるため、このファイルは「右」のカメラで撮影された可能性があります。

画像に写っているもの：

- 窓：中央に大きなガラス窓があり、外部または隣接する空間が見えます。
- 斜めの構造物：窓の前に斜めに取り付けられた構造物が確認できます（補強材やデザイン的な要素と思われます）。
- ガラスの反射：窓に照明や背後の環境が反射しています。
- 壁：窓を囲む明るい壁が左右に見えます。

マップ情報との関連：この窓は「ノード g」の「東」に位置するエレベーター付近の特徴的なランドマークに一致する可能性があります。ただし、具体的に窓や斜めの構造物はマップ情報に記載されていないため、属性としては確認できません。

Fig 4.10 ChatGPT より画像の情報を取り出した文章

4つ前までの回答からカメラ4方向の属性の有無をマップの情報に基づいて確認して



以下に、過去4つの回答を基にカメラ4方向（背面、正面、左、右）の属性の有無をマップ情報に基づいて確認した結果を示します。

1. 背面 (behind_R0010187.jpg)

- 内容: エレベーターが写っている。
- マップ情報: 「ノード g」では「東」にエレベーターが位置している。
- 属性の有無: 有り（エレベーターがランドマークとして認識される）。

2. 正面 (front_R0010187.jpg)

- 内容: シンプルな壁が写っている（特にランドマークなし）。
- マップ情報: 「ノード g」の「北」には他のノードやランドマークがない。
- 属性の有無: 無し（ランドマーク情報が確認できない）。

3. 左 (left_R0010187.jpg)

- 内容: 廊下と掃除用具が写っている。
- マップ情報: 「ノード g」の「西」は「ノード f」へ続くリンクとなっており、ランドマークとして認識できる情報がない。
- 属性の有無: 無し（掃除用具や廊下はランドマーク情報に該当しない）。

4. 右 (right_R0010187.jpg)

- 内容: 窓と斜めの構造物が写っている。
- マップ情報: 「ノード g」の「東」にはエレベーターがあり、窓や斜めの構造物はマップ情報に記載されていない。
- 属性の有無: 無し（マップ情報上に関連するランドマークが存在しない）。

まとめ

- 背面: 有り（エレベーター）
- 正面: 無し
- 左: 無し
- 右: 無し

Fig 4.11 シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章

ひとつ前の回答を用いて自己位置推定の手順に従い出力して、目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。



自己位置推定の手順

ひとつ前の回答を用いて自己位置推定を行います：

1. 属性を認識したカメラの方向を確認：
 - 背面（エレベーター）が属性として認識されました。
2. 属性を認識したカメラの方向からカメラの正面までの回転を求める：
 - 背面 → 正面：180度回転。
3. 認識された属性の付随する方角に、2で求めた回転を適用：
 - エレベーターの方角（東）に180度回転を適用 → 西。
4. 認識された属性の付随するノードを現在のノードとする：
 - エレベーターが属するノードは「ノード g」。
5. 現在のノードとカメラの正面の方角を出力する：
 - 現在のノード：g。
 - カメラの正面の方角：西。

自己位置推定の出力：

- 現在のノード: g
- カメラ正面の方角: 西

移動指示の手順

目的地を2315とし、手順を行います：

1. 目的地までの経路を確認：
 - 「ノード g」→「ノード f」→「ノード e」→「ノード d」→「ノード c」→「ノード b」→2315。
2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方角を確認：
 - 現在のノードは「g」。
 - 次のノード「f」へ進む方角は南。
3. カメラ正面の方角から次に進むリンクの方角の回転を求める：
 - カメラ正面の方角は「西」。
 - 次に進むリンクの方角は「南」。
 - 西 → 南：左回り90度回転。
4. 回転があればその回転を出力。回転がなければ前進を出力：
 - 左回り90度回転。

移動指示の出力：

- 左回り90度回転

Fig.4.12 ナビゲーションの指示を行った文章

4.2.2 エレベーターがカメラの左に見られた時の指示

4.2.1 項の指示により左回り 90 度回転したと仮定する．と想定する．その時得られる 4 方向のカメラ画像と 3.4.2 項に示した文章を ChatGPT に入力した．

与えた文章と画像から ChatGPT より画像の情報を取り出した文章を Fig 4.13, 画像の情報からシンボリックマップに基づく情報を取り出した文章を Fig 4.14, シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章からナビゲーションの指示を行った文章を Fig 4.15 で示す．ChatGPT は 4 つの画像からカメラの向きと画像内の情報を取り出すことができた．ChatGPT により得られた出力は画像の情報を適切に使用し、現在ノード位置をノード g, カメラ正面の向きを南と正しく推定できた．そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し、推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向きが同じであることから前進を指示することができた．



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

⑤ アップロードされた画像のファイル名が "behind_R0010188.jpg" であるため、このファイルは「背面」のカメラで撮影された可能性があります。

画像に写っているもの：

- 窓：中央に大きなガラス窓があり、外部または隣接する空間が見えます。
- 斜めの構造物：窓の前に斜めに取り付けられた構造物が確認できます（補強材やデザイン的な要素と思われます）。
- ガラスの反射：窓に照明や背後の環境が反射しています。
- 壁：窓を囲む明るい壁が左右に見えます。

マップ情報との関連：この窓は、マップ情報に記載されているランドマークには該当しません。そのため、属性としては認識されない可能性が高いです。



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

⑥ アップロードされた画像のファイル名が "front_R0010188.jpg" であるため、このファイルは「正面」のカメラで撮影された可能性があります。

画像に写っているもの：

- 廊下：中央には長い廊下があり、奥にドアや消火器が確認できます。
- 掃除用具：廊下の左側に掃除用具（モップやバケツ）が置かれています。
- 床面の物体：手前の床に工具（青と黒の持ち手のついたもの）が置かれています。
- 照明：天井には蛍光灯が明るく照らしています。
- 床の変化：手前の明るい床と奥のカーペット状の床の境界線が確認できます。

マップ情報との関連：この廊下は、ノード g からノード f へと続く方向（西）に該当する可能性があります。ただし、マップ情報にはこれらの具体的なランドマーク（掃除用具や工具）は記載されていないため、属性としては認識されません。



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

⑦ アップロードされた画像のファイル名が "left_R0010188.jpg" であるため、このファイルは「左」のカメラで撮影された可能性があります。

画像に写っているもの：

- エレベーター：中央にエレベーターの扉が写っています。
- 操作パネル：エレベーターの右側にボタンや表示が確認できます。
- 案内表示：操作パネルの上に、営業時間や注意書きが記載されたプレートがあります。
- 消毒液：左側に置かれた消毒液が確認できます。
- 背景：明るい壁と床のシンプルな室内環境です。

マップ情報との関連：このエレベーターは、「ノード g」の「東側」に位置するエレベーターである可能性が高いです。このエレベーターはマップ上のランドマーク情報に記載されているため、属性として認識できます。



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

⑧ アップロードされた画像のファイル名が "right_R0010188.jpg" であるため、このファイルは「右」のカメラで撮影された可能性があります。

画像に写っているもの：

- 壁面：シンプルな壁が写っています。
- コーナー：右側に壁の角が確認できます。
- 床：明るい色の床が一部映っています。
- 影：カメラまたは物体の影が一部写り込んでいます。

マップ情報との関連：この画像に写っているシンプルな壁は、特定のランドマークや属性として認識されるものではありません。そのため、マップ情報に基づく属性の有無としては無しと判断されます。

Fig 4.13 ChatGPT より画像の情報を取り出した文章

4つ前までの回答からカメラ4方向の属性の有無をマップの情報に基づいて確認して



以下に、過去4つの回答を基にカメラ4方向（背面、正面、左、右）の属性の有無をマップの情報に基づいて確認した結果を示します。

1. 背面 (behind_R0010188.jpg)

- 内容: 窓と斜めの構造物が写っている。
- マップ情報: 「ノード g」の「東」にはエレベーターが位置しているが、窓や斜めの構造物については記載がない。
- 属性の有無: 無し（窓と斜めの構造物はマップ上のランドマーク情報に該当しない）。

2. 正面 (front_R0010188.jpg)

- 内容: 廊下と掃除用具、床面の物体（工具）が写っている。
- マップ情報: 「ノード g」の「西」は「ノード f」への通路に該当する。ただし、掃除用具や工具はマップ情報に記載されていない。
- 属性の有無: 無し（掃除用具や工具はランドマーク情報に該当しない）。

3. 左 (left_R0010188.jpg)

- 内容: エレベーターが写っている。
- マップ情報: 「ノード g」の「東」にはエレベーターが位置している。
- 属性の有無: 有り（エレベーターがランドマークとして認識される）。

4. 右 (right_R0010188.jpg)

- 内容: シンプルな壁とコーナーが写っている。
- マップ情報: 「ノード g」の「北」には特定のランドマークやノードが記載されていない。
- 属性の有無: 無し（ランドマーク情報に該当しない）。

まとめ

- 背面: 無し
- 正面: 無し
- 左: 有り（エレベーター）
- 右: 無し

Fig 4.14 シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章

ひとつ前の回答を用いて自己位置推定の手順に従い出力して、目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。



自己位置推定の手順

ひとつ前の回答を用いて自己位置推定を行います：

1. 属性を認識したカメラの方向を確認：
 - 左（エレベーター）が属性として認識されました。
2. 属性を認識したカメラの方向からカメラの正面までの回転を求める：
 - 左 → 正面：右回り90度回転。
3. 認識された属性の付随する方角に、2で求めた回転を適用：
 - エレベーターの方角（東）に右回り90度回転を適用 → 南。
4. 認識された属性の付随するノードを現在のノードとする：
 - エレベーターが属するノードは「ノード g」。
5. 現在のノードとカメラの正面の方角を出力する：
 - 現在のノード：g。
 - カメラの正面の方角：南。

自己位置推定の出力：

- 現在のノード: g
- カメラ正面の方角: 南

移動指示の手順

目的地を2315とし、手順を行います：

1. 目的地までの経路を確認：
 - 「ノード g」→「ノード f」→「ノード e」→「ノード d」→「ノード c」→「ノード b」→2315。
2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方角を確認：
 - 現在のノードは「g」。
 - 次のノード「f」へ進む方角は南。
3. カメラ正面の方角から次に進むリンクの方角の回転を求める：
 - カメラ正面の方角は「南」。
 - 次に進むリンクの方角は「南」。
 - 回転なし。
4. 回転があればその回転を出力。回転がなければ前進を出力：
 - 前進。

移動指示の出力：

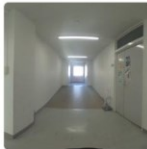
- 前進

Fig 4.15 ナビゲーションの指示を行った文章

4.2.3 2302 がカメラの左に見られた時の指示

4.2.2 項の指示により前進し、2302 がカメラの左に見られる位置まで移動したと仮定する。その時得られる4方向のカメラ画像と3.4.2項に示した文章をChatGPTに入力した。

与えた文章と画像からChatGPTより画像の情報を取り出した文章をFig 4.16, 画像の情報からシンボリックマップに基づく情報を取り出した文章をFig 4.17, シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章からナビゲーションの指示を行った文章をFig 4.18で示す。ChatGPTは4つの画像からカメラの向きと画像内の情報を取り出すことができた。ChatGPTにより得られた出力は画像の情報を適切に使用し、現在ノード位置をノードf, カメラ正面の向きを南と正しく推定できた。そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し、推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向きの違いから、右回り90度回転という正しい回転を指示することができた。



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

③ アップロードされた画像のファイル名が "behind_R0010258.jpg" であるため、このファイルは「背面」のカメラで撮影された可能性があります。


画像に写っているもの:

- 廊下: 長い廊下が続いており、奥に窓が確認できます。窓から自然光が差し込んでいるため、明るい空間が広がっています。
- ドア: 右側の壁にはドアが設置されており、複数の表示物が確認できます。
- 備品: ドア付近には折りたたみ椅子や傘立てが確認できます。
- 床: 床は明るい色のタイル床で、奥にはカーペット状の部分が見られます。
- 照明: 天井には蛍光灯が並んでおり、廊下全体を明るく照らしています。

マップ情報との関連: この画像には特定のランドマークが確認できないため、マップ情報に基づく属性としては認識できません。

結論:

- この画像に基づく属性は無しです。



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

③ アップロードされた画像のファイル名が "front_R0010258.jpg" であるため、このファイルは「正面」のカメラで撮影された可能性があります。


画像に写っているもの:

- ドア: 中央に白いドアが設置されており、上部に半円形のガラス窓があります。
- 案内板: ドアの左上には「2303 高度ITシステム開発室2」と記載された案内板が取り付けられています。
- ドアハンドル: ドアには電子錠が設置されており、シルバーのハンドルが確認できます。
- 壁: ドア周囲の壁は白くシンプルなデザインです。

マップ情報との関連: 「2303 高度ITシステム開発室2」の部屋番号はマップ情報に記載されていません。そのため、この画像に基づくランドマークとしては認識できません。

結論:

- この画像に基づく属性は無しです。



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

③ アップロードされた画像のファイル名が "left_R0010258.jpg" であるため、このファイルは「左」のカメラで撮影された可能性があります。


画像に写っているもの:

- ドア: 中央にグレーのドアが設置され、上部には半円形のガラス窓があります。
- 表示物
- ドアの左側には「第37回機械系卒業研究発表ポスター」と書かれたポスターが貼られています。
- ドア右側には「2302 建築設計 中央研究室」と記載された案内板が貼られています。
- ドアには書類回収ボックスや看板の表示物も取り付けられています。
- 備品:
 - 傘立てや折りたたみ椅子がドアの横に置かれています。
 - 資料回収用のボックスがドアの下部中央に設置されています。

マップ情報との関連: 「2302 建築設計 中央研究室」の部屋番号は、マップ情報に記載されており、ノードfの東側に該当します。この画像に写っている「2302」はマップ情報に基づくランドマークとして認識されます。

結論:

- この画像に基づく属性は有り (2302 建築設計 中央研究室)。



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

③ アップロードされた画像のファイル名が "right_R0010258.jpg" であるため、このファイルは「右」のカメラで撮影された可能性があります。

画像に写っているもの:

- 廊下: 長い廊下が奥まで続いており、左右の壁に複数のドアや表示物が確認できます。
- 案内板:
 - 右側の壁に「トイレ」と書かれた案内板が取り付けられています。
 - 「3F」と階層を示す案内板も確認できます。
- ドア: 右側の壁には複数のドアが設置されており、それぞれに部屋番号や表示物が貼られています。
- 備品: 左側の壁付近には椅子やゴミ箱が並んでいるのが確認できます。
- 照明: 天井には蛍光灯が連続して設置され、廊下全体を明るく照らしています。

マップ情報との関連: この廊下は、ノードfから他のノード (eまたはg) へ続く可能性のある通路に該当するものと考えられます。ただし、廊下や「トイレ」の案内板はマップ情報に記載されていないため、ランドマークとしては認識できません。

結論:

- この画像に基づく属性は無しです。

Fig 4.16 ChatGPT より画像の情報を取り出した文章

4つ前までの回答からカメラ4方向の属性の有無をマップの情報に基づいて確認して。

- 以下に、過去4つの回答を基にカメラ4方向（背面、正面、左、右）の属性の有無をマップ情報に基づいて確認した結果を示します。

1. 背面 (behind_R0010258.jpg)

- 内容: 廊下が続いており、奥に窓が確認できる。
- マップ情報: 廊下や窓に関する情報はマップに記載がない。
- 属性の有無: 無し。

2. 正面 (front_R0010258.jpg)

- 内容: 「2303 高度ITシステム開発室2」の表示板があるドアが確認できる。
- マップ情報: 「2303」の部屋番号はマップ情報に記載されていない。
- 属性の有無: 無し。

3. 左 (left_R0010258.jpg)

- 内容: 「2302 建築設計 中央研究室」の表示板があるドアが確認できる。
- マップ情報: 「2302」の部屋番号はマップ情報に記載されており、ノード f の東側に該当する。
- 属性の有無: 有り（2302 建築設計 中央研究室）。

4. 右 (right_R0010258.jpg)

- 内容: 長い廊下が続いており、「トイレ」と書かれた案内板が確認できる。
- マップ情報: 廊下や「トイレ」の案内板はマップ情報に記載されていない。
- 属性の有無: 無し。

まとめ

- 背面: 無し
- 正面: 無し
- 左: 有り（2302 建築設計 中央研究室）
- 右: 無し

Fig 4.17 シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章

ひとつ前の回答を用いて自己位置推定の手順に従い出力して、目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。



自己位置推定の手順

ひとつ前の回答を用いて自己位置推定を行います：

1. 属性を認識したカメラの方向を確認：
 - 左（2302 建築設計 中央研究室）が属性として認識されました。
2. 属性を認識したカメラの方向からカメラの正面までの回転を求める：
 - 左 → 正面：右回り90度回転。
3. 認識された属性の付随する方向に、2で求めた回転を適用：
 - 「2302」の方角（東）に右回り90度回転を適用 → 南。
4. 認識された属性の付随するノードを現在のノードとする：
 - 「2302」が属するノードは「ノード f」。
5. 現在のノードとカメラの正面の方角を出力する：
 - 現在のノード：f。
 - カメラの正面の方角：南。

自己位置推定の出力：

- 現在のノード: f
- カメラ正面の方角: 南

移動指示の手順

目的地を2315とし、手順を行います：

1. 目的地までの経路を確認：
 - 「ノード f」→「ノード e」→「ノード d」→「ノード c」→「ノード b」→2315。
2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方角を確認：
 - 現在のノードは「f」。
 - 次のノード「e」へ進む方角は西。
3. カメラ正面の方角から次に進むリンクの方角の回転を求める：
 - カメラ正面の方角は「南」。
 - 次に進むリンクの方角は「西」。
 - 南 → 西：右回り90度回転。
4. 回転があればその回転を出力。回転がなければ前進を出力：
 - 右回り90度回転。

移動指示の出力：


- 右回り90度回転

Fig 18 ナビゲーションの指示を行った文章

4.2.4 2302 がカメラの背面に見られた時の指示

4.2.3 項の指示により右回り 90 度回転し、2302 がカメラの背面に見られる位置まで移動したと仮定する。その時得られる 4 方向のカメラ画像と 3.4.2 項に示した文章を ChatGPT に入力した。

与えた文章と画像から ChatGPT より画像の情報を取り出した文章を Fig 4.19, 画像の情報からシンボリックマップに基づく情報を取り出した文章を Fig 4.20, シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章からナビゲーションの指示を行った文章を Fig 4.21 で示す。ChatGPT は 4 つの画像からカメラの向きと画像内の情報を取り出すことができた。ChatGPT により得られた出力は画像の情報を適切に使用し、現在ノード位置をノード f, カメラ正面の向きを西と正しく推定できた。そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し、推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向きが同じであることから前進を指示することができた。



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

⑨ アップロードされた画像のファイル名が "behind_R0010258.jpg" であるため、このファイルは「背面」のカメラで撮影された可能性があります。


画像に写っているもの：

- 廊下：奥の廊下が続いており、奥に窓が確認できます。窓から自然光が差し込んでいるため、明るい空間が広がっています。
- ドア：右側の壁にはドアが設置されており、複数の掲示物が確認できます。
- 備品：ドア付近には折りたたみ椅子や傘立てが確認できます。
- 床：手前は明るい色のフラットな床、奥にはカーペット状の部分が見られます。
- 照明：天井には蛍光灯が並んでおり、廊下全体を明るく照らしています。

マップ情報との関連：この画像には特定のランドマークが確認できないため、マップ情報に基づく属性としては認識されません。

結論：

- この画像に基づく属性は無しです。



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

⑩ アップロードされた画像のファイル名が "front_R0010258.jpg" であるため、このファイルは「正面」のカメラで撮影された可能性があります。


画像に写っているもの：

- ドア：中央に白いドアが設置されており、上部に半円形のガラス窓があります。
- 案内板：ドアの左上には「2303 高度ITシステム開発室2」と記載された案内板が取り付けられています。
- ドアハンドル：ドアには電子錠が設置されており、シルバーのハンドルが確認できます。
- 壁：ドア周囲の壁は白くシンプルなデザインです。

マップ情報との関連：「2303 高度ITシステム開発室2」の部屋番号はマップ情報に記載されていません。そのため、この画像に基づくランドマークとしては認識されません。

結論：

- この画像に基づく属性は無しです。



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

⑪ アップロードされた画像のファイル名が "left_R0010258.jpg" であるため、このファイルは「左」のカメラで撮影された可能性があります。


画像に写っているもの：

- ドア：中央にグレーのドアが設置され、上部には半円形のガラス窓があります。
- 掲示物：
- ドアの左側には「第37回機械系卒業研究発表フェア」と書かれたポスターが貼られています。
- ドア右側には「2302 建築設計 中央研究室」と記載された案内板があります。
- ドアには書類回収ボックスや青の掲示物も取り付けられています。
- 備品：
- 傘立てや折りたたみ椅子がドアの奥に置かれています。
- 書類回収用のボックスがドアの下部中央に設置されています。

マップ情報との関連：「2302 建築設計 中央研究室」の部屋番号は、マップ情報に記載されており、ノード f の奥に該当します。この画像に写っている「2302」はマップ情報に基づくランドマークとして認識されます。

結論：

- この画像に基づく属性は有り（2302 建築設計 中央研究室）。



ファイル名からカメラの方向と、画像に写っているものを教えて。

⑫ アップロードされた画像のファイル名が "right_R0010258.jpg" であるため、このファイルは「右」のカメラで撮影された可能性があります。

画像に写っているもの：

- 廊下：奥の廊下が奥まで続いており、左右の壁に複数のドアや掲示物が確認できます。
- 案内板：
- 右側の壁に「トイレ」と書かれた案内板が取り付けられています。
- 「3F」という案内板も確認できます。
- ドア：右側の壁には複数のドアが設置されており、それぞれに部屋番号や掲示物が貼られています。
- 備品：左側の壁付近には椅子やゴミ箱が並んでいるのが確認できます。
- 照明：天井には蛍光灯が連続して設置され、廊下全体を明るく照らしています。

マップ情報との関連：この廊下は、ノード f から他のノード（e または g）へ続く可能性のある通路に該当するものと考えられます。ただし、廊下や「トイレ」の案内板はマップ情報に記載されていないため、ランドマークとしては認識できません。

結論：

- この画像に基づく属性は無しです。

Fig 4.19 ChatGPT より画像の情報を取り出した文章

4つ前までの回答からカメラ4方向の属性の有無をマップの情報に基づいて確認して。



以下に、過去4つの回答を基にカメラ4方向（背面、正面、左、右）の属性の有無をマップ情報に基づいて確認した結果を示します。

1. 背面 (behind_R0010257.jpg)

- 内容: 「2302 建築設計 中央研究室」の表示板があるドアが確認できる。
- マップ情報: 「2302」の部屋番号はマップ情報に記載されており、ノード f の東側に該当する。
- 属性の有無: 有り (2302 建築設計 中央研究室)。

2. 正面 (front_R0010257.jpg)

- 内容: 廊下が続いており、「トイレ」と書かれた案内板が確認できる。
- マップ情報: 廊下や「トイレ」の案内板はマップ情報に記載されていない。
- 属性の有無: 無し。

3. 左 (left_R0010257.jpg)

- 内容: 「2303 高度ITシステム開発室2」の表示板があるドアが確認できる。
- マップ情報: 「2303」の部屋番号はマップ情報に記載されていない。
- 属性の有無: 無し。

4. 右 (right_R0010257.jpg)

- 内容: 長い廊下が続き、奥に窓が確認できる。
- マップ情報: 廊下や窓についての記載はマップ情報にない。
- 属性の有無: 無し。

まとめ

- 背面: 有り (2302 建築設計 中央研究室)
- 正面: 無し
- 左: 無し
- 右: 無し

Fig 4.20 シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章

ひとつ前の回答を用いて自己位置推定の手順に従い出力して、目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。



自己位置推定の手順

ひとつ前の回答を用いて自己位置推定を行います：

1. 属性を認識したカメラの方向を確認：
 - 背面（2302 建築設計 中央研究室）が属性として認識されました。
2. 属性を認識したカメラの方向からカメラの正面までの回転を求める：
 - 背面 → 正面：180度回転。
3. 認識された属性の付随する方向に、2で求めた回転を適用：
 - 「2302」の方角（東）に180度回転を適用 → 西。
4. 認識された属性の付随するノードを現在のノードとする：
 - 「2302」が属するノードは「ノード f」。
5. 現在のノードとカメラの正面の方角を出力する：
 - 現在のノード：f。
 - カメラの正面の方角：西。

自己位置推定の出力：

- 現在のノード: f
- カメラ正面の方角: 西

移動指示の手順

目的地を2315とし、手順を行います：

1. 目的地までの経路を確認：
 - 「ノード f」→「ノード e」→「ノード d」→「ノード c」→「ノード b」→2315。
2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方角を確認：
 - 現在のノードは「f」。
 - 次のノード「e」へ進む方角は西。
3. カメラ正面の方角から次に進むリンクの方角の回転を求める：
 - カメラ正面の方角は「西」。
 - 次に進むリンクの方角は「西」。
 - 回転なし。
4. 回転があればその回転を出力。回転がなければ前進を出力：
 - 前進。

移動指示の出力：

- 前進

Fig 4.21 ナビゲーションの指示を行った文章

4.2.5 2306 がカメラの左に見られた時の指示

4.2.4 項の指示により前進し、2306 がカメラの左に見られる位置まで移動したと仮定する。その時得られる 4 方向のカメラ画像と 3.4.2 項に示した文章を ChatGPT に入力した。

与えた文章と画像から ChatGPT より画像の情報を取り出した文章を Fig 4.22, 画像の
情報からシンボリックマップに基づく情報を取り出した文章を Fig 4.23, シンボリック
マップに基づく情報を取り出した文章からナビゲーションの指示を行った文章を Fig
4.24 で示す. ChatGPT は4つの画像からカメラの向きと画像内の情報を取り出すことが
できた. ChatGPT により得られた出力は画像の情報を適切に使用し, 現在ノード位置を
ノード e, カメラ正面の向きを西と正しく推定できた. そして初期情報で与えたシンボ
リックマップから経路を確認し, 推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向き
が同じであることから前進を指示することができた.

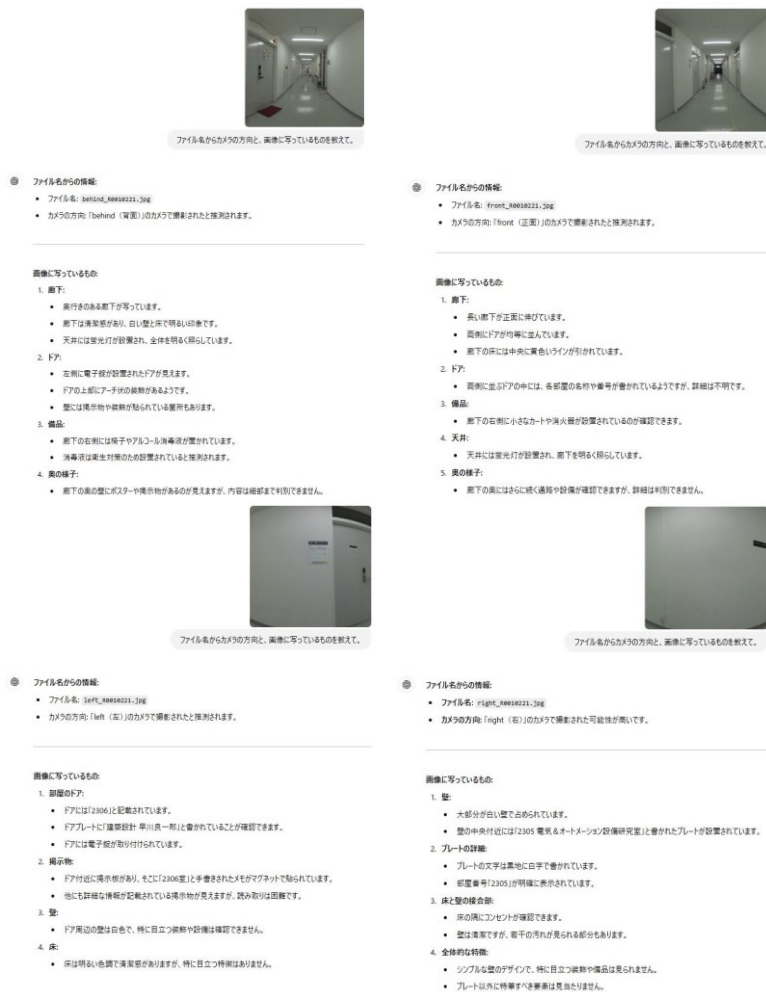


Fig 4.22 ChatGPT より画像の情報を取り出した文章

4つ前までの回答からカメラ4方向の属性の有無をマップの情報に基づいて確認して。

- 🌀 これまでの4つの回答で報告したカメラ4方向の属性について、マップ情報に基づいて確認しました。以下はその結果です。

1. Behind（背面）：

- 画像内容: 廊下が続き、奥に複数のドアや掲示物が見える。
- マップ情報との一致: 廊下の先に見える内容は、現在のマップ情報には具体的に記載がありません。
- 属性の有無: 属性なし。

2. Front（正面）：

- 画像内容: 廊下の両側にドアが並び、奥に更なる廊下が続く。
- マップ情報との一致: 画像内に特定の部屋番号やランドマークが確認できませんでした。
- 属性の有無: 属性なし。

3. Left（左）：

- 画像内容: 「2306 連続講座 早川良一郎」のプレートが確認できるドアが見える。
- マップ情報との一致: マップ情報に「2306」の記載が確認できるため、この方向に属性があります。
- 属性の有無: 属性あり（2306の部屋番号）。

4. Right（右）：

- 画像内容: 「2305 電気 & オートメーション設備研究室」のプレートが確認できる。
- マップ情報との一致: マップ情報に「2305」の記載はありません。
- 属性の有無: 属性なし。

まとめ

- 属性あり: 左（2306）。
- 属性なし: 背面、正面、右。

Fig 4.23 シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章

ひとつ前の回答を用いて自己位置推定の手順に従い出力して、目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。



自己位置推定の手順に従った結果:

1. 属性を認識したカメラの方向を確認する:

左方向に「2306」が確認されました（属性あり）。

2. カメラの正面の方角を求める:

- 左方向のカメラで認識した「2306」はマップ情報では南に位置。
- カメラ正面は「左」を右回り90度回転した方角。
- したがって、カメラの正面の方角は西。

3. 認識された属性の付随するノードを現在のノードとする:

- 「2306」に付随するノードはノード e。

4. 現在のノードとカメラの正面の方角を出力する:

- 現在のノード: ノード e。
- カメラの正面の方角: 西。

移動指示の手順に従った結果:

1. 目的地までの経路をマップ情報から確認する:

- 現在地 ノード e → ノード d → ノード c → ノード b → 2315。

2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方角を確認する:

- ノード e からノード d へのリンクは 西。

3. カメラ正面の方角から次に進むリンクの方角の回転を求める:

- 現在、カメラ正面の方角は 西。
- 次に進むリンクの方角も 西。
- したがって、回転は不要。

4. 回転があればその回転を出力。回転がなければ前進を出力する:

- 移動指示: 前進。

最終結果:


- 現在のノード: ノード e。
- カメラ正面の方角: 西。
- 移動指示: 前進。

Fig 4.24 ナビゲーションの指示を行った文章

4.2.6 2308 がカメラの左に見られた時の指示


4.2.5 項の指示により前進し、2308 がカメラの左に見られる位置まで移動したと仮定する。その時得られる4方向のカメラ画像と3.4.2項に示した文章をChatGPTに入力した。

与えた文章と画像からChatGPTより画像の情報を取り出した文章をFig 4.25, 画像の情報からシンボリックマップに基づく情報を取り出した文章をFig 4.26, シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章からナビゲーションの指示を行った文章をFig 4.27で示す。ChatGPTは4つの画像からカメラの向きと画像内の情報を取り出すことができた。ChatGPTにより得られた出力は画像の情報を適切に使用し、現在ノード位置をノードd, カメラ正面の向きを西と正しく推定できた。そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し、推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向きが同じであることから前進を指示することができた。




① ファイル名: "behind_R0010224.jpg"
カメラの方向: 背面カメラで撮影されたものと推測されます。
画像に写っているもの:

- 廊下:
 - 直線的に伸びる廊下が確認できます。
 - 廊下の両側には複数のドアが並んでいます。
- ドア:
 - 左側に電子錠付きのドアが見えます。
 - 右側には標識が取り付けられたドアがあります。
- 備品・施設:
 - 右側に椅子や消毒用アルコールが設置されているエリアが確認できます。
 - 左側の壁には掲示物が貼られている可能性があります。
- 天井・照明:
 - 天井には蛍光灯が連続して設置されており、廊下を明るく照らしています。
- その他の特徴:
 - 床には黄色いラインが引かれており、通廊の境界または安全ラインを示している可能性があります。




② ファイル名: "front_R0010224.jpg"
カメラの方向: 正面カメラで撮影されたものと推測されます。
画像に写っているもの:

- 廊下:
 - 廊下が直線的に奥まで続いているのが確認できます。
 - 両側に複数のドアが並んでいます。
- ドア:
 - 左側と右側にそれぞれドアが設置されています。
 - 右側のドアにはカラフルな掲示物が貼られています。
- 備品・施設:
 - 左側に消火器と雑物ラックのような備品が見えます。
 - 廊下の奥にはカートのようなものが置かれています。
- 天井・照明:
 - 天井には蛍光灯が均等に配置されており、廊下を明るく照らしています。
- その他の特徴:
 - 床に白いラインが引かれており、通廊のガイドラインまたはエリア区分を示している可能性があります。



③ ファイル名: "left_R0010224.jpg"
カメラの方向: 左方向のカメラで撮影されたものと推測されます。
画像に写っているもの:

- ドア:
 - 正面に「2308 機械設計 西村○○」と書かれた部屋番号の表札が確認できます。
 - 表札の下に予定表または備忘欄のようなホワイトボードが設置されています。ペンがボードに固定されています。
- 壁:
 - ドアの周囲は白い壁で囲まれており、シンプルな内装となっています。
- 照明:
 - 天井照明により、壁や表札が明るく照らされています。
- その他の特徴:
 - ドアは開閉まで、金属製のドアハンドルが取り付けられています。



④ ファイル名: "right_R0010224.jpg"
カメラの方向: 右方向のカメラで撮影されたものと推測されます。
画像に写っているもの:

- 壁:
 - シンプルな白い壁が広がっています。
 - 壁面には特に目立った装飾や掲示物はなく、フラットな状態です。
- 床:
 - 壁の下部に少し床が写っており、淡いグレーの床材が確認できます。
- その他の特徴:
 - 壁面には汚れや摩耗の痕跡が少し見受けられますが、特に明確なランドマークや識別可能な特徴は確認できません。

Fig 4.25 ChatGPT より画像の情報を取り出した文章

4つ前までの回答からカメラ4方向の属性の有無をマップの情報に基づいて確認して。



これまでの回答をもとに、4つ前までのカメラ4方向の属性の有無を、マップの情報に基づいて確認しました。以下にまとめます。

1. 最新のカメラ情報

ファイル名: "right_R0010224.jpg"

方向: 右方向

結果: 壁のみが写っており、特定の属性は確認できません。

2. 直前のカメラ情報

ファイル名: "left_R0010224.jpg"

方向: 左方向

結果: 壁に「2308 清掃室 西村 剛」と記載されたプレートが確認できました。

属性: マップの情報に基づき、ノード d に該当するランドマーク（2308）が確認されました。

3. その前のカメラ情報

ファイル名: "front_R0010224.jpg"

方向: 正面方向

結果: 奥に廊下が続き、複数のドアが確認できますが、特定の部屋番号などのランドマークは確認できません。

属性: ランドマークなし。

4. 最も古いカメラ情報

ファイル名: "behind_R0010224.jpg"

方向: 背面方向

結果: 奥に廊下が続き、掲示物や備品が見られるものの、特定の属性やランドマークは確認できません。

属性: ランドマークなし。

まとめ

- ランドマーク確認: 左方向カメラで「2308」が確認されました（マップ情報と一致）。
- 他の方向: 他の方向では特定可能なランドマークや属性は確認できませんでした。

Fig 4.26 シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章

ひとつ前の回答を用いて自己位置推定の手順に従い出力して、目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。



自己位置推定の手順に従った出力

1. ランドマーク情報の確認
 - 左方向に確認されたランドマーク: 「2308 清掃室 西村 剛」
 - マップ情報から、「2308」はノード d に付随するランドマーク。
2. 属性を認識したカメラの方向: 左方向
3. カメラの正面を求める:
 - 左方向が「南」(「2308」がノード d の南にあるため)。
 - 左方向 (南) から正面を求めるには、右回り90度回転。
 - 結果: 正面の方角は「西」。
4. 現在のノード: ノード d
 - カメラの正面の方角: 西

移動指示の手順に従った出力

1. 目的地: 2315
 - マップ情報より、ノード d → ノード c → ノード b → 2315 の順に移動する。
2. 現在のノード: d
 - 次に移動するノード: c
 - ノード d からノード c へのリンクの方角は「西」。
3. 現在のカメラ正面の方角: 西
4. 現在のカメラ正面から目的地方向への回転を計算:
 - カメラの正面が「西」。
 - 進むべき方角も「西」(ノード d → ノード c)。
 - 回転は不要。
5. 移動指示: 前進

最終出力

自己位置推定結果

- 現在のノード: d
- カメラの正面の方角: 西

移動指示

- 指示: 前進

Fig 4.27 ナビゲーションの指示を行った文章

4.2.7 2311 がカメラの左に見られた時の指示

4.2.6 項の指示により前進し、2311 がカメラの左に見られる位置まで移動したと仮定する。その時得られる4方向のカメラ画像と3.4.2項に示した文章をChatGPTに入力した。

与えた文章と画像からChatGPTより画像の情報を取り出した文章をFig 4.28, 画像の情報からシンボリックマップに基づく情報を取り出した文章をFig 4.29, シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章からナビゲーションの指示を行った文章をFig 4.30で示す。ChatGPTは4つの画像からカメラの向きと画像内の情報を取り出すことができた。ChatGPTにより得られた出力は画像の情報を適切に使用し、現在ノード位置をノードc, カメラ正面の向きを西と正しく推定できた。そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し、推定したカメラ正面の向きと進行するリンクの向きが同じであることから前進を指示することができた。

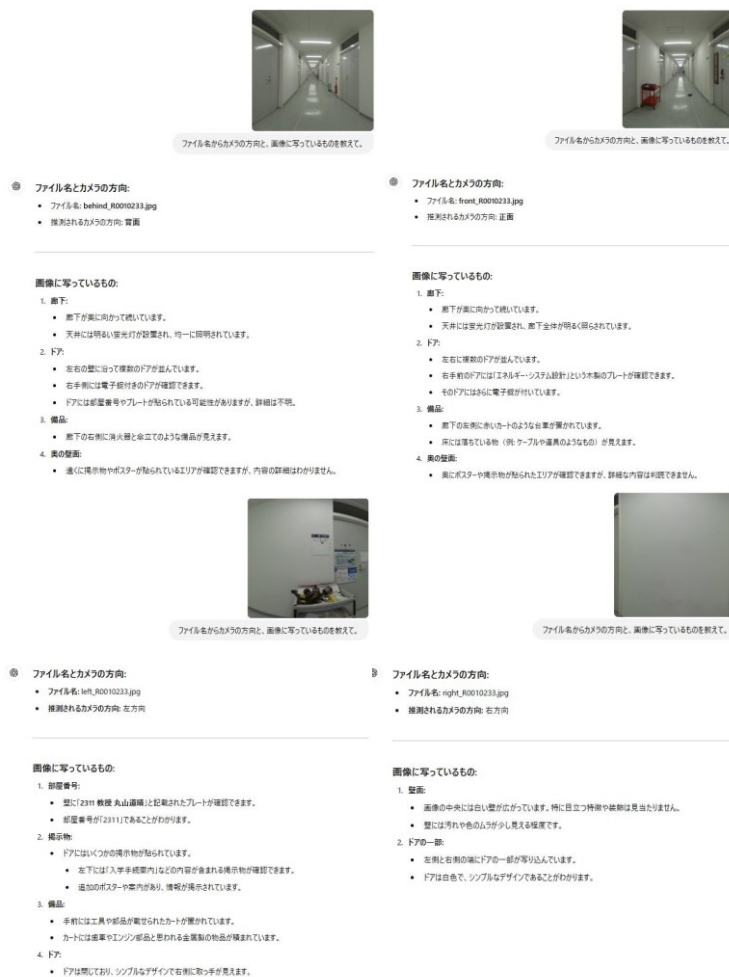


Fig 4.28 ChatGPT より画像の情報を取り出した文章

4つ前までの回答からカメラ4方向の属性の有無をマップの情報に基づいて確認して。



4つ前までのカメラ4方向の属性の有無を確認

以下は4つ前までの回答に基づいた、カメラの各方向における属性の有無をマップ情報と照らし合わせた結果です。

1. Behind (背面)

- 画像: `behind_R0010233.jpg`
- 確認された属性: なし
- マップ情報との関連: 背面にはランドマークや部屋番号の確認はできませんでした。

2. Front (正面)

- 画像: `front_R0010233.jpg`
- 確認された属性: なし
- マップ情報との関連: 廊下が奥に続いているが、具体的なランドマークや部屋番号は確認できませんでした。

3. Left (左方向)

- 画像: `left_R0010233.jpg`
- 確認された属性:
 - 「2311 教授 丸山直樹」という部屋番号と所属が確認されました。
- マップ情報との関連:
 - 「2311」はノード c に対応するランドマークとして記載されています。

4. Right (右方向)

- 画像: `right_R0010233.jpg`
- 確認された属性: なし
- マップ情報との関連: 右方向には白い壁が広がっており、具体的なランドマークや部屋番号の確認はできませんでした。

結論

- 属性が確認された方向は、左方向のみで「2311」が確認されました。
- 他の方向（背面、正面、右方向）には属性は確認されていません。

Fig4.29 シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章

ひとつ前の回答を用いて自己位置推定の手順に従い出力して、目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。



自己位置推定の手順

入力情報

- 確認された属性: 左方向に「2311 教授 丸山直樹」
- マップ情報: 「2311」はノード c に対応するランドマーク。

手順

1. 属性を認識したカメラの方向を確認する
 - 属性は 左方向 のカメラで認識されました。
2. 属性を認識したカメラの方向からカメラの正面までの回転を求める
 - 左方向からカメラの正面に移るには、右回り90度回転 が必要。
3. 認識された属性の付随する方向に、カメラの正面までの回転を適用
 - 「2311」はノード c にあり、マップ情報では南方向に位置しています。
 - 南方向に右回り90度回転を適用すると、西方向がカメラの正面。
4. 認識された属性の付随するノードを現在のノードとする
 - 現在のノードは ノード c。
5. 現在のノードとカメラの正面の方向を出力
 - 現在のノード: ノード c
 - カメラの正面の方向: 西

自己位置推定の結果

- 現在のノード: ノード c
- カメラの正面の方向: 西

移動指示の手順

目的地: 2315

1. 目的地までの経路をマップ情報から確認する
 - ノード c → b → 2315 が目的地への経路です。
2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方向を確認する
 - 現在のノードは c、次のノードは b。
 - マップ情報によると、ノード c からノード b へは 西方向。
3. カメラ正面の方向から次に進むリンクの方向への回転を求める
 - 現在、カメラ正面は 西方向。
 - 次に進むリンクも 西方向。
 - 回転なし。
4. 移動指示を出力
 - 回転は必要ないため、そのまま 前進。

移動指示の結果

- 指示: 前進

Fig 4.30 ナビゲーションの指示を行った文章

4.2.8 2315 がカメラの左に見られた時の指示

4.2.7 項の指示により前進し、2315 がカメラの左に見られる位置まで移動したと仮定する。その時得られる4方向のカメラ画像と3.4.2項に示した文章をChatGPTに入力した。

与えた文章と画像からChatGPTより画像の情報を取り出した文章をFig 4.31, 画像の情報からシンボリックマップに基づく情報を取り出した文章をFig 4.32, シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章からナビゲーションの指示を行った文章をFig 4.33で示す。ChatGPTは4つの画像からカメラの向きと画像内の情報を取り出すことができた。ChatGPTにより得られた出力は画像の情報を適切に使用し、現在ノード位置をノードb, カメラ正面の向きを西と正しく推定できた。そして初期情報で与えたシンボリックマップから経路を確認し、目的地であると確認できた。

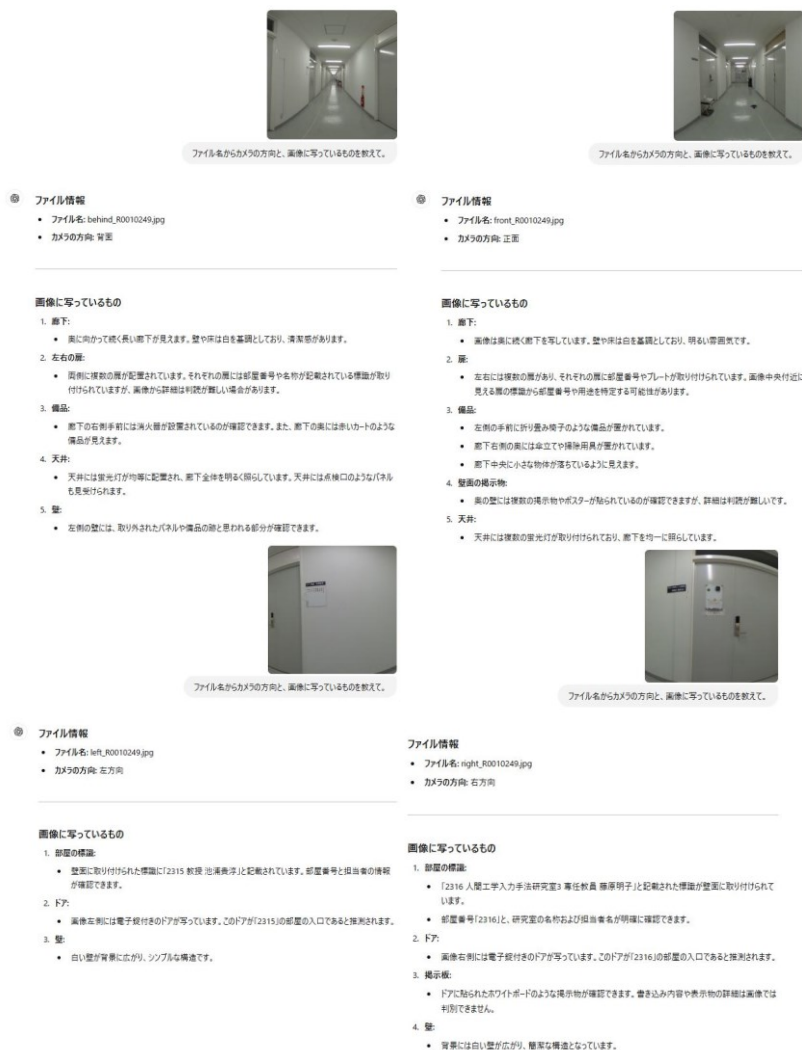


Fig 4.31 ChatGPT より画像の情報を取り出した文章

4つ前までの回答からカメラ4方向の属性の有無をマップの情報に基づいて確認して、

- ⑤ 以下に、過去4つの回答からカメラ4方向（正面、背面、左、右）の属性の有無を、マップ情報に基づいて確認した結果をまとめます。

1つ前（右方向）

- ファイル名: right_R0010249.jpg
- 確認された属性: 「2316 人間工学入力手法研究室3」
- マップ情報との関連: 「2316」はノードbに付随するランドマーク。
- 属性の有無: 確認済み。

2つ前（左方向）

- ファイル名: left_R0010249.jpg
- 確認された属性: 「2315 教授 池浦風弥」
- マップ情報との関連: 「2315」はノードbに付随するランドマーク。
- 属性の有無: 確認済み。

3つ前（正面方向）

- ファイル名: front_R0010248.jpg
- 確認された属性: 確認できず。
- マップ情報との関連: 該当するランドマークなし。
- 属性の有無: 未確認。

4つ前（背面方向）

- ファイル名: behind_R0010248.jpg
- 確認された属性: 確認できず。
- マップ情報との関連: 該当するランドマークなし。
- 属性の有無: 未確認。

総括

- 確認済みの属性: 「2316（右方向）」「2315（左方向）」
- 未確認の方向: 正面・背面

Fig 4.32 シンボリックマップに基づく情報を取り出した文章

ひとつ前の回答を用いて自己位置推定の手順に従い出力して、目的地を2315とする。自己位置推定の手順による出力から移動指示の手順に従い出力して。



自己位置推定の手順

1. 属性を認識したカメラの方向を確認する:
 - 右方向で「2316 人間工学入力手法研究室3」を確認。
 - 左方向で「2315 教授 池浦風弥」を確認。
2. 属性を認識したカメラの方向からカメラの正面までの回転を求める:
 - 右方向→正面: 左回り90度回転。
 - 左方向→正面: 右回り90度回転。
3. 認識された属性の付随する方向に回転を適用し、カメラの正面の方向を決定:
 - 「2316 (右方向)」は北 (ノードbに付随)。左回り90度回転でカメラの正面は西。
 - 「2315 (左方向)」は南 (ノードbに付随)。右回り90度回転でカメラの正面は西。
4. 認識された属性の付随するノードを現在のノードとする:
 - 「2315」「2316」は両方ともノードbに付随するため、現在のノードはノードb。
5. 現在のノードとカメラの正面の方向を出力する:
 - 現在のノード: ノードb。
 - カメラの正面の方向: 西。

移動指示の手順

1. 目的地までの経路を確認する:
 - 現在地 (ノードb) から目的地 (2315) は同じノードb内に存在。
2. 現在のノードから次のノードに進むリンクの方向を確認する:
 - 目的地は現在のノード内にあるためリンク移動は不要。
3. カメラ正面の方向から次に進むリンクの方向の回転を求める:
 - 移動不要のため回転は不要。
4. 移動指示を出力する:
 - 指示: 目的地に到着済み。移動不要。

最終結果

- 現在のノード: ノードb。
- カメラの正面: 西。
- 移動指示: 目的地 (2315) に到着済み。移動不要。

Fig 4.33 ナビゲーションの指示を行った文章

4.3 考察

文章による仮想移動実験の結果、ChatGPT がカメラ4方向のランドマーク情報を正しく得ることができれば、ChatGPT のメモリ機能に覚えさせた初期情報を正しく使用しナビゲーションを行うことができると確認できた。そのため ChatGPT のメモリ機能に記憶させた初期情報は正しく ChatGPT に伝わっていると確認できた。

カメラ画像を用いた仮想移動実験の結果、ChatGPT はカメラ4方向の各画像から写っているものを正しく詳細に得ることができると確認できた。また、その情報の中からマップに基づいたランドマーク情報を正しく取り出すことができると確認できた。そして取り出したランドマーク情報を用いて、ChatGPT のメモリ機能に覚えさせた初期情報を正しく使用しナビゲーションを行うことができると確認できた。

これらの結果から、屋内自律移動ロボット用 LLM を活用して人間のような言語に基づくナビゲーションを行うシステムの有効性が示された。

しかし、今回の実験では部屋番号やエレベーターなどのランドマークのみを画像から使用しそれらの方角を用いることで移動する方向を決定していたが、ChatGPT による画像認識により得られた情報では廊下も正しく認識しておりこれらをリンクと照らし合わせることで人間のように常に方角を意識しなくても移動方向を決定できるのではないかと考える。また、ChatGPT は過去の出力を確認することができる。そのため過去の出力から、現在の出力がこれまでの指示と繋がり、経路に沿って移動を行う指示であるかを確認することで、画像認識がうまくいかず間違えた指示を行った際に、間違えた移動を行わないようにできるのではないかと考える。

他に懸念点としては、今回の実験で ChatGPT の画像やテキストを入力してから出力までの時間は約4~6秒ほど待つ必要があった。一度に処理できるテキストの長さや情報量に制限もあるため今回の実験のように画像や入力の記事を分けて行うとより時間がかかる。そのため一度に処理できるテキストの長さや情報量の制限が緩和され、処理速度が上がらなければ実際の移動ロボットに搭載するのは困難であると考えられる。

第 5 章

結論

5.1 まとめ

本研究では屋内自律移動ロボット用に LLM を活用して人間のような言語に基づくナビゲーションを行うシステムを提案し、その有効性検証を目的とした。そこで ChatGPT を使用し移動ロボットに指示を行う仮想移動実験を行い検証した。

実験では初期情報として ChatGPT にシンボリックマップの情報とナビゲーション方法について文章で与え記憶させた。初期情報を記憶させた ChatGPT を使用し、ChatGPT が初期情報を正しく使用しナビゲーションを行えるか確認するためカメラから得られるランドマーク情報を文章で与えて仮想移動実験を行った。実験結果として ChatGPT がカメラ 4 方向のランドマーク情報を正しく得ることができれば、ChatGPT のメモリ機能に覚えさせた初期情報を正しく使用しナビゲーションを行うことができると確認できた。次に ChatGPT の画像認識によりランドマーク情報を正しく取り出すことができるかを確認するため、カメラ画像を実際に与えて仮想移動実験を行った。結果、ChatGPT はカメラ 4 方向の各画像から写っているものを正しく詳細に得ることができると確認でき、その情報の中からマップに基づいたランドマーク情報を正しく取り出すことができると確認できた。そして取り出したランドマーク情報を用いて、ChatGPT のメモリ機能に覚えさせた初期情報を正しく使用しナビゲーションを行うことができると確認できた。

これらの結果から、屋内自律移動ロボット用 LLM を活用して人間のような言語に基づくナビゲーションを行うシステムの有効性が示された。

5.2 今後の課題

今後の課題として，今回の実験では ChatGPT の出力方法は指定しなかったためナビゲーションを行う際や画像認識を行う際，少しずつ出力の仕方が違う．そのためナビゲーションシステムを安定なものにするため出力の定型文を作る必要がある．

他にも過去の出力から，現在の出力がこれまでの指示と繋がり，経路に沿って移動を行う指示であるかを確認することで，画像認識がうまくいかず間違えた指示を行った際に間違えた移動を行わないようにする必要がある．

参考文献

- [1] アマノ株式会社, “HAPiiBOT とは” <<https://www.amano.co.jp/hapiibot/>> (参照日 2025/01/30)
- [2] 鹿島建設株式会社 “建築現場用ロボット向けに AI 技術を搭載した自律移動システムを開発” <<https://www.kajima.co.jp/news/press/202103/4a1-j.htm>> (参照日 2025/01/30)
- [3] テクノホライゾン株式会社 “革新的な配送ロボット BellaBot” <<https://www.elmo.co.jp/product/robot/bellabot/>> (参照日 2025/01/30)
- [4] 株式会社 ZMP “配送ロボット DeliRo (デリロ)” <<https://www.zmp.co.jp/products/lrb/deliro/>> (参照日 2025/01/30)
- [5] 前川清石, “工場内搬送および物流倉庫向け自律移動ロボットの開発”, システム／制御／情報, 2020, 64 巻, 5 号, p.177-181.
- [6] LUIGI TAGLIAVINI, LORENZO BAGLIERI, ANDREA BOTTA, GIOVANNI COLUCCI, PARIDE CAVALLONE, CARMEN VISCONTE, GIUSEPPE QUAGLIA, “DOT PAQUITOP: A MOBILE ROBOTIC ASSISTANT FOR THE HOSPITAL ENVIRONMENT”, 日本 IFToMM 会議国際シンポジウム講演論文集, 2022, 5 巻, Vol. 5 (2022), p.88-94.
- [7] 油田信一, 水川真, 橋本秀紀, “つくばチャレンジのねらいと成果”, 計測と制御, 2010, 49 巻, 9 号, p. 572-578.
- [8] 井上一道, Sam Ann Rahok, 尾崎功一, “つくばチャレンジにおける移動ロボットの設計方針の提案と考察”, 日本ロボット学会誌, 2012, 30 巻, 3 号, p. 234-244.
- [9] M. Tomonou and Y. Hara, “Current and Future Directions in SLAM,” , Systems, Control and Information, 2020, Vol.64, No.2, pp. 45-50.
- [10] 伊藤翔太, 村上雅, プレーマチャンドラ・チンタカ, 新田益大, 加藤清敬, “自律移動ロボットのための巾木の認識による自己位置推定”, 精密工学会誌, 2013, 79 巻, 7 号, p. 671-676.
- [11] 友納正裕, 油田信一, “不正確さを許すマップと単眼ビジョンによる物体認識に基づく移動ロボットの屋内ナビゲーション”, 日本ロボット学会誌, 2004, 22 巻, 1 号, p. 83-92.

- [12] 小林祐一, “単眼カメラによる Visual SLAM の原理と 3 次元再構成の実装例”, システム／制御／情報, 2020, 64 巻, 2 号, p.57-62.
- [13] Hao Zhang, Yu Wang, Tianjie Zhong, Fangyan Dong, Kewei Chen, “FFD-SLAM: A Real-Time Visual SLAM Toward Dynamic Scenes with Semantic and Optical Flow Information”, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 2024, Vol.28, Issue3, P.586-594.
- [14] 杉崎光一, 阿部雅人, 全邦釘, “大規模言語モデルの専門領域への適用に関する検討”, AI・データサイエンス論文集, 2023, 4 巻, 3 号, p.474-481.
- [15] 藤井純一郎, 大久保順一, 緒方陸, 天方匡純, “LLM を土木分野に適応するための基礎的研究”, AI・データサイエンス論文集, 2023, 4 巻, 3 号, p.779-785.
- [16] Kittiwattanakul Narin, 妹尾大, “大規模言語モデルを活用した自動化インターネットミーム広告による顧客ブランドイメージへの影響”, 経営情報学会全国研究発表大会要旨集, 2023, 202311 巻, 2023 年全国研究発表大会, セッション ID PR0083, p.92-95.
- [17] 持橋大地, “大規模言語モデル (LLM) とロボティクス”, 日本ロボット学会誌, 2022, 40 巻, 10 号, p.863-866.
- [18] Jing Yu Koh, Ruslan Salakhutdinov, Daniel Fried, “Grounding Language Models to Images for Multimodal Inputs and Outputs”, Proceedings of the 40th International Conference on Machine Learning, 2023, PMLR 202:17283-17300.
- [19] OpenAI et al. “GPT-4 Technical Report” 2024
- [20] OpenAI “ChatGPT で始める” <<https://openai.com/ja-JP/>> (参照日 2025/01/30)
- [21] OpenAI “Memory FAQ” <<https://help.openai.com/en/articles/8590148-memory-faq/>> (参照日 2025/01/30)
- [22] リコーイメージング株式会社 “THETA S” <https://www.ricoh-imaging.co.jp/english/products/theta_s/> (参照日 2025/01/30)

謝辞

本研究を進めるにあたり，三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 池浦良淳教授には研究に関する有益なご助言を頂き，深く感謝致します．厚く御礼申し上げます．

また，大変お忙しい中，本論文を査読して頂くと共に，多数のご教示，ご助言を賜りました三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 矢野賢一教授に厚く御礼申し上げます．

また，三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 早川聡一郎准教授には終始多大なる御指導，御鞭撻を親身になって行って頂き，深く感謝致し，厚く御礼申し上げます．

そして，親身な御協力，御尽力，アドバイスをくださった吉田俊一技官に厚く御礼申し上げます．

また，研究室での生活を楽しく豊かにして頂き，実験に協力していただいた，修士 1 年生，学部 4 年生の皆様に感謝し，今後のご活躍を期待しております．

そして，研究室生活を忘れる事の出来ない充実したものにして頂いた修士 2 年生の小西克典氏，高橋大地氏，田畑和晃氏，福井あやか氏，松田凌弥氏，山本海都氏には心より感謝の意を表します．

最後に，大学院在籍中，惜しめない援助を送ってくださった家族のお陰で充実した素晴らしい勉強・研究生活を送ることができました．感謝の気持ちを述べることで謝辞の最後とさせていただきます．