

# 移動ロボット 評価指標



## 調査検討委員会中間報告書



2021年6月

ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会

ロボットイノベーションWG

移動ロボット評価指標調査検討委員会

## 目次

<b>1.</b>	<b>はじめに .....</b>	<b>3</b>
1.1.	本委員会の目的 .....	3
1.2.	想定読者及び対象となる移動ロボット .....	4
1.3.	目指すべき姿 .....	5
1.4.	関連する規格・国際標準 .....	7
1.5.	用語説明 .....	10
1.6.	委員名簿 .....	11
<b>2.</b>	<b>活動概要 .....</b>	<b>12</b>
2.1.	移動ロボットの機能と評価項目の決定 .....	12
2.2.	考慮すべき環境側の要因 .....	13
2.3.	前提条件 .....	16
<b>3.</b>	<b>自己位置推定 .....</b>	<b>17</b>
3.1.	評価項目における前提条件 .....	17
3.2.	評価項目 .....	17
3.3.	評価方法 .....	18
3.4.	評価時の外部要因の扱い方 .....	20
<b>4.</b>	<b>経路生成 .....</b>	<b>23</b>
4.1.	評価項目 .....	23
4.2.	評価方法 .....	25
4.3.	外部要因の取り扱い .....	27
<b>5.</b>	<b>障害物検出 .....</b>	<b>31</b>

5.1.	想定する環境、動作、ロボット .....	31
5.2.	評価項目 .....	31
5.3.	外部要因の取り扱い .....	32
5.4.	障害物検知に関するその他の意見 .....	34
<b>6.</b>	<b>評価環境 .....</b>	<b>35</b>
<b>7.</b>	<b>まとめ .....</b>	<b>37</b>
<b>付録</b>	<b>移動評価指標を用いたロボット導入ロールプレイング</b>	<b>37</b>

# 1. はじめに

## 1.1. 本委員会の目的

高齢化社会における労働力人口不足の解決のために、様々な技術開発が行われており、人が行う労働を代替するロボット技術が注目されている。とりわけ、モノの運搬といった単純な作業を行うロボットは、センサや周辺環境に認識技術の開発が進み、実際の現場での導入例が増え始めている。実際に、多くの企業や研究機関が、実際の現場で移動ロボットの導入を進めようと、導入計画や実証試験を行っている。

しかし、移動ロボットの導入に関する指標や標準的な試験項目が無いため、どのような実証実験を行うか、どこまで実証すれば良いのか、などが実施者の経験や勘にゆだねられている。また、移動機能を評価する共通の指標が存在しないため、これまで移動ロボットを客観的に選定したり、比較したりすることが困難であった。

このような課題を、移動ロボットの導入場面に応じて整理すると、次のようになった。

- ・ 移動ロボットを現場導入する際、広くステークホルダーが納得できる客観的な導入指標が必要
- ・ 移動ロボットの機能を比較・評価するための客観的な評価指標が必要

そこで、本委員会は移動ロボットに知見を有するRRI会員に委員として集ってもらい、上記の課題を解決できる移動ロボットの導入指標や評価指標の確立を目指して、2019年度に設立、活動開始した。

設立当初の議論において、上に挙げた課題に対応する移動ロボットを評価する指標として、以下の様な2つの項目について考慮することが確認された。

### ① 導入指標項目

Slerが移動ロボットを導入する際に、導入環境に対して対象となる移動ロボットが導入可能かどうかの判断を行う。また、導入先となるユーザに対して、導入ロボットの客観的な説明や、ロボット性能を発揮するため導入現場の環境整備などを提案・説明する。

### ② 機能評価項目

開発者が移動ロボットの機能を開発・改良する際に、各機能の性能を評価したり、他の移動ロボットの機能と比較したりする。

このように本委員会では、移動ロボットの評価指標を確立することで、移動ロボットの現場への導入やロボットメーカー内での開発を加速・推進するとともに、導入先であるユーザにロボットの特性を知ってもらい、ロボット導入に理解してもらうことを目指す。

なお、ロボットに関する評価としては、安全性の観点も重要である。一般に安全評価では、安全の評価基準となる安全規格が定められており、安全規格に準拠しない安全評価は製造物責任上の問

題を生じる場合がある<sup>1</sup>。よって安全評価では関連規格との整合性を十分に考慮した上で評価指標を構築していく必要があるものの、安全評価は評価指標に関する取り組みへのハードルが上がる。そのため、ひとまず本委員会で対象とする評価指標には安全評価は含まないこととし、取り組みへのハードルを下げるためにも、性能評価による市場拡大支援を早期に実現する事を目指す。なお、安全評価に関しては、RRIでは別委員会（ロボット安全設計開発調査検討委員会）にて検討が行われている。

## 1.2. 想定読者及び対象となる移動ロボット

移動ロボットのようなサービスロボットは、産業用ロボットとは異なり、ステークホルダーが広範囲におよぶことが特徴である。工場内で稼働する産業用ロボットでは、ロボットの設計などに携わる開発者や製造者、Sier、ロボットを使用する作業員やそれらを管理する経営者や管理者がそれに相当する。産業用ロボットは閉じられた空間で稼働し、ステークホルダー全員への安全教育・周知徹底が可能なため、ロボット導入のハードルはそれほど高くはなかった。

一方、サービスロボットの場合、稼働するシーンにもよるが、多くの人が行きかう駅やショッピングセンターの場合、ロボット設計者やSier、ロボットユーザはもちろん、施設管理者や警備関係者、ロボットを直接使用していない他のテナント業者や、たまたまその場に居合わせた駅やショッピングセンターの一般利用者までをステークホルダーに含める必要がある。ロボット技術に馴染みがない人々もステークホルダーになるため、産業用ロボットに比べると導入ハードルが高くなることが想定される。したがって、ロボットの専門家ではない人にも丁寧な説明が必要であり、これらの人々のことも考慮した共通指標や認識事項ができなければ、導入プロセスを容易にすることができない。

- 移動ロボットを開発するメーカー：開発者・開発メーカーは、導入現場の全てを把握しているわけではないため、ある導入現場においてどの性能を高めるべきか、どのような指標があれば現場に則した性能評価ができるのかが不明である。指標があることで客観的な自社ロボット評価や、他社製ロボットとの比較ができる。
- 移動ロボットを選定し、システムを構築するSier：ある現場に移動ロボットを導入する際、全てのロボットを統一的に評価できる基準がなかったため、Sierの経験や勘に頼る部分が多かった。共通評価指標を設定することで、導入口ロボットの客観的な比較ができ、ユーザやロボット開発メーカーとの意思疎通がしやすくなる。
- 移動ロボットを導入するユーザ：ロボット技術に関して専門的な知識のないユーザにも、分かりやすい指標・前提事項を共有化することで、ロボット導入時の比較検討への参加、現状の口

---

<sup>1</sup> 安全規格に準拠する安全装置では、一般的にフェールセーフ性を求めている。【事件番号】平成2年（ワ）第10363号（東京地裁）では、ユーザが製麺機のカス取り作業中カッターが回転して指先部を切断した事故で、フェールセーフ性を有しない安全装置を「安全装置」と呼称し製麺機を販売・事故を起こしたとして、メーカーの安全配慮義務違反（不法行為責任）を認めている。

ロボット技術についての理解を促進できる。ロボット導入に関する過度な期待を和らげ、現場導入に当たって運用や施設管理の面で、考慮すべき事項を明らかにしておく。

- それ以外の導入現場の人々：現在のロボット性能を分かりやすく示すことで、ロボットはどのようなことが苦手で、どのようなことが性能に悪影響を及ぼすかを説明しやすくする。これにより、ロボットに対する過度な期待と、不必要な不安を取り除く。

本委員会では、サービスロボットとしての移動ロボットを想定しているため、人と混在した公共空間や家庭、オフィスにおいて、移動を伴う何らかのサービスを提供するロボットに限っている。移動機構においては、床面上を主に車輪などによって駆動するものを対象とし、移動速度は人が歩く程度のものとした。したがって、移動ロボットと言っても、ドローンのように空中を移動するものは除外した。また、議論すべき移動ロボットの性能としては、移動そのものに特化し、例えば案内ロボットにおける案内内容や表示機能、清掃ロボットにおける清掃性能など、移動それ自体でない機能については議論の対象としなかった。

限られた時間で、効率的に議論を進めるため、本委員会で当面議論する内容は、活用されるシーンを限定し、自律移動ソフトウェアに関わるものに重点を置いた。ただし、将来的には様々な環境に適用可能なよう、想定シーンを拡大するとともに、ソフトウェアのみならず、ハードウェアの評価指標を見据えていくこととした。

### 1.3. 目指すべき姿

今まさに、ユーザが移動ロボットをある現場に導入しようとしている場面を想像しよう。ユーザは特にロボットに関する専門的な知識を持っておらず、話題づくりや、ロボットがあれば役に立つかも、と思っているのかもしれない。まず、ユーザは「〇〇の場所で〇〇をしてくれるサービスロボットを導入したい」と、ロボット全般に詳しそうなSlerに持ちかける。Slerは、具体的な導入場所やどのようなタスクをしてくれるロボットを考えているのかをユーザからヒアリングする。ここで要件定義ができるはずであるが、ユーザとSlerとの間で話が噛み合わないことが頻繁に発生する。両者で使用している用語の意味の微妙なズレや、それぞれが思い描いているイメージが違うことが原因の一端として考えられる。また、ロボット技術にそれほど明るくないユーザであれば、Slerに全てを丸投げしてしまうかもしれない。

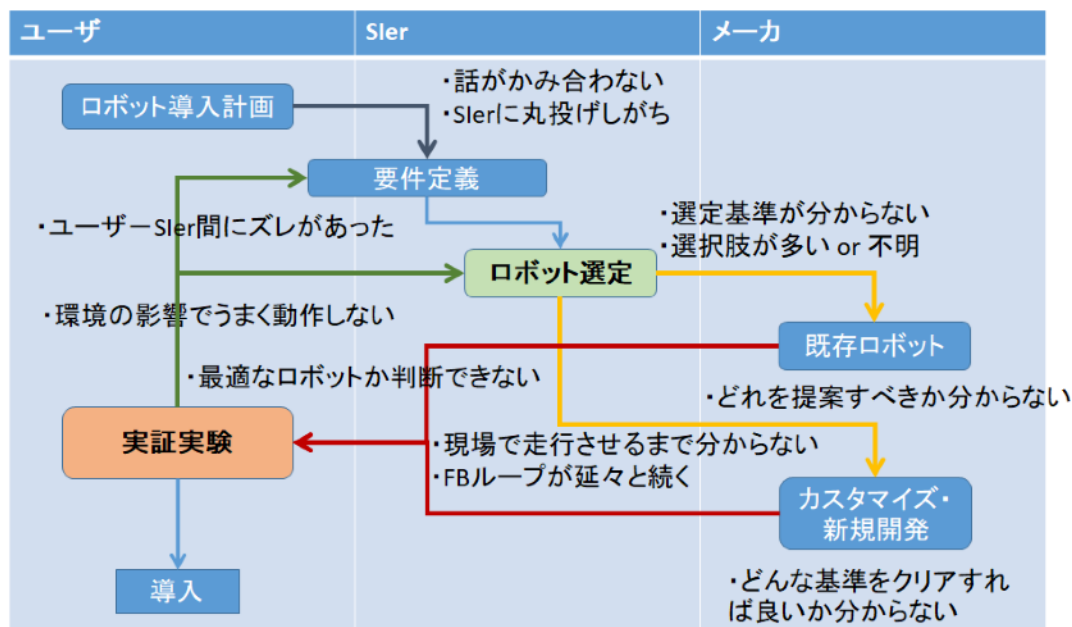
ユーザからロボット導入を任されたSlerはロボット選定を行うが、ロボットの性能はロボットメーカ各社が自社で定めた性能表（スペック）で記載されており、全メーカで共通した物差しがないため選定基準が分からない、という状態に陥ってしまう。また、全機種のカatalogが整備されておらず、網羅的にロボットを比較して選択することができない。そこでSlerは、導入シーンが異なっているものの、これまで自分が使ったことのあるロボットに今回も頼ってしまうことが考えられる。もしくは、似たようなシーンで導入されたロボットの話聞きつけ、導入ロボットのタイプに目星を付けることもあるだろう。

ひとまずロボットを選定したSlerは、ロボットメーカーからの協力を得ながら、ユーザが想定している現場にロボットを持ち込み、実際に走行できるか、タスクをこなせるかを実証する実験を行う。導入しようとしている現場は、初めてロボットを走行させる場所が多いため、もともとロボット走行に適していない環境であるかも知れない。走行できたとしても、ロボットの挙動が不安定になる箇所が出てくるし、アルゴリズムのパラメータ調整にてこずることになる。

ロボット開発メーカーとしては、研究室内や自社建屋内での走行実験を行ったうえで、導入現場にロボットを持ち込んでくるはずである。しかし、よくあるのが、「研究室では上手くいったが、実際の現場では上手くいかない」という現象である。現場の技術者は、実験室と実証現場を行ったり来たりしながら、文字通り試行錯誤を強いられることとなる。

ロボット技術者からすると、ロボットの導入現場環境に対して、要望を言いたくなることもある。例えば、「ロボットの想定コースになっている廊下が狭くて単調なので目印になるものを設置して欲しい」だとか「スロープが大きすぎて走行できない」などの意見が出されたとしても、最初の要件定義などで課題抽出されていないと、ユーザや施設管理者から「今さら環境は変えられない」や「聞いていない」といった齟齬が出やすくなる。ユーザにロボットに対する過度な期待がある場合には、ロボット技術に対する失望、といった感情も生まれてくることになる。

導入現場で実証実験を繰り返したものの、選定したロボットではタスクをクリアすることができず、ロボット選定や要件定義にまで手戻りするケースも発生する。さらには、なんとか実証実験までは行ったものの、最終的には本格導入が見送られる場合もある。



#### 指標がない場合の導入プロセス

評価指標があることによって目指すのは、上記のような問題を解決することである。

まず、あらかじめ移動ロボットの性能を比較検討可能なように指標を整備しておくことで、Sler

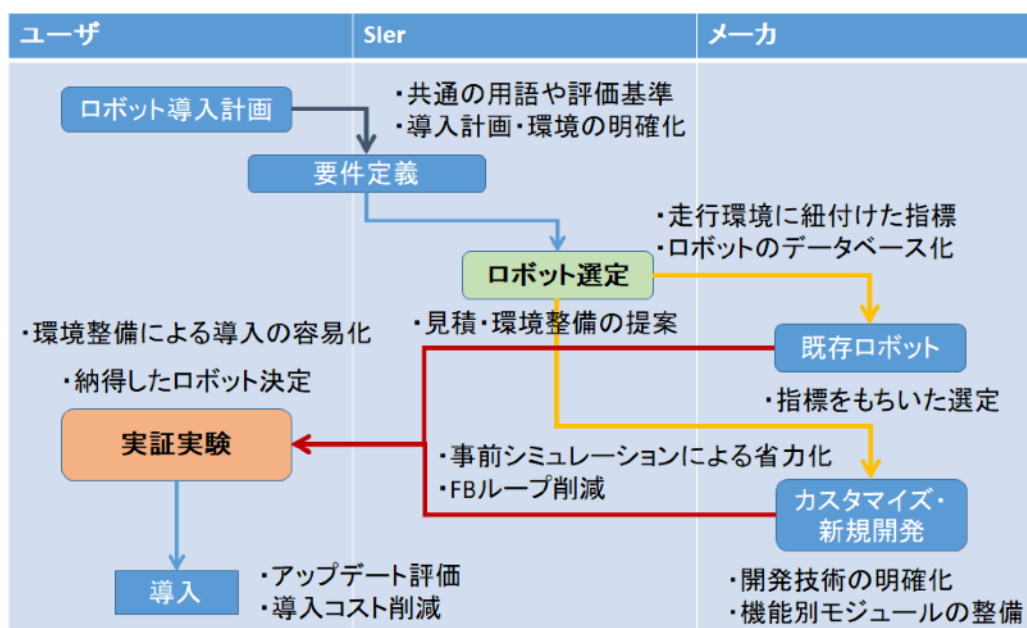


とユーザの間でロボットの技術水準に対する認識を共有することができる。これにより、どのような環境であればどんなタスクができるのか、といった導入計画や環境整備の明確化を図る。

移動ロボット全般での共通した指標や、個々のロボットにとって稼働に適した環境を紐付けておくことで、Slerが客観的にロボット選定できるようにする。これにより、Slerはユーザに対し、ロボット導入現場への環境整備に関する助言も具体的になる。またロボット開発メーカーに対しては、開発・改良すべき技術を明確に指摘することができる。

ロボット開発メーカーにとっては、指標があることで、開発技術の明確化や機能別モジュールの整備が進み、結果的にはロボット技術の更なる発展・向上につながる。また、導入環境に紐付けた指標があることで、実証現場と実験室とを行ったり来たりするループを少なくすることも期待でき、ロボットの早期導入を図ることができる。

さらには、本委員会では将来的にロボット導入におけるシミュレーション環境の構築も目標の一つとしている。実際の導入現場の物理特性を模擬した仮想空間において、ロボットモデルを用いた走行実験を行うことで、実証走行前での課題抽出・解決を狙っている。これにより、移動ロボット導入の容易化・コスト削減を図り、ロボットの社会実装に対するハードルを下げたい、というのが本委員会のねらいである。



評価指標によって目指す導入プロセス

## 1.4. 関連する規格・国際標準

- 環境に関係するもの

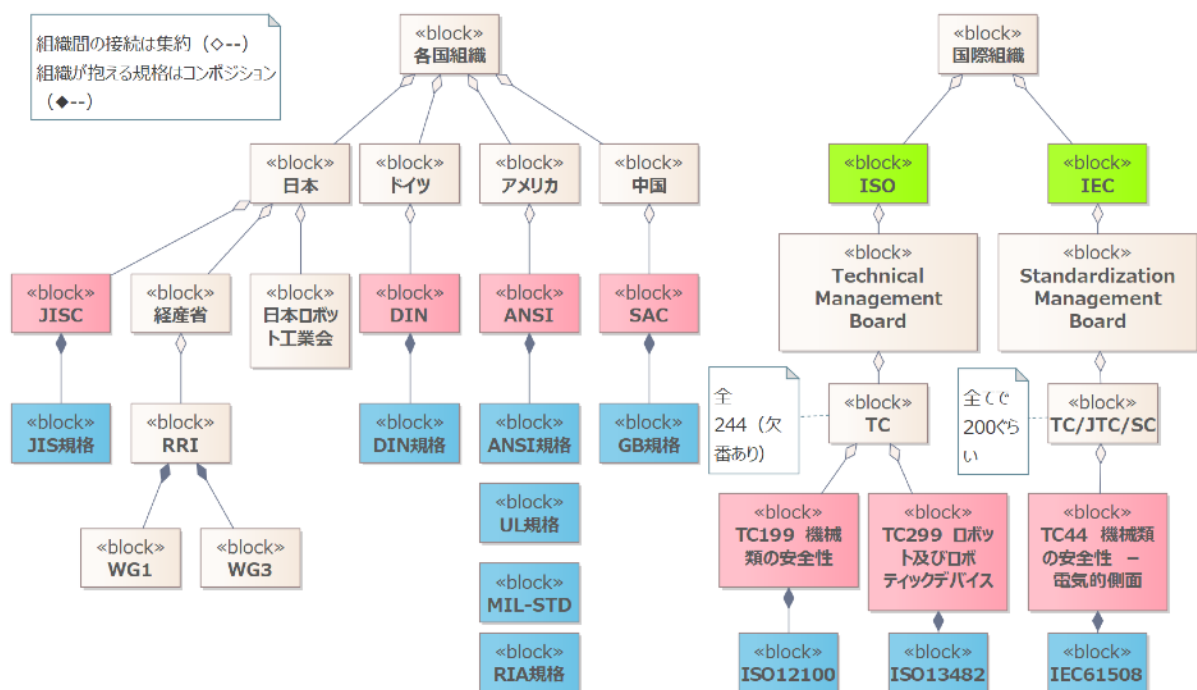
ロボットが活動する環境に関して法、ガイドライン、規格等で規定されているものがある。その例を次に示す。



- ・ 建築基準法、建築基準法施行令（例：居室床面積が200平方メートルを超え両側に居室のある廊下は幅1.6m以上、その他は幅1.2m以上（建築基準法施行令第119条））
- ・ 消防法、火災予防条例（例：床面積1,500平方メートル以上の売場の主要避難通路幅は2.0m以上、300平方メートル以上は1.6m以上、150平方メートル以上は1.2m以上（神戸市消防局、火災予防条例の運用基準、H23））
- ・ 高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律（バリアフリー新法）、関連条例（例：廊下幅は1.2m以上、スロープ勾配は1/12以下（建築物移動等円滑化基準））
- ・ オフィス用家具に関する規格：JIS S 1010(事務用机の寸法)、JIS S 1011(事務用いすの寸法)、JIS S 1015(講義室用連結机・いすの寸法)、JIS S 1031(オフィス用家具－机・テーブル)、JIS S 1032(オフィス家具－椅子)、JIS S 1033(オフィス家具－収納家具)、JIS S 1038(事務用いす用キャスター))

## ● ロボットに関するもの

ロボットに関する規格の関係性を示す。組織と規格の関係性を示しており、組織のつながりは集約とし、組織で作られた規格はコンポジションとして表現した。



ロボット規格の関係（サービスロボットに関するものを中心に抜粋）



安全規格体系 (「機械類の安全性」に係る国際規格とJIS [http://www.jmf.or.jp/content/files/katudou/2020\\_kikaianzen\\_jis.pdf](http://www.jmf.or.jp/content/files/katudou/2020_kikaianzen_jis.pdf) より)

次にISO/IECの安全規格の体系を説明する。上図に示す通り安全規格は体系化されており、サービスロボット安全規格であるISO13482はCに属す。そのため、B規格やA規格の内容も該当する場合には参照することが望まれる。そのため、性能標準として考えた場合に関係する規格を抽出し、下の表に示す。

No.	ISO規格	JIS規格	タイトル
1	ISO 13482:2014	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
2	ISO 18646-2:2019	-	Robotics — Performance criteria and related test methods for service robots — Part 2: Navigation
3	ISO/TS 15066:2016	TS B 0033:2017	ロボット及びロボティックデバイス—協働ロボット
4	ISO 3691-4:2020	-	Industrial trucks — Safety requirements and verification — Part 4: Driverless industrial trucks and their systems
5	ISO13855:2010	JIS B9715:2013	機械類の安全性—人体部位の接近速度に基づく安全防護物の位置決め
6	IEC TS 62998-1:2019	-	Safety of machinery – Safety-related sensors used for the protection of persons

## サービスロボット関連規格

## 1.5. 用語説明

「移動ロボット」という用語は、ISO 13482「ロボットおよ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」において、自らの制御下で移動することができるロボットとして定義されている。ISO13482が取り扱うのは、医療用でない生活支援ロボットロボットの安全要求事項についてであるが、本委員会で使われる性能評価に関する用語も、この規格を元になっている。本委員会で議論を進めるにあたって、この国際規格で登場しない用語も多用された。本報告書にまとめるにあたり、既出のものも含め、いくつかの用語を整理した。

仕様：

ユーザやSlerに向けた移動ロボットのカタログがあった場合に、ソフトウェアやハードウェアにかかわらず記載すべきロボットの性能。ユーザ目線に立ち、ロボットの専門家でなくとも理解しやすいものとした。後述するが、本委員会では「連続稼働時間」、「最大積載量」、「目標位置停止精度」などが挙げられた。

機能：

仕様を満たすために移動ロボットが具備しなければならない能力とし、この性能を評価する指標を検討することが、本委員会の目的となる。移動ロボットには様々な機能が必要となるが、「自己位置推定」、「地図生成」、「経路生成」、「経路追従」、「障害物検出」、「障害物回避」などが挙げられる。必須機能もあるが、オプション的にあれば嬉しい、という機能も考えられるが、本委員会では、特に「自己位置推定」、「経路生成」、「障害物検出」を議論した。

外部要因：

ロボットの機能を発揮する上で、影響を与える環境側の要因とした。例えば、床材はロボットの車輪と直接接触しており、材質による摩擦の違いで車輪のすべりが発生するような場合には、車輪回転数から算出されるオドメトリに誤差が生じ、自己位置推定の精度に影響を及ぼす。このとき、床材を外部要因として考え、摩擦係数がパラメータとして扱われる。

導入指標項目：

ユーザやSler目線に立ち、移動ロボットを導入する前に、導入しようとするロボットが導入可能かを判断するための項目とした。また、導入可能にするための走行環境の整備にも使用できるようにする。

機能評価項目：

主に開発者目線に立ち、移動ロボットの機能を開発・改良する際に、客観的に性能評価したり、他ロボットとの比較に用いたりする項目とした。

## 1.6. 委員名簿

(敬称略・順不同)

(委員長) (国研)産業技術総合研究所  
(副委員長) パナソニック(株)

阪野 貴彦  
グエン ジュイヒン

### 【委員メンバー】

(学)会津大学

成瀬 継太郎

(学)会津大学

屋代 眞

(地独)神奈川県立産業技術総合研究所

宮澤 以鋼

国際航業(株)

武田 浩志

(株)J R 東日本商事

大野 誠一郎

(株)セック

中本 啓之

(株)セック

建部 貴隆

T I S (株)

石橋 靖嗣

T I S (株)

松井 暢之

T H K (株)

三好 崇生

テュフラインランドジャパン(株)

深見 正教

(株)東芝

山本 大介

(株)東芝

森 明慧

(学)長岡技術科学大学

木村 哲也

パナソニック(株)

岡本 球夫

富士ソフト(株)

田中 菜実

富士ソフト(株)

荊澤 秀雄

(株)三菱電機

水野 大輔

(株)日立製作所

中村 亮介

(一財)日本品質保証機構

井熊 隼人

(一社)日本ロボット工業会

三浦 敏道

(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構

大橋 英征

## 2. 活動概要

### 2.1. 移動ロボットの機能と評価項目の決定

本委員会では、移動を伴うサービスロボットについて、特に自律移動に関わる機能で主にソフトウェアに重きを置いて検討を行う。

まず、各委員に移動ロボットにおいて重視すべき仕様を挙げてもらった。ここでいう仕様とは、ロボットのカタログがあった場合、ユーザに分かりやすく、ロボット選定判断に資するようなスペックに相当する項目である。「目的地での停止精度」や「走行可能環境」、「障害物回避能力」、「連続稼働時間」、「積載量」など、重要視する優先順位を付けて回答してもらった。下に各委員におこなったアンケート調査票と、その結果を示す。

自社のロボットで重要だと考える仕様		1	2	3	4	5	6	7	対応数
		目的地での停止精度	走行可能環境	障害物回避	連続稼働時間	積載量			
機能①	地図生成	○	○						2
機能②	自己位置推定	○	○						2
機能③	経路生成		○	○					2
機能④	経路追従		○	○					2
機能⑤	障害物検出		○	○					2
機能⑥	バッテリー量				○				1
機能⑦	耐荷重					○			1
機能⑧									
機能⑨									
機能⑩									
機能⑪									
機能⑫									

Step1  
移動ロボットにおいて必要な仕様抽出してください  
(追加が必要な場合は6列目以降をお願いします)

Step2  
Step1の仕様を達成するための必要な機能を列挙してください  
(追加が必要な場合は機能⑫以降をお願いします)

記入例はあくまでも例です

Step3  
各仕様に対してそれを達成するのに必要な機能に対応している箇所には○を入れてください。  
その後、対応数が多い機能を上位4つ選んでください

重要視すべき移動ロボットの仕様と機能

自社のロボットで重要だと考える仕様		目的地での停止精度	走行可能環境	障害物回避	連続稼働時間	積載量	経路追従精度	走破性	自動率等との融合	障害・障害対応	強固対応
A社	走行可能環境										
B社	目的地での停止精度										
C社	目的地での停止精度										
D社	目的地での停止精度										
E社	目的地での停止精度										
F社	目的地での停止精度										
G社	走行可能環境										

優先すべき移動ロボット仕様のヒアリング結果

次に、重要視した仕様を達成するために必要なロボット機能について、まとめる作業を行った。これも各委員に対して、必要と思われる機能をまとめたうえ、優先すべきものを4つ挙げてもらった。その結果を次の表に示す。

	上記の仕様を達成するために必要な機能（上位4位）			
A社	地図生成	自己位置認識	経路生成	経路追従
B社	自己位置推定	経路追従	地図生成	障害物検出
C社	地図生成	自己位置推定	障害物検出	経路生成
D社	SW:地図生成	SW:自己位置推定	SW:経路生成	SW:障害物検出
E社	自己位置推定	経路生成	経路追従	障害物検出
F社	自己位置推定	加減速度	障害物検出	配車管理・他車連携
G社	地図生成	自己位置推定	経路生成	経路追従

#### 優先すべき移動ロボット仕様を達成するために必要な機能（上位4つ）

委員より挙げた必要な機能項目をまとめると、およそ次のような大分類が可能となった。この結果を受けて、本委員会では、「自己位置推定」、「経路生成」、「障害物検出」の3つの機能を、移動ロボットの性能評価指標を検討すべきものとした。

自己位置推定	自己位置認識
	地図生成
経路生成	経路生成
	経路追従
障害物検出	障害物検出

#### 必要機能まとめ

## 2.2. 考慮すべき環境側の要因

3つの重要な機能に関して、具体的な評価基準や評価方法の議論を始める前に、これらの機能に影響を与えると考えられる外部要因について検討した。その結果、大まかに次の6つに分類される。

### 1. 「床」に起因するもの

ドローンのように空中を移動するロボットを除き、床は移動とボットと直接接触している。移動に必要な力は、全て床との摩擦によって作用するため、床はロボットの踏破性に直接的な影響を与える。以下に、床関係で考慮しなければならない主な要因を挙げる。

- ・ 床材（表面の滑らかさ・絨毯の毛足など摩擦係数に関わるもの）
- ・ 床の傾斜
- ・ 床の耐荷重やたわみ

- ・ 点字ブロック（視覚障害者誘導用ブロック）
- ・ 側溝（主に屋外）
- ・ グレイチング（主に屋外）
- ・ 段差や路面の凹凸（主に屋外）
- ・ 床面に這わせたケーブルやケーブルモール
- ・ 建物や部屋の入口にある床マット

## 2. 「壁」に起因するもの

レンジセンサを用いて自己位置を推定するタイプのロボットでは、ロボット自身で取得した周辺形状データが、自己位置推定の手掛かりになる。ところが、レーザなど光の反射を利用しているレンジセンサの場合、対象表面がガラスなどの透明なものや鏡だと、計測することができない。また、表面が黒色だと、光が吸収されてしまい、正確に計測することができない。そのため、壁の材質や色も移動ロボットの性能に影響を与える要因となる。

- ・ 窓などのガラス
- ・ 透明ビニールシートや感性防止のための透明ボード
- ・ 鏡もしくは鏡面反射するもの
- ・ 黒い壁

周辺の形状が自己位置推定の手掛かりとなるが、例えば周りに壁など何もない環境では形状が取得できず、反対に、壁までの距離が近すぎてレンジセンサで形状取得できない状況では、自己位置推定ができない。また、長い廊下や同じような形状パターンが繰り返されるような場所では、マッチングする箇所が複数発生し、自己位置を誤認識する可能性が発生する。

- ・ 壁までの距離、廊下幅
- ・ 長い廊下など特徴のない壁
- ・ 同じようなパターンが繰り返される環境（ホテルの廊下、同じ棚が並んでいるような倉庫など）

## 3. 「場所」に起因するもの

開き扉がある場所では、移動ロボット走行中に突然ドアが開き、ロボットが激突する場合が考えられる。入口やエレベータ付近では、人が出入りする際にロボットに気が付かずぶつかるケースもある。階段など、自己位置推定を誤った場合には転落する可能性も考えられる。このような衝突リスクのある場所は、経路に設定されないような処置が必要になるなど、ロボット



の機能に影響を及ぼす。また、ポールなど細い障害物の場合、検出に失敗してぶつかるなどの危険性も考えられる。さらに、自己位置推定にGPSを使用しているロボットでは、屋根の有無や、周辺の建物も大きな影響を及ぼす。

- ・ ドア
- ・ エレベータ
- ・ 階段、エスカレーター
- ・ 柱
- ・ ポールや柵、樹木など細い物体
- ・ オーバーハング
- ・ 屋根の有無（主に屋外環境）
- ・ 周辺の建物（屋外環境）

#### 4. 移動物体

移動ロボットのようなサービスロボットでは、人と混在した環境で稼働することを想定しているため、周辺の人々の動きや人の数によっても移動ロボットの性能は影響を受ける。例えば、ロボットの周りに人が多すぎる場合には、地図との照合ができず、自己位置を見失うことになる。人以外にも、カートや台車などの移動物体は想定され、椅子や机など固定設置されていない物体にも影響を受ける。このような物体は、地図作成時と位置が異なっていることがあり、自己位置推定に影響を与え、場合によっては局所的に避けて移動しなければならない。また、オフィスなどのような場所では、床に置かれた段ボール箱やごみ箱、プランターなどが経路上にある場合、衝突を回避するためにこれらを検知する必要がある、これらも外部要因となる。

- ・ 人、人流
- ・ カートや台車などの移動物体
- ・ 机や椅子など固定されていない物体
- ・ 床に置かれた段ボール箱など、障害物となりうる物体

#### 5. 通信環境

移動ロボットの運用などによっては、Wi-Fiなどの通信を利用しているものもあるため、電波の届き易さや、ルータや中継機器の追加設置などが必要になる場合がある。

## 6. その他の環境要因

環境によっては、移動ロボットに搭載されているセンサの性能に影響を及ぼすことが考えられる。例えば、屋外環境での砂塵や雨・風などの気象条件や温度・湿度などで、レンジセンサが所定の性能が発揮できないことがある。また、カメラを用いている場合には、照明や日照条件によって、同じ場所であっても画像が異なるため、移動ロボットの性能には大きな影響を及ぼす。

- ・ 砂塵
- ・ 雨、雪、霧
- ・ 風（ドローンなどに影響）
- ・ 温度、湿度
- ・ 明るさ、日照条件（時間帯や季節などによる影響も含む）
- ・ 周辺の騒音

## 2.3. 前提条件

毎月の委員会では3つの機能ごとにサブワーキンググループを形成し、各外部要因をどのように扱い、どんな項目を評価するのかについて議論を行い、会合の最後に各項目に関して委員会全体で内容の調整を行いながら、参加者の総意を図った。

各サブワーキンググループにおいて詳細な議論を行う際、共通した前提事項についてまとめておく。

- ・ 想定するシーンは、人が活動する空間であり、段差のない平面フロアとする
- ・ 移動ロボットは、人が歩く程度の移動速度で、車輪機構による平面運動とする
- ・ ロボットは導入する現場での地図をあらかじめ持っているものとする
- ・ 移動が許可されている範囲はあらかじめ決まっており、リスクアセスメント済みとする

## 3. 自己位置推定

### 3.1. 評価項目における前提条件

評価方法を議論するにあたって、自己位置推定グループでは以下の前提条件を設定した。本来は様々な状況を想定した評価方法が望ましいが、まず限られた環境で評価する方法を確立し、将来的にはこれを各状況に応じて展開していくこととする。

- 自己位置推定に関しては「自己位置認識」と「地図生成」をそれぞれ評価するのではなく、両方の機能を包括して評価を行うものとする
- ロボットの走行環境は屋内環境のみを想定する
- 自己位置認識に用いるセンサは、LiDAR（3D、2D）を想定するものとする
- 自己位置認識手法にLiDARを用いるため、地図は2D、3Dの点群またはボクセル地図を想定する

「自己位置認識」と「地図生成」の評価を包括して行う理由は、移動ロボットを導入するユーザーの視点から考えれば、ロボットの機能として必要なのは移動ロボットが指示した目的地に対して「到達できるかどうか」、また「どれくらいの精度で到達できたのか」と考える。また、地図の精度が直接的に自己位置認識の精度には依存しないケースも存在する。地図の精度が悪くても、推定位置の繰返し再現精度は確保できるからである。そのため、「地図生成」は「自己位置認識」に必要な機能の一部と捉え、地図単独のみの評価は行わないこととした<sup>2</sup>。

### 3.2. 評価項目

自己位置推定の評価項目をそれぞれ以下の様に定めた。

- ・ 導入指標項目

『指定された目的地への到達』

⇒移動ロボットが目的地に自身が定めた条件で「到達した」と判断するまで自律移動を継続できたかどうかで判断

- ・ 機能評価項目

『指定された目的地までの移動中における自己位置推定の精度』

---

<sup>2</sup> 地図単体の評価方法には以下の方法等が存在する。地図の任意の点を原点とし、地図上と実環境上に同じ原点を設定する。次に地図上においていくつかの任意点を抽出し原点から相対座標を求める。それに対応する任意の点の相対座標を実環境において計測する。最後に、求めた地図上の相対座標と実環境の計測値を比較することで地図の精度を評価する事ができる。

⇒自己位置推定の精度評価はシミュレーション上で行い、ロボットの姿勢 (x,y,θ) を推定された値とシミュレーション環境上<sup>3</sup>での真値との比較<sup>4</sup>を実施

#### 【選定理由】

導入指標項目に関しては、全ての移動ロボットの共通する目的は、「目的地まで移動する」ことであると考え、この項目を策定した。目的地への到達精度は各移動ロボットのアプリケーション毎に異なるため、精度に関しては特に条件は設けないものとした。

また、時間に関する項目については来年度以降に盛り込むものとする。評価としては、例えば30分間あきらめずに迷い続け、その後無事に目的地に到達することができた場合は、目的地に到達できたと判断する。

機能評価項目に関して、アプリケーションによっては、ただ単に目的地にたどり着くだけではなく、指定された精度で目的地にたどり着くことや、指定された精度で走行することを求められることも考えられるため、真値に対してどの程度の精度で推定できているかを評価項目とした。しかし、単純に位置精度だけで比較してしまうと、環境が変わっても安定した精度で推定できるか不明なため、地図生成時と現在の環境の変化率、位置認識の信頼性を合わせて評価することとした。

### 3.3. 評価方法

#### ・ 仮定条件

今回の評価方法は以下の条件にあてはまる移動ロボットを想定して策定した。

➤ LiDAR(2D or 3D)で位置認識する移動ロボット

➤ 走行環境は屋内であること

#### ・ 評価環境

評価項目環境は2種類の評価環境を策定した。実際の走行環境で移動ロボットが走行できるかを評価するために、「実際の走行環境を模擬したシミュレーション環境」を、各ロボットの機能面を評価するために「形式的な走行環境を模擬したシミュレーション環境」を策定した。

---

<sup>3</sup> シミュレーションには、移動ロボットのセンサが環境をセンシングした際に、地図作成時に存在したものか、障害物なのかが判断できるような機能を設けるものとする。今年度作成したシミュレーションはまだ開発段階であるが、一部の評価が可能になるところまでは完成した。詳細は『評価環境』の章にて説明する。

<sup>4</sup> 推定値とシミュレーション値の比較と一緒に、地図生成時と現在の環境の変化率（＝事前地図とのマッチング率）、位置認識の信頼性（ロボットがどれだけ自信をもってその位置を推定しているか）も一緒に算出することで、環境がどれだけ変化した際にどれだけの精度を維持できるかを可視化しやすいようにする。今回は、誰でも評価ができるようにシミュレーション値の比較を前提としたが、もちろん実環境で評価が行える場合は実環境で行ってもよい。その場合、実環境における真値は、何かしら手段で計測できれば良い。例えば、3DLidarを用いたNDTマッチングによる推定値を用いても良い。

➤ 実際の走行環境を模擬したシミュレーション環境

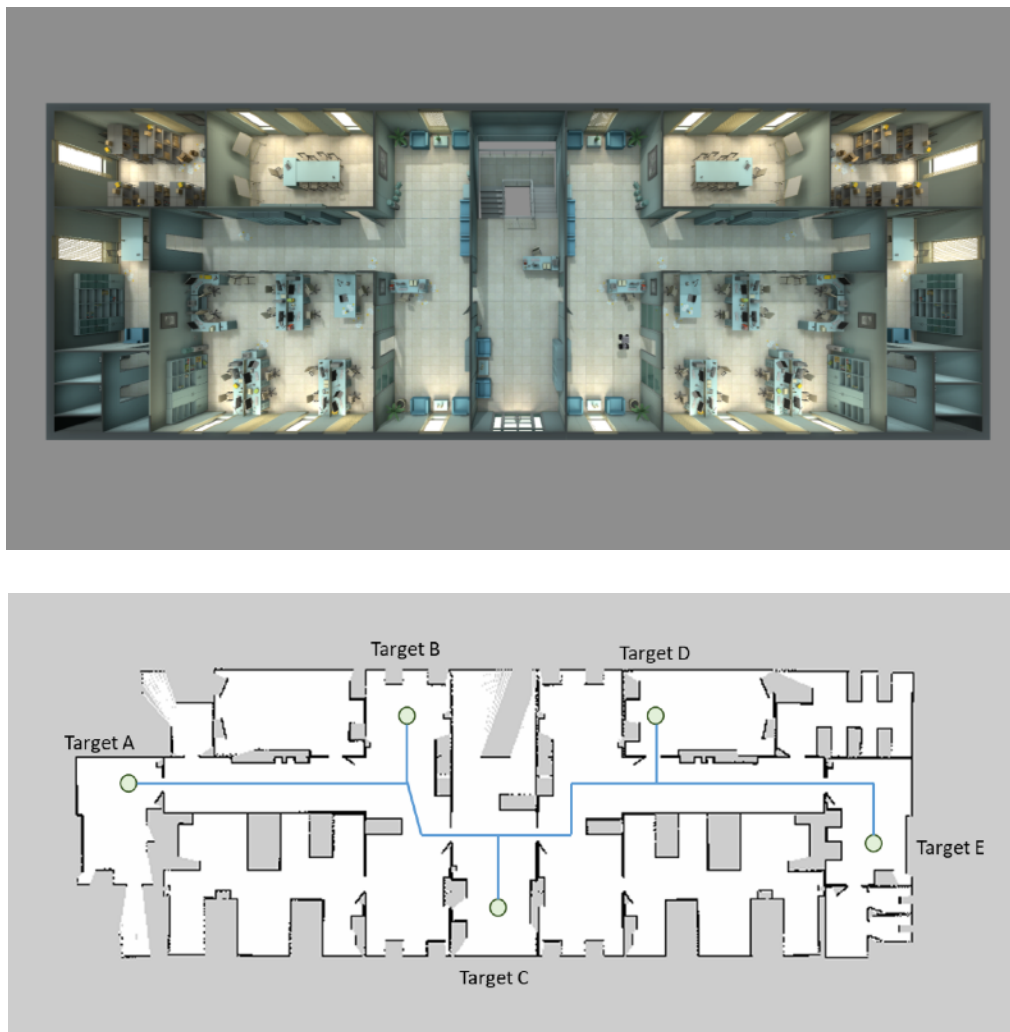
シミュレーション環境を構築するために、一度実際の走行環境においてマッピングを行い、そのデータを用いてシミュレーション環境を構築する。実際の走行環境の正確な地図（建築図面等）がある場合は、そのデータを用いてシミュレーション環境を構築する（シミュレーション環境の構築方法は6章の『評価環境』で説明する）。

➤ 形式的な走行環境を模擬したシミュレーション環境

自律移動ロボットにとって位置認識が難しいと言われているいくつかの環境を、シミュレーション環境で構築する。今年度議論した環境は長い廊下の環境である。今後、現場からの意見を反映させながら評価に適した環境を増やしていきたいと考えている。

・ 評価方法

「導入指標項目」「機能評価項目」共に、評価環境で実際に運用するルートと同等の全てのルートを走行させて評価を実施する。

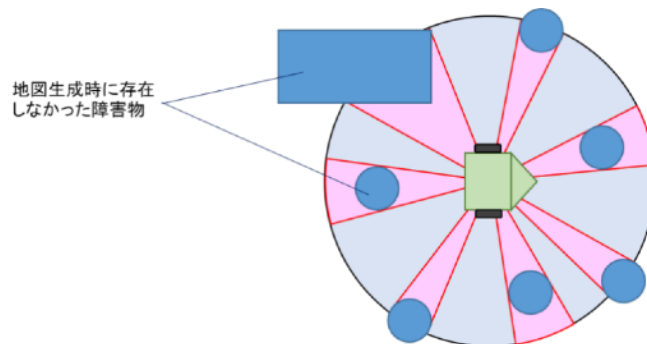


シミュレーションに用いたオフィス環境と2次元地図

例えば上図の例の場合、地図上に設定されたポイントがAからEまでの5つが存在し、これらを繋ぐルートを示している。

「導入指標項目」では、2つのポイントを結んだ全てのルート（10通り）を走行させ、目的地まで到達できたかを評価する。

「機能評価項目」は経路上をすべて走行させ、ロボットの姿勢（ $x, y, \theta$ ）を推定された値とシミュレーション環境上での真値との比較を実施し、その結果を評価する。その時、評価の参考のために「推定値の自信度」や、「事前地図との変化率（ロボットから見てセンシングのエリアにどれだけ事前の地図に含まれていない障害物が存在しているかの割合）」も算出する。



2次元の360度LiDARを使った移動ロボットの例。スキャン全域（青色）の内、事前地図に無い障害物をスキャンした割合（赤色）の割合を算出する。

これは、比較を行う移動ロボットが同じ環境で同じ精度の評価を出したとしても、どちらの移動ロボットが優れているかを評価するためである。例えば、移動ロボットAは高さ10cmに2次元LiDARが設置されており、移動ロボットBは高さ180cmに2次元Lidarが設置されているとする。移動ロボットBの方がセンサの高さが高い位置にあるため、人混みの影響を受けにくく、移動ロボットAの方が影響を受けやすいのは自明である。その際に、両ロボットが人混み環境において同じ精度を出した場合は、移動ロボットAの自己位置認識機能方が優れていると評価するためには、各ロボットに対して同じ環境でもどれだけの外乱が入力されているかを示す必要があると考え、このような評価方法を策定した。

### 3.4. 評価時の外部要因の扱い方

自己位置推定の評価項目はそれぞれ以下の様に定めた。

ア) 床関係

外部要因		取り扱い方	理由
床関係	床材 床材のケーブル × 床の耐荷重 通路の傾斜 絨毯 ゴミ 側溝 × グレイチング ×	床材の材質や形状の評価は、シュミレーション時の移動ロボットのオドメトリに含む誤差量を調整することで評価を行う。 床面が濡れていることなどもあることを考慮して(特定の位置で一時的に)誤差を含めることも考える	床の形状によるオドメトリの突発的外乱の発生は、シュミレーションが複雑なため、今年度の評価からは除外した。
	点字ブロック	×	
	スロープ	○	

イ) 壁関係

外部要因		取り扱い方
壁	ガラス窓 ビニール製の半透明カーテン	壁の材質の透過率をパラメーターとして設定し、透過率を変えることで様々な壁材を表現する
	壁材	×
	オーバーハング障害物	×
	ドア	動的障害物と同様に扱う
	自動ドア、セキュリティゲート	動的障害物と同様に扱う

ウ) 建物の形状

外部要因		取り扱い方
形状	建物の形状 広さ 天井高さ 長い廊下 通路の狭さ	形状の定量化は難しいため、一旦実環境を走行してマッピングし、その場所のシュミレーション環境を作成して評価を行う。
	柱	○
	棚	○
	屋根の有無	×
	細いポール	○
	柵	○
	階段	○
	段差	○
	エレベーター	エレベーターのドアは一定時間で開いたり閉じたりを繰り返す



長い廊下は、「形式的な走行環境を模擬したシミュレーション環境」として用意するものとする。

## エ) 移動障害物

外部要因		取り扱い方
移動障害物	人流密度	移動障害物として扱う
	移動障害物	移動障害物でも移動する頻度を何段階かに分類する。分類する際の定量化の指標は今後継続して検討
	椅子	例: 移動頻度(高) 移動している人、空港カート
	机	移動頻度(中) 台車、立ち止まっている人
	台車	移動頻度(低) 机、椅子

移動障害物の分類は次のようにした。

- 人 パラメータ: (速度、運動モデル(動き方)、方向(動き出しの方向)、1㎡あたりに占める人の割合(計算は一定の範囲内の平均値とする))
  - ※ 動く方向は平面移動を仮定し2次元ベクトルとする
  - ※ 形状: 円柱で表現 大人と子供を用意 断面積は胸囲の平均、高さは平均身長とする(男性にあわせる)
- 移動障害物(動く頻度が高い): 動く四角柱(高さ、断面積を変更可能にする)材質は壁と一緒に透過率を変更できる
- 移動障害物(動く頻度が低い): 椅子、机と定義 形状はロボットにとって厳しいものを採用する

## オ) 通信環境

考慮しない(自己位置推定の機能には影響しないため)

## カ) その他環境

考慮しない(屋内環境のみを想定するため)

## 4. 経路生成

経路生成における評価は、ロボット制御用プログラムにおいて、スタート地点（現地点）とゴール地点が与えられたとき、効率性や安全性、使用者の意図などの観点から、大局的に生成される想定コースの優劣に関する評価を行うものとした。ロボットが目標位置に到達するまでの経路計画に関しては、さまざまなアルゴリズムが考案されているが、本委員会では個々のアルゴリズムの評価ではなく、ゴールまでの経路そのものを定量的に評価するための指標の設定法について議論した。

初年度の議論では、生成された経路に対する評価のみを対象としてきたが、2年目の議論では、ユーザ目線での経路生成機能に対する見方を取り入れ、経路を評価する上での必要な基本項目についても議論を行なった。生成された経路のスコアの大小で経路評価することは、客観的かつ定量的であるためそれなりの指標にはなるが、ロボットの運用上、それ以外にも評価すべきことがある、との観点からも議論が行われた。

なお、設定した経路に対して、実際にロボットがどれだけ正確にトレースできたかを示す経路追従性についても、移動ロボットの重要な性能を示す指標のひとつである。ただし、経路追従性はロボットそれぞれのハードウェアに大きく依存する性能であり、自己位置推定の性能とも密接に関連しているため、今回は考えないこととした。

### 4.1. 評価項目

ここでは、経路生成機能を使用・運用する側から見た評価項目としての導入指標項目と、ロボットを開発する側から見た機能評価項目についてまとめる。

#### ・ 導入項目指標

ユーザにとっては、生成された経路のスコア値の多少の変動は、それほど重要な意味を持たない。それよりも、経路生成に関してどのようなことができるのか、という項目が重要であると考え、重要な項目順に次のようにまとめた。

#### 1) 地図中においてスタート地点とゴール地点が与えられたとき、自動的に経路を生成できる

経路生成に関して最も重要な機能は、スタート地点（現在位置）からゴール地点まで、壁などの障害物に接触することなく、移動可能な空間をつないで経路を自動的に引くことできる機能である。また、逆に言えば、空間的に経路が生成できない構造である場合には、経路生成が不可能であることを通知できる機能も必要である。

#### 2) 生成した経路が、想定しているロボットで走行可能である

自動的に生成した経路において、ロボットのサイズよりも狭い経路であったり、進行方向を変えるうえで旋回するのに十分なスペースのない経路であったりした場合、物理的に走行することがで

きない。経路生成する場合には、事前地図に対して、ロボットサイズを考慮して、壁に接触しない領域を繋ぐことが必要である。また、そのようにして生成された経路であっても、ロボットの最小回転半径よりも小さい旋回を要求する経路であれば走行することができない。

サイズ以外にも、想定するロボットでは踏破できない路面状況（例えば、スロープ角度や段差高さ）であれば、物理的に走行することができない。このような経路が選択されないことが必要である。

### 3) 生成された経路が大回りになっていないなど、意図した経路になっている

スタート地点からゴール地点まで、物理的に走行可能な経路が生成されたとしても、不必要に大回りするなど合理的でない経路であった場合、走行に無駄な時間やエネルギーが費やされることになる。移動ロボットの利用者としては、最短距離や最小時間での移動や運搬が望ましいため、スタートからゴールまでが非合理的な経路になっていないことが必要である。ただし、多少移動距離が延びても、なるべく通路幅の広い経路や、なるべく直進する経路を優先したい、という要望も考えられる。そこで、距離優先や広さ優先など、様々な優先モードが指定できるような機能を有していることが望ましい。

### 4) 地図中において、経路の経由地（ウェイポイント）や走行不可領域を指定できる

配送ロボットの場合、複数個所にモノを運ぶケースが考えられる。そのようなとき、最終ゴール地点に到着する前に走行してほしい通過点を指定できる機能が必要となる。また、オフィスの場合などでは、ドアやエレベータ近くなど人とぶつかりやすい場所や、人が密集しやすい場所など、ロボットに走行して欲しくない領域があったとき、自動的にそのような場所を避ける機能があれば、危険を未然に防ぐことができる。

### 5) 事前地図にない障害物等により、生成された経路が走行不能になった場合、再ルート探索や走行不能であることを管理者に通知できる

事前地図をもとに、スタート地点からゴール地点までの全体的な経路を生成したとしても、走行途中に経路上にモノが置かれていたり、地図作成時と設置物の位置がずれていたりして、想定した経路が妨げられ、走行できないケースが考えられる。そのような場合、大局的な走行経路の再探索を行って、迂回するような経路をその場で自動的に行う機能が必要である。再経路探索ができない、もしくは他の経路が見つからなかった場合には、ロボットがスタックしていることを運用管理者に知らせて、人の手によって走行可能なようにモノを動かす必要がある。このような機能がなかった場合、ロボットはタスクを完遂することができず、その場で行ったり来たりを繰り返すのみである。

その他の項目としては、廊下の右側を走行するように指定することができたり、場所によって走行速度を変えたりすることができる機能があった方が良いのでは、との意見も委員から上がった。

- ・ 機能評価項目

ロボットが導き出した経路の良し悪しを判断するためには、数値として客観的に比較できるような指標が望ましい。自律移動ロボットの分野では、従来、経路生成を行う際には、「コスト」という概念が用いられてきており、コストが最小となるような経路を最適経路としてきた。本委員会でも、生成された経路に対してコストを設定することで、客観的かつ定量的に評価する、との基本方針でコンセンサスを得た。

コストを設定する上で、走行する環境そのものに起因するものと、想定した経路そのものに起因するものの2つに分けて議論が行われた。そして、そのどちらも想定している移動ロボットの走破性能に大きく依存する。本委員会では、それらの因子の重み付け和として生成経路を評価することを提案する。

走行する環境そのものに起因するコスト要因は複数のものが考えられるが、そのすべてが走行環境を表すマップに落とし込むことができ、これらをハザードマップと呼ぶ。ハザードマップは、環境のみに依存し、どのロボットを使用する際にも同じである。同じ環境であっても、全てのロボットにも同じように作用するわけではない。例えば、環境中の床にスロープがあった場合、モータ出力の違いによって、走破できるロボットとできないロボットがあるように、機体性能の切り離して考えることはできない。したがって、このハザードマップに、個々のロボットが持つ機体性能を作用させることで、走行環境に起因するコストが算出できるものとした。

## 4.2. 評価方法

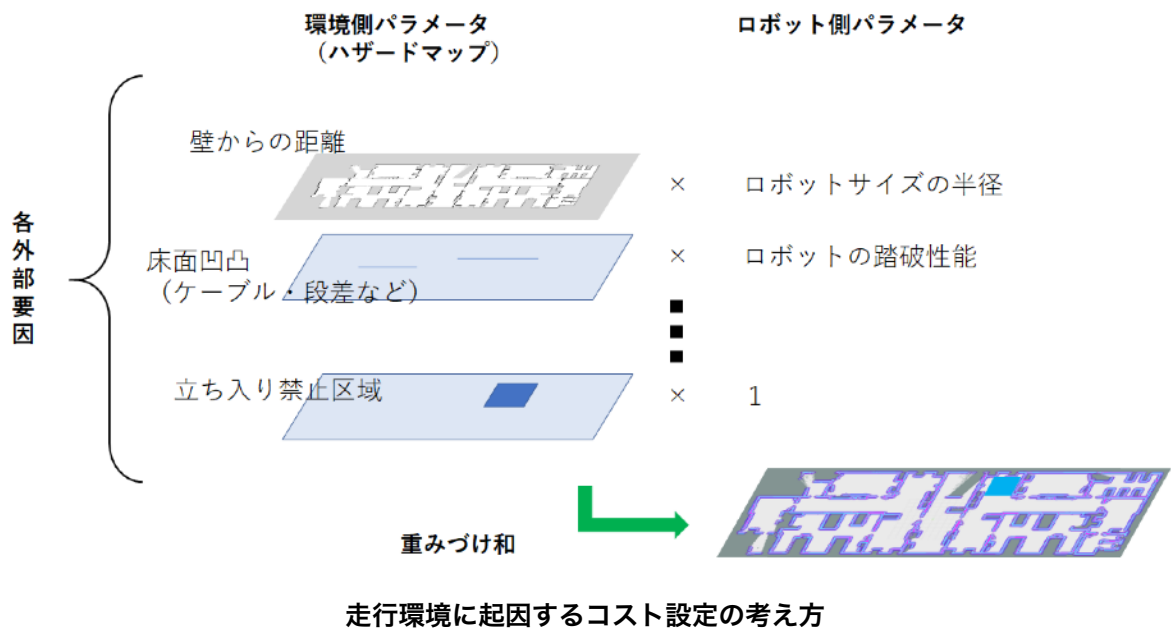
評価環境や、評価をする上での前提条件は、自己位置推定サブワーキンググループで検討されたものと同じものを考える。

導入指標項目については、ユーザ目線で見した場合、上述した項目においてどれくらいの機能を備えているかが、導入の判断基準となる。また、ロボット側の機能だけでなく、項目をクリアするために、どの程度走行環境を整える必要があるか、という点も考慮に入れなければならない。例えば、想定するロボットが走行できるように通路幅を拡張する必要があった場合、どのくらいの手間やコストが必要になるかなど、総合的に考慮しなければならない。

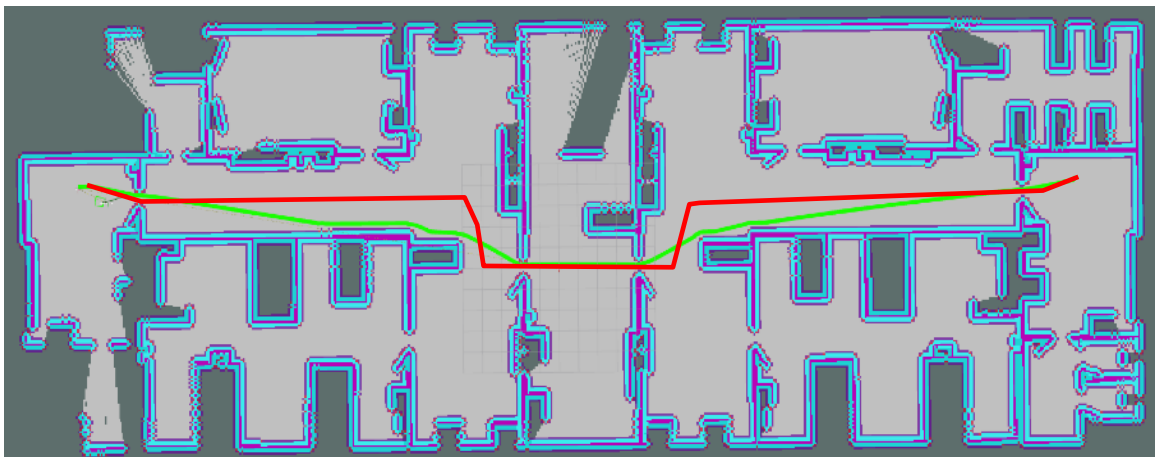
機能評価項目の評価方法については、経路のコストを考慮しなければならないため、本委員会では壁や静物などの障害物に関しては、事前に2次元の占有格子地図で与えられている、との前提条件を置いた。また、人・人流については、議論の対象から外した。

先述した通り、考慮しなければならないコストには2種類あり、一つ目の因子は、シーンの環境に固有のコスト要因によるものである。コスト要因は複数のものが考えられるが、そのすべてが走行環境を表すマップに落とし込むことができ、これらをハザードマップと呼ぶ。ハザードマップは、環境のみに依存し、どのロボットを使用する際にも同じである。環境が同じであれば、同じハザードマップとなるが、どのロボットにも同じように作用するわけではない。例えば、環境中の床

にスロープがあった場合、モータ出力の違いによって、走破できるロボットとできないロボットがあるように、機体性能の切り離して考えることはできない。したがって、このハザードマップに、もう一つの因子である個々のロボットが持つ機体性能を作用させることで、走行環境に起因するコストが算出できるものとした。



上記の走行環境に起因するコスト評価では、リスクのある場所を回避できているか、走行するのに適した経路か、ということは評価できるものの、その経路が最適であるかの評価はできない。すなわち、リスクを回避しながらも、最短距離で移動して欲しい場合には、走行環境に起因するコストのみでは、距離の評価がされていない。また、設定したコースを、機体が物理的にトレースできるか、といった評価は、経路を生成してみて初めて可能になる。そこで、環境コストとは別に、生成した経路そのものを評価する必要があり、その評価法について検討した。



2地点を結ぶ2つの経路。距離や旋回半径の違い等により、走行環境に起因するコストが同じでも、2つの経路では走行経路そのものに起因するコストは異なる。

- ・ 走行距離

一般的な要求事項として、ゴール地点までなるべく最短距離で行ってほしい、と考えるユーザは多いと思われる。そのため、走行距離をコストとして付加することにより、より短い移動距離の経路が高評価されるように設定する。

- ・ 走行時間

いかに速く移動できるかが重視される場合、走行エリアによって標準的な移動速度を設定しておくが必要になる。例として、人が多く滞留しそうな場所では設定移動速度を小さくし、人が立ち入らない場所では移動速度を高く設定することもできる。生成した経路について、移動に要する時間をコストとして加算することで、少ない走行時間で移動が可能な経路が低コスト経路として評価される。

- ・ 総エネルギー

床の材質などの違いで、場所によって走行距離あたりに要するモータの消費電力が違ような場合には、ゴールまでに要するエネルギーをコストとして負荷することで、省エネ走行であることの評価ができる。

- ・ 機体のコース追従性

特に4輪以上の移動ロボットの場合、曲がり角などを曲がるときに必要な最小旋回半径がある。もし、生成された経路で、これ以下の旋回半径で曲がらなければならない箇所があった場合、この機体では走行することができない。また、切り返しが必要な箇所があった場合、後方を見るセンサや後進機能のないロボットであった場合には、走行不可となる。したがって、機体の走行性能に応じて、走行できないような経路箇所には、十分に高いコストを付加することが必要となる。

## 4.3. 外部要因の取り扱い

### ア) 「床」に起因するもの

- ・ 床材

床材は、移動ロボットの車輪と常に接触している物理対象であり、経路生成評価には重大な影響を与える要因である。滑りやすい素材であれば、車輪が空転するなどして、ロボットが移動しようとする方向から逸れることが考えられる。また毛足の長い絨毯などの場合、車輪を回転させるのに大きなエネルギーを消費してしまい、経路コストが大きくなることが考えられる。床材の摩擦係数がパラメータとして扱われる。

- ・ 通路の傾斜

数センチの床面高さの違いを繋ぐために、比較的緩やかなスロープは、屋内外問わずしばしば見られる。角度およびスロープ長さが環境側のパラメータとなり、ロボットのモータ出力や登坂能力が

ロボット側のパラメータとなる。同じスロープであっても、登坂能力の高いロボットにとっては、コストの低い場所となり、踏破できないロボットにとっては壁と同様の高いコストとなる。

## グレイチング

屋外環境で見られるような格子状の溝蓋や、屋内で見られるレール状の溝など凹型障害物は、車輪が嵌るってしまうと動けなくなったり、バランスを崩したりする可能性がある。溝幅や穴の大きさが環境側のパラメータとなり、車輪半径や車輪幅がロボット側のパラメータとなる。

### ・段差

ロボットにとって踏破できない高さの段差では、ロボットが走行不能となる。床面に這わせたケーブルやケーブルモールもロボットにとっては段差となる。段差高さが環境側のパラメータとなり、車輪半径やモータ出力がロボット側のパラメータとなる。走行を想定している領域において、ロボットが踏破できない段差があった場合、地図上における壁と同じ扱いをするなどして、そこを横切って走行できないようにする、といった処理が必要である。

## イ) 「壁」に起因するもの

ROSなどで広く用いられているコストマップは、壁や障害物など空間が占有されている領域からの距離によって、衝突コストを設定するのが一般的である。ここでの外部要因は、このようなコストマップの考え方を含んでいる。

### ・通路の狭さ

一般的なコストマップでは、壁などの障害物に移動ロボットが接触しないよう、ロボットサイズの半径以上のマージンをとった距離にある領域を走行可能領域になるよう設定されている。本委員会でも、このようなコストマップを算出するために必要な、環境側の占有格子地図と、ロボットのサイズがパラメータとなる。

### ・建物の形状

LiDARによる2次元スキャンマッチングでは、複雑な形状の方が位置合わせがしやすく、特徴のない壁に挟まれた廊下などでは位置合わせがしにくいことが知られている。そのため、形状的に特徴のある場所を経路に入れる方が有利、という戦略をとることもできる。そのため、周辺形状の複雑さをパラメータとし、スキャンマッチングしやすい場所ではコストを低くすることが考えられる。

### ・広さ

あまりにも広すぎる場所では、壁までの距離を計測することができず、特にLiDARによる2次元スキャンマッチングによる自己位置推定では、精度が低下することが考えられる。また、壁までの距離が近すぎる場合にも、センサによっては計測不能になる場合がある。そのため、壁など障害物までの距離が環境側のパラメータとなり、ロボット側のパラメータは搭載センサの計測可能な最小/最大距離となる。



- ・ オーバーハングした形状

例えば、比較的低い位置にレンジセンサを設置した移動ロボットが机の下を通過しようとしたとき、机の天板が検出できないまま衝突してしまうことが考えられる。ロボット高さと天板下高さを考慮したコストマップの用意、もしくはこのようなオーバーハングのある場所をコースに設定しない必要がある。

- ・ ガラス

経路生成そのもの、ではなく自己位置推定に重要な影響を与える。

## ウ) 「場所」に起因するもの

移動ロボットにとって、階段やエスカレーター、ポールなどは転落や衝突の恐れがある。またドアやエレベータなどは急な人の出入りによって衝突する恐れもある。このようなリスクのある場所には、あらかじめ地図上で走行不可領域に指定するなどして、経路が設定されないような注意が必要である。

- ・ ドア

ドア付近の走行に関しては、開き戸が開くことによって、扉そのものと物理的に接触したり、進入してくる人や台車などと衝突したりするリスクが考えられる。また、ドアを通過する幅や開閉機構、扉重さなどがパラメータとなりうるが、扉の開閉方向を含め、通行の可否を判定する必要がある。確実に走行できるドアを除いては、ドア付近の経路には高コストを課して、なるべく走行しない設定が必要であろう。

- ・ 自動ドア、セキュリティゲート

移動ロボットがドアの方向に進行しながら、ドアのセンサが反応して開くまでのタイミングが問題となる。自動ドアに多い透明ガラス戸の場合には、LiDARではドアの開閉が確認できないため、ドアのセンサが移動ロボットを検知する位置や開閉時間が環境側のパラメータとなり、ロボットの移動速度がロボット側のパラメータとなる。ただし、セキュリティゲートなどを含め、通信によるID確認等の技術により、将来的には解決される可能性がある。

## エ) 「移動物体」に起因するもの

- ・ 地図にない障害物

経路生成においては、移動物体は事前地図と異なる障害物となり、想定していた経路を辿ることができなくなることを意味する。障害物の大きさによっては、障害物を避けるような局所的な回避行動でゴールまで到達できるか、もしくはコースの変更といった大局的な再経路探索が必要になるかを判断しなければならない。

#### オ) 通信環境に関する外部要因

走行中においては、Wi-Fiなど通信が途絶えないことが望ましいなど、通信環境は生成した経路評価に欠かせない要因であるが、インフラ側で中継器を増設するなどの対処もできるため、本委員会では考慮しないこととした。

#### カ) その他の環境要因に起因するもの

自己位置や周辺環境を認識するセンサとして、カメラを用いているロボットにあっては、環境の明るさの変化によって取得できるカメラ画像が変化するため、重要な影響を及ぼす。ただし、現在のところ、RGB-Dカメラを除く一般的な光学系カメラをメインのセンサとしている移動ロボットはほとんどないため、本委員会では本要因を考慮しないこととした。

## 5. 障害物検出

昨年度同様、SLAM等自律移動ソフトウェアにおける障害物検出の、抽象化されたアーキテクト内で実現される性能指標を抽出し、最終顧客に説明できる内容として指標化することを目標とする。今年度はオフィス環境を想定し、障害物検出の具体的な性能評価指標の明確化に取り組んだ。

### 5.1. 想定する環境、動作、ロボット

ここでは次の想定の下、障害物検出の性能評価指標の明確化に取り組んだ。

ア) 導入環境：

下図で想定するような屋内オフィス環境（平面、10m x 30m程度、場所の属性データ（避難経路、非常口、給茶、サーバー等）既知）とする。

イ) 必要動作：

社内便（A4封筒）を各机にある箱から箱へ移動配達する。箱への封筒の出し入れ動作は考慮しない。機密性の考慮は必要とする。社員は20名とし、全体で100枚／日（5枚／人日）を配達する。

ウ) ロボット：

ロボット形状は台車（静的安定性のある）とし、2D/3DのLiDARと画像を主として環境認識を行う車輪型自律移動ロボットとする。



想定した導入環境（オフィス）

### 5.2. 評価項目

ア) 導入指標項目：

昨年同様『障害物を回避し、目的地へ到着 or 障害物前で停止』を導入指標項目とし、検出しな

かったり衝突したりした場合は失敗と判断する。

イ) 性能評価項目：

『検出できる物体の種類と条件で評価』を性能評価項目とする（昨年度の項目に「条件」を追加）。項目の具体的検討では2019年の発行されたISO 18646-2の障害物検知・回避を基本とし追加要素（+a）を検討する。

評価方法

ア) 仮定条件：屋内の平面なオフィスとする。

イ) 評価環境：ISO 18646-2 に準拠するものとする（温度、湿度、光、摩擦係数（清浄度））

ウ) 評価手順：

ロボットがISO 18646-2 に準拠し検知・（局所的に）回避できたかを評価する。回避の判断は局所的な経路生成アルゴリズムとも密接に関係することに注意が必要である。障害物として追加要素（+a）を考慮する。

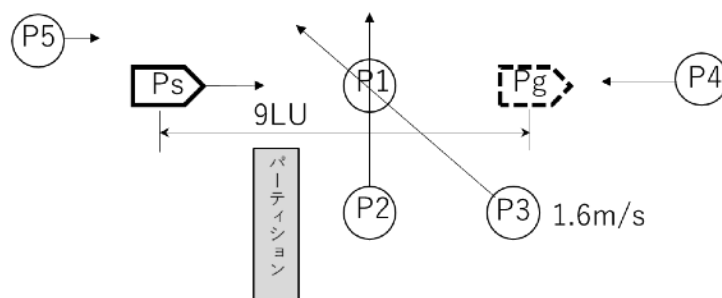
### 5.3. 外部要因の取り扱い

オフィスでの代表物で障害物検知に影響が大きな物を追加要素として考慮する。追加要素の決定では、ライフタイムタスクを考慮することで見落としが少なくなると考えられる。規格での関連情報に基づき、考慮すべきライフタイムタスクの例を次に示す。

#### 【ライフタイムタスクの例】

ロボット搬入／設置／導入時の調整、通常使用（部外者としてコピー機の保守作業、蛍光灯の交換作業等）、ユーザによる清掃・保守、メーカーによる清掃・保守、オフィスレイアウト（環境要因）の変更、廃棄、地震・火災。

議論の結果、代表的障害物の例として次が示された：椅子、オーバーハング（検知に高さ（低・中・高）をパラメータとして追加）、パーティション、外乱光、ロボットの追い抜き（ISO 18646-2の障害物回避に下図のP5として追加）、網／観賞植物（検知困難物）



参考：ISO 18646-2:2019(Robotics — Performance criteria and related test methods for service robots — Part 2: Navigation) の概要

#### ●障害物検知

【評価環境】 気温10-30℃、湿度0-80%、明るさ100-1000lux、床摩擦係数0.6-1.0

#### 【障害物】

壁 W:1m, H:1.5m, 木製と透過率80%以上のガラス製

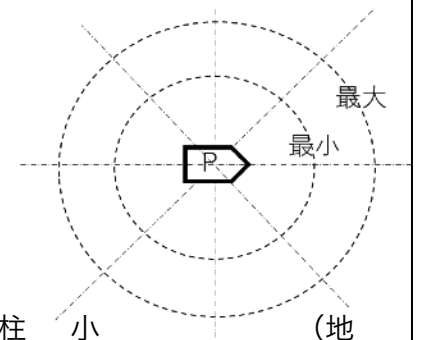
机 H:0.7-0.8m, W:1.5-2.0m, D:0.5-0.8m, 脚幅と天板厚さ:<0.05m、木製

円柱大 H:0.6m, diam:0.2m、人胴体模擬(ISO 13856-3バンパー規格)、灰色表面、反射率27-33%、

円柱小 H:0.4m, diam:0.07m、人足模擬、灰色表面、反射率27-33%

【角度】 45度刻みで全周

【評価法】 検知距離の最小・最大・精度で評価。

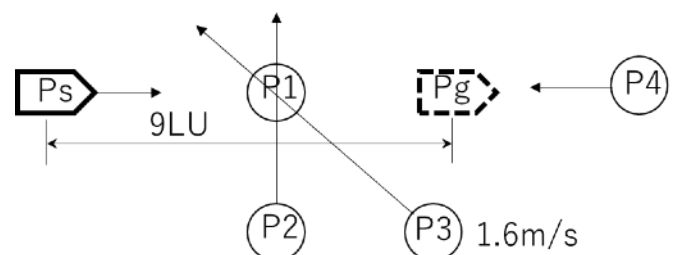


#### ●障害物回避

【障害物】 静止：障害物検知に同じ。移動：円柱大（高さ0.5m）、円柱小（地面）

【障害物位置と移動方向】 静止：P1（0度）。移動(移動速さ1.6m/sでP1位置で衝突に調整)：P2（90度）、P3(45度)、P4(0度)

【評価法】 LU:ロボット幅と長さの最大値。9LUにゴール設置。回避成功（3連続）／失敗（未着、接触）、時間（最大値）、遅延率(障害物有／無)



## 5.4. 障害物検知に関するその他の意見

- ・ イノベーションの協調領域としての障害物のデータベース化を共同で進めることが必要ではないか。
- ・ 想定される障害物は多様であり、そのデータの整理法の検討も必要である（例：SysML）。
- ・ 障害物のパラメータは多様であり、どこまで考慮すべきか個々の団体では判断が難しい。RRI等が主導して業界標準の障害物を規定する事も考えるべきではないか。

## 6. 評価環境

評価環境は、委員会で新たに製作するのは難しいため、現状である程度の評価が可能なものに必要機能をカスタマイズする事とした。

評価環境は以下のポイントを念頭に置きながら適切なものを選択した。

1：誰でも使える

ユーザの多いROSをベースにオープンソースのものを採用した。

2：簡単に現場と同等の環境を誰でも構築できる

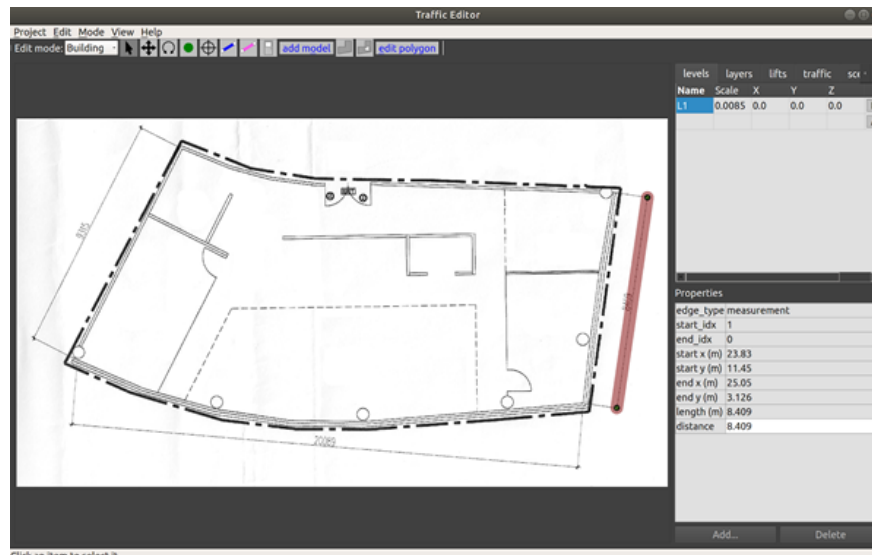
現場の図面や寸法が分かる地図から、誰でも専用のソフトでシミュレーション環境を構築できるものを探索した。

3：カスタマイズが可能

Gazeboを採用する事で、委員会で得た評価に必要な機能を追加可能とした。

本委員会では評価環境にROSのデベロッパーであるOpen Roboticsが開発したロボット用ミドルウェアRMF (Robot Middleware Framework)<sup>5</sup>の開発環境を採用することとした。RMFはもともとロボット用のフリートマネジメントのシステムであるが、簡単にロボット走行用の環境を生成できるツールであるtraffic-editor<sup>6</sup>が含まれている。以下に、簡単にtraffic-editorの仕組みを紹介する。

Traffic-editorでは、地図の元となる2次元画像を読み込み、対応するサイズ（壁の1辺など）を指定することで、実際の尺度に合わせることができる。



2次元地図の読み込みとサイズ設定

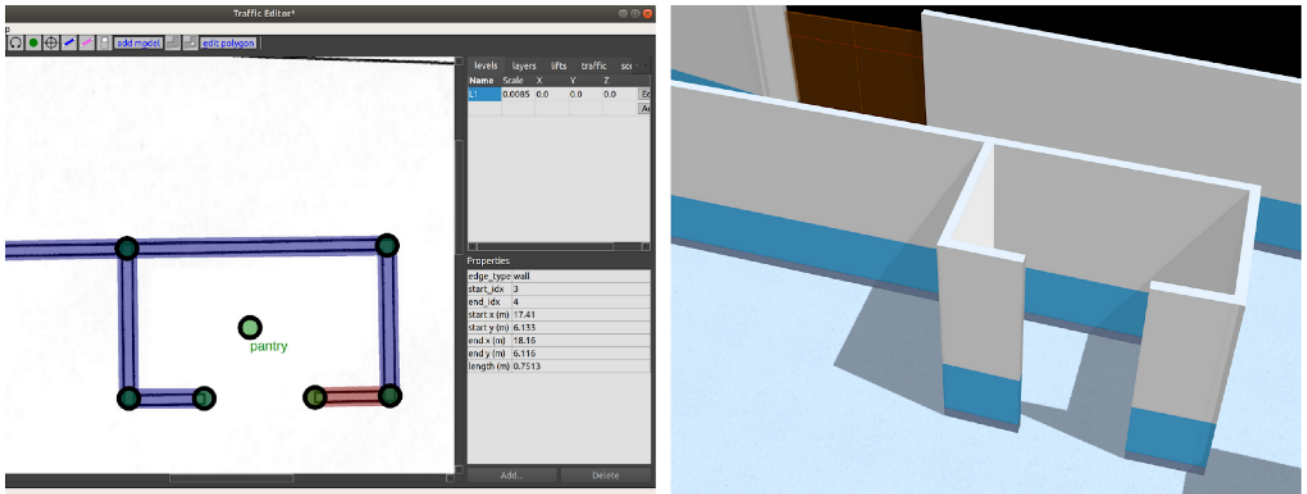
<sup>5</sup> RMF : [https://github.com/osrf/rmf\\_core](https://github.com/osrf/rmf_core)

<sup>6</sup> traffic-editor: <https://osrf.github.io/ros2multirobotbook/traffic-editor.html>

ソース : [https://github.com/osrf/rmf\\_demos](https://github.com/osrf/rmf_demos) ※RMF-Demo の中の 1 つのツールが<sup>3</sup>traffic-editor



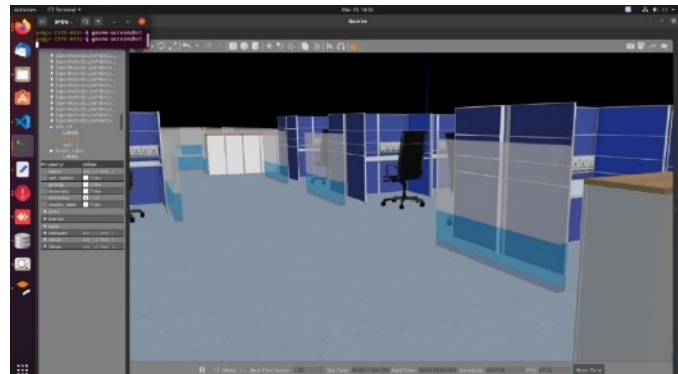
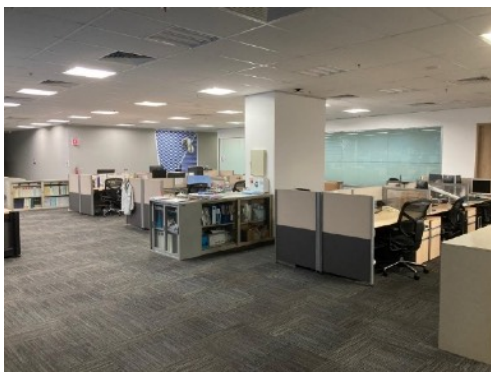
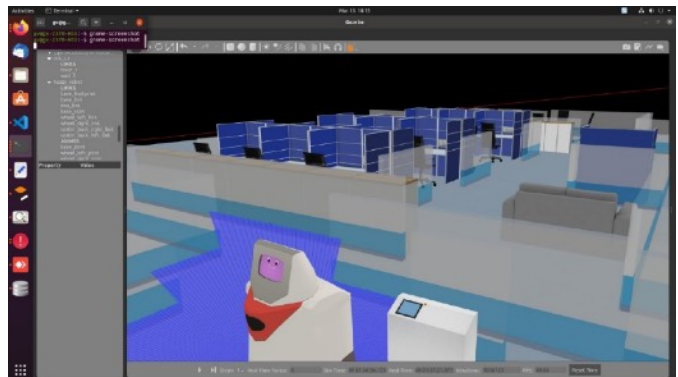
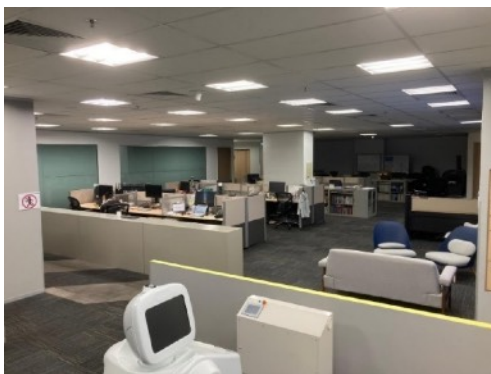
読み込んだ画像で壁をなぞっていくことで、モデル上に壁を出現させることができる。



### 壁の設定

さらに、ツール内には一般的なオブジェクトのモデル（机や椅子など）が用意されており、ユーザは任意のオブジェクトを任意の位置に配置することができる。

以下にtraffic-editorを用いて、実際のオフィスを参考に、シミュレーション環境を再現した例を示す。



作成環境 Ubuntu20.04, ROS2 foxy, Gazebo 11

## 7. まとめ

2019年度からスタートした移動ロボット評価指標調査検討委員会は、本年度が2年目となった。

委員会では、ロボットを導入する際に、顧客やユーザに客観的に説明できるような移動性能に関する指標がなく、ロボットソフトウェアのアップデートなどに関しても、どのように良くなったのかも客観的に評価できずに困っている、という意見が多く出された。ロボットは実際の現場に持っていかなければ、導入に関する知見が得られず、効率的なデプロイが困難、との声も聞かれた。また、どのようなシーンであればどのようなロボットが適しているのか、といったノウハウも現在のところ、暗黙知として継承されており、形式知とするための活動が必要、との意見もあった。

ユーザの中には、ロボットがあれば何でもできる、と思い描いてロボットの実証実験を行ったものの、ロボットが遂行できるタスクがあまりにも限定的過ぎて失望する人もいる、といった切実な意見も出された。ユーザにロボットを理解してもらうことも、重要なミッションの一つと考え、移動ロボット評価指標にユーザ目線を加える、ということが2年目の活動の特徴となった。

そのため、本年度の前半の活動においては、参加委員を重要なステークホルダーとなるユーザ・Sler・ロボット開発者の3役に分け、移動ロボットを導入するプロセスをロールプレイングを通して、擬似体験してもらった。具体的な導入現場を思い描きながら、1年目に議論した内容を踏まえ、使える指標やロボットを動かすためにはどのような環境整備が必要かを議論してもらった。

初年度の議論から引き続き、評価すべき重要な機能としては、「自己位置推定」、「経路推定」、「障害物検出」の3項目とした。また、ユーザにとって分かりやすい導入指標項目と、ロボットの性能に直結する機能指標項目に分けて議論することで、広くステークホルダーに馴染みやすくなることを目指した。

今年度の新たな試みとしては、移動ロボットの性能を十分に引き出せるよう、導入環境側で整えてもらいたい環境整備に関する議論も行なった。これまで移動ロボットを実証する場合、環境側に変更を加えることなく、なるべくロボット本体やシステム側の調整で稼働できるよう、Slerやロボット開発者が努力してきた。ただし最近では、ロボットを導入しやすくなるよう、ユーザや施設側も歩みよる動きも出てきており、本委員会でも環境側への提言を行えるよう、理想的な環境を議論した。

議論した評価項目に対して、考慮しなければならない環境側の外部要因の洗い出しが行われた。評価方法としては、これら外部要因を考慮したシミュレーション環境を整備し、シミュレーションを中心に機能項目を評価することになった。次年度に関しては、外部要因を入れ込んだシミュレーション環境構築と、実際の評価方法の確立を行う。シミュレーションを通じた評価項目の改善へとつなげ、移動ロボット導入プロセスに関するガイドライン策定へとつなげていきたい。

## 付録 移動評価指標を用いたロボット導入ロールプレイング

2020年度前半では、ユーザ・Sler・ロボット開発者が何を考え、どのような外部要因を考慮して、実際の現場に移動ロボットを導入していくか、ということを具体的に探るため、ロールプレイングを実施した。ロボット導入現場として、施設管理、小売り、オフィスの3種類のシーンを設定し、参加委員にはこの3つのグループに分割して、議論を行ってもらった。それぞれのグループでは、ユーザ・Sler・ロボット開発者の役割に配役を決めてもらい、初年度の議論内容を踏まえて、導入までのプロセスを模擬してもらった。各グループで、導入シーンを具体的に想定してもらい、細部に渡ってそれぞれの役割の視点から、導入指標の使い方、考慮すべき外部要因や理想的な導入環境を議論した。

### A. 施設管理（大規模空間）

検討するにあたって、次のように想定した。

- 導入環境：駅（高輪ゲートウェイ駅を想定）
- 導入ロボット：LiDARを使った自律移動ロボット
- ロボットが行う動作：お客様の案内（改札から特定の場所までの誘導、など）

次に評価時に考慮すべき外部要因を以下のように定めた。その外部要因毎に、どの機能に影響を与えるかを右列に記した。

大項目	項目	備考	自	経	障
床関係	床(木目タイル)	ユーザーとしては走れる床を知りたい	○		
	点字ブロック			○	
	床が濡れたり、落し物が多い(環境が変化する)	(将来は必要だが今年は除外)			
壁	ガラスの壁が存在する		○		○
	壁の色	(今年はLidar系に絞るので除外)			
形状	壁と壁の距離が遠い		○	○	
	階段、エスカレータの認識	接近したら危険		○	
	大空間は小空間、中空間の集合体になっている		○	○	
	エレベーターに乗る	(今回は指標に含まない)			
環境	外光の影響 (西日の影響)				○
通信環境	天井が高いので通信関係が悪い	(今年は除外)			
移動障害物	(統制されてない)人混みが多い		○		
	環境にいる人がロボットに対して知識が少ない		○		

評価時に上記の考慮すべき外部要因を取り上げた理由を説明する。

大項目	項目	理由	自	経	障
床関係	床(木目タイル)	床面は移動ロボットに重要なオドメトリデータの取得に影響するため	○		
	点字ブロック	ロボットにとってスリッパしやすい環境の為可能であれば避けたいため		○	
	床が濡れたり、落し物が多い(環境が変化する)	ロボットにとって、避けなければならない障害物エリアになるため			
壁	ガラスの壁が存在する	ガラスはロボットのセンサでは検出できないため、位置認識に影響する。 またガラスが障害物になりうる場合は、障害物として検出できないため	○		○
	壁の色	カメラを使った位置認識を行うロボットには、特徴が携えられるかどうかに影響するため レーザーの反射具合にも影響するため			
形状	壁と壁の距離が遠い	搭載しているセンサの最大計測距離が決まっているため、壁と壁の距離によっては壁を計測できないため	○	○	
	階段、エスカレータの認識	接近したら危険なため、避ける必要がある。		○	
	大空間は小空間、中空間の集合体になっている	色々な形状が位置認識や経路生成に影響するため、	○	○	
	エレベーターに乗る	物理的にエレベーターに乗れるか乗れないかが問題になるため			

大項目	項目	理由	自	経	障
環境	外光の影響 (西日の影響)	レーザーセンサに悪影響を及ぼすことがあるため カメラを使った位置認識を行うロボットには、特徴が携えられるかどうかに影響するため			○
通信環境	天井が高いので通信関係が悪い	複数台のロボットが連携する際は、通信しあう必要があるため			
移動障害物	(統制されてない)人混みが多い	動く障害物として、ロボットにとって一番予測しにくいものであるため	○		
	環境にいる人がロボットに対して知識が少ない	動く障害物として、ロボットにとって一番予測しにくいものであるため	○		

## A.1 自己位置推定

- 導入指標項目 『指定された目的地への到達』
- 性能評価項目 『指定された目的地までの移動中における自己位置推定の精度』

各項目を事前にシミュレーションで評価することで合意した。評価時の考慮すべき外部要因と、その取扱いは以下のようにする。

大項目	項目	評価方法
床関係	床(木目タイル)	オドメトリに含めるズレ量を変化させる
壁	ガラスの壁が存在する	ガラスの壁は透過率を変更しレーザーで見えないように変更
形状	壁と壁の距離が遠い	実際と同じ環境にちかい建物のモデルを用意
	大空間は小空間、中空間の集合体になっている	実際と同じ環境にちかい建物のモデルを用意
移動 障害物	(統制されてない)人混みが多い	障害物としての人の単位面積当たりの占める割合で設定
	環境にいる人がロボットに対して知識が少ない	動く方向と、動き方(<-> ランダム)のみの定義 ⇒動き方に以下を追加 ロボットに集まってくる動き ロボットを追いかける動き
固定 障害物	群衆、長蛇の列、立て看板	人間の群衆や、長蛇の列のモデルを用意 立て看板のモデルを用意

- ・現状の評価項目に追加したいもの

階段から落ちない ⇒ 自己位置推定の誤差と禁止エリアの幅で安全を保障

性能評価時に、ロボット周りにどれだけ人が占めているかを示すものを追加

- ・考察

階段から落ちないといった安全を自己位置推定の精度で保障する事は難しい、意見があった。

## A. 2 経路生成

- 導入指標項目 『指定された目的地までの経路生成』
- 性能評価項目 『目的地までの経路コストを用いてより良い経路を評価』

評価時には各項目が反映されるようにシミュレーションに取り込む必要があり、ロボットの大きさや走破性能も必要になる。また、評価用のコストマップは事前に人が追加設定する（作成はSlerがユーザと相談しながら決める）必要がある。

大項目	項目	評価方法
床関係	点字ブロック	床面の凹凸としてコストマップに追加
形状	壁と壁の距離が遠い	実際と同じ環境にちかい建物のモデルを用意
	大空間は小空間、中空間の集合体になっている	実際と同じ環境にちかい建物のモデルを用意
	階段、エスカレータの認識	禁止領域を設定

- ・現状の評価項目に追加したいもの

すれ違いを想定した場合、ロボットの進行方向を考慮する必要がある。例えば、右側通行を指定した場合、同じ通路でも進行方向によって通路右側領域が異なる。

## A. 3 障害物検出



- 導入指標項目 『障害物を回避し、目的地まで到達、もしくは障害物前で停止』
- 性能評価項目 『検出できる物体の種類で評価』

考慮すべき外部要因としては次のようなものが挙げられる。

大項目	項目	評価項目
壁	ガラスの壁が存在する	検出できるかできないか
環境	外光の影響（西日の影響）	今年は外して考える
	サイネージ（キャスト付き）	検出できるかできないか
	駅中の立て看板（かたし忘れ）	検出できるかできないか
	駅中での販売ワゴン（ケーキ屋さん、年賀はがき）	検出できるかできないか
	ポール状のパーテーション（ベルト型）	検出できるかできないか
	三角コーン	検出できるかできないか
	お客様の忘れ物	評価方法の議論が必要

- ・現状の評価項目に追加したいもの

障害物前で停止したのみか、回避して走行できたかで評価を変えた方が良いのでは。停止した後 の行動を含めて評価すべき、との意見もあった。

最後にロボットを導入しやすい環境について整理を行った。

大項目	項目	理由
床関係	滑りにくく、動きやすい床	滑りにくく、動きやすい床が望ましい
	段さ、傾斜が少ないほうが望ましい	バリアフリーの規格を要調査
壁	ガラスには何かシールを張ってほしい	ガラスはレーザーを透過してしまうため
	ステンレスのヘアライ加工	レーザーで正しく形状を検出できない
	黒い壁	レーザーの反射が弱くなるので検出しにくい
形状	10mおきに幅50cm以上の柱	長い特徴のない廊下は移動ロボットにとって位置認識が困難
	狭い折り返しのスロープの折り返し	
	エレベーターの入り口の幅	エレベーターの日本の寸法の規格を調べる
	ドアの幅	建築基準法を要調査
	通路幅	建築基準法を要調査
	オーバーハングの障害物	2Dセンサで検出できない障害物はできるだけ避けて欲しい
	エスカレーター、階段前の侵入防止の障害物	検出しやすい障害物が望ましい
環境		
通信環境		
移動 障害物	人混み（〇〇%/m3以下）	ユーザーの感覚の数値化

あるユーザ役の委員からは、「ユーザや施設側の要望を全て満たそうとすると、ロボット導入は進まない。導入を進めるためには施設側にどうして欲しいかをSler・ロボット開発者側も積極的に示すべき」という意見があった。

## B. 小売り・店舗

検討するにあたって、次のように想定した。

- 導入環境：ファミリーレストラン
- 導入ロボット：LiDARを使った自律移動ロボット
- ロボットが行う動作：配膳下膳のうち厨房とテーブル間の搬送動作

最終的に料理皿をロボットやテーブルに乗せる作業は人が行うため、移動そのものの停止位置精度はアバウトで良いものとした。テーブル配置は固定されているものとして、最初に作成した地図からの変更はないものとした。

ファミリーレストランにおいて、評価時に考慮すべき外部要因として、次のようなものが考えられる。

大項目	項目	備考	自	経	障
床関係	床（リノリウム）		○		
	玄関マット	配膳経路には無いようにする		○	
	床が濡れたりすることがある	一時的に発生する可能性がある	○		○
壁	ガラスの壁が存在する		○		○
	窓		○	○	○
	ビニール製の半透明カーテン	LRFより高い位置、揺れる	○		○
	壁材（黒い金属等）		○		○
	オーバーハングしている障害物	経路にはないように			○
	ドア・自動ドア・セキュリティゲート	配膳経路には無いようにする	○	○	○
形状	通路の狭さ	LiDARの計測可能最小距離を考慮	○	○	
	テーブルの脚、椅子の足	接近したら危険	○	○	○
	パーティション		○	○	
環境	外光の影響（西日の影響）	窓があるので	○	○	○
移動障害物	人流	ドリンクバーなど人が集まりやすい箇所	○		
	移動障害物		○		
	椅子		○		
	机		○		
	給仕用の台車	店によってはある	○		

ロボットにとって導入しやすい環境については、次のようにまとめた。

大項目	項目	備考	自	経	障
床関係	床（リリウム）	滑りにくく、動きやすい床が望ましい	○		
	玄関マット	配膳経路上にない方が望ましい		○	
	床が濡れたりすることがある	（一時的に）	○		○
壁	ガラスの壁が存在する	ガラスには何かシールを張ってほしい	○		○
	窓	窓には何かシールを張ってほしい	○	○	○
	ビニール製の半透明カーテン	ないほうが望ましい	○		○
	壁材（黒い金属等）	ないほうが望ましい	○		○
	オーバーハングしている障害物	ないほうが望ましい			○
	ドア・自動ドア・セキュリティーゲート	ないほうが望ましい	○	○	○
形状	通路の狭さ	広いほうが望ましい	○	○	
	テーブルの脚、椅子の足	ないほうが望ましい	○	○	○
	パーテーション	ないほうが望ましい	○	○	
環境	外光の影響（西日の影響）	窓にロールカーテンなどの設置	○	○	○
移動 障害物	人流	人とロボットの通路の分離 人の多いところは通らない	○		
	椅子	脚の細いものを避ける。据付が理想	○		
	机	据付のものが理想	○		
	給仕用の台車	検出しやすい・数が少ない方が望ましい	○		

## C. オフィス

検討するにあたって、次のように想定した。

- 導入環境：前述したようなオフィス環境。避難経路、非常口など場所の属性データは既知
- 導入口ロボット：LiDARとカメラを用いて環境認識を行う車輪型自律移動ロボット
- ロボットが行う動作：封筒など社内便を配達する



大項目	項目	備考	自	経	障
床関係	床 (OAフロア全般)	ユーザーとしては走れる床を知りたい	○		
	点字ブロックはない			○	
	床が濡れたり、落し物が多い (環境が変化する)	将来は必要だが今年は除外)			
壁	ガラスの壁が存在する		○		○
	壁の色	今年はLidar系に絞るので除外)			
形状	壁と壁の距離が遠いところもある		○	○	
	階段、エスカレータの認識も周囲にはある	接近したら危険		○	
	パーティションにより迷路状・見通し悪い	交差点での衝突	○	○	
	エレベーターには乗らない				
環境	外光の影響 (西日の影響)				○
通信環境	概ねWiFiは良好				
移動障害物	人の移動は限定的		○		
	環境にいる人がロボットに対して知識は限定的 椅子・清掃用具などが限定的に移動	コピー機保守作業員は知識少ない コピー機保守器具が床にある	○		

ロボットを導入しやすい環境についてまとめた。

大項目	項目	理由
床関係	材質：滑りにくく、動きやすいこと	アクティブセンシング (?) への影響
	凹凸：十分小さなこと	凹凸による上下動のセンサへの影響
	汚れ (こぼれたコーヒー等) 無し	床面汚れは検知困難で、汚れ上移動で周囲を汚損
壁	ガラス 検出可能物 (シール等) の追加	ガラスはレーザーを透過してしまうため
形状	交差点：見通しが良い	見通しが悪い場合飛び出し対応困難
	階段・エスカレータ等 無い／隔離	検出不可の場合、高リスク (転落・転倒) のため
環境	外乱光：低角度な強い光がない	センサへの影響
通信環境		
移動障害物	人混み：○○% / m3以下	
固定動障害物	オーバーハング 無い	検知困難 (靴、洋服含む)
	ヒモ・網状 無い	検知困難
	標準形状からの逸脱 無し	全ての障害物での試験不可能。標準物にて評価。
	ゴミ 無し (特に紐状)	ゴミ形状は事前予測困難。

最後に、今回のロールプレイングを通じて感じたことなど、委員らの雑感を記載しておく。

- ・ 開発プロセスの共有が、議論の円滑化に有用。
- ・ 身の回りの環境の多様性を再認識。どう多様性を評価項目に取り込むのか、標準化が重要。
- ・ エンドユーザには、具体的な事例を多面的に示さなければ、長期にわたる現場利用の課題が認識されないのではないか。具体性が少なければ、表層的理解 (「ふーん」) でその場は終わり、現場運用後に問題が発生する。

- ここで議論してきた性能評価の利用法の妥当性確認法はどのようにしたらよいか。実際にやってみて事例を積み重ねるしかないのか。
- 机上シミュレーションで性能評価を行えるくらい具体化を進め、性能評価の妥当性を確認することも考えられる。
- SysMLを用いることで情報の変更・追加が誤りなく進められ、妥当性確認に有用と考えられる。
- 限定的問題設定ではあるが、オフィス環境の洗い出しが経験できたのは良かった。
- 標準障害物の性能指標への落とし込みが課題である。落とし込みやすい物（例：ガラスは物性値で標準化容易）、落とし込みにくい物がある（例：観賞植物）。
- ロールプレイングをやり切れない部分もあった。ユーザとメーカーのすり合わせで、性能評価の利用による円滑化が期待されるが、実ビジネスでは困難も予想され、
- ユーザの性能評価の理解度も、結果に大きな影響を与える。防水IP規格程度なら多くのユーザに理解されるだろうが、現状の性能評価は細かすぎる場合もあるのではないか。ユーザの性能評価の理解向上にはSIerが頑張る必要があり、その支援材料の整備も必要と考える。
- 今回のロールプレイングでは俯瞰的に進めた。今後は個別具体的なロールプレイングも必要だろう。
- 今回のロールプレイではメーカーの立場の参加者が多く、ユーザの立場のロールプレイングが難しかった。実現場では厳しい意見を言うユーザもいる。優秀なユーザ（ただし技術者ではないことに注意）のロールプレイや、ロールプレイに基づく評価では必要である。



**ロボット革命・産業 IoT イニシアティブ協議会**  
Robot Revolution & Industrial IoT Initiative

[www.jmfrri.gr.jp](http://www.jmfrri.gr.jp)