

令和 6 年度成果報告書

革新的ロボット研究開発等基盤構築事業に係る
ロボットフレンドリーな環境構築支援事業
(施設管理分野)

2025年3月

一般社団法人 日本ロボット工業会

(補助先：共同提案)

(株)リージョナルクリエーション長崎
戸田建設(株)

令和6年度革新的ロボット研究開発等基盤構築事業

【実証実験 成果報告】

2025/3/26



【長崎スタジアムシティにおけるロボット実装に向けた実証実験】

株式会社リージョナルクリエーション長崎
戸田建設株式会社

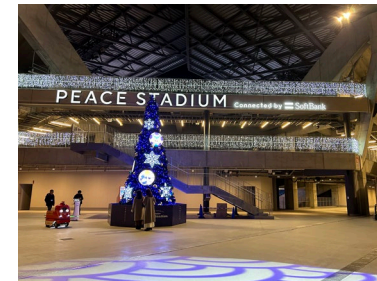
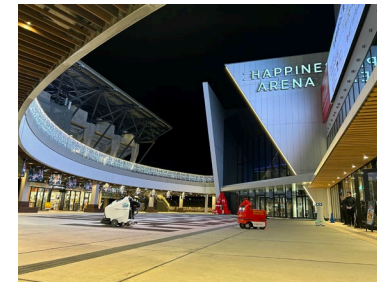
1. 実験の目的

少子高齢化による労働人口の減少が深刻な社会問題となり、その解決にサービスロボットの活用が拡大してきている。

オフィスビルや病院・工場など、導入を検討している施設の用途は様々であり、清掃、配送を始めとし、警備・案内に至るまで、ロボット活用の仕方も多岐に渡っている。

今回ロボット活用の対象とした施設の用途は、今までの実証実験の事例ではなかったスタジアムコンコースでのロボット活用という全く新しいユースケースでの検証となる。

用途の性質上、実証実験を行うステージは、今までの室内での検証とは異なり、半屋外～屋外での検証となり、新たな課題点等の抽出も期待され、今後のロボット活用の新たな可能性を引き出すことが、本実験の大きな目的である。



◆スタジアムコンコース

2. 実験内容の要約

2-1 実証実験①

本事業でこれまで検証されてきた施設(オフィスビル、ホテル、小売店舗)以外のユースケースを対象とした、ロボット実装に資する環境開発や技術検証及びロボット導入の収益性の検証

2-2 実証実験②

ロボットの導入検討や導入効果がわかりやすくなるための
性能評価指標の検討、妥当性検証
(人混みでの回避性能評価指標など)

2-3 実証実験③

物理環境指標(ロボフレレベル)の適用ユースケースを
拡大(屋外又は半屋外)していく上での技術検証



◆長崎スタジアムシティ

3. 使用するロボット・システムの概要

本実証実験は、3台の国産ロボットと、システムで構成される。

DeliRo Truck (ZMP)

オープンな荷台を設けた宅配ロボット。商業棟とオフィス棟のコンコース間のハース他の運搬に活用。今回は後方部分を改造してけん引タイプに改造。(かご車を製作して運搬する仕様)



HAPiBOT(AMANO)

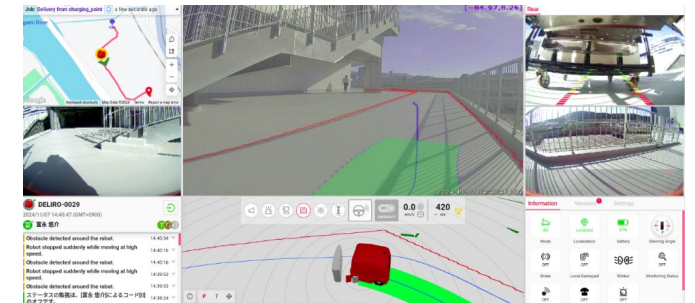
小型床洗浄ロボット。コンコースの床清掃に活用。優れたAI技術により、人とモノを正確に判断し、精密な清掃を実現。実証実験②③に使用。



ROBO-HI®(ZMP)

施設や街単位でロボットを統合的に管理するシステム。
DeliRo Truckと連携して位置情報や稼働状況を把握・管理する。

ROBO-HI®



4. 実証実験①

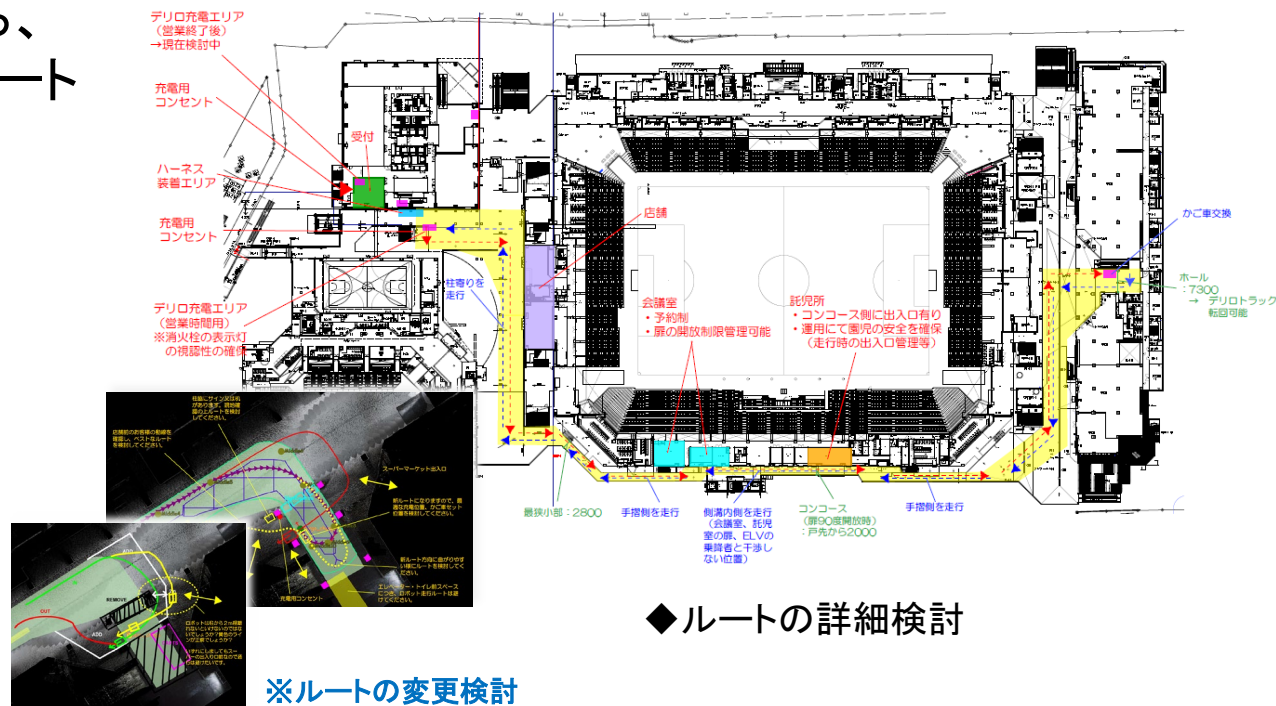
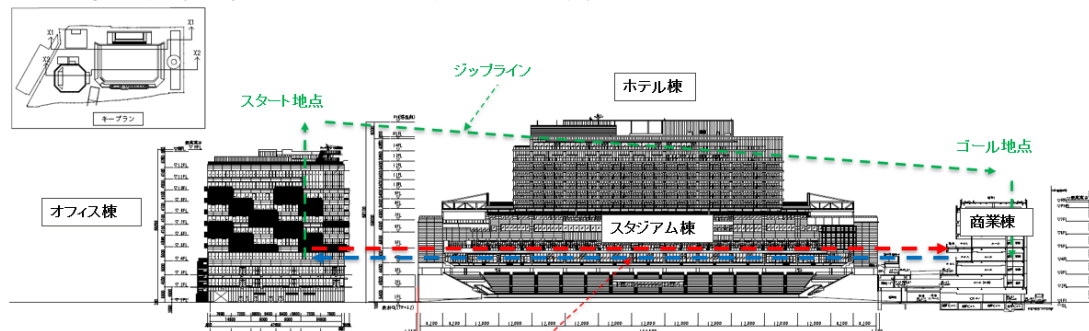
4-1 実証実験環境

本実証実験は長崎スタジアムシティのスタジアム棟2階コンコースで実施した。

実証実験のコースと、実装後の運用コースは同じであることが今回必須であったことから、今回の主目的である物品搬送の最適なルートを様々な要因から検討を行った。

- ・一般客の不規則な動き
- ・スタジアム、アリーナ特有の観客の動き
- ・複合用途特有の環境の変化
(日々変わるイベントやテナントから起因する走行環境の変化)

※運用後、複数回のコース変更に対応 ⇒



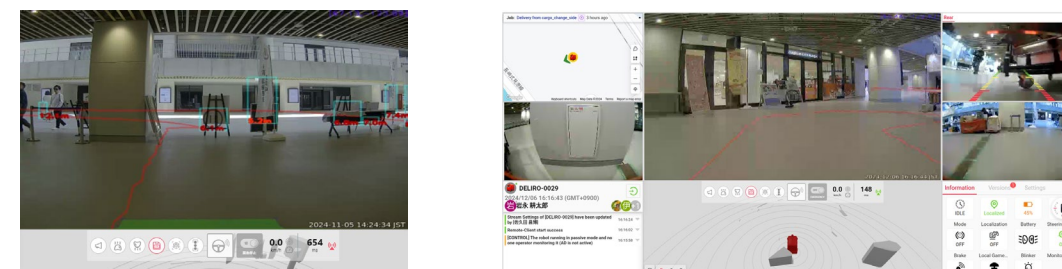
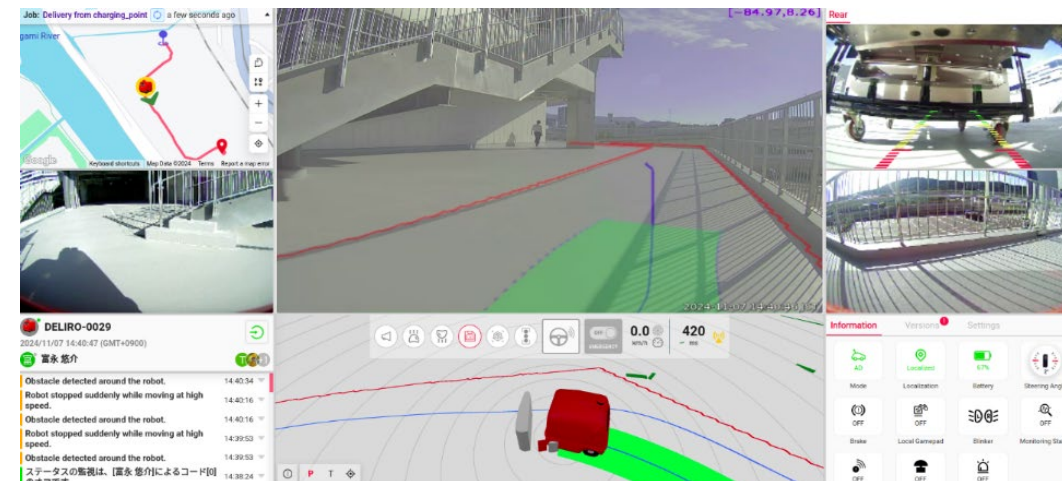
4. 実証実験①

4-2 ロボット管理システム構築の有益性

本実証実験は、実験後の実装を最終目的としており、現地にロボット管理システムを構築して配送ロボットの制御を行う方式とした。

私有地内ではあるが、非常に多数の人とロボットがすれ違うため、遠隔からの管理と合わせて、スタッフが携帯端末等でロボットの動きを管理できる体制を整えた。

本システムの導入により、搬送ロボットの位置がリアルタイムで判り、ゴール地点での到着のタイミングがつかめることから、運用スタッフの効率的な移動が可能となり、大幅に負担を軽減することができた。



◆ロボット管理システムの管理用画面のイメージ

4. 実証実験①

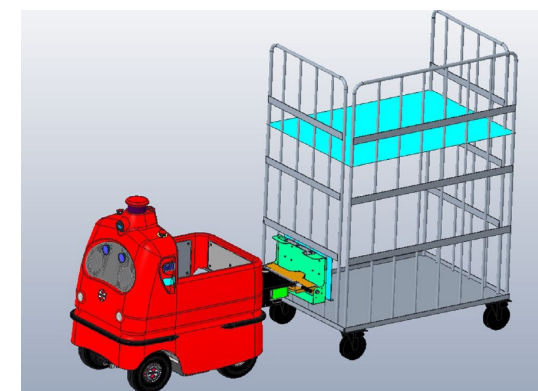
4-3 配送ロボットの選定の流れ

①ロボットの使用目的と必要性能

- ・ジップラインの運用に必要なハーネス、ヘルメット、カメラ、小物類他をゴール地点からスタート地点まで繰り返し搬送
- ・必要な搬送量を検証
⇒ロボット単体での搬送は困難
⇒かご車を使用してそれを牽引する
- ・搬送物品の重量から、まずは必要な牽引力を保有していることが必須
- ・不特定多数の人と共存する環境を走行する状況であることから、公道を走行できるロボットと同等の安全性能が必要



◆ロボットで搬送する物品類



4. 実証実験①

4-3 配送ロボットの選定

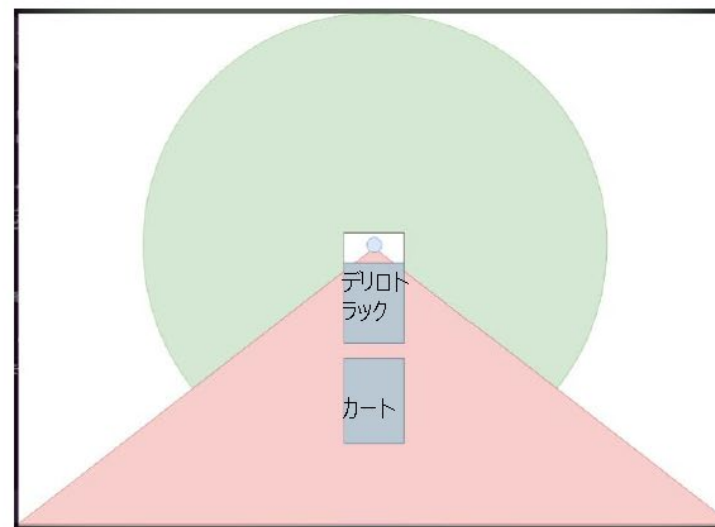
②ロボットに必要な安全性能(かご車接続の影響)

今回、バック走行はしないので、かご車を設置する背面側の死角部分に関しては、**運用上の安全対策(人的な対応を含む)にてカバー**することで、安全な運用を実施する。

デリトロックの仕様



センサの検知範囲イメージ



緑部分が検知可能、赤部分が検知困難（死角）

4. 実証実験①

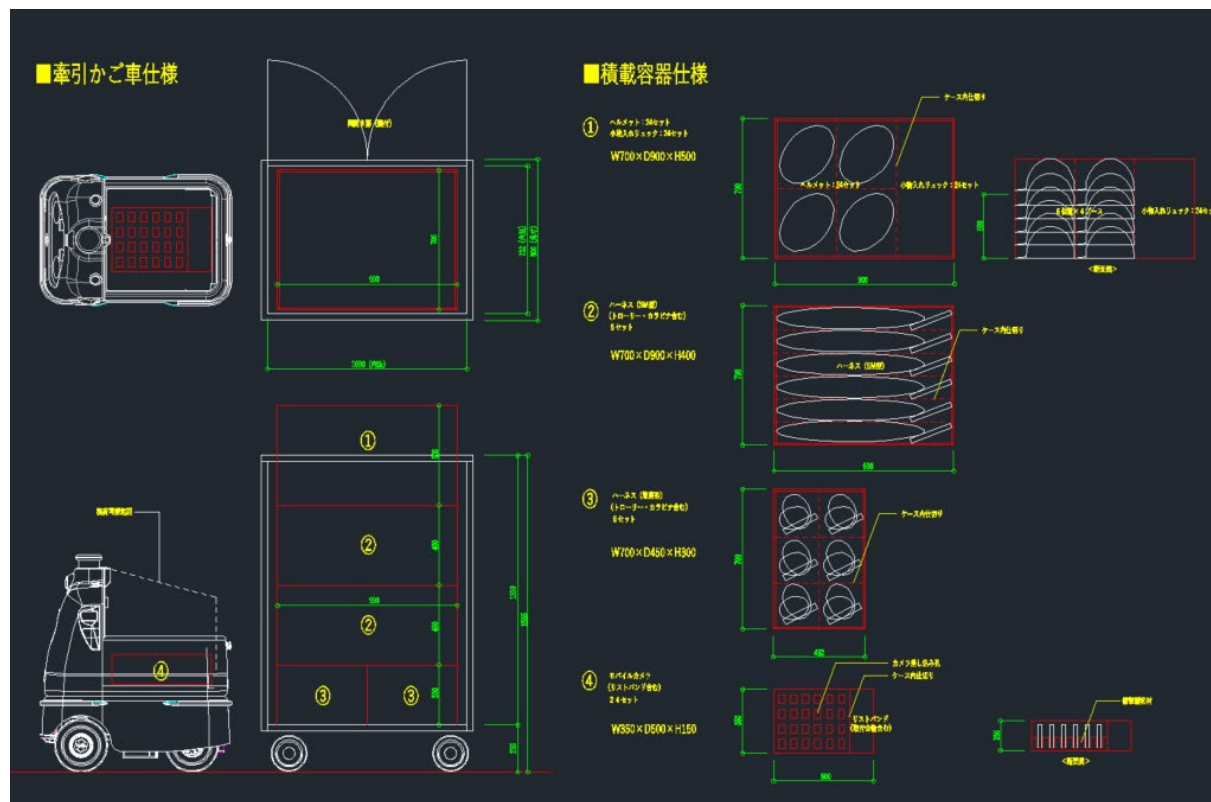
4-4 ロボットの使用目的に適合するかご車・搬送容器の計画

①搬送容器の設計

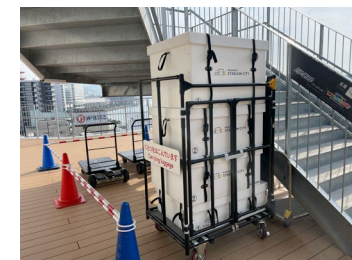
運用上、平面ルートはロボットによる搬送、ELVでのルートは人により搬送が必要

⇒人による搬送ルートに存在する扉を通過できるかご車の幅が必須条件

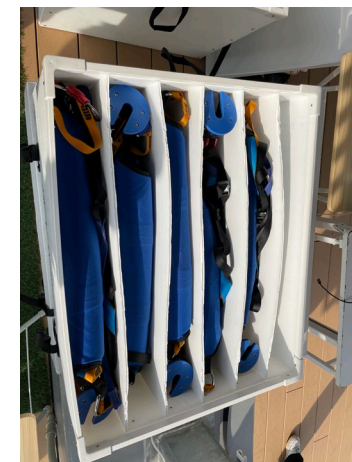
⇒必要な搬送物の量から、適正な箱の大きさを幅から逆算して最適なサイズにて計画した。
(軽量化のためプラダンを使用)



◆搬送用の箱を設計(運用効率を向上)



◆かご車にフィット

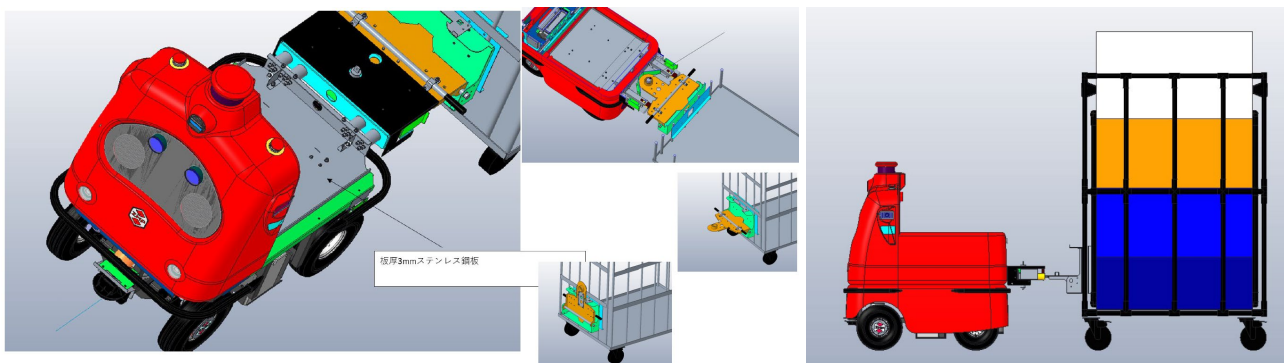
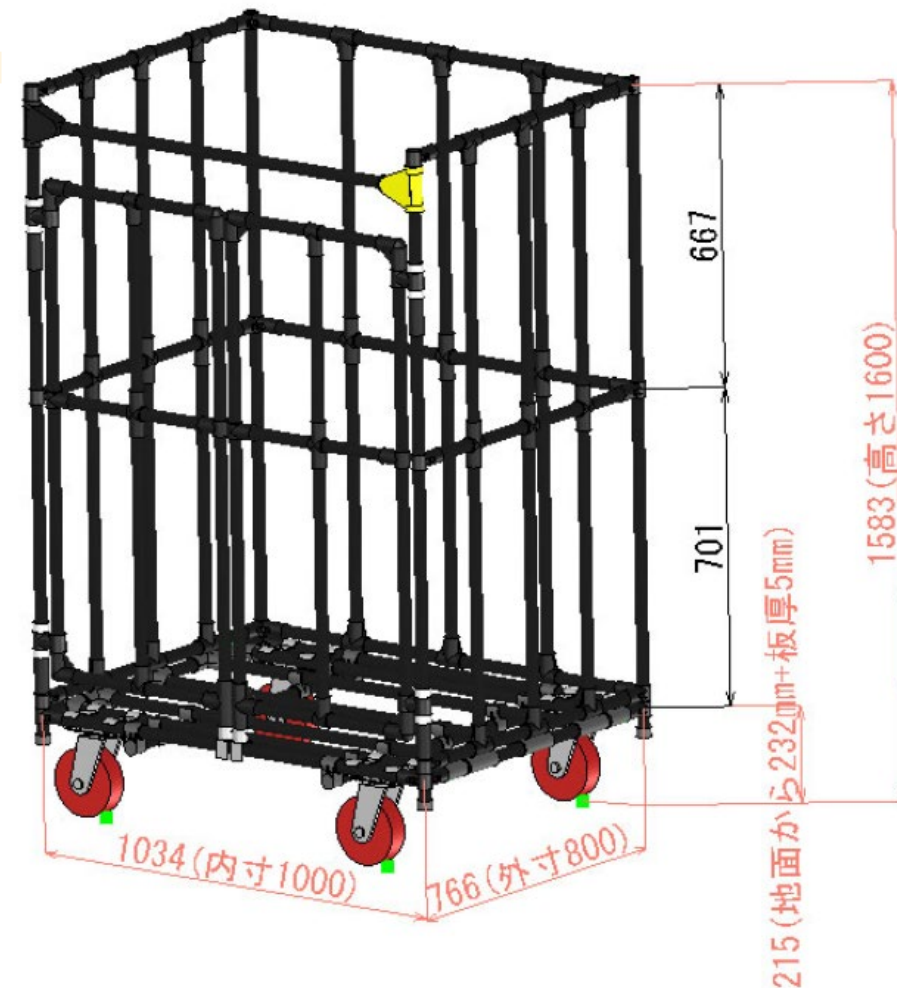


◆箱内の敷居

4. 実証実験①

4-5 かご車の計画(交換用のアタッチメント含む)

今回運用上、1台のロボットで2台のかご車を交互に使用しながら運用する必要があったためロボットへの簡易な着脱性も必要であり、ロボットメーカーとかご車メーカーと検討を重ね、耐久性に優れた簡易脱着型の最適なアタッチメントの開発を行った。



◆脱着が簡易操作で可能なアタッチメントの設計

◆搬送用のかご車を設計(ロボットによる効率的な搬送を実現)

4. 実証実験①

4-6 実験内容

スタジアムのオープンと同時に、実際のお客様と共存する形で、ロボットによる搬送業務を開始、オープン直後はフル稼働での運用を行い、運用に影響する様々な条件を検討した。

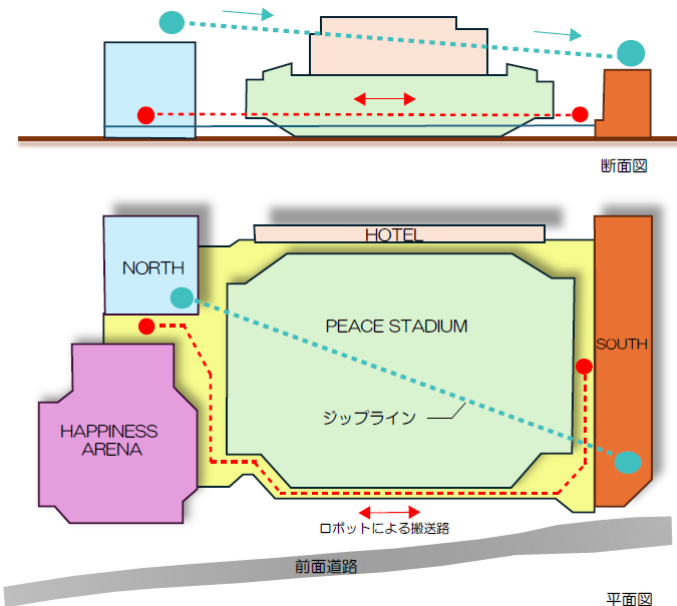
- ・ロボットの最適な走行速度
- ・充電のタイミング・場所など

試合、イベント等の開催日などロボットを使用できない場合

- ・人が操作して運搬するセグウェイ付電動台車を使用しての運用

搬送可能な荷物の量と、搬送スピードを定量的に比較して、実際の導入効果を確認した。

また、実際の施設での運用に当たり、直面する様々な課題についても検証した。



■長崎スタジアム ハーネス運搬イメージ (案)

滑走者	ハーネス状況	START地点	滑走者・ロボットの状況	GOAL地点	備考
滑走準備		座席 開始時刻		座席 完了時刻	
1グループ (24名)		10:00	滑走開始	10:20	
滑走後残数	36	10:30	滑走開始	10:50	
2グループ (24名)		11:00	滑走開始	11:20	
滑走後残数	12	11:30	滑走開始	11:50	
運搬により補充後	36	11:00	滑走開始	11:20	
3グループ (24名)		11:30	滑走開始	11:50	
滑走後残数	12	12:00	滑走開始	12:20	
運搬により補充後	36	12:00	滑走開始	12:20	
4グループ (24名)		12:30	滑走開始	12:50	
滑走後残数	12	13:00	滑走開始	13:20	
運搬により補充後	36	13:00	滑走開始	13:20	

以降はこの作業フローの繰り返し

◆オープン時の搬送スケジュール(想定)

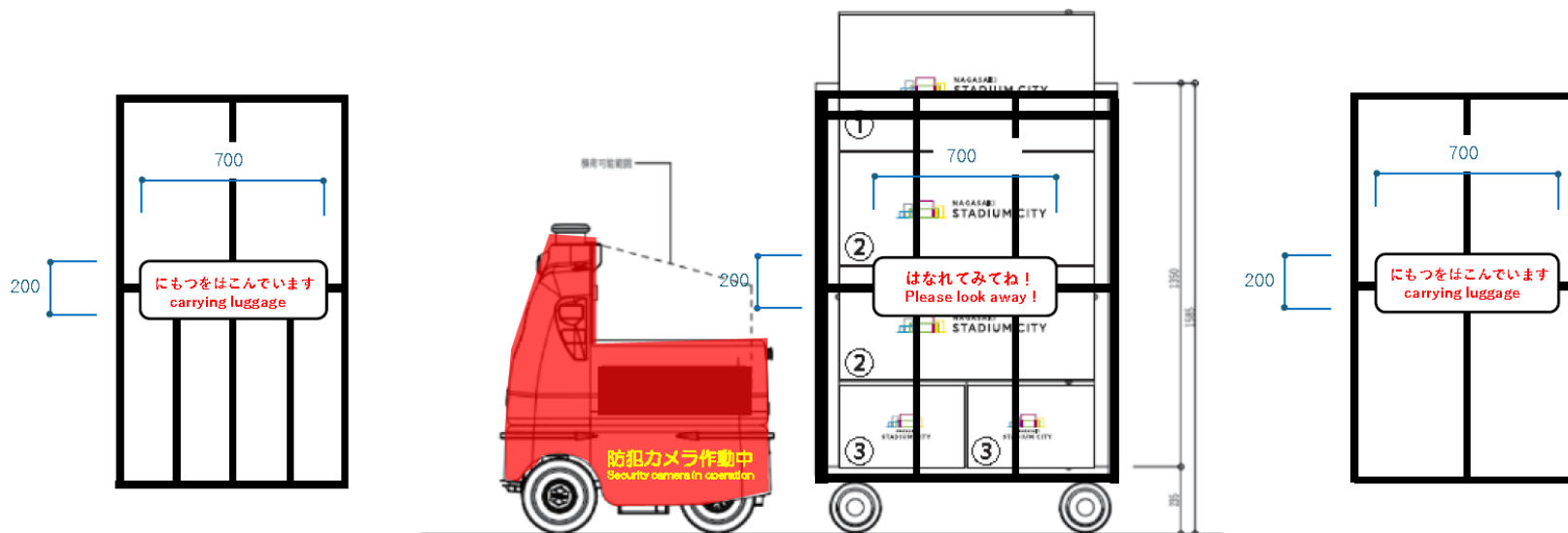
4. 実証実験①

4-7 実験により生じた課題と対策

①歩行者の安全対策:ロボットが保有する安全装置以外で行った安全対策

- ・注意喚起のサイン表示(設置場所:ロボット本体、かご車、沿道の室等)

→ 子供と外国の方にわかりやすいように、ひらがなと英語の併記とした。
これにより、歩行者も一定の距離感を持つようになり安全性が向上した。



【その他】



◆充電中の表示

外をロボットが通行します
外出の際は気を付けてください



◆沿道に面する室に掲示

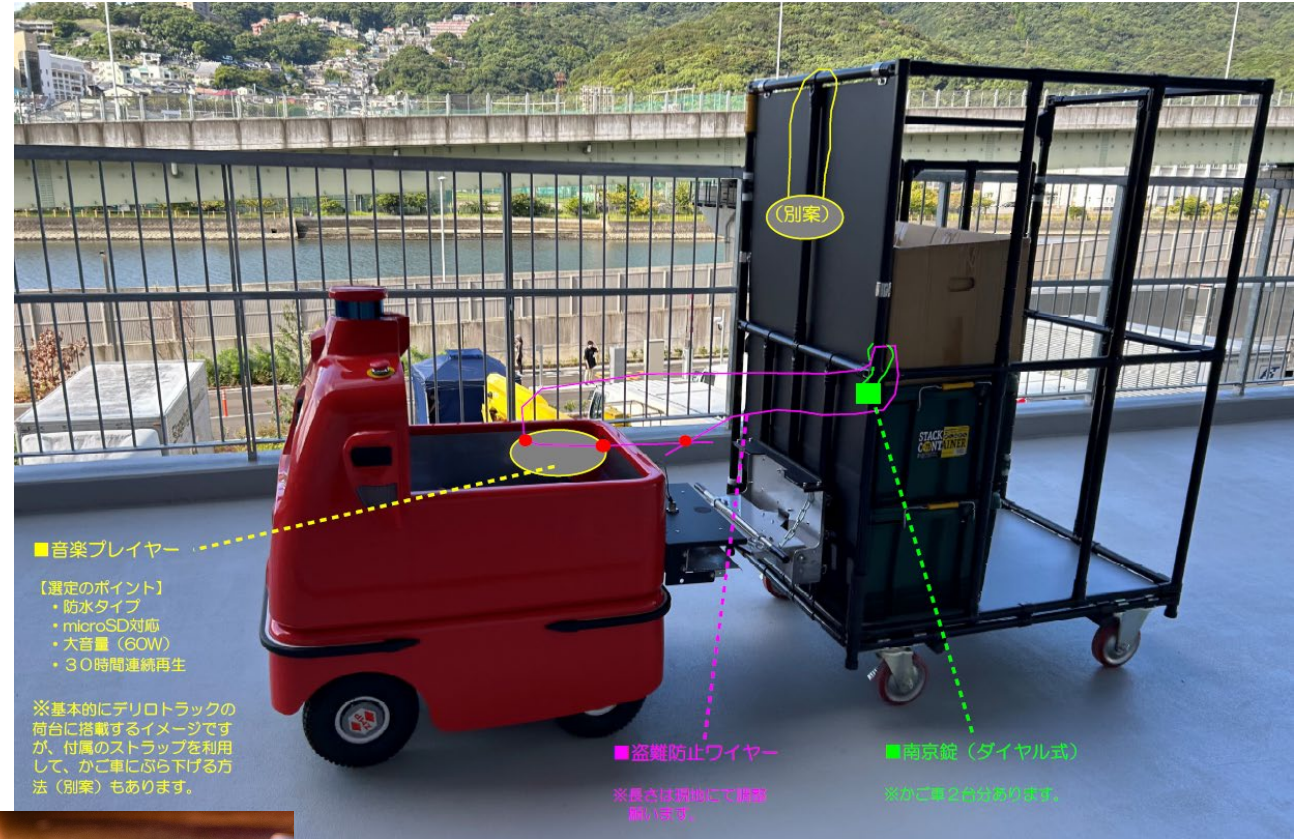
4. 実証実験①

②音楽設備設置(歩行者注意喚起用)

かご車を牽引したロボットは大型のフォルムであるが、暗騒音の大きい今回の様なユースケースでは、近接しても気づかないケースが多い。

今回採用したロボットでは、注意喚起の言葉を発する機能はあったが音楽を流す機能が無かったため、充電式の音楽プレイヤーを荷台に設置し注意喚起を行った。

設置後は、ロボットの接近に気づくようになり、施設内の安全性も向上した。



◆音楽設備設置イメージ

4. 実証実験①

4-8 実験により見えてきたこと

今回新築案件なので、導入前後の収益性の比較については不可能であるため、1時間あたりの総搬送量を相対的に数値化して比較することで、収益性が向上していることを確認した。(ロボットと電動台車による搬送量の比較)



◆ 配送ロボットによる搬送



◆ 電動台車による搬送

- ① 配送ロボットによる搬送：搬送量1.0（かご車満タンを1とした時の搬送量）
搬送効率2（1時間あたり2往復）
→ 総搬送量 $1.0 \times 2 = 2.0$ （1時間あたりの総搬送量）
- ② 人が電動台車を使用して搬送：搬送量0.4（かご車満タンを1とした時の搬送量）
搬送効率4（1時間あたり4往復）
→ 搬送量 $0.4 \times 4 = 1.6$ （1時間あたりの総搬送量）

4. 実証実験①

4-9 まとめ



今回スタジアムシティという、多用途の施設が混在するユースケースにて、ロボットによる配送業務を最終的には実装するという目標のもと、走行実験を兼ねる形で行い、その際に生じる様々な課題について確認した。

今回ロボットの走行ルートは、室内で行う場合に比べて、比較的広く、ロボット自体の走行としては難しい環境ではないと思われたが、本ユースケース特有の環境下で、予想外の人の動きや、環境の変化が頻繁に発生することや、半屋外から屋外空間という、室内では見られない風雨等の影響など、ロボットだけではなく、実際にロボットを活用する人間との協力により、ロボットフレンドリーな環境が実現されると強く感じる結果となった。



4. 実証実験①

4-9 まとめ

また、本施設は施設全体にかけられる施設賠償責任保険により、ロボットの人的・物的損害に対応しているが、今後は様々なトラブルのケースに備えて、ロボット単体にかけてられるロボット保険の採用も視野に入れる必要があり、安心して人とロボットが共存できる環境を提供していくことが重要である。

今後同様のユースケースでのロボット導入を検討される場合は、施設の得意性を十分に把握した上で、人を含めた施設全体が協力してロボットの活用方法について理解を深めていくことが大事である。



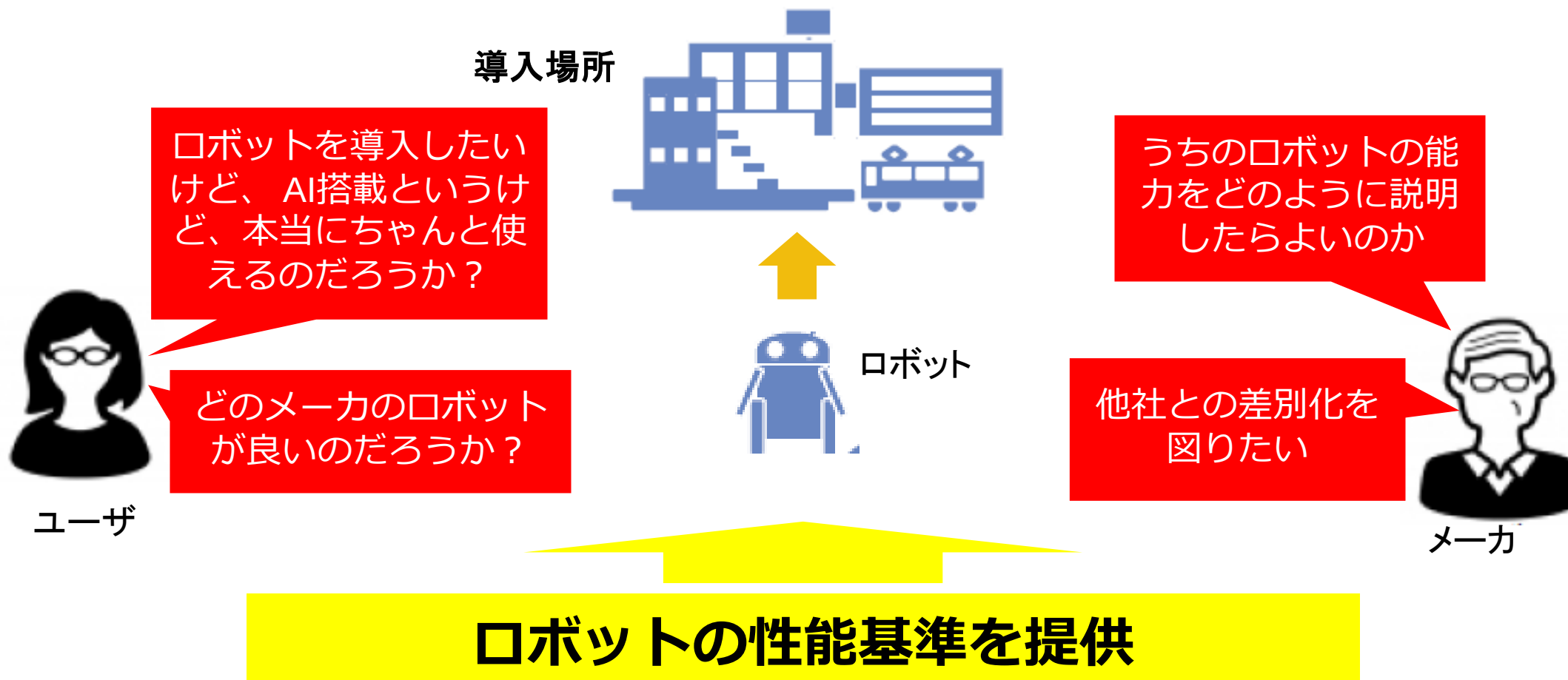
長崎スタジアムシティでの サービスロボットAI性能評価の取組み

2025.3.26

パナソニック ホールディングス株式会社 プロダクト解析センター
Panasonic holdings Corporation Product Analysis Center
安全・EMCソリューション部
Safety & EMC Solution Department

本評価技術開発のねらい

ロボットの知的性能に関する指標が無く、
適切なロボットの選定やシステムの構築が容易でない



開発と標準化

自律移動ロボットが、実環境で適切に機能するかの評価
⇒ 搭載されたAI（知的制御）性能の評価技術の開発

対象のサービスロボットの例（移動作業型）



インテリジェント車いす



荷物搬送ロボット



サイネージロボット

人や障害物の**変化する環境**の中で

- ・できるだけ早く
- ・人や障害物にぶつからず
- ・進入禁止領域にも入り込まず

如何に目的地への移動ができるか

開発の成果はISO国際標準へ提案

ISO 18646-7: Robotics — Performance criteria and related test methods for service robots — Travelling around humans

ISOにて標準化活動開始の承認→現在策定中



経産省の政策との位置づけ

経産省 ロボット政策室



ロボットが働きやすい環境構築



サービスロボットの導入促進

政策最終年の実証

A-2 : ロボット導入のユースケース拡大に繋がる、新たな標準化領域のための検証
⑤ ロボットの導入検討や導入効果がわかりやすくなるための、性能評価指標の検討、妥当性検証（人混みでの回避性能評価指標など）

評価試験の内容

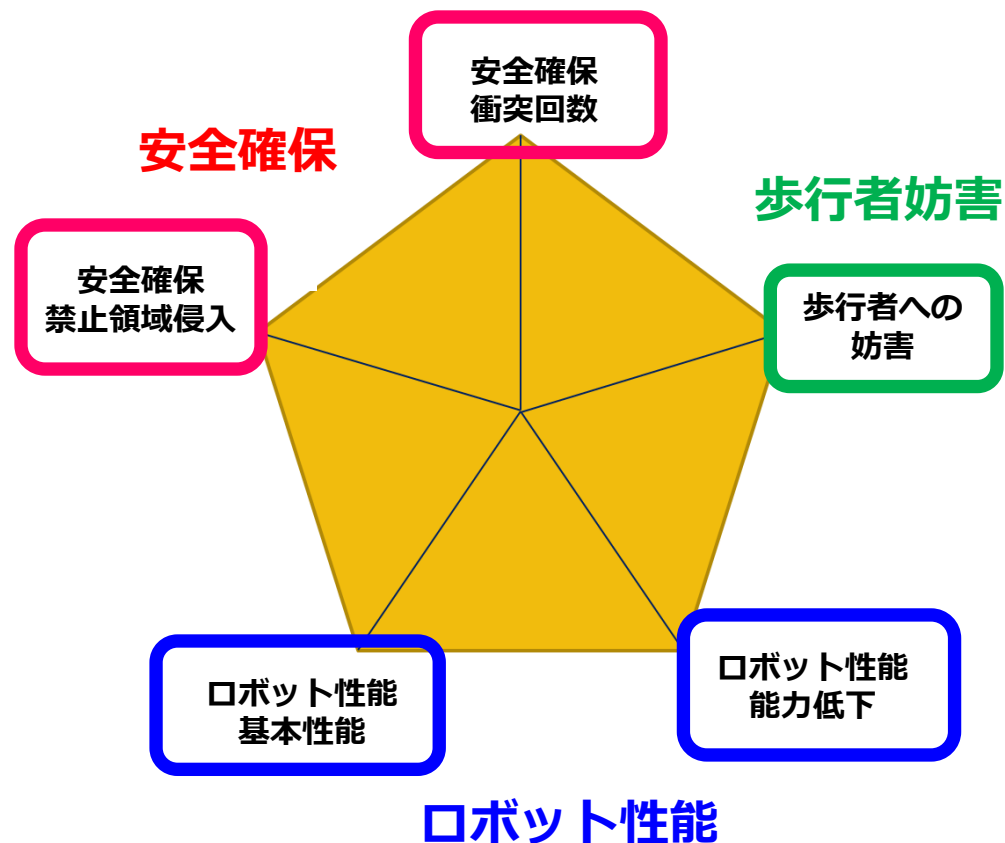


	試験 A	試験 B
	人が歩いている中をロボットが横切る	向かってくる人とロボットがすれ違う
試験内容		

人が歩いている中を避けながらスタート～ゴールに移動

性能指標

AI性能が高い = 安全を確保しつつ、能力低下や歩行者妨害が少ない



① 安全確保

- ・ 衝突回数：人や障害物との衝突有無
- ・ 禁止領域侵入：禁止領域への侵入有無

② ロボット性能

- ・ 基本能力：人無がない時の
ロボットの移動時間
- ・ 能力低下：人と混在時の
ロボットの移動時間増加

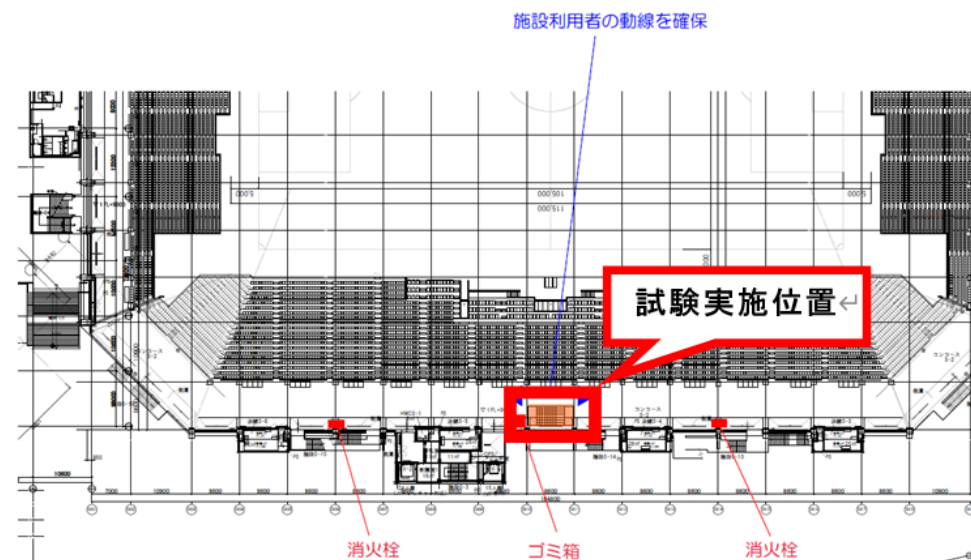
③ 歩行者妨害

- ・ 混在時の歩行者の平均速度の低下

3つの観点の評価指標 → アプリに応じて優先項目をユーザが選択

長崎スタジアムでの実証

スタジアム3F コンコースで実施



対象のロボットと実証の様子



HAPiiBOT
(アマノ株式会社)
用途：掃除



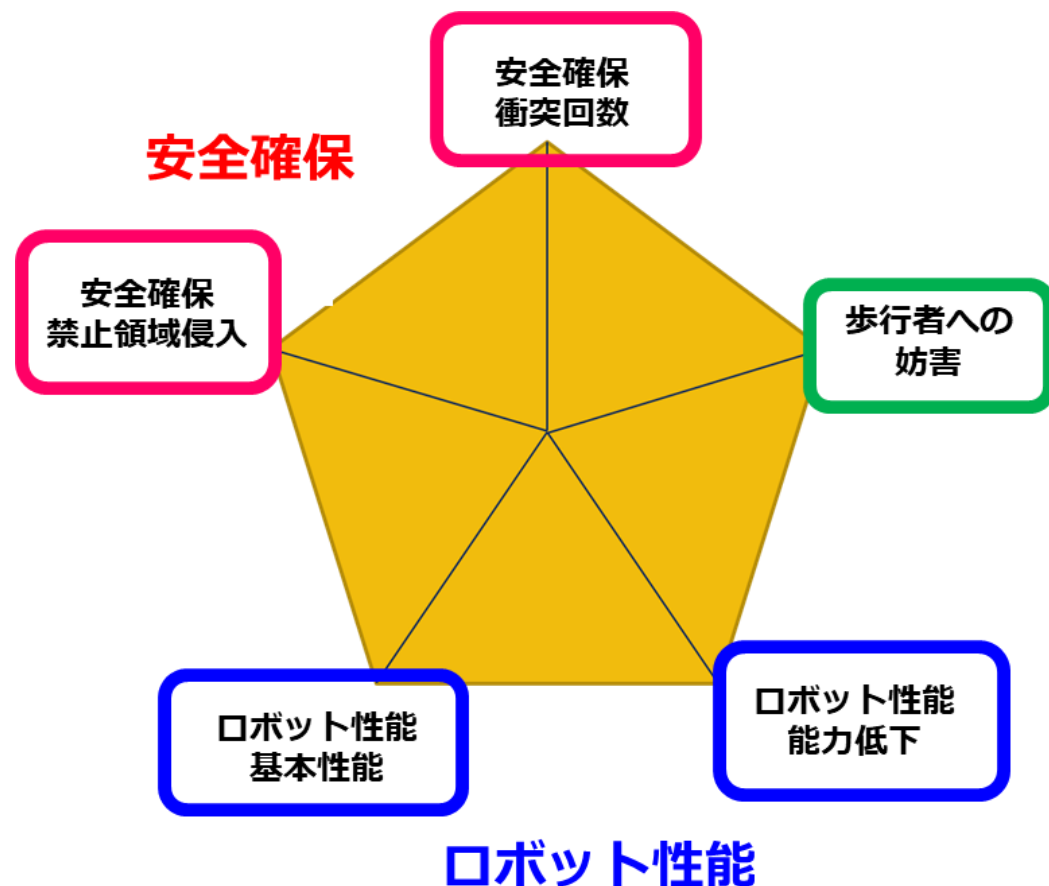
WILL
(ciRobotics株式会社)
用途：搬送



DelirRo Truck
(株式会社ZMP)
用途：搬送



実証の結果



安全確保

衝突回数：0回

禁止領域侵入：0回

能力低下（移動速度）

能力低下(横切)：54% ～ 84%

能力低下(すれ違い)：10%～55%

歩行者妨害（移動速度）

能力低下(横切)：5% ～ 8%

能力低下(すれ違い)：6～16%

総括：歩行者に対し、しっかり止まって安全に邪魔をしない
すれ違いにおいて、それぞれのロボットのよけ方の特徴が出ている

まとめ

本実証を通じて、ロボットAI性能評価の標準化に向けた実証データを取得でき、評価指標によってロボットの特徴やその違いを確認することができた。



次の開発目論見

評価対象：ロボット単体 → ロボットシステム

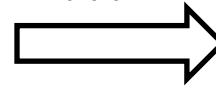
ロボット
システムの導入

目的

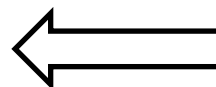
- ・コストダウン
- ・効率化



評価



改善



ロボットシステム
性能の数値化

どこを改善すれば効率化できるか
ロボットのAI性能、ボトルネック、
要因分析
⇒ 効率化の提案

使える⇒儲かる へ



科学的根拠に基づくものづくり。

と わか かいけつ
解く・解る・解決する

それが私たちの仕事です。

To enable manufacturing based on scientific evidence, we analyze, clarify, solve. This is our job.

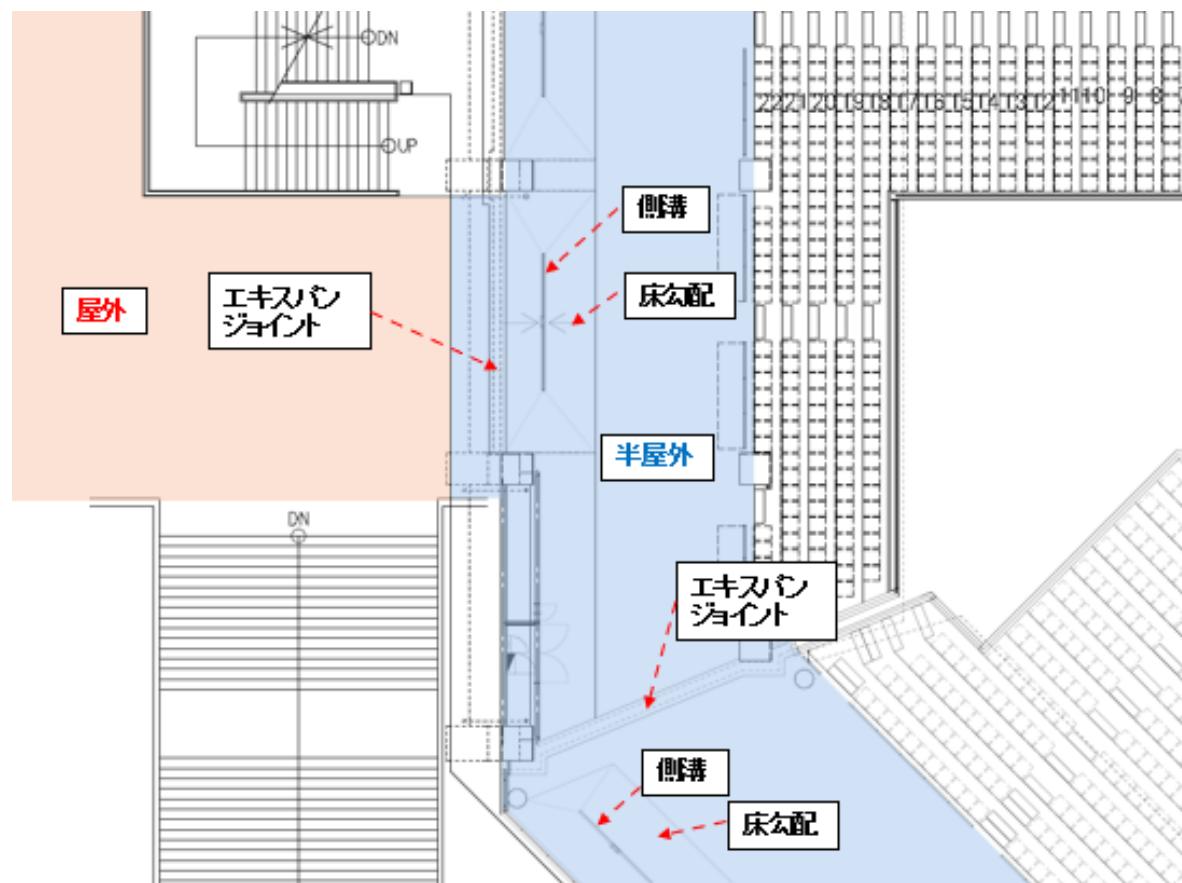
6. 実証実験③

6-1 実証実験環境

本実証実験は長崎スタジアムシティのスタジアム棟3階コンコースの所定の場所を実施した。

今回、半屋外から屋外空間に存在する様々な物理環境要素の内、次の5種類の物理環境要素が存在する場所を選定した。

- 1) 床段差①エキスパンジョイント(6mm)
- 2) 床段差②エキスパンジョイント(13mm)
- 3) 床段差③排水側溝
- 4) 床勾配
- 5) 小石(散在)直径10mm～20mm



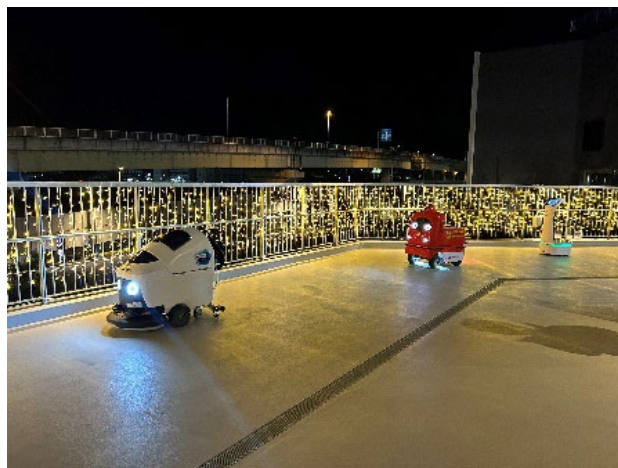
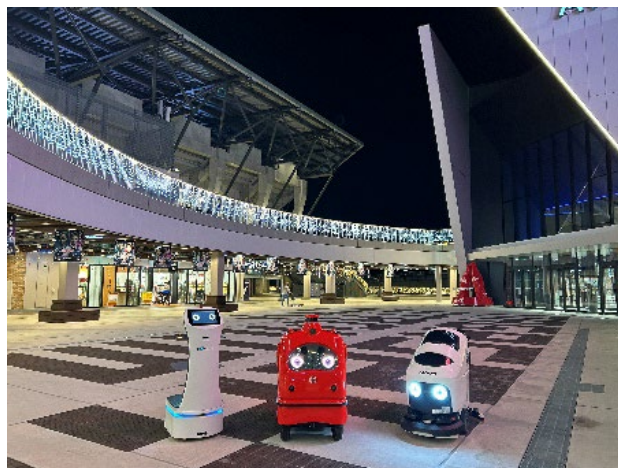
◆実験フィールド

6. 実証実験③

6-2 ロボットの選定

今回の実験では、実験②で使用した3種類のロボットを採用。
屋外専用のロボット1台、
室内専用のロボット2台
の選定となった。

特に屋内専用のロボットに関しては、室内用の足回り仕様をしているため、屋外特有の物理環境要素にどのような挙動をするのかを特に注目した。



■ロボットの足回り仕様(参考)

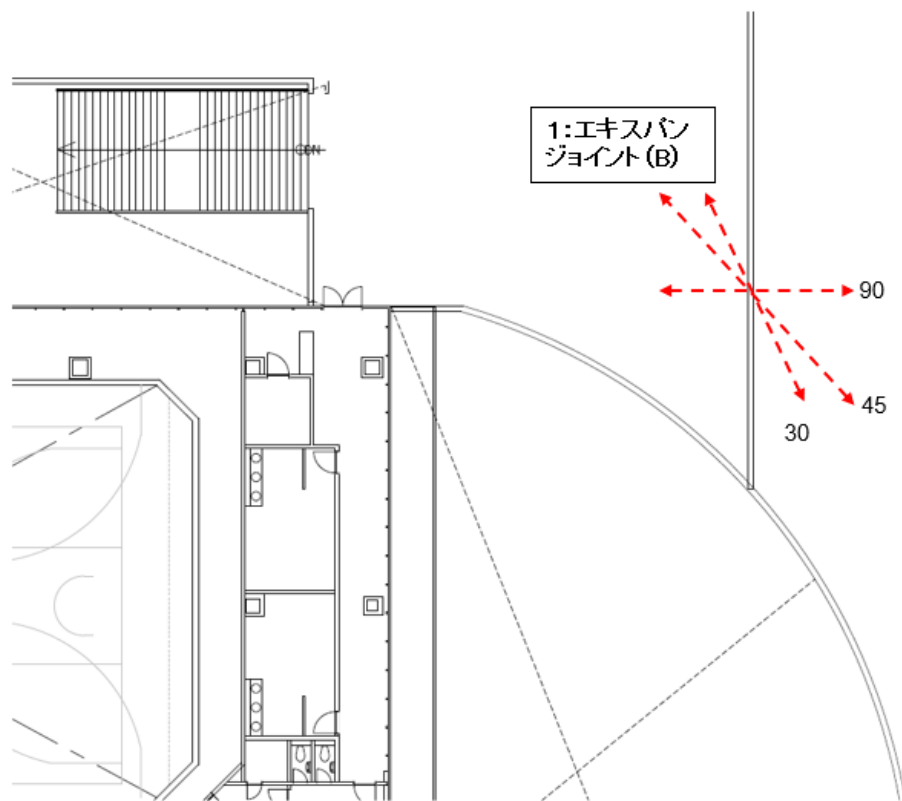
- ・デリロトラック(ZMP) ※以後「ロボットA」とする
タイヤ数: 4個(後輪駆動)
径: 260Φ
材料: 発泡ウレタン系
- ・WILL(ciRobotics) ※以後「ロボットB」とする
タイヤ数: 2個(駆動輪) + キャスター: 4個
径: 170Φ(キャスター 75Φ)
材料: ラバー素材(キャスター ポリウレタン)
- ・ハピボット(AMANO) ※以後「ロボットC」とする
タイヤ数: 2個(駆動輪) + キャスター: 2個
径: 200Φ(キャスター 100Φ)
材料: ウレタン(キャスター ウレタン)

6. 実証実験③

6-3 実験内容

1) 床段差①: エキスパンジョイント(厚: 6mm)

進入角度を90度、45度、30度と変えて、ロボットを走行させ挙動を確認した



◆実験フィールド

- ・進入角度90度: 3台とも問題なし
- ・進入角度45度: 3台とも問題なし
- ・進入角度30度: 3台とも問題なし



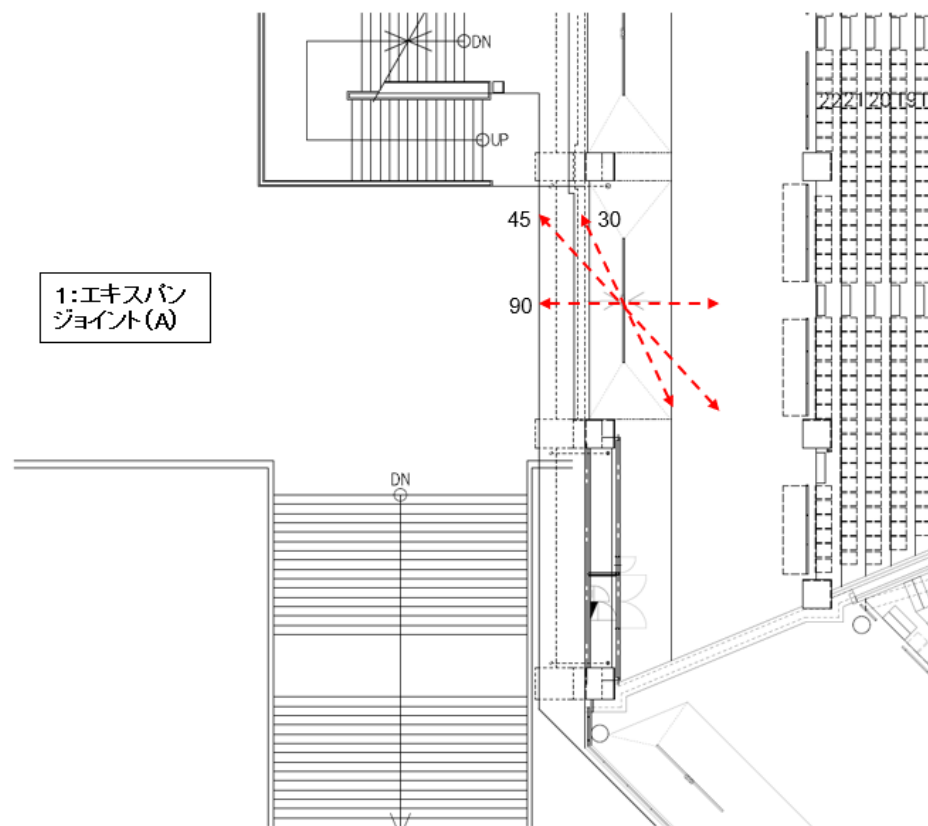
◆実験の様子

6. 実証実験③

6-3 実験内容

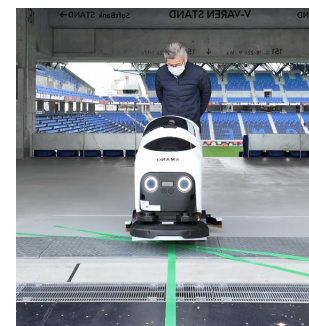
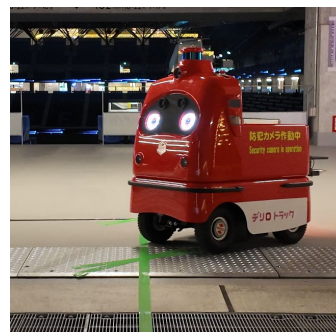
2) 床段差②: エキスパンジョイント(厚: 13mm)

進入角度を90度、45度、30度と変えて、ロボットを走行させ挙動を確認した。



◆実験フィールド

- ・進入角度90度: ロボットAは問題なし
ロボットB・Cは前輪が段差にかかり走行停止。
その後オペレーターにより復旧対応。
- ・進入角度45度: ロボットAは問題なし
ロボットB・Cは前輪が段差にかかり走行停止。
その後オペレーターにより復旧対応。
- ・進入角度30度: ロボットAは問題なし
ロボットB・Cは前輪が段差にかかり走行停止。
その後オペレーターにより復旧対応。



◆実験の様子

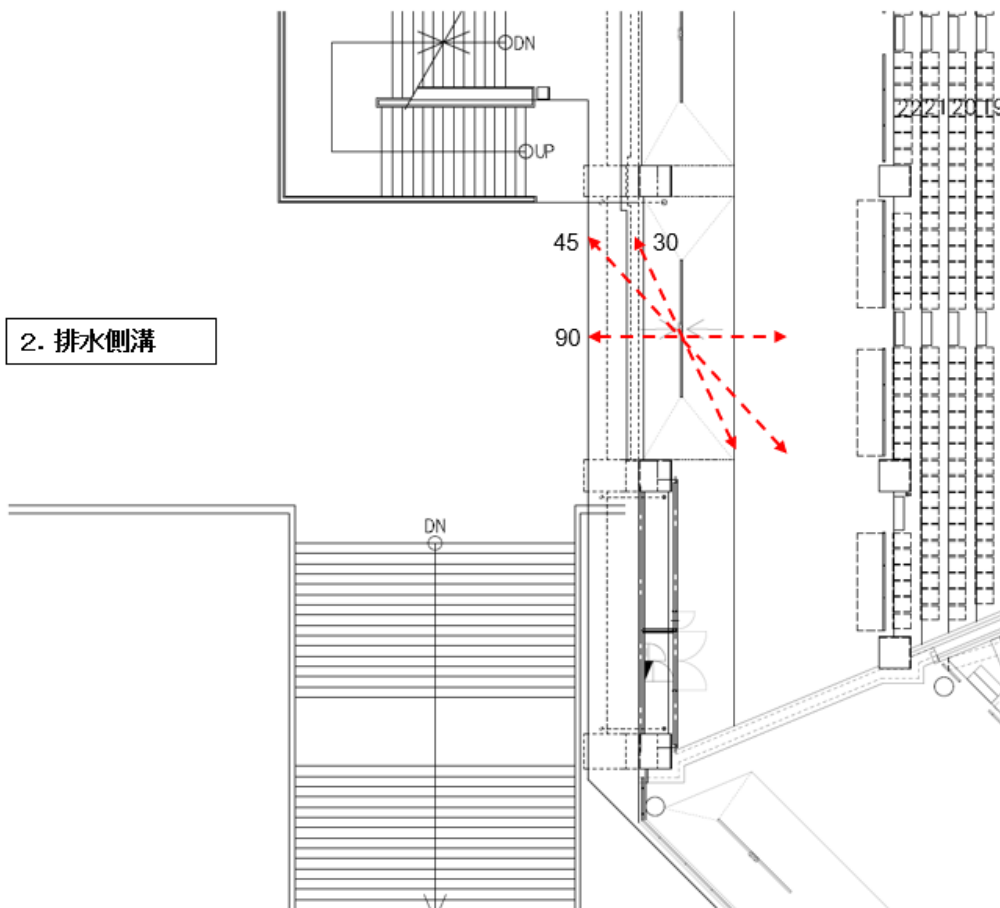
6. 実証実験③

6-3 実験内容

3) 床段差③: 排水側溝(フタ無し仕様)

進入角度を90度、45度、30度と変えて、ロボットを走行させ挙動を確認した

- ・進入角度90度: 3台とも問題なし
- ・進入角度45度: 3台とも問題なし
- ・進入角度30度: 3台とも問題なし



◆実験フィールド



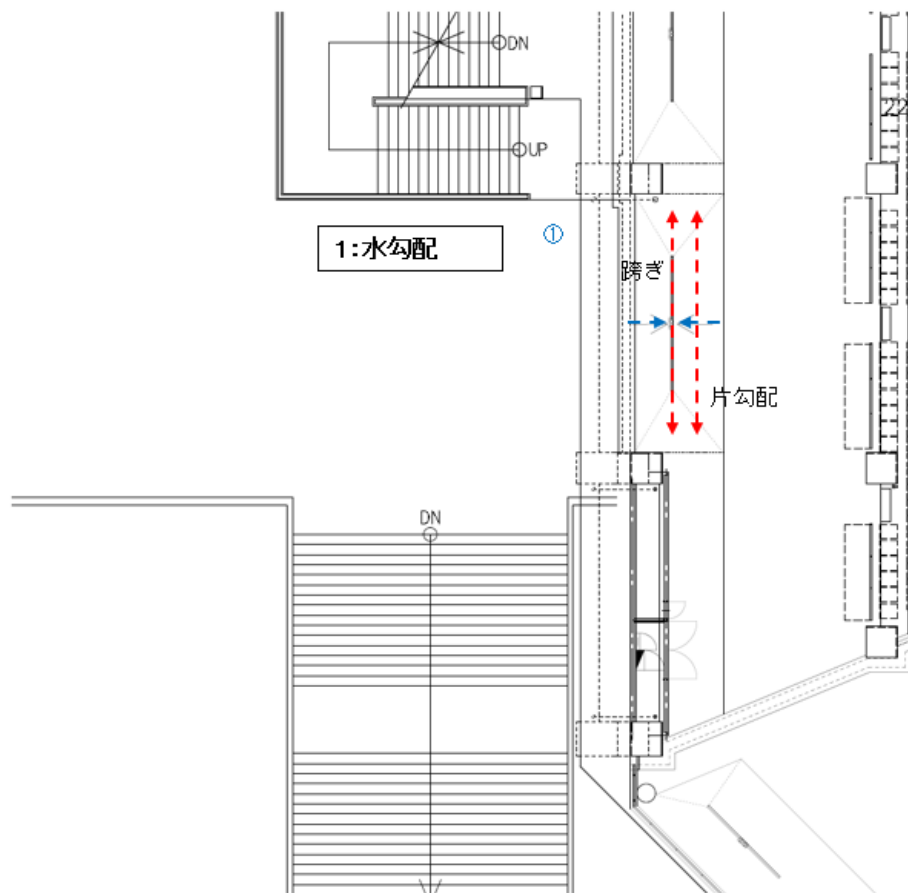
◆実験の様子

6. 実証実験③

6-3 実験内容

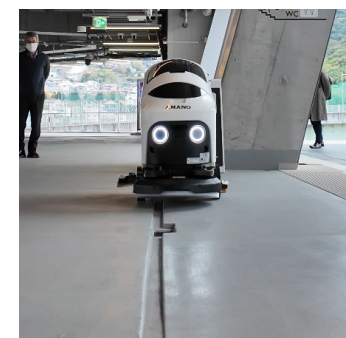
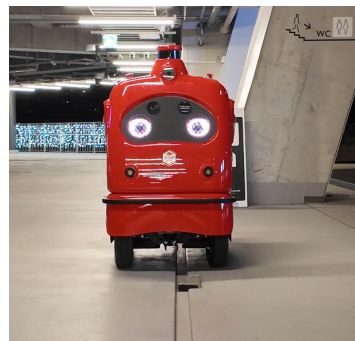
4) 床勾配

排水側溝に向かう床勾配を跨がせる形で走行させてみた。



◆実験フィールド

- ・片流れ(水勾配): 3台とも問題なし
- ・側溝またぎ走行: 3台とも問題なし



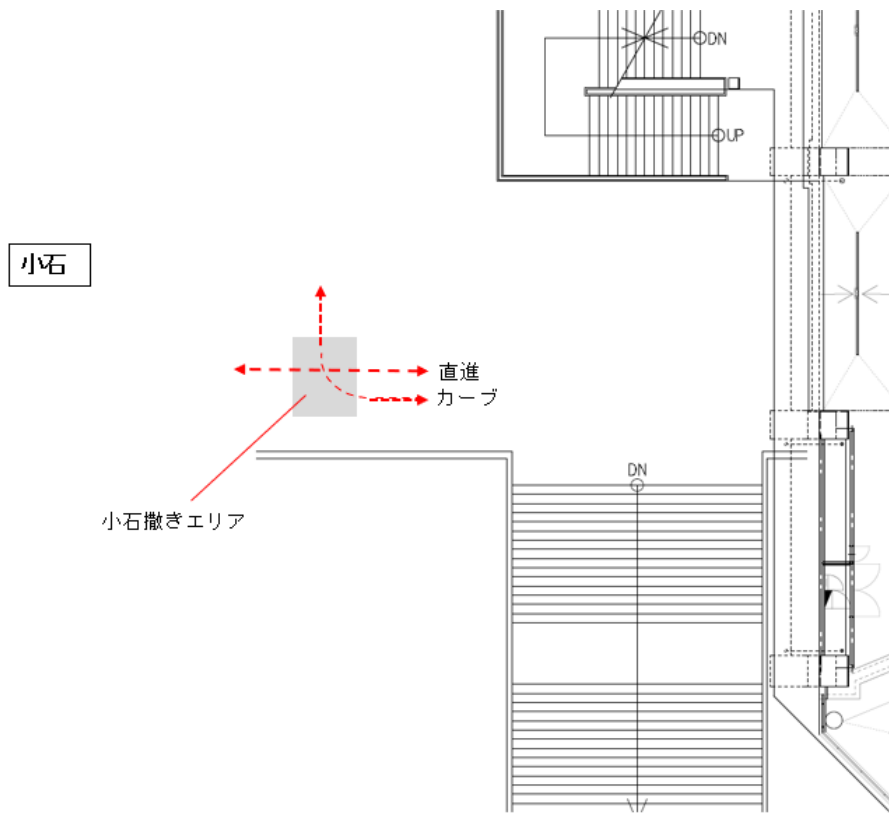
◆実験の様子

6. 実証実験③

6-3 実験内容

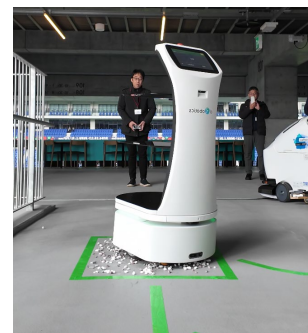
5) 小石(散在)

直径10～20mm程度の小石をばら撒き、その上を走行させてみた。



◆実験フィールド

- ・直進: 3台とも問題なし
(ロボットB・Cは車体が振られるが進行に問題なし)
- ・カーブ: ロボットAは一旦減速するが、継続して走行を遂行。
ロボットB・Cは石ころに乗り上げると車体の回転が
起こるが、進行方向に大きな影響は見られなかった。



◆実験の様子

6. 実証実験③

6-4 まとめ

今回半屋外・屋外空間特有の物理環境要素により、ロボットの走行実験を行ったが、屋内には無い要素においては、ロボットの開発上想定していない部分もあるので、一部のロボットにおいて走行不能となるケースがあった。

今後、今回のユースケースの様な施設でロボット導入を検討する際には、屋内で定めているロボフレレベルと同様な**屋外版の基準**を用意する必要があると考える。

屋外特有の物理環境要素について一例を挙げると、次の様な要素が考えられる。

評価項目	該当/非該当	評価内容	計測値	ロボフレレベル
斜度	○	レベルA: 1/12 以下 レベルB: 1/12 以下 レベルC: 1/12 以下	0.20%	A
段差	○	レベルA: 5mm 以下 レベルB: 5mm 以下 レベルC: 5mm 以下	5mm	A
溝	○	レベルA: 深さ 10mm 以内 レベルB: 深さ 10mm 以内、または、長さ 20mm 以内 レベルC: 深さ 20mm 以内、かつ、長さ 20mm 以内	深さ: 12mm 長さ: 14mm	B
過剰端	□	レベルA: 高さ 20mm 以内 レベルB: 高さ 20mm 以内、または、長さ 1.5m 以内 レベルC: 高さ 20mm 以内、または、長さ 1.5m 以内	高さ 20mm	
障害物（什物） （より小さい方の空間に属するものとして評価すること）	□	レベルA: 高さ 20mm 以内、かつ、長さ 1.5m 以内、または、長さ 1.5m 以内、かつ、高さ 20mm 以内 レベルB: 高さ 20mm 以内、かつ、長さ 1.5m 以内、または、長さ 1.5m 以内、かつ、高さ 20mm 以内 レベルC: 高さ 20mm 以内、かつ、長さ 1.5m 以内、または、長さ 1.5m 以内、かつ、高さ 20mm 以内	高さ 20mm 長さ 1.5m	
エレベーター昇降口の長方形の開口の長さ	○	レベルA: 長さ 1.5m 以内、または、長さ 1.5m 以内、かつ、高さ 20mm 以内 レベルB: 長さ 1.5m 以内、または、長さ 1.5m 以内、かつ、高さ 20mm 以内 レベルC: 長さ 1.5m 以内、または、長さ 1.5m 以内、かつ、高さ 20mm 以内	長さ 1.5m 高さ 20mm	B
エレベーターかごと天井の間の溝	○	レベルA: 高さ 20mm 以内 レベルB: 高さ 20mm 以内 レベルC: 高さ 20mm 以内	20mm	A
床面の溝	○	レベルA: 高さ 20mm 以内 レベルB: 高さ 20mm 以内 レベルC: 高さ 20mm 以内	20mm	

◆ロボフレレベル評価シート（屋内版）

6. 実証実験③

6-4 まとめ

□ 走行環境

- ・水勾配(雨水排水用)
- ・雨水排水側溝(フタの仕様もロボットのタイヤの仕様に影響)
- ・エキスパンジョイント(建物構造により仕様が異なる)
- ・縁石等の見切り材(センサーに反応しない高さに存在)
- ・手摺(格子、ガラス、SUSHLなどセンサーに反応しにくい材質)



◆ 走行環境のイメージ

□ 走行路の障害物

- ・什器備品(日ごとに場所が変動する可能性がある)
- ・サイネージ、広告看板等(日ごとに場所が変動する可能性がある)
- ・植栽(剪定管理が必要、観葉植物などは設置位置の変動もあり)
- ・ゴミ(小石、落ち葉、吸い殻を含む)
- ・動物(鳥、虫類を含む)



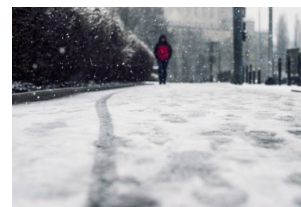
◆ 走行路の障害物のイメージ

6. 実証実験③

6-4 まとめ

□自然環境

- ・雨(ロボットの防水、防滴性能)
- ・雪(ロボットの防水、防滑性能)
- ・風(風による走行への影響及び補正性能)
- ・直射日光(太陽光のセンサーへの影響)
- ・猛暑(夏場の車体の温度上昇)
- ・厳寒(冬場の凍結対策)



◆自然環境のイメージ

以上、想定される要素を記載したが、これ以外にも災害への対応や、通信環境問題など、屋外特有の課題は非常に多く存在すると考えられる。今回の実験が、その第一歩として今後の**屋外版ロボフレレベル**作成の一助になれば幸いである。