

2025年度第6回ロボフレ委員会講演内容 ～ロボットフレンドリービルディングデザイン～

講師：戸田建設 黒瀬義機、記録：RRI 西垣戸貴臣

概要：ビル内でサービスロボットを導入するには、エレベーター連携や自動ドア通過、人との協調、複数ロボットの群管理など多くの課題がある。講師らはこれらに対し、実証実験を通じて知見を蓄積してきた点を強みにしている。特にウエーブガイド LAN システムを活用した高信頼な通信環境の構築は特徴的で、エレベーターシャフト内でもシームレスな Wi-Fi 接続を可能にし、災害時の対応力も高めた。同環境下でロボットと人のエレベーター同乗実験や、セキュリティ扉の自動通過、複数ロボットの協調制御などを検証し、安全かつ効率的な運用を実証した。

現場での活用例として、長崎スタジアムシティでは、半屋外を含む複合施設全体でロボット活用を進め、ジップライン用の安全器具 120kg を 380m 搬送するロボットを導入した。搬送容器やカゴ車の専用設計、歩行者への注意喚起、トラブル時のオペレーション対応など、実装に向けた細かな調整を積み重ねた。また、人とロボットのすれ違い評価や屋外での段差・小石の走破性確認などを行い、ロボット導入に求められる性能指標を整備した。さらに、ロボットが SNS で話題を呼び来訪者が増えるなど、想定外の効果も得られた。また、自社のビルでは、カフェの食器搬送や飲料配送、郵便物搬送など多様な業務をロボット化。社員の声を反映しながら改良を続ける実証フィールドとして機能させ、実装知見を蓄積している。

今後は、制御盤に触れずにエレベーター連携を可能にする新方式の実証を進め、コスト削減を図る。さらに相模原市庁舎での館内搬送など、市民に見える形でロボット活用の広がりを目指す。一方、ロボット活用拡大には「人間中心なのにロボット？」という意識の壁も大きく、ロボットを人のパートナーとして受け入れる社会的認識の醸成が重要である。時間をかけてルール整備や理解促進を進め、ロボット共存社会の実現を図りたい。

1. はじめに

ビルの中へのサービスロボット導入にはいくつかの課題がある。例えば縦方向の移動。そこにはエレベータ連携が重要になる。次に横方向の移動。そこにはフランジゲート、自動ドアの通過やロボットと人との連携が必要になる。更に、同じビルの中で異なる会社のロボットを複数台動かすためには群管理が必要になる。これらのそれぞれの課題に対する実証実験を通じて、知見を蓄積しているのが講師らの強みである。講師らはこれらに加えて、ロボット会社やシステム会社とのネットワークの強化や、規格・ガイドライン作成への参加を通じて、ビルシステムへのロボット導入の強みを更に強化している。

本稿は、こうしたロボットフレンドリービルディングデザインの取り組みを纏めたものである。第2章ではこうしたシステム全体の知見を有する強みを具体的に説明する。続く第3章ではこうした強みを活かした実証実験について詳しく解説する。更に第4章ではこうした取組の先の展望を説明する。第5章は纏めである。

2. システム全体の知見を有する強み

(ウエーブガイド LAN システム)

ビルに中に安定した Wi-Fi 環境を構築できる技術がそもそもロボット会社と講師らの接点の始まりであった。そのキーとなる技術がウエーブガイド LAN システムである。高層のビルでは、地上の電波が届きにくいので単一の WiFi でビル全体に電波を供給するのはコストもかかり難しい。これに対して、工事用の单管パイプの穴の径と 5 GHz 帯の波長とが一致するという事を利用し、簡単な構成で電波を 1 階から高層階まで届ける仕組みである。図 1 に示すように、单管パイプを 1 階から N 階まで通す。アンテナユニットと呼ばれる部分には斜めのスリットが入っており、ここから電場が水平方向に出てくる。元々は、高層や地下深い現場等、通常では電波が届かない場所に電波を届けるために開発された技術であるが、これをエレベーターシャフト内に構築した。これによって有線で中継する等の手間をかけなくても、ドアが閉まてもロボットとの通信を継続できる。更に、無停電電源を使う事で、災害時に一定時間カゴ内に電波を供給可能になり、人の閉じ込め対策にも活用できる。このように、屋内外・エレベーター・カゴ内で統一した WiFi 電波でロボットがシームレスに移動可能な環境を構築した。

(人とのエレベータ同乗に関する実証実験)

こうした電波環境を活用し、図2に示すように、安定な電波環境下で、ロボットと人のエレベーターへの同乗の実証実験を行った。

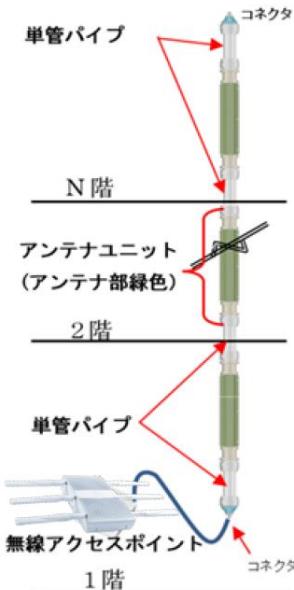


図1 ウエーブガイド LAN システム

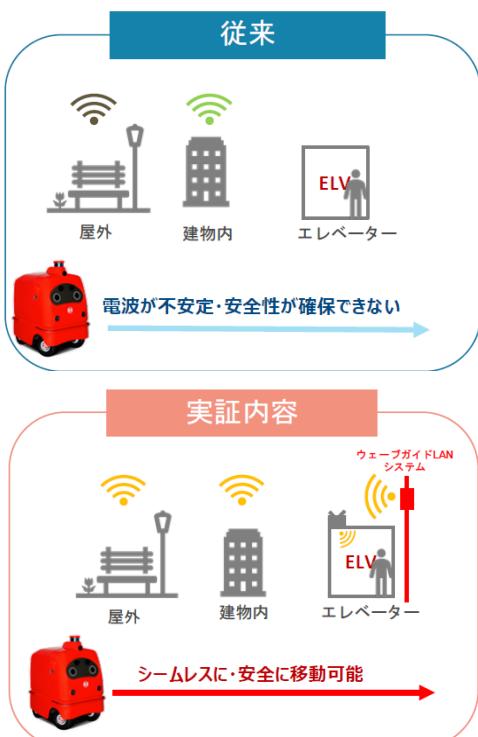


図2 ロボットと人との同乗実証実験

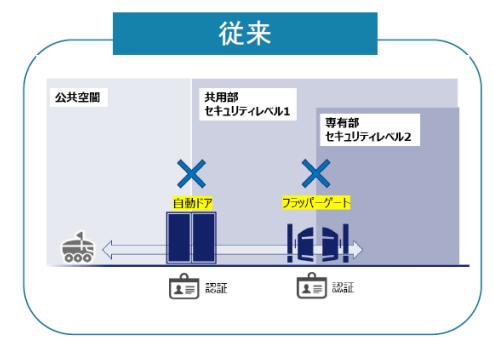


図3 実証実験の様子

図3に実験の様子を示す。地震、火災、停電、ロボット故障等の災害を想定した環境を構築し、安定した WiFi 環境下で、ロボットに正確な指示を送って動作できるかを実証した。

(セキュリティ扉との連携実証実験)

図4に示すように、ビル施設の中でロボット走行の障害となる扉を人の手を借りずに開閉し、セキュリティレベルの異なるエリアを自在に走行できる仕組みを構築し、これを実証した。



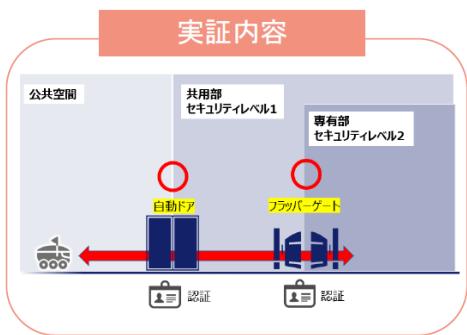


図4 セキュリティ扉との連携

セキュリティ扉の開閉を制御する「出入り管理サーバー」とロボットの間で通信できる仕組みを構築した。標準化された通信規格に基づいて開発を行うことで、各社に依存しないシステムとした。これを使って2台のロボットの協調動作を確認した。

図5に実証実験の様子を示す。複数のロボットが通信し、協調しながらセキュリティ扉を通過できることを確認した。



図5 実証実験の様子

(複数ロボットの群管理)

複数のロボットが建物内で稼働する際、通路やエレベータにおいて衝突などを防ぐため、複数のロボットを1つのシステムで群管理するシステムを構築した。図6に実際の実証実験の様子を示す。例えば上の写真の例では、交差点の手前のゾーンにロボットが侵入すると、他のロボットを停止させて待機させ、最初に交差点に進入したロボットが交差点を通過したことを確認した後に、他のロボットを交差点に進入させることで衝突を防止している。下の写真はエレベータの順番待ち実験の様子を示している。最初のロボットがエレベータに乗り、目的の階でエレベータを降りて、エレベータが元の階に戻ったところで、次のロボットにエレベータへの乗車指示を出す。こうしたシーケンスが問題無く動作することを確認した。

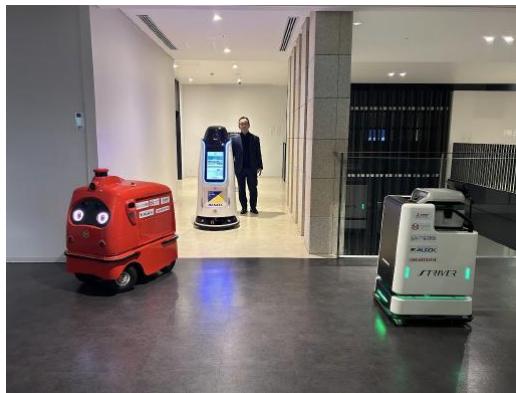


図6 群管理実証実験の様子

3. 強みを活かした実績

3-1 長崎スタジアムシティの例 (長崎スタジアムシティ)

本章では、これまでに述べた強みを活かして、実際にロボット導入のコンサルティングを行った事例を紹介する。最初に、長崎スタジアムシティの例を紹介する。長崎スタジアムシティは、サッカースタジアム・アリーナ・ホテル・商業施設・オフィスからなる大型複合施設である(図7)。当施設では、施設全体でロボット活用を計画しており、人件費の削減や人手不足の解消を目指している(図8)。

これまでには、建物の中でのロボット活用の例が多かったが、今回は半屋外へのチャレンジとなった。また、実証実験で終わる事無く実装を視野にいれた実験という位置づけで実施した。



図7 長崎スタジアムシティ



図8 導入されているロボット

(搬送ロボットの導入)

こうした取り組みの中で、搬送ロボットを導入した例を説明する。長崎スタジアムでは、ビルとビルの間でジップラインを実現した。スタジアムを下に見ながら飛ぶ迫力のあるアトラクションである。お客様がジップラインに搭乗する際、ハーネスやヘルメット等の安全器具を着用する。これら器具をゴル地点からスタート地点まで戻すための搬送にロボットを活用した。一回の搬送の重量は約 120 kg になる。約 380m の距離を人で運ぶのは辛い。そこで、ビル間のコースを自動運転で荷物を搬送することを計画した（図9）。



図9 自動運転の荷物搬送ロボット

(導入における各種のカスタマイズ)

一般に、導入しただけでは上手くいかないことが多い。カスタマイズが重要であると考えている。今回のケースでは、図9中の器具を入れる箱と台車は専用設計となっている。器具を一括して箱に入れるタイミングや、箱を台車に載せて搬送するタイミング等を約半年かけて議論した。搬送容器の設計に関して具体的に説明する。

運用上、平面ルートはロボットで搬送することになるが、エレベータでのルートは人による搬送が必要になる。従って、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となる。また、前記した幅と、必要な搬送物の量から、適正な箱のサイズを決定した。更に、運用上、1台のロボットで2台のカゴ車を交互に使用する必要がある。そこで、ロボットメーカー・カゴ車メーカーと検討を重ね、耐久性と簡易着脱性に優れたアタッチメントの開発も行った。このように、常に運用を視野に入れ、必要な開発を実施してきた。

(生じた課題と対応)

実際に実験を開始すると、様々な課題が発生した。ロボットには歩行者等を監視するセンサがついているが、カゴ車を連結することで死角が発生する。そこで、ロボット本体、カゴ車等に図10に示す注意喚起のサインを表示した。なお、子供や外国人にも認識していただけるようにひらがなと英語を併記した。これにより、歩行者も一定の距離を保つようになり、安全性が向上した。

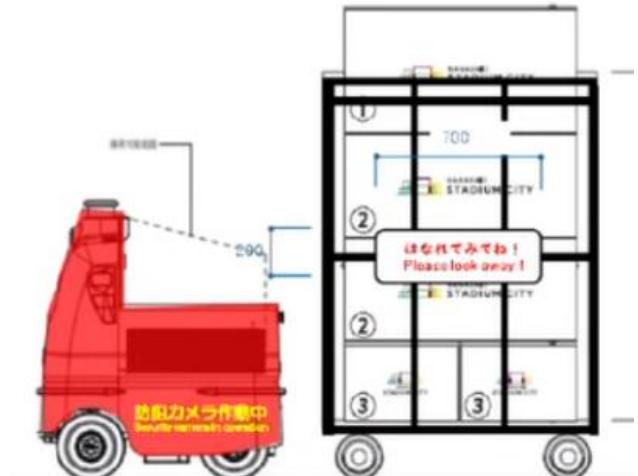


図10 注意喚起のサイン

歩行者注意喚起用の音楽設備設置も取り付けた。カゴ車を取り付け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ユースケースでは、近接しても気が付かないケースが多い。また、ロボットは安全のために停止するが、停止頻度が多くなると効率が落ちる。そこで、充電式の音楽プレーヤーを荷台に設置してディズニーランドのパレードのような音楽を流した。これはロボット導入後に実態を見て提案したものである。これによって人がロボットの接近に気づくようになり、ロボットの効率を落とすことなく、楽しい雰囲気を保ったまま安全性を向上させることができた。こういうロボットと人の共存を考えることも重要である。

イベント等で自律走行ロボットのルートがふさがってしまうことがある。この状態に備えて、人が運

転する電動台車を併せて導入した（図11）。電動台車は後部に人が乗って操縦することもあり、安全上車長が制限され、搬送できる荷物の量がロボットよりも少なくなる。人の運転の方が速度は早いが、総輸送量を比較するとロボット2に対して人は1.6の割合になり、ロボットの方が有利であることも分かった。



◆配送ロボットによる搬送



◆電動台車による搬送

図11 人による代替搬送

（実運用後に生じた課題と対応）

実際に運用を開始すると、いくつかのトラブルが発生した。最初のトラブルはルート変更である。テナントの会員募集のイベントのため、机が自動運転のルート上に置かれてしまい、自動運転が出来ない状態になってしまった。このイベントの担当者がロボットとは違う部隊のメンバであり、情報伝達不足が原因であった。この机を移動いただくようお願いをしたが、お客様優先という事で、机の位置を変える事ができず、ルートを変更するというオペレーションにも対応した。

ロボットの両肩に非常停止ボタンがある。これを子供が叩いてしまってロボットが止まってしまうということが、かなりの頻度で発生した。そこで、子供には見えないような黒いカバーをつけるという対策をとった。

（その他の評価）

パナソニックと組んで、ロボットとのすれ違いや横切りの実験等を実施した（図12）。具体的には人が共存する環境における、ロボットの「移動性能」とその「賢さ」に関して、①安全性、②タスク実行能力、③歩行者への妨害の度合の3つの指標で評価した。これらの評価をもとに、導入現場によってロボットに求められる性能や、運用に適したロボット選定の指標を策定した。



図12 人・ロボット共存環境での評価実験

屋外での物理環境要素の評価実験も行った。具体的には、ロボットへの障害要素を整理し、段差、勾配、小石等の影響を実証した。6mmの段差では問題無かったが、13mmの段差には対応できるロボットとできないロボットがあった。勾配や小石は特に問題無く走破した。この様に、屋外には各種の障害が存在する。ロボット導入の前にはこうした障害要因を整理し、評価しておく必要がある。

（想定外の効果）

ロボット導入のメリットとして、運ぶ量が増える、人件費が下がる等が注目されがちである。しかし今回のケースでは、ロボットが可愛くて人気があり、SNSにアップされた。これによって、ロボットを見に来る客が増えた。こういう効果もロボット導入のハードルを下げるために有効である。

3-2 自社ビルディングにおけるロボット活用

昨年完成した講師らの本社ビルに7種類11台のロボットを導入し、カフェ搬送や書類搬送などの各種の実証を実施中である。

（カフェ搬送）

カフェから空の台車を搬送し、受付スペース付近に空の台車を置く。次に、飲み終った食器が積まれた台車を探し、その台車を搬送しながらカフェに引き返す。1日に2~3kmの距離を走行し、順調に稼働中である。これとは別に、依頼者が飲み物をスマートフォンで発注し、エレベーター連携して届けるロボットも稼働中である。

（郵便物搬送）

エレベーター連携して、8階のメールセンターから他の階に郵便物を運ぶ。依頼者はカメラで郵便棚の状況が分かる。自分宛ての郵便物が来ていたらメールセンターに郵便物の配送を依頼する。ロボットはエレベーターに乗って郵便物を届ける。依頼者にメールで暗証番号が通知され、郵便物を受け取ることができる。

(実証フィールドとしての活用)

上記に加えて、掃除ロボットや警備ロボットも社内で動かしている。こうした形で各種のロボットを実際のオフィスで活用すると、社員から各種の意見が来る。それらの意見をエンジニアにフィードバックし、改良を加えて更に実証を継続している。

4. 次に向けたステップ

(エレベーター連携)

通常は、エレベーターの制御盤に手を入れて制御を実現する。しかし、エレベーターの心臓部に手を入れる必要があるため、コストも期間も比較的大きくなる。一方、心臓部である制御盤には手を加えずに、操作盤に手を加えてエレベーター連携を実施する方法が試され始めている。これを使う事で大幅なコストダウンが可能となる。こうした新しいシステムの実証も計画している。

(相模原市との連携)

相模原市庁舎において、エレベーター連携を利用した館内搬送を計画中である。ロボットの街相模原において、市民の目に見える形でのロボット活用の可能性を相模原市と一緒に検討して行く。

(ロボット活用横展開の障害)

人の意識が重要である。まだまだロボットを優先するという意識が薄い。「人間中心なのになぜロボット?」という感覚である。こうしたロボットに対する社会の認識を変えていくことが大切だと考えている。時間はかかるが、人はルールを決めるとその方向に向けて変わる。ロボットは人の役に立つパートナーという意識を醸成すべく、活動を継続して行きたい。

5. まとめ

(強み)

ビル内でサービスロボットを導入するには、縦移動のためのエレベーター連携、横移動におけるフランジペーパー、自動ドア通過、人との協調、安全確保といった課題がある。さらに、異なる企業の複数ロボットを同時に運用するには群管理が必要となる。これらの課題に対する実証実験を重ねて知見を蓄積している点が講師らの強みである。加えてロボット企業・システム企業とのネットワーク強化や規格・ガイドライン策定への参画を進めることで、ビルへのロボット導入における優位性を高めている。

(強みの実証)

ビル内でサービスロボットを安全かつ効率的に稼働させるため、通信、移動、群管理といったシステム全体の技術的課題に対する実証実験を行い、豊富

な知見を蓄積してきた。その中心となるのがウェーブガイド LAN システムであり、工事用単管パイプの径と 5GHz 帯電波の波長が一致する特性を利用して、簡易な構成で電波を高層階まで届ける仕組みである。この技術をエレベーターシャフト内に導入することで、有線中継なしにドア閉鎖時でもロボットとの通信を継続可能とし、無停電電源の併用により災害時の閉じ込め対策にも寄与する。これにより、屋内外・エレベーター内をシームレスに移動できる統一 WiFi 環境を構築した。

この通信環境を活用し、ロボットと人のエレベーター同乗実験を実施した。建物外からロボットを進入させ、ウェーブガイド LAN を施したエレベーターで人と共に 3 階まで移動させる試験を行い、地震・火災・停電などを想定した環境下でもロボットへの指示が安定して行えることを確認した。

さらに、ロボットが人手を介さずにセキュリティ扉を通過できる仕組みを構築し、出入り管理サーバーとロボット間の通信を標準化された規格で実装した。これにより、メーカーに依存しない運用が可能となり、複数ロボットが協調して扉を通過する動作を実証した。

加えて、複数ロボットを衝突なく運行させるための群管理システムを開発し、交差点での優先通行制御や、エレベーター乗降の順番待ちといった動作を自動制御で実現した。これにより、ビル内の複数ロボット運用に必要な安全性と効率性を確認している。

(現場での実証)

長崎スタジアムシティでは、これまで培ってきたロボット導入の知見を活かし、半屋外環境も含む大規模複合施設でのロボット活用を実証的かつ実装を見据えて進めた。特にジップラインで使用する安全器具の搬送にロボットを用いる取り組みでは、約 120kg の荷物を約 380m 運ぶため、ビル間の通路を自動運転ロボットが走行する仕組みを構築した。搬送容器やカゴ車は専用設計とし、通過扉の幅、搬送量、ロボットとカゴ車を交互に使う運用などを考慮し、半年にわたり詳細を検討した。実証開始後は、カゴ車連結による死角の発生や歩行者への注意喚起不足といった課題が生じ、サイン表示や音楽による注意喚起を追加して安全性を確保した。また、ルートがイベントで塞がれる、子どもが非常停止ボタンを押すなどの予想外のトラブルにも、ルート変更やカバーセットで対応した。

さらに、人とロボットのすれ違い・横切り評価を行い、安全性・タスク能力・歩行者への妨害度から性能指標を策定した。屋外環境の障害要因として段差・勾配・小石などを評価し、導入前の環境整理の

重要性も確認した。加えて、ロボットが SNS で話題となり集客にもつながるという副次効果も生まれ、ロボット導入の価値を広げた。

一方、本社ビルでは、7種類 11台のロボットを導入し、カフェでの食器搬送、スマート注文による飲料配送、エレベーター連携による郵便物搬送など、多様な業務に活用している。掃除ロボットや警備ロボットも併用し、社員からのフィードバックを得ながら継続的に改良を加える「実証フィールド」として機能させている。

(次へのステップ)

従来のエレベーター連携は制御盤を改修する必要があり、費用や期間が大きかったが、最近は制御盤に手を加えず操作盤のみで連携する方法が登場し、大幅なコスト削減が可能になっている。こうした新方式の実証を進めるほか、相模原市庁舎ではエレベーター連携を活用した館内搬送を計画し、市民に見える形でロボット活用の可能性を共に検討している。

ロボット活用を広げる上で最大の障害は、人々の意識にある。多くの人が「人間中心なのに、なぜロボットが必要か」と考え、ロボットを優先する意識がまだ浸透していない。社会の認識を変え、ロボットを人を支えるパートナーとして受け入れる意識を育てることが重要である。時間はかかるが、ルール整備などを通じて意識変革を進め、継続的に取り組んでいきたい。

