

令和4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)

2023年3月

一般社団法人日本機械工業連合会
(補助先)
森トラスト株式会社

【背景】

ロボットメーカー側とユーザー（施設）側との間で物理環境に関する共通指標がなく、ロボット普及が進んでいない。

現状

- 人手不足といった社会課題の解決のためのツールとして、ロボットに対する期待は極めて高い
- ロボットに対応できる構造(ロボットフレンドリーな環境)の環境特性の規定がなく、ロボット導入に際して施設やロボットへの改造や、試験検証等が伴うことから、高コスト化や手間が発生しスムーズな導入ができていない
- ロボットが施設内で運行可能かを示すロボットフレンドリーな環境特性の規定が不可欠である

ロボット導入時の課題

ロボットメーカー	ユーザー（施設）
<ul style="list-style-type: none">• 施設環境状況を把握するのに時間がかかる• 各施設の環境に応じた、初期セットアップに時間がかかる• 個別カスタマイズによる開発費用が発生し、ロボット本体価格が高くなってしまふ	<ul style="list-style-type: none">• 自社要求を満たすロボット機能を実現するための初期投資費用が高く、投資効果が期待出来ず導入が難しい• ロボフレ化するための方法及び費用がわからず、どこに手を付けて良いか分からない

令和3年度の本事業において、ロボットフレンドリーな環境特性を規定する「**ロボフレレベル**」の仮定義を実施

【本事業の目的及び概要】

昨年度に仮定義した「ロボフレレベル」を基に、実際に施設改修を行うことで、「ロボフレレベル」の妥当性を検証しつつ、ロボット実装時において運用上の課題となる物理環境課題の洗い出しを実施した。

目的

物理環境における標準化及び整理を実施することで、
ロボット導入コストの低廉化を図るとともに、ロボット導入を促進する

概要

環境特性に沿った ロボット技術仕様の明確化

1. ELV連携ロボットアプリケーションの環境特性の実証
2. ロボフレ化を前提とした場合のロボット技術仕様の整理

ロボットの保管、充電ステーション、 マーカー等に関する検討

3. ロボット（複数台）の保管、充電・給排水ステーション運用の環境特性の実証
4. 共有マーカー標準仕様の検討とロボフレマップ活用例の提示

ロボフレ環境構築に影響度の 大きい項目に対する対策の検討

5. ロボフレレベル各項目に対するロボフレ化手段の整理
6. 施設改修を伴うロボフレ化を実施した場合の経済性評価

【実施内容】

本事業では、ホテル施設での活用が期待される清掃 / 配送 / リネン搬送の各アプリケーションを用いることで、以下6つの項目に沿って実証を行った。

項目	内容
(1) ELV連携ロボットアプリケーションの環境特性の実証	<ul style="list-style-type: none">✓ ELVと連携した各アプリケーションの役割の遂行可否の確認✓ RFA規格に準拠した連携製品を用いた、複数ロボットの連携可否の確認
(2) ロボフレ化を前提とした場合のロボット技術仕様の整理	<ul style="list-style-type: none">✓ ロボフレレベル：Aの施設において、各アプリケーションで発生する障害の確認及び対応策の検討
(3) ロボット（複数台）の保管、充電・給排水ステーション運用の環境特性の実証	<ul style="list-style-type: none">✓ ロボットの待機場所に求められる要素の検討✓ ロボットが自動で接続する、充電や給排水を行う機器を使用する際に求められる要素の検討
(4) 共有マーカースタンド仕様の検討とロボフレマップ活用例の提示	<ul style="list-style-type: none">✓ 複数ロボットでロボフレ情報を共有するための手法のマーカースタンド（共有マーカースタンド）のプロトタイプ作成✓ 共有マーカースタンドの読み取り試験及び課題の抽出
(5) ロボフレレベル各項目に対するロボフレ化手段の整理	<ul style="list-style-type: none">✓ 施設の施工者によるフィードバックを踏まえた、ロボフレ化の手段の見直し✓ 見直し後のロボフレ化対策にかかる概算費用の算出
(6) 施設改修を伴うロボフレ化を実施した場合の経済性評価	<ul style="list-style-type: none">✓ ホテル運営におけるロボットによる費用削減効果の試算✓ ロボフレ化対策にかかる投資への回収期間の試算

【ロボフレ化を前提とした場合のロボット技術仕様の整理】

ロボット走行時の障害に対して、施設側/ロボット側/運用の各項目別に対応策を事象別に分けて整理した。

(障害例 1) ガラス面のレーダーの透過

施設

ガラス面に透過しないフィルムを貼る



ロボット

バーチャルウォールの設定機能を設ける

運用

ガラス面から距離を置いたエリアのみロボットで清掃し、ガラス面近くは清掃スタッフが清掃する

(障害例 2) ダウンライトによる明暗差

施設

床面の光の反射率を抑えられる床材を採用する
照度の低いライトを採用する

ロボット

光の反射の干渉を受けないセンサーの採用や、
センサーのパラメータ等を調整する

運用

ダウンライトが設置されている通路や、
床面の反射率が高い通路の走行ルートを避ける

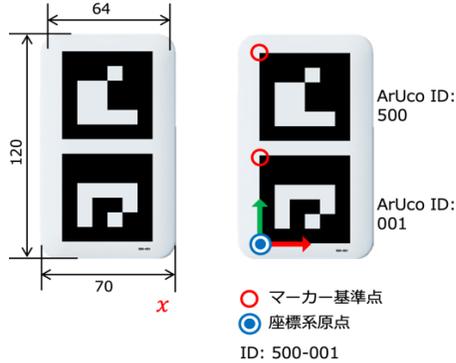
【共有マーカースタンドラジヤの検討 / ロボフレマップ活用例の提示】

施設内におけるインフラとして各社のロボットが共通して利用できるマーカース（以下、共有マーカース）の実現を目標に、その技術的仕様を特定するほか、ロボットにロボフレマップの情報をインプットする手法を検討した。

項目	共有マーカースタンドラジヤの検討	ロボフレマップの活用例の提示
検証内容	ロボットの調達/導入コストの低減を視野に入れ、共有マーカースを標準化を検討するために、マーカースの検出実験を行う	施設平面図上にロボフレ情報をプロットしたもの（＝ロボフレマップ）の情報を、ロボットに提供する方法を検討する
結果 (抜粋)	<p>i. 自己位置推定に必要な情報量 / ロボットからの検出容易性</p> <ul style="list-style-type: none">➢ 共有マーカースがカメラに対して正対していない場合、測定した姿勢の値の信頼性は著しく低い➢ 信頼性を十分に確保できる程度に、十分に低速のときのみ、かつ、より正対に近い姿勢で測定したときの値のみを用いた方がよい <p>ii. 共有マーカースの外観、コスト、設置方法</p> <ul style="list-style-type: none">➢ 視認性の観点で黒インクで印刷するほか、のサイズが大きすぎなければ問題がない➢ ArUcoマーカースを2つ併置することでコンセントパネルに収まるサイズを実現可能➢ 設置ルールはコストと美観の観点で要検討 <p>iii. ロボット制作・導入コストへの影響</p> <ul style="list-style-type: none">➢ ロボットの動作生成ソフトウェア簡略化を行うことで、コスト低減効果が得られる	<p>i. ロボフレマップのデータ形式</p> <ul style="list-style-type: none">➢ BIM、空間ID、不動産ID、PLATEAUデータ等、すでに標準化が先行しているデータ形式との互換性を考慮したうえで、実用可能なバックエンドシステムを構築できるか要検討 <p>ii. 共有マーカースに紐づけるロボフレ情報</p> <ul style="list-style-type: none">➢ ビル座標系における位置・姿勢は、自己位置推定を行うために必須➢ 制限速度、音量制限、進入禁止等の情報に加え、パラメタライズされた対象エリアの情報が必要➢ 昨年度検討した物理環境特性に関するロボフレ情報（段差、傾斜等）や、設備との連携のために必要な設定ファイルのURIも必要

【共有マーカースタンド化仕様の検討 / ロボフレマップ活用例の提示】

共有マーカースタンド化仕様の検討 / 紐づけるロボフレ情報



Keys	型	Values
bldg_id	string	ビルID
floor_id	string	フロアID
size	[float * 2]	マーカースタンドのサイズ [m]
position	[float * 3]	マーカースタンドの座標 @ ビル座標系
orientation	[float * 4]	マーカースタンドの姿勢 (クォータニオン) @ ビル座標系
speed_limit	float	制限速度 [m/s]
sound_limit	float	音量制限 [dBm]
resource.type	string	リソースの種類 (エレベーター、自動ドア...)
resource.position	[float * 3]	リソースの座標 @ マーカー座標系
resource.orientation	[float * 4]	リソースの姿勢 (クォータニオン) @ マーカー座標系
resource.url	string	リソースの設定ファイルのURI
command.type	string	なし、即時停止、侵入禁止...
command.area_type	string	円、矩形...
command.area_params	[float * 5]	エリアを規定するパラメーター

必須

オプション

設置ルール案

- i. ロボットの通行路について
 - 交差点、分岐、突き当たりごとに設置
 - 4m間隔で設置
 - 間隔が2m未満となる箇所は、1つにまとめる (半径2mに1個)
- ii. ロボットが侵入する可能性のある開口部は通行路とみなす
 - 例) エスカレーター、階段
- iii. ロボットが連携可能なエレベーターのかご内は通行路とみなす

設置イメージ



【ロボットの保管、充電・給排水ステーションの環境特性の実証】

ロボットの運用において待機場所に求められる要素、ロボットの充電や給排水を行う機器（ステーション）を使用する場合に必要な要素を検討した。

	清掃	配送	リネン搬送
待機場所	<ul style="list-style-type: none">本体拭き上げや消耗品交換を人間が行うスペースを設ける床材を清掃しやすいものにする水交換のために給排水を可能とする充電のためにコンセントを設ける	<ul style="list-style-type: none">ロボットの移動を阻害する障害物が置かれなくようにする充電のためにコンセントを設ける	<ul style="list-style-type: none">ロボットの移動を阻害する障害物が置かれなくようにする充電のためにコンセント又は無線充電設備を設ける
ステーション類の設置条件	<ul style="list-style-type: none">平坦な床面であること垂直な壁に面して設置できることステーションの周囲に障害物がないうこと	<ul style="list-style-type: none">平坦な床面であること垂直な壁に面して設置できることステーションの周囲に障害物がないうこと	<ul style="list-style-type: none">ロボットの位置決め精度が安定しない場合でも充電できる機構があること（e.g., 無線充電）

【施設改修費用の算出】

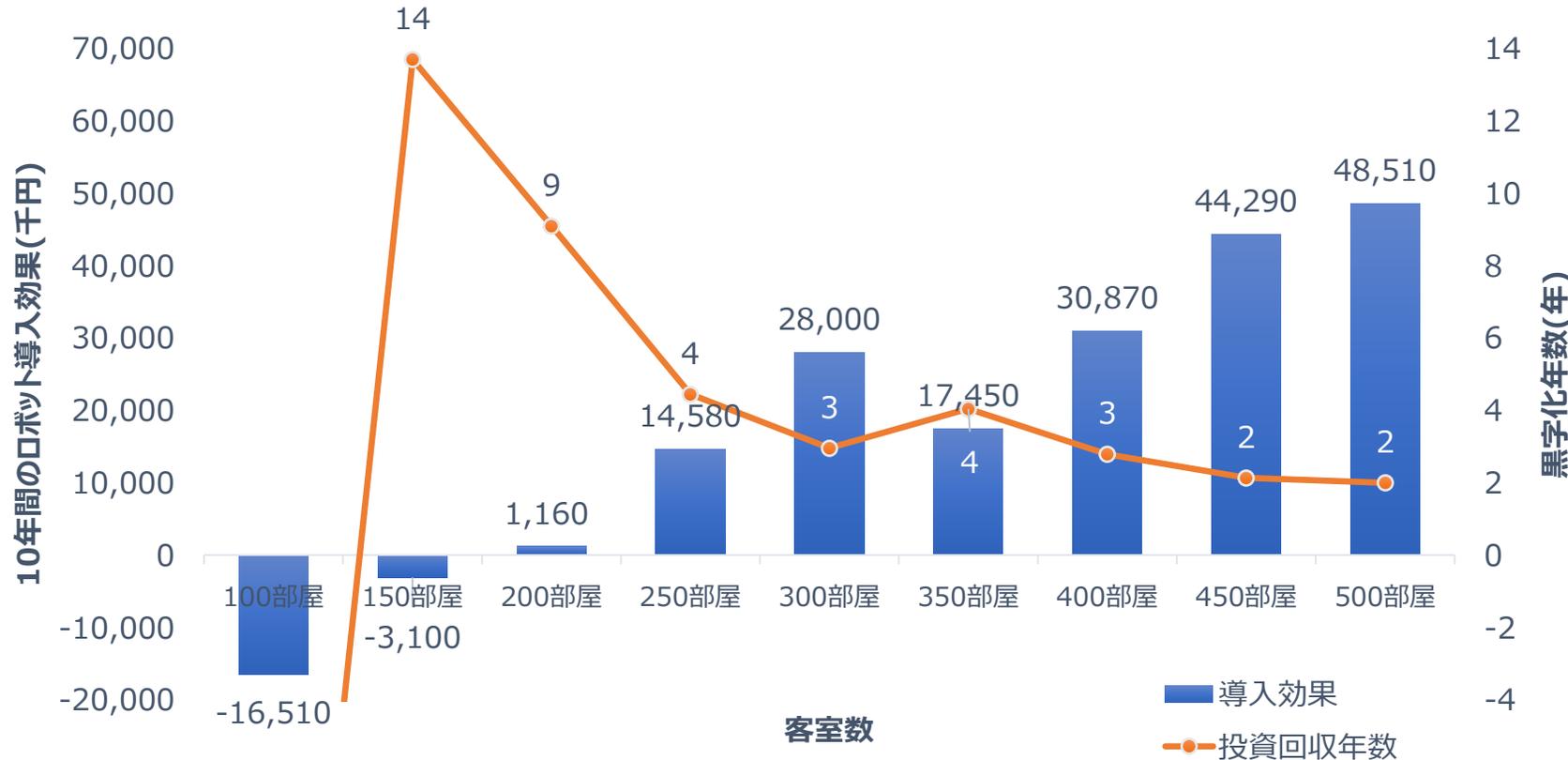
施工者によるフィードバックを踏まえ、施設側のロボフレ化手段の見直しを行い、概算費用を取得した。以下は一部例である。

項目	ロボフレ手段	改修費用	レトロフィット
段差(-15mm)	モルタル補修+仕上げ	10万円/箇所（逓減あり）	○
溝	モルタル補修+仕上げ	10万円/箇所（逓減あり）	○
斜面	①スロープ勾配修正 ②リフト設置	①30万円/箇所（逓減あり） ②300万円/箇所	○
扉の自動化	開き戸(SD)の交換及び の自動化	150万円/箇所	○
ELVの溝	ロボット・運用対応	-	×
厨房等の水勾配	乾式床への改修	5~10万円/m ² ※400m ² だと2,000~4,000万円	×
通路幅（RC壁）	ロボット・運用対応	-	×

【経済性評価】

対象物件における投資対効果をベースに1フロア50室を追加するシミュレーションを行った。
200～250室規模になると5年以内の投資回収ペースになる。

10年間のロボット導入効果と投資回収にかかる年数



シミュレーション条件

- 対象物件
ホテル 2～4階 (150室)
稼働率、各オーダー数は対象物件と同じ
金利・税制とは考慮しない
- 導入ロボット
清掃ロボット/配送ロボット/リネン配送ロボット
- 客室数の増減に因らず固定した要素
ELV連携は客用・業務用の計2基(約1000万円)
段差等改修費(100万円)
- 1フロア50室の増減により変化する要素
自動ドア連携は1フロアごとに1基増減(10万円)
清掃ロボットは6フロアごとに1台増減
ルームサービスロボットは3フロアごとに1台増減
リネン搬送ロボットは1フロアごとに2台増減

【成果と課題 1/2】

今年度の各取り組みに対する成果と課題は下記のとおり。

成果	課題
<p>(1) ELV連携ロボットアプリケーションの環境特性の実証</p> <ul style="list-style-type: none">複数用途/メーカーのロボットを用いて、物理環境課題の洗い出しをした。専用運転下でのアプリケーションの完遂が確認できた。RFA規格に準拠した連携製品（LCI）を用いた複数ロボットの連携の有用性を確認できた。	<ul style="list-style-type: none">専用運転の場合、エレベーターが足りない可能性がある実際のサービスを提供しての運用課題の整理
<p>(2) ロボフレ化を前提とした場合の、ロボット技術仕様の整理</p> <ul style="list-style-type: none">ロボフレレベルAである場所においても有害事象がある事が分かった。アプリケーションによってロボット側の走行性能に制限が発生することが分かった。施設/ロボット/運用で対応すべき項目を整理した。	<ul style="list-style-type: none">標準化に向けてはサンプル数が足りないアプリケーションによる走行性能の違いをロボフレレベルに反映させる
<p>(3) 共有マーカースタンド仕様検討と、ロボフレマップ活用例の提示</p> <ul style="list-style-type: none">ロボフレマップの情報を提供する方法として共有マーカースタンドを提案した。共有マーカースタンドのプロトタイプ作成、読み取り試験、利用デモを実施した。	<p>[ビジネス面]</p> <ul style="list-style-type: none">デファクトスタンダードになりうるかの検証（ベンチャー、企業へのヒヤリング）ロボット以外への応用可能性 <p>[技術面]</p> <ul style="list-style-type: none">ロボフレ情報の配信システム・サービスロボットでの実証実験とユースケース確立BIM、空間ID、不動産ID、PLATEAU等の標準データとの連携

【成果と課題 2/2】

今年度の各取り組みに対する成果と課題は下記のとおり。

成果	課題
(4) ロボット（複数台）の保管、充電・給排水ステーション運用の環境特性の実証 <ul style="list-style-type: none">アプリケーションごとに求められるロボットステーションの要件を整理した。	[ビジネス面] <ul style="list-style-type: none">ロボットステーション整備費用の算出、経済性の評価 [技術面] <ul style="list-style-type: none">接点式・無線式充電ステーションの標準仕様の検討
(5) ロボフレレベル各項目に対するロボフレ化手段の整理 <ul style="list-style-type: none">施工者によるフィードバックを踏まえ、ロボフレ化手段の見直しを行い、概算費用の取得をした。	<ul style="list-style-type: none">レトロフィットに向かない手段でも将来的なロボフレ環境の構築の為に提案する必要性サンプル数を集めるユースケースの創出
(6) 施設改修を伴うロボフレ化を実施した場合の、経済性評価 <ul style="list-style-type: none">CY東京における有効性の検証を試算できたホテル規模に応じてどの因数が経済性に響いてくるかを精査した。	<ul style="list-style-type: none">サンプル数を増やすユースケースの創出ステークホルダーの巻き込み