

令和5年度流通・物流の効率化・付加価値創出に係る基盤構築事業 (物流施設における協働ロボットの効果的な活用事例の創出) 調査報告書

2024年3月29日

三菱HCキャピタル株式会社

株式会社ビックカメラ

株式会社山善

■ 目次

1.	はじめに	P3
1-1.	本事業の背景及び目的	
1-2.	物流業界でのロボット導入における現状の課題認識	
1-3.	アーム型ロボットによるピースピッキングの課題	
1-4.	本実証の概要	
1-5.	事業実施体制	
1-6.	用語集	
2.	ピースピッキングロボットに対する調査・整備	P14
2-1.	(1)調査・整理項目の詳細説明	
2-2.	調査・整理結果	
2-2-1.	【調査・整理】ピースピッキングロボットのユースケース	
2-2-2.	【調査・整理】ロボット導入のための環境整備項目	
3.	ピースピッキングロボットを用いたピッキング作業の効果検証	P32
3-1.	(2)効果測定項目の詳細説明	
3-2.	【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)	
3-3.	【効果測定】(ii)プレース実証(検証項目③)	
3-4.	【効果測定】(iii)安全性実証(検証項目④)	
3-5.	ユースケースの期待効果試算	
4.	総括	P63
4-1.	環境整備項目の纏めと展開可能性	
4-2.	おわりに	
	巻末資料	P66
	巻末資料1.ユースケース仮説に関するアンケート結果	
	巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果	
	巻末資料3.作業種別に応じた接触領域の距離算定式の考え方	

1. はじめに

1-1. 本事業の背景及び目的

今回、以下の公募要領に基づき、調査・実証を実施した。
本報告書は、その結果を報告するものである。

令和5年度流通・物流の効率化・付加価値創出に係る基盤構築事業 (物流施設における協働ロボットの効果的な活用事例の創出)

<事業の目的(概要)>

メーカー・卸売業・小売業のサプライチェーンの物流工程において、メーカーから出荷され小売店舗に到るまでに、物流施設での荷積み・荷卸し・ピッキング・仕分け作業等が複数回発生している。物流分野における労働力不足が顕在化する中、物流施設が中継輸送ネットワークのハブ機能を発揮するためには、物流施設での荷役作業の自動化・機械化を強力に進めていくことが必要不可欠である。

受注に対して単品ごとに必要な個数を在庫から運び出すピースピッキングは時間と労力を要するため、物流ロボットの導入による自動化の効果が大きいと考えられる。他方、ピースピッキング工程で物流ロボットを効率的に活用するためには、ロボットと人手作業を効果的に組み合わせることや使用環境・運用方法等の標準化の環境整備に取り組むことが重要である。

そこで本事業では、物流施設のピースピッキング工程で協働ロボットを活用するユースケースにおいて、人とロボットの効果的な役割分担を実現することで、業務対象物・業務パターン等への柔軟性と投資効果を高めるような環境整備項目を明確化するための実証実験を実施し、サプライチェーン横断的に自動化機器を導入・稼働しやすい環境の構築につなげる。

1-1. 本事業の背景及び目的

＜事業内容＞

- (1) 物流施設のピースピッキング工程における協働ロボットを活用するユースケースと環境整備項目の調査と整理
 - ① 物流施設でのピースピッキング工程で協働ロボットの活用が期待される複数のユースケースを調査し、整理する。(ユースケース 例:ピースピッキングロボットを使用して、外装ケースや折りたたみコンテナに格納されたピース単位の商品をピースソーター(自動仕分けシステム)へ投入する業務等)
 - ② ①の各ユースケースにおいて、人とロボットの効果的な役割分担を実現することで、業務対象物・業務パターン等への柔軟性と投資効果を高めるような環境整備項目について、ロボットのユーザーであるサプライチェーン上の荷主企業や物流事業者、ロボットメーカーやロボットベンダー、システムインテグレーター等の視点で調査し、整理する。本調査は、「(2)ピースピッキング工程で協働ロボットを活用するユースケースにおける環境整備項目の実証実験と効果検証」の結果を反映すること。
- (2) ピースピッキング工程で協働ロボットを活用するユースケースにおける環境整備項目の実証実験と効果検証
 - ① ピースピッキング工程で協働ロボットを活用するユースケースにおいて、優先度の高い3つ以上の環境整備項目について実証実験を実施する。
 - ② ①の実証実験を踏まえ、効果検証を行う。各環境整備項目についてロボット稼働環境の安全性、作業効率性、業務対象物・業務パターンへの柔軟性等をロボットのユーザーであるサプライチェーン上の荷主企業や物流事業者、ロボットメーカーやロボットベンダー、システムインテグレーター等の視点で評価する。
 - ③ ②での環境整備項目の効果について、(1)で調査した他ユースケースへの展開可能性、期待効果について分析する。

1-2. 物流業界でのロボット導入における現状の課題認識

物流施設の現状から、あるべき姿に変えていくために必要な観点を、以下の通り整理した。

現状と課題(As is)

物流施設の多くの作業は人手を前提とした労働集約型であり、労働人口減少により作業者の確保が困難になった場合に物流サービスの品質の維持が困難になる。

物流施設内の各作業について自動化技術は既に存在するが十分な荷量が確保でき資金に余裕のある大手企業以外は、投資対効果の観点で導入が進んでいない。

ECサイトの利用増による配送量や扱う荷物の種類の増加により、物流施設に求められる処理能力が増えている。



あるべき姿(To be)

ロボット等自動化技術を活用することで、労働人口が減少、配送量が増加しても現状と同等の物流サービスの品質を維持できる。

大手企業以外の中小企業でもロボット等自動化技術を用いて作業を自動化できる。

※)倉庫業の中小企業率91.0%

令和2年7月 国土交通省「物流を取り巻く動向について」より

多種多様な荷物に対応することができる。

As is とTo beのギャップを埋めるために検討が必要な観点

- ✓ 中小企業で導入できるように、低コストで利用できること。投資対効果が見合うこと。
- ✓ 既存の物流施設の業務を大きく変えることなく適用可能であること。
- ✓ ロボット等自動化技術を活用してロボットと人が協働して作業可能であること。
- ✓ 物流施設で扱う荷物は様々なため、幅広い荷物に対応可能であること。

1-3. アーム型ロボットによるピースピッキングの課題

今回の事業で対象とするピースピッキング行程の協働ロボットは、足による荷物の移動と手による荷物の移動の大きく2つに分かれる。前者についてはAGVやAMR、GTP等、走行型ロボット、後者については協働ロボット等アーム型ロボットが主軸となる。

足による荷物の移動

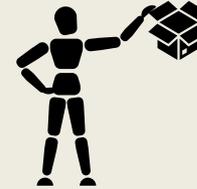


AGV

AMR

GTP

手による荷物の移動



協働ロボット

その他アーム型
ロボット

1-3. アーム型ロボットによるピースピッキングの課題

走行型ロボットについては徐々に普及が進んでいるが、アーム型ロボットにはまだ多くの課題が残り限定的な活用に留まっている。ここではアーム型ロボットの主な課題仮説を示す。

投資対効果の課題

- 画像マスターの整備に時間・コストがかかる
- 人がピッキングする場合と比べて時間あたりに処理できる量が少ない
- ロボットの価格や、システムインテグレート費用の高さ
- 保守・メンテナンス費用や、オペレーターの教育コスト等、ロボット活用にあたっての費用がかかる

施設への適用柔軟性の課題

- ピッキングする棚の形状により、アームが届かない
- ピッキング時に人に接触する可能性がある
- ロボットの導入スペースが無い、床の耐荷重
- 物量の波動が大きい場合の対応が困難

ピッキング技術の課題

- 素材・形状・サイズによって用いるべきアーム・ハンドを変える必要がある
- 透明なビニールや、反射する素材をカメラで認識し辛い
- 他の商品に隠れている商品を認識できない
- 複雑形状のものや不定形のを把持することが難しい
- プレースの際にきれいに箱詰めすることが難しい

1-3. アーム型ロボットによるピッキングの課題

ロボット技術の発達に伴い将来的に全自動でピッキング行程を実現できる可能性はあるが、現状ではまだ実現できない。そのため、下記ステップに基づき、まずは人とロボットが協働し、ロボットができない部分を人が補うことで、活用できるユースケースを増やしていくことが有効と考える。

そのため、アーム型ロボットの中でも特に「協働ロボット」によるユースケース確立に向けた検証を行う。

現在



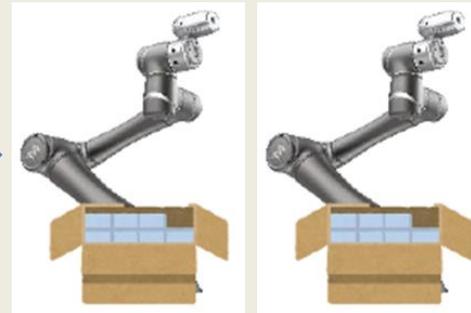
労働力を確保できており、協働ロボットの導入コストと処理性能が見合わないため人手でピッキングを行っている

短期的に実現する
ユースケース



現在のロボット技術でできる範囲はロボットでピッキングを行い自動化する。ロボットでピッキングできない荷物については人が対応する

将来



ロボット技術が発達し、ピッキング行程が全自動化される。人手と同等以上の投資対効果が得られるようになる

1-4. 本実証の概要

公募事業の実現のために、本実証事業では協働ロボットを活用するための障壁となりうる項目について調査・検証を実施する

(1) 協働ロボットのユースケースおよび環境整備項目の調査

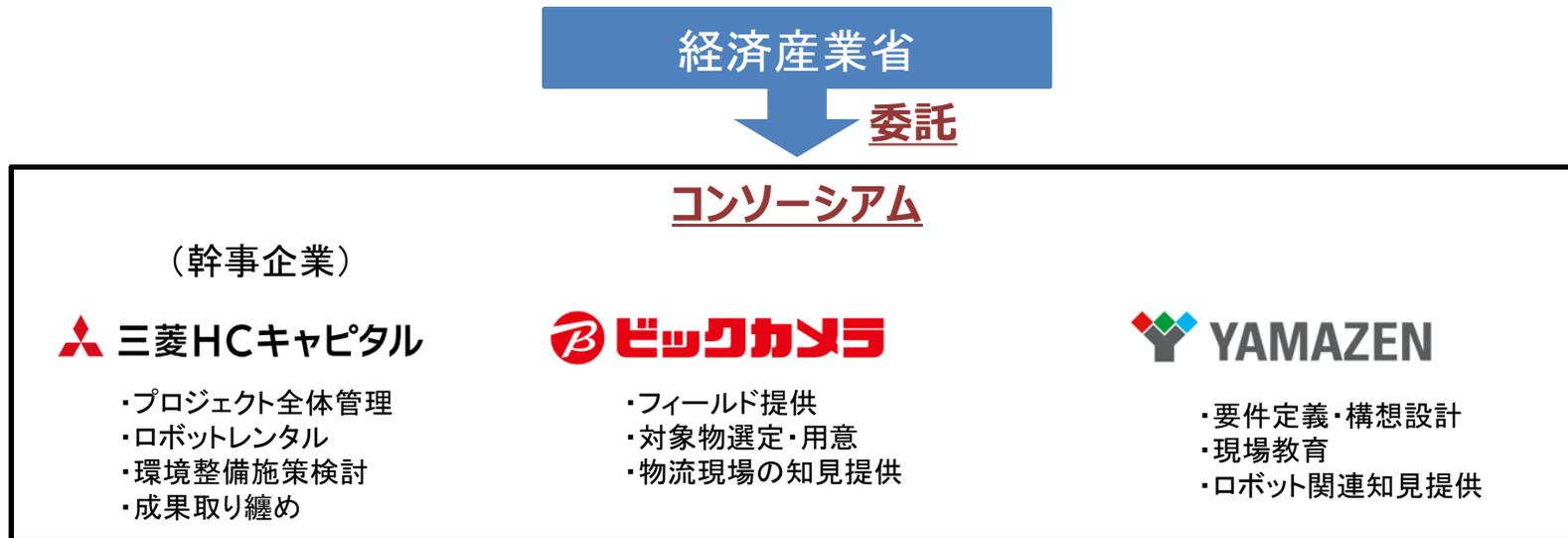
- 物流施設内の作業において協働ロボットを導入することで人との共同が実現可能なユースケースを複数洗い出す。
- あがったユースケースに対して、柔軟性・投資対効果を確保するために必要な環境整備項目の整理を行う。

(2) 協働ロボットでのピースピッキング作業の効果検証

- 協働ロボットを用いたピースピッキング行程の実現に向けて、障壁となりうる項目について実証実験とその効果検証を行う
- 今回は、上記1. の調査の結果、特に優先度が高いと思われる以下の検証項目についての実証を実施。
 - ① 対象物認識のためのデータの整理
 - ② プレースの成功率を高める動作計画
 - ③ 人と協働ロボットとの役割分担
 - ④ 効率性を落とさない安全策

1-5. 事業実施体制

本事業の実施体制は以下の通りである。



1-6.用語集

用語	意味
AGV	Automated Guided Vehicleの略。無人搬送ロボット。磁気テープ、レール、QRコードなど誘導体が必要な誘導走行ロボット。一定の領域において、自動で走行し、荷など人以外の物品の搬送を行う機能をもつ車両で、道路交通法に定められた道路では使用しないもの。
AI	Artificial Intelligenceの略。人工知能。人間の言葉の理解や認識、推論などの知的行動をコンピュータに行わせる技術を指す。
AMR	Autonomous Mobile Robotの略。自動走行ロボット。画像認識技術とレーダーを活用して、周囲を検知しながら走行できる自律移動型のロボット。
GTP	Goods To Personの略。物流センターにおいて貨物をピッキングする作業員やロボットの場所へ移動するピッキングの実施方法。
SKU	Stock keeping Unitの略。物流倉庫において受発注・在庫管理を行うときの最小管理単位。
インダクション	ピースソーター等の投入部分を指す言葉。ロボットが投入することをロボットインダクションと言う。
オリコン	折りたたみコンテナの略。
協働ロボット	安全のために柵で隔離する必要がなく、人と同じスペースを共有しながら一緒に作業できるよう設計されているロボット。JIS B 8433-1 に適合する協働運転のために特別に設計された特性をもつロボットである。これに対して、人の作業とは切り離して、柵などで隔離しながら工場などで使われるロボットは産業用ロボットと呼ばれる。
ゲートアソートシステム	ピッキングで集めた商品の仕分け作業を効率化するためのマテハン機器であり、トータルピッキングを補助するシステム。商品のバーコードをシステムに認識させることで、複数あるゲートのうち仕分け先の1つのみが開くため、効率的に仕分けを行うことが可能。

1-6.用語集

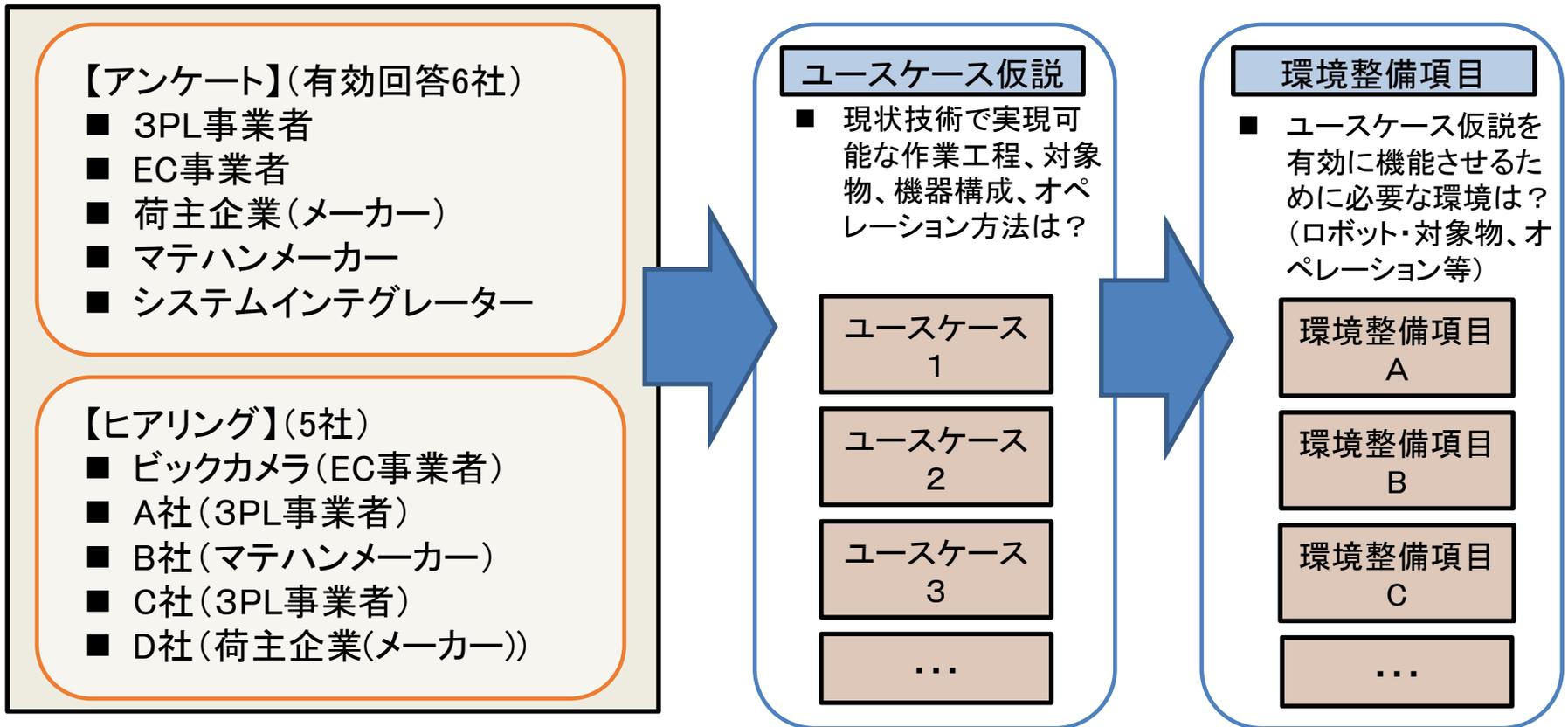
用語	意味
自動倉庫	商品の入庫から出庫までの作業を自動化した倉庫。
柔軟性	本実証事業で検証するピースピッキングがどういった物流作業に対して適用できるかの評価の表現。
順建て機	自動倉庫の一種。天井までの高さを最大限に活用した棚に商品が入ったコンテナを格納する保管庫であると同時に、必要な商品を必要な時に取り出し、最下段にあるコンベアから出荷エリアに送ることができる棚間の運搬機構が備わった自動倉庫。
ステレオカメラ	対象物を複数の異なる方向から同時に撮影することにより、その奥行き方向の情報も記録できるようにしたカメラのこと。
セーフティレーザースキャナ	協働ロボットに取り付けて使用する、一定の距離に人が近づいた場合にロボットを減速/停止させるためのセンサーの一種。
接近領域	その領域以内に人が入ると、協働ロボットが減速/停止する領域。一般的に、セーフティレーザースキャナを用いて設定される。
ディープランニング	深層学習。機械学習技術の一種であり、大量のデータから自動的に特徴を発見することができる人工知能技術のこと。
バケット	トレーやポリボックスなど軽量で小さい物品等の収納容器のこと。
把持	アーム型ロボットでのピッキング時にアームが対象物をしっかりと吸着し持つこと。
ピースソーター	ピース単位の商品を自動的に仕分けするため機械。
ピースピッキング	本実証事業では、対象商品を別のコンテナに移動させる作業をピースピッキングと呼ぶ。
プレース	本実証事業では、ピッキングしたものを配置する行為のこと。
マテハン	マテリアルハンドリングの略。材料や製品などのモノを運搬する設備や機器のことを示す。

2. ピースピッキングロボットに対する調査・整備

2-1. (1)調査・整理項目の詳細説明

調査方法

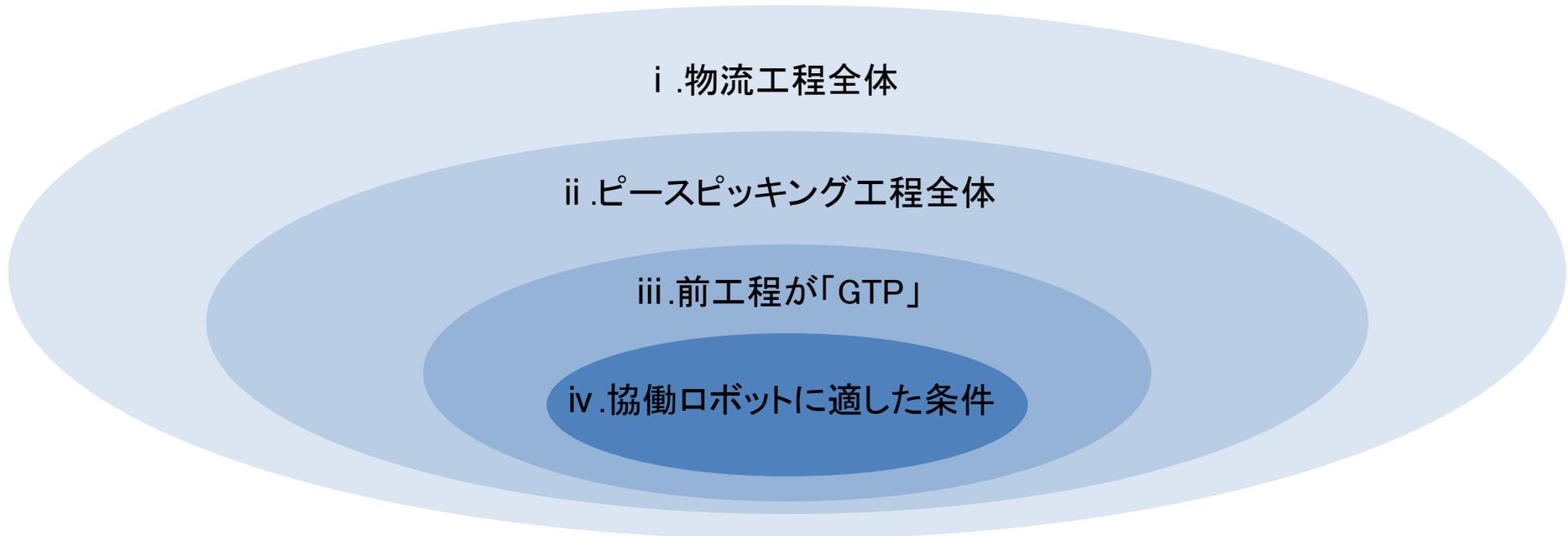
短期的に、人との協働で実現可能な複数のユースケース仮説と、それらを実現するのに必要と思われる環境整備項目の洗い出しのために、アンケート、及びヒアリングを実施。



2-1. (1)調査・整理項目の詳細説明

ユースケース仮説の検討アプローチ

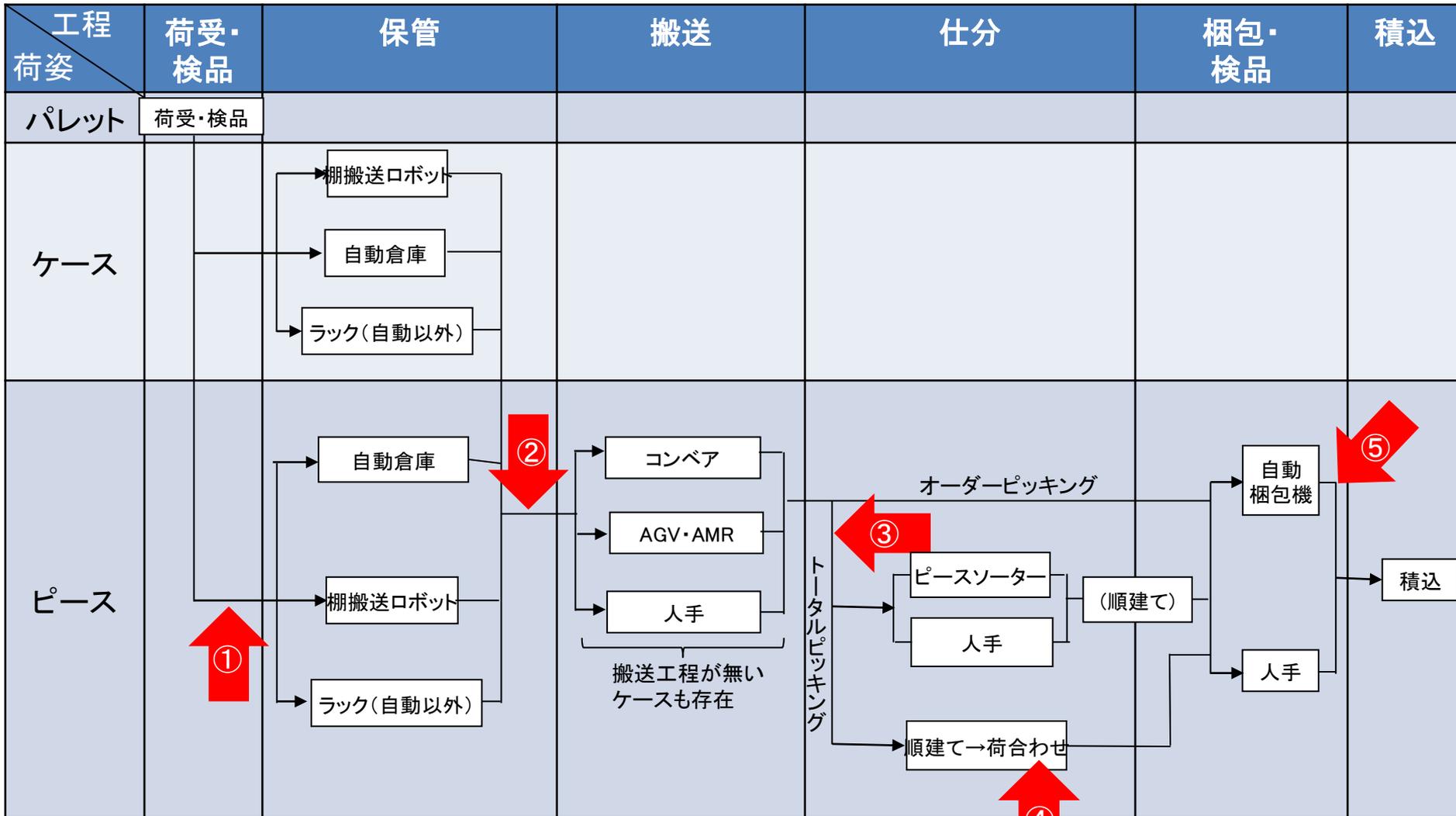
- ✓ ユースケース仮説を検討するにあたり、下記ステップに基づいて、フォーカスすべき工程や、備えるべき条件の絞り込みを実施。
- ✓ まず物流工程全体(i)から、ピースピッキングが発生するポイントを抽出(ii)。そのポイントの内、協働ロボットの導入可能性が高いと想定される工程として、「前工程が「GTP」となっているもの」(iii)を絞り込んだ。
- ✓ その中で、協働ロボットでの作業に適した条件となっているもの(iv)をユースケース仮説とした。



2-2-1. 【調査・整理】ピースピッキングロボットのユースケース

ピースピッキング発生ポイントの抽出

一般的な物流工程から、ピースピッキングがよく発生するポイントを①～⑤抽出。



2-2-1. 【調査・整理】ピースピッキングロボットのユースケース

ピースピッキング発生ポイント別の考慮ポイント

前頁にて抽出した①～⑤のピースピッキング発生ポイントそれぞれについて、一般的な前後工程の設備や荷姿、ロボットアームによるピッキングを導入するにあたっての考慮ポイントを以下の通り整理した。

ピッキング発生ポイント	前工程設備	後工程設備	導入検討の考慮ポイント
<p>①</p> <p>荷受・検品→保管 (ユースケース仮説1)</p>	<p>・トラック</p> <p>パレット/ケース 単一SKU</p>	<p>・自動倉庫 ・棚搬送ロボット ・ラック</p> <p>ケース/ピース 単一SKU</p>	<p>・荷受け後は通常ケースの開梱が必要となり、開梱と併せて人手でピッキングを行うケースが多い。</p> <p>・開梱後の荷姿は、ケースにSKUが隙間なく詰められていることも多く、ロボットによる認識難易度が高い。</p> <p>・後工程は、保管する設備によってロボットアームでのプレース難易度は様々。</p>
<p>②</p> <p>保管→搬送 (ユースケース仮説2～5)</p>	<p>・自動倉庫 ・棚搬送ロボット ・ラック</p> <p>ケース/ピース 単一SKU</p>	<p>・コンベア ・AGV・AMR ・人(カゴ車等)</p> <p>ピース 単一SKU</p>	<p>・前工程は、一部の自動倉庫の様に、取り出し口が特定箇所固定される場合はロボットアームでの対応が比較的容易。</p> <p>・後工程は、仕分けや梱包工程の前に搬送工程を挟むケースも多いが、挟まないケースも存在。</p>

※荷姿の状態

2-2-1. 【調査・整理】ピースピッキングロボットのユースケース

ピースピッキング発生ポイント別の傾向・特徴

ピッキング発生ポイント	前工程設備	後工程設備	導入検討の考慮ポイント
<p>③</p> <p>搬送→仕分 (ユースケース仮説6・7)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・コンベア ・AGV・AMR ・人(カゴ車等) <p>ピース 単一SKU</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ピースソーター ・仕分ステーション <p>ピース 単一SKU</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・前工程は、コンベアであれば高さが一定となるが、AGV・AMRやカゴ車は高さに幅がある可能性あり。 ・後工程は、ピースソーターへの投入間口は定点となっていることが多く、比較的難易度が低い。
<p>④</p> <p>仕分→梱包 (ユースケース仮説8)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・順建て→荷合わせ <p>ピース 単一SKU</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・自動梱包機 ・梱包ステーション <p>ピース 複数SKU</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・仕分工程で順建て機を活用する場合、順建て機から出てくる単一SKUをオーダー単位に荷合わせする工程でロボットアームの活用の可能性あり。 ・難易度は荷合わせに用いる設備に依存。
<p>⑤</p> <p>梱包→積込 (ユースケース仮説9)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・自動梱包機 ・梱包ステーション <p>ピース 単一SKU</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・コンベア <p>ピース 単一SKU</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・食肉等の自動ラッピングの後、コンベア等の搬送設備に投入する工程。前後工程とも、ピッキング/プレースを定点としやすく、難易度は低め。 ・ピース単位で梱包が発生するケースが対象。

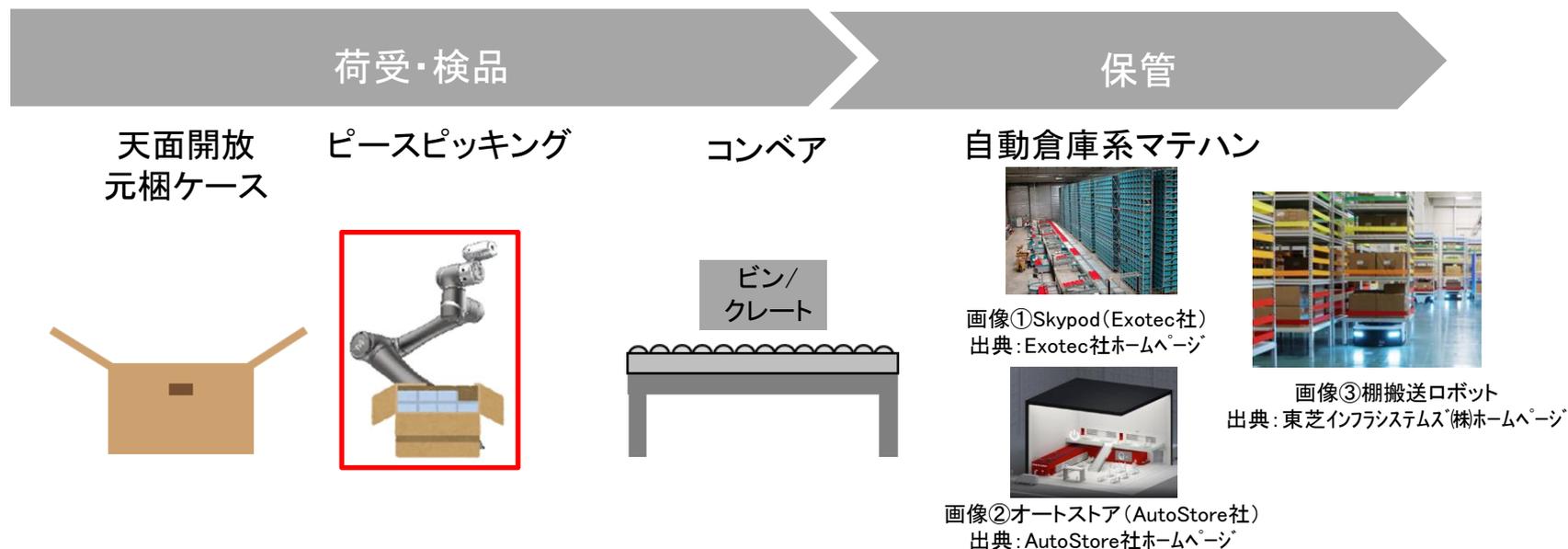


※荷姿の状態

2-2-1. 【調査・整理】ピースピッキングロボットのユースケース

P17～19で整理したピースピッキング発生ポイントを対象に、アンケート、ヒアリングを通じて、下記の通り、前工程がGTPとなっており、かつ協働ロボットでのピースピッキング自動化の検討予知のあるユースケースを以下の通り9つ検討した。
(アンケートの結果概要は巻末資料P67を参照)

ユースケース仮説1 (ピッキング発生ポイント① 荷受・検品→保管)



- ・元梱ケースから自動倉庫系マテハンに保管するためのビンやクレートへの積み替え。
- ・一般的には積み替え作業自体が発生しない様な工程とした方が効率的であり、上記ユースケースが適応できるケースは比較的少ないと考えられる。

2-2-1. 【調査・整理】ピースピッキングロボットのユースケース

ユースケース仮説2 (ピッキング発生ポイント② 保管→搬送)

保管

搬送

自動倉庫系マテハン



画像①Skypod(Exotec社)
出典: Exotec社ホームページ



画像②オートストア(AutoStore社)
出典: AutoStore社ホームページ



画像③シャトル&サーバ
(株)IHI物流産業システム
出典: (株)IHI物流産業システムホームページ



画像④ケース自動倉庫
出典: (株)IHI物流産業システムホームページ

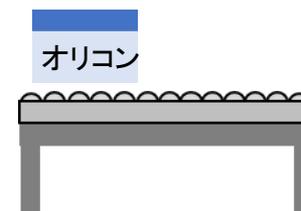
出庫ステーション



ピースピッキング



コンベア



- ・自動倉庫系マテハンの出庫ステーションから、コンベア等搬送設備へ投入する工程。
- ・ピック側、プレース側共に定点としやすく、難易度は低めと考えられる。
- ・1日の処理量が多く、スピードが求められる場合、協働ロボットの処理速度では追いつかないケースも考えられる。

2-2-1. 【調査・整理】ピースピッキングロボットのユースケース

ユースケース仮説3 (ピッキング発生ポイント② 保管→搬送)

保管

仕分

自動倉庫系マテハン



画像①Skypod (Exotec社)
出典: Exotec社ホームページ



画像②オートストア (AutoStore社)
出典: AutoStore社ホームページ



画像③シャトル&サーバ
(株IHI物流産業システム)
出典: (株IHI物流産業システムホームページ)



画像④ケース自動倉庫
出典: (株IHI物流産業システムホームページ)

出庫ステーション



バケット

ピースピッキング

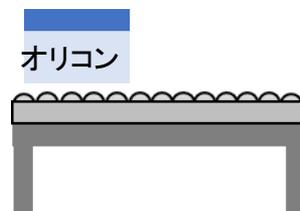


ゲートアソートシステム
(GAS)



画像⑤ゲートアソートシステム
出典: (株タクテックホームページ)

コンベア



オリコン

- ・自動倉庫系マテハンから搬出後、搬送工程を経ずに直接GAS等の仕分工程へ投入するケース。
- ・ピック側についてはユースケース仮説2と同様だが、プレース側は、定点ではなく出荷先に応じて所定の間口に投入する必要があり、対応すべき間口が多いほど難易度は高くなり、ロボットの可動範囲の関係で対応できないケースも考えられる。

2-2-1. 【調査・整理】ピースピッキングロボットのユースケース

ユースケース仮説4 (ピッキング発生ポイント② 保管→搬送)

保管

搬送

棚搬送ロボット

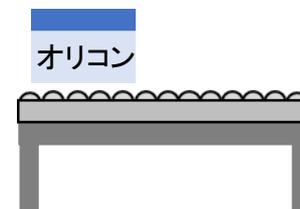


画像①棚搬送ロボット
出典: 東芝インフラシステムズ(株)ホームページ

ピースピッキング



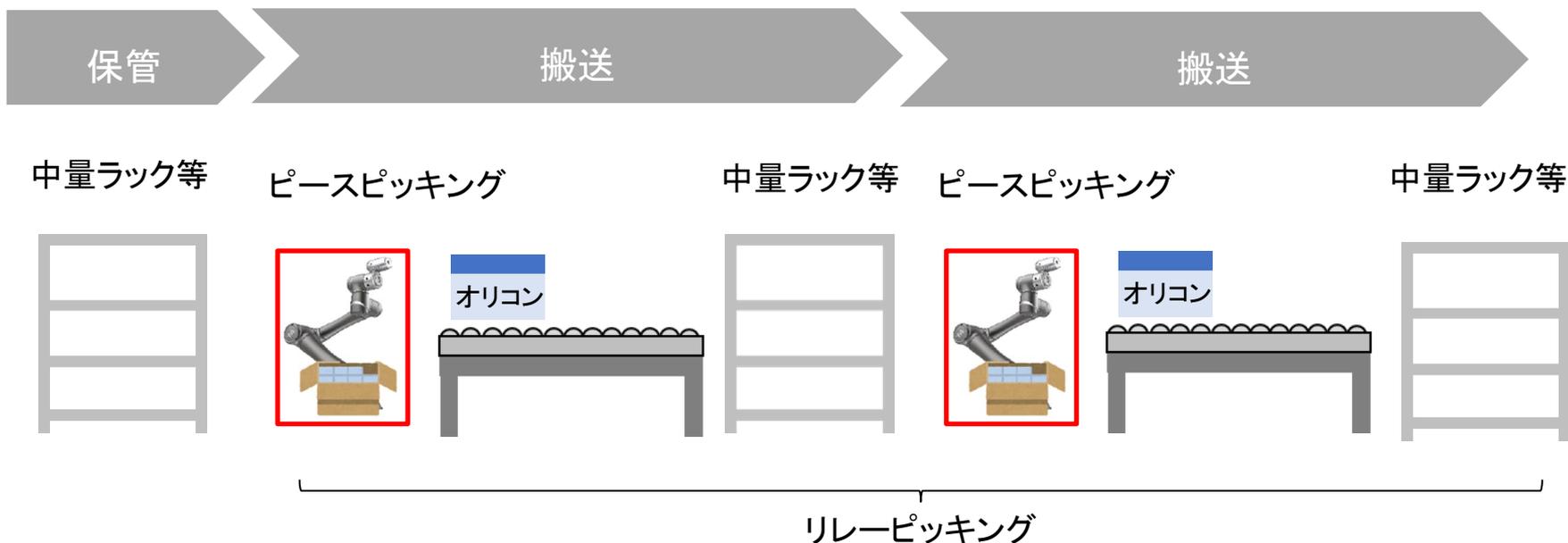
コンベア



- ・棚搬送ロボットから、コンベア等搬送設備へ投入する工程。
- ・ピック側の間口が縦方向に複数段あることが多く、また間口の上面が開放されていないためロボットアームがピッキングを行う難易度は高いと考えられる。

2-2-1. 【調査・整理】ピースピッキングロボットのユースケース

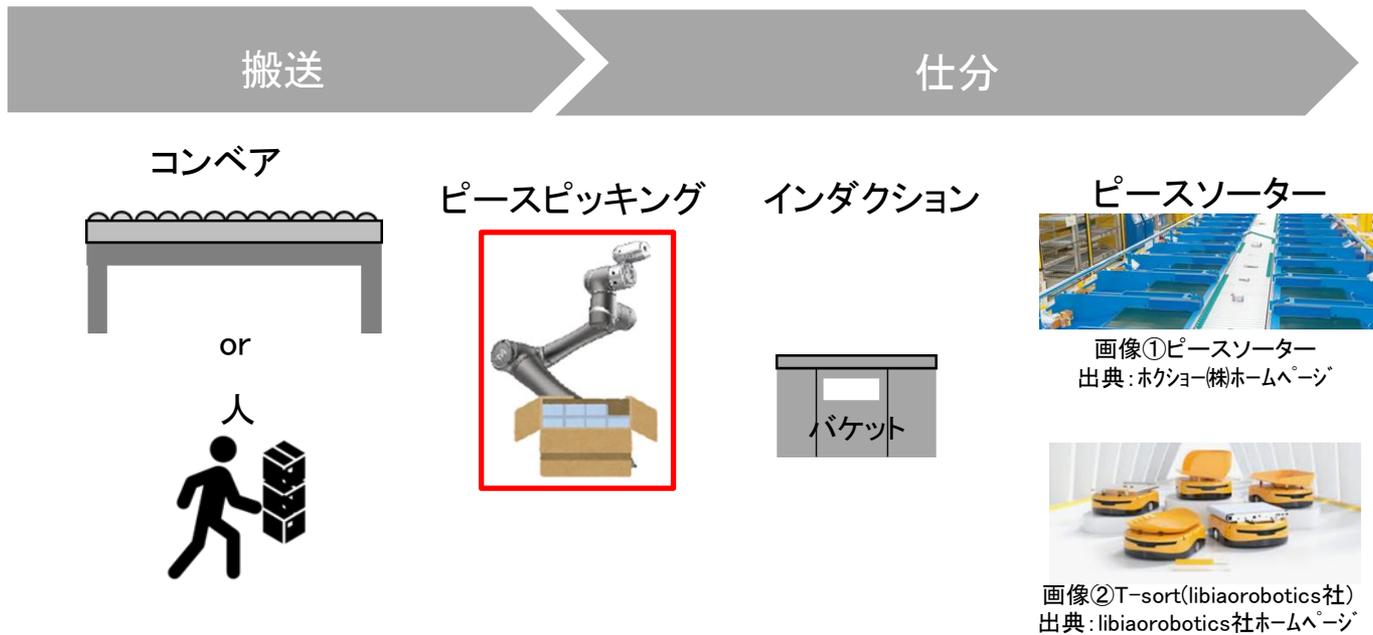
ユースケース仮説5 (ピッキング発生ポイント② 保管→搬送)



- ・複数の保管場所を1つのオリコンが周遊しながらオーダーされた商品をオリコンに投入していくリレーピッキングのケース。
- ・各保管場所のラック等の保管設備を、ロボットアームでのピッキングがしやすい様な仕様とする工夫が必要と考えられる。

2-2-1. 【調査・整理】ピースピッキングロボットのユースケース

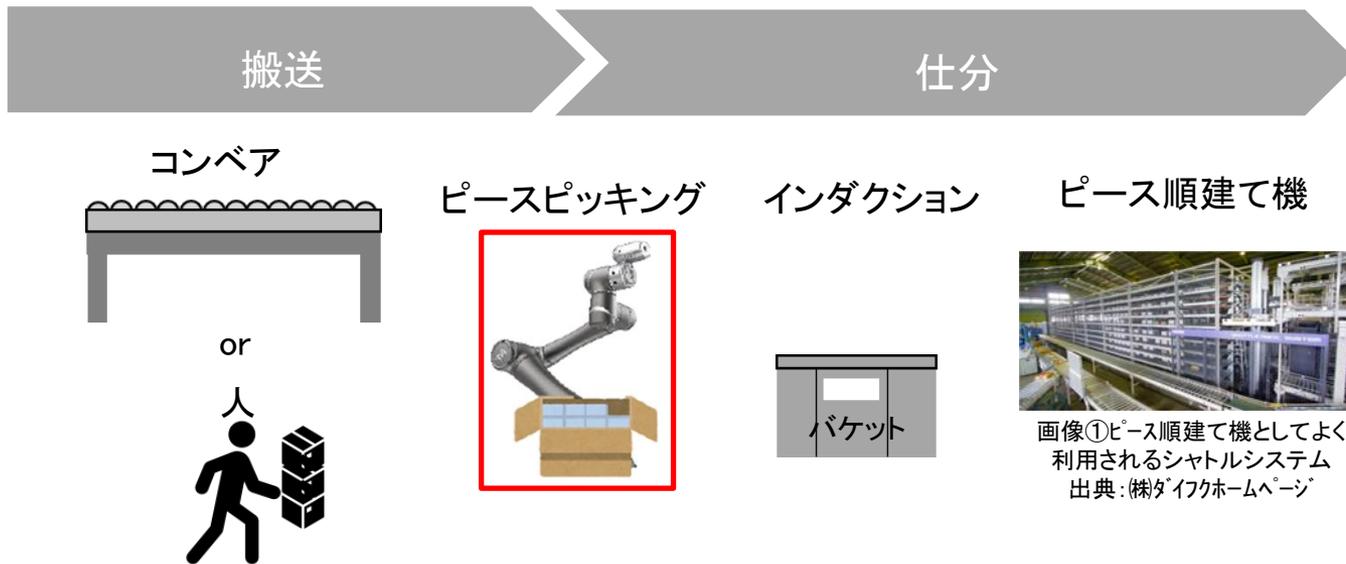
ユースケース仮説6 (ピッキング発生ポイント③ 搬送→仕分)



- ・搬送工程を経て到着した商品等を、ピースソーター(T-sort等のロボットタイプを含む)のインダクションへ投入。
- ・インダクションは定点となっていることが多く、比較的難易度は低い。

2-2-1. 【調査・整理】ピースピッキングロボットのユースケース

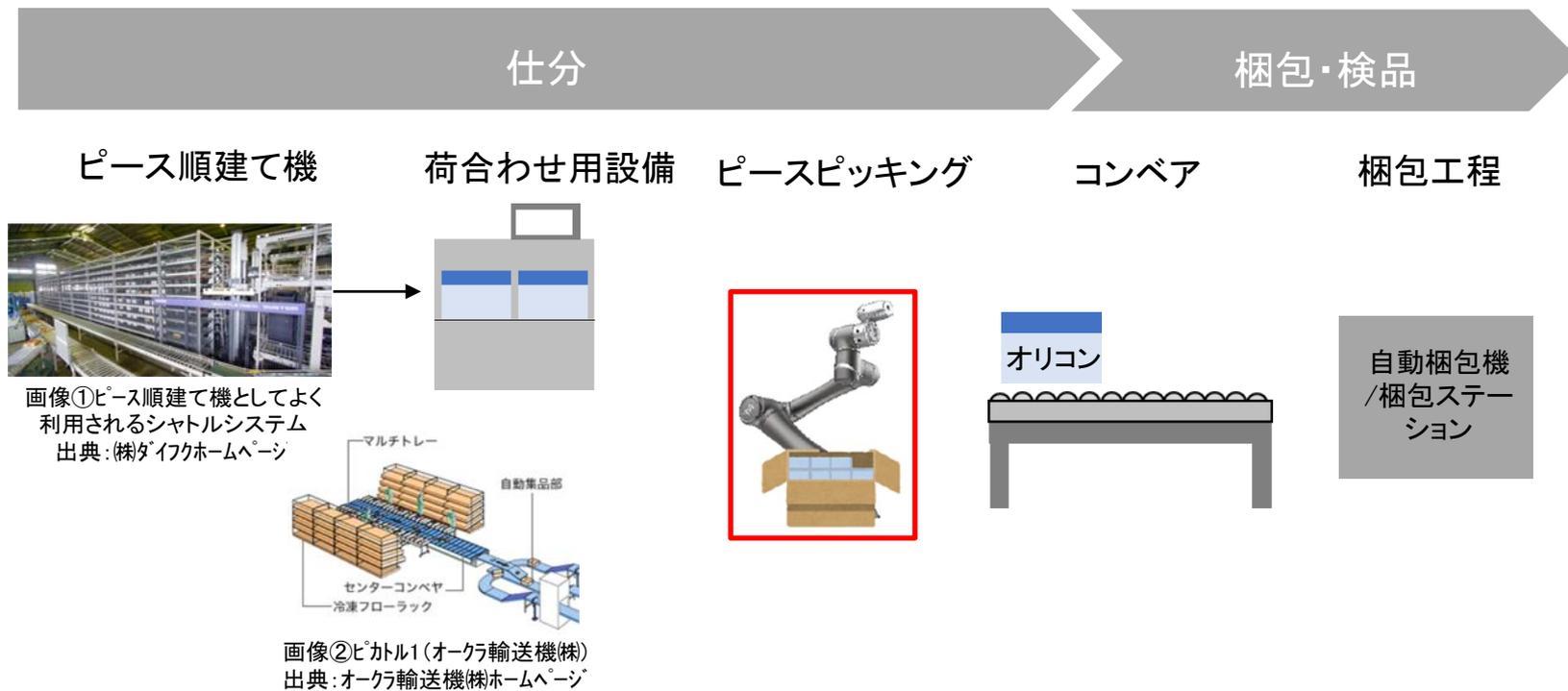
ユースケース仮説7（ピッキング発生ポイント③ 搬送→仕分）



- ・トータルピッキング後、搬送工程を経て到着した商品等を、ピース順建て機インダクションへ投入。
- ・トータルピッキングした商品等を、ピース順建て機へオーダー単位に分割して投入する際にピースピッキングが発生。
- ・インダクションは定点となっていることが多く、比較的難易度は低い。

2-2-1. 【調査・整理】ピースピッキングロボットのユースケース

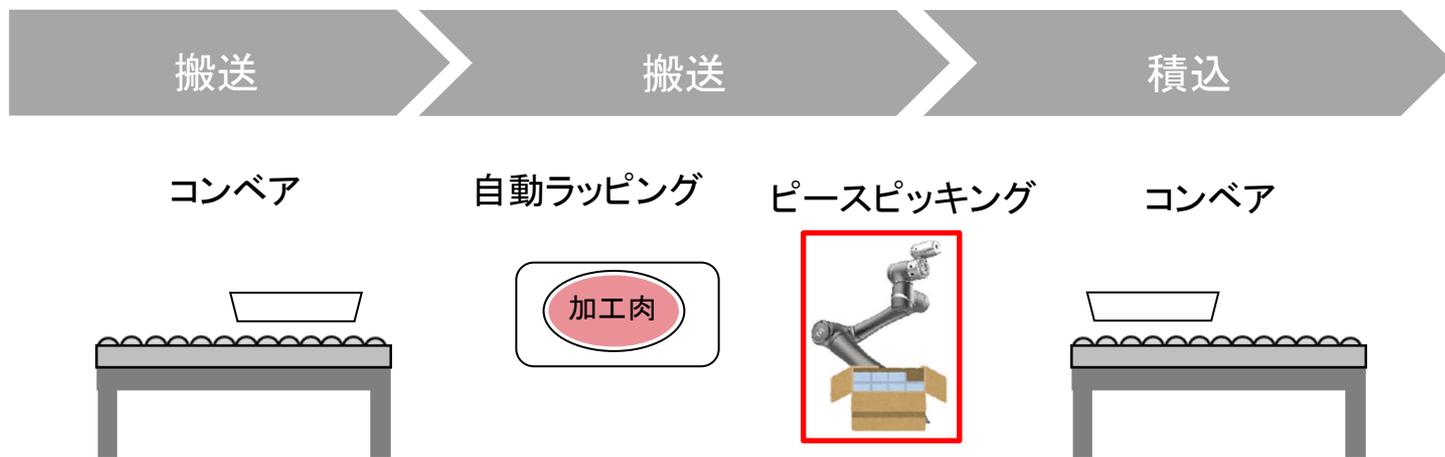
ユースケース仮説8 (ピッキング発生ポイント④ 仕分→梱包)



- ・ピース順建て機の後等に、荷合わせを行うケース。
荷合わせを行う際の設備が、の様にピック側・プレース側共に定点となっている場合は、難易度が低い。

2-2-1. 【調査・整理】ピースピッキングロボットのユースケース

ユースケース仮説9 (ピッキング発生ポイント⑤ 梱包→積込)



- ・加工肉を自動包装機でラッピングした後、次のコンベアに投入する工程。
- ・食品メーカー等で、ピース単位で番重等に移載後、出荷されるケースが該当。

2-2-2. 【調査・整理】ロボット導入のための環境整備項目

ヒアリング等を通じ、ユースケース仮設の実現に向けた大きな障害として、「投資対効果が合わない」ことが挙げられ、その解決策としてどういった環境整備が必要かを、様々な業種の企業と共に議論。下記が挙げられた。

	項目	投資対効果向上のポイント	環境整備項目
メリット 	人手作業削減によるコスト減	<ul style="list-style-type: none"> ・タクトの向上 →対象工程の拡大 →安全性と効率性の両立 	<ul style="list-style-type: none"> ・前後工程設備の標準化 ・対象物認識のデータの整理 ・効率性を落とさない安全策
	副次的な労務管理費減	ユースケース実装により実現	—
	過酷な労働からの解放		
	高付加価値業務へのシフト		
コスト 	<ul style="list-style-type: none"> ・ロボットアーム価格 ・ロボットハンド価格 ・SI費用 ・その他周辺機器 	<ul style="list-style-type: none"> ・対象物の3Dスキャン →マスターレス化 	<ul style="list-style-type: none"> ・対象物認識のデータの整理
		<ul style="list-style-type: none"> ・把持が難しいものへの対応 →銀紙、透明なもの、袋物 	<ul style="list-style-type: none"> ・荷姿の標準化 ・対象物認識のデータの整理
		<ul style="list-style-type: none"> ・プレースの要件限定 	<ul style="list-style-type: none"> ・プレースの動作計画
		<ul style="list-style-type: none"> ・対象物の限定 	<ul style="list-style-type: none"> ・人との役割分担
		<ul style="list-style-type: none"> ・処理量の安定化 	<ul style="list-style-type: none"> ・人との役割分担
	その他運用費用 (保守メンテ、消耗品、教育)	教育コストの削減	<ul style="list-style-type: none"> ・操作の簡便性向上・運用ガイドラインの整備

2-2-2. 【調査・整理】ロボット導入のための環境整備項目

必要な環境整備項目の整理

前頁にて挙げた環境整備項目の概要は以下の通り。

- ① 人と協働ロボットとの役割分担
ロボットに適さないものは人が担当。必要な処理速度を満たすように作業量を分担
- ② 対象物認識のためのデータの整理
事前にロボットが認識できるとピッキング成功率が高まるデータ項目を整備
- ③ プレースの成功率を高める動作計画
プレースするモノや箇所の状態を考慮した上での動作計画
- ④ 効率性を落とさない安全策
安全性を確保したうえで、処理速度を極力維持できる運用設計
- ⑤ 前後工程設備の標準化
ピック/プレース箇所を定点化する等、前後工程の設備面での工夫
- ⑥ 荷姿の標準化
ピッキングが容易となる形状や色、素材を製品設計に取り入れる
- ⑦ 操作の簡便性向上・運用ガイドラインの整備

2-2-2. 【調査・整理】ロボット導入のための環境整備項目

前頁で挙げた環境整備項目に対して、実現可能性が高く、効果が大きいと思われる4項目を優先度の高いものとして選定した。

No	環境整備項目	展開可能性	期待効果	優先度	評価
1	人と協働ロボットとの役割分担	◎	◎	高	対象となる物流工程を中心とした業務設計で対応可能
2	対象物認識のためのデータの整理	○	◎	高	効果の高いデータ項目に絞れば、相応に実現可能
3	プレースの成功率を高める動作計画	◎	○	高	ロボット制御により実現可能なため、実現性は相応に高い
4	効率性を落とさない安全策	◎	○	高	導入側のアセスメントの整理により実現可能
5	前後工程設備の標準化	△	○	中	重要性の高い項目ではあるが、物流工程全体を変える必要あり
6	荷姿の標準化	×	◎	低	対象物が多岐に亘り、難易度は非常に高い
7	操作の簡便性向上・運用ガイドラインの整備	◎	×	低	実現性は高いが、既に操作性が向上してきており、効果は限定的

3. ピースピッキングロボットを用いたピッキング作業の効果検証

3-1. (2)効果測定項目の詳細説明

- ✓ 「(1)物流施設のピッキング工程における協働ロボットを活用するユースケースと環境整備項目の調査と整理」を踏まえ、(株)ビックカメラのEC物流センターにおいて短期的に実現可能と思われる「荷合わせ工程」のユースケース(P26のユースケース仮説8)を実証対象として選定。
- ✓ 実証時には、現時点で特に優先すべきと考えられる下記4点の環境整備項目の実証実施及び効果検証を行う。

対象ユースケースの現在の状況



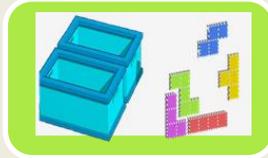
・環境整備項目の効果検証
・他のユースケースへの展開化の可能性評価



・【検証項目①】人と協働ロボットとの役割分担



・【検証項目②】対象物認識のためのデータの整理



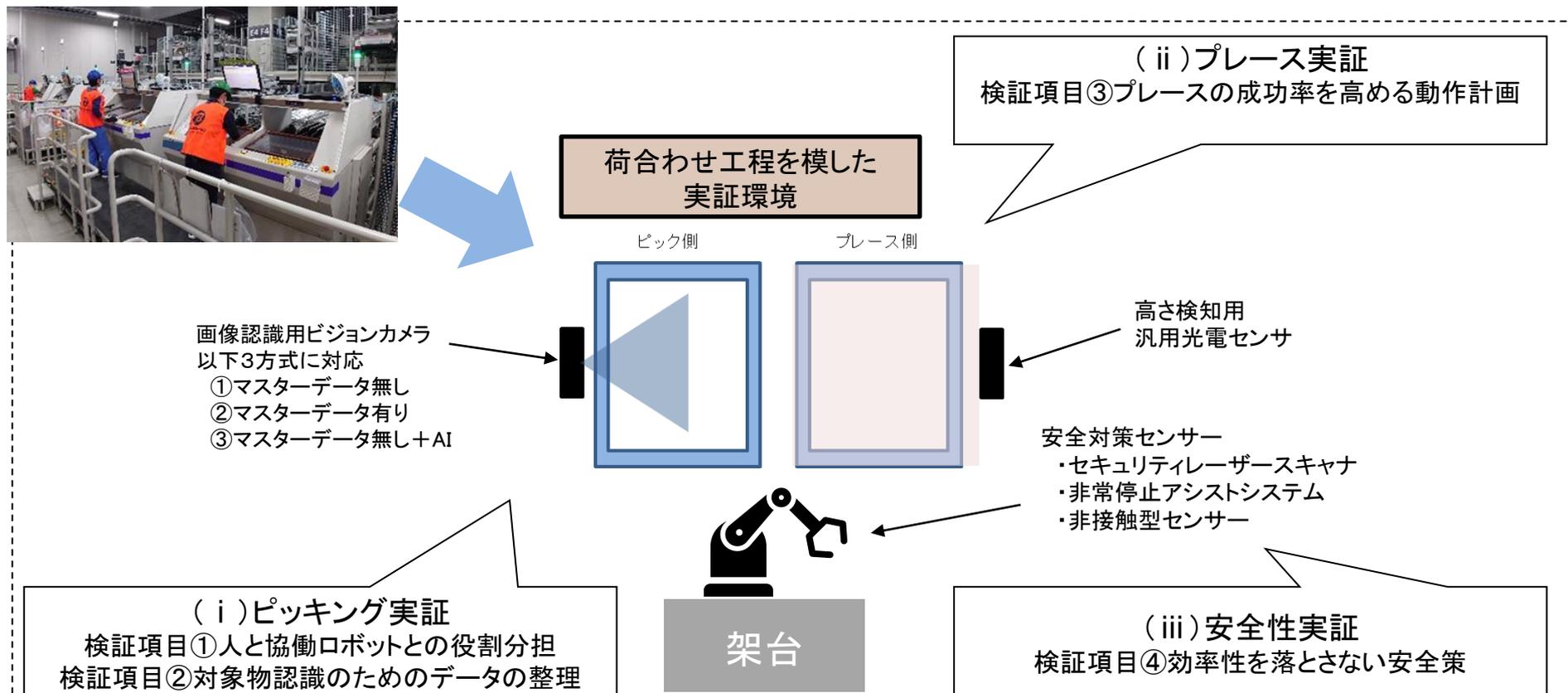
・【検証項目③】プレースの成功率を高める動作計画



・【検証項目④】効率性を落とさない安全策

3-1. (2)効果測定項目の詳細説明

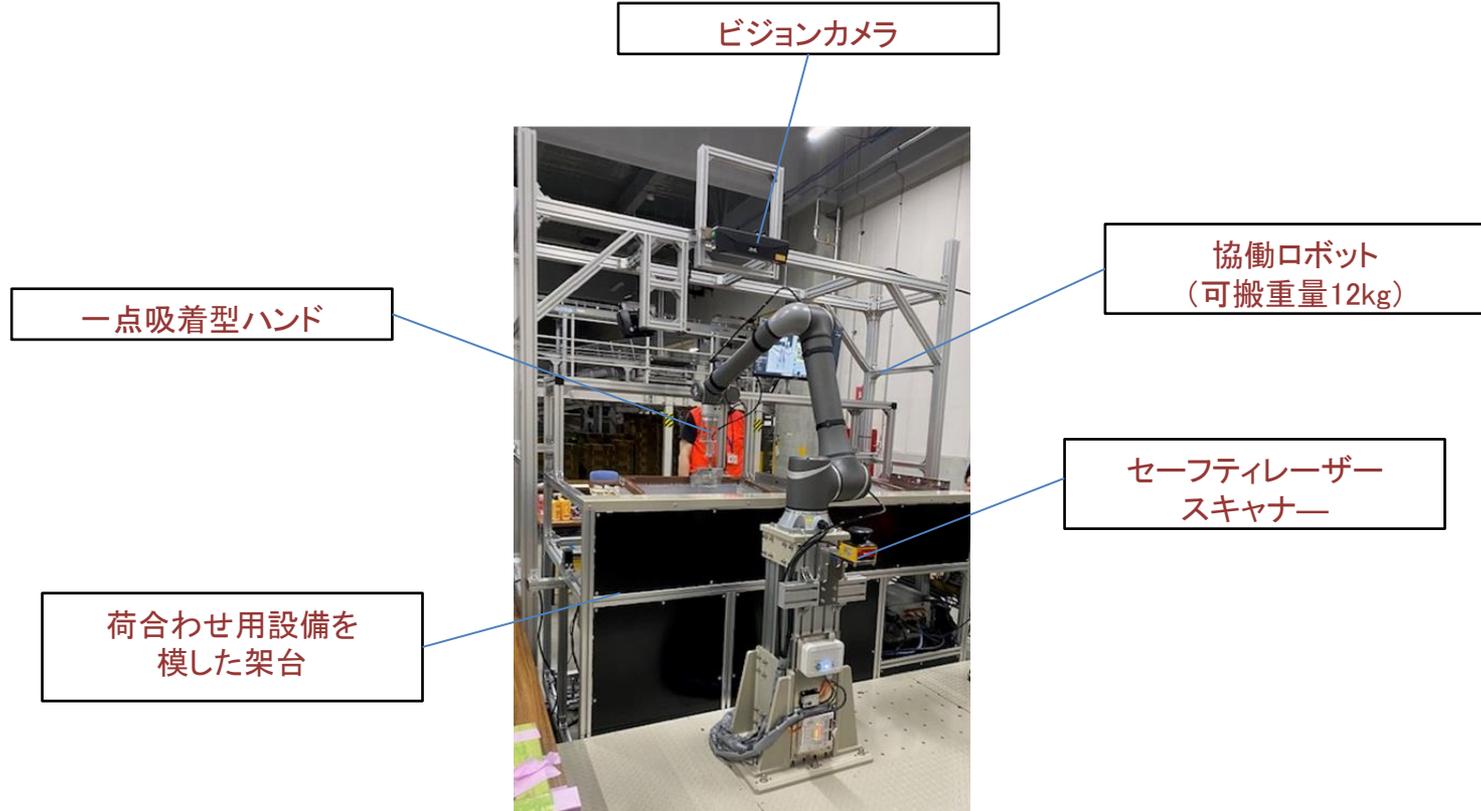
- ✓ 選定した荷合わせ工程のユースケースでは、ピック側オリコンには単一SKUのみが格納されており、それをプレース側オリコンに移載。オーダー単位でSKUが揃った時点で次の梱包工程へ搬送される。
- ✓ 今回の実証では、この工程を模した実証環境を構築し、「(i)ピッキング」「(ii)プレース」「(iii)安全性」3種類の実証を実施することで、前頁に記載した4つの項目の検証を実施する。



3-1. (2)効果測定項目の詳細説明

実証環境の説明

- ✓ 今回の実証では、環境整備項目の有効性確認の為、高性能な機器は用いず、一般的によく用いられる機器の組み合わせで構成。
- ✓ ロボットのハンドについては、汎用性が高く、今回選定したSKUに広く適すると思われる一点吸着型のハンドを採用した。



3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

ピッキング実証の実施パターン

- ✓ ピッキング実証は、選定したユースケースで様々なパターンを想定して検証を行うべく、「対象SKU」20種類、「画像認識方法」3種類、「ピック側の荷姿」3種類、「実施回数」3回で行い、計540回のデータを取得した。

対象SKU	画像認識方法	ピック側荷姿	実施回数	結果
	マスターデータ無し	1個	1回目	○
	マスターデータ有	複数個(平置き)	2回目	△
	AI	複数個(ばら積み)	3回目	×

$$20\text{種類} \times 3\text{種類} \times 3\text{種類} \times 3\text{回} = 540\text{回}$$

3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

実施パターンの説明:対象SKUの選定について

以下の観点で検証に使用する対象SKUを20品目に絞った。

観点1 出荷数割合

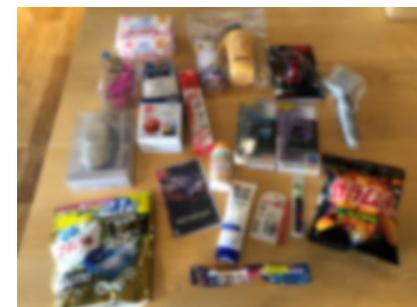
ビッグカメラのEC物流における実際の商品出荷数をカテゴリ別に分析し、出荷数の多いカテゴリを中心に選定

観点2 SKUの特徴

ピッキングの難易度を左右するSKUの特徴として、「定型 or 不定形」「単純形状 or 複雑形状」「サイズ」「光沢有 or 無し」「色」の5項目を仮説として設定。それらの特徴がまんべんなく検証できる様、選定を行った。

選定したSKU

No	名称	No	名称	No	名称
1	インク	8	シャンプーボトル	15	ランチ
2	スマホケース(透明)	9	ネッククーラー	16	南京錠
3	スマホケース(同色)	10	ボールペン替え芯	17	ゲームソフト
4	洗顔フォーム	11	イヤホン	18	ポテトチップス
5	歯ブラシ	12	ハンディ扇風機	19	サプリメント
6	生理用品	13	シャンプー詰め替え	20	ラップ
7	マウス	14	ジェルボール詰め替え		



3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

実施パターンの説明: 画像認識方法について

現在ピッキングで主に使われている3種類の方法を用いた。

① マスターデータ無し (頂点出力)

- ✓ マスターデータを用いず、パターン投影して凹凸を認識する。その凸部を狙って、真上から吸着でピッキングを行う手法。
- ✓ 凹凸の下の見えていないところは理解できず、2.5次元とも呼ばれる。
- ✓ 成功率は他の手法と比較しやや低いが認識回数が少ないという特徴がある。

【用いたアプリケーション】

点群頂点出力

【アプリケーションの特徴】

計測した点群情報に対して、任意の大きさの点群で分類分けし、分類分けした点群の中心座標をZ方向を優先順位としてワーク把持解を出力するアプリケーション。

② マスターデータ有り (3Dデータマッチング)

- ✓ カメラの情報とあらかじめ登録してある3D-CADデータを照合して、見えていないところの対象物の位置や向きを推定。
- ✓ マスターデータの物品の情報から、必要なハンドを特定し、重心の情報からピッキングすべき箇所を特定を行う。

【用いたアプリケーション】

アセントロボティクス(株) Ascent Pick&Place



【アプリケーションの特徴】

豊富な情報と経験則を元にしたAI物体認識アルゴリズムを使用。デジタルツイン(生成データ)を利用することでアイテムごとの微妙な違い、変形、外乱等の多様な状態をデジタル空間上で再現。AI学習をすることで正確な物体認識とワークの位置姿勢判断が可能。

③ マスターデータ無し+ AI(ディープラーニング)

- ✓ ステレオカメラで対象を撮影して、対象までのおおまかな距離を算出。
- ✓ 対象のどこを狙ってピッキングするかは、ディープラーニングによって得られた過去の学習から行う。
- ✓ もっとも新しい3次元認識手法。

【用いたアプリケーション】

点群頂点出力+AIモデル

【アプリケーションの特徴】

メーカー提供のの深層学習モデルを使用。計測した点群・輪郭情報に対して深層学習データからインスタンスセグメンテーション手法でワークを区別・判別し、把持解を出力。

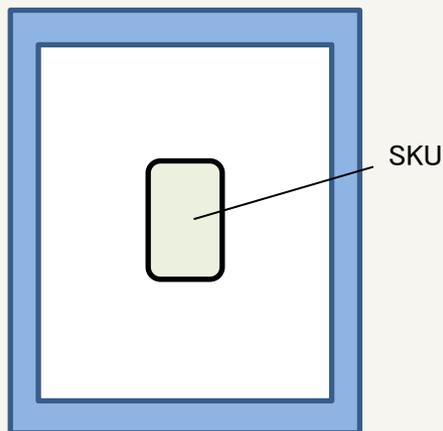
3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

実施パターンの説明:ピック側の荷姿について

- ✓ ピック側オリコン内の荷姿について、以下3パターンを想定して実証を実施した。基本的に、1SKUにつき5個(同じ荷姿で計15回ピック)を用いたが、一部SKU(スマホケース(透明)、マウス、南京錠)は、商品の調達上、2個(同じ荷姿で計6回ピック)で実施した。
- ✓ 尚、荷姿に起因して失敗したケース(その荷姿でピッキング可能な把持点を認識できない等)では、まだトライしていない対象物がオリコン内にある場合でも、続行不能と判定し、失敗した段階でその回のデータ取りは終了とした。(そのため、1SKU5個でも、ピック15回未満のケースあり)

1個置き

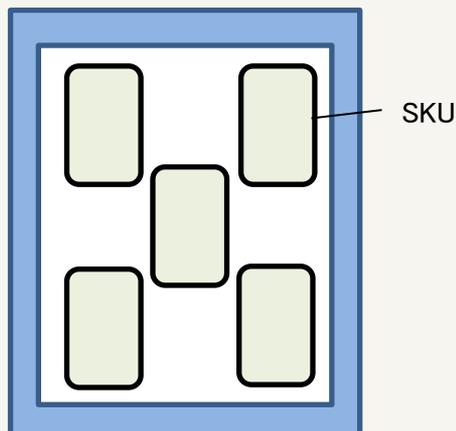
- ✓ オリコン内に、1個だけSKUが置かれている状態



オリコンを上から見た図

複数個(平置き)

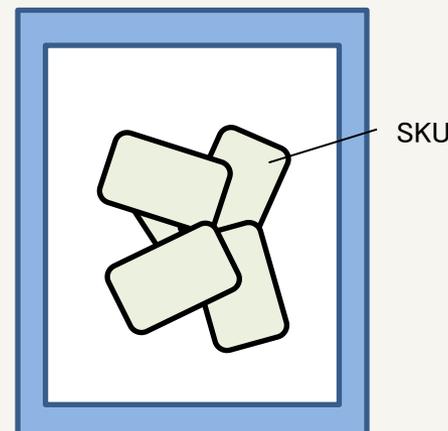
- ✓ オリコン内に、5個のSKUが重なることなく置かれている状態。
- ✓ 表と裏で大きく特徴の異なるSKUの場合は、表裏両方で検証。



オリコンを上から見た図

複数個(ばら積み)

- ✓ オリコン内に、5個のSKUが重なり合う形で積まれている状態。



オリコンを上から見た図

3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

実証結果の判定について

- ✓ 実証の結果及び、その結果から導かれる、SKUのロボットでのピッキングの容易さ(ロボフレレベル)を下記として分類した。

ピッキング実証結果の定義

○:リトライせずに成功

△:リトライ(2回まで)した上で成功

×:リトライ3回しても成功せず(オリコン外に出たケースを含む)

実証結果を踏まえたSKUの分類=ロボフレレベル

A:一度もリトライ無し(=最大能力、○○○○○)

B:リトライ有り(○△○○○、○○△△○、など)

C:失敗の可能性あり(=要リカバリー、失敗率15%未満、○○×△○、など)

D:失敗の可能性大(=ロボット対象外、失敗率15%以上、×××△×、など)

【CとDの境界線の考え方】

実証で計測した、ピッキングに要する時間、失敗時のリカバリーに要する時間(人&ロボ)から、下記の整理に基づきロボットの導入効果が無くなる失敗確率を「D」とした。(人の処理能力はビックカメラへのヒアリング)

- ①1個当たり最大能力:人5秒/個(720個/時)、ロボット(分類A・Bの平均)11.3秒/個(319個/時)
- ②失敗時のリカバリー所要時間:人22.3秒、ロボット24.1秒
- ③上記①、②より、1回の失敗で、6.6個分処理が出来なくなる(人が4.5個、ロボットが2.1個)
- ④1時間中、48回(319÷6.6)失敗すると、ロボットの導入効果が無くなる。
- ⑤**15%以上の割合**(48回÷最大能力319回)で失敗した場合をDとする。

3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

ピッキング失敗(×)の分類について

- ✓ 実証の結果、失敗(×)となったケースを、失敗の要因別に下記4つに分類。
- ✓ この内、「未認識」については、当該SKUにおいて1件のみの発生だった場合、カメラの性能に起因して発生されたと推定し、ロボフレレベルの判定上は失敗にカウントしないこととした。

吸着

判定した把持点をハンドが捉えたものの、十分に吸着できず、持ち上げることができなかったケース。

誤認識

把持点を誤って判定したために、ハンドが吸着することが出来なかったケース。

未認識

対象物がオリコン内に存在するにも関わらず、認識することができず、把持点の判定に至らなかったケース。

経路生成

対象物を認識し、把持点を判定したが、経路生成の結果、ハンドが把持点を捉えることができないと判断したケース。

3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

✓ 20SKUの実証結果は下記の通り。詳細は、P70～の巻末資料に記載。

実証結果サマリ①

No	名称	荷姿	ロボフレ レベル	マスターデータ 無し	マスターデータ 有り	マスターデータ 無し+AI	失敗原因分類			
							吸着	誤認識	未認識	経路 生成
1	インク	平置き	A	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	14/ 0/ 1	0	0	1	0
		ばら積み	B	15/ 0/ 0	11/ 4/ 0	14/ 1/ 0				
2	スマホケース(透明)	平置き	A	6/ 0/ 0	6/ 0/ 0	6/ 0/ 0	0	0	0	0
		ばら積み	A	6/ 0/ 0	6/ 0/ 0	6/ 0/ 0				
3	スマホケース(同色)	平置き	A	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	0	0	0	0
		ばら積み	A	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0				
4	洗顔フォーム	平置き	A	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	0	0	0	0
		ばら積み	A	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0				
5	歯ブラシ	平置き	C	12/ 2/ 1	15/ 0/ 0	12/ 1/ 2	7	0	1	0
		ばら積み	C	6/ 2/ 3	14/ 0/ 1	11/ 2/ 1				
6	生理用品	平置き	A	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	2	2	0	0
		ばら積み	C	15/ 0/ 0	14/ 0/ 1	6/ 0/ 3				

3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

実証結果サマリ②

No	名称	荷姿	ロボフレ レベル	マスターデータ 無し	マスターデータ 有り	マスターデータ 無し+AI	失敗原因分類			
							吸着	誤認識	未認識	経路 生成
7	マウス	平置き	D	6/ 0/ 0	5/ 0/ 1	3/ 1/ 2	1	1	1	2
		ばら積み	C	6/ 0/ 0	5/ 0/ 1	4/ 1/ 1				
8	シャンプーボトル	平置き	A	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	0	0	0	1
		ばら積み	C	15/ 0/ 0	14/ 0/ 1	14/ 1/ 0				
9	ネッククーラー	平置き	A	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	0	0	0	1
		ばら積み	C	14/ 1/ 0	14/ 0/ 1	15/ 0/ 0				
10	ボールペン替え芯	平置き	C	14/ 0/ 1	15/ 0/ 0	2/ 1/ 3	6	2	5	0
		ばら積み	D	8/ 0/ 1	11/ 1/ 3	5/ 2/ 5				
11	イヤホン	平置き	A	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	1	0	0	0
		ばら積み	C	15/ 0/ 0	12/ 0/ 1	15/ 0/ 0				
12	ハンディ扇風機	平置き	C	15/ 0/ 0	13/ 1/ 1	14/ 0/ 1	0	0	4	0
		ばら積み	C	15/ 0/ 0	12/ 2/ 1	10/ 1/ 1				
13	シャンプー詰め替 え	平置き	C	14/ 1/ 0	12/ 1/ 2	13/ 2/ 0	4	0	0	0
		ばら積み	C	15/ 0/ 0	11/ 0/ 1	14/ 0/ 1				

3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

実証結果サマリ③

No	名称	荷姿	ロボフレ レベル	マスターデータ 無し	マスターデータ 有り	マスターデータ 無し+AI	失敗原因分類			
							吸着	誤認識	未認識	経路 生成
14	ジェルボール 詰め替え	平置き	D	0/ 0/ 3	0/ 0/ 6	0/ 0/ 5	17	1	5	0
		ばら積み	D	0/ 0/ 3	0/ 0/ 3	1/ 0/ 3				
15	レンチ	平置き	D	1/ 1/ 3	5/ 4/ 3	0/ 0/ 3	18	0	0	0
		ばら積み	D	1/ 2/ 3	3/ 4/ 3	0/ 0/ 3				
16	南京錠	平置き	D	0/ 0/ 3	6/ 0/ 0	3/ 0/ 2	8	0	0	0
		ばら積み	D	3/ 1/ 1	5/ 1/ 0	3/ 0/ 2				
17	ゲームソフト	平置き	A	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	0	0	0	0
		ばら積み	B	15/ 0/ 0	14/ 1/ 0	15/ 0/ 0				
18	ポテトチップス	平置き	C	14/ 0/ 1	9/ 2/ 3	11/ 1/ 2	3	1	1	3
		ばら積み	C	14/ 0/ 1	15/ 0/ 0	12/ 2/ 1				
19	サプリメント	平置き	A	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	0	0	0	0
		ばら積み	A	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0				
20	ラップ	平置き	B	15/ 0/ 0	15/ 0/ 0	10/ 2/ 1	0	0	1	0
		ばら積み	B	14/ 1/ 0	15/ 0/ 0	14/ 1/ 0				

3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

検証項目①: 人と協働ロボットとの役割分担 結果考察 失敗となりやすいSKUの特徴

✓ ピッキング実証の結果、失敗となりやすいSKU(いずれの荷姿でもCやDとなるSKU)の特徴は、下記の通り。

①凹凸が多く、把持点が小さいもの。
「マスターデータ有り」は比較的成功率が高い



No5.歯ブラシ



No7.マウス



No16.南京錠

②不定形の為、把持時に把持点が凹んでいることがあるもの。特に「マスターデータ有り」での失敗が多い



No13.シャンプー詰め替え



No18.ポテトチップス

③重量が重いことに加え、重心が移動する、複雑形状等で把持点が捉えにくいもの



No14.ジェルホール詰め替え



No15.ランチ

④透明、あるいはサイズが小さく、認識・把持点の判断が難しいもの。特に「マスターデータ有り」「データ無し+AI」で失敗が多い



No10.ボールペン替え芯



No12.ハンディ扇風機

3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

検証項目①: 人と協働ロボットとの役割分担 結果考察 人によるリカバリーについて

- ✓ 実際に、人とロボットが協働するユースケースを想定し、ロボットがSKU1~20を順にピッキングする中で、失敗した場合は、人がリカバリーに入ることで、ロボットと人、それぞれどの程度処理が停止するかを計測。
- ✓ この際、人は、ロボットとは別ラインで作業中の状況を想定し、ロボットの停止に気づくタイミング、自らの作業を止めるタイミング、歩行速度を実際のシチュエーションに近づけて計測を行った。
- ✓ 今回、SKUを20種類順にピッキングするという形をとったため、処理量としては220個となったが、実際には、同じSKUが連続することによる時間短縮や、分類「D」のSKUをロボットでは処理させない等の環境整備により、処理能力を高められるものと考えられる。



【計測結果】

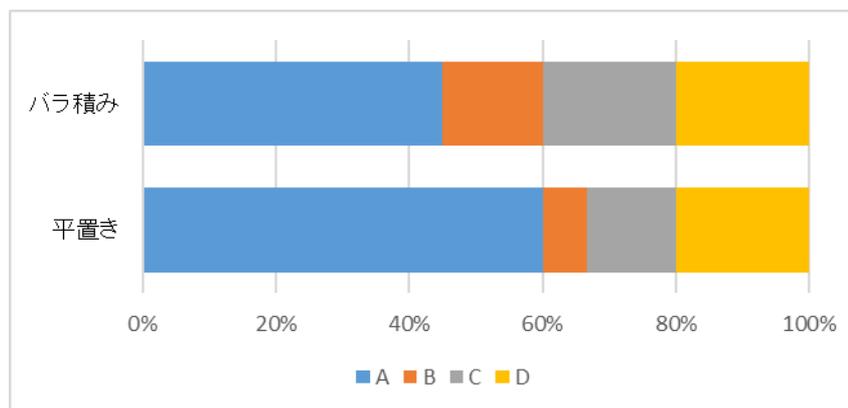
計測時間	: 1時間
ロボット停止回数	: 20回
1回あたりロボット停止時間	: 24.1秒
1回あたり人作業停止時間	: 22.3秒
1時間当たりロボット処理量	: 215個

3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

検証項目①: 人と協働ロボットとの役割分担 結果考察 荷姿による影響について

- ✓ SKU別、画像認識方法別、荷姿別で判定した分類A～Dを、荷姿別に集計。
- ✓ 平置きはばら積みに比べ、Aの比率が高く、B・Cの比率が低い結果となった。
- ✓ SKU別で傾向を見ると、No1.インク、No.6生理用品、No8.シャンプーボトルの様に、定型で単純形状のものが、平置きでは問題無く取れているのに対し、ばら積みでは失敗するケースが多い。
- ✓ 極力、SKUが斜めになったり立った状態となることの無い様、前の工程で同じ荷姿を保つ工夫をすることで、ピッキングの成功率を高められると考えられる。

荷姿 \ ロボレベル	A	B	C	D
平置き	36	4	8	12
	60.0%	6.7%	13.3%	20%
ばら積み	27	9	12	12
	45.0%	15.0%	20.0%	20.0%

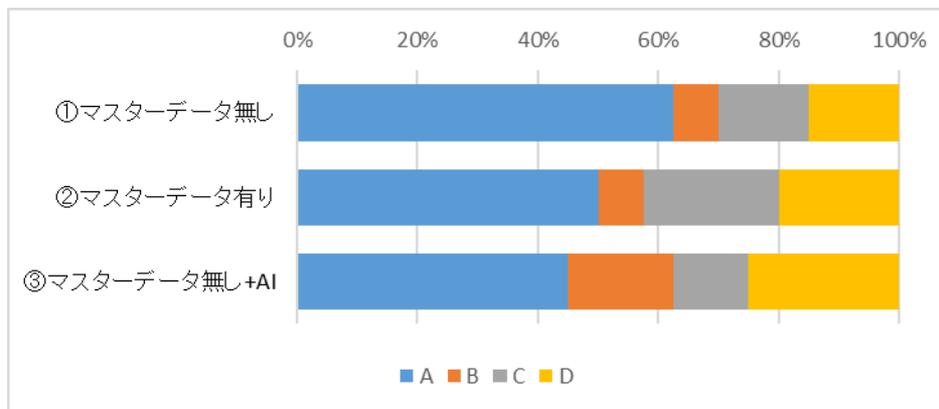


3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

検証項目②:対象物認識のためのデータの整理 結果考察
画像認識方法の違いによる影響について①

✓ SKU別、画像認識方法別、荷姿別で判定した分類A~Dを、画像認識方法別に集計した。

ロボフレベル 認識方法	A	B	C	D
①マスター データ無し	25	3	6	6
	62.5%	7.5%	15.0%	15.0%
②マスター データ有り	20	3	9	8
	50.0%	7.5%	22.5%	20.0%
③マスター データ無し +AI	18	7	5	10
	45.0%	17.5%	12.5%	25.0%



3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

検証項目②: 対象物認識のためのデータの整理 結果考察 画像認識方法の違いによる影響について②

- ✓ 画像認識方法別の特徴は下記の通り。
- ✓ 今回の実証においては、「マスターデータ無し」がやや高い成功率となったが、他の認識方法では、より時間を掛けることで成功率を高められるため、中長期的な成功率は一概に「マスターデータ無し」が高いとは言えないと考えられる。
- ✓ また、「マスターデータ有り」や「マスターデータ無し+AI」にも、技術を提供する企業によっていくつかの手法があり、より物流業界に適した手法の評価・検討も必要となると考えられる。

マスターデータ無し

- ✓ No.5歯ブラシやNo.20ラップの様に、棒状のものは、他の認識方法と比較し失敗率が高かった。凹凸のみで把持点を判断する為、適切に把持点が判断できないケースがあるものと思われる。

マスターデータ有り

- ✓ 経路生成の結果、把持できないと判断された、あるいは保持するデータと実物が一致していると認識できず、失敗となったと推測されるケースが他と比較し多かった。
- ✓ 一方で、事前に対象物が何であるかを把握できているため、例えば失敗の確率が高いSKUはスピードを落とすことで成功率を高める制御を入れることが可能。
- ✓ 保持するデータに、現場環境によるSKUや荷姿の変化に対応できるような調整を加えることで、成功率を高められるものと考えられる。

マスターデータ無し+AI

- ✓ 対象が認識できない(未認識)、あるいは適切に把持点を判断できない(誤認識)ケースが他の方式と比べ多かった。
- ✓ 今回は、実証実施結果をAIモデルへフィードバックすることは行わなかったが、実導入時にはピッキング実施結果をAIモデルにフィードバックしていくことで、成功率を高められるものと考えられる。

3-2. 【効果測定】(i)ピッキング実証(検証項目①②)

検証項目②: 対象物認識のためのデータの整理 結果考察
物流現場で保持しているデータ項目と必要なデータ項目とのギャップ

- ✓ 一般的に、現状物流現場で保持しているデータには、ピッキングに用いるデータはあまり含まれていないと考えられる。
- ✓ 今回の実証の結果、ピッキングに用いるデータの中でも、「サイズ」や「重さ」は、比較的データ化しやすい、かつ成功率に与える影響が大きいと考えられ、環境整備として整える優先度が高いと考えられる。

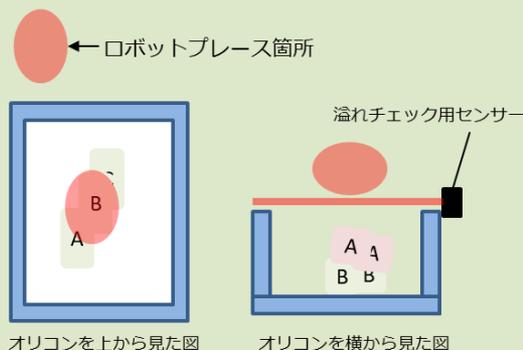
一般的に物流現場で保持しているデータ項目	一般的にピッキングに用いるデータ項目
製品名称	サイズ
製品カテゴリ(日用品、等)	形状
JANコード	色
サイズ(数段階で分類)	デザイン
	重さ
	重心
	滑らかさ
	曲率
	バーコード位置

3-3. 【効果測定】(ii) プレース実証(検証項目③)

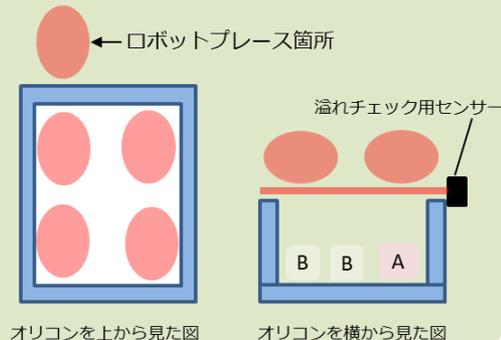
プレース実証の方法①

- ✓ プレース実証は、下記3つの方式により実施。
- ✓ オリコン上部にセンサーを取り付け、センサーが反応した場合を失敗とし、失敗するまでに何個のSKUをプレースできたかを記録した。
- ✓ 尚、「1か所にプレース」と「複数箇所にプレース」は、実機を用いて検証。センサーが反応した場合、ロボットアームがオリコン内をかき混ぜる動作を行い、その上でもオリコン内に収まらなかった場合に失敗とした。
- ✓ デジタルツインによるシミュレータは、デジタル上のシミュレーションのみを実施。

1か所にプレース方式



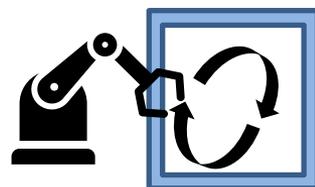
複数箇所にプレース方式



アセントロボティクス社のデジタルツインによるシミュレータ



図①シミュレータのイメージ
出典:アセントロボティクス(株)ホームページ



失敗時はかき混ぜ動作

3-3. 【効果測定】(ii) プレース実証(検証項目③)

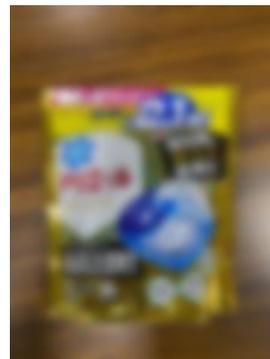
プレース実証の方法②

- ✓ SKUは、定型の「No1.インク」と、不定形の「No14.ジェルボール詰め替え」の2種類で実施。

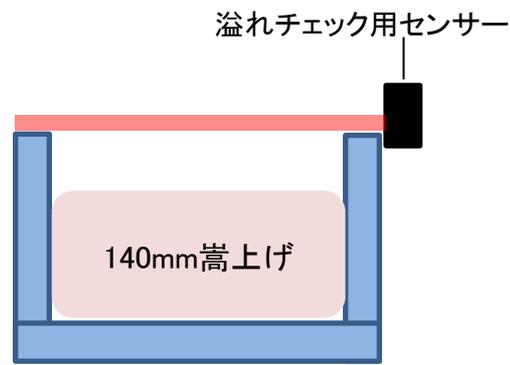
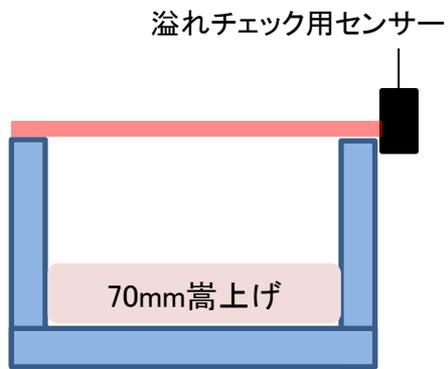
定型
No1.インク



不定形
No14.ジェルボール詰め替え



- ✓ 実証の効率化の為、オリコン内を、70mm、140mmそれぞれ嵩上げした形で実施した。



3-3. 【効果測定】(ii) プレース実証(検証項目③)

検証項目③: プレースの成功率を高める動作計画 結果考察

- ✓ 「1か所プレース」と「複数箇所プレース」の比較では、かき混ぜ動作無しでは「複数箇所プレース」の方がプレース個数が多くなったが、かき混ぜ動作有りでは、むしろ「1か所プレース」の方が多いケースもあった。
- ✓ ただし、かき混ぜ動作によって、SKUとオリコン側面が接触し、ロボットが停止してしまうケースも発生。その場合、SKUが傷つく可能性もあり、実装には工夫を要する。
- ✓ シミュレーションは、定型のインクは非常に多くのプレースを行える結果となった一方、不定形のジェルボールは、SKUとSKUの間の空間を空けて詰めるシミュレーション結果となり、プレースできる個数が少なくなった。
- ✓ 環境整備としては、単純形状・定型のSKUを中心にデジタルツインによるプレースを行い、その他のSKUは複数箇所プレースで行うことが有効と考えられる。

	定型(インク)				不定形(ジェルボール詰め替え)			
	70mm嵩上げ		140mm嵩上げ		70mm嵩上げ		140mm嵩上げ	
	かき混ぜ無	かき混ぜ有	かき混ぜ無	かき混ぜ有	かき混ぜ無	かき混ぜ有	かき混ぜ無	かき混ぜ有
1か所プレース	6個	8個	1個	10個	7個	8個	1個	7個
複数箇所プレース	9個	9個	4個	5個	9個	—	4個	5個
デジタルツイン	33個	—	18個	—	4個	—	2個	—

3-4. 【効果測定】(iii) 安全性実証(検証項目④)

安全性実証の方法

- ✓ 安全性実証においては、下図の2つの調査、実証を行った。
- ✓ 「作業種別に応じた接触設定」では、作業者のロボットに対する熟練度に応じて、ロボットに人がそれ以上接近するとロボットが減速/停止する「接触領域」の設定方法を整理。その設定を現場で運用した場合に起こり得る事象について観察、考察を行った。
- ✓ 「非接触型センサーの活用」では、ロボットに実際に接触せずとも、静電気をを用いて直前で人の接近を感知し、ロボットを停止させる方式のセンサーを用い、その有効性の検証を行った。

作業種別に応じた 接触領域設定



非接触型センサーの活用



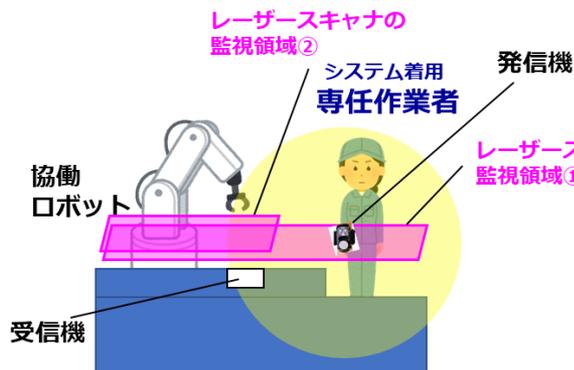
画像①協働ロボット用静電容量式
「ANSHIN sensor」(株IDEC)
出典: (株)IDEC ホームページ

- ✓ 近年、モノと人間と環境とが協調して実現される協調安全という概念が提唱されている中、(一社)セーフティグローバル推進機構(IGSAP)が、「Safety2.0」の普及の推進、適合審査登録の実施をしている。
- ✓ Safety2.0は、情報通信技術(ICT)等を活用し、人・モノ・環境が、情報を共有することで、安全を確保する協調安全の技術的方策である。本安全性実証は、その協調安全の考えに基づく具体的実証と提案でもある。
- ✓ 尚、本事業における実施内容は、導入する現場において、Safety1.0、Safety 2.0を通じて、許容可能なレベルまでリスク低減されることを前提としている。

3-4. 【効果測定】(iii) 安全性実証(検証項目④)

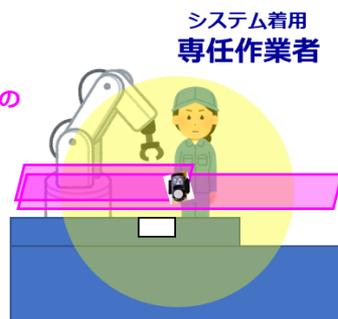
安全性実証 「作業種別に応じた接触領域設定」の考え方

- ✓ 一般的に、協働ロボットは、セーフティーレーザースキャナを用い、一定程度人が接近すると、ロボットが減速/停止する設定で運用される。他方で、その減速/停止となる距離(接近領域)については、協働ロボット独自の基準は設けられていないのが現状。
- ✓ 協働ロボットと共同作業を行う「専任作業員」は、その他の「一般作業員」と比較し、ロボットの安全性についての知見も高いことから、この両者の作業員の接近領域に差をつけて運用することで、不必要なロボットの減速/停止の頻度を抑えられると考えられる。



ロボットへの接近領域①で検知されても
減速させない

ロボット通常速度



ロボットとの接触領域②まで近づくと
減速または停止する

ロボット減速/停止

画像①専任作業員が着用する
非常停止アシストシステム
出典: (株)IDECホームページ



ロボットへの接近領域①で検知されて
減速または停止する

ロボット減速/停止

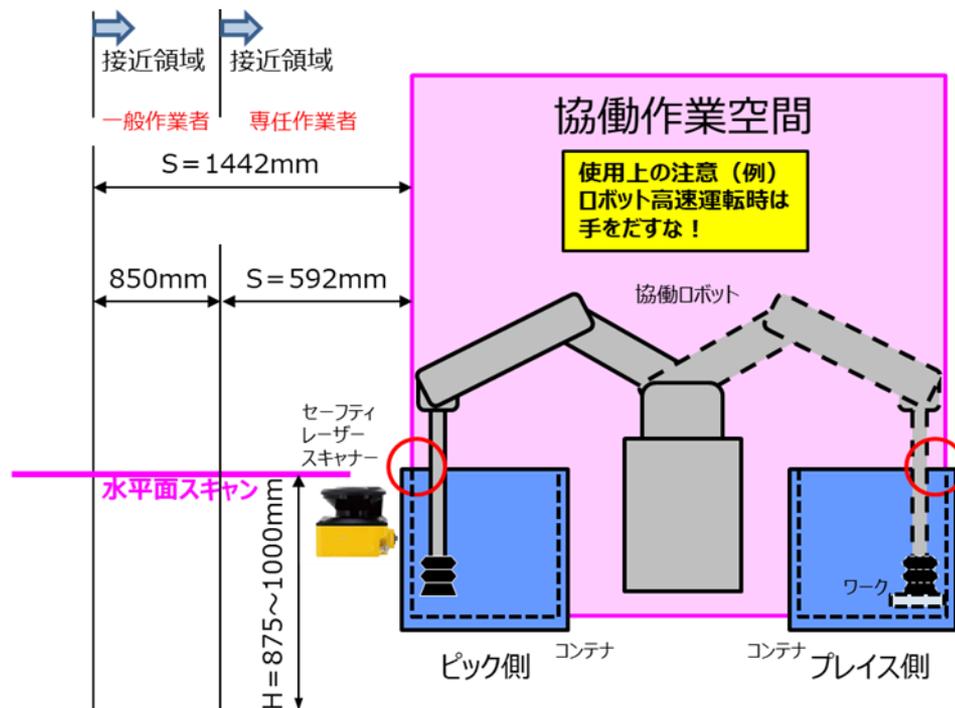
3-4. 【効果測定】(iii) 安全性実証(検証項目④)

安全性実証 作業種別に応じた接触領域の距離の算定

- ✓ 作業種別に応じた接近領域の最小距離(安全距離)を、ロボットの速度やセーフティレーザーキャナの検知時間等を考慮し、下記の通り算定した。(考え方詳細は巻末資料P90参照)
 専任作業員: 592mm(腕をロボット側に伸ばすことが無い前提)
 一般作業員: 1,442mm(腕をロボット側に伸ばすことがあり得る前提)

✓ JIS B 9715 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」により、最小距離Sは、
 $S = K \text{ (人の移動速度)} \times T \text{ (ロボット停止までの時間)} + C \text{ (人体部位に基づく長さ)}$
 $K = 1600\text{mm/s}$
 $C = 1200 - 0.4H \text{ (セーフティレーザーキャナの高さ)}$
 ただし $C \geq 850\text{mm}$
 T : センサ応答時間 + ロボット停止時間
 とされている。

✓ 上記算定式に対し、一般的なセンサ応答時間、ロボット停止時間を用いて算定。専任作業員は、安全教育により腕を不用意に伸ばすことが無い、という前提で、Cを除外して算定した。



3-4. 【効果測定】(iii) 安全性実証(検証項目④)

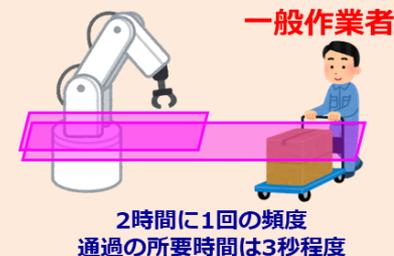
安全性実証 「作業種別に応じた接触領域設定」の現場運用での気付き

- ✓ P55、56既述の考え方に基づいて、現場実証環境にてセーフティーレーザースキャナを用いて作業種別に応じた接近領域を設定。
- ✓ 実証期間中に運用したところ、下記のこと判明。

- ✓ 専任作業員用のセンサーは想定通り機能。
ただし、専任作業員と一般作業員が同時に安全防護空間内に入った場合は、一般作業員であっても専任作業員と同じ距離(592mm)まで近づけてしまう。
一般作業員に、今は近づいてはいけない状況であることを分かりやすく表示する仕組み等の検討が必要。

- ✓ ロボットのリカバリー時、一般作業員用の安全防護空間(1,442mm)では、停止したロボットの隣のラインまで減速/停止させてしまうが、設定した専任作業員用の安全防護空間(592mm)を設定することによって、隣のラインのロボットまで止めることなくリカバリーが可能で、想定した効果が期待できる。

- ✓ ビックカメラの物流倉庫において、一般作業員が安全防護空間(1,442mm)を通過する頻度は2時間に1回程度、通過にかかる時間は3秒程度であり、ほぼ生産性に影響は与えないと考えられる。
ただし、物流施設のレイアウトやオペレーションによって変動すると思われる。



3-4. 【効果測定】(iii) 安全性実証(検証項目④)

安全性実証 非接触型センサーの活用 実証方法

- ✓ セーフティーレーザーキャナを適切に運用することにより、接近領域内では、ロボットの速度は、ISOで定められている250mm/秒以内に減速することとなる。
- ✓ この250mm/秒の速度で人がロボットに衝突してしまう危険性は残るが、人と接触する前に静電気をういて人の接近を検知し、ロボットを停止する非接触型のセンサーを用いることで、更に安全な運用を実現できるものと考えられる。
- ✓ 今回、協働ロボットと人との接触の可能性や人に与える衝撃の大きさについて、この非接触型センサーを用いた場合と用いない場合の違いや、また、センサーを用いた場合でセンサーの検知閾値や人とロボットとの距離を変えることでの違いを測定した。

取り付けイメージ

画像①協働ロボット用静電容量式
「ANSHIN sensor」(株)IDEC
出典: (株)IDEC ホームページ



ANSHIN sensorは静電容量の原理を使用した
協働アプリケーション使用のロボット専用 非接触センサです

https://players.brightcove.net/6204326330001/experience_61c92b99a68f2f002799f176/share.html

3-4. 【効果測定】(iii) 安全性実証(検証項目④)

安全性実証 非接触型センサーの活用 実証結果

- ✓ 測定の結果は、下表の通り。
- ✓ センサー感度閾値50mmでは、ロボットと人が接触し、かつ衝撃の大きさもセンサー無しの場合と大差なかった。
- ✓ センサー感度閾値100mm以上では、動作開始時のロボットと人との距離に関係なく、ロボットと接触することは無かった。環境整備としては、100mm以上の設定でセンサーを用いることが望ましいと考えられる。

単位：N=ニュートン

ANSHINセンサ有り			ANSHINセンサ無し	
センサー感度閾値	動作開始時の人との距離	停止時距離・衝撃の大きさ	動作開始時の人との距離	衝撃の大きさ
200mm	500mm	非接触 (隙間50mm)	500mm	45.3N
	400mm	非接触 (隙間50mm)	400mm	51.5N
	300mm	非接触 (隙間40mm)	300mm	40.4N
	200mm	非接触 (隙間40mm)	200mm	48.5N
	100mm	非接触 (常時信号on状態)	100mm	52.8N
100mm	500mm	非接触 (隙間10mm)		
	400mm	非接触 (隙間15mm)		
	300mm	非接触 (隙間15mm)		
	200mm	非接触 (隙間18mm)		
	100mm	非接触 (隙間5mm)		
75mm	500mm	非接触 (隙間3mm)		
	400mm	非接触 (隙間3mm)		
	300mm	接触(軽微)		
	200mm	接触(軽微)		
	100mm	接触(軽微)		
50mm	500mm	接触(40.3N)		
	400mm	接触(50.7N)		
	300mm	接触(40.9N)		
	200mm	接触(55.6N)		
	100mm	接触(52.1N)		

3-5.ユースケースの期待効果試算

ユースケースの期待効果 前提条件

✓ 下記の前提で、期待効果を試算した。

- ✓ 人手で行っている荷合わせ工程が現在6ラインあり、その内4ラインをロボットが担当し、2ラインを人が担当。
- ✓ ロボットが停止した場合、人がリカバリーを行う。リカバリー時の1回あたり停止時間は、実測値に基づき、人が22.3秒、ロボットが24.1秒とする。ただし、選任作業者と一般作業者を分けた安全距離設定により、隣のラインのロボットが停止することは無い。
- ✓ 画像認識方法は、現時点で比較的安価・容易に導入できる「マスターデータ無し」を想定。
- ✓ 荷姿は「平置き」を想定。
- ✓ ラインから流れてくるSKUのA～Dの比率は、ビックカメラの実際の物量を考慮し、A:56.0%、B:9.8%、C:20.6%、D:13.6%とする。
(A、B、Cのみでの比率は、64.8%、11.4%、23.8%)
- ✓ A・B・Cいずれも、ロボットの処理速度は11.3秒/個(A・Bの処理速度の平均値)とし、Cは実測値から8.5%の確率で失敗が発生すると仮定。
- ✓ Dはロボットのラインには流さず、人が担当。人の処理速度は、平均的な処理速度を5秒/個(1時間で720個)、最大で4秒/個(1時間で900個)とした。
ロボットの処理能力が間に合わない場合は、ロボットのラインを人が担当する。

3-5.ユースケースの期待効果試算

ユースケースの期待効果 試算結果①

- ✓ 前頁の前提に基づき、ロボット1台の1時間当たり処理量及び、人がリカバリーに入る時間を下記と試算した。

①稼働時間	3,600秒(60分×60秒)
②Aの割合/処理個数/処理時間	64.8%/197個/2,226秒
③Bの割合/処理個数/処理時間	11.4%/35個/396秒
④Cの割合/処理個数/処理時間	23.8%/73個/825秒
⑤Cの失敗個数/ロボット停止時間	6個/145秒
②+③+④+⑤ 処理個数/失敗個数/所要時間	305個/6個/3,592秒(≒3,600秒)
人がリカバリーに要する時間	134秒 (27個分の処理時間)

3-5.ユースケースの期待効果試算

ユースケースの期待効果 試算結果②

- ✓ P60の前提、および、P61の1時間あたり処理量、人によるリカバリー時間を基に、ビックカメラにおける、平均的な一日当たりの時間帯別処理量を基に、期待効果を試算した。
- ✓ 現在の50人時/日を、29人時/日まで下げることが可能という試算結果となった。

		9時~	10時~	11時~	12時~	13時~	14時~	15時~	16時~	17時~	18時~	19時~	20時~	21時~	22時~	23時~	24時~	25時~	26時~	合計
作業実績数量 ステーション別 (PCS)	ST-1	700	500	700	900	700	500	600	700	400	500	300	500	700	500	0	500	600	800	10,100
	ST-2	600	800	500	600	600	700	400	600	500	500	200	200	200	300	100	0	400	600	7,800
	ST-3	300	900	500	700	700	500	300	500	300	300	200	0	300	200	0	0	700	0	6,400
	ST-4	300	0	500	600	700	500	300	700	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,200
	ST-5	0	0	0	0	600	700	100	500	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,300
	ST-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	1,900	2,200	2,200	2,800	3,300	2,900	1,700	3,000	2,200	1,300	700	700	1,200	1,000	100	500	1,700	1,400	30,800	
人時 (人/日)		3	3	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	50 (人時/日)



		9時~	10時~	11時~	12時~	13時~	14時~	15時~	16時~	17時~	18時~	19時~	20時~	21時~	22時~	23時~	24時~	25時~	26時~	合計
作業実績数量 ステーション別 (PCS)	ST-1 (ロボット)	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	50	305	305	305	5,235
	ST-2 (ロボット)	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305			305	305	4,880
	ST-3 (ロボット)	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305			305	305			305	305	4,270
	ST-4 (ロボット)	305	305	305	630	795	665	305	695	305	305							305	305	5,225
	ST-5	680	490	490	630	795	660	480	695	490	80	90	90	285	85	50	195	480	180	6,945
	ST-6		490	490	625	795	660		695	490										4,245
合計	1,900	2,200	2,200	2,800	3,300	2,900	1,700	3,000	2,200	1,300	700	700	1,200	1,000	100	500	1,700	1,400	30,800	
(失敗個数)	(23)	(23)	(23)	(17)	(17)	(23)	(23)	(17)	(23)	(23)	(11)	(11)	(17)	(17)	(1)	(6)	(23)	(23)		
人時		1	2	2	3	3	3	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	29 (人時/日)

省人効果 **-21** (人時/日)

【経済性の評価】

- ✓ 作業員の時間当たり人件費(採用費等含む)を、概算で1,750円と仮定。21人時/日を金額換算すると36,750円、年間では約1,340万円の人時削減効果となる。ただし、あくまで既述の前提を置いたうえでの試算であり、現実には季節による処理量の変動がある等、実際の現場オペレーションに当てはめた上で、それだけの効果が挙げられるかは、更なる検証が必要。
- ✓ また、現状の人のみによる作業では、時間帯による物量の変動に対応するため、やや余裕を持たせた人員配置となっている。ロボットの場合、常時現場に待機しており、人のみの場合より、余裕を持たせる割合は少なくても良い、という前提で試算したが、実際にその前提が成り立つかも検討を要する。
- ✓ 単純計算ではあるが、ロボット化の投資の回収期間を5年と置いた場合、約6,700万円までの投資が許容されることとなる。1ライン当たり1,675万円の計算となるが、現在の一般的な1ライン当たりのロボット導入コストはその範囲内であることから、投資対効果がプラスになる可能性も相応にあるものと考えられる。ただし、環境整備に別途コストに係ることは考慮する必要がある。

4.総括

4-1. 環境整備項目の纏めと展開可能性

環境整備項目の纏めと展開可能性考察

検証項目	具体的な環境整備方法	展開可能性
人と協働ロボットとの役割分担	<ul style="list-style-type: none">✓ ロボットでのピッキングが困難なSKUはロボットのラインに流さず、人が担当する✓ 事前にロボットが取りやすい荷姿とする	前後工程の設備の状況によっては、コントロールが難しく、大掛かりな投資が必要となる可能性あり。
対象物認識のためのデータ整理	<ul style="list-style-type: none">✓ 重さ、サイズを事前にデータ化✓ 対象SKUのデジタルツインを進める	重さ、サイズのみでのデータ化であれば、比較的検討の現実性が高いものと思われる。デジタルツイン化については、対象SKUが多岐に亘る場合、物量の多いもの等、優先順位をつけて行うことが有効と考えられる。
プレースの成功率を高める動作計画	<ul style="list-style-type: none">✓ 複数箇所に分散してプレース✓ 定型・単純形状のSKUはデジタルツイン化	SKUごとに制御を変えずとも、複数箇所にプレースを分散させるだけでも、成功率を高められ、展開可能性は高い。デジタルツイン化については、既述の通り、SKUが多岐に亘る場合は優先順位をつける必要あり。
効率性を落とさない安全策	<ul style="list-style-type: none">✓ 専任作業者と一般作業者とで安全距離の設定を変えた運用とする✓ 非接触型の安全センサーを有効に活用する	広く展開可能な観点。安全距離の設定に関する共通認識を作っていくと共に、協働ロボットの安全な仕様方法を標準化し、広めていく活動が必要。

4-2.おわりに

総括

- ✓ 本実証事業のように、SKUが多岐に渡る状況でロボットを導入する場合には、人が担当するSKUとロボットが担当するSKUの区分けをどのように行うかが、最も優先すべき検討事項となることが確認された。
- ✓ その区分けを正確に行う場合、多くのデータ項目が必要となるが、その中でも、サイズ・重さに関する情報が重要だということが分かった。
- ✓ 画像認識方法は、安価に導入可能な「データ無し」でも相応に効果が見込まれるが、特徴の異なる「データ有り」と併用することにより、より効果的にピッキング、プレースが可能となるものと考えられる。
- ✓ 安全性に関しては、協働ロボットを前提とした安全対策の考え方について、整備すると共に関係者とのオーソライズを進めることで、効率的な運用が行えるものと考えられる。

今後の展望

- ✓ 今回の実証により、現状の技術の組み合わせでも、適したシチュエーションで環境整備を行った上であれば、導入効果が見込まれることが見えてきた。
- ✓ 他方で、物流現場のオペレーションは多岐に亘り、ユースケースの適応範囲を広げていくには、オペレーションも標準化していく必要がある。
- ✓ まずは、実際に導入することで投資対効果が得られる具体的事例を創出し、その事例と類似した現場へ導入を拡げていくことが有効と考えられる。
- ✓ 今回、その実装を進めるべく、投資対効果を上げる為に必要となる環境整備項目を複数挙げたが、その優先順位、実現方法、普及方法については、ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会とも連携し、検討を進めていく。

卷末資料

巻末資料1.ユースケース仮説に関するアンケート結果

アンケートの内容

- ✓ ユースケース仮説検討の前提として、自社で導入経験のあるGTPについて、その使われ方や前後工程の特徴等をアンケートで回答を得た。
- ✓ それら回答をベースとして、ヒアリングによって、GTPの前後工程での協働ロボットの自動化の可能性を検討した。

【GTPに関するアンケート内容】

1. 自社や取引先で採用されている、上記GTPの定義にあてはまるマテハンや技術がありましたら教えてください。
2. Q1のマテハン・技術は、どの物流工程でどの様に使われているか、教えてください。
3. Q1が使われている拠点の特徴について教えてください。
(企業の規模、業種、出荷荷姿、SKU数、出荷頻度…etc)
4. Q1のマテハン・技術の、プレースする側の後工程の荷姿、投入する設備がどうなっているか、教えてください。
5. Q1のGTPを導入したいものの、導入していない拠点がありましたら、その理由をお教えてください。

巻末資料1.ユースケース仮説に関するアンケート結果

アンケートの結果①

- ✓ 各社の回答を基に、「ピッキング発生ポイント」「GTPの前工程設備」「GTPの後工程設備」「その他コメント」を整理。
- ✓ 尚、アンケートに対する回答のうち、自社でのGTP導入事例が無かったものは除いている。

回答企業	ピッキング発生ポイント	前工程設備	後工程設備	その他コメント
a社	③	トータルピッキングの元梱包ケース、オリコンを人手供給もしくはケース自動倉庫系のマテハンからのコンベヤ搬送	ピース順建機 バケットでコンベヤ搬送	ピースピックロボの投資対効果が課題
a社	④	ピース順建機	バケット、オリコンをコンベヤ搬送	ピースピックロボの投資対効果が課題
a社	②	自動倉庫系マテハン ケース自動倉庫、棚搬送AGV、Skypod（Exotec社の製品）、オートストア（AutoStore社の製品）など	バケット、オリコンをコンベヤ搬送	ピースピックロボの投資対効果が課題
a社	②	トータルピッキングの元梱包ケース、オリコンを人手供給もしくはケース自動倉庫系のマテハンからのコンベヤ搬送	ベルトコンベヤの所定位置へブレース（その後ピースソーターの"バン"に移載）	ピースピックロボの投資対効果が課題
a社	①	ケース天面解放処理された元梱ケース入庫品	バケット、ピンをコンベヤ搬送	積み替え作業自体が無駄となるため、通常積み替えを伴う様な運用設計は行わない
b社	②	Skypod（Exotec社の製品）	複数の間口やシャッターがあるGAS 投入間口のライトが点灯するシンプルな設備 ピッキングが完了した箱をコンベヤで自動で搬送	-
b社	②	シャトル&サーバー	複数の間口やシャッターがあるGAS 投入間口のライトが点灯するシンプルな設備 コンベヤ上の箱に投入 ピッキングが完了したら、出荷箱をコンベヤで自動で搬送する設備が多い。	-
b社	②	ケース自動倉庫	複数の間口やシャッターがあるGAS 投入間口のライトが点灯するシンプルな設備 コンベヤ上の箱に投入 ピッキングが完了したら、出荷箱をコンベヤで自動で搬送する設備が多い。	-

巻末資料1.ユースケース仮説に関するアンケート結果

アンケートの結果②

回答企業	ピッキング 発声ポイント	前工程設備	後工程設備	その他コメント
C社	③	-	ピースソーター	対象が雑貨
C社	③	-	ピースソーター	対象が医薬品
C社	④	-	コンベア→梱包工程	対象が衣料
C社	⑤	-	コンベア→仕分（人手）	対象が食品（加工肉）
C社	②	-	コンベア	次のピッキングエリアでオリコンごと受取、リレーピッキング（作業者がピッキングエリアに移動する）。
d社	④	ピカトル1（オークラ輸送機（株）の製品）	オリコン	-
e社	②	グリッド式AGV	仕向地ごとに用意されたBOXへ製品を人が投入	-
f社	④	シャトル+荷合わせ用設備	オリコン	-
f社	②	棚搬送ロボット	オリコン	-

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
1	インク	定形	単純	SS	無	白	120g	縦	115
								横	95
								高さ	65
	マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI				
	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み			
○成功(リトライなし)	15	15	15	11	14	14			
△成功(リトライあり)	0	0	0	4	0	1			
×失敗	0	0	0	0	1	0			
平均ピック時間(秒)	10.3	10.4	8.6	9.75	13.5	14.2			
ロボフレレベル	A	A	A	B	A	B			
失敗原因分類	吸着		誤認識		未認識		経路生成		
	0		0		1		0		
総合 ロボフレレベル	平置き		ばら積み						
	A		B						

- ✓ 基本的に高い成功率となったが、リトライが発生した要因は、ばら積みで斜めになっている対象に対して吸着しようとし、アームの押し込みが弱い、あるいは押しすぎて対象がずれたもの。
- ✓ 対象が認識できずピッキングできない現象も1件発生しているが、1件のみのため、カメラ性能によるものと判断し、ロボフレレベルの判定には加味しなかった。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
2	スマホケース(透明)	定形	単純	XS	無	透明	65g	縦	200
								横	95
								高さ	18
	マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI				
	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み			
○成功(リトライなし)	6	6	6	6	6	6			
△成功(リトライあり)	0	0	0	0	0	0			
×失敗	0	0	0	0	0	0			
平均ピック時間(秒)	11.6	11.2	9.4	9	14.1	14.3			
ロボフレレベル	A	A	A	A	A	A			
失敗原因分類	吸着		誤認識		未認識		経路生成		
	0		0		0		0		
総合 ロボフレレベル	平置き		ばら積み						
	A		A						

- ✓ 対象の厚みが少ないため、ばら積みで重なっている場合でも傾斜が緩やかなためピッキングが成功しやすい結果となった。
- ✓ パッケージが一部透明となっていたが、その影響は特段現れなかった。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
3	スマホケース(同色)	定形	単純	XS	無	同色	65g	縦	200

※同色はSKUの色とSKUの入っているコンテナの底面の色と同じことを指す

	マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI	
	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み
○成功(リトライなし)	15	15	15	15	15	15
△成功(リトライあり)	0	0	0	0	0	0
×失敗	0	0	0	0	0	0
平均ピック時間(秒)	10.4	10.4	9.2	8.9	13.4	13.4
ロボフレレベル	A	A	A	A	A	A

横	95
高さ	18

失敗原因分類	吸着	誤認識	未認識	経路生成
		0	0	0

総合 ロボフレレベル	平置き	ばら積み
	A	A

- ✓ 対象の厚みが少ないためばら積みで重なっている場合でも傾斜が緩やかなためピッキングが成功しやすい状態であった。
- ✓ オリコン底面と同色であることがピッキングに影響を与え得るという仮説を立てたが、ステレオカメラの特性上、凹凸を見るため色に影響されず成功した。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
4	洗顔フォーム	定形	単純	XS	無	白	140g	縦	181
								横	67
								高さ	32
	マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI				
	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み			
○成功(リトライなし)	15	15	15	15	15	15			
△成功(リトライあり)	0	0	0	0	0	0			
×失敗	0	0	0	0	0	0			
平均ピック時間(秒)	10.3	10.3	9.2	8.5	13.4	13.4			
ロボフレレベル	A	A	A	A	A	A			
失敗原因分類	吸着		誤認識		未認識		経路生成		
	0		0		0		0		
総合 ロボフレレベル	平置き		ばら積み						
	A		A						

✓ 一方は円形であるが、もう一方が線であるためピッキング時に横に転がることなく成功している。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
5	歯ブラシ	定形	単純	XS	無	白	20g	縦	230
								横	38
								高さ	16
		マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI			
		平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み		
○成功(リトライなし)		12	6	15	14	12	11		
△成功(リトライあり)		2	2	0	0	1	2		
×失敗		1	3	0	1	2	1		
平均ピック時間(秒)		13.2	4.8	8.5	8.3	17.3	14.6		
ロボフレレベル		C	D	A	C	C	B		
失敗原因分類		吸着	誤認識	未認識	経路生成				
		7	0	1	0				
総合 ロボフレレベル		平置き	ばら積み						
		C	C						

- ✓ 表面の場合は凹凸が多く、アームの吸着面を覆うように吸着できる点が少なく失敗することが多かった。
- ✓ AIのばら積みで未認識が1度発生したが、1度のみの為、カメラの性能が要因と判断。ロボフレレベルの判定上は除外した。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
6	生理用品	定形	単純	SS	無	-	100g	縦	146
								横	95
								高さ	73
		マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI			
		平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み		
○成功(リトライなし)		15	15	15	14	15	6		
△成功(リトライあり)		0	0	0	0	0	0		
×失敗		0	0	0	1	0	3		
平均ピック時間(秒)		10.8	10.9	9	9	13.4	12.7		
ロボフレレベル		A	A	A	C	A	D		
失敗原因分類		吸着	誤認識	未認識	経路生成				
		2	2	0	0				
総合 ロボフレレベル		平置き	ばら積み						
		A	C						

- ✓ 基本的に高い成功率だったが、対象が軽いため吸着しやすい反面、表面が柔らかいためアームの移動時に振り落とすことがあった。
- ✓ また、AIは、ばら積みの場合に、誤認識により角を把持点と捉え、失敗するケースがあった。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
7	マウス	定形	複雑	SS	無	黒	155g	縦	220
		マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI		横	126
		平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	高さ	59
○成功(リトライなし)		6	6	5	5	3	4		
△成功(リトライあり)		0	0	0	0	1	1		
×失敗		0	0	1	1	2	1		
平均ピック時間(秒)		11.1	11.2	9.5	10.6	32.9	26.8		
ロボフレレベル		A	A	D	D	D	A		

失敗原因分類	吸着	誤認識	未認識	経路生成
	1	1	1	2

総合 ロボフレレベル	平置き	ばら積み
	D	C

- ✓ 裏面を吸着するケースでは、対象物が斜めとなることで、誤認識や経路生成の失敗を誘発する要因となっていた。
- ✓ AIのばら積みにおいて、対象物が認識できない未認識が発生したが、1件のみのため、ロボフレレベルの判定では当該失敗は除外した。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
8	シャンプーボトル	定形	複雑	SS	無	-	545g	縦	208
								横	84
								高さ	64
		マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI			
		平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み		
○成功(リトライなし)		15	15	15	14	15	14		
△成功(リトライあり)		0	0	0	0	0	1		
×失敗		0	0	0	1	0	0		
平均ピック時間(秒)		10.2	10.3	9	8.6	13.4	14.3		
ロボフレレベル		A	A	A	C	A	B		
失敗原因分類		吸着	誤認識	未認識	経路生成				
		0	0	0	1				
総合 ロボフレレベル		平置き	ばら積み						
		A	C						

✓ 基本的に高い成功率となったが、マスターデータありの場合は、吸着に最適な箇所を把持する際にアームがコンテナに接触してしまい失敗することがあった。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
9	ネッククーラー	定形	複雑	XS	無	透明	220g	縦	180
								横	130
								高さ	55
		マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI			
		平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み		
○成功(リトライなし)		15	15	15	14	15	15		
△成功(リトライあり)		0	0	0	0	0	0		
×失敗		0	0	0	1	0	0		
平均ピック時間(秒)		10.6	11.7	9	8.4	13.4	13.4		
ロボフレレベル		A	A	A	C	A	A		
失敗原因分類		吸着	誤認識	未認識	経路生成				
		0	0	0	1				
総合 ロボフレレベル		平置き	ばら積み						
		A	C						

- ✓ パッケージが透明であることでピッキングの難易度が上がることを想定していたが、概ね高い成功率となった。
- ✓ マスターデータありの場合は、吸着に最適な箇所を把持する際にアームがコンテナに接触してしまい失敗することがあった。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
10	ボールペン替え芯	定形	単純	XS	無	-	5g	縦	142
								横	25
								高さ	4
		マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI			
		平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み		
○成功(リトライなし)		14	8	15	11	2	5		
△成功(リトライあり)		0	0	0	1	1	2		
×失敗		1	1	0	3	3	5		
平均ピック時間(秒)		10.9	8.2	8.7	8.8	10.5	13		
ロボフレレベル		C	C	A	D	D	D		
失敗原因分類		吸着		誤認識		未認識		経路生成	
		6		2		5		0	
総合 ロボフレレベル		平置き		ばら積み					
		C		D					

※うち2回は重なっている2SKUを1回のピッキングで搬送、1回はSKUが他のSKUに乗った状態で搬送

- ✓ 対象が小さいためアームの吸着面と合わず失敗することがあった。
- ✓ AIの場合に、対象を認識できず失敗することが多くあった。当該未認識は、カメラ性能ではなくSKUの特性に起因していると推定し、ロボフレレベルの判定上も加味した。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
11	イヤホン	定形	複雑	SS	無	透明	80g	縦	129
		マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI		横	90
		平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	高さ	42
○成功(リトライなし)		15	15	15	12	15	15		
△成功(リトライあり)		0	0	0	0	0	0		
×失敗		0	0	0	1	0	0		
平均ピック時間(秒)		10.8	10.9	8.5	8.5	13.4	13.4		
ロボフレレベル		A	A	A	C	A	A		

失敗原因分類	吸着	誤認識	未認識	経路生成
	1	0	0	0

総合 ロボフレレベル	平置き	ばら積み
	A	C

- ✓ パッケージが一部透明であることでピッキング難易度が高まることを想定したが、結果として概ね高い成功率となった。
- ✓ ばら積みされている対象をピッキングした際に他の対象が立ってしまい(荷姿が変化)、吸着できず失敗する場合があった。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
12	ハンディ扇風機	定形	複雑	SS	無	透明	100g	縦	134
								横	80
								高さ	70
		マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI			
		平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み		
○成功(リトライなし)		15	15	13	12	14	10		
△成功(リトライあり)		0	0	1	2	0	1		
×失敗		0	0	1	1	1	1		
平均ピック時間(秒)		10.8	10.8	9.6	9.4	12.8	14.7		
ロボフレレベル		B	A	C	C	C	C		

失敗原因分類	吸着	誤認識	未認識	経路生成
	0	0	4	0

総合 ロボフレレベル	平置き	ばら積み
	C	C

- ✓ 重なって斜めになっている対象に対して吸着しようとしたが、対象がずれたため失敗する場合があった。
- ✓ 対象を認識できず失敗するケースが複数回発生。SKUに起因した未認識と判定し、ロボフレレベル判定上も考慮した。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
13	シャンプー詰め替え	不定形	単純	SS	無	-	300g	縦	190
								横	81
								高さ	58
	マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI				
	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み			
○成功(リトライなし)	14	15	12	11	13	14			
△成功(リトライあり)	1	0	1	0	2	0			
×失敗	0	0	2	1	0	1			
平均ピック時間(秒)	11.5	10.9	9.1	8.5	15.1	13.3			
ロボフレレベル	B	A	C	C	B	C			

失敗原因分類	吸着	誤認識	未認識	経路生成
	4	0	0	0

総合 ロボフレレベル	平置き	ばら積み
	C	C

- ✓ 特にマスターデータありにおいて、アプローチ時に把持点が凹んでしまいうまく吸着できず失敗することがあった。
- ✓ また、搬送時のアームの動きで吸着が外れてしまいコンテナ外へ落下する場合があった。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
14	ジェルボール詰め替え	不定形	単純	SS	無	-	520g	縦	236
								横	214
								高さ	80
		マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI			
		平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み		
○成功(リトライなし)		0	0	0	0	0	1		
△成功(リトライあり)		0	0	0	0	0	0		
×失敗		3	3	6	3	5	3		
平均ピック時間(秒)		-	-	-	-	-	-		
ロボフレレベル		D	D	D	D	D	D		

失敗原因分類	吸着	誤認識	未認識	経路生成
	17	1	5	0

総合 ロボフレレベル	平置き	ばら積み
	D	D

- ✓ 吸着し持ち上げた際に中身が転がり重心が変わったため、吸着が外れて落としてしまい失敗するケースが多く発生。
- ✓ 表面が柔らかいためうまく吸着できず持ち上がらない場合もあった。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
15	レンチ	定形	単純	SS	有	-	530g	縦	262
								横	109
								高さ	21
	マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI				
	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み			
○成功(リトライなし)	1	1	5	3	0	0			
△成功(リトライあり)	1	2	4	4	0	0			
×失敗	3	3	3	3	3	3			
平均ピック時間(秒)	13.4	12.9	14.3	12.8	-	-			
ロボフレレベル	D	D	D	D	D	D			
失敗原因分類	吸着		誤認識		未認識		経路生成		
	18		0		0		0		
総合 ロボフレレベル	平置き		ばら積み						
	D		D						

- ✓ 重心をとらえることができず持ち上げることができない場合が多かった。
- ✓ マスターデータありの場合は、把持点が分かっているため他の画像認識方法に比べ成功するケースが多かった。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
16	南京錠	定形	単純	XS	有	-	35g	縦	111
								横	68
								高さ	15
		マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI			
		平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み		
○成功(リトライなし)		0	3	6	5	3	3		
△成功(リトライあり)		0	1	0	1	0	0		
×失敗		3	1	0	0	2	2		
平均ピック時間(秒)		-	17.5	9.1	11.2	17.9	13.9		
ロボフレレベル		D	C	A	B	D	D		

失敗原因分類	吸着	誤認識	未認識	経路生成
	8	0	0	0

総合 ロボフレレベル	平置き	ばら積み
	D	D

✓ SKUが小さいこともあり、把持点を捉えにくく吸着しにくいダイヤル部分を吸着してしまい失敗するケースが多かった。その中でも、マスターデータありは比較的高い成功率となった。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
17	ゲームソフト	定形	単純	XS	無	同色	60g	縦	170

※同色はSKUの色とSKUの入っているコンテナの底面の色と同じことを指す

	マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI	
	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み
○成功(リトライなし)	15	15	15	14	15	15
△成功(リトライあり)	0	0	0	1	0	0
×失敗	0	0	0	0	0	0
平均ピック時間(秒)	10.9	10.9	9.1	9.7	13.4	13.4
ロボフレレベル	A	A	A	B	A	A

横	105
高さ	10

失敗原因分類	吸着	誤認識	未認識	経路生成
	0	0	0	0

総合 ロボフレレベル	平置き	ばら積み
	A	B

✓ 対象が薄く形状の安定しているため成功している。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
18	ポテトチップス	不定形	単純	SS	無	黒	60g	縦	231
								横	187
								高さ	67
		マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI			
		平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み		
○成功(リトライなし)		14	14	9	15	11	12		
△成功(リトライあり)		0	0	2	0	1	2		
×失敗		1	1	3	0	2	1		
平均ピック時間(秒)		11.1	11.1	10	8.5	13.5	15.2		
ロボフレレベル		C	C	D	A	C	B		
失敗原因分類		吸着	誤認識	未認識	経路生成				
		3	1	1	3				
総合 ロボフレレベル		平置き	ばら積み						
		C	C						

- ✓ 搬送中に吸着が外れてしまい落下する場合があった。
- ✓ 吸着時に対象がへこんでしまいうまく吸着できない場合があった。
- ✓ AIのばら積みで未認識が発生したが、1件のみの為、カメラの性能起因と判定し、ロボフレレベル判定上は当該失敗は除外した。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ
19	サプリメント	定形	単純	XS	無	-	100g

寸法	mm
縦	105
横	46
高さ	46

	マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI	
	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み
○成功(リトライなし)	15	15	15	15	15	15
△成功(リトライあり)	0	0	0	0	0	0
×失敗	0	0	0	0	0	0
平均ピック時間(秒)	10.8	10.8	10.2	10.1	13.4	13.4
ロボフレレベル	A	A	A	A	A	A

失敗原因分類	吸着	誤認識	未認識	経路生成
		0	0	0

総合 ロボフレレベル	平置き	ばら積み
		A

✓ 側面が局面となっているが、問題無く全て成功となった。

巻末資料2.ピッキング実証の個別SKU実証結果

No	名称	形式	形状	サイズ	光沢	色	重さ	寸法	mm
20	ラップ	定形	単純	XS	無	-	250g	縦	42
								横	233
								高さ	42
		マスターデータ無し		マスターデータ有り		マスターデータ無し+AI			
		平置き	ばら積み	平置き	ばら積み	平置き	ばら積み		
○成功(リトライなし)		15	14	15	15	10	14		
△成功(リトライあり)		0	1	0	0	2	1		
×失敗		0	0	0	0	1	0		
平均ピック時間(秒)		10.8	11.6	8.6	8.4	12.8	14.2		
ロボフレレベル		A	B	A	A	B	B		

失敗原因分類	吸着	誤認識	未認識	経路生成
	0	0	1	0

総合
ロボフレレベル

平置き	ばら積み
B	B

- ✓ リトライが発生するケースもあったが、基本的に高い成功率となった。
- ✓ AIの平置きにおいて、対象を認識できず失敗するケースが発生したが、1件のみの為、カメラ性能に起因するものと判定し、ロボフレレベルの判定からは除外した。

巻末資料3. 作業種別に応じた接触領域の距離算定式の考え方

セーフティレーザーキャナの水平検知による最小距離（安全距離）

最小距離は、協働作業空間(※1)を基準とする。

※1生産作業中にロボット及び人間が、同時に作業を遂行できる安全防護空間内の作業空間。

JIS B 9715 2013 「機械類の安全性

一人体部位の接近速度に基づく安全防護物の位置決め」に基づく計算

セーフティレーザーキャナ水平検知の際、最小距離Sは、
 $S = K \times T + C$
 $K = 1600\text{mm/s}$
 $C = 1200 - 0.4H$ (高さ)
 T : センサ応答時間 + ロボット停止時間
 ただし $C \geq 850\text{mm}$ ← 腕の長さに基づく推定
 設置高さHが300を超える場合、必要であれば別の保護方策※2を適用。
 C を最小の850mmにするHの最小値は875mm
 ($C = 1200 - 0.4 \times 875 = 850$ のため)
 $T = \text{センサ応答時間} 0.27\text{sec} + \text{ロボット停止時間} 0.1\text{sec} = 0.37\text{sec}$
 $S = 1600 \times 0.37 + 850 = 592 + 850 = 1442\text{mm}$

一般作業種: $S = 1442\text{mm}$ を適用

専任作業種: $S = 592\text{mm}$ (腕を伸ばさない前提で、850mmは不要)

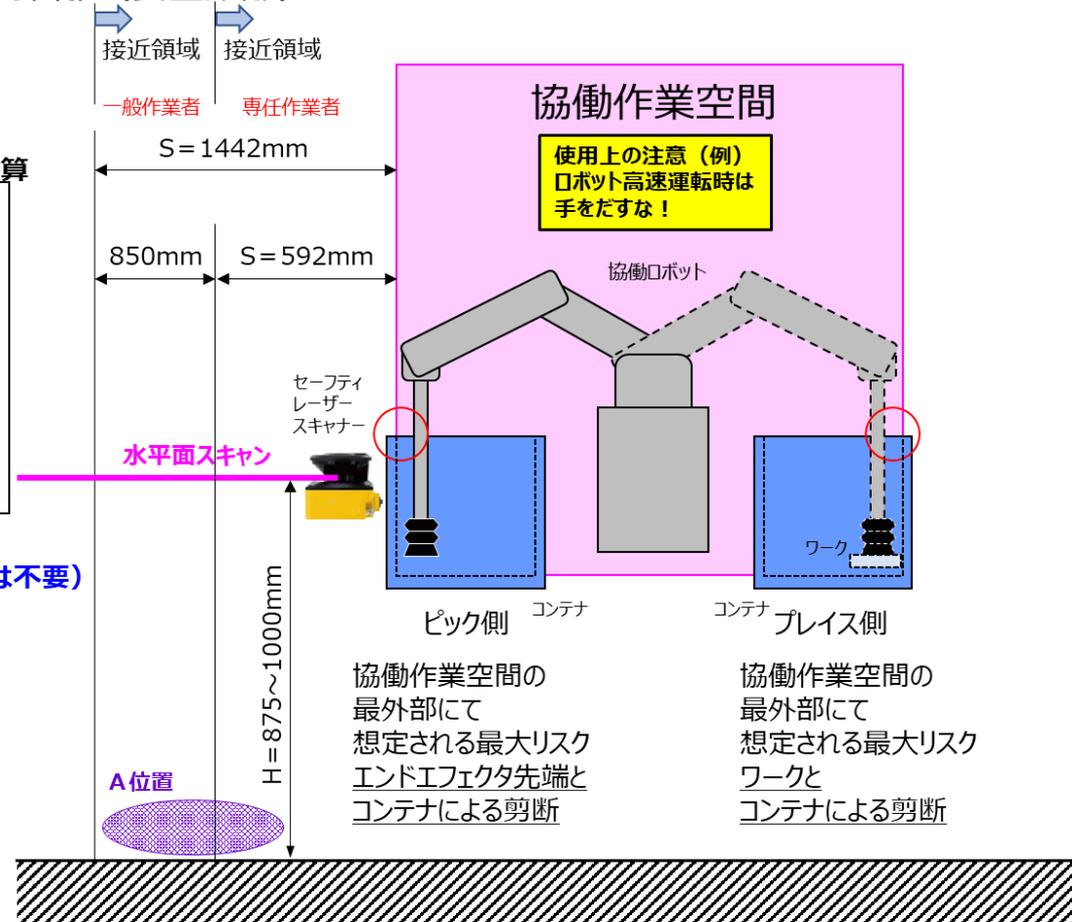
※2 以下のリスクアセスメントにより保護方策は不要とする(案)

Hの上位置は、コンテナ上面位置よりも下にすることが必要。

A位置で寝転がったり姿勢を低くしてスキャナで検知されていないと、立ったり、手を挙げた瞬間にレーザーキャナに検知されるが、その際に手・腕は剪断位置に達していない。

立ってからの腕出し動作開始までの時間を0.1secとし、腕を出す必要時間は、速度は2000mm/sなので、立った際の腕先から剪断位置までの距離を200mmとすると、 $200(\text{mm}) / 2000(\text{mm/s}) = 0.1\text{sec}$ 必要。合計0.2sec (= 0.1 + 0.1)。

レーザーキャナが検知してから停止まで0.16secなので剪断のリスクは無い。よって別の保護方策は不要。



二次利用未承諾リスト

報告書の題名 令和5年度流通・物流の効率化・付加価値創出に係る
基盤構築事業（物流施設における協働ロボットの効果
的な活用事例の創出）成果報告書

委託事業名 令和5年度流通・物流の効率化・付加価値創出に係る
基盤構築事業（物流施設における協働ロボットの効果
的な活用事例の創出）

受注事業者名 三菱HCキャピタル株式会社、株式会社ビックカメラ、株式会社山善

頁	図表番号	タイトル
20	画像①	Skypod (Exotec社)
20	画像②	オートストア (AutoStore社)
20	画像③	棚搬送ロボット (東芝インフラシステムズ(株))
21	画像①	Skypod (Exotec社)
21	画像②	オートストア (AutoStore社)
21	画像③	シャトル&サーバ (株)IHI物流産業システム
21	画像④	ケース自動倉庫
22	画像①	Skypod (Exotec社)
22	画像②	オートストア (AutoStore社)
22	画像③	シャトル&サーバ (株)IHI物流産業システム
22	画像④	ケース自動倉庫
22	画像⑤	ゲートアソートシステム
23	画像①	棚搬送ロボット (東芝インフラシステムズ(株))
25	画像①	ピースソーター
25	画像②	T-sort (libiaorobotics社)
26	画像①	ピース順建機としてよく利用されるシャトルシステム
27	画像①	ピース順建機としてよく利用されるシャトルシステム
27	画像②	ピカトル1 (オーケラ輸送機(株))
51	画像①	シミュレータのイメージ
54	画像①	協働ロボット用静電容量式「ANSHIN sensor」(株)IDEC
55	画像①	専任作業者が着用する非常停止アシストシステム
58	画像①	協働ロボット用静電容量式「ANSHIN sensor」(株)IDEC

