

| | |
|--------|--|
| ユニット名 | 横断的ビッグデータ利活用技術 |
| 業務支援機関 | Ridgelinez株式会社 |
| 実証実験者 | ascend株式会社、株式会社MatrixFlow、株式会社アイディオット、国立大学法人 東京大学 先端科学技術研究センター |

1 ビッグデータ利活用技術の背景と目的

本課題で開発した物流・商流データ基盤に常時収集・蓄積されるデータに、他領域の様々なオープンデータを加えたビッグデータ（以下、「BD」）解析等によりオンデマンド、トレーサビリティ、シェアリング等の分野における新たなサービスの創出、新たなテクノロジーの実装等のイノベーション創出効果が期待される。

本テーマは、物流・商流データ基盤の中で様々なBDがつながる可能性を検証し、本課題や政府策定の総合物流施策大綱（2021～25年度）が目指す「物流DXや物流標準化の推進によるSC全体の徹底した最適化や強靱で持続可能な物流ネットワーク構築」等のBD連携の効率性等の検証やBD解析モデルの可能性の検証等を、早期実現が可能であるかを実証することを目的とする。

2 BD利活用技術の目標

(1) 実証実験のための環境準備

業種等データ基盤から蓄積されるサプライチェーン（SC）上の各種業務トランザクションデータや、他の既存プラットフォーム（PF）等の公開／商用情報等の外部データ等を用いる BD 解析モデルの実証実験を可能にする下7つの項目を準備する。

- ①分析共通PF（実証用機能）やサンドボックスPF等の実証実験を行う環境の全体像の設計
- ②分析共通PF運用方策及びデータ提供・収集運用規約（実証用）の設計
- ③実証実験者からのヒアリング等による実証実験の要件整理・スキーム設計
- ④データ提供支援計画の策定及びデータ準備
- ⑤実証実験実施への技術的支援
- ⑥本ガイドラインに準拠した物流標準メッセージレイアウト適用への支援
- ⑦分析共通PF（実証用機能）の追加機能の要件整理／設計／開発／テスト

(2) 実証実験

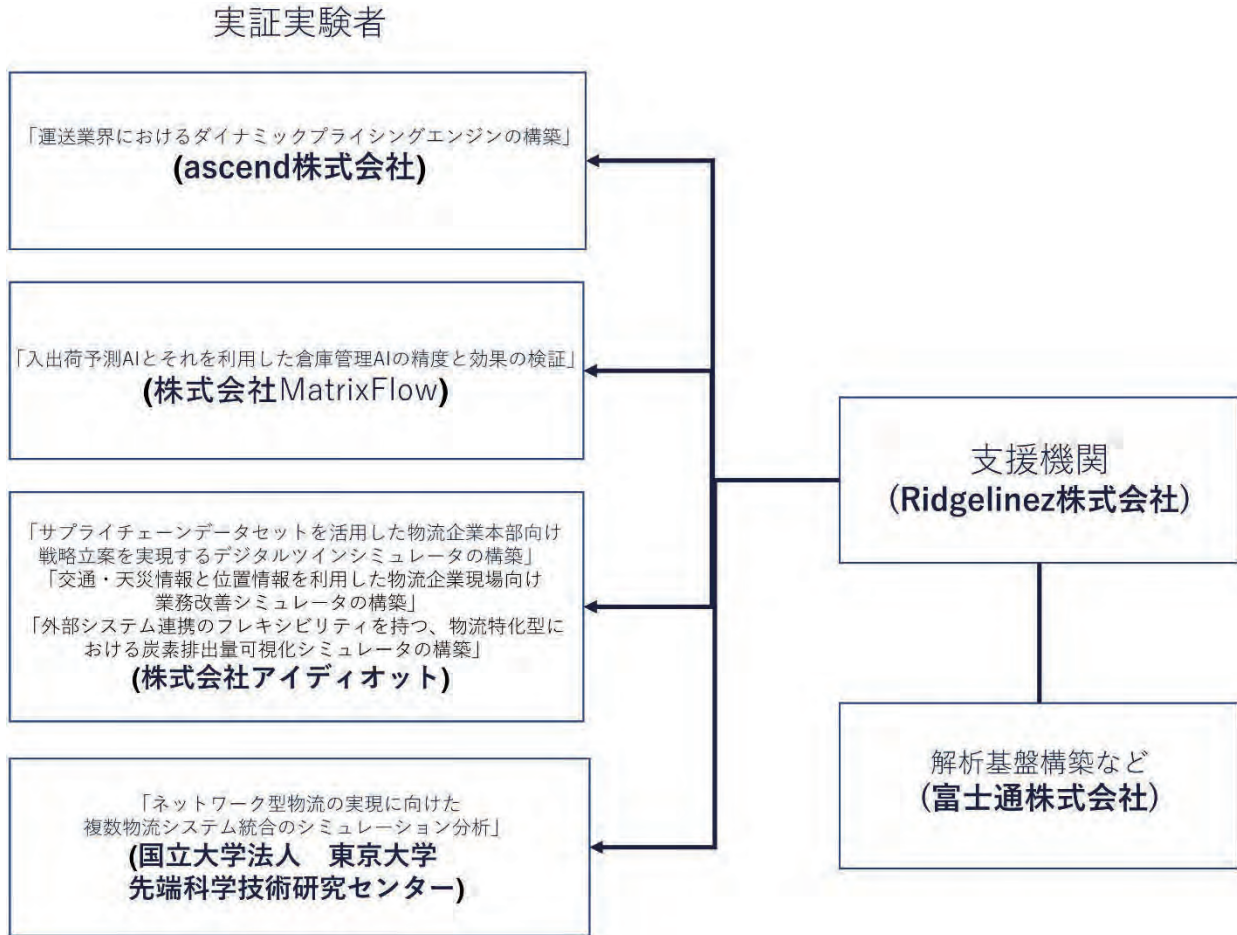
(1)で準備した環境を使ったBDを利活用する実証実験を行うこととした。実証実験の目標を下に示す。

- ①分析共通PFに使用するデータを格納する際に、本ガイドラインに準拠させ、実証実験を行う
- ②分析共通PFやサンドボックスPFを実証実験者に使用してもらい、改善点など抽出する

3 実施体制

Ridgelinez株式会社が富士通株式会社と共に、分析共通PFやサンドボックスPFの構築を行った。またRidgelinez株式会社が実証実験者への技術的な支援や助言、必要とするデータ収集支援を行った。これらの支援の関係を図1に示す。

●図1 BD利活用実証実験体制図



4 工程表

| 実施課題 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |
|---|--------|--------|-----------------------|--------|
| (1) 実証実験のための環境準備 (Ridgelinez、富士通) ①環境の全体像の設計 ②データ提供・収集運用規約(実証用)の設計 ③実証実験の要件整理・スキーム設計 ④データ提供支援計画の策定及びデータ準備 ⑤実証実験実施への技術的支援 ⑥物流標準メッセージレイアウト適用への支援 ⑦分析共通PFの追加機能の要件整理等 | | | ↔ ↔ ↔ ↔ ↔ | ↔ ↔ |
| (2) 実証実験 (Ridgelinez、富士通) ①実証実験支援 ②改善点等抽出 | | | | ↔ ↔ |
| 「運送業界におけるダイナミックプライシングエンジンの構築」 (ascend) | | | | ↔ |
| 「入出荷予測AIとそれを利用した倉庫管理AIの精度と効果の検証」 (MatrixFlow) | | | | ↔ |
| 「サプライチェーンデータセットを活用した物流企業本部向け戦略立案を実現するデジタルツインシミュレータの構築」 (アイディオット) | | | | ↔ |
| 「交通・天災情報と位置情報を利用した物流企業現場向け業務改善シミュレータの構築」 (アイディオット) | | | | ↔ |
| 「外部システム連携のフレキシビリティを持つ、物流特化型における炭素排出量可視化シミュレータの構築」 (アイディオット) | | | | ↔ |
| 「ネットワーク型物流の実現に向けた複数物流システム統合のシミュレーション分析」 (東京大学) | | | | ↔ |

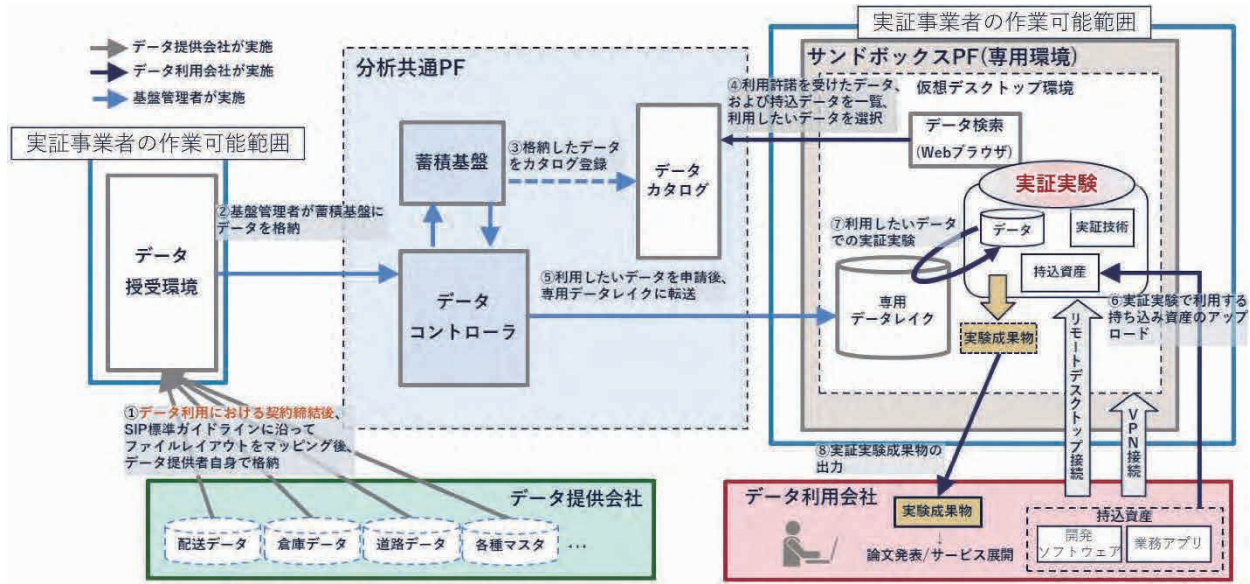
5 実証実験の取り組みと成果

(1) 実証実験のための環境準備の具体的な取り組みとして以下①～⑦を実施した。

① 実証実験の設計

図2に示すように実証環境基盤にはサンドボックスPFと分析共通PFを定め、実証実験者はデータ格納・抽出を通して実証実験を行うよう全体を設計した。

●図2 実証環境基盤の構成



実証環境基盤内の各機能における概要は表1の通りである。

●表1 実証環境基盤内の機能と概要

| 機能 | | 概要 |
|-----------|-----------|---|
| サンドボックスPF | | <ul style="list-style-type: none"> ・基盤利用者が自社環境からリモート接続し、実際にサービス開発や研究を行う基盤 ・各機能へはこの基盤上からのみアクセス可能とする |
| 分析共通PF | 蓄積基盤 | データ提供会社から提供された構造化データ/非構造化データを、日別/種別等の基準でデータ格納していく環境 |
| | データカタログ | <ul style="list-style-type: none"> ・蓄積基盤に存在する各種データを利用者が検索することができる機能 ・各データにメタデータを付与し、利用者が目的に沿ったデータを発見するための機能 |
| | データコントローラ | <ul style="list-style-type: none"> ・蓄積基盤と専用データレイク間のデータ転送を行う機能 ・その際フォーマット変換や機密情報のマスキング等の処理を行う機能 |

②分析共通PF運用方策及びデータ提供・収集運用規約（実証用）の設計

- ・運用方策を契約締結から実証実験までのプロセスを図3の通り分解して策定した。

●図3 運用における全体像



・運用方策として表2の実証実験運用マニュアルを作成し、各実証実験者へ配布・説明した。

●表2 実証実験運用マニュアル

| 作成資料 | 内容 |
|-------------|--|
| 実証実験運用マニュアル | ・実証実験上における禁止事項・制約事項 ・データ格納・抽出における制約事項 ・実行環境整備における制約事項 ・システム運用における制約事項 |

・データ利用規約の策定

実証実験者がサンドボックスPFで実証実験する上でのデータの格納ならびにその活用を想定した利用規約を策定した。

表3の通り実証環境基盤を利用する上での契約書を定め、各実証実験者と締結した。

●表3 データ利用規約資料

| 作成資料 | 内容 |
|-------------------------|--|
| 実証環境基盤でのデータ利用に関わる秘密保持契約 | ・実証環境基盤上でのデータを基盤管理者が取り扱うため、その秘密保持義務と責任範囲を定める |
| ソフトウェアのトライアル使用に関する確認書 | ・実証環境基盤のソフトウェアを利用するにあたっての免責事項等を定める |

③実証実験者からのヒアリング等による実証実験の要件整理・スキーム設計

- ・実証実験者へ2回に分けてヒアリングを実施し、実証実験に必要な要件を整理した。
- ・実証テーマの整理

公募で選定された各実証実験者の実証テーマは、表4に示す物流課題解決に向けたソリューション開発を行うこととなった。

●表4 物流課題とテーマ検討

| 物流課題 | 実証テーマ |
|--------------------|---|
| 物流需要の局所的集中 | ・ 物流業界におけるダイナミックプライシング |
| 過剰在庫 | ・ AIとデジタルツインを活用した物流倉庫の効率化・持続化 |
| 労働力不足 | |
| 小口配送増加 | ・ to B物流特化型デジタルツイン構築 (短期プランニング) |
| 原料高騰 カーボンニュートラル | ・ to B物流特化型デジタルツイン構築 (中長期プランニング) ・ CO ₂ 排出量可視化シミュレータ |
| 物流最適化 | ・ ネットワーク物流全体最適化のための基礎解析 |

- ・ 実証実験者へのデータ取得支援

データが十分に取得できない実証実験者に対し、Ridgeline社のコネクションを紹介し、データ取得を支援した。

④データ提供支援計画の策定及びデータ準備

各実証実験者が利用予定とするデータの一覧をヒアリングしリスト化した。下はその例である。

- ・ ascend社：販売価格情報
- ・ アイデオット社：走行時間距離圏可視化情報、過去配送実績可視化情報、拠点リソース可視化情報、自然可視化情報、競合拠点可視化情報、輸配送状況可視化情報、配送リソース可視化情報
- ・ MatrixFlow社：アパレル入出荷情報、化粧品出荷情報、気象データ、SNSつぶやき単語情報
- ・ 東京大学：集荷・出荷情報、交通センサス情報

⑤実証実験実施への技術的支援

実証実験の進捗確認や技術的なアドバイスを通して効率的かつ効果的に推進できるよう支援した。

- ・ 実証実験に対する技術的支援

各実証実験者の実証実験の推進において基盤利用、データ利用、分析、AI、ビジネスの観点で支援した。実際に支援した内容を表5に示す。

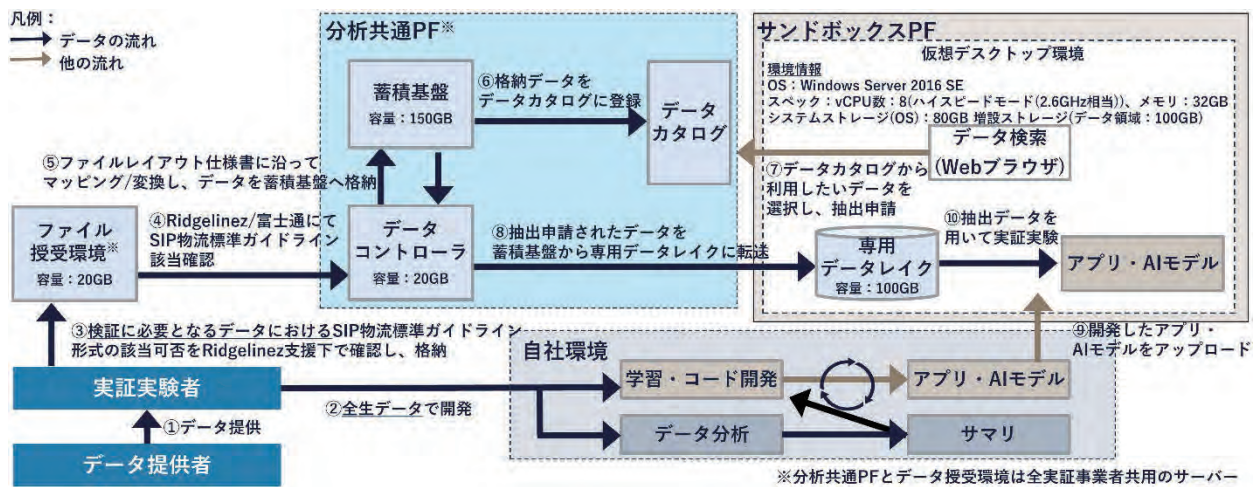
●表5 各実証実験者への支援内容

| 項目 | 支援内容 |
|-------|---|
| 基盤利用 | <ul style="list-style-type: none"> ・ コンテナアプリを利用したいという要望に対し、利用する上でのメリット・デメリットを迅速に整理して活用できるよう支援した ・ 基盤を利用するうえでの接続方法や制限などの質問が来た際に迅速に対応ならびにマニュアルの配布を行うことで実証実験へ影響がないよう支援した |
| データ利用 | <ul style="list-style-type: none"> ・ データ提供先からのデータ授受について、迅速に授受が可能になるよう受け渡しの方法を提案した ・ 授受したデータに不備や未受領分があった場合は、データ提供者へ迅速に連絡し実証実験での分析に遅れが出ないよう支援した |

| | |
|-------|---|
| 分析、AI | <ul style="list-style-type: none"> ・ AIモデルの予測結果の分析をする上で、要素分解の観点として日時や季節変動など様々な粒度で行うよう助言した ・ 需要予測と各機能の関係性について、拠点や配送計画等を連動させることで基幹とした計画を作成しシミュレーションすることがよいと助言した |
| ビジネス | <ul style="list-style-type: none"> ・ 予測や分析結果に対し、今後のビジネス展開として運送会社の交渉材料の強化、交渉適正化に寄与することをアピールするよう提言した ・ 配置最適化をイメージしたアニメーション画面について、現場で稼働するには難しいと感じるが、営業ツールとして使えるのではないかと提言した |

各実証実験者に実証実験のデータフローをヒアリングしデータの流れを図4のように図式化した。

●図4 実証実験データフロー図



⑥本ガイドラインに準拠した物流情報標準メッセージレイアウト適用への支援

- ・ 本ガイドライン適用のポイント整理

本ガイドラインの適用におけるポイントについてガイドライン作成企業にヒアリングし整理し、表6のポイントに従い該当を判断した。

●表6 物流情報標準ガイドライン該当判断ポイント

| 項目 | ポイント |
|-------|--|
| マッチング | <ul style="list-style-type: none"> ・ 本ガイドラインの項目名称がガイドラインに沿っていないものがあつたので、注意して確認する必要がある ・ プロセスが重複した場合は、分割するかどちらかのプロセスとして扱うかを実証実験者の方で決める必要がある ・ 「出荷依頼が発生→運送依頼→配車」という標準プロセスを定めているが、実績ベースでは標準プロセスに沿っていない可能性があるため、どのプロセスに該当するか判断する必要がある |

| | |
|----------|--|
| マッチングの確認 | ・マッチングを支援企業が行う場合は、どのようなデータかを実証実験者にヒアリングし、マッチング結果を実証実験者に共有して判断する必要がある |
|----------|--|

- ・本ガイドライン適用方法の策定

実証実験者の利用するデータが以下の条件に全て該当する場合、本ガイドラインに従いインプットデータをマッピングし、該当しない場合はマッピング不要と判断した。

- ・本ガイドライン適用確認フローの策定
- ・本ガイドライン適用項目のリスト化

各実証実験者の利用データについて、本ガイドラインに該当したデータ項目をリスト化し、データと本ガイドライン適用項目を表7に一部抜粋した。

●表7 本ガイドライン適用項目

| 該当データ | 本ガイドライン適用項目 |
|-----------|--------------------------------------|
| 販売価格情報 | 荷送人名（漢字）、荷受人名（漢字）、商品名（漢字）、運送梱包時総重量等 |
| 配送データ | 保管場所名（漢字）、配達地域、車輛種別、出荷日、配達予定日、商品名等 |
| アパレル入荷データ | 入庫確定日、商品コード、個数（報告） |
| 集荷・出荷情報 | 運送依頼年月日、出荷場所コード（事業所）、荷届先コード（事業所）、個数等 |

⑦分析共通PF（実証用機能）の追加機能の要件整理／設計／開発／テスト

実証実験者のニーズに合わせて追加要件を検討・具体化し、必要と判断した要件について開発／テスト等を行った。

(2)実証実験

①分析共通PFに使用するデータを格納する際に、本ガイドラインに準拠させ、実証実験を行う

AI等を使った物流改善に取り組んだ結果と成果を表8に示す。

●表8 各実証実験テーマの結果と成果

| テーマ名 | 結果や成果 |
|-----------------------------|--|
| 運送業界におけるダイナミックプライシングエンジンの構築 | 運送会社の99%は中小事業者であり、荷主よりも価格に対する立場が弱いケースが見られる。荷主と運送会社双方が納得するプライシングのシステム（ダイナミックプライシング）構築を行うことを目的とする。2つの求貨求車システムのデータからプライシングエンジンに必要な項目のみを抽出した上で、本ガイドラインに準拠させることで標準的なデータ項目として定義付けし、運賃予測AIモデルの教師データ、検証データ、テストデータとして用いた。実証実験では検証サイクルを4回繰り返しながらUI・追加機能、モデルの修正を行い現実世界での値付け感覚に近づけた。 |
| 倉庫管理AIの精度と効果の検証 | 倉庫内作業の50%の負荷となっているピッキング作業の効率化を行い、生産性向上を目的とする。蓄積された物流業務の実績データを使用し、出荷量を予測する出荷予測AI、未来のピッキングに合わせて商品の配置換えをする配置最適化AI、ピッキング時の最短ルートを示す行動最適化AIの3つのAIを使用し実証実験を行った。その結果、全体作業時間を最大29%削減、 |

| | |
|--|---|
| | 一人当たりの作業時間を最大46%削減可能であることがわかった。 |
| サプライチェーンデータセットを活用した物流企業本部向け戦略立案を実現するデジタルツインシミュレータの構築 | 物流企業本部の業務効率改善を目的として人材・車両の最適化を図る需要予測AIを構築した。運送会社の出荷データ等を用いAIに学習させ実証実験の結果、熟練者による需要予測に比べ構築したAIは精度が良く、需要予測・配車台数の最適化を実施することで運搬費のコストを最大12%削減、配車台数を最大32%削減可能であった。また現場ヒアリングを通して、現場の要望を元に15個の項目の物流関連情報について可視化した。 |
| 交通・天災情報と位置情報を利用した物流企業現場向け業務改善シミュレータの構築 | 物流現場の日常業務として属人的で経験や勘を頼りに実施されていた配車計画作業の効率化を目的とした。運送会社の実カート数データを使用しAIに学習させた。これまで前日でしか配送の依頼梱包数が判明せず、人員・車両調整できなかった配車計画が、2カ月分のカート数の予測をAIが20%前後で予測することが可能になり、現場で活用できる可能性があることがわかった。 |
| 外部システム連携のフレキシビリティを持つ、物流特化型における炭素排出量可視化シミュレータの構築 | カーボンニュートラルに向けて物流部門でのCO ₂ 削減が急務となっている。物流業務におけるCO ₂ 排出量を環境省により公表されている算定方法・排出係数一覧から、可視化する脱炭素シミュレータを構築し、貨物の配車実績に対して、配車最適化システムを活用することでどれだけCO ₂ 排出量削減効果があるのかを定量評価することを目的とする。運送会社の実データを使用した実証実験では4tトラックから10tトラックの活用を増やしていくことで20.4%のCO ₂ 削減効果が見込まれることがわかった。 |
| ネットワーク型物流の実現に向けた複数物流システム統合のシミュレーション分析 | フィジカルインターネットを念頭に置いたネットワークレベルでの物流最適化において、どのような効果が得られるか実データを用いて定量的に評価することを目的とした。物流企業2社の物流データを用い、季節性パターンの分析、需要パターン分析から需要モデルを作成し、実際の配送データを元に輸送ルートの統合による積載率向上、走行距離削減、CO ₂ 削減が可能かシミュレーションシナリオを策定し実証実験を実施した。その結果いくつかのケースで輸送ルートの統合による輸送効率向上が見込まれることがわかった。 |

6 BD利活用本格導入時に向けて

今回のBD利活用プログラムでは物流サービスプロバイダーが物流・商流データ基盤にデータを提供することを想定した実証実験である。データの提供が始まった後のBD利活用本格導入時には今回の実験結果から得られた改善点などが有用となる。下は分析共通PFとサンドボックスPFの今後の方針である。

(1)機能性についての評価、改善点

- ①「外部ネットワークへの接続」、「日本語入力が出来ない」、「接続環境がWindowsのみで準備に手間がかかる」と言った部分の改善を図る。

(2)各PFや環境へ追加すべき機能・要件

- ①データアクセス部分とレイヤを分けるなどして開発・アプリ動作環境のみでも外部ネットワークにアクセス可能にすることを検討する。

- ②Apple テクニカル学習管理システム (ATLAS) のオンラインマニュアルを参照することを検討する。
- ③事前申請により必要な分析ツールをサンドボックスPFにセットアップすることを検討する。
- ④深層学習・予測をする場合に必要となるGPUをサンドボックスPFに実装することを検討する。

(3)データの共通フォーマット化・データ変換等のデータ整備機能

- ①本ガイドラインの適用について、適用に必要なポイントを整理しユーザーが一目でわかるような資料を準備する。

(4)データ蓄積のガイドライン作成・提示

- ①やり取りの煩雑さを回避するため、標準化したフローに対し、ワークフローシステムの導入による作業効率化を実施する。

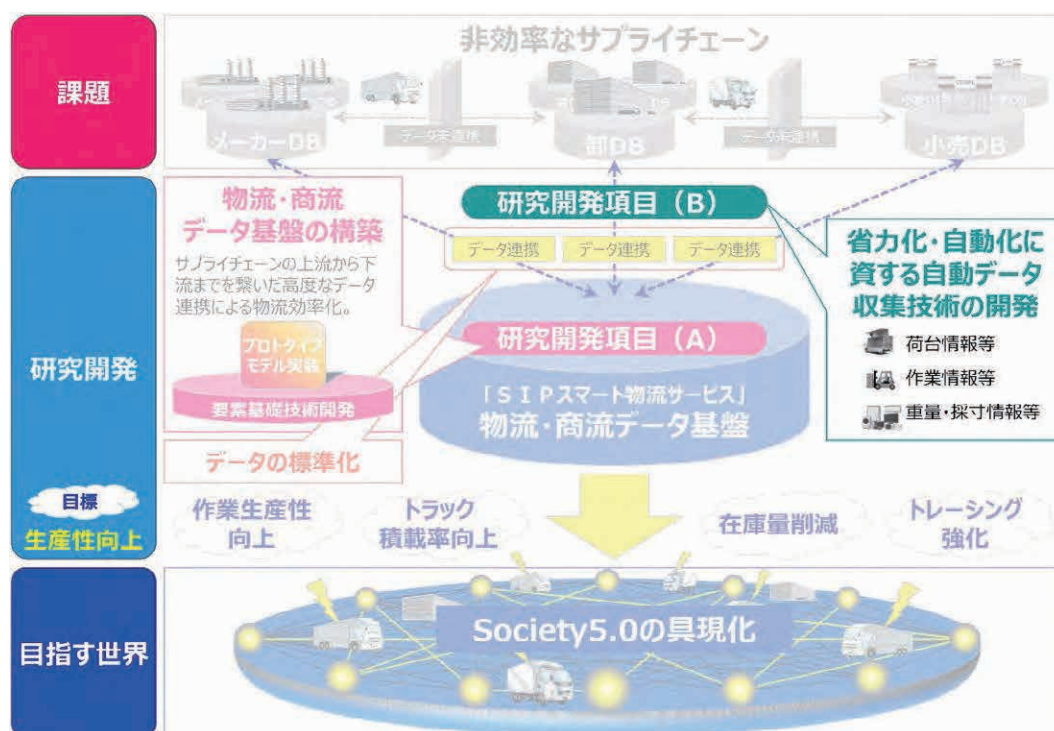
(5)課題を抱える企業と協業企業のマッチング・調整・コミュニティ形成

- ①サンドボックスPFの外部接続が可能であれば応募したいとの声が多くあり、物流課題解決へ向け間口を広げるために、安全性と利便性の両立を図る必要がある。
- ②データ提供側のデータ開示の壁が高いことに対し、データ提供側に発生するメリットなどを提案して働きかける必要がある。

研究開発項目 (B) 自動データ収集技術に関する概要

現在、物流・商流分野で取得されていない情報を自動的に収集し、研究開発項目(A)で構築する物流・商流データ基盤に取り込むことを目的として、物流・商流データ基盤活用の根幹となるサプライチェーン上の各段階における個品単位の情報を上流から下流までシームレスかつ正確に把握し、トレーサビリティを確保する自動データ収集技術の研究開発を行う。また、荷役や物流センター等の自動化、輸送手段の共有による省力化等の技術と、それらにより得られる新たなデータを自動的に収集する技術の一体的開発を行う。研究開発項目(B)の本課題での位置付けを図1に示す。

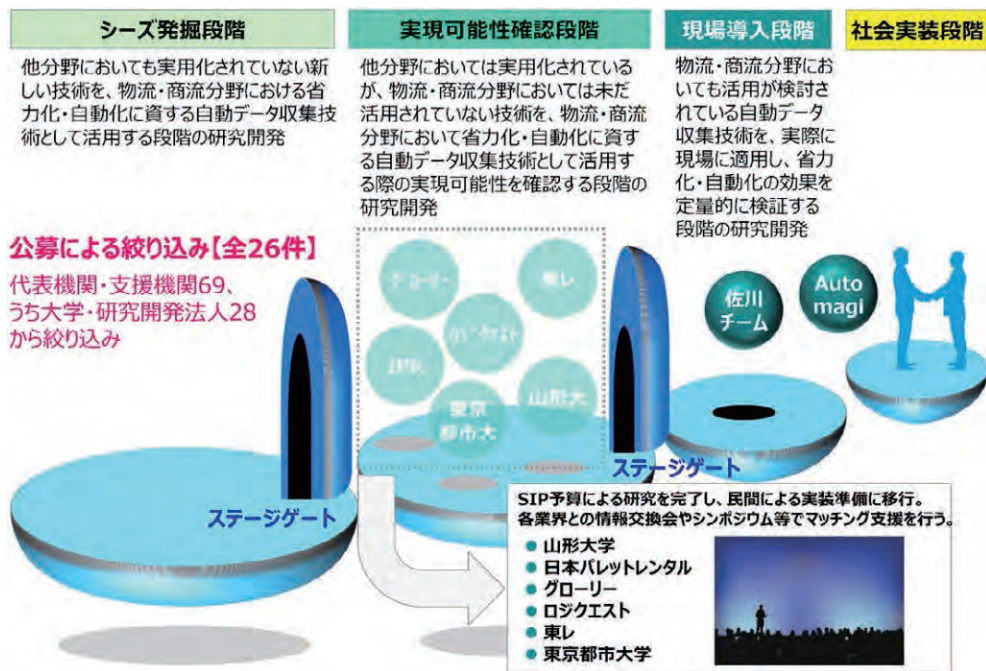
●図1 研究開発項目 (B) の位置付け



本研究の実施にあたっては、図2に示すように実現可能性確認段階、現場導入段階以降に進む研究開発段階に分けて進めた。

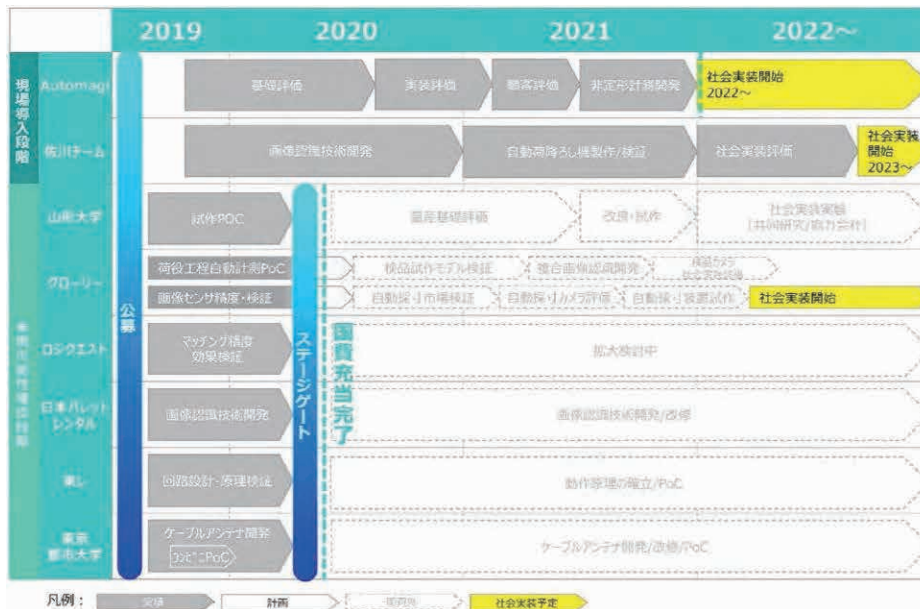
実現可能性確認段階の6件の研究については、研究開発対象の実現可能性の確認を行い、それらの中からステージゲート方式で絞り込みを行い、選定されたテーマについて研究開発段階に着手することとした。ステージゲートでの選定の結果、研究開発に着手するテーマはなかった。

●図2 ステージゲート方式によるテーマ選定



「スマート物流を支援するスマホAIアプリケーション基盤技術」と、「荷物データを自動収集できる自動荷降ろし技術の開発」の2件については、公募時から研究開発段階の研究開発として選定し、研究開発を実施した。図3に研究開発全体の工程表を示す。

●図3 工程表



全ての研究テーマが計画通りに目標を達成し終了した。

- (1) 「スマート物流を支援するスマホAIアプリケーション基盤技術」は、LiDAR技術を使用したダンボール箱等の3辺計測等のアプリケーションを、世界に先駆けて開発し、社会実装を開始した。
- (2) 「荷物データを自動収集できる自動荷降ろし技術」は、個々の荷物を瞬時に認識する目、荷物をつかむポイントを的確に判断する脳、判断結果に基づき的確に掴む手の3つを研究開発し、マニピレータ付きロボットに適用することで、社会実装を想定した自動荷降ろし機の製作と検証を行った。

| | |
|--------|---|
| ユニット名 | スマート物流を支援するスマホAIアプリケーション基盤技術 |
| 研究責任者 | 佐藤 峻（2021年4月～2022年3月） 櫻井 将彦（2019年12月～2021年4月） （Automagi株式会社） |
| 支援研究機関 | 東京大学 |

1 研究開発の背景と目的

共同配送の普及に不可欠な配送計画の最適化、配送料の決定、荷積みの際に必要な「荷物情報」（サイズ・荷物識別番号・上積み可否等）の取得はドライバー等の人手に頼っており、物流業界の長時間労働（長時間の拘束）等の悪弊の一因となっている。

誰でも簡単かつ正確に取得できる仕組みを、世の中に広く普及している市販のスマートフォンで実現することにより、荷物サイズ計測業務を効率化し、積載効率の改善やドライバー等集荷/配達スタッフの生産性向上に寄与することで、物流業界のDXを推進することを目的とする。

2 研究開発の目標

物流業界のDXを推進するために必要な荷物情報を現在十分にデータ化されていない三辺サイズ・荷姿・上積みラベルとした。また荷物は定形と非定形の2種類を対象とすることとした。またデータの取得方法を、市販のスマートフォンで利用できるARCore*とLiDAR**の2方式とした。図1にそれぞれの目標精度を示す。

●図1 測定物に対する精度

(1)定形三辺サイズ計測精度

| | |
|----------|-----|
| ①ARCore版 | 95% |
| ②LiDAR版 | 95% |



(2)非定形三辺サイズ計測精度

| | |
|----------|-----|
| ①ARCore版 | 90% |
| ②LiDAR版 | 95% |



(3)荷姿判別精度

- ①ARCore版 90%以上
- ②LiDAR版 90%以上



ダンボール



袋状包装



ビン・缶



緩衝材/ビニール包装

(4)注意ラベル読み取り精度

- ①ARCore版 90%以上
- ②LiDAR版 90%以上



先行する類似技術としては、技術的に確立された複眼のステレオ三次元カメラを用いた計測技術があるが、単眼2Dカメラの映像から、計測点の自動判定を含め自動でサイズ計測する技術は新規性が高い。また、2021年始め頃に市場に投入されたLiDAR付きスマートフォンのLiDARセンサを最大限活用した高精度のサイズ計測機能の開発も新規性が高い。非定形梱包についても、扱える外形認識の深層学習モデルを開発し、より物流現場での適用場面を拡大することができるため、実用性が高いと想定している。

活用シーンとユーザー事業者のすそ野拡大を目指し、ユーザー事業者が独自にカスタマイズして自社の業務アプリケーションに活用できるソフトウェア開発キット（SDK）の開発も目標とする。

自動で収集された(1)、(2)、(3)、(4)のデータはAPIを通して顧客の在庫管理システム（WMS）に連携できるものとする。

* ARCore：米国Google社が開発した拡張現実アプリケーションを構築できるSDKである。ARCoreでは、以下の3つの主要な技術を使用して、バーチャルコンテンツをスマートフォンのカメラを通して見える現実世界と合成する。

- 6DoF（Depth of Field、被写界深度）により、スマートフォンは相対的な位置関係を判断し、トレースできる。
- 周囲の環境を読み取って、地面やコーヒーテーブルのような水平面の大きさや位置を検出できる。
- 光の推定機能により、現時点の照明状況を推定できる。

ARCoreは、多くのメーカーのスマートフォンに組み込まれている。

(参考文献：Wikipedia <https://ja.wikipedia.org/wiki/ARCore> 2022年12月確認)

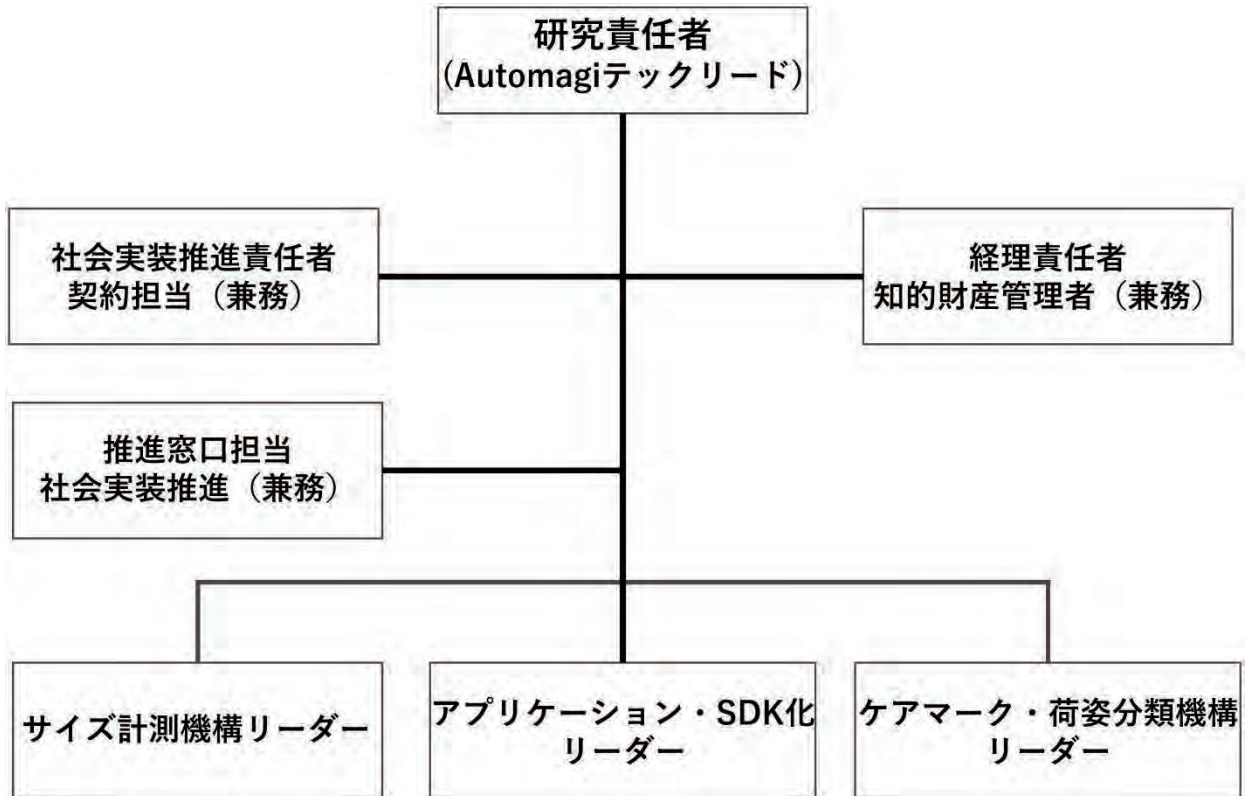
** LiDAR：「光検出と測距」ないし「レーザー画像検出と測距」は、光を用いたリモートセンシング技術の1つで、パルス状に発光するレーザー照射に対する散乱光を測定し、遠距離にある対象までの距離やその対象の性質を分析するものである。民間利用としてはApple社の製品であるiPhone12やiPadのPro以上の機種に搭載されており、「ナイトモード時の対象物測距」や「3Dスキャン」機能等もこの技術を用いて実現されている。

(参考文献：Wikipedia <https://ja.wikipedia.org/wiki/LIDAR> 2022年12月確認)

3 実施体制

本研究は図2の実施体制で行った。(2022年3月研究終了時)

●図2 実施体制図



4 工程表

| 実施課題 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |
|--|--------|--------|--------|--------|
| (1) 定形三辺計測機能研究開発 (Automagi) ①ARCore版 ②LiDAR版 | ← | ← | → | |
| (2) 非定形三辺計測機能研究開発 (Automagi) ①ARCore版 ②LiDAR版 | ← | | ← | → |
| (3) 荷姿判別研究開発 (Automagi) ①ARCore版 ②LiDAR版 | ← | | → | |
| (4) 注意ラベル読み取り (Automagi) ①ARCore版 ②LiDAR版 | ← | | → | |

5 研究開発の取り組みと成果

(1) 定形三辺サイズ計測精度

①ARCore版

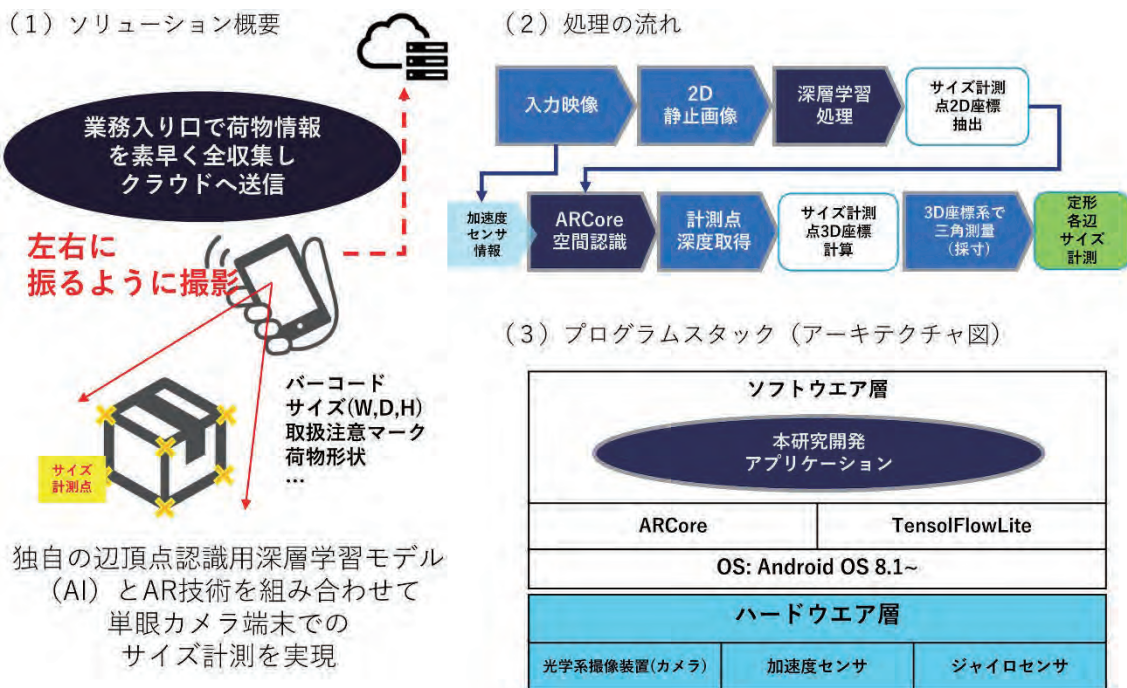
人間が箱型荷物（定形荷物）のサイズ計測の際、自然に計測点として考える最近接頂点及び奥行き方向・横幅方向・高さ方向の隣接頂点の平面位置を算出する独自の深層学習モデルを構築した。AR技術の活用により、単眼カメラ端末であっても、動画撮影風に複数視座の情報を統合することで視差を生み出す。また端末センサ情報の活用により短時間測定で端末の空間移動距離を推定することにより、三角測量の要領で指定点の奥行き

を算出することが可能である。この2つの組み合わせにより、三次元空間上の複数の計測点の座標認識が可能となり、計測点座標からダンボールで梱包された定形荷姿の荷物の奥行き、横幅、高さの三辺長が計算可能となる。図3にARCore版のサイズ計測ロジックを示す。

深層学習のためにオリジナルデータやオーグメンテーション（拡張）データ等18万枚の教師データを使用してモデルの作成を行った。Android端末で撮影している映像の中から水平面を取得し、その平面に深層学習処理で取得した定形荷姿の辺頂点の情報すなわち計測点の二次元座標情報を使用することで、定形荷姿の各辺の長さを計測するようにプログラム部の実装を行った。スマートフォンで動作するためにモデルのプログラム軽量化・処理速度向上を図った。

実装したスマートフォンで実際の定形ダンボールの測定を繰り返し、モデルの修正を繰り返すことで計測精度の向上を図った。その結果として計測精度96%を達成することができた。

●図3 ARCore版のサイズ計測ロジック



②LiDAR版

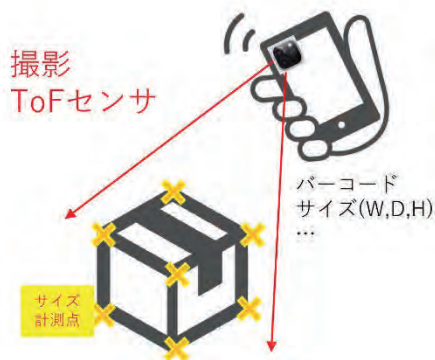
スマートフォンに搭載されたLiDARセンサにより、取得された点群情報に対してクラスタリング処理（自動分類）を行うことで、計測対象物を特定し、それを最小の立方体で囲い、この立方体の3辺をAR機能と併用することで対象物の三辺長が計算可能となる。図4にLiDAR版のサイズ計測ロジックを示す。AR機能にはApple社のライブラリを使用した。

ARライブラリは、提供元のApple推奨で、新しくまたシンプルな構成になっている「RealityKit」を選定した。モデルへの実装時に一部つなぎこみ部分において、既存のOSSでは対応していない部分が存在したため、独自実装を行うことで対応した。また、「RealityKit」の使用部分の効率化を考え、実装を行った。

実装したスマートフォンで実際の定型ダンボールの測定を繰り返したとき、得られた点群の情報には常に誤差が発生しており、計測結果は実際より少し大きな値になった。点群の誤差を調査した所、カメラ位置から遠くにある点ほど誤差が大きくなる傾向を実測から把握した。この傾向を捉え、点の位置を正しく把握する処理を追加した。その結果として計測精度97.7%を達成することができた。

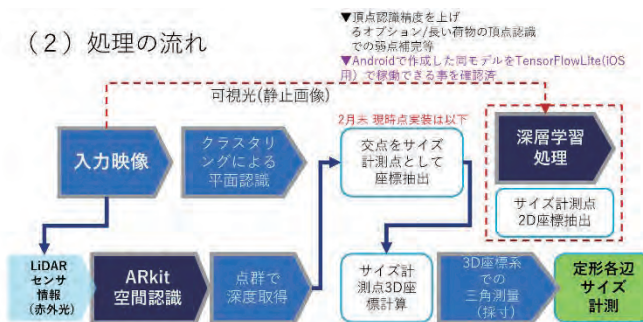
● 図4 LiDAR版のサイズ計測ロジック

(1) ソリューション概要



iPhone12 Proに搭載されたLiDAR(dToF)センサーにより取得した深度情報をAR技術(Arkit)を経由して取得してサイズ計測を実現

(2) 処理の流れ



(3) プログラムスタック (アーキテクチャ図)



(2)非定形三辺サイズ計測精度 (採寸測定精度)

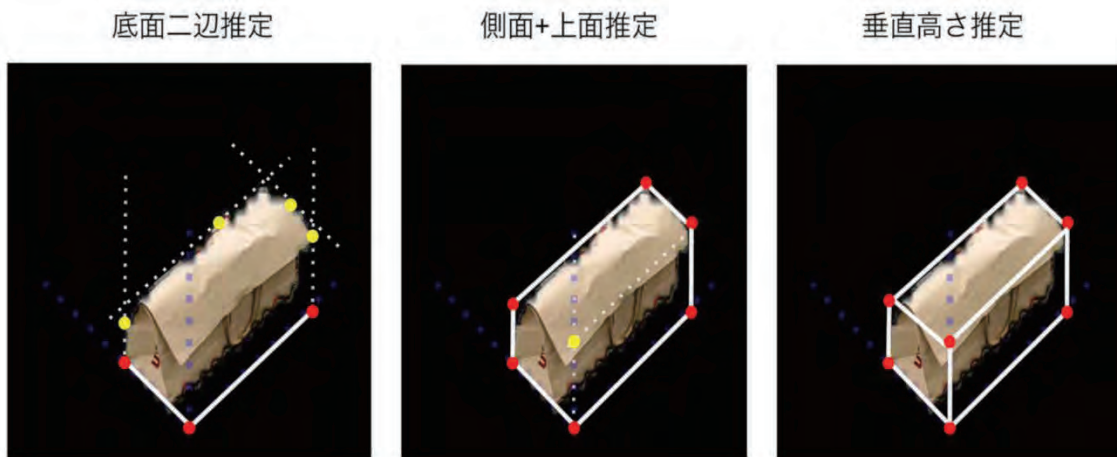
①ARCore版 ②LiDAR版

非定形荷姿の三辺サイズ計測については、計測対象物体を内包する最小サイズの仮定の直方体を空間上に想定し、その直方体の三辺サイズを物体サイズとして定義する。非定形の梱包・荷姿にあたる異形物の荷姿を認識するために、非定形荷姿検出が必要となる。非定形荷姿検出は前景抽出つまり外形抽出技術と疑似3DBox生成の順番で行う。検出後は(1)定形のARCore版を使用することで三辺長が計算可能となる。図5に非定形荷物の三辺長測定例を示す。

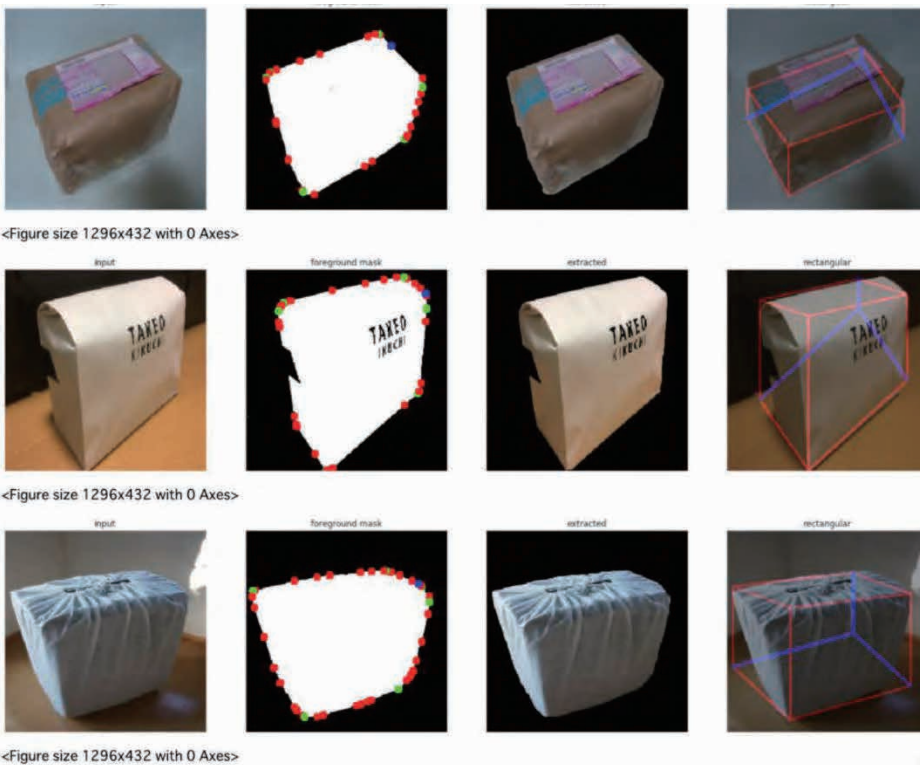
前景抽出では、撮影された画像から非定形荷姿を前景、それ以外を背景として分離する処理を実装した。分離処理は画像処理技術であるGrabCutを利用して実現できるが、GrabCutは対話的利用を行う必要があるため、その対話動作部分の自動化を行った。この自動化のために、対象とする非定形荷物は画面の中心あたりに撮影されるという前提条件を利用した。これにより画面中央に写った対象物の自動前景抽出が実現できた。また、前景抽出の精度向上の工夫として、エッジ抽出(輪郭線抽出)を先に行い、エッジ情報を元画像に付加するようにした。疑似3DBox生成では前景抽出した非定形荷姿を適当な形で囲うような仮想直方体を画像処理と計算により生成する処理を実装した。図6に非定形荷物の外形抽出例を示す。

実装したスマートフォンで実際の非定形荷物を測定した際に、荷物の色や影などの影響があったため、抽出を補助するAIの作成や色の影響を小さくするフィルタを追加する等の対策を行い、計測精度はARCore版では90%、LiDAR版では93%を達成することができた。

● 図5 非定形荷物の三辺長測定例



● 図6 非定形荷物の外形抽出例



(3) 荷姿判別精度 (分類精度)

① ARCore版 ② LiDAR版

荷姿分類は深層学習によるマルチクラス分類モデルによって、対象物を以下の10カテゴリに分類する。

A. 直方体ダンボール B. 折りたたみコンテナ C. 直方体以外のダンボール D. 緩衝材梱包 E. ビン
F. 長尺物 G. セメント袋 H. タイヤ I. 缶 J. 紙袋である。

図7に荷姿分類の例を示す。

深層学習では公開されている学習済みモデル (imagenet) を転移学習/fine-tuningの形で利用し、物体の特徴を認識するニューラルネットワーク層を活用することで高精度を実現した。

実装したスマートフォンで実際に荷姿判別を行った結果、分類精度は91%を達成した。

●図7 荷姿分類例

荷姿分類 (深層学習による形状分類)



ダンボール



袋状包装



ピン・缶



緩衝材/ビニール包装

(4)上積みラベル読取精度 (認識精度)

①ARCore版 ②LiDAR版

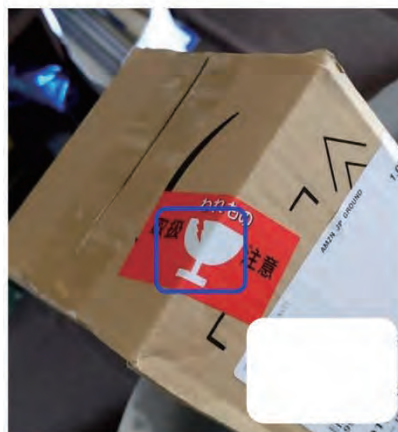
上積み可否等判定用ラベル読取は、深層学習モデルによって、対象物に記載された以下の6種類のケアマークを図形認識することで実現した。ア. われもの注意 イ. 天地無用 ウ. 水濡れ防止 エ. 取扱注意 オ. 火気厳禁 カ. 上積禁止である。深層学習については、1つの荷姿/梱包に複数の取扱注意マークが貼付されるケースがあるため、単純なマルチクラス分類ではなく、図形マークを1つの物体と見立てて物体認識 (Object Detection) タイプの深層学習モデルで機能目的を実現した。図8にケアマーク貼付例を示す。

深層学習では、公開されている学習済みモデルを転移学習の形で利用し、研究機関で用意した3876枚の教師データで再学習を行った。

実装したスマートフォンで実際に荷姿判別を行った結果、読取精度は96%を達成した。

●図8 ケアマーク貼付例

ケアマーク認識 (深層学習による図形認識)



-  われもの注意
-  天地無用
-  水ぬれ防止
-  取扱注意
-  火気厳禁
-  上積禁止

スマートフォンで取得したデータはAPIを通してWMSに連携できることを確認した。

2021年9月29日にLiDAR版の商用リリースを開始した。まず物流事業者を中心に幅広くアプローチを行い、380を超える多く（2022年4月時点）の事業者から引き合いがあった。社会実装した情報収集アプリケーションは「Logi measure」という名称で、Apple社のAppStore上に展開済みである。LiDARセンサが搭載されている機種（2022年4月時点では、iPhone12Pro、iPhone12ProMAX、iPhone13Pro、iPhone13ProMAX、iPad Proの一部機種が対象端末となっている）が利用できるアプリケーションとなっており、アプリ検索をしてApp Storeのクラウド上から簡単にダウンロードできる仕組みとなっている。事業者には端末は別途用意してもらうことに加え、Automagi社から端末を貸し出すプランも用意して社会実装拡大を目指している。本研究対象であった複数の機能の中で、物流事業者からニーズの高い「定形荷姿の三辺自動計測」に特化したアプリケーションとなっている。

2022年4月時点では、図9に示す主に以下の2つのビジネスモデルで展開している。

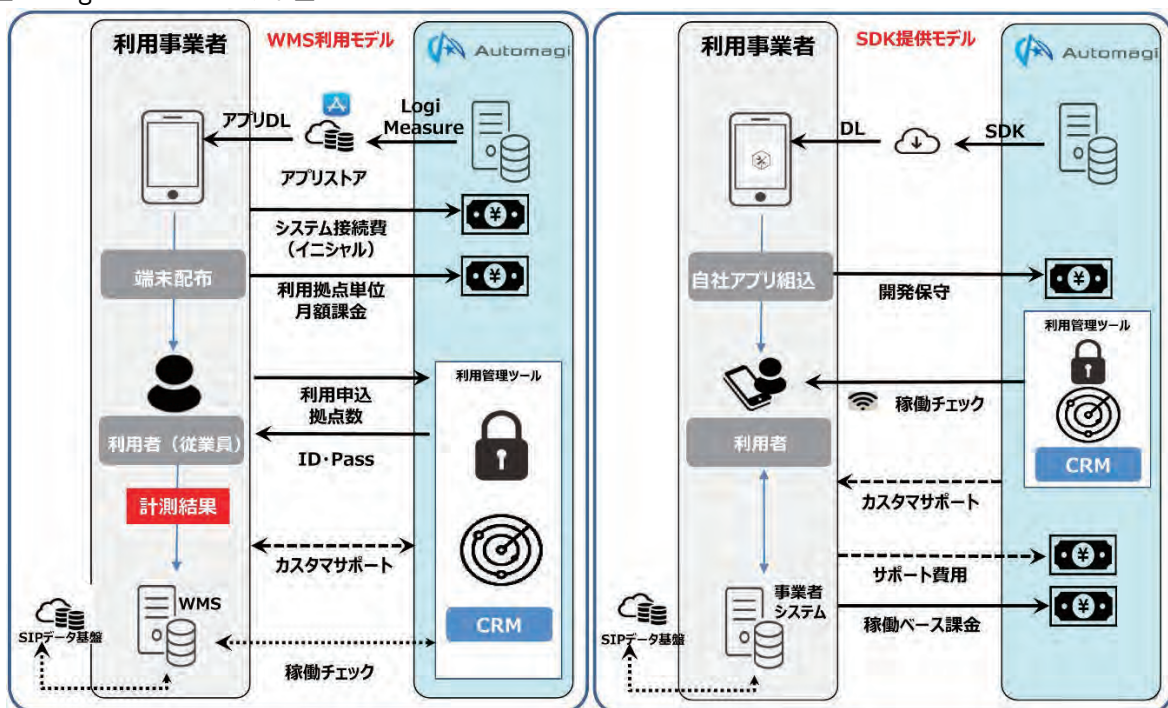
(1)WMS利用モデル（大企業B2B向け）

物流事業者は、計測したサイズ情報を自社のWMSに同期したいニーズが高いため、「Logi measure」で計測した情報をAutomagi社のデータベースに送付するだけでなく、顧客のシステムに連携するオプションを設けている。連携する際に発生する開発費用と、拠点数に応じた「Logi measure」の利用料をサブスクリプションモデルで提供している。連携費用については顧客ごとにWMSの仕様が異なるため、都度見積もりとなる受託開発型を採用している。

(2)SDK提供モデル（B2C・C2C事業者向け）

「Logi measure」自体はAppStoreに展開済みのアプリケーションとなっており、基本的にはカスタマイズなしの汎用的なソリューションとなっている。大手企業や、既に顧客向けに自社サービスを展開している企業は、自社サービスの機能の一部として「Logi measure」活用のニーズが高い。こうした要望に応じて、LiDARを活用した計測部分だけを機能として切り離したSDKを提供するプランも用意している。

●図9 Logi measureのピクト図



今後5年間の計画では、2026年度までに累計55社の導入を目標としている。

| | |
|--------|---|
| ユニット名 | 荷物データを自動収集できる自動荷降ろし技術の開発 |
| 代表研究機関 | 佐川急便株式会社（研究JV） |
| 研究責任者 | 徐 剛（Kyoto Robotics） |
| 支援研究機関 | Kyoto Robotics株式会社、早稲田大学、フューチャーアーキテクト株式会社 |

1 研究開発の背景と目的

物流の各工程を見ると、輸送、庫内ピッキング作業において自動化の研究開発は進んでいるが、トラックからの荷降ろし作業や検品等においては、人手に頼っているという現状がある。生産年齢人口の減少やECのさらなる増加により、人手に頼った荷降ろし作業や検品作業は実施困難となり、物流サービスが途絶える危機に直面する可能性が高い。このため前述の作業の効率化は急務となっている。

本研究においては以下の2つを目的とする。

- (1)トラックやコンテナに直積みされた荷物を対象に、サイズ、重量の事前登録を必要としないマスターレスであり、かつ事前に積み込み場所を指定しないティーチレスの自動荷降ろし技術を開発することで、運送業界を中心とした多種多様な荷物を取り扱う物流(DC)/中継(TC)センターにおける荷降ろし作業の自動化を実現する。
- (2)荷降ろし時に荷物1個1個に対し、いつどこで何を降ろしたという情報を、「物流・商流データ基盤」を通じて既存の（倉庫管理システム）WMSに保管されている入荷予定と突合することにより、入荷検品を自動化し、倉庫作業の自動化・省人化を実現する。

2 研究開発の目標

本研究は以下の4つのテーマで実施する。

(1)開発技術設計に関する研究

- ①実績データを基にした想定効果に関する研究
- ②開発要件、技術目標値に関する研究

(2)技術開発に関する研究

- ①直積みに対応したティーチレスの自動荷降ろし技術の研究（認識する目、判断する脳）
- ②荷物取り扱い時の情報の自動読み取り技術の研究
- ③異なるサイズ、重量の商材が取り扱い可能なハンドリング技術の研究（掴む手）

(3)開発技術の実用化に向けた研究

- ①実用化に必要な実証実験に関する研究
- ②「物流・商流データ基盤」との連携を想定した実証実験に関する研究

(4)研究成果の社会普及に向けた研究

- ①創出した技術の社会普及に関する研究
- ②創出した技術の量産化に関する研究
- ③創出した技術を利用した事業化に関する研究

具体的な対象荷物や研究目標は以下の通りである。(5) 対象とする荷物と荷姿

- | | |
|--------------------|-----------|
| ①対応荷物サイズ（LxWxH：mm） | L 200～750 |
| | W 200～750 |
| | H 80～600 |

| | |
|--------------|--------------------------|
| ②対応荷物重量 (kg) | 最大30 |
| ③対応荷物情報 | 少なくともバーコードまたは二次元コードがあること |
| ④対応荷姿 | 単載混載両対応可 |

(6)自動荷降ろし機を構成する認識する目・判断する脳・掴む手の研究開発目標

| | |
|-----------------|---------------------|
| ①対象荷物認識速度 (秒/個) | 3.5 |
| ②荷物認識精度 (%) | 99.9 |
| ③寸法計測精度 (±mm以内) | 10 |
| ④対応積付形態 | パレット、カゴ車、コンテナ直積み対応可 |

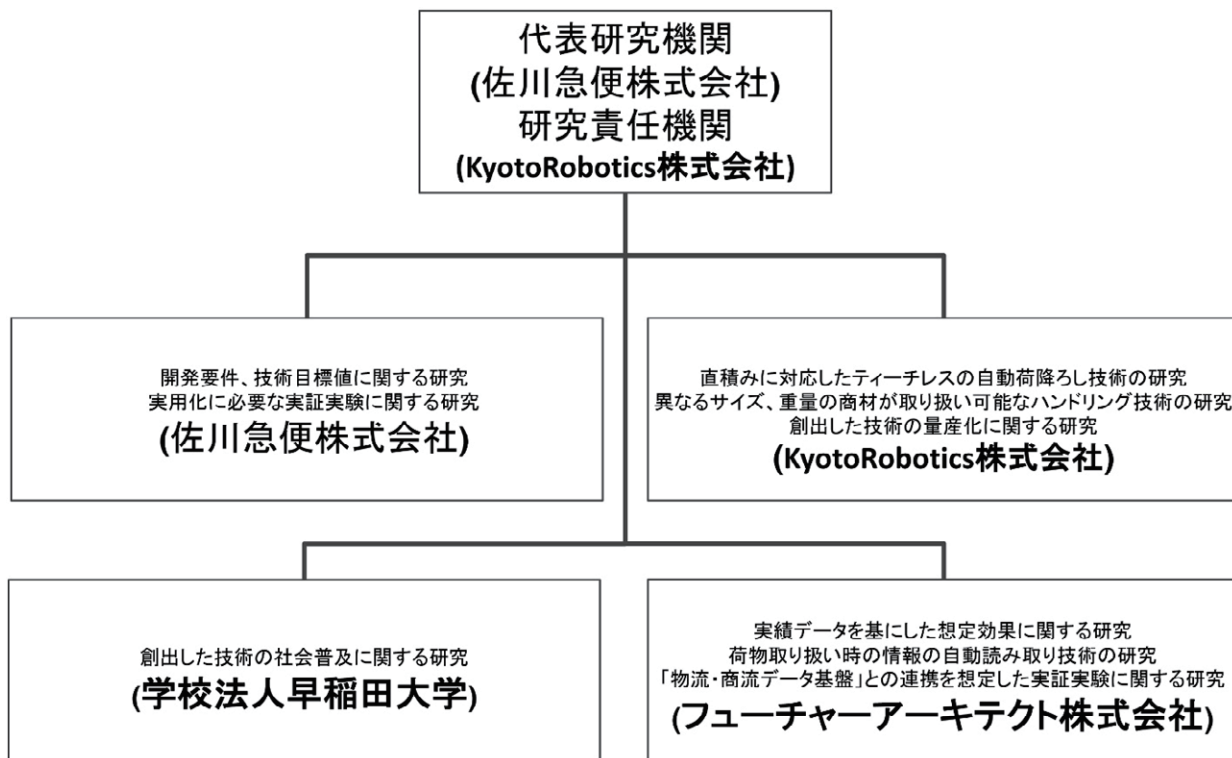
(7)自動データ収集技術の目標

| | |
|-----------|--|
| ①収集データの種類 | バーコード/二次元コード、3辺サイズ、重量、荷降ろし日時、荷降ろし場所、荷物画像 |
|-----------|--|

3 実施体制

本研究は図1のように4つの機関が研究内容を分担し、佐川急便株式会社が研究責任機関として実施した。

●図1 実施体制図



4 工程表

| 実施課題 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |
|--|--------|--------|--------|--------|
| (1)開発技術設計に関する研究 ①実績データを基にした想定効果に関する研究(フューチャーアーキテクト) | | | | |
| ②開発要件、技術目標値に関する研究(佐川急便) | | | | |
| (2)技術開発に関する研究 ①直積みに対応したティーチレスの自動荷降ろし技術の研究(Kyoto Robotics) | | | | |
| ②荷物取り扱い時の情報の自動読み取り技術の研究(フューチャーアーキテクト) | | | | |
| ③異なるサイズ、重量の商材が取り扱い可能なハンドリング技術の研究(Kyoto Robotics) | | | | |
| (3)開発技術の実用化に向けた研究 ①実用化に必要な実証実験に関する研究(佐川急便) | | | | |
| ②「物流・商流データ基盤」との連携を想定した実証実験に関する研究(フューチャーアーキテクト) | | | | |
| (4)研究成果の社会普及に向けた研究 ①創出した技術の社会普及に関する研究(早稲田大学) | | | | |
| ②創出した技術の量産化に関する研究(Kyoto Robotics) | | | | |

5 研究開発の取り組みと成果

(1)開発技術設計に関する研究

荷降ろし現場を調査し、1.2の(5)対象荷物、(6)各要素技術の研究開発目標、(7)で示した自動データ収集技術の目標を作成した。

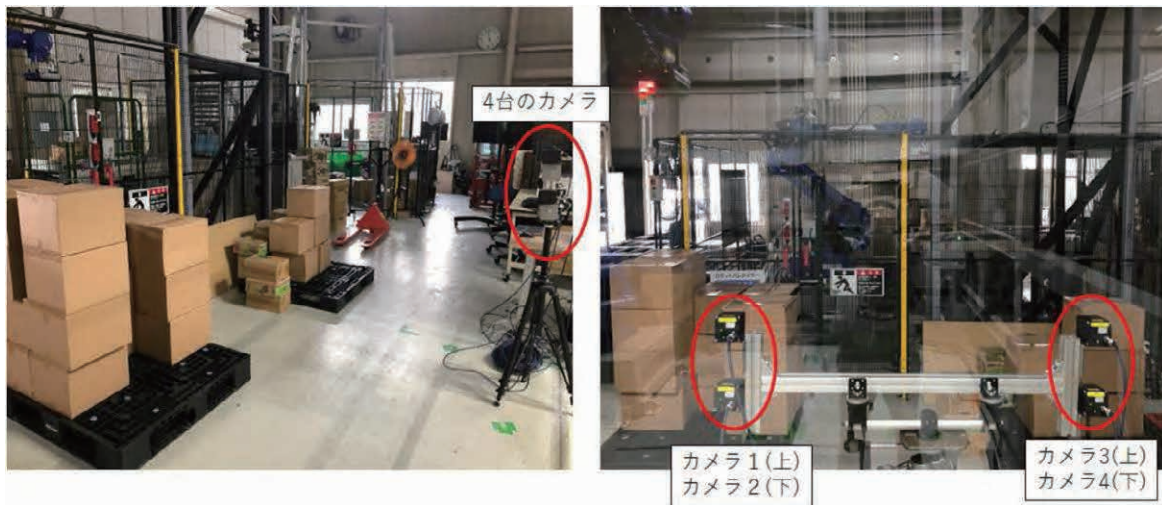
(2)技術開発に関する研究

認識する目・判断する脳・掴む手・自動データ収集の研究開発にあたっては、最初にユニット毎に分割して研究開発を行った。

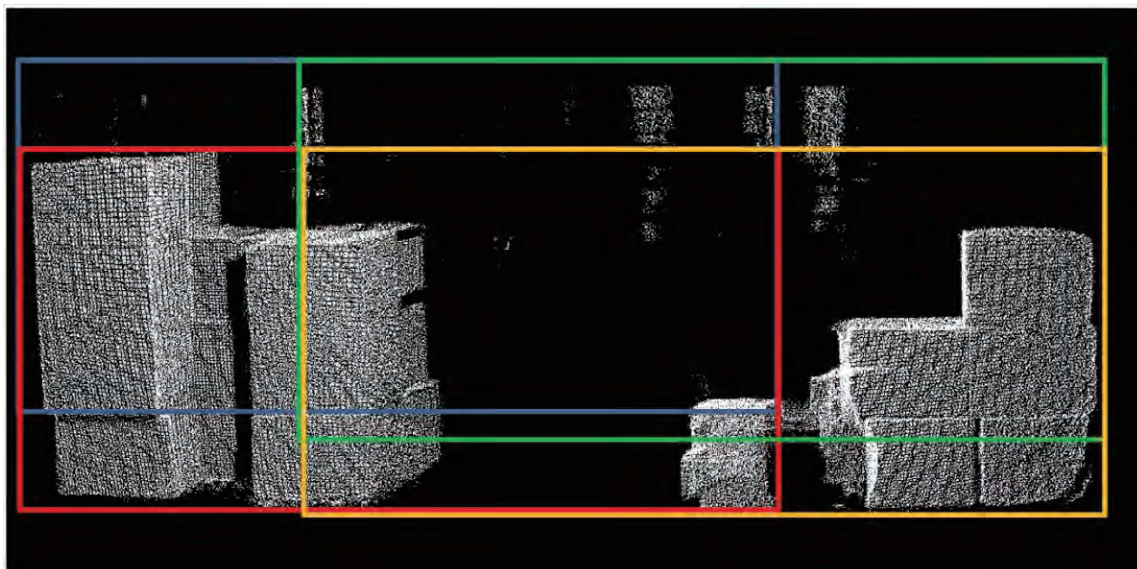
① 認識する目・判断する脳

Kyoto Robotics社内に、コンテナに積まれた荷物を模した実験場所を用意した。荷物を認識するカメラの選定やカメラ配置等の目のハード部分の要素を決定した。同時にカメラで取得した画像をTime Of Flight (TOF) 等の技術を使って、荷物の位置や大きさやハンドで掴む位置等の決定を行うソフトで対応する判断部分の研究を行った。写真1に実験時の様子を示す。図2にカメラで荷物を認識し、荷物の場所を判断した一例を示す。

●写真1 Kyoto Robotics内での実験の様子



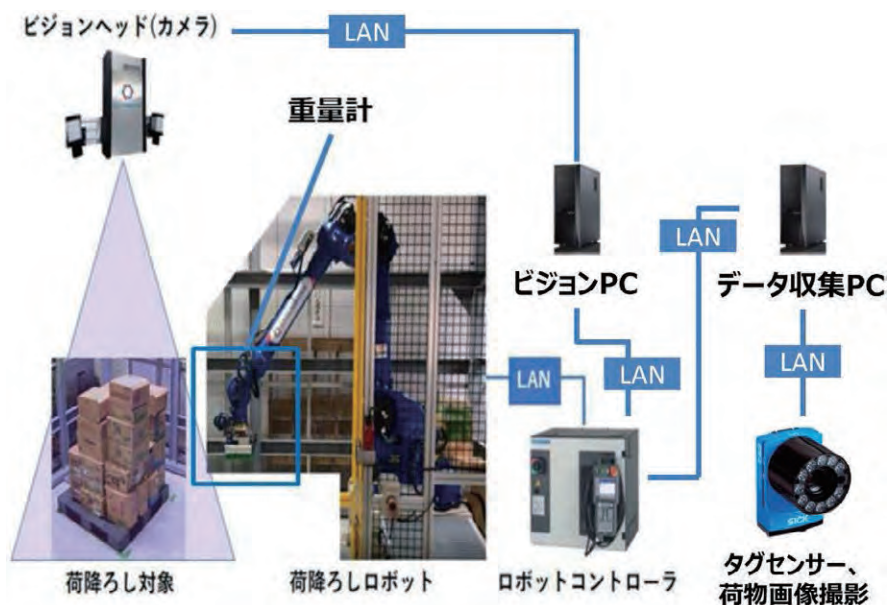
●図2 カメラで荷物を認識し、位置を判断した例



②荷物取り扱い時の情報の自動読み取り技術

自動荷降ろし機を制作するオークラ輸送機株式会社で、図3に示すシステム構成を作成し、荷物データの自動読み取りについて実験を行った。

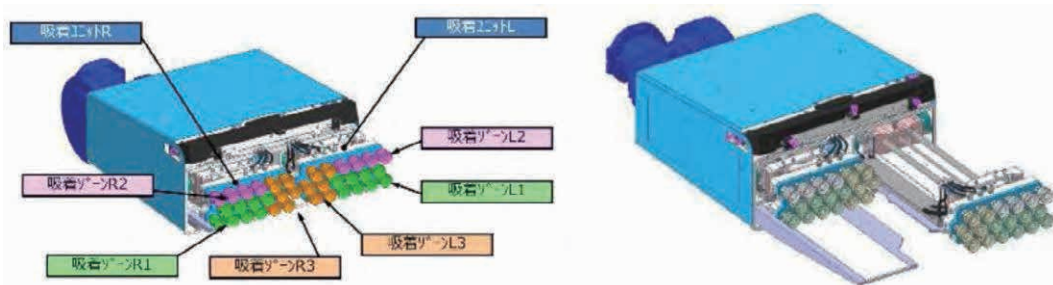
● 図3 荷物データの自動読み取りシステムの構成図



③ 掴む手

オークラ輸送機で、対応荷物サイズを効率的に掴むことができる手の研究開発を行った。荷物サイズの対象範囲が広いため、大きさを2種類に分けて吸着する分割ユニットを研究開発した。また重量30kgまで対応することが求められたため、荷物を下から支える方式を採用することとした。荷物を引き出す際にも荷物に損傷を与えないようにハンドの動作に工夫を加えた。図4に研究開発したハンドの例を示す。

● 図4 研究開発したハンドの例



①、②、③の研究結果から、1.2 (6) (7) の目標を達成また上回る、以下の結果を得た。

| | |
|-------------------------|---|
| 1.2 (6) ①対象荷物認識速度 (秒/個) | 2.8 |
| 1.2 (6) ②荷物認識精度 (%) | 99.9 |
| 1.2 (6) ③寸法計測精度 (±mm以内) | 10 |
| 1.2 (6) ④対応積付形態 | パレット、コンテナ直積みの対象荷物を取り出すことに成功 |
| 1.2 (7) ①収集データの種類 | バーコード/二次元コード、3辺サイズ、重量、荷物降ろし日時、荷物降ろし場所、荷物画像についてすべて取得 |

(3) 開発技術の実用化に向けた研究

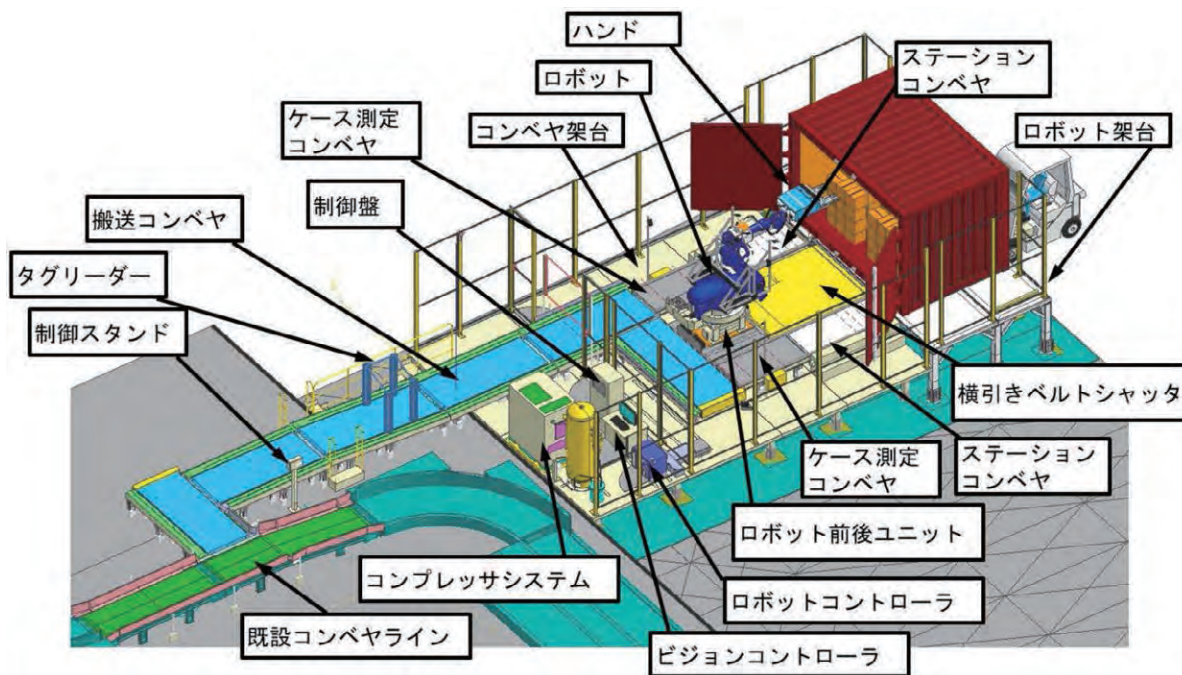
実用化に必要な実証実験に関する研究では、研究開発した技術を市販のマニピュレータに装着し、写真2に示す自動荷物降ろし機をオークラ輸送機で製作した。

●写真2 自動荷降ろし機



佐川急便札幌営業所の実際の荷降ろし現場に自動荷降ろし機を設置し、様々な顧客の混載荷物を利用した荷降ろし実証実験を行った。実証実験時の構成を図5に示す。

●図5 実証実験時の構成



①実用化に必要な実証実験に関する研究について以下の結果を得た。

・パレットでの荷降ろし

| | |
|-----------------|------|
| ○生産性(個/時間) | 600 |
| ○荷物認識精度 (%) | 99.9 |
| ○寸法計測精度 (±mm以内) | 10 |

・コンテナ直積み

| | |
|-----------------|------|
| ○生産性(個/時間) | 150 |
| ○荷物認識精度 (%) | 99.9 |
| ○寸法計測精度 (±mm以内) | 10 |

②「物流・商流データ基盤」との連携を想定した実証実験に関する研究について以下の結果を得た。

佐川急便 札幌営業所で様々な顧客の混載荷物を利用したデータ自動収集の検証を行い以下の情報を自動収集しつつ、収集した情報を1つの荷物として紐づけて任意のデータベースへ格納できることを実証した。

| | |
|-----------|---------------------------------------|
| ・収集データの種類 | バーコード/二次元、3辺サイズ、重量、荷降ろし日時、荷降ろし場所、荷物画像 |
|-----------|---------------------------------------|

(4)研究成果の社会普及に向けた研究

1.2 (4) ①創出した技術の社会普及に関する研究に関して、以下の4項目を行った。

・シンポジウムの実施

本研究テーマについて物流業界だけに留まらず、陸上輸送や海上・航空輸送、地域の物流関係の仕事に携わる方々をはじめとする多くの方々にご理解・ご支援いただくために、地方自治体と連携し、シンポジウムで研究成果の発表を行った。コロナ禍であり、オンラインも併用することで参加しやすい環境を整えた。相馬市、北九州市、いわき市と連携しシンポジウムを行った。その際の様子を写真3に示す。またシンポジウムの内容をまとめた書籍「スマート物流」を発行し、関係団体などに配布を行い、啓発活動に資した。

●写真3 地方自治体と連携したシンポジウムの様子



・研究部会での勉強会の実施

本研究テーマの目的を達成するために広く社会の方々からご意見ご要望をお聴きして研究に反映すべく、早稲田大学システム競争力研究所内に研究部会を発足し、定期的な勉強会を10件実施した。

・既存研究テーマとの協力関係構築

本研究で創出する技術を広く社会実装するために環境構築・整備をすべく、官民間問わず、本研究とコラボレーション可能な既存の研究テーマを探し、しごと能力研究学会との協力関係を構築した。

・研究内容の外部発信

ニュースリリースや学会での研究報告、展示会等での講演、各社HPへの掲載、実証実験の見学による研究

内容の外部発信を12件実施した。

1.2 (4) ②創出した技術の量産化に関する研究に関して、以下の3項目を行った。

- ・自動荷降ろし機のバリエーション展開

試作した自動荷降ろし機を基本として、より生産性を上げる、またより狭い場所でも動作することができる等の装置バリエーションの研究を行った。

- ・自動荷降ろし機のコストダウン

自動荷降ろし機の普及を目指して装置のコストダウンについて研究を行った。

- ・自動荷降ろし機の利用ビリティ向上

実証実験現場でのオペレータの使い勝手を聞き取り、量産装置へのフィードバックすべきポイントを明確化する研究を行った。

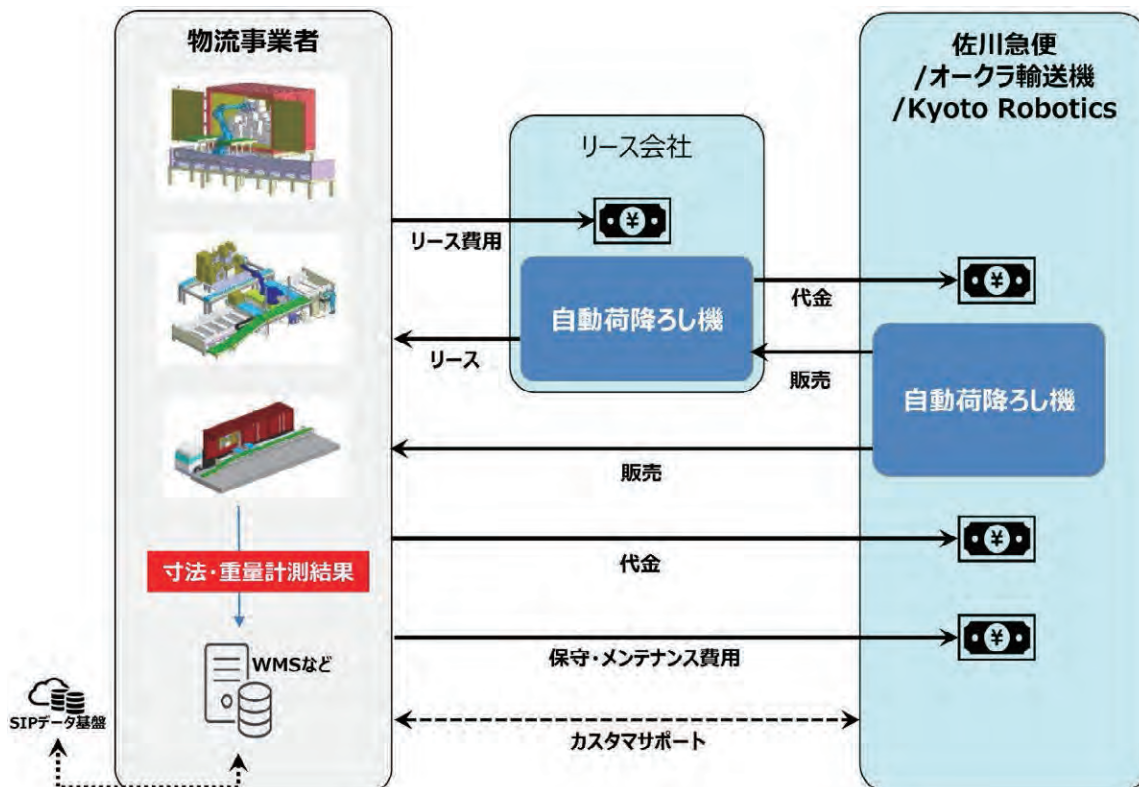
6 社会実装

社会実装を推進するため、佐川急便を責任機関とする社会実装体制を確立した。ここには支援機関だけでなく、装置開発に携わったオークラ輸送機も参加している。

社会実装に向けて、2022年3月に国際ロボット展にて自動荷降ろし機の展示、荷降ろしの実演を行い、各種業界へ認知を広めた。その結果、30社のポテンシャル顧客リストを作成することができた。ポテンシャル顧客に対してヒアリングを行い、要望の収集と導入確度の確認を行った。確度の高い顧客とは定期的な情報交換を行い、佐川急便札幌営業所で行った社会実装実験の結果も共有し意見交換も行った。研究終了時からの発売を見すえ、現在商談を開始しているところである。

図6に示すように、自動荷降ろし機の導入にあたっては装置販売だけでなく、リース会社を通じたオペレーションリースの仕組みにより顧客の導入ハードルの引き下げも図った。これにより中小の物流事業者も導入の機会を増やすことができる。社会実装開始を2023年4月以降に計画しているところである。

●図6 社会実装時のビジネスモデル



| | |
|-------|---------------------------|
| ユニット名 | 荷姿ラベルの活用による検品省力化と伝票レス化の実現 |
| 研究責任者 | 内田 雄治 (日本パレットレンタル株式会社) |

1 研究開発の背景と目的

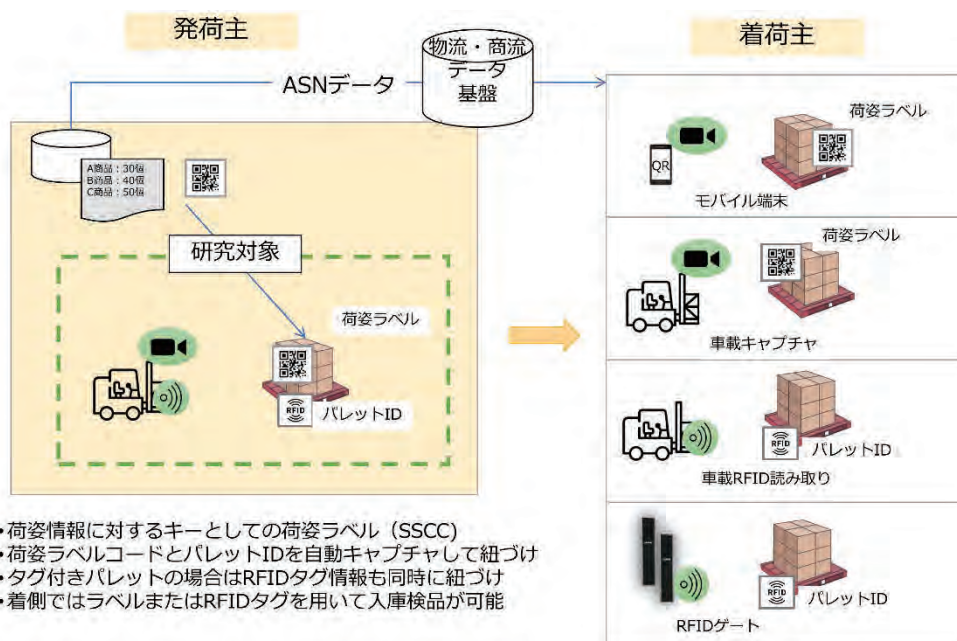
現在の物流現場では、パレットによる商品の荷積み、荷卸しが標準化されつつあるが、検品時には商品の梱包単位の検品となっており、荷積み、荷卸しに使われている荷姿と検品単位が異なることが効率悪化を招いている。

本研究では、フォークリフトで運搬する荷姿を1つの単位、ユニットロードと定義し、ユニットロード単位で物流容器（パレット）と積載貨物（商品）情報を自動で取得して紐付ける自動キャプチャ技術を開発することで現場での検品作業の削減の可能性を検証することを目的とする。

2 研究開発の目標

研究は図1の概念図に沿って以下の3つについて行うこととした。その目標をそれぞれ記載する。

● 図1 研究開発に取り組んだ全体の概念図



(1)フォークリフト車載型荷姿ラベルの画像認識読み取り検証

目標

- ①実現可能性検証のため、荷姿ラベルの仕様決定
- ②フォークリフトの荷役作業の流れの中で、フォークリフト積載対象物に貼付された荷姿ラベルの位置を自動的に認識できること
- ③荷姿ラベルの内容を読み取りできること
- ④出荷時の荷姿のエビデンスの一つとして、荷姿そのものの画像データの取り込みができること

(2)フォークリフト車載型荷姿ラベルとパレットIDの紐付けシステム

目標

- ①実現可能性検証可能なフォークリフト車載式の荷姿ラベル読取装置とRFIDタグ読み取り装置のプロトタイプ

イプ完成

②荷姿ラベル情報とパレットIDを紐付けたデータの出カシステム完成

(3)プロセス検証

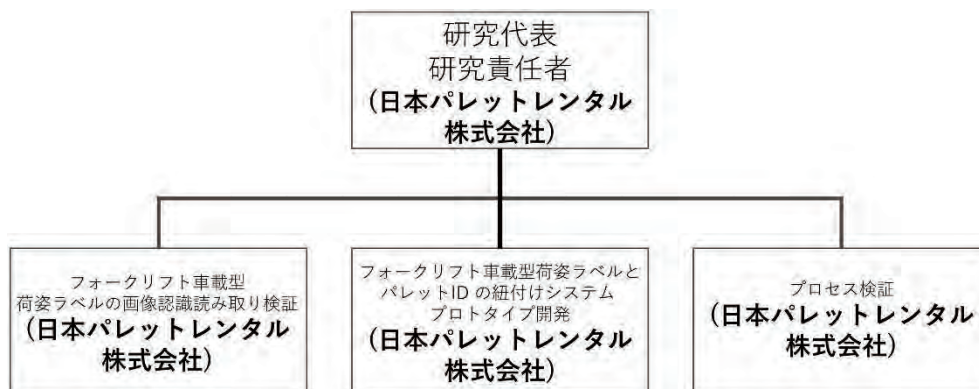
目標

①荷姿ラベルとパレットIDを用いた検品レスが実現可能なデータの論理構造について提案

3 実施体制

本研究は図2の実施体制で行った。

●図2 実施体制図



4 工程表

| 実施課題 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |
|---|--------|--------|--------|--------|
| (1)フォークリフト車載型荷姿ラベルの画像認識読み取り検証 (日本パレットレンタル株式会社) ①荷姿ラベルの仕様決定 ②荷姿ラベルの位置を自動的に認識 ③荷姿ラベルの内容を読み取り ④荷姿そのものの画像データの取り込み | ↔ | ↔ | | |
| (2)フォークリフト車載型荷姿ラベルとパレットIDの紐付けシステム (日本パレットレンタル株式会社) ①荷姿ラベル読み取り装置とRFIDタグ読み取り装置のプロトタイプ完成 ②荷姿ラベル情報とパレットIDを紐付けたデータの出カシステム完成 | | ↔ | | |
| (3)プロセス検証 (日本パレットレンタル株式会社) ①荷姿ラベルとパレットIDを用いた検品レスが実現可能なデータの論理構造について提案 | | ↔ | ★ターゲット | |

5 研究開発の取り組みと成果

実証実験は次のような手順で行った。

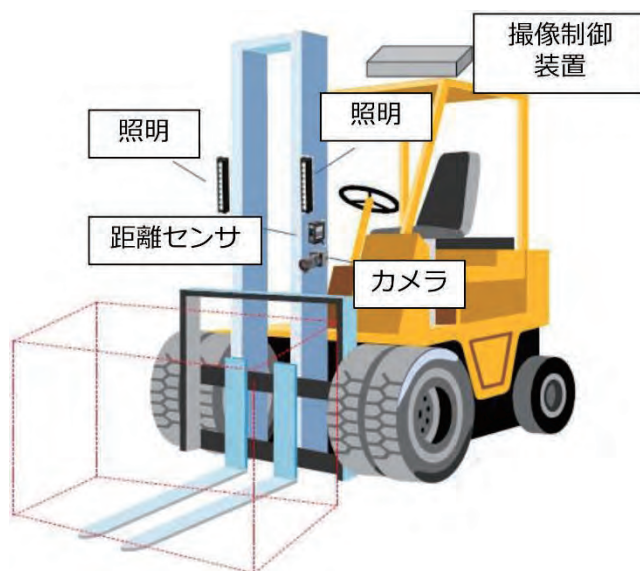
積載貨物の情報については、荷姿そのものを画像認識するのではなく、荷姿の内容を記録したデータに紐付けた荷姿ラベルを定義し、荷姿ラベルを画像認識することによって行う。荷姿ラベルはバックエンドシステムに記録された積載貨物に関する情報を引き出すキーとしての役割を果たす。ピッキング時にユニットロード単元に積載貨物情報を生成し、紐付けた荷姿ラベルを貼付し、出荷時にフォークリフトに実装された画像認識装置で自動的に荷姿ラベルを読み取ることで積載貨物情報を取得する。

荷姿については、そこから積載商品情報の直接的な画像認識は行わないが、出荷時の荷姿のエビデンスの一つとして荷姿画像を撮影し、それをデータ基盤に上げることも検討対象としている。

また、パレットに関する情報取得は、フォークリフトに実装されたRFIDタグ読み取り装置によりパレットIDを読み取ることによって行う。

実際に実証実験に使用したフォークリフトに取り付けたカメラ、距離センサ、照明、撮像制御装置類を図3に示す。

●図3 実証実験に使用したフォークリフトへのセンサ類配置図



フォークリフトに取り付けたセンサ類で荷姿ラベル、パレットIDなどを読み取ることを目指した。

2020年5月に実証実験を協力企業の倉庫において実施した。実験はお客様の実運用環境で、荷姿ラベルの判別能力、課題等を確認することを目的とした。実験時の状況を写真1、2に示す。

●写真1 フォークリフト移動中の荷物情報読み取り実験例



フォークリフトの直線進入時



フォークリフトの曲線進入時

共に時速9km

●写真2 パレット上の荷物への二次元コードの貼付位置



(1)荷姿ラベルの画像認識による読み取り検証

- ①情報量により二次元コードを使用することが必要であることが分かった。
- ②フォークリフトから見える位置に貼り付けることが必要であることが分かった。
- ③低位置にある二次元コードを読み取るために、フォークリフトに取り付けたカメラには広角レンズを使用し、撮影範囲を広げることが有効であることが分かった。
- ④フォークリフト移動時の振動による誤認識に対しては、画像処理による補正を追加することで改善することが分かった。

(2)フォークリフト車載型荷姿ラベルとパレットIDの紐付けシステムと(3)プロセス検証

荷姿ラベルとパレットIDを紐付ける荷姿ラベル認識システム導入において、トラックに積み込む前の検品(数量/配送先)時、トラックから荷降ろし後の検品時及び入庫処理時の検品省力化、誤配防止、トレーサビリティ及び計画化に対して効果があることが分かった。一方、パレットへの積み付け作業時には商品構成の紐付け及びラベル発行などの作業負荷が増加することが、現場での調査と要件定義から判明した。作業負荷を軽減するために、積み付け支援システムを利用することにより紐付け作業を不要にできることが判明した。

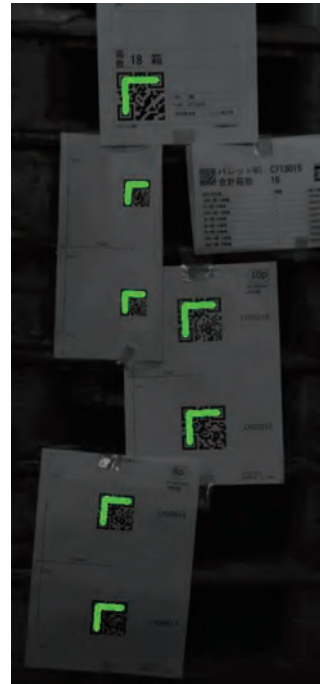
6 社会実装

本研究はステージゲートを経て国費での研究開発を2020年5月で終了した。2022年9月にはハンディターミナルを使った荷姿ラベル(二次元コード)管理システムを運用している日発運輸株式会社と、フォークリフトによる二次元コード自動認識システムの実装に向けた共同活動を進めている。まだ現場テストからの課題抽出段階であるが、2023年度にはプロトタイプを完成させて現場実践を積み、実現に向けた課題を解決し、本格導入を目指している。現場テスト状況を写真3に示す。

●写真3 日発運輸での現場テスト



2次元コード・サイズと貼付位置確認



2次元コード認識結果



| | |
|-------|--|
| ユニット名 | 画像認識などによるバースにおける車両出入りおよび積み降ろし作業の自動データ収集システムの開発 |
| 研究責任者 | 亀山 博史（グローリー株式会社） |

1 研究開発の背景と目的

大手物流、大手流通企業は最新の物流システムの設備投資・導入に積極的で、自動搬送、無人搬送車（AGV）による無人化の結果、各工程での自動データ化、IoTやAI技術を活用した情報化が進んでいる。この動きは、大手企業を中心として規模によるコストダウン、生産性の確保は今後も進んでいくと想定される一方、同時に業界全体で見ると、システム化が遅れている企業においては、依然として人手による作業・対応が中心となっている。物流での車両ドライバーの一連の業務に着目すると、待ち時間の拡大や長い就業時間等、物流センターにおける受付業務、積卸・検品にかかる時間の積み重ねによる複合的な課題がある。

本研究では倉庫・貨物車両に関係する自動データ化ができていない領域に対し、画像認識技術を活用して、見える化・自動データ化する研究開発の実現性確認を目的とする。

2 研究開発の目標

(1)車両状態の自動認識・データ化

施設入口・バースにおける車両の自動認識に最適なカメラ・鮮明化技術・車両認識・ナンバー読取技術の課題抽出を行い、実環境での車両入出の自動データ化の実証実験を実施し、試作システム仕様と検証を実施する。具体的には以下の2つを実施する。

- ①ナンバー認識技術の研究
- ②ナンバー画像鮮明化の研究

(2)積卸業務の自動認識・データ化

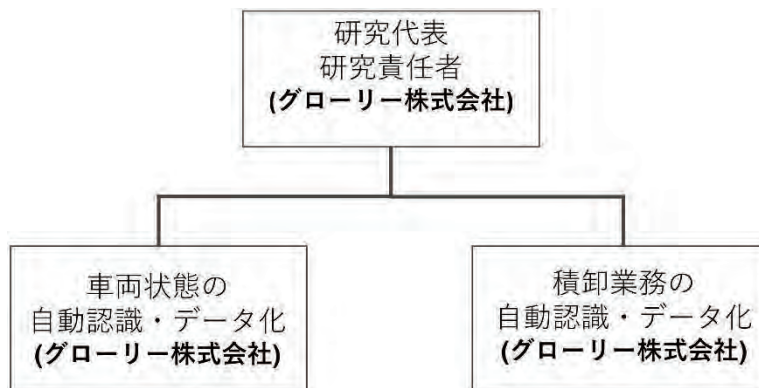
車両への積み荷状態の把握とパレットに積載されている種類、数量をTime of Flight (ToF) センサー、画像センサーを活用して把握し、実証実験を実施し、その課題をまとめ、貨物車両での積卸作業における自動機器との連携案を作成する。また荷役業務時の作業者の状態把握を、カメラ画像を通じて自動認識可能かの技術検証を実施する。具体的には以下の3つを実施する。

- ①貨物室の積載状態の記録の研究
- ②荷役作業の進捗管理の研究
- ③画像認識による自動検品の研究

3 実施体制

本研究は図1の実施体制で行った。

●図1 実施体制図



4 工程表

| 実施課題 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |
|---|--------|--------|--------|--------|
| (1)車両状態の自動認識・データ化 (グローリー株式会社) ①ナンバー認識技術の研究 ②ナンバー画像鮮明化の研究 | | ←→ | | |
| (2)積卸業務の自動認識・データ化 (グローリー株式会社) ①貨物室の積載状態の記録の研究 ②荷役作業の進捗管理の研究 ③画像認識による自動検品の研究 | | ←→ | ←→ | |

5 研究開発の取り組みと成果

(1)車両状態の自動認識・データ化

①ナンバー認識技術の研究

研究機関にて準備した顔認証+ナンバー認識パッケージを通じて、ナンバーの自動認識・記録をする機能を物流現場で展開できる技術を抽出し、物流現場での実証実験を通じて実装可能なシステムの仕様を検討する。物流現場におけるドライバーと車両を紐付ける無人受付や、他のシステムへ通知・記録を共有する仕組みとして顔認証+ナンバー認識パッケージの活用可否を研究する。

配送量（カゴ車2,000台（52,000ケース）/日）規模の物流センターの車両が多い任意のバースにおいて、令和2年3月に実車両を通じてのナンバー認識システムによる自動読取の実験を行った。ナンバー認識・登録済み車両の通知をソフトウェアで処理し、通知情報を蓄積して、指定した車両のカメラ毎の認識結果を集計するオプションツールを作成した。認識時間を活用した入退場時間や荷役業務時間を自動で集計が可能か検証を行った。

- トラックの走行時（時速10～20km）のナンバー読取は23台中22台成功した。
- 受付帳簿の申告時間と実際に車両が通行した記録について比較したところ、時間の誤差はあるものの、ドライバーの最終の入退場、待ち時間、事務所での手続きなどはナンバーを追跡することで、受付時間から退場までの正確な時間の自動記録は可能であると判明した。図2に比較を示す。

●図2 手書き台帳と自動記録の比較

| | 受付 | 荷卸開始 | 荷卸完了 |
|------|-------|-------|-------|
| No18 | 8:26 | 9:06 | 9:15 |
| No14 | 7:35 | 9:25 | 9:50 |
| No24 | 9:36 | 10:33 | |
| No25 | 9:39 | 9:55 | 10:20 |
| No28 | 10:05 | 10:15 | 10:25 |

ナンバー認識+骨格認識(荷役作業の画像認識)による自動記録

| NO | 受付時間 | 待ち時間 | 荷役開始時間 | 荷役時間 | 荷役完了時間 | 退場時間 | 運送会社 | 運転手名 | 車種 | 車両規格 | 納品数量 | 納品数値 | パース |
|----|----------|-------|----------|-------|----------|----------|------|------|----|------|------|------|-----|
| 18 | 8:26:00 | 0時41分 | 9:07:13 | 0時09分 | 9:16:56 | 9:24:59 | L社 | | | 4t | バラ | 119 | 17 |
| 14 | 7:35:00 | 1時49分 | 9:24:45 | 0時27分 | 9:52:11 | 10:02:29 | M社 | | | 6t | バラ | 250 | 17 |
| 24 | 9:35:58 | 0時59分 | 10:35:36 | 2時34分 | 13:10:14 | 13:21:29 | K社 | | | 10t | バラ | 890 | 17 |
| 25 | 9:39:42 | 0時15分 | 9:55:15 | 0時15分 | 10:11:13 | 10:17:54 | M社 | | | 2t | バラ | 49 | 17 |
| 28 | 10:05:24 | 0時12分 | 10:18:14 | 0時07分 | 10:25:25 | 10:31:53 | T社 | | | 10t | パレット | 14 | 17 |

②ナンバー画像鮮明化の研究

ナンバープレート認識で難度の高い、逆光、夜間、深い角度などの撮影環境に対し、カメラ設置条件の緩和によるシステム安定化、コストダウンを狙い、その上で研究機関が準備したナンバープレート認識に対する画像鮮明化処理の有効性を検証した。検証は研究機関が準備した鮮明化技術と、他社の保有する鮮明化技術との比較で行った。車両の実映像をもとに図3に示す6種類の鮮明化技術ナンバー認識の結果の検証により、K方式を軸に研究を実施することになった。

●図3 6種類の鮮明化技術の検証画像



- 低照度において、鮮明化により境界が強調されるため、効果が確認された。
- 逆光、夜間において、鮮明化により画像全体のコントラストが強くなり、効果が確認された。
- 走行時の一時的な隠れについてはナンバープレート追跡により対応可能であることが確認された。
- プレート取り付け位置による垂直角の違いについては検出アルゴリズムのチューニングで対応可能見込みであることが確認された。

ナンバー認識システムのシステム安定化を目的とし、継続した研究開発により、基盤技術の底上げを目指すことの必要性を確認できた。

(2)積卸業務の自動認識・データ化

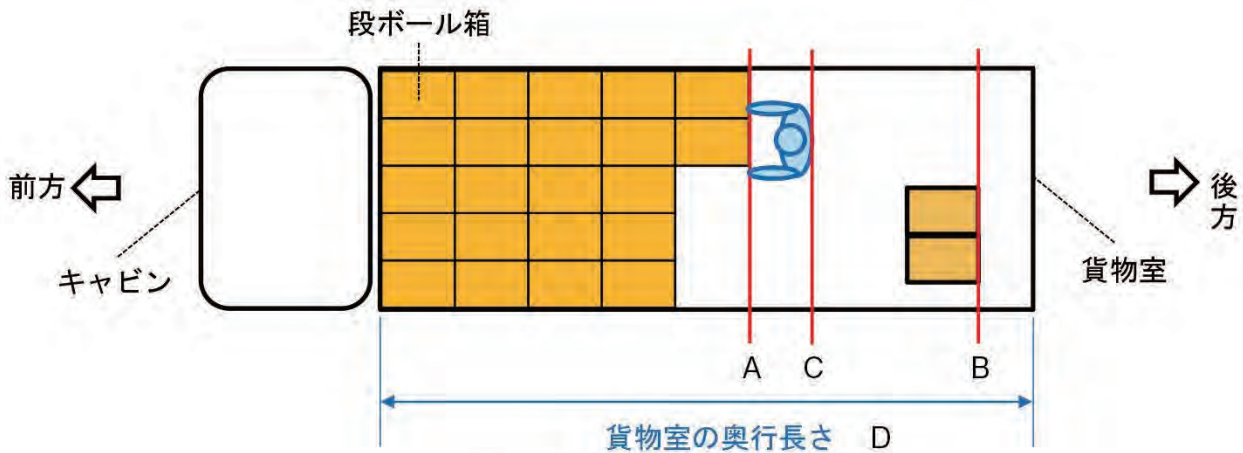
バス内における積卸作業に関連する積荷状態、荷役作業の進捗、積卸時の検品業務を、画像認識技術により自動データ収集可能なシステム開発の実現性を検討する。

①貨物室の積載状態の記録の研究

トラックの貨物室の積載状態と、貨物搬出作業の進捗状況を可視化する。

積載状態の指標を積載長率（積載容積を近似したもの）とした。積載長率は貨物室前面からA、B、Cまでの距離を貨物室の奥行長さDで除した百分率である。A貨物基準位置は貨物未搬出の貨物だけの位置、B全貨物基準位置は全貨物搬出途中の貨物、搬出対象外の貨物を含む位置、C人基準位置は作業員の位置である。位置関係は図4を参照。

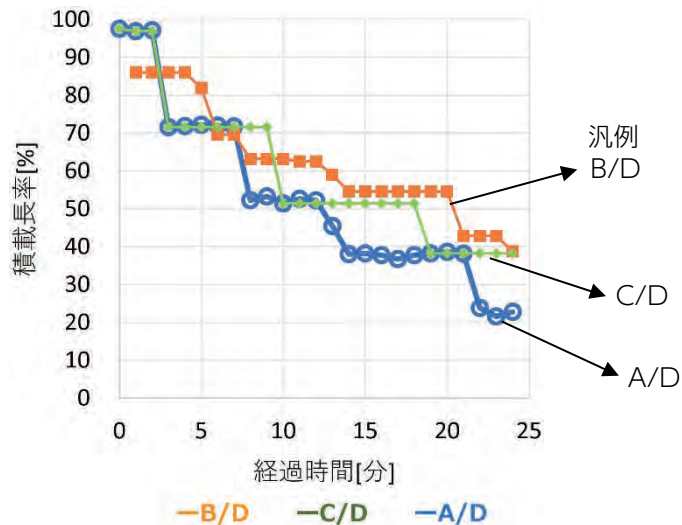
●図4 トラックの貨物室の積載状態の可視化の位置関係



トラックを真上から見た図

光の反射による検知であるToFカメラをトラック後部の上部に取り付け、上述のA、B、Cの位置を1分毎に測定した。その結果、図5に示すような時間毎の位置の測定が可能であることが確認できた。

●図5 時間毎の積載長率

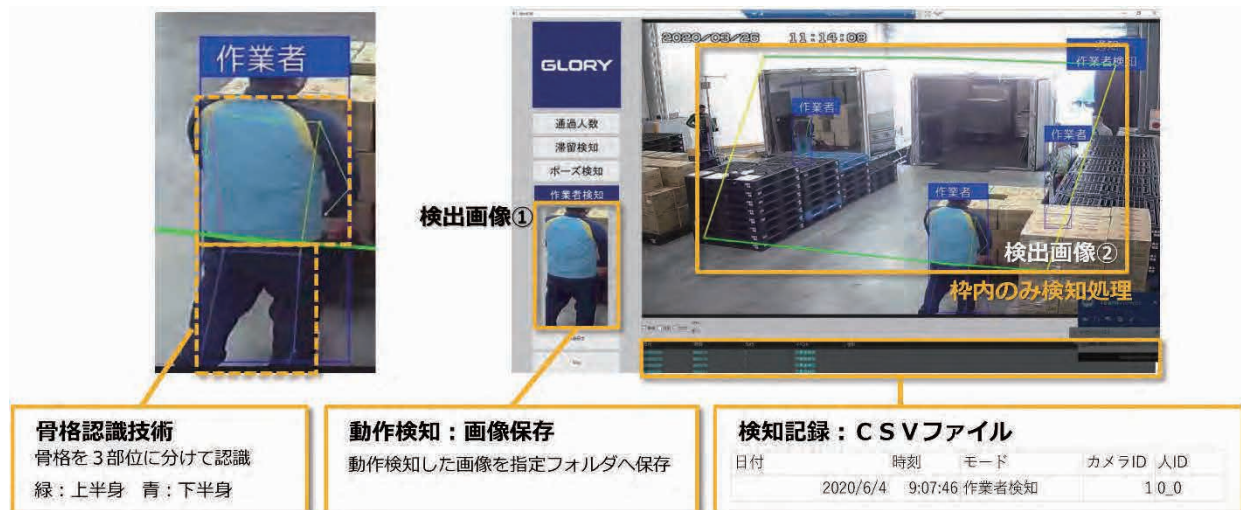


②荷役作業の進捗管理の研究

バース内における荷役作業の進捗を、作業者の骨格を画像認識することによってバース近辺での人数ならびに作業時間の自動記録が可能かを検証し、障害物や対象となる撮影範囲による誤検出の課題を整理し、安定した自動記録に最適な組み合わせを検証した。

通常IPカメラ（130万画素）より5fps（frame per second）で画像取得し、可能な範囲でバースを広角に撮影し、対象となる作業エリアを下記の図6のように指定した枠を設定。枠内に人物と認識された時点で画像の取得、時間の記録を行った。

●図6 バース内での作業者の骨格を画像認識した例



荷役進捗における作業内容の自動記録の課題については、骨格認識精度の向上と処理定義の改善により実用可能と判断した。

③画像認識による自動検品の研究

画像解析によるパレット単位の自動検品記録（種類・数量）の実現可能性の検証を目的とする。

●積荷の種類分析

積荷の側面の画像と予め登録した段ボール箱の画像を照合し、積荷の種類を認識する。

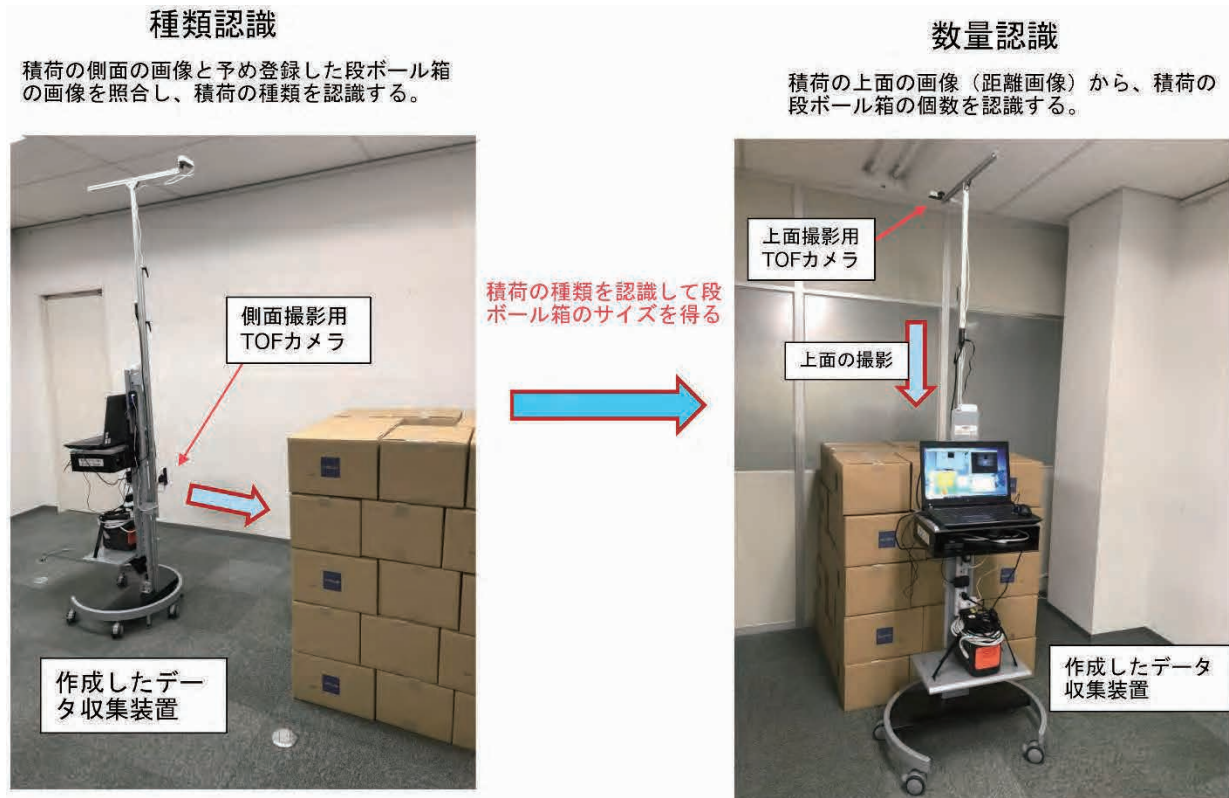
収集した積荷データに対して、本研究の種類認識技術を適用し、種類認識が成功するデータと失敗するデータを分析し、実現可能性の条件を明確にした。失敗するデータに対しての対応方針を明確にすることができた。

●積荷の数量分析

積荷の上面の画像（距離画像）から、積荷の段ボール箱の個数を認識する。

収集した積荷データに対して、本研究の数量認識技術を適用し、数量認識（計数）が成功するデータと失敗するデータを分析し、実現可能性の条件を明確にした。図7がその実験例である。失敗するデータに対しての対応方針を明確にすることができた。

● 図7 積荷の種類認識と数量分析の実験例



6 社会実装

本研究はステージゲートを経て国費での研究開発を2020年5月で終了した。

グローリーでは継続して研究を進め、本研究にて得られた知見・技術も応用することで、別の物流シーンにおける早期社会実装に向けて取組んだ。

1-5 (2) ③の研究成果をもとに、物流大手企業向けに2021年から2022年にかけて写真1「自動荷物計測装置」の試作品開発に着手、市場でのテストを実施し、2022年6月に製品リリースを実施した。

研究テーマ②については、作業者のAI画像検知・骨格認識技術の精度向上を目的に独自に研究開発を続け、物流業界や小売店舗で活用できるアプリケーション製品化を継続して進めた。結果、通常の監視カメラで活用でき、様々な現場での作業時間監視・人数チェックの自動計測を目的としたグローリー社独自のアルゴリズムを搭載した写真2作業者見守りアプリケーションを2023年3月発売開始になった。

●写真1 自動荷物計測装置外観



操作画面イメージ

●写真2 作業者監視アプリケーション（仮称）画面イメージ

