# 無人搬送機による工場内物流の最適化

## －ロボットモデルシステムの構築による導入促進 －

Optimizing logistics in factories with autonomous mobile robot

－ Promoting the introduction of robots by building a robot model system －

三浦　創史、 鈴木　翔一、村井　博

三八地域の製造品出荷額は県全体の約 3 割を占め、製造事業所数・従業者数ともに県内最多である一方、人手不足が深刻化している。生産性向上のためにはロボット導入による省力化が有効であるが、中小企業での普及は進んでいない。

背景には、東北地域においてロボットシステム構築を行う企業が少ないこと、企業内でロボットに精通した人財の確保・育成が困難であること、ロボットの導入を検討する企業が相談や技術支援を受けられる体制が乏しいことが挙げられる。そのため、本事業では三八地域の製造業に協働ロボットの導入を促すため、八戸工業研究所内のロボット試験室を活用し、製造工程の改善に向けロボット導入の意欲がある企業に対してシステム構築試作と実証試験を支援するとともに、そこで構築したモデルシステムを活用し、管内の同業他社に対し応用展開を図り、ロボット導入を促す。

本年度は「無人搬送機による工場内物流の最適化」に取り組んだ。本モデルシステムは3台のロボットによるサブシステムの連結体である。すなわち、前工程ロボットシステム、後工程ロボットシステムの間を搬送システムがつなぐ。今回は電子機器製造業を模擬して、プリント基板への部品実装・はんだ付けを前工程、プリント基板を樹脂ケースにネジ締めしてケースを被せる組立作業を後工程とみなし、それぞれシステム構築した。

これらのシステムを企業に提示し、意見を伺うべくアンケート調査したところ、「自社で有効活用できる」と答えた企業は 45.0%であった。本モデルシステムは元々、未来のあるべき工場像を先行して示した側面があり、45%の企業がイメージを持つことができたことは訴求ポイントが一定数伝わったものと考えている。引き続き搬送の省力化を含め、付加価値向上に直結する省力化に取り組んでいく。



図1　部品実装・はんだ付けロボットシステム



図2　無人搬送機とねじ締め組立システム

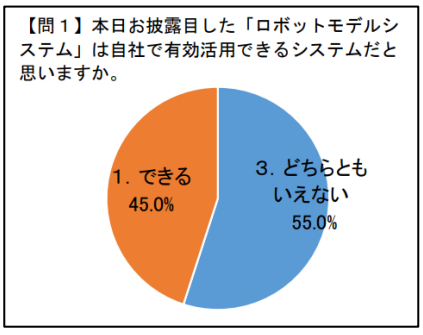



図3　企業へのアンケート結果

## 1. はじめに

三八地域の製造品出荷額は県全体の約 3 割を占め、製造事業所数・従業者数ともに県内最多である一方、人手不足が深刻化している。生産性向上のためにはロボット導入による省力化が有効であるが、中小企業での普及は進んでいない。

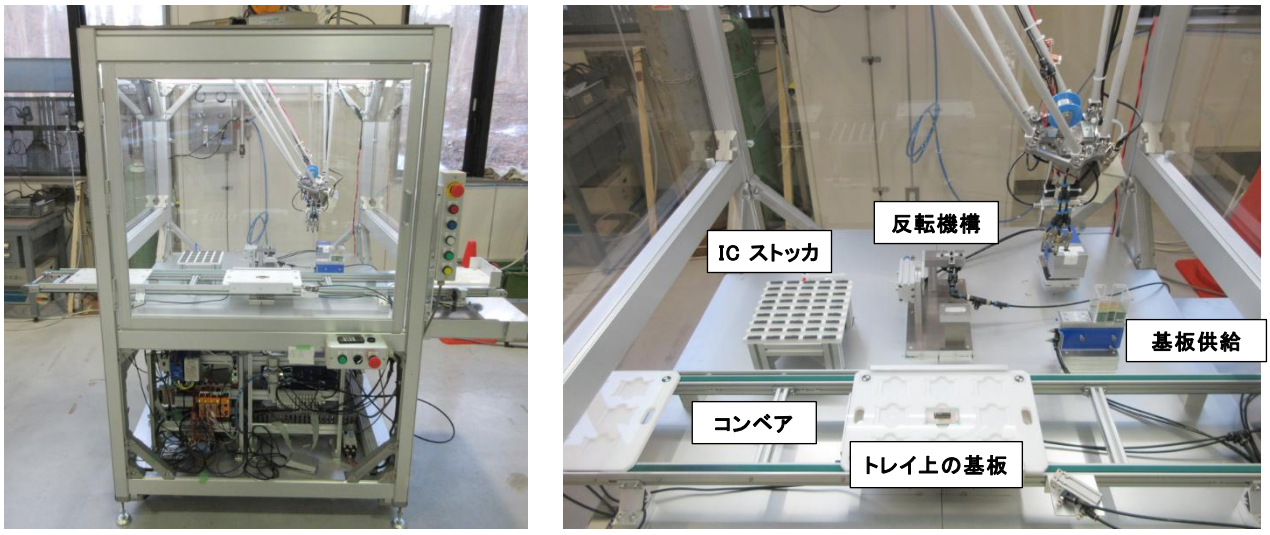
背景には、東北地域においてロボットシステム構築を行う企業が少ないこと、企業内でロボットに精通した人財の確保・育成が困難であること、ロボットの導入を検討する企業が相談や技術支援を受けられる体制が乏しいことが挙げられる。そのため、本事業では三八地域の製造業に協働ロボットの導入を促すため、八戸工業研究所内のロボット試験室を活用して製造工程の改善に向けロボット導入の意欲がある企業に対してシステム構築試作と実証試験を支援するとともに、そこで構築したモデルシステムを活用し、管内の同業他社に対し応用展開を図り、ロボット導入を促す。

## 2. 内容

本年度は「無人搬送機による工場内物流の最適化」に取り組んだ。本モデルシステムは3台のロボットによるサブシステムの連結体である。すなわち、前工程ロボットシステム、後工程ロボットシステムの間を搬送システムがつなぐ。今回は電子機器製造業を模擬して、プリント基板への部品実装・はんだ付けを前工程、プリント基板を樹脂ケースにネジ締めしてケースを被せる組立作業を後工程とみなし、それぞれシステム構築した。

### 2. 1　パラレルリンクロボットによる部品実装・はんだ付けシステム

前述のとおり本搬送システム全体における前工程として、電子回路基板の製造を模してプリント基板に電子部品を実装する工程、ならびにそれをはんだ付けして回路を完成させる工程、これら2つをまとめて自動化するロボットシステムを構築した（写真1）。使用したロボットは Panasonic 製 パラレルリンクロボット、「PLR-S800」である。




(a) 全体像　　(b) 各ユニットの配置状況

写真1　部品実装・はんだ付けロボットシステム

一般的にパラレルリンクロボットは軽量のワークを移設させる、いわゆるピックアンドプレースを高速で行うのに適したロボットである。しかし PLR-S800 はこれに加え、各種ロボットハンドを最大 4 つまで装着できる特徴があり、複数の作業を一度に行うことができる。この特徴を生かして部品実装とはんだ付けをまとめて

一度に行う設計とした。ロボットに装着するハンドが行うべき作業は、①プリント基板の把持、②実装部品の把持、③はんだ付け、の 3 つである。このことから、上記 3 つの作業を行うためのハンドを統合して写真2に示すような複合ハンドとした。

### 2．1．1　ハンド設計

#### ①　プリント基板の把持機構

プリント基板は小型軽量でなおかつ薄板であることから、横から挟むのではなく上から吸着するのが好適である。本開発では後工程にて締め付けるネジ穴の干渉を避ける工夫も加え、上下左右配置となる4個の吸着パッドで把持する設計とした。

#### ②　実装部品の把持

電子部品として 20 ピンの端子を持つ IC（集積回路）を 1 個実装することとした。この IC の形状は DIP(Dual Inline Package)という 2 列の端子が縦方向に 2.54mm ピッチで並んでいる形状のもので、専らプリント基板に開けたスルーホールに端子を挿すことで電気的に接続する。この穴径は約 1mm であることから±0.5mm 未満の精度で穴にピンを通す必要がある。

小型の電子部品は一般的に吸着によって把持される。しかし今回はあえて横から挟む把持方式を採用した。その理由は、実装前の DIP IC の端子はハの字状に開いた形状になっており、そのままではスルーホールに差し込むことができない。事前に人の手で端子を垂直に折り曲げて整形する必要がある。本システムではこれ自体を自動化するべく、IC を横から把持した時点で整形するアイデアを考案した。ハンドの把持幅と把持力を適切に設定した整形によってスルーホールへの挿入は良好である。

#### ③　はんだ付け

DIP IC の端子は通常1本ずつはんだを付けるが、今回は効率化を意図してはんだごてを動かしながら連続的にはんだを付けていく「引きはんだ」という技法で行うこととした。そのため、引きはんだに対応した特殊な門型形状のこて先を採用した。

### 2．1．2　コンベア搬送系の構築

回路基板を最大9枚載せたトレイを無人搬送機に排出するため、またトレイの供給機構からパラレルリンクロボットに空のトレイを供給するためのコンベア搬送系を構築した。写真3に示すように供給機構、ロボット作業空間、無人搬送機への排出待機箇所の3箇所が独立して搬送できるよう、搬送しないトレイをコンベアから浮かせて切り離すリフトアップ機構を備えた。

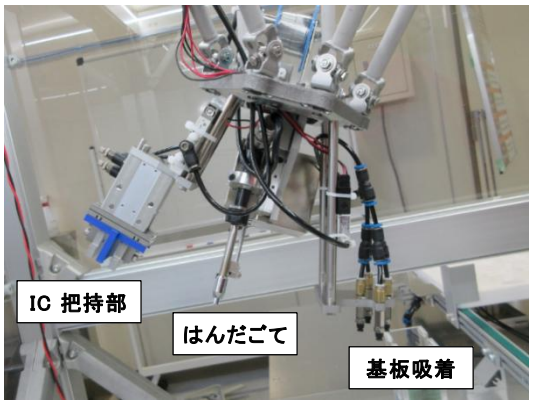



写真2　3つの機能を持つ複合ハンド



写真3　コンベア搬送系

### 2．1．3　周辺機構

プリント基板の供給機構ならびに基板の反転機構について述べる。プリント基板は薄板であるから積み重ねた状態から1枚ずつ取り出す機構を設けた（写真4）。横から受け皿をスライドして押し出すことで実現した。また、ロボットはプリント基板の表（おもて）面に DIP IC を差し込み、裏面の端子の露出部にはんだを付けることになる。そのため部品を差し込んだ後、それが抜けないよう維持したまま裏面が上に向くよう反転させる機構を設けた（写真5）。以上の機構とロボットプログラムによりプリント基板に部品実装・はんだ付けを行って無人搬送機に受け渡すシステムを構築した。

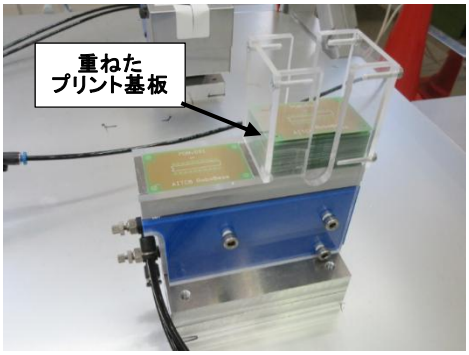
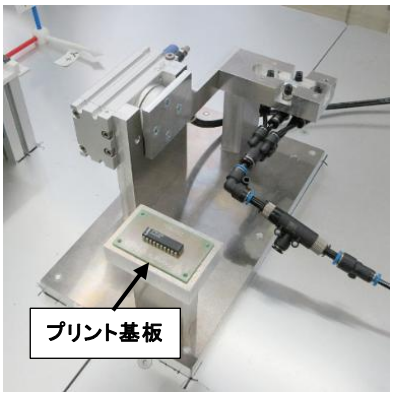
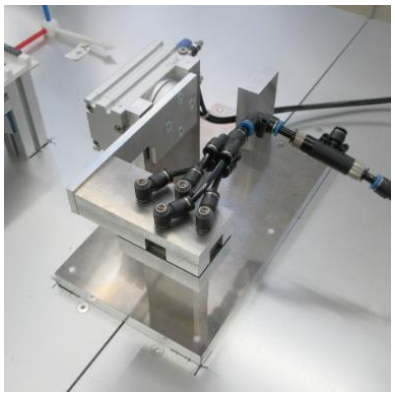


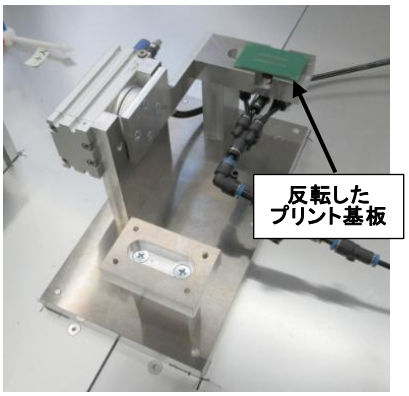

写真4　プリント基板の供給機構




(a) 部品面を上向きに置く



(b) 上から吸着機構を被せる




(c) 吸着したまま反転

写真5　反転機構の動き

### 2．2　無人搬送機による搬送自動化システム

搬送の自動化を担うロボットには、自律走行搬送ロボット AMR (autonomous mobile robot)を用いた。AMR は人や障害物を避けながら目的地まで荷物を搬送するロボットで、旧来の AGV (automatic guided vehicle)と異なり、磁気テープやレールが不要でレイアウト変更に柔軟に対応できる。製造業、物流業、医療機関など様々な分野で導入が進んでいる。本システムにはオムロン社製「LD-90」を用いた。写真6に全体像を示す。

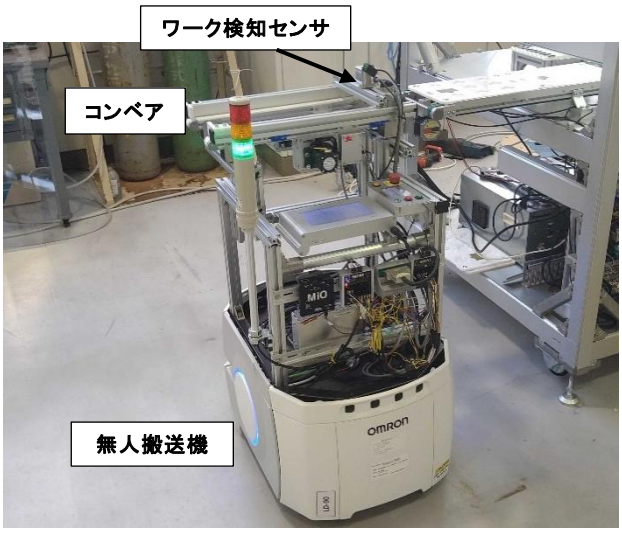
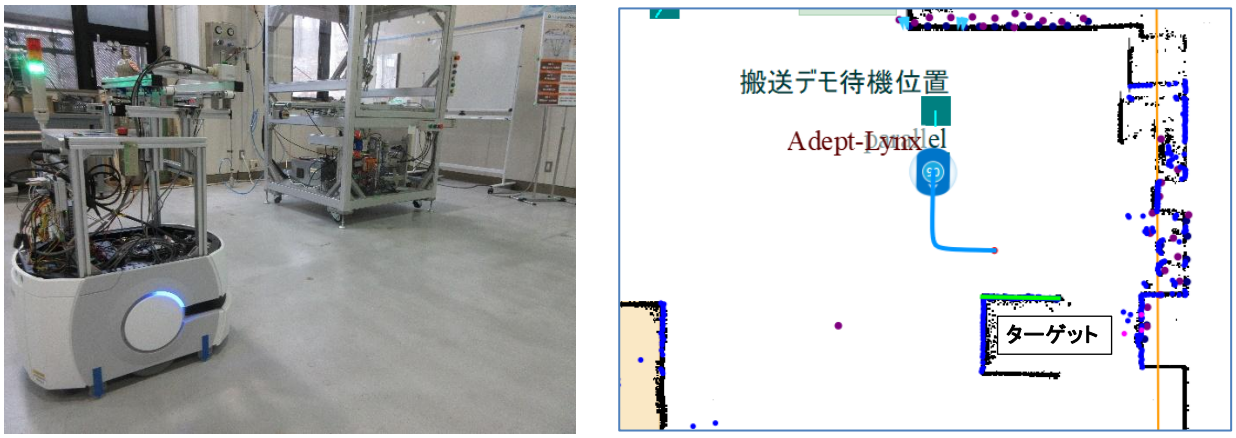



写真6　無人搬送システムの構成

本システムではコンベアの排出位置への停止精度が重要であるため、LD-90 に備わる「セルアライメント位置決めシステム（cell alignment positioning system、CAPS）」を用いた（写真7）。パラレルリンクロボットの架台と双腕型協働ロボットの架台の形状を停止位置ターゲットとして事前設定することで、無人搬送機を正確に停止させることとした。




(a) パラレルリンクロボットにアプローチする様子　　(b) 自己認識地図上におけるターゲットの認識

写真7　CAPS による高精度停止動作

無人搬送機がパラレルリンクロボットの排出用コンベア出口に到着すると、パラレルリンクロボットに備わっている排出用コンベアを駆動させるよう指示信号を送る（写真8）。具体的にはパラレルリンクロボットの架台に取り付けられた光電センサの受光器に無人搬送機から赤外線を照射することで、非接触でコンベア駆動指示を出している。

また、無人搬送機の上部コンベアに取り付けた光電センサが搬送ワークであるアクリル製トレイを検知すると、無人搬送機上部のコンベアを駆動し移載する。積載が完了した後、後工程の双腕型協働ロボットへ移動

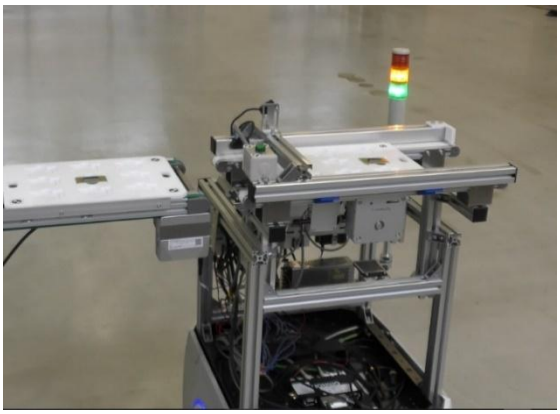
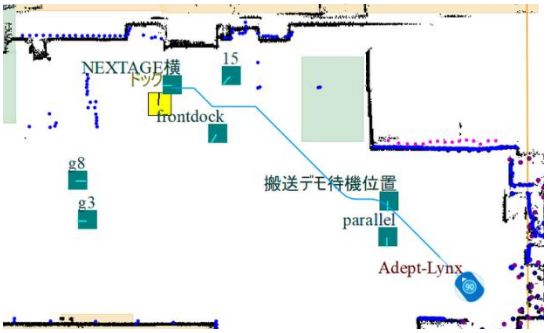


写真8　コンベアを駆動してのワーク受け渡し




(a) 自動生成された経路



(b) 移動中の様子

写真9　経路生成と移動の様子

を開始する。移動経路は周辺環境の障害物の有無を認識して、無人搬送機自らが経路生成する(写真9)。双腕型協働ロボットにワークを受け渡した後は再びパラレルリンクロボットの排出コンベアにワークを取りに行く。この動作を繰り返すことにより、搬送工程の自動化を実現した。

### 2．3　双腕型協働ロボットによる電子機器の組立システム

無人搬送機から回路基板を載せたトレイを受け取り、基板をケースにネジ止めして蓋を閉める後工程を自動化するロボットシステムを構築した。使用したのはカワダロボティクス製の双腕型協働ロボット「NEXTAGE」である。システムの全体像を写真 10 に示す。

また、構築したシステムの作業台の上の配置を写真11に示す。卓上には標準ハンド置き場、電動ドライバ、ねじ供給器、ケース本体供給器、ケース蓋供給器、吸着ハンド置き場、受け取ったトレイ、組立治具、完成品置き場を設けた。このシステム用に開発した吸着ハンドを写真12に示す。



写真10　基板取付け組立システム全体像

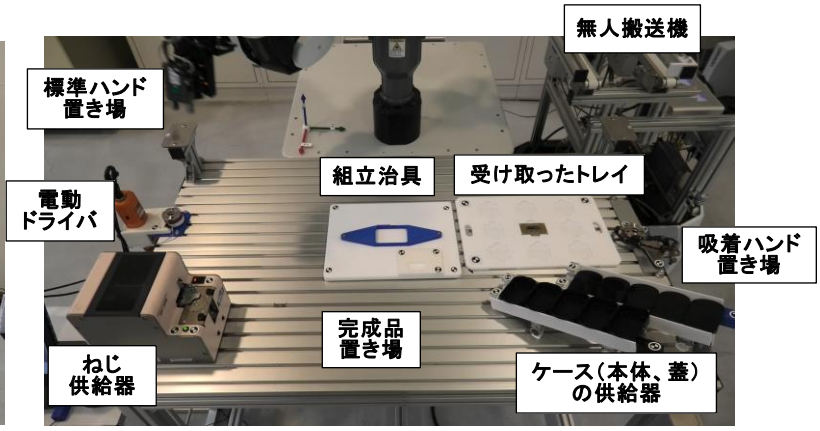
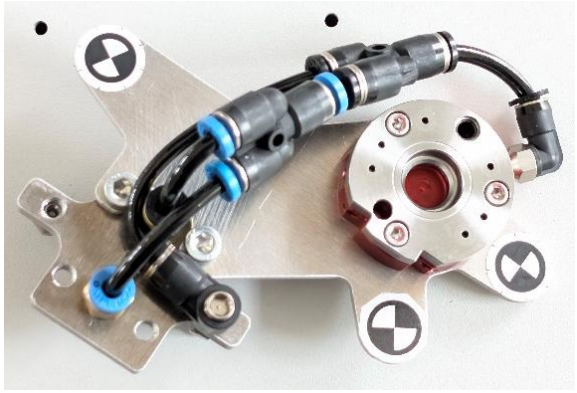
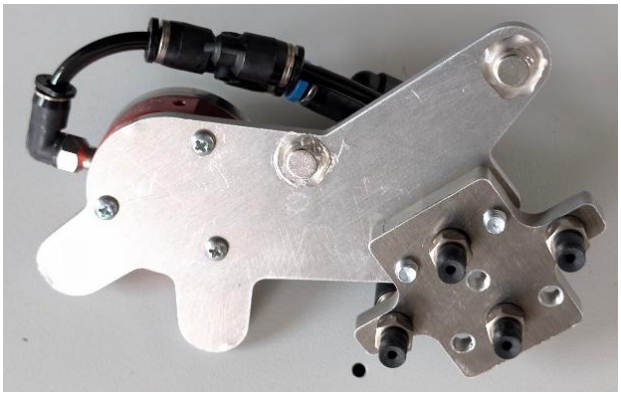



写真11 卓上の各ユニットの配置



(a) 表面



(b) 裏面

写真12 開発した吸着ハンド

動作の流れは以下の通りである。初めに初期姿勢に移動する。次に頭部のアイカメラを用いて各治具の位置を認識するマーカー認識機能を実行し、卓上の各治具の位置座標を取得する。その後、標準ハンドを手首に装着し、トレイ受け取り位置の方向へ上半身の向きを変える。無人搬送機が到着しトレイに貼付されたマーカーが認識できるまで待機する。無人搬送機到着後は両腕でトレイを受け取り、無人搬送機上部に設置された押しボタンスイッチを押して、無人搬送機を次の作業に移行させるよう指示する。受け取ったトレイ上の基板をアイカメラで認識し、基板が存在する場合には組立作業に入る。

組立作業は次の手順で実施する。まず、右ハンドを電動ドライバ、左ハンドを吸着ハンドに切り替え、ケース本体供給器からケース本体を把持して組立治具に配置する。次にトレイ上の基板をアイカメラで認識し、吸着ハンドで基板を把持して基板位置合わせ場所に移動する。ハンドカメラにより正確な位置座標を取得した後、基板の中央で再度把持し、組立治具に配置されたケース内へ挿入してそのまま保持する。続いて、電動ドライバをねじ供給機の供給部に移動し、先端に接続された空気圧配管を用いてねじを1個吸い上げ、組立治具内のケースと基板の右上のネジ止め箇所にねじを締める。この際、電動ドライバは下方向に押し付けた際にネジ締めを行う「プッシュスタート機能」を使用している。その後、左ハンドはケースの縁を押さえながら、左下、左上、右下の順に残り 3 箇所のネジ締めを実施する。最後に、吸着ハンドでケース蓋供給器から蓋を把持し、組立治具に配置されたケースの上部から押し付け、プラスチック爪をはめることで蓋を固定する。蓋を把持したままケースごと持ち上げ、完成品置き場に配置して組立作業を終了する。

組立作業終了後、トレイに基板が存在する場合は、再度組立作業を実施する。基板は1トレイに最大9枚まで搭載可能であるため、複数の基板が存在する場合は、繰り返し組立作業を行う。トレイに基板が存在しない場合は、標準ハンドに切り替え、両腕でトレイを持ち上げた後、トレイ置き場に移動させる。以上で全体の動作プログラムが終了する。この動作プログラムを繰り返すことで、トレイの受取および組立作業を連続的に実施するようにプログラムした。基板をネジ締めしたケース内部を写真13に示す。




写真13 基板をネジ締めしたケース内部

### 3. 構築したシステムの公開

これら3つのロボットシステムを連結して搬送自動化システムとした。このシステム全体の動きは令和7年2月20日にロボット試験室で開催した第二回協働ロボット普及啓発セミナー(ロボットモデルシステムお披露目会)にて県内企業等に公開した。来場者は県内企業、支援機関、工業高校教員を含む 21 機関 29 名の参加があり盛況であった。

これについて企業の感想を伺った。その結果の一部を図1に示すが、「自社で有効活用できる」と答えた企業は 45.0%であった。「自社で有効活用できない」と答えた企業はいなかった一方、「どちらともいえない」と回答した企業の方が多かったので、自社の改善にフィットするかをすぐに判断できなかった意見と受け止める。一部の企業の工場では、無人搬送機が乗り越えることができない段差があるなど、追加で動作環境の改修を検討する必要があったものと考えられる。また、今回は搬送するワーク数量の単位をトレイ1枚としたが、これが効果的に作用するのは前後の工程のタクトタイムとトレイの搬送時間が一致して、システム全体としてのタクトタイムが平準化されている場合である。どこかで待ちが発生しないよう全体の動きを構想すべきである。お披露目会での説明ではタクトタイムの平準化をセットで検討いただきたい旨言及したつもりであるが、この補足説明をもっと強調すべきだったという反省もある。本モデルシステムは元々、未来のあるべき工場像を先行して示したものであり、45.0%の企業がイメージを持つことができたことは訴求ポイントが一定数伝わったものと考えている。引き続き搬送の省力化が付加価値向上に直結することを訴

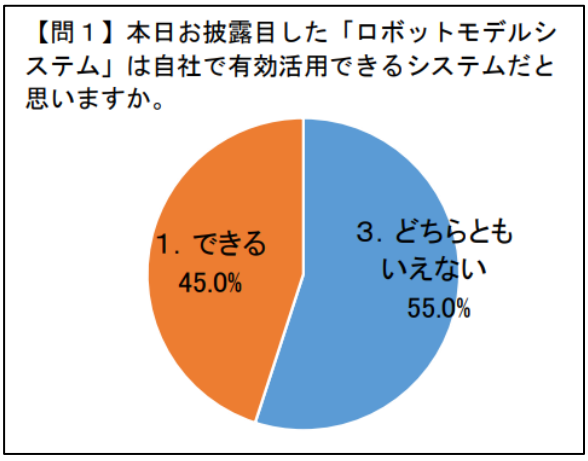



図1 有効性を問うアンケート設問への回答

えていきたい。

## 4. まとめ

県内製造業の集積地である三八地域は人手不足対策と生産性向上に積極的に取り組まなければならない課題先進地であり、本事業はその一助として協働ロボットの普及啓発を行ったものである。現状では自社内のどの工程が省力化できて、ロボット導入の効果が期待できるのか悩んでいる企業は少なくない。

今回構築したロボットモデルシステムの効果を広く公表することは、三八地域の製造業全般に対して搬送の自動化のヒントと動機付けを与える効果があった。今後は域内の同業の企業各社に技術供与することで地域全体の省力化の底上げに取り組むとともに、将来は本事業の成果を県内全域に展開していくことで、人口流出が顕著な本県の生産性向上に貢献していきたいと考えている。

## 5. 謝辞

本研究開発は、令和6年度青森県三八地域県民局重点事業「協働ロボットを活用した三八地域ものづくり企業支援事業」の一部として取り組んだものである。