

中小企業における産業用ロボット導入の障壁とその解決方法の提案

○西田 健 (九州工業大学), 松永 裕己 (北九州市立大学), 多田隈 建二郎 (大阪大学)

Barriers of Industrial Robots Introduction in Small and Medium Enterprises and a Proposal of Their Solutions

○Takeshi NISHIDA (Kyushu Institute of Technology),
Hiromi MATSUNAGA (The University of Kitakyushu),
Kenjiro TADAKUMA (Osaka University)

Abstract: Importance of the broad spread of industrial robots attracts attention as one of the important policies which compensate reduction in productive population. Especially, in small and medium enterprises (SME), a labor shortage is becoming remarkable and the measure of industrial robot spread is needed for emergency. On the other hand, under the present circumstances, the robot introduction to SME is not progressing. In this paper, a novel needs assessment method for automation (specifically industrial robots) for various a category of business is proposed first. Next, the examples of the needs assessment by the proposed method are shown, and the barriers of the spread of industrial robots is classified. Furthermore, the technology components considered to be required in order to remove those barriers are proposed.

1. はじめに

現在、産業用ロボットは様々な産業の生産ラインに不可欠な存在である。昼夜を問わず稼働可能な耐久性と併せて、巨大な発生力や迅速な作業スピード、繰り返し作業の正確さ、粉塵や化学物質が充満するような劣悪な環境に対する耐環境性能は、人間の労働能力を大きく凌ぐ。さらに、種々の産業用ロボットが用途別に開発され、低価格化や高性能化のための関連技術の改良や発展も著しい¹⁾。

自動車製造や半導体製造のための大型工場では、数十台の産業用ロボットが同時に運用されることは珍しくなく、今後はさらに産業用ロボットの普及が世界中で進行していくことが見込まれる²⁾。一方で、その導入や利用の多くは大企業に限定的であり、中小企業 (SME: small and medium enterprises) への導入実績は極端に少ない。すなわち、企業規模と産業用ロボットの導入には明確な相関があることが経験的に知られており、産業用ロボットの技術的な発展の恩恵を享受できるのは、現状では一部の限られた大企業だけである³⁾。

このような産業用ロボットの普及格差に関して、北九州市における中小企業の製造業 600 事業所を対象とした網羅的な産業用ロボット導入に関するニーズ調査が平成 24 年に実施された⁴⁾。141 事業所から回答が得られ、その内容について様々な検証がなされた。以下にその抜粋を示す。

1. すでに産業用ロボットを導入している事業者は、得られた主な効果を、生産性の向上 (42.9%) と品質の安定化 (42.9%)、省人化 (28.6%) であると考えている。
2. 産業用ロボットの導入のきっかけは経営者の指示 (50.0%) と生産部門の提案 (31.3%) が大半を占める。
3. ロボット導入後の課題は、メンテナンス費用が高くなった (42.9%)、生産効率向上につながらなかった (28.6%)、ロボットを操作する人材が不足している (21.4%) などである。
4. ロボット導入を断念した企業の理由は、費用対効果 (60.0%)、導入金額が高すぎる (40.0%) などが主である (複数回答あり)。

上述の1と3より、産業用ロボットの導入以前は省人化を目的としていた企業が多いが、結果としては省人化のメリットは期待していたほどには得られず、一方で、あまり期待していなかった生産品質の安定化が得られたケースが多いことが示唆された。この結果は、回答企業の業界全体での産業用ロボットの導入実績が少ないことや、生産工程が機密扱いされ情報の公開が無いことが多いために、導入後の利得を正確に想定できない企業が多いことを示唆している。また、2と4より、SME

における産業用ロボットの導入は、省人化目的の経営判断であるケースが多く、産業用ロボットによって生ずる現場作業者の労働環境の改善を目的とした導入の事例や動機づけが少ないことが示唆される。文献4)ではこれらの結果に基づき、製造分野のSMEにおける産業用ロボット普及の障壁が指摘され、その解決策として、ロボット導入の成功事例の公開や、ロボットシステムインテグレータ企業の増強などが提案されている。しかし、産業用ロボットを始めとする自動化機によって生産年齢人口の減少を補償するという構造変革の要求は、製造業分野に限定されるものではなく、農業や医療などの多様な領域においても同様に発生することが見込まれる。したがって本研究では、製造業以外にも医療分野、農業分野、食品製造業分野を対象とし、独自のニーズ調査方法を提案し試行した。それらの結果に基づき、全業種に共通する産業用ロボットの導入障壁を技術的に分類し、それらを解決する手法を提案する。

2. 潜在ニーズ調査方法の提案

ロボットの導入の前例がほとんど存在しない産業領域には、製造業者に対する自動化のニーズ調査手法を踏襲することができない。したがって次のようなフローに従うニーズ調査方法を提案する：

- (1) 対象業種から典型的な規模・業務内容であると考えられる法人や会社を選定する。
- (2) その団体に本調査の趣旨説明を行い、業務内容の詳細な説明を受ける。
- (3) 複数の専門家で構成されるチームで作業内容を体験もしくは視察する。
- (4) 自動化要求が内在すると考えられる業務を選択し、実際に業務に従事して業務負荷を体験する。
- (5) 業務担当者から様々な業務の詳細を聞き取り調査する。
- (6) 業務体験に基づき、現場労働者に代って自動化の潜在ニーズを提案する。
- (7) 事業者には潜在ニーズの詳細を説明し、自動化機器の購入と運用に関する要望を聞く。
- (8) 自動化機器の詳細な仕様を策定し提示する。
- (9) 提示した自動化機器に関する要望を再調査する。

ここで、「現場の自動化要求は潜在的に高い労働である

が、ある要因によって自動化を断念せざるを得ない、もしくは自動化を検討したことが無いニーズ」を自動化の潜在的ニーズもしくは潜在ニーズと呼ぶ。また、(6)の潜在ニーズの解決法の提示のために、次のような問題の分類を行うこととした。すなわち、現時点で市販されている様々な自動化機器メーカーの技術によって解決策を提示可能な問題は、「テクノロジーのミスマッチ問題」として分類する。一方で、現状の市販の技術要素では解決が困難だと考えられる問題を「研究開発が必要なテクノロジーに関する問題」として分類する。本研究では、前者の問題は行政等が主催する適切なコンサルタント事業者への紹介を行い、後者に対して(7)以降の順序を実行することとした。また、これらの分類や解決策の提示には、様々な領域の専門家から構成されるチームによる複合的な検証が必要である。本研究では、工学者、経済学者、設計施工企業、プロダクトデザイナーから構成される調査チームにより、各業種における様々な企業を視察し、製造業においてはさらに詳細な現場ニーズ調査を行った。

3. 各業種に対する潜在ニーズ調査

製造業、農業、医療の各分野について複数の現地調査を行った。ここでは特に農業と医療分野のニーズ調査例を示し、見出された潜在ニーズを示す。

3.1 A社（農業）

当社はイチゴや野菜、観賞用の花苗を生産している大規模システム農場である。10を超えるビニルハウスには、計画的な栽培を行うための各種自動機器が配置されており、例えば育苗前の工程には、培土の混合運搬設備、ポットへ培土の自動詰め装置、ポットへ種を一つずつ入れて土をかぶせる装置などの自動機器が導入されている。これらは、省人化を目的として導入されており、それぞれ一人で運用が可能である。育苗した後の接ぎ木は多品種に及ぶため、繁忙期には臨時従業員を雇って深夜まで作業が行われる。その後の育成の様々な手入れや運搬、出荷作業までの各種工程は自動化されていない。

当社は多品種多変量の植物を扱う事や、市販されている自動化機器が高価であるため費用対効果が低いこ

と、熟練作業員の作業精度と速度がそれらの機器よりも上回っていること、臨時従業員の雇用によって生産と人件費の柔軟な調整が可能であることなどが、現状で自動化機器の導入を必要としない理由である。しかし、作業員の高齢化や後継不足が顕著な問題になりつつあり、今後の労働力不足に備える根本的な対策が必要である事は、危機感を持って認識されている。また、作業に熟練した高齢者が長く働ける環境整備も望まれている。人的な運用改善によるこれらの問題の解決は限定的であるため、工学的なアプローチによる解決が必要であると考えられる。

これらの調査の後に、農場内の物品運搬を行う無人走行車（UMV）の開発が潜在ニーズとして提案された。単一環境を走行する農業用UMVに関しては数多くの研究成果が存在するが、ビニルハウス内や耕地、車道、あぜ道を区別無く安定して物品を搬送可能なUMVは市販されていない。広大な敷地の農園内の搬送作業は熟練の必要が無い作業であり、高齢者には負担の大きな作業である。

3.2 B社（農業）

当企業は、国内外の最新の栽培技術を導入した大規模先進的菜園である。広大なビニルハウス内部では土を使わないトマトの計画栽培が行われており、育成から収穫、選果、出荷などを通年で行っている。自動化設備としては、選果と集荷におけるベルトコンベアとトマトのサイズの自動選別機が導入されている。また、トマトの株への給水や日照に合わせた換気による気温調整など、トマトの生育管理に関する自動化技術が多数導入されている。一方で、トマト栽培ハウス内におけるトマトの株の手入れや収穫などの作業は自動化されていない。現状でこれらの自動化機器は市販されていない。

様々な作業の調査の中でも、我々は特に床面の清掃作業に注目した。ビニルハウス内には生育作業や収穫作業のための台車を移動するためのレールが多数敷設されている。内部を温水が循環するこのレールは、ハウス内の温度を一定に保つためにも重要な役割を持つ。このレールの下には白色のシートが張られており、外界との生態系の遮断およびハウス上部からの日照の反射の役割を担っている。このシートが白色であること

で収量が10%程度異なるという経験的な実績があるため、数カ月に一度、数十人が数時間をかけて箒を使った清掃作業を行う必要がある。レールの敷設が複雑であるため、汎用の掃除機を利用することができない。夏季にはハウス内の温度は40度近くまで上昇するため、この作業は極度の重労働である。また、ハウスの敷地面積が広大であるために、トマトの育成や収穫に熟練し給与が高い作業員も、ほぼ作業経験が無く給与が低い作業員と同様にこの作業に従事する必要がある。したがって、この清掃作業は熟練を要しない単純作業であるが重労働であるため自動化に適している潜在ニーズであると考えられる。すなわち、ビニルハウス内の複雑な敷設レールを避けて清掃作業を行う自動機の開発がこの潜在ニーズに対する解決法である。

3.3 C病院（医療）

当病院は総合病院であり、医療用手術ロボットの導入の検討は進行中であるが、その他の自動化設備の導入や検討が行われたことがない。当院における作業内容について、手術後の片づけや清掃作業、メッセージ業務、院内のゴミ収集作業（一般ゴミ、医療廃棄物）、配膳・下膳作業、手術道具の滅菌・収納作業、薬局業務、リハビリテーション科における医療行為についての調査協力を得た。ここでは特に、手術後の作業に注目する。

手術室の整理整頓、清掃作業、滅菌処理などは手術終了後に迅速に行われる。手術に利用される物品の多くは衛生面から使い捨てのものが多く、それらは全て医療廃棄物として処理される。また、手術中に発生する廃棄薬液や体液などは、専用の固化薬剤によってゲル化し医療廃棄物として処理され、手術の内容によっては大量の医療廃棄物が発生する。それらは特定の段ボール箱に封入され、所定場所に保管される。担当者が院内の様々な個所で発生するこれらの医療用廃棄物を回収し、病院の地下にある収納倉庫に集め、医療廃棄物処理業者が定期的に回収し焼却処理を行う。一つの段ボールは最大で20[kg]程度であり、感染症が流行する季節には大量に発生する。これらの安全な院内の移動と安全な保管は重要な業務である。我々は、院内の医療用廃棄物の安全な処理に関する自動化や省人化を自動化の潜在ニーズとして提案した (Fig.4)。この作業を補助す

K-robot project :ideanote:00 Medical-transpoter



Fig. 4 医療廃棄物運搬用支援ロボットの提案

るための新たな自動化設備もしくはロボット設備の考案や配備計画は将来的に重要な課題である。

3.4 製造業と食品加工業

製造業3社, 食品加工業2社の視察を行い, 潜在ニーズの提案を行った。これらに共通するのは, 人による単純労働の自動化であり, それらを達成するためには安価で操作が簡単なロボットが必用である。また, 安全のための配慮がなされなければならない。提案されたロボットの概観をFig.5およびFig.6に示す。

3.5 潜在ニーズ調査結果の提案と再調査

ここでは, 手順(9)について病院に対する潜在ニーズの提示と再調査を行った結果を示す。まず, 医療廃棄物運搬業務は外部発注するため, この業務へのロボット導入は病院経営の側面からは検討されたことがない。したがって, 当ロボットの導入によって病院経営の経費が削減される具体的な計画を提示してほしいとの要望を得た。

この調査結果は, 潜在ニーズの解決方法を経済的に説明できなければならない事を端的に示すと同時に, 潜在ニーズの解決による利得の対象を明確化する必要があることを示している。これらは自明ではあるが, SMEにおける自動機普及の活動において特に配慮されるべき項目である。

5. SMEにおける産業用ロボットの導入障壁

上述の調査より明らかになった各産業における産業用ロボットの導入障壁を5種類に分類する。

(1) **コスト**: 導入時には, 自動機器の人件費に対するコ

Robot next project :draft design

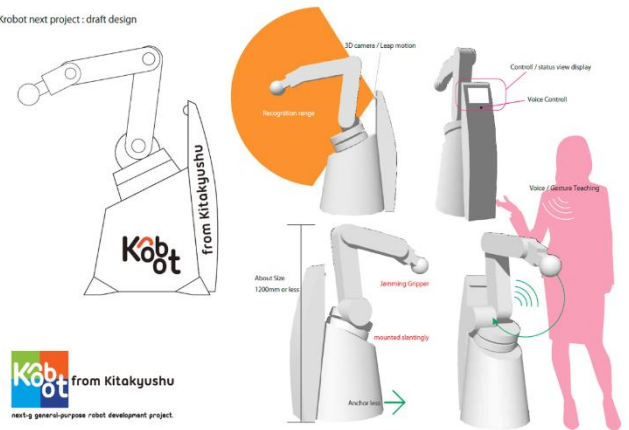


Fig. 5 製造業用次世代ロボットの提案

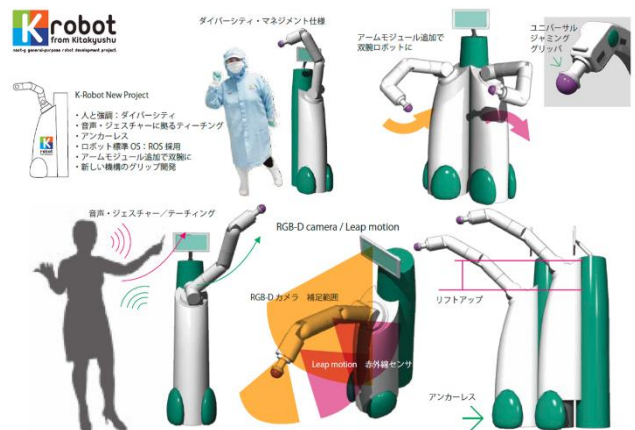


Fig. 6 食品加工業用次世代ロボットの提案

スト的優位性を示すことが必用である。産業用ロボットなどの汎用的なハードウェアの価格は下落傾向にあるが, 一般に中小企業は導入台数が少ないため, カスタマイズコストが割高になる傾向がある。さらに, 段取り替えなどで発生する再調整コスト, 定期的な保守点検のための費用が発生する。

- (2) **人的環境整備**: 自動機の調整やプログラムの調整を行う人材の確保や継続的な教育が必用である。特殊技能を必要とする職務に対する人件費の増加も発生する。
- (3) **物理的環境整備**: 安全性確保のために自動機周辺の安全柵の設置やセンサ類の配備が必用である。また自動機へのワークの装填と搬出のための周辺機器を整備することも必要となる場合が多い。
- (4) **段取り替え**: 中小企業では受注に応じた多品種少量生産に応じる必要がある傾向が強い。そのような作業変更に対して, できるだけ短時間で対応できることが望まれる。上述した人的整備が不完全

な場合は、外部発注により割高な整備費を支払う必要がある。

- (5) **情報不足**：中小企業におけるロボット導入の情報は口コミが主であり、インターネットの情報の利用は殆どないという偏りがある。同業他社における運用等を参考にする傾向が強い。さらに、投資対象として、どれだけ運用コストが発生し、生産性がどれだけ効率化するのかを予想しにくいのが現状である。また、自動機の導入実績の少ない業種では、産業用ロボットを道具として捉えておらず、人の代替として捉える傾向がある。導入計画時に労働者から強い反発が発生するケースも少なくない。

雇用や産業構造を維持し発展させるためにSMEは社会的に重要な役割を果たす。したがって、上述の障壁に対する長期的な視点での捉え方を整理し、それらを取り除くための解決の方向性を与える必要がある。

6. 考察

設備投資行為である自動化機の導入について、事業者はその効果を経済的な客観性を持って示すことができない。人件費と機器導入費の比較において前者が安価である場合には後者の導入は実行されない。また、製品の高付加価値化のための投資として自動機器が導入される場合が多く、低付加価値の作業の自動化が検討されるケースは少ない。しかし、産業用ロボットなどの汎用機は単純な繰り返し作業を得意とする一方で高度な認識や高精度の作業のために、多数の工程かつ高価なカスタマイズを必要とする。また、そのカスタマイズは複雑化する傾向があるため、作業の段取り替えは容易ではない。すなわち、高付加価値作業の自動化のためには、より大きな投資とランニングコストが必要となるという問題がある。さらに、一般に高付加価値作業は作業者の習熟が必要であることが多く、製品の差別化や競争力を維持するために各作業員の習熟が重要な要素であることが多い。高付加価値作業に習熟した作業者はクライアントの個別要求に応えることができる柔軟な製造能力を有し、また、製造現場のイノベーションに関わることも多い。これを自動化し、人の習熟を放棄することは、将来に亘る製造の洗練化や発展可能性を放棄することに繋がる。また社会的観点

からも、高付加価値作業にロボットに従事させ、低付加価値労働を人間が担当するという生産構造は望ましくない。熟練による作業者の所得向上や、若い作業員への技能伝承は、長期の安定した経済成長のために重要である。さらに、労働年齢人口の減少に伴う人件費の高騰や人材不足という経済状況の変化が発生すると投資対象の変化は容易に発生するが、中断された作業員の習熟を復活させるのは容易ではない。すなわち、低付加価値労働を汎用機で達成し、一方で高付加価値作業には人間に従事し習熟する社会構造が望ましいと考えられる。

ここで、本考察は経済活動におけるSMEのマジョリティを対象として展開されており、ロボット技術を利用する技術伝承の取り組みやロボット化による生産技術の高度化を否定するものではないことに注意されたい。

7. 導入障壁に対する解決策

中小企業における上述の問題を解決するために必要とされる要素は多岐に亘ると考えられるが、それらの中でも重要だと考えられる技術的な研究開発項目は以下の3点に集約される。

- 1) **ユーザインタフェースの改善**：産業用ロボットのティーチングや段取り替え、安全運用のためには専門的教育を受けた作業員が必要である。これを不要にするほどに簡便なユーザインタフェースが構築されれば、前述の人的環境整備、および段取り替えに関する障壁の有効な解決策となる。この開発のためには、使いやすい操作指令の体系化や、ロボット作業の分かりやすい視覚化が重要な要素となる。また、緊急時の安全対策について考慮される必要がある³⁾。
- 2) **インテリジェント空間の構築**：先進的なセンサの統合によってロボット周辺に計測領域を拡張し、ロボットが認知し得る空間と情報の種類を拡張することが重要である。すなわち、ワークとロボットの位置関係だけでなく、周囲の作業員をも計測し理解する計測空間の構築は産業用ロボットの汎用性と人間親和性を高める。例えば、この空間内の作業員の身振り手振りや音声、接触力、生体信号を計測することで、安全性の確保やユーザインタフ

エースの高度化に利用することなどが考えられる。これらは、物理的環境整備や段取り替えに関する障壁の有効な解決となる。

3) 人工知能技術の導入: 上述の2項目の方策を構成した場合、ロボットの利用は容易になるが、一方で最適化や細やかな指令生成が困難になるというトレードオフが発生する。作業者のロボット利用の熟練度に応じた操作体系に対するユーザの要求は容易に想像される。この問題を解決するために、教示指令の自動最適化機能や、ユーザの要求を学習し最適化の基準を自動焼成する機能が重要である。すなわち、上述の2項目を有効に動作させるためには、関連する人工知能の研究成果の導入が必須である。

以上の技術を統合して産業用ロボットに組み込み、実践的なシステムを構築し洗練させる活動が今後重要であると考えられる。

8. おわりに

本研究では、まず、製造業以外における自動化に対するニーズ(潜在ニーズ)を調査するための手法を提案し、その試行結果として農業と病院業務の調査結果を示した。次に潜在ニーズの提案を行い、再調査を行った例を示した。さらに、様々な業種に共通する産業用ロボットなどの自動機のSMEにおける導入障壁を分類して挙げた。長期的視点から、各業種のバックヤード業務におけるこれらの解決が必要であることを指摘し、それらの解決のために必要な3種類のテクノロジーを挙げた。

現在、著者らは北九州市を中心としたコンソーシアムを形成し、上述の問題解決に向けた具体的取り組みを開始している。本プロジェクトはK-robotプロジェクトと呼ばれ、様々な業種のSMEが導入しやすく運用しやすい次世代産業用ロボットの提案と構築を目的として活動を行っている。

謝辞

本稿の執筆にあたり取材等の協力をしていただきました前田機工株式会社の國本様をはじめとする皆様、デザイン画を担当していただいたシモダユウスケ様、北九州産業学術推進機構の皆様にご心より感謝いたします。

本研究は、平成25年度市内発ロボット創生事業プロジェクトによって遂行されました。また、ニーズ調査手法についてご教示いただいた九州経済調査協会の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 根岸, 鄭, 高田 “産業用ロボットの経済分析”, 情報科学研究 No. 20, pp. 3-12, 2006.
- 2) 三井住友銀行マンスリーレビュー, 2014.8.
- 3) 上田, “産業用ロボット業界の現状と展望～業界構造変化を踏まえた日系ロボットメーカーの戦略方向性～”, みずほ銀行産業調査部, 2014.3.
- 4) 財団法人九州経済調査協会, “ものづくり力強化のためのRT 等活用に関する調査”, 2013.
- 5) 芳司, 池田, 岡部, 齋藤, “産業用ロボットによる労働災害の分析とアンケート結果に基づく規則改正の提言”, 労働安全衛生研究, Vol. 5, No. 1, pp. 3-15, 2012.