

TIG 溶接技術を例にした熟練者と非熟練者の作業動画の「比較」アプローチによる暗黙知の形式知化

委員会趣旨説明と講演のまとめ：佐藤知正（東大名誉教授）

講演者：三菱重工業株式会社 総合研究所 マネジメントエキスパート 小松 直隆（共同発表：堤 一也）

留意事項

本稿は、ロボット革命・産業 IoT イニシアティブ協議会 WG3・データ活用委員会（旧ロボットフレンドリー委員会）において、2026 年 8 月 18 日に行われた、三菱重工業株式会社 総合研究所の小松直隆氏による講演「TIG 溶接技術を例にした熟練者と非熟練者の作業動画の「比較」アプローチによる暗黙知の形式知化」の内容を筆者がまとめたものである。

概要

本講演が行われたデータ活用委員会の当該会は「溶接コンテンツ」と題され、ロボット産業の将来の姿としてコンテンツ産業を考えるという問題意識のもと、企画された 2 件の講演のうちの 1 件である。三菱重工業は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の懸賞金型プログラム「GENIAC PRIZE」の「製造業の暗黙知の形式知化」部門において、株式会社 Algomatic（現 Algomatic Dynamics 社）と共同で第 2 位を受賞した。本講演では、その受賞内容を題材に、TIG 溶接を例として、熟練技術者と非熟練技術者の作業動画を比較するアプローチにより、匠の技に内在する暗黙知を定量化・形式知化し、作業への評価とフィードバックにつなげる取り組みが紹介された。多品種・少量・低頻度生産のメーカーでは、大量の教師データを確保することが難しいという制約がある。そこで、熟練作業者と非熟練作業者の作業動画を撮影し両者を AI に比較させて被験者の技量を定量評価する際の評価項目を AI に抽出させることで、数少ない教師データであっても被験者の技量評価を可能とした。すなわち、熟練作業者と非熟練作業者の作業動画を AI に比較分析させることで、暗黙知抽出のカギとなる評価項目を自動的に選定し、トーチの輝度分析、トーチの軌跡追跡、動作ヒートマップといった個別解析モジュールにより、作業者の技量を熟練者との相対比較で評価し、具体的な改善点を提示する仕組みを構築した。なお、モーションキャプチャ等の特殊なセンサを追加せずに作業中の動画だけを撮ってこれを評価に使う、すなわち被験者には極力普段通りに作業をして貰うことを目指した。

このような取り組みは、溶接コンテンツの一つの利用形態として重要であると考えられる。AI の出力を鵜呑みにせず費用対効果を踏まえて活用するという実務上の心得、本取り組みが社内外にもたらした技術伝承・人材育成・広報上の波及効果、および今回の取り組みとロボット、ロボット化との関係についての考察も述べられた。質疑応答では、懸賞金事業に参加した意義や評価結果の具体例、今後の効果検証の方向性などが議論された。

第 1 章 緒論

本稿は、ロボット革命・産業 IoT イニシアティブ協議会 WG3・データ活用委員会（旧ロボットフレンドリー委員会）において、2026 年 8 月 18 日に行われた、三菱重工業株式会社 総合研究所の小松直隆氏による講演「TIG 溶接技術を例にし

た熟練者と非熟練者の作業動画の「比較」アプローチによる暗黙知の形式知化」の内容をまとめたものである。小松氏は、1988 年 4 月に三菱重工業に入社し、高砂研究所（1988～1992 年、1994～1999 年、2002～2007 年、2009～2012 年）、基盤技術研究所（1992～1994 年）、高砂製作所（1999

～2001 年）、神戸造船所（2001～2002 年）、広島研究所（2007～2009 年）にて機械要素の研究・開発、近隣事業所の製品開発に従事し、2012 年から 2022 年までは工作機械やメカトロ製品における研究所の対事業所窓口を務めるなど、三菱重工業の多様な製品・事業について広く知る機会に恵まれてきた技術者であり、2022 年の定年到達以降はマネージングエキスパートとして勤務している。本講演は、同じく三菱重工業の堤一也氏との共同発表という形をとっており、講演後の質疑応答では堤氏からも補足の発言があった。

本講演が行われたデータ活用委員会の当該回は「溶接コンテンツ」と題されている。これは、ロボット産業の将来の姿としてコンテンツ産業を考えるという委員会側の問題意識にもとづくものである。すなわち、溶接という作業には、部材そのものを接合する工程だけでなく、その前後の工程にも多様な作業ノウハウが存在する。たとえば、溶接前工程には部材の加工法や、溶接を行いやすくする作業姿勢・治具選定のノウハウが、溶接そのものの工程には溶接法や溶接条件、良品条件に関するノウハウが、溶接後工程には残留ひずみへの対処や検査のノウハウが必要とされるというように、溶接作業を上手に実現するには非常に多岐にわたる豊富なノウハウが求められる。熟練工の知見や技能もその重要な要素である。生成 AI は、こうした多様なノウハウをコンテンツ産業として蓄積・再利用することを可能にするとの見立てのもと、当該回では、高丸工業株式会社の高丸正氏による SIer の観点からの講演（溶接コンテンツの多様性と、それをロボットで実現する場合の工夫について）と、三菱重工業の小松氏・堤氏による、暗黙知の形式知化の観点からの講演（GENIAC PRIZE を受賞した TIG 溶接の取り組みについて）の 2 件が企画された。本稿は、このうち後者の小松氏による講演の内容を対象とする。

本講演の背景には、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が実施する生成 AI 活用の懸賞金型プログラム「GENIAC PRIZE」がある。これは、あらかじめ設定された社会課題に対して公募・提案を募り、優れた提案を表彰・検証するプログラムであり、本講演の内容は、その審査テーマである「国産基盤モデル等を活用した社会課題解決 AI エージェント開発」のうち「製造業の暗黙知の形式知化」というカテゴリーにおいて、三菱重工業が株式会社

Algomatic（現 Algomatic Dynamics 社）と共同で提案し、2026 年 3 月 24 日の最終選考会で第 2 位を受賞したものである。同年 4 月 14 日に東京で行われた成果発表キャラバンの際に、司会の佐藤知正（東大名誉教授）から堤氏に声がかかったことが、本講演が実現した契機となっている。

なお、小松氏自身が講演の冒頭で断っており、本講演で紹介される内容は、三菱重工業全体の AI 活用活動を俯瞰する立場からのものではなく、あくまで現場の一担当者による、同社における数ある取り組みの中の一例にすぎない点には留意が必要である。

本稿では、第 2 章で、本講演の主張点の中核である「動画比較アプローチによる暗黙知の形式知化」という考え方の概要を述べる。第 3 章では、製造業における暗黙知の形式知化という課題の背景、題材として TIG 溶接が選定された経緯、および GENIAC PRIZE 受賞に至る経緯を述べる。第 4 章では、開発されたシステムの処理の流れ、すなわち熟練者と非熟練者の動画比較による暗黙知抽出のカギ情報の生成と、輝度分析・オブジェクト追跡・動作ヒートマップ等の個別解析モジュールの構成を述べる。第 5 章では、評価レポートとしての可視化とフィードバックの内容を述べる。第 6 章では、実運用を通じて得られた知見と AI 活用にあたっての心得を述べる。第 7 章では、本取り組みが社内外にもたらした波及効果と、懸賞金事業に参加したことのメリットを整理する。第 8 章では、本取り組みとロボット、ロボット化との関係についての小松氏自身による考察と問題提起を述べる。最後の第 9 章は、結論として、講演内容のまとめと将来課題を述べる。なお、講演後の質疑応答の内容についても、関連する章の該当箇所に適宜挿入する。

講演を依頼した委員会側の意図に照らせば、本講演は、①TIG 溶接という溶接コンテンツそのものの内容（主に第 3 章に対応）、②その暗黙知をコンテンツとして表現する AI の手法（主に第 4 章・第 5 章に対応）、③コンテンツとして記述することがもたらす効用（主に第 6 章・第 7 章に対応）、という 3 つの観点から構成されていると整理することができると考えている。

第 2 章 本講演の主張の概要

本講演の主張点の中核は、次の点にある。すなわち、ものづくり現場に存在する熟練技術者の暗

黙知は、モーションキャプチャ等の特殊なセンサを追加せずとも、熟練者と非熟練者の通常の作業動画を比較してAIに分析させるだけで、その多くを定量化・形式知化できるという考え方（仮説）である。

従来、暗黙知の形式知化は製造業における長年のテーマでありながら、手間がかかる割に効果が上がらない、現場にとって使いにくく運用が定着しない、そもそも暗黙知を十分に抽出・構造化できない、といった理由からうまくいかないことが多かった。これに対して本取り組みは、いろいろなセンサを取り付けるとかえって普段どおりの作業ができなくなるという反省から、打ち手をあえて「動画を撮るだけ」に絞り込み、撮影した作業動画をAIに与えるだけで、ビジュアルかつ具体的、定量的な評価を得ることを狙いとしている。ただし、AIに百点満点の成果を期待せず、費用対効果に見合ったアウトプットが得られればよいと割り切る姿勢が前提とされている。

図1に、開発されたシステムの処理の全体像を示す。まず、熟練者と若手（非熟練者）の作業動画を比較し、両者の違いからAIが着眼点、すなわち評価項目を自動的に選定して、「暗黙知」抽出のカギ情報を出力する。次に、このカギ情報にもとづき、輝度分析・オブジェクト追跡・動作ヒートマップ等の個別解析モジュールが、暗黙知の形式知化を行う。最後に、評価対象となる作業員自身の作業動画をこれらのモジュールで解析し、形式知化された評価基準にもとづいて技術評価とフィードバックを行い、評価レポートとして出力する。この一連の流れにおいて、ユーザーである作業員が行うことは、基本的に自身の作業動画をアップロードするだけでよく、汎用的かつ最小工数で使えるユーザーフレンドリーな仕様となっている点も、本取り組みの特徴である。

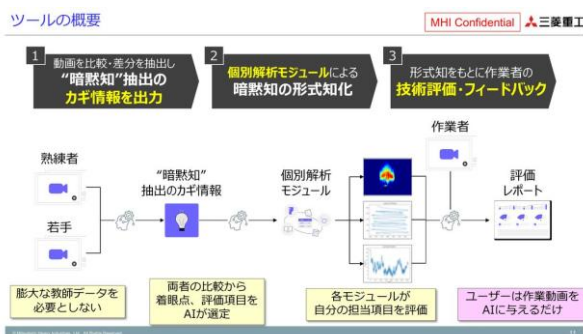


図1 本システムの処理の全体像（暗黙知抽出のカギ情報生成から評価レポート出力まで）

第3章 課題の背景とTIG溶接の選定、GENIAC PRIZE 受賞の経緯

本章では、講演依頼者が示した「①TIG溶接という溶接コンテンツそのものの内容」という観点、すなわちTIG溶接という作業がいかに多様な要因から構成されているかという背景を踏まえつつ、製造業における暗黙知の形式知化という課題の背景、題材としてTIG溶接が選定された経緯、およびGENIAC PRIZE受賞に至る経緯を述べる。

3-1 製造業における暗黙知の形式知化という課題

製造業における暗黙知の形式知化は長年にわたるテーマでありながら、いまなお課題として存在し続けている。その理由として、手間がかかる割に効果が今ひとつであること、現場にとって使いにくく運用が定着しないこと、そもそも暗黙知を十分に抽出・構造化できないこと、などが挙げられる。この現状に対し、小松氏らは打ち手として、モーションキャプチャ等をむやみに追加せず、まずは「動画を撮るだけ」、その動画をAIに与えるだけというシンプルなアプローチを選択した。

3-2 題材としてのTIG溶接の選定

三菱重工業と聞くと、エネルギー・環境、航空機、宇宙開発・防衛といった華やかな事業を思い浮かべる向きが多いことから、小松氏らは当初、そうした華々しい製品を題材にAI活用事例を紹介しようと考えていた。しかし検討の結果、あえて地道なTIG溶接技術をテーマに選定した。

その理由は、第一に、TIG溶接が溶接士の技量により品質に差が出やすく、「勘」や「コツ」が重要となる、いわば「身体知の塊」であり、テーマとして最適であること、第二に、TIG溶接が同社における技術継承上不可避な題材であり、かつ広く一般的な溶接手法であるため社会的意義が大きく、技術の形式知化によるインパクトも大きいことにある。図2に、TIG溶接の原理を示す。TIG溶接は、不活性ガスで溶接部を周囲から遮断したうえで、トーチに電流を流して溶接棒を溶かし、これを接合部に流し込んで接合する溶接手法である。実際の作業では、溶接対象の材料や形状が多岐にわたるほか、作業姿勢が上を向いたり狭い場所に入り込んだりとしんどい場合もあり、さまざまな要因が複雑に絡み合う難しさがある。



図2 TIG 溶接の原理（トーチと溶接棒による接合、不活性ガスによる遮断）

3-3 GENIAC PRIZE における受賞の経緯

本取り組みは、株式会社 Algomatic との共同提案として、「国産基盤モデル等を活用した社会課題解決 AI エージェント開発」の中の「製造業の暗黙知の形式知化」というカテゴリーに応募され、2026 年 3 月 24 日の最終選考会で第 2 位を受賞した。図 3 は、当日の表彰の様子である。質疑応答において小松氏は、応募の経緯について、三菱重工業側というよりも共同開発パートナーである株式会社 Algomatic の側が積極的であったことを明かしている。ものづくりに詳しい三菱重工業と AI に詳しい Algomatic とが互いの不足を補い合うシナジー効果によって成果が得られたとして、Algomatic からの働きかけにより応募し、結果として受賞に至ったという。

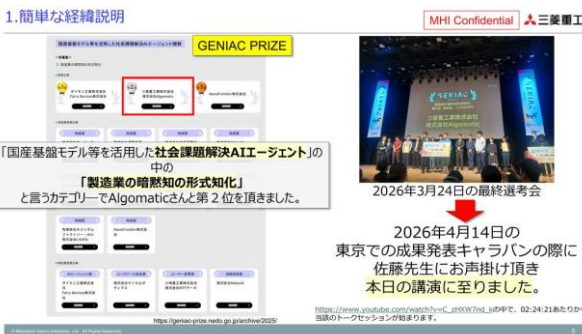


図3 GENIAC PRIZE 最終選考会における受賞の様子（2026 年 3 月 24 日）

第 4 章 開発システムの構成：暗黙知抽出のカギ情報生成と個別解析モジュール

本章では、講演依頼者が示した「②コンテンツとしての AI 表現法」という観点、すなわち熟練者の作業ビデオを分析する手法を用いれば非熟練者の作業ビデオとの差分を解析できるという点に沿って、開発されたシステムの処理の流れを述べる。

4-1 熟練者・非熟練者の動画比較による暗黙知抽出のカギ情報の生成

本システムでは、まず非熟練技術者（若手）と熟練技術者、双方の TIG 溶接作業の MP4 動画をそれぞれアップロードする（図 4）。多品種・少量・低頻度生産を主体とするメーカーでは、受注品や試作品が数個しか製作されないことも多く、豊富な教師データを確保することが難しい。そこで本システムは、大量のデータを必要とせず、熟練者と非熟練者という少数の動画の比較のみから評価軸を導出できるように設計されている点に特徴がある。

動画をアップロードしたうえで、AI モデル（講演で紹介された画面例では Gemini 2.5 Pro が用いられている）と分析 FPS を設定し、評価手順の抽出を実行すると、AI が両者の動画を比較分析し、その差分から着眼点、すなわち評価項目を自動的に選定する。この評価項目を人間側が確認し、妥当だと判断できるものを採用するという、AI と人間との協働による評価軸の設計になっている点も注目される。



図4 非熟練技術者と熟練技術者の作業動画のアップロード画面

4-2 個別解析モジュール群による暗黙知の形式知化

評価項目が定まると、AI は作業動画の特徴を捉えたうえで、あらかじめ用意された解析モジュール群（講演資料ではツール 1 からツール 6 として例示されている）の中から、その動画の分析に適した複数のツールを自動的に選択・実行する（図 5）。講演で紹介された事例では、トーチの輝度分析、トーチの軌跡追跡、動作ヒートマップの三種類のツールが選定・実行された。

例えば、トーチの軌跡追跡は、トーチ先端（アーク光点）の軌跡を追跡してプロットすることで、運棒のパターン（ストレート、ウィービング等）

が正確かつ均一なピッチで実行されているかを評価するものである。また動作ヒートマップは、作業全体を通じたタッチコントロールの分布を可視化し、作業者の動作の全体像を視覚的に捉えるものである。これらの解析モジュールの出力結果は、テキスト情報とともに可視化され、人間では判別しづらい微妙な動きの違いまでも定量化して示すことができる。



図5 個別解析モジュール群からのツール選択（AIによる自動選定）

第5章 評価結果の可視化とフィードバック

熟練者と非熟練者の比較にもとづいて評価項目と評価基準が確立されると、次に、評価を受けたい作業者自身が、自分の作業動画をアップロードするだけで、評価レポートを得ることができる（図6）。評価は熟練者を基準とした相対評価として行われ、質疑応答で小松氏が説明したところによれば、たとえば熟練者を100点とした場合に、当該作業者が50点であればその理由が具体的に示され、どうすればより高い点数に近づけるかという改善のヒントが、それぞれの評価項目ごとに提示される。単に評価するだけでなく、こうした改善ポイントが具体的に提示される点が、本システムの実用上の特徴である。

図7と図8は、それぞれオブジェクト追跡と輝度分析について、熟練者と作業者自身の結果を左右に並べて比較表示した分析結果画像の例である。図7に示すタッチ先端のトラッキング結果を見ると、熟練者の運棒軌跡が規則的で一貫したパターンを示しているのに対し、非熟練の作業者では軌跡が乱れ、動きにばらつきが大きいことが視覚的に把握できる。また図8に示す輝度の時系列変化を見ると、熟練者では変動が比較的小さく安定しているのに対し、非熟練の作業者では輝度が大きく変動しており、アーク長や入熱の管理にばらつきがあることがうかがえる。このように、テキストによる説明だけでなく、人間の目では判別しづ

らい微妙な動きの違いを定量化・可視化することで、作業者自身が納得感をもって自らの課題を理解できるようにしている。



図6 評価レポートの出力例（総合評価と指標別スコア）

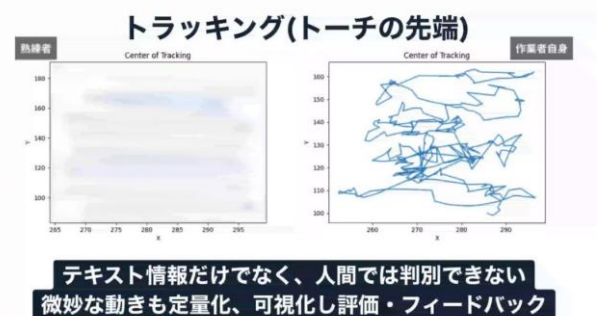


図7 熟練者と作業者自身の運棒軌跡（タッチ先端トラッキング）の比較

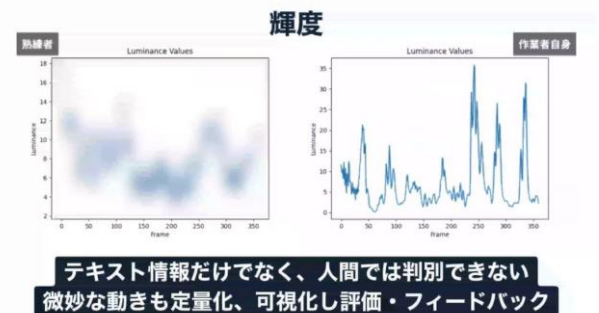


図8 熟練者と作業者自身のアーク輝度変化の比較

第6章 実運用を通じて得られた知見とAI活用にあたっての心得

本章および次章では、講演依頼者が示した「③コンテンツ記述の効用」という観点、すなわち本取り組みが製造業における暗黙知の形式知化を実現したものであり、溶接作業における技能伝承の一助になり得るという点に沿って、実運用を通じて得られた知見と、本取り組みがもたらした波及効果を述べる。

本取り組みを実際に運用してみて得られた知見として、小松氏はまず、特別なセンサを用いなくても、動画とAIの組み合わせだけでかなりのこ

とが把握できることを挙げている。ただし、その前提として、観察対象がはっきりと大きく映り、AI が誤解しようのない「良い動画」を撮影する必要がある、この点にはノウハウが要するという。

また、AI はもっともらしい誤りを述べることもあり、誤りを述べないまでも百点満点の回答が得られるわけではない。したがって、AI の出力を鵜呑みにするのではなく、費用対効果に見合ったアウトプットが得られればよしとする割り切りが重要であるとされる。すなわち、「これだけ手間や時間をかけてこの程度か」ではなく、「この程度の手間、この短い時間でこれだけのアウトプットが得られるのか」と思わせることを目指すという考え方である。そのうえで、最後はAI の言うことを鵜呑みにせず、人が考え、判断し、工夫することが大切であり、AI の出力を新たな気づきやきっかけとして活用する姿勢が求められると総括されている。

第7章 社内外への波及効果と GENIAC PRIZE 参加のメリット

7-1 社内における波及効果

本取り組みは、社内において複数の波及効果をもたらした。まず、個々の訓練生についてどのような技術が具体的、客観的に不足しているかがわかるようになったことで、訓練生の技量に応じたきめ細かい個別指導が可能になった。また、作業中の動画を AI に与えるだけでそれ相応の分析結果が得られることが明らかになり、現場の AI 活用の機運が高まった結果、当初は研究所主導であった活動が、事業所主体の活動へと展開している。具体的には、技能五輪の入賞に向けてどのような訓練を行えばよいかという観点での活用も試みられている。

さらに、GENIAC PRIZE での受賞が社内的な後押しとなり、溶接作業以外の作業についても、作業動画と AI を活用してベテランの作業のポイントやコツ、勘所を抽出しようとする機運が高まった。具体例として、特殊計測におけるワイヤリング作業、試験設備・試験装置の操作手順の継承、製品の組立作業マニュアルの整備、などへの展開が挙げられている（図9）。

- 個々の訓練生が、具体的にどういった技術が足りないのか、具体的、客観的に分かるため、訓練生の技量に応じたきめ細かい個別指導が可能になった。
- 作業中の動画を撮ってAIに与えるだけで、それ相応のことが分かることが明らかになり、現場が盛り上がった、AI活用の機運が高まった。
⇒ 研究所主導の活動から事業所主体の活動に展開
- 溶接作業以外の作業についても作業動画とAIを活用したベテランの作業のポイント、コツ、勘所抽出の機運が高まった。（GENIAC PRIZE受賞効果？）
 - ・ 特殊計測のワイヤリング作業
 - ・ 試験設備、試験装置の操作
 - ・ 製品の組立作業マニュアル作り等々

図9 本取り組みの社内における波及効果

7-2 GENIAC PRIZE 参加のメリット

企業が現場で蓄積してきた暗黙知は、一般に、その企業の競争力（コンピタンス）の源泉であり、外部には公表せず秘匿しておくのが通常の対応である。ところが、懸賞金型のプログラムに参加し、その内容を対外的に公表することで、通常であれば得られない複数のメリットが生じたことが、質疑応答を通じて明らかにされた。

第一に、対外的な効果である。三菱重工は、エナジー・環境、航空機、宇宙開発・防衛といった華やかな事業を手がける企業と見られがちであるが、TIG 溶接のような地道で基本的な取り組みを行っていることを対外的に PR できたことである。質疑応答で小松氏は、審査に当たった先生方から「三菱重工がこんなベーシックなことをやっているとは知らなかった、ものづくりの基本はこういうことだ」という趣旨のコメントが寄せられ、賞の一つも与えないわけにはいかないと言われたと述べており、狙いどおりの効果が得られたとしている。第二に、AI を活用する技術に長け、かつ、機動力のある株式会社 Algomatic と組んだことにより約半年という短期間で成果をあげることができた。第三に、プレス発表を機に社外から多数の問い合わせが寄せられ、IT ベンチャー企業等からも「一緒にやりませんか」という声かけが相次いだことである。

第四に、社内的な効果も報告されている。まず、応募に当たっては工作現場の意見を聴取しており、その過程で現場自身にもメリットが生まれた。この点について質疑応答では、同社の堤一也氏から補足があり、古い体質のいわゆるオールドファッションな会社と見られがちな社内に対し、実はこうした AI 活用にも取り組んでいるのだということを PR できれば、若い人材が工作現場に入ってくるきっかけにもなるのではないかという期待から、現場として応募に前向きな意思決定をしたこ

とが説明されている。加えて、前述のとおり、技能五輪の訓練への活用が刺激されたことも、社内的な効果の一つに数えられる。

なお質疑応答では、本取り組みの効果検証についても質問があり、小松氏は、基本的な直線溶接に関する国家試験を題材として、学習時間がどの程度短縮されたかといった定量的な効果検証にこれから取り組んでいく段階であると答えている。

第8章 今回の取り組みとロボット、ロボット化との関係についての考察

小松氏は最後に、本委員会が「ロボット革命・産業 IoT イニシアティブ協議会」の傘下であり、旧称を「ロボットフレンドリー委員会」とすることを踏まえ、今回の取り組みとロボット、ロボット化との関係について、私見としての考察と問題提起を行っている。

まず小松氏は、今回の取り組みの位置づけについて、ベテランの暗黙知を AI によって明らかにし、非ベテランとの違いを具体的、定量的に示すことを通じて、あくまで人から人へ技能を「伝授」するための取り組みであり、人が行っている作業をロボットに代行させるようなフィジカル AI 的な取り組みまでは、現時点では考えていないと述べている。むしろ、さまざまな AI 活用の事例を示すことで、現場の AI リテラシーを高める活動として位置づけているという。

そのうえで小松氏は、「ロボットフレンドリー」な取り組みとは、一般的な作業員が行う作業をロボットに代行させるために、ロボットにとって作業がしやすいよう環境等を整備する取り組みではないかと自ら解釈したうえで、単純作業や繰り返し作業、定型作業を除けば、依然として人の方が柔軟かつ安価に対応できるのではないかと、すなわちロボット化が困難な領域が残っているのではないか、という問題提起を行っている（図 10）。

その理由として、小松氏は三つの観点を挙げている。第一は、センシングやコントロールに関する問題、いわば「頭」の問題であり、応用動作や想定外の事象への対応が難しいのではないかとこの点である。ただし、バーチャル空間で場数を踏ませることで対応できるようになる可能性もあり、依然として人によるサポートが必要になるのかどうかは、今後の検討課題であるとしている。第二は、アクチュエーションやアクチュエーターの能

力、具体的には出力対重量比に関する問題、いわば「腕力」の問題であり、多くの現場は人が作業することを前提とした環境やスペースになっており、ロボットが能力を十分に発揮しにくい環境になっているのではないかとこの点である。第三は、コストパフォーマンスやタイムパフォーマンス、すなわち「教育」の問題であり、実際に使えるようになるまでに要する手間や時間の割に得られる利益が少なく、人が行った方が速く安いというケースが多いのではないかとこの点である。特に、多品種・少量・低頻度生産の製品では、この教育コストの問題がボトルネックとなり、ロボット化が採算に見合わないのではないかと指摘している。

- 今回の取り組みとロボット、ロボット化の関係 今回の取り組みはロボット化できるのか? MHI Confidential 三菱重工
そもそも「ロボットフレンドリー」な取り組みとは?
- ベテランの作業とまで行かなくとも一般的作業員が行う作業をロボットに代行させるため、ロボットに優しい、ロボットが作業しやすいように環境等を整備する取り組みでしょうか?
 - AI等により、以前よりは遥かに「融通が利く」、「曖昧な指示でも動く」ようになったとは言え、単純作業、繰り返し作業、定型作業を除けば、人の方が柔軟に、安く対応できるのでは? (ロボット化が困難な領域)
なぜ「未だ人の方が柔軟に、安く対応できるのでは?」と思うのか?
- ① センシング、コントロールの問題 (=「頭」の問題)
- 応用動作、想定外の事象に対する対応が難しい?
 - バーチャル空間で場数を踏ませる等すれば対応可能になる? ⇔ 依然として人のサポートが必要?
- ② アクチュエーション、アクチュエーターの能力 (例えば出力/重量比) の問題 (=「腕力」の問題)
- 多くの現場は人が前提の作業環境、作業スペース、ロボットにとって作業がしにくい環境では?
 - ロボットが能力をフルに発揮できる、ロボット向けの作業環境、作業スペース、治具等が必要?
- ③ コスト、タイパの問題 (=「教育」の問題)
- 実際に使えるようになるまでに要する手間、ヒマの多さ?
 - 要した労力の割には得られる「ご利益」が少ない、人がやった方が速い、安い!
 - 特に多品種・少量・低頻度生産の製品ではここがボトルネック (ペイしないの) では?

図 10 今回の取り組みとロボット、ロボット化との関係についての考察 (3つの論点)

この考察は、今回の委員会における一番目の講演での主張点 (副題) 「中小企業のロボット利活用とは、データの利活用である」という見立てとも重なる。すなわち、多品種・少量・低頻度生産を主体とする中小規模のものづくり現場にとって、ロボット化そのものを直ちに実現することは容易ではないとしても、本講演で示された動画データにもとづく暗黙知の形式知化は、その手前にある「データの利活用」の第一歩として位置づけることができ、将来のロボット利活用に向けた地ならしとしての意義を持つとも解釈できる。

第9章 結論

本講演では、三菱重工業の小松直隆氏により、TIG 溶接技術を題材として、熟練技術者と非熟練技術者の作業動画を比較するアプローチによって暗黙知を形式知化し、作業員への評価とフィードバックにつなげる取り組みが報告された。本取り組みは、NEDO の懸賞金型プログラム GENIAC PRIZE において、株式会社 Algomatic と共同で「製造業の暗黙知の形式知化」部門の第 2 位を受賞したものであり、多品種・少量・低頻度生産と

という同社の生産特性上、大量の教師データを確保できないという制約のもと、特殊なセンサを追加せず通常の作業動画のみをAIに与えることで、熟練者と非熟練者の差分から暗黙知抽出のカギとなる評価項目を自動的に選定し、輝度分析・オブジェクト追跡・動作ヒートマップ等の個別解析モジュールによって作業者の技量を熟練者との相対比較で定量的に評価し、具体的な改善点を提示する仕組みが構築された。

実運用を通じては、いろいろなセンサを用いなくても動画とAIの組み合わせでかなりのことが把握できる一方、観察対象が明瞭に写った「良い動画」の確保が前提となること、AIはもっともらしい誤りを犯すこともあり百点満点の回答は得られないこと、したがって費用対効果に見合った成果が得られればよしとする割り切りが必要であること、そして最終的にはAIの出力を鵜呑みにせず人が判断し工夫することが重要であるとの実務上の知見が示された。また、本取り組みは、訓練生への客観的できめ細かな指導を可能にし、現場のAI活用機運を高めて研究所主導から事業所主体の活動へと展開させ、技能五輪の訓練や溶接以外の作業（特殊計測のワイヤリング作業、試験装置の操作手順の伝承、組立作業マニュアルの整備等）にも波及するなど、社内的に大きな効果をもたらした。加えて、通常は企業のコンピタンスの源泉として秘匿されがちな現場の暗黙知を、懸賞金事業への参加を通じてあえて対外的に公表したことにより、宇宙・航空といった華やかな事業のみならずTIG溶接のような地道な現場技術にも取り組んでいるという三菱重工業のPR、共同開発パートナーである株式会社AlgomaticにとってのPR効果、社外のIT系ベンチャー企業等からの多数の問い合わせといった対外的な効果、さらには現場の意見を取り入れたことによる現場自身のメリットの創出、古い体質と見られがちな社内の意識変革、若手人材の製造現場への呼び込みといった社内的な効果も生まれたことが報告された。

さらに小松氏は、本取り組みがあくまで人から人へ技能を伝授するための取り組みであり、人が行う作業をロボットに代行させるフィジカルAI的な取り組みではないと位置づけたうえで、今回の取り組みとロボット、ロボット化との関係について、センシング・コントロールという「頭」の問題、アクチュエーターの出力対重量比という「腕力」の問題、教育に要する手間や費用対効果

という「コスパ・タイパ」の問題という三つの観点から、特に多品種・少量・低頻度生産の現場ではロボット化がペイしにくいのではないかという考察と問題提起を行った。

将来課題としては、以下が挙げられた。第一に、改善ポイントの提示が現時点では定性的な助言にとどまっており、学習時間の短縮効果等を定量的に検証する取り組みが緒に就いたばかりであることから、効果検証のデータを蓄積し、フォローアップによる定量評価を確立していくことが求められる。第二に、AIが誤解しないよう観察対象が明瞭かつ大きく写った「良い動画」を撮影するためのノウハウを整理し、現場で再現性高く運用できる形に体系化していくことが課題である。第三に、溶接以外の作業（特殊計測のワイヤリング作業、試験設備・試験装置の操作、組立作業マニュアルの整備等）への横展開を、社内の各事業所が主体的に進めていくための仕組みづくりが必要である。第四に、対外的な問い合わせが多数寄せられている一方で具体的な連携には至っていないことから、社外のIT系ベンチャー企業等との連携のあり方を整理していくことが今後の検討課題である。そして第五に、小松氏自身が問題提起したとおり、本取り組みで得られた暗黙知の形式知化という知見を、将来的にロボットによる作業代行、すなわちフィジカルAI的な取り組みへとどのように発展させ得るのか、センシング・コントロール、アクチュエーション、コスパ・タイパという三つの課題をどう克服していくのかについて、引き続き検討していくことが将来の課題として残されている。