

熟練者の無意識な暗黙知を抽出・継承可能なマルチモーダル AI

— 技を継ぐ/技を汲むシステム「TUGUMI」 —

1. 背景

製造業の現場には、1 人の作業員しか担当できない属人化した作業が数多く残されている。技能継承の課題に直面している企業は、製造業事業所の約 86%に上るとの報告がある。

属人化は 2 つの経営リスクを生む。第 1 に、熟練者の退職によって、これまで作れていた製品が作れなくなり、生産能力そのものが失われる。第 2 に、担当できる作業員が出勤している日しか設備を動かさないため、日勤と夜勤で回している工場では機械をフルに稼働させられず、稼働率が悪化する。

この課題に対し、多くの企業が製造ノウハウのマニュアル化に取り組んでいる。しかし、出来上がる手順書は工程をなぞる程度にとどまり、作業を成立させている要素を網羅できていない。そのため、未経験者が手順書を読むだけでは作業を再現できない。

要素の抜けが生じる理由は 2 つある。1 つは、熟練者が日々の仕事に追われ、教材を作る余裕も教育に気を配る余裕もないことである。もう 1 つは、熟練者自身が作業の勘所や適切な教育順序を言語化できていないことである。すなわち「マニュアルにする」という発想には限界があり、その方法では伝わらないノウハウが存在する。

2. 目的

本プロジェクトの目的は、ある作業を要素単位まで抜け漏れなく分解し、熟練者が持つ判断パターンや身体感覚といった暗黙知を、第三者が再現できる形式知へ網羅的に変換することである。

その上で、工場での経験を持たない未経験者が短期間で熟練者水準の品質に到達できる教材を、AI の支援によって低コストかつ短期間で作成できる状態を実現する。教材作成そのものが熟練者の負担になっては本末転倒であるため、作成工程の省力化も目的に含める。

最終的には、個人の技能に依存しない生産体制を実現し、技能継承を属人的な努力ではなく仕組みとして各社に定着させることを目指す。

3. 製品・サービスの内容

本プロジェクトで開発した「TUGUMI（ツグミ）」は、熟練技能の継承を一連の工程として支援する Web システムである。利用者はブラウザ上で、要素分解、スキルツリー構築、教材作成、練習、フィードバックの各工程を順に進める。画面は学習者ビューと熟練者ビューを切り替えられる。

中核となるのは要素出し AI である。熟練者へのヒアリング内容を入力すると、業務を構成する要素に分解して構造化し、要因を魚の骨状に並べるフィッシュボーン図として整理したうえで、スキルツリーを自動生成する。どの技能がどの技能の前提に

なっているかが図として現れるため、教える順序を設計できる。TUGUMI の画面を図 1 に示す。



図 1 TUGUMI の画面（左：学習フロー、右：自動生成されたスキルツリー）

構築したスキルツリーを基に、暗黙知を言語化して教材へ反映する。教材の設計には 3 つの原則を置いている。第 1 に、1 つの要素を読んだらすぐ手を動かせる粒度まで細かく分割し、読んでから作業するのではなく実践しながら体で覚える構成にする。第 2 に、動画を組み込み、最初に完成状態と一連の動きを見せて、何を再現するのかのイメージを持たせる。第 3 に、力の向きや材料の変形のように、言葉にすると読み手ごとに解釈が割れる事柄は図画で示す。

この 3 つは独立した工夫ではなく、動画で全体像をつかませ、注意を向けるべき点を言葉で名指しし、その根拠を図画で補うという役割分担になっている。加えて、1 つの作業を完了するのに要する時間（タクト）の長短によって適した構成が異なるため、教材の型を使い分ける。タクトの短い作業では細かい分割と反復を重視した型を、タクトの長い作業では全体像を先に示してから各工程に降りる型を用いる。

学習者は教材を見ながら手を動かして練習し、その結果を AI に振り返る。振り返りの記録はスキルツリー上の状態に反映され、次にどの要素を練習すべきかが明確になる。

本システムで作成した教材の効果は、被験者に実際に使ってもらって確かめている。汎用旋盤の教材では、機械経験のない大学生 10 人中 8 人が 4 時間で公差内の完成品を製作した。大和合金株式会社の銅棒材を矯正する作業では、矯正後の丸棒の真直度を全長にわたり直交 2 方向で測る手順を定め、計 10 本について実施した。ただし作業者ごとの本数は 1～2 本にとどまり、データに訓練方法の区分もないため、この結果から訓練方法の優劣は述べられない。

4. 新規性・優位性

類似のサービスは大きく 2 つに分けられる。1 つは、tebiki に代表される動画マニュアルサービスであり、現場で撮影した動画に字幕や翻訳を付けて共有する仕組みを

提供する。もう 1 つは、手順書作成ツールや動画編集ツールであり、いずれも教材を作るための器を提供する。

これらに共通する前提は、何を教えるべきかが既に分かっていることである。撮る対象、書く順番、強調すべき箇所は利用者が決める必要があるが、その決定こそが技能継承において最も難しい。熟練者自身が箇所を言語で把握できていない以上、器だけを渡されても教材は埋まらない。実際に、旋盤加工を得意とする A 社事業本部長からは「要素出し AI システムが画期的。今までの競合製品では、教材作成は結局自分たちでゼロからやる必要があり、ハードルが高かった」との評価を得ている。

TUGUMI の新規性は、「何を教えるべきか」を AI が抽出し、要素間の依存関係をスキルツリーとして示す点にある。これにより、要素の抜けと教える順序を点検できる。器の提供にとどまる既存サービスに対し、教材の中身を決める工程そのものを引き受けることが優位性である。

5. 事業普及（または活用）の見通し

本プロジェクト期間中に、大和合金株式会社、三芳合金工業株式会社をはじめとする他数社の協力を得て、レーザー溶接、砥石の再研磨、投影検査機、大型の縦型旋盤、汎用旋盤の 5 件の教材を作成した。このうち 2 件は実際に現場教育で活用されている。

教材作成の速度も改善した。当初は 1 件あたり 4 か月程度を要していたが、AI 支援と作成工程の仕組化によって半自動化し、最後の 2 か月で前述の 5 件を作成できる水準まで短縮した。

事業化に向けてザシトラ株式会社（英名 Zacitra Inc.）を設立した。現在は 15 名の体制で活動している。

今後はファクトリーEXPO（大阪・福岡）への出展を通じて現地の中小企業に接触し、あわせて埼玉県新製品開発補助金をきっかけに県内の企業へ展開する。全工場の暗黙知が見える化することが会社の目標である。

6. 期待される波及効果

第 1 に、暗黙知が構造化されることによる二次利用が期待できる。工場の可視化に取り組むスタートアップの経営者からは「工場の暗黙知が可視化されることで、LLM で新人による逆引きが可能に」との指摘を得ている。構造化されたノウハウは検索や質問応答の対象となり、新人が自力で必要な知識に到達できるようになる。

第 2 に、製造現場の運営そのものへの波及がある。作業が要素に分解されることで前工程と後工程の関係が可視化され、現場間の連携が改善する。また、作業要素を把握できれば、見積りの精度も上がる。

第 3 に、対象領域の拡大がある。熟練者が存在し、その技能が言語化されていない領域であれば分野を問わず適用できる。現在は応用プロジェクトとして、内視鏡手術の教材化（2024 年度未踏アドバンスト事業 MyEndoscope との共同）、生産管理における暗黙知の抽出、および制約条件を漏れなく言語化した上で AI エージェントに工場

2025 年度下期末踏アドバンスト事業

の生産計画を立案させる取り組みを進めている。

7. イノベータ名（所属）

長谷川 恭平（東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻）

平沼 慶人（東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻）

木下 陽斗（東京大学大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻）

舟田 愛（東京大学教養学部理科二類）

8. （参考）関連 URL

- ザシトラ株式会社 <https://zacitra.com/>