

やすりがけ技能の学習支援に関する研究 一切削感覚の仕上げ評価への影響について一

A study on learning support for filing skills

-the influence of cutting sensation on finish evaluation-

松浦慶総¹

Yoshifusa Matsuura¹

¹ 横浜国立大学

¹Yokohama National University

Abstract: In Japan's future manufacturing industry, it is becoming more important than ever to recognize the craftsmanship ("skills") of small and medium-sized enterprises, which have long supported the nation as a technological powerhouse, as valuable assets. In response to future value creation, it is essential to clarify the objectives of automation and autonomy, as well as to determine which skills should be inherited. A prompt establishment of a skill succession system is necessary. Recognizing the high asset value of skills, it is also crucial to accelerate both the development of skilled workers and the inheritance of expertise to foster the creation of new skills. Therefore, this study focuses on the filing process as a target skill and proposes a learner-centered support system that enhances learners' recognition of the relationship between bodily sensations and work outcomes. As a result, the proposed system effectively facilitates learning support by emphasizing "force perception" information, which is particularly important for improving the cutting quality of the filing process.

1. はじめに

これからの日本の製造業では、技術立国を支えてきた中小企業のものづくり「技能」を資産と捉えることがこれまで以上に重要であるといえる。今後の価値創造に応じて、何を自動化・自律化し、“承継”すべき技能は何かという、目的の明確化を行い、早急に技能承継の仕組みを確立する必要がある。すでに大きな問題となっている日本の労働力の低下については、統計資料より生産年齢人口（15～64歳）が2000年の8,622万人から2023年の7,395万人^[1]と約1,200万人も減少し、中小企業においては慢性的な人手不足や後継者の不在が生じている（従業員数過不足DI：2002年は+8.1%、2023年で-20.4%^[2]）。このように今後の人口減少は避けられないために、技能者が担ってきた製造プロセスを自動化・自律化を進めることは、現在のグローバルサプライ化に対応するには必要不可欠である。一方で、技能者でなければ実現が困難な製造プロセスが浮き彫りになってきた。このような背景から、技能自体に高い資産価値があることを改めて認識し、これから新たな技能を

創出するための技能者の育成と承継を早急に促進する必要があるといえる。そこで本稿では、やすり作業を対象技能として、学習者に対して身体感覚と作業の結果との認知を促進させる学習者主体の支援システムの提案について述べる。

2. ものづくり産業における技能の 価値

ものづくり産業における技能は極めて重要な資産であると考えられる。資産としての技能を、今後どのように取り扱い、どのような価値を創出すべきかを考えたとき、大きく「自動化」と「人による承継」に分類することが重要と考える。技能の「自動化」に関しては、これまでのほとんどの技能研究で行われている、定量的な計測と解析による技能のモデル化が大きく貢献する。日本国内の技術者や製造従事者がこれまで蓄積してきた、技術・技能をデータベース化し共有するナレッジマネジメントは、2000年問題が表出した1990年代から導入が進められていた。

その後、インターネットの大容量高速化、計測技術の発達により DX 化が急速に行われ、技術・技能モデルも非常に活用されている。国内の人員不足への対応だけでなく、世界のマーケット近傍に工場を設置することで、高精度、高品質の製造が可能となる。輸出コストや為替変動の影響を減らし、グローバルサプライチェーンへの対応で、国際競争力の強化が図られている。

一方、「人による継承」をすべき技能は、これからの企業価値に大きく影響を与える資産と考える。DX 化では、一定の高精度、高品質に標準化された製品が製造できるが、それ以上の製品を目指すことは極めて難しい。これらの製造工程は国内マザー機能工場によって決定された基準化・標準化が必須だからである。このマザー機能が現在の日本のものづくり産業の資産であるといつてよい。これまで培ってきた高度精密加工技術や高性能な計測技術、品質管理技術は、ナレッジマネジメントによる形式知のほか、熟練技能者の持つ知識や経験、技能に対する「感覚」が極めて重要である。例えば、マザー機械は極めて精密な「調整」が必要である。この調整はある程度自動化できるが、最終的な調整は熟練技能者が必要不可欠である。半導体製造などの超精密製造装置の基準面の最終仕上げはラップ加工という研磨作業が行われ、寸法精度は $10^{-1} \mu\text{m}$ オーダー、表面粗さは $10^{-2\sim 3} \mu\text{m}$ オーダーで熟練技能者が実施している。このような技能は現在の AI 技術では不可能であり、熟練技能者の価値は極めて重要な資産と捉える必要がある。ただし、このような技能は人の感覚情報が主であり、主観的、定性的なものであるため、これまで明確に技能承継の情報として扱われることは少なかった。そこで、次章で本研究がこれまで提案した技能情報構造化手法を用いて、技能を習得する学習者が主体となり、技能の感覚情報を学習情報として取り扱う、新たな学習支援手法を提案する。

3. ものづくり技能の身体感覚認知を主体とした学習支援手法

従来の技能に対する「教育」支援を目的とした研究では、ほとんどが教授者である熟練者が初心者とのデータを比較することにより熟練度の評価をすることを目的としている。学習者は、現在の熟練度や熟練者とどのような評価項目で、どれだけ相違があるかを定量的に把握することは可能である。しかし、用いられている評価項目の多くは、計測が可能かどうか、または解析モデルとして熟練度の差異が判定できるかを目的としている。したがって、学習者自

身はその評価の原因は何か、計測されたデータが評価にどのように寄与されているかは理解できていない状態である。当然、何に意識しながらトレーニングすればよいか、といった学習に重要な情報が分からないまま模倣学習で試行錯誤するしかない。

身体運動では「主動筋と拮抗筋の出力のバランスにより、身体部位が動作する。」フォーム(姿勢)“はある時点の筋骨格の状態であり、筋肉の出力の具合により左右される。”という概念を筆者は主張する。したがって、身体運動をともなう技能でよく評価言語として用いられる”きれいなフォーム”は、適切な主動筋と拮抗筋の出力が行われ、身体部位が評価対象を適切に捜査している結果であると評価する。

この筆者の主張を基にすると、身体部位の運動の際に「何に注意をして、身体感覚はどのようなものか」をトレーニングすればよいか極めて重要である。教授者が何を教授して、自身の技能を基準として学習者の評価を行うのでは、学習者が主体的に習得するプロセスが少ない。模倣学習、繰り返し学習による技能動作の自動化を目指すだけでは、技能の持つ自らの身体や道具、対象部材に関するメカニズムや知識を自ら得る機会がない。これは模倣学習の限界である。また、学習者がどの程度まで技能を習熟したいかという主体的な学習姿勢も、学習に対するモチベーションに大きく影響をする。本研究では、これまでの評価を主体とした「教育」支援ではなく、学習者が自らの身体メカニズムや感覚に重きを置き、学習者の気づきや共感性を高めて習熟させる「学習」支援の手法を開発する。

技能動作学習でどのように「学習者が自身の身体をどのように身体を制御すれば技能を習得できるようになるのか」を支援すればよいか極めて重要となる。まず、本研究ではまず、技能熟練度マップ^[3]により、学習対象となる技能の位置づけを明確にする。次に技能情報構造化手法^[4]で、技能の成果物に直接影響を及ぼす“直接要因”を定量的に測定し、それに関係をする機器や道具の操作時の“身体制御情報”と“体性感覚情報”を学習者に「意識」させる。試行後に得られた直接要因の定量情報を学習者に即座に提示し、かつ意識した上記 2 つの定性的情報を記録し、定量情報と比較する学習支援システムを提案する。

4. やすり作業の技能学習支援

今回対象とした技能は、品質に大きく影響を及ぼす手仕上げ作業の「やすり作業」である。やすり作業は、中学校の技術教育で「A 材料と加工の技術」で取り扱われているが、多くは木材加工で紙やすり

を用いた作業で実施されている。しかし、金属加工でのやすり作業は、中学校ではあまり実施されておらず、大学の工学系学部学科の工場実習で数時間を行うのみである。ものづくりに欠かせない設計製図や解析などの知識は十分講義で行うが、金属の特性、例えば”粘り””や”硬さ”、”脆さ”などがどのように加工時に影響を及ぼすかは、実際に「感じ」なければ、製造時に影響を及ぼすのではないかと考える。

そこで、本研究ではやすり作業の技能について、仕上げ品質に影響を及ぼす身体部位の動作と、どの部位に注意して力を掛ければよいかを、筆者が提案している技能情報構造化手法で明確にし、実際に学習を実施してみる。

やすり作業は、成型から仕上げ作業まで行われる。一般の仕上げでは 0.01mm、精密仕上げでは 0.005mm の精度で仕上げる。やすり作業を含む手仕上げ作業の資格は、一般的な切削工具研削技能士と国家資格である仕上げ技能士（特級～3 級）があるが、溶接のように、資格を有する必要がある加工は特段ない。しかし、国家資格に合格するにはかなりの知識と技能が必要であることは言うまでもない。したがって、仕上げの品質に大きく影響する。

に關係する従来の技能に対する「教育」支援を目的とした研究では、教授者である熟練者が初心者のデータを比較することにより熟練度の評価はするが、学習者自身はその評価の原因は何か、計測されたデータが評価にどのように寄与されているか、何に意識しながらトレーニングすればよいか、といった学習に重要な情報が分からないまま模倣学習で試行錯誤するしかない。とくに身体部位の運動の際に「何に注意をして、身体感覚はどのようなものか」をトレーニングすればよいか極めて重要である。すなわち、教授者が何を教授して、自身の技能を基準として学習者の評価を行うのでは、学習者が主体的に習得するプロセスが少ない状況である。模倣学習、繰り返し学習による技能動作の自動化を目指すだけでは、技能の持つ自らの身体や道具、対象部材に関するメカニズムや知識を得ることはできないだけでなく、モチベーションの低下にもつながる。

4.1 やすり作業技能の熟練度目標マップ

これまでに筆者が提案している対象技能の熟練度目標マップについて説明する。このマップは「工業的-芸術的」、「職業的-趣味的」、「熟練度」の 3 軸で構成している。このマップから、

- I 型：製造業従事者：高度技能者、現代の名工
- II 型：製造業従事者：一般製造技能者
- III 型：伝統工芸従事者：伝統工芸（匠）、工芸美術製作者

IV 型：工芸品製造従事者：日用品製造者、体験工房指導者

といった、技能の目標を明確にする。これにより、技能学習の目的やそのための評価項目・基準を学習者が主体となって選択が可能となり、モチベーションが向上すると期待できる。

今回の講演では、大学の工場実習から研究で使用する実験装置の製作ができることを目標としたため、II 型に相当する（図 1）。

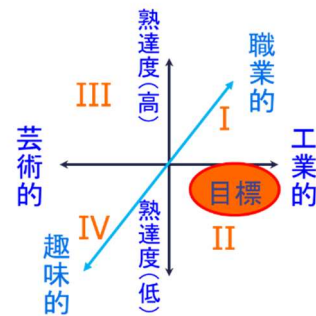


図 1 技能熟練度目標マップ

4.2 やすり作業の技能情報構造化

筆者が開発した技能情報構造化を、今回のやすり作業に適応した。今回は横浜国立大学の主任技官 1 名にインタビューをして、技能要因図を作成した。主任技官の方のコメントで、「やすりは刃物である。やすりの刃が切削していく様子をイメージする。また、切削方向は押す方向のみである。」という内容は、これまでのやすり作業での指導、およびテキストにはない、身体知を含む語りであり、新たな気づきを得た。作成した技能要因図は次のようになった。

直接要因は、「切削表面」に関する評価となり、切削深さや粗さ、削り粉などとした。

間接要因が、やすりの操作に関する評価で、定量評価は速さ、ストローク長など、定性評価は研ぎ方法である。

身体要因は、両手、両肩、腰、両足について位置や速さといった定量評価に加え、本研究で重要な要因として扱っている「力覚」を取り扱う。特にやすりの柄を操作する手が、柄に対してどのように力をかけているか、また柄から得られる感触について、技能者、学習者がそれぞれ語ることを項目としていることが、この手法の独自性となっている。また、腰と両腕の動き、右足の踏み込み感や左足の脱力感なども、今回の技能要因図を基にしたインタビューから得られた注意要因、評価要因である（図 2）。

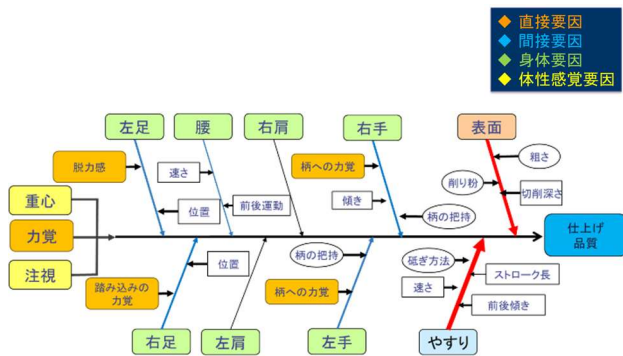


図2 やすり作業の技能要因図 (インタビュー後)

5. やすり作業学習の実践

5.1 学習の手順

4. で構築した技能要因図を基に学習の実践を行う。なお、今回は予備的実験の位置づけのため、学習者は筆者1名とし、切削対象はアルミ材、350 mmの金属やすり (中粗: ツボサン製) を用いて直進法で切削をした。手順は以下のとおりとする。

- ① 参考資料を読んでから実験者が試行
- ② 横浜国立大学技術部主任技官 (30年以上勤務) による実演
- ③ 主任技官に対してインタビュー
- ④ インタビュー後に実験者が試行

①の参考資料は、「ザ・手仕上げ作業-ものづくり現場で受け継がれる技術と技能-, 岡部 眞幸 (監修), 株式会社豊田自動織機技術技能ラーニングセンター (編集)」^[9]を用いた。この文献では、やすり作業における作業者の姿勢 (部材の設置高さ, 両足の位置, やすりの握り方) のほかに、やすりに対するそれぞれの手の力のかけ方, 体重移動についての記述, 力のかける方向をそれぞれの姿勢で写真に図示している。従来の文献にはない力に関する記載があることは、学習者にとってやすり作業のコツを理解するヒントとなる。

5.2 参考資料による自主学习

参考資料を読んでから、実験者 (筆者) が実際にやすり作業を行った。文献の写真を参考に、やすりを手前から奥に操作したときに、左右の手にかける力の配分を注意しながら操作をした (図3)。自身では、しっかりと左右の手の力を意識していたのだが、ほとんど削り粉が出ていない (図4)。その時に左右の足については全く意識できていなかったことを、試行後に気づいた。

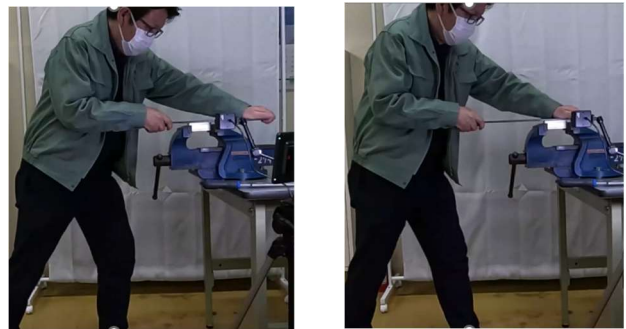


図3 筆者のやすり作業の様子



図4 筆者の削り粉

5.3 主任技官による実演

動画を見て筆者が気付いたことは、頭部が切削対象材のほぼ真上にあるため、上半身の重さを用いて上腕→手→やすりに効率よく力を伝達していることである。この気づきは、実験終了後に筆者が技能要因図と主任技官のインタビュー、動画の視聴から得られたものである。その結果、右足の踏み込みと左足の脱力、左右の上腕から切削対象材に対してタイミングよく力が伝わっている (図5)。結果として、削り粉の量は筆者の数倍の量が発生していることが分かる (図6)。



図5 主任技官のやすり作業の様子



図6 主任技官の削り粉

5.4 主任技官に対してインタビュー

主任技官に対して、動画（主任技官の実演）を観てもらいながらインタビューを行い、以下のようなコメントが得られた。

- ・頭部の位置はできるだけ切削部に近くする
- ・やすりの柄が右手の親指の腹部分にあたるようにし、その部分で切削部からの力を感じるようにする。
- ・右足で踏み込み、左足は脱力する。
- ・文献に描いてある、やすりの位置と力の配分は、ほとんど意識していない。

5.5 インタビュー後に実験者が試行

主任技官へのインタビュー後に、再度試行した。その結果、まだ不十分ではあるが、頭部の位置が切削部に近くなり、上半身の重さを利用したやすり動作ができています。また、削り粉の量も自主学習の時に比べて大幅に多くなりました。

さらに、やすりの柄と手のひらの感覚に意識を向けることで、「切削している金属の様子」を感じ、認識することができた。今回の試験材料はアルミ材であり、主任技官によるとアルミ材は柔らかいのでやすりの目に詰まりやすく、詰まった削り粉により切削面を傷つけてしまう。そのため、詰まったときに速やかに取り除く必要があるため、その感覚に気づくことが重要である。このコメントから、筆者も試行中に詰まりに気づくことができるようになった。

6. まとめ

本研究では、やすり作業の技能を技能構造化手法により、とくに「力覚」情報を重視した学習支援を実施した。やすり作業の切削品質向上には、

- ・頭部の位置が切削に必要な力にとって重要である。
- ・やすりの柄を握る手のひらで、切削状態を把握する。
- ・足の踏み込みと脱力の重要性が明らかになった。

今後は、熟練者と学習者に技能要因図を作成してもらい、互いがどのような要因を試行中に注意し、試行後に何を評価するかを比較し、認知特性と熟達度の関係について研究を行う。これにより、より主体的な学習支援が可能になると期待できる。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 21K02740 の助成を受けた

ものである。

参考文献

- [1] 内閣府, 令和6年版高齢社会白書, (2024)
- [2] 経済産業省, 2024年版ものづくり白書, (2024)
- [3] 松浦慶総, ものづくり技能教育における主体的学習行動の創出とその教育効果についての一考察, 日本機械学会技術と社会部門講演会, No.23-75, (2023)
- [4] 松浦慶総, 高田一, 技能情報構造化手法による溶接技能学習支援に関する研究, 日本機械学会 2018 年次大会, (2018)
- [5] 岡部 眞幸 (監修), 株式会社豊田自動織機技術技能ラーニングセンター (編集), ザ・手仕上げ作業-ものづくり現場で受け継がれる技術と技能-, (2016)