

技能構造化手法による新たな技能学習法の提案と学習効果

Proposal of new skill learning method by the structured method for skill information
and its learning effect

松浦 慶総¹ 高田 一¹

Yoshifusa Matsuura¹, Hajime Takada¹

¹ 横浜国立大学

¹ Yokohama National University

1. はじめに

最近、日本を代表するものづくり企業による不祥事が相次いで表面化している。特にこれまで確立してきた「メイドインジャパン」ブランドの根幹である、高品質性、高信頼性に関わる不正が長期にわたって行われていた事実が明らかになった。部材メーカーの事例では、契約時の基準に満たないが品質的に問題のないということで顧客の了承を得て納品するトクサイ（特別採用）という商慣習を該当契約以外で勝手に運用し、JIS規格の認証取り消しという事態が起きた。また、自動車メーカーでは国から移管されている完成車の最終検査業務において、無資格者に検査を行わせ、検査終了時の確認書類に有資格者の印鑑を押印させていた。これらの不正の多くは納期厳守や生産効率向上の圧力の下で、人員削減と業務増加が同時に行われたことが原因と言われている。また、経営陣の謝罪会見において「品質には問題ない」というコメントがあったが、品質に対する過剰な自信からコンプライアンスの欠如が生じたと考えられる。

これらの原因の根底にはものづくりに対する意識の低下があると推測する。現在の子ども達を取り巻く環境はものづくりの機会が大きく減少し、大学の工学系学科の学生でもプライベートで工具を用いた製作の経験は、殆どない状況である。したがって、学校の技術科教育を始め、ものづくりの導入教育が極めて重要であると考えられる。しかし、現在のものづくり技能に関する情報や研究は、多くが熟達者の技能を対象としたものであり、その身体性に関する情報は定性的、抽象的であるために、特に初級者にとっては理解が難しい。したがって、時間に制限がある学校での技術科教育では、ほとんどの生徒が上達する経験をする事が出来ない。その結果、ものづ

くり技能への理解を深めることが出来ないと考える。そこで本研究では、学習初期段階で初級者が理解できる情報を与える手法として、技能情報構造化手法（Structured Method for Skill Information）を提案し、一定程度の技能を効果的に習得できる新たな学習法の提示を行い、実技によりその学習効果の検証を行った。

2. 溶接技能の身体情報の現状

本研究対象である被覆アーク溶接は、基本的な手溶接の一種である。したがって、適切な溶接品質を確保するためには溶接技能の習得が必要となる。習得のための技能情報については、文献調査から約8割が溶接棒の角度、運棒動作、アーク長、アークの状態、溶融池の状態といった加工時の工具や母材の状況に関する情報で、残り2割が溶接ホルダの持ち方や上腕から上半身の姿勢に関する情報である。情報がこのように偏っている原因の一つとして、強力なアーク光が発生している特殊な環境であるため、作業中に作業姿勢等を直接視認することが困難であることが考えられる。もう一つは、ものづくりの目的が設計通りの加工を精度良く行うことであるので、品質に直接影響を及ぼす工具・母材に関する情報が主になっていると考えられる。

身体に関する溶接技能の情報については、例えばホルダを保持する手に関しては「溶接棒を溶接棒ホルダに平行、手首と直線になるように保持する」文献[1]より引用)、「親指と人差指の付け根をハンドルの上部に向け、レバーは親指の横にして、ホルダと手首と腕がほぼ直線になるように持つ。」(文献[2]より引用)、上腕および上半身に関しては、「両肩を溶接線に平行にし、やや前かがみになる。ホルダをもった腕は、約90°に曲げ、ホルダと手首と腕の線を平行にして、ひじを軽く引っ張るようにする。溶接

開始点に対して右側（溶接の進んでいく側）に位置し、上半身を左寄りにして両肩を溶接線に並行となる基本姿勢をとる。」（文献[2]より引用）、「腕の肘を体から離してゆったりかまえる。肘が脇腹にさわらない程度に下げ、自由に運動できるようにすることが大切である。」（文献[1]より引用）など姿勢に関する記述がほとんどである。なお、一部で「溶接棒の消耗速度に合わせてホルダの持つ手の位置を下げ」（文献[1]より引用）、「棒を右へ進める動作は腕だけで進めるのではなく、左寄りに構えた上半身も右へ平行移動し、上半身等での両方で進める必要がある。よく、ビードが後半で右手前に曲がることがあるが、これは上半身の右への移動を忘れたのが原因であることが多い。アーク長を一定に保つため棒の消耗に併せてホルダを下げる動作は、腕を傾けて下げるのではなく、ホルダと腕の線を母材面と平行に保ったまま腕全体を下げるようにすると良い。」（文献[2]より引用）というアークの安定性に対する溶接棒のコントロールと身体動作に関する情報が記載されている。前者の姿勢情報はどの様に溶接棒をコントロールすればよいか初級者に理解できず、実際にはOJTや初級者自身が試行錯誤する必要がある。後者の身体動作に関しては、溶接棒のコントロールに有用であるが、他の情報と並列に記載されているため、初級者には習熟過程と情報との関係性が分からない。したがって、やはり試行錯誤して情報の重要性を理解しなければならないため、習得に時間がかかり、初級者のモチベーション維持が難しい。

3. 技能情報構造化手法によるアーク溶接技能情報

これまで著者らが提案した技能情報構造化手法は、品質工学手法の一つである特性要因図を応用して技能情報の各要因の関係を視覚化している。特性を技能品質とし、品質に影響を与える項目を主要因として明示する。ここで、技能品質へ影響を及ぼす直接要因から関係性から間接要因、身体要因の順で記載する。また、道具を制御するために身体をどのようにコントロールすればよいかという意識として、重心や力覚、視線といった体性感覚要因については直接要因に直接影響するため極めて重要である。しかし、体性感覚情報は実施者の主観的、定性的な表現であることがほとんどであるため、従来の技能研究では取り扱われないことが多かった。本研究では、体性感覚情報が初級者に対して技能動作のイメージを想起する重要な情報と位置づけ、他の要因との関係性を視覚化している（図1）。また、この視覚によって、熟達者や教授者の気付きを創出し、新たな学

習情報の提供が可能となると考える。

今回の被覆アーク溶接においては、特性を溶接技能品質とし、溶接品質に直接影響を及ぼす直接要因をビードとする。ビードの幅、余盛と言われるビードの高さ、ビード形状、ビードと母材の境界状況が外的評価項目として溶接品質を決定している。そのビード形成に影響を及ぼす間接要因を溶融池、アーク、溶接棒とする。間接要因のうち溶融池はその状況がビードを決定するために第一要因とし、アークを第二要因、溶接棒を第三要因とする。ここで、溶融池とアークに関しては直接計測することが出来ないため、文献調査や熟達者のインタビューにおいても評価が定性的表現のみである。溶接棒に関しては、母材との位置関係より定量表現で行われている。本研究の構造化手法により各要因の関係性が明確になり、溶接棒の位置を溶融池、アークを適正な状態にあるように制御することが重要であることがわかる。

次に溶接棒を適切に制御するための要因として、身体に関する要因を考慮する必要がある。しかし、身体各部の情報は文献、インタビューともに非常に少なく、さらに身体部位同士の関係性や体性感覚の身体動作を習得する上で重要な情報はほとんどない。そこで、初期構造としてホルダ保持手から体幹一頭部一足部までで構造化した図をもとに、インタビューおよび動作解析を行い、初級者が効果的に習得可能な新たな学習法の提案を行う。

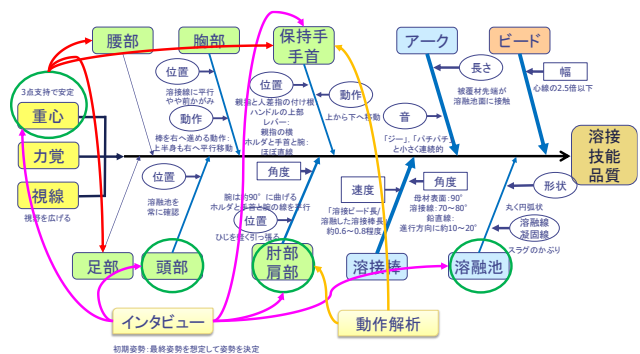


図1 アーク溶接技能特性要因図

4. 初級者に対応する学習法の提案

3章の技能情報構造化手法によるアーク溶接技能の構造化により、アークの安定性向上にはホルダ保持手の制御が極めて重要であることがわかった。著者の既往研究で熟達者のホルダ動作を解析した結果から、「ホルダ保持手を下向き方向に動か」し、その動作をさらに安定するために、上腕、肩を「ホルダを保持するように支えるように力かける」、アーク、溶融池状態を常時楽人するために頭部は「常に溶融

池が確認できる位置」に制御するという、新たな初心者用学習法を作成した。

具体的には、今回の実験で対象としたストリング運棒法において、溶接棒と溶接面の角度を安定させて、かつ直線的に移動させるには、保持手を進行方向には動かさず、ほぼ「鉛直下向き」に移動させる必要がある。その動作を実現するには、ホルダと溶接棒の荷重を利用し、保持手はホルダを保持することに注意し、鉛直方向に移動させることが重要である。これは、従来の指導方法には無い情報である。この保持手の運動を溶接棒が短くなるまでスムーズに行うために、次の学習情報をまず初めに提示する。

- ① ストリング運棒法では、溶接棒を進行方向に 10～20 度傾けながら溶融して短くなることで、進行方向に溶接できる。したがって、ホルダを支持している手には、ホルダを支える意識で力を入れ、重力方向に一定速度で下げる。
- ② 決して、進行方向にホルダを移動しようと意識しない。
- ③ 溶接棒と溶接線、ホルダの進行方向で構成される三角形が相似形で小さくなるイメージを持つ(図 2)。
- ④ 予め溶接棒長さ最短時の位置で余計な力がかからない姿勢になるように、肘・肩部の位置と角度を調節する。
- ⑤ 頭部は保持手、肘・肩部の動きを障害せず、さらに溶融池が常に視認できる位置にする。



図 2 初級者指導内容
(ホルダの操作と操作イメージ)

5. 学習法による比較実験

5. 1 実験概要

4 章で作成した新たな初級者学習法の有効性を調べるため、従来指導法との比較実験を実施した。また、習熟効果の影響を考慮するために、従来指導をせずに新指導法から導入して実験を行った。新指導

法では学習結果からの気づきがあれば次の試行の情報として学習者に与え、学習効果の有無を検証した。

まず溶接棒の角度や運棒法を中心とした従来指導法で 5 回実習した後、作成した新指導法により実習をして溶接ビード結果を比較検討した。被験者は、大学 2 年次に工場実習で 3 時間溶接実習を経験した 4 名の大学院生とし、2 名(被験者 A, B)は従来指導法を 5 試行、新指導法を 5 試行、情報フィードバックによる指導を 5 試行、2 名(被験者 C, D)は新指導法を 5 試行、情報フィードバックによる指導を 5 試行×2 日間をそれぞれ 3 日間、合計 15 試行を行った。運棒法は下向きストリング運棒法とし、母材を 6mm 厚の SS400、軟鋼用溶接棒(棒径 3.2mm、棒長 350mm)を用いた。溶接線は、長さ 110mm、幅 15mm の長方形を母材に記し、溶接するように指示した。

5. 2 実験結果

5. 2. 1 従来指導法

従来指導法のビード形状を以下に示す。被験者 A, B の 1 試行目と 5 試行目を見てみると、A では溶接開始付近のビード形状は多少揃っているが、後半以降は幅、高さともに不揃いで、スパッタも多数生じ、溶け込みが不十分である(図 3, 4)。B に関しては、1 試行目では溶接開始付近から大きく湾曲し、幅が不均一である。5 試行目では幅は揃ってきているが、高さのばらつきが目立ち、また余盛が不十分であるため、十分母材が溶融していない(図 5, 6)。

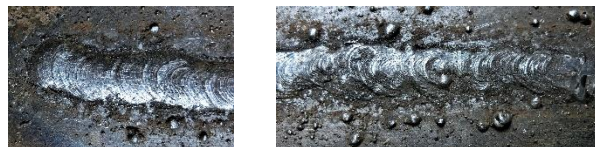


図 3 従来指導法(被験者 A: 1 試行目)

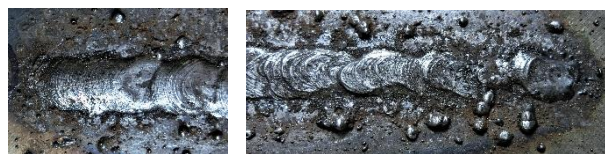


図 4 従来指導法(被験者 A: 5 試行目)



図 5 従来指導法(被験者 B: 1 試行目)



図 6 従来指導法(被験者 B: 5 試行目)

5. 2. 2 新指導法 (1回目)

被験者 A, B は従来指導法 5 試行の後, 新指導法による試行を行った. 特に被験者 A は新指導法を行った直後で, ビードの幅, 直線性, 余盛の安定性が大幅に向上した (図 7). 被験者 C, D はこの試行が初めてである. 被験者 C については, 前半部分で大きく乱れているが, タッピング (アーク発生) 時が慣れていないために, 運棒が不安定になったと思われる (図 9). 2 試行目ではビード状態が大幅に向上している (図 10). 被験者 D の 1 試行目では, ビードが波打つような形状になっている. これは母材と溶接棒先端の距離が一定していないことが原因であり, 溶接棒の消耗に対するホルダを下げる動作が上手く連動していない (図 11). 3 試行目では既に改善が見られる (図 12).



図 7 新指導法 1 回目 (被験者 A : 1 試行目)



図 8 新指導法 1 回目 (被験者 B : 1 試行目)



図 9 新指導法 1 回目 (被験者 C : 1 試行目)



図 10 新指導法 1 回目 (被験者 C : 2 試行目)

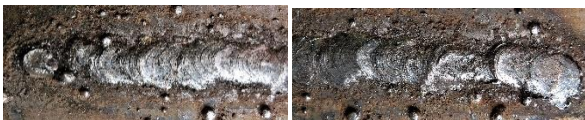


図 11 新指導法 1 回目 (被験者 D : 1 試行目)



図 12 新指導法 1 回目 (被験者 D : 3 試行目)

5. 2. 3 新指導法 (2回目)

新指導法による 2 回目の実験では, 1 回目の実験結果から, 十分な溶け込みを実現するためと, 余盛の安定性を向上するためにアーク長を短くするよう

に溶接棒をコントロールすることを意識するように情報を付与した. 具体的には, 「母材に溶接棒先端が接触する程度までに溶接棒を降ろしていく」という指示を行った (図 13~16).

被験者 D をも除いて, ビード形状の向上が見られた. 被験者 D は 1 回目実験から 6 日経過していたため, 1 試行目はアーク長に対する溶接棒のコントロールが上手く行かなかったが, 2 試行目以降は安定したビードを作ることが出来た.

このことから, ビードの安定性と溶接棒のコントロール, 身体部位の意識の仕方の関係性を明確に説明し, 絞り込んだ情報を提示することが初級者の学習支援に重要であることがわかった.

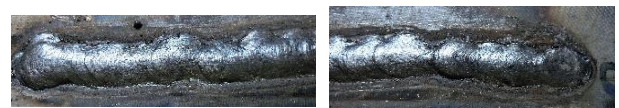


図 13 新指導法 2 回目 (被験者 A : 1 試行目)

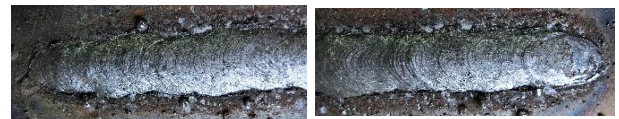


図 14 新指導法 2 回目 (被験者 B : 1 試行目)



図 15 新指導法 2 回目 (被験者 C : 1 試行目)

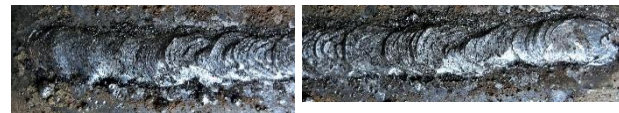


図 16 新指導法 2 回目 (被験者 D : 1 試行目)

5. 3 突合せ溶接実験

これまでは, 大学での実習で主に使われている平板を用いたストリング運棒による溶接を実施していた. しかし, 溶接資格や現場で行われる溶接では, 平板を用いることはなく, 2 枚の母材を平面につなぎ合わせる溶接である「突き合わせ溶接」や, 直角に溶接する「すみ肉溶接」の技能が必要とされる. そこで, 平板での溶接学習である程度の技能を習得した状態で突合せ溶接を実施し, 学習効果を確認する.

今回は被験者 C を除く 3 名で 3 試行ずつ行った. 突合せ溶接に用いた板は 6mm 厚の開先加工 (60° 切削) した SS400 で, 3mm の間隔をあけて裏板を当て仮留めした試験板である. 溶接はストリング運棒による 1 パス加工を指示した.

3 試行目の溶接結果を以下に掲載した (図 17~

19). 開始直後(図中○)は比較的正常なビードを得られたが、その後は一方の板の開先面にビードが形成されてしまった。これは全ての被験者、全ての試行で見られ、平板での技能以外の新たな情報が必要であると推測された。

一方の板の開先面にビードが形成されていることから、溶接線に対して溶接棒は平行になっているが、母材面に対しては垂直になっていないことが考えられた。これまではホルダを鉛直下向き方向に動かすよう意識させていたが、それだけだと肘や肩を中心に弧の動きになってしまう。結果として、溶接棒が母材面に対して傾くため、開先部分に正常なビードを形成できないと考えられる。同様の事象はすみ肉溶接でも起こると予想される。この対策として、上腕を下げるると同時に手首を返して母材面との垂直を保持する動作をする、肩から肘を前方に押し出す等の方法が考えられる。

以上のことから、一般に大学等での平板による溶接実習で得られる技能情報は限定的であり、平板での練習で習得した技能では、実際の溶接現場では対応が難しい。従来の指導法では、これを段階的に習得するとして対応するが、溶接技能の教育目的の観点からは、突合せ・すみ肉溶接の習得が目的であるので、当初よりこちらの技能を習得できる学習法を提案する必要がある。



図 17 突合せ溶接(被験者 A:3 試行目)



図 18 突合せ溶接(被験者 B:3 試行目)



図 19 突合せ溶接(被験者 D:3 試行目)

5. 4 インタビューによる技能情報の理解と気づき

それぞれの実験終了後にインタビューを行った。従来指導法による試行後では、溶接棒を一定速度で送る、母材と溶接棒との距離を一定にすることを意識している。また、被験者 A は母材と溶接棒との距離が短くなる時に上半身を動かすことで対応しようとした。また、溶接時に上腕の疲労が生じるので、実験後半では脇を締めるように意識をしたという、身体的意識を持っていた。

新指導法による試行後では、ホルダを鉛直下向き方向に移動するとの指導に対して、熔融速さの理解が、従来指導法では理解できなかったのが理解しやすくなり、溶接棒が溶け込む感覚を掴むことが出来たと複数の被験者からコメントされた。また、ホルダ操作が従来は溶接線方向に移動する意識があったため、上腕と肩に疲労が出やすかったのが、動作がスムーズになり楽になったとある。

アーク長の指示を与えた 2 回目の実験後には、ビードの状況に注意を向け、溶け込み状態やビード幅、余盛に注意を向けている。さらに、ビード品質を向上するために、自らアーク長や溶接棒の移動速度を変更したり、上腕や脇部の状態をモニタリングしてスムーズなホルダ操作を行えるように工夫したりする等、インタビューで得られる情報量も多くなった。今後はインタビューで得られた情報と身体動作、筋活動、ビード品質の各結果との関係性を解析し、新たな技能情報の抽出を行う予定である。

5. まとめ

本研究では、学習初期段階で初級者が理解できる情報を与える手法として、技能情報構造化手法を提案し、新たな学習法の学習効果の検証を行った。実験の結果、初級者が溶接技能を理解しやすくなり、学習効果も向上することが可能となった。

今回得られた突合せ溶接の技能情報を用い、学習効果向上にどの程度寄与するかを検証し、初級者が効果的に実用性のある技能を習得できる学習支援システムの構築を目指す。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K01019 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 小林 一清: 機械工学入門シリーズ溶接技術入門 (第 2 版), 理工学社, (1999).
- [2] 日本溶接協会: 溶接実務入門 ー 手溶接からロボットまでー, 産報出版, (2008).