

解説 *Explanation*

溶接の技能教育と溶接技能解析システムの開発

原稿受付 2012年4月19日

ものづくり大学紀要 第3号 (2012) 88~94

日向輝彦

ものづくり大学 技能工学学部 製造学科

Welding Skill Education and Development of the Welding Skill Analyzing System

Teruhiko HINATA

Dept. of Manufacturing Technologists, Institute of Technologists

Key Words : welding, expert skill, skill analysis, skill tradition, system development

1. はじめに

最近の、日本のものづくりの技術力の高さを世界に誇れるような明るい話題として、「東京スカイツリー」(以下、スカイツリーと呼ぶ)がある。

ご承知のように、スカイツリーの構造は、写真1および写真2に示すように、巨大な鋼管が複雑に組み合わせられた鉄骨構造となっており、その建設工事の最盛期には、1日約500名もの作業員が各種の工事に携わり、その内の約80名が溶接の作業に関わっていたとの報道があった。

このように、大小様々な鋼管が複雑に組み合わせられた溶接においては、その接合部(溶接継手)の形状は多種多様であり、溶接の自動化が難しかったことから、スカイツリーの溶接は、臨機応変に対応できる多くの熟練技能者の技によって成し遂げられている。このスカイツリーの建設は当初から日本中の人々から大いに注目され、私のように溶接の教育に携わる者としては、このような機会こそ、溶接技術の重要性やその技能の大切さが、若者や一般の人々に広くアピールできる貴重な機会になるものと大いに期待していた。しかしながら、その溶接は、写真3に示すような、暴風雨対策と発生する火花やアーク光を周囲に漏らさない



写真1 東京スカイツリー¹⁾



写真2 スカイツリーの構造¹⁾



写真3 建設中のスカイツリー¹⁾

ための安全対策が十分に施された中で行われたこともあり、その建設に溶接が重要な役割を担っていたことに気づかなかった人々も多いのではないかと、こうした面ではやや残念に思われる。

私は、これまで一貫して、若者に溶接の技術や技能の教育を行う業務に携わってきた。こうした中、近年の溶接の分野においても、若者の技能離れや熟練技能の伝承に関する問題が取りざたされている。そこで、こうした現状を踏まえて、筆者のこれまでの経験を基にした溶接の技能に関する考察や、溶接技能の解析や熟練技能の伝承が可能となる装置として開発を進めてきた「溶接技能解析システム」の概要などについて解説する。

2. 溶接の技能教育について

2.1 熟練した技能が求められる溶接法の種類

一口に「溶接」と言っても、今日の溶接の分野においては、図1に示すように、各種の溶接法があり、適材適所で活用されている。こうした多くの溶接法の中で、機動性や汎用性が高く、その取り扱いも比較的簡便であることなどから、現在幅広く活用されている溶接法は、●被覆アーク溶接、●(マグ・ミグ)半自動溶接、●ティグ溶接、などである。ただ、これらの溶接法は、その活用の際には作業者の熟練した技能が必要になることから、溶接の教育の場においては、これらの溶接法についての指導が中心となっている。

ちなみに、スカイツリーの建設現場の溶接には、「マグ半自動溶接」が多くの熟練技能者により駆

使されていた。

2.2 溶接の技能の特徴

「技能」は「技術」と対照的に用いられる言葉であり、一般的な辞書(大辞林)においては、『技能』は「物事を行う腕前. 技量.」, 一方、『技術』は「物事を巧みにしあげるわざ. 技芸.」とあり、両者の違いは必ずしも明確ではない。また類似の概念として「暗黙知/形式知」(暗黙知は、マイケル・ポランニー(ハンガリー)が、その著書「暗黙知の次元」で述べたのが原点とされる)といった用語を用いてその違いについて議論されることもある。この場合、『暗黙知』とは、「特定の状況に関する個人的な知識で、形式化(言語化、データ化、情報化)したり他人に伝えたりすることが難しいもの」であり、一方『形式知』は、「言語などの明示的、形式的な表現が可能なもの」と解されている。溶接の技能に関してもこうした暗黙知に相当する要素が多く含まれており、その言語化やデータ化が難しいことなどから、溶接の技能を習得するためには比較的長時間の努力が必要になるといった特徴がある。

筆者は、溶接の技能について指導する際に、その例え話として、「子供の頃、二輪の自転車に乗

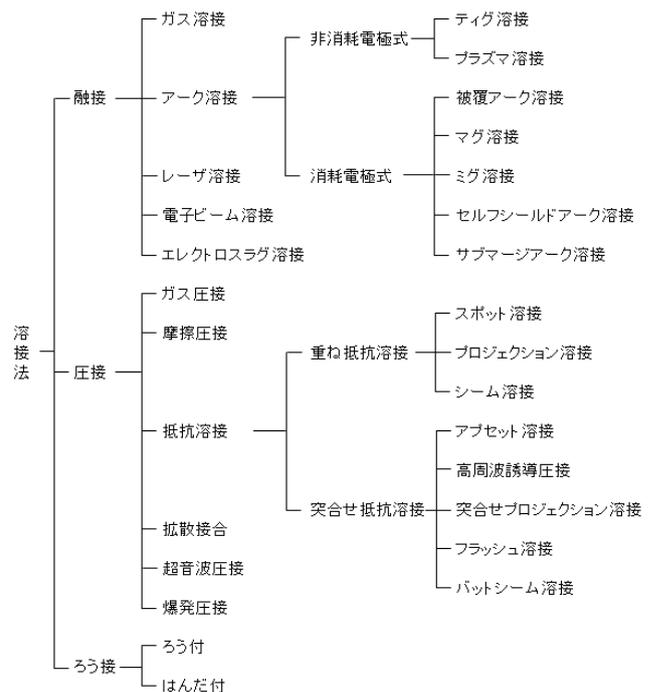


図1 溶接法の種類

れるようになるまでは、誰しもかなり苦勞をしたと思う。しかし、一度でも実際に乗れる感覚を身に付けたら、しばらく乗らなくても再び容易に乗ることができる。溶接の技能もこれと同様で、ある程度のレベルの技能を身に付ければ、一生忘れないから頑張れ・・・」といったような話をする。

要するに、溶接の技能も自らの意欲を持って取り組まなければ絶対に身に付かない、と言いたい訳である。

2.3 溶接の技能を学ぶ環境の特殊性

前述したように、溶接の技能の習得が必要となる代表的な溶接法は、「被覆アーク溶接」, 「(マグ)半自動溶接」, 「ティグ溶接」などであり、これらはいずれもアーク放電を熱源とするアーク溶接法である。こうしたアーク溶接の作業環境はかなり特殊であり、これらの溶接について初めて学ぶような場合には、以下に述べるような、幾つかの面で克服しなければならない状況と向き合うことになる。

(1) メンタル的な面で克服すべき状況

アーク溶接の作業においては、①通常 100～200 アンペアといった高電流が使用される。②その温度が5千度から1万度で、しかも強烈な光線を発するアーク放電現象を、目(顔)の前の20～30cmの距離で取り扱うことになる。③溶接中は、アークや溶融池から高温の金属火花が周辺に飛び散る。など、通常の生活では体験した事もなく、かつ危険とも感じられるような作業環境に対する恐怖心を克服する必要がある。

(2) 感覚的, 身体的な面で克服すべき状況

アーク溶接の作業においては、前掛けや手袋など、専用の保護具類を着用すると共に、アーク光や金属火花から目や顔を保護するための専用の保護面の着用が不可欠である。そしてその作業は、保護面に装着された遮光ガラスを通して、溶融池やアークの発生状態などを観察しながら行うことになる。

そこで、①遮光ガラスを通した、薄暗く狭い視野の中で微妙に変化する溶融池やアークの状態を明瞭に観察することが難しい。②溶接作業特

有の姿勢で、刻々と変化する溶接状況に応じたトーチ操作を的確に行うことが難しい。など、溶接作業に特有な作業スタイルに関する違和感を克服する必要がある。

こうした作業の難しさは、その例えとして、やや太めの毛筆を用いて半紙に習字する際に、筆先の周辺が直径3cm程度の範囲しか見えないようなメガネを掛け、その狭い視野の中で一定の太さの直線を半紙の端から端まで書かなければならない状況とよく似ていると言える。そこで、溶接の技能を学ぶ初期段階においては、以上のような非日常的な作業環境や作業スタイルに慣れることがまず必要であり、個人差はあるものの、多くの初心者にとっては、こうした面に慣れるための時間や努力が必要になる。

3. ものづくり大学における溶接教育^{2,3)}

本学の製造学科における溶接教育は、製造学科に入学して間もなく開始される「機械工作実習D」からスタートする。この授業は1年生全員を対象としており、1クラスの定員は約20名で、1日2コマ×8回の授業である。現在1年生は6クラス編成であることから、年間4クォータの内の第2, 第3, 第4クォータにおいて、それぞれ週2回実施している。

本授業を開始するに当たっての学生への問いかけとして、「溶接についてどんなことを知っていますか?」といった質問をすると、学生からは「ハンダ付けのようなもの・・・?」あるいは「テレビで時々見かける、自動車の生産ラインで火花を発しているようなもの・・・?」といった程度の答えが返ってくる。すなわち、工業高校機械科の出身者などの一部の学生を除いて、本学の新生生のほとんどは、溶接を実際に身近で見るとは初めてといった状況にある。そこで、本授業における実技指導の主な内容は、溶接の基本や安全の知識を身につけることを主眼として、各種溶接装置の取り扱いやそのごく基本的な溶接の手法についての指導を行っている(表1, 写真4)。

表1 「機械工作実習D」の授業内容

1回目	実習ガイダンス	☆実習の心構え ☆溶接技術概論(ビデオ: IHI)
2回目	ガス溶接・溶断の基礎	☆ガス溶接作業の安全知識 ●ガス溶接装置の取扱い実習 ●ガス切断・プラズマ切断作業
3回目	ガス溶接基本実習	☆ガス溶接装置の知識 ●ガス溶接基本実習 (3.2t 下向きビード溶接, 1.0t 突合せ溶接)
4回目	被覆アーク溶接の基礎	☆アーク溶接と安全知識(ビデオ: 神鋼) ●被覆アーク溶接の基礎知識 ●保護具について, アーク発生法
5回目	被覆アーク溶接実習	●下向きビード溶接(ストリカ、ワイベング) ●十字継手: 下向きすみ肉溶接(多層溶接)
6回目	炭酸ガス溶接の基礎	☆炭酸ガス溶接の知識と装置の取扱い ●下向きビード, 十字継手下向きすみ肉溶接 ●溶接条件に関する基本的実験
7回目	直流ティグ溶接の基礎	☆直流ティグ溶接の知識と装置の取扱い ●ステンレス鋼の下向きビード溶接
8回目	交流ティグ溶接の基礎	☆交流ティグ溶接の知識と装置の取扱い ●アルミニウム合金の下向きビード溶接 ◎レポート課題

本授業の開始当初は、数千度から数万度といったアーク放電や飛び散る金属火花を初めて目の前にして、ほとんどの学生が、恐る恐る作業台に向かう状態から、8回の授業の終盤に近づく頃になると、かなり度胸もつき、堂々とした姿勢で実習する姿を見ると、教える側としてもうれしくなる。

授業が終わった後のレポートには、「最初は怖かったけれど楽しかった。」、「溶接を実際に体験できて良かった。」、「ものづくり大学らしい授業だった。」、「溶接がもっと上手にできるようになりたい。」などの感想が多い。中には「遮光ガラスを通して見えたアークの光がとても美しかった。」などといったものもあった。

また、3年次に配当されている「高度溶接技術」においては、溶接技術に関する知識をさらに深めると共に、技量面の向上を図ることを目標としている。

これらの授業を受講した後に、溶接の技量資格の取得を希望するなどの意欲ある学生を対象として、春季および夏季休暇中に4日間連続して行う「溶接アドバンス」(定員18名)と名付けた集中授業を実施している。本授業を受けた後に、放課後などを利用した練習を重ね、実際の溶接検定試験にチャレンジして、半自動溶接やステンレス鋼のティグ溶接などの適格性証明書を取得した学生数は、第1期生から現在まで、述べ61名となっている(表2)。



写真4 溶接の実習風景(溶融ショップ)

4. 溶接技能解析システムの開発⁴⁾

今日では、溶接の分野においても溶接ロボットの適用など、その自動化は精力的に進められている。しかしながら、スカイツリーの溶接の場合と同様、その自動化が困難で、熟練技能者の経験や技に頼らなければならないケースも少なくない。

従来から、技術者の立場からは、近年のIT関連技術の急速な進歩もあり、これらの技術を活用することにより、熟練溶接技能者の技能のデータ化(技能の技術化)が可能になれば、その自動化は一層容易になるものと考えられてきた。

こうした時代背景もあり、筆者も溶接の技能教育に携わる中、溶接における技能の解明に関する願望もあり、溶接の技能の解析や技能の伝承を目標にした「溶接技能解析システム」と名付けた装

表2 溶接検定合格者の推移

年 度	溶接技能評価試験合格者 (H24/3 現在)			
	JIS Z 3841 半自動アーク溶接		JIS Z 3821 ステンレス鋼溶接	
	基本級 (SN-2F)	専門級 (SN-2V)	基本級 (TN-F)	合格者数
H15	10名	—	—	10名
H16	14名	—	—	14名
H17	5名	—	—	5名
H18	5名	—	—	5名
H19	10名	2名 (内1名は2種目)	—	11名
H20	5名	1名	—	6名
H21	4名	1名(2種目)	1名	5名
H22	2名	1名	—	3名
H23	2名	—	—	2名
受験件数: 63件				計61名

置の開発を進めてきた。図2がその基本的なイメージである。

4.1 溶接技能解析システムの概要

4.1.1 溶接技能における暗黙知

溶接の技能に関するパラメータは非常にたくさんあるが、「暗黙知」に相当する内容として、例えば、熟練した溶接技能者の優れた能力について考えてみると、以下のような点が挙げられる。

① 適切な溶接条件の設定能力:

熟練技能者は様々な溶接対象に対して最適な溶接条件を選定できる知識と経験を有している。

② 明瞭な記憶と優れたセンシング能力:

熟練技能者は、溶接状態の良否に関わる画像認識的な記憶を明確に保持しており、溶接中のアーク状態や溶融池形状を明瞭に認識できる優れた視覚能力を備えている。

③ 優れたトーチ操作能力:

熟練技能者は、目標とする良好な溶接結果が得られる状態に、溶融池を自在にコントロールできる優れたトーチ操作能力を備えている。

これらの中で、②に挙げた内容についてのデジタルデータ化については、ビデオ撮影画像の画像解析を行うことでもある程度の解析は可能と考えられるが、本システムの構築に際しては、①の作業者が溶接対象に適切な溶接条件として設定する溶接条件のデータ化と、併せて、③の作業者が溶接中に行っているトーチ操作に関する技能に着目し、これらの技能要素をデジタルデータ化することを目標にしてシステムの開発を進めた(写真5)。



写真5 溶接技能解析システムの全景

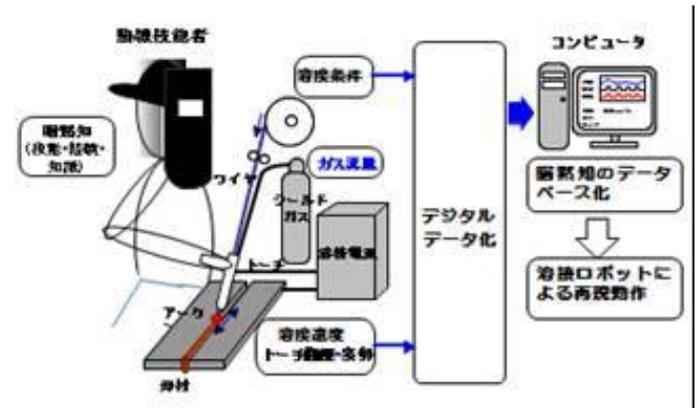


図2 溶接技能解析システムのイメージ図

4.1.2 技能解析システムの概要

本システムは、①「技能データ収集部」、②「技能データ管理・表示部」、③「技能データ再現・施工部」で構成している。その概要は以下の様である。

(1) 技能データ収集部

「技能データ収集部」においては、実際の溶接中のトーチ操作の状況をリアルタイムに採取するための「6軸多関節位置計測リンク機構(ポータブル三次元測定装置:分解能;±0.025mm)」に溶接トーチを搭載し、そのトーチを作業者が保持して実際に溶接することで、溶接中に行われたトーチ操作の三次元移動軌跡データの採取が可能になっている。同時に、溶接電流やアーク電圧などの溶接条件もデータロガーにより収集する。

(2) 技能データ管理・表示部

「技能データ管理・表示部」においては、収集したデータの保存やデータ解析を行うためのソフトを導入した、パーソナル・コンピュータ(PC)を中心とした構成となっている。収集したトーチ操作のデータは、シミュレーション機能により、PC画面上で実際のトーチ操作とほぼ同様な動きとして観察できるとともに、トーチ先端の移動軌跡を三次元の各方向からの表示・観察が可能となっている(図3)。

(3) 技能データ再現・施工部

さらに、「技能データ再現・施工部」においては、まず、PCに保存されている溶接条件やトーチ操作データなどを溶接ロボット用に変換処理した後に、ロボット制御装置に転送する。これにより溶接ロボット(6軸多関節ロボット)で、技能者が行った溶

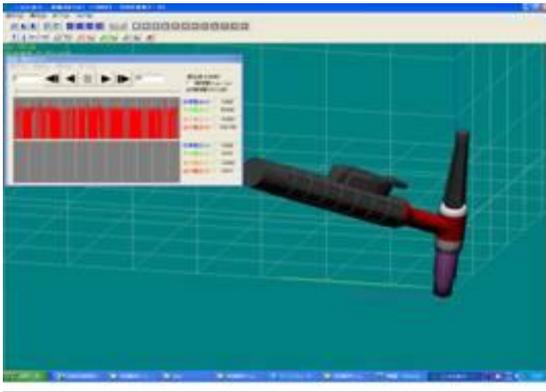


図3 技能データのシミュレーション画像例

接とほぼ同様な溶接状態を再現施工することが可能になっている。

なお、本システムにおいて、溶接の技能データの収集が可能となる溶接法は、(ミグ・マグ)半自動溶接とティグ溶接である。また、その溶接姿勢に関しては、下向き溶接からパイプの全姿勢溶接まで、溶接技術検定試験に設定されている各種の試験課題にはほぼ対応している。

4.1.3 溶接技能データの解析例

図4は、本システムを用いて半自動アーク溶接における技能データを収集した一例である。この場合は、熟練技能者が下向きのビード溶接を行った時の溶接結果と、その時の溶接トーチの操作状況について比較して示したものである。図中の(c)が実際の溶接結果であり、(a)は、溶接線の真上から見た時のトーチ先端の移動軌跡である。このケースでは、溶接線全長に渡り、一定の幅でしかもピッチの揃った細かな螺旋状のトーチ操作により溶接が行われたことが分かる。また、(b)は、母材面に水平の方向から見た、トーチ先端の移動軌跡であり、溶接中のトーチの上下動の様子が観察できる。すなわち、熟練技能者の溶接は、トーチの上下動のほとんどない、非常に安定したトーチ操作により溶接が行われたことが分かる。

また、図5は本システムを用いて、熟練者(指導者)と未熟練者(学生)がほぼ同じ溶接条件で立向き溶接を行った時のそれぞれの溶接結果と、その時のトーチ移動軌跡を比較して示したものである。図中の(b)に示す未熟練者の場合は、溶接技術検定試験に合格しているレベルでもあることから、そ

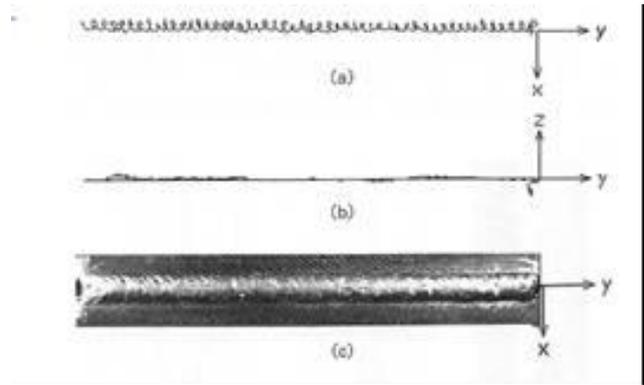


図4 熟練技能者の技能データの解析例

の溶接はほぼ良好な結果が得られているものの、その時のトーチ軌跡は、(a)に示す熟練者の場合に比べて、ウィービング操作の幅やピッチが若干不安定であることが分かる。このように、本システムを用いることで、これまで解明が困難であった、作業者が実際の溶接中に行っているトーチ操作の状況について明らかにすることが可能になっている。

そこで、未熟練者(学生等)に対しては、こうしたデータを参照しながら、どのような点に注意して練習すべきかなど、溶接の実技指導の場面においての活用が可能になっている。

さらに、現時点ではまだその活用例は少ないものの、本システムは、収集・保存した技能データを溶接ロボットに転送することで、ロボットによりその溶接状況を再現動作させることができる。



(a) 熟練者の場合 (b) 未熟練者の場合

図5 熟練者と未熟練者の比較(立向き溶接)

すなわち、熟練者の技能データを保存しておき、それを溶接ロボットで再現動作させることにより、熟練者が目の前で実際に作業をしているのと同様な溶接状況を、何度でも詳細に観察することが可能になっている。

5. おわりに

古来から、武道や芸能などにおいて良く用いられてきた教えの表現として、『師匠の技を盗め』、あるいは『守(しゅ)・破(は)・離(り)』といった言葉がある。これらは現代の溶接の技能を習得する際にも、相通じる側面があると考えられる。こうした場面においては、確かな技を有する師匠と、自らのたゆまぬ努力と研究心旺盛な弟子の関係が求められる。残念ながら、今日の日本においては、溶接の技能について指導できる指導者やこれを学ぼうとする若者がますます減少してきているのが現状である。こうした点からも、本学で溶接の技術・技能の一端を学んだ、ものづくり大学の卒業

生諸君の今後の活躍に大いに期待したい。

文 献

- 1) <http://blog.murablo.jp/tokuzo2/kiji/190910.html>
- 2) 日向：ものづくり大学における溶接教育，軽金属溶接，Vol.47(2009) No.3, pp35-39
- 3) 日向：溶接技術の普及・啓蒙策と将来人材の確保，溶接技術，産報出版，Vol.59 (2011)No4, pp44-52
- 4) 日向・安田：溶接技能解析システムの開発，職業能力開発研究，第18巻 (2000)，pp67-86