

## 課題情報シート

課題名：	MAG溶接法の一元化条件設定とその適用		
施設名：	東海職業能力開発大学校		
課程名：	専門課程	訓練科名：	生産技術科
課題の区分：	総合制作実習課題	課題の形態：	研究

### 課題の制作・開発目的

#### (1) 課題実習の前提となる科目または知識、技能・技術

科目：安全衛生、機械加工、精密加工（レーザ）、工業材料、機械設計・製図、品質管理  
知識：溶接工学、アーク物理、破壊検査

#### (2) 課題に取り組む推奨段階

機械設計製図、機械工作実習、機械加工実習および精密加工（レーザ）実習終了後

#### (3) 課題によって養成する知識、技能・技術

課題を通して、主に溶接加工技術を科学的な観点から実践的な技能・技術を身に付けます。

#### (4) 課題実習の時間と人数

人数：3人

時間：210時間

平成18年4月に「中小企業のものづくり基盤技術の高度化に関する法律」が公布されました。この法律では、今後中小企業が目指すべき技術開発の方向と将来ビジョンを「特定ものづくり基盤技術高度化指針（技術指針）」として取りまとめられています。

溶接技術は、特定ものづくり基盤技術20の内の1つとして挙げられており、その技術指針の「溶接技術における高度化目標の達成に資する特定研究開発等の実施方法」の中で、溶接条件最適化技術に関する研究開発が技術開発課題の1つとして挙げられています。本テーマは、自動車や建築、橋梁、造船産業など鉄鋼材料の溶接技術には欠かすことのできないMAG溶接法を例に、上記課題にアプローチしたものです。

## 課題の成果概要

### ＜ 溶接条件の一元化設定に関する検討 ＞

溶接条件を一元化する手法について、溶接設計の観点から、継手に必要な単位溶接長さあたりの溶着金属量  $V_w$  ( $\text{mm}^3/\text{mm}$ ) <sup>(1)</sup> を指標に、溶接ワイヤの溶融現象から考察することになりました。

よく知られているように、MAG溶接に代表されるガスメタルアーク溶接のワイヤ溶融速度は、ワイヤ端におけるアークの直接加熱とチップからの突き出し部分におけるジュール加熱により決定されます。Halmoy は、これを次式によって物理的に意味付けしています<sup>(2)</sup>。

$$Vf = \frac{1}{H_0 - b} (\phi j + a j^2 E_x) \quad (1)$$

ここで、 $Vf$  : ワイヤ溶融速度 ( $\text{mm}/\text{s}$ )、 $H_0$  : 溶滴の保有熱量 ( $\text{J}/\text{mm}$ )、 $\phi$  : アーク加熱の等価電圧 ( $\text{V}$ )、 $j$  : 電流密度 ( $\text{A}/\text{mm}^2$ )、 $E_x$  : ワイヤ突出し長 ( $\text{mm}$ )、 $a$   $b$  : ワイヤ固有の定数 ( $\Omega \cdot \text{mm}$ )。

(1) 式は、溶接電流を  $I$  ( $\text{A}$ ) とすると次のような形 ( $A'$  ,  $B'$  は比例定数) をとることになり、ワイヤ突出し長さが一定の条件で溶接電流毎のワイヤ溶融速度を求めれば回帰分析により  $Vf$  特性を求めることが可能になります。

$$Vf = A' I + B' E_x I^2 \quad (2)$$

図1に、炭酸ガスによるMAGソリッドワイヤ法で  $Vf$  特性を求めた結果を示します。ワイヤ溶融速度は、ワイヤ送給装置の送給ロールの回転数を、接触型回転計を用いて計測しました(図2)。回帰分析した結果、決定係数である  $R^2$  値は 0.9971 となり、信頼性のある  $Vf$  特性が得られていることが分かります。

次に、(2) 式を変形して指標となる  $V_w$  を求めてみました。次のようになります。

$$V_w = \frac{d^2}{V} (A I + B E_x I^2) \quad (3)$$

ここで、 $d$  : ワイヤ径 ( $\text{mm}$ )、 $V$  : 溶接速度 ( $\text{cm}/\text{min}$ )、 $A$   $B$  : 比例定数。図3は、以上の流れに基づいて  $V_w$  に及ぼす  $I$  と  $V$  の関係を示したもの(一元化条件設定グラフ)です。

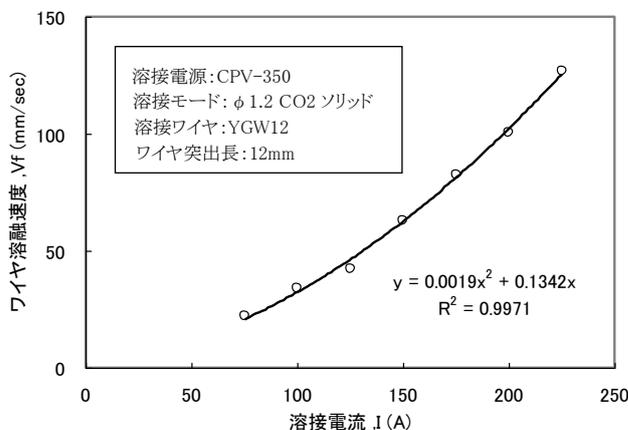


図1 溶接電流とワイヤ溶融速度の関係



図2 ワイヤ溶融速度の計測

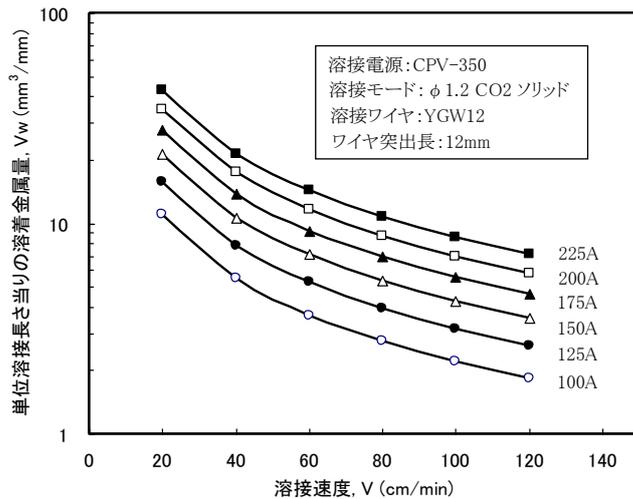


図3 一元化条件設定グラフ（ショートアーク領域）

< 溶接構造物への適用 >

次に本手法を用いて実際の溶接構造物を製作することでその適用性を吟味しました。

製作課題は、一般構造用圧延鋼 SS400（板厚 6mm）を供試材とする圧力容器です。MAGによる半自動溶接で製作し、その品質評価を水圧による耐圧試験で実施することにしました。

図4に圧力容器の構成図を示します。各部材は、定尺板からレーザ切断機やフライス盤を使って加工しました。溶接継手は、角、隅肉およびV突合せ（裏当て金無し）、また溶接姿勢は下向、横向および立向となります。

事前に半自動溶接による技能訓練を職業能力開発促進センターテクニカルメタルワーク科の訓練カリキュラムに準じて実施した後、オペレータが使用する溶接機の一元化条件設定グラフを上述した流れで求めました。そして、各種の継手に必要なVwから溶接条件を割り出し、本課題に取り組みました。図5に完成した圧力容器の一例を示します。

耐圧試験の合格基準は、使用圧力の1.5倍以上（本件では $3\text{MPa} \times 1.5 = 4.5\text{MPa}$ 以上）としました。図6に耐圧試験の実施状況を示します。多層盛が必要な立向や横向溶接は、積層方法や余盛等の関係で一元化条件設定に微調整が必要でしたが、ほぼ設定グラフから読み取った条件で合格基準をクリアできる溶接品質を確保することができました。

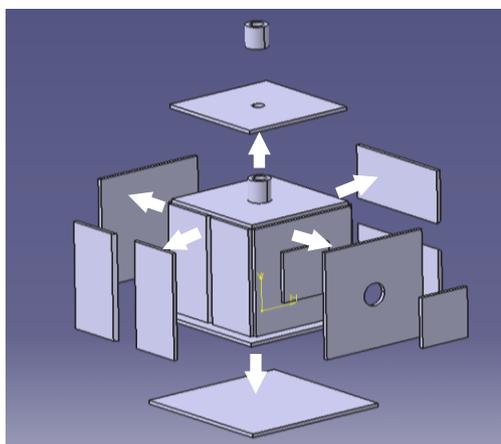


図4 製作課題の構成図

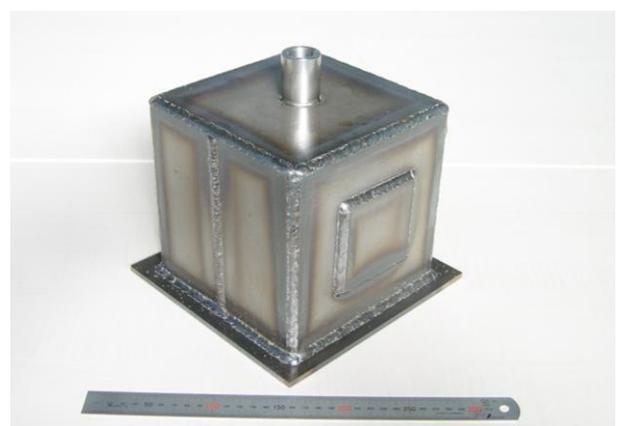


図5 完成した圧力容器



図 6 耐圧試験の実施状況

#### 参考文献

- (1) 安田：『板金加工における溶接』，マシニスト出版（1984年）
- (2) Halmoy, E. : Proc. Arc Physics and Weld Pool Behaviour, TWI London（1979）

### 課題制作・開発の訓練ポイントおよび所見

#### < 溶接条件の一元化設定に関する検討 >

上述したように、今回はアーク物理学的視点から溶接ワイヤの溶融現象を考察するところから始まりました。専門課程の標準カリキュラム内容では、溶接現象を物理学的に学習する機会がないので、特別講義を組みました。（社）溶接学会や（社）日本溶接協会の参考図書、またメーカーから溶接現象のハイスピードカメラ映像の提供を受け、なるべくビジュアルに講義を進めるようにしました。また、後述する溶接技能訓練も同時進行で実施した結果、学生全員が理解できるようになりました。

また、溶接ワイヤの溶融速度を実測、整理する過程で「本当にこのデータが、実際の溶接に役に立つのであろうか？」という学生達の興味、楽しみを感じていることが伺えました。

#### < 材料加工、溶接技能の習得 >

授業で習ったばかりの炭酸ガスレーザー切断機で板材の切断を実施させました。切断形状が単純であること、また学生達に熱切断現象からみた高精度切断加工条件を出させるために自動プログラミング装置は使わず、Gコード等のNC言語のみで実施しました。

「切断精度が出ないのは、なぜか？」・・・つねに切断現象を観察、想像させながら、時にはQC手法をも加味しながら実習させた結果、「アーク溶接とは熱源は違って（あるいは溶接と切断（溶断）とは違っていても）同じ熱加工プロセス同士、加工条件を導く考え方は近いものがあるな・・・」ということを体感させることができました。

また、同時並行で、MAG溶接の技能訓練を行いました。上述したようにポリテクセンターの訓練カリキュラムに準じて実施しました（図7）。レーザー切断での取り組み

の成果がここで発揮され、溶接がうまく行かない場合、「なぜ？なぜ？」を繰り返し考えられるようになってきました。

溶接技能は、物理的に複雑なアーク現象をいかにうまく手元でコントロールさせるかが重要となります。そのためには技能伝承の世界でいうところの『暗黙知』をいかに正確に伝えるかがポイントです。ここでは可能な限り、現場的表現で指導しました。一例を挙げると、短絡移行の伴うショートアーク溶接の電圧条件を「ワイヤから離脱する溶滴の短絡する音（音圧、音域、リズム）」で感じさせることなど。事前に上述した特別講義で勉強したイメージとが、ここではじめて合致し、「勘どころ」が得られたようです。

このように離職者訓練のごとくOJT風に指導した結果、JIS溶接技能者評価試験の合格判定基準で高得点が得られる程の技能を身につけさせることができました。

#### < 溶接構造物への適用 >

今回、溶接構造物の製作課題として圧力容器を挙げましたが、これまでの学習・訓練から実製品を実際に製作できるという学生達の喜びや期待感を強く感じました。製作時は、休憩時間をとることも忘れ、無我夢中に取り組んでいる様子が印象的でした。

定常ビード部は、ほぼ一元化設定グラフから読み取ったデータで必要量の溶接金属量が確保され、耐圧試験に合格した際に「本当に理論どおりにできた」という学生達の喜び、達成感を強く感じました（図8、図2の再掲）。

ただ、実製品はテストピースと違って部分的に応用技能が要求されることもあり、例えば耐圧試験の不合格例として複数ビードの重なり部分（始末端部の重なり部）からの水漏れが多く挙げられます。ロボット溶接では、ビードの重なりを必要最小限に抑えることが可能ですが、半自動溶接では、この辺をどのように定量的に実践指導するかが今後の課題と思われます。



図7 溶接技能訓練の実施状況

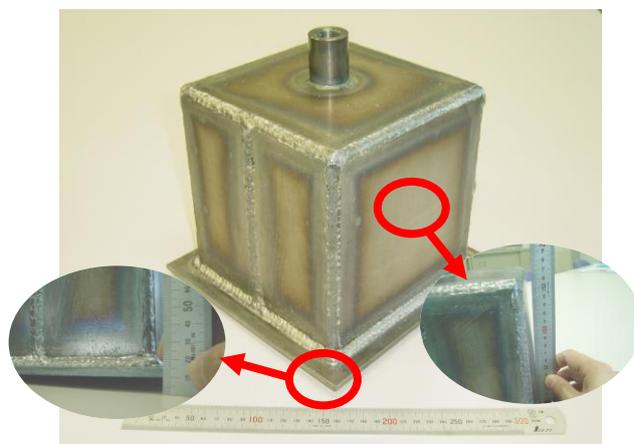


図8 耐圧試験に合格した圧力容器

養成する能力 (知識、技能・技術)	課題制作・開発のポイント	訓練（指導）ポイント
<p>○MAG 溶接における溶接施工条件を一元化する手法について習得できます。</p> <p>○炭酸ガスレーザ切断で中板厚の鋼材を高精度に切断できます。</p> <p>○ MAG 溶接の技能を習得できます。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 重ね隅肉溶接</li> <li>・ 水平隅肉溶接</li> <li>・ 立向溶接</li> <li>・ 横向溶接</li> </ul>	<p>◇ 溶接中のワイヤ溶融速度 (Vf) を計測し、Vf 特性を回帰分析により求めます。得られた Vf 特性式を利用して一元化条件設定グラフを作成します。</p> <p>◇ 基本的には、メーカー推奨の加工条件で加工しますが、板厚が厚い母材の場合、母材に投与された熱量が蓄積されるエッジ部やコーナー部の切断などが溶損しやすくなります。こういった不具合現象を解決するために、QC 的アプローチで繰り返しトライさせます。</p> <p>◇ 今回の課題では、耐圧性が要求されるため、溶接技量の評価を水圧による耐圧試験により確認します。</p>	<p>● 溶接中のワイヤ溶融現象を物理的に理解させます。この時、実際の現象を高速度ビデオカメラによる映像を用いると理解が深まります。</p> <p>● 回帰分析した結果、決定係数に信頼性がない場合は、測定実験の再トライです。誤ったデータを出しているときのほとんどが、ワイヤ突出し長さの変化によるものです。</p> <p>● 「品質管理」の授業で習った QC 七つ道具や新 QC 七つ道具を、加工現場で実践させます。必ずグループ員全員でブレインストーミングさせます。</p> <p>● 技量の要領やテクニック等は、もちろん指導員が現場で実践教育を行いますが、その教材には、離職者訓練のシステムユニット訓練用テキストが役に立ちます。</p> <p>● 耐圧試験前のチェックは、JIS 半自動溶接技能者評価試験の外観判定基準を準用すればよい。</p>

< 所見 >

圧力容器等の溶接鋼構造物の製作課題は、離職者訓練などの技能訓練でよくみかけますが、これを大学で実施する場合、単なる“技能の習熟のみ”だけでは真に適性なテーマとは言い難く、科学的要素を加味したものが学卒訓練には適切と思われま

す。本テーマの根底には、先に述べた「特定ものづくり基盤技術高度化指針（技術指針）」というものがあ

り、『技能』と『(科学) 技術』とが融合した構成になっています。本テーマあるいは本テーマに準じたものを担当される場合、J I S 溶接技能者資格の専門級相当の溶接技能を習熟していることはもちろんのことですが、技術面においては、I S O 1 4 7 3 1 / W E S 溶接管理技術者 1 級以上と同等の知識をもち、かつ 1 級以上の知識を活かした実務経験が必要になるかと思われま

す。最後に、本テーマでは、“技能肌”の学生を 2 名選出して半自動溶接の技能訓練を行いました。この“技能肌”の学生に対し、科学技術的な観点から指導することで、ポリテクセンターのアビリティ 6 ヶ月訓練生と比較すると短期間で飛躍的に技能レベルが向上することが肌身で感じ取ることができました。本稿が少しでも溶接技術に興味のある学生に対して役にたてれば幸いです。

課題に関する問い合わせ先

施設名 : 東海職業能力開発大学校  
住 所 : 〒501-0502  
岐阜県揖斐郡大野町古川 1 - 2  
電話番号 : 0585-34-3600 (代表)  
施設Webアドレス : <http://www.ehdo.go.jp/gifu/tnd/>