

ロボット溶接時の不良発生監視技術の検討

瀬戸口正和*, 堀之内悠介**

Establishment of Monitoring Technology on Defect of Welds in Robotic Welding

Masakazu SETOGUCHI and Yusuke HORINOUCI

建築用鉄骨や大型構造物等の製造において、安定した品質、高能率、溶接者の負担軽減のためロボットを用いた半自動溶接機の導入が増えているが、その施工時に発生する溶接欠陥の早期発見が不可欠である。

そこで、下向きビードオンプレート溶接における溶接欠陥であるブローホールおよびピットの発生を対象として、溶接音、高速度カメラによる溶接現象、溶接電流および溶接電圧のモニタリングによる早期発見技術について検討した。その結果、不良発生監視用として、良否判断の基礎となる有効なデータが得られた。

Keyword : ロボット溶接, モニタリング, 溶接音, 高速度カメラ, 良否判断

1. 緒言

建築用鉄骨や大型構造物等の製造には、安定した品質、高能率、溶接者の負担軽減のために、溶接ロボットや自動溶接機等が普及しており、県内企業でも、ロボットを用いた半自動溶接機の導入が増えている。しかし、ロボットを用いた溶接であっても溶接欠陥は発生する。溶接欠陥を修正するためには、外観検査や非破壊検査等で溶接欠陥箇所を特定し補修する必要があり、多大な時間と費用をかけて溶接欠陥を修正している。

近年では、各溶接機メーカーからトレーサビリティやIoT・AI等のニーズが高まり、データ収集や品質管理を目的に、デジタル制御が進み、安定した一定条件の下で高品質に溶接を制御¹⁾する機能を有する溶接機の開発や、生産現場の管理^{2) 3)}が進められているが、県内企業の製造現場は上記の機能を有する溶接機の普及が進んでいない。一方、カメラの性能、高速化対応、データ処理能力の向上等で、狭帯域のフィルターを用いて、アーク(放電現象)、ヒューム(熱によって蒸発した物質が冷却されて固体となった微粒子)、スパッタ(溶接中に飛散し、付着した金属粒)、溶融池(溶接中にできた溶融金属のたまり)等の溶接現象を可視化・データ取得する研究⁴⁾も行われている。

近年の研究では、インプロセスによる監視技術の開発を目指した研究⁵⁾も行われるようになってきた。

県内企業の現状は、溶接終了後の外観検査や非破壊検査等で溶接欠陥を確認した場合は、不良部を除去し、補修溶接を行うことから、補修作業に多くの時間を費やし、生産効率の低下や経費増大および納期遅れ等が生じてしまう。

本研究では、ロボットを用いた溶接施工時に発生する欠陥のインプロセスでの確認や不良原因を解決することが不可欠であることから、ブローホール(溶接金属中に生じる球状の空洞)およびピット(溶接部の表面まで達する開口した気孔)が発生した溶接欠陥を対象に、監視要因として溶接音、高速度カメラ画像による溶接現象、溶接電流および溶接電圧の各種データから、溶接欠陥を早期に発見するための要因を特定し、不良発生監視用に生かすためのデータ解析を行ったので報告する。

2. 実験方法

溶接実験は、板厚9mmのSS400の軟鋼板へ炭酸ガス半自動溶接機((株)ダイヘン社製 DM-350)にて、母材をマイナス側にワイヤ電極をワイヤプラス側に接続し、表1に示す溶接条件で下向きビードオンプレート溶接(母材表面に行う1パスの溶接)をビードを直線状に置くストリンガビード技法で行った。シールドガス(溶接中にアークと溶融金属とを覆い、空気が溶接雰囲気内に侵入するのを防ぐ)は炭酸ガスを用い、溶接ワイヤ(ソリッドワイヤ:中実のワイヤ)は、厚板の高電流による高能率化のためにロボット溶接で多用されているJIS Z 3312に規定されたYGW11(標準電流:220~350A)と中板・薄板の中・低電流に使用されるYGW12(標準電流:80~220A)を用いた。溶接電流は供試材の板厚および溶接部位等を考慮した標準電流より低電流域および高電流域も加味して決定し、溶接電圧は溶接電流の設定に応じた適正溶接電圧に自動調整される一元調整の標準で行った。

* 生産技術部

** 県商工労働水産部産業立地課

表1 溶接条件

供試材	板厚 9 mmのSS400	
シールドガス	炭酸ガス (あり, なし)	
ガス流量	20 L / 分	
使用ワイヤ	YGW11	YGW12
溶接電流 (A)	200, 250, 280	130, 180, 200, 250
溶接電圧 (V)	電源制御により溶接電流に応じた一元調整 (自動) (18.8~30)	

その他の共通条件

- ・溶接速度：30cm/min
- ・溶接方向：前進法
- ・トーチ角度：70度
- ・電極-母材間距離：15mm
- ・板の状態：拘束なし

溶接欠陥を早期発見するために、溶接中の現象を複数の手法でモニタリングして、溶接ビードの外観検査、溶接音カメラによる溶接現象の可視化、溶接電流および溶接電圧の実測データによる良否判断の可能性を検討した。

実際の溶接では、母材の寸法精度や開先形状、アークの移動、表面性状および供給ガス不足によるシールド不良等の環境変化など様々な要因で溶接欠陥が発生する。本実験の対象としているブローホールおよびピットは、シールド不良、母材の表面性状等が発生要因である。今回はシールド不良に着目し、シールドガスの有無でそれぞれ溶接した際に取得したデータを比較し良否判断が可能か検討した。

外観は、形成されたビードを目視で観察し、欠陥の有無を判定した。

溶接音は、集音に支障がないよう騒音等の外的要因を生じない状態で、溶接部から1 m離れたところに、マイクロホン（株）小野測器社製 MI-1234）を設置・集音し、FFTアナライザ（株）小野測器社製 CF-7200）にて解析した。

溶接現象は、高速度カメラ（株）ノビテック社製 MIROLC 311）を用いて、フィルターなしでの画像取得およびバンドパスフィルター（波長制限周波数635~645nm）による特定周波数域の画像取得を行った。

溶接電流および溶接電圧は、二次ケーブルにクランプメーター（Hantek社製 CC-650）を接続し、オシロスコープ（Keysight社製 MD0 3034）にて実測データを取得した

実験の様子を図1~3に示す。図1に示すように、安定した条件で溶接を行うために、溶接トーチを所定の角度に保ち、なおかつ電極-母材間距離を一定に保ったまま定速度で移動可能な自動走行台車とレールを使用し、図2に示

すように、騒音等の外的要因に影響されない状態で溶接音の収集および画像の取得、図3に示すように、二次側ケーブルから溶接電流および溶接電圧の出力データを取得した。

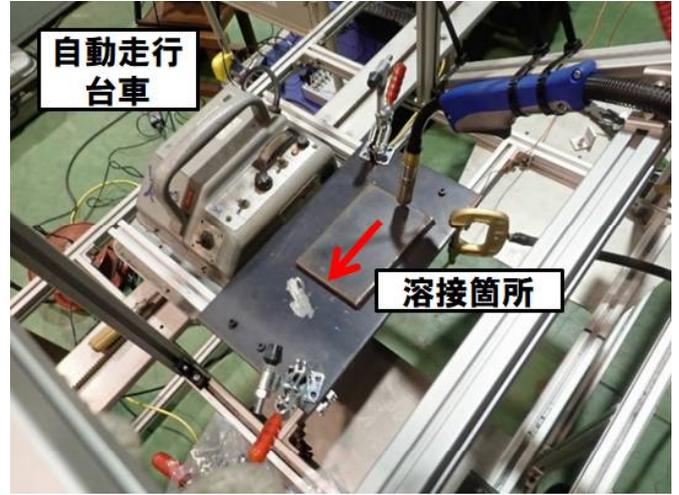


図1 溶接実験状況

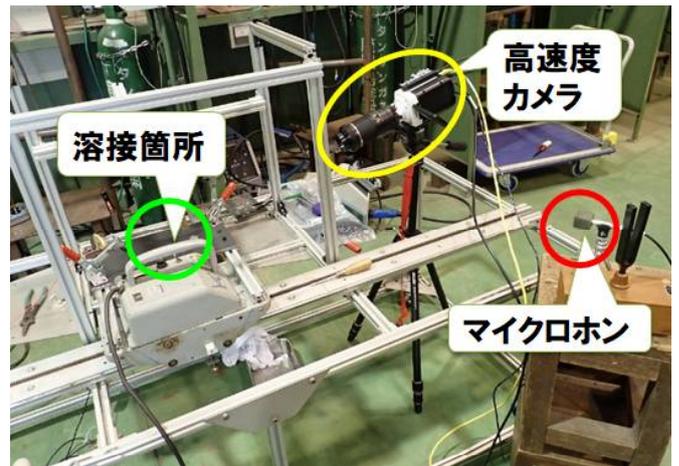


図2 溶接音および画像の取得状況

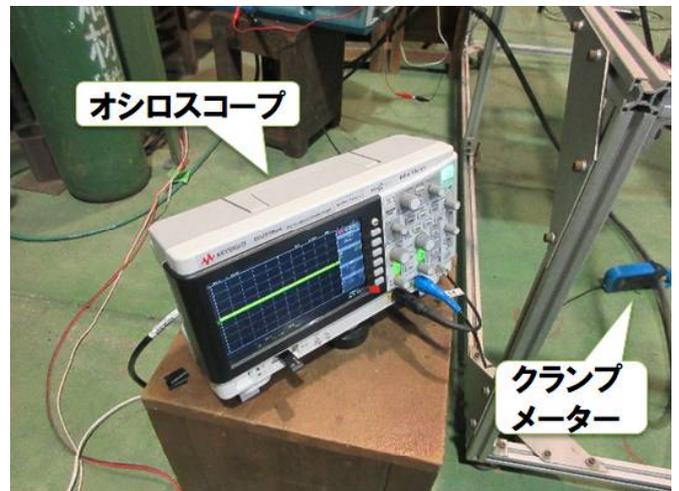


図3 溶接電流・溶接電圧の取得状況

3. 実験結果および考察

3. 1 外観検査

溶接ビードの外観検査結果の一部を図4および図5に示す。図4のシールドガスあり（図中の凡例ではOKと記載）では全長にわたって良好なビードが形成され、図5のシールドガスなし（図中の凡例ではNGと記載）ではピットが全長にわたって発生しており、全ての溶接においてシールドガスありでは良好な溶接で、シールドガスなしでは欠陥が発生していることを確認した。



図4 良好な溶接ビード

（溶接電流：200A，溶接ワイヤ：YGW12）



図5 シールド不足の溶接ビード

（溶接電流：200A，溶接ワイヤ：YGW12）

3. 2 溶接音による解析

溶接音の解析は、FFTアナライザにより、20～20,000Hzの周波数解析を行った。

図6に溶接音の解析結果を示す。図6から低周波域（約7,000Hz以下）において、シールドガスありの場合、音圧レベルが60db±7db～68db±5dbに対し、シールドガスなしの場合は55db±5db～62db±5dbと低くなることがわかった。実際の溶接作業現場では、騒音等の外的要因が大きすぎるため、現場での集音による解析は困難と考える。

3. 3 高速度カメラ画像による溶接現象の取得

溶接現象は、シールドガスの有無を比較するためバンドパスフィルターを装着した高速度カメラを用いて動画の撮影を行った。

図7(a),(b)にバンドパスフィルターをかけたときのシールドガスの有無による画像を示す。バンドパスフィルターにより、透過波長域（635～645nm）以外の強い光が

カットされ、(a)では溶融池、アーク現象、スパッタが確認でき、(b)ではシールドガスがないためにアークの乱れや多くのスパッタを確認できた。

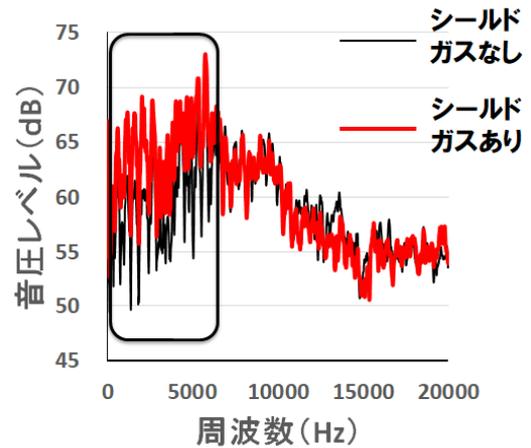
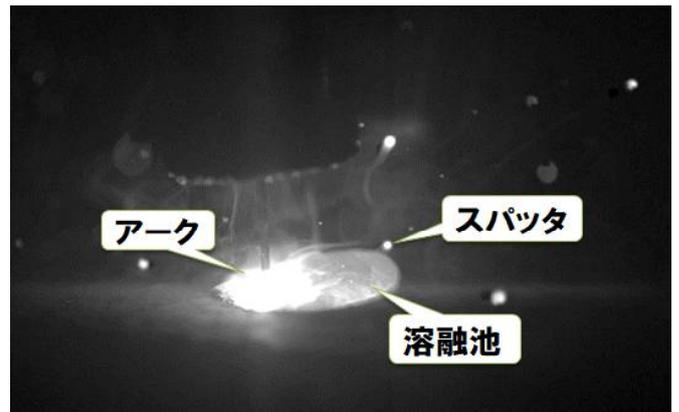
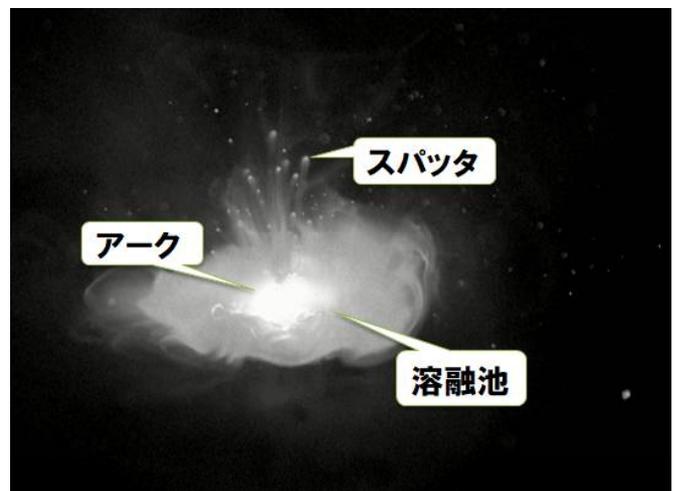


図6 溶接音の周波数解析結果

（溶接電流：250A，溶接ワイヤ：YGW11）



(a) シールドガスあり



(b) シールドガスなし

図7 高速度カメラ画像（バンドパスフィルターあり）

（溶接電流：250A，溶接ワイヤ：YGW11）

図8にバンドパスフィルターなしでシールドガスありの画像を示す。アークの強い光、スパッタ、ヒュームにより溶融池やアーク現象は不鮮明となり確認できなかった。

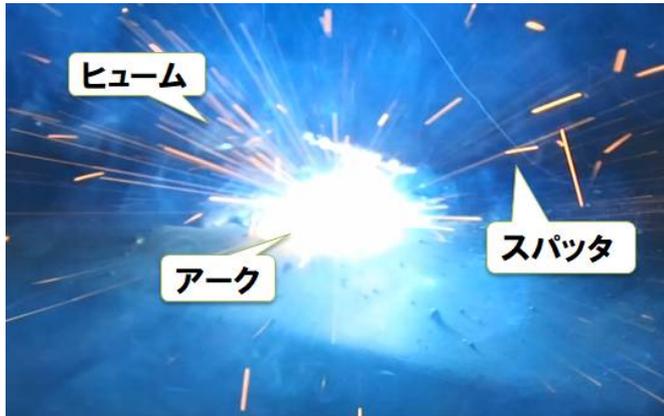


図8 高速度カメラ画像（バンドパスフィルターなし）
（溶接電流：250A，溶接ワイヤ：YGW11）

溶滴移行時はリアルタイムでアーク現象が変わることから、高速度カメラ画像だけではバンドパスフィルターの有無およびシールドガスの有無、溶接ワイヤの違い、溶接電流の違いに関係なく、類似した画像となっており、瞬間的なアークの乱れやヒューム、スパッタの発生状況のみでは溶接欠陥が発生したと特定するのは困難で、詳細な現象解析が必要で今後の課題と考えられる。

3.4 出力（溶接電流および溶接電圧）による解析

3.4.1 溶接現象

炭酸ガス半自動溶接は、溶極式（ワイヤ電極を用いる）であることから、ワイヤが熱で溶融し、粒滴となって母材へ移行することで接合される。溶接電流および溶接電圧は溶接機の制御機能やセッティング条件および電極-母材間距離の変化等や溶滴移行で、設定値と実測値が異なるため実測値を把握しておく必要がある。

溶接電流で移行形態が違い、今回実験に使用した溶接ワイヤYGW11は、標準電流：220～350Aと高電流域での使用にYGW12は、標準電流：80～220Aと中・低電流域での使用に適したワイヤである。

高電流域において、YGW11は短絡が発生しにくい、YGW12では短絡回数が0.1秒間隔程度と回数は少ないものの短絡が発生し、スパッタもYGW11よりも多く発生する。YGW12よりもYGW11の方が溶滴径が細粒化していると考えられている^{6) 7)}。

中・低電流域において、YGW11は短絡回数が0.01秒間隔程度で、YGW12では短絡回数が0.005秒間隔程度と推測されている。短絡回数が多い方が、中・低電流域では溶接作業性が良いと言われている^{6) 7)}。

溶接電流200Aより高くなるとグロービュール移行（ワイヤ

電極の径より大きな径の溶滴が移行する形態）となり、溶接電流200Aより低くなると短絡移行（溶融ワイヤ先端が母材と短絡したときの短絡電流が溶融池と橋絡している溶融したワイヤ電極先端の分離を加速させる電磁ピンチ効果を利用して移行する形態）と異なった移行形態となる⁸⁾。

図9にグロービュール移行のイメージ図を、図10に短絡移行のイメージ図を示す。図から溶接電流や溶接電圧はリアルタイムで変動している。

3.4.2 実験条件

今回の溶接条件では、溶滴移行は0.1～0.005秒の間隔で繰返され、スパッタは0.001秒程度で発生・飛散していると推測される。

溶滴移行やスパッタの発生により、溶接電流および溶接電圧はリアルタイムで変動しており、これらの瞬間的なデータを取得するために、計測間隔を0.0005秒として取得したデータを一定の間隔毎に集計し、平均化して解析を行った。

データの取得時間は、データ数および記録容量を考慮して10秒間とした。

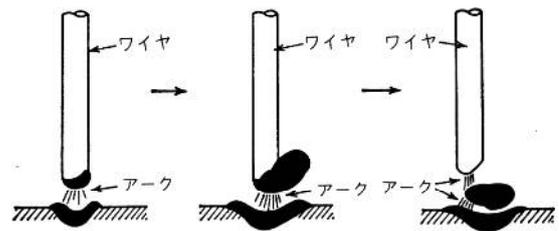


図9 グロビュール移行のイメージ図

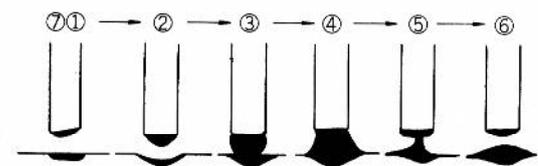
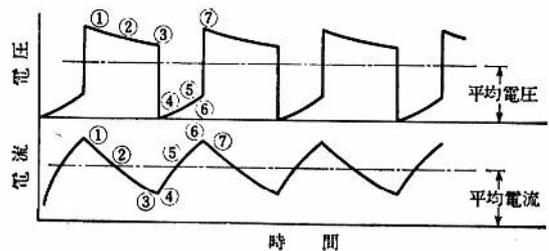


図10 短絡移行のイメージ図

図11に良好な溶接（以下、図中のタイトルではOKと記載）での集計間隔0.1秒による溶接電流および溶接電圧の実測値の変化を、図12に欠陥が発生する溶接（以下、図中

のタイトルではNGと記載)での集計間隔0.1秒による溶接電流および溶接電圧の実測値の変化を示す。

集計間隔0.1秒では溶接電流の設定値(200A)および溶接電圧の設定値(21V)に対して、図11から良好な溶接の場合、変動振幅の少ない安定した溶接電流の実測値 200A および溶接電圧の実測値(21V)が得られ、図12から欠陥が発生する溶接の場合も、変動振幅の少ない安定した溶接電流の実測値(200A)および良好な溶接の溶接電圧に比べ少し低いものの変動振幅の少ない安定した溶接電圧の実測値(17V)が得られており、平均的な溶接電流および溶接電圧の実測値は得られるが良好な溶接と欠陥が発生する溶接での違いは確認できない。

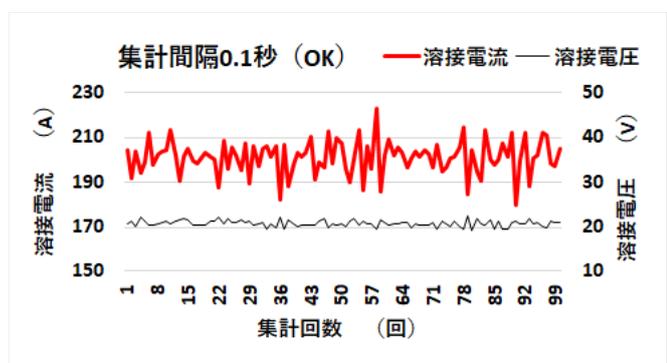


図11 良好な溶接での集計間隔0.1秒
(溶接電流: 200A, 溶接ワイヤ: YGW11)

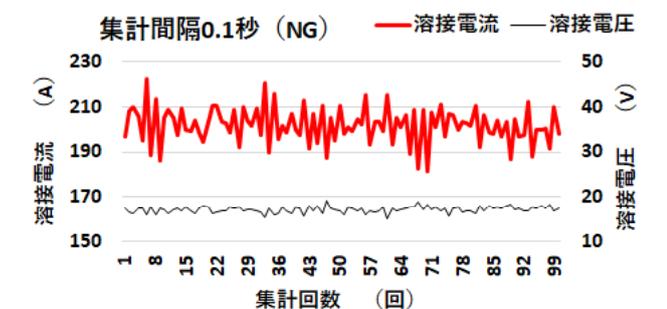


図12 欠陥が発生する溶接での集計間隔0.1秒
(溶接電流: 200A, 溶接ワイヤ: YGW11)

図13に良好な溶接での計測間隔0.0005秒による溶接電流および溶接電圧の実測値の変化を図14に欠陥が発生する溶接での計測間隔0.0005秒による溶接電流および溶接電圧の実測値の変化を示す。

計測間隔0.0005秒では溶接電流の設定値(200A)および溶接電圧の設定値(21V)に対して、図13および図14から溶滴移行の影響で設定値を中心としてリアルタイムで変動していることが確認でき、良好な溶接の場合、溶接電流の変動振幅は実測値(200A)±70A程度の周期的な変動で

溶接電圧の変動振幅は実測値(21V)に対し20~30Vで密な変動と不定期に急激な低下が確認できる。

図14から欠陥が発生する溶接の場合、溶接電流の変動振幅は実測値(200A)±70A程度の周期的な変動の他に不定期に急激な異常低下と変動ピッチの間隔が良好な溶接に対して、短い間隔で変動回数が多いことが確認でき、溶接電圧の変動振幅は実測値(17V)に対し0~38Vと常時大きく変動しており、不安定な状態であることが確認できる。

これにより、溶滴移行による影響を含んでいるものの計測間隔の違いで溶接時の良否判断の可能性があることがわかった。

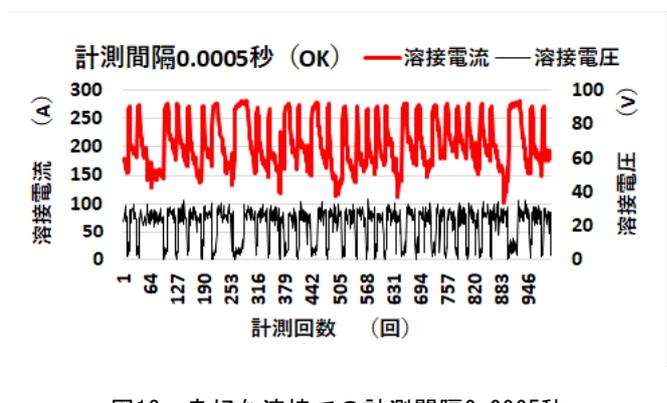


図13 良好な溶接での計測間隔0.0005秒
(溶接電流: 200A, 溶接ワイヤ: YGW11)

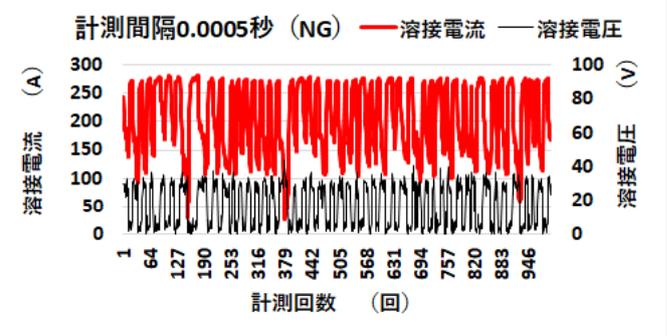


図14 欠陥が発生する溶接での計測間隔0.0005秒
(溶接電流: 200A, 溶接ワイヤ: YGW11)

今回の実験では、溶接時の不良発生を監視するために溶接欠陥の早期発見を目的としていることから、溶接の品質に大きく影響する溶接電流および溶接電圧は、溶込みや溶着量の目安となる入熱(溶接部に与えられた熱量)で管理できる。入熱の計算式は、 $入熱(J/cm) = 60 \times 溶接電流(A) \times 溶接電圧(V) / 溶接速度(cm/min)$ の値である。

そこで、入熱の変動データ数が全データ数に占める割合を算出した。良好な溶接における溶滴移行の影響を受けない集計間隔0.05秒での上下の変動率(図15参照)を参考にしきい値として、基準値(平均値)に対する80~120%の

変動範囲内を適正範囲データの割合、溶接品質に悪影響を与えると予想される変動範囲として基準値の80%未満を下降データ（以下、下降変動回数の割合と記す）とした。表2に変動データの区分例を示す。

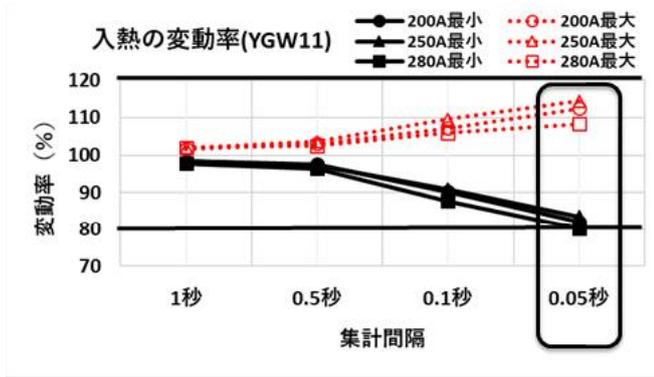


図15 良好な溶接の入熱での変動率

表2 変動データの区分例

良好な溶接でのデータ 区分	基準値 (例)	適正範囲データ	下降データ
		基準値の80~120%の範囲	基準値の80%未満
溶接電流	200A	160~240A	160A>
溶接電圧	21V	16.8~25.2V	16.8V>
入熱	8,400J/cm	6,720~10,080J/cm	6,720J/cm>

3. 4. 3 溶接ワイヤYGW11について

図16に集計間隔の違いでの入熱が適正な割合（溶接ワイヤYGW11）を示す。良好な溶接の場合（図中の凡例ではOKと記載）、集計間隔1~0.05秒までは、全ての溶接電流で適正な割合となり、集計間隔0.01秒以下では集計間隔が短く、かつ、溶接電流が低くなるほど適正な割合が減少した。これは集計間隔1~0.05秒までは、溶滴移行の影響を受けないが、集計間隔0.01秒以下では溶滴移行が影響していると考えられる。

欠陥が発生する溶接の場合（図中の凡例ではNGと記載）、溶接電流250Aおよび280Aでは、割合に違いがあるものの集計間隔の違いに関係なく適正な割合が20~60%程度であった。これは溶滴移行の影響よりもシールド不良によるアークの乱れや多数のスパッタの発生で溶接電流および溶接電圧ともに短い間隔で変動回数が多く、変動振幅も大きく、不定期に急激な異常低下と不安定な状態であることから平均化したデータでも影響がでたと考えられる。溶接電流200Aでは、集計間隔1~0.5秒で全て適正な割合となるが集計間隔0.1秒から集計間隔が短くなるほど適正な割合が減少し、集計間隔に違いがあるものの良好な溶接と同様の傾向となった。これは短絡移行で移行間隔が短く、中電流域であることから、シールド不良によるアークの乱れやスパッ

タの発生および溶滴移行の影響と考えられる。

結果として、グローブール移行となる溶接電流250A以上は、集計間隔1~0.05秒で、短絡移行となる溶接電流200Aでは、集計間隔0.05秒で良否判断できる可能性があることがわかった。

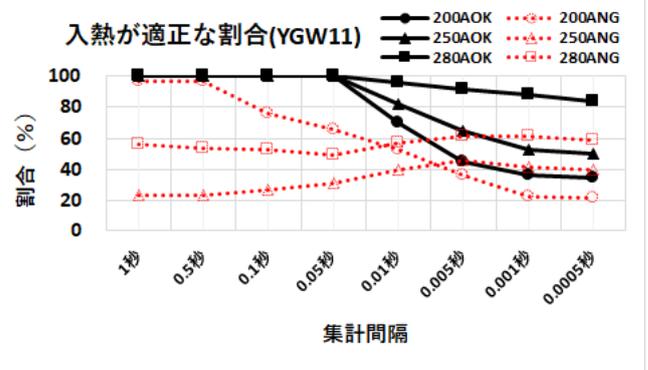


図16 集計間隔の違いでの入熱が適正な割合
(溶接ワイヤ: YGW11)

3. 4. 4 溶接ワイヤYGW12について

図17に集計間隔の違いでの入熱が適正な割合（溶接ワイヤYGW12）を示す。良好な溶接の場合（図中の凡例ではOKと記載）、集計間隔1~0.05秒までは、全ての溶接電流で適正な割合となり、集計間隔0.01秒以下と集計間隔が短くなるほど適正な割合が減少したが、溶接電流200A以下では、溶接電流に関係なく同様な割合で減少した。適正な割合が減少する傾向は、溶接ワイヤYGW11と同様であるが、溶接ワイヤYGW12の場合、溶接電流130~200Aでは、短絡移行となることから溶接電流の違いよりも溶滴移行の影響が強いと考えられる。

欠陥が発生する溶接の場合（図中の凡例ではNGと記載）、溶接電流250Aでは集計間隔1~0.05秒まで適正な割合が低い状態から集計間隔が短くなるほど適正な割合が上昇し、良好な溶接の適正な割合に近づいた。これは溶接電流250Aではグローブール移行で短絡回数が0.1~0.05秒間隔程度と推測される^{6) 7)}。

そこで、図18に欠陥が発生する溶接（図中のタイトルではNGと記載）での計測間隔0.0005秒による溶接電流および溶接電圧の実測値の変化を示す。

図18から溶接電流の変動振幅は150~270A程度と大きく変動し、溶接電圧の変動振幅も0~40Vと大きく変動しており、不安定な状態で、変動ピッチの間隔が短く変動回数が多いことが確認できる。

そのため、図17の溶接電流250Aでは集計間隔1~0.01秒までは溶滴移行よりもシールド不良によるアークの乱れや多数のスパッタの発生の影響が大きく、平均化されたデータは溶接電流および溶接電圧の設定値（溶接電流: 250A,

溶接電圧：27V) に対して、実測値（溶接電流：216.7A, 溶接電圧：22.7V）は低い値となることから入熱も低い計算結果となり、適正な割合が低くなったと考えられる。溶接電流200Aでは、集計間隔1～0.01秒において適正な割合が50～60%とほぼ一定で、集計間隔が短くなるほど適正な割合が減少し、良好な溶接の適正な割合に近づいた。これは溶接電流200Aでは短絡移行の短絡回数が0.05～0.01秒間隔程度と推測され^{6) 7)}、集計間隔1～0.01秒までは溶滴移行よりもシールド不良によるアークの乱れや多数のスパッタの発生が大きく影響し、集計間隔0.005～0.0005秒では移行形態の影響が大きく、良好な溶接と同様の割合になったと考えられる。溶接電流130Aおよび180Aでは良好な溶接と同様の傾向を示した。これは溶接電流が低・中電流域のため、短絡移行で短絡回数が0.01～0.005秒間隔程度と推測される^{6) 7)}ことから、溶滴移行の影響が強く、良好な溶接と同様の割合になったと考えられる。

結果として、移行形態よりもシールド不良による影響が大きい溶接電流200Aおよび250Aでは、溶接ワイヤYGW11と同様に集計間隔1～0.05秒で良否判断の可能性があるものの、移行形態の影響が大きい溶接電流180A以下では良好な溶接と同様の傾向となることから集計間隔の違いだけの良否判断は困難と考えられる。

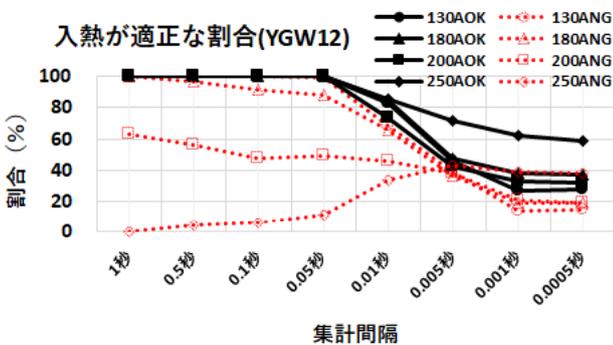


図17 集計間隔の違いでの入熱が適正な割合
(溶接ワイヤ：YGW12)

そこで、溶接電流180A以下について、溶接電流および溶接電圧の変動振幅が大きく、不安定な状態で、変動ピッチの間隔が短く変動回数が多いことに着目（図18）し、図19に入熱に対する下降変動回数の割合を、図20に溶接電流に対する下降変動回数の割合を、図21に溶接電圧に対する下降変動回数の割合を示す。

図19～図21から集計間隔1～0.05秒までは良好な溶接と欠陥が発生する溶接での違いはほとんどなく、集計間隔0.01～0.0005秒で集計間隔が短くなるほど良好な溶接と欠陥が発生する溶接ともに下降変動回数の割合が増加するが、良好な溶接よりも欠陥が発生する溶接の方がわずかに下降変動回数の割合が高かった。これはシールド不良によるアークの乱れや多数のスパッタの発生の影響で溶接電圧の変動振幅が大きく、不安定な状態で、変動ピッチの間隔が短く変動回数が多くなることから入熱も低い計算結果となり、下降変動回数の割合が増加したと考えられる。

図20から溶接電流に対する下降変動回数の割合は集計間隔が短くなるほど良好な溶接と欠陥が発生する溶接ともに下降変動回数の割合が増加するが、良好な溶接の溶接電流130Aと同様の傾向を示すことから良否判断は困難と考えられる。これは溶接電流が中・低電流域のため、シールド不良によるアークの乱れや多数のスパッタの発生の影響での溶接電流の変動振幅や変動回数よりも短絡移行による溶接電流の変動に対する溶接電源の電流自動調整機能（炭酸ガス半自動溶接機の電源は、直流定電圧特性電源のため、溶接電流が変わっても溶接電圧はほとんど変わらないように制御されており、溶接ワイヤが瞬間的に溶け、アーク長が長くなれば、ワイヤの熔融速度を制御して溶接電流が一定に保たれる機能）の影響が強かったと考えられる。

その結果、溶接ワイヤYGW12の溶接電流180A以下については、入熱に対する下降変動回数の割合、または、溶接電圧に対する下降変動回数の割合で集計間隔0.01～0.0005秒において、良否判断できる可能性があることがわかった。

以上のことから、溶滴移行の影響により、溶接電流・溶接電圧は、常時変化しているが、溶接ワイヤや溶接電流に応じて溶込みや溶着量の目安となる入熱の集計間隔の違いによる適正範囲の割合や入熱または溶接電圧の下降変動回数の割合から、10秒間の計測データでも、溶接欠陥を早期発見し、補修溶接部を少なくできる可能性があることがわかった。

今回の実験では、定速での自動走行、一定の電極-母材間距離（一定のワイヤ突出し長さの保持）、トーチ角度の安定した保持等、安定した溶接条件での下向きビードオンプレート溶接において、全溶接部をシールドガスなしの状態で行い、確実に溶接欠陥を発生させて基礎となるデータ取得を行ったが、実際の溶接作業は、長時間行われ

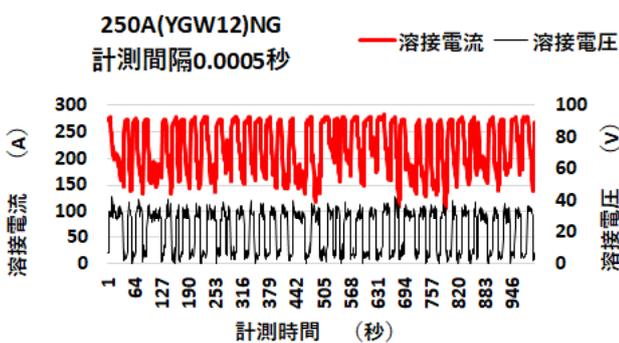


図18 欠陥が発生する溶接での計測間隔0.0005秒
(溶接電流：250A, 溶接ワイヤ：YGW12)

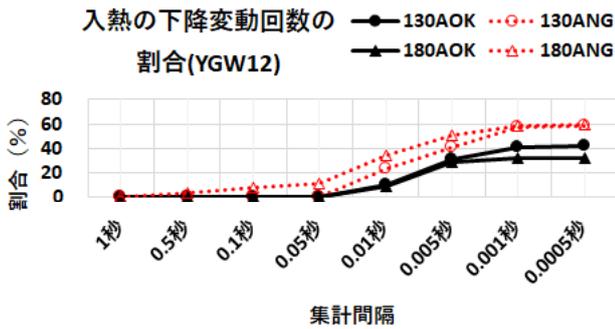


図19 入熱に対する下降変動回数の割合
(溶接ワイヤ：YGW12)

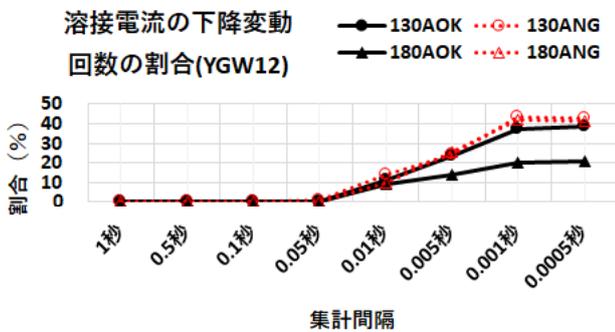


図20 溶接電流に対する下降変動回数の割合
(溶接ワイヤ：YGW12)

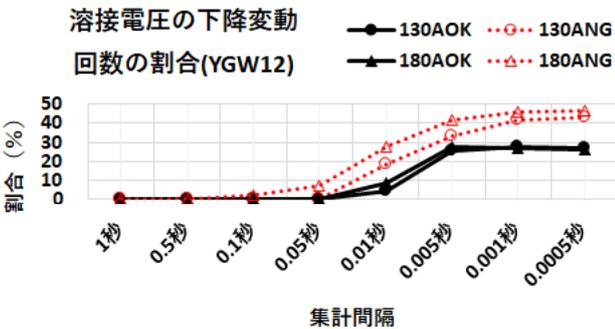


図21 溶接電圧に対する下降変動回数の割合
(溶接ワイヤ：YGW12)

溶接欠陥の発生するタイミングが不明のため、取得した出力データを記録装置に保存とデータ処理を続け、10秒毎の良否判断結果から溶接欠陥が発生したと判断されたときに、溶接作業の中止や異常信号の発生等をさせたり、記録装置に出力データおよび処理データを保存することで長時間でもリアルタイムの監視システムとして活用できる可能性があり、溶接音や高速度画像の取得法に対して、溶接電流・溶接電圧の取得およびデータ処理は、現場で容易に採用可能な方法であると考えられる。

4. 結 言

溶接欠陥の早期発見を確認するために、溶接中の現象を溶接音、高速度カメラ画像、溶接電流および溶接電圧をモニタリングして、溶接ビードの外観検査、溶接音の周波数解析、高速度カメラ画像による溶接現象の取得、出力データの解析を行い、以下の結果が得られた。

- (1) 溶接ビードの外観検査では、シールドガスありで良好な溶接が、シールドガスなしで溶接欠陥が発生していることを確認した。
- (2) 溶接音は、シールドガスありに比べてシールドガスなしの場合、低周波域(約7,000Hz以下)で、音圧レベルが5 db程度低くなることがわかったが、溶接作業現場では騒音等の外的要因が大きすぎるため、現場での集音による解析は困難と考える。
- (3) 高速度カメラ画像では、バンドパスフィルターにより強い光がカットされ、熔融池、アーク現象、スパッタが確認でき、シールドガスなしの場合、アークの乱れや多くのスパッタを確認でき、バンドパスフィルターがない場合は、アークの強い光、スパッタ、ヒュームにより熔融池やアーク現象は不鮮明となり確認できなかった。
- (4) 高速度カメラ画像だけでは、溶滴移行時はリアルタイムでアーク現象が変わることから、バンドパスフィルターの有無およびシールドガスの有無、溶接ワイヤの違い、溶接電流の違いに関係なく、類似した画像となっており、瞬間的なアークの乱れやヒューム、スパッタの発生状況のみでは溶接欠陥が発生したと特定するのは、困難と考えられる。
- (5) 溶接ワイヤYGW11では、グローブール移行となる溶接電流250A以上は、集計間隔1~0.05秒で、短絡移行となる溶接電流200Aは、集計間隔0.05秒で良否判断できる可能性があることがわかった。
- (6) 溶接ワイヤYGW12で、溶接電流250Aおよび200Aは、移行形態に関係なく集計間隔1~0.05秒で良否判断できる可能性があることがわかった。
- (7) 溶接ワイヤYGW12で、溶接電流180A以下は、入熱に対する下降変動回数の割合、または、溶接電圧に対する下降変動回数の割合で集計間隔0.01~0.0005秒において、良否判断できる可能性があることがわかった。
- (8) 溶接音や高速度画像に対して、溶接電流・溶接電圧によるデータ処理は、現場で容易に採用可能な方法であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 秋山泰範：溶接技術，63(4)，90-95(2015)
- 2) 村上真史：溶接技術，66(12)，52-57(2018)
- 3) 青山和浩：溶接技術，64(2)，90-97(2016)

- 4) 茂田正哉, 田中学 : 溶接技術, **64**(2), 40-44(2016)
- 5) 浅井知 : 溶接学会誌, **88**(8), 9-20(2019)
- 6) 三田常夫 : “アーク溶接技術発展の系統化調査”, 国立科学博物館技術の系統化調査報告, **23**(3), 446-448 (2016)
- 7) 接合・溶接技術Q & A 1000編集委員会 : “接合・溶接技術Q & A 1000”, 産業技術サービスセンター(1999) p. 559
- 8) 現代溶接技術体系<第37巻> : “やさしいサブマージアーク溶接・炭酸ガスアーク溶接” 産報出版(1980) p. 174-178