

(解説)



## 溶接コア技術の開発と社会実装

清水弘之<sup>\*1</sup> (博士(工学))

### Development and Practical Applications of Welding Core Technologies

Dr. Hiroyuki SHIMIZU

#### 要旨

鋼構造物を製造する中で、溶接に対する課題は多い。お客様は良好な品質の溶接継手を安定して高能率に得ることを求めている。溶接のプロセス、ロボット、材料が個々に優れていても、お客様の課題解決にならないことが多い。当社の溶接事業部門は、アーク溶接に関わるプロセス、ロボット、材料などの全ての技術を有し、お客様に溶接ソリューションを提供している。溶接ソリューションを構成しているこれらの三つの要素技術を例として、それぞれの領域におけるコア技術を紹介する。溶接事業のマテリアリティとして溶接ソリューションの社会実装事例も紹介する。

#### Abstract

In the process of manufacturing steel structures, there are numerous challenges related to welding. Customers expect to obtain welded joints with excellent quality in a reliable and highly efficient manner. Even if the welding processes, robots, and materials individually excel, they often do not fully address the challenges faced by customers. Kobe Steel's Welding Business possesses all the essential technologies related to arc welding, including processes, robots, and materials, providing welding solutions to customers. This article introduces, as examples, the core technologies in each of these areas that constitute welding solutions. It also presents the practical applications of welding solutions as an essential aspect of the materiality of the Welding Business.

#### 検索用キーワード

アーク溶接, 溶接プロセス, 溶接電源, 溶接機, 溶接ロボット, 溶接材料

まえがき = 当社の溶接事業部門では、単に溶接材料と溶接ロボットシステムの提供のみならず、多関節ロボット・小型可搬型ロボット・専用機・電源・プロセス・材料(棒、ワイヤ、フラックス、裏当)・消耗品など、アーク溶接に関わる幅広い技術を保有する溶接総合メーカーとして、カーボンニュートラルや安全・安心なものづくりに関するお客様の課題を解決する溶接ソリューションを提供している。溶接ソリューションを具現化し社会実装するために、ベースとなる溶接のコア技術は、以下の三つに大別される。

非常に高速に大電流を制御する溶接電源の「プロセス制御技術」、アーク熱を精度よくワークに位置決めするための溶接ロボットの「手先位置制御技術」、溶接機によるプロセス制御と溶接ロボットによる上記熱源移動にベストマッチする特性を材料に与える「溶接材料の最適化技術」である。

本報では、アーク溶接の一つであるMAG (Metal Active Gas) 溶接を例として、これら三つの技術の概要、社会実装した事例とともに、将来に向けた新たな開発とその方向性についても紹介する。

### 1. MAG溶接とCO<sub>2</sub>シールド

アーク溶接の中で市場規模が大きく、自動溶接に好適で、欧米中韓日で幅広く使用<sup>1)</sup>されているのはMAG溶接である。図1にMAG溶接の構成を示す<sup>2)</sup>。GMAW (Gas Metal Arc Welding) の一つであり、シールドガスにArなどの不活性ガスを用いるMIG (Metal Inert Gas) 溶接に対し、MAG溶接では100%CO<sub>2</sub>もしくはAr-20%CO<sub>2</sub>混合ガスのような活性ガスを用いる。連続的に送給されるワイヤ(陽極)は、①給電電極から受電してジュール発熱、②アーク放電によって熔融、③溶滴とな

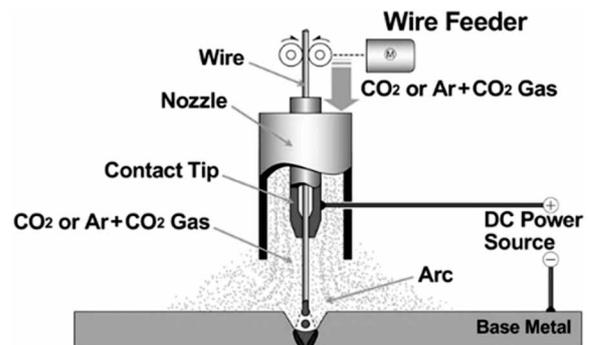


図1 MAG溶接の構成  
Fig.1 Configuration of MAG welding

<sup>\*1</sup> 溶接事業部門 技術センター (現 コベルコ溶接テクノ(株))

って落下，④溶融池，溶接金属を形成，⑤母材（陰極）=ワークを強固に溶接する。直径1.2 mm程度の細径ワイヤを使用すればジュール発熱を有効に利用することができ，アーク放電前にジュール発熱のみで鉄の融点近くまで予熱されるため溶融効率は高い。

1990年代にインバータ制御方式の溶接電源が普及し，ミリ秒の時間単位で溶接電流の出力制御が可能<sup>3)</sup>となった。溶接電流をパルス状に出力することで，ソリッドワイヤを用いた1パルスで1溶滴を移行させるパルスMAG溶接法が開発され，ロボットに搭載されて自動溶接法として実用化<sup>4)</sup>された。Ar-20%CO<sub>2</sub>やAr-数%O<sub>2</sub>などの混合ガスを用いて，今でも自動車の足回り部品や建設機械<sup>5)</sup>など，スパッタの発生を嫌う業界で多用されている。深冷空気分離で大気から生産されるArガス<sup>6)</sup>のコストは高い。加えてArリッチな混合ガスを用いたMAG溶接の最大の欠点は，図2(a)に示すように，高電流でも溶込み幅が狭く，多層溶接において溶接欠陥が発生しやすいことである。いっぽう，各種プラントから大気中に放出される排ガスから回収し精製されるCO<sub>2</sub>ガス<sup>7)</sup>は安価である。排ガス中のCO<sub>2</sub>ガスがCCUS(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)されるようになれば，CO<sub>2</sub>シールドは，Arシールドに比較してLCA(Life Cycle Assessment)指数は高くなるが，もともと大気中に放出されるCO<sub>2</sub>の一部を溶接用のシールドガスとして再利用しているため該指数は問題とはならない。100%CO<sub>2</sub>をシールドガスとするMAG溶接は建築鉄骨<sup>8)</sup>などの溶込みを重視する業界で広く使用されている。シールドガスを100%CO<sub>2</sub>とすると，溶滴の下先端(陽極)にアーク放電が集中するために，溶滴は大きく成長する。高温の大きな溶滴が溶融池(陰極)に落下すると溶融池は攪拌(かくはん)され，図2(b)に示すように，溶込み幅は広がる。その深く広い溶込みは，多層溶接をする場合に溶接欠陥を防止する最も有効な手段である。半面，大きく成長した溶滴が，過剰に揺動すると大粒のスパッタとなり溶融池周辺に飛散，付着する<sup>9)</sup>ため，美観，塗装性，機械的な締結性や摺動(しゅうどう)性を劣化させて問題となる。ジュール発熱を有効に利用する細径ワイヤを用いたMAG溶接の能率，溶滴移行の安定性，100%CO<sub>2</sub>シールドガスの大粒な溶滴による溶融池の攪拌と深溶込みなど，スパッタ，ヒューム，入熱，溶込み深さ，ワイヤ溶融速度などを制御し，高能率で高品質なアーク熱源，溶滴移行を実現するプロセスは常に求められている<sup>10)</sup>。

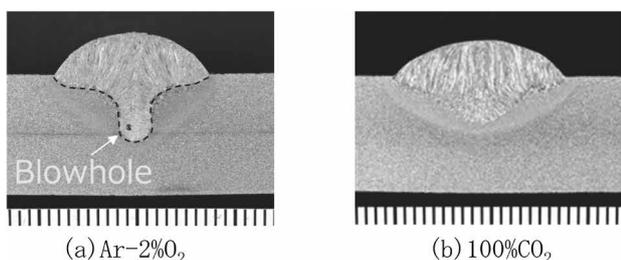


図2 シールドガスによる溶け込み形状の違い (300 A)  
Fig.2 Difference in penetration shape due to shielding gas (300 A)

## 2. 溶滴の形成と移行の制御技術

溶接ソリューションを実現するために重要なコア技術の一つ目は，100%CO<sub>2</sub>ガスを用いたMAG溶接の溶滴形成とその移行を制御する「プロセス制御技術」である。溶滴の形成と移行を制御することができれば，スパッタとヒュームを極限まで低減することができて，溶接環境が改善される。また溶融池を攪拌することで溶接欠陥を減らすこともできる。以下に溶滴の形成と移行の制御技術への取組みを紹介する。

### 2.1 2パルス1溶滴移行制御

2000年代に入ると，デジタル計測技術は急速に進歩し，溶接電流波形と溶滴移行動画を完全に同期して計測し，解析することができるようになった。当時，任意波形を自由に設定できるデジタル制御式の溶接電源は存在せず，トランジスタ式直流溶接電源(株ダイヘン製TR-800<sup>3)</sup>)を用いて，溶滴の形成と移行を異なる二つのパルスで個別に制御することでスパッタの大幅低減と深溶込みの両立を実現することに成功した<sup>11)</sup>。電流波形と溶滴の形成・移行を関連付ける制御波形<sup>12)</sup>の一例を図3に示す。大粒の溶滴を形成し，移行を安定化させ，スパッタ発生を低減し，安定して深い溶込みを得ることができている<sup>11)</sup>。この溶接方法は，デジタル制御式溶接機 SENSARC™ AB500にREGARC™プロセスとして溶接ロボットと組み合わせて実用化され社会実装されている。建築鉄骨市場を中心に評価されて，非常に高いシェアを得ている。

### 2.2 1パルス1溶滴移行制御

2005年にオーストリアのフロニウス社が，溶接電流のパルス制御とワイヤの送給制御を組み合わせることで，短絡により溶滴を安定して移行させるCMT(Cold Metal Transfer)プロセス<sup>13)</sup>を発表した。溶滴は自由落下ではなく，短絡を伴った表面張力により溶融池に移行し，低電流，低入熱，低熱ひずみで溶接できるために，鉄鋼，アルミニウムの薄板，希釈を嫌う肉盛，熱ひずみを嫌う積層造形などの溶接分野において高く評価されて世界で広く使用されている。

当社はデジタルで電流波形を自在に調整できる「溶接電源プラットフォーム」をまず開発した。デジタル制御であるために，外部の装置，例えばサーボモータを容易に同期させることができる。この溶接電源プラットフォームを用い，図4に示すようにワイヤ送給を正弦波状

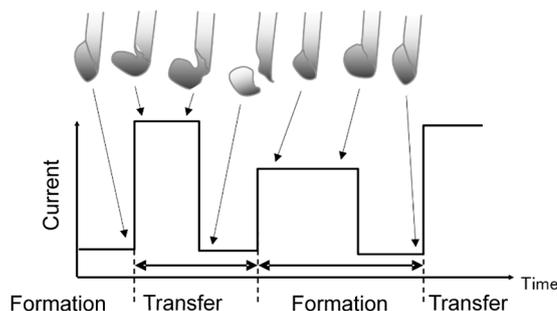


図3 100%CO<sub>2</sub>シールド2パルス1溶滴移行  
Fig.3 100% CO<sub>2</sub> shielding 2 pulses 1 droplet transfer

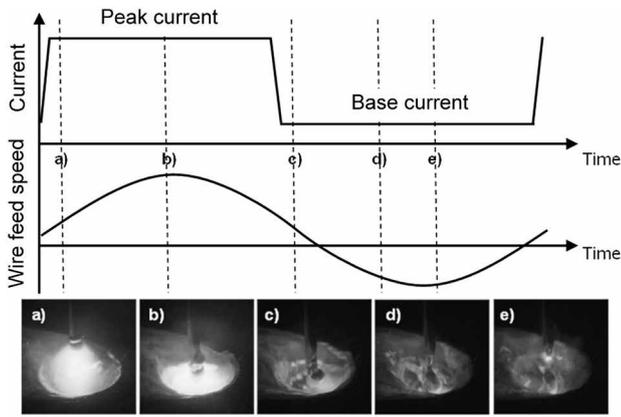


図4 100%CO<sub>2</sub>シールド1パルス1溶滴移行  
Fig.4 100% CO<sub>2</sub> shielding 1 pulse 1 droplet transfer

に前進・後退させ、電流波形をワイヤ送給波形の位相に同期したパルス電流波形とした。図4 a) ~ b) に示すように、ワイヤ先端に溶滴を形成しながらワイヤを前進させることにより、溶滴は溶融池方向へ加速される。その結果、図4 c) でワイヤ送給方向を反転後退させた後も、ワイヤ先端の溶滴は慣性によって溶融池方向へ動こうとする。このため、図4 d) において溶滴上部にくびれが形成され、図4 e) において短絡を伴わない溶滴離脱、すなわち1パルス1溶滴の規則的な自由落下に成功した。100%CO<sub>2</sub>シールドガスで形成される大きな溶滴を溶融池に慣性力で自由落下させるために、スパッタとヒュームの発生量は極小化し、溶融池は効率的に攪拌される。薄板の単層溶接から厚板の多層溶接まで、溶融池攪拌により溶込みの安定化、溶接欠陥の防止と消し込み、溶接ビード形状の安定化などが期待される。このプロセスをAXELARC™として商標登録、特許出願し、対外的に発表<sup>14), 15)</sup>した。今後、デジタル制御式溶接機SENSARC™ RA500に実装し上市を計画している。MAG溶接の従来概念を覆す社会実装技術として期待している。

### 3. 溶接ロボット制御技術

溶接ソリューションを実現するために重要なコア技術の二つ目は、溶接ロボットがワーク形状とその溶接線を認識して、手先位置を高精度に自在に制御する「手先位置制御技術」である。

ここでは、溶接ロボットの手先位置制御に用いられているコア技術として、1) 高精度ウィービング制御技術、2) 自動プログラミング技術、3) システム稼働モニタリング技術、4) 裏波溶接自動制御技術を紹介する。

#### 3.1 高精度ウィービング制御技術

自動車などの薄板溶接に使用する溶接ロボットは、始点から終点まで、所定の三次元軌道を一筆書きで一回トレースする。いっぽう、中厚板に使用する溶接ロボットは、溶融金属を幅広く溶着させ、ギャップや目違いを補って、溶接品質を確保するために、ロボット手先を教示点間の移動中に周期的に揺動させるウィービングという動作を行う。

溶接ロボットには、溶接を行いながらその溶接線を追

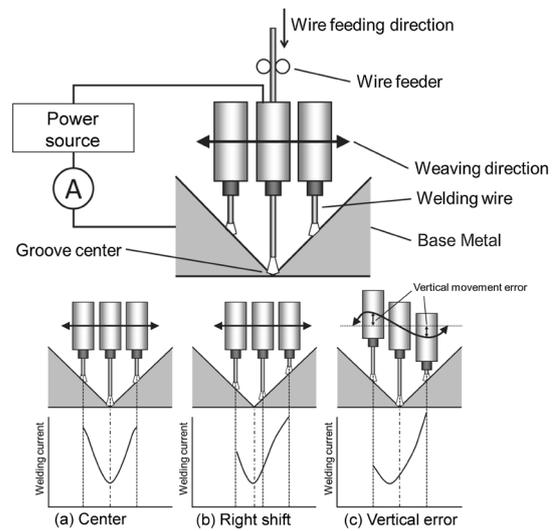


図5 アークセンサの構成と動作原理  
Fig.5 Arc sensor configuration and operating principle

従するアークセンシングという機能があり、ウィービング動作時の手先位置精度は、そのアークセンシングを実現する上で非常に重要な要素となる。図5は、アークセンシングの原理を示す。溶接電源は定電圧特性を有しているために、手先位置とワーク間の距離の変化は電流の変化として計測される。(a)はウィービング中心と開先中央が一致しており、(b)はウィービング中心が開先中央の右に移動している。溶接電流を検出することで開先中央を検知・追従することができる。いっぽう(c)のように外乱により手先が上下にずれるとアークセンシングの性能を低下させる。このように中厚板の開先溶接に使用するアーク溶接ロボットは、手先位置精度<sup>16)</sup>を高める必要があり、オブザーバなど多くの制御理論がロボットコントローラに実装されている。

#### 3.2 溶接対象物の認識と自動プログラミング技術

熟練溶接士の減少や溶接士の新規採用が難しいことも一因として、溶接ロボットの導入が加速している。一般的に、溶接ロボットシステムでは、システム据付後に、すぐさま稼働できるわけではなく、ロボットオペレータがロボットに動作を教える「教示作業」が必要である。いっぽう、お客様は据え付けた設備をすぐさま投資回収したいため、システムが設置されたその日から自動溶接を始めたいニーズがある。溶接箇所を人が教示することなく溶接プログラムを自動生成する「教示レス」<sup>17)</sup>はロボット溶接のコア技術であるが、業種によって教示レスの内容は異なっている。

まず、建築鉄骨分野は、溶接対象物が類似形状であるために、中厚板の溶接用ロボットメーカーとして長年の経験から蓄積されたロボット溶接施工技術と溶接対象物に応じたデータ生成アルゴリズムによりモニターの表中に詳細な寸法と板厚を入力することで教示レスは完成している。次に、橋梁・造船分野は、3D-CADと連携して教示レスを達成している。このシステムは、設計部門の3D-CADデータを用いて、溶接やロボット操作に関する専門知識を必要とせずに溶接箇所と溶接条件を自動的に設定する。溶接位置データが溶接ロボットシステムに

転送され、鋼材部品に適切な溶接ラインが自動的に割り当てられて溶接が始まる。

中厚板溶接で教示レスに残された分野は、建機・一般機械（鉄道車両、農機など）である。ワーク形状と溶接ラインは3D-CADデータに基づいて認識しているが、大型で複雑なワーク形状に対応した溶接プログラムを自動生成するためには、まず溶接ロボットの位置と姿勢、ポジシヨナの角度からプログラムの候補を生成し、候補からその溶接に適したプログラムを選定する必要がある。また溶接用ワイヤと電力を供給するケーブルが、大型で複雑なワークと干渉し、溶接姿勢によっては、ケーブルがロボット手先を邪魔して溶接できないこともある。建機・一般機械の教示レスを達成するためには、ケーブルの挙動も瞬時にシミュレーションし、確認する必要がある。これらの課題を解決すべく図6に示すように、熟練操作者の施工方法をルール化し、最適な溶接プログラムを独自指標で生成し、ポジシヨナ運動溶接や円周溶接などの高難度溶接にも対応可能な建機・一般機械向け教示レスシステムを社会実装している。

### 3.3 溶接ロボットシステム稼働状況の記録と監視

当社の溶接ロボットシステムでは、稼働監視ソフトウェアであるARCMAN™ PRODUCTION SUPPORTを用いることで、システムの稼働状態や溶接データを自動的に記録することができる。さらに2022年には、稼働データとネットワークカメラの動画情報を関連付けることができるARCMAN™ View<sup>18)</sup> 遠隔モニタリングシステムを上市した（図7）。

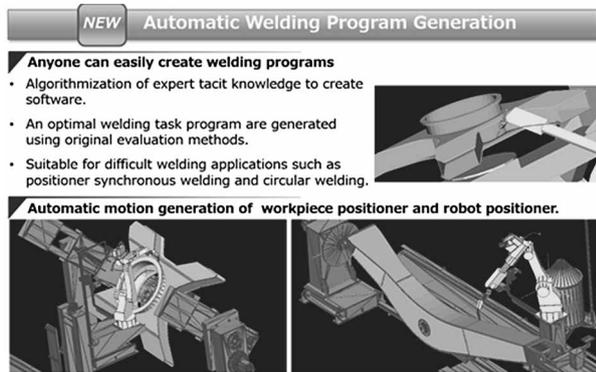


図6 大型で複雑なワーク形状に対応する溶接プログラムの自動生成  
Fig.6 Automatic generation of welding programs for large and complex workpiece shapes

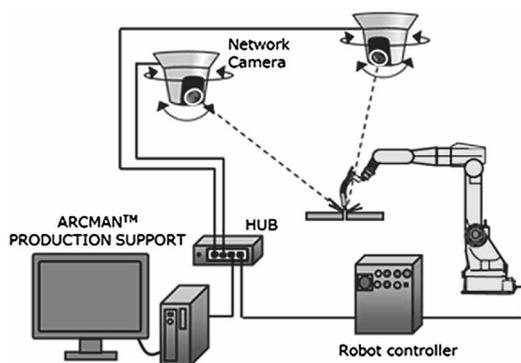


図7 ARCMAN™ View のシステム構成  
Fig.7 System configuration of ARCMAN™ View

ARCMAN™ Viewでは、ネットワークカメラを用いて、稼働中の溶接ロボットシステムをリアルタイムで録画し、突発的停止や溶接不良時の稼働データと動画を関連付け再生することができる。これらソフトウェアを用いることで、エラー発生時の溶接状態を動画で確認ことができ、突発的停止や溶接不良の詳細な原因を分析できる。また、ARCMAN™ Viewでは、カメラ画像を見ながらリアルタイムにロボットをリモート動作することも可能となる。生産中にロボットが停止した際に、ワークが高所にある場合などにはカメラにてロボット先端を見ながら復旧することができる。この機能を活用することで、安全柵外からのロボット操作が可能となり、高所などの危険な場所での作業も削減できている。

### 3.4 裏波溶接の自動化

溶接ワークの加工や組立のばらつきは、薄板の溶接よりも中厚板の溶接の方が一般的に大きい。溶接ワークが大きく複雑になればなるほど、具体的には自動車足回り部品よりも、建設機械の部材の溶接の方が、建設機械の部材よりも造船ブロックの溶接の方が、開先とルートギャップの精度を保つことは難しくなる。他熱源、例えば高エネルギー密度熱源であるレーザーと比較して、アークはエネルギー密度が低く、ウィービングすることによってギャップのバラツキに柔軟に対応し、高い技量が必要な溶接として知られる裏波溶接をも実現することができる。熟練の溶接士は溶融池と併せて開先形状とルートギャップを目視確認しながら臨機応変にウィービングし、さらに必要であれば溶接電流、電圧も調整する。溶接ロボットを用いて熟練の溶接士と同等以上の溶接をするためには、溶融池の状態を何らかの手段でセンシングし、ロボット手先位置をリアルタイムに制御する必要がある。これまで、溶融池をカメラにて撮像し二値化し、エッジフィルタ、ラベリングして、制御に必要な特徴量を抽出する手法が提案<sup>19)</sup>されているが、外乱が多く実用化できていない。そこで当社では、ディープラーニング技術、AI画像認識技術に着目して、図8に示す溶融池とその周囲の特徴量（ワイヤ先端、アーク中心、溶融池幅、溶融池先端幅）を抽出し、ルートギャップが変化した場合も追従制御することで、安定した裏波溶接に成功している<sup>20)</sup>。造船ブロックの外板溶接を想定すると、裏当材を用いれば片面多層溶接が可能であるが、溶接長は

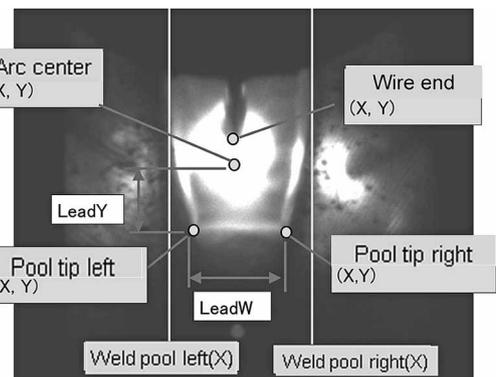


図8 溶融池と周囲の特徴量抽出  
Fig.8 Feature value extraction of molten pool and surrounding

10 mを越えて、ギャップは変動し、板厚方向の目違いは最大3 mmにもなり、加えて開先切断した時の汚れや付着物がある。これに対して、最新のディーブラーニング技術を適用することにより認識精度やロバスト性を向上させ、ギャップ変動、目違い、付着物などの異常検知精度を高めている。計画では数年内に溶接ロボットへ搭載し、熟練溶接士と同等以上の高い品質で、造船ブロックの裏波溶接は自動化したい。

#### 4. 溶接材料の制御技術

1907年にスウェーデンのESABが被覆アーク溶接棒を発明した7年後、日本は長崎の造船所において鋼構造船を効率的に建造するために、被覆アーク溶接の研究が始まった。さらに、溶接材料を国産化するために、1930年に当社は被覆アーク溶接棒の生産を始めている。溶接材料の開発は、フラックスとその化学組成の探索から始まっている。1953年に米国でMAG溶接法が発明されると、ソリッドワイヤの鋼材化学組成の探索も始まった。100年以上にわたって、フラックスも含めた溶接材料の化学組成、溶接金属の化学組成と組織の最適化が続けられており<sup>21)</sup>、軟鋼はもとより、高強度鋼、耐熱鋼、高合金鋼の組成と組織の制御技術は成熟の域に達している。

現在においても、溶接材料と溶接金属の化学組成の調整ノウハウは溶接のコア技術である。マクロ的な化学組成調整に加えて、溶接用ワイヤの表面制御、MI (Materials Informatics) の活用、極微細組織制御が新たな「溶接材料の最適化技術」となってきた。以下に事例を紹介する。

##### 4.1 溶接用ワイヤの表面制御

従来から行われている溶接金属の機械的特性（強度、じん性など）、形状、外観、スラグ剥離を満足する化学成分の調整に加えて、溶接機の制御と溶接ロボットによる熱源移動に対して、従順に応答し、長時間の連続的かつ断続的な溶接を可能とするワイヤの表面制御技術は、その重要度を増している。

MAG溶接において、溶接ワイヤは給電電極から摺動（しゅうどう）接点を介して溶接電流を得る。摺動接点を仮に直径100 μmの円とし、300 Aの直流電流が給電電極から供給されると、接点における電流密度は $4 \times 10^4$  A/mm<sup>2</sup>にも達する。パルス制御すると溶接電流は変動し、送給制御すると摺動速度も変化する過酷な接点である。摺動接点が安定しないと、溶接電流や送給速度を変化させても、ワイヤ先端でのエネルギーがバランスせず、目的とする溶滴移行は実現できない。これに対して

ワイヤ表面の幾何学的形状と化学的狀態を適正に制御することで、パルス波形制御に適した優れた通電性、耐チップ融着性、およびワイヤ送給性を付与することができる。この技術を活用して長時間の連続的、断続的溶接に対して安定した特性を有するREGARC™専用ワイヤ（図9）が製品化されている。

##### 4.2 MIを用いた溶接材料組成の設計

計算機の高性能化やビッグデータの拡充、深層学習などの技術的ブレイクスルーを背景として、AI技術の産業応用事例が急速に増加している。AIは学習データから作成されたモデルで、人間の思考を再現する。このAI技術を材料開発に取り入れる考えがMI技術である。溶接材料開発において、①金属材料組成の成熟、②溶接材料のコモディティ化、③材料開発者の不足、技術伝承の不安が問題となっている。この問題に対し開発の効率化と設計力の強化手段としてMI技術に注力している。過去からの実験データと暗黙知を含む独自の溶接知見を最大限に活用する基盤を構築している。

溶接材料開発では材料の設計から溶接金属の機械特性まで順方向（→）に問題を計算する予測技術と、溶接金属の機械特性から材料の設計を逆方向（←）に問題を解く探索技術がある。また溶接材料開発は①設計すべき原材料配合、②複数原材料から構成される溶接材料の化学成分（溶材成分）、③溶接後の溶接金属の化学成分（溶金成分）、④溶接金属の機械特性（溶金特性）の各関係性を考慮しながら行っている。この溶接材料の特徴を考慮したMI技術として①～④の各関係を繋ぐ予測（→）・探索（←）技術（図10）を開発<sup>22)</sup>した。まず原材料から溶材成分の予測（→）は線形式で表せる特徴を活かして、いっぽう、溶材成分から原材料の探索（←）は凸最適化問題と捉えて手法開発した。

溶材成分から溶金成分、溶金成分から溶金特性の各予測（→）は複雑な溶接現象や材料組織形成が関わり明確



図9 REGARC™専用ワイヤ  
Fig.9 Dedicated wire of REGARC™

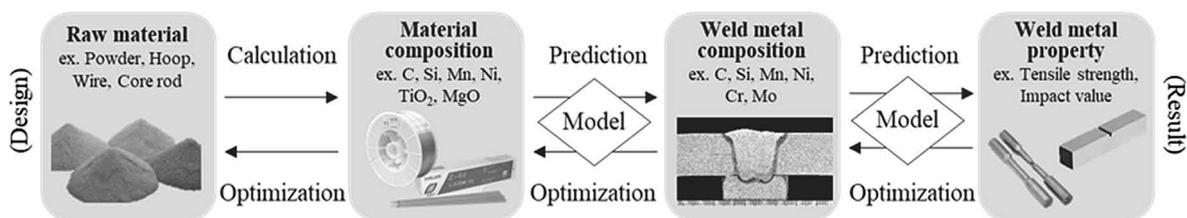


図10 MIを用いた溶接材料組成の設計  
Fig.10 Welding material composition design using MI

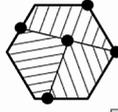
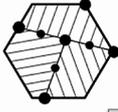
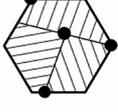
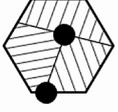
	As PWHT (760°C×4 h)	Short time aging (650°C ~5,000 h)	Long time aging (650°C 5,000~20,000 h)
W 2.8 mass%	Laves phase precipitates mainly at grain boundary 	New nucleation of Laves phase occurred 	Laves phase coarsened 
W 1.6 mass%	No precipitation of Laves phase 	New nucleation and coarsening of Laves phase occurred 	Laves phase coarsened 

図11 耐熱鋼溶接金属の微細組織制御  
Fig.11 Microstructure control of heat-resistant steel weld metal

な関係性を物理理論に従い構築することが難しいため、豊富な実験データから機械学習手法により予測(→)モデルを構築した。また、溶金特性から溶金成分、溶金成分から溶材成分の各探索(←)は学習モデルをベースに最適化することで実現した。

#### 4.3 微細組織の制御

日本のエネルギー基本計画<sup>23)</sup>は、石炭炊き火力発電を縮小し、火力発電を供給不安定な再生可能エネルギーの調整役として運用することを決めた。火力発電所の稼働と停止が頻繁となり、ボイラの熱疲労が問題となっている。

鋼材を高強度化、すなわちクリープ特性を向上させて、配管を薄肉化することで、熱疲労を改善することができる。ASME Gr.93鋼(9Cr-3W-3Co-Nd-B鋼)は従来の9Cr系耐熱鋼のクリープ強度やクリープ破断延性を改善した鋼種<sup>24)</sup>であり、固溶強化と析出強化の目的でタングステン(W)を添加しているが、溶接金属中のWは、その量に依存して析出形態が変化する。同鋼の溶接後熱処理、短時間稼働を想定したクリープ試験、長時間稼働を想定したクリープ試験後に詳細に組織を観察し、Laves相(Fe<sub>2</sub>W)が析出する場所と密度、成長、消失をW濃度で比較して図式化したものを図11に示す。Wを適正に調整することで、超々臨界温度650°Cでも良好なクリープ特性を示す金属組織的な裏付けを溶接金属で得ることに成功している。

#### 5. 溶接事業のマテリアリティ 社会実装例(図12)

(a)は、6軸多関節アーク溶接ロボットARCMAN<sup>TM</sup>A60、デジタル溶接機SENSARC<sup>TM</sup>RA500、炭素鋼ソリ

ッドワイヤFAMILIARC<sup>TM</sup>MG-56R(A)、炭酸ガスシールドMAG溶接プロセスREGARC<sup>TM</sup>を組み合わせた新鉄骨溶接ロボットシステム(NEW REGARC<sup>TM</sup>)で、首都圏の高層建築、大型の倉庫や工場などの柱、梁など、ファブリケータの工場内溶接において好評を得ている。当社は、約30年前より建築鉄骨分野の自動化に取り組んでおり、高能率・高品質な鉄骨ロボットシステムを継続して提供することで、国内シェアは9割に達する。

(b)は、小型可搬型アーク溶接用ロボットKI-700、デジタル溶接機SENSARC<sup>TM</sup>AB500、Ni基複合ワイヤPREMIARC<sup>TM</sup>DW-N609SVを組み合わせたLNGタンク立向溶接システムである。LNGは化石燃料の中でも炭酸ガス排出量を削減できることから伸長が期待されている。陸上・船上のLNGタンクを高能率に溶接する自動化技術を提供している。

(c)は、小型6軸多関節アーク溶接ロボットARCMAN<sup>TM</sup>A30、デジタル溶接機SENSARC<sup>TM</sup>AB500、複合ワイヤFAMILIARC<sup>TM</sup>DW-100Rを組み合わせた造船向け大組立溶接ロボットシステムである。人手不足が顕在化する造船ヤードの自動化ニーズに応えるため、様々なロボットシステムを商品化し、貢献している。

むすび=アーク溶接は安価、高能率で、薄~厚板まで全ての鋼材に対して優れた特性を有している。全世界で19億トン近く生産されている鋼材から構造物とするために、アーク溶接は必要不可欠であり将来も変わりが無い。溶接士の労働力不足を補うために、ヒトに代わって、ヒトを越えた溶接をするロボット、溶接の自動化ニーズはますます高くなると予測している。世界で唯一、アー

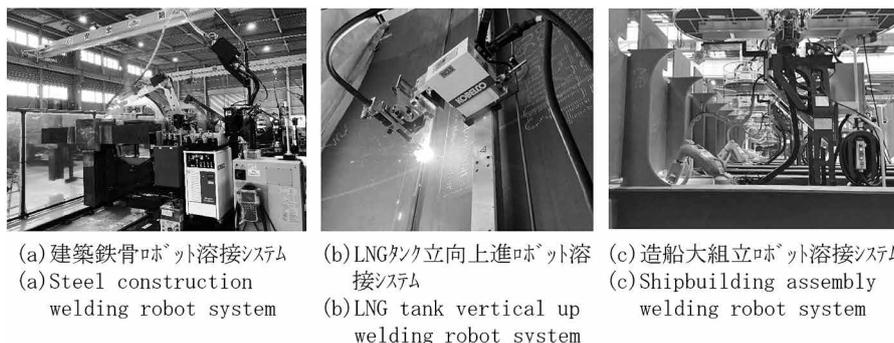


図12 溶接のマテリアリティ、社会実装例  
Fig.12 Welding materiality, examples of practical application

ク溶接に関する全ての技術を有する事業部門として、今後も溶接のプロセス制御、ロボット制御、さらに材料最適化に取り組み、溶接ソリューションとして社会実装してお客様の課題を解決したい。

#### 参 考 文 献

- 1) ウェルディングMART/2023, 溶接材料市場総論, 新報株式会社.
- 2) 日鉄ハードフェイシング(株). <https://www.nshard.co.jp/business/welding/mag/>, (参照2023-06-09).
- 3) 恵良哲生ほか. 溶接学会誌. 2012, Vol.81, No.1, p.5-15.
- 4) 松井仁志ほか. 溶接学会論文集. 1997, Vol.15, No.2, p.254-258.
- 5) 高野悠敬ほか. 溶接学会誌. 1993, Vol.62, No.6, p.448-454.
- 6) 船田一郎ほか. 石油学会誌, 1991, Vol.34, No.4, p.342-349.
- 7) 日本液炭(株). <https://www.n-eco.co.jp/co2/manufacture/>, (参照2023-06-09).
- 8) (一社)日本溶接協会. [https://www-it.jwes.or.jp/we-com/bn/vol\\_19/sec\\_4/4-2.jsp](https://www-it.jwes.or.jp/we-com/bn/vol_19/sec_4/4-2.jsp), (参照2023-06-09).
- 9) 池上祐一ほか. 溶接学会誌. 2006, Vol.75, No.7, p.570-574.
- 10) 溶接学会, 溶接法研究委員会. 溶接法ガイドブック7. 2012年, 『溶接プロセスの可視化・シミュレーション技術』. 黒木出版. p. II\_1-II\_25.
- 11) K. Yamazaki. Spatter and Fume Reduction in CO<sub>2</sub> Gas Shielded Arc Welding by Regulated Globular Transfer, IIW Doc. No. XII-1993-10. 2010.
- 12) 山崎 圭ほか. 溶接学会誌. 2015, Vol.84, No.4, p.239-243.
- 13) K. Himmelbauer. The CMT-Process - A revolution in welding technology, IIW Doc. XII-1875-05. 2005.
- 14) 北村佳昭ほか. 2022年溶接学会秋季全国大会講演概要集.
- 15) Y. Kitamura et al. IIW. Commission XII-2514-2022.
- 16) 小池 武. 2023, 学位論文「ロボットの周期運動における手先位置精度向上に向けた感度に基づく同定と制御」, 東京工業大学工学院機械系機械コース
- 17) 澤川史明. 2022, 溶接接合工学振興会第31回セミナー「中厚板大型ワーク溶接における教示レスを目指した取り組み」
- 18) 福永敦史ほか. R&D神戸製鋼技報. 2023, Vol.72, No.1, p.21-26.
- 19) 浅井 知ほか. 圧力技術. 2002, Vol.40, No.2, p.81-88.
- 20) 岡村 陽. システム/制御/情報. 2022, Vol.66, No.10, p.381-386.
- 21) 百合岡信孝. 新日鉄技報. 1995, Vol.355, p.1-5.
- 22) 谷口元一ほか. R&D神戸製鋼技報. 2023, Vol.72, No.1, p.91-96.
- 23) 経済産業省エネルギー基本計画. [https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/), (参照2023-06-09).
- 24) 伊勢田敦朗ほか. 平成27年度火力原子力発電大会論文集. 2015, p.49-55.