

財団法人 溶接接合工学振興会 第 18 回セミナー  
「溶接プロセス及び溶接機器の技術革新と将来展望」

平成 19 年 10 月 23 日(火) 13:00 ~ 19:10

場所 「ゆうぼうと」(東京簡易保険会館)

講演会 福寿の間(7F)、懇親会 重陽の間(7F)

主催 財団法人 溶接接合工学振興会

共催 財団法人 国民工業振興会

後援 (社)溶接学会、(社)日」本溶接協会、(社)日本高圧力技術協会



司会 (財)日本溶接技術センター会長

開会挨拶 東京大学名誉教授

お忙しい処お集まり頂きまして有り難うございます。本日の企画は、(財)日本技術センター会長の入江宏定氏、(株)IHI 理事・技術開発本部技監の中西保正氏、大阪大学の平田好則教授、南二三吉教授に企画立案をお願い致しました。新しい技術の芽をつくることと、講師の先生方にあらかじめ相互に連携をとって頂いて、細かい処ばかりでなく、全体が分かるようにアレンジをお願い致しました。ゆっくりと講演をお楽しみ頂き、十分に議論をお願い致したいと考えます。

入江宏定氏

野本敏治氏



講演

1) 「アーク溶接プロセスの進歩とシミュレーション」

大阪大学大学院教授

アーク溶接が技術として世に出てから約 100 年が経過しており、最初に、アーク溶接の歴史について 1981 年のアーク放電の発見から始まり、直近の約 30 年間の各種溶接電源の技術革新動向、各種溶接材料の適用傾向、各種溶接方法(低スパッタ溶接他)の開発動向について説明された後、アーク溶接現象のメカニズムを工学的観点から理解するためのモデル化、シミュレーション例について実例を示しながら詳細に説明された。アーク溶接は、溶接電源の性能とかなり直結しており、最近では、溶接電流、アーク電圧と同時にワイヤ送給についてもデジタル制御されるようになっている。

溶接のシミュレーションソフトが各種開発されており、1995 年頃にドイツのアーヘン工

平田好則氏



科大学で開発された MAGSIM(そのアップバージョンとしての SIMWELD)他があり、日本でも QUICKWELDER(主として溶接変形対応)が開発されている。これらの使用目的としては、教育ツールとしてビジュアルに現象を見ることで原理を知るとか、溶接条件と溶込みとの関係、生産現場での材料、溶接姿勢、板厚の変化と溶込みの推定とか、CAD-CAMとの連動等に使用され、また、電源メーカーにより SIMWELD に溶接機の各種の動的特性を取り込める形になっている。

シミュレーションの精度としては、温度場、流れ場等を考慮し、溶接移行、アークプラズマ、溶融池の一連の現象を連続して観察・理解できるモデルにすることを考えており、2次元モデル(静止アーク)、3次元モデル(実際の移動アーク)を考える必要がある。2次元では、アークのシミュレーションモデル、アーク圧力の時間的变化、シールドガスの種類によるアーク温度の変化等が説明され、3次元例として、ピンチ力によるアークの変形状況を観察するとか、アークの周囲(四隅)に設置した磁石の極性により、扁平なアーク形状になる様子もシミュレーションできている事が説明された。

溶滴移行を伴う場合には、VOF-CSF 法により検討されており、溶滴の形状による境界条件を設定して溶滴移行のシミュレーションを実施している。例えば、1.2mm 軟鋼ワイヤによる MIG アークプラズマのシミュレーションでは、100A ではグロービュラー移行となり、250A ではスプレー移行となる様子が示されている。

更に、共振による溶滴移行のシミュレーション例、橋絡移行現象のシミュレーション例についても検討している。表面張力のみでは移行に時間がかかるので、電流を重畳させることでピンチ力により短時間に移行が可能となる事を示している。更に、溶融池の表面の変形も含めたモデルの構築を進めており、近い将来、アーク挙動や溶滴移行も組み合わせた統合モデルによるシミュレーションが可能となると説明された。

このようにアーク現象の数値化が出来るようになると、メカニズムを理解しながら原理的に可視化ができ、溶接プロセス、溶接材料、溶接電源の開発に繋がると共に、技術者教育にも役立つ事が出来る。

## 2)「アーク溶接機器の進歩と展望」

ダイヘン溶接メカトロニクス(株)

三田常夫氏

溶接電源及びその制御方式は、1969年以降のサイリスタ制御電源によるアナログ制御から、1980年に出現したトランジスタ電源を経由して、1983年以降、インバータ制御電源によるデジタル制御に急速に移行しており、インバータ制御電源による高機能・高性能化、知能化、デジタル制御化が進み、従来より溶接特性の極めて優れた電源が開発されて実用されている。さらには、1902年以降、現象制御の高速化(ms制御から $\mu$ s制御への移行)等出力波形の作り込み等により、更に高機能化が進められている。



TIG 溶接機の出力制御については、次の各種の新機能が開発されている。

- 1)溶接電流微調整機構として、トーチスイッチによるクリック操作により電流の増減を可能としている。
- 2)正弦波パルス機能としては、従来の矩形波パルスによる溶接電流の急激な変化を防止して、溶融池に対する衝撃を軽減し、同時にアーク音も軽減している。
- 3)交流周波数制御としては、極性時間比率を変化させてビード形状、タングステン電極消耗量を低減させることが可能となっている。更に、交流周波数を任意に変化させる事も可能で、交流周波数を高くすることにより、アークの指向性・集中度が向上し、溶込みが増加

する。その結果、AI 溶接では、平板溶接ではビード幅が一定になり、角溶接では肩垂れを殆ど防ぐことが可能となる。

MIG・MAG 溶接機の出力制御については、次の各種の高機能化が行われている。

1)電流波形制御による CO<sub>2</sub>MAG 溶接のスパッタ低減については、溶接電流の増減挙動を電子回路で制御し、板厚等に応じて溶接電流の変化度を適正值に設定する DAC 制御でスパッタを低減している。更に、短絡周期後半の溶滴のくびれによる電圧変化を検出し短絡電流を減少させる CBT 制御により、大幅にスパッタの低減を可能にしている。

2)交流マグ溶接では、EP 極性、EN 極性の調整により、ギャップのある場合の薄板溶接でも良好な溶接が可能となっている。

3)極小電流パルスマグ・ミグ溶接では、低電流でも安定な 1 パルス 1 溶滴移行が規則的且つ安定に行われ、AI 薄板の溶接が可能になっている。

4)交流パルスマグ・ミグ溶接では、EP 極性時のパルス電流により 1 サイクル 1 溶滴移行が可能となり、AI 薄板のギャップがある場合の溶接を良好にしている。

5)ワイヤ送給のデジタル化については、溶接ワイヤの送給速度制御により、アーク安定性向上及びスパッタ低減効果がある。又、アーク起動方法(RS 制御)も改善され、アーク起動率が向上している。

以上、デジタル化制御により、数多くの効果が得られるが、更に、現在の m 秒オーダーの制御を、 $\mu$  秒オーダーで制御することも不可能では無く、第 3 世代のデジタル制御溶接電源の実現の可能性が期待される。

### 3) 「溶接ロボット技術の進歩と展望」

(株)神戸製鋼所

竹内直記氏

先月の 18 日にロボット溶接分科会で、25 周年セミナーとして、7 分野(自動車、車両、造船、重電機、建築、橋梁、化工機)のロボットについて現状と今後の課題について講演があったので、本日は、中厚板用の建築鉄骨溶接ロボットに限定して掘り下げた話をしたい。

ロボットの語源はチェコの劇作家のカレルチャペックの戯曲「ロッサム万能ロボット製造会社 RUR」から来ている。1980 年が日本での産業用ロボット普及元年で、自動車分野にまず普及したと言われている。

アーク溶接ロボットは、センシング技術、多層溶接への適用、6 自由度のロボットによる複雑形状のワークへの適用、オフラインティーチングシステム等が開発されて中厚板分野に普及するための技術開発が進んだ結果、1988 年頃から建築鉄骨分野のコラム溶接にロボット適用が始まり、現在まで約 3,000 台以上が導入されたと推定されている。このうち、多関節型溶接ロボットは、約 2,000 台を越し、最近 3 年間は、年間 150 台程度の出荷が推定されている。溶接ロボットの導入理由は、生産性向上、溶接部の品質向上、溶接技能者不足対応、納期対応が主なものである。

建築鉄骨溶接ロボットは、主に梁貫通方式の柱梁接合部に適用されており、スラグ自動除去装置の開発、2000 年の建築基準法改正による入熱制限(40kj/cm 以下)、パス間温度制限(350 以下)に対応するパス分割方法等の開発が行われた。

現在、建築鉄骨溶接ロボットに求められている技術開発例としては、生産性向上のための 2 アーク溶接システム、ロボット適用率向上のためのマルチワーク溶接ロボットシステム、品質確保のためのパス間温度、入熱、積層、溶接条件管理への対応がある。

まず、2 アークシステムについては、従来の 2 倍の高効率化を実現するために、2 台の口



ポットに対して同一溶接速度で、溶接電流変化により溶接肉量(溶接ワイヤ送給量)を変化させて、ルート間隔変化に対応する技術開発が行われた。この2 アーク溶接ロボットシステムは、現在では、柱大組立溶接の主力溶接ロボット機種になっている。

また、ロボット適用率の向上については、天吊マルチワーク溶接ロボットシステムが開発され、仕口、内ダイアフラム、SRC シャフト、梁などへ適用されて、高稼働率を実現している。

更に、品質管理については、2000年に(社)日本溶接協会、(社)日本ロボット工業会の共同規格である「建築鉄骨溶接ロボット型式認証基準」が制定され、2001年より認証試験が実施されている。この認証書には、鋼種、板厚、ルート間隔、開先角度、溶接ワイヤ規格、シールドガス、タブ、入熱、パス間温度の範囲が認証され、その付属書には溶接積層方法、溶接条件が記載されている。現在までにロボットメーカー5社が認証を取得している。

今後の溶接ロボットの開発方向として講演者は、生産性の更なる向上として狭開先溶接への適用、品質向上(記録と管理)として型式認証条件コントロール型溶接ロボットの開発、ロボット適用対象ワークの拡大として梁のロボット溶接等が必要と考えている。

#### 4) 「新溶接プロセスとその展望」

川崎重工業(株)

新溶接法に求められるキーワードとして、地球環境負荷低減面からは、輸送用機器筐体については燃費改善、CO2 排出量削減のための軽量化が要求され、輸送用機器原動機については燃費消費効率、排ガス清浄化の面から高効率化が要求される。労働環境面からは、熟練工不在に対応するために脱技能化・自動化が求められる。また、新溶接法に求められる要件としては、薄板・高強度材・難溶接材・複雑構造を高精度・高能率・高品質に溶接するために脱技能・自動・省エネ・クリーン溶接法が要求され、レーザー溶接、ハイブリッド溶接、摩擦熱応用接合法が期待されている。

レーザー溶接は、自動車分野では、自動車ボディの軽量化、低コスト化、テラードブランド溶接に適用され、電機部門では電機製品の小型・高密度・軽量化に対応して導入された。

レーザーの種類としては、炭酸ガスレーザー、YAG レーザーが、自動車、電機、鉄道車両の各分野で実用され、特に、鉄道車両用としては、抵抗スポット溶接に変わり、外観品質の向上、車体強度改善のために適用されている。

ファイバーレーザーは、Yb をドープしたファイバー内でレーザー発振するもので、0.2mm 以下の微少集光系で、極めて優れたビーム品質を有しており、小型可搬の発振器でメンテが殆ど不要であり、高いエネルギー効率と相まって将来性が極めて高い。

今後のレーザー溶接の適用展開としては、1)ファイバーレーザーの適用拡大、2)薄板中心の適用、3)ハイブリッド溶接化等の施工技術、インプロセス品質モニタリング等の周辺技術開発等が有力である。

摩擦攪拌溶接法は、Al の溶接では、MIG・TIG 溶接に比較して、ワーク前処理不要、割れ・ブローホール無し、ヒューム・スパッタ無し等のメリットがあるものの、接合装置が高価であること、年間数百万円程度のライセンス料を TWI に支払う必要であること等の問題がある。しかしながらその適用は、船舶、航空宇宙、鉄道車両等の分野で Al 合金の難溶接性に泣かされてきたメーカーが FSW の利点に注目して急速に普及している。海外では、航空機部材、船体等への適用も進んでいる。国内では、鉄道車両の Al 構体パネルの SFW 化に適用されており、溶接品質、外観品質に特徴がある。適用拡大のための今後の課題と

古賀信治氏



しては、高価な接合装置、高額なライセンス料、施工基準・規格未整備、軽合金に限定等の問題がある。

フリクションスポット溶接法は、重ね点溶接法として川崎重工業(株)で製品化した溶接法で、次世代高速車両、自動車ボディ、高張力鋼、ステンレス鋼等への技術基準を確立しており、今年秋のビッグサイトでのロボット展で試作機の展示を予定している。

#### 5) 「鋼材ならびに溶接材料の変遷と動向」

新日本製鐵(株)

大北 茂氏

造船、建築、橋梁、自動車、パイプライン等の各産業分野におけるニーズ・動向と要求性能、開発例について概略説明後、これらの各種分野のトピックスについて詳細に説明があった。溶着量でみると、造船・UO 鋼管分野で使用される 4 電極 SAW 溶接では、2,000gr/min 程度の大溶着量が得られている。



建築鉄骨用ボックス柱の製造においては、高施工能率の要求から角継ぎ手溶接には SAW、内ダイヤフラムの溶接にはエレクトロスラグ溶接が使用され、大入熱溶接による靱性の確保が重要である。HAZ 部においては、高 HAZ 靱性化技術、溶接金属においては、Ti-B 系を基本に適正な成分設計により対応している。

コンテナ船の大型化に対応する技術として、ハッチコーミング部の厚肉高強度鋼の大入熱溶接においては、高 HAZ 靱性鋼が開発され、溶接は 2 電極 EG 溶接法が適用されて従来の約 2 倍の溶接能率を得ており、適切な成分調整により、良好な靱性を得ている。

ラインパイプ用高強度鋼(X120 鋼)については、パイプ製造時の溶接では、両面 1 層溶接が採用され、溶接部の靱性が課題となる。鋼材については、HAZ 部の靱性低下、溶接性の低下防止のため TMCP 技術を駆使して低炭素当量で高強度を達成しており、溶接部では、低酸素フラックスの採用とともに溶接金属成分の調整により十分な強度と靱性を得ている。

溶接部の疲労強度改善への取組として、低温変態溶接材料の採用により溶接部の疲労強度を改善している。十字溶接継手、サイドロンジ再現試験体による疲労試験により、疲労強度の向上を確認している。

自動車用鋼板の高強度化による環境負荷低減への取組として、スポット溶接性について軟鋼板との比較検討を実施している。

溶接の今後の課題としては、次の項目が考えられる。

1) 高能率溶接施工技術の開発が必要で、大入熱 1 パス溶接金属の靱性向上、アーク溶接による狭開先溶接金属では、予熱低減、後熱フリー溶接技術の開発が望まれる。

2) 高品質化の限界として、継手の強度を確保するために溶接金属が母材強度に対してオーバーマッチングとなり靱性確保が課題となると考えられる。また、溶接割れの回避技術の開発が必要である。

#### 総合討論

座長 大阪大学大学院教授

平田好則氏

#### コメンテータ報告

##### 1)(株)コマツ

堅田寛治氏

(株)コマツは、建設機械のメーカーで、鉱山機械も製造しており、現状は、海外市場も活発で、中国、大洋州、中近東、欧州等の需要も堅調で増産基調で推移している。

鋼材としては軟鋼が主体で、ソリッドワイヤを月 300T 程度使用



している。溶接としては、高能率化の要望が強く、ロボットに 2 本トーチを搭載して能率を上げている(複数台溶接)。

現状は、500A 電源で、90%はロボットを使用している。

能率向上のために、従来使用している 500A 電源に対して、定格 700A、使用率 100%の電源を試作購入し、定格 700A、100%使用率の溶接トーチと、ワイヤ送給速度 50m/min 可能な送給装置と組み合わせて実験を実施した。

実験結果によると、500A 以上で、特に 600A を越えるとローティエンディングアーク(回転アーク)となり、スパッタが多発するようになる。実験的には、He ガスを使用するとローティエンディングは僅かに発生するものの、スパッタは激減するが、現場ではコスト高のため現状では CO<sub>2</sub> ガスを使用している。高速度ビデオを撮影して、これらの現象を確認しているが、更に対策を検討するため、産学連携で現象解析を進めたいと考えている。

## 2)(株)I H I

「もの作りは奥深く楽しいもの」と題して、日頃の考えを披露された。溶接技術は総合技術であり、溶接プロセス、材料、機器等が密接に関係しながら溶接が成り立っているものであると感じている。また、実際の溶接現場で発生した貴重な経験例も披露された。

造船の現場では、高強度の厚板は大入熱エレガス溶接で対応しているが、低入熱溶接プロセスの開発も必要で、立向狭開先 MAG 溶接の検討も進めている。大型構造物についてのレーザー溶接の適用では、レーザーハイブリッド溶接も適用したいと考えている。

産業ロボットについては、造船分野では、簡易自動と CO<sub>2</sub> 半自動溶接の併用で対応したいと考えている。作業能率の改善を考えた場合、ブロックとブロックの溶接でも、簡易的なロボットを使用しながら、同時に CO<sub>2</sub> 半自動溶接で作業効率をあげていくことが考えられる。

溶接ロボットは、如何に人間がロボットと協働するかが問題である。それには、安全対策、センシング技術、溶接条件制御が重要である。現在はロボットの安全対策としては作業者と隔離していくことで確保しているが、将来は、一緒に仕事をしていく事もあるのではないかと考えられる。

2025 年の工場のものづくりは、NEDO 技術戦略マップにあるように、最先端技術で装備された未来の工場で、ロボットがものを造るようになって、「造られる商品のアイデアそのものは人間が生み出すもの」である。長年ものづくりに携わって来たが、今後のものづくりがどのようになっているかは楽しみであり、今後のテーマであると考えている。

飯島亨氏



## 3)(独)物資・材料研究機構

重厚関連の仕事には、革新化すべきものが多々あるが、今年度 6 月から新しい鉄鋼のプロジェクトとして、厚板をターゲットとして NEDO のプロジェクトが開始されており、その概要を紹介したい。

本プロジェクトは、100kg クラスの HT をターゲットにおいて、プロジェクトの狙いはエネルギー・インフラ分野における極限環境に耐える鉄鋼材料を前提にした基盤技術(溶接技術を含む)の開発であり、「次世代の溶接技術」の開発と「鉄鋼メーカーの国際的競争力を強化する」ために、省エネや安心・安全に寄与する鋼材のレベルアップを図ることである。

プロジェクトの正式名は、「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発」で、5 年

平岡和雄氏



間で約 58 億円の予算でスタートした。その中では、研究分野が 1)高級鋼の革新的溶接技術と 2)先端的制御鍛造技術に分かれている。NIMS では、1)のテーマに特化して研究を進める。

鋼材は、100kgHT と低温用鋼(9%Ni 鋼)で、名古屋大学の宮田先生がプロジェクトリーダーで、溶接関係が阪大接合研究所の野城先生で、阪大、NIMS 他溶接に直接関係する研究機関 13 箇所、企業 6 社が参画している。

強度と靱性を確保し、予熱フリーとする材料を開発するために、マルテンサイト組織とし、酸化物を造らない溶接金属とする。予熱フリーは、オーステナイト組織を残して水素割れの問題を解決する。

溶接金属に酸化物を入れないで溶接するプロセスの開発が必須で、そのために MIG 溶接を使用し、プラズマ利用と新しいソリッドワイヤ(二重管形式)を併用して、ローティティングアーク(回転アーク)を防止することを考えている。

### 質疑応答・纏め

コメンテータの説明後、それぞれ活発な質疑応答が行われ、最後に座長の大阪大学大学院教授 平田好則氏が纏められ、盛会裡に終了した。

平田教授からは本日の講演及び討論の纏めとして次の様に解説された。

本日の討論のポイントは二つあり、1)シーズが重要か、ニーズが重要かの問題と 2)地球環境対応が重要で、この視点からどのような「ものづくり」をすべきかを考える必要があり、その結果として、軽量化、高強度化があること、その一つとして、自動車製造では、高強度の薄板でボディを造る事が選択肢の一つであると考えられる。

本日の 5 名の講師からの講演については、次のように総括された。

1)(阪大、平田教授) コンピューターの性能が格段に進歩して、複雑なアーク溶接の現象、高温・高輝度で、気体、液体、固体が共存している様な現象が計算機で理解出来るようになってきた。

2)(ダイヘン(株)、三田氏) インバータ技術が長足に進歩し、今やデジタル技術により溶接が行われるようになり、第 3 世代のインバータ溶接機が来年 4 月ウエルディングショーでは出現するのではとの予想があった。

3)((株)神鋼、竹内氏) 建設ロボットを中心に話があり、客先のニーズに応じてロボットが進化し、今後の課題としては、狭開先溶接が課題の一つと説明された。

4)(川重(株)、古賀氏) 新溶接あるいは「ものづくり」のためのキーワードとして、地球環境、安全の考慮が必要であり、これから軽薄に向かうこと、又、製品ニーズにマッチしたプロセスを選択が重要である。

5)(新日鐵(株)、大北氏) 材料の使用は高強度化、低温化、高靱性化に向かっており、溶接方法としてどのように対処していくかがポイントとである。

グローバル化と製造業の競争力・技術力について、1)新しい製品を生み出す力、2)高品質なものを安く作り出す力(溶接技術関係はこれが中心)、3)地球環境に配慮したものづくり力が重要と解説され、直近の課題としては、軽量化、高強度材の開発と確実な溶接がきちんと出来る事が重要である。

溶接技術がスタートして 100 年になるが、そろそろ品質管理から脱却する時期がきているのではないかと考えられる。溶接工学は応用物理学の典型的な学問と考えられ、検査フリー溶接の実現に向けて、大阪大学では、いろんな領域の専門家、更に他の研究機関の先生方に集まって戴いて、基礎的な研究を進めていく必要があると考え、大阪大学リサーチ

エンジニアリングの研究拠点として昨年からスタートし

ている。皆様の協力をお願いしたい。最後に総括的な纏めとして、「溶接の不完全性を克服する事を目的に、科学的視点に立って溶接技術の解明を目指して研究を進めていくべきではないか」と述べられた。

閉会挨拶 東京大学名誉教授

野本敏治氏

懇親会 「重陽の間」

司会	(財)溶接接合工学振興会専務理事	吉武進也氏
開会の挨拶	大阪大学大学院 教授工学研究科長・工学部長	豊田政男氏
乾杯の音頭	産報出版株式会社 社長	馬場 信氏
中締の挨拶	東京大学大学院 教授	青山和浩氏



豊田教授

馬場社長

青山教授

吉武専務理事



懇親会風景