

=溶接学会誌にみる TIG 溶接技術の最近の歩み (4) =

前話では、2011 年-2015 年に掛けてのレビュー&トレンドの「アーク溶接プロセス」欄のなかの「シミュレーション」を主体に各記事より引用させていただきました。

引き続き本話では、同じく 2011-2015 における「アーク現象の観察および新技術など」における動向を見ることにします。

1. 「溶接プロセス」2011-2015; アーク溶接プロセス (1.3 アーク現象の観察, 1.4 新技術など) 溶接学会誌引用文献 (レビュー&トレンド) の目次一覧を表 243-01 に示します。

溶接学会誌2011~2015年の =特集「溶接・接合をめぐる最近の動向」= 欄より引用
表 243-01 TIG 溶接関係文献 (レビュー&トレンド) の一覧

整理 NO.	執筆者 (所属) (敬称略) 文献 NO. および記載ページ	文献の主要目次 と TIG 溶接関連目次
7	宮坂 史和 (大阪大学) 山根 敏 (埼玉大学) Vol. 80 No.5 2011 p 66~70	第Ⅱ部 溶接・接合工学の最近の動向 II 溶接・接合プロセスとシステム化技術 1 アーク溶接プロセスおよびシステム化 1.1 アーク溶接プロセスおよびシステム化 1.1.1 はじめに 1.1.2 シミュレーション 1.1.3 アーク現象の観察 1.1.4 新技術 1.1.5 おわりに 1.2 溶接・接合プロセスとシステム化技術 1.2.1 はじめに 1.2.2 溶接電源の動向 1.2.3 低スパッタ溶接 1.2.4 複数熱源を用いた高効率溶接 1.2.5 ロボット溶接システム 1.2.6 CAD/CAMシステム
9	宮坂 史和 (大阪大学) 山根 敏 (埼玉大学) Vol. 82 No.5 2013 p 55~56	第Ⅱ部 溶接・接合工学の最近の動向 II 溶接・接合プロセスとシステム化技術 1 アーク溶接プロセスとシステム化 1.1.1 はじめに 1.1.2 シミュレーション 1.1.3 アーク現象の観察 1.1.4 新技術 1.1.5 溶接プロセス開発の展望 1.2 システム化技術 1.2.1 溶接システムの動向 1.2.2 溶接電源と溶接材料の協調 1.2.3 品質向上のための溶接法 1.2.4 CAD/CAM・ロボットシステム 1.2.5 溶接用仮想教育システム 1.2.6 センサ/モニタリング
11	久貝克弥 (近畿大学工業高等専門学校) 恵良 哲生 (株ダイヘン) 宮坂 史和 (大阪大学) Vol. 84 No.5 2015 p 58~61	第Ⅱ部 溶接・接合工学の最近の動向 II 溶接・接合プロセスとシステム化技術 1 アーク溶接プロセスとシステム化 1.1.1 シミュレーション 1.1.2 アーク現象の計測技術 1.1.3 アーク現象の観察 1.1.4 溶接法・機器 1.2 システム化・ロボット化技術 1.2.1 溶接作業現場における溶接システムの動向 1.2.2 アーク溶接用各種センサ 1.2.3 溶接システムに関する研究・開発動向 1.2.4 溶接システムに関する今後の展望

2. 「各年次におけるレビュー&トレンドとその動向」からみた概要

「各年次における TIG 溶接関連レビュー&トレンドとその動向」(2011-2015) における記事を本話、最終ページの表 243-02 に示します。

前話でみたシミュレーションとその進展を受けて、アーク現象の観察 (現象観察&計測)、新技術の開発に関する記事が主体となっています。表 243-02 の具体的な記事を参照しながら、各年次の主な流れを以下に記します。また、各記事のなかの図 (写真) も参考として添付しました。

前話同様、記事および図表についての詳細は溶学誌の原文を参照して頂きますようお願いいたします。

2-1) 2011年 (1.1.3 アーク現象の観察, 1.1.4 新技術, 1.1.5 おわりに)

1.1.3 現象の観察

高速度デジタルビデオカメラの出現



- ① 溶滴の挙動を高時間分解能で観察
- ② 分光計測によりアークの温度分布 & 金属蒸気分布計測
* CrIやMnIは電極付近にも多く分布, FeIは溶融池表面のみ
- ③ 交流溶接の陰極点挙動観察, 酸化被膜除去速度の定量化。
- ④ GTAにおける溶融池表面温度分布の計測

トモグラフィ技術を利用した計測



* 軸対称を仮定しないアークの計測が可能となり, より複雑な現象の解析に道を拓いた。

1.1.4 新技術

アルミニウム厚板を対象とした新プラズマ溶接法の開発



* アークのシミュレーションモデルによる計算結果を, 最適なトーチ形状の設計に利用

超高速ホットワイヤ溶接法の開発



* ワイヤ送給・通電の制御技術の飛躍的向上による例; 板厚 2 mm × SUS材 溶接速度 ≥ 3 m/minでも余盛確保

1.1.5 おわりに

シミュレーション技術の動向



詳細な現象のモデル化 および モデルの統合化の流れ

現象観察の動向



現象の詳細かつ定量的な把握 および 新たな溶接技術の創成へ進展

2-2) 2013年 (1.1.3 アーク現象の観察, 1.1.4 新技術, 1.1.5 溶接プロセス開発の展望)

1.1.3 現象の計測

高速度デジタルビデオカメラの進化



- ① 高時間分解能・高波長分解能の現象観察が可能となった。
- ② 金属蒸気の溶接開始からアーク中に分散・分布の過程観察
- ③ これらの知見がシミュレーション技術にフィードバックより高精度な予測技術の開発につながるものと期待。

プラズマ切断トーチの電極現象の観察



* アーク点弧時に電極の損耗が起きていることを確認。

1.1.4 新技術

ハイブリッドアーク溶接の開発が堅調



* 単に効率の向上だけにとどまらない
* 個々のプロセスの特徴を活かした組み合わせを目指す。

TIG/MIG複合溶接法の開発進む



* 実験的アプローチ → 数値解析的アプローチへ進む

* シミュレーション技術が, プロセス開発のツールとして実用段階に入りつつある

強力磁石によるTIG制御溶接の開発



* アーク形状変形可能, 入熱分布制御, 溶け込み制御を試行。

1.1.5 溶接プロセス開発の展望

◇ 計測技術のシミュレーション技術へのフィードバック

◇ シミュレーション技術の新技術への利用

* 相互に密接化, 密接な協力関係が "鍵"

◇ 新プロセス開発による計測技術向上の要望

1.1.2 アーク現象の計測技術

- 複雑なアーク溶接現象
 - * 高速度カメラや分光器による光学的手法を用いた可視化が有用な手段
 - 高速度ビデオカメラ撮影における基礎的要素技術の動向と方向性紹介
 - * 受光素子はCCDからCMOSへと進化
 - * 観測機器の処理能力も専用プロセッサの搭載等により性能向上
 - * アーク現象撮影のポイント；
 - ・アーク光の入射をカットできる可視光用レーザー照明とその波長のみを透過するバンドパスフィルタの利用。
 - アークプラズマに含まれる金属蒸気の濃度分布
 - * 二次元分光分析法による可視化
 - 三次元非軸対称のプラズマ観察
 - * 多方向計測手法を用いた発光分析法による可視化
 - 溶融池内部の観察
 - * 高輝度X線透過型溶接接合機構4次元可視化システムの開発による
 - ・プラズマキーホール現象の可視化
 - ・亜鉛メッキ鋼板溶接時の溶接池内部のZnガスの挙動の可視化
- ### 1.1.3 アーク現象の観察
- TIG溶接開始時のアーク,電極先端での陰極点や微粒子の挙動の現象解析
 - * 超高速ビデオカメラのレンズ先端に分光レンズを装着し,スペクトル解析することによる
 - TIG溶接におけるシールドガスが電流経路に与える影響
 - * 分光分析法によるプラズマ温度の二次元分布観察
 - 2電極TIGアークプラズマにおけるアーク内の最大温度の測定
 - * 三次元の発光分析法の適用例

1.1.4 溶接法・機器

アーク現象のモデル化・計測技術の動向に、溶接法・機器も呼応し進化。

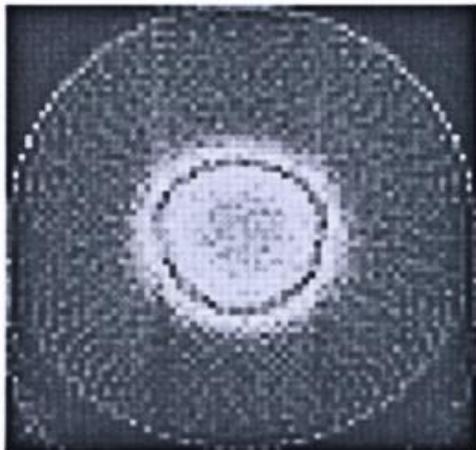


図3 トモグラフィによる TIG アークプラズマの断面強度分布

2011年 図3

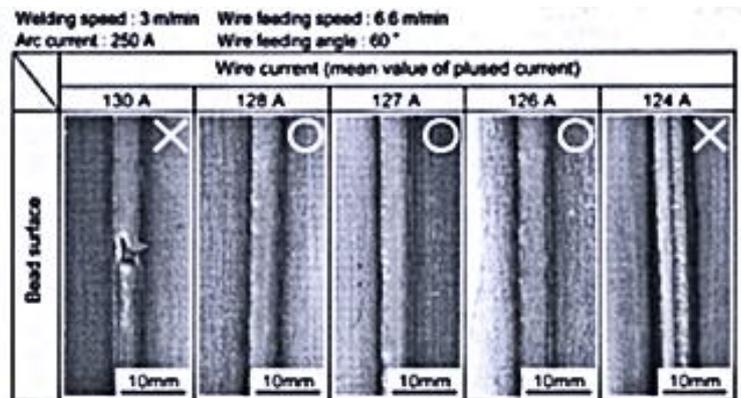


図5 超高速ホットワイヤ溶接

2011年 図5

それでは、2005～2015 における「動向」のなかの「**アーク溶接プロセス**（1.3 アーク現象の観察，1.4 新技術など）の歩みを、以下に振り返っておきます。

<アーク現象の観察，1.4 新技術など> の振り返り；

- * 高速デジタルカメラの出現によりティグ溶接の観察領域が溶融池，溶融池内部の対流現象の透視観察，タングステン電極の表面温度の測定などに拡大。一方，A-TIG 溶接のメカニズムが基本的な部分で明確にされた。(2005)
- * アーク現象や溶融池の高度な観察が進展。TIG アークの電極の仕事関数の測定など深化した。また，二重シールド TIG 法の提案がなされ，「TIG 置換 MIG 溶接技術」確立へ学会挙げて取り組みがなされた。基礎的な原理・現象に立脚したシミュレーションやモデル化が可能になり，プロセスの高機能化に向けた新しい展開が期待される。(2007)
- * 計測機器の進歩に伴い，より精細に溶接現象の観察が可能になった。溶融池の温度計測，電極先端の温度分布測定など実際に目に見えることによって，新材料・新プロセスの提案へつなげるツールへの展開が進む。一方，高効率をめざすハイブリッド型の溶接法としてプラズマ・アークハイブリッド溶接などが提案され，新技術の開発ツールとして，シミュレーションという選択肢が根付く。(2009)
- * 高速度デジタルビデオカメラの出現により各種観察・計測が進化。アークの温度分布や金属蒸気分布の計測などが進展。アルミニウム厚板向け新プラズマ溶接法の最適トーチ設計にシミュレーションモデルによる計算結果が適用され効果を発揮した。シミュレーション技術の動向としては，詳細な現象のモデル化と同時にモデルの統合化の流れがでてきた。(2011)
- * 高速度デジタルビデオカメラの進化を背景に，高時間分解能・高波長分解能の現象観察が可能になり代表例として金属蒸気の溶接開始からアーク中に分散・分布の過程が観察された。新技術としてはハイブリッドアーク溶接の開発が堅調に進み，単に効率向上にとどまらず，プロセスの特徴を活かした組み合わせを目指す。一方，TIG/MIG 複合溶接法の開発も進められた。また，溶接プロセス開発の展望として計測技術の向上・シミュレーション技術の利用・新プロセス開発の夫々が相互に密接化，密接な協力関係が鍵であると指摘している。(2013)
- * アーク現象の計測技術の項目が新たに設けられ，複雑なアーク溶接現象および高速ビデオカメラ撮影における基礎的要素技術の動向と方向性を紹介。アークプラズマに含まれる金属蒸気の濃度分布，三次元非軸対称のプラズマ観察および溶融池内部の観察例が示された。一方，アーク現象の観察では TIG 溶接におけるシールドガスが電流経路に与える影響などが示された。溶接法・機器の項ではアーク現象のモデル化・計測技術の動向に溶接法・機器も呼応し進化させると示されている。(2015)

次話では、溶接学会誌にみる TIG 溶接技術の最近の歩み（5）として、「溶接機器」2006-2010（1.2 市場動向，1.3 TIG・プラズマ溶接プロセス）の記事の概要を紹介します。

表 2 4 3 - 0 2 各年次における T I G 溶接関連レビュー&トレンドとその動向

2011年 (NO.7)	2013年 (NO.9)	2015年 (NO.11)
<p>1.1.3 現象の観察</p> <ul style="list-style-type: none"> * 計測技術の発達により、これまでに計算モデル等による予想や想像の範囲でしかなかった現象の観察が実際に行えるようになってきている。 ・ 高速度ビデオカメラの導入により、溶滴の挙動を高時間分解能で観察できる。 ・ 同様に高速度ビデオカメラによる分光計測によりアークの温度分布のみならず金属蒸気の分布が計測 ・ Cr I や Mn I は電極近傍にも多く分布しているが Fe I に関しては溶融池表面近傍でしか観察されない。 * 交流溶接における陰極点挙動についても観察されており、酸化被膜の除去速度等を定量的に観察できるようになり、クリーニング現象のより深い理解が進むものと思われる。 * GTA および GMA 溶接における溶融池表面温度の計測が試みられ、両者のアーク消弧直後の表面温度分布には差があり、GTA に比べ GMA は温度分布が均一になっていることを確認。 * トモグラフィ技術を利用したアークの計測が行われている (図3)。 ・ 従来は、平板上の静止アークを対象に軸対称を仮定して計測される場合が多かったが、CT スキャン等で利用されているトモグラフィ技術を適用することで軸対称を仮定しないアークの計測が可能となり、より複雑な現象の解析に適用可能であると考えられる。 <p>1.1.4 新技術</p> <ul style="list-style-type: none"> * シミュレーション技術利用による新たな溶接技術の創成が行われた。→アルミニウム厚板を対象とした新プラズマ溶接法の開発 (図4参照) ・ この開発では、アークのシミュレーションモデルによる計算結果を最適なトーチ形状の設計に利用。 * ホットワイヤ溶接への適用 ・ GMA 溶接に対するアドバンテージが大きくなり、中々普及が進まなかったが、ワイヤ送給・通電の制御技術の飛躍的向上により非常に高効率な溶接が開発されている。 ・ 板厚 2 mm SUS 材に対し、溶接速度 3 m/min を超えても余盛を確保した上で、十分に安定な溶接実現している (図5)。 <p>1.1.5 おわりに</p> <ul style="list-style-type: none"> * シミュレーション技術に関しては、これまでの動向を推し進めた、詳細なモデル化という方向性の他、従来のモデルの適用範囲を超えた統合化の流れが生まれてきた。 * 現象観察においても、現象の詳細かつ定量的な把握が可能となり、・・・新たな溶接技術の創成も試みられている。 	<p>1.1.3 現象の計測</p> <ul style="list-style-type: none"> * 近年の計測技術はさらに進展し、計算モデル等による予想や想像を超えるレベルの観察が実際に可能になってきている。 ・ ビデオカメラの進化によって、高時間分解能・高波長分解能の現象観察ができるようになっていく過程が観察されされている。 → この観察結果によると、溶融池表面から発生したクロムおよびマンガンは比較的容易にプラズマ中に混入するのに対して鉄はプラズマ中に入り込むことができず、プラズマ気流によりアーク外縁部にはじき出されていることが確認された。 ・ 今後はここで得られた知見がシミュレーション技術にフィードバックされ、より高精度な予測技術の開発につながるものと考えられる。 ・ 実際に観測結果がシミュレーション結果と比較された例としては、門田らによる GMA 溶接におけるシールドガスとワイヤの影響に関する研究が挙げられる。 ・ この報告ではシールドガスとワイヤ組成が溶滴移行現象に与える影響に関して高速度ビデオカメラを用いて溶滴挙動・溶滴温度を計測することにより理解を深めている。 そして、この現象に関して数値解析モデルを用いて、アークの集中が溶滴移行現象に大きな影響を与えていると示唆している。 * 山口らは酸素プラズマ切断において、潜在的な問題として認識されていたが、現象の観察が困難でなかなか手を付けることができなかったプラズマトーチの電極現象の観察を行った (図2) <p>1.1.4 新技術</p> <ul style="list-style-type: none"> * ハイブリッドアーク溶接の開発が引き続き堅調 ・ 単に効率の向上にとどまらず、個々のプロセスの特徴を活かした組み合わせにより、今後はより高品質・高効率な溶接法の開発に向かう。 * TIG-MIG 複合溶接法の開発、実験観察的アプローチのみならず数値解析的アプローチへ進む。 → シミュレーション技術が、プロセス開発のツールとして実用段階に入りつつある。 * 強力な磁石の登場によって、アーク形状を磁場によって比較的容易に変形可能となり、入熱分布を制御し、より効率的な溶け込み制御を試行。 <p>1.1.5 溶接プロセス開発の展望</p> <ul style="list-style-type: none"> * 近年の傾向として、シミュレーション・現場の計測・新技術は相互に密接化。 → 今後は各研究者間のより密接な協力関係がアークプロセス発展の鍵になってくる。 	<p>1.1.2 アーク現象の計測技術</p> <ul style="list-style-type: none"> * 観察対象に非接触で、かつ時間的・空間的にも高い分解能が得られるようになった高速度カメラや分光器による光学的手法を用いた可視化技術が、複雑なアーク溶接現象の可視化に有用な手段になっている。 * 高速度ビデオカメラを用いた溶接プロセスの各種計測技術の進化について、カメラ撮影における基礎的要素技術の動向と方向性が紹介された。 ・ 受光素子は CCD (Charge Coupled Device) から CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) へと進化。 ・ パソコンなどの観測機器の処理能力も、低価格化・高性能化により単体での性能向上はほぼ限界に達しており、並列処理やデータ処理専用プロセッサの搭載による性能向上が進行。 ・ 高速度ビデオカメラによるアーク現象の撮影はいかにアークやヒュームの影響を低減できるかが鍵となり、アーク光の入射をカットするため可視光用レーザ照明とそのレーザ波長のみを透過するバンドパスフィルタを利用することで、相対的にアーク光のエネルギーを抑え、溶融池や周辺部の鮮明な可視化ができる。 * 最近では、二次元分光分析法によるアークプラズマに含まれる金属蒸気の濃度分布の可視化が検討されている。 また、多方向計測手法を用いた発光分析法による三次元非軸対称のプラズマ観察が可能。 ・ これらはアーク現象を表面から観察する可視化であるが、最近では溶融池内部の観察を可能とする高輝度 X 線透過型溶接接合機構 4 次元可視化システムが開発されている。 ・ 本システムを利用することで、プラズマキーホール現象や亜鉛メッキ鋼板の溶接における溶融池内部の亜鉛ガスの挙動が可視化されている。 <p>1.1.3 アーク現象の観察</p> <ul style="list-style-type: none"> * 超高速ビデオカメラのレンズ先端に分光レンズを装着してスペクトル解析をすることにより、TIG 溶接における溶接開始時のアーク、電極先端での陰極点や微粒子の挙動における現象解析が進行。 * 分光分析法によるプラズマ温度の二次元分布の観察として、TIG 溶接においてシールドガスが電流経路に与える影響を調査。 * 三次元の発光分析法の適用例としては、2 電極 TIG アークプラズマを対象に観察することで、アーク内の最大温度等が測定された。 <p>1.1.4 溶接法・機器</p> <ul style="list-style-type: none"> * アーク現象のモデル化・計測技術の動向に呼応するように溶接法・機器も進化を進めている。

以上。