

=溶接学会誌にみる TIG 溶接技術の最近の歩み (3) =

前話では、「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」(2005-2009) のなかで、アーク現象の観察、および新技術に関する記事と歩みについてみました。以下にそれらの要約を記します。

① 現象観察および計測

* 高速度ビデオカメラの出現(2005), 高度な観察の進展(2007), より精細な溶接現象の観察が可能(2009) と進展し, TIG 溶接の観察領域が拡大し, 溶融池観察も高速デジタルカメラと X線透視装置により可能となり併せて温度計測が進歩した。

② 新技術

* CO2 ガス添加 TIG 溶接法の開発(2005), 二重シールド TIG 溶接法の提案, 「TIG 置換 MIG 溶接技術」確立へ学会挙げて取り組み (2007), 高効率をめざすハイブリッド型の溶接法の提案/プラズマ・アークハイブリッド溶接など (2009) が示され, 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いた。

③ おわりに

* 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, アーク溶接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) とし, さらにシミュレーションと現象観察向上の相乗効果によって新発想でアーク溶接技術開発が行われるようになっていく(2009), と推定されている。

本話では溶接学会誌 2011-2015 年における「アーク溶接プロセスおよびシステム化」動向のなかで, 1.1.1 はじめに, および 1.1.2 シミュレーションに着目してそれらの進展について, 学んでいきたいと思えます。なお, 「動向」欄作成要領は, 第 240 話に示したものとしました。

1. 「溶接プロセス」2011-2015; アーク溶接プロセス (1.1.1 はじめに, 1.1.2 シミュレーション) 溶接学会誌引用文献 (レビュー&トレンド) の目次一覧を表 242-01 に示します。

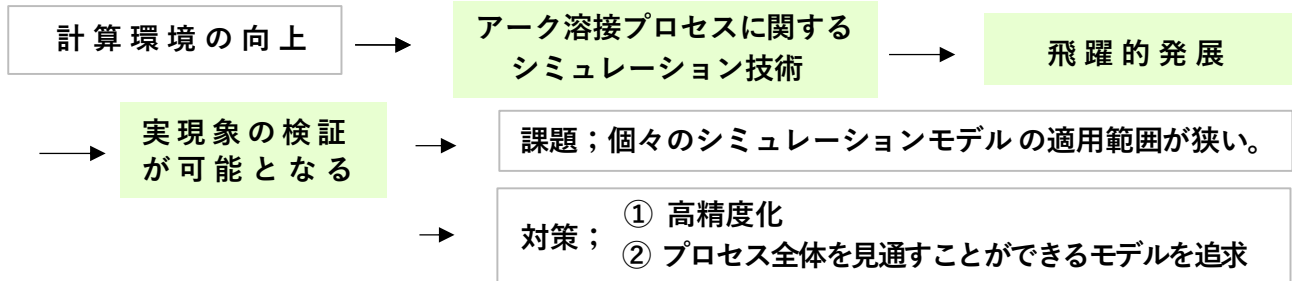
溶接学会誌2011~2015年の =特集「溶接・接合をめぐる最近の動向」= 欄より引用
表 242-01 T I G 溶接関係文献 (レビュー&トレンド) の一覧

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 T I G 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

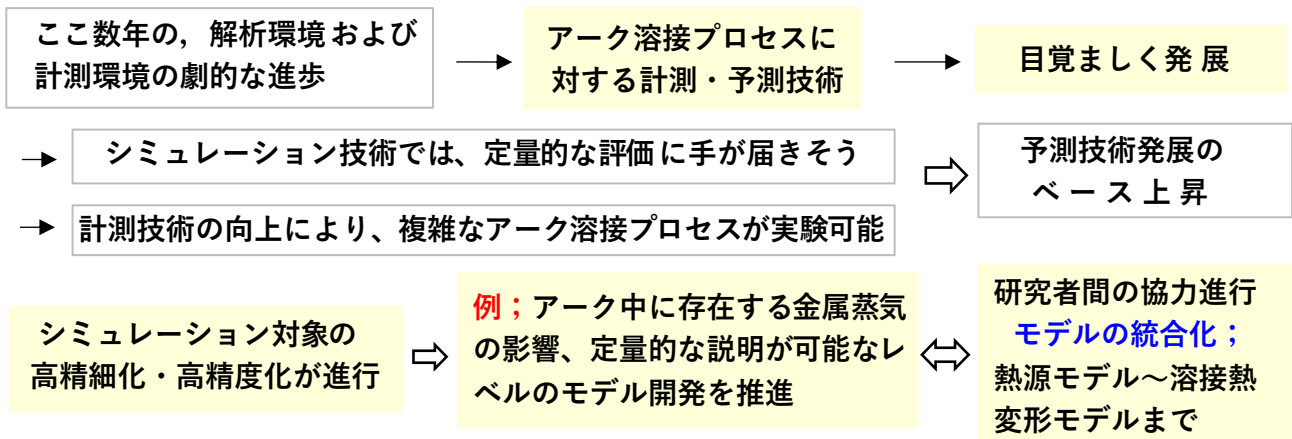
2. 「各年次におけるレビュー&トレンドとその動向」からみた概要

各年次のトレンドとその変遷（2011-2015）における記事を最終ページの表 242-02 に示します。以下各年次ごとの筆者なりの要約を示し、かつ記事に掲載されている代表的な図表を添付します。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 (1.1.1 はじめに, 1.1.2 シミュレーション)



2-2) 2013年 (1.1.1 はじめに, 1.1.2 シミュレーション)



2-3) 2015年 (1.1.1 シミュレーション)

溶接現象の可視化およびシミュレーションの適用 → 研究室のみならず企業の開発研究および生産現場に適用拡大

シミュレーション例： シールドガスを制御可能な狭窄ノズル装着のTIG溶接法で紹介

- ① 最適なシールドガス流量は？
- ② シールドガスの種類の違いにおける効果は？
- ③ 電流経路の影響は？
- ④ 母材への入熱の狭窄ノズルの効果は？

二次元のTIGアークモデル例： ①アークプラズマの二次元温度分布
② アークプラズマの高速な流れが外気を巻き込む過程検討

三次元のTIGアークモデル例： アークプラズマと溶融池の相互作用として溶融池表面からの金属蒸気の発生と溶融池表面形状の変化を考慮した結果が報告された。

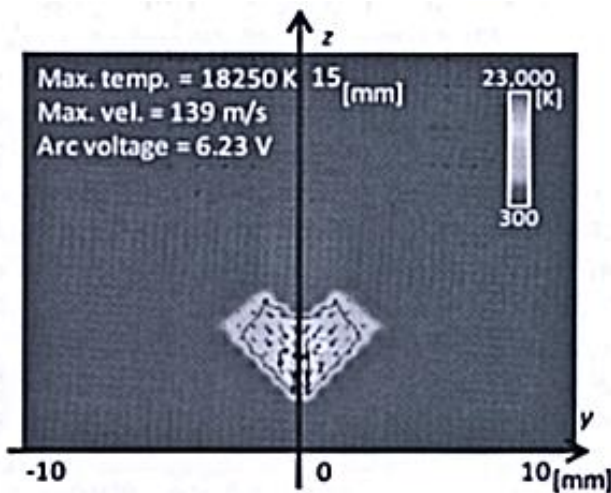
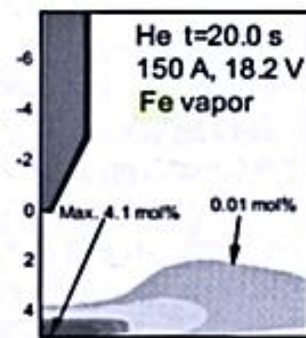


図1 開先内におけるアークプラズマの温度解析

2011年 図1



2011年 図2

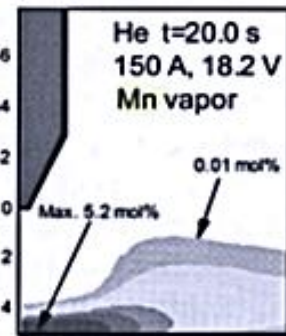
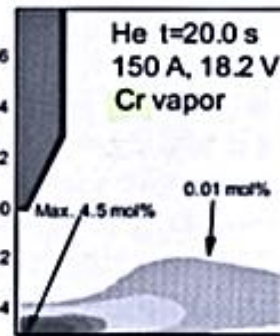


図2 アークプラズマ中金属蒸気の挙動解析

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（1.1.1はじめに、&1.1.2 シミュレーション）の歩みを、以下に振り返っておきます。

<はじめに および シミュレーション> の振り返り；

- * 数値計算シミュレーションの進歩により「アーク溶接プロセスのビジュアル化」が現象の定量的理解に著しく貢献（2005）
- * 電磁熱流体モデルの開発を背景に TIG 溶接系シミュレーションが進展，鉄蒸気の影響調査，金属蒸気混入におけるアークモデルの形成（2007）がなされた。
- * さらに，アーク溶接プロセスへの理解がシミュレーションと計測技術の向上を背景に定性的から定量的予測へと展開され，かつ TIG アークモデルの展開が電極側・アークプラズマ・母材側の各現象に大別され目覚ましく進展（2009）
- * 計算環境の更なる向上のもとアーク溶接プロセスに関するシミュレーション技術が飛躍的発展を遂げ，実現象の検証が可能となったが，一方個々のシミュレーションモデルの適用範囲が狭いという課題も浮かび上がり対策がなされた。（2011）
- * アーク溶接プロセスに対する計測・予測技術が目覚ましく発展。シミュレーション技術では定量的な評価に手が届きそう，としている。例としてアーク中に存在する金属蒸気の影響につき定量的な説明が可能なレベルのモデル開発が推進された。（2013）
- * 溶接現象の可視化およびシミュレーションの適用に関し，研究室のみならず企業の研究開発および生産現場に適用が拡大。シールドガスを制御可能な狭窄ノズル装着の TIG 溶接法が，シミュレーション例として紹介されている。（2015）

次話では、溶接学会誌にみる TIG 溶接技術の最近の歩み（4）として、「溶接プロセス」2011～2015（1.3 アーク現象の観察～1.6 おわりに）の記事の概要を紹介します。

表 2 4 2 - 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 アーク溶接プロセスおよびシステム化</p> <p>1.1.1 はじめに</p> <ul style="list-style-type: none"> * 近年、アーク溶接プロセスに関するシミュレーション技術は、計算環境の向上に伴い、飛躍的發展を遂げている。 * しかしながら、これらのモデルはプロセスの現象の理解と予測という観点から開発されておりプロセスの一部を切り出すことによって、<u>プロセスを細分化したモデルが多数構築されてきているのが現状である。</u> * 一方で計測技術の向上により、これまでシミュレーションによる想像の範囲であった実現象の検証が可能となった。 * その結果、それまでのシミュレーションによる予測結果とその定量的な比較が可能になり、<u>より高精度なシミュレーションモデルの構築が進んでいる。</u> * しかし、実現象の計測結果に対して、<u>個々のシミュレーションモデルの適用範囲が狭い</u>という問題があり、計測と計算の相互補完による現象理解の向上に対する障害となりつつある。 * このような背景から、<u>高精度化という方向以外にも、プロセス全体を身通すことができるモデル (個々のモデルの相互作用を考慮に入れたモデルの統合化) が求められるようになってきた。</u> <p>1.1.2 シミュレーション</p> <ul style="list-style-type: none"> * 近年のコンピュータ技術の発展に伴い、溶接プロセスシミュレーションも、より現象の詳細なモデル化の方向に発展してきている。 * <u>図 1 に示すように、ワーク側の形状を考慮に入れたアークプラズマのシミュレーションモデルが開発されており、・・・実現象に近い予測が可能となってきた。</u> * <u>図 2 には母材表面から発生する金属蒸気の挙動を計算した結果を示す。</u> ・このようにプラズマガス組成が入熱に与える影響についても検討可能な領域に入ってきている ・<u>シールドガスの影響を考慮に入れた溶滴移行モデルや交流電流を考慮に入れたモデルの開発が進む。</u> ・個々のモデルを開発している研究者が協力することによって、モデルの適用範囲を拡げようとする試みが進む。 	<p>1.1 アーク溶接プロセス</p> <p>1.1.1 はじめに</p> <ul style="list-style-type: none"> * <u>ここ数年の、解析環境および計測環境の劇的な進歩によりアーク溶接プロセスに対する計測・予測技術も目覚ましく発展している。</u> ・シミュレーション技術を例にあげると、<u>これまでは、現象の基礎的な傾向の理解にとどまっていたものが、個々の事象に対して定量的な評価に手が届きそうなレベルになってきている。</u> ・また一方で <u>計測技術の向上</u>により、今まで見えなかった現象が見えるようになり、<u>複雑なアーク溶接プロセスを緻密に分類して実験することが可能になってきている。</u> ・これらの相乗効果により、シミュレーション技術は、より現実の現象に即した形になり、計測技術はシミュレーション結果に対して、その妥当性を厳しくチェックすることが可能になり、<u>予測技術発展のベースが益々上がってきている</u> ・また、これらの進歩は新たな溶接プロセス技術のみに向けられているわけではなく、これまで複雑な現象だとして予測や計測があきらめられていた様な現象に対して、<u>改めてその物理現象の基礎的な理解および新たな解釈を補強するという動きも出てきている。</u> ・ここでは、過去2年間の公表文献に基づいてアーク溶接プロセスに関する最近の話題・動向に関して紹介する。 <p>1.1.2 シミュレーション</p> <ul style="list-style-type: none"> * <u>シミュレーション対象の高精細化・高精度化が進んでいる。</u>計測・観測技術の向上に呼応するように、シミュレーション技術も、計測された結果を理論的に説明可能なようにモデル開発が進行・発展している。 ・例では、<u>田中らは (図1) アーク中に存在する金属蒸気がアーク現象そのものに与える影響に関して、定量的な説明が可能レベルのモデル開発を進めてきている。</u> * <u>このような方向性を元に、モデルシミュレーションにおいて、従来見過ごされてきた現象・複雑すぎて手を付けることができなかった対象を再度改めて検証する動きがある。</u> ・溶接アークプロセスの基礎現象をより深く理解することにより、従来には発想できなかったプロセスもシミュレーションの対象として、より複雑なアーク現象の理解が可能になってきている。 ・また、従来から進められている研究者間の協力によるモデルの統合化に関しても、<u>徐々にではあるが進展しており熱源モデルから溶接熱変形モデルまでの統合シミュレーションモデルまで開発が進展している。</u> 	<p>1.1 アーク溶接プロセス</p> <p>1.1.1 シミュレーション</p> <ul style="list-style-type: none"> * <u>シミュレーションは、アーク溶接現象の理論的な解析を通じて、これまでの定性的な現象説明から科学的視点で定量的に明らかにしようとする技術であり、溶接プロセスそのものの理解に役立つツールとして期待されている。</u> * コンピュータや可視化機器の性能向上と低価格化が進んだ現在では、シミュレーション技術は簡易な二次元対称モデルから非軸対称三次元モデルへと進化し、特に、溶融池現象に着目したモデルへと高度化してきている。 * <u>また、溶接現象の可視化やシミュレーションが研究室のみならず企業の開発研究及び生産現場に適用されるに至っている。</u> * <u>最初に、シールドガスの流れを制御する狭窄ノズルを装着した新しいティグ溶接法について、様々なシミュレーション例を紹介する。</u> ・<u>狭窄ノズルには、アークプラズマ中心部の温度やプラズマ気流の流速を上昇させる効果があり鉄蒸気は陰極側には拡散せずに吐出され、陰極直下近傍の母材表面での流速が大きく増加し、最適なシールドガス流量は2L/minから6L/minであることが示されている。</u> ・また、<u>シールドガス種の違いによる効果として ArよりもHeの方がより効果的にアークプラズマ中心部の温度を上昇させ、プラズマ気流の速度も上昇すること、</u> ・また、<u>電流経路をアークプラズマの中心部に集中させる効果があり、その効果は溶接電流が大きい領域にてより大きくなること、</u> ・更に、母材への入熱は電極先端角度によって変化するが、狭窄ノズルの効果によりその影響を抑え、安定したアークプラズマや母材入熱を維持することが明らかにされている。 * TIGアークモデルとしては、陰極表面に形成されるポテンシャル障壁を考慮するため、電極先端における電子放出可能な領域を電流が通過できる領域を設定した場合におけるアークプラズマの二次元温度分布や、アークプラズマの高速な流れが外気を巻き込む過程が検討されている。 * 三次元のTIG溶接モデルとしては、アークプラズマと溶融池の相互作用として溶融池表面からの金属蒸気の発生と溶融池表面形状の変化を考慮した結果が報告されている。 * 更に、TIG-MIG複合溶接法における電流経路に及ぼす金属蒸気の影響も検討されている。

以上。