

=ティグ溶接に関する「アークの物理」(6) =

第 215 話より第 218 話にわたって、プラズマ溶接とくにマイクロプラズマ溶接とその技術について紹介しましたが、プラズマ関係はひとまず終了させていただき、第 211 話に引き続きティグ溶接における歩みに目を向けていきたいと考えます。

参考とさせて頂く資料は、溶接学会誌の年度毎に掲載された「日本における溶接の展望」にある「ティグ溶接」欄であり、第 211 話では 1982 年～1994 年にわたってみましたが、本話では 1995 年～2003 年におけるティグ・アーク物理関係記事の年度別動向についてそれらの概要を見ることにします。

なお、2004 年（学会誌掲載は 2005 年）より「日本における溶接の展望」欄が「溶接・接合をめぐる最近の動向」欄に溶接学会編集委員会にて変更されたので、2003 年度までをひとつの区切りとして年度別動向を整理しました。了解下さい。

1995 年～2003 年におけるティグ・アーク物理関係記事の年度別動向をみると素晴らしい進展を再スタートさせた時期であると感じます。1982 年～1994 年の動向も含め、筆者として把握できた概要を以下に記します。

- 1) ティグ溶接の各分野における期待と適用拡大の背景が、第 1 に挙げられます。
材料別では、ステンレス鋼は勿論のこと、アルミティグへの期待が大きく、チタン、ジルコニウムなどへ適用も図られた。用途別では、1980 年初めには LNG 貯槽などへの適用が拡大し、パイプの自動溶接、固定管溶接へのニーズが強く、半導体製造ガス管の溶接施工なども検討され、用途が拡大した。
- 2) 1980 年代初めに溶接電源がサイリスタ機からインバータ機へ転換が図られ、その結果制御性が大幅に向上、ティグパルス溶接など普及の大きなきっかけとなった。
また、ティグロボットが開発され普及した。自動化・システム化が進展し、それに伴ってティグ高能率化の要求が出され、ホットワイヤ法などの開発、研究が大きく進められた。
- 3) 一方、ティグ溶接の品質および能率に大きな影響を及ぼすタングステン電極の研究が 1980 年代に進み技術的な解明がなされた。1990 年に至って、JIS 規格「ティグ溶接用タングステン電極棒」JISZ3233-1990 として改正された。
なお、タングステン電極の歩みについては、次の第 220 話以降にて説明の予定です。
- 4) 以上、ティグ溶接へのニーズ、溶接電源のインバータ化・ロボット化の開発・普及およびタングステン電極の新 JIS 化により溶接作業性の改善等が図られ、1990 年代になってティグ溶接をはじめアーク溶接技術発展の大きな足掛かりとなった。
またこれらの成果を踏まえて、「溶接プロセスの物理」溶接アーク物理研究委員会編が 1996 年 5 月に発行された。

さらに、**溶接学会特集 75 周年史－学会 25 年の歩み*1)**－の第Ⅱ部 研究委員会活動史－溶接アーク物理研究委員会 平岡 和雄 には詳細に～2000 年までの**研究推移**が記されている。参考にされたい。

5) 2000 年 (平成 12 年度) から通産省工業技術院の重要地域技術研究開発「溶接技術の高度化による高効率・高信頼性溶接技術の開発」のプロジェクトが、2005 年 (平成 16 年) までの期間 5 年間で大阪大学接合科学研究所が中心となりスタート。シミュレーションによるアーク溶接技術の高度化を目指した。具体的には、3 つのシミュレーション分科会：**溶接プロセス**、**金属組織**、**溶接変形**の各分科会が設置され、とくに TIG 溶接に関連する「**溶接プロセスシミュレーション分科会**」の当時の**構築予定のモデル**は以下の 3 モデルとなった*2), *3), *4)。

■ アークプラズマモデル ■ 対流モデル (溶融池) ■ 溶接プロセスモデル (熱伝導モデル)

6) 前項の国家プロジェクトの中間報告が溶接学誌の Vol.72 No.6 2003 9 月に掲載されている。筆者にとっては、内容的に把握することが難しい部分もあり、説明を省きますが、少なくともこのような国家プロジェクトが予算 2 0 億円で、関係機関の協同で推進されていることを知るにより、ティグ溶接をはじめ MAG/MIG 溶接のその後の大いなる進展が図られたものと推察でき、アーク溶接技術に携わる一人として大変嬉しい限りです。

7) 2005 年に上記プロジェクトが多大な実績と進化を挙げ終了、続いて大阪大学では 2006 年～2010 年に向かって「**ノベル・ジョイニング研究拠点**」*5), *6) が発足し、溶接現象および溶接性能を含めた**統合溶接シミュレーションモデルの開発**を目指し取り組みがなされた。

一方、2009 年には、「科学と技術の融合」を目指し、**溶接法研究委はアーク物理委員会と統合し、新しい溶接法研究委員会としてスタート**。溶接法研究委の主要な活動として特筆すべきはガイドブックの出版で、2013 年 3 月号の**特集記事***7), *8) より抜粋、引用します。

主なものは**ガイドブック 1**の「ナロウギャップ溶接 (1984 年) に始まり、**ガイドブック 2**「アーク溶接におけるセンシングと制御」(1990 年)、**ガイドブック 3**「アーク溶接の自動化」(1995 年)、**ガイドブック 4**「容器・配管溶接の最新技術」(1999 年)、**ガイドブック 5**「溶接プロセスの高効率化」(2003 年)、**ガイドブック 6**「溶接プロセスの高機能化にむけた新しい展開」(2008 年)まで、その時代を反映する、その当時に注目あるいは関心が高い技術を主題にしており、それを読むだけでも溶接技術の歴史を読み解くことができます。……そして今回の**ガイドブック 7**の主題は「**溶接プロセスの可視化・シミュレーション技術**」(2013 年)です。……

なお、筆者からみた「ティグ溶接技術に関する年度別動向に関するコメント」(**表 219-01**) および主要な「**年度別キーワードの抽出**」(**表 219-02**) を行ない各表に示しました。参考にしてください。

また、年度別抽出キーワードを**表 211-01** (1982-1994) と**表 219-02** (1995-2003) を比べてみてください。後者の方が、断然、**主要キーワード**が大幅に増加し、一目瞭然で**研究が推し進められたことが判別**できます。

次話では「**タングステン電極の適用と開発における歩み**」について振り返ってみることにします。

以上。

表219-01 溶接学会誌；日本における溶接の展望「ティグ溶接」にみる
「アーク物理」関係記事の年度別動向コメント（1995年度～2003年度）

年度	年度別の主な技術動向とコメント
1995	<ul style="list-style-type: none"> アーク特性、陽極現象、陰極現象に関し種々検討進む；紫外線放射測温度法提案さる ビード形成現象の解明進む TIG溶接の自動化；各種センシング技術の検討・開発 狭開先関連；ホットワイヤ方式電極揺動法など TIGロボットシステム
1996	<ul style="list-style-type: none"> 溶接プロセスにおけるセンシング，制御技術 CCDカメラ利用による自動化技術のまとめ→指向；高能率化，高速化など ワイヤワイヤ添加法に関連する報告のまとめ 新ニーズへの対応→SUS溶接焼け・ヒューム防止，微細加工技術への要求
1997	<ul style="list-style-type: none"> 溶接プロセスにおけるセンシング，制御技術→CCDカメラ画像解析，CCD視覚センサ，レーザーカメラ観察による，センサの組合せなど ワイヤワイヤ添加法に関連する報告のまとめ モデリングやシミュレーション プラズマ診断；アルミ合金上への表面改質ほか
1998	<ul style="list-style-type: none"> 溶接プロセスにおけるセンシング，制御技術；レーザー視覚システムなど モデリングやシミュレーション；SUS鋼の溶融池の数値計算 モデリングやシミュレーション；アーク・陽極境界層の一次元数値解析，パイプ溶接継手に生ずる残留応力制御の可能性が示唆
1999	<ul style="list-style-type: none"> GTA溶接現象の研究→陽極現象に係るもの多い 活性化フラックスのA-TIG溶接現象；陽極効果と溶融池対流現象の解明に拍車 全自動溶接システム；レーザースリット光センサ，CCDカメラ，赤外線カメラ等をセンサ 将来動向；アーク光の処理が今後重要なキー
2000	<ul style="list-style-type: none"> 溶融池の形成現象解析が非常に多い 溶込み深さを増大させる活性フラックスについての報告多数 レーザーとTIGアークのハイブリッド溶接法報告多い アルミのTIGとMIGの切り替え可能な装置によりスタート・クルータ部をTIG提案
2001	<ul style="list-style-type: none"> タンクステン陰極-アークプラズマ-溶融池（陽極）静止ティグ・モデル化 CCDカメラなどを用いる画像センシング実用化段階 高速・高能率ティグが多く，ティグとレーザーのハイブリッド法の研究も盛ん TIG溶接技能の解析とその応用に関する報告
2002	<ul style="list-style-type: none"> 溶融池内の対流の向きが4つの駆動力のバランスで決まり，かつ溶融池形状を支配。 ハイブリッド溶接法報告多数。 4つの駆動力とは；プラズマ気流による引きずり力，浮力，電磁力，マランゴリー対流
2003	<ul style="list-style-type: none"> 溶接現象/溶接プロセスのモデル化や解析進む；アークプラズマのモデル化など ビード蛇行；付着スラグが原因 溶接アークや溶融池の直接観察；高速度カメラやCCDカメラ 湯流れ解析；シミュレーション法が提案される

***** 参考文献 *****

- * 1) 溶接学会誌 Vol.70 No.1 2001 1月号 特集 新世紀を迎えて／溶接学会 75周年史 p143~148
- * 2) 溶接学会誌 Vol.70 No.2 2001 3月号 小特集 IT時代における溶接技術の確立 p42
国家プロジェクト「溶接技術の高度化による高効率・高信頼性溶接技術の開発」
溶接のシミュレーションに関する国家プロジェクト 野城 清 大阪大学接合研究所
プロジェクト委員長
- * 3) 溶接学会誌 Vol.70 No.2 2001 3月号 ①溶接プロセスのシミュレーションモデルの開発 p43~p47
黄地 尚義 大阪大学大学院
- * 4) 溶接学会誌 Vol.72 No.6 2003 9月号 特集；溶接技術の高度化による高効率・高信頼性溶接技術の開発
溶接プロセスのシミュレーションとそのソフト化 黄地 尚義 大阪大学 p14~17
- * 5) 溶接学会誌 Vol.76 No.1 2007 1月号特集；「ニッポンのものづくりを支える生産現場の知恵
-創意と工夫による溶接・接合技術の追求-」 p5
三田 常夫，才田 一幸，田中 学（編集委員会総合企画）
- * 6) 溶接学会誌 Vol.76 No.1 2007 1月号特集；同上 第1部 生産現場力の向上とニッポンのものづく
り発展への期待
溶接・接合科学を融合した新たなる生産現場の知の体系化に向けて
平田 好則 大阪大学大学院工学研究科 p13~16
- * 7) 溶接学会誌 Vol.82 No.2 2013 3月号特集「溶接プロセスの可視化・シミュレーション技術
-溶接法ガイドブック7より-」によせて 溶接法委 委員長 浅井 知 p9
- * 8) 溶接学会誌 同上，溶接プロセスにおける可視化・シミュレーション技術のアウトロク
平田 好則 大阪大学大学院工学研究科 p10~14

表219-02 溶接学会誌；日本における溶接の展望「ティグ溶接」にみる「アーク物理」関係記事の分類（1995年度～2003年度）

分類	アーク現象 ティグアーク	陰極 タングステン電極	アーク柱 アークプラズマ	陽極材 母材	溶融池 対流など
キーワード	①アーク現象 ②ティグアーク ③アーク物理 ④アーク放電 ⑤アーク圧力 ⑥静止ティグ ⑦移動ティグ ⑧アルミティグ ⑨再点弧特性 ⑩レーザー併用 ⑪電源の進歩 ⑫高集束ティグ ⑬交流周波数 ⑭宇宙関連 ⑮アーク光の処理 ⑯交流ティグ ⑰ホットワイヤティグ ⑱パルスティグ ⑲2ワイヤティグ ⑳高周波ティグ ㉑ハイブリッド溶接	①W電極 ②電極材質 ③電極形状 ④電極温度 ⑤アーク圧力 ⑥多電極化 ⑦中空W ⑧陰極モデル化 ⑨陰極点 ⑩電極消耗特性 ⑪電子温度 ⑫仕事関数 ⑬陰極放電機構	①アーク柱 ②プラズマ ③プラズマ温度 ④シールドガス ⑤Ar ⑥He ⑦Ar-He混合 ⑧極微量ガス ⑨プラズマ速度 ⑩温度場 ⑪流れ場 ⑫プラズマ診断 ⑬レーザー分光計測 ⑭電子密度 ⑮パルス状アシストガス ⑯電子温度 ⑰粒子温度 ⑱メタルプラズマ ⑲ヘリウムプラズマ ⑳アルゴンプラズマ ㉑Ar-H2 ㉒Ar-O2	①母材（入熱） ②陽極（現象） ③入熱制御 ④熱伝導 ⑤熱輸送 ⑥熱伝導モデル ⑦陽極金属の蒸発 ⑧陽極降下電圧 ⑨紫外線放射测温 ⑩赤外線放射测温 ⑪ビード形成現象 ⑫組成成分の影響 ⑬裏ビードの形成 ⑬SUStiグ溶接 ⑮微量元素の影響 ⑯溶接焼け防止 ⑰陽極域のプラズマ ⑱陽極部輝度分布 ⑲レーザー超音波 ⑳残留応力 ㉑裏波溶接 ㉒ビード蛇行	①溶融池（形成）現象 ②対流現象 ③微量元素O,Sなど ④溶け込み ⑤その他（溶加材） ⑥溶融池温度-赤紫外線 ⑦電磁力（アーク圧力） ⑧溶融池形状モデル ⑨表面活性元素（量） ⑩蒸発・イオン化 ⑪溶融池振動（数） ⑫高速TIG溶接 ⑬狭開先溶接 ⑭レーザー視覚システム ⑮活性化フラックス・塗布法 ⑯A-TIG ⑰A-TIG用内包溶加材 ⑱表面張力 ⑲高速二色計測法 ⑳溶接現象のモデル化 ㉑三次元振動モデル ㉒湯流れ解析 📷カメラによる観察
1995	⑨ ⑩ ⑧	④ ⑩ ② ③	⑦ ⑲ ② ⑪ ④	② ③ ⑥ ⑧ ② ⑨ ⑩ ⑪ ③	① ③ ⑤ ⑨ ⑩ ⑧ ⑪
1996	⑩ ⑨	⑧ ⑨ ⑧	② ⑫ ③ ⑫ ⑬	② ⑫ ⑬ ⑭ ⑧	① ⑧ ⑪ 📷 ⑫ ⑤
1997	⑪ ⑧ ⑩ ⑩ ⑩	② ②	⑥ ⑲ ③ ⑫	② ⑤ ⑮ ②	① ⑥ ⑧ ④
1998	⑫ ⑬ ③ ⑩ ⑩	⑥	④ ⑤ ⑦ ⑲	⑮	⑬ 📷 ④ ⑭ ⑮ ⑬
1999	⑥ ⑤ ⑩ ⑤ ⑭ ⑩ ⑩ ⑮		② ③ ⑭ ⑥ ⑤ ④ ⑮	⑧ ⑰ ⑱ ⑭ ⑫ ② ⑬ ⑲	⑯ ② ① ⑮ ⑰ ② ⑯ 📷 ⑥ ⑧ ④ 📷 ⑪
2000	⑯ ⑭ ⑭ ⑰ ⑱ ⑩ ⑩ ⑩ ⑲ ⑰ ⑯ ⑳		⑥ ② ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑫ ⑯ ⑮ ④	④ ⑥ ⑳ ②	① ⑥ ② ⑧ ⑱ ⑱ ③ ⑮ ⑱ ⑰ ⑬ 📷
2001	② ⑥ ⑥ ⑭ ⑭ ⑰ ⑩ ⑩	① ④ ③ ⑪ ⑥	③ ② ④ ⑥	② ⑲	① ② ⑯ ⑱ ⑥ ⑲ ⑪ ⑬ ⑫ ⑫ ⑮ ④
2002	① ⑩ ⑦ ⑰ ① ⑭ ⑲ ⑩	② ⑥	② ⑤ ⑥ ② ② ⑳	② ① ⑤ ⑤	① ⑳ ② ⑮ ⑯ ③ ② ⑫ ⑯ 📷 ⑥ ⑱
2003	① ⑲ ⑭ ⑥ ⑰ ⑪ ⑭ ⑲	⑫ ⑬ ⑥	② ⑥ ⑳	④ ⑤ ⑳	⑳ ② 📷 ⑯ ① ⑲ ⑪ ⑧ ⑱ ⑫ ⑯ ⑳