

=ティグ溶接に関する「アークの物理」(2) =

3) アークの構成と電圧分布

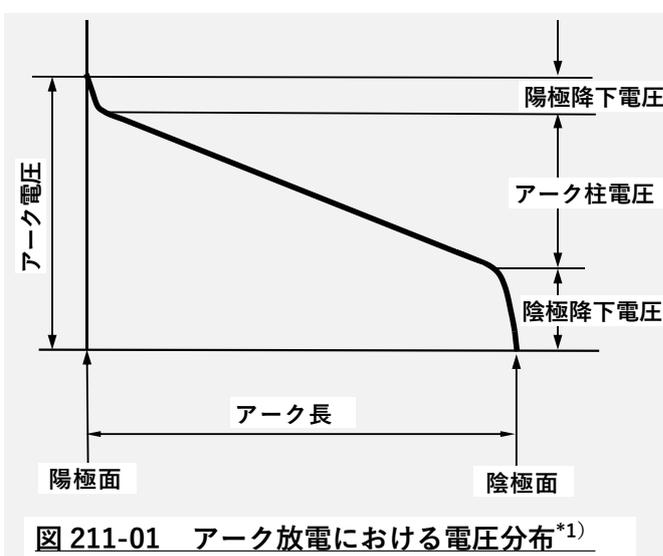
前話でも触れたように、ティグアークは三つの電圧領域に大別される。

すなわち陰極降下領域（陰極降下電圧）－アークプラズマ（アーク柱電圧）－陽極降下領域（陽極降下電圧）です。これらの各領域がアークを維持し、安定的に発生し続けることが求められます。そのために、それぞれがどのような機能を果たしているか、基本的に把握することが極めて大切です。

図 211-01 をご覧ください。アーク放電における電圧分布を模式的に示しています。

陰極および陽極の各前面には、イオンによる正の空間電荷と電子による負の空間電荷のために電圧降下が生じる。これらの領域の厚さはかなり薄く (0.5mm 未満)、アーク長によってほとんど変化しないとされている。

ただし、これらのごく薄く、かつ急激な温度勾配を有する「陰極とアークプラズマ」および「アークプラズマと陽極 (母材)」の各境界領域の理論説明は必須であるとのコメントもみられる。



アーク柱電圧は高温のプラズマを維持するための加熱エネルギーであり、おおまかには雰囲気への熱伝達や放射損失とバランスするように電圧が定まり、アーク長や電流によって変化する。

アーク電圧を V_a とするとこれらの 3 つの降下電圧の和として計測され、次式で表される。

$$V_a = V_c + V_p + V_A$$

ここで、 V_c : 陰極降下電圧、 V_p : アーク柱電圧、 V_A : 陽極降下電圧である。

また、アーク長は陰極－陽極の電極間距離であり、長くすれば V_p が大きくなり、短くすれば V_p が小さくなる関係にあり、結果としてアーク電圧はアーク長に比例し、かつ電極間距離にも比例する。

アーク放電の場合、陰極降下電圧 V_c は 10V 程度とされている。一方、陽極降下電圧 V_A については母材その他の条件により値に変化があり、一定ではありません。

一方、プラズマガスを構成するシールドガスは、種類によってアーク柱電圧 V_p の値、ひいては V_a に大きな影響を及ぼします。

因みに、アルゴンガスの場合はヘリウムガスに比べて電離電圧が低いので V_a も、例えば溶接電流 100A 時、アーク電圧は純アルゴンで約 14V に対し、純ヘリウムでは約 23V になるなど大きな違いが生じます。このことは同一電流でも溶接入熱量を大きく変化させたい場合には、大いに適用したい事実です。

4) アークの構成とプラズマ

さて、プラズマとは、どのように説明がなされているのでしょうか。教本^{*2)}などには、以下の説明がなされている。少々簡略化して記します。

- ① プラズマとは、陰極と母材（陽極）の間に生じる高温気体であるアークにおいて、その気体の一部が電離して、陽イオンと自由電子を含んだもの。
- ② プラズマとは、固体、液体、気体に続く第4の物質の状態を呼ぶもので、気体状態では示さない**高導電特性が特徴**。基本的には中性気体粒子が高いエネルギーレベルになると**自由電子とイオン粒子**となる。
- ③ プラズマは、陽イオン粒子と自由電子が同じ電荷密度で存在する電気的中性の状態。

この**自由電子のふるまいがプラズマの高導電特性をもたらす**。

自由電子は陽イオンに比べて非常に軽いため、熱速度は速く、電流のほとんどは自由電子の移動による流れになる。

- ④ **アークプラズマ**は5,000~50,000 (K), $10^{22} \sim 10^{24} \text{ (m}^{-3}\text{)}$ にわたる**高温高密度**。アークの中の温度は、電極直下で数万度にもなり、明るく光った領域は大体5000度以上の高温。
- ⑤ 高温のアークの中では、陰極側から陽極側に向かって、**プラズマ気流**と呼ばれる高速のガス気流が流れる。電流のほとんどは陽極側から陰極側に移動する電子により形成され、陰極側から陽極側へ移行する陽イオンの寄与は少ない。

以上のように、プラズマ、とくにティグアークにおけるアークプラズマ中の自由電子が電子流を作るとともに、イオン流も陰極に向かって流れ衝突することにより熱電子を放出させ、かつ発生した陰極前面の空間電位を高め、その高電界によって電子を放出させる。

図 211-02 にアーク放電における電流成分（概念図）を示す。

この概念図をみると電流の流れがほぼ電子流のみで、イオン流は側面的に熱電子を増産するために働いていることがよく理解できます。

また、プラズマ中において電離などの作用で作られたイオンがイオン流となって陰極に衝突し、熱電子を放出する。その放出エネルギーにより陰極であるタングステン電極を冷やすという働きは何とも素晴らしい道理であると感じます。

因みに、1982年~1994年にかけて**溶接学誌の日本における溶接の展望**；「ティグ溶接」欄における**主要なキーワードを探索**してみました。結果を**表 211-01** に示します。

ティグ溶接の関係で1990年前後の大きな潮流はタングステン電極への研究・開発に大きな力が注がれ、1990年には電極関連のJIS規格改正に至りました。一方、「プラズマ」への追求は電極と比較しても劣らず、年を経るに従って「**アークプラズマ**」に関する**究明が増加の傾向**です。

GTA溶接を、アーク現象をアーク物理的立場から究明し、電極からアークプラズマ、母材さらには溶融池・溶け込み形成への一連の流れを作り、進化する計測機器を積極的に適用する中で進められています。

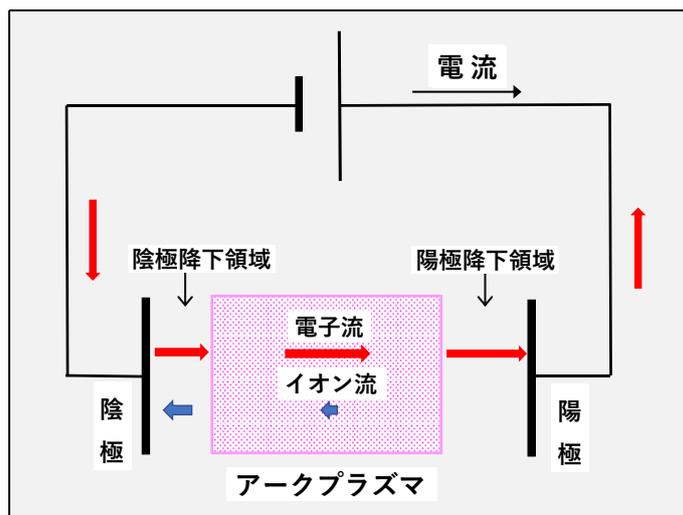


図 211-02 アーク放電の電流成分（概念図）^{*3)}

表211-01 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」関係記事の分類 (1982年度～1994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 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	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	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	①母材(入熱) ②陽極(現象) ③熱伝導 ④熱輸送 ⑤入熱制御	①溶融池現象 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) 📷カメラによる観察 ⑥溶融池温度-赤外線 ⑦電磁力(アーク圧力) ⑧溶融池形状モデル
1982					① ④
1983	②	① ⑦	④		① ②
1984	① ⑤	① ②			
1985	①	① ⑤	⑥	⑤	① ② 📷
1986		① ① ③ ⑤ ⑥	④		① ③
1987		① ① ② ③	④	① ④ ⑤	① ② ④ ⑤
1988	① ② ③ ④	① ②	② ③ ⑦	③ ⑤	① ② ③ ⑥
1989	① ④ ⑤	②	② ③ ⑤ ⑥ ①	② ⑤	① ① ② ③ ⑦
1990	① ② ② ② ④	①	⑤ ⑥ ⑦ ⑤ ⑥ ⑦	① ②	
1991	① ⑧	① ④ ② ③ ⑦	⑦		①
1992	① ⑥ ⑦	① ② ⑥	② ③ ⑦ ⑤ ⑥		① ④ ⑥
1993	② ⑥ ⑧	⑧ ⑨ ⑦	② ⑧	②	① ⑤ ⑥
1994	② ⑥	②	② ③ ③ ⑨ ⑥ ⑩	② ② ② ④ ④	① ① ② ④ ⑧ ⑤ ⑥

次話では引き続きティグ溶接に関する「アークの物理」(3)として「プラズマ気流と温度場・流れ場」について説明します。

以上。

 *1) および *3); 「溶接プロセスの物理」P36-37 (一社)溶接学会 溶接アーク物理研究委員会
 *2) ;「溶接プロセスの物理」P1~ 同上