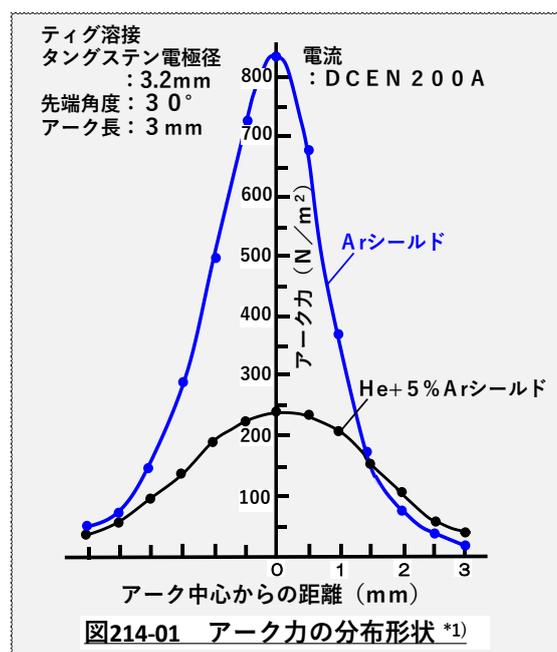


=ティグ溶接に関する「アークの物理」(5) =

ティグアークの課題のなかには、溶け込みが浅い、アークの集中性が悪いなどの問題点があります。溶接アークの周辺にはアークの集中性を阻害する要因となる油脂分などによるヒュームの生成および溶接電流そのものが作る磁界の悪影響など多く存在します。これらの外乱に抗して、アーク性状を強くすることが求められます。

プラズマ気流生成のなかで、アーク圧力が作り出されることは既に図212-03にみてきました。さらに図214-01にアーク力の分布形状の一例を引用します\*1)。これらのアーク力によって作り出された動圧によって溶融池は凹みます。ただし図は棒マイナス(DCEN)としていますが棒プラス(DCEP)の場合も同様としている。なお、溶融池の受ける動圧は図に見るようにシールドガスの種類・組成によって変化するし、極性によっても異なってくる。なお、ヘリウムアークのアーク圧力が小さいことは実験的によく知られていることです\*2)。

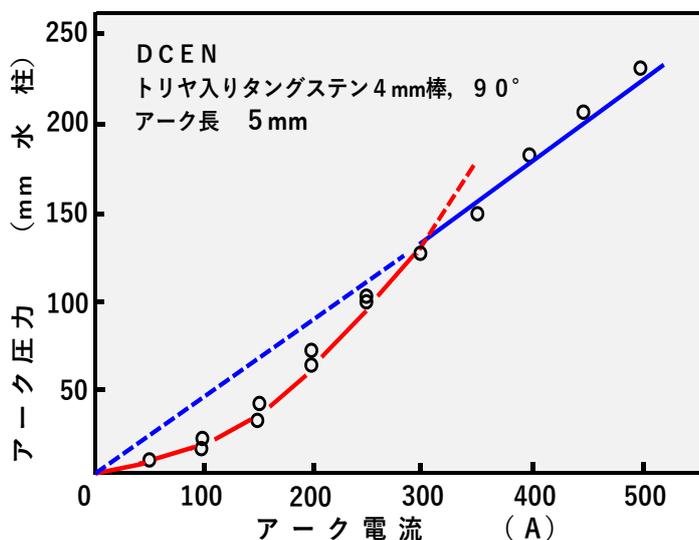
本話では、はじめにプラズマにおよぼす「電流」の影響をみることにします。



7) アークプラズマ (アーク圧力) におよぼす「電流」の影響

前話では「アーク圧力は電極先端部での電流と電流密度に強く依存する」という考えが示されました。これは電極形状のアーク圧力への影響をみる場合の考えですが、アーク中心部、いわゆるアークプラズマ中心部のアーク圧力への影響をみたものが

図214-02のアーク圧力と電流の関係です。電極の径や形状にもよるが、電流が200A程度よりも低い領域では、「アーク圧力は電流値の自乗に比例して高くなる」ことが示されている。一方、200Aを超えると圧力は直線的に増大する特徴がある。小電流域では陰極部の通電領域がほぼ一定で、電流の増加とともに電流密度も増大することを意味している。また、大電流側では電流の増加とともに電流密度がほぼ一定で、陰極部の通電領域が広がっていくことが推察される。



以上、小電流および大電流の夫々のアーク力への影響をみましたが、次にパルス電流におけるアーク圧力の追従性について調査された一例を引用します。

アーク圧力の時間的応答性が十分であれば図 214-02 に示す各実線上を、電流変化にしたがって圧力も変化するはずである。

図 214-03 は、周波数 100Hz の矩形波電流と正弦波電流を適用したときのアーク圧力波形を示している。アーク圧力はいずれの電流波形にもよく追従して変動しており、ティグパルス溶接では、アーク熱とともにアーク力が繰り返し変化している。

パルスティグ溶接を適用する際にはこれらの電流と動圧の追従、変化に着目し、利用することが求められます。

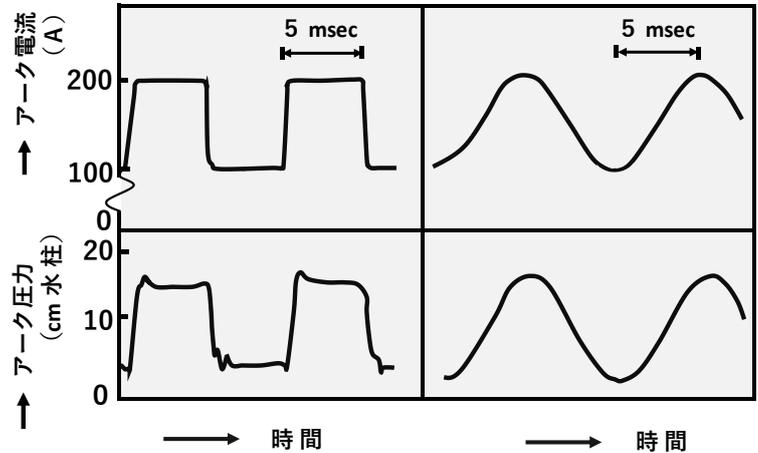


図214-03 パルスティグアークにおける溶接電流とアーク圧力の関係\*4)

## 8) アークプラズマ（アーク圧力）におよぼす「シールドガス」の影響

ティグ溶接で通常用いられるシールドガスは何と言ってもアルゴンガスです。適用される理由は不活性ガスとして安定して溶接ができ、価格がヘリウムに比べ安いことです。詳しくは知りませんが、LNGなどの安価な冷熱エネルギーを適用し空気から分離、製造できるアルゴンガスになったことがその要因と推定します。しかし、最近では高価なヘリウムも要所では使用されるようになってきているようです。

ティグアークのアークプラズマにおける挙動を理解するためにはアルゴンとともにヘリウムについて詳しくそれらの特性を理解することが求められるようです。

一方、アークを集中させたい、溶接速度をアップしたいなどの理由でアルゴンに添加される水素 ( $H_2$ ) についてもアークプラズマのなかでの振る舞いを把握する必要があります。

これらのシールドガスに関する考え方とその背景について、1990年代半ばに編集された教本「溶接プロセスの物理」より抜粋した内容を以下に記します。ここでは、アルゴンにHeや $H_2$ などを混合した場合の温度計測結果が述べられているが、従来から知られている熱的ピンチ効果での理解と異なる結果であるなどの見解が示されている。

### 8)-1 教本「溶接プロセスの物理 p60~66」より抜粋した内容

標題：GTA プラズマの状態に及ぼす雰囲気ガスの影響（要点のみ抜粋）

#### ① Ar-He 混合ガスアークにおけるアーク電圧-アーク長特性（図 214-04 参照）

- Ar-He の混合ガスにおいて、アルゴンアークにヘリウムを混合するに伴いアーク電圧は増大する。
- Ar-He の混合ガスにおいて、純He 雰囲気近づくとアーク電圧が急増する特徴を呈する。  
これは Penning 効果として知られているもので、電離電圧の低いガスが選択的に電離する。
- He を Ar に混合すると電極近傍領域において電位が増大したものと判断できる。

② Ar-H<sub>2</sub> 混合ガスアークにおけるアーク電圧-アーク長特性 (図 214-05 参照)

- H<sub>2</sub>の電離電圧はArよりも若干低い。
- H<sub>2</sub>の混合に伴い, He 混合時と同様, アーク電圧は急増する。
- 電位傾度は, He 混合の場合と比較すると, H<sub>2</sub>の微量混合によって明らかに増大する。

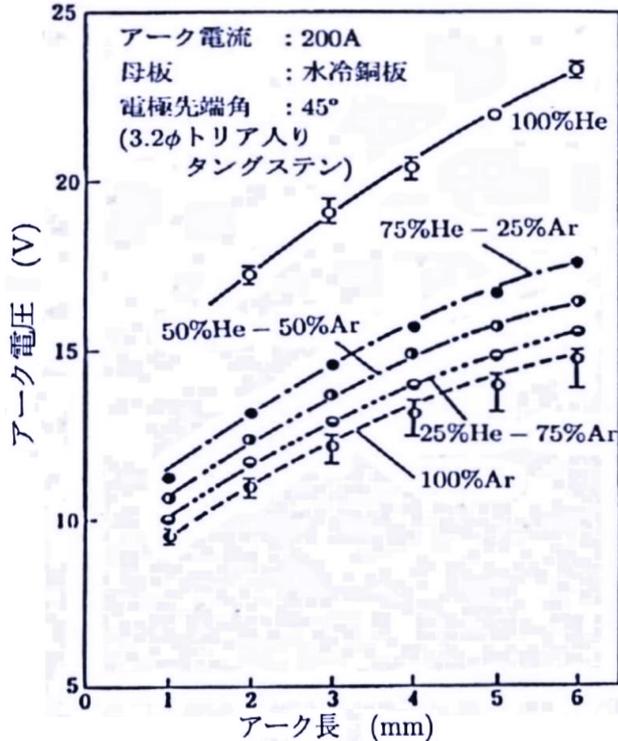


図214-04 Ar-He 混合ガスアーク  
におけるアーク電圧-アーク長特性

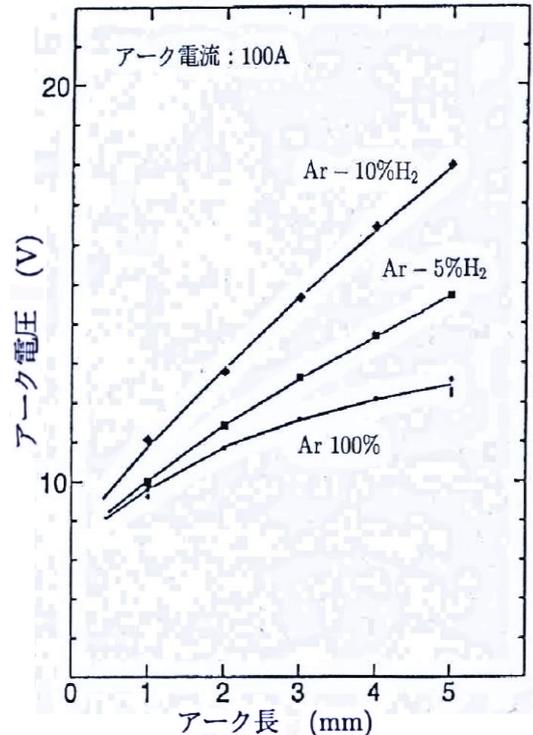


図214-05 Ar-H<sub>2</sub> 混合ガスアーク  
におけるアーク電圧-アーク長特性

なお, 私見ですがこれらの混合ガスによる純アルゴンに比べ高い電圧をとるという事実は, 溶接施工時に大変役に立ちます。入熱不足を補う場合にこれらのアーク電圧高を大いに利用すべきと考えます。

③ 異種ガスを混合した場合の温度計測について

<考え方>

- Ar に比べて He や H<sub>2</sub> は熱伝導率が高い。
- アークプラズマは, 熱伝導によるエネルギー損失を最小限にするように, プラズマの表面積を少なくなる緊縮した形状に変化しようとする。この結果アーク柱での電流密度が増大し, プラズマ温度はより高温化するとされている。これが**熱的ピンチ効果**と呼ばれる現象である。
- 実際, アルゴンアークにヘリウムや水素を混合した場合のアークプラズマを観察すると, アークは緊縮したように見える。

<Key らの測定結果など>

- Ar-He 混合ガスアークにおける温度分布は, アーク周辺部よりも中心軸部の方が低くなる傾向を示しており, **不自然な結果**である。

他の Ar-He 混合ガスアークの温度分布測定においても, 中心部の温度はアルゴンアークより混合ガス条件の場合に著しく低下している。

<矛盾を生じない温度分布解の提案>

- 提案の要旨は「プラズマ中の混合ガスの組成は、雰囲気混合ガス組成とは異なり、He やH<sub>2</sub>が陰極近傍のアーク中心軸部で濃縮する」としている。
  - この結果、H<sub>2</sub>混合時ではアークは緊縮した結果になるが、温度はアルゴンアークより低下する。
  - またHe混合時には、アーク寸法はほとんど変化せず、温度もアルゴンアークとほとんど同等である。
  - これらは、従来までの混合ガスアーク現象での熱的ピンチ効果での理解と異なる結果を示している。
- 以上のシールドガスの影響についてまとめた概要を表 213-01 より抜粋して以下に示す。

シールドガスの影響を受ける	Ar	* 100% Ar	中心軸部温度18,000K (100A)
	Ar-He	* 75% Ar-25% He	中心軸部温度17,600K (100A)
	Ar-H <sub>2</sub>	* 90% Ar-10%H <sub>2</sub>	中心軸部温度15,000K (100A)
	Ar-He	* 75% Ar-25% He	中心軸部濃度44% (100A)
	Ar-H <sub>2</sub>	* 90% Ar-10%H <sub>2</sub>	中心軸部濃度30% (100A)

④ むすび

雰囲気ガス組成が僅かに変化するだけで、プラズマの状態は大きく変化するし、これによってアークの諸現象（たとえばアーク圧力も変化する）に顕著な影響が現れる。

しかし、雰囲気ガスがアークプラズマに及ぼす影響についての定量的かつ系統的な理解は、十分になされていない。これは、アーク放電プラズマでの最も基本的な電流経路が明確になっていないためである。

この議論を深めるためには、溶接現象の原点である陰極や陽極とプラズマの境界領域の理論的解明が必須である、と述べられている。

なお、これ以降鋭意研究され2000年代半ばから公表され、アークプラズマをはじめとしたアーク現象に関する新たな見解が溶接学会誌掲載の資料\*5)、\*6)などに見られます。追って、後話にて「・・・これが熱的ピンチ効果の本質である。」などの記述を示して説明します。

次話では「プラズマアーク溶接とその思い出」と題して1970年代前半を振り返り、アルゴンアークとの違いについてアークの面白さを味わった小電流域のプラズマ溶接について記述します。

以上。

\*\*\*\*\*

\*1) 「アーク溶接の世界」パートII (II-8より抜粋) (1996年11月技術委員長 埼玉大学 大嶋健司教授)

日本溶接協会 電気溶接部会編

\*2) 平岡, 岡田, 稲垣; TIGアークにおけるHeガスのアーク特性におよぼす影響, 溶接学会論文集, 3(1985) pp.241-246

\*3), \*4); 「溶接プロセスの物理」溶接学会 溶接アーク物理研究委員会 P49-50

\*5) 田中: アーク及びティグ溶接, 溶接学会誌2 (2008), p50-59

\*6) 田中: 溶接アーク物理, 溶接学会誌8 (2018), p9-28