

Title	ガスタングステンアークプラズマの陽極熱輸送に関する研究
Author(s)	田中, 学
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3169565">https://doi.org/10.11501/3169565</a>
DOI	10.11501/3169565
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	田 中 <small>なか</small> まなぶ <small>まなぶ</small> 学
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 5 0 4 8 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 1 2 年 1 月 3 1 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 名	ガスタングステンアークプラズマの陽極熱輸送に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 牛 尾 誠 夫 (副査) 教 授 後 藤 誠 一 教 授 松 縄 朗 教 授 豊 田 政 男 教 授 黄 地 尚 義

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、大気圧ガスタングステンアークにおけるアークプラズマと陽極との境界領域の温度分布、電子密度分布、陽極降下電圧のもととなる空間電位分布などのプラズマ状態に着目し、そのプラズマ状態とアークプラズマから陽極への熱輸送現象との関わりについて論じたものであり、全体を7章で構成している。

第1章は緒論であり、本研究の背景と目的、ならびに本研究に関する研究の現状と問題点および研究遂行の方針を述べている。

第2章では、ラングミュアプローブ法、および発光分光法を用いて大気圧アルゴンGTA(ガスタングステンアーク)プラズマの陽極領域をプラズマ診断している。プローブ法によって測定される空間電位をもとに、正と負の陽極降下とそれぞれの陽極降下があらわれるGTAの放電条件を分類している。そして、発光分光法によって得られるLTE(局所熱平衡)温度、およびプローブ法によって得られる電子温度を比較検討し、正と負の陽極降下それぞれの場合における陽極領域のプラズマ状態を推察している。

第3章では、レーザ散乱法を用いて第2章と同じ条件のアルゴンGTAプラズマの陽極領域をプラズマ診断し、陽極領域における重粒子温度分布を測定している。本章で得られた重粒子温度分布と第2章で得られた電子温度分布と比較検討することにより、正と負の陽極降下それぞれの場合における陽極領域のプラズマ状態を明らかにしている。

第4章では、視点を陽極領域からアーク柱領域に移し、レーザ散乱法を用いてアーク柱領域における電子温度、および重粒子温度を測定することにより、正と負の陽極降下それぞれの場合におけるアーク柱領域のプラズマ状態を明らかにしている。

第5章では、第4章の実験結果から得られたアーク柱と陽極領域の境界条件を使って陽極領域の数値解析モデルを構築している。さらに、本モデルの計算結果をもとに、第2章および第3章で得られた正と負の陽極降下を分ける支配因子を理論的に考察している。

第6章では、第2章から第5章までに得られた実験的および理論的な成果をもとに、アーク柱領域から陽極領域にわたるプラズマ状態を系統的に検討し、そのプラズマ状態がいかなる条件のもとに形成されるのかを考察している。

さらに、陽極領域のプラズマ状態とアークプラズマから陽極への熱輸送現象との関わりを明らかにしている。

第7章は総括であり、本研究で得られた結果について総括している。

## 論文審査の結果の要旨

アーク放電を溶接などの材料プロセスに応用した場合、そのプロセス下における材料はそれ自身がアーク放電の電極として機能することになる場合がほとんどである。電極やその近傍の現象がアーク放電という放電の形成現象やその安定性に基本的な役割を演じることから、アーク放電を利用した材料プロセスにおける電極現象の理解は、そのプロセスを良く制御する上で極めて重要である。

本論文では、レーザ計測法などの種々の実験計測によるプラズマ診断と簡単な数値解析を行うことにより、アーク柱から陽極領域にわたるプラズマ状態、ならびにその陽極熱輸送現象との関わりについて、いくつかの新しい知見を得ている。本論文の成果を要約すると次の通りである。

(1) ラングミュアプローブ法を用いて大気圧アルゴン GTA プラズマの陽極領域をプラズマ診断し、測定された空間電位をもとに、低電流アーク (50 A) において正の陽極降下、高電流アーク (150 A) において負の陽極降下があらわれることを明らかにしている。さらに、レーザ散乱法を用いて同じ領域をプラズマ診断し、測定された重粒子温度分布とラングミュアプローブ法によって得られた電子温度分布を比較検討することにより、低電流アークでは陽極近傍が LTE 状態から大きく離れた状態にあり、一方、高電流アークでは陽極近傍が LTE 状態に近い状態であることを明らかにしている。

(2) レーザ散乱法を用いてアーク柱領域における電子温度、および重粒子温度を測定することにより、低電流アークおよび高電流アークともに、電子温度が重粒子温度に比べて最大で約 6000 K 高く、アーク柱中心部において LTE 状態からのずれが存在することを明らかにしている。さらに、簡単な温度緩和時間モデルによって、このずれがプラズマ気流に起因するアルゴンガスの移動速度と平衡反応速度のバランスに強く関係づけられることを示している。

(3) 陽極領域の数値解析モデルを構築し、正と負の陽極降下を分ける支配因子を理論的に考察した結果、陽極領域における電子密度とその勾配が陽極方向への電子流束に対して非常に重要な影響を有しており、そして、それらが陽極降下の大きさや正/負の符号を決定づけていることを明らかにしている。

(4) ガスの種類、陰極の材質や形状、アーク電流値を選定すれば陰極領域で誘起されるプラズマ気流の流速とアークプラズマ内の電子密度分布が決定され、それに連動して陰極の周囲からアーク内に導かれる原子 (または分子) の移動速度と平衡反応速度のバランスが決定されるが、このバランスがアークプラズマの状態を支配し、LTE から離れた状態、LTE に近い状態、低温プラズマ状態などのプラズマ状態が形成され、そして、陽極領域におけるプラズマ状態がそれらのどの状態に相当するかによって電子密度とその勾配が定まり、陽極降下の大きさと正/負の向きが決定されることを示している。

(5) 陽極領域のプラズマ状態が正の陽極降下を示す低温プラズマ状態である場合、陽極熱輸送は電子によって支配され、逆に、負の陽極降下を示す LTE 状態に近い状態である場合、陽極熱輸送は高温の重粒子 (ガス) による熱伝導の割合が大きくなることを明らかにし、低電流アークの場合の電子運動エネルギー型から高電流アークの場合の熱伝導型へと、陽極熱輸送の様相がアーク電流によって大きく変化することを明らかにしている。

以上のように、本論文は、レーザ計測法などの種々の実験計測によるプラズマ診断と数値解析を行うことにより、アーク柱から陽極領域にわたるプラズマ状態、ならびにその陽極熱輸送現象との関わりについて新しい知見を得ている。本研究で得られた成果は、アークプラズマを利用した材料プロセスにおける電極現象の解明のための指針を与え、そのプロセスの今後の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。