

# ラングミュアプローブ法を用いた 擬似火星大気中における交流GTAの計測

正箱 信一郎

香川高等専門学校 機械電子工学科

## 1 はじめに

各国で火星有人探査の基礎研究が進められている。火星は地球と比べて低圧で、気圧が600~1000 Paに変動することなどから、構造物の気密性を保つためには構造物材料間を密閉する溶接技術が必要と考えている。これまでに真空チャンバ内に擬似的に再現した火星大気中でアルミニウム合金を対象とした交流GTAによる溶接実験や計測を行っているが<sup>1)~3)</sup>、アークの放電現象の詳細は明らかになっていない。図1, 2に、地球大気中のアーク放電との比較、擬似火星大気中の交流アークの様子を示す。擬似火星大気中では低圧であることから地球大気中と比べて輝度が低く広がった形状となる。交流の場合、電極プラスではアークが広範囲に広がり、形状を明確に確認できない。本研究では、擬似火星大気中での交流GTAに対して、アーク放電の指標の一つである電子密度の、ラングミュアプローブ法での計測を試みた。

## 2 研究方法

火星大気は地球大気の約1/100の大気圧かつ95%以上がCO<sub>2</sub>であるため、真空チャンバを減圧し工業用CO<sub>2</sub>ガスを5L/minで導入して圧力を火星大気圧力に保つこ

とで火星大気を擬似した。チャンバ内に設置したトーチからは少量(1.4 L/min)のArガスをシールドガスとして流出させた。真空チャンバの概略図を図3に示す。交流アークは、周波数100 Hz、電流100 A、アーク長3 mmとした。

ラングミュアプローブ法による電子密度計測については、図4に示す実験装置を真空チャンバ内外に組み込んで行った。アース側には、アーク発生時の高周波ノイズが計測機器に影響を及ぼすことを避けるためフェライト

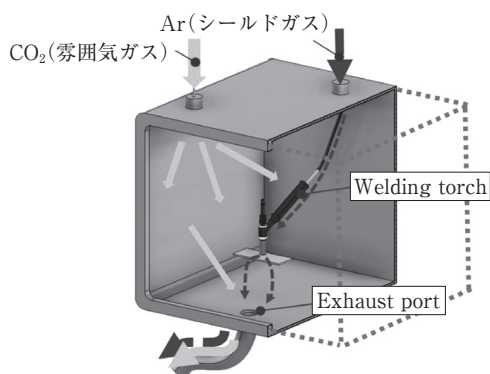


図3 真空チャンバ

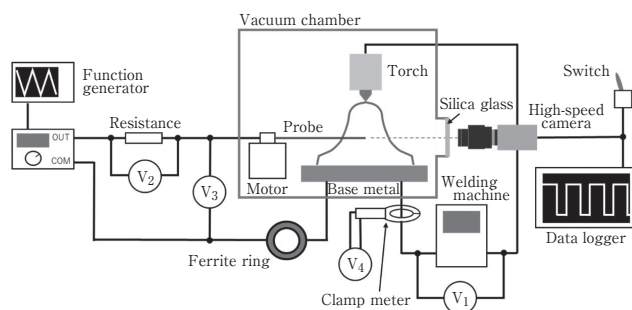


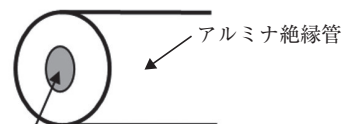
図4 計測システム



(a) 地球大気 (b) 擬似火星大気 (1000 Pa)  
図1 アーク外觀の比較 (直流GTA)



(a) 電極マイナス (EN) (b) 電極プラス (EP)  
図2 擬似火星大気中の交流GTA (1000 Pa)



タングステン線  
図5 プローブ先端形状

リングを設置した。プローブには直径0.25mmと0.02mmの二種類のタングステン線を用いた。図5にプローブ先端の形状を示す。

プローブ計測は図5に示すタングステン線の端面で測定する方式とした。電子密度の高い領域ほど測定面が小さい方が適しており、今回の実験では $10^{12} \sim 10^{15} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ 程度の電子密度計測が可能となるようにタングステン線の直径を選定した。プローブ側面からの電子の流入を防ぐためにタングステン側面にセロファンを貼り付けて絶縁し、その上からアルミナ絶縁管を被せてプローブを作製した。三角波を印加したプローブをモータにより回転させて交流GTAに挿入することで、プローブ電流曲線を取得し、プローブ電圧の半周期毎に電子密度を算出した。プローブの挿入位置は電極先端と母材の中間付近とし、算出した電子密度をグラフにプロットして分布化した。

### 3 主な研究成果

図6, 7に1000 Paおよび900 Pa擬似火星大気中における交流GTAの電子密度計測結果を示す。周囲圧力が100 Pa変化するだけで、電子密度分布も変化することがわかる。また、いずれの圧力下であっても、交流アークであるために電極に陰極点が出現するENではアーク軸付近に電子密度が集中し、陰極点が母材表面に広く分布するEPの場合は広く拡散することが確認できた。

両圧力のENの場合を比較すると、1000 Paに比べて900 Paの方がアーク軸付近に密度が寄り、電子密度は

低い傾向を示した。周囲圧力の低下によりアークが拡散したことで、高電子密度域が狭くなったと予想される。

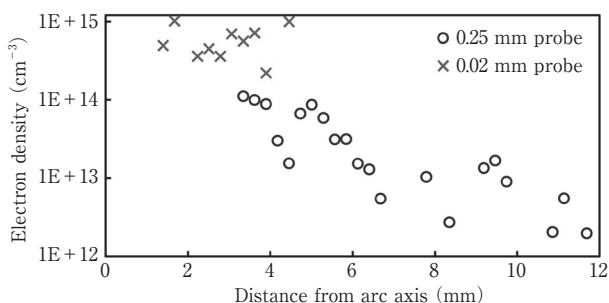
EPの場合に注目すると、EPはENに比べて安定性が低いため、電子密度のバラつきが大きい。計測結果も毎回異なり、電子密度の分布がその時々で大きく異なっていた。電子密度の高い領域は、ENの場合と同様に1000 Paの方が広く分布していた。今回の計測では下限を $10^{12} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ 程度として直径0.25mmのタングステン線を用いたため図のような結果になったが、どちらの極性の場合も実際には図より広い範囲に低密度のアークが分布し、低圧側の方が分布範囲は広いと予想される。

### 4 おわりに

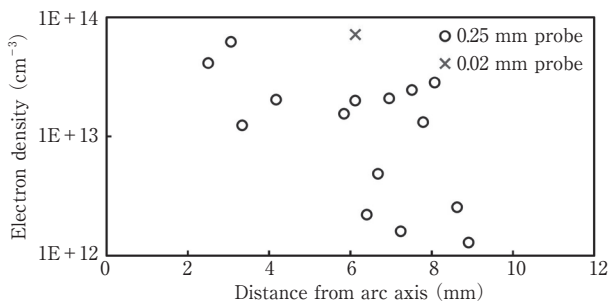
本研究では、擬似火星大気中での交流GTAに対して、アーク放電の指標の一つである電子密度の、ラングミュアプローブ法での計測を試みた。計測システムの構築から実際の計測までが可能であることがわかり、周囲圧力の変化に対する電子密度分布の特徴を確認できた。交流GTAの計測については地球大気中での計測も難しく、本手法の精度を高めることができれば有効な計測手段になる可能性もある。まだまだ計測手法の改善の余地はあるため、今後も継続して研究を行う。

#### 参考文献

- 1) 正箱ら, 溶接学会論文集, 39-3(2021), 151-15
- 2) K. Aoyama et al., 溶接学会論文集, 41-2(2023), 45s-48s
- 3) 正箱ら, 溶接学会誌, 93-4 (2024), 243-245

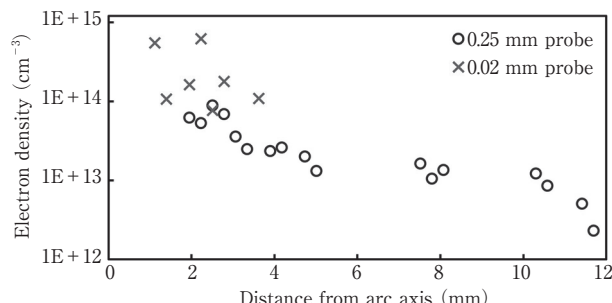


(a) 電極マイナス (EN)

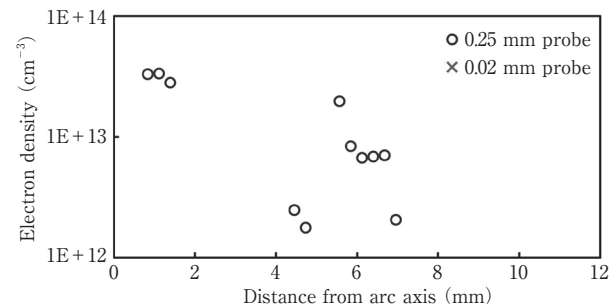


(b) 電極プラス (EP)

図6 擬似火星大気1000 Paにおける交流GTAの電子密度分布



(a) 電極マイナス (EN)



(b) 電極プラス (EP)

図7 擬似火星大気900 Paにおける交流GTAの電子密度分布