

## MPS 粒子法を用いた真空アークの数値解析

## -簡易陰極シースモデルの考慮-

畑中 佑斗・香水 大亮・田中 康規・中野 裕介・石島 達夫 (金沢大学)  
浅沼 岳・恩地 俊行 (富士電機株式会社)

## 1 はじめに

真空遮断器の電流遮断性能の向上のためには、導電性に影響する金属蒸気の分布や電離・励起状態といった真空アークの挙動の把握が重要である。本研究では真空アーク中の重粒子、電子の挙動をそれぞれ MPS 粒子法、有限体積法で計算するハイブリッドな新しい数値解析モデルを構築し、さらに実験結果との整合性がとれるように改良を試みている。これまでの真空アーク基礎実験では、陰極点近傍で陰極金属からの Cu 原子スペクトル放射強度が非常に高く得られていた [1]。本報では、これを数値解析モデルにて表現するために、陰極近傍での局所的な加熱機構として陰極シースによる電子の加熱を考慮したモデルを構築した。

## 2 数値解析モデルおよび解析条件

Fig. 1 に計算モデルを示す。電極材料は Cu とし、上部を陽極、下部を陰極とした。陽極には初期値 2 V を印加し、計算される電流値が 50 A となるように印加電圧を変化させた。解析空間は電極間距離 5 mm、半径 10 mm、厚さ 2.5 mm の円柱状の電極を含む空間である。Cu 電極からの蒸気は、ジュール熱による電極温度の上昇に伴って陰極中心部から供給されるものとした。蒸発蒸気は Cu, Cu<sup>+</sup>, e の混合ガスを想定し、Cu, Cu<sup>+</sup> の重粒子は粒子法である MPS 法で質量・運動量・エネルギー保存方程式を解くことで温度や密度を求めた。一方、e は連続体とみなし、有限体積法によって電極間空間全体で電子のエネルギー保存式を解いた。電場、静電ポテンシャル分布は電流連続の式から、磁場はベクトルポテンシャルに関するポアソン方程式を解いて求めた。初期アークのチャネルは中心温度 10,000 K、幅 1 mm の線状プラズマを想定した。計算時間は 0 - 3.0 ms とした。

本検討では陰極近傍のシースを考慮し、陰極上部メッシュに与えられるシース電圧およびメッシュに流入する電流密度の積で表される単位体積当たりの電力を電子加熱項として追加した。シース電圧は 10 V とし解析を行った。

## 3 計算結果

Fig. 2 にシース考慮前後のモデルでの電子温度分布を示す。同図 (a) のシース考慮なしの場合では電子温度は電極間に概ね様に分布しており、約 10,000 K 程度となった。一方、同図 (b) において、陰極シースを考慮したモデルでは、陰極上部のメッシュが加熱され 15,000 K 以上まで上昇した。加熱量は電流密度に依存しており、高い時には電子温度は 10<sup>5</sup> K (~10 eV) オーダーにまで上昇した。

Fig. 3 に、Cu 原子の波長である 521.8 nm での放射係数の計算結果を示す。シースを考慮することで特に陰極点近傍の放射係数が高くなった。また、シースを考慮したモデルでの電子温度は陰極点以外の陰極上部でも高くなってのに対し、放射係数は特に陰極点近傍への影響が強いことが分かる。放射係数は、電子温度および Cu 原子の数密度に依存する。そのため、Fig. 2(b) においては陰極上部全体で電子温度が高くなったが、粒子の供給が多い陰極点近傍でのみ放射係数が高くなったと考えられ、実験結果と傾向は比較的一致する結果が得られた。

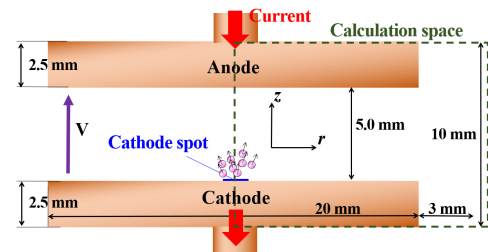


図 1: 数値解析モデルの解析空間

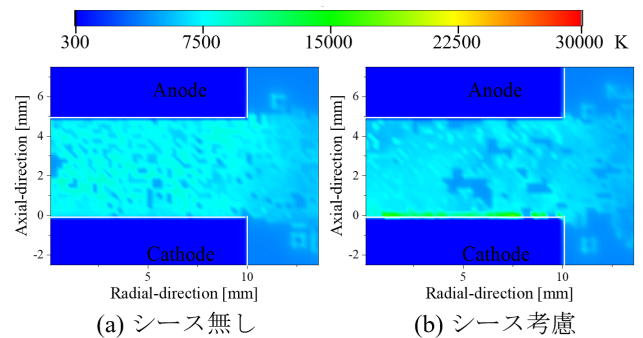


図 2: 電子温度分布

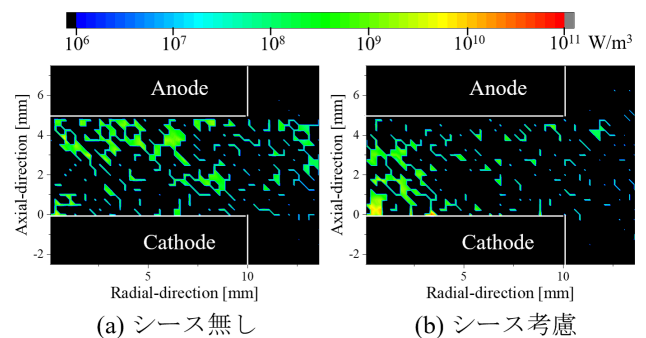


図 3: 波長 521.8 nm の Cu 原子スペクトル放射係数分布

## 参考文献

- [1] 畑中他:電学研資, EPP-20-073 SA-20-085 SP-20-015 (2020).