

プラズマ切断トーチ内外におけるプラズマジェット
の圧縮性電磁熱流体解析とハフニウム陰極蒸気の輸送解析
Numerical Compressible Thermofluid Simulation on a Plasma Jet and Transport
of Hf Vapor inside and outside Plasma Cutting Torch

三田村直紀*1), 田中康規1), 中野裕介1), 石島達夫1), 山口義博2), 高田伸浩2)
Naoki Mitamura* 1), Yasunori Tanaka1), Yusuke Nakano1), Yoshihiro Yamaguchi 2), et al.

1) 金沢大自然科学研究科, 2) コマツ産機(株)

1) Kanazawa University, 2) Komatsu Industries Corp.

1. まえがき

プラズマアーク切断(PAC)は、大電流アークプラズマによる加熱と被切断物の酸化燃焼反応による燃焼熱とにより被切断物を局部的に溶融させ、溶断する熱切断法の一つである¹⁾。PACの課題に、陰極やノズルの長寿命化が挙げられる。アーク陰極点への高い熱流入により、陰極は溶融・蒸発し損耗する。陰極損耗低減によるトーチの長寿命化のために、トーチ内における陰極の蒸発とその蒸気輸送を把握する必要がある。トーチ外におけるプラズマジェットは超音速流・遷音速流であり、圧縮性を考慮して解析する必要がある。本報告では、トーチ内外におけるアークプラズマの温度場、陰極材料の蒸発とその蒸気質量分率を圧縮性電磁熱流体解析により求めた。

2. 数値解析モデルおよび解析条件

本数値解析では流体解析ソフト ANSYS FLUENT ver. 15.0 を使用した。計算空間はハフニウム(Hf)陰極、銅電極ホルダ、銅ノズル、気体領域とし、(i)定常状態、(ii)局所熱平衡状態(LTE)、(iii)光学的に薄い、(iv)円筒軸対称構造を有する、と仮定した。支配方程式として、プラズマ・ガス部に対する質量・運動量・エネルギーの各保存式、電極からの Hf 蒸気の輸送式、電極・ノズルなどの固体内エネルギー保存則、静電場に対する電流連続の式、ベクトルポテンシャルのポアソン方程式を考慮した。乱流モデルには SST $k-\omega$ モデルを使用した。陰極表面ではイオン表面再結合による加熱、熱電子放出・熱放射・Hf 蒸発によるパワーロスを考慮した。これらの方程式を、密度ベースソルバーを用いて解いた。Fig. 1 に、本検討で使用したプラズマ切断トーチの解析空間を示す。メインガス、アシストガスは酸素を使用し、旋回ガスとして供給する。電流値は 150 A とした。プラズマ切断トーチ下 $z=25.6$ mm の境界部分に、直径 3.0 mm の穴あき鋼板を仮想的に配置した。

3. 数値解析結果

図 2 に、プラズマ切断トーチ内外における温度分布を示す。ノズルオリフィス部($z=11-14$ mm)では、ガス温度が 30000 K を超えた。これは、ノズルやメインガスによってアーク柱の周囲が冷却され、熱ピンチを起し、局所的なジュール加熱の影響が大きくなったためと考えられる。一方で、Hf 陰極前($z=5.7$ mm)では温度が低下した。これは陰極材の蒸発に

よるエネルギーロスによると考えられる。

図 3 に、Hf 蒸気の質量分率を示す。アークプラズマとの接触により、Hf 電極の蒸発が生じ、電極近傍において Hf 蒸気の質量分率が高くなっている。この Hf 蒸気がトーチ内ノズルからトーチ外の下流にまで輸送され、消費されていくことがわかる。

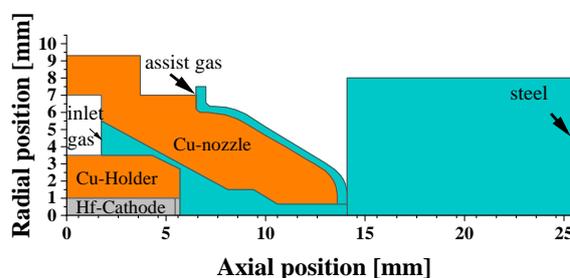


図 1 プラズマ切断トーチ解析空間

Fig. 1 Calculation space for plasma jet

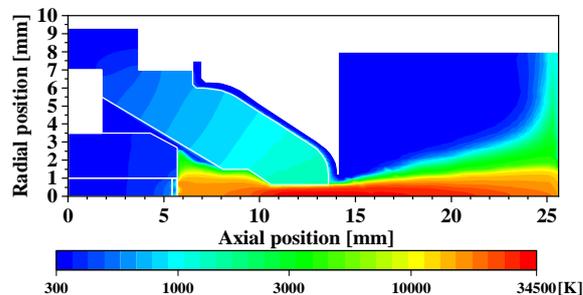


図 2 プラズマ切断トーチ内外の温度分布

Fig. 2 Temperature distribution inside and outside plasma arc torch

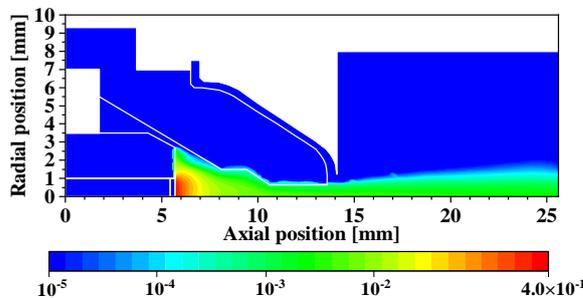


図 3 ハフニウム蒸発蒸気の質量分率

Fig. 3 Mass fraction distribution of Hf vapor

文献