

## 直流アークプラズマの3次元シミュレーション

当社開発プラズマトーチの最適化に適用

### 3-Dimensional Simulation of Arc Plasma Optimization of Our Developed Plasma Torch

(電気利用技術研究所 高エネルギー応用G)

アークプラズマ加熱はその特徴を活かして様々な利用技術の研究が進められているが、実用化のうえでプラズマ発生装置（プラズマトーチ）やプラズマ特性を計測する技術（分光法による温度分布の計測）などに多くの課題が残されている。

とりわけ要素技術として、プラズマトーチの高機能化・長寿命化が求められている。

これらを実現するひとつの手段として、コンピューターシミュレーションを利用しプラズマトーチのモデル化を行い、プラズマトーチ内の温度分布の解明やガスの流れの最適化を図ることを考えた。

(Electrotechnology Applications Research & Development Center, High Energy Application Group)

Various applicable technologies have been studied on the characteristics of arc plasma heating, but there are many problems not yet solved for practical application, such as the plasma generator (plasma torch) and the technologies to measure plasma characteristics (measurement of temperature distribution by spectroscopy).

Especially as elemental technology, there is a great demand for high functionality and long life time of the plasma torch.

As one mean to realize the above, we have modeled a plasma torch using computer simulation, and examined it so as to analyze the temperature distribution inside it and to optimize the gas flow.

## 1 プラズマトーチとは

プラズマトーチはタングステンに代表される陰極とノズルや場合によっては被加熱物を陽極としてアーク放電を発生させ、その周辺のガスをプラズマ化して利用するプラズマシステムの心臓部である。(第1図)

陰極およびノズルの配置によってプラズマの形状や温度分布などが変化し、トーチ性能が決定される。

このトーチの性能がプラズマの安定性を左右すると言っても過言ではない。

ル化する必要があり、この場合には特に圧縮性を考慮する必要がある。また高速流体はしばしばその流れが乱流現象を発生するため、乱流を考慮することも必要である。さらにトーチ内流れに対してはプラズマの安定性を図るため旋回流がもたらす効果をシミュレーションによって調べることも重要である。

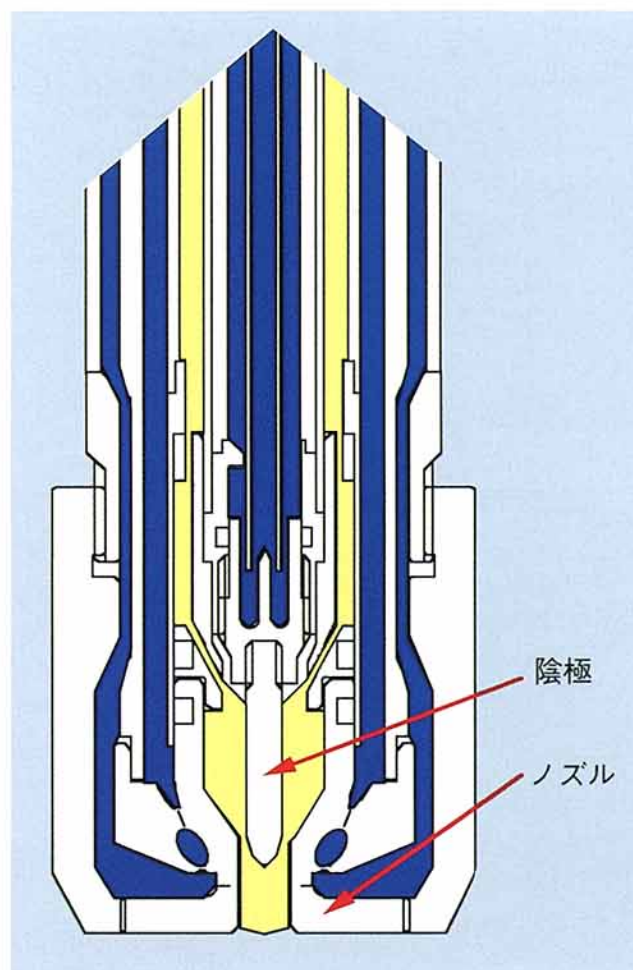
## 2 研究の背景

プラズマトーチによって発生するプラズマは高温であるため計測は困難で、特にノズル内部の温度分布や流れ場を直接計測することは不可能である。しかし、その中で電極（陰極およびノズル）は高温のプラズマ（約1万度）に直接接する部分であるため、ガスの流し方によっては急激な溶融消耗が起こる。したがって、最適なトーチを設計するためには、ノズル内部の温度分布や流れ場の解明は不可欠である。

そこで、これらの計測できない物理量をシミュレーションで解明することが期待されている。

## 3 研究の概要

これまでに多くのプラズマのモデル化が実施されているが、大きな体積膨張が存在する流体（圧縮性流体という）を考慮したモデル化は少なく、また2次元軸対称モデルが主であった。減圧溶射やプラズマジェットをシミュレーションするためには、高速流体をモデ



第1図 プラズマトーチの断面図



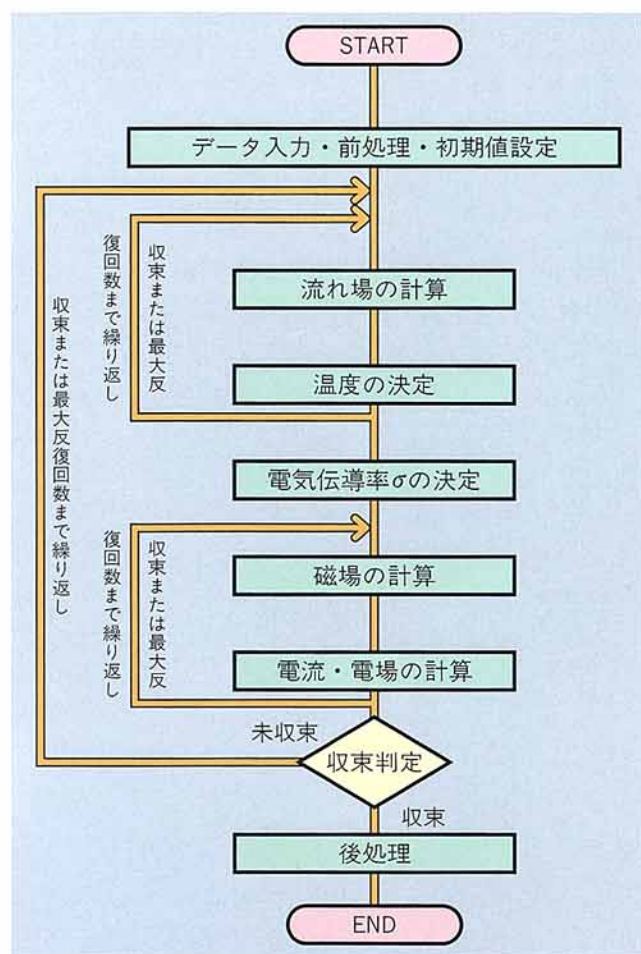
本研究では、トーチ内の物理量を解明するシミュレーションとして、様々なトーチ形状におけるプラズマの状態を解明できるように、比較的自由にトーチ形状を設定でき、しかも高速圧縮性の乱流を扱うことのできる、流体解析用のプログラムを開発した。このプログラムは座標系は3次元一般座標系（BFC系）を、乱流モデルとしては代数応力モデルを採用した。シミュレーション機能について第1表に、計算のフローチャートは第2図にまとめた。計算結果の例を第3～5図に示した。

## 4 今後の展開

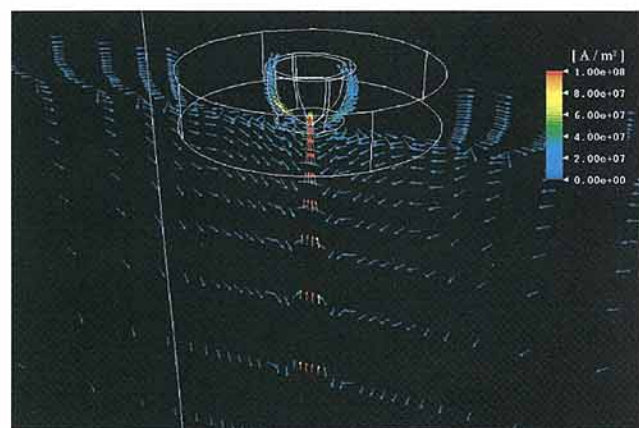
本シミュレーションによりプラズマトーチ内部の温度分布、流れ分布などの物理量を解明することが可能になった。今後は種々のトーチ形状による流れ場・温度場などの物理量を求め、必要とされるプラズマ発生条件に対応したプラズマトーチの設計に役立てていく予定である。

第1表 シミュレーション機能一覧

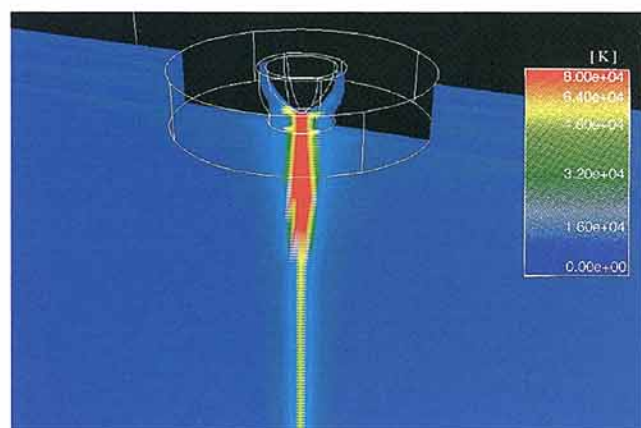
項目	機能
流れの状態	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定常状態の亜音速および超音速流れ</li> <li>・MHD近似可能な電磁場内の電磁流体の流れ</li> </ul>
基礎方程式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流れ場 MHD近似による電磁流体に対する圧縮性流体のナビエ・ストークス方程式、連続の式、エネルギー保存式</li> <li>・電磁場 マクスウェルの法則、オームの法則</li> </ul>
乱流モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・代数応力モデル</li> </ul>
座標系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3次元一般座標系（BFC）</li> </ul>



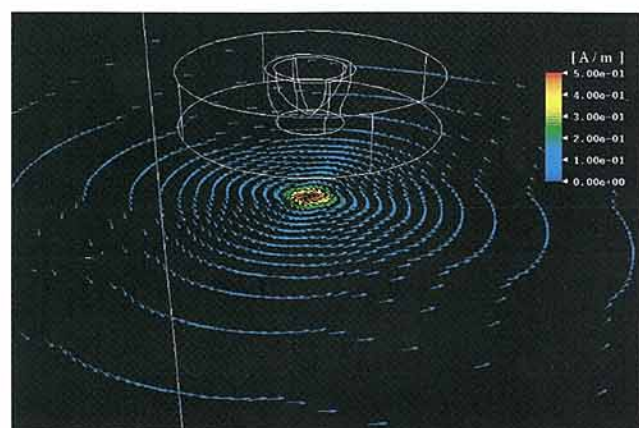
第2図 計算のフローチャート



第4図 計算結果（電流密度分布）



第3図 計算結果（温度場）



第5図 計算結果（磁束密度分布）