

プラズマ解析ソフトVizGlowによる 流体流れを考慮したプラズマ計算

圧縮性流体近似を用いたプラズマ解析ソフトVizGlowは、流体流れとプラズマをカップルし各支配方程式を自己無撞着に解くことができます。

本資料では、流体流れをプラズマに考慮するとき、どのような項が支配方程式に考慮されるのかの概略を示したのちVizGlowによる計算結果を示します。

より詳細な資料はご訪問の際にご覧頂くことが可能です。

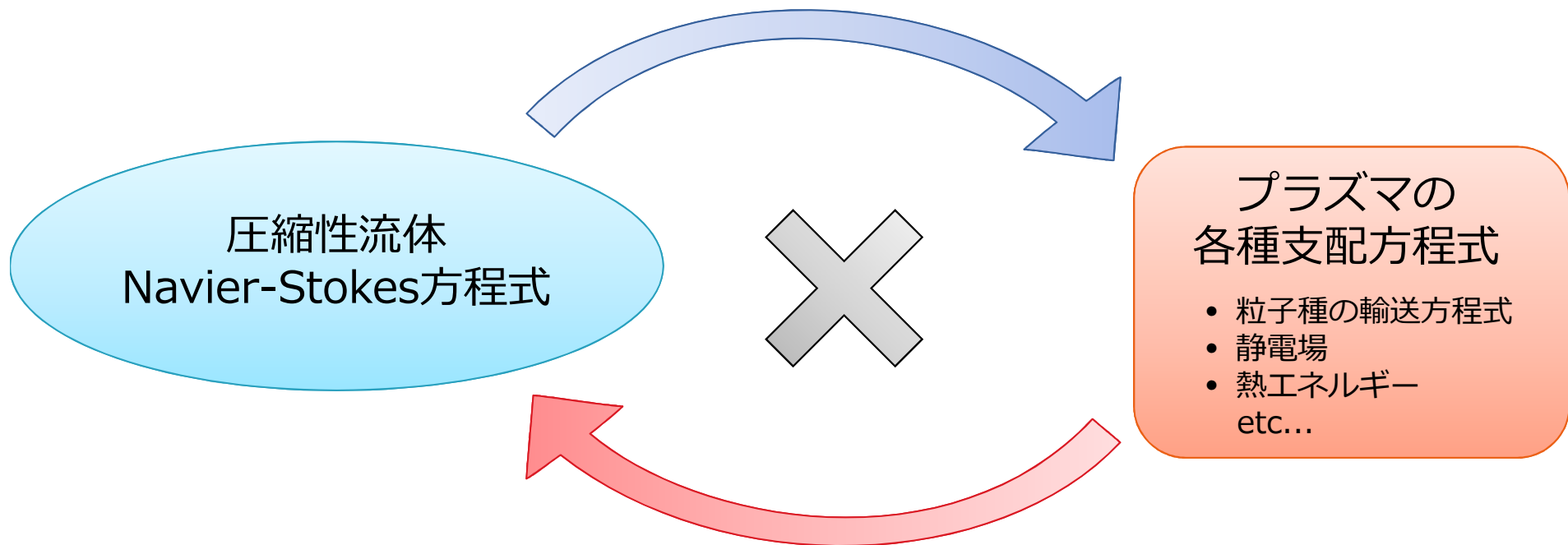
目次



- 流れとプラズマの連成 p.3-5
- 計算モデルと条件概要 p.6-7
- 計算結果 p.8-9
- まとめ p.10
- 開発元 p.11
- お問い合わせ先 p.12

流体流れを考慮しプラズマを解く

- 流体流れを考慮した系の圧力
- 流体の質量密度



- 運荷電粒子のドリフト・拡散運動によって生じた電場の強制力
- イオンのJoule加熱、電子の弾性散乱によって生じる熱

圧縮性流体 Navier-Stokes方程式

流体の支配方程式：Navier-Stokes方程式

$$\frac{d\vec{U}}{dt} + \frac{\partial \vec{F}_j}{\partial x_j} = \frac{\partial \vec{G}_j}{\partial x_j} + \vec{S}$$

$$\vec{U} = \begin{pmatrix} \rho \\ \rho u_i \\ \rho e_t \end{pmatrix}$$

$$\vec{F} = \begin{pmatrix} \rho u_j \\ \rho u_j u_i + p \\ (\rho e_t + p) u_j \end{pmatrix}$$

$$\vec{G} = \begin{pmatrix} 0 \\ \tau_{ji} \\ -\tau_{ji} u_i + \dot{q}_j \end{pmatrix}$$

$$\vec{S}$$

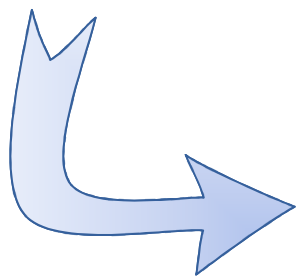
保存方程式の各成分

- 1: 質量密度
- 2: 運動量密度
- 3: エネルギー密度

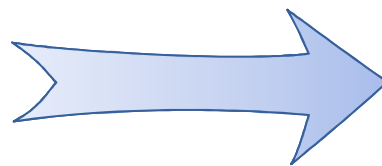
非粘性項

粘性応力項

ソース項

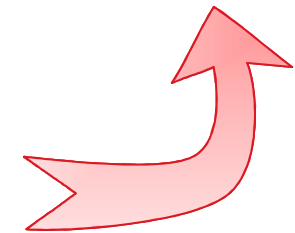


$$\begin{matrix} \vec{u} & p \\ \rho \end{matrix}$$



プラズマの支配方程式

- 粒子種の輸送方程式
- 化学反応
- etc...



i, j : 空間座標のインデックス ρ : 密度 u_i : 速度ベクトル成分 p : 圧力 e_t : エネルギー τ_{ji} : 応力テンソル \dot{q}_j : 熱流束

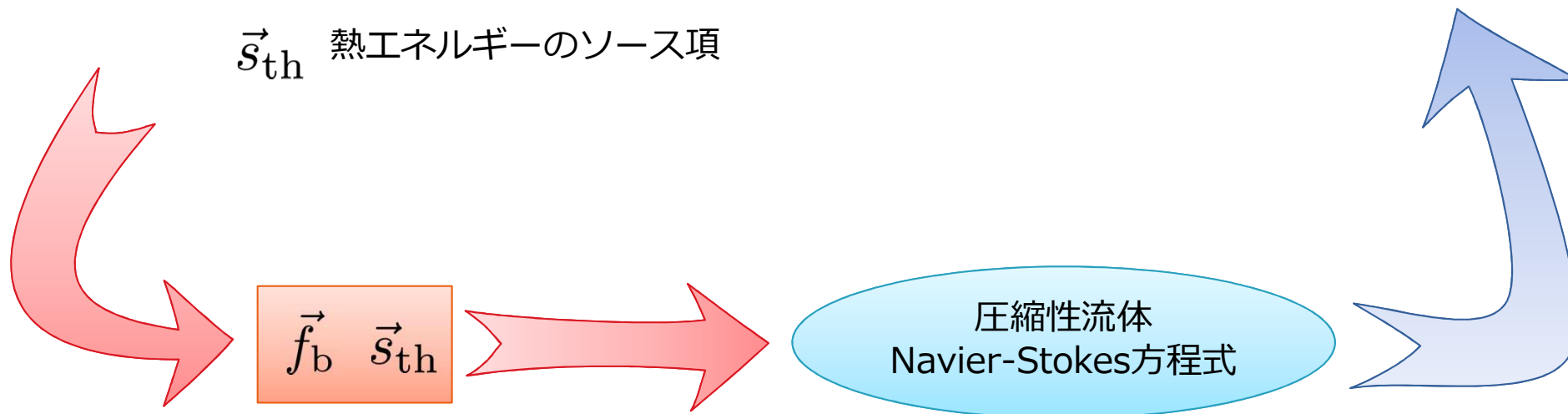
プラズマから流れへ与えられるソース項

プラズマの支配方程式

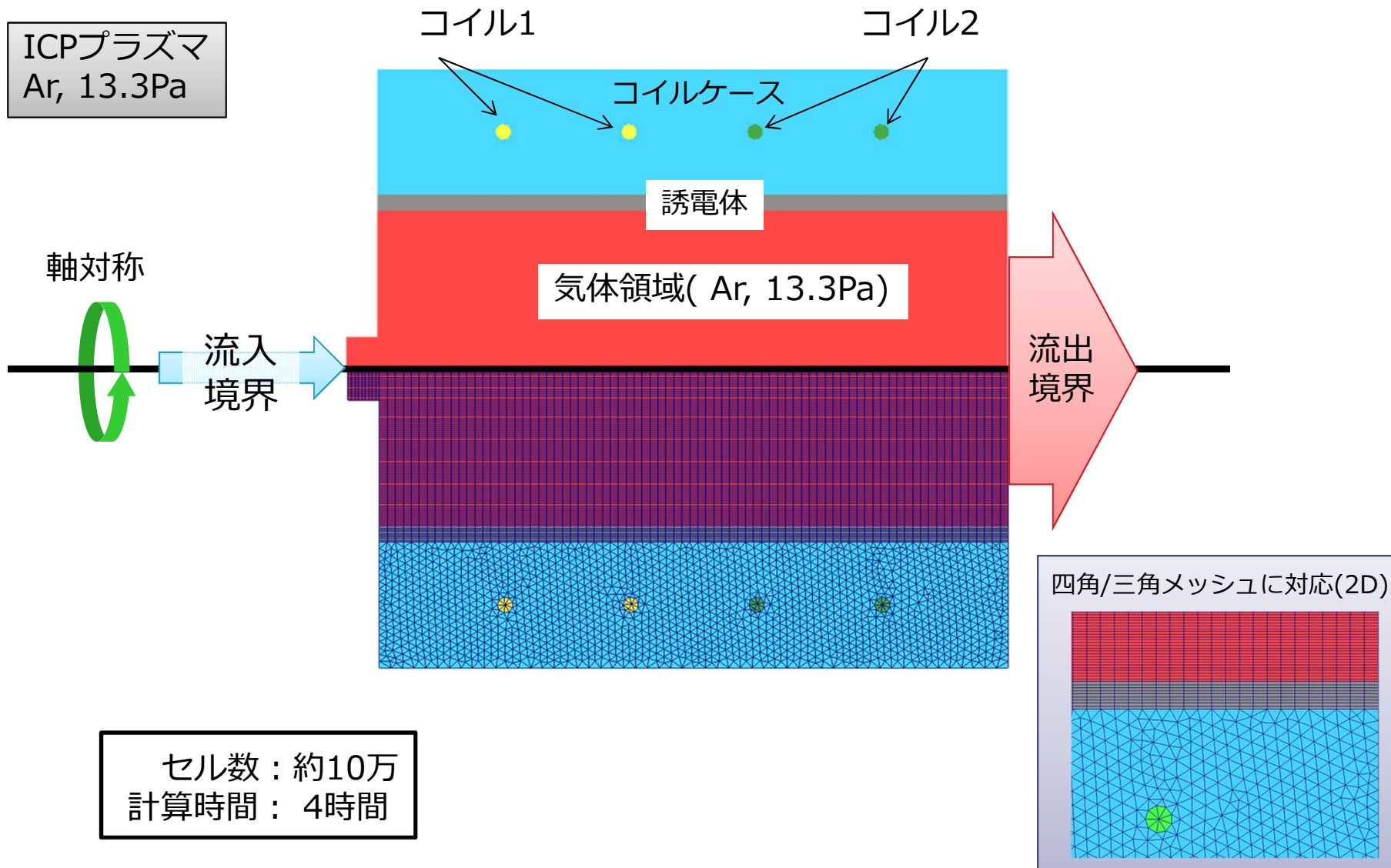
- 静電場
- 電子エネルギー方程式
- 静磁場
- 化学種の輸送方程式
- 表面電荷密度方程式
- 化学反応
- 熱エネルギーの保存則
- 電磁波(時間領域/周波数領域)
- など

\vec{f}_b 電場による体積力

\vec{s}_{th} 熱エネルギーのソース項



例題の計算モデル概要

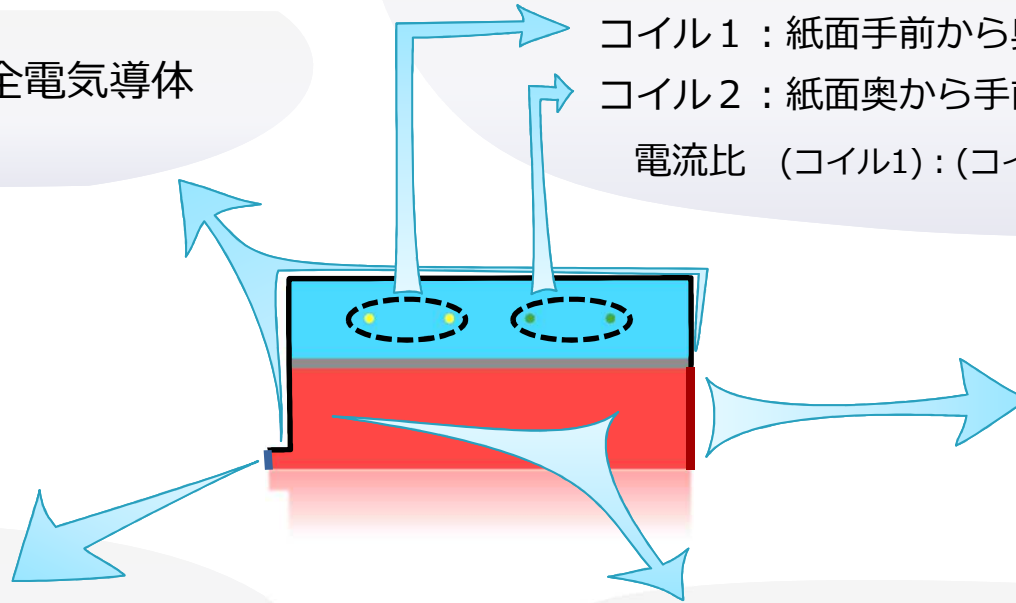


例題の主な計算条件

電流の大きさの比を固定し指定されたパワー(300W)をプラズマに与える

外壁(境界) : 完全電気導体

コイル1 : 紙面手前から奥方向へ電流が流れる。
コイル2 : 紙面奥から手前方向へ電流が流れる。
電流比 (コイル1) : (コイル2) = 2 : 3



流出境界
圧力 : 13.3 [Pa]

流入境界

圧力 : 20 [Pa]

比較のため質量流量の異なる2ケース実施

Case1: 2.73×10^{-6} [kg/s]

Case2: 2.73×10^{-5} [kg/s]

*Case2は流速が音速を超える極端な状況

電子数密度、静電場

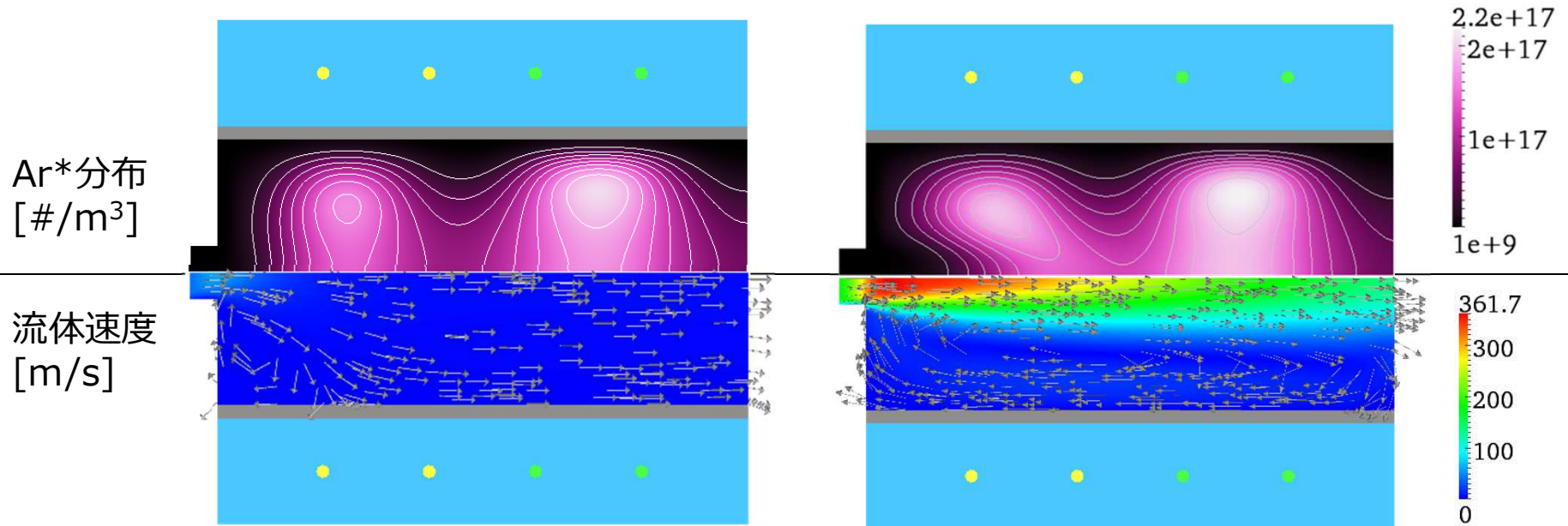
準中性プラズマ近似
(空間電荷がゼロになるように電子分布を決定)

この近似のもとで導かれる両極性拡散電場を使用

流体流れがAr*分布に及ぼす影響

case1

case2



Case1の最大流速は66 m/s 程度。

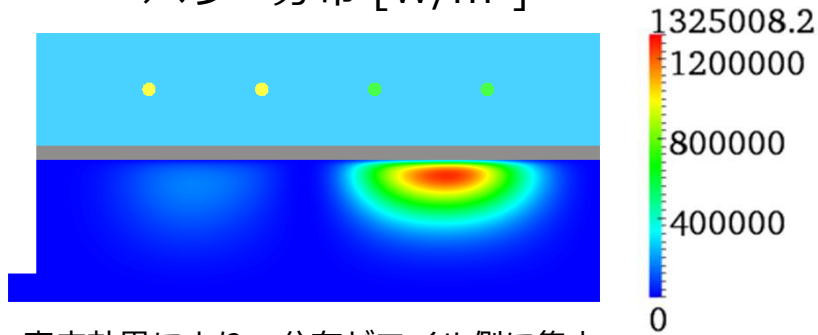
Case2の最大流速は362m/s 程度で音速を超えている*。

Case2で特に、Ar励起種の分布が流れの影響を受けている様子が見られる。

主要物理量の分布

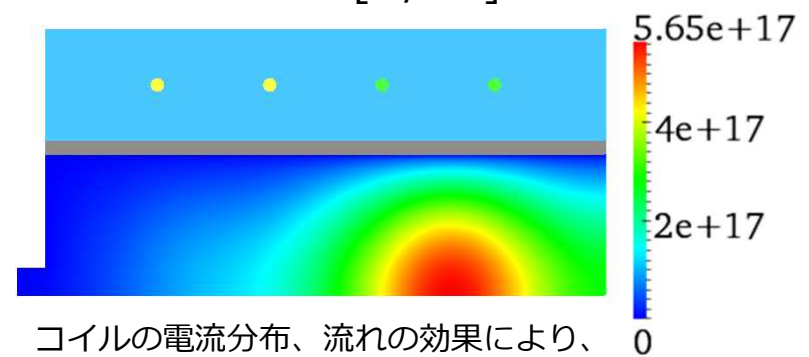
case1

パワー分布 [W/m³]



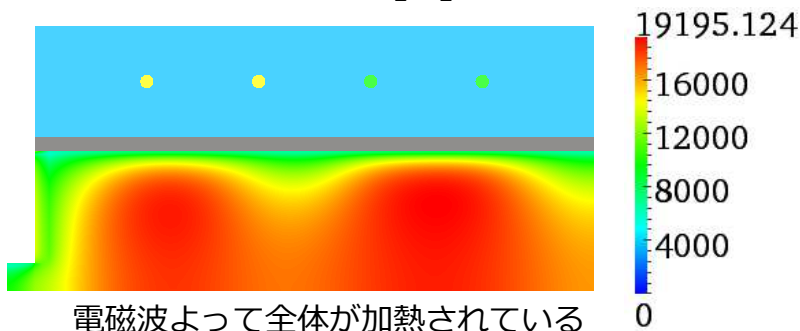
表皮効果により、分布がコイル側に集中

Ar+分布 [# /m³]



コイルの電流分布、流れの効果により、
風下側に広がる

電子温度 [K]



電磁波によって全体が加熱されている

VizGlowでは、この他にも多くの物理量
を出力可能。
実験では直接測定することが難しい物理
量の振る舞いを可視化することで、現象
を把握、理解することが可能。

まとめ

圧縮性流体近似を用いたプラズマ解析ソフトVizGlowは、プラズマの各支配方程式と流体の支配方程式をカップルし、自己無撞着に解くことができる。これにより、

流体流れを考慮したプラズマの状態を明らかにすることができる

- 流体流れからプラズマの各支配方程式へは、流体の密度、速度、温度、圧力が与えられる。
- プラズマの支配方程式から、流体の支配方程式へは、電場により生じる体積力、ジュール過熱などによる熱が与えられる。

VizGlowは各種物理量を正しく計算し、パワー分布に見られる表皮効果などを再現することができる。また、多くの出力変数を備えており、実験での測定が難しい、現象の把握に重要な物理量を可視化することができる。

VizGlowを使用し、流れのあるプラズマを解析することで、装置内の現象を予測、理解することが可能。

開発元



VizGlowは、米国EsgeeTechnology社の15年以上に亘るプラズマ解析の研究開発の成果として生まれた、プラズマ解析ソフトウェアです。

VizGlowは、数値計算およびアルゴリズムに関する深い知識と幅広い経験を有する一流のプラズマ研究者によって開発されたプラズマソルバーが用いられています。

現在も、Texas大学Austin校 L.L.Raja教授のチームにより精力的な開発が行われています。

お問い合わせ先

株式会社ウェーブフロント

E-mail: sales@wavefront.co.jp

Tel: 045-682-7070 (代)

FAX : 045-682-7071

Homepage: <http://www.wavefront.co.jp/>

所在地 :

〒220-6112

横浜市西区みなとみらい2-3-3 クイーンズタワーB 12F