

放電プラズマ解析用静電粒子コードの開発と それを用いた電子注入によるスーパーダブルレイヤ形成に関する研究

廣大輔¹, 田口俊弘², 高山大輔¹, 井上雅彦¹
1 摂南大学大学院生産開発工学専攻, 2 日本原子力研究開発機構

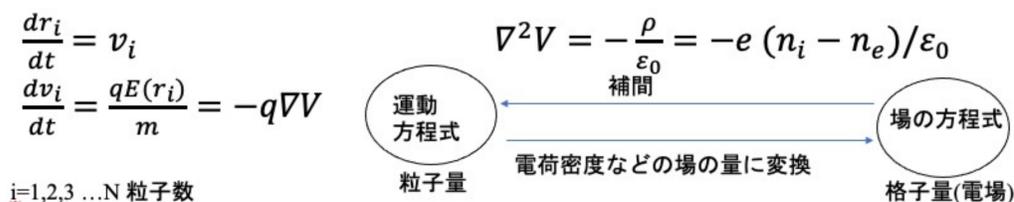
背景及び目的

当研究室ではシースプラズマ中に浮遊する微粒子の全面にダイヤモンドなどの硬質膜をコーティングし、新素材開発へ応用することを目指している。このため本研究では、真空チャンバー内で生じているプラズマの現象を計算機シミュレーションにより再現することを目指した。特に、浮遊する微粒子表面の炭素を結晶化するために、シース領域への電子注入によってスーパーダブルレイヤを発生させ、その電位差による注入電子の追加速することを新たに発案し、その可能性について検討を行った。

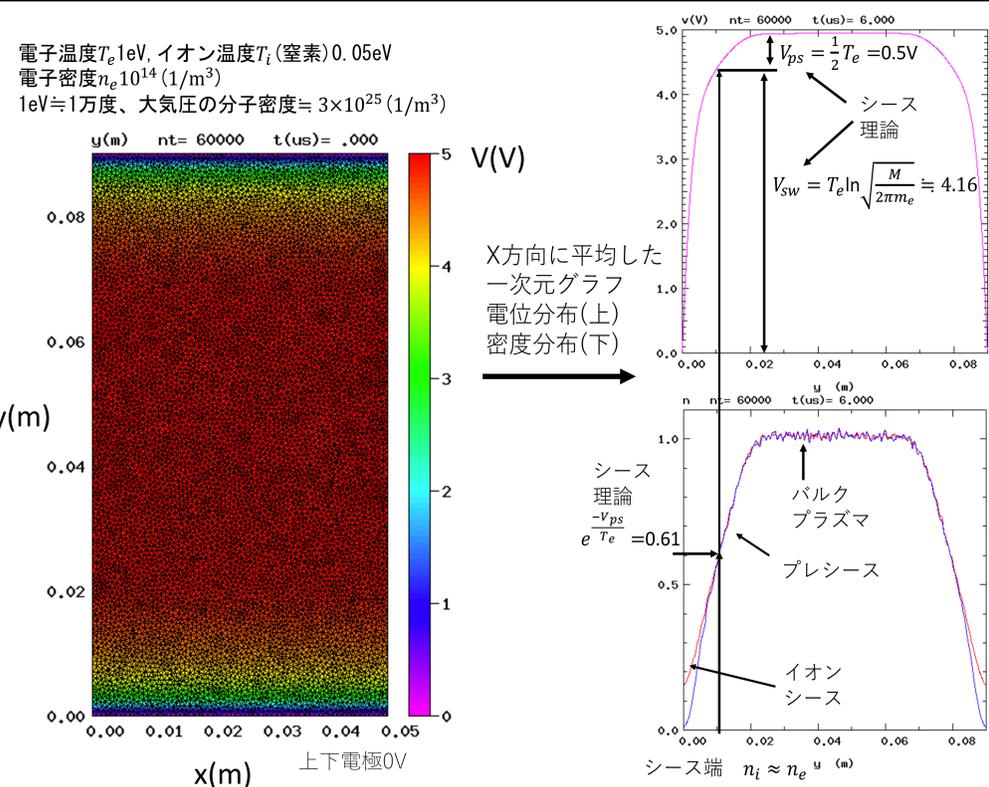
本研究は荷電粒子の運動論効果を含む粒子コードに複雑な形状の電極でも対応できるように三角形メッシュを用いた粒子コードを開発することにした。また、低圧放電プラズマの実験条件に対応できるように中性粒子との衝突の効果を含んでいる。この粒子コードを用いて、まずシース構造の形成シミュレーションを行い、シース理論との定量的な一致を見た。開発した粒子コードの妥当性を確認できたので、これを用いてスーパーダブルレイヤの発生やエンハンスの可能性について検討を行った。

粒子コード

粒子コードの計算は粒子一つ一つを運動方程式で解き、電場は有限要素を用いたメッシュでポアソン方程式を利用して解いた。



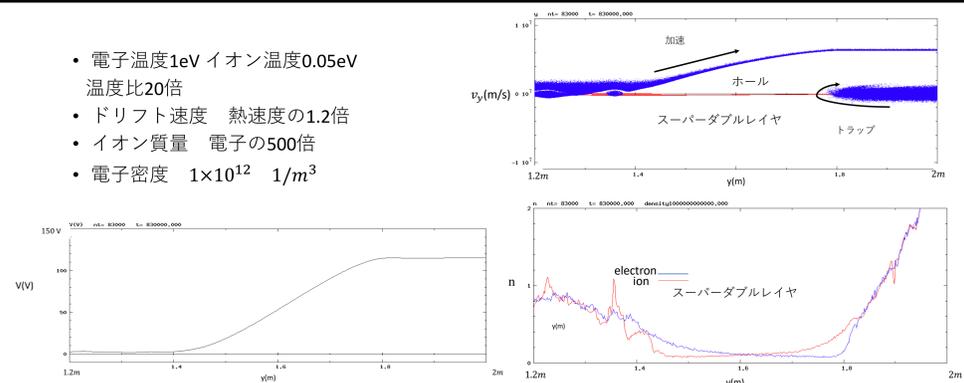
粒子コードの妥当性(シース)



シース形成シミュレーションの結果
シース理論と一致し、シミュレーションの妥当性を確認した。

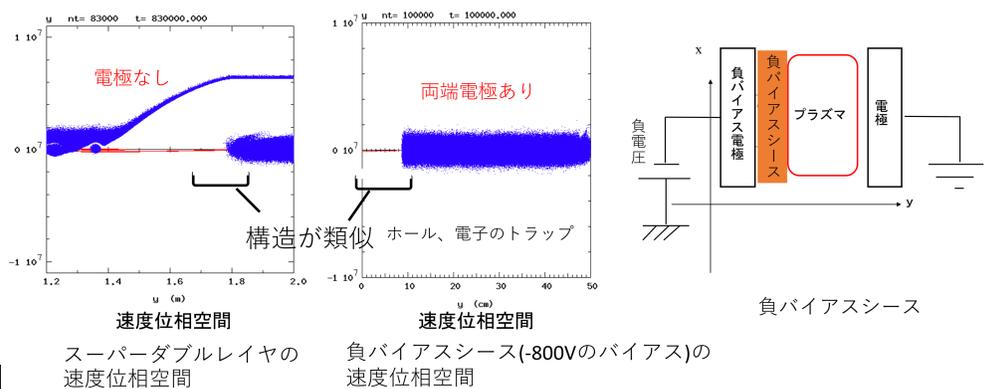
空間電荷のスーパーダブルレイヤ

- 電子温度 1eV イオン温度 0.05eV 温度比 20 倍
- ドリフト速度 熱速度の 1.2 倍
- イオン質量 電子の 500 倍
- 電子密度 $1 \times 10^{12} 1/\text{m}^3$



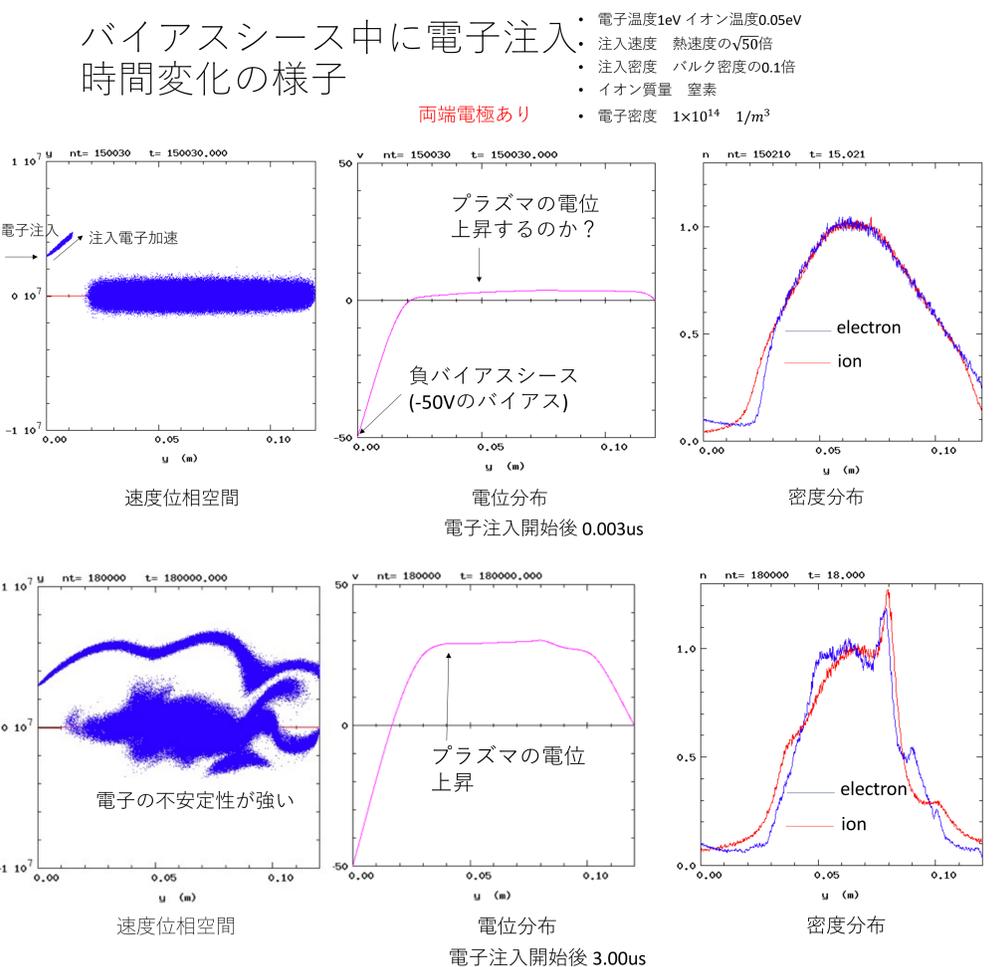
シミュレーション開始後
8.3usの空間電荷のスーパーダブルレイヤの
速度位相空間、電位分布、密度分布の拡大図

シース中でのスーパーダブルレイヤの形成

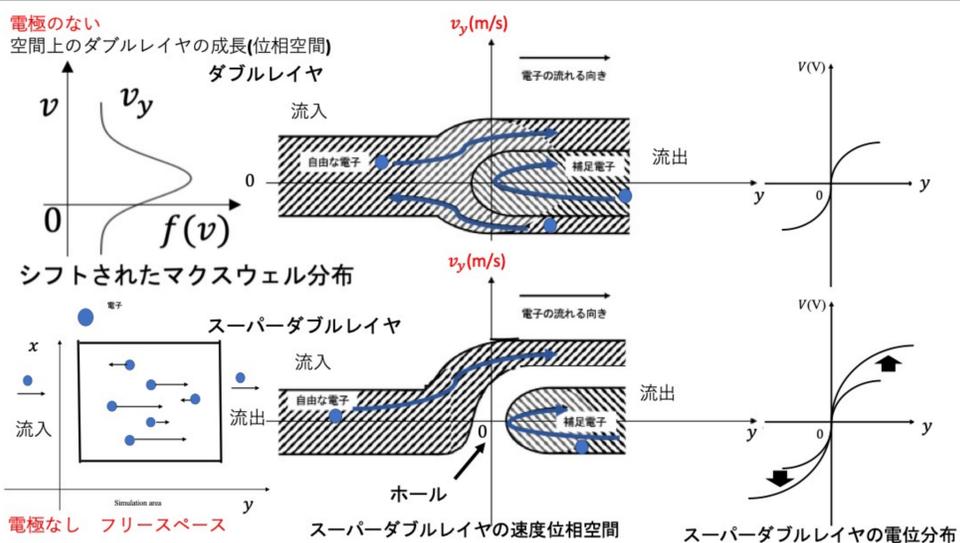


スーパーダブルレイヤ形成 → 負バイアスシースで代用
負バイアスシースに電極側から電子注入

バイアスシース中に電子注入 時間変化の様子



空間電荷のスーパーダブルレイヤの概念図



結論・まとめ

三角形メッシュを用い、中性粒子との衝突効果を取り入れた放電プラズマ用静電粒子コードを開発した。開発した粒子コードによるシース形成の結果はシース理論と定量的に一致し、精度の良いシミュレーションが可能であることが確認できた。今後の展開として、微粒子雲の形状に対する電子温度、電子密度、電極形状の影響やイオンと中性粒子の衝突がシースにどのような影響を及ぼすかなどの研究に活用できるものと思われる。

開発した粒子コードを用いて負バイアスシースで初期段階のスーパーダブルレイヤを代用できることが確認された。さらに負バイアスシースに電子注入することで、プラズマ電位が上昇し、注入電子を追加速することが確認された。今後はスーパーダブルレイヤを成長させるための最適条件の探索や、電子注入によって発生する電子の不安定性を抑える方法・条件の探索を行ってゆく必要があるだろう。