

25pA18P イオンフロー中で微粒子が受けるイオンドラッグ力に関するPICシミュレーション

PIC Simulation on the Ion Drag Force affects Dust Particles in the Ion Flow

村瀬 修一, 三沢 達也, 藤田 寛治, 上村 鉄雄¹⁾

佐賀大理工,¹⁾名城大理工

Shuichi Murase, Tatsuya Misawa, Hiroharu Fujita, Tetsuo Kamimura

Faculty of science and engineering, Saga University. Meijo University

プラズマ中で微粒子が規則的な構造をもつクーロン結晶において、鉛直方向へ整列する配列構造が確認されている。近年、この結晶構造の形成に関して、帯電微粒子近傍でのイオンフローの偏向が、他の帯電微粒子のイオンドラッグ力に大きな影響を与える可能性があるとのシミュレーション結果が報告されている^[1]。この報告では単独の微粒子について計算しているが、実際には複数の微粒子とイオンフローとの相互作用によってイオンの軌道が複雑に偏向し、イオンドラッグ力がより複雑な影響を受けると考えられる。このメカニズムはクーロン力やウェイクポテンシャルと同様に重要である。本研究では拡張した Particle-In-Cell (PIC)シミュレーションコードを用いて、複数の微粒子が存在する場合におけるイオンドラッグ力の評価を行った。

使用したシミュレーション領域の設定について図1に示す。2次元の直交座標系(x,y)を用い、シミュレーション領域の大きさを、z,y方向ともに12.8電子デバイ長(λ_e)とし、空間グリッドの間隔($\Delta z, \Delta y$)を0.05 λ_e に設定した。ポアソン方程式を解くために使用した境界条件は、z=0において電位 $\phi=0$ [V]、z=12.8 λ_e において電界Ez=0 [V/m]である。y方向には周期境界条件を用いた。これらの境界条件が微粒子近傍の電位に影響を与えないように、微粒子は各境界から5 λ_e 以上離れた領域(図1の斜線部分)に配置する。イオン流速のz方向成分を持つイオンフローを仮定し、PICシミュレーションを用いて電位分布、イオンの空間密度分布と軌道を計算し、高速なイオンフロー中におけるイオンドラッグ力を評価する。このシミュレーションモデルでは無衝突プラズマを想定し、電子の空間密度がボルツマン分布則に従うと仮定している。また微粒子近傍においては、分子動力学的なアプローチを用いてイオン-微粒子間のクーロン相互作用を計算し、誤差の抑制に努めた。

シミュレーション内二つの微粒子を配置し、位置関係を変化させて各々の微粒子に働くイオンドラッグ力を評価した。イオンと微粒子の直接衝突による力(collection drag force)については、衝突したイオンの運動量が全て微粒子に移動すると仮定して算出した。イオンと微粒子のクーロン衝突に

よる力(Coulomb drag force)に関しては、それぞれの微粒子毎にデバイ遠隔構造の空間電位分布と電界を計算し、シミュレーション空間内のイオンを Δt 秒間動かす事によって発生する運動量変化の総和が微粒子に受け渡されたと仮定して算出した。

使用したシミュレーションコードの妥当性を確認するために行なった、微粒子周辺での理論的な空間電位分布(クーロンポテンシャルとウェイクポテンシャルの和)とシミュレーション結果との比較を図2に示す。このテストではz方向の計算領域を25.6 λ_e に延長している。座標z=5.0 λ_e 、y=6.4 λ_e 上に微粒子を配置し、イオン流速の1.2倍のイオンフロー(Ar)を設定した。使用したプラズマパラメータは、プラズマ密度 1.0×10^{16} [m⁻³]、電子温度2.0 [eV]、微粒子帯電量 $Q_d/L_p=5.0 \times 10^{-13}$ [C/m]である。図2の等高線図の類似性を見る限り、コードは妥当であると思われる。

参考文献: [1] G. Lapenta, Phys. Rev. E, 63, 626409 (2002).

[2] D. S. Lemmons et al, Phys. Plasmas, 7, pp.2306-2313 (2000).

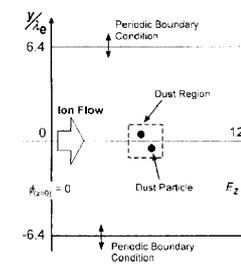


図1. シミュレーション領域

果

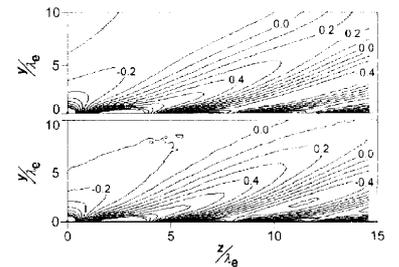


図2. ウェイクポテンシャルによるテスト結果

25pA19P

紫外線照射によって非等方的な強結合状態を持つ微粒子プラズマの生成

Dusty Plasma with Anisotropic Coulomb Coupling by incidence of Ultra Violet Light

三沢達也, 大津康徳, 藤田寛治

佐賀大理工

Tatsuya Misawa, Yasunori Ohtsu, Hiroharu Fujita

Faculty of Science and Engineering, Saga University

宇宙空間において、人工衛星などに太陽からの強力な紫外線が照射される場合、照射表面からの光電子放出が顕著になるために衛星が正に帯電し、特に絶縁体に照射された場合には、照射面と非照射面の間で衛星表面に電位差が発生することが知られている^[1]。一般にプラズマ中の(微粒子)は負に帯電するが、このような紫外線照射環境下においては、絶縁性微粒子は紫外線が入射する面が正に、反対面が負になるような帯電の表面分布を持つと予想され、電気双極子として取り扱うことが可能になると考えられる(図1)。これまでの微粒子プラズマに関するほとんどの研究は、微粒子を点電荷として取り扱い、微粒子間の結合状態やクーロン結晶の相転移を観測し、単純な構造を持つ物質の融解、気化などの解明を行っていた。微粒子を電気双極子とすることによって、微粒子間のクーロン結合状態が非等方になるため、分極性の物質の構造形成や挙動を明らかにする上で非常に重要であると考えられる。本研究では紫外線を絶縁微粒子に照射することによって、微粒子表面の電荷分布を誘起して帯電微粒子を分極させ、非等方的な結合状態にある帯電微粒子群のダイナミクスを解明する。

図2に実験装置の概要図を示す。直径300mm、高さ400mmのステンレス製真空容器の中心部に直径180mmの1ターンの内部リングアンテナを設置し、マッチングボックスを通して周波数13.56MHzのRF電力を印加することで、プラズマを生成する。放電ガスにはArを用いた。RF電力 $P_{RF}=20$ W、Arガス圧 $P=3.8 \times 10^{-3}$ Torrの時、典型的なプラズマパラメータは電子密度 $n_e \sim 10^{13} - 10^{14}$ m⁻³、電子温度 $T_e \sim 3 - 4$ eV程度である。帯電微粒子は、RFアンテナの下40mmの位置に同軸状に配置した円盤電極(直径90mm)及びリング電極(直径90mm)に負バイアス電圧

を印加し、イオンシース電場によって捕捉する。使用した微粒子はアクリル製の粒径10 μ mのもので、円盤電極の上方から落下させて供給した。捕捉した微粒子の観測は、水平方向から入射したHe-Neレーザーによる散乱光をCCDカメラで撮影することで行った。図3に本装置で捕捉される典型的な微粒子雲の画像を示す。微粒子雲は下側が広く丸く、上側が細くなる様なフラスコ形状を示す。紫外線は直流放電紫外線ランプを用いて微粒子に対し、水平方向及び鉛直方向から照射する。

発表では、紫外線照射時の微粒子の挙動変化及び構造変化について報告する。

[1] R. Grard, K. Knott and Pedersen, Space Science Reviews, 34, pp.289-304 (1983).

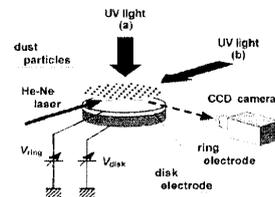


図2 実験装置概要

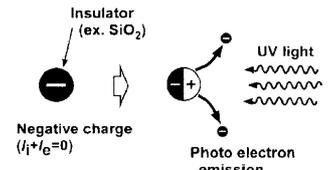


図1 光電子放出による微粒子の分極

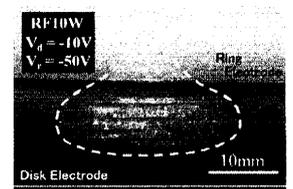


図3 捕捉された典型的な微粒子群