

## 沿磁力線イオンフロー速度シアに起因する低周波不安定性の3次元静電粒子シミュレーション

### Three-Dimensional Electrostatic Particle Simulation on Low-Frequency Instabilities Enhanced by Parallel Ion Flow Velocity Shears

# 金子 俊郎 [1]; 畠山 カ三 [1]; 石黒 静児 [2]

# Toshiro Kaneko[1]; Rikizo Hatakeyama[1]; Seiji Ishiguro[2]

[1] 東北大・工・電子; [2] 核融合研・理論・シミュレーション

[1] Dept. Electron. Eng., Tohoku Univ.; [2] National Institute for Fusion Science

磁化プラズマ中の沿磁力線（磁力線平行方向）フロー速度シアは、宇宙空間プラズマや核融合プラズマ中での低周波不安定性の発生原因として、最近特に関心が寄せられている。これまで、運動論的效果を取り入れた理論によって、沿磁力線イオンフロー速度シアがイオン音波不安定性やイオンサイクロトロン波不安定性を励起し得ることが指摘されている。一方、実験においては、分割型のプラズマ生成電極等を用いることによって沿磁力線フロー速度シアを形成し、イオン音波、イオンサイクロトロン波、ドリフト波等の低周波不安定性が速度シアによって励起または抑制されることを実証するとともに、その励起・抑制機構を理論的に説明できることが報告されている。しかしながら、これらの低周波不安定性に重要な役割を果たすと考えられる速度シアの形状や形成位置、電子とイオンの温度比等のプラズマパラメータを、実験では任意に変化させることが困難であり、これらの効果が未だ不明である。従って本研究の目的は、粒子シミュレーションにより速度シアの空間分布等を任意に変化させ、イオンフロー速度シアに起因する低周波不安定性の励起・抑制機構の体系的解明を目指すことにある。

シミュレーションは、一様な外部静磁場を取り入れた周期的境界条件の3次元PIC(Particle in Cell)シミュレーションコードを用いて行った。約10億個の粒子を、大規模なシミュレーションシステム内に一様に導入し、イオンおよび電子の挙動を自己無撞着に形成される電場のもとで求めている。磁力線に平行方向のフローをイオンに割り当て、さらにこのフロー速度を空間的に変化させることによって速度シアを導入する。この時の電位及び密度揺動の空間フーリエモード、及び電子及びイオンの速度分布関数の時間発展を観測した。

フロー速度シアが存在しない場合には不安定性の励起が観測されない条件の下で、速度シアを導入したところ、その速度シアによりイオン音波不安定性が時間的に成長していくことが明らかになった。さらに、この不安定性は、速度シアが存在する空間領域で局所的に成長することも観測された。一方、上記のイオン音波不安定性よりも高周波数領域に存在するイオンサイクロトロン波不安定性も、イオンフロー速度シアによって励起され、しかも基本波のみならず高調波成分も速度シアにより励起されることが明らかになった。その結果、高次のイオンサイクロトロン波高調波が重畳して成長することによって、スパイク状の空間フーリエモードが速度シア領域で局所的に観測されることも分かっている。

これらの結果は、実験的に得られた結果および局所近似を用いた理論により解析した結果に定性的に一致しており、速度シアがこれらの低周波不安定性に重要な役割を果たしていることが明らかとなった。