

11-NA28

研究代表者氏名(所属): 岸本 泰明(京都大学)

研究課題名

核融合・基礎プラズマの超並列シミュレーションに関する研究



自律性の高い核融合プラズマを制御する上で、乱流輸送現象の評価、および予測は極めて重要な課題であり、幅広い時空間スケールを包括した解析が必要となる。一方、自然界のプラズマに広く目を転じると、固体や液体などの凝集相、気相、クラスターなど様々な状態にある物質が、多彩な原子・分子過程や衝突緩和過程、輻射過程を通して、複雑なプラズマ状態を作り出している。本研究では、前者を解析するコードとして、速度分布関数を位相空間で流体的に解くジャイロ運動論的Vlasov(GK5D)コードを、後者を解析するコードとして、原子・分子過程や荷電粒子間の衝突・緩和過程などの基礎過程を自己無撞着に取り入れた拡張型3次元電磁粒子(EPIC3D)コードを開発した。それらのコードの並列化を含めた特徴、及びその研究計画について報告する。

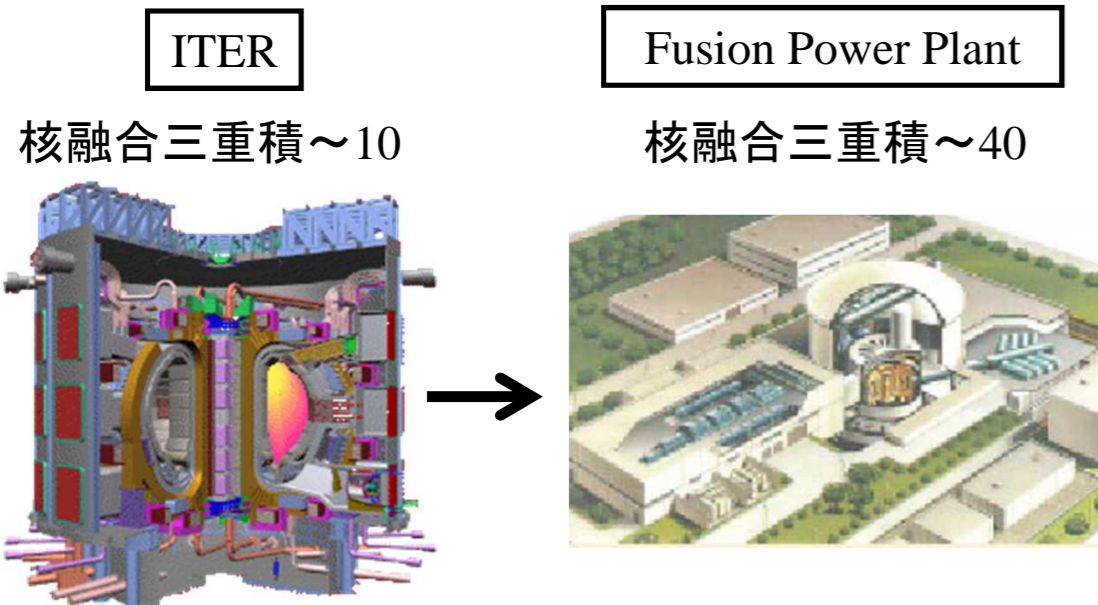
1. 位相空間5次元ジャイロ運動論的ブラゾフ方程式による乱流輸送コードの開発

核融合炉の進展

「帯状流」に関する乱流シミュレーション

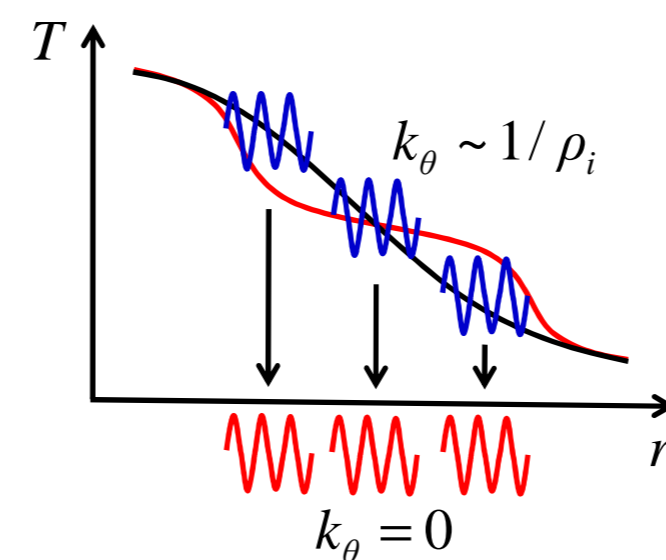
第1原理に沿った微視的乱流シミュレーション

*核融合三重積 = (イオン温度) × (閉じ込め時間) × (イオン密度)



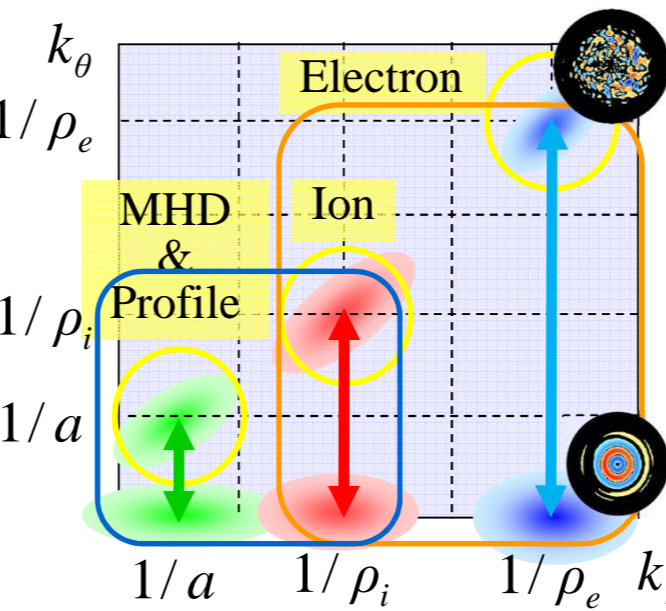
A. 温度分布緩和に対する帯状流の役割に関する解析

温度分布の緩和(エントロピーの増大)に与える帯状流の役割を、大域的乱流シミュレーションによって解析



B. 多階層間相互作用に対する帯状流の役割に関する解析

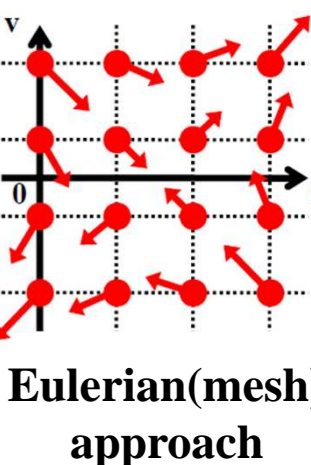
帯状流を介した多階層間相互作用を、多階層乱流シミュレーションによって解析



Gyro-Kinetic Vlasov-Poisson Model

Mathematical equations for the Gyro-Kinetic Vlasov-Poisson Model

Eulerian approachを用いた場合、数値計算の観点からは、いかに保存型移流(拡散)方程式を解くかに帰着される。位相空間5次元を解く大規模計算を行う必要があり、高効率並列化が不可欠



「高温」のプラズマを「一定時間」閉じ込める。乱流輸送の制御が重要。帯状流による乱流輸送の抑制メカニズムを理論・シミュレーションによって解析することが重要

古典輸送: D ∝ 1/B^2√T, 乱流輸送: D ∝ T/B

ジャイロ運動論的Vlasov(GK5D)コード

GK5Dコードの並列化効率の改善

*京都大学学術情報メディアセンターとの共同研究

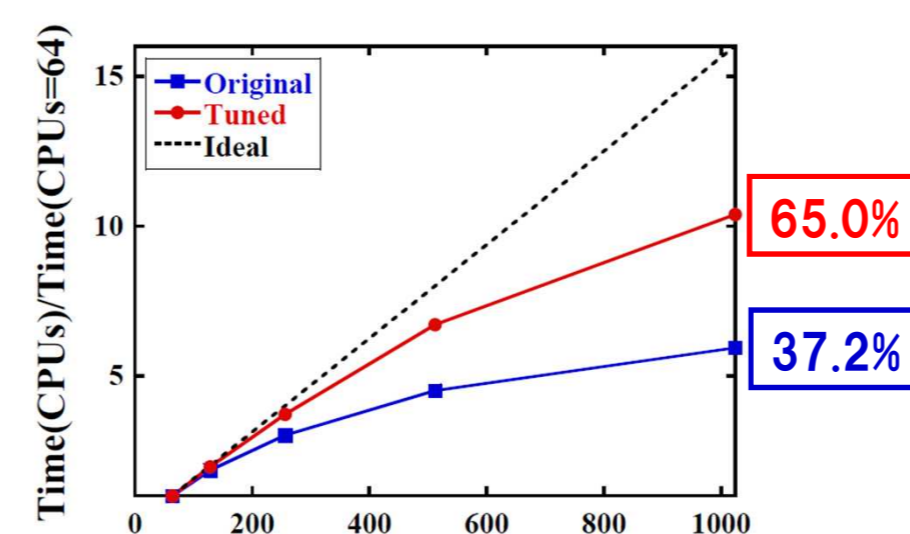
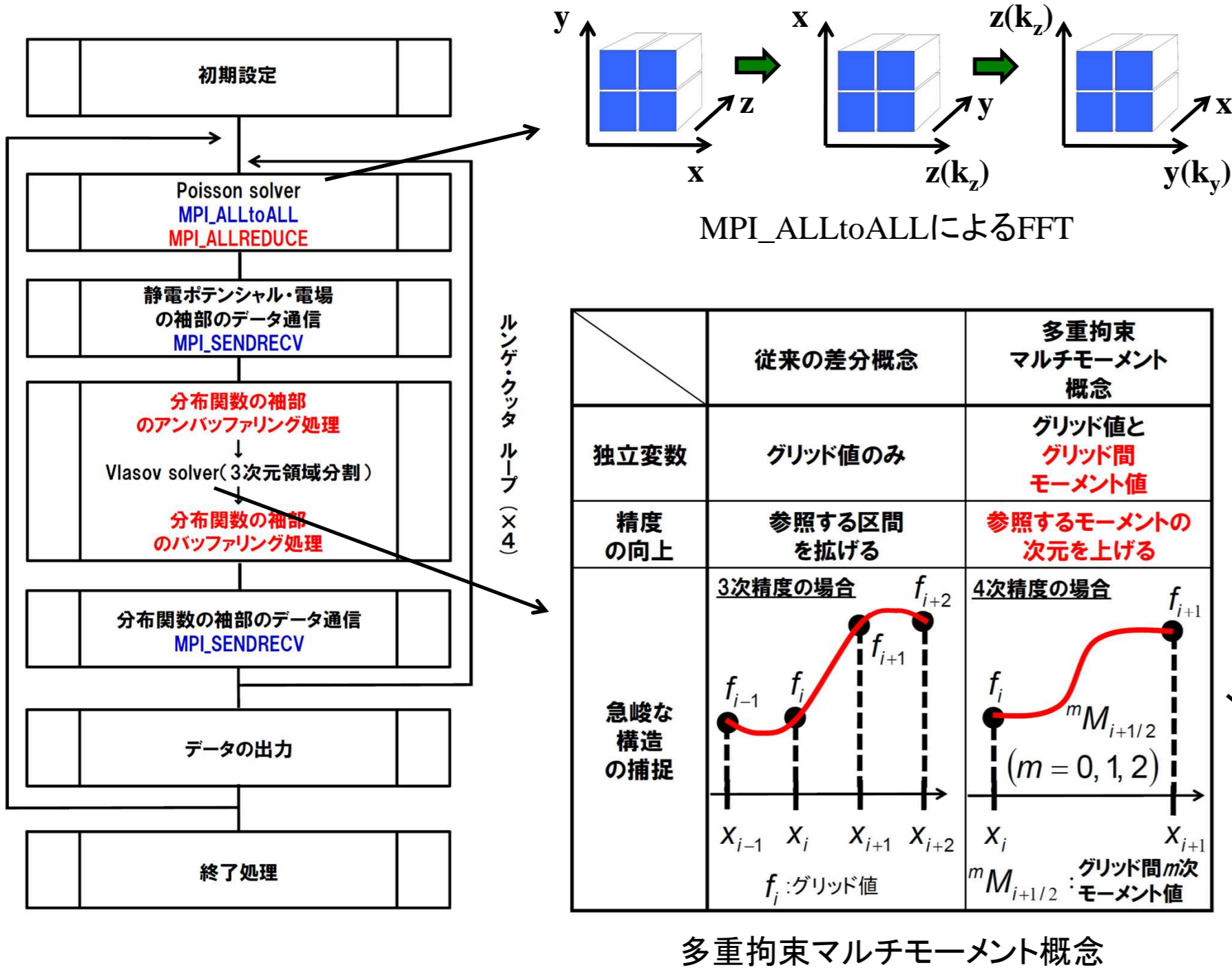
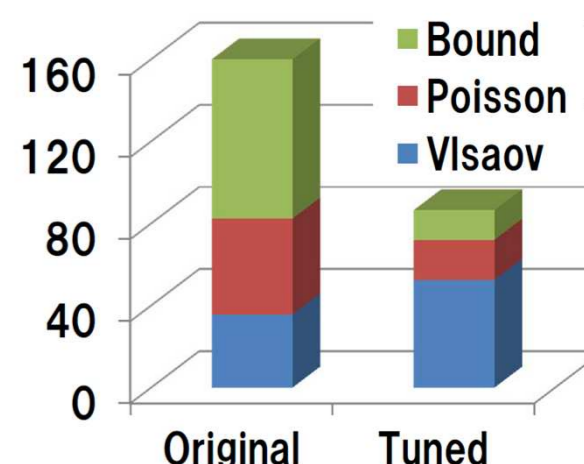
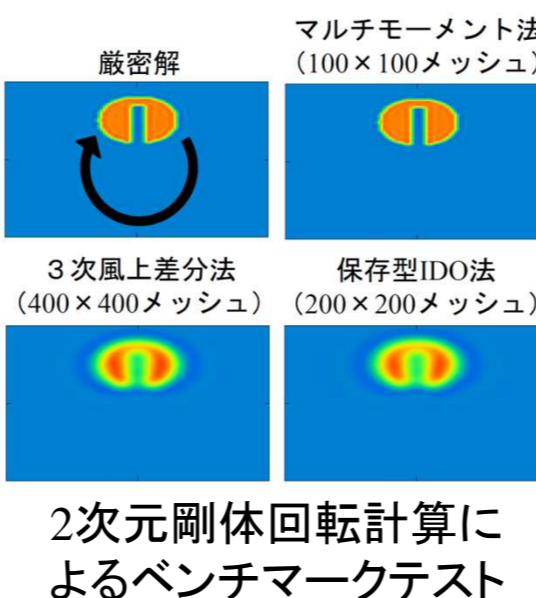


Table comparing Original and Tuned performance for Vlasov, Poisson, Bound, and L3 miss



改善前(Original)と改善後(Tuned)の並列化効率(左図)と1024CPUを用いたケースにおける各パートの計算時間(中、右図)

・3次元領域分割による袖部のデータ通信量の減少と、キャッシュチューニングによるキャッシュミスの削減により、1024CPUを用いたケースで、トータルの並列化効率は約1.74倍改善された。



本年度の研究計画

- 実空間Poisson solverの実装(京都大学学術情報メディアセンターとの共同研究)、および複数の多次元領域分割法の検討
開放系への拡張 → 開放系大域的乱流シミュレーションにおける帯状流の役割の解析
多階層乱流シミュレーションにおける帯状流を介した相互作用の解析

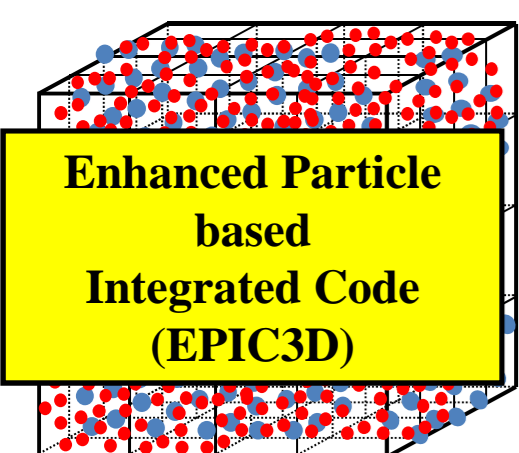
2. 原子・緩和過程を取り入れた拡張型3次元電磁粒子コードの開発

拡張型3次元電磁粒子(EPIC3D)コード

3次元放電シミュレーション

プラズマ相転移 - 突発性と構造形成の起源の解明 -

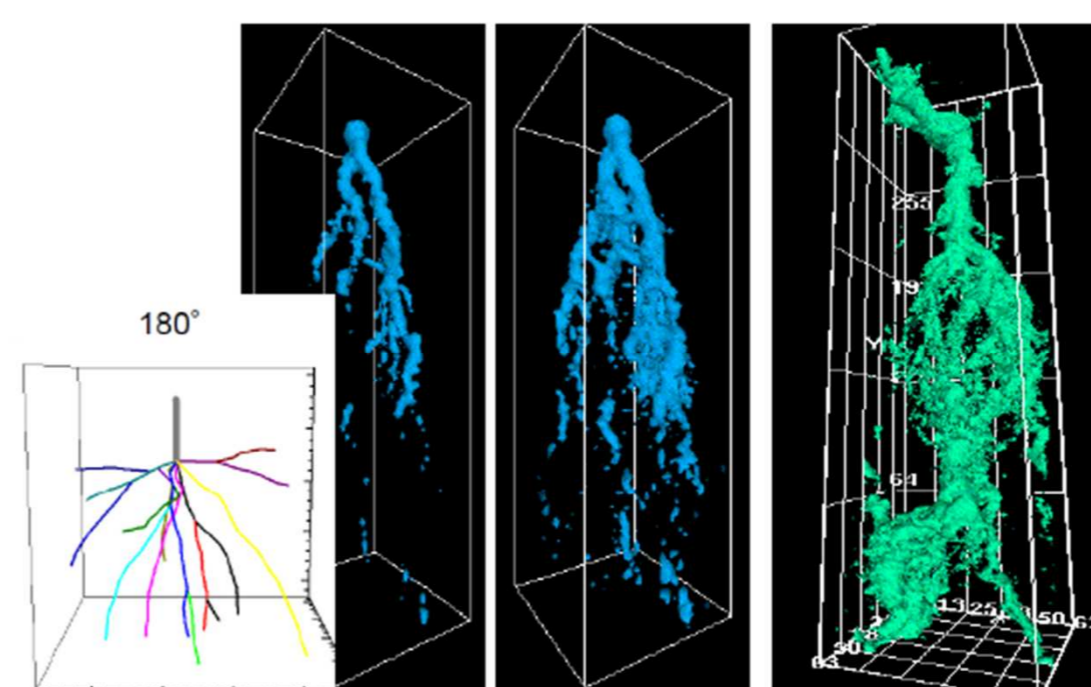
- Fully relativistic treatment: Second and higher order form factor → Variable particle weight
Direct field form using (E,B) Potential field (A,φ): Local field solver imposed for (E,B) version
Particle collision and relaxation: Relativistic pairing collision model, Langevin equation in PIC
Polarization, ionization/recombination process: Field ionization, electron impact ionization, Photo ionization, radiative recombination, three-body recombination



電子・中性粒子衝突(弾性衝突過程)
放電シミュレーションに必要な全素過程を導入

多光子吸収過程の導入
光電離プラズマ過程シミュレーション

・並列化: 領域分割によるMPI並列 → 負荷分散処理が極めて重要



本年度の研究計画

- 「Ohelp」導入に向けたコードの改良・最適化(京都大学学術情報メディアセンターとの共同研究)
大規模3次元放電シミュレーションによる実験・観測データとの比較・検討
「プラズマ相転移」概念のモデル化 → 放電・雷過程のシミュレーションによる実証

