

重力専用計算機 GRAPE-6 を用いた プラズマの粒子シミュレーション

Plasma Particle Simulations using a GRAPE-6 Special-purpose Computer System for
Gravitational N-body Problems

犬塚 博

静大工

INUZUKA Hiroshi

Faculty of Engineering, Shizuoka University

1. はじめに

プラズマの粒子シミュレーションに、本来は重力多体問題専用計算機である GRAPE-6 (以下、G6 と略す) を利用することを試みている。

G6 では次のような粒子間の重力計算にその演算が専用化・固定化されている。

$$\mathbf{F}_i = Gm_i \sum_j m_j \frac{\mathbf{r}_{ij}}{(r_{ij}^2 + S^2)^{2/3}} \quad (1)$$

我々は同じ逆二乗則であるク - ロン相互作用の演算も G6 で高速化できるのではないかと考え、クーロン相互作用を計算可能とするための式変形を施した。

$$\mathbf{F}_i = \frac{-q_i}{4\pi\epsilon_0} \sum_j q_j \frac{\mathbf{r}_{ij}}{(r_{ij}^2 + S^2)^{2/3}} \quad (2)$$

(1)式と(2)式の異なる部分である引力と斥力の計算や定数の違いはホストコンピュータに担当させる。したがって、元々1TFlops 近い演算能力を持つ G6 を用いたシミュレーションがどの程度高速化できるかは G6 で計算できない部分の演算に強く依存しており計算対象によって異なる。

2. プラズマ不安定性のシミュレーション

G6 を用いてプラズマの基本的な流体不安定性の一つであるブーネマン不安定性を模擬することを試みた。その結果、電流を流し始めてからブーネマン不安定性が成長し飽和するまでの様子を数十秒で計算することが可能であった。その成長の様子は計算させながらリアルタイムに観測可能である。測定された揺動のパラメータはブーネマン不安定性の分散式と良く一致している。

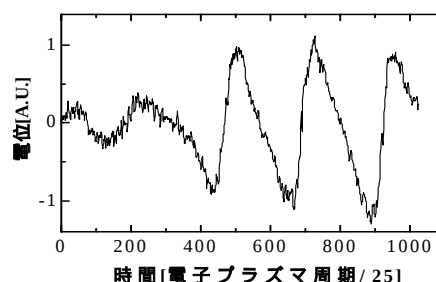


図1 ブーネマン不安定性の成長

3. ダストプラズマのクーロン結晶化と微少重力環境下の構造形成のシミュレーション

ダストプラズマのシミュレーションは粒子間の大きな質量差から多大な演算時間を要し、重力等の影響も考慮する必要がある場合が多い。元々重力専用計算機である G6 で重力の演算を行うのは全く問題ない。我々はダストプラズマの現象で関心が持たれ数多くの実験もなされているクーロン結晶化と微少重力下の構造形成を模擬するシミュレーションを G6 を用いて行った。

図2は微小重量環境化でダストのボイドが形成された一例である。このような結果は実験結果と良い一致を示した。また、演算時間も通常の Pentium4(1.6GHz)の約 1000 倍高速であった。

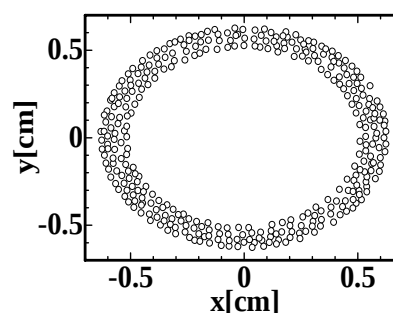


図2 微少重力下でのボイドの形成