



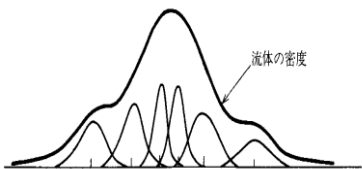
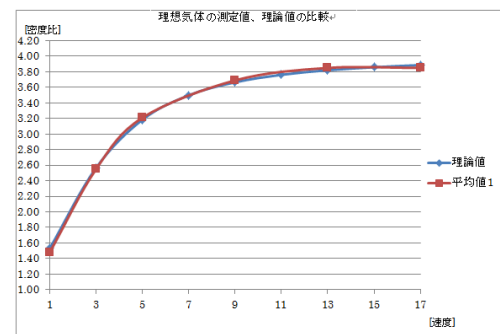
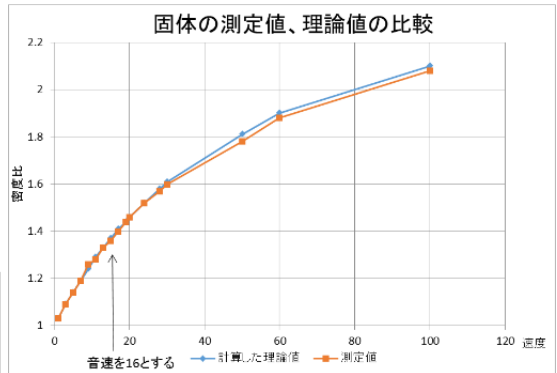
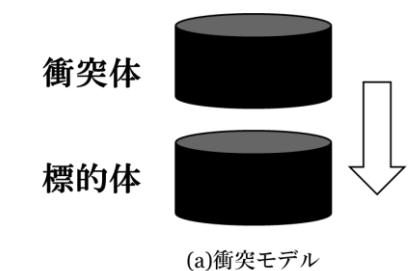
プラズマ・電磁流体及び非粘性流体の数値シミュレーション精度の解析及び高精度化の研究

個体・液体・気体及び混合体の流れ解析

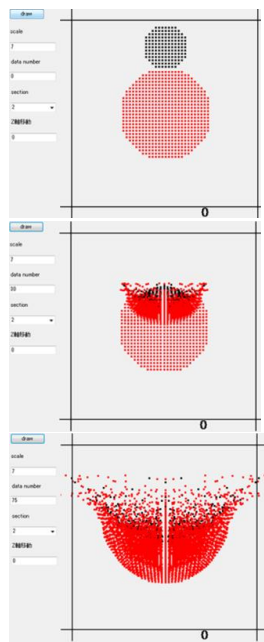
SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) は天体物理学の問題を解くために開発され、星の形成、超新星爆発、星同士の衝突、銀河の形成を含むさまざまな天体物理学の研究に幅広く使われるようになった。近年になり、弾性粒子の運動を表現することで、固体の問題も解析できるように改良、自由表面などを扱うのに適しているため、ほぼ非圧縮である水を扱う海洋学や原子力工学などのエンジニアリングの分野でもSPH法から発展した粒子法が使われるようになっていく。

本研究室では、個体・液体・気体間の相変化を含む混相流を扱える数値計算手法の開発を進めている。SPH法では流体を小さな流体素片(粒子)に分割し、各粒子には空間的にガウス分布のような密度形状(広がり)を持たせて流体のような連続体を表現する。この形状をカーネル関数と呼び、問題に応じて種々のカーネルが使われているが、用いるカーネルにより計算結果が変わる、粘性が大きいため渦ができ難いなどの問題がある。本研究では、計算結果のカーネル依存性の解明及び衝撃波や渦が正しく記述できる手法の研究を進めている。

固体と固体の衝突、理想気体(流体と流体)の衝突



固体球同士の衝突



流体・電磁流体・プラズマの挙動解析

流体としての特性と電磁気学的な特性を併せ持つプラズマ・電磁流体の振る舞いを高精度に解析するシミュレーションコードの作成及びコードを使った解析を行っている。現在は主として、自発磁場生々と熱伝導に関する解析を行っている。

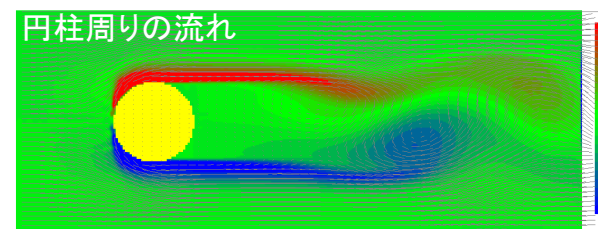
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$$

$$\rho \left\{ \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right\} = -\nabla (p + \frac{B^2}{8\pi})$$

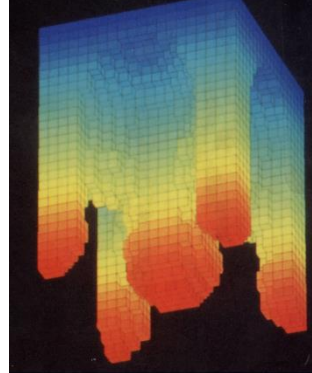
$$\begin{cases} \frac{\partial \rho_e C_{ve} T_e}{\partial t} + \nabla \cdot \rho_e C_{ve} \mathbf{v} T_e = -P_e \nabla \cdot \mathbf{v} + \nabla \cdot \bar{\kappa}_e \cdot \nabla T_e + G + H - H_{ei} \\ \frac{\partial \rho_i C_{vi} T_i}{\partial t} + \nabla \cdot \rho_i C_{vi} \mathbf{v} T_i = -P_i \nabla \cdot \mathbf{v} + \nabla \cdot \bar{\kappa}_i \cdot \nabla T_i - H_{ei} \end{cases}$$

プラズマ中の磁場の発展方程式

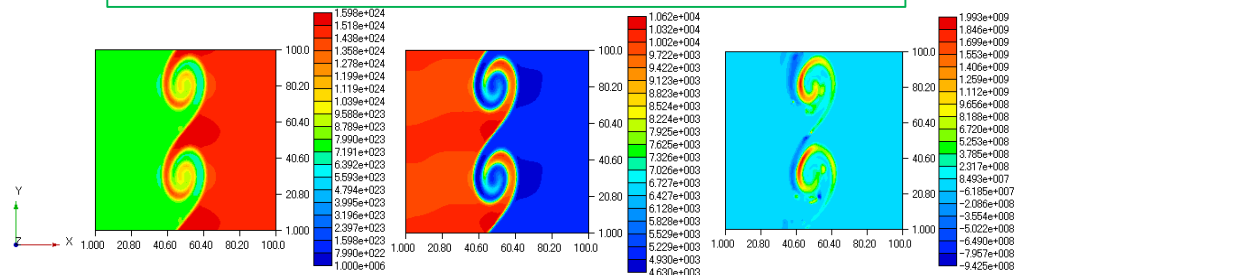
$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{v}_i \times \mathbf{B}) + \frac{c}{e} \left[\nabla \times \left(\frac{\nabla p_e}{n_e} \right) - \nabla \times \left\{ \frac{(\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B}}{4m_e} \right\} + \nabla \times \frac{\nabla \cdot \mathbf{P}}{n_e} - \nabla \times \left(\frac{\mathbf{R}_T + \mathbf{R}_U}{n_e} \right) \right]$$



3次元レーレーテラー不安定性



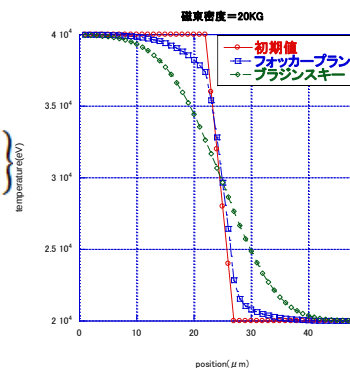
ケルビンヘルムホルツ不安定性と自発磁場生々



磁化プラズマ中の(非局所電子)熱伝導解析

$$\bar{\kappa} \cdot \nabla T = K_{\parallel} \nabla_{\parallel} T + K_{\perp} \nabla_{\perp} T + K_{\Lambda} h \times \nabla T$$

$$\frac{\partial f_0}{\partial t} + \frac{1}{3v^2} \frac{\partial v^2}{\partial z} - \frac{1}{3v^2} \{v^2(a_x f_x + a_z f_z)\} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial}{\partial v} \left\{ Y \left[C f_0 + D \frac{\partial f_0}{\partial v} \right] \right\}$$
$$\frac{\partial f_1}{\partial t} + v \nabla f_0 - a \frac{\partial f_0}{\partial v} - \omega \times f_1 = C_1$$



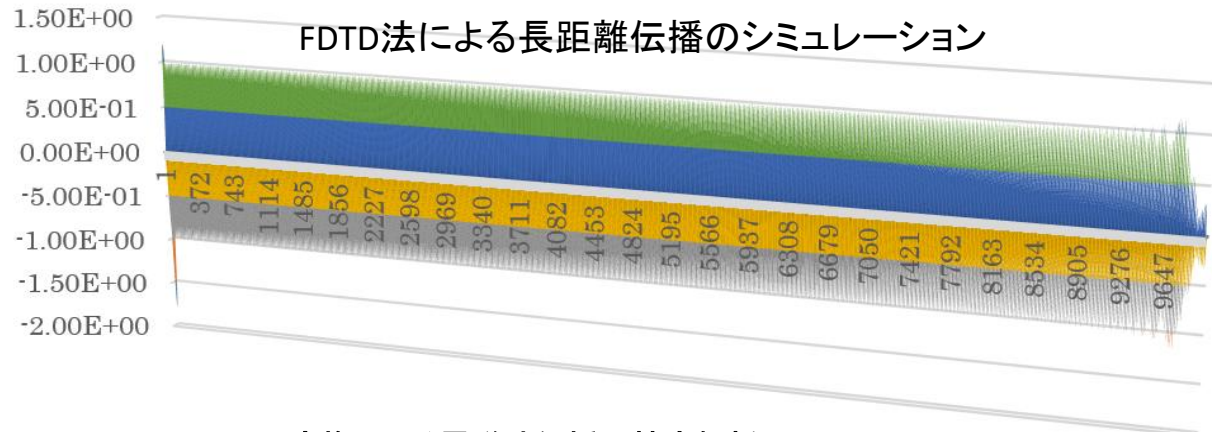
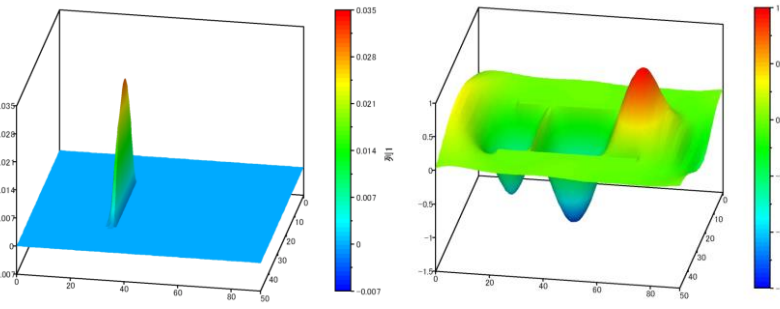
電磁界、電磁波伝播の解析

FDTD 法 (Finite Difference Time Domain method) は、マクスウェルの方程式などの波動方程式を差分化してシミュレートする方法である。アンテナの設計、電磁波の散乱、導波路の設計等に利用され、その他振動・波動現象一般への応用も広がっている。

FDTD法は、空間時間とも2次精度であるが、分散があるため、周波数によって伝播速度に違いが生じる。そのため波動の長距離伝播の計算では、波形が歪むという問題がある。本研究では、FDTD法の特性(精度)の解析や分散を補正する方法の検討もおこなっている。

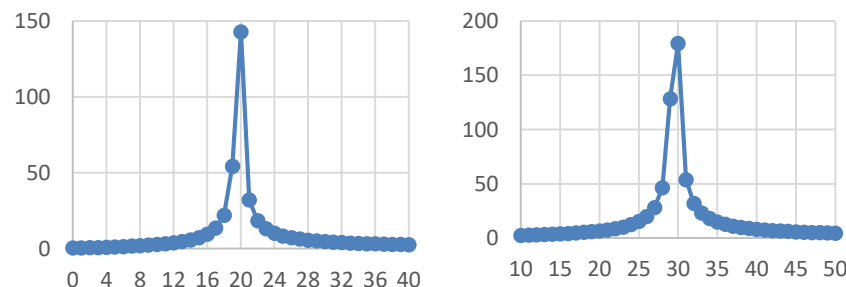
FDTD法による電磁波伝播

方形導波管からのTE10モードの電磁波の放出を、FDTD法により計算した結果の一例を図に示す。導波管中央のxy平面(右図の緑の面)上での電界(Ey成分)を表したものである。時間とともに電磁波が+y方向に伝搬していく様子が理解できる。



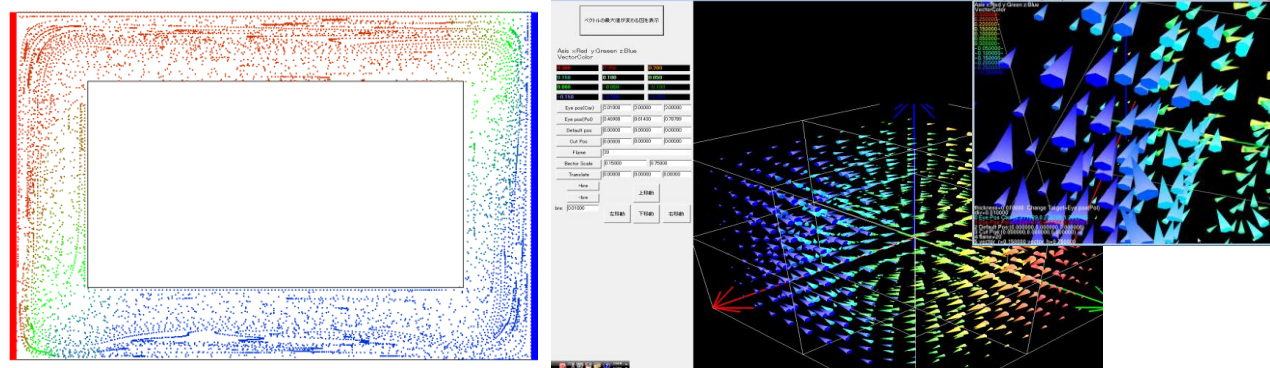
フーリエ変換による電磁波伝播の精度解析

アンテナから20波長、30波長分をフーリエ変換したときの各モード成分

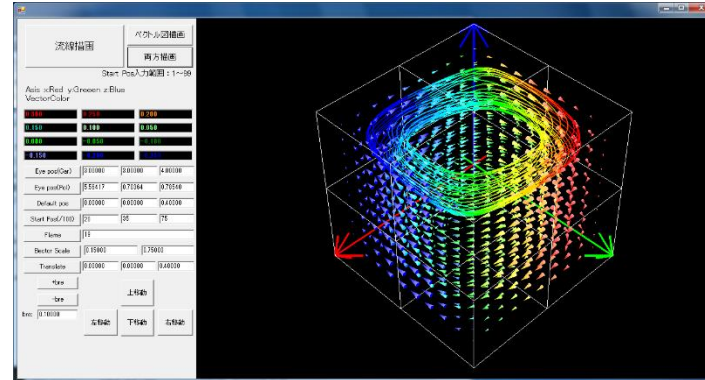
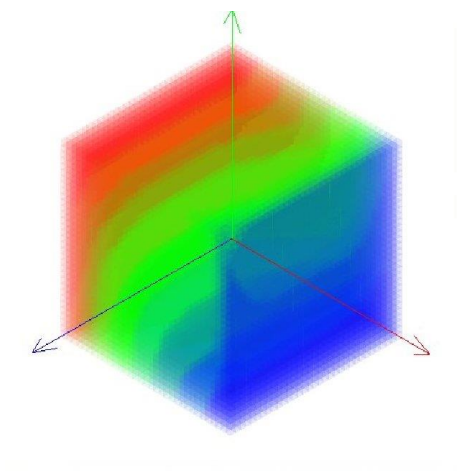


スカラー量、ベクトル量の可視化と解析

数値計算・コンピュータシミュレーションにより得られた、人の目には見えない事象や現象を、映像やグラフ・表などにして分かりやすく、直感的に理解できるようにする



流れと温度の可視化(3次元流れの断面)



3次元流れ流速ベクトルと流線

