

2021年5月24日(月) NIFSユニット制移行準備会合
研究テーマ紹介 課題No.18

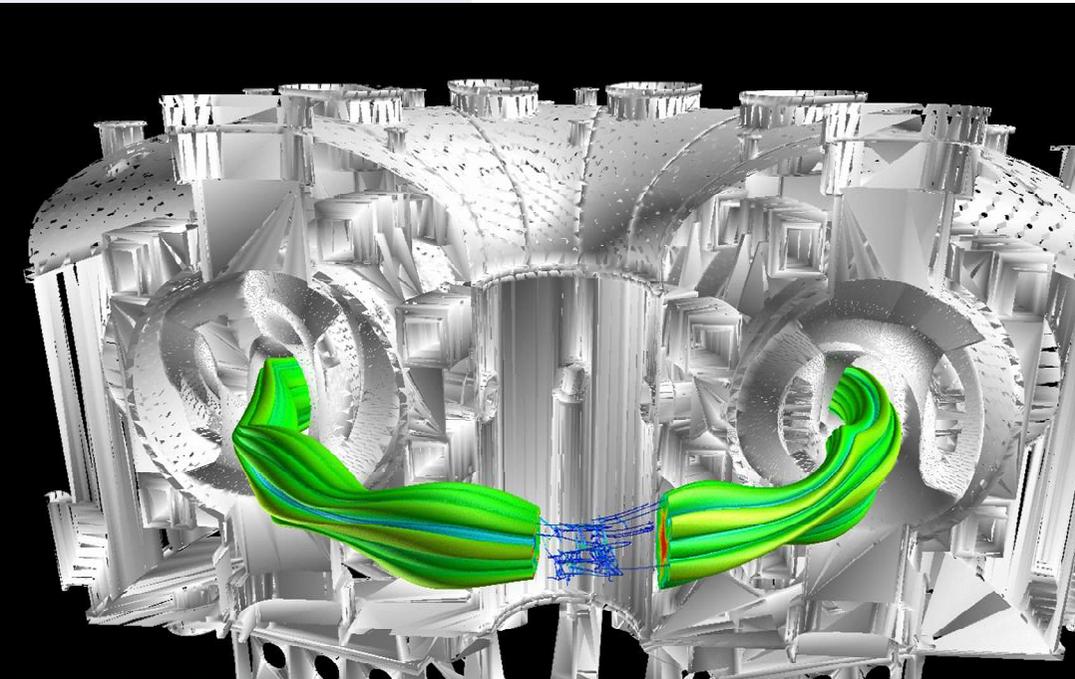


複雑運動の要素構造と 自由度遞減研究

基礎物理シミュレーション研究系

三浦英昭

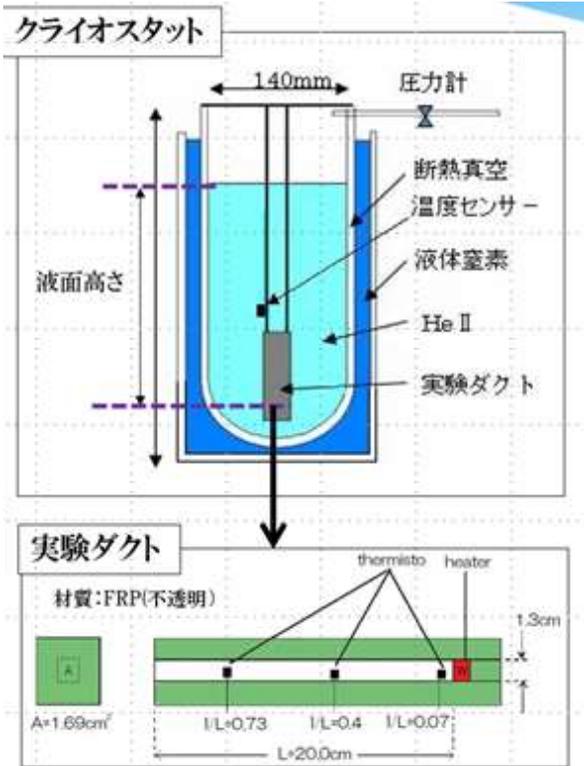
MHD(乱流)からより広範な乱流研究へ



MHD(乱流)からより広範な乱流研究へ

事例：量子乱流（所外主導共同研究）

- 古典乱流との対応に注目【渦の可視化、構造形成、渦のトポロジー、間欠性など】
- 古典乱流に対して、高レイノルズ数極限の乱流描像を提供可能（目標）
- 統計理論（繰込展開）とエネルギースペクトル
- 熱対向流：超流動ヘリウムにおける沸騰現象と熱輸送に関する研究【核融合との関連】
- 極低温への挑戦などへの展開【低温工学】
- 名大・筑波・NIFS 共同研究体制【低温研究者の協力求む】



(上)提供：名古屋大学・辻義之教授
(右) Kubo&Tsuji, J.Low Temp. Phys. 196 (2019)

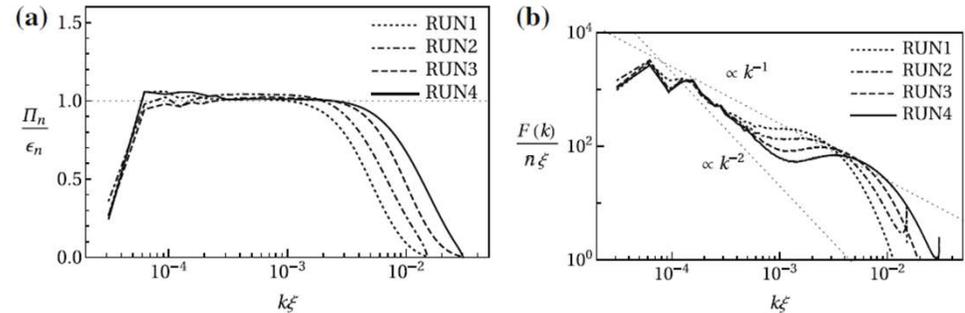


Fig. 2 a Particle-number flux $\Pi_n(k)$ normalized by the particle-number dissipation rate ϵ_n for the healing length $\xi = 0.3125 \times 10^{-4}$ and several values of the particle-dissipation coefficient ν (RUN1-4). b Spectrum $F(k)$ for RUN1-4. Slopes of the dotted lines indicate $\propto k^{-1}$ and $\propto k^{-2}$

(上)Yoshida, Miura, & Tsuji, J.Low Temp. Phys. 196 (2019)
【プラズマシミュレータ共同研究】

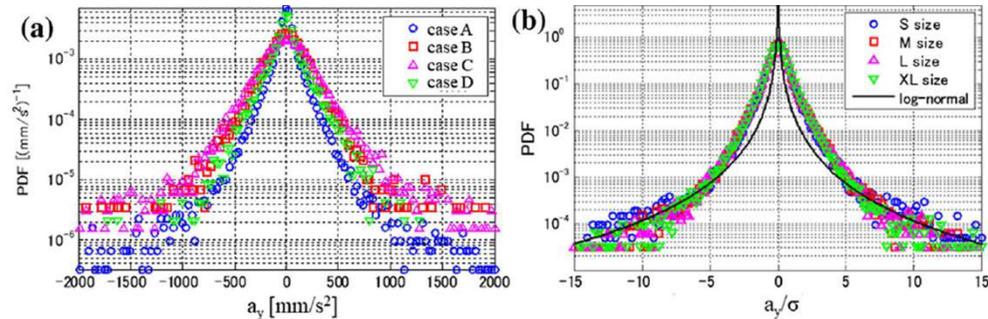
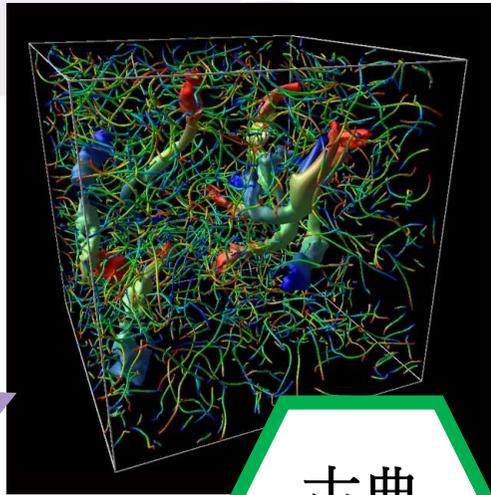


Fig. 5 Lagrangian acceleration in y-direction profile. a S size, b case A. Solid line is log-normal distribution $P(x) = \frac{\exp(1.5S^2)}{4\sqrt{3}} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{\ln|x/\sqrt{3}|+2S^2}{\sqrt{2S}} \right) \right]$ with $S = 1.5$ (Color figure online)

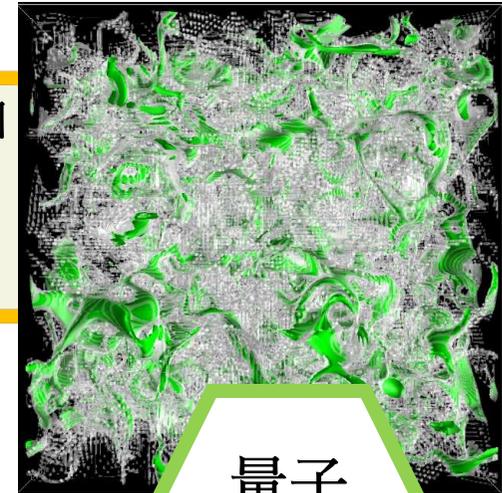
量子乱流、古典乱流



木田・河原 パリテイ
20(2005)

古典
乱流

乱流==要素渦(コヒーレント構造)の集団
 ・運動の最小単位としての「渦」
 ・乱流運動→要素構造同士の相互作用
 ・渦のつなぎ変え(流れ場の位相構造)



量子
乱流

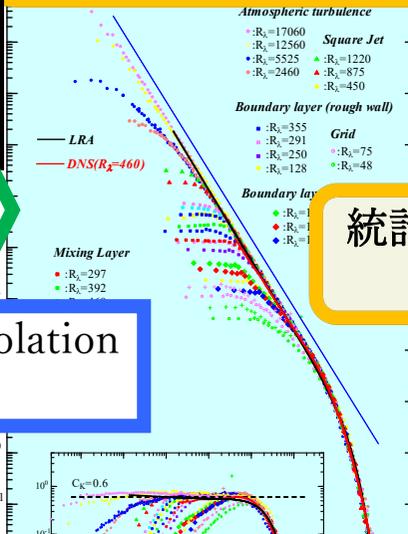
(低自由度)力学系・Directed percolation
 亜臨界・超臨界遷移

古典力
学系

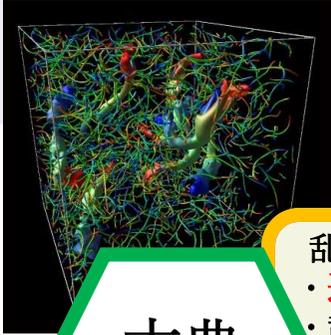
統計理論(繰込展開など)・普遍法則

低温実験&可視化

大規模シミュレーション・計算科学・可視化・数値手法
 (プラズマシミュレータ共同研究など)



量子乱流、古典乱流、MHD乱流・構造形成



木田・河原 パリティ
20(2005) 掲載；渦旋
回中心軸

古典
乱流

乱流==要素渦(コヒーレント構造)
・運動の最小単位としての「渦」
・乱流運動→要素構造同士の相互
渦のつなぎ変え(流れ場の位相)

統計理論・普遍法則

粒子輸送・可視化

低温実験
&可視化

量子
乱流

統計法則・普遍法則

粒子輸送・可視化

コヒーレント構造の集団(渦、電流層)
・乱流運動→要素構造同士の相互作用
・磁場の繋ぎ変え(磁場の位相構造)
・渦運動による磁場生成(ダイナモ)

(X)MHD
乱流・ダイ
ナモ

数値手法・
モデル等

粒子輸送・可視化

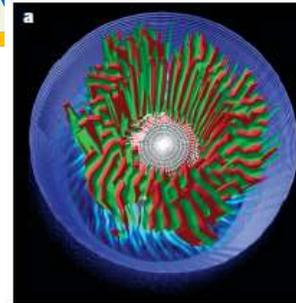
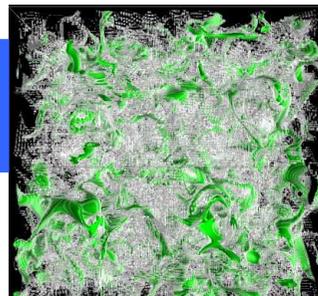
実験データ解析

MHD構造
形成(トー
ラス)

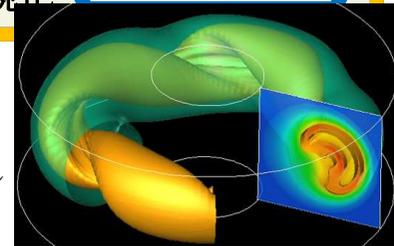
(低自由度)力学系・不安定周期軌道
Directed percolation・亜臨界/超臨界遷移

古典力
学系

可視化ライブラリVISMOを利用したGP乱流の渦可視化 →



(左) Miyagoshi, Kageyama, Sato, Nature (2010)
(右) 水口, RFP シミュレーション



微視スケール
モデル化

大規模シミュレーション・計算科学・可視化・数値手法
(プラズマシミュレータ共同研究など)



量子乱流、古典乱流、MHD乱流・構造形成

木田・河原 パリティ
20(2005) 掲載：渦旋
回中心軸

低温実験
& 可視化

コヒーレント構造の集団(渦、電流層)
・乱流運動→要素構造同士の相互作用
・磁場の繋ぎ変え(磁場の位相構造)
・渦運動による磁場生成(ダイナモ)

実験データ解析

乱流==要素渦(コヒーレント構造)
・運動の最小単位としての「渦」
・乱流運動→要素構造同士の相互作用
統計理論・普遍法則

古典
乱流

量子
乱流

(X)MHD
乱流・ダイ
ナモ

MHD構造
形成(トー
ラス)

数値手法
モデル等

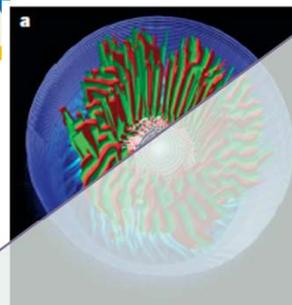
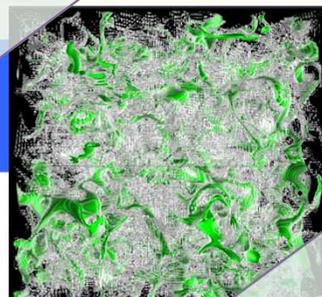
粒子輸送・可視化

粒子輸送・可視化

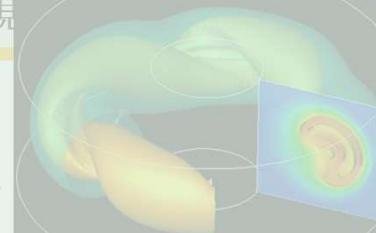
粒子輸送・可視化

(低自由度)力学系・不安定周期軌道
Directed percolation・亜臨界/超臨界遷移

可視化ライブラリVISMOを利用したGP乱流の渦可視化 →



(左) Miyagoshi, Kageyama, Sato, Nature (2010)
(右) 水口, RFP シミュレーション



NIFS メンバー主導
の研究

微視スケール

大規模シミュレーション・計算科学・可視化・数値手法
(プラズマシミュレータ共同研究など)

古典力
学系

所外メンバー主導の研究

要素構造（運動の最小単位）とは何か？

フーリエ／不安定固有モード分解は複雑な運動に対する十分な情報を提供しない
→複雑運動を適切に表現する体系を作ればよい

古典乱流

量子乱流

低温実験
& 可視化

(X)MHD
乱流・ダイ
ナモ

実験データ
MHD構造
形成(トー
ラス)

- ・ 複雑運動研究分野に共通の要素構造の定義と抽出方法開発
(分野間の共通言語としての「要素構造」)
- ・ シミュレーション・実験の大規模データから要素構造を抽出
要素構造を軸とした新しい現象論を

微視ス
ケールモ
デル化

古典力
学系

大規模シミュレーション・計算科学・可視化・数値手法
(プラズマシミュレータ共同研究など)

複雑運動の要素構造と自由度遞減研究(1)

(1) 各分野での個別研究の進行 (それぞれに未解決の問題)

古典乱流

量子乱流

(X)MHD
乱流・ダイ
ナモ

実験データ
MHD構造
形成(トー
ラス)

↑ 所外メンバー中

↑ 所外+所内

低温実験
& 可視化

↑ 所外

↑ 所外+所内

↑ 所外+所内

(低自由度)力学系・不安定周期軌道
Directed percolation・亜臨界/超臨
界遷移
所外共同研究者

(2) 「要素構造」の定義 (全分野共同)
(3) 要素構造抽出&自由度遞減手法開発:
既存の手法の活用(e.g. Karhunen-Loeve 展開,
Proper Orthogonal Decomposition, Dynamic
Mode Decomposition) etc. (many)

マイクロからマクロへ

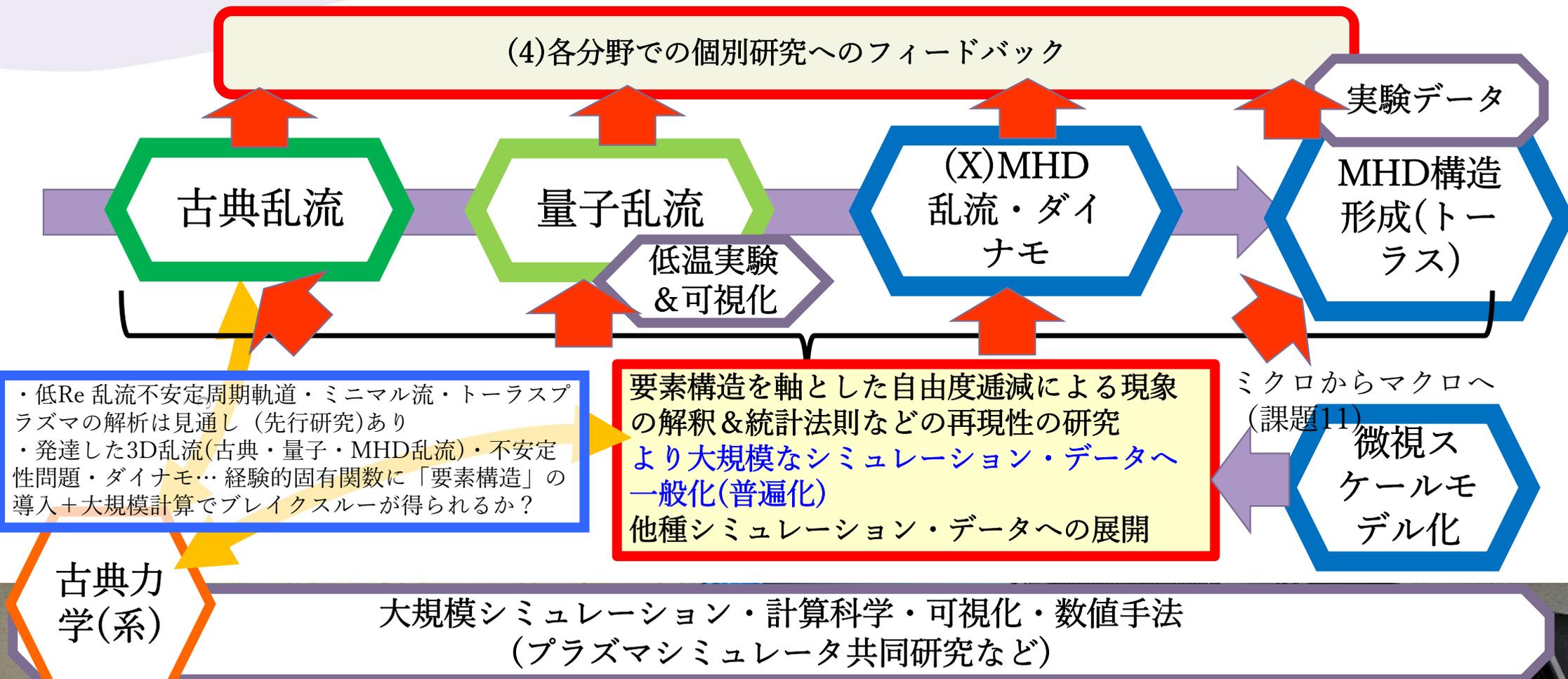
微視ス
ケールモ
デル化

古典力
学(系)

大規模シミュレーション・計算科学・可視化・数値手法
(プラズマシミュレータ共同研究など)

5/17 宇佐見「ボトムアップシミュレーション」

複雑運動の要素構造と自由度逡減研究(3)



ユニット化の目標(今後10年), 課題, 設備

- 古典乱流、MHD乱流他各研究テーマは夫々について取り組み
+ 共通目標として自由度逡減研究で相互協力

- 第一段階：自由度逡減法の調査・選択, 射影コード開発
小規模シミュレーションでの軌道解析
予想される問題の克服

量子乱流, (X)MHD：波動の取り扱い

ダイナモ、不安定性：成長段階の最適基底の変化

ボトムアップ：微視的効果による主要な基底の変化

- プラズマシミュレータを最大限活用【大前提!!】

N^3 データ \rightarrow $(N^3)^2$ 配列の固有ベクトル(超大規模計算)(KL/POD)

- 第二段階：大規模シミュレーション (大自由度==高レイノルズ数)
データの低自由度力学系への射影による現象論の展開

プラズマシミュレータ + JHPCN, HPCI

既存研究の限界(UPOの探索)を超えた大自由度力学系的なストーリーの構築ができるか？

