

複合大域シミュレーション ユニット

- (1) 全体報告：三浦英昭 (25分程度)
- (2) 研究成果報告：佐藤雅彦 (15分程度)
- (3) 研究成果報告：WANG Hao (15分程度)
- (4) 質疑応答・討論 (15分程度)



2025年度ユニット成果報告会 2025年5月28日

メンバーリスト

ユニット研究戦略会議

所内メンバー

三浦英昭、樋田美栄子、藤堂泰、洲鎌英雄、水口直紀、堀久美子、山本孝志、佐藤雅彦、石崎龍一、關良輔、WANG Hao、**WANG Jialei (new)**

所外メンバー

石澤明宏（京大）、陰山聡（神戸大）、後藤晋（阪大）、高橋俊樹（群馬大）、田口聡（京大）、辻義之（名大）、町田真美（国立天文台）、**芳松克則（名大）(new)**、渡邊威（名工大）、渡邊智彦（名大）

ユニットの目的

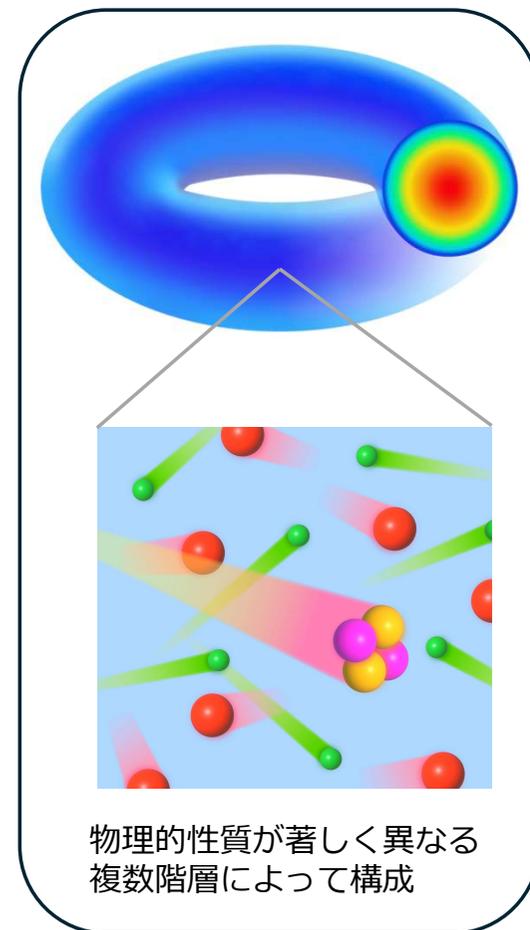
多階層によって構成されている系全体の挙動を理解するためには、各階層の個別のシミュレーションだけでは不十分。

階層間の相互作用を考慮した大域的シミュレーションが必要。
多くの学術分野で重要な課題だが実現は容易ではない。

要因：微視的階層と系全体の時間空間スケールが極端に異なる状況がしばしば発生し、微視的階層を対象とした単一の基礎物理方程式に基づいたシミュレーションで両スケール全体を取り込むには計算機の規模・能力が不足する。

目的

この問題を解決するシミュレーション手法を開発して、
複合大域シミュレーションを実現し、シミュレーション
研究を推進する。



ユニットの目標

本ユニットではこの課題を、微視的階層との相互作用を正しく取り入れた大域的シミュレーションを実現する方法論の問題として捉える。

階層間や異なる物理モデル間を連結する手法を開発し、単一の基礎物理方程式に基づいたシミュレーションでは取り扱うことのできない系全体の挙動を予測・解明する大域的シミュレーションを実現する。

2つの中核目標

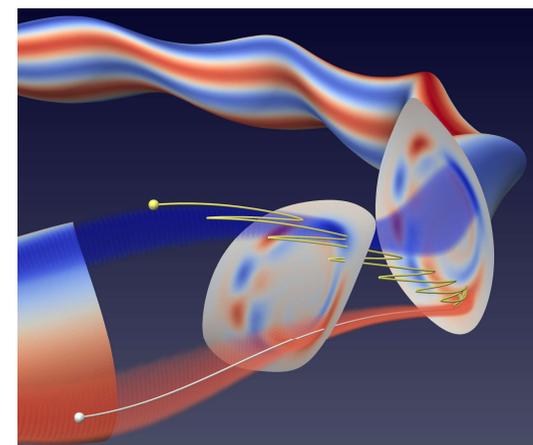
- 1) 炉心プラズマと周辺プラズマを包含する磁場閉じ込め核融合プラズマ全体の大域的シミュレーションの実現
- 2) スーパーコンピュータの規模による強い制限を超えて、より実現象に近いシミュレーションを実現するための広範な応用性をもつ方法論の確立
⇒ 信頼性の高いデータの創出、複雑現象の挙動予測・解明

アカデミックプラン

1. 磁場閉じ込め核融合プラズマ全体シミュレーションとその関連研究

高エネルギー粒子と熱イオンを運動論的に取り扱う磁気流体ハイブリッドシミュレーションによる研究を主軸とする

- (1) MEGAを拡張 ⇒ 磁場閉じ込め全体の複合大域シミュレーションを実現
- (2) 実験との共同研究によるVerification and Validation (V&V)
自由な発想でシミュレーション ⇒ 実験研究を先導する新たな現象の発見
階層間相互作用の解明、モデル化
- (3) 宇宙・天体プラズマに応用し、学際研究を展開。
- (4) 各階層の理論と計算手法の高度化、物理理解の深化

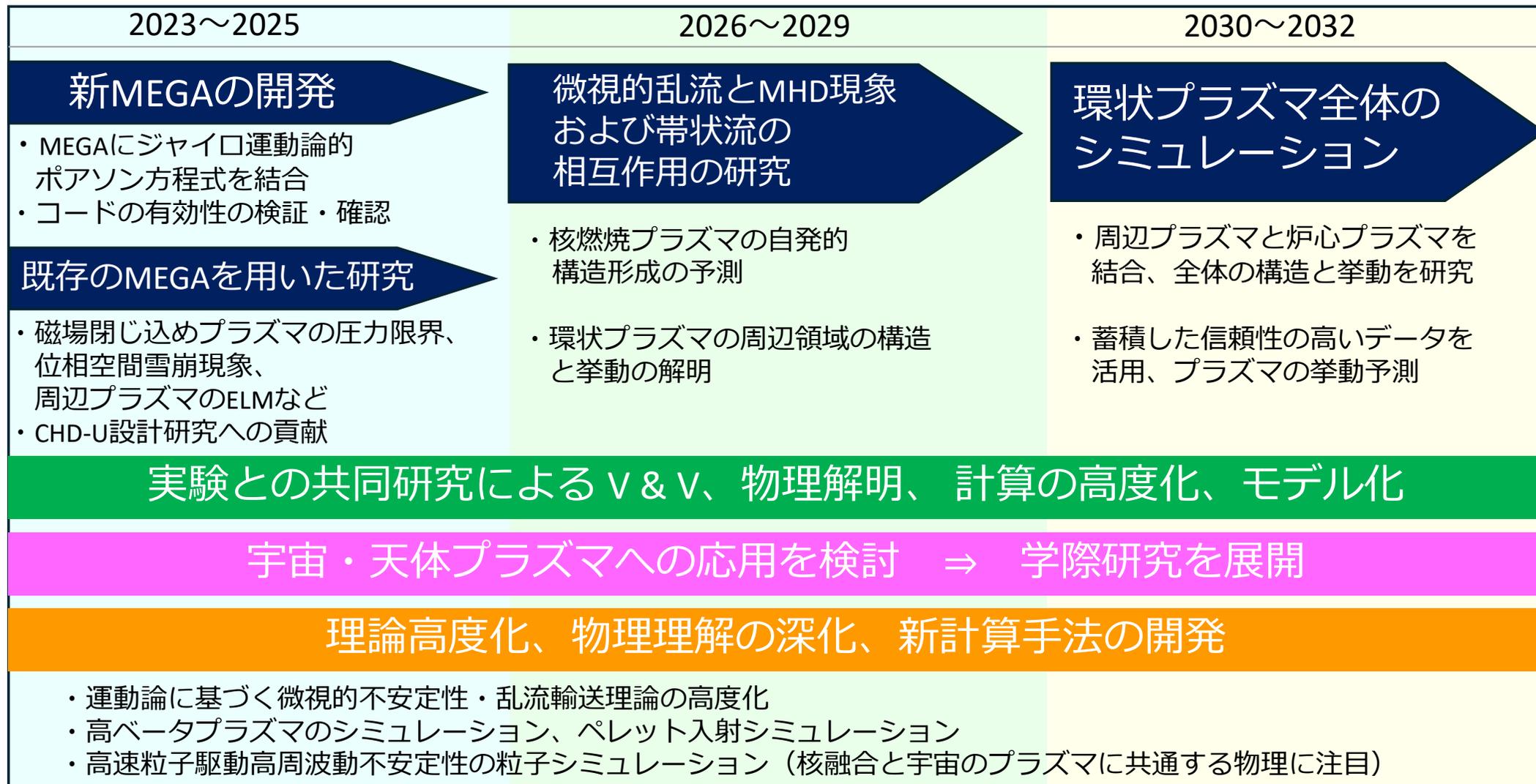


2. 散逸系PDE乱流のための広範な応用性をもつ方法論の確立

MHD・Hall MHD・中性流体・量子流体などの乱流現象における高波数領域・散逸スケールのモデル化
散逸構造・秩序構造・波動・力学系的アプローチ・データ科学（機械学習等）

- (1) 乱流の微視的・散逸スケール構造（微視的階層）の解明
乱流の階層構造：物理 + (3 + 1)次元解析 + データ科学的手法
- (2) 微視的構造・微視的階層の駆動と変調
巨視的構造・微視的階層の階層内および階層間相互作用の解明
乱流・粒子相互作用，波動，回転等の影響
- (4) 相互作用のモデル化と実現象問題への実装
- (5) 方程式系から方程式系への水平展開（他の学術課題への展開）

(1)MEGAを用いた研究とその関連研究：戦術（研究計画）



(1) 協力組織体制

MEGAを用いた研究とその関連研究

研究課題	所内メンバー	ユニットメンバー（所外）、ユニット外研究者、協力研究機関・装置等
新コード開発 V&Vと 物理解明	藤堂, 佐藤, Wang Hao, 關, Wang Jialei, Wei Shizhao, Li Hanzheng	京大・石澤、原研・井戸村、量研・相羽 ：新コード開発・検証 CHD-U設計グループ, LHD, JT-60SA, マックスプランクプラズマ物理研究所, ゼネラルアトミクス, セビリア大学, リスボン大学, ASIPP, 大連理工大学, 西南交通大学：実験研究 および 新装置設計
宇宙・天体プラ ズマへの応用	藤堂, 佐藤, 樋田	宇都宮大・川面、東北大・加藤、天文台・町田 ：宇宙・天体プラズマの専門家としてMEGAの応用を検討
運動論理論高度化	洲鎌, B. J. Kang	名大・渡邊 ：運動論理論の高度化、シミュレーションによる検証
高速粒子駆動 高周波動	樋田	京大・田口、小谷 ：宇宙空間観測、粒子シミュレーション ユニット間連携・メタ階層ダイナミクス伊神 ：実験計測・数値計算
高ベータプラズマ	水口	群馬大・高橋、日本大FRC実験G ：極限的高ベータプラズマの計算手法開発、実験検証

(2)乱流の微視的・散逸スケール構造の解明・モデル化研究の戦術（研究計画）

2023～2027

2028～2032

基本アプローチの探求

対象（方程式系・現象）ごとの研究

- ・ 信頼性の高いシミュレーションデータの蓄積
- ・ 秩序構造とその階層性の解明と特徴づけ
- ・ (3 + 1)次元解析（可視化など）

モデル化手法の研究

- ・ 物理ベースの挙動予測
- ・ サブグリッドスケールモデル
- ・ POD, DMD, ROM など数理科学・データ科学的手法

数値手法研究

それぞれの対象でアプローチの有効性の検証・確認

方法論確立への展開

- ・ 方程式・対象間のアプローチの比較
- ・ 他の方程式の導入とテスト
- ・ 実現象への応用による信頼性の向上
- 流体工学シミュレーション応用
- 気象・防災シミュレーション
- 量子乱流実験連携
- など

ズマ全体の

ネットワーク型研究加速事業・他大学との共同セミナー等による学際展開

競争的資金申請における学際連携

理論高度化、物理理解の深化、新計算手法の開発

(2) 協力組織体制

乱流の微視的・散逸スケール構造の解明とモデル化研究 [方程式系・対象ごとに分類]

研究課題	所内メンバー	ユニットメンバー（所外）・ユニット外研究者・協力研究機関
(拡張)MHD	三浦, 堀	東京大・半場：サブグリッドスケールモデル, 岡山理大・荒木：非線形波動解析, 京都大・松本：乱流統計理論・渦構造解析, インド理科大学院(IISc)・R. Pandit, S. K. Yadav：Hall MHD乱流, 名古屋大・芳松：Hasegawa-Mima, Hasegawa-Wakatani
ダイナモ・対流・回転系	堀, 三浦	神戸大・陰山：ダイナモシミュレーション, 英リーズ大・S.M. Tobias, C.A. Jones, 英グラスゴー大・R.J. Teed, 英ダラム大・L.K. Currie：ダイナモ理論・モデル, 熱対流, 回転MHD波動, DMD
流体力学 (Navier-Stokes)	三浦, 堀	大阪大学・後藤：乱流、乱流・粒子相互作用, 乱流機械学習モデル, 大阪大学・清水：乱流, 乱流機械学習モデル, 名古屋工業大学・渡邊：乱流、乱流・粒子相互作用, 雲粒・湿潤乱流
量子流体	三浦	名古屋大学・辻：量子乱流実験, 筑波大学・吉田：量子乱流クロージャー・数値シミュレーション
可視化	三浦	神戸大・陰山：4DSV, 兵庫県立大・大野：VISMOライブラリ開発
数理解科学手法	堀, 三浦	大阪大学・清水：乱流モデリング, 神戸大・谷口：科学技術・物理のための深層学習基盤
HPC分野	三浦, 堀	東京大・中島, 住元, 筑波大・高橋, 名古屋大・片桐：シミュレーションコード高度化

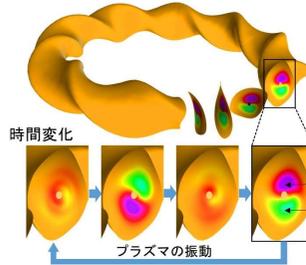
科研費以外の資金

- Leeds Inst. Fluid Dyn., U.Leeds Visiting Fellows Scheme "Geophysical and astrophysical fluid dynamics and data-driven approaches" 代表者: 堀久美子
- JST 先端国際研究支援事業・次世代のためのASPIRE 「深層科学技術計算: 数理解科学を基盤とする物理構造と深層学習の融合」 分担者: 堀久美子
- 京都大学数理解析研究所「Hall MHD乱流の統計的性質」代表者: 三浦英昭

2つの研究グループの協力

(1) MEGAを用いた研究とその関連研究

計算手法の高度化(AMRなど)
可視化(4DSV, VISMOなど)
データ科学的手法の利用
オープンソース化
HPCシステム活用
物理モデル



ネットワーク型研究加速事業

(2) 乱流の散逸階層・微視的階層モデル化の方法論研究



協力

促進

信頼性の高い
複合大域
シミュレーション
の実現

- ・信頼性の高いデータの創出
- ・複雑現象の解明と予測
- ・幅広い分野への応用

学際展開

他の研究分野

学際研究ネットワークの形成

自然科学研究機構ネットワーク型研究加速事業(2023~2027年度)

「多階層現象の複合大域シミュレーション研究拠点の構築」

代表者：三浦英昭

サブテーマを公募（3年間+2年間）、6サブテーマ(2023~2025年度)

1：分子動力学法を中心としたマルチフィジックスシミュレーションへの挑戦

2：格子 QCDによる強磁場下における核融合反応のエネルギー生成計算

3：乱流現象の散逸階層・微視的階層のモデル化研究 →(2)

4：磁場・レーザーの共創プラットフォームを用いたマルチスケール実験室宇宙物理学への挑戦

5：エネルギー循環における劇的変容現象のシミュレーション研究

6：複合大域プラズマ→(1)

セミナー・講習会の開催（人材育成）、客員招聘（国内・国外）

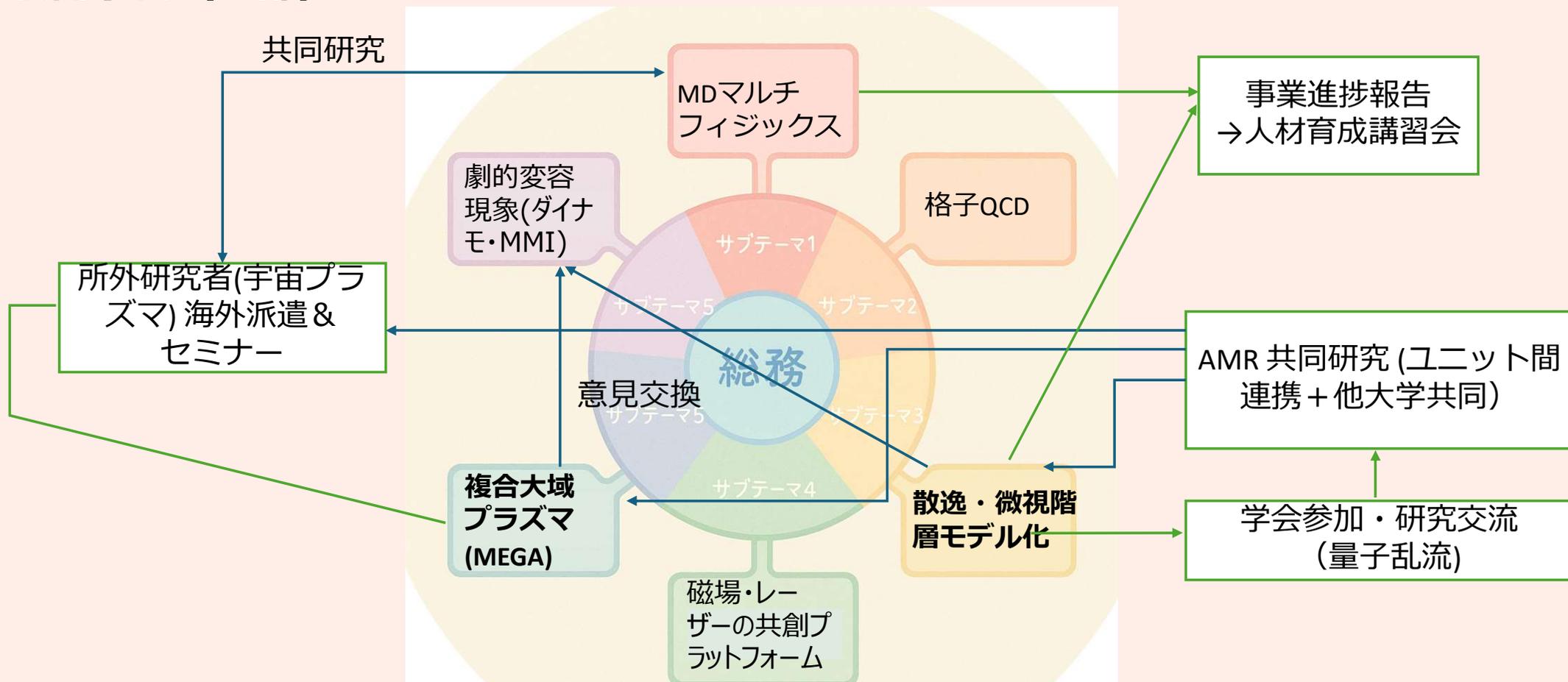
ユニット間協力（複合大域シミュレーション、プラズマ量子プロセス、

プラズマ・複相間輸送、可知化センシング、メタ階層ダイナミクス）

他分野・他研究機関・他大学・海外機関と連携

多階層現象の複合大域シミュレーション研究拠点の構築

展開事例（一部）



この他、各サブテーマごとにNIFS-大学-海外機関共同研究・セミナーを展開（図省略）
→複数サブテーマ・複数の所外機関にまたがる研究も

特筆される成果と見込み 1

(1) MEGAを用いた研究とその関連研究の成果

・ MEGAコードのシミュレーション結果が、LHDならびにASDEX-Upgrade、DIII-D、JT60-U等の高速イオン駆動型不安定性に関する実験結果と良好に一致することを示し、MEGAコードの信頼性を一層高めるとともに、MHD現象に対する高速イオンならび熱イオンの運動論的効果の物理的理解を進展させた。**(プレゼンテーション：佐藤、ワン)**

・ MEGAコードを周辺局在化モード (ELM) に適用し、高エネルギー粒子がELMの振幅や振動周波数スペクトルに大きな影響を与えることを明らかにした。**(Nature Physics)**

・ MEGAコードを地球磁気圏におけるUltra Low Frequency (ULF) 波動現象の解析にも応用、MHD的な振動の成長を確認し、**同コードが宇宙プラズマへの適用にも有望**であることを示した。

・ ジャイロ運動論シミュレーションにより、トカマク配位において、イオン温度勾配(ITG)乱流がイオンから電子へエネルギーを移送し、核融合反応に必要な高いイオン温度を妨げることを示した**(Physics of Plasmas Editor's Pick)**。

・ ランダウ減衰過程における電子の位置と速度変数の確率分布関数の情報エントロピー及び相互情報量の時間発展過程を解明した**(Physics of Plasmas, Featured Article)**。

特筆される成果と見込み 2

(2) 乱流の微視的・散逸スケール構造の解明・モデル化研究

・ Hall MHD乱流の研究で、Hall項が空間構造にもたらす影響が、大規模構造の強化であるか、あるいは微細構造の強化であるかという問題が知られている。少なくとも減衰性一様等方性乱流や、強制乱流で磁気プラントル数が高い場合については、主にホイッスラー波の生成に起因するとみられる波動が微細構造の形成をもたらすことを明らかにした（総説論文）。

・ ダイナモ作用が、従来想定されてきた球状領域全体でなく、トーラス状のトロイダル領域で実質的に起こる場合、電子・電子衝突摩擦等に起因するオームの法則の変化によって、完全軸対称な磁場が増幅・維持されうることを明らかにした（メタ階層ダイナミクスユニットとの共著論文）。

・ 固体粒子を乱流中に混入させると乱流が低減する現象が古くから知られる。プラズマシミュレータを用いた大規模数値シミュレーションにより、非球形粒子を添加した場合の乱流低減現象では、同じ体積分率なら、より小さいか、より重いか、より細長い粒子の方が、低減効果がより大きいことが分かった。また、これらの傾向は、粒子まわりのエネルギー散逸率に着目すれば系統的に説明できることを示した。

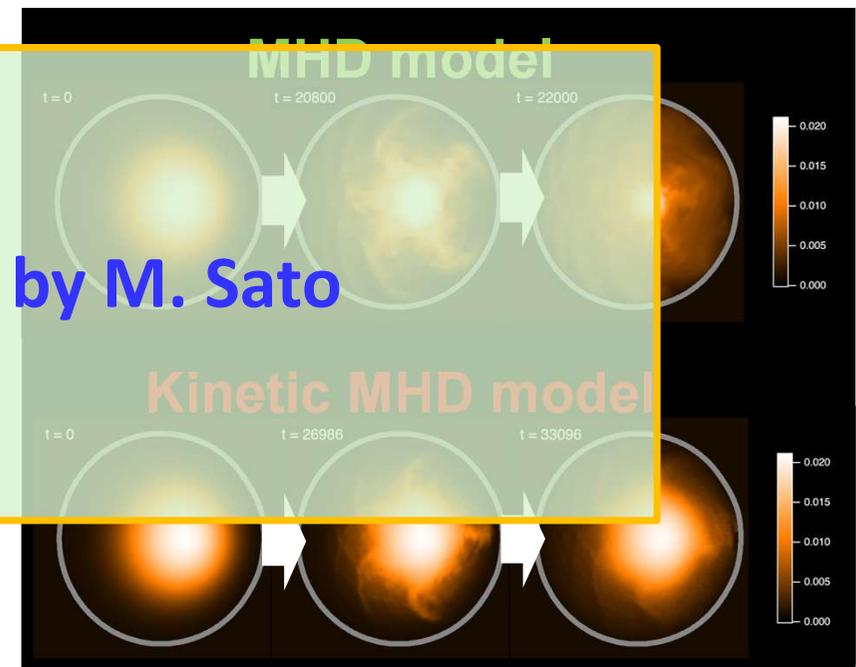
熱イオンの運動論的効果を考慮した円形トカマクプラズマにおけるインファーマルモードの運動論的MHDハイブリッドシミュレーション

MIPSコード(MHDモデル)と、MEGAコード(運動論的MHDモデル)を用いて、トカマクプラズマにおける圧力駆動型不安定性であるインファーマルモードに対する熱イオンの運動論的効果を解析した。

- 熱イオンの運動論的効果を無視したMHDモデルでは、抵抗性インファーマルモードにより、飽和状態の圧力分布が著しく平坦化される。一方、熱イオンの運動論的効果を考慮すると、圧力分布は平坦化されない。
- 圧力分布平坦化の抑制において、熱イオンの運動論的効果が重要な役割をすることを明らかにした。
- 本結果は、インファーマルモードにより決定される最大ベータ値を高精度に予測するには、熱イオンの運動論的効果を考慮する必要があることを示している。

See presentation by M. Sato

M. Sato, Y. Todo, N. Aiba and M. Takechi, “Kinetic-magnetohydrodynamic hybrid simulation of infernal modes in circular tokamak plasmas with effects of kinetic thermal ions”, Nuclear Fusion 2024, vol. 64, 076021.



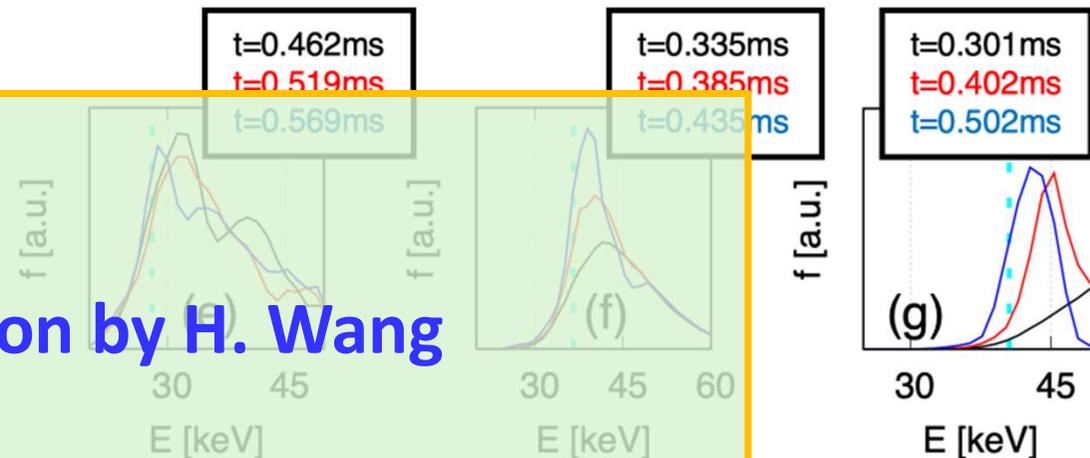
抵抗性インファーマルモードによるポロイダル断面での圧力分布の時間発展。(上:MHDモデル、下:熱イオンの運動論的効果を考慮した運動論的MHDモデル)

Nonlinear excitation of energetic particle driven geodesic acoustic mode by resonance overlap with Alfvén instability in ASDEX Upgrade

論文の内容

- By analyzing the evolution of energetic particle distribution function along the constant P_ϕ line in the phase space, the resonance overlap is identified as the excitation mechanism.
- Initially, the resonant particles excite Alfvén instability, then, the excited Alfvén instability modifies the energetic particle distribution function and make it steeper and steeper on the EGAM resonance line, as shown in the figure. These redistributed energetic particles caused resonance overlap, exciting the energetic-particle-driven geodesic acoustic mode in the nonlinear phase.
- The energetic particles with different magnetic moments μ play different roles in mode excitation. The particles with a μ value of approximately 7.45 keV/T are the most important; they destabilize both Alfvén instabilities and EGAM.

See presentation by H. Wang



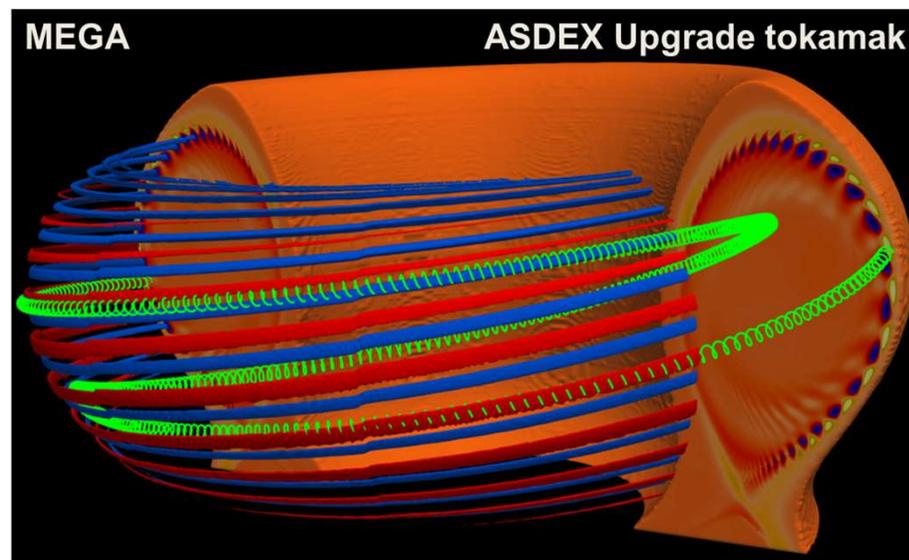
The distribution function becomes steeper and steeper on the EGAM resonance line (cyan dashed vertical line)

H. Wang et al, “Nonlinear excitation of energetic particle driven geodesic acoustic mode by resonance overlap with Alfvén instability in ASDEX Upgrade”, Scientific Reports (2025) 15, 1130. DOI: 10.1038/s41598-024-82577-3

Effect of energetic ions on edge-localized modes (ELMs) in tokamak plasmas

スペイン・セビリア大学のJ. Dominguez-Palacios博士らは複合大域シミュレーションユニットとの共同研究により、MEGAコードを用いて、核融合プラズマの熱と粒子の放出現象である周辺局在化モード(ELM)に対する高エネルギー粒子の影響を調査した。

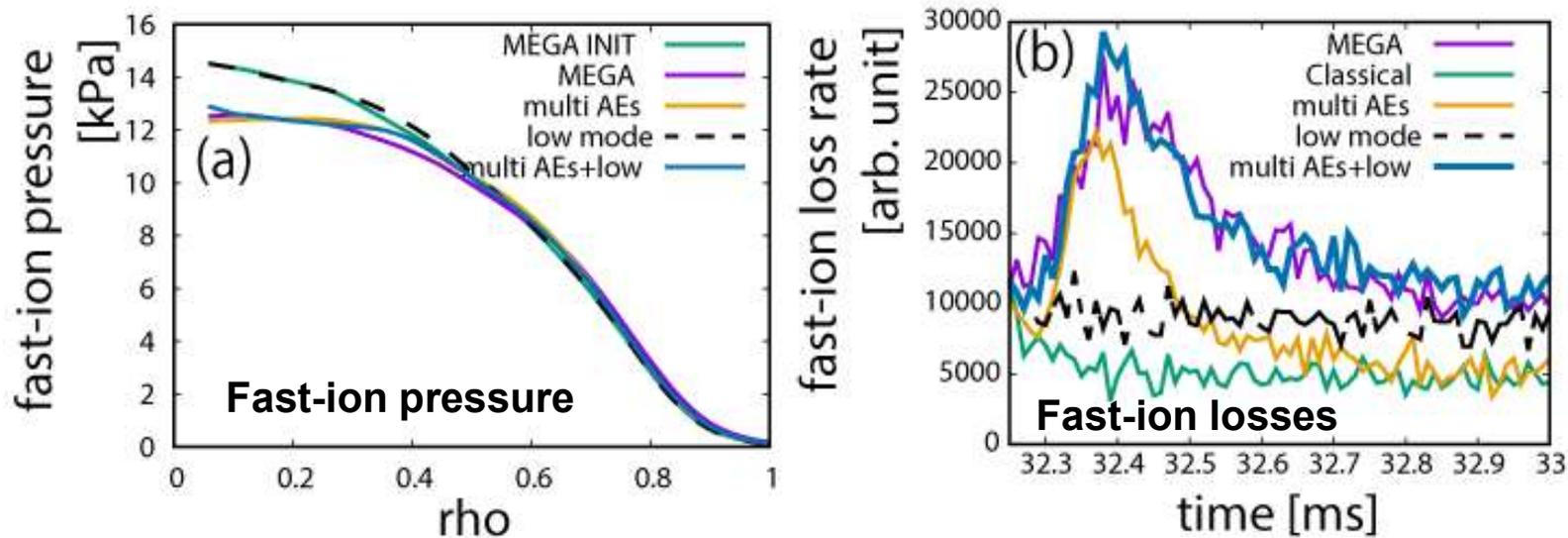
- その結果、ELMの特長である突発的で大規模な崩壊現象をシミュレーションで再現し、高エネルギー粒子がELMの振幅や振動周波数スペクトルに大きな影響を与えることを明らかにした。
- この研究は、高エネルギー粒子が存在する条件でのELM崩壊現象の基礎となる物理の理解を進め、ELMの制御技術の最適化において、高エネルギー粒子の重要性を実証した。
- この成果は2025年1月6日にNature Physics誌に掲載された。



MEGAを用いて計算したASDEX Upgrade のELMにおけるプラズマ圧力揺動の3次元分布。ELMと相互作用する高エネルギー粒子軌道が緑色で表示されている。J. Dominguez-Palacios et al., Nat. Phys. (2025)よりCreative Commons license CC BY 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>に基づいて改訂。

Orbit-following simulations of fast-ion transport and losses due to the Alfvén eigenmode burst in the Large Helical Device

大型ヘリカル装置(LHD)でのアルベン固有モード(AE)の高速イオンへの輸送を明らかにするために、MEGAコードにより同定されたAEを用いて高速イオンの軌道追跡シミュレーションを行った。



MEGAコードと軌道追跡シミュレーションとの比較により

- 低磁場LHD実験では, 主要なAEモードのみで高速イオンの圧力が再現できることが分かった。
- 高速イオンの損失率は, 低周波MHDモードまで考慮することが重要であることが分かった。

R. Seki, et al., "Orbit-following simulations of fast-ion transport and losses due to the Alfvén eigenmode burst in the Large Helical Device", Physics of Plasmas vol.31 102503 (2024).

Energy exchange between electrons and ions in ion temperature gradient turbulence

ジャイロ運動論に基づく理論・シミュレーション解析により、イオン温度勾配(ITG)乱流は、イオンと電子のどちらが高温であるかに関係なく、イオンから電子へエネルギーを伝達することが示された。

Energy transfer from electrons to ions due to Coulomb collisions (blue) and ITG turbulence (orange) as functions of T_e/T_i in the tokamak CBC configuration

- Result 1
ITG乱流によるエネルギー交換は、主に ∇B -曲率ドリフト運動によるイオンの冷却と磁力線方向に流れる電子の加熱から生じることを明らかにした。
- Result 2
核融合反応に必要な高イオン温度維持の観点からは、ITG乱流は炉外部へのイオン熱輸送を促進するとともに、アルファ加熱された電子からイオンへのエネルギー伝達を妨げるため、抑制されなければならない。
- Result 3
粒子・熱輸送フラックスに加えて乱流エネルギー交換を予測する準線形モデリングが構築可能であることを示した。



T. Kato, H. Sugama, T.-H. Watanabe, and M. Nunami, “Energy exchange between electrons and ions in ion temperature gradient turbulence,” *Phys. Plasmas* **31**, 062510 (2024) DOI: 10.1063/5.0204022 (selected as an Editor’s Pick)

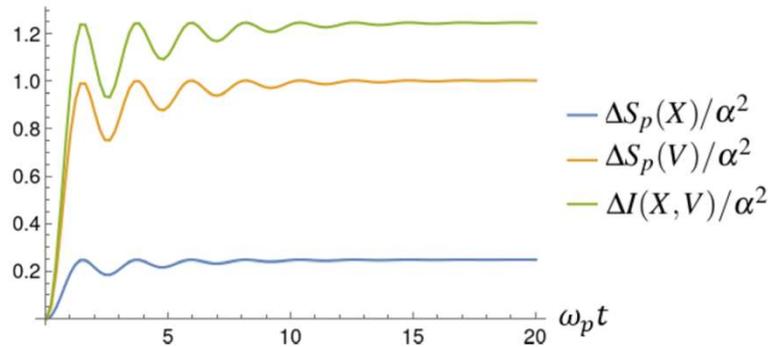
Time evolutions of information entropies in a one-dimensional Vlasov–Poisson system

- ランダム減衰過程において電子の位置と速度変数の確率分布関数の情報エントロピーがどのように進化するかを解明した。

位置変数の
エントロピー

速度変数の
エントロピー

相互情報量



- Result 1

線形および準線形の解析解を導出し、その妥当性を等高線力学に基づく数値シミュレーションとの比較により確認した。

- Result 2

解析解を用いて、電子の位置と速度変数の情報エントロピーとそれらの相互情報量の時間発展を決定した。

K. Maekaku, H. Sugama, and T.-H. Watanabe, “Time evolutions of information entropies in a one-dimensional Vlasov–Poisson system,” Phys. Plasmas **31**, 102101 (2024) DOI: 10.1063/5.0227622 (selected as a Featured Article)

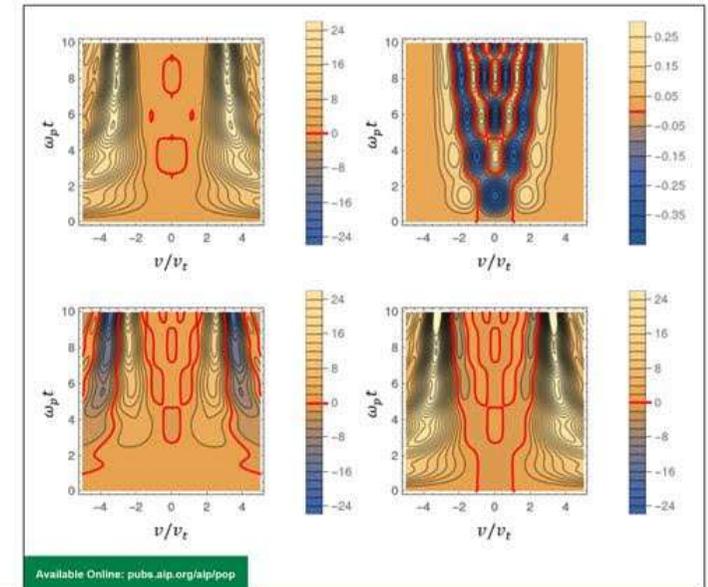
Physics of
Plasmas



Vol. 31, Iss. 10, Oct. 2024

Time evolutions of information entropies in a one-dimensional Vlasov–Poisson system

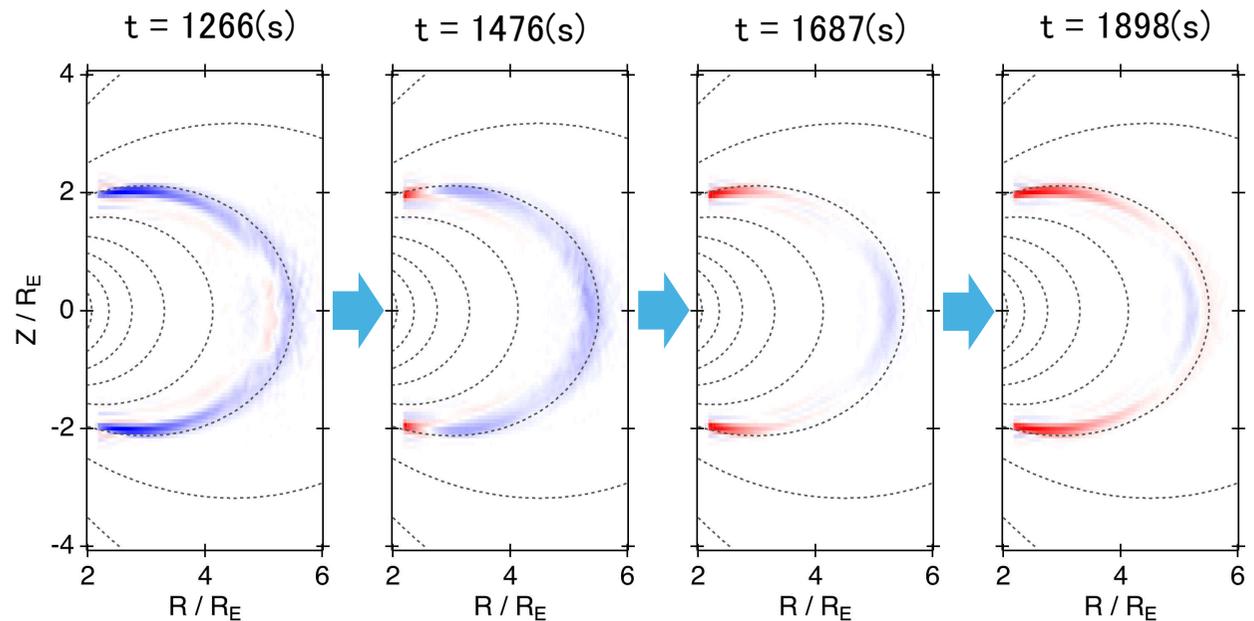
K. Maekaku, H. Sugama, and T.-H. Watanabe



地球磁気圏におけるUltra Low Frequency (ULF)波動の 運動論的MHDハイブリッドシミュレーション

東北大学の加藤雄人教授、大学院生の礒野航氏らとの共同研究により、Ultra Low Frequency (ULF) 波動のシミュレーションを目的として、運動論的MHDハイブリッドシミュレーションを地球磁気圏に適用し、MHD的な振動の成長を確認した。

- $R=5R_E$, $z=0$ (赤道面) に位置する磁束でピークする高エネルギー水素イオン分布を設定して、シミュレーションを実施した。速度空間分布は温度16 keVのMaxwell分布とした。
- MEGAコードにより、MHD的な振動の成長を確認した。右図は振動の密度揺動分布。
- 今後は、この振動と実際に観測されるULF波動を比較し、ULF波動の特性を解明する。

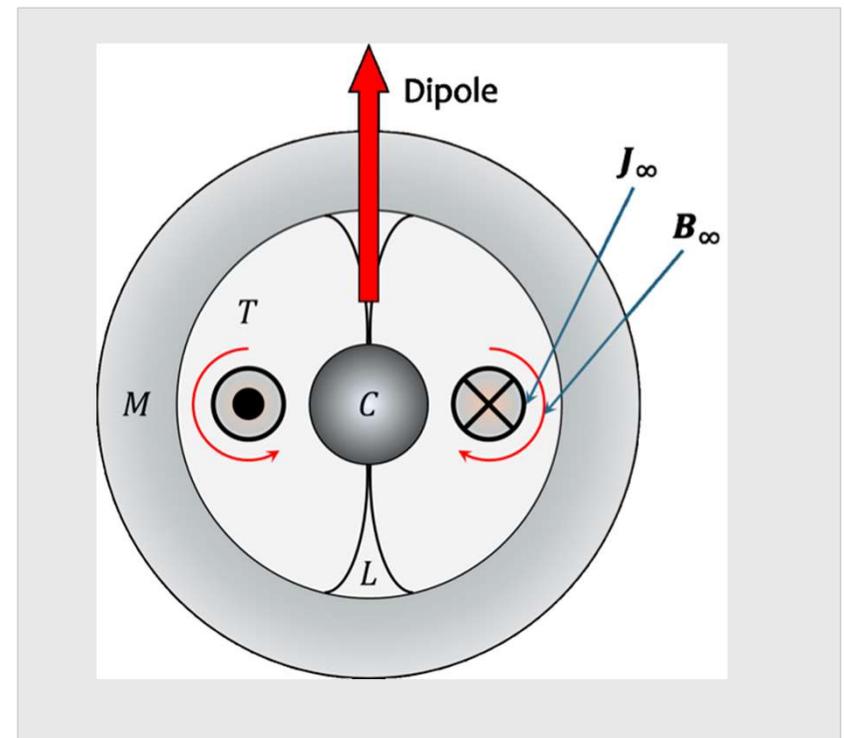


高エネルギー粒子が励起した振動の密度揺動分布の時間発展。
破線は磁力線を示す。

Axisymmetric dynamos sustained by a modified Ohm's law in a toroidal volume

核融合プラズマ理論における知見を基に, Cowling の反ダイナモ定理を再考し, 改訂した

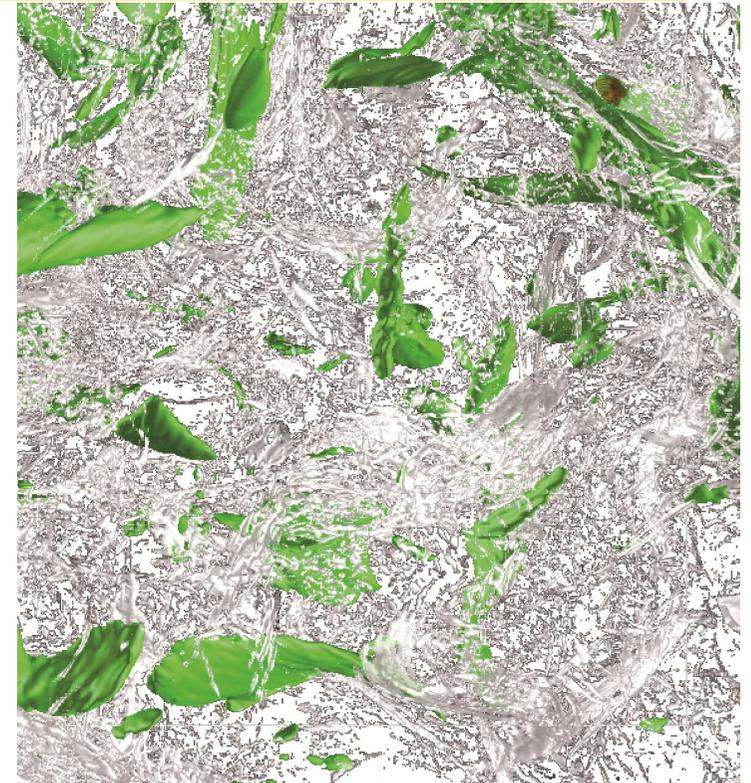
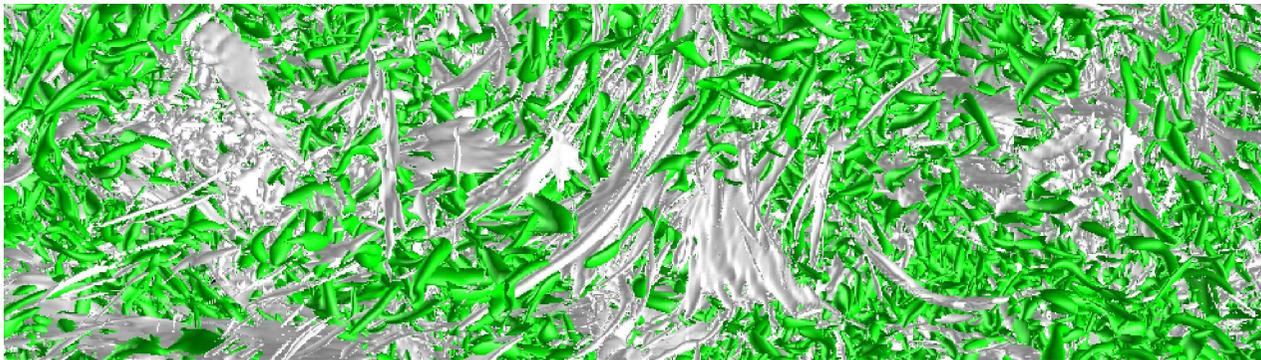
- Cowling の反ダイナモ定理(1933)は, 完全軸対称性をもつ磁場が(減衰することなく)維持されることはない, ことを示す. ダイナモ(磁場形成)問題の出発点とも言える定理である.
- 一方, 自然界には, 軸対称的な磁場が存在する. その典型である土星では, 少なくとも過去40年間程度, ほぼ完全に軸対象的な磁場が観測されてきた. また, 水星も, その強度は極めて弱いものの, 軸対称が高い磁場をもつ.
- ダイナモ作用が, 天体の球状領域全体でなく, トーラス状のトロイダル領域で実質的に起こっている場合(右図), 電子・電子間の衝突摩擦等に起因するオームの法則の変化によって, 完全軸対称な磁場が増幅・維持されうることがわかった.



Naoki Sato, Kumiko Hori, Axisymmetric dynamos sustained by a modified Ohm's law in a toroidal volume, J. Plasma Physics, Accepted (arXiv:2025.2407.17527:10.48550/ariXiv.2407.17527)

Formation of Fine Structures in Incompressible Hall Magnetohydrodynamic Turbulence Simulations

Hall MHD乱流で議論の焦点になっている電流微細構造の形成についての調査を行い、一様等方性減衰性乱流や磁気プラントル数が高い一様等方性乱流では、ホイッスラー波による微細構造が卓越することを示した。



- Hall MHD乱流では、Hall項の役割として、大規模構造の形成を促進するのか、電流フィラメントの形成を促すのかが議論の焦点の一つ。
- これまでのMHD乱流およびHall MHD乱流シミュレーションを見直すと、一様等方性減衰性乱流(上図)および磁気プラントル数が高いMHD乱流(右図)における微細構造が浮き彫りになった。
- この微細構造の形成はホイッスラー波と結びついていると考えられる。

H. Miura, Formation of fine structures in incompressible Hall magnetohydrodynamic turbulence simulations, Plasma 2024, vol. 7, 793–815, <https://doi.org/10.3390/plasma7040042> .

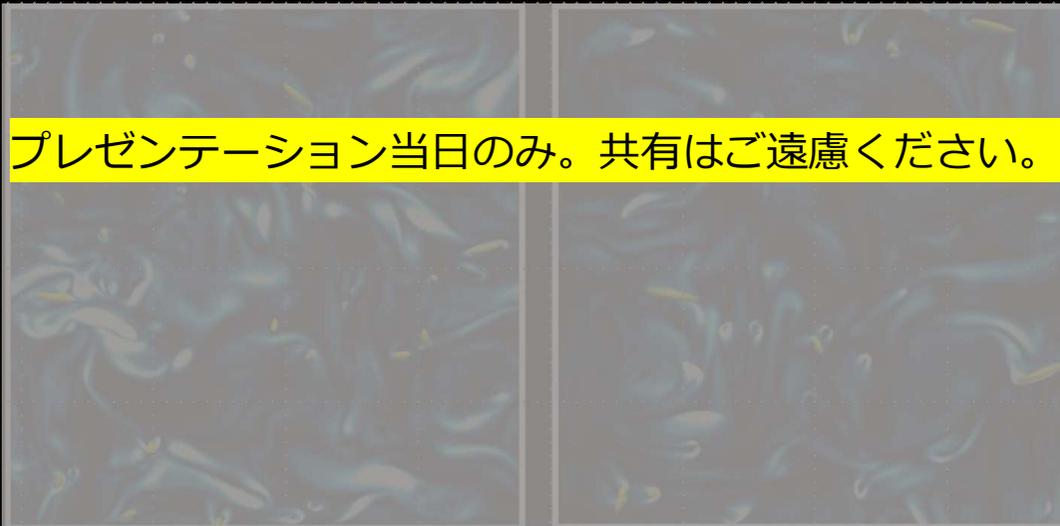
固体粒子と乱流の相互作用

Attenuation of turbulence in a periodic cube by anisotropic solid particles

Hideto Awai, Yutaro Motoori, Susumu Goto

J. Fluid Mech. **1008** (2025) A6.

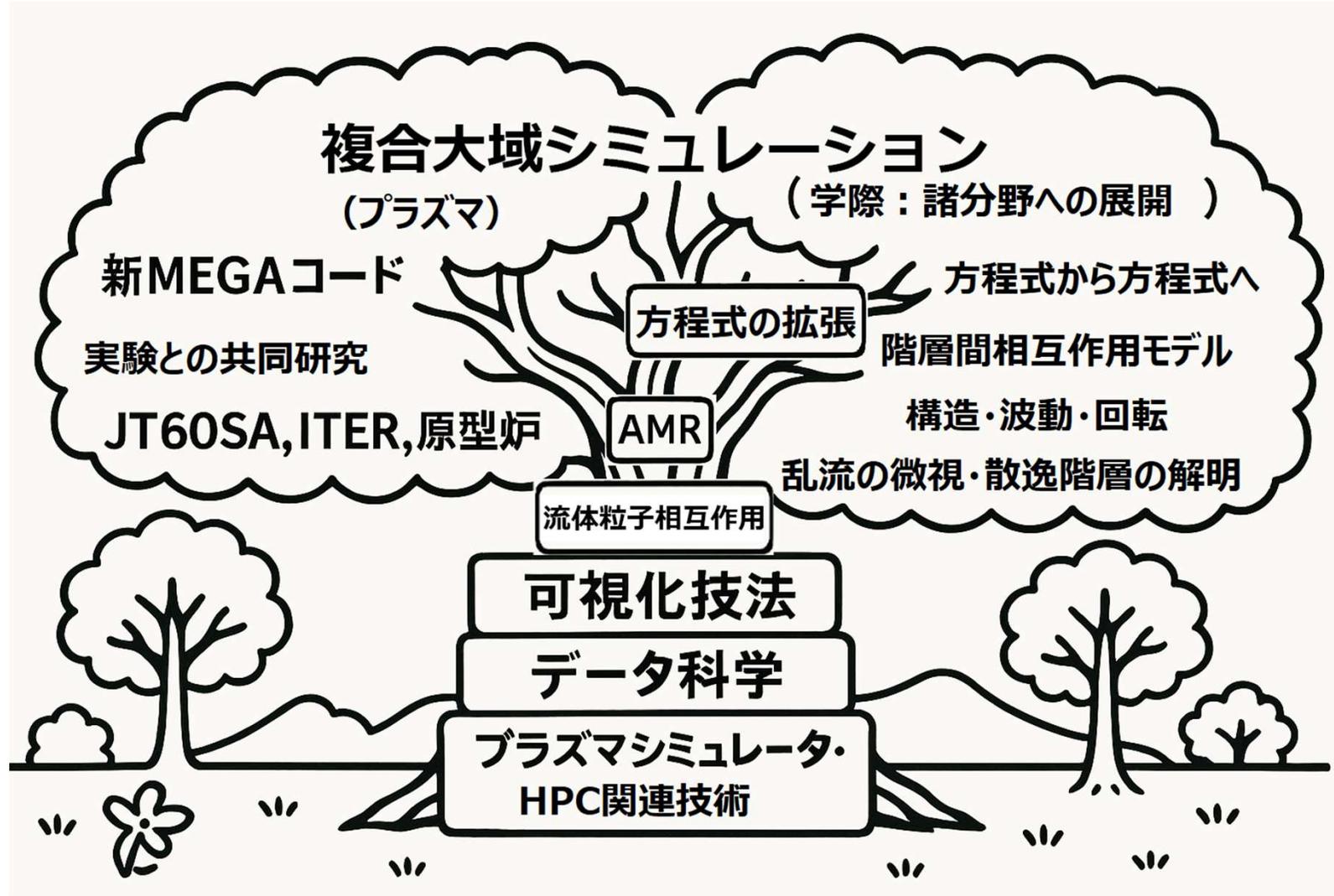
<https://doi.org/10.1017/jfm.2025.137>



粒子（黄色の物体）と渦（明るい領域で渦度が大きい）の相互作用。左が軽い粒子、右が重い粒子の場合

固体粒子を乱流中に混入させると乱流が低減する現象が古くから知られる。その物理機構をプラズマシミュレータを用いた大規模数値シミュレーションにより明らかにした。今年度は、とくに非球形粒子を添加した場合の乱流低減現象を扱った。その結果、同じ体積分率なら、より小さいか、より重いか、より細長い粒子の方が、低減効果がより大きいことが分かった。また、これらの傾向は、粒子まわりのエネルギー散逸率に着目すれば系統的に説明できることを示した。

複合大域シミュレーション全体像



自己評価

ユニットの運営・研究は全体に順調

(1) MEGAおよび関連研究：

- ユニット創設時の研究計画・目標を順調に達成
- 科学研究費補助金（基盤研究(A)、人員強化等

(2) 乱流モデル化研究

- 科学研究費補助金獲得・論文出版等、当初計画通り
- 所内人員の少なさを補う必要（クロスアポイントメント等)

(3) (1)+(2)

- ユニット内外の会合・セミナー
- ネットワーク型研究加速事業の会合
- AMRの活用と学際展開など

Overall progress of the unit

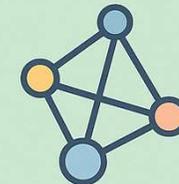
(1)



(2)



Collaboration



思うようにいかない点

最大の課題==若手研究者不足

ユニット創設後10年を待たずに、初期メンバーの過半数が定年

- ・所外との共同研究の強化
- ・クロスアポイントメントの活用
- ・ユニット発の人事提案等の対応・検討



若手不足と将来不安:
若手研究者が少なく、技術継承と活性化策が課題

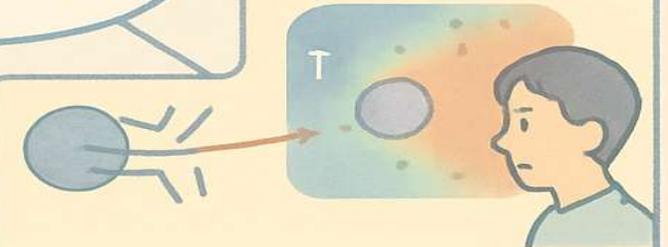
ジャイロ運動論乱流エネルギー交換解析



乱流モデルを輸送コードに統合し温度分布解析を進める必要

ユニット

乱流のモデル化に相応の時間を要する見込み。所外連携で解決を目指す。



数値不安定とAMR導入:
MIPS利用も不安定が残り、AMR導入で更なる対策必要

実績一覧

論文リスト

24年度発表論文：30本

1. J. González-Martín et al., "Active control of Alfvén eigenmodes by external magnetic perturbations with different spatial spectra", *Nuclear Fusion* 64 (2024) 076022.
2. A. Vanthieghem et al., "Electron Heating in High Mach Number Collisionless Shocks", *Physical Review Letters* 132 (2024) 265201.
3. J. Domínguez-Palacios Durán et al., "MHD stability analysis against pressure and current-driven modes in the Small Aspect Ratio Tokamak", *Nuclear Fusion* 64 (2024) 126028.
4. Y. Zou et al., "Simulation of β -induced Alfvén eigenmode instabilities and mode transition for HL-3 hybrid scenario", *Nuclear Fusion* 65 (2025) 026034.
5. R. Tinguely et al., "Hybrid kinetic-MHD modeling of alpha-driven TAEs in the SPARC tokamak", *Nuclear Fusion* 65 (2025) 036021.
6. J. Domínguez-Palacios Durán et al., "Effect of energetic ions on edge-localized modes in tokamak plasmas", *Nature Physics* 21 (2025) 43-51.
7. H. Sugama, "Local momentum balance in electromagnetic gyrokinetic systems," *Phys. Plasmas* 31 042303 (2024).
8. T. Kato et al., "Energy exchange between electrons and ions in ion temperature gradient turbulence," *Phys. Plasmas* 31 062510 (2024). (Editor's Pick)
9. K. Maekaku et al., "Time evolutions of information entropies in a one-dimensional Vlasov-Poisson system", *Phys. Plasmas* 31 102101 (2024). (Featured Article)
10. B.J. Kang et al., "Comprehensive gyrokinetic study of eigenstate transitions in fast ion-driven electrostatic drift instabilities", *Physics Letters A* 535 (2025) 130278
11. T. Kotani et al., "Parametric Study of the Harmonic Structure of Lower Hybrid Waves Driven by Energetic Ions", *J. Geophys. Res. Space Physics* 129 e2024JA032824 (2024).
12. M. Toida et al., "Simulation study of energetic-ion mass dependence on nonlinear development of lower-hybrid wave instabilities", *Phys. Plasmas* 31, 122304 (2024).
13. T. Kotani et al., "Generation of Harmonic Structure of Upper Hybrid Waves Driven by Energetic Electrons", *Plasma and Fusion Research* 19 1201033 (2024) *Plasma and Fusion Research* 19, 1201033 (2024).
14. H. Miura, "Formation of fine structures in incompressible Hall magnetohydrodynamic turbulence simulations", *Plasma* (2024) 793-815.
15. T. Asai et al. "Refueling/Refluxing of FRC Core Via Axial Plasmoid Injection", *Nucl. Fusion* 64 (2024) 096013.
16. M. Sato et al., "Kinetic-magnetohydrodynamic hybrid simulation of infernal modes in circular tokamak plasmas with effects of kinetic thermal ions", *Nuclear Fusion* 64 (2024) 076021.
17. N. Sato, K. Hori, "Axisymmetric dynamos sustained by a modified Ohm's law in a toroidal volume", arXiv:2407.17527 (2024); Accepted for publication at *J. Plasma Phys.*
18. R. Seki, et al., "Orbit-following simulations of fast-ion transport and losses due to the Alfvén eigenmode burst in the Large Helical Device", *Phys. Plasmas* 31, 102503 (2024).
19. W. H. J. Hayashi, et al., "Charge-exchange measurements of high-energy fast ions in LHD using negative-ion neutral beam injection", *J. Instrum.* 19, P12006 (2024).
20. S. Sangaroon, et al., "Neutron Spectroscopy in Perpendicular Neutral Beam Injection Deuterium Plasmas Using Newly Developed Compact Neutron Emission Spectrometers", *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 73, 1006911 (2024).
21. H. Nuga, et al., "Degradation of fast-ion confinement depending on the neutral beam power in MHD quiescent LHD plasmas", *Nucl. Fusion* 64, 066001 (2024).
22. M. Nishiura, et al., "Core density profile control by energetic ion anisotropy in LHD", *Phys. Plasmas* 31, 062505 (2024).
23. T. Kinoshita, et al., "Turbulence Transition in Magnetically Confined Hydrogen and Deuterium Plasmas", *Phys. Rev. Lett.* 132, 235101 (2024).
24. H. Wang et al., "Nonlinear excitation of energetic particle driven geodesic acoustic mode by Alfvén instability in ASDEX-Upgrade Tokamak", *Nuclear Fusion* 64 (2024) 076015.
25. H. Wang et al., "Nonlinear excitation of energetic particle driven geodesic acoustic mode by resonance overlap with Alfvén instability in ASDEX Upgrade", *Scientific Reports* 15 (2025) 1130.
26. Z. Chen et al., "MHD analysis of electromagnetic GAMs in up-down asymmetric tokamaks", *Nuclear Fusion* 65 (2025) 044001.
27. Z. Chen et al., "On electromagnetic perturbations of geodesic acoustic modes in anisotropic tokamak plasmas", *Plasma Physics and Controlled Fusion* 67 (2025) 045008.
28. H. Awai et al., Attenuation of turbulence in a periodic cube by anisotropic solid particles, *J. Fluid Mech.* 1008 (2025) A6. <https://doi.org/10.1017/jfm.2025.137>
29. T. Urano et al., "Hybrid simulation study on ion heating by low-frequency wave excited in a field-reversed configuration", *Nucl. Fusion* 65 (2025), 036026.
30. S. Saito et al., "First Confinement Time Evaluation for Particles Axially Injected into a Non-Adiabatic Trap", *Plasma and Fusion Research* 20 (2025), 1203023.

国内外の主要な研究集会における研究発表

国際会議発表：32件、 国内学会・研究集会発表：23件

基調講演&招待講演

1. Y. Todo et al., "Energetic particle driven instabilities and redistribution in phase space in a tokamak burning plasma with reversed magnetic shear", 18th Technical Meeting on Energetic Particles in Magnetic Confinement Systems, 2025/03/17-21. (招待講演)
2. H. Sugama et al., "Momentum Balance and Energy Exchange in Gyrokinetic Turbulent Systems", ICPP 2024, Sep. 8-13, 2024 (招待講演)
3. T. Kato, "Energy exchanges in ITG and TEM turbulence" AAPPS DPP 2024, Nov. 3-8 2024 (招待講演) .
4. R. Pandit et al., "The Solar Wind and Statistical Properties of Three-Dimensional Hall Magnetohydrodynamics Turbulence", 21st International Congress on Plasma Physics (ICPP), 2024/09/08 (招待講演)
6. K. Hori et al., "Jupiter's torsional oscillations and moist convection", Geophysical and Astrophysical Fluids and Dynamos (CAJ75), 2024/09/13. (招待講演)
7. K. Hori et al. "Jupiter's thermal and moist convection: impacts of torsional oscillations on cloud activities", The 8th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPS-DPP2024), 2024/11/04. (招待講演) .
8. N. Sato and K. Hori, "Axisymmetric dynamos sustained by Ohm's law in a nearly-spherical rotating viscous fluid", The 8th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPS-DPP2024), 2024/11/07 (招待講演) .
9. H. Wang et al, "Nonlinear Excitation of Energetic-Particle-Driven Geodesic Acoustic Mode by Resonance Overlap with Alfvén Eigenmode", 21st International Congress on Plasma Physics, Ghent, September 2024. (招待講演) .
10. J. Wang, "Interaction between Shear Alfvén Wave and MeV Ions Accelerated by Radio-Frequency Wave in Toroidal Plasmas", 24th International Stellarator Heliotron Workshop (ISHW2024), September, 2024. (招待講演)

セミナー実施

1. 2024年4月11日後藤晋(大阪大学・NIFS客員教授)「乱流と固体粒子の相互作用」
2. 2024年7月23日 Alain Brizard (Saint Michael's College) "Metriplectic structures for reduced Vlasov-Maxwell-Landau equations"
3. 2024年10月9日 千秋元(高知工業高専)「流体シミュレーションで探る宇宙の化学進化と星形成」
4. 2024年12月17日 榊原由貴(山形大学)「暗黒物質モデルにおける位相的ソリトンとドメイン壁問題」
5. 2025年2月19日(水) 13:00 - (対面・オンラインハイブリッド形式開催)
 - (1) 後藤晋(大阪大学・NIFS客員教授)「高分子の添加による乱流の低減現象」
 - (2) 前山伸也(NIFS)「非線形三波相互作用の非局所・非等方伝達解析」
6. 2025年3月3日(月)- 3月5日(水)名古屋工業大学・核融合研共同セミナー(ネットワーク型研究加速事業)
 - (1) 3月3日(月)17:00-19:00 犬伏正信(東京理科大)「非線形動力学のためのデータ駆動超入門:最小二乗法からニューラルネットワークまで」
 - (2) 3月4日(火)17:00-19:00 同上 第2回
 - (3) 3月5日(水)17:00-19:00 松元智嗣(大阪大学大学院後藤研)「乱流の階層構造に着目したデータ駆動型の乱流モデリング」
7. 核融合深層学習研究委員会 機械学習講習会 (ネットワーク型研究加速事業)

競争的資金獲得 (科研費)

2024年度獲得課題

1. 基盤研究(A) (課題番号: 24H00207) 「マイクロ集団ダイナミクスが決定する磁場閉じ込め核融合プラズマの圧力限界」 代表者: 藤堂泰
2. 基盤研究(B) (課題番号: 24K00694) 「惑星内部ダイナモから表層大気雲対流までを包括した木星変動現象の解明」 代表者: 堀久美子
3. 基盤研究(C) (課題番号: 24K07000) 「高精度プラズマ運動論モデルの構築とエネルギー・運動量・エントロピーバランスの解析」 代表者: 洲鎌英雄
4. 基盤研究(C) (課題番号: 24K06893) 「波動的電磁乱流における秩序構造形成の研究」 代表者: 三浦英昭
5. 若手研究 (課題番号: 24K17032) 「Comprehensive numerical analysis of ICRF heating with fast-ion-driven instabilities in toroidal plasmas」
代表者: WANG, Jialei
6. 基盤研究(C) (課題番号: 24K07323) 「乱流遷移における普遍性の解明とモデリング」 分担者: 三浦英昭