

Jh180003

電磁流体力学乱流の高精度・高並列 LES シミュレーションコード開発研究

三浦英昭（核融合科学研究所）

概要 プラズマ乱流の研究のため、巨視的なスケールについては電磁流体力学(MHD)方程式を解き、ミクروسケールには乱流の微視的・運動論的性質を定性的に反映する現象論的モデル(サブグリッドスケールモデル、SGS モデル)で代替する、ラージ・エディ・シミュレーション(LES)コードの開発研究を行う。MHD 方程式にイオンと電子の分離を表す微視的項の一つ、Hall 項を加えた Hall MHD モデルによる擬スペクトル法シミュレーションコード”MUTSU/iXMHD3D-T3”の開発を進めた。前年度の開発では 3 次元 FFT として p3dfft を使用していたのに対し、これを ffe に換装した上で、通信時間の隠ぺいなどの改良を行った。また、物理課題としては、Hall 項が高い高磁気プラントル数シミュレーションを行い、Hall 項が支配的な乱流の特性の研究や、Hall 項とジャイロ粘性効果が共存する拡張 MHD モデルの乱流シミュレーション研究を行った。さらに、可視化による乱流解析を効率的に行うため、4 次元ストリートビューの開発を進め、機能向上を図ったうえ、MUTSU/iXMHD3D-T3 への実装に着手した。

1. 共同研究に関する情報

(1) 共同研究を実施した拠点名

東京大学情報基盤センター

(2) 共同研究分野

- 超大規模数値計算系応用分野
- 超大規模データ処理系応用分野
- 超大容量ネットワーク技術分野
- 超大規模情報システム関連研究分野

(3) 参加研究者の役割分担

三浦英昭（核融合研）：研究代表者・統括・シミュレーションコード開発、Hall MHD・拡張 MHD (XMHD) の SGS モデル開発

宇佐見俊介（核融合研）：研究副代表者・SGS モデル開発のための粒子（運動論）効果研究

大谷寛明（核融合研）：SGS モデル開発のための粒子（運動論）効果研究

片桐孝洋（名古屋大）：Oakforest-PACS 上のシミュレーションコード最適化

陰山聡（神戸大）：研究副代表者、4 次元ストリートビュー開発

半場藤弘（東京大）：Hall MHD、XMHD の SGS モデル開発

中島研吾（東京大）：Oakforest-PACS 上のシミュレーションコード最適化

高橋大介（筑波大）：3 次元 FFT の最適化

2. 研究の目的と意義

本研究課題の目的は、無衝突に近い大レイノルズ数乱流プラズマの物理を解明するための新しいシミュレーション手法を開発することである。大レイノルズ数プラズマ乱流では、巨視的スケールと微視的スケールの乖離が大きく、すべてのスケールにわたる乱流シミュレーションは不可能である。特に、微視的スケールの散逸が粒子運動論の効果によって決まること、すなわち本質的に流体现象ではないことが、シミュレーションを難しくしている。

本研究課題では、巨視的スケールについては拡張 MHD 方程式を解き、微視的スケールについては、運動論的性質を定性的に組み込んだ現象論的モデル(サブグリッドスケールモデル、SGS モデル)で代替する、ラージ・エディ・シミュレーション(LES)手法を採用する。

MHD モデルの拡張版としては、Braginskii 方程式や、Braginskii 方程式から派生した各種の拡張 MHD (XMHD) 方程式などがよく用いられる。特に、イオンと電子の分離に伴う効果を表す Hall 項(これを付加した方程式は Hall MHD 方程式として知ら

れる) や、プラズマが磁力線の周囲を旋回する効果を表現するジャイロ粘性項などは、拡張 MHD 方程式に現れる典型的な項である。

Hall 項やジャイロ粘性項の導入は、分散性波動の発生など、数値シミュレーションの時間解像度・空間解像度の両方に非常に高い解像度を要求する。このため、Hall MHD・XMHD 乱流の大規模直接数値シミュレーション (DNS) は極めて困難であることが知られている。他方、Hall MHD 乱流では、微視的スケール近傍において低波数側から高波数側へのスケール間エネルギー輸送が強められ、従来型の SGS モデルが有効となり得ることが、我々の研究 (Miura et al., 2014, 2016) で示されている。さらに、核融合研究においては、XMHD 方程式に基づく不安定性シミュレーションが行われている。我々は最近、上述の SGS モデルを用いた XMHD モデルの LES がこの不安定性研究に有用であることを示した (Miura, Hamba and Ito, 2017)。

本研究課題では、この研究成果を踏まえ、Hall 効果など、従来の MHD モデルで取り扱われていない効果の SGS モデルを組み込んだ大規模 MHD 乱流の LES を実現する。具体的には次の三点の実現を目標とする。

【A】 Hall MHD や XMHD モデルによる乱流のシミュレーションを実施し、SGS モデルの作成に必要な性質を抽出し、その性質を反映する SGS モデルを作成する。これにより、Hall MHD・XMHD 乱流の大規模 LES を実現する。また、プラズマ運動を忠実に再現する粒子 (Particle-In-Cell, PIC) シミュレーション手法によるシミュレーションと XMHD の相互比較を通じて、XMHD モデルに欠けている (しかし重要な) 効果を PIC シミュレーションから特定し、SGS モデルを PIC シミュレーションに合わせて最適化する LES 手法の開発を追求する。

【B】 **【A】** のモデルを実装した Hall MHD・XMHD 乱流の大規模 LES コードを開発する。この研

究を実際の課題に応用する観点から、非圧縮性 Hall・XMHD モデルについての擬スペクトルコードと、圧縮性 XMHD モデルについての中心差分/コンパクト差分コードの両者の開発を行う。

【C】 大規模並列シミュレーションデータを解析する可視化手法「4 次元ストリートビュー」を開発する。これにより、効率よくシミュレーション結果の解析を進める。

3. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

本研究課題では、Hall MHD・XMHD 乱流の大規模シミュレーションを行うため、高速・高並列性能が発揮できる上に、1 ノードあたりの主記憶容量が大きく、高速メモリーも搭載されていることが重要な要件である。課題代表者はこれまで富士通株式会社製 FX100 システムでコード開発を行ってきたが、ノード当たりの主記憶容量の観点からは、東京大学情報基盤センターの Oakforest-PACS スーパーコンピュータの方が有利である。さらに、拠点研究機関には、Knights Landing (KNL) CPU の最適化について先導的な研究者が在籍し、また、本課題の共同研究者には、先端計算環境でのコード最適化の研究者や可視化をテーマとする計算科学研究者が含まれ、大規模な乱流シミュレーションの研究の観点からも、学際的な研究推進の観点からも、この拠点公募型共同研究として実施した意義は大きい。

4. 前年度までに得られた研究成果の概要

平成 29 年度の成果として、1) 非圧縮性 Hall MHD/XMHD 用擬スペクトルコード MUTSU/iXMHD3D-T3 の開発を行い、このコードを用いた乱流研究の LES についての研究成果を得られたこと、2) 磁場閉じ込め核融合の周辺プラズマ近傍で発生する、強い圧力勾配によ

る不安定性（交換型不安定性）と乱流遷移について、左記の SGS を用いたシミュレーションを行ったこと、3) PIC シミュレーションによる運動論的効果の解析を磁気リコネクション現象について実施し、イオン加熱機構の一端を明らかにしたことの 3 点が挙げられる。以下はその 3 項目の概要である。

1) これまでの課題代表者らの研究 (Miura, Araki, and Hamba 2016) を基に、Hall 項特有の非散逸的な効果を表す SGS 項を開発した。この新しい SGS モデルを用いて減衰性一様等方性 Hall MHD 乱流の LES を実施し、DNS による参照データと比較したところ、期待通りの程度で諸処の物理量が再現された。この SGS モデルの開発成功により、Hall MHD の LES の計算量はクーラン条件の変更も考慮すると $1/2048 \sim 1/16392$ 程度に抑えることが可能になった。これらの成果は、国際会議および国内会議で発表された。

2) 磁場閉じ込め核融合の周辺プラズマ近傍で発生する、強い圧力勾配による不安定性（交換型不安定性）についてシミュレーションを行った。この領域では、磁力線の乱れによる実効的な磁気拡散が大きい場合に、交換型不安定性が別種の不安定性（テアリング不安定性）に遷移する可能性が指摘されておりこの遷移がシミュレーションによって確認された。この効果は国際会議で発表後、査読付き論文誌に投稿、掲載された。

3) Braginskii モデルや、その派生型の MHD モデルでは、衝突頻度の少ないプラズマを適切に表現できないことはよく知られている。このような非流体的な運動論的効果を解析し、SGS モデルの一部として組み込むことを目標の一つとして設定している。その一端として、PIC コードによる磁気リコネクションシミュレーションを実施した。イオンの実空間軌道や速度空間での分布などの解析から、イオンが駆動型リコネクション現象の過程に於いて実効的な加熱を受ける機構の一端

を明らかにした。

5. 今年度の研究成果の詳細

平成 30 年度の成果として、1) 高磁気プラントル数の Hall MHD 乱流シミュレーションを実施し、その性質の一端を明らかにしたこと、2) Hall 項とジャイロ粘性項を取り入れた拡張 MHD 乱流の直接数値シミュレーションを実施し、その性質の一端を明らかにしたこと、3) PIC と MHD モデルの連結に関する知見をまとめて情報の整理を行った、4) 非圧縮性 Hall MHD/XMHD 用擬スペクトルコード MUTSU/iXMHD3D-T3 の高速化のため、3 次元 FFT ライブラリを p3dfft (<http://www.p3dfft.net>) から、本研究課題の共同研究者（高橋）による ffte (<http://www.ffte.jp>) に換装し、ノード間通信に隠ぺいなどの改良を施したこと、5) 4 次元ストリートビューの開発の進展と MUTSU/iXMHD3D-T3 への実装作業開始、の 4 点を挙げる。

1) 2. 項【A】について、高磁気プラントル数の Hall MHD 乱流シミュレーションを実施し、Hall 効果の影響下にある乱流場の性質を調べた。磁気プラントル数（粘性の低効率に対する比）が 100 の DNS を実施したところ、磁力線に沿って電流の強い塊が伝播するなど、同じ磁気レイノルズ数の MHD 乱流と著しく異なる現象が発生することを明らかにした。平成 30 年度前半において、この初期結果を日本物理学会で報告した。平成 30 年度後半において、論文投稿のための補充計算を実施したうえで、令和元年 9 月に開催予定の国際会議（ヨーロッパ乱流会議、ETC-17、トリノ）に講演の申し込みを行った。この講演は、平成 31 年 4 月初旬に採択された。

2) 2. 項【A】について、Hall 項とジャイロ粘性項を取り入れた拡張 MHD による、一様等方性減衰性乱流の直接数値シミュレー

ションを実施した。平成 30 年 4 月から年末にかけてシミュレーションを実施し、Hall 項に加えてジャイロ粘性項が加わると、ジャイロ粘性項が高次のハイパスフィルタ様の働きをして、速度場のスペクトルの高波数部が減衰すること、それでいながら、渦渡場や電流密度場の強度の確率密度関数などには、間欠性が強めに現れることなどを明らかにした。この成果は、平成 30 年 12 月に査読付き論文誌に投稿後、採択・掲載された。

3) 2. 項【A】について、PIC で表現される運動論的性質を SGS モデルとして捉える一環として、PIC と MHD を連結するシミュレーションによるこれまでの磁気リコネクションについて整理を行った。この成果は、査読付き論文として投稿・受理された。

4) 2. 項【B】について、擬スペクトルコード MUTSU/iXMHD3D-T3 は、以前より課題代表者がベクトル型スーパーコンピュータ用コードとして使用していたものを発展させる形で、平成 29 年度 JHPCN 共同研究課題において開発したものである。このコードには、公開された 3 次元 FFT ライブラリ p3dfft を使用した。p3dfft ライブラリを用いた擬スペクトルコードは良好なウィーク・ストロングスケーリング性能を示したものの、当初期待していたほどの高速性能は得られなかった。また、p3dfft ライブラリは構造が複雑で一層の高速化が難しいことがわかった。このため、3 次元 FFT を fftc に換装する作業を、平成 30 年度前半に行った。この換装作業に当たっては、単に p3dfft を fftc に換装するだけでなく、計算時間の隠蔽を行った。後述の理由で Oakforest-PACS における計算時間の計測が終わっていないが、研究代表者の所属機関である核融合科学研究所の FX100 システムによる計測が終わっているため、これを以下に示す。

表 1 では、P3DFFT (Ver. 2.7.5) と FFTC (隠蔽なし)、FFTC (隠蔽あり) の三者の比較を行ったものである。隠蔽を行わない FFTC は、格子点数 $N^3=256^3$ の場合こそ P3DFFT よりも計算時間がかかるが、他の場合には、P3DFFT よりも計算時間が短縮されることがわかる。また、計算時間の隠蔽を行うことで、P3DFFT に比べて 15%~35% の計算時間の短縮を実現した。

なお、表 1 の計算を実施後 (平成 30 年度中間報告後) に Oakforest-PACS での最適化に着手したが、その後、共同研究者 (高橋) から fftc の最新アルファ版 (ver 7.0 α) が提供された。この 7.0 α 版では、それ以前の版では提供されていなかった実変数の 3 次元フーリエ変換が提供され、それ以前の複素変数のフーリエ変換に比べて演算量が減ることが分かった。このため、実変数フーリエ変換サブルーチンを使用して隠蔽する作業を進めているところである。

N^3	ノード数	P3DFFT	FFTC (隠蔽なし)	FFTC (隠蔽あり)
256 ³	8	2.276	3.096	1.751
512 ³	32	5.000	4.846	3.742
1024 ³	128	14.784	14.094	12.584
2048 ³	512	37.939		24.990

表 1 : FX100 における計算時間測定

5) 2. 項【C】について、同時可視化手法である 4 次元ストリートビューの開発を進めた。4 次元ストリートビューを実現するためには、シミュレーション中に全方位可視化を多数実行するための可視化ライブラリ (多視点・全方位・同時可視化ライブラリ) と、このライブラリを使用して生成された多数の全方位動画像群から対話的に動画像列を抽出・表示する動画データブラウザの 2 つの基盤的なソフトウェアの開発が必

要である。以下ではこの二つのソフトウェアの開発成果について報告する。

多視点・全方位・同時可視化ライブラリは、半透膜のアナロジーに基づくデザインで、MPMD (Multiple Program Multiple Data) 型の並列計算ライブラリとして実現した。これは可視化プログラムに何か問題が生じてもシミュレーションが影響を受けないように、シミュレーションと可視化を独立させ、情報がシミュレーションから可視化側にのみ流れるようにするための工夫である。シミュレーション側からは半透膜のおもて側のみが見えており、反対(可視化)側は見えない。シミュレーションの進行に応じてデータを半透膜のおもて面に投げる。可視化側は同時可視化のプロセスの進行に応じて必要なデータを、半透膜(の裏側の面)に要求すると、半透膜は適切なデータを可視化側に渡す。

可視化にはオープンソースの汎用可視化クラスライブラリ KVS を利用している。平成 30 年度は、このコードのリファクタリングと最適化を進め、Oakforest-PACS で性能を測定した。その結果、シミュレーションと同程度の時間で複数の同時可視化ができることを確認した。また、半透膜モデルに基づかない同時可視化方式にも対応できるように改良した。これは、シミュレーションプログラムのメインループに可視化の呼び出しを組み込むという(一般的な)同時可視化方式である。そしてこの半透膜方式とそうでない方式の二つの方法で同時可視化の性能を評価し、半透膜方式の方が速度の面で優れていることを立証した。

なお、これまでは全方位可視化動画を作るために、二つの画像を融合して全方位画像を作成する手法で実装していたが、今年度はそれを 90 度の視野角をもつ通常のレ

ンダリング手法を 6 方向(立方体の 6 面に対応する)で生成して融合する方法に変更した。可視化には汎用可視化ライブラリ KVS を用いる。シミュレーションを実行しながら、一定時間間隔ごとに全方位可視化画像を一枚のファイルに保存する。図 1 にこの手法による全方位可視化画像の例を示した。シミュレーション終了後、全方位可視化画像群を後述する動画データブラウザに入力データとして渡す。ただし、上述の半透膜モデルに基づく同時可視化ライブラリには、この全方位可視化手法をまだ組み込んでいない。これは今後の課題である。

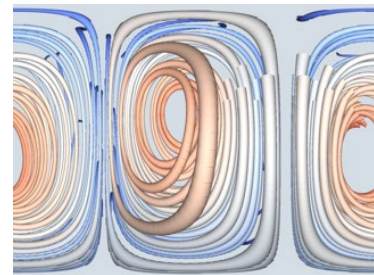


図 1. 今回開発した全方位動画画像生成手法による全方位可視化の例。汎用可視化ライブラリ KVS を用いた 6 方向の可視化結果を 1 枚のファイルにまとめている。

動画データブラウザの開発においては、前年度までに開発してきた動画データブラウザが機能実証を主な目的としてきたために、その性能(特に画像の表示速度)に大きな問題があった。複数の全方位動画画像を読み込み、ユーザからの指示に応じて対話的にカメラ位置や視線方法を変更するという最も基本的な機能が実現可能であることは確認できていたが、動画の表示が時折遅くなることがあるというのが最も深刻な問題点である。そこで今年度、思いきって最初から新たに動画データブラウザを作り直した(図 2)。ここでも汎用可視化ライブラリ KVS を利用している。全方

位可視化画像を GPU に読み込み、ユーザが指定した方向の画像を切り出すのにシェーダを用いているため高速の処理が可能となった。

実際にこの動画データブラウザを利用して解析しているうちにいくつかの課題も明らかになった。特に、ユーザが視点（同時可視化をした時の全方位カメラの位置）を変更しようとする際、他の視点（カメラ）がどこにあるのか不明であることが最も深刻であった。この問題を解決するために動画データブラウザにカメラのオンとオフを切り替えるスイッチを導入した。カメラがオンのときには他のカメラの位置が球で表示されるので操作性が大幅に改善した。

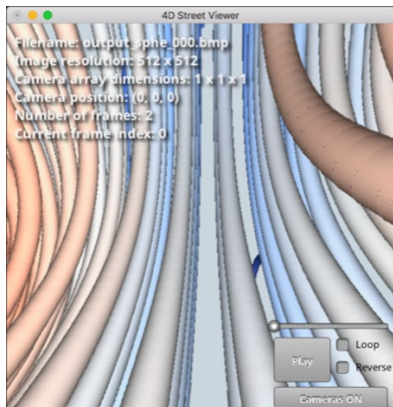


図 2. 開発中の動画データブラウザの画面。全方位可視化画像群を入力データとして読み込み、ユーザが指定した視点（カメラ位置）と視線方向に見えるべき画像を抽出し、画面に表示する。動画再生中の視点位置の変更や視線方向の変更も可能となった。

6. 今年度の進捗状況と今後の展望

2. 項の【A】、【B】、【C】各項の進捗状況と展望、について報告する。

【A】項進捗状況：Hall MHD 乱流の MUTSU/iXMHD-T3 コード (p3dffft 版) によるシミュレーション研究については、所期の目標を順調に達成した。上記 5. 項 1)-3) に

挙げたように、HallMHD・XMHD 乱流の物理についての新しい物理的な知見が得られた。当初の想定に比べると、Hall MHD 乱流のシミュレーションが統計的定常状態に達するまでの時間が長くかかったため、進捗が 20%程度遅れたものの、パラメータ数を削減し、配分された資源内で十分な計算を行うことができた。

MUTSU/iXMHD-T3 コードによるシミュレーションと PIC シミュレーションとの組み合わせについては、SGS モデルを作成するための PIC シミュレーションデータについての作業を進めた。当初は巨大な乱流場データの PIC シミュレーションによる作成を想定していたが、パラメータの絞り込みからこれを直ちに実現するのは困難と考え、磁気リコネクションや局所的な不安定性の成長を参照データとすることに方針を変更した。この変更に伴い、研究が少々停滞せざるを得なかったが、この間に磁気リコネクションについての研究成果が査読付き論文として発表されるなど、一定の進展があった。これを踏まえて、平成 31 (令和元年) 度の研究を進める予定である。

【B】項進捗状況：Hall MHD 乱流の LES コード MUTSU/iXMHD3D-T3 を高速化するため、p3dffft (Ver. 2.7.5) から fftf (Ver. 6.0) への換装と計算時間の隠蔽作業を進めた。この初期作業は課題代表者の所属機関である、核融合科学研究所の FX100 スーパーコンピュータで行われ、その後 Oakforest-PACS での作業に移行した。さらに、共同研究者（高橋）から fftf の最新アルファ版 (ver 7.0 α) が提供され、新たな機能が提供されることが分かったため、これに対応する作業を進めた。これらの作業は順調に進捗しており、平成 31 年 (令和元年) 度に隠蔽化に関わる作業を完了し、最適化作業を経て、研究の主たるコードとして使用を開

始する予定である。

【C】項進捗状況：4次元ストリートビューを構成する基盤的なソフトウェア、多視点・全方位・同時可視化ライブラリおよび対話的動画データブラウザの開発については、4.項で述べた通り、実質的な進展があった。この開発は、KVSの開発者である坂本氏本人が関わっており、平成31年度の研究からは坂本氏にも共同研究のメンバーとして入っていただいている。ユーザインターフェース部分など、改善すべき点が多数残っているので、その改良が今後の課題である。また、MUTSU-T3/iXMHD3Dコードへの実装については、作業が未完了であり、平成31年度中の作業完了を目標としている。

7. 研究成果リスト

(1) 学術論文

- ・ H. Miura, “Extended Magnetohydrodynamic Simulations of Decaying, Homogeneous, Approximately-Isotropic and Incompressible Turbulence”, fluids vol.4, 46. (2019).
- ・ P. J. Jarsaillon, N. Sakamoto, A. Kageyama, “Flexible visualization framework for head-mounted display with gesture interaction interface”, International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing (IJMSSC), vol.09, no.03, 1840002, 2018.
- ・ A. Kageyama, N. Sakamoto and K. Yamamoto, “Membrane Layer Method to Separate Simulation and Visualization for Large-scale In-situ Visualizations”, Proc. International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH 2018), Porto,

Portugal, July 29-31, 2018, pp.106-111.

- ・ S. Usami, R. Horiuchi, H. Ohtani, M. Den, “Improvement of the Multi-Hierarchy Simulation Model Based on the Real-Space Decomposition Method”, Plasma vol.1 (2018) 9.

(2) 国際会議プロシーディングス

- ・ H. Miura and F. Hamba, “Direct and large eddy simulations of Hall MHD turbulence”, International Congress of Plasma Science (June 03-08 2018, Vancouver, Canada).
- ・ A. Kageyama, N. Sakamoto and K. Yamamoto, “Membrane Layer Method to Separate Simulation and Visualization for Large-scale In-situ Visualizations”, 8th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH 2018), Porto, Portugal, July 29-31, 2018, pp.106-111.
- ・ S. Hosoyamada and A. Kageyama, “efpp: A preprocessor for Modern Fortran”, The 37th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST 2018), Muroran, Japan, Sept. 18-20, 2018, pp.372-375
- ・ S. Hosoyamada and A. Kageyama, “A Dialect of Modern Fortran for Computer Simulations”, pp.439-448, Methods and Applications for Modeling and Simulation for Complex Systems, Springer, Proceedings of 18th Asia Simulation Conference, AsiaSim 2018, Kyoto, Japan
- ・ K. Yamamoto and A. Kageyama, “In-Situ Visualization with Membrane Layer for Movie-based Visualization”, Proceedings of ICCS 2019, International Conference on Computational Sciences, Faro, Porgugal, accepted.

(3) 国際会議発表

- ・H. Miura and F. Hamba, “Direct and large eddy simulations of Hall MHD turbulence”, International Congress of Plasma Science (June 03-08 2018, Vancouver, Canada).
- ・H. Miura and F. Hamba, “Anisotropic SGS modeling for large eddy simulation of magnetized plasma”, the 27th International Toki Conference (November 19-22, Toki, Japan).
- ・A. Kageyama, N. Sakamoto and K. Yamamoto, “Membrane Layer Method to Separate Simulation and Visualization for Large-scale In-situ Visualizations”, 8th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH 2018), Porto, Portugal, July 29-31, 2018, pp.106-111.
- ・S. Hosoyamada and A. Kageyama, “efpp: A preprocessor for Modern Fortran”, The 37th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST 2018), Muroran, Japan, Sept. 18-20, 2018, pp.372-375.

(4) 国内会議発表

- ・三浦英昭、”弱圧縮性一様等方性乱流におけるパッシブスカラーの構造形成”、日本流体力学会年会 2018(2018 年 9 月 3 日-6 日、大阪大学豊中キャンパス、大阪市)。
- ・三浦英昭、楊静遠、後藤俊幸、”高磁気シュミット数 Hall MHD 乱流における電流渦放出現象”、日本物理学会秋季大会(2018 年 9 月 8 日-11 日、同社大学京田辺キャンパス、京田辺市)。
- ・三浦英昭、”Hall 効果の MHD 乱流の巨視的スケールへの影響”、数理解析研究所 共同研究(公開型)研究会(2018 年 7 月 18 日-20 日、京都大学数理解析研究所、京都市)
- ・陰山 聡、”流れと磁場が共存する球内部の

MHD 緩和”, 日本物理学会第 73 回年会 東京理科大学野田キャンパス、2018 年 03 月 25 日。

- ・陰山 聡、”球内部の MHD 緩和シミュレーションとその in-situ 可視化”, プラズマシミュレータシンポジウム 2018 (2018 年 9 月 17 日、核融合科学研究所)
- ・陰山 聡、”4 次元ストリートビュー手法による対話的 in-situ 可視化”, プラズマ・核融合学会第 35 回年会 (2018 年 12 月 6 日、大阪大学)

(5) その他(特許, プレス発表, 著書等)