

jh170003-NAH

核融合プラズマ研究のための超並列粒子シミュレーションコード開発と その可視化研究

大谷 寛明（核融合科学研究所）

概要 粒子モデルを基礎として超並列化に対応したプラズマシミュレーションコードの研究開発、巨視的シミュレーションに活用するための微視的現象のモデル化研究、その場可視化の研究開発を進め、微視的物理が核融合装置全体に影響を与える現象に対して、微視的観点からその発生機構の解明を目指し、核融合プラズマの閉じ込め性能改善に寄与することを目的とする。粒子コードの分散並列化での計算効率を上げるため、粒子コードへの動的負荷分散アルゴリズムの導入や領域分割型分散並列に対応したポアソンソルバーの開発を進めた。流体コードの開発では、**Large Eddy Simulation** コードのサブグリッドスケール(SGS)としてジャイロ粘性と 2 流体効果を取り入れ、かつ、ジャイロ粘性を除く非線形項に由来する **SGS** モデルの開発に成功した。点群を使ったその場可視化のデータを没入型バーチャルリアリティ装置で表示するビューワの開発を行った。

1. 共同研究に関する情報

(1) 共同研究を実施した拠点名

本課題は、核融合科学研究所（核融合研）、兵庫県立大学、神戸大学、京都大学、名古屋大学、情報通信研究機構（情報通信研）、北里大学の複数の研究者が参加する共同研究であり、名古屋大学の大規模計算資源を利用する。

(2) 共同研究分野

■ 超大規模数値計算系応用分野

(3) 参加研究者の役割分担

大谷寛明（核融合研）：総括・粒子コード開発・可視化研究

大野暢亮（兵庫県立大）：その場(In-Situ)可視化の研究・開発

宇佐見俊介（核融合研）：粒子コードと流体コードの連結

樋田美栄子、沼波政倫、長谷川裕記（核融合研）：粒子コードの移植・高速化

三浦英昭（核融合研）、田 光江（情報通信研）、小川智也（北里大）、深沢圭一郎（京大）：流体シミュレーションとの比較、微視的物理のモデル化

堀内利得（核融合研）、石黒静児（核融合研）：問題設定、結果の評価

中島 浩（京大）、臼井英之（神戸大）、三宅洋平（神戸大）：動的負荷分散ライブラリの開発、実装、活用支援

荻野正雄（名大）：FX100 での最適化・実行支援

2. 研究の目的と意義

トカマク型核融合装置で発生するディスラプション現象などはプラズマ閉じ込めの崩壊を招き閉じ込め性能を悪化させる。これらの現象は、プラズマ粒子運動による微視的物理が重要な役割を果たす磁気再結合が引き金となって発生すると考えられている。また、周辺領域におけるプラズマ輸送現象の理解、それに基づくプラズマの制御もまた、喫緊の課題である。その中でも、特に、周辺領域における動径方向の非拡散的輸送現象は、炉壁保護の観点からも、また、輸送係数を決める上でも極めて重要である。そのような非拡散的輸送をもたらす機構として、プロブ現象（間欠的に発生する磁力線に沿ったフィラメント状のプラズマのコヒーレント構造）が考えられている。そのプロブ挙動を正確に予測するためには、ダイバータ板近傍で生じるシース電位と自己無撞着なプロブ構造内部の電流系を計算する必要がある。このように核融合プラズマで発生する不安定性や粒子輸送の研究では、微視的物理を正確に取り扱いつつ装置全体にわたる巨視的現象も取り扱う必要がある。

本研究課題は、ディスラプションやプロブ現象のように、微視的物理が装置全体に影響を与える現象に対して、微視的観点からその発生機構の解明を目指し、核融合プラズマの閉じ込め性能改善

への寄与を図ることを目的とする。そのために、粒子モデルを基礎としたシミュレーションコードの研究・開発、巨視的シミュレーションに活用するための微視的現象のモデル化研究、大規模粒子データの解析を行う In-Situ 可視化の研究・開発を推進する。コード開発・モデリング・可視化までをまとめる総合的な研究基盤の構築を目指す。今年度は以下のような計画で課題を推進した。

①粒子モデルを基礎としたシミュレーションコードの研究・開発：超並列に対応したアルゴリズム開発・研究を行う。H29 年度は、PASMO コードではノード内の最適化として粒子分割法によるスレッド並列化を再考し、また OhHelp ライブラリ導入で見つかった課題を解決する。p3bd コードでは粒子分割法及びハイブリッド法による並列化がなされているが、すでに着手している粒子ソートの導入に続き、さらなる高速化・大規模化を目指した領域分割法による並列化を実施する。

②巨視的シミュレーションに活用するための微視的現象のモデル化研究：3つの方向性からアプローチする。(1) H27 年度に最適化を進めた領域分割型 MHD コード MUTSU/MINOS に MINOS コードの機能を移す作業を進める。(2) 粒子コード結果のモデル化研究を推進する。H29 年度は粒子シミュレーションの結果（粒子分布関数のモーメントから評価する格子解像度以下の運動の影響）を大規模並列流体シミュレーションに取り入れるためのインターフェースの作成に取り組む。(3) 微視的物理と巨視的物理を同時に解く多階層モデルの開発を進める。

③大規模粒子データの解析を行う In-Situ 可視化の研究・開発：In-Situ 可視化ライブラリ VISMO について、H29 年度は、粒子系の PASMO コード以外に流体系のプラズマシミュレーションコードとの結合を行い、VISMO の改善を進める。また、カーテシアン以外の座標系への対応も検討する。

3. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

本研究課題は超大規模計算機と超大容量ストレージを有する情報基盤を必要としたグランドチャレンジ的な問題である。また、計算科学分野・計

算機科学分野・可視化情報学分野の協調的かつ相補的な研究体制が必要不可欠である。このように幅広い研究分野の研究者を含む研究体制を構築するため、多数の先導的研究者が在籍する JHPCN 公募型共同研究で実施する必要がある。

4. 前年度までに得られた研究成果の概要

H28 年度は各コードの最適化を進めた。PASMO コードでは、IF ブロックの除去、小規模配列のスカラー化、最適化制御行の追加、最適化オプションの使用により、SIMD 化や一部のループでソフトウェアパイプラインが行われ、粒子の Pusher 及び Gather の計算性能を約 1.43 倍向上させた。MINOS コードでは、20 か所程度に OpenMP の指示行を明示的に挿入してハイブリッド並列化を行い、FX100 での実効性能がピーク性能に対して 4%程度と、7 年前の SR16000 と同程度の性能を回復した。物理成果では、PASMO コードによる磁気再結合のシミュレーションによって、イオンの実効的な加熱機構を明らかにした。p3bd コードによって、プラズマプロブとホールが不純物イオンを輸送する過程の長時間シミュレーションが可能となった。VISMO ライブラリでは点群による可視化データ保存によって、疑似的な対話性を導入することに成功した。

5. 今年度の研究成果の詳細

【コード開発・研究】

・PASMO コード：PASMO コードは、磁気再結合研究のため開発された 2 次元あるいは 3 次元の電磁粒子シミュレーションコードである。このコードの特長は、上流から磁場フラックスおよびプラズマを流入させることにより、磁気再結合を駆動することができ、また、下流では粒子が自由に出入りできる開放系境界条件を用いていることである。このため、長時間のシミュレーションが可能であることが開発意義である。

PASMO への OhHelp ライブラリの実装を終えた。OhHelp ライブラリは、粒子モデルプラズマシミュレーション向けに開発されたライブラリで、動的負荷分散アルゴリズムを適用している。均等に領域分割した粒子コードで粒子分布が不均一になる場合、分散並列におけるロードバランスが悪化す

る。そこで計算を担当する粒子数が多いプロセスの計算負荷を粒子数が少ないプロセスに肩代わりさせるのが OhHelp ライブラリである。導入では、OhHelp 用 2 重化配列の洗い出し、PASMO と OhHelp の粒子のデータ構造の修正、OhHelp の初期化・2 重化配列のアロケート、粒子の初期条件の読み込みから構造体へのコピー、粒子のトランスバウンドを行うルーチン開発、粒子計算で使用する格子データの allreduce、bcast の追加・修正、入出力ファイルの変更を行った。その結果、PASMO への OhHelp ライブラリを組み込むことに成功した。

このように超並列に対応した粒子コード PASMO の開発という点で目標を達成することができた。

・p3bd コード : p3bd コードの特長としては、① PASMO コードと同じく 3 次元空間における多数のプラズマ粒子（分散並列により数億個以上の粒子を扱うことが可能）の運動と、それと自己無撞着な電場の時間発展を解けること、② x 軸方向の片側の境界、および、z 軸方向の両側の境界を、プラズマ粒子が吸収される境界、かつ、静電ポテンシャルが 0 となる（すなわち接地）境界とすることによって、磁場閉じ込めプラズマ周辺部の開いた磁力線領域（スクレイプ・オフ・レイヤー）を模擬していること、③ 静電コードであるため、磁場の時間発展を解く必要がなく（ただし、ベータ値（プラズマ圧力と磁場圧力の比）が十分小さい状況に限られる）、電磁コードに比して計算資源を節約できること、などが挙げられる。そして、スクレイプ・オフ・レイヤーのプラズマ輸送現象における微視的ダイナミクスを解明することが p3bd コードの開発意義である。

今年度は、昨年度に引き続き、領域分割型分散並列に対応したポアソンソルバーの開発、並びに、当該ポアソンソルバーの p3bd コードへの実装作業を進めた。これまでのテスト計算では、従前のポアソンソルバーによる解との差はほとんど見られず、計算精度の上では、ほぼ目標を達しつつある。また、今年度後半は、同ポアソンソルバーの高速化、同ポアソンソルバーを用いたコードの領域分割型分散並列化への移行に係る各作業などを

推進した。

このように並列化に対応した粒子コード p3bd の開発という点で目標を達成することができた。

・MHD コード : 核融合科学研究所の大型ヘリカル装置(LHD)内部に閉じ込められた高温プラズマの不安定性をシミュレーションするための電磁流体力学(MHD)方程式数値シミュレーションコード、MHD In Non-Orthogonal System (MINOS)の改良を行った。MINOS コードは、MUTSU/MINOS コードの原型になったコードであり、MUTSU/MINOS コードの機能拡張に先立ち、MINOS コードでの先行改良を施すことにした。この改良は、ジャイロ粘性効果を含む拡張 MHD シミュレーションコードであることと、さらに、格子解像度以下のサブグリッドスケール(SGS)が格子解像度以上のスケール(グリッドスケール)への影響を表す SGS モデルを実装し、Large Eddy Simulation (LES) コード化することである。このように、格子解像度以下の影響も取り入れて装置全体の不安定性をシミュレーションできるようにすることがこのコード改良の意義である。

開発の結果、MINOS コードでジャイロ粘性と 2 流体効果を取り入れ、かつ、ジャイロ粘性を除く非線形項に由来する SGS モデルを実装することに成功した。LES を実施したところ、格子解像度を粗くとっても数値発散することなくシミュレーションが可能であること、核融合研究で重視される性質（不安定性の成長段階での不安定固有モードの再現）などが担保されることが確認できた。

このように格子解像度以下の微視的な効果を取り込む LES コードの開発に成功して、微視的現象のモデル化研究は順調に成果を上げることができた。

・In-situ 可視化の開発 : In-Situ 可視化では、シミュレーションの実行時に生データではなく可視化した画像を出力する。このため視点や内面レベルなどの可視化パラメータが固定されてしまい、異なる視点から観察するなどの対話的な操作はできない。我々は In-Situ 可視化した結果を画像ではなく点群として保存する機能を、独自開発して

いる In-Situ 可視化ライブラリ VISMO に実装した。またその点群を表示するための専用ビューアを開発した。この点群を使って画像情報を保存できる点がこのライブラリの特長であり、対話的にシミュレーションデータを描画できることがこのライブラリの開発意義である。

昨年度まで上述のような開発を進め、今年度は、没入型バーチャルリアリティシステム (CAVE 装置) で可視化結果を表示するためのビューアを開発した。これにより、複雑な可視化結果をデータ空間に没入しながら、より直感的に理解することができるようになった。また、画像重畳で Binary Tree 法の導入も行った。

In-Situ 可視化ライブラリの研究開発は順調に進み、バーチャルリアリティシステムとの連携も可能となった。可視化情報学研究に大きなインパクトを与える成果であると考えられる。

【物理の成果】

- ・PASMO を使って、昨年度までに、縦磁場がある場合の磁気再結合におけるイオン加熱を調べ、非断熱的運動による実効的な加熱機構を見出している。今年度は、この実効的加熱機構についてさらに詳しく調べた。この機構を受けたイオンは下流でリング状の速度分布構造を形成するが、今回はイオン粒子それぞれの運動という面に焦点を当てて解析を行った。その結果、リングの厚み、リング中心の移動など、速度分布構造に見られる特徴をより正確に解明することができた。一方で、この加熱機構を東京大学の球状トカマク装置 TS-3 におけるプラズマ合体実験に適用した。その結果、イオン温度の空間プロファイルについて、シミュレーション結果と実験結果はよい一致を見た。

- ・プロブ現象の物理課題を扱う p3bd コードは、H27 年度に、プロブだけでなくホール (プロブとは逆に、周囲より密度の低いフィラメント構造) の計算も実行できるように改良を行った。そして、今年度、プロブとともに、ホールのシミュレーションについても、基本的な理論モデルを再現しているかどうかの検証を行い、十分正確に再現することを確認した。さらに、同コードによる計算に

よって、微視的効果によりプロブ伝播の対称性が崩れる現象を確認した。

このように、開発したシミュレーションコードを用いて物理研究の成果も順調にあげることができた。

6. 今年度の進捗状況と今後の展望

・PASMO の開発

PASMO への OhHelp ライブラリの導入を今年度前半で終わることができ、磁気再結合を想定した粒子分布での動作検証を行った。グリッド数は $128 \times 512 \times 32$ (Case1) と $128 \times 512 \times 64$ (Case2) の 2 通りで、MPI プロセス数はそれぞれ $8 \times 8 \times 4$ 、 $8 \times 8 \times 8$ であり、スレッド数はともに 16 とした。周期境界条件下で 2 枚の電流層を x 方向に並べ、粒子数はそれぞれ 1.26 億、2.52 億として、粒子数密度の粗密差はともに 31.8 倍とした。計算ステップ数は 10,000 である。OhHelp ライブラリを組み込む前のコードと比較した結果、下記の表のような結果が得られた。Case2 では OhHelp を組み込んだ効果が得られなかったのに対し、Case1 では得られた。OhHelp の効果は動的負荷分散によるメリットと追加コストによるオーバーヘッドの兼ね合いで決まる。磁気再結合のシミュレーションでは、電流層が維持されて構造が変化しない場合や、磁気再結合の結果、構造のトポロジーそのものが変化した後にその構造が準安定的に維持される場合、また、粒子が集合する磁気島が発生して移動する場合など、構造が物理条件や時間経過とともに変化する。今回の動作検証ではそのような大きな構造変化が起こっていないので、OhHelp の効果が得られづらい場合であったと考えられる。今後は、In-Situ 可視化と組み合わせてシミュレーション結果を確認しながら、オリジナルと OhHelp を組み込んだコードとを使い分けて運用したいと考える。

また、粒子が集中する領域が発生してその領域を担当するノードのメモリ容量を超えるような場合、通常はその時点で計算不能となるが、OhHelp の負荷分散機能を使えばメモリ容量を超える粒子情報を他のノードに自動的に割り付けてくれる。これは、オリジナルコードでは実行できなかった

条件でのシミュレーションが可能になることを示しており、核融合プラズマの粒子シミュレーションの可能性が大きく拡大されることが期待される。

	オリジナル	OhHelp
Case1	359.78 秒	341.36 秒
Case2	366.38 秒	400.74 秒

・ p3bd の開発

今年度前半は、領域分割型分散並列に対応したポアソンソルバーの開発、並びに、その実装作業を進め、さらに、今年度後半以降は、同ポアソンソルバーの高速化、同ポアソンソルバーを用いたコードの領域分割型分散並列化への移行に係る各作業などを進めるなど、当初の目標を達しつつある。今後は、領域分割型分散並列化コードの検証や最適化作業などを推進するとともに、同コードを用いた物理課題（ブロブ、ホールによる不純物輸送の効果など）の解明を目指す。

・核融合プラズマの粒子コードによる解析

LHD などでは、高速粒子によって様々な周波数帯の波が発生している。その発生機構を明らかにするため、電磁粒子シミュレーションを開始した。イオンサイクロトロン周波数から低域混成周波数にまで及ぶ波の線形・非線形発展と粒子の運動との相互作用について詳細な解析を進め、今後、実験結果との比較を行う予定である。

・MHD コードの開発

MINOS コード用に開発したいくつかの機能を、大規模シミュレーション用コード MUTSU/ MINOS に移植し、大規模 LES の実施を可能にすることを目標に作業を行っている。現在、実装されたモデルの物理的妥当性の検証を行っているところであり、これが確認できた段階で不安定性の非線形時間発展に使用する予定である。

・多階層モデルの開発

磁気再結合を階層横断現象として完全に理解することを目指して、巨視と微視の階層を同時にかつ自己無撞着に解く多階層モデルの開発を進めている。この多階層モデルでは、シミュレーションの実空間を巨視的階層、微視的階層に分け、巨視的階層のダイナミクスは MHD コードで、微視的階層

の物理は粒子コード(PASMO コード)で解くという手法を採用している。2つの階層はインターフェース領域を通じて連結される（この手法から、連結階層モデルとも呼ばれる）。これまでに、上流方向を連結した多階層モデルを用いて、磁気再結合の多階層シミュレーションに成功し、巨視的階層のダイナミクスが再結合の物理に及ぼす影響について最初の成果を得た。このモデルの発展として、下流方向の階層連結に取り組んでいる。これまでのモデルでは、理想 MHD コードにて巨視的階層の物理を計算しているが、下流方向を連結するには、二流体効果や反磁性電流などを扱うことができる拡張 MHD モデルを用いることがより適切である。そこで、今年度は第一段階として、Hall MHD コードと PASMO コードの連結に取り組み、理想 MHD では扱えないホイッスラー波などの伝播シミュレーションを行って、新モデルの検証を行っている。今後、磁気再結合のシミュレーションに適用する予定である。

・In-situ 可視化の開発

CAVE 用ビューアの開発および VISMO への Binary Tree 法の実装を行った。また MHD コードとの結合、FX100 上での動作テストを進めている。さらに、等値面及びスライスのより効率的な点群取得法を検討している。これにより、保存するデータ容量を減らし、さらに効率的なデータ保存が可能になると期待される。

・資源の利用状況

粒子コード及び MHD コードそれぞれについて FX100 でプロダクトランを行っている。また、コードの開発においても資源を活用することができ、順調に開発を進めることができている。資源は有効に活用されており、改めて JHPCN に感謝申し上げる。

・共同研究の進捗

同じ核融合科学研究所に所属するメンバーでは、定期的に会合を設け、コード開発や研究の進捗状況を報告し合い、停滞している課題があれば、その問題について議論を行っている。遠方の共同研究者とは、メールを使って研究状況を報告して議

論を行っている。また、OhHelp ライブラリの開発者及びユーザが集まってライブラリ導入や実行でのノウハウ、コードの最適化に関して情報交換を行う会合を開催した(下記の写真参照)。以上のように、共同研究は順調に進んでいる。



・シミュレーション研究の総合的研究基盤の構築に向けた取り組み

個別の要素技術は着実に開発が進み、また、SGS モデルを導入するなど、粒子コードの結果を流体コードに反映させるための手法研究も進んでいる。VISMO は MHD コードへの組み込みも進め、本課題メンバー以外の研究者から VISMO 利用の申し出もあった。VISMO の具体的な利用に対する要望を取り入れるなど、更なる開発を進めている。今後、基本コードやライブラリの公開等を含め、研究基盤の構築を進めたいと考える。

・今年度の研究計画に対する自己評価
超並列化に対応した動的負荷分散アルゴリズムの組み込みやポアソンソルバーの開発、物理課題の成果、粒子コードと流体コードの結合、シミュレーションコードと可視化ライブラリの結合など、どの課題も着実に成果を挙げている。

7. 研究成果リスト

(1) 学術論文

・M. Toida, K. Saito, H. Igami, T. Akiyama, S. Kamio, R. Seki: “Simulation Study of High-frequency Magnetosonic Waves Excited by Energetic Ions in Association with Ion Cyclotron Emission”, Plasma Fusion Res. 13, 3403015 (2018).

・S. Usami, R. Horiuchi, H. Ohtani: “Effective heating of nonadiabatic protons in magnetic reconnection with a guide field”,

Phys. Plasmas 24, 092101 (2017).

・H. Hasegawa, S. Ishiguro: “Impurity Transport Caused by Blob and Hole Propagations”, Nuclear Fusion 57, 116008 (2017).

・H. Hasegawa, S. Ishiguro: “Development and Verification of the Three-dimensional Electrostatic Particle Simulation Code for the Study of Blob and Hole Propagation Dynamics”, Plasma Fusion Res. 12, 1401044 (2017).

・S. Usami, R. Horiuchi, H. Ohtani, Y. Ono, H. Tanabe: “Effective Proton Heating through Collisionless Driven Reconnection in the Presence of Guide Field”, Plasma Fusion Res. 13, 3401025 (2018).

・H. Hasegawa, S. Ishiguro: “Microscopic Effect on Filamentary Coherent Structure Dynamics in Boundary Layer Plasmas”, Plasma 1, 6 (2018).

(2) 国際会議プロシーディングス

・H. Ohtani, S. Ishiguro: “Applications of virtual-reality technology to fusion science and engineering”, Proceeding of The 36th JSST Annual International Conference on Simulation Technology, 194 (2017).

(3) 国際会議発表

・M. Toida, K. Saito, H. Igami, T. Akiyama, S. Kamio, R. Seki: “Simulation Study of High-frequency Magnetosonic Waves Excited by Energetic Ions in Association with Ion Cyclotron Emission”, 26th International Toki Conference and 11th Asia Plasma & Fusion Association Conference, Dec. 5-8 (2017), Toki, Japan.

・H. Miura, L. Zheng, and W. Horton, “Numerical simulations of interchange/tearing instabilities in 2D slab with a numerical model for edge plasma, The Sherwood Fusion Theory Conference 2017 (May

1-3, 2017, Annapolis, U.S.A.)

• H. Hasegawa, S. Ishiguro: “Particle-in-cell simulation of non-diffusive plasma transport in scrape-off layer”, 7th Asia Pacific Transport Working Group, Jun. 5-8, 2017, Nagoya Univ., Japan.

• S. Usami, R. Horiuchi, H. Ohtani: “Effective proton heating through magnetic reconnection in the presence of guide field”, 7th East-Asia School and Workshop on Laboratory, Space and Astrophysical Plasmas (EASW-7), July 24-28 (2017), Shandong University, Weihai, China.

• S. Usami, R. Horiuchi, H. Ohtani, M. Den, T. Ogawa: ” Studies on Magnetic Reconnection by Means of Multi-Hierarchy Simulations based on Real-Space Decomposition”, US-Japan Joint Institute for Fusion Theory (JIFT) Workshop on Multiscale Methods in Plasma Physics, August 22-24 (2017), University of Colorado, Boulder, CO, USA.

• H. Ohtani, S. Ishiguro:” Applications of virtual-reality technology to fusion science and engineering”, The 36th JSST Annual International Conference on Simulation Technology, Oct.25-27 (2017), Tokyo Denki Univ., Japan.

• H. Ohtani, R. Horiuchi, S. Usami: “Optimization of electromagnetic particle simulation code PSMO for investigation of magnetic reconnection in open system”, 26th International Toki Conference and 11th Asia Plasma & Fusion Association Conference, Dec.5-8 (2017), Toki, Japan.

• N. Ohno, H. Ohtani, W. Zhang: “Development towards In-Situ Visualization”, 26th International Toki Conference and 11th Asia Plasma & Fusion Association Conference, Dec.5-8 (2017), Toki, Japan.

• S. Usami, R. Horiuchi, H. Ohtani, Y. Ono, H. Tanabe: “Effective proton heating through

collisionless driven reconnection in the presence of guide field”, 26th International Toki Conference and 11th Asia Plasma & Fusion Association Conference, Dec.5-8 (2017), Toki, Japan.

• R. Horiuchi: “PIC simulation study of merging processes of two spheromak-like plasmoids”, 26th International Toki Conference and 11th Asia Plasma & Fusion Association Conference, Dec.5-8 (2017), Toki, Japan.

• S. Ishiguro: “Particle-in-Cell Simulation with Collisions for Detached Plasmas”, US-Japan Joint Institute for Fusion Theory (JIFT) Workshop on Multiscale Methods in Plasma Physics, August 22-24 (2017), University of Colorado, Boulder, CO, USA.

• H. Hasegawa, S. Ishiguro: “Investigation of Multiscale Dynamics on Coherent Structure in Peripheral Plasmas”, US-Japan Joint Institute for Fusion Theory (JIFT) Workshop on Multiscale Methods in Plasma Physics, August 22-24 (2017), University of Colorado, Boulder, CO, USA.

• S. Usami, R. Horiuchi, H. Ohtani: “Ion Effective Heating through Magnetic Reconnection in the Presence of Guide Field”, Plasma Conference 2017, Nov. 20-24, 2017, Himeji, Japan.

• H. Hasegawa, S. Ishiguro: “Impurity Ion Transport by Plasma Filament Structures”, Plasma Conference 2017, Nov. 20-24, 2017, Himeji, Japan.

• M. Toida, K. Saito, H. Igami, T. Akiyama, S. Kamio, R. Seki: ” Simulation Study of High-Frequency Magnetosonic Waves Excited by Energetic Ions in Association with Ion Cyclotron Emission”, Plasma Conference 2017, Nov. 20-24, 2017, Himeji, Japan.

• H. Hasegawa, S. Ishiguro: “Plasma Coherent

Structure Transport Dynamics with Impurity Ions”, 26th International Toki Conference and 11th Asia Plasma & Fusion Association Conference, Dec. 5-8, 2017, Toki, Japan.

・H. Ohtani, Y. Miyake, H. Nakashima, R. Horiuchi, S. Usami: “Optimization of electromagnetic particle simulation code for distributed-memory parallel computer system”, 8th AICS International Symposium, Feb. 7-8 (2018), Kobe, Japan.

・N. Ohno, H. Ohtani: “Development of VISMO”, 8th AICS International Symposium, Feb. 7-8 (2018), Kobe, Japan.

(4) 国内会議発表

・大谷寛明、堀内利得、宇佐見俊介: 「開放系電磁粒子コード PASMO の開発」、プラズマシミュレータシンポジウム 2017、2017 年 9 月 7 日～8 日、核融合科学研究所(土岐市).

・大野暢亮、大谷寛明、張璋: 「In-Situ 可視化へ向けた開発」、プラズマシミュレータシンポジウム 2017、2017 年 9 月 7 日～8 日、核融合科学研究所(土岐市).

・宇佐見俊介、堀内利得、大谷寛明: 「駆動型磁気リコネクションにおける水素イオン実効的加熱機構の探求」、プラズマシミュレータシンポジウム 2017、2017 年 9 月 7 日～8 日、核融合科学研究所(土岐市).

・大谷寛明、萩田克美、大野暢亮: 「シミュレーションデータの圧縮・保存」、第 12 回名工大・核融合研 共同セミナー、2017 年 9 月 11 日、名古屋工業大学(名古屋市).

・大谷寛明、石黒静児: 「VR 装置を使ったシミュレーション・実験データの解析」、2017 画像計測研究会、2017 年 9 月 21 日～22 日、核融合科学研究所(土岐市).

・大谷寛明、石黒静児: 「核融合科学研究所におけるバーチャルリアリティ装置の活用」、第 1 回非線形・可視化部門研究会、2017 年 8 月 7 日～8 日、核融合科学研究所(土岐市).

・大谷寛明、石黒静児: 「NIFS における VR 研究の

進捗」、先進的描画装置を用いた可視化情報の研究会、2017 年 12 月 21 日～22 日、核融合科学研究所(土岐市).

・大谷寛明、石黒静児: 「核融合プラズマ研究へのバーチャルリアリティ可視化の応用」、可視化情報学会主催第 1 回ビジュアルリゼーションワークショップ、2018 年 3 月 2 日、東京都市大学(横浜市).

・宇佐見俊介、堀内利得、大谷寛明: 「磁気リコネクション下流におけるイオンリング状速度分布の形成過程」宇治リコネクションワークショップ 2017 (兼 太陽圏物理研究会 第 2 回研究集会)、2017 年 10 月 20 日、京都大学宇治キャンパス(宇治市).

・宇佐見俊介、堀内利得、大谷寛明: 「ガイド磁場磁気リコネクションにおけるリング状速度分布の形成 —水素イオンのピックアップライクな運動—」平成 29 年度 ISEE 太陽圏宇宙線共同研究集会 2018 年 2 月 20 日～22 日、名古屋大学 宇宙地球環境研究所(名古屋市).

・宇佐見俊介、堀内利得、大谷寛明: 「磁気リコネクションにおける水素イオンのリング状速度分布の形成」日本物理学会第 73 回年次大会、2018 年 3 月 22 日～25 日、東京理科大学野田キャンパス(野田市).

・長谷川裕記、石黒静児: 「不純物を含む非拡散的動径方向プラズマ輸送の粒子シミュレーション」、プラズマシミュレータシンポジウム 2017、2017 年 9 月 7 日～8 日、核融合科学研究所(土岐市).

・T. Pianpanit、石黒静児、長谷川裕記: 「Particle simulation study on the formation of the detached plasma」、プラズマシミュレータシンポジウム 2017、2017 年 9 月 7 日～8 日、核融合科学研究所(土岐市).

・長谷川裕記: 「プラズマ現象の多階層複合シミュレーション」、I-URIC フロンティアコロキウム 2017、2017 年 12 月 12 日～13 日、つま恋リゾート彩の郷(掛川市).

・長谷川裕記: 「プラズマ現象の多階層複合シミュレーション」、第 9 回静岡大・核融合科学研究所連携研究フォーラム、2018 年 2 月 28 日、核融合科

学研究所(土岐市).

・樋田美栄子: 「高速イオンによる磁気音波不安定性とイオンサイクロトロン放射」、プラズマシミュレータシンポジウム 2017、2017 年 9 月 7 日～8 日、核融合科学研究所(土岐市).

(5) その他 (特許, プレス発表, 著書等)

・H. Ohtani: The 36th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (Oct. 25-27 (2017), Tokyo Denki Univ., Japan) で Outstanding Presentation Award を受賞。

・H. Hasegawa, S. Ishiguro: 論文(Plasma Fusion Res. 12, 1401044 (2017))の図が、プラズマ・核融合学会誌 93 巻 12 号の表紙、並びに、Plasma and Fusion Research 誌ウェブサイトのトップページに掲載。