

jh160028-NAJ

Multi-platform Development of Fusion Plasma Turbulence Code toward Post-Petascale Era

前山伸也 (名古屋大学)

概要 本研究課題の目的は、プラズマ乱流シミュレーションコードの高度化とそれを利用した物理解析を行い、核融合プラズマの研究開発に資することである。シミュレーションの高度化に関連して、近年のメニーコア化に対応するため、コード全体の GPU 移植および性能評価を TSUBAME2.5 上で行った。さらに、FX100 のメニーコア CPU 環境とアシスタントコアを利用した通信・演算オーバーラップ手法の性能評価を行い、理論モデルに基づく考察から OpenMP のスケジューリングオーバーヘッドの顕在化による問題を同定し、Dynamic スケジューリングにおけるチャンクサイズスキャンを実施することで通信・演算オーバーラップの最適化を提案した。物理解析に関しては、経済性に優れた高圧力プラズマで不安定化すると考えられるマイクロティアリングモードの線形解析により、磁気シアとプラズマベータ値が不安定化のキーパラメータであることを明らかにした。また、プラズマ乱流の非線形シミュレーションを行い、マイクロティアリングモードと電子温度勾配モードという異なるスケールの二つの不安定性が存在する場合に、両者の間でマルチスケール相互作用が起こることを新たに発見した。

1. 共同研究に関する情報

(1) 共同研究を実施した拠点名

東京工業大学
名古屋大学

(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

代表者の前山伸也 (名古屋大学) は核融合プラズマ中の乱流輸送現象に関する物理解析を担当する。副代表者の朝比祐一 (フランス原子力庁) はシミュレーションコードのマルチプラットフォーム開発およびコードの最適化を担当する。課題参加者の青木尊之 (東京工業大学) と荻野正雄 (名古屋大学) は、それぞれ TSUBAME 上での GPU への最適化および FX100 上での CPU への最適化支援を担当する。

2. 研究の目的と意義

本研究課題は、将来の基幹エネルギー源の候

補の一つと期待される核融合プラズマの研究開発に資することを目的とし、シミュレーションコードの高度化とそれを利用した物理解析を行う。計算科学の観点からは、核融合プラズマの乱流解析に用いられる 5 次元ステンシル計算を如何にして最先端のメニーコアアーキテクチャ上で高速実行するかという問題があり、異なるアーキテクチャの特性を考慮したマルチプラットフォーム開発を行うことで、問題の特性と対策を明らかにする。核融合学の観点からは、開発したシミュレーションコードを用いて、経済性に優れた高圧力プラズマの解析を行い、低圧力プラズマの場合とは異なる機構で駆動される乱流がプラズマ閉じ込め性能に与えるインパクトを明らかにする。これらは計算科学および核融合学が直面している挑戦的課題であり、将来の HPC に対する核融合プラズマシミュレーションコードの適応性を明らかにするとともに、核融合エネルギー開発に資する物理的知見を得るという点から、学術的・社会的意義が高い。

3. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

JHPCN では、FX100、TSUBAME2.5 など最先端のメニーコアアーキテクチャ利用環境が

複数提供されており、本研究で行うマルチプラットフォーム開発に最適の環境である。マルチプラットフォームでアプリ開発を行い、アーキテクチャの特性を活かした最適化手法を確立することは、ポストペタスケールでの研究展開の礎となる。特に、次世代のスーパーコンピュータではノード間通信コストが演算コストと比べボトルネックになることが予想されるため、通信を可能な限り回避し、代わりに演算を多く行うアルゴリズムに置き換えるなど、従来とは全く異なるアプローチが適している場合があり、実アプリを GPU 移植し最適化方針を探ることは利点大きい。FX100 の CPU は、従来型のマルチコア CPU の延長線上にあるが、高い演算性能を発揮するために従来より大きい SIMD 幅を有し、またコア数が大幅に増加するなど、やはり既存のマルチコア CPU 向けに書かれたコードそのままでは性能を発揮できない。こうしたマルチプラットフォーム対応は、JHPCN の枠組みを活用することで初めて可能となる。

4. 前年度までに得られた研究成果の概要

新規課題のため該当しない。

5. 今年度の研究成果の詳細

シミュレーションコードのマルチプラットフォーム開発(TSUBAME2.5 および FX100)と核融合プラズマ物理解析への適用の成果について、H28 年度前・後期に分けて各節で解説する。

5.1. TSUBAME2.5 上のコード開発成果 (前期)

まず、我々が開発を進めてきたプラズマ乱流シミュレーションコード GKV の GPU への移植を行った。プラズマ乱流シミュレーションにおける GPU 利用については、粒子シミュレーションへの適用が大半であり、当該コードを含む五次元の格子シミュレーションコードへの適用例はない。主な理由としては、複雑な通信パターン、メモリ使用量が膨大である点などが

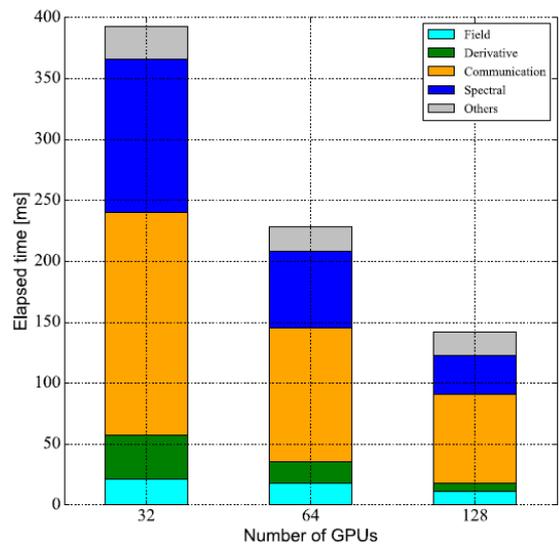


図 1. 32-128GPU を用いた場合の演算性能

考えられる。そこで本課題では、GPU への移植に際し、メモリアクセスの演算への置き換えによる、メモリ使用量削減及び演算密度の向上を図った。メモリ使用量削減により GPU 上で超並列計算を行う上で欠かせない、すべての演算を GPU 上で行うという最低条件を満たすことができた。図 1 に、10 億格子点計算に関する複数 GPU 計算時のスケーラビリティを示す。本コードの主要演算は、差分演算(Derivative)、スペクトル法による畳み込み積分(Spectral)、粒子密度評価のための総和演算(Field)からなる。通信は、差分演算時の袖通信を示す。図 1 からわかるように比較的小規模の並列計算までは、演算と通信のオーバーラップ無しでも良好なスケーラビリティが得られるが、徐々に通信コストの比率が増大することが確認された。

5.2. TSUBAME2.5 上のコード開発成果 (後期)

さらなる単体性能向上のために、高次元差分演算カーネルにおけるレジスタメモリの活用、複数のカーネルを結合することによるメモリアクセスの削減などを行った。これらの最適化により FX100 版と同程度以上の単体性能が得られた。FX100 の実行メモリバンド幅(320 GB/s)は、Tesla K20X のバンド幅 (180 GB/s) の倍程度であることを踏まえるとこれは十分

な性能と言える。

中間報告での課題審査委員コメントでも指摘されたように、GPU 版と FX100 版の実効性能の定量的な評価を行うために、両者のスケラビリティの比較を行った結果を図 2 に示す。GPU 版と FX100 版では Flops が異なるため、指標としては格子ボルツマン法の性能評価でよく用いられる MLUPS (Mega Lattice Update Per Second)を用いた。図 2 に示されるように、並列時の GPU 版の性能は FX100 版の 1/2~1/3 程度にとどまった。また、FX100 では良好なスケラビリティが得られているのに対し、GPU 版では、GPU 数の上昇による顕著な性能劣化が見られた。これは通信と演算がオーバーラップされていないことによる。実際、CUDA Fortran + openmpi 系で通信演算オーバーラップのテストを行ったところ、オーバーラップが行われていないことが明らかとなった。CUDA + openmpi 系で同一のテストを行ったところ、オーバーラップが行われることを確認した。そのため将来の展望としては、コード全体を CUDA/Thrust に移植し、オーバーラップを実現することが必要であると考えられる。移植により、通信演算のオーバーラップのみならず、物理結果の出力で必要となる煩雑な

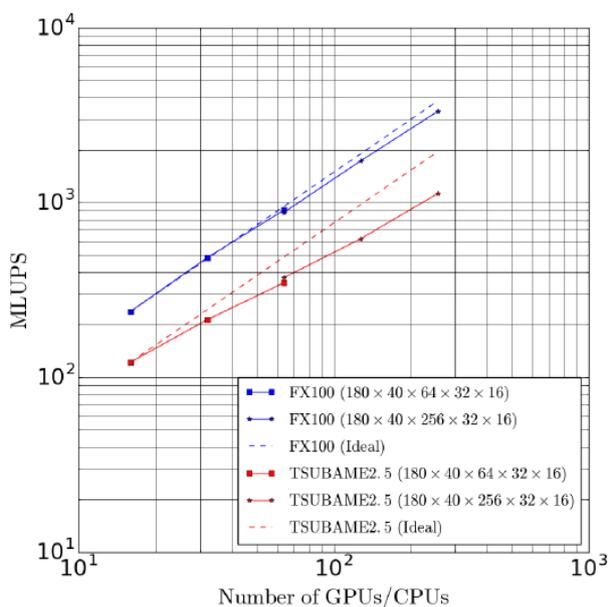


図 2. FX100 版と GPU 版のスケラビリティ

総和演算カーネルの簡易化、次世代アーキテクチャにおける組み込み関数の活用など CUDA Fortran では実現できない実装を行うことができる。また、フランス原子力庁において新たに開発した転地通信の隠蔽手法を GPU 版コードにも適用する予定である。

5.3. FX100 上のコード開発成果 (前期)

次に、FX100 上での最適化として、OpenMP を用いた MPI 通信と演算のオーバーラップによる通信隠ぺい[1]に対し、FX100 独自のアシスタントコアを利用した場合の性能評価を行った。この際、タスク分散に Dynamic スケジューリングを利用する従来法 (後述するように、デフォルトではチャンクサイズ 1) に比べ、アシスタントコアを利用し、かつ、Static スケジューリングを利用した場合の方が性能が改善される事例 (OpenMP による分割されるループ長 2880 の例について測定) が発見された。

この事例を解析するため、OpenMP を用いた通信・演算オーバーラップ性能の理論予測[2]をアシスタントコアや異なるスケジューリングの系に適用した。OpenMP のスレッド数を N とし、MPI 通信処理時間を $T[\text{sec}]$ 、演算を 1 コアで処理した場合にかかる時間を $C[\text{sec}]$ 、アシスタントコアの起動オーバーヘッドを $T_a[\text{sec}]$ とすると、計算全体の処理時間の見積もり $S[\text{sec}]$ は以下で与えられる。

(ア)通信・演算オーバーラップをしない場合

$$S_1 = T + C/N$$

(イ)アシスタントコアを利用せず、Dynamic スケジューリングでループ分割する場合

$$S_2 = \max\{T, (T+C)/N\}$$

(ウ)アシスタントコアを利用し、Dynamic スケジューリングでループ分割する場合

$$S_3 = \max\{T, (T_a+C)/N\}$$

(エ)アシスタントコアを利用し、Static スケジューリングでループ分割する場合

$$S_4 = \max\{T, T_a + C/N\}$$

ここで、演算コスト C はスケジューリング方法

に依存しないことを仮定した。実測値との比較の一例を表 1 に示す。オーバーラップなしのケース①とオーバーラップありのケース②を比べると、通信コストがおよそスレッド数分の一に削減され、効果的に通信隠蔽が行われていることがわかる。さらに、アシスタントコアを利用するケース③では、一般に MPI 通信時間 $T > \text{アシスタントコア起動オーバーヘッド } T_a$ であるために、その差分だけ処理が高速化され、全体として 2~3% の速度改善がなされた。しかしながら、Static スケジューリングを用いるケース④では、マスタースレッドがアシスタントコアの起動オーバーヘッドを担いつつ、スレーブスレッドと同じだけの演算処理をする必要があるため、ロードインバランスとなり、結果的にケース③より性能が劣化することが示された。上記の考察は理論見積もりと実測値がよい一致を示していることから妥当である。このことから、演算コストがスケジューリング方法に依存しない場合にはアシスタントコアを利用し、かつ、Dynamic スケジューリングを用いる手法が、通信削減と負荷分散平滑化の観点から最適性能を与えることが明示された。上記の理論的考察およびループ長 256 の例についての実測結果は、Static スケジューリングの事例の方が性能が向上する場合があるという先の問題提起（ループ長 2880 の例）と一

	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
理論見積もり [sec]	—	0.394	0.386	0.447
実測値 [sec]	0.571	0.403	0.391	0.431

表 1. 通信と演算のオーバーラップの理論見積もりと実測値の比較 (OpenMP 16 スレッド。並列 FFT 計算部分について。ループ長 256 の例について測定)。ケース①-④は文中の理論見積もり①-④にそれぞれ対応する。基準となる MPI 通信コスト T 、演算コスト C はケース①の詳細計測から取得した。

見矛盾する。その理由は、計算コストがスケジューリングに依存しないという仮定が破れていることによる。先の事例ではメニーコア対応を意識してノード当たりのループ長が長くとられていたため、チャンクサイズ 1 の Dynamic ループ分割ではタスクアロケーションのオーバーヘッドが無視できなくなり、演算にかかる時間が増大していたことが性能劣化を引き起こしたと考えられる。

5.4. FX100 上のコード開発成果 (後期)

前期 5.3 節の結果を踏まえて、GKV コードの共同開発者であり、名古屋大学と同様の

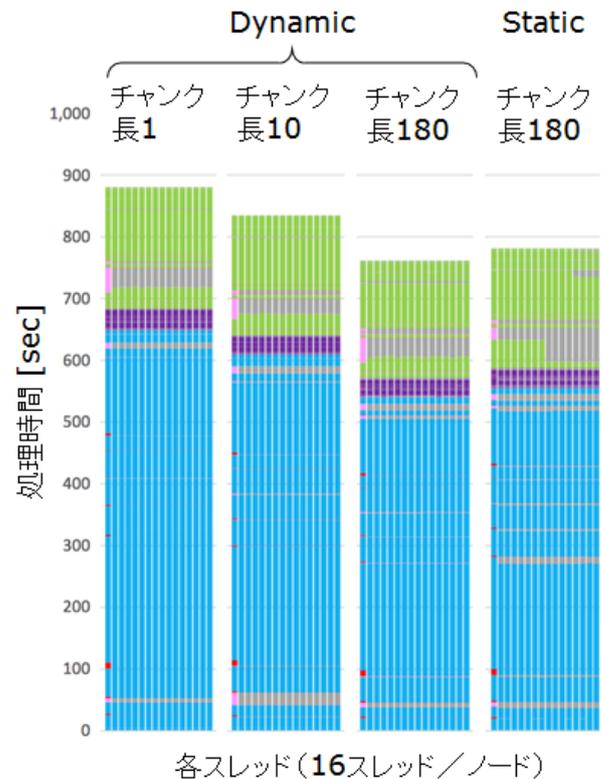


図 3. チャンクサイズスキャンにおける処理時間の測定値の例。ここで、OpenMP により分割されるループ長 2880 とし、アシスタントコアを利用した通信と演算のオーバーラップを行った。水色が並列 FFT の演算にかかる時間、赤色 (マスタースレッドのみに存在) が転置 MPI 通信にかかる時間 (実質、アシスタントコアの起動オーバーヘッドのみ)、灰色がバリア同期待ち時間である。紫・緑部については割愛。

Fujitsu FX100 システムを持つ核融合科学研究所の仲田資季博士らの協力の下で、チャンクサイズに関する性能スキャンを行った。その結果を図 3 に示す。チャンクサイズを大きくしていくとともに、並列 FFT の演算処理にかかる時間が減少していき、最終的に Static 分割よりも高速な処理が行われていることがわかる（前述した通り、Static ではマスタースレッドのアシスタントコア起動オーバーヘッド程度のバリア同期待ちが残るためである）。このことから、Dynamic スケジューリングにおいて、チャンクサイズを大きくしていくとタスクアロケーションのオーバーヘッドが小さくなるため Static の場合と同程度の演算コストで済み、さらに負荷分散平滑化の効果により、総合的には Static の場合よりも高速な処理が行われるという理論予測が実証された。

5.5. 物理解析への適用成果（前期）

物理解析に際しては、FX100 上で経済性に優れた高圧力プラズマに関する解析を行った。核融合プラズマにおいて、電子の熱輸送はしばしば極微細ないわゆる電子スケールで起こる電子温度勾配不安定性に起因する乱流（電子スケール乱流）が支配的になり得ると考えられてきた[3]。しかし、近年の乱流物理モデルの高精度化により、比較的大きなイオンスケールで起こるマイクロティアリングモードの顕在化が指摘され、特に次世代核融合装置 ITER ではその影響が顕著になるとする報告もなされている[4]。この状況を鑑みて、我々はマイクロティアリングモード解析の準備を進めてきた[5]。

上半期は特に、マイクロティアリングモードの基本的特性を解析するために、線形固有関数解析を重点的に行った。マイクロティアリングモード解析事例のある英国の MAST 装置、米国の NSTX 装置、独国の ASDEX-U 装置の実験パラメータを基準とし、磁気シアやプラズマベータ値、衝突周波数などに代表されるプラズマパラメータを変えたときの依存性を解析し

た。磁気シア s は磁力線が構成するトーラス上での磁力線ピッチ q のトーラス小半径 r 方向への変化率として以下のように定義される。

$$s = (r/q)(dq/dr)$$

一方、プラズマベータ値 β はプラズマ圧力 P と磁気圧 $B^2/(2\mu_0)$ の比として定義される。

$$\beta = 2\mu_0 P/B^2$$

いずれも、磁気シアは磁力線のつなぎ替えが起こるための基本的なパラメータであり、プラズマベータ値は乱流を作る磁場揺動の影響の大きさを特徴づけるパラメータであるため、マイクロティアリングモードの不安定化に対し本質的なパラメータといえる。これら磁気シアとプラズマベータ値の 2 次元パラメータ平面内の依存性を調べる際、それぞれ 20 通りずつ、系 400 パターンの組み合わせを異なる複数の波数領域に適用したため、数千ケースに及ぶパラメータスキャンを実施した。その結果の一部を図 4 に示す。図からは、プラズマベータ値 0 の静電近似の極限ではイオン温度勾配モードと呼ばれる静電的不安定性が存在すること、この線形固有モードは磁気シアまたはプラズマベータ値が高くなると安定化されること、磁気シアが十分に小さい領域では、プラズマベータ値の上昇とともに運動論的バルーニングモー

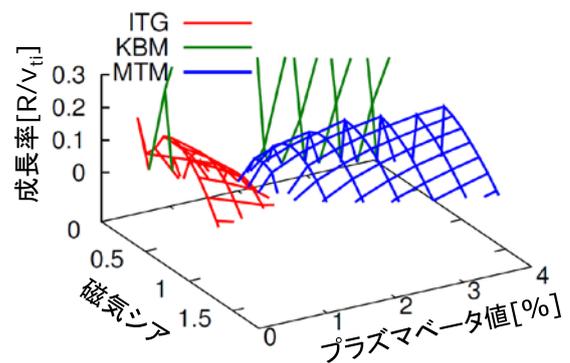


図 4. 磁気シアとプラズマベータ値に対する線形固有モードの成長率の変化。青、赤、緑の線がそれぞれマイクロティアリングモード (MTM)、イオン温度勾配モード (ITG)、運動論的バルーニングモード (KBM) に対応。

ドと呼ばれる電磁流体力学的不安定性が急速に不安定化されることなどがわかる。今回焦点を当てているマイクロティアリングモードに関しては、有限の磁気シア領域（本例では $s \sim 1$ 付近）かつ、プラズマベータ値が高い場合に不安定化することが見て取れる。これは、もう一つの電子熱輸送の候補と考えられている電子温度勾配モードが、プラズマベータ値に依存せず、磁気シアにより安定化されるという依存性とは大きく異なる。そのため、磁気シアとプラズマベータ値をキーパラメータとして、マイクロティアリングモードと電子温度勾配モードの不安定化の比率を制御し、どのような場合にマイクロティアリングモードあるいは電子温度勾配モードが卓越するかを解析できる見通しが得られた。その他にも、マイクロティアリングモードの不安定化には速度依存衝突周波数を持つ衝突項が本質的であるという 1980 年代の理論[7]とは異なり、トーラス系では無衝突極限でも不安定化し得るとい最近の数値シミュレーション研究の結果[8]も再現できるなどの確認が取れた。

線形解析では不安定性が存在すること、および線形固有モードの振幅が非常に小さい場合の周波数・成長率しか与えることができず、定常的に得られる乱流揺動スペクトルや熱輸送フラックスを評価することができない。こうした乱流揺動の飽和振幅を決定するためには、揺動自身が作り出す電磁場による $E \times B$ ドリフトや揺動磁場に沿った移流の効果を取り入れた非線形解析が必要となる。非線形解析では、乱流揺動スペクトルを与える全モードの非線形結合を、微小な渦の時間スケールで解く必要があるため、線形解析に比べて数 100 倍程度の計算コスト増となる。加えて、イオンスケールと電子スケール乱流を同時に扱う先進的なマルチスケール乱流の直接計算では、両時空間スケールを改造するために、さらに 100 倍以上の計算コスト増となる。このような超大規模のマルチスケール乱流解析を本研究の計算資源

で系統的に行うのは難しいため、ここではまず、イオンスケールと電子スケール乱流のスケール分離を仮定した単一スケール乱流シミュレーションを行った。その結果、磁気シアやプラズマベータ値の値によっては非線形飽和が得られないパラメータ領域があること（特に、低磁気シアかつ高ベータ値の場合に飽和が得られにくい）が判明した。線形解析で得られた不安定性のパラメータマップを頼りに非線形シミュレーションのテストを進めることで、マイクロティアリングモードと電子温度勾配モードの両方で飽和が得られるパラメータ領域を発見することができた。

5.6. 物理解析への適用成果（後期）

さらに、マイクロティアリングモードと電子温度勾配モードの相互作用について調べるために、短時間ではあるが両者を同時に解像するマルチスケール乱流シミュレーションを行った。その結果を図 5 に示す。イオンスケールのマイクロティアリングモードのみを扱う低解

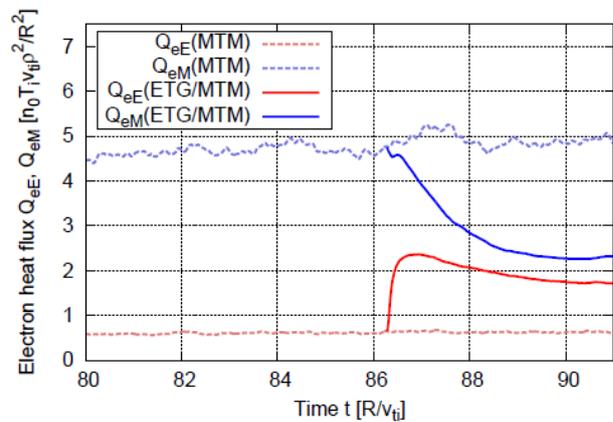


図 5. 乱流による電子熱輸送の時間発展。磁場揺動による電子熱輸送を青、静電揺動による電子熱輸送を赤で表示している。点線がイオンスケールのマイクロティアリングモード(MTM)のみ扱う低解像度シミュレーションの結果である。時刻 $86.4R/v_{ti}$ を境に高解像度化し、電子温度勾配モードとマイクロティアリングモードを同時に扱うマルチスケール乱流シミュレーション(ETG/MTM)を行った結果を実線で示す。

像度乱流シミュレーションでは、マイクロティアリングモードによる磁場揺動が支配的な電子熱輸送を引き起こす。一方、途中で計算メッシュを高解像度化し、マイクロティアリングモードだけでなく電子スケールの電子温度勾配モードも同時に扱うマルチスケール乱流シミュレーションを行うと、電子温度勾配モードの成長とともに、それに伴う静電揺動による電子熱輸送が増大すること、同時に、マイクロティアリングモードの磁場揺動による電子熱輸送が抑制されることが新たに明らかとなった。さらに乱流揺動スペクトルや電流分布の自己相関などを詳細に解析した結果、マイクロティアリングモードの持つ局所的電流シート構造が電子温度勾配モード駆動乱流によって破壊されることで、マイクロティアリングモードが安定化される可能性が示唆された。

- [1] Y. Idomura, et al., *Int. J. High Perform. Comput. Appl.* 28, 73 (2014).
- [2] S. Maeyama, et al., *Parallel Comput.* 49, 1 (2015).
- [3] F. Jenko, et al., *Phys. Plasmas* 7, 1904 (2000).
- [4] D. R. Hatch, et al., *Nuclear Fusion* 56, 104003 (2016).
- [5] S. Maeyama, et al., *Plasma Fusion Res.* 11, 2403011 (2016).
- [6] S. Maeyama, et al., *Phys. Rev. Lett.* 114, 255002 (2015).
- [7] N. T. Gladd, et al., *Phys. Fluids* 23, 1182 (1980).
- [8] I. Predebon and F. Sattin, *Phys. Plasmas* 20, 040701 (2013).

6. 今年度の進捗状況と今後の展望

シミュレーションコードのマルチプラットフォーム開発について、まず TSUBAME 上への移植を行い、GPU による超並列計算を可能とした。今年度は、差分演算カーネルにおけるレジスタメモリの活用、複数のカーネルを結合するこ

とによるメモリアクセスの削減などを行った。これらの最適化により FX100 版と同程度以上の単体性能が得られた。一方、並列時の GPU 版の性能は FX100 版の 1/2~1/3 程度にとどまった。また、FX100 では良好なスケーラビリティが得られているのに対し、GPU 版では、GPU 数の上昇による顕著な性能劣化が見られた。今後の課題としては、CUDA/Thrust 系へのコード移植が挙げられる。これにより、通信と演算のオーバーラップや、煩雑な総和演算カーネルの簡易化、次世代アーキテクチャにおける組み込み関数の活用が期待できる。また、フランス原子力庁と共同研究中の転地通信の隠蔽手法を GPU 版コードにも適用する予定である。

次に、FX100 上の最適化に関しては、アシスタントコアの性能評価を完了し、理論的指針も得られた。理論モデルの解析結果を考慮し、ノード当たりのループ長が長いケースでのチャンクサイズスキャンを実施し、アシスタントコアを利用し、かつ、Dynamic スケジューリングを用いた通信・演算オーバーラップを行うことで性能が向上することを実証した。今年度は特にボトルネックとなる MPI 通信の隠ぺい処理に焦点を当てたが、課題審査委員コメントでも指摘されていたように FX100 の持つ SIMD 演算機構に関する評価・解析などの単体チューニングを進めることで、更なる高速化を見込まれると期待される。

物理解析に関しては、計画していた経済性に優れる高圧力プラズマで顕著になると考えられるマイクロティアリングモードの線形パラメータスキャンが実施され、さらに電子スケールとイオンスケールの乱流相互作用を考慮したマルチスケール乱流の非線形解析についても着実に進展した。特に後者の成果は、これまでイオン温度勾配モードと電子温度勾配モードの間の相互作用の解析のみしか適用事例がなかった核融合プラズマにおけるマルチスケール乱流シミュレーションを初めて別のマルチスケール系（マイクロティアリングモード

と電子温度勾配モード) に適用した開拓的な研究成果である。また、次世代核融合装置 ITER の高閉じ込め放電における電子熱輸送の候補とされる両者[4]の間に直接的な相互作用があることを示したという点で、将来の核融合炉開発に資する成果であるといえる。

7. 研究成果リスト

(1) 学術論文

- [1] S. Maeyama, T.-H. Watanabe, Y. Idomura, M. Nakata, A. Ishizawa, and M. Nunami, “Cross-scale interactions between turbulence driven by electron and ion temperature gradients via sub-ion-scale structures”, *Nuclear Fusion* 57, 066036 (2017).
- [2] Y. Asahi, G. Latu, T. Ina, Y. Idomura, V. Grandgirard, and G. Xavier, “Optimization of fusion kernels on accelerators with indirect or strided memory access patterns”, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 26 (2016). doi: 10.1109/TPDS.2016.2633349.

(2) 国際会議プロシーディングス

- [3] S. Maeyama, T.-H. Watanabe, A. Ishizawa, M. Nakata, and M. Nunami, “Gyrokinetic analysis of the effects of electron-scale turbulence on ion-scale micro-instabilities”, 26th IAEA Fusion Energy Conference, TH/P2-1 (2016).

(3) 会議発表(口頭, ポスター等)

- [4] (口頭, 国際会議, 招待講演) S. Maeyama, 21st Joint EU-US Transport Task Force Meeting, Leysin, Switzerland, September 7, 2016.
- [5] (口頭, 国際会議) S. Maeyama, Mini-workshop on plasma turbulence in heliospheric, astrophysical, and

experimental plasmas, Nagoya, Japan, March 3, 2017.

- [6] (口頭, 国際会議) S. Maeyama, Gyrokinetic Theory Working Group Meeting 2016, Madrid, Spain, September 30, 2016.
- [7] (ポスター, 国際会議) S. Maeyama, T.-H. Watanabe, A. Ishizawa, M. Nakata, and M. Nunami, 26th IAEA Fusion Energy Conference, Kyoto, Japan, October 18, 2016.
- [8] (口頭) 前山伸也, 渡邊智彦, 石澤明宏, 第 72 回日本物理学会年次大会, 大阪大学, 2017 年 3 月 17 日.
- [9] (口頭) 前山伸也, 第 6 回 IFERC-CSC 研究会, 東京, 2017 年 1 月 10 日.
- [10] (口頭) 前山伸也, 平成 28 年度閉じ込め輸送研究会, 核融合研, 2016 年 12 月 15 日.
- [11] (口頭) 前山伸也, 平成 28 年度 MHD 研究会, 核融合研, 2016 年 12 月 13 日.
- [12] (ポスター) 前山伸也, 渡邊智彦, 石澤明宏, 第 33 回プラズマ・核融合学会年会, 東北大学, 2016 年 11 月 29 日.
- [13] (口頭) 前山伸也, プラズマシミュレータシンポジウム 2016, 核融合研, 2016 年 9 月 7 日.
- (4) その他(特許, プレス発表, 著書等)
- [14] 前山伸也, プラズマ・核融合学会第 21 回学術奨励賞 (2016 年 11 月)