

[26]全国共同利用研究成果報告

<https://doi.org/10.15017/6796417>

出版情報：全国共同利用研究成果報告. 26, 2023-03. Research Institute for Applied Mechanics,
Kyushu University

バージョン：

権利関係：



非線形プラズマ科学研究会

核融合科学研究所 小林達哉

1. 目的

プラズマは様々なシステムに存在し幅広い応用が試みられている。多様な天体现象を生み出す起源となる一方で、核融合や宇宙推進といった幅広い応用が試みられている。それぞれの課題の中で研究が進められているが、共通の物理課題を有する場合が少なくない。例えば核融合プラズマの閉じ込め特性を決める乱流輸送は、核融合のみならず、宇宙の降着円盤の質量降着や、宇宙推進器の推力向上の鍵を握る重要問題である。別個に進められているこれらの問題に対して、本研究集会では共通の物理課題を探ることを目的とする。異なる問題に対して試みられているアプローチに対して、別の課題への応用可能性などについて探ることを目的とする。本年度は非線形性をテーマに、プラズマが現れる様々な分野の研究者の間でそれぞれの未解決問題を共有するための場を設ける。

また、プラズマは様々な非線形的な振る舞いを示し、その性質は海洋や大気において観測される乱流と類似の振る舞いを示す。本研究集会では、プラズマ物理に固有の課題のみならず、幅広く大気や海洋における非線形現象との共通の物理を炙り出すことをもう一つの目的とする。例えば、プラズマや海洋では様々な非線形波動が励起されうる。今年度の研究集会では、非線形波動の励起という側面から、プラズマおよび地球流体の非線形現象に共通する物理課題の抽出に重点を置く予定である。

2. 概要

上記の目的のもと、今年度は複数回のオンラインセミナーを設けた。以下にリストを示す。

1. 7.28 (木) 磁化プラズマにおけるブリーザーの励起 小菅佑輔 (九大応研)
2. 8.25 (木) 3次元磁気流体数値計算によるブラックホール降着流の解析 町田真美 (国立天文台)
3. 9.22 (木) 孤立波列の二次元相互作用について 辻英一 (九大応研)
4. 10.27 (木) 磁場閉じ込めプラズマにおける雪崩輸送と構造形成 金史良 (京都大学)
5. 12.1 (木) 強磁場中における相対論的波動粒子相互作用に関する数値シミュレーション 佐野孝好 (大阪大学)
6. 1.12 (木) 逆磁場ピンチ磁場配位における乱流、帯状流、大域的磁場揺動の相互作用 西澤敬之 (九大応研)

7. 2.9(木) ダイバータプラズマの捕食者-被食者関係 小林達哉 (核融合研)

各講演の詳しい内容については概要集を末尾に添付している。内容を概観すると、プラズマや海洋における非線形波動（小菅、辻）、磁場閉じ込め実験（金、西澤、小林）、レーザープラズマ（佐野）、天体プラズマ（町田）からなり、幅広い話題をカバーすることができ、目的としていたプラズマが関連する複数の分野をカバーする研究集会を開催することができた。

専門の違う聴衆が集まるため、講演の途中でも疑問があれば質問ができるというスタイルで進めたため、問題を把握するための質問が多数なされた。当初予定していた一時間程度という枠を超えて議論が続けられていたことも印象的である。

今年度カバーした内容を踏まえ、来年度以降の在り方について議論する場を設けた。プラズマが関連する幅広い研究者が集える場所を提供すべく、来年も応用力学研究所の共同研究集会として応募することとした。来年度はこれまでのトピックスに加え、データ解析に関連する話題を取り入れていく予定である。

3. 参加者リスト

参加者名	所属	学生
小林達哉	核融合科学研究所	
町田真美	国立天文台	
彌富豪	総合研究院大学	○
斎藤晴彦	東京大学	
安立史弥	東京大学	○
稲垣滋	京都大学	
金史良	京都大学	
多羅間大輔	立命館大学	
小菅佑輔	九州大学応用力学研究所	
辻英一	九州大学応用力学研究所	
寺坂健一郎	九州大学総合理工学府	
Moon Chonho	九州大学応用力学研究所	
永島芳彦	九州大学応用力学研究所	
西澤敬之	九州大学応用力学研究所	
恩地拓己	九州大学応用力学研究所	
池添竜也	九州大学応用力学研究所	
松清修一	九州大学総合理工学府	
小山一輝	九州大学総合理工学府	○
山口貴大	九州大学総合理工学府	○
吉田光太郎	九州大学総合理工学府	○

Fan Yumeng	九州大学総合理工学府	○
西村大輝	九州大学総合理工学府	○
小林大輝	九州大学総合理工学府	○

第1回セミナー

7.28(木曜)

スピーカー：小菅佑輔（九大、応研）

タイトル：磁化プラズマにおけるブリーザーの励起

アブストラクト：

波と流れの相互作用は核融合閉じ込めの観点から重要な問題であるだけでなく、広く海洋や大気、天体プラズマでも重要な問題である。本講演では、磁化プラズマにおけるドリフト波とそれが非線形的に駆動する径方向の流れ「ストリーマー」の相互作用について議論する。変調不安定性による流れの励起について紹介した後、変調不安定性が非線形発展する結果、プラズマにおいても海洋と同様の一発大波（ブリーザー）が励起されることを示す。磁化プラズマにおける一発大波と海洋における一発大波を記述する共通のモデルについて紹介し、非線形波動の一種である時間的に局在化しているブリーザーが励起されることを示し、予測された理論波形を元に実際の実験データからブリーザーを同定した結果について紹介する。

参加者：11名（うち学生(*)3名）

九大：小菅佑輔、辻英一、寺坂健一郎、Moon Chonho、永島芳彦、小山一輝*、西村大輝*、小林大輝*

核融合科学研究所：小林達哉

量子科学技術研究開発機構：金史良

国立天文台：町田真美

第2回セミナー

8.25(木曜日)

スピーカー：町田真美（国立天文台）

タイトル：3次元磁気流体数値計算によるブラックホール降着流の解析

アブストラクト：

X線連星や、活動銀河中心核(**AGN**)で観測されるジェットやX線フレアなどの高エネルギー現象は、降着流(コンパクト星の周りを回転しながら落下するプラズマ)を介して解放されるコンパクト星の重力エネルギーを駆動源としている。降着流から中心にガスを落下させるためには、角運動量を外向きに輸送する必要がある。角運動量引き抜きの機構として我々は、磁気回転不安定性が重要であると考えている。特に、降着流中で成長する磁気回転不安定性が大局構造形成へ与える影響を調べる目的で3次元磁気流体数値実験を行っている。その結果、エントロピーが高い渦状構造が形成されると質量降着率が上昇することがわかった。また、この渦状構造は、動径方向速度にはっきりとした不連続を作るが、衝撃波ではない事、渦状構造内の高温でガス密度が低い状態は渦状構造内で生じた磁気リコネクションによることなどを明らかにした。

参加者：12名（うち学生(*)4名）

九大：小菅佑輔、Moon Chonho、西澤敬之、恩地拓己、池添竜也、小山一輝*、西村大輝*、小林大輝*

東大：高竜太*

立命館大学：多羅間大輔

核融合科学研究所：小林達哉

国立天文台：町田真美

第3回セミナー

9.22(木曜日)

スピーカー：辻英一（九州大学応用力学研究所）

タイトル：孤立波列の二次元相互作用について

アブストラクト：

様々な自然現象で観測される孤立波は、数値計算や実験だけでなく、理論的にもよく調べられている。単一の孤立波の二次元相互作用については、角度によっては新しい孤立波の生成が起こるという、個性を保って伝播する一次元相互作用とは異なる性質をもつ。この性質は弱非線形近似によって系統的に導かれるソリトン方程式の解の性質によって理解できる。

一方、河川・運河や海洋ではしばしば、一群となって進む孤立「波列」が観測されることがあるが、そのような複数の孤立波列の相互作用は、これまで調べられていない。本研究では弱非線形近似の元での理論計算と、強非線形計算スキームを用いた数値計算を行い、両者の結果の比較をおこなう。これまで調べたパラメーター領域では、理論と数値計算には良い一致が見られる。

参加者：13名（うち学生4名）

九大：辻英一、寺坂健一郎、永島芳彦、小菅佑輔、Moon Chonho、西澤敬之、小山一輝*、西村大輝*、小林大輝*

東大：安立史弥*

立命館大学：多羅間大輔

量子科学技術研究開発機構：金史良

国立天文台：町田真美

第4回セミナー

10.27 (木曜日)

スピーカー：金史良（京都大学）

タイトル：磁場閉じ込めプラズマにおける雪崩輸送と構造形成

アブストラクト：

磁場閉じ込め高温プラズマは、外部から注入されたエネルギーが多様なダイナミクスにより輸送・散逸され準定常状態が保たれる非平衡開放系である。プラズマは磁場に束縛されているため、エネルギーは局所拡散的に輸送されると考えられてきたが、1990年代から局所輸送だけでは説明できない現象が数多く発見され、高温プラズマの非局所的輸送として議論されてきた。雪崩輸送は、その様な非局所的輸送を説明する自己組織化的な機構であり、圧力分布や流れ場などの大域的な構造形成に決定的な影響を及ぼすことが数値計算などで予想されていた。近年の計測器やデータ解析技術の進歩により、実験的にも雪崩輸送が計測できる様になりその検証が進んでいる。本発表では、JT-60U トカマク装置の実験結果を示し、雪崩輸送が高温プラズマ中で普遍的に観測される構造「硬直性分布」と「内部輸送障壁」にどの様に寄与しているのか、紹介する。

参加者：12名（うち学生(*)4名）

九大：辻英一、永島芳彦、小菅佑輔、Moon Chonho、西澤敬之、小山一輝*、西村大輝*、小林大輝*

大阪大：佐野孝好

総合研究院大：彌富豪*

京都大学：稲垣滋、金史良

第5回セミナー

12.1 (木曜日)

スピーカー：佐野孝好（大阪大学）

タイトル：強磁場中における相対論的波動粒子相互作用に関する数値シミュレーション

アブストラクト：

レーザープラズマ物理の究極の目標は、レーザー駆動による慣性核融合の実現である。この目標を達成するためには、レーザー光による効率的なプラズマ加熱過程を解明しなければならない。近年、磁場を用いてレーザープラズマを制御する手法が盛んに考えられるようになり、強磁場中のレーザープラズマ相互作用の理解が急務となっている。そこで、我々はプラズマ粒子シミュレーション(Particle-in-Cell 法)を用いて、相対論的強度のレーザーによるプラズマ加熱及び加速過程が、強磁場の存在でどのような影響を受けるかを調べている。特に、磁力線に沿って対向に伝播する電磁波同士が衝突した際に生じる定在波とプラズマとの相互作用に着目している。本セミナーでは、磁場中を伝播するホイッスラー波の特性によって、電子やイオンが選択的に加熱される物理機構について紹介する。

参加者：12名（うち学生(*)5名）

九大：小菅佑輔、西澤敬之、池添竜也、恩地拓己、松清修一、小山一輝*、山口貴大*、吉田光太郎*、Fan Yumeng*

大阪大：佐野孝好

総合研究院大：彌富豪*

国立天文台：町田真美

第6回セミナー

1.13 (木曜日)

スピーカー：西澤敬之（九州大学）

タイトル：逆磁場ピンチ磁場配位における乱流、帯状流、大域的磁場揺動の相互作用

アブストラクト：通常の逆磁場ピンチ(RFP)においてはティアリングモードにより磁場が統計的となり大きな熱、粒子輸送が生じる。しかし外部から誘導的に電流分布を制御することで RFP プラズマ中のティアリングモードを安定化させ磁場の統計性を抑えることができる。電流分布制御を行なった RFP においてはトカマクや最適化の進んだステラレータと同様に乱流による輸送が支配的であると考えられている。本発表では RFP の基本的な特徴を述べた後、特異な磁場配位を持つ RFP プラズマ中での乱流、帯状流、大域的磁場揺動の相互作用に関する研究について紹介する。非線形ジャイロ運動論コードを用いたシミュレーション結果では RFP 中の強い磁場のシアにより乱流が抑制され、帯状流が層状に連なった流れの構造が形成されることが予測されたが、実験的にはイオンスケールの乱流が観測された。実際の RFP プラズマでは電流制御を行なってもティアリングモードによる有限の大域的磁場揺動が残留する。この効果を取り入れて再度非線形シミュレーションを行なった場合、実験結果と一致する乱流状態が得られた。また実験的に最外殻磁気面に近い閉じ込め領域において帯状流が観測された。この位置における帯状流の有無、またその役割はトカマクにおける LH 遷移においても重要であり議論の対象となっている。なぜ RFP において最外殻磁気面付近に帯状流が生じるかを解明できれば LH 遷移の理解にも貢献することが示唆される。

参加者：12 名（うち学生(*)5 名）

九大：小菅佑輔、西澤敬之、池添竜也、恩地拓己、辻英一、永島芳彦、Moon

Chonho、西村大輝*、小林大輝*、小山一輝*、

東京大学：斎藤晴彦、安立史弥*

京都大学：稲垣滋、金史良

総合研究院大：彌富豪*

国立天文台：町田真美

第7回セミナー

2.9(木曜日)

スピーカー：小林達哉（核融合科学研究所）

タイトル：ダイバータプラズマの捕食者-被食者関係

概要：核融合プラズマ装置では、プラズマ排熱をダイバータと呼ばれる耐熱性の高い装置で処理する。炉心プラズマの高温化が進み、排熱が大きくなると、通常のダイバータでは処理しきれない運転領域となる。非接触ダイバータとは、ダイバータ部のプラズマをプラズマ再結合により中性粒子に戻し、熱負荷を下げる運転方法である。大型ヘリカル装置(LHD)では、外部から印加した摂動磁場により、非接触ダイバータ状態を実現する。非接触ダイバータ生成は、プラズマ-摂動磁場相互作用や原子分子プロセスなどの非線形物理を内在するため、その発生に強い遷移性が見られる。非接触プラズマ運転の安定性向上のため、背景物理の理解が望まれている。近年 LHD では、プラズマが一定周期で接触-非接触状態を行き来する、ダイバータ自励振動が発見された。この振動は、プラズマ放射損失のポロイダル不均一性の遷移によって引き起こされる、孤立した磁場構造(磁気島)の自励振動であることがわかった。磁気島の幅と自己生成局所プラズマ電流(ブートストラップ電流)の間の非線形関係をモデル化するため、捕食者-被食者モデルを導入した。モデルの数値・数値解析により、モデルが実験結果をよく説明することを示した。

参加者：9名（うち学生(*)4名）

九大：小菅佑輔、Moon Chonho、西澤敬之、辻英一、西村大輝*、小林大輝*、小山一輝*、

東京大学：安立史弥*

核融合科学研究所：小林達哉

共同利用研究集会

第 20 回トロイダルプラズマ統合コード研究会

20th Burning Plasma Simulation Initiative (BPSI) Meeting

研究代表者 京都大学 村上定義
所内世話人 糟谷直宏

1. 研究集会の開催目的

応用力学研究所においては、これまで京都大学との共同研究により核燃焼プラズマ統合コード構想を発足させ、活動を行ってきた (<http://p-grp.nucleng.kyoto-u.ac.jp/bpsi/>)。このプロジェクトは、科研費「核燃焼プラズマ統合コードによる構造形成と複合ダイナミクスの解析」(2004~2006)、「統合コードによる ITER プラズマのマルチスケール物理に関する総合的研究」(2007~2010)、「トロイダルプラズマの運動論的統合シミュレーションコードの開発」(2008~2012)等によって部分的に支援されてきた。各年度の活動状況および次年度の活動計画を含めて研究会を毎年開催している。今回で第 20 回目となるが、第 11 回よりトロイダルプラズマに対象を拡大し、炉心プラズマと周辺プラズマ、MHD 現象と輸送現象、高エネルギー粒子と乱流輸送、加熱・電流駆動と長時間運転等の複合現象の統合モデリングおよびそのシミュレーションについて、包括的なアプローチとして議論している。第 2 回～第 8 回と第 11 回～第 19 回は応用力学研究所の共同研究集会として開催してきた実績がある。

2. 開催日時

開催日程： 2023 年 1 月 5 日（木）－ 6 日（金）

開催場所： 九州大学応用力学研究所会議室およびオンラインハイブリッド形式

講演数：32 件、参加者数：43 名

3. 研究集会の内容

トロイダルプラズマにおける複合現象の統合モデリングおよびそのシミュレーションの進展について議論するため研究集会を 2 日間にわたって開催した。外国人参加者も含めて講演 32 件(研究成果報告 27 件、サブクラスター関連 5 件)の申し込みが集まった。件数は例年と同程度である。今回は九州大学の現地会場を主会場としたハイブリッド開催とした。このことでコロナ禍の影響で移動が困難な研究者のオンラインでの参加も可能とした。今回の特徴として、特定研究「計測・シミュレーション・モデリングを組み合わせた統合診断」研究集会との合同セッションを設定したこと、昨年度の企画セッションで生まれた共同研究を発展させるためのワークショップ「不純物輸送」を設定したことがある。また、口頭発表とポスター発表それぞれのセッションを設定し、全体の議論を重視するか、個別の議論を深めるか各自の発表内容に合わせて選択してもらった。このように一方通行的な研究発表となることを避け、議論の活性化を図るための工夫を加えた研究会を企画した。合同セッション(口頭)5 件、口頭発表 15 件、ポスター発表 7 件とバランスの良い構成とな

った。口頭発表は Zoom、ポスター発表は Remo を利用した。1 日目午前に核融合フォーラムサブクラスターとの合同会合で内外の研究情勢の報告と今後の研究方針の議論を行った。

研究成果報告はどれも質の高いものであった。今回は昨年引き続き不純物輸送やデータ駆動手法とともに乱流輸送に関する話題が豊富であった。学生による講演も 10 件あり、若手の活躍に今後の期待が持てる。以下に研究成果講演内容を抜粋して列挙する。

合同セッション「計測・シミュレーション・モデリングを組み合わせた統合診断」を実施した。まず糟谷が九大応力研の特定研究「計測・シミュレーション・モデリングを組み合わせた統合診断」として実施される共同研究の枠組みについて紹介した。続いて糟谷は磁化プラズマにおける巨視的構造診断のためのシミュレーションの取り組みを紹介した。計算機シミュレーション研究の進展から揺動の 3 次元構造を提示できるようになってきているので、開発中の統合数値診断プラットフォーム iTDS を用いたシミュレーションデータの特徴的な診断について説明した。プラットフォーム上で実験計測の模擬を行い、トカマクプラズマ空間 3 次元時系列シミュレーションデータに対して物理量を抽出する。多様な比較対象を提示することで、実験とシミュレーションの比較手法の進展を図るものである。本多はスーパーステージモデルを用いた TASK/TX における炭素不純物モデリングの進展について説明した。トーラスプラズマ中の物理量の自己無撞着な取り扱いに特徴がある流体型 1 次元輸送コード TASK/TX を開発している。近年、不純物を含む複数粒子種系への拡張を行っている。不純物はプラズマ中で多数の価数段階をとることができ、価数ごとに流体方程式を増やすのは計算コストや安定性の問題から現実的ではない。TASK/TX では複数の電離段階をグループ化するスーパーステージモデルを採用し、既存のトカマクで重要となる炭素の不純物モデリングを進めている。佐々木はデータ駆動科学による乱流時空間ダイナミクスの進展について紹介した。データ駆動科学的な乱流の縮約化と物理機構の理解については特異値分解を用いたモード間相互作用や輸送解析への応用、直交性を利用したエネルギー相互作用の定量化、複数場特異値分解による粒子輸送解析、さらには海洋ソリトンや風車近傍乱流という他分野への波及研究について説明した。また、機械学習を用いた乱流現象の推定については拡張版動的モード展開を用いた乱流時空間発展の長期予測、マルチスケール畳み込みニューラルネットワークを用いた電位揺動の推定について説明した。山田は直線磁化プラズマにおける乱流構造の解析の進展について紹介した。PANTA プラズマにおけるストリーマ構造の周方向構造を解析しており、空間フィルターを用いた抽出の試みを説明した。これら計測とシミュレーションをめぐる様々な話題に対する議論を通じて研究の相互理解を進めることができた。

ワークショップ「不純物輸送」を実施した。トカマク統合コードを開発・利用している九州大、量研機構、名古屋大間の研究協力を促進するために、それぞれのコードを用いて不純物輸送に関するコード間ベンチマークを計画している。実施内容についての打ち合わせを行った。

成田はニューラルネットワークモデルに基づいた半経験乱流輸送モデル DeKANIS を用いて粒子・熱流束予測を行った。汎用性を改善するため乱流飽和則の改良及び訓練データがカバーするプラズマパラメータ領域の拡張を加え、ITER を想定した統合シミュレーションを行った。

福山は平衡解析、輸送解析、幾何光学的解析、波動光学的解析、速度分布解析等のモジ

ユーが更新中である統合コード TASK の更新の目的と現状を述べるとともに、IMAS とのインターフェースの仕様と課題を説明した。

横山は IAEA Coordinated Research Program の枠組みでスタートした AI for Fusion についてその取り組みと今後の進め方について議論を行う会合が開催されたので内容を紹介した。LHD からのデータ提供も視野に入れた取り組みである。

森下は統合コード TASK3D をシステムモデルとするデータ同化システム ASTI の開発を進めている。ASTI による核融合プラズマの制御を実現するため、統合コードの持つ不確実性を観測情報により抑え込みながら、目標状態を作る制御入力を推定することができる新たなデータ同化フレームワーク DACS を開発した。そして DACS に基づいて構築した ASTI により実際に LHD プラズマの温度と密度を制御する実験を行なった。

藤田は原型炉における高い閉じ込め性能・ベータ値と流出パワーのトレードオフの観点から、不純物種の選定を含む運転シナリオについて検討した。ダイバータ熱負荷を許容値以下に抑えるためには境界層・ダイバータ領域に加えて主プラズマからの放射パワーを増大させることが有効である一方、流出パワーの低減は閉じ込め性能の向上を、不純物入射による燃料希釈はベータ値の上昇を、それぞれ必要とする。

持永はトカマク装置のコアプラズマにおける不純物制御手法の確立を目的として、統合輸送シミュレーションコード TASK の開発を進めている。改善閉じ込めモードとして負磁気シアモードと高 β_p モードを対象としたダイナミクスを含むタングステンイオンの輸送について評価を行った。

Park は KSTAR トカマクにおける高速イオンによって誘起された高温核融合プラズマ放電モード FIRE モードの統合モデリングおよびジャイロ運動論シミュレーション結果について説明した。FIRE モードは H モード同等の高イオン温度を持つ。

竹本は JT-60U の H モードプラズマにおいてプラズマ電流と逆向きのトロイダル回転の増大とともに W 蓄積増加が観測されているので、この現象理解のため、トロイダル回転・径電場に伴うピンチモデルが導入された統合輸送コード TOTAL で解析を行っている。現行の不純物輸送コードのピンチ・拡散モデルの妥当性検討のため、軟 X 線計測模擬コードを開発し、蓄積タングステンの空間分布を実験値と比較した。

Hahm は磁気島中の $E \times B$ 渦ダイナミクスについて解説した。トーラスプラズマ中の磁気島の特性についての紹介ののち、2 点相関除去理論を用いた磁気島中の $E \times B$ シア率の導出について説明した。シア率が磁気島位置によって異なるという空間構造と、乱流拡散が X 点を通じて起きるという実験結果が関連することを示した。

矢木は核融合プラズマの核燃焼制御手法のうち、プラズマ周辺部から供給される燃料の粒子輸送を理解することが重要であるので、簡約化 MHD モデルを用いて大局的な粒子輸送シミュレーションを行い、ソース粒子の輸送ダイナミクスを評価した。

Choi は KSTAR プラズマにおけるアルフベン固有モード AE と微視的不安定性の特性評価のためにジャイロ運動論シミュレーションを行った。L モードプラズマで TAE/RSAE や BAE といったモードが AE として代表的であった。線形不安定な微視的モードは電子温度勾配モードであった。

登田は PLATO トカマクにおいて、統合コード TASK を用いて予測されたプラズマ分布と磁場配置を対象として電磁的ジャイロ運動論解析を行った。線形解析により予測された不

安定性は、主に捕捉電子モードと ITG モードであった。モデル衝突演算子を用いて得られた解析結果を Lenard-Bernstein 衝突演算子によるものと比較した。

麿嶋は深層学習を用いた計測困難物理量の推定手法を提案した。乱流シミュレーションにより得た密度揺動の 2 次元時空間データをマルチスケール畳み込みニューラルネットワークに学習させ、静電揺動を出力させるネットワークを構成した。空間的に集中した構造と高度に拡散した構造を同時に検出でき、両方の特徴量を抽出する事が出来る。支配モードに対する静電電位揺動の推定やその揺動が駆動する粒子輸送の評価が可能である。

滝塚は PIC 粒子モデルによる大域的プラズマシミュレーションのための低コスト手法を新たに開発した。Ingenious モデル、Double Leap-Frog 法、Numerical Heating Correction 法、Increasing/Decreasing Particle Number 法について説明した。

沼波はプラズマ乱流シミュレーションに現れる多様体構造と輸送モデリングについて議論した。これまで乱流と帯状流強度を用いた現象論的な輸送モデル関数を構築してきたが、ここでは、シミュレーション結果が、モデル関数のパラメータが張る空間上で、多様体として表現できることに注目し、その構造と更なるモデリングの可能性について議論した。

村上はプラズマ乱流による静電および磁場揺動が存在する場合の ECH による高速電子の径方向拡散への影響を GNET シミュレーションにより評価した。また電子電流によるトロイダル駆動トルクへの影響について研究を行った。

轟はプラズマ中心近傍にまで粒子供給する上で有効な粒子ピンチ効果のひとつとして密度勾配の反転により内向きの乱流粒子輸送を生む機構が知られているので、5 場簡約化磁気流体モデルを用いてトーラスプラズマ端近傍に反転勾配を持つ密度分布を導入した乱流シミュレーションを行った。グローバルシミュレーションにおける密度勾配が正・負である領域の乱流粒子流束の解析を行い、その向きと大きさの評価結果を報告した。

梅崎はダイバータ板前面において再結合により生成される中性粒子が特定の方向に流速を持つ場合の大角度散乱を介した粒子輸送を評価した。熱負荷がどのように変化するか微分断面積とピッチ角を適切に考慮して検討した。

矢本は統合ダイバータコード SONIC における最近の運動論的熱力・熱流束モデルの導入や、非定常計算モデルの開発といった SONIC の不純物輸送モデルのさらなる高度化のための開発状況、及び開発したモデルを JT-60SA の運転予測計算に適用した結果について報告した。

吉原は複数種のシミュレーションデータに対して数値診断を行うことは様々なプラズマ様相の解明に効果的であるので、統合的な数値診断プラットフォームの開発を行い、LHD や PLATO といった実験装置を対象に行った 3 次元乱流場シミュレーションデータに対して重イオンビームプローブ計測ルーチンを適用した結果を報告した。

古田原は乱流輸送解析方法として異なる物理量を同時に解析する multi-field 特異値分解を提案した。本手法を直線磁場プラズマ実験で得られたイオン飽和電流と浮遊電位揺動に適用した。モード分解された両揺動の共通時間発展をもつ空間構造を抽出し、空間構造における位相差を得た。各特異値モードが駆動する輸送を全ての結合の組み合わせについて評価し、内向き・外向き輸送を引き起こす揺動が共存している事を確認した。

田原は軌道追跡型の 5 次元位相空間ドリフト運動論方程式解析コード GNET において、Maxwell 分布を仮定しない任意の分布関数を持つ粒子との衝突を考慮できる非線形衝突演

算子を導入し、LHD プラズマにおいて NBI 加熱によって生じた高エネルギー粒子の分布に対するビーム間衝突の影響を評価した。ビーム粒子との衝突を考慮した結果、高エネルギー領域での拡散が増大し、Maxwell 分布を仮定した線形 Coulomb 演算子を用いた場合に比べ、実・速度空間の両方において分布が広がりを持つようになることが分かった。

以上のように多様な研究内容に関して、ハイブリッド開催という実施方法を最大限に利用して議論を活性化するという目的を達成した研究会を実現した。来年度はより多くの参加者が現地で直接顔をあわせることができるようになることを祈りつつ、第 21 回研究会を九州大学で開催するべく応用力学研究所共同研究に応募することとした。

4. 研究集会プログラム

1 月 5 日(木)

(核融合エネルギーフォーラムサブクラスターとの合同会合)

9:30 – 9:40 林 (QST)

連絡事項

9:40 – 10:10 宮戸 (QST)

IFERC 計算機シミュレーションセンターの現状報告

10:10 – 10:40 横山 (核融合研)、林 (QST)

ITER に於ける統合モデリング活動の報告

10:40 – 11:10 若月 (QST)

ITPA 統合運転シナリオグループ活動報告

11:10 – 11:30 星野 (慶應大)

炉心プラズマ+炉工学炉材料モデリングサブクラスター合同会合の報告

11:30 – 12:00 林 (QST)

今後の予定の議論

12:00 – 13:30 昼休み

ワークショップ「不純物輸送」 Lunch time workshop “Impurity transport”

13:00 – 13:30 林 (QST)、藤田 (名大)、糟谷 (九大) online

昨年 of 企画セッションを受けた共同研究作業会を昼休みに開催

13:30 – 13:40 事務連絡 Business announcement

(座長：村上)

13:40 – 14:05 講演 1-1 成田 (QST)

Improvement in a semi-empirical turbulent transport model for its versatility and its application to integrated simulations

14:05 – 14:30 講演 1-2 福山 (京大)

Progress of the development of TASK code and interface to IMAS

14:30 – 14:55 講演 1-3 横山 (核融合研)

Introduction to IAEA coordinated research program: AI for Fusion

14:55 – 15:15 講演 1-4 森下 (京大)

Control of LHD plasma using the data assimilation system ASTI

15:15 – 15:25 休憩

(座長：横山)

15:25 – 15:50 講演 1-5 藤田 (名大) online

Study on operation scenario with enhanced radiation power from main plasma by impurity injection in DEMO

15:50 – 16:10 講演 1-6 持永 (九大)

Impurity transport simulation in tokamak plasmas using the integrated code TASK

16:10 – 16:30 講演 1-7 Park (SNU)

Integrated modelling of high-temperature fusion plasma regime facilitated by fast ions in the KSTAR tokamak

16:30 – 16:45 講演 1-8 竹本 (名大) online

Validation of tungsten transport model by simulating soft x-ray measurement in JT-60U

16:45 – 16:55 休憩

(座長：糟谷)

16:55 – 17:20 講演 1-9 Hahm (SNU)

ExB vortex dynamics inside a magnetic island

17:20 – 17:45 講演 1-10 矢木 (QST)

Particle transport in fusion plasmas

17:45 – 18:10 講演 1-11 Choi (SNU) online

Gyrokinetic simulation of KSTAR AE-ETG system

18:10 – 18:35 講演 1-12 登田 (核融合研)

Study of turbulent transport in trapped electron and ion temperature gradient modes in high collision regime for tokamak plasmas

18:50 散会

1月6日(金)

9:00 – 10:30 ポスター講演 Poster

(online, 開室 start 8:45、閉室 end 13:00)

10:30 – 10:40 休憩

(座長：村上)

- 10:40 – 10:55 講演 1-13 麿嶋 (日大)
Estimation of 2D distribution evolution of electrostatic potential fluctuations using deep learning
- 10:55 – 11:20 講演 2-1 滝塚 (阪大) online
Several low-cost techniques for global plasma simulation with particle-in-cell model
- 11:20 – 11:45 講演 2-2 沼波 (核融合研)
Manifold structure appearing in plasma turbulence simulations and transport modeling

(Session Leader : 村上)

- 11:45 – 12:05 議論 Discussion
- 12:05 – 12:10 事務連絡 Business announcement

12:10 – 13:20 昼休み

(特定研究「計測・シミュレーション・モデリングを組み合わせた統合診断」研究集会との合同会合)

(座長：糟谷)

- 13:20 - 13:30 講演 3-1 糟谷 (九大)
特定研究「計測・シミュレーション・モデリングを組み合わせた統合診断」の紹介
- 13:30 - 14:00 講演 3-2 糟谷 (九大)
Global structure and its diagnostic simulation in magnetized plasmas
磁化プラズマにおける巨視的構造診断のためのシミュレーション
- 14:00 - 14:30 講演 3-3 本多 (京大)
Carbon impurity modeling with the superstage model in TASK/TX
スーパーステージモデルを用いた TASK/TX における炭素不純物モデリング
- 14:30 – 15:00 講演 3-4 佐々木 (日大)
Study on spatio-temporal dynamics in turbulence applying data-driven science
データ駆動科学による乱流時空間ダイナミクスの研究
- 15:00 – 15:30 講演 3-5 山田 (九大)
Analysis of turbulent structures in magnetized cylindrical plasmas
直線磁化プラズマにおける乱流構造の解析
- 15:30 – 16:00 糟谷 (九大)
discussion 議論
- 16:00 散会

Poster number

PA-1 村上定義 (京大) S. Murakami

Effects of magnetic and electrostatic fluctuations on ECH supra-thermal electron behavior and toroidal torque in tokamak plasma

PA-2 轟晴彦 (九大) H. Todoroki

Analysis of turbulent particle fluxes by using 5-field RMHD code in torus plasmas

PA-3 梅崎大介 (九大工) D. Umezaki

Effect of large-angle scattering transport in divertor plasmas

PA-4 矢本昌平 (量研) S. Yamoto

Improvements of impurity transport modelling by integrated divertor code SONIC and its application to predictive simulation of future devices

PA-5 吉原稜 (九大) R. Yoshihara

Simulation of 3D perturbation measurement in torus plasmas using a heavy ion beam probe

PA-6 古田原拓実 (日大) T. Kodahara

Analysis of particle transport in PANTA by using multi-field SVD

PA-7 田原康祐 (京大) K. Tahara

Influence of the beam-beam collisions on the energetic particle distribution in Large Helical Device

5. 参加者リスト

氏名	所属	氏名	所属
林 伸彦	量研機構	東郷訓	筑波大
矢木雅敏	量研機構	古賀麻由子	兵庫県立大
西村征也	量研機構	佐々木真	日大
成田絵美	量研機構	麿嶋祐樹	日大
矢本昌平	量研機構	古田原拓実	日大
宮戸直亮	量研機構	筒井 広明	東工大
若月琢馬	量研機構	星野一生	慶大
杉山翔太	量研機構	御手洗 修	九州東海大
横山 雅之	核融合研	村上定義	京大工
登田慎一郎	核融合研	本多充	京大工
沼波政倫	核融合研	福山 淳	京都大
佐藤雅彦	核融合研	森下侑哉	京大工
奴賀秀男	核融合研	田原康祐	京大工
藤田隆明	名大	打田正樹	京大エネ
伊藤 佑	名大	山田琢磨	九大基幹教育
竹本壮汰	名大	梅崎 大介	九大工
Choi, Gyungjin	SNU	糟谷直宏	九大応力研
Hahm, Taik Soo	SNU	小菅佑輔	九大応力研
Park, Sangjin	SNU	持永祥汰	九大総理工
滝塚知典	阪大	吉原稜	九大総理工
辻井直人	東大	轟晴彦	九大総理工
宮前健人	東大		