



■会議報告

第24回 International Conference on the Numerical Simulation of Plasmas (ICNSP)

石澤明宏 (京大)

宇佐見俊介 (核融合研)

1. 概要

プラズマの数値シミュレーションに関する国際会議 (24th International Conference on the Numerical Simulation of Plasmas, ICNSP) が、2015年8月12日から14日まで、アメリカ合衆国コロラド州ゴールデン市で開催された。この国際会議は隔年で開催されており、10年前の第19回会議が奈良で開催されるなど、日本のプラズマシミュレーション研究者になじみがある会議である。ゴールデン市はロッキー山脈の玄関口の一つであり、避暑地として有名な町であり、テーブルマウンテンとよばれる平たい山頂をもつ山が市の象徴である。夏季の日本と比較して湿度が低く、とても過ごしやすい場所であった。会議での発表件数は84件で、招待講演は29件あった。日本からは10件の発表があった。そして、Dawson 賞 (John Dawson Prize for Numerical Simulation of Plasmas) は J. Cary 氏 (Tech-X Corporation) に、Buneman 賞 (Oscar Buneman Award for Visualization of Plasmas) は N. Maksimovic 氏と S. Parker 氏 (University of Colorado) に、それぞれ贈られた (賞を獲得した図や動画は <http://www.icnsp.org/awards.html> で閲覧できる)。今回の ICNSP は、2017年にベルギーで開催予定である。

(石澤)

2. 磁場閉じ込め核融合プラズマ

今回は、会議の開催地が NIMROD (拡張 MHD 方程式を3次元配位で解くシミュレーションコード) チームのメンバーが多く所属する Tech-X Corporation の所在地に近いこともあるためか、同チームからの発表が多かった。一連の発表の中で特に目を引いた点は、一部運動論方程式を解くハイブリッドシミュレーションを用いることにより外部からの局所電流駆動によるテアリングモード安定化 (磁気島を小さくする) の数値シミュレーションに着手していたことである。磁場閉じ込めプラズマ分野全体をみると、例年同様、さらに大規模で、さらに高精度なプラズマのシミュレーションを行うための手法と、それによる最新の成果が報告されていた。

いくつかの招待講演の内容を紹介する。C. Sovinec 氏は、3次元 MHD (または二流体) シミュレーションコード NIMROD の数値的交換型モードの安定化について報告した。磁場閉じ込めプラズマに現れる交換型モードなどの圧力駆動型不安定性を数値的に計算する際、数値手法の違いにより、安定側から正しい成長率に収束する場合と、不安

定側から収束する場合がある。NIMROD の spectral-element representation (有限要素法) は不安定側から正しい値に収束するため、本来は圧力駆動型不安定性に対して安定なプラズマの計算において、高波数の数値不安定性を生じてしまう場合がある。彼は、この問題を小さな係数をもつ4次の微分項を加えることにより解決した。J. King 氏は、ジャイロテンソル項を導入した NIMROD コードを用いて、ドリフトテアリングモードの計算を行い、Ramos PPCF 2008 強階層理論を用いた線形不安定性理論との比較により、ベンチマークテストを行った。その結果、シミュレーションと理論の一致が示され、NIMROD コードがドリフトテアリングモードの解析に有用であることが示された。W.W. Lee 氏は、全分布関数電磁ジャイロ運動論シミュレーションにおける重み分割法を紹介するとともに、関連する MHD 平衡について議論した。A. Ishizawa 氏は、ジャイロ運動論シミュレーションコード GKV+ を用いた大型ヘリカル装置 (LHD) プラズマにおける乱流粒子・熱輸送の解析結果を報告し、運動論電子効果により ITG モードの成長率が増大し、その効果によって LHD で観測されている NBI 追加熱時の低温度状態から高温度状態への熱束の遷移を再現した。また、乱流による粒子拡散は磁気軸方向であり、新古典拡散と相殺することにより合計は小さな値になることを示した。F. Halpern 氏は、GBS コードを SOL 領域での中性粒子との相互作用も含みつつブシネ近似を用いないような拡張を行い、フラックス駆動エッジ乱流を磁気面が閉じた領域から開いた領域まで含む SOL で計算した初めての例を示した。また、リミター配位や Alcator C-mod のエッジ領域の乱流輸送への応用を計算例として示した。D. Jarema 氏は、電磁的ジャイロ運動論シミュレーションコード GENE のグローバル版において、小半径方向に温度分布が大きく変化するとき、効率よく計算を行うための方法を紹介した。その方法により、彼は位相空間をブ



ICNSP 会議会場の風景。

ロックに分けて温度の高低に従って1グリッドあたりのグリッド幅を調節することで全体のグリッド数を低減するだけでなく、並列化のために分割された領域間の通信の偏りを低減することにも成功した。(石澤)

3. 基礎プラズマ

今回の会議では、宇宙・天体プラズマに関する発表が極めて少なく、招待講演で直接関連しているものはG. Lapenta氏のMMS(Magnetospheric Multiscale Mission)に関する報告のみであった。MMSとはNASAが行っているプロジェクトの1つであり、4機の人工衛星により地球磁気圏における拡散領域の電磁場やプラズマの速度分布を非常に高い精度で測定して、磁気リコネクションの物理解明をめざしている。G.Lapenta氏は、大規模な陰解法粒子シミュレーションを行い、リコネクションアウトフロー領域で、二次的なリコネクションが起こるといった数値実験結果を示した。この結果は、MMSプロジェクトによって観測されることが期待されている。

本会議では、粒子コードの工夫、改良についての報告も多くあったので、印象に残っているものをいくつか紹介する。A. Muraviev氏は、いわゆる極限プラズマにPICコードを適用するため、対生成や光子放射をモデリングして量子電磁気学(QED)の効果を取り入れた。その際に問題となるのは、QEDプロセスの時間スケールがPICの時間ステップ幅 Δt に比べて非常に短いことであるが、彼はPIC計算を開始する前に、親粒子から Δt の間に発展するカスケード構造を求めておき、粒子種・エネルギーのようなパラメータについてあらかじめデータ化しておくという手法を紹介した。C. Meierbachtol氏は、CPIC(Curvilinear Particle-In-Cell)と名付けられた静電コードの開発・改良

について報告した。CPICは、物理的には曲線から成る六面体格子で構成されているが、デカルト座標系の論理格子に割り当てることができるという特長をもっている。このコードは、非一様な表面をもつ構造物に格子をフィットさせる必要がある場合に有効であり、人工衛星表面の帯電問題などに応用される予定である。G. Werner氏は、PICコードの時間ステップ幅を大きくとる工夫について発表した。これは、あらゆる場合に適用できうるものではないが、粒子の最大速度をマクロな伝播速度程度に制限することによって(Speed-limited PICと名付けられた)、時間ステップ幅をプラズマ振動数の逆数より大きくとることができる。例として、シースのシミュレーションが挙げられ、通常のPICでは定常状態になるまでに1万ステップを要するのに対して、このステップ数をわずか90に節約できたことが示された。

流体コードに関しては、T. Hatori氏が拡張MHDコードにAMR(適合格子細分化法)を組み込み、Rayleigh-Taylor不安定性の階層的なシミュレーションを実施した。さらに、彼は既存のコードに容易に組み込んで使えるAMRライブラリや、そのAMRを用いたシミュレーションによる階層的なデータを可視化するソフトウェアの開発についても報告し、聴衆の高い関心を集めた。

最後に、この会議では少し異質ともいえる発表を紹介する。J. Wright氏は、シミュレーションの直接的な成果ではなく、シミュレーション等によって得られた膨大なデータを、WEBベースで管理するシステムについて報告した。たとえば、論文中の図に使用したデータを紐付けしておくなどの機能がある。<https://mpo.psfc.mit.edu>にアクセスすれば、試すことができる。(宇佐見)

(原稿受付：2015年9月3日)