

# レーザープラズマ科学のための最先端シミュレーションコードの 共同開発・共用に関する研究会

広島大学 城崎 知至

## 背景・目的

レーザープラズマ物理研究の進展に伴い、理論・シミュレーション解析で考慮すべき物理モデルは多様化している。また、実験における空間・時間スケールと実際にシミュレーション可能なスケールのギャップを埋めるための多階層化、多スケールに拡張したコードでの解析が必要な場合も多くなっている。一方で、この分野に携わる研究者人口は少ないだけでなく、領域横断した理論・シミュレーション研究者の繋がり、非常に限定的であった。以上の状況を踏まえ、関連研究者が個々に旅費を工面して参加するボランティア形式の会合として、本研究会は平成 21 年度にスタートした。その後、この分野の将来性、ソサエティの広がりを考え、さらに発展させて、広く参加者を募りレーザー研のユーザー会の活動と連携させながら活動を活発化させていくことが望ましいと考え、H24 年度からレーザー研の共同研究として研究会を実施し、多くの参加者が集まり、活発な議論が行われてきた。また、この中から個別の共同研究への進展もみられている。

以上の状況を踏まえ、レーザープラズマに関するシミュレーション研究者が一堂に会し、最新の研究成果や数値計算法について議論・情報交換が行える場を設けることによって、よりレーザープラズマのシミュレーション研究の活性化を図ることを目的として、H30 年度も継続申請し、研究会を開催した。具体的目的としては、関連研究者の情報共有、共同開発、コード共用、共同研究を通じて、研究成果を上げることを目指している。

## H30 年度研究会の概要

開催時期・場所：平成 31 年 1 月 7-8 日、阪大レーザー研 研究棟大会議室で開催  
参加者総数：30 名以上（うちレーザー研外 15 名）、発表件数：17 件

本年度は、相対論的超高強度レーザープラズマ相互作用関連 8 件、輻射流体関連 2 件、数値解法 2 件、ディープラーニング 1 件、レーザーブレイクダウン近傍の低強度レーザーと固体物質との相互作用 3 件の発表が行われた。

研究会冒頭の千徳教授(阪大レーザー研)発表では、千徳教授が開発し、相対論レーザープラズマ相互作用のシミュレーションに広く用いられている相対論電磁粒子コード(picls; PIC code)の開発状況の説明後、物理モデルやシミュレーションパフォーマンスに対する要望を研究会参加者に問い、今後必要となる開発項目のリストアップが行われた。本会の目的である「コードの共同開発・共用」において、コアコード開発者が主体となり、利用者の要望を取り入れ開発計画を立てていくことは重要であり、他のコードも含め、今後も本会において継続的に進めていくことが望まれる。

昨年度に続き、産総研 加藤研究員 発案の低強度レーザーと物質相互作用に関するセッションを設けた。セッション冒頭の導入として、加藤研究員よりレーザー媒質のような固体物質中でのブレイクダウンから光学的損傷に至る現象の解明や気体中でのブレイクダウン現象の解明を目的とした理論・シミュレーション研究の重要性・現況が報告された。続いての岐阜大 小野助教からは、加工等で用いられる低強度レーザーと固体物質の相互作用での電子-フォノン系のエネルギー緩和過程における非平衡性に着目した研究結果が報告された。着目している現象とそれに関する既往研究の紹介を経て、Boltzmann 方程式を用いた非平衡電子-フォノン分布の時間発展計算に基づいた緩和過程の解析結果が示された。既往の研究では電子系やフォノン系に対して平衡分布を仮定した 2 温度モデルによる緩和計算が主体であり、この計算結果から電子-フォノン結合定数が求められている。この 2 温度モデルによる結果と非平衡性を考慮した Boltzmann 計算結果を比較すると、2 温度モデルの方がエネルギー緩和速度を過大に評価し、その結果、結合係数を過小評価することが示された。ハイパワーレーザープラズマ相互作用分野でも、高エネルギー電子・イオン生成等により平衡分布からのずれが重要となり、運動論的扱いが必要となる現象が多くある。扱う現象は異なるがスキーム的には共通する部分も多く、興味深い発表であった。ただし、エネルギー空間のみを取り扱った計算であり、実空間依存性を考慮して解くことは計算負荷が大きく、現状ではできてないとのことである。この点はハイパワーレーザープラズマ相互作用シミュレーションでも同様の課題であり、精度を保ったまま近似モデルを導入し計算負荷を削減していくスキームの開発が必要であると考えられる。また、パーコレーションモデルによる光学材損傷計算について QST 関西の佐々木研究員から報告があつ

た. これまで雷の解析に用いたパーコレーションモデルが光学材損傷計算にも使用可能であることが示された. そのなかで, いかにパーコレーションモデルを適用するかにおいて, 現象をいかにモデル化するか? その発想が重要であるとのメッセージを若手研究者に投げかけていた.

個別発表においては, レーザー加工におけるアブレーションプラズマの情報から照射材の違いを読み取るディープラーニングに関するもの(阪大 平山氏)や, 数値解法に関して相対論 Fokker-Planck 衝突項の保存性と対称性を維持した数値解法(阪大レーザー研 白戸氏)や光線追跡法の開発状況(名大 大津氏)の他, 相対論レーザープラズマ相互作用による粒子加速や印加磁場の効果, 新たなイオン加速手法の提案, 流体近似領域から運動論的領域への過渡領域の取り扱い法など, 多彩な報告がなされ, 活発な議論が行われた.

最後に, 今回の開催の機会を与えていただいた阪大レーザー研の共同研究・共同研究拠点のサポートに感謝致します. 研究会には, 基本, 各自予算で参加いただいておりますが, 財源のない方のサポートに本共同研究予算を利用させていただきました.

## 研究会プログラム

レーザープラズマ科学のための最先端シミュレーションコードの共同開発・共用に関する研究会

日時:平成 31 年 1 月 07 日(月)13:30 ~ 1 月 8 日(火)17:00

会場:大阪大学レーザーエネルギー学研究中心 研究棟 (I棟-3 階) 大会議室

### 1 月 07 日 (月)

【13:30~15:00】 セッション 1 司会 城崎 知至 (広大院工)

13:30 レーザー生成高エネルギー密度プラズマのシミュレーションを進めるために必要なことは何?

千徳 靖彦 阪大レーザー研

14:00 核融合プラズマの数値計算における保存則と対称性

白戸 高志 阪大レーザー研

14:30 ディープラーニングによるレーザーアブレーションのリアルタイムセンシングに関する研究

平山 颯太 阪大レーザー研

15:00~15:30 休憩

【15:30~17:00】 セッション 2 司会 畑 昌育 (阪大レーザー研)

15:30 抵抗性ワイベル不安定性に対する外部磁場効果

田口 俊弘 摂南大理工

16:00 レーザー駆動無衝突衝撃波の上流加熱とイオン加速

三間 国興 光産創大

16:30 収束磁場によるレーザー加速電子ビームの高強度化

城崎 知至 広大院工

### 1 月 08 日 (火)

【9:00~10:30】 セッション 3 司会 長友 英夫 (阪大レーザー研)

09:00 未定

加藤 進 産総研

09:30 ボルツマン方程式に基づく非平衡電子フォノン分布の時間発展シミュレーション

小野 頌太 岐阜大工電気電子

10:00 光学材料の損傷のパーコレーション理論解析

佐々木 明 量研機構関西

10:30~10:45 休憩

【10:45~11:45】 セッション 4 司会 千徳 靖彦 (阪大レーザー研)

10:45 古典力学と量子力学におけるポンドロモーティブ効果の普遍性

Fokker 瀬戸 慧大 ELI-NP/IFIN-HH

11:15 曲率プラズマへのレーザー照射位置変化による高速電子生成への影響

沖田 圭司 阪大院工

11:45~13:15 昼食

【13:15~14:45】 セッション 5 司会 坂上 仁志 (阪大レーザー研)

13:15 超高強度レーザーによる高価数重イオン加速

畑 昌育 阪大レーザー研

13:45 バブル爆縮による高エネルギー密度物理研究 - 核融合から線レンズまで -

村上 匡且 阪大レーザー研

14:15 MD simulation of Micro-Bubble Implosion

Myles ZOSA 阪大レーザー研

14:45~15:00 休憩

【15:00~16:30】 セッション 6 司会 城崎 知至 (広大院工)

15:00 レーザー核融合における光線追跡法によるレーザー吸収シミュレーションの高精度化

大津 貴志 名大院理

15:30 高強度レーザープラズマ相互作用の流体シミュレーションに対する影響

島中 健 阪大院工

16:00 流体コードへの非局所電子熱伝導モデルの導入

長友 英夫 阪大レーザー研

【16:30~】 自由討論