R6年度ユニット成果報告会

2025年5月29日

プラズマ量子プロセス ユニット Plasma Quantum Processes Unit

加藤太治（ユニット長）、星 健夫、村上 泉、岩本晃史（～R6/9/30）、
木村直樹（R6/10/1～）、境健太郎、坂上裕之、鈴木千尋、舟場久芳、
武藤貞嗣、森高外征雄、山岸 統、加藤雅敏

プログラム

- 成果報告の概要説明（加藤太治）
- 特筆される成果として（各15+5分）

宇宙における重元素の起源：天文学・原子物理学・プラズマ物理学の連携研究（田中雅臣、東北大、ユニット研究戦略会議メンバー）

多価イオン精密分光研究：現状と今後（木村直樹）

計測インフォマティクスを中心とした学際展開（星 健夫）

研究 目的

- 量子プロセスの内在するプラズマ現象の解明と理論モデルの構築
- 核融合科学における課題の解決

研究 目標

- 量子プロセスを基盤としたプラズマ研究の高度化/学際化/国際連携

高度化

- 多価イオン分光/量子過程を基盤としたプラズマ計測の高度化
- プラズマ運動論への量子物理の包含、多価イオンを含む**運動論的輸送計算**の高精度化
- 原子分子過程とプラズマ・壁相互作用を含む**核融合炉周辺プラズマモデリング**
- 核融合炉材料ミクロ組織形成の**多階層連結モデリング**

相乗効果 学際的な研究テーマの課題から、新たな技術や理論の開発動機が生まれる。また、技術や理論の高度化の追求が、学際的に重要な発見につながる（セレンディピティ）。

学際化

- 原子分子データを用いた他分野との共同研究/**オープンデータ化**（データベース）による応用の促進
- QEDを含む**超相対論的プラズマダイナミクス**の研究、ならびにレーザーを用いた**実験室宇宙物理学の開拓**
- 先端計測むけ**データ駆動科学**や**材料インフォマティクス**の視点から、他ユニットとの連携や核融合以外の物理学分野との学際化を推進
- クオーク・グルーオンプラズマ研究を通じた**素粒子分野との学際化**
- 核融合研究から生まれた低温工学技術を**高エネルギー密度科学**実験へ応用

国際連携

R6年度の特筆される成果

高度化

- 核融合プラズマ計測、X線天文学、先進光源開発など多様な応用分野で需要の高い多価イオン分光装置EBITで、独自の高分解能分光手法を駆使して**世界初の精密分光データを取得（木村）**。
- フージョンテクノロジー高度化研究基盤設備として、放射光やレーザーと多価イオンの相互作用研究に適した新しいタイプの高温超伝導EBITの開発を開始、R6年度実行予算で5Tの高強度磁場という**世界最高仕様の無冷媒型高温超伝導マグネットを製作（坂上、木村）**。

R6年度の特筆される成果

- 天文学・原子物理学（リトアニアとの共同研究）・プラズマ物理学の連携により、**宇宙における重元素起源の解明につながる中性子星合体のシグナルの解読に成功（田中・東北大）**。そのために必要な**完全で正確なデータ構築（原子物理での展開：原子スペクトル統計に関する知見）とデータベースの公開（天文応用）**。
- 計測インフォマティクス（先進的ベイズ推定法などを用いた高信頼な計測データ解析）をキーワードとして、プラズマ科学・物質科学など複数のユニットテーマにまたがる学際研究が展開され、**ムーンショット目標10プロジェクト「超次元状態エンジニアリングによる未来予測型デジタルシステム」がスタート（星 健夫）**。

自己評価と今後についての考え

- 新型EBIT開発に対する予算措置がなされ、5Tの高強度磁場という世界最高仕様の無冷媒型高温超伝導マグネットを製作。
- NIFS研究会「新型EBITを用いた新しい多価イオン物理研究」（5/13-14）、日本物理学会@北大の合同シンポジウム「多価イオン物理研究の学際的展望」（9/16）を開催するなど、学際的研究コミュニティを形成。
- 重元素高電離多価イオン分光（核融合プラズマ不純物計測）、放射光分光・レーザー分光（X線天文学）、自由・束縛遷移レーザー発振の基礎研究（可知化センシングユニットとの連携）。
- 開発および運用に必要な大型資金獲得のために、他分野も巻き込んだ研究プロジェクト（概算要求、大型科研費）の立ち上げなど、戦略的に行う。

自己評価と今後についての考え

学際化

- 汎用データ解析フレームワークODAT-SE（旧2DMAT）をプラズマ位相空間計測（位相空間乱流ユニットとの連携）や実験室宇宙物理学の非平衡プラズマ計測（境）へ展開。
- 計測インフォマティクス（プラズマ・物質科学）、マテリアルインフォマティクス（炉材料）、数理科学（多分野横断）をキーワードとした学際展開を進めた。
- データ駆動科学（インフォマティクス）・数理科学をキーワードとして、さらなるユニット間連携・学際展開の拡大、産業展開。
- 内閣府ムーンショット目標10「超次元状態エンジニアリングによる未来予測型デジタルシステム」が開始（昨年11月～）

自己評価と今後についての考え

- 中性子星合体に関する研究に必要な重元素原子過程データ構築、およびデータベースの整備・公開が行われた。今後、X線天文学分野とEBIT装置や放射光施設を用いた分光実験や多価イオン分光モデルの開発によって、2023年9月に打ち上げられたXRISMの初期科学成果に貢献が見込まれる。
- プラズマ中の重元素原子データの分光データに関して、リトアニア、セルビア、米国との国際共同研究による具体的な研究成果が得られている。今後、これらとより強固な国際協力関係を築くとともに、国際研究集会（第1回NIFS Conference, 2025/7/21-25）の開催など、プラズマ量子プロセスをテーマとする研究者ネットワークの拡大を図る。
- QCDと磁場プラズマとの相互理解に向けた専門家同士の研究交流を行った。今後、より交流を深めつつ、共通の物理課題を具体化する（ユニットとしてのサポート体制を検討する必要）。