

2021 年 9 月 16 日

ユニットテーマ提案書

1. ユニットテーマ

NBI 工学とエキゾチックプラズマ科学

2. 提案者（氏名・所属）

中野治久、津守克嘉、池田勝則、斎藤健二（NIFS）、檜垣浩之（広島大）、斎藤晴彦（東京大）、安藤晃（東北大）、大原渡（山口大）、石禎浩（京大）

3. テーマと研究内容の概要

【テーマの意味】 中性粒子ビーム入射（NBI）開発の学術基盤を確立する。この学術基盤を構築する上で不可欠なエキゾチックプラズマ（正イオンと電子からなる『通常』のプラズマに対して、特異な性質を持つプラズマ（負イオンプラズマ、ペアプラズマ、非中性プラズマ（ビームを含む）、物質反物質プラズマ等）と定義）の物性を明らかにし、これを制御する。

【具体的な研究課題・10 年間のプロジェクトで達成する目標】 NBI 開発の学術基盤を構築するために、4.位置付け【研究課題の背景】にある各要素の物理・工学研究を行い、NBI の各要素課題の学術基盤を構築する。特に、高出力かつ低エミッタンスおよび Cs フリー化に関連して、負イオン源内に異種荷電粒子を含まない大面積一様高密度ペアプラズマ生成技術の確立、ペアプラズマ中の粒子輸送特性、電磁およびビーム摂動特性、ペアプラズマからのビーム形成・輸送機構等の解明を行うことで、大電流かつ低エミッタンス負イオンビームを得るための制御手法を確立する。また、ビーム工学と荷電粒子閉じ込め技術を駆使して高密度電子・陽電子プラズマを実現し、その物性を明らかにする。ペアプラズマの集団物性について先行する理論・シミュレーション研究に加えて、本テーマで実験研究を行うことで、質量依存性や異種荷電粒子混入を含むペアプラズマの集団物性をプラズマ配位・境界条件を含めて統合的に理解する。

【予想される成果の学術的意義】 核融合科学の一翼として NBI 開発の学術基盤を与える。この学術基盤を基にした負イオン源高性能化は、負イオン源を用いる大型加速器や医療用加速器を使う素粒子原子核物理学、物質生命科学研究にも寄与する。高密度水素負イオン（H⁻）生成、負イオンプラズマおよびビーム工学の研究は、太陽のプロトン現象で電離圏に現れる負イオンを含むプラズマ研究や H-類似粒子の負ミュウオニウム（Mu⁻）の性質解明および Mu⁻を利用したミュオンコライダーへの貢献も期待される。実験研究を加えたペアプラズマの集団物性の統合的に理解は、NBI 高性能化に向けた学術基盤を与える他、天体プラズマや物質反物質プラズマの理解を促進させる。また、ペアプラズマの物性を利用した将来の新機能性物質の創生や生体応用への寄与も期待される。

4. 位置づけ

【研究課題の背景】 核融合炉用 NBI では、高周波放電、低ガス圧、高出力、低エミッタンス、高効率化（経済性向上）、長時間運転、メンテナンスレス化、Cs フリー化、光中性化等の同時実現が必須であるが、まず各要素のを物理・工学研究を個別に行う必要がある。高出力かつ低エミッタンスに関連して核融合研は、NBI 用負イオン源のビーム引出界面において、正負荷電粒子が質量対称性を

2 ページ以内で記述し、10.5pt・行間1行を使用してください。青字の注意書きは削除してください。

持ち、特異な電磁応答、波動現象、安定性等を持つことが予想されるペアプラズマの存在を明らかにした。また、更なる NBI の高性能化には、大面積一様高密度ペアプラズマを生成し、ここから電磁場を駆使して大電流かつ低エミッタンスビームを形成・輸送する必要性を示した。このために不可欠な要素として負イオン生成技術の向上、ペアプラズマの集団物性の理解およびビーム（粒子輸送制御）技術の向上がある。これらは、Mu-研究や天体磁気圏に存在されるとされるペアプラズマの一種である電子陽電子プラズマ研究などに繋がるものであり、核融合科学の物理・工学研究を他分野の物理研究に展開が可能である。

【関連するテーマとの比較・特徴・独創性・優位性】 NBI 開発研究は NBI をシステムとして捉えて統合的に性能向上を目指す。一方、本テーマでは NBI システムの各要素に潜む物理・工学的な研究を行うものである。多くの負イオン源研究では、プラズマ中に含まれる負イオンを如何に大電流ビームとして得るかに重点が置かれているが、本テーマではエキゾチックプラズマであるペアプラズマからのビーム形成・輸送という負イオン源のビーム形成・輸送の本質に着目している点に独創性がある。ペアプラズマの集団物性に関する研究は理論・シミュレーション研究が先行しているが、実験研究が殆どない。本テーマでは負イオン源技術を基盤としたペアイオンプラズマ生成技術および電子・陽電子プラズマ生成のための荷電粒子閉じ込め技術によりペアプラズマの実験研究を実施する点が先行研究に対して優位性がある。

5. 研究の方法

NIFS-NBTS など核融合研内および国内外の NBI、負イオン源およびビーム関連設備・機器を活用し、NBI の各要素研究および負イオン源での高密度ペアプラズマ生成とペアプラズマからのビーム形成・輸送の実験研究を行う。電子陽電子プラズマの研究は、直線磁場装置（広大）や RT-1（東大）等の小・中規模装置や大強度陽電子施設（産総研、京大、ミュンヘン工科大等）や低速反陽子施設（CERN）等の大規模施設を用いて実験研究を行う。また、必要に応じて実験装置を新規製作する。何れの研究も理論・シミュレーション研究と議論を行う。

6. 自己評価

1) 未来志向であること

核融合炉用 NBI 実現に向けて確立すべき学術基盤を研究課題としている。核融合技術を応用して実現困難だったペアプラズマ実験を開拓し、ペアプラズマ物性の統合的理解を目指している。

2) 目標を具体的に示していること

3.に記載の通り、10 年間プロジェクトの具体的な目標を示しており、これを実施するための現実的な実験装置群および研究体制を示している。

3) 10 年後に学术界に輝くテーマに育つこと

【予想される成果の学術的意義】に記載の様に、様々な学術的スピンオフが期待される。

4) 多様な「個人のテーマ」を包摂できること

NBI 工学、ペアプラズマ、高周波技術、プラズマ生成制御、ビーム工学、基礎・応用・非中性プラズマ、陽電子応用、反物質、荷電粒子閉じ込め法、粒子の運動量輸送制御等のテーマを包摂する。