

ユニットテーマ提案書

1. ユニットテーマ

高出力パワーレーザーを用いた量子エネルギー変換の物理

High Power Laser Applied Quantum Energy Conversion Physics

2. 提案者（氏名・所属）

坂上仁志・NIFS, 尾崎哲・NIFS, 岩本晃史・NIFS,

千徳靖彦・阪大レーザー研, 藤岡慎介・阪大レーザー研, 城崎知至・広大院先進理工

3. テーマと研究内容の概要

高出力パワーレーザーを物質に照射すると、いわゆる量子ビームが生成されるが、これは、レーザーエネルギーが様々な過程を経て、電子、イオン、中性子および光子等のエネルギー、つまり量子エネルギーに変換されると考えることができる。レーザー核融合はこのエネルギー変換の複合や連鎖と考えることができ、この量子エネルギー変換とその連続・複合性に着目する。

ITER 建設や NIF 実験の進展から核融合研究は、核融合反応を実証するフェーズから核融合燃焼を制御して利用するフェーズへ移行しようとしている。これは、複合的に連続した物理現象を試す研究から、複雑な物理現象を正しくモデル化して統合的に理解し、それらを利用する研究へ移行することを意味する。レーザーを用いた現象は非常に短い時間に完結する複合・連続したエネルギー変換過程ではあるが、これまで、細分化した個々の変換過程を取り出し、シミュレーション結果と比較することによって、その個別現象の理解に努めてきた。本ユニットでは、一連のエネルギー変換過程をシミュレーションや機械学習法を用いたプラットフォームへと集約し、現行の施設による実験との比較によって、レーザーエネルギーから始まる複合かつ連続した量子エネルギー変換現象の統合的モデル化に挑む。細分化された過程や相互作用について、より理解を深めると共に、それらが複雑に絡み合う系の量子エネルギー変換現象を制御する手法を探索する。具体的な研究テーマとして、まず、次のエネルギー変換過程に注目する。

1. 相対論的レーザーとプラズマの相互作用

レーザーによる高エネルギー粒子の生成およびそのエネルギー緩和過程の詳細を理解する。燃焼物理の要は、アルファ粒子のプラズマ中でのストップング/エネルギー緩和であるが、十分に研究が進んでいないため、燃焼におけるエネルギー変換物理を総合的に理解する。また、レーザーエネルギーから始まる一連の反応として核融合燃焼の最適化条件を検討する。

2. レーザー由来粒子群と物質の相互作用

レーザープラズマ相互作用に由来する粒子群と物質の相互作用は、量子エネルギー利用を考える際には重要な研究課題の一つである。その反応係数を決める要因は、粒子群とそれを受ける物質の温度、密度等が考えられるので、レーザーによる衝撃波や加速粒子等を応用して物質側の密度やエネルギー状態を変化させ、粒子群と物質の相互作用を系統的に調べる。現実のエネルギー変換過程は、様々な元素を含む物質との相互作用となるため、それを多元素系のエネルギー変換物理に発展させる。

4. 位置づけ

NIF による 1.3MJ 核融合出力の実証、GXII/LFEX における中心点火方式と比較して約 10 倍の効率での核融合積の実証など核融合研究の進展だけに留まらず、衝撃波による新たな核融合原理の研究やレーザー加速による中性子・イオン加速の実証研究が進んでいる。そして、レーザーを使用した多様かつ効率的な核融合反応の実現やレーザー加速原理を応用する段階へ移行しようとしている。また、将来的には、量子エネルギー変換の高効率化について、収集した大量のデータによる機械学習法を用いた統計的解析手法による研究の実施が期待されている。現有レーザー装置を利用して得られるデータをもとに、大量データを利用する量子エネルギー変換の最適化研究に向けた準備研究として本研究テーマを位置づける。また、高繰り返しに備えた実験・データ処理法の検討を並行して行う。

5. 研究の方法

大阪大学レーザー科学研究研では、kJ 級ナノ秒レーザーである激光 XII 号と超高強度ピコ秒級レーザーである LFEX を同時照射可能で、その利点を最大限に使い、高効率燃焼を実現するための核融合実験やレーザー加速原理の実証を進めながら発生する量子エネルギーを利用した研究を実施する。必要なターゲット開発や計測などは将来の高繰り返し実験を視野に入れながら本研究所と阪大レーザー研の資産を活用して実施する。各機関に設置されたコンピュータ並びに当研究所のプラズマシミュレータを利用して、得られたデータをもとにシミュレーションの精度向上やレーザー核融合研究に適した機械学習法の検討を行い、量子エネルギー変換物理の理解を目指す。

6. 自己評価

1) 未来志向であること

物理現象を単純化して法則化するシミュレーション研究主体の予測技術から、大量の実験データを使って直接結果を予測する機械学習も取り入れ、理論的な追求だけではなく大量のデータの分析により人間が気づかない現象や新たな法則が発見できる可能性がある。

2) 目標を具体的に示していること

量子エネルギー変換に関連する複雑な現象の理解、その現象を理解するための道具としての機械学習など新たな手法導入のための基盤作り、など次に繋がる目標を示している。

3) 10 年後に学术界に輝くテーマに育つこと

レーザー核融合プラズマだけではなく宇宙プラズマ中における高エネルギー粒子が新たな拓く物理学に発展し、核融合燃焼物理学の確立および現実的な核融合炉工学の端緒になると考えられる。そして、長期的には、核融合燃焼を理解する物理研究から燃焼を制御する工学研究までの一貫した学術体系となることが期待できる。

4) 多様な「個人のテーマ」を包摂できること

極限状態である高エネルギー密度プラズマを生み出せる高出力パワーレーザーは、レーザー核融合科学のみならずレーザー宇宙物理学、超高圧物性科学、レーザー量子ビーム科学、量子真空物理学等の様々な研究分野を開拓しており、量子エネルギー変換は、核融合燃焼物理学、核融合炉工学、医療や中性子リソグラフィ等の幅広い研究課題を内包している。