

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 高エネルギー密度プラズマフォトンクス

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点):

研究代表者

兒玉 了祐 (大阪大学大学院工学研究科 教授)

主たる共同研究者

近藤 公伯 (大阪大学大学院工学系研究科 助教授) (平成 18 年 10 月～平成 22 年 3 月)

米田 仁紀 (電気通信大学レーザー新世代研究センター 助教)

(平成 18 年 10 月～平成 24 年 3 月)

湯上 登 (宇都宮大学工学部電気電子工学科 教授) (平成 18 年 10 月～平成 24 年 3 月)

3. 研究実施概要

高エネルギー密度プラズマフォトンクスという新しい概念のもとで、従来取り扱うことが困難であった桁違いに高い強度の光や高エネルギー密度の粒子ビームを直接制御できる新しい光機能性素子として、新概念のプラズマフォニックデバイスの開発を行った。

大阪大学、電気通信大学、宇都宮大学が、それぞれの実績と技術をベースに有機的に連携協力する体制のもとで(1) 高エネルギー密度電子ビーム制御プラズマ、(2) 光制御・光分散プラズマ、(3) 電磁波発生プラズマに関する研究を進めた。具体的には大阪大学のパワーレーザー・プラズマ制御技術、電気通信大学の精密測定技術、宇都宮大学の繰り返しパルスパワー技術の連携として以下の成果が得られた。

[光制御・光分散プラズマと機能性評価]

プラズマミラーは、固体からプラズマに変化させる過程を理解したうえで、その機能を生かすことができる。さらには開発したミラーをフォトンクスとして将来展開するためには繰り返し動作が必要である。こうした一連の研究は連携によりはじめて可能となるものである。そこで例えば以下のような連携体制で研究に臨んだ。

- ・プラズマミラーに不可欠な固体-プラズマ中間体のデータベース構築(電通大)
- ・新しい集光プラズマミラーによる高強度集光の実証と応用(大阪大)
- ・金属液体ターゲットによる高繰り返し動作可能なプラズマミラーの開発(電通大)
- ・電磁誘導透過を利用したプラズマ複素屈折率制御(大阪大・宇都宮大)

[電子ビーム制御プラズマと機能性評価]

プラズマミラーと同様の理由で連携が不可欠であった。連携体制は以下のとおり。

- ・電子ガイドプラズマに必要な固体-プラズマ中間体のデータベース構築(電通大)
- ・超高強度レーザー生成相対論電子ビーム制御プラズマの生成と特性(大阪大)

[電磁波発生プラズマと機能性評価]

連携体制は以下のとおり。

- ・レーザー誘起 MeV 電子による X 線、テラヘルツ発生プラズマ評価(大阪大)
- ・DARC(dc to ac radiation converter)による高輝度テラヘルツ光源開発。(宇都宮大)
- ・フラッシュ電離によるテラヘルツ電磁波の周波数上昇(宇都宮大、大阪大)
- ・2波長レーザー励起プラズマによる高輝度テラヘルツ波発生(大阪大、宇都宮大)

[レーザー以外の基盤技術共同開発]

各グループの持つ技術と実績を連携させることで効率的に共通基盤技術を構築することができた。連携体制は以下のとおり。

- ・シングルショットテラヘルツ波パルス測定器(大阪大、宇都宮大)
- ・マイクロパルスパワーによるパルス磁場発生(電通大、大阪大、宇都宮大)

また開発した一部のデバイスに関しては、応用研究に展開することでデバイスとしての重要性を明らかにした。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果(論文・口頭発表等の外部発表、特許の取得状況等を含む)

プラズマフォトンクスという領域自体が、研究代表者(兒玉)が世界に先駆けて提唱したものであり、それまでの常識ではあり得ない大電流、超強磁場条件を実現してきた。本研究ではさらに進んで、プラズマでなければ実現不可能な高強度レーザー用のフォトンクスデバイスの開発を目指してきた。これらはきわめて野心的な研究で、短期間で具体的なデバイスを開発することは研究開始当初は困難であると思われた。

兒玉は Warm Dense Matter の研究者である米田やプラズマによる粒子加速の研究者である湯上を共同研究者に加え、プラズマフォトンクスに関する研究チームを構築した。その結果、超高強度レーザー用のプラズマミラーは世界中の研究所が利用されることとなり、そのデバイスを種として、欧米研究所との共同研究ネットワークが構築され、定常的な国際共同研究が実施されている。

また、金属とプラズマの中間状態の物性研究から、プラズマ・グレーティングなどデバイスにつながる機構も生み出され、大局的に見れば研究計画の方向性で大きな進展を遂げたと評価できる。その中で、例えば光と強く結合したプラズマファイバー中で、時間・空間的なパルス結合効果が見られるなど、プラズマフォトンクスならではの現象も実現されるようになり、従来の光デバイスを超える可能性が見られるようになってきた。

一方、(註:評価会の時点 2011 年 12 月においては)プラズマ発生型の強力 THz によるイオンの選択加速などに繋がる、魅力的な研究テーマを可能とする高輝度 THz 波発生の実験的実証は本CRESTの研究期間内に完了予定である。前述の新しい機構は新しい物理を生み出す可能性があることから、本CREST終了後、その実証と発展を期待する。さらに本研究でもたらされた成果は真空非線形など宇宙科学分野においても興味深い研究展望もあり、将来性に期待する。

本研究チームは、2007~2011 年の 5 年間に、Nature Physics, Physical Review Letters などインパクトの高い論文誌を含め、現在までに 95 件の論文を発表している。国際会議の招待講演も多く、大変活発に外部発表を行っている。特許は4件出願された。本研究では大変多くのアイデアが生み出されているので、それらの中で実用化の可能性が高いものについては、論文発表に先立ち特許出願することが望ましい。

4-2. 研究成果の科学技術や社会へのインパクト、戦略目標への貢献

プラズマミラーを始め、研究代表者が作り出したプラズマフォトンクスの分野は、超高出力レーザーを応用した高エネルギー密度物理学、高電界強度物理、さらに真空の非線形を含む新しい高エネルギー物理学の分野を進める上で、必須の技術であると世界的に認識されるようになった。分野が拡大するにしたがい、レーザーパルスとプリパルス間のコントラスト比も、数年前の11桁から現在では14桁、将来的には17桁が要求されるようになるなど、研究が進むにつれて高強度と同時にきれいなパルスへの要求が高まっている。このコントラストの改善を可能にするのが、プラズマミラーであり、プラズマの非線形性である。まさにこのプラズマフォトンクスなくしては高エネルギーレーザー科学は進まないという状況を見ると、この分野に先見性をもって挑んだ本研究のインパクトは高いと評価できる。

プラズマフォトンクスの重要性が世界的に認識された今日、この分野の研究は大いに活性化されている。この分野はまさに非線形がものをいう分野なので、ひとたびその重要性が認識されると、より強力なレーザーを用いたプラズマフォトンクス研究が展開されることは間違いない。その際、本研究が展開した Warm Dense Matter 研究に見られるように、固体、WDM、プラズマ、非線形プラズマと展開する物性を十分に理解して、秩序構成を模索する成果が生かされることは間違いないと信じる。

ところで本研究はもっぱら純粋科学研究分野で展開されており、直接的に社会応用が可能というものではない。しかし、同時に、超高出力レーザーを使った科学研究が、力づくとも言えるような大型装置を使った研究の方向へと進むのではなく、高強度レーザー光を直接扱うことができる光学デバイスの存在により、より小型化、光エネルギー密度を実現可能とすることが可能となり、ひいては新しい物理が生み出されるという期待を抱かせる。大きな角度集光で真空の非線形を7桁も拡大した研究も含まれており、新しいパラダイムで真空の高エネルギー物理学を展開できることを予感させる。それにより新しい学術領域が形成されれば、大きなインパクトをもたらすであろう。

4-3. 総合的評価

本研究では、プラズマフォトニクスなる新たな分野の開拓を目指し、阪大・電通大・宇都宮大の各グループが連携して、プラズマミラーをはじめプラズマファイバー、高強度 THz 波発生、光分散プラズマデバイスの基礎的検討など、実に素晴らしい研究成果をあげた。

プラズマフォトニクスは、大出力レーザーを小型化、機能化する上で核となるキーテクノロジーであり、新たな真空物理の開拓を含めて、今後の発展が大いに期待できる。