

研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) 産業ニーズ対応タイプ

令和元年度事後評価結果

1. 研究課題名：レーザー駆動指向性中性子の発生・制御及び検出に関する基盤技術開発

2. プロジェクトリーダー：花山 良平

(光産業創成大学院大学 光産業創成研究科 准教授)

3. 研究概要

本研究課題では、高繰り返し高出力短パルスレーザーを用いて産業機器のイメージングに使用できる指向性を有するパルス高速中性子の発生・制御と計測に関する技術の開発を目指す。そのために、①イオンビーム生成ターゲット(pitcher)の設計とその供給装置の開発、②中性子発生用ターゲット(catcher)と発生中性子の減速制御装置の開発、③高速中性子用検出器の開発、の3項目に関する開発研究を実施する。また、①、②の開発を通じ、連続中性子発生を実証する。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

イオンビーム生成ターゲット(pitcher)の設計と開発に関しては、シミュレーションによりプリパルスの強度レベルに対して照射時間とターゲット厚との関係を最適化し、10J レーザーで3MeV以上の重水素(d)イオンを 10^{11} /pulse発生可能であることを見出した。さらに大阪大学レーザー研究所のLFEXレーザーによる実験によりdイオンの発生を検証した。また、プリプラズマを多く発生させた方がdイオンの発生数が多いことを見だし、これを契機にプリパルスとメインパルスの関係を京都大学化学研究所との共同研究により実験的に検証を進め、メインパルス照射のタイミング依存性を明らかにし、イオンが顕著に発生する条件を最適化出来ることを示した。加えて、d化ポリスチレン2重薄膜ターゲットにおける中性子発生実験においても、既知の発生機構の理解から導かれるターゲット厚とは矛盾し、実際の最適厚が $5\mu\text{m}$ であることを発見したことなど、発生機構の物理的理解を進め最適化条件を把握できたことを評価する。

中性子発生ターゲット(catcher)に関しては、本研究課題内ではシミュレーションによる検証が主である。PHITSコードにpitcherとしてd-d核反応、catcherとしてはd化ポリエチレンおよびd-Beの2catcher方式を組み込み、発生中性子のエネルギースペクトル、中性子発生量、発生中性子の指向性の評価を取り纏めた。さらに、レーザー駆動中性子源用の中性子減速装置の設計シミュレーションも行い、20mmの軽水減速材の場合に関する熱中性子スペクトルの評価、中性子パルス幅の解析によるエネルギー分解能およびパルス幅の評価を得て、理論的解析が順調に進捗した。

高速中性子用検出器の開発においては、既知の有機シンチレータ（トランススチルベン）に対して 2 倍の発生量を示し他の物性特性にも優れた有力な有機材料を発見し、その大型単結晶の育成に成功した。さらにその単結晶を用いてピクセルアレイ型 2 次元検出器を試作し、京都大学複合原子力科学研究所の研究炉 (KUR) において性能評価試験を実施したことを評価する。

連続中性子発生実証に関しては、まず第 1 段階として d 化ポリスチレン 2 重膜による 25 ショット可能ターゲットを製作し中性子発生の実証に挑戦した。ショット間隔 1 分の発生実験において 13 箇所照射しその約半数で中性子の発生を確認した。次に第 2 段階として、より効率的にターゲットを供給するためのテープ型ターゲットとその供給機構を考案し設計を行い、現在、その試作機を制作中である。

4-2. 今後の研究に向けて

本研究課題ではシミュレーションによる設計パラメータ・特性評価と高速中性子用検出器の開発は順調に進められたものの、pitcher-catcher 連続供給装置の設計・製作・試行実験には大幅な遅れが認められる。

まず 25 ショット可能ターゲットによる中性子発生試験では、何故中性子の発生成率が約 50%に留まっているのか十分な検証が必要である。また中性子発生量は 1.4×10^4 個程度であり、理論計算の予測値より 2 桁程度少ないと報告しており、これらの原因を精査して解明し pitcher と catcher の双方の供給機構の設計へとフィードバックする事が必要である。また 10Hz 程度までの高速繰り返し発生を実証するためにはテープ型供給装置の機械的な高速運転に係わる工学的課題を逐一解決する事は避けて通れない道程であり、速やかに工学的課題の解決を図り試作供給装置の高速動作を実証することを期待する。

4-3. 総合評価

総合評価 B

本研究課題では pitcher-catcher 方式によるターゲット連続供給装置の試作機を製作し、その運転試験により中性子の連続発生を実証することが目標であった。第 1 段階の 25 ショット可能型ターゲット連続供給装置の製作は早期になされ中性子発生が確認されたが、ショットに対する中性子発生率の低さと発生中性子量の少なさに関して解明がなされず、改善が見られなかった点は残念である。第 2 段階として供給装置の改善案が考案され、テープ型ターゲット供給装置および巧妙な構造を持つテープターゲットそのものの開発が進められたが、実機の製作が研究期間の最終盤にずれ込み、連続発生試験は未達であった。

以上