

**研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム**  
**産業ニーズ対応タイプ 完了報告書(公開版)概要**

技術テーマ	: コンパクト中性子源とその産業応用に向けた基盤技術の構築
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
プロジェクトリーダー	
機関名	: 光産業創成大学院大学
氏名	: 花山 良平

## 1. 研究の目的

本研究では、高繰り返し高出力超短パルスレーザーを用いて、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基盤技術を開発する。すなわち、レーザー生成イオンビームを用いた、ビーム核融合(DD 核融合)や核反応(Li-P 核反応)により発生する中性子の利用技術の開拓を行なう。超高強度レーザーパルスを薄膜ターゲット(Pitcher)に照射し、陽子や重水素イオンビームを発生させ、背後に置いた中性子発生ターゲット(Catcher)に入射させ、中性子を発生させる。

レーザー中性子源の最大の特徴は駆動源のレーザーが数十 fsec 程度の超短パルスであることに起因し、中性子線も数十 nsec 程度の短パルスが得られることにある。これらを活用し中性子パルスの共鳴散乱イメージングなどを利用した新産業創成が期待できる。

## 2. 研究成果の創出状況

まず、第 1 ターゲット(Catcher)近傍の最適化を行った。実際の超高強度レーザー発生装置を想定し、数十 fsec 程度の幅を有する主の超短パルスに先立ってターゲットに到着する、比較的パワーの小さなレーザーパルス成分(プレパルス)の存在を仮定した計算機シミュレーションを行った。これにより、プレパルスにより生じるターゲット変形とその中で生じる衝撃波の作用により、イオン加速に適した場が生成される瞬間が存在することを見出した。この効果の検証実験も行い、プレパルスにより発生するイオンビームの量と最高エネルギーが増大する効果を実証した。これによりイオンビーム発生効率化、駆動源レーザーの小型化が期待できる。

次に第 2 ターゲット近傍の最適化を行った。第 1 ターゲットの計算機シミュレーションや実験により得られるイオンビームのスペクトルに基づき、中性子線発生理論予測を行う体系を構築した。これらの検討により、レーザーのパルス当たりエネルギーが 10J の時、パルス当たり  $10^9$  個の中性子パルスが得られる可能性を示した。一方、中性子のパルス幅について、減速しても従来の加速器中性子源を上回る中性子短パルスが得られることを見出した。これを用いると、飛行時間法(ToF 法)による中性子エネルギースペクトル計測でのエネルギー分解能において、J-PARC 等で得られる分解能を上回る分解能が得られることを見出した。これにより中性子パルスの共鳴散乱イメージング等への応用が期待できる。

これに引き続き、連続レーザー中性子発生の実証を目指した。連続中性子発生を行うためには特に第 1 ターゲットはレーザー照射のたびに破壊されるためターゲットを連続で供給する必要がある。そこで、ターゲット連続搬送装置(図 1)と連続搬送に適したターゲット(図 2)の開発を行った。



図 1, 二重ターゲット駆動装置

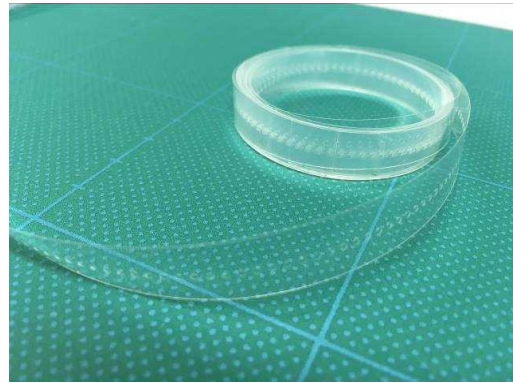


図 2, テープ状ターゲット

レーザー中性子の発生とともに、高速中性子の計測技術の開発として、高速中性子用有機結晶シンチレーターの開発を行った。多くの候補材料を結晶成長させて試験を行い、高い発光量と高融点を有し、減衰時間が十分に早い高速中性子用シンチレーターの開発に成功した。また、これを直径 2 インチまで大径化することに成功した(図 3)。ここから、結晶を適当な大きさのダイス状に切り出して、組み合わせ、開口が口100mm で、16x16 ピクセルを有する高速中性子二次元検出器を構築した(図 4)。これを用いて  $10^3$ n/sec の高カウントレートでも位置分解能を有する計測を実証した(図 5)。

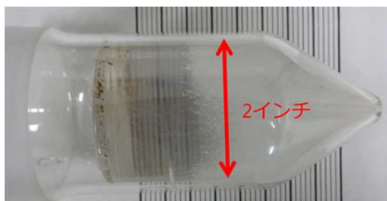


図 3, p-ターフェニル結晶

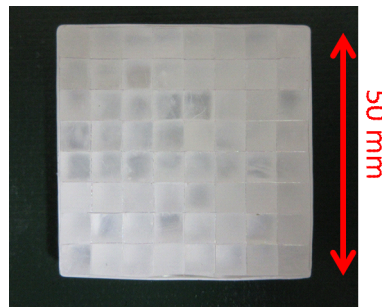


図 4, シンチレータアレイ(64ch)

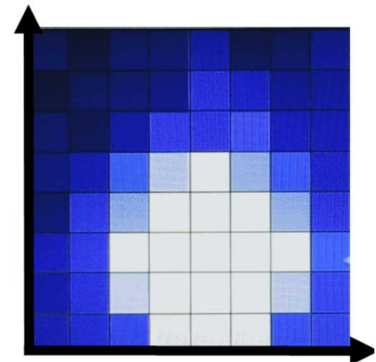


図 5, 中性子二次元画像の例

マイルストーン	達成状況
(1) 3MeV 以上の重水素ビームの発生数 $10^{11}$ /pulse/10J 以上中性子発生数 $10^9$ /pulse/10J を実現する重水素イオンビーム発生用ターゲット設計(平成 28 年度末)	プリパルスのタイミングを制御することによりイオンの発生効率を向上可能であることを見出した。これにより、レーザーエネルギーが 10J の時、3MeV 以上の重水素イオンを $10^{11}$ /pulse 以上発生させることが可能であることを明らかにした。
(2) 前方立体角 $\pi/2$ 以内に 50%以上の高い指向性を持つ中性子発生ターゲット設計(平成 29 年度末)	放射線モンテカルロシミュレーション(PHITS)により第 2 ターゲットでの中性子発生シミュレーションの枠組みを構築した。そして、レーザーエネルギー 10J の時に発生する重水素イオンビームを Be ターゲットに照射することで $10^9$ /pulse 以上の中性子が

	発生する見込みを得た。この時、前方から 45 度の範囲内に 70% の中性子が集中することも確認した。
(3) $10^{11}$ 個/パルス以上の MeV 重水素イオンの高繰り返し発生 (平成 29 年度末)	10Hz 繰り返しイオンビーム発生を目指したテープ型レーザー照射ターゲットと、テープターゲット駆動装置を開発した。テープ型ターゲットは搬送用テープ上に重水素化ポリスチレン薄膜を形成しており、量産を指向している。連続重水素イオン発生の早期の実証を目指す。
(4) $10^9$ 個/パルス以上の高い指向性を持つ中性子の連続発生 (平成 30 年度末)	テープ型ターゲット駆動と同期して動作する中性子発生ターゲット駆動装置を構築し、ピッチャー・キャッチャー構成による連続中性子発生のハードウェアを構築した。連続中性子発生の早期の実証を目指す。
(5) トランス-スチルベンを凌駕する発光量を有する新規材料の開発 (平成 29 年度末)	高速中性子検出用シンチレーター材料として p-ターフェニルを見出し、直径 2 インチの大型結晶育成にも成功した。発光量はトランス-スチルベンの約 2 倍である。□100mm の開口に 256 ピクセルを有する高速中性子用二次元検出器を構築し、中性子二次元画像の取得に成功した。
(6) 高い指向性を持つ高速中性子源の特性を生かして(熱中性子数)/(ソースの中性子数) $>10^{-4}$ を目指す。(平成 31 年度末)	レーザー中性子源は短パルス性を活かして熱中性子を生成するには、減速体系をターゲットと一体にすることが良いことを見出した。第 2 ターゲットに厚さ 20mm の軽水減速材を配置することで、0.5eV 以下の熱中性子数をソース中性子の $10^{-2}$ 程度となる見込みが得られた。

### 3. 今後の展開

このプロジェクトで得た成果をもとに、高出力レーザー開発を行う企業等と共同で開発研究の枠組み構築を行っている。その中で、連続レーザー駆動中性子発生の結果をシミュレーション等により解析することで、来年度以降にレーザー中性子源利用システム設計を行い、早期に連続レーザー駆動中性子源の利用技術開発の開始を目指す。特に、ナノ秒の中性子パルスの共鳴散乱イメージングなどの利用例を実証する。

また、開発した高速中性子用シンチレーターによる高速中性子 2 次元検出器の開発を国内の放射線 2 次元検出器メーカーと共同で開発する可能性を模索する。その際、源と検出器を組み合わせたトータルシステムとし、小型で高速中性子透過画像が撮像可能な計測システムとして構築することを目指す。

以上