



Title	Study on Laser-Driven Isotope Ion Acceleration and its Application
Author(s)	韋, 添允
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/98783
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名(韋添允)	
論文題名	Study on Laser-Driven Isotope Ion Acceleration and its Application (レーザー駆動同位体イオン加速とその応用に関する研究)
論文内容の要旨	
<p>Recently, hydrogen isotope ions including deuterons and tritons accelerated by laser are expected to be utilized in the development of compact neutron source and investigation of nuclear fusion reaction. However, the current parameters of laser accelerated deuterons and tritons are still required to be improved for the requirements of the applications above. The enhancement of deuteron yield leads to higher neutron yield of the laser-driven neutron sources. In fusion science, measurements of the nuclear reaction cross section require the acceleration of deuterons / tritons with energy spread lower than 10%.</p> <p>In this work, the acceleration of deuterons driven by high power laser was investigated by using the following methods: (1) cryogenically-cooled solid D₂ and (2) ultra-thin D₂O layer deposited on a metal target, in order to improve the yield and the energy spread of the accelerated deuterons. The structure of this thesis is in the following:</p> <p>Chapter 1: A short introduction to the main topics of this thesis.</p> <p>Chapter 2: Relative physics on laser plasma interaction and experiment tools used in laser-plasma experiments.</p> <p>Chapter 3: Deuteron acceleration by deuterated foil targets, and its application of neutron radiography utilized in laser-driven neutron source.</p> <p>Chapter 4: Development of cryogenic target formation system, and effective deuteron acceleration experiments are conducted with solid D₂ targets.</p> <p>Chapter 5: In-situ deposited D₂O targets are proposed, quasi-mono energetic deuteron acceleration experiments are conducted with the D₂O deposited targets.</p> <p>Chapter 6: Summary of this thesis to conclude the work.</p> <p>In chapter 3, as application of laser accelerated deuterons, non-destructive inspection was conducted for H₂O contained within a stainless steel pipe using a laser-driven thermal neutron source, where water and stainless containers are detected by neutrons and x-rays, respectively. Simulation results indicated that this method can also provide the capability to measure the hydrogen density in high-pressure hydrogen gas in metal containers.</p> <p>In chapter 4, pure deuteron pulse was generated with solid D₂ targets which are generated by the developed cryogenic system. By optimizing the thickness and the plasma density of the D₂ target, the yield of deuterons reached 10¹⁴n/sr, which is higher than those of previous works by an order of magnitude.</p> <p>In chapter 5, deuterons with energy spread lower than 5% was realized by depositing ultra-thin D₂O layers on Al targets. The energy spread obtained in this study is approximately smaller by a factor of 3 than previous works. In addition, by optimizing the laser irradiation conditions, the deuteron energy was improved up to 50 MeV. The method presented here can be applied to the acceleration of tritons by depositing ultra-thin T₂O layers on normal targets, which can be utilized in the investigation of nuclear fusion reactions including D-T reaction.</p> <p>In conclusion, the acceleration of deuterons was investigated using the solid D₂ target and the ultra-thin D₂O layer targets. As results, (1) the yield of deuterons reached 10¹⁴n/sr with the solid D₂ targets, (2) the energy spread of deuterons lower than 5% was realized with the ultra-thin D₂O layer targets. These results contribute to the development of laser-drive neutron sources and the investigation of nuclear fusion reactions.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名(章添允)		
	(職)	氏名
論文審査担当者	主査	教授 余語 寛文
	副査	教授 片山 竜二
	副査	教授 筑本 知子
	副査	教授 尾崎 雅則
	副査	教授 片山 光浩
	副査	教授 小島 一信
	副査	教授 近藤 正彦
	副査	教授 廣瀬 哲也
	副査	教授 丸山 美帆子
	副査	教授 森 伸也
	副査	教授 森 勇介

論文審査の結果の要旨

近年、高強度レーザーによって加速された MeV 級の水素同位体イオン（重陽子、三重陽子）は、小型中性子源の開発や核融合反応断面積の測定への利用が期待されている。前者では、発生する中性子数の増強のために重陽子数の向上が、後者では、測定分解能の向上のためにエネルギー幅が 10%以下となる重陽子、三重陽子が求められる。上記を解決するために、本研究では、(1) 極低温固体重水素薄膜による重陽子加速、および(2) 金属薄膜上に積層した極薄重水層からの重陽子加速、の 2 つの手法を提案し、実験的に実証している。

第 1 章では、レーザー駆動イオン加速の特徴、および水素同位体イオン加速を中性子源および核融合科学へ応用する可能性に関して論じている。第 2 章では、レーザープラズマ相互作用の理論的背景および実験装置と計測系に関して論じている。第 3 章では、重水素化樹脂薄膜を用いた重陽子加速を利用した中性子ラジオグラフィー試験について論じている。第 4 章では、重水素固体薄膜の生成と、それを用いた重陽子加速実験の結果について論じている。従来の重水素加速では、薄膜に存在する重陽子以外の元素（炭素等）にエネルギーが移行することで、重陽子の収量が減少する課題があった。本研究では 8 K の極低温装置を開発して他の元素を含まない純粋重水素の薄膜を真空中に生成して、これに高強度レーザーを照射することに成功している。その結果、重陽子収量としてレーザー 1 ショット当たり、単位立体角当たり 10^{14} 個を達成しており、これは先行例と比較して約 1 衍高い成果である。重陽子の加速効率の向上における顕著な成果である。第 5 章では、レーザー集光装置に設置した金属薄膜の表面に、厚さ数ナノメートル程度の重水 (D_2O) を *In-situ* で積層する手法を開発し、エネルギー幅 5% の重陽子加速に成功している。この結果は先行例の 15% と比較して 1/3 のエネルギー幅であり、特筆すべき成果である。さらに、プラズマ粒子計算コードを用いて重陽子加速機構を考察し、表面の重水層が薄い場合に重陽子のエネルギー幅が狭くなる新しい物理的機構を見出している。加えて、レーザーの照射方向を変化させることで、重陽子のエネルギーを約 50 MeV まで向上し、重陽子エネルギーとして世界記録を達成している。本手法は重水を三重水 (T_2O) に変更することで、三重陽子の加速にも適応できるため、核融合反応において重要となる重陽子-三重陽子反応の断面積を測定するための加速源として、本手法が応用可能であることを示している。

本論文では、レーザー駆動水素同位体イオン加速機構の研究において、重陽子加速効率の向上、および重陽子エネルギー幅の低減という 2 つの課題に対して独自の手法を提案・開発している。その結果、顕著な成果として(1) 極低温純粋重水素薄膜の実現により、加速重陽子数を先行例の 10 倍に増強、(2) ナノメートル級重水積層手法により、加速重陽子のエネルギー幅を従来の 1/3 に改善すると共に、重陽子エネルギー 50 MeV を達成、の 2 点を挙げている。いずれの成果も先行例を上回るものであり、世界記録を達成している。また、(1)の成果はレーザー駆動中性子源の中性子発生量を 1 衍増大することに繋がり、中性子非破壊分析技術の精度向上に寄与する。(2)の成果は核融合反応断面積の計測に必要となる三重陽子の MeV 級加速につながる成果であり、通常の加速器では加速管の放射能汚染の観点から三重陽

子の加速は実質的に不可能であるなか、本手法が唯一の加速手法と成り得ることを示唆している。本論文の成果はプラズマ科学および量子ビーム科学の発展に寄与する重要な成果である。よって本論文は博士論文として価値があるものと認める。