



Title	Study on Laser-driven Neutron Source and its application to a single-shot and compact resonance spectroscopy
Author(s)	藍, 澤塵
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/98657">https://doi.org/10.18910/98657</a>
rights	
Note	

*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 ( 藍 澤 塵 LAN ZECHEN)	
論文題名	Study on Laser-driven Neutron Source and its application to a single-shot and compact resonance spectroscopy (レーザー駆動中性子源の開発とシングルショット共鳴吸収分析への応用に関する研究)
論文内容の要旨	
<p>The neutron resonance absorption is the process in which a neutron at an energy related to the excited states of the atomic nucleus just above the neutron binding energy is resonantly captured by the nucleus. Thus, the probability that neutrons interact with nuclei depends on the incident energy and atom identity. Bethe suggested the temperature dependence of the broadening of a resonance peak due to the Doppler effect. Thus, the neutron resonance spectroscopy provides a possibility of detecting the temperature as well as the elemental composition and density inside a material non-destructively. The neutron resonance spectroscopy has been predominantly implemented with accelerator-based neutron sources for material analysis, spatially resolved thermometry and shock wave measurement. However, to obtain sufficient energy resolution with relatively long source pulse, a long beamline which is typically a few tens of meters in accelerator-based neutron sources must be set for the time-of-flight detection. The long beamline reduces the flux of neutrons arriving at a detector due to the smaller solid angle. As a result, multiple neutron pulses must be integrated for sufficient statistics.</p> <p>As a solution to this problem, the author developed a laser-driven neutron source (LDNS) with compact size and short pulse performance. The laser enables the acceleration of protons or deuterons up to a few tens of MeV. By placing a beryllium as the secondary target in the beam path, a pulse of MeV-energy neutrons is generated by nuclear reactions of the beryllium and ions. The length of LDNS is about 1 cm within a pulse duration under 1 ns. A currently highest neutron yield of <math>10^{11}</math> has been achieved. Furthermore, low-energy neutrons at eV-meV region have been generated by employing neutron moderators made of hydrogen-rich materials at room temperature or cryogenically cooled solid hydrogen. The short pulse duration and miniature scale of an LDNS allows a smaller neutron moderator (thickness of 3 cm), lead to a reduction of the neutron pulse broadening in the moderation process.</p> <p>The author designed a time-gated neutron detector to detect epithermal neutrons in high-power laser experiments with short beamlines (about 1.8 m). A time-gated electrical system was coupled in the detector to protect the detector from intense X-ray background. The developed detector ensured the acquisition of low energy neutron signals. To achieve a higher efficiency of the neutron detection, the author designed a collimator and shield that were set along the neutron beamline. The developed neutron beamline provided higher signal-noise ratio made it possible to analyze the resonance waveform.</p> <p>The short pulse of moderated neutrons provided an innovative breakthrough that realizes single-shot analysis of neutron resonance spectroscopy. The author measured neutron resonances in the epithermal (several eV) region using a 1.8 m beamline in the LDNS that developed at ILE, Osaka Univ. The resonance spectrum was obtained with a single bunch of the laser generated neutron pulse. The resonance signals corresponding to multi-layer samples demonstrated the feasibility of isotope distinction using single-shot neutron resonance spectroscopy. The neutron pulse duration around eV energies and energy resolution were evaluated in the results.</p> <p>Furthermore, the author investigated the Doppler broadening of neutron resonance signals with the LDNS. Each Doppler spectrum was acquired from a single pulse of the laser. A reference sample was innovatively used to remove the uncertainty between each shot of the LDNS. The temperature depending Doppler broadenings were discussed in the experimental results. The results indicated the possibility that the LDNS can realize a real-time thermometry of isotope types that probes the instantaneous temperature of dynamic objects.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 藍 澤 塵 LAN ZECHEN )				
論文審査担当者	(職)	氏 名		
	主 査	教授	余 語 覚文	
	副 査	教授	片 山 竜二	
	副 査	准教授	有 川 安信	(レーザー科学研究所)
	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

本論文は、レーザー駆動中性子源を、原子炉、加速器に次ぐ新しい線源として確立することを目指している。他の手法では、数10メートル級のビームラインを用いて数時間の計測時間を要する中性子共鳴吸収分析を、レーザー駆動中性子源によって、2メートルのビームラインで瞬間計測することを可能とした。加えて、共鳴吸収のピーク構造が計測対象の温度に依存して変化することを実証した。この成果は、元素種を選別しながら深部にある計測対象の温度を瞬間・透過計測できる新しい手法に繋がるものである。

第1章では、中性子の物理的特性、レーザー駆動中性子源の特徴、中性子共鳴吸収分析に関する理論的背景、および本論文の位置づけについて述べている。

第2章では、レーザー駆動中性子源の開発に関して述べている。高強度レーザーによるイオン加速機構と中性子発生機構、高速イオンおよび中性子の検出手法、共鳴吸収分析手法に関して述べている。また、高速中性子を共鳴吸収分析に適応可能な熱外エネルギー領域に減速する手法について論じ、分解能の向上に必須となる中性子の短パルス化のために最適な減速材の設計について論じている。

第3章では、学位申請者の開発した時間ゲート付き検出器および遮蔽ビームラインの開発について述べている。この開発によってレーザー誘起プラズマからのX線等のバックグラウンド信号を低減することに成功している。中性子共鳴吸収のピーク形状の解析からより詳細な情報(計測対象の密度・温度)を得ることを可能としている。

第4章では、レーザー駆動中性子源によって共鳴吸収を計測した実験に関して述べている。レーザー1ショットで発生した短時間の中性子パルスによる瞬間的計測手法が示された。3種類の金属を合わせた模擬的複合材料をサンプルとして元素種の識別に成功している。エネルギー分解能は約3%と評価され、元素分析に必要な性能を有している。

第5章では、中性子共鳴吸収のピーク構造が温度に依存して変化することを実証した。実験で計測された共鳴吸収ピークから、中性子源や検出器におけるエネルギー広がり解析的に除去することで、ドップラー効果によるエネルギー広がり評価したところ、サンプルの温度の平方根に依存する結果を得た。これはBetheモデルに従うものであり、中性子を用いた元素選別・瞬間・透過温度計測の実現可能性を示す結果として初めてのものであり、重要な成果である。

第6章では、本論文の結論を述べている。上記の成果は低繰返し発振のレーザー装置を用いた原理実証研究として重要であり、将来的には現在各国で開発されている高繰返し発振レーザーに応用可能であることを論じている。

以上のように、本論文では、これまで加速器等の他の施設では達成できなかった性能(元素選別・瞬間・透過温度計測)を、レーザー駆動中性子源によって初めて実証した成果であり、レーザー駆動中性子源を新しい線源として確立する研究を大きく推進した。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。