

分野：工学系

キーワード：冷中性子 レーザー

原子炉や加速器不要のレーザーによる新方式

「手のひらサイズ」の冷中性子源

—10万分の1秒の短いパルスで生命現象の計測に期待—

【研究成果のポイント】

- ◆ エネルギーの低い中性子*1=冷中性子（れいちゅうせいし）を使うと、X線では得られない、水素など軽元素の情報を計測することができます。
- ◆ これまで、冷中性子を得るためには、原子炉や加速器といった施設が必要でした。
- ◆ レーザーを使った「手のひらサイズ」の新しい方式で、短い時間の冷中性子パルスを発生させることに成功しました。
- ◆ 1万分の1秒より短い時間に起きるタンパク質の動きやはたらきを、瞬間的に計測できる新しい手法につながります。

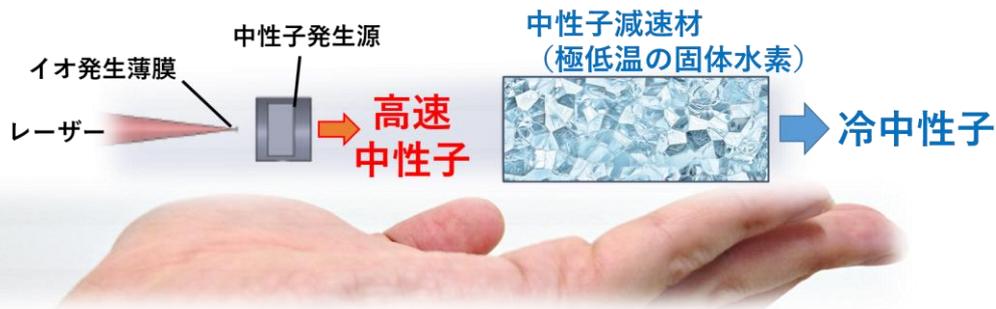


図1

「手のひらサイズ」の冷中性子源の概念図。レーザーを厚さ数ミクロンの薄膜に集中してイオンを発生（イオン発生薄膜）し、それを中性子に変換します（中性子発生源）。そのままではエネルギーが高すぎる（高速中性子）ため、極低温に冷却した水素の氷（中性子減速材）を通してエネルギーを下げ、冷中性子を取り出します。上記のように手のひら程度のサイズに収まります。

❖ 概要

大阪大学レーザー科学研究所のセイエッド・レザ・マーファジ特任助教（現インペリアル・カレッジ・ロンドン助教）、余語 覚文 准教授、核融合科学研究所の岩本 晃史 准教授らの研究チームは、レーザーを使った新しい方式で、エネルギーの低い中性子=冷中性子（れいちゅうせいし）を発生することに成功しました。冷中性子は粒子と波の両方の性質を持ち、X線では得られない深部や、水素などの軽元素の情報を計測することができます。これまで、冷中性子を得るためには、原子炉や加速器が必要でした。本研究では、冷中性子源を「手のひらサイズ」で実現しました。また、冷中性子を短い時間幅で発生できるため、タンパク質分子が動いて物質（水素など）を運ぶ時間（1万分の1秒以下）を瞬間的に計測できる、新しい手法につながります。

Press Release

本研究は、大阪大学レーザー科学研究所のレーザー施設「LFEX^{*2}」を使用した成果であり、大阪大学レーザー科学研究所、核融合科学研究所、光産業創成大学院大学、英国のクィーンズ・ベルファスト大学、ラザフォード・アップルトン研究所、インペリアル・カレッジ・ロンドンからなる国際共同チームで実施されました。本研究成果は、英国スプリンガー・ネイチャー社の科学誌「Scientific Reports」に、11月19日(木)に公開されました。

❖ 研究の背景

冷中性子はX線と同程度の波長(約10億分の1メートル)をもつため、回折や干渉を利用して物質の構造解析に利用できます。加えて、高い透過能力を持つことから、X線より深部の情報を得ることが出来ます。また、冷中性子は粒子として水素とほぼ同じ質量を持つことから、X線では得られない水素などの軽い元素を、散乱や反射を使って調べることが出来ます。

これまで、冷中性子を得るためには、原子炉や加速器といった施設が必要でした。日本では、日本原子力研究開発機構の研究炉:JRR-3 (<https://jrr3.jaea.go.jp/index.htm>)や、大強度陽子加速器施設:J-PARC (<http://www.j-parc.jp/c/index.html>)が代表的な施設です。

大阪大学レーザー科学研究所では、レーザーの強い光を厚さ数ミクロンの薄膜に集中してイオンを加速し、それを中性子に変換する「レーザー駆動中性子源」の研究を行ってきました。本研究成果では、極低温(マイナス262℃)に冷却した水素の水を使って、レーザーで冷中性子を発生することに、世界で初めて成功しました(図2)。

❖ 本研究成果が社会に与える影響(本研究成果の意義)

東日本大震災以降、新しい原子炉を建設することは困難になっています。レーザーという新しい方法で冷中性子を発生できれば、企業の研究所などにも設置できる装置につながります。

また、タンパク質分子は、短い時間に素早く動くことで、物質(水素など)を運ぶといった、生物にとって重要な働きをすることが知られています。タンパク質分子が動く時間は1万分の1秒以下であることが知られています。冷中性子はX線と同程度の波長を持つと共に、X線では得られない水素を調べることが出来ます。本成果で得られた短い時間パルスの冷中性子は、短い時間に起きるタンパク質の動きやはたらきを、瞬間的に計測できる新しい手法につながります。

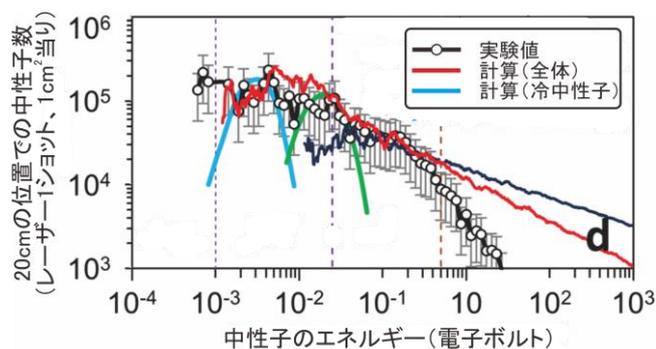


図2

計測された中性子のエネルギー分布。水素の水を通してエネルギーを減少させることで、冷中性子(水色の曲線)を発生した。

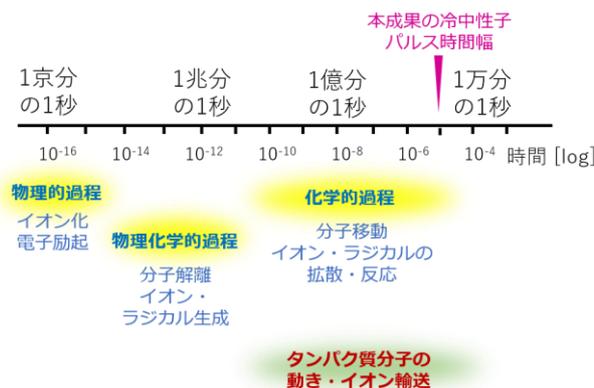


図3

本成果で得た冷中性子パルスの時間幅と、様々な反応の起こる時間の比較。

Press Release

❖ 特記事項

本研究成果は、2020年11月19日(木)に英国スプリンガー・ネイチャー社の科学誌「Scientific Reports」(オンライン) (<https://www.nature.com/srep/>) に掲載されました。

タイトル: “Proof-of-principle experiment for laser-driven cold neutron source”

著者名: S. R. Mirfayzi, A. Yogo, Z. Lan, T. Ishimoto, A. Iwamoto, M. Nagata, M. Nakai, Y. Arikawa, Y. Abe, D. Golovin, Y. Honoki, T. Mori, K. Okamoto, S. Shokita, D. Neely, S. Fujioka, K. Mima, H. Nishimura, S. Kar & R. Kodama

なお、本研究は、科学技術振興機構 (JST) 研究成果最適展開支援プログラム A-STEP「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」(2015-2019年度) の支援により実施されました。

❖ 用語説明

*1 中性子

中性子は原子核を構成する粒子の一種。中性子はシリコンやカルシウムなどに対する透過力が高く、比較的深部まで入り込むことができる一方で、水素、リチウム、ホウ素といった軽元素に対しての相互作用が強く、水や有機物などに感度が高い。冷中性子は比較的エネルギーの低い中性子の呼称であり、速度は 500 m/s 程度である。X 線と同程度の波長 (約 10 億分の 1 メートル) をもつため、回折や干渉、散乱や反射を使って物質の情報を得ることが出来る。

*2 LFEX (エルフェックス)

短いパルスで高出力が得られるレーザー装置。一瞬 (1 兆分の 1 秒 = 1 ピコ秒) ではあるが、世界中の総発電量をも上回る超高強度出力 (2 千兆ワット = 2 ペタワット) が得られる。これは、典型的な発電所 (100 万キロワット) が発生する電力の 200 万基分に相当する。高出力レーザー装置 「LFEX」は日本の光技術の粋を結集した最先端装置であり、国内企業の技術競争力の向上に大きく寄与するとともに、世界的に高く評価されている。

❖ 本件に関する問い合わせ先

大阪大学 レーザー科学研究所 准教授 余語 覚文 (よご あきふみ)

TEL: 06-6879-8766 FAX: 06-6877-4799

E-mail: yogo-a@ile.osaka-u.ac.jp

【研究者のコメント】余語 覚文 准教授

レーザー駆動中性子源に対する国際的な関心は高まりつつあり、国際原子力機関 (IAEA) は 2019 年 2 月に Consultancy Meeting on Laser-driven neutron and x-ray sources を開催し、共著者 (余語) は日本代表として参画しています。その会議において IAEA より、「レーザー駆動中性子源は老朽化インフラの更新 (SDGs 目標 11) や生産技術の向上 (SDGs 目標 9、12) に役立つほか、原子炉や加速器といった大型中性子施設を設置できない発展途上国が中性子源を持つ道をひらく (SDGs 目標 10)」との評価を得ました。