

令和2年10月2日

報道機関 各位

東北大学流体科学研究所

**レーザーによる高速水ジェット発生メカニズムを解明
～より安全なレーザー治療の実現にむけて～**

【発表のポイント】

- より安全かつ効果的なレーザー治療が求められている。
- レーザーと水の蒸発・凝縮を利用して、光ファイバー先端から液体ジェットを発生させるメカニズムを解明した。
- 気泡が円注状に潰れ、中心軸上で流れが衝突することでジェットが発生する。

【概要】

レーザー治療は美容から医療の様々な場面で利用されていますが、その中で光ファイバーを用いて高温の液体ジェットを作り、患部を治療する手法が近年注目されています。液体中に光ファイバーを挿入し、レーザーを照射すると、気泡が発生・消滅し、そして、まるで光ファイバーから液体が噴出するようにジェットが発生します。

東北大学流体科学研究所の岡島淳之介助教(兼 ロシア科学アカデミー極東支部 応用数学研究所 Leading Scientist)は、ロシア政府 メガグラント・プロジェクトでの共同研究で、光ファイバー先端での液体ジェットの発生メカニズムを数値シミュレーションにより解明しました。今後、この研究成果を発展させ、より低い出力のレーザーで高温かつ高速のジェットを発生させる条件を見出すことで、より安全かつ効果的なレーザー治療の実現が期待されます。

本研究成果は、学術雑誌 *International Journal of Heat and Mass Transfer* に 2020 年 9 月 12 日付けでオンライン公開されました。

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931020333561>

【詳細な説明】

<研究の背景>

レーザー治療は美容から医療の様々な場面で利用されており、今後も適用範囲が拡大することが期待されます。特に、光ファイバーを用いると、内視鏡やカテーテルなどとも親和性が高く、体内で局所的にレーザー光を照射できるという利点があります。強いレーザー光を生体組織に吸収させ、温度を上昇させることで患部を切除する手法はこれまで広く研究されてきました。その一方で、近年、血液中や組織液中に光ファイバーを設置しレーザー照射すると、光ファイバー先端で微細な気泡が発生したり、比較的大きな気泡が発生・消滅し、そして、まるで光ファイバーから液体が噴出するように液体ジェットが発生したりといった流体力学的な現象が見出され、医療への応用が期待されております。

本研究は、東北大学流体科学研究所の岡島淳之介助教(兼 ロシア科学アカデミー極東支部応用数学研究所 Leading Scientist)が、Roman Fursenko 博士(ロシア科学アカデミーシベリア支部)、Vladimir Chudnovskii 教授、Sergey Minaev 教授(ロシア科学アカデミー極東支部)と共同で、光ファイバーから液体が噴出するように液体ジェットが発生する現象のメカニズムを解明することを目的に行われました。この研究は、岡島助教が研究リーダーを務めるロシア政府 メガグラント・プロジェクト(第7次公募)「生体・医療・エネルギー問題における数理モデリング研究」の研究課題の一つです。

<研究内容>

光ファイバー先端からレーザーが液体に照射されると、レーザーのエネルギーにより液体が沸騰します。発生した気泡は、液体が吸収したレーザーのエネルギーを使って膨張しますが、周囲には温度の低い液体があるため、気泡は急速に冷却され収縮します。このような気泡が変化することは高速度カメラを用いた実験により確認できておりましたが、なぜ液体ジェットが発生するのかは説明できていませんでした。そこで、光ファイバー先端に存在する気泡が凝縮により収縮する過程の数値シミュレーションを行い、気泡の形状変化と周囲の液体の流れを詳細に検討しました。

今回得られた成果をまとめたものを図1に示します。図1の上部の写真のように光ファイバーの先端から高温の水ジェットが噴出しているのが確認できます。図1の下の模式図が数値シミュレーションより明らかになったジェット発生メカニズムです。また図2は数値シミュレーションで得られた気泡の形状と周囲の流れ場の様子です。光ファイバー先端で沸騰により生じた気泡は、周囲の液体に冷やされて収縮します。収縮により周囲の液体が光ファイバー先端に向かって流れてきます。この流れにより、光ファイバー先端の気泡は円柱状に潰れることがわかりました。気泡が円柱状に潰れること

により、流れは光ファイバー中心軸上で衝突し、向きを変えます。その結果、光ファイバー先端から離脱する方向にジェットが発生します。その結果、図 1 に示したような渦の形成が確認されました。条件によって円柱状だけではなく円錐状に潰れることもわかりました。すなわち、気泡が円柱や円錐状に潰れること、それに流れが中心軸上で衝突すること、衝突によってジェットが発生することが明らかになりました。

一連の数値シミュレーションを通じて、周囲の液体の温度が低いとき、また収縮直前の気泡が大きいとき、より高速なジェットが発生することがわかりました。今後は、この研究成果を発展させ、より低い出力のレーザーで高温の高速ジェットを発生させる条件を見出すことで、より安全かつ効果的なレーザー治療の実現が期待されます。

【ロシア政府「メガグラント・プロジェクト」】

同公募は、ロシアの大学、連邦科学機関局 (FASO) 傘下の研究機関、国立研究所において世界トップクラスの科学者の管理下で実施される科学研究プロジェクトに対して政府支援を提供する目的で設置されたものです。

連邦政府からの助成金は、3 年間に実施する各々の科学研究に対して 9,000 万ルーブル (約 1.36 億円) ほどが配賦されます。

東北大学では、2013 年 (第 3 次公募) に川添良幸名誉教授 (未来科学技術共同研究センター) と大谷栄治教授 (理学研究科) が、2014 年 (第 4 次公募) に丸田薫教授 (流体科学研究所) が採択されました。2019 年 (第 7 次公募) では、対象が若手研究者に拡大され、岡島淳之介助教 (流体科学研究所) が採択されました。

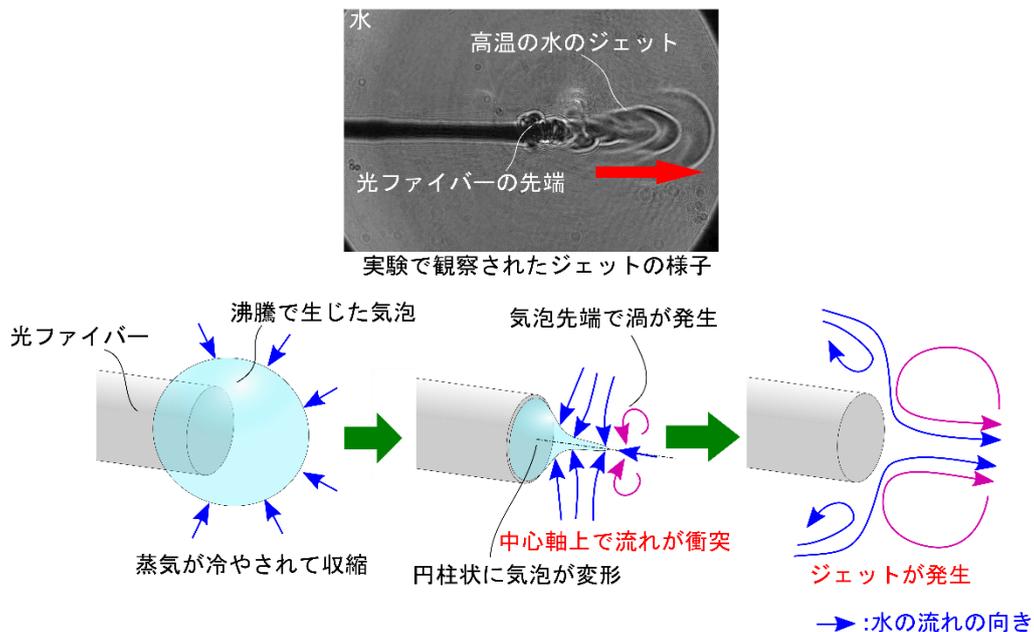


図 1 実験で観察されたジェットとジェット発生メカニズムの模式図

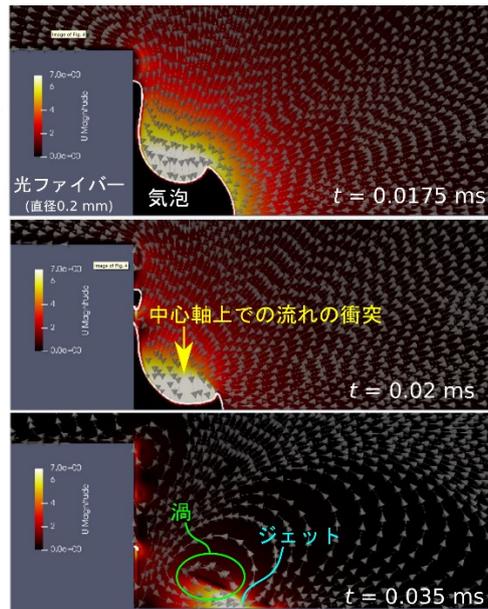


図 2 数値シミュレーションで得られた光ファイバー先端での気泡の変形と発生する流れ場の様子

【論文情報】

タイトル Mechanism of high velocity jet formation after a gas bubble collapse near the micro fiber immersed in a liquid

著者 Roman V. Fursenko^{a, b}, Vladimir M. Chudnovskii^c, Sergey S. Minaev^b, Junnosuke Okajima^{b, d}

^aKhristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Siberian Branch of the Russian Academy of Science

^bInstitute of Applied Mathematics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

^cIlichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

^dInstitute of Fluid Science, Tohoku University

掲載誌 International Journal of Heat and Mass Transfer **163**, 120420 (2020)

DOI 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120420

URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931020333561>

【内容についてのお問い合わせ先】

東北大学流体科学研究所 助教 岡島淳之介

電話 022-217-5879

E-mail j.okajima@tohoku.ac.jp

【報道についてのお問い合わせ先】

東北大学流体科学研究所 広報戦略室 担当 内村博子

電話 022-217-5873

E-mail ifs-koho@grp.tohoku.ac.jp