

記者発表（発表・資料配布）				
月/日(曜日)	担当課	電話	発表者	その他配布先
12/27(金)	兵庫県立大学姫路工学キャンパス経営部	(079)267-4805	姫路工学キャンパス経営部長 佐伯 公宏 (次長兼総務課長 後藤 綾一)	県政記者クラブ 中播磨県民センター記者クラブ

火薬の燃焼エネルギーにより高速で吐出される液体のふるまいを説明

1 発表内容要旨（詳細は別紙のとおり）

ウォータージェット（液体ジェット）の吐出速度は非常に高速で、そのふるまいは不明でした。今回、兵庫県立大学大学院工学研究科及び先端医工学研究センターの本田逸郎教授・高垣直尚助教らの研究グループは、株式会社ダイセルとの共同研究を通して、火薬の燃焼エネルギーにより高速で吐出される液体のふるまいを明らかにしました。

特に、吐出速度の変化は吐出器内部の液体のわずかな密度変化に強く支配されることを明らかにし、高速液体吐出に関する簡便な流体物理モデルを確立しました。

これにより、吐出速度の直接測定もしくは詳細な数値計算を行うことなく、液体の吐出速度を推定できる可能性を示しました。

本モデルにより、液体ジェットの微細な制御を用いた新たな医療応用技術の開発を可能にすることが期待されます。

なお、本研究の成果は、令和元年 12 月 27 日（イギリス標準時間午前 10 時）付で、「Scientific Reports」に掲載されます。

2 問い合わせ先

兵庫県立大学大学院工学研究科 助教 高垣直尚

電話 079-267-4834 Mail : takagaki@eng.u-hyogo.ac.jp

兵庫県立大学姫路工学キャンパス経営部 次長兼総務課長 後藤綾一

電話 079-267-4805 Mail : ryouchi_gotou@ofc.u-hyogo.ac.jp

3 同時資料提供先

兵庫県政記者クラブ、中播磨県民センター記者クラブ



プレスリリース

公立大学法人兵庫県立大学

令和元年12月27日

火薬の燃焼エネルギーにより高速で吐出される

液体のふるまいを解明

【研究成果のポイント】

- ・火薬の燃焼エネルギーにより高速で吐出される液体のふるまいを解明した。
- ・高速吐出速度の変化は吐出器内部の液体のわずかな密度変化に強く支配されることが明らかになった。
- ・高速液体吐出に関する簡便な流体物理モデルを確立した。これにより、吐出速度の直接測定もしくは詳細な数値計算なしに、液体の吐出速度を推定できる可能性を示した。
- ・火薬の燃焼直後には、ピストンが高速動作し、極短時間のパルス状の液体ジェットを生成しうることを示した。

【概要】

ウォータージェット（液体ジェット）の吐出速度は非常に高速で、そのふるまいは不明でした。今回、兵庫県立大学大学院工学研究科及び先端医工学研究センターの本田逸郎教授・高垣直尚助教らの研究グループは、株式会社ダイセルとの共同研究を通して、火薬の燃焼エネルギーにより高速で吐出される液体のふるまいを明らかにしました。特に、吐出速度の変化は吐出器内部の液体のわずかな密度変化に強く支配されることを明らかにしました。さらに、高速液体吐出に関する簡便な流体物理モデルを確立しました。これにより、吐出速度の直接測定もしくは詳細な数値計算なしに、液体の吐出速度を推定できる可能性を示しました。本モデルにより、液体ジェットの微細な制御を可能にすることが期待されます。本研究の成果は、2019年12月27日（イギリス標準時間午前10時）付で、「Scientific Reports」に掲載されます。

1. 研究の背景

高速で液体を吐出するいわゆるウォータージェット（液体ジェット）技術は、産業分野で幅広く使用されています。例えば、金属板、木材、コンクリートの切断・加工から、近年では野菜のカットや、外科手術における内臓の切除など、様々な分野・シチュエーションにおいて使用されています。ウォータージェットは、高圧ガスや金属スプリングなど、さまざまな推進力を用いて生成することが可能です。

そのため、これまでは、各応用分野において独自に技術開発がなされてきました。各技術開発の上で必要とされるウォータージェットの情報分野ごとに様々ですが、液体がいかに高速で吐出されるのかを推定する技術は常に望まれています。また、近年、切断対象が金属板などから、野菜や外科手術における人体など、より繊細な物質に移行しつつある点からも、これまで以上にウォータージェットの流速調整技術も要求されつつあります。しかしながら、高速に吐出する液体の速度を直接測定したり、気液自由界面を有する液体ジェットを数値流体計算技術を用いて推定したりすることは、ウォータージェット関連製品の開発の上で大きな負担となるばかりか、学術的にも未解明の点が多いのが現状です。

2. 研究内容と成果

今回、兵庫県立大学大学院工学研究科及び先端医工学研究センターの本田逸郎教授・高垣直尚助教らの研究グループは、株式会社ダイセルとの共同研究を通して、火薬の燃焼エネルギーにより高速で吐出される液体のふるまいを明らかにしました。共同研究においては、株式会社ダイセルが独自開発した、火薬の燃焼エネルギーを推進力として使用する次世代型のウォータージェット装置の試作機を使用した室内実験と、ANSYS/FLUENT ソフトウェアを使用した流体の数値計算を行いました。まず、ハイスピードカメラを用いて、火薬燃焼後のウォータージェット装置内部のピストン挙動を測定しました。その後、測定されたピストン挙動を入力データとして使用した流体の数値計算を行いました。図1は、数値計算により得られたある瞬間のウォータージェット装置内部の液体の圧力と流速の様子です。液体は、図面左側からピストンにより押されることにより圧力が上昇し(図1左図の赤い部分)、図面右側の細管内部において速度が増加し(図1右図の赤い部分)、図面右端の細管出口より吐出される様子が分かります。

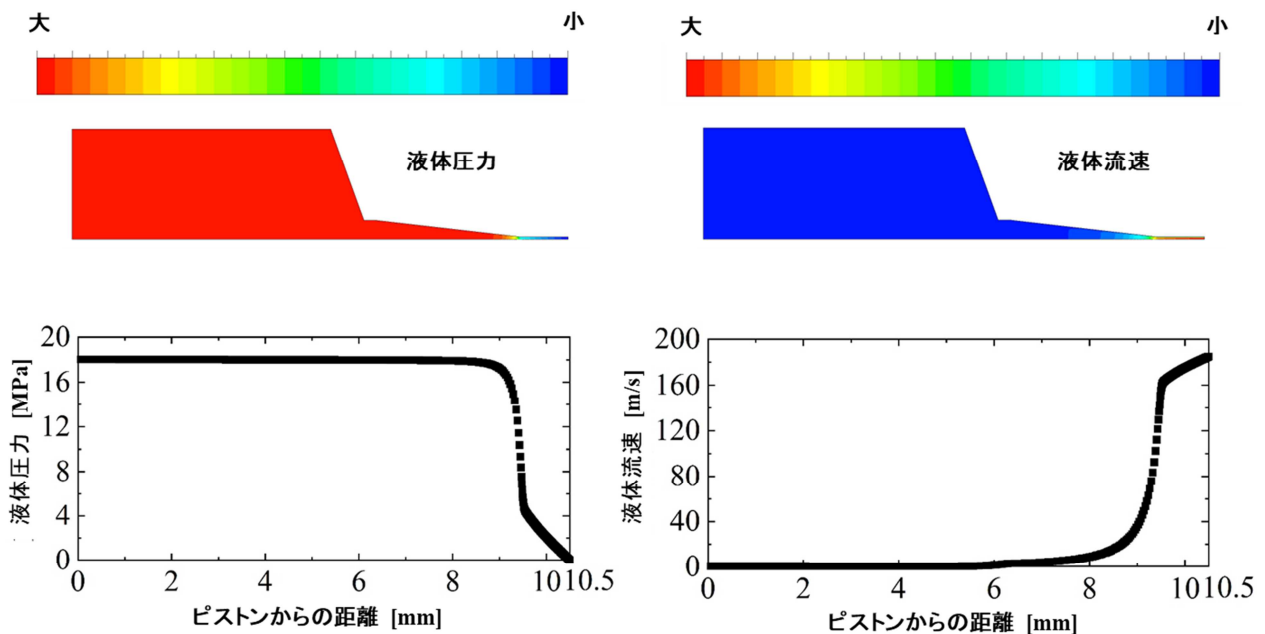


図1：吐出器内部における液体の圧力および流速の様子

(左上)液体圧力(ただし左端は右に向かって移動するピストン壁であり、右端は液体が吐出される細管口)、(左下)装置の軸中心における液体圧力の変化、(右上)液体流速、(右下)装置の軸中心における液体流速の変化

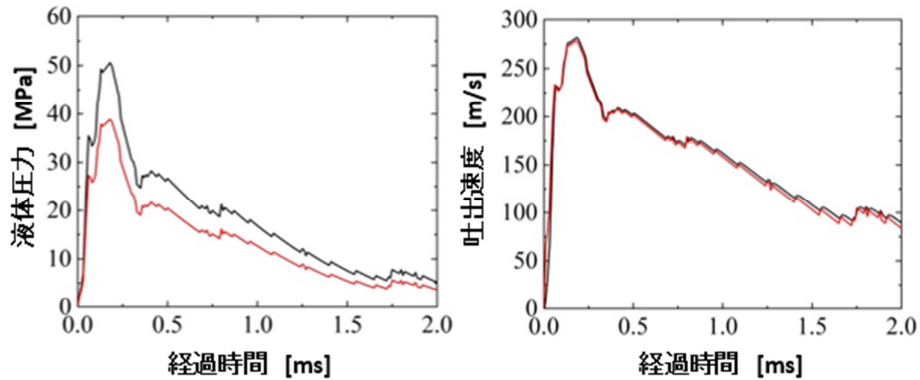


図 2：吐出器内部における液体圧力の時間変化および液体吐出速度の時間変化

ANSYS/FLUENT による数値計算結果(黒線)および流体物理モデルによる推定結果(赤線)

図 2 は、装置内部の液体の圧力と、細管出口における液体の吐出速度の時間変化の様子です。数値計算により得られた結果は黒線で表されています。1.5ms までは急激な圧力および流速の上昇・下降が起こり、1.5ms 以降ではあまり値が変わらないことが明らかになりました。このような液体挙動をさらに検証するために、液体の密度変化を表す経験式 (Murnaghan–Tait 状態方程式)・連続の式・ナビエ–ストークス式等を用いた簡便な流体物理モデルを提案しました。本モデルに入力データとしてピストン挙動を用いた結果、本モデルにより計算された値 (図 2 赤線) は、数値計算により得られた値 (図 2 黒線) と概ね一致することが確認されました。これは、液体の吐出速度の変化は吐出器内部の液体のわずかな密度変化に強く支配されることを示しています。本結果は、液体の吐出速度の直接測定もしくは詳細な数値計算なしに、液体の吐出速度を推定できる可能性を示しています。

3. この研究の社会的意義と今後の展望

今回の、高速の液体ジェットの挙動解明と簡便なモデルの確立により、微細な液体ジェットの制御を可能にすることが期待されます。例えば、医療応用の場面においては、ある部分の内臓のみを切除するために液体ジェットの速度を調整する必要がありますし、また、無針注射器として応用する上では液体ジェットによる身体の損傷を最小限に抑える工夫が必要とされます。このような目的の上でも、本技術を用いることで、液体ジェットを用いた新たな医療応用技術の開発を可能にすることが期待されます。

4. 論文情報

掲載誌：Scientific Reports

題目：Estimation of High-Speed Liquid-Jet Velocity Using a Pyro Jet Injector

著者：Naohisa Takagaki, Toru Kitaguchi, Masashi Iwayama, Atsushi Shinoda, Hiroshige Kumamaru, Itsuro Honda

掲載予定日：2019 年 12 月 27 日 (イギリス標準時間 午前 10 時)

5. 問い合わせ先

兵庫県立大学大学院工学研究科 助教 高垣直尚

電話：079-267-4834, E-mail: takagaki@eng.u-hyogo.ac.jp

6. 機関窓口

兵庫県立大学姫路工学キャンパス経営部 次長兼総務課長 後藤綾一

TEL: 079-267-4805, FAX: 079-266-8868, E-mail: ryouichi_gotou@ofc.u-hyogo.ac.jp

本研究は、株式会社ダイセルとの共同研究の下で進められました。また、本研究は、兵庫県立大学大学院工学研究科・先端医工学研究センター（AMEC）からの研究協力の下で進められました。

【用語解説】

ウォータージェット(液体ジェット)

小さな穴から、液体が高速で吐出されるさま。幅広い産業分野で利用されている。

Murnaghan-Tait 状態方程式

気体の圧力・容積・温度についての状態方程式があるように、液体に対しても状態方程式が存在します。本状態方程式は Tait 方程式と一般に呼ばれ、Murnaghan-Tait 状態方程式は Tait 状態方程式の改良バージョンともいえる状態方程式です。

ナビエストークス式

流体力学の分野で1番目に有名な方程式です。流体の運動量保存則とも言えます。

無針注射器

針のない注射器です。液体ジェットを生成して、皮膚に微細な傷をつけて体内に薬液を注入します。