

2026 年 8 月 4 日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学
国立研究開発法人海洋研究開発機構

**周速 430m/s で回転するタービン翼の液滴挙動を可視化
—実機相当の高速回転・低圧実験で地熱タービン高効率化へ—**

【発表のポイント】

- 実運転域をカバーする高速回転・低圧条件において、地熱タービン動翼で生じる液滴衝突から液体輸送、翼先端での微粒化に至る一連の現象を捉えることに成功しました。
- 本成果は、地熱タービンの湿り損失や翼損傷の低減に向けた設計技術の高度化に貢献することが期待されます。

【概要】

地熱発電で用いられる蒸気タービンでは、蒸気流中の水滴が動翼に衝突し、湿り損失による発電効率の低下や翼損傷を引き起こします。しかし、タービン翼列はケーシングで覆われ、内部は高速・低圧であるため、水滴の衝突・飛散から翼面上での液体輸送、翼先端での微粒化までを観察することは困難でした。

東北大学流体科学研究所の大島逸平助教、海洋研究開発機構数理科学・先端技術研究開発センターの古市幹人上席研究員、富士電機株式会社の中島裕也博士、佐藤雅浩氏らの研究グループは、NEDO 委託事業の一環として、タービン動翼先端の周速が最大 430 m/s に達する条件で液滴挙動をハイスピードカメラにより可視化しました。その結果、実運転域を十分にカバーする 1 kPa の低圧条件でも液滴の飛散が生じること、翼面に付着した液体が遠心力とコリオリ力により翼先端へ輸送されること、さらに翼先端で液系となって微粒化することを明らかにしました。これは、従来の代表的な液滴衝突・飛散実験を大きく上回る速度域で、一連の液体挙動を捉えた成果です。

本成果は、高速回転する翼面上の液体挙動を実験と数値モデルの両面から明らかにした先駆的成果です。タービンにおける湿り損失^(注1)や翼損傷の低減、ドレン^(注2)排出機構の設計高度化に向けた基盤となることが期待されます。

本研究成果は、2026 年 8 月 3 日（現地時間）に流体実験専門誌 Experiments in Fluids に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

地熱発電は、地下に蓄積された蒸気や熱水などの地熱エネルギーを利用する発電方法であり、クリーンな再生可能エネルギーとして近年注目されています。地熱発電で用いられる蒸気タービンでは、水滴を含む地熱蒸気、すなわち蒸気と水滴が混在する「湿り蒸気」流れが生じます。地熱タービンは、この湿り蒸気が持つエネルギーを動翼の回転エネルギーへと変えることで発電しています。

蒸气流中の水滴の一部は蒸気の流れに十分には追従せず、高速回転する動翼に衝突します。衝突した水滴は翼面上で飛散するほか、大部分が液膜や液糸として翼面に付着し、翼面上を移動した後、翼先端で再び細かな液滴として飛散すると考えられてきました。こうした液体挙動は、タービンが取り出せるエネルギーを低下させる湿り損失に直接関係するほか、液滴の衝突による翼損傷の原因にもなります。

このため、地熱タービンの高効率化と長寿命化には、蒸気中の水滴が動翼に衝突し、翼面上を移動して、翼先端で再び液滴となるまでの一連の過程を理解し、モデル化することが重要です。しかし、実際のタービン翼列はケーシングで覆われており、内部では動翼が高速回転しているため、こうした一連の流動現象を直接観察することは困難でした。そのため、従来のタービン開発では、湿り蒸気中の水滴挙動やドレン形成を評価するために数値解析や経験的なモデルが用いられてきましたが、その妥当性を検証するための可視化データは不足していました。

今回の取り組み

本研究では、実際の地熱タービン動翼を用い、実機相当の回転数・低圧条件下で液滴挙動を観察する高速回転試験を行いました。具体的には、動翼先端の周速 30-430 m/s、雰囲気圧力 1 および 5kPa の条件で、液滴が動翼に衝突してから翼面上を移動し、翼先端で再び液滴として飛散するまでの過程をハイスピードカメラにより可視化しました。

従来の静止壁面に液滴が衝突する研究では、雰囲気圧力を下げることで液滴の飛散が抑制されることが報告されています。しかし本研究では、高速回転する動翼に衝突した液滴を可視化した結果、実運転域を十分カバーする高真空条件である 1kPa という低圧下でも、翼面の乾湿状態によらず液滴の飛散が明確に観察されました（図 1）。この結果は、タービンの運用条件に近い高速回転・低圧環境では、静止壁面を対象とした従来の液滴衝突の知見をそのまま適用できない可能性を示しています。

さらに、翼面上では、大きな液膜、細長い液糸、液滴が列状に並んだ液滴列が形成されることを明らかにしました。ただし、従来想定されていたような大きな液膜は容易には維持されず、多くの条件で液糸と液滴列が主に観察されま

した。これらの液系と液滴列は、遠心力とコリオリ力の組み合わせによって翼面上で曲がった軌跡を描きながら、翼先端へ輸送されることが確認されました（図 2）。

翼先端に到達した液体は、表面張力によって一時的に溜まり、遠心力によって液系へと引き伸ばされた後、複数の液滴へ分裂することが明らかになりました。この過程は、翼面上で形成された液体が再び液滴として飛散する機構を理解するうえで重要です。

また、こうした翼面上での液体輸送を説明するため、予測モデルを検討しました。このモデルでは、翼面上の液体に働く遠心力、コリオリ力、翼面との抵抗を考慮し、実験で観察された液系や液滴列の移動方向を定性的に再現しました。これらの結果は、翼面に衝突した液滴がどのような軌跡を経て、翼先端や翼縁へ輸送されるかを予測するための基盤となります。

以上より、本研究は、NEDO 委託事業として、東北大学、海洋研究開発機構、富士電機株式会社が有する可視化技術、数値モデリング技術、地熱タービン開発に関する技術と知見を組み合わせ実現されました。基礎研究から実機開発までをつなぐ産学官連携により、地熱タービン動翼上で生じる複雑な混相流動現象を体系的に理解するための基盤を得ました。

今後の展開

本研究の成果をもとに、ドレン排出機構やシュラウド^(注 3)形状の設計高度化・最適化が進み、湿り損失や翼損傷を抑える地熱タービン開発に貢献することが期待されます。また、得られた可視化データは、数値シミュレーションの検証データとしても利用できます。これまで経験的な設計判断に依存していたタービン内液体挙動の評価を、物理機構に基づく設計へ発展させるための基盤になると考えられます。

こうした成果は、地熱タービンだけでなく、火力発電や原子力発電で用いられる蒸気タービンに加え、高速回転機械、遠心微粒化装置など、回転場で液体を扱う幅広い機械システムの高効率化や信頼性向上への貢献が期待されます。

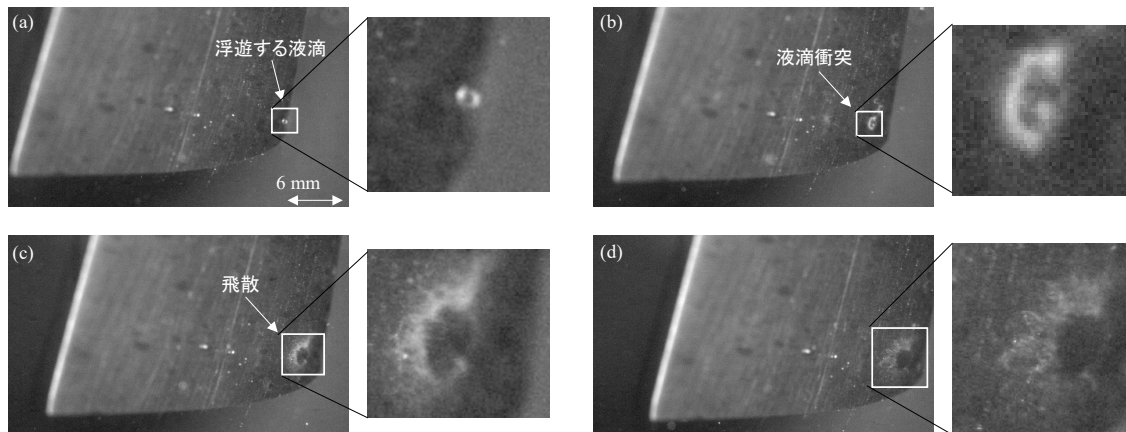


図 1. 高速回転する地熱タービン動翼への液滴衝突・飛散の様子。浮遊する液滴が高速回転する動翼表面に衝突すると、衝突直後に薄い液膜が形成され、その縁から微小な液滴が飛散します。右側には白枠部の拡大画像を示しています。

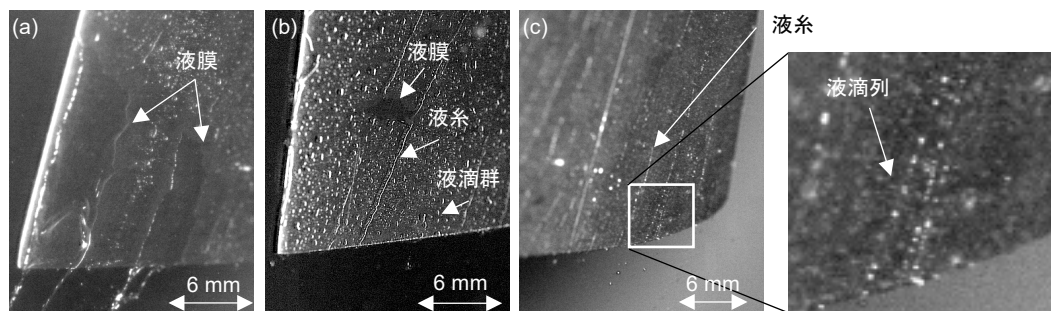


図 2. 高速回転する動翼面で観察された液体形態。動翼面上では、(a) 液膜、(b) 液滴衝突により形成された液膜、液糸、液滴群、(c) 液糸と液滴列が観察されました。翼面に付着した液体は、液糸や液滴列として翼先端へ輸送されます。

【謝辞】

本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）委託事業（JPNP13009）、JSPS 科研費（JP24K17202）の支援を受けて実施されました。

【用語説明】

注 1. 湿り損失：蒸気中の水滴や翼面上の液体によって、タービンが取り出せるエネルギーが低下する現象です。蒸気流が水滴を加速したり、液体が翼面上を移動したりすることで、発電に使えるエネルギーの一部が失われます。

注 2. ドレン：タービン内部で発生し、翼や壁面に付着して集まった液体を指します。湿り損失や翼の損傷をもたらす原因になります。

注 3. シュラウド：タービン動翼の先端側に設けられる構造部材です。翼先端付近の蒸気漏れの低減やドレンの排出に影響する重要な部材です。

【論文情報】

タイトル : Visualization of Droplet Splashing and Droplet Trajectory and Theoretical Prediction of a Droplet Motion on the Geothermal Turbine Bucket

著者 : Ippei Oshima*, Mikito Furuichi, Yuya Nakashima, Masahiro Sato

***責任著者** : 東北大学流体科学研究所 助教 大島逸平

海洋研究開発機構 研究員（クロスアポイントメント）

掲載誌 : Experiments in Fluids

DOI: 10.1007/s00348-026-04273-4

URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00348-026-04273-4>

【問い合わせ先】

（研究に関すること）

東北大学流体科学研究所

助教 大島 逸平

TEL: 022-217-5313

Email: i.oshima@tohoku.ac.jp

（報道に関すること）

東北大学流体科学研究所

国際研究戦略室（広報）

TEL: 022-217-5873

Email: ifs-koho@grp.tohoku.ac.jp