



令和3年7月6日

報道機関 各位

東北大学流体科学研究所

### わずかなエネルギーで熱の移動量を大幅に促進 低エネルギーでの伝熱機器冷却効率向上に期待

#### 【発表のポイント】

- ・ 非常に薄い温度境界層(\*1)を高時空間分解能で高精度に可視化する実験技術を確立。
- ・ 微量の衝突噴流を自然対流場に当てることで、自然対流が持つ伝熱性能を向上できることを実験的に示した。
- ・ 理論的に提唱されていた自然対流の固有周波数の存在を実験的に捉えることに成功した。
- ・ 固有周波数の存在条件を示したことで、空調機器をはじめとする伝熱機器の性能向上が期待できる。

#### 【概要】

カーボンニュートラル社会の実現に向けて、エネルギーの有効利用や最適利用が求められています。特に発電所等における廃熱利用や熱交換器などの高効率利用は急務であり、基盤技術として伝熱促進技術の開発が強く求められています。

東北大学流体科学研究所の小宮敦樹教授の研究グループは、レーザー光を用いたマッハツェンダー型大型干渉計(\*2)を利用して、これまで理論的に提唱されていた自然対流の共鳴現象(自己固有振動)を実験的に捉え、数値シミュレーションの結果から共鳴が起きる条件を明らかにしました。

これにより、火力発電所等の冷却塔に利用されていた大規模自然対流冷却を低エネルギーかつ高効率で伝熱促進させることが可能となり、エネルギーの有効利用につながることで期待されます。

本研究は、2021年6月17日に米国の国際学術誌「Physical Review Fluids」にLetterとしてオンライン掲載されました。

また、本研究は流体科学研究所公募共同研究の支援を受けて実施されました。

## 【詳細な説明】

### 研究の背景

自然対流とは、浮力により生じる駆動力を必要としない流れです。外部からのエネルギーを必要としないことから、火力発電所等における機器冷却や廃熱処理においては、この自然対流を利用した冷却が行われています。しかしながら駆動力を必要としない分、対流が生じる領域を大きくしなければ十分な熱の移動量（伝熱性能）が得られないという欠点があり、その結果、数十 m 規模の機器にのみ適用されてきておりました。この自然対流による冷却技術を、より小さな機器でも応用できないかという研究が、古くは 1970 年代より、伝熱面を拡大させる方法や流れ場を乱流化させるといった方法を主として行われてきました。これらの方法では確かに伝熱は促進されるものの、加熱面の切削・造形や外部からエネルギーを付加しなければならないといった新たな問題が生じます。

一方で、自然対流はある特殊な条件の下では流れの下流域において共鳴現象が生じ、対流が一様な流れ（層流）から規則的に渦が生じる流れになることで、局所的な伝熱促進現象が現れるとの理論的研究が進められております。スイス連邦工科大学チューリッヒ校（ETH）の Y. Zhao らのグループは、数値シミュレーションにおいて数 m 規模の自然対流の共鳴現象を確認しており、共鳴の周波数は高温面と流体温度の温度差のみに依存すると提唱しています。

これらの研究背景から、この共鳴現象を自然発生させるのではなく、小さな領域においても人工的に発生させることができれば、伝熱性能が向上することが予想されます。そこで本研究では、微量の衝突噴流を自然対流場に当てることで、自然対流が持つ伝熱性能を向上させる手法を提案します。

### 研究の概要と意義

東北大学大学院工学研究科機械機能創成専攻の小笠原直人氏（大学院生）、オーストラリア国立大学（Australian National University）の Juan F. Torres 研究員、流体科学研究所の神田雄貴助教、八戸工業高等専門学校の前川琢磨助教および流体科学研究所の小宮敦樹教授らの研究グループは、温度が一様かつ一定に保たれる高さ 1m の高温板を製作し、そこに微量な衝突噴流を当てることで理論的に提唱されていた自然対流の共鳴現象（自己固有振動）を人工的に発生させることに成功しました。また、レーザー光を用いたマッハツェンダー型大型干渉計（図 1）を利用して自然対流温度境界層を可視化することでその現象を実験的に捉え、数値シミュレーションを援用した結果から共鳴が起きる条件を明らかにしました。衝突噴流は自然対流が生じ始める高温面下部付近に当て、衝突噴流の度合いが小さくもなく大きくもない一定の範囲でのみ共鳴現象が生じ、高温面上端付近で規則的な渦を形成していることを確かめています（図 2(a)）。衝突噴流点に着目しますと、温度境界層に揺らぎが生じ（図 2(b)(c)(d)）、その揺

らぎが固有周波数に一致すると高温面上部に向かって成長していくことが明らかとなりました。また、固有周波数が高調波(\*3)となる基本波の揺らぎが衝突噴流点で生じる場合も、高調波成分が成長していき、規則的な渦を形成することも明らかとなりました。この規則的な渦が形成されることで、高温面上部付近において伝熱性能が向上していることが分かります (図3)。

本研究の成果は、自然対流の共鳴効果を人工的に発生させ、自然対流を利用した冷却機器の伝熱性能を維持したままでの小型化や、更なる伝熱性能の向上が可能であることを明らかにしました。これにより火力発電所等の冷却塔に利用されていた大規模自然対流冷却を低エネルギーかつ高効率で伝熱促進させ、エネルギーの有効利用につながることを期待されます。

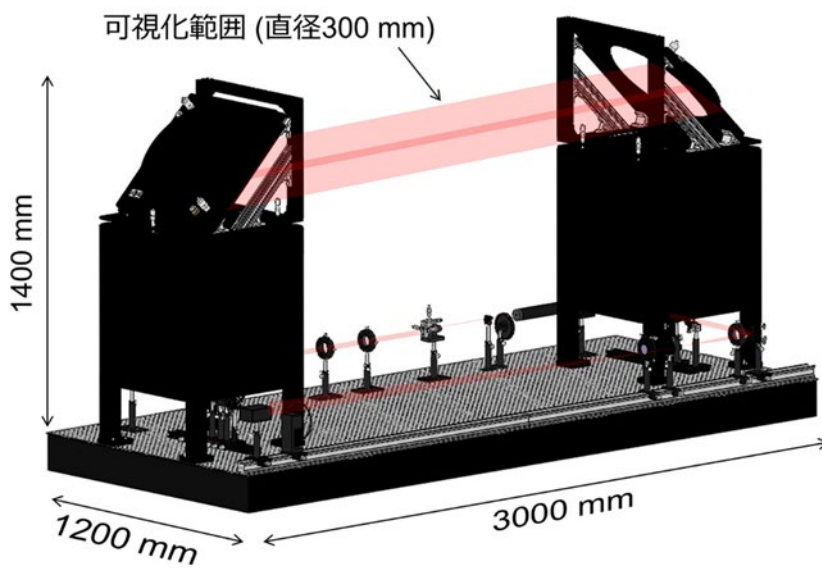


図1：マッハツェンダー型大型干渉計

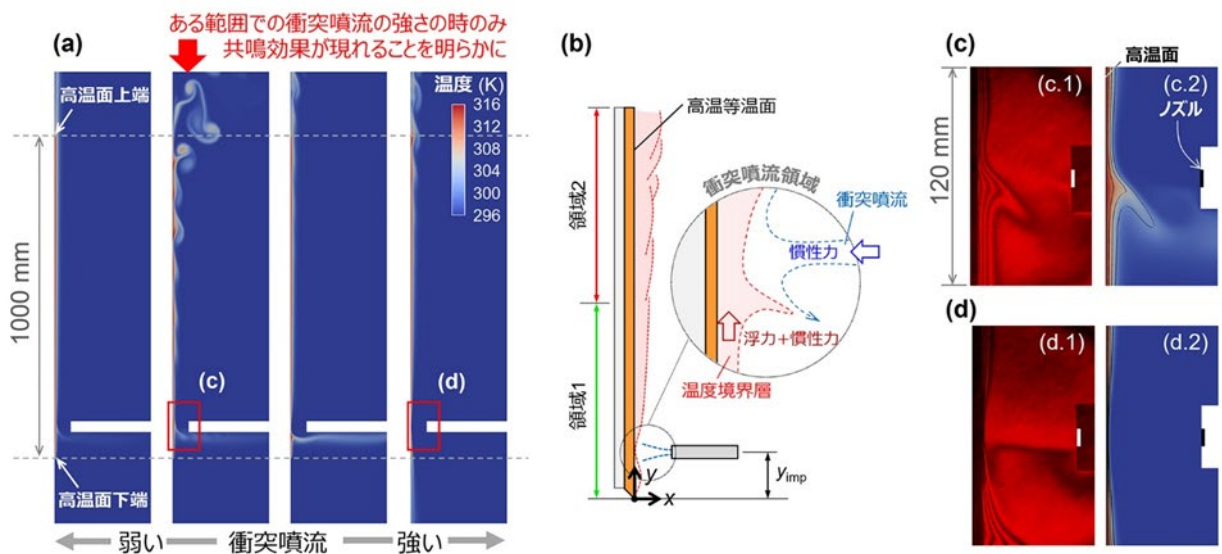


図 2 : 衝突噴流による共鳴効果の発生 : (a) 衝突噴流の強さの違いによる温度境界層の様相の違い, (b) 衝突噴流点における慣性力と浮力の関係, (c) 共鳴効果が生じたときの衝突噴流点の温度境界層, (c. 1) 実験による可視化, (c. 2) 数値可視化, (d) 共鳴効果が生じないときの衝突噴流点の温度境界層, (d. 1) 実験による可視化, (d. 2) 数値可視化

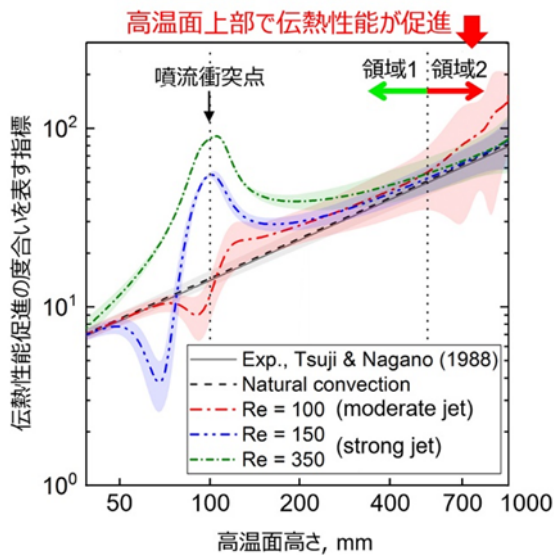


図 3 : 衝突噴流強さの違いによる伝熱性能促進度合いの違い

#### 【用語解説】

1. 温度境界層 : 加熱面もしくは冷却面の近傍に形成される急峻な温度勾配を有する薄い層.
2. マッハツェンダー型大型干渉計 : レーザーの光干渉を利用して, 通常では目で視ることのできない気体や液体の密度差やその勾配を縞模様にして可視化する装置.
3. ある周波数成分をもつ波 (基本波) に対して, その整数倍の周波数成分を持つ波

#### 【論文情報】

題目 : Resonance-driven heat transfer enhancement in a natural convection boundary layer perturbed by a moderate impinging jet

著者 : Naoto Ogasawara, Juan F. Torres, Yuki Kanda, Takuma Kogawa, and Atsuki Komiya

掲載誌 : Physical Review Fluids

DOI : 10.1103/PhysRevFluids.6.L061501

**【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

教授 小宮敦樹

電話 022-217-5876

E-mail komiya@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学流体科学研究所

広報戦略室

電話 022-217-5873

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