

補助事業番号 28-130
補助事業名 平成28年度
間欠ジェットによる高効率温度制御法の開発に関する補助事業
補助事業者名 岩手大学工学部 助教 福江高志

1 研究の概要

本事業は、自然界で見られる間欠泉のような周期的に吹き上がるジェットを応用し、冷却性能と省電力性を両立させた温度制御技術の構築を行います。水や空気を高速で吹き付けるジェットを用いた冷却技術は高い性能を誇ることから、従来から電子機器の冷却や熱交換器、水産品の急速凍結装置など、様々なところで使用されています。しかし近年の熱機器では、環境対応のための省エネ化が強く求められています。例えば、Webサーバーなどが入ったデータセンターでは、消費電力の半分もの電力が冷却に使われ屢次例も散見されます。冷却デバイスの省電力化が大きな課題です。そこで、冷却性能の向上もさることながら、より少ない電力で流体を駆動させ、かつ冷却能力も確保する流体制御技術の構築が火急の課題です。

従来、冷却に用いる流体は、冷却性能の変動を避けるために連続した定常流を供給することが常識でした。これが高い消費電力が必要となる原因の1つです。さて、「連続的に流体を送ること」自体は、本当に冷却能力を得るために必要不可欠なものでしょうか。自然界には間欠泉のような非連続的な事象も多く、これをヒントに、冷却機器の高効率化が実は出来るのではないかと思立ちました。

そこで、冷却部品に衝突させるジェットをあえて間欠泉のように止めたり流したりすることで、時間平均の供給流量を下げながら冷却性能を改善できないかと着想しました。ジェットをあえて間欠させることにより、流体の混合効果や乱れの促進に繋がり、冷却効率の向上に寄与できる可能性があります。さらに、ジェットの停止時は消費電力もなく、時間平均の消費電力も低減できます。本事業を通じ、水や空気をういた間欠ジェットを、実際の電子機器や熱交換器などのアプリケーションに応用し、高効率冷却に寄与するための技術構築を行います。

2 研究の目的と背景

前述したように、電子機器や熱交換器などの熱機器においては、持続可能な社会の構築に向け更なる省エネ化が求められている半面、冷却に使われる電力は増加の一途をたどっています。電気自動車を動かす肝であるインバータは、小型化と高集積化が進んだ結果、放熱量が増大し、ポンプの消費電力を度外視して多量の冷却水を送って冷却しています。この消費電力を度外視した冷却技術からの脱却が熱機器

の省エネに必須の課題です。

そこで、従来の「連続的に流体を流し冷却性能を得る」志向から脱却した新しい空冷・水冷技術の構築を目的とします。特に、冷却部品に衝突させるジェットを間欠的に噴出させ、時間平均の流量を低減しながら冷却性能を向上できる流体制御技術を開発します。間欠ジェットを冷却部品に衝突させた時の流体の流れと冷却性能を詳細に実験および数値解析で分析し、高効率冷却を実現するジェットの制御指針を明らかにします。

3 研究内容

間欠ジェットによる高効率温度制御法の開発に関する研究

(<http://www.mech.iwate-u.ac.jp/~hirose/jka.html>)

まず、作動流体を空気とした場合の間欠ジェットによる冷却性能の検討を実施しました。図1に示す風洞を開発し、実験に供しました。風洞は間欠噴流を生成するためのカム機構を構成するカム、モータ、減速機、ピストン、空気を駆動させるファン、流量を計測するためのベンチュリ管および微差圧計、テストセクションにより構成されます。ファンを上流側のチャンバ壁面に取り付け、一定回転数で回転させ空気を駆動させました。モータによりカムを回転させ、カムの運動によりピストンの先に取り付けられたチャンバ出口の弁を開閉させ、間欠流を誘起しました。空気はチャンバからベンチュリ管を通過しテストセクションに間欠的に供給されます。このときの流量の時間変化を、ベンチュリ管で発生する圧力損失を予め流量計で校正しておき、実験時は圧力損失を高速に計測することで計測しました。

図2には、冷却実験を行ったテストセクションの概略を示しています。加熱面は直径100 mm、厚み2 mmのアルミニウム円板とステンレスヒータの組み合わせとなっており、ヒータにより円板を裏面から加熱し、表面に間欠ジェットを付与して冷却性能を測るようになっています。計10点の熱電対を半径方向に設置し、円板の温度変化を計測することで冷却性能を評価しました。ノズルの径を 3 mm, 5 mm, 10 mm の3条件とし、時間平均流量を変えながら、間欠させた場合と間欠させなかった場合の冷却性能の違いを評価しました。

実際に図3に得られた冷却性能の変化を示します。横軸は流速に関する無次元数であるレイノルズ数（すなわち、流量の多さ）、縦軸には冷却性能を示していません。縦軸は、定常供給時の冷却性能に対する、間欠動作時の冷却性能の比で表示しており、縦軸が1.0より高い場合は、間欠動作時のほうが定常動作時より冷却性

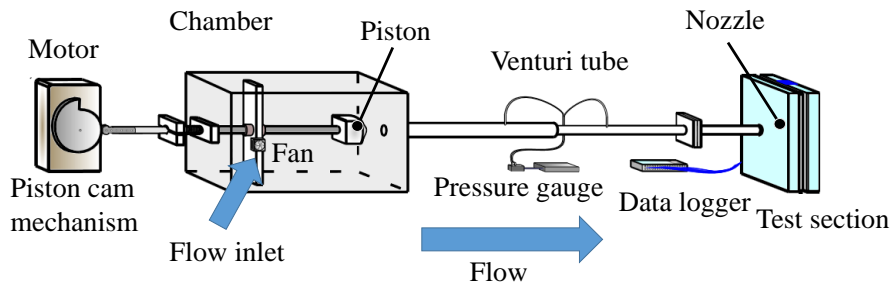


図1 開発した間欠噴流実験用風洞

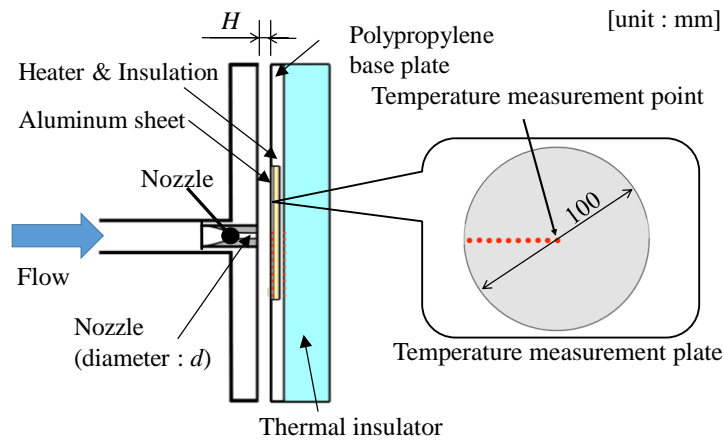


図2 テストセクションの詳細図

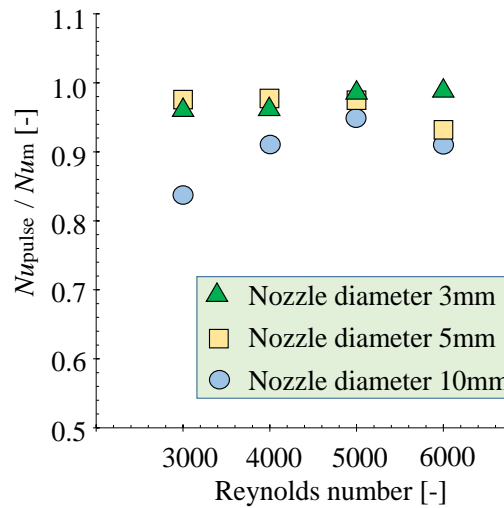


図3 流量（レイノルズ数）およびノズル径に対する、間欠ジェットによる伝熱促進効果の実験結果（定常供給時の冷却性能に対する、間欠動作時の冷却性能の比で表示。縦軸が1.0より高い場合は、間欠動作時のほうが定常動作時より冷却性能が高いことになる。なお、このとき、間欠動作時の時間平均流量は、定常動作時に比べ約15%減少している）

能が高いことを意味しています。なお、このとき、間欠動作時の時間平均流量は、定常動作時に比べ約15%減少しています。結果を見てみると、時間平均流量が15%減少しているにもかかわらず、間欠ジェットの冷却性能はほぼ維持されており、結果として、ジェットの間欠化により、衝突噴流の冷却性能が向上することを明らかに出来ました。

一方、水冷デバイスにおいても、ジェットの間欠化により伝熱促進が実現できないかを、研究室所有の数値シミュレーション技術を使って検討しました。結果、今回検証した範囲内では、水冷においても、供給する時間平均流量の値を問わず、間欠化させたほうが定常流より10%程度、伝熱性能が向上することを明らかにしました。この改善率は、間欠化させる周期と間欠させる流量の時間履歴を最適化することで、より高くなる可能性も明らかに出来ました。さらに、図4に示すれの可視化により、ジェットの間欠化させることによる伝熱促進のメカニズムを明らかにすることもできました。すなわち、間欠噴流の減速期間において、定常に水や空気を流している場合には絶対発生しない、冷却面から高さ方向に発生する渦によって、冷却面近傍の温められた流体が混合されることで、伝熱促進が起こっていることがわかりました。

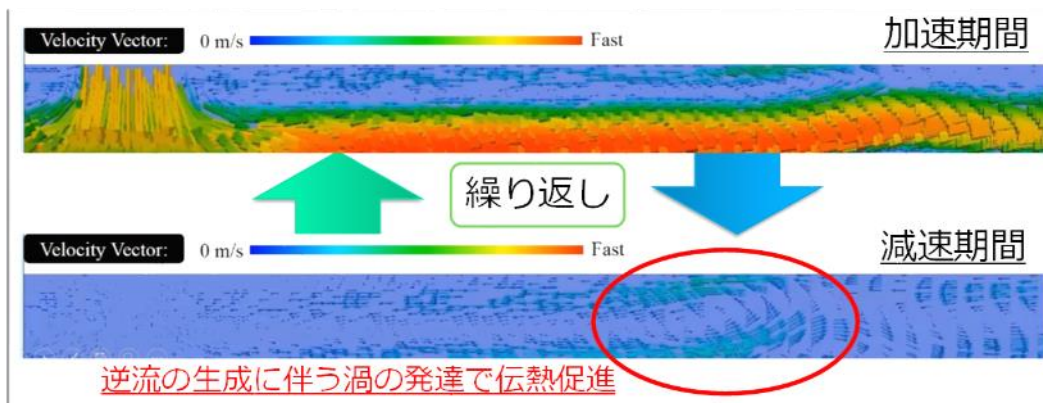


図4 シミュレーションで得られたジェットの間欠化による衝突噴流のメカニズム。減速期間において流路全体を攪拌する逆流渦が発生し、これにより伝熱促進がなされる。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

とりわけ電子機器の冷却技術においては、データセンタの消費電力の約半数が冷却という本来の計算用途と異なる目的で使われている原状があり、消費電力の低減に向けて効果的な冷却技術の革新は極めて重要になっています。それ以外の

分野でも、例えば発電機用タービン、冷凍・空調など、少しでも高効率な熱交換を実現して省エネを図らなければならないアプリケーションにおいて根強いニーズがあります。本事業の成果をきっかけに、ファンやポンプを定常化させて動作させてきたこれまでの技術設計思想を少しアレンジし、省エネに繋がる総合的な冷却システムの開発が実現できれば、冷却技術のイノベーションにも繋がっていくのではないかと期待できます。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

わたしの従来からの専門は「電子機器のサーマルマネジメント」であり、本研究も電子機器における新たな温度制御技術の開発を目的とした一連の研究の中に位置づけられるものです。一方で、近年、バイオミメティクス（生体模倣工学）に基づく新技術の開発が着目を浴びており、わたしたちの研究室でも強い興味をもって、2014年から研究を進めていました。今回、1つの自然界の現象をヒントに、間欠ジェットという新しい技術シーズを得られたことは、自身の研究暦の中でもひとつのターニングポイントになったのではないかと感じています。すなわち、電子機器の冷却という実際のものづくりにおける課題と、バイオミメティクスという視点が融合して、ひとつの次世代の冷却技術の種となるかもしれない事象を見出したことは極めて貴重な経験でした。今後も本研究を継続して、実際の冷却機器への応用が実現できるように努力していきたいと考えております。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- ① 古澤大輝, 福江高志, 白川英観, 廣瀬宏一, 夏坂颯禎, “間欠衝突噴流による加熱面の伝熱促進に向けた基礎的研究, 日本機械学会熱工学コンファレンス 2016, A213.
- ② Fukue, T., Shirakawa, H., Hirose, K., Natsusaka, H. and Furusawa, T., “Possibility of Enhancement of Cooling Performance on Heating Surface by using Intermittent Jet Flow”, *Proc. IEEE CPMT Symposium Japan 2016*.
- ③ 福江高志, 白川英観, 廣瀬宏一, 古澤大輝, 平塚わかな, “二次元間欠衝突噴流の熱伝達シミュレーション”, 日本機械学会東北支部第52期総会・講演会 (2017), 193.
- ④ Furusawa, T., Fukue, T., Shirakawa, H. and Hirose, K., “Improvement of Cooling Performance of Impinging Air by Intermittent Flow Control – relationship between nozzle diameter and cooling performance”, *Proc. ICEP2017*, TD1-1.

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

★★★★★★研究紹介リーフレット

(<http://www.mech.iwate-u.ac.jp/%7Ehirose/image/28-130fukue.pdf>)

The leaflet is titled "間欠ジェットによる高効率温度制御法の開発" (Development of an efficient temperature control method using intermittent jets) and is from the "Thermal Eng. Lab." at Iwate University. It details the experimental setup, objectives, and results of the research.

Keywords: 間欠ジェット, 伝熱促進, 衝突噴流, 局所強制空冷

目的: 自然界で見られる間欠風のような、断続的に吹き上げるジェットを応用し、冷却性能と省電力性を両立させた温度制御技術の開発を行います。

平成28年度の成果:

- 空冷・水冷での間欠噴流の有効性確認:** A schematic diagram shows the experimental setup with a nozzle, chamber, piston, and heat sink. The flow direction is indicated.
- 定常流と比較した間欠時の伝熱効率:** A graph plots the Nusselt number (Nu) against the Reynolds number (Re). The y-axis ranges from 0.9 to 1.2, and the x-axis ranges from 3000 to 6000. Data points for different nozzle diameters (D) are shown: 0.1 mm (red), 0.2 mm (orange), 0.3 mm (yellow), 0.5 mm (green), 1.0 mm (blue), and 2.0 mm (purple). The graph shows that intermittent flow significantly enhances the Nusselt number compared to steady flow, especially for smaller nozzle diameters.
- 伝熱促進のメカニズム:** A diagram illustrates the flow reversal mechanism. It shows the flow reversing direction, creating a boundary layer that enhances heat transfer. Key points include:
 - ポンプを止めることによるノズル周りの急激な流れ変化
 - ノズルに向けて逆流が発生
 - 逆流で生成される渦が流路全体を保持する
 - ポンプ停止状態でも伝熱促進

本研究は公益財団法人JKA平成28年度機械工業振興補助事業 研究補助 若手研究 (オートレース) の支援で実施しました。記して謝意を表します。

【成果の発表状況 (平成28年度発表)】

- ▷ 公衆本報, 雑誌論文, 自由学術, 国際会議, 国際学術, "間欠噴流噴流による加熱面の伝熱促進に向けた基礎的研究", 日本機械学会熱工学コンファレンス 2016, A213.
- ▷ Fukuh, T., Shirakawa, H., Hirose, K., Natsusaka, H. and Furusawa, T., "Possibility of Enhancement of Cooling Performance on Heating Surface by using Intermittent Jet Flow", Proc. IEEE CPMT Symposium Japan 2016.
- ▷ 福江高志, 自由学術, 国際会議, 自由学術, 国際会議, "二次元的間欠噴流噴流の伝熱促進効果に関する研究", 日本機械学会熱工学コンファレンス 2017, 193.
- ▷ Furusawa, T., Fukuh, T., Shirakawa, H. and Hirose, K., "Improvement of Cooling Performance of Impinging Air by Intermittent Flow Control - relationship between nozzle diameter and cooling performance", Proc. ICEP2017, TD1-1.

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 岩手大学理工学部システム創成工学科機械科学コース

(イワテダイガクリコウガクブシステムソウセイコウガクカキカイカガクコース)

住所: 〒020-8551

岩手県盛岡市上田4-3-5

申請者: 助教 福江高志 (ジョキョウ フクエタカシ)

担当部署: 理工学部システム創成工学科機械科学コース (リコウガクブシステムソウセイコウガクカキカイカガクコース)

E-mail: fukue@iwate-u.ac.jp

URL: <http://www.mech.iwate-u.ac.jp/~hirose/>