

別紙様式第13号（論文内容の要旨及び論文審査の結果の要旨）

|          |  |
|----------|--|
| 氏名（本籍）   | 加藤 佳久  |
| 学位の種類    | 博士（工学）   |
| 学位授与番号   | 甲第481号   |
| 学位授与日付   | 平成27年9月30日   |
| 専攻       | 生産開発システム工学専攻   |
| 学位論文題目   | 長方形噴流の制御に関する実験的研究<br>(Experimental study on flow control of a rectangular jet) |
| 学位論文審査委員 | (主査) 教授 宮坂 武志<br>(副査) 教授 高橋 周平                      教授 今尾 茂樹                   |

### 論文内容の要旨

噴流は、混合や拡散、加熱や冷却、微粒化などに利用されており、その流れの制御は機器の効率及び性能を向上させる上で極めて重要である。噴流現象は、せん断層に発生する大規模渦構造が支配的な役割をしていることから、このせん断層に外部から特定の擾乱を付加すると発生する渦の特性が変わり、下流の流動特性が大きく異なったものとなることが知られている。本研究では、長方形噴流の拡がりを制御する目的で、DBD プラズマアクチュエータによる能動制御とフラッピングノズルによる受動制御のそれぞれを適用した場合の噴流特性を実験的に明らかにした。

DBD プラズマアクチュエータは擾乱をせん断層に局所的に加えることができ、わずかな入力で効果的に流れを制御できる可能性を秘めている。本研究では、まずアクチュエータの駆動条件によって噴流の拡がりかどのように変わるかを長時間露光撮影画像の輝度分布から明らかにした。次に、高速度カメラによる流れの可視化観察と熱線流速計による速度場測定から、噴流幅が大きく変わるメカニズムを調べた。その結果、非励起時の不安定波動の周波数より低い周波数でアクチュエータを駆動すると噴流はより拡がり、特に不安定波動の周波数の整数分の1の周波数で駆動すると渦の生成と成長が促進されることを見出した。噴流出口ノズルに設置した2つのアクチュエータを逆位相で励起した場合には、生成した渦が下流で千鳥状に配置し、渦相互の誘起速度によって両渦の間の流体が噴流軸から離れる方向へと輸送され、噴流は3倍近くまで顕著に拡がる。逆に、不安定波動の周波数よりも高い変調周波数でアクチュエータを駆動すると噴流の拡がりは抑制される。これは、高周波数で付加された擾乱が大規模渦へと成長することを妨げることとなって、周囲流体の巻き込みが少なくなった結果である。このとき、噴流幅は非駆動時の約0.8倍程度となった。

一方、噴流速度が大きな場合については、スリットと矩形筒のみで構成された単純な構造のフラッピングノズルを出口に取り付けることによって噴流を拡散させることが可能なことを示した。フラッピングノズルは外部からのエネルギー供給を必要とせず、耐久性があり、噴流を2次的に拡げることができるノズルである。本研究では、単純構造のノズルで安定したフラッピング噴流を発生する条件を調べ、この噴流の流動特性及び矩形筒内部の流れを熱線流速計とPIV計測により明らかにした。その結果、周期性の高いフラッピングの発生条件は、矩形筒幅とスリット幅との比が1.6程度、矩形筒の高さと長さの比が0.5前後の場合であること、またフラッピングの発生が筒内に生じる渦と筒外からの流れ込みに起因していることを見出した。以上より、能動的にまたは受動的に長方形噴流の拡がりを制御することが可能であることを示し、それぞれの流動メカニズムを明らかにした。

### 論文審査結果の要旨

本論文は、能動制御または受動制御により噴流の拡がりを制御しようとするものである。噴流は身近なエアコンや噴水をはじめ工業的にも幅広く利用されており、用途に応じた噴流制御が望まれる故にその流動制御に関する研究も数多い。特に噴流外縁のせん断層に規則的に生起する大規模渦構造が噴流の

流動特性を決める大きな要因となっていることから、この大規模渦構造を何らかの方法で操作して噴流特性を変更する試みが行われている。本論文で用いたプラズマアクチュエータは近年注目されているデバイスで、下流の流れを決定する引き金となる誘起流を従来までの装置と比べて局所的に且つ直接的に注入できるものである。さらに、注入モードとその周波数の変更も容易で、装置は大変薄く消費エネルギーも少ないなどの特徴がある。このアクチュエータの特徴を活かした結果、アクチュエータの駆動周波数に応じて噴流が大きく広がる場合から逆に広がりが抑制される場合まで制御可能であることを明らかにした。特に高い駆動周波数で噴流の広がりが抑制される結果は大変興味深い現象であり、これまでの多くの研究で実現できなかった点である。また、噴流速度が大きな場合に適用可能なフラッピングノズルについては、これまでのノズルと比べて著しく単純な構造でもフラッピングを発生可能であることを示し、その発生メカニズムを明らかにした。論文提出者は、これらの結果を得るために、アクチュエータの試作から駆動方法（駆動電圧、駆動周波数、デューティ比）の検討、700以上の条件下での計測、1500以上のフラッピングノズル形状での計測を実施した。得られた知見は本研究において初めて明らかにされたもので、噴流制御に大いに役立つと思われる。このように、本論文は有用な知見を数多く見出しており、新規性、有用性の点で優れていると評価できることから、学位審査委員会は、審査の結果、この論文を学位論文に値するもの判定した。

### 最終試験結果の要旨

学位審査委員会は、提出論文の基礎となる発表論文（査読付き論文2編）の内容を確認し、平成27年8月10日に開催された学位論文公聴会における論文提出者との質疑応答と口頭試問などに基づいて審査を行い、最終試験に合格と判定した。

---

発表論文（論文名、著者、掲載誌名、巻号、ページ）

発表論文（学位論文に直接関係するもの）

1. フラッピングする長方形噴流の流動特性, 加藤佳久, 金森誠, 今尾茂樹, 菊地聡, 小里泰章, 日本機械学会論文集, Vol. 80, No.810 (2014), [DOI: 10.1299/transjsme.2014fe0027] (14 ページ)
2. DBD プラズマアクチュエータを用いた長方形噴流の制御, 加藤佳久, 伊藤宏太, 今尾茂樹, 菊地聡, 小里泰章, 日本機械学会論文集, Vol. 81, No. 825 (2015), [DOI: 10.1299/transjsme.14-00695] (15 ページ)

参考論文

1. Acoustic resonance generated by a submerged water jet, Shigeki IMAO, Satoshi KIKUCHI, Yasuaki KOZATO, Yoshihisa KATO, Tsuyoshi NISHIMOTO, Katsuharu WAKAI, and Kikuo SHIMOKAWA, Proc. 3rd Int. Conf. on Jets, Wakes and Separated Flows (ICJWSF2010), Cincinnati, USA (2010), 6 pages.
2. Characteristics of a self-excited flapping jet, Yoshihisa KATO, Shigeki IMAO, Satoshi KIKUCHI and Yasuaki KOZATO, Proc. 8th KSME-JSME Thermal and Fluids Eng. Conf. (TFEC8), Inchon, Korea (2012), 4 pages.
3. Characteristics of a flapping slender jet, Yoshihisa KATO, Shigeki IMAO, Satoshi KIKUCHI, and Yasuaki KOZATO, Proc. 4th Int. Conf. on Jets, Wakes and Separated Flows (ICJWSF 2013), Nagoya, Japan (2013), 6 pages.
4. Spread control of a rectangular jet by DBD plasma actuator, Yasuaki KOZATO, Satoshi KIKUCHI, Shigeki IMAO, Yoshihisa KATO, Nazri MD DAUD, and Kota ITOH, Proc. 16th Int. Symposium on Flow Visualization (ISFV16), Okinawa, Japan (2014), 10 pages.
5. Flow control of a rectangular jet by DBD plasma actuators, Yasuaki KOZATO, Satoshi KIKUCHI, Shigeki IMAO, Yoshihisa KATO, and Katsumi OKAYAMA, Proc. 5th Int. Conf. on Jets, Wakes and Separated Flows (ICJWSF2015), Stockholm, Sweden (2015), 9 pages.