

令和 4 年 6 月 24 日現在

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04198

研究課題名(和文)革新的な高速流れ制御用高周波運動量付加装置の作動状態解明と性能評価

研究課題名(英文) Study on the performance of high-frequency actuator for controlling high-speed flows

研究代表者

半田 太郎 (Taro, Handa)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30284566

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では高速流中の能動制御を実現できる高周波運動量付加デバイスを開発するとともに、デバイスの性能を明らかにすることを目的として実験を行った。実験では、本デバイスから発生する噴流が数十kHzでフラッピング運動することを確認し、デバイス内の流量を変えずにフラッピング周波数を調節できることが明らかになった。本デバイスを超音速流中で作動させ、シャドウグラフ画像流速測定法により境界層内の流速分布を計測したところ、本デバイスにより壁面近傍の流速を高くできることが明らかになった。また、本デバイスを2つに並べ、互いに逆位相でフラッピング運動する2つの噴流を作り出すことに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したデバイスは航空機の翼および機体周りの流れや超音速旅客機エンジン空気取入口の流れの能動制御に適用できる。本デバイスを用いた能動制御が可能になれば、定常運航時には空力抵抗やエネルギーの損失を招く既存の受動制御用デバイスを使うことなく、必要なときだけ流れを制御できるようになる。本デバイスを用いることで燃料の使用量が少ない高効率の航空機が実現でき、航空機の環境負荷低減につながると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, the device for creating the jet flapping at several tens of kHz is proposed and developed. The performance of the device is evaluated experimentally. It is observed in the experiments that the jet created from the device successfully flaps at several tens of kHz. It is found from the experimental results that the flapping frequency can be controlled by changing the length of the cavity (resonator) in the device keeping the mass flow rate in it constant. The device is applied to control of the supersonic boundary-layer flow. The results reveal that the device is effective for momentum transfer between the primary flow and the flow close to the wall. The device is further developed so as to create a pair of anti-phase-synchronized flapping jets and the synchronization is observed in the experiments.

研究分野：流体工学

キーワード：流体制御 超音速流れ 遷音速流れ 境界層制御 フラッピング噴流 流体振動子

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、運動量を付加して流れを能動的に制御する研究が盛んに行われており、能動制御用の運動量付加デバイスとして、シンセティックジェット、ピエゾアクチュエータ、プラズマアクチュエータ、流体振動子などが提案されている。しかしながら、航空機の機体周りやエンジン内部に現れる遷音速・超音速流れを高効率でロバストに制御できるデバイスがないのが現状である。航空機の高効率化・高性能化には遷音速・超音速流れを能動制御できるデバイスが必須であり、そのようなデバイスの開発が急務となっている。

2. 研究の目的

高速流れを能動制御する場合、「効率」の観点から考えると、運動量を流れが応答しやすい高周波で付加できるデバイスが理想である。また、「ロバスト性」の観点から考えると、高速流れが応答するのに十分な大きさの運動量を作り出せる装置が必要である。これらの条件を満たす装置として、数十 kHz でフラッピング運動する噴流を発生するデバイスの開発とその性能を明らかにすることを目的として研究を行う。

3. 研究の方法

上記目的を達成するために、流路内に共振室であるキャビティを設置した薄型かつ小型の流路を有するデバイスを作成した(本デバイスはキャビティ長さを変えられる機構となっている)。このデバイスから発生した幅 1mm 程度の噴流をシュリーレン法により可視化するとともに、キャビティ内部の圧力振動を高速応答型の圧力センサで測定した。さらに本デバイスを 2 つ並列に並べ、それぞれのデバイスのキャビティをスロットで接続し、可視化実験と圧力測定を行った。本デバイスの超音速流中での性能を評価するために、本デバイスを超音速流中で動作させ、境界層内の流速分布をシャドウグラフ画像流速測定法により測定した。

4. 研究成果

本研究の成果は以下の通りである。

(1) 本デバイスから発生する噴流が数十 kHz でフラッピング運動することがシュリーレン法による可視化結果から明らかになった(図 1)。

(2) 本デバイスはその流路を構成するキャビティの長さを変えられる機構になっているが、キャビティ長さを変えることでデバイスから発生する噴流のフラッピング周波数が噴流の流量を一定に保ちつつ調節可能である。

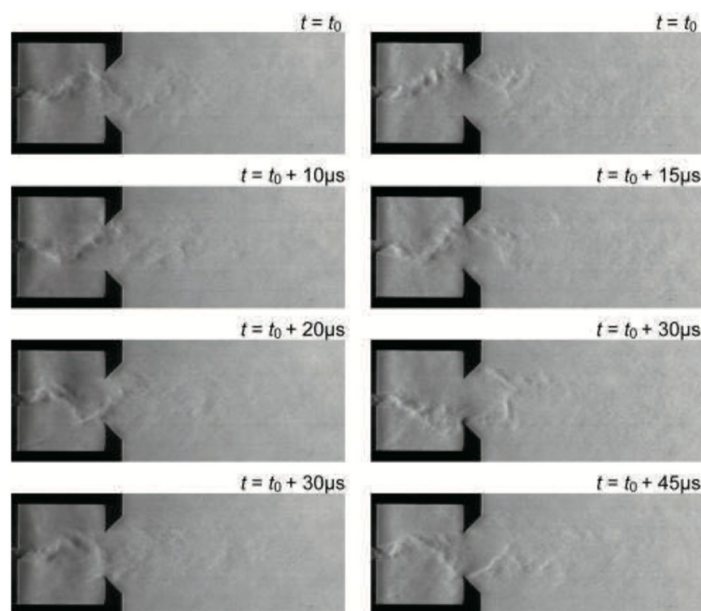


図 1 デバイスから発生する噴流の時間連続シュリーレン写真
(左：圧力比 3.0, 右：圧力比 6.0)

(3) 本デバイスを超音速流中で動作させたところ、最も高いフラッピング周波数における制御時の壁面近傍の流れが、非制御時に比べて速くなった(図2)。すなわち、本デバイスにおいて高周波に設定することで超音速境界層を効果的に制御できることが明らかになった。

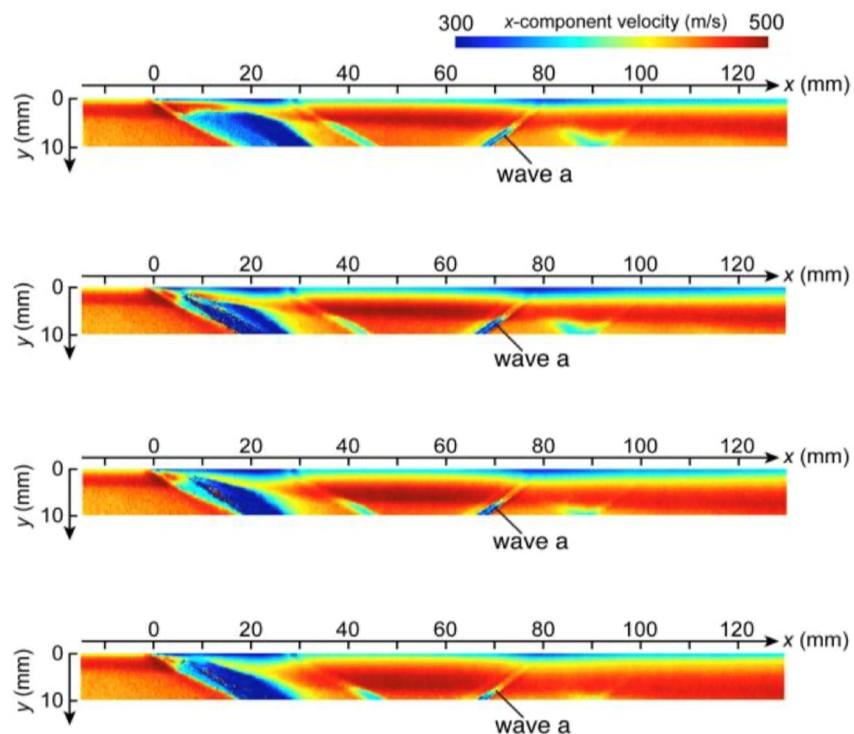


図2 超音速境界層流れの速度測定結果

(上から制御なし、スロット噴流、17kHzフラッピング噴流、30kHzフラッピング噴流)

(4) キャビティ間をスロットで接続したデバイスにおいて、発生した2つの噴流を可視化したところ、互いに逆位相でフラッピング運動していることを確認した(図3)。すなわち、噴流のフラッピング運動の同期に成功した。

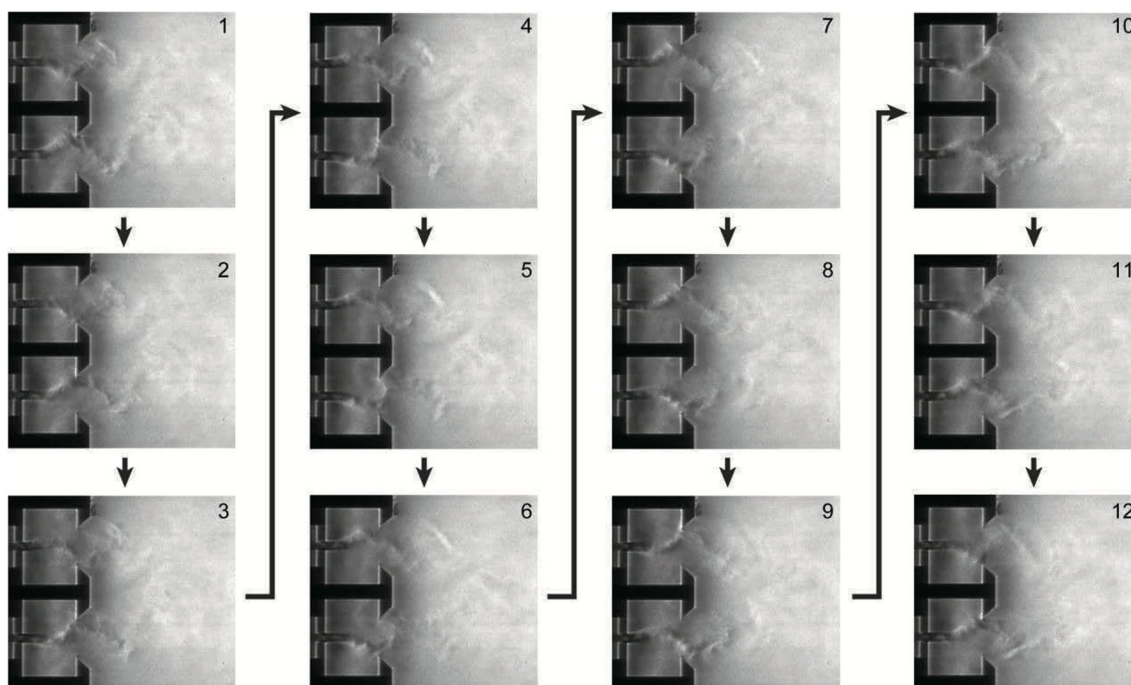


図3 フラッピング噴流の逆位相同期(画像間の時間間隔5 μ s)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tsuyoshi Shoji, Satoshi Yuura, Taro Handa	4. 巻 341
2. 論文標題 Device for creating a pair of anti-phase-synchronized high-frequency flapping jets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators: A. Physical	6. 最初と最後の頁 113595
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.sna.2022.113595	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Masayuki Anyoji, Fujio Akagi, Yu Matsuda, Yasuhiro Egami, Taro Handa	4. 巻 188
2. 論文標題 Mechanism of supersonic mixing enhancement by a wall-mounted three-dimensional cavity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acta Astronautica	6. 最初と最後の頁 491-504
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.actaastro.2021.08.019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Taro Handa	4. 巻 61
2. 論文標題 Study on the collapse length of compressible rectangular microjets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Experiments in Fluids	6. 最初と最後の頁 196
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00348-020-03030-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Taro Handa, Ikuhiro Fujimura	4. 巻 300
2. 論文標題 Fluidic oscillator actuated by a cavity at high frequencies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 111676
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.sna.2019.111676	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Taro Handa, Keiichiro Kitahara, Yu Matsuda, Yasuhiro Egami	4. 巻 23
2. 論文標題 Peculiarities of low Reynolds number supersonic flows in long microchannel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microfluidics and Nanofluidics	6. 最初と最後の頁 88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10404-019-2256-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Taro Handa, Shunsuke Koike, Kohei Imabayashi	4. 巻 2
2. 論文標題 Estimation of the Particle Drag Coefficients for Compressible and Rarefied Flows Using PIV and MTV Data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 31st International Symposium on Shock Waves	6. 最初と最後の頁 1149-1154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-91017-8_143	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 青木 壘, 湯浦聡史, 半田太郎
2. 発表標題 高周波フラッピング噴流を用いた斜め衝撃波/境界層干渉流れの能動制御に関する研究
3. 学会等名 2021年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植松 諒, 半田太郎
2. 発表標題 感温塗料を用いた高周波フラッピング噴流による伝熱促進技術の評価
3. 学会等名 第17回学際領域における分子イメージングフォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 湯浦聡史, 藤村育大, 半田太郎
2. 発表標題 数十kHzでフラッピング運動する噴流のモード分解解析
3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoshi Yuura, Taro Handa
2. 発表標題 Experimental study on pressure-ratio dependence of high-frequency flapping jets
3. 学会等名 17th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsuyoshi Shoji, Taro Handa
2. 発表標題 High-speed schlieren visualization of two jets flapping in anti-phase at high frequency
3. 学会等名 17th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 半田太郎, 藤村育大
2. 発表標題 数十kHzフラッピング噴流発生薄型デバイスの基礎特性
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Aoki , I. Fujimura, T. Handa, C. Lee, Y. Ozawa, Y. Saito, T. Nonomura, K. Asai
2. 発表標題 Experimental Study on the Effect of High-Frequency Flapping Jets on Supersonic Boundary Layer
3. 学会等名 Seventeenth International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤村育大, 瓜田明, 半田太郎
2. 発表標題 キャピティ駆動型高周波スウィーピングジェットの高速度撮影
3. 学会等名 高速度撮影とフォトニクスに関する総合シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shota Miyazaki, Akira Urita, Taro Handa
2. 発表標題 Application of Small Supersonic Oscillatory- Jet to Supersonic Mixing Enhancement
3. 学会等名 16th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ikuhiro Fujimura, Akira Urita, Taro Handa
2. 発表標題 Experimental Investigation of Cavity- Actuated Sweeping Jet -Effect of Channel Geometry-
3. 学会等名 16th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun Ishihara, Akira Urita, Taro Handa
2. 発表標題 Experimental Study on Heating Characteristics of a Hartmann-Sprenger Tube
3. 学会等名 16th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久田凌希, 石原純, 大石泰丈, 半田太郎, 小池俊輔
2. 発表標題 遷音速・超音速風洞における速度計測を目的としたフェムト秒レーザーで励起した窒素の発光特性に関する研究
3. 学会等名 第51回流体力学講演会(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 半田太郎
2. 発表標題 蛍光・燐光を用いた高速流れの計測と可視化
3. 学会等名 第17回日本流体力学会中部支部講演会(招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------