

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04166

研究課題名(和文) 軸スイッチング現象が生じない長方形噴流ノズルの開発

研究課題名(英文) Development of Rectangular Nozzle without Axis-Switching Phenomenon

研究代表者

木綿 隆弘 (Kiwata, Takahiro)

金沢大学・機械工学系・教授

研究者番号：40225107

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)：長方形噴流は様々な機器に用いられているが、軸スイッチング現象のために、噴流断面形状は長軸と短軸が入れ替わり三次元的に変形する。この原因は、ノズル角部から発生する渦糸の非一様曲率に伴う自己誘起速度の不均一性に起因する。本研究では、「長方形ノズルに出口に設置したタブ、ノズル内部に設置した偏向板、ノズル四隅に設置したテーパ短管を用いた受動的制御による方法」と「長方形ノズル出口内壁に設置したプラズマアクチュエータを用いた能動的制御による方法」で長方形ノズルの各辺、角部付近から発生する渦をコントロールすることで、下流域まで長方形噴流の形状が維持されるアスペクト比2の長方形ノズルを開発することが出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、長方形噴流に付加するデバイスによって、軸のスイッチング現象が起これないため、例えば、エアコンなど冷却・加熱面への噴流において、無駄に空気量を増やすことなく予想通りの噴射領域を確保できることになり、省エネルギーになる。さらに、ノズルに出口に設置したタブ、ノズル内部に設置した偏向板、ノズル四隅に設置したテーパ短管を用いた受動的方法は外部からのエネルギーが必要ないため、既存のノズルに容易に設置可能である。また、長方形ノズル内壁に設置したプラズマアクチュエータを用いた能動的方法は、電源さえあれば、従来のスピーカなどによる強制加振制御方法よりも容易に噴流の拡散制御が可能と成り得る。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the present study is to establish passive and active flow control methods for a 2:1 rectangular jet by using the serrated tabs or the dielectric barrier discharge plasma actuators installed at the exit of the nozzle, the deflectors or tapered triangular tubes installed inside the nozzle. These additional devices are able to change the velocity distribution of air flow issuing from a rectangular nozzle. The Reynolds number of the jet was 9,000. The effect of two deflectors on the three-dimensional vortical structures and the flow characteristics of the rectangular jet was investigated using the hot-wire anemometer and the three-dimensional numerical simulation by Large-Eddy Simulation. Results show that the spread and the deformation of a rectangular jet is significantly affected by the serrated tabs or the dielectric barrier discharge plasma actuators installed at the exit of the nozzle, the deflectors or tapered triangular tubes installed inside the nozzle.

研究分野：流体工学

キーワード：長方形噴流 テーパ短管 受動的制御 プラズマアクチュエータ 能動的制御 流体計測 数値流体解析 渦構造

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

非円形噴流の1つである長方形噴流は、加熱・冷却工程や空調機器等、多くの産業分野において利用されている。この噴流は、軸スイッチングと呼ばれる噴流断面形状の短軸と長軸が入れ替わる現象が生じることにより、噴流の拡散や周囲流体との混合を促進させる。しかしながら、逆に初期の噴流形状を下流域まで維持した拡散しないノズルの方が有用な機器もあることから、そのような長方形ノズルの開発を試みる。

2. 研究の目的

本研究では、長方形ノズル出口に鋸歯状タブ、長方形ノズル内部に偏向板または、テーパ三角形管を付加した場合における噴流の成長・発達及び三次元渦構造を熱線プローブで計測することで、長方形噴流の受動的制御方法を探る。さらに、LESによる数値流体解析も行った。また、誘電体バリア放電プラズマアクチュエータ(Dielectric Barrier Discharge-Plasma Actuator, DBD-PA, 以下、PA と呼称する)を長方形ノズルの短辺または長辺に設置して主流よりも遅い誘起流を連続的に付加することで、その設置位置が長方形噴流の流れ特性に及ぼす影響を調べ、長方形噴流の能動的制御方法を探ることを目的としている。

3. 研究の方法

3-1 実験装置 図1に供試ノズルの概略図を示す。軸流送風機からの空気は、整流部、縮流部を通過後、幅 $B = 60$ mm、高さ $H = 30$ mm のアスペクト比2の長方形ノズルに供給される。座標の原点をノズル出口中心とし、流れ方向を x 、ノズル高さ方向を y 、ノズルスパン長さ方向を z とし、各方向の速度を u, v, w とする。図1(a)が制御装置を付加していない場合、図1(b)が鋸歯状タブ、図1(c)が偏向板、図1(d)がテーパ三角形管を付加した場合のノズルである。鋸歯状タブは底辺と高さがそれぞれ3 mm、頂点の間隔が6 mm、厚さ1 mm である。また、偏向板およびテーパ三角形管の角度 α は -6° および $+6^\circ$ であり、長さ $L = 2H$ とした。なお、制御装置は、他の形状や条件で多くの実験を行ったが、ページ制限のため、受動的な制御方法に関しては代表的な3種類を比較して示す。また、PAを設置した実験に関しては、図1(e)がPAをノズル短辺に設置した場合、図1(f)がPAをノズル長辺に設置した場合を示す。

3-2 実験方法 実験はレイノルズ数が $Re (= U_0 H / \nu, \nu: \text{空気動粘性係数}) = 9.0 \times 10^3$ なるように、ノズル出口での断面平均値速度を $U_0 \approx 4.5$ m/s に調整して行った。速度測定にはX形熱線プローブ及び、コンピュータで自動制御されたトラバース装置を使用して、 $x = 40H$ 下流域まで測定した。熱線流速計の出力信号は、サンプリング周波数10 kHz で 5×10^4 点のデータをAD変換して記録した後、時間平均速度、乱れ強さ等を計算した。また、速度勾配が大きい位置でX形熱線プローブの v, w 測定時に生じる誤差を無くすため、鏡像のX形熱線プローブで同じ速度場を計測して各速度成分の平均値を求め、渦度等を算出した。また、流れの可視化および粒子画像流速測定(PIV)は、フォグ発生器からのオイルミスト(比重1.05, 平均粒子径約 $1 \mu\text{m}$)の濃度を適宜変えて送風機から吸い込ませて実施した。 $x-y$ 断面($z/H = 0$)にNd:YAGレーザー(Dantec Dynamics社, Dual Power 200-15, 200mJ)を照射し、CCDカメラ(Dantec Dynamics社, FlowSenseEO4M-32, 画素数2448 pixel \times 2050 pixel)を用いて連続2枚の画像を8Hzで241組(30秒間)取得した。また、流れ場の瞬間及び時間平均の速度ベクトルの算出にはDANTEC Dynamic Studio Ver.6.9を使用した。

3-3 数値流体解析手法 数値流体解析(CFD)において噴流の流れ場を三次元、非定常、非圧縮、非粘性流れと仮定した。支配方程式は、連続の式とフィルター操作されたNavier-Stokes方程式であり、CFD解析には、汎用熱流体解析ソフトのANSYS Fluent 17.2を使用した。離散化手法として有限体積法、Navier-stokes方程式の時間項は二次精度陰解法、対流項は有界中心差分法、粘性項は二次精度中心差分法で離散化した。圧力と速度のカップリングにはPISO法を使用した。LES解析におけるサブグリッドスケールモデルには、Dynamic Smagorinsky-Lillyモデルを使用した。

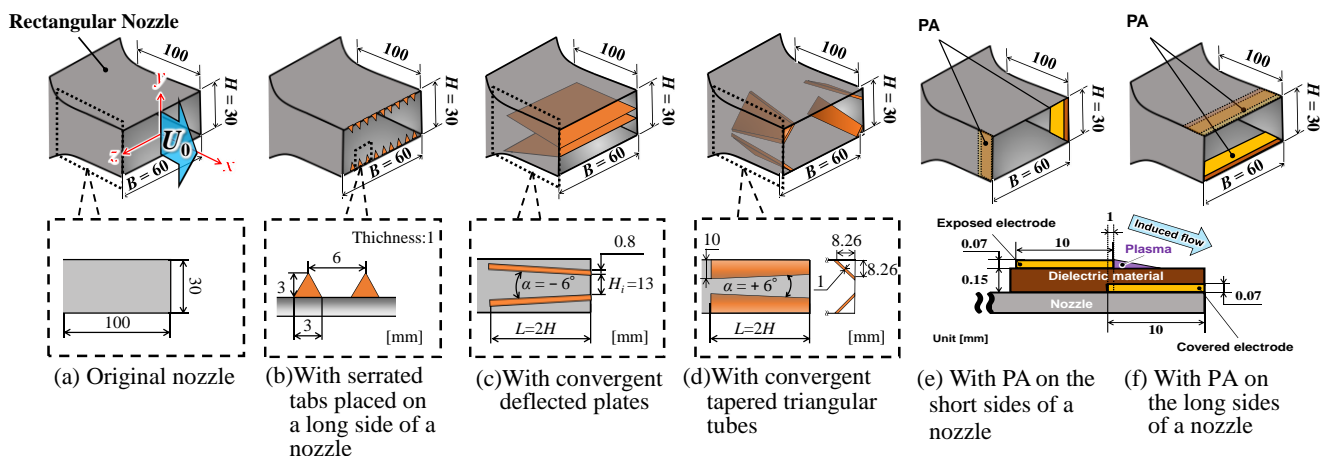


Fig.1 Rectangular nozzle with serrated tabs, deflected plates, tapered triangular tubes and PA

4. 研究成果

4-1 受動的制御

(a) y-z 断面の流れ方向速度等値線分布 図2に長方形ノズルに各制御装置を付加した場合の y-z 断面の x 方向時間平均速度 \bar{u}/U_0 の等値線分布を示す. なお, 噴流の速度分布が y 軸と z 軸に対して対称であったため第1象限のみを測定した. 各断面での測定間隔距離は, $x/H = 1$ で $\Delta y = \Delta z = 1.0$ mm, $x/H = 2, 3, 4$ で $\Delta y = \Delta z = 2.0$ mm とした. 図2(a)の制御装置無しの場合, $x/H = 1$ の断面において噴流は長方形の形状を維持しているが, 噴流角部($y/H = 0.5, z/H = 1$)付近において速度の低い部分が内側に少し入り込んでいる. $x/H = 2$ では噴流角部及びノズル短辺側で $\bar{u}/U_0 = 1.0$ 程度の値を維持しており, $x/H = 3, 4$ では更に噴流形状が歪み長辺・短辺中央付近, 及び角部付近で外側に広がった分布を示す. 図2(b)のタブを付加した場合, $x/H = 1$ のノズル長辺側でタブの付加による鋸歯形状に対応した速度分布が確認できる. その結果, $x/H = 2, 3, 4$ で噴流形状はノズルスパン長さ方向に大きく伸展する. 図2(c)の偏向板を付加した場合, $x/H = 1 \sim 4$ の各断面において偏向板内側の噴流は $\bar{u}/U_0 = 1.2$ 程度に加速している. その後 $x/H = 3, 4$ で噴流断面は楕円状の形状となる. 図2(d)のテーパ三角形管を付加した場合, $x/H = 1$ の噴流角部で速度が若干増加するため, こぶ状の等値線分布になっており, $x/H = 3, 4$ ではその他の噴流と比較して長方形の噴流形状を維持している.

(b) y-z 断面の乱流運動エネルギー分布 図3に各制御装置を付加した場合の乱流運動エネルギー $k/U_0^2 [= (u'_{rms^2} + v'_{rms^2} + w'_{rms^2})/2U_0^2]$ の等値線分布を示す. ここで $u'_{rms}, v'_{rms}, w'_{rms}$ は各座標軸方向の速度変動成分の r.m.s 値である. 図3(a)の制御装置無しの場合, $x/H = 1$ の断面では k 値が低く, 流れはほとんど乱れていない. $x/H = 2$ では, ($y/H, z/H$) = (0.5, 0.4) 付近で $k/U_0^2 \approx 0.03$ に増加する. 下流の $x/H = 3, 4$ では, 噴流角部で $k/U_0^2 \approx 0.05$ と高くなっており, 周囲流体との混合が局所的に大きくなっている. 図3(b)のタブを付加した場合, $x/H = 1$ でノズル長辺側に付加したタブの乱れにより k 値が若干増加し, $x/H = 2$ で $k/U_0^2 \approx 0.03$ に増加して, $x/H = 3, 4$ まで残っている. 図3(c)の偏向板を付加した場合, $x/H = 1 \sim 3$ のノズル短辺側及び偏向板端付近で $k/U_0^2 \approx 0.04, 0.02$ と増加していることが分かる. これは, 図2(c)で見られたように, 偏向板の内側と外側の噴流の速度勾配に起因したものと考えられる. 次に図3(d)のテーパ三角形管を付加した場合, $x/H = 1$ において長方形ノズル縁に沿って k 値が増加する分布となる. これは, 噴流中心軸側のノズル断面積が x 方向に拡大していることから逆圧力勾配となり, ノズル内壁から流れが剥離しているためと考えられる. $x/H = 2, 3, 4$ ではノズル長辺中心部付近で $k/U_0^2 \approx 0.03$ に増加している.

(c) 長方形渦輪の変形模式図 図4に各制御装置を付加した場合における長方形渦輪の変形模式図を示す. 模式図は渦度のノルム $|\zeta| [= (\zeta_x^2 + \zeta_y^2 + \zeta_z^2)^{0.5}]$ 及びその渦度ベクトル分布を元にして作成した. 黒線が渦輪, 矢印が渦の回転方向, 矢印の大きさが渦度の強さを表している. 図4(a)の制御装置無しの場合, $x/H = 1, 2$ において, 噴流角部及

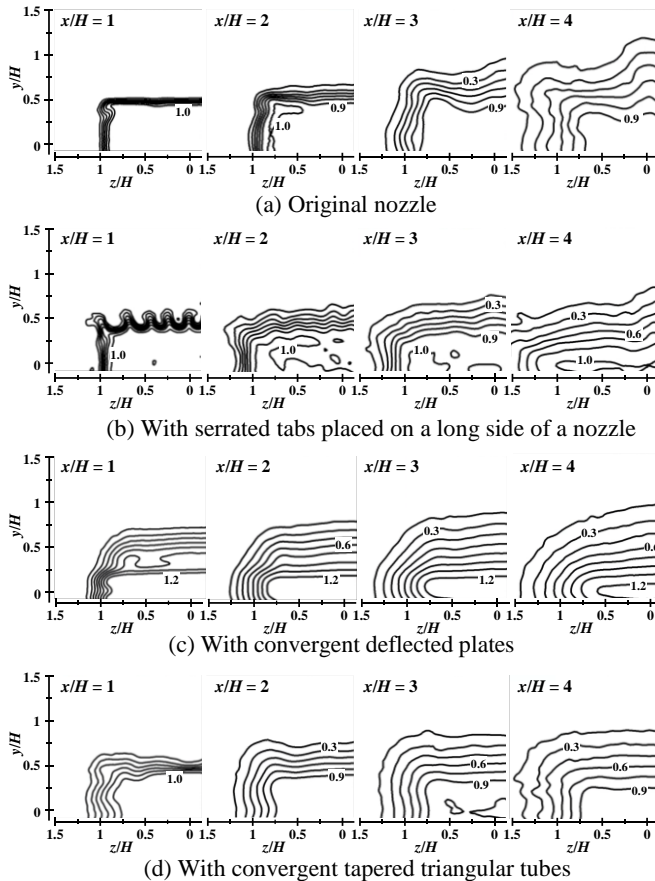


Fig.2 Contours of mean streamwise velocity \bar{u}/U_0 in the y-z quarter cross section

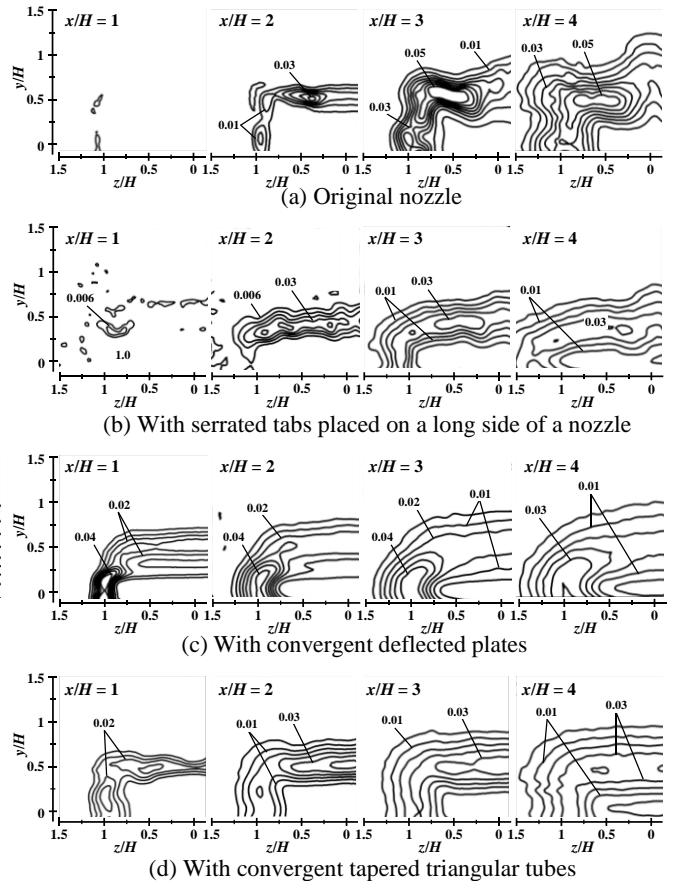


Fig.3 Contours of turbulence kinetic energy k/U_0^2 in the y-z quarter cross section

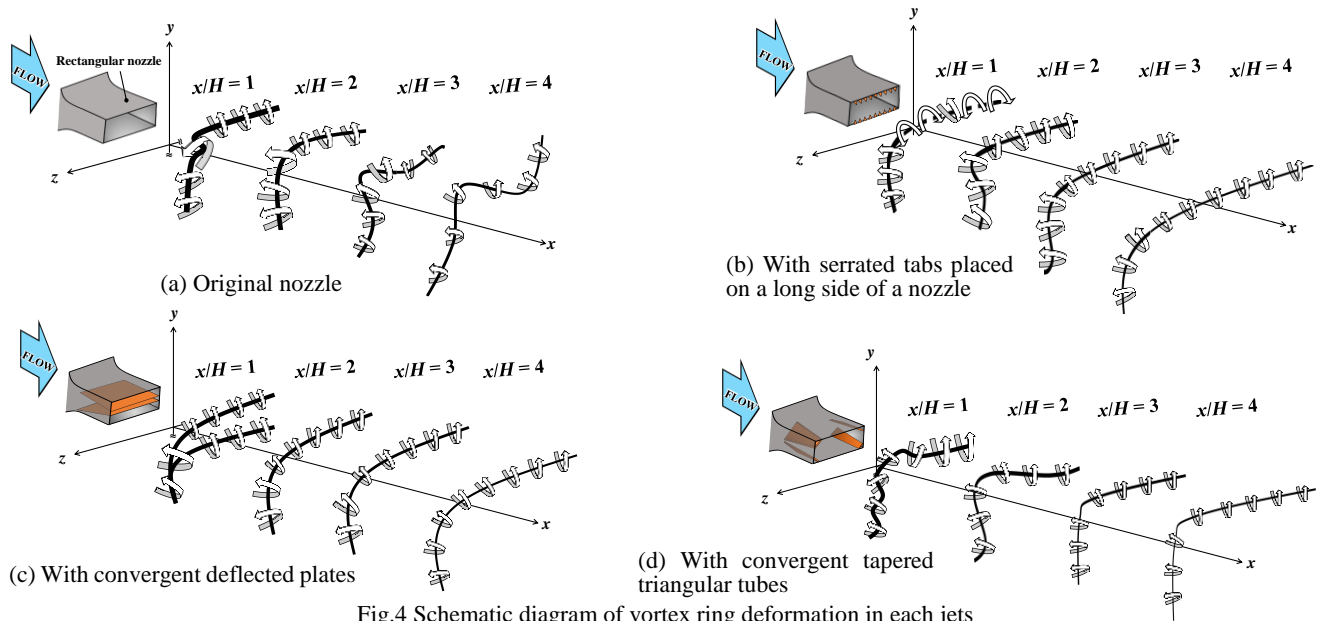


Fig.4 Schematic diagram of vortex ring deformation in each jets

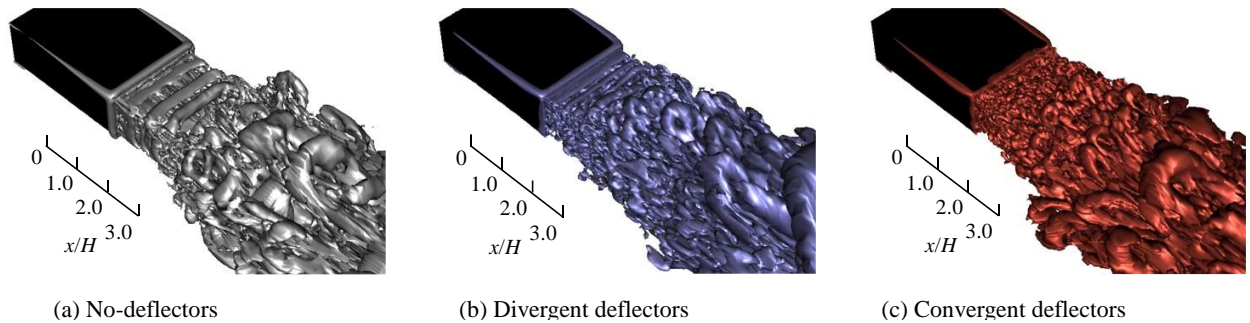


Fig. 5 Second invariant iso-surface of the velocity gradient tensor Q of the rectangular jets

びノズル短辺側で渦度の強い渦が分布している．この局所的な渦度の増加に伴い， $x/H = 3, 4$ で渦輪は三次元的に変形し，図 2(a)のように噴流断面形状が大きく変形したと考えられる．図 4(b)のタブ付きの場合， $x/H = 1$ のノズル長辺部では，タブの後方に形成される縦渦と渦のロールアップに伴うスパン方向に軸を持つ渦が見られるが，渦輪は連続的に形成されないと考えられるため点線で示している．その結果， $x/H = 2, 3, 4$ では，ノズル短辺側と比較して長辺側の渦度は弱まり，噴流は図 2(b)のようにノズルスパン長さ方向に伸展したと考えられる．図 4(c)の偏向板を付加した場合， $x/H = 1$ のノズル短辺側で渦度の強い渦が生じているが， $x/H = 2, 3, 4$ では渦度がほぼ同じ大きさになっている．このため， y, z 方向の噴流の広がり速度が同程度となり，図 2(c)のように噴流断面が楕円形状になったと考えられる．一方で図 4(d)のテーパ三角形管を付加した場合，図 3(d)で見られたように，ノズル直後から乱れた状態で噴流が噴出するため，渦輪の形状が他の噴流と異なっていることが分かる．しかし，下流域においては，渦輪の大きな変形は見られなく，結果的に，他の噴流よりも長方形の噴流形状が維持されている．

(d) 偏向板付き長方形噴流の数値流体解析 瞬間的な三次元渦構造を見るために速度勾配テンソルの第 2 不変量 Q の等値面分布を図 5 に示す．図 5(a)から偏向板が無いノズルの場合、出口から $x/H \approx 3$ まで周期的に渦輪が形成した後崩壊して、下流にヘアピン渦も生じる．図 5(b)の拡大偏向板を挿入した噴流は、長辺側に渦放出が見られ、渦のスケールは図 5(a)よりも小さいが下流域では大規模な渦に成長する．一方、図 5(c)の縮小偏向板を挿入した噴流は、明確な渦輪が発達せず、小規模な渦がノズル出口から形成され、結果的に図 2(c)でも示したように下流域で横長の長方形噴流となる．

(e) まとめ ①制御装置無しの噴流の場合、ノズルの短辺と噴流角部で渦度と乱流運動エネルギーが高くなり、噴流断面形状が大きく変形する．②ノズル長辺に鋸歯状のタブを付加した噴流の場合、タブの後方に形成される縦渦によりノズル長辺の乱流運動エネルギーが増加する．その結果、ノズル長辺での渦度は相対的に弱くなり、噴流はノズルスパン長さ方向に伸展する．③ノズル内部に偏向板を付加した噴流の場合、 $x/H = 1$ ではノズル短辺と偏向板端付近で渦度が大きくなるが、 $x/H = 2, 3, 4$ では渦度の大きさはほぼ等しくなり、噴流の広がり速度は y, z 方向で同程度となる．その結果、噴流の断面は比較的楕円形に保たれる．④ノズル内部にテーパ三角形管を付加した噴流の場合、 $x/H = 1$ で特にノズル長辺中央部で渦度が大きくなり、ノズル縁に沿って乱流運動エネルギーが高くなる．その結果、 $x/H = 3, 4$ で渦輪の大きな変形は見られず、他の噴流と比較して長方形の噴流形状が維持される．

4-2 能動的制御

(a) 流れの可視化 PA をノズルに設置していない場合、ノズル短辺に設置した場合、及びノズル長辺に設置した場合の噴流の x - y 断面 ($z/H = 0$) における瞬時の可視化画像を図 6 に示す．また、鋸歯状タブをノズルの短辺およ

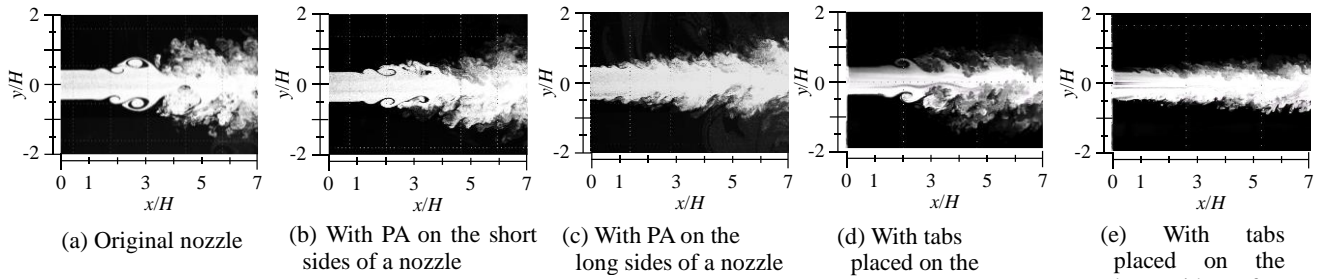


Fig.6 Instantaneous visualization images in the x - y cross-section at $z/H = 0$

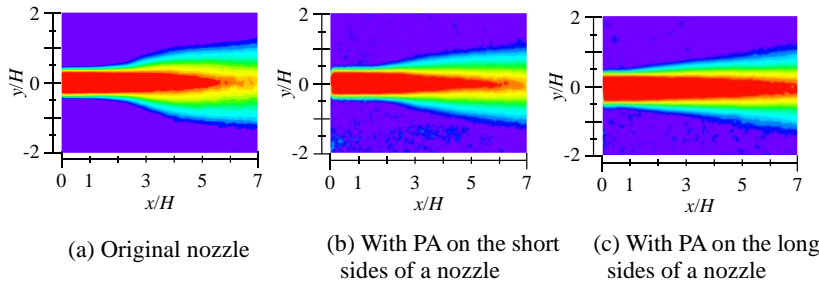


Fig.7 Streamwise mean velocity contour profiles in the x - y cross-section at $z/H = 0$

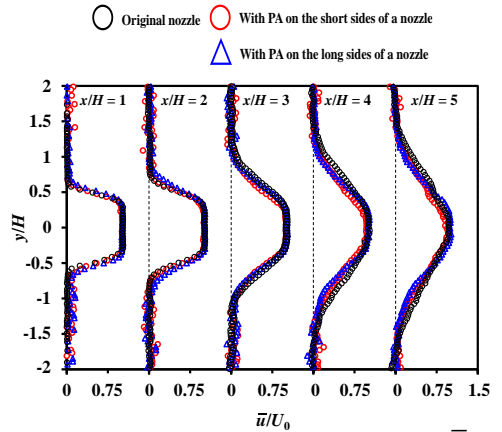


Fig.8 Profiles of mean streamwise velocity \bar{u}/U_0

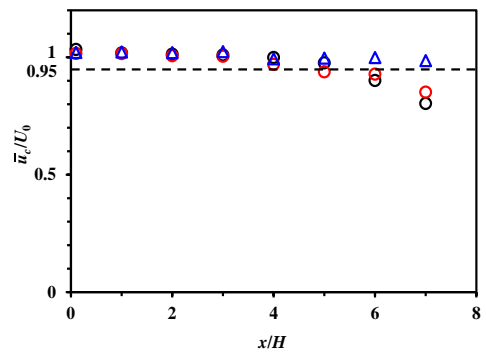


Fig.9 Centerline velocity u_c/U_0

び長辺に設置した場合の結果も示す. まず図 6(a)の PA をノズルに設置していない噴流の場合, $x/H \approx 1.5$ で K-H 不安定性 (Kelvin-Helmholtz instability) による “Bump” が見られ, $x/H \approx 2, 3$ から噴流外縁の自由せん断層内に大規模な渦が形成し, 渦合体が生じている. さらに下流に進むにつれて周囲流体を巻き込みながら渦は崩壊し, 小規模な渦へと変化しながら噴流は大きく広がる. 図 6(b)の PA をノズル短辺に設置した噴流の場合, $x/H \approx 1.5, 2$ で, 図 5(a)の PA をノズルに設置していない場合でも見られた噴流外縁の自由せん断層内の大規模な渦が確認できる. しかしながら, その渦は PA をノズルに設置していない場合よりも小さく, 渦の崩壊が上流側で生じた結果, 噴流の広がり小さくなっている. 一方で, 図 6(c)の PA をノズル長辺に設置した噴流の場合, 図 6(a)(b)で見られた $x/H \approx 2, 3$ 付近に大規模な渦の発生は見られず, ノズル近傍から比較的小規模な渦が形成されている. これらの結果は, 図 6(d)(e)の各辺に鋸歯状タブを付加した場合と類似している.

(b) 速度分布 各噴流における x - y 断面の時間平均速度 \bar{u}/U_0 等値線分布を図 7 に, さらに各位置での時間平均速度 u/U_0 分布を図 8 に示す. まず PA を設置していない噴流の場合, $x/H = 1$ ではトップハット型速度分布を示し, 図 7(a)の $\bar{u}/U_0 \approx 1.0$ となるポテンシャルコアの領域はノズルとほぼ同じ高さで $x/H \leq 2$ まで維持されているが, 図 6(a)でも示したように $x/H \approx 2, 3$ における大規模な渦が形成される位置から, 噴流は y 方向に広がっている. PA をノズル短辺に設置した噴流の場合, PA を設置していない噴流と同様に $x/H \leq 2$ まで噴流はノズルとほぼ高さで平行に噴出し, $x/H \approx 2$ 付近から噴流は広がっているが, その広がり図 7(a)よりも小さくなっている. 一方, 図 7(c)の PA をノズル長辺に設置した噴流の場合, 図 7(a)(b)とは異なり, 噴流はノズル噴出後から直線的に広がる分布となっている. また, ポテンシャルコア領域は $x/H \approx 7$ においても十分残っている. そのため, 下流側の $x/H = 4, 5$ では PA を設置していない場合や PA をノズル短辺に設置した場合と比較して, 噴流の広がりが若干小さくなっている.

図 9 に各噴流の中心軸上 ($y/H = 0, z/H = 0$) の x 方向速度 \bar{u}_c/U_0 分布の変化を示す. ここで, ポテンシャルコア長さ x_p をノズル出口速度の 95% 保たれる x 方向位置と定義し, 破線で $\bar{u}_c/U_0 = 0.95$ の大きさを示している. PA を設置していない噴流, 及び PA をノズル短辺に付加した場合のポテンシャルコア長さは $x_p \approx 5$ であるのに対し, PA をノズル長辺に設置した場合のポテンシャルコア長さは $x_p \approx 7$ と増加している. これは, 大規模な渦の形成を PA によって抑えたことで噴流外縁からの発生する乱れが噴流内部まで及ぶのが遅れたためであると考えられる. 以上の結果より, PA を長方形ノズル出口短辺, またはノズル出口長辺に設置することで, 長方形噴流の流れ特性を変化させることが可能であると言える.

(c) まとめ ①長方形ノズル短辺に PA を設置した噴流の場合, 噴流の自由せん断層内に形成される大規模な渦が PA を設置していない場合よりも小さいことで, 噴流の広がりも小さくなった. しかし, 噴流のポテンシャルコア長さは PA を設置していない場合とあまり変わらなかった. ②長方形ノズル長辺に PA を設置した噴流の場合, 噴流の自由せん断層内の大規模な渦の形成が抑制され, 最も噴流の広がり小さく, ポテンシャルコア長さは増加した.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 N.Kajitani, T.Kiwata, R.Ouchi, T.Kono and N.Komatsu | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Flow Characteristics of a Rectangular Jet with Triangular Tapered Tubes at Nozzle Four Corners | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of 31st International Symposium on Transport Phenomena | 6. 最初と最後の頁 1-6 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 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 大内理功, 木綿隆弘, 河野孝昭, 寺本裕志 | 4. 巻 86 |
| 2. 論文標題 ノズル出口に設置した鋸歯状タブの位置がアスペクト比2 の長方形噴流の流れ特性に与える影響 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 日本機械学会論文集 | 6. 最初と最後の頁 1-15 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/transjsme.20-00029 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Ouchi, R., Kiwata, T., Kajitani, N. and Teramoto, H. | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Experiment and large-eddy simulation on free air jets issuing from a rectangular nozzle with deflectors | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Flow Control, Measurement & Visualization | 6. 最初と最後の頁 73-92 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4236/jfcmv.2021.94005 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |
| 1. 著者名 大内理功, 木綿隆弘, 河野孝昭, 梶谷尚希, 寺本裕志 | 4. 巻 88 |
| 2. 論文標題 長方形ノズル四隅にテーパ三角形管を付加した自由噴流の流れ特性と渦構造 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 日本機械学会論文集 | 6. 最初と最後の頁 1-16 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/transjsme.21-00275 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Naoki KAJITANI, Takahiro KIWATA, Riku OUCHI and Peter OSHKAI | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Passive Flow Control of a 2:1 Rectangular Jet Using Serrated Tabs, Deflectors, and Tapered Triangular Tubes | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the 7th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows | 6. 最初と最後の頁 9-1~9-9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 梶谷尚希, 木綿隆弘, 河野孝昭, 小松信義, 大内理功 |
| 2. 発表標題 ノズル四隅にテーパ三角形管を付加した長方形噴流の三次元渦構造 |
| 3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部第58期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 N.Kajitani, T.Kiwata, R.Ouchi, T.Kono and N.Komatsu |
| 2. 発表標題 Flow Characteristics of a Rectangular Jet with Triangular Tapered Tubes at Nozzle Four Corners |
| 3. 学会等名 31st International Symposium on Transport Phenomena (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 N.Kajitani, T.Kiwata and R.Ouchi |
| 2. 発表標題 Three-dimensional Vortex Structure of Rectangular Jet with Tapered Triangular Tubes at Nozzle Four Corners |
| 3. 学会等名 19th International Symposium on Flow Visualization (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大内理功, 木綿隆弘, 河野孝昭, 梶谷尚希, 寺本裕志 |
| 2. 発表標題 角部にテーパ三角形管を付加した長方形ノズルから流出する自由噴流の流れ特性 |
| 3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部第57期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 N.Kajitani, T.Kiwata, R.Uchi, T.Kono and N.Komatsu |
| 2. 発表標題 Flow Characteristics of a Rectangular Jet with Triangular Tapered Tubes at Nozzle Four Corners |
| 3. 学会等名 31st International Symposium on Transport Phenomena (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Naoki KAJITANI, Takahiro KIWATA, Riku OUCHI and Peter OSHKAI |
| 2. 発表標題 Passive Flow Control of a 2:1 Rectangular Jet Using Serrated Tabs, Deflectors, and Tapered Triangular Tubes |
| 3. 学会等名 7th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 梶谷尚希, 木綿隆弘, 河野孝昭, 小松信義, 八幡光将 |
| 2. 発表標題 D B D プラズマアクチュエータによるアスペクト比2の長方形噴流の流れ特性 |
| 3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部 2022年合同講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

金沢大学流体工学研究室
<http://www.ms.t.kanazawa-u.ac.jp/~fluid/>

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 |
|-------|---|---------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 河野 孝昭 (Kono Takaaki) (90630921) | 金沢大学・機械工学系・准教授 (13301) | |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|