

K3-47

## 円形噴流における渦輪の合体過程とその制御

### Merging process and its control of vortex rings in a round jet

○山口祐也<sup>1</sup>, 中村宣明<sup>2</sup>, 村松旦典<sup>3</sup>, 菊池崇将<sup>3</sup>\*Yuya Yamaguchi<sup>1</sup>, Nobuaki Nakamura<sup>2</sup>, Akinori Muramatsu<sup>3</sup>, Takamasa Kikuchi<sup>3</sup>

In this study, we focused on the merging process of vortex rings. An air jet was ejected from a round nozzle into still air at the  $Re$  of 5,000. The air jet was visualized using a planar laser Mie scattering, and the visualized images were recorded using a high-speed camera. The spatial distribution for the merging process of vortex rings is arranged from the images. Moreover, a new experimental device was manufactured to control the merging process of vortex rings.

#### 1. 緒言

円形噴流は最も単純な剪断流れの一つであり、自然現象や工業分野で数多く見られる。噴流の初期領域には周期的な渦輪列が存在し、それらの渦輪列が合体して大規模な渦輪が形成され、その後崩壊する。また、噴流の諸特性は渦の挙動に支配されているため、渦の操作により噴流の特性を操作することが可能である。したがって、噴流現象の解明と制御を目的として、渦構造に注目した研究が活発に行われている<sup>[1]</sup>。

昨年の空気噴流によるレイノルズ数5000の実験<sup>[2]</sup>では、渦輪の合体過程に着眼し、自然遷移する円形噴流中の不規則に合体する渦輪の合体過程において、合体パターンを可視化により観察した。その結果、2つの渦輪の合体数が非常に多いことや、まれに5つの渦輪が合体する場合があることが示され、それらの渦輪の合体過程の空間分布を示した<sup>[2]</sup>。本研究では、まず昨年と同じ実験装置を用いて渦輪の合体過程を解析するとともに、現象の再現性について調べた。すなわち、可視化実験を行い、撮影した可視化画像から渦輪の合体過程の空間分布を求めた。

また、本研究では、自然遷移ではなく音響励起することで規則的な渦輪列を形成し、渦輪の合体過程を観察し、特定の個数の渦輪を合体させたいと考えている。すなわち、2個の渦輪の合体やそれ以上の個数の合体が必ず起こるように噴流を操作したいと考えている。

#### 2. 実験方法および実験装置

空気を出口直径  $D_0 = 16 \text{ mm}$  (面積縮流比 17.0) の円形ノズルから静止大気中に空気を鉛直上方へ噴出した。空気噴流には微小な粒子を混入し、厚さ約 1 mm のレーザーシートは噴流中心軸上を通るように照射し、可視化された噴流の流れ方向の断面をハイスピードカメラで撮影した。取得した画像データは PC を使用して

処理し解析を行った。実験条件を表 1 に示す。噴流レイノルズ数  $Re$  は園田の実験<sup>[2]</sup>と同じ 5,000 に設定した。 $Re$  は  $Re = U_{c0} D_0 / \nu_0$  と定義し、ここで、代表速度はノズル出口中心での噴出速度  $U_{c0}$ 、代表長さはノズルの出口直径  $D_0$  とし、 $\nu_0$  は噴流の動粘性係数である。

また、今後研究に使用するために作製したスピーカ一付ノズルを図 1 に示す。主流方向に擾乱を加えるためにノズル下部にスピーカが取り付けられている。園田の実験<sup>[2]</sup>の自然遷移での渦形成周波数 150~400 Hz ( $Re = 3,000 \sim 7,000$ ) をもとにフルレンジのスピーカ一 (FOSTEX FF225WX) を選定した。

Table 1. Experimental conditions

$D_0$	16 mm
$U_{c0}$	4.82m/s
$Re$	5,000
Shutter speed	1/5,026 s
Frame rate	5,000 fps
resolution	1,024×512 pixel

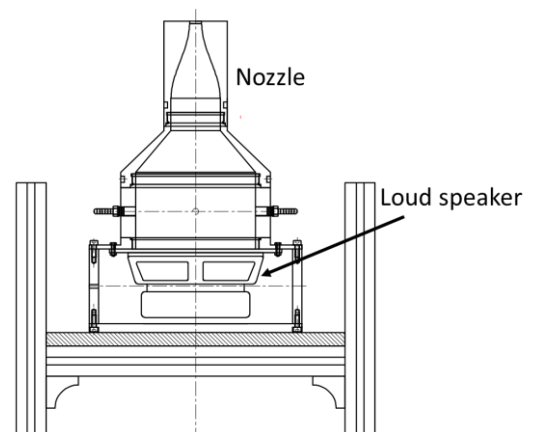


Figure 1. Nozzle and loud speaker

### 3. 実験結果及び考察

本実験では連続する 2 個から 4 個の渦輪の合体過程が確認された。図 2 は、渦輪の合体過程における渦輪の発生、合体中、合体後の可視化画像である。確認された渦輪の合体のうち、図 2(a)に 2 つの渦輪の合体過程、図 2(b)に 3 つの渦輪の合体過程を示す。図 2(a)のように連続した渦輪①と渦輪②が合体する場合、渦輪②が渦輪①に徐々に近づき渦輪①の内側に吸い込まれるような形で合体し、それぞれの渦輪よりやや大きな渦輪となる。合体後の渦輪を赤い四角で示している。図 2(b)のように連続した三つの渦輪①、渦輪②及び渦輪③が合体する場合、まず最初に図 2(a)と同じように渦輪②が渦輪①に徐々に近づき渦輪①の内側に吸い込まれるようにして合体する。その後、渦輪③が合体した渦輪①と②に徐々に近づき渦輪①②の内側に吸い込まれ合体する。図 2(a), (b)ともに合体後の渦輪は崩壊しかかっており、これらの渦輪はさらに下流で合体することは無い。

次に、0.5 秒間（このときの渦輪の発生個数は約 190 個）の可視化画像より求めた、合体した渦輪の中心位置の分布を図 3 に示す。図 3(a)に今年の結果、図 3(b)に昨年の結果<sup>[2]</sup>を示す。座標系はノズル出口中心を原点とし、主流方向に  $x$  軸、半径方向に  $r$  軸とし、横軸を  $r/D_0$ 、縦軸を  $x/D_0$  とする。このとき、3 つ及び 4 つの渦輪が合体する過程で確認された 2 つの渦輪の合体も記録した。今回の実験では昨年確認された 5 つの渦輪の合体が確認されなかった。また、合体位置は一様ではないが、3 日目、4 日目と合体が進むにつれて流出方向の距離と半径方向の距離は大きくなる。

### 4. 今後の課題

今後は新たに作製したスピーカー付ノズルを用いて、空気噴流を特定の周波数の正弦波で励起することで、噴流中の渦輪の合体過程の人為的な操作を試みる。具体的には、自然遷移による渦輪の発生周波数  $f_v$  を求め、渦輪の発生周波数とその半分の周波数の合成波（バイモーダル励起）などで励起し、渦輪の合体分布の変化を調べる。

### 5. 参考文献

- [1] 豊田, 噴流の渦, ながれ, Vol. 24, No. 2, pp. 151, (2005).
- [2] 園田, 円形噴流における渦輪の合体過程, 日本大学理工学部航空宇宙工学科・平成 28 年度卒業研究論文, (2017).

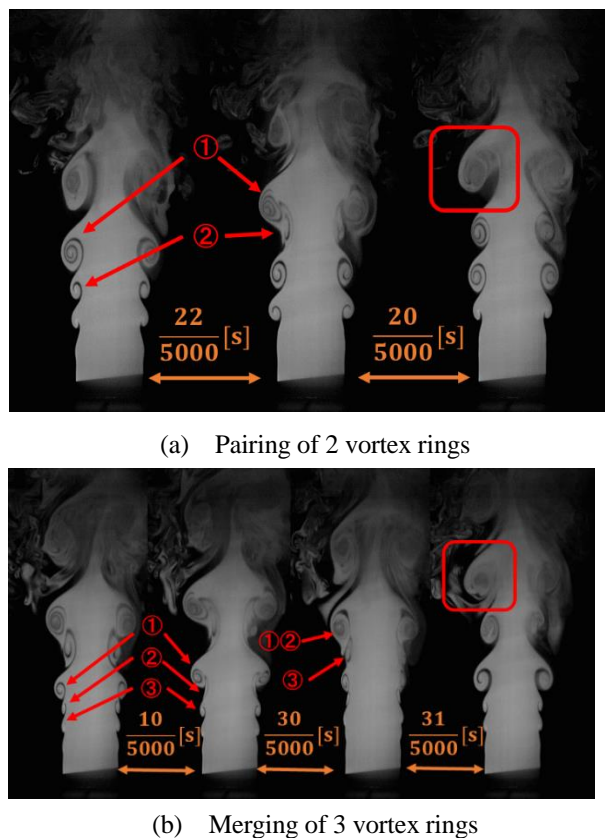
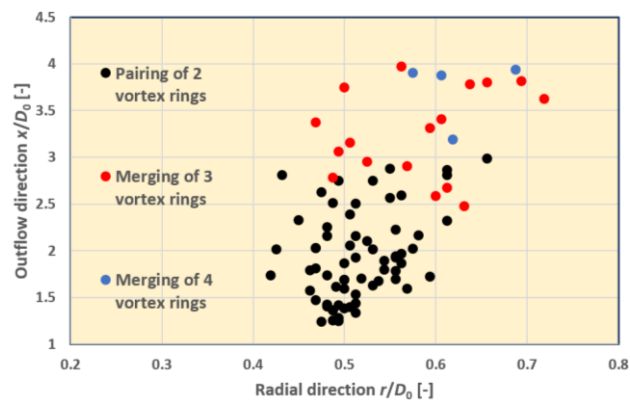
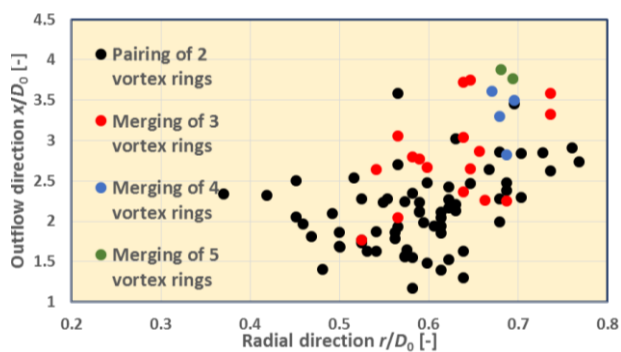


Figure 2. Visualized images for merging process



(a) The experimental result



(a) The experimental result<sup>[2]</sup>

Figure 3. Distribution of merging position of vortex rings