# 円形噴流における渦輪の合体過程

Merging process of vortex rings in a round jet

○園田祥太<sup>1</sup>,村松旦典<sup>2</sup>,大竹智久<sup>2</sup>,菊池崇将<sup>2</sup> \*Shota Sonoda<sup>1</sup>, Akinori Muramatu<sup>2</sup>, Tomohisa Otake<sup>2</sup>, Takamasa Kikuchi<sup>2</sup>

If a round jet becomes to a turbulent jet, vortex rings are generated in the initial region. Two vortex rings usually merge and one vortex ring is generated. The merging process by three vortex rings is found by cross-sectional images of a visualized jet using a high-speed camera and a laser sheet.

### 1. 緒言

流体力学分野の中で噴流は基礎的な流れの一つであ り、ジェットエンジンや混合装置,空調設備等に応用 されている.円形乱流噴流は初期領域で渦輪を形成し, 周期的に渦輪列が発生することや、連続して発生する 二つの渦輪が合体する現象はすでに知られている<sup>[1][2]</sup>. 噴流の可視化画像の動画の観察から渦輪の合体課程は 必ずしも二つの渦輪で起こるものではなく、三つの渦 輪が一つになる場合があることを発見した.本研究で は渦輪の合体過程に着眼して、連続する二つの渦輪過 程と連続する三つの渦輪の合体過程について、渦中心 の合体までの移動軌跡を求め考察を行った.

#### 2. 実験装置及び実験方法

実験装置の概略図を図 1 に示す.出口直径  $D_0 = 16$  mm (面積縮流比 17.0) 及び  $D_0 = 8$  mm (面積縮流比 68.1) 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 1 mm 程度のレーザーシートは噴流中心軸上を通るようにあて,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 を使用して解析した.噴流のレイノルズ数 Re は 5000 である. Re は代表速度をノズル出口中心での噴出速度  $U_{CO}$ ,代表長さをノズルの出口直径  $D_0$ で定義している.



Figure 1. Experiment apparatus

1: 日大理工・学部・航宇 2: 日大・理工・教員・航宇

Table 1.	Experimental	conditions
	1	

1			
Nozzle diameter $D_0$	8 mm	16 mm	
Temperature	24.6 °C	24.5 °C	
Issuing velocity $U_{C0}$	9.71 m/s	4.86 m/s	
Reynolds number Re	5,000		
Laser output	3.18 W		
Shutter speed	1/12,661 s		
Frame rate	12,500 fps		
Shooting resolution	1,024×512 pixel		

## 3. 実験結果及び考察

Re は同一の値 5000 であるが、 $D_0 = 8 \text{ mm} \text{ o} / \overline{X} \mu \overline{e}$ 使用した空気噴流では二つの渦輪の合体過程が、 $D_0 = 16 \text{ mm}$ の空気噴流では三つの渦輪の合体過程が生じた. 図 2 と 3 にそれぞれ二つの渦輪の合体課程と三つの渦輪の合体過程の可視化画像を示す. 図中の①、②、③ は対応する渦輪を示し、①の渦輪が合体に関係する最 も下流側の渦輪である. 図 2 と 3 の画像はそれぞれ右 から渦輪列の発生時、合体中(図 3 は 2 枚)、合体後 を示す. 図 2 と 3 のそれぞれ上段の画像(a) は噴流の 全体を、下段の(b) は着目している渦輪の拡大画像で ある.

 $D_0 = 8 \text{ mm}$  の空気噴流中に見られた通常の二つの渦 輪の合体課程の場合,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する.また,合体後半径方向に渦輪から剥離し乱れた流れが観 察される(図2(b)の赤四角で囲まれた領域).

 $D_0 = 16$ mm の空気噴流中に見られた三つの渦輪の合体課程の場合,渦輪②が渦輪①に徐々に近づき内側から追い越す.その後渦輪②は渦輪①の周りを一周(右側の渦輪は時計回り,左側の渦輪は反時計回り)する. さらにその後,渦輪②は渦輪①に押しつぶされて合体する.渦輪③も同様に渦輪①に徐々に近づき内側から追い越す.その後渦輪①に押しつぶされて合体する.



(a) Overall view



(b) Enlarged view of the vortex ring portion Figure 2. Merging process of two vortex rings



(a) Overall view





また,合体後の渦輪は大きく縦長に成長することが確認できる.

図4は撮影画像から求めた着目している渦輪①, ②, ③の時間経過と渦輪の渦中心の位置(x, y)の関係を示 した図である.ここで, x と y はそれぞれノズル出口中 心を座標原点とした周流方向及び半径方向座標である. 図4の中に示された赤丸部分は合体位置である.これ により合体時の渦輪の中心の座標は完全には一致しな いことがわかる.図4(a)より,合体後流出方向と半 径方向共に渦中心の移動軌跡の揺らぎが大きくなって



(a) Merging process of two vortex rings ( $D_0 = 8 \text{ mm}$ )



(b) Merging process of three vortex rings ( $D_0 = 16$  mm) Figure 4. Time displacement of visualization image

いるように思われる.図4(b)より合体する際,渦輪 ②が渦輪①の周りを時計回りに一周する様子が確認で きる.また,渦輪③は流出方向に対してほぼ一定に進 んでいることもわかる.

#### 4. 今後の予定

今後はそれぞれの渦輪の移流速度,渦列の形成周波 数などを調べ,それぞれの渦輪の合体過程について詳 細に調べる.また,それらの結果をもとに人為的に乱 れを噴流に加えるなどして二つの渦輪の合体および三 つの渦輪の合体過程を作れるようにしたい.

- 5. 参考文献
- [1] 豊田国昭: 噴流の渦, ながれ, Vol.24, No.2, p.151, 2005.
- [2] 社河内敏彦:噴流工学,森北出版, p.222, 2004.