

脈動噴流によって連続生成される渦輪を物質および熱の輸送手段として利用するための研究

福岡大学 工学部 機械工学科 山口住夫研究室： 赤木 富士雄

研究背景

渦輪：断面が円形状の噴出口から空間に向かって高速の流体を瞬間的に噴き出した時に噴出口において形成されるドーナツ形状の渦

流体力学的な特徴

渦輪は、渦核領域内に物質および流体を閉じ込めたままの状態、自己の誘起速度によって移動する(自走する)ことができる。すなわち・・・



Photo by D.Sallet, Univ. of Maryland

渦輪は、質量、熱、エネルギーなどのスカラー量を高濃度な状態のまま輸送する能力を有する

工学的な利用法の可能性

- 気泡の輸送 ⇒ 海底での岩盤掘削、および油田火災時の消火手段として利用例あり
- 気体(香料) ⇒ 自動車メーカーでは、居眠り運転防止の目的で覚醒香料を運転者の鼻へ輸送する手段として用いるための研究がおこなわれている
- 熱輸送 ⇒ 離れた位置の局所領域の加熱・冷却法としての期待
- 濃度輸送 ⇒ 濃度分布の調節・制御法としての期待
- エネルギー輸送 ⇒ 流れのはく離点へのエネルギー供給によるはく離抑制法の開発研究

⇒ 渦輪の輸送手段として利用は有用性が高いと思われるが、渦輪の輸送能力の評価および輸送に最適な渦輪の生成条件については全く解明されていない

研究目的： 渦輪を輸送手段として用いる上で最適な渦輪の生成条件ならびに渦輪の輸送能力の解明

研究方法

具体的な解析項目

渦輪の生成条件と、以下に示す渦輪の特性との関係

1. 生成過程
2. 大きさ
3. 強さ
4. 減衰課程
5. 移動速度
6. 最大到達距離

流れ場の解析方法

実験により渦輪の生成過程および挙動変化の概要を把握し、数値シミュレーションにより詳細な流動機構の検討をおこなう。

渦輪の生成方法

作動流体には水を使用し、ノズルからの噴出流量を周期的に変化させた脈動噴流により、渦輪を連続して生成する。

(実験ではピストンとクランク機構を用いて流量変動を発生)

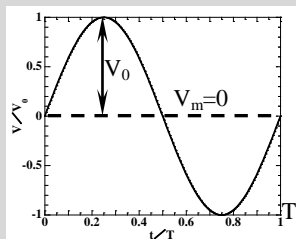


図3. 噴出流量の変動波形図

⇒この場合、渦輪の生成条件は噴出流量の変動波形の下記の条件に依存

- 振幅 : $V_0 \gg Re_0 = V_0 \cdot d_n / \nu$
- 周期 : $T \gg \alpha = (d_n / 2) \sqrt{2\pi} / (\nu T)$
- 平均流量 : $V_m \gg Re_m = V_m \cdot d_n / \nu$ (今回は $Re_m = 0$ とした)

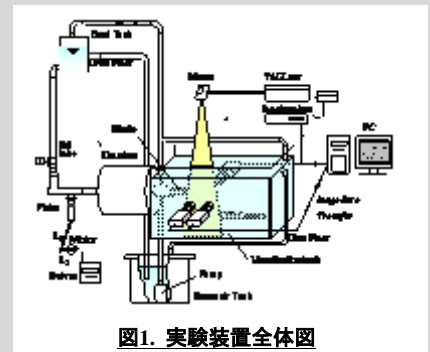


図1. 実験装置全体図

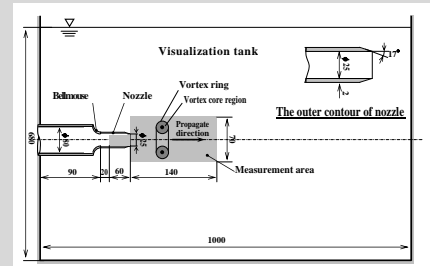


図2. ノズル噴出口拡大図

数値シミュレーション: Large Eddy Simulation (LES)

複雑な乱流場中の大小様々な大きさの渦を高い精度でシミュレートするための計算手法。計算格子の大きさを流れ場中の渦の大きさに合わせて設定して、格子よりも小さな渦についてはモデル化した式により計算し、格子よりも大きな渦はNS方程式を直接計算することにより、比較的小さな計算負荷で高精度な結果を得る手法。

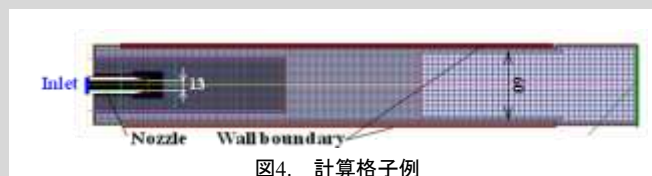
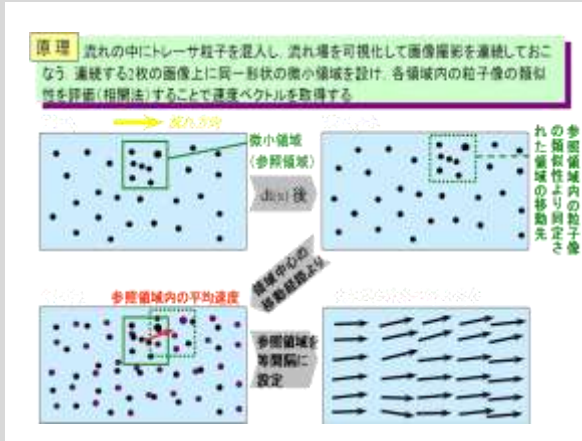
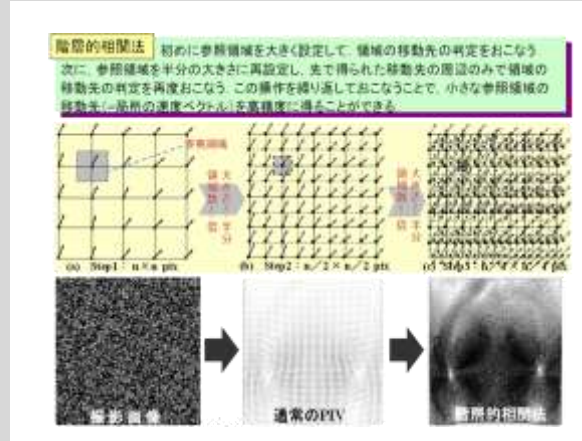


図4. 計算格子例

速度計測手法: 粒子画像流速測定法(PIV)



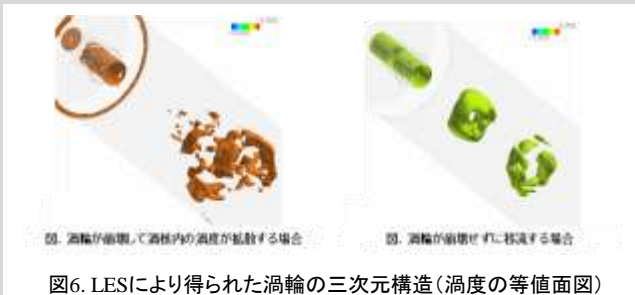
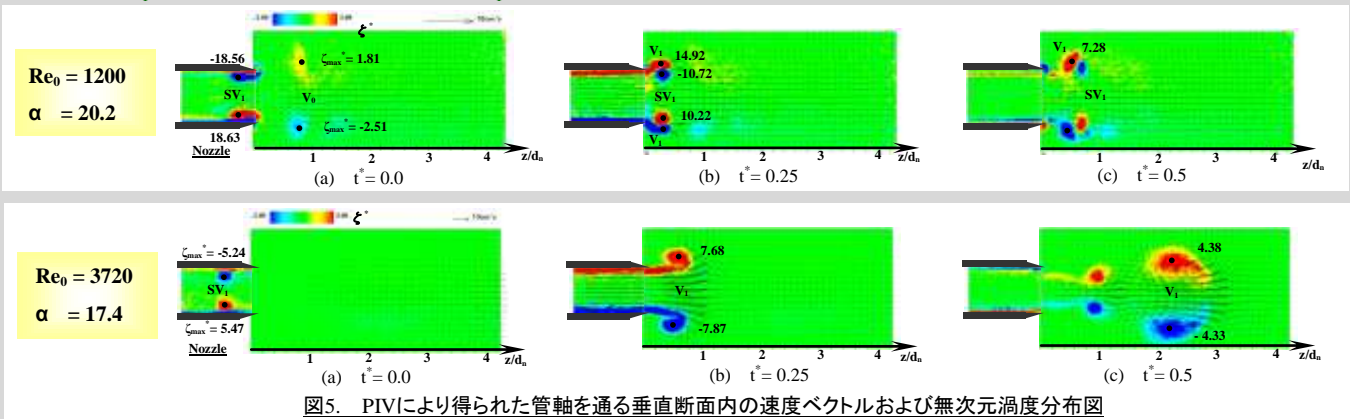
高分解能・高精度化



研究成果

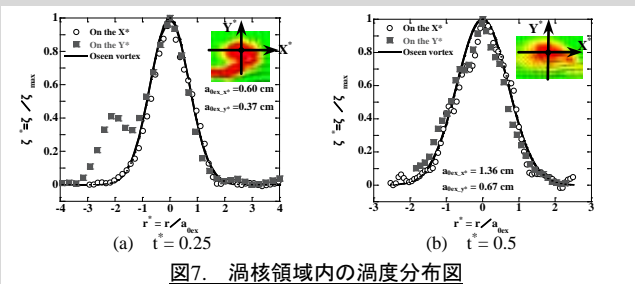
渦輪の形成過程

- 噴流の脈動条件によって、吸い込み流れの時にノズル内で形成されるはく離渦輪(SV₁)の挙動が大きく変化する
- 渦輪(V₁)の形成過程には、はく離渦輪(SV₁)の挙動が大きく関係している



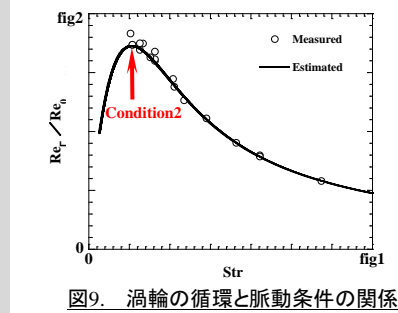
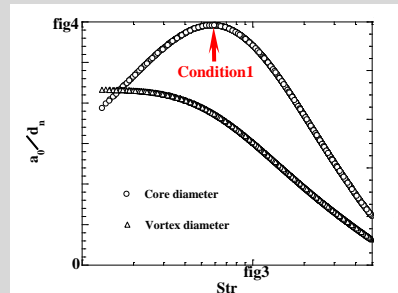
渦核領域内の渦構造

- 渦核中心点にて回転が最も強い
- 渦核領域内の渦度分布はオセーン渦にて近似可能



渦輪の強さ(循環)および大きさ

- 渦輪の強さと大きさが最大となる生成条件が存在(以下は論文投稿中のため具体的な数値は明示していません、ご了承ください。)



実験結果より噴流の脈動条件と渦輪の寸法および循環との関係を説明(図8と図9)

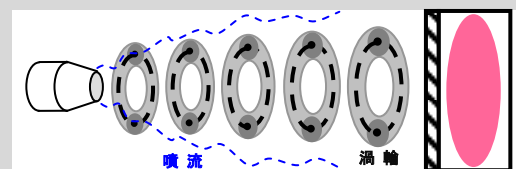
渦核領域の体積がほぼ最大となる条件(Condition1)と循環が最大となる条件(Condition2)が存在

Condition1 ≒ Condition2

上記の条件で生成された渦輪は、輸送能力が最も高いと考えられる

今後の展望

噴流の脈動条件と渦輪の挙動および循環との関係、ならびに輸送に最適と考えられる渦輪の生成条件については解明できつつある。今後は、渦輪の輸送能力の評価方法の確立と評価、および実問題(渦輪を用いた局所熱輸送)への適用を検討しながら渦輪の有用性について明らかにしていく。



渦輪は噴流ほど広がらないので、局所領域の加熱・冷却には非常に適していると考えられる