

特殊な初期流速分布を持つ噴流における乱流輸送現象に関する数値研究

Numerical study on transport phenomena in jets

with unique initial velocity distributions

Yasumasa Ito*, Bhuri Jearanaitanakij*, Diksan Muhammad*, Takahiro Katagiri**

*Graduate School of Engineering, Nagoya University

**Information Technology Center, Nagoya University

噴流とは様々な流体機器に見られる基礎的現象である。したがって、噴流やそれに伴う物質・熱輸送の特性を明らかにするとともに、噴流の拡散・混合を促進・抑制させる制御手法を開発することは工学的に重要である。本研究グループでは、これまでに初期流速分布による制御に着目し研究を行ってきた。その結果、複雑な初期流速分布で噴流を形成させることで流体混合や熱拡散が最大 50%制御できること等を明らかにした[1,2]。しかし、既往研究では、制御対象位置を噴流出口からの距離が $x/d=15$ (d は噴流ノズル直径)でのみ行っており、目的距離に対する依存性は明らかにされていない。そこで本年度は、目的位置の違いが最適化結果に与える影響を解析することを目的とした。

本研究では二次元流体シミュレーションを行った。計算領域は主流 (x) 方向に $50d$ 、垂直 (y) 方向に $80d$ とした。ここで d は噴出口の幅であり、 $d=20$ mm である。格子点数は、 x 方向に 160 点、 y 方向に 230 点である。作動流体は空気とし、流れは非圧縮性流れとした。レイノルズ数は 6000 であり、初期流量は 0.06 m³/s に固定した。また、計算を安定させるために、 $x/d=0$ の境界に一樣に速度 0.03 m/s の共流を与えた。

最適化目標は、巻き込み促進ケースである「中心速度最大化」および巻き込み抑制ケースである「中心温度最大化」を設定した。また、最適化目標を評価する下流の目的位置は、ノズル径 d に対して、 $x/d=6, 15, 40$ の 3 箇所に設定した。最適初期流速分布の同定には機械学習の一つである Particle Sworn Optimization を用いた。詳細は省略するが、粒子数は 20、試行回数は 100 回とし、全工程で合計 2000 通りの初期速度分布を試行した。

以下では最大速度最大化の結果について述べる。図 2 に、それぞれのケースにおける最適化された初期速度分布を示す。最適化は噴出角度の制御のない場合およびある場合に対して行った。目的位置の違いによる影響を見ると、目的位置が $x/d=6$ 、角度制御ありの場合である $xd06-w$ では、速度の最大値は $xd15-w$ に比べて小さいものの、より中心部に高速度成分が集まっていることがわかる。これは、 $x/d=6$ はポテンシャルコアの消失点付近であり未だに初期速度分布の影響を強く残している点であるためである。つまり、このような上流位置での中心速度の制御には、初期速度分布による直接的な影響が強く出るといえる。一方、 $xd40-w$ では、高速度成分がより外側に移動したことがわかる。これは、目的位置が下流の場合には巻き込みの影響が卓越するためである。すなわち、やや外側から高速で中心に向かって流体を噴出することで、周囲流体との速度差を大きくできる。これにより巻き込みを強く促進させ、結果として中心部での速度の低下が抑制される。同様の傾向は角度なしの場合も見られることから、目的位置が異なっても、角度の影響は同じように現れるといえる。

表 1 にそれぞれの条件における一様流の場合に対する効率の上昇幅を示す．表より，角度ありの場合には，目的位置が下流よりも上流の方が条件ごとの違いが大きく現れることがわかる．これは，上流にはポテンシャルコアが存在し，初期速度分布の影響が大きい，下流に進むにつれて周囲の流体の巻き込みが進み，初期速度分布の影響が徐々に小さくなるからである．効率の上昇幅においても同様の傾向が見られ，**xd06** における効率の上昇幅が一番大きく，下流に進むにつれて小さくなる．また，**xd15** および **xd40** における中心速度分布は，下流領域では概ね一致している．

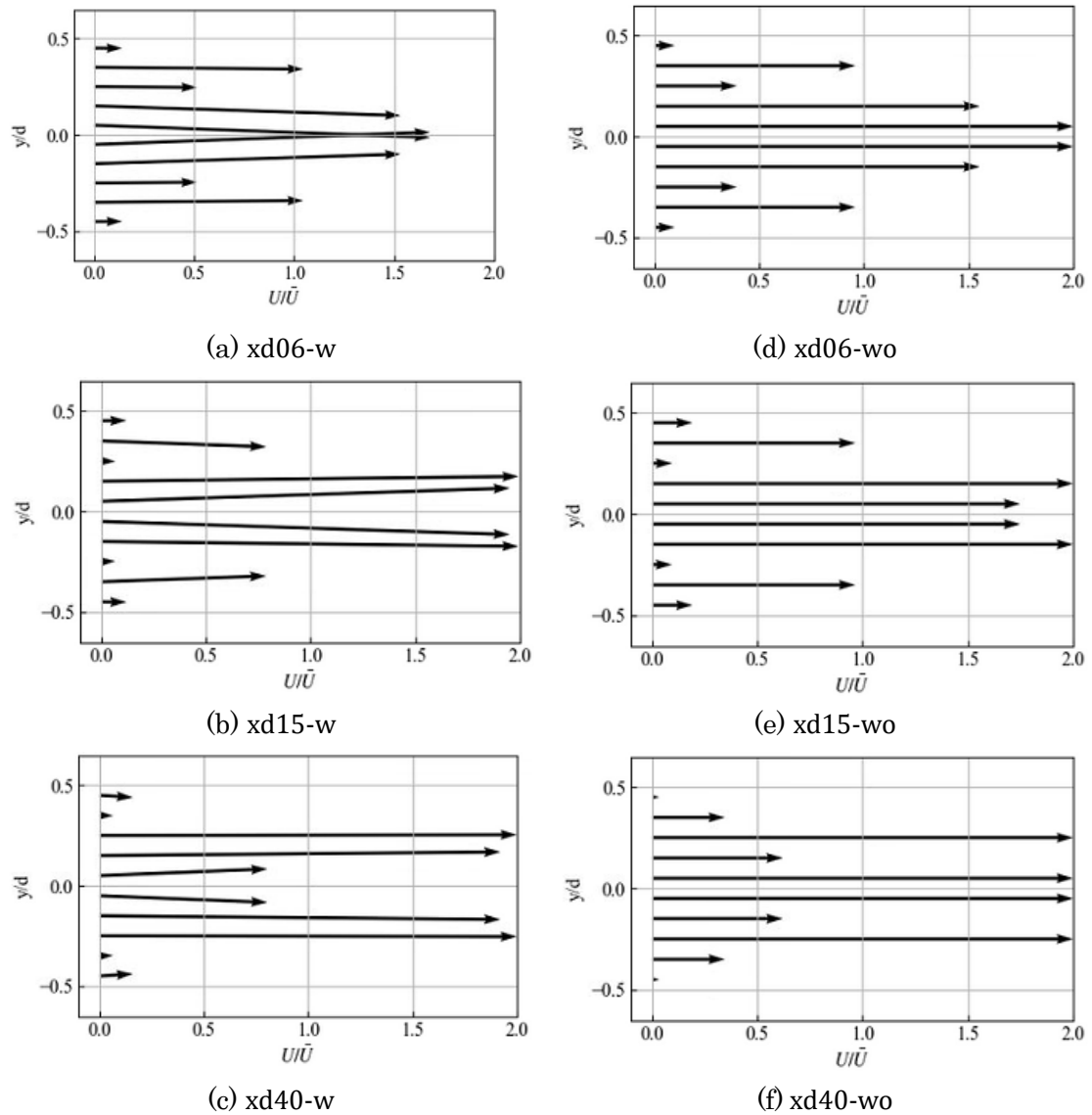


図 2 初期速度分布

表 1 一様流からの効率の上昇幅 (%)

	目的位置		
	$x/d = 6$	$x/d = 15$	$x/d = 40$
角度あり	65	32	29
角度なし	69	32	29

- [1] Ito, Y., Hayashi, Y., Iwano, K., Katagiri, T., 2024. Optimisation of initial velocity distribution of jets for entrainment and diffusion control using deep reinforcement learning. International Journal of Heat and Mass Transfer 218, 124788.
- [2] Bhuri Jearanaitanakij, Diksan Muhammad, Yasumasa Ito, Takahiro Katagiri, Impacts of ejection angle components of initial velocity distribution for jet control, Int. J. Heat Fluid Flow (in press)

(論文発表実績)

- 1. 伊藤靖仁, 噴流の巻き込みと拡散を初期空間速度分布だけで制御するには, 可視化情報学会誌, Vol.45 No.174 (2025 年 10 月)

(学会発表実績)

- 1. Yasumasa Ito, Control of jet entrainment and diffusion by modification of initial velocity distribution, The 18th Asian Congress of Fluid Mechanics, 2025 (Invited)