

## 拡散混合の抑制を目的とする噴流の数値シミュレーション

### Numerical study on suppression of mixing and diffusion of jets

Yasumasa Ito\*, Yusuke Hayashi\*, Koji Iwano\*  
, Takahiro Katagiri\*\*

\*Graduate School of Engineering, Nagoya University

\*\*Information Technology Center, Nagoya University

噴流は様々な流体機器内で見られる現象であり、その制御は重要である。内燃機関やエアコンといった多くの機器では噴流の拡散・反応の促進が求められるため、噴流出口形状の工夫などのパッシブな手法からプラズマアクチュエータを用いたアクティブな手法など様々な促進手法が開発されてきた。その一方でスポットクーラーやエアカーテンなどでは、噴流の拡散の抑制が求められる。しかしながら噴流の混合拡散手法についてはその促進に関する研究が主であり、抑制についてはこれまであまり研究されてこなかった。そこで本研究では、特に工業機器に数多く見られる矩形噴流における拡散混合現象の基礎的理解とともにその制御（特に抑制）手法の開発と最適化を目的とした数値シミュレーション研究を行う。

噴流の制御手法の一つは、初期噴流流速分布を工夫する手法である。しかしその制御パラメータは、流速の時空間分布や噴出方向など多岐にわたり、すべてのパターンを調べて最適解を見出すことは不可能である。そこで深層強化学習を用いた噴流の流入条件の最適化を行った。

図 1 に、流体シミュレーションにおける計算領域を示す。計算領域は二次元で、主流(x)方向に 300mm、鉛直(y)方向に 400mm である。流体シミュレーションは OpenFOAM を用いて実行した。乱流モデルには定常  $k-\epsilon$  モデルを用いた。噴流は  $-10\text{mm} < y < 10\text{mm}$  の領域から流入させた。噴流出口を y 方向に 20 分割し、各点から噴出させる流速を  $0 < U < 6 \text{ m/s}$ 、噴出角度を  $-30^\circ < \theta < 30^\circ$  で変化させた。ただし、断面平均流速は初期流速分布によらず  $2\text{m/s}$  となるように設定し、流入流量を一定とした。噴流と周囲流体との温度差は  $5\text{K}$  とした。深層強化学習のアルゴリズムには、Deep Q-Network を採用し、2000 エピソードの学習を実行した。また、学習の指標を、下流部( $x=300\text{mm}$ )における、1. 流量の最小化、2. 中心流速の最大化、3. 中心温度の最大化とした。

図 2 に、学習によって同定された最適な初期流速分布を示す。流量最小化と中心速度最大化の場合は類似した形状をしており、外縁部の流速が大きく外側へ広がるような分布を示す。一方で中心流速最大化の場合には、中心へ集まるような分布となっている。初期流速分布が一様流速の場合と比較すると、流量最小化の場合では流量が約 28%減少、中心流速最大化の場合では流速が約 19%増加、また中心温度最大化の場合では、温度差の減少が約 21%抑制された。また各場合におけるこれらの統計量を比較すると、流量最小化と中心温度最大化の場合にはほぼ等しく、中心流速と流量が小さく中心温度が高いのに対して、中心流速最大化の場合には、中心流速と流量が大きく中心温度が低いという結果となった。

一様流速で噴出される一般的な場合には、噴流が主流方向に発達するにつれて中心流速

および噴流温度と周囲温度の差が減少するとともに流量が増大する。つまりこれらは同時に起こる。しかし、今回のように初期流速分布が複雑な場合には、そうとは限らないことが示された。

(学会発表実績)

1. 林祐介, 岩野耕治, 伊藤靖仁, 噴流の混合拡散に対する深層強化学習を用いた初期流速分布最適化, 日本流体力学会年会 2022.
2. 林祐介, 岩野耕治, 伊藤靖仁, 噴流の熱拡散抑制を目的とした深層強化学習による最適条件の同定, 2022年度 CFD シンポジウム.
3. 奥村竜也, 岩野耕治, 伊藤靖仁, タブによる円形噴流の混合拡散制御に関する直接数値計算, 第 72 期日本機械学会東海支部講演会(2023).
4. 林祐介, 岩野耕治, 伊藤靖仁, 噴流の混合拡散抑制を目的とした深層強化学習による初期流速分布最適化, 第 72 期日本機械学会東海支部講演会(2023).

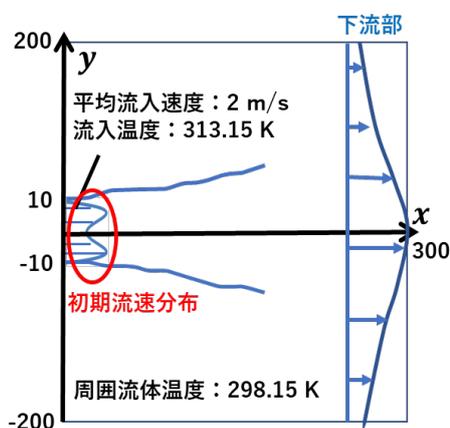


図 1 学習条件の概略

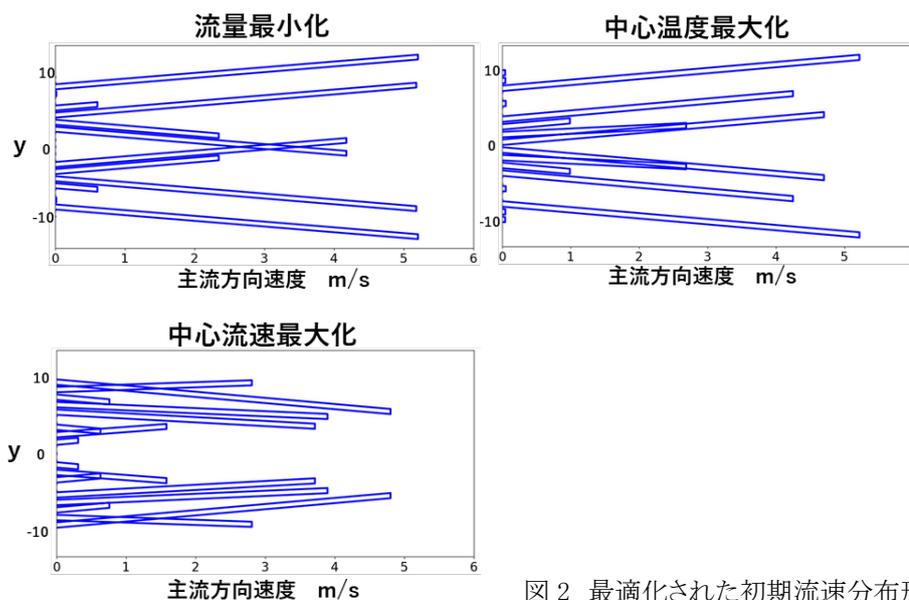


図 2 最適化された初期流速分布形状