

流体力学シミュレーションの進展: 物理インフォームドニューラルネットワークの最適化への包括的アプローチ

周 文¹, 三輪 修一郎¹, 岡本 孝司¹

¹ 東京大学大学院 工学系研究科 原子力国際専攻

概要

物理インフォームドニューラルネットワーク (PINNs) に基づく流れのモデリングは、流体力学の問題を解決するための有望な AI 技術の一つとして近年注目を浴びている。しかし、従来の PINNs は、非圧縮性流体をシミュレートする際に固有の限界に直面することが指摘されている。例えば、サンプリングポイントの選択、損失項のバランス、およびハイパーパラメータの最適化などの問題である。これらの限界は、PINNs の非収束につながるが多々起こりうる。これらの問題を解決するために、本研究では、流体動力解析のために改良された汎用 PINNs を提案する。このアプローチには、以下の3つの主要な改良が含まれる: 残差に基づく適応サンプリング、適応損失重み、および微分進化 (DE) 最適化アルゴリズムの利用である。その後、低レイノルズ数の3つのケーススタディ (Kovasznyai 流, シリンダーを通過する渦の放出, Beltrami 流) を使用して、改良された PINNs の妥当性を検証した。各改良が最終的なシミュレーション結果に与える影響を調査し、定量的にベンチマーク評価を行った。シミュレーション結果は、解析解および基準計算流体力学 (CFD) 計算結果と良好な一致を示し、改良された PINNs の精度の高さとその妥当性を実証している。この PINNs は、流体力学の問題を解決するための CFD シミュレーションへの依存を減らす可能性をもたらし、広く物理分野に貢献することが期待される。