

2023 年度年次報告書

複雑な流動・輸送現象の解明・予測・制御に向けた新しい流体科学

2023 年度採択研究代表者

亀谷 幸憲

明治大学 理工学部

専任講師

高 Re 数乱流伝熱面の多自由度形状最適化

研究成果の概要

本年度(2023 年度下半期)はベースとなる形状最適化アルゴリズムの開発を行なった。申請者が構築した既存の DNS-RANS ハイブリッド形状最適化アルゴリズム¹⁾について、順解析を LES で実施するよう拡張した。随伴最適化に用いる RANS 方程式は LES の基礎方程式である Filtered Navier-Stokes 方程式及び Filtered enthalpy transport 方程式を時間平均することで得られ、ブシネスク近似を用いることで LES 統計場から乱流エネルギーの生成を再現するよう渦粘性を決定し随伴最適化に利用する。また、流体固体界面は符号付き距離関数であるレベルセット関数で表現し、境界埋め込み法を用いて最適化対象である伝熱面を流れ場に配置する。この時、距離関数としてのレベルセット関数の性質を利用し、壁乱流の壁モデルを Volume Penalization 法と組み合わせて用いることで界面近傍の格子解像度の不足を回避する。随伴最適化では順解析として非定常 LES を実施し、時間平均を適用することで平均速度、グリッドスケールレイノルズ応力並びに時間平均 SGS 応力を得る。これらの情報をブシネスク近似に適用することで、局所の乱流運動エネルギー並びに温度変動の生成を再現するように渦粘性係数・渦粘性係数を計算する。当該年度は、SGS 応力モデルには Smagorinsky モデルを実装し、翌年以降に開発を進める機械学習を利用した SGS 応力モデルに切り替える基礎アルゴリズムとなる。構築したアルゴリズムは基礎的フィン(ピンや半球)形状に適用し、数値解析を用いて検証した。本研究の成果の一部を、第 37 回数値流体シンポジウムで発表した²⁾。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Kametani, Y., Fukuda, Y., Osawa, Y., Hasegawa, Y., “A new framework for design and validation of complex heat transfer surfaces based on adjoint optimization and rapid prototyping technologies” Journal of Thermal Science and Technology, Vol. 15, No. 2, JTST0016 1-15 (2020)
- 2) 関口 大聖, 亀谷 幸憲, 「随伴解析に基づく高 Re 数乱流場における伝熱面形状最適化」, 第 37 回数値流体シンポジウム, 名古屋, 12 月 15-17 日 (2023)