

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

有馬 隆司

苫小牧工業高等専門学校 創造工学科
准教授

非平衡流れに対する階層的流体力学の創成

研究成果の概要

1. 拡張された熱力学 (RET) による実在気体中の非平衡流れのモデル化

計画の初年度である本年度は、簡単な場合として、実在気体効果に伴う内部緩和過程のみがマクロな非平衡過程として存在する場合に対して、RET による非平衡流れのモデル化についての研究を行なった。まずは、単原子分子実在気体を対象に、分子間ポテンシャルの存在に伴うマクロな内部緩和過程を表すバランス方程式を求め、エントロピー原理に整合するように構成量である非平衡エントロピーと非平衡圧力を決定する方法を考案することができた。また、多原子分子効果を含めた形への一般化にも成功している。より現実的な粘性応力と熱流束を含むモデルの検討も進めた。

2. 多原子分子気体の生成項モデル化

Boltzmann 方程式の衝突項として、比熱に温度依存性があるような気体に対して適用可能な新しい ES-BGK モデルの提案に成功した¹⁾。また、提案した衝突項モデルを用いることで、運動論的 RET において、マクロな散逸的物理量に対するバランス方程式の生成項を具体的に評価することができた。さらに、その生成項を用いた RET の閉じた場の方程式系による超音波の分散関係および衝撃波の波面構造の数値的な解析を行なった。

3. RET の各種流体への展開

粘弾性流体への展開: 最近提案されている RET に基づく非線形粘弾性流体モデルを用いて、応力緩和やクリープの挙動を解析した。実験データとの整合性については引き続き研究を進める予定である。また、理論の一般化にも取り組んでいる。

相対論的流体への展開: 内部構造を持つ相対論的流体に対する RET が、その特異極限として内部構造を考慮しない従来理論を含むことを証明した。これにより、相対論的／非相対論的、あるいは、内部構造を含むかどうかによる RET の場の方程式系の分類を行うことができた。

【代表的な原著論文情報】

- 1) T. Arima, A. Mentrelli and T. Ruggeri, A Novel ES-BGK Model for Non-Polytropic Gases with Internal State Density Independent of the Temperature, Journal of Statistical Physics, (2024)
<https://doi.org/10.1007/s10955-024-03286-9> (in press).