

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第13回シンポジウム
2021年度採択課題ポスターセッション
(jh210028-NAH)

二相流により熱交換される複雑構造体の熱流動解析ツールの開発ならびにその現象解明
(継続課題)

大阪府立大学
金田昌之



背景

発熱量の増大に伴う、効率的な徐熱に対するニーズ



オイルの流下による液冷技術



液体・熱の挙動、冷却効果を解明する必要性



液体挙動解析を実施（昨年度課題）



ハイブリッド車のステータ

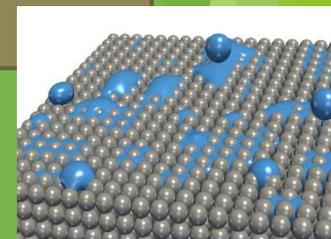
複雑構造ゆえの可視化の困難さ



大規模数値解析



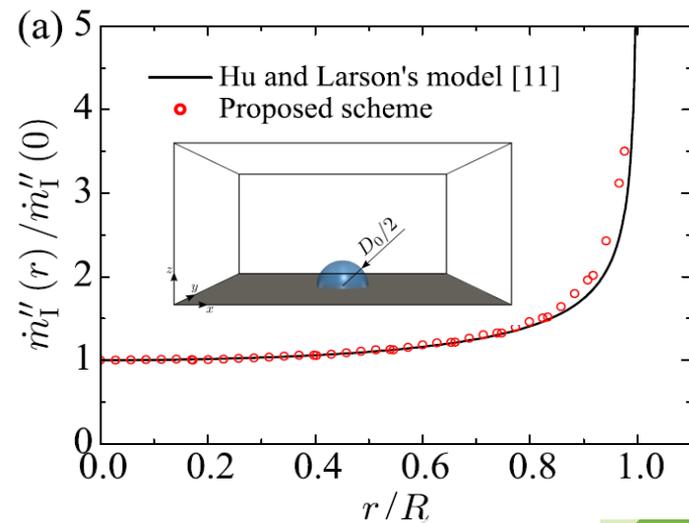
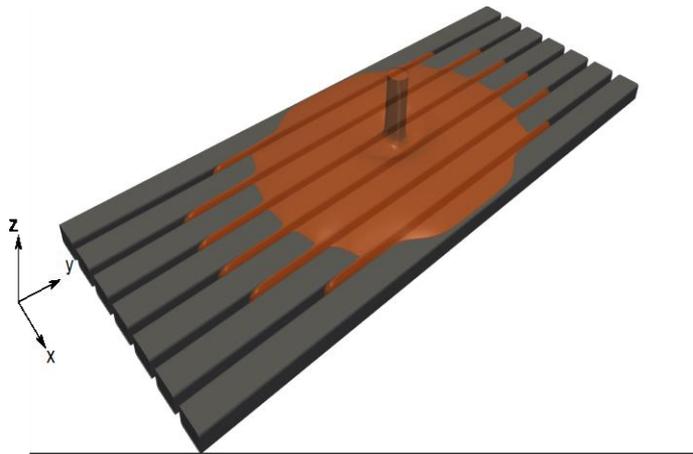
解析手法の改良・発展



昨年度実施したこと

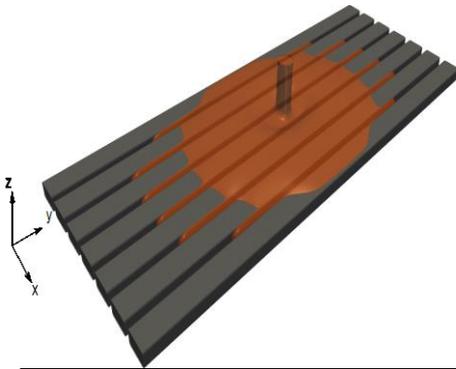
自動車用モータのステータコイルを対象とし，その簡易モデルに流下した二相流の解析

LBMにおける精確な気液界面蒸発モデルの開発



今年度の実施内容

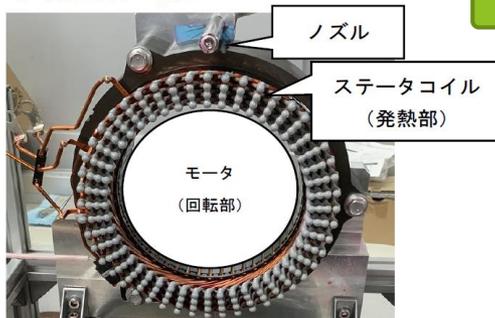
①二相系LBMに温度場解析を実装



- 流動解析の安定性の向上
 - LBMの数値安定性の向上
 - 界面張力の取り扱い
- 熱的境界条件の開発
 - 共役伝熱問題：既往の研究では不十分
 - 複雑構造なのでD3Q7は使えない...

②狭隘流路のテイラー・クエット流れ解析

1) 研究目的の補足



解析手法：格子ボルツマン法

保存形Allen-Cahn方程式を素地としたD3Q27 Phase-field LBM

支配方程式

連続の式

Navier-Stokes方程式

保存形Allen-Cahn方程式

エネルギー式

格子ボルツマン方程式に変換

$$f_i(\mathbf{x} + \mathbf{e}_i \delta_t, t + \delta_t) - f_i(\mathbf{x}, t) = -\Lambda_{ij}^f [f_j(\mathbf{x}, t) - f_j^{\text{eq}}(\mathbf{x}, t)] + \delta_t R_i^f(\mathbf{x}, t)$$

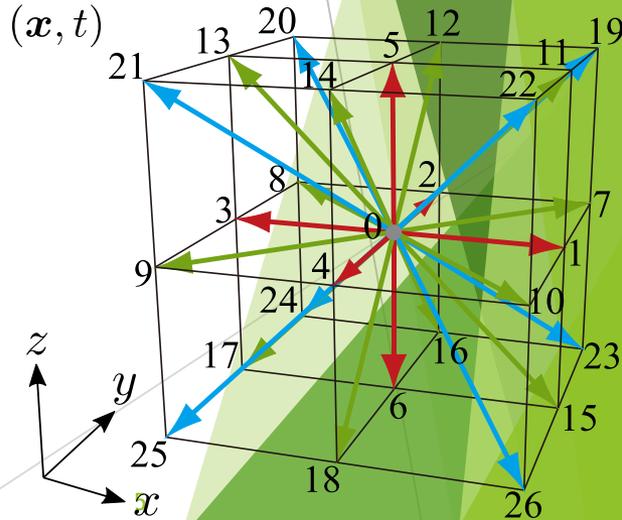
$$g_i(\mathbf{x} + \mathbf{e}_i \delta_t, t + \delta_t) - g_i(\mathbf{x}, t) = -\Lambda_{ij}^g [g_j(\mathbf{x}, t) - g_j^{\text{eq}}(\mathbf{x}, t)] + \delta_t R_i^g(\mathbf{x}, t)$$

$$h_i(\mathbf{x} + \mathbf{e}_i \delta_t, t + \delta_t) - h_i(\mathbf{x}, t) = -\Lambda_{ij}^h [h_j(\mathbf{x}, t) - h_j^{\text{eq}}(\mathbf{x}, t)] + \delta_t R_i^h(\mathbf{x}, t)$$

$$\text{秩序変数 } \phi = \sum_i f_i \quad \rho = \phi \rho_l + (1 - \phi) \rho_g$$

$$\text{速度 } \mathbf{u} = \frac{1}{\rho} \left[\sum_i \mathbf{e}_i g_i + \frac{\delta_t}{2} (\mu_\phi \nabla \phi + \rho \mathbf{g}) \right] \quad \text{温度 } T = \sum_i h_i$$

$$\text{圧力 } p = \frac{c_s^2}{1 - w_0} \left[\sum_{i \neq 0} g_i + \frac{\delta_t}{2} (\rho_l - \rho_g) \mathbf{u} \cdot \nabla \phi + \rho s_0(\mathbf{u}) \right]$$



D3Q27モデル

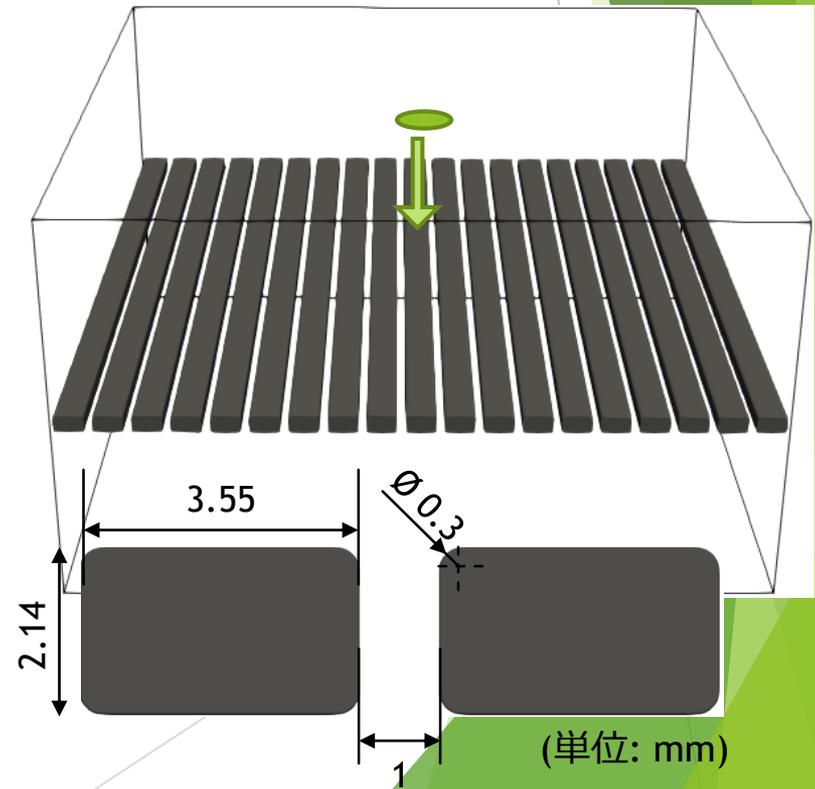
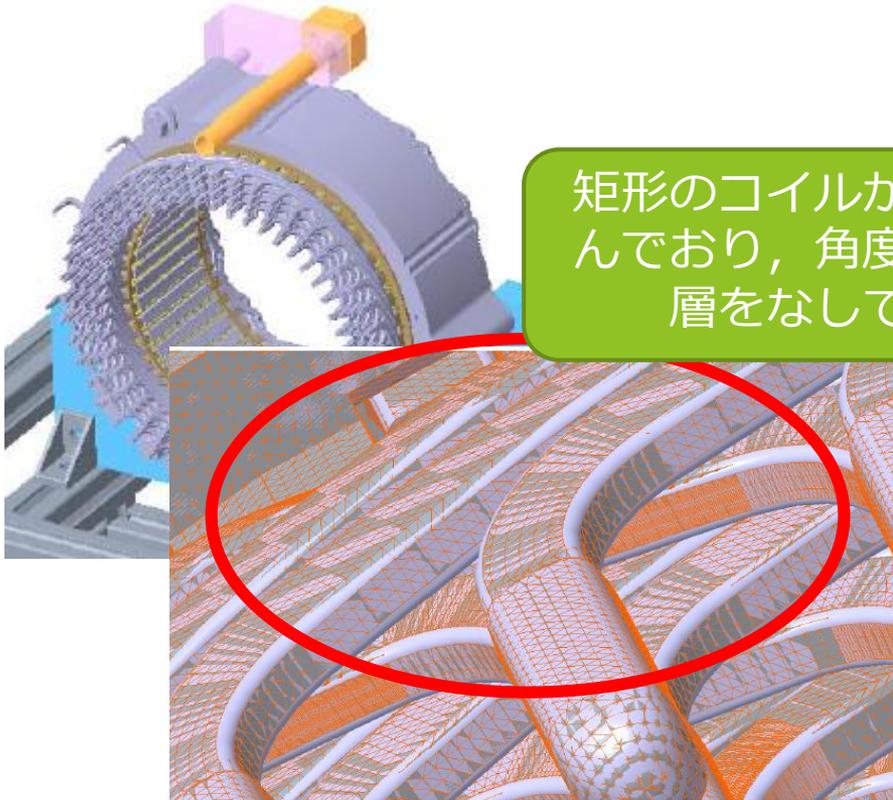
[4] Liang, H. et al., Phys. Rev. E, 97, 033309 (2018).

[5] 杉本, 他2名, 日本機械学会論文集, 86, 20-00014 (2020).

解析対象

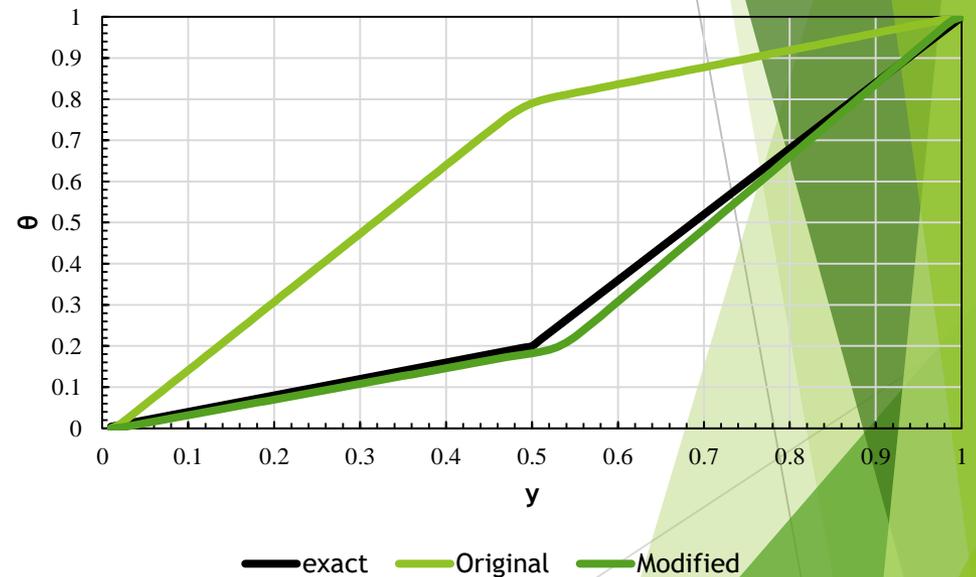
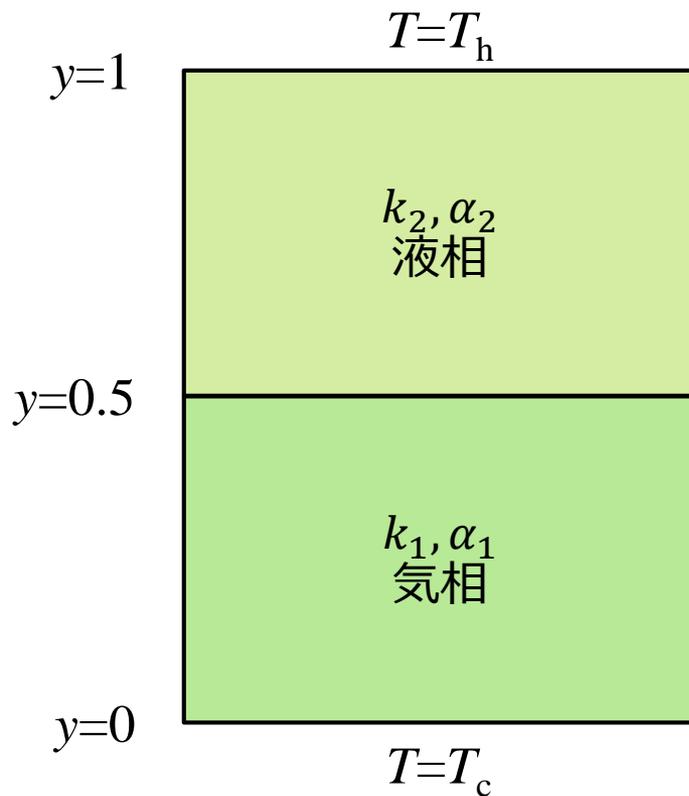
矩形のコイルが平行に並んでおり、角度をつけて層をなしている

平行角柱群に近似



課題①

- ▶ LBMでは共役伝熱（気液，固液，固気）の温度境界条件を適切に表現できない（熱伝導率のみの変化はOK）
- ▶ 特に拡散界面（気液）での共役伝熱問題の最適手法を考案する必要がある



課題②

- ▶ 単純な流れ場では温度場はD3Q7モデルで問題ないが、複雑構造では離散速度成分が多い方が精度は高いと予想
- ▶ 温度場の二相系Interpolated bounce backを考える必要もある
- ▶ 狭隘流路の解析においては計算資源の有効利用と解析精度の担保のためにデータの配列や曲面における壁関数の適用+乱流モデルなどが必要