

モータ高出力化の課題解決に資する混相・乱流熱流動解析

jh230007 金田 昌之 (大阪公立大学)

研究背景

- 温室効果ガス削減
- 内燃機関から電気自動車へ
- TRAMI：自動車用動力伝達技術研究組合 **TRAMI**
- 小型高効率・高出力化 = 高速回転化
- 現状：13,000 rpm → 将来：50,000 rpm

ステータコイルの発熱増大
ロータ回転トルク損失増大

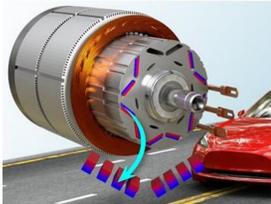
解決すべき課題

ステータコイルの熱除去



- 冷却液流下による直接冷却
- 冷却液の濡れ広がり と 熱交換量の関係
- 構造依存, 流体依存
- 発熱する複雑構造に流れる二相熱流動数値解析：PFLBM
- 安定かつ高精度に解析する手法を用いた現象のキャラクタリゼーション

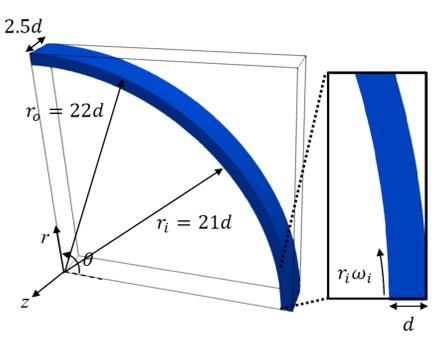
ロータ・ステータ間流れ



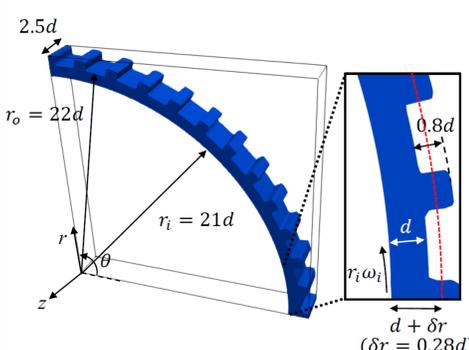
- 電磁場最適化のための溝構造
- 高速回転化による回転トルクの増大
- コイルからの熱流入
- テイラー・クエット (T-C) 流れに近似
- 直接解析は限界
- LBMにLESを導入, 溝付きT-C熱流動解析

溝付きT-C熱流動場解析

Case TC (溝なしテイラー・クエット流れ)



Case GTC (溝付きテイラー・クエット流れ)



半径比: $\eta = \frac{r_i}{r_o + \delta r}$ レイノルズ数: $Re = \frac{r_i \omega_i (d + \delta r)}{\nu}$

r_i : ロータ半径
 r_o : ステータ半径
 δr : 平均溝深さ

ω_i : ロータ回転角速度
 ν : 動粘度

- 境界条件
- 周方向, 軸方向: 周期境界条件
 - 壁面
 - 速度場: 滑りなし境界条件
 - 温度場: 等温境界条件
 - ロータ壁温度: T_i (低温)
 - ステータ壁温度: T_o (高温)

- ひとまず25,000rpmを目途に解析精度検証
- 溝無しでLESの評価→溝有りへ
- LBM次元配列で高速・高効率化
- 将来的な実機構造を志向 (高速回転 = 半径→小)
- それでも乱流統計量を担保するには計算資源量・大

研究内容

ステータコイルの熱除去

- 気液二相系フェーズフィールド格子ボルツマン法 (PF-LBM) の改良, 速度場・温度場解析の安定性と妥当性検証
- 濡れ広がり と 除熱量の相関を明らかにする.
- (熱流動解析にAMRを実装)

ロータ・ステータ間流れ

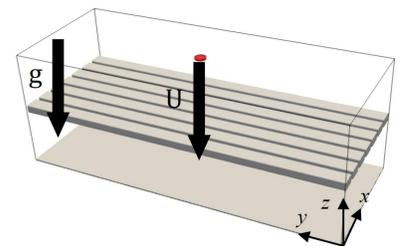
- 超高速回転のテイラー・クエット乱流直接解析.
- 計算コストを考慮しLESの実装.
- 内外円筒の溝構造の影響を検討.
- 温度場を考慮した解析.

二相流熱流動解析

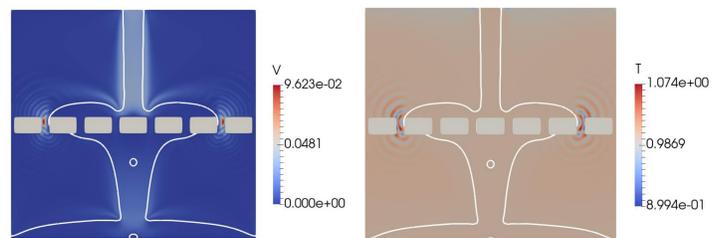
- 連続の式
- 運動方程式 (重力, 高密度比, 表面張力)
- 保存系Allen-Cahn式 (相の輸送)
- エネルギー方程式 (共役伝熱問題)

Phase field LBM

- 速度分布関数: Cascaded or Cumulant
- 秩序変数分布関数: SRT
- 温度分布関数: Weighted MRT

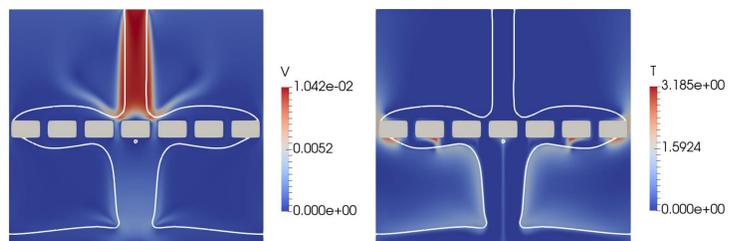


Cascaded model (密度比200)



- 速度場温度場共に振動

Cumulant model (密度比705)



- 振動はみられない

まとめ

- 二相流の熱流動場解析の妥当性評価が必要. 手法についてはメンバー間の情報交換と知見の共有が必要.
- 溝付きT-C流れは高Re数解析の直接解析のコストが課題. LESの妥当性検証から進める.