

TSUBAME 共同利用 令和3年度 学術利用 成果報告書

利用課題名 電気コイル隙間内に流れ込む冷却液挙動に関する大規模数値解析
英文: Large-scale computing of pouring coolant on the electric coil

利用課題責任者 金田 昌之
First name Surname Masayuki Kaneda

所属 大阪府立大学
Affiliation Osaka Prefecture University
URL <http://www2.me.osakafu-u.ac.jp/htlab/>

邦文抄録

電気コイルを冷却するための手法として用いられている、上部からノズルで冷却液を流下する現象において、冷却液が冷却対象である電気コイル内外でどのように流動するのかを解明することを目的として、フェーズフィールド法 LBM を用いた大規模二相流数値解析を実施した。コイル形状については水平角柱群を層ごとで角度をつけて積層したものを採用することで、実機において冷却液が直接流下する領域の一部を模擬した。解析結果より、角棒間隔を広げると表層の濡れ広がり小さくなり、内部の濡れ広がりも小さくなることが分かった。これを無次元数により整理したところ、速度境界層厚さに由来した無次元数により各層の濡れ面積が整理できることが分かった。

英文抄録

To investigate the coolant behavior poured on the electric coil, the large scale two-phase simulations were carried out for the liquid poured onto the simplified electric coil. The accumulated horizontal rod arrays are employed for the simplified coil model, of which layer is crossed with angle. The computational results show that the spreading area depends on the rod gap. Since the spreading on the surface at the top layer decreases as the gap increases, the spreading in inner layer also decreases. This tendency can be normalized at each layer by the dimensionless number.

Keywords: Cooling of electric devices, coolant behavior, two-phase flow, phase-field, lattice Boltzmann method

背景と目的

近年の電気機器の高出力化に伴い、発熱密度の上昇とその効果的な除熱が課題となっている。たとえば自動車用のモータでは非電気伝導性の冷却液を発熱する電気コイル部分に直接流下することで冷却されている。この場合、冷却液がまんべんなくコイル内を浸潤して流下することが求められ、そのためにノズルの位置、穴径、流量、穴の数などを規定することが理想である。しかしながら狙い通りに流体が電気コイルの隙間を通過して流下しているかは経験則に依存しており、適切に冷却できているかは不明である。

冷却液がどのように内部を浸潤するのかを把握することができれば機器設計のヒントとなるが、実機において直接観察することは非常に困難であることから数値解析による検討が有効であるとされた。しかしながら実際のコイル形状は大変複雑な構造をしており、これをそ

のまま解析対象とすると不正確な解析もしくは解析の発散が懸念された。また、複雑形状を取り扱うことができ、さらに二相流解析の可能なモデルが必要であることも課題であった。

本プロジェクトでは、明らかにすべき流動場と対象構造に着目することで構造を簡略化することで、そこに流下した冷却液の挙動を最新の数値解析シミュレーション手法で解析することで、冷却液挙動を明らかにした。

概要

課題責任者の所属する研究室では、これまで格子ボルツマン法 (LBM) を素地とした二相流解析手法に関する研究を進めてきた。LBM は複雑形状の流動解析が比較的容易であり、本研究室で開発してきた手法はこれまで課題であった相体積の保存性を向上させたモデルである。この手法を今回の対象に適用することで

解析が可能となると考え、三次元二相流 LBM を用いて、簡易化した電気コイル内に浸潤・流下していく冷却液挙動に関する大規模数値解析を実施した。電気コイル構造は水平角柱群を相ごとに斜めに積層したものとした。これは実際のモーターコイル構造の一部、特に流体が直接流下する箇所を取り出し簡略化したものであり、前年度と同様の形状である。コイル構造の概念図ならびに解析ドメインを図 1 に示す。今年度は現象の対称性に鑑み、半分の領域を解析したものも実施した。これは格子解像度の検証ならびに解析高精度化のためである。

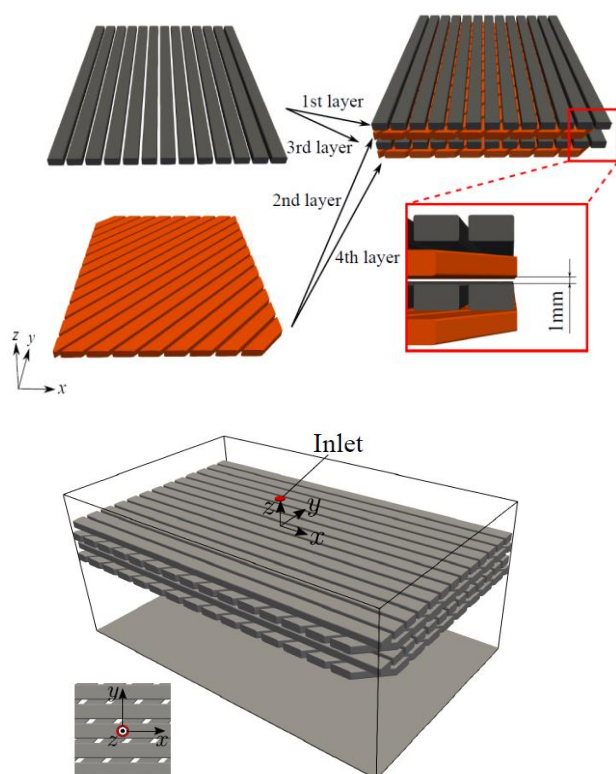


図 1: 積層構造の概念図と解析ドメイン

結果および考察

本年度は角棒間隔ならびに液体粘度(=温度変化に相応)を変えた場合の解析を実施し、各層の濡れ面積を評価した。各層の濡れ面積は図 2 に示すように分割して評価した。角棒の間隔が広くなるにつれて上層の表層での濡れ広がり小さくなること、角棒長手方向への濡れが顕在化することが分かる。その隙間から液体が下の層に流下するが、上層の影響を受けるため、こちらの濡れ広がり面積も小さくなること分かった。これは粘度を低く(=温度を高く)した場

合も同様であった。

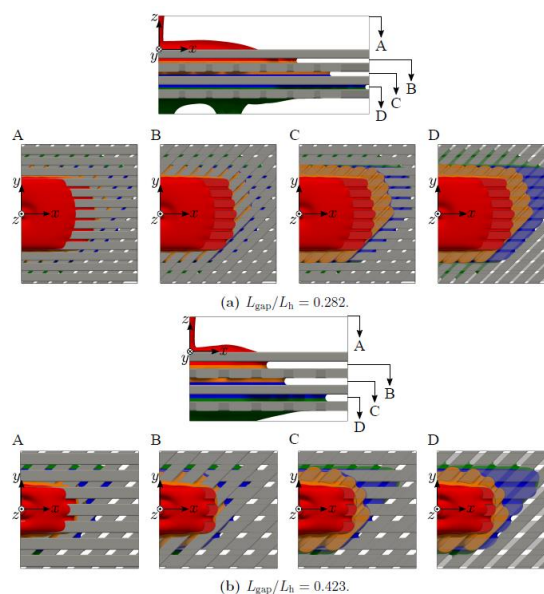


図 2: 角棒間隔が異なる場合の濡れ広がり

これらの因子が濡れ広がり面積に及ぼす効果を議論するために、ノズル径で無次元化した面積を、レイノルズ数の平方根と角棒間隔で整理した。結果を図 3 に示す。いずれの層においても反比例の関係が確認できた。これはレイノルズ数の平方根が速度境界層厚さに反比例する現象と似ており、単層の場合に得られた結果とも相応する。

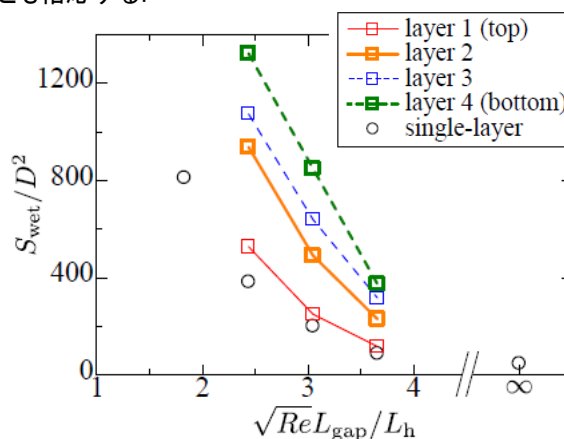


図 3: 各層の無次元濡れ面積

まとめ、今後の課題

積層構造への二相流解析を実施してその濡れ広がり面積を整理することで、透過性壁面への流動と濡れ面積を明らかにした。今後は温度場解析の実装と周辺現象の解明を行う予定である。