

TSUBAME 共同利用 令和 2 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(300 字程度)

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、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、冷却液は角柱群の各層で長手方向のみならず角柱横断方向にも濡れ広がりながら下層にいきわたり、二層目以降では上下に挟まれた角柱間において作用するキャピラリカも寄与することで濡れ広がりが拡大することがわかった。

英文抄録(100 words 程度)

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 poured liquid spreads on each rod layer not only for the rod direction but also the spanwise direction, then goes down to the layer below. On the layers below the top, due to the capillary force between the above and below rods, the liquid spreads wider than the upper layer.

*Keywords:* 5つ程度 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徐熱が課題となっている。たとえば自動車用のモータの徐熱問題として、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方法がとられている。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で模擬した。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る。コイル構造の概念図を図 1 に示す。図 2 に示すようにコイル上部から冷却液が一定流量で流下するとした。実機で用いられている冷却液の詳細な物性値が不明であったことから、一部似た物質の物性を参照した。

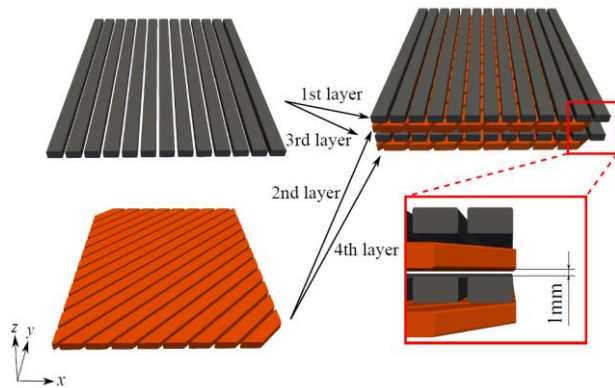


図 1: 積層構造の概念図

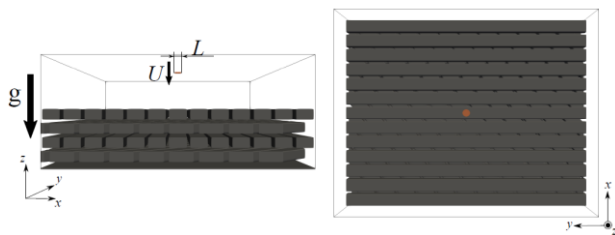


図 2: 解析ドメインならびに冷却液流下位置

### 結果および考察

本解析では特に、基本的な流体挙動を把握するために、流量一定条件で冷却液がコイル内をどのように流下するかについて議論した。解析結果のスナップショットを図 3 に示す。最上層の角柱群に衝突した液体は角棒の流れ方向に濡れ広がるとともに、液体粘性に依存して隣接する角柱への濡れ広がることがわかった。第 1 層から各層に濡れ広がった様子を図 4 に示す。第 2 層に流下した液体は角柱群に衝突してそこでも角柱の長手方向および隣接角柱へと濡れ広がる。各層の長手方向が角度をなしているため、それぞれの層の方向に広がるのだが、下層に行くにつれてその濡れ広がりが大きくなることがわかった。これは、図 5 に示すように 2 層目以降は上下が角柱で挟まれている場所が存在し、そこでは単なる濡れ広がりというよりはむしろキャピラリ力による液体輸送が顕在化するためと結論付けられた。

これは各層における角柱間でも同様に生じ、一部の液体は隙間にとどまることもわかった。

以上より、コイルの巻き線方向が層ごとで角度をなしていることで、冷却液の濡れ広がりを促進できることが明らかとなった

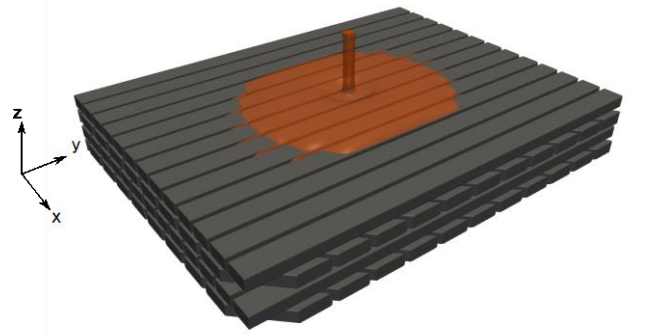


図 3: 流下した冷却液挙動のスナップショット

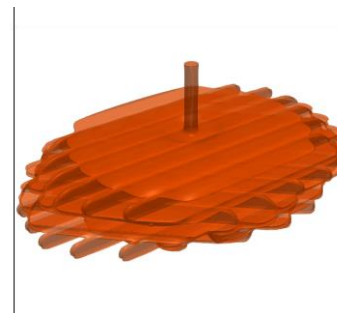


図 4: 積層構造内の液体の分布

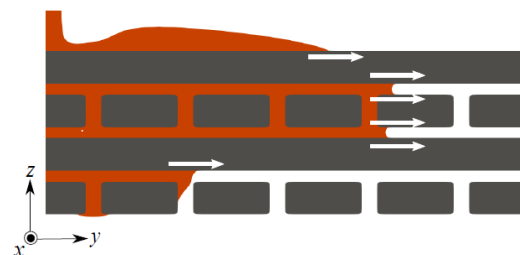


図 5: 各層における流動

### まとめ、今後の課題

本課題では、三次元二相格子ボルツマン法を最適化して用いることで積層構造に流下する液体の特有の流れ場を解明することができた。この知見は今後の構造決定のための指標となるとともに、物性による影響や温度場解析の実装をすることで、さらなる詳細な現象解明を目指したい。