

補助事業番号 26MC1201-044

補助事業名 2026年度 海外で開催される国際会議等で研究発表を行う大学院生の研究交流活動
補助事業

補助事業者名 福岡工業大学 工学部 知能機械工学科 榎田研究室 榎田 諭

1 海外渡航者

福岡工業大学 大学院工学研究科 物質生産システム工学専攻 ラートダムロングラック ケン

2 会議内容

(1) 会議名

17th World Congress on Computational Mechanics & 10th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (WCCM-ECCOMAS 2026)

(2) 開催地(国名／都市名)

ドイツ／ミュンヘン

(3) 開催時期

2026年7月19日 ～ 2026年7月24日

(4) 概要

WCCM-ECCOMASは、計算力学および応用科学・工学における計算手法の分野で、最大級の国際会議の一つである。本会議には、学术界、政府機関、産業界から多様で国際的な参加者が集まり、工学および科学のあらゆる分野を網羅している。計算力学は、現代の科学的探究における基盤的な分野となっており、工学分野のみならず、その先にある最先端かつ複雑な課題の解決を牽引している。

(5) 発表形式

口頭

(6) 研究テーマと発表内容

Material heat transfer properties estimation under fluctuating heat source with thermal camera (変動する熱源下における材料の熱物性値の推定 — 熱画像カメラを用いた解析)

廃棄物の再資源化を促進するためには、混合廃棄物に含まれる材料を効率的に識別・分別する技術が求められる。本研究では材料分類への応用に向けて、非接触で取得した熱画像から材料の熱物性値を推定する手法を検討した。

本研究の基本的な考え方は、物体を高温面と低温面の間に配置した場合、物体の形状が既知であれば、物体表面の温度分布の変化から、その物体の熱物性値を推定できるというものである。本研究では、高温面および低温面としてマイクロコントローラで制御したペルチェ素子を使用し、低温側は冷却水によって冷却している。

本研究では、試料の熱伝導率、放射率、および比熱容量を推定した。加熱・冷却条件、試料形状、および周囲環境の条件が既知であれば、温度変化から熱物性値を算出することができる。本研究では、①熱収支に基づく熱伝達法、②熱拡散方程式に基づく熱拡散法、③数値解析結果と実験結果を照合するシミュレーション法の三つの手法を比較した。

熱伝達法では、試料全体の熱移動を記述する熱収支方程式を用いる。熱移動には、熱伝導、対流、放射の三つの形態がある。物体へ流入するエネルギーと、物体から流出するエネルギーの差が内部エネルギーの変化となり、この関係から前述の熱物性値を推定することができる。

また、熱拡散法では熱拡散方程式を用いて熱拡散率を求める。この方程式は物体内部で熱がどのように伝わるかを表しており、有限要素法によって数值的に解く。ここで、時間に対する温度変化は熱拡散率と温度勾配、および内部発熱量によって決まる。ただし、この方法で求められるのは熱伝導率のみである。

シミュレーション法は、熱伝達法と同じ原理に基づいているが、試料とその周囲の熱源を数値モデルとして再現する。ここで、モデル内の熱物性値を調整しながら、シミュレーション結果が熱画像カメラで取得した温度分布と一致するまで繰り返し計算を行う。

これら三種類の計算手法による熱物性値の推定精度を、平均絶対パーセント誤差（MAPE: Mean Absolute Percentage Error）を用いて評価した。各計算手法による推定値を、公開物性値データベースから取得した物性値と比較した。もう一つ評価した項目はCPU時間で、各計算処理に要した時間を計測した。

まず、各計算手法の誤差を比較した結果を示す。熱伝達法および熱拡散法の平均誤差は約21%であった。一方、シミュレーション法の平均誤差は約16%であった。

次にCPU時間について説明する。計算の最初には、ビュー・ファクター（view factor）の計算が必要である。ビュー・ファクターの計算時間は、試料の熱画像の解像度に依存し、約3.75～10秒となった。その後、各計算手法における1フレーム当たりの平均CPU時間を比較した。熱伝達法は約0.8秒、熱拡散法は約1.5秒であるのに対し、シミュレーション法では約3秒を要した。

以上の結果より、シミュレーション法の平均誤差は約16%であり、熱伝達法および熱拡散法の約21%よりも小さかった。一方で、CPU時間はほかの二つの手法よりも長いことが分かった。また、計算開始時にはビュー・ファクターの計算時間も必要となるため、現時点では処理速度が課題とな

っている。さらに、推定誤差は小さくなったものの、材料を分類するための十分な推定精度には達していない。

以上、本研究では材料分類への応用を目的として、熱画像から試料の熱物性値を推定する手法を検討した。実験の結果、各手法による推定誤差は16~22%の範囲となった。また、本実験で最も推定精度が高かったシミュレーション法では、1フレーム当たり約3秒の計算時間を要することが確認された。

質疑応答：

Q：結果を算出する前のデータ準備ではどのような計算が必要なのか。

A：発表時間の都合上、詳細な説明は省略したが、データ処理の初期段階ではビュー・ファクターを計算している。ビュー・ファクターとは、面Aから見たときに面Bがどれだけ視野を占めているかを表す指標である。ビュー・ファクターが1であれば、面Bが面Aの視野を完全に覆っていることを意味する。本研究では対象が平坦な正方形表面で構成されているため、幾何学的条件に対応した解析式を使用した。

Q：熱伝達方程式におけるそれぞれの ΔT の違いは何か。

A：熱伝達方程式の各項に含まれる ΔT は、異なる熱移動現象に対応する温度差を表す。熱伝導項における ΔT は有限要素法における隣接する節点間の温度差である。対流熱伝達項の ΔT は試料表面と周囲環境との間の温度差である。

(7) 参加した成果

私の研究は、熱画像を用いて試料の熱伝達特性を非接触で推定することを目的としている。その中で、研究をさらに発展させるために、シミュレーション技術についてより深く学ぶことを目標とした。私は、シミュレーションの最適化から誤差計算まで、多くの分野について学んだ。

H. Li, J. Alexandersenによる「Towards Adaptive Space-Time Finite Element Topology Optimisation of Unsteady-State Heat Conduction」(20/07/2026)では、有限要素解析(Finite Element Analysis)について学ぶ中で、直交座標メッシュ(Cartesian mesh)方式は必ずしも最も効果的な方法ではないことを理解した。メッシュ形状は小さいスケールで変更し、最適なメッシュタイプを検証した後、実際のシミュレーションに適用することができる。

また、J. Alexandersen, M. Appelによる「Towards Fast Topology Optimisation of Non-Linear Heat Transfer with Phase-Change Materials using Space-Time Finite Elements and Space-Time Multigrid」(20/07/2026)では、シミュレーションが偏微分方程式を含む場合、連続ガラキン有限要素法(Continuous Galerkin Finite Element Method)を用いることで、解を近似することが可能であると分かった。

さらに、S. Noguchi, N. Ishida, T. Yamaguchi, K. Izui, S. Nishiwakiによる「On Topology Optimization for Thermal Radiative Devices Using a Ray-tracing Approach」(24/07/2026)では、ビュー・ファクターの計算にレイトレーシング法(ray tracing)を使用することで、複数の表面が互いに遮蔽している場合に、計算コストを削減できると説明された。ただし、その場合は精度が低下するというトレードオフがある。

最後に、セッション「New Trends in Topology Optimization」では、DWR誤差指標(DWR error indicators)についても学んだ。これは高度な誤差評価手法であり、誤差がどの領域に局在しているかを明らかにするのに役立つことを理解した。

(8)現地での様子



口頭発表中の様子



会場での様子

3 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 福岡工業大学 工学部 知能機械工学科 槇田研究室

住 所: 〒811-0295

福岡県福岡市東区和白東3-30-1

担 当 者: 教授 槇田 諭

E - m a i l: makita@fit.ac.jp

U R L: <https://www.fit.ac.jp>

<https://www.fit.ac.jp/~makita/>

MATERIAL HEAT TRANSFER PROPERTIES ESTIMATION UNDER FLUCTUATING HEAT SOURCE WITH THERMAL CAMERA

Ken Lertdumronglak, Satoshi Makita, Shijie Zhu

Fukuoka Institute of Technology (FIT)
811-0295, 3-30-1 Wajiro-higashi, Higashi-ku, Fukuoka, Japan.
e-mail: ad24202@bene.fit.ac.jp, makita@fit.ac.jp, zhu@fit.ac.jp
web page: <https://www.fit.ac.jp>

ABSTRACT

Material recognition is most applicable in the field of recycling where the input objects are composed of various materials with different recycling methods. For real-world waste, the images are more complex than normal labeled footage [1].

Our study presents a novel approach to material classification using analysis of the object's shape and surface temperature under an induced heat transfer state by a radiant heat source and heat sink provided by the Peltier devices. The Peltier devices are powered by a DC generator and controlled by a MOSFET and an Arduino circuit. The Peltier devices' temperature was controlled to reveal the response to temperature change which reveals more variable to the heat capacity and conductivity of the object.

The collected data were calculated by three heat transfer theories using Python. The first is classic heat transfer theory which gives the highest error but needs the fewest steps to calculate [2]. The second is the heat diffusion theory which increases the accuracy, but only heat conductivity can be calculated [3]. The third method is to simulate the object's heat transfer in a computer and estimate the thermal property until the simulated surface temperature matches the real temperature.

The results from these three methods are compared to the database of real material properties to estimate errors. The CPU time is also recorded for comparison. The errors from these methods and the applied conditions are also compared with the required computational power, as measured by CPU time. The third method has the lowest error of 16.2%, and the CPU time depends on the resolution of the thermal footage, but the third method has one to two times the CPU time needed.

Our research aims to start with homogeneous materials in a controlled environment, then progress in complexity to real-world waste.

REFERENCES

- [1] Ziouzos, D., Baras, N., Balafas, V., Dasygenis, M., Stimoniaris, A., Intelligent and real-time detection and classification algorithm for recycled materials using convolutional neural networks, Recycling, Vol.7, PP.9, 2022
- [2] Çengel, Y. A., Ghajar, A. J., Heat and mass transfer : fundamentals & applications, 6th Edition, Mcgraw-Hill Education., 2020.
- [3] George A. G., Encyclopedia of Physical Science and Technology, 3rd Edition, Academic Press, 2003