

Selective Laser Thermoregulation 法における 均一な温度分布の実現に向けたレーザ制御システムの開発

Development of the Laser Control System for uniform temperature distribution in the
Selective Laser Thermoregulation method

河原崎 祐作¹⁾

指導教員 大久保 友雅¹⁾, 研究協力者 宇井 翔太¹⁾

1) 東京工科大学大学院 工学研究科 サステイナブル工学専攻 光・エネルギー (大久保) 研究室

Selective Laser Thermoregulation(SLT)法において加熱面の温度が低い位置をレーザで動的に温度補償するフィードバック制御の開発を行った。これにより、レーザの照射領域を 4×4 で分割するときレーザ出力を 400 W以上にする事で高温かつ均一な加熱が期待できることがわかった。

キーワード：フィードバック制御, レーザ加熱試験, SLT 法, ガルバノスキャナ

1. はじめに

現代社会では、様々な場面で高耐熱材料が求められている。従来は加熱炉を使用してこれら材料の耐熱性を試験していたが、この方法は炉全体を加熱・冷却に長時間を要し、特に長期間の加熱・冷却を伴う製品の評価が困難であった。そこで、近年では、高速に耐熱試験を行う技術としてレーザ加熱試験が提案されている。海外の先行研究では SiC/SiC CMC (CMC: Ceramic Matrix Composite) の特性解明のためにファイバレーザを使用した試験が 2019 年に報告された^[1]。しかし、この手法では静的な光学系を用いているため、動的な温度補償が困難である。

この問題を解決して均一な加熱を行うため、本研究室では SLT 法の開発を行った^[2]。SLT 法は、ガルバノスキャナを用いてファイバレーザを走査し、任意の形状を塗り絵のようにして動的に加熱する。従来の実験では、最も単純な走査方法として、レーザを試験片に対して高速で上下に走査するフィードフォワード制御を用いて、レーザ照射点近傍の温度分布の変化を解析した^[3]。そのため、これまでの静的光学系を用いた加熱実験のように、温度分布を動的に制御することはできない。また、これまでの研究では局所的な温度変化は明らかに

されているが、加熱領域全体の温度分布の均一性については明らかにされていない。

本研究では、SLT 法を用いて対象の温度分布を動的に制御するフィードバック制御システムを開発した。このシステムは、放射温度計で測定した温度分布に基づいてレーザの照射位置を決定し、フィードバックを行うことで均一な加熱を目指す。

2. フィードバックシステム

図 1 に SLT 法におけるフィードバック制御の概略図を示す。まず、試験片の温度分布を放射温度計で測定する。次に、その温度分布に基づいてレーザの照射領域を複数の領域に分割する。そして、各領域で最も温度の低い位置を探索し、その位置をつなぐ走査パスを生成する。最後に、走査パスをガルバノスキャナに送信してレーザを走査する。この操作を繰り返すことで、温度分布の変化に応じた動的な加熱を実現した。実験では、高温な加熱と均一な加熱をそれぞれ目的とする、 4×4 の細かい分割方法と 4×1 の粗い分割方法を用いた加熱試験を行った。また、波長が 1070 nm のファイバレーザを 400 W の出力で 14.3 m/s の速度で走査した。使用した試験片の概略図を図 2 に示す。この試験片上のレーザを照射する領域は試験片中心から長手方向に 40 mm とした。

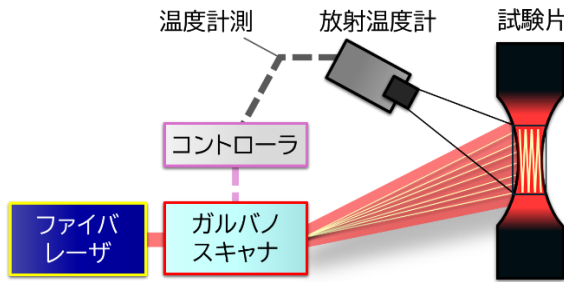


図 1 フィードバック制御の概略図

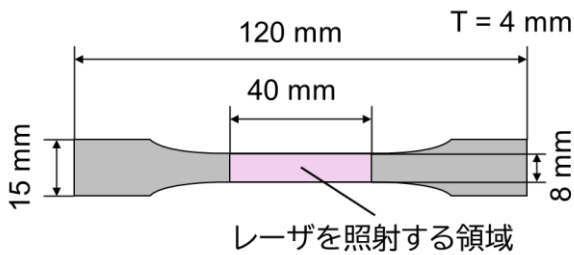


図 2 使用した試験片の概略図

3. 温度分布の評価

海外での先行研究^[1]をもとに空間的な平均温度の到達目標は 1150 °C以上、温度変化が準定常となるまでの時間を 200 s未満とした。さらに、温度分布の均一性は空間的な標準偏差から評価した。標準偏差の目標値は平均温度の到達目標である 1150 °C、すなわち 1423 Kの 3%である 43 K以下とした。

4. 評価結果と将来の展望

どちらの分割方法を用いても約 60 sで温度変化が準定常になったため、フィードバック制御を用いて高速な加熱が可能なが示された。図 3 には空間的な温度平均の準定常になってから 60秒間での時間平均を示す。4×1の分割方法は目標温度よりも高温であるため、高温な加熱が可能ながわかった。また、図 4 には図 3と同様の時間間隔での空間的な標準偏差を示す。4×4の分割方法は空間的な標準偏差の目標値よりも小さいため、均一に加熱できることがわかった。

5. 今後の展望

図 3 に示すように 4×4では平均温度が低くなることが確認された。これは、レーザを照射する位置の探索数が増えることで処理に時間がかかり、

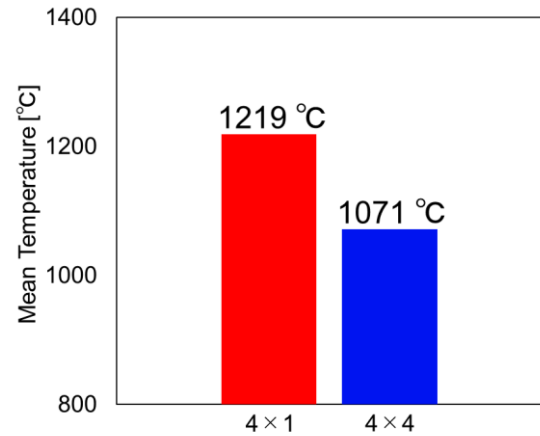


図 3 空間的な温度平均

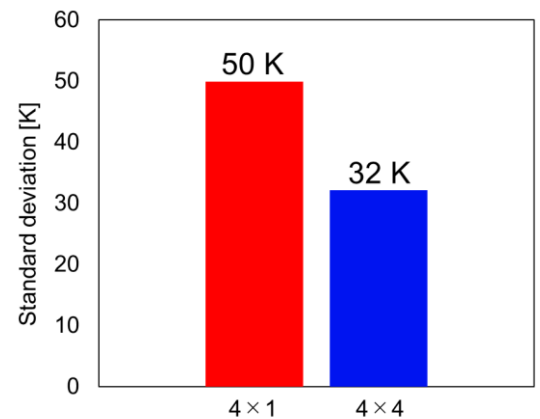


図 4 空間的な標準偏差

レーザが照射されない時間が増えるためであると考えた。しかし、これはレーザの出力を上げることで解決することができる。そのため、今回用いた 400 Wよりもレーザの出力を上げることで、4×4の分割方法で均一かつ高温の加熱を実現することが期待されることがわかった。

参考文献

- [1] T. Whitlow, *et al.*: Composite Structures, 210, (2019), pp.179-188.
- [2] H. Koshiji, *et al.*: J. Laser Micro/Nanoengineering., 15, (2020), pp.174-177.
- [3] S. Kanai1, *et al.*: J. Laser Micro/Nanoengineering., 19, (2024), pp.140-144.