

ファイバーレーザーを用いた SiC/SiC 複合材料の加熱のシミュレーションおよび試験片把持部の設計

Numerical Simulation of Heating SiC/SiC CMCs Using Fiber Laser and Designing of Parts for Holding a Target

東京工科大学 工学部機械工学科 大久保研究室

越地 駿人¹⁾

指導教員 大久保 友雅¹⁾, 研究協力者 松永 栄一¹⁾

1) 東京工科大学 工学部 機械工学科 大久保研究室

キーワード: 数値計算, 加熱試験, 航空機エンジン, ファイバーレーザー, セラミック複合材料

1. はじめに

本研究では、航空機エンジンの高効率化のために SiC/SiC 複合材料をエンジンの材料に利用することを目的とし、レーザーを用いた新しい加熱試験装置の開発を行う。SiC/SiC 複合材料とは、セラミックである炭化ケイ素(SiC)を用いた繊維強化型の複合材料であり、現在航空機エンジンの材料に用いられているニッケル基合金と比べて、高耐熱かつ軽量という特徴を持つ。

一般的にエンジンなどの熱機関は、以下の式(1)に示すカルノーサイクルの最大熱効率に代表されるように、最高温度を上げることで高効率化が見込まれる。

$$\eta = 1 - \frac{T_{min}}{T_{Max}} \quad \dots(1)$$

ここで、 η, T_{min}, T_{max} はそれぞれ、熱効率、放熱部の温度、加熱部の温度である。このことから、高耐熱である SiC/SiC 複合材料は、航空機エンジンの材料として用いる事により、その高効率化に寄与することが期待される。しかし SiC/SiC 複合材料は、航空機エンジン内部を想定した高温環境に曝された後の機械的特性について不明な点が多く、信頼性の確保が課題となっている。

そこで本研究では、SiC/SiC 複合材料の試験片に高出力レーザーを照射し、任意の温度に加熱して航空機エンジン内部の状態を模擬する試験装置の開発を行う。

先行研究^[1]でのレーザーを用いた SiC/SiC 複合材料の加熱試験では、レンズ等を用いてレーザーのビームを加熱領域の形状に整形し、照射していた。この方法では照射面の外縁部が冷えやすく、照射面を均一に加熱できていない。

そこで本研究で提案する加熱試験装置は、2枚のミラーと一つのレンズを高速で駆動させ、レーザーの照射位置を3次元的に走査することが出来るガルバノスキャナと呼ばれる装置を用いる。ガルバノスキャナを用いて高速にレーザーを走査することにより、任意の形状の平均パワー分布を与え、均一な温度分布に制御することを目指す。

またエンジン内部で発生する水蒸気にも吸収されにくい波長である 1070nm のファイバーレーザーを用いることで、高温環境での試験も可能にする。

2. 平均パワーでのシミュレーション

まず初めに、SiC/SiC 複合材料の試験片に与えるパワーと試験片の到達温度の関係を調べるために、シミュレーションを行った。照射面の大きさは先行研究と同様に 50.8 mm × 8.0 mm とした。

本研究で考慮した熱の移動は以下の3点である。

1. レーザーの照射により、試験片が直接加熱される際の熱流入
2. 熱伝達(自然対流)による放熱
3. ふく射による放熱

以上の3点を考慮し、式(2)に示す支配方程式を解く数値計算コードを作成した。

$$C \frac{\partial T}{\partial t} = P - Ah(T - T_0) - A\sigma\epsilon(T^4 - T_0^4) \quad \dots (2)$$

ここで、 $T, t, C, P, A, h, T_0, \sigma, \epsilon$ はそれぞれ温度(K)、時間(s)、熱容量(J/K)、吸収パワー(W)、表面積(m²)、熱伝達係数(W/m².K)、雰囲気温度(K)、シュテファンボルツマン係数(W/m².K⁴)、放射率である。

(2)式右辺の各項がそれぞれ、1, 2, 3の熱移動に対応している。))

照射面に入力されるレーザーのパワーを500W、先行研究の最大出力である1kW、本研究で用いる装置の最高出力である4kWとしたときのシミュレーション結果を図1に示す。

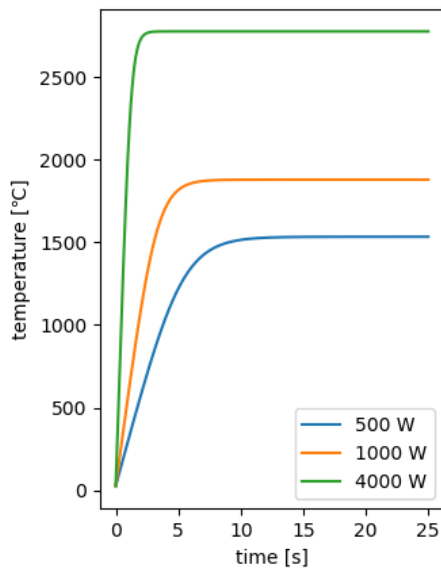


図1 各レーザー出力に対する温度上昇の時間変化の計算結果

シミュレーション結果より500W以上吸収させることが出来れば、目標とする1400°C以上への加熱が可能であることが分かった。本研究で用いるレーザーは最大出力が4kWであるため、(2)式のシミュレーションで考慮していない熱伝導と反射によるロスが3.5kW以下であれば十分な加熱が可能であると考えられる。

3. 試験片把持部の設計

本研究では試験片を1400°C以上まで加熱することを目標にしている。そのため試験片を安全に把

持できるように熱伝導と各部での熱伝達、ふく射を考慮し図2に示すような機構の設計を行った。

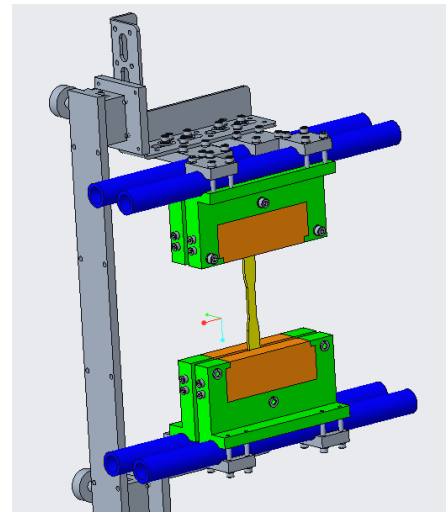


図2 試験片把持部の設計

設計した機構は試験片の上下をそれぞれ2つのブロックで挟み込み、把持をする。ブロックは試験片と触れる耐火セメント部、それを固定するステンレス部、冷却水のためのパイプ部で構成されている。1.2kW以上の冷却器を用いることで、本研究で用いるレーザーの最大出力である4kWを照射し続けても、理論上安全に試験が行える設計となっている。

4. まとめと今後の展望

本研究で用いる最大出力4kWのレーザーを用いることで、照射面を目標の1400°C以上に加熱することが可能であることがシミュレーションで分かった。また試験片を安全に把持できる機構の設計も完了した。

本研究では、試験片に対してガルバノスキャナを用いることでレーザーを走査し、任意の形状・温度分布に加熱することを目指している。今後はそれらを実現するための走査方法を検討し、実験を重ねていきたい。

参考文献

[1] T.Witlow, et al., Compos.Struct. 210(2019)

謝辞

本研究は、第二期SIP(統合型材料開発システムによるマテリアル革命)によって実施された。