

SiC/SiC 系セラミックス複合材料の製造方法：

RMI 法における含浸時の温度上昇の抑制

Manufacturing method of SiC/SiC ceramic composite material:
Suppression of temperature rise during impregnation in RMI method

佐藤匠¹⁾

指導教員 加藤太朗²⁾, 古井光明²⁾, 藤原力³⁾, 武田道夫³⁾

- 1) 東京工科大学大学院工学研究科サステナブル工学専攻材料グリーンプロセス研究室
- 2) 東京工科大学大学院工学研究科サステナブル工学専攻
- 3) 東京工科大学片柳研究所 CMC センター

キーワード：セラミックス複合材料, SiC/SiC, 反応溶融含浸法, 温度上昇

1. はじめに

航空機産業では、航空機の燃費向上による省エネルギー化と、航空機が排出する CO₂の削減が強く望まれている。そのため航空機エンジン部材の耐熱性向上と軽量化が求められている。

そこでセラミックス複合材料(CMC : Ceramic Matrix Composites), その中でも SiC マトリックスと SiC 繊維を複合化した SiC/SiC 系 CMC が最も注目されている。現行のエンジンに使用されている Ni 基超合金の最高使用温度が 1150°C であるのに対して, CMC は 1400°C, もしくはそれ以上の利用が可能になり, 密度も Ni 基超合金の 1/3 程度である¹⁾. SiC/SiC 系 CMC が実現すれば機体の軽量化, 冷却の負担軽減などにより航空機の燃費向上による省エネルギー化と、航空機が排出する CO₂の削減が実現されると考えられる。

2. 研究の目的

SiC/SiC 系 CMC の製造方法は主に, ポリマー含浸焼成法(PIP : Polymer Infiltration Pyrolysis)・化学気相含浸法(CVI : Chemical Vapor Infiltration)・反応溶融含浸法(RMI : Reactive

Melt Infiltration)の 3 種類のプロセスに分類される²⁾. この RMI 法では PIP 法や CVI 法よりも短時間で、より緻密な SiC/SiC 系 CMC を作製することが可能である。

RMI 法はプリフォーム中の C と溶融 Si の反応により SiC を形成する方法である。そのため Si+C→SiC の発熱反応が起き、単位時間当たりの Si と C の反応量が大きくなると温度上昇 (ΔT) も大きくなる。ΔT が大きいと SiC 繊維が損傷を受けたり、マトリックスと繊維の界面が劣化するため、ΔT の抑制が必須である。

そこで、プリフォームへの溶融 Si の含浸方法を変えることで ΔT を抑制することを目的とし、実験を行った。

3. 実験方法

図 1 に RMI 法による製造プロセスを示す。RMI 法は SiC 繊維と SiC 粒子と C からなるプリフォームに溶融 Si を含浸させ、プリフォーム内部の C と含浸させた溶融 Si が反応することによって SiC マトリックスが形成される。

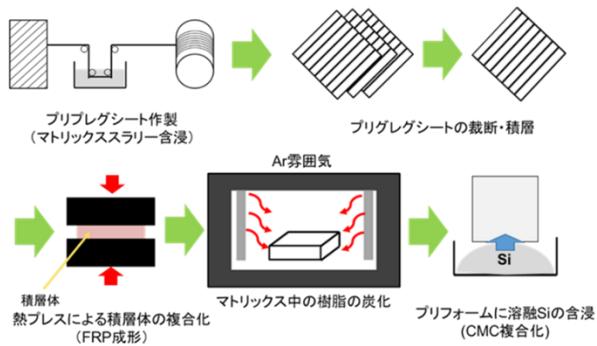


図 1 RMI 法による製造プロセス

従来、RMI 法による含浸では完全に溶融した Si にプリフォームを浸けることで複合化していたが（図 2 左），反応量を調節するためにプリフォームと粒状 Si を離した状態で設置し，炉内の温度上昇に伴って融けた Si が SiC 繊維を通して徐々にプリフォームへ含浸させるようにした（図 2 右）。

反応中の様子を 2 色式熱画像カメラを使用して温度計測を行い， ΔT を算出した。

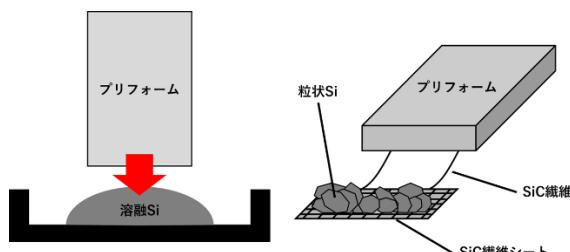


図 2 含浸方法

4. 実験結果・考察

図 3, 4 に溶融 Si, 粒状 Si による含浸挙動，図 5, 6 に含浸時間と温度上昇の関係を示した。溶融 Si での含浸による ΔT は 387°C であったのに対しても，粒状 Si での含浸による ΔT は 54°C と 1/7 以下に抑制することができた。

溶融 Si では短時間での含浸が可能だが，急激な温度上昇が起こる。溶融 Si での含浸は単位時間当たりの Si の供給量が多いため， $\text{Si} + \text{C} \rightarrow \text{SiC}$ の反応が多く起き，発熱量も大きくなる。

一方，粒状 Si では長い時間をかけて含浸させるため，緩やかな温度上昇にとどまることが分かった。粒状 Si での含浸は融けた Si から徐々に含侵していくため，単位時間当たりの $\text{Si} + \text{C} \rightarrow \text{SiC}$ の反応が少なく，温度上昇が抑制されると考えられる。



図 3 溶融 Si による含浸挙動

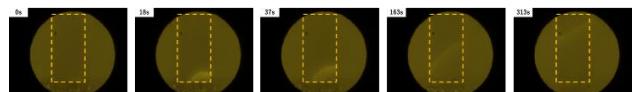


図 4 粒状 Si による含浸挙動

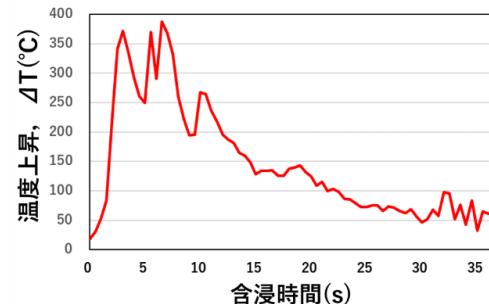


図 5 溶融 Si による含浸時間と
温度上昇の関係

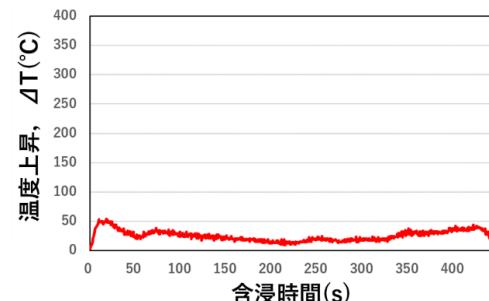


図 6 粒状 Si による含浸時間と
温度上昇の関係

5. おわりに

RMI 法による CMC 作製において，溶融 Si から粒状 Si による含浸へ変更することで，溶融 Si の供給量を制限することができ，単位時間当たりの $\text{Si} + \text{C} \rightarrow \text{SiC}$ の反応を抑制し，反応による温度上昇を抑制することができる。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, focus NEDO : No. 67, (2018), p. 4-11.
- 2) 香川豊, 七丈直弘：まてりあ, 第 58 卷, 第 7 号, (2019), p. 376-381.