安全保障技術研究推進制度　令和５年度採択大規模研究課題　中間評価結果

1.　評価対象研究課題

（１）研究課題名：UHTC マトリックス複合材料及びプロセス技術に関する研究

（２）研究代表者：株式会社超高温材料研究センター　中川　成人

（３）研究期間　：令和５年度～令和９年度（予定）

2.　中間評価の実施概要

日時　　：令和７年１１月２０日

場所　　：ＴＫＰ新橋カンファレンスセンター

評価委員：未来工学研究所　理事長、上席研究員

東京大学　名誉教授

平澤　泠（委員長）

横浜国立大学　名誉教授

宇宙航空研究開発機構　航空技術部門

航空利用拡大イノベーションハブ　主幹研究開発員

上野　誠也

大阪大学　名誉教授

梅田　直哉

近畿大学　名誉教授

京極　秀樹

宇宙航空研究開発機構　航空技術部門

航空利用拡大イノベーションハブ　主幹研究開発員

嶋　英志

日本大学　理工学部　航空宇宙工学科　特任教授

宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所　名誉教授

嶋田　徹

金沢工業大学　情報理工学部　教授

東京工業大学（現　東京科学大学）名誉教授

藤田　政之

広島大学　大学院先進理工系科学研究科　教授

山本　元道

公共投資ジャーナル社　論説主幹

吉葉　正行

（委員長以外は五十音順・敬称略）

3. 研究の進捗状況

研究の概要

本研究では、成形性及び耐環境性に優れた UHTC[*1] の組成探索を行い、見出された UHTC をマトリックス及び皮膜とした UHTC 複合材料の製造技術の研究を実施して、耐環境性及び靭性に優れた UHTC マトリックス複合材料を実現する。また、曳糸性に優れた UHTC 組成を見出して、繊維化技術を開発し、高温暴露耐性[*2] に優れた UHTC 繊維を実現する。

進捗状況

主な実施項目に対する進捗は以下の通り。

① UHTC の組成探索及び高温酸化特性の把握

- 熔融成形のマトリックス候補に $ZrB_2$-SiC-$B_4C$ 共晶[*3] 組成を選択した。
- 焼結成形のマトリックス候補に 47$ZrB_2$-53ZrC 組成を選択した。
- トップコート候補に 2000℃で熔融しない酸化膜が形成される 47$ZrB_2$-53ZrC 組成を選択した。

② UHTC マトリックス複合材料のプロセス技術開発

- $ZrB_2$-ZrC の微粒化(サブミクロン化)に目途を得た。
- $ZrB_2$-ZrC(エタノール分散媒)の分散性を改善する分散剤を特定した。
- 複合材料中で炭素繊維が均一分布する開繊を実現した。一方で、垂下糸に犠牲層形成処理を行う方法では犠牲層形成後垂下糸の巻上げができず、犠牲層形成繊維のプリプレグ化に課題を残した。
- 犠牲層形成なしの炭素繊維を開繊して製造したプリプレグをホットプレス焼結させて製造した UHTC マトリックス複合材料は、曲げ強度 580MPa で非線形破壊した。また、2200℃x10min.暴露後の曲げ強度は 500MPa であった。

③ UHTC マトリックス複合材料の皮膜形成プロセス技術開発

- 減圧プラズマ溶射により、炭素繊維/$ZrB_2$-ZrC 複合材料に $ZrB_2$-ZrC 共晶組成の皮膜を形成することができた。皮膜形成後の急速加熱 2000℃暴露試験でも皮膜の剥離、皮膜へのクラック発生が起きないことが確認された。
- また、皮膜形成後加熱による皮膜の欠陥減少と皮膜-基材の境界不明瞭化(マトリックス-皮膜の一体化)が確認された。
- 減圧プラズマ溶射により、基材と同じ組成物を基材に接するアンダーコートとして、熱膨張率が傾斜的に変わる多層膜を形成した。

④ UHTC 繊維の製造プロセス技術開発

- 融液引き出し法により $ZrB_2$-SiC-$B_4C$ 共晶組成、$ZrB_2$-$B_4C$ 共晶組成等を繊維化することができた。
- 引き出し後繊維は準安定状態であったが、2000℃x10min.加熱により安定化し、安定化後の $ZrB_2$-SiC-$B_4C$ 共晶繊維及び $ZrB_2$-$B_4C$ 共晶繊維は、引張強度 1.1～

1.3GPa を示した。

・上記安定化繊維の 2000℃×10min.暴露後引張強度は 0.3～0.55GPa であった。

・引き上げ法では繊維化不可能と判断し、融液引き出し法に注力することにした。

4. 中間評価の評点

| |
|---|
| A　進捗は順調であり、研究計画に沿って進めてよい。 |

5. 総合コメント

ハードルの高い目標に対して、体系的にマトリックスおよび繊維の開発さらには UHTC 複合材料の製造条件の検討を行い、中間目標をほぼ達成している点は評価できる。

最終目標をクリアするには、紡糸条件の詳細な検討、界面強度の改善、高温暴露耐性の問題などが残されている。時間的な制約もあることから、材料特性を支配する要因に着目のうえで課題を整理し、研究を効率的に進める必要がある。また、耐酸化性、耐エロージョン性など、実装を想定した高温・長時間の評価検証が必要である。超高温特性を支配する多様な要因やパラメータとの関係に注目して、単なる高温特性の高い材料の開発だけではなく、超高温材料としての耐性を支配する他の要因にも注目し、材料の幅を広げるまとめを期待する。

マトリックスの組成などをある程度散らし、最適組成のみならず組成と耐用温度との関係性を網羅するデータベース化も超耐熱材料の基盤技術として重要である。さらなる研究推進を期待する。

実用化まではまだ距離があると考えられるが、基礎研究として進めるべきである。日本の超高温材料技術を維持・発展させる点でも、目標達成を目指していただきたい。

6. 主な個別コメント

- 高耐熱繊維で強化された UHTC 複合材料は、高速飛翔体の開発に不可欠である。未知の技術の開発としてリスクを抱えながらも進めていると評価する。
- 提示されている最終目標は高いが、未達となった場合でも評価できる成果が得られると期待できる。

---

*1 UHTC：Ultra-High Temperature Ceramics の略語であり、2000℃を超える融点を有し、耐熱性に優れるホウ化物及び炭化物系セラミックスの総称である。

*2 高温暴露耐性：本研究では、雰囲気やガス流暴露等の環境の影響を除いた高温下での安定性のことをいう。

*3 共晶：合金等が凝固するときの凝固形態の一つであり、複数成分の混合物が、ある特定の組成比のときに最も低い融点を持つ現象のことをいう。