

## 1. 評価対象研究課題

- (1) 研究課題名：難接着複合材と軽金属とのレーザ直接接合機構解明と特性評価
- (2) 研究代表者：海洋研究開発機構 川人 洋介
- (3) 研究期間：令和3年度～令和7年度（予定）

## 2. 中間評価の実施概要

日時：令和5年10月26日

場所：TKP 東京駅大手町 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 洽（委員長）

東京工業大学 教授

佐藤 千明

宇宙航空研究開発機構 航空技術部門 特任担当役

嶋 英志

大阪大学 大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 教授

中野 貴由

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、難接着複合材（PEEK-CFRP\*）と軽金属とのレーザ直接接合において、最先端の観察・分析と情報科学（MI：Materials Informatics）・計算科学を融合して接合メカニズムを解明し、表面修飾等により接合の支配的な因子を制御して宇宙・深海にも対応できる接合強度と信頼性、耐候性を実証することを目指す。（\* Poly Ether Ether Ketone - Carbon Fiber Reinforced Plastics）

### 進捗状況

主な実施項目に対する進捗は以下の通り。

#### (1)レーザ直接接合を創出する素過程の解明

PEEK-CFRP とチタン合金との接合部について、光学顕微鏡、透過型電子顕微鏡（TEM）およびフーリエ変換赤外分光法（FT-IR）等の観察・分析による化学結合に関する基礎データを取得するとともに、<sup>18</sup>O 酸素同位体を用いた TEM および 3次元アトムプローブ(3DAP)等による金属酸化膜中の酸素に注目した観察・分析も実施した。さらに、得られた分析結果に基づく官能基と合金構成元素との接合構造を想定し、量子分子動力学シミュレーションにより様々なケースの剝離エネルギーを求めて、接合状態の安定性を評価し、チタン合金の樹脂と金属とのレーザ直接接合を

現する素過程を導出した。また、接合界面の幾何学的な整合性とレーザ直接接合との関係を世界で初めて明らかにした。

#### (2)量子分子動力学シミュレーションによる接合界面剥離現象の要因分析

接合界面における量子分子動力学に基づく幾何学的モデルを構築し、シミュレーションによってチタン合金とアルミニウム合金の温度サイクル寿命評価を行い、格子ミスマッチが小さく原子密度の高い結晶面を選定することが温度サイクル寿命の向上に重要であることを見出した。

#### (3)PEEK-CFRP と軽金属とのレーザ直接接合体の製作

チタン合金表面に短パルスレーザによる物理的な接合界面修飾を行い、レーザ照射側のチタン表面温度（接合の支配的な因子）に基づきリアルタイムで最適な接合温度を維持するレーザ適応制御技術を用いて PEEK-CFRP とチタン合金との接合体を製作した。

#### (4)接合体の強度、耐久性および耐候性の評価

ISO19095 に準ずる引張試験において、製作した PEEK-CFRP とチタン合金との接合体の強度が中間評価時に達成すべきマイルストーンである 80 MPa 以上を得た。さらに、ISO19095 に準ずる剥離試験において、製作した PEEK-CFRP とチタン合金との接合体の強度が最終目標である 200 N/幅 25 mm 以上を達成した。

### 4. 中間評価の評点

S 研究計画を超えた成果を挙げており、さらなる発展を期待する。
---------------------------------

### 5. 総合コメント

全般的に、順調に成果が上げられており、また、中間評価までのマイルストーンが確実に達成されていることから、このまま研究を続けられることで高い成果が期待できる。

申請時と手法を変えるなど、途中結果を反映して方針転換したとみられ、的確な判断に基づいて研究がマネジメントされている。

本提案のレーザ接合のオリジナリティに関する学術的な知見を深めていただくとともに、既存の類似技術との相違点を明らかにし、優位性を示してほしい。

最終報告までに、(1) 深海曝露・宇宙曝露試験に対して、応用を意識した実機を想定した構造体の実験を最終的には行っていただきたい。(2) 対照群として他の方法で接合した試験片についても同時に曝露試験へ加えていただきたい。

### 6. 主な個別コメント

- PEEK-CFRP と軽金属とのレーザ直接接合体の製作をはじめとして着実な目標達成が行われている。
- 全般的に初期の目標は十分達成されており、マイルストーンはほとんどすべてが

クリアされている。

- レーザを用いる接合に関しては多くの研究がある。あえて新規性を問うとすれば、単にレーザで接合することにとどまらず、最終的には接合したものを構造物としてどのように活用するか、その「特性」にも配慮して後半の実験計画や暴露試験等を実施すべきではないか。
- 暴露試験においては、構造物の形状等に配慮した実験計画も重要と考えられる。
- 技術の有効性を実証する方法については別途検討し、これを宣言していただけるとより好ましい。
- 「全数調査」のためには非破壊試験法を考える必要もあるであろう。