

「輸送機等の革新的な構造を実現する複合材料等の接着技術」に関する研究開発構想（個別研究型）

令和5年12月
内閣府
文部科学省

目次

1 構想の背景、目的、内容.....	2
1.1 構想の目的.....	2
1.1.1 政策的な重要性.....	2
1.1.2 我が国の状況.....	2
1.1.3 世界の取組状況.....	3
1.1.4 構想のねらい.....	4
1.2 構想の目標.....	4
1.2.1 アウトプット目標.....	4
1.2.2 アウトカム目標.....	5
1.3 研究開発の内容.....	5
1.3.1 研究開発の必要性.....	5
1.3.2 研究開発の具体的内容例.....	5
1.3.3 研究開発の達成目標.....	6
2 研究開発の実施方法、実施期間、評価.....	6
2.1 研究開発の実施・体制.....	6
2.2 研究開発の実施期間.....	7
2.3 評価に関する事項.....	7
2.4 社会実装に向けた取組.....	7

1 構想の背景、目的、内容

1.1 構想の目的

1.1.1 政策的な重要性

複数の異なる材料の複合化により均質材料では達成し得ない特性を獲得できる複合材料は、その軽量・高強度といった特性を生かして、航空・宇宙、自動車、産業機械など幅広い分野における製品・部品に適用されている。中でも、炭素繊維複合材料（CFRP：Carbon Fiber Reinforced Plastics）については、航空機の一次構造部材への採用が進展しており、ボーイング787では、構造重量の約50%が複合材料で構成されている。次世代航空機開発においては、部品点数の削減による軽量化、それに伴う燃費向上、CO2削減などの要求が高まる中、安全性確保のために複合材料部品の接合に用いられるボルト数を低減することが期待されており、接着がキー技術となっている。他方、その接着面については、適切な状態であることの証明が難しく、どのようなメカニズムで特異的な構造物性や化学的機能が発現するのかが明らかになっていない。我が国はCFRP材料で世界一のシェアを持つが、複合材料の幅広い分野への更なる利用拡大に向けては、世界に先駆けて、このような接着機構を解明し、分子レベルでの接着接合界面の構造制御が求められている。こうした革新的な物質界面構造制御技術は、我が国が強みを持つ材料技術の優位性の確保・維持や国際競争力強化において重要であり、輸送機等の設計を一新するゲームチェンジ技術となることが期待される。また、評価手法の国際標準化も見据え、汎用的に材料の接着強度の向上が実現すれば、航空、船舶、宇宙機、建材等、産業領域を横断した成果の活用も考えられる。

本構想は、個別研究型として、こうした背景の下、横断的分野での安全・安心を確保する基盤の構築に資する支援対象とする技術として研究開発ビジョン（第二次）において定められた「輸送機等の革新的な構造を実現する複合材料等の接着技術」において、我が国技術の優位性の獲得を目指すものである。

1.1.2 我が国の状況

我が国における炭素繊維の開発・製造は1970年代になって本格的にスタートし、80年代に入って国内のメーカーが技術開発を重ね、品質の向上

に努め、航空機などへの用途を広げ市場を開拓してきた。現在、世界市場において我が国が世界一のシェアを誇る産業領域の一つであり、技術でも他国のメーカーを圧倒するが、近年では他国の追い上げが見られる。この数十年にわたり新素材として開発されてきた複合材料が構造材料として十分に成熟しつつあり、またデジタル化による効率性の観点からも、複合材料を“いかにして作るか”から“いかにして使うか”という新しい段階を迎えつつある中、キー技術として複合材料中の異種材料間界面の制御技術が注目されている。

近年、国内アカデミアを中心に、革新的接着技術について学理に基づく接着機構の解明研究が進んでいる。接着界面の分子レベルの化学状態や電子状態観察を通じた接着力の発現メカニズムの理解やプロセス因子影響を把握する取組において、世界でも最先端の研究成果が生み出されているものの、接着界面の観測は容易ではなく、分子状態（構造）の理解には至っていない。また、データ科学に立脚した計測技術の開発が進み、材料をその機能が発現する実際の動作環境に置きながら、構造、電子状態、分光特性等の時間変化を観測する実環境下動的計測を目指す研究が加速している。

また、我が国では、航空機用複合材料・構造開発向けシミュレーション技術とスーパーコンピュータの高速化技術により、材料向け CFRP について、分子スケール、メゾスケール、マクロスケール解析までを網羅し各種モジュールを統合したマテリアルズインテグレーションシステム（CoSMIC）¹が構築されている。これにより、最終製品から逆解析して最適な材料・プロセスを選択することが可能となっている。

1.1.3 世界の取組状況

従来、炭素繊維の複合材料産業は、我が国、北米、欧州に集中していたが、近年では、アジア太平洋地域やその他の地域の新興国へのシフトが顕著になっている。インド、ブラジル、中国などでは、航空・宇宙、風力発電、輸送分野で CFRP の需要が増加している。中国をはじめとする各国は、研究プロジェクトを数多く立ち上げており、その急速な工業化が需要の増

¹ CFRP を取り扱うマテリアルズインテグレーションシステムとして、東北大学が中心となって開発している。

加に対応していると考えられる。加えて、ナノテクノロジー、脱オートクレーブ硬化などの技術進歩による改善及び複合材料製造におけるその他の改善により、市場の成長が促進されると予想されている。

米国では Vehicle Technologies Office (VTO) を設立し、長期的な戦略として CFRP を用いた軽量設計技術に取り組んでいる。EU 連合では SEAM クラスターを立ち上げ、大量・中程度量産車の電気自動車向けにマルチマテリアル化による軽量化の取組が行われており、現在でも欧州各国では多数のマルチマテリアル化に関する研究開発が精力的に行われている。

学術研究の面においても接着の界面現象について観察が進められているが、解明が困難な埋没界面で起こる接着（化学反応）や分子の局所構造の状態変化を観測できる技術はまだ確立されていない。現状、航空機への適用に際しては高い安全性が求められることから、その説明性が未確立なボルトレスでの CFRP 間接着の適用例は限定的である。

1.1.4 構想のねらい

本構想では、我が国が有する高性能な観測技術である、量子ビームや光パルスを用いた分光法、電子顕微鏡関連技術といった物質の表面を観察する技術により、数 nm という非常に薄い界面における特異的な構造物性や化学的機能を解明し、高度な計算と融合することで、物質界面構造理解に基づく制御を可能とする基盤技術開発を行う。これにより、複合材料の接着接合プロセスの設計指針を体系化するとともに、国際標準化への取組を進めていくことで、我が国の技術的優位性及び不可欠性の確保につなげ、海外 OEM (Original Equipment Manufacturer) が中心となって行う次世代航空機の国際共同開発に主要パートナーとして、我が国企業が参画することを促進する。

1.2 構想の目標

1.2.1 アウトプット目標

CFRP 間の接着接合に関し、“いかにしてくっついているか” また“いかにして壊れるか”を、分子レベルでその発現メカニズムを解明し、その成果を踏まえ材料・構造開発シミュレーション技術を用いた接着接合構造の解析することにより界面共有結合の定量評価法の確立及び高強度かつ高劣化耐

性を示す接着界面の分子レベル構造制御指針の策定に資するとともに、社会実装に向けた基盤技術を確立する。

具体的には、以下をアウトプット目標とする。

- 複合材母材の埋没界面のみで起こる接着（化学反応）や分子の局所構造の状態変化を非破壊で観測する革新的な実験手法を開拓するとともに、圧力、熱、湿度等の環境因子がCFRP母材の状態変化にどのように影響を及ぼすか明らかにし、高強度、高耐性な接着接合技術の概念実証を実施する。
- 上記概念に基づき、CFRP試験片の強度推定手法を確立し、強度試験において母材の材料破壊が発生するのと同程度程度の接着強度を有することを実証する。

1.2.2 アウトカム目標

上記のアウトプット目標を達成することにより、CFRP界面の劣化のメカニズムの分子レベルでの解明、自己修復性界面等の新たな設計概念の構築、リサイクルのための品質保証、規格化への繋がりが期待される。また、複合材料等の接着に関する健全性確認手順の国際標準化への取組を進め、優位性及び不可欠性を獲得することで、我が国が国際共同開発における主要パートナー（機体構造等）としての地位を確保する。

1.3 研究開発の内容

1.3.1 研究開発の必要性

複合材料等の高度な界面構造理解は、航空分野にとどまらず、公的利用を含む他産業（船舶、宇宙機、建材等）にも波及効果があり、産業領域を横断して我が国の技術的優位性の維持や新たなニーズや社会の変化に対応した技術の確保につながる。そのため、今後市場への投入が見込まれる複合材料を用いて分子レベルでの接着の発現メカニズムの解明を行い、高度な物質界面構造理解に基づく構造制御を行う基盤技術の開発・実証を進める必要がある。

1.3.2 研究開発の具体的内容例

- 接着界面の引張・破壊過程をその場観察し、埋没界面計測と理論計測の融合による界面共有結合の定量評価法を確立することで、高強度、高耐性な接着の概念を実証する。
- 破壊力学による試験片強度推定手法を確立し、複合材料の分子スケール材料設計により、材料物性や機械特性を評価可能とするマルチスケールモデリング手法を確立する。試験片を用いた強度試験において、母材の材料破壊が発生するのと同程度程度の接着強度を有することを実証する。

なお、研究開発にあたっては、マテリアルズインフォマティクスの手法も積極的に活用していく。

1.3.3 研究開発の達成目標

量子ビームや光パルスを用いた分光法、電子顕微鏡関連技術といった、埋没界面である母材（複合材料等）の接着面を非破壊で観測する革新的な実験手法を高度化し、その新規計測で得られた界面スペクトル・イメージングデータを分子論的に解析し解釈するための新たな理論・シミュレーション技術を開拓することにより、数 nm という非常に薄い界面の分子レベルでの高分子反応や、局所的物性変化の発現メカニズムを解明する。また、これらの概念を裏付けるため、強度試験において母材の材料破壊が発生するのと同程度程度の接着強度を有することを実証する。

上記の実証結果による成果を踏まえ、高度な物質界面構造理解に基づく構造制御を行う基盤技術を確立し、アウトプット目標に示された界面共有結合の定量評価法の確立および接着界面の分子レベル構造制御指針の策定を行う。

より具体的には、提案者の設定した個別の達成目標を基本としつつ、文部科学省及び JST のサポートの下、採択後、研究開発を開始するにあたって行う研究計画の調整にて定めると共に、研究開発開始後においては、協議会における意見交換の結果も踏まえ、必要な場合、見直しを行う。

2 研究開発の実施方法、実施期間、評価

2.1 研究開発の実施・体制

プログラム・オフィサー（PO）の指揮・監督の下、研究代表機関又は研

研究代表者が研究開発構想の実現に向け責任を持って研究開発を推進する。JST 等の助言に基づき、研究に参加する主たる研究者のそれぞれが、適切な技術流出対策を行うよう体制を整備するとともに、研究インテグリティの確保に努め、適切な安全保障貿易管理を行うよう、これらを推進すると共に、研究開発に必要な事項を行う。

研究開発成果を民生利用のみならず公的利用につなげていくことを指向し、社会実装や市場の誘導につなげていく視点を重視するという本プログラムの趣旨に則り、研究代表機関、研究代表者は PO 及び研究分担者との協議の上、知的財産権の利活用方針を定めることとする。その際には、研究開発途中及び終了後を含め、知的財産権の利活用を円滑に進めることができるように努めることとする。

なお、研究開発成果の利活用にあたりその成果にバックグラウンド知的財産権が含まれる場合には、その利活用についても同様に努めることとする。

2.2 研究開発の実施期間

研究開発開始から 6 年程度とし、構想全体で最大 40 億円程度の予算を措置する。

2.3 評価に関する事項

自己評価は毎年実施する。外部評価の実施時期は原則、研究開発の開始から 3 年目を中間評価とし、研究開発終了年に事後評価を実施する。具体的な時期については、担当する PO が採択時点でマイルストーンを含む研究計画とともに調整した上で、JST が決定するものとする。

2.4 社会実装に向けた取組

本構想の目標は、数 nm という非常に薄い界面の分子レベルでの接着の発現メカニズムの解明を行い、高度な物質界面構造理解に基づく構造制御を行う基盤技術を確立し、界面共有結合の定量評価法の確立および接着界面の分子レベル構造制御指針化を行い、さらに国際標準化への取組や次世代航空機の国際共同開発において我が国企業が主要パートナーとして参画すること等につなげていくことである。このためには、研究代表者と、潜

在的な社会実装の担い手として想定される機関等との間で、次世代航空機の我が国の製造分担の情報共有や航空分野以外の産業への展開も見据えた社会実装イメージを議論・共有する取組等の伴走支援が有効である。

したがって、今後設置される協議会を活用し、参加者間で機微な情報も含め、社会実装等に向けて研究開発を進める上で有用な情報の交換や協議を安心して円滑に行うことのできるパートナーシップを確立することが重要であり、関係者において十分にこの仕組みの運用を検討する必要がある。なお、協議会の詳細は別に示す。また、PO は研究マネジメントを実施する際には、協議会における意見交換の結果も踏まえるものとする。