

## 2021年度実施方針

材料・ナノテクノロジー部

## 1. 件名:

(大項目)次世代複合材創製・成形技術開発

## 2. 根拠法

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号二及び第三号

## 3.背景及び目的・目標

## 3.1背景

航空機産業は、国際的な産業競争が激化する状況にある。世界の民間航空機市場は年率約5%で増加する旅客需要を背景に、2018年から2037年の20年間の市場規模は、累計約3万4000機(5兆5000億ドル程度)となる見通しである。「航空産業ビジョン」では、国内航空機産業は2020年迄に売上高2兆円に到達するとともに、2030年には売上高3兆円を達成すると謳われている。厳しい競争の中で、航空機産業では高度な先進技術開発が進められてきており、これらを他産業分野へ波及させることにより、輸送機器をはじめとした様々な分野における製品の高付加価値化を進める上で、重要な役割を果たすことも期待されている。また、燃費改善、環境適合性等の市場のニーズに応えるため、近年の航空機(機体・エンジン・装備品)では軽量化のために構造部材として複合材(CFRP)が積極的に導入されており、先進的な部素材開発及び成形組立技術開発等が急務となっている。

国際的な産業競争が激化する状況下、サプライヤービジネスにおいても今後激しい競争にさらされていくことが予想されるため、我が国においても航空機産業の国際競争力を維持・拡大していく必要がある。

我が国の航空機産業は、モジュール単位での国際共同開発への参画拡大(例:B777X…機体の21%、B787…機体の35%、エンジン(Trent1000、GEnX)の15%、PW1100G-JMの23%)を通じて、2017年度生産額も約1.7兆円まで拡大したが、依然主要国より一桁小さい規模である。我が国の強みは、精度の高さと品質管理、納期遵守、複合材等の素材関連技術(例:東レがB787の炭素繊維を独占供給)等であり、高品質を求められる航空機産業(機体・エンジン・装備品)において米・欧とも、日本との更なる協力を模索している。今後の航空機需要の70%を占めると予想されている細胴機の製造プロセスで必須となる、複合材を用いた部材の低コスト・高レートな成形組立技術は重要となってくる。

他方、我が国は、世界と戦える優れた技術を有しているものの、単なる「部品供給・モジュ

ール分担」にとどまっている限りは飛躍的な成長は困難となっている。新興国の追い上げがコスト競争の圧力となっているとともに、強みである複合材分野でも海外の巻き返しに対し、更なる技術革新で優位性を維持・拡大することが必要となっており、今後は、先進的な技術を有することで設計を含めた共同開発に携わることで、欧米の完成機メーカーの戦略的パートナーとなっていくことが不可欠である。

### 3. 2目的・目標

航空機の燃費改善、環境適合性向上、整備性向上、安全性向上といった要請に応えるため、複合材料等の関連技術開発を中心として、航空機に必要な信頼性・コスト等の課題を解決するための要素技術を開発する。今後の航空機需要の70%を占めると予想されている細胴機の製造プロセスで必須となる、複合材を用いた部材の低コスト・高レートな新しい成形組立技術の確立を目指す。これにより、航空機の燃費改善によるエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量の削減、整備性向上、安全性の向上並びに我が国の部素材産業及び川下となる加工・製造産業の国際競争力強化を目指す。

[委託事業・研究開発目標]

**研究開発項目①「複合材時代の理想機体構造を実現する機体設計技術の開発」**

【中間目標(2022年度)】

- 開発上の必要なツールの選定、シミュレーション技術及び解析ツールを開発し、低コスト機体開発を実現するための数値シミュレーションツールを設計する。

【最終目標(2024年度)】

- 解析検証を終了し、数値シミュレーションの実用性を確認する。
- 数値シミュレーションツールをソフトウェア化し、最適設計技術として確立する。

アルミニウムをCFRPで置き換えただけの従来の機体構造とは異なる新しい機体設計コンセプトの提案を目指す。

[助成事業・研究開発目標]

助成率 大企業:1/2以内、中堅・中小・ベンチャー企業等:2/3以内

**研究開発項目②「熱可塑性CFRPを活用した航空機用軽量機体部材の高レート成形技術の開発」**

【中間目標(2022年度)】

- 超高速自動積層において熱可塑性CFRPの積層方法に目途を付ける。
- 熱可塑性CFRPの大型・複雑形状成形技術に目途を付ける。
- 積層造形技術を活用した複雑な複合材－金属一体成形技術に目途を付ける。

**【最終目標(2024年度)】**

- 超高速自動積層では、従来の熱硬化性CFRPと比較し5倍の生産性向上、熱硬化性CFRPと同等以上の軽量化、熱硬化性CFRPと同等以上の自動積層速度を達成する。
- 熱可塑性CFRPの特性を十分に活かし、熱硬化性CFRPでは達成できない高度な一体成形、さらなる軽量化、高レートな大型部材成形技術を確立し、成形の自動化を達成する。
- 積層造形技術を活用した複雑な複合材－金属一体成形技術等を開発するとともに、成形の自動化を達成する。

**研究開発項目③「航空機部品における複合部材間および他材料間の高強度高速接合組立技術の開発」**

**【中間目標(2022年度)】**

- 熱可塑性CFRP部品の高速・高強度溶着組立技術に目途を付ける。
- 熱可塑性CFRPと熱硬化性CFRPをシームレスに接合する技術開発に目途を付ける。

**【最終目標(2024年度)】**

- 溶着できる熱可塑性CFRPの特性を活かし、大型部品同士のファスナーレス組立技術等、熱硬化性CFRPや他材料も含んだ高強度高速接合組立技術を開発する。面溶着等により破壊強度30MPa以上を実現し、ファスナー使用箇所の半減および現行アルミニウム機体の組立と同等以上の生産性を可能とする技術開発を達成する。

**研究開発項目④「超高性能SiC繊維の品質安定性向上に向けた開発」**

**【最終目標(2022年度)】**

- 引張強度3.0GPa以上、2700°F(1482°C)×400時間曝露後、強度低下20%以下を満足し、高温クリープ特性に優れるSiC繊維を開発する。
- SiC繊維の特性ばらつきを抑制する製造技術を確立する。

**研究開発項目⑤「1400°C級CMC材料の実用化研究開発」**

**【最終目標(2022年度)】**

- **研究開発項目⑤(1)**マトリックス、製織の方法、耐環境性コーティングの最適化を実施して、CMASの存在する環境下で、室温引張強度300MPa以上、1400°C×400時間曝露後、強度低下20%以下を満足するCMC部材を開発する。
- **研究開発項目⑤(2)**生産性の高いMI法において、新規界面コーティングの開発とUD積層構造・マトリックス形成の最適化を行い、室温引張強度300MPa以上、室温弾性率200GPa以上、1400°C×400時間曝露後の室温での弾性率低下が製造後の30%以内を達成するCMC部材を開発する。

## 研究開発項目⑥「高レート・低コスト生産可能なCMC材料およびプロセス開発」

### 【最終目標(2022年度)】

- 製織工程の高速化、CVI工程、PIP工程の短時間化を達成して、耐熱温度1400°CのCMC部材について、現行と比較して生産レート10倍向上を可能とする材料及びプロセス技術を開発する。

#### 4. 実施内容及び進捗(達成)状況

NEDOはプロジェクトマネージャーとして、NEDO材料・ナノテクノロジー部長島 敏夫を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させた。

東北大学大学院航空宇宙工学専攻 教授 岡部 朋永 氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

##### 4. 1 2020年度(委託)実施内容

#### 研究開発項目①「複合材時代の理想機体構造を実現する機体設計技術の開発」

(実施体制: 東北大学、川崎重工業(株)、東レ(株)、上智大学、三菱重工業、JAXA、IHI、SUBARU、電気通信大学)

##### (1) 熱可塑性 CFRP を用いた機体設計シミュレーターの研究開発

主要機体構造設計では、機体設計シミュレーターが対象とする機体形状、飛行条件などの計算条件を策定した(胴体および全機を川崎重工業(株)、尾翼・主翼を(株)SUBARUが担当)。また、次年度予定の全機形状解析を前倒しで開始し、主翼詳細モデルの検討(担当: 東北大学、(株)SUBARU)、胴体構造モデルの検討を開始した(担当: 東北大学、川崎重工業(株))。さらに、エンジンを取り付けた際の主翼空力解析における実験値との比較・検証を試行的に行い、良い一致を得た(担当: 電気通信大学、(株)IHI)。

また共通技術として、熱可塑性 CFRP を対象とした薄肉構造解析ソフトウェアの開発を開始し(担当: 上智大学)、ポテンシャル法を用いた遷音速フラッター解析ツールを開発した(担当: 東北大学)。

先進技術として、層流化技術では、境界層不安定性に関するモデル式を構築すると共に、翼前縁での擾乱の伝搬について解析を実施した。また、風洞試験で用いる粗度形状を提案すると共に、風洞試験模型形態の絞り込みを行った(担当: 東北大学、JAXA、三菱重工業(株))。非定常空力解析では、高忠実な大規模準直接解析による衝撃波/乱流境界層干渉剥離流れデータベースを構築すると共に、計算安定化手法を導入し、航空機翼胴形状の解析を試行した(担当: 東北大学、川崎重工業(株))。

##### (2) 熱可塑性 CFRP を対象としたバーチャルテスト技術開発

東レ(株)、川崎重工業(株)、東北大学にてバーチャルテストの対象とする熱可塑性 CFRP の材料種の選定を行い、試験片作製の手配を行った。また、川崎重工業(株)にてL型試

験片を成形し、衝撃損傷試験用 L 型部材および OHT 試験用積層板の作製を行った。川崎重工業(株)にて第 1 期で開発した解析ツールを試行し、上智大学と繊維破断判定、マトリックス割れに関するツールの改善・要望事項の確認を行った。また、損傷進展解析コードを熱可塑性 CFRP へ適用するため、上智大学にて弾塑性解析機能追加のための解析手順の調査、連続体シェル要素の開発を行い、マトリックス割れのモデル化精度向上のために四角形要素を用いた準三次元 XFEM 解析コードの開発を開始した。また、東北大学にて熱可塑性 CFRP の単層板、円孔試験片を含む積層板(OHT, OHC 試験片)の強度試験を実施するための高荷重仕様の万能試験機を導入した。

#### 4. 2 2020年度(助成)事業内容

##### 研究開発項目②「熱可塑性CFRPを活用した航空機用軽量機体部材の高レート成形技術の開発」

(実施体制:新明和工業)

熱可塑性CFRPを活用した航空機用軽量機体部材の高レート成形技術の開発として、次世代単通路機向けフロアパネルを対象に、以下に示す内容の研究開発に取り組んだ。

###### (1)フロアパネル概念設計

次世代単通路機を想定した設計要求を満足し、かつ、既存のフロアパネルに対し量産価格、耐衝撃性、重量に対する優位性を示す目標を設定して概念設計を行い、既存フロアパネルと同等以上の性能を有するフロアパネルの概念設計を完了した。

###### (2)強度実証試験の実施/解析フィードバック

設計フロアパネルを強度実証するために、200 mm角サイズの小型供試体を用いた試験により要求強度を満足することを確認の上、解析結果との比較を行うこととし、事前試験により耐衝撃性の目途付けを完了した。

###### (3)ホットスタンプによる波板成形技術の検証

波板小型供試体を作製し、オートクレーブ成形部品と同等の内部品質を満足しているか評価することとし、供試体の初回作製を完了した。供試体の品質評価を完了した。

###### (4)赤外線加熱溶着及び中子機構による閉断面接合技術の検証

波板と平板を接合することで、波板サンドイッチ構造体を作製し、内部品質、並びにフロアパネルの強度基準を満足しているか評価することとし、溶着クーポン試験で目標せん断強度に到達したことを確認した。小型供試体用溶着装置の設計を完了した

(実施体制:ジャムコ)

研究のテーマは「高度な一体成形等を可能にするための熱可塑性 CFRP 部材の成形技術開発」であり、溶着等による高度な組立てを可能にするための、熱可塑性 CFRP 部材の成形技術開発を実施した。

航空機に使用されている構造部材は比較的大型の部材が使用されている。本研究においては、大物部材も成形可能とする製造プロセスの基礎的な検討を行った。更に、試作する部

材の形状の選定、使用する材料の選定等を行った。

次に、材料の購入、熱硬化性 CFRP 成形で培った技術を応用した自社製法等を検証するための試験用設備の設計開発及び導入、成形用ツールの設計開発及び導入等を行った。

そして、導入した試験用設備で、選定した材料を使った部材の試作成形を一部開始した。試作した成形品に対しては、外観や寸法精度、内部の品質、強度など機械的特性の評価等を行った。

(実施体制: 川崎重工業、津田駒工業)

- ・ 超高速自動積層技術、装置の開発  
溶着による中間基材の仮止めを高速で行いながら熱硬化性 CFRP と同等以上の速度で積層する技術と装置を国内の複合材装置メーカーとの協力のもと開発を開始した。
- ・ 航空機用大型部材の革新的高速成形技術・一体成形技術の開発  
航空機用大型部材の高レート成形を達成するために必要な技術(高速成形や一体成形等)に関する技術開発を開始した。

### 研究開発項目③ 「航空機部品における複合部材間および他材料間の高強度高速接合組立技術の開発」

(実施体制: 東レ、産業技術総合研究所、金沢工業大学、東北大学)

- ・ 航空機用熱硬化性 CFRP の熱溶着接合構造のメカニクス解析およびデータベース作成に向けて、試験片の評価と従来材との比較検証を開始。東レ保有の熱硬化・熱可塑ハイブリッド CFRP(一般産業用)の層間靱性は、現行の航空機用 CFRP と同等以上であった。
- ・ マルチマテリアル系構造に用いる熱可塑性 CFRP について、部材を作製する基本条件を把握するため、金沢工業大学の革新複合材料研究開発センター(ICC)の装置にて成形検討を行い、課題抽出を実施した。
- ・ 加熱冷却システムの異なる各種溶着機を検討し、熱硬化性 CFRP の熱溶着接合の成立性を確認した。
- ・ アルミ合金機体の組立工程と同等以上の高レート生産性を実現可能なプロセス構想に向けて、マルチマテリアル系構造の部材設計に用いる解析ツールの仕様を検討して導入した。
- ・ マルチマテリアル系構成材料の引張・圧縮強度試験を実施。PA6 からなる溶着層を有する熱硬化性 CFRP は、室温環境下の引張強度、圧縮強度はいずれも現行の航空機用 CFRP 同等であることを確認した。

レーザー超音波検査について、マルチマテリアル系材料のモデル平板評価を行い、高速非破壊検査に対応可能であることを確認した。

### 研究開発項目④ 「超高性能SiC繊維の品質安定性向上に向けた開発」

(実施体制: 宇部興産、超高温材料研究センター、山陽小野田市立山口東京理科大学)

#### (1) ポリマー合成技術開発

- ・ 引張強度 3.0GPa 以上で高温クリープ特性に優れる SiC 繊維を得るためのポリマー組成

をラボスケールで確立した。さらに曳糸性を改善するためのポリマー物性改良を実施した。

・繊維特性に悪影響を及ぼす不純物について、その発生要因を調査し、ポリマー合成条件にフィードバックを行った。

・ポリマー開発設備について詳細設計を完了し、設備導入を開始した。

#### (2) 紡糸技術開発

・繊維特性に悪影響を及ぼす熔融紡糸工程での不純物の特定とその低減について検討を実施。繊維強度のばらつき低減を確認できた。また、紡糸環境を浄化することによる外部起因の不純物低減に関しても検討し、設備設計を実施した。

・紡糸設備の詳細設計を実施中。

#### (3) CMC 作製・評価技術開発

・インターフェース層を BN、マトリックスを SiC とし、インターフェース層、マトリックスともに同一設備で形成可能な CMC 作製装置の設計を完了し、設備導入を開始した。

### 研究開発項目⑤ 「1400℃級CMC材料の実用化研究開発」

(実施体制:シキボウ、IHI、ファインセラミックセンター、NIMS)

(担当:株式会社IHI)

薄肉素材へのマトリックス含浸試験を行い、含浸温度と時間により含浸性の制御が可能であることが分かった。また、EBC評価についてCMASの代表的な成分を選定した。CMAS耐食試験の条件を検討し、実験を開始した。耐CMAS性を有するEBC材料を検討中。

「次世代構造部材創製・加工技術開発」研究開発項目④-2にて試作されたCMCタービンシュラウド残素材に対して、追加で必要な機械加工やEBCを施工した。

(担当:JFCC)

IHIが設定したCMAS組成、高温曝露試験等の結果をベースに熱力学計算等を開始した。また、耐CMAS腐食性を有するEBC材料の検討方法を設定した。

(担当:NIMS)

EBC候補材料である、 $\text{HfO}_2$ 原料粉末の製造を開始した。また、現行EBCの試施工を行い、施工条件の検討を開始した。熱サイクル試験等の評価方法の検討を行った。

(担当:シキボウ)

耐熱温度の高いCMC材料を実用化するにあたって必要とされるコスト競争力を得る為、可能な限り最終形状に近い形状(ニアネットシェイプ、以下ニアネット)での三次元プリフォームの開発を目標とし、脆性特性を示す高性能SiC繊維を用いてニアネットが可能となるサイジング剤の検討を行った。

SA繊維の特性取得と三次元プリフォーム製作の為の専用サイジング剤は前委託事業にて開発を行ったが、本事業では新たにハイニカロンTypeS繊維についても基礎データ取得を行い、新たにTypeS繊維専用のサイジング剤・施工プロセス開発、合わせてSA繊維用サイジング剤のニアネット用改良の開発を進めた。

またニアネットでの生産を考慮した製法開発の為、面内繊維配列方法について、同じく前委託事業にて開発を行った製法を応用し、新たに立体形状に積層する方法の検討や、従来製法での三次元プリフォームをニアネットに賦形可能にする為の繊維配向検討、ならびに新たなサイジング剤を用いて剛直性を持たせたZ糸を配列する方法などの検討を進めた。

#### 研究開発項目⑥「高レート・低コスト生産可能なCMC材料およびプロセス開発」

(実施体制:川崎重工業、イビデン、豊田自動織機、JAXA、東北大学)

製織プロセスの改良では、製織異常自動監視装置の検討、製織中の欠陥低減を目的としたサイジング剤の検討、新仕様のセラミックス繊維を用いた製織及び脱サイジングの検証を行った。また、CVI プロセスとの連続性を踏まえ、脱サイジング方法の見直しを含めた評価に着手した。

CVIプロセスの改良では、プロセス時間の短縮するためのh-BN界面形成やCVI-SiC膜の成膜条件の検討に着手した。CVI炉内の製品炉詰め効率向上を目的としたCVI用賦形型等の改良検討と初期的な評価を行い、課題を抽出した。副生成物の発生量低減と堆積抑制を目的とした成膜条件の検討および評価試験を行い、課題を抽出した。CVI用賦形型の再利用を目的とした賦形型表面に形成されたh-BN界面やCVI-SiC膜の付着防止手法や除去方法の検討に着手した。

含浸工程の最適化では、高収率スラリーの検討、簡易プリフォームを用いた試作評価によるPIPの繰返し数と残存空隙量、熱伝導率の関係性および含浸手法の調査に着手した。また、改良プロセスの実証に先立って、EBCの付着性等の初期評価に着手した。

高レート・低コスト製造技術によるCMC特性評価では、品質の基準となる指標を定義するために、改良前製造技術によるCMCの材料評価に着手した。燃焼器パネル部材向けCMC要求特性の改善では、CMCパネルで想定される冷却方法についてCFD評価を行うとともに、検証試験の検討を行った。

#### 4.3 実績額

	2020年度
	委託、助成
実績額推移 需給勘定(百万円)	1196(実績) (NEDO)
特許出願件数(件)	8
論文発表数(報)	0
フォーラム等(件)	3



## 5. 事業内容

プロジェクトマネージャーにNEDO 材料・ナノテクノロジー部 長島 敏夫 主査を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

東北大学大学院航空宇宙工学専攻 教授 岡部 朋永 氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

### 5. 1 2021年度(委託)事業内容

研究開発項目①「複合材時代の理想機体構造を実現する機体設計技術の開発」

(実施体制:東北大学、川崎重工業(株)、東レ(株)、上智大学、三菱重工業、JAXA、IHI、SUBARU、電気通信大学)

#### (1)熱可塑性 CFRP を用いた機体設計シミュレーターの研究開発

- ・ 機体設計では、全機形状の解析を行う際の課題および検証方法を策定し、胴体モデリングを進める(担当:川崎重工業(株)、東北大学)。また、尾翼のモデリングを行う(担当:(株)SUBARU)。さらに、エンジン付き主翼周りの空力解析ソフトの計算速度向上に向けた改良を引き続き行う(担当:電気通信大学、(株)IHI)。
- ・ 共通技術として、熱可塑性 CFRP を対象とした薄肉構造解析ソフトウェアの開発(担当:上智大学)とフラッター解析に基づく設計拘束条件を取り入れた主翼空力構造解析を試行する(担当:東北大学)。
- ・ 先進技術として、層流化技術では、モデル化を進め高精度な遷移開始位置予測ツールを開発すると共に、設計した層流化デバイスを配置した3次元翼の解析評価を実施する。また、次年度に行う風洞試験の詳細計画を立案する(担当:東北大学、JAXA、三菱重工業(株))。非定常空力解析では、データベースの解析を実施し、非平衡モデリングを検討する。また、平板乱流境界層での評価に加え、航空機翼胴形状の高精度非定常乱流解析を実施し、結果の妥当性を検証する(担当:東北大学、川崎重工業(株))。

#### (2)熱可塑性 CFRP を対象としたバーチャルテスト技術開発

- ・ L 型試験片の衝撃付与後圧縮強度試験および層間引張強度試験、積層平板の引張強度試験、層間せん断強度試験、円孔を有する積層平板の引張強度試験を実施し、強度試験結果のデータベースの構築を進める(川崎重工業(株)、東レ(株)、東北大学)。
- ・ 熱可塑性 CFRP に対応した損傷進展解析コードの改良を継続して行う。具体的には、熱可塑性 CFRP の材料非線形性を考慮するための弾塑性解析機能の追加・拡張、要素の表面同士で自動的に結合力要素を生成する機能を内製 FEM, XFEM へ実装する。また、実験結果と解析結果との検証を行い、コードの機能評価および修正を行う(上智大学)。
- ・ 熱可塑性 CFRP に対応した高温型オートクレーブの導入を行う(東北大学)。

### 5. 2 2021年度(助成)事業内容

研究開発項目②「熱可塑性CFRPを活用した航空機用軽量機体部材の高レート成形技術

## の開発」

(実施体制:新明和工業)

(1)複合材波板パネルの強度解析・強度実証技術の確立

強度実証試験を行い、その結果を解析にフィードバックして強度要求に対する最適化を図り、重量及びコストの更なる削減を行う。

(2)長尺波板部材の高速自動成形技術の開発

500 mm角サイズの波板部材を対象に、成形技術の高速及び自動化の検証に取り組む。

(3)閉断面部材の高速自動溶着接合技術の開発

500 mm角サイズの大型供試体を対象に、溶着接合技術の高速及び自動化の検証に取り組む。

(実施体制:川崎重工業、津田駒工業)

- ・ 超高速自動積層技術、装置の開発

溶着による中間基材の仮止めを高速で行いながら熱硬化性 CFRP と同等以上の速度で積層する技術と装置を国内の複合材装置メーカーとの協力のもと開発を継続し、曲面(テーパー無し)に対応した自動積層技術の開発を行う。

- ・ 航空機用大型部材の革新的高速成形技術・一体成形技術の開発

航空機用大型部材の高レート成形を達成するために必要な技術(高速成形や一体成形等)に関する技術検討を継続し、曲面部品をコンソリデーションする連続成形技術および湾曲部材の成形技術の目途付けを行う。

搬送装置導入によるパネル及び湾曲部材の工程自動化技術の目途付けを行う。

(実施体制:ジャムコ)

2020 年度に引き続き、試験用設備を使用して部材の試作成形等を実施する。

2020 年度に成形を開始できなかった残りの部材の試作成形を実施する。2021 年度は、航空機品質への適用性を評価するために、成形品の外観や強度等に影響を及ぼす成形パラメータの検討、航空機品質を満たすための最適な成形条件等の検討、品質を維持させつつも生産性を高めるための試験用設備の改良等を行う。

(実施体制:川崎重工業、津田駒工業)

- ・ 超高速自動積層技術、装置の開発

溶着による中間基材の仮止めを高速で行いながら熱硬化性 CFRP と同等以上の速度で積層する技術と装置を国内の複合材装置メーカーとの協力のもと開発を継続し、曲面(テーパー無し)に対応した自動積層技術の開発を行う。

- ・ 航空機用大型部材の革新的高速成形技術・一体成形技術の開発

航空機用大型部材の高レート成形を達成するために必要な技術(高速成形や一体成形等)に関する技術検討を継続し、曲面部品をコンソリデーションする連続成形技術および湾曲部材の成形技術の目途付けを行う。

搬送装置導入によるパネル及び湾曲部材の工程自動化技術の目途付けを行う。

### 研究開発項目③「航空機部品における複合部材間および他材料間の高強度高速接合組立技術の開発」

(実施体制: 東レ、産業技術総合研究所、金沢工業大学、東北大学)

- ・機体一次構造に適用可能な接合部強度の達成に向けて、航空機構造向けの信頼性試験に則った系統的なデータベースを整備して、航空機用熱硬化性 CFRP の熱溶着接合のポテンシャルを把握するとともに、高性能化達成のための要件を抽出する。
- ・熱硬化性 CFRP の部材を作製するための高速成形設備の仕様を決定し、熱可塑性 CFRP 部材とのマルチマテリアル系構造の熱溶着による高速接合を検証する。
- ・熱溶着条件とデータベースとの比較検討を通じて、接合強度や寸法精度への影響を評価するとともに、熱溶着の接合時間 10 分以内を実現可能なプロセスウィンドウを設定する。
- ・高レート生産性を実現可能なプロセス構想に向けて、2020 年度に導入した解析ツールを用いて、マルチマテリアル系構造のモデル部材を想定した要素形状を選定し、その成形工程および熱溶着工程の製造条件に関する基本データを収集する。
- ・マルチマテリアル系の物性データベース構築に向けて、構成材料に対する水分吸湿量や吸湿後の残存強度に関する研究を行う。
- ・CFRP 接合部の高速非破壊検査技術の開発に向けて、非破壊検査によりモデル平板接合面の欠陥検出に関する研究を行う。

### 研究開発項目④「超高性能SiC繊維の品質安定性向上に向けた開発」

(実施体制: 宇部興産、超高温材料研究センター、山陽小野田市立山口東京理科大学)

#### (1) ポリマー合成技術開発

- ・ポリマー合成設備の設置を完了し、その立上げ及び少量試作を実施する。設備の立上げを円滑に行うために、既設設備を利用した試作を並行して実施し、試作条件の確立を図る。

#### (2) 紡糸技術開発

- ・紡糸設備の設置を進める(設置完了は 2022 年度)。
- ・ポリマー合成設備で少量試作するポリマーを用いて、既設設備で紡糸試作を実施する。焼成・焼結工程を実施し、繊維特性の評価を行う。

#### (3) CMC 作製・評価技術開発

- ・CMC 作製装置の設置を完了し、CMC ミニコンポジットの作製技術を確立する。
- ・上記ミニコンポジットの力学的特性を評価し、繊維特性と CMC 特性との相関を調査する。

### 研究開発項目⑤「1400℃級CMC材料の実用化研究開発」

#### 研究開発項目⑤(1)

(実施体制: シキボウ、IHI、JFCC、NIMS)

(担当: 株式会社IHI)

1400°C級CMC材料のマトリクス含浸性や組織均質性を狙って、製造条件の最適化を行う。また、非破壊評価の手法や、1400°Cという高温での材料試験の歪み計測手法を検討し、試験評価可能とする。EBC開発では、CMAS腐食評価について評価試験が実施可能であることを確認する。2022年度に耐食試験に供試するEBC候補材料を選定する。

実際の航空エンジンにCMCタービンシュラウドを組み込み、エンジン搭載試験を行う。エンジン試験完了後に各種検査を行い、損傷の有無等を確認する。

(担当: JFCC)

EBCについて熱力学的検討や分析評価等を行い、2022年度に耐食試験に供試するEBC候補材料の評価を行う。

(担当: NIMS)

選定したEBC候補の試作を行い、CMC上にEBCが施工できることを確認する。また、EBCの施工健全性を確認する評価試験について、評価が実施可能であることを確認する。

(担当: シキボウ)

引き続き、ニアネット生産に最適なサイジング剤の開発を行い、検討した施工プロセスをサイジング装置に反映させる為の設計・改造を行い、評価を行う。面内繊維配列方法やZ系配列方法についても引き続き開発し、開発した製法が具体的な形状(CMCタービンシュラウド等)に対して有効か確認を行う。

また、有効性が確認された製法について、新たなプリフォーム作製装置の設計や、既存装置への改造検討を行う。

#### 研究開発項目⑤(2)

生産性に優れるMI法による1400°C級CMC部材の実用化に向けて、CMC部材の繊維・マトリクス間の反応・劣化を防止するための新規界面コーティングの開発を開始する。また、MI法による緻密マトリクスを組み合わせ、過重負荷による変形量を实用レベルに抑制した1400°C級CMC部材の開発を開始する。

#### 研究開発項目⑥「高レート・低コスト生産可能なCMC材料およびプロセス開発」

(実施体制: 川崎重工業、イビデン、豊田自動織機、JAXA、東北大学)

製織プロセスの改良では、製織異常自動監視装置の条件最適化を行うとともに、連続製織の実証及び改良を行う。サイジング剤の評価では、サイジング剤の最適化を行う。プリフォーム品質と後工程への影響評価では、目隙の影響調査を行い、目隙公差設定を行うとともに、製織条件の見直しを行う。

CVIプロセスの改良では、同時施工数を増やし、プロセス時間を短縮する成膜方法の実証を行い、副生成物への対策効果と合わせて、目標とする高レート化に対する課題の明確化を行った上で、改良プロセスによる界面形成の実証を開始する。また、黒鉛型の再利用については、hBN界面やCVI-SiC膜の有効な除去方法に対する条件の最適化を行う。

含浸工程の最適では、高収率スラリーを用いて、実製品と同じ織り構造を有する平板形状プリフォームを用いた評価を行う。素材費低減を目的に、スラリーの歩留まり向上手法ならびに、各作業の自動化に関する基礎的な検討を行う。

高レート・低コスト製造技術によるCMC特性評価では、改良された製造技術を反映したCMCの材料評価試験を行い、改良による物性への影響を調査する。燃焼器パネル部材評価試験の実施では、改良された製造技術を反映したCMC燃焼器パネルを製作し、材料特性や完成形状寸法について比較評価を行う。燃焼器パネル部材向けCMC要求特性の改善では、検証試験を実施し、CFDの検証を行うとともに、改良冷却方式の検討を行い、要求特性へのフィードバックを行う。

### 5.3 2021年度事業規模

委託事業、助成事業

需給勘定 1,350百万円(予定)

事業規模については、変動があり得る。

## 6. その他重要事項

### (1) 評価の方法

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、研究開発項目①、②及び③については中間評価を2022年度、事後評価を2025年度に実施する。研究開発項目④、⑤及び⑥については事後評価を2023年度に実施する。当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

### (2) 運営・管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、技術推進委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、随時、プロジェクトの進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。また、早期実用化が可能と認められた研究開発については、期間内であっても研究を完了させ、実用化へ向けた実質的な研究成果の確保と普及に努める。

### (3) 関係省庁の施策との連携体制の構築

NEDOが実施する「革新的新構造材料等研究開発」や内閣府が実施する「戦略的イノベーション創造プログラム:統合型材料開発システムによるマテリアル革命」の実施体制と緊密に連携する。

(4)複数年度契約の実施

研究開発項目①、②及び③については、2020年度から2022年度までの3年間とする。研究開発項目④、⑤(1)及び⑥については、2020年度から2022年度までの3年間とする。

研究開発項目⑤(2)については、2021年度から2022年度までの2年間とする。

(5)知財マネジメントにかかる運用

本プロジェクトは、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

## 6. 本年度のスケジュール

### 研究開発項目⑤(2)

2021年2月下旬	公募開始
3月上旬	公募説明会
3月下旬	公募締切
5月上旬	契約・助成審査委員会
5月中旬	採択決定

## 7. 実施方針の改定履歴

(1)2021年2月、制定

別紙

「次世代複合材創製・成形技術開発」 実施体制

