

2022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CO₂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(2023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松井克憲を任命して、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 2021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全機 CAD モデルを作成した(東北大学が担当)。また、胴体座屈後解析のツール作成を開始し(案策定を川崎重工業(株)、作成を東北大学が担当)、尾翼構造モデル作成を開始した(株)SUBARU 担当)。さらに主翼構造の精緻化に向けて、ストリンガーのモデル化を行った(東北大学、(株)SUBARU の連携作業)。次年度予定を前倒しし、熱可塑性 CFRP の取り入れに向け、実施項目 2 と連携し許容ひずみに基づく設計オプションを追加した(東北大学が担当)。さらに、エンジンを取り付けた際の主翼空力解析をシステム化し、主翼とエンジンの形状変更や、それらの取付位置変更に対応した。同時に、解析精度を検証し、前年度に比べ実験値に近づいた(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において、はり要素における幾何学的非線形解析と全機設計のためのイナーシャリリース解析機能を実装した(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ボックス構造の翼モデルで試行した(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した。また、予備風洞試験を実施して計測技術を確立すると共に、次年度以降に行う風洞試験の詳細計画を立案した(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した。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)にて熱可塑性 CFRP の物性値取得用の各種試験片を手配し、東北大学と共同で物性値取得のための一方向材、斜交材、擬似等方材の引張試験、モード I・モード II 層間破壊靱性試験ならびにバーチャルテストの比較データとなる有孔引張・圧縮試験を実施した。東北大学では、これらのデータに加えて、バーチャルテストに必要な線膨張係数のデータも取得し、現有の XFEM ツールを用いて予備解析を実施した。弾塑性構成則を導入することで実験を精度良く再現できることを確認した。また、東北大学に簡易落錘試験機およびオートクレーブを導入した。川崎重工業(株)では、層間引張、層間せん断特性評価のための曲げ試験および L 字試験片のエッジ部およびコーナー部に衝撃付与した後にクリッピング試験を実施し強度試験結果のデータベースの構築を行った。上智大学では、開発済みの連続体要素を組み込んだツールにて、衝撃付与および CAI 解析による検証を行った。また、曲率を有する構造の母材割れを表現するための新規シェル要素モデルの開発を進めている。さらに、現状5面体要素からなる XFEM ツールに対して 6 面体要素に変更したツールを開発し、OHT を対象に検証解析を行い参照実験値と同程度の結果が得られることを確認した。

4.2 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)

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) 複合材波板パネルの強度解析・強度実証技術の確立

部分供試体を用いて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、重量及びコストの削減の検討を行った。

(2) 長尺波板部材の高速自動成形技術の開発

500 mm角サイズの大型パネルの詳細設計・装置設計・装置製作を完了し、大型パネル供試体製造により波板部材を対象に、成形技術の高速及び自動化の検証を実施した。

(3) 閉断面部材の高速自動溶着接合技術の開発

500 mm角サイズの大型パネルの詳細設計・装置設計・装置製作を完了し、大型パネル供試体製造により、溶着接合技術の高速及び自動化の検証を実施した。

(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、2020 年度から継続して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検証を行った。

具体的には、導入した試験用設備で 2020 年度に選定した形状、素材の部材成形を行い、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)

- ・ 超高速度自動積層技術、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、曲面に対応した自動積層技術の目途付けを行った。
- ・ 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)に関する技術検討を継続し、周方向長さ1000mm以上、長さ1500mm以上の複雑形状対応として板厚変化を持つ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、周方向長さ1000mm以上の複雑形状を持つ湾曲部材の成形技術の目途付けを行った。
搬送装置導入によるパネル及び湾曲部材の工程自動化を開発し、工程自動化技術および長尺化の目途付けを行った。

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)

- ・ 機体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の構築を開始した。試験体の評価とフィードバックに基づいて開発した熱溶着可能な熱硬化性 CFRP の基本的な力学特性は、現行の航空機用熱硬化性 CFRP と同等であることを確認した。
- ・ 解析ツールを用いて、高レート生産性の実証モデルとなるデモンストレーターのプロトタイプを設計し、各要素部材を熱溶着可能な熱硬化性 CFRP で試作するとともに製造条件に関する基本データを収集した。
- ・ 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、マルチマテリアル系構造に用いる熱可塑性 CFRP 部材の成形検討を行い、デモンストレーターへ反映させるための成形性の定量的な把握および高速成形設備の仕様を決定した。
- ・ 加熱冷却システムの異なる各種溶着機を設置して、平板形状の材料を用いてプロセスウインドウを把握し、高速高強度接合に向けた課題を抽出した。
- ・ 熱溶着による熱硬化性 CFRP 接合部の信頼性を実験・シミュレーション(FEM)の両面から

検討し、材料設計へのフィードバックを実施した。

- ・ レーザー超音波検査により、接合部の数ミリオオーダーの接合不良と 5mm 角の人工欠陥、および CFRP 表層の剥離を短時間かつ鮮明に検出できることを確認した。
- ・ 非接触三次元計測システムの試作と CFRP 接合パネルの反り分布計測を実施し、高速非破壊検査に対応可能な見通しを得た。
- ・ 機体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の構築を開始した。試験体の評価とフィードバックに基づいて開発した熱溶着可能な熱硬化性 CFRP の基本的な力学特性は、現行の航空機用熱硬化性 CFRP と同等であることを確認した。
- ・ 解析ツールを用いて、高レート生産性の実証モデルとなるデモンストレーターのプロトタイプを設計し、各要素部材を熱溶着可能な熱硬化性 CFRP で試作するとともに製造条件に関する基本データを収集した。
- ・ 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、マルチマテリアル系構造に用いる熱可塑性 CFRP 部材の成形検討を行い、デモンストレーターへ反映させるための成形性の定量的な把握および高速成形設備の仕様を決定した。
- ・ 加熱冷却システムの異なる各種溶着機を設置して、平板形状の材料を用いてプロセスウインドウを把握し、高速高強度接合に向けた課題を抽出した。
- ・ 熱溶着による熱硬化性 CFRP 接合部の信頼性を実験・シミュレーション(FEM)の両面から検討し、材料設計へのフィードバックを実施した。
- ・ レーザー超音波検査により、接合部の数ミリオオーダーの接合不良と 5mm 角の人工欠陥、および CFRP 表層の剥離を短時間かつ鮮明に検出できることを確認した。
- ・ 非接触三次元計測システムの試作と CFRP 接合パネルの反り分布計測を実施し、高速非破壊検査に対応可能な見通しを得た。

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、既設設備で試作を実施した。
- ・ 試作した繊維の特性は、強度・耐クリープ特性・耐熱性ともに目標に達していることを確認した。
- ・ ポリマー開発設備の主要設備導入を完了し、設備の立上げを開始した。

(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。既設設備での試作を実施した。繊維強度ばらつきの原因となるポリマーの加熱方法や紡糸温度について最適化を実施し、強度ばらつき低減を確認できた。

- ・ 紡糸設備の詳細設計を完了し、設備導入を開始した。

(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 作製装置の設置を完了し、CMC 試作を開始した。
- ・ 繊維表面への BN 及び SiC 層が形成できることを確認し、試作した CMC の評価を開始した。

研究開発項目⑤「1400℃級CMC材料の実用化研究開発」

研究開発項目⑤(1)

(実施体制: IHI、シキボウ、ファインセラミックセンター、NIMS)

(担当: 株式会社IHI)

1400℃級CMC材料の製造条件の最適化を行った。また、非破壊評価の手法や、1400℃という高温での材料試験の歪み計測手法の検討を実施した。EBC開発では、CMAS腐食評価について100時間レベルの評価試験が実施可能であることを確認した。耐食試験に供試するEBC候補材料の絞り込みを行った。

CMCタービンシュラウドを実際の航空エンジンに組み込んでエンジン搭載試験を実施し、エンジン試験後の評価を完了した。

(担当: JFCC)

様々な組成を持つCMASに対し、耐性を持つEBCの熱力学的な評価手法を検討・設定した。

(担当: NIMS)

選定したEBC候補の試作を行い、剥離等なくCMC上に施工できることを確認した。

(担当: シキボウ)

脆性特性を示す高性能 SiC 繊維を用いて最終形状に近い形状(ニアネットシェイプ)での三次元プリフォーム製法開発を行った。バッチ方式では面内繊維配列方法・Z 系配列方法について複数の製法を、また既存製法(連続方式)を応用した製法の開発を行い、製法確立の面で一定以上の成果を得た。

特に、課題は残るものの、脆性特性やケバ立ちなど繊維状態によらず繊維配列が可能な面内繊維配列法・Z 系挿入方法の製法確立に成功した。

研究開発項目⑤(2)

(実施体制: 三菱重工航空エンジン、京セラ、学校法人片柳学園)

(1) BN コーティングの組織制御条件を検討し、コーティング組織観察とコーティング繊維の強度評価により、コーティング繊維の健全性を確認した。また、界面コーティング要求特性把握に基づき、新規界面コーティングを形成させるコーティング設備導入を開始した。

(2) SiC 繊維束内にマトリックスを均一含浸させるシート作製試験を実施した。シート情報(熱物性データ)を取得し、脱気・賦形などの積層成形条件への反映を実施中。

(3) 緻密なマトリックスを持つ CMC 材料を得るために、SiC 繊維を組込んだシート組成の適切な条件を設定し、炭化・Si 含浸条件の適正化検討を行った。Si 含浸経路の構築と積層・硬化時のハンドリング性向上のため、繊維、フィラーが均一分散し、かつ成形性の高いシート組成を検討中。マトリックスのボイド低減のために炭化条件、Si 含浸条件の雰囲気、プロファイル等の条件検討を実施した。

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った。サイジング剤の評価では、製織性および脱サイジング性の観点で評価を行った。プリフォーム品質と後工程への影響評価では、目隙の改善案に対する製織条件の検討を行った。

CVI プロセスの改良では、詰め効率の向上や CVI 用賦形型の小型化の開発を進めた。また、副生成物への対策として、有害な副生成物を抑制するプロセスの基礎的な検証試験を行った。

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った。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った。

燃焼器パネル部材評価試験の実施では、改良されたCMCに適した耐環境コーティング調査のため、水蒸気酸化や熱サイクルに対する評価を行った。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った。

4.3 実績額

	2021年度
	委託、助成
実績額推移 需給勘定(百万円)	1,736(実績) (NEDO)
特許出願件数(件)	4
論文発表数(報)	4
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 松井 克憲主査を任命して、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 2022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、全機形状の解析に向けて、胴体構造設計ツール(担当:川崎重工業(株)、東北大学)と、尾翼の構造設計ツールの構築を進める(担当:(株)SUBARU)。また、熱可塑性 CFRP を取り入れた主翼構造サイジングを試行する(担当:東北大学)。さらに、エンジン取付位置や各種形状を変更した際の、エンジン付主翼空力荷重の変化を解析できるように機能を拡大する(担当:電気通信大学、(株)IHI)。
- ・ 共通技術として、機体設計に用いる構造解析ソフトウェアの開発(担当:上智大学)と主翼ボックス構造に対するフラッター解析ツール構築を進める(担当:東北大学)。
- ・ 先進技術として、層流化技術では、設計した層流化デバイスの風洞試験による性能評価を準備すると共に、層流化デバイスの更なる性能改良、表面形成技術、3次元翼上でのデバイス性能を評価可能な高精度 CFD 解析ツール構築の検討を実施する(担当:東北大学、JAXA、三菱重工業(株))。非定常空力解析では、常微分方程式ベースの非平衡壁面モデリングの有効性を検証する。また高速飛行条件における航空機翼胴形状の壁面モデル LES 解析を実施し、従来の解析法などとの比較からその有効性を検証する。(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

- ・ 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、弾塑性構成則の追加・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)。
- ・ 面外衝撃特性・衝撃後圧縮強度および Hot-wet 試験等の試験環境依存性の実験評価を進める(東北大学、東レ(株))。
- ・ 接合部材等の強度データベースの構築および上智大学で開発・検証解析を進めているツールの試行・検証を実施する(川崎重工業(株))。

- ・ 耐久性評価装置（疲労試験機）の導入を行う（東北大学）。

5.2 2022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を実施し目途をつける。

(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、溶着接合技術の高速及び自動化の検証を実施し目途をつける。

(実施体制:ジャムコ)

2021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。

航空機品質への適用を目指した最適な成形条件の確立、及び、製造プロセスに必要な周辺技術の調査、検証等を通じて、量産化への目途付けを目指す。

(実施体制:川崎重工業、津田駒工業)

・ 超高速度自動積層技術、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、曲面および板厚テーパに対応した自動積層技術の目途付けを行う。

・ 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

連続・一体成形された構造品(曲面パネルおよび湾曲部材)に対し品質/強度の向上を行い、航空機品質であることを確認するためボイド率3%以下を達成する。

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」

(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)

- ・ 熱溶着により形成された接合構造を含むマルチマテリアル系構造の層間靱性の評価を通じて、従来材の一体成形と同等以上となる材料を設計し、メカニクス解析に向けたデータを取得する。

- ・ 熱硬化性 CFRP の熱溶着接合を汎用的に実施可能とするプリフォームの基本仕様と積層構成を検討し、エポキシ樹脂の硬化性の評価を通じてマルチ材料系構造に用いるための基本的な成形条件を設定する。
- ・ 2021年度に導入した誘導溶着・抵抗溶着・超音波溶着の試験装置を用いたデータ収集を進め、平板形状で各熱溶着工法のプロセス要件を抽出する。
- ・ 熱溶着時の熱可塑性樹脂の挙動解析を通じて、厚み寸法を制御する熱溶着コンセプトを検討し、熱硬化性 CFRP において寸法誤差 1%以下となる熱溶着の基本条件を設定する。
- ・ □500mm 相当のデモンストレーターで、熱硬化性 CFRP と熱可塑性 CFRP の部材を個別に成形した後、高速高強度で熱溶着する生産プロセスの基本コンセプトを検証する。高レート生産の工程分析の精度向上のため、成形および熱溶着システムの自動化も検討する。
- ・ 機体構造材の実用強度として参照される有孔平板の強度特性に関する研究を行う。
- ・ 製造条件を変えたマルチ材料系構成材料の評価を通じて、製造条件が及ぼす構成材料物性への影響について研究を行う。
- ・ 熱溶着による熱硬化性 CFRP 接合部の欠陥検出精度を指標に、接合部に適合可能な先進非破壊検査技術を抽出する。大型 CFRP 部材に対する非接触寸法検査の適用研究を行う。

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

- ・ 新設したポリマー合成設備で高性能 SiC 繊維の試作を実施し、安定的に試作可能となるポリマー合成条件を確立し、(2)に記す紡糸設備の運用と併せ、繊維特性(主として強度)の向上とばらつき低減を図る。

(2) 紡糸技術開発

- ・ 紡糸設備の設置を完了し、(1)に記すポリマー合成設備で試作したポリマーの紡糸試作を実施し、安定的な紡糸が可能となる紡糸条件を確立する。
- ・ 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 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評価法を確立し、繊維特性と CMC 特性との相関を明確にする。

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: IHI、シキボウ、JFCC、NIMS)

(担当:株式会社IHI)

2021年度に最適化を実施した1400°C級CMC材料およびEBCについて材料試験を行い、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%以下となることを確認する。高温ガス流試験も実施し、エンジン運転環境に近い条件での耐久性の確認も行う。EBCについては、1400°C×400時間CMAS耐食試験後の組織評価も行う。

(担当:JFCC)

CMAS耐食試験を行ったEBCに対し、マイクロ組織観察や分析等を行い、耐CMAS性のあるEBC候補材に対して優劣の評価を行う。

(担当:NIMS)

開発した耐CMAS性を有するEBC候補材につき、確定したプロセスでCMC上にEBCを施工完了する。また、施工したEBCが健全であることを確認する。

(担当:シキボウ)

2021年度に開発した各製法について省力化自動化を進め、生産を考慮してコスト面でメリットが大きい製法を選定・製造装置を製作し、ニアネットでのプリフォーム製造を行う。

研究開発項目⑤(2)

(実施体制:三菱重工航空エンジン、京セラ、学校法人片柳学園)

- (1) 2021年度に導入する新規界面コーティング設備によるSiC繊維へのBNコーティングを実施する。また、コーティング前処理を目的とした繊維束の開繊処理を検討し、SiC繊維/マトリックス間の応力伝達を最適化する界面コーティングの開発を行う。
- (2) 界面コーティングを施したSiC繊維を組込んだシートについて、熱物性データを考慮してボイドの抑制を検討し、積層成形の適正硬化条件を設定する。
- (3) SiC繊維とフィラーの均一分散と成形性を向上させたシートを作製し、積層成形したプリフォームの炭化焼成と熔融Si含浸条件を最適化させてMI法による緻密マトリックス形成を完成させる。
- (4) 大気暴露後にCMCの組織を観察し、新規界面コーティングと緻密マトリックスによる高温酸化抑制効果を評価する。改良された製造プロセスを反映したCMCの特性評価と製造後と大気暴露後との弾性率評価を実施し、荷重負荷による変形量を実用化レベルに抑制したCMC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」

(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、改良製織プロセス、サイジング剤、目隙公差設定に基づき、連

続製織の実証と改良を行う。プリフォーム品質と後工程への影響評価では、目隙の影響調査のフィードバックを受けて、目隙公差の設定を行い、目隙公差設定に合わせた製織条件の最適化を行う。

CVI プロセスの改良では、炉詰め効率の向上や CVI 用賦形型の小型化の開発を進め、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品質評価、実証、条件の最適化を行う。

含浸工程の最適では、平板形状プリフォームを用いた評価を行い、その有効性について確認する。また、開発したポリマー並びにスラリーに適した含浸手法の開発を行い、その有効性について確認する。

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、各工程への要求基準をフィードバックする。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、燃焼器パネルに想定される圧力荷重、熱荷重を模擬した試験に着手する。燃焼器パネル部材向けCMC要求特性の改善では、設計手法のツール化を行う。

5.3 2022年度事業規模

委託事業、助成事業

需給勘定 1,319百万円(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)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⑥については、2020年度から2023年度までの4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. 実施方針の改定履歴

(1) 2022年2月、制定

「次世代複合材創製・成形技術開発」実施体制

