

平成 2 9 年度実施方針

材料・ナノテクノロジー部

1. 件 名：次世代構造部材創製・加工技術開発

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ニ

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今後 20 年間の市場規模は、累計約 3 万から 3 万 5 千機（4 ～ 5 兆ドル程度）となる見通しである。「産業構造ビジョン 2010」では国内航空機産業を 2020 年迄に 2 兆円にほぼ倍増させるとともに、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及び軽金属等が積極的に導入されており先進的な素材開発及び加工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。

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、複合材料及び軽金属材料関連技術開発を両輪として、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。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]

研究開発項目①「次世代複合材及び軽金属構造部材創製・加工技術開発」

【最終目標（平成27年度）】

(1) 複合材構造部材

(a) 広域分布歪み計測による航空機構造健全性診断技術の開発

- 広域分布歪み計測技術の信頼性及び耐久性が、航空機複合材構造に適用可能な技術を有する事を実証する。
- 航空機搭載可能な広域分布歪み計測システムを試作し、実機あるいは実大構造を用いた試験を行い、従来計測不可能であった分布歪みを従来の歪みのみを計測する方法と同等レベルで計測できることを実証する。
- 航空機適用に必要な認証システムに合致した設計及び製造プロセスを設定する。

(b) 光ファイバセンサによる航空機構造衝撃損傷検知システム実用化技術の開発

- 今まで試験室環境で実証されてきた衝撃損傷検知システムについて、新たな衝撃損傷検知方法及び各種実証試験を通じて、実飛行環境化においても十分な信頼性/耐久性で衝撃損傷検知が可能となる技術を開発する。
- 今まで試験機以外の量産航空機への搭載に対応していなかった衝撃損傷検知システムについて、各種航空機器の設計技術及び光ファイバセンサ計測線の設計・敷設技術を用いて、航空機搭載に適したシステムを試作する。

(c) ラム波を用いた航空機接着構造健全性診断技術の開発

- 接着剥がれ検知技術について、実構造に応じたセンサ/アクチュエータ配置を検討し、温度等の環境影響がある中でも、検知精度が低下せず、十分な信頼性を有することを、部分構造試験等で実証する。
- 検知範囲拡大に応じて再考したアンプ等の改良を盛り込んで、超音波ラム波計測装置を試作し、実環境下でも、接着剥がれの検知精度に影響を及ぼさない超音波ラム波が計測できることを実証する。

(d) 熱可塑複合材製造プロセスモニタリング技術開発

- 熱可塑複合材の特性(ハイサイクル成形)を活かした部品自動成形を指向した低コスト、高レート製造技術を確立する。一次構造部材にも適用可能な一方向材を用いた部材成形法を技術成熟度TRL4 (TRL:Technology Readiness Level) まで引き上げる。
- 接合(融着、接合等)を用いた部材一体化構造製造技術を確立する。従来、熱可塑複合材の接着が困難であったが、融着、接合技術、新規表面処理技術を用いてTRL4の融着、接合技術を確立する。
- 製造プロセスにおける圧力、温度、残留応力等をモニタし、製造品質を評価する技術を確立する。従来、一次構造材にも適用可能な熱可塑複合材の成形モニタリングは困難であったが、センサ適用成形法を適用してTRL4のモニタリング技術を確立する。

(e) 光ファイバセンサによる航空機構造の成形モニタリング技術の開発

- 今まで測定不能だった複合材部品成型時の内部温度、歪、残量応力等について、新しい光ファイバセンサの埋め込み成形及び計測・分析技術を用いて、成形不具合が検知可能な成形モニタリング技術を開発する。
- 大型サンドイッチ構造に対し、今までは製造時と定期整備時の超音波検査でしか検知できなかった内部損傷に対して、光ファイバセンサを用いた成形モニタリング技術と運用モニタリング技術を組み合わせることで、超音波検査に頼らずに構造強度に重大な影響を与える前に検知可能な技術を開発する。
- 今までオートクレーブの大きさの制約を受けてきた大型複合材構造部品の製造を、光ファイバセンサを活用した低圧成形プロセス技術を用いて、オートクレーブ外でも同等の品質で製造する技術を開発する。

(f) 高生産性・易賦形複合材の開発

- 従来の連続繊維プリプレグ対比、弾性率同等、強度8割保持しながら賦形性を向上させるUACS (Unidirectionally Arrayed Chopped Strands) 技術を確立するとともに、部材試作を行い、繊維うねり、ボイドが抑制されることを実証する。賦形シミュレーションソフトを開発し、部材レベルで精度10%以内を実証する。

(2) 軽金属構造部材

(a) チタン合金接合技術の航空機への適用研究

- 大型チタン部品（板厚5mm程度）を母材並の接合部特性で摩擦攪拌接合(FSW)する接合技術を確立する。
- 接合部微小欠陥（0.3mm）の検査技術を確立する。
- 接合部組織と機械的特性の相関を解明する。
- 従来方法である厚板からの切削加工と比較して、部材製造コストを30%低減できる見通しを得る。

(b) チタン合金粉末焼結技術の航空機への適用研究

- 本技術を実機適用化可能なTRL6とする。
- 冷間静水圧プレスを用いて複雑形状焼結体を成形する技術を確立する。
- Ti-6Al-4V鍛造材以上の静強度、降伏強度、耐食性を達成する。
- 切欠き強度について、Ti-6Al-4V合金鍛造品の水準以上の疲労寿命（250MPaにて 10^5 回）を達成する。
- 従来の製造法（厚板からの削り出し）と比較して、部品製造コストを30%低減できる見通しを得る。

(c) マグネシウム合金の開発と航空機への適用研究

- サイズ：直径 ϕ 50mmに外接する押出形材

- 強度(Fty)：急凝固KUMADAI マグネシウム合金は、400MPa以上
溶解鋳造KUMADAI マグネシウム合金及び超軽量マグネシウムリチウム合金は、
350MPa以上
- 伸び(EL)：急凝固KUMADAI マグネシウム合金は、5%以上
- 発火温度：750℃以上
- 腐食速度：0.6mm/年以下
- 重量削減：現状のアルミニウム合金部品より15%の軽量化

(3) 総合調査研究

- 航空機の材料評価から設計、製造、運航に至るまでの各フェーズにおいて、実用化のために解決すべき課題を整理するとともに、国内外の技術動向や政策支援を調査し、本研究開発の方向性、達成レベル等に係る開発戦略を明確化する。

研究開発項目①ー2「次世代複合材及び軽金属構造部材創製・加工技術開発（第二期）」

【中間目標（平成29年度）】

(1) 複合材構造部材

- アルミ構造と同等の高生産性・低コスト生産技術の要素技術を確立して、技術コンセプトの確認をする(TRL3)。
- 複合材本来の特性を生かした軽量化を可能とする基礎技術を確立して、技術コンセプトの確認をする(TRL3)。
- 複合材構造に由来する内部剥離などの検査技術について、想定環境下での実用可能性の妥当性を確認する(TRL5)。

(2) 軽金属構造部材

- マグネシウム合金の部材適用が判断可能な構造材料データを取得し、航空機の適用部位を明確にして技術コンセプトの確認をする(TRL3)。

(3) 総合調査研究

- 複合材構造及び軽金属構造について、国内外の技術動向や政策支援を調査し、本研究開発の方向性、達成レベル等についての客観的判断材料を探索する。

【最終目標（平成31年度）】

(1) 複合材構造部材

- 確立した高生産性・低コスト生産技術の要素技術を、航空機の適用部位を明確にして、想定使用環境下での実用可能性の妥当性を確認する(TRL5)。
- 確立した複合材本来の特性を生かした軽量化を可能とする基礎技術を用いて、航空機の適用部位に必要な部材としての構造材料データを取得し、構造設計を行い想定使用環境下での実用可能性の妥当性を確認する(TRL5)。

- 複合材由来の欠陥等の検査技術の外部審査によるTRL 7を取得する。

(2) 軽金属構造部材

- マグネシウム合金において、明確にした航空機の適用部位に必要な部材としての構造材料データを取得し、構造設計を行い想定使用環境下での実用可能性の妥当性を確認する(TRL5)。

(3) 総合調査研究

- 航空機の方法評価から設計、製造、運航に至るまでの各フェーズにおいて、実用化のために解決すべき課題を整理するとともに、国内外の技術動向や政策支援を調査し、本研究開発の方向性、達成レベル等を明確化する。

研究開発項目②「航空機用複合材料の複雑形状積層技術開発」

【最終目標（平成27年度）】

(1) 小型タイプ自動積層装置の開発・実用化

- 装置の機能・機構を、中小型複雑形状部材の自動積層に適したものとすることで、高生産性・低コスト生産に寄与可能な積層品質を実現する小型タイプ自動積層装置を開発する。

(2) 中小型複雑形状部材の設計・製造技術を確立

- 開発した小型タイプ自動積層装置を用いて部材の試作を実施し、従来の製造手法である手積層の場合とも比較しながら品質評価を行い、複雑形状積層に対する設計・製造技術を習得して、航空機向け次世代構造材製造の真にクリティカルな技術とする。

研究開発項目②-2「航空機用複合材料の複雑形状積層技術開発（第二期）」

【中間目標（平成29年度）】

(1) 小型タイプ自動積層装置の製造適用に向けた開発

- 中小型複雑形状部材の積層に対し、将来の複合材部材製造の高生産性・低コスト生産に対応可能な積層速度で、連続積層可能な小型タイプ自動積層装置を開発し、作業による手積層と同等の品質を確認する。

(2) 実機部材形状に適用可能な設計・製造技術の開発

- 開発した小型タイプ自動積層装置を用いて中小型複雑形状部材の試作を実施し、その品質評価により、製造適用に向けて高度化した設計・製造技術の妥当性を確認する。

【最終目標（平成31年度）】

(1) 小型タイプ自動積層装置の製造適用に向けた開発

- 種々の複雑形状の積層に対し、作業による手積層と同等の品質を確認する。

- 将来の複合材部材製造の高生産性・低コスト生産に対応可能な積層速度で、連続積層可能で、製造適用に必要な易操作性、易メンテナンス性を有し、汎用性を持つ安価小型タイプ自動積層装置を開発して装置仕様を決定する。

(2) 実機部材形状に適用可能な設計・製造技術の開発

- 種々の複雑形状に対し、開発した装置を用いて部材の試作を実施し、その品質評価により、製造適用に向けて高度化した設計・製造技術の確立を確認する。

研究開発項目③「航空機用難削材高速切削加工技術開発」

【最終目標（平成27年度）】

(1) チタン合金の切削加工技術開発

(a) 手仕上げ不要な仕上げ加工技術の実部品形状への適用

- ミスマッチ（手磨きの必要な加工段差等）の無い高速ポケット加工技術を確立する。チタン合金のための仕上げ加工用の革新的工具（エンドミル）の開発と新しいコーナ加工技術の開発により、標準モデルに対し、平成24年度当初比で、仕上げ加工時間を30%以上短縮する。
- エンドミルによる荒加工のための革新的な高圧クーラント利用技術の適用可能性を検証し、実用化のための必要な技術課題を明確化する。最重要課題のひとつである工具については、高圧クーラント用のエンドミルを開発し、工具形状、クーラントノズル位置等の最適化を図り、荒加工時間を10～20%短縮する。

(b) 環境対応切削における高能率化の検討

- OOW (Oil On Water) のミストを用いる切削法を開発して、上記目標と合わせて手仕上げ不要のチタン合金の高速切削を達成し、標準モデルの荒加工から手仕上げまでを含む総コストを、平成24年度当初比で、30%以上削減する。

(2) 先進アルミ合金の切削加工技術開発

(a) アルミリチウム長尺部材の高精度加工技術開発

- 制御パラメータ（工具・切削条件、切削工程・工具経路、クーラント）を検討して、アルミリチウム合金加工後部品の変形（ひずみ）を、20～30%軽減する。
- 有限要素解析による残留応力の予測技術を確立する。

(b) 手仕上げ不要なアルミ合金の切削加工技術の開発

- ミスマッチの無い高速ポケット加工技術を確立する。アルミ合金のための仕上げ加工用の新工具の開発と新しいコーナ加工技術（コーナの新しい加工法はチタン合金と同じ）により、標準モデルに対し、平成24年度当初比で、仕上げ加工時間を30%以上短縮する。
- エンドミルによる荒加工のための革新的な高圧クーラント利用技術の適用可能性を検証し、

実用化のための必要な技術課題を明確化する。最重要課題のひとつである工具については、高圧クーラント用の革新的工具（チタン合金用とは工具材種や形状が全く異なる）を開発し、工具形状、クーラントノズル位置等の最適化を図り、荒加工時間を10～20%短縮する。

（3）炭素繊維複合材の切削加工技術開発

（a）炭素繊維複合材のドリル加工における切削力、切削温度、工具摩耗の予測技術開発

- 数値解析により航空機用複合材の切削力、切削温度、工具摩耗、切り屑流出方向の予測技術を確立し、厚さや直径の異なる部位に最適等リルを設計・選択するための世界初の支援システム・シミュレーションシステムを構築する。これにより、工具の異常摩耗、高切削温度による炭素繊維複合材の劣化、許容レベル以上大きな剥離が発生しない工具の選択並びに切削条件を導き出す。

（b）炭素繊維複合材－チタン合金重積材の切削予測技術開発

- 最大級の加工穴径のための最適な重積材用のドリル形状並びに加工条件を明確にし、新しいドリル設計開発に利用可能なシミュレーション技術を開発する。

（c）重積材に対するドリル形状の設計

- 上記の予測技術を活用し、最大級の加工穴径のための革新的な形状のドリルを開発し、得られた結果をベースに実用化の目処を得る。

（4）チタン合金の熱間ストレッチ成形技術開発

- 標準試験片に対し熱間ストレッチ成形を用いて適切な組織制御を行い、残留応力制御を可能とする世界初の技術を確立する。これにより将来的な切り屑量（部品形状によるが、現状比40～50%減）、切削時間（部品形状によるが、現状比30～40%減）の削減の目途を得る。

（5）切削ロボットシステムによる柔軟性の高い切削加工技術開発

- ロボットの最適姿勢を明らかにし、革新的な金属切削ロボットシステムを確立する。
- アルミリチウム合金のスキンカット（ポケット加工）に適用し、従来加工機同等以上の加工仕上がりを達成する。

研究開発項目③－2 「航空機用難削材高速切削加工技術開発（第二期）」

【中間目標（平成29年度）】

- 炭素繊維複合材、チタン合金、先進アルミ合金の高速切削高性能工具の作製するための予測技術のプロトタイプを開発する。
- 切削・金属ディポジション複合加工を実現するため、加工条件の設定に適用可能な予測技術のプロトタイプを開発する。

【最終目標（平成31年度）】

- 予測技術の精緻化を図り、発展させて、加工費あるいは加工時間を30%以上削減する高性能加工技術を確立する。

研究開発項目④-1「軽量耐熱複合材 CMC 技術開発（基盤技術開発）」

【最終目標（平成27年度）】

(1) CMC 損傷許容評価技術開発

- 主要な要求特性である疲労、クリープ試験における寿命、損傷パラメータ及び非破壊検査結果の関係から、運用時に安全に材料を使用できる非破壊検査の判定基準を決める手法を設定する。
- 損傷の発生、進展を予測する手法を設定し、設計ツールを開発する。開発した設計ツールによりあらかじめ損傷を予測し、供試体を用いて実証実験を行う。試験結果と最終的な比較・評価を行い、設計ツールの妥当性を確認する。

(2) CVI (Chemical Vapor Infiltration: 化学的気相含浸法) プロセス最適化

(a) CVI 反応条件の最適化

- 気相反応及び表面反応の寄与を定量的に明らかにして、CVIの含浸効率を従来比で50%以上改善する。
- 副生成物の組成を解析して副生成物を半減する方法を確立する。

(b) CVI シミュレーション技術開発

- 工業的な構造のCVI炉におけるシミュレーション精度を確認し、CVI反応器設計を可能とするシミュレーション手法を確立する。

(3) コーティング技術開発

- CMCの損傷（マトリクス割れ）に対して、修理可能なコーティング技術を確立する。コーティングの耐久性で課題となるサンドエロージョンに対し、精度の高いシミュレーション等を活用した加速評価の手法を提案する。

研究開発項目④-2「軽量耐熱複合材 CMC 技術開発（高性能材料開発）」

【中間目標（平成29年度）】

(1) CMC 材料の開発

- 1400℃×400Hr曝露後強度低下20%以下を満足するCMC材料を製造可能な、引張強度2.0GPa以上のSiC繊維を安定的に200kg/年供給できるバッチ焼結技術を確立し、繊維の供給を実施する。
- 第3世代SiC繊維の三次元プリフォームを製造可能とする条件を設定し、繊維体積割合30%以上の織物を試作する。

- 1400℃の耐熱性を持つ安定したマトリクス含浸方法を開発する。

(2) 高性能 SiC 繊維の開発

- 引張強度 3.0GPa以上で高温クリープ特性に優れるSiC繊維を開発する。
- 繊維評価技術(クリープ特性)を開発する。
- 材料のマイクロ組織を模擬した解析手法を設定する。
- 高性能SiC繊維によるプリフォーム製造方法を開発する。
- 高性能SiC繊維に適合したCMC部材の初回製造プロセス方案を決定する。

【最終目標 (平成31年度)】

(1) CMC 材料の開発

- 1400℃×400Hr曝露後強度低下20%以下を満足するCMC材料を製造可能な、引張強度2.0GPa以上のSiC繊維の低コスト量産プロセスを確立する。
- 室温引張強度200MPa以上、1400℃×400Hr曝露後強度低下20%以下を満足するCMC材料を開発する。

(2) 高性能 SiC 繊維の開発

- 引張強度 3.0GPa以上で高温クリープ特性に優れるSiC繊維を開発、さらに試作条件を確立し、CMC部材評価用試料を供給する。
- 高性能SiC繊維における三次元プリフォームの量産を可能とするプロセスを開発し、繊維体積割合30%以上のプリフォームを試作する。
- 開発したSiC繊維が、CMC材料に適用可能であることを確認する。

研究開発項目⑤「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技術開発」

【中間目標 (平成29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 (平成31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。

4. 実施内容及び進捗 (達成) 状況

4. 1 平成28年度委託事業内容

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 伊藤 浩久 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た。

東京大学大学院 工学系研究科 航空宇宙工学専攻 教授 青木 隆平 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。

研究開発項目①ー２「次世代複合材及び軽金属構造部材創製・加工技術開発（第二期）」

（実施体制：RIMCOF 技術研究組合、三菱重工業㈱、川崎重工業㈱、富士重工業㈱、東京大学、京都大学、神戸大学、立命館大学、名古屋大学、九州工業大学、熊本大学、JAXA、秋田大学）

（１）複合材構造部材

（a）SHM 実用化：広域歪み分布計測システム

- モニタリングシステムの計測位置精度を評価し、物理的目印を用いることにより位置精度 30mm を実現可能であることを確認した。
- 同期検波回路を用いることによる計測速度高速化及び二重周波数変調導入により測定レンジを向上した。
- 熱可塑性樹脂を用いた簡易貼付け装置の要素技術検討を行い、従来よりも高品質・高速で貼付けが可能であることを確認した。
- モニタリングデータから構造状態を判定するアルゴリズムの目処を得た。
- モニタリングシステムの具体的な適用先、ビジネスモデル及び認証計画について、外部有識者、エアライン及び設計技術者との協議を通し検討し、プロジェクトディスクリプションを作成した。

（b）SHM 実用化：複合材構造衝撃損傷検知システム

- 構造健全性診断の一つである複合材構造衝撃損傷検知システムに対して、実証用適用構想、機能実証に必要な実証データ、認証取得の鍵となる安全性の実証データを関係先との協議を通じて設定し、実証データ取得のための実証試験を構想した。
- 実証試験に最適な衝撃損傷検知システムの仕様を検討し、実証試験用の航空機搭載型計測装置を試作し、評価を開始した。
- 実証データ取得のための地上実証試験及び飛行実証試験の実施に必要な検討を行った。

（c）SHM 実用化：超音波ラム波を用いた SHM 技術

- 選定した解析ツールによる超音波伝搬解析の結果と超音波計測試験の結果とを比較し、超音波伝搬挙動の差異を定量的に評価した。

（d）高レート設計・製造技術開発：ボルトレス組立

（ア）複合材表面活性 基礎プロセスの確立(EPoxy/PEEK 複合材)

i) 複合材接着面の表面活性 基礎プロセス研究

- 熱可塑性樹脂（PEEK）の接着界面活性基礎プロセス開発において、接着強度の大幅向上を確認し、PEEK 表面改質手法の目処を得た。

ii) 接着継手部の高精度解析手法

- 高精度化強度評価に向けて接着剤の基礎特性データを取得中。
- 高精度解析実現に向けて接着継手基礎強度試験及び解析シミュレーションを実施した。

(イ) 熱可塑複合材による One Shot 成形技術の開発

- 炭素繊維を熱可塑性樹脂系 (PEEK、PEI) で紡織したコミングル材プリフォーム (中間素材 (織物標準品)) を試作した。
- 急速昇温硬化に向けた基礎プロセス研究を行った。

(e) 高レート設計・製造技術開発：高速成形技術開発

- 高速硬化樹脂素材及び高速成形に適した材料形態・プロセスの調査・検討を実施した。
- 候補材料について、基礎的特性の評価試験を開始した。
- 高速成形可能な部品成形プロセスに適した部品の調査・検討を実施した。
- 周辺技術も含めた部品成形プロセスの調査・検討を実施した。

(f) 高レート設計・製造技術開発：一体成形翼構造

(ア) ボックス一体ハイブリッドコキュア技術開発

- プリフォーム仕様を設定するため、複数のプリフォーム手法による強度データを取得した。
- ハイブリッドコキュア成形プロセスを設定するため、試作品の内部品質の確認及び界面強度を確認した。

(イ) 放電探知試験技術開発

- 光強度センサの仕様を設定するために、放電基礎試験を実施して、光強度と放電エネルギーの相関データを取得した。
- 分光スペクトラムのデータ取得のために、材料放電試験・ファスナ放電試験を実施した。

(ウ) 導電性複合材技術開発

- 導電性複合材の選定のため、導電性複合材を用いたファスナ放電試験及び雷撃試験を実施し、放電電流値及び雷撃時損傷度合について従来複合材との比較評価を実施した。
- 脱オートクレーブ成形手法の雷撃特性への影響を確認するため、オートクレーブ成形及び脱オートクレーブ成形による要素供試体の雷撃試験を実施した。

(2) 軽金属構造部材

- KUMADAI マグネシウム合金の製造条件が強度特性に及ぼす影響を調査した。
- 航空機二次構造への KUMADAI 鋳造マグネシウム合金適用について、材料特性を確認し、適用部位の検討を行った。

(3) 総合調査研究

- 複合材構造及び軽金属構造について、国内外の技術動向を調査し、本研究開発方針の妥当性を確認した。

- SHM実用化に向けた取組みを行っている機関との情報交換を開始した。
- エアバスとの協同研究におけるエアバスとのミーティングを通じて、今後の開発・実用化方針を確認し、開発作業にフィードバックした。
- CeBIT2017（2017年3月、独・ハノーバー市）にSHM技術でエントリーを行った。
- 本研究開発の関係者から成る技術委員会を開催して、研究の進捗状況と達成状況及び課題について整理し研究を効率的に遂行した。
- 外部有識者から成る総合技術委員会を開催して、研究の方向性、成果に関する外部からの意見を聴取する等、研究を効率的に遂行した。

研究開発項目①－２「次世代複合材及び軽金属構造部材創製・加工技術開発（第二期）」

次世代軽量カーボンハニカムパネルの開発」

（実施体制：㈱ジャムコ、東京農工大学）

航空機内装品の主要構造部材として使用するハニカムパネルの軽量化・低コスト化を図る研究開発を実施した。

- 従来品をベンチマークに高速度カメラを用いて、ハニカムパネル梁の曲げ試験及び圧縮試験における損傷・破壊過程を直接観察し、破壊起点、破壊モード、破壊現象評価の予備試験を実施した。
- 従来品をベンチマークに、X線CT探傷装置を用いて表層材の層間密着について、ボイド等阻害要因を探求した。
- 市場にある弾性率の異なる複数の繊維のプリプレグのハニカムパネル供試体にて機械特性を評価した。
- ハニカムパネルの曲げ強さ向上するために、繊維配向角及び開繊研究において、ハニカムパネル供試体にて、従来品をベンチマークに機械特性を評価した。
- 航空機内装品構造部材への適合が想定される複数の樹脂のプリプレグ供試体にて耐火性を、ハニカムパネル供試体にて機械特性を評価した。
- 低コスト化に向けてセルローズ紙仕様のハニカムコア供試体にて、耐火性及び機械特性評価に着手した。

研究開発項目②－２「航空機用複合材料の複雑形状積層技術開発（第二期）」

（実施体制：川崎重工業㈱、津田駒工業㈱、金沢工業大学）

（１）小型タイプ自動積層装置の開発・実用化

- 小型タイプ自動積層装置について、その製造適用に向け、障壁となる技術課題への対策を検討し、その検討結果を反映して装置の主要構成要素の改良・試作を実施した。
- 改良・試作した構成要素に対し動作試験を行い、技術課題への対策が妥当なことを確認して、要素技術の深化・成熟化を図り、複合材部材製造の高生産性・低コスト生産に対応可能な安価で汎用性・量産性を持った装置を開発する目処を得た。

研究開発項目③ー2「航空機用難削材高速切削加工技術開発（第二期）」

（実施体制：東京大学、東京電機大学、東京農工大学、東北大学、新潟県工業技術総合研究所）

（1）炭素繊維複合材の高速高品質切削加工技術の開発

（a）エネルギー解析法によるマクロスケールでの予測技術の開発と工具形状設計指針の確立

- ドリル加工ならびにオービタル加工（ヘリカルミリング）による、炭素繊維複合材とチタン合金の重積材の大口径の穿孔過程に対し、切削エネルギー最小理論に基づく切削シミュレーション技術を開発した。切削実験での切削力データから解析における特性データを同定し、シミュレーションの妥当性を確認した。
- 炭素繊維複合材とチタン合金の重積材の大口径孔のオービタル加工において、切削力、切りくず生成機構、仕上げ面粗さを測定し、切削特性を総合的に評価した。
- 炭素繊維複合材とチタン合金の重積材のエンドミル切削シミュレーターに必要な特性を実験により求め、予測精度の高いシミュレーション技術を開発した。

（b）有限要素法によるメゾ（積層板）スケールでの予測技術開発

- 炭素繊維複合材のドリル加工の予測が可能な有限要素解析ツールを確立するため、種々の工具刃形、加工条件での実験及び解析を行い、解析ツールの予測精度検証を行った。開発した解析ツールにおいて、損傷進行プロセス、剥離面積、切削力の予測精度が高いことを確認した。

（2）先進アルミ合金の高速高品質切削加工技術の開発

（a）アルミリチウム長尺薄物部材の高精度加工技術開発

- 切削加工後のアルミリチウム合金製の長尺部材の変形を予測・低減するため、低残留応力切削加工法を考案するとともに、考案した切削プロセスにおける残留応力と部材の変形を予測するための有限要素解析法を開発し、加工変質層内の残留応力とひずみがともに低減することを解析により示した。
- アルミリチウム合金板材の両面でポケット加工を行う際の削り代や切削工程、刃形、切削条件が板材の変形に及ぼす影響について検討した。

（b）新工具の開発による高速切削加工技術開発

- 航空機部品に多くみられるアルミ合金のポケット加工において、薄い側壁の切削加工におけるびびり振動を抑制するための工具形状を検討した。びびり振動の原因となる側壁の面直方向に作用する切削力やその変動を工具の刃数やねじれ角を最適化することにより低減できること、刃先形状をマイクロなレベルで適正化することで制振効果が得られることを明らかにし、工具形状の設計指針を得た。
- 側壁加工におけるびびり振動の変位量や周期を測定する実験システムを構築し、試作工具による切削特性を把握した。

(3) チタン合金の高速高品質切削加工技術開発

- 組立作業におけるチタン合金の大口径孔の加工にオービタル加工を適用するため、孔内面の円周方向と軸方向の残留応力に及ぼす切削条件の影響を実験的に調査した。ドリル加工とオービタル加工の結果を比較検討することにより、圧縮残留応力を孔内面に生じさせるオービタル加工の条件と工具形状を選定した。

(4) ロボット切削システムによる高速切削加工技術の開発

- アルミリチウム合金板材に対し、異なる工具回転数と送り速度における溝加工面のびびり振動挙動を明らかにすることにより安定切削条件の範囲を明らかにした。
- 異なるロボット姿勢による切削安定性の変化を、ハンマー試験結果を用いた数値シミュレーションソフトCutProによる解析で求めた。ロボット姿勢が変わる場合でも、切削安定性は大きく変化しないことを明らかにした。
- 切削された板厚の自動測定に使用する超音波プローブの開発について、ばねの長さ・硬さの変更、探触子ケーブル変更等により、目標とする傾斜角 5° までの加工面の計測が可能となった。

(5) 切削—金属ディポジション複合化技術の開発

- レーザ積層法による基材と積層材の組み合わせに関する報告、文献を広く収集し、アルミニウム合金の基材に対して組合せ可能な材質について、積層条件を分析した。
- アルミニウム合金を基材、ステンレス鋼を積層材として積層条件探索を行い、安定堆積条件同定に関する指針を得た。

研究開発項目④—2「軽量耐熱複合材 CMC 技術開発（高性能材料開発）」

(実施体制：宇部興産(株)、山口東京理科大学、群馬大学、特殊無機材料研究所、(株)IHI、東京大学、東北大学、東京理科大学、JAXA、川崎重工業(株)、(株)豊田自動織機、イビデン(株)、東京大学、JAXA、シキボウ(株))

(1) CMC 材料の開発

(a) 第3世代SiC繊維の生産技術の開発

- 焼結プロセスの知見を基に連続焼結プロセスの検討を行った。温度・昇温速度など重要パラメータを連続焼結プロセスに適用することで良好な特性のSiC繊維を得た。
- 不融化・焼成工程について、連続化に必要な処理時間短縮を検討し、不融化工程から焼結工程までの連続プロセスが実現可能であることを見出した。
- 試作設備を設置し、引張強度 2.0 GPa 以上、表面粗さ $Ra\ 2\sim 3\text{ nm}$ のSiC繊維を安定的に製造できる最適焼結条件を確立した。

(b) 第3世代SiC繊維の三次元プリフォームの開発

- サイジング（糊付け）処理及びSiC繊維以外の適切な繊維を用いた補強方法を検討し、摩

擦摩耗特性、屈曲せん断特性向上への有効性を検証した。

- サイジング剤及び補強繊維ともにCMC化工程で悪影響を及ぼさないように除去できるプロセスを開発した。
- 3Dプリフォームを試作し、繊維体積割合について30%以上を実現した。
- 燃焼器パネル形状案を策定し、一体型のプリフォーム形状や賦形方法の検討を行い、複数の製織条件により、部分的に模擬したプリフォームの試作を実施した。
- 非破壊検査手法の候補として、X線CTによるプリフォームの検査技術の調査を実施した。

(c) 安定して製造でき、かつ1400℃の耐熱性を持つマトリクス形成技術の開発

- 高性能CMCの製造方法・条件を検討し、繊維表面のBN界面処理、耐熱マトリクス含浸について、手法や製造条件を検討後に試作実験を行い、主要な課題を抽出した。
- プリフォームに対し、BN層を均一に成膜するプロセスを開発した。

(2) 高性能 SiC 繊維の開発

- SiC繊維の強度と高温クリープ特性を両立させるため、前駆体ポリマー中の焼結助剤成分(B及びA1)の最適化を行うとともに、安定的に紡糸可能な前駆体ポリマーの合成法を検討した。
- 高温クリープ特性評価法として、BSR (Bend Stress Relaxation) 法を検討し、高温クリープ特性の相対評価に有用であることを明らかにした。
- 単繊維引張法による高温クリープ特性評価技術を検討した。
- 部品試作時の織物変形のメカニズムを検討し、織物の乱れや繊維配向を予測できるモデルを検討した。複雑な構造をしたCMC組織のメゾスケールを模擬した解析手法を検討し、方針を設定した。
- 種類の異なるSiC繊維を用いて、製織性及びマトリクス形成後のCMC部材の強度評価を行った。

研究開発項目⑤「低コスト航空機体開発を実現するための数値シミュレーション技術開発」

(実施体制：東北大学、川崎重工業㈱、東レ㈱、上智大学、東京工業大学、東京理科大学、三菱航空機㈱、JAXA)

(1) 分野横断(空力・構造・強度)シームレス機体設計シミュレーターの開発

- 概念設計、空気力学解析、簡易構造強度解析を連成させた主翼に関する数値シミュレーターを開発し、川崎重工業㈱の航空機開発で用いる空力解析ツール及び構造解析ツールとの比較を通じて検証を行った。
- 解析にかかる空気力学における計算コストを少なくすると共に、最適化、詳細構造解析、ズームイン解析が行えるように拡張を行った。これにより主翼に関してツールは完成した。

(2) シミュレーション援用による認証プロセスの低コスト化

- 平成27年度に作成した航空機の認定に必要なクーボン試験について有限要素法に基づくバーチャルテスト解析ツール及び理論解の精度を高めると共に、シミュレーションツールを含む構造供試体にまで拡張した。具体的には、連続体要素を用いた拡張有限要素法 (XFEM) に基づく損傷進展解析コード (NLXP 3D) を整備した。損傷の大きさを推定する基礎となる理論式を導出した。コードの整備は完了した。

(3) 着氷に関する非定常空力設計シミュレーターの開発

- 三次元後退翼の着氷形態に対して、数値流体力学解析を行った。参考文献 (着氷翼の風洞実験) では不明な情報 (胴体形状、翼ねじり角分布) については、解析結果が風洞実験結果と対応するように同定した。着氷のないクリーン翼については解析結果と実験結果の間に空力係数の定量的な一致、着氷翼 (1形態のみ) については定性的な一致が見られた。

(4) 複合材の特性を活かした機体構造設計シミュレーターの開発と実験的検証

- 曲線配向を許容する最適構造設計シミュレーターの開発を目指し、最大曲率やフィラメントの干渉を拘束条件として導入した繊維配向最適化法を構築した。円孔引張試験に適用したところ、一方向材と比較してTsai-Wu値で10%改善したCFRP成形が可能であることを示した。
- Tow-steered composites試作装置については、ヘッド部の設計及び組み立て、制御システムの構築を行った。さらに湾曲したテープの成形性評価を行い、高い曲率配向時の成形について課題抽出を行った。
- FDM方式で作成した長繊維複合材の強度特性とばらつきの評価を引張試験と曲げ試験で実施し、さらに、繊維配向に複雑曲線を含む複合材の試作を行った。

4. 2 実績推移

| | 平成23年度 | 平成24年度 | 平成25年度 | 平成26年度 |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | 委託 | 委託 | 委託 | 委託 |
| 実績額推移 需給勘定(百万円) | 0 (NEDO) 110 (実績) (経済産業省執行) | 0 (NEDO) 176 (実績) (経済産業省執行) | 0 (NEDO) 889 (実績) (経済産業省執行) | 0 (NEDO) 889 (実績) (経済産業省執行) |
| 特許出願件数(件) | 0 | 2 | 4 | 1 |
| 論文発表数(報) | 0 | 1 | 11 | 15 |
| フォーラム等(件) | 1 | 7 | 26 | 14 |
| | 平成27年度 | 平成28年度 | | |
| | 委託 | 委託 | | |
| 実績額推移 需給勘定(百万円) | 1705 (実績) (NEDO) | 1351 (実績) (NEDO) | | |
| 特許出願件数(件) | 0 | 3 | | |
| 論文発表数(報) | 5 | 4 | | |
| フォーラム等(件) | 41 | 11 | | |

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 伊藤 浩久 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。

東京大学大学院 工学系研究科 航空宇宙工学専攻 教授 青木 隆平 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 平成29年度委託事業内容

研究開発項目①-2 「次世代複合材及び軽金属構造部材創製・加工技術開発(第二期)」

(実施体制: RIMCOF 技術研究組合、三菱重工業(株)、川崎重工業(株)、富士重工業(株)、東京大学、京都大学、神戸大学、立命館大学、名古屋大学、九州工業大学、熊本大学、JAXA、秋田大学)

(1) 複合材構造部材

(a) SHM 実用化: 広域歪み分布計測システム

- 広域歪み分布計測システムにおける、光ファイバセンサ敷設速度向上の実証を行うと共に、同システムによるモニタリングデータを用いた構造状態判定アルゴリズムを確立する。
- 実機と同等の複雑形状を有する供試体を用いた地上試験実証試験により、そのアルゴリズムの妥当性を評価する。
- プロジェクトディスクリプションに関する評価方法を設定する。

(b) SHM 実用化：複合材構造衝撃損傷検知システム

- 実用化データとして、機能実証に必要な実証データ及び認証取得の鍵となる安全性の実証データを取得するための実証試験の項目及び実施手順について、認証当局及びエアラインを含む関係先と協議し、設定する。
- 実証用適用構想に必要な損傷検知機能を達成するために、構造様式・荷重条件・変形モード等を考慮に入れた最適な損傷検知手法を設定する。最新の検知・分析手法について国内外の動向を調査し、本研究に応用する。
- 実用化データ取得用の衝撃損傷検知システムの開発として、試作したシステム構成要素の評価を進め、必要な改良を実施する。
- 実用化データ取得用の実証試験に必要な検討及び試験を実施する。

(c) SHM 実用化：超音波ラム波を用いた SHM 技術

(ア) 飛行試験による SHM システムの機能確認

- 飛行試験の実現に向け、診断対象部位に合ったセンサ/アクチュエータの施工方法と計装方法の立案及び飛行試験の準備を完了する。

(イ) SHM システムの適用先拡大のための超音波伝搬解析技術の向上

- 平成 28 年度に実施した定量評価の結果を基に解析と試験の差異の原因分析を行い、解析精度を向上するための構造及び損傷のモデル化手法を立案する。
- 解析と実測の差異原因を把握の中で、検証に必要となる追加データを計測する。

(d) 高レート設計・製造技術開発：ボルトレス組立

(ア) 複合材表面活性 基礎プロセスの確立(エポキシ/PEEK 複合材)

i) 複合材接着面の表面活性 基礎プロセス研究

- 強度試験を実施し、課題整理を行い、表面活性基礎プロセスを改善する。
- 実用化に向けて対環境性(温度、湿度等)、疲労強度について評価し、課題整理を行う。

ii) 接着継手部の高精度解析手法

- 環境条件(温度、湿度)を付与した接着剤の基礎特性データを取得する。
- 高精度解析評価確立に向けたモデル化手法、破壊則の検討を行う。

(イ) 熱可塑複合材による One Shot 成形技術の開発

- 複合材部品製造に向けた成形プロセスを改善する。
- 複合材部品製造性向上に向けたコミングル材(中間素材)の改良を行う。
- ストリング(直線形状)を試作し、強度試験により試作材の強度評価と成形条件等の改善に向けた課題整理を行う。

(e) 高レート設計・製造技術開発：高速成形技術開発

- 候補材料に対する基礎的な特性の評価試験を継続する。
- 部品成形プロセスの要となる工程を取り入れた成形設備を検討・導入し、単純形状の標準部品を試作・評価することにより、プロセスの基礎部分を開発する。
- 部品成形プロセスに適した部品を選定する。選定した部品に対して、部品成形プロセスを活かしつつ強度面でも優位性を有する部品構造の形状や材料構成の検討を行い、単純形状の標準部品を設計する。
- 単純形状の標準部品について、部品成形プロセスの技術コンセプトを検討する。

(f) 高レート設計・製造技術開発：一体成形翼構造

(ア) ボックス一体ハイブリッドコキユア技術開発

- 課題に対する対策を盛り込んだプリフォーム仕様及びハイブリッドコキユア成形プロセスを用いた脱オートクレーブ成形による補強平板を製作し、内部品質の確認及び強度試験を実施する。
- 内部品質、強度データ、製作コスト、重量を評価すると共に、課題を抽出する。

(イ) 放電探知試験技術開発

- 放電探知システムのセンサ部を試作する。
- 放電判定システム及びセンサを組み込んだ放電探知システムの仕様を設定すると共に、放電探知システムを用いた放電探知試験方案をまとめる。
- 燃料に引火する放電の判定実験式を構築するため、航空機構造を模した供試体を用いて、燃料タンク環境にて光スペクトラムと光強度の試験データを取得し、電気エネルギーと光スペクトラムの関係をまとめる。

(ウ) 導電性複合材技術開発

- 耐雷構造設計に必要なデータ取得のために導電性複合材を用い、結合部様式等を考慮したファスナ放電試験用供試体及び雷撃試験用供試体を製作し、放電電流値及び雷撃時損傷度合の確認を実施する。
- 平成28年度とは異なる手法の脱オートクレーブ成形による要素供試体を製作し、雷撃試験を実施し、成形法の違いによる雷撃特性を評価する。

(2) 軽金属構造部材

- *KUMADAI* 急冷凝固マグネシウム合金については、平成28年度に達成した性能を維持しつつ、航空機構造に必要なその他性能の向上を図る。
- マグネシウム合金の航空機構造適用による軽量化を目的として、航空機二次構造部品の適用検討、試験、コスト評価を行う。

(3) 総合調査研究

- 複合材構造及び軽金属構造について、国内外の技術動向を調査し、本研究開発の方向性、達成レベル等についての客観的判断材料を探索する。
- SHM実用化に向け、FAA、EASA、国土交通省航空局等認証当局の情報収集を行う。
- 飛行試験実施に係る折衝・調整を取り仕切る。
- エアバスとの協業に係る取りまとめを行う。

研究開発項目①－2 「次世代複合材及び軽金属構造部材創製・加工技術開発（第二期） 次世代軽量カーボンハニカムパネルの開発」

（実施体制：株ジャムコ、東京農工大学、東京大学、JAXA）

航空機内装品の主要構造部材として使用するハニカムパネルの軽量化・低コスト化を図る研究開発を実施する。

- 破壊メカニズムの評価において、実験結果よりハニカムパネルの強度に影響を及ぼす因子を特定する。
- ハニカムパネルにおける層間強度増強を目的としたボイド等阻害要因の排除、プリプレグFAW（Fiber Areal Weight：繊維目付量）の最適化、ハニカムコア-表層材間の接着技術開発、層間接着技術開発を行い、複合材本来の特性を生かした軽量化を可能とする基礎技術を確立し、強度維持と軽量化の両立を見据えた積層設計概念を確立する。
- 耐火性、機械的特性が航空機内装品要求に適合する最適な樹脂及び配合の解を得る。
- ハニカムパネルとして耐火性を満たすセルローズ紙を適用したハニカムコアを試作する。

研究開発項目②－2 「航空機用複合材料の複雑形状積層技術開発（第二期）」

（実施体制：川崎重工業株、津田駒工業株、金沢工業大学）

民間航空機の中小型複雑形状部材の製造に適用可能な小型タイプ自動積層装置による、航空機用複合材の積層技術を開発する。

(1) 小型タイプ自動積層装置の製造適用に向けた開発

- 小型タイプ自動積層装置について、その製造適用に向け、障壁となる技術課題を要素技術の深化・成熟化を通して解決し、複合材部材製造の高生産性・低コスト生産に対応可能な安価で汎用性・量産性を持った装置を開発する。

(2) 実機部材形状に適用可能な設計・製造技術の開発

- 小型タイプ自動積層装置による中小型複雑形状部材の設計・製造技術について、適用部材拡大を念頭に置き、実機部材形状に適用可能な設計・製造技術を開発する。

研究開発項目③－2 「航空機用難削材高速切削加工技術開発（第二期）」

（実施体制：東京大学、東京電機大学、東京農工大学、東北大学、新潟県工業技術総合研究所）

(1) 炭素繊維複合材の高速高品質切削加工技術の開発

(a) エネルギー解析法によるマクロスケールでの予測技術の開発と工具形状設計指針の確立

- オービタル加工による炭素繊維複合材とチタン合金重積材の大口径の穿孔作業に対して、工具形状が穴の加工精度、仕上げ面粗さに及ぼす影響を調べ、エネルギー解析法による切削シミュレーションを併用して工具形状に対する設計指針を提案する。
- 下穴加工を繰返すドリル切削とオービタル加工との切削特性を比較検討する。
- 炭素繊維複合材とチタン合金の重積材の穿孔作業に対して多結晶ダイヤモンド焼結体(PCD)ドリルを適用し、その効果を切削試験により調べる。切削試験では切削力、工具摩耗を調べ、切削油剤がこれらの切削特性に及ぼす影響を明らかにする。

(b) 有限要素法によるメゾ（積層板）スケールでの予測技術開発

- 平成28年度までに開発した有限要素解析ツールについて、解析の低コスト化及び剥離予測の高精度化に取り組み、より実用的な解析ツールを構築する。
- 異なる積層構成、板厚の試験片を対象とした穿孔実験を実施し、解析結果との比較を行い、予測精度を詳細に検証する。

(2) 先進アルミ合金の高速高品質切削加工技術の開発

(a) アルミリチウム長尺薄物部材の高精度加工技術開発

- 仕上げ面の加工変質層を改質または最小化することにより残留応力を制御し、アルミリチウム合金の切削加工後の歪みを抑制する加工技術を開発する。
- 使用工具の組合せ、平成28年度に考案した低残留応力切削加工法、パニシング加工等の手法について有限要素解析と切削実験を実施し、これらの手法が機械加工後の残留応力と歪みに及ぼす効果を検討する。

(b) 新工具の開発による高速切削加工技術開発

- ポケット形状部品の側壁加工条件について最適化試験を実施する。実部品を想定したモデル形状での加工試験を実施することにより、開発工具や加工条件等のびびり振動抑制効果について検証する。
- アルミ合金のポケット形状加工について荒加工から仕上げ加工までの高能率化の実現に向けて、安定限界線図に影響する工具諸元と切削現象の関連性を把握するための切削試験ならびにシミュレーション技術の構築に着手する。

(3) チタン合金の高速高品質切削加工技術開発

- チタン合金の大口径孔のオービタル加工において、孔内面に適正な圧縮残留応力を発生させる効率的な加工条件ならびに工具形状を選定する。加工孔の精度についても考慮し、両者についての要求を満たす条件を探索する。

(4) ロボット切削システムによる高速切削加工技術の開発

- これまで明らかにした安定切削条件とロボット姿勢に関する知見を基に切削条件設定を行い、0.5m×1mのアルミニウム合金板材に対するポケット加工のモデル実験に適用する。
- 超音波プローブをロボットに持たせ、自動で板厚を測定するシステムの基本原理を確認する。

(5) 切削—金属ディポジション複合化技術の開発

- レーザ積層法により基材をアルミニウム合金、堆積材をステンレス鋼、中間層を銅合金とした造形を行いマイクロ組織、機械的特性の関係から最適な積層構造を明らかにする。

研究開発項目④—2 「軽量耐熱複合材 CMC 技術開発 (高性能材料開発)」

(実施体制：宇部興産(株)、山口東京理科大学、群馬大学、特殊無機材料研究所、(株)IHI、東京大学、東北大学、東京理科大学、JAXA、川崎重工業(株)、(株)豊田自動織機、イビデン(株)、東京大学、JAXA、シキボウ(株))

(1) CMC 材料の開発

(a) 第3世代SiC繊維の生産技術の開発

- 試作設備を本格稼働し、引張強度2.0GPa以上、表面粗さRa2～3nmのSiC繊維を安定的に試作し、サンプルを供給し、CMC部材開発を促進する。
- 生産性に優れる連続プロセスを実現するため、連続不融化炉、焼成炉、連続焼結炉の試作設備の設計を行う。

(b) 第3世代SiC繊維の三次元プリフォームの開発

- 第3世代SiC繊維の繊維直角方向のせん断特性が非常に低いことを補うために開発した繊維のカバーリング方法と摩擦摩耗・屈曲せん断特性の関係を踏まえ、三次元織物を製織するための織機の試作を行う。従来の織機とは異なる特殊プロセスによる3Dプリフォームの量産化のため、ロボットを用いた自動化システムを開発する。どちらの方式においても繊維体積割合30%以上のプリフォームの開発を目的とする。
- 複数の製織条件により作製された燃焼器パネルの特性評価を実施し、製織条件の最適化を行い、一体型燃焼器パネルプリフォームの試作を行う。
- 燃焼器パネルを用いた初回燃焼試験を実施する。

(c) 安定して製造でき、かつ1400℃の耐熱性を持つマトリクス形成技術の開発

- 第3世代SiC繊維上へ、BN界面コーティングの施工を可能とする。
- 耐熱温度1400℃の耐環境コーティングをCMC基板に形成可能とする。
- 安定して製造でき、かつ1400℃の耐熱性を持つマトリクス形成方法を設定する。
- 繊維表面のBN表面を保護性能、形状保持能力向上を目的に、SiC膜製造技術の最適化を行う。

- 検出すべき対象欠陥の検討のため、欠陥を含む試料における破壊挙動の観察を実施する。

(2) 高性能 SiC 繊維の開発

- 焼結助剤成分 (B及びAl) を最適化した前駆体ポリマーを小スケールで合成し、強度と高温クリープ特性を両立する高性能SiC繊維の小規模試作を実施する。
- 単繊維引張法による高温クリープ特性評価技術を確立する。
- SiC繊維織物を湾曲した際に、織物形状不良や繊維配向を予測可能な解析ツールを開発する。CMC組織のメゾスケールを模擬した解析手法を設定する。
- 繊維の特性と、製織性、強度特性の関係性について整理し、初回製造プロセス方案を決定する。

研究開発項目⑤「低コスト航空機体開発を実現するための数値シミュレーション技術開発」
(実施体制：東北大学、川崎重工業㈱、東レ㈱、上智大学、東京工業大学、東京理科大学、三菱航空機㈱、JAXA)

(1) 分野横断 (空力・構造・強度) シームレス機体設計シミュレーターの開発

- 他分野を融合・連成させた数値シミュレーターをさらに発展させ、胴体を含む全機機体設計にまで拡張する。拡張したシミュレーターは川崎重工業㈱の既存ツールと比較検討し、検証する。
- ポテンシャル解法の導入により、解析にかかる空気力学における計算コストをさらに少なくすると共に、重合メッシュ、幾何学的非線形解析を導入し、高度なシミュレーターを完成させる。

(2) シミュレーション援用による認証プロセスの低コスト化

- 平成28年度までに作成した有限要素法に基づくバーチャルテスト解析ツールに関して実験と比較出来るよう拡張を行う。具体的にはクリッピング破壊試験を対象とした解析手法を確立し、開発したXFEMコードを用いた検証を実施する。
- 理論式の導出に用いた仮定の誤差評価をもとに、より信頼性の高い推定式を導出し、衝撃損傷推定式をシミュレーションコードに組み入れることで、理論と数値計算コードを融合させる。

(3) 着氷に関する非定常空力設計シミュレーターの開発

- 三次元後退翼の着氷形態で発生する前縁剥離渦を解像するのに必要な空間格子解像度を調査する。
- 他の着氷形態 (着氷のサイズが小さい形態) について数値流体力学解析を実施し、着氷のサイズが空力性能に及ぼす影響を調査する。

(4) 複合材の特性を活かした機体構造設計シミュレーターの開発と実験的検証

- 現実的な曲線配向最適化法を構築するため、繊維体積含有率などの成形品質や力学的評

価結果を反映した拘束条件を導入する方法を検討する。

- Tow-steered composites試作装置については、十分なプリプレグ積層精度を確保するため、圧着ローラーの剛性改善や繊維ガイドなどを実装する。
- 曲線積層シミュレーターに活用可能なデータベースを充足させるため、曲線積層物の品質及び力学的評価を行い、試作装置の課題抽出と最適設計にフィードバックするためのデータベースを構築する。

5. 2 平成29年度事業規模

委託事業

需給勘定 2,600百万円

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、研究開発マネジメント、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、外部有識者による評価を実施する。

研究開発項目①、②、③及び④-1については、4つの評価視点（事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント、研究開発成果、成果の実用化に向けての見通し及び取り組み）による事後評価を平成28年9月に実施した。

研究開発項目④-2及び⑤については中間評価を平成29年度、事後評価を平成32年度に実施する。研究開発項目①-2、②-2及び③-2については必要に応じて中間評価を平成29年度に実施し、事後評価を平成32年度に実施する。

(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：革新的構造材料」の実施体制と緊密に連携する。

(4) 複数年度契約・交付の実施

委託事業

研究開発項目①、②、③及び④-1は、平成27年度の1年契約を締結する。
研究開発項目④-2及び⑤は、平成27年～平成29年度迄の複数年度契約を締結する。
研究開発項目①-2、②-2及び③-2は、平成28年度～平成29年度迄の複数年度契約を締結する。

(5) 知財マネジメントにかかる運用

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクトを実施する（研究開発項目①-2、②-2、③-2、④-2及び⑤）。

7. 実施方針の改定履歴

(1) 平成29年2月、制定

(2) 平成29年5月、改定

研究開発項目④-2の再委託先追加による実施体制変更に伴う改定。

(3) 平成29年6月、改定

研究開発項目①-2及び④-2の再委託先追加並びに研究開発項目④-2の再委託先削除による実施体制変更に伴う改定。

(4) 平成29年11月、改定

研究開発項目①-2の再委託先追加による実施体制変更に伴う改定。

研究開発項目①-2の研究分担先の社名変更に伴う改定。

別紙

「次世代構造部材創製・加工技術開発」 実施体制

