

平成30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ブ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」

【中間目標（平成29年度）】

- 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)。

【最終目標（平成31年度）】

- 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)。

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、作業者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、作業者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

- 00W (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な工具（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) 炭素繊維複合材ー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29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①-2 「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)、(株)SUBARU、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、豊田工業大学、JAXA、秋田大学、中菱エンジニアリング(株)）

(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の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構築し、数値解析により得られたデータから損傷判定できる目処を得た。
- スキン-ストリング供試体を用いた実証試験を行い、構造状態判定アルゴリズムが実計測データを基に位置及びその大きさを判定可能であることを確認した。
- プロジェクトディスクリプションに関して米国有識者との協議を行った。
- 飛行実証試験実施に向けて、海外OEMの関連部門との協議を行った。

(b) SHM実用化：複合材構造衝撃損傷検知システム

- 機能実証に必要な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をまとめた飛行試験要求書を作成し、海外OEM（SHM研究担当、飛行試験部門）と協議した。認証取得の鍵となる安全性実証手順を、認証有識者と協議した。
- 構造様式・荷重条件・変形モード等を考慮に入れた最適な衝撃検知手法、損傷検知手法、荷重計測手法を設定し、必要なソフトを作成した。航空機疲労の国際学会 ICAF、SHMの国際学会 IWSHM にて最新の検知・分析手法について調査し、本研究に応用した。
- 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試験を実施した。具体的には、航空機搭載型計測装置の耐環境性評価試験、機体への設置性を改良した計測線の試作と評価試験を実施した。
- 衝撃検知機能および損傷検知機能の実証として、地上実証試験を実施した。実証試験を

通じて、センサ配置の妥当性、検知手法の妥当性を確認した。

(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

- JAXA 飛行実証機「飛翔」の中央翼前桁を対象とし、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による機能確認を実施した。
- 飛行実証試験実施に向けて、飛行試験要求書の作成を含め、海外OEMの関連部門との協議を行った。

(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、アクチュエータ及び損傷のモデル化手法を立案した。
- 解析と実測の差異原因を把握するため、検証に必要となる追加データを計測した。

(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(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

- 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、表面活性処理を施したクーポン試験片での強度試験を実施した。結果、界面破壊が発生したため、処理プロセスを見直した。見直し後は凝集破壊となることを確認し、プロセスの基礎を確立した。

ii) 接着継手部の高精度解析手法

- 接着継手の高精度解析に向けた材料定数取得手法に関し、大型 ENF (End Notched Flexure) 試験を提案。接着剤のモードII層間破壊靱性値が取得可能であることを示した。
- 取得した材料定数を基に、ENF 試験供試体の解析シミュレーションを実施したところ解析と試験値で良い一致を示した。

iii) 接着部信頼性向上

- ボルトレス組立で重要技術である接着部の Weak Bond 検査技術とボルトレス構造で必要不可欠な Crack Arrest 構造の検討を実施した。
- Weak Bond 検査技術に関しては、各種検査手法の得失を評価した。
- Crack Arrest 構造については、供試体を製造し基礎評価を実施した。

(イ) 熱可塑複合材による One Shot 成形技術の開発

- PEEK 樹脂をコミングル化した熱可塑プリフォームについて、成形治具の改良、温度の均一化を図り、従来ボイド率3%のものが1%程度になり、成形品質の向上を行った。
- コミングル材料の粘度、繊維及び樹脂比率等の改良に着手した。
- ストリングを想定したL字型部品の成形を実施し、課題整理を行った。

(e) 高レート設計・製造技術開発：高速成形技術開発

- 候補材料に対する基礎的な特性の評価試験を継続して実施した。
- 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・器材を検討・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した。

- 部品成形プロセスに適した部品を選定した。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した。
- 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ユア技術開発

- 平成28年度設定したハイブリッドコキユア成形プロセスを用いて、一体成形した補強パネルの強度評価を実施した。
- 強度評価する補強パネルに用いるドライブリフォームを選定した。
- 外板・ストリングの一体成形に加えて、桁・リブの一体成形方法の検討を開始した。

(イ) 放電探知試験技術開発

- 放電探知システムのセンサ部試作を開始した。
- 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し、放電探知システムを用いた放電探知試験方案を検討した。
- 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試験を実施し、光スペクトラムと光強度のデータを取得して、電気エネルギーと光スペクトラムの関係をまとめた。

(ウ) 導電性複合材技術開発

- 平成28年度に選定した導電性複合材について、実構造のパネル端部条件を反映した雷撃試験およびその雷撃後強度試験を実施し、外板への導電性複合材の適用妥当性について評価を行った。
- クリアランスファスナを用いた放電試験を実施し、ファスナ条件が放電閾値に与える影響について評価した。
- 脱オートクレーブ成形手法の雷撃特性が与える強度への影響を確認するため、要素供試体の雷撃後強度試験を実施した。

(2) 軽金属構造部材

- 急冷凝固マグネシウム合金については、押出条件を種々試行し、航空機構造にとって必要な特性を達成する目途がついた。
- 不燃鋳造マグネシウム合金の特性向上を目的とした組成改良を行い、改良材の機械特性評価を実施した結果、中間目標を達成することを確認した。
- 航空機二次構造への適用検討を行い、適用に必要な特性の評価（耐食性など）を実施した。

(3) 総合調査研究

- 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探索のため、下記を実施

した。

- 1) 総合技術委員会を2回、技術委員会を3回実施。外部有識者の指導を受けるとともに、各機関の研究成果・進捗状況を横通し、実施担当者にフィードバック。
- 2) ICAF2017（国際航空疲労委員会）でのSHM技術のブース出展、JISSE（SAMPE JAPANの発表会・展示会）でのRIMCOFセッション対応やブース出展等を通じて、日本独自技術をPR。
- 3) 本研究開発の中から「放電探知試験技術開発」で参画している日欧協同研究の日本側窓口として、欧州側との折衝・会合主催するとともに、欧州側研究成果につき情報収集。
- 4) マグネシウム合金の潜在的ユーザーとなり得る企業へのニーズ調査。
 - SHM実用化の加速に向け、国際的SHM規格委員会AISC-SHMへ参加し、各国認証機関や関連企業等の情報収集を実施。また早期実用化に向け、米国研究所の有識者とのコンサルタント契約につき交渉し、契約締結に向け大筋合意。
 - 海外OEMとの協同研究に係る取りまとめを行うと共に、早期の飛行試験実施に向け、海外OEM試験飛行部門担当者を含む関係者と折衝・調整を行った。

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、東京大学、JAXA）

（1）次世代軽量カーボンハニカムパネルの開発

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。

（a）破壊のメカニズム評価

- ベンチマークとしたハニカムパネル従来品に対して、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、破壊モードを明らかにした。
- ベンチマークとしたハニカムパネル従来品に対して、顕微鏡観察を行い繊維の真直性を評価した。
- ベンチマークとしたハニカムパネル従来品に対して、材料の物性を取得しパネルの破断理論値を算出した。

（b）強度維持と軽量化の両立を見据えた積層設計の研究

- 層間強度増強を狙い、成形方法の違いによる機械特性を評価した。
ハニカムパネルに必要な強度を維持したうえで使用素材量の最適化を図るため、開繊技術及び繊維配向角を検討し、機械特性を評価した。

（c）プリプレグの適用研究

- 新規樹脂の適用研究において、複数の候補となる材料で計5回のハニカムパネル試作を行い、耐火性及び機械特性を評価した。

（d）低コスト化を見据えたハニカムコア材料のセルローズ紙適用研究

- セルローズ紙仕様のハニカムコア供試体を試作し、耐火性及び機械特性を評価した。

(2) 複合材本来の特性を生かした軽量化パネルの開発

- 二次元ラティス構造特有の幾何形状及び破壊モードを考慮した、設計解析手法（強度解析等）の構築と、供試体試作を実施した。
- 特性評価を実施し、基礎技術及び技術コンセプトの確認に着手した。

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：川崎重工業株、津田駒工業株、金沢工業大学）

(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への対策の検討と、その対策検討結果を反映した主要構成要素の改良・試作を行うとともに、その改良・試作結果を反映した試作機的设计・製作を実施した。
- 試作機を用いて、実機部材を想定した形状に対する部材試作を行い、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。

(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の試作機により、実機部材を想定した設計・形状に対する部材試作を行い、その部材の品質評価結果から、実機部材形状に適用可能な設計・製造技術を開発する目処を得た。

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

- CFRP/チタン合金の重積材の大口径の穿孔を対象とし、一般的なドリルとフラットドリルによって下穴加工を繰返す穴加工と、オービタル加工（ヘリカルミリング）について、切削力、仕上げ面粗さ、残留応力を評価し、それぞれの特性を比較した。工具形状に対する評価として、フラットドリルの穴あけ加工では、ドリルコーナー部の形状が切削特性に及ぼす影響を調べた。また、オービタル加工では、チタン合金層における残留応力と仕上げ面粗さを考慮してバレル工具の適用を試みた。
- 炭素繊維複合材のトリム加工を対象とし、エンドミル切削の高能率加工技術を開発した。PCD（多結晶体ダイヤモンド）の切れ刃部に周期的な凹凸形状を付与した工具を開発し、仕上げ面特性の改善を図った。

(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

- ドリル加工における炭素繊維複合材料の損傷予測が可能な有限要素解析ツール確立を目的に、種々の加工条件、積層構成での実験を実施し、解析ツールの精度検証を行った。また解析ツールの改善を進め、はく離面積および損傷プロセスを高精度かつ低コストで予測されることを確認した。

(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

- 素材の圧延時に生じた残留応力と切削加工に起因する残留応力が、切削加工後の変形に及ぼす影響について検討した。アルミリチウム合金板材の両面にポケット加工を行う際の削り代や切削工程、刃形、切削条件の設定により切削加工に起因する残留応力を制御し、切削加工後の変形を低減できることを示した。
- 切削方向を粗加工と仕上げ加工とで反転する反転仕上げ切削の効果を2次元切削実験により検討し、反転仕上げ切削によって切削残留応力を低減できる可能性を示した。
- 3次元切削（フライス加工）においても反転仕上げ切削実験を行い、切削力と残留応力の低減効果を検討した。
- 反転仕上げ切削が切削状態や残留応力に及ぼす影響を解析的に明らかにするため、有限要素法解析に用いる硬化則について検討した。

(b) 新工具の開発による高速切削加工技術開発

- アルミ合金製ポケット形状部品の薄い側壁の切削仕上げ加工におけるびびり振動を抑制するための工具を試作し、切削加工試験による検証を行った。
- 側壁仕上げ加工における削り代形状ならびに厚さについて検討し、加工精度を向上するための指針を得た。
- 工具刃数と安定限界線図ならびに切削力の関係について検討した。

(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数種類の切削工具と切削条件の影響を側面切削実験により調査した。効率的に圧縮性残留応力を孔内面に生じさせるためには切削工具形状でニゲ角、すくい角、ねじれ角、刃長および切削速度であることを実験的に選定した。さらに残留応力測定方法について2つの測定方法（ $\cos \alpha$ 法、 $\sin^2 \phi$ 法）について相関関係を確認して、効率的な測定・評価が可能になった。

(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

- アルミニウム合金板材に対するポケット加工について、最適な工具移動経路、工具刃先形状ならびに、切削条件について検討を行い要求される面精度を達成した。
- ロボットを用いてワークピースを事前計測し必要に応じてロボット動作プログラムに補

正を加えるシステムの開発し、切削実験を通して本システムによりワークピース自体の歪み等やロボットの繰り返し性運動誤差の影響を低減可能なことを確認した。

- 超音波プローブ把持機構を開発し、実際にロボットを用いて加工物の板厚検査に適用可能なことを確認した。
- 旅客機実機部品の1次成形品に対してポケット加工を実施し、平面部分について所望の寸法精度および加工面精度を達成できる見込みを得た。

(5) 切削—金属ディポジション複合化技術の開発

- アルミニウム合金を基材、銅合金を中間材としたときの最適構成を明らかにするためアルミニウム合金上にNi-Cu合金を安定的に積層するための条件探索を行った。レーザー出力、走査速度、粉末供給速度を変化した単純直線形状の積層を行うことにより条件範囲の適切化を行った。また銅合金を中間材、ステンレス鋼を積層材としたときの基礎的な知見を得るためCr-Cu合金上にステンレス鋼を安定的に積層するための条件範囲を明らかにした。

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、龍谷大学、(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)、東京工科大学、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（バッチ式）を本格稼動し、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、(株)IHI、川崎重工業(株)、シキボウ(株)にサンプルを供給した。
- 生産性に優れる連続プロセスを実現するため、焼成炉、連続焼結炉の試作設備の設計を行った。

(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繊維は従来SiC繊維と比べ繊維垂直方向のせん断に対し強度が引く特性を示す。このような特性の繊維を用いて複雑な繊維配向構造となる三次元プリフォームを形成する場合、製織時に糸切れ等のトラブルが発生し、コスト的、品質的に影響を及ぼすことが予想される。昨年度に続きサイジング（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の検証を行った。
- 昨年度の検討ではサイジング剤のみではSiC繊維のせん断特性向上効果が少ないが、SiC繊維のカバーリング補強によりSiC摩擦摩耗特性やせん断特性への向上効果のデータを得ていたが、摩擦、屈曲等による破断防止には十分ではなく、カバーリング繊維の影響でSiC繊維体積含有率が上がらない等の問題が生じることが判明した。

- そこで新たなサイジング剤の開発およびS i C繊維に極力ダメージを与えない製造プロセス開発を重点とし、3次元織機設計および新プロセス開発を行った。実験室レベルでの繊維体積割合30%の三次元プリフォーム試作プロセスを踏まえ、プロセス自動化のための装置開発を行った結果、X、Y積層における自動積層を実現できた。
- 製織条件と含浸性の相関について評価を開始した。また、本結果を踏まえ、昨年度までに策定した燃焼器パネル形状案に従い、一体型のプリフォームの試作を実施した。
- 燃焼器パネルを用いた初回燃焼試験を実施した。

(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

- 成分、膜厚、プロセス中繊維ダメージを評価して、第3世代S i C繊維上へBN界面コーティングの施工を可能とした。
- 施工条件を検討し、耐熱温度1400℃の耐環境コーティングをCMC基板に形成可能とした。
- 安定して製造でき、かつ1400℃、100時間の水蒸気曝露後にも強度低下の少ない熱性を持つマトリクス形成方法を設定した。
- 繊維表面のBN相の保護、形状保持性を目的としたS i C層の製造技術開発として、最終物性とS i C層厚さの相関を調査し、S i C層の最適成膜条件を決定した。
- X線CTと引張試験との組み合わせ、破壊挙動の観察を開始した。その他、X線CTやサーモグラフィでの欠陥検出技術の開発を実施、これを用いた健全性評価手法の検討を開始した。

(2) 高性能S i C繊維の開発

(a) 引張強度3.0GPa以上で高温クリープ特性に優れるS i C繊維を開発する。

- 組成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S i C繊維の小規模試作を実施した。引張強度には課題は残るが、高温クリープ特性は大幅に改善できた。

(b) 繊維評価技術を開発する。

- 単繊維引張法による高温クリープ特性評価技術を確立した。簡便法であるBSR (B e n d S t r e s s R e l a x a t i o n) 法との相関性も確認し、高温クリープ特性の定量的評価に有用であることが分かった。
- 翼部の織物を固定した後、バンド部のS i C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した。3次元直交織物の過重負荷方向以外を同様に扱ったCMC組織のメゾスケールを模擬した解析手法を設定した。
- 繊維の特性と、製織性、強度特性の関係性より、初回製造プロセス方案を決定した。

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

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させた。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、検証を行った。また、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

これ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った。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した。さらに、ブーミング法や重合メッシュ法を導入し、グローバルモデルと連成できるようにすることを検討し、加えて、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し、新たな乱流モデルを導入して解の精度を向上させた。また、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した。さらに、翼表面に部分的に放熱機能を持たせた翼型最適化を実施し、最適化システムを完成させた。

(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

現実的な曲線配向最適化法を構築するため、最大曲率半径やフィラメントの干渉による制約条件を導入した。実際に円孔引張問題に適用し、制約条件を満足する繊維配置最適化が可能であることを確認した。さらに、Tow-steered composites試作装置を用いて、様々な曲率のプリプレグ賦形を行い、賦形性の評価を行った。賦形の中心パスと実際の繊維の経路との差と、プリプレグ/モールド面のタック性が賦形性に影響を及ぼすと考え、これら2パラメータによる賦形可否のマッピングを作成した。別途、設計時に使用可能な材料物性データ取得法の確立のため、曲線部の破壊評価を実施し、曲線賦形時の破壊評価基準を作成した。

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	平成29年度	
	委託	委託	委託	
実績額推移 需給勘定(百万円)	1705 (実績) (NEDO)	1351 (実績) (NEDO)	2961 (NEDO)	
特許出願件数(件)	0	3	5	
論文発表数(報)	5	4	7	
フォーラム等(件)	41	11	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 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30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)、(株)SUBARU、不二ライトメタル(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、豊田工業大学、JAXA、秋田大学、中菱エンジニアリング(株)、九州大学)

(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の実機搭載に向け、ハードウェア改修及びソフトウェアの改修を行う。
- 計測性能(精度、レンジ、速度)の向上を行い、航空機搭載型計測システムへ反映する。
- 海外OEM機での飛行実証試験等、航空機搭載に向けて必要な実証試験を、平成31年度までに行う。

(b) SHM実用化：複合材構造衝撃損傷検知システム

- 機能実証および安全性実証の鍵である飛行実証試験を海外OEMと共同で実施するため海外OEMを始めとする関係先と協議し、飛行試験計画を決定する。
- 衝撃検知機能および荷重計測機能は、上記の飛行実証試験にて評価する。飛行実証が難しい損傷検知機能は、これまでの構造試験および構造解析を活用して評価を行う。評価結果および国内外の動向調査に基づき、必要な検知手法の改良を行う。
- 地上／飛行実証試験の結果に基づき、衝撃損傷検知システムの構成要素に対して、実機適用に必要な改良を実施する。
- 実用化データ取得用の実証試験として、海外OEMと共同で飛行実証試験を平成31年度までに実施する。そこには、飛行試験機への計装、衝撃検知機能の地上／飛行実証、荷重計測機能の評価、および長期評価を含む。

(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

- 海外OEM機を対象とした飛行実証試験を平成31年度までに実施するため、海外OEMとの協議・調整を実施する。
- 調整結果を受け、試験機体と施工対象部位の選定を行い、センサ/アクチュエータの施工方法と計装方法を立案する。

(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29年度に立案したモデル化手法を用いてより複雑な形状のシミュレーションを実施し、解析結果と試験結果の比較、評価を実施する。

(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

- 航空機構造向けの実用接着剤を用いた接着強度評価を実施する。
- 処理後の経時効果の評価を実施する。
- 処理の工業化（大面積処理等）の目途付けを行う。

ii) 接着継手部の高精度解析手法

- 環境条件（温度、湿度）を考慮した接着剤の特性データの取得及び解析シミュレーションへの盛り込み及び評価。
- 高精度解析確立に向けたモデル化手法、破壊則の検討を行う。

iii) 接着部信頼性向上

- Weak Bond検査については、再現性の確認及び、寸法等の差異による検出能力の評価を行う。
- Crack Arrest構造は、クーボン試験片レベルによる強度試験を実施し、基礎データを取得する。

(イ) 熱可塑複合材による One Shot 成形技術の開発

- 複合材部品製造性向上に向けたコミング材（中間素材）の改良をしつつ、課題の解決を目指した成形品質のさらなる向上を図る。
- ストリング（直線形状）の連続部品成形を目指した課題出しを行う。

(e) 高レート設計・製造技術開発：高速成形技術開発

- 成形設備・器材を改良し、選定した材料形態およびプロセスを用いた複雑形状の模擬部品を試作および評価することにより、材料形態およびプロセスの最適化を実施する。
- 設計した単純形状の模擬部品の評価および検討を行い、部品の板厚や形状を工夫することにより、強度特性を向上させた複雑形状の部品の検討および設計を行う。
- 複雑形状の部品について、部品成形プロセスの技術コンセプトの検討および確認を実施する。

(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ュア技術開発

- 補強パネルの一体成形に加え、桁及びリブの一体成形手法を開発する。
- 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

- 電気エネルギーと光スペクトラムの関係から、燃料に引火する放電の判定実験式を作成する。
- 放電探知システムに対して、燃料に引火する放電の判定実験式を追加し、システム全体の検証試験を実施する。

(ウ) 導電性複合材技術開発

- 平成29年度迄に取得した導電性複合材の設計データを基に部分要素供試体を設計・製造し、耐雷特性に関する妥当性評価を行う。
- 平成29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

- 急冷凝固マグネシウム合金については、現状の小規模製造レベルで合金製造手法を改善し、最終年度（H31年度）にかけて航空機構造に適用可能な特性を達成する。
- 不燃鑄造マグネシウム合金のスペック化に必要なデータの検討を行う。
- 航空機二次構造部品の試作・評価等により適用課題を抽出する。

(3) 総合調査研究

- 本研究開発の事務局として下記を実施し、本研究開発全体の加速・方向付けを行う。
 - 1) 技術委員会／総合技術委員会を開催し、研究状況の横通しや、外部専門家による客観的評価を行う。

- 2) SHMに係る海外OEMとの協同研究の日本側窓口としての取り纏め・折衝を行う。
 - 3) 高生産性複合材成形技術に係る日欧協同研究の日本側窓口としての取り纏め・折衝を行う。
- SHM技術の開発支援・実用化加速のため、下記を実施する。
 - 1) 共同研究を通じて、海外OEM機を用いた飛行実証試験を実現するための準備・調整を推進する。必要に応じて、代替の飛行実証試験実施の為の準備を行う。
 - 2) 実用化に向けて、米国研究所とコンサルタント契約を結び、FAAの認証取得および海外OEMへの提案を含んだアクションプランを作成する。
 - 3) AISC-SHM（SHM規格化の国際会議）に参加し、海外企業・認証機関等の情報を収集する。また、必要に応じて、関連技術および／またはSHM関連特許に関する調査を行う。
 - 高レート設計・製造技術の研究開発支援のため、各種高レート製造技術を調査・整理し、要すれば研究の方向性につき修正・追加も含む提案を行う。
 - マグネシウム合金開発支援・実用化加速のため、開発材料の優位性や課題を明確にするとともに、下記を実施する。
 - 1) 実用化のための製造研究準備
 - 2) 試作材料の特性に対する第三者計測機関を活用した客観的評価

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）

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、東京大学、JAXA）

（1）次世代軽量カーボンハニカムパネルの開発

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。

（a）破壊のメカニズム評価

仕様決定した材料での物性を取得し、シミュレーションによる剛性評価を実施する。

（b）強度維持と軽量化の両立を見据えた積層設計の研究

ハニカムパネルに必要な強度を維持したうえでプリプレグ繊維目付量の最適化を含めた軽量化可能な積層構成を決定する。

（c）プリプレグの適用研究

新規樹脂の適用研究において、樹脂配合及び最適な繊維を決定する。

（d）低コスト化を見据えたハニカムコア材料のセルローズ紙適用研究

耐火性及び機械特性に適合したハニカムコアを、低コスト化が可能な製造方法にて製作する。

（e）最終評価

ハニカムパネルの当社仕様に基づく耐火性及び機械的性質評価を行う。量産品レベルでの実証評価として実機を想定した強度試験用供試体及び耐火性試験片製作に着手する。

(2) 複合材本来の特性を生かした軽量化パネルの開発

三次元曲面構造へ適用可能な設計製作技術を確立し、部分構造を試作して力学的性能を評価し、実用化に向けた妥当性を確認する。

(a) 三次元湾曲パネルの低コスト製造技術に関する研究

湾曲径に応じた積層を行うため、テーププリプレグ材を開発し積層の自動化に繋げる研究開発を行う。

ラティス構造製造プロセスの自動化に求められる加熱、加圧積層が可能なロボット設備の研究開発を行う。

(b) 三次元湾曲パネルの設計解析技術の研究

三次元ラティス構造特有の幾何形状及び破壊モードを考慮した、設計解析手法を構築する。

(c) 三次元湾曲パネルの特性評価

ボイド等の観察による品質評価及び、ラティス構造の強度試験を実施し、解析手法の妥当性を検証する。

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

- 炭素繊維複合材とチタン合金重積材の穿孔作業では、切削試験と切削シミュレーションにより、種々の切削条件、工具形状、潤滑等に対する切削特性を評価し、高能率高品位化を図る。
- 炭素繊維複合材とチタン合金重積材の大口径穿孔作業では、オービタル加工に対して切削シミュレーションを適用して加工誤差の推定を可能とし、工具形状が加工誤差に及ぼ

す影響を調べる。

- 炭素繊維複合材のトリム加工では、多結晶ダイヤモンド焼結体(PCD)の工具形状設計と試作を行い、切削試験によりその性能を評価する。切削シミュレーションと仕上げ面粗さ解析により、工具形状が切削力と仕上げ面粗さ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29年まで開発した有限要素解析ツールを用い、最適な加工条件ならびに材料物性の探索に取り組む。
- 異なる板厚の試験片を対象とした穿孔実験を実施し、解析ツールの適用範囲および予測精度を検討する。
- トリミングへの適用を念頭に置いた解析ツール開発を行う。

(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

- 切削加工とバニシング加工との組み合わせによる効果について検討し、加工後の残留応力を制御し歪みを抑制する加工技術を開発する。
- 反転仕上げ切削とバニシング加工について有限要素法解析と切削実験を実施し、加工後の残留応力と歪みに及ぼす切削パラメータの影響を検討する。

(b) 新工具の開発による高速切削加工技術開発

- 高能率化工具の設計指針を得るために、安定限界線図の高速化に寄与する工具諸元と切削現象を実切削試験により把握する。
- 工具主軸系の振動特性シミュレーション方法の検討ならびに精度向上を行う。

(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専用加工機において、孔内面に適正な圧縮残留応力を発生させる要件を満たす効率的な工具形状と加工条件を選定し、平成31年にこれら大口径孔のオービタル専用加工機で最適化する。疲労強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

- 昨年度成果であった平面部分へのポケット加工に加えて、曲面半径3000mm程度の曲面部分に対しても所望の要求精度を満たすポケット加工を実現する。
- ロボットを用いて多品種部品の切削加工を実現するために必要なフレキシブル治具の設計、試作を行い、切削実験を通してその有用性や基本特性を明らかにする。

(5) 切削—金属ディポジション複合化技術の開発

- Fe-36Ni (Inver®) の最適積層条件を明らかにし、要求される形状の造形を行う。また、

積層造形したFe-36Niのミクロ組織観察および機械的特性について従来のブロック材との比較を行い積層造形材の評価を行う。

- 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，異種金属積層時の熱影響についてコンピュータシミュレーションを用いた解析を行い、最適加工条件を明らかにする。

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、龍谷大学、(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)、東京工科大学、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（バッチ式）の稼動を継続し、引張強度2.0GPa以上、表面粗さRa 2～3 nmのSiC繊維を安定的に試作し、(株)IHI、川崎重工業(株)、シキボウ(株)にサンプルを供給し、CMC部材開発を促進する。
- 生産性に優れる連続プロセスの設備設置・立上げを行い、生産技術開発を前倒し完了する。

(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繊維を用いて開発した三次元織物の技術をベースにして、高性能SiC繊維を用いた技術に応用しながら、体積含有率30%以上の三次元織物製作技術を開発する。
- 開発した製法をベースにして自動化（機械化）の方法を開発し、量産化が可能な技術を構築する。開発する技術は、織物製造装置だけでなく、準備工程、コーティングやデサイズまで、三次元織物製造プロセス全体について実施する。
- X線CTを用いたプリフォームの検査の適用可能性を調査するため、CT画像の解析技術開発を行う。
- 同形状のプリフォームを複数個製作し、その品質バラツキの調査を実施する。

(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

- 室温強度200MPa以上、かつ1400℃の耐熱性を持つマトリクスおよび耐環境コーティングを適用したCMCを開発する。また、エンジン搭載試験を可能とする適用部品の形状を設定し、試作を行う。
- 1400℃暴露後強度試験を実施するとともに、耐熱性向上に向けた開発をマトリクスの改質、コーティングの両面から実施する。
- X線CT等の各欠陥検出手法におけるクライテリア設定に向けた基礎データ取得を実施す

る。

•

(2) 高性能S i C繊維の開発

(a) 引張強度3.0GPa以上で高温クリープ特性に優れるS i C繊維を開発する。

- 強度と高温クリープ特性を両立する高性能S i C繊維の小規模試作を継続する。ポリマー組成の調整及び焼結条件の最適化により強度の改善を図る。また、パイロットスケールでの試作に着手する。
- CMC組織のメゾスケールを模擬した解析手法にて、高歪み側における精度を改善する手法を設定する。
- 初回製造プロセス方案にもとづき、CMCの試作を実施する。

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、JAXA、三菱重工業㈱、(株)SUBARU、(株)IHI、電気通信大学)

(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

- 乗客数、積載荷重、材料などのパラメータを考慮できる概念設計を念頭に、これまで開発した数値シミュレーターをさらに発展させ、胴体、尾翼までを含む全機機体設計ツールとして完成させる。完成したシミュレーターを川崎重工業㈱の既存ツールと比較検討する。
- ポテンシャル解法コードの完成および reduced order model 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空力・構造設計パラメータの収斂に必要な時間を50%および、設計全体に必要な時間を25%低減するための目途付けを得る。

(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

- CFRP積層板のOHT試験片、QSI試験、およびCFRP構造体の圧縮試験を対象としたバーチャルテストが実施可能な解析システムを完成させる。
- 具体的には拡張有限要素法(XFEM)に基づく解析手法を導入し、損傷の発生・進展のモデル化の効率化を図る。
- とくに衝撃損傷を有するCFRP構造体のクリッピング強度の予測精度を向上させるための解析モデルの高度化を実施する。

(3) 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

- 曲線状の繊維を含む繊維強化複合材料の構造最適化問題を、機械学習の一技術であるディープラーニングを用いて効率的に解く手法を開発する。有限要素解析により曲線状繊維複合材の構造計算を行い、その結果をディープラーニング技術で学習する。学習後のディープラーニングを用いて最適な繊維配向を探索する。
- Tow-steered composites 試作装置を用いた賦形性の試験とプリプレグタック性の試験

により、各種賦形パラメータが賦形性に与える影響を調査し、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。

(4) 層流化技術開発

- 横流れ不安定による遷移を抑制する distributed roughness element (DRE)、胴体の乱流境界層からの attachment-line (付着線) 汚染を防ぐための Gaster bump など、既存の層流化技術を文献から調べ、有効性を比較検討する。
- 航空機主翼における層流から乱流への遷移を現実的な計算資源で予測可能にするため、直接数値シミュレーションと非線形遷移解析を組み合わせたツール開発する。

(5) 複合材構造部材ライフサイクルシミュレーション

- T型断面などの複雑形状の樹脂含浸・硬化解析と残留応力を考慮した強度解析の実現を目的として、平成30年度は、基本ツールとなる複雑形状構造要素の含浸シミュレーション、樹脂硬化シミュレーション、残留応力および強度解析への要求項目の整理を実施する。

(6) エンジン-機体統合性能予測 CFD 解析

- 超高バイパス比エンジン化に伴い増大するナセル抵抗を抑えるためのナセル形状の変更（スリム化やショートインレット化）による空力性能への影響を、エンジン単体ではなく機体とエンジンを統合した形態で調査する。
- 横風条件におけるファン入口での全圧・静圧不均一性（ディストーション）予測技術を、パラメトリックスタディに基づき検討し、ナセル形状設計につなげるための知見を獲得する。

(7) 非巡航時における高精度非定常流体解析

- 実機複雑形状の高精度 large-eddy simulation (LES) 非定常流体解析を目指し、常微分方程式ベースの平衡壁面モデル LES を非構造直交格子法(川崎重工業(株)開発の Cflow) に拡張し、検証解析を実施する。
- 偏微分方程式ベースで境界層非平衡効果をモデル化する非平衡壁面モデル LES を構築し、常微分方程式ベースの平衡壁面モデル LES と比較検討を行い、モデリングの知見を得る。また非構造直交格子法に対する安定・高精度な計算法の検討を行う。

5. 2 平成30年度事業規模

委託事業

需給勘定 3,370百万円(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、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9月に実施した。
また、研究開発項目①-2、②-2、③-2、④-2、及び⑤では事後評価を平成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④-2及び⑤は、平成27年～平成31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31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30年2月15日制定

(2) 平成30年7月23日改訂

研究開発項目①-2の分担先と再委託先の追加、及び研究開発項目④-2の2再委

託先の共同実施先への変更、並びに研究開発項目⑤の2共同実施先の追加に伴う改訂。

「次世代構造部材創製・加工技術開発」 実施体制

