

## 「次世代複合材創製・成形技術開発」基本計画

材料・ナノテクノロジー部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

## ①政策的な重要性

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。

## ②我が国の状況

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世界の取組状況

膨大な開発コストかつ投資回収期間が超長期に及ぶことによる投資・生産上のリスクを最小化するため、米・欧主導の国際共同開発がビジネスモデルの趨勢となっている。このため、コアの技術は押さえつつ、モジュール単位で外注する国際分業の中、内外の優れた技術や生産基盤を取り込む競争が激化している。特に、今後の機体、エンジン、装備品開発では、信頼性・安全性を確保した上での燃費改善や環境適合性の向上が技術課題の焦点となっており、主要国は、複合材等の最先端の技術に関し、産学官の連携を含めた戦略的な研究開発を加速させつつある。

他方、新興国の市場参入並びに低コストキャリア(LCC)の需要増加により、コスト競争力を格段に重視せざるを得ない市場環境になっており、欧米の一次下請企業では、国際的なサプライチェーンを展開し、技術的に一定水準以下の部分については、新興国のコスト競争力を活用しつつ、自らはモジュール単位でのより包括的なシステム統合と中核技術に集中する傾向にある。

### ④本事業のねらい

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。

## (2)研究開発の目標

### ①アウトプット目標

次世代航空機に搭載され、大幅なエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量の削減に資する先進的な構造材料及び成形組立技術を確立する。研究開発項目は多岐にわたるため、具体的な開発目標は、別紙の研究開発計画に記載する。

### ②アウトカム目標

本事業で開発した成果が次世代航空機に搭載され、軽量化とエンジンの高効率化による燃費改善が図られることにより、2040年において、1500万tのCO<sub>2</sub>削減が期待される。

### ③アウトカム目標達成に向けての取組

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下「NEDO」という。)は、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析・検討するとともに

に、技術推進委員会等において、研究開発の進捗管理や目標の見直しを行う等、細やかなマネジメントを実行することで、社会ニーズに合った研究開発を推進し、確実な実用化へと繋げる。

### (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために以下のテーマについて、研究開発を行う。  
具体的な開発内容は、別紙1の研究開発計画の通りとする。

#### 【委託事業】

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」

【助成事業】(NEDO負担率:(大企業)1/2以内、(中堅・中小・ベンチャー企業等)2/3以内)

※ 中堅企業とは、従業員1,000人未満又は売上1,000億円未満の企業であって中小企業を除いたものをいう。

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」

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」

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」

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」

研究開発項目①は、実用化まで長期間を要するハイリスクな基盤的技術に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ち寄り、協調して実施する事業であり、委託事業として実施する。研究開発項目②、③、④、⑤及び⑥については、実用化に向けて企業の積極的な関与により推進すべき研究開発であり、助成事業として実施する。また、開発成果の社会への浸透を図るため、成果の一部は、開発段階に合わせて順次実用化する。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

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る。

研究開発項目①、②、③、④、⑤(1)及び⑥については2020年度に、⑤(2)については2021年度にNEDOが公募によって研究開発実施者を選定する。研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等(以下、「団体」という。)のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独または複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究

開発能力や研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOは研究開発責任者(プロジェクトリーダー:PL)を選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下で研究開発を実施する。また、技術動向調査の結果及び各研究テーマの進捗を元とした事業化(出口)を見据えた開発戦略(全体の最終目標達成に向けたテーマごとの研究開発ロードマップを含む)を構築し、効率的な研究開発・研究成果の実用化を目指す。

## (2) 研究開発の運営管理

### ① 研究開発の進捗把握・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、全体の最終目標の効率的かつ効果的な早期達成のため、(新たな課題の対応も含む)関連技術や市場の動向を随時把握し、最新の技術や知見を取り込むこととし、毎年度、実施方針に掲げられた研究開発プロジェクトの目標や研究開発の内容を評価し、必要に応じて変更するものとする。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。

### ② 技術分野における動向の把握・分析

NEDOは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析・検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

## 3. 研究開発の実施期間

研究開発項目①、②及び③については、2020年度から2024年度までの5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。

## 4. 評価に関する事項

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。

## 5. その他の重要事項

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ① 成果の普及

NEDO及び研究開発実施者は、研究成果を広範に導入・普及するように努めるものとする。

#### ② 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

#### ③ 知財マネジメントに係る運用

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。

#### ④ データマネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針(委託者指定データを指定しない場合)」を適用する。

### (2) 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。

### (3) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制、新規テーマの追加等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### (4) 根拠法

本プロジェクトは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に基づき実施する。

## 6. 基本計画の改訂履歴

- ①2020年2月、制定。
- ②2021年2月、プロジェクトマネージャーの変更、研究開発内容の拡充に伴う改訂
- ③2021年9月、プロジェクトマネージャーの変更、研究開発項目⑥の実施期間変更に伴う改訂

## (別紙1)研究開発計画

### 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」

#### 1. 研究開発の必要性

複合材を用いた航空機の設計では、昨今の計算機性能の向上に伴い、CAE(Computer Aided Engineering)に大きな期待がかけられている。空力・設計・材料・生産までをCAEを通じて体系化することにより、不要な人件費も実験も削減、費用対効果の高い筋肉質な枠組みが可能となる。我が国では、異なる分野間において別々に検討し、設計を収斂させるらせん型の設計方式が採用されており、分野間での情報伝達不備を生じやすく、開発期間の遅延等による開発コスト増加を引き起こしやすい現状がある。CAEを援用することで我が国では経験の少ない全機設計を高度化することが可能となり、設計の初期段階から密な擦り合わせを行うことで、後工程での戻り作業を最小化することが可能となる。また、航空機構造認証プロセスでは、ビルディングブロック方式が採用されており、材料試験から始まり構造試験に至るまで膨大な実験が必要となる。複合材等の新規素材を採用した時には、一からすべての認証を実施する必要があり、多大なコストを要するが、CAEを援用することで実験数削減、期間短縮等が可能となり、構造認証にかかるコスト削減が可能になるので、シミュレーション技術開発が必要である。

#### 2. 研究開発の具体的な内容

熱可塑性CFRPの特質を活かし、熱硬化CFRPを上回る軽量高強度機体(「複合材料時代の理想の機体」)をアルミニウム機体と同等以上の生産レートで製造するための基盤となる構造設計技術を開発する。構造解析能力を高めることで、材料・設計データ量を減らし、実試験量を減らす検討を行うことはもとより、熱可塑性CFRPの長所を十分に活用した軽量化構造を提案するためのシミュレーション技術を開発する。

#### 3. 達成目標

##### 【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。

## 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」

### 1. 研究開発の必要性

#### 1) 熱可塑性CFRP大型部材の高速成形技術の確立

複合材料部材の適用を更に拡大させるには、プリプレグの積層にかかる手間を削減し、製造効率を改善することが必要であり、自動積層装置の導入が必須の要件である。安定した品質の大型複合部材を少なくともアルミニウム部材並みのスピードで成形するための基盤技術を欧米に先駆けて確立する必要がある。

熱可塑性CFRP中間基材の積層後に部材に熱を加えて溶融成型する工程は、小型の部材の場合はプレス装置を用いることが一般的であるが、航空機の外板等はプレス成型には大きすぎるため、欧米での検討では熱硬化性CFRPの場合と同様にオートクレーブが用いられている。しかしこれでは次世代短通路機で要望される生産レートを達成することはできない。従って、技術開発にあたっては「プレス成型できない特大サイズの航空機部品を如何に高速で成形加工するか」が課題となる。前述の易成形性の熱可塑性CFRP中間基材を用いることもさることながら、大型の熱可塑性CFRP中間基材を連続的に成形する技術の確立が必要である。

#### 2) 複雑形状の部品の一体成形技術の確立

大型の部品の製造と並んで、従来多数の部品の組み合わせにより製造していた複雑形状部品を一挙に製造する技術も部品の製造工程を大きく短縮すると期待される。さらに、熱可塑性CFRPの溶融成型できる特性を活用し、金属などの異種材料と一挙に複合成形できれば、より構造設計の自由度が高まり、従来の延長線上にない軽量・高強度の複合部品が作製できると考えられる。

### 2. 研究開発の具体的な内容

#### 1) 超高速自動積層技術、装置の開発

熱硬化性CFRPの大型積層装置は海外製のもので技術が成熟してきているものの、熱可塑性CFRP用途でかつ複雑形状部品を低コスト・高レートで生産するための装置は欧米でも開発途上である。特に熱可塑性CFRPの中間基材は粘着性がないため、仮止めを行いつつ積層しないと積層形状が安定しない。溶着による中間基材の仮止めに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する。

#### 2) 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

欧米では積層と加熱溶融成型を同時に行うダイレクトコンソリデーションが検討されているが、局所的な加熱が安定しないために成形後の物性が安定しないという問題を抱えている。プレス機が使用できない大型の部品をプレス機並みの速度で成形する我が国独自の技術が必要とされている。



また、一体成形に関しては、現行のNEDOプロジェクトで基礎検討が実施されている「コミンゲル技術」なども熱可塑性CFRPで複雑形状を成形する上での有望技術の一つであり、より現実の部品に近い形状を作製する検討を実施しつつ、実用化に向けた研究開発を実施する。さらに金属等も含めた複合部品の製造に関しては、近年技術の進展が著しい積層造形技術を開発する。

### 3. 達成目標

#### 【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」

#### 1. 研究開発の必要性

熱可塑性CFRPは加熱すれば何度でも軟化・熔融し、熱可塑性CFRP同士の溶着による接合が可能である。また、熱可塑性CFRPと熱硬化性CFRPを含む他材料との接合においては、現在は穿孔・締結が主流であるが、他材料間の接合を可能とする新たな接合手法を開発することは、熱硬化性CFRPでは考えられなかった組立工程における工法の刷新ならびに機体の最適設計が可能となると期待される。

#### 1) 熱可塑性CFRP部品の高速・高強度溶着組立技術

一旦硬化した熱硬化性CFRP部品は再度軟化しないため、熱硬化性CFRP部品は組立工程において従来のアルミニウム部品と同様に穿孔・締結による接合が行われてきた。しかしながら、アルミニウム部材と異なり、CFRPは非常に硬く穿孔が難しいだけでなく、穿孔の際に中間基材の層間が剥離する危険があり、穿孔のスピードが上げられない等の問題を有している。そもそも複合材料は異方性のある材料であり、穿孔・締結により穿孔部に局所的な荷重をかけることは材料に

とって好ましい使い方ではない。従って熱可塑性CFRP部材の実用化を契機として、生産性が低く材料にとっても好ましくない穿孔・締結による組立工程を刷新することが望まれる。

## 2) 熱硬化性CFRP-熱可塑性CFRP異種接合技術

次期細胴機においては月産数十機～百機といった高レートかつ低コストの生産が要求される。その中で、いかにコストを最適化し複合材の特性を最大限活かした機体を設計するか、という観点においては、熱可塑性CFRPのみによる構造設計のみならず、熱硬化性CFRPと熱可塑性CFRPのハイブリッドな構造設計の可能性も十分に考えられる。熱硬化性CFRPは我が国が強みを有する材料であり、熱可塑性CFRPの開発に加え、異種複合材による接合技術まで開発することは、将来機への適用可能性を更に広げ、機体材料における我が国の優位性を高めることに繋がる。そのためには熱硬化性CFRPと熱可塑性CFRPとの有効な接合技術を他国に先駆けて開発する必要がある。

## 2. 研究開発の具体的な内容

### 1) 航空機大型複合材部品を接合可能な高強度高速溶着技術の開発

熱可塑性CFRPの溶着技術については、既存のシーズ技術として超音波溶着法、抵抗溶着法、誘導溶着法、レーザー溶着法等の技術が検討されており、NEDO事業である「革新的新構造材料等研究開発」でも溶着技術が自動車向けに研究開発されている。しかし、自動車向けに開発されている技術は汎用樹脂あるいは汎用エンジニアリングプラスチックが対象であり、かつ自動車用途の強度を満足させるため、点溶着などの最適溶着手法が検討されており、より高温での溶着が要求される。一方、航空機での使用に耐えるような強度、耐熱等の環境下では、面溶着などより強固の溶着手法が必要とされる。大型部品ならびに複雑形状部品を迅速、確実に加熱し、確実に溶着する技術が要求される複合部材と同様に機体の組立においても高強度高速の溶着技術の確立を目指す。組立工程では部品のサイズがいつそう大きくなることから、接合面の位置決めや部品間の形状誤差の補正等の技術の確立も目指す。

### 2) 複合部素材間、複合部素材と他材料間の高強度高速接合技術(溶着等)の開発

熱硬化性CFRPと熱可塑性CFRPとの接合に関しては、熱可塑性CFRPが溶融するという特性を有効に活用して、熱可塑性CFRPと熱硬化性CFRPをシームレスに接合する技術の開発が有効と考えられる。現行NEDO事業でも熱硬化性CFRPと熱可塑性CFRPの接着については検討されているが、一次構造材料の接合に使用できるレベルの強度を実現すべく現行の手法に限らず研究開発を実施する。

## 3. 達成目標

### 【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を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」

##### 1. 研究開発の必要性

CMCにおいて、SiC繊維は強化材として利用され、セラミックス材料の欠点である靱性の大幅な改善に寄与する。マトリックスに生じたクラックを繊維がブリッジし、損傷が許容されるからである。SiC繊維の特性向上は、CMC材料の特性向上に欠かせない要素である。CMCの実用化は、シユラウド等単純形状で比較的応力負荷がかからない部材から開始されているが、CMC適用による抜本的な燃費改善を実現するためには、高圧タービンの静翼・動翼部品などの複雑形状部材への適用が求められる。

SiC繊維の高温での強度と、耐クリープ特性の両立はトレードオフの関係にあり、結晶粒の制御、ポリマー合成技術、紡糸技術等、基礎的な知見に立ち返った開発が必要である。製造技術としては、特性のばらつきを極力小さくすることが求められる。また、CMC化した際に十分な強度を発揮するためのSiC繊維仕様にするのが重要である。

今後のSiC繊維の開発においては、強度や弾性率だけでなく、分散やフィラメント直径等のパラメータも考慮して、開発を進める必要がある。

##### 2. 研究開発の具体的な内容

高温での強度、耐クリープ性を備え、かつ、複雑形状の製織に対応したSiC繊維を開発し、特性ばらつきを抑制する製造技術を確立する。また、日本の重工業メーカーがCMC部材での国際競争力を維持するためには、コスト、量産性でも優位に立つ必要があり、繊維の低コスト・量産プロセスの開発も同時に進める。

加えて、CMC化した時の特性を簡易に評価できる方法を確立することが、SiC繊維の開発サイクルを早めるために不可欠であり、繊維メーカー独自で評価が可能となる、ミニコンポジットでの特性評価技術を開発するとともに、CMC部材の特性評価を実施する。

##### 3. 達成目標

#### 【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℃級CMC材料の実用化研究開発」

### 1. 研究開発の必要性

耐熱温度の高いCMCを高圧タービン部材へ適用し、冷却空気を極力減らしていくことが、エンジンの高性能化のために欠かせない。形状が複雑な部品へのCMC適用にあたっては、高温での疲労強度の向上、繊維配向の最適化を行う必要があり、また、量産化が難しいという課題も克服する必要がある。我が国が、世界に先駆けて、1400℃級CMC部材を実用化することは、競争力拡大のために不可欠である。耐熱温度1400℃の実現のためには、繊維、マトリックス、製織の方法、耐環境性コーティングすべてを見直す必要がある。

### 2. 研究開発の具体的な内容

(1)具体的な部品を想定して、繊維コーティング法、マトリックス形成法の最適化、強度を最大にする繊維とマトリックスの界面設計を行う。製品化のためには、コスト競争力を有する必要があり、ネットシェイプ形状で織物を製造することは有力な手段である。複雑形状に対応した、製織技術の開発を行う。さらに、1400℃級CMC部材の実用化を達成するためには、耐CMASコーティングの実現が不可欠であり、CMASの基礎物性・高温挙動に基づいた製膜検討を実施する。

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

### 3. 達成目標

#### 【最終目標(2022年度)】

(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℃×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。

(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℃×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」

### 1. 研究開発の必要性

今後20年間で、ジェット旅客機の運航機数は、約1.8倍になるとされている。運航機数の伸び

に比例して、ジェットエンジンの需要も拡大するため、今後、ジェットエンジンの新規需要・部品交換需要に対応するためには、CMC部材の高レート・低コスト生産技術の開発が不可欠である。現在、実用化で先行する海外勢は、高レート・低コスト生産に力を入れており、繊維から複合化までの一貫生産により、例えば、約20枚のシュラウド1セットのタクトタイムを、10分から5分に短縮することを目指している。我が国が目指すべきところは、海外勢と同等の生産性を持ちつつ、海外勢より高い性能をもつCMC部材を実現することである。

## 2. 研究開発の具体的な内容

海外勢は、生産性に優れるMI法によるCMCを実用化している。MI法は、SiC粉末と原料のC粉末を混合したものを繊維織物にスラリー法で含浸させ、その後溶融したSiを注入することで、SiとCを反応させ、SiCマトリックスを形成するものである。しかし、MI法では、金属Siがマトリックス中に残留するため、SiC本来の耐熱性が発揮できない。PIP法やCVI法は、MI法によるCMCより耐熱性・強度に優れるが、コスト面、製造レートの面において、実用化には程遠い。CVI法、PIP法において、実用可能なレベルのコスト、サイクルタイムを実現することで、現状海外勢が実用化しているCMCより100°C以上の耐熱性を持つCMCを高レート・低コスト生産することが可能となる。本研究開発では、PIP法の原料ポリマーを最適化する等、マトリックス形成手法を基礎的な知見から見直し、さらに各プロセスの最適化を図ることで、1400°C級CMC部材について、現行と比較して生産レート向上を可能とする材料およびプロセス技術を開発する。

## 3. 達成目標

### 【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。

(別紙2) 研究開発スケジュール

