



# 革新的構造材料

## 革新的構造材料を航空機へ—強く、軽く、熱に耐える材料が変える

例えば、最新のジェット旅客機に日本メーカーのCFRP(carbon-fiber-reinforced plastic:炭素繊維強化プラスチック)が採用され、軽量化によりエネルギー効率を大幅に向上させたように、今、エネルギー効率の観点から、革新的な構造材料が脚光を浴びている。さらに、耐熱性においてこれまでの常識を超える材料が開発されれば、エンジンそのものの効率向上にも飛躍的に貢献する。革新的構造材料プログラムでは、材料開発に情報学の知見を用いて研究開発を迅速に進め、樹脂から金属まで軽く強靱で熱に強い材料を開発することで、日本の構造材料産業の強化と航空機産業の躍進を目指す。



プログラムディレクター

### 岸 輝雄

新構造材料技術研究組合 理事長  
東京大学 名誉教授  
物質・材料研究機構 名誉顧問

Profile

東京大学大学院工学系研究科博士課程修了(工学博士)、西ドイツゲッチンゲン大学、東京大学先端科学技術研究センター教授、同センター長を経て、工業技術院産業技術融合領域研究所所長、物質・材料研究機構理事長(現在 名誉顧問)、新構造材料技術研究組合理事長就任。日本学術会議副会長、日本工学会会長、外務大臣科学技術顧問などを歴任。本多記念賞、フランス国家功労勲章、バルクハウゼン賞、ASM栄誉終身フェローなどを受賞。

### 研究開発テーマ

#### (A) 航空機用樹脂の開発とFRPの開発

熱可塑性樹脂の国産化と、この樹脂を用いたFRPの開発に加え、熱硬化性FRPのオートクレーブを使用しない製造技術の確立を通して、航空機用エンジンのファンケースやファンブレード、中小型機体への適用など、樹脂・FRP部材の適用範囲を拡大する。同時にこれらの実用化を加速するため、大型FRP製造技術や関連盤技術の構築を目指す。

#### (B) 耐熱合金・金属間化合物等の開発

軽く強靱なことから航空機用エンジンのファンブレードなどに活用されるTi合金、ディスク材など高温部の部材に欠かせないNi基合金、軽量で耐熱性に優れたTiAl金属間化合物等における、短時間で精度のいい、コストを抑えた加工技術を開発する。

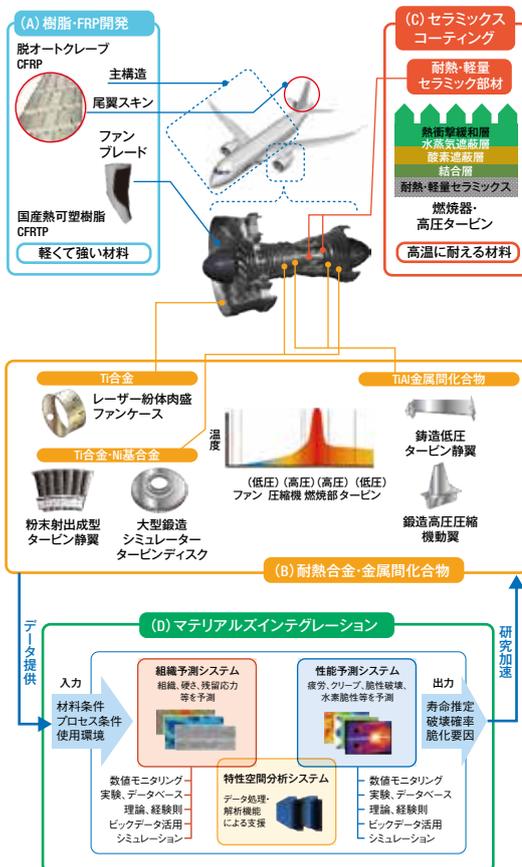
#### (C) 耐環境性セラミックスコーティングの開発

国際的に未到達な1400℃級の使用環境下で酸素遮蔽性や水蒸気遮蔽性を最大にできるセラミックスのコーティング材料を開発し、材料の軽量化と耐熱性、耐久性、信頼性の飛躍的向上を可能にし、実機適用につなげていく。

#### (D) マテリアルズインテグレーション

材料工学を中心に、既存の理論や実験に加え、計算機科学や情報工学の手法を融合し、材料使用時のパフォーマンス特性を知るためのツールを開発し、材料製造の短期間設計・製造を実現する。

#### ● 革新的構造材料を航空機へ



### ☑ 出口志向の研究推進

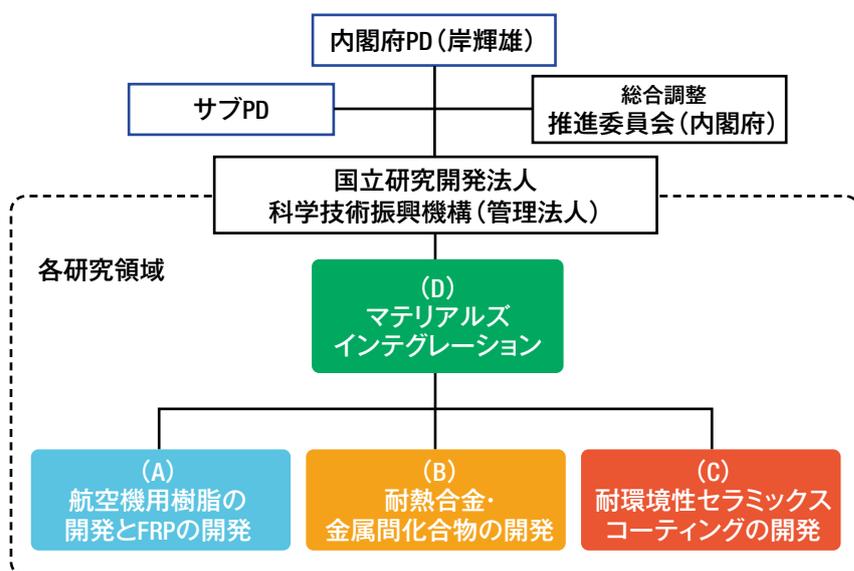
- ・材料技術の基盤から設計・製造を含めた航空機のバリューチェーンの掌握を視野に、革新的構造材料を開発。その周辺技術である接合・加工・安全についても手掛ける。
- ・マテリアルズインテグレーション構築により構造材料の実機適用を迅速化するとともに、産学官連携による拠点・ネットワークの形成、国際連携による長期イノベーション戦略を構築する。

### ☑ 普及のための方策

- ・航空機分野に応じた標準化・規格化・安全評価手法や認定手法の策定、認証取得等を推進することで、開発素材の利用を促進する。
- ・分野に応じた燃費規制、トップランナー基準等、ユーザーへの適切な導入を進める。
- ・中長期的に求められる構造材料のあり方を展望し、最適な研究が行われるようなマネジメントを遂行する。

## 実施体制

国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) への交付金を活用し、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の協力を得てプログラムディレクター (PD) や推進委員会の補佐 (研究開発の進捗管理、事務支援等) を行う。研究課題および研究責任者は公募により選定し、研究体制は研究課題の進捗状況や技術調査等の結果、社会情勢の変化に応じて柔軟に変化させる。国際アドバイザーボードの設置、研究ユニットのコリドー制への変更を実施している。



## これまでの成果

### 実用化に向け順調に進む 各テーマ

熱可塑性樹脂を用いたCFRPについて、特性の数値目標を達成。また、5万トン級最新鋭大型鍛造プレスの導入とシミュレータの開発により、チタン合金、ニッケル合金の鍛造性と高強度化の両立を実証できた。耐環境性セラミックスコーティングの開発においては、EBCおよび界面制御コーティングの単層膜を得ることに成功。マテリアルズインテグレーションについては基本的な概念設計を終え、α版を今年度内に出せる見込みである。



#### ●大型鍛造装置の導入

高精度大型鍛造シミュレータも開発し、チタン系、ニッケル基合金の鍛造組織・特性予測モデル式を構築。鍛造性と高強度化の両立を、世界に先駆けて実証した。



#### ●セラミックスコーティング

EBCおよび界面制御コーティングの単層膜を得ることに成功

# 革新的構造材料で、日本に航空機産業を創りだす

日本は航空機材料分野では世界をリードしているが、航空機産業ではなかなか存在感を示せていない。耐熱性の高い革新的構造材料や、新しい構造材料の開発手法の開発により、新産業創出への扉を開く。

## 産学連携の意識の定着は大きな転換点になる

SIPのプロジェクトには自由度の高さという魅力と同時に、大プロジェクトならではの難しさも存在する。最も難しいのは産学官が全体を通して連携していくことではないかと、革新的構造材料プログラムPDの岸輝雄氏は指摘する。

「日本では戦後70年間、産学が協働していく基盤がありませんでした。過去20年、産学連携が推進されてきましたが、なかなか成果は出ていません。SIPにより、ようやくその芽が出てきたといえるかもしれません。」

今回、産学官がともに革新的な技術開発に取り組む機運が出てきたことを、岸氏は日本にとって重要な転換点だと受け止めている。SIPスタートから2年、そのような研究者たちの意識の変化から、どのような成果が生まれたかを紹介していく。

## 実用化に向け順調に進む耐熱部材の開発

革新的構造材料の研究開発テーマは4領域に分かれる。

軽く強靱で耐熱性の高い構造材開発を目指す「航空機用の樹脂の開発とFRPの開発」では、尾翼を短時間で製造するためのオートクレーブを使わない材料開発を進め、実現の目処をつけている。エンジンのファンへの利用を想定した高耐熱性の熱可塑性樹脂を用いたCFRPについても、特性の数値目標を達成した。

高温部材の開発を行う「耐熱合金・金属間化合物等の開発」では、SIPの自由度を生かして5万トン級大型鍛造プレスをも日本エアロフォージ株式会社に導入し、稼働のための高速制御等のシミュレータも開発した。

「チタン合金、ニッケル合金の鍛造組織や特性予測モデルを構築し、鍛造性と高強度化の両立を世界に先駆けて実証できました。」

ニッケルに関しては海外メーカーが未着手の高温部材の開発に挑み、日本製の航空機等鍛造品を世界市場に出すことを目指していく。

「耐環境性セラミックスコーティングの開発」では、参画企業が海外企業に買収され体制を組み直したことから遅れ気味ではあるが、EBCおよび界面制御コーティングの単層膜を得ることに成功し、実用化に向けた目処は立っている。

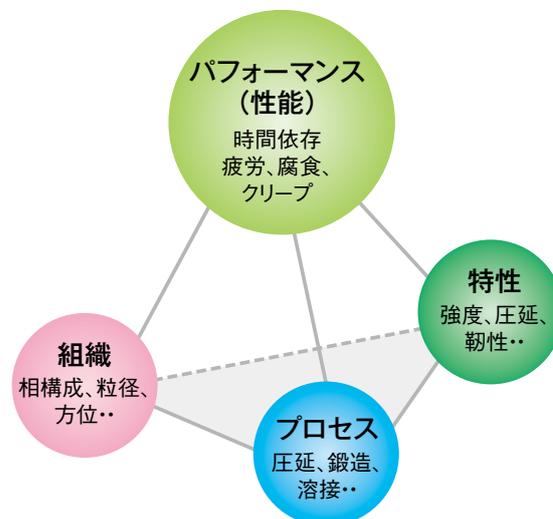
## 基本概念設計を終えたマテリアルズインテグレーション

材料工学に計算科学、情報工学の知見を融合させ、構造材料開発の新しい設計思想を生み出そうという「マテリアルズインテグレーション(MI)」は、材料の構造と特性に焦点を当てた材料開発から踏み出し、プロセスからパフォーマンスの予測まで可能にしようとする試みである。

「個々のモジュール情報だけではなく、それらを溶接した場合の構造、力学的特性も重要になります。モジュールを時間・空間を織り込んでつなぎあわせ、寿命まで予測するところに苦労していますが、基本概念はほぼできています。」

### ●マテリアルズインテグレーション(MI)

MI:理論・実験・計算・データの融合





現在、機能材料、高分子材料、セラミックス等のMIプロジェクトも各所で立ち上がっている。構造材料でMIが整備できれば、他分野に応用できると考えられる。

## TRLやコリダー制の導入でイノベーションを促進

ほかに、世界情勢の変化を受け、低価格の繊維を使ったCFRPの開発や、SiCセラミックスの非破壊検査手法の開発などのプロジェクトも追加予定である。中止の判断を行った研究もあるが、進捗は全体に順調といえる。研究開発にはTRL(Technology Readiness Level: 技術成熟度レベル)基準を導入し、現実的な開発段階を把握することで、早期の実用化を促進している。

運営体制については、イノベーションという観点から、すべての研究ユニットに企業人を加えたコリダー制とした。また、外国人専門家を招いての国際アドバイザリーボードを設置し、海外発信と国際連携にも努めている。

人材育成については、MIを40歳代以下に任せるとともに、若手を育成するコロキウムを発足させた。

「SIPの終了後に成果を霧散させないため、各領域を引き継ぐ拠点を設置する必要があります。最低20~30年は継続させ、技術を蓄積していく体制を作っていきたいと考えています。」

日本は航空機材料分野では一流だが、航空機産業ではなかなか世界のトップに立つことができない。革新的構造材料・手法の開発により、航空機産業という新たな産業の創出を目指していく。

## 今後の予定

航空機産業でも材料価格が問われる時代である。CFRPの新材料については、アメリカの認証取得や標準化といった知財戦略が重要になる。同時に、次代を支える人材育成も進めていく。技術開発においてはTRLのプロセスをプロジェクトに織り込み、最終年度には実装の手前の段階まで進めることを目指している。

年度	2014	2015	2016	2017	2018
(A) 樹脂・FRPの開発	① 脱オートクレーブ材料	尾翼用CFRP材料(ポイト率<1%)の硬化時間短縮化			実用レベル脱オートクレーブ成形技術確立とコスト低減
	② エンジン用耐熱樹脂複合材	ファンフレーム構造で200-250℃耐熱・耐久性PMCM材料成型技術の開発			プリプレグ開発・低コスト化プロセス確立・CFRPファン部品適用方法確立
	③ 機体主構造材料: 高生産性・強靱複合材	航空機主構造樹脂CFRP標準材料強度1.5倍			耐剥離強度向上技術と短時間硬化マトリックス樹脂の開発
(B) 耐熱合金・金属間化合物	① 鍛造シミュレーター	1500トン大型鍛造シミュレータ設計・設置・鍛造DB作成手順・体制整備			拠点確立・鍛造方案短期構築技術の確立
	② TIAI合金設計・鋳造技術開発	TIAIモデル合金提案・鋳造プロセス基礎確立・800℃級実機環境模擬試験			プロセス設計指導原理確立・パイロット設備実証・コスト低減
(C) セラミックスコーティング	高温の酸素・水蒸気環境下で部材を守るコーティング膜の緻密性・密着性の向上およびき裂伝播経路制御			最適構造指針に基づくプロセス最適化	
(D) マテリアルズインテグレーション	組織予測・性能予測・特性空間分析プロトタイプ完成・統合システム(α版)の限定公開			各要素システムの完成・公開運用に向けた統合システム開発	

企業はもっと大学の知を活用して欲しいですし、大学人は日本の航空機産業を創出するという強いマインドを持って欲しい。今必要なのは、日本に航空機産業自体をつくり上げようという気概なのです。

