

SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)
革新的構造材料
研究開発計画

2015年5月21日

内閣府
政策統括官(科学技術・イノベーション担当)

研究開発計画の概要

1. 意義・目標等

我が国の輸出産業の中で工業素材の存在感は向上し、他産業の国際競争力をも牽引するものとなっている。しかし、新興国は猛追しており、工業素材の国際競争力の強化は、我が国全体の競争力維持に直結する課題である。また、我が国が直面するエネルギー問題においても、エネルギー転換・利用効率向上による省エネルギー、排出ガス削減が求められている。このため、強く、軽く、熱に耐える革新的材料を開発し、輸送機器・発電等産業機器への実機適用を行うとともに、エネルギー転換・利用効率向上をも実現する。また、これら材料技術を基盤に、航空機産業を裾野産業も含め、育成、拡大し、2030年までに部素材の出荷額を1兆円にしていこう。

2. 研究内容

主な研究開発項目を以下に記す。

- (A) 航空機用樹脂の開発とFRPの開発：航空機機体・ファンケース等のFRP設計技術の確立
 - (B) 耐熱合金・金属間化合物等の開発：タービンディスク、ブレード等の航空機用エンジン部材等の開発
 - (C) 耐環境性セラミックスコーティングの開発：タービン翼、シュラウド等航空機エンジン部材開発
 - (D) マテリアルズインテグレーション：材料開発時間を一桁短縮し、構造材料開発を効率化
- 航空機産業、その他の産業の強化に資する課題を適宜取り上げ、研究開発項目に組み入れる。

3. 実施体制

岸輝雄プログラムディレクター（以下、「PD」という。）は、研究開発計画の策定や推進を担う。PDを議長、内閣府が事務局を務め、関係省庁や専門家で構成する推進委員会が総合調整を行う。国立研究開発法人科学技術振興機構交付金を活用して公募を実施する。同法人内に選考委員会を設置し、適切な評価のうえ、推進委員会と連携をしながら研究開発計画に基づき、最適な研究課題を臨機応変に選定し、大学、国立研究開発法人、企業等によって構成される研究チームを構成し、研究課題を実施する。同法人のマネジメントにより、各課題の進捗を管理する。

4. 知財管理

知財委員会を国立研究開発法人科学技術振興機構に置き、各受託機関で出願される知的財産の動向を把握・管理し、産業利用する際の利便性向上につながるよう、各受託機関と調整を行う。

5. 評価

ガバナリングボードによる毎年度末の評価前に、研究主体及びPDによる自己点検を実施する。3年をめぐりに研究課題の評価を実施し、必要に応じて研究チームを再編し、高い研究開発レベルが維持できるようにする。

6. 出口戦略

出口指向の研究推進として、輸送機器・産業機器等に使われる材料の研究開発を推進し、実機適用を最短で実現する研究開発体制と仕組みを構築する。成果普及に際し、利用される分野に応じた標準化・規格化・安

全評価手法および認定手法策定を推進するとともに、規制・基準等による導入促進策の展開を図る

1. 意義・目標等

(1) 背景・国内外の状況

20 世紀末において、我が国の国際競争力を牽引してきたのは、自動車に代表される輸送機器、電子・電気・精密機器産業に代表される加工組立型産業が中心であった。特に日本独自の改良を加えた電気製品は、輸出商品として世界市場に浸透していった。しかし新興国の市場参入によるグローバル化により、企業間での覇権争いは激化しており、日本の産業・貿易構造は大きな転換期を向かえている。

また一方で、我が国はエネルギー問題に直面している。特に東日本大震災を機に、我が国でのエネルギーの利用のあり方が多くの国民の関心事項となっており、また世界的にも二酸化炭素削減とあわせて、重要な課題となっている。今後、エネルギーの転換・利用率の更なる向上は、国を超えて求められる課題となっている。

(2) 意義・政策的な重要性

日本の工業材料技術は日本全体の産業を支えるために重要な役割を担っており、産業上多くのイノベーションは材料技術の成果を利用してなされている。しかしながら、工業材料分野も新興国は猛追している。工業素材の競争力は、そのまま輸送機器等の他産業の競争力にも直結する課題であり、さらには工業素材の技術革新は、新産業創出に直結するものである。今後、この分野の競争力を維持・向上させるためにも産・学・官の英知を結集させ、技術革新を行うことが強く求められている。

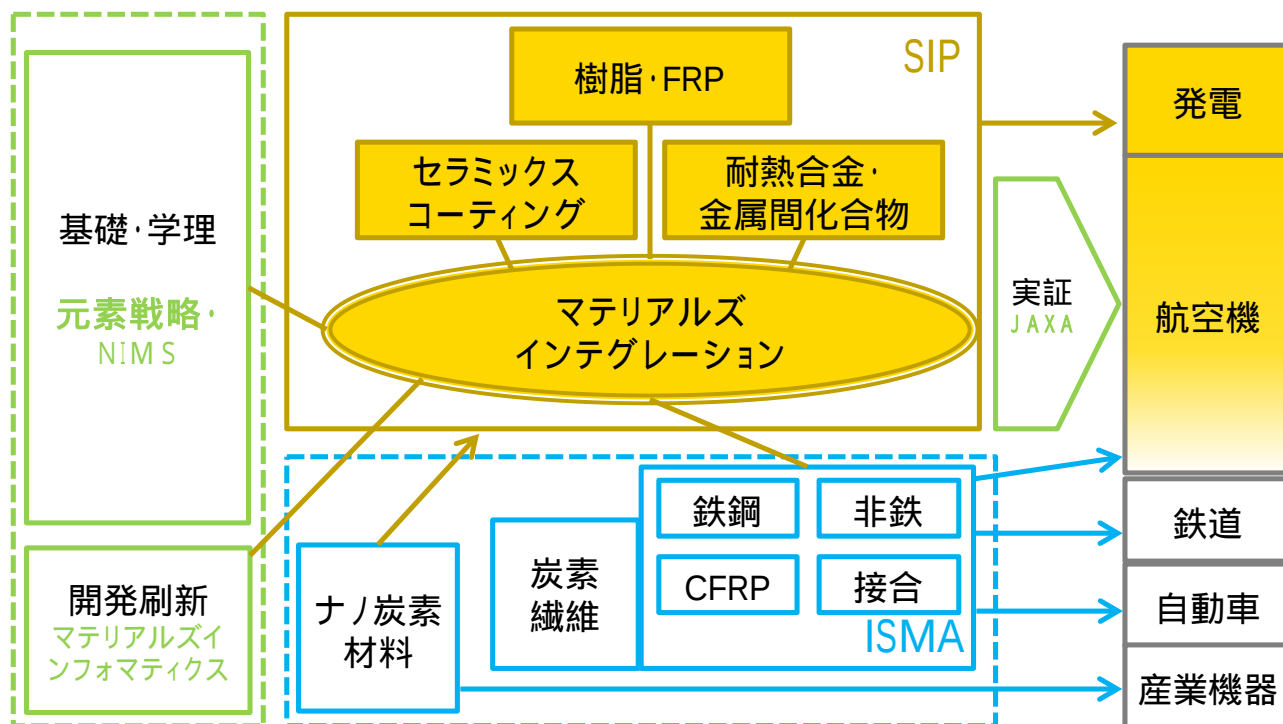
このような工業素材の中でも、我が国が特に強い競争力を有するのが構造材料である。我が国が高い技術力を有するハイテン(高張力鋼)は自動車産業を下支えしているが、今後もこれら競争力を維持していくためにも、競争力のある新たな材料創製は必要不可欠である。特に、我が国が技術力を有する PMC(高分子基複合材料)や、樹脂等での技術革新は、これら構造材料の軽量化に大きく貢献でき、自動車産業、さらには航空機産業の発達に直結する技術となる。また同様にセラミックスや耐熱合金・金属間化合物の技術革新は、材料の耐熱性・靱性を向上させ、航空機用エンジン・発電プラントなどのエネルギー転換・効率に大きな革新をもたらすことができる。

これら構造材料に期待されるイノベーションを強力に推進するために、我が国で推進する事業間の連携を図り、重複を避けつつ、効率的に研究開発を進める必要がある。図表1 - 1に、我が国が推進する革新的構造材料の研究開発全体の構図を示す。革新的構造材料を実現して、国の研究開発を国民の便益に結び付けるためには、我が国の構造材料研究開発全体を統括し、事業間連携と重複を避けた効率的な運用をはかり、各事業から得られた知見を最大限に取り込む体制が必須である。特に、多くの省庁が関与し、開発リスクが高く、安全保障上重要かつ、規制への対応が求められる航空機等の出口分野については、内閣府総合科学技術・イノベーション会議が主体的に取り組む必要がある。

このように、強く・軽く・熱に耐える革新的材料を創製し、輸送機器、発電等の産業機器等へ実機適用することは、我が国の競争力強化のみならず、各種機器のエネルギー転換・利用効率向上をも実現し、世界的な、省エネルギー、排出ガス削減に大きく貢献するものである。また得られた材料技術を基盤に、航空機産業を裾野産業も含め、育成、拡大することが期待でき、我が国の産業育成にも大きく貢献できる。

SIP が先導する構造材料関連AP特定施策

各省施策と連携し、**構造材料重要分野**を**基礎から社会実装**まで



図表1-1. 革新的構造材料研究の全体構想

(3) 目標・狙い

社会的な目標

- ・車体及び機体の構造重量を半減可能な材料の開発・実装、及び航空機エンジン・発電機器等への耐熱材料の適用によるエネルギー利用の効率化・省資源化・環境負荷低減の推進
- ・新たな構造材料研究拠点・ネットワークを構築し、イノベーションのための国際連携、人材育成の促進、持続的イノベーションを可能にする社会システムの構築

産業面の目標

- ・材料技術を基盤に、航空機産業を育成（中・小型機を中心に、材料～部材～設計・製造のバリューチェーンを掌握）
- ・2030年までに、研究成果を生かし、関連部素材出荷額の1兆円規模への拡大に資する

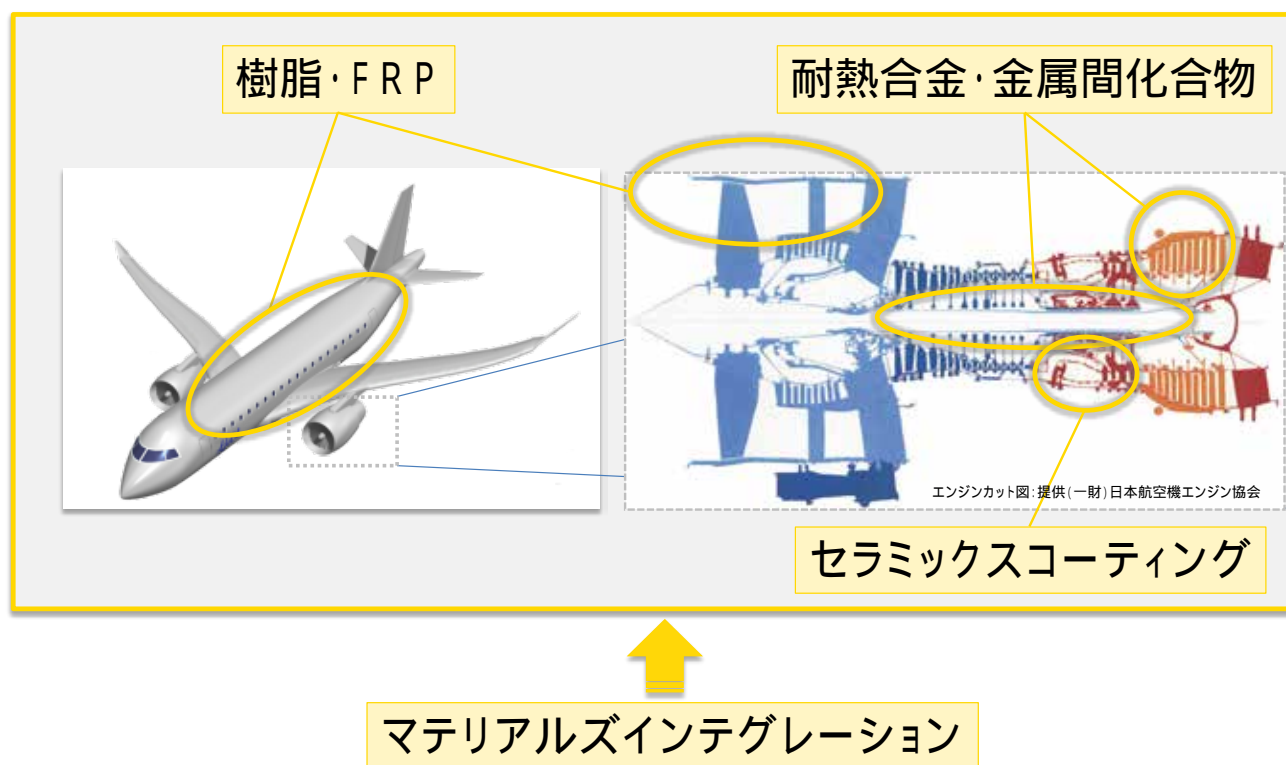
技術的目標

- ・あらゆる耐熱材料の世界トップレベルかつ費用対効果の高い製品の実現
- ・新しい材料を用途に応じて使いこなす革新的構造化技術を実現

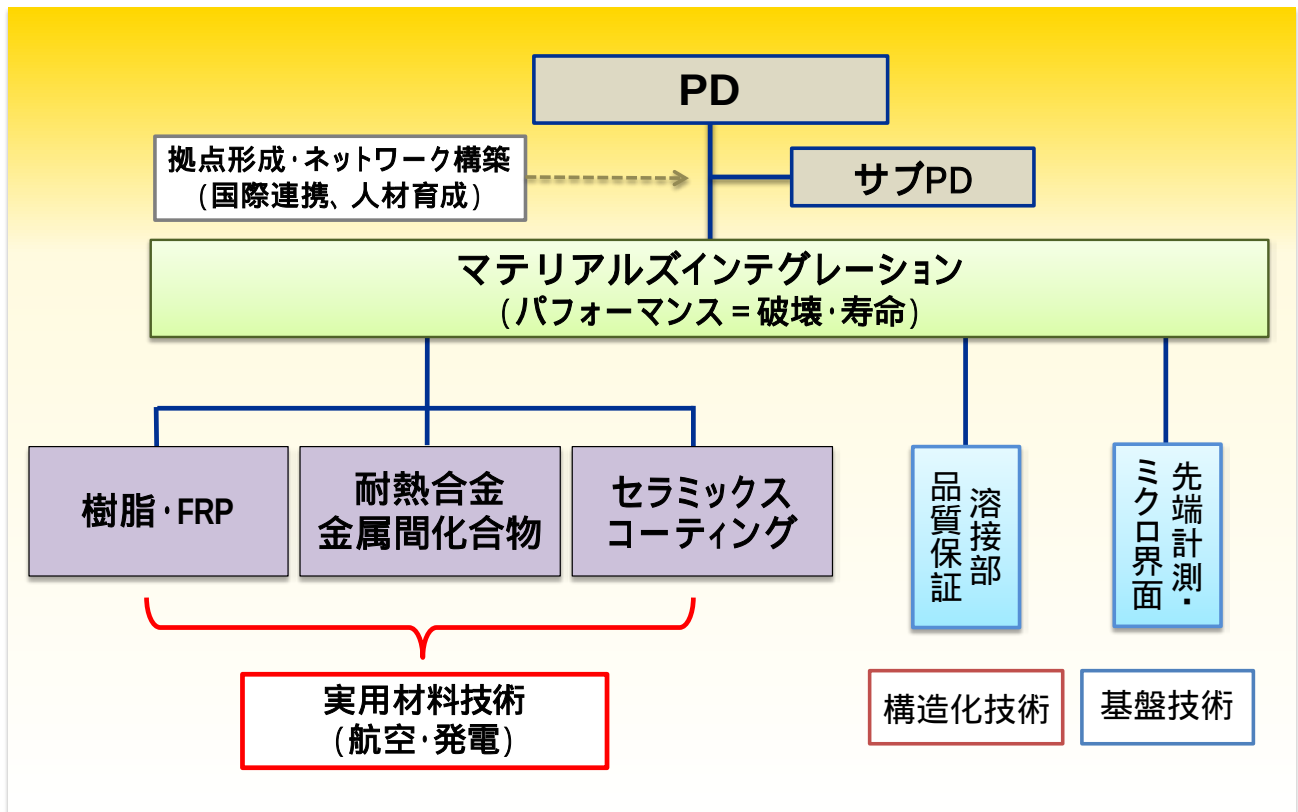
・マテリアルズインテグレーションで材料開発期間の一桁短縮を実現

2. 研究開発の内容

革新的構造材料における研究開発では、特に、航空機機体・エンジン、発電設備、大型構造用 FRP を出口として想定し、新材料技術を利用して、材料技術を通じた持続的イノベーションを可能にする仕組みを構築する。図表 2-1 は本研究開発で取り組む材料技術について、航空機機体及びエンジンへの適用部位を示している。本研究開発では主にこれらの新材料利用技術に関連する研究開発を短期的視点から検討し、材料技術を通じたイノベーションを目的とすると共に、通常研究開発に長期間を要する構造材料技術に対して日本国内の英知を集結する。これを行うために、図表 2-2 に示した 樹脂・FRP、耐熱合金・金属間化合物、セラミックスコーティング、マテリアルズインテグレーション、の4項目に取り組む。そのほか、航空機産業等の強化に資する課題を適時取り上げ、研究開発項目に組み入れる。同時に、先端計測・部材化・構造化技術等の基盤技術や研究開発拠点形成とネットワーキングによる材料情報循環体制の構築も行う。



図表 2 - 1 . 航空機用エンジンを対象にした場合の材料適用



図表2 - 2 . 研究開発の概要

(A) 航空機用樹脂の開発とFRPの開発

担当サブPD 田中千秋(東レバッテリーセパレータフィルム(株)相談役)

領域長 武田 展雄(東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授)

航空機用 FRP の製造技術の動向としては、熱可塑性樹脂を用いた材料系への転換が国際的に検討されている状況にある。加熱によって軟化する熱可塑性樹脂を用いて FRP を成形すると、熱硬化性樹脂を用いた FRP よりも短時間で部材を成形することができる。また、熱可塑性樹脂は衝撃性に優れる特性を持つために FRP に耐衝撃特性を付与することもできる。今後、熱可塑性樹脂を用いた FRP は航空機用エンジンのファンケースやファンブレードへの使用が拡大し、燃費低減への貢献が期待できる材料である。同時に、将来の FRP の大型化や複雑形状に対応できる製造技術として、既存のオートクレーブを用いた技術に替わる FRP の工業的な製造技術の開発も必要である。

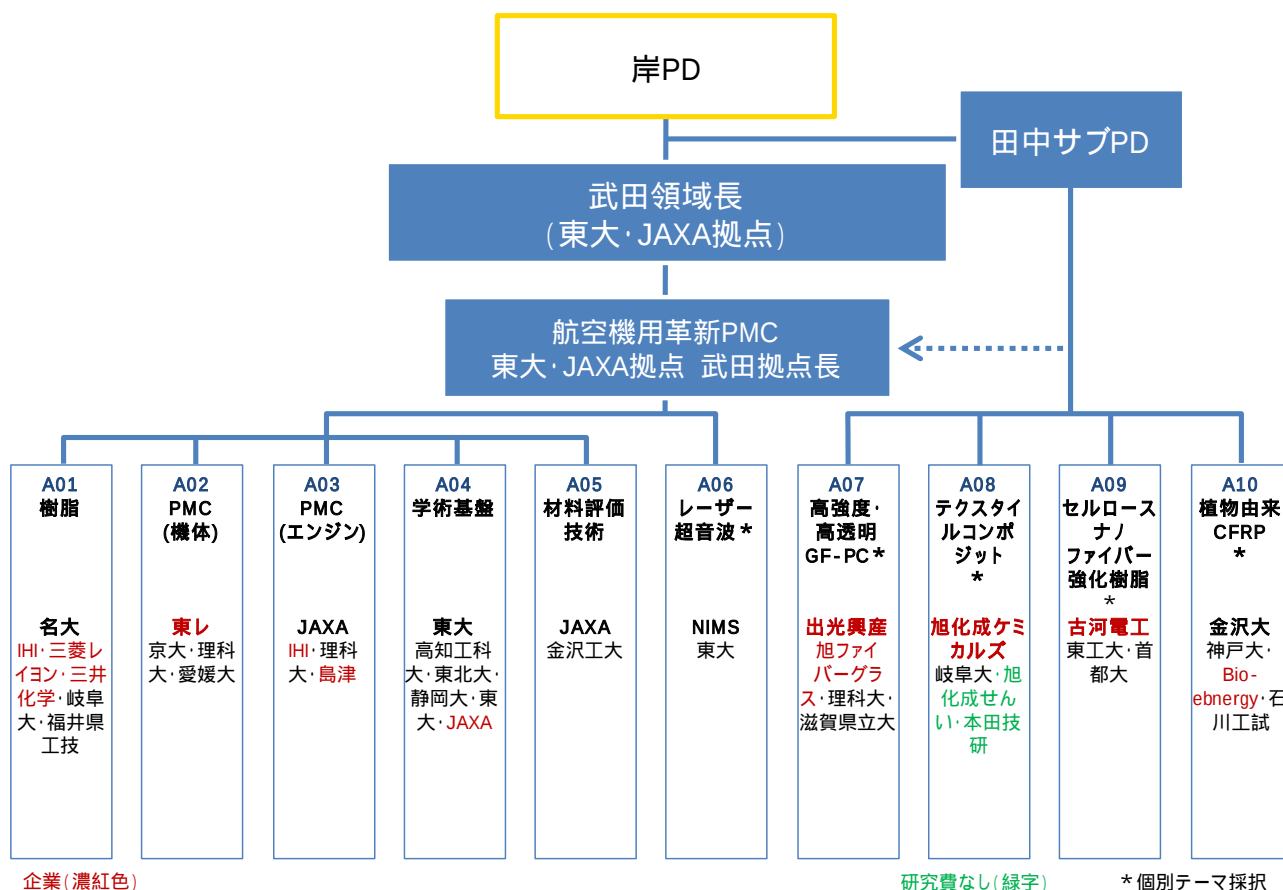
現在、FRP の成形時間の短縮に関しては国際的に種々の技術開発が行われているが製品の競争力につながるために詳細は明らかにはされていない。また、成形される材料の要求性能をもとに、素材性能と生産性・製造性のトレードオフの関係を打破し、生産性と信頼性を飛躍的に向上させた FRP 部材成形技術システムの構築を行うことの重要性が指摘されている。

本研究開発では、同時に、これらの開発技術を利用した工業製品の実用化を加速するために、新規樹脂開発、高成形サイクル・低価格成形手法の開発、大型 FRP 製造技術や関連基盤技術(材料設計・生産 / 加工技術、品質保証・最先端計測技術、マルチスケール計算科学等を駆使した高生産性・高信頼性の革新的構

造材としての樹脂および FRP / PMC 材料等)の構築を目指す。これらの技術開発とともに、FRP の付加価値を高めるための高分子材料や複合材料周辺技術開発も行う。

本研究開発領域は、拠点テーマ 1 件、個別テーマ 5 件で構成される。図表 2 - 3 に本領域の研究体制図を示す。

(A) 樹脂・FRP領域



図表 2 - 3 . 樹脂・FRP 領域の研究開発体制

○ 拠点テーマ (A01-05) 航空機用高生産性革新PMCの製造・品質保証技術の開発

研究責任者: 武田 展雄

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授

参画機関: 東京大学、名古屋大学、株式会社IHI、三菱レイヨン株式会社、三井化学株式会社、岐阜大学、福井県工業技術センター、東レ株式会社、京都大学、東京理科大、愛媛大学、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構、(株)島津製作所、高知工科大学、東北大学、静岡大学、金沢工業大学

概要

日本の国際競争力を高める、航空機用高生産性革新PMCの製造・品質保証技術の開発を行うために、以下の5つの課題に取り組む。

(テーマA01)【航空エンジン用途国産熱可塑性樹脂・CFRTP開発】航空エンジンの大型構造部材の更なる軽量化を実現するにあたり、耐衝撃性・耐熱性(150 程度)に優れ、従来より低コストの国産熱可塑性プリプレグならびに、実用性が高い成形技術を実現する。また、耐衝撃性等特性発現機構を構築する。

(テーマA02)【高生産性・高信頼性脱オートクレーブCFRP構造部材の知的生産技術の開発】(1)革新的プリプレグ真空圧成形技術の開発：真空圧で成形可能で、かつ、航空機一次構造部材に適した層間粒子強化型プリプレグの開発を行うとともに、真空圧成形技術を開発する。併せて、アクティブ成形制御技術の適用による成形サイクルタイムを短縮する。(2)CFRPモジュール設計とブロッカー体化工法の融合技術の開発：ドライファイバーがほぼ製品となる部分にのみ配置された二次元シート作製技術、及びそのシートを多層積層したニアネットシェイプの三次元プリフォーム作製技術、次いで樹脂含浸成形する三次元ギャップRTM成形技術を確立する。

(テーマA03)【耐熱高分子基複合材の適用技術研究】200 で～250 の耐熱性(耐久性)を有する付加型ポリイミド樹脂などを適用した次世代耐熱PMCを開発し、その基本成形技術を構築する。また、高温試験方法の確立、試験法の標準化を進める。

(テーマA04)【成形プロセスモニタリング・モデリングの学術基盤研究】(テーマA01-03)で開発される新規複合材およびその成形プロセスの確立に向けて、内部ひずみの計測および高精度成形モデリング技術基盤を確立する。また、分子シミュレーションや樹脂流動シミュレーションなどを駆使したマルチスケール成形シミュレーションコードを作成し、品質予測手法を構築する。さらに、軽量効率化のための新規複合材構造を実現するための高精度力学モデリング技術を構築する。

(テーマA05)【複合材料接合・長期耐久性評価技術】(テーマA01-04)グループの研究開発成果を俯瞰しつつ、複合材料の実機適用に有用な各種試験評価技術に関する検討を行いつつ、とくに重要性が増している複合材接合、長期耐久性についてデータの蓄積を行う。

【中間目標】(2016年度末時点)

テーマ A01【航空エンジン用途国産熱可塑性樹脂・CFRTP 開発：樹脂グループ】

- ・ 国産熱可塑樹脂プリプレグの基本仕様(繊維・樹脂の構成)が選定されていること。
具体的には、下表に示すような熱可塑性樹脂 CFRP 積層板(平板)を試作し、積層板に対しては下表に示すような評価試験を実施し、到達目標を達成していること。

表 中間評価時点のマイルストーン(樹脂グループ)

試験片・試作物の形状寸法	平板
評価試験項目と目標性能数値	指定する衝撃試験方法により、 層間剥離等がないこと 引張り強度：従来材と同等以上であること。

- ・ 耐衝撃性等の簡易評価方法が比較検討されていること。
- ・ プリプレグ低コスト化プロセスの基本プロセスが選定されていること。
- ・ CFRP 成形方法、試作方案が選定されていること。

テーマ A02【高生産性・高信頼性脱オートクレーブ CFRP 構造部材の知的生産技術の開発：

PMC(機体用)グループ】

1)革新的プリプレグ真空圧成形技術の開発:0.5m 角の試験板(平板)を用いオートクレーブ法と同等な力学特性(衝撃後残存圧縮強度(CAI) 40ksi 以上、ポイド率 1%以下)を実現しながら、オートクレーブ法対比同等の成形時間達成を目指す。

2)CFRP モジュール設計とブロック体化工法の融合技術の開発:1m×0.5m の湾曲モデル部材において、ドライファイバーのシート化技術(歩留まり 90%以上)、および三次元ギャップ RTM 成形基本技術確立を目指す。

テーマ A03【耐熱高分子基複合材(耐熱 PMC)の適用技術研究:PMC(エンジン用)グループ】

- ・ 高温オートクレーブおよび耐熱PMC用プリプレグ試作装置が導入され、稼働していること。
- ・ 耐熱PMCの一次評価が終了し、候補となる材料が選定されていること。
- ・ 耐熱PMC積層板(平板)の基本的な成形プロセスが確立していること。
- ・ 合理的で効率のよい高温引張り試験方法および高温圧縮試験方法が提案されていること。
- ・ 成形プロセス過程における分析手法が提案されていること。
- ・ 繊維/樹脂間の界面特性および CFRP の粘弾性特性のラボでの評価技術が確立していること。

テーマ A04【成形プロセスモニタリング・モデリングの学術基盤研究:学術基盤グループ】

- ・ 3つの実用化個別テーマで開発される新規複合材およびその成形プロセスの確立に向けての、内部ひずみの計測および高精度成形モデリング技術基盤の構築
3つの実用化個別テーマ各々の製作段階で、不具合、要検討事項などの検討を行う。
- ・ 複合材先進一体構造製造プロセスの提案

テーマ A05【複合材料接合・長期耐久性評価技術:材料評価技術グループ】

中間評価に向け、CFRP-Ti(チタン)、CFRP-CFRP 等の接合条件調査及び表面処理条件設定を開始し、試験片を製作、強度試験を実施していく。接合プロセスの詳細設定(感度)、試験片製作及び試験実施は、2 年目以降に本格的に取得し、データ取得、積み上げていく。3 年目には接合条件による接合感度、強度的影響解析を整理しまとめ、設計データとしての知見を明確化する。

長期耐久性試験については、CFRP の実際の暴露後劣化判定と開発する加速試験法の評価を行い加速試験法の精度検証を行い、結果を整理しまとめる。

また、3つの実用化個別テーマ各々の製作段階で、評価法などの検討を行う。

【最終目標】(2018年度末時点)

テーマ A01【航空エンジン用途国産熱可塑性樹脂・CFRTP 開発:樹脂グループ】

ファンブレードなど次世代航空機エンジンのファン部品に適用することを目指し、下記目標を設定する。

- ・ 国産熱可塑性樹脂プリプレグの開発を行い、設計用基礎材料データを取得する。

具体的には、下表に示すような熱可塑性樹脂 CFRP 積層板(平板)が実現できるプリプレグを開発し、積層板の特性に対しては下表に示すような評価試験を実施して到達目標を達成していること。

表 中間評価時点のマイルストーン(樹脂グループ)

試験片・試作物の形状寸法	平板
--------------	----

評価試験項目と目標性能数値	指定する衝撃試験方法・条件により、層間剥離等がないこと 引張強度、圧縮強度、層間せん断強度、耐薬・耐油特性：従来材と同等以上であること。ファン部品の基本設計に適用可能なデータを取得していること。
---------------	--

- ・ファン部品に適用する素材の 耐衝撃性について簡易に比較できる評価方法の一般化を行う。
- ・現工程比 3 割減となるプリプレグ低コスト化プロセス の確立を行う。
- ・熱可塑 CFRP 成形についてファン部品への適用方法の確立をする。

テーマ A02【高生産性・高信頼性脱オートクレーブ CFRP 構造部材の知的生産技術の開発：

PMC(機体用)グループ

1)革新的プリプレグ真空圧成形技術の開発：実用レベルのアクティブ制御成形技術の確立および航空機部材成形設備の初期投資額をオートクレーブ法対比 1/10 以下を目指す。さらに、上記技術確立を受け、オートクレーブ法と同等な力学特性(衝撃後残存圧縮強度(CAI) 40ksi 以上、ポイド率 1%以下)を実現しながら 3m 長尺形状の模擬航空機構造部材の成形実証を目指す。

2)CFRP モジュール設計とブロッカー体化工法の融合技術の開発：三次元複雑形状模擬航空機部材(曲面を持ったスキン・ストリッガー構造；概寸 2m×1m)製造にあたり、材料歩留まり向上(90%以上)および部品点数削減により、従来プリプレグ/オートクレーブ法対比で製造・組立コスト低減、および成形サイクル 1/5 以下を目指す。

テーマ A03【耐熱高分子基複合材(耐熱 PMC)の適用技術研究：PMC(エンジン用)グループ

- ・ 高温 250 の環境下で 300 時間以上の耐久性(耐熱性)を有する耐熱PMCの材料 技術、及び、構造要素(補強板、曲面形状、厚板部品等)の基本的な成形プロセスが確立していること。
- ・ 耐熱PMCの高温試験方法の妥当性が検証され、ドキュメント化されていること。そのうち少なくとも1つの方法が、JIS もしくは ISO の新規標準化検討項目として提案されていること。
- ・ 耐熱PMCを適用したエンジン部品の予備設計に必要な基礎材料特性データの取得が終了していること。
- ・ 成形プロセス過程における分析技術の有用性が実証されていること。
- ・ 繊維/樹脂間の界面特性およびPMCの粘弾性特性の評価結果が、耐熱PMCの材料設計もしくは部品設計において有用であることが実証されていること。

テーマ A04【成形プロセスモニタリング・モデリングの学術基盤研究：学術基盤グループ】

- ・ 内部ひずみの計測および高精度成形モデリング技術基盤の確立と実用材への適用
- ・ 複合材先進一体構造製造プロセスのプロトタイプ実証
- ・ 新規複合材成形品質保証技術の実証と航空機用複合材製造認証プロセスの提案

テーマ A05【複合材料接合・長期耐久性評価技術：材料評価技術グループ】

1～3年目の試験結果整理を踏まえ、実機設計やプロセス設定に適用できるような設計データベースとすべく、追加試験ケース実施計画を設定し、引き続きデータを取得していく。航空機メーカーの協力を得つつ、航空機複合材構造に関する接着部の設計データとしてのデータベース化を目標に、データを整理していく。並行して、航空機構造を想定した部分を設定し、軽量効果の推算を行い、接着接合による軽量化メリットを算出する。CFRP材料に関する長期耐久性評価試験結果については、取得データの整理し公開するとともに、複合材料加速試験法について標準試験法を視野に試験法の設定を進める。

○個別テーマA06 炭素繊維強化複合材料のレーザ超音波用励起光源と汎用検査法開発

研究責任者： 渡邊 誠

国立研究開発法人物質・材料研究機構 環境・エネルギー材料部門 先進高温材料ユニット
コーティンググループ 主幹研究員

参画機関： 国立研究開発法人物質・材料研究機構、東京大学

概要

レーザ超音波法は、完全非接触で非破壊評価が可能な優れた技術である。しかし、従来利用されてきたレーザ光源の波長が、炭素繊維強化複合材料(CFRP)への超音波励起には適しておらず、十分にポテンシャルを発揮できていなかった。これまでの研究により、CFRPのマトリックスである樹脂が、波長3.2 μm近傍に吸収帯域を有し、CFRP内への超音波励起に適していることが分かっている。物質・材料研究機構では、独自開発の高効率波長変換素子を用いて、発振レーザ波長を制御できる新しい技術の開発に成功しており、この技術を利用することで、従来利用出来なかった波長3.2 μm近傍の中赤外レーザ光源を開発することを目的としている。開発する新しい光源を利用した高性能レーザ超音波検査システムを実現し、航空機用CFRP部材のための、非接触、遠隔操作、高速スキャン可能な革新的な非破壊評価技術を確立する。

【中間目標】(2016年度末時点)

本プロジェクトで研究開発するレーザ光源および非破壊検査技術の各年度のマイルストーン、および中間評価時点の達成目標を以下に示す。

(初年度) CFRP部材中に1～20 MHzの超音波を発生させることが可能な、パルス幅 約 10 ns、波長:3.2 μm 近傍、パルスエネルギー: > 5 mJ を満たす中赤外レーザ光源をラボレベルで実現する。

(二年度) 初年度に開発するラボレベルのシステムを小型化するために、まずは、基本レーザと組み合わせることで利用できる変換モジュールを開発する。これにより、ある程度可搬可能な光源が実現できる。各協力機関が有する非破壊評価装置と組み合わせることで性能検証を始めることができる。

(中間評価時点での達成目標)

実使用に耐えるコンパクト、高効率、ロバスト性を備えた一体型中赤外レーザ源を中間評価時点までに実現する。従来のレーザ光源と比較し、CFRPに対する励起超音波振幅5倍以上を達成し、CFRP部材中に1～20 MHzの超音波を発生させることが可能な光源を

実現する。CFRP 内部、CFRP/金属異材接合界面に存在するはく離欠陥検出に有効であることを示す。

【最終目標】(2018年度末時点)

既存レーザ光源を利用している市販レーザ超音波システムに対し、新開発の中赤外レーザ光源を組み込み、非破壊検査装置としての性能を検証する。現存の高精度検査用の超音波センサと同等な CFRP 部材中に 1～20 MHz の超音波を発生させることが可能な光源を実現する。CFRP 層間や CFRP/異材接合界面に存在する欠陥の検出感度について、従来のレーザ光源を利用した場合と比較し、5 倍以上を実現する。拠点参画機関や協力機関との連携のもと、実部材の形状、サイズに最適化した検査システムを試作し、革新的な検査デバイスとして確立する。

この光源を用いた非接触レーザ超音波技術により、現在のサーモグラフィでは困難な厚さ 50 mm の CFRP 積層材中、φ6 mm の層間はく離が検出可能な装置を実現する。表面に存在するベアリービジブルインパクトダメージを非接触で検出可能であることを示す。また、現在課題となっている T 型 FRP 接合部材に存在する欠陥を非接触で検出可能であることを示す。

○個別テーマA07 高強度・高透明GF-PC複合材料の開発

研究責任者：山尾 忍

出光興産(株) 先進技術研究所 環境・エネルギー研究室 主任研究員

参画機関：出光興産(株)、旭ファイバーグラス(株)、東京理科大、滋賀県立大

概要

本研究開発では航空機や自動車等の輸送機器の抜本的な軽量化による省エネや二酸化炭素排出量削減に繋がる新規なガラス繊維強化樹脂複合材料を開発する。本開発材料は優れた機械物性・耐熱性を有するポリカーボネート(PC)系樹脂及び強化材であるガラス繊維の光学の性質(屈折率、アッペ数)の近似化を図ることにより、ガラス繊維強化樹脂の特長である低コスト、易成形性、高強度な特長に加えて従来不透明な材料を優れた透明性材料に変更した新規なガラス繊維強化樹脂複合材料(新規透明複合材料)である。本開発材料によるガラス部品の樹脂化によって軽量化(ガラス対比50%減)、高強度化(比強度1.5倍)、高断熱化(冷暖房効率の向上)が可能となり省エネや二酸化炭素排出量削減に大きな貢献が期待できる。加えて、射出成形による機器部品形状の自由度の向上による航空機や次世代自動車等の国際競争力強化も期待できる。

【中間目標】(全体で3年計画のため2015年度末)

材料(PC樹脂、GF)組成の確立：組成を制御したPC及びGFの複合化をラボスケールで実施し、小数点以下3桁目での屈折率の合わせこみとアッペ数差5以下(可視光波長での屈折率差を±0.001)を達成する。

ベンチスケール環境整備：PCサンプル製造及び製造条件検討用10Lオートクレーブ及びその周辺機器の整備と、GFサンプル製造及び製造条件検討用小型電気炉及びその周辺機器の整備を完了する。

材料製造技術の確立：ラボスケールで達成した光学特性制御PC樹脂、GFのベンチスケールでの製造を2015年度上期までに確立、複合材料検討、成形検討を行い、MR・実用評価用成形品200mm角(厚み1～10mm)製造の確立。

【最終目標】(2016年度【最終年度】末時点)

材料(複合材料)性能の達成:GF20%強化系において光線透過率90%以上、ヘーズ5以下、曲げ強度100MPa以上(通常GF-PC材料並み強度)の材料性能を達成する

材料性能の評価:ガラス代替で課題となる耐候性、耐傷付性、耐加水分解性などについて本材料の性能評価を実施するとともに通常PCで使用されている既存の機能化技術(耐候処方、ハードコート等)の本材料への適用性能を明確にする。

材料市場調査:各種輸送機器窓材料として各研究機関や企業での評価を受け、窓材料として使用可能である商品性を明確にするとともに本材料商品化に必要な用途毎の材料必要要件を明確にする。

工業化へ向け、プロセスデータ採取および開発課題の明確化。

○個別テーマA08 構造部材用テキスタイルコンポジットの開発

研究責任者: 山口 定彦

旭化成ケミカルズ(株) レオナ樹脂技術部 部長

参画機関: 旭化成ケミカルズ(株)、岐阜大学

概要

熱可塑性樹脂をマトリックスとした構造部材において、従来のGFクロスなどに熱可塑性樹脂を予め含浸させたプレートからではなく熱可塑性樹脂繊維と強化繊維の混織糸を織り込んだ布帛からFRPを成形する技術を開発する。具体的には、熱可塑性樹脂繊維と強化繊維の合糸(混織糸)から布帛を織り、その布帛を金型内で加熱し熱可塑性樹脂繊維を熔融してプレスし同時に射出成形を実施し複雑形状にも対応する。また、混織糸で編んだ組紐を引き抜きしてパイプを成形する。この混織糸、布帛、組紐の開発及び実用化できる成形技術を開発する。この開発により、車両及び航空機の軽量化、エネルギー削減に貢献する。

【中間目標】(2016年度末時点)

3年で終了予定。

【最終目標】(2016年度末時点)

- ・布帛目標物性:引張強度 450MPa 以上、弾性率 20GPa 以上
(GF60%複合材としての理想強度から算出)
- ・布帛成形サイクル 2 分以内
- ・組紐目標物性:弾性率 19.5GPa 以上
(GF60%、組角度 45 度のパイプ複合材としての理想弾性率から算出)
- ・組紐成形サイクル 300mm / 分
- ・19年量産車両への搭載目途

○個別テーマA09 セルロースナノファイバー強化樹脂の開発

研究責任者: 中島 康雄

古河電気工業(株) 研究開発本部 高分子技術研究所 マネージャー

参画機関: 古河電気工業(株)、東京工業大学、首都大学東京

概要

環境・エネルギー・資源問題を解決するため、航空機・自動車産業では燃費向上のため高比強度材料による軽量化が取り組まれている。高比強度材料として炭素繊維やガラス繊維による強化樹脂が適用されるが、最近、セルロースナノファイバー(CNF)による強化樹脂に大きな期待がされている。CNFは、鋼の1/5の軽さで5倍の強度を持ち環境に優しく、安価なコストが期待される。しかし、CNFは高い親水性と凝集性のため熱可塑性樹脂への分散が非常に難しいものとなっている。本研究開発では、界面制御技術や樹脂変性技術の理論構築を大学と連携して行うとともに、開発した技術を適用した二軸押出機等により、グラフト等の反応場を利用したCNFの分散技術の開発を行っていく。そして、CNF強化樹脂を構造部材として適用するために大学との連携によるナノ分散複合体の理論強度の解析を行うことで、長期的な信頼性構築を行っていく。

【中間目標】(2016年度末時点)

CNF強化樹脂は、ガラス繊維強化樹脂の代替を目指していきます。CNFの持つ優れた機械的特性をPEやPPといった樹脂中でも発現することができれば、理想的にはCNF添加量10wt%でガラス繊維40wt%添加品と同程度の弾性率を得られることが期待されます。そこで、まずはCNF強化樹脂の理論的な可能性の検証と、CNFをポリオレフィン樹脂に分散させるための混練プロセスの検討を進め、二軸押出機等を用いた試作によって得られたCNF強化樹脂を射出成形機により試験片の作製を進めます。具体的な適用製品としては様々なものが考えられるが、航空機用内装材や自動車用部品への適用を目指していきます。

航空機や自動車に適用するためには軽量化・小型化・高信頼性が求められます。

以上より、下記項目の達成を目指していきます。

- ・目的とする特性が本当に得られるのか、シミュレーション等を用いた分散状態と理論強度の把握を行う。
- ・ワンステップでセルロースを解繊(ナノ化)するための混練プロセスを選定する。
- ・射出成形性は、ベース樹脂のポリオレフィンと同等とする。
- ・射出成形により材料試験片を作製して特性を評価するが、おそらく衝撃強度が課題となると予想されることから、その対策を提案する。
- ・長期的信頼性(耐疲労特性等)を構築するための劣化メカニズムを推定する。

【最終目標】(2018年度末時点)

CNF強化樹脂は、CNFの持つ性能(弾性率等)がどこまで発揮させることができるかにかかっているが、世の中で幅広く使われているガラス繊維強化樹脂を代替することが可能となる。その応用範囲は非常に広いが、まずは航空機用内装材や自動車用部品を代替可能な特性を得ることを目標とする。

- ・ワンステップで行うための混練プロセスの構築
- ・樹脂複合体として、弾性率4GPa、シャルピー衝撃強度5kJ/m²、荷重撓み温度160℃を達成
- ・材料としての長期信頼性の評価方法の構築
- ・製品への適用を考慮した信頼性評価の開始

○個別テーマA10 植物由来の炭素繊維複合材料の開発

研究責任者： 仁宮 一章

金沢大学 環日本海域環境研究センター 准教授

参画機関： 金沢大学、神戸大学、Bio-energy(株)、石川県工業試験場

概要

CFRP 適用航空機のライフサイクル CO₂ 排出量をより削減することを目的として、現在石油から作られている CFRP を植物由来に代替するための技術開発を行う。原料植物として油脂植物を用いる。具体的には、植物油からバイオディーゼル燃料を生産する際の副産物である「グリセロール」、並びに、植物油の搾油残渣の主成分である「リグノセルロース」を原料に用いる。グリセロールから化学反応によりワンステップで PAN 系炭素繊維のモノマーであるアクリロニトリルを製造する。リグノセルロースについては、イオン液体を用いた常温常圧前処理を経て、石油由来では製造が困難な構造を持つ熱可塑性樹脂を製造する。以上から得られる炭素繊維と熱可塑性樹脂から CFRP を製造し、その特性評価を行う。石油由来 CFRP を植物由来に代替した際のライフサイクル CO₂ 削減量は、飛行機 1 機に CFRP を約 40 トン使用した際、約 200 トン/機と推定される。

【中間目標】 (2016年度末時点)

- ・植物由来の CF 原料のプロトタイプ試作および評価
植物由来アクリロニトリルの純度 90% 目標コスト¥300/kg
- ・植物由来の母材樹脂のプロトタイプ試作と強度評価。
植物由来ポリアミド樹脂 融解温度 250 、目標コスト¥300/kg
- ・植物由来の CFRP (炭素繊維は石油由来)のプロトタイプ試作と強度評価。
石油由来の CF (¥5,000/kg) + 植物由来ポリアミド
引張強度:600 MPa, 引張弾性率:40 GPa,
曲げ強度:600 MPa, 曲げ弾性率:35 GPa
- ・植物由来の CFRP (炭素繊維は石油由来)のラボ・ベンチスケール製造手法の確立。
目標生産量 1kg/日/バッチ、目標コスト:トータル¥30,000/kg

【最終目標】 (2018年度末時点)

- ・植物由来の CF 原料および植物由来の CF の試作および評価
植物由来アクリロニトリルの純度 99% 目標コスト¥250/kg
植物由来 CF 引張強度 5 GPa, 引張弾性率 230 GPa 目標コスト¥6,000/kg
- ・植物由来の母材樹脂の製造および強度評価。
植物由来ポリアミド樹脂 融解温度 250 、目標コスト¥200/kg

- ・植物由来の CFRP の試作と強度評価。
石油由来もしくは植物由来の CF + 植物由来ポリアミド
引張強度: 750 MPa, 引張弾性率: 50 GPa,
曲げ強度: 750 MPa, 曲げ弾性率: 45 GPa

- ・植物由来の CFRP の量産製造プロセスの確立。
目標生産量 100kg/日/製造ライン、目標コスト¥20,000/kg

樹脂・FRP領域の主要な研究開発目標

【中間目標】 (2016年度末時点)

- ・硬化時間ゼロで成形可能な新規熱可塑性樹脂及び樹脂を利用したFRP製造の基本プロセスの完成。
- ・大型設備投資を必要としない(設備投資が50%以下の)新規FRP製造プロセス技術の技術課題を明確化。

【最終目標】 (2018年度末時点)

- ・開発する樹脂を用いたFRP製造技術が航空機用部品製造に展開可能に。
- ・従来のFRP製造プロセスをしのぐ簡易プロセス技術により、製造の高速化の達成。

樹脂・FRP 所要経費

2014年度 7.370 億円

2015年度 8.221 億円(見込み)

(B) 耐熱合金・金属間化合物等の開発

担当サブPD 北岡康夫(大阪大学 教授)

領域長 御手洗 容子

(国立研究開発法人物質・材料研究機構 環境・エネルギー材料部門 グループリーダー)

金属材料の中でTi合金は航空機用エンジンのファンブレードなどの中高温部品、Ni合金はさらに高温の部材用として欠かせない最重要金属材料である。また、軽量で耐熱性のある TiAl 金属間化合物も非常に重要な材料であり、将来の適用部位の拡大が見込まれている。これらの材料を利用するときには、部材形状への成形技術が材料の付加価値を著しく高め、さらに、航空機用エンジンの高性能化に直結する。国内で高性能な素材自体が得られても部材形状に加工する技術が欠けていると実用化には結びつかない。

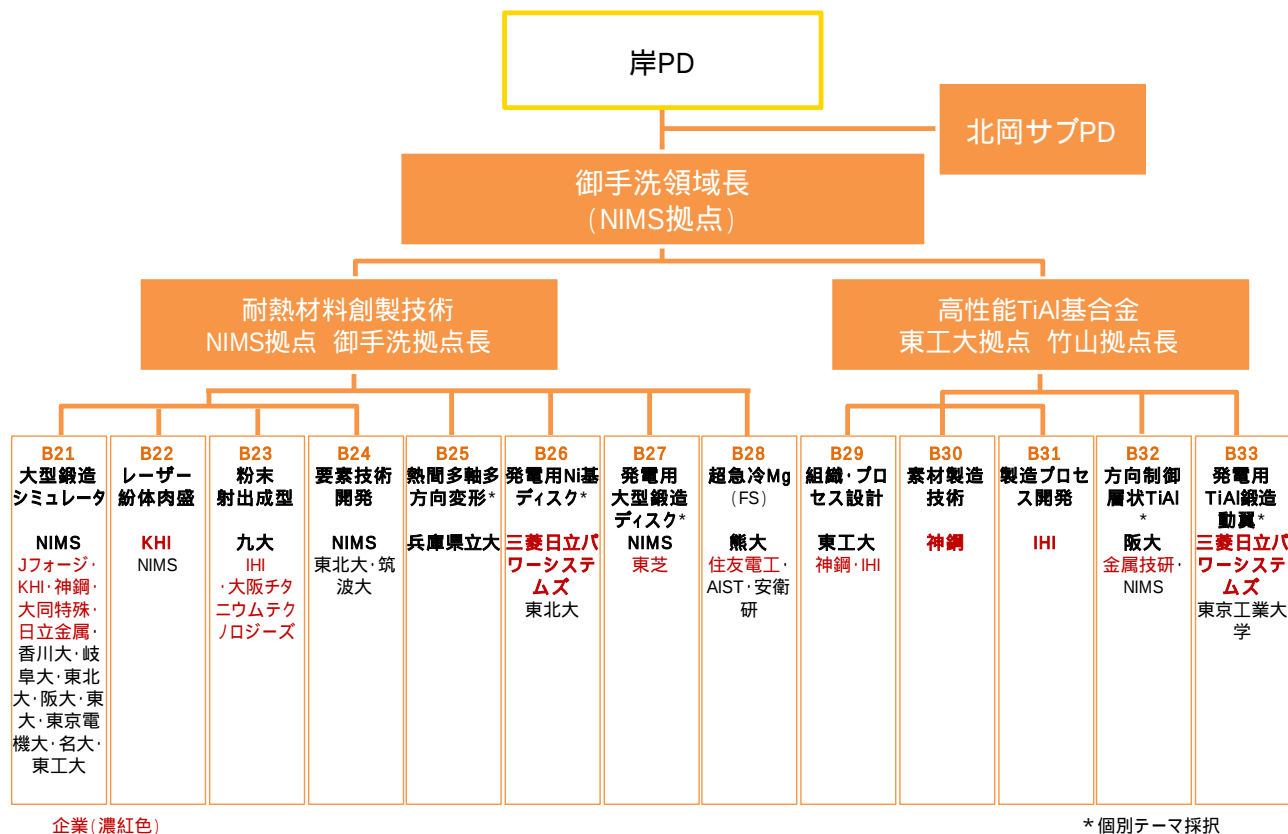
耐熱合金や金属間化合物の加工には鋳造や鍛造などの技術が必要であり、材料加工技術は部材のコストや信頼性と密接に関連している。近年のコンピュータ制御技術等の発展を背景に、国際的にも常に最新の材料加工技術を導入しようとする潮流が生じている。日本でもエンジン用材料の部材を短時間で精度よく、かつ、製造コストを抑えて作製するための加工プロセス技術の研究開発が必要である。

本研究開発では、実部品製造時の鍛造技術、組織や特性予測等のシミュレーション技術などを駆使して、高機能・高強度・高信頼性な大型耐熱部材を鍛造で高精度に作り込むための塑性加工法を確立し、新素材の早期利用技術を促進する。また、新たな製造技術として、大型化・量産化につながる革新的金属材料

加工技術の開発を産学官の連携の場を構築し達成する。

本研究開発領域は、拠点テーマ2件、個別テーマ6件で構成される。図表2-4に本領域の研究体制図を示す。

(B) 耐熱合金・金属間化合物領域



図表2-4. 耐熱合金・金属間化合物領域の研究開発体制

○ 拠点テーマB21-24 革新的プロセスを用いた航空機エンジン用耐熱材料創製技術開発

研究責任者: 御手洗 容子

国立研究開発法人物質・材料研究機構 環境・エネルギー材料部門 先進高温材料ユニット
構造機能融合材料グループ グループリーダー

参画機関: 国立研究開発法人物質・材料研究機構、日本エアロフォージ(株)、川崎重工業(株)、(株)神戸製鋼所、香川大学、岐阜大学、東北大学、大阪大学、東京大学、東京電機大学、東京工業大学、名古屋大学、大同特殊鋼(株)、日立金属(株)、九州大学、(株)IHI、(株)大阪チタニウムテクノロジーズ、筑波大学

概要

省エネルギー、排ガス削減のために、航空機機体等の軽量化やエンジンの高効率化が必要であり、そのための安定した素材製造技術が必要となる。そこで、航空機材料として使われるチタン合金・ニッケル基合金に関する

る 3 つの革新的製造技術開発に取り組み、高品質・高生産性・省消費資源・低コストな生産技術を確立することを目的とする。

「大型鍛造技術」では、鍛造条件を考慮した信頼性の高いデータベース(DB)を作成し、これに裏付けされた塑性加工モデリング技術、組織および力学特性予測モデリング技術を確立する。これにより、製造条件から、最終製品の特性を予測し、必要とされる特性を最大限に引き出せる製造条件の抽出が可能な材料創製技術を確立する。

「レーザ粉体肉盛技術」では、レーザ粉体肉盛技術を航空機エンジン部品に適用するため、肉盛品の材料特性を取得・DB 化することにより、製造条件との相関関係を明らかにする。また、取得した材料特性評価データを生かして非破壊検査手法とそのスペック等を策定、評価技術を確立することにより、航空材料の鍛造材規格の材料特性を満足する生産技術を確立する。

「金属粉末射出成形(MIM)技術」では、寸法精度要求を達成する成形技術の開発と、高い信頼性を保証する材料 DB を構築する。特にチタン合金については、合金基本組成に対して第 3 元素の添加や熱処理および低酸素金属粉の組み合わせ等で、従来の MIM チタン合金を上回る疲労強度を達成する。

これらの製造技術を、さらに次世代航空機エンジン材料のより効率的な材料設計に結びつけるために、「次世代合金設計のための要素技術開発」において、基礎学理を活用することにより、次世代合金設計・製造に関わる要素技術を確立し、マテリアルズインテグレーションの実現を目指す。

これらにより、我が国の強みでもある材料技術を基盤に、航空機産業等を裾野産業も含めて育成・拡大し、日本の産業競争力を強化する。

【中間目標】(2016年度末時点)

1)大型精密鍛造シミュレータを用いた革新的新鍛造プロセス開発と材料・プロセス DB 構築

1500 トンの油圧サーボプレスにより、ニッケル基超合金は最大で $\phi 90$ mm、チタン合金は $\phi 120$ mm の円柱ビレット(高さ 200 mm) を、プレス可能な、鍛造シミュレータを設計・開発する。開発した鍛造シミュレータを産学官共同研究拠点となる国立研究開発法人物質・材料研究機構(以下、NIMS)に設置するとともに、実際の運用を可能とするために必要となる周辺設備(ピット整備、電源工事、インゴット保管室、オペレータ室など)を整備し、運用ルールやマニュアルを作成する。

本鍛造シミュレータを用い、これまで国内に存在しない、認証に資する信頼性が高いDBと鍛造シミュレーション技術を構築する。約 1000 の安定した高温環境雰囲気を作り出し、鍛造プロセスに類似した高温環境下でのトライボロジー評価が可能な、新たな摩擦測定装置の設計・試作を行う。

2)航空機エンジン部品用レーザ粉体肉盛による革新的生産技術開発

チタン合金製航空エンジン部品の施工性・生産性を満足できる仕様を持ったレーザ粉体肉盛装置を導入する。肉盛品の材料特性を取得・データベース化し、プロセス条件との相関関係を明らかにする。さらに、高生産・高品質チタン合金肉盛に必要なプロセス技術を確立する。実機施工を想定した、縮小モデルへの施工を完了する。

3)航空機エンジン部品用金属粉末射出成形技術の開発

ニッケル合金 MIM の材料試験と部品試作を行い、航空機エンジン部材用射出成形技術の可能性を検証する。そのために実際に部品を使用する温度域で設計に使用できるレベルの材料データを取得し材料データベ

ースを構築する。また試作レベルで0.3mm以上の欠陥がない密度97%以上の部品を達成する。

チタン合金 MIM については既存 MIM 材の疲労強度 230MPa を上回る特性を得る。

4) 次世代合金設計のための要素技術開発

製造時に混入する不純物元素(O, N, Fe, Si)の影響シリサイドの影響の2点について着目し、不純物元素(O, N, Fe, Si)やシリサイドが相変態や種々の高温特性に与える影響について明確化し、データベースを作成する。データベースに基づいて、組織と高温特性の相関を明確化する。

鍛造シミュレータのテーマで行う組織予測、特性予測をより精密化するために、下記の理論的計算を行う。

第一原理計算:チタン合金の不純物の α 相、 β 相安定性への影響を明確にする。

Phase-Field: 不純物元素が自由エネルギーや相変態速度に及ぼす影響を考慮した組織形成モデルを構築する。

有限要素法: Phase-Field 計算で得られた材料組織の有限要素解析によって特性を評価する。

【最終目標】 (2018年度末時点)

1) 大型精密鍛造シミュレータを用いた革新的新鍛造プロセス開発と材料・プロセス DB 構築

作成した DB を用いて、高精度な予測モデルを構築する。耐熱材の実鍛造品の最適鍛造プロセス設計を実現する。得られた成果を実プレス鍛造で検証することにより、実用化につなげていく。

2) 航空機エンジン部品用レーザ粉体肉盛による革新的生産技術開発

1~2メートルサイズのチタン合金製航空エンジン部品実機への施工を完了する。実際の生産を想定し、これまで取得した材料特性評価データを生かして非破壊検査手法とそのスペック等を策定し、航空エンジン部品の品質基準に対する評価技術を確立する。

3) 航空機エンジン部品用金属粉末射出成形技術の開発

信頼性と寸法精度に厳しい航空機エンジン部品向けの MIM 製造プロセスを開発し工業的に応用できるレベルへ到達する。そのために量産と同等の工程で0.3mm以上の欠陥のない密度97%以上を達成した航空機エンジン向けの部品で寸法精度 ± 0.2 mmを実現する。

またニッケル合金 MIM については応用範囲を広げるため500℃以上の高温域で設計に使用できるレベルの材料データを取得し材料データベースを構築する。

チタン合金 MIM についても実際に部品を使用する温度域で設計に使用できるレベルの材料データを取得し材料データベースを構築する。

4) 次世代合金設計のための要素技術開発

α -チタン合金の機械的特性に対する不純物元素やシリサイドの影響についてデータベースを拡充し、1)鍛造シミュレータのテーマで作成するデータベースと統合する。また、第一原理計算、Phase-Field 法、有限要素法でそれぞれ構築したモデルを用いて、ニッケル基超合金およびチタン合金の組織および特性予測を可能な精密モデルを構築する。これらのモデルを 1)の鍛造シミュレータの予測モデルに統合し、鍛造条件から組織、特性予測の精密化を図り、より広い組成範囲の合金設計、製造を可能にする。

○ 拠点テーマB29-31 ジェットエンジン用高性能TiAl基合金の設計・製造技術の開発

研究責任者: 竹山 雅夫

東京工業大学 大学院理工学研究科 教授

参画機関: 東京工業大学、(株)神戸製鋼、(株)IHI

概要

本プロジェクトでは、東京工業大学を拠点として、東工大、神戸製鋼所、IHI が有機的に連携し、次世代の航空機用ジェットエンジンの低圧タービン(LPT)翼及び高圧圧縮機(HPC)翼に搭載可能な高性能鍛造及び鋳造 TiAl 金属間化合物基合金の組織設計、製造、成型プロセス技術を開発し、2020 年以降に開発される次期新型機種への適用とその量産体制を築くことを目標に、以下の開発研究を行う:

東京工業大学は、「高性能合金の組織・プロセス設計指導原理の構築」と題して、(1)合金設計の基礎となる多元系状態図の構築及び多元系特有の相変態を用いた組織制御法の確立、(2)疲労き裂進展特性の評価と広領域3次元組織解析による特性支配組織因子の解明、(3)クリープ特性評価と変形支配組織因子の評価、(4)静的及び動的酸化特性の評価・解析と酸化機構の解明による耐酸化性改善手法の提案、を行う。これらの課題を通じて 鋳造 LPT 及び鍛造 HPC 翼の開発に資する TiAl 基合金の組織設計指導原理を構築し、成型性に優れた高強度 TiAl 基合金を設計・提案する。

神戸製鋼所は、「高品位・低コスト素材製造技術開発」と題して、東工大が設計・提案する合金を目標組成範囲に調整し、且つ、高生産性でインゴットを製造する溶解鋳造プロセス技術の開発を行う。また、スクラップをインゴットの溶解原料として活用する技術開発を行い、高品位化と低コスト化を両立させた競合優位性の高い TiAl 基合金製造技術を確立する。

IHI は、「革新製造プロセス開発/検証」と題して、東工大が設計し、神戸製鋼所が溶解したインゴットを用いて、既存の設備を最大限利用した LPT 及び HPC 翼の製造プロセス(鋳造、鍛造)技術の最適化を図る。また、部品設計に必要な合金特性データベースの整備を行い、実機環境を模擬した部品強度試験によりその特性を評価する。各機関での開発研究にて得られた情報は逐次相互にフィードバックし、産学が密接に連携して現用の Ni 基合金及び TiAl 基合金の性能を凌駕する革新的低コスト TiAl 基合金を開発する。

【中間目標】(2016年度末時点)

【高性能合金の組織・プロセス設計指導原理の構築】B29(東京工業大学)

実機環境を模擬した部品強度試験を実施可能なモデル合金を提案すること。そのために以下のマイルストーンを達成する。

- ・ 元素を複合添加した多元系状態図の実験的決定およびそれを計算によって再現するためのデータベースの構築
- ・ 高温におけるクリープ変形、き裂進展及び酸化挙動を支配する組織因子の解明

【高品位・低コスト素材製造技術開発】B30(神戸製鋼所)

最終目標(2018 年度)である量産スケール実証に向けて、中間評価時点では、小型設備を用いた実験と解析による取組みによって、以下のマイルストーンを到達目標とする。

- ・ 成分変動の少ない高品質鋳塊を高歩留まりで得るための鋳造プロセスの基本設計を確定する。
- ・ 低コスト化を実現するためのスクラップ処理プロセスの基本設計を確定する。

【革新製造プロセス開発/検証】B31 (IHI)

- ・ 市場で十分なコスト競争力が確保できる部品製造プロセスの基礎を確立させる。
- ・ モデル合金を用いた翼部品による実機環境を模擬した部品強度試験を実施する。

【最終目標】 (2018年度末時点)

【高性能合金の組織・プロセス設計指導原理の構築】B29(東京工業大学)

高品位かつ安価なインゴットの製造と、既存の Ni 基合金及び TiAl 鋳造合金を凌駕する優れた機械的性質及び耐酸化性を有する高性能 TiAl 基合金の製造を実現するプロセス設計指導原理を確立する。そのために、以下のことを明らかにする。

- ・ 3次元組織解析によるき裂進展機構の解明
- ・ 機械的性質を最適化する組織制御法の確立
- ・ 酸化機構の解明と耐酸化性向上のための組織設計法の確立

【高品位・低コスト素材製造技術開発】B30 (神戸製鋼所)

パイロット設備での溶解・鋳造試験によって、中間評価時点にて確立した基本設計の最適化を行い、以下の最終目標を達成する。

- ・ 優れた特性発揮のために必要な高品質を有する TiAl インゴットの溶解鋳造技術を確立する。
- ・ 低コスト化のためのスクラップ活用技術を実証する。

【革新製造プロセス開発/検証】B31 (IHI)

中間評価時点にて確立した製造プロセスの最適化を行い、優れたコスト競争力を有する生産技術を実証する。

○個別テーマB25 熱間多軸多方向変形下における航空機用耐熱合金の加工プロセス開発

研究責任者:鳥塚 史郎

兵庫県立大学 大学院工学研究科 教授

参画機関: 兵庫県立大学

概要

大ひずみの導入が可能であり、多方向多軸加工が可能な加工熱処理シミュレータを開発し β 域、 $\alpha+\beta$ 域の1方向加工および2方向加工を系統的に行い、組織制御プロセスマップを作成する。針状組織、Bi-Modal 組織、等軸組織、結晶粒径を制御して、疲労、高温強度、靱性のすぐれた組織を得る。多方向多軸加工熱処理シミュレータを利用した鍛造時の組織変化の正確なシミュレーションによって、大型鍛造プロセスの組織・特性予測のベースを作成する。本提案の大ひずみ導入多方向加工によって、公称ひずみと組織という単純な関係ではなく、ひ

ずみ導入経路と変形組織の関係、変形組織と再結晶挙動、相変態組織の関係を明らかにできる。ひずみ量としても2以上を容易に導入できるので、多方向加工は超微細組織を有するTi合金の生成にも有効である。これらを通じて、熱間多軸多方向変形下における航空機用耐熱合金の加工プロセスの新提案を行ってゆく。

【中間目標】(2016年度末時点)

Ti-6Al-4V または Ti6242 合金に対して、熱間多方向加工熱処理プロセスマップを作成する。プロセスマップには、加工熱処理の温度・ひずみ速度のパラメータである Z 値 (Zener-Hollomon parameter) とひずみ、ひずみ経路の3つの因子をパラメータとして、組織との関係を表す。

$$Z = \dot{\epsilon} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right)$$

特に等軸 α 粒の粒径に関しては、Z 値で、定式化する。α 相、β 相の割合に関しては、Z 値、ひずみ、ひずみ経路の関数とする。

パラメータであるひずみの範囲は $\epsilon = 0 - 3$ と大ひずみ域まで、検討する。ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ は、 $0.001 - 1 \text{ s}^{-1}$ である。加工温度範囲は 700-1100 °C である。その結果、Z パラメータの範囲は、 $Q=162 \text{ kJ/mol}$ として、 $1 \times 10^3 \text{ s}^{-1} \sim 5 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$ である。

板状組織、等軸状組織、複相組織の生成マップを作製する。板状組織は、粗大、微細でさらに分類を行う。それを、1方向加工、2方向加工についてそれぞれについて作製する。また、Z パラメータと粒径の関係を定式化する。ある組織が得られた時の引張強さの予測精度についての拠点の目標にあわせ、組織の体積率に関しては10%程度の誤差で予測できるようにしたい。また、粒径に関しては、等軸 α 粒については、予測粒径と実際の粒径の誤差が20%以内になりたい。これらの定量的な数値は、最終目標である1500トン大型鍛造シミュレータおよび50000トン鍛造における力学的組織予測を行う上で、有効である。

【最終目標】(2018年度末時点)

1500トン鍛造機、5万トンでの実機鍛造時の組織変化が正確に予測できるプロセスマップおよびデータベースを完成させる。各組織の力学的特性データベースも併せ持つものとする。

○個別テーマB26 高強度Ni基ディスク材料の実用的加工プロセスの開発

研究責任者: 今野 晋也

三菱日立パワーシステムズ(株) 研究所 火力システム研究部 火力システム第二研究グループ グループ長

参画機関: 三菱日立パワーシステムズ(株)、東北大学

概要

精密鋳造動翼材と同等レベルのクリープ強度と1.5倍以上の引張特性、疲労強度を有する高強度Ni基ディスク材料が開発され、航空機部品への実用化が拡大している。高強度Ni基ディスク材料を産業用ガスタービンに適用することで、耐用温度の向上や翼長拡大が見込まれ、ガスタービンの高効率化に寄与できる。ガスタービン

適用にあたる課題は、熱間加工性や切削加工性が悪いことである。本グループでは、これら高強度 Ni 基ディスク材料に対して加工時には強化機能を消失させ、製品使用時に再度強度を回復させる組織制御技術を発見した。上記プロセスにより、熱間加工性や切削加工性を向上させるだけでなく、従来不可能とされた冷間加工にも成功している。本研究では、高強度 Ni 基ディスク材料について、加工性を飛躍的に改善する実用的な加工プロセスを開発し、実機部品製造プロセスを提案、最適化することを目的とする。

【中間目標】 (2016年度末時点)

・ γ 相の強化機構を消失させる組織形成と変形メカニズムの解明を行い、この結果に基づき組織制御および加工プロセスを最適化する (H28年度)。

・上記組織制御技術を適用した加工プロセスの要素技術を確立し、実機模擬部品製造プロセスの概略設計を完了する (H28 年度)。

【最終目標】 (2018年度末時点)

・鍛造シミュレーションソフトのパラメータ整備により、鍛造組織の予測を可能とし、鍛造条件の最適化を可能とする (H30年度)。

・実機模擬部品の試作を行い、AD730 と同等以上の強度と 700 級 A-USC 蒸気タービン用 Ni 基鍛造翼と同等レベルの切削加工性および製造コストを達成する (H30 年度)。

○個別テーマB27 発電用蒸気タービン向けの高強度大型鍛造ディスク部材の開発

研究責任者:木村 一弘

国立研究開発法人物質・材料研究機構 環境・エネルギー材料部門

材料信頼性評価ユニット ユニット長

参画機関: 国立研究開発法人物質・材料研究機構、(株)東芝

概要

火力発電の効率向上と大出力化ならびに地熱発電などの再生可能エネルギーの活用推進は世界的に重要な課題であり、そのための重要な施策として蒸気タービン最終段の長翼化が進められてきている。

長翼化や翼の高効率化においては、高速回転による遠心力に耐え、かつ優れた耐 SCC (応力腐食割れ) 性を有する動翼材料のみならず、その動翼を支持できる強度・靱性と耐 SCC 性を有するローター材が必要となる。ローター材は現状、比較的安価な低合金鋼が用いられており、高合金鋼やチタン合金の採用が進む動翼と比べ、現状材で現状の加工熱処理プロセスではさらなる強靱化が難しい。

そこで本研究開発では、蒸気タービンローターの最終段部位に適用し得る、強度・靱性と耐 SCC 性に優れた大型の鍛造ディスク部材とその製造プロセスを短期間に開発し、火力発電設備のみならず地熱発電設備も含め、効率向上と大出力化に貢献することを目指す。

【中間目標】 (2016年度末時点)

最終目標「現有のローター材に対して靱性、耐 SCC 性などが同等で、引張強度が 1200MPa となる大型蒸気タービン最終段用の鍛造ディスク部材の開発。」の達成へ向け、中間評価時点(平成 28 年度内)で以下を目標とする。

：ラボレベルでの材料特性の達成

蒸気タービン低圧ローターあるいは動翼として使用実績のある既存材に対するラボレベルでの加工熱処理による組織制御で以下を達成。

- ・引張強度：1200MPa 以上(熱処理後の室温値)
- ・靱性：V ノッチシャルピー吸収エネルギーが 54J 以上
- ・耐 SCC 性：き裂発生までの時間やき裂発生程度が既存ローター材と同等

：大型ディスク部材の試作方案を決定

ラボレベルでの試験結果とシミュレーション結果等から、大型ディスク部材試作に対しての材料選定と試作方案(溶解、鍛造、熱処理等のプロセス)を決定。

【最終目標】(2018年度末時点)

最終目標「現有のローター材に対して靱性、耐 SCC 性などが同等で、引張強度が 1200MPa となる大型蒸気タービン最終段用の鍛造ディスク部材の開発。」として以下を達成。

：大型ディスク部材として材料特性の達成

蒸気タービン低圧ローターあるいは動翼として使用実績のある既存材に対し、加工熱処理による組織制御で、大型ディスク部材として以下を達成。

- ・引張強度：1200MPa 以上(熱処理後の室温値)
- ・靱性：V ノッチシャルピー吸収エネルギーが 54J 以上
- ・耐 SCC 性：き裂発生までの時間やき裂発生程度が既存ローター材と同等

上記特性は動翼の植込み部など強度要求の厳しい部位が対象

○個別テーマ(FS)B28 航空機実装を目指した超急冷マグネシウム合金の製造基盤技術開発

研究責任者：河村 能人

熊本大学 先進マグネシウム国際研究センター センター長

参画機関： 熊本大学、住友電気工業(株)、国立研究開発法人産業技術総合研究所、(独)
労働安全衛生総合研究所

概要

航空機分野では、それまで禁止されていたマグネシウム合金の使用が解禁され、マグネシウム新時代が到来しようとしている。そのような状況で、航空機用のアルミニウム合金の代表格である超々ジュラルミンを凌駕する高強度の超急冷マグネシウム合金が我が国で開発され、航空機業界で注目されている。イノベーションを創出するためには、低コストで実用サイズの超急冷マグネシウム合金を実現して社会実装化する必要がある。

そこで、本研究開発では、従来のアルミニウム合金製ストリングを30%以上軽量化できる超急冷マグネシウム合金の低コスト・量産体制を構築することによって航空機実装化を実現するために、工程数を1 / 3にできる連続一貫システムを構成する要素技術(超急冷技術、裁断技術、予備成形技術、押出固化成形技術、安全技術)を開発し、その実証パイロットプラントの設計を行うとともに、量産に適した合金・組織設計と製造条件の確立を行う。

【FS目標】(2015年度末時点)

- ・連続一貫システムを構成する要素技術を開発し、実証化パイロットプラントの設計を完了する。
- ・材料特性の目標は、降伏強さ439MPa以上、疲労強度239MPa以上、7075-T&同等以上の耐食性、発火温度はFAA燃焼試験合格レベル。

【最終目標】(2018年度末時点)

- ・2020年に開始される次期航空機開発への採用が2019年度に決定され、2020年から素材の量産化を開始して、「ストリング」として航空機実装化を実現する。
- ・ストリングの目標サイズは、実際に実装化できるサイズとする。
- ・素材の目標価格は、2年間の運行で材料費がペイできる価格とする。

○個別テーマB32 方向制御層状TiAlタービン翼の製造技術開発

研究責任者: 安田 弘行

大阪大学 大学院工学研究科 教授

参画機関: 大阪大学、金属技研(株)、国立研究開発法人物質・材料研究機構

概要

TiAl 金属間化合物は軽量高強度で耐酸化性に優れ、その航空機への適用は機体の軽量化と燃費の向上に繋がる。本申請課題では、航空機用ジェットエンジンの高効率化に資することを目的として、電子ビーム三次元積層造形法により形状ならびに層状組織を同時制御した TiAl 低圧タービン翼の開発を行う。具体的には、同手法のプロセスパラメーターの最適化により、表面形状、寸法精度、造形密度に優れる TiAl 構造体を高効率に作製する手法を確立する。続いて、積層造形特有の結晶成長を制御し、TiAl 特有の層状組織を制御することで、TiAl 構造体の高強度化、高延性化、クリープ特性向上を達成する。最終的には、得られた知見に基づき、形状ならびに層状組織の同時制御により、力学特性ならびに材料信頼性に優れる TiAl 低圧タービン翼を作製する。

【中間目標】(2016年度末時点)

最終目標である「3D-EBM 法による層状組織制御 TiAl 低圧タービン翼の製造技術の確立」に資することを目的として、中間評価時点までは、単純形状(丸棒)の TiAl モデル構造体について、三次元形状と層状組織の同時制御を達成する。具体的には、3D-EBM 条件(ビーム出力、走査速度、走査ピッチ)ならびに熱処理条件(温度、時間)と力学特性ならびに微細組織との相関関係を表すプロセスマップを完成させる。次に、得られた知見をもとに、プロセス条件を最適化することで、寸法誤差 $\pm 0.2\text{mm}$ 以下、造形密度 99%以上、室温での降伏応力

500MPa 以上、延性 1%以上を達成した TiAl 丸棒構造体を作製する手法を確立する。さらに、層状組織の配列制御について、室温における強度の異方性指数 1.1 以上を達成する。また、TiAl を使用する上で重要なクリープ特性について、層状組織を活かした組織制御により、最小クリープ速度の 1 桁以上の減少(750 、100MPa 程度の条件)とこれに伴う使用可能温度の向上を達成する。

【最終目標】 (2018年度末時点)

3D-EBM 法により層状組織を制御した低圧タービン翼形状の TiAl 構造体を製造する手法を確立する。低圧タービン翼形状の TiAl 構造体の寸法誤差は、その複雑形状を考慮して平均 $\pm 0.2\text{mm}$ とし、それ以外(造形密度、室温強度・延性、層状組織制御、クリープ特性)の達成目標は中間評価時点の丸棒構造体に適用したそれに準ずる。

○個別テーマB33 火力発電蒸気タービンプラント用TiAl鍛造合金動翼の開発

研究責任者:吉成 明

三菱日立パワーシステムズ(株) 研究所 火力システム研究部 主管研究員

参画機関: 三菱日立パワーシステムズ(株)、東京工業大学

概要

石炭火力発電プラントの高効率化には蒸気温度の向上が有効であり、650 級プラントの需要が高まっている。これまでロータ素材の耐用温度向上が図られてきたが、フェライト鋼では 600 級での使用が限界であり、700 級 A-USC プラント用に開発されている Ni 基超合金はコスト面で課題がある。本研究では、軽量の TiAl 合金製の蒸気タービン動翼を開発することでロータに作用する応力を大幅に低減し、フェライト鋼ロータの耐用温度を 650 以上に向上させることが目的である。蒸気タービン動翼の必要特性は航空機エンジン動翼よりも低強度、高破壊靱性であるため、航空機エンジン動翼とは異なる組織制御プロセスを確立する。候補材料について動翼を試作し、製造プロセス(鍛造、切削加工)や機械特性(引張、靱性およびクリープ特性)を検証する。また、TiAl 合金を蒸気タービンに適用した例はないので、水蒸気環境中の酸化、クリープ挙動の解明および信頼性を確認する。

【中間目標】 (2016年度末時点)

有望材料成分候補の選定

- ・有望材料による動翼製造プロセス確立
- ・有望材料成分の 10^4Hr クラスの実時間クリープ強度評価完了
- ・水蒸気環境中の酸化、クリープ損傷挙動の把握

【最終目標】 (2018年度末時点)

有望材料の実機模擬動翼製造による製造性・コスト実証

- ・実機模擬動翼の機械特性がピレットと同程度
- ・有望材料成分の長時間クラスのクリープ強度評価完了
- ・水蒸気環境中における信頼性確認

耐熱合金・金属間化合物等領域の主要な研究開発の目標

【中間目標】(2016年度末時点)

- ・1500t級大型精密鍛造シミュレータを用いた、鍛造シミュレータデータベースの作製手順の整備。
- ・難加工材料プロセス条件の最適化手法検討及びデータの取得。
- ・航空機エンジン部材用ニアネットシェープ成形技術及び射出成形技術の可能性検証。
- ・TiAl金属間化合物の部材製造プロセスの基本完成。

【最終目標】(2018 年度末時点)

- ・精密鍛造シミュレータによる大型航空機用部材成型時の鍛造加工及び加工後の特性を予測可能に。
- ・最新の製造技術を利用した部材成形が完成し、工業的に応用できるレベルへの到達。

耐熱合金・金属間化合物等 所要経費

2014年度 11.525 億円

2015年度 12.892 億円(見込み)

(c) 耐環境性セラミックスコーティングの開発

担当サブPD 香川豊(東京大学 教授)

領域長 高田 雅介((一財)ファインセラミックスセンター 材料技術研究所 所長)

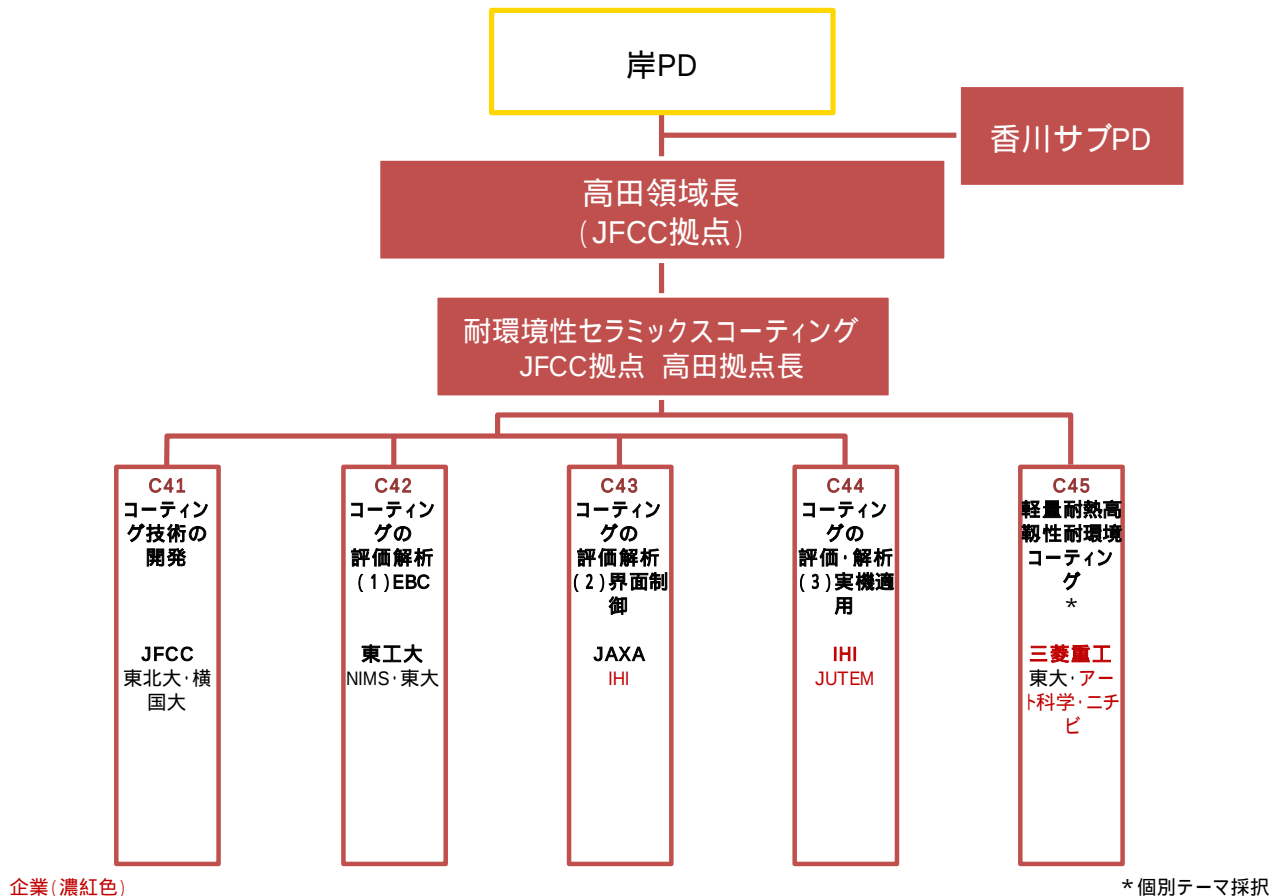
近い将来の航空機用エンジンへの軽量セラミックス材料部材利用は、より高温で材料を使うことによる高効率燃焼や廃熱を最小限に抑えた熱エネルギーの有効利用という観点からは欠かせない。エンジンの高温部分に実用化が見込まれる軽量セラミックス部材では、使用時の過酷な環境から表面を守り、部材の長時間使用を可能にする技術が、国際的に差別化された軽量セラミックス部材の実現に必要なである。

本研究開発では、耐熱・耐環境コーティング(EBC)を開発し、軽量セラミックス部材に適用することにより、航空機エンジン部材のタービン動翼・静翼、シュラウド等の大幅軽量化と使用環境下における部材の耐熱性、耐久性、並びに信頼性の飛躍的向上を可能にすることを目指す。これにより、航空機用エンジン部材の国際商品としての付加価値を高める技術確立する。国際的に未到達の 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することができる新規セラミックス材料をコーティング材料として使いこなすための技術を開発し、材料開発だけでとどまることなく、工業材料としての実機適用に速やかにつなげる。

同時に、コーティングと基材の接合の信頼性保証、重要関連技術として、開発するコーティングの使用時性能を最大限に発揮できる基材自体の開発と高性能化も行う。使用時特性を評価し、性能を保証するための研究開発も実施し、本研究開発で実現する新素材を用いて実用的に利用できる高温構造部材を作り出す総合的な技術を開発する。

本研究開発領域は、拠点テーマ 1 件、個別テーマ 1 件で構成される。図表 2 - 5 に本領域の研究体制図を示す。

(C) セラミックスコーティング領域



図表2 - 5. セラミックスコーティング領域の研究開発体制

○ 拠点テーマC41-44 耐環境セラミックスコーティングの構造最適化及び信頼性向上

研究責任者: 高田 雅介

(一財) ファインセラミックスセンター 材料技術研究所 所長

参画機関: (一財) ファインセラミックスセンター、横浜国立大学、東北大学、東京工業大学、国立研究開発法人物質・材料研究機構、東京大学、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構、(株) IHI、(株) 超高温材料研究センター

概要

航空機エンジンの燃費を改善し CO₂ 排出量を大幅に削減するためには、エンジン部材の“軽量化”と、高温の燃焼ガスに曝される部位の“耐熱性の向上”が不可欠である。特に、高圧タービン部材は高温の水蒸気を含む過酷環境に曝されるため、非常に優れた耐久性が要求される。現用の Ni 基系超合金の耐用温度は約 1100 であるが、さらなる素材改良と空気冷却等の措置を講じたとしても、現在の合金技術の延長では将来的にも 1200 の耐用温度が限界である。

一方、世界最高性能の SiC 繊維 (耐用温度は 1400) を用いて製造した SiC 繊維強化 SiC 複合材 (軽量セラミ

ックス部材)は、超合金より軽量で耐熱性に優れ、しかも、損傷許容性を有するため、この壁を打ち破る新しい材料として期待されている。しかし、軽量セラミックス部材は、約 1100 以上の高温の水蒸気環境において酸化・減肉による部材の劣化が問題となる。したがって、これを高圧タービン部材に適用するためには、部材の表面を守り長期使用を可能にする耐環境性コーティング(EBC:Environmental Barrier Coating)が不可欠である。

本研究では、軽量セラミックス部材の耐久性を飛躍的に向上させるために、繊維耐用温度1400 の酸素・水蒸気環境において長期間使用可能なEBCを開発する。また、軽量セラミックスの損傷許容性に対する耐性を高めるために、繊維表面に繊維劣化防止と損傷許容性発現機能を有するコーティングも合わせて開発する。さらに、これらのコーティング性能を最大限に発現させるため最適構造設計指針を構築するとともに、模擬使用環境での評価・解析に基づきEBCの使用限界を把握する。その結果、実用的に利用できる世界最高性能のコーティング技術が確立される。また、軽量セラミックス製造に関する従来技術との融合により、競合材を凌駕する高圧タービン部品の製造基盤技術が構築される。

【中間目標】(2016年度末時点)

- i) コーティング構成材の酸素・水蒸気透過係数を測定し、酸素・水蒸気遮蔽効果を定量的に評価すると共に、そのデータを基に、1400 の酸素・水蒸気環境下において環境遮蔽性に優れる EBC 構造、界面制御コーティング構造を確定する。また、最適コーティング構造開発を開始するために必要な設計指針を確立する。
- ii) 電子ビーム PVD 法により、軽量セラミックス基板上に環境遮蔽性に優れる EBC の要素プロセス(緻密化)を確立する。
- iii) 繊維表面に「繊維劣化防止」機能、「変形 - 破壊過程制御」機能を有する界面制御コーティングの要素プロセス(緻密化、き裂伝播経路制御)を確立する。
- iv) EBC の性能低下の支配因子を明らかにする。
- v) EBC の機械的損傷を定量的に評価するために、界面の破壊靱性値の測定とエネルギー解放率の計算に必要なデータを収集する。

【最終目標】(2018年度末時点)

- i) 開発材の高温の酸素・水蒸気環境下におけるコーティング性能(構造安定性、損傷許容性維持機能)が、ベンチマーク比較材よりも優れることを実証する。
ここで、開発材とは、界面制御コーティング繊維を用いた軽量セラミックス基板にEBCを付与したものである。
- ii) 1400 の酸素・水蒸気環境下において、開発材を長時間曝露後も、EBC構造と界面制御コーティング構造を維持することを実証すると共に、軽量セラミックス部材の力学特性(損傷許容性)も持続することを実証する。
- iii) 開発材に対して熱サイクル試験を実施しても、EBCの剥離や厚さ方向のき裂が進展しないことを実証する。
- iv) EBCの化学的損傷と熱機械的損傷の評価・解析に基づき、使用限界を把握する。
- v) 2018年内に最適コーティング構造に関する基本特許を申請する。

○個別テーマC45 軽量耐熱高靱性耐環境コーティングの開発

研究責任者:牛田 正紀

三菱重工航空エンジン(株) 技術部 部長

参画機関: 三菱重工航空エンジン(株)、東京大学、(株)アート科学、(株)ニチビ

概要

航空機用エンジンにおいて、従来のコーティングは、機能材として酸化防止や水蒸気透過抑止などの役割を担っていた。本研究開発では、コーティングを構造材として捉え、靱性の低いセラミックス材料の靱性向上を目的として、以下の4項目について技術開発を実施する。

(i) 低コスト高靱性化材料プロセス技術：安価な酸化物系セラミックス繊維を用いた平板状セラミックス基複合材料をコーティング材料(構造材)としてセラミックス系材料表面に貼り付け高靱性化する。

(ii) 低コスト耐熱性繊維製造技術：国産酸化物系セラミックス連続繊維の耐熱性を向上する。

(iii) 耐環境コーティング技術：遮熱・アブレーダブル性を持ったコーティング施工により実環境での使用能力を向上する。

(iv) 材料・部品の評価・設計技術：材料特性評価や設計データ取得をするに止まらず、実部品模擬形状を用いた実機環境模擬試験により部材評価を実施する。

【中間目標】(2016年度末時点)

平成 26～28 年度は「材料レベル」の開発を行い、平成 28 年度には耐環境性セラミックスコーティング材料の確定、材料製造基本プロセス技術の確立、及び材料基本特性の評価を完了する。

(i) 「低コスト高靱性化材料プロセス技術」、及び(iii) 「耐環境性コーティング技術」としては基本プロセスの確立、及びプロセス最適化を行う。(ii) 「低コスト耐熱性繊維製造技術」では繊維単体での耐熱性向上の研究を行い、焼成条件の適正化、耐熱性影響因子を明確化し、(i) 「低コスト高靱性化材料プロセス技術」へのフィードバックを行う。(iv) 「材料・構造の設計評価技術」にて高靱性化メカニズムの解明(破壊メカニズム同定)、材料基本特性の評価、熱衝撃特性、耐剥離性の評価を行い、(i)、(ii)、(iii)での成果を元に耐環境性セラミックスコーティング材料の確定を完了させる。また、部品設計を開始し、燃焼器パネル・タービンシュラウド部品の強度検討を並行して行う。

【最終目標】(2018年度末時点)

平成 29～30 年度は「部品レベル」の開発を行い、平成 30 年度には実部品模擬形状への耐環境性セラミックスコーティング施工技術の確立、耐環境性セラミックスコーティングの耐熱性向上、及びその設計手法の設定を完了する。

(i) 「低コスト高靱性化材料プロセス技術」、及び(iii) 「耐環境性コーティング技術」としてはプロセス最適化を継続し、かつ模擬部品として燃焼器パネル・タービンシュラウド部品の形状試作を行う。(ii) 「低コスト耐熱性繊維製造技術」では複合化材料評価の特性改良により繊維の耐熱性を 100 向上させ、(i) 「低コスト高靱性化材料プロセス技術」での模擬部品形状試作にフィードバックを行う。(iv) 「材料・構造の設計評価技術」にて、製造コスト評価、部品模擬形状に対する実環境模擬評価、システム全体として 1400 級主流温度での耐熱性確保の評価を行い、高靱性化メカニズムに基づく設計手法の設定を完了させる。

セラミックスコーティング領域の主要な研究開発の目標

【中間目標】(2016年度末時点)

- ・1400 級の耐高温過酷環境機能を持つコーティング材料の確定。
- ・コーティング技術の基本を完成し、効果の検証を完了。
- ・必要な周辺技術課題の開発方針を明確化。
- ・最適コーティング構造開発を開始するために必要な設計指針を確立する。

【最終目標】(2018年内)

- ・1400 級コーティングが高温過酷雰囲気、部材の点検間隔時間以上機能するための材料及びプロセス技術の完成。
- ・コーティングを最大限活かすための周辺技術の完成と、応用技術へ速やかに展開を可能に。
- ・2018年内に最適コーティング構造に関する基本特許を申請する。

セラミックスコーティング 所要経費

2014年度 5.230 億円

2015年度 3.326 億円(見込み)

(D) マテリアルズインテグレーション

担当サブPD 香川豊(東京大学 教授)

領域長 小関 敏彦(東京大学 大学院工学系研究科 教授)

マテリアルズインテグレーションとは材料工学を中心として、既存の理論や実験、シミュレーション等の計算機科学的手法、データベース、マテリアルズ・インフォマティクスなどの情報学などを融合するとともに、不足している知見を俯瞰し、材料使用時のパフォーマンス特性を知るためのツール及びこのツールを開発するために必要な周辺技術であると定義する。構造材料の分野で、継続的にイノベーションを起こすことを目的に、理論、実験、計算科学を駆使し、得られた知見のデータベース化をすすめて、要求された性能の構造材料を短期間に設計・製造する方法論を構築する。構造材料の開発には、多種多様の分野の知識が必要であり、しかも、構造材料が長い時間にわたり用いられることを考慮しなければならない。材料の使用環境下における、長時間後の材料の劣化状態を知ることや、材料の使用時特性としてのパフォーマンスの時間的変化を理解し、研究開発にフィードバックすることは研究開発時間の短縮化に大きく貢献できる。しかし、シミュレーションのような計算機科学の延長だけでは、限られた範囲のデータから実用化に必要な未知の特性を予測したり、長時間使用した後の特性を予測することは難しい。

将来の航空機産業における国際的な競争の中でいち早く材料から部材までの一貫した開発を行い、早期実用化に結びつけるためには、経験に頼る開発から脱皮し、新しいコンセプトに基づいて、利用加工技術や使用時特性の予測等、材料から構造体に至るまでのパフォーマンスを予測することが役立つ。これを実現するマテリアルズインテグレーションの手法は研究開発時間の短縮に役立つ構造材料の開発ツールになりうるものである。

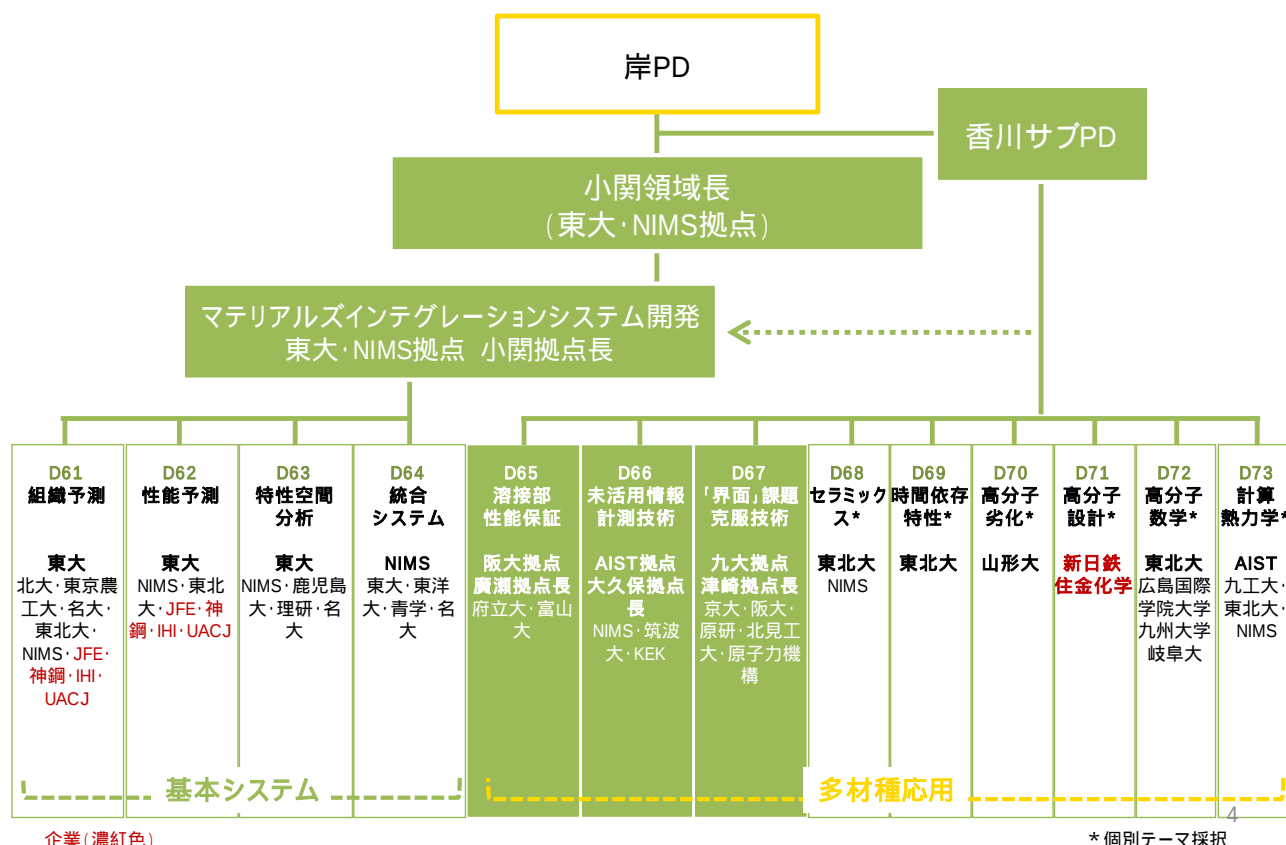
マテリアルズインテグレーションに類する取り組みが、国際的に盛んになっており、我が国でもこの潮流に乗り遅れることなく取り組む必要がある。

マテリアルズインテグレーションを実現するために、近年の計算機科学、ネットワーク技術、データマイニング、数理解析、実験、データベースなどの技術・情報を融合し、構造体の使用環境における性能や性能

の時間変化を予測可能とするシステムを開発する。さらに、このシステムを使うことにより、限られた範囲の特性測定から、材料全体の性能が俯瞰できるような計算機を利用した手法を提供する。ここで開発するツールは、航空機産業以外にも利用でき、高度な専門知識がなくても利用できる、ユーザーインターフェース、柔軟なデータ構造を備えるなど、将来の利用形態も考慮して開発を行う。

本研究開発領域は、拠点テーマ4件、個別テーマ6件で構成される。図表2-6に本領域の研究体制図を示す。

(D) マテリアルズインテグレーション領域



図表2-6. マテリアルズインテグレーション領域の研究開発体制

○ 拠点テーマD61-64 マテリアルズインテグレーションシステムの開発

研究責任者: 小関 敏彦

東京大学 大学院工学系研究科 教授

参画機関: 東京大学、国立研究開発法人物質・材料研究機構、東北大学、北海道大学、東洋大学、青山学院大学、東京農工大学、名古屋大学、鹿児島大学、国立研究開発法人理化学研究所、JFEスチール(株)、(株)神戸製鋼所、(株)IHI、(株)UACJ

概要

本研究開発は、多様な素材、プロセスから製造されて部材や構造体に用いられる構造材料の組織と時間依存の性能の予測を、理論や経験則、数値モデリング、データベースなどの融合(インテグレーション)から可能と

するマテリアルズインテグレーションシステム(MI)の構築を目的とする。数値モデルの高度化に加え、データを活用した情報統計工学のアプローチを重畳して複雑系の材料組織・性能の予測を行い、これまで試行錯誤と長期の特性評価を要した材料開発の期間を大幅に短縮し、効率的な開発を可能にするとともに、材料の製造や利用加工のプロセスの最適化、構造体設計における材料選択の最適化、構造体の信頼性予測や診断の精度向上をも可能にする。これによって材料開発や構造体の設計・製造を強力に支援し、それに関わる産業の競争力に寄与する。

この構想するMIシステムを構築するため、実用的にも重要な高強度鋼溶接部の組織予測と、それに基づく疲労、クリープ、脆性破壊、水素脆化の各性能予測を例題として取り上げ、MIシステムの中核コンテンツである「組織予測システム」、「性能予測システム」を、それぞれを構成するモジュール群と併せて開発するとともに、それらの予測をデータベースの構築と情報統計工学から支援する「特性空間分析システム」、さらに以上の3システムを統合しMIシステムとして機能させる「統合システム」を開発する。組織予測、性能予測、特性空間分析のシステム、およびそれぞれが必要とするモジュール群の基本的な開発は当初3年を目途に行い、その後、それらの検証を行いつつ、連結した統合システムの開発を進め、全体を5年で完成させる。また開発したシステムをアルミ合金溶接部へも展開する。ユーザーとの連携を図るため、早い段階で想定されるユーザーへのヒアリングを進めシステム設計に活かす。

【中間目標】(2016年度末時点)

個別テーマ「組織予測システムの開発」

材料の基本成分系を定め、それに対応する組織予測のモジュール群のプロトタイプを作成し、実際の組織データと比較検証する。

個別テーマ「性能予測システムの開発」

組成、組織、使用条件を入力条件として、材料の疲労・クリープ・水素脆化・脆性破壊を予測するための計算モジュール、データベースモジュールのプロトタイプを作成し、検証する。

個別テーマ「特性空間分析システムの開発」

組織・性能・プロセスデータのデジタル・アーカイブ化と可視化、データ駆動型手法に基づく組織予測・性能予測手法に関するプロトタイプを作成する。

個別テーマ「統合システムの開発」

組織予測、性能予測、特性空間分析、各システムのプラットフォームの基盤を作成する。

【最終目標】(2018年度末時点)

個別テーマ「組織予測システムの開発」

フェーズフィールド法を用いた実用鋼溶接部の組織予測システムを作成し、各システムと統合させる。

個別テーマ「性能予測システムの開発」

実用鋼溶接部での疲労・クリープ・水素脆化・脆性破壊を予測するための性能予測システムを作成し、各システムと統合させる。

個別テーマ「特性空間分析システムの開発」

実用鋼溶接部での組織予測や性能予測の高精度化をデータ駆動型予測によって支援するシステムを作成し、各システムと統合させる。

個別テーマ「統合システムの開発」

組織予測、性能予測、特性空間分析、各システムを統合・実装した統合システムを完成する。

○ 拠点テーマD65 溶接部性能保証のためのシミュレーション技術の開発

研究責任者：廣瀬 明夫

大阪大学 大学院工学研究科 教授

参画機関：大阪大学、大阪府立大学、富山大学

概要

本研究開発では、マテリアルズインテグレーションの具体的課題として、構造物の組立て技術の基幹となる溶接技術を対象とする。溶接部では溶融凝固に伴いミクロ組織が変化し、欠陥が発生するため、溶接継手性能の保証が課題となっている。そこで、溶接熱源により溶融部が形成される過程、凝固プロセスを経て、割れなどの欠陥が発生する現象、急速な熱サイクルによるミクロ組織の形成過程、そして最終的に形成される溶接継手の性能を総合的に予測するシミュレーション技術の開発を目的とし、下記の 3 個別テーマを実施して、研究開発を行う。

1) 溶接熱源のモデル化とそれによる溶融池形成予測技術の開発：熱源モデルと溶融池形成モデルを連成することにより、溶接条件を入力するだけで、3次元空間でのダイナミックな変動を伴う熱源の発生、母材への熱輸送、溶融池形成を時系列に出力する数値シミュレーション技術を開発する。加えて、溶接施工中の溶融池形状をその場で計測できるレーザ超音波による計測システムを開発し、シミュレーションによる溶融池形状の予測と照合する。

2) 凝固・組織変化を伴う溶接部の特性予測技術の開発：溶接金属における溶融・凝固現象とその後の冷却過程における組織形成予測技術を開発する。次に、その結果を用いて、それらに起因する溶接部の特性変化を予測するツールを開発するとともに、溶接欠陥（溶接高温割れ）発生を予測するシミュレーション技術も構築する。

3) 溶接継手の性能予測技術の開発：実溶接継手の性能（静的／動的破壊強度、疲労破壊強度／寿命）を、溶接部の基礎特性から定量的に評価・予測する技術の開発に取り組む。そのため、継手性能を支配する材料特性を明確にし、その情報のみからパラメータ同定可能な材料特性融合型の先進破壊モデリングを提案するとともに、本モデルによるシミュレーションベースの継手性能予測手法を構築し、その妥当性を検証する。

【中間目標】（2016年度末時点）

個別テーマ1

- 1) 電極現象とアークプラズマ現象の相互作用を考慮に入れたアーク熱源モデルの開発（国際的に未踏領域を踏破）
- 2) 光のエネルギー束と金属との相互作用を考慮に入れたレーザ熱源モデルの開発
- 3) 熱源モデルと溶融池形成モデルの統合化の基本デザイン完了（世界初）

個別テーマ2

- 1) 高温割れ発生の冶金因子として、高温割れの組織形成および凝固・偏析シミュレーション技術を開発する。
- 2) 高温割れ発生の力学モデルとして、溶接凝固過程の応力・ひずみを解析し、冶金的割れ発生条件とリンクさせて高温割れの発生モデルを構築する。
- 3) 溶接熱サイクル過程における組織形成・組織予測シミュレーション技術を開発する。

個別テーマ3

- 1) 多層溶接継手の各種性能予測に必要な溶接部材料の機械的特性を提示する(データベース化すべき新たな機械的特性の提示)。
- 2) 上記の材料特性からパラメータ同定可能な数理損傷・破壊モデルを構築する。
- 3) 多層溶接継手の性能評価・予測シミュレーション法の構築とその妥当性を基礎検証する。
- 4) 微小領域の特性評価試験および評価技術を構築する。

【最終目標】(2018年度末時点)

個別テーマ1

- 1) 開発モデルを各企業で試用し、実用性の検証
- 2) レーザ超音波法による溶融池形状のインプロセス検証技術の開発(世界初)
- 3) レーザ超音波法等による実験観察とシミュレーション予測とを検証し、本開発を達成(世界初)

個別テーマ2

- 1) 冶金+力学融合モデルによる割れ発生予測技術を開発し、割れ発生のハザードマップを提示し、その妥当性を実験的に検証する。
- 2) 溶接多重熱サイクル過程における組織形成・組織予測シミュレーション結果を可視化して、多層盛溶接部の組織分布を提示する。
- 3) 先進的数理モデルを用いて多層盛溶接部における硬さ、靱性や耐食性などの特性を予測し、特性分布として可視化する。

個別テーマ3

- 1) 実験により、構築した多層溶接継手の性能予測シミュレーション手法の妥当性を検証する。
- 2) 継手性能向上のために多層溶接部材料に要求すべき機械的特性の制御指導原理を提示する。
- 3) 要求特性を実現する溶接プロセス制御指針提示への展開を図る。

○拠点テーマD66 構造材料の未活用情報を取得する先端計測技術開発

研究責任者:大久保 雅隆

国立研究開発法人産業技術総合研究所 エレクトロニクス・製造領域研究戦略部 上席イン
ベーションコーディネータ

参画機関: 国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立研究開発法人物質・材料研究機構、筑波大学、
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構

概要

構造材料開発では、これまではノウハウや経験により破壊、劣化、腐食といった問題を解決してきた。本提案では、耐熱性と耐環境性向上のための4つの材料工学的観点、すなわち1. 亀裂と応力、2. 軽元素と添加元素、3. 異相界面と基材組織、4. 空孔欠陥に注目し、これらを多面的に観察可能な自主開発を含む高度な先端計測手法を導入して、革新的構造材料開発における課題解決に当たる。優れた性能を発揮する因子や劣化現象メカニズムの定量的解明を行い、耐熱性や耐環境性の向上、部材開発の短時間化、製造プロセスの省エネルギー化、性能予測と寿命予測に貢献する。

構造材料の課題解決における未活用情報の1つは、測定すべき対象が顕在化しているが一般的な装置では計測が困難なものである。従来、構造材料の劣化発生後の形態観察が主であったが、劣化発生前前駆状態の検知や、構成元素の結合力を決めている化学結合状態(電子状態)の解析といった見地から、放射光、イオン加速器、陽電子プローブ、アトムプローブ、超伝導検出器といった計測技術を組み合わせて、未活用情報を取得する。未活用情報のもう1つは、未活用情報が何であるのか顕在化していない場合である。先端計測拠点では、大型先端計測施設から市販装置まで幅広く駆使して、未活用情報の発見にチャレンジし、構造材料の開発期間を一桁短縮するためにマテリアルズインテグレーションに提供する。

【中間目標】(2016年度末時点)

樹脂、セラミックス、金属といった幅広い材料から構成される構造材料の計測において、拠点体制構築と、計測ボトルネックとなっている変位(応力)と亀裂、微量軽元素と添加元素、異相界面と基材組織、空孔欠陥において、新たに以下の手法確立を完了する。

共通テーマ:多面的総合計測体制の構築

本 SIP 最先端計測施設、他事業の共用機器、受託分析を総合的に活用して、顕在化している未活用情報を取得、あるいは顕在化していない未活用情報を発見できる拠点体制を構築する。

個別テーマ1:残留応力と亀裂の計測手法の確立の開発

サンプリングモアレ法を用いて、周期パターンの1/1000の精度:1 nm - 1 mm、空間分解能:1 μ m - 1 mmを有する変位(応力)計測手法を確立する。50 nmの空間分解能での3次元形態と化学状態イメージング(X線吸収分光コンピューター断層撮影法: XAFS-CT)を実現するための、要素技術としてX線イメージング拡大装置を完成させる。

個別テーマ2:軽元素と微量添加元素の計測手法の確立

イオンビームを使用して、構造材料中の水素イメージングを実現する。微量軽元素(B, C, N, O)のイメージングのために、粒子線励起X線(PIXE)マイクロビームラインを完成させるとともに、超伝導X線検出器と組み合わせて、微量軽元素の多元素同時定量分析ができることを実証する。

個別テーマ3:異相界面と基材組織の計測手法の確立

収束イオンビーム走査型電子顕微鏡、3次元アトムプローブなどを組み合わせたナノスケールの3次元イメージング手法を確立する。

個別テーマ4:空孔欠陥計測手法の確立

電子の反粒子である陽電子を使って、1000 Åまで空孔欠陥のサイズ、濃度測定が可能な欠陥計測手法を確立する。

- 以上の中間評価までに確立する最先端物理化学ナノ計測手法開発に加えて、稼働中あるいはプロジェクト初期に改造が終了する先端計測装置(3次元アトムプローブ、放射光CT、高温環境下その場TEM、

FIB-SEM、SIMS、微量軽元素超伝導 XAFS、高温陽電子空孔欠陥計測、イオンビーム水素分析等)を下記の材料系の解析に適用する。未活用情報を取得し、マテリアルズインテグレーションのために提供する。

- ・樹脂:成形条件、硬化条件、機械的特性と分子間空隙(自由体積)の関係を明らかにする。
- ・FRP:外力印加による亀裂の進展過程を解明する。
- ・セラミックス:セラミックスコーティング中の金属元素の化学状態を解明する。
- ・金属:時効時のナノ析出物と格子欠陥の関係を解明する。
- ・金属:水素脆性破壊における水素分布と格子欠陥の関係を解明する。
- ・金属:クリープ、疲労試験を行い格子欠陥の変化と寿命の関係を明らかにする。
- ・金属:耐熱鋼、高張力鋼などの微量軽元素の化学状態をX線吸収分光(XAFS)により解明する。

【最終目標】(2018 年度末時点)

共通テーマ:多面的総合計測体制の構築

日本国内に加えて海外からも革新的構造材料サンプルがつくばに集まる体制を構築し、構造材料開発の総合大学病院として機能する。

下記個別テーマの先端計測手法を活用して、マテリアルズインテグレーションの計算モデル構築、精度向上、性能向上のために未活用情報を提供するとともに、性能および寿命予測に貢献する。

個別テーマ1:残留応力と亀裂の計測手法の確立の開発

構造材料の寿命、破壊、強度の大きな支配因子である残留応力と亀裂を計測し、ボイド生成→亀裂発生・進展→破壊にいたるプロセスの制御に必要な計測技術として、nm から mm のマルチスケールに対応するモアレ法技術を確立する。ナノスケールの 3D 形態に加えて化学状態まで 3D イメージングできる X 線吸収分光 CT(XAFS-CT)装置を完成させる。

個別テーマ2:軽元素と微量添加元素の計測手法の確立

構造材料の亀裂発生、強度変化に大きく影響する水素などの軽元素や微量添加元素について、イオン加速器、軽元素用超伝導検出器等を用いた定量性の高い計測手法を確立し、多元素同時マッピング(空間分解能:500 nm から数 mm)と従来不可能だった微量軽元素側から見た化学状態分析手法を確立する。

個別テーマ3:異相界面と基材組織の計測手法の確立

従来の電子顕微鏡観察技術は、構造材料表面や薄片の観察のみ(2次元、断面観察)であり、空間的に入り組んだ3次元形状が不可能であるので、種々のナノ先端観察手法を駆使し、nmレベルの空間分解能で、材料組織・元素2次元&3次元イメージング技術及び、構造材料使用環境下の計測手法を確立する。

個別テーマ4:空孔欠陥計測手法の確立

実用構造材料において、亀裂発生前の前駆段階から劣化進展(亀裂発生、水素脆化)に伴う空孔欠陥の変化を計測する手法を確立し、劣化進展度、破断寿命と空孔との相関データベースを構築する。

構造材料の低コスト生産実現のために、製造プロセス条件と分子間ナノ空隙との関係を解明する陽電子計測手法を確立する。

○ 拠点テーマD67 「界面」を通じた、構造材料における未解決課題克服のための技術構築

研究責任者：津崎 兼彰

九州大学 工学研究院 教授

参画機関：九州大学、北見工業大学、京都大学、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構、大阪大学

概要

我が国の材料科学・工学は高い国際競争力を有しており、学術および産業の両面で世界をリードする立場にある。構造材料の革新は社会を大きく前進させる。そして環境問題など新たに生起する社会からの要請に応えるため、構造材料には特性改善の厳しい要求が絶え間なく突きつけられている。しかし、構造材料と一言でいってもその種類は多岐にわたり、幅広い学問分野にまたがっている。本研究開発は、マテリアルズインテグレーションの機能の一部を担うことを目的とし、「界面」をキーワードにいくつかの先端的研究を実施して、SIP・革新的構造材料の成功に貢献しようとするものである。

本研究開発では、次の5つの研究課題(個別テーマ)を、SIP・革新的構造材料の成功に欠かせない具体的なテーマとして取り上げ研究する。

- (1) 疲労と破壊の科学
- (2) 界面組織形成と力学特性の科学
- (3) 鋳造と凝固の科学
- (4) 第一原理からの水素脆性メカニズム解明
- (5) 大規模計算科学による高温セラミックス材料の基礎特性の解明

これらは凝固、相変態、変形、再結晶、粒成長を通じた構造材料の組織形成と、疲労、クリープ、水素脆化、破壊という材料の性能支配因子に関連するものである。本課題は、例題としての個別テーマを解決するだけではなく、様々な構造材料に汎用的に適用可能で材料開発を加速できるような基礎基盤ツールと汎用的データを提供し、材質予測理論の構築によって、画期的材料の設計、材料特性・パフォーマンスの予測と開発期間の大幅短縮に資することを目的としている。また文部科学省や経済産業省などで実施されている様々な構造材料プロジェクトとSIPを連携する「界面」の役割も果たす。本課題の成果は、材料に関する学問そのものを鍛えるとともに、国の財産となる構造材料の持続的イノベーション基盤を強化し、社会に大きく貢献する。

【中間目標】(2016年度末時点)

実用展開を担う企業との継続的な討議を行い、目標スペックと求められる基礎データを精査し、開発加速に必要な材質予測のための基礎データを確実に取得する。

各個別テーマのマイルストーンは以下のとおりである。

「疲労と破壊の科学 / 多種・多数界面とき裂の相互作用シミュレーション」

評価手法の確立とともに α/β チタン合金およびモデル合金のき裂進展と界面の関係を解明する。さらに疲労に対する最弱組織、最強組織、最適組織を明確化する。

「界面組織形成と力学特性の科学 / $\alpha+\beta$ チタン合金の粒径・形態・界面組織の制御と基礎力学特性解明」

α ・ β チタン合金における高温加工(鍛造)時の組織形成機構と粒界・界面構造の解明を達成する。さらに室温力学特性と高温クリープ特性にとって好ましい材料組織パラメータを定量的に提示する。

「鑄造と凝固の科学 / 単結晶 Ni 基超合金の凝固現象の基礎解明と単結晶鑄造モデル構築へのデータ提供」

単結晶 Ni 基超合金の溶質元素の分配・密度変化について放射光 X 線イメージングを利用した測定手法の開発する。さらに X 線イメージングを利用し、鑄造欠陥の予測に利用できる実合金の液相透過率を評価する。

「第一原理からの水素脆性メカニズム解明」

鉄鋼材料の水素誘起粒界割れに関して、割れ発生限界水素濃度の存在の妥当性を検証する。

「大規模計算科学手法による高温セラミックス材料の基礎特性の解明」

大規模計算科学的手法により、実験グループとの高温セラミックスコーティング材料の基礎物性データの相互的提供する。さらに基礎物性面からの 1400 級高温セラミックス部材の最適化の検討を行う。

【最終目標】(2018年度末時点)

様々な構造材料に汎用的に適用可能で材料開発を加速できるような基礎基盤ツールと汎用的データを提供し、材質予測理論の構築によって、画期的材料の設計、材料特性・パフォーマンスの予測と開発期間の大幅短縮に資する。

各個別テーマにおける最終目標は次のとおりである。

「疲労と破壊の科学 / 多種・多数界面とき裂の相互作用シミュレーション」

チタン合金の疲労寿命のばらつきについて、結晶塑性論、転位論、破壊力学に基づく統一的理解を達成する。それに基づき、チタン合金におけるき裂進展速度と不均一マイクロ組織の関係、さらに使用条件(温度、周波数、部材形状)を取り込んだ低サイクル疲労に関する寿命予測モデルを構築する。

「界面組織形成と力学特性の科学 / α ・ β チタン合金の粒径・形態・界面組織の制御と基礎力学特性解明」

α ・ β チタン合金において形成される種々の複雑なマイクロ組織の成り立ちと特徴を定量的に解明し、室温力学特性、低サイクル疲労特性、クリープ特性向上のためにそれぞれ最適な(および好ましくない)組織および粒界・界面構造を特定する。その上で、熱間加工による材質制御理論を構築し、モデル化する。

「鑄造と凝固の科学 / 単結晶 Ni 基超合金の凝固現象の基礎解明と単結晶鑄造モデル構築へのデータ提供」

鑄造時の欠陥および合金元素の偏析挙動を観察・測定する最先端かつ実証的な手法を確立し、提案する。これによって Ni 基単結晶超合金における偏析原理の科学的解明と、分配係数・液相密度変化・透過率のデータ提供を行い、Ni 基単結晶超合金の鑄造方案設計の効率化に寄与する。

「第一原理からの水素脆性メカニズム解明」

鉄鋼材料の水素誘起粒界割れ及び擬劈開割れに関して、割れ発生限界水素濃度の妥当性を検証する。

「大規模計算科学手法による高温セラミックス材料の基礎特性の解明」

大規模計算科学的手法による基礎物性計算を併用し、1400 級高温セラミックス部材開発を高効率化するとともに、更なる製品開発サイクル加速の為に計算科学面からの普遍的知識・応用手法を獲得する。

○個別テーマD68 高温物質移動および組織の時間依存挙動のシミュレーション技術開発

研究責任者: 松原 秀彰

東北大学 大学院環境科学研究科 教授

参画機関: 東北大学、国立研究開発法人物質・材料研究機構

概要

ジェットエンジン用のセラミックスコーティング膜の組織形成(多孔質構造など)、組織変化挙動(気孔や空隙の消滅、焼結、粒成長など)、気孔・空隙消滅(収縮)によるひずみの発生のシミュレーション技術確立。それらをもとにセラミックス膜の特性変化(機械的性質、熱伝導率など)、さらには膜の損傷、剥離(コーティング寿命)の予測、性能の最適化を可能とする設計技術開発を行う。そして、次世代のジェットエンジンのコーティング技術である耐環境コーティング(EBC)の構造最適化等を効率化するツール(モジュール)に発展させる。

【中間目標】(2016年度末時点)

セラミックスコーティングの多孔質構造形成のシミュレーション技術を開発する。また、気孔消滅、焼結ひずみなどの構造(組織)変化のシミュレーション技術を開発する。

【最終目標】(2018年度末時点)

セラミックスコーティングの損傷・剥離、寿命予測技術としてのシミュレーション技術確立。また、実験および理論的観点からのシミュレーションの検証を行うことにより、耐環境コーティング(EBC)等などのセラミックスコーティングの研究開発を効率化させるツール(モジュール)に発展させる。

○個別テーマD69 計算機を用いた材料支援技術への時間依存特性導入技術

研究責任者: 毛利 哲夫

東北大学 金属材料研究所 教授

参画機関: 東北大学

概要

構造材料の強度は、ミクロスケールにおける電子の挙動や原子間結合に起因し、メソスケールにおける内部組織や欠陥挙動によって支配されるマルチスケール現象である。強度を対象にした従来のマルチスケール計算は空間スケールに集中しており、時間のマルチスケール性を陽に取り扱っていない。変形、破壊等は全て時間依存の現象であり、さらに材料中の析出、再結晶、回復等の相変態現象も安定平衡状態への時間発展過程である。本研究では、セラミックス材料を対象に、フェーズフィールド法を始めとする内部組織の時間発展過程を記述する方程式に現れる時定数や、拡散係数、緩和係数等の時係数を、電子構造に基づいて原子スケールから記述する手法を開発する。そして材料の動的現象に関わる実験の解析や計算の実行に必要な時定数、時係数の算出の汎用的ソフトウェアを提供し、マテリアルズインテグレーションのインフラ確立に寄与する。

【中間目標】(2016年度末時点)

モデル系酸化物を対象に、材料設計・開発に必要な、熱力学量(相平衡)および kinetics パラメータの計算手法

を確立する。具体的には、第一原理からの相平衡の計算に加え、原子移動の際の活性化エネルギーと試行振動数を電子状態計算とフォノン計算から算出して拡散係数を求め、これを経路確率法に導入して第一原理から kinetics の計算を行う。セラミックス材料群へ手法の汎用化を図り、フェーズフィールド法へのマッピング手法の開発を行う。

【最終目標】(2018年度末時点)

高温用耐熱部材を対象にして、セラミックスを中心にした相平衡と kinetics パラメーターの計算ツールとデータ(ベース)を提供する。特に、通常の実験では容易にアクセスできない熱力学量や kinetics パラメーターを高精度で求めることに重点を置く。中間評価時点では、これらの熱力学データや kinetics パラメーターの導出手法の確立に焦点を置いたが、研究開発終了時には、数値データのベース化とこれらを利用した内部組織の計算結果および計算ツールの提供も行う。

○個別テーマD70 高性能高分子材料の長期時間依存特性の予測技術の開発

研究責任者:栗山 卓

山形大学 大学院理工学研究科 教授

参画機関: 山形大学

概要

高性能高分子材料開発はおもに短期的性能の向上を目指し、その後に長期耐久試験が行われる。この間に性能低下が著しい場合、再度材料設計の変更が要求される。したがって、高性能材料開発の期間短縮には信頼できる人工促進試験が不可欠なものとなるが、現在の促進試験の多くは外環境因子の負荷を加速させるだけであり、実環境使用で形成される材料損傷が再現されていない問題がある。本開発では、これらを解決するため、新たな長期時間依存特性の予測技術を開発する。すなわち、長期の使用環境による高分子材料の経時的不均一構造を、マルチスケール解析から構造形成パラメータを抽出し、マクロな物理化学機構と新たに開発する不均一場数表現を接続させ、計算機上もしくは促進試験機上で損傷構造を再現させる。さらに、そのとき力学性能としての強靱性を予測できるシステムとのリンクにより、材料性能予測も行う。

【中間目標】(2016年度末時点)

- 1) 損傷構造形成速度構成式を決定しそれらを予測できる数理手法を提案する。
- 2) 実験室促進試験による損傷構造制御方法を確立する。
- 3) 熱硬化性樹脂の強靱性発現モデルを確立する。

【最終目標】(2018年度末時点)

屋外劣化損傷を含めた高分子材料の経時的な不均一構造形成とそのときの強靱性発現に相關する構造パラメータの抽出を可能とする構成則を持つ基本システムを提案し、それを計算機シミュレーションもしくは促進試験機に移植し新規高性能高分子材料開発に必要な長期時間依存特性の予測技術開発する。

○個別テーマD71 構造用高分子材料の実用型最適設計・総合評価支援ツールの開発

研究責任者:藤元 伸悦

新日鉄住金化学(株) 機能材料研究所 研究員

参画機関: 新日鉄住金化学(株)

概要

高分子系複合材料開発を対象とし、使用特性・性能における最高性能を実現させるための、解析技術とシミュレーション技術を融合させた最適設計および総合評価を支援する実用型のツールを開発する。開発するツールにより、樹脂マトリックスならびにフィラーとの新生界面での硬化反応挙動を明確にすることを通して、研究開発期間の短縮、エポキシ樹脂の最大性能を発現させると同時に複合材料の最高性能の実現、簡易プロセスでの製造の高速化に寄与することを可能にすることを目指す。

具体的には、CFRP 樹脂マトリックスおよび界面層での硬化反応シミュレーションモジュールの開発に取り組み、高分子材料の持つ共有結合性を最大限に活用できる技術(プロセス技術)の開発に繋げる。

【中間目標】(2016年度末時点)

・硬化反応過程に関するシミュレーションモジュールのプロトタイプを完成させる。

【最終目標】(2018年度末時点)

・硬化物の不均一性が物性値に及ぼす影響を明らかにし、シミュレーションモジュールを完成させるとともに硬化実験と解析の結果をデータベース化し、これらを統合させたツールとして完成させる。CFRP 構成樹脂材料開発への適用に必要な主要技術が全て整備され、応用が速やかに行える状況にする。

○個別テーマD72 マテリアルズインテグレーションへの数学的アプローチ技術開発

研究責任者: 西浦 廉政

東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 教授

参画機関: 東北大学、広島国際学院大学、九州大学、岐阜大学

概要

本課題では、新たなデータ駆動型数理解析手法として、幾何学的マテリアルズインテグレーションを提唱し、最先端計測との連携を通じて高分子、アモルファス、金属などに現れる劣化・破壊・亀裂現象の統一的解明に取り組む。特に、計算ホモロジー・フェーズフィールド法・離散幾何を融合させたマルチスケール幾何解析法を構築し、実験データに内在する幾何構造の階層性やそれらの時間発展を抽出する手法を開発する。さらに、ここで提案される手法を融合させたトポロジカル材料開発シミュレータを開発する。パーシステントホモロジーに代表される計算ホモロジーを、フェーズフィールド法やMDシミュレーションといった従来の数理解析手法と連携させ、さらに実験データの解析へ応用する本課題は、非常に独創的な新手法を材料科学の分野に提案するものであり、材料科学全般への広い波及効果が期待される。

【中間目標】(2016年度末時点)

「個別テーマ1」

到達目標: 高精度計測データに基づく高分子材料系に対するミクロマクロ連関による劣化・破壊予測のための粗視化数理モデルのプロトタイプ作成を実施する。

研究題目:マイクロマクロ連関による劣化・破壊予測の数理的手法の開発

到達目標:マイクロレベルでの複数の異なる高精度計測データに基づき,高分子系を対象にその劣化に関わる幾何学的変形の数理的特徴付けを行う.それらをメゾ,マクロのレベルへ連関させるためにトポロジー的手法の知見を援用しつつ粗視化数理モデルのプロトタイプを作成を行う.材料劣化に対する計測可能な物性変数によるフェーズフィールドモデルを用いた数理モデルを構築する.さらに,このモデルの解析のために数値シミュレーションコードを開発し,計測結果から得られた知見との整合性を検討する.

研究題目:数理解析と連動した高分子の劣化・破壊現象のナノスケール観測

到達目標:ナノ触診原子間力顕微鏡(AFM)を活用し,プラスチック材料の応力下におけるクレイズ発生前後の力学物性変化を捉え,データ同化型粗視化シミュレーションモデルとの連携を目指す.また多数クレイズネットワークデータ(ナノ触診 AFM 画像)を数理解析グループに提供し,パーシステントホモロジーを適用する新たな数学解析方法の導入に資する.

研究題目:蛍光X線ホログラフィー法とオングストローム電子線回折法を連携させた構造材料の劣化メカニズムの解明

到達目標:合金系に対して,蛍光X線ホログラフィー法から得られる局所構造の情報を2~3nmの範囲まで拡大し,オングストローム電子線回折法からは欠陥構造の空間分布の情報が得られるようにする.

「個別テーマ2」

到達目標:材料劣化実験データやエポキシ樹脂等のMDシミュレーションデータに計算ホモロジー法を適用し,劣化・破壊に伴う構造変化を明らかにする.

研究題目:時空間計算ホモロジー理論構築とアルゴリズム開発

到達目標:通常のパーシステント図に対する高速計算法を,レベルセットパーシステント図や時系列データに対するパーシステント図に対する高速計算法へ拡張する.特に方体複体PD理論構築と計算法の開発を行う.

研究題目:粗視化シミュレーションモデルの構築と計算ホモロジー法

到達目標:主にエポキシ樹脂を念頭に,破壊現象を定性的に再現する粗視化シミュレーションモデルを開発する.これに計算ホモロジー法を適用し,材料の劣化・破壊に伴う材料の原子配置の時系列変化を明らかにする.

【最終目標】(2018年度末時点)

「個別テーマ1」

到達目標:高精度計測データに基づく高分子材料系に対するマイクロマクロ連関による劣化・破壊の数理的記述と予兆予測のための一般化フェーズフィールド型数理モデルを計算ホモロジーの知見と連結させ構築する.

研究題目:マイクロマクロ連関による劣化・破壊予測の数理的手法の開発

到達目標:材料の劣化・破壊の予兆を数理的に特徴付け,その時間発展を記述するマイクロ・マクロ連関の一般化フェーズフィールド型数理モデルの構築を目指す.材料劣化に対する計測可能な物性変数によるフェーズフィールドモデルを用いた数理モデルを構築し,計測結果から得られた知見と数値シミュレーションにより劣化・破壊の予兆を予測するシステムの構築が可能であるか検証する.

研究題目:数理解析と連動した高分子の劣化・破壊現象のナノスケール観測

到達目標:航空機材料用途に使用される繊維強化プラスチックや自動車材料用途に使用されるポリプロピレンをターゲットに,その劣化・破壊現象についてナノスケールでの構造と力学物性の観点から理解を深める.最終的には個別テーマ「高性能高分子材料の長期時間依存特性の予測技術の開発」とも連携し,マクロスケールの劣化・破壊特性との関係解明を目指す.

研究題目:蛍光X線ホログラフィー法とオングストローム電子線回折法を連携させた

構造材料の劣化メカニズムの解明

到達目標:両手法から得られる局所的な情報と大域的な情報を組み合わせて材料組織中の歪みや不純物の空間構造を階層的にモデリングして,計算ホモロジー解析による劣化の記述につなげる枠組みを作る.

「個別テーマ2」

到達目標:材料劣化実験データやMDシミュレーションデータへの時空間パーシステントホモロジー解析の理論・アルゴリズムを開発する.また,トポロジカル材料解析シミュレータを開発する.

研究題目:時空間計算ホモロジー理論構築とアルゴリズム開発

到達目標:時系列データに対する時空間パーシステント図の定式化とその高速計算法を開発する.また本研究課題の出口としての「トポロジカル材料解析シミュレータ」を開発し一般公開する.

研究題目:粗視化シミュレーションモデルの構築と計算ホモロジー解析

到達目標:破壊にともなうトポロジーの時系列変化の一般論を確立し,計算ホモロジー解析を用いた破壊の予兆検知手法を開発する.

○個別テーマD73 構造材料開発に利用する計算熱力学に関する技術基盤構築

研究責任者:菖蒲 一久

国立研究開発法人産業技術総合研究所 生産計測技術研究センター上級主任研究員

参画機関: 国立研究開発法人産業技術総合研究所、九州工業大学、東北大学、国立研究開発法人物質・材料研究機構

概要

計算熱力学は実用性が高いことに特徴があり、本来の熱力学解析や状態図解析での利用の他、非平衡現象の数値モデリングのベースとして、また、実材料の物性パラメータの高精度推算法として、マルチスケールシミュレーションにおけるキーテクノロジーの1つとなっている。しかし、既存の関連技術はほとんどが外国製で、主要部分は秘匿・暗号化されている。そのため、実利用で必須の修正や拡張は勿論、独自の改良も不可能であるなど問題が多く、国産の技術開発が喫緊の課題となっている。そこで本研究では国産のデータベースとソフトウェアの開発を行い、計算熱力学に関する独自の技術基盤を構築する。具体的には、データベース開発として熱力学データベースと物性データベースを開発し、また、ソフトウェアの開発として既開発の平衡計算ソフトを元に、物性推算機能、他のシミュレータとのインターフェース機能、および熱化学反応シミュレータの開発を行う。

【中間目標】(2016年度末時点)

個別課題1「国産データベースの開発」においては、汎用の金属系、及びセラミックス系の熱力学データベースの第1版を開発公開する。また、セラミックスコーティングに関するものを含め、専用データベースも第1版を開発公開することを目標とする。また、物性データベースも主に密度・体積を主とした第1版を開発公開する。

個別課題2「国産ソフトウェアの開発」においては、データベース開発機能を装備した計算熱力学ソフトの開発と市販公開を行い、さらに、反応シミュレータとともに、インターフェース機能、物性推算機能の基本装備を完了させ、第1版として公開する。さらに、具体的応用として、セラミックスコーティングの使用環境下での劣化の問題への適用を検討する。

【最終目標】(2018年度末時点)

個別課題1「国産データベースの開発」においては、汎用の金属系、及びセラミックス系の熱力学データベースの第2版を開発し、市販公開する。また、開発した専用データベースも全て完成公開する。物性データベースに関しても粘性・表面張力等も含んだ第2版を市販公開する。

個別課題2「国産ソフトウェアの開発」においては、反応シミュレータの完成度を高め、インターフェース機能、物性推算機能の装備を完了し、市販公開する。特にユーザインターフェースの改善を高め、ツールとしての完成度を高める。さらに、反応シミュレータを元に、セラミックスコーティングの使用環境下での経時変化シミュレーションを行う専用モジュールを開発する。

マテリアルズインテグレーション 研究開発目標

【中間目標】(2016年度末時点)

- ・マテリアルズインテグレーションのプロトタイプの完成と限定公開。
- ・システムを金属加工プロセスに応用する手法の確定。
- ・重要構造材料分野での拠点を設立。

【最終目標】(2018年度末時点)

- ・マテリアルズインテグレーションシステムを完成し公開運用開始。構造材料開発の時間を一桁(開発時間を90%短縮)短縮するのに役立つことを証明。
- ・インテグレーションシステムを利用するための周辺技術の整備及び国内拠点を中心とした持続的イノベーションが行える体制の完成。

マテリアルズインテグレーション 所要経費

2014年度 11.190 億円

2015年度 9.094 億円(見込み)

図表2 - 7 . 各研究開発項目に対する2014年度の所要経費(単位:億円)

研究開発項目	2014 年度	2015 年度 (見込み)
航空機用樹脂の開発と FRP の開発	7.370	8.221
耐熱合金・金属間化合物等の開発	11.525	12.892
耐環境性セラミックスコーティングの開発	5.230	3.326
マテリアルズインテグレーション	11.190	9.094
事務支援経費(拠点形成費等含む)	0.765	1.467
	36.080	35.000

3. 実施体制

(1) 国立研究開発法人科学技術振興機構の活用

本件は、国立研究開発法人科学技術振興機構(以下、「JST」という。)への交付金を活用し、図表3 - 1のような体制で実施する。JST 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(以下、「NEDO」という。)の協力を得て、PD や推進委員会を補佐し、研究開発の進捗管理、自己点検の事務の支援、評価用資料の作成、関連する調査・分析などを行う。

(2) 研究責任者の選定

JST は、本計画に基づき、研究課題、および研究課題を実施する研究責任者を公募により選定する。選考に当たっての審査基準や審査員等の審査の進め方は、NEDO の協力を得て、JST が PD 及び内閣府及び推進委員会と相談したうえで、決定する。審査には原則として PD 及び内閣府の担当官、外部有識者が参加する。応募課題に参加する研究者の利害関係者は当該課題の審査には参加しない。利害関係者の定義は JST が定める公募要領に明記するものとする。選考により研究課題が決まった後、本計画に研究課題、および研究主体、研究参加者を記載する。

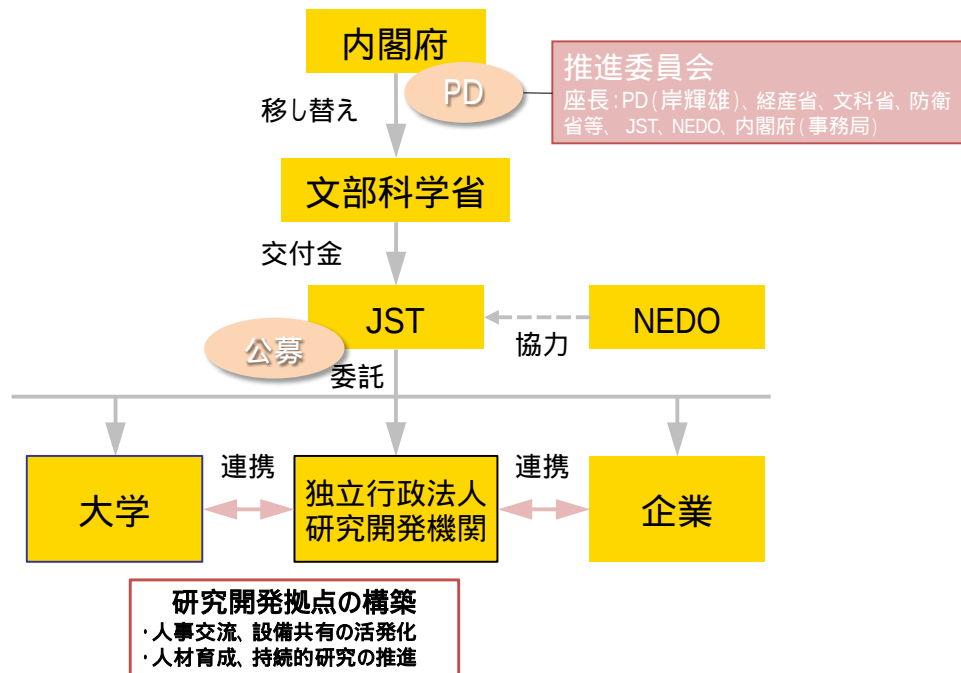
(3) 研究体制を最適化する工夫

内閣府は、研究課題の進捗状況、および関係機関等で実施する技術調査等の調査結果や、社会情勢の変化に応じ、PD の判断で柔軟に研究体制を変化、対応させていく。具体的には、研究課題の変更、追加、研究責任者の入れ替え、追加等を検討していく。人事交流、設備共有の活発化、人材育成、持続的研究の推進を図るために、大学、国立研究開発法人、企業等が連携するための研究開発拠点を構築する。

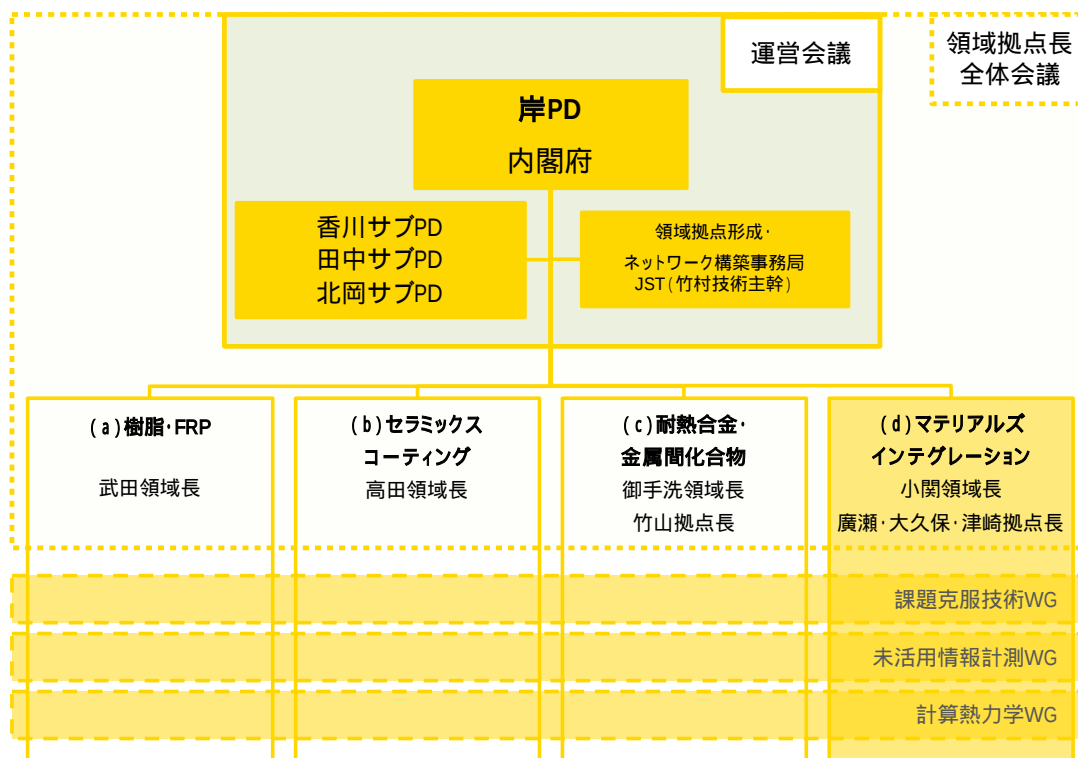
図表3 - 2に運営体制図を示す。サブPD は、出口・知財戦略、材料科学、府省・産学官連携についてPD を補佐するとともに、担当研究開発項目領域における研究開発の推進につきPD を補佐する。サブPD 及び担当内容は以下のとおりである。

- ・ 田中千秋サブPD(東レバッテリーセパレータフィルム(株)相談役)
 - 担当内容: 出口・知財戦略
 - 担当領域: (a) 樹脂・FRP
- ・ 香川 豊サブPD(東京大学 教授)
 - 担当内容: 材料科学
 - 担当領域: (b) セラミックスコーティング、(d) マテリアルズインテグレーション
- ・ 北岡康夫サブPD(大阪大学 教授)
 - 担当内容: 府省・産学官連携
 - 担当領域: (c) 耐熱合金・金属間化合物等

また、各研究開発領域に領域長を設置し、領域内外の連携を図り、シンポジウム開催等を通じて、領域の活動を発信する。JST は、拠点形成・ネットワーク事務局を設置して、各領域に連携コーディネータを派遣し、領域長の活動を支援するとともに、参画機関のネットワーク構築を図る。



図表 3-1 実施体制



図表 3 - 2 . 運営体制図

4. 知財に関する事項

(1) 知財委員会

課題ごとに、知財委員会を JST または委託先に置く。但し、知財委員会の判断で、知財委員会の全部又は一部の業務について、研究を受託した研究主体において設置する知財委員会に委任することができる。

知財委員会は、それを設置した機関が担った研究開発成果に関する論文発表及び特許等(以下、「知財権」という。)の出願・維持等の方針決定のほか、必要に応じ知財権の実施許諾に関する調整などを行う。

知財委員会は、原則として PD または PD の代理人、主要な関係者、専門家等から構成する。

知財委員会の詳細な運営方法等は、知財委員会を設置する機関において定める。その際、SIP の各種規程に定めなき事項、およびこれら規程の解釈に疑義が生じたときは、法令の規定に従うほか、研究開発実施者は誠意をもって協議し、解決するものとする。

(2) 知財権に関する取り決め

JST は、秘密保持、バックグラウンド知財権(研究責任者やその所属機関等が、プログラム参加する前から保有していた知財権及びプログラム参加後に SIP の事業費によらず取得した知財権)、フォアグラウンド知財権(プログラムで発生した知財権)の扱い等について、予め委託先との契約等により定めておく。

(3) バックグラウンド知財権の実施許諾

本研究開発を適切に推進するために、他のプログラム参加者へのバックグラウンド知財権の実施許諾は、当該知財権者が定める条件に従い、知財権者が許諾可能とする。

当該条件などの知財権者の対応が、SIP の推進(研究開発のみならず、成果の実用化・事業化を含む)に支障を及ぼすおそれがある場合、知財委員会において調整し、合理的な解決策を得る。

(4) フォアグラウンド知財権の取扱い

フォアグラウンド知財権は、原則として産業技術力強化法第 19 条第 1 項を適用し、発明者である研究責任者の所属機関(委託先)に帰属させる。

再委託先等が発明し、再委託先等に知財権を帰属させる時は、知財委員会による承諾を必要とする。その際、知財委員会は条件を付することができる。

知財権者に事業化の意志が乏しい場合、知財委員会は、積極的に事業化を目指す者による知財権の保有、積極的に事業化を目指す者への実施権の設定を推奨する。

参加期間中に脱退する者は、当該参加期間中に SIP の事業費により得た成果(複数年度参加していた場合には、参加当初からの全ての成果)の全部または一部に関して、脱退時に JST に無償譲渡させること及び実施権を設定できることとする。

知財権の出願・維持等にかかる費用は、原則として知財権者による負担とする。共同出願の場合は、持ち分比率、費用負担は、共同出願者による協議によって定める。

(5) フォアグラウンド知財権の実施許諾

他のプログラム参加者へのフォアグラウンド知財権の実施許諾は、知財権者が定める条件に従い、知財権者が許諾可能とする。

第三者へのフォアグラウンド知財権の実施許諾は、プログラム参加者よりも有利な条件にはしない範囲で知財権者が定める条件に従い、知財権者が許諾可能とする。

当該条件などの知財権者の対応が、SIP の推進(研究開発のみならず、成果の実用化・事業化を含む)に支障を及ぼすおそれがある場合、知財委員会において調整し、合理的な解決策を得る。

(6) フォアグラウンド知財権の移転、専用実施権の設定・移転の承諾について

産業技術力強化法第 19 条第 1 項第 4 号を準拠し、フォアグラウンド知財権の移転、専用実施権の設定・移転の承諾には、合併・分割により移転する場合や子会社・親会社に知財権の移転、専用実施権の設定・移転の承諾をする場合等(以下、「合併等に伴う知財権の移転等の場合等」という。)を除き、JST の承認を必要とする。

合併等に伴う知財権の移転等の場合等には、知財権者は JST との契約に基づき、JST の承認を必要とする。

移転等の後であっても当該実施権を JST に対して設定可能とする。当該条件を受け入れられない場合、移転を認めない。

(7) 終了時の知財権取扱いについて

研究開発終了時に、保有希望者がいない知財権等については、知財委員会において対応(放棄、あるいは、JST 等による承継)を協議する。

(8) 国外機関等(外国籍の企業、大学、研究者等)の参加について

当該国外機関の参加が課題推進上必要な場合、参加を可能とする。

適切な執行管理の観点から、研究開発の受託等にかかる事務処理が可能な窓口または代理人が国内に存在することを原則とする。

国外機関等については産業技術力強化法第 19 条第 1 項を適用せず、知財権は JST と外国機関等の共有とする。

5. 評価に関する事項

(1) 評価主体

PD と JST 等が行う自己点検結果の報告を参考に、ガバニングボードが外部の専門家等を招いて行う。この際、ガバニングボードは分野または課題ごとに開催することもできる。

(2) 実施時期

- 事前評価、毎年度末の評価、最終評価とする。
- 終了後、一定の時間(原則として3年)が経過した後、必要に応じて追跡評価を行う。
- 上記のほか、必要に応じて年度途中等に評価を行うことも可能とする。

(3) 評価項目・評価基準

「国の研究開発評価に関する大綱的指針(平成24年12月6日、内閣総理大臣決定)」を踏まえ、必要性、効率性、有効性等を評価する観点から、評価項目・評価基準は以下のとおりとする。評価は、達成・未達の判定のみに終わらず、その原因・要因等の分析や改善方策の提案等も行う。

意義の重要性、SIPの制度の目的との整合性。

目標(特にアウトカム目標)の妥当性、目標達成に向けた工程表の達成度合い。

適切なマネジメントがなされているか。特に府省連携の効果がどのように発揮されているか。

実用化・事業化への戦略性、達成度合い。

最終評価の際には、見込まれる効果あるいは波及効果。終了後のフォローアップの方法等が適切かつ明確に設定されているか。

(4) 評価結果の反映方法

- 事前評価は、次年度以降の計画に関して行い、次年度以降の計画等に反映させる。
- 年度末の評価は、当該年度までの実績と次年度以降の計画等に関して行い、次年度以降の計画等に反映させる。
- 最終評価は、最終年度までの実績に関して行い、終了後のフォローアップ等に反映させる。
- 追跡評価は、各課題の成果の実用化・事業化の進捗に関して行い、改善方策の提案等を行う。

(5) 結果の公開

- 評価結果は原則として公開する。
- 評価を行うガバニングボードは、非公開の研究開発情報等も扱うため、非公開とする。

(6) 自己点検

研究責任者による自己点検

PD が自己点検を行う研究責任者を選定する(原則として、各研究項目の主要な研究者・研究機関を選定)。

選定された研究責任者は、5.(3)の評価項目・評価基準を準用し、前回の評価後の実績及び今後の計

画の双方について点検を行い、達成・未達の判定のみならず、その原因・要因等の分析や改善方策等を取りまとめる。

PD による自己点検

PD が研究責任者による自己点検の結果を見ながら、かつ、必要に応じて第三者や専門家の意見を参考にしつつ、5.(3)の評価項目・評価基準を準用し、PD 自身、JST 及び各研究責任者の実績及び今後の計画の双方に関して点検を行い、達成・未達の判定のみならず、その原因・要因等の分析や改善方策等を取りまとめる。その結果をもって各研究主体等の研究継続の是非等を決めるとともに、研究責任者等に対して必要な助言を与える。これにより、自律的にも改善可能な体制とする。

これらの結果を基に、PD は JST の支援を得て、ガバニングボードに向けた資料を作成する。

JST による自己点検

JST による自己点検は、予算執行上の事務手続を適正に実施しているかどうか等について行う。

6. 出口戦略

出口指向の研究推進

- 輸送機器・産業機器等に使われる材料の研究開発を推進
 - ・ 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掌握を視野に開発を推進
 - ・ 新規材料利用を促進するための周辺技術である、接合・加工・安全についても研究開発を実施
- 研究開発段階から実機適用を最短で実現する研究開発体制と仕組みを構築
 - ・ マテリアルズインテグレーション構築による構造材料の実機適用の迅速化
 - ・ 産-産および産-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の構築

普及のための方策

- 航空機分野および波及が期待される分野に応じ、標準化・規格化・安全評価手法やその認定手法の策定、認証取得等を推進し、開発素材の利用を促進
- 分野に応じた燃費規制、トップランナー基準等によるユーザーサイドでの適切な導入を促進
- 今後の社会動向に合わせて、中長期的に産業界で求められる構造材料のあり方を展望し、必要に応じて研究課題の変更等を実施
 - ・ メーカーや、有識者へのヒアリング、内外の技術動向の調査等を行い、最適な研究が実施されるようなマネジメントを遂行

7. その他の重要事項

(1) 根拠法令等

本件は、内閣府設置法(平成 11 年法律第 89 号)第 4 条第 3 項第 7 号の 3、科学技術イノベーション創造振興費に関する基本方針(平成 26 年 5 月 23 日、総合科学技術・イノベーション会議)、科学技術イノベーション創造振興費に関する実施方針(平成 26 年 5 月 23 日、総合科学技術・イノベーション会議)、戦略的イノベーション創造プログラム運用指針(平成 26 年 5 月 23 日、総合科学技術・イノベーション会議ガバナングボード)に基づき実施する。

(2) 弾力的な計画変更及び計画変更の履歴

本計画は、成果を最速かつ最大化させる観点から、臨機応変に見直すこととする。これまでの変更の履歴(変更日時と主な変更内容)は以下のとおり。

2014 年 5 月 23 日 総合科学技術・イノベーション会議ガバナングボードにおいて、研究開発計画を承認。
内閣府政策統括官(科学技術・イノベーション担当)において決定。

2014 年 11 月 6 日 総合科学技術会議・イノベーション会議ガバナングボードにおいて、研究開発計画の修正を承認。

2015 年 5 月 21 日 総合科学技術会議・イノベーション会議ガバナングボードにおいて、研究開発計画の修正を承認。2015 年度所要経費追記及び各テーマの概要、中間目標、最終目標の詳細を記載。

(3) PD 及び担当の履歴

PD



岸 輝雄 (2014 年 6 月～)

準備段階(2013 年 12 月～2014 年 5 月)では政策参与。

担当参事官(企画官)



西尾 匡弘
(2013 年 10 月 ~)

担当



色川 芳宏
(2013 年 10 月
~ 2014 年 3 月)



出村 雅彦
(2014 年 4 月 ~)

2013 年 10 月 ~ 2014 年 5 月までは準備期間。

添付資料 積算(千円)

2014 年度 総額 3,608,000

(内訳)

1.研究費等（一般管理費・間接経費を含む）	3,531,500
（研究開発項目毎内訳）	
（A）航空機用樹脂の開発と FRP の開発	737,000
（B）耐熱合金・金属間化合物等の開発	1,152,500
（C）耐環境性セラミックスコーティングの開発	523,000
（D）マテリアルズインテグレーション	1,119,000
2.事業推進費（人件費、評価費、会議費等）	76,500
計	3,608,000

2015 年度(見込み) 総額 3,500,000

(内訳)

1.研究費等（一般管理費・間接経費を含む）	3,353,300
（研究開発項目毎内訳）	
（A）航空機用樹脂の開発と FRP の開発	822,100
（B）耐熱合金・金属間化合物等の開発	1,289,200
（C）耐環境性セラミックスコーティングの開発	332,600
（D）マテリアルズインテグレーション	909,400
2.事業推進費（人件費、評価費、会議費等）	146,700
計	3,500,000