

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

2014 年 5 月23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
- (b) 耐環境性セラミックスコーティングの開発
- (c) 耐熱合金・金属間化合物等の開発
- (d) マテリアルズインテグレーション

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。独立行政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、独法、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

知財委員会を独立行政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

ガバニ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。

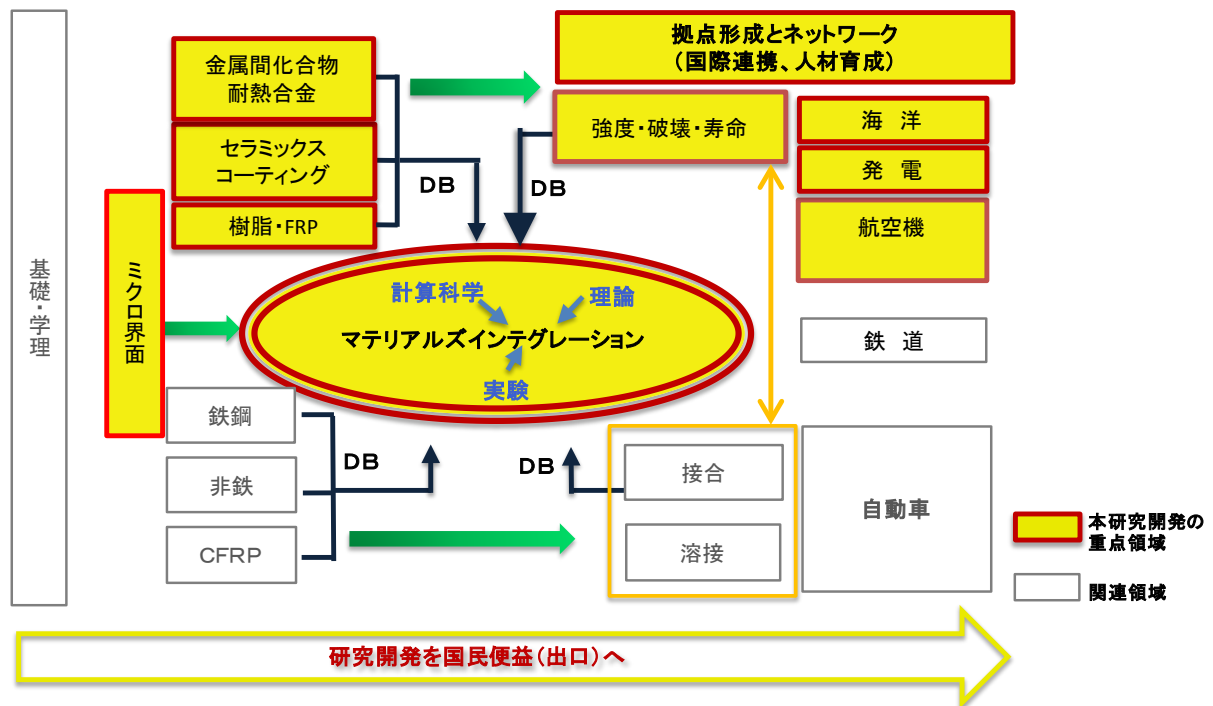
このような工業素材の中でも、我が国が特に強い競争力を有するのが構造材料である。我が国が高い技術力を有するハイテン（高張力鋼）は自動車産業を下支えしているが、今後もこれら競争力を維持していくためにも、競争力のある新たな材料創製は必要不可欠である。特に、我が国が技術力を有するPMC（高分子基複合材料）や、樹脂等での技術革新は、これら構造材料の軽量化に大きく貢献でき、自動車産業、さらには航空機産業の発達に直結する技術となる。また同様にセラミックスや耐熱合金・金属間化合物の技術革新は、材料の耐熱性・靱性を向上させ、航空機用エンジン・発電プラントなどのエネルギー転換・効率に大きな革新をもたらすことができ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

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: 革新的構造材料

我が国の構造材料研究の司令塔機能を強化



図表1－1. 革新的構造材料研究の全体構想

(3) 目標・狙い

①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

②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

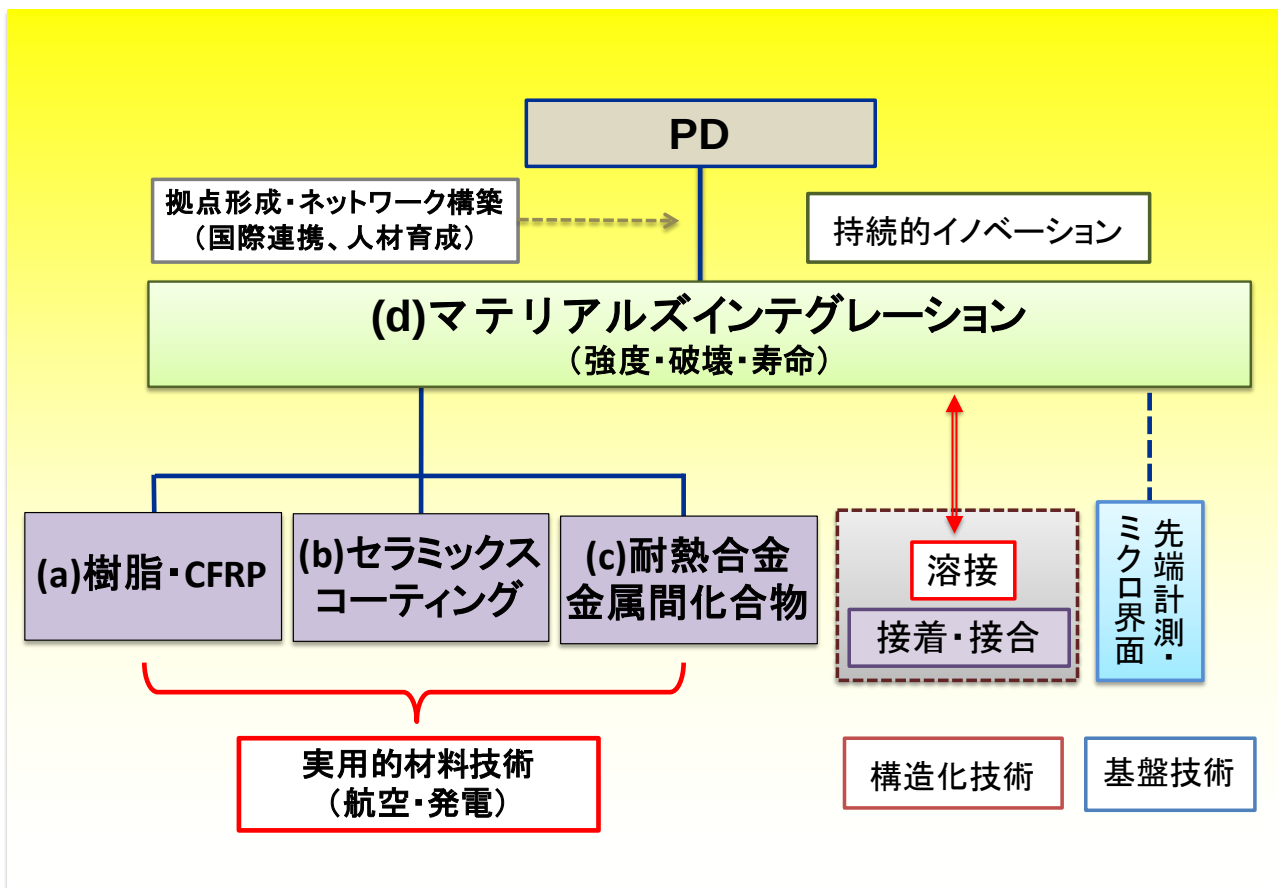
③技術的目標

- ・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、材料技術を通し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。これを行うために、図表 2-1 に示した (a)樹脂・FRP、(b)セラミックスコーティング、(c)耐熱合金・金属間化合物、(d)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. 研究開発の概要

(a)航空機用樹脂の開発とFRPの開発

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。

(a-1) 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。

(a-2) 所要経費(見込み)

2014年度 7～9億円

(b) 耐環境性セラミックスコーティングの開発

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を確立する。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。

(b-1) 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。

【最終目標】(2018年度末時点)

- ・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。

(b-2) 所要経費(見込み)

2014年度 3～5億円

(c) 耐熱合金・金属間化合物等の開発

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合金はさらに高温度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。

(c-1) 研究開発の目標

【中間目標】（2016年度末時点）

- ・1000t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。

(c-2) 所要経費（見込み）

2014年度 9～11億円

(d) マテリアルズインテグレーション

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。

(d-1) 研究開発目標

【中間目標】(2016年度末時点)

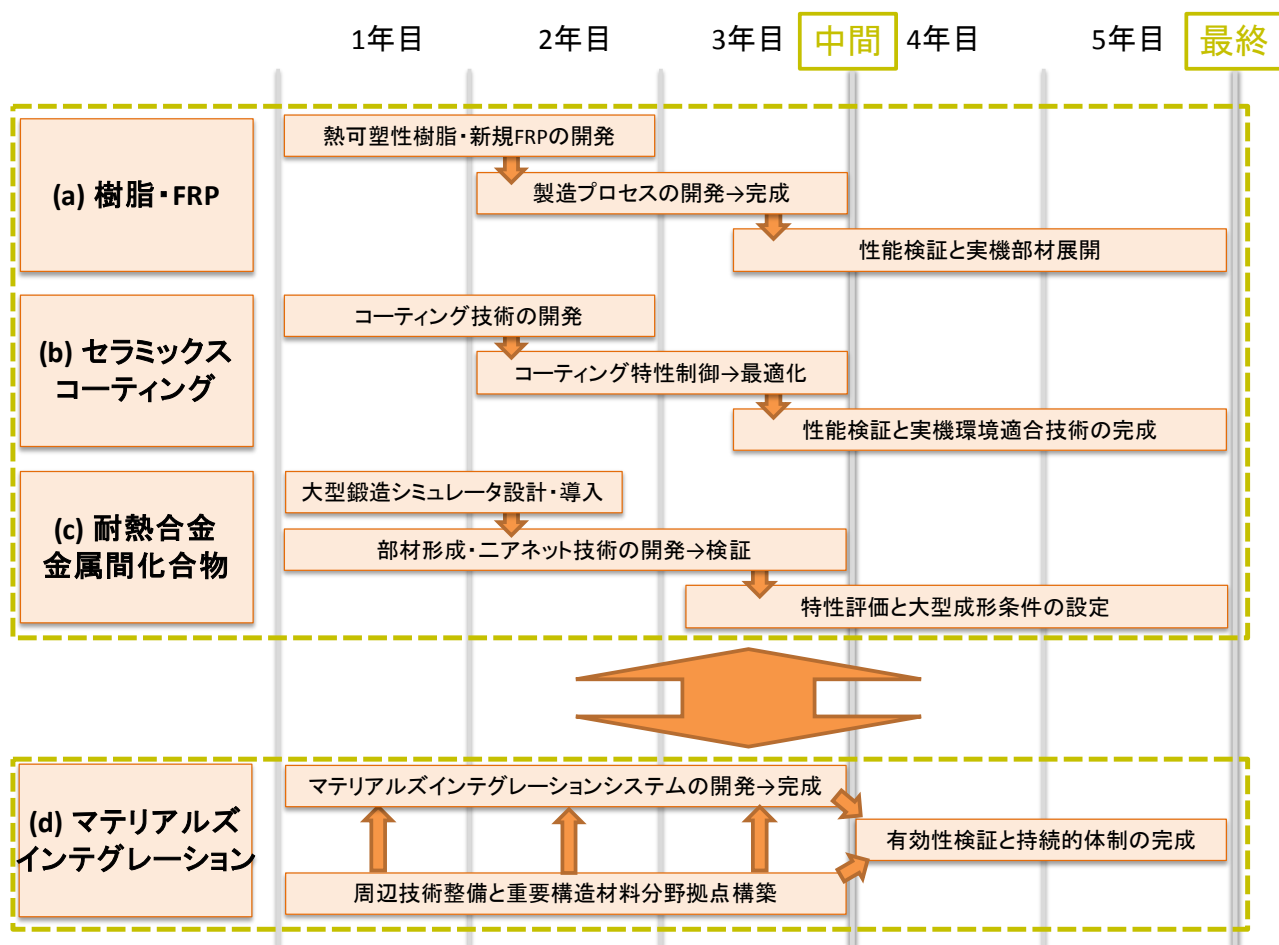
- ・マテリアルズインテグレーションの基本システムの完成。
- ・システムを金属加工プロセスに応用する手法の確定。
- ・重要構造材料分野での拠点を設立。

【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が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の証明。
- ・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。

(d-2) 所要経費(見込み)

2014年度 9～11億円



図表2-2. 各課題のロードマップ