

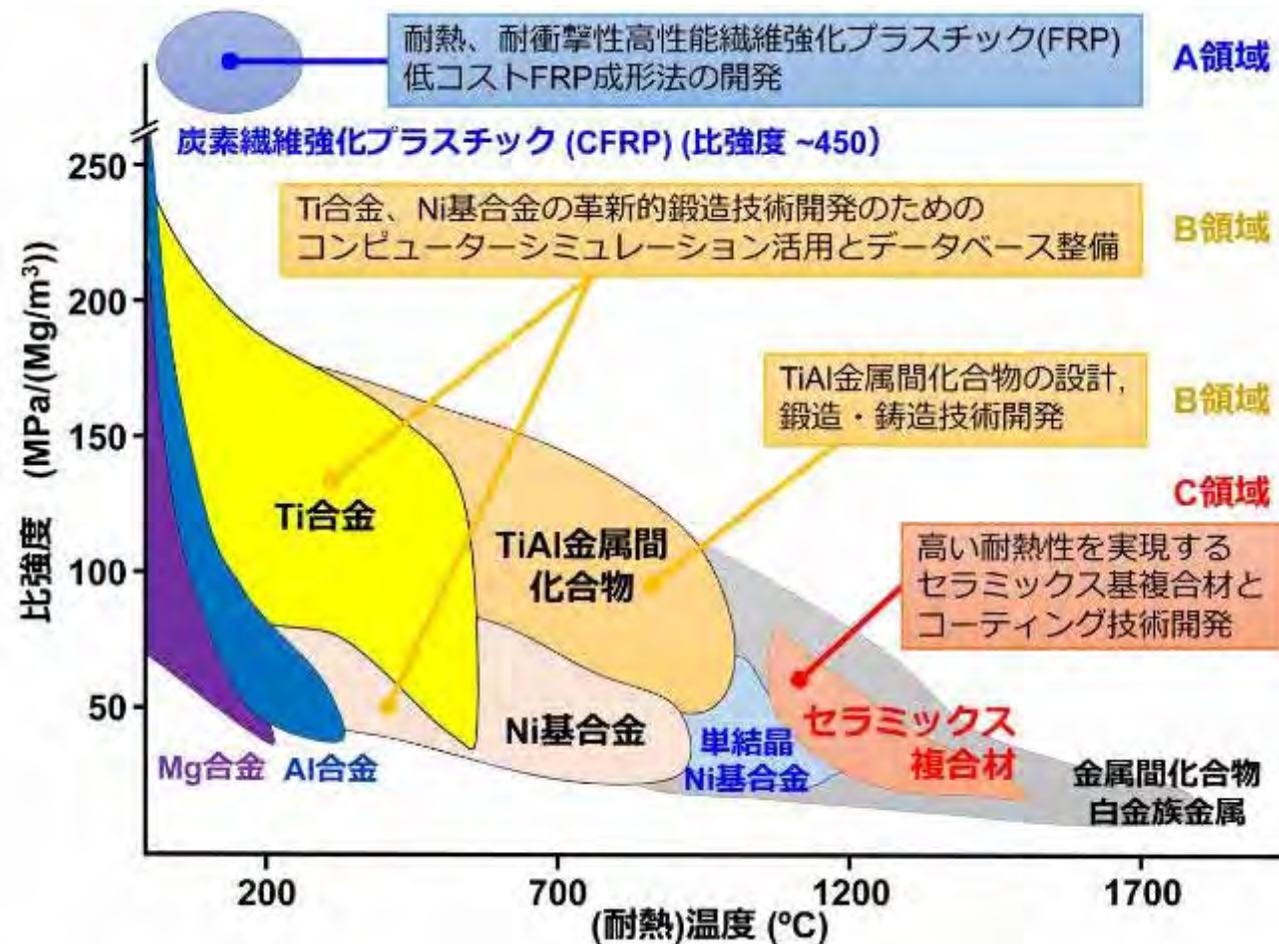


革新的構造材料

プログラムディレクター
岸 輝雄

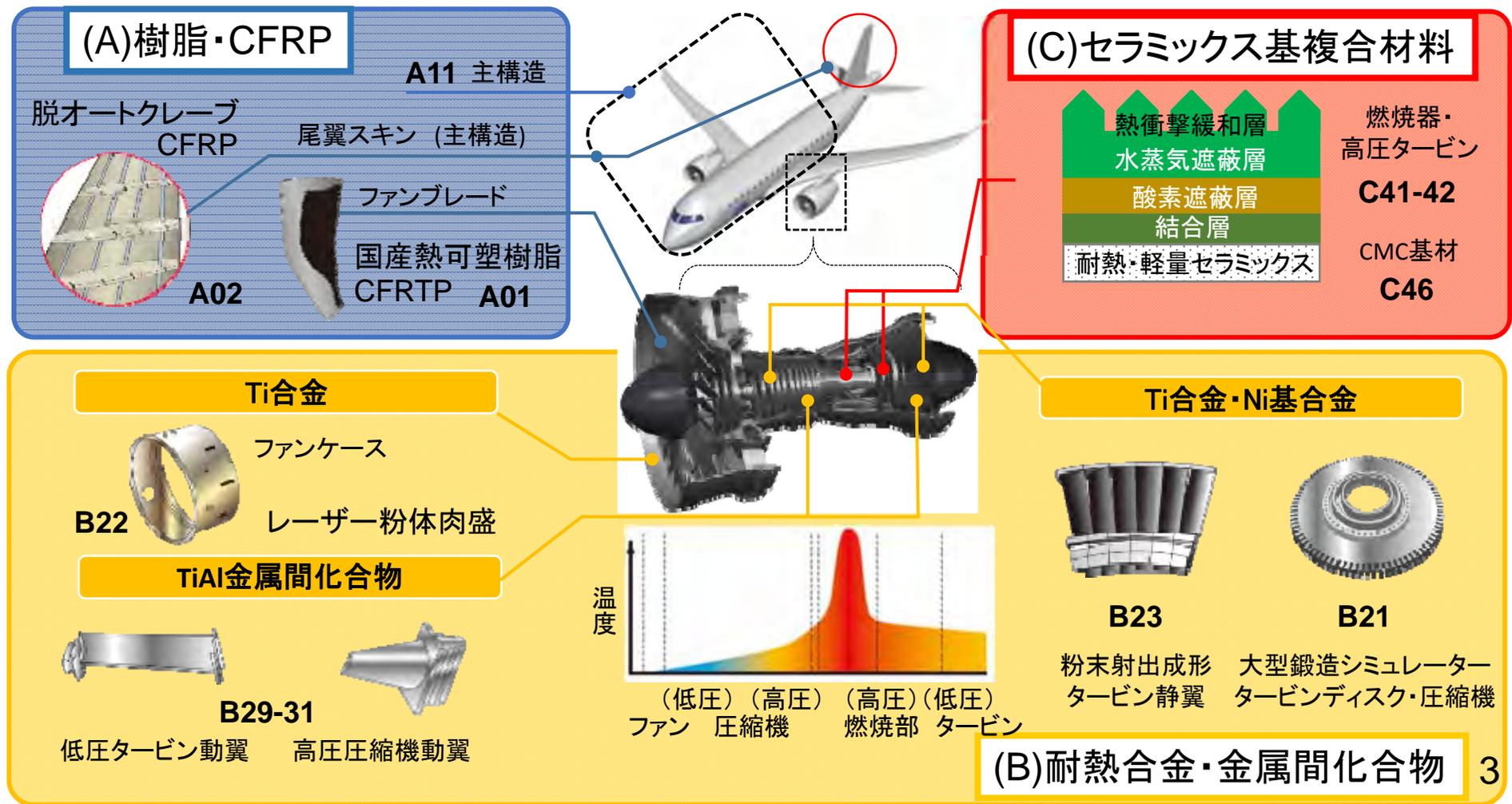
2030年以降の新規中・小型機をターゲットに国際競争力を有する材料・成形プロセス技術を開発する

【研究開発対象】



1. 課題の概要 革新的構造材料

- ✓ 強く、軽く、熱に耐える革新的構造材料を航空機・発電機器に実装し、エネルギー転換・利用効率向上を実現する。
- ✓ 航空機産業を育成拡大し、日本の関連部素材産業を強化する。



1. 課題の概要 革新的構造材料

構造材料の使用期間は長い
ため、実証試験(寿命予測)
を含む研究開発期間が長い



10~15年



15~20年



20~25年



30~40年



100年

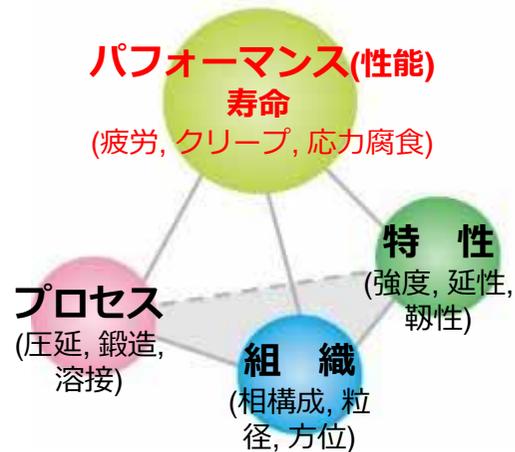
(D)マテリアルズインテグレーション(MI)

研究開発時間の大幅短縮・効率化・コスト削減は国際競争力強化に直結

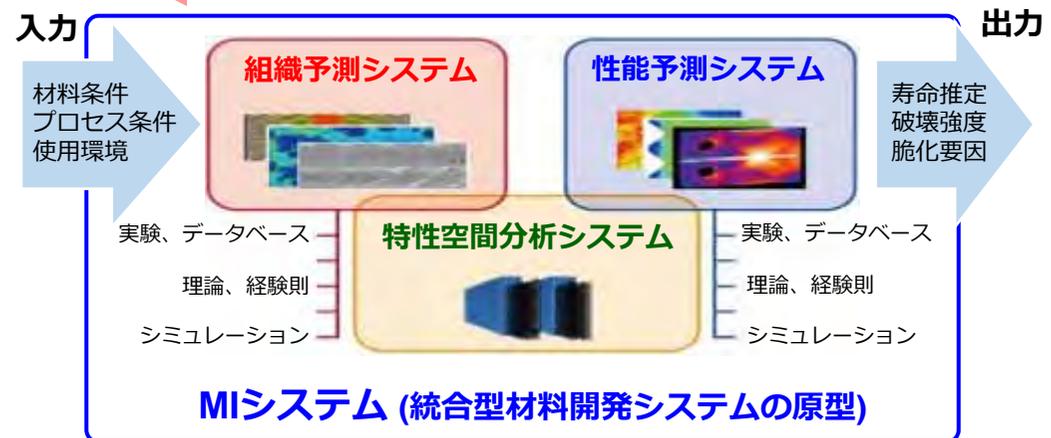
MI: 計算科学を用いた理論・実験
データベースの融合

サイバー空間を利用してフィジカル空間
での材料開発を加速 (Society 5.0の好例)

材料工学4要素



将来的には逆問題の解決にも貢献



サイバー空間で材料工学の4要素を結びつけ、多段階のプロセスを繋いで計算できる
システムを構築する世界初の挑戦

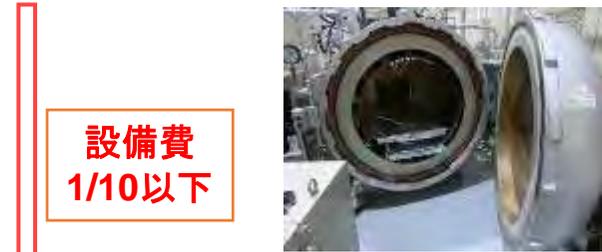
2. 課題のこれまでの成果 (A領域 高分子系複合材料) 機体構造

A02 脱オートクレーブ成形法開発 (尾翼・ドア)

【目的】 オートクレーブを使わない安く生産性の高い
CFRP成形法の開発

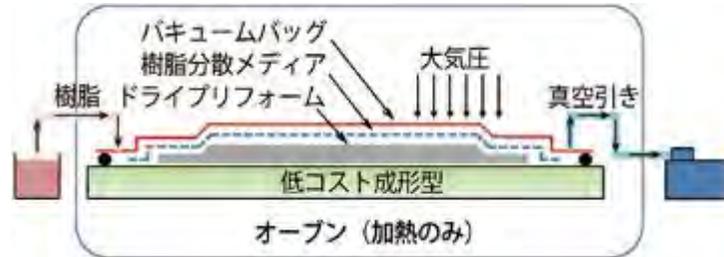
(東レ、京大、理科大、愛媛大の成果)

オートクレーブ (圧力釜)



設備費
1/10以下

VaRTM成形技術 (真空パック)

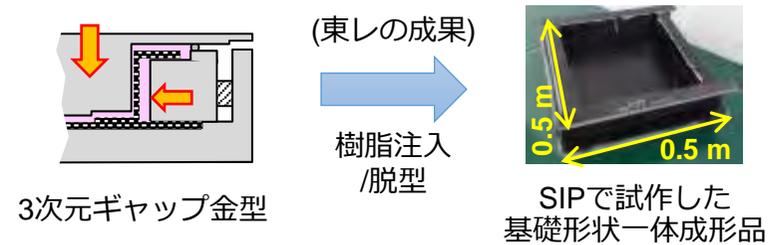


<http://www.aero.jaxa.jp/research/basic/structure-composite/manufacture/>

当初材 (2014年)	試作材 (2014年)	開発材 (2015年)
ポイド比 4%	5%	<1%



3次元RTM(Resin transfer molding)成形



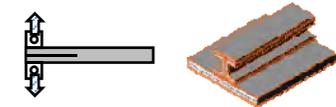
A11 高生産性・高靱CFRP開発 (翼・胴体)

(MHI, KHI, SUBARU, 東レ, 北大)

【目的】 民間航空機の主構造への適用を狙った**低コスト**
かつ強靱なオートクレーブ用プリプレグの開発

◎ プリプレグ試作・評価試験

クーポン試験 (10種類)
エレメント試験 (5種類)



◎ 最適設計評価試験

プライドロップオフ (5種類)
孔周り積層最適化 (5種類)

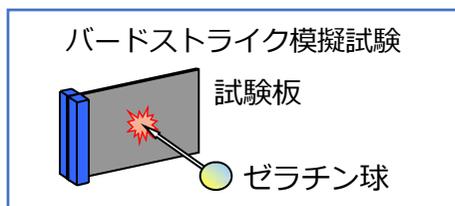


2. 課題のこれまでの成果 (A領域 高分子系複合材料) エンジン部材

A01 エンジン用CFRTP (ファンブレード)

【目的】樹脂の国産化・ファンブレードへのCFRTP初適用

(IHI、三菱ケミカル、三井化学の成果)



- ・繊維側条件
 - 前駆体繊維 (1, 2, 3, 4)
 - 焼成炭素化温度 (1, 2)
 - 表面酸化処理 (1, 2)
- ・樹脂側条件
 - 結晶化速度の調整
 - 熔融粘度の調整

【成果】
最適な繊維・表面処理条件を特定し、
目標性能を達成

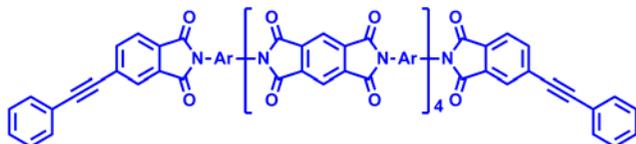


条件	超音波探傷
1, 1, 1	×
2, 1, 1	○
2, 2, 1	○
3, 2, 2	×
4, 2, 1	×

(A03) 耐熱(200~250°C)CFRP開発 (インナーフレーム)

(JAXA, IHI, 東京理科大, 東京農工大, 島津, カネカ)

【目的】次世代耐熱CFRPを開発し、その基本成形技術を構築



ガラス転移温度: 340°C以上



- ◎ 厚さ6mm厚板で基本的な成形プロセスの確立
- ◎ 高温試験法の標準化
(ISO/TC61/SC13 Composites and reinforcement fibers)

2. 課題のこれまでの成果 部品(卒業課題)

A07 高強度・高透明GF-PC複合材料

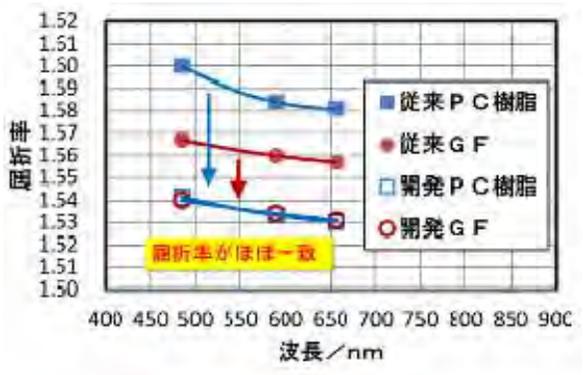
(出光興産・旭ファイバークラス・東京理科大・滋賀県立大)

【目的】ガラスに代わる軽量で加工性の高い材料を開発

【対象】鉄道・航空・自動車などの窓など



ref 2015年 光学/透明部品・材料市場の現状と将来展望(富士経済)等



課題①
光学的透明性の
実現
(屈折率調整)

課題②
PC樹脂の
着色(黄変)
低減

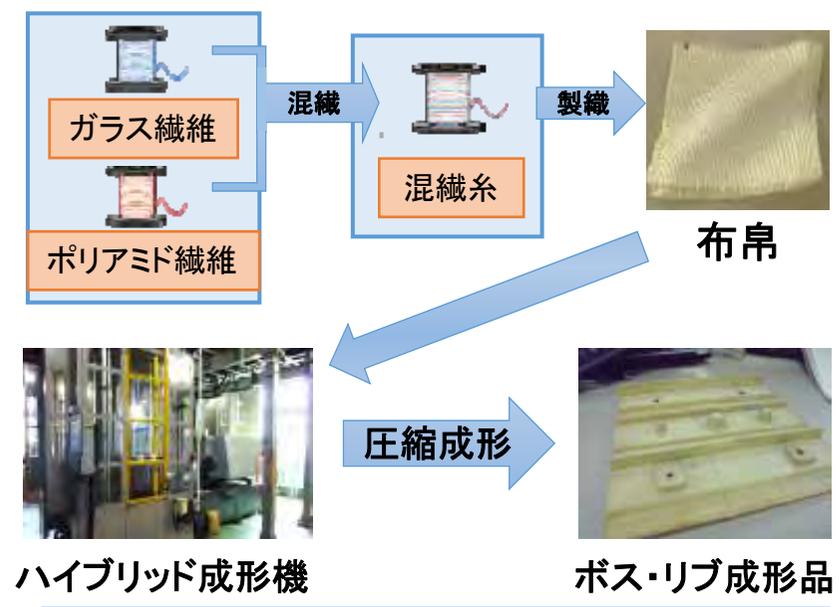


A08 テクスタイルコンポジット

(旭化成・岐阜大・本田技研)

【目的】安価な繊維強化プラスチックの開発

【対象】自動車部材、航空機シートフレーム



課題① 材料特性の改善

引張り強度:	237 MPa	460 MPa
弾性率:	14 GPa	20 GPa

課題② 成形時間短縮 (量産性)

成形サイクル:	80分	2分以下
---------	-----	------

2. 課題のこれまでの成果 (B領域 金属系) エンジン部材

B21&B24 1500トンの鍛造シミュレーター (Ti、Ni基合金鍛造品)

(NIMS・日本エアロフォージほか3企業、9大学が参画)

【目的】 世界最新鋭5万トン鍛造プレス
(日本エアロフォージ@倉敷)の効率的操業

2016年5月より稼働開始

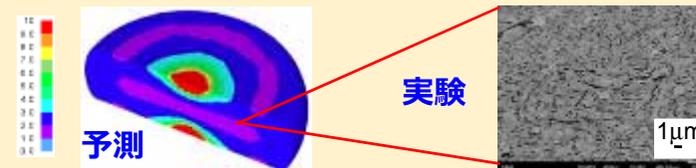


- 鍛造プロセスと作成部材の内部組織や特性の相関を明らかにする
- 鍛造組織・特性予測ツールを作成する
- 国内で共有できる鍛造データベースの整備

日本エアロフォージの製品：
航空機エンジン圧縮機・タービンの静翼・ディスク等
Ti、Ni基合金鍛造品



【成果】 NIMS・香川大・岐阜大の成果
(組織予測ツール)



粒径組織予測結果は、実験とおおよそ一致

拠点化に向けた取り組み

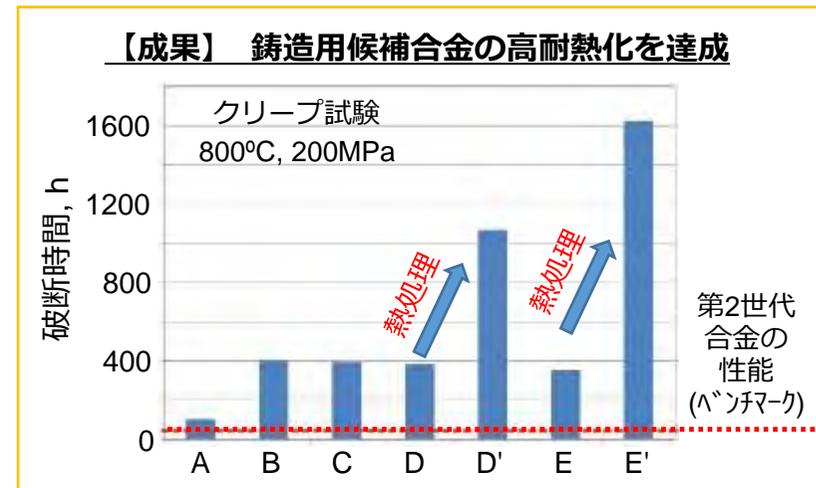
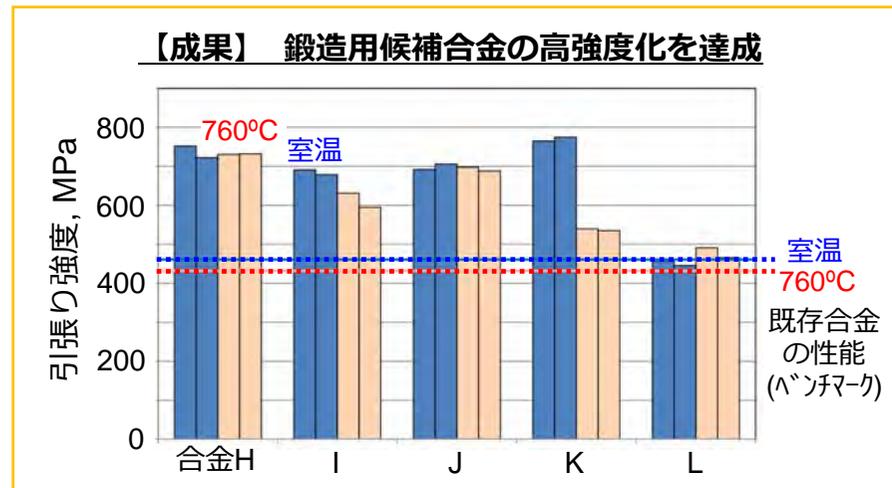
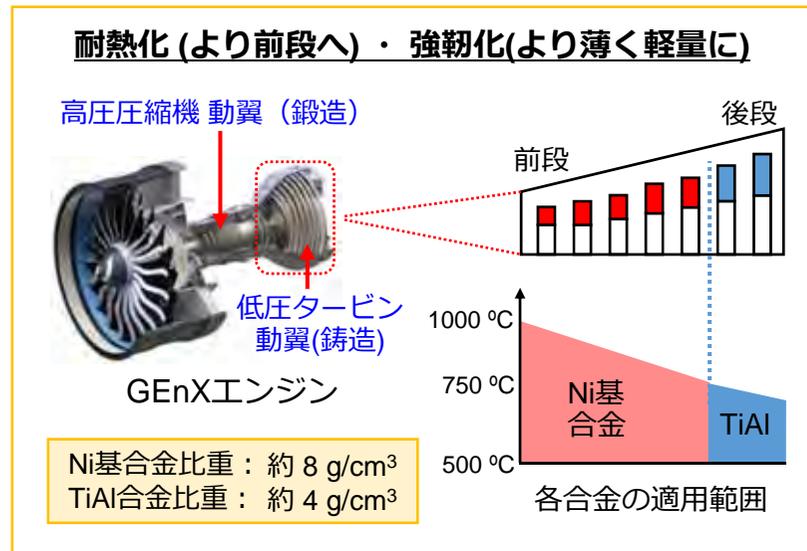
大型鍛造シミュレーター利用委員会の設置
(2016.10)

協調領域の強化・Society5.0への取組

2. 課題のこれまでの成果 (B領域 金属系) エンジン部材

B29, 30, 31 TiAl合金の設計・製造技術の開発

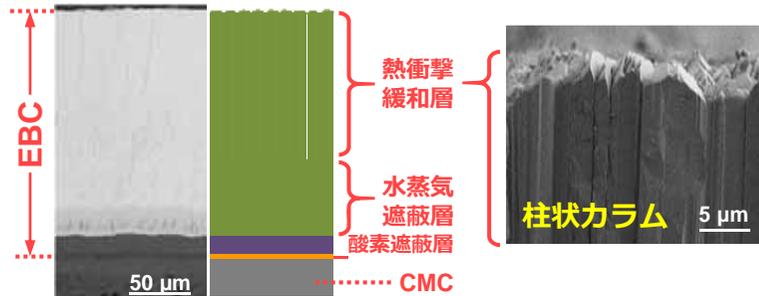
【目的】エンジンへのTiAl合金適用範囲を拡大することで燃費の改善に貢献



2. 課題のこれまでの成果 (C領域 セラミクス基系) エンジン部材

セラミクス基複合材料(CMC)の開発

(C41) 耐環境性コーティング(EBC)技術の開発 (JFCC, NIMS, IHI, 東北大, 横国大, JUTEM, 東大)



◎ EBC耐久性試験の開始

1400℃, 100 → 300 → 500時間



◎ ダブル電子ビームPVD装置の完成

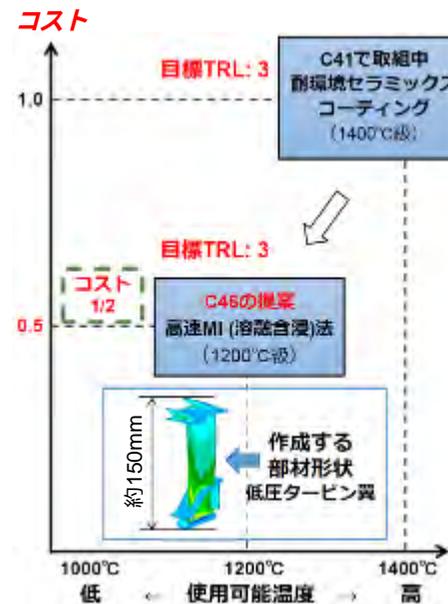
「基板回転システム」を追加し、複雑形状を有するCMC基板に多相積層構造EBCを形成する技術を確立



(C46) 高速基材製造プロセス技術の開発 (新テーマ)

(東京工科大, MHIAEL, イビデン)

- ◎ 高速MI(Melt Infiltration)装置の開発
- ◎ 簡易織物による基材形状の作成技術
- ◎ 基本材料特性取得

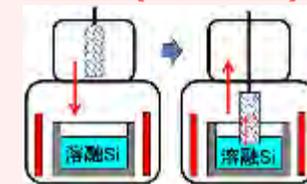


従来法



長時間高温暴露で繊維損傷

本提案 (高速MI法)



熔融Siに短時間だけ浸漬することで繊維の熱損傷を抑制

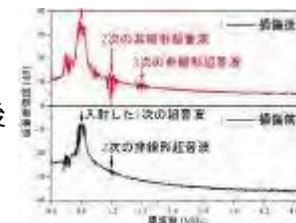
(C42) 非破壊検査技術の開発 (追加テーマ)

(IHI, JAXA, 東大, 徳島大)

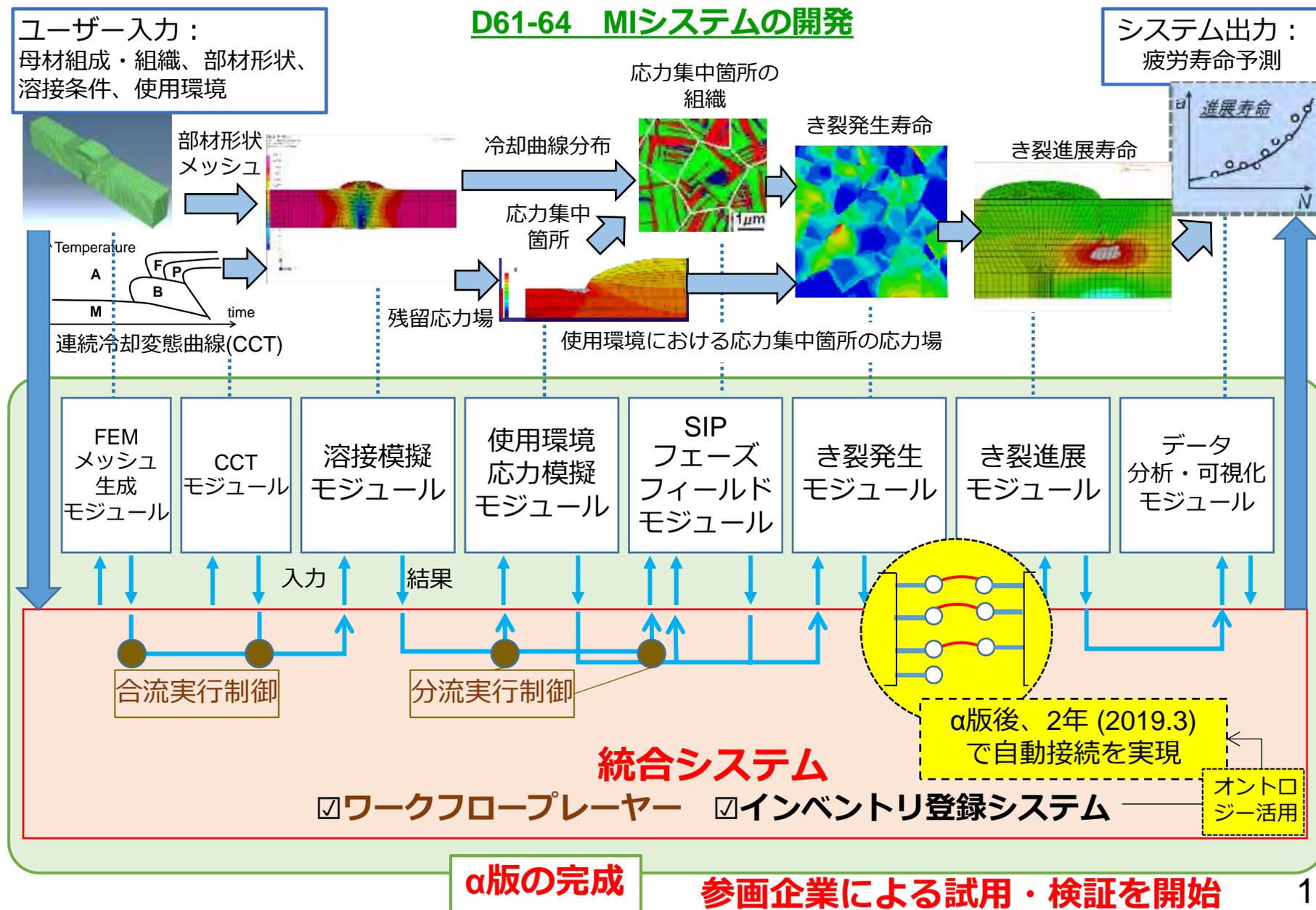
- ◎ 運用中の損傷発生を模擬した高温疲労試験の実施
- ◎ 検査条件の適正化, 損傷評価アルゴリズムの構築



高温疲労試験前後における非線形超音波の比較

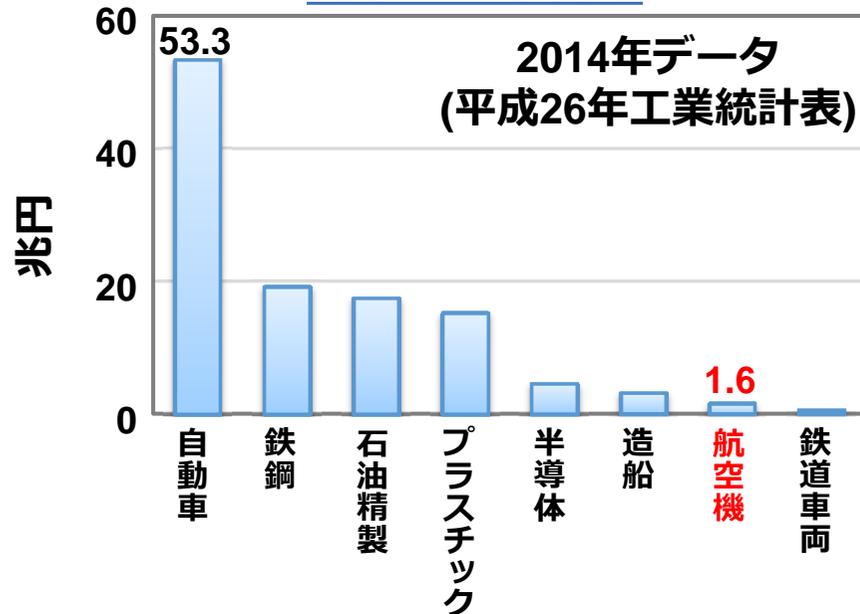


2. 課題のこれまでの成果 (D領域) マテリアルズインテグレーション

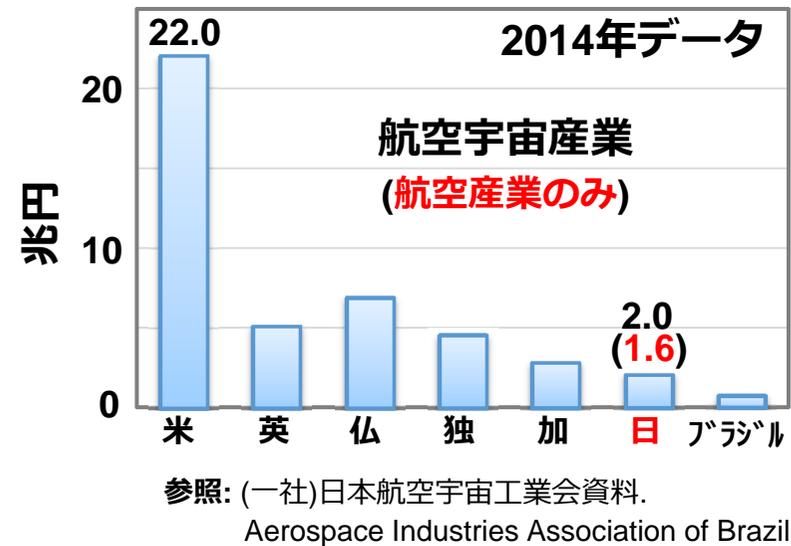


3. 出口戦略・社会実装に向けて 日本と世界の航空機産業比較

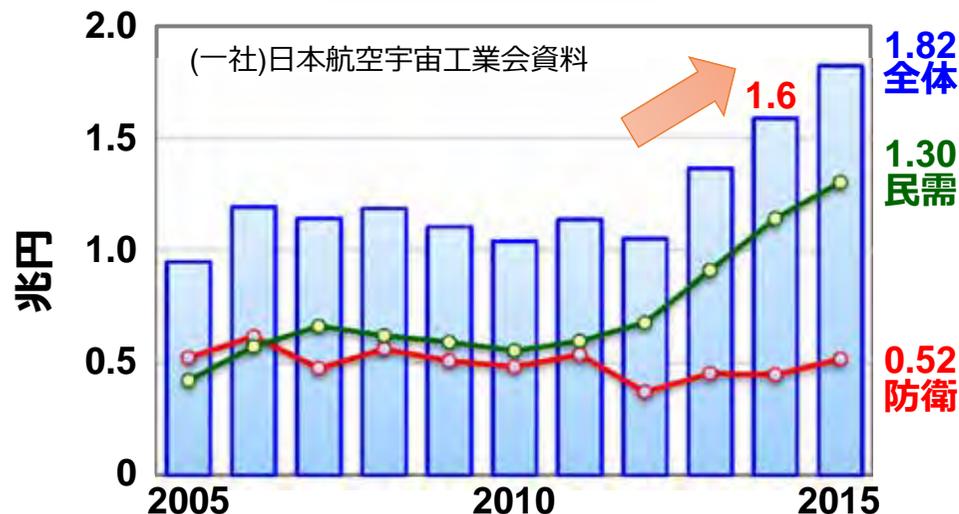
日本の産業構造



他国との比較



日本の航空産業



日本の航空産業は第2次世界大戦の影響により他産業に比べ規模が小さい

一方、日本の材料分野の学術基盤・技術力は世界的に見ても高水準



日本の航空産業には大きな伸びしろがある

3. 出口戦略・社会実装に向けて

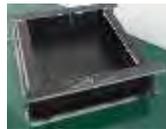
本プロジェクトが生み出す経済効果の予測

炭素繊維複合材料

3次元ギャップRTM成形

真空圧成形

ドア
(主構造)



尾翼
スキン



(2030年出荷試算額：1,800億円)

高生産性・強靱CFRP

機体胴体・主翼

(1.1兆円)



国産熱可塑樹脂CFRTP

(1,600億円)

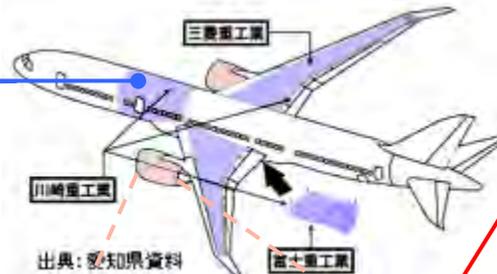
ファンブレード



ターゲット機体

B757後継 (中型)
B737, A320後継 (小型)
MRJ派生型 (RJ)

B787機体の日本の分担



出典: 愛知県資料

セラミックス基複合材料

(2030年出荷試算額：2,200億円)



耐環境
セラミックス
コーティング
CMC基材
(SiC/SiC)

燃焼器・シュラウド・高圧タービン

チタン、ニッケル基耐熱合金

(2030年出荷試算額：4,800億円)

鍛造プロセス開発・データベース作成

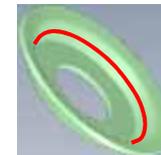


ディスク鍛造品
圧縮機/タービン



レーザ粉体肉盛

粉末射出成形



中圧圧縮機

ファン・圧縮機部品

チタンアルミ金属間化合物

(2030年出荷額試算額：3,100億円)

新合金の設計・製造技術

3次元積層造形法



低圧タービン
動翼



高圧圧縮機
動翼



低圧タービン
動翼

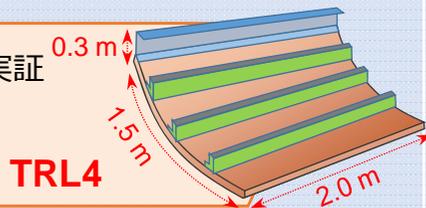
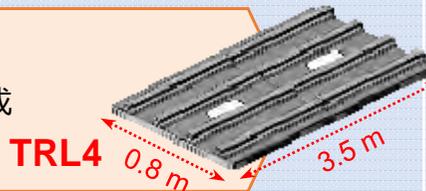
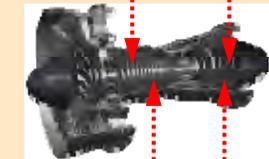
ターゲットエンジン

GE/Safran: Leapシリーズ
RR: Advance, Ultrafan
PW: PW 1100Gシリーズ

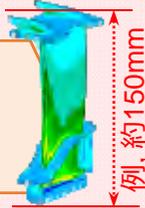
2030年 年間出荷試算額

2.4兆円上積み

3. 出口戦略・社会実装に向けて 革新的構造材料 工程表

研究開発項目	今後2年で達成する内容	適用先 (搭載時期)
<p>① 脱オートクレーブCFRP成形</p> <p>TRL3</p>	<p>(A)樹脂・CFRP</p> <ul style="list-style-type: none"> 真空圧成形プリプレグを用いた模擬構造部材の成形実証 目標：板厚12mmでボイド率1%, 歩留まり90%以上, 成形時間対オートクレーブ成形比1/5  <p>TRL4</p>	 <p>尾翼, ドア(2020~30)</p>  <p>中型(小型旅客)機 主翼 (2020~30)</p>
<p>② 高生産性・強靱CFRP</p> <p>TRL3</p>	<ul style="list-style-type: none"> ベンチマーク材料(B787材)比1.5倍の靱性を達成 複合材構造でアルミ並の価格へのコストダウンを達成 アルミよりも20%軽量化 (現在は15%軽量)  <p>TRL4</p>	<p>圧縮機・タービン静翼 タービンディスク (2020~30)</p>  <p>低圧タービン動翼 高圧圧縮機動翼 (2020~30)</p>
<p>① 鍛造シミュレーター</p> <p>TRL3</p>	<p>(B)耐熱合金・金属間化合物</p> <ul style="list-style-type: none"> 鍛造シミュレーターで蓄積したデータベースを用いて高精度な予測モデルを構築し、実鍛造品の最適鍛造プロセスを設計 5万トンの鍛造装置を使った実証  <p>TRL5</p>	<p>低圧タービン動翼 高圧圧縮機動翼 (2020~30)</p>
<p>② TiAl金属間化合物設計・鋳塊技術開発</p> <p>TRL3</p>	<ul style="list-style-type: none"> 高品位かつ安価なインゴットの製造と、既存のニッケル基合金を凌駕する優れた機械的性質を有する高性能TiAl金属間化合物による動翼の製造を実現するプロセス設計指導原理を確立  <p>TRL5</p>	<p>低圧タービン動翼 高圧圧縮機動翼 (2020~30)</p>

3. 出口戦略・社会実装に向けて 革新的構造材料 工程表

研究開発項目	今後2年で達成する内容	適用先 (搭載時期)
(C)セラミックス基複合材料 (CMC)		
① 耐環境コーティング(EBC)技術・繊維コーティング材料の開発 TRL2	<ul style="list-style-type: none"> 1400°Cの酸素・水蒸気環境下において開発材を500時間曝露後もEBCの構造を維持することを実証するとともに、損傷許容性も持続することを実証  TRL3	高圧タービン シュラウド (2030~)
② 高速基材製造プロセス技術の開発 (新テーマ) TRL2	<ul style="list-style-type: none"> CMC製造技術として、①界面形成技術、②形状保持技術、③高速MI プロセスの確立 タービンブレード実形状模擬供試体作成と回転試験  TRL3	低圧タービン動翼 (2030~)
(D)マテリアルズ インテグレーション (MI)		
① 金属MI TRL2	<ul style="list-style-type: none"> MI 1.0(自動接続、組織・性能一貫予測)の完成 疲労・クリープ・水素脆性・脆性破壊の予測 チタンMIモジュールの作成 ・MI拠点の形成  TRL3	航空材料の開発に適用 (2025~)
② セラミックスコーティングMI TRL2	<ul style="list-style-type: none"> 遮熱コーティング(TBC)用シミュレーション技術の完成とEBCへの展開 TRL3	セラミックスコーティング開発に適用 (2025~)
③ 高分子MI TRL2	<ul style="list-style-type: none"> 熱硬化性樹脂の硬化反応過程に関するシミュレーションモジュールの完成 TRL3	炭素繊維複合材料用 高分子の開発に適用 (2025~)

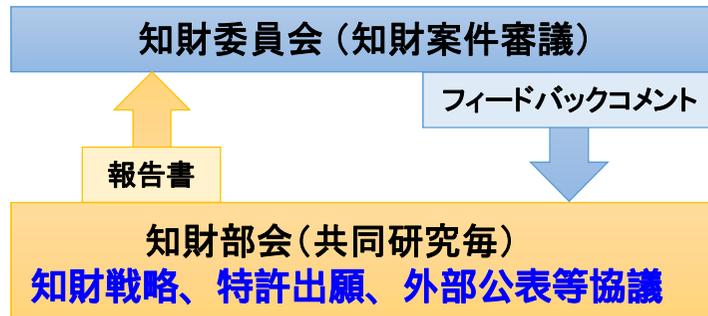
プログラム遂行の施策

府省連携、産学官連携による大型プロジェクト

- 1) 知財戦略
- 2) TRL導入による定量指針と評価
- 3) 4領域、34ユニットの共同リーダー制の導入
- 4) 4領域コーディネーターの任命
- 5) ピアレビューの3段階実施: JST内担当者、国内評価委員会、国際評価委員会
- 6) 技術検討委員会(毎週)、企画委員会(毎週)
- 7) ユニットからのヒアリング(毎週一課題)
- 8) 若手、材料俯瞰勉強会
- 9) アウトリーチ キャラバン(海外)→オープンイノベーション
- 10) ユニットの継続的な再編成

1) 出口戦略への戦略性、達成度合い (知財戦略)

知財戦略



- ✓ 知財部会は**知財戦略立案・実行**機関
- ✓ 企業の**事業化戦略**に沿った**知財戦略推進**
- ✓ 特許、論文は**数より質**(成果の**事業化優先**)
- ✓ グローバル競争力強化のため**国際出願要請**

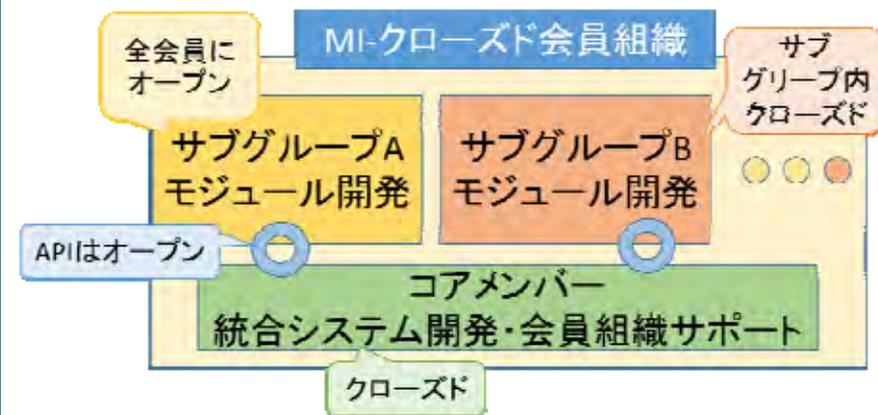
活動成果

- 1) 研究成果と特許出願が連動し始めた
- 2) 国内出願、国際出願(予定含)共に**件数増加**
- 3) 産学官で特許出願、論文発表等の**可否、時期の事前協議が定着**
- 4) 大学、公的機関に**知財戦略の重要性浸透**

革新的構造材料 年度別特許件数

	H26年度	H27年度	H28年度上期
国内出願	3件	14件	9件
PCT国際出願 (出願予定含)	0件	13件	7件

拠点化に向けたMI知財戦略立案



- ①規約型知財管理
外部にクローズ、内部にはオープン
- ②一元的著作権管理
サブグループ制で利用・開発制御
- ③統合システムの持続的発展(エコシステム)
統合システムは根幹をノウハウ化・特許化
APIオープン化によるモジュール開発促進

2) SIP 革新的構造材料におけるTRLの定義

技術成熟度 (TRL: Technology Readiness Level)

TRL	定義
1	基礎科学から応用研究・開発への移行。原理的な可能性が示されている
2	技術の基本概念や応用の具体化。技術のコンセプト・応用が提案されている
3	クリティカルな機能や特徴的な概念が解析的・実験的に具体化・定量化されている (試験片によるコンセプト検証など)
4	要素技術の開発。要素技術や部材に対する実験室レベルでの妥当性が評価されている
5	要素技術の完成。要素技術や部材が、実際の使用条件に近い条件の下で妥当性が評価されている
6	技術基盤の確立。システム(サブシステム)が、実際の使用条件に近い条件の下で検証されている
7	プロトタイプが、実際の使用条件の下で検証されている
8	実際のシステム全体が準備され、実用化に必要な試験・検証が終了している
9	実用化の開始

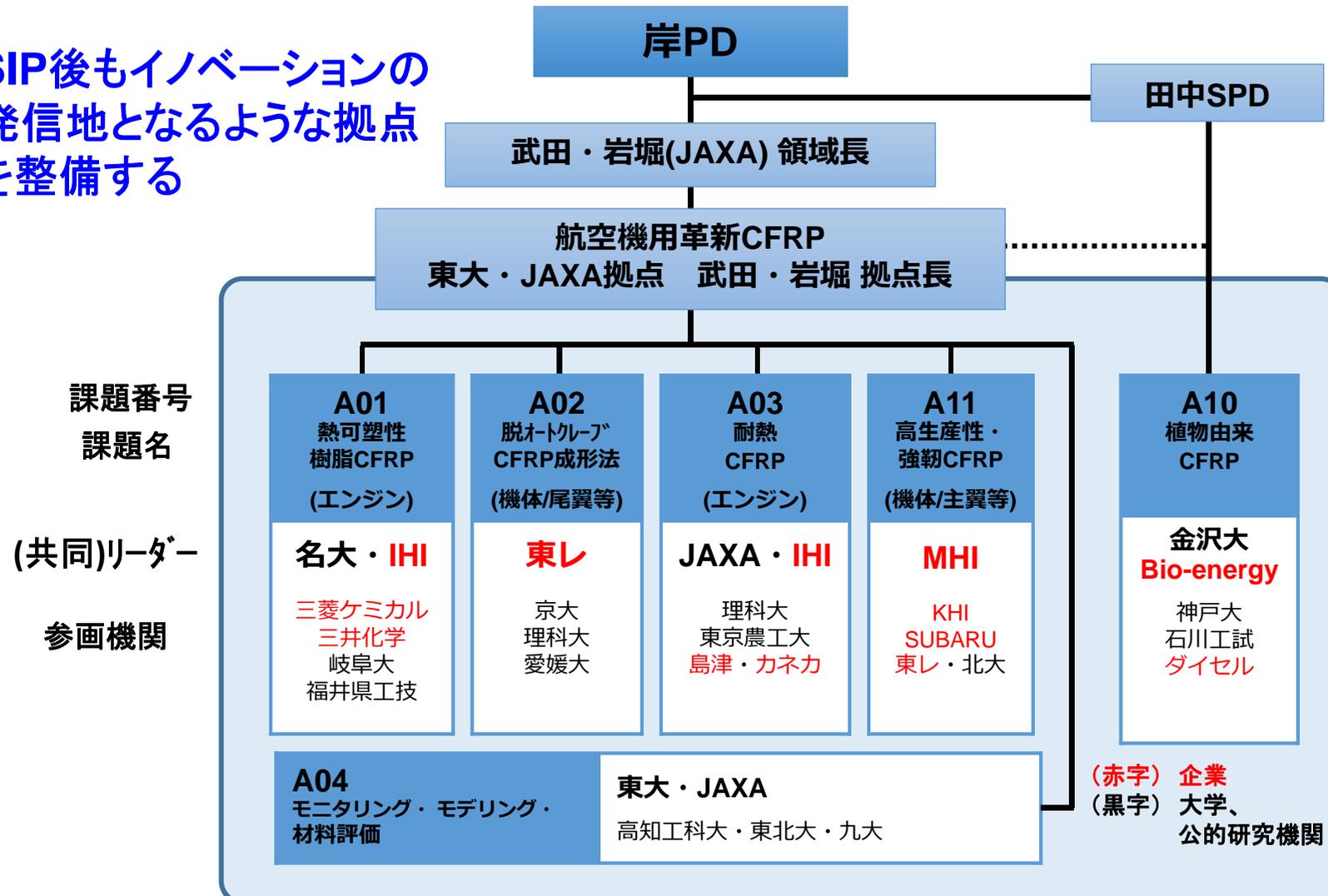
大学、国立研究機関が対応できるのはTRL5まで、以降は企業での開発

3) 4領域、34ユニットの共同リーダー制の導入

社会実装を実現するための体制作り

(A領域を例として)

- 企業が(共同)リーダーとなり、SIP終了後も実用化を目指して研究を続ける
- SIP後もイノベーションの発信地となるような拠点を整備する



4) 4領域コーディネーターの任命

拠点形成

- ✓ 企業が(共同)リーダーとなり、SIP終了後も実用化を目指して研究を続ける
- ✓ SIP後もイノベーションの発信地となるような拠点を整備する

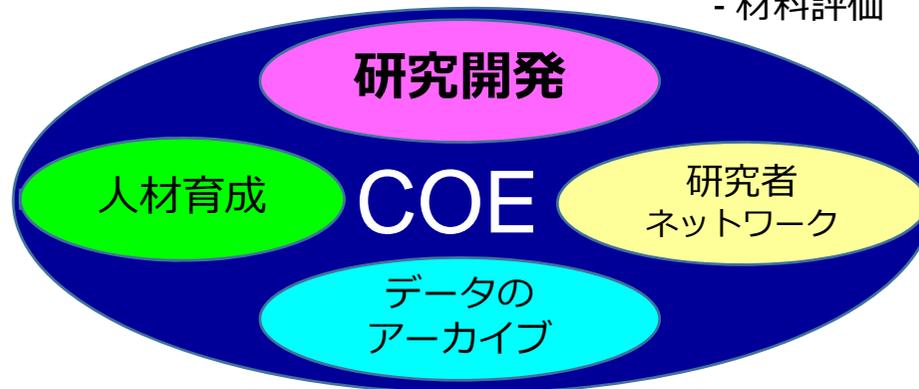
A領域: 炭素繊維強化プラスチックCFRP

東京大学, JAXA

- モニタリング、モデリング、シミュレーション
- 材料評価、品質保証技術
- データベース



武田展雄 教授
(東京大学)



B領域: 耐熱合金、TiAl金属間化合物

NIMS、東工大

- 合金設計
- プロセス開発
- 材料評価



御手洗容子 博士
(NIMS)



竹山雅夫 教授
(東京工業大学)

C領域: セラミックス基複合材料

JFCC (一財 ファインセラミックスセンター)

- コーティング設計、製造技術
- 材料評価



高田雅介 所長
(JFCC)

D領域: マテリアルズインテグレーション

東京大学、NIMS

- 計算材料科学
- データベース
- 情報工学
- MIシステム



小関敏彦 教授
(東京大学)

5) ピアレビューの3段階実施: JST担当者, 国内・国際アドバイザリーボード

アドバイザリーボードの役割

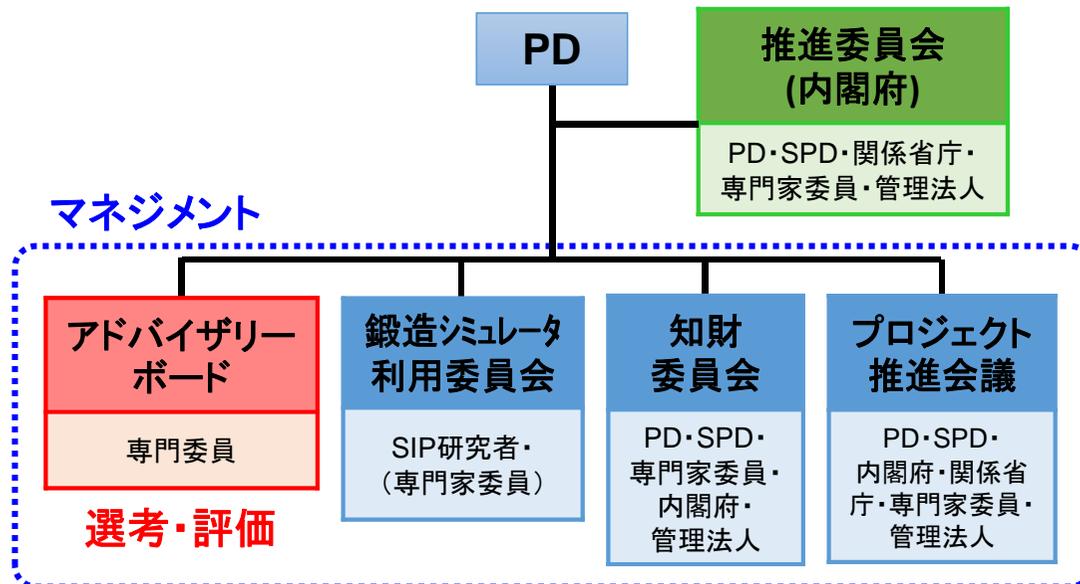
- ① 自己点検(PD, 研究開発課題)に対するコメント
- ② 研究開発課題の採択・終了に対するコメント
- ③ 中間評価、最終評価会等への参加、コメント

国内アドバイザリーボード

ボードメンバー11名(主査:小豆島 明)

- ①に関する開催:2015年2・4・11月、2016年11月、**2017年12月**
- ②に関する開催:2015年11月 (A領域 主翼等の新課題)
2016年3月 (Mg合金課題の終了)
2016年7月 (CMCに関する新課題)
- ③に関する開催:2016年9月 (ステージゲートに向けた評価)

科学技術振興機構 (JST)



国際アドバイザリーボード

ボードメンバー12名(日欧米)

- 2016年3月2日(水)、3日(木)
@国際文化会館 六本木
- 2016年6月25日(土)
@ホテルブリistol ウィーン
- 2016年6月29日(水)
@ドイツ連邦材料試験研究所
- **2017年1月30日(火)、31日(水)**
@国際文化会館

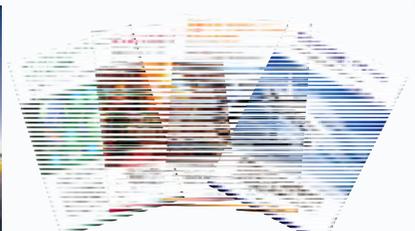


広報ツールの作成

研究内容を詳しく紹介するために領域パンフレット、定期発行の広報誌を作成した



全領域 (日・英)
(研究概要紹介)



領域別 (日・英)
(研究のより詳細な紹介)



広報誌
SIP-SM4I MAGAZINE

HP <http://www.jst.go.jp/sip/k03/sm4i/index.html>

コロキウム 多様な材料のパフォーマンスを理解する 人材育成

材料の多様化を背景として、金属・無機・有機・複合材等の区別無く、広く構造材料の研究者が集い、そのパフォーマンスを理解するために必要な要素技術・科学について議論を行う場、若手研究者育成の場として企画・実行

2016年2月開始、以降隔月開催の原則で、開催(予定)。毎回50名程度の研究者による活発な議論が行われる

国際的なアウトリーチ活動

内閣府-外務省 科学技術発信キャラバンを開催

第1回 ベルリン(2016/6/28)

第2回 ウィーン・パリ・ロンドン(2016/10/16-22)

第3回 ジャカルタ、バンコク(2017/2/27-3/4)

第4回 タイ(2017/6/19-17)

第5回 オランダ(2017・9・11-3)



技術主幹による海外調査 世界を先導する技術の構築を目指して

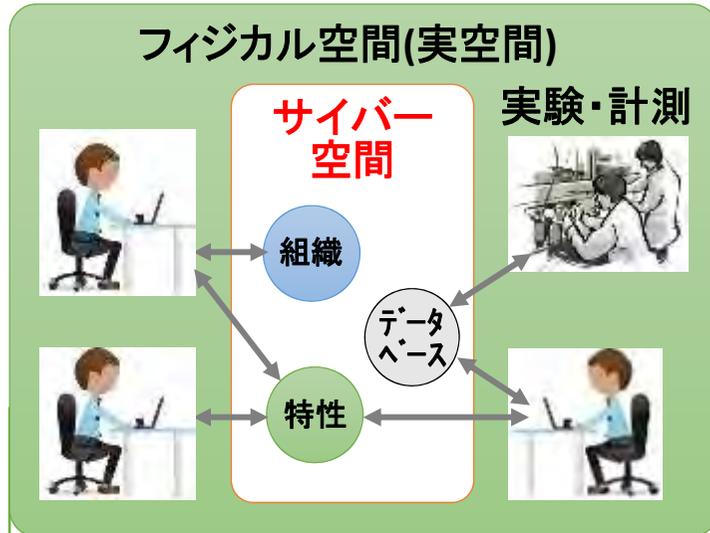
国際的なベンチマーキング・第三者評価の的確な実施、および産官学連携の核として機能している主要機関の実態調査を目的とした技術主幹による欧米調査

- ① 独・英・フィンランド (2016.2/1-6)
[BAM, ブリストル大, VTT]
- ② 米(2/14-18) [NIST, ノースウェスタン大]
- ③ 独(5/31-6/5) [独航空宇宙センター, ベルリン国際航空ショー, MPIE, BAM]

革新的構造材料におけるSociety 5.0に対する取り組み

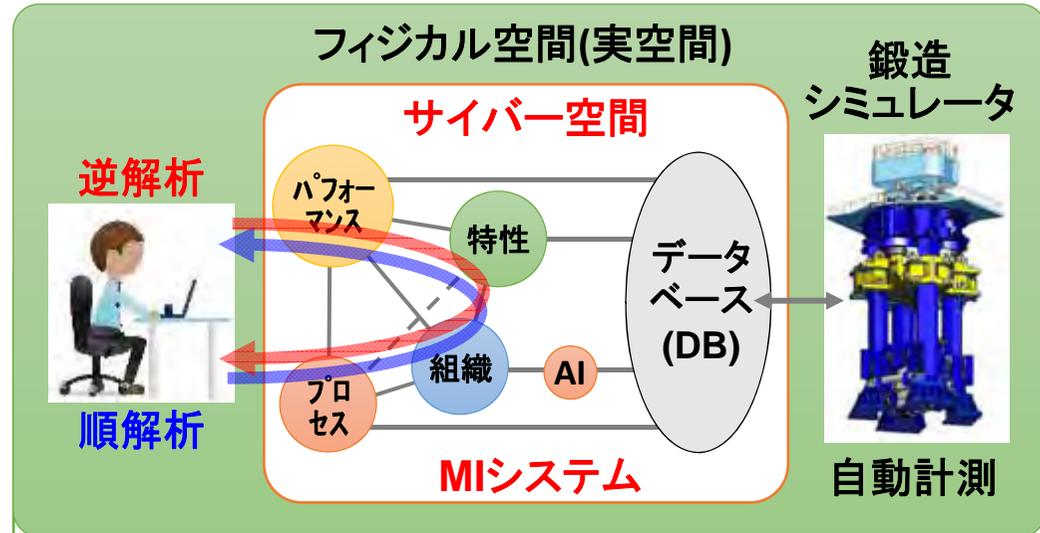
- ✓ 実空間で行っていた材料開発の一部をサイバー空間へ移行させる

SIP開始前のイメージ



- サイバー空間上で個々の要素は個別に存在。個別に出てきた結果を実空間にて人力で連結
- 実空間における制約大(時間・空間・マンパワー・コスト)

SIP終了時のイメージ



- サイバー空間上で全要素を繋げ、自動的に相互参照して結果を出力 (逆解析への道を拓く)
- 鍛造シミュレータや自動計測によるDB拡充
- 材料の組織判定などでAI技術を活用
- Virtual testにより実空間での試験回数を削減

SIP終了後は関係各省のプロジェクトと連携しながら多種多様な材料に展開し、「統合型材料開発システム」へと発展させる。

ご清聴
ありがとうございました

『革新的構造材料』

