

『統合型材料開発システムによる マテリアル革命』

- 逆問題MIによる材料開発 -
- ・ 欲しい性能から、材料・プロセスをデザイン
- ・ 航空機等の先端構造材料・プロセスへ展開

プログラムディレクター
岸 輝雄

逆問題MIで材料開発手法を刷新

実験から計算へ、限定的な探索から網羅的・効率的な探索へ

従来手法

- 実験検証を繰り返して試行錯誤
試行錯誤回数に制限
- 専門家が経験と勘から、支配因子を推量し、次の探索条件を決定
多数の因子を一度に考えられない

逆問題MI基盤

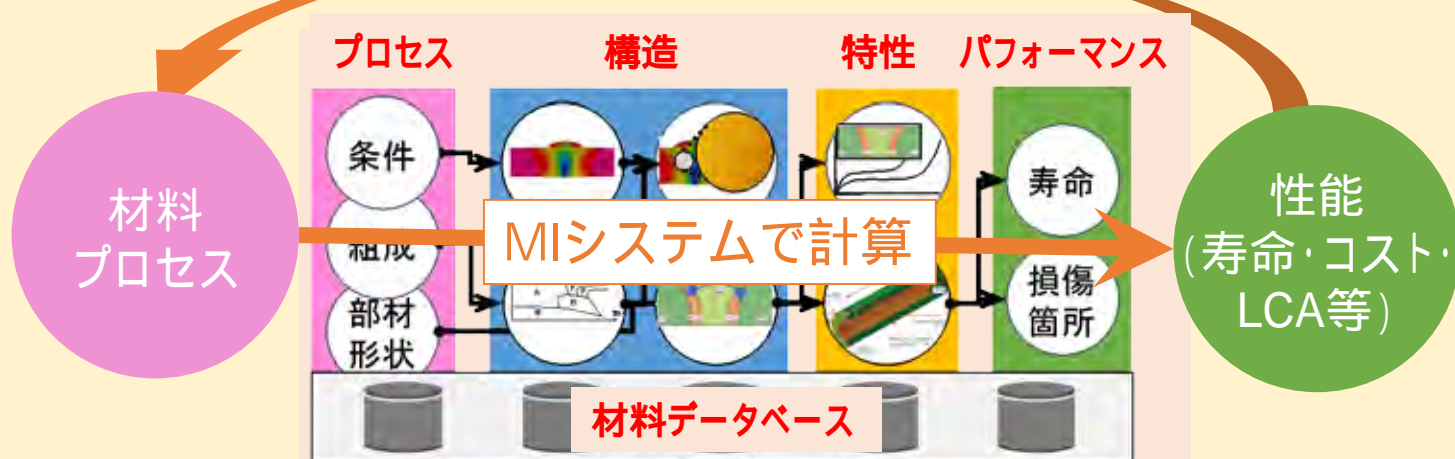
- 計算機（MIシステム）上で試行錯誤
検証コスト・時間の大幅削減
- 情報工学で、全ての考えうる因子について、網羅的・効率的に最適化
意外な因子・見落としていた最適解の発見

目指すべき材料開発手法

課題

- 予測精度の高い計算手法
- 考えうる因子を取り込んだ精緻なモデル
- 自動で条件探索計算ができる柔軟なシステム

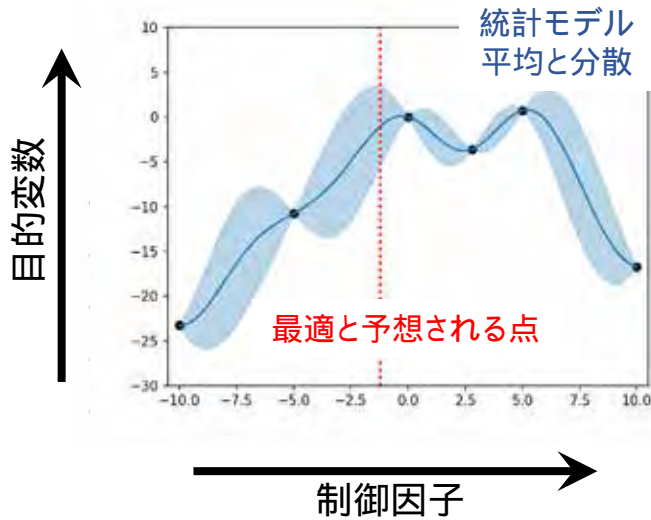
情報工学で探索



情報工学を活用した逆問題MIの解き方

逐次最適化手法: 資源探索、潜水艦探索等々で活用されている
順方向の計算(実験)結果をもとに、目的変数を最大化/最小化する次の「打ち手」を決定
効率性をあげつつ、局所解を避ける工夫が、様々に施されている。

ベイズ最適化法による最適化の様子



• ベイズ最適化法

資源探索のために開発された手法。それまでの結果をもとに統計モデルを構築し、その平均と分散から最適と思われる点を推薦

• 遺伝的アルゴリズム

進化論に着想を得た手法で、突然変異を与えつつ、筋の良い答えを掛け合わせて淘汰

• モンテカルロ木探索(サイコロを振る)

AlphaGo(コンピュータ囲碁)で開発された手法で、広大な制御因子の(20次元)空間において威力を発揮

情報工学で探索



MI

- ・マテリアルズインフォマティクス
- ・マテリアルズインテグレーション

SIP (第2期)

「統合型材料開発システムによるマテリアル革命」

期間 2018年度～(5年)

目的

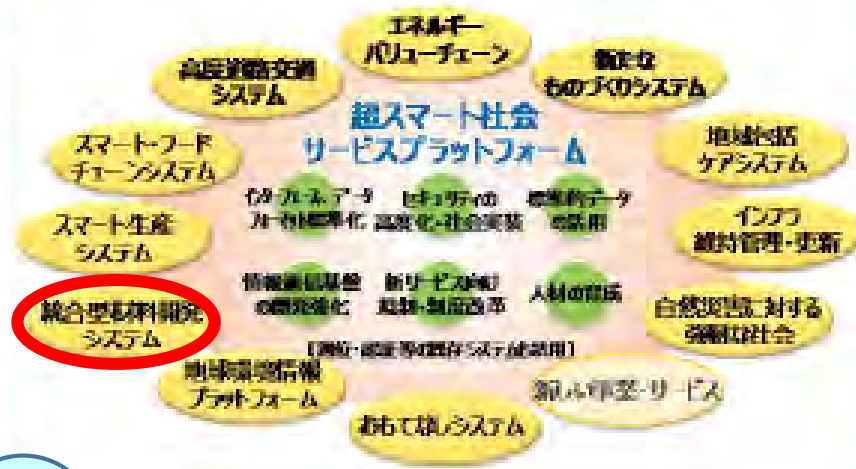
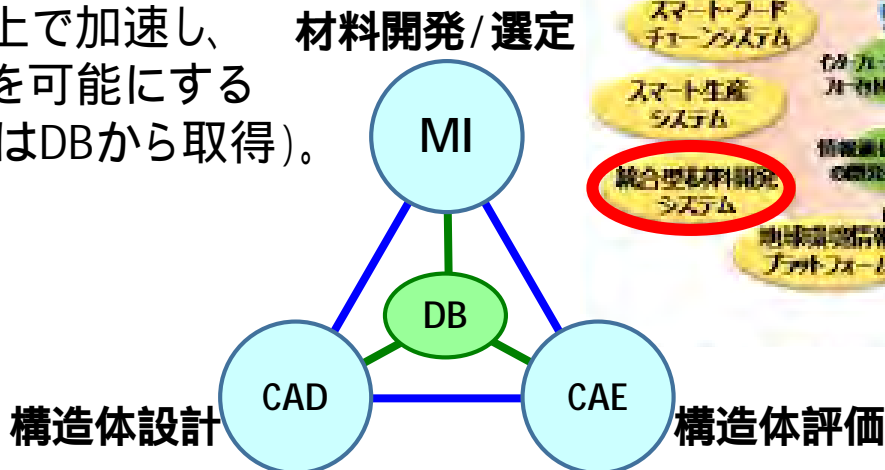
材料工学と情報工学の融合で**欲しい性能から材料・プロセスをデザインする逆問題**マテリアルズインテグレーション(MI)を開発。**航空機等の先端構造材料・プロセスに展開**して、材料開発手法を刷新。

目標

- 材料の開発コスト・期間を50%以下に低減し、新たな機能を導出する**逆問題MI**の確立および社会実装に向けた体制の構築。
- 逆問題MIを活用した次世代CFRP、耐熱材料3D製造プロセス等の確立および航空機・環境・エネルギー分野での実用化。

Society 5.0の具現化

- 材料開発を計算機上で加速し、CAD、CAEとの同期を可能にする(従来、材料データはDBから取得)。



マテリアル革命の研究開発全体像(領域・チーム構成)

逆問題MI基盤の構築から先端構造材料・製造プロセスへの展開

B領域 (フレキシブルCFRP)

領域長: 岡部/東北大 & 中村/JAXA

B1 多機能CFRP

吉岡/東レ、岡部/東北大
難燃・制振・熱伝導CFRP

B2 AI自動積層

阿部/MHI、中村/JAXA
CFRP最適・高速製造

B3 薄層3D設計

内山/SUBARU、中村/JAXA
薄層材・高自由度設計



A3 原子・構造体デザイン

岡部/東北大、伊藤/東レ
自由設計CFRP向け
MI技術を開発

A2 プロセスデザイン

渡邊/NIMS、井頭/KHI
耐熱合金粉末プロセス向け
MI技術を開発

A領域 (逆問題MI基盤拠点)

領域長: 出村/NIMS & 榎/東大

モジュール・ワークフロー・データ
実装と活用

A1 逆問題解析

榎/東大、風間/JFEスチール
逆問題解析手法の開発

A5 構造材料データベース

出村/NIMS、芦野/東洋大、
岡崎/神戸製鋼所
構造材料データベースの設計

C領域 (粉末3D積層)

領域長: 渡邊/NIMS & 中野/阪大

C1 Ni粉末3D

井頭/KHI、中野/阪大
ガスタービン燃焼バーナー

C2 Ni粉末鍛造

今野/MHPS、長田/NIMS
航空エンジンタービンディスク

C3 Ti粉末3D

高橋/IHI、野村/東北大
航空エンジン圧縮機静翼



C4 TiAl粉末プロセス

竹山/東工大、福島/MHIAEL
航空エンジン圧縮機・タービンブレード

C5 CMC

香川・七丈/東京工科大、関川/MHI
航空エンジン圧縮機・タービンブレード

研究者が領域間を兼務し、
データ・試料共有やツール活用

A領域：逆問題MI基盤の構築

A-B/A-C領域横断共同研究により
航空機向け等の先端的構造材料・プロセス開発に展開

A3：原子・構造体デザイン

分子設計から機体までマルチスケール・マルチフィジックスの逆問題MI技術を開発。

A2：プロセスデザイン

ニッケル合金、チタン合金等の先端的な粉末プロセスの逆問題MI技術を開発。



モジュール・ワークフロー・データ
実装と活用



A1：逆問題解析

次世代構造材料を対象に、
逆問題解析手法を先行
開発



A4：MI統合システム

逆問題手法に対応したシステム
強化と先端構造材料・プロセス
への対応

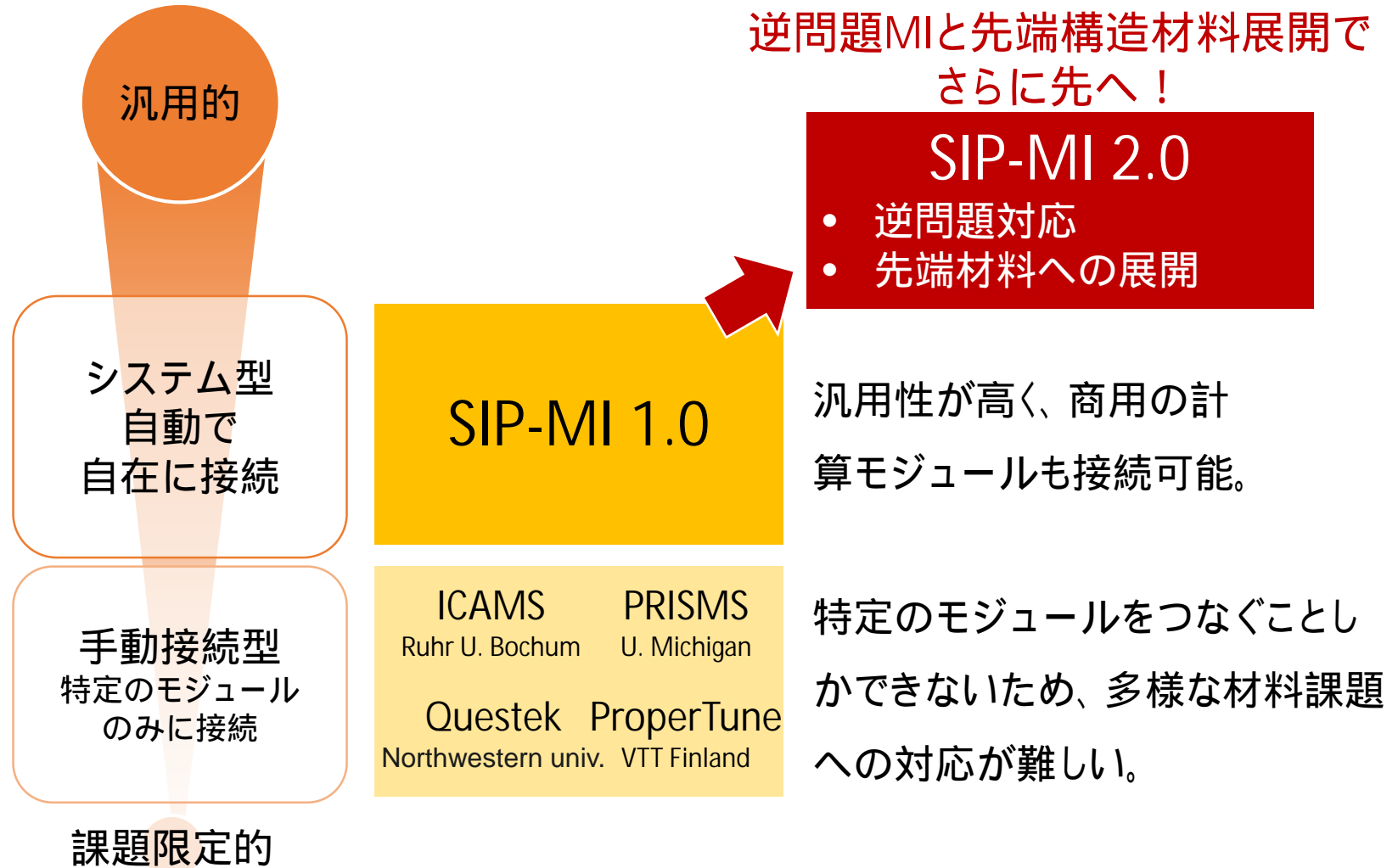


A5：構造材料DB

性能を支配する材料内部
構造の記述方式の設計と
定量化技術を開発

逆問題MIに対応したシステム基盤の開発

- プロセスから性能を一貫予測できる汎用的なシステムを世界に先駆けて開発
- 性能から材料・プロセスをデザインする逆問題MIは未踏領域



各業種における開発期間

G. Young
 Director Materials & Fabrication Technology
 Georgia Institute of Technology, Boeing
 2013 Industry Symposium
<http://www.mse.gatech.edu/2013symposium>

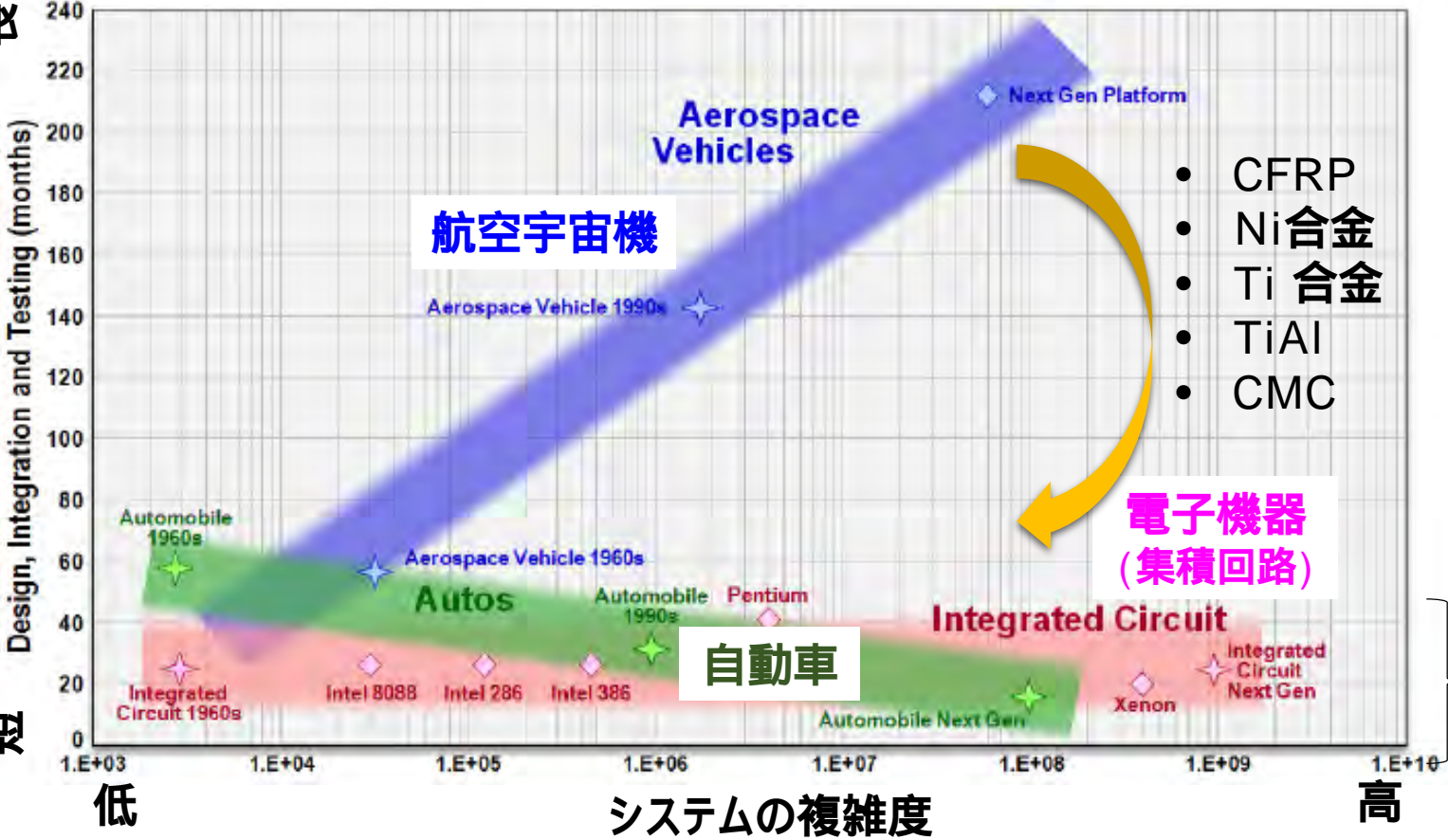
20年

長

開発期間

3年

短



自動車と電子機器における新材料の研究開発期間は減少している。

しかし

航空宇宙機（航空機、ロケット、宇宙船）の開発期間は長期化（1960年と比べて3倍）

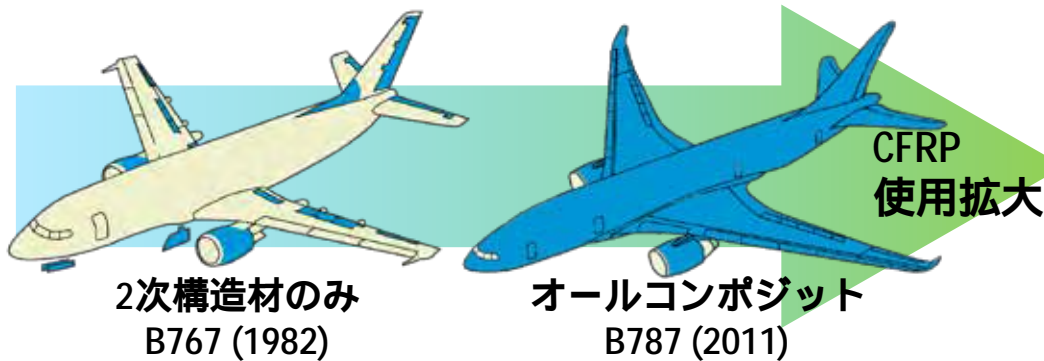
航空機材料を自ら作れる国が先進国

B領域：次世代高機能CFRPにより、航空機部材の国際競争力を強化する

現状：中国の猛追→従来のコスト・生産性重視の延長だけでは成長継続は困難。

* 第1期成果（主にコスト低減、高生産性、高信頼性）でシェアを拡大した後、
第2期成果（高機能化）を導入して、優位性を維持する。

市場予測 by Boeing：2018-2037年の20年間に約43,000機の製造、およそ650兆円。
→構造材料（コスト比率10%）：20年で60-70兆円（現在のCFRP市場の数倍）



さらなる快適性・安全性の強化
2000年以降の国内事故・インシデント
130件のうち10件が火災関係
複雑構造体の高速生産
→複合材の3Dプリンタ化

3D積層-AI援用(B2)・ステアリング積層・熱硬化/熱可塑性MI(B2)

成形体
マクロ
フラッタ標定
翼根
強度標定
エンジン取付
剛性標定
翼端

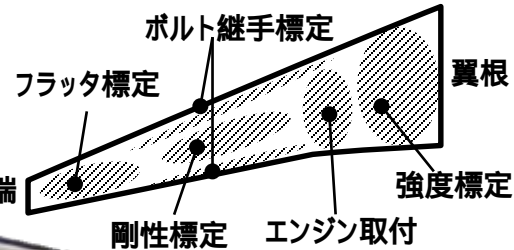
ミクロ

中間材

素材

炭素繊維-開織(B3)・樹脂-多機能(B1)

ナノ



* 耐荷重等、要求性能分布に対応したCFRP特性分布の最適化。

* ナノ-ミクロ-マクロ各領域の技術開発と統合。

逆問題MIのメリット：複数要求性能（分布）の中で材料・プロセスを最適化。

B領域の対象部材・目標・国際ベンチマーク・出口戦略

B領域対象部材(全チーム共通):機体構造全般
尾翼から導入を始め、主翼・胴体に展開。

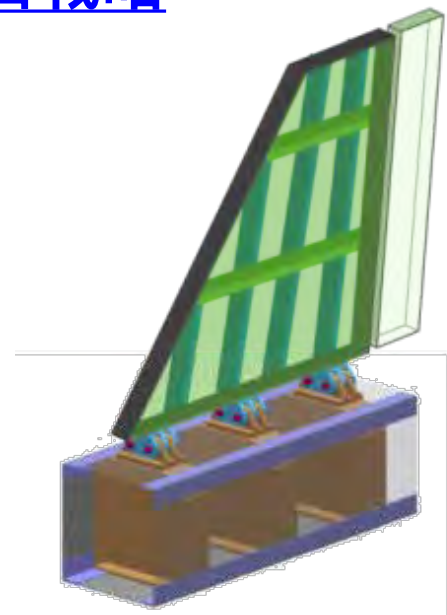
B1:多機能複合材料の開発による高付加価値化

目標(現行材と同等の力学特性に、下記2つ以上を付与)

・難燃化・熱伝導性向上・制振性

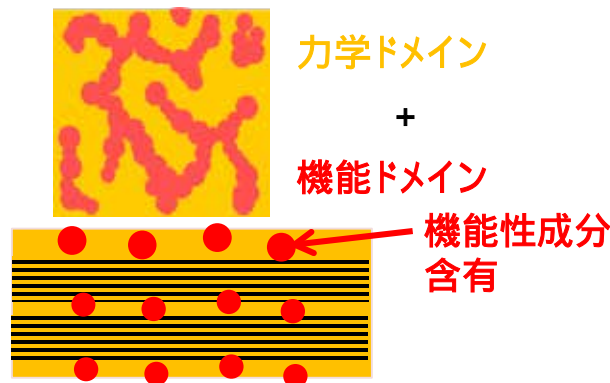
出口戦略(SIP終了時TRL5)

・東レが自社商品の高付加価値化として徐々に置き換え。



実大構造試験
(垂直尾翼)

機能性成分の作用



ポリマー設計

CFRP設計

B2: AI援用積層最適化による

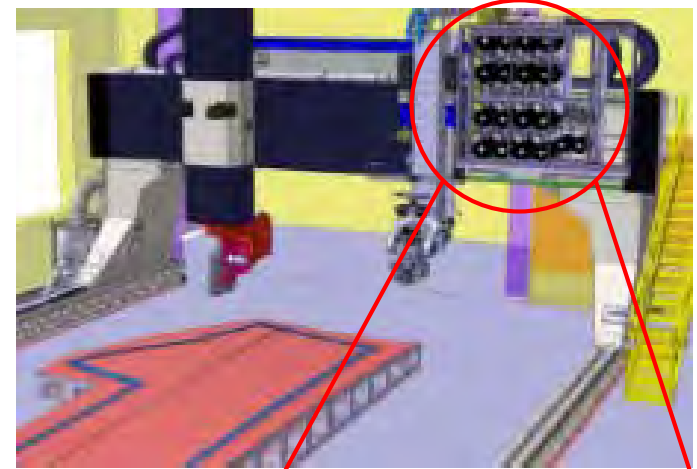
CFRP設計・製造自動化技術の開発

目標(エポキシ複合材の複雑翼形状部品の場合)

- ・積層速度向上
- ・強度向上
- ・軽量化

出口戦略(SIP終了時TRL4)

- ・MHIが実用化に向けて、関係機関と共にFAA等に提案。



B3: 薄層材自動積層による

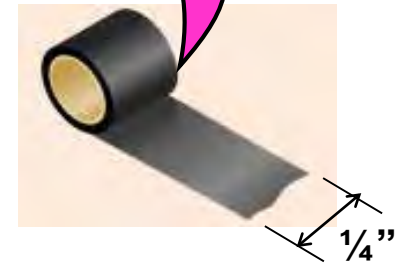
CFRPの3D高自由度設計技術の開発

目標

- ・薄層プリプレグ加工高速化
- ・ステアリング積層速度高速化
- ・軽量化

出口戦略(SIP終了時TRL4)

- ・SUBARUがBoeing等に軽量構造を提案し、事業化につなげる。
- ・無人機等の適用実績を確保した上で、量産民間機に展開。

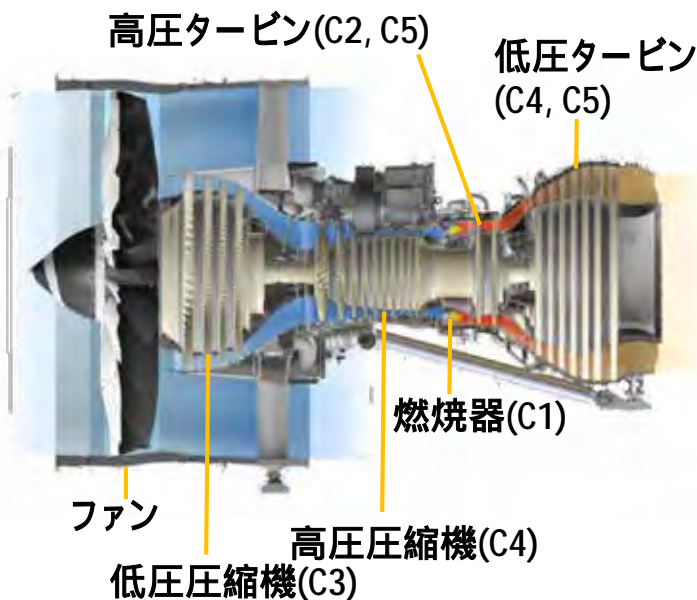
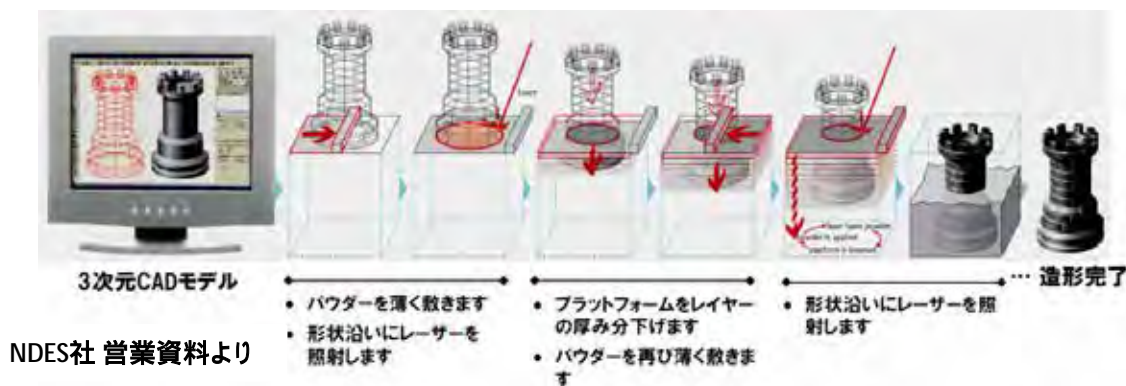


複合材ホット積層装置 (AFP)

C領域：3D製造技術により、航空エンジン基幹部品の国際競争力を強化する

現状：

- * 米欧企業が原料(合金粉末・SiC繊維)・製造設備(積層造形装置等)を支配
→原料(粉末)～最終製品(部品)のサプライチェーンの確立が不可欠。
- * 積層造形製品は力学的・熱的負荷の低い部品への適用に限定
→力学性能を日本の材料科学・工学で向上させ、基幹部品(圧縮機・タービンのブレード(翼)・ディスク、燃焼器等)に適用する。



- * 積層造形の優位性：複雑な中空形状の成形に有利で、流体力学等の観点から理想的な形状を実現できる。
- * 粉末プロセスの優位性：化学組成が製造プロセスに制約されず、力学性能重視の合金設計が可能であり、要求性能に応じて粉末をカスタマイズできる。

米欧エンジンメーカーが、新材料(TiAl, CMC)・新プロセス(積層造形)導入を積極的に推進。

逆問題MIのメリット：複数要求性能(分布)の中で材料・プロセスを最適化。

C領域の対象部材・目標・国際ベンチマーク・出口戦略

C1: Ni基合金の3D積層造形プロセスの開発

対象部品: 産業用ガスタービン 水素燃焼バーナー

目標

- ・試作バーナー燃焼試験: 連続燃焼の完遂。
- ・新規Ni基合金: 積層造形材で引張強度向上。

出口戦略 (SIP終了時TRL4)

- ・KHIが事業化に向け、社内規定の実機エンジン燃焼特性・部品耐久性試験で実証。

C2: 高性能化のためのNi粉末鍛造プロセスの開発

対象部品: 中小型民間航空機エンジン 高圧タービンディスク

目標 (欧米プロセス材と同等の力学特性)

- ・粉末: 回収率と粉末鍛造用収率の向上による低コスト化
- ・対欧米プロセスよりも低コスト化 (大型設備不要)。

出口戦略 (SIP終了時TRL5)

- ・MHPS主導でガスタービン学会でプロジェクトを立ち上げ、認証取得。



C3: Ti合金の粉末・3D積層造形プロセスの開発

対象部品: 航空エンジン用圧縮機用部材

目標 Ti-6Al-4V合金粉末製造: 原材料費20%削減。

積層造形材で鋳物同等特性 (AMS4922) 達成。

出口戦略 (SIP終了時TRL2)

→ 部品試作・部材特性評価・DB整備



圧縮機用部材モデル例

C4: 高性能TiAl基合金動翼の粉末造形プロセス開発と基盤技術構築

対象部品: 航空エンジン 高圧圧縮機・低圧タービン部品

目標 射出成形材で750 で高い破壊靱性と高い引張強度。

出口戦略 (SIP終了時TRL5)

・東工大、MHIAEL等が協力し、国際共同開発スキームを活用して認証取得。

C5: セラミックス基複合材料の航空機エンジン部材化技術の開発

対象部品: 航空エンジン 高圧・低圧タービン部品

目標 プロセスの保証、危険欠陥分布の抽出、高温環境下の寿命予測。

RMI (反応溶融含浸) 法による製造: 1200 で高い引張強度

出口戦略 (SIP終了時TRL4) IHI, KHI, MHIAELが自社製品実用化に活用。



低圧タービン
動翼

マネージメント上の特徴

【研究体制・産官学と領域間連携】

- ・参加組織：45機関（産18、学22、官5）
- ・研究者数：約350名
- ・**Co-leader制**（学と産から領域・ユニットのleaderを任命）導入
基礎 - 開発 - 実用化を一気通貫(TRLの導入)
- ・研究者がチームを兼務
（逆問題MI基盤の確立を行うA領域と最先端材料・プロセス研究を行うB・C領域）
領域横断共同研究の促進

【拠点形成】

- ・アーカイブ化（成果やデータ離散・消滅防止）、SIP終了後の研究開発継続
- ・A領域：NIMS・東大、B領域：JAXA、東北大、C領域：NIMS・東工大・大阪大

【知財戦略】

- ・JST内に知財委員会を設置し、下記などに関するガイドラインを策定し、各チームの知財部会が実践する。
 - ビジネスモデル選択（オープン/クローズ戦略等）
 - 権利保護（プログラム、システム等の権利化）
 - データ保護（企業が安心して参入できるようなデータ管理ルール等）

【国際連携】

- ・MI研究重要サイト(ミシガン大学、ジョージア工科大、ルール大学、ブリティッシュコロンビア大学)との連携
- ・国際ワークショップ開催、若手研究員の相互派遣等を実施（予定）

【企画・技術・評価委員会】

- ・企画委員会（内閣府）：内閣府・JSTによる課題全般に関する運営方針等策定、企画立案など。
- ・技術委員会（JST）：内閣府・JST・領域長などによる研究開発進捗確認・調整など。
- ・評価委員会（JST）：外部有識者によるPeer Review。国際アドバイザリーボードも併設。