



統合型材料開発システム によるマテリアル革命

プログラムディレクター
三島 良直

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」

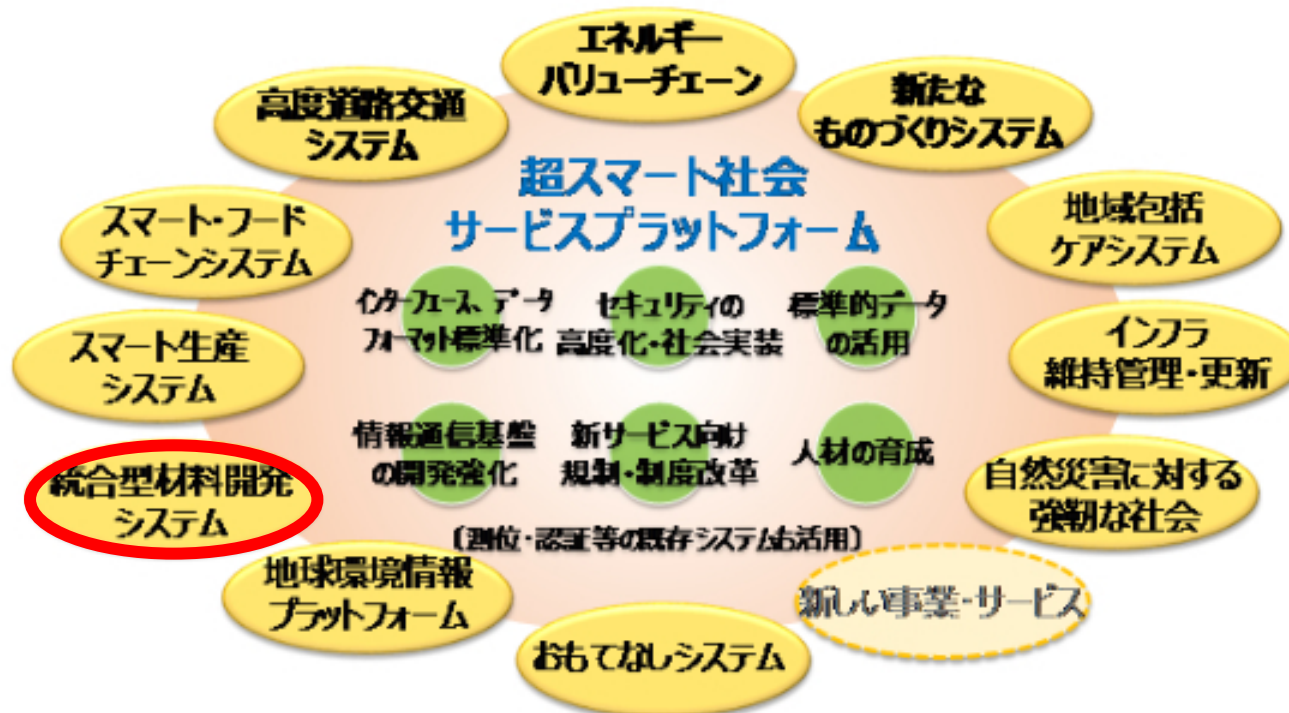
PD：三島良直、 サブPD：毛利哲夫

期間：2018～2022年度、 2020年度予算：20.8億円

目的

- 材料工学とデータ科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）システムを開発。
- 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。

Society 5.0の具現化（第5期科学技術基本計画）

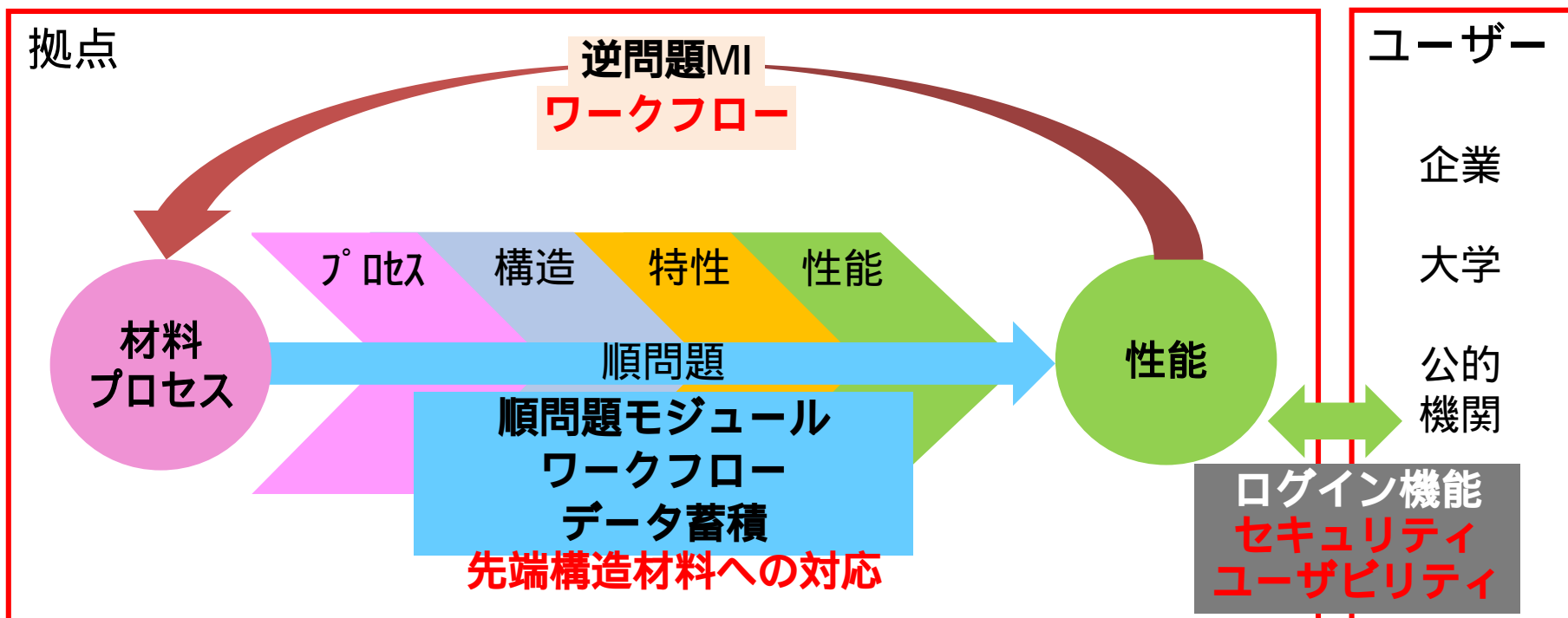


目標

素材関連産業の競争力強化のために、特に構造材料において欲しい性能から必要となる材料の構造・特性、さらにプロセスを提案するMIシステム（**統合型材料開発システム***）を構築し、材料開発の大幅なスピードアップ・コスト低減を実現する。MIシステムが企業や大学・国研の研究開発で有効活用され材料開発が加速することを社会実装の目標とする。さらに、本課題においてMIシステムを活用して開発された製品・技術が実用化・事業化されることをも目指す。

* Society 5.0の具現化の一つ（第5期科学技術基本計画）

MIシステムの進化（第1期 第2期）



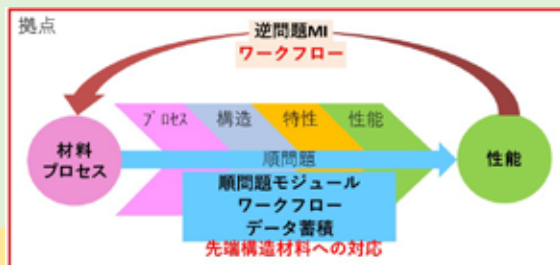
研究開発チームと領域間連携

参画機関数: 48 (産19, 学25, 官4)

A1 逆問題解析

A領域: MI基盤

A4 MI統合システム



A5 構造材料
データベース

B1 多機能
CFRP

A3 原子・構造体
デザイン

A2 プロセス
デザイン

C5 CMC

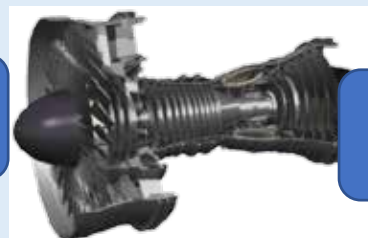
B領域: CFRP

C領域: 粉末・3D積層

B2 AI
自動積層

B3 薄層
3D設計

C1 Ni粉末3D



C4 TiAl粉末
プロセス

C2 Ni粉末鍛造

C3 Ti粉末3D

B・C領域の研究者の一部をA領域に兼務させて連携強化

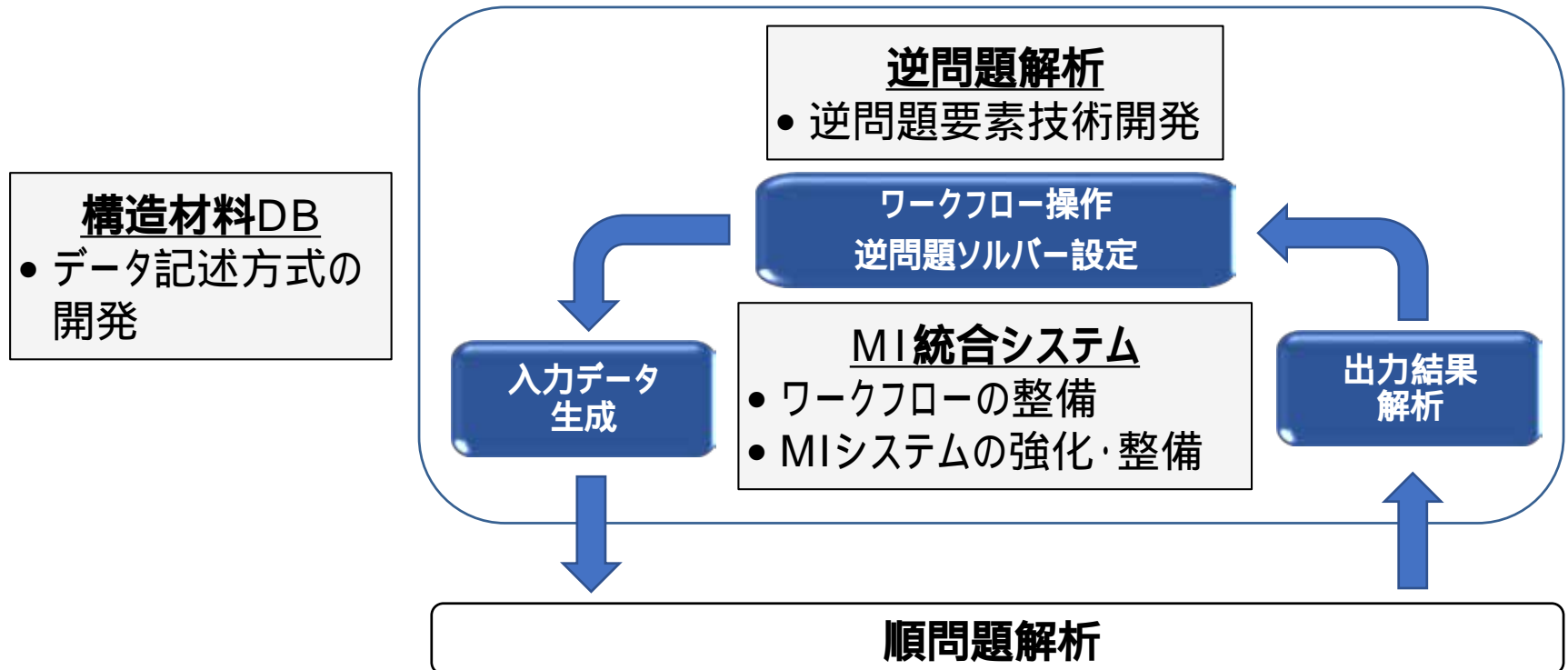
A領域：逆問題MI基盤

【目標】

- Society5.0の具現化として、欲しい性能から、必要となる材料の構造・特性を提案し、さらに、それを実現するプロセスを提案できる、材料科学・工学とデータ科学を融合した**新しい統合型材料開発システムを構築**する。これが我が国の企業に利用されることを社会実装とし、特に今後より一層厳しい国際競争に曝される先端構造材料・プロセスを扱う企業に利用されることを目標とする。

【特徴】

- 性能から材料・プロセスをデザインする逆問題対応を**世界に先駆けて**開発



主な研究開発成果(2019～2020年度)

【A領域】

目標：汎用の構造用金属系材料における「プロセス - 組織 - 特性 - 性能の連関を考慮」し、「計算科学とデータ科学を融合」することにより、組織予測、性能予測の仕組みを展開・発展させた「逆問題的アプローチ」を可能とするMIシステムの構築。

成果：

逆問題的アプローチの有効性検証（設計指針提案）

以下の課題を例題として、2020年度中に逆問題的アプローチの有効性を実証

【高強度鋼】

引張強度と伸びの積 $TS \times EI = 20 \text{ GPa}\%$

【高強度Al合金】

引張強度750MPaと伸び12%以上

【高強度鋼の接合プロセス最適化】

780MPa級鋼で延性脆性遷移温度-50

【耐熱鋼の接合プロセス最適化MI】

既存継手よりクリープ破断寿命の延び10%以上

【製品応用MI】

0.1 mass% C-ハイテンのスポット溶接部強度予測

2000系アルミニウム合金の高温力学特性予測

汎用の構造用金属材料（Fe, Al, Ni, Ti合金）に対応するMIシステムとして、「MIntシステム」の立ち上げ準備とこれを運用するコンソーシアムの年内立ち上げMIシステムを維持・発展させ、我が国の部素材産業発展への寄与を目的としてSIP参画企業・大学・国研を中心とする会員でスタート。

具体的成果例：高強度・高延性AI合金製造条件最適化

【高強度AI合金】：750MPaの強度と12%以上の伸び

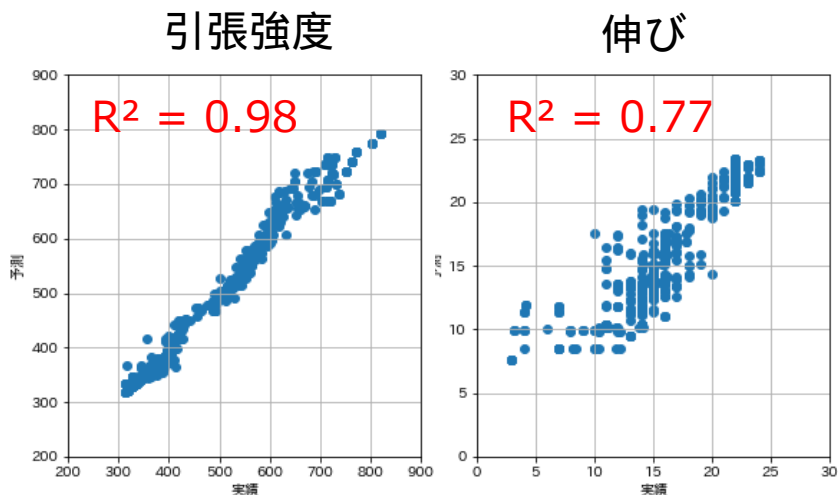
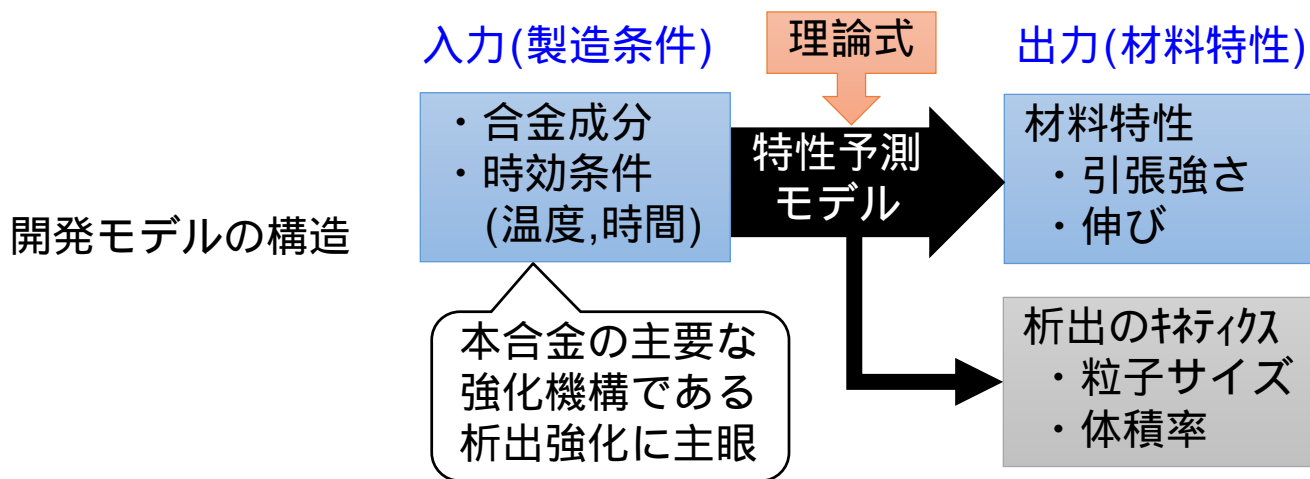


図 開発モデルの予測精度(予測vs実績)

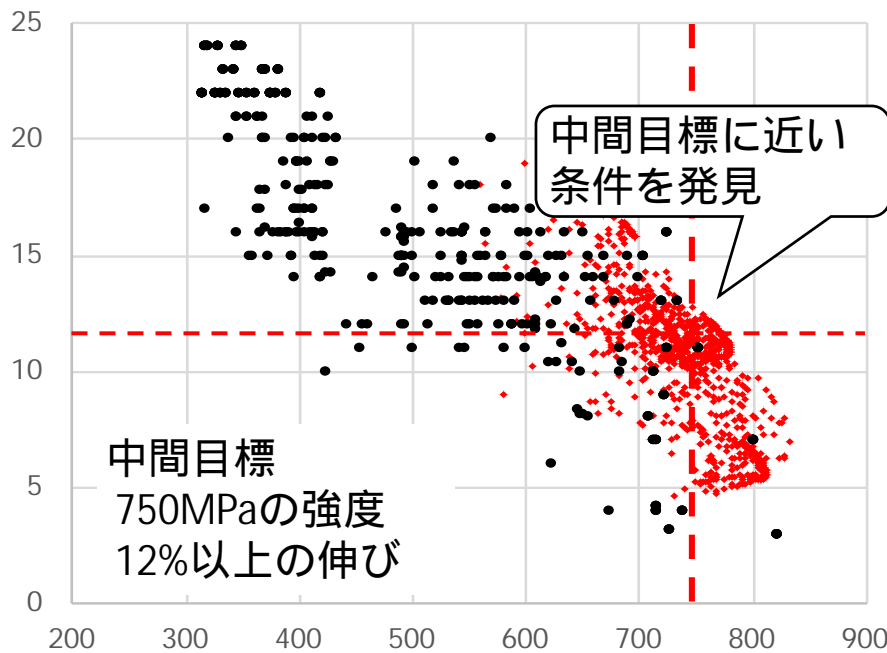
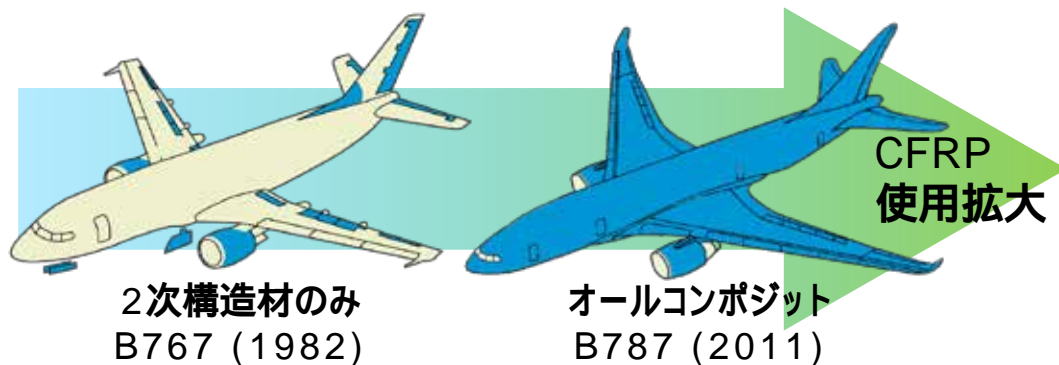


図 逆解析結果(高強度・高延性条件の探索) 7

B領域：CFRP

【目標】

軽量構造用材料として普及が進む**炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の特性・生産性向上に関する技術を、統合型材料開発システムを活用して開発**する。その成果をもとに、航空機等の輸送機器開発において世界をリードする。



主な研究開発成果(2019～2020年度)

【B領域】

目標： 航空機体用CFRPにおける我が国の高い国際競争力のさらなる強化に向けて”Atoms to Aircraft”という概念のもと、複数の現象（マルチフィジックス）を同時に扱いながら原子から構造体のスケールまで（マルチスケール）を繋ぐ技術を持って力学特性の向上と付加価値の付与による高性能化を図る手法をA領域との連携のもとで開発。

成果： CFRP用MIシステムに搭載予定の自己組織化マップを用いて、**相反する難燃性、耐熱性および力学特性に関する特性マップを作成し、これらを両立する樹脂組成を予測。**

候補樹脂の試作評価を行った結果、難燃性はじめ諸物性のバランスに優れた狙い通りの樹脂特性であることを確認。

現在、B1でCFRP化した試作品の物性評価を推進中。

本年度5月以降、CFRPの機能性及び力学特性を評価するモジュールを一元的に扱える**材料開発システム(CFRP用MIシステム)の設計を開始。**

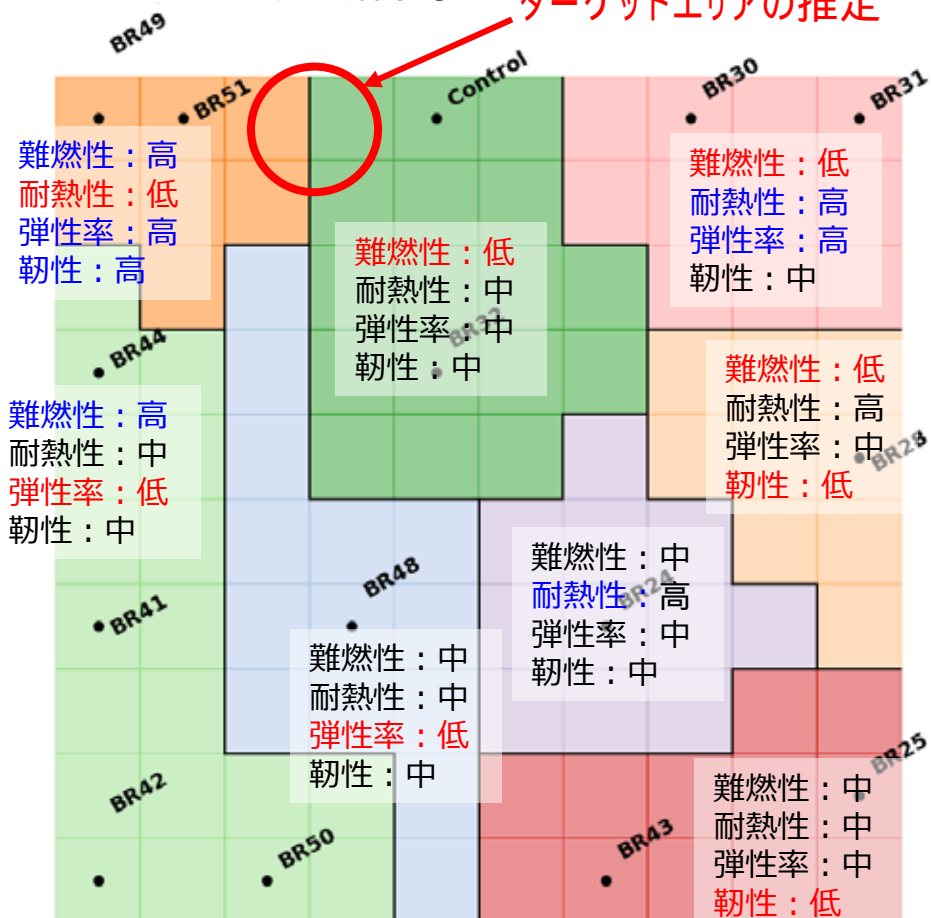
A領域が開発中のMI_{int}システムに次ぐ本課題2つ目のMIシステム構築に着手。

具体的成果例：航空機用難燃性CFRP樹脂組成探索

- CFRP用MIシステムに搭載予定の自己組織化マップ (SOM)を用いて、**相反する特性である、難燃性、耐熱性および力学特性に関する特性マップを作成し、これら特性を両立するターゲットエリアを明らかにした。**
- ターゲットエリアに入る樹脂組成を予測して、難燃性とその他の物性のバランスに優れた樹脂組成設計が可能であることを示した。現在、B1で物性評価を進めている。

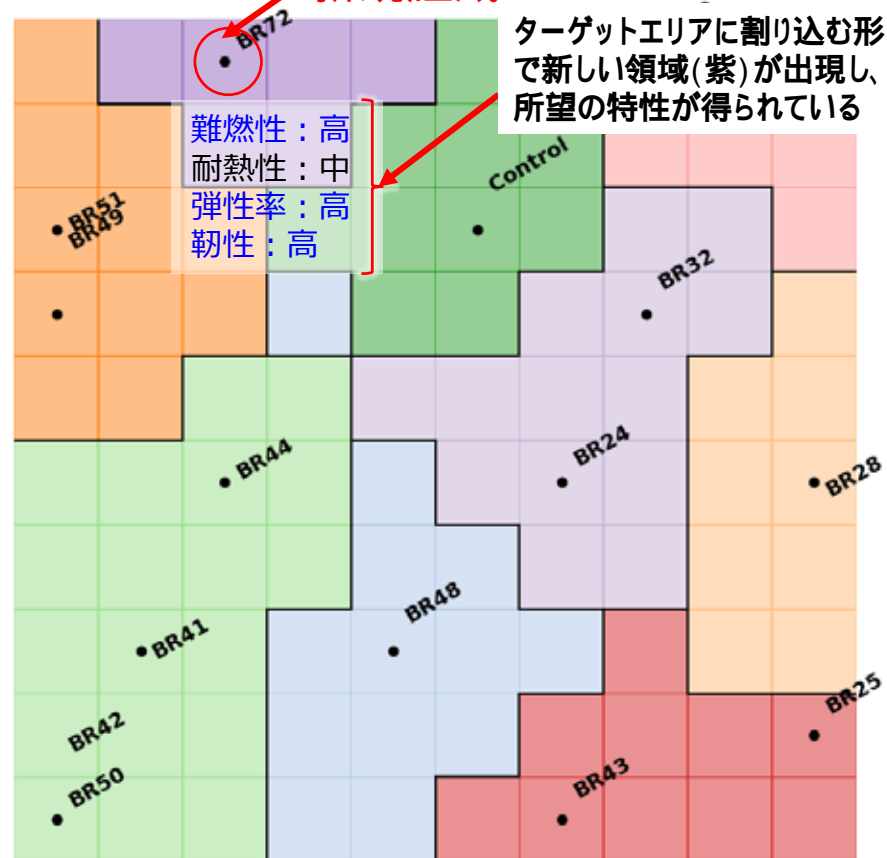
SOMによる組成探索

ターゲットエリアの推定



新規組成樹脂投入後のマップ

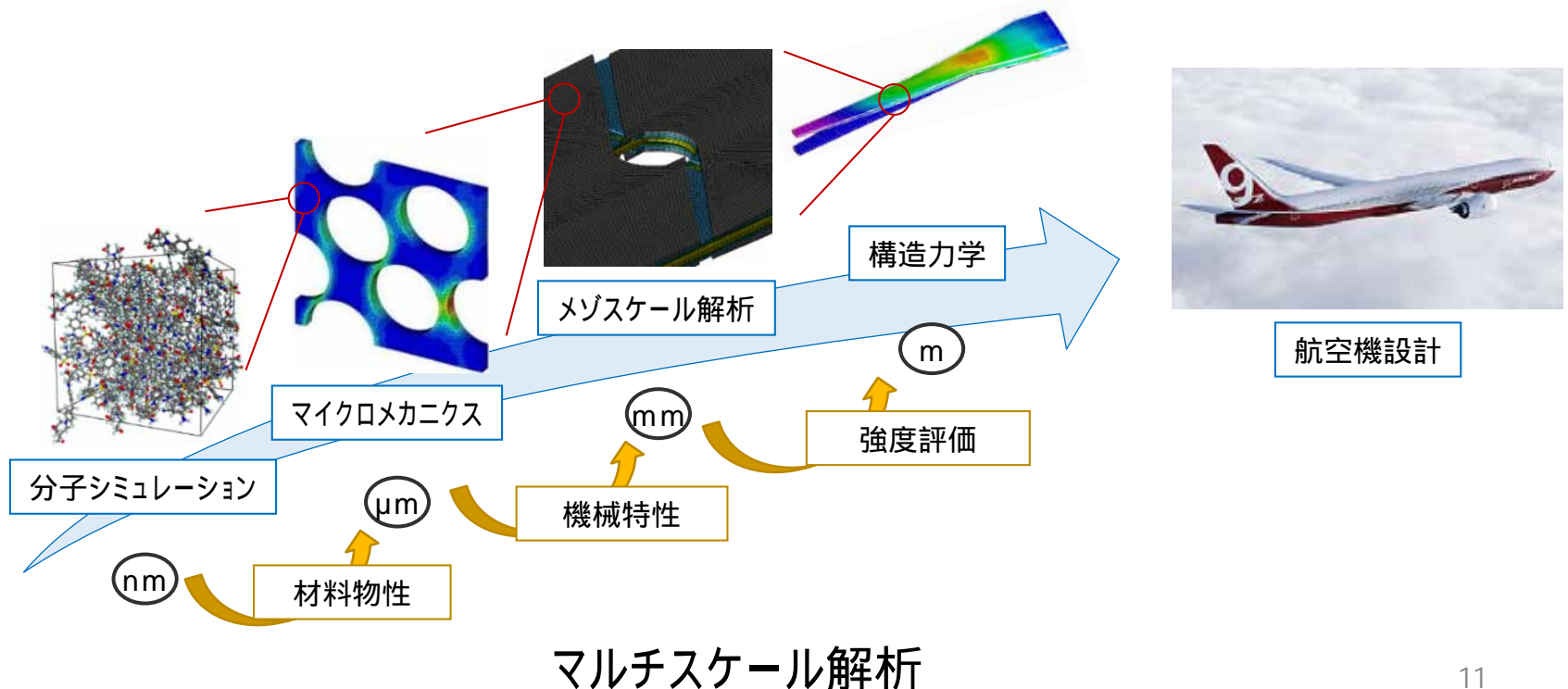
新規組成



CFRP用MIシステムの概要

CFRP用MIシステムは、A3-B連携にて開発する分子スケール、メソスケール、マクロスケール解析までを網羅した各種モジュールを統合し、MIシステムとして構築するものである。

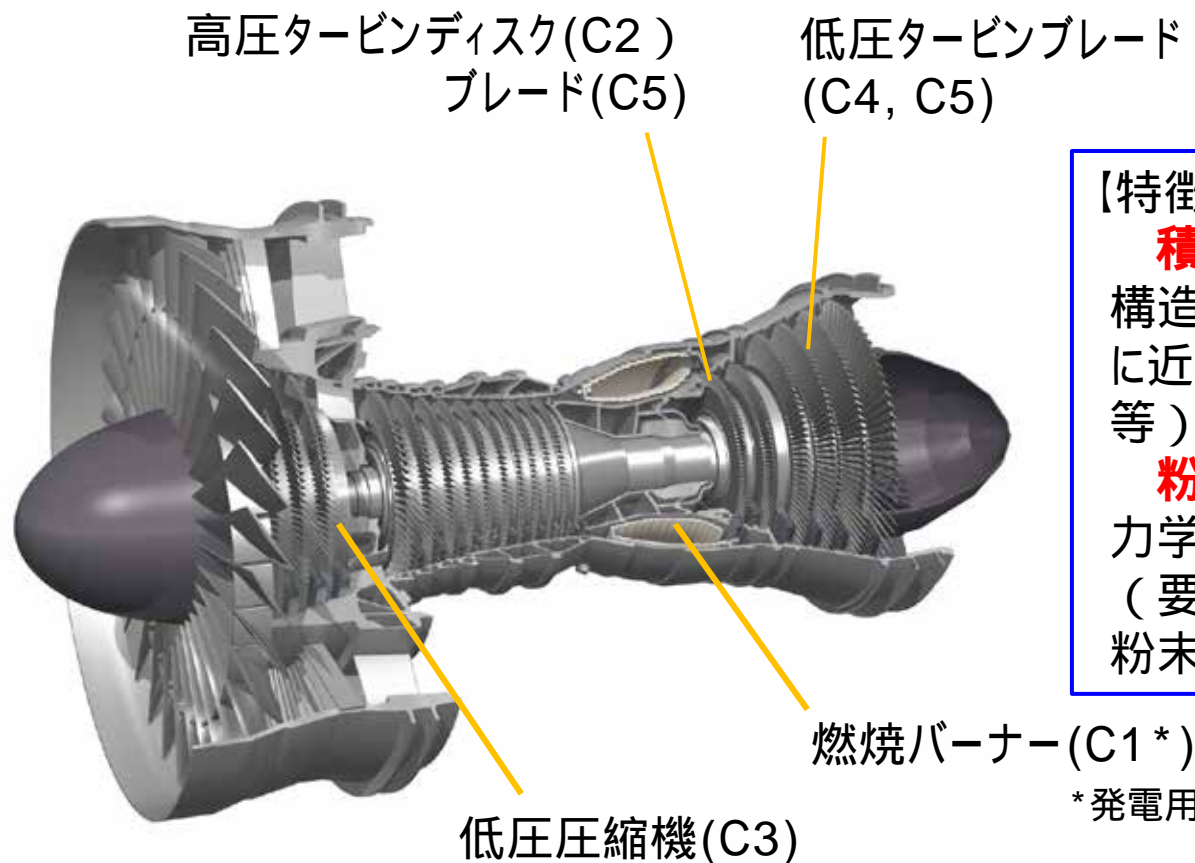
これにより、最終製品から逆解析して最適な材料・プロセスを選択することが可能となる。また、搭載するモジュール・ワークフローは、ユーザーニーズを基に航空機設計のみならず一般構造物の設計にも活用できるものとし、幅広いCFRPの材料物性や機械特性を取得・評価可能なシステムとする。



C領域：粉末・3D積層

【目標】

開発競争の激しい**耐熱合金粉末プロセス**と、次世代輸送・エネルギー機器用超高温耐熱材料である**セラミックス基複合材料（CMC）**について、**統合型材料開発システム**を活用した**革新的な材料・プロセスを実現**し、我が国の産業競争力強化を図る。



【特徴】

積層造形

構造・空力設計上理想的な形状に近い成形が可能（中空形状等）。

粉末プロセス

力学性能重視の合金設計が可能（要求性能に応じたカスタマイズ粉末）。

*発電用ガスタービン向けを開発

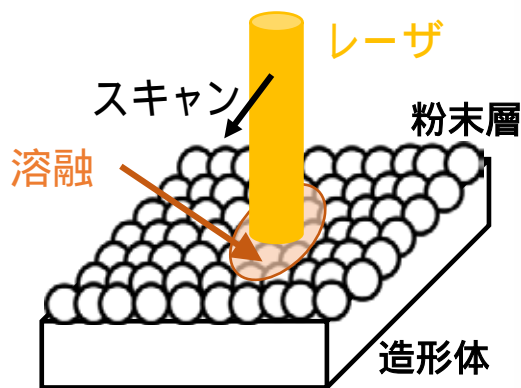
主な研究開発成果(2019~2020年度)

【C領域】

目標：MIシステム(A領域との連携)を利用して、3D積層造形用の新しい合金探索、積層造形プロセスを最適化。また金属間化合物やセラミックス基複合材料(CMC)等の新規航空機エンジン部品を開発。

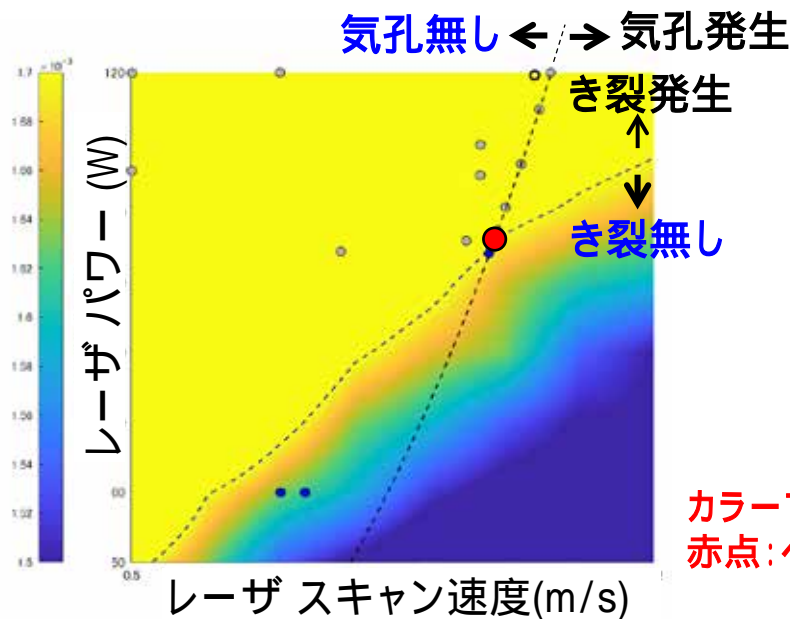
成果：A領域との連携を進め、新規合金の設計を行いつつ、**3D積層造形(既存合金)**を用いてガスタービン燃焼バーナーを作製し、事前試験に合格。実圧燃焼試験を計画中(2020.12予定)。

凝固割れ予測と最適レーザー条件探索

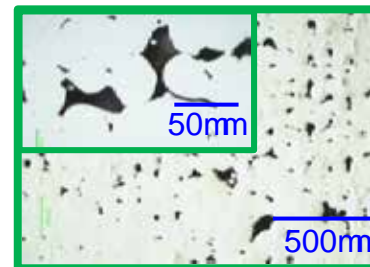


3D積層造形の模式図

$\Delta \epsilon_{max}^P$ (塑性ひずみ増分 = き裂の指標) の等高線



気孔(溶融不十分)



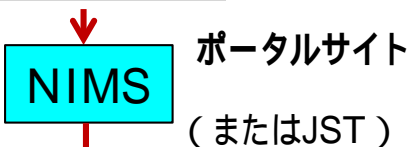
カラーマップ: 網羅計算結果(49回)
赤点: ベイズ最適化探索結果(8回目)

MIシステムの社会実装への構想（案）

統合型材料開発システムの二つの意義

- ①学術的意義；
微細組織の形成、強度の発現・劣化に関する材料科学理論の具体化
- ②産業的意義；
欲しい性能から材料の構造・特性、プロセスの探索と同定

一般ユーザー



構造用金属系材料

メンバーユーザー

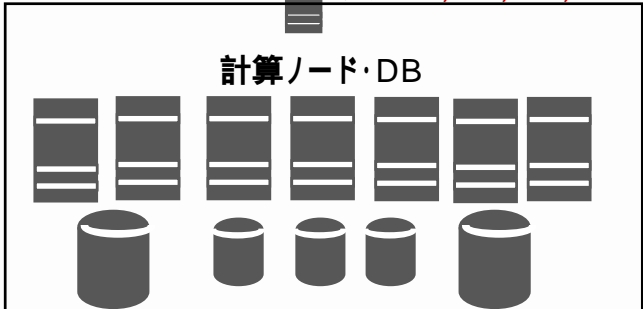


メンバーユーザー
(コンソーシアム)



MIntシステム：汎用Ni, Ti, Al, Fe等

計算ノード・DB



NIMS、東大など

TiAl

実験

東工大など

構造用複合材料

メンバーユーザー



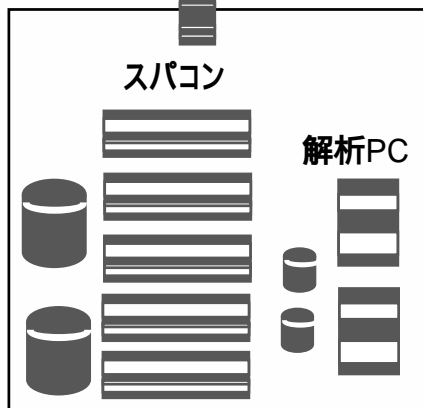
メンバーユーザー



CFRP

スパコン

解析PC



東北大など

CMC

実験

東京工科大など

各委員会の主な活動

○企画委員会

- ・「マテリアル革命」運営に関する諸事項を審議・報告・決定。
- ・週1回開催。

○評価委員会

- ・PD, SPD, 評価委員（JSTシニアフェロー）による各チーム今年度計画のヒアリング（7月）。
- ・ピアレビュー会議(11月実行中): 今年度成果・来年度計画の評価、GB向け報告書作成。
- ・MIシステムの社会実装をよりの確に評価するために委員を追加。

○技術委員会

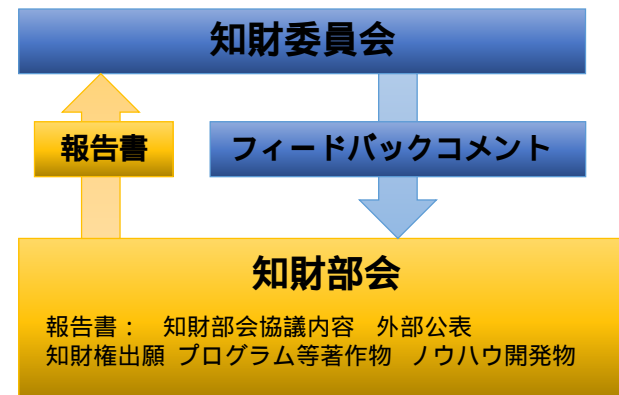
- ・各領域の研究開発進捗・課題に関する情報共有・意見交換。
- ・週1回開催。

○知財委員会

- ・全体の知財戦略の立案・実行。
- ・産学官での知財活動経験を持つ専門家に委員長代理を委嘱。
- ・知財部会の報告書にフィードバック。
- ・国際ベンチマーク検証。
- ・月1回開催。

* **知財部会**：共同研究契約ごとに設置し、以下の業務を遂行。

- ・共同研究・秘密保持契約締結
- ・知財戦略立案・実行（毎月報告書を知財委員会に提出）
- ・国際ベンチマーキング



U 成果報告会2020開催

- 開催日時：2020年10月28日10:00～16:15
- 開催形式：オンライン開催(Zoomウェビナー)
- 事前参加登録者数：500名
- 当日アクセス数：400名弱
- 講演要旨・ポスター集を参加登録500名へ郵送



成果報告会HP



チラシ



講演要旨集・ポスター集(64頁)

U パンフレット



- 2020年度版
マイナー改訂
(参画機関、
体制図等)

U ホームページ



- 新着情報の掲載
- マイナー改訂
(参画機関、
体制図等)

U SIPシンポジウム2020 2020年11月17日、内閣府主催



- パネル、パ
ンフレット
を更新

ご清聴ありがとうございました。