

# SIP-SM<sup>4</sup>I MAGAZINE

एसアイपी एसएमフォーアイ マガジン

SIPプログラムとは、内閣府主導の下、府省・分野横断的な取り組みであり、産官学連携により出口まで見据えた一気通貫で研究開発を推進しています

Vol.4 July 2017

Feature

1

この人に聞くー 東レ株式会社 複合材料研究所長 吉岡 健一  
チームジャパンのプレゼンスをあげ、  
航空機プログラムを動かす

Feature

2

航空機用高生産性革新CFRPの  
製造・品質保証技術の開発



## この人に聞く

東レ株式会社  
複合材料研究所長 **吉岡 健一**

1991年東京工業大学総合理工学研究所修士課程修了。東レ株式会社に入社し現在まで一貫して炭素繊維複合材料の研究・技術開発を担当。1999年から2001年まで米国シアトルのワシントン大学客員研究員。2010年からシアトル近郊の東レコンポジットアメリカ社で航空機材料などの開発に従事。2017年より現職。

4領域の中でも実用化に近い研究開発に取り組んでいるのが、A領域「航空機用樹脂の開発とCFRPの開発」。実際の航空機材料の世界的マーケットはどのような状況なのでしょう？世界的な炭素繊維リーディングカンパニーである東レ株式会社の複合材料研究所長 吉岡健一様をお訪ねし、今年4月までの米国駐在で経験された、リアルな航空機産業の情勢とSIPへの思いをお聞きました。

# チームジャパンのプレゼンスをあげ、航空機プログラムを動かす

### ◆航空機材料分野に限れば、日本が世界のメインプレーヤー

世界の航空機産業を全体として牽引しているのは米国とヨーロッパですが、民間航空機の材料に限っていうと、状況は少し異なります。木から始まった航空機の構造材は軽くて強いアルミ合金へと変化し、1980年代にはさらなる軽量化を目指して炭素繊維複合材料が使われ始めました。最初は軍用機用だったのですが、80年代の後半から民間機にも使われ始めて、どんどん使用量が増えてきました。ちょうどその時期に炭素繊維の技術を持っていたのが日本であったため、弊社ははじめとする日本のメーカーは波に乗れました。例えばボーイング社でいうと、機体の主要構造材料の炭素繊維複合材料は東レが単独供給しており、2011年に就航したボーイング787型機の胴体・主翼・尾翼に東レの炭素繊維複合材料が全面的に使われています。一般的に航空機の値段に占める材料費はごく一部なので金額的な割合は小さ

く、かつ全ての民間機が炭素繊維複合材料を採用しているわけではありませんが、今の航空機産業の材料分野においては、実は日本がメインプレーヤーなのです。

ただしこれは、あくまで現時点のことであって、将来を保証するモノではありません。次の新型機開発プロジェクトでの材料サプライヤーを決めるのは航空機メーカーですから。我々は常に世界の炭素繊維複合材料メーカーとの競争環境下にあります。

### ◆米国の軍事目的国家プロジェクトとの競争

米国に駐在してからは「米国での国家プロジェクトはどうなっているんだろう」と気になって、いろいろ調べてみました。現状、米国での炭素繊維複合材料についての国家プロジェクトの大半は「軍事関連」で、航空・宇宙関係では特にその傾向が強くなります。日本と違って、まず軍事目的から技術開発に入って産業として国が育てていくカタチです。実際に、米国の炭素繊維

複合材料メーカーは米国の軍事研究プロジェクトの中で技術力を蓄積してきた面もあります。材料に関する基本技術の研究分野の場合、軍事目的か民間目的かの境目があまりなくて、民間機であれ軍用機であれ、材料の基礎的な技術はかなり共通した部分が多くなります。つまり我々は航空機材料のマーケットにおいて、軍事用に開発された材料と、競争しなくてはならないわけです。

当然、技術開発費の金額では勝ち目はありません。米国国防省が軍事用の複合材料研究に出している予算を見てびっくりした記憶がありますから(笑)。日本では同じようにはできないので、別の日本型のカタチが必要だと思いました。民間機をつくるための全体的な技術開発を国がサポートするこのSIPは、まさに別のカタチですね。情報を厳格に管理されるクローズドな軍事関連プロジェクトと違い、分野の異なるメンバー間で情報をオープンにしながら研究・技術開発を進めるスタイルの方が、

最終的には早く進むのではないかと考えています。

### ◆縦の長さや幅の広さに期待する、波及効果と国際競争力

航空機材料の研究・技術開発／実用化という分野において、縦に長くて(基礎研究から実用化・産業化まで)、横の幅も広い(府省・分野を跨いだ)SIPの役割は非常に大きいと思います。

そのひとつは、分野の異なるメンバー間の波及効果です。横の繋がりというのは自然とやっけてもなかなかできないもので、今回のようなプロジェクトがなければ、当社もボーイング社とだけ共同研究・共同開発を進めていたかもしれません。SIPではボーイングのサプライチェーンの中ではできないことをやらせていただいています。例えば「アウトオブオートクレーブ成形におけるボイド<sup>\*1</sup>の制御」というテーマは、複合材料成形分野で普遍的なもので、オートクレーブ成形技術にも活用できるかもしれません。非常に波及効果の高い課題設定ができていたと感じました。また、炭素繊維複合材料以外のセラミックやエンジンの情報に触れることで、他分野の企業の考え方が知ることができ、当社の研究効率も上がっているはず。このような波及効果による技術力の向上が、航空機メーカーのサプライチェーンに永続的に参加できるチカラとなるはず。加えて、プログラム運営を通じた共通認識の醸成という波及効果もあると思います。当社でも使用しているTRL<sup>\*2</sup>がSIPでも使われていますが、それぞれの企業や団体によって微妙に認識のズレがあります。横の連携を深めていく中で、そういう認識が揃っていけば、日本の航空機産業にとって価値のあることです。

もうひとつの役割は国際競争力の向上です。よく聞く話ですが、航空機産業というのは複雑な総合産業なので、材料ひとつとっても素材の加工技術やそれを使うシ

ステムなど周辺技術が必要です。これらをよく組み合わさないと航空機開発プログラムは動きません。だから、イザとなれば日本も独自のプログラムを動かせるように、必要なパーツと技術をできるだけ揃えて体制を整えておくことが、米国、ヨーロッパに対して、国際競争力という面では強みになっていくと思います。航空機産業におけるサプライチェーンのいろいろな企業をまとめて、日本チームとしてのプレゼンスを上げることが、SIPの役割だと思います。

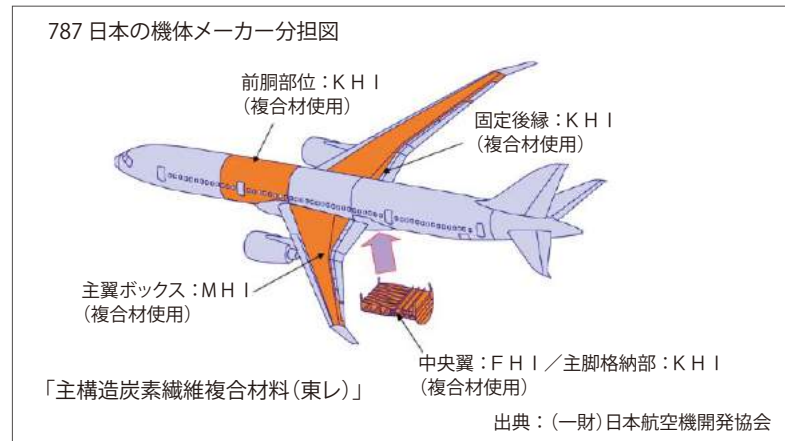
### ◆航空機開発プログラム全体の掌握を目指して

SIPのような国家プロジェクトを通じた国産航空機開発への期待感是非常に大きいです。MRJも早く就航して、次の飛行機をつくらうという機運が高まればいいですね。機体の全てのパーツを日本が作る必要はないかもしれませんが、技術的課題を解決して航空機開発プログラム全体を日本が掌握することの意義は、産業界にも学術界にも極めて大きいはず。

一方で研究・技術開発以外の課題もあります。特に機体の認定・認証への取り組みは厄介な問題です。もともと航空機開発プログラムが少ないので、日本には国際的に通用する認定・認証システムが十分ありませんでした。この面で日本の航空機産業

のパワーは米国やヨーロッパに較べるとかなり弱いと思います。現在はアメリカ連邦航空局 (FAA) の型式認証を受けた飛行機でないとアメリカでは飛ばせません。ということは世界でも飛ばないわけです。型式認証を受けるために、設計、材料、組み立て、全過程を詳細に報告し安全性を論理的に説明するわけですが、それには膨大な書類が必要で、MRJもそれで皆さん非常に苦労なさっているようです。例えば機体への落雷を想定した場合、雷の落ちる確率がどのぐらいで、主翼の構造材料にながらきて、バックアップはどうなっている、というロジックを組み上げて、最終的には安全に着陸できることをFAAに認めさせなければいけないのです。当社はボーイング社のサプライチェーンの中でそういう場面も垣間見るわけですが、それが材料の品質保証や飛行機全体の安全性に繋がっていきます。日本が独自に航空機開発プログラムを動かすためには、日本の力で型式認証を行い航空機の安全性を宣言できるように、認証・認定システムにも切り込んでいく必要があると思います。ただし、この課題は研究プロジェクトレベルの話ではなく国としての取り組みの問題になってきますね。

個人的には早く純国産航空機に搭乗してみたいし、世界の人々にも乗ってみたい。そのためにも、本課題の中できっちり成果を残していきたいと思っています。



※1 ボイド: 成形品内部に生じる微小空洞。  
※2 TRL (Technology Readiness Level): 技術成熟度

# 航空機用高生産性革新CFRPの製造・品質保証技術の開発

東大・JAXA拠点

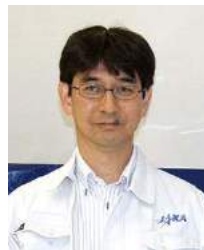


THE UNIVERSITY OF TOKYO



拠点長  
武田 展雄

東京大学  
大学院新領域創成科学研究科教授  
革新複合材学術研究センター センター長



拠点長  
岩堀 豊

宇宙航空研究開発機構航空技術部門  
構造・複合材技術研究ユニット ユニット長

## 東大・JAXA拠点設置の背景と目的

樹脂系複合材料分野における日本の優位性は、優れた基礎技術を有する産業界が、大学・公的研究機関との研究協力も行って構築してきたものであるが、更なるCFRP生産技術の差別化・高付加価値化、製造性向上が重要であるとの認識は産官学で共有されている。中でも航空機用CFRPおよびそのマトリックス樹脂の開発には、成形・組立などの製造上の課題、および損傷後強度保証などを並行して解決してゆかなければならないという難しさがある。また、既存の航空機に採用されている複合材料構造は原則として従来の金属構造による構造様式を踏襲しており、製

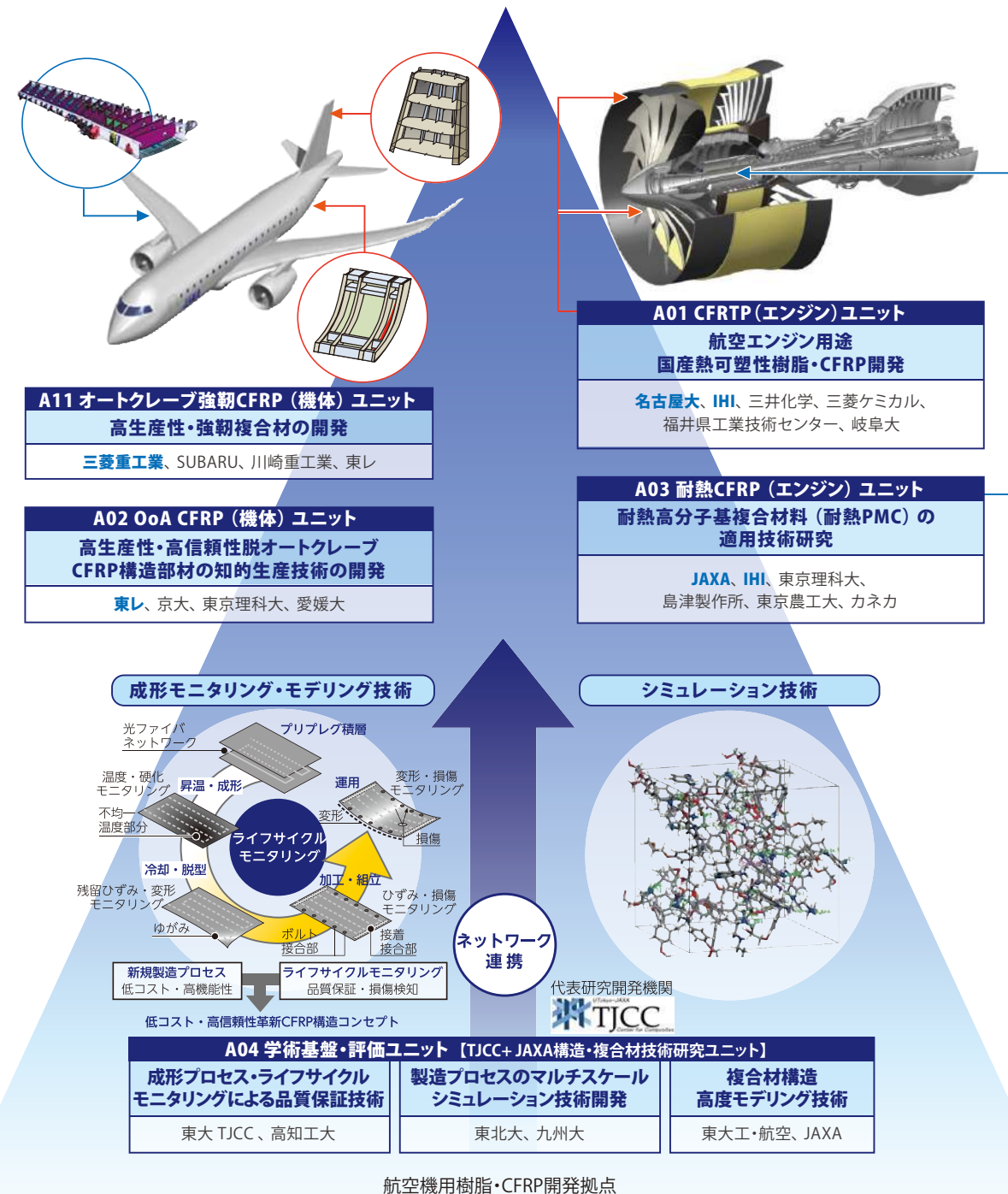
造コストが高くなりがちであり、CFRPの特徴を十分に活かす軽量化構造設計とは言えない。航空機市場の側から見ると、今後開発が見込まれる次世代単通路小型航空機では低コスト化の要求が非常に強く、機体のCFRP構造にもコストダウンが必須である。従来のプリプレグを用いたオートクレーブ(圧力釜)CFRP部材製造法は、初期の設備投資額も大きく、しかも生産サイクルが長いので、より生産性の高い製造法の開発が求められている。さらに、小型航空機では中・大型航空機に比べて全般的に部材の曲率半径が小さいのでプリプレグ積層

体を型面に綺麗に沿わせることが難しく、賦形時に”層うねり”や”しわ”が発生してこれらに起因するボイドや繊維配向乱れが発生しやすく、生産性低下や部材不良率の上昇を招く可能性が高い。一方、航空機用エンジンでは外気温度環境で使用されるファンモジュールを中心にCFRPの適用が順次進められ、推力10万ポンドを超える大型エンジンの重量部位であるファンブレードやファンケースのCFRP化が進められてきた。小型航空機に搭載される3万ポンドクラスエンジンは今後多くの需要が見込まれ、生産性の向上が急務である。これまでエンジンに採用され

てきたCFRPの多くは熱硬化性樹脂を使用しており、複雑形状の成形には手作業による積層と数時間程度の硬化工程を必要とするため、日産数十枚程度の製造が想定される部品量産化には適さない。これに対し、熱可塑性樹脂(TP)を用いたCFRTPは、成形自動化が比較的容易であり、かつ長時間の硬化工程も不要となるため、生産性を上げる手段として有効と考えられる。日本には高度な特性・耐熱性を有する樹脂があり、この国産耐熱熱可塑性樹脂の適用は日

本の国際競争力が高まることとなり、開発に大きな意義がある。上記CFRP、CFRTP材料の開発には、新規高分子樹脂開発が重要であり、本研究開発では革新高分子樹脂基複合材料の開発を行う。とくに、日本の航空機用革新CFRP製造技術の国際競争力を飛躍的に向上させるべく、高生産性革新CFRPの製造技術の開発を行うことを目的としている。また、日本独自の学術研究に裏打ちされた成形中のモニタリング技術や成形シ

ミュレーション技術による革新CFRPの品質保証技術の開発も行うことが国際競争力強化には必須である。さらに、航空機認証プロセスに資する、複合材の実機適用に有用な各種試験評価技術・破壊シミュレーション技術に関する検討を行いつつデータの蓄積を行うとともに、航空機用革新CFRP製造・品質保証技術に関する継続的な研究拠点を構築する。



## 世界をリードする研究・技術開発力

樹脂系複合材料分野において、世界をリードしてきた日本。しかし、今後開発が見込まれる次世代単通路小型航空機では低コスト化の要求が非常に強く、機体のCFRP構造にもコストダウンが必須である。

東大・JAXA拠点では、高生産性革新CFRPの製造技術の開発だけでなく、日本独自の成形中のモニタリング技術や成形シミュレーション技術に裏付けされた革新CFRPの品質保証技術の開発に取り組んでいる。革新CFRPの技術力と更なる産・官・学の結集が国際競争力を強化するはずだ。

カーボン繊維強化樹脂系複合材料を航空機分野に適用するための複合材料素材、成形、構造および部品設計に関わる技術を対象とする。従って、多様なカーボン繊維強化樹脂系複合材料の中でも、長繊維強化のみを対象とし、また、生産性の点では自動車分野ほどの短時間での成形は求めない。

**A01ユニット**では、比較的耐熱性が高い熱可塑性樹脂を用いた耐衝撃損傷性に優れた、航空エンジン部品特にファンブレードを対象とする長繊維強化CFRTPの素材、耐衝撃性評価法、成形法及び低コストプリプレグ製造方法(図2)の開発を行っている(図1)。

**A02ユニット**では、これまでの航空機構造に適用されてきているカーボン繊維/エポキシ樹脂プリプレグのオートクレーブ成形に替わるCFRP技術として、高生産

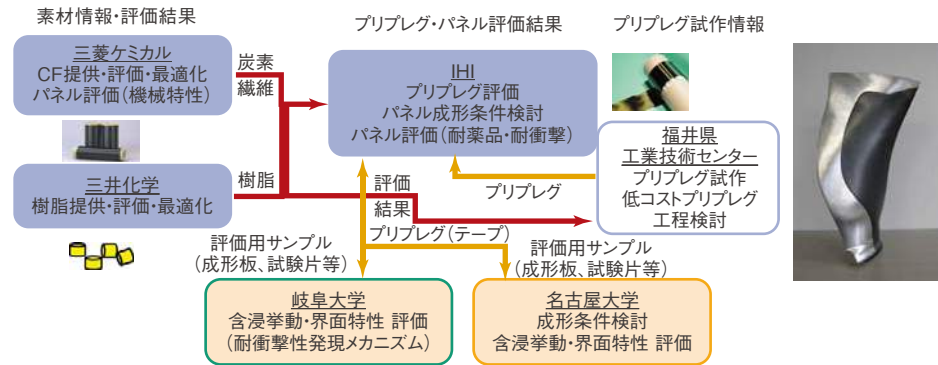


図1 A01ユニットの概要

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と題して、革新的プリプレグ真空圧成形技術、CFRPモジュール設計とブロッカー体化工法の融合技術の2つのCFRP部材成形技術を開発している(図3)。

**A03ユニット**では、ターボファンエンジンへの適用を目指した耐熱CFRP材料技

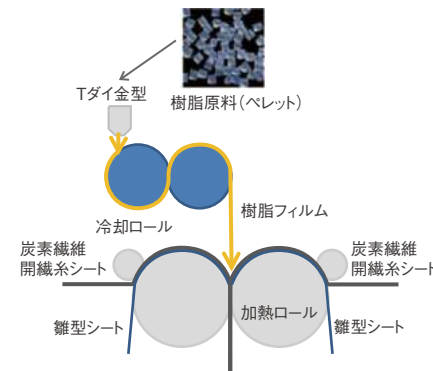
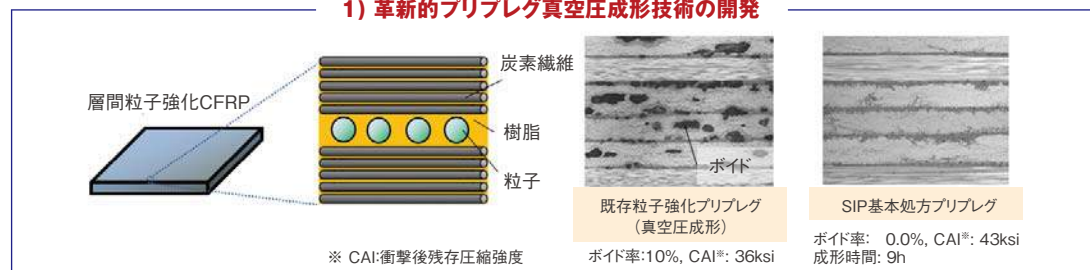


図2 低コストプリプレグ製造方法

### 1) 革新的プリプレグ真空圧成形技術の開発



### 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

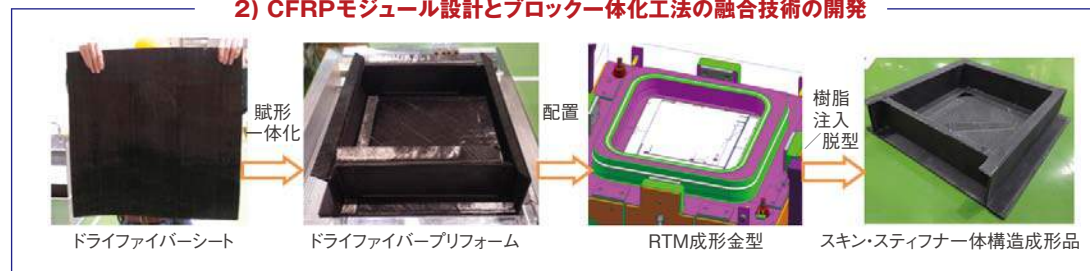


図3 A02ユニットの概要

術、積層板成形技術、評価技術を確立し、国際的な差別化を図り得る耐熱CFRP材料技術を取得している。上記の目的を実現するため、ターボファンエンジンのインナーフレーム構造などへの適用を目指し、200℃~250℃の耐熱性(長期耐久性)を有する耐熱CFRPを選定もしくは開発している。また、部材の基本的な成形技術を開発する。耐熱CFRPをエンジン部品として適用する際に必要となる材料特性を合理的に取得可能な試験方法を確立するとともに、試験法の標準化を進めている(図4)。

**A11ユニット**は、2016年度より開始されたテーマであり、日本が誇る最先端の素材・材料メーカーと航空機製造メーカーとの協力体制を構築、これをフルに活用し、将来民間航空機の主構造への適用を狙った高生産性を有し、かつ強靱なオートクレーブ成形用プリプレグを開発している。開発材の特性を活かした新形状、新構造様式の検討を実施し、産学連携、民のニーズ、学のシーズ連携により、負のレジェンドの断ち切り、及び勘と経験を頼りとした設計法や製造プロセスを一新し、材料と共に設計・製造の『標準化』を図っている(図5)。

**A04ユニット**は、材料開発と製造技術の学術基盤となる、成形プロセス中の特性モニタリング・品質保証技術の構築、マルチスケールシミュレーション技術の構築による、試行錯誤のみに依らない成形技術

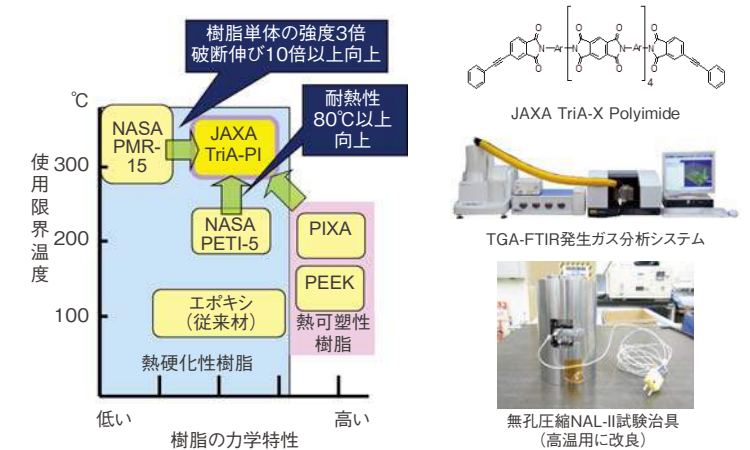


図4 A03ユニットの概要

将来航空機 主構造向け技術開発 - 「高生産性・強靱複合材」(オートクレーブ成形向け複合材)

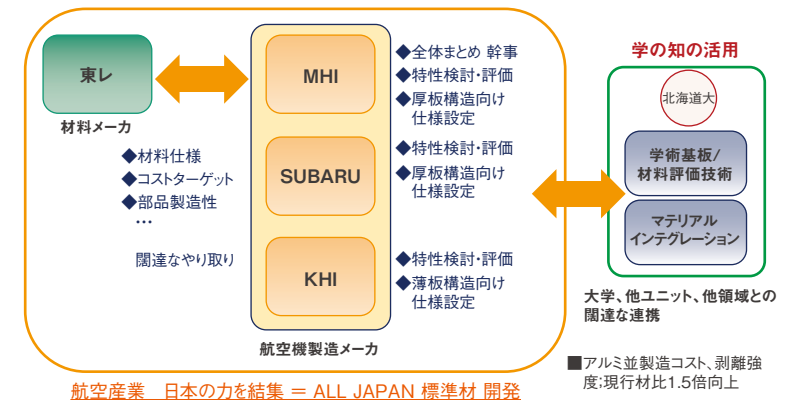
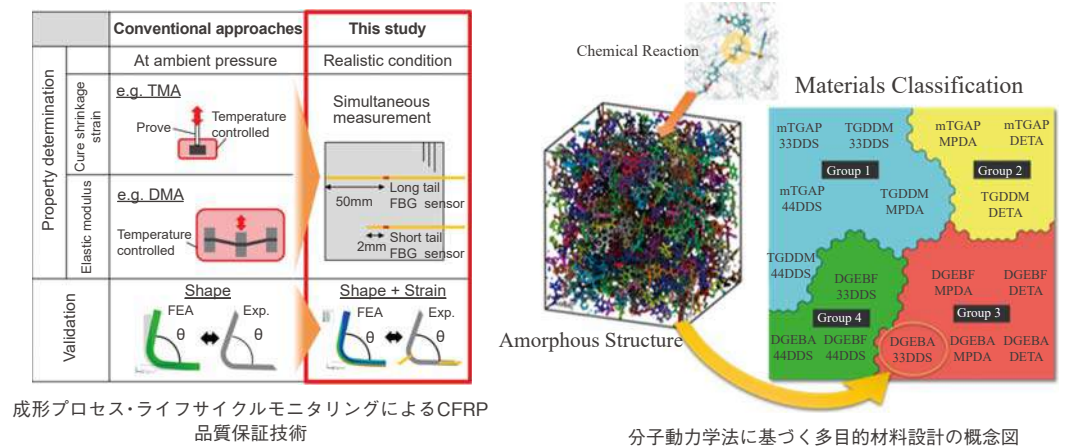


図5 A11ユニットの概要

学術基盤を確立することを目指している。A01, A02, A03, A11各ユニット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し、

実用化に直接的に貢献する品質保証技術や材料・構造モデリング解析コードを提供する学術的支援を行っており、これが日本独自の国際競争力となることを確信している(図6)。



成形プロセス・ライフサイクルモニタリングによるCFRP品質保証技術

分子動力学法に基づく多目的材料設計の概念図

図6 A04ユニットの概要



Profile  
 (株)島津製作所入社以来、熱分析のアプリケーション開発に従事。高分子等の材料分野以外に医薬や食品分野での応用データ取得にも取り組んできた。近年は熱分析以外の化学分析や物性試験等も応用し複合材料の評価方法の開発に取り組む。

### ——“棲み分け”ではなく連携しあうユニット

このユニットでは、各機関がうまく分担しあっていて、非常によい連携がとれていると思います。私はSIPに参加するまで「国プロ」のイメージとして、企業の位置付けは「補助的」なものと思っていました。私自身これまで他企業との共同研究の機会はありませんでしたが、SIPのような産学官連携は初めてです。

A03ユニットでは次世代の航空機エンジンに利用されるすぐれた耐熱材料を開発しています。その中で分析機器メーカーである島津製作所は「材料を評価する」という視点に基づいて、新しい材料を開発するために、最新の評価技術も一緒に確立していくという一連の流れに関わっています。

本ユニットではJAXAさんがとてもよいリーダーシップを発揮していて、皆を引っ張ってくれています。弊社はJAXAさんやIHIさんから、材料や材料成形プロセスに関する情報とともに実試料を提供いただき、実際の評価をスムーズに進めることができている。1、2か月に一度のユニット会議では全参加機関からの報告が必ずあります。ここで得た新しい情報も評価の参考にすることができます。メンバーの東京理科大さんや東京農工大

## 明確な役割分担でスピード感ある研究開発

株式会社島津製作所 分析計測事業部  
 グローバルアプリケーション開発センター 課長

## 太田 充

「耐熱高分子基複合材(耐熱CFRP)の適用技術研究」を目指しているユニットA03。今回初めて国プロに関わられたという島津製作所の太田氏に、SIP参画の手ごたえを伺いました。

さんなどは、よりアカデミックな部分をしっかりと押さえつつも材料の実用化を見据えた評価技術や成形プロセス確立への取り組みをされています。さらに今年度から新しくカネカさんが当ユニットに参加されており、その蓄積された材料技術を本ユニットの目標達成に生かしていただくと期待しています。本ユニットはこれまで機関どうし、メンバーどうしで情報交換が密にできており、その連携の中で各役割分担がはっきりしているため成果が着実に得られていると感じます。今まで自分が持っていた国プロのイメージは「リーダーはあくまで官または大学で企業はサブ」だったのですが、そのイメージはいい意味で覆りました。

### ——目標と合致したプロジェクト参加 テンポよく進む研究

このプロジェクトへの参加のチャンスが巡ってきた時、材料開発の中で材料評価をしていくことの重要性が認められたという実感がありました。自分たちの目標に沿った活動に参加できると思いました。島津製作所は「分析機器メーカー」ですが、装置販売だけでなく、常に、材料が開発されるプロセスの中に自社の最新の計測技術が組み入れられ、よりよい材料が効率的かつ高品質で生まれるという流れの一端を担うことを目標としています。ユニットには全体として先々の目標がしっかりと定められていて一定の成果を着実に出していかないとはいけません。一方で、官や学、企業を比べてどうというのではなく、それぞれの機関のタスクに応じて技術完成を見据えた各々の異なった目標、スピード感があるのも事実だと思います。その中で機関同志、メンバー同志が設定された目標を共有し、各々の個

別の目標とリンクさせたいうで、お互いが刺激をうけながら、テンポよく研究開発が進んでいると感じています。

### ——新しい材料評価方法へのチャレンジ

私たち島津製作所はこのユニットでの役割として二つの切り口で「材料を評価する」ことに取り組んでいます。一つは熱分析や化学分析を組み合わせ、材料の加熱成形プロセスで生じる変化を追跡し、この結果を最適な成形条件の検討にフィードバックすること。もう一つは試験機による高温での強度評価法の確立です。従来よりCFRPに対して室温付近での強度試験は行われていますが、航空機エンジンへの利用を想定した高温での強度試験は種々クリアすべき課題のため、その方法が確立されていませんでした。このプロジェクトに参加して約3年が経過しましたが、その成果として、加熱成形プロセス評価では、熱分析とFTIRの複合分析により各温度での発生ガスの同定を行うことができました。また高温での強度評価では部分加熱による恒温槽を応用することにより300℃という高い温度でほぼ実用的な引張り強度試験法を提案することができました。今後は得られた発生ガスのデータを実成形プロセスにフィードバックしその妥当性を検証すること 高温強度評価方法に関してもその妥当性の検証とともに操作性の向上、さらに将来の試験法の規格化に向けた準備を進めていきたいと考えています。また、熱分析結果が材料の劣化速度の予測に応用できないかも検討したいと考えています。

残された時間を新しい材料評価技術の確立にむけて、まだまだチャレンジしていきたいと思います。

## 日本の役に立っているという実感

東京理科大学准教授

## 松崎 亮介

今回は、A領域「航空機用樹脂の開発とCFRPの開発」においてA02ユニットに参画されている 東京理科大学 松崎亮介准教授にお話を伺いました。

### ——研究について

私たち理科大、東レ、愛媛大学のグループは、「航空機用高生産性革新PMCの製造・品質保証技術の開発」を課題として、「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」の中でアクティブ成形制御技術の開発に取り組んでいます。

航空機材料となるCFRPすなわち炭素繊維強化樹脂を、低コストでかつ高品質のものを量産していくために、「データ同化」を利用してCFRP加熱硬化プロセスを最適化する手法を開発しようとしています。

軽くて強い素材のCFRPには、無限の可能性が秘められています。しかしなかなか高品質なものを低コストで量産できる技術は実現していません。脱オートクレーブ技術つまりオートクレーブを使わない成形方法で、高性能の複合材料を製造できれば、社会全体のエネルギー効率向上に大きく貢献できると考えています。私たちは、数値計算による推定値と測定値を統合できる「データ同化」を用いて、状態の推定を行い、高精度な加熱成形予測を構築できる制御性の高いプロセスを生み出そうとしています。

私たちのデータ同化の手法は、気象学で見られる手法に少し似ているところがあります。地球シミュレーターは有名ですよ。シミュレーション技術だけでは現実を起こることを予測するのは難しいですが、現実に行っている事象をよく観測して解析したデータと融合すると、現実に行っている事象をうまく説明できたり、予測できたりします。CFRPの硬化反応や成形プロセスにおい

ては、化学反応を伴って硬化していくことも含め、いくら実験を重ねても得られにくいデータがあります。例えば局所的な熱伝達のしくみなどは、なかなか測定することができません。そこでパラメーターをうまく設定するなどして得られたシミュレーションのデータと実測データを統合していくと、品質の良い材料を提供するための新しい成形プロセスの制御に役立つこととなります。

### ——SIPとの関わり

私は以前、複合材料樹脂注入成形のモニタリングを行ってきた経験があり、私の研究には実験的なものづくりの側面と数値シミュレーションの側面があります。また複合材料の成形に関するシミュレーション研究をしている研究者が少ないのも現状です。そんな中、ちょうどSIPが発足する少し前ごろに東レの研究者の方々が、私の研究の成果に興味を持っていただき、いただいたのが、きっかけでSIPに参画することになりました。

大学だけの研究活動や大学と企業一対一の共同研究とは違い、SIPではひとつの大きな方向性を持った国プロならではの、つまり「日本の役に立っている」プロジェクトに参加している、という実感があります。そして、企業の方やほかの研究者とのディスカッションを通じて、実用性に重点が置かれている点や、現実に即したことに直面することができるので、研究のモチベーションがあがり、研究のアイデアやヒントをもらえている気がしています。私と一緒に研究してくれる学生さんたちも、研究の目的がはっきりしているからか、研究に対する



Profile  
 2007年 東京工業大学 機械物理工学専攻、博士(工学)。  
 2007年 東京工業大学 機械物理工学専攻 助教。  
 2011年 東京理科大学 理工学部機械工学科 講師。  
 2017年 東京理科大学 理工学部機械工学科 准教授。

意識を高く持ってくれるのがありがたいです。成果重視の国プロですから、アカデミックな研究だけでなく、より実用性の高い成果を出していかなければという意識を強く持っています。

### ——今後の展望

加熱硬化成形時の複合材内部の推定が、シミュレーションとデータ同化することで可能となってきました。これは一つの成果として、すでにひとつのプログラムとして実際に東レさんに提供していき、東レさんの中で愛媛大学のそり解析を含めて、一つのプログラムへと集約する計画です。

今後は、データ同化手法について、まだまだ予測値が現実に対して乖離がある部分も多くありますから、少しでも精度の高い手法を構築しつつよりよく使えるもの、大型化できるもの、への発展に貢献できればと思います。また別の研究グループの研究者たちともうまく情報を共有して、より高い成果を出せるようになればと考えております。

A 航空機用樹脂の開発とFRPの開発

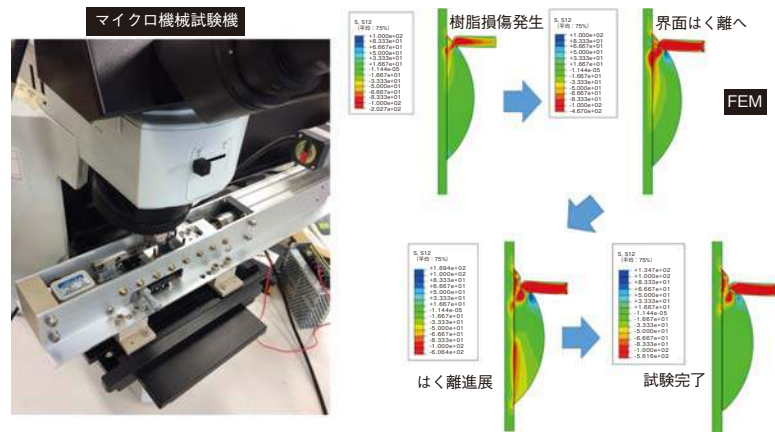
小柳 潤

# CFRPの繊維/樹脂界面の力学特性評価法の確立

複合材料の力学特性は、強化繊維の特性とマトリクス樹脂の特性のみからでは決められず、往々にして繊維/樹脂の接着界面の力学特性が複合材料の特性発現機構を複雑にする。界面力学特性の正確な把握は複合材料工学において最も重要なポイントの一つであるにもかかわらず、現状ではその定量的な評価方法は確立されていない。小柳研究室ではマイクロドロップレット試験（繊維に微小な樹脂玉を付着させ、硬化し、顕微鏡下でこれをそぎ落とすマイクロメカニカル試験）を実施し、実験に忠実な数値解析と組み合わせることで界面強度を正確に評価する方法を構築した。はじめに樹脂玉にブレ

ードが当たり、樹脂に損傷が発生して界面へ向かって発展、しかる後界面はく離が発生・進展して樹脂玉がそぎ落とされる、という実験事実を忠実にモデリングすることによって、正確な界面強度を評

価できる。得られた界面力学特性は複合材料のマイクロスケールモデリングに適用され、複合材料全体の力学特性の発現機構解明に極めて有用な情報となる。



東京理科大学基礎工学部  
材料工学科 准教授

2006年 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 助教  
2013年 東京理科大学基礎工学部材料工学科 講師  
2017年 東京理科大学基礎工学部材料工学科 准教授



C 耐環境性セラミックスコーティングの開発

伊藤 暁彦

# 耐環境性と損傷許容性を兼ね備えた繊維強化複合材料向けコーティング技術

航空機エンジン部材として、セラミックスの繊維強化複合材料を安心して使用するためには、部材の脆性破壊と水蒸気劣化を抑える必要があります。そこで、部材表面を守る耐環境性コーティングと繊維表面を守る界面制御コーティングが不可欠です。

繊維とマトリクスの間には、固着を防ぐ界面層を形成します。もし界面層が、マトリクス中に生じるき裂を偏向させる機能や、き裂を通して侵入する高温水蒸気から繊維を保護する機能を備えていれば、有用な界面制御コーティングとなります。現行のBNコーティングは、水蒸気と反応して消失する問題があり、新たなコーティング材料・技術の開発が求められています。

本研究では、化学気相析出 (CVD) 法を用いて、Ybシリケート系の新しい界面制御コーティングを開発しています。すでに、損傷許容性を発現するコーティングの化学組成や微細組織を提案し、競合コーティング

技術に対する優位性を示しました。現在は、実用化を視野に入れて、大面積施工性やマトリクス形成プロセスへの適合性を向上させるためのコーティング技術開発に取り組んでいます。

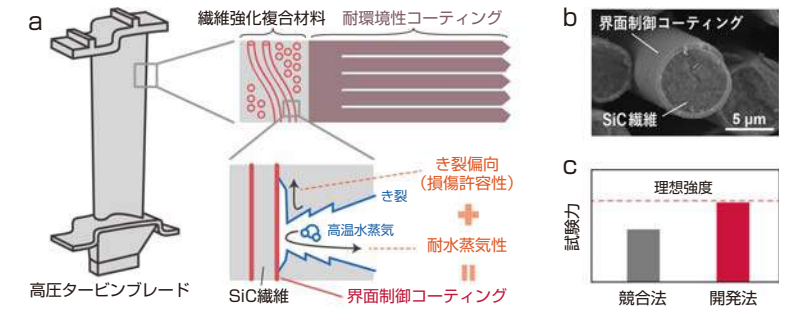


図 (a) 繊維強化複合材料を用いたエンジン部材と界面制御コーティングの概要図。(b) CVD法によるSiC繊維束上へのYbシリケートコーティング。(c) 本開発コーティング法と競合法との繊維試料強度の比較。

横浜国立大学大学院  
環境情報研究院 准教授

2009年 東北大学金属材料研究所 助教  
2016年 横浜国立大学大学院 准教授  
無機材料の気相合成・レーザープロセス



B 耐熱合金・金属間化合物の開発

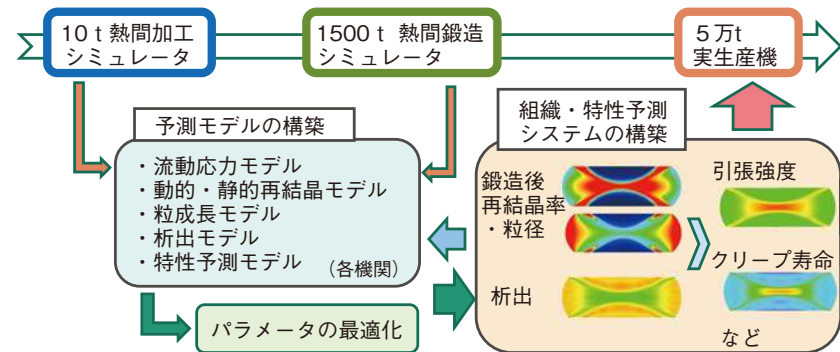
湯川 伸樹

# 耐熱合金熱間鍛造プロセスモデリングのための組織・特性予測システムの開発

航空機用エンジンのタービンディスク材料には高温における厳しい各種強度が要求されます。Ni基超合金はこれらの高温特性を満足させられる材料として広く用いられていますが、この優れた機械的特性をより引き出すには鍛造・熱処理工程における再結晶や析出挙動の把握、制御が不可欠であり、製造工程のプロセスモデリングによる最適化が重要です。このプロセスモデリングを、世界最大級の5万tクラスのプレスをを用いた実生産鍛造プロセスにおいて実現することを目標に、鍛造組織・特性予測システムの開発を行っています。

応力や再結晶・析出挙動、さらにはそれらから得られる機械的特性予測の各モデルを融合し、有機的に連携して機能する一つのシステムとして構築することを、各モデルを開発するプロジェクト参画の各研究機関と連携して行っています。

素材の寸法が大幅に異なる最大荷重10tクラスの小型鍛造実験およびNIMSに導入された1500t大型鍛造シミュレータを用いた実験に基づきモデルの高精度化を図り、実機実証実験の予測が可能なシステムを目指しています。



名古屋大学  
大学院工学研究科 准教授

1988年 ミシガン大学工学部  
客員研究員  
1990年 名古屋大学工学部 助手  
現在 名古屋大学大学院工学研究科  
材料バックキャストテクノロジー  
センター 准教授



D マテリアルズインテグレーション

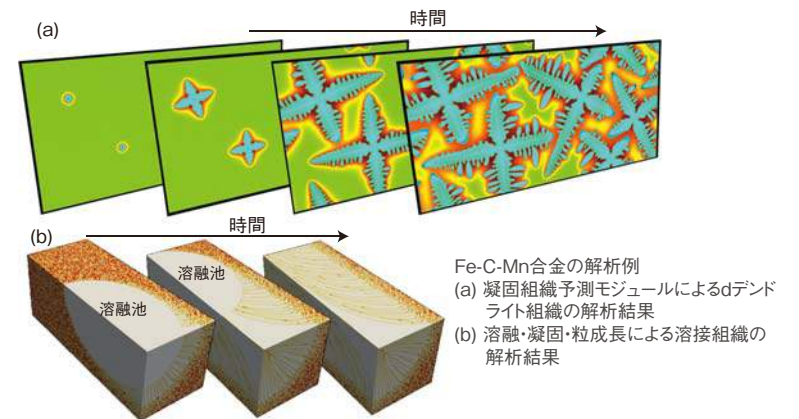
大野 宗一

# 高温プロセスの組織予測を可能にする計算モジュール開発

実用合金材料の製造プロセスにおいては、高温から低温まで多様な相変態が生じ、それに伴う材料組織の一連の変化によって、材料特性を決める最終組織が形成する。本研究では、高温プロセスで生じる凝固とそれに続く結晶粒成長を予測する計算モデルの開発と計算モジュールの開発を行っている。多様な相変態の材料組織をシミュレートする強力な手法として発展してきたフェーズフィールド・モデルの高精度化と高度化を行い、種々の実用合金に適用可能な汎用性を有した凝固組織予測モジュールを開発した。また、凝固に続く結晶粒成長を予測するため、不均一温度場やピン止め効果の影響

を導入したモデルの開発と、高効率アルゴリズムをインプリメントしたモジュールの開発を実施した。さらには、溶接をはじめとする多様な製造プロセスに活用することを念頭に、溶融、凝固、そして

結晶粒成長の連成解析を可能にするモジュールも開発した。炭素鋼の溶接を例題に、上記のモデルとモジュールのさらなる高度化、そして妥当性の調査を実施している。



Fe-C-Mn合金の解析例  
(a) 凝固組織予測モジュールによるdデンドライト組織の解析結果  
(b) 溶融・凝固・粒成長による溶接組織の解析結果

北海道大学  
大学院工学研究科 准教授

北海道大学 工学研究科 博士課程修了後、  
クラスタール工科大学 博士研究員などを経て2009年より現職



## 3府省合同 構造材料プログラム「研究成果報告会」開催報告

6月13日(火)イイノホール&カンファレンスセンターにおいて、『構造材料』をキーワードに、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム「革新的構造材料」と、文部科学省の元素戦略プロジェクト「研究拠点形成型「京都大学構造材料元素戦略研究拠点」そして経済産業省の未来開拓研究プロジェクト「革新的構造材料等研究開発」が合同で研究成果報告会を開催いたしました。この3つの各府省での取組みで革新的構造材料開発として国が取組むべき重点領域を網羅しているといえるため、多くの人の関心を集めました。当日は、636名が参加、ホールの定員を上回る人数だったため、急遽

大きなモニターを導入したサテライト会場も設置、大盛況となりました。また、同時開催のポスター発表会場では、熱心な質問が研究者に向けられていました。



SIP「革新的構造材料」では、11月28日(火)同会場にて、単独による「研究成果報告会」の開催を予定しています。

## SIP-SM<sup>4</sup>の先端計測技術開発拠点実施機関KEK訪問記

2017年5月18日に「SM<sup>4</sup>の先端計測技術開発拠点」の高エネルギー加速器研究機構(KEK)物質構造科学研究所(つくば市)を訪問し、木村正雄教授(機関代表)、武市泰男助教(機関副代表)と面会しました。

本事業で導入したXAFS-CT 3次元化学状態イメージング装置(放射光実験施設、PF-ARに設置)の見学を行い、CFRPの世界初の応力印加による亀裂発生時の亀裂先端状況の観察結果やセラミックス材の3次元マッピングを確認し、今後の本事業での活用等についての意見交換を行いました。

今回開発した計測技術は、CFRPの性能を飛躍的に向上させるた

めの亀裂制御や界面処理に有益な情報の取得のみならず、セラミックス複合材料等の様々な材料開発においても世界的な成果創出が期待され、KEKに新たなX線観察装置が開発・整備されたことを実感しました。



KEK放射光実験施設PF(2.5GeV) & PF-AR(6.5GeV)の外観  
(出典:高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所)

# CALENDAR

## 日本金属学会2017秋期講演大会公募シンポジウム「S9 マテリアルズ・インテグレーション」開催

日本金属学会では、会員の研究活動の更なる活性化を図ることを目的とし、講演大会において会員から提案テーマによるシンポジウム講演を実施、活況を呈しています。2017秋期講演大会では、公募シンポジウム、「S9 マテリアルズ・インテグレーション」が開催されます。

理論・実験・解析・シミュレーション・データベースなどの材料科学の知見と最新の情報科学を融合することで、材料の研究開発を支援・加速することを目指す新たなツールがマテリアルズ・インテグレーションです。

本シンポジウムでは、マテリアルズ・インテグレーションを構成

する様々なモジュールや手法に関する新たな知見を共有することで、未来の材料開発の描像を広く議論することを目的とします。

- 開催日:2017年9月6日(水)~8日(金)
- 開催場所:北海道大学工学部, 情報科学研究科棟  
(〒060-0808 北海道札幌市北区北8条西5丁目)
- シンポジウム chair:東京大学准教授 井上純哉
- シンポジウム co-chairs:  
小関敏彦(東京大学)、榎 学(東京大学)、  
小山敏幸(名古屋大学)、出村雅彦(NIMS)、南部将一(東京大学)
- 申し込み先:<http://www.jim.or.jp/convention/2017autumn/>

## JSTフェア2017 ~科学技術による未来の産業創造展~

未来の「産業創造」を目指した、JST発の研究開発成果が一堂に会する「JSTフェア」が今年も8月に開催されます。将来の社会・経済に貢献する革新的基礎研究事例や産学連携成果による製品化事例などを

ご紹介する場となります。JSTが管理法人を勤めるSIP5課題(「構造材料」「燃焼」「エネキャリア」「インフラ」「防災」)も、共同でブースを設置し、成果の一部を展示する予定です。ご家族で楽しめます。ぜひ、皆様お誘い併せの上、ご来場ください。

- 開催日時:2017年8月31日—9月1日
- 開催会場:東京ビックサイト(お台場)
- 詳細・お申し込み:  
<http://www.jst.go.jp/tt/jstfair2017/index.html>



JSTフェア2016でのSIP5課題共同ブース

## SIP-SM<sup>4</sup> MAGAZINE vol.4 通巻4号 2017年7月発行

- 発行 国立研究開発法人科学技術振興機構 イノベーション拠点推進部 SIPグループ  
〒102-0076 東京都千代田区五番町7 K's五番町  
<http://www.jst.go.jp/sip/k03.html>
- 事務局 SIPグループ「革新的構造材料」SIP-SM<sup>4</sup> MAGAZINE編集部

定期購読のお申し込みおよび停止は、E-mail([sip\\_structuralmaterial@jst.go.jp](mailto:sip_structuralmaterial@jst.go.jp))にて承っております。

禁無断転載



国立研究開発法人  
**科学技術振興機構**  
Japan Science and Technology Agency