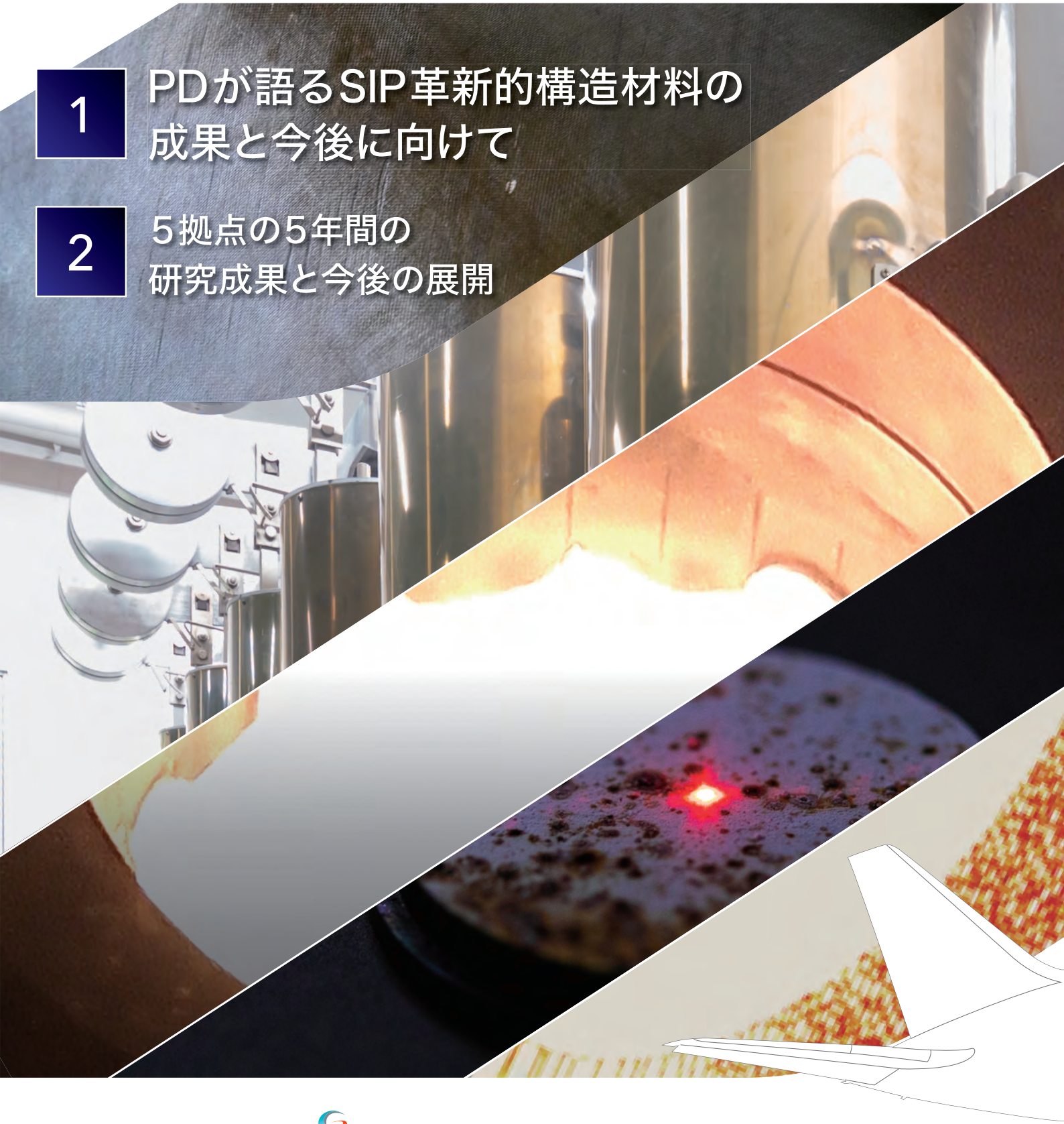
SIP-SM⁴I MAGAZINE

エスアイピー エスエムフォーアイ マガジン

Vol.8

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



1 PDが語るSIP革新的構造材料の成果と今後に向けて

2 5拠点の5年間の研究成果と今後の展開

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム
Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

PDが語る

SIP 5年間の成果と今後の展開

岸 輝雄

東京大学名誉教授／物質・材料研究機構名誉顧問
戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「革新的構造材料」
プログラムディレクター

1969年東京大学大学院工学系博士課程修了（工学博士）。74年東京大学助教授、88年同大学先端科学技術研究センター教授。95年同センター長。97年通商産業省工業技術院産業技術融合領域研究所所長。

2014年4月にスタートしたSIP「革新的構造材料」も最終年度の最終四半期を迎えています。SIPは総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）が自ら司令塔機能を発揮し、科学技術イノベーションを実現するためのプログラムであり、社会的に不可欠で、日本の経済・産業競争力にとって重要な課題に取り組み、府省連携、産学官連携のもと、基礎研究から実用化・事業化までを見据えて一気通貫で研究開発を推進してきました。我々の「革新的構造材料」では、欧米が席巻する航空機産業の一角に食い込むために、日本が得意とする素材産業、材料科学・工学の分野から日本の航空機産業を押し上げる狙いで、航空機用の高比強度・高耐熱性の材料開発に取り組んできました。

A領域「航空機用樹脂の開発とCFRPの開発」では、日本の代表的機体メーカーであるMHI、KHI、SUBARUと炭素繊維の世界トップメーカーである東レが連携し、さらに東大・JAXAとも協力したドリームチームにより、従来材を凌駕する革新的な性能のCFRPとその設計手法を開発・構築することに成功しつつあります。一方、エンジン用としても、IHIが中心となり、熱可塑性CFRPのエンジンファンへの適用という課題に挑戦し、プロジェクト目標を達成しました。

B領域「耐熱合金・金属間化合物の開発」では、NIMSに設置した1500トン大型鍛造シミュレータなどにより構築したデータベースと計算技術を組み合わせて、チタン合金・ニッケル基合金鍛造材の組織・特性の予測技術を確立し、今年度、日本エアロフォージが有する世界最先端・最大級の5万トンプレスでその性能を実証しました。また、熱間加工性と力学特性を両立し、リサイクル性にも優れた画期的なチタンアルミ金属間化合物の開発も、圧縮機・タービン動翼としての実用化に向けて大きく飛躍しました。

C領域「セラミックス基複合材料の開発」では、航空機エンジンの燃費改善に大きな効果が期待される耐熱・軽量セラミックス部材の実用化に向けて、日本発の革新素材である炭化ケイ素繊維から成る複合材料の、低コストで高生産性の製造プロセスの開発に取り組んでいます。また、燃焼ガスによる高温酸化を防ぐ耐環境コーティング技術を開発し、日本独自の材料設計により1400°Cの世界最高の耐用温度を達成しました。

D領域「マテリアルズインテグレーション」では、理論・実験などにもとづく材料科学・工学と、計算科学・データ科学を融合し、疲労・クリープなどの時間依存性の材料性能を予測するシステムを開発してきました。2016年度までに開発したシステムのα版をベースとして、企業の試用による要望も取り込んで、全体の自動化も進んだ先進的なシステムver.1.0が構築されようとしています。これは正にサイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、まさにSociety5.0の好例と言えます。

SIP革新的構造材料には全期間を通して、185億円の研究開発費が投じられ、86の研究機関（産33、学43、官10）、およそ900人の研究者が参画し、大小45ユニット（共同研究グループ単位）を立ち上げ、その統合・卒業を経て8拠点、2クラスターに集約しました。プログラムディレクター（PD）に大きな予算と権限を与えられていることがSIPの大きな特徴の一つです。運営面でもco-leader制による産学連携の実効化、技術成熟度（TRL）の導入、国内・国際アドバイザリーボードの設置、拠点形成の支援、構造材料コロキウム（人材育成プログラム）の開催、技術主幹・連携コーディネータの配置など、PD自らが主導して方策を考え、実行してきました。

SIP革新的構造材料は終了後も出口戦略として、主に企業は研究開発成果の実用化・事業化を目指し、大学・公的機関は拠点を形成して研究成果などをアーカイブし、産学官連携の中核を継続することを務めとしています。引き続き、皆様のご支援とご協力を賜りますようお願い申し上げます。

SPDが語る

国際産業競争力強化の重要課題

田中 千秋

イノベーションオフィス田中(IOT)代表
戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) サブプログラムディレクター

1968年京都大学大学院工学研究科修了、同年東レ(株)入社、01年東レプラスチックスアメリカ(TPA)社長、07年東レ代表取締役副社長・CTO、12年東レバッテリーセパレータフィルム(株)代表取締役会長

SIP第1期がこの3月で5年間の活動終了を迎えるに当たって、「革新的構造材料」のサブPDを担当した私へもJST広報誌への執筆依頼が事務局から届きました。PDを務められた岸先生が執筆されるので、一部を担当しただけの私までが何故？と辞退したのですが、事務局はどうしてもと要請されます。SIPという国家プログラムへの5年間の参画は、民間企業出身の私にとっても貴重な体験となりました。開発テーマの進め方においては、民間企業の進め方と国プロの進め方には大きな違いがあり戸惑うこともありましたが、どちらがよいと言うのではなく、それぞれの良さを生かしていくことが重要なので、関係者の皆様に些かでも参考になるところがあればと筆を執ることにしました。

私が内閣府の要請を受けてSIP参画を決意したのは、その趣旨の新鮮さに感激したからです。日本の産業国際競争力が年々低下しているのに、国として有効な手が打てていないことに強い危機意識を持ち、民間企業なりに個別に努力しているのですが力及びません。どうしても国の力が必要です。ところがこのSIPでは「日本の産業競争力強化」に向けて、「内閣府と科学技術・イノベーション会議が主導し、府省連携」「出口戦略を明確にし、基礎研究から開発・製品化まで一気通貫の産官学連携」と謳っています。これは重要な問題を抉り出しており、ならばと奮い立たないわけにはいかなかったのです。

しかし、日本が「失われた20年とか25年」と言われている長期に亘る産業競争力低迷を払拭するためには、何が問題で長期低迷に至ったかについての本質的な原因究明と抜本的な対策が必要です。これが出来ているのなら、すでに手が打たれている筈です。このままでは日本は世界の発展から取り残されるということがいくら分かっても変えられないというのは、要因は色々見つけられても、本質原因の追求が出来ていないのかそれとも克服できない難題があるからなのでしょう。SIPの行動方針も上記問題点を全て解決できるものではないものの、改善方向であることは確かです。日本の現状は手をこまねいて待っている余裕はなく、もっとスピードを上げて走りながら考えざるを得ないのです。岸PDからSPDの私に与えられた役割は、A領域担当、出口戦略、知財戦略の3つです。私も企業的観点から、より効率的に推進するための提案を色々させて頂きました。

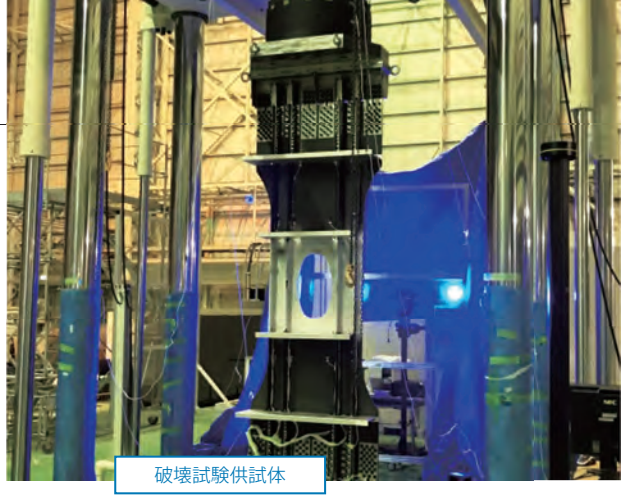
A領域は世界的に競争優位に立っている領域ですが、欧米や中国の追い上げは厳しく、常に先頭を走るための努力が必要です。特に、複合材料はバリューチェーン全体での取り組みを強化する必要があり、日本陣営だけではその取り組みが弱いということを認識することが重要です。材料だけでなく、加工、設計、製品、用途などの総合技術が必要なのです。

出口戦略に関しては、革新的構造材料という余りにも広すぎるテーマなので、主テーマは「国産民間小型航空機産業」とすることに決定しました。この事業分野は2030-50年という中長期スパンで世界的に最も事業が成長拡大する産業領域であり、他産業への波及効果も大きい重要領域なので国としても最も力を入れなければなりません。しかし、60年前に日本が撤退した事業領域でもあり、再興するには着手が早ければ早いほど良いとはいえ、その実現は容易ではありません。5年計画の今期SIPでは、現実的な部品事業のグローバル展開から推進していくことになりますが、国産民間小型航空機産業再興には長期目標の明示と実現までのロードマップを設定し、本格的な国家プロジェクトに仕上げていかねばなりません。これはSIP第2期に委ねる最重要課題です。アメリカが1980年代に始めた産業競争力委員会は、産業界のトップがリーダーとなり、国を挙げて1985年のヤングレポートから始まって2005年までしつこく続けたことが今日のアメリカの国力になっています。

最後に、私がSIP知財委員長代理として推進した「知財戦略」を通して、どの様な事案に注力し、日本のモノづくり改革が必要かを訴えて来たかをまとめておきたいと思います。

国の力は、モノづくり産業の国際競争力に依存します。日本の国際競争力が低下の一途をたどっているのに、その危機意識が薄いのは、産官学にしても、産業界にしても各組織がばらばらにやっているせいであり、総合的に技術や産業を強くしようという司令塔が不在になっているのではないでしょうか。国際産業競争の中で最も武器になるのは特許だということを認識して、それもよい研究成果を強い国際特許として成立させることの重要性を訴え続けました。中国の知財戦略の凄さにもっと危機感を持って認識しなければなりません。アカデミアの特許意識の低さは重大問題です。基礎研究でもAIやMIでもモノづくりチェーンの中で捉えれば、特許にすることが可能になるのです。この推進のためには、官学と産業界の連携による共同研究の重要性について繰り返し発言して来ましたし、MI領域では、材料領域との連携でモノづくりと結びつけて実装化することを考えることも提案しています。関係者が協力して特許化を工夫してください。皆様の奮起をお願いして筆を措きます。

産・官・学の叡智を結集し、革新的な航空機用複合材を生み出す



破壊試験供試体

航空機市場のシェアを勝ち取るには、新たな複合材開発が必須

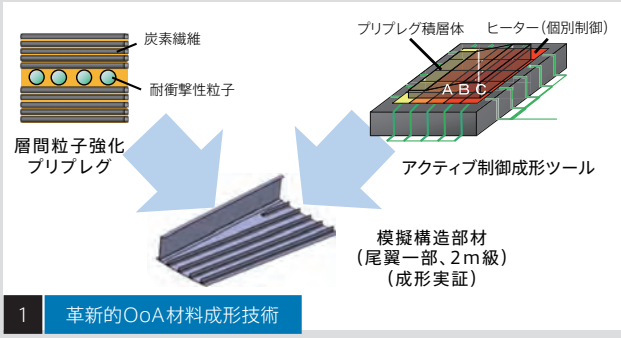
日本は航空機用複合材の分野で、世界的に見ても優れた技術力を誇っています。しかし航空機市場でシェアを勝ち取っていくには、さらなる生産技術の差別化・高付加価値化、製造性向上が重要です。航空機市場の側面から見ると、今後の開発の中心になると見込まれるのは小型機であるボーイング737、エアバスA320などの後継機であり、これらの小型航空機では高性能を保ちつつも低コスト化の要求が非常に強く、機体の炭素繊維強化プラスチック（CFRP）構造にもコストダウンが必須となっています。

我々はこの領域で、機体やエンジンに使えるような、日本独自の新たなCFRP材料・プロセス技術の開発を行っています。複合材の製造においては、現在はカーボン繊維と樹脂からなる「プリプレグ」というシート状の中間素材を重ね合わせ、特殊な炉の中で温度・圧力をかけて成形する「オートクレーブ成形法」が一般的です。この方法は高品質な複合材の成形が可能ですが、設備が大がかりで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、CFRPを量産するのは難しいという課題があります。そこで、従来の欠点を克服するオートクレーブ用の新規プリプレグの開発や、オートクレーブを使わずにローコストかつ短時間で大量に複合材をつくる成形技術「OoA（アウトオブオートクレーブ）」の構築に取り組んでいます。また熱可塑性の樹脂を用いたCFRTP（炭素繊維強化熱可塑性樹脂）も成形の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なため、航空機用複合材の生産性を上げる手段として研究を進めました。

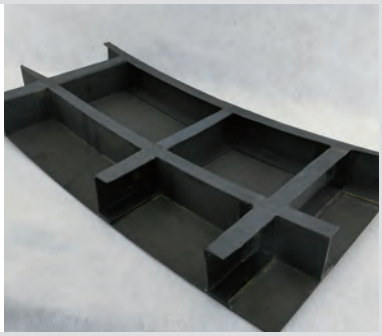
各部材に求められる性能を考慮し、革新的な素材開発に成功

5年にわたる研究開発の結果、オートクレーブを使用せずに成形する2種類の革新的な技術を構築しました。1つは従来材料同様に層間に粒子強化層を持つOoA用のプリプレグの開発とそれを使った「アクティブ制御成形技術」で、成形時に複数の加熱源を高精度で制御することで、短時間で耐衝撃性にすぐれた部材を成形できます。2つ目の成形技術は、カーボン繊維の束を自動でシート状に並べ、それを樹脂注入金型にセットして高温で圧力をかけ、三次元の複雑な形状の構造部材へと一体成形する「ギャップRTM（樹脂注入成形）」です。これらの成形法では、航空機のドアや尾翼などに使われる比較的小型構造材について、従来よりも短時間・ローコストで現行のオートクレーブ材とほぼ同特性を持つ部材成形が可能になりました。

OoAの技術開発を進める一方、従来のオートクレーブ成形法についても改良を試み、航空機の主翼や胴体などの主構造への適用をめざす強靭プリプレグ開発に取り組みました。高品質な複合材がつくれるというオートクレーブ成形法の良さを生かした上で、航空機の高生産性に貢献できる強靭な複合材の開発を進め、成果としてベンチマークとした材料と比べて1.5倍の強靭化を達成しました。オートクレーブ材の改良技術を持つ国は世界の中でも少なく、日本だからこそ成し遂げられた成果といえます。OoAとオートクレーブ成形法で製造した複合材については、埋込光ファイバーセンサを利用して成形中に材料の物性をその場で測



1 革新的OoA材料成形技術



1 OoAの基盤となる技術を構築
尾翼等の部材を低コスト・品質安定・短成形時間で実現する、「アクティブ制御成形技術」と「ギャップRTM」の技術基盤を構築しました。RTMでは従来の5分の1という短時間での成形を実現しています。

定する評価技術を適用することで品質を担保することに成功するとともに成形技術の学術的な基盤を確立することができました。

またCFRTPの研究に関しては、純国産の熱可塑性樹脂を使って、150℃程度の耐熱性を持つ耐衝撃性にすぐれたファンブレード用のプリプレグを開発することに成功しました。鳥衝突への耐性を評価する高速衝撃試験での比較により最適な素材を選定し、開発素材の設計基礎データを得ることもできました。コスト面では、原料となる樹脂からプリプレグの製造に必要な樹脂フィルムを連続的に製造する技術を開発し、プリプレグの低コスト化を進めました。

航空機用複合材は、部材によって求められる品質や特性が変わってきます。航空機の主翼や胴体はオートクレーブ、そのほかはOoAやCFRTPというように部材に併せて最適な製造方法を探ることで、高生産性・低コストの達成に資する可能性を見出すことができました。

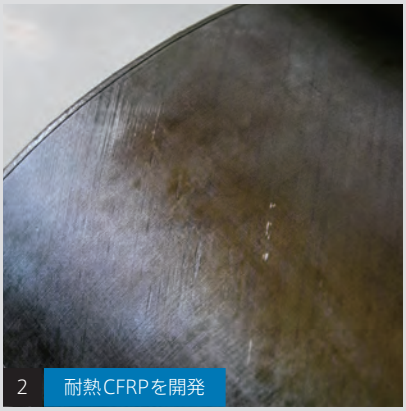
CFRP製造の出口戦略を確立し、2020年代の実用化を目指す

航空機メーカーでは、一度採用が決まれば20年という長期スパンで同じ複合材が使われ続けます。そこに採用されるかどうかが、日本の航空機材料や機体メーカーとしては死活問題になりうるのです。CFRP・CFRTP材料となるカーボン繊維は日本のシェアが60%以上あり、樹脂についても高度な特性・耐熱性を有する樹脂製造技術があります。今後も研究を進めてCFRP・CFRTP材料の構造レベルまで構築できれば、将来的に国内外の航空機メーカーに採用される可能性は高くなります。

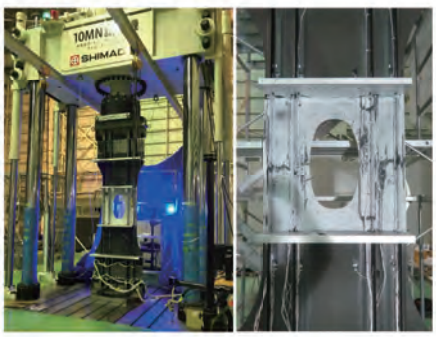
さらに、開発した複合材の物性を評価する技術をもとに成形モデリング・シミュレーション技術を構築できれば、「モニタリング＋新規成形シミュレーション」を製品パッケージにして、品質保証されたCFRP構造部材として売ることができます。企業がCFRP構造部材を開発していく中で、その品質保証の手助けを研究機関や大学が行うという産・官・学の連携によって、国際競争力を強化していければと考えています。

また今回、SIPを通して有用なデータがJAXAに蓄積されたことで、航空機用のCFRP製造・品質保証技術に関する研究拠点の構築を進めることができました。さらには航空機業界での研究を志す学生がSIPに参加したことで、人材育成の面でも非常に役に立ったといえます。

今後は、開発した材料を用いて航空機用複合材を成形する技術開発を実施し、次世代中小型航空機の部品開発に適用していきます。また航空機の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、データを蓄積していきます。将来航空機を想定した実構造の設計・試作、および試験を通じて効果を実証し、最終的な低コスト化のプロセスも完成させて、2020年代半ばの次世代中小型航空機開発の参入に貢献することを目指しています。



2 耐熱CFRPを開発



3 高生産性・強靭複合材の開発

2 ジェットエンジン部品用の耐熱CFRPを開発
今回開発したジェットエンジン部材用のTriA-Xポリイミド CFRPは250℃、3000時間の熱暴露でも強度が低下しないことが実証されています。成形プロセスの改良によりCFRPとしては厚い64層、8 mm強の成形に成功し、基本の成形技術の構築が進みました。

3 オートクレーブを利用した高生産性・強靭複合材の開発
平板の状態で、従来の1.5倍の強靭性を誇るプリプレグの開発に成功しました。さらに開発した材料の良さや強靭性をより活かす、最適な設計法の開発と、複合材の高精度な強度評価の手法を確立しました。

領域長
武田 展雄
フロリダ大学（東京大学）大学院PhD（工学博士）課程修了

フロリダ大学（東京大学）大学院博士（PhD）課程修了。東京大学大学院新領域創成科学研究科長、副学長を経て現職。

領域長
岩堀 豊
明治大学教授
宇宙航空研究開発機構 航空技術部門 参事

1986年明治大学工学研究科修士修了。日本飛行機㈱、JAXAを経て現職。博士（工学）。

オールジャパン体制で、高品質なジェットエンジン部材開発に挑む

大型鍛造シミュレータを導入し、5万トンの実機で妥当性を検証

製造プロセスの効率化と、革新的な素材開発を目指す

ディスクやブレードなど航空機エンジンの耐熱部材に求められる性能は高く、ち密な材料組織を形成できる鍛造は必要不可欠な工程です。また部材となるTi合金、Ni基合金などは鉄とは違って非常に硬いので、加工には大きな加重を要します。そのため世界的にも大型の油圧プレス機の導入が進んでいますが、どのような条件で圧力をかけるとどのような特性が出るのかは試行錯誤で生産するしかなく、生産の高効率化がかねてよりの課題となっていました。

本研究開発では産・官・学が連携したオールジャパン体制で、最小限の試作によって油圧プレス機の性能を最大化できるプロセスを構築し、航空機のエンジン部品を製造する技術を研究してきました。

これまで小型の精密鍛造で培ってきた企業の製造技術と、大学や公的研究機関に蓄積された塑性加工の原理や物性データ等をもとにして、その技術優位性を損なわずに大型の鍛造品固有の事象に関するデータを積み上げて、早期に競争力のあるツールを構築するのが使命です。具体的には、倉敷ですでに稼働している世界最大級の5万トン鍛造プレス設備を最大限に活用するため、1500トンの大型鍛造シミュレータを設置し、材料開発の時間を短縮する予測計算プログラムの構築に挑みました。

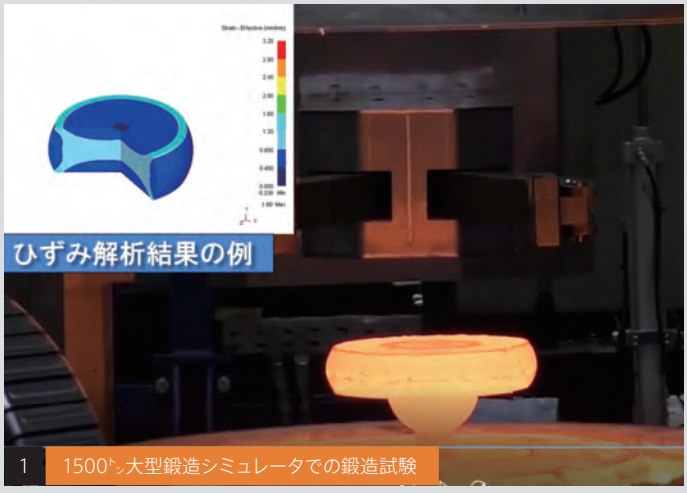
この研究と並行して、金属粉末を活用してエンジン部品を低コストで製造する付加形成法の研究も進めてきました。

最新鋭のシミュレータで予測計算プログラムを構築

本研究開発のもっとも大きな成果としては、物質・材料研究機構（NIMS）に大型精密鍛造シミュレータを導入・稼働し、鍛造試験材の安定的な供給ができる段階まで進めたことが挙げられます。このシミュレータは1500トンの油圧プレス本体とロボットマニピュレータ、加熱装置等の付帯設備からなり、実験用の大型鍛造機としては世界トップクラスです。最大で直径15cm、高さ30cm、25kgの素材をつぶすことが可能です。

鍛造は、条件や部位が変わると合金の組織が大きく変わってしまいます。組織が変われば素材の力学特性も大きく変化してしまうので、望んだ通りの性能を発揮する部品を高効率に生産するためには、その変化をあらかじめプログラムで予測することが非常に重要になります。そして高精度のプログラムを構築するためには、素材の鍛造条件、組織、特性の変化などを紐づけする一連の基礎データを集める必要があるのです。

このシミュレータでは実部品に近い大型部材の試作が可能で、実験室の数10～100トン級鍛造機では明らかでなかった荷重や被鍛造素材サイズの影響に加え、製造現場で



1 1500トン大型鍛造シミュレータでの鍛造試験

1 大型鍛造技術の開発

1500トンのシミュレータをNIMSに導入し、シミュレータを使って月40個ペースで試作品が出来るという安定稼働を継続しています。一般的な製造ラインでは炉の中で素材の温度を上げますが、この装置には鍛造部に炉があり、あらかじめ温度を上げた状態で鍛造をすることができます。さらに、鍛造後の冷却速度の制御装置が付帯されているのも大きな特徴です。このシミュレータでの実験をもとに金型と素材の境界条件を考慮した材料データベースを構築するとともに、5万トンの実機を用いて予測ツールの妥当性を実証しています。

5万トンプレス鍛造品（Ts-17合金）

は取得することが難しかった鍛造プロセス中の塑性加工データの解析もできるようになりました。金型と素材の境界条件の影響や、鍛造部材の特性分布などの観点からも有用なデータが得られ、予測計算プログラムの基盤を構築することができました。

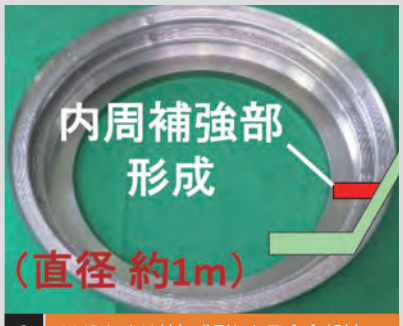
また、金属粉末を活用してエンジン部品を低コストで製造する付加成形法の研究についても、１mサイズの大型部品から小型の部品まで、素材と用途に応じた製造法を検討し、高品質なエンジン部品を低コストで製造するための基盤技術を開発しました。

シミュレータと5万トン実機の連携で世界に追いつき追い越す

NIMSではシミュレータから得られたデータをもとに予測計算プログラムの構築を進めており、開発の集大成として、国内最大の5万トン鍛造プレス設備を用いて妥当性を検証しています。シミュレータでは実用代表的なチタン合金やニッケル基合金について実証を行うとともに、参画企業の協力を得て、実機に適用できるディスク部材の開発にも挑んでいます。そこで得られたデータを整理して、1500トンのシミュレータによる実験が実機試作に有効に活用できるかの最終確認を行います。予測プログラムの実用化により、こういう鍛造条件ならこういう特性が出るだろうと正確に予測できるようになれば、企業の製造現場などで新規鍛造素材の開発期間の短縮、品質やコスト競争力を強化することが可能になります。

日本の航空機産業は海外から大きく遅れをとっている部分もありますが、世界に肩を並べ、追い越すためにSIPに参画できたことは大いに意義があったといえます。また5万トン鍛造プレス設備が整備され、順調に稼働していることにより、海外の航空機メーカーからも注目が集まりつつあります。今後は鍛造設計の精度をさらに向上させるためにデータベースを拡充させ、実用化を見据えた展開として、鍛造用の金型の素材や構造、表面処理技術を改善することで費用の削減および長寿命化にも取り組んでいきます。

航空機エンジンのライフサイクルは20年程度と長く、本研究開発が実用化につながれば、世界の中で長期的なビジネス機会を得ることができます。今後もNIMSのシミュレータと5万トン鍛造プレス設備を連携させ、シミュレータで迅速かつ正確に試作した部材を5万トン鍛造プレス設備で製造する体制を構築できれば、世界の航空機産業を名実ともにリードできるようになると確信しています。そのためには、鍛造シミュレータにおいては持続的に必要な時期に活用できる体制整備が必要であり、長期的な運用を見据えた支援が必要です。



2 LMDにより付加成形したTi合金部材

2 LMDによる大型部材の製造技術開発
直径約１mの大型チタン部品への施工が可能な、LMD（レーザ粉体肉盛）装置を開発しました。基材表面をレーザで溶融し、チタン合金の粉末を吹きつけて、部品上に所望の形状を付加的に形成します。生産現場への導入に向けて、微小欠陥モニター可能な非破壊検査技術を含めた、施工から検査までの製造プロセスを確立しました。

3 Ni基合金及びTi合金の部品試作

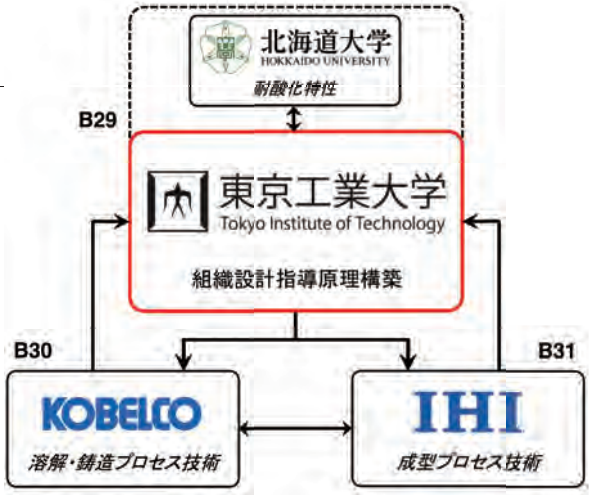
3 MIMによるエンジン部品の製造技術開発
複雑形状かつ30mm以上の大型化への対応が可能な、MIM（粉末射出成形）技術を開発しました。原料となる合金粉末の組成や成型後の熱処理の最適化を行い、エンジン部品として要求される疲労強度や欠陥レベル等が確認されました。今後は、先行して材料データが蓄積されたNi基合金部品から製品展開を進めていきます。

領域長
御手洗 容子
国立研究開発法人物質・材料研究機構
構造材料研究拠点 副拠点長
エネルギー構造材料分野 分野コーディネーター

領域長
藤田 陽一
日本エアロフォージ株式会社
取締役 技術本部長 兼 技術部

1994年東京工業大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。2014年同構造材料研究拠点副拠点長。

1985年 株式会社神戸製鋼所入社 入社以来、チタン製品の製造技術（圧延、鍛造、ロール成形、他）に長く携わり、2018年6月から日本エアロフォージ（株）にて航空機用大型鍛造品の製造に従事。



最高品質のTiAl 合金を開発し、ジェットエンジン部材製造に挑む

かつて培ったデータとノウハウで、巻き返しをはかる

近年、世界の航空機ジェットエンジンにおいては、軽量化による燃費低減や騒音低減による環境負荷低減が志向されています。エンジン内の低圧タービンには、従来の金属の半分の重さで高い耐熱性能を持つTiAl合金の採用が拡大しつつあります。

軽量耐熱材料としてのTiAl合金は1960年代から研究が進められており、現在は鋳造用の4822(Ti-48Al-2Nb-2Cr)、鍛造用のTNM（Ti-43Al-4Nb-1Mo-B）が実機に搭載されています。さらに、今後開発されるエンジンにTiAl合金の搭載が予定されているものが多く、産業規模が急速に拡大することで、鋳塊および部材の生産が追いつかなくなることも予想されます。

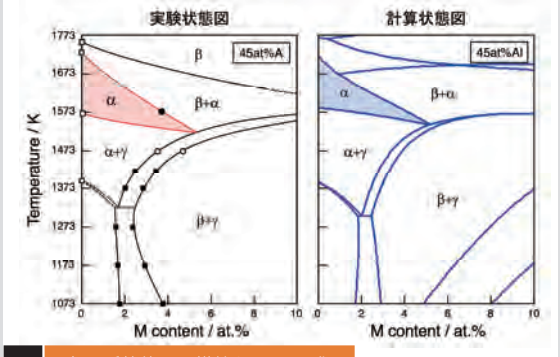
20数年前、本拠点の竹山拠点長は世界に先駆け、状態図に基づいた鍛造TiAl合金の組織・プロセス設計指針を提案しましたが、日本では実用化には至らず、ヨーロッパで実用化が進むという残念な結果に終わっていました。しかし当時の豊富なデータとノウハウは蓄積されており、TiAl合金への期待が高まっている今が、再び航空エンジン材料に挑戦して欧米勢への巻き返しをはかる絶好の機会といえます。

そこで本研究領域では、既存のTiAl合金を凌駕するすぐれた機械的性質・製造性を実現すること、高品位で安価な鋳塊製造の方法を確立することを目標としました。耐熱性が高く、加工性・生産性、靭性や疲労強度にすぐれ、コスト競争力を有したTiAl合金を製造するための一連の技術開発に、産学連携で取り組んでいます。

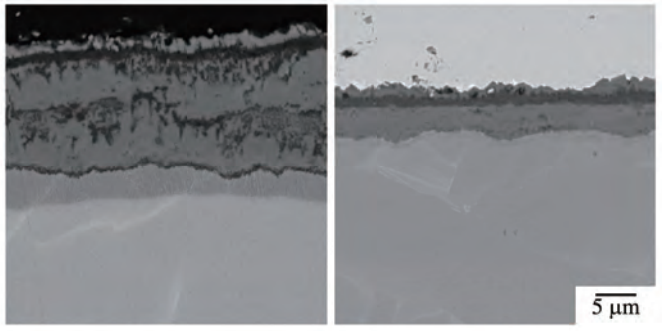
世界に類を見ない性能のTiAl合金開発に成功

研究開発の結果、機械的性質・製造性ともに現用の合金を凌駕する性能を持った合金を開発し、実翼を模擬した形状のタービンブレードの試作に成功しました。開発合金は室温延性１％以上を実現するとともに、すぐれた疲労き裂進展特性を発揮するなど革新的な性能を実現し、世界最高レベルの材料設計技術を実証しました。さらに、既存合金と同様またはそれ以上のすぐれた製造性を持たせることにも成功しています。これらの成果は、本拠点が長年積み上げてきた基礎的研究のまさに賜物といえます。将来的に、TiAl合金を使った部材の耐熱温度を800℃まで上げられれば、ジェットエンジン内で適用範囲をさらに拡大することも期待できます。

本研究領域では、大学機関が、企業が求める材料特性に合致する合金設計・金属組織設計指針を実施、これに基づいた合金を提案し、企業がリサイクル技術を取り入れた溶解・鋳造プロセス技術と、それを翼にする部品製造プロセ



1 多元系状態図の構築とそのDB化



2 異なる元素を添加した合金の断面組織

1 多元系状態図を基盤とする組織設計指導原理を構築し、要求される特性に応じた組織が提案可能できることを実証しました。設計した合金は、製造性・特性ともに既存合金を凌駕することを確認しています。

2 酸化特性に及ぼす添加元素の影響を系統的に調べ、酸化の観点から設計指針を与えるOxide Mapを構築しました。酸化特性を向上させる元素の組合せを見出し、そのメカニズムを解明しました。

ス技術およびデータベースの構築を担当しました。一般的に、合金は強度を上げれば上げるほど加工しづらくなるという問題がありますが、本合金系では、状態図に基づいた組織設計を実施することによりその課題をクリアし、また、大学が提示した合金・組織設計に対して企業がユーザーの立場から実用化を見据えて実施した課題をフィードバックすることにより、産学が有機的に連携して製造性と強度との両立を実現しました。さらに企業側は、鋳塊の化学組成を高精度で制御し、不純物や欠陥を抑えた素材の量産技術を実証、および、成形プロセスの実証とデータベースの整備も行いました。すなわち、信頼性ある組織設計データベースに基づいて逆問題を解決しました。

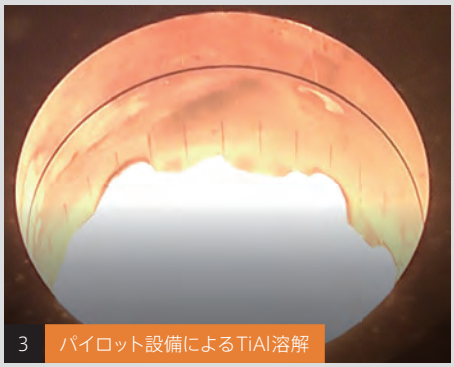
このように各機関が垂直的に統合し、スピード感をもって課題に取り組む体制を構築することにより、合金設計・素材製造・加工・熱処理・評価・データベース構築・リサイクルまでの一連のプロセスをすべて国内で行い、国際的に競争力のあるエンジン部品の製造プロセスを構築可能であることを実証することに成功しています。

メイドインジャパンのエンジン部材開発を目指して

SIP終了後も各機関の連携体制を維持・発展させていくために、ジェットエンジン用部材の開発拠点として「JETプロジェクト」を東工大に立ち上げました。この拠点には金属分野の研究に携わる38名の教員が参加しており、今後は参画機関だけでなく、ジェットエンジンに関わるすべての素材・部品・エンジンメーカー、認証機関、エアキャリアに門戸を開放する予定です。

JETプロジェクトによって大学の学理と企業のノウハウを融合して実用化・量産化に向けた課題を速やかに解決する体制を構築し、TiAl合金製低圧タービン翼の実用化を目指すとともに、将来的には国産エンジン向け材料技術の拠点としての活動を視野に入れています。2017年3月にそのキックオフとしてOpen Possibility Seminarを開催し、同年10月にも同様の会議を開催しました。セミナーに参加した十数社の企業からは、今後の活動に大いに期待するとの意見が多数得られました。この活動および連携をさらに強化するために、同様のセミナーを今後も開催していく予定です。ジェットエンジンの開発は企業が単独で行う時代は終焉し、世界展開が必要になります。そこで、今後は、欧米の大学およびビッグスリー（GE,RR,P&W）の研究者および技術者を同セミナーに招聘し、我々の活動を広めるとともに世界の最新情報を共有し、連携を図る準備も進めています。

当領域の最終的な目標としては、将来的に実機搭載プログラムへの提案を見据えています。ボーイング社の試算によると、2032年までに約3万5000機の航空機が製造され、その産業規模は約500兆円にもなります。SIPで開発されたTiAl合金が実用化されれば、日本は世界の航空産業界をリードするとともに、継続的に大きなビジネスチャンスを得ることができます。

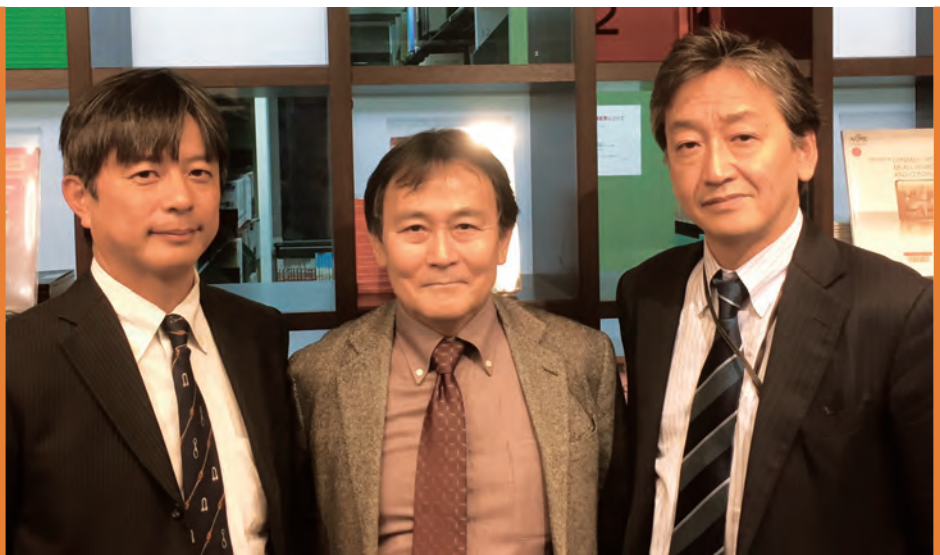


3 パイロット設備によるTiAl溶解

4 TiAl合金の熱間鍛造翼試作結果

3 2016度に導入したCCIMパイロット設備で実証試験を実施し、高品位で低コストのTiAl基合金鋳塊製造方法を確立しました。

4 SIPにて開発したTiAl合金の熱間開発したTiAlを用い、熱間鍛造に成功しました。これまでTiAlの鍛造は、恒温鍛造（特殊かつ低速鍛造）設備で行う必要がありましたが、開発した合金は通常の設備で容易に鍛造可能です。



拠点長

高橋 聰

株式会社IHI 航空・宇宙・防衛事業領域 技術開発センター材料技術部長 工学博士

左

株式会社IHI入社後、過給機を中心とした耐熱材料の製造プロセスと強度評価の研究開発に従事。

拠点長

竹山 雅夫

東京工業大学 物質理工学院材料系 教授 工学博士

中央

1986年 東京工業大学 理工学研究科 金属工学専攻博士課程修了1986年4月～1989年6月：米国Oak Ridge 国立研究所
1989年7月～1993年3月：科学技術庁金属材料技術研究所
1993年 東京工業大学 助教授

ユニット長

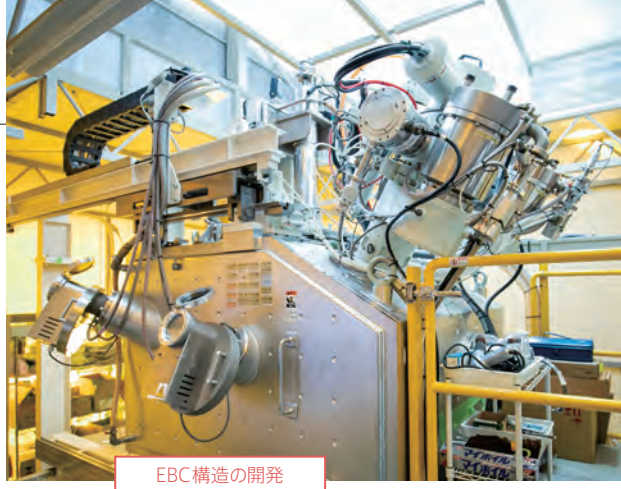
坂本 浩一

株式会社神戸製鋼所 開発企画部部長 工学博士

右

(株)神戸製鋼所に入社後、材料研究所においてTi合金の溶解鋳造技術の研究開発に従事。材料研究所長を経て現職。

革新的な耐熱部材コーティング技術を開発し、航空エンジン製造に貢献する



EBC構造の開発
最高レベルの性能を発揮

日本が世界に誇るCMC、さらなる普及の鍵は「コーティング」

航空機エンジンの燃費を改善するためには、高温の燃焼ガスにさらされる部位の軽量化と耐熱性向上が不可欠です。特に高圧タービン部材は高温の水蒸気を含む過酷な環境にさらされるため、非常にすぐれた耐久性が要求されます。従来はNi基超合金などの金属が使われてきましたが、近年注目されているのが金属の3分の1程度の重さで高い耐熱性を持つセラミックス基複合材料（CMC）です。

日本ではすでに非常に高性能なCMCの開発に成功しており、それが耐用温度約1400℃を誇る日本製の炭化ケイ素繊維を用いたSiC/SiC（炭化ケイ素繊維強化炭化ケイ素マトリックス複合材）です。通常、セラミックスは釘で打つと割れてしまいますが、軽くて耐熱性にすぐれるSiCをマトリックスと強化繊維に用いているSiC/SiCは、損傷許容性も併せもちます。

我々は、このSiC/SiCの性能を最大限に発揮するためのコーティング技術の開発に挑んできました。SiC/SiCは燃焼ガスに含まれる高温の水蒸気で酸化しやすく、さらに生成物のシリカが水蒸気と化学反応を起こしてガス化するため、減肉してしまうという問題があります。これを耐熱コア部品に適用するためには、部材の表面を守り、部材の長期使用を可能にするEBC（耐環境性コーティング）が不可欠なのです。

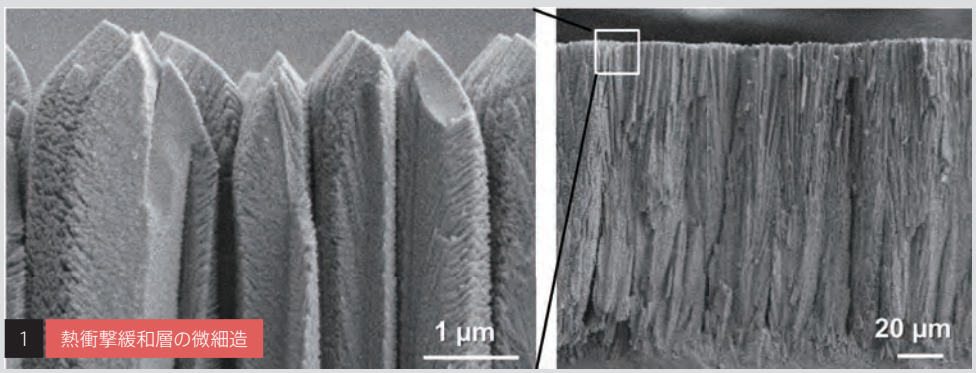
もう一つの課題として、SiC/SiCの損傷許容性の強化にも取り組んでいます。現状では、実用化段階のものには表面に窒化ホウ素（BN）による繊維コーティングが施されていますが、これは高温の酸素・水蒸気により容易に酸化するという問題があり、新たなコーティング技術が求められています。

世界に先駆け、最高性能のEBC・繊維コーティング技術を確立

EBCの性能は素材と微細組織に強く依存しますが、これまでは素材固有の「環境遮蔽性」に関する情報が決定的に不足しており、性能向上の取り組みは試行錯誤の中で行われていました。そこで環境遮蔽性の情報を取得するために、高温環境下で酸素透過試験を行って酸化物中の物質移動を解析したところ、酸化物層の酸素透過係数だけでなく、各イオンの化学ポテンシャルや拡散・流束も推算することができました。この手法を用いることで、対象となるEBCに期待される環境遮蔽性と構造安定性のレベルを事前に予測することができるだけでなく、機能をさらに向上させるための制御因子の効果も予測できます。本研究で得られたデータ群は、世界的にも例を見ないSIP独自の極めて有益なものといえます。

これらの情報に基づいてEBC構造を決定したところ、1400℃という高温の酸素と水蒸気にさらされる環境にも耐えうる、世界最高レベルの性能を実現することができました。作製したサンプルを1350～1400℃の燃焼ガスに1000サイクルさらす試験を行ったところ、コーティングの剥離が見られず、健全な積層構造を保っていることを確認できました。

もう一つの課題である繊維コーティングについては、現行のものでは表面き裂が部材内部のBN層にまで到達する



1 熱衝撃緩和層の微細造

1 1400℃耐用EBC中の熱衝撃緩和層の微細構造
EBC各層を構成する2種類の原料素材に対して、2つの電子銃から電子ビームを独立の出力で照射する「ダブル電子ビームPVD法」により、原料素材からの蒸発量を制御することで、EBCの機能発現に不可欠な組成・組織を精密制御する技術を確立しました。

と、燃焼ガス中の水蒸気がき裂間隙を通じて侵入し、その結果としてBN層が酸化されて損傷許容性が消失するという問題がありました。そこで、高温の酸素・水蒸気中でも安定な酸化物を適用して繊維コーティングの構造を提案するとともに、繊維コーティングが高温において安定化する条件を見出しました。新たにコーティングを施した繊維試料の強度を比較したところ、競合する技術に対して優位性を示すことができました。また、小サンプルにおいてCMCの損傷許容性を発現させることにも成功しております。

SIPにより誕生した研究拠点が、次世代の航空エンジン産業を支援する

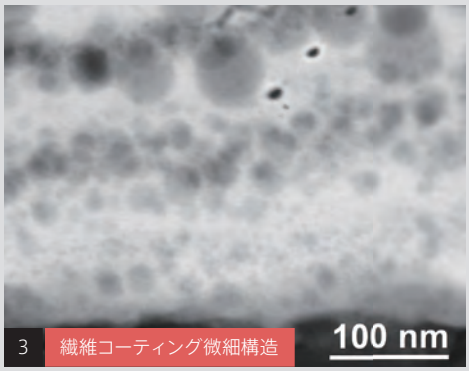
SiC/SiCを組み込んだ新しいエンジンは、すでに中型機に搭載されています。2020年頃には大型機用エンジンのさらに多くの部位にSiC/SiCが適用される予定で、本研究の成果が社会実装されれば、航空エンジン部材の国際競争力の強化に貢献することができます。

EBCおよび繊維コーティングは2025～2030年の実用化を想定し、次期高温部材の実用化に向けた研究を通じて、特性の改善を進めています。開発目標値を達成したのちには、航空機エンジンメーカーにおける実用化・実証開発フェーズに移行し、CMC製タービン部品の試作・評価、およびデモエンジンの搭載評価を行います。さらに搭載評価で合格した場合には、実機開発に移行する予定です。併せて、コーティング材の特性や使用限界把握データを適宜公開し、そのポテンシャルや評価方法の妥当性・信頼性等を世界にアピールすることにより、標準化・規格化のための支援を行っていきます。

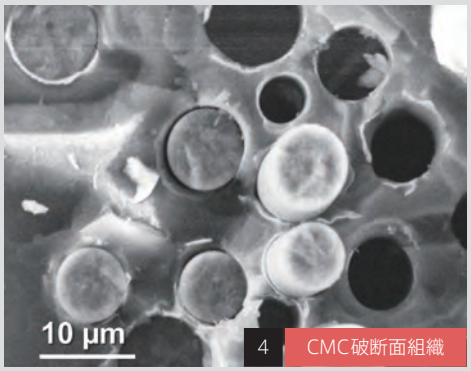
SIPでは、産業界が主導して実機を想定した開発材の耐久性評価を実施するとともに、大学・公的研究機関が連携して部材の損傷を解析する体制をとることで、実用化に向けた課題の早期把握と効果的な部材改良に取り組んできました。今回のプロジェクトで築いた研究拠点は、日本製のCMCの性能向上に貢献する「コーティングセンター」として今後も継続させ、航空機エンジンメーカーや一般産業用部品メーカーを支援していきたいと考えています。EBCや繊維コーティングの特性評価・検査技術等の健全性・信頼性評価に関する基盤技術の高度化を図るとともに、CMC用コーティングの試作・評価・解析などの機能も担うことを目指します。

2 バーナーリグ方式

2 バーナーリグ方式による熱サイクル試験の外観写真
CMCの基板上に結合層、酸素遮蔽層、水蒸気遮蔽層、熱衝撃緩和層からなる多相積層構造を形成することで、耐熱サイクル性に優れるコーティングを実現しています。



3 繊維コーティング微細構造



4 CMC破断面組織

3 繊維コーティングの微細構造
SiC繊維表面にCVD法により、繊維強度の低下を伴わないで、しかも、現行コーティングよりも耐環境性に優れる繊維コーティングの開発に成功しました。

4 繊維コーティングを用いて作製したCMCの破断面組織
繊維コーティングを用いて作製したCMCが損傷許容性（繊維の引き抜け効果）を発現することを実証しました。

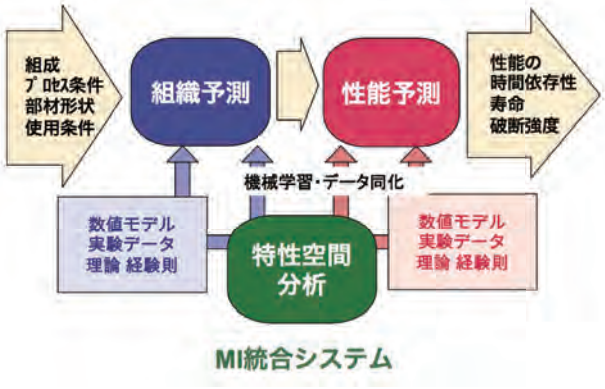
領域長
一般財団法人ファインセラミックスセンター
材料技術研究所 所長
高田 雅介

1971年東京大学工学部卒業。2012年(一財)ファインセラミックスセンター、専務理事・研究所所長。現在に至る。

領域長
株式会社IHI
航空・宇宙・防衛事業領域
技監
今成 邦之

1987年株式会社IHI入社。セラミックス基複合材の技術開発を主導。2016年技術開発センター副所長。2018年4月より現職。

理論・実験・計算科学と データ科学の融合により 材料の開発効率を飛躍的に高める



マテリアルズインテグレーション

高精度な性能予測プログラム

SIPから生まれた新概念、マテリアルズインテグレーション

日本は材料開発のトップランナーとして、これまで多くのすぐれた構造材料を開発してきました。構造材料の開発においては求められる特性や性能を達成しつつ、同時にコストや製造時・利用加工時の要求をいかにバランスよく満たすかが大切です。また、長期間の使用中に材料が劣化や損傷するプロセスは非常に複雑で、長期にわたる性能を確保するために、材料の開発では数多くの試験や長期間の検証を行う必要があり、時には10年以上にもおよぶ多大な時間とコストがかかっていたのが難点でした。

マテリアルズインテグレーション（MI）とは今回新たに生み出した概念で、理論、実験、シミュレーション、データベース、経験等を融合し、先端的な計算科学とデータ科学を活用して、材料の性能予測と新材料・新プロセスの開発を可能にするものです。本研究開発では、材料の組成やプロセス、使用条件や使用環境などの必要なデータを入力すると、材料の組織や特性を予測し、さらに実際の使用環境での性能や寿命を導き出す画期的なMIシステムの開発を進めてきました。このMIシステムにより、材料開発の大幅な期間短縮や効率化に貢献することを最終的な目標に据えています。

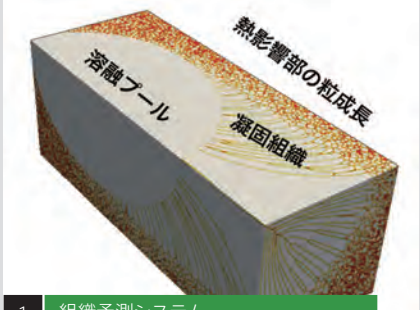
材料の個別の性能を予測する試み自体は従来から行われていましたが、シミュレーションを行える材料やプロセス、使用環境が限定されており、さらに多くの前提条件や仮定、フィッティングパラメーターの入力を必要としていました。また、材料の組織から最終の性能までを一貫予測する試みはありませんでした。Mシステムでは、広範な材料やプロセス、使用環境に対応し、さまざまな特性や性能、特に長時間の実験や評価を要する時間依存の特性の予測を可能にする汎用性の高いプラットフォームの構築を目指しました。

4つの要素を結ぶ統合システムの開発に成功

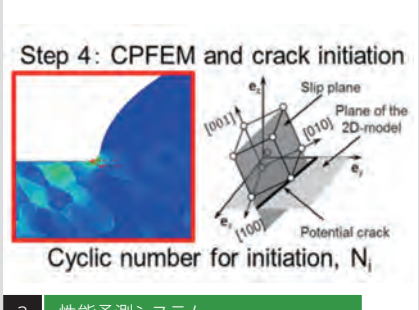
材料工学における既存の理論や実験に加え、計算科学による多様なシミュレーション、データ駆動予測やデータ同化などのデータ科学の知見を融合させ、材料開発のフローを再現する設計システムを構築しました。それが材料のプロセス・構造・特性そしてパフォーマンスという4つの要素を結ぶ統合システム、「MIシステム（v1.0）」です。

このシステムの内部には、材料組織や材料プロセス、性能などに対応するマルチフィジックス、マルチスケールのさまざまなシミュレーションモジュールや、材料の組織や物性、特性、性能のデータベースモジュール、理論や経験則などのモジュールが設置されています。それらを自動的につなぐワークフローによって、多様な材料や様々な材料プロセスの組合せ、材料使用環境に対応した性能の予測を可能にしています。システム開発のポイントは、時間・空間スケールの異なる多様なシミュレーションモジュールを自由に接続可能としたこと、データベースと数値シミュレーションの同化やデータ駆動のパラメータ予測を可能としたことなどで、予測過程での仮定や入力を減らし、高精度な一貫予測を可能にしています。

例えば材料の疲労度を予測する場合は、溶接モジュール、組織予測モジュール、き裂発生モジュールなど7つのモ



1 組織予測システム
例：鋼溶接の凝固、粒成長予測(北大)



2 性能予測システム
例：疲労き裂発生予測モデル（東大）

1 組織予測システムの開発
凝固組織、結晶粒成長、拡散変態、硬質組織などの各組織を予測するモジュールや、機械学習を用いたCCT（連続冷却変態）図予測モジュールなどを開発し、鉄鋼材料の溶接部を例題として組織変化を予測するシステムの基盤を作成しました。

2 性能予測システムの開発
各種の高精度計算モジュール、性能予測モジュールなどを開発するとともにデータベースを構築し、鉄鋼材料の溶接部における疲労・クリープ・水素脆化・脆性破壊等の性能を予測するシステムを作成しました。

ジュールをつなぐことで、実際の測定をせずに疲労寿命を導き出すことができます。現在、参画企業による試用・検証を進め、それに基づきシステムやモジュールを改良し、最終的には自動接続を可能とします。

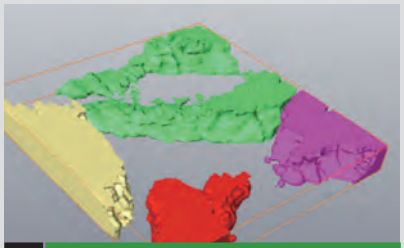
MIシステムの構築は鉄鋼材料の溶接部を例題として進めてきましたが、並行してA・B・C各領域の研究者とも連携しながら、航空機用のTi合金やNi合金、高分子材料、セラミックスなどをはじめとして、予測可能な材料の範囲を拡げつつあります。

オールジャパンでメリットを享受できるMIシステム構築を目指す

日本にはこれまでの材料研究や材料開発で蓄積された多くの実験データや経験知がありますが、今後も材料開発でトップランナーとして走っていくには産官学が協力して知恵を出し合い、知識集約型の社会にしていく必要があります。材料の学術基盤とともに、先人の経験とデータ、知恵を活用し、いかにして次に続く材料研究者やエンジニアに伝承していくかが鍵となるのです。また日本の産業が国際競争力を持ち続けるためには、ものづくりの基盤となる材料開発をより効率的に、短時間・低コストで行うことが極めて重要です。MIシステム上で稼働するシミュレーションやデータベースを更に拡充すれば、多様な材料分野、産業分野でそれらを可能にすることができます。

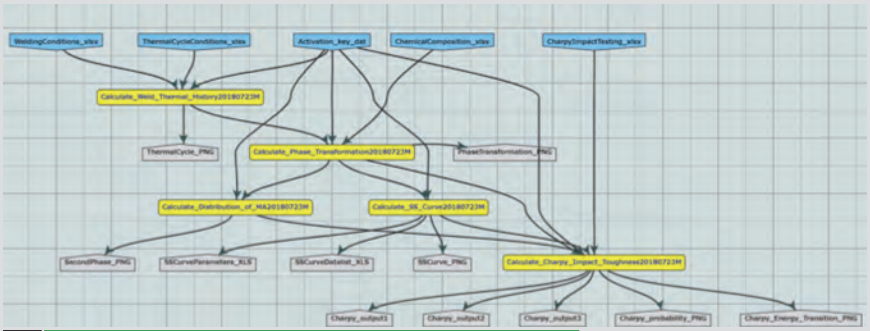
SIPは5年のプロジェクトですが、発足当初からゴールを明確にして、プロジェクトに取り組む各ワーキングユニットが機能的に連携できる体制を築いたことが、成果の創出につながりました。MIシステムについては新たなプロジェクトの発足も決まっており、次のフェーズ2では、欲しい性能から材料・プロセスを最適化するための逆問題解析も可能とするMIシステムの拡充を進めるとともに、耐熱金属粉末プロセス、炭素繊維強化プラスチック、超耐熱セラミックス複合材料などの先進的な材料・プロセスへと拡大する計画です。こうしてシステムを成長させることによって、オールジャパンでそのメリットが享受できる汎用性の高いシステムが実現されるのです。

MIシステムは材料の研究開発の専門家だけでなく、生産や利用に関わる多様な分野の研究者やエンジニアにも利用してもらう必要があり、そのための柔軟なインターフェースの開発も進めています。実用化に向けての課題としては、データベースの構築と拡充が挙げられます。システムの成長には材料やものづくりに関わる企業の参画が不可欠ですが、これまで各企業が独自に蓄積してきたデータを共有化してもらうのはなかなか容易ではありません。企業にとって、提供しやすく、各々の独自性も担保できる条件や環境を整えていく必要があります。さらには、拠点の整備も喫緊の課題となっています。材料研究者に加えて、計算科学やデータ科学の研究者、さまざまな分野のエンジニア達が集まる国際的なハブ拠点を形成できれば、材料開発のパラダイムシフトを起こすことも可能になります。



3 特性空間分析システム
例：機械学習による組織自動抽出（東大）

3 特性空間分析システムの開発
鉄鋼材料の溶接部を例題に、組織予測や性能予測をより高精度化するための情報をデータベースから抽出して与えるシステムを作成しました。微視組織を3次元＋時間で分析・検証するモジュールなどを開発しています。



4 統合システム 例：脆性破壊性能予測ワークフロー(NIMS, 東大)

4 統合システムの開発
組織・性能予測、特性空間分析の各モジュールを実装した統合システムのプロトタイプを開発し、さらに各モジュールの自動接続やデータベースなどの改良を進めて、MIシステム（v1.0）の開発に成功しました。

領域長
小関 敏彦
東京大学 理事・副学長
工学系研究科教授

1983年東京大学工学系研究科修士課程（金属工学）修了。2004年東京大学教授、2014年から副学長、2017年から現職。

拠点長
渡邊 誠
国立研究開発法人 物質・材料研究機構
統合型材料開発・情報基盤部門
SIP-MIラボ

2000年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。2016年から現職、2017年から、東大着任。

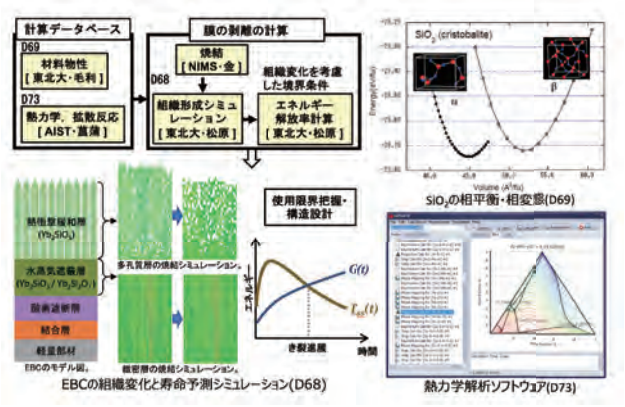
セラミックスコーティングMIクラスター

構成ユニット D68 D69 D73

クラスター長
松原　秀彰 (D68)

現職 東北大学大学院 環境科学研究科　教授
略歴 東京大学工学研究科修了、同助教授、JFCC副所長を経て、現職。
専門は、セラミックス、焼結、断熱、シミュレーション。

金属や複合材料等の構造材料（基材）の上にセラミックス膜をコーティングする技術は、最近目覚ましい発展を遂げている。とりわけ、ジェットエンジンや発電用タービンにおける高温・高圧部において、基材を熱から守る（熱遮蔽、TBC）あるいは腐食から守る（環境遮蔽、EBC）というセラミックスの機能が十二分に活かされた材料技術に発展してきている。それらセラミックスコーティングには、特性・信頼性の改善や低コスト化などが産業界から強く求められている。本クラスターでは、そのような産業ニーズに答えた形でのセラミックスコーティングを主対象としたシミュレーション材料設計技術の研究を行った。具体的には、「高温物質移動および組織の時間依存挙動のシミュレーション技術開発；D68」、「計算機を用いた材料支援技術への時間依存特性導入技術；D69」、「構造材料開発に利用する計算熱力学に関する技術基盤構築；D73」の観点から研究を進めた。D68では「多孔質である熱衝撃緩和層が焼結し、ヤング率が上昇、剥離する界面や傾斜組成など変化させた場合のエネルギー解放率の計算等」、D69では、「今回確立したクラスター変分法を核とする相安定性・相平衡・相変態の計算手法でEBC層に内在するSiO_2のα-Cristobaliteの不安定化とβ-Cristobaliteの安定化の指針を得る等」、D73では、「平衡計算ソフトCaTCalcをベースに熱力学モデルMQMの組込みやデータベース開発機能を開発し、汎用計算熱力学ソフトとして一般に公開等」を行う事ができた（主な成果を図示）。このようなシミュレーション技術を開発することにより、新規材料研究開発の時間短縮に貢献し、SIP革新的構造材料のEBC開発に役立つシミュレーション技術を構築することができた。



高分子MIクラスター

構成ユニット D70 D71 D72 D74 D75

クラスター長
西浦　廉政 (D72)

東北大学 材料科学高等研究所 特任教授
2012年2月より東北大学 WPI-AIMR 主任教授、2017年4月より材料科学高等研究所特任教授。非線形・非平衡ダイナミクスの数理科学に従事。

本クラスターは平成27年11月から研究開発を開始した。計測、シミュレーションおよび数理科学を融合させた実用型高分子系複合材料設計ツール開発を目指し、企業を含む異分野融合型の連携により、共通言語の数学を介してスケール毎に特色ある高分子コアモジュール群を生み出している。本年度は最終年度であることから平成30年10月1日に、クラスター外の招待講演も交えたSIP高分子MIクラスターシンポジウムを、SIPキャラバンの一環として東京大学駒場キャンパスENEOSホールにて開催した。クラスターの発表として、全体に関する講演「高分子クラスター概要説明」に続いて、各ユニットから、D71：「構造用高分子材料の実用型最適設計・総合評価支援ツールの開発」、D75：「原子・分子スケールにおける高分子の計算・理論解析：高分子材料設計支援に向けて」、D72：「トポロジカルデータ解析を用いた材料開発の可能性」、D74：「分子鎖挙動に基づく熱硬化性高分子の巨視的な力学的パフォーマンスに関する非線形FEM解析」、及びD70：「高分子材料の寿命評価（耐光性、疲労・クリープ）」の講演が行われ、分子から構造体までマルチスケールの活発な議論が交わされた。

内閣府コメント

SIP構造材料の成果について

SIP「革新的構造材料」は航空機材料を出口として捉え、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の脱オートクレーブ手法の開発、耐熱合金ではチタンやニッケル基合金の1500t鍛造シミュレーション技術を構築、TiAl金属間化合物の模擬部材の製造、セラミックス基複合材料(CMC)における新材料コーティング技術開発、そしてSociety5.0の実現(材料科学・工学と情報工学の融合)や研究開発期間の短縮を狙ったマテリアルズインテグレーション(MI)*においてMIシステム1.0バージョンの完成などの成果を上げてきました。マネージメントにおいて研究段階を指標化したTRL(Technology Readiness Level:技術成熟度)の導入(SIP第2期の全課題に導入されました。)、産学官の推進のためのCo-リーダー制導入、研究現場と岸PDを繋ぐ技術主幹、連携コーディネータ配置によって新しい材料やプロセス技術が生み出され、基礎から実用化までの研究が加速してきました。そのため本課題の成果は非常に高い評価を受けています。

*MI=材料工学手法にデータ科学を活用して、計算機上でプロセス・組織・特性・性能をつないで材料開発を加速する統合型材料開発システム

SIP後の拠点運営について

「革新的構造材料」は2019年3月末で終了を迎えます。企業ができない「研究の深堀」を大学や国研が引っ張り、「出口戦略」を十分に描けない大学や国研を企業が引っ張ることによって多くの成果が蓄積されました。プロジェクト終了後における成果の離散や消滅を防ぎ、引き続き日本の航空機産業競争力強化を続ける必要があります。そのためPDの指示のもと、大学や国研を中心に拠点形成されました。例えば、CFRPではJAXA、鍛造シミュレータはNIMS、TiAl金属間化合物は東京工業大学、CMCはJFCC、そしてMIはNIMS/東京大学で、企業が拠点を基盤として、拠点成果や設備・施設を利用していくことになります。また、その他にも先端的成果をあげたユニットが独自に研究を進めます。一方で、SIP終了後の拠点はデータ基盤を維持するのみならず、ロードマップを作成し、SIPで達成したTRL3から5を7**にする挑戦を続けて行く事になります。

** TRL
1:基礎科学から応用研究・開発への移行。原理的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
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。(試作品によるコンセプト検証)
4:要素技術の開発(要素試験)。要素技術や試作物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。要素技術や試作物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下で検証されている。
7:プロトタイプ、システム(サブシステム)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

SIPの感想

「革新的構造材料」は5年間で産学官の連携が進み、多くの成果が得られました。一方で約187億円の巨額の研究資金を投入しています。内閣府はじめとして国がその効果を見極め続けることになります。SIPの最終目標は科学技術イノベーションを実現することです。ある大学の先生が「イノベーションとは単なる技術の発明ではなく、発明により社会構造を根本的に変えないといけません。」と厳しく言われていました。今一度、「イノベーション」という言葉を深く考え、航空機産業構造を如何に大変革するかを考える必要があると思います。

SIP後の展開について

2018年にSIP第1期と並行してSIP第2期が新たにスタートしました。特に「統合型材料開発システムによるマテリアル革命」は構造材料において「欲しい性能から材料・プロセスをデザインする」逆問題MI構築に取り組みます。「革新的構造材料」の航空機を出口にした材料開発と異なり、「マテリアル革命」のテーマは研究開発そのものの考え方を変えますので、相当に挑戦的です。成功すれば試行錯誤的な材料開発がなくなり、材料開発コスト低減や研究開発期間の短縮、信頼性評価技術の早期確立、人間が思いつかない新材料創出に繋がると期待され、社会インパクトが大きいものとなります。そのため、MIで順問題に取り組んできた「革新的構造材料」との課題間連携が非常に重要です。特にデータ基盤の在り方について産学官の柔軟な連携が望まれます。

Topics & Calender

「革新的構造材料」最終成果報告会

2019年1月29日（火）にイイノホールにて「革新的構造材料」最終成果報告会を開催します。本課題では航空機のエンジンおよび機体に用いられる部材を主な対象に、(A)樹脂・CFRP、(B)耐熱合金・金属間化合物、(C)セラミックス基複合材料、(D)マテリアルズインテグレーションの4領域で研究開発を推進してきました。また本課題の場合、米欧が席巻する航空機産業の一角に食い込むために、出口戦略の構築、SIP終了後の継続、及び事業化への取り組みが不可欠で、研究開発拠点の形成も合わせて進めて参りました。

今年度は本課題の最終年度となります。終了を迎えるにあたり、5年間の集大成となる成果を多くの方々に知って頂くことを目的に、公開成果報告会を開催する運びとなりました。奮ってご参加頂きますようお願いいたします。

■開催日時：2019年1月29日（火）
10：00～18：00
■会場：イイノホール（東京都千代田区内幸町2-1-1）
■アクセス：東京メトロ日比谷線・千代田線
「霞ヶ関」駅C 4 出口直結
■詳細・申込：http://www.jst.go.jp/sip/event/k03/20190129/index.html
■問い合わせ：sip_structuralmaterial@jst.go.jp

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP：エスアイピー）シンポジウム2018
第1期5年間の総括と第2期への期待

SIPシンポジウム2018 第1期5年間の総括と第2期への期待を平成31年2月20日～21日の日程で東京ドームシティ/プリズムホールにて開催いたします。国民にとって真に重要な課題の解決を図るとともに、日本の経済・産業力にとって重要な11の課題を強力にリードする11人のプログラムディレクターを中心に、基礎研究から実用化・事業化、まさに出口までを見据え一気通貫で研究開発を推進することを通じて科学技術イノベーションの実現を目指します。本シンポジウムでは、第１期5年間の総括と第2期への期待と称して実用化に近づいてきた各課題の成果を発表し、ブースにて展示を行います。

■開催日時：平成31年2月20日（水）～2月21日（木）
10:00-17:15（交流会17:25-19:10）
■会場：東京ドームシティホール／プリズムホール
東京都文京区後楽1-3-61
■アクセス：JR水道橋駅 東口改札 徒歩1分、
都営地下鉄三田線 水道橋駅 A2出口
■詳細・申込：https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sympo2018.html
■問い合わせ：sip2018@cerespo.co.jp

SIPキャラバンを開催

「革新的構造材料」の終了を迎えるにあたり、5年間の集大成となる成果を日本のみならず、諸外国の方々に知って頂くことを目的に、内閣府、外務省、フランス高等教育・研究・イノベーション省、在フランス日本国大使館のご協力の下、SIPキャラバンを開催する運びとなりました。当日は各領域の研究成果について研究者が発表するだけでなく、日本・フランス両国の政府関係者が各国の科学政策について説明されます。

■開催日時：2019年2月11日
13：30～18：00
■会場：Ministère de l’enseignement supérieur, de la recherche et de l’innovation
（25 Rue de la Montagne Sainte Geneviève, 75005 Paris）
■詳細・申込：https://premc.org/conferences/sm4i-structural-materials-innovation/

SIP-SM⁴I MAGAZINE vol.8 通巻8号 2019年1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第１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第１グループ「革新的構造材料」SIP-SM⁴I 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) 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