

革新的セラミックス複合材料の実用化をめざす、最先端の研究拠点。

東京工科大学片柳研究所内に設置されている「セラミックス複合材料センター：CMCセンター（The Center for Ceramic Matrix Composites）」は、次世代材料として期待を集める「セラミックス複合材料：CMC (Ceramic Matrix Composites)」の開発に産官学連携で取り組む、世界に類を見ない先端研究施設です。

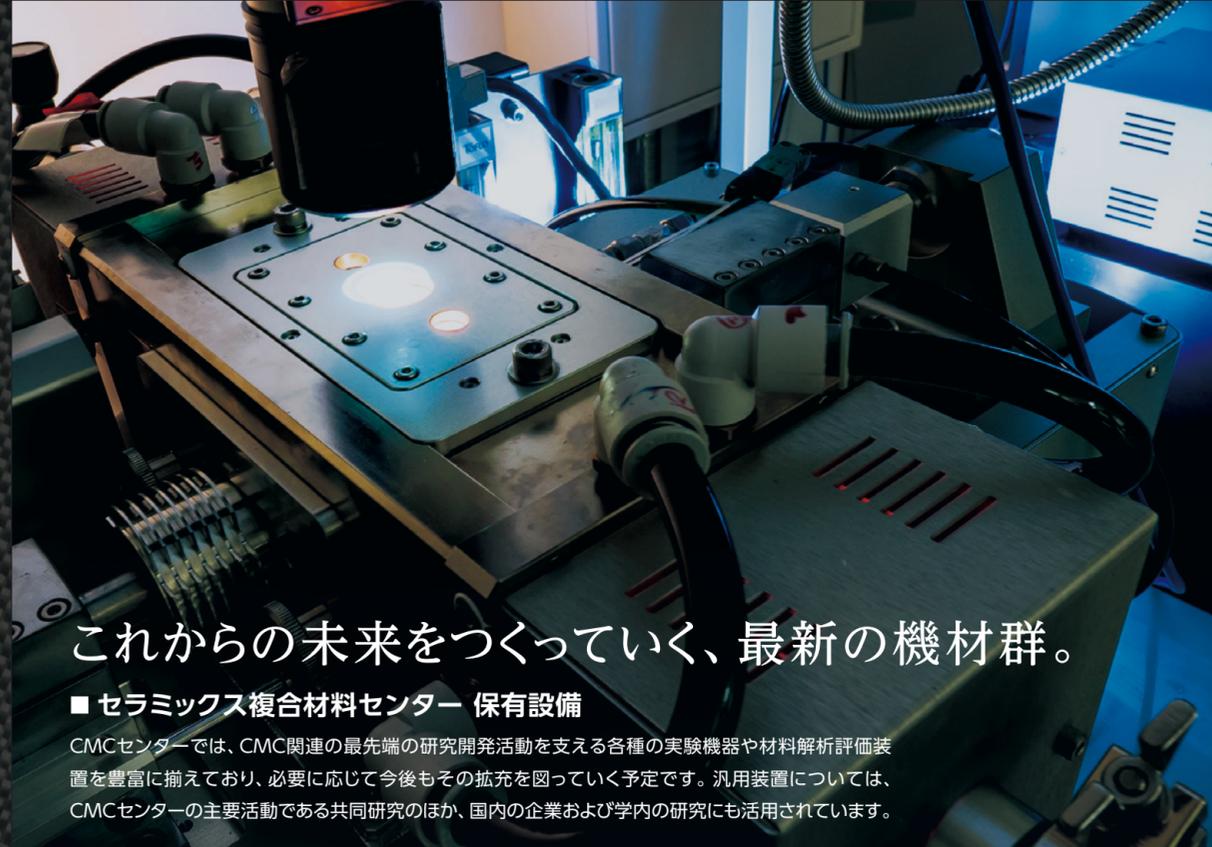
CMCは、セラミックスの母材にセラミックス繊維を複合化することにより、優れた損傷許容性を付与した複合材料であり、金属より軽く、高い耐熱性を有するなどの特長から、航空機用エンジンをはじめ、発電用ガスタービンや原子力用燃料棒といったエネルギー関連部材、自動車部品など、幅広い分野への適用が想定されています。今後、わが国の産業界の競争力を強化していくためにも、いち早く実用化が望まれる最重要な工業材料のひとつと言っても過言ではありません。

経済産業省では、2015年よりCMCの研究開発を推進する新拠点の設立準備に着手。高度かつ多様な共同研究プロジェクトを展開するに相応しい研究環境が整う東京工科大学に、CMCセンターの設立が決定、2018年より本格稼働を開始しました。

当センターでは、CMCの実用化に向けた課題の解決に幅広い英知を結集して取り組み、世界のCMC研究を先導していくとともに、企業および大学の研究者、大学院生、学部学生らに、「最新の学問成果を生かした研究活動と実践的教育」の機会を提供することで、産業界の未来を担う優れた人材の育成に貢献することにもめざしています。

体系化された組織構成と研究部門

CMCセンターの組織構成は、①先端素材・プロセス部門、②性能評価・解析部門、③計算機利用・信頼性解析部門、④技術支援部門、⑤研究事務支援室からなる研究部門ユニット制となっており、各部門長には東京工科大学教授および特別研究教授が就任しています。また、外部有識者からなるアドバイザリーボードを設置し、その意見や助言をセンター運営に生かしていく体制も構築しています。さらに、研究活動に対する指導・支援を仰ぐことを目的として、CMC研究に携わる国内の企業や大学、研究機関の有力研究者らを受け入れるシニアフェローや客員教授のポストも設けました。今後は、国内および海外企業との円滑な共同研究を推進するフレームとして、「共同研究部門」も設置されます。



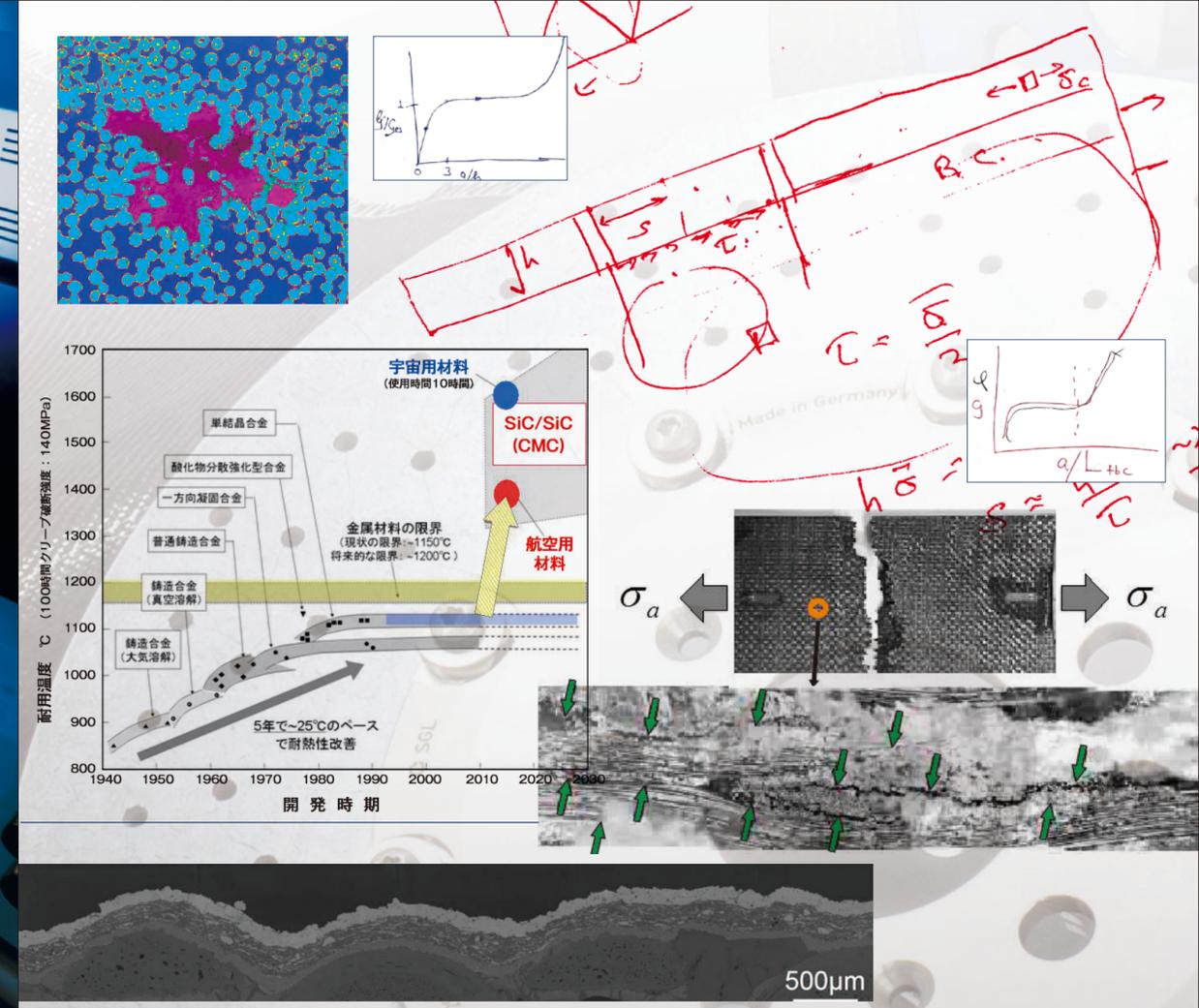
これからの未来をつくっていく、最新の機材群。

■ セラミックス複合材料センター 保有設備

CMCセンターでは、CMC関連の最先端の研究開発活動を支える各種の実験機器や材料解析評価装置を豊富に揃えており、必要に応じて今後もその拡充を図っていく予定です。汎用装置については、CMCセンターの主要活動である共同研究のほか、国内の企業および学内の研究にも活用されています。



タルボ・ロー X線組織観察装置
 熔融Si含浸反応成型装置
 繊維束処理装置
 セラミックスコーティング装置
 ナノ領域応力測定装置
 ミクロ領域ラマン応力測定装置
 ミクロ領域蛍光応力測定装置
 1500℃観察・ひずみ分布計測装置
 1500℃大気中高温クリープ・疲労試験装置
 力学特性測定評価装置
 セラミックス繊維力学特性測定装置
 画像相関ひずみ分布測定装置
 1400℃対応FTIR分光装置
 バンドパスフィルター付き光学顕微鏡
 各種高温炉（雰囲気・大気中）
 セラミックス用加工・研磨装置
 計算機利用各種ソフト
 (FEM・バーチャルテスト・AIなど)
 各種電子顕微鏡（透過型・走査型など）
 X線解析装置
 CMC関連書籍・論文・プロシーディングス
 など



セラミックス複合材料センター

The Center for Ceramic Matrix Composites



問い合わせ先
東京工科大学 片柳研究所 セラミックス複合材料センター
 〒192-0982 東京都八王子市片倉町1404-1 TEL 042-632-1566 (直通)
 URL <https://www.teu.ac.jp/karl/cmc/> e-mail: kl-cmc@stf.teu.ac.jp

東京工科大学



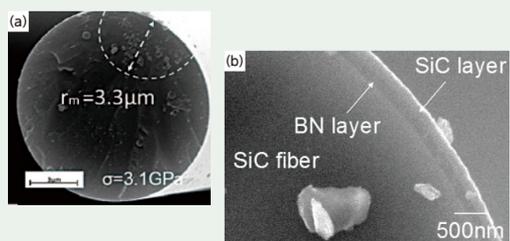
先端素材・プロセス部門

Advanced Materials and Processing Division

SiC系CMC (SiC/SiC) の構成材料であるSiC繊維、繊維表面コーティングおよびSiC系繊維とSiC系マトリックスとの複合化技術に関する研究開発を推進する部門です。繊維の持つ力学特性・熱的特性を犠牲にせずマトリックスと複合化する技術の開発に取り組むほか、SiC繊維自身の高温環境下における劣化現象の解明も行っています。また、高速・低コストプロセスの探求、国内企業との密接な連携による国内サプライチェーンの構築も進めています。

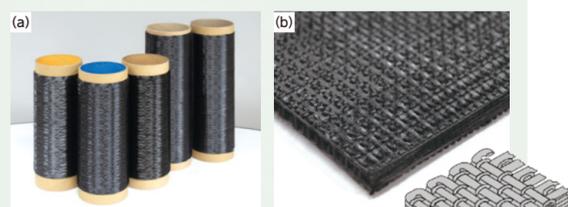
セラミックス繊維の高性能化

- ① SiC繊維の力学特性 ② SiC繊維の高性能化 ③ SiC繊維の表面コーティング



■ SiC繊維の引張破断面

SiC繊維の引張破断面を走査型電子顕微鏡で詳細に観察することにより、CMC中での繊維の引張強度を求めることが可能です。この方法をSiC/SiC中の繊維の強度を測定するために適用しています。画像(a)はSiC繊維の引張破断面と破壊形態観察(ミラー半径 r_m の評価)、(b)はSiC繊維表面のBNおよびSiCの2層被覆。

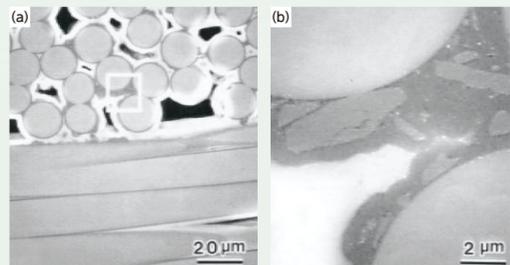


■ SiC繊維織物

繊維束の状態では供給されるSiC繊維を三次元織物構造にすることにより、CMCの強化素材として最適な利用方法を追究しています。また、織物にする前に繊維の劣化を生じさせない、新しいコーティング技術の開発にも取り組んでいます。画像(a)はCMCに使用される各種のSiC繊維、(b)はSiC繊維から成る三次元織物の表面写真とその概念図。

CMC複合化プロセス

- ① 高速・低コストプロセス ② 最適複合化プロセス条件 ③ 複合化条件と材料特性



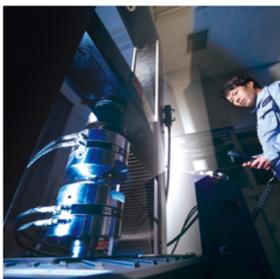
■ SiC/SiCの複合化組織

画像(a)はSiCマトリックス中に高温特性改善のために粒子を添加したときの組織、(b)は(a)中央部の□部分の拡大画像。SiCマトリックスの組成や組織を最適化し、SiC/SiCの高温下での耐久性や疲労・クリープなどの時間依存力学特性を大幅に向上させることを目指しています。

■ 熔融Si含浸反応法によるSiC/SiC製造装置



CMC製造の重要な課題である高速・低コスト化を図るために、熔融状態にあるSiをSiC繊維と炭素の予備成型体(プリフォーム体)中含浸し、SiC繊維の特性を劣化させることなく高性能なSiC/SiCを作製する技術を開発しています。製造条件を最適化するための理論解析やシミュレーションにも取り組んでいます。



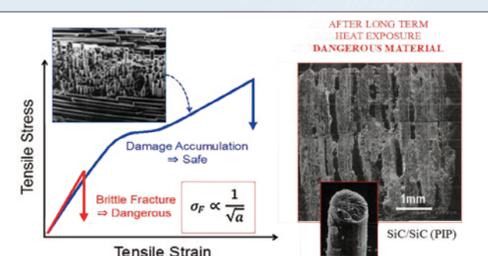
性能評価・解析部門

Evaluation, Analysis and Performance Division

CMCの信頼性を確保し、CMCを安全に利用するための技術開発を行う部門です。航空機用エンジン部材としてSiC/SiCを利用する際の検査技術や、CMCの劣化現象を計測する技術の構築を進めています。また、高温試験の実施が可能な設備を利用して、CMCの力学特性測定手法の開発にも取り組むほか、CMC実用化に必要な耐環境コーティング(EBC: Environmental Barrier Coatings)に関する研究開発も行っています。

CMCの力学特性評価・解析

- ① CMCの高温力学特性 ② CMCの変形と破壊機構 ③ CMCの損傷累積機構



■ CMCの引張応力 — ひずみ挙動

CMCは、セラミックスのような脆性的な破壊を示さず、材料中にマイクロな損傷を許容することが可能な材料です。CMCの力学特性について、マイクロな現象とマクロな現象の関連性を調べ、CMCを安全に利用することに役立っています。

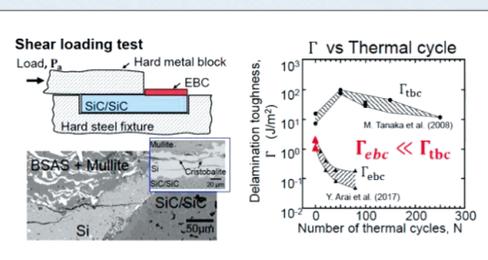
■ 1500℃大気中高温クリープ・疲労試験装置

CMCの性能を正確に把握し、長時間高温使用環境に置かれたときの劣化を定量的に評価・解析することは非常に重要です。当センターでは最新鋭の試験機を導入し、大気中において1500℃までの温度領域で、CMCの力学特性評価や変形・破壊挙動の解析を行っています。力学特性発現機構の理論的解析や疲労・クリープなどの時間依存特性に関するシミュレーションも行っています。



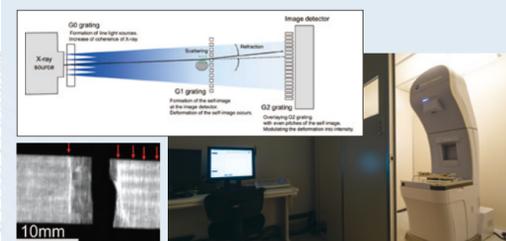
耐環境コーティング(EBC)

- ① EBCの高温劣化機構 ② EBCの剥離抵抗の評価 ③ EBC用材料の開発



■ EBC層のCMC基材からの耐剥離特性

耐環境コーティング(EBC)のCMC基材からの耐剥離特性を定量的に評価し、EBCの剥離寿命の予測を行っています。また、実使用環境下での耐環境性に優れたEBC材料や高温での化学反応を含むEBC材料の劣化機構についても研究を進めています。



■ タルボ・ロー X線組織観察装置

CMCを透過するX線の位相の変化と透過したX線の屈折の変化を検出することにより、CMC内部の繊維織物構造、ポアやクラックの存在を観察する装置です。CMCに力学的な負荷を加えることが可能であり、CMCに力学負荷が加わった際のCMC中の破壊過程を調べます。この結果は計算機科学でも利用されています。



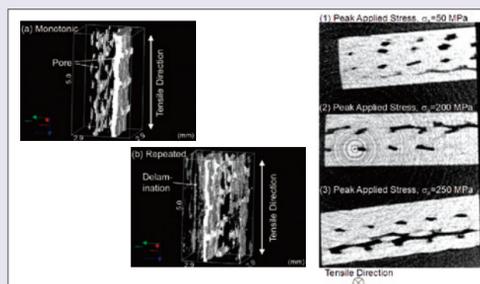
計算機利用・信頼性解析部門

Integrated Design and Reliability Division

計算機科学を利用して研究開発の効率化を図る技術の研究する部門です。CMCのバーチャルテスト手法の開発やデータベースの構築、試験評価結果の解析に計算機を利用する方法の開発などを行っています。CMC材料のバーチャルテストの方法を進展させ、実使用環境下での挙動の解析や耐環境コーティングの物理的および化学的損傷の解析にバーチャルテストを適用する準備を進めるほか、CMCの中で重要なSiC/SiCに関しては、データベースの構築も計画しています。

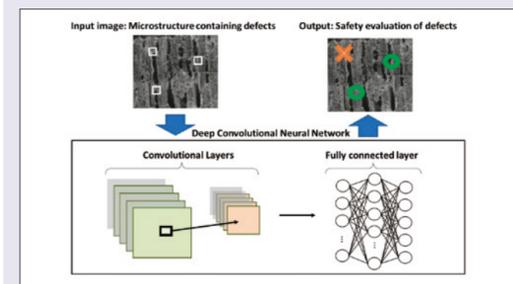
材料・部材検査技術

- ① X線CTイメージの解析・分類 ② CMC部材表面ひずみ計測 ③ CMC部材振動モードの計測



■ 画像処理技術の検査への応用

X線CTを用いれば、CMC中に発生した損傷を非破壊で検出可能(画像はSiC/SiCの引張試験中に発生した損傷例)。当部門では、損傷を明確に検出するために、画像処理や画像からの特徴量の抽出方法に関する研究を行っています。

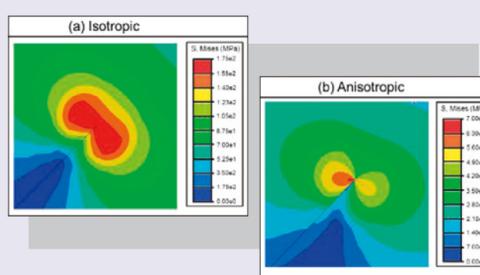


■ 深層学習技術の検査への応用

深層学習を用いることで、画像診断の迅速化と広範囲での構造の把握を実現します。また、深層学習によって、表面から得られる情報を基に部材内部での損傷の推定を行っています。

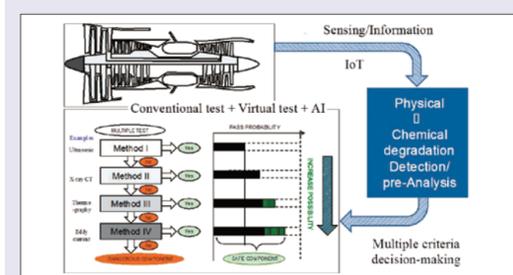
AI利用信頼性確保技術

- ① AI利用のための特性表現手法 ② AIを利用した健全性評価 ③ 新検査技術としてのIoT-AI活用



■ 有限要素法を用いた界面力学解析

CMCのように材料に異方性がある場合、界面近傍の応力分布は異方性の影響を強く受けます(画像は有限要素法による異種材料界面近傍の応力分布を計算した例)。この有限要素法を利用して、実験では求められない応力分布の解析などを進めています。



■ AI、IoTやバーチャルテストを利用したCMC検査技術

損傷許容性を有するCMCには、従来の材料系とは異なる信頼性評価の方法が必要です。当部門では、AIやバーチャルテストなどの先進的手法と従来技術を併用することで、CMC特有の損傷モードを考慮した新しい検査技術の開発をめざしています。

その他の部門

技術支援部門 Technical Support Division

CMCの研究開発を行うために必要となる試験装置の整備、新しい装置の開発、試験評価装置のメンテナンスなどを行う部門です。CMCセンターでは、施設・環境面からも最先端の研究開発をサポートする体制を整えています。

研究事務支援室 Administrative Office

CMCセンター内の研究活動を円滑に進行させるためのプロジェクトマネジメントを担当する部門です。研究に必要な物品の購入や研究経費の管理をはじめ、CMCセンターに関する窓口業務も担っています。