

先端材料機能学講座 先端材料機能学分野

複数の相が内在する「複合系材料」について、微視構造形成過程、構造と材料全体としての力学および機能特性との相関の実験的評価およびモデリングによる普遍的な体系化、およびこれら成果に基づく材料設計、性能予測などへの応用を目指している。本年度の主な成果は以下のように要約される。

(1) 高温酸化物超伝導テープの負荷ひずみ下での変形破壊とその臨界電流に及ぼす影響

超伝導テープは作製・使用中に機械的・電磁気学的応力を受け、その結果超伝導特性も変化する。本研究では多芯型の BSCCO 複合テープ、および被覆型の DyBCO 複合テープの変形破壊と、V-I カーブ、臨界電流、 n 値の相関を調べた。前者では BSCCO フィラメントは負荷ひずみの増加に伴って集積型破壊から連鎖型破壊に遷移すること、後者では DyBCO 層の独立して生じる微視破壊からその後の基盤合金の不連続降伏による多重破壊へと遷移すること、両者とも損傷部での安定化金属への電流迂回で発生する電圧が臨界電流および n 値を低下させることなどを明らかにした。

(2) 高温酸化物超伝導テープおよび融液成長アルミナ/YAG 共晶複合材料の熱残留ひずみ評価および解析

超伝導電流輸送を担う BSCCO や DyBCO などの超伝導物質の熱残留ひずみは臨界電流の耐ひずみ特性を決定する因子の一つであり、その集積過程の解明が待たれている。また、アルミナ/YAG 共晶複合材料は次代のタービン材料として期待がかかっているが、室温近傍の低温では破壊靱性に残留応力が影響を及ぼすため、その解明が待たれている。本研究では、SPRING 8 および当研究室での X 線回折実験による残留ひずみ測定結果と弾塑性力学を組み合わせて、熱履歴に伴う残留ひずみ変化の解明とモデル化を試みた。超伝導物質の電流輸送方向での残留ひずみの温度依存性を明らかにし、その結果と応力-ひずみ曲線の解析から、固有破壊ひずみ（残留ひずみの無い場合の破壊ひずみ）を求めること成功した。また、アルミナ/YAG 複合材での各構成材の室温での残留応力を明らかにし、実験で観察された破壊プロセスをこの結果から説明することができた。

(3) 金属へのコーティング層の破壊・剥落

硬質層を金属にコーティングした被覆複合型金属は、自動車、建築、工具など多彩な分野で使用されている。また DyBCO などの超伝導物質を合金にコーティングした被覆型超伝導は高磁界発生、電力貯蔵などさまざまな分野での応用が期待されている。これらの材料では、コーティング層の破壊・剥落は機能の消失につながるため、メカニズムの解明とその抑制方法の開発が要請されている。本研究では自動車鋼板として用いられている溶融亜鉛めっき鋼板および被覆型 DyBCO 複合テープについて、コーティング層の多重破壊・剥落現象を調査し

た。前者では、クラック間隔は負荷ひずみの増加に伴って平均値は小さくなるが、その分布は相似形を保っていること、後者では基盤材の不連続降伏時で多重破壊が引き起こされること、両者ともに、帯状に寸断されたコーティング層にかかる引張軸に垂直方向の圧縮応力により、破壊が生じ、界面剥離が誘発されることを明らかにした。また有限要素解析により、前者の剥離プロセスを明確に示した。

(4) FIB 法による細径繊維の破壊靱性評価

直径が数ミクロンの炭素、炭化珪素などの繊維は構造用複合材料の強化材として広く用いられているが、繊維そのものの破壊靱性については、測定に必要な鋭い人工ノッチの導入が困難なため、非晶質繊維でのミラーゾーンサイズを用いた経験的な手法により得られた値しか報告されていない。本研究室では、繊維に FIB（集積イオンビーム）を用いて、繊維に人工ノッチを導入し、有限要素法解析と組み合わせ、繊維の破壊靱性を評価する方法を提案し、結晶性および非晶質炭化珪素繊維の破壊靱性を明らかにしてきた。本年度は、この手法を適用して、アルミナ繊維、および、高強度型および高弾性型炭素繊維の破壊靱性値を明らかにするとともに、微視構造と破壊靱性の相関について考察を行った。

(5) Zr 基金属ガラスのなかの構造と組成揺らぎの検討

Zr 基金属ガラス中のクラスター的な不均一構造と準結晶晶出の関係性を調べるため、全真空条件での異常小角散乱実験をすすめた。

ナノスケールの準結晶を初期に晶出する Zr 基合金に注目した。今年度は特にナノスケールで準結晶を過冷却融体状態から生成する Zr-貴金属系の合金に着目し、その構造変化の詳細解析を進めるとともに、構造の時間的发展過程を調べるための時分割その場測定法の検討をおこなった。Isochronal な熱処理による ZrCuPt, ZrPd の解析結果より、ナノ準結晶生成系では早い時期に明確な長距離秩序が形成されることが明らかとなってきた。今後は定量的に低バックグラウンドで取得できるようになった小角散乱強度を種々の条件で調整された試料へと適用を進め、準結晶化初期の機構を検証してゆく。

(6) 化合物半導体系ナノドットの GI-SAXS による構造解析

斜入射 X 線小角散乱法 (GISAXS) の、III-V 族化合物半導体ナノドットの構造解析への適用と a -As 埋めこみ状態の InAs ナノドットのファセット構造の解析をおこなった。多重散乱効果の弱い領域を利用し、散乱強度の 3 次元分布を解析することによって埋め込まれたナノドットの 3 次元形状を再構成した。

教授 落合庄治郎

准教授 奥田 浩司