


【学術変革領域研究（B）】

柔と剛の不均質構造が拓く超越材料設計学（超越材料領域）

| | | | |
|--|------------|--|--------------------|
|  | 研究代表者 | 産業技術総合研究所・ナノ材料研究部門・主任研究員 篠崎 健二（しのぎ けんじ） | 研究者番号：10723489 |
| | 研究課題 情報 | 課題番号：24B207 キーワード：材料不均質構造、ナノ力学、構造材料 | 研究期間：2024年度～2026年度 |

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

ゴムやゲル、プラスチックのように柔らかくよく伸びるものから、ガラスや金属のように硬く伸びにくいものまでさまざまな材料が私たちの生活を支えている。一方で、強い力を与えると割れたり柔らかすぎて折れ曲がったりすることが様々な場面で問題になっている。従来は、できるだけ欠点のないように均質に作るのが材料開発のセオリーだったが、これでは硬ければ脆い、強靱にすれば柔らかくなる、というトレードオフが存在していた。本領域では、これらのバラエティー豊かなさまざまな材料に普遍的に適用できる、“柔らかさ”と“剛さ”の不均質構造を設計する。この「柔よく剛を助く」不均質構造の設計原理により、トレードオフを超越した材料群（超越材料）を開拓するとともに、金属、高分子、セラミクスなどあらゆる固体材料に共通する、強くしなやかな理想的構造材料を実現するための新しい材料設計学を構成する。

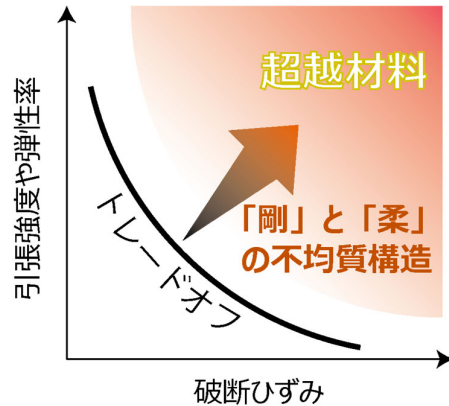


図1 超越材料設計のイメージ図

●背景と目指すもの

高度に発達した現代文明は、多種多様な材料群が支えている。軽くて自在に成型できるプラスチック、柔軟で衝撃吸収性のエラストマー（ゲルやゴムなど柔らかい高分子素材）、丈夫で加工性に優れる金属、透明で硬く劣化に強いガラスなど目にしない日はないだろう。基本的に、これら材料開発の力学面でのゴールは、丈夫でしなやかな強靱材料である。このような理想材料を生み出す手法として、従来は材料ムラを極力排除した均質材料を合成する材料設計戦略が材料種を問わず常識とされてきた。しかし、どのような材料でも均質材料には強度と変形のトレードオフが存在し、ある特性を向上させるに伴い他方の特性が低下してしまうという図1に示すような共通の課題があった。単純に配合を変えるだけでは、これらの力学的トレードオフを解消することは困難である。

このような材料特性の宿命に対し、本領域の研究者らは、各材料において常識とされていた均質材料戦略を捨て、材料内に「あえて」微小な不均質構造をつくることでこのトレードオフを超越した材料をめざす。どのような不均質構造を設計すればこれを実現できるのかを、どのような材料にも適用できる普遍的な学問として確立する学術領域を開拓する。

●領域の目指すもの

本領域では材料内に「あえて」制御された不均質構造をつくりこむことで、均質な材料に存在するトレードオフを超越した、強くしなやかな材料を実現する「柔と剛の不均質構造設計戦略」を構築する。

セラミクス、金属、プラスチック、エラストマーの専門家である各研究者は、独自の不均質材料設計の方針を基に超越材料を開発し、どのような不均質構造が力学物性にどう影響するかを明らかにする。そして、普遍的な力学の視点からそれぞれ個別の材料の成果を統合し、材料に依存しない普遍的な不均質材料の設計学を構築する。さらに、それぞれの研究者はその設計指針をそれぞれの材料設計にフィードバックし、さらに優れた材料を実現する。このようなサイクル（図2）により各材料の知見が統合され、より優れた超越材料の開発が実現するとともに普遍的な柔と剛の不均質の力学設計学を確立する。

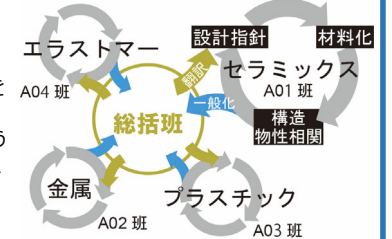


図2 本領域で学率する研究サイクルのイメージ

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●研究領域の達成目標

本領域は、様々な材料に適用可能な不均質性により材料物性の限界（トレードオフ）を突破する新しい学術領域を作ることを目指す。特に重要な人工素材であるセラミクス、金属、プラスチック、エラストマーにおいて、それぞれに異なる大きさ、原理で作用する柔と剛の不均質構造を利用して超越材料を開発する（図3）。これらの柔と剛の材料不均質は、機能発現する変形域が異なることも特徴である（図4）。

- 弾性領域—き裂先端で力を分散してき裂が伸びにくくなる不均質ガラス（A01）
- 降伏点近傍—強くよく伸びる不均質金属（A02）
- 塑性変形領域—き裂の先端で原子配列が変化し伸びにくくなる不均質プラスチック（A03）
- ネットワークの破断領域—力により分子の網目に変化して裂けにくくなる不均質エラストマー（A04）

不均質構造がどのように変形や破壊を支配しているのかを明らかにし、それぞれの計画研究で見出された成果の特異性と共通性を明らかにする。材料横断的な共通性を理解するために、各計画研究では以下の3点を重視して研究する。

- 異なる変形や破壊の仕方をするそれぞれの材料について、統一的思想に基づき分析・評価
- 材料パラメータを系統的に振り、材料パラメータと力学機能の相関を解明
- 微視的な材料構造と力学機能の関係をシミュレーション

これらをもとに、「剛い組織と柔らかい組織が支えあう」材料不均質により力学的トレードオフを超越する新材料設計を実現する新しい学術を開拓する。

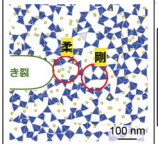
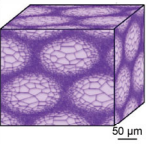
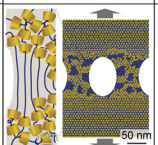
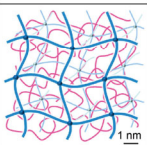
| 材料 | セラミクス (ガラス) | 金属 |
|----------|---|---|
| マイクロ構造 |  |  |
| 不均質構造の特徴 | 剛く高強度な相 + 柔らかい相 | 剛く高強度な微細粒 + 柔軟な粗大粒 |
| 材料 | プラスチック (高分子樹脂) | エラストマー |
| マイクロ構造 |  |  |
| 不均質構造の特徴 | 構造を支える剛い環 + 相変態を導く柔軟な鎖 | 伸長した剛い網目 + 柔軟なサポート網目 |

図3 着目する柔と剛の不均質構造のイメージ

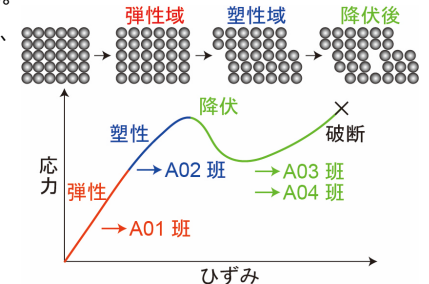


図4 力学モデルに基づく班構成

