

○戦略目標「ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明」の下の研究領域

力学機能のナノエンジニアリング

研究総括： 北村 隆行 （京都大学 理事・副学長）

研究領域の概要

本研究領域では、超スマート社会や持続可能で豊かな社会を実現するための基幹技術である材料開発をターゲットとして、材料の基本物性である力学特性の発現機構をナノスケールから理解することや、ナノスケールの変形や構造変化に由来する力学特性を利用した新たな材料機能を創出すること（ナノエンジニアリング）によって、発展性の高い材料設計指針を獲得することを目指します。

具体的には、各種材料（金属材料、無機材料、有機材料など）において、強度特性等を決定している支配因子やそのメカニズムについてのナノスケールからの解明と、それに基づく機能創出を進めます。また、同スケールにおける力学特性を主とした他の物理特性（熱物性、磁性、導電性など）との相関性に着目した新奇な機能創出も対象に含めます。これらの目的の達成のため、その場計測下の力学実験技術、力学解析法、シミュレーション技術等を発展させ、ナノ材料からマクロ材料の共通基盤であるナノスケールの力学学理の展開と多様な特性解明への解析評価技術の確立を推進します。さらに、基礎研究の結実として、材料の高機能化や新機能創出につながる材料設計指針を獲得することを目指します。

物理学や化学等のナノスケールの現象への理解に特長がある研究分野と機械工学や材料工学等の機能の発現機構や構造の理解に特長がある研究分野の融合を通じて、異種材料間の相違点や共通点を見出すことでナノ材料力学に関する普遍的な学理構築や新分野の開拓に貢献します。

募集・選考・領域運営にあたっての研究総括の方針

1. 背景

超スマート社会や持続可能で豊かな社会の実現に必須である機器・デバイスの高度化・高信頼性を推進するためには、その根幹となる多様な材料機能の開発が重要であり、材料の力学特性はその基幹機能の一つです。例えば、エネルギー機器・移動体等の基盤社会インフラを形成する機器やセンサー等の情報社会に不可欠なデバイスにおいては、材料の強度や耐久性が信頼性の重要な基礎因子です。また、マクロ材料の力学特性はナノメートルスケールの現象に由来しますが、その詳細なメカニズムおよびそれがマクロスケールの機能へ結

びつく法則性は未解明です。さらに、MEMS/NEMS等の微小デバイスの材料にはナノスケールにおける機能発現が求められますが、ナノ・マイクロスケールの材料（ナノ材料）はマクロ材料とは大きく異なるメカニズムや強度特性を持つことが指摘され始めています。したがって、力学特性のナノスケールからの解明およびその学理の体系化、つまり「ナノ力学」研究が材料機能の革新に必須です。

ナノ力学研究によって解明されたメカニズムや法則性は、モデル化を通じて多彩な材料や境界条件の下でのシミュレーションを可能にします。複雑・複合的な現象の解明には、モデル化・シミュレーションが大きな力を発揮します。例えば、摩擦・潤滑やフレットイング疲労といったマクロな複合現象について、ナノスケールからのモデル化・シミュレーションに基づくアプローチがあります。また、力学刺激が他の物性に影響を及ぼすことがあります。その機構や特性については未解明であり、ナノ力学に由来した微小デバイスの新機能に通じる未開拓の研究領域が広がっています。例えば、表面効果によってナノスケールの強誘電性材料（ナノ薄膜等の構造体）では強誘電性が喪失することがありますが、これにひずみを負荷すると強誘電性が回復する場合がありますことが報告されています。また、有機材料分野においても、力学的な刺激によって物質の色や発光特性が変化するメカノクロミック材料を活用した応力検知や力学現象の可視化機能が検討されています。このような力学との相互作用による機能創出は多種多様であると考えられます。

これらの研究の進展は、最適化を含むシステマ的材料設計の道を開くことになり、機器開発に質的および速度的に大きな変革をもたらします。

2. 募集・選考の方針

本研究領域では、金属材料、無機材料、有機材料、複合材料といったあらゆる材料を対象に、強度等の重要な力学特性を決定している支配因子やそのメカニズムについて、ナノスケールからの解明と、それに基づく機能創出に取り組みます。また、それらの知見を総合することによって普遍的な知識体系となる「ナノ材料力学」の基盤を形成し、理論体系への発展を図ります。この「ナノ材料力学」理論体系により、メカニズムの基本理解に基づく予測を活用した材料設計が可能となります。従って、特定材料に固有の限定的事象の機構解明だけではなく、より適用材料範囲の広い一般的現象の力学特性やその発現メカニズム解明への展開を重視します。

機能創出については、高強度・高靱性・長寿命といった本来的な力学機能の他、自己修復や低摩擦なども対象とします。さらに、ナノスケールの力学特性を主とした他の物理物性（熱物性、磁性、導電性など）との相関性などに着目した新奇な機能創出も、力学機能の拡張として対象に含みます。

この構想を実現するために、本研究領域では幅広い分野の若手研究者からの独創的な研究提案を期待します。おおまかに以下の4つの方向性の研究を対象とします。

- (1) 力学特性のナノスケールにおける発現メカニズムの解明
- (2) ナノ力学機構を基礎としたマクロ材料の高機能化
- (3) ナノスケール構造に由来する特有の力学特性と機能の追求
- (4) 力学特性に起因するナノスケール・マルチフィジックス機能の創出

なお、上記に関連して材料・構造設計指針を得るための材料機能の最適化方法等の研究も含めます。

(1)と(2)はマクロ材料における機能の起源をナノ力学研究によって解明して機能増進することをめざしており、(3)と(4)は主にナノ材料における新奇機能をナノ力学研究によって創出することを意図しています。

これらの研究においては、実験・解析・シミュレーション技術の飛躍的な発展が必要です。すなわち、上記の研究遂行には以下の技術の革新が求められています。

- (a) ナノスケールにおける力学実験およびその場観察・計測技術
 - (b) 力学機能や複合現象の数理モデル化技術
 - (c) ナノスケールからマクロスケールまで(マルチスケール)の力学シミュレーション技術
- これらの技術開発に独創的な特長がある場合は、それも評価します。

なお、(a)から(c)の技術開発を主眼においた研究提案も推奨しますが、提案がナノ力学研究のボトルネックをどのように解決するか、その位置づけを示してください。また、採択後は領域内のナノ材料力学を専門とする研究者との連携を強く求めます。

本領域は多彩多様な力学特性および材料を対象として含んでいますが、個々の研究においては焦点を絞った意欲的な課題提案を期待しています。つまり、さきがけ研究と呼ぶにふさわしい研究者人生において重要な礎となりうるもの、将来的に新しいサイエンスの源流を創り、科学技術イノベーションの源泉に発展しうるものを募集します。提案課題は、原理として汎用性を追求しつつも、対象が曖昧にならないよう留意してください。

3. 領域運営の方針

本研究領域は、個人研究者の独創的な研究を推進します。とくに、若手研究者の力を引き出すため、採択研究者との対話を重視します。また、対象材料や研究の方向性のみならず、研究に必要な技術も対象が広いため、さきがけ研究者間での分野の垣根を超えた知識の交換を奨励し、視野の広い研究への発展をサポートします。また、ナノ材料力学分野形成のため、ワークショップやシンポジウム等の開催を通じて、同じ戦略目標の下で実施するCREST「革新的力学機能材料の創出に向けたナノスケール動的挙動と力学特性機構の解明」との連携や外部との学術交流を進めます。すなわち、ネットワーク型研究所としてナノ力学に特長を有する本研究領域を発展させたいと考えます。これによって、本研究領域の採択研究者が自信をもって研究を推進する環境を醸成し、採択研究者のステップアップにつながる方向性を目指します。

また、先鋭的な研究の遂行過程においては、様々な悩みや研究上の障害が発生することが予想されます。研究総括の他、各専門分野に造詣が深く研究経験豊富な領域アドバイザーが、採択研究者をサポートしていきます。

4. 研究期間と研究費

本研究領域の期間は、2019年度から2024年度まで（予定）です。
今年度募集する研究提案の研究期間は、2021年度から2024年度（3.5年以内）とします。
また、当初研究費は総額4,000万円（間接経費を除く）を上限とします。