

研究領域「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」中間評価（課題評価）結果

1. 研究領域の概要

本研究領域は、材料技術の発展により、持続可能で新たな産業が創出される社会の実現に資するため、物質の内部や界面で生じる原子・分子の運動、微細組織の構造変化や化学変化等のナノスケール動的挙動を解析・評価する技術を発展させ、マクロスケールの力学特性を決定している支配因子を見出し、その作用機構の解明を行うとともに、新たな力学特性を有する革新的力学機能材料の設計指針を創出することを目指します。

具体的な研究分野としては、金属材料、無機材料、有機材料、およびそれらの複合材料などの各種材料において、マクロな力学特性とナノスケール動的挙動の相関に基づき、接着・摩擦・摩耗・劣化・破壊等の作用機構や新たな力学特性について解明することに加え、そのために必要なナノスケールの動的挙動や化学変化等を可視化するためのその場計測・マルチシミュレーション技術等の開発なども対象とします。

これら各種研究分野の複合的な連携や、金属材料、無機材料、有機材料、複合材料などの各種材料で得られた知見を融合することによって、これまで未解明であった各種材料における力学特性発現機構の解明や特定の材料に依存しない共通的な学理を構築するとともに、トレードオフ関係にある力学特性を両立する材料や新たな力学機能をもつ材料の設計指針の創出に取り組みます。

2. 中間評価の概要

2-1. 評価の目的、方法、評価項目及び基準

戦略的創造研究推進事業・CRESTにおける中間評価の目的、方法、評価項目及び基準に沿って実施した。

2-2. 評価対象研究代表者及び研究課題

2020年度採択研究課題

- (1) 浦山 健治（京都大学大学院工学研究科 教授）
ひずみ誘起結晶化機構の解明と最大化によるエラストマーの革新的強靱化
- (2) 澄川 貴志（京都大学大学院エネルギー科学研究科 教授）
ナノ・マイクロ疲労学理の開拓と超高疲労強度金属の実現
- (3) 水上 雅史（東北大学未来科学技術共同研究センター 准教授）
氷-ゴム界面摩擦機構のマルチスケール解明
- (4) 山崎 倫昭（熊本大学先進マグネシウム国際研究センター 教授）
機能マルチモーダル制御の材料科学と材料創製
- (5) 山本 潤（京都大学大学院理学研究科 教授・副研究科長）
階層的時空構造と動的不均一性から紡ぐナノ力学機構の理解と制御

2-3. 中間評価会の実施時期

2023年11月12日（日曜日）

2-4. 評価者

研究総括

伊藤 耕三	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授
領域アドバイザー	
岡崎 進	東京大学大学院新領域創成科学研究科 特任教授
川田 達也	東北大学大学院環境科学研究科 教授
河村 能人	熊本大学先進マグネシウム国際研究センター センター長
北村 隆行	京都大学 総長特別補佐
栗原 和枝	東北大学未来科学技術共同研究センター 教授
グン 剣萍	北海道大学大学院先端生命科学研究院 教授
目 義雄	物質・材料研究機構 NIMS特別研究員
高原 淳	九州大学ネガティブエミッションテクノロジー研究センター 特任教授
竹内 久雄	東京大学大学院工学系研究科 特任教授
錦織 貞郎	(株) IHI技術開発本部 技師長
御手洗 容子	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授

外部評価者

該当なし

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： ひずみ誘起結晶化機構の解明と最大化によるエラストマーの革新的強靱化
2. 研究代表者： 浦山 健治（京都大学大学院工学研究科 教授）
3. 中間評価結果

天然ゴムの性能を支配するひずみ誘起結晶化機構とそのさらなる強靱化に寄与する添加物の役割を分子構造レベルで解明し、マクロの強靱化機構との相関を明らかにした上で、革新的な強靱化ゴムの創製を目的として研究開発を進めている。代表的な研究成果としては、天然ゴムのき裂先端近傍の不均一なひずみ分布とひずみ誘起結晶化挙動の相関を実験によって明確化したこと、天然ゴムに多価アルコールを添加するとひずみ誘起結晶化性能が著しく向上することを見出したことなどが挙げられる。天然ゴムのひずみ誘起結晶化は高分子分野の最大の謎の1つであるが、第一線の研究者による体制を構築して構造、物性、バイオなど様々な角度から総合的な研究が行われ、謎の解明が進んできた。順調に進捗しており、明確な目標設定やグループ間の連携についての適切なマネジメントと若手育成についても評価できる。

今後の課題としては、これまで得られた成果や変形・亀裂を評価する新規手法を合成ゴムやフィラー充填ゴムに展開するために、残りの研究期間内で解決すべき課題を整理し、設計的視点を持って研究開発を集中・加速することおよび知財の確保が重要である。本研究は、天然ゴムのみならず、合成ゴム、グアユール由来天然ゴム、ひいてはひずみ誘起結晶化を起こす各種高分子材料の強靱化への貢献が期待される。

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： ナノ・マイクロ疲労学理の開拓と超高疲労強度金属の実現

2. 研究代表者： 澄川 貴志（京都大学大学院エネルギー科学研究科 教授）

3. 中間評価結果

ナノ・マイクロサイズの金属片の疲労に、独自開発の試験装置を用いてアプローチし、実験・解析・理論研究者の連携により、ナノ・マイクロ疲労の新規学理の構築とともに、超高疲労強度金属および新奇機能材料の実現を目的として研究開発を進めている。代表的な研究成果としては、銅やニッケルにおけるマイクロ疲労現象の存在を明確に特定できたこと、演繹・帰納的階層間接続を統合したマルチスケール方法論を確立したこと、マイクロ金属における新しい信頼性設計指針を提供できたことなどが挙げられる。実験と理論、シミュレーションの緊密なグループ間連携により、計画どおりに順調に進捗している。

今後の課題としては、研究の最終目標として計画されている超高疲労耐性材料と新奇機能材料の開発に関して、ターゲット性能、材料の選定とサイズ感をより明確にしながら、材料設計指針を確立することが重要である。特に表面拘束などによる疲労強度向上技術の検討をさらに進めることで、ナノ・マイクロサイズの金属片の強度・転位構造の設計が可能となり、電子デバイス等に多用される金属配線、素子などの高強度化、長寿命化への貢献が期待される。

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： 氷-ゴム界面摩擦機構のマルチスケール解明
2. 研究代表者： 水上 雅史（東北大学未来科学技術共同研究センター 准教授）
3. 中間評価結果

フランス国立研究機構（ANR）共同公募によりフランス・リヨン大学と連携し、水上グループで独自開発された表面力・共振ずり測定装置によるナノ計測と KORI 摩擦試験機によるマクロ計測、シミュレーションとを組み合わせ、氷-ゴム界面の摩擦現象の支配因子を明らかにし、摩擦の最適化と省エネルギーを両立する革新的なゴム材料の分子設計指針の確立を目的として研究開発を進めている。代表的な研究成果としては、氷プレメルト層の形成に対する接触面の化学特性の効果や、機械学習による氷プレメルト層中の水の状態の判別方法の開発、氷-ゴムのマクロ摩擦評価法の開発と摩擦熱の効果のモデリングなどが挙げられる。計測装置開発・計測グループとシミュレーショングループとの連携がうまく進んでおり、計画どおりに順調に進捗している。

今後の課題としては、日本側のナノ計測とフランス側のマクロな摩擦試験の間で解析におけるギャップが見られるなど、ナノスケールの氷プレメルト層とマクロなゴム／氷界面の実験・解析結果との相関を解明することが重要である。中間的な階層のモデル化にも取り組む必要がある。本提案の革新ゴム材料が実現できれば、スタッドレスタイヤの安全性能、省エネ性能向上に結びつくことが期待される。

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： 機能マルチモーダル制御の材料科学と材料創製
2. 研究代表者： 山崎 倫昭（熊本大学先進マグネシウム国際研究センター 教授）
3. 中間評価結果

マグネシウム/シンクロ型長周期積層（LPSO）二相マグネシウム展伸材を研究対象として、その構造と物性の相関に関する新規学理の構築および機能マルチモーダル制御によるマグネシウム合金の力学特性多機能化の指導原理確立を目的として研究開発を進めている。代表的な研究成果としては、マグネシウム合金の力学特性発現機構の解明、マルチモーダル組織の降伏と塑性変形の理解、LPSO 相を用いない高強度マグネシウム合金創製法の提示などが挙げられる。計画どおりに順調に進捗しており、特に積極的な論文発表や若手研究者の育成が評価できる。

本研究の課題としては、マグネシウム合金の高性能化に向けた複数の具体的なアイデアが提示され成果をあげているが、その中から最終目標である LPSO 相を超える加工硬化を実現する設計指針を見出し、そこに研究開発を集中することが重要である。本研究の成果は、マグネシウムのみならず他の金属系への応用や、軽量かつ高強度構造材料創製による産業界への貢献が期待される。

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： 階層的時空構造と動的不均一性から紡ぐナノ力学機構の理解と制御

2. 研究代表者：山本 潤（京都大学大学院理学研究科 教授・副研究科長）

3. 中間評価結果

ソフトマターに対し分子レベルのダイナミクスを観測可能なガンマ線準弾性散乱と、物質内の動的不均一性を観測可能な揺らぎ顕微鏡の空間および時間分解能の向上を目指すとともに、ソフトマターのナノレベル動的不均一性とマクロの力学特性とを結び付けることを目的に研究開発を進めている。代表的な研究成果としては、揺らぎ顕微鏡を用いたゲル化・ガラス化近傍における動的不均一性の実測、揺らぎ顕微鏡を核としたナノ力学観測システムの設計・開発・試作と整備が挙げられる。概ね計画通り順調に進捗している。

本研究の課題としては、揺らぎ顕微鏡とガンマ線準弾性散乱という2種類の独創的な手法を中心に研究体制が組まれているが、全体としての目標設定が漠然としてわかりにくい点が挙げられる。グループ間の連携を強化して共通の課題に集中するとともに、揺らぎ顕微鏡による成果を論文や知財として積極的にまとめてほしい。本研究の成果は、本領域内での連携による様々な材料のナノ～マイクロオーダーのダイナミクスの解析に貢献するだけでなく、ポータブルな検査・検診装置などへの応用も期待される。