

○戦略目標「資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御」の下の研究領域

## 分解・劣化・安定化の精密材料科学

**研究総括:** 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)

### 研究領域の概要

本研究領域は、外部刺激により材料を自在に分解する手法を開発するとともに、分解を自在に制御できる材料の開発、それら材料の階層構造制御による高機能化に関する研究、材料における環境に優しい劣化や安定化の制御法の開発を通じて、材料の分解・劣化・安定化の精密制御を達成し、究極の相反する物性である分解性と安定性の自在制御が可能なサステイナブル材料開発のための精密材料科学の確立を目指すものです。

研究分野としては高分子、有機、生体、無機および金属ならびにそれらの複合材料を対象とします。例えば (1) 外部刺激により材料を原子・分子レベルだけではなく、中間・部分構造に戻して再利用できる技術およびそれを活かした材料化のための製造プロセス、ならびに分解生成物が環境に調和するサステイナブル材料の設計、(2) 材料の分子レベル、高次組織などの種々の階層における分解・劣化の制御法と分解機構を組み合わせた材料の開発、(3) 分光学的な手法、クロマトなどの高度な分離手法、回折・散乱手法、顕微鏡的手法、計算科学的な手法による材料分解過程の可視化法の確立及びそのデータ蓄積による情報活用、(4) 劣化した材料の高効率の自己修復と分解機構を組み合わせた材料の開発などがあげられます。これら研究分野の連携や各種材料で得られた知見を融合することによって、持続可能な循環型社会の実現に不可欠なサステイナブル材料開発のために、これまで未解明であった「分解・劣化・安定化の材料科学」を分子レベルからマクロレベルまで多階層的に理解し、新たな学問領域として体系化することを目指します。

### 募集・選考・領域運営にあたっての研究総括の方針

#### 1. 背景

プラスチックに代表される高分子、有機、生体、無機、および金属ならびにそれらを複合的に用いる各種材料は現代社会のあらゆる場面において利用・大量消費されている。これらの材料が社会にもたらす多大な恩恵に疑問の余地はありません。反面、プラゴミ・マイクロプラスチックに代表されるように意図的・非意図的に放出される化学物質が環境に及ぼす影響への懸念が顕在化しています。このような社会問題を背景に材料の使い捨てから再利用への関心が高まっており、使用後に原料や中間体などへ分解できる材料の開発が望まれ

ています。そのためには、材料の分解・劣化・安定化を科学的視点から解明し、材料の究極の相反する物性である分解性と安定性を自在制御することが急務であると考えられます。日本は材料創製、有機合成、高分子合成などの結合形成のための科学は伝統的に強く、シーズ研究として関連する戦略的創造研究推進事業・新学術領域研究が展開され、関連分野の知見が蓄積されています。2019年に開催された国際化学サミット白書「Science to Enable Sustainable Plastics」によると、今後重要となる挑戦的研究課題として「新しい持続可能な高分子材料の開発」、「高分子材料の分解のスイッチング」、「循環型高分子材料リサイクル」などが挙げられており、同分野の国際的な注目度が高まっています。そこで本領域においては、材料種の枠を超えた分解・劣化・安定化の基礎学理を確立し、資源循環型社会の実現に貢献することを目指します。

## 2. 募集・選考の方針

### (1) 基本方針

本研究領域は、材料の分解・劣化・安定化の精密制御を達成し、究極の相反する物性である分解性と安定性の自在制御を可能にするサステナブル材料開発のための精密材料科学の確立を目指します。研究分野としては高分子、有機、生体、無機、金属およびそれらの複合材料を対象とします。これら研究分野の連携や、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「分解・劣化・安定化の材料科学」を分子レベルからマクロレベルまで大きさが異なる階層構造と短時間から長期間に渡る分解・安定化の時間スケールに着目して理解し、新たな学問領域として体系化することを目指します。そのため、提案においても、分解・劣化・安定化の材料科学をサステナブル材料に繋げるための研究計画および戦略について示してください。

### (2) 想定する研究分野

本研究領域は、材料の分解・劣化・安定化の精密制御を達成し、分解性と安定性の自在制御を可能にするサステナブル材料開発のための精密材料科学の確立を目指します。

ア 外部刺激により材料を原子・分子レベルだけではなく、中間・部分構造に戻し、循環できる技術およびそれを活かした材料開発のための製造プロセス、ならびに分解生成物が環境に調和するサステナブル材料の設計：使用時には現在使用されている材料のように安定で、不要になったときに原子・分子レベルだけではなく、中間・部分構造に戻し、循環できる材料が求められています。外部刺激が材料に加わることによって、短時間で分解が起る材料をサステナブルな原料とプロセスから実現する提案を期待します。また、同種および異種界面剥離／分離法、相分離法および分解プロセス法に関するサステナブルかつ高効率な物理的および／または化学的な分離技術の提案も重要です。

イ 材料の分子レベル、高次組織などの種々の階層における分解・劣化の制御法と分解機構

を組み合わせた材料の開発：材料の環境劣化、力学的な劣化においては化学結合の分解、結晶非晶構造であれば非晶領域の損傷、多相系材料であれば易分解性成分または界面領域の損傷が起きます。それらは分解・劣化の引き金となる紫外光の照射、化学物質や酵素の収着、微生物の吸着、劣化時の力学的な刺激の有無に依存します。これらの要因を考慮した分解を精密制御した材料をサステイナブルな原料で設計する提案を求めます。また環境負荷が問題となっているフォーエバーケミカルであるフッ化アルキル系材料の分解制御の提案も重要です。

- ウ 分光学的な手法、回折・散乱手法、顕微鏡的手法、クロマトグラフィック手法、計算科学的な手法による材料分解過程の可視化法の確立：近年の計測技術の発展はめざましく、種々の環境下でのその場観察が可能になっています。特に分解・劣化過程での時空間マルチスケールのその場構造解析は劣化・安定化機構の解明に重要です。種々の夾雑物が存在する劣化環境下での赤外吸収分光、ラマン分光、X線散乱法、走査フォース顕微鏡観察、光学顕微鏡観察などを駆使して、化学結合から高次構造まで階層的に明らかにし分解・劣化を可視化する研究の提案を歓迎します。さらに新しい観測手法の提案、実際の現象とリンクした理論・計算的な手法、データ科学の提案も対象とします。
- エ 劣化した材料の高効率の自己修復と分解機構を組み合わせた材料の開発：劣化した材料を廃棄するのではなく修復する技術を確立することは資源循環において極めて重要です。高分子、有機、生体、無機および金属材料ならびにそれらの複合材料において、外部刺激等により劣化が起こった部分を高効率で修復する技術と分解機構を組み合わせた材料開発の提案を求めます。特にガラス以上の弾性率（1GPa以上）を有する系の短時間で自己修復を実現する、挑戦的な研究に期待します。

今回の材料設計指針の創出には、機構解明、計測・評価技術に裏付けられた、理論的な根拠に基づく指針の創出を推奨します。

### （3）研究実施体制について

CRESTはチーム型研究であり、国際的に高い水準にある研究代表者が自ら立案した挑戦的な研究構想の実現に向け、産・学・官の枠を超えたベストな研究チームを編成していただきます。チーム構成は、構想実現のために必要不可欠であって、研究目的の達成に向けて大きく貢献できる十分な連携体制となるようご注意ください。他の研究分野との連携等が有用であると認められる場合、研究総括より共同研究の推進やチーム体制の見直しなど、研究計画の変更をお願いすることがあります。

例えば、特定の材料における実験・解析・理論が連携した研究チーム、ある分解・劣化現象の解明に向けた金属、有機等の材料をまたぐ研究チーム、分解・劣化・安定化に応用可能な基盤的な計測・シミュレーション・データ科学的解析を行う研究チームなどが考えられます。特定の材料に限定されない共通の学理の構築や、既存の特定の分野の研究では成し遂げ

られない研究テーマなど、分野横断的な提案を推奨します。

#### (4) 選考方針

- ア 研究のアウトプットである「資源循環のための材料分解手法」「サステイナブル材料設計の指針」や「独創的な材料分解過程の解析技術」が提案書から読み取れ、目標が具体的に設定されていること。
- イ 目標が達成された場合の学術的または社会的価値が大きいこと。
- ウ 提案の中で異なる領域が有機的に連携していることが望ましい。
- エ 挑戦的、魅力的かつ斬新な提案であること。
- オ 従来の研究の単なる延長でないこと。

### 3. 研究期間と研究費

当初研究費は1課題あたり、総額3億円(直接経費)を上限とします。研究期間は2021年度から2026年度(5年半以内)とします。

### 4. 領域の運営方針

本研究領域は、研究領域全体として研究成果の最大化につなげるべく、異なるチーム間の研究者同士(同一戦略目標下のさきがけ研究領域の個人研究者を含む)や産業界等、研究領域内外の研究者との情報交換や連携等によるネットワーク形成をはかります。研究開始当初は、研究環境の確認の意味も含め、各研究課題へのサイトビジットを行います。また、年1、2回の領域内研究進捗報告会を開催し、研究開始3年程度経過後に中間評価、事業終了時に事後評価を行います。さらに研究領域における成果を発信するためのワークショップ、公開シンポジウム、若手の育成のための研究会を開催する予定です。本研究領域における研究が、分解・劣化・安定化の精密材料科学の学理を創出するとともに、様々な研究分野の発展に資することを期待します。