

持続可能な地球環境と社会幸福に貢献する新高分子フロンティア

① ビジョンの概要

高分子材料は現在社会において重要性を増す一方、顕在化しているプラスチック公害の解決も求められている。本構想では、高分子科学を分子科学として再構築して、高分子の合成、物性、加工、分解を分子レベルで制御すると共に、データサイエンスに基づく、新しい制御法を開発することで、持続可能な地球環境と社会幸福に資する次世代材料を開発し、高分子学術フロンティアを開拓する。

② ビジョンの内容

持続可能な社会に向けた SDGs や社会幸福等において現在直面しているマクロな問題の解決には、基礎科学のパラダイムシフトによりミクロスケールでの本質的な高分子科学・高分子材料の変革が必要である。鍵は、高分子科学を「分子科学」として再確立することである。従来、高分子は素視化・モデル化による理解がなされてきたが、精密重合の発達、高輝度ビームライン等による解析技術の高度化、スーパーコンピュータによる大規模精密計算技術等により、まさに高分子を分子レベルで理解できる背景が整いつつある。DX 技術などの情報科学と融合し、高分子基礎科学におけるパラダイムシフトを実現する。

高分子製品のリサイクルや分解についての研究は始まったばかりである。ここでも、分子科学として高分子のライフサイクルを研究すると共に、人文・社会科学系の研究者などとの協業による新たな視点を導入することで、ミクロな分子からマクロな社会を繋ぐ、新たな高分子フロンティアの確立を図る。以下に、社会との関連性が高い問題に関する具体的なビジョンを示す。

【次世代の資源循環】高分子材料において、環境負荷の少ない材料・製品ライフサイクルを実現し、高分子の循環の学理を構築するとともに、革新的機能を有する「トレードオン」高分子材料の開発を目指す。

【カーボンニュートラルの早期実現】高強度・軽量化、高耐久化、断熱・蓄熱、熱電変換・膜分離など高分子科学が鍵を握る材料・技術の開発を通して、次世代の炭素資源循環社会の構築に寄与する。

【極限マテリアルの開発】スマート社会に貢献すべく、マテリアルズ・サーキュラリティの観点から、バルク材料におけるモノマテリアル化に加えて、ハイエンド製品開発に向けた新規ハイブリッド材料を開発する。

【デジタルトランスフォーメーション】学会をプラットフォームとして真のオープンサイエンスを主導してデータ駆動型科学の適用を加速し、触媒設計を含む重合反応プロセスや構造物性の高効率予測を実現する。

③ 学術研究構想の名称

持続可能な地球環境と社会幸福に貢献する新高分子フロンティア

④ 学術研究構想の概要

「①合成・分解」、「②構造・物性」、「③計測・計算」に関して高分子を分子レベルで制御・理解することに加え、DX などの「④情報」技術を融合することで、持続可能な高分子学術基盤の確立と極限マテリアルの開発を加速する。特に、①トポロジー制御や超分子相互作用等の新しい視点を加えた精密合成法や刺激分解性高分子の開発、②分子レベルでの構造制御、階層・複合化による物性制御や新機能発現、ポリマーライフサイクルの解明と制御、③最先端ビーム設備の利用と新しい分析法の開発と全原子シミュレーションや高精度計算による評価、④高分子の合成・物性・計測・計算を統合するデータベースの構築と高分子インフォマティクスの確立を有機的に連携して進める。人材育成を行いながら、直面する課題と共に、今後発生するであろう様々なグローバル課題の解決に挑戦する。

プラスチックごみ問題などの複合的な社会問題に対して、科学的な知見に依らない先入観的な意見が主流となることも残念ながら多くみられる。しかし、合成高分子材料は、他の材料に比した性能および経済的な優位性に鑑みると、基幹材料としての重要性はますます高まると考えられる。高分子材料が正しく社会に根づいて重要な社会問題を解決するために、生産者や消費者の行動変容を促し総合知による協業を推進する。

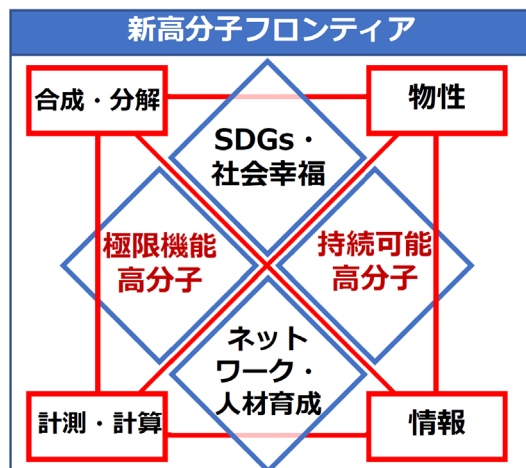


図1 新高分子フロンティアにおけるつながり

⑤ 学術的な意義

【分子科学的アプローチによる「ものづくり」】超分子相互作用を巧みに利用する生体系に倣い、重合化学を革新する。(i) 超分子ナノ鑄型を活用した反応場制御、(ii) モノマー／触媒設計に基づく精密重合反応の高度化、(iii) 超分子精密重合への展開に挑戦する。多角的な「分子科学」を基盤にインフォマティクスを活用して、化学の根幹である「反応」と機能を自在に生み出す「設計」においてブレイクスルーを実現する。

【「トレードオン」機能を実現する「相／界面制御」】極限機能を目指すマルチマテリアル化と既存複合材料のモノマテリアル化の両極拡大に取り組む。鍵は、前者では接着／界面制御やナノアロイ化、後者ではマイクロ相分離／相構造制御にある。共通する学術的観点は、界面層を分子レベルで評価し、接着・構造形成・破壊などの分子機構の理解と制御によりトレードオフ機能を両立することである（トレードオンへの転換）。

【未踏科学の開拓と応用を支える「先端計測・計算科学・インフォマティクス」】DX化やAI利用等により、量子ビームを用いた高効率・多角的分析法、化学結合の切断・生成を直接可視化する次世代顕微鏡法の開発に取り組む。高分子シミュレーションとしては、所与の物性から材料組成とプロセスを与える逆問題ソルバーの開発を目指すとともに、ライフサイクル予測／環境配慮設計を含めた高分子インフォマティクスを推進し、極限マテリアル開発におけるパラダイムシフトを実現する。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

資源循環とカーボンニュートラルに向けて、高分子科学分野が果たすべき役割は大きく、欧米中等を中心に新材料開発が進められている。グローバル課題対応の鍵として注力する「ものづくり」と「相／界面制御」は、我が国が世界をリードする分野でもある。本構想により、マルチマテリアル化と原料から廃棄までの製品ライフサイクルを一気通貫で取り組むプラットフォームが構築できれば、新たなグローバル課題に対して迅速かつ持続的に対応できる体制となると期待される。

⑦ 社会的価値

本構想では、産官学共創による価値創造の仕組みを構築する。中長期研究戦略の実現には、科学知を社会的・経済的価値に昇華させると共に、製品やサービスとして社会実装して、循環型社会への転換を図ることが不可欠である。基礎研究段階から、自然科学と社会科学、産官学、業界の枠を超えたバリューネットワークを形成し、共創を通して、中長期研究戦略を実現していくプラットフォームの構築を目指す。これにより、創造的正当化や革新的技術・社会システムの社会的受容性を高めることにも貢献することが期待される。

⑧ 実施計画等について

5期10年の実施方針・計画をまとめる。【第1期：要素技術の確立】拠点体制を整備すると共に、目指す未踏科学・マイルストーンの精緻化を図る。【第2期：組織展開】中核大学に高分子フロンティア教育研究センター（仮称）を設置し、技術革新と人材育成の基盤を構築すると共に、研究力と産業競争力を高め、社会課題に向けたプロジェクト研究に着手する。【第3期：世界展開】異分野融合／グローバル化を加速すると共に、スタートアップ研究者も受け入れ、真に価値のある材料を創出する（ブレイクスルー期）。【第4期：社会還元】実用化に向けた革新的機能を発現する材料を創出すると共に、産業界に展開して、グローバル課題の解決に取り組む。【第5期：新学際分野開拓】我が国の高分子フロンティア研究コミュニティのプレゼンスを示すと共に、新学際分野を創出する。持続成長可能な研究開発プラットフォーム体制に展開する。

【実施機関と実施体制】高分子学会を中心に関連学協会が連携し、拠点大学を軸に「智の結集」によるオールジャパン体制を組織する。特にアジア圏でネットワークを構築、先導し、世界的プレゼンス向上を図る。

【総経費】50億円（高分子フロンティアを開拓する研究開発・支援体制と学術技術交流プラットフォームを整備し、マイクロ分子からマクロ社会のマルチスケールを連結する学際学術基盤を構築する。）

⑨ 連絡先 伊藤 耕三（公益社団法人 高分子学会）

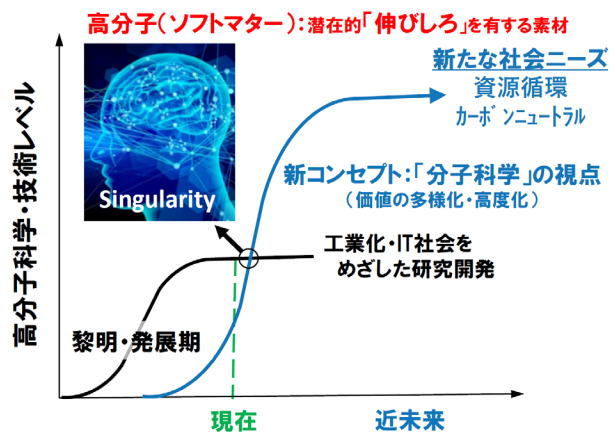


図2 高分子の役割