

持続可能社会につなげる超寿命マテリアルの創出

趣旨

・循環経済、経済安全保障、国土強靱化などの社会要請から、長い期間にわたり安全に使用可能であり、かつリユースや分解、リサイクル性、修復メンテナンス性を考慮した材料・デバイスが不可欠となっている。

・多様な分野の研究や数理、計測技術、計算科学、情報科学などを融合することで材料・デバイスの劣化・破壊の機構を解明し、さらに高精度な寿命予測手法、加速試験手法を確立し、様々な社会課題の解決につなげる超寿命マテリアルの創出を目指す。



達成目標

1 超寿命マテリアルの創出

2 劣化・破壊の本質的な機構を解明
劣化や破壊の過程を解明し、学理を構築する

3 複合要因、複雑・極限環境の影響を解明
実際の環境での劣化・破壊現象を解明する

4 高精度寿命予測、加速試験法の確立
寿命予測、寿命計測、加速試験を高精度に行うための基盤を確立する

5 予防・修復・再生の設計原理を獲得

超寿命マテリアルとは

従来研究の延長線を超えた新たな設計指針に基づき創出された材料・デバイス。従来の寿命を凌駕する材料・デバイス、加えて周囲の環境を利用して自己修復・自己成長する材料・デバイスなど、既存の寿命の概念を変革するもの。

将来像



材料・デバイスを超寿命化することで、資源効率の向上や環境負荷の低減による持続可能社会の実現や、国土強靱化、経済安全保障などの社会課題の解決に貢献する。

令和8年度戦略目標

1. 目標名

持続可能社会につながる超寿命マテリアルの創出

2. 概要

循環経済、経済安全保障、国土強靱化、などの社会要請から、長い期間にわたり、安全に使用可能な材料・デバイスの必要不可欠性が増している。材料・デバイスは物理的・化学的・生物学的な要因が非定常に影響し合い、劣化・破壊に至る。従来、各分野において劣化・破壊のメカニズムや寿命予測手法の研究開発が行われてきているなか、近年の計測技術や計算科学、情報科学の発展により、劣化・破壊の学理構築や寿命予測手法を飛躍的に進化させる環境が整いつつある。本戦略目標では、最新の科学技術を活用し、各分野の知を融合することで様々な社会課題の解決につながる超寿命マテリアル^{*1}の創出を目指す。

*1：超寿命マテリアルとは従来研究の延長線を超えた新たな設計指針に基づき創出された材料・デバイスである。従来の寿命を凌駕する材料・デバイス、加えて、周囲の環境を利用して自己修復・自己成長する材料・デバイスなど、既存の寿命の概念を変革するものと本戦略目標では定義する。

3. 趣旨

持続可能な社会の実現に向け、資源効率の向上や環境負荷の低減、資源循環などが求められている。また国際社会の複雑化や国家のリスクマネジメントなどの観点から経済安全保障や国土強靱化の重要性が高まっている。これら社会課題に貢献する分野は多岐にわたるが、材料はこれらの分野を支え、根幹となる分野横断的な基盤技術であり、多様な分野に飛躍的な技術進展をもたらし、イノベーションを先導する重要な要素である。特に、昨今は長い期間にわたり安全かつ安心して使用可能であり、かつリユースや分解、リサイクル性、修復、メンテナンス性を考慮した材料・デバイスが求められている。

従来、金属、無機、有機など様々な材料、それらを複合したマルチマテリアル、これらを組み合わせることで効果を発現するデバイスにおいて、長寿命化が図られるとともに、劣化過程や破壊のメカニズムの研究が行われてきた。また材料研究と一体となり計測技術や寿命予測手法なども進展してきた。一方で、実際の使用環境における材料・デバイスの劣化・破壊は、物理的・化学的・生物学的な要因が複雑かつ非定常的に影響しあうプロセスであり、科学の発展を遂げた現代でもなお、劣化・破壊のメカニズムは未解明の領域がある。また複雑な環境下における寿命予測は社会が求める精度に至っておらず、評価手法も十分に確立されていない。加えて、材料・デバイスの長寿命化が必ずしも最終製品の長寿命化に直結しないという、階層構造に起因する課題も存在する。

近年、計測技術や計算科学、情報科学における著しい発展は材料・デバイスの研究を大きく進展させている。特にオペランド計測や非破壊計測、マルチスケール（時間、空間）、マルチフィジックスシミュレーションは材料・デバイスの劣化・破壊の理解に貢献するものである。また機械学習やAI、LLMなどの活用によるAI・データ駆動型研究は、複雑な要因が絡み合う劣化・破壊のメカニズムの理解を進展させ、寿命予測の精度を飛躍的に高める可能性がある。

以上の背景より、本戦略目標では従来の材料・デバイスの寿命を凌駕し、社会課題の解決につながる「超寿命マテリアル」の創出を目的とする。材料の創出を主体とする科学者のみならず、材料の劣化・破壊、数理、計測技術、計算科学、情報科学の研究者、さらには実用を見据えたデバイスやシステムの設計者らによる融合的な研究体制を構築し、材料特性の向上に留まらない、社会課題解決型の研究を推進する。

4. 達成目標

本戦略目標では、様々な社会課題の解決につながる超寿命マテリアル・デバイスの創出を目指す。そのうえでは劣化・破壊のメカニズムを本質的に理解することや複雑な環境下における劣化・破壊の評価手法や高精度な予測手法などが必要となる。具体的には以下の達成を目指す。

(1) 超寿命マテリアルの創出

従来研究の延長線を超えた新たな設計指針に基づく材料・デバイス、加えて周囲の環境を利用して自己修復・自己成長する材料・デバイスなど、既存の寿命の概念を変革する革新的な材料・デバイスの創出を目指す。創出のうえでは下述の項目を踏まえること。

(2) 劣化・破壊の本質的な機構を解明

材料・デバイスにおける内部及び界面の劣化・破壊の過程、反応など、劣化・破壊の本質的な機構を原子スケールからデバイススケールまでマルチスケールに解明する。これにより、劣化・破壊のメカニズムの理解を飛躍的に進展させ、超寿命化に向けた強固な学理を構築する。マルチスケール、マルチフィジックス、オペランド計測技術や計算科学、情報科学などを活用することが想定される。

(3) 複合要因、複雑・極限環境の影響を解明

材料・デバイスが劣化・破壊する際には複合的な要因が作用する。(2)で確立した学理を拡張し、実際の使用環境における材料の劣化・破壊現象を解明する。具体的には物理的要因（温度、荷重、など）や化学的要因（酸化還元、分解、水素など）、生物学的要因（酵素界面反応など）が複合的に影響しあう環境における劣化・破壊現象を解明する。さらに、原子力、フュージョンや宇宙、生体などの極限環境における劣化・破壊現象も重要な課題である。これらのためには評価手法の確立や仮想空間の構築も必要である。

(4) 高精度寿命予測、加速試験法の確立

上述(2)、(3)により解明した劣化・破壊の機構や複合的要因による劣化・破壊現象に基づく数理モデル構築に加え、情報科学を活用することにより、高精度な寿命予測手法を確立する。さらに、実際の寿命を高精度に再現する加速試験手法の開発も重要である。これらの手法を確立することで、材料・デバイスの信頼性を担保し、社会実装を加速させる基盤を構築する。

(5) 予防・修復・再生の材料設計原理の確立

劣化・破壊を予防し、必要に応じて自己修復や自己成長といった自律的な機能を付与する設計原理を確立する。上述の(2)～(4)の成果を積極的に活用することで、成果創出を加速することが重要である。

5. 見据えるべき将来の社会像

4. 「達成目標」の実現を通じ、材料・デバイスの劣化・破壊に関する学理を深化させ、これまでの研究の延長線上にない新たな材料・デバイスの設計指針を見出し、超寿命な材料・デバイスを継続的に創出することにより、様々な社会課題（循環経済、経済安全保障、国土強靱化など）の実現に貢献する。

複雑な環境下における材料特性を評価し、高精度な寿命予測を可能とすることで、材料・デバイス特性を進化させることのみならず、社会実装において重要となる信頼性を担保し、創出した材料・デバイスを迅速かつ円滑に社会につなげることが可能な次世代の社会実装環境を構築する。これは我が国の産業が世界に誇る高い製品信頼性を担保しながらも、開発・リリース速度を向上させることに貢献し、国際競争力の向上につながるものである。また「売り切り型」から「循環・サービス化」への研究者の意識改革、産業構造の転換を加速させ、レデュース、リユース、リペア、リファービッシュ、リサイクルを一体化した循環経済の拡大を強力に推進する。劣化解析や寿命予測の分野に焦点を当て、研究者の裾野を広げることで、持続可能社会の実現を担う高度な人材の確保・育成へとつなげることも重要である。加えて極限環境（原子力、フュージョン、宇宙、生体など）における現象を理解することにより、次世代国内産業の国際競争力に貢献する。具体的には原子炉、フュージョンプラントにおける高温・高耐久対応や、深宇宙探査など人類のフロンティアを拡大する次世代極限技術に資するものである。

6. 参考

6-1. 国内外の研究動向

(国内動向)

我が国においては、科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業 CREST「革新的力学機能マテリアル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」（令和元年度～令和8年度）、さきがけ「資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御」（令和3年度～令和9年度）、未来社会創造事業「モノの寿命の解明と延伸による使い続けられるものづくり」

(令和元年度～令和3年度)、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」、ImPACT「超薄膜化・強靱化『しなやかなタフポリマー』の実現」(平成26年度～平成30年度)など、長寿命に資する取り組みが実施されてきており、本戦略目標ではこれらの成果を活用し、包括的に融合する取り組みとすることが重要である。

(国外動向)

諸外国においても長寿命化や己修復に関する研究や循環経済政策が実施されている。具体的には米国ではエネルギー省(DOE)において、長耐久性自己修復コンクリートや軽水炉に使用する材料の長寿命化や寿命予測手法に取り組んでいる。欧州ではHorizon 2020において、洋上風力発電のための長寿命マテリアルやコーティング技術の開発、循環型電子機器イニシアティブ、建築資材規則改正案など複数の循環経済に関わるプロジェクトに取り組んでいる。中国では第14次循環経済発展計画において、戦略的鉱物資源の輸出管理を強化する方針が示されていることや循環経済重要技術・設備イノベーションなどに取り組んでいる。

6-2. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」(令和元年7月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定)に基づき、以下のとおり検討を行った。

1. 我が国あるいは世界の基礎研究を始めとした研究動向について、科学計量学的手法を用いた論文分析やJST研究開発戦略センター(CRDS)の有する知見、科学技術・学術政策研究所(NISTEP)の各種調査結果、JSTの有する過去の研究領域の評価結果や事業運営から得られた知見等を収集・蓄積し、研究動向を俯瞰した。
2. 上記情報収集の結果及び有識者へのヒアリング等を参考にして分析を進めた結果、循環経済、国家安全保障、国土強靱化など様々な社会課題に対し、長寿命且つ安全、安心に使用可能なマテリアル・デバイスが重要であるとの認識を得て、「持続可能社会に貢献する超寿命マテリアルの創出」を注目すべき研究動向として特定した。
3. 令和7年12月に、文部科学省とJSTは共催で、注目すべき研究動向「持続可能社会に貢献する超寿命マテリアルの創出」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、本戦略目標の意義や追及すべき課題、将来の社会像等について議論を行い、ワークショップにおける議論や有識者ヒアリング、アンケート等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

6-3. 閣議決定文書等における関係記載

「第6期科学技術・イノベーション基本計画」(令和3年3月26日閣議決定)

第3章 科学技術・イノベーション政策の推進体制の強化

2. 官民連携による分野別戦略の推進

④マテリアル

(略)

第6期計画期間中は、「マテリアル革新力強化戦略」に基づき、国内に多様な研究者や企業が数多く存在し、世界最高レベルの研究開発基盤を有している強みを生かし、産学官の共有ビジョンの下、産学官共創による迅速な社会実装、データ駆動型研究開発基盤の整備と物事の本質の追及による新たな価値の創出、人事材育成等の持続発展性の確保等、戦略に掲げられた取組を強力に推進する。

「改訂「マテリアル革新力強化戦略」」（令和7年6月4日閣議決定）

4. 取り組むべきアクション

(1) 重点分野に対応した、革新的マテリアルの研究開発及び社会実装

- 重点分野（短期・中期視点）に対応する革新的マテリアルの研究開発及び社会実装のため、以下を推進する。
 - 我が国が現に技術優位性を有する高機能・高付加価値マテリアル
 - ・ データ駆動型研究開発の成果を活用した、マテリアルの高機能化・高付加価値化（マテリアルの性能向上や製造プロセスの効率化、低環境負荷等）による競争力の維持・拡大。
 - サーキュラーエコノミーの実現を通じた資源確保、サプライチェーン強靱化の鍵となるマテリアル
 - GX 成長に必要となる、グリーンマテリアル、エネルギー関連マテリアル
 - 経済安全保障上重要なマテリアル（半導体等）
 - ・ 特定重要技術や特定重要物資に関する研究開発・設備導入支援等
- 重点分野（中期・長期視点）として、「フロンティアへの挑戦により、新たな価値を創出するマテリアル（フロンティア・マテリアル）」を目標として掲げ、以下を推進する。
 - 新たな市場の創出等につながる、ハイリスク・ハイインパクトな技術シーズの育成
 - 多様な元素の性質を引き出すことによる、従来の性能・機能を超越した革新的マテリアルの創出
 - ・ 最先端の学理、評価・分析技術、データサイエンス、プロセス技術等を活用し、多様な元素の性質を引き出すことにより、従来の性能・機能を超越し、世界が直面する複合化する社会課題に対応し得る革新的マテリアルを創出。この際、産学連携や府省連携、社会科学等も含めた異分野連携による総合知を活用しつつ、新たな才能の発掘も含めた、卓越したサイエンスの創出を主軸においた取組を推進する。

「国土強靱化実施中期計画」（令和7年6月6日）

第4章 推進が特に必要となる施策

気候変動に伴い激甚化・頻発化する気象災害や切迫する南海トラフ地震を始めとする巨大地震等から国民の生命・財産・暮らしを守り、国家・社会の重要な機能を維持・発展させていくためには、災害経験から得られた知見を蓄積し、将来にわたり不断に事前防災の取組を進めていく必要がある。また、インフラ老朽化に伴う災害耐力の低下をもたらすことがないように、将来にわたってインフラを健全な状態で維持し続けなければならない。

「循環型社会形成推進基本計画～循環経済を国家戦略に～」令和6年8月2日閣議決定

5. 国の取組

5.1. 循環経済への移行による持続可能な地域と社会づくり

(略)

全国各地で地域の循環資源や再生可能資源の特性を生かした新たな資源循環の流れを生み出し、製品の適切な長期利用やリユースを促進し、地域や社会に様々な付加価値を創出しながら、その循環の輪を広げ太くすることで、地域経済の活性化や地場産業の振興、地域課題の解決を実現できるような循環型のビジネスモデルを各地域で生みだし、これらのビジネスモデルの全国各地への普及を促していく。

(略)

○資源採取時において生物多様性や自然環境への影響を低減する観点からも、環境配慮設計や再生材の利用等による資源の効率的利用、製品等の長期的利用・再使用や循環利用を進めることにより新たな天然資源の消費の抑制を図る。また、資源の生産・採取時における生物多様性や自然環境の保全への配慮を促進し、循環経済への移行とネイチャーポジティブの実現に向けて、施策を統合的に実施する。また、3R+Renewable を徹底した後になお残る廃棄物の適正処理を確保する。

「成長志向型の資源自律経済戦略」（令和5年3月31日閣議決定）

2. サーキュラーエコノミーの目的：デカップリングの実現と Well-Being の向上

(3) リニアエコノミーからサーキュラーエコノミーへの非連続なトランジション

我が国が今後も持続的かつ着実に成長していくためには、技術革新によってリアルからデジタルへの大転換が進む中で、「もの売り」と「廃棄物の適正処理」が中心のリニアエコノミーから、デジタル技術を効果的に活用しながら、「価値売り」と「循環資源の創出と利活用」を中心とするサーキュラーエコノミーへの非連続なトランジションを進め、資源利用の最小化、資源の循環的利用、製品価値の最大化を追求していかなければならない。

7. その他

社会課題の解決に《つなげる》超寿命マテリアルを創出するためには、インフラ、エネルギー・海洋、原子力、フュージョン、宇宙、生体など多様な専門分野の研究者と材料・デバイスの研

究者が融合することが必要である。また複雑な劣化・破壊現象を解明するためには科学的に正しく理解することが不可欠であることから、数理、計測技術、計算科学、情報科学などの研究者と融合した体制が望まれる。また環境、社会学といった俯瞰的な視点からの意見も留意すべきである。加えて、劣化・破壊のメカニズムに関する研究は様々な材料・デバイス分野で従来取り組まれてきており、各分野の先進的な取り組みを共有・活用・連携していくことが重要である。