

# 超生体組織創出への挑戦

## 趣旨

- 様々な科学技術を融合し、**生体物質と人工物質を組み合わせ**双方の優位性を兼ね備えた新技術として、生体を超える新たな組織創出に挑戦し、**多様なバイオ・ライフサイエンス・材料・医療分野等におけるイノベーションにつなげる**

### 生体物質

- 適応性
- 多様な高次機能※



### 人工物質

- 安定性
- 設計・制御容易性

※ 三次元的構造化、駆動力・信号の増大や複雑化、細胞間ネットワークによる学習や情報処理、物質・エネルギーの多段階の輸送や変換等

## 多様な研究分野の融合



## 達成目標

- 1 生体と同等の組織の構築
- 2 生体機能を調整・操作した全く新しい組織の創出
- 3 細胞集団を活用した新しい動的な材料システムの創出  
また、①～③達成のため以下も併せて推進
- 4 生体組織制御機構等の基盤的理解やモデル化
- 5 要素技術の研究開発

## 応用展開への可能性



以下のメリットを実現

- 効率的かつ効果的な機能
- 資源消費削減
- 環境負荷の低減
- 動物利用の代替可能

## 将来像

我が国発の新技術を生み出すことで本領域における**プレゼンスを世界に示す**とともに、多様なバイオ・ライフサイエンス・材料・医療分野等にイノベーションをもたらすことを通じて**社会課題を解決し、「持続可能な社会への移行」を実現する**



## 令和7年度戦略目標

### 1. 目標名

超生体組織創出への挑戦

### 2. 概要

「持続可能な社会への移行」に向け、我が国発の新技术が期待されている。このような状況を背景に、生体に近い「組織」の構築が試みられているが、その開発は発展途上である。一方、計測・解析技術の発展に伴い複雑な生命現象の複合的理解が可能になっていることに加え、材料科学や様々な工学、数理・情報等の技術も高度化しており、高品質、高機能な組織構築のための基盤が整いつつある。このため本戦略目標では、様々な科学技術を融合して生体物質と人工物質を組み合わせ、それぞれの特徴を活かすことにより双方の優位性を兼ね備えた新技术として、生体と同等の組織だけでなく、機能を調整・操作した組織や細胞集団を活用した新しい動的材料システムの創出に挑戦する。

### 3. 趣旨

近年、バイオ・ライフサイエンス分野においては、物質生産に利用できる新しい技術や環境応答性材料、新規治療法の開発等につながる技術など、「持続可能な社会への移行」に貢献するような革新的な技術の実現が期待されている。その一つとして生体物質の特徴である適応性や高次機能と人工物質が有する安定性や設計・制御の容易さ等のそれぞれの優位性を兼ね備えた技術の開発が注目されている。他方、実用化・産業化の観点からは我が国発の全く新しい技術を開発していく観点も重要である。そのような中、生体に近い「組織」の構築が試みられているが、現状では発展途上である。しかしながら、近年の計測・解析技術の飛躍的な進歩に伴い、分子～細胞～組織レベルにわたる生命現象の複合的理解が可能となってきたことに加え、材料や様々な工学技術、数理・情報等の技術も高度化しており、より高機能で高品質な組織を創出するための基盤が整いつつある。また、組織創出に関連する分野として、オルガノイドをはじめとして幹細胞分野では我が国の研究者が多くのブレイクスルーとなる研究論文を発表しており、幹細胞・オルガノイド研究の発展に大きく貢献している。さらに、我が国は発生学や再生医療、組織工学、材料科学等の分野にも強みを有している。

国内外の研究動向を見ると、国内の研究事業においては、人工物質と生体物質に関して例えば科学技術振興機構（JST）・戦略的創造研究推進事業 CREST（平成30年度～令和7年度）や「細胞操作」（令和5年度～令和12年度）など個々の基盤技術の開発に加え、日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業（科研費） 学術変革領域 A「からだ工務店」（令和2年度～令和6年度）や同・学術変革領域「マルチモダルECM」（令和5年度～令和9年度）など、それらを融合するような研究領域が推進されつつある。また、海外においては、EUの「Engineered living materials」や米の「Engineered living systems」、英の「Engineering Biology」など、欧米を中心に哺乳

類細胞や微生物等の細胞集団を含む様々な生物工学に関する大型プロジェクトや国際的議論が進みつつある。そのような中で、JST 研究開発戦略センター（CRDS）は令和6年3月に「細胞集団機能と物質科学」と題した科学技術未来戦略俯瞰ワークショップを開催し、これを踏まえて令和6年10月に戦略プロポーザル「バイオテクノロジーと材料・デバイス技術による細胞の集団的適応性の制御・設計 ～動的な材料システムの創出～」として、バイオテクノロジーと材料・デバイス技術を組み合わせることで、細胞の集団的挙動を制御し、多様な高次機能と同時に、用途や使用環境に応じて機能や物質的状态が動的に変化する「適応性」を備えた動的な材料システムの創出を目指す研究開発戦略が提案された。

以上の背景を基に本戦略目標では、例えば生命科学、再生医学、工学、物質・材料科学、数理学、情報科学、物理学、化学、植物学、農学等の様々な科学技術を融合させることで、生体と同等の高品質な組織の構築とともに、生体機能を調整・操作した全く新しい組織や、細胞集団を活用した新しい動的な材料システムの創出に挑戦する。また、これら組織等の創出に必要な新しい要素技術を開発するとともに、基盤的理解やモデル化に必要な生体内・生体間コミュニケーション（分子間や細胞間、あるいは外部環境と生体分子・細胞との間における情報やシグナル伝達等）や材料・デバイスと細胞集団の複合的動態に関する基礎研究も併せて推進する。これにより、生体物質の特徴である適応性や高次機能と人工物質が有する安定性や設計・制御の容易さ等、それぞれの優位性を掛け合わせることで新しい性質や機能を実現する。このような取り組みにより、本研究領域を我が国が世界を牽引する領域にするとともに、我が国発の革新的な技術開発やその実用化につなげ、バイオ・ライフサイエンス・材料・医療分野等にイノベーションをもたらすことで、環境汚染や資源・エネルギーの枯渇、食糧問題、健康医療問題等の社会課題を解決し「持続可能な社会への移行」の実現を目指す。

#### 4. 達成目標

本戦略目標では、様々な科学技術の融合により、人工物質にはない、また生体物質だけでは実現できない性質・機能・仕組みを有する生体を超える新たな組織、すなわち「超生体組織」の創出に挑戦し、バイオ・ライフサイエンス・材料・医療分野等におけるイノベーションの創出を目指す。

具体的には、以下の達成を目指す。

##### (1) 生体と同等の組織の構築

生体と同等の機能や形態、あるいは極性を有する高機能・高品質な組織の創出

##### (2) 生体機能を調整・操作した全く新しい組織の創出

本来生体を持つ機能を増強あるいは減弱した組織、また新規機能の付加などにより特定の機能に特化または適合させた組織の創出

##### (3) 細胞集団を活用した新しい動的な材料システムの創出

細胞集団の構成をデザインし組み立てることで特定の機能を発揮するような動的な材料シス

## テムの創出

また、(1)–(3)の達成に必要な要素として(4)(5)の達成も併せて目指す

### (4) 生体組織制御機構等の基礎基盤的な理解やモデル化

組織を創出し、そして制御するために必要な、生体内・生体間コミュニケーションや材料・デバイスと細胞集団の複合的動態の理解等のメカニズム解明や、物理学・数理科学・情報科学等を用いたモデル化

### (5) 要素技術の開発

組織の創出や機能の制御や評価に活用できる技術の開発

## 5. 見据えるべき将来の社会像

4. 「達成目標」の実現を通じ、より効率的かつ効果的な機能を有し、環境負荷の低減や資源消費削減、動物利用の代替等が可能な、これまでにない製品やシステムを創出することで、本領域における我が国のプレゼンスを世界に示すとともに、多様なバイオ・ライフサイエンス・医療・材料分野等にイノベーションをもたらすことを通じて社会課題を解決し、「持続可能な社会への移行」を実現することが期待される。

## 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、JST 戦略的創造研究推進事業 GREST「ゲノムスケールの DNA 設計・合成による細胞制御技術の創出」(平成 30 年度～令和 7 年度)、「多細胞間での時空間的相互作用の理解を目指した定量的解析基盤の創出」(令和元年度～令和 8 年度)、「細胞操作」(令和 5 年度～令和 12 年度)や JSPS 科研費 学術変革領域(A)「からだ工務店」(令和 2 年度～令和 6 年度)、「マルチモダル ECM」(令和 5 年度～令和 9 年度)、新学術領域研究(研究領域提案型)「生命の情報物理学」(令和元年度～令和 5 年度)、JST GteX(革新的 GX 技術創出事業)「バイオものづくり」(令和 5 年度～令和 9 年度)、AMED「再生・細胞医療・遺伝子治療実現加速化プログラム」(令和 5 年度～令和 9 年度)等により、細胞機能や組織構築を制御するメカニズム解明や、基盤技術開発に係る工学、生命科学、再生医学、物質・材料科学、数理科学、情報科学等様々な観点からの基礎的研究、人工物質と生体物質それぞれに関する基盤技術開発に加え、それらを融合するような研究領域が推進されつつあり、本目標を推進する研究基盤が整ってきている。

#### (国外動向)

海外においては、欧州 Horizon Europe における「Engineered Living Materials」や米 Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) の「Engineered living systems Program」、独 Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) の「Priority Program Engineered Living Materials

with Adaptive Functions」等欧米を中心に哺乳類細胞や微生物等の細胞集団を含む様々な生物工学に関する大型プロジェクトが実施されている。また、米ではNational Center for Advancing Translational Sciences (NCATS) の「3-D Tissue Bioprinting Program」、National Cancer Institute (NCI) の「Cancer Tissue Engineering Collaborative: Enabling Biomimetic Tissue-Engineered Technologies for Cancer Research」において組織構築技術の研究開発が推進されている。

## 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 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等へのヒアリング等を参考にして分析を進めた結果、我が国の強みも活かしつつ、多様な専門分野の知見や技術を融合することで我が国発の新しい概念での技術を創出するとともに、その基盤となる生命現象の理解を深めていくことが重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「超生体組織創出への挑戦」を特定した。
3. 令和6年12月に、文部科学省とJSTは共催で、注目すべき研究動向「超生体組織創出への挑戦」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、
  - (1) 本目標を基にした研究を推進していく上で留意すべき社会的・倫理的課題について、
  - (2) 本目標を通じて我が国のプレゼンスを示すには何が課題で、どこに力を入れるべきか、どのような戦略を取るべきか
  - (3) どのような出口を見据えた研究としていくのがよいか。
  - (4) 生体内コミュニケーション、材料と細胞集団の理解などの基礎基盤的な研究をどう組織創出と結び付けていくのが良いか。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1章 基本的な考え方

3. Society5.0という未来社会の実現

(1) 我が国が目指す社会 (Society5.0)

①国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会

(略) 政府は、科学技術の発展を梃子にして、我が国の国際競争力の強化を図るとともに、これらの様々な脅威に対して常に適切に対応することができる持続可能で強靱な社会の構築や総合的な安全保障の実現を目指すことが求められており、国民の安全・安心を確保すべく様々な取り組みを充実・強化をさせる必要がある。(略)

(2) Society 5.0 の実現に必要なもの

① サイバー空間とフィジカル空間の融合による持続可能で強靱な社会への変革

Society4.0 (情報社会) から Society 5.0 への移行は、既存の政策の延長線上の政策では不可能である。移行のためには、新たな未来社会像を前提にして、バックキャスト的アプローチにより、社会全体の再設計 (リデザイン) を行うことが不可欠である。

その際、鍵となるのが、Society 5.0 の前提となる「サイバー空間とフィジカル空間の融合」という手段と、「人間中心の社会」という価値観である。Society 5.0 では、サイバー空間において、社会のあらゆる要素をデジタルツインとして構築し、制度やビジネスデザイン、都市や地域の整備などの面で再構成した上で、フィジカル空間に反映し、社会を変革していくこととなる。その際、高度な解析が可能となるような形で質の高いデータを収集・蓄積し、数理モデルやデータ解析技術によりサイバー空間内で高度な解析を行うという一連の基盤 (社会基盤) が求められる

「経済財政運営と改革の基本方針 2024」(2024 年 6 月 21 日閣議決定)

第 3 章 中長期的に持続可能な経済社会の実現～「経済・財政新生計画」～

3. 主要分野ごとの基本方針と重要課題

(1) 全世代型社会保障の構築

(創薬力の強化等ヘルスケアの推進)

(略) iPS 細胞を活用した創薬や再生医療等の研究開発の推進及び同分野に係る産業振興拠点の整備や医療安全の更なる向上・病院等の事務効率化に資する医薬品・医療機器等の製品データベースの構築等を推進する。(略)

「バイオエコノミー戦略」(令和 6 年 6 月 3 日統合イノベーション戦略推進会議決定)

4. バイオエコノミー市場拡大に向けた施策

(1) バイオものづくり・バイオ由来製品

5) 今後の取組の方向性

①全体

(略) 我が国としては、具体的には、早期の市場創出・拡大を念頭に、バイオものづくりの付加価値の源泉となる微生物・細胞設計プラットフォームのレイヤーにおいては水素酸化細菌等の強みとなりうる宿主に着目して育成を図るとともに、古くから日本が取り組んできた培養・発

酵等の生産プロセスにも注力する。(略)

#### ④事業環境の整備等による国内産業基盤の確立

(略) さらに、DNA・RNA 合成やゲノム編集、微生物探索等の基盤技術を有する事業者や微生物・細胞設計プラットフォーム事業者等のスタートアップへの投資の加速や、バイオものづくりを支える実験装置や測定機器、センサー、試薬といった周辺機器等には海外に依存する部分もある等、国内の産業基盤の確立も重要である。(略)

「マテリアル革新力強化戦略」(令和3年4月27日統合イノベーション戦略推進会議決定)

### 第4章 基本方針

#### 1. 目指すべき姿

#### ②世界一低環境負荷な社会システムの実現

(略) 環境負荷低減を価値の中心に据える市場の開拓

### 第5章 アクションプラン

#### 1. 革新的マテリアルの開発と迅速な社会実装

【目標】重要なマテリアル技術・実装領域での戦略的研究開発の推進

#### (2) 具体的取組

#### ①バックキャスト型研究で取り組むべき技術領域の例

(略) 「マテリアルの高度循環のための基盤技術」

(略) 誰もが健康で安心な生活を実感するための、バイオアダプティブ材料、抗ウイルス材料、自己修復材料、バイオセンサ・ウェアラブルデバイス等の「次世代バイオ・高分子マテリアル」

### 7. その他

本戦略目標を達成するためには、分野の枠を超えた新しい発想や概念、技術に基づいて研究を推進していくことが期待される。そのためには、既存の分野融合にとらわれず、例えば、生命科学、再生医学、工学、物質・材料科学、数理科学、情報科学、物理学、化学、植物学、農学等の多様な分野の融合や連携を図っていくことが重要である。ここで言う連携とは単にそれぞれの技術を活用するというだけではなく、各専門分野の考え方や原理といったより根本的なところからの分野融合や研究者の繋がりを生み出し、これを通して生命現象の理解を深めていくことも期待される。これにより、本戦略目標の達成につながるだけでなく、各分野それぞれの革新にもつながると考えられる。なお、分野融合そのものが目的ではなく、新しいものを創出するための重要なアプローチの一つであるということにも留意が必要である。関連して、6-1(国内動向)に記載したような、それぞれの要素技術を開発し得る研究事業との連携も考慮される。

本戦略目標に基づき創出された技術シーズは、将来的にセンサー、バイオロボット、革新的な次世代創薬・再生医療等製品、資源循環や環境浄化、食品、植物・農業分野等幅広い分野への実用化を見据えた展開が期待される一方、出口にとらわれない自由な発想に基づく研究や、生命

現象の解明につながるような研究も期待され、双方の視点を持って研究を推進していくことが期待される。

なお、本戦略目標の達成により、自然界には存在しない新しいものが創出される、また人体を含む生体機能の拡張・改変につながる可能性があるため、ELSI/RRI の観点から、適切な情報発信や社会との対話・コミュニケーション、研究者側の意識醸成等は重要であり、研究の初期からこれらに関連する取組についても併せて推進していくことが望ましい。