

## 第6章 募集対象となる重点公募テーマ・技術テーマ

タイプ	募集対象	詳細 ページ
探索加速型 (探索研究)	「超スマート社会の実現」領域 (運営統括：前田 章) サイバーとフィジカルの高度な融合に向けた AI 技術の革新 <新規>	4
	「持続可能な社会の実現」領域 (運営統括：國枝 秀世) 1. 将来の環境変化に対応する革新的な食料生産技術の創出 2. 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 <新規>	11
	「世界一の安全・安心社会の実現」領域 (運営統括：田中 健一) 1. 生活環境に潜む微量な危険物から解放された安全・安心・快適なまちの実現 2. 食・運動・睡眠等日常行動の作用機序解明に基づくセルフマネジメント <新規>	21
	「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域 (運営統括：橋本 和仁) 「ゲームチェンジングテクノロジー」による低炭素社会の実現	31
	「共通基盤」領域 (運営統括：長我部 信行) 革新的な知や製品を創出する共通基盤システム・装置の実現	62
大規模 プロジェクト型	(運営統括：大石 善啓) センサ用独立電源として活用可能な革新的熱電変換技術 <新規>	79

## 6.1 探索加速型

探索加速型では、以下の通り、文部科学省から示された重点公募テーマの設定に当たっての領域（区分）に基づき、JSTが重点公募テーマを設定します。

### 重点公募テーマの設定に当たっての領域について

「未来社会創造事業（探索加速型）」においては、研究開発を実施すべきテーマ（以下、重点公募テーマという。）を国立研究開発法人科学技術振興機構が設定することとなっているが、その設定にあたっての領域（区分）については、第5期科学技術基本計画を踏まえ、以下の5つの領域（区分）とする。

重点公募テーマの検討の際は、経済・社会的にインパクトのあるターゲットを明確に見据えた技術的にチャレンジングな目標に果敢に挑戦することが本事業の趣旨であることを踏まえ、斬新で多様なアイデアが幅広く集められるようにすることや、政府における各種方針と整合をとること、他の国立研究開発法人等において重点的・挑戦的に実施されている研究開発について重複を避けることなどに留意しつつ、戦略性をもって行うこと。

#### ①「超スマート社会の実現」

当該領域は、将来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値の創出の視点に留意しつつ、領域横断的（横串的）な領域として設定する。具体的には、ネットワークやIoTを活用する取組を、ものづくり分野の産業だけでなく、様々な分野に広げる研究開発や、超スマート社会において、我が国が競争力を維持・強化していくための基盤技術の強化などを対象とする領域とする。また、衛星測位、衛星リモートセンシング、衛星通信・衛星放送に係る宇宙に関する技術なども対象とする。

#### ②「持続可能な社会の実現」

資源、食料の安定的な確保（資源の安定的な確保と循環的な利用、食料の安定的な確保）、超高齢化・人口減少社会等に対応する持続可能な社会の実現（世界最先端の医療技術の実現による健康長寿社会の形成、持続可能な都市及び地域のための社会基盤の実現、効率的・効果的なインフラの長寿命化への対策）、ものづくり・コトづくりの競争力向上、生物多様性への対応などを対象とする領域とする。また、海洋の持続可能な開発・利用等に資する海洋に関する技術なども対象とする。

#### ③「世界一の安全・安心社会の実現」

自然災害への対応、食品安全、生活環境、労働衛生等の確保、サイバーセキュリティの確保、国家安全保障上の諸課題への対応などを対象とする領域とする。

**④「地球規模課題である低炭素社会の実現」**

2050年の温室効果ガスの大幅削減に向け、エネルギーの安定的な確保とエネルギー利用の効率化（省エネルギー技術、再生可能エネルギーの高効率化、水素や蓄エネルギー等によるエネルギー利用の安定化技術）などを対象とする領域とする。

**⑤「共通基盤」領域**

新たな学際領域を切り拓き、世界最先端の研究成果をもたらす基盤として我が国の基礎科学力を支え、持続的な科学技術イノベーションの創出に貢献する、広範で多様な研究開発活動を支える共通基盤技術や先端的な研究機器などを対象とする領域とする。

## 6.1.1 「超スマート社会の実現」領域



運営統括

前田 章

(元 株式会社日立製作所 ICT事業統括本部 技師長)

### I. 「超スマート社会の実現」領域の目指すところ

第5期科学技術基本計画や統合イノベーション戦略などで示されているように、Society 5.0とは、「サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させることにより、地域、年齢、性別、言語等による格差なく、多様なニーズ、潜在的なニーズにきめ細かくに対応したモノやサービスを提供することで経済的発展と社会的課題の解決を両立し、人々が快適で活力に満ちた質の高い生活を送ることができる、人間中心の社会」と定義されています。

本領域では、「超スマート社会」(Society5.0 と同義)を、「実世界のモノにソフトウェアが組み込まれて高機能化(スマート化)し、それらが連携協調することによって社会システムの自動化・高効率化を実現し、また新しい機能やサービスの実現を容易にする仕組みが実現された社会」と考えることを前提とします。これは単なる「スマートな社会」や Society4.0 とされる従来の「情報化社会」との違いは何か、という問いに対して、「情報技術がデータ処理などのサイバー空間内での処理を高度化するものとするれば、超スマート社会では電力システムや交通システム、サービスロボットなど物理的実体に情報技術によるインテリジェンスが埋め込まれ、それらの間の相互作用により全体システムとしての自動化・自律化の範囲を拡げるとともに、新たなサービス・ビジネスが継続的に創出される仕組みを備えた社会」と考えるものです。

すなわち、「超スマート社会」「Society5.0」ではサイバー空間は実世界と切り離すことができず、実世界のモノや既存の社会システムに埋め込まれたソフトウェアがIoTで相互連携することによって、実世界(ハード)・ソフトウェアが一体となってシステム、または“システムのシステム”(System of Systems)を構成するものと考えます。

このような考え方に基づいて、平成29年度は「多種・多様なコンポーネントを連携・協調させ、新

たなサービスの創生を可能とするサービスプラットフォームの構築」を重点公募テーマとして設定しました。平成30年度はこれに加え、「API化された現実空間のモノやシステムを制御する機能を実現するため、モデリングやシミュレーションを用いてリアルタイム性や信頼性を担保する技術」を独立した問題意識として切り出し、AI・ビッグデータ分析技術なども活用した新しいサービスプラットフォームを構築するための重要技術として「サイバー世界とフィジカル世界を結ぶモデリングとAI」を重点公募テーマとして追加しました。

一方で、AI・ビッグデータ分析技術などを活用するにあたり、ビッグデータを用いた深層学習という現在主流となっている技術を、実世界のモノや既存の社会システムに適用する上での課題が明らかになってきています。具体的には、認識・推論結果の説明が困難で人間との協働に支障が生じる、ビッグデータの収集が困難な例外的な事象や刻々と変化する環境への適用が難しい、学習に時間がかかるためリアルタイムに処理ができない、などといった課題が指摘されています。Society5.0の本質の一つである「サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させる」ためには、これらの課題の解決が必要不可欠です。

このような問題意識に基づき、本年度の新規重点公募テーマとして「サイバーとフィジカルの高度な融合に向けたAI技術の革新」を設定します。このテーマは、平成30年度の重点公募テーマ「サイバー世界とフィジカル世界を結ぶモデリングとAI」を、「モデリングとAIの連携・融合」という技術的なテーマ設定に加えて、実世界でのAI技術活用における課題解決を含んだより幅広いテーマへと再編・拡充させ、改めて新規重点公募テーマとして設定するものです。

本テーマでは、具体的な応用ターゲットと、それを実現するための技術的課題を明確に設定することが重要です。また課題解決のために幅広い分野における技術を融合・組み合わせたアプローチが必要になることも想定されます。学术界と産業界の連携も重要です。本テーマの趣旨を踏まえた研究開発提案が多くの方から寄せられることを期待します。

## II. 重点公募テーマ

### サイバーとフィジカルの高度な融合に向けたA I技術の革新

新規



テーママネージャー

鷲尾 隆

(国立大学法人大阪大学 産業科学研究所 教授)

※本重点公募テーマでは、運営統括の研究開発マネジメントを補佐するテーママネージャーを配置します。

#### (1) テーマの説明

I. 「超スマート社会の実現」領域の運営方針の通り、Society5.0 はサイバー空間とフィジカル空間の高度な融合により人々がよりよい生活を送ることのできる社会と定義されており、本領域ではこの定義を、サイバー空間とフィジカル空間の融合、すなわち実世界のモノにソフトウェアが組み込まれ、それらが連携・協調することで、新しい機能やサービスの実現を容易にする仕組みが実現された社会と捉えています。「サイバー空間とフィジカル空間の高度な融合」のためには、特に実世界（フィジカル空間）の複雑で時々刻々と変化する状況に対応し、センシングによって収集されたデータに基づいて判断や最適化を行い、実世界への制御・操作・働きかけといったフィードバックを行うというサイクルを繰り返し実行することが必要です。実世界の対象は、例えばエネルギーや交通、ものづくりの全体サイクル、防災・減災などの様々な社会システム（Society5.0 の先導 11 システム）や、それに関わる人間自身を含みます。加えて、ものづくりのシステムを例にすると、いわゆる Industrie4.0 で謳われているデジタルツインの考え方で扱われている工場や製品の設計、IoT を駆使した制御・保守の仕組みなど、システムの構成要素も含みます。これは、他の社会システムも同様です。

一方で AI/機械学習技術の近年の発展はめざましく、急速に応用範囲を拡大しています。いわゆるビッグデータ的なアプローチは強力ですが、一方で深層学習（ディープラーニング）の結果は人間が理解困難なブラックボックス的になることや、故障など例外的な事象への対応力は必ずしも十分ではないこと、変化する環境の中でリアルタイムに動作を適応させることは容易ではない、などの点が指

摘されています。Society5.0の実現、サイバー空間とフィジカル空間の高度な融合のためにはこれらの課題の解決が必要不可欠であると考えられます。

そこで、AI技術を実世界で適用する際に顕在化するさまざまな課題を解決することを目的とし、「サイバーとフィジカルの高度な融合に向けたAI技術の革新」を本年度の重点公募テーマとしました。このテーマはH30年度に設定した「サイバー世界とフィジカル世界を結ぶモデリングとAI」での問題意識を含み、新たに再編・拡充させ、新重点公募テーマとして設定したものです。

本重点公募テーマでは、Society5.0で想定されているシステムやアプリケーションの実現に向けて、説明可能AIによる利用者側の主体性・受容性の担保、安全性・信頼性の担保、変化への対応能力、リアルタイム性を要求される環境での実行速度と精度の確保など、AI技術の実適用におけるさまざまな課題を解決する革新的なAI技術の開発を目標とします。

具体的には以下のような研究内容を想定しています。

- ①帰納型と演繹型を融合した説明可能なAIの実現
- ②変化する事象へ対応できる追加学習やオンライン学習等の学習メカニズムの構築
- ③実世界の事前知識としてのモデルの組み込み等による少数データからの学習の実現
- ④学習済みニューラルネットからのモデル構造の抽出
- ⑤動作・信頼性保証や信頼性を保証したシステムの開発技術の確立
- ⑥分散環境において個別の学習結果を統合・融合する学習アルゴリズムの開発
- ⑦学習アルゴリズムの高度化による抜本的な省電力化・高速化など

これらは例であって、サイバーとフィジカルの高度な融合を目指すというテーマ趣旨に合致するAI技術であれば、これ以外の研究内容の提案ももちろん可能です。

また、本テーマは、実現する新たな価値について具体的な応用ターゲット（ユースケース）例を念頭に置き、その到達のためのシナリオを描きつつ研究を推進します。新規性のある尖った技術の研究開発に加え、それを具体的にどんな分野に適用してどのような価値を実現しようとするのかというシナリオ（仮説）を提案いただく事を採択の条件といたします。

※本格研究終了時点での社会実装を必須とするものではありません。企業が実用化可否を判断できる段階（POC）を目標とします。



## (2) 募集・選考・研究開発推進にあたっての運営統括の方針

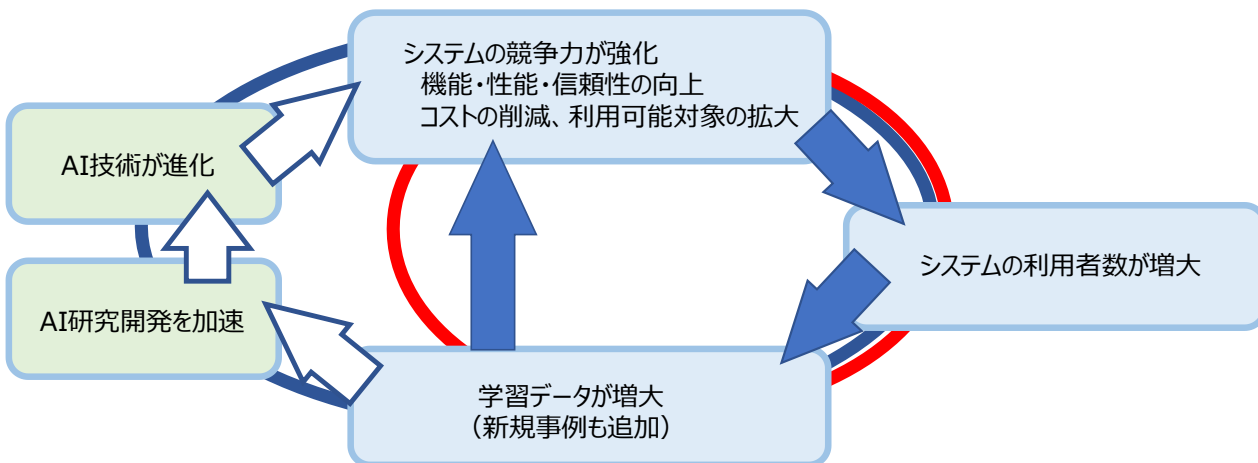
### ① 募集・選考の方針

本テーマでは、運営統括およびテーママネージャーの監督のもと、研究開発を進めていただきます。

Society5.0 で扱う複雑かつリアルタイムに変化する人間を含めた社会システムを安心・安全に運用し、かつ新しい価値を実現するための挑戦的な AI 技術の提案を募ります。また、以下の方針に従って提案を検討するという前提で、提案の時点で開発する技術が仮説段階である、体制構築が不十分であるといった場合でも、応募は可能です。

全ての提案は、具体的にどのようなシステムやアプリケーション、サービスに AI を適用するのか、適用することによってどのような価値（社会的・経済的インパクト）を創出するのか、その将来像が構想されていることを求めます。その上で、適用のためのボトルネックとなっている技術的課題を特定し、それを解決する手段を明らかにしてください。

AI 適用にあたっては、第五世代通信（5G）のサービスインなどにより IoT 環境が劇的に進化する中で AI の持続的な技術発展や実装を目指すため、①これまでにない新しい AI 適用分野を開拓する、もしくは、②日本が強みをもつモノやシステムに AI を適用することを重視します。下図は1つのイメージですが、AI が大きな価値を生み出す分野を特定し、そこにフォーカスして研究開発を推進することで、システムの利用者数と学習データを増加させ AI の持続的な進化を促進し、激化する国際競争を勝ち抜くことを期待しています。下図のような「学習データ等の増大を通じて AI の精度や信頼性を高める」ことのほか、適用分野によっては「AI 技術と現場作業者の協調を重ね、共進化することで AI の精度や信頼性を高める」ことも重要な手法となりますので、これらに限らず、より効果的な手法を柔軟に検討いただくことを期待します。





本格研究期間を通じた POC とその達成に向けた研究開発計画は当然として、その先の将来像の実現に向けたシナリオも可能な限り描いてください。また、社会的・経済的インパクトやシナリオが不明瞭な場合は、探索研究にてそれを明らかにするための調査等を行い、具体的な将来像を構想することを求めます。

(技術について)

具体的なユースケースやシナリオに基づき、サイバーとフィジカルの高度な融合を目指す革新的な AI 技術開発の提案を歓迎します。(1) テーマの説明に記載している①～⑦にとどまらず、新たな発想に基づいたチャレンジングな提案を期待します。

(チームの体制について)

当初から構想を全てカバーするチーム編成にする必要はありません。探索研究中にチーム体制を構築するという提案も可とします。その場合は、以下の点について提案書に明記してください。

- ・どのような研究者と連携して研究を実施したいか
- ・連携するためにどのような活動を行う予定か

提案書の連携プランを元に、選考時や採択後に、提案した研究者同士の連携を JST から促す場合があります。

## ② 研究開発の推進方針

探索研究は、本格研究（原則 5 年間）の準備期間と位置づけます。探索研究の期間は原則 2 年半（令和 3 年度末まで）とします。探索研究では、具体的には、以下の研究に取り組むことを想定しています。

- ・研究成果が将来もたらす社会的・経済的インパクトやそのシナリオについて検証する
- ・技術的フェージビリティを検証し、技術開発ターゲットと研究計画を具体化する
- ・必要に応じ AI・モデルの研究者、企業なども含めた実効的な体制作りを進める

また、探索研究中や本格研究への移行時には、選択と集中のみならず、プロジェクトチーム内サブチームの再編も含む大胆な体制の組み替えもあり得ることを前提とします。研究の進捗状況により、より早い段階で本格研究に進むプロジェクト（研究開発課題）もあり得ます。

### ③ 期間・研究開発費

2019 年度に開始する研究開発課題は、探索研究の期間は最大2年半、研究開発費は探索研究期間全体で総額3,500万円（直接経費）を上限として計画してください。

本格研究の期間は最大5年、研究開発費は本格研究期間全体で総額7.5億円（直接経費）を上限として構想してください。

なお、採択後は研究内容に応じて柔軟な予算配分を行います。

## 6.1.2 「持続可能な社会の実現」領域



運営統括

國枝 秀世

(科学技術振興機構 参与/名古屋大学 参与)

### I. 「持続可能な社会の実現」領域の目指すところ

「持続可能な社会の実現」は、我が国のみならず人類全体の究極的な目標です。世界の開発の方向が経済発展だけでなく持続可能 (sustainable) な社会を目指すことに舵を切っており、そのことは国連の掲げる SDGs (Sustainable Development Goals : 持続可能な開発目標) にも表されるなど、生活の質を高めつつ、社会が持続的に維持・発展する方法が問われています。

我が国の置かれた状況に着目すると、気候変動やグローバル化など地球規模の環境変化の中で、20 年以上に亘って経済が停滞し、特に日本が得意としていた製造業をはじめとする多くの産業の国際競争力にかげりが見られます。また、世界各国より早いペースで進む少子高齢化により人口減少が始まり、労働生産人口の減少や社会的な支援を要する高齢者の増加など、国民生活の持続可能性が危ぶまれていることも事実です。本領域においては、科学技術を最大限に活用してこれらの「環境」「社会」「経済」の変容に対してしなやかに適応し、より質の高い成熟した社会の実現を目指します。

本領域の重点公募テーマは、テーマ提案募集に応募いただいたアイデアや様々な分野の有識者との議論等を踏まえ、持続可能な社会の実現に向けた自然環境 (生態系サービス) と人間の Well-being の向上/未来世代の利益の最大化を目標として検討しています。

2017 年度は、「新たな資源循環サイクルを可能とするものづくりプロセスの革新」と「労働人口減少を克服する“社会活動寿命”の延伸と人の生産性を高める『知』の拡張の実現」を重点公募テーマとして策定しました。2018 年度は、この 2 つに加えて、「将来の環境変化に対応する革新的な食料生産技術の創出」を設定しました。

本年度は、「革新的な食料生産技術」の 2 回目の公募を行うとともに、2019 年度に新規に設定した重点公募テーマ「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」について研究開発提案を募集します。

持続可能な社会の実現に向けては、未来志向の研究者・実践者の層を拡げることが重要であり、多様な研究分野・ステークホルダーが一体となって未来に向かってチャレンジすることが必要だと考えます。そのため、本領域では、若手の登用や学際的研究体制の構築などに積極的に取り組みます。

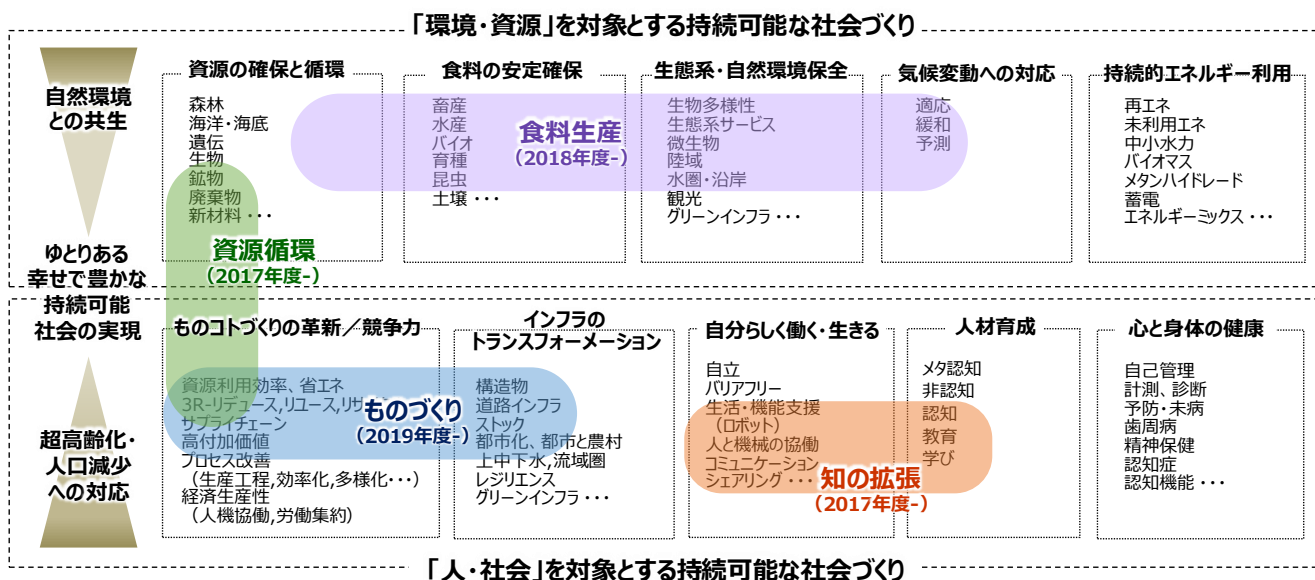


図1：テーマアイデア提案等をもとにした「持続可能な社会」領域に求められる価値・対象分野の俯瞰と、推進中の重点公募テーマ

## II. 重点公募テーマ

### 1. 将来の環境変化に対応する革新的な食料生産技術の創出

継続

#### (1) テーマの説明

本重点公募テーマでは、資源枯渇や気候変動、経済状況や人口構成の変動等、自然や社会の環境変化に対応する、安定的・持続的な食料確保技術の確立を目指します。2019年度の募集においても引き続き動物性たんぱく質の供給源となる食料に焦点を絞り、既存の畜水産の単なる効率化に留まらない、革新的な食料生産技術の創出を目指します。

世界の食料需要は、地球の人口の爆発的増加と発展途上国の生活水準向上等による需要増から、2050年に2000年比で1.55倍<sup>1</sup>に増加すると見込まれるとともに、食料以外の用途（バイオ燃料等）への利用増大もあいまって需給の逼迫が懸念されています。しかし、耕地面積の大幅な増加は期待できない一方、単位面積あたりの収量（単収）の増加は鈍化しています。この危機感は、国連のSDGsにおける目標のひとつとして「Goal 2. NO HUNGER」が掲げられ、世界的に重視されています。食料の中でも動物性たんぱく質の主な供給源である畜肉や魚肉は、経済的に豊かになると食が高度化し消費量が大きくなることから、肉類の需要増加は世界の農産物全体を上回る（2050年までに約1.8倍<sup>2</sup>）ことも予測されています。一方、現状の畜水産において主要な生産手法である肥育や養殖等では、得られる畜肉・魚肉の数倍から10倍近い飼料が投入されるなど、極めて低い効率で生産されています。あわせて、肥飼料残渣や廃棄物等により大きな環境負荷が発生するなど持続可能性が危ぶまれています。したがって、持続可能な生産技術へのジャンプアップが強く求められているところです。

こうした背景の中で、本重点公募テーマでは、動物性たんぱく質の供給源となる食料を対象に、これまでになく新しい方法による食料生産技術の研究開発を通して、環境変化に影響されない、持続可能性の飛躍的な向上により、食を通じた豊かなくらしの実現、新しい食品産業の創出、ひいては世界からの飢餓撲滅に貢献します。

<sup>1</sup> 農林水産省の推計「2050年における世界の食料需給見通し」（2012年6月）

<sup>2</sup> 国際連合食糧農業機関（FAO）レポート「World Agriculture Towards 2030/2050」（2012年6月）

## (2) 募集・選考・研究開発推進にあたっての運営統括の方針

### ① 募集・選考の方針

2019年度の募集においても、引き続き動物性たんぱく質の供給源となる食料に焦点を絞り、社会・自然環境の変化への対応を目的とした革新的な生産技術の研究開発提案を求めます。

将来起こるであろう現実的な社会・自然の環境変化を想定し、その中での食料生産技術のボトルネック（科学技術的課題および社会実装上の課題）を特定した上で、革新的な科学技術を中核に据えた解決法について提案してください。

本重点公募テーマの2018年度募集においては、再生医療技術を応用して畜肉の培養生産を目指す4課題と、プロバイオティクスや発酵工学を活用して水産養殖の手法を根底から変えることを目指す3課題を採択しました。

2019年度の募集においても、これまでにない新しい方法による食料生産技術（例えば畜肉や魚介の培養生産）や、持続可能性を飛躍的に向上させる畜水産システム（例えば新奇なアイデアを基盤とした飼餌料生産）、その他ハイインパクトな食料産業創出に必要な技術（例えば畜水産以外も対象とした革新的技術）等、これまでの手法の延長・改良ではない革新的な手法で動物性たんぱく質を生産する技術について、2018年度採択課題の分野・アプローチを超えるような新規性・効率性等の高い提案を重点的に求めます。既存の研究分野を超えた新規分野からの参入提案も強く期待します。

なお、2018年度に採択した研究開発課題の概要は未来社会創造事業のWebサイトにて公開していますので参考にしてください（<https://www.jst.go.jp/mirai/jp/program/sustainable/>）。

提案書には、以下を必ず記述してください。いずれも可能な限り具体的・定量的に示されることを強く期待します。

- 提案内容の社会実装の具体的なイメージと、現実的に想定する社会・産業的インパクトの大きさ
  - 国内に限定する必要はありません。
- 前項「社会実装のイメージ」を実現する際に障壁となる、現状では解決が難しいボトルネック
  - 社会実装に向け、科学技術的な側面だけではなく多面的な検討が必要です。
  - ボトルネックは1つに限定する必要はありません。複数存在する場合は、キーとなるボトルネックを重点的に記述してください。



- 本格研究終了時に達成を目指す POC（社会・産業界が実用化の可能性を見極められる段階）
  - 前項「ボトルネック」を解決する革新的な科学技術を明示することが必要です。
- POC 達成を見据えた探索研究の目標（本格研究に進む前段階として必要な確認・実証・構築等）  
探索研究においては、POC のフィージビリティを確認するため、例えば以下のような実施内容を必要に応じて含むことを想定しており、その内容に対応する目標設定を求めます。
  - アイデア段階にある技術の理論実証や必要な要素技術の詳細検討等、科学技術面でのフィージビリティの確認
  - 社会実装に向けたボトルネック解消に係る研究等、社会実装面（例えば社会受容性）でのフィージビリティの確認
  - 社会・産業ニーズの詳細な調査等、社会・経済的なインパクトの確認と最大化に係る検討
  - インパクトを最大化するために必要な企業・アカデミアによる研究開発チーム編成等、本格研究での研究開発体制に係る検討

ゲノム操作を利用した食料生産も研究開発の対象としますが、その技術によって生産された食料が国内や海外でどのように社会的に受容されていくかを想定し、研究開発対象・目標をどのように設定・最適化しているかの記述を必須とします。

（対象外とする研究開発課題）

- 食品加工、保存や輸送手段等の、食料生産後のボトルネック解消を主な目的とする課題は対象としません。
  - 現状のマーケットでの展開を主な目的とした食料の単なる高品質化・高付加価値化等は対象としません。
  - 革新的な科学技術によるキーボトルネック解決を目指していることから、既存技術の単なる対象拡大や生産の単なる効率化・大規模化・省力化、啓発・普及・多点展開等を主な目的とした課題は対象としません。

（特に期待する提案）

チャレンジングな研究提案や、既存の研究分野を超えた新規参入を歓迎します。アイデア段階、仮説段階の研究構想であっても、提案時点で何が不足しており、探索研究期間中にそれらの課題にどの

ように取り組むのか、その構想が客観的・具体的に示されていれば、提案は可能です。

## ② 研究開発の推進方針

研究開発運営会議においては、会議やサイトビジット、研究会等を通じて適切な助言・指導を行えるマネジメント体制を整え、運営統括をはじめとする運営会議と研究開発実施者が一体となって、テーマ目標の実現を目指した研究開発を推進していきます。

本重点公募テーマは、食料生産の飛躍的な持続可能化・安定化を目的とするものであり、革新的な科学技術の創出を前提とすることから、従来の学術分野を超える積極的な異分野融合が効果的だと考えられます。また、将来的には社会の強い実需につなげる必要があることから、企業・社会とアカデミアとの連携も強く期待されます。そのような状況を踏まえ、国内の関連する事業等と連携を図りつつ、成果の最大化に向けた研究開発を推進します。

また、ボトルネックの解消等による社会・経済への大きなインパクトが見込まれた段階で、社会や産業への適用・応用が急速に進むことが想定されることから、探索研究期間の途中であっても積極的に本格研究への移行を検討することとします。社会・経済的インパクトの最大化において必要だと運営統括が判断した場合は、採択時点、研究遂行中に関わらず、複数の研究開発課題の融合・統合や研究開発計画の改善等（チーム編成や予算の見直し、中止を含む）を行うことも想定しています。

## ③ 期間・研究開発費

2019 年度に開始する研究開発課題は、探索研究の期間は最大2年半、研究開発費は探索研究期間全体で総額1,000～4,000万円（直接経費）として計画してください。

本格研究の期間は最大5年、研究開発費は本格研究期間全体で総額7.5億円（直接経費）を上限として構想してください。

なお、採択後は研究内容に応じて柔軟な予算配分を行います。

## 2. 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

新規

### (1) テーマの説明

本重点公募テーマでは、世界市場の拡大が期待されている複合材を対象に、複合的な現象である疲労・劣化の原理や破損・破壊につながる機構を解明して、製品に残された寿命（余寿命）を高精度に推定する技術を確立することにより、継続使用・再使用の促進、限界設計による必要最小限の資源利用、より長寿命かつ高機能な素材設計等の達成を目指します。

製品の機能を保持しつつ材料の使用量を最小化する技術は、低コスト化に直結するだけでなく、資源の有効活用や輸送・移動コストの最小化（省エネルギー化）につながるなど、ものづくりの基盤となっています。その中でも、特に強度が要求される構造部材・強度部材等については、省資源・省エネルギー化の国際競争の激化など社会的・経済的要請も後押しして重点的に研究開発が進められてきました。中でも、複数の素材の異なる性質を利用し高強度・軽量性といった特徴を併せ持つ複合材に注目が集まり、開発・利用が進められつつあります。さらに、複合材の耐熱性や成形（造形）性に着目すると、従来の素材では実現できなかった新しい領域のものづくりへの応用が期待され、「廃棄から循環へ、所有から共有へ」と価値観が大きく変化している今、そのニーズを先取りした継続使用・再使用する新しいものづくりにも広く利用される可能性を秘めています。

しかし、現状においては複合材の使用範囲は特定領域に限られており、その特性を活かした応用や普及が進んでいる状況とはいえません。例えば、炭素繊維強化プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Plastics: CFRP) は高い強度が要求される構造部材・強度部材としての展開が有望視されていますが、使用に伴う疲労や劣化が破損・破壊に及ぼす影響を定量化できていないことから、安全性・信頼性確保のために余裕をもって厚みを増した設計をせざるを得ず、軽量であることのメリットを十分に活かせていない、というケースがあります。また、疲労や劣化による変化を詳細に把握できず、一度使用した製品・部品に残された機能や寿命の高精度な評価ができないため、品質保証が難しく、継続使用・再使用が進んでいません。つまり、複合材における異素材間の界面や現象の相関の複雑性により、疲労や劣化、破損・破壊に関する基礎過程、複合現象に対する科学的理解が進んでいないことが、複合材本来の高強度・軽量などの特性を最大限有効に活かすことの障壁になっていると言えます。

本重点公募テーマでは、複合材に発生する未解明の現象に対する科学的理解を進め、複合材の持つ性能・機能を最大限活用することにより、ものづくりのみならず使用方法にも革新をもたらすことにより、国連のSDGs (Sustainable Development Goals) の9および12にも掲げられている「資源利用効率の向上と持続可能な消費生産形態の促進」に貢献するとともに、変わりゆく社会や人々のニーズに応じながら環境的・経済的に持続可能な社会の実現を目指します。

## (2) 募集・選考・研究開発推進にあたっての運営統括の方針

### ① 募集・選考の方針

本重点公募テーマでは、母材と強化材料で構成される複合材の、疲労・劣化の過程と破損・破壊につながる機構を学理に立ち戻って科学的に解明し、高精度な余寿命推定技術を確立することにより、高寿命かつ高機能な素材設計等を可能にする研究開発提案を募集します。

継続使用・再使用や限界設計、素材設計へのフィードバック等、社会的にもインパクトのある具体的な適用先からバックキャストした提案であることが必要です。疲労・劣化の素過程についてこれまで未解明の部分も含めて科学的な理解を深め、破損・破壊につながる機構を解明し、高精度な余寿命推定を可能にする技術構築を POC として設定することを必須とします。

提案においては、素過程による物理描像から最終的な余寿命推定、素材の持つ機能を最大限活用した設計へのフィードバック等に至るまでの明確な構想のもと、一連の研究開発として計画することが必要です。その際、疲労・劣化における、温度、水蒸気、紫外線、繰り返し負荷などの複合的な環境要因を考慮する必要があります。

特に、モノの寿命の解明の観点では、破壊試験データをもとにした統計処理による寿命シミュレーションモデルなどといった従来手法の延長上ではなく、原理に基づいた機構解明をベースにした余寿命推定ができるような提案を求めます。例えば、以下のような研究開発要素が含まれることが必要と考えられます。

- 疲労・劣化の素過程の理解
- ミクロからマクロに進展するマルチスケールでの現象解明

特定の母材・強化材料の組み合わせや、特定の製品・使用環境の組み合わせにとどまらず、より広範な製品や新規素材開発に貢献することを目的とした研究開発を望みます。

本テーマでは、既存の研究分野を超えた新規分野からの参入提案や、技術領域・技術分野を横断して協働するような提案を期待いたします。また、従来の技術の延長上にはないチャレンジングな提案を期待しています。

探索研究においては、POC 達成のキーポイントとなる、最大の科学技術的ボトルネックの解決やその実現可能性確認に重点を置いて研究開発を実施するとともに、本格研究に向けた検討、POC 達成に必要なかつ最適な研究開発チーム構成の検討や本格研究構想のブラッシュアップ等を実施することとします。

提案書には、以下を必ず記述してください。いずれも、可能な限り具体的・定量的に示されることを強く期待します。

- 提案が目指す社会実装の具体的なイメージと、現実的に想定する社会・経済的インパクトの大きさ
  - 継続使用・再使用や限界設計、素材設計等の、インパクトのある具体的な適用先を見据えることが必要です。
- 本格研究終了時に達成を目指す POC（社会・産業界が実用化の可能性を見極められる段階）
- POC 達成を見据えた本格研究の構想
  - 機構を解明する観察手段、物性試験など単一の研究だけではなく、素過程に基づく物理描像から最終的な余寿命推定に至る一連の研究開発であることが必要であり、さらには素材の持つ機能を最大限活用した設計へのフィードバック等まで見据えてください。
- 本格研究に向けた探索研究の目標・実施内容
  - 探索研究は、POC 達成に向けたフェジビリティ確認を行うものであり、最大の科学技術的ボトルネックの解決やその実現可能性の確認に集中的に取り組む実施内容であることが求められます。



革新的ものコトづくりによる持続可能な社会の実現

継続使用・再使用の促進      限界設計への挑戦      長寿命・高機能な素材設計 ...

**高精度な余寿命推定技術の確立**

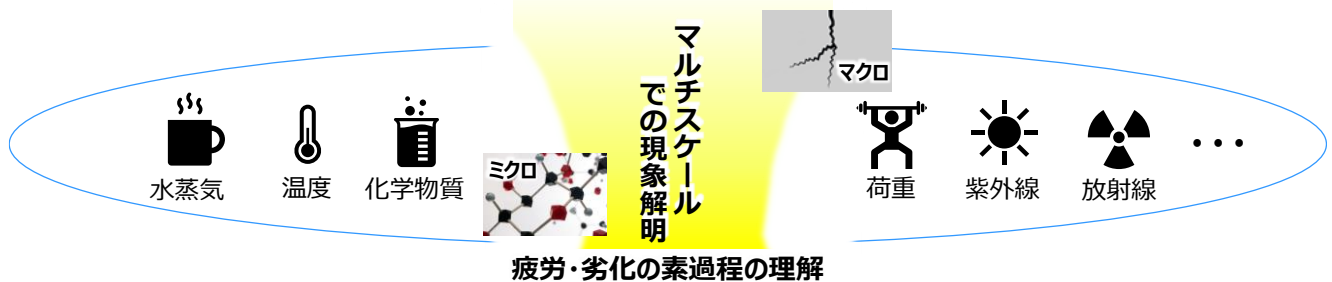


図 1：本重点公募テーマの目指す全体像

## ② 研究開発の推進方針

研究開発運営会議においては、会議やサイトビジット、研究会等を通じて適切な助言・指導を行えるマネジメント体制を整え、運営統括をはじめとする運営会議と研究開発実施者が一体となって、テーマ目標の実現を目指した研究開発を推進していきます。

本重点公募テーマにおいては、社会・経済への大きなインパクトが見込まれた段階で、社会や産業への適用・応用が急速に進むことが想定されることから、探索研究期間の途中であっても積極的に本格研究への移行を検討することとします。また、社会・経済的インパクトの最大化において必要だと運営統括が判断した場合は、採択時点、研究遂行中に関わらず、複数の研究開発課題の融合・統合や研究開発計画の改善等（チーム編成や予算の見直し、中止を含む）を行うことも想定しています。

## ③ 期間・研究開発費

2019 年度に開始する研究開発課題は、探索研究の期間は最大2年半、研究開発費は探索研究期間全体で総額1,000～4,000万円（直接経費）として計画してください。

本格研究の期間は最大5年、研究開発費は本格研究期間全体で総額7.5億円（直接経費）を上限として構想してください。

なお、採択後は研究内容に応じて柔軟な予算配分を行います。



### 6.1.3 「世界一の安全・安心社会の実現」領域



運営統括

田中 健一

(三菱電機株式会社 技術統轄)

#### I. 「世界一の安全・安心社会の実現」領域の目指すところ

私たちが生きる社会は常に変化しています。この社会の変化に先んじて、私たちは実現すべき「安全・安心」を常に模索し、準備を重ねていく必要があります。

本領域では「安全・安心」を提供する様々な形のサービス、あるいはサービスのための必要技術の研究開発を実施し、POCを達成することを求めますが、とりわけ重要と考えているのは本成果を活用して行われる活動の継続性です。継続的なサービスを提供するためには、ビジネスモデルをきちんと設計し経済の好循環を実現することが必要です。そのために、「安全・安心」というキーワードから連想される、現在明らかになっているネガティブな要因を低減・排除するというイメージにとらわれず、ポジティブな要因を加えて、快適さ・喜びを追求するサービスに関する提案も積極的に求めたいと思います。

2019年度は、2017年度に設定した日常の安全・安心の確保を狙いとした重点公募テーマ「ヒューメイン※なサービスインダストリーの創出」(※ヒューメイン(humane)は、人道的、人情的という意味や、人を高尚にするという意味を持ちます。)の新規募集終了にあわせ、特に、健康の基本となる食・運動・睡眠等の日常行動にフォーカスした重点公募テーマ「食・運動・睡眠等日常行動の作用機序解明に基づくセルフマネジメント」を設定しました。2018年度設定の重点公募テーマ「生活環境に潜む微量な危険物から解放された安全・安心・快適なまちの実現」と合わせて2つのテーマで公募を行います。

重点公募テーマ「生活環境に潜む微量な危険物から解放された安全・安心・快適なまちの実現」については、昨年度の選考採択実績を踏まえ、「大気」を中心とした提案を重点的に募集します。

2019年度に募集するテーマの詳細は各重点公募テーマの説明、これまでの重点公募テーマとの関連性については、下記の概略図を参考にしてください。

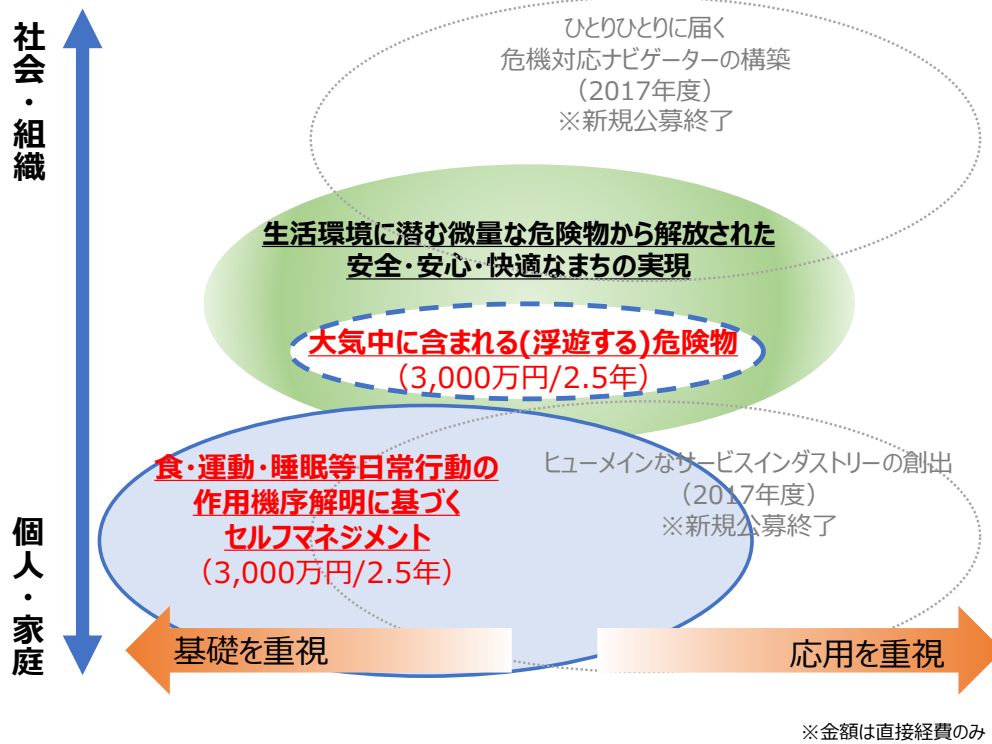


図1：「安全・安心」領域における重点公募テーマの位置づけ（概略図）

## II. 重点公募テーマ

継続

### 1. 生活環境に潜む微量な危険物から解放された安全・安心・快適なまちの実現

#### (1) テーマの説明

本重点公募テーマでは、生活環境に潜む微量な危険物の検出と、除去などの対応を広域で実施するための研究開発を実施し、そこで暮らす人々が誰一人取り残されることなく安全・安心・快適を享受できるまちの実現を目指します。

私たちが普段当たり前とその恩恵を享受している空気や水は、まちという広範囲の空間において多くの人々と共有しているものです。一方で、ウイルスや花粉、化学物質等、健康を害する要因となる微量な危険物<sup>3</sup>が潜んでいることが知られており、ひとたび酷く汚染されると多くの人々の健康に悪影響を及ぼしてしまいます。

私たちの身近な生活環境としては大気や水の環境が挙げられます。安全・安心・快適なまちを実現するには、大気や水に対する個々人の対応（例えばマスクの着用や家庭用浄水器の設置など）が有効な場合もありますが、理想的な未来社会を考えれば、できるだけ個人の負担を軽くすること、不安要素を取り除くことが国の研究開発の役割といえるでしょう。

特に、大気清浄化については、近年人々の関心が高く、科学的な妥当性は検証の余地があるものの、世界中で様々なアイデアが提示されています。例えば、PM2.5等による大気汚染が深刻化している中国において、高さ100mの世界最大の空気清浄タワーを稼働させたというニュースが近年話題になりました。また、エレクトロラックス・デザイン・ラボ2014に応募され3位に入選した未来のドローン「UrbanCONE」は、まるで水の中にいるかのように空中を浮遊し、大気中の汚染物質を浄化してくれるというコンセプトを提示しました。このようなPM2.5等の汚染物質の除去に加え、国民病である花粉症への対策や、毎年1,000万人以上が罹患するとされる季節性インフルエンザウイルスの流行を抑制する方法については、これまでも多くの研究が推進されています。その一方で、大気中を浮遊するウイルスを検出・制御する有効な手段は未だ確立されておらず、また、新型インフルエンザウイルス等の新種の感染症は原因となるウイルスを人体から検出するのに時間を要するなど、今なお課題が残っている研究領域です。

<sup>3</sup> 本重点公募テーマにおける危険物とは、各種法令で定められた危険物よりも広く一般的に、人に直接的に悪影響を及ぼす原因物質を想定しています。

本重点公募テーマでは、「誰もが守られていると実感できる社会」の実現という「世界一の安全・安心社会の実現」領域における目標の一環として、多くの人が住まい行き交うまち全体、すなわち生活環境を科学技術により改善させることを目指します。

## (2) 募集・選考・研究開発推進にあたっての運営統括の方針

### ① 募集・選考にあたっての方針

#### 2019年度のポイント

- ・ 2019年度は「大気中に含まれる（浮遊する）危険物」に関する提案を重点的に募集します。
- ・ 採択件数は2件程度を予定しています。

本重点公募テーマにおいて研究開発の対象となる危険物としては、各種法令で定められた危険物よりも広く一般的に、人に直接的に悪影響を及ぼす原因物質を想定していますが、顕在/潜在的を問わず現在の日本の生活環境に存在するものを主な対象とします。未来社会創造事業では社会経済的なインパクトが大きいものを対象とするという前提から、本年度は、大気中に潜んでいるウイルスや花粉、化学物質等の微量な危険物を主な対象とします。それらを大気中から迅速に高感度で検出し、人への健康被害等の影響が出ないように除去するなどの制御を可能とする研究開発や、人体から危険物を迅速に検出し、対応する研究開発等を推進し（但し、医療による予防や治療を目指した研究開発は対象外）、安全・安心・快適なまちの実現を目指します。また、必要に応じて危険物への対応における政策規制等も踏まえ、POCの引き取り手など社会実装に向けた道筋が明確となるよう留意してください。

提案に当たっては、上記を参考にまず危険物を特定し、その危険物への対応をどのように行うかを、2030年の社会実装イメージを含めて明確に記述してください。危険物への対応にあたっては、どこに高度な科学技術が必要になるかも重要な評価項目となります。

大気中に含まれる危険物として、例えば、季節性インフルエンザがどのように広がっていくかはまだ明らかになっていませんが、その理由のひとつとして、既に感染し発症した患者（あるいは感染した動物）以外からインフルエンザウイルスを検出することが難しいことがあげられます。インフルエンザの発症は、ウイルスとの接触が契機になることが知られています。生活環境のどこにどのくらいのインフルエンザウイルスがいるのかがわかるようになり、その除去が可能になれば、社会に大きな価値をもたらすと考えられます。具体的な測定方法や測定のためのインフラ構築について POC を示すことができれば、企業が引き取る可能性は十分にあるといえるでしょう。また、新型インフルエン

ザなどの場合には、ウイルス検出のための培養・増殖に時間を要するため、感染拡大前に防止策を講じるには、大気中からウイルスを迅速かつ高感度に検出する方法の開発なども求められています。一方、花粉についてはある程度飛散していることは周知の事実であるため、飛散数の正確な検出よりも、どのようにすれば人への曝露を防げるかという対応策を提示いただく必要があります。

なお、「大気中に含まれる（浮遊する）危険物」に関する提案のみならず、生活環境から不安要素を取り除くというテーマ趣旨に合致し、ハイインパクトな POC を描くことができる技術であれば、これ以外の研究内容の提案も歓迎します。

本重点公募テーマでは上述のような研究開発の実施を通じ、①花粉が飛ばないまち、②マスクのいらないまち、③ウイルスを恐れないまち等、さまざまな人が行き交うまちに新たな付加価値をもたらすことを目指します。



図2：生活環境に潜む微量な危険物から解放された安全・安心・快適なまちの実現の目指すところ

## ② 研究開発の推進にあたっての方針

研究開発運営会議メンバーによる研究計画の確認やサイトビジット等を通じて、助言・指導できる研究マネジメント体制を整え、領域一丸となって、「誰もが守られていると実感できる社会」の実現を目指します。

また、探索研究から本格研究への移行に際しては、研究課題に参画する個別のグループや研究テーマ等の組み替え、中止等、体制の再構築を行うことも想定しています。

## ③ 期間・研究開発費

2019 年度に開始する研究開発課題は、探索研究の期間は最大2年半、研究開発費は探索研究期間全体で総額3,000万円（直接経費）を上限として計画してください。

本格研究の期間は最大5年、研究開発費は本格研究期間全体で総額7.5億円（直接経費）を上限として構想してください。

なお、採択後は研究内容に応じて柔軟な予算配分を行います。



新規

## 2. 食・運動・睡眠等日常行動の作用機序解明に基づくセルフマネジメント

### (1) テーマの説明

本重点公募テーマでは、健康維持の基本である食・運動・睡眠等の生体における作用機序を解明する研究開発を実施することにより、真に効果的な行動をおこすための科学的エビデンスを形成し、健康維持のためのセルフマネジメントが広く普及することを目指します。これにより、個人に最適な健康活動の提示が可能なサービスを次々と生み出すための基盤を構築し、健康長寿社会の実現を目指します。

「食」「運動」「睡眠」は私たちが日々の健康を維持するうえでもっとも基本となる3原則と言われ、私たちが人生を通じて健康でいられる期間（健康寿命）を長くするためには、調和のとれた食事、適切な運動、十分な休養・睡眠の徹底など、これらの日常行動の適切な管理が不可欠と考えられます。日本は超高齢化社会をむかえていると言われており、身体に不調を訴える人や不健康な人などの割合が増えて医療費が増大すると、国の財政を圧迫してしまい、医療保険などの社会保障の継続性にも深刻な影響を与えてしまう可能性があります。健康寿命を長く保つことは、私たちが社会参加できる期間を長くすることにもつながります。日本のような超高齢化をむかえつつある社会において、国民ひとりひとりが長く活躍できる社会を実現するためには、健康寿命の延伸は避けることのできない課題といえます。

私たちの健康を維持するうえでは、日々の生活のなかで、自らが「食」「運動」「睡眠」などの日常行動を適切にマネジメントすることが重要で、日常行動に関しても①PLAN、②DO、③CHECK、④ACTIONのPDCAサイクルを実行していくことが理想と考えられます。このPDCAサイクルをまわすことができれば、仮に③（CHECK）の段階で、病気を発症する前段階（未病）であることが判明しても、④（ACTION）による個々人の行動で健康へと回復することができ、自らのセルフマネジメントによって健康寿命の延伸を実現できると期待されます。

しかし、「食」「運動」「睡眠」などの行動が生体内の恒常性維持にどのようなメカニズム（作用機序）で効果を与えているのかは十分に解明されておらず、現在、社会には様々な健康情報が流通していますがその多くは統計学的な相関を根拠としてきました。しかし、作用機序の解明等が進むにつれて、必ずしもこれまでの統計学的な相関が正しいとは限らないことが分かってきました。例えば、疫学研

究により得られた相関データから、運動で筋肉に蓄積される乳酸は疲労の原因物質であると考えられていましたが、その後、乳酸と疲労の因果関係等の解明が進んだ結果、現在はむしろ疲労を抑制する作用を有することが分かってきました。このように、社会には健康情報が豊富に存在しているながらも、作用機序に基づく健康指標の情報が十分とは言えず、私たちひとりひとりの健康維持のための具体的な行動、あるいは行動改善へとつなげていくには、恒常性維持の作用機序に基づく健康情報の蓄積が必須となっています。また、健康に関する新たな指標ができた場合にも、その指標にもとづくセルフマネジメントを継続性をもって実行してもらうためにいかに推奨・普及していくかも重要な課題です。

私たちの生活の安全・安心を将来にわたり確保していくためには、日々の生活のなかで「食」「運動」「睡眠」などの日常行動に関する PDCA サイクルを徹底し、自ら健康をマネジメントしていくことが不可欠です。日常行動と健康の因果関係に関する科学的エビデンスが蓄積され、個人に最適な健康活動の提示が可能なサービスが生み出されて、私たちひとりひとりに行き渡るシステムが構築できれば、長く健康に生活できる社会の実現に繋がることが期待されます。

## (2) 募集・選考・研究開発推進にあたっての運営統括の方針

### 2019 年度のポイント

- ・ 採択件数は 4 件程度を予定しています。

#### ① 募集・選考にあたっての方針

本重点公募テーマにおいては、「食」「運動」「睡眠」等の日常行動を対象とし、健康～未病初期の人（医療行為は受けていない）に対して、それらの日常行動が生体内の恒常性維持に与える作用機序の解明を目指します。特に、「食」「運動」「睡眠」等の相互関係を考慮し、作用機序の解明を目指す提案を歓迎します。「食」「運動」「睡眠」等の生体における作用機序の解明により、恒常性維持に関係する因子のなかから、健康な人はさらなる健康の増進、未病初期の人はセルフマネジメントによって健康へと回復させることが可能となる客観的指標（マーカー）を同定し、低侵襲で、簡便かつ正確にそれらのマーカーを測定する技術の研究開発の提案も歓迎します。さらに、その測定技術にナッジ効果やゲーミフィケーション等の研究を組み合わせ、働く人や高齢者などの各世代に日常行動のセルフマネジメントを広く推奨・普及させるためのビジョンが明確な提案も求めます。以下に想定される研究開発課題例を示しますが、あくまで一例です。これらにとらわれず、自由な発想で研究提案を構想してください。

## 研究開発課題例 1 :

近年の研究から、ある食品成分を継続的にとり続けることが筋肉に対して運動と同様の効果を持つことが示されたり、食事や運動による体内時計への影響についての研究が進められたりするなど、健康に「食」と「運動」等の日常行動が寄与する作用機序の一端が明らかとなってきています。そこで、日常行動による効果を同一の指標で測定することを目指して、日常行動により体内で分泌が変動する因子について、作用部位、作用機序、動態、代謝などに関する各種解析を実施します。健康の維持に有効と思われる因子を同定し、その因子を簡易な機器で、いつでも、どこでも、定量的に測定する方法を開発します。また、見いだした因子と同等の機能を有する食品の開発を行い、その販売・普及を通じて個々人によるセルフマネジメントを促進します。

## 研究開発課題例 2 :

「疲れ」は「痛み」や「発熱」と並び、生体が恒常性を維持しようとする際の重要なアラームと言われており、健康な人でも疲労が蓄積していくことで不健康へとつながってしまう可能性があります。健康な人の不規則な「食」や「睡眠」、不足する「運動」等によって引き起こされる生理的な疲れやストレスを対象に、それらの日常行動が生体内の恒常性維持にどのような影響を及ぼして個人が感じる疲れやストレスへとつながっているのか、その作用機序を解明します。関係する因子の中から、疲れやストレスの客観的な指標を見つけ出し、その因子をいつでも迅速かつ簡便に測定できる方法を開発します。働く人のメンタルヘルスを客観的指標にもとづきマネジメントできる新たな仕組みを構築します。

本領域の研究開発では健康の人などを追跡調査するコホート研究は想定しておりませんが、他のコホート研究などで蓄積された長期観察データをもとにした研究提案も歓迎します。

また、私たちが日々の生活のなかで健康のセルフマネジメントを行えるようにするためには、健康状態を自宅や学校、会社、デイケア、ドラッグストアなどで簡便に測定できることが不可欠です。本研究で示される POC にもとづいて、民間企業等が販売やサービスを展開し、私たちの社会に広く推奨・普及させることも見据え、実現可能性の高い構想を提示していただく必要があります。

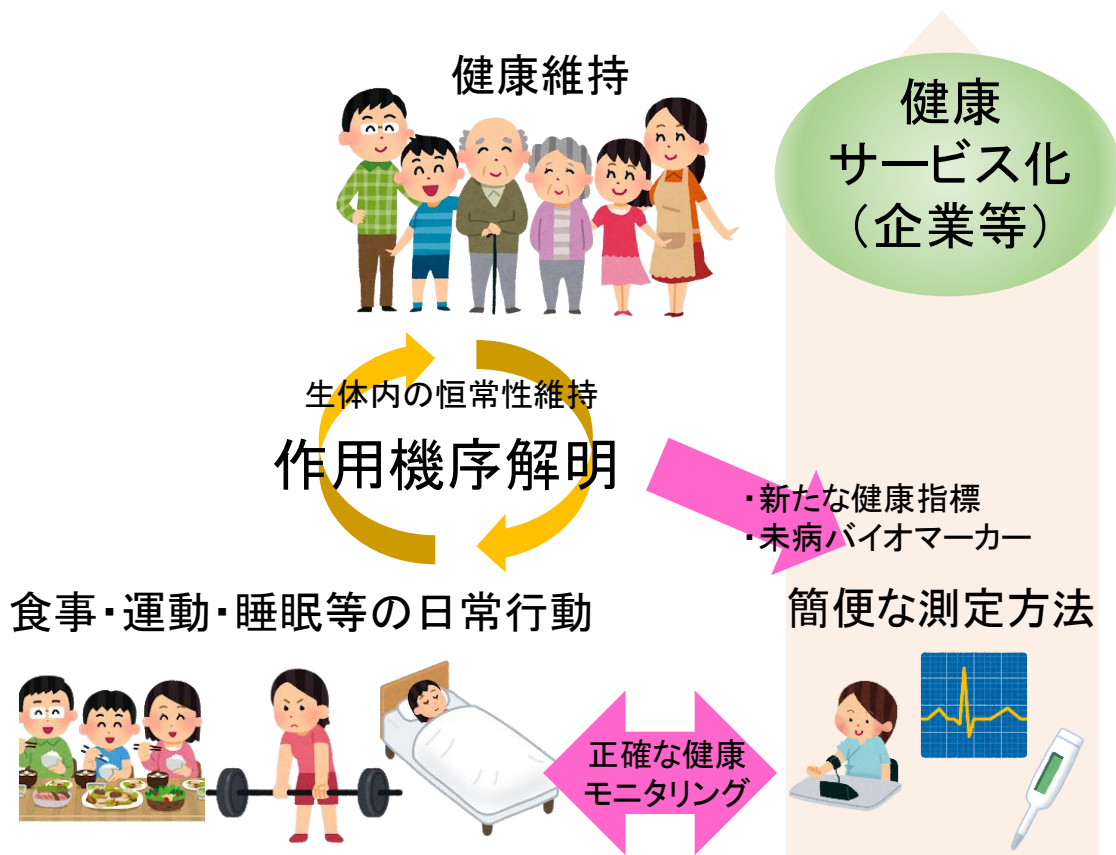


図3：食・運動・睡眠等日常行動の作用機序解明に基づくセルフマネジメント

## ② 研究開発の推進にあたっての方針

研究開発運営会議メンバーによる研究計画の確認やサイトビジット等を通じて、助言・指導できる研究マネジメント体制を整え、領域一丸となって、「誰もが守られていると実感できる社会」の実現を目指します。

また、探索研究から本格研究への移行に際しては、研究課題に参画する個別のグループや研究テーマ等の組み替え、中止等、体制の再構築を行うことも想定しています。

## ③ 期間・研究開発費

2019年度に開始する研究開発課題は、探索研究の期間は最大2年半、研究開発費は探索研究期間全体で総額3,000万円（直接経費）を上限として計画してください。

本格研究の期間は最大5年、研究開発費は本格研究期間全体で総額7.5億円（直接経費）を上限として構想してください。

なお、採択後は研究内容に応じて柔軟な予算配分を行います。

## 6.1.4 「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域



運営統括

橋本 和仁

(国立研究開発法人物質・材料研究機構 理事長)

### I. 「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域の目指すところ

地球温暖化問題の原因である温室効果ガス、特に二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の排出を抑制する「低炭素社会」を構築することが世界的課題となっています。2015年12月に開催された、国連気候変動枠組み条約第21回締約国会議（COP21）において採択された「パリ協定」では、産業革命前からの気温上昇を2℃未満にし、1.5℃以内に抑制する努力が求められました。それを受けて我が国でも、2015年12月、「温室効果ガスを2030年度に、2013年度比26%削減する」という目標を掲げ、この達成に向けて着実に取り組む旨、地球温暖化対策推進本部にて決定されています。

また、2016年4月に総合科学技術・イノベーション会議が取りまとめた「エネルギー・環境イノベーション戦略」（NESTI2050）では、2050年を見据え、削減ポテンシャル・インパクトが大きい有望技術の提示や、長期的な研究開発の推進体制などが取りまとめられ、更に2016年5月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」では、長期的な目標を見据えた戦略的取り組みとして「2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す」とされました。

この目標を達成するためには、全く新しい概念や科学に基づいた革新的な技術、すなわち「ゲームチェンジングテクノロジー」の創出が必要です。

ゲームチェンジングテクノロジーの創出に向けては、当該分野の研究者による先端的研究手法を融合・駆使・発展させた挑戦的な提案に加え、異分野の研究者による全く新しい提案も重要です。

これまでに一般より公募した重点公募テーマ案や、関連する専門分野、異分野の有識者からの意見聴取を踏まえてゲームチェンジングテクノロジーの創出を促すため、2019年度の重点公募テーマを研究開発運営会議にて検討しました。

その結果、革新的な技術開発に継続的に取り組むことが極めて重要であるとの判断から、2018年度に引き続き、重点公募テーマは『「ゲームチェンジングテクノロジー」による低炭素社会の実現』と



しました。更に、低炭素関連技術分野を4つのサブテーマに分類した上で、一般公募した重点公募テーマ案の内容分析や昨年度に提示したボトルネック課題（成果の社会実装をする際の技術的課題）を踏まえて、改めてボトルネック課題を設定し、これを解決する研究開発課題を募集することとしました。

なお、2019年度より、サブテーマ「④低炭素社会実現のための循環型高分子材料の創製」において「異分野シーズの融合運用」を導入いたします。これは、早期の成果創出・社会実装を目指すため、異分野・他制度の技術シーズを組み合わせ、新たな社会的価値を創成する新たな試みです。詳細は「研究開発の推進方針」をご覧ください。

## II. 重点公募テーマ

### 「ゲームチェンジングテクノロジー」による低炭素社会の実現

サブテーマ	募集区分	ボトルネック課題
①太陽光・水素による創エネルギー技術およびデバイスによる蓄エネルギー技術	B1	高耐久性のPbフリーペロブスカイト太陽電池
	B2	従来の太陽電池の2倍以上の変換効率を実現する新コンセプト太陽電池
	B3	デバイス部の厚さが「従来にない程に薄い」ことを特徴とする太陽電池作製技術
	B4	タンデム型太陽電池の高効率化のための革新的トップセル技術
	B5	電圧損失を抑制した有機太陽電池
	B6	人工光合成（水を電子源とする有用物質の光化学合成）
	B7	コスト1/10をめざすCO <sub>2</sub> フリー水素製造技術
	B8	新規材料系に基づいた高イオン伝導性固体電解質の開発
②材料および物理・化学プロセスの高効率化による省エネルギー技術	B9	積層造形等を活用したCO <sub>2</sub> 削減機器・設備の高効率化
	B10	接合強度と分離・解体性を両立する革新的接合・分離技術
	B11	CO <sub>2</sub> 削減に資する耐久性構造材料の信頼性ある革新的寿命評価・延命技術
	B12	超伝導応用機器のための革新的冷却技術
	B13	高温超伝導コイルの高性能化と保護技術
	B14	電力/動力変換システムの省エネ・高効率化関連技術
	B15	省電力データ通信・革新的情報処理グリーンエレクトロニクス基盤技術
	B16	革新的熱エネルギー利用技術の開発
	B17	高効率・高性能分離技術を用いた化学プロセス強化技術
	B18	新規反応場を利用した難反応の低エネルギー化によるバルクケミカル製造技術の革新



③化学プロセス・バイオテクノロジー・バイオ材料によるカーボンニュートラル技術	B19	CO <sub>2</sub> の大規模かつ効率的なメタノール、オレフィンなどへの資源化技術
	B20	高効率な温室効果ガス分離膜・吸収剤の開発
	B21	化学品製造を目指した高効率バイオマスガス化プロセスの開発
	B22	大規模生産に向けて環境変動にロバストな光合成微生物の開発
	B23	最小限の資源投入量でバイオマス生産性を向上できるための技術
	B24	有用物質高生産細胞をデザインするための合成生物技術、革新的バイオプロセス技術
	B25	バイオマス原料から高性能・高機能素材を高効率で生産する新しい合成技術
	B26	次世代ナノセルロース材料を創製するための階層構造制御技術
	B27	次世代のリグニン材料を創製するための化学修飾・複合化技術
④低炭素社会実現のための循環型高分子材料の創製	B28	【異分野シーズの融合運用】 低炭素社会実現のための循環型高分子材料の創製
⑤その他	B29	低炭素社会実現に向けた新発想

※サブテーマはボトルネック課題を分野別に分類したものです。

※ 研究開発提案書・表紙（様式1）の「応募重点公募テーマ」欄には、重点公募テーマ名、サブテーマ番号（①～⑤）、募集区分（B1～B29）、ボトルネック課題名を記載してください。

【記載例】

応募重点公募テーマ	「ゲームチェンジングテクノロジー」による低炭素社会の実現 ① B1：高耐久性のPbフリーペロブスカイト太陽電池
-----------	--

※ 個々のボトルネック課題は、必ずしも独立したものではなく、相互に関連し合っている場合もあるため、提案が複数のボトルネック課題に関係することが想定されます。その場合には、その技術が最も強く関係するボトルネック課題、あるいは「⑤ B29：低炭素社会実現に向けた新発想」を選択して応募ください。

### (1) テーマの説明

全く新しい概念や科学に基づいた革新的な技術であるゲームチェンジングテクノロジーを創出し、JSTの他事業や、他省庁の取り組みなどと連携して成果を社会に実装することで、2050年に想定されるサービス需要を満足しつつCO<sub>2</sub>を抜本的に削減する低炭素社会の実現に貢献することを目指します。

本領域の俯瞰図は図1のとおりです。



※サブテーマ・ボトルネック課題をJST-CRDSのエネルギー分野俯瞰図を参考に分類

図1:「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域の俯瞰図

上述のとおり、2016年に閣議決定された「地球温暖化対策計画」では、長期的な目標を見据えた戦略的取り組みとして「2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す」という目標が設定されています。これを実現するには、これまでの削減技術とは非連続的な技術も含めて、世界全体での排出量の抜本的な削減を実現するイノベーションを創出することが不可欠であり、CO<sub>2</sub>排出削減のイノベーションを実現するための中長期的なエネルギー・環境分野の研究開発を、産学官の英知を結集して強力に推進し、その成果を世界に展開していくことが我が国の果たすべき役割となります。これはNESTI2050にも盛り込まれている考え方です。この研究開発戦略は、本領域にて取り組むゲームチェンジングテクノロジー創出の考え方と合致しており、公益性の高い研究開発を推進します。

また、国の研究開発資金および社会へのインパクトの視点から、当領域への提案には「低炭素技術のコストエンジニアリング」の観点が含まれていることを期待します。これは低炭素技術・システムが将来社会に導入・普及される際の技術開発の合理的予測及びCO<sub>2</sub>排出量の削減効果の評価をするものであり、2050年の温室効果ガス80%削減の目標達成に向けた重要な観点です。提案課題が対象とする低炭素技術・システムについて、そのコスト展望、技術が確立する時期・産業化時期・市場規模の見通し等を検討すると共に、それに対応した課題解決策(シナリオ)が提示されていることが望ま

れます。

なお、国際社会への貢献という観点では、例えば意欲ある途上国などに対し、優れた技術を用いて協働による取り組みを進める等により、世界のCO<sub>2</sub>排出量の削減に対して、我が国が技術力で中核的役割を果たすことも想定されます。産業界では、日本経済団体連合会（経団連）が「2030年に向けた経団連低炭素社会実行計画」（2015年4月作成、2017年4月改訂）を策定し、「革新的技術の開発」を計画の柱のひとつに据えて、産学官による連携も活用しながら、2030年以降も見据えた中長期的な革新的技術の開発・実用化に積極的に取り組むとされています。本領域が狙う、低炭素化を阻害するボトルネック課題の解決に資する革新技術が創出され、その技術が企業に橋渡しされれば、企業自身のCO<sub>2</sub>削減目標の達成に資するのは勿論、日本の産業競争力の向上にも直結することが期待されます。

## （2）募集・選考・研究開発推進にあたっての運営統括の方針

### ● 募集・選考の方針

事業のコンセプト（革新的研究開発による概念実証）に添った課題を採択するため、以下の要件で選定します。

- ・ CO<sub>2</sub>排出削減に大きく貢献し得るか（サイエンスとしての観点のみではない）
- ・ 社会実装を担う企業等が必要としている技術か
- ・ 大学等アカデミアが実施すべき革新的研究か

また、社会実装に向けては必要に応じて他省庁のプログラムと連携し、成果の橋渡しを実施します。

以上の取り組みを通じて、2050年に想定されるサービス需要を満足しつつCO<sub>2</sub>を抜本的に削減する、全く新しい概念や科学に基づいた革新的な技術である「ゲームチェンジングテクノロジー」を創出し、社会実装につなげることで、低炭素社会の実現に貢献することを目指します。

### ● 評価項目及び基準

選考に当たっては、以下の評価項目に基づいて総合的に検討することと致します。

#### 【目標の妥当性】

- ・ 取り組もうとする技術課題が 2050年頃の低炭素社会実現に寄与することが定量的に示されていること。

【手段の妥当性】

- 目標達成のために取り組もうとする課題解決策に優位性・独自性を有していること。
- 研究開発計画（研究開発体制及び実施規模を含む）が妥当であること。

【実現可能性】

- 目標達成のために取り組もうとする課題解決策が本格研究終了時に実現可能であること。
- 本格研究終了後から実用化までのシナリオが妥当であること。

● 研究開発内容

地球温暖化の解決には大別して「適応策」と「緩和策」の二つのアプローチがあります。前者は、自然や社会の在り方を調整して温暖化による影響を軽減しようというものであり、後者は温室効果ガスの排出自体を抑制しようというものです。緩和策には、科学技術の貢献が大いに期待されており、本領域でも、緩和策による低炭素社会の実現に資するゲームチェンジングテクノロジーの創出を目指します。

CO<sub>2</sub>削減に資する技術開発は、これまで様々なトライアルがなされていますが、未だに実現されていないものも数多く存在します。この原因である「ボトルネック課題」を本領域関係者でまとめ、研究者に具体的に提示することとします。

また、本領域では、当該分野の研究者による先端的研究手法を融合・駆使・発展させた挑戦的な提案に加え、異分野の研究者による全く新しい提案も重要であると考えています。そこで、一般より公募した重点公募テーマ案について内容分析を行うと共に、昨年度に提示したボトルネック課題も踏まえて、改めてボトルネック課題を設定し、その内容を具体的に記載しました。以下に、分野別に4つのサブテーマ（①～④）に分類して示します。

① 太陽光・水素による創エネルギー技術およびデバイスによる蓄エネルギー技術

B1 高耐久性のPbフリーペロブスカイト太陽電池

鉛を含む太陽電池は、製造や廃棄において特別な管理を必要とし、コストを増加させます。メガソーラーだけでなく家庭用への適用が拡大する中、環境負荷を増大させないためには鉛フリー化が不可欠です。ペロブスカイト太陽電池の鉛フリー化は、既に多くの研究が行われていますが、十分な効率が見られていないのが現状です。また、耐久性のない太陽電池は、短期間で交換する必要があるため、

長期間使用できる高耐久性の太陽電池が求められています。実用化されている太陽電池では 20 年～25 年の使用が保証されています。ペロブスカイト太陽電池は材料、プロセスの最適化によって、耐久性が向上していますがまだ十分ではありません。

以上から、鉛フリーかつ低環境負荷の材料から構成され、しかも高耐久性と高効率（20%以上）を兼ね備えたペロブスカイト太陽電池の実現を目指した挑戦的な提案を募集します。

## **B2 従来の太陽電池の 2 倍以上の変換効率を実現する新概念太陽電池**

Si 太陽電池におけるセルの変換効率は 25%前後に達していますが、単接合の太陽電池では理論的な最大効率が約 30%程度とされています。通常の太陽電池では、バンドギャップよりもエネルギーの低い光は吸収できず、エネルギーの高い光では余剰のエネルギーが熱となって失われるためです。これに対して、量子ドット太陽電池ではバンドギャップの中に中間バンドを形成することができ、光のエネルギーの大半を電気に変換することが可能であると指摘されています。中間バンド太陽電池では、理論的には集光型で 60%以上の効率が得られるとされています。一方、実際に得られている変換効率はまだ低く、理論モデルの妥当性・実現性も含めた基礎的・原理的な検討に加えて量子ドット等の中間バンド材料、形成方法、さらには太陽電池構造などの最適化が必要です。以上から本募集区分では、量子効果などの新しいコンセプトを利用して、従来の単接合太陽電池の 2 倍以上の変換効率を実現する太陽電池の設計指針と、それに基づく太陽電池構造・形成方法を構築し、その実現を目指す挑戦的な提案を募集します。量子ドット（高密度、長いキャリア寿命を実現する手法）、ナノワイヤ（ウォール）、近接場光（ドレスト光子）、フォトン・アップコンバージョン、マルチエキシトン生成、ホットキャリアなどを利用した各種の太陽電池を対象とします。材料や機構は制限しませんが、従来の太陽電池に対する優位性が提示されていること、さらに具体的な作製方法まで踏み込んだ提案であることが評価のポイントとなります。

## **B3 デバイス部の厚さが「従来にない程に薄い」ことを特徴とする太陽電池作製技術**

現在商業生産されている結晶系 Si ウェハはほぼ全量、ワイヤソー技術で作製され、ウェハ厚さ 180  $\mu\text{m}$  で最適化され、これがほぼ下限となっています。

ワイヤソー技術でこれ以下に薄くする場合、歩留まりの低下だけでなく、切断に伴って発生する Si 削り粉（カーブロス）の方が多くなるという製造コスト的には不適切な状況が発生します。また、ワ



イヤソー技術では、Si 削り粉が潤滑油で汚染されることが問題で、適正な回収技術が開発されていない状況です。これは高価格マテリアルの有効活用の観点から大きな課題です。

ここでは、超薄型（既存厚さの 1/4 以下）の結晶系 Si ウェハを、汎用の 6 インチ角サイズで作製する技術に加えて、この厚さの結晶系 Si ウェハからセル効率 23%以上を達成できる太陽電池セル作製技術を募集します。

このような超薄型結晶系 Si 太陽電池セルでも製品化時には、セルを複数枚、直列接続するストリングス形成工程が必要になります。この接続技術も合わせて（然るべき太陽電池セル、モジュールメーカーへ再委託する形などで）検討願います。

また、汎用 6 インチ角結晶系 Si ウェハと同等サイズで、セル効率 23%を達成できる集積構造の薄膜太陽電池技術も募集します。この場合、集積構造の両端に位置するプラス/マイナス電極を含めたトータルエリアでのセル効率と定義します。この場合も製品化イメージを検討願います。

ここで得られた作製技術は、主力電源と位置付けられ、ますます商用電源として重要性が増している太陽電池技術（すなわち、結晶系 Si 太陽電池と薄膜太陽電池）の軽量化とフレキシブル化を同時に実現することで、設置制約の解消から太陽光発電システムのさらなる導入普及に貢献します。

#### **B4 タンデム型太陽電池の高効率化のための革新的トップセル技術**

単接合太陽電池の理論限界である 30%の変換効率の大幅な向上を実現するためには、バンドギャップが異なる半導体材料を積層することにより、吸収波長域を拡大したタンデム型太陽電池だと期待されていますが、高効率は限られた材料の組み合わせでのみ実現されており、汎用性の高い材料の組み合わせでは十分な効率向上が得られていません。ボトム層の太陽電池としては、変換効率が高く、耐久性に優れた Si や CIGS 太陽電池（バンドギャップ $\sim$ 1.1eV）がコスト面から見て最適です。トップ層の太陽電池にはバンドギャップが 1.5 $\sim$ 1.7eV 程度の半導体層の太陽電池が検討されていますが、低コストと高効率、高耐久を兼ね備えた太陽電池は実現されていません。例えばペロブスカイト太陽電池（バンドギャップ $\sim$ 1.5eV）や化合物半導体（CuGaS）などがトップ層として検討されてきました。最近、シリコンとペロブスカイトのタンデム型太陽電池でシリコン太陽電池単体の世界最高効率を上回ることが報告されました。

トップ層材料とデバイス開発は高効率タンデム型太陽電池実現のために不可欠です。さらに、多接合化した時の最適なバンドギャップの制御、接合界面や出力電流・電圧特性の把握、フォトンマネジ



メントなどを含めた構造の設計・最適化などがタンデム型太陽電池を開発するうえで必要となります。そのため、トップ層の大幅な高効率化のための電気・光学的特性を解明するだけでなく、実用化に向けてモジュール、システム全体の電氣的・光学的性能を考慮し、タンデム型化により太陽電池の著しい発電性能向上を低コストで実現することを目指した挑戦的な提案を期待します。

### **B5 電圧損失を抑制した有機太陽電池**

有機太陽電池は、高成膜性、軽量、フレキシブル、低コストなどの優れた特徴を有するため、有望な太陽電池の候補です。同様な特徴を有する太陽電池として、ペロブスカイト太陽電池の開発が進んでいます。含まれる有機鉛は製造や廃棄において特別な管理を必要とするため、メガソーラーだけでなく家庭用への普及の大きな障害となっています。鉛ペロブスカイト太陽電池では、高い短絡電流密度 ( $J_{sc}$ ) と開放電圧 ( $V_{oc}$ ) を両立できるために、20%を越える変換効率が達成されているのに対し、有機太陽電池では、特に  $V_{oc}$  の損失過程が存在するために、変換効率の向上は難しいと言われていました。最近、薄膜太陽電池で非フラーレン型の新しい嵩高いアクセプターの開発などにより、変換効率が急に向上し、シングルセルで効率が15%を越え、タンデムセルでは17.3%が達成され、新しい局面を迎えています。

以上の観点から、電圧損失過程のメカニズムを解明し、効率向上に結びつけるシナリオの構築とそれに基づいた電圧損失過程を抑制できるような材料開発が必要です。高い  $J_{sc}$  と  $V_{oc}$  を両立できる有機太陽電池を実現する挑戦的な提案を募集します。非フラーレンアクセプターは有望です。有機化合物の高いデザイン性は、タンデムセルの開発に必要な各セルの光吸収マッチングに最適です。電子やホール輸送の分子機構を解明し、それに基づいた材料・電池構造を開発して、画期的な効率向上と耐久性を目指す挑戦的な提案を募集します。

### **B6 人工光合成（水を電子源とする有用物質の光化学合成）**

人工光合成は、低炭素社会実現のための究極のゴールです。単なるモデル研究ではない社会に確実に役立つ人工光合成プロジェクトとして、「水を電子源とする有用物質の光化学合成に関する提案」を公募します。水、二酸化炭素などの安定小分子を活性化し水素やメタノールなどの有用な物質に変換する手法、および変換過程を促進する触媒の開発は非常に重要なボトルネック課題です。この場合、犠牲的電子ドナーを用いず水を電子源として用いることが鍵です。また、この他にも水から汲み出さ

れた電子を利用した社会的に有用な有機化合物合成や、既存の合成ステップを大幅に縮減する省エネルギープロセスの開発も本課題に含まれます。これらの人工光合成における生成物の単離プロセスも含めた総合的な提案を期待します。

### **B7 コスト 1/10 をめざす CO<sub>2</sub> フリー水素製造技術**

低炭素社会の実現に向け、我が国は二酸化炭素排出量を大幅に削減（2050年までに80%の温室効果ガス排出削減）することが求められています。そこで政府は「地球温暖化対策計画」（2016年5月13日閣議決定）等において、既存のエネルギー供給構造を変革し、新たなエネルギーシステムへの移行を図ることとしています。

従来から、炭素を含まず、使用時に二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を排出しないクリーンなエネルギー媒体（キャリア）として、水素が注目されてきました。製造段階で CCS（二酸化炭素回収・貯蔵）技術、再生可能エネルギーを活用することで、トータルで CO<sub>2</sub> フリーのエネルギー媒体として利用可能です。

現在は、産業用途として工場等において副産物として生成する水素（副生水素）や天然ガス・LPG等の改質で製造される水素がエネルギーとして利用されています。しかし、水素発電（タービン）の実用化や燃料電池の普及により、2030年には発電用途の水素調達量だけでも年間30万トン—現在の1,000倍になると予想され、水素を低コストで大量に製造する技術が求められています（「水素基本戦略」2017年12月26日第2回再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議決定）。

しかしながら副生水素や改質による製造方法の多くは、発生する水素1トンあたり10トン以上のCO<sub>2</sub>を排出しています。そこで本課題では、CO<sub>2</sub>フリー水素を低コストで製造する方法を募集します。

これまでも、再生可能エネルギー電力を用いて水電解などの電極反応を利用したもの、光触媒を用いた水分解、熱化学プロセスを利用した熱分解、有機物資源や生物からのバイオ水素製造関連技術などが検討されてきました。本課題では、以降に示す開発に際する課題も参考にしつつ、個別の要素技術の解決だけではなく水素製造プロセス全体を踏まえた技術開発、特にプロセスを実際に稼働させるために必要な技術開発群を総合した提案を募集します。またその他の技術として、これまでに無い新機軸な技術を用いた提案も対象とします。最終的に1/10の低コスト化を目指す挑戦的な提案を期待します。

#### **(i) 水電解の技術的課題**

水電解による水素製造は、太陽光、太陽熱、風力などの再生可能エネルギーが利用できるために CO<sub>2</sub>

フリー水素製造方法として期待されていますが、効率の向上、負荷変動対応性、コスト、寿命等、課題は多岐にわたります。しかもこれらは相反する要素を含んでいるために、戦略的な研究開発が求められています。

例えば、再生可能エネルギーをフルに利用する大規模水電解には、装置コストの安いアルカリ水電解技術が実用化されていますが、変動する再生可能エネルギーへの適応技術や水素製造効率向上や大規模化への対応などが課題とされています。一方、需要に対応しない再生可能エネルギーの余剰分を活用するためには、頻繁な起動停止への対応力が高い高分子膜型水電解技術（PEM）が適しますが、高価な電極触媒や高分子電解質膜、強酸に耐久性のある電解槽材料を代替する安価な材料開発が望まれています。

近年、水素製造に加えて電力のデマンドレスポンス機能、調整力、非常時対応にも期待される、固体酸化物型電解装置（SOEC）の開発が進んでいますが最大の課題は製造コストの低減です。高温動作（800℃程度）に耐えうる装置材料や断熱技術でのコストダウンが求められています。また、セラミック材料である固体電解質の大面积化や機械的強度、温度変化による膨脹収縮への耐久性の改良なども課題です。電極材料の選択や構造の改良、セル特性や耐久性に影響する種々因子への対策も求められています。

#### (ii) 水の光触媒分解の技術的課題

水の光分解による水素製造を可能にする高効率の光触媒の開発は、将来的に実用化されればCO<sub>2</sub>フリーで水素を製造することができるため、最も期待される技術です。その際、太陽光の水素へのエネルギー変換効率は、太陽電池を用いて水分解を行う場合のエネルギー変換効率と比較できるレベルのものが求められます。そのためには可視光でも効率よく機能することは必須の条件です。さらに長時間の使用に耐えられる安定性を持つこと、また、発生した水素と酸素の安全な分離も重要な課題です。

#### (iii) 熱化学プロセスの技術的課題

水の熱化学分解による水素製造法については、銅-塩素サイクル、IS プロセス、UT-3 プロセスなどをはじめ、これまでにさまざまな取り組みが行われてきましたが、反応温度が1000度以上と高い場合は熱源に限られる一方で、反応温度が低い場合は反応が複雑で有害な副生成物が発生する等の問題がありました。そこで、反応温度を抑える、反応をシンプルにする、有害な副生成物の発生を抑えるなどを実現する、革新的な熱化学プロセス技術の開発が求められています。

(iv) バイオマス利用の技術的課題

バイオ水素製造として暗発酵やバイオ光反応等が利用されてきましたが、多様な有機物資源からの水素生成は困難とされており、水素生成速度が低く水素変換効率も低いのみならず、不安定である事が課題となっています。従って有機物資源から高速かつ安定的にバイオ水素を生産するために、合成生物学・代謝工学およびプロセス工学等の手法を用いて、微生物や酵素をデザインして制御することで、水素変換効率を飛躍的に上げる技術開発が求められています。また、水素生成時に発生する CO<sub>2</sub> 等の余剰ガスの生成を減少させる事も求められており、CO<sub>2</sub> を有用化合物に変換しながら水素生産も実現する技術の開発が求められています。

(vi) その他技術

上記技術とは異なるアプローチによる、水素製造技術とその課題解決の方策も研究提案対象とします。例えば、エネルギーキャリアや水素貯蔵媒体として利用が期待されている物質（アンモニア、ギ酸など）からの水素製造や、メタン等を含む天然ガスの熱分解等による水素製造などが挙げられます。また、物性を何らかの手法でコントロールすることによる新しい高付加価値水素の創出も期待できます。

さらに、太陽光以外の再生可能エネルギーの活用や、化成品やエネルギーなどへの利用も含めた総合的な CO<sub>2</sub> フリー水素循環システムを構築する提案も対象とします。

## B8 新規材料系に基づいた高イオン伝導性固体電解質の開発

低炭素社会構築に向けたキーデバイスとして、リチウムイオン電池を凌駕するポテンシャルをもつ全固体電池が期待されています。現在、硫化物系、酸化物系、ポリマー系など種々の固体電解質を用いた全固体電池が研究されており、これらの系における固体電解質の探索が行われています。一方で、従来の材料系以外の高イオン伝導性固体電解質の探索も非常に重要と考えられます。そこで、水素化物系、塩化物系など従来とは全く異なる新規材料系に基づいた高イオン伝導性固体電解質の開発について公募します。全固体電池に用いられる電解質材料は、①高イオン伝導性( $10^{-3}\text{Scm}^{-1}$  以上)、②耐酸化性、耐還元性、③高可塑性、④大気安定性を併せ持つことが求められています。最終的には、これらの特性を併せ持つ新規材料系の固体電解質の開発と全固体電池の設計、作製、検証まで行うことを想定しています。併せて、高イオン伝導性固体電解質の設計指針となる基礎科学的な論理構築などサイエンスの創出も期待します。

## ② 材料および物理・化学プロセスの高効率化による省エネルギー技術

### B9 積層造形等を活用した CO<sub>2</sub> 削減機器・設備の高効率化

たとえば CO<sub>2</sub> 削減に大きく影響する発電等の高効率エネルギー機器を形成する高温・高強度材料は難加工性で大きな設計制約を有しており、効果的な CO<sub>2</sub> 削減と結びつく高効率エネルギー機器への適用の大きな壁となっています。近年著しく発展している積層造形は、複雑な形状の造形も可能とし今後の耐熱材料製造の分野でも発展する有望な技術と考えられています。

これまでそのための清浄粉末の製造技術開発と粉末製造工程および積層造形工程で汚染を受けにくい、更には粉末表面由来の酸化物、窒化物に対しても有効なロバストな合金開発に資する挑戦的な取り組みを募集してきましたが、現在着実にその成果が出つつあり全体のレベルも上がってきています。しかし、その技術を用いた CO<sub>2</sub> 削減効果の高い機器・設備の設計にはまだ突破すべき壁が多く残っています。そこで、これまでの積層造形に適する粉末製造、合金開発に加え、その積層造形を活用した高効率の CO<sub>2</sub> 削減機器・設備の開発提案を募集します。

### B10 接合強度と分離・解体性を両立する革新的接合・分離技術

CO<sub>2</sub> 排出量を部門別に分けた場合、産業部門（工場等）、運輸部門（自動車、船舶等）で、国内 CO<sub>2</sub> 総排出量の半分を占め、具体的には、構造物・製品の製造、使用において CO<sub>2</sub> が排出されています。したがって、材料の製造、接合、使用時、廃却時のトータルにおいて CO<sub>2</sub> 削減できる仕組み（プロセス）が望まれます。製造段階では異種素材の効果的な組み合わせのマルチマテリアル化で CO<sub>2</sub> 効率に優れた製品の製造が求められ、さらにその修復などによる長寿命の使用や再利用、リサイクルにおける低 CO<sub>2</sub> システムの適用が求められます。

その大きなネックとなっているのが接合・分離技術です。接合強度と分離・解体性を両立する革新的接合・分離技術が成り立つと解体に要するエネルギーも減らすことができるため多くの製品を対象にした循環型社会、低炭素社会が実現できます。特に、社会インフラ素材に対する既存資源の有効利用や短期間の解体・組立ておよびインフラシステムの長寿命化を可能とする技術、および製造エネルギーの高い軽量化素材のリサイクル性をも考慮したマルチ素材の接合・分離への革新的な展開に資する提案を募集します。



### **B11 CO<sub>2</sub>削減に資する耐久性構造材料の信頼性ある革新的寿命評価・延命技術**

エネルギーの転換や使用にかかわる機器で多様な耐久性の高い構造材料が使用されており、たとえば発電設備の操業温度限界などその材料性能が機器のライフサイクル低炭素設計の制約になっているケースが多く見られます。現在 ALCA をはじめとして世界中で CO<sub>2</sub> の削減に資する機器のための優れた材料開発が続けられていますが、それが機器や設備の低 CO<sub>2</sub> 化設計と効果的に結びつくには、その使用期間全体を保証する性能予測、寿命予測が不可欠になっています。しかしこれらの機器、設備の使用期間は数十年にも及ぶため、その期間全体を覆う試験に依存した寿命評価では緊急性を要求される CO<sub>2</sub> 削減のペースに間に合わせた社会実装を難しくしています。

そこで長期間の使用で CO<sub>2</sub> 削減に貢献する耐久性材料に対して、長時間の劣化挙動を精度良く予測することのできる信頼性の高い革新的寿命評価技術を募集します。さらに寿命を予測だけでなく、修復などでその寿命を延ばすことはライフサイクルでの低炭素化に効果的であり、余寿命評価と延命の視点からの提案も含まれます。

### **B12 超伝導応用機器のための革新的冷却技術**

超伝導システムは社会実装の段階を迎えつつありますが、現行の非超伝導機器システムとの競合において優位性を示して社会実装を進めていくためには、超伝導機器本体だけでなく、冷却系を含めたシステム全体の性能向上を目指す必要があります。具体的には、冷却系を構成する冷凍機などの各種機器と重要要素技術を、低損失、運転コスト低減、省メンテナンスなども考慮して開発することが求められています。超伝導システムの開発においては、このように冷却系の研究開発が重要であると同時に、それが実用性も含めたシステム側の条件を満足するものである必要があります。システム側の条件によっては冷却方法の選択も異なります。一方、応用機器にはあまり依存せず、共通基盤的な冷却技術で、冷却システムのブレークスルーにつながるような革新技術も大いに期待されているところです。そこで、MgB<sub>2</sub> 線材、REBCO 線材あるいは Bi 系線材を使った超伝導機器のための冷却システムの研究開発を実施するために、冷凍機、圧縮機、精製機、流量計、液面計などの低温機器、He、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> などの冷媒の伝熱流動特性、断熱配管系、および超伝導機器内の冷却技術などの高性能化について、実装を目指す提案を公募します。



**B13 高温超伝導コイルの高性能化と保護技術**

超伝導機器・システムの中でも磁場応用のものでは、超伝導コイルが重要な構成要素であり、高温超伝導コイルの高性能化は、競合技術に対するその超伝導機器の優位性を高める上で重要な開発課題です。具体的には、本質的に高い熱的安定性を有する高温超伝導コイルが、局所的な性能劣化や不均一な冷却などに起因するコイル焼損などを起こすことの無いように、そのメカニズムを明らかにし、それに基づいて、実用性の高いコイルシステムの設計と製作技術の開発、コイル保護技術の開発などを進めることが求められています。また、磁場や電流が変化する条件で使用されても、コイルで発生する交流損失等が十分に小さく、機器・システムの損失・効率面で十分に競争力があることも必要です。このような高温超伝導コイルの高性能化や保護のための革新的な技術が開発されることが、超伝導機器・システムの実用性を高めるために大いに期待されているところです。

そこで、REBCO 線材等を使用した高温超伝導コイルの高性能化、コイル保護技術、低損失化の研究開発を実施するために、新しいアイデア、実験的検証、数値解析技術の開発などの提案を募集します。ただし、高温超伝導コイルとその運転条件は、低炭素化に大きく貢献しうる超伝導機器・システムに使用されるものであること、および将来的な経済性も考慮した提案であることが必要です。

**B14 電力／動力変換システムの省エネ・高効率化関連技術**

今日、我が国の総電力需要は 900TWh、そのうち 6 割弱がモータの動力として使われており、このモータに関連する技術の省電力化により温室効果ガスの排出量を大幅に抑えることができます。現在、使用されているモータ自体の動力変換効率は 90%以上に達していますが、インバータやその周辺技術での電力損にはまだまだ効率改善の余地があります。例えば、①素子構造・材料面では、集積パワーモジュール(Integrated intelligent power module)や低鉄損磁性材料、高飽和磁束密度磁性材料、②回路動作面では、高耐圧パワースイッチング素子(SiC や GaN 等)、新規ゲート駆動法や高速ソフトスイッチング技術、③制御方法については、モータのエネルギー効率の最大化を図る自動トラッキング技術、などの導入によりインバータの電力損失の低減は勿論、モータや冷却装置を含めたインバータシステム全体の小型・軽量化による大幅な輸送エネルギーの低減も可能となります。

当該技術分野における克服すべき課題は、①200℃程度で稼働するパワーモジュール、②電力変換時に発熱量の少ない低鉄損磁性材料、③1kV を超える高耐圧・高速スイッチング素子、④任意波形ゲート駆動集積回路など、様々なハードに加え、モータ駆動制御法の新しいソフト面の工夫も欠かせま

せん。これらの課題に応える提案を募集します。なお、将来の大規模社会実装を想定すると、希少磁性元素不要のモータや磁性材料開発などのコスト低減策やインバータ組込み型モータなどによる利便性の高さも評価の重要なポイントとなります。

### **B15 省電力データ通信・革新的情報処理グリーンエレクトロニクス基盤技術**

日常の健康管理や家電、建物、輸送機器、農業などモノ・人にセンサーを取り付けて IoT (Internet of Things) 通信や M2M (Machine to Machine) 通信などを經由して収集したビッグデータの利用が急増しています。また移動体通信機器では 4K/8K などの動画コンテンツ、さらにはセキュリティ、教育、医療などでも高精細静止画像のニーズは飛躍的に高まり、データ通信量は倍々ゲームで増加の一途をたどっています。例えば、次世代 5G 通信システムでは 1000 倍以上のビット容量、10Gbps を超える高速化が期待されているように、長期的な視点で増大し続ける通信需要に応えるにはビット当たりの通信電力を桁違いに低減することが要請されます。

当該技術分野における克服すべき課題（通信ボトルネック）はエッジ側からクラウド側にいたるすべての通信経路に存在しており、極低消費電力エッジ情報処理チップや低消費電力高速ルータ機器をはじめ、様々なハード面でのボトルネックを解決しなければなりません。

20 年～30 年先の社会実装に向けて、①ビットあたりの通信電力量の画期的な削減が見込める新しい通信関連ハードウェア技術、②量子コンピューティングなど革新的なアーキテクチャによる極低電力型情報処理デバイスの提案を募集します。

### **B16 革新的熱エネルギー利用技術の開発**

高温で動作するタービンやエンジンなどではカルノーサイクルに基づく高い動力変換効率が得られますが、消費エネルギーの大半を占める中低温領域では、いまだシステム製造・保守コストに見合う熱エネルギーの利用技術が未熟で、多くの熱は環境に廃棄されています。このため中低温領域において、温暖化ガスの排出量の削減に資する熱動力変換技術や伝熱、蓄熱、放熱などの熱マネジメント技術の開発が強く求められています。今回、この要請に応え得る革新的熱エネルギー利用技術の提案を募集します。例えば、革新的で高効率な熱交換器、熱伝達効率が高く耐久性に優れた伝熱媒体、高断熱・高機能保温材料、高効率熱電変換材料・システム、低摩擦界面形成・機構、また、熱利用システムではバイナリー発電、熱音響エンジン、ヒートポンプ、ヒートパイプなどが想定されます。さら

に、従来技術の枠を超える広義の革新的な熱エネルギー利用技術のアイデアも期待しています。熱エネルギー利用法の原理、構造などの具体性や、システムの維持・製造コストなど社会実装の実現性が評価の重要なポイントとなります。

### **B17 高効率・高性能分離技術を用いた化学プロセス強化技術**

化学産業における生産プロセスの生産性・省エネ性は、生産過程そのものよりも、未反応原料・製品・溶媒の分離・回収・リサイクルプロセスに大きく依存します。現状では、主にコスト的な理由から未反応原料・溶媒のリサイクルが行われない場合が多く、これらが大きなCO<sub>2</sub>発生源となっています。従って、高効率・高性能な分離技術を開発することが、化学プロセス強化のボトルネック課題となります。

対象技術としては、革新的な分離性能を有する分離膜、様々な分離技術（膜分離、相分離、吸着、抽出、晶析等）をハイブリッド化した高性能分離プロセスに加え、メンブレンリアクター、反応吸収、反応晶析、反応蒸留といった反応分離技術も対象とします。

特に、膜分離法は、蒸留法に代わる高効率省エネルギー型の分離技術として期待されています。材料的には、有機高分子材料、無機材料、また有機・無機複合材料など様々な選択肢がありますが、実用化するに当たっては、透過能・選択性・耐久性において、従来技術を凌駕する革新的な技術の確立が必要です。今回の公募では、これら新規分離膜の開発研究と共に、分離膜のサポート層となる支持体、省エネ化・低コスト化を可能とする新規な膜モジュール構造とモジュール材料の開発課題も対象とします。

なお、提案に当たっては、対象技術が実現したときの省エネ率について、従来プロセスに対する優位性（見通し）を示すことを要件とします。

### **B18 新規反応場を利用した難反応の低エネルギー化によるバルクケミカル製造技術の革新**

C1 化学は、各種炭素源のCO、H<sub>2</sub>への変換を経由するか、またはメタンを直接原料とする化学品製造の反応体系ですが、問題点も多くあります。例えば、現在のメタノール合成プロセスは、750℃以上という高温下でのメタン水蒸気改質（吸熱反応）とメタノール合成反応（発熱反応）からなるプロセスであり、大量のCO<sub>2</sub>を排出するエネルギー多消費プロセスとなっています。またメタンの酸化による直接法メタノール合成の研究も行われていますが、反応性の低いメタンを酸化して反応性の高い

メタノールで止めるのは容易ではなく、高難度反応の一つとなっています。

このようなエネルギー多消費プロセスの低エネルギー化や高難度反応の選択性の改善のための触媒開発が盛んですが、触媒性能の飛躍的な向上のためのブレークスルーが切望されています。

一般に触媒は熱的平衡反応場での使用が前提ですが、本領域では、熱的非平衡反応場や、その反応場で高活性を示す触媒開発などに着目し、従来型反応場では実現できない新規な反応、反応プロセスの提案を公募します。新規反応場へのエネルギー供給手段として電磁波、超音波、磁場、電場および、それらの複合が考えられます。また反応としては、生産量が多い汎用化学品の生産のためにエネルギーを多量に消費しながら現在実施されている反応、並びに高難度反応の高収率化と低エネルギー化の両立を対象とします。提案に当たっては生産システムに投入するエネルギー（見通し）を提案の生産技術と比較することを要件とします。

### ③ 化学プロセス・バイオテクノロジー・バイオ材料によるカーボンニュートラル技術

#### B19 CO<sub>2</sub>の大規模かつ効率的なメタノール、オレフィンなどへの資源化技術

現在、化学品は化石資源を炭素源ならびにエネルギー源として生産され、最終的にCO<sub>2</sub>として大気中に放出されています。低炭素社会における化学品生産の究極の形は、エネルギーセクター等から排出されるCO<sub>2</sub>を、CO<sub>2</sub>フリーの水素で還元した化学原料から化成品を合成する炭素循環の実現です。CO<sub>2</sub>の分離回収技術はCCS技術開発の一環として、各国で盛んに研究開発されており、実証試験段階のものもあります。しかし、ポリカーボネートの製造などを除いては、回収したCO<sub>2</sub>を資源化する技術開発ほとんど進んでいません。この種のCO<sub>2</sub>の大規模資源化のためには、還元剤としての水素を、CO<sub>2</sub>発生を伴うことなく、再生可能エネルギーを用いて大量に製造する技術開発が必要ですが、この技術開発は長期的な課題であるため、本領域では、CO<sub>2</sub>発生が比較的少ないメタンの利用など既存技術との組み合わせを前提とすることを可とし、要素技術として重要なCO<sub>2</sub>の大規模かつ効率的な資源化技術を先行して構築する提案を公募します。

具体的にはCO<sub>2</sub>からのメタノール合成・エタノール合成・酢酸合成、CO<sub>2</sub>からのFT合成、CO<sub>2</sub>の改質による合成ガス製造、CO<sub>2</sub>を直接の原料とした汎用ポリマー原料の合成、メタンの部分酸化・改質の高効率化などが課題となります。

## B20 高効率な温室効果ガス分離膜・吸収剤の開発

温室効果ガス、特に化石資源の利用により発生する CO<sub>2</sub> は排出量が莫大であり、その排出削減に向けて、省エネルギー技術の開発や、CO<sub>2</sub> フリーの再生可能エネルギーへのシフトが進められています。しかし、化石エネルギーへの依存は当面避けられない状況で、2060 年までの累積 CO<sub>2</sub> 削減量の約 14% を CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) が担うとする試算もあります (IEA-ETP2017 報告書)。現状の CCS コストは、現在最も普及している化学吸着法 (アミン) で 6,000 円/t-CO<sub>2</sub> 以上と試算されており、実用化には大幅なコスト低減が必須とされています。

CCS コストのうち、CO<sub>2</sub> の分離・回収が全体コストの 50~60% を占めており、革新的な分離・回収技術の開発が CCS 普及のボトルネックの一つとなっています。現在、化学吸収法、物理吸収法、膜分離法、深冷分離法、吸着分離法など様々な手法がありますが、いずれの手法においても革新的な技術開発が必要とされています。

CO<sub>2</sub> の分離・回収技術は、使用される燃料の種類やアプリケーションによって動作条件や要求特性が異なることから、多岐にわたるアプローチが考えられます。提案にあたっては、出口アプリケーションによって動作条件や規模を明確にし、分離エネルギーが理論エネルギーにどの程度近づけるかも考慮しつつ、運転や設備の低コスト化も視野に入れた革新的な吸収液・吸着材料・分離膜の開発を期待します。併せて、これらの材料を効率的に活用できる新規モジュールの開発に関する提案も対象とします。CO<sub>2</sub> に限らず、温暖化係数の大きいガスを対象とした分離回収技術も対象とします。

## B21 化学品製造を目指した高効率バイオマスガス化プロセスの開発

地球温暖化防止に向け、化石資源に代わる炭素源の活用とその循環使用が今後ますます強く求められます。特に重要な炭素源はバイオマス資源もしくは捕集された CO<sub>2</sub> ですが、これらを化学品・燃料に変換して活用するプロセスの確立が今後の重要課題です。

捕集 CO<sub>2</sub> 利用ケースに比べ、バイオマスガス化ケースの方がコスト的に有望であるという試算があります。ただし、基幹化学品であるメタノールでも、現状では、バイオマスガス化プロセスで得られるものは市場価格の約 3 倍と見積もられており、本プロセス普及のためにはコストダウンが大きな鍵です。

これを実現するためには、代表的なバイオマス種について、ガス化工程でのエネルギー利用効率 70% 以上 (冷ガス効率) を達成するとともに、後段の化学品・燃料製造プロセスに悪影響を与えない



純度の高い合成ガスを安定して供給できることが必要です。この両技術を達成することにより、低コストで安定して化学品を製造できるプロセスとすることが出来ます。

今回の募集では、バイオマスガス化により得られた合成ガスを用いた化学品や燃料の低コスト合成・高付加価値化学品への展開など、下流プロセスの高度化に関する研究課題も対象とします。

これら技術の実用化により、我が国の豊富なバイオマス資源のポテンシャルを生かした国産・低炭素エネルギーの活用を図ることができ、低炭素社会の実現に貢献、さらにはバイオマス活用促進を通じ、林業の活性化にも貢献することが可能となります。

## **B22 大規模生産に向けて環境変動にロバストな光合成微生物の開発**

微細藻類、ラン藻、光合成細菌等の光合成微生物による化学品、燃料の生産は、光合成によって CO<sub>2</sub> から物質生産できるため大変期待されています。これまで培養条件の検討や遺伝子制御技術によって、目的物質を効率よく生産するための研究がなされてきました。これらの成果は、付加価値化成品の生産も併せたものなど、実用化に向けて期待を持たせるものであり、実用化に向け、大規模化を伴う実証実験が様々に試みられています。そこで明らかになってきたことは、大規模培養においては、実験室とは異なる克服すべき高いハードルがいくつかあるということです。一番の問題は、大規模培養系では実験室の分析系と比べて著しく生産性が低いことです。例えば、微細藻類は、種類により適切な光の強さが異なっていますが、実験室では、目的の微細藻類に合わせ理想的な光・温度環境を利用できます。しかし、野外においては光・温度環境は天候によって著しく変動し、人為的にコントロールするのは困難です。強弱の変動により、野外環境では高密度での培養を維持できないことが、目的物の生産性低下、コンタミネーション、回収コストの問題につながります。また、野外に限らず、室内での閉鎖系の大規模培養でも、培養槽の表層と深層における細胞環境の違い、攪拌の問題、深部を照らす照明が必要になる問題等、実験室の分析系とは全く異なる問題が生じます。

大規模生産のためのボトルネック克服のために、環境変動にロバストな光合成微生物の開発を公募します。例えば、上記のように光の強弱あるいは培養槽の深度に関わらず生産性が維持できる微細藻類や、室内の弱い照明でも高密度の細胞濃度の得られる微細藻類が開発できれば、大きな波及効果が得られます。また、回収した菌体からの化合物抽出に有効な破碎技術とリンクしていると、なお実用化の可能性が高まると考えられます。



**B23 最小限の資源投入量でバイオマス生産性を向上できるための技術**

CO<sub>2</sub>削減に大きく寄与する植物のバイオマス増産の方法には、生育地の拡大、生産性の増加向上があります。いずれにおいても、少ない水分や栄養分で生育できること、環境変動に対する強い耐性、病虫害抵抗性などによって、様々な劣悪な環境や変動する環境においても生産量／成長を維持できる植物を開発することが有効と考えられますが、まだ抜本的な解決技術はありません。また、水分や栄養分などの資源投入は、とりもなおさずエネルギー投入であり、その削減は収量当たりのエネルギー投入量を抑える観点からも重要です。

そこで、飛躍的に少ない資源投入量でも生育の優れた植物や環境に対してロバストな植物を育成するための画期的な植物育種法の開発を公募します。例えば、物質の植物内への取り込みや植物内での移動を促進する、あるいは新しい代謝経路を加えることで今まで利用できなかった窒素源等を利用できるようにするなどの様々な方策が考えられます。また、光合成、代謝、ホルモンなどとのリンクを通し、植物全体のバランスを高いレベルで維持できるように最適に設計・育種する技術開発なども期待します。

さらに、植物自身の能力のみならず、植物に共生する微生物との相互作用を理解し、共生微生物の中から植物の生育促進や病虫害抵抗性に貢献する微生物を単離・同定して微生物剤として利用する技術や、環境微生物群を制御できる化合物の技術開発なども公募します。植物の生育状況は土壤の違いによって大きく異なり、微生物叢の相違が重要な一因と考えられますが、その実態の解明と効率的な制御は今後の課題です。例えば、優良圃場中の微生物叢の組成を明らかにするとともに、微生物の機能を最大化する植物栽培技術を開発することで、微生物利用を実用的な植物バイオマス増産技術として確立する研究、メタゲノム情報を用いて植物改変を行う研究を期待します。

また、圃場での植物や土壤などの情報解析や栽培の工学的見地からの革新的な低エネルギーバイオマス生産法の提案も歓迎します。

**B24 有用物質高生産細胞をデザインするための合成生物技術、革新的バイオプロセス技術**

物質生産へのバイオプロセス導入による生産エネルギーの低減により、CO<sub>2</sub>排出削減が期待できます。バイオプロセスの汎用化、スケールアップを目指し、オミックス解析、システムバイオロジー、フラックス解析、ゲノム編集やゲノム合成技術の進展により、微生物の中に人工的な代謝経路を導入し、新たな物質生産能を付与することができるようになってきています。こうした研究により、多様

な糖質原料や、CO<sub>2</sub>やメタンなど低分子ガスから化成品を合成することが試みられています。

しかし、ある経路を導入したとしても、一過的なもの、冗長性の中への埋没、予想した程度の効果が得られない、経路改変・導入により細胞内の代謝バランスやエネルギー・酸化還元バランスが崩れて生育速度が悪くなる、などの理由で十分な生産性が得られないことが多く見られます。また、物質生産におけるエネルギー投入量を減少させる必要がありますが、それには独立栄養微生物の機能に学び新しい手法を開発する必要があります。さらに、標的生産物が毒性を示し、生産できないといった問題も生じています。これらの問題点を解消するために、人工代謝経路とエネルギー・還元力供給系を併せて最適に構築するなど、物質生産に最適に細胞全体をデザインする合成生物技術に資する開発を公募します。また、これらの合成生物学的知見を用いた、(細胞を用いない) バイオプロセスの革新的開発も含めます。例えば、以下のような提案を期待します。

- ・ 多種の微生物に共通で導入が可能な高効率 ATP・還元力再生系の開発
- ・ 電子供給能、化学エネルギー供給能、炭酸固定能など、独立栄養微生物の機能を活用する技術
- ・ 人工的な代謝経路に必要な人工酵素を効率よく創製できる手法の確立
- ・ 収率やエネルギー利用効率を上げながら毒性の高い物質でも生産できる、遺伝子回路の合理的な設計手法の確立
- ・ 上記を利用して、合成生物学的な設計を行う設計ツールの開発
- ・ 合成生物学的な開発に適したプラットフォーム宿主細胞の開発
- ・ 従来の化学プロセスを置き換えるような新しい(細胞を用いない) 高効率なバイオプロセスの革新的開発
- ・ 生物と化学の両プロセスを容易に接続・連関できるような新たなプロセス開発

## **B25 バイオマス原料から高性能・高機能素材を高効率で生産する新しい合成技術**

バイオマス(木本系・草本系材料)の成分分離で得られる糖類やリグニンを原料として、日常生活や産業に有用な化成品や高分子素材を省エネルギープロセスにおいて高効率で生産する新しい技術を開発してその産業体系を確立することは、低炭素社会を実現するための重要課題の一つです。最近の数年間において、木本系あるいは草本系材料から主として、セルロース、ヘミセルロース、リグニンの3成分を合目的的に分離する多様なプロセスが提案され、それぞれ特色ある分離技術の開発が急速に進展しています。結果として、セルロース、糖類、リグニン等を比較的高純度で生産できるようになってきました。

国内においてバイオリファイナリーシステムを作動させるためには、低炭素社会への貢献と同時に経済性の確保を図ることが必要です。よって、第1のボトルネックは、バイオマスから生産できるセルロース、糖類、リグニンを社会が求める高性能あるいは高機能な化成品や高分子素材へと効率的に変換する新しい化学的・生物学的合成方法を開発することにあります。また、これまではバイオマス含有量が少ないためにあまり注目されていなかったテルペンやポリフェノール等を付加価値の高い機能製品に変換する技術開発も必要です。第2のボトルネックは、有機酸やアルコール等の汎用化成品をバイオマスから低コストで生産できる技術を開発することです。これらのボトルネックを解決することで、初めて、石油を原料とするプラットフォームがバイオマスを原料とするプラットフォームに変換され、低炭素社会を経て真の炭素循環社会が実現されます。

今回は第1のボトルネックであるセルロース、糖類、リグニン、テルペンやポリフェノール等を原料として、高性能あるいは高機能な化成品や高分子素材を省エネルギープロセスで効率良く生産する新しい合成技術を開発する挑戦的な提案を公募します。

セルロース、糖類、リグニン、テルペンやポリフェノール等を有機酸やアルコールのような安価な汎用化成品やエネルギー原料に変換するのではなく、例えば以下のような提案を期待します。

- ・ セルロース、糖鎖、リグニン、テルペンやポリフェノール等が保有する生物由来六員環等の骨格構造を活かした高性能あるいは高機能な化成品や高分子素材に変換する化学的・生物学的な合成技術
- ・ 今後増産が予想される天然ガス、シェールガスからは生産が困難で将来的に品薄が予想される化成品原料、例えば、C4以上の化合物や芳香族化合物を、セルロース、糖類、リグニン、テルペンやポリフェノール等を用いて、低コストで効率良く生産する合成技術の開発
- ・ リグニンは架橋高分子であることから、高温、高圧等の過酷な反応条件でないと短時間では分解しないことが知られており、リグニンから芳香族化合物等の低分子化合物を効率的かつ高収率で得ることは極めて困難である。この問題を解決するためのリグニン分解の反応やプロセスに関する技術開発

## **B26 次世代ナノセルロース材料を創製するための階層構造制御技術**

バイオマスから太さ 20nm 程度のナノセルロース（セルロースナノファイバー（CNF）、セルロースナノクリスタル（CNC）等）を効率よく分離する技術の開発が進み、国内外においてナノセルロースの工業生産も試験的に始まっています。ナノセルロースの引張強度（3GPa）と弾性率（140GPa）は

アラミド繊維などの超高強度繊維と同程度であり、熱による変形も小さいことから、ナノセルロースは高性能素材として大きな可能性を持っています。また、ナノセルロースは表面積が大きく、その表面は多数の水酸基を有するため化学修飾して各種官能基を導入することや、ナノセルロース表面に金属イオンや金属ナノ粒子を高密度で付着させることができ、ナノセルロースは高機能素材としても大きな可能性を有しています。

しかしながら、親水性のナノセルロースを用いて単独あるいは他の材料との複合化によって高性能・高機能材料を作製するためには、ナノセルロースを基盤とする材料の一次・二次・三次の階層構造を、各階層において精密に構造制御する技術の開発が必要です。CNFを用いて次世代材料を設計し創製する技術開発に関する挑戦的な提案を公募します。

例えば、以下のような提案を期待します。

- ・ 結晶・非結晶領域を制御する技術
- ・ 水中の均一分散高次構造を維持したまま水分を除去する技術
- ・ 親水性／疎水性を制御し疎水性の高分子やゴムに完全分散させる技術
- ・ 階層構造に起因する新しい機能、性能（吸湿性、耐熱性等）の大幅改善に着目した技術
- ・ 自動車のボディ等部材に用いる場合、粘り強く・しなやかな特性、耐衝撃性を付与する技術

### **B27 次世代のリグニン材料を創製するための化学修飾・複合化技術**

従来、リグニンは製紙プロセスの前処理によって変成が進み、前処理に使用された薬品の混ざった黒ずんだ液体（黒液）となって回収され、燃料としてのみ工業的に利用されてきました。またリグニンを化成品や高分子素材として再利用するため、リグニンを分解して低分子化し、得られた低分子化合物を変換し化成品を得る、あるいは重合して高分子を得る研究開発が鋭意行われてきました。しかしながら、反応が遅い、収率が低い、多段階のプロセスとなる、エネルギー消費が大きい等の問題があり、実用化の見通しが未だ立っていないのが現状です。一方、昨今のリグニン分離の研究開発の進展によりバイオマスから変成のほとんどない綺麗なリグニンを得ることができるようになってきました。リグニンは多数の水酸基を有するため化学修飾して各種官能基を導入することや他の材料と複合化することで従来にない高性能・高機能素材として再生できる可能性を有する魅力的な材料です。従来のアプローチのようにリグニンを分解するのではなく高分子のまま活用し次世代材料へ変換する技術開発に関する挑戦的な提案を公募します。

例えば、以下のような提案を期待します。

- ・ リグニンはその原料種によって基本構造や性状が異なる化合物であることから、リグニン構造を把握し、構造と性状の相関を明らかにすることで、その品質を管理する技術
- ・ リグニンは多数の水酸基を有するため化学修飾して各種官能基を導入することで高分子材料や無機材料と複合化し高性能・高機能素材として再生する技術

#### ④ 低炭素社会実現のための循環型高分子材料の創製

##### B28 【異分野シーズの融合運用】低炭素社会実現のための循環型高分子材料の創製

高分子材料（プラスチック、エラストマー等）が、その発明以来長年にわたり我々の生活に利便性と恩恵をもたらしてきたこと、また将来においても有用な材料であることに疑いの余地はありません。一方で、高分子材料の廃棄物は金属等と比べて有効利用される割合が低いことが大きな問題となっています（プラスチック容器包装廃棄物の世界全体での有効利用率 14%<sup>a)</sup>、日本での有効利用率 84%<sup>b)</sup>）。プラスチック容器包装廃棄物の有効利用率が 84%に達している日本においても、その内訳を見るとマテリアルリサイクルは23%、ケミカルリサイクルは4%に留まり、サーマルリサイクルが57%、単純焼却が9%、そして、埋め立てが7%となっており、結果として、全体の66%が焼却され炭酸ガスの発生源となっています。

人類が 1950 年から 2015 年までの間に製造されたプラスチックの総量は 83 億トンに達していますが、プラスチックの生産量は今後年間 5%増の勢いで増加しており、このままでいくと 2050 年までに累計 330 億トンを超えるプラスチックが生産されると予測されています<sup>c)</sup>。よって、このまま進むと大量のプラスチックゴミが廃棄され、ゴミ処理の施設不足の問題や処理（熱回収や焼却）の結果として排出される CO<sub>2</sub> が地球温暖化に及ぼす影響がクローズアップされてくる可能性は極めて高いと言えます。また昨今では陸上から海洋へのプラスチックごみの流出が懸念されており、このままでは 2050 年までに魚の重量を上回るプラスチックが海洋環境に流出すると予測されています。

以上の懸念や問題を抜本的に解決するために、今回の募集では「低炭素社会実現のための循環型高分子材料の創製」を目的とするハイリスク・ハイインパクトな基盤研究・基盤技術に関する提案を期待します。

ここで言うところの循環型高分子材料とは、限りのある資源から作られる高分子材料が容易に再生産できるように工夫することで、持続可能な形で生態系の中で循環させながら利用でき、その結果として、低炭素社会の実現に資する高分子材料（プラスチック、エラストマー等）のことを言います。具体的には、バイオマスプラスチック<sup>\*1</sup>、生分解性プラスチック<sup>\*2</sup>、リサイクル容易なプラスチック<sup>\*3</sup>、



長寿命プラスチック<sup>\*4</sup>、あるいは、同様のエラストマーを挙げることができます。

- \*1：バイオマスプラスチック（カーボンニュートラル）
- \*2：生分解性プラスチック（植物生育の肥料として活用）
- \*3：リサイクル容易なプラスチック（リサイクルにより焼却廃棄物の低減）
- \*4：長寿命プラスチック（長寿命化による焼却頻度の低減）

またボトルネックとして、以下のような課題を例示することができます。

#### 1. バイオマスプラスチック（エラストマーを含む）

- 高耐熱性、高強度、耐衝撃性、長期安定性等の点で石油系プラスチックを超える特徴を持つバイオマスを原料とするプラスチック
- ナノセルロースで複合化した高機能材料への展開
- 天然ゴムをベースとして用いた高付加価値材料への展開

#### 2. 生分解性プラスチック（エラストマーを含む）

- 物理的・化学的・生化学的な特殊刺激に反応する機能が組み込まれており、それが作動することで分解が誘発される生分解性プラスチック
- 物理的・化学的・生化学的な分解が、連続的あるいは同時並行的に働く生分解性プラスチック
- 物理的・化学的・生化学的な分解速度を制御可能な生分解性プラスチック

#### 3. リサイクル容易なプラスチック（エラストマーを含む）

- ケミカルリサイクルのための分解機構がプラスチックに組み込まれており、回収後にそれを発動させることでプラスチックが、例えば、その低分子量体として容易に回収できるプラスチック
- 回収後に分解機構を発動させることで、プラスチックと複合化した材料、部品、あるいは、システムから構成部材・部品が容易に回収できることを可能にするプラスチック
- 安定で精製が容易なため、そのままのリサイクルが可能なプラスチック
- 使用後破碎回収しても再成形すれば元の優れた物性（機械的強度等）を復元することができる複合材料

#### 4. 長寿命プラスチック（エラストマーを含む）

- 自己修復機能を有するプラスチック
- 分子量の低下しないプラスチック
- 使用とともに性能の向上するプラスチック

#### 5. 上記1～4のプラスチック（エラストマー含む）の合成（ポリマー重合）のためのモノマー生産に関する技術



## 6. 上記 1~4 を進めるために必要な基盤技術

- プラスチック分解メカニズムの解析
- プラスチックのナノ構造解析と物性相関
- 分解性プラスチックを設計するためのデータ集積とそれを用いた理想構造のシミュレーション技術
- プラスチック構造と生分解菌の関係とその最適化

以上 1~6 の課題を達成するためには、バイオ、化学（触媒、重合）、分析・解析、データベース構築、シミュレーション等のあらゆる分野のサイエンスシーズの活用が重要となります。

- a) : 「Single-use plastics: A roadmap for sustainability」(国連環境計画、2018年)
- b) : 「プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 2018年」(一般社団法人プラスチック循環利用協会)
- c) : Roland Geyer, Jenna R. Jambeck and Kara Lavender Law, Production, use, and fate of all plastics ever made, Science Advances 2017; 3: e1700782 (19 July 2017)

### ● 成果の適用先の想定

本領域では、上記ボトルネック課題の解決に向けたチャレンジングな研究開発を進めるため、実用化までに長い年月を要する技術も含まれています。そこで、JST の他事業や他省庁のプログラムと早期に連携を行い、産業界への成果の橋渡しに加え、更に長期的な取り組みが必要な課題においては、より実用化に近い他の研究開発プログラムへ成果を引き継ぐことも検討します。

### ● 関連事業との連携

新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下 NEDO）の先導研究プログラムのうち、2017 年度に充足した「未踏チャレンジ 2050」との連携を進めます。2050 年の低炭素社会実現に向けた革新的な研究開発の創出のため、JST 側では主としてアカデミアを中心としたボトルネック課題の解決を推進し、NEDO 側では主として産学連携による産業界のニーズを踏まえた課題の解決を目指します。

### ● 実施体制

探索研究においては、出口をしっかりと意識しつつも挑戦的な研究テーマを採択します。ステージゲート評価では、研究が将来の低炭素社会実現に向かっているか、つまり本領域の目標に資するかど

うかを評価します。ステージゲート評価は単にふるい落とす手段ではなく優れた研究の方向を正しく意識付けると共に、効果的に引き上げ、伸ばす評価であり、将来的に CO<sub>2</sub> 排出削減に大きく貢献し得る技術を育成する方法であることにご留意ください。

本格研究においては、「低炭素社会への貢献可能性」を意識した運営を行い、社会実装に向けた研究開発の加速を行います。

#### ● 研究開発の推進方針

JST では、2010 年より「先端的低炭素化技術開発」(ALCA) を実施しています。ALCA は低炭素社会実現に向けた研究開発に特化したプログラムとして「スモールスタート・ステージゲート方式」を採用しています。この方式は、採択時には比較的少額の課題を多数採択し(スモールスタート)、ステージゲート評価を経て通過した課題は、重点化によって研究規模を拡大する取り組みです。

その他にも経済産業省をはじめとする他省庁との関連プログラムおよびプロジェクトとの連携を行うなど、2030 年頃の成果の社会実装に向けた研究開発の加速、および実用化に向けて成果を橋渡しする取り組みを行っています。

本領域では、このような ALCA の運営方針を踏襲し、よりチャレンジングな目標を掲げた研究開発を推進することで、2050 年頃の温室効果ガス排出量の大量削減に貢献することを目指します(図2)。

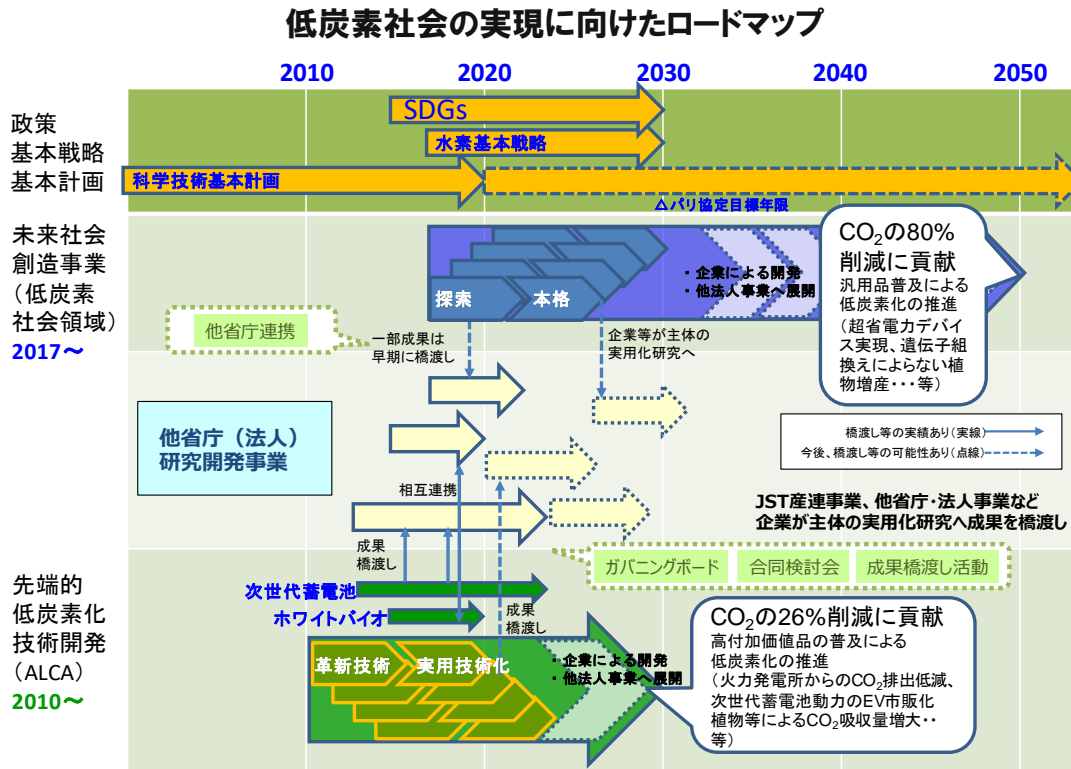


図2：低炭素社会実現に向けたロードマップ

また、本領域では、ボトルネックの解消等による社会・産業界への大きなインパクトが見込まれた段階で、社会や産業界への適用・応用が急速に進むことが見込まれることから、探索研究期間の途中であっても積極的に本格研究への移行を検討することとします。また、社会・経済的インパクトの最大化において必要と運営統括が判断した場合は、複数の研究開発課題の融合によるチームの再構成等を行うことも想定しています。

#### ※「異分野シーズの融合運用」について

2019年度より、サブテーマ「④低炭素社会実現のための循環型高分子材料の創製」において「異分野シーズの融合運用」を導入いたします。これは、早期の成果創出・社会実装を目指すため、異分野・他制度からの技術シーズを組み合わせ、新たな社会的価値を創成する新たな試みです。

特定のサブテーマについて、異分野・他制度で創出された複数の小規模な技術シーズを募集・育成し、評価を経て大きな研究開発体制に融合していくしくみです（他のサブテーマ間での融合も含まれます）。融合後はチーム編成を行い、領域全体で目標達成に向けた研究開発を推進します（図3）。

- 他のサブテーマとは研究費が異なります。下記の「●期間・研究開発費」をご覧ください。

- 研究開発提案書（様式3）「6. その他」に、本技術シーズが創出された他制度の名称・課題名・研究開発代表者・期間を記載してください。

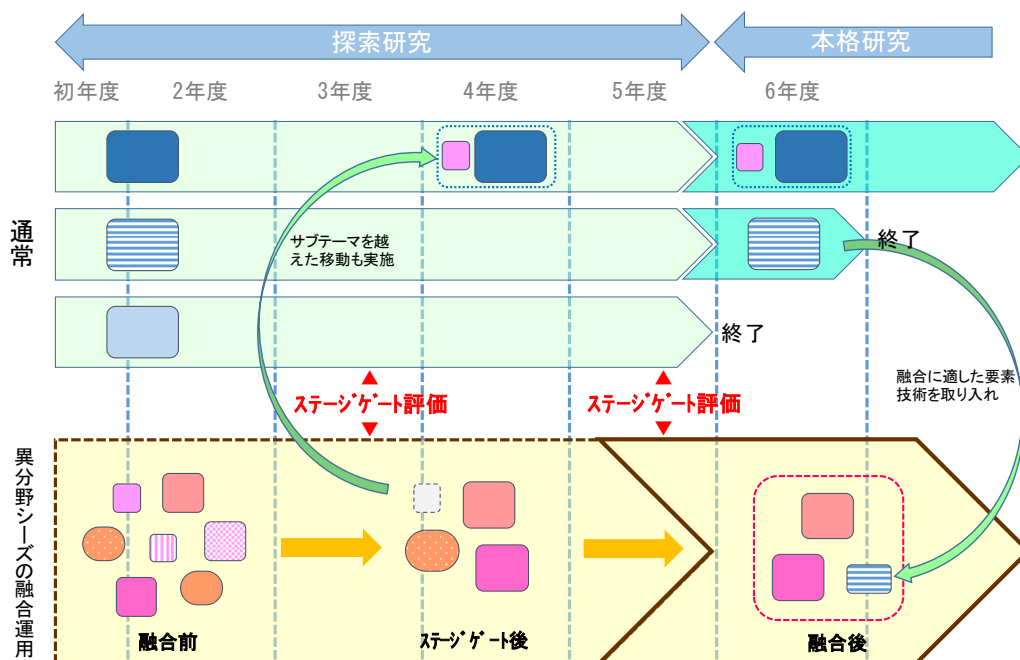


図3：異分野シーズの融合運用のイメージ（例）

採択当初は個別に研究開発課題を推進します。本格研究への移行前に少なくとも1回のステージゲート評価を行います（この段階でも小規模な融合を行う可能性がございます）。本格研究移行時は大規模な融合を行い、大きな研究開発体制でPOCの達成を目指します。

### ● ステージゲート評価について

本領域では、「本格研究」への移行は、原則として2024年度とし、移行前に少なくとも1回のステージゲート評価を受ける必要があります。1回目のステージゲート評価の時期、クリアすべき目標（マイルストーン）については、採択後、担当の研究開発運営委員との面談により決定いたします。進捗によっては、ステージゲート評価の結果、早期に本格研究へ移行することも検討いたします。

### ● 期間・研究開発費

<探索研究>

探索研究期間は、2023年度末までの最大4年半、研究開発費は探索研究期間全体で総額1.3億円（直接経費）を上限として計画してください。

<本格研究>

本領域では探索研究時のステージゲート評価を踏まえて本格研究の期間や予算を決定することになりますが、提案段階における本格研究の期間は最大5年、研究開発費は本格研究期間全体で総額5億円（直接経費）を上限として計画してください。

※「異分野シーズの融合運用」について

<探索研究>

探索研究の研究開発期間は最大4年半、研究開発費は年間500万円（直接経費）を上限として計画してください。ステージゲート評価の結果によっては、研究開発課題の絞り込みや他課題との融合などにより増額の可能性もあります。

<本格研究>

本格研究の研究開発期間は最大5年、研究開発費は本格研究期間全体で総額1億円（直接経費）を上限として計画してください（総額1億円は複数課題を融合した結果の金額です）。

## 6.1.5 「共通基盤」領域



運営統括

長我部 信行

(株式会社日立製作所 ライフ事業統括本部企画本部長 兼  
ヘルスケアビジネスユニットチーフエグゼクティブ)

### I. 「共通基盤」領域の目指すところ

本領域は、広範で多様な研究開発活動を支える共通基盤技術や先端的な研究機器などを対象とする領域として、2018年度に新たに設定されました。

研究現場は将来の社会に大きなインパクトをもたらす革新的な「知」や飛躍的な製品を創出する源泉です。米国・中国に比べ研究者数や研究費に劣る我が国が研究力を高めていくためには、基礎科学に立脚した効率的・効果的な研究開発を進めること、そのための革新的な共通基盤を構築することが重要です。しかしながら、研究開発の活力を示す指標の一つである論文生産数はここ数年で伸び悩んでおり、日本の研究力の低下が懸念されています。背景には、中国における科学技術イノベーション政策の一層の推進、その他新興国の台頭、我が国の少子化等、社会構造の変化もありますが、これを打破するためには、先端分野の研究者が、近未来に実現すべき目標を共有して分野を超えて連携し、新たな研究分野を拓くダイナミックな取り組みが必要です。

また、研究現場をより活性化する仕掛けとして、社会のニーズに応える出口指向の研究のみならず、研究現場のニーズに応えるための研究活動についても着実に推進する必要があります。

このような状況を踏まえ、本領域では重点公募テーマとして「革新的な知や製品を創出する共通基盤システム・装置の実現」を設定し、①ハイリスク・ハイインパクトで先端的な計測分析技術・機器などの開発、②データ解析処理技術等アプリケーション開発やシステム化、③研究現場の生産性向上等に資する技術の開発の3つの観点を重視します。

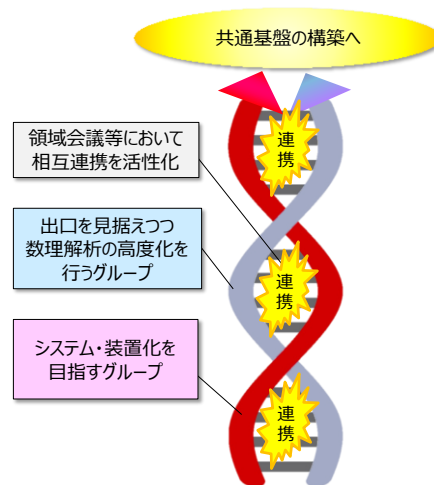


図1：領域運営における仕掛け



共通基盤の構築に向け、上記の観点を重視したシステム・装置化を目指した計測分析技術・機器（目で見る）の開発にあたり、昨今応用展開が急速に進展している数理科学・数理工学に立脚した数理解析・シミュレーション等（計算機で見る）の高度化も重視し、2つの成果を統合して分解能・精度・スループット等を向上させて研究手法を刷新することで、これまでにない新しい価値の創出を目指します（図1）。

## II. 重点公募テーマ

### 革新的な知や製品を創出する共通基盤システム・装置の実現

継続

#### (1) テーマの説明

##### <背景>

昨今、イノベーションによる既存技術の淘汰が頻繁に起こるようになってきています。研究現場も例外ではなく、2017年にノーベル化学賞の対象となったクライオ電子顕微鏡による膜タンパク分子・単分子の解析手法や、次世代シーケンサーによるゲノム配列決定、遺伝子編集技術 CRISPR-Cas9 等の新しい技術が既存の研究手法を刷新しつつあります。

例えばゲノム解析については、2003年までに13年間、30億米ドルをかけて終了したヒトゲノム計画に対し、現在は一人あたり1,000米ドル、1日で5人のヒトゲノムを解析することが可能な次世代シーケンサーが実用化されています。解析コストの飛躍的な低減により、ゲノム解析は研究現場における一技術から、テーラーメイド医療の実現に必要な医療現場の基盤技術へと拡大し、この技術を持つillumina社は時価総額4.4兆円（2018年5月現在）の企業に成長しています。

材料開発においても革新が進んでいます。一例として、2011年から推進された米国「マテリアルゲノムイニシアチブ」は、材料開発から商品化までにかかる約20年という期間を、データ駆動科学を駆使して半分にするという大変意欲的な計画であり、既に5億ドル以上が投資されたと言われております。追従した中国も多くの成果を出しています。我が国においても国立研究開発法人物質・材料研究機構を中心に研究開発が進められているところです。

米国・中国に比べ、研究者数や研究費に劣る我が国が研究力を高めていくためには、基礎科学に立脚した効率的・効果的な研究開発を進めること、そのための革新的な共通基盤を構築することが必要です。

##### <目標>

本事業は本格研究期間内にPOCを目指す制度です。装置開発を行う場合のPOCとして、プロトタイプを用いて研究現場で有用性の実証を行うレベルまで到達することを求めます。

本事業で創出する基盤技術は、さらに次の目標いずれかの達成に貢献することを期待します。

目標①：基盤技術の活用により日本の研究力を高めること

目標②：基盤技術の事業化により我が国の産業競争力を強化すること

目標①は、開発されるシステム・装置を用いた研究が、産業あるいはアカデミックな面で社会に大きなインパクトを与える事を求めるものです。システム・装置自体が事業の核とならずとも、それらを使った研究が大きな成果を創出することを期待しています。

目標②は、システム・装置自体が大きな事業の核になる事を目指すものです。当初は研究現場のニーズに応えるシステム・装置だったものが、コストやスループットなどの性能が向上することによって、研究現場の枠を越えて産業・サービスに直接貢献できるような、社会に大きなインパクトを与える事業の創出へとつながることを期待しています。

### 重点公募テーマ：革新的な知や製品を創出する共通基盤システム・装置の実現

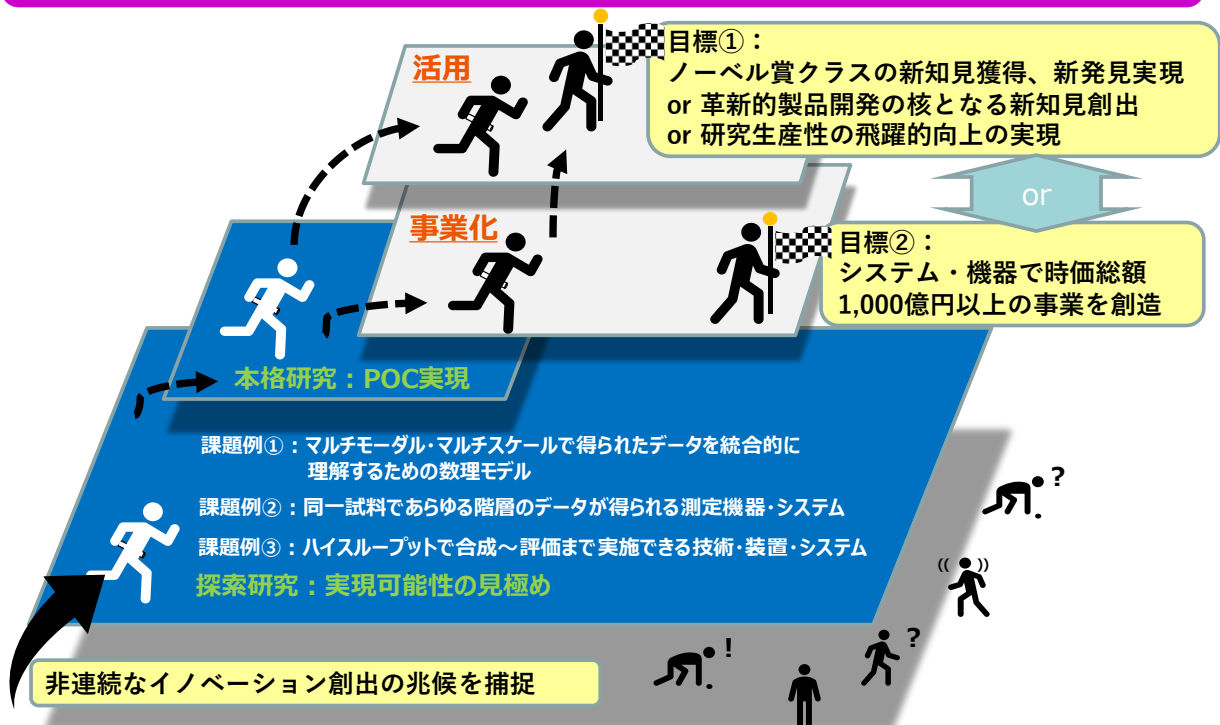


図2：本重点公募テーマの目標と、本事業で実施する研究開発フェーズの概念図

## (2) 募集・選考・研究開発推進にあたっての運営統括の方針

### ● 募集・選考の方針

#### 2019年度のポイント

- ・ 2019年度は昨年度設定した10のサブテーマを継続しつつ、2つの「優先的に提案を求める課題」を重点的に募集します
- ・ 採択件数は6～9件程度を予定しています

本領域が掲げる重点公募テーマの高い目標を実現するには、目的を共有し、相互に関連する複数課題を同時進行する必要があります。そのため、本年度公募においては、昨年度に重点公募テーマの下に設定された、広範囲かつ基礎的な10のサブテーマを継続しつつ、本事業 web サイトを通じていただいた「共通基盤」領域へのテーマ提案へのご意見・アイデア並びに有識者による検討ワークショップに基づき、優先的に提案を求める課題として、以下の2課題を設定しました。

- 一原子・分子・細胞から生体・材料の網羅的な理解を促進する計測分析技術・機器の開発 (Y01)
- 研究現場の負荷を低減し、超高品質な実験(サンプル、培養、合成等)に貢献する革新的技術の開発 (Y02)

具体的には、(1)については、従来異なるサンプル・マルチモーダル・マルチスケールで測定されていたデータを統合的に理解する機器・解析法・数理技術の提案、(2)については、前処理・合成・精製・測定解析までをハイスループットで評価できる技術の提案を求めます(詳細は、後述の「研究開発内容」をご覧ください)。

### 重点公募テーマ：革新的な知や製品を創出する共通基盤システム・装置の実現

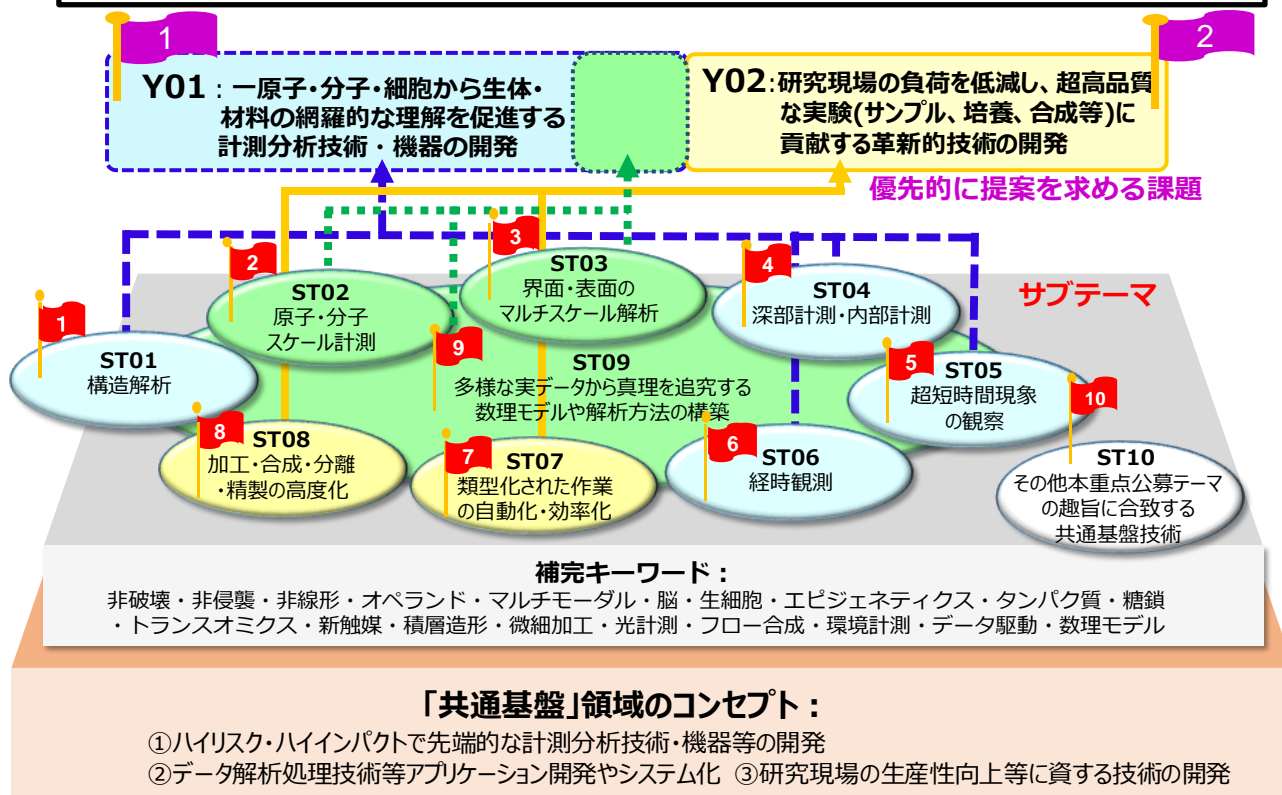


図3: 「共通基盤」領域の優先的に提案を求める課題とサブテーマの俯瞰図

本領域では、採択課題の代表者は、テーママネージャーの助言を受けつつ、研究開発を進めていただきます。

本年度も引き続き、本格研究への移行を目指す研究構想の提案に加え、重点公募テーマの実現に貢献する要素技術の提案を「探索研究（要素技術タイプ）」（以下、「要素技術タイプ」）として募集します。

要素技術タイプの研究開発を実施する研究開発代表者は、その成果が当該重点公募テーマの下で実施される本格研究に導入され、POC 達成のための要素技術を確立等することを目的とした研究開発に取り組んでいただきます。ただし、昨年度に引き続き、本年度も探索研究・通常タイプを優先することとし、要素技術タイプについては、複数のサブテーマにまたがる共通の基盤として期待される募集区分 ST09「多様な実データから真理を追究する数理モデルや解析手法の構築」を中心に募集します。なお、募集区分 ST10 は対象外とします。

また、通常の探索研究タイプへの応募された場合にも、その提案の内容を鑑み、要素技術タイプとしての参画を条件として採択する場合があります。

#### ● テーママネージャー



テーママネージャー

合原 一幸

（東京大学 生産技術研究所 教授）



テーママネージャー

岡島 博司

（株式会社豊田中央研究所 常務理事／BR 全豊田新事業創成研究部門 部門長）



テーママネージャー

佐藤 孝明

（株式会社島津製作所 フェロー・ライフサイエンス研究所長  
／筑波大学プレジジョン・メディシン開発研究センター長）

● 研究開発内容

募集・選考の方針に記載のとおり、2019年度は以下の2課題に関連する技術を優先的に求めます。  
 なお、後に記載するサブテーマに即した優れた提案については、以下の2課題との関連に関わらず、採択の対象とします。

① 優先的に提案を求める課題

募集区分	優先的に提案を求める課題名
Y01	一原子・分子・細胞から生体・材料の網羅的な理解を促進する計測分析技術・機器の開発
Y02	研究現場の負荷を低減し、超高品質な実験（サンプル、培養、合成等）に貢献する革新的技術の開発

1) 一原子・分子・細胞から生体・材料の網羅的な理解を促進する計測分析技術・機器の開発

(募集区分：Y01)

世界的に競争が激化する健康・医療、物質生産、機能性材料の研究加速のため、光学・電子顕微鏡等の画像情報等から得られる情報を飛躍的に向上させる計測技術の開発や、ゲノム情報等、従来別々に扱われてきた情報を高精度に時間軸も含めた4次元で統合解析可能な技術開発が求められています。

そこで、新たな研究の進展のため、従来のイメージング技術で対応できない時間分解能・空間分解能の飛躍的向上を目指します。具体的には、異なるスケール、異なるモダリティそれぞれの時間分解能・空間分解能の向上やイメージング技術とオミクスデータを統合した装置・システムを開発することにより、生命システム・材料開発における統合的な理解を進める事に寄与します。

例えば、従来の測定法では対応できない①時間分解能ミリ秒(ms)以下、空間分解能1マイクロメートル(μm)以下の分解能領域の測定法、②広い視野で、時間分解能と空間分解能を両立させる技術の開発を目指します。また、③従来の計測技術では、対象物は、異なるサンプル、マルチスケールで階層毎に最適化されたモダリティで観察されており、これらを結びつけることが困難な状況でした。

これに対し、ライフサイエンスの領域では、得られたオミクスデータとイメージング技術を結びつける有効な手法や、マテリアルサイエンス分野でマイクロ～マクロの視点で階層毎に実施されている測定を統合し全体を理解できる手法が開発できれば、新たな共通基盤技術になると考えています。

例えば、がんは遺伝子の変異による病気であることが解明されており、ゲノムシーケンサーの開発



によって治療法がめざましく発展しています。しかし、ゲノムの配列の知識だけでは病気の本質が解明されていないものがあります。例えばアルツハイマー病のような神経変性疾患です。こうした疾病に対して階層毎に得られたデータを総合的に理解することで、新たな知見に基づく治療法の発展が期待されます。

また、これらの実現のために、従来、モダリティ毎に測定されていた情報を、同一サンプルを用いて同時に測定できる方法や、新たな高感度標識技術の開発、数理・情報処理技術の提案も歓迎します。

## **2) 研究現場の負荷を低減し、超高品質な実験（サンプル、培養、合成等）に貢献する革新的技術の開発（募集区分：Y02）**

研究現場で日々行われる前処理、培養、化学合成等、大量同品種から少量多品種の反復作業の自動化により、本領域が重視する観点の一つである「研究現場の生産性向上等に資する技術の開発」に貢献すると共に、スマートラボラトリアの実現を目指します。各研究分野における共通課題である「1.前処理、2.合成、3.精製、4.評価技術」のハイスループット化を実現し、これらを統合することにより、高品質なデータの蓄積による新たな価値の創出、知的研究時間の確保や研究の再現性の確保など、研究現場の革新的な効率化に貢献します。例えば、ライフサイエンスの分野では、従来のオミクス解析に加え、細胞表面・細胞内外の分子の合成～測定までを実施するとともに、数理科学との融合を実現するために必要なハイスループットと高い再現性が求められます。

マテリアルサイエンスの分野では、マテリアルズ・インフォマティクス領域で新材料探索のための複数のプロジェクトが実施されていますが、これを支える共通基盤技術としてターゲット材料に対する、前処理・合成・精製・評価・解析までの一連の工程をハイスループットで実現するための合成評価装置等の技術開発が必要です。また、自動化、ユビキタス化および精製工程等のプロセスを不要にすることで実現されるハイスループット化の提案もこれに含まれます。特にデータ駆動型ヘシフトするためには、メタデータやハイスループット実験データ、マルチモーダル、マルチスケールのデータから数理モデルを構築することが必須となります。このモデルは特定の実験結果を表現するだけでなく、材料物性をより一般的に表現することが求められ、そのためには記述子の工夫などが必要です。

また、将来的にここで得られた計測分析技術や機器・分析装置の標準化が実現されることで、我が国の国際競争力強化に資することを見据えた提案を期待します。

上記1)、2)を実現するにあたり、数学がもつ抽象性や普遍性から、関連する測定・解析分野の知見について、「本質的な情報」を記述・抽出するための数理モデルや解析手法、測定技術の抜本的改革を先導する新たな数理的手法の開発が求められます（詳細は、サブテーマ一覧の「9) 多様な実データから真理を追究する数理モデルや解析手法の構築（募集区分：ST09）」をご覧ください）。

なお、提案にあたっては、これらの課題を解決した時の、社会的インパクトの大きさと、それを実現するための現状と既存の技術のギャップとそれを埋めるための方針が、国際的な競合技術分析との比較や、提案段階の構成の中に企業がどの程度の期待を持って参画しているかという観点からも、可能な限り提示されることを望みます。

## ② サブテーマ一覧（2018年度より継続）

募集区分	サブテーマ名
ST01	構造解析
ST02	原子・分子スケール計測
ST03	界面・表面のマルチスケール解析
ST04	深部計測・内部計測
ST05	超短時間現象の観察
ST06	経時観測
ST07	類型化された作業の自動化・効率化
ST08	加工・合成・分離・精製の高度化
ST09 <sup>*1</sup>	多様な実データから真理を追究する数理モデルや解析手法の構築
ST10 <sup>*2</sup>	その他本重点公募テーマの趣旨に合致する共通基盤技術

\*1 ST09 は他のサブテーマと研究費の上限が異なりますのでご注意ください。

（後述の「● 期間・研究開発費」の項目をご参照ください。）

\*2 本サブテーマにおいては要素技術タイプの提案は求めません。

※ e-Rad での申請の際に、「優先的に提案を求める課題」（Y01 か Y02）または「サブテーマ」（ST01~ST10）で該当する番号を選択してください（複数選択可）。

※ 要素技術タイプについても e-Rad での申請の際に同様に番号を選択ください。なお、要素技術タイプへの申請は提案書様式が異なりますのでご注意ください。

※ 選考は優先的に提案を求める課題やサブテーマ単位で独立して行うものではなく、全てを同時に比較検討して進めます。また、選考の結果、採択課題が複数あるサブテーマもあれば、採択課題のないサブテーマもあり得ます。

### 1) 構造解析（募集区分：ST01）

本サブテーマでは、複雑な構造を持つ物質の構造解析を行うための基盤技術開発を行います。

マテリアルサイエンス分野では、新たに作成した材料の構造を詳細に把握し、物性との相関を解明して次の新材料設計に役立てたいというニーズが数多くあります。特に多元系材料、不均一系材料、高分子複合材料等の構造解析や、構造上の欠陥、ドーパントの位置情報の把握が課題となっています。軽原子の分析が困難であることは長らく課題となっていますが、これを解決する手法や、既存方法より簡便で正確な解析技術の開発が依然として求められています。

ライフサイエンス分野では、生体内の各種分子の構造解析は、健康・医療分野、特に創薬研究における重要な開発要素となっています。例えばクロマチンや複合タンパク質、膜タンパクの高次構造、ペプチドの立体構造、さらには糖鎖構造などが創薬ターゲットとして注目されています。

さらに構造解析の概念を広く捉えれば、DNAの配列決定についても高いニーズがあります。現在主流となっている次世代シーケンサーと呼ばれる解析技術のさらに次の世代を目指した、既存の手法を格段に向上させるような技術開発が求められています。

### 2) 原子・分子スケール計測（募集区分：ST02）

本サブテーマでは、系全体に様々な影響を及ぼす原子・分子スケールの様々な対象を計測する手法の開発を行います。

マテリアルサイエンス分野では、材料の持つ物性・特性を理解するため、電場・磁場・フォトン・フォノン・スピン・電子状態・振動状態・ゆらぎ等を計測することが求められています。

ライフサイエンス分野では、分子集団における平均値ではなく一分子の振る舞いを個別に観測することが求められており、膜タンパク質、特にGPCRやChannel等の構造と各種リガンドとの一分子解析、マイクロ流体力学を用いた一分子分離や機能評価、さらには生細胞における一分子解析のための計測技術などがニーズとして挙げられています。

### 3) 界面・表面のマルチスケール解析（募集区分：ST03）

本サブテーマでは、特に界面・表面に着目し、局所の測定のみならず、ミクロからメゾスケール、マクロスケールの解析を行うための研究開発を実施します。

マテリアルサイエンス分野では、材料設計やトライボロジー等に関する研究においてマイクロからマクロの観点までの評価が必要となっており、物質の特性評価や性能向上のための研究開発の一環として、詳細かつ広範囲に対象を解析する技術の発展が望まれています。これらの研究を通じて、信頼性と耐久性に優れた製品の開発が実現し、省資源・省エネルギー化等に貢献することが期待されています。

ライフサイエンス分野では、細胞膜の一部だけでなく、細胞膜全体でどのような分子がどのように分布しているかを解析することが望まれています。特に細胞の表面における膜タンパク質等は、細胞と細胞外のコミュニケーションのための重要な解析対象であり、例えば細胞を利用した物質生産を社会実装しようとする研究開発現場においても、現象の解明に資する詳細な解析が望まれています。

#### 4) 深部計測・内部計測（募集区分：ST04）

本サブテーマでは、物質の深部・内部の構造や、内部現象を測定するための技術開発を行います。

マテリアルサイエンス分野では、例えば電池や構造材料の品質確認・評価のための内部劣化状況の測定や、内部の不純物検出、機能発現状況の解析を目的とした内部における化学変化の様子等を観測することが求められています。

ライフサイエンス分野では、血管内細胞動態、臓器内一細胞解析、脳解析（神経可塑性解析）等のための深部計測が求められています。

また、観測過程での状態変化を惹起しないよう、特に低侵襲・非破壊・非侵襲で行うことが分野を問わず重要なニーズとなっており、これらを踏まえた計測技術の開発が求められています。

#### 5) 超短時間現象の観察（募集区分：ST05）

本サブテーマでは、化学反応の遷移状態等、超短時間の現象を観察する技術として、既存の計測の時間分解能を劇的に向上させることを目標とした研究開発を実施します。

例えば電子は非常に短い時間で移動するため、通常の計測手法ではこのような超短時間現象を直接観察することは困難です。一方で、様々な分野の研究現場のニーズとして、例えば製品開発に向けて物理特性を理解するために超短時間現象を説明する仮説を構築する場合がありますが、その検証を行うために実際に超短時間現象を観察することが求められています。フェムト秒レーザー、アト秒レーザーの制御や、検出性能の向上によるポンプ-プローブ法の高度化等新たな手法の確立が求められています。

### 6) 経時観測（募集区分：ST06）

本サブテーマでは、個々の分野や研究対象においてニーズの高い、インパクトのある経時観測のための技術開発を実施します。

マテリアルサイエンス分野では、触媒上における化学反応の進行を観察・計測するようなニーズに加え、全固体電池の内部熱伝導を観測する技術、材料の劣化がどのようなきっかけで進んでいくのかを理解するための観測技術も大きなニーズとして挙げられています。測定に時間のかかるクリープ現象の解明や、加速劣化試験の効率化のための新たな測定方法等を介した新知見についても求められています。これら技術の発展により、製品の耐久性・信頼性の向上が期待されています。

ライフサイエンス分野では、遺伝子発現の量的解析、DNAメチル化等の時系列修飾、タンパク質や代謝物等の各種オミクス解析、薬物動態等の経時的観測のための新技術が求められています。

### 7) 類型化された作業の自動化・効率化（募集区分：ST07）

本サブテーマでは研究現場で既に類型化されている作業を自動化・効率化することで、研究生産性の飛躍的向上・加速を実現し、より短時間に目的とする成果に辿り着くことを目指します。

ニーズ、対象は様々なものが想定されます。

例えばマテリアルサイエンス分野では、望みの原子配列を持った新奇材料の作製をひとつひとつの原子層を重ねることで実現する技術がありますが、その作業は熟練の技術が必要となるため、自動化・ロボット化による効率化とともに技術継承を簡便にすることが求められています。コンビナトリアルケミストリーにおける化合物ライブラリー作製の自動化についても高いニーズがあります。

ライフサイエンス分野では、各種生化学、分子生物学実験の自動化、効率化、高速化が求められており、具体例としてオミクス解析の前処理の標準化と自動測定が挙げられています。

自動化のみならず、様々な測定前処理の高度化、簡略化についても重要な研究開発として求めます。

### 8) 加工・合成・分離・精製の高度化（募集区分：ST08）

本サブテーマでは、研究現場における汎用技術である、加工・合成・分離・精製技術の高度化についての研究開発を行います。

加工技術・合成技術としては、例えばマテリアルサイエンス分野では、結晶成長技術、微細加工技



術、積層造形技術等について高度化が求められています。例えば、新奇材料創製のための結晶成長装置について、作製した試料の細かなパラメータが使用した装置によって変化してしまうという問題点も指摘されており、根本的解決が求められています。化学合成のプロセスを AI 等を活用して検討し、さらにモジュール型のフロー合成システムを構築することで物質生産の効率を向上させる手法についても議論されています。このような装置の実現により、例えば医薬にとどまらず、食品、化粧品等の様々な産業での活用が期待されている機能性ペプチドの製造コストの低減が可能になることが期待されています。

分離技術・精製技術としては、例えばライフサイエンス分野では、生体サンプルからのタンパク質の精製技術が挙げられます。とりわけ複合タンパク質や素過程にあるタンパク質は研究要素のみならず創薬標的としても高いニーズがあります。また、細胞内の粒子や細胞外に放出されるエキソソーム等の分離・精製についても収率、純度の観点等多くの課題があり汎用技術の開発が求められています。

また、マテリアルサイエンス分野・ライフサイエンス分野ともに、従来精製を前提としていた計測を、非精製な状態でも可能にする様な新たな計測技術も望まれています。

ST07 と概念が一部重なりますが、ST07 はあくまで類型化された作業として加工・合成・分離・精製が既にできているものを自動化する技術、ST08 では、基本となる要素技術はあるものの、現時点で実現できていない加工・合成・分離・精製を行う技術と整理しています。

### 9) 多様な実データから真理を追究する数理モデルや解析手法の構築 (募集区分 : ST09)

本サブテーマでは、数学がもつ抽象性や普遍性から、共通基盤領域に関連する測定・解析分野の知見について、「本質的な情報」を記述・抽出するための数理モデルや解析手法、測定技術の抜本的改革を先導し得る新たな数理的手法の開発が求められています。それらの手法によって、前述の優先的に提案を求める2課題をはじめとする、本領域が目指す基盤技術の大きな進展や、共通基盤の構築に貢献する数理基盤研究を推進します。

例えば研究現場から非侵襲計測により得られた多元的でノイジーな時系列データを元に、そのデータを生み出したシステムの非線形ダイナミクスを推定して数理モデル化することによって、背後に潜む法則性を取り出すデータ駆動型の数理モデル構築技術が実現されれば、様々な研究分野において、大きなブレイクスルーとなることが期待されています。

計測された大量のデータに関する新たなデータ解析手法・計算手法の構築に向けた数理的基盤技術

も重要です。例えば ST06 で観測された生命動態の測定情報については、生命現象を理解するためにさらに統合的な数理データ解析が必要となります。DNA、RNA、タンパク質、代謝物質といった物性の異なる分子群（オミクス階層）を統合的した多階層オミクスデータの数理科学的・数理工学的解析により、単に階層毎ではなく階層間の相互作用を含む統合的ネットワーク構造を解明することで生命現象をより深く理解することが求められています。

マテリアルサイエンス分野においては、物性評価や、マテリアルズ・インフォマティクスにおいて大規模データ活用の重要性は認識されています。さらに、このようなアプローチから生まれる新たな数理モデルや解析手法は、実現象を理解するために本質的に重要な役割を果たすものと大きく期待されています。

※提案の内容に応じた適切な予算規模でご提案ください。下限は設けていません。

※本サブテーマの研究によって生み出された数理モデルや解析手法が、他のサブテーマにおける重要課題の解決に貢献できるよう領域運営をいたします。システム・装置化を目指すグループと数理モデルや解析手法などの高度化を目指すグループが課題解決に向けて最適な形で相互連携を深めつつ、ゴールを目指すことを期待します。

※本サブテーマでは、複数のサブテーマにまたがる共通の基盤として、積極的に要素技術タイプの提案を求めます。

#### 10) その他本重点公募テーマの趣旨に合致する共通基盤技術（募集区分：ST10）

上記9つのサブテーマに限らず、本重点公募テーマや優先的に提案を求める課題の趣旨に合致する、研究開発の現場で「今」あなたが必要だと考える基盤技術を創出する提案を求めます。

このような提案は本サブテーマを選択してください。これまで見えなかったもの、計れなかったものを、「見える化」、「計れる化」するための、科学技術による解決手段となるようなテーマ提案をお待ちしています。

なお、本サブテーマにおいては、要素技術タイプの提案を求めません。

#### ● 成果の適用先の想定

本領域では、JST の他事業（研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）・出資型新事業創出支援プログラム（SUCCESS）・大学発新産業創出プログラム（START）等）や他府省のプログラムと早期

に連携を行い、スタートアップ企業や産業界への成果の橋渡しに加え、更に長期的な取り組みが必要な課題においては、より実用化に近い他の研究開発プログラムへ成果を引き継ぐことも検討します。

#### ● 関連事業との連携

本領域では、革新的な知や製品の創出を目指し、研究活動に高いインパクトを与えるチャレンジングな研究開発を推進するため、JST の他事業や他府省のプログラムと密接に連携を行い、各プログラムの成果の活用を研究段階において積極的に進めます。

また、これまでに JST 先端計測分析技術・機器開発プログラム等では、多くの研究開発ツールが実用化されているため、新たに研究開発ツールを検討されるにあたり、ご参照いただければ幸いです(4.25 「JST 先端計測分析技術・機器開発プログラムの成果について」ご参照)。

さらに、ユーザーニーズを踏まえた研究開発を推進する観点から、共用施設・設備等との連携も歓迎します(4.14 「研究設備・機器の共用促進について」ご参照)。

#### ● 研究開発の推進にあたっての方針

本領域では、チャレンジングな研究開発課題への取り組みにあたって、従来の学術分野にとらわれない異分野融合の積極的な推進や、若手研究者の参画、企業とアカデミアの積極的な連携を推進するなど、研究体制のダイバーシティを活用し、斬新なアイデアを取り込むことを重視します。テーママネージャーを始めとする研究開発運営会議メンバーによる研究計画の確認やサイトビジット等を通じて、助言・指導できる研究マネジメント体制を整え、領域一丸となって、研究手法を刷新し、革新的な知や製品を創出する共通基盤システム・装置の実現を目指します。

また、探索研究から本格研究への移行に際しては、研究課題に参画する個別のグループや研究テーマ等の組み替え、中止等、体制の再構築を行うことも想定しています。

#### ● 期間・研究開発費

2019 年度に開始する研究開発課題は、探索研究の期間は最大 2 年半、研究開発費は探索研究期間全体で総額 3,500 万円(通常タイプ、直接経費)、総額 2,300 万円(要素技術タイプ、直接経費)を上限として計画してください。2021 年度末までの運営統括が指定する時期に本格研究への移行にかかる審査を受けていただきます。

本格研究の期間は最大5年、研究開発費は本格研究期間全体で総額7.5億円（直接経費）を上限として構想してください。ただし、ST09「多様な実データから真理を追究する数理モデルや解析手法の構築」への提案の総額は5億円（直接経費のみ）を上限とします。

なお、採択後は研究内容に応じて柔軟な予算配分を行います。

## 6.2 大規模プロジェクト型

大規模プロジェクト型では科学技術イノベーションに関する情報を収集・分析し、現在の技術体系を変え、将来の基盤技術となる技術テーマを文部科学省が特定します。2019年度は本項に示す技術テーマについて、大規模プロジェクト型の研究開発課題の提案を募集します。



運営統括

大石 善啓

(三菱総合研究所 常務研究理事／研究開発部門長)

### 6.2.1 大規模プロジェクト型の運営方針

#### (1) 募集・選考・研究開発にあたっての方針

大規模プロジェクト型では、技術テーマの実現に向けて、実用化が可能であるか見極められる段階（概念実証：POC）に到達するための研究開発を進めます。そして、POC達成後の研究成果の展開によって、幅広い分野へのインパクトを有する基盤技術に発展されることを期待しています。

大規模プロジェクト型の技術テーマは比較的シャープな技術分野を対象として設定されています。そして、これらの技術を社会実装につなぐ POC は、適用先やビジネスモデルを明確に見据えて、研究開発代表者（PM）自身に設定して頂きます。PM は、目標設定を高く、挑戦的なものとし、戦略的に知的財産を創出・保護・活用等し、これらが結実する成果が社会課題の解決や新産業の創出につながるよう高い志ある構想を描いてください。また、POC 後の展開につなげていくビジョンや、将来の社会・産業に革新をもたらすアウトカムを描き、それを基に、企業連携、ベンチャー起業などの出口等につながる取組を計画していることを求めます。

このためには、我が国のトップレベルの研究開発力及び知識を結集できることが肝要です。大規模プロジェクト型における採択の評価基準は「2.2.2 (5) 選考の観点」に記載されていますので、必ずご参照ください。研究開発を進める中では、新たなメンバーの参画や、新たな知見・技術の導入を含

め、様々な技術分野、研究者・研究機関等の融合が促される広い視野のマネジメントがなされることを期待します。

大規模プロジェクト型は、POC を目指した研究開発を推進する中で民間投資の誘発も期待されています。民間投資の誘発を図るため、早期からの企業の参入を推奨しており、特に第1のステージゲート評価では資金導入対象機関から所定の規模の資金導入を求めています（「2.2.1 (3) 8) ステージゲート評価」に記載されていますので、必ずご参照ください）。PM におかれては、POC 後の展開まで見据え、自らが立案した独創的かつ優れた研究開発構想に基づき、POC の設定やその達成に向けたマイルストーンの作成等を行い、積極的かつ柔軟に企業等と対話しながら、研究開発を推進していただくことを強く希望します。

なお、研究開発の推進にあたっては、国内外の研究開発動向や社会環境の変化等に鑑み、必要に応じて研究開発計画を大胆に見直すなど、柔軟な運営を実施していただきます。

## (2) 募集・選考・研究開発にあたっての方針

### 「センサ用独立電源として活用可能な革新的熱電変換技術」

新規

Society5.0 では、あらゆる場面に膨大な数のセンサが設置されていくことが想定されており、センサを駆動させるための電源の確保が必要不可欠となっています。その対応技術の一つとして、環境中の熱源を直接電力に変換する熱電変換技術が注目されていますが、従来の技術は変換効率、材料面の問題（資源制約、毒性など）、量産性・信頼性・コスト等、様々な課題があり、広く普及するには至っていません。これらの課題を解決し、センサ用独立電源として活用できる技術を開発する必要があります。研究開発代表者（PM）には、センサ用独立電源として求められる発電性能、安全性、耐久性、量産プロセス等を同時に達成する熱電変換技術の確立を目指し、フィールドワーク、用途開発、用途に応じた最適化と実証まで一貫した研究開発を進めていただきます。例えば、新材料の探索や、近年発見された新現象（スピンゼーバック効果や異常ネルンスト効果など）の活用、フレキシブル性の付与も含めたエネルギー取り込み効率の向上、大量生産技術及びこれらの学理的探求などを通じて、従来技術の延長ではない革新的熱電変換技術の開発を求めます。また、早期の社会実装を目指して、研究開発初期から企業を参画させ、世界的な競争が激しい本分野における国内外の研究開発動向や社会環境にスピーディーかつ柔軟に対応しながら研究開発を推進していただくことを期待しています。



研究開発費については、1～4年度目は総額10億円程度（2.5億円／年程度、直接経費のみ。間接経費は別途措置します）とし、研究開発期間全体で最大9年半、10年間の総額は31億円程度として研究開発課題の推進に必要な金額を計上してください。なお、本技術テーマのもとに複数の課題・研究者を採択する場合は、上記予算規模の内数として当該採択課題等の予算規模を調整します。

## 6.2.2 技術テーマ

### (1) テーマ名

「センサ用独立電源として活用可能な革新的熱電変換技術」

### (2) 概要

Society5.0では、あらゆる情報をセンサによって取得し、AIによって解析することで、新たな価値を創造していくことが想定される。今後、あらゆる場面に膨大な数のセンサが設置されていくことが想定されるが、そのセンサを駆動するための電源の確保は必要不可欠であり、様々な技術が検討されている。その一つとして、環境中の熱源（排熱や体温等）を直接電力に変換する熱電変換技術は、配線が困難な場所、動物や人間等の移動体をターゲットとしたセンサ用独立電源として注目されているが、従来の熱電変換技術は、材料面では資源制約・毒性、素子としては複雑な構造のため量産性・信頼性・コスト等に課題があり、広く普及するに至っていない。これらの課題を解決し、センサ用独立電源として活用できる革新的熱電変換技術を開発することにより、あらゆる場面にセンサが設置可能となり、Society 5.0の実現への貢献が期待される。

### (3) 達成目標

Society5.0の実現に資するセンサ用独立電源として求められる発電性能、安全性、耐久性、量産プロセス等を同時に達成する熱電変換技術の確立を目指し、実際に当該技術が社会実装される具体的な場面（工場や農地等）を想定しつつ、フィールドワーク、用途開発、用途に応じた最適化と実証までを一気通貫で研究開発する。従来の技術に対する技術的優位性及び市場競争力の検討を踏まえ、実用化が可能であることを見極められる段階（概念実証：POC）まで研究開発を実施する。また、研究開発を進めるにあたっては、社会実装に向けた具体的な到達点やマイルストーンを明確に設定することが望ましい。例えば、従来技術が抱える材料面や素子等の様々な課題を解決しつつ、5年後に現在市販のボタン電池や熱電素子と同程度の発電量の実現、10年後にはそれを大きく超える発電量を実現し、安価で大量生産を可能とするまでの道筋を描くこと等が想定される。また、事業終了後の実用化を見据え、センサ用独立電源の製造だけでなくユーザーとなりうるプレイヤーも含めた産学連携の研究開発体制を構築することに留意する。

### (4) 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

研究開発課題の推進を通じ、以下に挙げるような社会の実現に将来的につながると考えられる。

- 配線が困難な場所、動物や人間等の移動する対象にもワイヤレスセンサを付与することが可能になり、上下水道等のインフラ管理や家畜の生産、子供やお年寄りの安否確認など、あらゆる場面でビッグデータを利活用できる社会。
- 我が国の一次エネルギーの65%が排熱として捨てられているが、この排熱を電力として回生することで大幅な温室効果ガスの排出を削減するとともに、トリリオン（一兆個）ともいわれるセンサの駆動に必要な電力需要に対応できる社会。

### (5) 具体的な研究例

例えば下記に挙げるようなものを含めることが考えられる。

- 毒性が少なく、希少元素を用いない材料で安定的かつ効率的な熱電変換を実現するための効率的な材料探索・開発。
- 熱電変換の安定化や様々な場所に設置することが可能となる発電モジュールのフレキシブル性の実現。
- フレキシブル性と耐久性を両立するために必要な破損現象の解明及び対応策の確立。
- 各用途で要求されるサイズや発電量、形状を加味した熱電変換素子のエネルギー取り込み効率の最大化や、量産性まで考慮したデバイス構造の最適化。

### (6) 国内外の研究動向

熱電変換技術は IoT、トリリオンセンサに対する大規模な需要が見込まれる中、世界的な研究開発競争が近年活発になっている。ゼーベック効果に基づく熱電変換の歴史は古く、1960年代には宇宙探査用の原子力電池として利用され、我が国においても1998年にSEIKOが、続いて1999年にはシチズン時計が熱電腕時計を実用化している。その後も一次エネルギー中65%にあたる未利用排熱から電気エネルギーを回生するためにも、日本も含めて世界中で熱電変換技術の研究が進められている。例えば、エネルギーフィルタリングやナノインクルージョン等のエネルギー変換効率を向上させるための新コンセプトが提示されており、米国を中心に毒性が高い材料や希少元素を用いる材料を利用するものの、最高性能を追求するPbTe系や新原理を発掘する研究が進められている。しかし、熱電技術をセンサ用独立電源として「真に」広く社会実装させるといった観点からは、材料面では資源制約・毒性、素子としては複雑な構造のため量産性・信頼性・コスト等の課題が未だに解決されていない。

我が国では、2017年に「フォノンエンジニアリング研究グループ」、続けて2018年には「エネルギーハーベスティング研究グループ」が応用物理学学会に発足するなど、新規物質やナノ構造物質の開発、スピンゼーベック効果や異常ネルンスト効果のような新現象も含め、熱電変換技術について実験から計算科学まで幅広く盛んに展開されている。