



Innovation Outlook Version 1.0

Executive Summary

2025 年 7 月

新エネルギー・産業技術総合開発機構
イノベーション戦略センター

巻頭言



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 斎藤 保

この度、NEDO の技術インテリジェンス機能の中核を担う機関として、昨年 7 月に新たに発足させた『イノベーション戦略センター』において、『Innovation Outlook Version 1.0』を発行する運びとなりました。

イノベーション戦略センターの前身である『技術戦略研究センター』は 2014 年の設立以来、NEDO のミッションであるエネルギー・地球環境問題の解決や産業競争力の強化に向けて、個々の技術課題について技術開発から実用化までの道筋を示す技術戦略を策定し、国家プロジェクトの企画立案に貢献してきました。

一方で、ここ 10 年間で、AI やデジタル化の進展、スタートアップ文化の浸透、技術開発を巡るグローバル競争の激化などイノベーションを取り巻く環境が大きく変化してきており、今後は、技術開発から実用化まで一方向で進めるリニアモデルではなく、環境の変化にアジャイルに対応しながら技術・アイデアの探索から育成、プロジェクト化、その成果の社会実装まで速やかに進めることが求められるようになりました。

このような背景から、技術開発にとどまらず、社会実装に向けてイノベーションを推進するため、昨年 7 月に、『技術戦略研究センター (TSC: Technology Strategy Center)』を改組し、新たに『イノベーション戦略センター (TSC: Technology and Innovation Strategy Center)』を発足させました。新たな TSC では、『Innovation Outlook』を策定し、全ての技術分野を俯瞰した国内外の技術・市場・政策の動向を調査・分析に基づき、新たに取り組むべき領域（フロンティア領域）や取組を強化すべき領域を提案することとしています。さらに、選定された重点フロンティア領域について、技術開発から社会実装までの道筋を示す『イノベーション戦略』を策定し、プロジェクトの企画立案やマネジメントを推進していくこととしています。

TSC では昨年7月以降、『Innovation Outlook』の策定に向けて、各技術分野の調査・分析を行い、新たな産業の創出や社会課題の解決の観点からフロンティア領域等の検討を進めてきたところですが、この度、初版となる『Version 1.0』を取りまとめ、公表することになりました。『Innovation Outlook』は、経済産業省やNEDO内部に対して情報提供を行い政策やプロジェクトに生かすことはもちろん、産業界、中小企業、スタートアップ、金融機関、ベンチャーキャピタル、メディア、海外のファンディングエージェンシー（F A）・シンクタンクなどのステークホルダーに対しても積極的に発信し、各ステークホルダーによる研究開発やその社会実装に向けた取組を促進してまいります。

NEDO では、『Innovation Outlook』などの取組を通じて、研究開発成果を最大化し、企業等による社会実装を促進するイノベーション・アクセラレーターとしての取組を強化してまいります。

目次

1 章 Innovation Outlook とは	1
1-1 Innovation Outlook 策定の背景、意義	1
1-2 Innovation Outlook とは	3
2 章 TSC が目指す将来像	5
3 章 解決すべき社会課題と取り組むべき領域	6
3-1 サステナブルエネルギー分野	7
3-1-1 分野の俯瞰	7
3-1-2 解決すべき社会課題と取り組むべき領域 地下未利用資源の活用 変動性再エネ最大活用のための長期エネルギー貯蔵	8
3-1-3 取り組むべき具体的手段のテーマ例	11
3-2 環境・化学分野	12
3-2-1 分野の俯瞰	12
3-2-2 解決すべき社会課題と取り組むべき領域 ベースメタルリサイクル 化学品炭素源の化石資源からの抜本的な転換	12
3-2-3 取り組むべき具体的手段のテーマ例	14
3-3 アグリ・フードテック分野	16
3-3-1 分野の俯瞰	16
3-3-2 解決すべき社会課題と取り組むべき領域 ヘルスフードテック 森林資源循環利用	17
3-3-3 取り組むべき具体的手段のテーマ例	19
3-4 デジタル分野	20
3-4-1 分野の俯瞰	20
3-4-2 解決すべき社会課題と取り組むべき領域 省電力・高速情報処理 社会インフラのモニタリング・予測基盤 自動化・省人化・デジタル化	20
3-4-3 取り組むべき具体的手段のテーマ例	23
3-5 マテリアル分野	25
3-5-1 分野の俯瞰	25
3-5-2 解決すべき社会課題と取り組むべき領域 極限マテリアル	26
3-5-3 取り組むべき具体的手段のテーマ例	27
3-6 バイオエコノミー分野	29
3-6-1 分野の俯瞰	29
3-6-2 解決すべき社会課題と取り組むべき領域 化石原料から再生可能原料への転換 生体情報や環境情報の高度センシング及び生体や環境の制御	29
3-6-3 取り組むべき具体的手段のテーマ例	31
4 章 今後の課題	34

1 章 Innovation Outlook とは

1-1 Innovation Outlook 策定の背景、意義

気候変動、少子高齢化、安全保障上の脅威など我が国や世界を取り巻く社会課題が深刻化、複雑化している。そうした社会課題を乗り越え、経済成長を追求することに加え、カーボンニュートラル、サステナビリティ、レジリエンス、ウェルビーイングなどの価値を創出し、より良き豊かな将来像を実現していくことが求められている。そのためには、これまでにない革新技术の開発が必要不可欠であることに加えて、新たなビジネスモデルの開発、ルール・標準の整備、社会受容性の醸成など、革新技术を活用し社会実装するための社会システムの構築が必要になる。すなわち、将来像の実現のためには、新たな産業の創出といった社会システムとしての変革につながるイノベーション、『トランスフォーマティブ・イノベーション』が求められる。

トランスフォーマティブ・イノベーションの実現に向けては、社会課題を起点とした議論を通じて、社会システムの変革のために必要となる新たな価値・機能を特定して、これを実現し得る革新技术を基盤とする新たな産業を創出することが求められる。

我が国には、高機能な素材・部材をはじめ、他国にはない強みを有する技術・産業が多く存在しており、これらの強みを活かすことにより、新たな産業を創出し、社会課題の解決に貢献するポテンシャルを有している。これまでも NEDO では、社会課題の解決に向けて、プロジェクトを推進してきたが、従来の延長線上の個別の技術・産業にフォーカスした取組が中心であった。

従来の技術、産業分野を越えた非連続な課題に対しては、既存の業務、システム、人材、組織、産業、文化の枠を越えた検討が必要になるが、国内外の先進的な企業や公的機関においては、「両利きの経営」の考え方が取り入れられてきている。

他方、イノベーションのハイサイクル化が進み、米国や中国などでは大規模なリスクマネーの投入による基礎研究段階からの技術開発の加速が図られており、これに対応するためのイノベーションのマネジメントについて、国際的に議論が進んでいる。その中でも、米国防高等研究計画局(DARPA)のマネジメントが、成功モデルとして捉えることができ、米国内のみならず欧州でも、チャレンジングな課題に対し、プログラムディレクター(PD)が裁量権を持ちアイデア探索から事業化支援までを高いアジリティを持ちつつ一貫して推進する、といった、DARPA 型を横展開した ARPA 型の手法が注目されている。

そこで NEDO イノベーション戦略センター(TSC: Technology and Innovation Strategy Center)では 2024 年度から、トランスフォーマティブ・イノベーションの実現に向けて、

各分野の動向を俯瞰的に把握し、我が国が取り組むべき領域（フロンティア領域等定義は 1-2 で記述）を特定する『Innovation Outlook』の策定とともに、各領域の研究開発から社会実装までの道筋を描く『イノベーション戦略』の策定を開始した。フロンティア領域のアイデア育成、事業化までを包括的かつ機動的に進めるための仕組みは、図 1-1 に示すマネジメントフローをベースに構築中である。

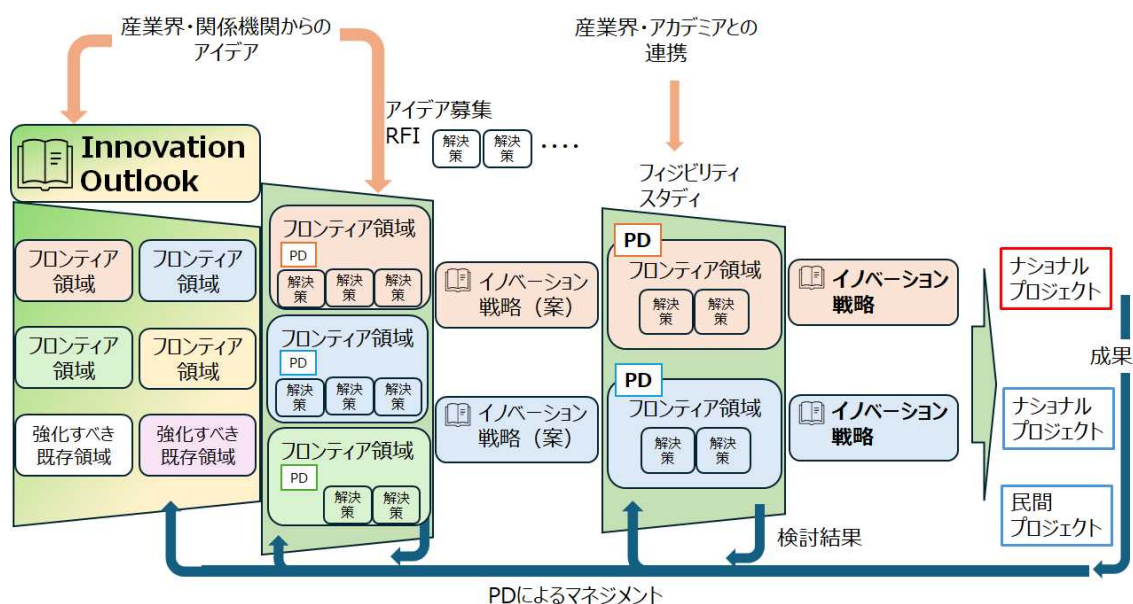


図 1-1 NEDO のフロンティア領域マネジメントフロー

Innovation Outlook は、経済産業省をはじめとする政府関係機関に情報提供することで政策やプロジェクトの企画立案に貢献するとともに、産業界、中小企業、スタートアップ、アカデミア、金融機関、ベンチャーキャピタル、メディア、海外の公的機関などに対しても積極的に発信して各機関における研究開発や投資などのイノベーション実現に向けた取組につなげていく考えである。さらに、様々なステークホルダーからのフィードバックや、経済社会情勢や技術開発の動向を踏まえ、毎年度アップデートして、フロンティア領域等の追加、拡充を行う予定である。

1-2 Innovation Outlook とは

Innovation Outlook は、社会課題の解決に向けて、TSC が所掌する分野での市場・技術・政策の動向を俯瞰的に把握し、それらを踏まえ、我が国として新たに取り組むべき領域(フロンティア領域)や既存領域においても取組を追加・加速すべき領域、さらには領域間の融合を図るべき領域(融合領域)(これら全てを『フロンティア領域等』と称する)を提案するものである。

2章で、NEDO TSC が描くより良き豊かな将来像を提示し、3章では将来像実現のための社会課題とそれを取り巻く市場・技術・政策の動向を俯瞰的に分析し、我が国が取り組むべき『フロンティア領域等』を提案する。

(1) 策定のアプローチとフレームワーク

Innovation Outlook では、『目指す社会像』と『社会課題』を起点とし、バックキャスト・アプローチにより、社会課題解決に求められる『機能』『提供価値』を抽出し、取り組むべきフロンティア領域等を特定し、同様の機能・提供価値を持つ複数の技術や技術の社会実装に向けたアイデアをパッケージ化して捉える分析を行うこととした。具体的には、Arthur D. Little により開発された技術経営のフレームワークの一つである MFT® (Mission/Market、Function、Technology) フレームワークを参考として、ロジックモデルを構築し、フロンティア領域等の探索を行うこととした。

本ロジックモデルを用いることで、以下のような考え方で融合領域を含めフロンティア領域等の検討を行うことが可能となる(図 1-2)。

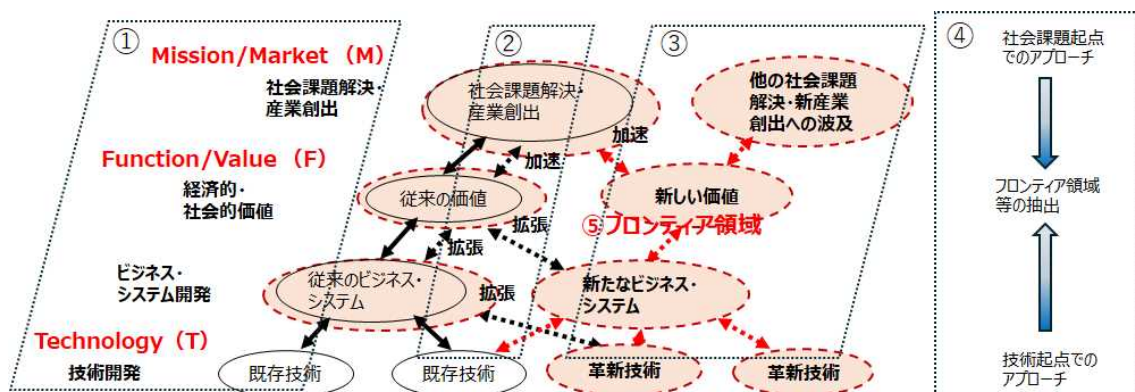


図 1-2 Innovation Outlook のロジックモデル

- ① 社会課題の解決や新たな産業の創出(M)は、経済的・社会的な価値を生み出す機能(F)を継続的に発現させることで実現される。その機能は、複数の技術(T)を組み合わせたシステムとして組み立てられる。
- ② 革新技術(T)が開発されると、従来のビジネス・システムや価値(F)が拡張され、社会課題解決や産業創出(M)が加速される。
- ③ 革新技術(T)が他の技術(T)と組み合わせられることで、新たなビジネス・システムや価値(F)が創出される。新しい価値(F)は社会課題解決や産業創出(M)の加速に加え、他の社会課題(M)に波及する可能性もある。
- ④ 技術(T)と社会課題(M)をつなぐアプローチとしては、技術(T)起点でそれがどのような価値(F)や社会課題解決(M)につながるかを検討するアプローチと、社会課題(M)起点でそれを解決するために必要な価値(F)やその構成要素となる技術(T)を特定していくアプローチがある。
- ⑤ フロンティア領域を価値(F)基準で特定することにより、どんな社会課題解決や産業創出(M)につながるか、また、価値(F)を創出するためにどんな技術(T)を開発し、それを社会実装するためにどのようなビジネス・システムを構築すべきか、といった議論が可能となる。

(2) 取り組むべき領域の特定の観点

2025年1月の経済産業省 産業構造審議会 イノベーション・環境分科会 イノベーション小委員会において、イノベーション・環境局は、「将来性(成長性・社会課題)」「技術・アイデアの革新性」「日本の優位性」「民間のみで取り組む困難性」「重要経済安保技術」の5つの観点を総合評価して、フロンティア領域を特定することが示された。Innovation Outlook では、これら5つの観点を踏まえつつも、(1)で示したロジックモデルを用いて、TSCの独自の観点・アプローチにより、TSCが考えるフロンティア領域等を提案するものである。

Innovation Outlook では、両利きの経営の考えに基づき、技術的不確実性や需要の不透明性などの理由により従来の政策では取り上げられなかった領域も、積極的に取り上げている。その結果として、Innovation Outlook が提案するフロンティア領域等は、各分野の既存の政策・計画と必ずしも整合しない場合もある。また、2040年頃の目指す社会像の仮説設定やバックキャストする際に考慮する観点などにはいろいろな意見・見解があると思われる。そのため、Innovation Outlook で提案するフロンティア領域等は、国内外の産学官の関係機関に対して積極的に情報発信して議論を重ね、トランスフォーマティブ・イノベーションの実現に向けた実効性ある取組につなげていく考えである。

2 章 TSC が目指す将来像

TSC ではこれまで、国際的な枠組みや各国の動向を踏まえた調査分析に基づき、複数の将来像を提示してきた。その中で、『イノベーションの先に目指すべき『豊かな未来』』（以下、豊かな未来レポート）は、国内外の豊かさに関する計 75 編の報告書を俯瞰的に分析し、イノベーション活動を推進していく上で「大切にすべき 6 つの価値軸」と「実現すべき 12 の社会像」を明らかにした、最も幅広い分野に関する将来像である。また、『持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2020』は、エネルギー・地球環境問題の解決に向けて、「持続可能な社会を実現する 3 つの社会システム」として「サーキュラーエコノミー」「バイオエコノミー」「持続可能なエネルギー」の一体的な推進が重要であることを示した。さらに、その改訂版である『持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2023』では、3 つの社会システムに加え、その基盤としてデジタルトランスフォーメーション(DX)の重要性を示した。

以上を踏まえ、Innovation Outlook では、豊かな未来レポートで示した「大切にすべき 6 つの価値軸」と「実現すべき 12 の社会像」(図 2)を起点として、解決すべき社会課題とその解決のために取り組むべき領域について検討することとした。

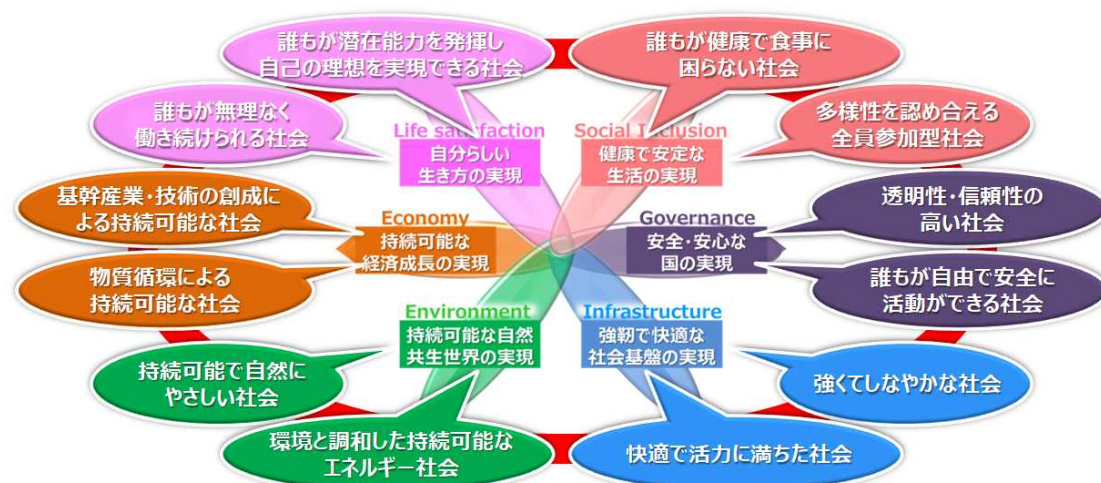


図2 「大切にすべき6つの価値軸」と「実現すべき12の社会像」

3章 解決すべき社会課題と取り組むべき領域

Innovation Outlook Ver. 1.0 では、2 章で述べたとおり、豊かな未来レポートを起点として、社会像を実現するにあたっての解決すべき社会課題(M)とその解決のために取り組むべき領域(F)を検討し、1-2(2)で示した取り組むべき領域の特定の観点(「将来性(成長性・社会課題)」「技術・アイデアの革新性」「日本の優位性」「民間のみで取り組む困難性」「重要経済安保技術」)を踏まえ、TSC として考えるフロンティア領域等(F)を提案した。

社会課題(M)とその解決のために取り組むべき領域(F)、そのうちフロンティア領域等として提案するもの(Fのうち黄色のボックス)の俯瞰図を、図3に示す。

以降の各節で、TSCが所掌する技術分野別(サステナブルエネルギー分野、環境・化学分野、アグリ・フードテック分野、デジタル分野、マテリアル分野、バイオエコノミー分野)に、解決すべき社会課題と取り組むべき領域、及び具体的手段のテーマ例を詳説する。

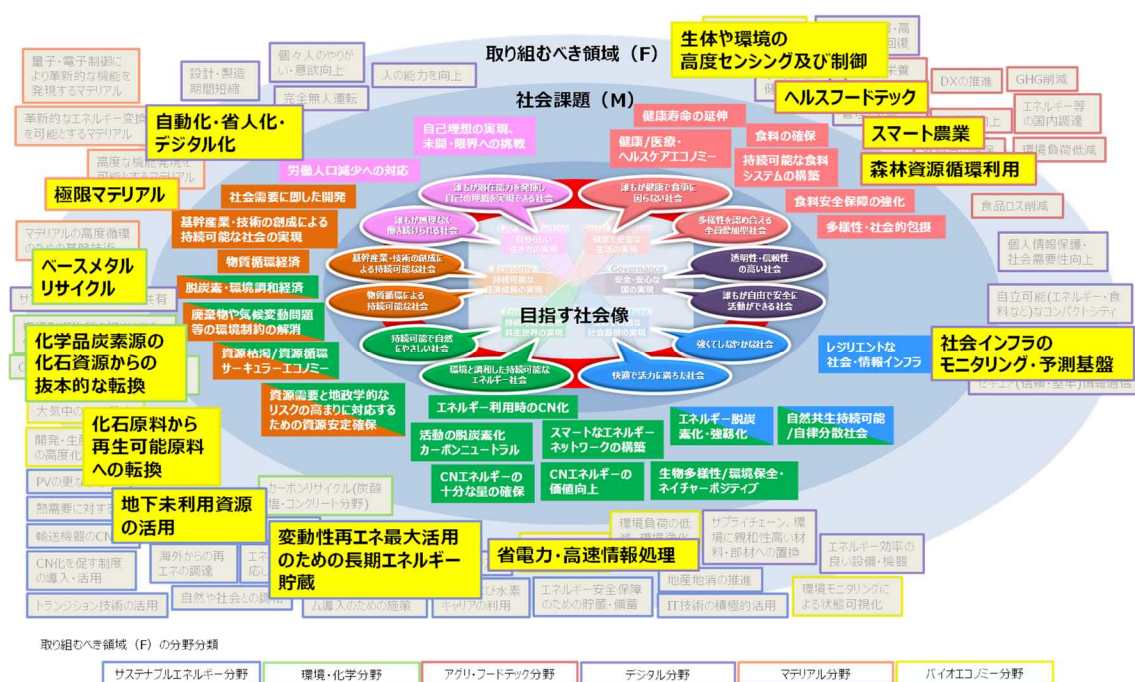


図3 Innovation Outlook Ver. 1.0 で検討した社会課題とフロンティア領域等

3-1 サステナブルエネルギー分野

3-1-1 分野の俯瞰

サステナブルエネルギー分野の俯瞰図を図 3-1-1 に示す。

エネルギーは自然界や周囲の環境に様々な形態で存在している。この一次エネルギーを我々が便利に利用するためには、目的に応じて電気、燃料もしくは熱といった二次エネルギーに転換し(『創る』)、それらを有効に『使う』必要がある。また、『創る』過程と『使う』過程の間には一般に需給ギャップがあるため、そのギャップを埋めるための『貯める』過程や、相互に調整する『整える』過程が必要となる。

Innovation Outlook Ver. 1.0 では、この内『創る』と『貯める』の過程に焦点を絞って検討する。

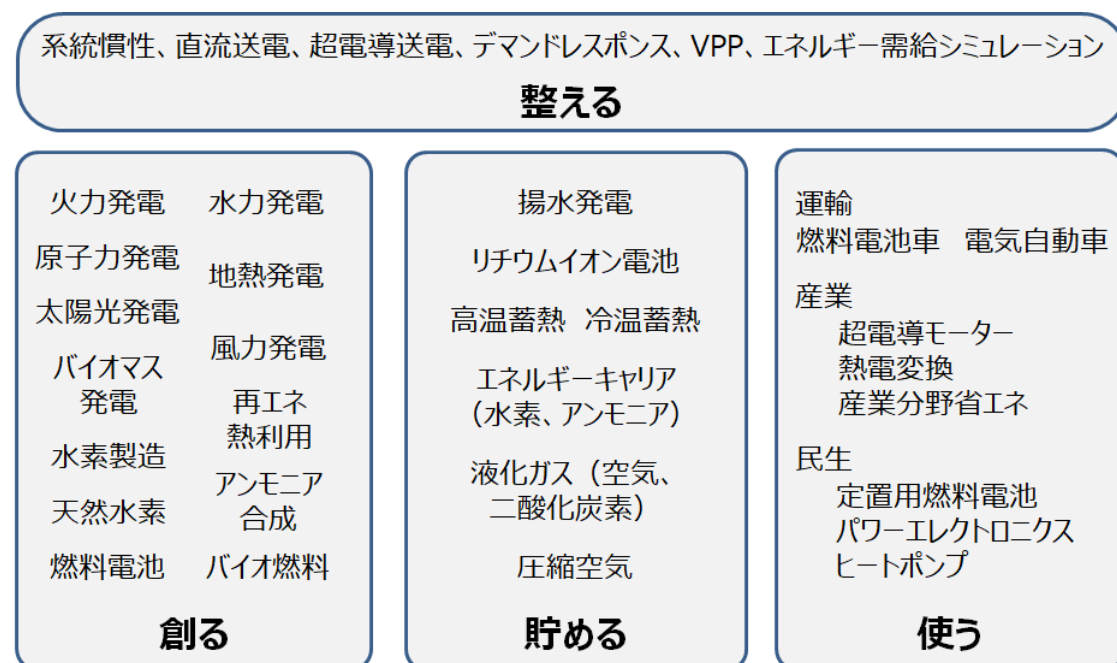


図 3-1-1 サステナブルエネルギー分野の全体俯瞰図及び技術例

3-1-2 解決すべき社会課題と取り組むべき領域

地下未利用資源の活用

変動性再エネ最大活用のための長期エネルギー貯蔵

持続可能な社会の実現に向けて、日本においては、再生可能エネルギー（以下「再エネ」）や CCS 等によりカーボンをオフセットした化石エネルギーといったカーボンニュートラル社会の実現に貢献するエネルギー（以下「カーボンニュートラル（CN）エネルギー」）を十分に確保し、一層の導入拡大を図ることが求められている。しかし、経済規模に比して国土、平地の少ない日本において一層の導入を進めるには経済的支援のみならず、技術開発も伴った一体的な支援が必要と考えられる。

また、近年、太陽光発電の普及により日中の発電量が大きくなり、春や秋を中心に日中に電力が余り、卸電力価格が下がる一方で、朝・夕の電力が不足し、夏や冬を中心に需要によっては卸電力価格が高騰している。『再エネの導入拡大・価値向上』という社会課題を解決するためには、変動性再エネなどを供給過剰時には蓄え、不足時に取り出すことができるように、『貯める』仕組みを高度化して社会実装することが求められる。

(1) 地下未利用資源の活用

社会課題『CN エネルギーの十分な量の確保』において取り組むべき主要な領域の全体像を図 3-1-2 に整理した。

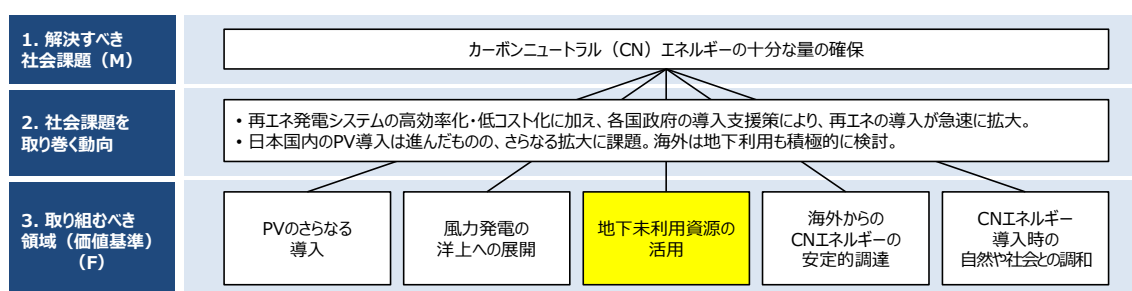


図 3-1-2 CN エネルギーの十分な確保に関わる MF ロジックモデル

取り組むべき主要な領域である発電等それぞれの技術を、求められる空間で整理した結果(図 3-1-3)を踏まえ、豊富な資源の存在が見込まれるものの活用し切れていない『地下未利用資源の活用』をフロンティア領域等として提案する。具体的な手段としては、増進型地熱システム(EGS)、クローズドループ地熱発電、超臨界地熱発電といった次世代地熱発電や天然水素がある。

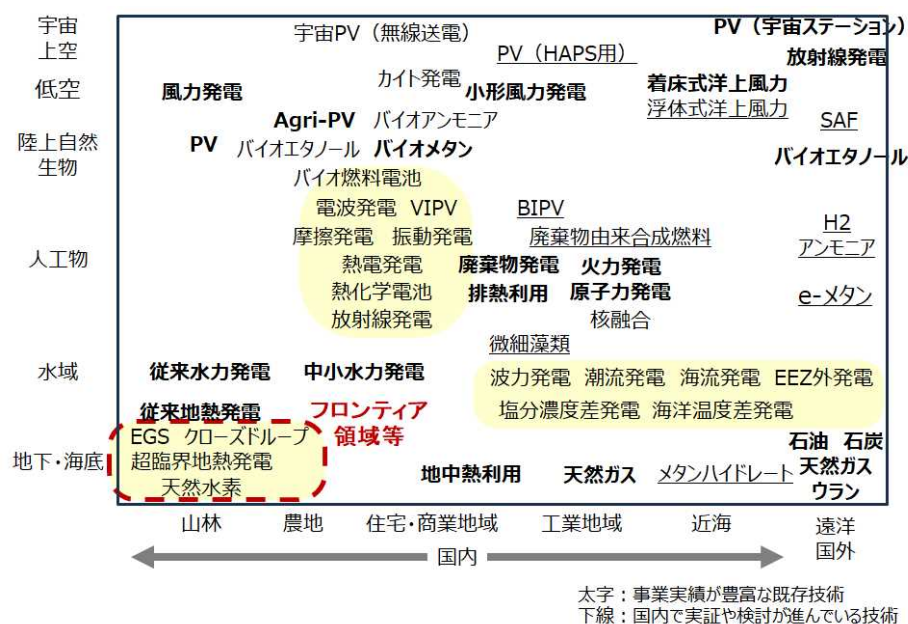


図 3-1-3 日本における発電等エネルギーに関する空間利用の可能性

次世代地熱発電の利用や、天然水素は、将来の日本のエネルギー需要をまかなえる可能性がある。次世代地熱発電、天然水素ともに革新的な技術と捉えられており、米国や欧州を中心に研究開発が加速されている。

日本の国土は火山帯、プレート境界に位置し、地熱及び天然水素生成に必要な貴重な岩石を地表近くで得ることができる。加えて、地質学分野の研究者や関係する国内企業が多く存在しており、日本の優位性を活かせる可能性がある。

また、純国産エネルギーとして自給率の向上につながるもので、エネルギー安全保障の観点から重要である。

(2) 変動性再エネ最大活用のための長期エネルギー貯蔵

社会課題『再生可能エネルギーの導入拡大・価値向上』において取り組むべき主要な領域の全体像を図 3-1-4 に整理した。

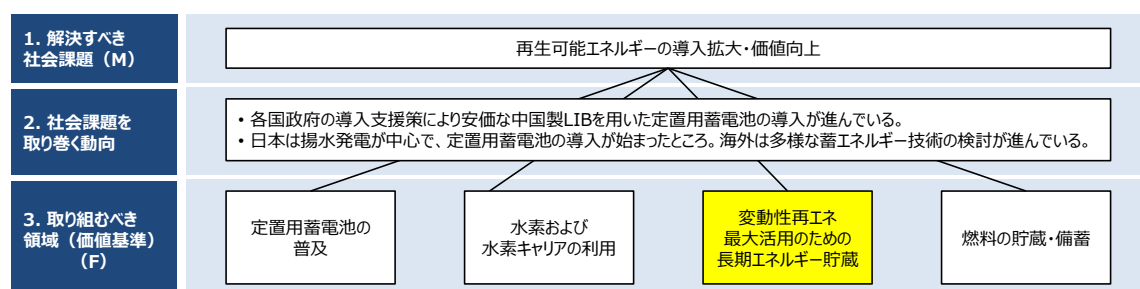


図 3-1-4 再エネの導入拡大・価値向上に関わる MF ロジックモデル

エネルギー貯蔵について、得られる出力とその出力が得られる時間（出力時間）で整理した結果、出力時間が長い領域は蓄電池が必ずしも適さないなど取組が不十分な領域と見込まれた（図 3-1-5）。従って、『変動性再エネ最大活用のための長期エネルギー貯蔵』をフロンティア領域等として提案する。具体的手段としては、熱エネルギーによる貯蔵、力学的エネルギーによる貯蔵がある。

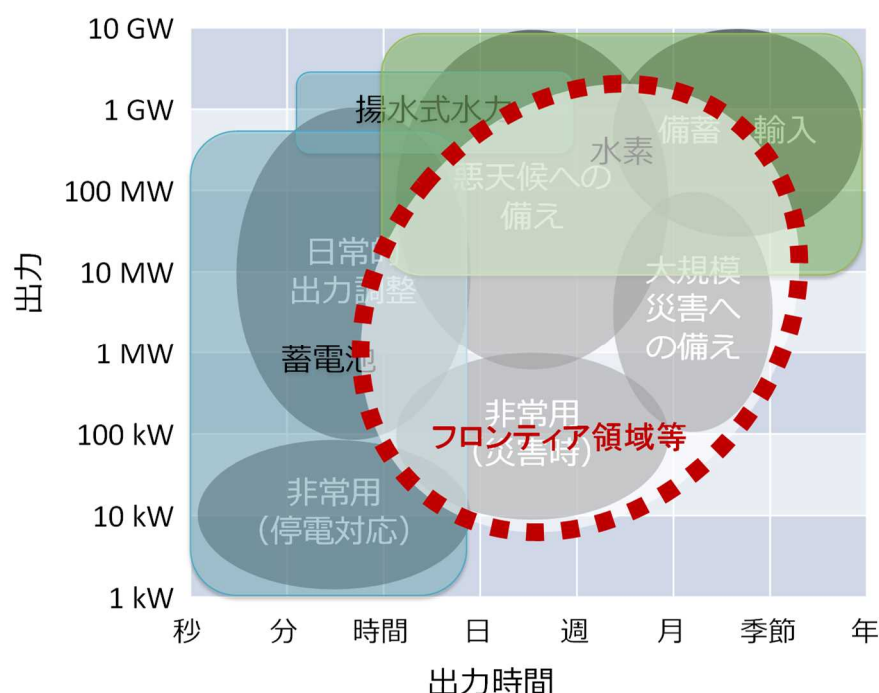


図 3-1-5 エネルギー貯蔵技術のフロンティア領域等

エネルギー貯蔵市場は、2024 年の 589 億ドルから 2033 年までに 2,048 億ドルに達するとの予測があり、高い将来性が期待できる。長期エネルギー貯蔵に関しては海外では革新的な技術として近年急速に注目が高まり、米国や欧州、中国を中心に政府機関やベンチャー企業が様々な研究開発を加速している。

日本は、高効率なヒートポンプ技術や高性能断熱技術を有している。これらを創出した技術力は、高効率な熱エネルギー貯蔵の実用化においても、日本の強みとして活かせる可能性がある。

また、特定の鉱物資源に依存することがないため、エネルギー安全保障の観点から重要である。

3-1-3 取り組むべき具体的手段のテーマ例

(1) 地下未利用資源の活用

具体的な例としては、超臨界地熱発電と、天然水素が挙げられる。

超臨界地熱発電は、プレートテクトニクスによって地下に引き込まれて高温・高圧の超臨界状態で賦存している水分を地熱資源として活用するものである。超臨界地熱資源の蓋然性が高い地域は国内に 15 地域以上が明らかになっている。今後は、調査井によるポテンシャルの検証とともに、高温、高圧環境での掘削技術の開発が求められる。具体的には、高温用セメントの開発、耐食性ケーシングの開発、坑内冷却技術、ドリルビットの開発などがある。

天然水素は、地下でかんらん岩が水と反応して蛇紋岩となる反応に伴って生成することが知られている。回収可能な水素の量を引き上げるためには、貯留可能な地質や大気放出までの保持期間など生成メカニズムの理解と、人工的な水素生産の増進技術の開発が重要である。同時に、水素自体の漏洩や採掘が与える環境影響などの評価と影響軽減の方策の検討も必要である(図 3-1-6)。

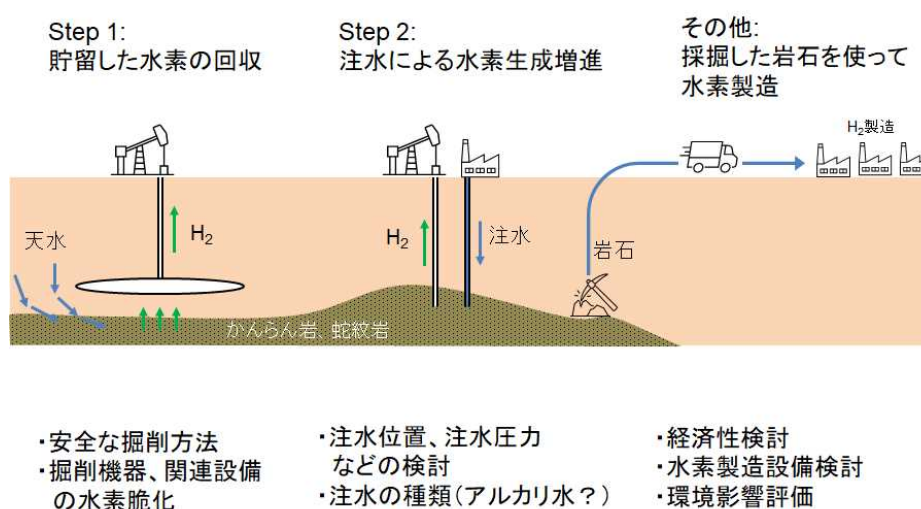


図 3-1-6 天然水素で想定される取組

(2) 変動性再エネ最大活用のための長期エネルギー貯蔵

変動性再エネ活用時の出力制御を避けるために、余剰電力を熱やまたは化学的エネルギーとして貯蔵し、必要な時に電力として系統に供給し、または、熱そのものとして利用する。熱による貯蔵では、電力を効率よく熱に変換する手段、潜熱や顕熱による貯熱媒体の開発、熱から電力への変換手法や変換効率の向上が求められる。加えて、熱媒体を高温に保持する断熱技術や繰り返し温度変化による貯熱媒体の耐久性の向上や材料開発などがある。

3-2 環境・化学分野

3-2-1 分野の俯瞰

環境・化学分野の俯瞰図を図 3-2-1 に示す。この中で、サーキュラーエコノミーの実現は、2 章に記載したとおり、持続可能な社会を実現するための 3 つの社会システムの1つとして重要である。従って、Innovation Outlook Ver. 1.0 では、サーキュラーエコノミーの実現に焦点を絞って検討する。

サーキュラーエコノミーの実現	産業分野の化石資源消費量削減	環境影響物質の対策技術
リサイクル技術 ・ベースメタル（鉄、アルミ、銅） ・プラスチック（マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル） ・レアメタル ・回収、解体、選別 ・易解体設計 ・情報連携 カーボンリサイクル技術 ・CO ₂ 分離回収 ・セメント、炭酸塩化 ・機能性化学品 ・燃料、化学品製造（合成燃料、メタノール、メタネーション等） 未利用資源の活用技術 ・バイオマス活用 ・廃水、排ガス、海水等からの資源回収 ・水資源 シェアリング等ビジネスモデル変革	原料転換技術 ・バイオマス燃料、SAF ・バイオマス由来化学品 ・水素還元製鉄 燃料転換技術 ・工業炉や加熱炉での水素・アンモニア利用 ・電熱化 熱利用高度化技術 ・産業用ヒートポンプ ・蓄熱技術 ・未利用熱利用 製造プロセス省エネ技術 ・革新的化学品製造プロセス ・メカノケミカル反応	PFAS対応技術 ・代替 ・分離回収、無害化、リサイクル ・分析 その他 ・低GWP冷媒 ・SLCFs ^{*1} ・窒素循環 大気等からのCO₂除去 ネガティブエミッション技術 ・DACCS ^{*2} 、BECCS ^{*3} ・風化促進 ・DOC ^{*4} 、海洋アルカリ化 CO₂貯留 ・(CO ₂ -) EOR ^{*5} 、帯水層 ・CO ₂ ハイドレート

^{*1} SLCFs: Short-lived Climate Forcers, ^{*2} DACCS: Direct Air Carbon Capture with Storage, ^{*3} BECCS: Bioenergy with Carbon Capture and Storage
^{*4} DOC: Direct Ocean Capture, ^{*5} EOR: Enhanced Oil Recovery

図 3-2-1 環境・化学分野の俯瞰図

3-2-2 解決すべき社会課題と取り組むべき領域

ベースメタルリサイクル

化学品炭素源の化石資源からの抜本的な転換

サーキュラーエコノミーは、我が国においては従来から『廃棄物削減』や『資源の安定確保』という社会課題の観点で取り組まれてきたが、近年は新たな資源採掘・消費を抑制することによる CO₂ 排出削減効果、すなわち『気候変動対策』の観点でも重要視されている。鉄・銅・アルミニウムのいわゆる「ベースメタル」とプラスチックは製造時の CO₂ 排出量が大きく、リサイクルが原料調達の観点から改めて注目されている。また、これらの素材は、製造時の CO₂ 排出量が大きい素材の中で、調達リスクの一つの指標と考えられる重みづけ HHI が大きい点からもリサイクルは重要と考えられる（図 3-2-2）。実際、再生材活用に向けた市場形成が活発化してきており、IEA の試算でも再生材やスクラップ投入比率が大きく伸びる見通しであり（図 3-2-3）、『ベースメタルリサイクル』と『プラスチックリサイクル』は取り組むべき領域であると言える。

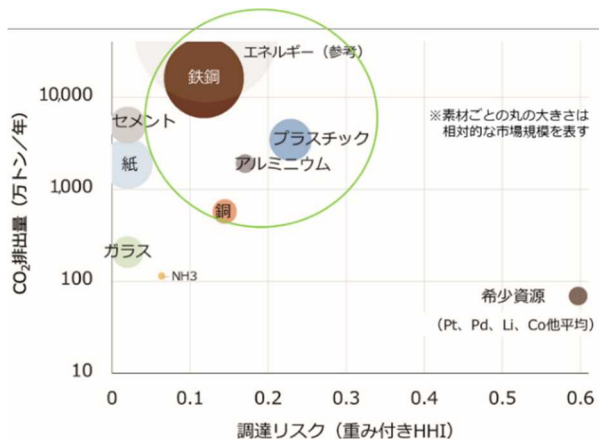


図 3-2-2 日本における主要素材の
製造時 CO₂ 排出量、調達リスク、市場規模

出所: 各種資料を基に NEDO イノベーション戦略センター作成

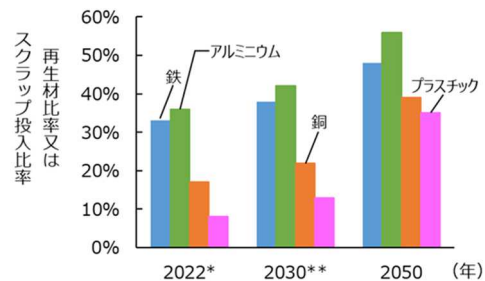


図 3-2-3 再生材比率または製造時の
スクラップ投入比率の現状と見通し

出所: IEA 資料を基に NEDO イノベーション戦略
センター作成

製造業を CO₂ 排出量と密接に関係する化石資源の消費量の観点で見ると、プラスチック等の化学品を生産する化学産業は、鉄鋼業やセメント産業に比して原料やエネルギーとしての化石資源の利用量が多い産業である。化学品の主骨格は炭化水素であり、エネルギー使用量の削減や脱炭素化を行っても、原料としての炭素利用は避けられない。IEA のシナリオ分析では、石油需要は燃料分野で大きく減少するが、化学品分野では燃料分野ほど大きく減少しない見通しが示されており、化学品炭素源を化石資源から転換させることは喫緊の課題である。サーキュラーエコノミーにおいて、CO₂ を資源として循環利用する『カーボンリサイクル』は、CO₂ 排出量削減と炭素資源の有効活用の観点から重要視されているが、経済合理性が不十分なため現状ではほとんど活用されていない。

前述のプラスチックリサイクルも、カーボンリサイクルも、化学品の炭素源を従来の化石資源から転換させる手段と捉えられることから、これらを二つを合わせた『化学品炭素源の化石資源からの抜本的な転換』を、取り組むべき領域として整理した。

(1) ベースメタルリサイクル

ベースメタルはサプライチェーン上流に位置し、競争力の源泉となる基礎材料である。アルミニウムや銅は、太陽光発電や電気自動車などに使用され、グリーントランスフォーメーション関連素材として将来の需要増が見込まれる。再生材の量を

¹ A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach 2023 Update (IEA, 2023)、Recycling of Critical Minerals (IEA, 2024)

増やすためには、これまで活用されてこなかった不純物が多いような質の低いスクラップの活用に向け、スクラップ原料の質や回収システムの特徴に着目した革新的取組が重要となる。日本は世界でいち早くリサイクルに取り組んだ歴史があることから、分別排出など日本の強みを活かせる可能性がある。

(2) 化学品炭素源の化石資源からの抜本的な転換

化学産業は、国内産業の競争力の源泉となる機能性や付加価値の高い基礎素材を提供している。ただし、IEA の将来見通しでも化石資源が化学品の原料として想定されているように、炭素源を化石資源から転換させることは非常にハードルが高い。より低品位廃プラスチックを利用する革新的なリサイクル技術やカーボンリサイクル技術を、経済合理性ある技術として実用化する必要がある。カーボンリサイクル技術に関連し、中国では石炭由来のメタノールを活用する化学品製造技術が実装されており、CO₂ を原料とするグリーンケミカル市場の脅威となるため、経済安全保障の観点からも早急な実用化が必要である。

以上を踏まえ、『ベースメタルの資源循環』と『化学品炭素源の化石資源からの抜本的な転換』の2領域に取り組むべきフロンティア領域等として提案する(図 3-2-4)。

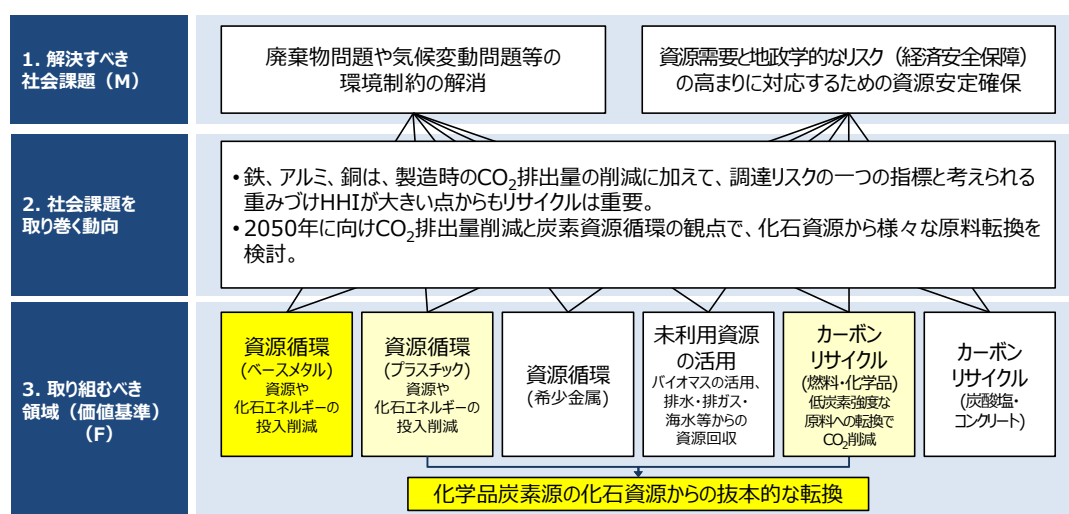


図 3-2-4 サークュラーエコノミー分野の MF ロジックモデル

3-2-3 取り組むべき具体的手段のテーマ例

(1) ベースメタルリサイクル

ベースメタルの資源循環を早期に最大化するために、廃製品等の回収、解体、破碎、選別、再生、加工の各プロセスでの革新的な技術と仕組みが必要である。主な技術として、選別では画像データの AI 活用による選別精度の向上、再生では

(2) 化学品炭素源の化石資源からの抜本的な転換

課題① 原料資源の確保

課題② 低コスト化

課題③ 低炭素品の価値化

原料資源の確保に向けて、バイオマスや廃プラスチックは量的制約があるため、利用量を拡大させる取組が必要である。プラスチックリサイクルでは、廃製品を解体・破碎・選別した後の廃プラスチックの品位を判定する基準の定量化や、低品位の廃プラスチックから化学品原料を得る循環型ケミカルリサイクルに関する技術開発が必要である。カーボンリサイクルでは、原料 CO_2 の量的制約が少ないが、 CO_2 の回収から利用までのコストの大幅な低減に向けた技術開発が必要であり、成熟技術のスケールアップやプロセス改良に加え、現状 TRL (Technology Readiness Level) が 7 (実証レベル) 未満の技術の中で成熟技術を上回るポテンシャルを持つ技術開発の推進が重要となる(図 3-2-6)。化学品炭素源の化石資源からの抜本的な転換を、技術開発だけでなく低炭素品の価値化を行い経済合理性ある技術として実現することが求められる。

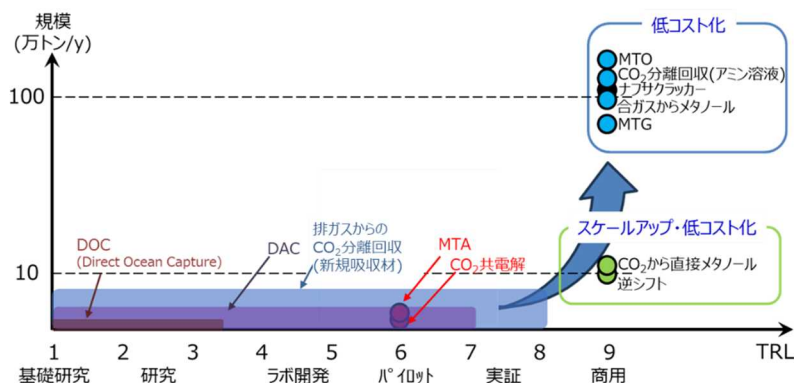


図 3-2-6 カーボンリサイクル技術(化学品分野)の研究開発テーマ例

3-3 アグリ・フードテック分野

3-3-1 分野の俯瞰

アグリ・フードテック分野の俯瞰図を図 3-3-1 に示す。

世界の食料市場では、人口増加に伴って食料需要量も大きく増加する見通しであり、飢餓人口の増加やプロテインクライシスにつながる懸念がある。気候変動や国際情勢といった外部要因も加わり、全世界で食料安全保障の問題が顕在化している。日本においては、農業生産を支える基幹的農業従事者が今後 20 年間で 4 分の1にまで減少すると推計されている。DX の遅れや、食料だけでなく農業生産資材やエネルギー資源の海外依存度が高く、農業生産の基盤が脅かされている状況にあり、国内農業の持続性を高めていくために、環境負荷の低減を含め、多角的に検討する必要がある。

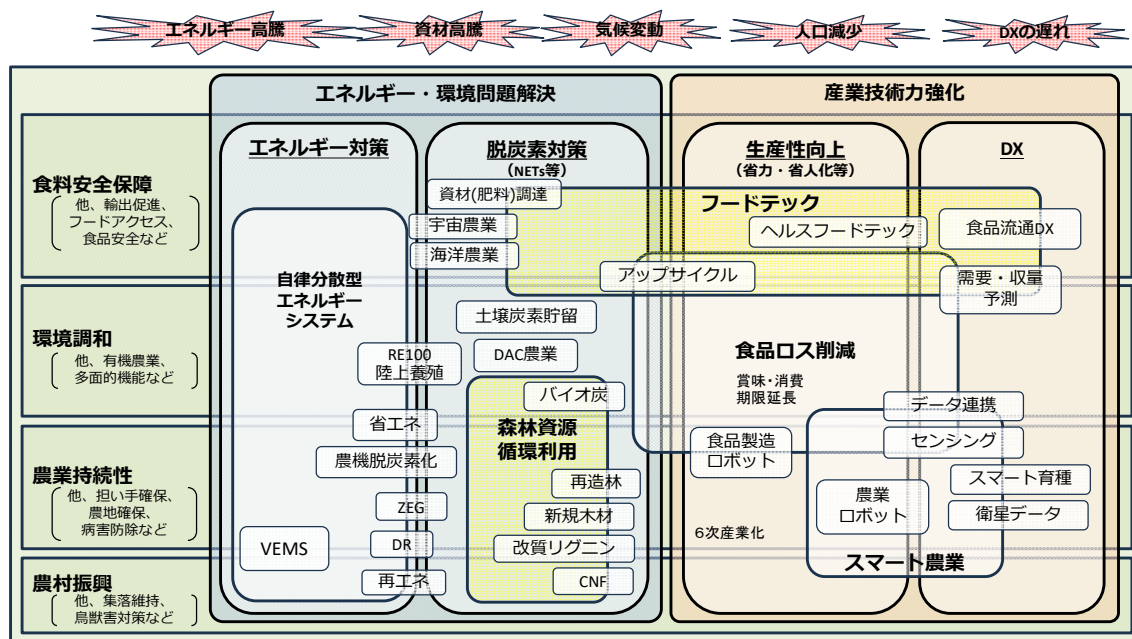


図 3-3-1 アグリ・フードテック分野の俯瞰図

3-3-2 解決すべき社会課題と取り組むべき領域

ヘルスフードテック

森林資源循環利用

アグリ・フードテック分野における実現すべき社会像は、2章で示した豊かな未来レポートの12の実現すべき社会像のうち「誰もが健康で食事に困らない社会」である。その実現に向けては、国内に安定的に継続して食料を供給できるよう、調達・生産・流通・加工・消費に至るまでのロバストなサプライチェーンの構築、すなわち『持続可能な食料システムの構築』が重要な社会課題と考えられる。

また、国内で消費する食料はできるだけ海外に依存しないことが望ましい。上述した安定的、継続的な供給に加えて、必要な量を国内で供給できるよう食料自給率を高める『食料安全保障の強化』も重要な社会課題と考えられる。なお、食料安全保障の議論として、国際的には量の確保に加えて質の確保(健康的な食事)も課題となっている。消費者ニーズに対応した高品質(栄養価が高いなど)な食料の供給と食生活の改善により健康的な食事につながり、健康寿命の延伸に貢献できる。

次に社会課題『持続可能な食料システムの構築』『食料安全保障の強化(健康的な食事を含む)』の解決策を列挙し、食料生産活動の持続性や環境との調和に関連する解決策(環境整備)、食料安全保障のうち食料自給率の向上に関連する解決策(量の確保)、食料安全保障のうちの質に関連する解決策(質の確保)に整理し、それぞれの重要度を検討した(表3-3-1)。

表3-3-1 アグリ・フードテック分野の整理表

社会課題に資する機能・領域	将来性	革新性	日本の強み	民間での困難性	重要経済安保	想定される取組例	注目領域
① 環境整備	就農者の確保	食料供給に必須	-	-	○ 政策的手段	○ 食料安全保障に貢献	金融、研修等の経営支援
	環境負荷低減	○	△ IPM、RNA農業等	○	△ 公的機関の取組	○ 食料安全保障に貢献	IPM、RNA農業、バイオスティミュラント
	GHG削減	◎ クレジット拡大	○ 新素材	◎ 豊富な森林資源	○	- (政策的重要度◎)	バイオ炭、水田メタン抑制、エリートツリー、新規木材、ブルーカーボン、クレジット取引
	エネルギー等の国内調達	○	○	○	○ 農山漁村単位での取組	○ エネルギー安全保障に貢献	農山漁村EMS、ヒートポンプ、下水汚泥リサイクル
② 量の確保	DXの促進	◎ スマート農業市場増加	○	◎ クボタ、井関等が特許に強み	○ 標準化等	◎ 食料安全保障に貢献	営農支援システム、品種開発、収穫ロボット、自動走行トラクター
	生産性向上	○	◎ 鮮度保持、包装技術	○ データ連携は個社では難しい	○ 食料安全保障に貢献	◎ 食料安全保障に貢献	容器包装、収量・需要予測、啓発、商慣習見直し、寄付
	食品ロス削減	◎ 継続した取組	○	◎ 鮮度保持、包装技術	○ データ連携は個社では難しい	○ 食料安全保障に貢献	◎ 食料安全保障に貢献
③ 質の確保	新たな食ビジネス(フードテック)	◎ 食品市場・輸出拡大	○	◎ 培養、ゲノム等に強み	○ 規制整備が必要	◎ 食料安全保障に貢献	代替タンパク、陸上養殖、アクアポニックス、宇宙農業、海洋農業、健康機能性食品、個別化栄養
	健康・栄養	◎ 食品市場・輸出拡大	○	◎ 課題先進国	◎ 消費者の受容	◎ 食料安全保障に貢献	◎ 食料安全保障に貢献

※定性的に◎(大きく影響する)、○(影響する)、△(影響するが限定的)、-(影響は僅か)

解決策の中で重要と思われる項目において、寄与する技術例を他の解決策への貢献も考慮し注目領域として集約し、これを MF ロジックモデルに整理した(図 3-3-2)。その結果、取り組むべき領域として、環境整備に係る『森林資源循環利用』、量の確保に係る『スマート農業』、質の確保に係る『ヘルスフードテック』を特定した。このうち、スマート農業はすでに様々な取組がなされていることから引き続きその動向を注視することとし、『ヘルスフードテック』と『森林資源循環利用』をフロンティア領域等として提案する。

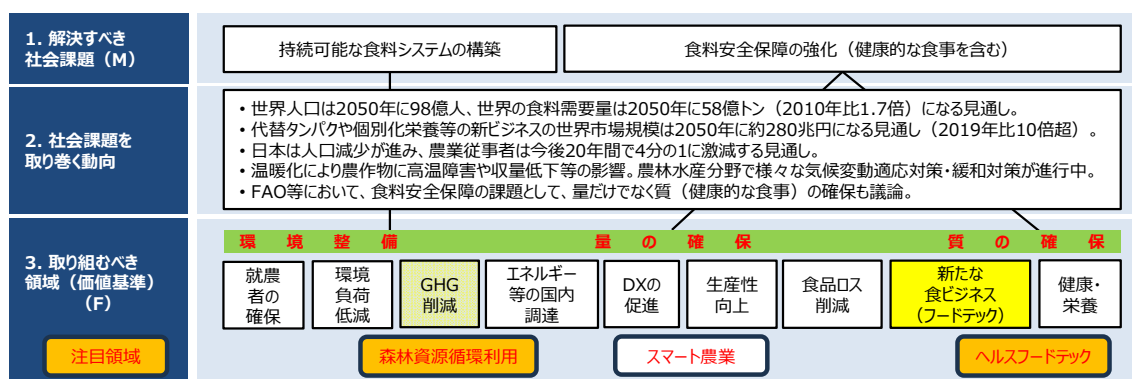


図 3-3-2 アグリ・フードテック分野の MF ロジックモデル

(1) ヘルスフードテック

食品の健康機能性や味覚の解明とともに、個々人の遺伝特性、摂取栄養素や生体データなどを定量的かつ簡易に把握・分析し、健康目標を達成するために個人に最適化された食を提供する。

フードテックの世界市場は、将来大きく拡大すると見込まれる。食の質に配慮することは日本産食品の強みであり、これを付加価値提供に活かせる可能性がある。

(2) 森林資源循環利用

温暖化は農作物に高温障害など多大な影響を及ぼす。食料生産を持続可能な活動にするために、気候変動緩和対策として、特に、日本に豊富な森林資源を GHG 吸収源として利用することが有効である。GHG を吸収した森林資源を食料生産活動にも循環してさらに利用していくためには、森林資源のサプライチェーン全体を俯瞰して、木材需要に応じた最適な生産流通システムの構築と、需要拡大に向けた高付加価値化や革新的な素材・新規木材の開発が必要となる。

森林資源のうち、改質リグニンが電子基板や自動車用部材等への利用が期待されており、その将来市場は 1,000 億円超と推計されている。J-クレジットにおいては植林・再造林等に関する方法論が登録されており、今後の取引拡大が期待される。また、間伐材や剪定枝などは、土壌改良材であり農地土壌炭素貯留効果があるバイオ炭への利用も可能である。

3-3-3 取り組むべき具体的手段のテーマ例

(1) ヘルスフードテック

【味覚認知の探究・おいしさの見える化】

舌の上で感じる甘味の感覚強度を評定する装置・技術。高感度分光分析技術により非破壊で機能性表示成分を測定する装置・技術。酸や糖の状態をモニタリングすることも可能で、スマート農業への展開も期待。

【個別化栄養技術】

SIP 第2期『スマートバイオ産業・農業基盤技術』(図3-3-3)において、軽度不調の改善に効果がある G-Plus 食品の制度を設計。17 種類の栄養成分に改善効果があることを解明し、個人の状況に応じた食事の提供が可能。対象とする軽度不調や体調変化に応じて人と健康に関するデータの収集・整備も必要。

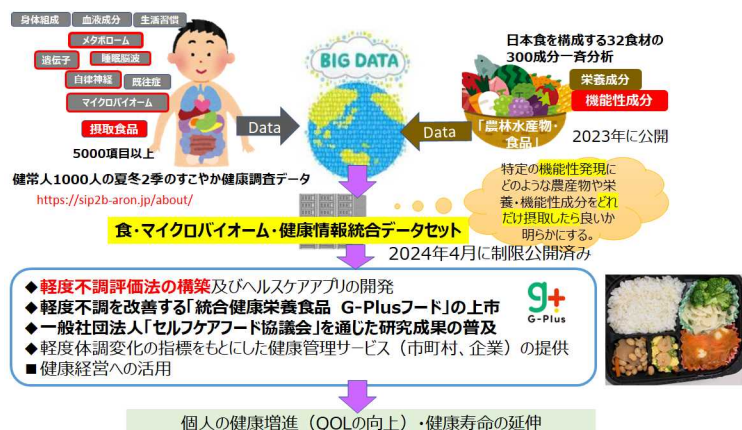


図3-3-3 SIP 第2期『スマートバイオ産業・農業基盤技術』における取組概要²

(2) 森林資源循環利用

【再造林】

レーザー計測データやドローンを活用した森林情報のデジタル化。エリートツリーの開発、コンテナ苗増殖技術の開発。

【バイオ炭】

微生物機能を付与し農作物収量の向上を図る高機能バイオ炭の開発・実証。

【都市の木造化】

大量の炭素を長期間貯蔵する木材を、高層建築物等の木造化に利用する技術の開発・実装。X線等を利用した木材品質の可視化計測技術の開発。高級家具等に使用する「広葉樹」の立木や丸太の内部構造を可視化。

² 農研機構食品研究部門研究プロジェクト概要(農研機構、2025)
<https://www.naro.go.jp/laboratory/nfri/contents/project-info/sip2.html>

3-4 デジタル分野

3-4-1 分野の俯瞰

デジタル分野は、俯瞰図(図 3-4-1)に示すように、データを生み出し処理する AI 等の IT 分野、IT を活用する自動車、ロボットなどの応用分野、IT を支えるエレクトロニクス、半導体などの基盤分野から構成される。

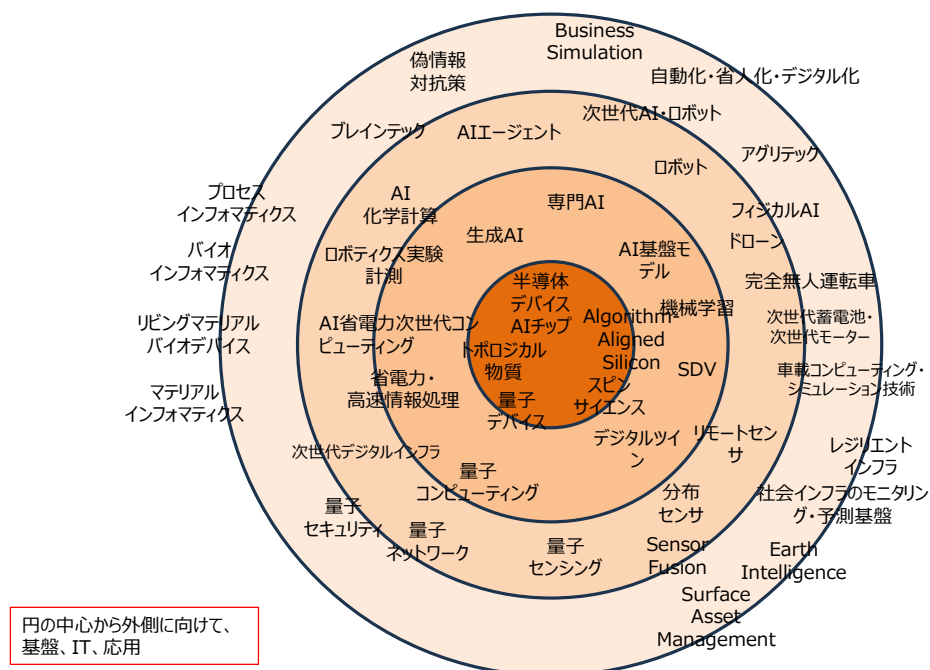


図 3-4-1 デジタル分野の俯瞰図

3-4-2 解決すべき社会課題と取り組むべき領域

省電力・高速情報処理

社会インフラのモニタリング・予測基盤

自動化・省人化・デジタル化

デジタル分野は、他の分野で取り上げている社会課題も含めて、ほぼ全ての社会課題解決に関与する。社会課題を解決するために必要な『実現すべき機能』の内、デジタル分野に関連する技術を用いることで実現できる可能性がある機能を整理した。

次に、各機能について、2 章で示した豊かな未来レポートで考慮した 6 つの価値軸について『社会インパクトの大きさ』を評価した。続いて、先に挙げた機能が実現されて社会実装がなされるタイミングを、TRL (Technology Readiness Level) の考え方を参考に『実現時期』として試算した。実現すべき機能を、実現時期と社会インパクトの大きさをプロットしたものが図 3-4-2 である。

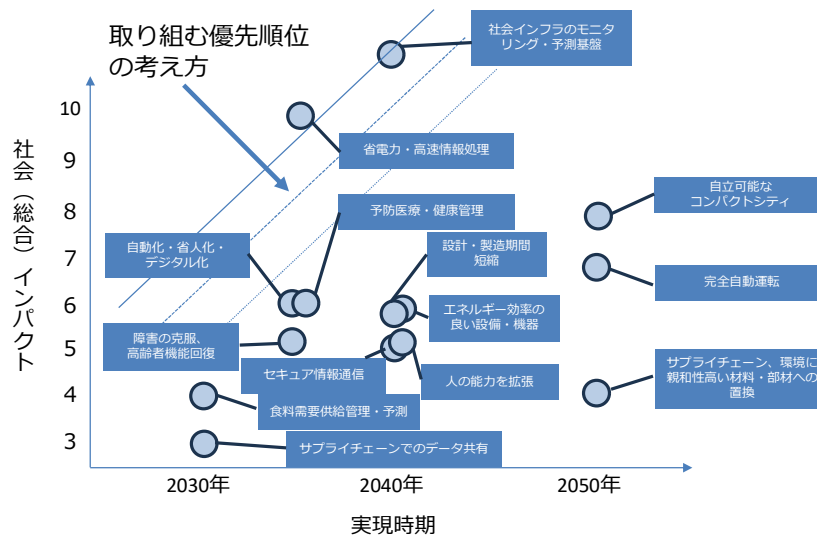


図 3-4-2 実現すべき機能の社会インパクトと実現時期

これらの結果から、実現すべき機能のうち、社会インパクトが大きく、実現時期が近い、『省電力・高速情報処理』『社会インフラのモニタリング・予測基盤』『自動化・省人化・デジタル化』を、優先的に取り組むべきフロンティア領域等として提案する。

(1) 省電力・高速情報処理

近年の発展が著しい生成 AI は、経済発展のみならず、産業基盤全体の強化のために、益々利活用が進むと想定され、働き方改革、労働人口減少といった社会課題解決に大きく貢献することが期待される。一方、2050 年のカーボンニュートラル実現のためには、生成 AI の開発及び利活用に消費される膨大な電力量を大幅に削減することが求められることになる(図 3-4-3)。具体的には、データセンターにおける電力消費を大幅に低減することに加えて、今後利活用が増加するエッジ側においても低消費電力で生成 AI が動作可能な革新的な AI チップやシステムの開発が重要となる。

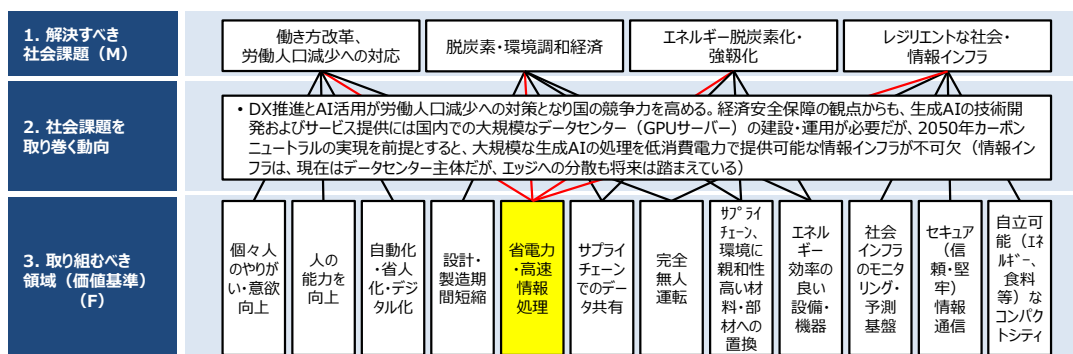


図 3-4-3 『省電力・高速情報処理』領域の MF ロジックモデル

(2) 社会インフラのモニタリング・予測基盤

近年、災害の甚大化が問題となっており、その被害を最小限に抑えることは、経済安全保障の観点からも、市民のウェルビーイングの観点からも重要な課題である。社会インフラの維持・運用を平時における経済循環に組み込むことが、社会システムとしての頑健性を高めることにもなるため、防災・減災に限定しないレジリエントな社会インフラのモニタリング・予測基盤の開発が重要になる(図 3-4-4)。災害が多い日本には様々なデータが蓄積されており、これを活かすことが重要である。

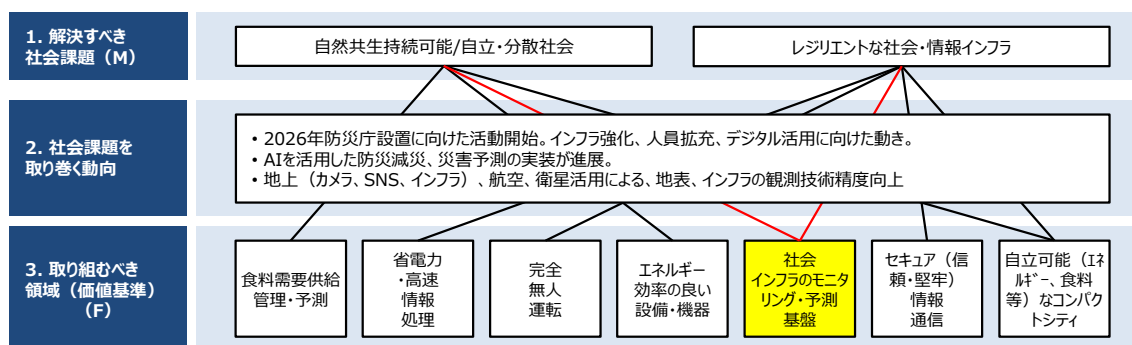


図 3-4-4 『社会インフラのモニタリング・予測基盤』領域の MF ロジックモデル

(3) 自動化・省人化・デジタル化

労働生産人口の減少、高齢化社会の到来により、製造、物流、建設、介護、農業などの現場において、熟練技術者の知能や技術の継承及び人材確保が困難な状況にある。熟練作業者が持つ豊富な知識、ノウハウを形式化して伝承するとともに、生成 AI 等を活用した AI エージェントやロボットに知識を移し、自動化・省人化を実現する技術開発が重要である(図 3-4-5)。日本は産業用ロボット市場で大きなシェアを有しており、きめ細やかなサービスという文化と合わせて、強みを活かせる可能性がある。

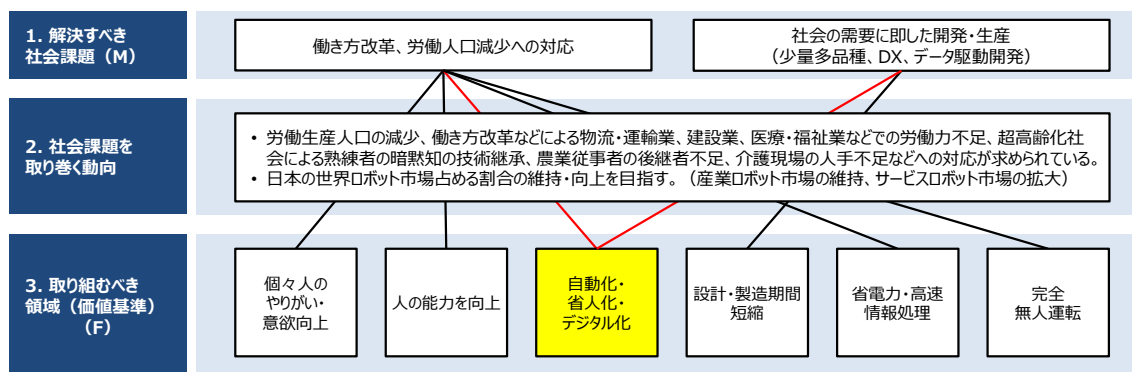


図 3-4-5 『自動化・省人化・デジタル化』領域の MF ロジックモデル

3-4-3 取り組むべき具体的手段のテーマ例

(1) 省電力・高速情報処理

生成 AI で用いられるトランスフォーマーは複雑な機能を組み合わせて実現されており、単一の技術で省電力化を実現することは困難であるが、ニューロモルフィックやリザバーを用いて実装することで、省電力のシステム実装の可能性がある(図 3-4-6)。また、電子に代えてスピントロニクスや光などで四則演算をベースとした汎用コンピュータを実装するアプローチも有用性がある。

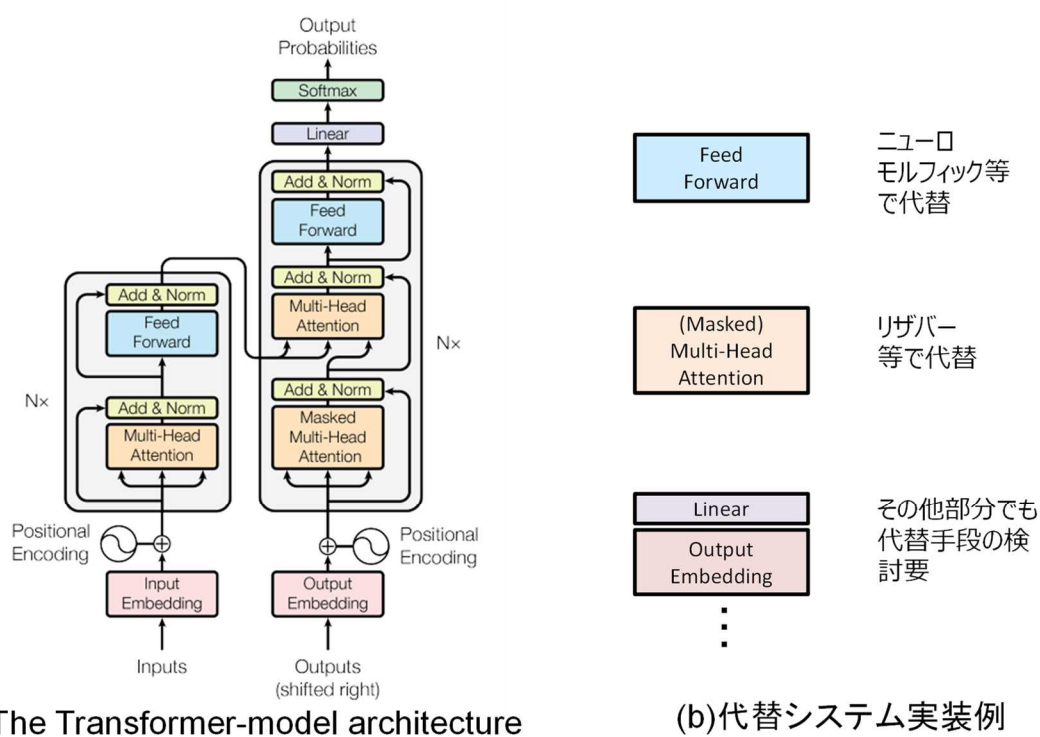


図 3-4-6 生成 AI の Transformer モデル(a)と革新的省電力のための代替システム実装例(b)

出所(a): Attention Is All You Need(Google、2017)³

³ <https://arxiv.org/pdf/1706.03762>

(2) 社会インフラのモニタリング・予測基盤

設備・施設・インフラのデータ群を統合したデジタルツインシステムを構築し、街づくりの計画、通常時の監視、災害時のリスク評価まで幅広く行うこと(図 3-4-7)により、社会インフラのレジリエンスを強化する。



図 3-4-7 『社会インフラのモニタリング・予測基盤』に関する研究開発例

出所：戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) スマートインフラマネジメントシステムの構築
キックオフシンポジウム資料⁴

(3) 自動化・省人化・デジタル化

生成 AI を活用し、これまでに蓄積されてきた作業に関するデータのみならず、熟練作業者のインタビュー内容等の記録データなどを分析・モデル化・形式化することで、熟練作業者のノウハウ等を知識化した AI エージェントを構築する。AI エージェントの汎化能力により、熟練作業者のスキルフルな作業を、作業者に伝承したり、ロボットに転移したりし、様々な作業で使うことを可能とする。多様な作業能力、自然言語、BCI を例とする扱いやすいヒューマンインターフェースを備え、様々な環境で働くことのできるヒューマノイドロボットを含む多機能自律ロボットを構築し(図 3-4-8)、ロボットの新たな市場を開拓する。

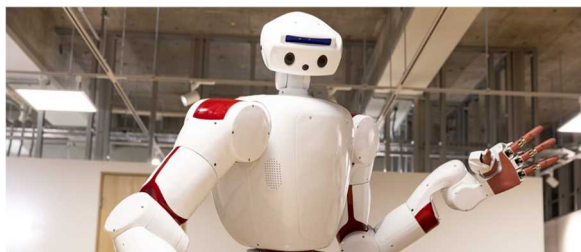


図 3-4-8 『自動化・省人化・デジタル化』に関する研究開発例

提供：JST ムーンショット型研究開発事業「目標3」菅野重樹 PJ

⁴ https://www.pwri.go.jp/jpn/research/sip/offerform/kickoffsympo_006.pdf

3-5 マテリアル分野

3-5-1 分野の俯瞰

マテリアル分野の俯瞰図を図 3-5-1 に示す。

マテリアルの定義については、単に物質という意味でなく、素材、部材に加え、それらを用いた部品、デバイス等を含む意味で用いている。さらにマテリアル産業を考えると、マテリアルを製造するためのプロセス技術についても考慮する。具体的には図 3-5-1 に示す多種多様な品目や技術を含む分野と理解される。

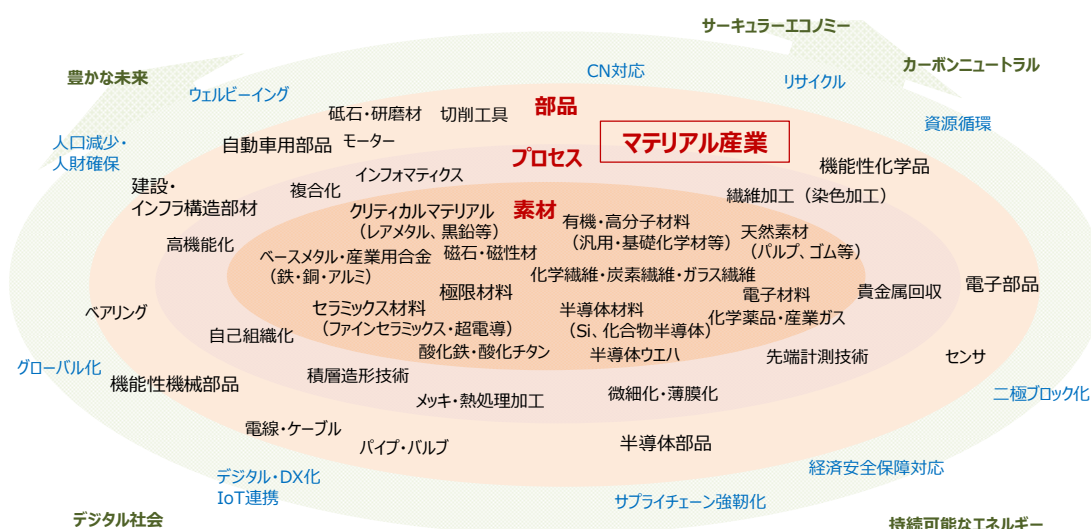


図 3-5-1 マテリアル分野の俯瞰

2021 年 4 月に公表された『マテリアル革新力強化戦略』において、

- ・ 人類の歴史は、鉄、金属、プラスチック、ファインセラミックス、エレクトロニクス材料といった、マテリアルの発展の歴史でもあり、マテリアルは世界を支える存在である
- ・ マテリアルは、これまで、何度も世界を大きく変えてきている
- ・ 我が国は、積み上げ型の開発を得意とし、技術を磨きあげることにより、革新的なマテリアルを生み出してきた

と記載されているとおり、人間社会の物的側面の根幹をマテリアルが担っており、その研究開発において日本が大きな役割を果たしてきたことが述べられている。そして、この役割を未来に向けて継続して果たしていくことが求められている。

3-5-2 解決すべき社会課題と取り組むべき領域 極限マテリアル

マテリアルは、豊かな未来レポートで示した全ての社会像の実現に寄与すると期待され、持続可能な社会に向けたエネルギー・資源産業や、安全・安心な社会に向けたインフラ産業など、マテリアルが様々な産業におけるイノベーションの基盤となる可能性がある。言い換えれば、マテリアル産業が解決すべき根本的な社会課題として、豊かな未来レポートで示した 12 の社会像のうちの「基幹産業・技術の創成による持続可能な社会の実現」を据えるのが妥当と考えられる。

ここで、マテリアル産業におけるビジネスモデルについて、三つの事業タイプ(高機能品タイプ、優良グレード品タイプ、汎用品タイプ)に分類してみると、日本のマテリアル産業は高機能品タイプにおいて競争力を有しており、高機能品タイプのマテリアルを継続的に生み出すことが、日本にとっての勝ち筋として重要であると言える。

このことは、『マテリアル革新力強化戦略』でも示されている。また同戦略では、重要な技術領域として、

- ・極限機能を有するマテリアル
- ・高度な機能発現を可能とするマテリアル
- ・量子・電子制御により革新的な機能を発現するマテリアル
- ・革新的なエネルギー変換を可能とするマテリアル
- ・マテリアルの高度循環のための基盤技術

の五つが挙げられている。TSC での調査の結果、より重要度が高い領域として、マテリアルの性能、例えば耐熱性や強度、耐食性などの材料特性や、光学特性や磁性、熱電導、導電性などの材料物性が極限に迫る領域まで要求される、あるいはマテリアルの耐久性の極限に迫るような環境、例えば超高温、超高圧、超高磁場やプラズマ環境で使用されることが必要とされるマテリアル領域がピックアップされた。この領域を、『極限マテリアル』と称し、フロンティア領域等として提案することとした。

以上を踏まえたマテリアル分野の MF ロジックモデルを図 3-5-2 に示す。

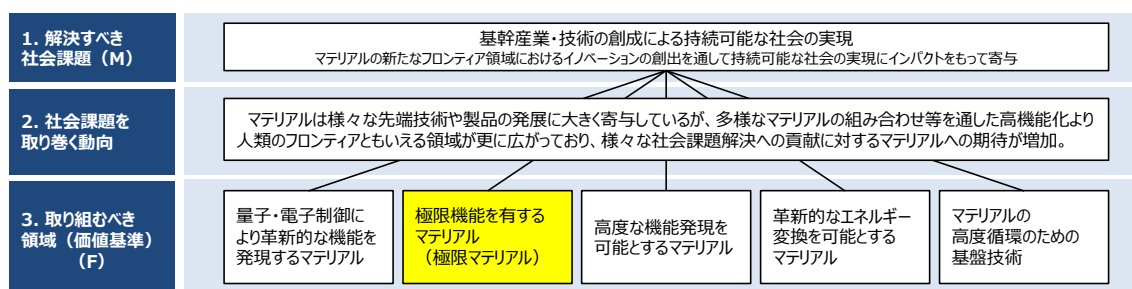


図 3-5-2 マテリアル分野の MF ロジックモデル

極限マテリアルに相当する製品の市場は他のマテリアルに比べて成長率が高い。また、市場における日本のシェアが高く、特許出願件数においても日本企業の出願数が多く存在感を示しているなど、日本の強みを活かすべき領域と言える。

3-5-3 取り組むべき具体的手段のテーマ例

極限マテリアル分野における推進すべき取組については、単なる極限性能を追求するだけでなく、「技術で勝って事業で敗れる」轍を踏まないためにも、社会実装の方向性がある程度展望できるマテリアルを選定したうえで、上述した日本の強みとなる極限性を発揮させる技術開発が重要となる。市場の将来性や、技術・アイデアの革新性（文献、特許件数、技術・政策動向など）の観点から日本の強みを分析し、その結果を踏まえ、Innovation Outlook Ver. 1.0 では、『高温超電導導体』『超高性能光学マテリアル（パワーレーザー）』を取り上げることとした。

（1）高温超電導導体

高温超電導テープ線材に関する極限性は、高磁場において安定に超電導状態を保持する性能にある。高温超電導による高磁場状態は、従来の磁石強度を飛躍的に向上させ、MRI などの解像度向上や動力分野では強力モーターの小型化、航空機の動力源への応用、核融合のプラズマの閉じ込め等に用いる強力なマグネットの開発等、幅広い応用が期待されている。

高温超電導テープ線材は、例えば、強磁場発生に優位な特長をもつ REBCO（ $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ ；RE は希土類元素）酸化物超電導体が挙げられ、金属基材の上に蒸着等の技術で複合酸化物結晶を成長したテープ状の線材として使用されている（図 3-5-3）。

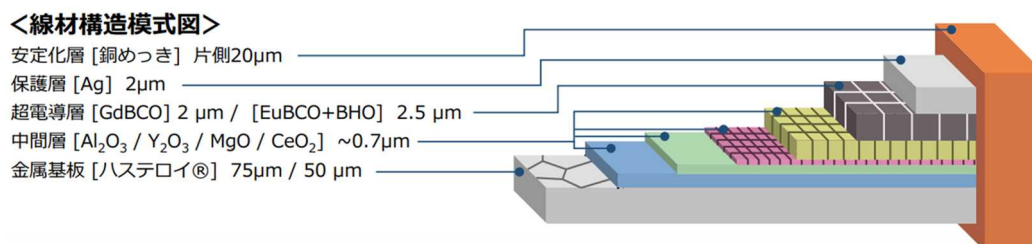


図 3-5-3 REBCO 線材の構造模式図

出所：株式会社フジクラ製品情報⁵

⁵ https://www.fujikura.co.jp/products/superconductors/images/Fujikura_superconductor_202407_JP.pdf

現状、テープ線材（線材長～1km）は、学術研究用途に用いられているが、産業用途には広く適用されていない。テープ線材はそれだけでは脆いため、マグネット用コイル等を効率的に製造するためには、テープ線材をそのまま用いるのではなく、より取扱が容易なケーブル仕様の導体が求められている。また、産業用途として広く適用されるためには、直流だけでなく、交流用コイルに適用するために交流損失を低減する必要が求められている。

テープ線材製造における日本企業のプレゼンスは高いが、更なる日本の産業競争力の維持強化には高温超電導導体の技術開発・社会実装が必要と考えられる。

（2）超高性能光学マテリアル（パワーレーザー）

パワーレーザーの応用先としては、難加工物質の加工や空間エネルギー伝送、宇宙デブリ除去、金属の表面改質などの用途が期待されている。

高出力パルスレーザーの開発事例を図 3-5-4 に示す。NEDO 事業において、日本の有力な光学機器メーカーや材料メーカーが開発を進めている。

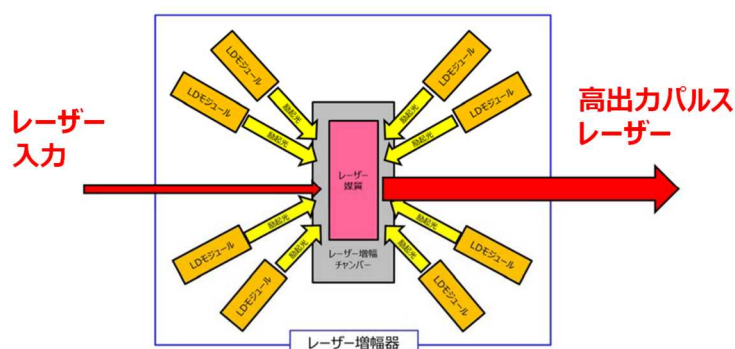


図 3-5-4 高出力パルスレーザーの開発例⁶

レーザー関連マテリアル（光学材料・光学デバイス）の課題としては、数 100 ジュール以上の高パルスエネルギー化と、更なる高エネルギー化への対応が求められている。例えば、発振媒体や光学素子として、高出力・高効率な材料、高出力による発熱に対応できる高熱伝導性・集光性、発振波長対応性、高い形状加工性、他素材との接合性、高い機械的強度、極限環境での高耐食性、光学損傷耐性、高信頼性等が挙げられる。

上記課題解決に対しては、日本の有力な光学機器・材料メーカーが存在する。最近では、レーザー核融合に対する世界的な注目の高まりから、アカデミアやスタートアップ企業も高出力レーザーの開発の課題解決に寄与すると考えられる。

⁶ https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101448.html

3-6 バイオエコノミー分野

3-6-1 分野の俯瞰

バイオエコノミー分野の俯瞰図を図 3-6-1 に示す。

持続可能な開発への関心が高まる中、バイオエコノミーは、生物資源とバイオテクノロジーを活用して、素材や製品、サービスを創出する経済システムとして注目されている。

バイオエコノミーにより生み出されるソリューションは、主に工業（ホワイトバイオ）、健康・医療（レッドバイオ）、農林水産業（グリーンバイオ）の 3 分野に大別される。図 3-6-1 に示すとおり、これらを支える技術は多岐にわたり、その社会実装、産業化の加速には、デジタル技術や化学、工学など他分野との融合が不可欠である。

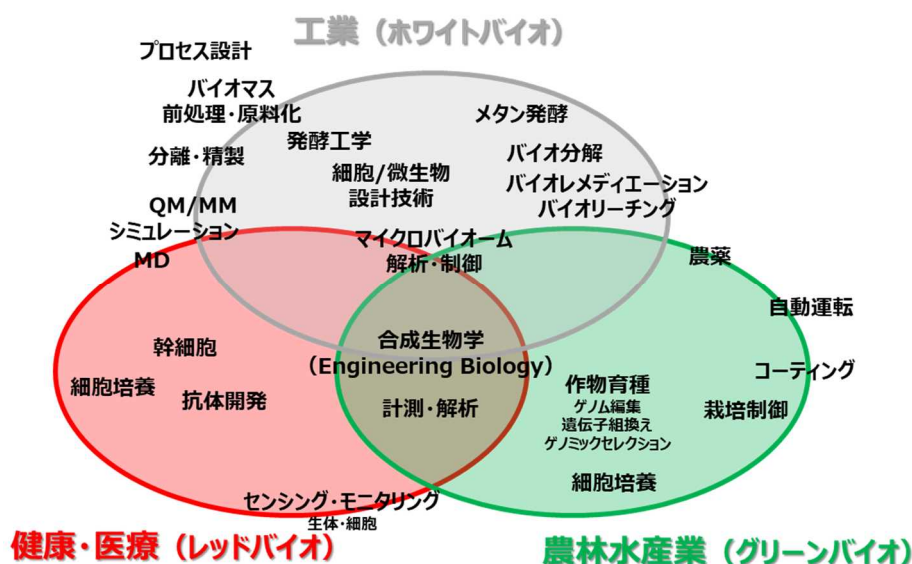


図 3-6-1 バイオエコノミー分野の俯瞰図

3-6-2 解決すべき社会課題と取り組むべき領域 化石原料から再生可能原料への転換 生体情報や環境情報の高度センシング 及び生体や環境の制御

バイオエコノミー分野における主要な四つの社会課題として、カーボンニュートラル（CN）、サーキュラーエコノミー（CE）、ネイチャーポジティブ（NP）、ヘルスケアエコノミー（HE）の実現が挙げられる。その解決に資する提供価値を抽出し、MF ツリー俯瞰図として整理した（図 3-6-2）。

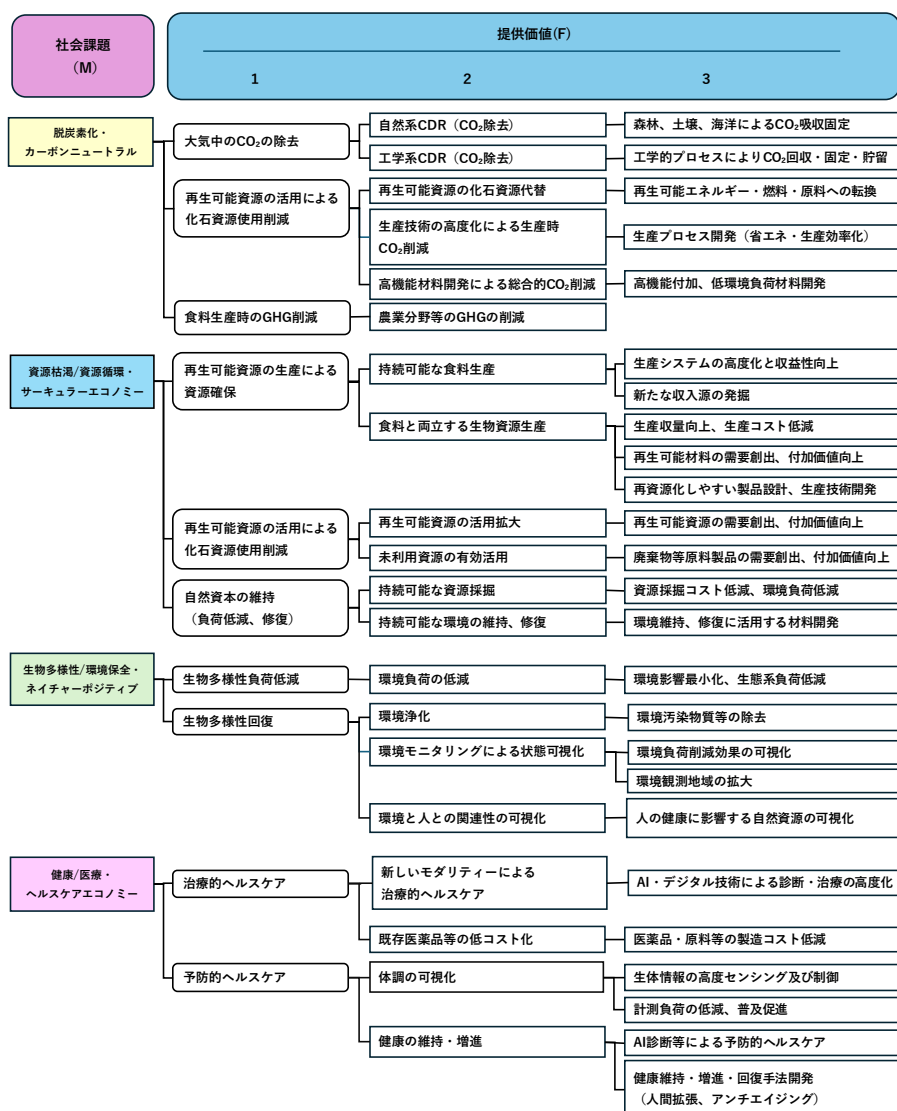


図 3-6-2 MF ツリー俯瞰図

CN のための提供価値としては、大気中にある CO₂ の除去、再生可能資源の活用による化石資源使用量の低減が挙げられる。これらをバイオエコノミーとの関連で具体化すると、前者については森林・海洋等による CO₂ の吸収・固定化や CO₂ を原料とした微生物による有用物質生産、後者については工業生産時や食料生産時に消費するエネルギー源をバイオマス等の再生可能資源へ代替することが考えられる。

CE のための提供価値としては、再生可能資源の生産、再生可能資源の活用と、それに伴う化石資源使用量の削減と自然資本の維持が挙げられる。具体的には、非可食バイオマス等の再生可能資源を原料としたバイオ燃料やバイオプラスチック等の製造や、その工程における高度精密発酵等を適用することによる高付加価値素材の開発、バイオミクリー(生体模倣)の活用が重要となる。

NP 実現のための提供価値としては、生物多様性に係る負荷低減、及び生物多様性の維持・修復であり、具体的な手法として、自然環境のモニタリングに基づく環境負荷低減が必要となる。

以上のように、CN、CE 及び NP の課題解決に資する共通の提供価値としては、再生可能資源の利活用と環境負荷の低減が関連することが示された。また、HE のための具体的な手法としては、生物機能を活かした人体の状態に関する高感度リアルタイム測定と制御が重要になると考えられる。これは、NP 実現のための手法である環境モニタリングとそれに基づく環境負荷低減と共通するものである。

こうした分析を踏まえ、『化石原料から再生可能原料への転換』と、『生体情報や環境情報の高度センシング及び生体や環境の制御』を、バイオエコノミー分野のフロンティア領域等として提案する(図 3-6-3)。

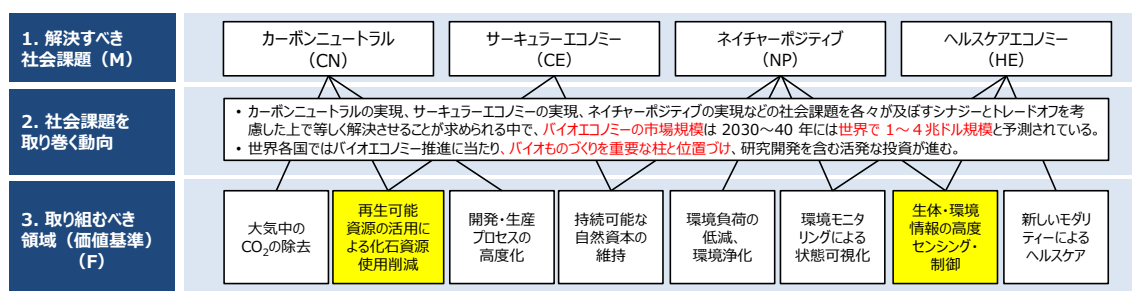


図 3-6-3 バイオエコノミー分野の MF ロジックモデル

バイオマス等を資源として活用するバイオものづくりの市場や、高度センシング及び制御を活用したヘルスケアに関する市場は、将来拡大することが期待される。自然系ネガティブエミッション(森林、海洋バイオマス等)の再生可能資源生産への適用、高度センシング及び制御の高度化には革新的な技術が求められる。バイオ変換による有用品生産分野、ヘルスケアにおける免疫分野や再生医療分野は、国内に多数の先進的研究者が存在しており、日本の強みを活かせる可能性がある。

3-6-3 取り組むべき具体的手段のテーマ例

(1) 化石原料から再生可能原料への転換：バイオものづくり強化

化石原料から再生可能原料への転換において有効な手段が『バイオものづくり』である。バイオものづくりとは、再生可能資源であるバイオマス等を原料にバイオテクノロジーを駆使して低環境負荷の様々なバイオ製品を生産することをいう。バイオものづくりにおいては、バイオマス等を化学的な方法で処理することや CO_2 を H_2

や光エネルギーで還元してメタノールなどの化合物に変換する方法などがあるが、
図 3-6-4 に示すような課題がある。

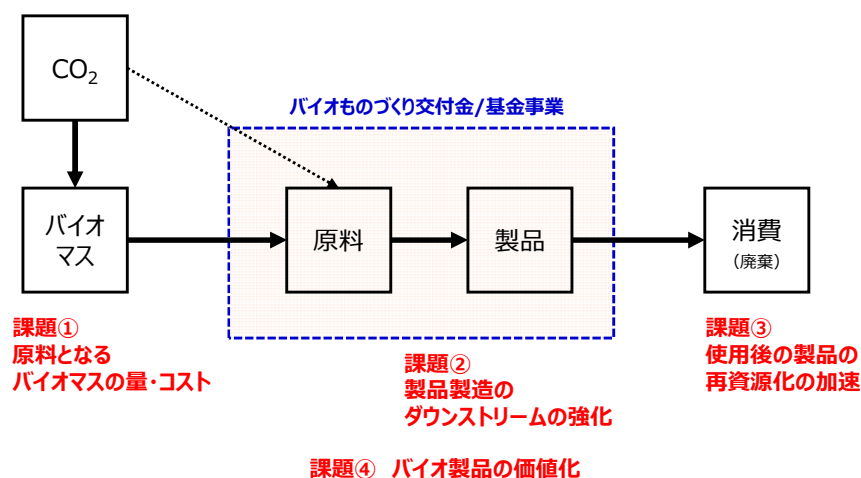


図 3-6-4 バイオものづくり実装に重要な周辺技術

課題①：原料となるバイオマスの量・コスト

バイオマスの賦存量・場所・組成等の可視化、バイオマスの価値化などの社会システム構築、バイオ技術による有用植物の開発、高度な栽培管理技術の開発、新たな認証制度に対応可能な環境負荷モニタリング技術の開発、などが必要である。

課題②：製品製造のダウンストリームの強化

通常バイオ製品は、水溶液中で生産されたものを回収することになるため、回収率向上につながる生産物濃度の向上や新規分離精製技術が必要である。

課題③：使用後の製品の再資源化の加速

廃棄物の資源化のため、マテリアルインフォマティクス技術による資源化しやすい製品設計や、使用後の製品回収の仕組みづくりなどが必要である。

課題④：バイオ製品の価値化

製品の意義や価値の訴求に向けて、環境負荷を科学的に可視化するセンシング/モニタリング技術の開発と共に、バイオ製品の価値に関するルール形成が重要になると考えられる。

(2) 生体情報や環境情報の高度センシング及び生体や環境の制御：

リビングマテリアル・リビングデバイス

生物は長い進化の過程で、外的環境因子や生体内情報を高精度にセンシングする機能、さらにセンシングした外的及び内的信号に対して適切な応答を行う高度な機能を身に付けてきた。この機能を応用した『リビングマテリアル・リビングデバイ

ス』が、生体情報や環境情報の高度センシング及び生体や環境の制御に対する有効な手段になると考えられる。

リビングマテリアル⁷とは、工学的に操作された完全な機能を有する人口細胞、あるいは細胞の構成要素を組み合わせることで特定の生物機能を再現するように設計されたバイオマテリアルである。また、リビングデバイスとは、生物機能を電子・機械システム等と融合させて利用するデバイスのことを指す。

分子生物学やデジタル技術の進展によって、生体分子システムの人工設計や、モデル細胞における生体分子ネットワークの構築の研究が推進され、合成生物学という工学的アプローチによる物質生産等の出口を意識した研究が積極的に行われてきた。欧米では Synthetic Cell(合成細胞)というコンセプトのもと、生物機能を解明し、モジュール化して再構成した人工細胞を産業利用する構想が進んでいる(図 3-6-5)。

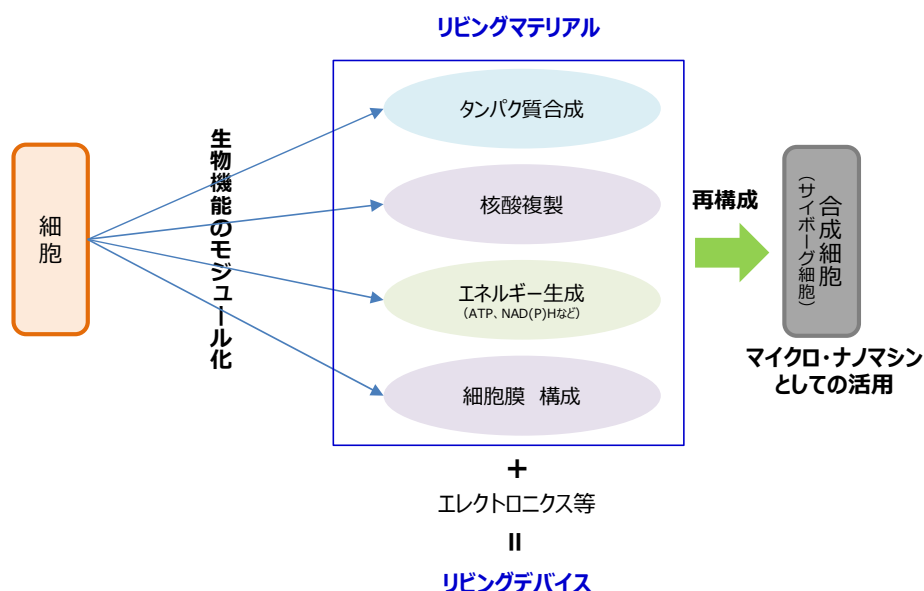


図 3-6-5 生物機能のモジュール化と利用のコンセプト図
(リビングマテリアルとリビングデバイスの関係性)

生物機能を活用し生体情報や環境情報を高度にセンシングするリビングデバイスの例として、生物素子での電気化学的相互作用によって生成される電流を測定するセンサーが挙げられる。生物反応は極めて特異的であり、感度も高い。患部の状態を検知して薬を出すスマート包帯や、生物素子及び検出部を小型化し集積したバイオセンサーの開発が進められている。

⁷ <https://www.horizon-europe.gouv.fr/engineered-living-materials-25028>

4 章 今後の課題

NEDO イノベーション戦略センターの初めの取組として、Innovation Outlook Ver. 1.0 を取りまとめることができた。

TSC にとっての大きな方針転換のもと、試行錯誤を繰り返す中で策定した、Innovation Outlook Ver. 1.0 には、以下に挙げる問題や課題があると認識している。

- ① 技術分野ごとに検討した結果を統合したため、技術分野ごとのロジックについて整合性が取れていないことや、価値を起点とした技術分野間の融合領域について十分な検討ができていないこと
- ② 限られた時間・リソースの中で限られた情報を元にした分析となっていることから、必ずしもカバーできなかった領域も存在しており、また分野によっては必ずしも新たに取り組むべき領域を提案できていないこと
- ③ トランスフォーマティブ・イノベーションの推進を掲げているが、技術開発要素の提案が中心で、ルール形成、エコシステムの構築、社会システムの変革とまで考慮した機能(F)の検討が十分にできていないこと
- ④ COVID-19 や米中対立など大きな経済社会情勢の変化により社会課題の設定自体が揺れ動くことがあること、破壊的なイノベーションは社会課題から必ずしも生まれる訳ではないことなど、不確実性や変動性への対応は、MFT フレームワークを含むあらゆるロジックモデルを活用する際に留意が必要であること
- ⑤ 今回のフロンティア領域等は価値を基準に特定したものであるが、価値の実現に向けて、今後、技術開発要素を具体化するにあたっては、経済産業省が提示する5つの観点や、ディープテックなどの日本の強み、戦略的不可欠性といった観点からの更なる深掘りが必要であること
- ⑥ フロンティア領域等の提案にあたっては、技術の正の側面を強調しがちであるが、直接的な効果だけでなく、間接的な影響も含め、技術がもたらす負の側面も考えながら進めることが必要であること

Innovation Outlook Ver. 1.0 を発信することで、政府機関・産業界・アカデミアなどの各方面で議論がなされ、様々な意見を頂戴することになると思うが、そうした議論や意見を踏まえながら、Ver.2.0 以降の構想を検討していきたい。

読者の皆様からのフィードバックもいただけることを期待している。

編集後記



イノベーション戦略センター
センター長 岸本 喜久雄

TSC は、2024 年 7 月にイノベーション戦略センターとして改組し、新たな体制で活動をスタートしました。そして『Innovation Outlook』の策定を中心的な活動の一つと位置付け、センターのメンバーが一丸となって議論を重ねつつ取組んで参りました。そして、その成果として初版となる『Version 1.0』の公表に至ることができました。『Innovation Outlook』では TSC が所掌する全ての技術分野を俯瞰することにより、フロンティア領域を探索しました。その際に、技術開発視点のみに囚われることなく社会像や社会課題に視点を置き、それに対する解決手段を提案することに重点を置きました。また、個別の技術分野にとどまることなく、横断的な分析を加

えて、より大きな括りで提供価値を基準としてフロンティア領域を提案することを目指しました。このような取組みは私たちにとって初めてのものでした。そのため、新 TSC 発足から今度の公表までの間、TSC 内では各技術分野の内容のみならず、全体構成、キーメッセージの設定や分析手法の選定を含め多くの点について議論を重ね、試行錯誤をしながら策定の作業を進めました。その際に、技術分野についての高い知見と、幅広い見識を持つ TSC のフェローやアドバイザーの皆様、さらには外部関連機関の様々な方からの多くのご助言を賜りました。ご協力をいただきました皆様に心より感謝申し上げます。

本書の内容を実効性あるものとするために、選定された各重点フロンティア領域について実際にプロジェクトを推進していくことが期待されます。従来は、不確実性の高いいわゆるフロンティア領域の技術開発に対しては、実際に社会実装まで結びつくのか、成功するのかという評価が難しくなりがちで、国が支援の是非を慎重に判断せざるを得ない傾向にありました。そのためフロンティア領域に相応しいプロジェクトの推進策を講じることが求められます。その具体として、責任者としてプログラムディレクター（PD）を指名し、PD のリーダーシップの下に、社会実装までを視野に入れて、周辺分野の動向も見極めつつプロジェクト内容をアジャイルに見直しながら、プロジェクトを柔軟かつ迅速に推進することが挙げられます。目まぐるしく情勢が変化する現代においては、国内外の市場、技術、政策の動向調査を踏まえつつも、失敗をある程度許容することを前提にプロジェクトを牽引することが求められます。PD の見識にプロジェクトの推進を委ねることがフロンティア領域の研究開発の可能性を高めることにつながると考えます。

この度の取組みを契機に様々なプロジェクトの創成に繋がられるように新たなフロンティア領域を幅広く探索する取組を継続していきます。とくに、分野を横断する融合領域の検討を深めていくことが重要と考えています。そして、フロンティア領域の研究開発を重層的に進めていくことで実現する日本が先導するイノベーションに貢献していきたくと考えています。そのためにも、本書の内容を継続的に更新し充実させて参りたいと思います。TSC は『Innovation Outlook』を我が国の次世代の希望につなぐ情報源として発信して参ります。読者の皆様からもフィードバックを期待しております。是非とも改善に向けた提言を頂戴できると幸いです。

Innovation Outlook Version 1.0

Executive Summary

2025 年 7 月 1 日発行

イノベーション戦略センター

■センター長 岸本 喜久雄

■事務局長 田辺 雄史

植木 健司(2025 年 6 月まで)

■統合戦略ユニット長 澤田 篤志

■サステナブルエネルギーユニット長 原 重樹

■環境・化学ユニット長 坂本 清美

中村 勉(2025 年 4 月まで)

■アグリ・フードテックユニット長 宇木 俊晴

■デジタルユニット長 横井 一仁

伊藤 智(2025 年 3 月まで)

■マテリアルユニット長 高町 恭行

藤本 辰雄(2025 年 3 月まで)

■バイオエコノミーユニット長 味方 和樹

水無 渉(2025 年 3 月まで)

■標準化・知財戦略ユニット長 玉木 宏治

■国際戦略ユニット長 田辺 雄史

徳弘 雅世(2025 年 6 月まで)

■マクロ分析ユニット長 山田 英永

■統括課長 幸本 和明

●本書に関する問い合わせ先

電話 044-520-5200(イノベーション戦略センター)

●本書は以下 URL よりダウンロードできます。

<https://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料はイノベーション戦略センターの解釈によるものです。

掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。

引用を行う際は、必ず出典を明記願います。