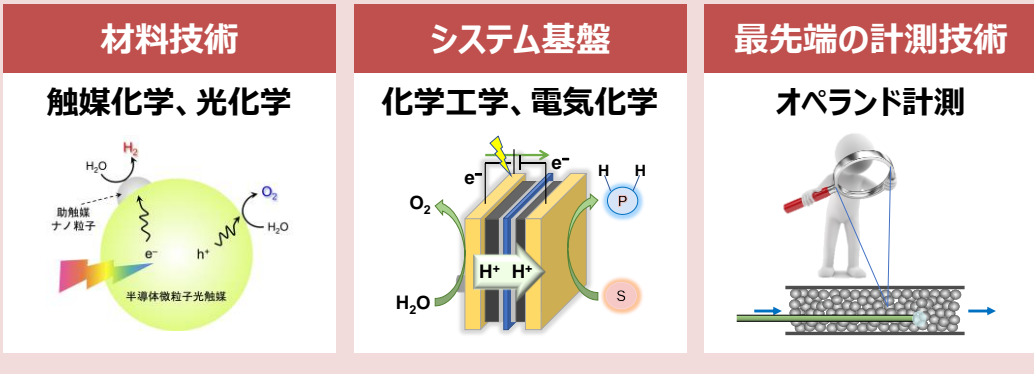


「総合知」で切り拓く物質変換システムによる資源化技術

「総合知」の創出・活用

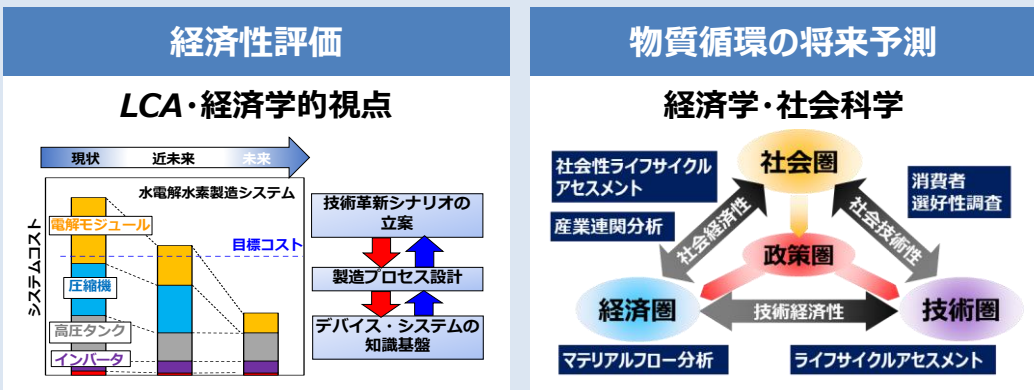
自然科学で蓄積してきた学理：日本の強みである触媒材料開発・エネルギー変換技術・最先端計測技術の糾合



社会的価値の高い
資源化技術の予測と提案

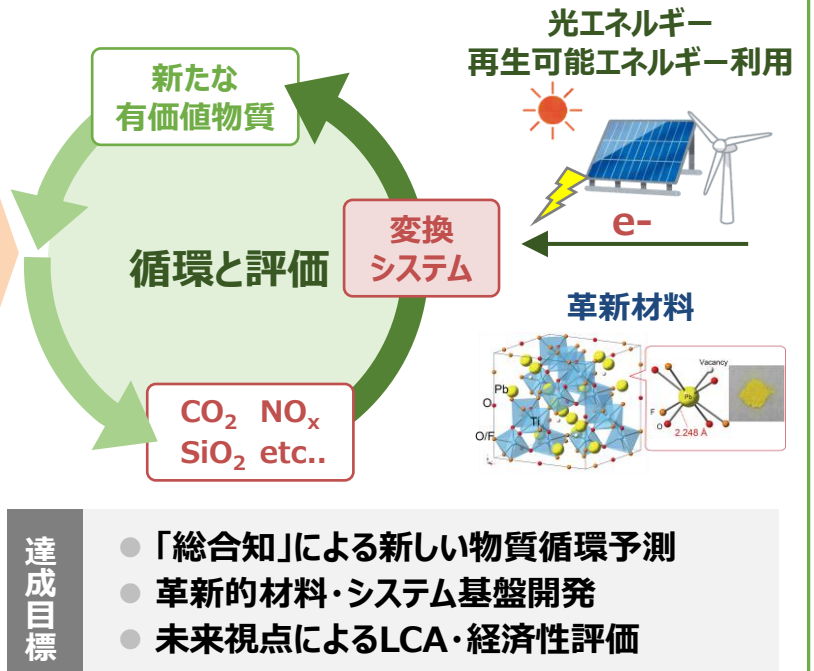
先導的評価の対象となる
開発段階の技術を提供

人文・社会科学的視点：先導的な将来技術の評価やシナリオ創出



「総合知」による資源化技術

物質循環経路の開拓



カーボンニュートラルの実現

将来の社会像への貢献

地球環境負荷の低減と、
豊かな自然の維持を両立した文明社会



令和4年度戦略目標

1. 目標名

「総合知」で切り拓く物質変換システムによる資源化技術

2. 概要

本戦略目標では、2050年カーボンニュートラル社会の実現へ、材料科学・化学工学・先端計測等による革新的な材料・システム開発と、物質循環の理解を含む Life Cycle Assessment (LCA)・経済学・社会科学の緊密な連携による「総合知」の創出・活用により、革新的な物質変換システム基盤を開発する。従来は触媒材料等の自然科学における研究開発からのボトムアップによって物質変換システムが構築されてきたが、真に社会的価値のある物質変換システムを構築するためには、人文・社会科学系の知見を加えた「総合知」を活用した開発が必要と考えられる。すなわち、二酸化炭素等の環境負荷物質・豊富に存在する安定酸化物の有価値物質への変換において、エネルギー変換効率と反応速度の向上に資する物質・材料の開発と、物質変換システムの LCA・経済的・社会的価値の評価を両輪とする資源化技術の確立を目的とする。

3. 達成目標

本戦略目標では、材料科学・化学工学・先端計測等による革新的な材料・システム開発と、LCA・経済学・社会科学の緊密な連携による「総合知」の創出・活用により資源化技術の確立を目指す。具体的には、以下の4つの達成を目指す。

- (1) 「総合知」の創出・活用による物質循環の理解と資源化技術の創出
- (2) 新たな資源化技術に資する革新的材料開発
- (3) エネルギー貯蔵型物質変換システム基盤の開発
- (4) 未来視点の導入による物質変換システムの LCA・経済的・社会的価値の評価やシナリオ創出

4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

3. 「達成目標」の実現を通じ、資源化技術を実現するための革新的材料・物質変換システム基盤の開発と、物質変換システムの LCA・経済的・社会的価値の評価によって資源化技術を確立し、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・カーボンニュートラル社会の実現によって、二酸化炭素排出の低減と化石資源依存からの脱却を果たした、豊かな自然を維持した文明社会
- ・炭素だけでなく、窒素・ケイ素等の環境影響を意識した資源化が未達である種々の元素の循環を可能とすることで、地球環境負荷の低減を実現した社会

5. 具体的な研究例

(1) 「総合知」の創出・活用による物質循環の理解と資源化技術の創出

人文・社会科学と自然科学の融合による「総合知」の創出・活用を目指した取り組みを実施し、資源化技術の確立に資する新しい物質循環の理解と制御を実施する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・ 経済学的視点による物質循環予測とその知見に基づく要求機能を実現する材料開発
- ・ 人文・社会科学を含めた幅広い分野の研究者の結集と融合による、真に社会的価値のある物質変換システムの設計と開発

(2) 新たな資源化技術に資する革新的材料開発

安定酸化物や環境負荷物質を活性化し、有価値物質への自在な分子変換を可能とする革新的材料を開発する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・ 担体と金属粒子の協働によって安定酸化物の還元反応に高活性を示す材料の開発
- ・ 電子やイオン伝導に高性能を示す新規水素化合物の開発

(3) エネルギー貯蔵型物質変換システム基盤の開発

高効率なエネルギー貯蔵型反応による有価値物質生産を実現する、物質変換システム基盤の開発を実施する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・ 二酸化炭素からベンゼンの生産を可能とする電気化学セルの開発
- ・ 高いエネルギー効率を示す電気化学的・光化学的還元反应用リアクタの設計

(4) 未来視点の導入による物質変換システムの LCA・経済的・社会的価値の評価やシナリオ創出

資源化技術に資する環境中の物質循環の理解と、将来を見据えた LCA や経済性の視点からの評価を実施する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・ 新しいエネルギー貯蔵型物質変換システムの最適化へ向けた LCA 評価手法の開発
- ・ 資源化技術の確立を加速する新しい経済的・社会科学的視点の創出と導入

6. 国内外の研究動向

日本は材料創製、結合活性化手法開発に関する分野は伝統的に強く、関連する戦略目標の設定や科学研究費助成事業の新学術領域研究（研究領域提案型）が展開され、関連分野の知見が蓄積されている。国外では水素製造や CO₂ の資源化技術に関して、光や電気エネルギーを用いるプロジェクトが数多く展開されており、2050 年目標へ向けて Power-to-X (P2X) が期待される技術となっている。

(国内動向)

平成 24 年度～平成 30 年度に戦略的創造研究推進事業 先導的物質変換領域 (ACT-C) が実施され、二酸化炭素を還元し有用な物質へと変換する基礎学理が構築され、エネルギー収支等を考慮した変換システムへの展開が今後の課題として示された。

平成 27 年度戦略目標「多様な天然炭素資源を活用する革新的触媒の創製」、平成 28 年度新学術領域研究「複合アニオン化合物の創製と新機能」、元素戦略「触媒・電池の元素戦略研究拠点」が開始され、本戦略目標の一部である触媒・材料開発と結合活性化手法に関する研究が実施され、革新材料の創出に資する知見が蓄積されている。

平成 25 年度戦略目標「再生可能エネルギーの輸送・貯蔵・利用に向けた革新的エネルギーキャリア利用基盤技術の創出」、平成 30 年度戦略目標「持続可能な社会の実現に資する新たな生産プロセス構築のための革新的反応技術の創出」が開始され、本戦略目標の一部である物質変換のためのエネルギー変換・投入手法に関する研究が実施されている。

カーボンニュートラル社会へ向けたバックキャスト型研究として、平成 29 年度未来社会創造事業「持続可能な社会の実現」、令和 2 年度ムーンショット目標「持続可能な循環社会を実現」、平成 26 年 NEDO「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」などが開始された。将来の社会像が共通しており、領域・事業間の情報共有で本戦略目標の達成に近づくと期待される。

(国外動向)

米国では米国エネルギー省 (DOE: Department of Energy) のエネルギー高等研究計画局 (ARPA-E: Advanced Research Projects Agency) において、2019 年 7 月に開催されたサミットの次期候補テーマを紹介するセッションで脱炭素技術として P2X 技術の紹介があり、米国でも電化が困難な分野の脱炭素化技術として捉えられている。人工光合成共同研究センターでは、水分解による水素製造と水と CO₂ からの燃料製造が中心テーマであり、光触媒と電気化学触媒の研究開発も含まれている。DOE では、2021 年 6 月にエネルギー・アースショット・イニチアチブが発表され、クリーン水素コストの削減を目指す水素ショットに加えて、2021 年 11 月には二酸化炭素除去の大規模な取組であるカーボン・ネガティブ・ショットが発表され、推進する技術として「ライフサイクル全体での排出の確固とした計算方法」が含まれている。

欧州では、2019 年 12 月には欧州委員会が新たな追加措置として「European Green Deal」を発表しており、2050 年までに EU 域内の Greenhouse Gas (GHG) 排出をゼロにするために、2030 年の GHG 削減目標の引き上げ、必要な法制化、対象とする産業、投資額や手段などの具体的な行動を明示している。2050 年目標に対しては複数の技術的シナリオの分析を行っており、2050 年に向けた CO₂ 削減のキーとなる技術として P2X が期待されている。CO₂ からのメタン製造への検討が増加しており、水素と CO₂ からのメタン化プロセスが多く検討されている。

7. 検討の経緯

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

1. 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果を参考にして分析を進めた結果、安定酸化物・環境負荷物質を資源化するための物質変換システムの開発が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「資源化技術の確立へ向けた革新的物質変換システム」を特定した。
3. 令和3年12月に、文部科学省とJSTは共催で、注目すべき研究動向「資源化技術の確立へ向けた革新的物質変換システム」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与えるインパクトやその結果実現しうる将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標、「総合知」に基づく研究開発を行うことの重要性等について議論を行い、ワークショップにおける議論を踏まえ、本戦略目標を作成した。

8. 閣議決定文書等における関係記載

「第6期科学技術・イノベーション基本計画」（令和3年3月26日閣議決定）

第2章 Society 5.0 の実現に向けた科学技術・イノベーション政策

1. 国民の安心と安全を確保する持続可能で強靱な社会への変革

(6) 様々な社会課題を解決するための研究開発・社会実装の推進と総合知の活用

(b) あるべき姿とその実現に向けた方向性

人文・社会科学と自然科学の融合による「総合知」を活用しつつ、我が国と価値観を共有する国・地域・国際機関等（EU、G7、OECD等）と連携して、気候変動などの地球規模で進行する社会課題や、少子高齢化や経済・社会の変化に対応する社会保障制度等の国内における課題の解決に向けて、研究開発と成果の社会実装に取り組む。これにより、経済・社会の構造転換が成し遂げられ、未来の産業創造や経済成長と社会課題の解決が両立する社会を目指す。

(c) 具体的な取組

① 総合知を活用した未来社会像とエビデンスに基づく国家戦略の策定・推進

○未来社会像を具体化し、政策を立案・推進する際には、人文・社会科学と自然科学の融合による総合知を活用し、一つの方向性に決め打ちをするのではなく、複線シナリオや新技術の選択肢を持ち、常に検証しながら進めていく必要がある。

④ 基礎研究・学術研究の振興

○戦略的創造研究推進事業については、2021 年度以降、若手への重点支援と優れた研究者への切れ目ない支援を推進するとともに、人文・社会科学を含めた幅広い分野の研究者の結集と融合により、ポストコロナ時代を見据えた基礎研究を推進する。

⑦ 人文・社会科学の振興と総合知の創出

○「総合知」の創出・活用を促進するため、公募型の戦略研究の事業においては、2021 年度から、人文・社会科学を含めた「総合知」の活用を主眼とした目標設定を積極的に検討し、研究を推進する。

「マテリアル革新力強化戦略」（令和 3 年 4 月 27 日閣議決定）

第 5 章. アクションプラン

1. 革新的マテリアルの開発と迅速な社会実装

(2) 具体的取組

① バックキャスト型研究で取り組むべき技術領域の例

リユース・リサイクルを前提とした材料・製品設計技術、希少元素代替技術、資源利用量低減技術、CO2 分離・回収・利用技術、材料分離技術、生分解性材料技術などのリサイクルとカーボンニュートラルの両立に向けた「マテリアルの高度循環のための基盤技術」

「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（令和 3 年 6 月 18 日閣議決定）

4. 重要分野における「実行計画」

(1 1) カーボンリサイクル・マテリアル産業

i) カーボンリサイクル

③ カーボンリサイクル化学品（人工光合成等によるプラスチック原料）

ア)人工光合成によるプラスチック原料

光触媒を用いて太陽光によって水から水素を分離し、水素と CO2 を組み合わせてプラスチック原料を製造する人工光合成の技術は、日本企業のみが開発中である。既に基礎研究（ラボレベル）は成功している。他方、現状では、光触媒の変換効率が低く、また製造コストが高いため、大規模実証の実施には技術的課題がある。また、人工光合成技術の確立には、水素等の分離膜や、基幹物質である炭化水素の合成に必要な触媒等の開発・実証も併せて必要となる。

9. その他

本戦略目標は、将来のカーボンニュートラルを見据えた基礎研究という位置づけであり、精緻なサイエンスに基づく画期的な材料・システム開発を視野に入れるだけでなく、LCA や物質循環さらには経済学・社会科学との積極的な協働を目指しており、産業界からの注目度も高いと考えられる。関連する基礎研究基盤は以前より国内にあり、日本化学会・電気化学会・化学工学会・触媒学会・LCA 学会等の多様な学協会に所属する研究者からの参画と分野融合が期待される。本戦略目標では、若手による大胆なシーズ発掘に加えて、安定化合物の活性化技術やオペランド計測等を横串の学理とする自然科学系の研究者同士の連携や、自然科学系の研究者と人文・社会科学系の研究者との融合研究の推進により総合知が形成されると期待される。戦略的に「総合知」を有効に創出・活用するためには、それぞれの分野の人材が交流し、融合研究を推進するための継続的な投資が必要であると考えられる。

本戦略目標ではシーズに基づく基礎研究を推進するが、社会ニーズからのバックキャスト型研究である未来社会創造事業、ムーンショット目標と将来の社会像としては共通していることから、緊密な連携が求められる。