

カーボンニュートラル社会実現に向けた研究開発プログラムマネジメント

独立行政法人 環境再生保全機構 プログラムオフィサー

東京農工大学名誉教授

亀山秀雄

1. はじめに

我が国の科学技術基本計画は 5 年ごとに改訂され、2021 年 4 月から第 6 期科学技術・イノベーション基本計画がスタートした¹⁾。第 6 期の基本計画は、自然科学と人文・社会科学の融合を重視し、総合知により研究成果の実績を生かして、第 5 期に提案された Society5.0 の社会を実現して行こうとしている。Society5.0 の実現のためには、①社会構造改革、②研究力の抜本的強化、③新たな社会を支える人材の育成が必要ということから基本計画に実施項目が組み込まれている。

折しも昨年 10 月に日本政府が「2050 年にカーボンニュートラルを目指す」というビジョンを世界に示し、まずは 10 年後の 2030 年に CO₂ 削減目標を 26%から 46%にかさ上げされた。それとともに 10 年間 2 兆円のグリーンイノベーション基金を補正予算で組んでいる²⁾。今回の第 6 期の基本計画では、国が 5 年間で 30 兆円の研究資金を投資し、官民からの 120 兆円の資金提供を目標として基本計画を実現しようとしている。基本計画は、5 年ごとに見直されることから、2030 年まで第 7 期があり、2040 年と 2050 年のそれぞれで基本計画が 2 回ずつ改訂されていくことになる。そのような長い視野に立って、2050 年カーボンニュートラルという大きな社会課題の実現のために多くの問題解決が求められており、そのために研究開発プログラムの立案、実行、そして実装を確実に遂行するための方法論が求められている。日本で開発されたプロジェクト&プログラムマネジメント (P2M) がこの機会に有効性を世界に示して、技術輸出だけでなく、それを支えるプログラムマネジメントの方法論も世界標準になれば良いと思う。

本稿では、そのような視点から、我が国が示したカーボンニュートラル社会を実現するというありたい姿に向かって様々な問題解決プロジェクトを計画・実行・検証・実装するためにプログラムマネジメントの考え方をどのように活用するかをプログラムオフィサー³⁾の立場から解説し、具体的な事例として (独) 環境再生保全機構 (ERCA) の研究事例を紹介することとする。

2. P2M へによる研究開発プログラム設計

P2M は、1999 年から当時の財団法人エンジニアリング振興協会が調査研究を開始されて、経済産業省に企画提言し、委託事業として承認され、2000 年に当時千葉工業大学で本学会の前会長の小原重信氏を委員長としてプログラムマネジメント導入開発委員会が創設され、2001 年 11 月 15 日にプロジェクト&プログラムマネジメント標準ガイドブックとして上梓された⁴⁾。当時、プラント受注に置けるマネジメントとして主流であった米国の PM ((プロジェクトマネジメント)) に対して、P2M は、オーナー (発注者) の視点に立って日本の信頼と共創の精神を基本に、価値発見とイノベーションに潜在知識を結集して新事業を産み出す日本発のマネジメント手法である。日本発の P2M を世に出してから 20 年が経過し、世の中は将来のカーボンニュートラルな社会の構築に向けて動き出している。第 6 期基本計画でも、「信頼」や「分かち合い」を重んじる我が国の伝統的価値観の尊重を基本理念に入れていることは、P2M の設計思想と相通じるものがある。P2M 誕生の詳しい内容は、本特集の武富氏の解説を参照ください⁵⁾。P2M で事業を考える場合、①P2M のフレームワーク

を描く、②6つの創造的統合マネジメント（プロファイリング、プログラム戦略、ライフサイクル、アーキテクチャー、価値指標、プラットフォーム）を使って、プログラムの詳細を構築して運用することを行う⁶⁾。カーボンニュートラル社会を実現するという命題に置くP2Mの使い方を考えてみる。

2.1 P2Mのフレームワーク

図1に示すように、P2Mによるマネジメントの役割は、プログラムマネジャーとプロジェクトマネジャーから構成される。複数のプログラムにそれぞれプログラムマネジャーを配置し、その下に複数の問題解決プロジェクトのためのプロジェクトマネジャーが配置される。各プロジェクトの目標を迅速正確に達成するためにリーダーのプロジェクトマネジャーの下にさらに複数のサブプロジェクトを配置し、手分けして問題解決にあたることも多く行われる。各プロジェクトの進捗状況および成果をサブプロジェクトから逐一情報提挙してもらい、プロジェクトリーダーがとりまとめてプロジ

ェクト目標達成を管理するのにロジックモデルの使用を進める。さらにプロジェクトリーダーがまとめた情報を各プロジェクトリーダーから上位の各プログラムマネジャーにロジックモデルで研究情報を提供するシステムを作ると情報の一元管理に有効である。各プログラムマネジャーは、提供されるロジックモデル情報と現地からの情報を基に各プログラム目標達成を管理する。その際に、人事権、予算権、監督権の3件をプログラムマネジャーに与えて効果的にプログラム管理を実行出来るような権限を持たせる。各プログラムマネジャーはそれぞれの研究成果をロジックモデルにまとめて各省庁の枠を超えた「カーボンニュートラル社会構築委員会」（仮称）に提供する。委員会で研究の進捗の議論を行い、目標達成状況を基に提示したビジョン、課題、予算、戦略について再検討を行い必要に応じて修正して各研究開発プロジェクトのプログラムマネジャーが持ち帰り実施するという流れが考えられる。

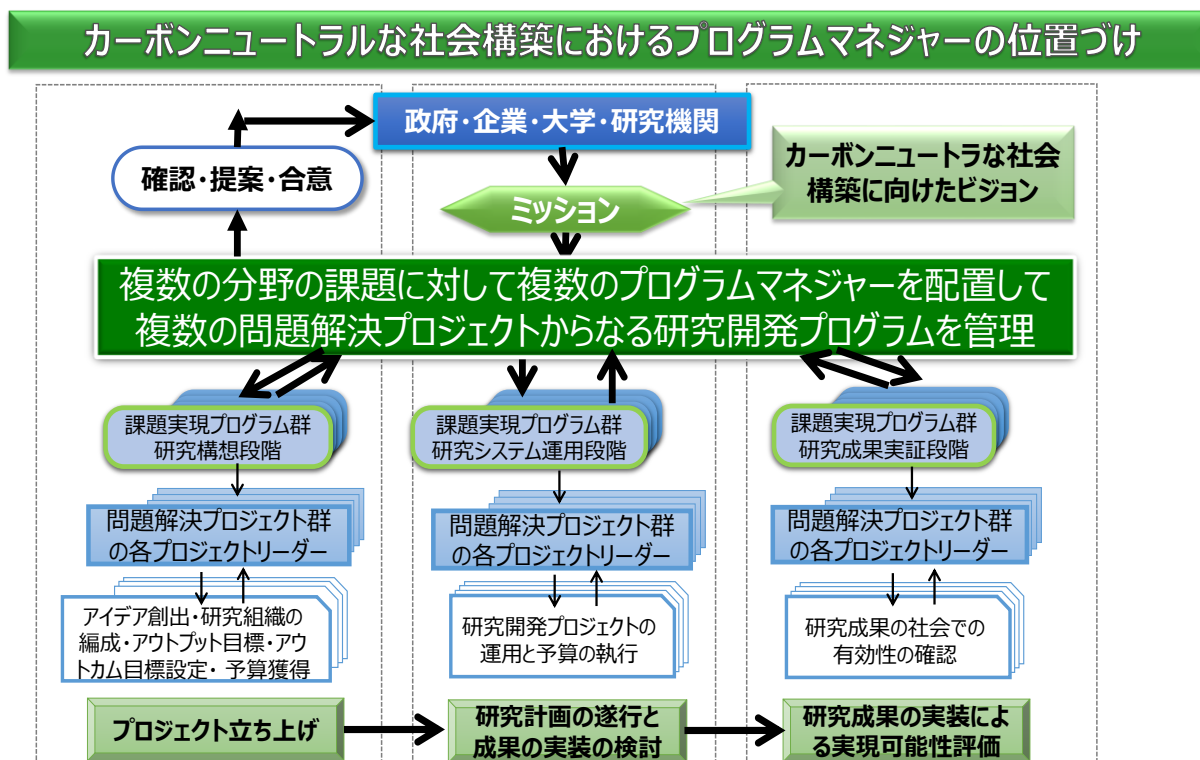


図1 研究開発プログラムにおけるP2Mのフレームワーク

2.2 プロファイリングマネジメントの使用

現状分析を行い、その後にビジョン（ありたい姿）の想定を行い、実現のための課題と目標抽出（最終課題目標・長期課題目標・中期課題目標・短期課題目標）をバックキャストで設定して直近のプロジェクトのアウトプット課題目標とアウトカム目標の設定を行う。

公開している資料から見た現状分析結果を示すと次のような項目があげられる。

- ・「もの」の発想から「社会的大儀」の重視へ
- ・「生産力至上主義」から「自然的物質代謝」の重視へ⁷⁾
- ・2050年カーボンニュートラル・脱炭素社会の実現を目指す国の方針^{8), 9), 10), 11)}
- ・2020年度補正予算で2兆円のグリーンイノベーション基金投入
- ・世界中において脱炭素社会をリードするビジネスの主導権争いが激化
- ・民間企業の前向きな挑戦を、全力で応援 = 政府の役
- ・パリ協定実現には、世界で最大 8,000 兆円必要との試算 (IEA)

- ・ESG 関連の民間資金は、世界全体で総額 3,000 兆円、国内で約 300 兆円と国内では3年で6倍に増加
- ・2021年4月から第6期科学技術・イノベーション基本計画がスタート
- ・第6次エネルギー基本計画策定が進行中
- ・パリ協定に基づく長期戦略の見直し
- ・地球温暖化対策推進法の一部を改正

図2にカーボンニュートラル社会の構築を想定したプロファイリングマネジメントによる設計法を示す。図2に示すように、研究フェーズは、2050年での実現に向けて4つの研究フェーズが提示されている。それぞれが有する研究資産のレベルによって、①のフォアキャストで実現すべき課題における問題解決のレベルを選んで研究を進めることになる。最終段階の自立商用レベルの研究が完成すれば、早めに社会実装して、使用しながら改良していくことになる。

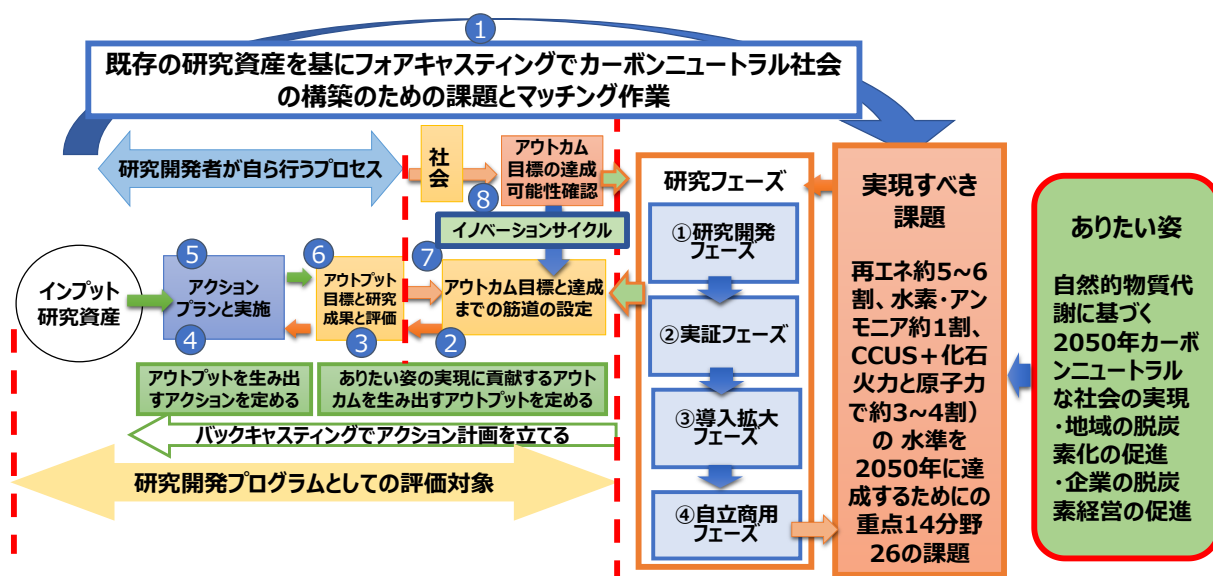


図2 科学技術・イノベーション基本計画を確実に実践するためのP2Mによる研究開発プログラムの設計法

実証フェーズは、要素技術は完成しており、それらを組み合わせて社会システムとして現地で運転実証するレベルになる。本特集で環境省の大谷氏が解説している水素実証事業はこのレベルの支援事業である。JST の A-STEP, NEDO の国家プロジェクト、ERCA の技術実証型はこの研究レベルである。研究開発レベルは、JST の科研費、NEDO の先導研究、ERCA の革新型および環境問題対応型の研究はこの研究レベルに相当する。自分の目標とする研究レベルを設定して、②アウトカム目標と達成までの筋道を設定し、③アウトプット目標とアウトカム目標を設定し、④アクションプランを

設定して競争的資金に応募することになる。採択されたら、⑤アクションプランを実施し、⑥アウトプット目標の達成とエビデンスを論文や特許等にまとめて成果の評価を行う。それで終わりではなく、⑦想定したアウトカム目標達成までの筋道を得られた研究成果で示して研究報告書をまとめることになる。その研究成果の社会実装までの流れを図3に示すイノベーションサイクルを動かすことになる。⑦の市場確認で⑧の修正・改良か⑨の社会実装化に分かれる。⑨に行くまでに①から⑧のプロセスを繰り返して、最終的に社会で価値を獲得してイノベーションが行われることになる。

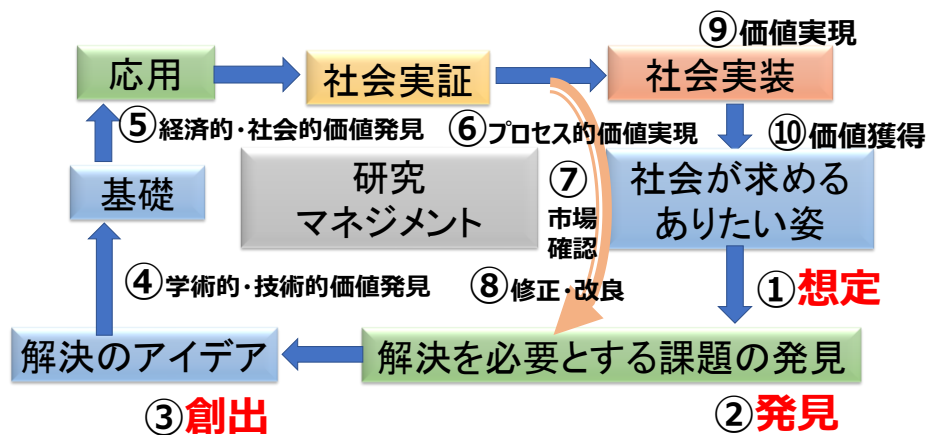


図3 イノベーションサイクル

2.3 プログラム戦略マネジメント

想定される戦略として次のものが考えられる。

- ・「経済と環境の好循環」を作っていく産業政策 = グリーン成長戦略
- ・研究開発で終わらず社会実装まで行うため、企業経営者には、経営へのコミットを求める（政府の2兆円の予算を呼び水として、民間企業の研究・開発・設備投資を15兆円誘発規

制改革、規格・標準化（民のイノベーションを、官が規制及び制度面で支援）

- ・研究開発税制の控除上限を法人税額の25%から30%までに引き上げ
- ・カーボンニュートラルに向けた投資促進税制の創設
- ・省エネ等の着実な低炭素化、脱炭素化に向けた革新的技術への資金供給
- ・小売電気事業者に一定比率以上のカーボンフ

リー電源の調達を義務づけた上で、カーボンフリー価値の取引市場や、Jクレジットによる取引市場の整備

- ・国内市場のみならず、新興国等の海外市場を獲得し、スケールメリットを活かしたコスト削減を通じて国内産業の競争力を強化
- ・資本主義の新たな目標として生産性向上による技術的価値と社会的価値の創出に加えて人間と自然との物資代謝を前提とする経済活動を掲げる

これら上位のプログラム戦略を各プログラムマネジャーが自身のプログラムにブレークダウンしてプログラム戦略をその下のプロジェクトリーダーに提示する。各プロジェクトリーダーは、自分の担当するプロジェクト用のプロジェクト戦略を作り、研究開発担当者に示す。

2.4 アーキテクチャーマネジメント

短期課題における問題解決のために複数の可能性のある課題解決プロジェクトをス

キームモデルとシステムモデルで推進し、サービスモデルで評価して中期課題目標の達成に繋がるサービス環境を築けるプロジェクトをアジャイル的に選んでいく行く。

2.5 ライフサイクルマネジメント

社会的な価値や自然災害に伴う社会的リスクなどの外部環境の変化に対応した課題目標の修正・新規提案を行い、プロジェクトの成果が確実に社会で実装されるようにする。

2.6 価値指標マネジメント

研究成果のアウトプット目標とアウトカム目標を明確にして、ステージゲート法やブーストゲート法により研究管理に反映させる。図3に示したイノベーションサイクルを回して、確実に社会実装により目標とする価値が得られるようにする。研究開発による価値創造のプロセスを図4に示す。詳しい内容については、文献12を参照されたい。

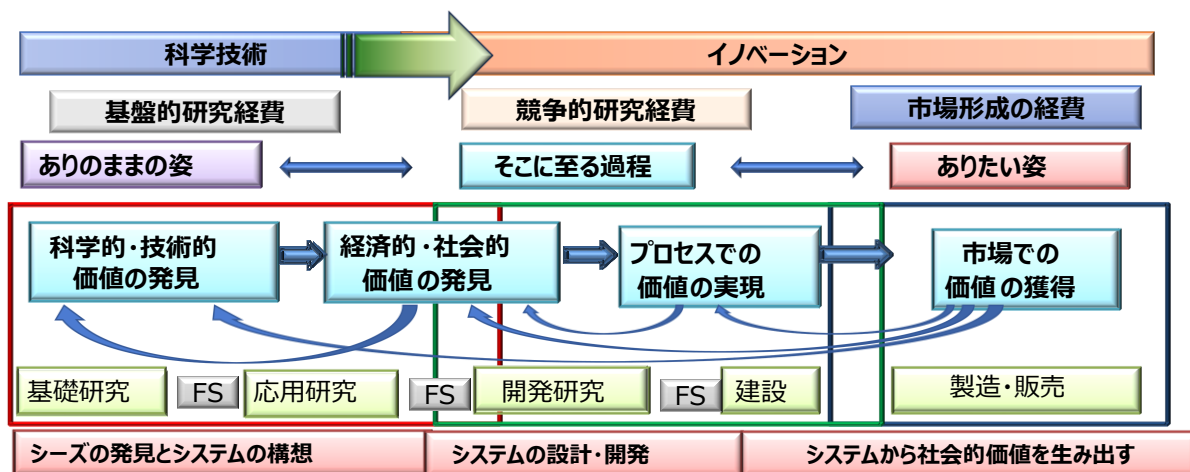


図4 価値創造プロセスにおける競争的資金の研究の位置づけ

2.7 プラットフォームマネジメント

想定される課題に含まれている問題は、プログラムを構成するプロジェクトの研究フェーズが異なり、担当分も多岐にわたる複雑な開発要素があるため、一つの組織の技

術では解決できない。オープンイノベーションの考えを適用して、産学官民一体となって問題解決プロジェクトに取り組めるように様々な形の研究開発・社会実装のためのコンソーシアムマネジメントを行う必要

がある。この種の大型で長期にわたる課題での研究にはプラットフォームマネジメントが不可欠である。今後、プラットフォームの戦略化、ビッグデータ、エコシステム、共通のコミュニケーションの場として無形資産を資源化することが重要となる。

3. 太陽と水と CO₂ を始まりとする人間と自然の物質代謝の社会

カーボンニュートラルな社会を構築するためには、我々の生産活動の理念を明確に

することが必要である。最近、資本主義の意味は、「生産力至上主義」でなく「自然的物質代謝」を資本主義の目標としていることを論じた斎藤幸平氏の「人新世の「資本論」」がベストセラーになっている⁷⁾。循環型社会を目指す現在の経済活動の理論的支柱となる資本論の新解釈である。筆者も再生可能エネルギーを地域で活用して地域循環共生圏を構築するための科学技術が描く将来の社会を図5のように考えている。

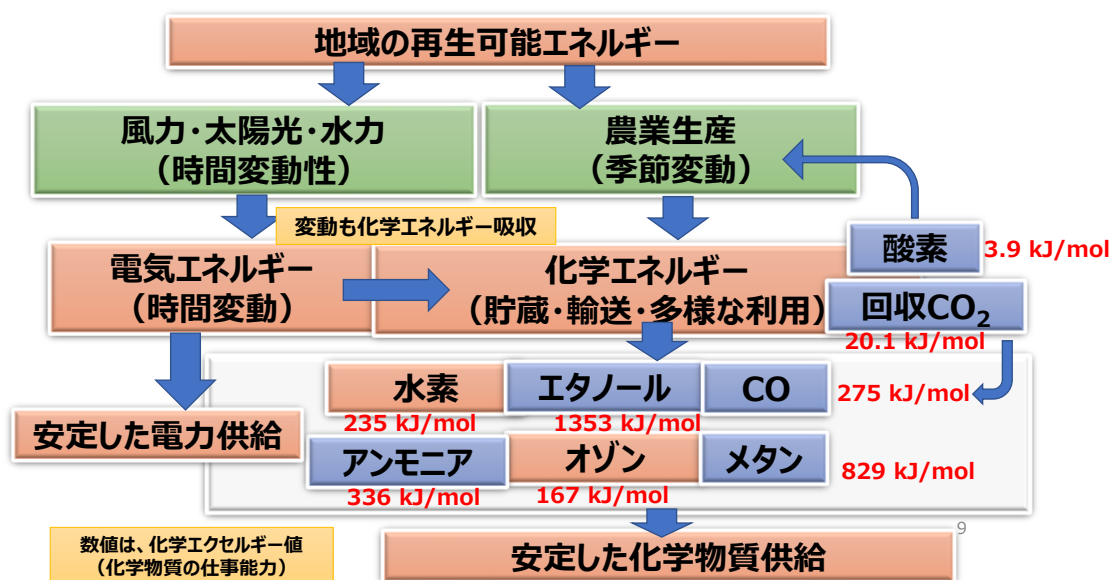


図5 再生可能エネルギーを地域で積極活用する時代

地球の大気の組成変化を図6に、これらの地球の始まりから現在までの大気の変化は次のようになっている。

- ・46億年前、誕生したばかりの地球の大気は、高温・高圧の水蒸気が大部分を占め、その他に二酸化炭素、窒素などを含んでいたと考えられている。
- ・その後、数億年かけて地表が冷え、水蒸気が雨となって地表に降り注いで海ができると、

自然の変化を光合成として図7に示す大気の主成分は二酸化炭素と窒素になった。

- ・さらに、海に二酸化炭素が溶解込み、その一部がカルシウムイオンと結合して、石灰岩（炭酸カルシウム）として海底に堆積することにより、大気中の二酸化炭素は減少し、大気の主成分は窒素になった。
- ・およそ27億年前、太陽の光エネルギーを利用して光合成を行うラン藻（シアノバクテリ

ア) が海中に誕生し、二酸化炭素と水から有機物と酸素が生成されるようになると、大気中の二酸化炭素はさらに減少し、酸素が増えはじめた。

- その後、生物が進化して陸上に進出し、多様な植物による光合成が活発に行われることで、酸素はさらに増え、大気は数十億年かけ

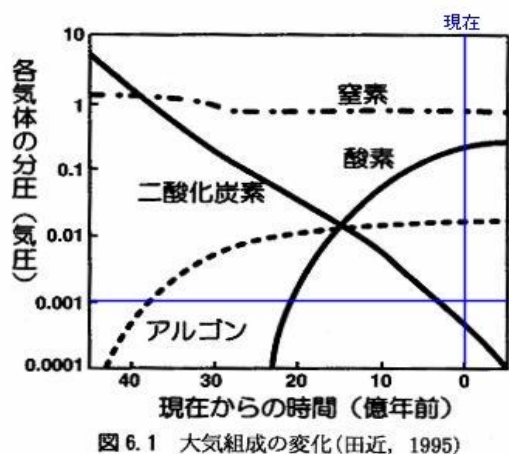


図6 地球の大気組成の変化
(出典：環境展望台「地球の大気と水」¹⁴⁾
質 https://tenbou.nies.go.jp/learning/note/theme1_1.html

て、窒素と酸素を主成分とする現在の組成になった。

- 19世紀後半から人類は光合成で固定されたCO₂を有する化石燃料を使い始め、徐々に大気中にCO₂が放出され、自然の物質代謝で200ppmレベルまで下がっていた大気中のCO₂は400ppmレベルまで上昇している。それが地球温暖化現象をもたらしていると考えられている。

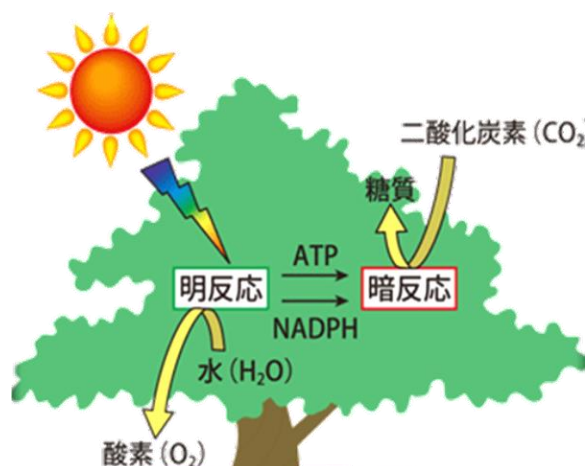
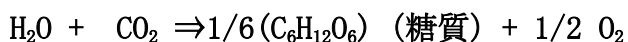


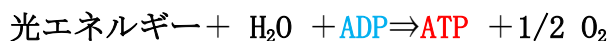
図7 光エネルギーが化学エネルギー分子に変わり、水とCO₂と反応して糖と酸素を生成する模式図¹⁵⁾

酸素発生型光合成：H₂OとCO₂から有機化合物である糖質(C₆H₁₂O₆)を生成しO₂を発生する。

これを反応式で記述すると、



この反応は明反応と暗反応から構成される
明反応：光エネルギーを使って、H₂Oから電子を引き抜いてH⁺を生じエネルギーレベルの低いADH物質を高いエネルギーレベルの化学エネルギー分子ATPに変換し、酸素を放出する。



暗反応：(光は関与せず) NADPHとATPを用いてCO₂から糖C₆H₁₂O₆を合成する。



現代科学ではこのメカニズムを活用して再生可能エネルギーの電力を利用して水の電気分解からのATP代替として水素を化学エネルギーとして利用する水素社会の構築が世界で進められている。副生する酸素利用はこれからの課題である。日本はそのトップランナーとして様々な社会実装を行っている。本特集の大谷氏の解説を参照してもらえれば、環境省が行っている水素社会実装の事業内容が分かる。

筆者は、地球の生まれた時から現在までの大気環境の変化の経緯から、水素社会だけでなく、CO₂を光合成のメカニズムに回収CO₂を組み込めば炭素の循環利用社会を構築することができると考えている。すなわち、ATPをH₂とCOに、ADPをH₂Oと

CO₂に置き換えて考えると良い。実際に国では、図8に示すようにCO₂を回収固定して化学物質原料として利用するCCUSの新技术開発が今後カーボンニュートラル社会を築く上で必要と考えている。

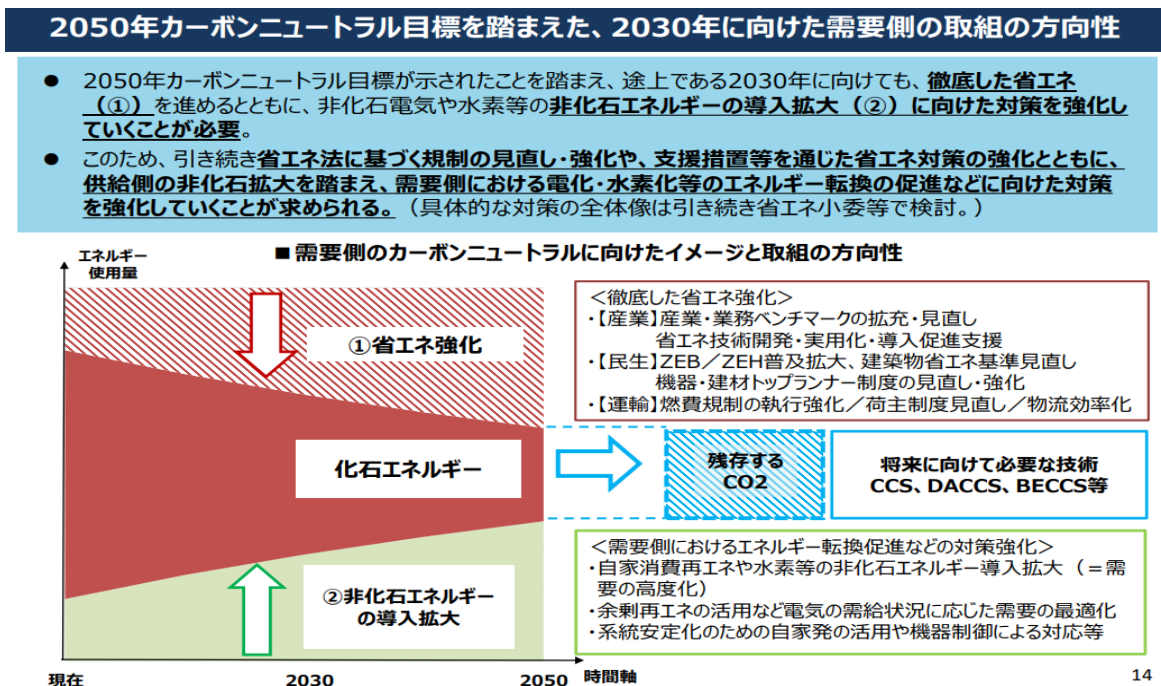


図8 2050年カーボンニュートラル目標を踏まえた、2030年に向けた需要側の取り組みの方向性 出典：総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会(第40回会合)4月13日配布資料¹¹⁾

この考えの上に立つと、CO₂の電気分解によるCOと酸素の生成は、水の電気分解による水素社会と同じ考えの基にCOによる新たな化学産業社会が描ける。このような考えは既に文献16で図9のように提案されている。これは、火力発電所や産業等から排出される二酸化炭素をCCSで回収し、電気分解技術によって一酸化炭素に変換して利用するシステムである。既にあるCCSからの出口ガスを変動性電源を用いてCOに変換し、経済的に成立する二酸化炭素資源化モデルである。環境省では、二酸化炭素の資源化を実現するための課題を克服し、モデル的取組を行うことにより

低炭素社会及び炭素循環社会の構築を促進するため、2018年度より「二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業」を実施している。このP2Cの中心となるCO₂電解セルの技術開発は、環境省の人工光合成技術を活用した二酸化炭素の資源化モデル事業として東芝が2018年から2022年の研究期間で開発を進めている。現在のところ郵便封筒(長3)サイズの設定面積で、年間最大1.0t-CO₂の処理量となるレベルに達しており、これは、常温環境下で稼働するCO₂電解スタックにおいて世界最高の処理速度となっている。今後の展開が期待される。

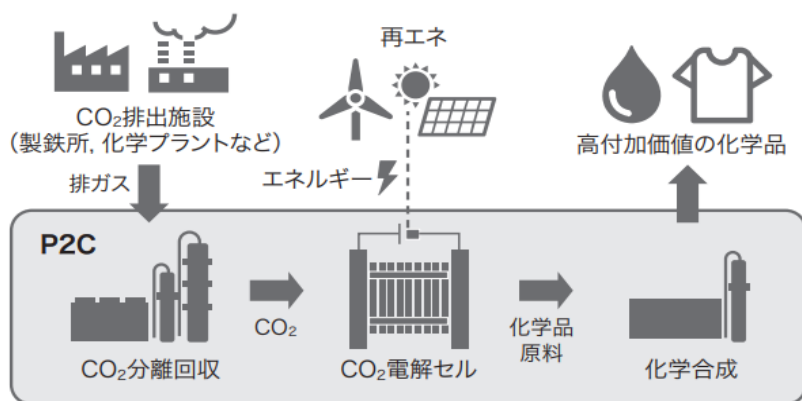


図9 再エネを用いて排出されたCO₂を電解し、価値ある化学品に変換するP2C (Power to Chemicals) システム概要¹⁶⁾

この技術を活用すれば、現在の日本の製鉄産業は国のCO₂排出量の約14%の割合を占めており、いち早くカーボンニュートラル社会での企業の脱炭素経営のビジョンを示している。そのカーボンフリー製鉄という新しい生産技術の開発は、日本が2008年からNEDOのCOURSE50と言う名称でまずは30%削減を目標に研究が続けられている。これに合わせて低品位炭を活用してCO₂発生10%削減を目指すフェレコクス事業も行われており、これらを合わせると

2030年代に大きなCO₂削減が社会実装される計画である。しかしながら、水素だけでは、製鉄は出来ず、COの存在が反応上必要になる。そこで、前述の水素もCOも再生可能エネルギーから同じように作ることが物質循環の考えの基本とすれば、図10に示すような、理想的なカーボンフリーな新しい製鉄・化学産業コンソーシアムが出来る。このようなありたい姿を描いて、研究開発プログラムを設計するのかP2M流の研究開発マネジメントである。

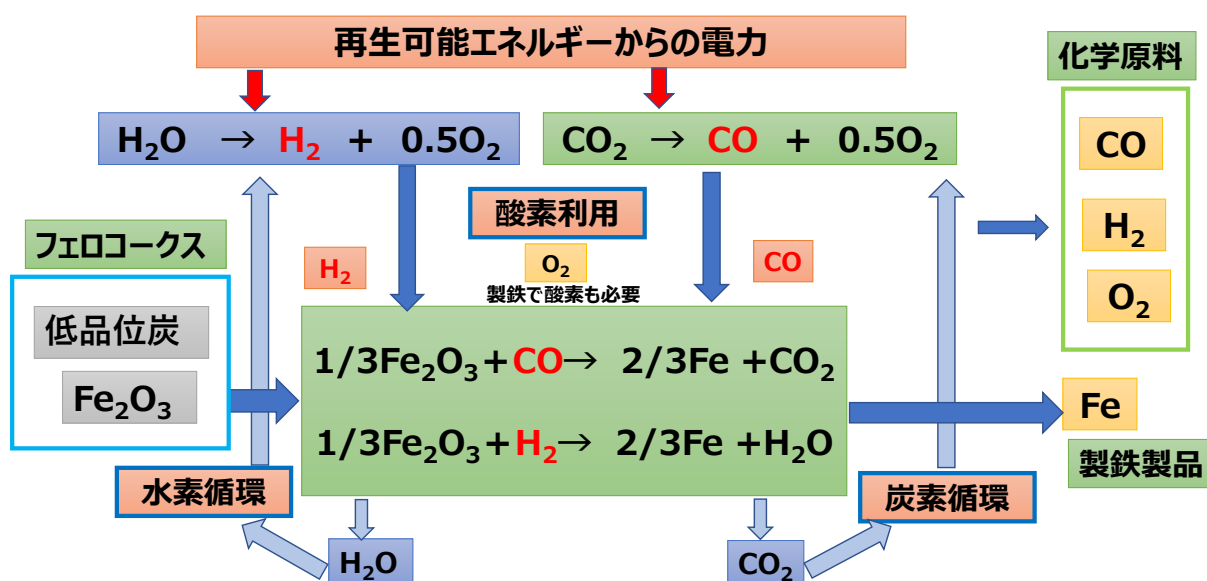


図10 再生可能エネルギーを使用する新しい製鉄法-ポスト COURSE50 の進化案

4. ERCA 推進費での研究事例紹介

環境省は、2018年に示した第5次環境基本計画の中でありたい姿として地域循環共生圏の構築を示している。独立行政法人環境再生保全機構（略称 ERCA）では、このありたい姿を実現するために環境研究総合推進費による研究開発プログラムを実施している。研究開発プログラムの構成は、図 11 のようになる。ERCA の研究成果はこれまで

に 300 件以上の得られており、その中でありたい姿に人間と自然の物質循環の形成によるカーボンニュートラル社会の構築という新たなありたい姿を設定すると、それに貢献が期待できる ERCA の研究成果を① CO₂・メタン・水素等炭素循環利用技術、② 再エネ利用技術、③ 廃棄物利用技術、④ 気候変動計測技術という視点で抽出したのが表 1 である。

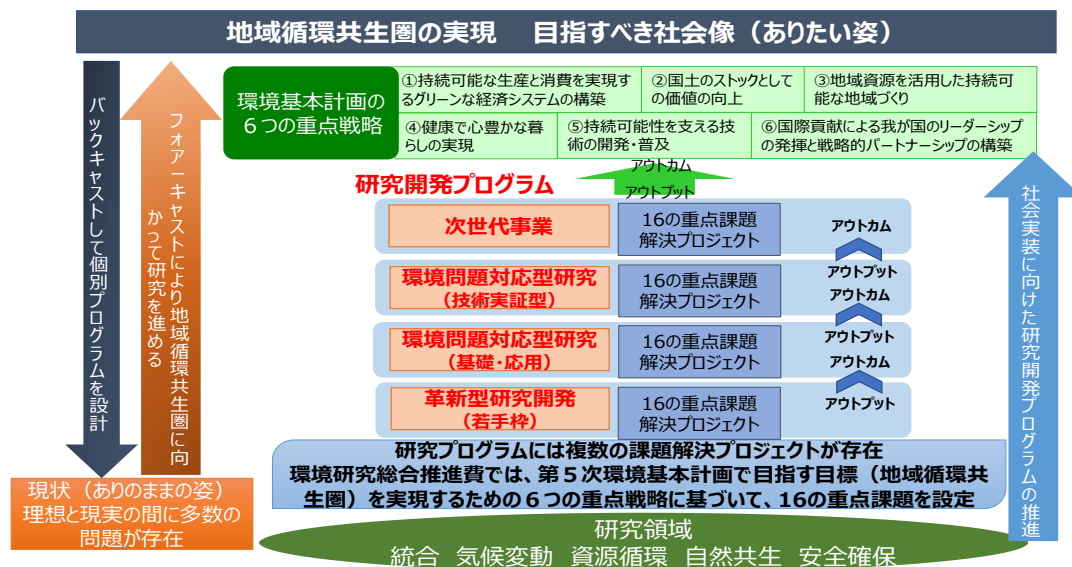


図 11 時系列に表した環境研究総合推進費の構造¹³⁾

表 1 カーボンニュートラル社会の構築に貢献が期待できる令和3年度推進費研究プロジェクト

研究領域	課題番号	CN適用分野	課題名
統合	1-2005	①	バイオマス廃棄物由来イタコン酸からの海洋分解性バイオナイロンの開発
統合	1-2102	①	脱炭素化を目指した汚染バイオマスの先進的エネルギー変換技術システムの開発と実装シナリオの設計及び評価
統合	1G-2001	①	モビリティ革命が脱炭素化を実現するための条件
統合	1G-2002	②	水蒸気回収膜を用いた新規な環境配慮型廃棄物処理システムの実証
統合	1G-2101	③	セルロースナノファイバー補強によるバイオマスプラスチック用途拡大の推進
統合	1J-2001	①	セルロースナノファイバーコンポジットの実用化
統合	1RF-1903	①	グリーン冷媒アンモニア用on-site触媒浄化装置の開発
統合	1RF-2101	①	バイオガスを含む様々な粗水素からの「直接H ₂ 貯蔵/高純度H ₂ 回収の連続プロセス」を実現する革新的分子触媒の開発
統合	1RF-2105	①	メタンを炭素源とする有機物生産システムの構築に向けた微生物培養と晶析技術の開発
気候変動	2RF-1801	①	中規模輸送・長期保存用酸素貯蔵材料の開発
気候変動	2RF-1901	③	回収フロンを直接的化学変換による再利用法
気候変動	2RF-1902	①	海拔以下の砂漠での太陽光を利用して安価で恒久的に電力・水・肥料を生産するシステムの検証
気候変動	2RF-2001	①	ルイス酸性ゼオライトを用いたCO ₂ 高選択吸着剤の開発
気候変動	2RF-2101	①	超高比表面積スピネルを用いた電磁波化学プロセスによるCO ₂ の高効率資源化
資源循環	3-2001	③	畜産廃棄物由来アンモニアによる大幅な発電効率向上を基盤とする地域循環畜産システム
資源循環	3-2003	①	バイオガスを燃料とする自律分散型高効率電源の実現に向けた固体酸化物燃料電池の開発
資源循環	3-2102	③	新規・次期フッ素化合物POPsの適正管理を目的とした廃棄物発生実態と処理分解挙動の解明
資源循環	3RF-1801	①	マイクロ波加熱を利用した未利用バイオマスの高速炭化システムの開発
資源循環	3RF-1802	①	セルロース繊維強化バイオマスプラスチックの開発
資源循環	3RF-1803	③	廃プラスチックからの選択的有用化学品合成を可能にする固体触媒プロセスの開発
資源循環	3RF-1903	③	難分解性化合物の高度分解処理が可能な再生型不均一系フェントン触媒システムの開発
資源循環	3RF-2101	③	廃棄物処理における未利用熱を近隣産業で回生する蓄熱輸送技術の出熱過程実証

推進費の年間予算が 50 億強で 5 つの研究領域で平均 3 年間の研究期間で毎年合計 50~60 テーマが採択されている。公募・審査は各ステップが独立に行われるが、図 11 に示すように、革新型（若手枠）から始まり環境問題対応（技術実証）型まで 9 年間の支援を得て、最後に 1/2 補助の次世代型で社会実装するように順番に研究開発を進めれば、12 年間の研究開発プログラムを組むことが出来る。その場合、各研究開発型からのアウトプットが次の研究開発型へのアウトカムとして繋がっていることが重要である。プロファイリングマネジメントを活用して研究開発プログラムを組むことが求められる。これからのカーボンニュート

ラルな社会構築という大きなミッションに応えるための研究開発プログラムは、ERCA だけでなく、グリーンイノベーション基金を管理する NEDO や 2050 年に向けた革新的基礎研究を支援する JST など多くの研究支援組織がそれぞれの研究支援体制の強みと成果を活かして、研究開発支援側のコンソーシアムを形成して、日本国内でチームとして連携プレーを行うことが必要である。それが第 6 期科学技術・イノベーション基本計画を確実に遂行して 2050 年のゴールに研究成果のシュートを入れることが出来ると考える。この考えに再エネを利用した水素と CO の化学エネルギーによる物質代謝の姿を筆者が描いたのが図 12 である。

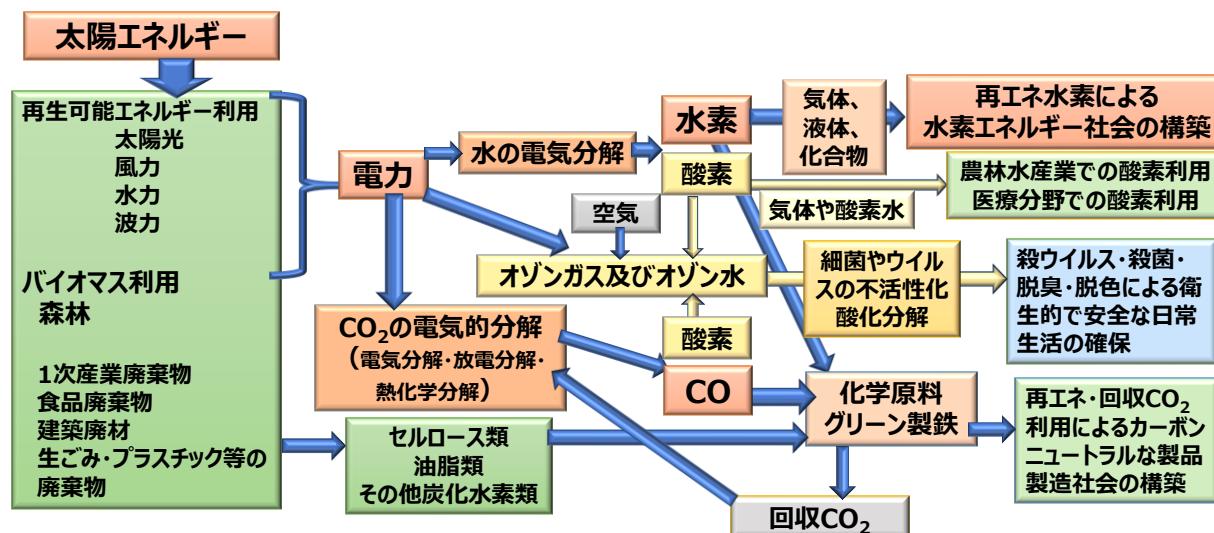


図 12 再生可能エネルギーと生物の機能を活用した新しい社会体系（亀山作成）

5. おわりに

はじめにも述べたように、2050 年のカーボンニュートラル社会の構築のためには、第 6 期科学技術基本計画から始まり第 11 期の科学技術基本計画の成果のアウトカムとして実現すると考えられる。そのような長期にわたる一貫したミッションの基に研究開発を行うとすると、単なる研究プロジェクトマネジメントでなく、プロジェクト & プログラムマネジメント、いわゆる P2M の方法論をベースに研究開発を進めていく

ことが必要に思われる。それにより、日本が一丸となって地球温暖化問題に取り組み、その成果を海外に提供すると共に、日本の精神文化に反映された P2M の事業開発マネジメント手法が世界の標準として使われるようになるのが、P2M のありたい姿である。そのためには、P2M があらゆる事業の創造の手法として総合知として広く教育分野で教育を行うことがこれからのアクションプランであると言える。

P2M 学会がこれからも P2M の開発と普及をミッションに活動して発展していく事を期待したい。

参考文献

- [1] 内閣府、「第6期科学技術・イノベーション基本計画について」令和3年3月19日
- [2] 第6回成長戦略会議配布資料1（12月25日）、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」
- [3] 亀山秀雄、「プログラムオフィサー (PO) と P2M」、P 2 M マガジン、No. 6、pp. 2-7 (2019)
- [4] プロジェクトマネジメント導入開発調査委員会（小原重信委員長）著 “P2M プロジェクト&プログラムマネジメント標準ガイドブック”、財団法人エンジニアリング振興協会、2001年11月15日発行
- [5] 武富為嗣、「P2M誕生の秘話」、P2M マガジン12号, pp. 〇—〇 (2021)
- [6] 吉田、山本編著；実践プログラムマネジメント、日刊工業新聞、2014年
- [7] 齋藤公平著「人新世の「資本論」（2020年9月発行） p. 158
- [8] 資源エネルギー庁、「2050年カーボンニュートラルの実現に向けた検討」令和3年5月13日 [043_004.pdf \(meti.go.jp\)](#)
- [9] 環境省、「2030年目標に向けた検討」総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会（第39回会合）3月13日配布資料
- [10] 資源エネルギー庁「エネルギー白書 2021 について」、令和3年6月 [whitepaper2021.pdf \(meti.go.jp\)](#)
- [11] 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会（第40回会合）4月13日配布資料「2050年カーボンニュートラルを見据えた2030年に向けたエネルギー政策の在り方」
[042_004.pdf \(meti.go.jp\)](#)
- [12] 亀山秀雄、「科学技術イノベーションにおける価値創造プロセスと P2M」国際 P2M 学会誌、Vol. 10, No. 2、pp. 193-204 (2015)
- [13] 亀山 秀雄, 宇仁菅 伸介、「環境行政分野における競争的資金管理業務の研究開発プログラムの P2M による考察」、国際 P2M 学会研究秋季発表大会予稿集 2020年
- [14] 環境展望台「地球の大気と水」
https://tenbou.nies.go.jp/learning/note/theme1_1.html
- [15] Spring8 ホームページ、[光合成の中核をなす複合体の構造を解明 ～人工光合成への大きな一歩を踏み出した～ — SPring-8 Web Site \(spring8.or.jp\)](#)
- [16] 小藤、御子柴、北川；「Power to Chemicals の実現に向けた CO₂ 電解セルの高電流密度化」、東芝レビュー Vol. 75 No. 6 , pp. 48-51 (2020)

本文中の ERCA の記述に関する部分は筆者の個人的な見解である。

(2021年6月14日 受理)