

元素戦略 2.0：融合的元素活用と元素循環

① ビジョンの概要

あらゆる元素を自在に組み合わせることにより元素の未知の特性を引き出し、真に新しい物質の高効率かつ持続可能な創製へと繋げる。具体的には、「原子操作・化学増幅・元素融合型物質創成」「元素循環」に関する研究を異分野融合により推進し、既存の学問分野と物質観にとらわれない革新的機能を持つ元素融合型新物質・新材料を創出するための学術基盤と技術を確立する。

② ビジョンの内容

これまでの元素戦略（元素戦略 1.0）はサイエンスベースで持続可能な物質材料基盤技術を拓いてきた。一方、ものづくりに直結する本分野におけるわが国の学術的優位性を堅持するためには、元素戦略 1.0 の基本的戦略は継承しつつ、以下の視点に基づいた学理構築を推進する必要がある。

1) 元素融合型物質観に基づく新物質・新材料創成

有機化学・無機化学・金属材料科学といった物質に含まれる元素に応じたそれぞれの学理が成熟した現在、未来社会で必要とされる破格の機能を持つ新材料の創出には、これを超越した物質観の涵養が望まれる。元素戦略 2.0 では、あらゆる元素間での結合形成を通じた融合型物質を合成し未踏の物質空間を探索する。そのために“元素プリンタ”の創出を目指しつつ以下の夢の実現に取り組む。A) 分子化学的手法、電子顕微鏡などの物理的手法を駆使してあらゆる元素間での結合形成を可能にし、精緻な構造設計に基づく元素融合型物質を精密合成する。B) 自然界の複製・転写・翻訳システムを模倣して、人工テンプレートを使った化学増幅システムを構築し、元素融合型巨大物質の効率的合成法とする。C) 非平衡条件や基板上的反応などを活用して準安定相を探索し、元素融合型物質を創製する。

2) 「つくる科学」と「もどす科学」の協奏

元素戦略 1.0 は希少元素の代替・使用量低減という観点から一定の成果を挙げたが、元素循環の観点からは単純に材料そのものを回収再利用するにとどまっている。従来は「つくる」ことに主眼が置かれ、作った材料を「もどす」ための科学技術の重要性がようやく認識されつつある。元素戦略 2.0 では、「もどす科学」の学理構築を目指し、「つくる科学」との協奏により資源に乏しいわが国に必須の元素循環を推進する。

③ 学術研究構想の名称

元素戦略 2.0：融合的元素活用と元素循環

④ 学術研究構想の概要

従来の学問分野の垣根を超えた全元素の高度利用を念頭に、元素間の結合や元素の空間配置を自在に操る物質変換手法の開発を通じて、既存の物質観にとらわれない元素融合型超高機能物質の創出と社会の持続的発展に向けた元素循環学理の構築を目指す。「全元素活用プラットフォーム」、「元素計測プラットフォーム」、「元素データプラットフォーム」、「元素戦略推進本部」を設置し、「原子操作による元素精密配置」「物質の化学増幅」「元素循環」に関する研究を協奏的に実施することで、元素の革新的な高度利用で世界を先導し、環境・エネルギー問題の抜本的解決により真の持続可能社会を実現する。

⑤ 学術的な意義

化学の本質はわずか 100 種類程度の元素の厳密な空間配置・配列が物質のマクロな性質に直結する精緻性と多様性にあるが、多様な元素を原子レベルで精密に配置する技術は限定的であるだけでなく、従来の学問分野にとらわれて広大な物質空間の探索に基づく革新物質創出の機会を逸している。さらに、元素の空間配置と機能の関係を予測して所望の物質を一意に創出することは未だ科学者の夢でしかない。加えて、元素の循環再利用はわが国の必須戦略であるが、ものづくりの裏に潜む「もどす科学」の学理が欠落している。

元素戦略 2.0 では、従来の学問分野の垣根を超えて全元素を精緻に配置・配列・再編成させる元素科学の共通学理を確立し、革新的機能を持つ元素融合型新物質を効率よく合成する普遍的手法の開発と元素循環を視野に入れた材料設計と物質変換の学理構築を目指すことで、人類の存続に資する学術を格段に発展させる。



図1 元素戦略 2.0 のビジョン

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

日本発の元素戦略 1.0 を皮切りに、Materials Genome Initiative (米国)、Horizon 2020/Europe (欧州) などを通じて、希少元素の確保と代替物質開発が世界的に活発である。元素戦略 2.0 では、希少・有害元素だけでなく全元素の高度利用を念頭に、多元素化による新機能創出、データサイエンスによる新物質の予測・設計、物質ライフサイクル全体を最適化する元素循環科学の体系化などの諸課題に産学官が一体で挑戦する。

⑦ 社会的価値

化学の発展は社会が抱える諸課題を解決し、人類の生活を豊かにしてきた。本学術構想により、機能性材料や医薬品の合成・創出効率の格段の改善、太陽光や電気エネルギーを駆使した二酸化炭素、窒素、リン資源の触媒の有効活用、革新的水素製造、結合の自在切断による元素循環など、資源枯渇、資源偏在リスク、地球温暖化、エネルギー・経済安全保障問題に学術面から決定的解決策をもたらし、カーボンニュートラル、循環経済、SDGs、GX の達成を通じた真に持続可能な社会の構築に直結し、社会的価値は計り知れない。

⑧ 実施計画等について

実施計画・スケジュール：後述する実施体制を初～二年度に整備し、以下の研究を協奏的に実施する。

- 1) 原子操作による元素精密配置：最先端顕微鏡技術やオペランド計測技術を融合し、望み通りに元素を配列して物質を精密合成する。元素データの活用により、有用な新規元素融合型物質を狙い済まして合成する学術を確立する。物性測定には元素計測プラットフォームをフル活用する。
- 2) 物質の化学増幅：自然界の複製・転写・翻訳システムに学び、元素科学のあらゆる叡智を結集して、人工的な鋳型を使った化学版 PCR を開発し、高効率な元素融合型巨大物質の合成方法論とする。
- 3) 元素循環：物質を組み立てるだけでなく、結合の切断や原子の挿入・置換を自在に可能にする学理も構築し、物質分解技術や希少元素の回収再利用技術を開発して、元素循環を達成する。

実施機関と実施体制

元素の高度利用と循環、元素融合型新物質の開拓を可能にする「全元素活用プラットフォーム」：各地域から1、2大学ずつ拠点を選定し、各大学に分野融合を目指す全元素活用センターを設置し、全元素に適用可能な「共通言語」を作るためのオープンなプラットフォームを構築する。実験のハイスループット化・自動化も進め、分野融合に基づく革新的な元素配置法・循環法の開発と元素融合型物質の創製を探究する。

新物質の多様な物性を先端計測し斬新な機能を発掘する「元素計測プラットフォーム」：独創的な計測分析装置・技術及び解析法を開発できる研究拠点を産学協同で3拠点程度構築し、それらを実装した計測分析装置を集結させる。全元素活用プラットフォームで合成された元素融合型物質の各種データを自動制御で一挙に計測する（元素ドック）。SPRING-8 や分子科学研究所などの大型施設も参画し最先端計測を広く提供する。

元素データベースで元素科学の DX を牽引する「元素データプラットフォーム」：元素データセンターを3拠
点程度選定し、サーバの設置・運営と合成・計測・元素データの用語・項目の「データスタンダード化」を最
優先で実施する。並行して先端的な理論・計算科学の開発やデータ科学インフラの整備と導入支援も行う。

「元素戦略推進本部」：国の支援のもと中核拠点として研究所を新設し、各プラットフォームの研究成果の分析、新指針の策定、応用展開の推進、LCA 的評価法の開発など社会科学分野も融合した学術振興を行う。世界情勢、地政学的分析、経済安全保障に基づくシンクタンクとして活用する。

総経費 2,000 億円/10 年：拠点整備費（300 億円）、人件費（10 大学に新設研究室各 3 つ、ポスドク 50 人、技術補佐員、事務員、特定助教/准教授 各 20 名ずつを想定、600 億円）、ハイスループット合成装置やロボットによる自律 wet 実験環境整備（400 億円）、分析データ自動収集環境整備（500 億円）、計算資源・ストレージ整備および外部デジタルインフラ利用費（200 億円）

⑨ 連絡先

茶谷 直人（大阪大学環境安全研究管理センター）

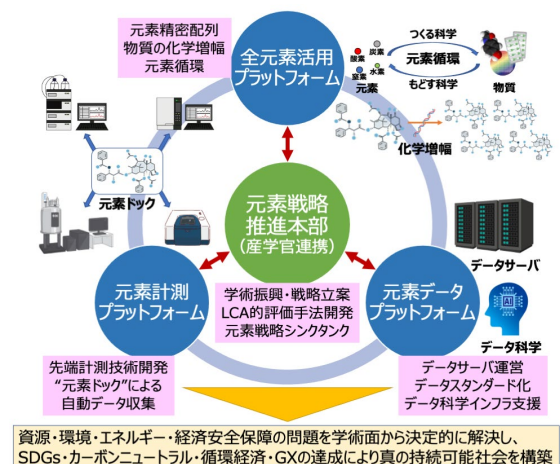


図2 元素戦略2.0の実施内容