

ナノテクノロジー・材料科学に関する 研究開発課題の中間評価結果

平成 30 年 11 月

ナノテクノロジー・材料科学技術委員会

第9期ナノテクノロジー・材料科学技術委員会 委員

| 氏名 | 所属・職名 |
|-----------|--|
| 五十嵐正晃 | 新日鉄住金化学株式会社常務執行役員 |
| 射場 英紀※ | トヨタ自動車株式会社基盤材料技術部担当部長 |
| 上杉 志成 | 京都大学物質-細胞統合システム拠点副拠点長・化学研究所教授 |
| 加藤 隆史 | 東京大学大学院工学系研究科教授 |
| 菅野 了次 | 東京工業大学科学技術創成研究院教授 |
| 栗原 和枝 | 東北大学未来科学技術共同研究センター教授 |
| 瀬戸山 亨※ | 三菱ケミカル株式会社執行役員・フェロー・ 横浜研究所瀬戸山研究室長 |
| 高梨 弘毅※ | 東北大学金属材料研究所長 |
| 武田 志津 | 株式会社日立製作所研究開発グループ技師長 |
| 館林 牧子 | 読売新聞東京本社編集局医療部長 |
| 常行 真司※ | 東京大学大学院理学系研究科教授 |
| 中山 智弘※ | 国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター 企画運営室長・フェロー |
| 納富 雅也 | NTT 物性科学研究所上席特別研究員 |
| 橋本 和仁※ | 国立研究開発法人物質・材料研究機構理事長・ 東京大学総長特別参与・教授 |
| 馬場 嘉信 | 名古屋大学大学院工学研究科教授 |
| 林 智佳子 | 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 材料・ナノテクノロジー部プロジェクトマネージャー・主査 |
| 前田 裕子 | 株式会社セルバンク取締役 国立研究開発法人海洋研究開発機構監事 |
| 主査 三島 良直※ | 東京工業大学前学長・名誉教授 |
| 湯浅 新治 | 国立研究開発法人産業技術総合研究所 スピントロニクス研究センター長 |
| 吉江 尚子 | 東京大学生産技術研究所教授 |
| 萬 伸一 | 日本電気株式会社システムプラットフォーム研究所 主席技術主幹 |

※本事業の参画者または利害関係者であり、審議には参加しない。

中間評価検討会 委員

| 氏名 | 所属・職名 |
|-----------|---------------------------------|
| 雨宮 慶幸 | 東京大学大学院新領域創成科学研究科物質系専攻教授 |
| 上田 渉 | 神奈川大学工学部物質生命化学科触媒物質化学研究室教授 |
| 大森 賢次 | JABM 日本ボンド磁性材料協会専務理事 |
| 菅野 了次※ | 東京工業大学科学技術創成研究院教授 |
| 北川 宏 | 京都大学大学院理学研究科化学専攻固体物性化学分科教授 |
| 主査 栗原 和枝※ | 東北大学未来科学技術共同研究センター教授 |
| 黒田 一幸 | 早稲田大学先進理工学部応用化学科教授 |
| 堀谷 貴雄 | 新構造材料技術研究組合 (ISMA) プロジェクトマネージャー |

※第9期ナノテクノロジー・材料科学技術委員会委員

元素戦略プロジェクトの概要

1. 課題実施期間及び評価時期

実施期間：平成24年度～平成33年度（2021年度）

中間評価：平成27年度及び平成30年度、事後評価：平成34年度（2022年度）を予定

2. 研究開発概要・目的

我が国の資源制約を克服し、産業競争力を強化するため、希少元素を用いない全く新しい代替材料を創製する。そのため、産業競争力に直結する4つの材料領域を特定し、トップレベルの研究者集団により元素の機能の理論的解明から新材料の創製、特性評価までを一体的に推進する研究拠点を形成する。特に、平成30年度は、物質の原子レベル解析と電子論への展開に加え、各拠点において得られた候補物質を対象に材料創製の取り組みを推進する。

（※ポンチ絵を参照）

3. 研究開発の必要性等

（1）必要性

第4期科学技術基本計画に向けた諮問第11号「科学技術に関する基本政策について」に対する答申（平成22年12月24日総合科学技術会議）において、「グリーンイノベーションの推進」における重要課題である「社会インフラのグリーン化」に向け、「資源再生技術の革新、レアメタル、レアアース等の代替材料の創出に向けた取組を推進する」とこととされている等、代替材料開発を急ぐ必要性がある。

（2）有効性

本事業は、元素戦略の新たな展開として「技術の革新性」と「実用可能性」という二つの軸を徹底して追求し、新たな材料創製に結びつけることを目標としつつ、他国に真似のできない全く新しい切り口で突破口を開くための取り組みとして、①電子論、②材料創製、③機能評価の3つのグループが密接な連携・協働の下、一体的に研究を推進することとしており、基礎科学に立脚した根本的な「課題解決」や希少元素の機能・挙動解明に基づいた革新的な代替材料の創製が図られることが期待される。

（3）効率性

本事業では、各学会及び産業界の有識者からなる「元素戦略運営統括会議（平成28年度よりプログラム運営委員会へ移行）」が事業全体の運営を管理するとともに、明確な達成目標を設定することとしており、成果の確実な創出に向け強力な推進体制を構築して実施している。

また、文部科学省の「元素戦略プロジェクト」と、内閣府及び経済産業省の関連事業とは、ガバナリングボードの設置や合同シンポジウムの開催などの連携を図っており、本事業は「元素戦略」の基幹事業として、関係施策とさらに強固に連携することで成果の共有・展開が加速されることを期待する。

4. 予算（執行額）の変遷

| 年度 | H24 (初年度) | H25 | H26 | H27 | H28 | H29 | H30 | 翌年度 以降 | 総額 |
|-----|--------------|------|------|------|------|------|------|---------------|----------------|
| 予算額 | 39.5 | 22.6 | 20.2 | 20.4 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 60.0 (見込額) | 222.7 (見込額) |
| 執行額 | 39.5 | 22.6 | 20.2 | 20.4 | 20.0 | 20.0 | — | — | — |
| 備考 | 含む補正 17.0 | | | | | | | | 含む補正 17.0 |

単位：億円

5. 課題実施機関・体制 ※平成30年10月現在

磁石材料研究領域

代表研究者 国立研究開発法人物質・材料研究機構 拠点長 広沢哲
 主管研究機関 国立研究開発法人物質・材料研究機構
 共同研究機関 東北大学、産業技術総合研究所、東京大学、高輝度光科学研究センター、京都大学、高エネルギー加速器研究機構、名古屋大学、北陸先端科学技術大学院大学、東京工業大学、東北学院大学、九州大学、兵庫県立大学

触媒・電池材料研究領域

代表研究者 国立大学法人京都大学 教授 田中庸裕
 主管研究機関 国立大学法人京都大学
 共同研究機関 東京大学、自然科学研究機構、九州大学、熊本大学、東京理科大学

電子材料研究領域

代表研究者 国立大学法人東京工業大学 教授 細野秀雄
 主管研究機関 国立大学法人東京工業大学
 共同研究機関 物質・材料研究機構、高エネルギー加速器研究機構、東京大学

構造材料研究領域

代表研究者 国立大学法人京都大学 教授 田中功
 主管研究機関 国立大学法人京都大学
 共同研究機関 東京大学、大阪大学、物質・材料研究機構、九州大学

6. その他

プログラム運営委員会メンバー ※平成30年10月現在

PD 玉尾皓平 豊田理化学研究所 所長

PO 中山智弘 科学技術振興機構研究開発戦略センター 企画運営室長・フェロー
林善夫 科学技術振興機構 研究主監（産学連携）
村上正紀 立命館大学 学長特別補佐・理事補佐

専門委員 射場英紀 トヨタ自動車株式会社基盤材料技術部電池材料技術・研究部 担当部長
魚崎浩平 物質・材料研究機構 フェロー・理事長特別参与
潮田浩作 日鉄住金総研株式会社 シニアアドバイザー
瀬戸山亨 三菱ケミカル株式会社 執行役員・フェロー・瀬戸山研究室長
高尾正敏 元大阪大学 特任教授（元パナソニック）
田中裕久 関西学院大学理工学部先進エネルギーナノ工学科 教授
徳永雅亮 元日立金属株式会社 副技師長
福山秀敏 東京理科大学 理事長補佐・学長補佐
宮内昭浩 東京医科歯科大学学生体材料工学研究所 特任教授
結城正記 A G C株式会社事業開拓部 シニアパートナー

文部科学省研究振興局参事官（ナノテクノロジー・物質・材料担当）

元素戦略プロジェクト

平成30年度予算額 : 1,995百万円
(平成29年度予算額 : 1,998百万円)

背景

○レアアース等の材料の高性能化に必須な希少元素※の世界的な需要急増や資源国の輸出管理政策により、深刻な供給不足を経験した我が国では、**資源リスクを克服・超越する「元素戦略」が必要不可欠**。

※ハイブリッド自動車のモーター用高性能磁石や、モバイル機器の大容量電池などあらゆる先端産業製品に利用されている。

○ナノレベル(原子・分子レベル)での理論・解析・制御により**元素の秘めた機能を自在に活用することが、未知なる高機能材料の創製、ひいては産業競争力の鍵**。

概要

- ・我が国の資源制約を克服し、産業競争力を強化するため、**希少元素を用いない、全く新しい代替材料を創製**。
- ・産業競争力に直結する4つの材料領域を特定し、トップレベルの研究者集団により、**元素の機能の理論的解明から新材料の創製、特性評価までを一体的に推進する研究拠点を形成**。
- ・平成30年度は、特に、物質の原子レベル解析と電子論への展開に加え、各拠点において得られた候補物質を対象に材料創製の取り組みを推進する。

【推進体制】

分野の壁を打破
～理論と実験、理学と工学、物理と化学の**徹底的な融合**～

省庁の壁を打破

成果の速やかな実用化
に向け経産省事業との
連携体制を構築

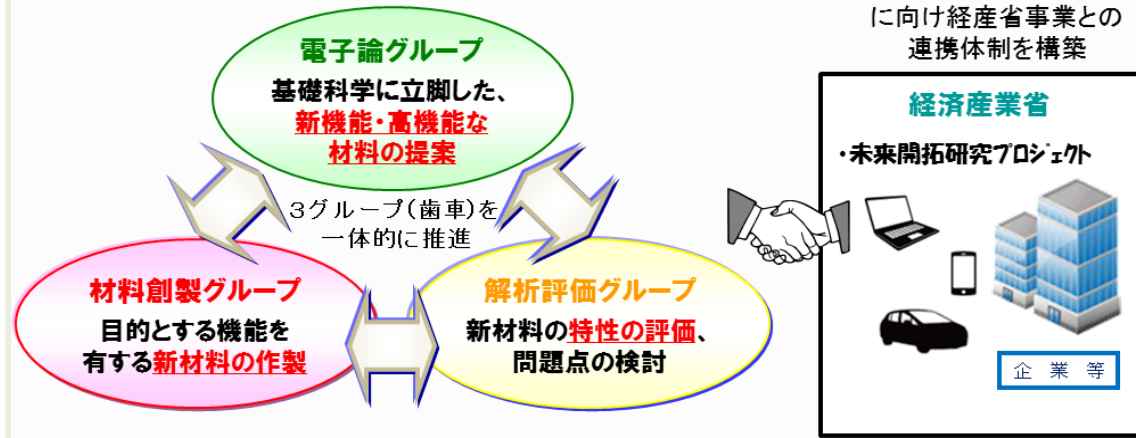
・**材料領域(拠点設置機関):**

- ①磁石材料(物質・材料研究機構)
- ②触媒・電池材料(京都大学)
- ③電子材料(東京工業大学)
- ④構造材料(京都大学)

・**事業期間:10年(H24年度～)**

平成30年度のポイント

- 元素機能の理解を応用した材料の創製研究を推進する。
- 中間評価の実施により、各拠点の研究進捗と、プロジェクトの最終段階に向けた研究計画の妥当性等を評価する。



中間評価票

(平成30年11月現在)

1. 課題名 元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>

2. 研究開発計画との関係

施策目標：未来社会を見据えた先端基盤技術の強化

大目標（概要）：

ICTを最大限に活用し、サイバー空間とフィジカル空間（現実世界）とを融合させた取組により、人々に豊かさをもたらす「超スマート社会」を未来社会の姿として共有し、その実現に向けた一連の取組を更に深化させつつ「Society5.0」として強力に推進し、世界に先駆けて超スマート社会を実現していく。このため、国は、超スマート社会サービスプラットフォームの構築に必要となる基盤技術及び個別システムにおいて新たな価値創出のコアとなり現実世界で機能する基盤技術について強化を図る。

中目標（概要）：

ナノテクノロジー・材料科学技術分野は我が国が高い競争力を有する分野であるとともに、広範で多用な研究領域・応用分野を支える基盤であり、その横串的な性格から、異分野融合・技術融合により不連続なイノベーションをもたらす鍵として広範な社会的課題の解決に資するとともに、未来の社会における新たな価値創出のコアとなる基盤技術である。また、革新的な技術の実現や新たな科学の創出に向けては、社会実装に向けた開発と基礎研究が相互に刺激し合いスパイラル的に研究開発を進めることが重要である。これらを踏まえ、望ましい未来社会の実現に向けた中長期的視点での研究開発の推進や社会ニーズを踏まえた技術シーズの展開、最先端の研究基盤の整備等に取り組むことにより、本分野の強化を図り、革新的な材料を創出する。

重点的に推進すべき研究開発の取組（概要）：

<資源の安定的な確保と循環的な利用>

レアアース等の材料の高性能化に必須な希少元素の世界的な需要急増や資源国の輸出管理政策により、深刻な供給不足を経験した我が国では、資源リスクを克服・超越する「元素戦略」が必要不可欠である。特に、ナノレベル（原子・分子レベル）での理論・解析・制御によって元素の秘めた機能を自在に活用することが、新たな高機能材料の創製や希少元素代替・減量の実現、ひいては産業競争力の鍵となる。そこで、希少元素を用いない、全く新しい代替材料の創製等に取り組む。

本課題が関係するアウトプット指標：研究発表数

・研究発表数：平成27年度1,715件、平成28年度1,866件、平成29年度1,870件

本課題が関係するアウトカム指標：査読付き論文数、特許出願数

・論文数：平成27年度497件、平成28年度486件、平成29年度557件

・特許出願数：平成27年度18件、平成28年度14件、平成29年度17件

3. 評価結果

(1) 課題の進捗状況

元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>（以下、「本事業」）は、産業競争力に直結する「磁石材料」、「触媒・電池材料」、「電子材料」及び「構造材料」の4つの材料領域を設定し、トップレベルの研究者集団により、元素の機能の理論的解明から新材料の創製、特性評価を一体的に推進する研究拠点を形成することを目指している。

本事業は、事業全体の進捗状況及び各拠点の進捗状況について、事業開始時に設定した目標達成に向け、事業開始後約6年間の取組として概ね良好に進捗していると認められる。全体の研究開発体制及び各拠点における研究成果や拠点形成の進捗等にかかる具体的な状況は以下の通り。

（研究開発体制について）

1) 平成28年度に、事業運営の主体である「運営統括会議」を「プログラム運営委員会」へと改編し、PDを中心として、PO及び専門委員が強力にサポートする体制へと移行している。この改編によって、事業運営の効率化及び運営から拠点への指示伝達ルートの明確化が図られ、有効に機能している。また、各拠点においても、前回中間評価における指摘を受けて、電子論、材料創製、機能評価の3つのグループの位置付け及び資源配分の見直しが行われ、各グループ単独では成しえない、連携・融合による成果が得られている。一部では、電子論が材料創製を先導する事例も見られる等、本事業の特色を活かした研究開発が展開されている。

2) 元素の機能の原理解明には、大型研究施設との連携が欠かせない要素であり、各拠点の体制に組み込みながら研究開発に取り組んでいる。また、マテリアルインフォマティクス(MI)についても各拠点において積極的に活用しており、研究者の発想を重視し、MIが適用できる範囲を見極めながら材料開発の効率化につなげるという先進的な取り組みを進めている。

3) 本事業は、事業開始当初より、内閣府及び経済産業省が実施する関連事業と一体的に運用するためのガバニングボードを設置しており、磁石材料・高効率モーター、蓄電池及び構造材料の3分野において定期的に開催されるとともに合同シンポジウムも開催されている。府省庁をまたぐ事業間での研究者の交流もこれまで以上に活発になっており、社会ニーズの把握や研究課題の設定に反映されている。

（各拠点における研究成果・拠点構築状況について）

1) 「磁石材料拠点」では、磁石性能に与える元素の役割を基礎物理に遡って解明することにより、ハイブリッド自動車の駆動モーター等に用いられている高性能レアアース（希土類）永久磁石と同等の性能を有する磁石を、希少元素を用いることなく作製することを目指している。磁石材料の微細組織化と結晶粒界の磁性制御により、従来品と同等性能を有するDyフリーネオジム磁石の開発に成功しており、一部企業での実用化につながっている。また、更に高い保磁力を有する材料としてSmFeCo系物質を見出しており、バルク磁石化に取り組んでいる。さらに、磁石の熱力学的挙動を計算できるデータベースを構築する等、日本における磁石材料研究の拠点として機能している。

2) 「触媒・電池材料拠点」では、環境・エネルギー問題の解決に欠かせない触媒及び二次電池の

部材について、固体及び気体／液体との間での元素の複雑系反応を基礎科学と実験科学の緊密な連携を通じて解明することにより、触媒及び二次電池に対する元素の機能を予測し、貴金属や希少元素を用いない代替材料の開発を目指している。触媒領域では、触媒機構の解明により白金族元素を大幅に減量できる方法論を示し、さらに貴金属フリー触媒の開発を継続している。電池領域では、拠点独自の技術である常温溶融水和物（ハイドレートメルト）の可能性を追求し、電池の安全性向上に寄与する消火性電解液を見出した。また、Na イオン二次電池の部材開発においても多くの候補材料を開発しており、サイエンスに基づく次世代電池材料開発の拠点となっている。

3)「電子材料拠点」では、エレクトロニクス産業を支える電子部材（半導体、透明電極・伝導体、誘電体等）を中心として、幅広い材料分野に有効な新しい材料科学を、基礎物理、計算科学、先端解析技術の協働により構築し、希少元素や環境負荷の高い元素を用いない代替材料の開発を目指している。従来の発想にとらわれず、物質の多様性と多存元素の活用に重点を置き、MI の適用可否も見極めながら物質探索を進め、両極性半導体となる ZrOS を見出す等、超伝導体、半導体、誘電体の各分野において、これまでにない新しい物質群を開発している。また、物質中の水素の挙動と役割に着目する等、元素戦略に忠実な基礎研究も展開している。これらの多くは企業との共同開発及び社会実装に進んでおり、社会からの注目度も非常に高い拠点となっている。さらに、「新・元素戦略」が設置機関である東京工業大学の重点分野に位置付けられており、拠点化が着実に進捗している。

4)「構造材料拠点」では、材料の「強度」と「靱性」といった相反する性質を基礎科学の段階から解明することで、社会基盤を支え安心・安全な社会に不可欠な構造材料において、現在大量に使用されている希少元素を抜本的に削減した代替材料の開発を目指している。最先端の計算科学を駆使したマルチスケール計算の活用とバルクナノメタル化により、従来の延長線上にはない、強度と靱性を高いレベルで両立する鉄鋼及び非鉄材料（チタン、マグネシウム等）を見出している。変形子（プラストン）という概念によってその原理解明を進めるとともにプロセス条件を確立することによって、新たな材料設計指針につながる共通指導原理の獲得を目指しており、構造材料領域における学の拠点となりつつある。

以上のように、本事業では、学理構築に重きを置きつつ元素戦略のコンセプトに忠実に則った研究が実施されることによって多くの独創的な材料が生まれている。また、積極的な情報発信と企業連携により、拠点としての認知度も向上している。一部では社会実装も進む等顕著な成果が見られ、事業後半となる今後も、より多くの成果の産業界への橋渡しが期待できる。

(2) 各観点の再評価

<必要性>

評価項目

事業目標の妥当性（研究開発・拠点形成）

評価基準

元素戦略のコンセプトに基づき、我が国の資源制約を克服し産業競争力を強化するための事業目標となっているか

平成30年度現在においても、資源の制約を受けやすいという我が国の状況は変わっておらず、

元素の機能を最大限引き出し、希少元素の代替、減量した革新的材料の開発を目指す本事業は、社会的な必要性が非常に高い。また、持続可能な開発目標（SDGs）の達成に向けた取り組みをまとめた「拡大版 SDGs アクションプラン2018」においても、元素戦略が優先課題の1つに挙げられており、新たな期待も寄せられている。加えて、元素戦略は材料開発の根幹を成すものであり、その展開は日本の研究開発力を世界トップレベルに維持する上でも欠かせないものである。産業界のみではできない研究開発に重点を置き、サイエンスベースで目標を達成するという戦略も高く評価できる。

出口戦略や性能目標も具体化されているが、その一方で、「磁石材料拠点」や「触媒・電池材料拠点」では、ターゲットを限定し過ぎたことにより、元素戦略の展開に制約が出ていないか留意する必要がある。本事業では、各材料領域における元素戦略研究の展開が最も重要であり、研究対象が特定の物質や現象に限定されないように配慮すべきである。また、本事業の実施期間が10年間で長期に亘ることから、参画者が固定されない仕組みを構築することが望ましい。社会情勢の速い変化に対応するために、各拠点の目指すべき将来像をより具体化し、各材料領域における研究開発及び拠点形成を推進することを期待する。

<有効性>

評価項目

事業目標の達成度（研究開発・拠点形成）、対外発信

評価基準

基礎科学に立脚した根本的な「課題解決」や希少元素の機能・挙動解明に基づいた革新的な代替材料の創製が図られているか、また、その成果が対外発信されているか

拠点ごとに組織された3つのグループ機能（電子論、材料創製、解析評価）を融合し、さらに、大型研究施設（SPRING-8、J-PARC、KEK、スパコン「京」等）とも密に連携しながら独自性の高い研究成果が上がっており、研究発表や論文投稿等成果の情報発信も積極的になされている。一部の成果は企業との連携や社会実装に繋がっており、社会への貢献という観点からも評価できる。特に、産業界では実施できない基礎学理の構築の着実な進展と評価手法の開発に注力している点は全拠点において評価できる。一方で、3グループ間の融合にはまだ改善の余地があり、各グループ単独では成しえない研究成果の創出を期待したい。また、実用化に関しては拠点ごとの進捗に差が見られるため、産業界への情報発信、社会ニーズの取り込み、産学連携をさらに強化してもらいたい。

拠点形成の観点においても、各拠点の目指すべき将来像が明示されており、研究基盤が強化されてきていると評価できる。事業終了後も研究者が集まる研究拠点として残すことができるよう、学理の構築のみならず、若手人材の育成、産業界との連携及び社会実装による外部資金の獲得等にも、これまで以上に積極的に取り組んでもらいたい。

<効率性>

評価項目

実施体制及び運営の妥当性

評価基準

効率的な実施体制になっているか、また、適切に運営されているか

明確な事業運営の基本方針のもとに、事業運営組織と研究拠点の関係が整理され、効率的な運営

体制が築かれている。前回中間評価における指摘を受けて、PD を中心とする運営体制へと大幅な再編が行われ、また、文部科学省も含めた運営と拠点との連絡・指示伝達体制も整備される等の改善が着実になされている。このため、PD と各拠点との情報交換も以前より密に行われ、一体となって活動が進展しており、事業運営の効率が高まったと評価できる。また、産学の研究者・技術者が参加した強力なアドバイス体制が構築されており、多くの研究成果につながっていると思われる。今後も、その実施状況を定期的にチェックする体制が必要である。

社会や産業界のニーズを取り込む体制も構築できているが、「磁石材料拠点」や「構造材料拠点」においては、企業研究者のアドバイスが特に重要であり、体制の中に入れることを検討して欲しい。事業終了後の各拠点の自律的な運営のためには企業との連携等を強く考慮に入れる必要があり、そのためには企業からのコンタクトが増えるように研究成果の提示に更なる工夫を期待したい。また、その際には、基礎科学の成果が産業界の問題解決につながっていることが見える形でのマネジメントが望まれる。

(3) 今後の研究開発の方向性

本課題は継続する。

理由：

材料開発に注力するという我が国の科学技術基本計画の下、材料開発の根幹となる元素戦略の必要性は高まる一方であり、成果も順調にあがっていることから、引き続き本事業を推進すべきと判断できる。また、事業運営及び研究開発の体制も妥当であり、今後も社会実装につながる成果が期待できる。

関連する産業分野の変化は非常にスピーディーになっている状況があり、成果の実用化に際して早急な対応ができる体制構築に留意する必要がある。

(4) その他

本事業は学理構築に重点が置かれているが、今後は成果のとりまとめの時期に入ることから、知財の確立及び活用方法について、PD、知財担当 PO、文科省は、運営及び各拠点の方針を再度確認し、知財戦略の策定や、産業応用の可能性がある成果については積極的に特許化を進めること等の対応が必要である。その際、社会への情報発信や企業等との対話を積極的に行い、残りの3年間に於いて、基礎研究を早期に社会実装へつなげる仕組みを構築し、国が主導する研究開発事業のモデルケースとなることを期待する。