

# 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) エグゼクティブサマリー (最終評価用)

ホスト機関名	東北大学	ホスト機関長名	里見 進
拠点名	原子分子材料科学高等研究機構	拠点長名	小谷 元子

作成上の注意事項：

このサマリーは、拠点形成報告書、進展計画に記載された内容に基づいて、以下の項目についての概要を6ページ以内の記述で作成してください。(添付資料は不用)

## A. 拠点形成報告書

### I. 概要

AIMR は、世界一線級の国際的融合組織体制の下、従来の既成概念を払拭した斬新な原子分子制御法を基礎とし、革新的機能を発現する新材料の創製、新たな原理に基づくデバイスの構築を進め、安全で豊かな生活の基盤作りに貢献していくことを目的に設立された。中間評価(平成23年度)において、「異なる材料分野間の共通項、普遍原理を見出し、新機能とその機能を発現する構造の予見が可能で新しい材料科学を創出する」ことを拠点のアイデンティティとして明記し「数学-材料科学連携」の戦略を提案、平成24年度には数学者である小谷元子教授が拠点長に就任した。AIMR は新拠点長のリーダーシップのもと、数学-材料科学連携のための組織、システム作りを急速に進め、2年という短期間に、「期待以上の顕著な進展」を果たすことで後半5年間の継続条件として課された2年間の様子観察をクリアした。このような意欲的な取り組みにより、AIMR は世界最先端の材料研究を推し進め、設立以降、**Science、Nature、Nature 姉妹誌**に掲載された73編の論文を含む2,609編の論文を発表、アメリカ物理学会 Oliver E. Buckley Condensed Matter Prize、フンボルト賞、米国電気電子学会(IEEE) David Sarnoff 賞、同 Andrew S. Grove 賞等、権威ある国際学術賞も数多く受賞し、WPIプログラム委員会からも、**World Premier Status** を達成したことを認められた。

このような AIMR の挑戦は、世界から優秀な研究者を引きつけて、外国人研究者比率約50%又はそれ以上の水準を維持する国際的な研究所となっている。公用語を英語とし、研究者支援体制も充実している。海外との連携に関しては、ケンブリッジ大学、カリフォルニア大学サンタバーバラ校、シカゴ大学にジョイントラボラトリーを設置し、国際共同研究加速のシステムを構築した。事務部門の職員が海外機関との協定締結等の交渉をするスキルも獲得し、AIMR を国際的な頭脳循環のハブとして機能させることに貢献している。

システム改革においては、ホスト機関からの独立性を保ち、拠点長がトップダウンによって意思決定できる体制を確立した。事務部門の英語対応のほか、サポート体制を徹底することで、外国人研究者も着任後すぐに研究に集中できる環境を実現している。ホスト機関にも波及効果をもたらし、AIMR をモデルとした「**高等研究機構**」が設立され、また事務の英語対応の取り組みは大学全体で進められている。総長アクションプランである里見ビジョンにも「柔軟な人事制度に基づく開かれた研究環境」、「業務運営改革推進室の設置」、「全学として英語に対応できる体制作り」が明記され、タスクフォース、ワーキンググループが組織されるなど、AIMR の経験が大学改革と国際化を推進する原動力となっている。

## II. 各論

### 1. 形成拠点の全体像

AIMR は、世界一線級の国際的融合組織体制の下、従来の既成概念を払拭した斬新な原子分子制御法を基礎とし、①既存の材料を凌駕する革新的機能を発現する新物質・新材料の創製、②新たな原理に基づくデバイスの構築、および③人々の安全で豊かな生活の基盤作りに貢献する材料やシステム構築を目指した応用研究プロジェクトを推進することを目的に設立された。AIMR は、平成 23 年度の間評価の後、「異なる材料分野間の共通項、普遍原理を見出し、新機能とその機能を発現する構造の予見が可能な新しい材料科学を創出する」ことを拠点のアイデンティティとして明記し（平成 23 年度末に受理された「拠点構想見直し申請書」より抜粋要約）、新しい材料科学を創出するために数学的視点を材料科学に導入する「数学－材料科学連携」という戦略を提案、その実現に向け、平成 24 年度には数学者である小谷元子教授が拠点長に就任した。AIMR は新拠点長のリーダーシップのもと、数学ユニットやインターフェースユニットの設立、3 つのターゲットプロジェクトの設定等、数学－材料科学連携のための組織、システム作りを急速に進め、2 年という短期間に、数学的視点の導入によって Science や Physical Review Letters に掲載されるような質の高い萌芽的成果を導き出し、「期待以上の顕著な進展」と評価されるほどに大きく飛躍した。このような研究所レベルでの数学－材料科学連携の試みは世界でも前例がなく、材料科学と数学の両コミュニティの注目を集めている。国際水準の研究環境を整える一方、海外の先導的研究機関と国際連携ネットワークを強固にし、国際共同研究と頭脳循環のハブとなった。以上のような事実に基づき、平成 26 年度のフォローアップにおいて、WPI プログラム委員会からも、AIMR は既に World Premier Status を達成していると評価を受けた。

### 2. 研究活動

AIMR の研究者は、材料科学分野の基礎研究から応用研究の全てにわたって、世界最高レベルの質とインパクトをもつ研究成果を継続的に生み出している。論文の出版数も順調に伸び、拠点設立からの約 8 年半の間に 2,609 編の論文を公表、うち 73 編は Science、Nature、Nature 姉妹誌に掲載され、それ以外の論文も Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), Physical Review Letters (PRL), Journal of the American Chemical Society (JACS), Advanced Materials 等のインパクトの高い雑誌に掲載されている。また、AIMR 常勤の研究者は多くの国際会議に招待され、年平均 100 件の招待講演を行っている。拠点の設立以降、優れた研究成果が評価されて、アメリカ化学会 Arthur C. Cope Scholar Award、アメリカ物理学会 James C. McGroddy Prize for New Materials、アメリカ物理学会 Oliver E. Buckley Condensed Matter Prize、国際ゴム技術会議機構 IRCO メダル、英国王立化学会 Centenary Prize、フンボルト賞、Presidential Early Career Award for Scientists and Engineers、米国電気電子学会(IEEE) David Sarnoff 賞、同 Andrew S. Grove 賞、文部科学大臣表彰など国内外の科学賞も数多く受賞しているほか、第一線の研究者が集結した相乗効果で外部研究資金獲得額も伸び、AIMR の研究者が東北大学全体の 5～8%に相当する 21～34 億円(年)を継続して獲得している。これら名誉ある受賞や大きな研究費の獲得は、AIMR の研究レベルが国内外から高く評価されていることを示すものである。

### 3. 異分野融合

AIMR では平成 21 年度より「融合研究支援制度」を設け、年間 20 件前後の異分野融合研究課題を採択しスタートアップ資金を援助することで、新しい融合の機会を作り出してきた。平成 22 年度末には、融合を更に加速させるため、数学－材料科学連携を新しい戦略として打ち出した。平成 23 年度の 1 年間をかけ、AIMR の研究者はどのようにして材料科学と数学の間の連携を実現するか集中的な議論を行い、そして、平成 24 年度からは数学者を拠点長とする体制を完成させ、研究所レベルで数学－材料連携を推進する世界で最初の研究所となった。数学者を構成員とする数学ユニットを設置したほか、数学者と材料科学者間のコミュニケーションを促進するために、数学と材料科学の橋渡しをすることができる理論物理学、理論化学の独立若手研究者の集まりであるインターフェースユニットを設置、また、各研究者が数学と材料科学の連携に具体的イメージをもち、同じ目標に向かって進めるよう、3つのターゲットプロジェクト(1) 数学的力学系に基づく非平衡材料、(2) トポロジカル機能性材料、(3) 離散幾何解析に基づくマルチスケール階層性材料を設定、これらの工夫が相乗効果を果たし、融合を大きく加速させることに成功した。材料科学者、数学者、理論研究者の共著による論文が **Science** や **Physical Review Letters** に掲載されるなど、短期間に将来性のある萌芽的な研究成果が得られるとともに、数学の視点が加わることで異なる材料分野間の融合も加速された。

### 4. 国際的な研究環境の実現

AIMR の外国人研究者比率は拠点設立直後から順調に増加し、50%又はそれ以上の水準を維持している。短期滞在の外国人研究者であっても着任後直ちに研究を開始できるように共通機器室も整備した。AIMR は 15 の研究機関（海外 14、国内 1）と連携して研究を進めており、そのうち特に 3 つの機関、ケンブリッジ大学、カリフォルニア大学サンタバーバラ校 (UCSB)、中国科学院化学研究所をサテライトとし、ケンブリッジ大学と UCSB にはジョイントラボラトリーを設置して、国際共同研究加速のシステムを構築した。また近年、シカゴ大との関係を強め、平成 26 年度に協定を締結し、平成 27 年度にジョイントラボラトリーを設置した。事務部門内に組織した国際ユニットがこのような海外機関との協定締結等を進め、GI<sup>3</sup> (Global Intellectual Incubation and Integration) ラボラトリープログラム及び頭脳循環プログラム等によって AIMR と海外研究機関との人的交流を推進し、AIMR を着実に国際的な頭脳循環のハブとして機能させている。

### 5. システム改革

システム改革においては、ホスト機関からの独立性を保ち、拠点長がトップダウンによって意思決定できる体制を確立し、拠点の方向性を状況に応じて迅速かつ柔軟に決定し運営できるようになった。事務部門の英語対応のほか、サポート体制を徹底することで、外国人研究者も着任後すぐに研究を開始できる環境を実現している。ホスト機関である東北大学にも波及効果をもたらし、AIMR をモデルとした「高等研究機構」の設立と、大学全体の国際業務、英語対応のための取り組みが進んでいる。総長アクションプランである里見ビジョンにも「柔軟な人事制度に基づく開かれた研究環境」、「業務運営改革推進室の設置」、「全学として英語に対応できる体制作り」が明記され、その目的達成のためのタスクフォースやワーキンググループが組織されるなど、AIMR の経験が大学全体のシステ

ム改革と国際化を推進する原動力となっている。

## 6. その他特筆すべき事項

- **共通機器**：多くの研究者にとって有益な共通機器を備えた共通機器室の整備、および拠点内、学内の装置使用をコーディネートする「共通機器ユニット」が設置され、またそこに、Ph.D.の学位をもち、研究者としての高いスキルをもつ技術スタッフ(特任准教授)を管理者として配置することで、外国人研究者や着任直後の研究者であっても直ちに研究が開始できる環境を実現することができた。
- **スピントロニクス大学院**：AIMR の研究者が中核となって、東北大学に「スピントロニクス国際共同大学院」が設置され、世界最先端の研究者から大学院生までが東北大学に集結している。

## B. 進展計画

### 1. これまでの成果に基づく中長期的な研究課題・戦略

AIMR は、設立当初より、WPI プログラム委員会や国際的科学コミュニティから、その研究成果について常に「世界トップレベル」であると評価されてきた。数学的視点を取り入れ「異なる材料分野間の共通項、普遍原理を見出し、新機能とその機能を発現する構造の予見が可能な新しい材料科学を創出する」をアイデンティティと定め、これまでに発表したインパクトの高い多くの論文、受賞した国際学術賞、世界トップレベルの研究環境・サポート体制等の具体的根拠に基づき、AIMR は既に World Premier Status を実現している。

WPI による 10 年間の支援終了後は、これまでに構築した、時代の要請に応じて柔軟かつ機敏に戦略遂行できる組織・運営体制、世界中から優秀な研究者が集結するような魅力的な研究環境を維持する。そのような優れた環境の下で、AIMR はこの 4 年間で大きく発展した数学-材料科学連携を更に深めて成熟させ、21 世紀の材料科学の一つのスタンダードとする。具体的には既に萌芽的結果が得られ始めている、「スピンを中心に置いた材料科学」「予見に基づく階層構造設計」を今後の重点領域とする。

数学と諸分野の連携は、米国の Odom Report や Brown Report、OECD による Report on Mathematics in Industry においても最重要の課題とされている。研究所レベルで世界に先駆けて開始した AIMR の数学-材料科学連携はこの世界の流れにフィットするものであり、AIMR が世界の潮流を作り、リーダーとなる絶好のチャンスである。また、もう一つの潮流である高度計算技術によるビッグデータの解析は、様々な材料の複雑なデータに隠れた構造や普遍現象を見出すことを目指している AIMR の数学-材料科学連携とも調和的であり、この領域においても AIMR は主導的な役割を果たすことができる。これらの取り組みによって、長期的には、AIMR は材料科学における世界のリーダーとして、時代の要請に応じて柔軟かつ機敏に戦略をたて、そこで生まれた新しい材料科学によって革新的な機能性材料を創製し社会に貢献する。

### 2. 研究組織運営

研究者組織に関しては、現存の 5 グループを踏襲し、「材料物理」、「非平衡材料」、「ソフトマテリアル」、「デバイス・システム」、「数学連携」とする。これまでと同様に小谷元

子拠点長のトップダウン指揮によって、柔軟かつ機敏な人事運営を行い、AIMRが既に制度化したジョイントアポイントメント制度を活用し、学内、国内外の研究者グループとの人材交流を活発にする。事務部門は高等研究機構の国際対応事務部門、リサーチ・レセプションセンター等へとシフトし、AIMRで蓄積したノウハウを高等研究機構の外国人研究者の受け入れや支援体制に活かしていく。

国際展開のための組織作りとしては、ケンブリッジ大学、カリフォルニア大学サンタバーバラ校（UCLAのCNSIやIPAMも含んだ連携）、北京（清華大学と中国科学院）、ケムニッツ工科大学（フラウンホーファー協会ENAS）、シカゴ大学の5つの海外研究機関との国際連携関係を維持する。このような国際連携におけるAIMRの優位性は、世界にさきがけた数学－材料連携である。イノベーションの根幹を支える数学と諸分野の連携の重要性が繰り返し指摘され、世界における数学と諸分野の連携の動きは着実に進んでいる。この動きのなかで、数学－材料科学連携において世界に先駆けAIMRが開始した取り組みを浸透させることは、国際的な要請に応えるものであり、AIMRが世界の潮流を作り、リーダーとなる絶好のチャンスである。

### 3. ホスト機関における位置付け及びリソース措置

AIMRの推進は、ホスト機関である東北大学の中期計画の中で最重要項目の一つであると位置付けられ、WPIプログラム終了後も先端研究と国際化を先導する世界トップレベル研究拠点として維持することを大学として決断している。AIMRを維持する具体的措置として、東北大学は平成26年度、総長直下の組織として「**高等研究機構**」を設立し、AIMRをこの機構の最初の研究所とした。AIMRの事務部門は蓄積した国際業務のノウハウを携えて、この高等研究機構の国際事務部門やリサーチ・レセプションセンターへとシフトしていき、全学の国際化のリーダーとしての役割を負う。高等研究機構には、世界の頭脳が集う訪問滞在型理論センター「知のフォーラム」（平成25年度設立）も置かれ、AIMRはこれとも密接に連動して、東北大学の研究力強化、国際化、システム改革の要として機能する。

東北大学の里見総長はAIMRの研究アクティビティ維持のため、現在配置されている東北大学の教職員（16名の承継教員と10名の事務職員）のほかに、新たに10のテニュアポジションを約束している。ホスト機関からのリソースは主にこのテニュアポジションによって着任する新研究室の立ち上げ、数学連携グループの若手研究者、国際事務組織の職員の雇用維持に使用される。またリソースの一部は先述の海外サテライトとの連携維持にも使用される。研究所の規模（特に若手研究者数）を現在の三分の二は維持して可能な限りアクティビティを保つことはAIMRが世界のリーダーとして新しい材料科学を開拓していくために必須である。若手の実験研究者（助教、ポスドク）を外資で維持できるよう、拠点として最大限の努力をする。

# 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

## 拠点形成報告書 (最終評価用)

ホスト機関名	東北大学	ホスト機関長名	里見 進
拠点名	原子分子材料科学高等研究機構	拠点長名	小谷 元子

添付様式を除き30ページ以内で記載すること。また各項目に記した頁数を守ることを。

全様式共通の注意事項：

※特に指定のない限り、平成28年3月31日現在の内容で作成すること。

※文中で金額を記載する際は円表記とすること。この際、外貨を円に換算する必要がある場合は、使用したレートを併記すること。

### 1. 形成拠点の全体像 (このページを含め2ページ以内)

現在の拠点のアイデンティティなど全体像について記述すること。また、拠点長が交代した拠点では、その経緯と効果も記述すること。

- ・主任研究者、構成員員数、運営組織、拠点施設配置、事業費の推移、事業費、WPI補助金支出について[添付様式1-1~7]に記載すること。

平成19年度より、AIMRは拠点一丸となり世界トップレベルのサイエンス、国際化、システム改革、異分野融合による新しい研究領域への挑戦を続け、World Premier Statusを実現している。以下に、これまでの発展の経緯と現況を述べる。

AIMRは、世界一線級の国際的融合組織体制の下、従来の手法を払拭した斬新な原子分子制御法を基礎とし、①既存の材料を凌駕する革新的機能を発現する新物質・新材料の創製、②新たな原理に基づくデバイスの構築、および③人々の安全で豊かな生活の基盤作りに貢献する材料やシステム構築を目指した応用研究プロジェクトを推進することを目的に設立された(平成19年提出の拠点構想より抜粋)。平成23年度に行われた中間評価において、「研究はすばらしい」とのコメントは受けつつも、WPI拠点として既存の研究機関にとどまらないアイデンティティの明確化が求められた。これに対してAIMRは、「異なる材料分野間の共通項、普遍原理を見出し、新機能とその機能を発現する構造の予見が可能な新しい材料科学を創出する」ことを拠点のアイデンティティとして明記し(平成23年度提出 拠点構想見直し申請書より抜粋)、新しい材料科学を創出するために数学的視点を材料科学に導入する「数学-材料科学連携」という新戦略を提案、その実現に向け、平成24年度には数学者である小谷元子教授が拠点長に就任した。WPIプログラム委員会は、エキサイティングな提案であることは認めた上で、この数学-材料科学連携の科学面及び運営面の実績について2年間(平成24~25年度)注意深く観察することを条件として、後半5年間への継続を承認した(以上、平成23年12月公開 WPIプログラム委員会 中間評価結果・平成22年度フォローアップレポートより概略抜粋)。

AIMRは新拠点長のリーダーシップのもと、数学ユニット、インターフェースユニットの設立、3つのターゲットプロジェクトの設定等、数学-材料科学連携のための組織、システム作りを急速に進め、2年という短期間に、数学的視点の導入によって **Science** や **Physical Review Letters** に掲載されるような質の高い成果を導き出した。そして、AIMRは「期待以上の顕著な進展」を果たすことで2年間の様子観察をクリアした(以上、平成26年1月公開 WPIプログラム委員会 平成25年度フォローアップレポートより概略抜粋)。現在のAIMRでは、数学者と実験科学者が直接議論してモデル考案し、そのモデルを直ちに実験で検証、結果を再び数学者に戻してモデルを改良する建設的なフィードバックにより、材料科学の予見性を高める挑戦を続けている。このような研究所レベルでの数学-材料科学連携の試みは世界でも前例がなく、材料科学と数学の両コミュニティの注目を集めている。

異なる材料・分野間の共通項、普遍原理を見出し、予見が可能な新しい材料科学創出を目指した意欲的な取り組みにより、AIMRはその設立時から世界トップレベルの材料研究を推し進め、平成19年10月から平成27年12月までの間に、**Science**、**Nature**、**Nature** 姉妹誌に掲載された73編の論文を含む2,609編の論文を発表、アメリカ物理学会 Oliver E. Buckley Condensed Matter Prize、フンボルト賞、米国電気電子学会(IEEE) David Sarnoff賞、同 Andrew S. Grove 賞等、権威ある国際学術賞も数多く受賞し、平成26年度フォローアップにおいて、WPIプログラム委員会も AIMRが既に World Premier Status を達成していると結論している。

このような AIMR の挑戦は、世界から優秀な研究者を引きつけ、外国人研究者比率約50%又はそれ以上の水準を維持し国際的な研究所となっている。公用語を英語とし、研究者支援体制も充実している。また、15の研究機関（海外14、国内1）と連携して研究を進めており、ケンブリッジ大学、カリフォルニア大学サンタバーバラ校、シカゴ大学にはジョイントラボラトリーを設置した。事務部門内に組織した国際ユニットがこのような海外機関との協定締結等を進め、海外連携機関との人的交流を推進し、AIMR を着実に国際的な頭脳循環のハブとして機能させている。

システム改革においては、ホスト機関からの独立性を保ち、拠点長がトップダウンによって意思決定できる体制を確立し、拠点の方向性を状況に応じて迅速かつ柔軟に決定、運営できるようになった。事務部門の英語対応のほか、サポート体制を徹底することで、研究者が着任後すぐに研究に着手できる環境を実現している。ホスト機関である東北大学にも波及効果をもたらし、AIMRをモデルとして大学全体の活性化を主導する高等研究機構が設立され、また大学全体の国際業務、英語対応のための取り組みが進んでいる。総長アクションプランである里見ビジョンにも「柔軟な人事制度に基づく開かれた研究環境」、「業務運営改革推進室の設置」、「全学として英語に対応できる体制作り」が明記され、タスクフォース、ワーキンググループが組織されるなど、大学改革と国際化を推進する駆動力となっている。

## 2. 研究活動 (15 ページ以内)

### 2-1. 研究成果

拠点が挑戦した世界的な課題とその成果について記述すること。成果の記述に際しては、2007～2016年3月までの代表的研究成果20件を挙げ、それぞれ解説すること。なお各成果には [1]～[20]までの通し番号を付すこと。さらにWPI拠点なくしては不可能であった研究成果には通し番号の前にアスタリスク (\*) を付して示すこと。

・上記の研究成果を裏付ける論文一覧 (40編以内) とその解説を[添付様式2-1]に記載すること。

AIMRの研究成果の特色は、原子・分子を観察する基礎研究から新材料創製、デバイス構築など社会貢献に直結する応用研究に至る幅広い階層構造を、拠点内の完全な融合によって連結し実現している点にある。以下、AIMRの代表的研究成果20件を基礎から応用に向かう順に記述する。この基礎～応用の階層性は、マイクロ～マクロというサイズスケールでみた物質の構造や機能の階層性にも対応している。原著論文の詳細は添付様式2-1を参照されたい。

#### 【原子・分子を見て理解する】

AIMRは研究者が開発した世界最高で唯一の装置を有し、原子・分子レベルの観測をしている。

#### \*[1] 酸化物表面の原子の直接観察

酸化物の表面を走査トンネル顕微鏡 (STM) によって原子レベルで観察するのは極めて難しい。酸化物が基本的に絶縁体であるため、トンネル電流を用いて観察をする STM には向かず、また、薄膜化してトンネルを可能にしたとしても、そもそも原子レベルで平坦な酸化物薄膜を成長させることが極めて難しいためである。このような背景から、酸化物薄膜がエレクトロニクスにとって重要でありながら、原子分解能で観察した酸化物表面の画像はほとんど報告されていない。AIMR では、原子・分子を直接観察し、原子・分子と物質の性質の間にある関係を完全に理解することを研究の土台としていることから、研究者らは、次世代の電子材料としての可能性を秘めた酸化物を原子レベルで観察できる世界最高分解能の STM 開発に挑んだ(「2-2. 拠点の施設・設備等の研究環境」も参照されたい)。原子レベルで平坦な基板表面上に酸化物薄膜をエピタキシャル成長できるようにするため、パルスレーザー堆積 (PLD) システム、金属蒸発用セルと酸素ガス導入装置等を STM に装着した。このような努力により、新しい電子材料として注目されている SrTiO<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>、ワイドギャップ半導体β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などの酸化物材料や、リチウムイオン電池の電極材料である LiCoO<sub>2</sub> の鮮明な画像の取得に成功している。更に、個々の原子の電子状態を走査トンネル分光(STS)によって測定することも可能になっている。(この研究成果を裏付ける論文とその説明: [添付様式 2-1] 論文 1, 2 ACS Nano, Physical Review Letters に掲載)

#### \*[2] 結晶粒界近傍の原子配置の観察

多結晶材料中に存在する粒界の構造は材料の物性や機能を決定する重要な役割を演じており、粒界を原子レベルで理解することは、新しい機能性多結晶材料を創製する上で極めて重要である。AIMR の研究者は、走査型透過電子顕微鏡(STEM)の測定技術の改良を進め、第一原理計算の結果と併せることによって、界面の配列した原子や、析出した不純物原子の像を得ることに成功した。具体的には、ランタン、ストロンチウム、チタンを含む層状構造をもつ酸化物薄膜の格子歪みに関する直接観察、ならびにこれらに基づく電子物性の解明に成功した。研究者らは更に、2つの結晶を方位をずらして接合させた人工的な「バイクリスタル」を用いて粒界の原子構造を探究する技術を開発した。このバ



イクリスタルを用いて、彼らは、チタンやカルシウムなどの不純物元素が粒界に偏析する現象や、粒界における転位形成メカニズムの解明に成功している。(この研究成果を裏付ける論文とその説明:[添付様式 2-1] 論文 3-5 **Nature, Nature Communications** に掲載)

### \*[3] 世界最高分解能スピン ARPES による電子状態の解明

#### *新奇材料に共通のバンド構造「ディラック・コーン」*

AIMR の研究者はスピンの検出のためにモット検出器を搭載した世界最高分解能のスピン・角度分解光電子分光装置 (spin-ARPES) を開発、超伝導体やトポロジカル絶縁体などの新奇物性を発現する様々な材料の精密な電子状態、バンド構造を測定し、物性の発現メカニズムを解明してきた。11.5 K という高い超伝導転移温度 ( $T_c$ ) をもつグラファイト層間化合物  $C_6Ca$  を測定し、超伝導に特有なエネルギーギャップが炭素原子層の間にある層間のバンドにおいて見られることを明らかにした。また彼らは、鉄系超伝導体  $BaFe_2As_2$  についても研究し、グラフェンと同様の、ディラック・コーンと呼ばれる円錐形のバンドが対になって、それらの頂点がフェルミレベルにおいて接する電子状態になっていることを発見した。本グループはこの他にトポロジカル絶縁体においてもディラック・コーン型のバンド分散を観測しており、ディラック・コーンがグラフェン、鉄系超伝導体、トポロジカル絶縁体に共通の、そして普遍的な電子状態であることを示唆した。これらの成果が **Physics Today** (2011 年 4 月 25 日号) に“Fashionable physics”と題して紹介された。(この研究成果を裏付ける論文とその説明:[添付様式 2-1] 論文 6-9 **Nature Physics, Physical Review Letters** に掲載)

### \*[4] AFM によるポリマー材料の機械特性マッピング

原子・分子レベルの構造とマクロレベルの物性の関係を解明することが、AIMR が目指す材料創製には必要である。AIMR の研究者は、原子間力顕微鏡(AFM)を用いてポリマー材料の付着性や剛性(ヤング率)などの機械特性をナノメートル~マイクロメートルスケール領域で 2 次元マッピングする技術を開発した。これによって、現在では、マクロレベルの機械特性を分子レベルの性質に基づいて直接議論できるようになっている。このような AFM 測定技術の開発は、本報告書の「3. 異分野融合」のところでも述べるように、バルク金属ガラス(BMG)の微小領域粘性分布測定にも応用可能であり、AIMR における融合研究、および、ポリマーガラスと BMG のような異なる非晶質材料の背後にある共通構造の発見に大きく貢献した。(この研究成果を裏付ける論文とその説明:[添付様式 2-1] 論文 10 **Macromolecules** に掲載)

### \*[5] 金属ガラスにおける原子構造の解明

従来、バルク金属ガラス(BMG)の原子構造はランダムであり、長距離秩序などは持たないと考えられてきた。しかし、最新の解析手法によって、実際にはランダムではなく数種類の特徴的なクラスター構造があり、時にはそれが中・長距離に亘る秩序も作りだすことが徐々にわかってきた。そのような原子スケールの不均一性がガラス形成能の向上に効果的であると考えられる。最近では、走査型透過電子顕微鏡(STEM)を用いてジルコン-ニッケル基 BMG の観察を行ったところ、ビーム径を絞った電子線によって原子クラスターからの電子回折パターンを得ることに成功した。この結果は、BMG が短距離秩序のある原子クラスターから構成されていることを示している。その後、この研究に数学

者が参画し、構造解析に計算ホモロジーの方法を適用した（添付様式 3 の論文 1 参照）。金属ガラスの熱処理による若返りという画期的な成果も得られ、その原子レベルでのメカニズム解明が進められている。（この研究成果を裏付ける論文とその説明：[添付様式 2-1] 論文 11-14 **Physical Review Letters, Nature Materials, Nature** に掲載）

### 【原子・分子をあやつる】

原子・分子レベルでの理解を基に、原子・分子を制御し機能を引き出している。

#### \*[6] 酸化物エレクトロニクス：超伝導と分数量子ホール効果

AIMR 設立後の早い段階で急成長した分野が酸化物エレクトロニクスである。特に、酸化物の電界効果ドーピングによる超伝導の発現と、分数量子効果の観測は、世界中の研究者からも認識されている重要な発見である。酸化物は基本的には絶縁体であり導電性に乏しい。しかし、酸化物は安定で、地殻中に大量に存在し、安価という利点がある。AIMR では電荷キャリア制御技術の改良を試み、(1) 絶縁体である酸化物（ $\text{SrTiO}_3$ ,  $\text{KTaO}_3$  など）を電気二重層を利用した高密度電荷ドーピングによって超伝導状態にし、(2) 高移動度の p 型半導体酸化亜鉛（ $\text{ZnO}$ ）を開発することで、高輝度の酸化亜鉛発光ダイオードを実現、更には、(3) 酸化マグネシウム亜鉛薄膜と酸化亜鉛基板の界面を高品質化し、酸化物材料では世界で初めて分数量子ホール効果を確認した。また、最近では、酸化物結晶薄膜の透明な性質を活かして、スピネル型チタン酸リチウム薄膜（ $\text{LiTi}_2\text{O}_4$ ）を用いた透明超伝導体の開発にも成功している。（この研究成果を裏付ける論文とその説明：[添付様式 2-1] 論文 15-17 **Nature Materials, Applied Physics Letters** に掲載）

#### \*[7] スピントロニクス：スピンを制御する

東北大学はスピントロニクスが強いことで知られ、特に AIMR にはその世界的な研究者が集まり、スピンに関係した基礎から応用に亘る幅広い分野を総合的に探究する Spin-centered science というべき分野を切り拓いている。宮崎照宣名誉教授、水上成美教授のグループは常温における大きな「トンネル磁気抵抗（TMR）」を世界で初めて実験的に検証したことで、大野英男教授と Tomasz Dietl 教授は「磁性半導体」の世界のパイオニアとして、齊藤英治教授は「逆スピンホール効果」や「スピンゼーベック効果」を発見したスピン流研究のフロントランナーとしてそれぞれ知られている。齊藤教授は最近 Gerrit E.W. Bauer 教授との共同研究で「スピнкаロリトニクス」という新領域の開拓を進めている。また、高橋隆教授は世界最高性能のスピン・角度分解光電子分光装置（**[3]**を参照）を開発し、超伝導体やトポロジカル絶縁体などのスピンが関係する物質の電子状態を可視化し、物性測定の最先端を走っている。AIMR では、これらの世界的研究者が最先端の研究に取り組み、スピン流の精密測定法の確立、磁気の波を用いたエネルギー輸送、トポロジカル絶縁体における電流リーク制御などにおいて成果が得られている。宮崎名誉教授、水上教授の TMR に関する成果については**[17]**で述べる。（この研究成果を裏付ける論文とその説明：[添付様式 2-1] 論文 18-20 **Nature Materials, Nature Communications** に掲載）

#### \*[8] 分子性超伝導体

AIMR には分子性結晶の超伝導転移温度の世界記録（常圧での 33 ケルビン、高圧での 38 ケルビン）

を持つ2つの研究室があり、分子性超伝導体の世界最先端研究が行われている。最近、これらの研究室は、分子性超伝導の理解が深まることにつながると期待される興味深い実験結果を得ている。その一つは、セシウムドープフラーレン ( $\text{Cs}_3\text{C}_{60}$ ) 分子の密度に対する超伝導転移温度の変化がドーム状の曲線となることの発見であり、この研究では更に、金属の非局在性電子とフラーレン分子の局在性電子が共存する新しい金属相を見出し「ヤーン-テラー金属」と名付けている。もう一つは、長年理論的にはその存在が予言されていたが実験的に見つかっていなかった  $\text{BaC}_6$  の超伝導を確認したことである。(この研究成果を裏付ける論文とその説明:[添付様式 2-1] 論文 21, 22 **Science Advances, Physical Review Letters** に掲載)

#### \*[9] 2つの表面間、固体/液体界面に働く力学特性

AIMR は2つの表面間に働く力を測定する特殊な技術を有している。このような力の測定には、一般的には原子間力顕微鏡 (AFM) が用いられるが、表面と探針の先端の原子に働く力、すなわち面と点の間に働く力を調べているのであって、面同士ではない。AIMR の研究者は、徐々に2面間の距離を縮めながら働く力を測定できる装置を開発してきた。この装置では、横方向の剪断応力を加えながらの摩擦も測定できる(「2-2. 拠点の施設・設備等の研究環境」も参照いただきたい)。AIMR ではこのような実験的な結果を検証するために、理論的な検証にも力を入れてきた。研究者らはイオン液体を2つのヒドロキシル化したシリカ表面で閉じ込めた状況の分子動力学シミュレーションを行い、イオン液体分子の形状がどの程度シリカ表面近傍での正負電荷の層状構造に影響するか、そしてその構造がどの程度、より大きなスケールでの機械特性に影響を及ぼすかを明らかにした。この結果は、閉じ込められたイオン液体の粘性変化実測データを定量的に説明する。(この研究成果を裏付ける論文とその説明:[添付様式 2-1] 論文 23 **Physical Chemistry Chemical Physics** に掲載)

#### \*[10] 分子モーター

AIMR では近年、分子モーターに関して興味深い研究がなされている。薬剤などの体内輸送やバイオセンシングのために体内に直接埋め込むことができる小型の化学反応器の開発が望まれているが、小型化には限界がある。そこで AIMR の研究チームは、天然のモータータンパク質であるキネシン-1 を利用し、カーボンナノチューブでできたレールに沿って生体分子を輸送することができる超小型システムを開発した。また、ナノカーボン分子合成に取り組む AIMR のチームは有限長カーボンナノチューブ分子を外枠、フラーレンを内側の回転子としたナノサイズの炭素分子ベアリングの合成に成功し、更に理論的な考察によって、その回転運動が「歳差運動」と「自転運動」の二種の異なる回転様式からなっていることを明らかにした。(この研究成果を裏付ける論文とその説明:[添付様式 2-1] 論文 24, 25 **Nano Letters, Chemical Science** に掲載)

### 【新しい材料を創製する】

AIMR の異分野融合に基づいた基礎研究から様々な材料が創製された。

#### \*[11] 金属ガラスナノワイヤ

一般的に一次元ナノ構造材料は結晶質であるため、転位、空格子点、双晶、結晶粒界などの様々な欠陥を含み、これらは破壊の起点となり、また、化学反応の活性点と成り得る。この背景を踏まえ、AIMR

の研究者は金属ガラスの高温における超塑性変形の特性を利用して非晶質ナノワイヤを作製した。このナノワイヤには欠陥がないため長尺化が可能であり、更に、微小電気機械システム (MEMS) 研究室との融合研究によって、金属ガラスナノワイヤの共振測定からナノレベルにおける弾性率を求めるナノ共振器に応用することが可能であることを見出した。また、彼らは、一度に大量の金属ガラスナノワイヤを低コストで作製する手法も開発している。(この研究成果を裏付ける論文とその説明：[添付様式 2-1] 論文 26 **Advanced Materials** に掲載)

#### \*[12] 有機・無機ハイブリッドナノ結晶

グリーンマテリアルは、その機能と製造プロセスの両面において環境保護的であるべきである。AIMR では超臨界状態の「水」を反応溶媒として用いて新素材の創製に取り組み、危険な化学物質を使用することなく、多機能ハイブリッド材料を創製する道を切り拓いている。超臨界状態は通常は混ざることのない有機物と無機物を完全に混合でき、両者の複合機能を発現させることが可能である。例えば、窒化ホウ素微粒子を 90%以上も含む有機・無機ハイブリッドのフレキシブルプラスチックフィルムは、熱伝導度は高いが、絶縁性を有し、また密着性もあるといった、通常、両立しえない複数の機能を発現している。更に、自動車排ガス触媒に利用される  $\text{CeO}_2$  ナノ結晶の表面を超臨界水熱合成で有機修飾し、最も触媒活性の高い(100)面を安定化させることにも成功している。このような、通常は両立しえない複数の性質 (相反機能) を同時発現する新ハイブリッド材料のことを、『超ハイブリッド材料』と呼び、**Physics Today** (2011 年 2 月 16 日号) において“Molecules to materials”と題して紹介されている。(この研究成果を裏付ける論文とその説明：[添付様式 2-1] 論文 27 **Nano Letters** に掲載)

#### \*[13] ナノポーラス金属：高効率触媒とスーパー蓄電池への応用

脱合金化処理で作製されるナノポーラス金属が様々な応用面で注目を集めているが、AIMR の研究者らはナノポーラス金属を用いて 2 つの金字塔を打ち立てた。1 つは高効率触媒としての応用であり、もう一つはスーパー蓄電池である。彼らはナノポーラス金によって、有機シラン化合物の酸化反応が室温で促進されることを明らかにした。従来より用いられている微粒子型の触媒に対して特に有利な点は、粒子は凝集して短寿命なのに対し、ナノポーラス金属では触媒効果が劣化せず、何回も再利用可能であるということである。スーパー蓄電池への応用では、「擬似容量」と呼ばれる電子移動過程によって電荷が貯蔵される二酸化マンガン( $\text{MnO}_2$ )を包み込むカゴとしてナノポーラス金を使用しており、これによって、充放電速度を改善し、電荷貯蔵容量を増大することに成功した。(この研究成果を裏付ける論文とその説明：[添付様式 2-1] 論文 28, 29 **Angewandte Chemie International Edition, Nature Nanotechnology** に掲載)

#### \*[14] 3次元ナノ多孔質グラフェン

グラフェンは、その高い電気伝導性のため、将来シリコンや貴金属に代わることが有望視されている 2次元シート材料である。2010年に Andre K. Geim と Konstantin Novoselov がノーベル物理学賞を受賞して以来、グラフェンは益々世界中の研究者の注目を集めている。グラフェンシート中の炭素原子が完全な蜂の巣状に結合すると、電荷キャリアは「ディラック電子」と呼ばれる質量ゼロの粒子として動けるようになる。この現象のため、グラフェンの電子移動度は既知のどの材料よりも高

い。応用のためにグラフェンを3次元化する試みが数多く行われてきたが、これまで2次元の高移動度を保持した3次元グラフェンの作製に成功した例はなかった。AIMRの複数研究室にまたがる共同研究チームは、2次元系の無質量ディラック電子を保持できるようにすることで電子移動度を高めた3次元ナノ多孔質グラフェンを作製する方法を開発した。

(この研究成果を裏付ける論文とその説明：[添付様式 2-1] 論文 30 **Angewandte Chemie International Edition** に掲載)

#### \*[15] 生体材料

AIMRは、AIMRの強みである原子・分子レベルからの探究を足掛かりにして、生体材料分野でも貢献を始めている。例えば、繊維状の筋肉組織を代替するような微細繊維状構造の作製や、人体への細胞・組織の移植を可能にする超薄膜シートの作製に焦点を当てている。生体組織の作製を行うためには、最も基本的材料として、細胞が吸着して増殖し、更に長生きできる足場材料が必要である。AIMRの研究者は、材料として半天然ハイドロゲル材料「ゼラチンメタクリレート(GelMA)」を選択し、これが細胞を誘導し、捕捉し、そして長期的な生存能力を維持させるのに適した材料であることを確認している。また彼らは、細胞が増殖するための土台となり特定部位への移植を容易にする、極めて薄い高分子の「ナノシート」を開発した。これらの成果はAIMRの強みを一つ増やしたのみならず、社会への貢献の道筋を一つ増やすものである。(この研究成果を裏付ける論文とその説明：[添付様式2-1] 論文31, 32 **Lab on a Chip, Advanced Materials**に掲載)

#### 【新しいデバイス・システムを構築する】

AIMRの研究成果を社会に還元するために様々なデバイス・システムを開発した。

#### \*[16] エネルギー材料とデバイス

「創エネルギー」や「省エネルギー」に資する材料やデバイスの創製はAIMRの最終ゴールの一つである。この目標に向かい、AIMRでは、ターゲットプロジェクト「ナノエネルギーデバイスのためのコアテクノロジー」を設定し、エネルギー材料とデバイスの開発を推進している。一つの進展は、シリコン太陽電池における変換効率の理論的限界である Shockley-Queisser (S-Q) 限界に関して、量子ドットを用いて打破しつつあることである。高度に配列した量子ドットは価電子帯と伝導帯の間にミニバンドを生成させ、2光子遷移を誘起すると期待されている。AIMRの研究者は実験的にこの戦略の有効性を検証し、理論計算によって、最高で50.3%の効率を実現できることも明らかにした。更にAIMRでは、エネルギー変換・貯蔵・輸送に向けた錯体水素化物の開発にも取り組んでいる。例えば、ナトリウム系の錯体水素化物  $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{H}_{10}$  の優れたイオン伝導性を見出し、蓄電池(二次電池)の固体電解質への応用を進めている。(この研究成果を裏付ける論文とその説明：[添付様式 2-1] 論文 33, 34 **Nanotechnology, Advanced Materials** に掲載)

#### \*[17] トンネル磁気抵抗効果 (TMR) を用いたメモリデバイス

省エネルギーに資する不揮発性メモリとして注目されている磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) では、その記憶素子として、AIMRの研究者が先駆者であるトンネル磁気抵抗素子 (TMR素子) が用いられる。ギガビット級 MRAM の実現のためには、高スピン分極率と大きな垂直磁気異方性を併

せもつ垂直磁化磁性薄膜材料が必要であるが、そのような要求に適合する材料はこれまで知られていなかった。本研究において AIMR の研究者はマンガンガリウム合金に着目し、そのような要求を満たす材料であることを見出し、実用化への期待がかかっている。また更に、彼らは有機化合物にも新展開を求めている。彼らは、有機化合物では原理的に電子スピンの長時間保存され、電子がスピンを反転させずに長距離移動できると考え、様々な厚さの C<sub>60</sub> 膜を用いてスピバルブデバイスを作製し、室温での磁気抵抗の測定から、110 nm という過去最高の移動距離を観測している。(この研究成果を裏付ける論文とその説明：[添付様式 2-1] 論文 35, 36 **Physical Review Letters, Nature Communications** に掲載)

#### \*[18] バイオミメティクス：階層構造と機能

生物はその進化の歴史の中で無数の構造変化を繰り返し、環境に最も適応した構造が残ることとなった。従って、環境と調和した機能性材料を設計し創製するために、まず自然から学ぶことが基本であると言える。AIMRはこの「バイオミメティクス(生体模倣)」に力を入れ、水滴をはじき、かつ、吸着できる金属-高分子ハイブリッド構造からなる新しいバイオミメティック表面を自己組織化により作製することに成功した。本研究では、表面構造の作製に水滴の蒸発という非平衡現象を利用しており、また、機能発現(水滴をはじき、かつ吸着する)に微細構造のトポロジー的要素が反映され、更に、階層的な構造が多機能化を導き出しているという意味において、AIMRの数学-材料科学連携のための3つのターゲットプロジェクトの全てと関係した重要な研究分野である。(この研究成果を裏付ける論文とその説明：[添付様式2-1] 論文37 **Chemistry of Materials**に掲載)

#### \*[19] バイオイメージング・バイオセンシングデバイス

「生体材料」の成果のところで述べたように、材料科学においても生命・生体応用の重要性が日に日に大きくなっており、新しい生体材料の創製とともに、生命現象を高分解能で観測するイメージングおよびセンシングのツール開発が求められている。AIMRの研究者は、電圧切り替えモード走査型電気化学顕微鏡法(VSM-SECM)という非侵襲的な高解像度イメージング法を開発し、生きている細胞の高解像度の形状像と電気化学像を同時に得ることに成功した。彼らの次の目標は、物質放出に関連するニューロンの形状変化のモニタリングである。AIMR研究者によるもう一つの成果は、幹細胞をモニターする高密度集積型電気化学デバイスの開発である。彼らは、センサーアレイ上の胚様体の細胞活性を、「レドックスサイクリング」に基づいて局所の電流信号を検知することにより定量化できるようにした。そしてこのデバイスを用い、幹細胞の分化の際に出される信号をとらえることに成功している。したがって、このデバイスは、胚様体の分化レベルのスクリーニングに役立つと考えられる。(この研究成果を裏付ける論文とその説明：[添付様式2-1] 論文38, 39 **Proceedings of the National Academy of Sciences USA, Angewandte Chemie International Edition**に掲載)

#### \*[20] 微小電気機械システム(MEMS)

MEMS研究は長年に亘り、東北大学で最も強い応用研究の分野であるが、様々な分野と相互作用することによって、更に大きく発展した。AIMRの研究者は、主にパッケージング技術の開発を進め、最近では、ナノポーラス金属を用いたウェハレベルパッケージング技術の開発に成功している。また、金

属ガラス(BMG)薄膜を用いた光スキャナの開発でも成果を上げ、スパッタリングによるバルク金属ガラス薄膜を用いることによって1mm程の極めて小形の内視鏡に用いる光スキャナを実現することができた。これは強度等、BMGの優れた機械的性質を活かしたものである。このような診断ツールは工業用でもインフラの保全などに重要であり、システムを長期に亘って安全に利用でき、省資源・省エネルギーにつながる。MEMS技術は、AIMRの異分野融合研究により創製される新たな機能性グリーンマテリアルをデバイスに組み込み、持続的なグリーン社会を実現する中心的役割を果たしている。(この研究成果を裏付ける論文とその説明：[添付様式2-1] 論文40 **Optics Letters**に掲載)

多くの論文が、**Science**、**Nature**、**Nature** 姉妹誌などの極めてインパクトの高い雑誌をはじめ、Advanced Materials, Physical Review Letters (PRL), Applied Physics Letters (APL), Journal of the American Chemical Society (JACS), Lab on a Chip, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS) など、材料科学、物理学、化学、デバイス工学、総合/学際領域の各分野におけるトップの雑誌に掲載されている。**Science**、**Nature**、**Nature** 姉妹誌に掲載された具体的な論文数は2007年から2015年までの各年で0, 2, 5, 5, 10, 8, 17, 11, 15編である。

## 2-2. 拠点の施設・設備等の研究環境

「世界トップレベル研究拠点」としてふさわしい施設・設備、必要な研究支援体制等の研究環境の整備および機能状況について記述すること。

AIMRは以下に示すような、材料科学における世界トップレベル研究拠点にふさわしい施設、装置を整備している。また、多くの研究者が必要とする基本的な測定装置を研究支援センターの共通機器ユニットで提供するなど、手厚い研究支援体制の整備を完了している。

**極めて高い分解能を有する走査トンネル顕微鏡 (STM)**：拠点のアイデンティティに明示されるように、原子・分子の直接観察は新しい機能性材料創出のための基盤である。AIMR本館建設の際には、振動低減のために、実験エリアを事務・居室エリアから構造的に分離し、STM設置場所近辺は、厚い土壌を完全に掘削して除去し、岩盤上に直接大量のコンクリートを打設、その上に2段階のノイズキャンセリングシステムを設置し、更にその上に極低温測定が可能なSTMを置いた。このようにして、世界最高分解能の観察が可能となるSTMを立ち上げた。**2-1. 研究成果[1]**でも述べたように、このSTMを用いることで、酸化物表面や薄膜の精密な電子状態評価に成功している。

**世界最高分解能のスピン-角度分解光電子分光 (spin-ARPES)**：物性を理解するためには、物質中の電子状態を観測することが重要となる。特にAIMRでは、Spin-centered Scienceの構築に力を入れており、バンド構造のみならず、「スピン」についての情報も得ることができるスピン-分解角度分解光電子分光法 (spin-ARPES) が決定的な役割を果たす。AIMRの研究者は、世界最高のエネルギー分解能をもつspin-ARPESを開発し、鉄系超伝導体を含む多くの超伝導物質、トポロジカル絶縁体など近年注目されている物質群の非常に精密なバンド構造の取得に成功している。

**世界唯一の表面力測定装置**：エネルギー問題と密接な関係のある摩擦の研究が、今日、大変注目を集めている。しかしながら、接触する2つの表面の間に働く相互作用を直接測定する実験技術がなかったため、摩擦を原子・分子レベルで理解することはこれまで困難であった。AIMRの研究者は、2つの

表面間の距離を正確に測定し、2つの表面を徐々に近づけながら、あるいは、その状態で横にずらして剪断応力を与えるなどしながら、2つの表面間に働く引力、および斥力を正確に測定する表面力測定装置を開発し、現在、摩擦研究分野で中心的役割を果たしている。

**AFMによるポリマー材料の機械特性マッピング**：AIMRの研究者は、原子間力顕微鏡(AFM)を用いてポリマー材料のナノメートルレベルの領域の粘性や剛性などの機械特性をマッピングする技術を開発した。このようなAFM測定技術は、もともとポリマーの研究用に開発したものであるが、例えば、バルク金属ガラス (BMG) の微小領域粘性分布測定にも応用可能であり、AIMRにおける融合研究の推進、および、ポリマーガラスとBMGのような異なる非晶質材料の背後にある共通構造の発見に大きく貢献した。

**超臨界水熱合成システム**：新しい物質合成手法が開発されれば、新奇材料が生み出される可能性が広がることは言うまでも無い。AIMRでは、水と油のように、これまで混ざることの無かった2つの物質を混ぜる技術として、超臨界水熱合成技術を開発、それによって酸化物、硫化物、窒化物のナノ結晶を合成することに成功し、かつその結晶面を有機分子で修飾することにも成功している。これを用いて、高効率触媒や、高熱伝導度を持つフレキシブルセラミックス等の開発に成功している。

**世界で最も研究者に喜ばれている共通機器室**：添付様式1-3の「運営組織図」に示すように、AIMRは「研究支援センター」の中に「共通機器ユニット」を設置した。このユニットは、3つの部分（パート1、2、3）からなる。パート1はAIMRが所有する「共通機器室」であり、AIMR本館内に作られ、空間分解能約1 nmでエネルギー分散型元素分析装置 (EDS) が装着されたフィールドエミッション型走査電子顕微鏡 (FE-SEM)、様々な種類の試料に対応可能な多機能X線回折装置 (XRD)、ラウエカメラ、X線光電子分光装置 (XPS)、高分解能ラマン顕微鏡 (レーザー3波長)、熱分析装置 (TG-DTA, DSC)、絶対PL量子収率測定装置、光学顕微鏡、および工作機械類等を設置している。パート2は、AIMRの各研究室が保有する装置の一部共通機器化をお願いし、互いに利用し合うシステムであり、パート3は、AIMR以外の部局が所有する装置を利用しやすくするシステムである。パート1は、Ph.D.の学位をもち研究者としての経験が豊富なマネージャーと技術職員が装置の維持管理、装置使用時のサポートを行い、更にパート2、3におけるあらゆる仲介、調整もこれらの職員が行っている。彼らの貢献ときめ細かなサポートによって、理想的な研究環境が完成され、たとえ海外からの研究者であっても、着任直後から研究に着手できる状態になっている。

### 2-3. 競争的資金等

拠点の研究者による競争的資金等研究費の獲得実績について記述すること。

- ・研究プロジェクト費の獲得実績の推移、および特筆すべき外部資金について[添付様式2-2]に記載すること。

詳細を添付様式2-2に示すが、外部研究資金（競争的研究資金と競争的研究資金以外の合計）はAIMR発足年では6.4億円（但し初年度は6ヶ月間）であったのに対し、発足2年目以降はAIMRに集まった優秀な研究者が相互作用することで順調に数値を伸ばし、年間21億円以上を維持している。この額は東北大学全体の外部研究資金獲得額の5～8%に相当する。AIMRの助教以上の研究者数（約70人）が全学の2.4%程度でかつ外国人研究者が多いことを考えると、この5～8%という数値は大変大きなものである。

この潤沢な外部研究資金は、科学研究費補助金はもとより、最大規模の研究プロジェクトを獲得で



きる超一流研究者がAIMRに集結していることを示している。例えば、主任研究者である江刺正喜教授、大野英男教授の2名は最先端研究開発支援（FIRST）プログラムを獲得し、平成25年度末までこのプロジェクトを指揮した。また、磯部寛之教授と齊藤英治教授は戦略的創造研究推進事業（ERATO）を獲得し、平成25年度（磯部教授）、平成26年度（齊藤教授）より、AIMRの建物にてプロジェクトを開始している。その他にも、科学研究費補助金の基盤研究S、戦略的創造研究推進事業（CREST）、大学発グリーンイノベーション創出事業「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス（GRENE）」、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）のプロジェクトなどを獲得し大型研究を推進している。

外国人研究者の研究費獲得についても進展があり、主任研究者である陳明偉教授が平成23年度にCRESTを獲得したほか、AIMRの研究支援センター・研究者支援室のメンターの指導によって、若手外国人研究者が科学研究費補助金を獲得したことも、特筆される成果である。

## 2-4. 共同研究の状況

国内外の研究機関との共同研究実績について記述すること。

AIMRが世に出した高インパクト論文の多くは、国内外の研究機関との共同研究によって得られた成果である。特に海外との共同研究に着目すれば、平成19年10月から平成27年12月までの間にAIMRの研究者が発表した2,609編の論文中、1,130編（43.3%）が海外の研究機関との共著論文である。拠点内での融合研究はもちろんのこと、世界の研究機関と共同で研究を行うことが、質の高い研究成果と国際的なプレゼンスの向上につながっている。

## 2-5. 社会・学会からの評価

科学的成果に対する社会・学会からの評価について[添付様式2-3]に記述すること。

添付様式2-3の一覧に示すように、AIMRの研究者は、アメリカ物理学会のOliver E. Buckley Condensed Matter Prize、フンボルト賞、米国電気電子学会(IEEE)のDavid Sarnoff賞、同Andrew S. Grove賞等、国際的に認知されている学術賞を数多く受賞し、また、国際会議・国際研究集会において、多くの基調講演（Plenary address）、キーノート講演（Keynote lecture）を含む招待講演を行っている。トムソン・ロイターのHighly Cited Researchers 2014に3名のPI（陳明偉教授、高橋隆教授、Ali Khademhosseini博士）が選出されたこともAIMR設立後約9年間の成果が顕著であったことを示している。個々の研究者だけでなく、AIMR自体もまた高く評価されている。例えば、エルゼビアが年二回発行し、世界の権威ある学術機関の最新動向に焦点をあて情報発信しているアカデミック・エグゼクティブ・ブリーフ（The Academic Executive Brief; ISSN 2212-0424）もAIMRを紹介している。これらからも、AIMRおよびAIMRの研究者が社会、学会から高く評価されていることは明白である。

## 2-6. 研究成果の社会還元

### 2-6-1. 研究成果の実用化など

成果の実用化、Innovationへの効果、IP実績、企業との共同研究等について記述すること。

AIMRの目標は新たな材料を理論的に設計できる新しい材料科学の創出とそれを用いて創製した新しい材料、デバイス・システムによって人々の幸福に貢献することであり、過去9年間においても、基礎研究のみならず、イノベーションの創出や産業との連携に多くの努力を払ってきた。獲得してきたイノベーション創出事業、IP実績、企業との共同研究・成果の実用化例について、その代表的

なものを以下に示す。

### イノベーション創出事業（プロジェクト）

- ・ 先端融合領域イノベーション創出拠点形成プログラム（H19-H25）予算総額29.59億円（江刺正喜教授）
- ・ 産学連携促進イノベーション事業（産学コンソーシアム運営事業）「超臨界ナノ材料技術に基づく新産業創成・産学協奏システムの世界拠点形成」予算総額4.14億円、70社以上のコンソーシアム（阿尻雅文教授）
- ・ 経済産業省・イノベーション促進事業「垂直統合型技術結集と新たな産学連携システムによる最先端電池基盤技術の創出」予算総額3.6億円、32社のコンソーシアム（寒川誠二教授）
- ・ センターオブイノベーション（COI）「さりげないセンシングと日常人間ドックで実現する理想自己と家族の絆が導くモチベーション向上社会創生拠点」平成28-33年度（研究リーダー：末永智一教授）
- ・ 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「革新的構造材料」に西浦廉政教授が、「革新的燃焼技術」に栗原和枝教授が、「革新的設計生産技術」に阿尻雅文教授が参加。

### 知的財産（IP）実績

- ・ 宮崎照宣・水上成美 “Magneto-resistive element and magnetic memory”, US Patent, US8520433 2013年4月27日.
- ・ 寒川誠二 “Low dielectric constant insulating film and method for forming the same”, US Patent, US8,828,886 2014年9月9日.
- ・ 阿尻雅文 「超臨界水熱合成法による有機修飾金属硫化物ナノ粒子の合成法」 出願日：2008年9月1日 出願番号：特願2008-223244 特許登録：特許第5115983号
- ・ D. V. Louzguine 「ナノ金属ガラス粒子集合体の製造方法」 出願日：2011年6月10日、出願番号：特願2011-130026、公開番号：特開2012-255197
- ・ 折茂慎一 “全固体電池”, 国際出願番号：PCT/JP2014/072438（国際出願日：27.08.2014）国際公開番号：WO/2015/030052（国際公開日：05.03.2015）
- ・ ほかに多数

### 企業との共同研究・成果の実用化

江刺正喜教授は、日本国内の微小電気機械システム（MEMS：メムス）の基礎研究から産業応用までの含めた広い領域の中心研究者でありリーダーである。江刺教授とその共同研究者はMEMSに必要な基礎かつコア技術の開発をしてきただけでなく、会社の研究者・技術者が容易に出入りでき、試作品を作製したり、少量の製品を生産できる「試作コインランドリ」と呼ばれる開放型施設を立ち上げている。これまでに、180以上の企業と大学、自治体、公的機関が会員となる産学官メムスパークコンソーシアムを立ち上げて日本および東北地方のMEMS技術の底上げを図るほか、ドイツのフラウンホーファー研究機構との長年の共同研究実績を基盤に、AIMR内にフラウンホーファープロジェクトセンターを設立し、国際的な取り組みも成功している。更には「デンソー共同研究部

門」を立ち上げるなど、AIMRにおける研究成果を社会に還元する窓口としての先導的な役割を果たしている。

**阿尻雅文教授**とその共同研究者は各種金属酸化物・硫化物・窒化物等のナノ粒子の超臨界水熱合成技術を確認すると共に、その技術による製造装置開発を行い実用化に結びつけた。(株)アイテックにおいて連続フロー式の、また(株)AKICOにおいてバッチ式の反応装置の製造販売を行うに至った。また、ナノ粒子の表面を有機修飾し溶媒やポリマーマトリックスに分散させる技術も切り拓いた。これらの技術の実用化は平成19年度から5年間、11社の企業が参画して、研究費30億円（5年間）のナショナルプロジェクトとして実施された。このような研究実績に対して、産学官連携功労者表彰(文部科学大臣賞)、全国発明表彰ほか多くの賞を受けている。この新技術により、70社を超えるコンソーシアムが形成され、現在実用化に向けた研究開発が進められている。

**水上成美教授、宮崎照宣名誉教授**とその共同研究者（平成25年度より、水上研究室）は、常温における高いトンネル磁気抵抗効果（TMR）を世界で初めて実証した宮崎の実績をベースとし、不揮発性磁気メモリMRAM（磁気ランダムアクセスメモリ）の実現に向け、(株)東芝と新材料開発に関する共同研究を行ってきた。平成23年度には、(株)東芝が小さな書き込み電流と高いMR比を同時に満たすようなギガビットクラスのスピントランスファートルクMRAMを作製する基礎技術の開発に成功し、この共同研究チームはギガビットMRAM実現のために強固な共同研究を継続している。

**寒川誠二教授**が発明したパルス変調プラズマはプラズマエッチングプロセスの標準化技術となり、全世界で用いられる技術まで成長している。寒川教授とその共同研究者は、このパルス変調プラズマの実用化を進め、Lam ResearchおよびApplied Materialsの誘導結合プラズマ（ICP）装置では既に標準装備されており、最近、東京エレクトロンの平行平板型2周波タイプにも装備された。今後のデバイス作製にはこのパルス変調プラズマが欠かせず、今後、世界のデバイスの市場規模の半分くらいの規模のデバイス製造に貢献することが予想される。その他、平成24～25年には12インチ対応中性粒子ビーム装置を東京エレクトロン(株)と開発し、また平成26年度には東北大学に導入された。

**折茂慎一教授**とその共同研究者は、錯体水素化物の合成とそのデバイス化に関する独自技術に基づくAIMRでの融合研究によって、錯体水素化物系全固体二次電池などの新規エネルギーデバイスの研究開発を進めている。三菱ガス化学(株)との共同研究により、蓄電デバイスとしての実証に世界に先駆けて成功し、6件の特許出願に至ったほか、最近ではLiBH<sub>4</sub>系固体電解質の量産化技術の開発にも成功している。また、(株)日立製作所とのAIMR共同研究部門を設置し、高耐熱全固体リチウムイオン二次電池の基礎技術開発の成功へとつなげた。

**齊藤英治教授**とその共同研究者は、自身が発見した「スピンゼーベック効果」を基に全く新しい量子原理による熱発電方法を開発し、現在、日本電気株式会社（NEC）、NECトーキン株式会社と実用化に向けた共同研究を進めている。平成25年度末において、開発初期の素子に対して約100万倍の効率改善を遂げており、発電素子としての実用化に向けて大きく前進している。

## 2-6-2. アウトリーチ活動

特色のあるアウトリーチ活動実績や特記すべき事項があれば[添付様式2-4] に記述すること。

添付様式2-4に詳細を示すように、AIMRはアウトリーチ活動、メディア報道を積極的に行ってきた。

最初の数年間は事務部門の庶務係（現総務係）が広報業務を行っていたが、平成22年の4月に池田 進博士が最初のアウトリーチマネージャーとして着任し、AIMRは組織的なアウトリーチ活動を開始した。広報誌「**TOHOKU WPI通信**」を刊行するとともに、**仙台・宮城サイエンスデイ**、**東北大学オープンキャンパス**、**片平まつり**、**東北大学祭**などの高校生や一般市民が集まる場にブースを出展してAIMRの研究活動について紹介した。また、他のWPI拠点のアウトリーチチームと合同で、**科学・技術フェスタ in 京都**、**WPI合同シンポジウム**、**アメリカ科学振興協会(AAAS)**の年次総会に参加した。また、AIMRはMANAと共同で「**アイデアコンテスト 未来へのチャレンジャー**」を開催、小・中・高校生、高等専門学校の生徒・学生から材料に関係したアイデアを募集し、審査委員会によって厳正に審査された優秀なアイデアに対して表彰を行った。表彰式および受賞作品の展示は上野の国立科学博物館で行った。

平成24年4月には新しいアウトリーチマネージャーとして中道康文博士を迎え入れた。中道博士はまず最初にAIMRのウェブサイトとパンフレット類を刷新し、更に新しい広報誌「**AIMR Magazine**」を刊行した。タイムリーなインタビュー記事、研究のトピックス、イベントの報告、研究者の紹介、質の高いインパクトのある写真で構成されている。平成25年の12月、AIMRは仙台国際センターを会場としてWPI合同シンポジウム「**サイエンストークライブ2013 by WPI**」を成功させた。前半は5名のWPI研究者がTED形式で講演し、後半では、4チームの高校生（3チームは宮城県内のスーパーサイエンスハイスクール指定校から、また1チームはアメリカのメリーランド州から招聘）が自身の研究成果を英語で発表するという試みを行った。この成功は、数年間に亘るアウトリーチ活動の経験と、種々の共同イベントを経て形成されてきた高校との協力関係の賜物といえる。例えば、AIMRでは毎年、SSH指定校およびコアSSH連携校とAIMRの研究者（主に外国人研究者）による国際交流会を開催し、高校生に外国人研究者と英語でコミュニケーションをとる機会を提供し、好評を博している。平成27年度には清水修特任准教授がアウトリーチマネージャーを引き継ぎ、AIMR Magazineをリニューアルした。

広報・アウトリーチオフィスは原稿作成のサポートを約束して各研究室に積極的なプレスリリースを呼び掛け、更に海外向けのプレスリリースも試験的に開始した。これらの結果として、**添付様式2-4**に見られるように新聞を中心とする多くのメディア掲載を実現している。

### 3. 異分野融合 (3 ページ以内)

#### 3-1. 拠点が融合領域創出へ向け戦略的に行った取り組み

平成 19 年に AIMR が設立され、バルク金属ガラスグループ (現・非平衡材料グループ)、材料物理グループ、ソフトマテリアルグループ、デバイス・システムグループという 4 つの研究グループが組織されたが、これら 4 つがすぐに融合することは難しかった。それを踏まえ、平成 21 年度に、AIMR は「融合研究支援制度」を設け、異分野の研究グループによる融合研究の推進を開始した。平成 27 年度までに 135 件の研究提案 (平成 21 年度前半 13 件、後半 14 件、平成 22 年度 17 件、平成 23 年度 10 件、平成 24 年度 18 件、平成 25 年度 22 件、平成 26 年度 21 件、平成 27 年度 20 件) を採択し、異なるグループ間の新しい融合研究立ち上げの資金を支援した。この融合研究支援制度の創設により、異なるグループの研究者が集まり議論し始め、共同で研究課題を提案し、採択後 1 年間研究をすることで、異グループ間のコミュニケーションが円滑となり、分野間の重なりも徐々に広がった。平成 24 年度には数学-材料科学連携が本格的に開始され、数学を含む連携研究の萌芽的ステージを支援するために採択件数が増やされた。支援を受けた融合研究については、その翌年度のティータム時に成果を発表し、拠点全体でその成果を共有して次の融合のための新たなアイデアを刺激するようにしている。

平成 24 年度、AIMR は数学者の新拠点長 (小谷元子教授)、理論物理学者の新事務部門長 (塚田捷特任教授) のリーダーシップの下、平成 22 年度末に議論を開始し平成 23 年度中に基礎作りを行った**数学-材料科学連携**を大きく進展させた。平成 23 年 3 月には純粋数学者と応用数学者からなる**数学ユニット**を設立し、2 名の主任研究者 (ユニットリーダーである西浦廉政教授と、小谷元子教授) がこの新しいユニットの指揮を執った。数学ユニットが設立された後、専門用語が異なる数学と材料科学の間の橋渡しができる研究者を迎え入れる必要性が生じ、数学の背景をもち数学の専門用語を理解し、かつ材料科学とも馴染みのある理論物理学者、理論化学者からなる**インターフェースユニット**を平成 24 年度に組織した。インターフェースユニットは国際公募によって選考された複数名の若手独立研究者で構成され、それぞれが独自の研究を進めるほか、数学者と材料科学者の間の通訳者としての役割も果たしてきた。なお、インターフェースユニット研究者の活躍によって数学者と材料科学者の間の直接対話も可能となったことから、数学ユニットとインターフェースユニットは、**数学-材料科学連携**をより深めるために、平成 27 年 4 月 1 日に「**数学連携グループ**」へと統合され、一段高いステージでの活動を開始した。

AIMR は平成 23 年度末に、**数学-材料科学連携**の共通の目標やゴールを明確にするために、3 つの**ターゲットプロジェクト**、**(1) 数学的力学系に基づく非平衡材料**、**(2) トポロジカル機能性材料**、**(3) 離散幾何解析に基づくマルチスケール階層性材料**を設定した。これによって、異なる背景をもった研究者同士が積極的に交流する機会が増え、質の高い学術的な展開を期待できる状態へと成長している。数学の導入によって材料科学に新展開がもたらされ、また逆に数学側でも新たな発展があるような、双方向の利益をもたらす状況を実現することが必要である。時間のかかる挑戦であるが、それにつながる成果は着実に生まれ始めている。

拠点全体のフォーマルセミナーであるジョイントセミナー、各ターゲットプロジェクトのセミナーや勉強会、東北大学応用数学連携フォーラム (AMF) の研究者にも参画いただく**数学-材料科学連携**セミナー、フライデーティータム、その他、適宜行われる小セミナーによって、融合の熱気が減衰

することなく維持されている。また、各ターゲットプロジェクトの研究計画や成果を拠点全体で共有するため、ターゲットプロジェクト・インターフェースユニット (TP-IU) ジョイントフォーラムを適宜行っている。

### 3-2. 研究者からの融合領域創出を促進するための取り組み

#### 3-3. 異分野融合による研究成果

異分野融合研究の実績と成果の概要について記述すること。

・異分野融合研究についての主要な論文(20編以内)とその解説を[添付様式3]に記載すること。

AIMRにおける融合は、拠点によるトップダウン的推進と、研究者の自発的・ボトムアップ的取り組みの両面によって支えられている。特に、研究者が自発的に行っている日常のミーティングや議論は、AIMRにおける異分野融合を邁進させる原動力となっている。AIMRでは奇しくも、数学導入と東日本大震災がほぼ時を同じくし、震災による問題意識の変化も相まって、新たなチャレンジについて自発的に議論する習慣が拠点全体に広がった。融合にとって最も大切なのは、研究者自身の意欲であることは言うまでも無いが、普通はリスクを恐れて消極的になりがちである。AIMRがリスクを伴う融合研究に果敢に取り組んでいるのは、まさにこのような研究者の意識変化や自発的な議論に依存している。材料科学にとっても数学にとっても挑戦的である課題を見出すことが数学－材料科学連携の成功の鍵であるが、幸いAIMRにはそれを十分に議論できる環境がある。これらの努力が実り、AIMRは数学－材料科学連携の世界初の教科書（モノグラフ）シリーズとなる“SpringerBriefs in the Mathematics of Materials”を創刊することとなり、その導入となる“第一巻 A New Direction in Mathematics for Materials Science”を平成27年12月に出版、具体的な個々のトピックに焦点を当てた第二巻以降も出版準備がなされている。

#### 3-3 異分野融合による研究成果

異分野融合研究の実績と成果の概要について記述すること。

・異分野融合研究についての主要な論文(20編以内)とその解説を[添付様式3]に記載すること。

AIMR では下記リストのような様々な融合研究が展開され、数学－材料科学連携の萌芽的な成果も出始めている。特に下記リストの1番から8番の論文は、数学者やインターフェースの研究者が大きな役割を果たした論文である。詳細は添付様式3を参照されたい。

- 1) 計算ホモロジーによる金属ガラスの構造解析 (Science)
- 2) 数学モデルに基づくストイキオメトリ制御 (Physical Review Letters)
- 3) 有限長カーボンナノチューブのための新たな幾何学物差し(Pure and Applied Chemistry)
- 4) 分子磁石を予見する数学的手法 (Proceedings of the Royal Society A)
- 5) 確率モデルによるBMGの変形解析 (Journal of Alloys and Compounds)
- 6) スピンポンピングに及ぼすスピン磁気抵抗効果の影響 (Applied Physics Express)
- 7) パーシステントホモロジーによるガラス構造の中距離秩序 (Nanotechnology)
- 8) 結晶粒界に見られる周期的な原子配列再構成構造の数学モデル (Materials Transactions)
- 9) 金属ガラスのナノスケールにおける機械特性不均一性 (Physical Review Letters)
- 10) 触媒効果をもたらすナノポーラス金表面の原子構造 (Nature Materials)

- 11) ナノポーラス金の還元的触媒作用 (**Journal of the American Chemical Society**)
- 12) スケルトンナノポア構造をもつPd金属ガラス触媒 (**Chemical Communications**)
- 13) 2層グラフェンC<sub>6</sub>Ca (**Proceedings of the National Academy of Sciences USA**)
- 14) フォトランジスタ用の還元型酸化グラフェン (**ACS Nano**)
- 15) コバルト添加二酸化チタンの電界誘起強磁性 (**Science**)
- 16) 鉄ベース金属ガラスを用いた機能的マイクロミラー (**Optics Letters**)
- 17) ハイドロゲル中のカーボンナノチューブの配列制御 (**Scientific Reports**)
- 18) ナノポーラス金を用いた高感度水銀イオン光学センサー (**ACS Nano**)
- 19) OLET用に合成された新有機半導体BPFT (**Journal of Materials Chemistry C**)
- 20) BPFTの発光特性に関する理論的研究 (**The Journal of Physical Chemistry C**)

## 4. 国際的な研究環境の実現 (4 ページ以内)

### 4-1. 国際的頭脳循環

#### 4-1-1 海外で活躍する世界トップレベルの研究者の拠点滞在実績

海外世界トップレベル研究者の主任研究者としての参加、共同研究者としての滞在について記述すること。  
・全研究者中の外国人研究者数とその年次推移を[添付様式4-1]に記載すること。

統計データを添付様式4-1に示すが、外国人研究者数はAIMR設立以降順調に増加し、設立3年目の平成21年度にはほぼ最終目標の人数に達している。比率の視点でも、平成21年度以降、外国人研究者の割合が約50%又はそれ以上の水準を維持している。AIMRは下記のような世界トップレベルの研究者を主任研究者(PI)、ジュニアPIとして招聘してきた。更に、GI<sup>3</sup> (Global Intellectual Incubation and Integration)ラボラトリープログラムの活用と、PI、ジュニアPI、連携教授、連携准教授の間に構築されている連携により、研究者の招聘・派遣を推進し、その結果、多くの研究者がAIMRに滞在し、共同研究を実施することとなった。

[非平衡材料グループ (平成24年度までバルク金属ガラス (BMG) グループ) ]

**A. Lindsay Greer**教授：ケンブリッジ大学Physical Sciences研究科長（前材料科学冶金学科長）。Dmitri V. Louzguine教授(PI, AIMR)との長年に亘る共同研究実績があり、現在は、Jiri Orava博士（ケンブリッジジョイントラボラトリーの助手）がその共同研究を推し進めている。Greer教授自身もこの共同研究のため毎年数週間はAIMRに滞在している。

故**Alain Reza Yavari**教授：グルノーブル工科大学教授。平成23年にフランス国立科学研究センター (CNRS) Award for Scientific Excellenceを受賞。残念ながら、平成27年度中に逝去されたが、生前はKonstantinos Georgarakis博士（助教）をAIMRに配置し、自身も年に1～3ヶ月程度AIMRに滞在し、陳 明偉教授 (PI, AIMR)、Dmitri V. Louzguine教授 (PI, AIMR)グループとバルク金属ガラスに関する共同研究を進めていた。

[材料物理グループ]

**Alexander Shluger**教授：ロンドン大学教授。AIMRの研究室に平成24年度まではFilippo Federici Canova博士（助手）、平成25年度からはMoloud Kaviani博士（助手）を配置し、また毎年数週間程度AIMRに滞在し、赤木和人准教授(AIMR)、栗原和枝教授 (PI, AIMR)、Dmitri Louzguine教授(PI, AIMR)とそれぞれ、理論計算、表面物理化学、金属ガラスについての共同研究を進めている。AIMRの研究室には、常駐の助手ほか、ロンドン大学のShluger研究室から、適宜、博士課程学生を含む若手研究者をVisiting Scientistとして派遣し、滞在させている。

**Paul S. Weiss**教授：カリフォルニア大学ロサンゼルス校(UCLA)カリフォルニア・ナノシステム研究所(CNSI) UCLAの所長であり、UCLA化学・生化学科および材料科学・工学科のディスティングイッシュトプロフェッサー。米国化学会のACS NANOのチーフエディターでもある。これまで、一杉太郎(AIMRジュニアPI)グループと表面・界面の原子・分子制御に関する共同研究を進めてきた。AIMRに研究室を持ち、Patrick Han博士（助教）を配置して共同研究体制を整えている。

**薛 其坤**教授：清華大学教授・副学長。Ling Zhang博士（助教）をAIMRに配置し、主に陳 明偉教授(PI,



AIMR)グループが作製するナノポーラス金属と薛グループの表面物理技術を合わせて、センサーを開発するなど、共同研究を進めた。

#### [ソフトマテリアルグループ]

**Thomas P. Russell**教授：マサチューセッツ大学アマースト校教授。米国DOEのEnergy Frontier Research Center (EFRC)所長。Silvio O. Conte ディスティングイッシュトプロフェッサー。年に2～5週間程度AIMRに滞在し、中嶋 健 (AIMRジュニアPI)グループとポリマー・ソフトマテリアルに関する共同研究を進めた。また、マサチューセッツ大学のRussell研究室から博士課程学生等をAIMRにVisiting Scientistとして派遣し、共同研究を行った。

万 立駿教授：中国科学技術大学の第九代学長。中国科学院化学研究所の前所長。中国科学院院士。表面化学の第一人者の一人。 AIMRのWan研究室にはZhe Chen博士（助手）が常駐し、分子ナノテクノロジーの共同研究を進めた。

**Kosmas Prassides**教授：元ダラム大学教授。平成26年度からAIMR専任PIとして着任。分子系超伝導体の世界的研究者。既に複数名のスタッフを雇用し、AIMRでの研究活動を開始している。

#### [デバイス・システムグループ]

**Thomas Gessner**教授：ケムニッツ工科大学教授。ドイツフラウンホーファー研究機構・電子ナノシステム研究所(ENAS)の研究所長であり、江刺正喜 教授(PI, AIMR)との長年に亘る連携に基づき、MEMS共同研究に関して強固な連携関係を完成させている。Gessner PIはこれまで、AIMRにYuching Lin博士（准教授）、Yaochuang Tsai 博士(助手)、Jörg Frömel博士(准教授)を常駐させ、またケムニッツ工科大学Gessner研究室の若手研究者及び博士課程学生を随時Visiting Scientistとして派遣、配置し共同研究を進めてきた。このような強固な連携に基づき、AIMRフラウンホーファープロジェクトセンターが設立され、更なる連携研究が進んでいる（Gessner教授は平成28年5月に逝去された）。

ジュニアPI：才能あり若くして既に世界をリードしているAli Khademhosseini准教授（ハーバード大学メディカルスクール。平成26年度にハーバード大学メディカルスクールの正教授に昇任し、同時にAIMRでもPIに昇任）、Winfried Teizer准教授（テキサスA&M大学）、Hongkai Wu（香港科学技術大学。平成26年度末にジュニアPIを退任）を平成21年度にジュニアPIとして招聘した。彼らはAIMRに研究室を持ち、3～4名の助教、助手（ポスドク）を雇用している。ジュニアPI自身も年に数週間～数カ月程度AIMRに滞在し、また時にはテレビ会議などを活用して、研究室の運営、研究の指揮にあたっている。

PIやジュニアPI以外にも、連携教授、連携准教授を含む多くの研究者がAIMRに滞在して共同研究を行った。

#### 4-1-2 若手研究者の採用・就職状況

ポスドクを含む若手研究者の採用・就職の状況について記述すること。

・ポスドクの国際公募の実施と応募・採用状況、外国人ポスドク比率、ポスドクの就職先の実績を[添付様式4-2～4]に記載すること。

ポスドク（助手）のリクルートは常に国際的にオープンとし、拠点のウェブサイトほか、NatureやScienceなどの著名雑誌に広告を掲載して情報発信した。それによって世界18カ国以上から有能な若手研究者を雇用することができ、多くの質の高い研究成果につながった。添付様式4-2に示すように、AIMRの国際的認知度の上昇とともに応募者も増え、採用率10%以下の狭き門になってきている。添付様式4-3に示すようにポスドクの多くは外国人である。

頭脳循環の視点から見ると、添付様式4-4に示すように、AIMRでポスドクとして2、3年間の研究経験を経て、更に高位のポジションを得ている。多くは大学の助教職を得ているが、一部、正教授、准教授のポジションを獲得した者もいる。

#### 4-1-3 国外サテライトおよび連携機関等

・国外サテライト、連携機関等との協定締結状況について[添付様式4-5]に記載すること。

国外連携機関との契約を、添付様式4-5の一覧表に示す。AIMRは15の研究機関（海外14、国内1）と連携して研究を進めており、そのうち特に3つの機関、ケンブリッジ大学、カリフォルニア大学サンタバーバラ校、中国科学院化学研究所を、より緊密な関係をもつサテライトとし、更にケンブリッジとサンタバーバラにはジョイントラボラトリーを設置して、国際共同研究加速のシステムを構築した。また近年、シカゴ大との関係を強め、平成26年度に協定を締結し、平成27年度にジョイントラボラトリーを設置した。ジョイントラボラトリーには、下表のようにAIMRのポスドクが雇用、配置されている（Kiss博士とZheng博士は平成27年度に退職）。彼らは時々AIMRに来て共同研究先の研究室に滞在して研究計画を議論するが、通常はジョイントラボラトリーで研究を進めている。

PI or Adjunct Professor	Joint Lab Researcher	Counterpart at AIMR
<b>ケンブリッジ</b>		
Prof. A. Lindsay Greer (BMG)	Dr. Jiri Orava	Dmitri V. Louzguine教授
Dr. Erwin Reisner (Chemistry)	Dr. Katherine Orchard	阿尻雅文教授 浅尾直樹教授 小谷元子教授
<b>UCSB</b>		
Prof. G. R. Grimmett (Mathematics)	Dr. Demeter Kiss	
Prof. Fred Wudl (Organic device)	Dr. Yonghao Zheng	谷垣勝己教授
<b>シカゴ</b>		
Prof. David Awschalom (Spintronics)	Dr. Gary Wolfowicz	大野英男教授
Prof. Paul Nealey (Chemistry)	柳町拓哉博士	栗原和枝教授

#### 4-2. 国際シンポジウム、ワークショップ、研究会、講習会等の実績

・主な国際的研究集会の開催実績について[添付様式4-6]に記載すること。

AIMRが開催した主な国際的研究集会については添付様式4-6に示す。毎年2月又は3月にThe AIMR International Symposium (AMIS) (2012年までは、WPI-AIMR Annual Workshopと称した) を開催し、過去8回で15以上の国からのべ1,800名以上の参加者を得ている。また、サテライトはじめ、海外連携機関とのジョイントワークショップ等も頻繁に開催している。これらの活動は明らかにAIMRの国際的認知度上昇に大きく貢献している。更にAIMRは全学の行事である東北大学デイ（中国、英国で開催）、日独6大学コンソーシアム（HeKKSaGOn）の会議等の国際イベントでも中心的役割を果たしている。

#### 4-3. 外国人研究者への研究生活支援体制

例えば多言語による生活支援、家族の生活支援等、外国人研究者が研究に専念できる環境を整備する取組みについて記述すること。

AIMRはWPIプログラムの目的を踏まえ、まず初めに、90%以上の職員が英語対応できる事務部門を実現し、全ての事務書類を英語化した。次いで、大学宿舎への優先的入所など、外国人研究者の住居に関するサポートに力を入れた。また平成23年度末から拠点内のアクセスしやすいところに研究者支援室を設置して支援員を配置し、研究者の日常生活まで含めた支援までできるようにした。

#### 4-4. その他

日本人研究者への国際経験の促進策や、世界的な頭脳循環を背景として当該拠点が研究者のキャリアパスに組み込まれている好例があれば記述すること。

もともと、GI<sup>3</sup> ラボラトリープログラムは基本的に海外の研究者を招聘する仕組みとして設計されたが、平成25年度からは、その逆として、日本人を含むAIMRの研究者を海外連携機関に派遣、数週間～数カ月滞在することを支援する制度も設け、毎年10名程度の若手研究者がこの派遣プログラムを利用し、海外出張している。

## 5. システム改革 (3 ページ以内)

### 5-1. 意思決定機構

拠点長の強いリーダーシップによる拠点運営とその効果、ホスト機関側の権限の分担との関係について記述すること。

AIMRはシステム改革にも力を入れた。拠点長のトップダウンによる意思決定により、拠点の方向性を状況に応じて迅速に決定し運営できるようになったことは、日本の大学のシステムの中でも極めて大きな改革である。これによって、AIMRは新しいチャレンジ、数学－材料科学連携を非常に短い期間であったが大きく進展させることができた。

異なる分野から研究者が集まった材料科学研究所が健全に発展するよう、拠点長が重要決定を下す前に、拠点長、事務部門長、各グループリーダーからなる運営会議が適切な助言を与えている。また、年1回ミーティングを開催している国際アドバイザリーボード、平成25年度より開始した外部諮問委員会は、AIMRが世界トップの研究所となるための重要な助言を与えている。

AIMRは東北大学の一つの部局であるが、ホスト機関である東北大学からは拠点長の任命以外は独立しており、研究所の主任研究者ほか研究者の決定は全て拠点長によってなされている。

### 5-2. 事務支援スタッフの配置および適切な支援体制の整備

英語その他必要な専門性を有する事務支援スタッフの配置並びに適切な体制の確立への取組みとその効果について記述すること。

AIMRは海外からの研究者にとって障壁となる言語の問題を取り去るため、まず初めに、90%以上の職員が英語対応できる事務部門を実現し、全ての事務書類を英語化した。これによって研究者の約50%を占める外国人研究者も、不自由なく研究に集中することができている。

事務部門内に組織した「国際ユニット」が、海外機関との協定締結、国際会議開催、研究者の招聘・派遣、外国人研究者が外部資金獲得の申請をする際のサポートなど、これまで研究者に依頼していた国際業務を処理できるようになり、研究者が更に研究に専念できるようになった。広報・アウトリーチオフィスはこの国際ユニットに組み込まれているため、国内向けの広報のみならず、国際的な広報への取り組みも行いやすくなっている。

このようなAIMRにおける国際化の成功を踏まえ、東北大学も里見ビジョンに「全学として英語に対応できる体制作り」を明記し、これに着手している。

### 5-3. WPIプログラムにより進めたシステム改革と波及効果

WPI拠点による研究運営上若しくは組織運営上のシステム改革事項とその背景・効果について簡潔に箇条書きで記載すること。またホスト機関全体への波及効果を記述すること。（他機関への波及効果もあれば記述すること）

- 事務の国際化のため英語対応可能職員の配置（90%以上）。事務文章の全英語化。国際ユニット事務職員による海外研究機関との連携協定締結の事前交渉。

<波及効果> AIMR事務職員が登壇し、AIMRの国際業務を全学に紹介する研修会が開催された。これを受け、里見ビジョンにも「全学として英語に対応できる体制作り」が明記され、AIMR事務部門の実績が全学の事務の国際化を推進する駆動力となっている。

- 最高の研究環境と日常サポートの提供のため、共通機器ユニット、計算支援ユニット、数学連携ユニット、研究者支援室（メンター＋秘書的支援員）からなる研究支援センターを設置。海外から有能な研究者を招聘するためのジョイントアポイントメント雇用制度設定。

<波及効果> AIMRの研究サポートシステムや雇用システムをモデルとして、東北大学が国際的な

頭脳循環のハブとなれるような戦略を検討する「プロジェクトチーム」を総長が発足させた。

- 事務部門（国際ユニット）による国際会議のアレンジ、海外研究者の招聘に関するノウハウ、ロジスティクスの確立。

<波及効果> これらロジスティクスに関する専門知識、経験の蓄積が、平成25年度の「知の創出センター（知のフォーラム）」の設立につながった。またこれらの蓄積は、「高等研究機構」の中に設置され研究者招聘の支援業務を行うリサーチ・レセプションセンター（事務組織名：国際事業推進室）に引き継がれている。

#### 5-4. ホスト機関による支援

申請の際あるいは中間評価時等の更新の際にホスト機関からコミットした事項を含め、ホスト機関による支援について、拠点構想の実現・持続のために機能的に措置されているかを以下の項目に沿って記述すること。

##### 5-4-1 ホスト機関による支援の実績と効果

・ 具体的措置については[添付様式5-1]に記載すること。

プロジェクト申請時に井上明久前総長によって提出され、中間評価時に改訂されたコミットメントは平成24年度以降も里見 進 総長によって継承され、約束されている。ホスト機関による支援の具体的措置は添付様式5-1を参照されたい。この措置によってAIMRは東北大学の既存の規定に縛られることなく、拠点長のトップダウン意思決定によって、人事・給与、研究環境整備、拠点の研究戦略（数学－材料科学連携による異分野融合の加速）に関する改革と挑戦を非常に迅速に進め、目に見える結果を導き出している。

##### 5-4-2 ホスト機関の中長期的な計画への位置付け等

・ 「中期目標」・「中期計画」等の表紙とWPI関連箇所を[添付様式5-2]に添付すること。

東北大学の「中期計画」（AIMRの関連ページを抜粋）を添付様式5-2として添付する。第2期中期計画（平成22年4月1日から28年3月31日）の中に、下記のような、WPIやAIMRに関する3つの明確な記述がある：

- 「国際高等研究教育機構、原子分子材料科学高等研究機構及びグローバル COE プログラムとの連携の下で異分野融合領域における高度な研究人材の養成を進めるための教育プログラムを実施する。」
- 「世界トップレベル国際拠点形成プログラム（WPI）に採択され発足させた原子分子材料科学高等研究機構を世界最高の国際研究ネットワーク拠点に発展させるため、その組織の強化と支援を行う。」
- 「国際高等研究教育機構、原子分子材料科学高等研究機構、医工学研究科等を活用し、新機軸研究を推進する」

#### 5-5. その他

若手研究者の活躍促進（スタートアップ経費や自律的な研究環境）、女性研究者の登用等に関する独自の取組について記述すること。  
・ 女性研究者の人数については[添付様式5-3]に記載すること。

過去9年間に国際的な評価委員会による審査を経て、6名のジュニアPI（准教授）を独立研究者とし、PIと同等の研究スペースと人件費を与えることで、新分野開拓に挑戦させている。更にAIMRは数学－材料科学連携を推進するため、約20名の若手数学者・理論研究者を雇用した。彼らも独立した研究環

境を与えられ、独自のアイデアによってどの実験研究者とも数学者ともコンビネーションを組むことができ、それによって新しい研究の枠組みを作り、AIMRのゴールに向かって新たなアプローチを展開している。平成21年度より、AIMRは「融合研究支援制度」を設け、特に若手研究者が所属研究室の戦略とは一線を画し、独自のアイデアに基づいて別の分野の研究者と交流し、新しい異分野融合研究を開始できる機会を提供している。女性研究者比率については添付様式5・3に示すように、現在9%（PIの女性比率は7%、その他の研究者の女性比率は9%）である。

## 6. その他特筆すべき事項

1.~5.以外に「世界から目に見える拠点」に相応しい先導的な取組や、見出される特質等の特に優れた点がある場合は、記述すること。

**共通機器環境の整備：**「共通機器ユニット」については既に本文の各所で述べたが、研究者のニーズを全研究室へのアンケート調査などに基づいて徹底的に分析し、最も効果的なサポート体制を整えたAIMRの共通機器整備は学外からも問い合わせを受けている。

**スピントロニクス大学院：**AIMRの研究者が中核となって、東北大学に「スピントロニクス国際共同大学院」が設置され、世界最先端の研究者から大学院生までが東北大学に集結している。

**給与システム：**PI手当と各年度末の業績評価に基づく職能給を含むAIMRの新しい給与システムを構築した。このAIMRの新しい給与制度は、ホスト機関の「ディスティングイッシュト プロフェッサー制度」設立のきっかけとなった。

**外国旅費の改革：**AIMRが招聘する外国人の利便性の向上と事務手続きの簡素化を図り、立て替え払い外国旅費に係る外貨建て精算を実現するとともに、航空券の現物支給システムの導入を開始した。

**秘書マニュアル：**特に研究者支援の観点から研究支援センター・研究者支援室の職員が中心となり、セクレタリーパート事務業務マニュアル（秘書マニュアル）を作成したが、この試みが他部局の研究者支援の参考となっている。

**事務職員の海外研修：**AIMR事務職員海外研修事業を制度化し、海外の事務、支援システム視察のため事務職員の海外派遣を開始した。平成26年度には、その逆で、海外の研究機関から事務職員を招聘し、派遣者ではなく事務部門全体で学習できる仕組みを作り、これまでにカーネギー研究所、コペンハーゲン大学から事務職員を受け入れている。

**Tea Time：**海外PIも含めた研究者間のコミュニケーションの機会を増やすため、毎週金曜日に行われているTea Timeの際に、Tea Time Talk（海外のシニア研究者による小セミナー）やミニコンサートを企画し、拠点内のよい雰囲気作りに貢献している。

**事務職員の意識改革：**事務職員の意識改革もAIMRの成功の一因となっている。事務職員もそれぞれの役割の重要性に気付き、日本の研究所でありながら国際化を実現せねばならないプログラムにおいてどのように進めていくべきかを自ら開拓している。

## 7. 平成 27 年度フォローアップ結果（現地視察報告書を含む）への対応

※平成27年度フォローアップ結果への対応を記述すること。ただし、既に記載済みの場合は〇〇ページ参照、などと記載箇所を明示することに代えて良い。

### [指摘課題 1]

**AIMRは「数学-材料科学概念に基づいた、新機能の予見を可能にする新しい材料科学」の創生を期待されている。このことは、将来のチャレンジとして残っている材料科学と数学の本格的な融合とともに、真にチャレンジングであり、長期的な目標である。さらに、材料科学への恩恵は明らかであるが、数学に対する恩恵は明瞭ではない。拠点の究極の目標に近づくために、双方向の認識努力、すなわち数学者が材料科学から学ぶこと、またその逆も、望まれる。**

### [対応]

AIMRにおける数学-材料科学連携は単に材料科学の発展に資するものではなく、数学、数学者にとっても恩恵のあるものであり、双方向の利益がある。AIMRでは、数学者が考案したモデルをすぐに実験で検証し、その結果をモデルの改良にフィードバックすることが可能である。このような数学者が容易に材料の実験環境にアクセスできる恵まれた環境は他に類を見ない。平成25年12月に創刊された "SpringerBriefs in the Mathematics of Materials" (編集責任者 小谷元子)は、もちろん材料科学者にとっても役立つことを念頭に編集、執筆されているが、Springerの数学書籍出版の担当者から提案された数学者向けの書物であり、AIMRの数学-材料科学連携が数学にとっても恩恵があることの証である。小谷拠点長は、Institut Mittag-Leffler (スウェーデン)、Centre International de Rencontres Mathématiques (フランス)、オーストラリア国立大学 (オーストラリア)、Institute for Mathematics and its Applications (IMA; 米国ミネソタ大学)、International Conference Computational and mathematical methods in Science and Engineering (CMMSE) などの多くの大学、研究所、国際会議に招待され、AIMRの数学-材料科学連携について講演し、数学コミュニティからも非常に注目されている。

### [指摘課題 2]

**OASは国際的事務部門とスピントロニクス大学院が設立され高く評価されるが、これらが今後どのように実施されるかは今のところ明らかではない。組織改革への継続的な努力が望ましい。**

### [対応]

AIMRの事務部門は徐々に高等研究機構 (OAS) 内の国際対応事務に関わり始めている。AIMR事務部門の国際ユニットのメンバーが既にOASの「国際事業推進室」を兼務する形となり、海外からの研究者受け入れ業務を開始している。スピントロニクス大学院 (スピントロニクス国際共同大学院 <http://gp-spin.tohoku.ac.jp/>) も東北大学からの強力な支援とプログラム長である平山祥郎教授 (AIMR学内連携教授) のリーダーシップによって着実に組織化が進み、優秀な学生が世界の第一線級の教員の指導を受けることで、今後の世界のスピントロニクスを牽引する主力となる研究者の輩出が期待されている。



## 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

## 添付資料1-1. 平成27年度主任研究者一覧

作成上の注意:

- ・「氏名」欄で、海外の機関に所属する研究者には下線を付すこと。また、世界トップレベルと考えられる研究者氏名の右側には\* (アスタリスク) を付すこと。
- ・昨年度拠点構想進捗状況報告書に名前がなかった研究者が参加した場合には、新規主任研究者個人票(添付様式1-1(別紙))を添付すること。

【平成27年度実績】		主任研究者 計29名							
氏名 (年齢)	所属機関・部局・職	学位 専門	作業時間 (全仕事時間:100%)				拠点構想 参加時期	拠点構想への参画状況 (具体的に記入)	海外の機関に所属 する研究者の拠点 構想への貢献
			拠点関連		拠点以外				
			研究	研究以外	研究	研究以外			
拠点長 小谷 元子*(56)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	理学博士 数学 (幾何学)	40%	50%	10%	0%	2012年4月 (副機構 長: 2011 年5月~ PI: 2011年3 月~)	常時拠点に滞在して参画	
阿尻 雅文*(58)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	工学博士ハ イブリッド 材料、超臨界 流体工学	80%	0%	0%	20%	拠点構想 開始時点	常時拠点に滞在して参画	
陳 明偉 * (50)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	Ph.D. 材料科学	100%	0%	0%	0%	拠点構想 開始時点	常時拠点に滞在して参画	
江刺 正喜 *(67)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	工学博士 微小電気 機械シス テム	80%	0%	0%	20%	拠点構想 開始時点	常時拠点に滞在して参画	

磯部 寛之 * (45)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	理学博士 有機化学	80%	0%	10%	10%	2013年4月	常時拠点に滞在して参画
栗原 和枝 * (65)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	工学博士 コロイド 及び界面 科学	80%	0%	0%	20%	2010年4月	常時拠点に滞在して参画
Dmitri V. Louzguine * (48)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	博士 (工学) 材料科学	100%	0%	0%	0%	教授： 2007年12月 PI：2009年	常時拠点に滞在して参画
末永 智一 * (62)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	薬学博士 バイオセ ンシング 工学	80%	0%	0%	20%	2010年11月	常時拠点に滞在して参画
水上 成美 * (43)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	博士 (工学)、 スピントロ ニクス	100%	0%	0%	0%	2014年11月	常時拠点に滞在して参画
西浦 廉政 * (65)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	理学博士 応用数学 (非線形ダ イナミクス)	100%	0%	0%	0%	2012年2月	常時拠点に滞在して参画

折茂 慎一*(50)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	博士(学術)、 材料工学・ 材料化学	80%	0%	0%	20%	2013年1月	常時拠点に滞在して参画
Kosmas Prassides*(58)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	Ph.D./化学	100%	0%	0%	0%	2013年4月	常時拠点に滞在して参画
齊藤 英治*(44)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	工学博士 固体物理・ スピントロ ニクス	80%	0%	0%	20%	2012年4月	常時拠点に滞在して参画
高橋 隆*(64)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	理学博士 物性物理学	80%	0%	0%	20%	拠点構想 開始時点	常時拠点に滞在して参画
谷垣 勝己*(61)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	工学博士 ナノ材料科 学	80%	0%	0%	20%	拠点構想 開始時点	常時拠点に滞在して参画
大野 英男*(61)	東北大学・電気通信研究所・教授	工学博士 半導体物 理・半導体工 学、スピント ロニクス	40%	0%	40%	20%	2012年4月	電気通信研究所に滞在し、拠点の 活動に参画

寒川 誠二*(57)	東北大学・流体科学研究所・教授	工学博士 ナノプロセス工学	40%	0%	40%	20%	2012年4月	流体科学研究所に滞在し、拠点の活動に参画	
幾原 雄一*(57)	東京大学・大学院工学系研究科・教授	工学博士 物理冶金学	40%	0%	40%	20%	拠点構想 開始時点	2週間毎に拠点に滞在して参画	
<u>Tomasz Dietl*(65)</u>	ポーランド科学アカデミー・物理 研究所 ・教授	Ph.D./ 物性物理学 (理論)	20%	0%	45%	35%	2012年4月	・年に1回(2週間)拠点に滞在 ・所属機関研究者をAIMRシンポジウム招待 講演者として派遣	
<u>Thomas Gessner*(61)</u>	ケムニッツ工科大学・マイクロテ クノロジーセンター・教授	Ph.D./ デバイス科 学テクノロ ジー	30%	0%	50%	20%	拠点構想 開始時点	・年に2回拠点に滞在 ・カンファレンス出席 ・若手研究者の派遣 ・所属機関研究者をAIMRシンポジウム招待 講演者として派遣	若手研究者の派 遣 (1人, 2008年~6 年5月) (1人, 2012年~2 年3月) (1人, 1年) (1人, 6月)
<u>Alan Lindsay Greer*(60)</u>	ケンブリッジ大学・材料科学科・ 教授	Ph.D./ 冶金材料科 学	20%	0%	45%	35%	拠点構想 開始時点	・年に2回拠点に滞在 ・カンファレンス出席 ・若手研究者の派遣	若手研究者の派 遣 (3人, 各2週間) (2人, 各1週間)
<u>Thomas P. Russell*(63)</u>	マサチューセッツ大学・ エネルギーフロンティア研究 所・教授	Ph.D./ 高分子科 学・工学	20%	0%	45%	35%	拠点構想 開始時点	・年に2回拠点に滞在 ・カンファレンス出席	

<u>Alexander Shluger*</u> (61)	ロンドン大学・物理学科・教授	Ph.D./ 固体物性 (理論)	35%	0%	40%	25%	拠点構想 開始時点	・年に3回(合計1月)拠点に滞在 ・若手研究者の派遣 ・所属機関研究者をAIMRシンポジウム招待 講演者として派遣	若手研究者の派遣 (1人, 2012年~2 年4月) (1人, 3週間)
<u>Li-Jun Wan*</u> (58)	中国科学院・化学研究所・教授 中国科学技術大学・学長	Ph.D./ 表面化学	20%	0%	45%	35%	拠点構想 開始時点	・年に1回拠点に滞在 ・若手研究者の派遣	若手研究者の派遣 (1人, 2013年~1 年6月)
<u>Paul S. Weiss*</u> (56)	カリフォルニア大学ロサンゼルス校・ カリフォルニアナノシステムズ 研究所・ 教授	Ph.D./ 表面科学	20%	0%	45%	35%	拠点構想 開始時点	・若手研究者の派遣	若手研究者の派遣 (1人, 2012年~2 年9月)
<u>Qi kun Xue*</u> (52)	清華大学・物理学科・教授	Ph.D./ 表面科学	20%	0%	45%	35%	拠点構想 開始時点		
<u>Alain Reza Yavari*</u> (66)	グルノーブル国立総合研究所・教授	Ph.D./ 物理冶金学	30%	0%	45%	25%	拠点構想 開始時点	・年に2回(合計1月)拠点に滞在 ・カンファレンス出席 ・若手研究者の派遣	若手研究者の派遣 (1人, 2008年~6 年9月) (1人, 2月)
<u>Ali Khademhosseini*</u> (40)	ハーバードメディカルスクー ル・教授	Ph.D./ バイオ工学	35%	0%	45%	20%	2009年11月	・年に2回拠点に滞在 ・所属機関(ハーバードメディカルスクー ル)から定期的にTV会議により参画	若手研究者の派遣 (1人, 2010年~4 年9月) (1人, 2011年~4 年) (1人, 2012年~2 年1月) (1人, 2013年~1 年5月) (1人, 7月)

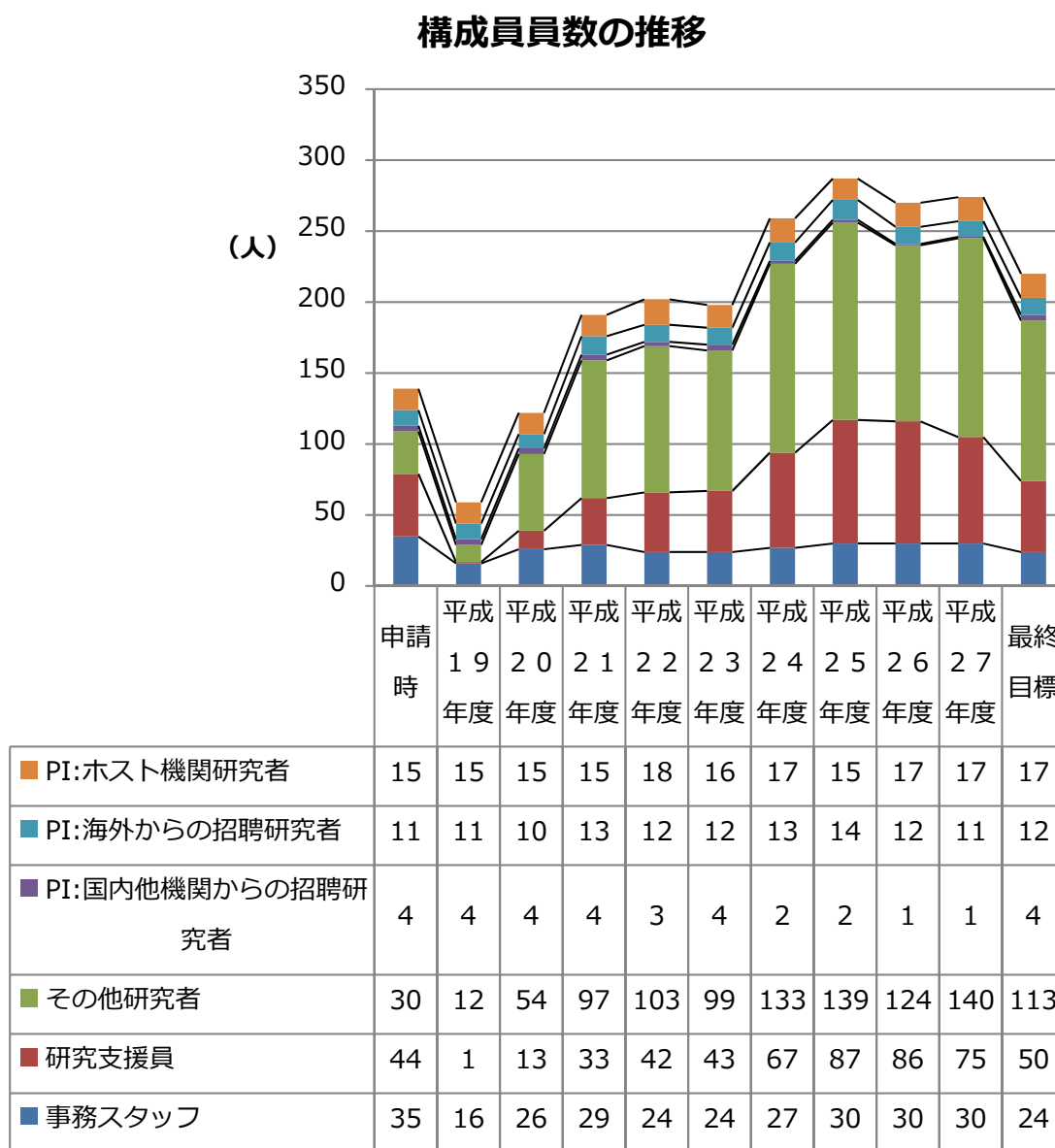
Winfried Teizer* (45)	テキサスA&M大学・物理学部・准教授	Ph.D./物理	35%	0%	40%	25%	2009年11月	<ul style="list-style-type: none"> <li>・年に数回（合計4月以上）拠点に滞在</li> <li>・所属機関（テキサスA&amp;M大学）から定期的にTV会議により参画</li> </ul>	若手研究者の派遣 （1人，2010年～4年4月） （1人，2011年～4年3月） （1人，3月）
-----------------------	--------------------	----------	-----	----	-----	-----	----------	---	---

平成27年度に拠点構想に参加しなかった研究者

氏名	所属機関・部局・職	拠点構想 参加時期	理由	対応
Hongkai Wu*	香港科学技術大学・化学部・准教授	2009年11月	所属先の研究に専念するため	

## 世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI） 添付資料1-2. 構成員員数の推移

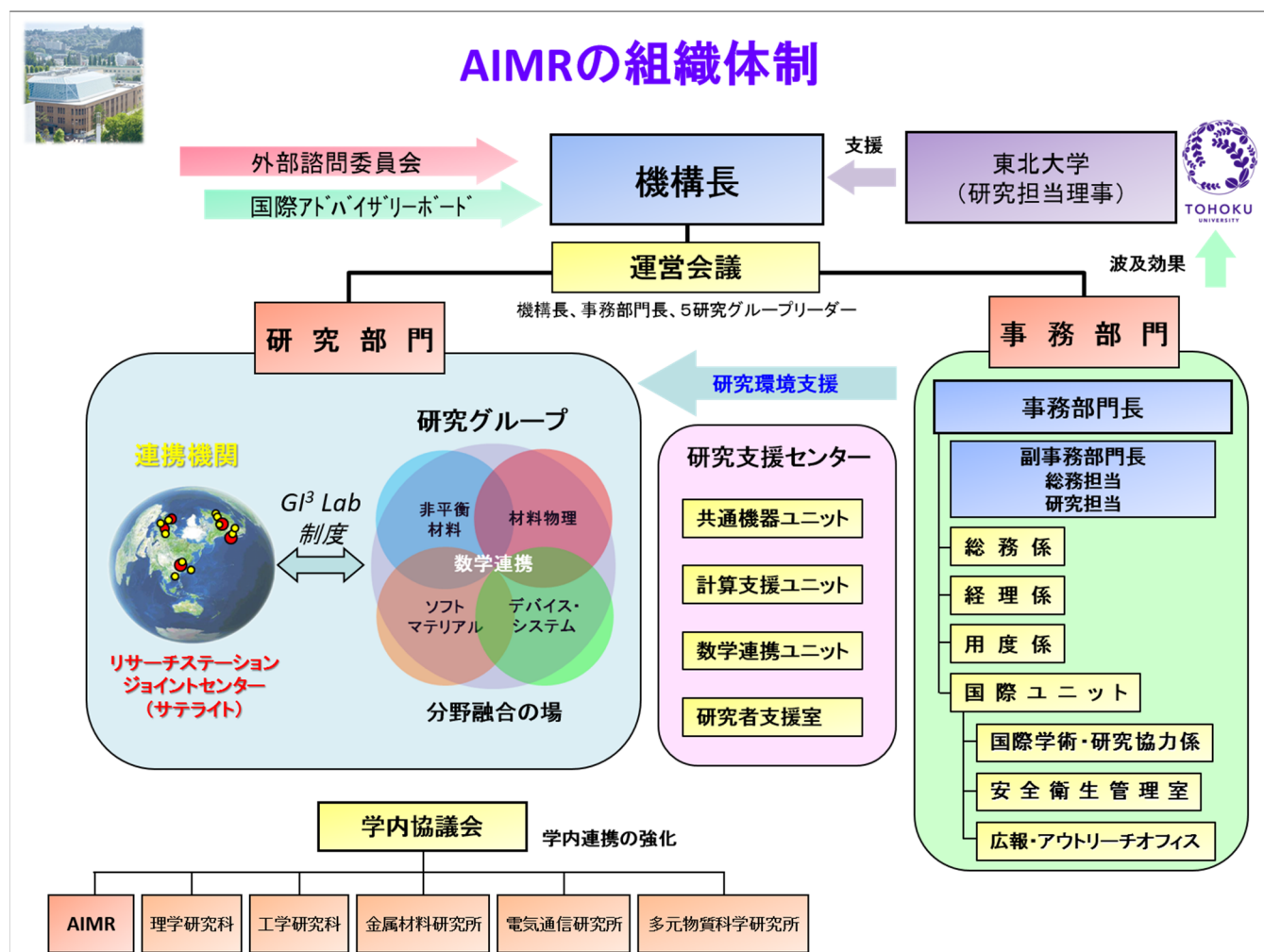
※申請時及び発足時からの人数の推移を棒グラフで表すこと。





## 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

## 添付資料1-3. 運営組織図



## 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

## 添付資料1-4. 拠点施設配置図



【片平キャンパス】



【青葉山キャンパス】

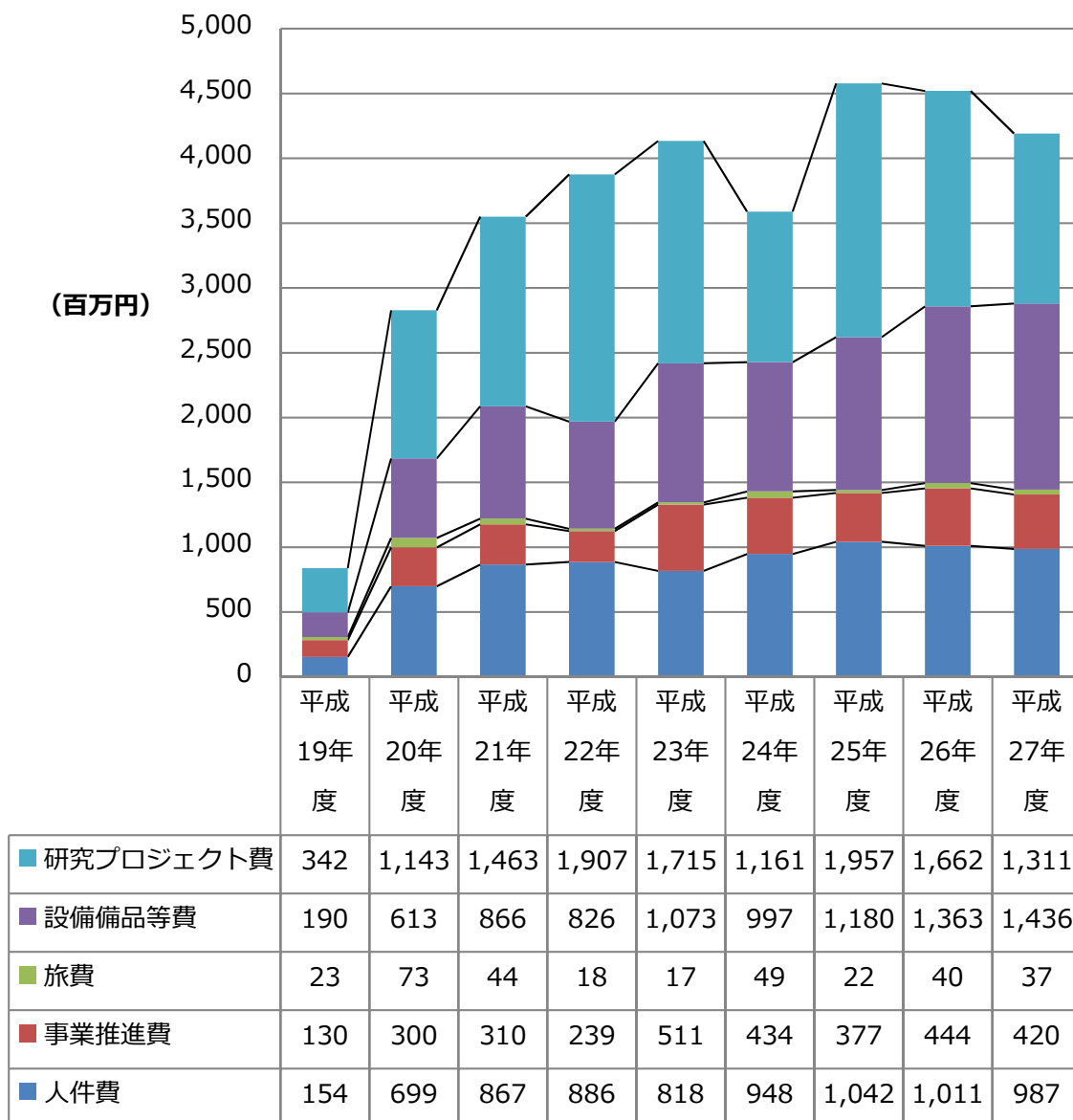


## 世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

## 添付資料1-5. 事業費の推移

※拠点活動全体の事業費額の推移を棒グラフで表すこと。

## 事業費の推移



## 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

## 添付資料1-6. 平成27年度事業費

## i) 拠点活動全体

(単位：百万円)

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・ 拠点長、事務部門長	24
	・ 主任研究者 17人	194
	・ その他研究者 95人	539
	・ 研究支援員 23人	41
	・ 事務職員 51人	189
	計	987
事業推進費	・ 招へい主任研究者等謝金 12人	13
	・ 人材派遣等経費 〇人	
	・ スタートアップ経費 33人	119
	・ サテライト運営経費 2ヶ所	27
	・ 国際シンポジウム経費 1回	37
	・ 施設等使用料	
	・ 消耗品費	51
	・ 光熱水料	67
	・ その他	106
		計
旅費	・ 国内旅費	4
	・ 外国旅費	20
	・ 招へい旅費 国内5人、外国14人	9
	・ 赴任旅費 国内6人、外国4人	4
		計
設備備品等費	・ 建物等に係る減価償却費	110
	・ 設備備品に係る減価償却費	1326
		計
研究プロジェクト費	・ 運営費交付金等による事業	
	・ 受託研究等による事業	988
	・ 科学研究費補助金等による事業	323
		計
合	計	4191

(単位：百万円)

平成27年度WPI補助金額	1,285
平成27年度設備備品調達額	990
・ 高分解能試料水平型X線回折装置	40
・ 粉末X線回折装置	32
・ インクジェットプリンティング試験装置	20
・ 2次元検出器搭載高出力型多目的X線回折装置	20
・ ナノカ学計測用原子間力顕微鏡	15
・ 一体型超短パルスシードレーザー	13
・ 太陽電池と有機EL向け測定プラットフォーム Paicos	13
・ マグネトロンスパッタ装置(QAM-4-S)改造業務	13
・ ロードロックチャンバー	13
・ 少量溶解ガスアトマイズ装置	12
・ その他	799

## ii) サテライト等関連分

(単位：百万円)

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・ 主任研究者 1人	/
	・ その他研究者 10人	
	・ 研究支援員 0人	
	・ 事務職員 0人	
	計	
事業推進費		40
旅費		9
設備備品等費		
研究プロジェクト費		
合	計	105

## 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

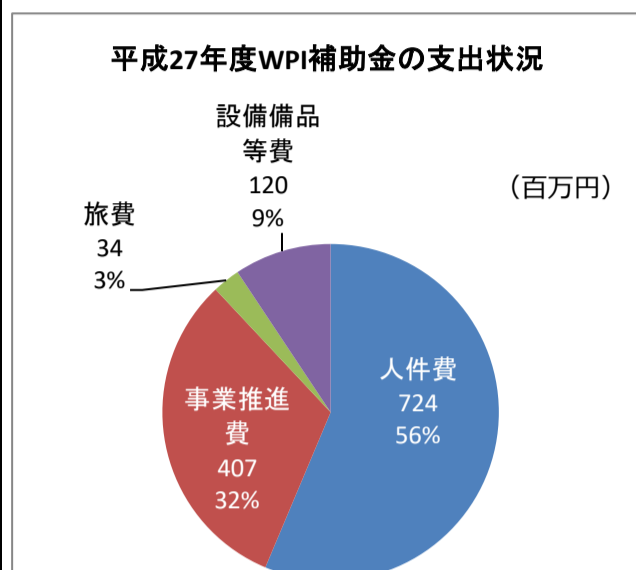
## 添付資料1-7. 平成27年度WPI補助金支出

## i) 総額

※Cost Itemsを色分けした円グラフを作成してください。

(単位：百万円)

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・拠点長、事務部門長	11
	・主任研究者 (17人)	60
	・その他研究者 (95人)	501
	・研究支援員 (14人)	30
	・事務職員 (41人)	122
	計	724
事業推進費	・招へい主任研究者等謝金(12人)	13
	・人材派遣等経費 (〇人)	
	・スタートアップ経費 (33人)	129
	・サテライト運営経費 (2ヶ所)	27
	・国際シンポジウム経費 (1回)	37
	・施設等使用料	
	・消耗品費	44
	・光熱水料	65
	・その他	92
	計	407
旅費	・国内旅費	3
	・外国旅費	18
	・招へい旅費 (国内：5人) (外国：14人)	9
	・赴任旅費 (国内：6人) (外国：4人)	4
		計
設備備品等費	・設備備品調達額	120
	計	120
合 計		1285



## ii) サテライト等関連分

(単位：百万円)

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・主任研究者 (1人)	
	・その他研究者 (10人)	
	・研究支援員 (〇人)	
	・事務職員 (〇人)	
	計	56
事業推進費		40
旅費		9
設備備品等費		
合 計		105

## 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

### 添付資料2-1. 代表的な研究成果を裏付ける論文一覧

- ※「2. 研究活動」の「2-1. 研究成果」で挙げた代表的な研究成果[1]～[20]を裏付ける論文を挙げ（全部で40編以内）、それぞれについてその意義を10行以内で解説すること。
- ※それぞれの論文は箇条書きとし、著者名・発行年・雑誌名・巻号・掲載ページ・タイトルを記載すること。（記載順番は様式中で統一してあればこの限りではない）なお、著者が複数ある場合には、拠点の研究者に下線を記すこと。
- ※著者が多数（10名以上）の場合は、全著者名を記載する必要はない。
- ※WPI拠点なくしては不可能であった研究論文にはアスタリスク（\*）を付すこと。

#### 【原子・分子を見て理解する】

##### \* 研究成果[1] 酸化物表面の原子の直接観察

- \*1. R. Shimizu, K. Iwaya, T. Ohsawa, S. Shiraki, T. Hasegawa, T. Hashizume and T. Hitosugi, Atomic-scale visualization of initial growth of homoepitaxial SrTiO<sub>3</sub> thin film on atomically ordered substrate. **ACS Nano** 5, 7967-7971 (2011).

**PLDによる薄膜成長とSTM観察**: 2つの異なる材料が接する界面は新たな物性を発現する可能性を持つ。2つの絶縁体、アルミン酸ランタンとチタン酸ストロンチウムを接合した界面が導電化するのはその代表例である。しかし、そのような界面で何が起きているのかを原子レベルで観測することは実現されていなかった。本研究では、パルスレーザー堆積装置 (PLD) を連結した高分解能の走査トンネル顕微鏡 (STM) を新たに開発し、ペロブスカイトの一種であるチタン酸ストロンチウムがホモエピタキシャル成長する過程を原子レベルで観察できるようにした。この実験により、本材料では幅広い酸素分圧条件下で理想的な表面を再現性高く作製することが可能であることがわかり、この実験技術が新しいヘテロ構造や多機能を発現する高品質薄膜の作製に応用できることを示した。

- \*2. K. Iwaya, T. Ogawa, T. Minato, K. Miyoshi, J. Takeuchi, A. Kuwabara, H. Moriwake, Y. Kim, T. Hitosugi, Impact of Lithium-Ion Ordering on Surface Electronic States of Li<sub>x</sub>CoO<sub>2</sub>. **Physical Review Letters** 111, 126104 (2013).

**電極表面の原子観察**: 軽くて小さいリチウム (Li) イオンは、二次電池における正極-負極間の電荷移動担体として理想的であり、リチウムイオン電池として広く利用されている。しかし、電極界面におけるリチウムイオンの移動過程など、原子レベルでの電池動作原理については、原子分解能をもつ観測が難しかったため、十分な理解には至っていない。本研究においてAIMRの研究者らは、走査トンネル顕微鏡 (STM) を用い、商用リチウムイオン電池の正極材料として使用されているコバルト酸リチウム (LiCoO<sub>2</sub>) の表面原子の直接観察に成功した。彼らはLiの含有量を制御したコバルト酸リチウムの単結晶を作製する技術を開発し、それを超高真空条件下で劈開することで原子分解能観察に適した平坦表面を準備可能とした。観測からLiイオンが秩序的な分布をする傾向が確認されたが、これは高性能のリチウムイオン電池開発のための指針となる結果である。

##### \* 研究成果[2] 結晶粒界近傍の原子配置の観察

- \*3. Z. Wang, M. Okude, M. Saito, S. Tsukimoto, A. Ohtomo, M. Tsukada, M. Kawasaki and Y. Ikuhara, Dimensionality-driven insulator-metal transition in A-site excess non-stoichiometric perovskites. **Nature**



**Communications 1, 106 (2010).**

**界面と導電性**：本研究においてAIMRの研究者は、絶縁体である酸化物を導電性にできる画期的な方法を示した。彼らは、ランタン、ストロンチウム、チタンからなる層状構造をもつ酸化物薄膜をパルスレーザー堆積 (PLD) 法による原子レベル制御技術を駆使して作製し導電性を調べたところ、堆積層数の増加により、チタン酸ストロンチウム ( $\text{SrTiO}_3$ ) が絶縁体から導電体へ転移するという事実を発見するに至った。更に彼らは、走査透過電子顕微鏡 (STEM) 観察と計算機シミュレーションを併用して、絶縁体層の数の影響を調べ、絶縁体層が増えるにつれて、酸化物薄膜を構成する結晶格子のゆがみや原子間結合のひずみが少なくなることを明らかにした。これは、ひずみからの解放によって酸化物内部に2次元伝導層が形成され導電性になることを意味している。この結果は、絶縁体から電子材料が生まれる新たな可能性を示唆するものである。

- \*4. Z. Wang, M. Saito, K.P. McKenna, L. Gu, S. Tsukimoto, A.L. Shluger and Y. Ikuhara, Atom-resolved imaging of ordered defect superstructures at individual grain boundaries. **Nature** 479, 380-383 (2011).

**粒界欠陥**：欠陥は材料の特性を左右する極めて重要な要素であり、特に多結晶材料においては粒界が材料の性質に大きく影響する。自己捕獲型の粒界欠陥はとりわけ重要な欠陥であり、その分布と役割を注意深く解析すべきである。しかしながら、そのような欠陥は密度が非常に小さく、これまで系統的に研究するのが難しかった。AIMRの研究者は2つの結晶を異なる方位で人工的に接合させた双結晶 (バイクリスタル) を用いてその欠陥を解析する新たな方法を開発した。彼らは透過型電子顕微鏡観察と電子エネルギー損失分光 (EELS) 測定を併用し、更に密度汎関数理論 (DFT) を用いた第一原理計算の結果を組み合わせることで、チタンやカルシウムなどの不純物が粒界に偏析することを発見した。この点欠陥に関する原子レベルの情報は量子レベルの構造-機能相関に新たな知見を与えるものである。

- \*5. Z.C. Wang, M. Saito, K. P. McKenna and Y. Ikuhara, Polymorphism of dislocation core structures at the atomic scale. **Nature Communications** 5, 3239 (January 2014).

**転位芯の原子構造**：セラミックスを構成する結晶は、金属結晶よりも複雑な結晶構造をもち、ひずみや欠陥などわずかな構造の変化によって電気伝導や熱伝導などの特性が著しく変化する。これは、視点を変えれば、「転位」のような微小な構造変化そのものが材料としての新奇な機能を発現する潜在的可能性を持っていることを意味する。AIMRの研究者は、結晶粒界面上に規則配列した転位に注目し、第一原理計算に基づくシミュレーションによって予測される転位構造と、2結晶を様々な角度で接合させたバイクリスタルの粒界に形成される転位 (超高分解能走査透過電子顕微鏡で観察) の完全な対比に成功した。これは新奇機能をもたらす転位構造を、理論的な予見に基づいて作製する技術につながる成果である。

\* 研究成果[3] **世界最高分解能スピンARPESによる電子状態の解明**  
**新奇材料に共通のバンド構造「ディラック・コーン」**

- \*6. K. Sugawara, T. Sato and T. Takahashi, Fermi-surface-dependent superconducting gap in  $\text{C}_6\text{Ca}$ . **Nature Physics** 5, 40-43 (2009).

**グラファイト化合物の超伝導**：グラファイト層間化合物の一種が超伝導になることは40年以上も前に見

いだされているが、最近発見されたC<sub>6</sub>Caは、従来のグラファイト層間化合物よりもはるかに高い11.5 Kまで超伝導を維持する点で特殊である。本研究においてAIMRの研究者らは、世界最高のエネルギー分解能をもつ角度分解光電子分光装置を用いてこの特殊なグラファイト化合物を解析し、超伝導の起源に関する重要な手がかりを得た。具体的には、理論予測通りギャップが開くことによる超伝導の兆候が観測されたが、このギャップは、層間のカルシウム原子の電子状態のみに見られ、グラファイトシートの面内電子状態には見られなかった。すなわち、カルシウム原子がグラファイト層に電子を「供与」し、そのカルシウムからの電子と炭素原子との強い結合によってC<sub>6</sub>Caの高い超伝導転移温度がもたらされている可能性が高く、層間原子の役割の重要性が示唆される結果となった。

- \*7. P. Richard, K. Nakayama, T. Sato, M. Neupane, Y.-M. Xu, J.H. Bowen, G.F. Chen, J.L. Luo, N.L. Wang, X. Dai, Z. Fang, H. Ding. and T. Takahashi, Observation of Dirac cone electronic dispersion in BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>. **Physical Review Letters** 104, 137001 (2010).

**鉄系超伝導体のディラック・コーン**: 2008年に日本の研究者によって発見された鉄系超伝導体BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>の電子状態を、AIMRの研究者が世界最高のエネルギー分解能をもつ角度分解光電子分光法で測定し、驚くべきことに、グラフェンやトポロジカル絶縁体と似た、電子が質量ゼロの粒子として振る舞うと考えられるディラック・コーン型のバンド構造をもっていることを発見した。もちろん、このディラック・コーンは完全にグラフェンのものと一致するわけではなく、グラフェンのコーンが運動量に対して対称なのに対し、BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>のコーンは非対称で小さなポケット状の形や節をもつ。こういった特殊な構造は今後の研究課題であるが、少なくとも、この発見が、なぜ磁性をもつ鉄系化合物が超伝導体になりうるかの謎を解く鍵になることは間違いない。

- \*8. T. Sato, K. Segawa, K. Kosaka, S. Souma, K. Nakayama, K. Eto, T. Minami, Y. Ando and T. Takahashi, Unexpected mass acquisition of Dirac fermions at the quantum phase transition of a topological insulator. **Nature Physics** 7, 840-844 (2011).

**電子質量がゼロでなくなったトポロジカル絶縁体**: トポロジカル絶縁体は次世代エレクトロニクスの最も有望な材料の一つである。トポロジカル絶縁体の最も特徴的な性質は表面の電子が質量ゼロの粒子（ディラック・フェルミ粒子）として振る舞うことである。しかしながら、本研究でAIMRの研究者らは、電子が質量をもつようなトポロジカル絶縁体の存在を見出した。彼らは自ら開発した世界最高の分解能をもつ角度分解光電子分光装置（ARPES）を用い、タリウム-ビスマス-セレン系のトポロジカル絶縁体を測定、更に、セレンを硫黄で置換した試料との比較を行った。硫黄の量が増え組成がタリウム-ビスマス-硫黄（非トポロジカル絶縁体）に近づくと、Xの形をしたエネルギー分散が徐々に崩れてギャップが開き、電子がもはや質量ゼロではなくなったことを示唆した。この発見はトポロジカル絶縁体を情報記憶媒体に応用できる可能性を示唆するものである。

- \*9. Y. Tanaka, Z. Ren, T. Sato, K. Nakayama, S. Souma, T. Takahashi, K. Segawa and Y. Ando, Experimental realization of a topological crystalline insulator in SnTe. **Nature Physics** 8, 800–803 (2012).

**時間反転対称性と結晶対称性の両者に由来するトポロジカル絶縁体**: トポロジー（位相幾何学）は、幾何学的に異なる物体間の性質の基本的関係を扱う概念である。近年、物性物理学の分野では、内部は絶縁体だが表面は導電性をもつ「トポロジカル絶縁体」と呼ばれる物質が注目を集めている。このユニークな物質のトポロジカルな性質は、電子状態の時間反転対称性に特徴づけられるが、本研究においてAIMRの研究者らは、高分解能角度分解光電子分光法を用いて、時間反転対称性だけでなく結晶対称性にも由

来する特性を持つ興味深いスズテルル(SnTe)結晶系トポロジカル絶縁体を発見した。この発見はトポロジカル絶縁体の新しい探索法への道を拓くものであり、革新的な電子デバイスの開発につながるものと期待される。

#### \* 研究成果[4] AFMによるポリマー材料の機械特性マッピング

- \*10. D. Wang, S. Fujinami, K. Nakajima and T. Nishi, True surface topography and nanomechanical measurements on block copolymers with atomic force microscopy. **Macromolecules** 43, 3169–3172 (2010).

ナノスケールの力学物性マッピング：ブロック共重合体の相分離現象に関して、原子間力顕微鏡(AFM)を用いて詳細な測定を行った。従来このような研究は、透過型の電子顕微鏡を用いるのが主流で、得られる知見は構造に関するものだけであり、電子線が試料に与えるダメージも大きな問題であった。またAFMを用いた初期の試みにおいても、探針が重合体を変形させてしまうなどの問題があった。本研究では、カンチレバーのたわみや試料スキャナの変位を補正する技術の開発により、構造に関するデータのみならず、マイクロな領域における付着性や剛性（ヤング率）のような機械特性も得られるようになった。この技術は、柔らかすぎるために従来のAFMではカンチレバーで壊してしまい測定が困難であった生体材料等のナノスケール物性マッピングにも応用できる。

#### \* 研究成果[5] 金属ガラスにおける原子構造の解明

- \*11. T. Fujita, K. Konno, W. Zhang, V. Kumar, M. Matsuura, A. Inoue, T. Sakurai and M.W. Chen, Atomic-scale heterogeneity of a multicomponent bulk metallic glass with excellent glass forming ability. **Physical Review Letters** 103, 075502 (2009).

原子スケールの不均一性が金属ガラスの高性能化につながる：バルク金属ガラス（BMG）を作製する技術については長年研究が続けられている。これまでの研究から、ある特定の金属を組み合わせると、結晶化が抑制され、BMGが形成されやすくなることが経験的に知られているが、なぜそれらが他の組み合わせよりもBMGを作りやすいかなど、その詳細は明らかになっていない。本研究では、銀ドープ銅-ジルコニウムBMG系の試料が高いガラス形成能をもっている要因を解明するため、原子配列構造をSPRING-8の広域X線吸収微細構造（EXAFS）分光法を用いて詳細に調べた。その結果、銀原子に沢山のジルコニウムが結合した殻状のクラスターと、全体的に銅を豊富に含むクラスターの2種類のクラスター構造があり、こうした原子スケールの不均一性がガラス形成能の向上に効果的であることが示唆された。

- \*12. A. Hirata, P. Guan, T. Fujita, Y. Hirotsu, A. Inoue, A. R. Yavari, T. Sakurai and M.W. Chen, Direct observation of local atomic order in a metallic glass. **Nature Materials** 10, 28-33 (2011).

BMGにおける原子の短距離秩序構造・クラスター発見：金属ガラスの原子モデルには様々なものがあるが、実験では比較的大きな体積に関する平均的な構造データしか得られないため、まだどのモデルも実験的には確認されていない状況であった。本研究でAIMRの研究者らは、走査透過電子顕微鏡(STEM)を用いてZr-Ni基BMGの観察を行い、ビーム径を絞った電子線によって原子クラスターからの

電子回折パターンを得ることに成功した。彼らは、電子光学系の球面収差を補正し、特別に設計した電子ビームコンデンサー絞りをを用いることにより、電子ビーム径を0.3ナノメートルまで絞り、これまで実証されたなかで最も細いコヒーレント電子ビームを得た。ビームが格段に細くなったことで、通常、単結晶からでしか得られないような、明瞭な回折スポットが得られた。これにより、「金属ガラスは大きいスケールで見ると無秩序だが、秩序のある原子クラスターが基本構造単位になっている」という予測が正しいことが確認された。

- \*13. A. Hirata, T. Fujita, Y.R. Wen, J.H. Schneibel, C.T. Liu and M.W. Chen, Atomic structure of nanoclusters in oxide-dispersion-strengthened steels. **Nature Materials** 10, 922-926 (2011).

**高強度スチール中のナノクラスター**：約0.1 nmの分解能をもつ球面収差補正走査透過電子顕微鏡（STEM）を用いた最新の顕微鏡技術により、酸化物分散強化型（ODS）鋼の中に直径4 nmメートル未満の酸化物ナノクラスターが存在することを突き止めた。これまでは、材料がもつ磁性のためにそのクラスターのイメージングは困難であったが、今回、試料の厚さを約5 nmまで薄くすることで磁性の影響を最小限に抑え、ナノクラスターの原子構造を明瞭に特定することができた。結果として、ナノクラスターは欠陥を多く含んだ岩塩（NaCl）型の結晶構造を持っていることがわかったが、その欠陥にもかかわらず、高温下でも極めて安定であることは驚くべきことである。これは、ODSが何故放射線や高温に対して大きな抵抗力をもつのか、その謎を解明する鍵となるであろう。

- \*14. S. V. Ketov, Y. H. Sun, S. Nachum, Z. Lu, A. Checchi, A. R. Beraldin, H. Y. Bai, W. H. Wang, D. V. Louzguine-Luzgin, M. A. Carpenter and A. L. Greer, Rejuvenation of metallic glasses by non-affine thermal strain. **Nature** 524, 200–203 (2015).

**熱処理による若返り**：金属ガラスは、従来型の合金のような結晶構造を持たず、液体に近い原子配列をもつ金属材料である。この構造が、金属ガラスに高い強度と靱性を与えているが、概して時間とともに脆くなり、亀裂が入りやすくなる性質も併せ持つ。本研究において、ケンブリッジのサテライトが率いるAIMRの国際チームは、室温と液体窒素温度（77ケルビン）の間で温度を上げ下げする熱サイクル法により、金属ガラスの脆性を容易に改善できることを発見した。そもそも、金属ガラスの構造に際立った特徴がないなら、熱サイクルにかけても何の影響も受けなければはずである。ところが、実際には、金属ガラスを比較的溫度差の小さい熱サイクルにかけるだけで、それよりも極端な処理にかけるのと同じくらい大きな影響を及ぼせる。溫度変化の影響を受けることから、金属ガラスは完全に均一ではなく、ナノスケールの構造に不均一性があると考えられる。

### 【原子・分子をあやつる】

#### \* 研究成果[6] 酸化物エレクトロニクス：超伝導と分数量子ホール効果

- \*15. K. Ueno, S. Nakamura, H. Shimotani, A. Ohtomo, N. Kimura, T. Nojima, H. Aoki, Y. Iwasa and M. Kawasaki, Electric-field-induced superconductivity in an insulator. **Nature Materials** 7, 855–858 (2008).

**電界効果ドーピングによる超伝導の発現**：チタン酸ストロンチウム（ $\text{SrTiO}_3$ ）は通常は電気を流さない絶縁体であるが、電解質溶液にゲート電圧を印加し試料表面に電気二重層を形成させる「電界効果ドーピング」によって $\text{SrTiO}_3$ の表面に多量の電子を注入、これによって超伝導状態が実現した。従来の研究

では、不純物のドーピング、すなわち化学的手法で電荷注入が行われていたが、本研究では、世界で初めて電界効果ドーピングによる超伝導転移を実現することができた。不純物を使わないクリーンな方法で超伝導が実現したことは、基礎と応用の両面で大きなインパクトをもたらした。

- \*16. A. Tsukazaki, S. Akasaka, K. Nakahara, Y. Ohno, H. Ohno, D. Maryenko, A. Ohtomo and M. Kawasaki, Observation of the fractional quantum Hall effect in an oxide. **Nature Materials** 9, 889–893 (2010).

**酸化物における分数量子ホール効果**：酸化亜鉛上に原子レベル制御によって酸化マグネシウム亜鉛薄膜を堆積し、酸化物材料では世界で初めて分数量子ホール効果を確認した。二次元電子が量子力学に従って自由に振る舞う量子輸送現象を実現するには、極めて薄く滑らかな界面が必要であるが、不純物や欠陥を含みやすい酸化物系において量子輸送現象を実現することは困難であった。本研究では、これまでに蓄積してきた酸化物の原子レベル制御技術を駆使して、最先端の半導体に匹敵するような高品質の酸化物界面（従来の6倍の電子移動度をもつ）を作製することにより、電子の散乱を抑えることに成功し、分数量子ホール効果の観測を実現するに至った。この結果は、将来、酸化亜鉛などの酸化物材料が量子計算に利用できる可能性を示唆している。

- \*17. A. Kumatani, T. Ohsawa, R. Shimizu, Y. Takagi, S. Shiraki, and T. Hitosugi, Growth processes of lithium titanate thin films deposited by using pulsed laser deposition. **Applied Physics Letters** 101, 123103 (2012).

**ストイキオメトリーの制御による透明超伝導体の作製**：超伝導や磁性といった興味深い物性を示す複合酸化物は、トランジスターや電池をはじめとするさまざまなデバイスに応用されている。こうした材料の高性能化を実現するためには、ストイキオメトリー（化学量論組成：化学式における元素の原子数比）の制御が必要不可欠である。AIMRの研究者は、スピネル型チタン酸リチウム薄膜の成長について研究を行い、ストイキオメトリーを精密に制御することにより、透明な超伝導薄膜の作製に成功した。彼らは最初リチウムイオン電池に使用されている  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  の実験に着手したが、パルスレーザー堆積（PLD）法で薄膜成長させる時の酸素分圧を低めに制御することによって  $\text{LiTi}_2\text{O}_4$  が得られることに気付いた。この物質の薄膜は70%にもおよぶ可視光透過率と、透明薄膜としては世界最高の13ケルビンという超伝導転移温度を示した。

#### \* 研究成果[7] スピントロニクス：スピンを制御する

- \*18. L. Chen, F. Matsukura, and H. Ohno, Direct-current voltages in (Ga,Mn)As structures induced by ferromagnetic resonance. **Nature Communications** 4, 2055 (2013).

**スピン流の定量的評価手法の確立**：通常のエレクトロニクスでは電子の電荷の流れ（電流）を用いるが、スピントロニクスでは電子の持つスピンの流れ（スピン流）を用いることができる。純粋なスピン流はスピン軌道相互作用によって電流に変換され、逆スピンホール効果によって測定可能な直流電圧を発生する。この電圧を測定することで変換前のスピン流を推定できるが、その値には強磁性共鳴が電流磁気効果を通して発生させる電流などスピン流以外の効果によって発生する電流・電圧も含まれており、これらを分離して評価する手法が必要となる。本研究においてAIMRの研究者は、(Ga,Mn)Asとp型GaAsの積層構造をモデル系として実験を行い、スピン流により発生している電圧とそれ以外の効果によって発生している電圧を区別することに成功した。今後のスピン流の基礎および応用研究への貢献が期待さ

れる。

- \*19. T. An, V. I. Vasyuchka, K. Uchida, A. V. Chumak, K. Yamaguchi, K. Harii, J. Ohe, M. B. Jungfleisch, Y. Kajiwara, H. Adachi, B. Hillebrands, S. Maekawa, and E. Saitoh, "Unidirectional spin-wave heat conveyor" **Nature Materials** 12, 549–553 (2013).

磁気の波を用いた熱エネルギー移動：デバイスに情報を入出力する方法として通常、電流やマイクロ波が用いられているが、多くのエネルギーが熱として浪費され、更にその発熱によりデバイスの動作が不安定となる問題があるため、効率的な排熱方法の開発が望まれている。今回、AIMR研究者とその共同研究者は、磁気波（スピン波）を利用することで、熱エネルギーを望みの方向に移動させることができる基本原理を考案し、フェリ磁性体である  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  を試料として用いてこれを実証した。彼らはスピン波の流れによって熱の流れを制御できることを示し、また、磁場を印加することによって熱の流れの方向も切り替え可能であることを示した。この発見は次世代省エネルギーデバイス技術の開発に貢献することが期待される。

- \*20. T. Arakane, T. Sato, S. Souma, K. Kosaka, K. Nakayama, M. Komatsu, T. Takahashi, Z. Ren, K. Segawa and Y. Ando, Tunable Dirac cone in the topological insulator  $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$ . **Nature Communications** 3, 636 (2012).

トポロジカル絶縁体の表面からバルクへの電流漏れ制御：理想的なトポロジカル絶縁体においては、表面は電流を通すが、バルクは一切の電流を通さない。しかし、実在のトポロジカル絶縁体のバルク部分には電流を流す欠陥があるため、実験で表面電流の挙動を調べようとしても、バルク電流のために不明瞭になってしまうという問題がある。AIMRの研究者らは、ビスマス(Bi)、アンチモン(Sb)、テルル(Te)、セレン(Se)からなるBSTSという材料を試料として、トポロジカル絶縁体の組成を操作することにより、バルクの伝導度を低く維持しながら、表面電流を電荷キャリアの正負も含め調節できることを示した。彼らは、この組成制御が表面電荷キャリアのエネルギー制御にも利用できることも、角度分解光電子分光法によって明らかにした。更にこの研究は、各種のエキゾチックな量子効果の観測につながると期待される。

#### \* 研究成果[8] 分子性超伝導体

- \*21. R.H. Zadik, Y. Takabayashi, G. Klupp, R.H. Colman, A.Y. Ganin, A. Potočník, P. Jeglič, D. Arčon, P. Matus, K. Kamarás, Y. Kasahara, Y. Iwasa, A.N. Fitch, Y. Ohishi, G. Garbarino, K. Kato, M.J. Rosseinsky and K. Prassides, Optimized unconventional superconductivity in a molecular Jahn–Teller metal. **Science Advances** 1, e1500059 (2015).

$T_c$ のドームと分子性ヤーンテラー金属：分子性超伝導体では分子が周期的に並んでいる。既知の分子性超伝導体の中で最高の超伝導転移温度を誇っているのは、フラーレン分子 ( $\text{C}_{60}$ ) とアルカリ金属原子の規則格子を持つ分子性超伝導体で、その温度は38ケルビンである。本研究においてAIMR研究者が牽引する国際研究グループは、そうした分子性超伝導体の一つであるセシウムドープフラーレン ( $\text{Cs}_3\text{C}_{60}$ ) を詳しく調べた。彼らは、セシウムドープフラーレンのセシウム原子の一部をより小さなルビジウム原子で置き換えることによって、周期構造中の隣り合うフラーレン分子間の距離を変えることができた。この置換は、静水圧を増大させるのに似た効果を生じる。彼らは、フラーレン化合物分子の密度に対す

る超伝導転移温度の変化がドーム状のカーブを描くことを見だし、また、金属の非局在性電子とフラーレン分子の局在性電子が共存する新しい金属相を発見、「ヤーン-テラー金属」と名付けた。

- \*22. S. Heguri, N. Kawade, T. Fujisawa, A. Yamaguchi, A. Sumiyama, K. Tanigaki and M. Kobayashi, Superconductivity in the graphite intercalation compound  $\text{BaC}_6$ . **Physical Review Letters** 114, 247201 (2015).

**層間化合物の超伝導**： $\text{BaC}_6$ は、二次元グラファイトシートの中に金属原子が挟まれた構造をとるグラファイト層間化合物（graphite intercalation compound；GIC）という材料グループに属している。そして、多くのGICが従来型超伝導体になると考えられているが、このGICファミリーの中でも特に重要な $\text{BaC}_6$ の超伝導に関しては、ずっとデータがない状態だった。本研究においてAIMRの研究者は、兵庫大学の共同研究者らとともに、この $\text{BaC}_6$ の超伝導を初めて観測した。GIC超伝導体の超伝導機構は、従来の電子対形成機構の枠の中で理解されてきたが、今回の結果は、超伝導機構を完全に説明するためには別の要因も考慮すべきであることを示唆している。この発見により、二次元超伝導の理解が深まることが期待される。

#### \* [9] 2つの表面間、固体/液体界面に働く力学特性

- \*23. F. Federici Canova, H. Matsubara, M. Mizukami, K. Kurihara and A. L. Shluger, Shear Dynamics of Nanoconfined Ionic Liquids. **Physical Chemistry Chemical Physics** 16, 8247-8256 (2014).

**界面のダイナミクスを観る**：イオン液体が固体表面と接触する際の、界面近傍の分子レベル構造とせん断力学の関係を分子動力学シミュレーションにより解析した。本件研究で扱った2種類のイオン液体は、カチオンは1-ブチル-3-メチルイミダゾリウム [BMIM] で同じであるが、アニオンが異なり、一方はビス(トリフルオロメタンスルホニル) [NTF2]、またもう一方はテトラフルオロホウ酸アニオン [BF4] からなっている。すなわち、[BMIM][NTF2] と [BMIM][BF4] の2つのイオン液体を用いた。これらのイオン液体をヒドロキシル化した2つのシリカ表面で挟み閉じ込めた構造を仮定してシミュレーションを行った。この分子動力学計算により、シリカと接する界面近傍でイオン液体のカチオンとアニオンの層状構造にどのように変化するか、そしてその構造が力学特性にどの程度影響を及ぼすかが明らかとなった。このシミュレーション結果は、閉じ込められたイオン液体の粘性変化を観測した実験結果を定量的に説明する。

#### \* 研究成果[10] 分子モーター

- \*24. A. Sikora, J. Ramoń-Azcoń, K. Kim, K. Reaves, H. Nakazawa, M. Umetsu, I. Kumagai, T. Adschiri, H. Shiku, T. Matsue, W. Hwang and W. Teizer, Molecular motor-powered shuttles along multi-walled carbon nanotube tracks. **Nano Letters** 14, 876-881 (2014).

**分子ベルトコンベアー**：近年、小型の化学反応器を用いて生体試料の分析を行うことが増えている。しかし、こうした分析デバイスはポンプや電源を接続する必要があるため、さらなる小型化には限界があり、モニタリング用として体内に直接埋め込むことができない。AIMRの研究チームは、天然のモータータンパク質であるキネシン-1を利用し、カーボンナノチューブでできたレールに沿って生体分子を輸

送することができる超小型システムを開発した。彼らはレールとして多層カーボンナノチューブ (MWCNT) を用い、電場を印加して誘電泳動により基板上にMWCNTを配列させた。続いて、MWCNTレールにビオチンリンカー付きキネシンを固定化した後、エネルギー源としてアデノシン三リン酸 (ATP) を与えたところ、MWCNTレールに沿って約150 nm/秒の平均速度で移動した。ウイルス、薬物、タンパク質、ナノ粒子などの体内輸送や、バイオセンシングへの応用が期待される。

- \*25. H. Isobe, K. Nakamura, S. Hitosugi, S. Sato, H. Tokoyama, H. Yamakado, K. Ohno and H. Kono, Theoretical studies on a carbonaceous molecular bearing: association thermodynamics and dualmode rolling dynamics. **Chemical Science** 6, 2746-2753 (2015).

**分子ベアリング**：ナノカーボン分子合成に取り組むAIMRの研究チームは、2013年に有限長カーボンナノチューブ分子を外枠とし、フラーレンを内側の回転子としたナノサイズの炭素分子ベアリングの合成に成功していたが、本研究では、密度汎関数理論 (DFT) を用いた最先端の理論計算により、その回転の動きについて詳細な検討がなされた。DFTの代表的な10種類の計算手法を検討し、その中の2つの計算法を用いることによって、このベアリングの独特な曲率をもった $\pi$ 界面における $-12.5 \text{ kcal mol}^{-1}$ のエンタルピーを再現できることがわかった。主にファンデルワールス力によって外輪と内球が結び付けられているこのベアリングは、回転運動に対するエネルギー障壁が最大でも $2\sim 3 \text{ kcal mol}^{-1}$ 程度と小さく、立体的な環境に敏感で、結果として「歳差運動」と「自転運動」の二種の異なる回転様式が生じる。この理論解析結果は、従来説明がつかなかったNMRの特異な観測結果もよく説明し、回転のメカニズムに明快な回答を与えたと考えられる。

### 【新しい材料を創製する】

#### \* 研究成果[11] 金属ガラスナノワイヤ

- \*26. K.S. Nakayama, Y. Yokoyama, T. Ono, M.W. Chen, K. Akiyama, T. Sakurai and A. Inoue, Controlled formation and mechanical characterization of metallic glassy nanowires. **Advanced Materials** 22, 872–875 (2010).

**粒界が無く理想的なナノワイヤ**：本論文は、金属ガラスナノワイヤ作製に対する潜在的な可能性と有益な応用可能性を示している。結晶質のナノ材料と異なり、金属ガラスには欠陥も結晶粒界も存在しない。金属ガラスはガラス転移点温度以上に加熱すると急激に粘性が低下して塑性変形状態になり、引き延ばすことで長いワイヤが作製可能となる。粒界が存在しないことが、この引き延ばしにとっても有利に働く。AIMRの研究者はこの性質を利用して直径40 nm以下のナノワイヤの作製に成功している。また、微小電気機械システム (MEMS) 研究室との共同研究により、金属ガラスナノワイヤの共振測定からヤング率の導出に成功し、ナノ共振器への応用可能性を見出している。

#### \* 研究成果[12] 有機・無機ハイブリッドナノ結晶

- \*27. J. Zhang, H. Kumagai, K. Yamamura, S. Ohara, S. Takami, A. Morikawa, H. Shinjoh, K. Kaneko, I. Adschiri and A. Suda, Extra-low-temperature oxygen storage capacity of CeO<sub>2</sub> nanocrystals with cubic facets. **Nano Letters** 11, 361–364 (2011).



**高効率触媒としてのナノキューブ**：一般に、自動車排気ガス用の触媒としては、 $\text{CeO}_2$ 等を用いた三元触媒が広く用いられている。その触媒活性には、結晶構造やサイズのみならず、露出する結晶面の制御が重要であることは知られていたが、触媒として活性な結晶面はそもそも不安定であるため、活性な面を露出させることは不可能と考えられてきた。本研究においてAIMRの研究者らは、有機物と無機物を結合できる超臨界水熱条件下で、触媒として最も活性が高いと考えられる(100)面を有機分子でキャッピングして成長を止め、立方体形状の  $\text{CeO}_2$  ナノキューブを作製することに成功した。得られたナノ粒子の酸素吸蔵能（OSC：触媒活性の指標）を評価したところ、 $150^\circ\text{C}$ という低温条件において、通常の  $\text{CeO}_2$  触媒では見られない大きなOSCが確認された。この結果は(100)面が露出した  $\text{CeO}_2$  ナノキューブの高い触媒活性を示唆する。

**\* 研究成果[13] ナノポーラス金属：高効率触媒とスーパー蓄電池への応用**

\*28. N. Asao, Y. Ishikawa, N. Hatakeyama, Menggenbateer, Y. Yamamoto, M. Chen, W. Zhang and A. Inoue, Nanostructured materials as catalysts: Nanoporous-gold-catalyzed oxidation of organosilanes with water. **Angewandte Chemie International Edition** 49, 10093–10095 (2010).

**高活性触媒としてのナノポーラス金属**：電気化学処理（脱合金化処理）のできるナノポーラス金属が高効率の触媒として機能することがわかってきた。本研究では、金と銀の合金の銀の部分を選択的に溶解して得られたナノポーラス金を用い、有機シラン化合物の酸化反応が室温で促進され、しかもその触媒効果が劣化せず、何回も再利用可能であることが明らかになった。これまで金ナノ微粒子を基板に担持させたものを触媒にすることはなされていたが、粒子の凝集のために寿命が短く、再利用できないという問題があったため、ナノポーラス金属触媒の今後の応用展開が期待される。

\*29. X. Lang, A. Hirata, T. Fujita and M.W. Chen, Nanoporous metal/oxide hybrid electrodes for electrochemical supercapacitors. **Nature Nanotechnology** 6, 232-236 (2011).

**大容量蓄電池としてのナノポーラス金属**：未来社会におけるエネルギー貯蔵技術として、電気2重層型のスーパーキャパシタの重要性が高まっていくであろう。AIMRでは、二酸化マンガン( $\text{MnO}_2$ )などの遷移金属化合物を用いたスーパーキャパシタの開発に取り組んでいるが、この素子では「擬似容量」と呼ばれる電子移動過程によって金属サイトに電荷が貯蔵される。しかし、この  $\text{MnO}_2$  は電気伝導度が低いため、充電と放電の速度に限界があることが問題となっている。AIMRの研究者は  $\text{MnO}_2$  を金の薄膜にコーティングすることでこの問題を解決した。最初に金-銀合金の銀のみを選択エッチングすることで無数のナノ孔が内部まで開いている金の膜を作製、そのナノ孔の中に気相反応で  $\text{MnO}_2$  のナノ結晶を直接成長させた。このようにして作製されたスーパーキャパシタは優れた電荷貯蔵容量を示し、そのエネルギー密度は他の  $\text{MnO}_2$  電極の素子に比して最大で20倍にもなった。

**\* 研究成果[14] 三次元ナノ多孔質グラフェン**

\*30. Y. Ito, Y. Tanabe, H.-J. Qiu, K. Sugawara, S. Heguri, Ngoc Han Tu, Khuong Kim Huynh, T. Fujita, T. Takahashi, K. Tanigaki, M.W. Chen, High-quality three-dimensional nanoporous graphene. **Angewandte Chemie International Edition** 53, 4822-4826 (2014).

**高結晶性3次元ナノ多孔質グラフェン**: シート状のグラフェンに複雑な3次元網目状構造を持たせることは非常に難しい。最近開発された「鋳型アシスト成長法」では、3次元構造のグラフェンを作り出すことができるが、表面が粗く不連続であるために、3次元構造の骨格に欠陥が入り電子移動度は低い。そこでAIMRの研究者は、滑らかで硬い表面を持つニッケルにナノスケールの細孔を導入した連続構造を持つ改良版の鋳型を開発した。水素、アルゴン、ベンゼンガスを用いた化学気相蒸着 (CVD) によって、ニッケル鋳型全体にグラフェンの均一膜を成長させることができ、最後に酸を用いてニッケル鋳型を除去した。このようにして得られた3次元ナノ多孔質グラフェンはその高い結晶性のために大きな電子移動度をもち、分子センサー、ガスセンサー、トランジスタ、リチウム-空気電池などのエネルギーハーベスティングデバイスに応用すれば、低コストで環境に優しいデバイスが開発できると期待される。

### \* 研究成果[15] 生体材料

- \*31. J. Ramón-Azcón, S. Ahadian, R. Obregón, G. Camci-Unal, S. Ostrovidov, V. Hosseini, H. Kaji, K. Ino, H. Shiku, A. Khademhosseini and T. Matsue, Gelatin methacrylate as a promising hydrogel for 3D microscale organization and proliferation of dielectrophoretically patterned cells. **Lab on a Chip** 12, 2959–2969 (2012).

**細胞を長生きさせる足場材料**: 天然の生体組織は高度に組織化された構造体であり、多くの場合、複数の種類の細胞がそれぞれの役割を果たすために最適な配列を組んでいる。けがや病気で生じた慢性的な損傷部への治療方法として、こうした生体組織の構造を模倣した人工組織の作製が試みられているが、決して容易ではない。AIMRの研究者らは、この問題を解決しうる生体適合性の高い足場材料を開発した。彼らは、材料として半天然ハイドロゲル材料「ゼラチンメタクリレート(GelMA)」を選択し、最初に、これが誘電泳動で細胞を望みの位置まで誘導するのに適した細胞培養用マトリックスとなることを確認した。続いて、細胞が望みの位置に来たときに、その足場であるGelMAにUV光を照射し、ハイドロゲル内の化学的架橋反応を誘起し高分子マトリックスを形成させ、細胞を任意の位置で捕捉することに成功した。重要な点は、架橋によるマトリックス形成後も、細胞はハイドロゲル内で長期的な生存能力を維持し、数日間に亘って増殖できたことである。

- \*32. T. Fujie, Y. Mori, S. Ito, M. Nishizawa, H. Bae, N. Nagai, H. Onami, T. Abe, A. Khademhosseini, and H Kaji, Micropatterned polymeric nanosheets for local delivery of an engineered epithelial monolayer. **Advanced Materials** 26, 1699-1705 (March 2014).

**超薄膜高分子ナノシート**: 生体組織工学は、人体への細胞・組織の移植を可能にする革新的な再生医療につながることを期待されている研究分野である。AIMRの研究者は、細胞の成長と特定部位への移植を容易にする、極めて薄い高分子の「ナノシート」を開発し、この分野に貢献している。実際にナノシートを作製するために、彼らは微小スタンプ表面にポリ乳酸グリコール酸共重合体という生分解性高分子を、ナノシートの操作性を高める磁性ナノ粒子とともに塗布した。次に、犠牲高分子層をあらかじめ塗布したガラス表面にこれを転写しナノシート層を形成、最後に、犠牲高分子層を水で溶かすことによって、このナノシート層を表面から剥がした。彼らはこのようにして「ナノシート」の作製に成功し、更に医療応用に向けたテストも行い、いくつかの良好な結果を得ている。

## 【新しいデバイス・システムを構築する】

## \*研究成果[16] エネルギー材料とデバイス

- \*33. W. Hu, M. Igarashi, M.-Y. Lee, Y.M. Li and S. Samukawa, Realistic quantum design of silicon quantum dot intermediate band solar cells. **Nanotechnology** 24, 265401(2013).

高効率太陽電池に向けた量子ドット：シリコンを使った太陽電池では変換効率の理論限界である Shockley–Queisser (S–Q) リミットが存在する。このS–Qリミットを破る有望な候補が量子ドット太陽電池である。高度に配列した量子ドットの超格子は価電子帯と伝導帯の間にミニバンドを生成させ、その中間的なバンドを介して、価電子帯から伝導帯への2光子遷移を誘起する。本研究では、トップダウン型のプロセスによって高度に周期配列したナノディスクの超格子を作製し、変換効率を実験と理論シミュレーションの両面から追究した。実験においてもシミュレーションにおいても、ミニバンドの形成が光学的にも電子的にも収率を高めることがわかった。更に、理論計算によって、最高で50.3%の効率を実現できる最適なナノディスクの超格子構造が存在することも明らかになった。

- \*34. T.J. Udovic, M. Matsuo, W.S. Tang, H. Wu, V. Stavila, A.V. Soloninin, R.V. Skoryunov, O.A. Babanova, A.V. Skripov, J.J. Rush, A. Unemoto, H. Takamura and S. Orimo, Exceptional superionic conductivity in disordered sodium decahydro-closo-decaborate. **Advanced Materials** 26, 7622–7626 (2014).

二次電池用電解質の固体化に向け：固体電解質は安全性の観点から二次電池用電解質として優れている。現時点で最高の性能を示す固体電解質はリチウム系固体電解質だが、リチウムは比較的希少な元素であるため、より豊富に存在する元素で代替材料を作るための研究が進められている。本研究において、AIMRの研究者は海外の共同研究者らとともに、リチウム系電解質のライバルとなりうる材料として、ナトリウムとホウ素を含有する錯体水素化物 $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{H}_{10}$ に着目し、ナトリウムイオン伝導率が $110^\circ\text{C}$ 付近になると突然約100倍に急増することを発見した（ナトリウム超イオン伝導）。この現象は、構造体中のかご状アニオン $\text{B}_{10}\text{H}_{10}$ の「再配向（回転）運動」が、何らかの形で、ナトリウムイオンの移動を促進した結果現れているものと推測される。将来的にはこのナトリウム超イオン伝導が始まる温度を室温付近まで低下させることにより、この材料を用いた全固体ナトリウム二次電池を構築できるものと期待される。

## \*研究成果[17] トンネル磁気抵抗効果（TMR）を用いたメモリデバイス

- \*35. S. Mizukami, F. Wu, A. Sakuma, J. Walowski, D. Watanabe, T. Kubota, X. Zhang, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando and T. Miyazaki, Long-lived ultrafast spin precession observed in manganese alloys films with a large perpendicular magnetic anisotropy. **Physical Review Letters** 106, 117201 (2011).

TMRとして最適なマンガンガリウム合金：磁性材料はコンピューターの記憶システムに用いられ、記憶密度の向上のため磁気ビットを更に小さくすることが要求されている。しかし、磁気ビットが小さくなると、記憶データの長期安定性が損なわれてしまう。AIMRの研究者らは、マンガンとガリウムの合金が強力な磁性体であるばかりでなく、低損失でスイッチング可能な性質を持つことを発見した。これは、高速・低電力消費の不揮発性磁気メモリを実現するための鍵となる特性である。本研究では、この材料

の磁気摩擦を超短レーザーパルスによって評価した。最初のレーザーパルスを照射してから一定時間後、第二のレーザーパルスを照射して、才差運動がどのくらい減衰したかを調べれば、磁気摩擦係数を計算することができ、この測定によって、マンガンガリウム合金の磁気摩擦が驚くほど低いことを見いだした。理論計算の結果、マンガンガリウム合金の磁気摩擦が低いのは、この材料で最も高いエネルギーをもつ電子状態における電子密度が非常に小さいためであることが明らかになった。

- \*36. X. Zhang, S. Mizukami, T. Kubota, Q. Ma, M. Oogane, H. Naganuma, Y. Ando, and T. Miyazaki, Observation of a large spin-dependent transport length in organic spin valves at room temperature. **Nature Communications** 4, 1392 (2013).

有機スピントロニクス：従来のスピントロニクス研究では、純度が高く、デバイスへの組み込みが容易で、組成を精密に制御できる無機固体材料に重点が置かれてきた。しかし、有機化合物は軽い元素（主に炭素）からできているため、スピン軌道相互作用は非常に小さいく、このことは、電子スピンの長時間にわたって保存され、原理上は電子がスピンを反転させずに長距離移動できることを意味している。本研究においてAIMRの研究者は、電子がスピンを保存したまま室温で長距離移動できる有機材料系デバイスを実現させた。彼らは、様々な厚さのC<sub>60</sub>膜を用いてスピンバルブデバイスを作製し、室温での磁気抵抗の測定から、最大で110 nmという移動距離を観測した。この結果はスピントロニクスに新たな展望をもたらすものである。

#### \* 研究成果[18] バイオミメティクス：階層構造と機能

- \*37. D. Ishii, H. Yabu, and M. Shimomura, Novel biomimetic surface based on a self-organized metal-polymer hybrid structure. **Chemistry of Materials** 21, 1799-1801 (2009).

天然のシステムの構造と機能を真似る：AIMRの研究者は、バラの花びらのように水滴をはじき、かつ吸着できる金属-ポリマーハイブリッド構造からなる新しいバイオミメティック(生体模倣)表面を自己組織化を用いて作製することに成功した。彼らは、ガラス基板上にポリスチレンが主成分のクロロホルム溶液を塗布し、高湿度雰囲気下でその表面に水滴を結露させ、クロロホルムと水滴を蒸発させることで規則配列した微細空孔をもつハニカム膜を形成、このハニカム膜の空孔内部に無電解めっきによりニッケルを析出させた。最後に、めっきされたハニカム膜の最表面層を剥離し、配列したポリマーの針とマイクロメートルサイズの金属ドームが共存しているハイブリッド構造を得た。この構造では、親水性ドメインと疎水性ドメインが共存し、表面に乗せた水滴がはじかれると同時に吸着される。

#### \* 研究成果[19] バイオイメーjing・バイオセンシングデバイス

- \*38. Y. Takahashi, A. I. Shevchuk, P. Novak, B. Babakinejad, J. Macpherson, P. R. Unwin, H. Shiku, J. Gorelik, D. Klenerman, Y. E. Korchev and T. Matsue, Topographical and electrochemical nanoscale imaging of living cells using voltage-switching mode scanning electrochemical microscopy. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA** 109, 11540-11545 (2012).

生きた細胞の化学マッピング：細胞が放出・消費する神経伝達物質や活性酸素系分子などの短寿命の電気活性種は、細胞代謝において中心的な役割を果たしているが、細胞表面や界面でそのような活性種を

検出することは、依然として困難である。AIMR研究者らは、電圧切り替えモード走査型電気化学顕微鏡法(VSM-SECM)という非侵襲的な高解像度イメージング法を開発し、生きている細胞の高解像度の形状像と電気化学像を同時に得ることに成功した。生きた細胞に損傷を与えないようにするため、彼らは、電極の位置制御に電気活性種の電気化学反応によって生じるファラデー電流を利用することで、電極が基板表面に触れないようにした。さらに、ガラスで絶縁したナノメートルサイズの炭素電極を作製して、高解像度イメージングを可能にした。次の目標は神経伝達物質放出に伴うニューロンの形状変化のモニタリングである。

- \*39. K. Ino, T. Nishijo, T. Arai, Y. Kanno, Y. Takahashi, H. Shiku, and T. Matsue, Local redox-cycling-based electrochemical chip device with deep microwells for evaluation of embryoid bodies. **Angewandte Chemie International Edition** 51, 6648–6652 (2012).

幹細胞をモニタする集積型電気化学デバイス：胚性幹細胞（ES細胞）は、さまざまな細胞に分化することができる有用な細胞である。今回AIMRの研究者らは、このような幹細胞から形成させた胚様体の活性と分化をモニタリングする集積化電気化学デバイスを開発した。16×16=256個の電気化学センサーを、深いマイクロウェルの底部に仕込んだわずかに16+16=32個の外部接続用のコネクタパッドに接続して検出する構造とし、空間分解能の高い測定が可能となった。この電気化学センサー密度は電気化学チップデバイスとしては世界最高である。また彼らは、胚様体の細胞活性を「レドックスサイクリング」と呼ばれる電気化学的手法に基づいて電流信号を検知し定量化できるようにした。これを用いて彼らは胚性幹細胞の分化に伴う信号を検出することに成功し、このデバイスが、胚様体の分化レベルのスクリーニングに使用できることを示した。

#### \* 研究成果[20] 微小電気機械システム(MEMS)

- \*40. J.-W. Lee, Y.-C. Lin, N. Kaushik, P. Sharma, A. Makino, A. Inoue, M. Esashi and T. Gessner, Micromirror with large-tilting angle using Fe-based metallic glass. **Optics Letters**, 36, 3464-3466 (2011). (本論文は添付様式3の融合研究成果と重複)

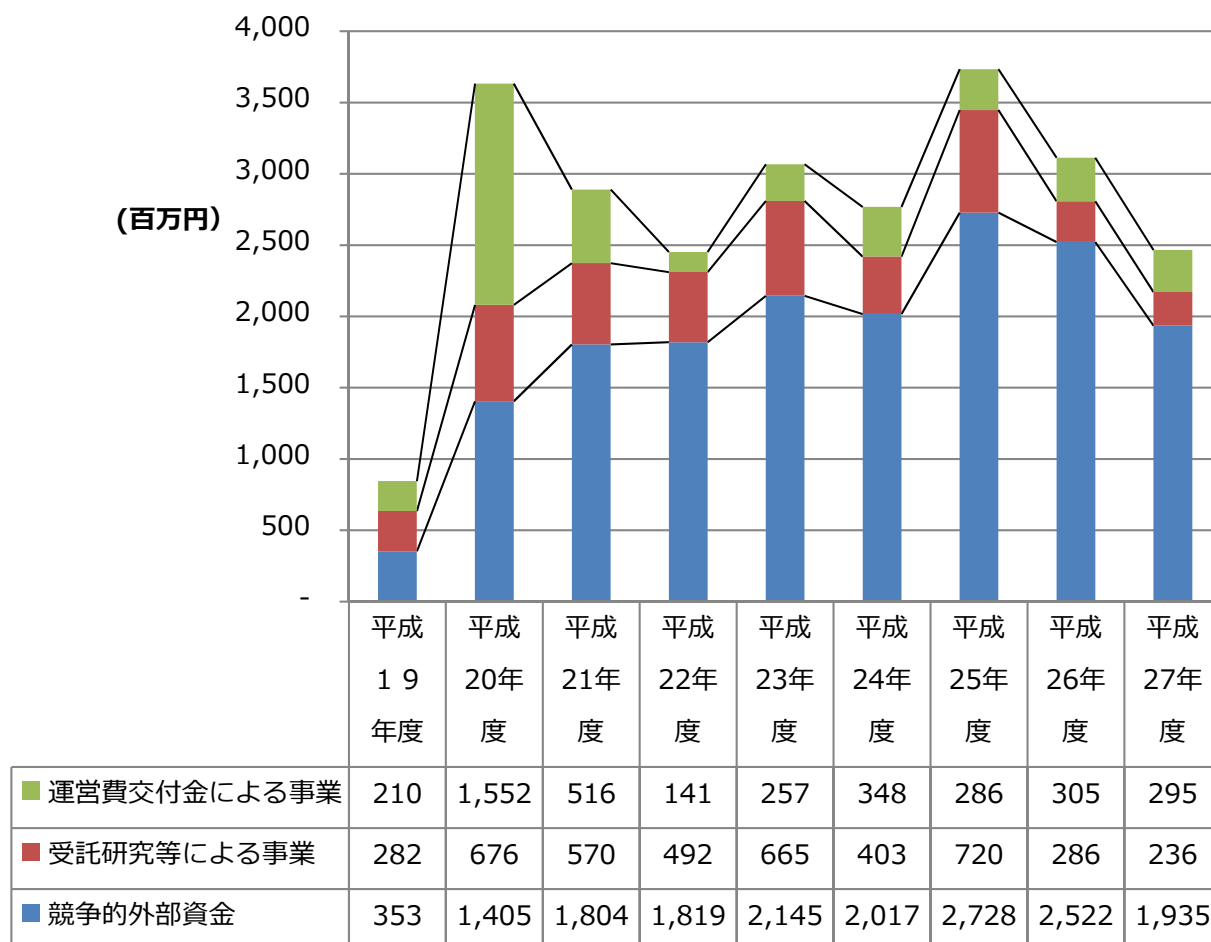
MEMSに適したBMG: 微小機械の革新においては、これまで伝統的にシリコンが材料として選ばれてきた。しかしながら、シリコンは脆弱で壊れやすく、応用の範囲にも限界がある。AIMRの微小電気機械システム(MEMS)とバルク金属ガラス(BMG)の融合研究チームは、シリコンの代わりに頑強でかつ粘りのあるBMGを用い、改良マイクロミラーを開発することに成功した。円形ミラーはミラーの回転軸となる2本のねじれ棒で支えられる構造になっている。これら2本のねじれ棒と円形ミラーの表面がBMGで作られている。BMGの優れた機械特性により、ミラーは、静的には最大で270°まで回転(ねじれ)させることができ、1秒間あたり300回以上回転する動的条件下でも最大70°までねじることが可能である。このようなBMGをMEMSに応用するというアイデアが出たのも、AIMRにおける強力な融合研究推進の賜物である。

## 世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

## 添付資料2-2. 研究プロジェクト費獲得実績の推移

※研究プロジェクト費獲得実績の推移を棒グラフで表示すること。また特筆すべき研究資金について記載すること。

## 研究プロジェクト費獲得実績の推移



## 【特筆すべき研究資金】

## 【最先端研究開発支援プログラム（FIRST）】

代表研究者：江刺 正喜 教授  
 研究費累計（H20-H25）：1,557百万円  
 代表研究者：大野 英男 教授  
 研究費累計（H20-H25）：428百万円

## 【先端融合領域イノベーション創出拠点形成プログラム】

代表研究者：江刺 正喜 教授  
 研究費累計（H19-H25）：2,959百万円

## 【戦略的創造研究推進事業（ERATO）】

代表研究者：磯部 寛之 教授  
 研究費累計（H25-）：850百万円  
 代表研究者：齊藤 英治 教授

研究費累計（H25-）：433百万円

【文部科学省度大学発グリーンイノベーション創出事業：「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス」(GRENE)事業 先進環境材料分野（環境技術等研究開発推進事業費補助金）】

代表研究者：栗原 和枝 教授

研究費累計（H23-H25）：522百万円

【戦略的創造研究推進事業（CREST）】

代表研究者：栗原 和枝 教授

研究費累計（H21-H25）：293百万円

代表研究者：下村 政嗣 教授

研究費累計（H21-H25）：172百万円

代表研究者：陳 明偉 教授

研究費累計（H23-H25）：238百万円

代表研究者：小谷 元子 教授

研究費累計（H23-H25）：120百万円

代表研究者：齊藤 英治 教授

研究費累計（H24-H26）：51百万円

【科学研究費補助金 基盤研究S】

代表研究者：江刺 正喜 教授

研究費累計（H19-H23）：110百万円

代表研究者：阿尻 雅文 教授

研究費累計（H21-H23）：131百万円

代表研究者：高橋 隆 教授

研究費累計（H23-H25）：180百万円

代表研究者：山口 雅彦 教授

研究費累計（H21-H23）：127百万円

代表研究者：折茂 慎一 教授

研究費累計（H25-）：125百万円

【NEDO 超ハイブリッド材料技術開発（ナノレベル構造制御による相反機能材料技術開発）】

代表研究者：阿尻 雅文 教授

研究費累計（H22-H23）：273百万円

【戦略的創造研究推進事業（ALCA）】

代表研究者：末永 智一 教授

研究費累計（H25-）：20百万円

代表研究者：宇根本 篤 講師

研究費累計（H25-）：29百万円

【研究成果展開事業（先端計測分析技術・機器開発プログラム）】

代表研究者：末永 智一 教授

研究費累計（H24-）：114百万円

【研究成果展開事業（A-Step）】

代表研究者：中山 幸仁 准教授

研究費累計（H25-26）：19百万円

【戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）】

研究担当者：栗原 和枝 教授

研究費累計（H26-）：50百万円

研究代表者：阿尻 雅文 教授

研究費累計（H26-）：107百万円

研究代表者：西浦 廉政 教授

研究費累計（H26-）：37百万円

【エネルギー・環境新技術先導プログラム】

研究代表者：阿尻 雅文 教授

研究費累計（H26-H27）：54百万円



## 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

### 添付資料2-3. 主な受賞・招待講演・基調講演等一覧(2ページ以内)

#### 1. 主要な賞の受賞

※既に受賞したあるいは内定している国際的に認知されている賞について新しいものから順に記載すること  
 ※それぞれの受賞について、賞の名前、受賞年、受賞者名を記すこと。なお、共同受賞の場合には、拠点関係者に下線を記すこと

- 1) 幾原雄一, アメリカセラミックス協会・基礎科学部門 2015 Robert B. Sosman Award, 平成27年.
- 2) 折茂慎一, Science of Hydrogen & Energy Award 2015, 平成27年.
- 3) 江刺正喜, アメリカ電気電子学会 IEEE Andrew S. Grove Award 2015, 平成27年.
- 4) **Mingwei Chen**, Materials Today Conference Award, 平成26年.
- 5) **Mingwei Chen**, 高橋 隆, **Ali Khademhosseini**, トムソン・ロイター社 Highly Cited Researchers 2014 に選出, 平成26年.
- 6) 高橋 隆, 第11回 本多フロンティア賞, 平成26年.
- 7) **Kosmas Prassides**, 英国王立協会 Wolfson Research Merit Award, 平成26年.
- 8) **Ali Khademhosseini**, アメリカ科学振興協会フェローに選出, 平成25年.
- 9) **Alexander Shluger**, 2013 Daiwa Adrian Prizes, 平成25年.
- 10) 一杉太郎, Gottfried Wagener Prize 2013, 3rd prize, 平成25年.
- 11) 栗原和枝, 世界純正・応用化学連合(IUPAC) 2013 Distinguished Women in Chemistry or Chemical Engineering に選出, 平成25年.
- 12) 大野英男, アメリカ物理学会フェローに選出, 平成24年.
- 13) 大野英男, アメリカ電気電子学会 IEEE David Sarnoff Award, 平成24年.
- 14) 幾原雄一, アメリカセラミックス協会フェローに選出, 平成23年.
- 15) **Ali Khademhosseini**, 大統領若手科学工学者賞(PECASE), 平成23年.
- 16) **Alain Reza Yavari**, フランス国立科学研究センター(CNRS) Award for Scientific Excellence, 平成23年.
- 17) 板谷謹悟, 国際電気化学会 The Prix Jacques Tacussel Award 2011, 平成23年.
- 18) 幾原雄一, フンボルト賞, 平成23年.
- 19) 栗原和枝, 王立オーストラリア化学研究所 A. E. Alexander Lecture Award 2011, 平成23年.
- 20) 山本嘉則, 英国王立化学会 Centenary Prize 2009, 平成21年.
- 21) 西 敏夫, 国際ゴム技術会議機構 (IRCO) Medal, 平成21年.
- 22) 井上明久, アメリカ物理学会 James C. McGroddy Prize for New Materials, 平成21年.
- 23) 宮崎照宣, アメリカ物理学会 Oliver E. Buckley Condensed Matter Prize, 平成21年.
- 24) 宮崎照宣, 朝日賞, 平成20年.
- 25) 山本嘉則, アメリカ化学会 Arthur C. Cope Scholar Award, 平成19年.

#### 2. 国際会議・国際研究集会での招待講演・基調講演等

※主要なもの20件以内について新しいものから順に記載すること  
 ※それぞれの講演等について、講演者名、発表タイトル、国際会議等名、開催年を記載すること

- 1) 齊藤英治, "Spin current generators", 第20回磁気国際会議 (ICM 2015), スペイン・バルセロナ, 平成27年7月8日 (基調講演)
- 2) 末永智一, "Electrochemical Imaging with Micro/Nanoelectrode Systems", 第66回国際電気化学会年会, 台湾・台北, 平成27年10月5日 (基調講演)
- 3) **Kosmas Prassides**, "Strongly correlated molecular superconductors", 11th International Conference on Materials & Mechanisms of Superconductivity (M2S HTSC 2015), スイス・ジュネーヴ, 2015年8月23~28日(基調講演)
- 4) 折茂慎一, "Cool hydrides, again!", 第9回 水素・エネルギー 国際シンポジウム, スイス・エメッテン, 平成27年1月25日~30日 (Science of Hydrogen & Energy Award 2015 受賞記念招待講演)
- 5) 寒川誠二, "Neutral Beam Technology – Defect-free Nanofabrication of Novel Nanomaterials", 第14

- 回IEEEナノテクノロジー国際会議, カナダ・トロント, 平成26年8月21日 (基調講演)
- 6) **Mingwei Chen**, "Ultrastable metallic glasses", 準安定・非晶質・ナノ構造材料国際シンポジウム (ISMANAM) 2014, メキシコ・カンクン, 平成26年6月29日~7月4日 (基調講演)
  - 7) **阿尻雅文**, "Supercritical Route for Materials Synthesis", 第14回欧州超臨界流体会議, フランス・マルセイユ, 2014年5月21日 (基調講演)
  - 8) **西浦廉政**, "Topological approach in materials science", 2014 NIMS Hot Topics Workshop "British Council Researchers Links Workshop on Soft Matter : Analysis, Applications and Challenges", National Institute for Mathematical Sciences, 韓国・大田広域市, 平成26年3月21日 (基調講演)
  - 9) **小谷元子**, "Discrete Geometric Analysis applied to structural understanding of Materials", US-Japan Crossing Boundaries with Informatics - from Basic Science to Social Infrastructure, 米国・ワシントンD.C., 平成25年7月7-8日 (キーノート講演)
  - 10) **谷垣勝己**, "Institute on Basic Science Symposium on Nano Materials, Fundamental aspects and applications of devices based on carbon materials", Institute of Basic Science, 韓国・ソウル, 平成25年6月30日~7月4日 (基調講演)
  - 11) **高橋 隆**, "Spin-resolved ARPES study of topological insulators and superconductors", 10th International conference on Spectroscopies in Novel Superconductors, 米国・バークレー, 平成25年6月24-28日 (招待講演)
  - 12) **大野英男**, "Bridging Semiconductor and Magnetism", 31st International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS 2012), スイス・チューリッヒ, 平成24年7月29日~8月3日 (基調講演)
  - 13) **Thomas P. Russell**, "Big Things Come in Small Packages", **Fred Kavli Distinguished Lectureship in Nanoscience** at the 2012 MRS Spring Meeting, 米国・サンフランシスコ, 平成24年4月9日
  - 14) **幾原雄一**, "HAADF and ABF STEM Characterization of Ceramic Interfaces", TEM Workshop Electron Microscopy, Exploring Materials on the Atomic Scale, ドイツ・ダルムシュタット工科大学, 平成23年10月10日 (基調講演)
  - 15) **Dmitry V. Louzguine-Luzgin**, "Changes in Atomic Structure of Supercooled Pd-Ni-Cu-P Glassforming Liquid during in-situ Vitrification on Cooling Established by Synchrotronradiation X-ray Diffraction", Euromat 2011, フランス・モンペリエ, 平成23年9月12~15日 (キーノート講演)
  - 16) **栗原和枝**, "Surface Forces Measurement for Nano-Materials Science" **as the A. E. Alexander Lecture**, Australian Colloid and Interface Symposium (ACIS) 2011, オーストラリア・ホバート, 平成23年1月30日~2月3日
  - 17) **塚田 捷**, "Theoretical Approaches for the Analyses of Scanning Probe Microscopy", 7th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '09 (ALC '09), 米国・ハワイ・マウイ島, 平成21年12月6~11日 (チュートリアル講演)
  - 18) **山本嘉則**, "From sigma to pi Electrophilic Lewis Acids. Application to Selective Organic Transformations", **RSC Centenary Prizes Lectures** at Univ. York (October 12), at Univ. Belfast (October 14), and at 英国・ダルム大, 平成21年10月16日
  - 19) **江刺正喜**, "MEMS for Test and Instrumentation", 9th International Conference on Electronic Measurement and Instruments (ICEMI 2009), 中国・北京, 平成21年8月16日 (基調講演)

## 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

## 添付資料2-4. アウトリーチ活動一覧

※以下の表を用いて、平成19～27年度のアウトリーチに関する活動実績（件数、回数）を整理すること。

種 別	H19年度実績 (件数、回数)	H20年度実績 (件数、回数)	H21年度実績 (件数、回数)
広報誌・パンフレット	0	0	1
一般向け講演会・セミナー	38	30	33
小・中・高向けの授業・実験・実習	1	1	1
サイエンスカフェ	0	0	1
一般公開	1	1	1
イベント参加・出展	3	3	4
プレスリリース	1	3	3

種 別	H22年度実績 (件数、回数)	H23年度実績 (件数、回数)	H24年度実績 (件数、回数)
広報誌・パンフレット	3	13	5
一般向け講演会・セミナー	28	22	4
小・中・高向けの授業・実験・実習	0	5	7
サイエンスカフェ	0	0	3
一般公開	1	5	2
イベント参加・出展	3	13	6
プレスリリース	10	28	26

種 別	H25年度実績 (件数、回数)	H26年度実績 (件数、回数)	H27年度実績 (件数、回数)
広報誌・パンフレット	7	19	4
一般向け講演会・セミナー	7	30	27
小・中・高向けの授業・実験・実習	17	11	9
サイエンスカフェ	3	3	3
一般公開	2	1	1
イベント参加・出展	13	12	7
プレスリリース	26	25	32

## 平成19～平成27年度の主な研究成果等に係るメディア報道一覧(2ページ以内)

※プレスリリース・取材などの結果、平成19～27年度に報道された記事（特に海外メディア）等について主なものを精選すること

### 1) 国内

番号	日時	媒体名 (新聞、雑誌、テレビ等)	内容概略
1	2016/2/8 -3/8	日経産業新聞、科学新聞、日本経済新聞	グラフェンの超電導化に成功（高橋）
2	2015/11/13 - 18	日刊工業新聞、日経産業新聞、化学工業日報	150℃環境に耐えうる全固体リチウムイオン二次電池を開発（折茂）
3	2015/11/5 - 6	【Web】マイナビニュース、Exiteニュース、BIGLOBEニュース、J-Net21、optronics online	短い行程で高い発行効率を実現する有機ELが出来上がる分子材料を開発（磯部）
4	2015/9/11	日経産業新聞、化学工業日報	大容量リチウム空気電池を開発（陳・伊藤）
5	2015/6/14 2015/4/9 -15	【TV】TBS『未来の起源』 日刊工業新聞、日経産業新聞	チタン酸ナノワイヤを開発（浅尾・中山）
6	2015/2/18	河北新報	東北大学サイエンスカフェ「人類存亡の危機を数学が救えるか？」講演に関する記事（西浦）
7	2014/12/12	科学新聞	鉄系高温超伝導体のモデル物質「鉄セレン」が異常な秩序状態を形成することを発見。（高橋・谷垣）
8	2014/12/8	日経産業新聞	超臨界水により、廃液から合成樹脂原料を作る技術を開発（阿尻）
9	2014/12/2	日経産業新聞	髪の毛の1/100ほどの太さの金属ナノワイヤを用いて微小な磁気の検出に成功。心臓や脳の病気の診断に応用可能。（ルズギン・中山）
10	2014/10/7 - 8	日経産業新聞	【日本のイノベーター】小谷元子 上・下
11	2014/9/18	日本経済新聞	「東北大、金属技術を中小に」摩擦低減やレアメタル再利用（栗原）
12	2014/6/10	【WEB】 日刊工業新聞Business Line 朝日新聞デジタル	東北大と東京エレクトロン、MRAM素子の高精度加工エッチング技術を開発（寒川）
13	2013/12/14	NHK（ニュース）	最先端研究 科学者の講演会（WPI合同シンポジウム）
14	2013/10/31	読売新聞、日刊工業新聞	研究支援COIストリーム 東北大など12拠点選出（末永）
15	2013/7/1	NHK（クローズアップ現代）	生物に学ぶイノベーション（下村）
16	2013/4/16	毎日新聞、朝日新聞、静岡新聞社、時事通信、日刊工業新聞、日本経済新聞、日経産業新聞、NHK、日本テレビ（静岡第一テレビ）	生きた状態での生物の高解像度電子顕微鏡観察に成功（下村）
17	2012/9/21 - 24	日経産業新聞、日刊工業新聞	透明超伝導体の転移温度で、世界記録を更新（一杉）
18	2012/6/18	朝日新聞	NECと東北大、身近な熱源から発電できる新原理の素子を開発（齊藤）
19	2012/6/11 - 12	日刊工業新聞、河北新報 読売新聞	電子の電荷とスピンを利用した待機電力ゼロの低電力システムLSI 高速高集積化・高信頼性化技術の開発・実証（大野）
20	2010/11/4 - 5	日本経済新聞、東京新聞、朝日新聞、中日新聞、日刊工業新聞、化学工業日報、朝日小学生新聞	最先端顕微鏡を用いて、世界で初めて水素の撮影に成功。（幾原）
21	2010/7/29	日刊工業新聞、読売新聞	フンボルト賞を受賞。受賞研究は「材料界面の超微細構造と物性に関する研究」。（幾原）
22	2009/9/11	朝日新聞	「平均90億円 最先端研究支援に30人選定」。（江刺）

## 2) 海外

番号	日時	媒体名 (新聞、雑誌、テレビ等)	内容概略
1	2016/2/18 - 2016/2/23	【Website】 Build your business from our World Class Technology, HORIZON PROJECTS 2020, Graphene-info, Science Newslite Technology, AZO Nano, Graphene Uses, Science alert, PHYSICS-ASTRONOMY, Hard Science, Futurism, Asian Scientist Magazine, IEEE SPECTRUM, PHYSICS TODAY	グラフェン超伝導に関する研究報道。(高橋)
2	2015/5/6 - 2015/7/3	【Website】 Physics World, Yahoo News Canada, 2physics, Materials World, 【出版物】 Superconductor week	フラーレン超伝導体に関する研究報道。(ブラシデス)
3	2015/4/5	【Website】 Silicon Saxony news (Germany)	AIMRとフラウンホーファーENASの共同研究により新規MEMSが開発された(ドイツ語記事)。(ゲスナー・江刺)
4	2013/11/12 2013/10/25 2013/10/24	Science News Chemistry World materials360 online	ナノ粒子を分散させた水と油の混合液体の液滴に電界を印加したところ楕円形状に変形し、しかもその形状が1ヶ月以上も保持されたことの研究結果報道。(ラッセル)
5	2012/2/14	CBS News	人間の細胞を器官へと成長させ、器官再生医療を実現しようとする研究現場の紹介。(カテムホッセイニ)
6	2011/6/28	EL COMERCIO	ナノ材料の社会的有用性に関する解説。(ヤバリ)

## 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

### 添付資料3. 主要な融合研究論文の一覧

※融合研究の成果を裏付ける論文のうち代表的なもの20編以内を挙げ、それぞれについて10行以内で解説すること。  
 ※それぞれの論文は箇条書きとし、著者名・発行年・雑誌名・巻号・掲載ページ・タイトルを記載すること。(記載順番は様式中で統一してあればこの限りではない) なお、著者が複数ある場合には、拠点の研究者に下線を記すこと。  
 ※著者が多数(10名以上)の場合は、全著者名を記載する必要はない。

1. A. Hirata, L. J. Kang, T. Fujita, B. Klumov, K. Matsue, M. Kotani, A. R. Yavari, M. W. Chen: Geometric frustration of icosahedron in metallic glasses. **Science** 341, 376-379 (2013).

AIMRの数学者および実験研究者からなる融合研究チームは、金属ガラス中の原子配列構造を解析し、ガラス形成時にエネルギーと幾何学的配列の間で起こる原子スケールの競合について解明した。実験科学者はオングストロームレベルにまで径を絞った電子線を用いた電子線回折によって微小領域内の原子配列構造を特定する技術を開発し、数学者はその構造解析に「計算ホモロジー」を適用した。この融合研究によって、長年の謎であった金属ガラスの構造が明らかになった。すなわち、金属ガラス中では、幾何学的に歪んだ正20面体クラスターが、一部FCC的クラスターも共存させながら長距離に亘って連結し、FCC的クラスターの効果によって原子の稠密充填は起こりながらも、並進対称性がなく空間を満たせない20面体の効果によってガラスとなる。稠密充填でありながらも結晶化しないという矛盾の説明も含め、半世紀に亘って議論されてきた金属ガラス原子構造の謎が解明されたのである。

2. D. M. Packwood, S. Shiraki, and T. Hitosugi: Effects of Atomic Collisions on the Stoichiometry of Thin Films Prepared by Pulsed Laser Deposition. **Physical Review Letters** 111, 036101 (2013).

本研究では、AIMRのインターフェースユニットに所属する理論化学者と実験材料科学者の融合チームが、酸化物薄膜のパルスレーザー堆積の過程で起こるカチオンの非化学量論性を定量的に記述する有望なモデルを開発することに成功した。これは薄膜中に取り込まれるLi量の酸素分圧依存性を、真空槽中を飛行する原子同士の衝突によって起こるプリュームの広がりに基づいて予見する初めての解析モデルであり、軽い元素と重い元素を両方含むような薄膜の成長に影響を及ぼす原子衝突に関する重要な知見を与えている。様々な酸素分圧下条件下で $\text{Li}_{1.3}\text{Mn}_2\text{O}_2$ のターゲットをアブレーションにより酸化物を堆積させた結果は、モデルによって予見された化学組成とよい一致をみた。これは酸化物の化学量論性を精密に制御する先導的な原理を与え、高品質の薄膜作製にとって極めて重要な知見となる。

3. T. Matsuno, H. Naito, S. Hitosugi, S. Sato, M. Kotani, H. Isobe, Geometric measures of finite carbon nanotube molecules: a proposal for length index and filling indexes. **Pure and Applied Chemistry** 86, 489–495 (January 2014).

AIMRの研究者らは有限長のカーボンナノチューブ (CNT) に幾何学的定義を与える新しい指標を提案した。CNT上の炭素原子の並び方を表現する幾何学的指標としては、 $(n,m)$ という座標を用いたカイラル指数を使ったものが1992年に提唱され、現在様々な分野で広く活用されているが、有限長CNT分子の指標については、そもそもそのような有限長CNTが実在しなかったため、存在しなかった。最近になって有限長CNT分子が合成できるようになり、長さや結合充填、および原子充填を表現する指標(指数)の必要性が生じた。AIMRではこの問題を数学者(幾何学者)との融合研究として取り組むことで、新たな指標を得ることに成功した。これらの新たな幾何学的指標は今後有限長のCNT分子が関係するあらゆる科学・技術分野において基礎となると期待される。

4. D. M. Packwood, K. T. Reaves, F. L. Federici, H. G. Katzgraber, and W. Teizer, Two-dimensional molecular magnets with weak topological invariant magnetic moments: Mathematical prediction of targets for chemical synthesis. **Proceedings of the Royal Society A** 469, 20130373 (2013).

分子磁石は、比較的サイズが大きいため古典粒子のように扱うことができるが、不対電子のスピンに由来する量子論的な磁気特性も示す。こうしたユニークな挙動を示す分子磁石は、高密度情報記憶材料やスピントロニクスに基づく未来のコンピュータ用材料として関心を集めている。しかし、デバイス表面に分子磁石を取り付けようとすると分子がゆがんで磁性を失うため、実用化が困難であった。この難題を克服するため、AIMRでは、実験材料科学者とインターフェースユニットに属する理論化学者が融合研究を進め、変形しても磁気モーメントを失わない新規分子磁石の構造を予測することが可能となる革新的な「数理化学」技術を開発した。

5. D. V. Louzguine-Luzgin, D. M. Packwood, G. Xie, A. Y. Churyumov, On deformation behavior of a Ni-based bulk metallic glass produced by flux treatment. **Journal of alloys and compounds** 561, 241-246 (2013).

本研究では、AIMRのインターフェースユニットに所属する理論化学者と実験材料科学者の融合チームが、バルク金属ガラス (BMG) の変形に関して解析を行った。まず彼らは、フラックスを用いたキャスト法により、 $\text{Ni}_{50}\text{Pd}_{30}\text{P}_{20}$  の組成をもつ合金を作製し、この合金がガラス構造となっていることをX線回折法と透過電子顕微鏡観察によって確認した。この材料の室温における変形挙動を、1軸圧縮条件 (歪み速度  $5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ) と、擬静水圧条件 (3つの異なる歪み速度) で測定したところ、カオス的な要素をもつ鋸歯状の流動挙動が出現し、これを確率的なモデルで解析した。このモデルによって、背景にある鋸歯状の流動のダイナミクスは、最初、材料中の新しいせん断帯の出現によってもたらされるが、実験が進行にしたがってこれらのダイナミクスの性質が変化し、既に材料中に形成されたせん断帯を更に広げるようにして歪みが生じるようになることが示唆された。

6. R. Iguchi, K. Sato, D. Hirobe, S. Daimon, and E. Saitoh, Effect of spin Hall magnetoresistance on spin pumping measurements in insulating magnet/metal systems. **Applied Physics Express** 7, 013003 (January 2014).

磁気抵抗効果がある系では、磁化運動による交流起電力が整流されて直流電圧が生じることが知られている。本研究では、実験材料科学者とインターフェースユニットに属する理論物理学者との融合研究により、磁性絶縁体/金属接合系で生じるスピンホール磁気抵抗効果が引き起こす整流電圧のスピンポンピングに対する影響が解析された。スピンホール磁気抵抗効果で整流された直流電圧は、薄膜面内の磁場角度変化に対して、スピンポンピングから生じる逆スピンホール起電力とは異なる角度依存性を示すことを理論的に示すと同時に、マイクロ波キャビティを用いた実験において、この電圧の影響は無視できる大きさであることを実証した。

7. T. Nakamura, Y. Hiraoka, A. Hirata, E.G. Escobar and Y. Nishiura, Persistent homology and many-body atomic structure for medium-range order in the glass. **Nanotechnology** 26, 304001 (2015).

ガラスの構造はこれまで、完全に熔融した液体と同様にほぼ無秩序であると考えられてきた。しかしながら、計算ホモロジーを使った最近の研究により、ガラス中の原子配列に何らかの短距離秩序があることが明らかになってきた。AIMRの理論物理学者、数学者、実験材料科学者からなる研究チームはこの研究を中距離秩序にまで拡張し、中距離秩序と短距離秩序の関係を議論した。彼らは、分子動力学シミュレーションによって得られたシリカガラス等の原子配列構造を解析し、「パーシステントダイアグラム」が短距離秩序解析で重要な役割を演じたように、ガラス中の中距離秩序の存在やその性質を解析する上でも有用であることを示した。

8. K. Inoue, M. Saito, Z.C. Wang, M. Kotani and Y. Ikuhara, The decomposition formula of <001> symmetrical tilt grain boundaries. **Materials Transactions** 56, 1945-1952 (2015).

粒界は異なる方位の2つの結晶格子が会う場所であり、両格子の原子面間隔と傾きの角度に依存して特徴的な構造を形成する。数学者と透過電子顕微鏡を専門とする実験研究者のチームは、



この粒界に沿って形成される構造を数学的にモデル化することを試みた。彼らは2つの単結晶を様々な傾き角で接合させた人工的な粒界を研究対象とし、実験科学者が<001>方向に対する傾斜角が同じになるように（接合面に対して原子配列が対称になるように）作製した2結晶を接合させ、粒界近傍の原子像を取得、その画像を使って数学者が一般化された分解公式を構築した。背後に隠された数学的構造を読み解くことにより、任意の傾き角に対応する構造単位胞配列を導くことができる新規アルゴリズムを、Farey数列を用いることによって得ることができた。

9. Y.H. Liu, D. Wang, K. Nakajima, W. Zhang, A. Hirata, T. Nishi, A. Inoue, and M.W. Chen, Characterization of nanoscale mechanical heterogeneity in a metallic glass by dynamic force microscopy. **Physical Review Letters** **106**, 125504 (2011).

バルク金属ガラス(BMG)グループとソフトマテリアル（ポリマー）グループの融合研究によって萌芽的成果が得られた。BMGにはナノメートルスケールの「せん断変形帯（STZ）」があり、これが機械的特性に大きな影響を及ぼしているということが明らかになってきていた。一方、AIMRのポリマー研究グループは、原子間力顕微鏡（AFM）によって微視的領域の粘性分布やエネルギー散逸のマップを得ることに成功していた。本研究では、このマッピング手法をBMGの不均質構造測定に応用し、BMGにおける粘性の不均一構造は2.5 nmの特徴的な長さを持ち、それがSTZの特徴的なサイズスケールとよく整合することを明らかにした。すなわち、そのような不均一構造とSTZの間に深い関係があることが示唆される。更に、BMGのSTZとポリマーガラス中に認められる共同運動領域(CRR)との間に類似性が認められ、異なる材料間をつなぐ共通原理の発見につながるものと期待される。

10. T. Fujita, P. Guan, K. McKenna, X. Lang, A. Hirata, L. Zhang, T. Tokunaga, S. Arai, Y. Yamamoto, N. Tanaka, Y. Ishikawa, N. Asao, Y. Yamamoto, J. Erlebacher and M. W. Chen, Atomic origins of the high catalytic activity of nanoporous gold. **Nature Materials** **11**, 775–780 (2012).

ナノポーラス金の分子状酸素に対する触媒活性が注目を集めているが、こうした触媒活性の基礎となるメカニズムは未解明のままであった。今回、AIMRの金属材料学者と化学者からなる融合研究チームは、ナノポーラス金表面の小さな欠陥がCO酸化反応の活性サイトであることを示唆する新たな証拠をつかんだ。具体的には、ナノポーラス金の表面におけるCO酸化反応の「その場」観察を、球面収差補正機能搭載の走査透過電子顕微鏡を用い、ガス圧を慎重に制御しながら行った。ナノ細孔の湾曲した部分では、原子ステップの配列が乱れて配位不足の金原子からなる「キンク」が生じ、ここが化学的に極めて活性の高い酸化サイトになることが見出された。この発見は、金触媒の長寿命化と高活性化につながる可能性がある。

11. M. Yan, T. Jin, Y. Ishikawa, T. Minato, T. Fujita, L.-Y. Chen, M. Bao, N. Asao, M. W. Chen and Y. Yamamoto, Nanoporous gold catalyst for highly selective semihydrogenation of alkynes: remarkable effect of amine additives. **Journal of the American Chemical Society** **134**, 17536–17542 (2012).

ナノポーラス金触媒は寿命が長く環境に優しいため、グリーンテクノロジーの観点から注目されているが、水素化還元反応に対しては不活性であると考えられていた。今回、AIMRの金属材料学者と化学者からなる融合研究チームは、アルキンからアルケンへの選択的水素化反応（炭素-炭素三重結合を二重結合に還元する反応）にナノポーラス金触媒を利用できることを見出した。興味深いことに、この反応は化学選択的かつ「Z-選択的」である。つまり、二重結合まで還元を止めることができるとともに、アルキン部に付加した2個の水素原子が常に結合の同じ側にきて、「Z-アルケン」と呼ばれる活性の高いアルケンの異性体を生成することができる。ナノポーラス金は、さまざまな官能基の選択的還元に使えばかりでなく、新しい不均一系触媒としてクリーンな化学合成を達成することに役立つと期待されている。

12. S. Tanaka, T. Kaneko, N. Asao, Y. Yamamoto, M.W. Chen, W. Zhang and A. Inoue, A nanostructured skeleton catalyst: Suzuki-coupling with a reusable and sustainable nanoporous

metallic glass Pd-catalyst. **Chemical Communications** 47, 5985–5987 (2011).

有機合成用の触媒としてはパラジウムがよく知られているが、残念なことにパラジウムには毒性があり、高価であり、また最終合成物に混入してしまったパラジウムを完全に分離することは困難であるなど問題が多い。AIMRの有機合成化学者のグループはBMGグループとパラジウム触媒に関する共同研究を行い、パラジウム-ニッケル-リン系の金属ガラスを電気化学的に処理することによって、直径30 nm程度の均一な大きさの空隙をもつナノポーラスパラジウムを作製することを可能にした。その結果、炭素カップリング反応に対する触媒効果が繰り返し持続し、更に、触媒のパラジウム成分が溶媒中にほとんど溶出しないパラジウム主体の金属ガラスナノポーラス触媒を開発することに成功した。

13. K. Kanetani, K. Sugawara, T. Sato, R. Shimizu, K. Iwaya, T. Hitosugi and T. Takahashi, Ca intercalated bilayer graphene as a thinnest limit of superconducting  $C_6Ca$ . **Proceedings of the National Academy of Sciences USA** 109, 19610–19613 (2012).

グラフェンの層間に物質を挿入して「グラファイト層間化合物(GIC)」を作製する方法は、バッテリー内にリチウム原子を貯蔵する方法として盛んに研究されている。興味深いことに、一部のGICは超伝導になることも知られている。今回、AIMRの物理学者、化学者、表面科学者からなる融合研究チームは、わずか2枚のグラフェン層の間にカルシウム原子を捕捉することによって、極限の薄さの2次元炭素系超伝導体である $C_6Ca$ を作成した。この「サンドイッチ」材料は、究極の薄さでありながら、バルクグラファイトに劣らぬ長所を有する。 $C_6Ca$ は既知の超伝導GICのなかで最も高い超伝導転移温度を持つため、非常に注目すべき材料である。この研究は、グラファイト電極を用いた最先端のバッテリーに関する物理的・化学的過程を根本的に理解するのに役立つであろう。

14. H. Chang, Z. Sun, M. Saito, Q. Yuan, H. Zhang, J. Li, Z. Wang, T. Fujita, F. Ding, Z. Zheng, F. Yan, H.-K. Wu, M. W. Chen, and Y. Ikuhara, Regulating infrared photoresponses in reduced graphene oxide phototransistors by defect and atomic structure control. **ACS Nano** 7, 6310–6320 (2013).

グラフェンはその並外れた電子物性から光検出デバイスへの応用も期待されているが、グラフェンの光励起によって発生した電子と正孔はすぐに再結合してしまうため、光の入射によって発生する光電流の量が非常に少なく、光応答性は非常に低い。このことが、グラフェン系光検出器の作製を困難にしていた。本研究において、AIMRのデバイス・システム、バルク金属ガラス、材料物理グループからなる融合研究チームは、グラフェン関連物質である酸化グラフェンの構造と欠陥の数を制御することによって、酸化グラフェンの赤外光応答性を向上できる可能性があることを実証した。グラフェン表面の酸化状態を熱アニールで制御して還元型酸化グラフェンとすることにより、光電流信号が検出され、曲げにも耐えられるフレキシブル赤外光検出器の試作にも成功している。

15. Y. Yamada, K. Ueno, T. Fukumura, H.T. Yuan, H. Shimotani, Y. Iwasa, L. Gu, S. Tsukimoto, Y. Ikuhara and M. Kawasaki, Electrically induced ferromagnetism at room temperature in cobalt-doped titanium dioxide. **Science** 332, 1065-1067 (2011).

半導体に詳しい材料科学者、電気二重層トランジスタに熟練したデバイス物理学者、液体電解質を扱う化学者、秀でた顕微鏡技術をもつ物理学者のアイデアと技術を集積することにより、「スピン」の利用に関する新たな可能性を導き出すことができた。半導体中の磁氣的性質あるいはスピンを従来のデバイスの電荷と同様にスイッチとして用いることができるならば、高速で低消費電力のスピントロニクスデバイスを実現する可能性が拓けるであろう。上記研究グループは、室温でも制御できる強磁性をもった磁性半導体を開発した。磁性元素であるコバルトを少量添加した二酸化チタンを材料とし、液体電解質を用いた電気二重層トランジスタの原理によって高密度の電荷を注入した。この方法より実現した磁性半導体は室温でも磁氣的性質の切り替えが可能で、高性能デバイス実現への期待がかかる。

16. J.-W. Lee, Y.-C. Lin, N. Kaushik, P. Sharma, A. Makino, A. Inoue, M. Esashi and T. Gessner, Micromirror with large-tilting angle using Fe-based metallic glass. **Optics Letters**, 36, 3464-3466 (2011). (本論文は添付様式2の研究結果と重複)

微小機械の革新はこれまで伝統的にシリコンが材料として選ばれてきた。しかしながら、シリコンは脆弱で壊れやすく、応用の範囲にも限界がある。AIMRの微小電気機械システム(MEMS)とバルク金属ガラスの融合研究チームは、シリコンの代わりに頑強でかつ粘りのある金属ガラスを用い、改良マイクロミラーを開発することに成功した。円形ミラーはミラーの回転軸となる2本のねじれ棒で支えられる構造になっている。これら2本のねじれ棒と円形ミラーの表面がBMGで作られている。BMGの優れた機械特性により、ミラーの回転角は、静的には最大で270°まで回転(ねじれ)させることができ、1秒間あたり300回以上回転する動的条件下でも最大70°までねじることが可能である。このような金属ガラスをMEMSに応用するというアイデア創出は、まさにAIMRにおける融合研究推進の賜物であるといえる。

17. S. Ahadian, J. Ramon-Azcon, M. Estili, X. B. Liang, S. Ostrovidov, H. Shiku, M. Ramalingam, K. Nakajima, Y. Sakka, H. Bae, T. Matsue, A. Khademhosseini, Hybrid hydrogels containing vertically aligned carbon nanotubes with anisotropic electrical conductivity for muscle myofiber fabrication. **Scientific Reports** 4, 4271 (March 2014).

電氣的、機械的な制御が可能な生体の足場材料は、再生医療、バイオロボティクス、バイオセンシングなどの多くの分野において必要とされている。本研究では、生体材料、ポリマー、バイオデバイスの研究室が融合し、カーボンナノチューブ(CNT)をメタクリル化ゼラチン(GelMA)ハイドロゲルの中で頑強かつ簡単に、しかも短時間で垂直に立てるための方法として、誘電泳動(DEP)の利用を試みた。CNTの配列方向を制御したGelMAハイドロゲルは、異方的な電気伝導を示し、無処理のGelMAハイドロゲルやCNTをランダムに分散させたGelMAハイドロゲルに比べて遥かにより機械特性を示した。GelMAハイドロゲルの中の垂直に立てたCNT上に成長したスケルトン筋肉細胞は、無処理のハイドロゲルやランダムにCNTを分散させたハイドロゲル、また、CNTを水平に並べたハイドロゲルの中で培養された細胞などのどれと比較しても、より高密度の機能性筋線維が得られ、それは、筋原性遺伝子やタンパク質の挙動によっても確認されている。

18. L. Zhang, H. Chang, A. Hirata, H. Wu, Q.-K. Xue, and M. W. Chen, Nanoporous gold based optical sensor for sub-ppt detection of mercury ions. **ACS Nano** 7, 4595-4600 (2013).

水銀は人体に有害であるため、水道水中の水銀濃度は厳重に監視されている。しかし、ppt(1兆分の1)未満の濃度の水銀イオンを高感度で検出するのは非常に難しいのが現状である。AIMRの材料物理グループ(AIMR及び清華大学)とバルク金属ガラスグループ、デバイス・システムグループの融合研究チームは、表面増強共鳴ラマン散乱(SERRS)を利用し、従来の光学的手法の約1000倍の感度を持つナノポーラス金光学センサーを設計した。SERRSの散乱強度は試料の表面積に依存するため、この融合研究チームは測定用の基板としてナノポーラス金を用いた。水銀イオン自体ではなくシアニン5(Cy5)という蛍光色素レポーター分子を検出する方法をとったところ、微量の水銀の存在がSERRS強度の減少として現れることがわかった。これは水銀の新しい検出機構を提案するものである。

19. K. Oniwa, T. Kanagasekaran, T. Jin, Md. Akhtaruzzaman, Y. Yamamoto, H. Tamura, I. Hamada, H. Shimotani, N. Asao, S. Ikeda, and K. Tanigaki, Single crystal biphenyl end-capped furan-incorporated oligomers: influence of unusual packing structure on carrier mobility and luminescence. **Journal of Materials Chemistry C** 1, 4163-4170 (2013).

有機発光電界効果トランジスタ(OLET)は、有機半導体の両極性の特性によって発光と電子スイッチングを兼ね備えた革新的なデバイスである。全有機レーザーへの応用が期待されているが、電荷キャリアの移動度を高める $\pi$ - $\pi$ 相互作用が強くなると逆に発光効率が落ちてしまうという問題によって実現が阻まれてきた。本研究では、実験物理学、有機合成化学、理論物理・化学の

学際的研究チームが、BP2Tの1つのチオフェン環をフラン環に置き換えることで新しいオリゴマーBPFTを合成し、この分子がキャリア移動度を維持したままで、BP2Tよりも30%程度高い発光効率を示すことを見出した。BPFTの高い発光効率を説明する詳細な理論的考察が次の論文（20番）においてなされている。

20. H. Tamura, I. Hamada, H. Shang, K. Oniwa, Md. Akhtaruzzaman, T. Jin, N. Asao, Y. Yamamoto, T. Kanagasekaran, H. Shimotani, S. Ikeda, and K. Tanigaki. Theoretical analysis on the optoelectronic properties of single crystals of thiophene-furan-phenylene co-oligomers: efficient photoluminescence due to molecular bending. **The Journal of Physical Chemistry C** 117, 8072–8078 (2013).

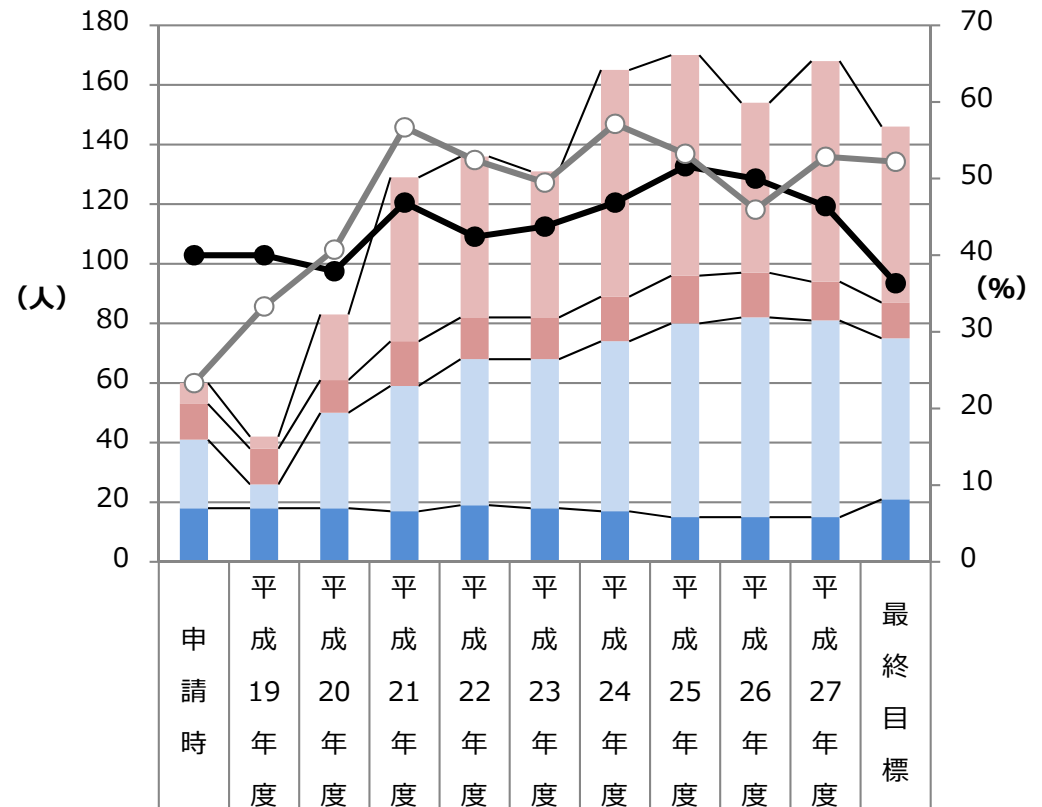
19番の研究で得られた知見を理論的に解析したのが本論文である。実験（X線回折による単結晶構造解析）で得られた分子構造、及び結晶構造を基礎データとし、密度汎関数（DFT）法を使ってその電子状態を計算、BPFTの発光効率がBP2Tよりも増大したことの原因を追究した。結晶構造解析からBPFTでは単位格子中の2つの分子のうち、1つの分子が曲がっていることが明らかになっているが、これが芳香族固体に固有の平衡を「破り」、光励起状態に遷移する際に非対称電子双極子を形成させる。この電子双極子が、BP2Tのような全対称錯体では禁じられている光の放出を発生させている。理論研究者と実験研究者の協力によって、有機結晶の発光効率とキャリア移動度を同時に改善する新しいアイデアを得ることができた。

## 世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

## 添付資料4-1. 全研究者中の外国人研究者数とその比率の推移

※申請時からの人数の推移を棒グラフで表すこと。

外国人研究者比率とその年次推移



■ その他研究者：外国人	7	4	22	55	54	49	76	74	57	74	59
■ 外国人PI	12	12	11	15	14	14	15	16	15	13	12
■ その他研究者：日本人	23	8	32	42	49	50	57	65	67	66	54
■ 日本人PI	18	18	18	17	19	18	17	15	15	15	21
● 外国人PI比率 (%)	40.0	40.0	37.9	46.9	42.4	43.8	46.9	51.6	50.0	46.4	36.4
○ その他外国人研究者比率 (%)	23.3	33.3	40.7	56.7	52.4	49.5	57.1	53.2	46.0	52.9	52.2

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

**添付資料4-2. ポスドクの国際公募の実施と応募・採用状況**

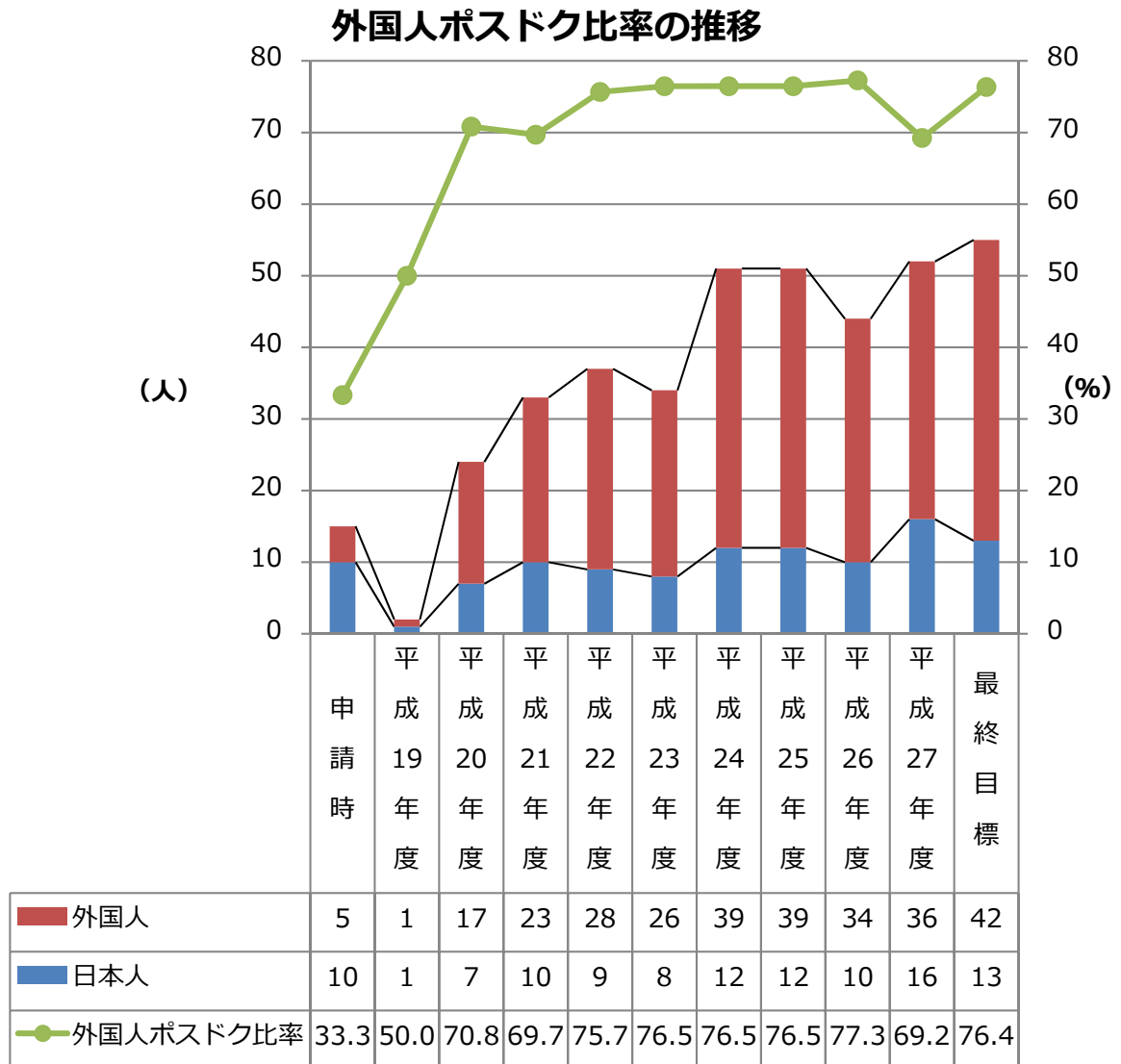
・応募人数、採用人数の欄の下段に<外国人研究者数,%>としてそれぞれ内数を記載すること。

年度	応募人数	採用人数
平成19年度	0 < , %>	0 < , %>
平成20年度	6 <5 ,83 %>	3 < 3,100 %>
平成21年度	7 <5 ,71 %>	5 < 5,100 %>
平成22年度	68 < 58,85 %>	11 <10 ,90 %>
平成23年度	38 < 35,92 %>	6 < 6,100 %>
平成24年度	250 < 163,65 %>	10 < 5,50 %>
平成25年度	97 < 83,86 %>	7 < 5,71 %>
平成26年度	156 < 154, 99%>	3 < 3,100 %>
平成27年度	116 < 114,98 %>	3 < 2,67 %>

## 世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

## 添付資料4-3. 外国人ポスドク比率の推移

※申請時からの人数の推移を棒グラフで表すこと。



## 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

## 添付資料4-4. ポスドクの国際的就職状況

・1名につき、1行で作成すること。記入欄が足りない場合は、適宜追加してもよい。

## 日本人ポスドク

拠点所属期間	前職機関・役職(所在国名)	就職先機関・役職(所在国名)
H19.11.1~H21.2.28	東北大学金属材料研究所・研究支援者 (日本)	東北大学大学院理学研究科・助教 (日本)
H19.11.16~H20.3.31	東北大学多元物質科学研究所・産学官連携研究員 (日本)	東北大学未来科学技術共同研究センター・助教 (日本)
H20.4.1~H23.3.31	東京大学大学院工学研究科・産学官連携研究員 (日本)	アドバンスリアルゴリズム&システムズ・社員 (日本)
H20.4.1~H23.3.31	名古屋大学・研究支援者 (日本)	株式会社コンポン研究所 東東京研究室 ・研究員 (日本)
H20.4.1~H20.12.31	日本原子力研究開発機構・博士研究員 (日本)	九州工業大学・助教 (日本)
H20.4.1~H22.3.31	東北大学大学院工学研究科博士課程・学生 (日本)	東芝・研究員 (日本)
H20.4.1~H23.3.31	青山学院大学・研究支援者 (日本)	ヴァージニア大学・助手 (アメリカ)
H20.5.1~H23.3.31	東北大学大学院理学研究科・教育研究支援者 (日本)	(株) 東芝・研究員 (日本)
H21.4.1~H21.12.31	東京大学博士課程・学生 (日本)	九州大学・ポスドク (日本)
H21.4.1~H23.3.31	日本学術振興会・特別研究員 (PD) (日本)	九州大学・研究員 (日本)
H22.1.20~H24.3.31	九州大学・非常勤研究員 (日本)	九州大学・特任助教 (日本)
H22.4.1~H25.3.31	東北大学大学院工学研究科博士課程・学生 (日本)	東北大学金属材料研究所・助教 (日本)
H23.4.1~H24.6.30	東北大学大学院理学研究科博士課程・学生 (日本)	(株)日立グローバルストレージテクノロジー・正社員 (日本)
H24.4.1~H26.3.31	北海道大学・博士研究員 (日本)	千歳科学技術大学・技術支援員 (日本)
H24.4.1~H25.5.31	中央大学博士課程学生・学生 (日本)	京都大学iCeMS・特定研究員 (産学連携) (日本)
H24.4.1~H24.7.31	東北大学・産学官連携研究員 (日本)	東北大学大学院工学研究科・助教 (日本)



H24.4.1~H25.9.30	イタリア技術研究所・ポスドク研究員（イタリア）	早稲田大学・助教（日本）
H24.5.1~H26.4.30	大阪大学・招聘研究員（日本）	（株）東京インスツルメンツ・スタッフ（日本）
H24.5.1~H27.3.31	東京大学・特任研究員（日本）	東京大学大学院総合文化研究科・特任研究員（日本）
H25.4.1~H28.3.31	大阪大学大学院工学研究科・特任研究員（日本）	産総研・テニユアトラック研究員（日本）
H25.4.1~H26.3.31	高知工科大学・助教（日本）	同志社大学・准教授（日本）
H26.8.1~H28.3.31	東北大学金属材料研究所・研究支援者（日本）	東北大学金属材料研究所・非常勤研究員（日本）
H23.4.1~H24.3.31	東京大学博士課程・学生（日本）	日本学術振興会・特別研究員(PD)（日本）
H27.1.1~H28.3.15	日本学術振興会・特別研究員（日本）	東京工業大学・特任講師（日本）
H23.10.1~H27.9.30	日本学術振興会・海外特別研究員（日本）	金沢大学・准教授（日本）
H21.12.1~H24.8.31	日本学術振興会・特別研究員(PD)（日本）	東北大学大学院理学研究科・助教（日本）
H20.4.1~H27.4.30	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所・博士研究員（日本）	理化学研究所・研究員（日本）
H20.4.1~H27.3.31	東北大学大学院工学研究科博士課程・学生（日本）	東北大学大学院工学研究科・特任准教授（研究）（日本）
H27.7.1~H27.10.31	東北大学未来科学技術共同研究センター・技術補佐員（日本）	ジョイントラボ)シカゴ大学・助手（アメリカ）

## 外国人ポスドク

拠点所属期間	前職機関・役職(所在国名)	就職先機関・役職(所在国名)	国籍
H20.4.1~H20.6.30	東北大学金属材料研究所・特別教育研究員（日本）	国防科学技術大学・助教（中国）	中国
H20.4.1~H21.6.30	東北大学大学院理学研究科・研究支援者（日本）	京都大学iCeMS・助教（日本）	中国
H20.7.1~H21.5.31	大連理工大学博士課程・学生（中国）	カナダ国立研究機関・ポスドク(カナダ)	中国
H20.7.12~H23.3.31	中国科学院化学研究所博士課程・学生（中国）	理化学研究所・ポスドク（日本）	中国

H20.7.21~H23.12.31	粉末冶金・新素材国際高等研究センター・研究員（インド）	国立冶金学研究所・サイエンティスト（インド）	インド
H20.8.2~H23.3.31	鋼鉄研究総院博士課程・学生（中国）	ジョーンズ・ホプキンス大学・ポスドクフェロー（アメリカ）	中国
H20.9.11~H23.9.10	中国科学院化学研究所博士課程・学生（中国）	東北大学大学院薬学研究科・助手（日本）	中国
H20.10.20~H22.11.5	コンプルテンセ大学博士課程・学生（スペイン）	バルセロナ自治大学・研究員（スペイン）	スペイン
H20.11.26~H21.8.31	テキサス大学オースティン校・ポスドク（アメリカ）	忠南国立大学・ポスドク（韓国）	韓国
H20.12.1~H21.11.30	東北大学AIMR・教育研究支援者（日本）	ネバダ大学・助教（アメリカ）	中国
H21.1.14~H22.9.30	東北大学大学院工学研究科博士課程・学生（日本）	東北大学流体科学研究所・COEフェロー（日本）	インド
H21.4.1~H22.3.31	インド科学研究所・助手（インド）	インド科学研究所物理部門・スタッフ（インド）	インド
H21.5.13~H21.8.31	ウラル大学・主任研究員（ロシア）	応用音響研究所・研究員（ロシア）	ロシア
H21.8.27~H25.3.31	中国科学技術大学・研究員（中国）	中国科学院寧波材料所・准教授（中国）	中国
H21.10.1~H23.3.31	マックスプランク金属研究所・研究員（ドイツ）	中国科学院物理研究所・教授（中国）	中国
H21.10.1~H23.11.25	東北大学・教育研究支援者（日本）	マイクロエレクトロニクス研究所・リサーチサイエンティスト（シンガポール）	韓国
H21.10.29~H23.6.30	日本学術振興会・外国人特別研究員（日本）	吉林大学・教授（中国）	中国
H21.11.1~H23.4.30	ウルム大学・研究員（ドイツ）	ライプニッツ新素材研究所・研究員（ドイツ）	フランス
H21.11.5~H26.3.31	中国科学院長春応用化学研究所博士課程・学生（中国）	鄭州大学・講師（中国）	中国
H21.11.15~H22.4.30	物質・材料研究機構・ポスドク研究員（日本）	中国科学院金属研究所・助教（中国）	中国
H22.1.12~H24.3.31	東北大学・寄附研究部門教員（日本）	日本学術振興会・外国人特別研究員（日本）	ブラジル
H22.1.25~H23.3.31	アラバマ大学・ポスドク（アメリカ）	帰国（インド）	インド
H22.3.16~H23.3.31	キングサウド大学工学部・助教（サウジアラビア）	東北大学大学院理学研究科・助教（日本）	バングラデシュ

H22.3.24~H23.4.12	トヨタエンジニアリング&マニユ ファクチュアリング株式会社・研究 員（アメリカ）	ノースカロライナ州立大学・研究 員（アメリカ）	米国
H22.4.1~H23.2.15	東京大学大学院医学系研究科・特任 研究員（日本）	沖縄科学技術大学院大学・技術ス タッフ（日本）	イラン
H22.4.1~H23.2.28	マックスプランク固体化学物理学 研究所・研究員（ドイツ）	理化学研究所・ポスドク（日本）	ドイツ
H22.6.24~H22.12.2 4	中国科学院半導体研究所・助教（中 国）	中国科学院半導体研究所・助教（中 国）	中国
H22.7.12~H25.3.31	天津工業大学・助教（中国）	天津工業大学・助教（中国）	中国
H22.11.1~H25.3.31	中国科学院物理研究所博士課程・学 生（中国）	ウィスコンシン大学・助教（アメ リカ）	中国
H22.11.24~H26.11. 23	フランス国立科学研究センター・博 士研究員（フランス）	帰国（フランス）	フランス
H22.12.1~H23.8.31	メルボルン大学・助手（オーストラ リア）	オーフス大学・ポスドクリサーチ フェロー（デンマーク）	シンガポール
H22.12.1~H25.3.31	国立科学技術大学(MISIS)・上級研 究員（ロシア）	国立科学技術大学(MISIS)複合材 料研究センター・助手（ロシア）	ロシア
H23.1.18~H24.5.31	テキサス大学・ポスドク研究員（ア メリカ）	中国科学院上海薬物研究所・准教 授（中国）	中国
H23.2.1~H23.10.31	物質・材料研究機構・ポスドク研 究員（日本）	日本学術振興会・外国人特別研究 員（日本）	中国
H23.7.1~H25.6.30	中国科学院化学研究所博士課程・学 生（中国）	蔚山科学技術大学校・博士研究員 （韓国）	中国
H23.7.1~H25.8.31	山東大学博士課程・学生（中国）	西南石油大学・教師（中国）	中国
H23.7.14~H27.3.23	中国科学院物理研究所博士課程・学 生（中国）	ジョンズ・ホプキンス大学・ポス ドク（アメリカ）	中国
H23.10.1~H24.3.31	中国香港科技大学博士課程・学生 （中国）	中山大学・准教授（中国）	中国
H24.1.1~H26.7.31	東北大学マイクロシステム融合研 究開発センター・研究支援者（日本）	株式会社 メムス・コア・研究技術 者（日本）	台湾
H24.2.1~H24.3.31	ロンドン大学・研究員（イギリス）	ロンドン大学・研究員（イギリス）	中国
H24.2.3~H26.3.31	マックマスター大学・ポスドクリ サーチフェロー（カナダ）	バンドン工科大学・助教（インド ネシア）	インドネシア
H24.4.1~H26.4.30	名古屋大学大学院工学研究科博士 課程・学生（日本）	帰国（インド）	インド

H24.5.1~H25.3.31	釜山大学・ポスドク研究員（韓国）	東北大学多元物質科学研究所・ポ スドク（日本）	韓国
H24.9.1~H26.3.31	南開大学博士課程・学生（中国）	南洋理工大学・リサーチフェロー （シンガポール）	中国
H24.9.1~H27.2.28	東華大学博士課程・学生（中国）	中国科学院寧波材料技術与工程研 究所・研究員（中国）	中国
H24.9.16~H28.3.31	ピサ大学博士課程・学生（イタリア）	九州大学・研究員（非常勤職員） （日本）	ベトナム
H24.10.9~H27.1.31	タンペレ工科大学博士課程・学生 （フィンランド）	アールト大学・サイエンスフェロ ー（フィンランド）	イタリア
H24.11.3~H25.11.2	ケンブリッジ大学・博士研究員（イ ギリス）	ケンブリッジ大学・助手（イギリ ス）	チェコ
H24.12.1~H26.9.15	ベルリン工科大学博士課程・学生 （ドイツ）	BASF-the Chemical company・ 化学者（ドイツ）	フランス
H24.12.1~H25.11.3 0	ナノコ テクノロジーズ リミテッ ド・研究員（イギリス）	ケンブリッジ大学・助手（イギリ ス）	イギリス
H25.1.15~H26.1.14	日本学術振興会・外国人特別研究員 （日本）	物質・材料研究機構・ポスドクリ サーチフェロー（日本）	中国
H25.3.18~H26.12.3 1	カリフォルニア大学サンタバーバ ラ校・博士研究員（アメリカ）	ライス大学・ポスドク（アメリカ）	中国
H25.4.1~H27.3.31	東北大学電気通信研究所・研究支援 者（日本）	レーゲンスブルク大学・ポスドク （ドイツ）	中国
H25.7.26~H26.7.25	エクス = マルセイユ大学博士課 程・学生（フランス）	帰国（フランス）	フランス
H25.10.1~H27.8.30	北京大学博士課程・学生（中国）	華北電力大学・講師（中国）	中国
H25.10.3~H27.1.31	エネルギー技術研究所・博士研究員 （ノルウェー）	カーティン大学・助手（オースト ラリア）	イギリス
H25.11.1~H26.7.31	チューリッヒ大学博士課程・学生 （スイス）	（2014年9月発足予定のスイスの 企業）・リサーチサイエンティスト （スイス）	イタリア
H26.4.1~H27.10.31	東北大学大学院理学研究科博士課 程・学生（日本）	東京工業大学・産学官連携研究員 （日本）	中国
H26.4.1~H28.3.31	東北大学大学院工学研究科博士課 程・学生（日本）	東北大学金属材料研究所・非常勤 職員（日本）	中国
H27.1.1~H27.9.30	大阪大学大学院工学研究科博士課 程・学生（日本）	大阪大学大学院基礎工学研究科・ 特任助教（日本）	ベトナム
H27.4.1~H28.2.29	リール大学・ポスドク（フランス）	中国科学院長春応用化学研究所・ 助教（中国）	中国

H23.4.2~H27.6.30	東北大学大学院工学研究科博士課程・学生（日本）	トロント大学・リサーチフェロー（カナダ）	イラン
H23.4.1~H26.4.30	兵庫県立大学大学院物質理学研究科・ポスドク（日本）	スペイン科学研究高等会議・カタロニア化学高等研究所・助教（スペイン）	スペイン
H20.5.1~H27.9.25	ハニーウェル社・リサーチサイエンティスト（アメリカ）	北京大学・教授（中国）	中国
H22.10.14~H27.2.28	華南理工大学博士課程・学生（中国）	華南理工大学・教授（中国）	中国
H23.2.15~H26.7.22	香港理工大学・研究員（香港）	華中科技大学・教授（中国）	中国
H22.4.1~H26.10.31	九州大学先導物質化学研究所・ポスドク研究員（日本）	東北大学・教授（中国）	中国
H20.9.1~H26.3.31	清華大学博士課程・学生（中国）	清華大学材料科学と工程系・研究助教（中国）	中国
H19.12.13~H27.7.31	高麗大学校電子工学科・研究講師（韓国）	華東理工大学・教授（中国）	中国

## 世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

### 添付資料4-5. 国外共同研究協定等締結一覧

1. 協定の相手方：ユニバーシティカレッジロンドン（UCL）・数物科学部（MAPS）  
協定の名称：AIMRとMAPSにおける協力に関する覚書  
締結時期：2009年1月6日  
協定の概要
  - ・材料科学に関する分野における共同研究の確立
  - ・ワークショップ等の共催
  - ・スタッフや学生の交流
  - ・研究材料の相互利用の促進
  - ・専門研究者を加えて、交流を進展させる方法の確立
2. 協定の相手方：ケンブリッジ大学材料科学・金属学部(MSM)  
協定の名称：AIMRとMSMにおける学術交流に関する協定書  
締結時期：2010年1月26日  
協定の概要
  - ・共同研究、共同教育の推進
  - ・学術的活動への研究者の短期間の招待
  - ・両校にとって関心ある分野での情報・刊行物の交換
  - ・勉学と研究のための教員、研究員及び学生の交流
3. 協定の相手方：香港科技大学科学部  
協定の名称：AIMRと香港科技大学科学部における学術交流に関する協定書  
締結時期：2010年4月1日  
協定の概要
  - ・共同研究、共同教育の推進
  - ・学術的活動への研究者の短期間の招待
  - ・両校にとって関心ある分野での情報・刊行物の交換
  - ・勉学と研究のための教員、研究員及び学生の交流
4. 協定の相手方：中国科学院化学研究所(CAS)  
協定の名称：AIMRとCASにおける学術交流に関する協定書  
締結時期：2010年4月10日  
協定の概要
  - ・共同研究、共同教育の推進
  - ・学術的活動への研究者の短期間の招待
  - ・両校にとって関心ある分野での情報・刊行物の交換
  - ・勉学と研究のための教員、研究員及び学生の交流
5. 協定の相手方：ケンブリッジ大学化学部  
協定の名称：AIMRとケンブリッジ大学化学部における学術交流に関する協定書  
締結時期：2011年1月18日  
協定の概要
  - ・共同研究、共同教育の推進
  - ・学術的活動への研究者の短期間の招待
  - ・両校にとって関心ある分野での情報・刊行物の交換
  - ・勉学と研究のための教員、研究員及び学生の交流

6. 協定の相手方：メルボルン大学微粒子流体プロセスセンター(PFPC)  
協定の名称：AIMRとPFPCにおける学術交流に関する協定書  
締結時期：2011年10月26日  
協定の概要
  - ・共同研究、共同教育の推進
  - ・学術的活動への研究者の短期間の招待
  - ・両校にとって関心ある分野での情報・刊行物の交換
  - ・勉学と研究のための教員、研究員及び学生の交流
  
7. 協定の相手方：フラウンホーファー研究機構エレクトロ・ナノシステム研究所(ENAS)  
協定の名称：AIMRとENASにおける学術交流に関する協定書  
締結時期：2011年11月8日  
協定の概要
  - ・共同研究、共同教育の推進
  - ・学術的活動への研究者の短期間の招待
  - ・両校にとって関心ある分野での情報・刊行物の交換
  - ・勉学と研究のための教員、研究員及び学生の交流
  - ・フラウンホーファープロジェクトセンター設立の検討
  
8. 協定の相手方：カリフォルニア大学・ロサンゼルス校 純粋応用数学研究所(IPAM)  
協定の名称：AIMRとIPAMにおける学術交流に関する協定書  
締結時期：2012年8月2日  
協定の概要
  - ・特定の教育、研究、アウトリーチにおける、教職員及び学生の交流
  - ・相互の関心のあるテーマにおける、共同会議、共同シンポジウム等の開催
  - ・共同研究、プログラムの発展における可能性の追求
  - ・両機関の合意による、交流および協力の計画
  
9. 協定の相手方：ケンブリッジ大学数学部(DPMMS)  
協定の名称：AIMRとDPMMSとの間における学術交流に関する協定書  
締結時期：2013年4月8日  
協定の概要
  - ・両機関は共同研究、教育活動の実施と発展に努力する
  
10. 協定の相手方：フラウンホーファーアルゴリズム・科学計算研究所 (SCAI), 材料メカニズム研究所(IWM)  
協定の名称：AIMRとSCAI及びIWMとの間における学術交流に関する協定書  
締結時期：2013年8月6日  
協定の概要
  - ・科学技術的な事項に関する協力
  - ・科学技術情報の交換
  - ・研究者の交流
  - ・新規プロジェクト開発における協力
  - ・研究開発に関する市場情報の交換

11. 協定の相手方：トリノ工科大学  
協定の名称：東北大学とトリノ工科大学との間における学術交流に関する協定書  
締結時期：2010年11月24日  
協定の概要
  - ・共同研究、共同教育の推進
  - ・学術的活動への研究者の短期間の招待
  - ・両校にとって関心ある分野での情報・刊行物の交換
  - ・勉学と研究のための教員、研究員及び学生の交流
  
12. 協定の相手方：ケムニッツ工科大学  
協定の名称：東北大学とケムニッツ工科大学との間における学術交流に関する協定書  
締結時期：2013年10月31日  
協定の概要
  - ・共同研究、共同教育の推進
  - ・学術的活動への研究者の短期間の招待
  - ・両校にとって関心ある分野での情報・刊行物の交換
  - ・勉学と研究のための教員、研究員及び学生の交流
  
13. 協定の相手方：カリフォルニア大学サンタバーバラ校ナノシステム研究所(CNSI)  
協定の名称：CNSIにおけるAIMRサテライトに関する覚書  
締結時期：2012年7月2日  
協定の概要：CNSIにおけるAIMRサテライト活動の促進
  
14. 協定の相手方：中国科学院化学研究所(ICCAS)  
協定の名称：ICCASにおけるAIMRサテライトに関する覚書  
締結時期：2012年7月31日  
協定の概要：ICCASにおけるAIMRサテライト活動の促進
  
15. 協定の相手方：ケンブリッジ大学純粋数学・数理統計科(DPMMS)  
協定の名称：DPMMSにおけるジョイントセンターに関する覚書  
締結時期：2013年10月1日  
協定の概要：DPMMSにおけるAIMRサテライトとしてのジョイントセンターの運営
  
16. 協定の相手方：ケンブリッジ大学金属学部(MSM)  
協定の名称：MSMにおけるジョイントセンターに関する覚書  
締結時期：2013年11月1日  
協定の概要：MSMにおけるAIMRサテライトとしてのジョイントセンターの運営
  
17. 協定の相手方：ケンブリッジ大学化学部  
協定の名称：ケンブリッジ大学化学部におけるジョイントセンターに関する覚書  
締結時期：2013年12月1日  
協定の概要：ケンブリッジ大学化学部におけるAIMRサテライトとしてのジョイントセンターの運営



18. 協定の相手方：シカゴ大学

協定の名称：AIMRとシカゴ大学のジョイントリサーチセンター案に関する覚書

締結時期：2014年4月16日

協定の概要：両機関におけるジョイントセンターの運営

## 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

### 添付資料4-6. 国際研究集会の開催実績

※これまでに開催した主な国際会議等(20件程度)を以下に記載すること。

開催日時	会議名称・開催地	参加人数
2016年2月21日～ 2月24日	The AIMR International Symposium 2016 (AMIS2016) (仙台、日本)	235人
2015年11月27日～ 12月3日	Eighth French Research Organizations - Tohoku University Joint Workshop on Frontier Materials (仙台、日本)	100人
2015年11月13日	Tohoku University - IMEC Seminar 2015 (仙台、日本)	80人
2015年2月16日～ 2月19日	The AIMR International Symposium 2015 (AMIS2015) (仙台、日本)	268人
2014年10月19日～ 10月21日	International Symposium on the Synthesis and Application of Curved Organic $\pi$ - Molecules and Materials (京都、日本)	150人
2014年6月25日～ 6月27日	12th RIEC International Workshop on Spintronics (仙台、日本)	100人
2014年5月26日～ 5月27日	JSPS 141 Committee Award (仙台、日本)	100人
2014年2月16日～ 2月19日	The AIMR International Symposium 2014 (AMIS2014) (仙台、日本)	236人
2013年11月22日	AIMR/UCL Materials Workshop (ロンドン、イギリス)	50人
2013年11月21日	Tohoku University Day (ロンドン、イギリス)	77人
2013年11月20日	WPI-AIMR/Cambridge Workshops and Discussions on "Hierarchical materials for green energy" (ケンブリッジ、イギリス)	30人
2013年10月24日	1st University of Bordeaux/Tohoku University Joint Symposium (仙台、日本)	100人
2013年9月28日～ 9月30日	International Symposium for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch Chemical Society of Japan (仙台、日本)	1000人
2013年5月12日～ 5月16日	17th International Symposium on Intercalation Compounds (仙台、日本)	200人
2013年2月22日	The 2nd AIMR-CNSI workshop (仙台、日本)	52人
2013年2月22日	WPI-AIMR and Fraunhofer ENAS Joint Workshop on Micro Integrated Devices (仙台、日本)	60人

2013年2月18日～ 2月21日	The AIMR International Symposium 2013 (AMIS2013) (仙台、日本)	240人
2012年11月9日～ 11月10日	Sendai Symposium on Analytical Sciences 2012 (仙台、日本)	70人
2012年5月19日～ 5月20日	AIMR-PFPC Joint Workshop (仙台、日本)	40人
2012年5月13日～ 5月18日	International Association of Colloid and Interface Scientist, Conference (IACIS2012) (仙台、日本)	1000人
2012年2月21日～ 2月23日	The 2012 WPI-AIMR Annual Workshop (仙台、日本)	267人
2012年1月9日～ 1月13日	UCSB ICMR/CNSI and Tohoku University WPI-AIMR Joint Workshop on Materials Research (サンタバーバラ、アメリカ)	34人
2011年11月24日～ 11月26日	New Science Created by Materials with Nano Spaces: From Fundamentals to Applications (仙台、日本)	100人
2011年6月12日～ 6月14日	WPI-AIMR Cambridge Symposium (ケンブリッジ、イギリス)	15人
2011年2月22日～ 2月24日	The 2011 WPI-AIMR Annual Workshop (仙台、日本)	216人
2010年3月25日～ 3月27日	The 2010 WPI-AIMR Annual Workshop (仙台、日本)	192人
2009年8月25日～ 8月28日	WPI-Europe Workshop	80人
2009年3月1日～ 3月6日	The 2009 WPI-AIMR Annual Workshop (宮城県蔵王、日本)	180人

## 世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

## 添付資料5-1. ホスト機関による支援の実績

## 1. ホスト機関からのリソース供与

## (1) 資金、人員

※ <資金> については、交付要綱第12条による実績報告書の区分に基づいて記入すること。

※ 研究者等が獲得した競争的資金（研究プロジェクト経費に当たるもの）は含まない。

※ <人員> について、事務職員のうち常勤職員の数を（ ）に記入すること。

(平成19年～平成24年)						
<資金>						(百万円)
年 度	19	20	21	22	23	24
人件費	11	164	243	24	75	257
教員（研究職員）						
うち専任		94	130	19	3	188
うち併任	9					
ポストク						
RA等						
研究支援者		1	24			
事務職員	2	69	89	5	72	69
事業推進費	5	101	105	116	122	53
旅費	0	8	7	1	0	8
設備備品等費	0	932	161	0	61	30
研究プロジェクト費	350	599	204	193	30	18
合計額	366	1,804	720	334	288	366
<人員>						(人)
年 度	19	20	21	22	23	24
人件費						
教員（研究職員）	2	15	14	16	3	18
うち専任		13	12	15	3	16
うち併任	2	2	2	1		2
ポストク						
RA等						
研究支援者		2	12			
事務職員	1 (0)	12 (11)	24 (11)	12 (12)	17 (16)	10 (10)

(平成25年～平成28年)					
<資金>					(百万円)
年 度	25	26	27	28	計
人件費	242	197	264	259	1,736
教員 (研究職員)					
うち専任	177	125	170	181	1,087
うち併任					24
ポスドク					
RA等					
研究支援者	1		11		37
事務職員	64	72	68	78	588
事業推進費	3	24	23	23	575
旅費	1	0	3	9	37
設備備品等費	39	30	35	13	1,271
研究プロジェクト費	38	31	47	35	1,545
合計額	323	282	342	339	5,164
<人員>					(人)
年 度	25	26	27	28	計
人件費					
教員 (研究職員)	19	18	23	21	149
うち専任	17	16	21	19	132
うち併任	2	2	2	2	17
ポスドク					
RA等					
研究支援者	1		12	12	39
事務職員	10 (10)	10 (10)	13 (12)	13 (12)	122 (104)

## (2) 土地建物・研究スペース等の現物供与

ホスト機関は、東北大学片平キャンパスに拠点の研究施設として、平成19年7月に既存建物2,221㎡（現在名称 ANNEX棟）を全面改修し供用させた。この供用を皮切りに、平成20年3月にはWPI棟（第Ⅰ期）3,650㎡を新営、平成21年3月にはWPI棟（第Ⅱ期）3,287㎡（第Ⅰ期と第Ⅱ期を合わせて、現在名称 インテグレーション・ラボ棟）を新営、平成23年度には文部科学省施設整備費補助金とのマッチングファンドによりAIMR本館（8,161㎡）を新営し、現在は研究棟3棟合計約17,300㎡の研究スペースを拠点の用に供用させている。さらに拠点の研究に必要な共通設備等の設置、研究スペースの改修に必要な経費を措置し、この結果、平成21年度にはインテグレーション・ラボ棟全棟を網羅するヘリウムガス回収設備、平成24年度にはエネルギーモニタリングシステム、平成25年度には本館特殊ガス供給中央配管設備・ANNEX棟ヘリウムガス回収設備等の大型インフラ設備を設置し、また平成27年度には駐輪スペースを含む本館外構整備を施し拠点の用に供させた。これらのホスト機関からのリソースのほか、当該拠点に参加する研究者が獲得した外部資金の間接経費の50%に相当する運営資金を拠点に供与しつづけてきた。

## 2. 人事・予算面での拠点長による執行体制の確立

拠点長による拠点運営に独立性を確保するため、ホスト機関側は拠点運営の極めて限定的な重要事項についてのみの権限を有することとし、それ以外の人事や予算執行等については、拠点長が実質的な権限を有する執行体制を敷いた。すなわち、人事に関しては、ホスト機関側は、拠点長の選・解任の決定の権限のみ有することとし、主任研究者の採用や任期の更新を含め、その他の拠点内の人事に係る決定については、拠点長が最終的に、且つ単独で、判断する体制の下に執り行っているところである。また、拠点に措

置されるWPI補助金については渡し切りとし、ホスト機関から配分される予算も含め、拠点の裁量により執行できる権限を付与されており、この点についても機構長が最終的に、且つ単独で、決定する体制の下に執り行ってきたところである。そしてこれを強固なものとするべく、ホスト機関長は、拠点を維持するために予算と10席のテニユアポジションを新しく用意することを約束し、このテニユアポジションを利用し平成26年度には英国ダーラム大学の正教授を研究室メンバーも含め拠点への移籍を実現させたほか、テニユア公募により平成26年度には1名のジュニアPIをテニユアのPIに昇進させ、また平成27年度には1名のジュニアPIを採用し拠点に参画させた。更に、ホスト機関の構成組織として「部局自己評価報告」に加え、大学運営資金や総長裁量経費、学長裁量経費（大学改革促進係数対象事業費）の資源配分あるいは概算要求の対象部局と位置付け、予算面での執行体制の確立を図ってきたところである。

### 3. 機関内研究者集結のための、他部局での教育研究活動に配慮した機関内における調整

ホスト機関は、機関内研究者を集結させるための調整委員会として、ホスト機関の長を座長として、関係する部局の長で構成する「関係部局長会議」を、拠点設立の準備段階から、設置し調整を行ってきた。本会議では、ホスト機関側から集結する研究者の身分や任期、研究スペースや事務支援体制等、あるいは前所属部局における教育研究活動に対する関わり方について協議を行うなどし、拠点長を積極的に支援する体制を整えている。さらに、平成22年6月からは、拠点に密接に関連する部局長から構成され、上記会議の機能を引き継いだ「学内協議会」を発足させ、拠点長に対して全学的立場から助言する機能を果たしてきた。なお、ホスト機関長の提案により、拠点と関連部局が連携し優秀な研究者を拠点に集めるための新たな人事スキームが平成27年度から導入された。

### 4. 新たな運営制度の導入に向けた制度整備

(例：英語環境、能力に応じた俸給システム、クロスアポイントメント、トップダウン的な意志決定システム等)

#### ① トップダウンシステム

拠点長によるトップダウン的な意志決定を支援するため、拠点長に直属のノーベル賞受賞者等で構成される「国際アドバイザーボード」や外部の有識者から構成される「外部諮問委員会」を設置、定期的に会議を催し、拠点の運営に関し提言を行っている。

#### ② 英語環境

ホスト機関は、拠点発足以降、拠点の管理・事務部門には、その過半数のスタッフを英語と日本語のバイリンガルで職務遂行が可能で、ホスト機関の会計・人事・研究支援業務に精通した承継事務職員を優先的に配置している。これに加え、拠点は、安全衛生管理や情報通信管理の業務能力と英語能力を備えた人材を外部から導入し、英語対応率90%を超える管理・事務部門を組織した。更に、ホスト機関は全学事務職員への国際業務の理解を深化させ英語学習意欲の向上を図るべく、拠点による「国際業務説明報告会」を催した。なお、この管理・事務部門に蓄積した英語対応事務のノウハウを、平成26年度に設立した「高等研究機構」の国際事務部門及びリサーチレセプションセンターとして、ホスト機関の事務国際化を先導する組織へ継続・発展させることとしている。

#### ③ 能力に応じた俸給システム

ホスト機関は、拠点の研究者を対象とする特別手当の決定及び年俸制職員の給与額の設定を、拠点長の裁量に委ねている。拠点発足以来、ホスト機関から参画する主任研究者に支給するPI手当(月10万円)、平成21年度からは、拠点の全研究者を対象に実施している研究業績評価の結果に基づき優秀者に支給する評価手当(4段階：月8万円・6万円・4万円・2万円)、平成25年度からホスト機関内他部局に所属する連携PIに支給する連携PI手当(月10万円)は、拠点長の承認に基づくところである。

#### ④ トップマネジメント

ホスト機関側は、拠点長からの機関の制度に係る運用の見直し、改正、整備に関する要請等に対し、早急に検討し対応できる環境を整えた。平成24年度には、ホスト機関側の理事の下に設置した「ワールドクラスの研究推進プロジェクトチーム」や「グローバル戦略推進プロジェクトチーム」においてWPIプログラム実施の成果や拠点発展に係る課題が取り上げられるなど、拠点長のトップマネジメントが円滑になされる更なる連携強化が図られている。

#### ⑤ 事務制度改革

ホスト機関は、拠点が取り組むシステム改革や事務の国際化を、機関内に波及するよう、従来制度の見直し等、種々の支援を行っている。特に、平成25年度には海外の研究者を二重所属制度で雇用する場合の契約方式、外国人を招へいする場合の海外旅費の現物支給方式などの運用方針の見直しは、本部を通じて機関内に通知したところである。また、拠点の事務部門に蓄積したバイリンガル対応の事務処理文書は、「職員のための英文メール&レター集」「英会話集」として作成し、平成26年度以降、ホスト

機関内全事務職員に配布されている。更に、ホスト機関は高等研究機構の外国人研究者支援の促進を図るべく平成27年度に国際事業推進室の設置に着手し、次年度からの運用開始に備えた。

## 5. インフラ利用における便宜供与（1.以外で）

ホスト機関は、拠点の活動の中核となる施設として平成23年度にAIMR本館を完成させ分散していた拠点研究者をワンルーフの下に集結させたところであるが、これに併せ、片平キャンパス内の他部局施設（図書館、材料分析研究施設、液体窒素供給施設 等）における利用について便宜を以って供与した。また、平成24年度にはAIMR本館の近傍に、拠点の要望を踏まえ外国人研究員宿泊棟を擁する片平北門会館を新営し、拠点が招へいする研究者用のスペースを確保した。

## 6. その他

上述のほか、ホスト機関は、国立大学法人東北大学の第1期及び第2期中期計画、更に第3期中期計画においても、拠点への支援と強化を明確に位置付けているところであるが、2007年の拠点設立以来、拠点が上げた科学的成果、国際プレゼンスの向上、システム改革と教職員・事務職員の意識改革（特に国際対応の事務組織）、新機軸研究への挑戦などの成果を鑑み、スーパーグローバル大学創成支援「東北大学グローバルイニシアティブ構想」事業で平成26年度にホスト機関内に設置した「WPI型研究特区 高等研究機構」の傘下に置いた最初の研究所としても、最大限の支援を引き続き行ない、教育・研究の両輪として活用し、「ワールドクラスへの飛躍」を目指していきたいと考えている。

# 世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

## 添付資料5-2. 「中期目標」・「中期計画」の抜粋

国立大学法人東北大学 中期計画

平成 22 年 3 月 31 日 文部科学大臣認可  
 平成 23 年 3 月 31 日 文部科学大臣変更認可  
 平成 24 年 3 月 30 日 文部科学大臣変更認可  
 平成 25 年 3 月 29 日 文部科学大臣変更認可  
 平成 26 年 3 月 31 日 文部科学大臣変更認可

### I 大学の教育研究等の質の向上に関する目標を達成するためにとるべき措置

#### 1 教育に関する目標を達成するための措置

##### （1）教育内容及び教育の成果等に関する目標を達成するための措置

##### ①-1 東北大学独自の教養教育カリキュラムの再構築

- 学生にとって人間力を高め、世界に向けて視野を広げ、専門教育の基礎を確立するとともに、大学院での異分野融合研究を創造していくために、本学独自の教養教育カリキュラムを編成する。

##### ②-1 学部専門教育の充実

- 社会貢献に必要な専門性・国際性の基盤となる専門分野に対する理解力と応用力を修得させるため、また、大学院進学後の高度専門教育にスムーズに移行するための基礎的専門知識と実践力を修得させるため、学部専門教育のカリキュラムの充実を図る。

##### ②-2 大学院教育カリキュラムの再構築

- 教養教育と専門基礎の上に築き上げられる高度な大学院教育にふさわしいカリキュラムを構築する。

##### ②-3 厳正かつ適切な成績評価の実施

- 教育プログラムの水準を保証する厳正かつ適切な成績評価を実施する。

##### ②-4 異分野融合領域における高度な研究人材の養成

- 国際高等研究教育機構、原子分子材料科学高等研究機構及びグローバルCOEプログラムとの連携の下で異分野融合領域における高度な研究人材の養成を進めるための教育プログラムを実施する。

##### ②-5 世界トップレベルの博士人材の養成

- スピントロニクス分野において、世界最高水準の海外大学の研究者を招へいする等、本学と当該大学との協働により、世界トップレベルの博士人材を養成するための教育プログラムとして平成 27 年度までに国際共同大学院を整備する。

##### ②-6 社会的要請の特に高い分野における人材の養成

- 社会的要請の特に高い分野における高度専門職業人の養成に対する期待にこたえて、高度専門職業人の計画的な養成を進めるための教育プログラムを実施する。

##### ③-1 国際的ネットワークの構築と学生の海外留学促進、受入れ留学生の増員等

- 国際水準の大学や機関との国際的ネットワークを構築し、スタディアブロードプロ



グラム、海外インターンシップ等を実施する。

- 受入れ留学生の増員を促進するため、留学生の受入れ環境の整備を進める。

④-1 学生募集力の向上

- 東北大学進学への動機付けを図るため、わかりやすいホームページの作成、説明会、オープンキャンパス、移動講座などの広報活動を展開する。

④-2 アドミッション・ポリシーに適合する入学者選抜方法の改善

- アドミッション・ポリシーに適合する学生を確保するため、入学者選抜方法の継続的な点検・改善を図る。

(2) 教育の実施体制等に関する目標を達成するための措置

①-1 教養教育の実施体制の整備・充実

- 全学体制による教養教育を強化するため、中核的な教育・研究組織を整備する。

①-2 学部専門教育・大学院教育の実施体制の整備・充実

- 教員の多様性を確保するため、外国人教員の増員、年齢構成やジェンダー・バランス、実務経験等にも配慮した適切な教員配置を進める。

①-3 eラーニングによる教育システムの拡充

- 効率的・効果的な教育を展開するため、eラーニングによる教育システムの拡充を図る。

①-4 教育の質の向上方策の推進

- 教育の質の向上を図るため、教育の実施体制・方法の継続的な点検など、教育改善活動を推進する。その際には、歯学部の入学定員の適正化に向けた取組も行う。

(3) 学生への支援に関する目標を達成するための措置

①-1 修学支援の充実

- 修学支援の取組を充実する。

①-2 課外活動等の活性化

- 人間性を高め社会性を育むため、課外活動等の活性化を図る。

①-3 キャリア支援の推進

- キャリア支援の取組を推進する。

2 研究に関する目標を達成するための措置

(1) 研究水準及び研究の成果等に関する目標を達成するための措置

①-1 長期的視野に立つ基盤研究の充実

- 基盤研究の重要性及び基盤研究と応用研究の不可分性に照らし、各部署・研究者の自由な発想と独創性のある研究を支援、推進する。
- 共同利用・共同研究拠点は、大学の枠を超えて全国に開かれた関連研究分野の中核としての使命を遂行するため、業務運営の一層の改善を行う。
- 附置研究所は、学術研究の動向や経済社会の変化に対応しながらその機能を十分に発揮し、高い研究水準を維持する学術研究の中核的研究拠点としての使命を遂行する

ため、業務運営の一層の改善を行う。

①-2 社会的課題にこたえる戦略的研究の推進

- 社会的ニーズと本学の多様な研究シーズを組み合わせ、社会的課題にこたえる戦略的研究を推進する。東日本大震災による被災からの復興・地域再生を先導する研究を推進する。

①-3 世界トップレベルの特定研究領域の育成

- 世界トップレベル国際研究拠点形成促進プログラム（WPI）に採択され発足させた原子分子材料科学高等研究機構を世界最高の国際研究ネットワーク拠点到に発展させるため、その組織の強化と支援を行う。
- グローバルCOEプログラムの採択など中核的研究拠点として国際的プロジェクト研究や共同事業を推進する。

②-1 国際高等研究教育機構等による新機軸研究の牽引

- 国際高等研究教育機構、原子分子材料科学高等研究機構、医工学研究科等を活用し、新機軸研究を推進する。

②-2 トランスレーショナル・リサーチ（基礎から臨床への橋渡し研究）の促進

- トランスレーショナル・リサーチ（基礎から臨床への橋渡し研究）を促進するため、未来医工学研究治療開発センターの充実を図り、トランスレーショナル・リサーチの推進を担う人材育成の教育システムを構築する。

③-1 国際的ネットワークの構築による国際共同研究の推進

- 国際水準の大学・研究機関との国際学術ネットワークを通じた国際共同研究を推進する。特にスピントロニクス分野においては、海外の大学等から世界最高水準の外国人研究者を招へいし、最先端の国際共同研究を推進する。

(2) 研究実施体制等に関する目標を達成するための措置

①-1 戦略的研究支援機能の強化

- 社会的ニーズと本学の多様な研究シーズを組み合わせることができる戦略的研究支援機能を強化する。

②-1 世界第一線の研究者が集う国際的研究の推進

- 外国人研究員・教員の受入れ環境の整備を進める。

3 その他の目標を達成するための措置

(1) 社会との連携や社会貢献に関する目標を達成するための措置

①-1 国家政策及び地域政策への貢献

- 国家政策や地域政策の策定等にも積極的に貢献するため、国や地方公共団体に向けての政策提言や教職員の審議会等への積極的参画を推奨するとともに、東日本大震災による被災からの復旧・復興支援の取組に努める。

①-2 教育と文化への貢献

## 世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

## 添付資料5-3. 女性研究者数の推移

※平成22年度～平成27年度の女性研究者数及び総数に対する割合を上段に、総研究者を下段に記入すること。

（単位：人）

	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	最終目標
研究者	14, 10%	11, 8%	15, 9%	16, 9%	10, 6%	15, 9%	22, 15%
	136	131	165	170	154	168	146
主任研究者	2, 6%	2, 6%	2, 6%	2, 6%	2, 7%	2, 7%	2, 6%
	33	32	32	31	30	28	33
その他の研 究者	12, 12%	9, 9%	13, 10%	14, 10%	10, 8%	13, 9%	20, 18%
	103	99	133	139	124	140	113

# 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) 進展計画 (最終評価用)

ホスト機関名	東北大学	ホスト機関長名	里見 進
拠点名	原子分子材料科学高等研究機構	拠点長名	小谷 元子

※全体を6ページ以内で記載すること。

※文中で金額を記載する際は円表記とすること。この際、外貨を円に換算する必要がある場合は、使用したレートを併記すること。

## 1. これまでの成果に基づく中長期的な研究課題・戦略

補助金期間終了後の研究課題・研究戦略におけるチャレンジについて記述すること。新たに設定する拠点の研究課題、あるいは拠点長の交代等の重要な変更事項があれば その戦略的背景についても記述すること。

AIMR は、世界一線級の国際的融合組織体制の下、人々の安全で豊かな生活の基盤となるような革新的機能性材料を創製して社会に貢献することを目的として設立され、世界中から優秀な研究者を集結し、質の高い研究成果を継続的に上げ続けている。研究成果については、WPI プログラム委員会からも、国際的な科学コミュニティからも常に「世界トップレベル」であると評価されてきた。更に、平成 23 年度に行われた中間評価にあたり、この目標をより明確化し、取り組みを加速するため、数学を取り入れ「異なる材料分野間の共通項、普遍原理を見出し、新機能およびその機能を発現する構造を予見することが可能な新しい材料科学を創出する」をアイデンティと定めた。中間評価後、小谷元子新拠点長のリーダーシップのもと、数学ユニット、インターフェースユニットの設立、ターゲットプロジェクトの設定等、数学-材料科学連携のための組織、システム作りを急速に進め、「期待以上の顕著な進展」を果たすことで 2 年間の様子観察をクリアした。そして、平成 26 年度に行われた延長申請において、AIMR は数学-材料連携研究により世界トップレベルの材料科学を生み出し、World Premier Status を達成していると評価された。

WPI による 10 年間の支援終了後は、これまでに構築してきた、常に最新の研究トピックスにおいて世界をリードできる柔軟かつ機動的な組織・運営体制、世界中から優秀な材料科学者が集結するような魅力的な研究環境を維持し、その上で、数学と材料科学の連携を成熟させ、21 世紀に相応しい新しい材料科学を創出する。特に、AIMR のこれまでの活動で築いた強みを活かし、以下に示すような 2 つの研究領域について重点的に取り組む。

1) **スピンを中心に置いた材料科学**：近年の理論、技術の発展により「スピン流の物理」を論じることが可能となり、従来の電流を主とした物理を革新し、スピンの物理に立脚した新しいテクノロジー開発の可能性が開けている。特にスピンを利用してマイクロな非散逸現象を作り出すことができるようになり、数学の先導によってエネルギーや情報の流れを制御する新しい理論的原理を構築できる。これにより、数学・物理の基礎理論の発展を刺激すると同時に、「トンネル磁気抵抗効果」や「磁性半導体」を用いた省エネルギーデバイスの開発、「スピンゼーベック効果」による新発電技術の開発等、AIMR の研究者が世界のパイオニアとなっているテクノロジーを拡充していく。

2) **理論的予見に基づく階層構造設計**：AIMR では、設立時の目標を明確化し、材料特性を予見することが可能な材料科学の基盤を構築するため、ターゲット・プロジェクトを実施してきた。特に、階層間の相互作用や非平衡系の動的構造形成と機能発現の関係を数学的な指標を導入し明らかにしてきた。これらの知見を基に、さらに踏み込んで、新構造発見の指導原理となる指標の提

供、提案された構造を実現するパターン形成モデルの構築、構造安定性の精度保証付き評価理論の開拓などを進める。「計算ホモロジー」に基づいて材料の特性を計算し予見する「トポロジカルデザイン」の実現も視野に入れ、数学による材料のスマート設計を可能とする基盤を構築する。

研究組織体制においては、AIMR をモデルとする「高等研究機構」が平成 26 年度に設立され、AIMR がその第一番目の研究所となった他、世界的研究者を中期的に受け入れる「知のフォーラム」、国際対応事務部門、リサーチ・レセプションセンターが置かれた。更に、AIMR の研究者が中核となって、「スピントロニクス国際共同大学院」も設置され、世界トップレベルの研究者や優秀な大学院生が東北大学に集結しつつある。これらの遂行において、AIMR およびその研究者は中心的役割を果たし、研究力強化、国際化の両面で東北大学を先導する。海外展開においては既に設置しているサテライトとの国際連携を維持する。これらの取り組みによって、長期的には、AIMR は材料科学における世界のリーダーとして、時代の要請に応じ柔軟かつ機敏に戦略をたて、AIMR で生まれた新しい材料科学によって革新的な機能性材料を創製し社会に貢献する。

以下、AIMR が今後も世界をリードする研究機関として発展するために、WPI プログラムによる支援終了後も継続して取り組むチャレンジについて詳細を述べる。

### ① 数学－材料科学連携の成熟とそれに基づく新しい材料科学の創出

材料科学は、科学技術においても経済活動においても国際社会における日本の強みであった。しかしながら中国等の新興や、米国が ICT を活かしたマテリアル・ジェノミクスを進めるなど、材料研究は転機に差し掛かっている。そのような状況下において、複雑な材料の機能発現を予見する数理基盤を構築する AIMR の先駆的アプローチは、まさにこの材料特性予見能力の開発を掲げる高機能計算時代の要請に適したものである。一方、数学においては、近年のフィールズ賞受賞者の多くが物理的な問題を扱う数学理論構築を専門とする数理物理の研究者であること、また、平成 23 年度の京都賞先端科学分野が材料相分離の数理モデルを構築した John Werner Cahn 博士に授与され、平成 26 年度の京都賞基礎科学分野数理科学部門が物理学者の Edward Witten 博士に授与されたことなどからもわかるように、数学と物理は一体化してきている。最近のトポロジカル材料や量子材料では、数学の最先端理論である指数定理や非可換幾何学を駆使した研究が進むなど、材料科学のフロンティアが数学者にとっても魅力的な問題を提供している。このように、材料科学は数学の最先端を切り拓く重要な問題を提起し、一方で数学は材料科学の複雑さに応えられる成熟した学問となってきた。数学と材料科学の双方にとって有益な連携関係の土壌がまさにできつつある。

AIMR は「数学的力学系に基づく非平衡材料」、「トポロジカル機能性材料」、「離散幾何解析に基づくマルチスケール階層性材料」の 3 つのターゲットプロジェクトを設定し、最先端の実験科学者による観測結果と数理モデルが双方向に刺激し合える体制を作ってきた。その結果、材料科学者と数学者の両者にとって魅力のある挑戦課題がいくつか具体的に特定された。今後はこれらに注力し、上記に設定した 2 つの重点領域「スピンを中心に置いた材料科学」および「理論的予見に基づく階層構造設計」におけるブレークスルーを目指す。特に、アモルファス材料の大域的構造を記述する新しい数学理論、「スピン」を中心に置いた新たな物理学の構築、非可換幾何学・指数定理を用いた表面・界面状態の量子化、フェーズフィールド法 (PFM) と流体方程式を組み合わせたハイブリッドアルゴリズムによる超高密度微粒子系の新たな力学系理論の構築などが具体的研究対象として挙げられる。

近年、材料科学に関わる研究成果をデータベース化したビッグデータを情報理論・数理科学理論で解析することによって材料設計・開発を合理化し、開発サイクルを短縮することの重要性が指摘され始めている。しかし単なる情報科学的手法の適用では不十分であり、最高の実験材料科学者と理論物理学者・数学者が一つ屋根の下で議論を繰り返し、機能発現メカニズムの深い理解と適切な数理概念の抽出を進めた上で数理モデルを開発することが必須である。AIMRはこの方向に沿って既にいくつかの萌芽的な成果を短期間で得ており、このパラダイムシフトをもたらす十分な下地を有している。例えば、トポロジー解析とデータ駆動手法を合わせた材料機能予測のためのホモロジーデータベースを基盤として、分子シミュレーションや高次元位相情報時系列解析を双方向的に行える、新たな材料インフォマティクス手法を構築予定である。

21世紀に相応しい数理を基盤とする予見性のある材料科学の構築を目指すAIMRの先導性は、SpringerBriefs in the Mathematics of Materials (編集責任者：小谷元子)の出版、アジアフォーサイト Modeling and Simulation of Hierarchy and Heterogeneous Flow systems with Applications to Materials Science (プロジェクトリーダー：西浦廉政)などに象徴されるように、国際数学学会でも認知されている。

## ② 国際連携の維持

AIMRが新しい材料科学を創出して世界をリードしていくためには、これまでに築いてきた国際連携を維持することが必要であり、そのためには、これまでと同様にサテライトとの関係を維持することが重要である。添付様式2に示すように、ケンブリッジ大学、カリフォルニア大学サンタバーバラ校 (UCLAのCNSIやIPAMも含めた連携)、北京 (清華大学と中国科学院)、ケムニッツ工科大学 (フラウンホーファー協会ENAS: AIMR内にフラウンホーファープロジェクトセンターを設置している)、シカゴ大学の5つの海外研究機関とこれまで同様、強い協力関係を維持していく。

このような国際連携におけるAIMRの優位性は、世界に先駆けた数学-材料連携である。近年、数学と諸分野の連携がイノベーションの根幹を支えることの重要性が繰り返し指摘され、米国オバマ大統領が数学への大幅な投入を実施したことにも見られるように、世界における数学と諸分野の連携の動きは着実に進んでいる。この動きのなかで、世界に先駆けてAIMRが開始した数学-材料科学連携の取り組みを浸透させることは、国際的な要請に応えるものであり、AIMRは世界の潮流を作り、リーダーとなる準備を整えている。

## 2. 研究組織運営

### 2-1. 上記で示した研究戦略・計画を実行するための研究組織運営について記述すること。

- ・ 進展・持続を確保するためのPI構成について[添付様式1]に記載すること。
- ・ 拠点の組織運営図を[添付様式2]に記載すること。

小谷元子拠点長と添付様式1に示す主任研究者 (PI) が継続して結束し、世界トップレベルの研究を推し進める。添付様式2に示すように、現行の5グループ体制、「材料物理」、「非平衡材料」、「ソフトマテリアル」、「デバイス・システム」、「数学連携」を踏襲し、これまで通り、拠点長のトップダウンマネジメント、国際水準の研究環境 (業績に応じた給与体系を含む) と支援体制を維持し、柔軟かつ機敏な運営を行う。ジョイントアポイントメント制度を活用し、学内、国内外の研究者グループとの人材交流を活発にする。特に、学内の部局との有機的連携によりテニユア・トラックなど、若手のキャリアパスを確立する。

国際展開のための組織作りとしては、上述のように、ケンブリッジ大学、カリフォルニア大学サンタバーバラ校（およびUCLA）、北京、ケムニッツ工科大学（フラウンホーファー協会）、シカゴ大学の5つの海外研究機関との連携を維持していく。

## 2-2. システム改革を先導する取組・計画

国立大学改革プラン・独立行政法人改革等に関する基本的な方針等への対応、ホスト機関全体を先導する取組の計画及び波及効果・貢献について記述すること(他機関を先導する取り組みの計画および波及効果・貢献等があれば記述すること)。さらに次世代研究者育成・確保の取組(例えばテニュア・トラック制の導入等)、継続的な実行・検証（PDCA）システム等組織運営の進化を促すシステムへの取り組みについても記述すること。

東北大学は、総長アクションプラン「里見ビジョン」を策定し、「知の国際共同体形成」に向けて、組織改革や制度改革を着実に進めている。中でも、世界水準の研究強化、国際化、制度改革では、AIMRが先行実施してきた取り組みを全学に広げる準備を行っている。

東北大学では平成26年度、AIMRにおける国際化・システム改革をモデルとし、本学に世界最高水準の研究者が集結できる優れた国際的研究環境と研究支援体制を構築し、既存の学問領域を超えた新しい学術分野の創出を目的として「高等研究機構」を設立し、AIMRをその最初の研究所とした（添付様式3参照）。これは資源の再配分や人事制度改革を実現する東北大学の大学改革プランの主軸である。高等研究機構では、AIMRをモデルとし、拠点長の独立性・トップダウン指揮、業績ベースの給与体系、国際性（外国人研究者比率や英語による対応）、研究支援体制が導入される。また、AIMRの事務部門を拡大した国際対応事務部門、研究者受け入れサービスを行うリサーチ・レセプションセンター、AIMRの国際交流、研究者招聘の原動力となった「GI<sup>3</sup>ラボラトリープログラム」をより充実した「知のフォーラム」等が既に設置され機能している。全学のビザ手続きのウェブ化や受け入れ支援システムの体系化など、国際的活動に対する支援体制がシステム化され、より機動的となる。

更に、AIMR事務組織をモデルとして里見ビジョンに明記された「業務運営改革推進室の設置」、「全学として英語に対応できる体制作り」により、全学事務改革が実施される。「柔軟な人事制度ワーキンググループ」の調査報告・提言を受けて、「ジョイントアポイントメント制度」が設置され、多様な人材の受け入れが容易になる。さらに業績を基にした給与を可能とする年俸制雇用制度の拡大・見直しを開始され、優秀な人材の受け入れを加速する。企業との共同研究を強化するための「産学連携共同研究部門」制度（AIMRが最初に開設）も開始した。

## 3. ホスト機関における位置付け及びリソース措置

以下の点について、実施期間終了後の取り組みについて記述すること。

### 3-1. ホスト機関の中長期的展望における拠点の位置付け

ホスト機関長のリーダーシップの下、当該拠点がホスト機関全体の今後の戦略においてどのような位置付けをされているか記述すること。

- ・ 今後の拠点のホスト機関における組織的位置付けが分かる図及び中長期的な計画等の抜粋、あるいはこれらの検討状況等について[添付様式3]に記載すること。

添付様式3に東北大学の「第三期中期計画」におけるAIMRの位置付けに関する記述を示すが、AIMRの推進は、ホスト機関である東北大学の中期計画において最重要項目の一つと位置付けられている。AIMRは、当初から東北大学の正式な部局として設立され、教員・事務職員が配置されている。更に、里見ビジョンに明記されている「世界最高水準の最先端研究機構群の設置」、「国際的な頭脳循環のハブとして世界に飛躍」を実現するための要として、世界トップレベル研究拠点であるAIMRをWPIプログラム終了後も維持することを大学として決断している。添付様式3に示すように、東北大学は平成26年度、総長直下の組織として「高等研究機構」を設立し、AIMR

をこの機構の最初の研究所としている。

### 3-2. 世界トップレベル研究拠点たる活動の進展・持続についてのホスト機関の措置の実行計画（ポジション、財源等の措置）

具体的な資金計画を添付様式4に示す。里見総長は、現在配置されている東北大学の教職員（16名の承継教員（テニユア職）と10名の事務職員）を継続するとともに、新たに10のテニユアポジションを約束している。このテニユアポジションの5枠にはKosmas Prassides教授（PI）、水上成実教授（PI）、平岡裕章教授（PI）、平野愛弓教授（PI）、藪 浩准教授（テニユア・トラックジュニアPI）が既に着任している。残りのテニユアポジションについても段階的に国際公募を行っていく。ホスト機関からのリソースは主にこのテニユアポジションによって着任する研究者の新研究室の立ち上げ、数学連携グループの若手研究者、国際事務組織の職員の雇用維持に使用される。またリソースの一部は先述の海外サテライトとの連携維持にも使用される。研究所の規模（特に若手研究者数）を現在の三分の二は維持して可能な限りアクティビティーを保つことは、AIMRが世界のリーダーとして新しい材料科学を開拓していくために必須である。若手の実験研究者（助教、ポスドク）を外部資金で維持できるよう、拠点として最大限の努力をする。



## 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

## 添付資料1. 主任研究者リスト (進展計画用)

※主任研究者が10名を超える場合は、その数に応じて作成。

※「世界トップレベル」と考えられる研究者については、その氏名の右側に「\*」印を付す。

※年齢は、2017年4月1日時点とする。

※進展計画開始時点で、当該構想に参加できないものについては、備考の欄に、参加予定時期を明記する。

氏名	年齢	現在の所属 (機関、部局、専攻等)	現在の専門 学 位	備 考 (新規・継続等も記入)
1. 阿尻 雅文*	59	東北大学・ 原子分子材料科学高等研 究機構	工学博士 ハイブリッド材 料、超臨界流体工 学	継続
2. 福村 知昭*	47	東北大学・ 原子分子材料科学高等研 究機構	博士 (工学) 固体化学	新規
3. 平野 愛弓*	47	東北大学・ 原子分子材料科学高等研 究機構	博士 (理学) バイオデバイス	新規
4. 平岡 裕章*	39	東北大学・ 原子分子材料科学高等研 究機構	博士 (理学) 数学 (応用トポロ ジー、動力学系)	継続
5. 小谷 元子*	57	東北大学・ 原子分子材料科学高等研 究機構	理学博士 数学 (幾何学)	継続
6. Dmitri V. Louzguine*	49	東北大学・ 原子分子材料科学高等研 究機構	博士 (工学) 材料科学	継続
7. 水上 成美*	44	東北大学・ 原子分子材料科学高等研 究機構	博士 (工学) スピントロニク ス	継続
8. 大野 英男*	62	東北大学・ 電気通信研究所	工学博士 半導体物理・半導 体工学、スピント ロニクス	継続
9. 折茂 慎一*	51	東北大学・ 原子分子材料科学高等研 究機構	博士 (学術) 材料工学・ 材料化学	継続
10. Kosmas Prassides*	59	東北大学・ 原子分子材料科学高等研 究機構	Ph.D. 化学、分子性結晶	継続
11. 齊藤 英治*	45	東北大学・ 原子分子材料科学高等研 究機構	工学博士 固体物理、スピ ントロニクス	継続

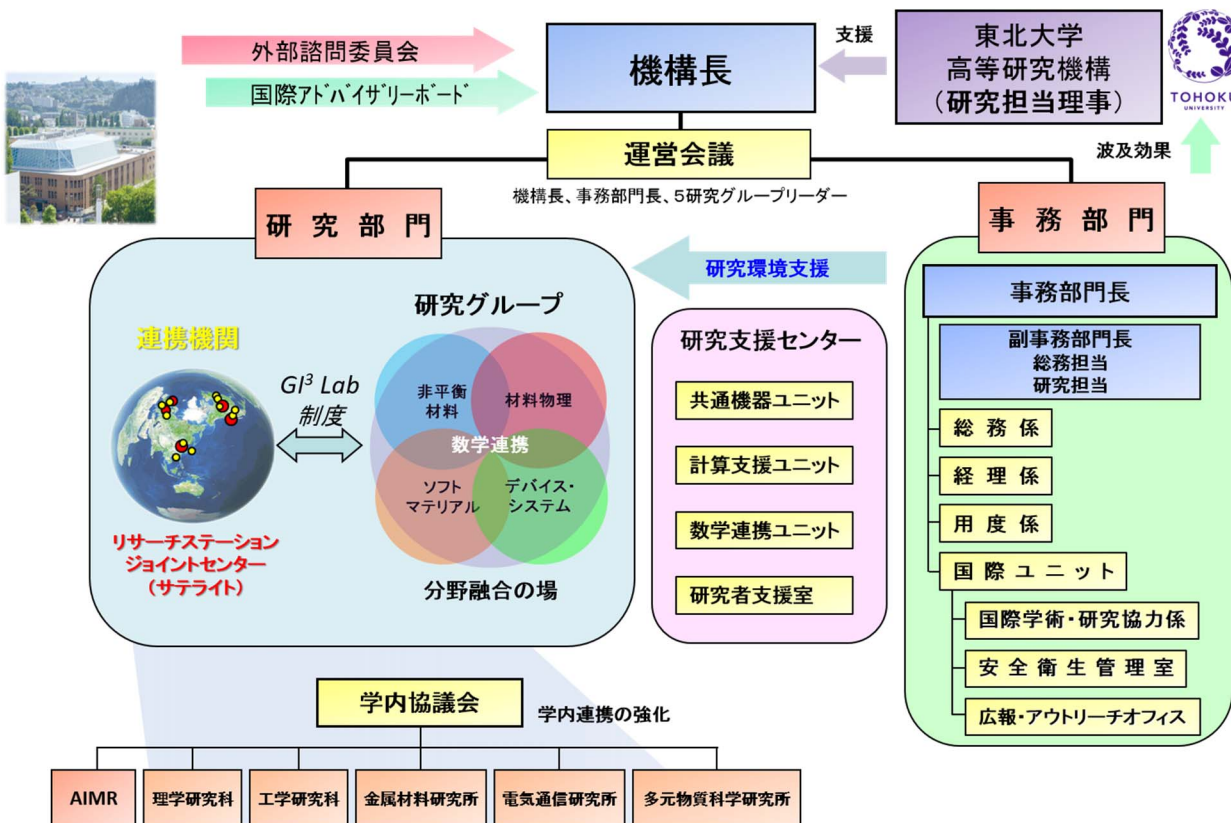
12. 寒川 誠二*	58	東北大学・ 流体科学研究所	工学博士 ナノプロセス工 学	継続
13. 水藤 寛*	55	東北大学・ 原子分子材料科学高等研 究機構	博士（工学） 数理モデリング、 数値シミュレー ション	新規
14. 高橋 隆*	65	東北大学・ 原子分子材料科学高等研 究機構	理学博士 物性物理学	継続
15. 谷垣 勝己*	62	東北大学・ 原子分子材料科学高等研 究機構	工学博士 ナノ材料科学	継続
16. 山下 正廣*	62	東北大学・ 原子分子材料科学高等研 究機構	理学博士 錯体化学	新規
17. 幾原 雄一*	58	東京大学・大学院工学系研 究科	工学博士 セラミックス、電 子顕微鏡	継続
18. Mingwei Chen*	51	ジョンズ・ホプキンス大学 ・工学研究科	Ph.D. 材料科学	継続
19. Yong P. Chen*	37	パデュー大学・電気・コン ピュータ工学研究科	Ph.D. 固体物理学 ナノテクノロジー	新規
20. Tomasz Dietl*	66	ポーランド科学アカデミ ー・物理研究所	Ph.D. 物性物理学 (理論)	継続
21. Alan Lindsay Greer*	61	ケンブリッジ大学・材料科 学・冶金学科	Ph.D. 冶金材料科学	継続
22. Ali Khademhosseini*	41	ハーバードメディカルス クール	Ph.D. バイオ工学	継続
23. Chris Pickard*	43	ケンブリッジ大学・材料科 学・冶金学科	Ph.D. 計算材料科学 物性物理学 (理論)	新規
24. Thomas P. Russell*	64	マサチューセッツ大学・ エネルギーフロンティア 研究所	Ph.D. 高分子科学・工学	継続

25. Alexander Shluger*	62	ロンドン大学・物理学科	Ph.D. 固体物性 (理論)	継続
26. Winfried Teizer*	46	テキサスA&M大学・物理学部	Ph.D. ナノ物理学	継続
27. Li-Jun Wan	59	中国科学技術大学 (学長)	Ph.D. 走査プローブ顕微鏡、電気化学、 ナノ材料	継続
28. Qi-kun Xue	53	清華大学・物理学科	Ph.D. 表面科学	継続

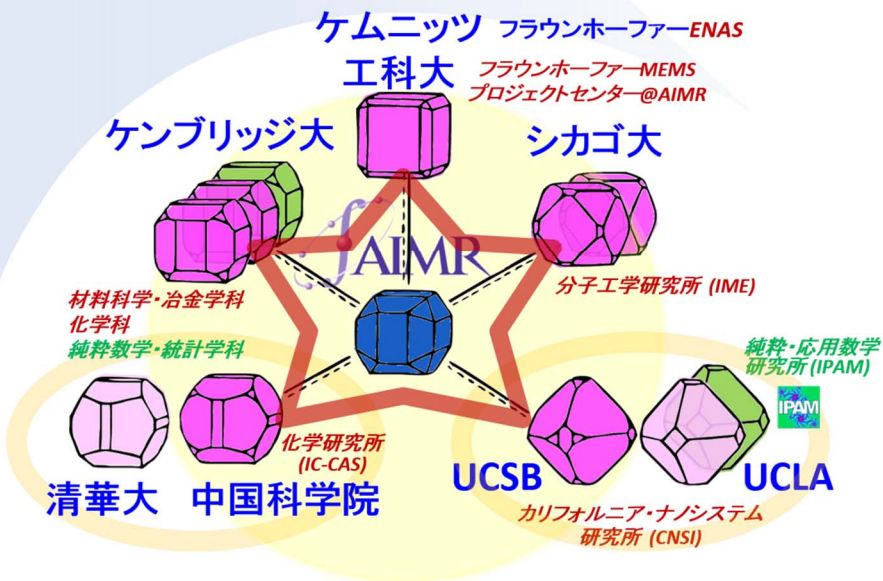
# 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

## 添付資料2. 拠点運営組織図

### AIMRの組織体制



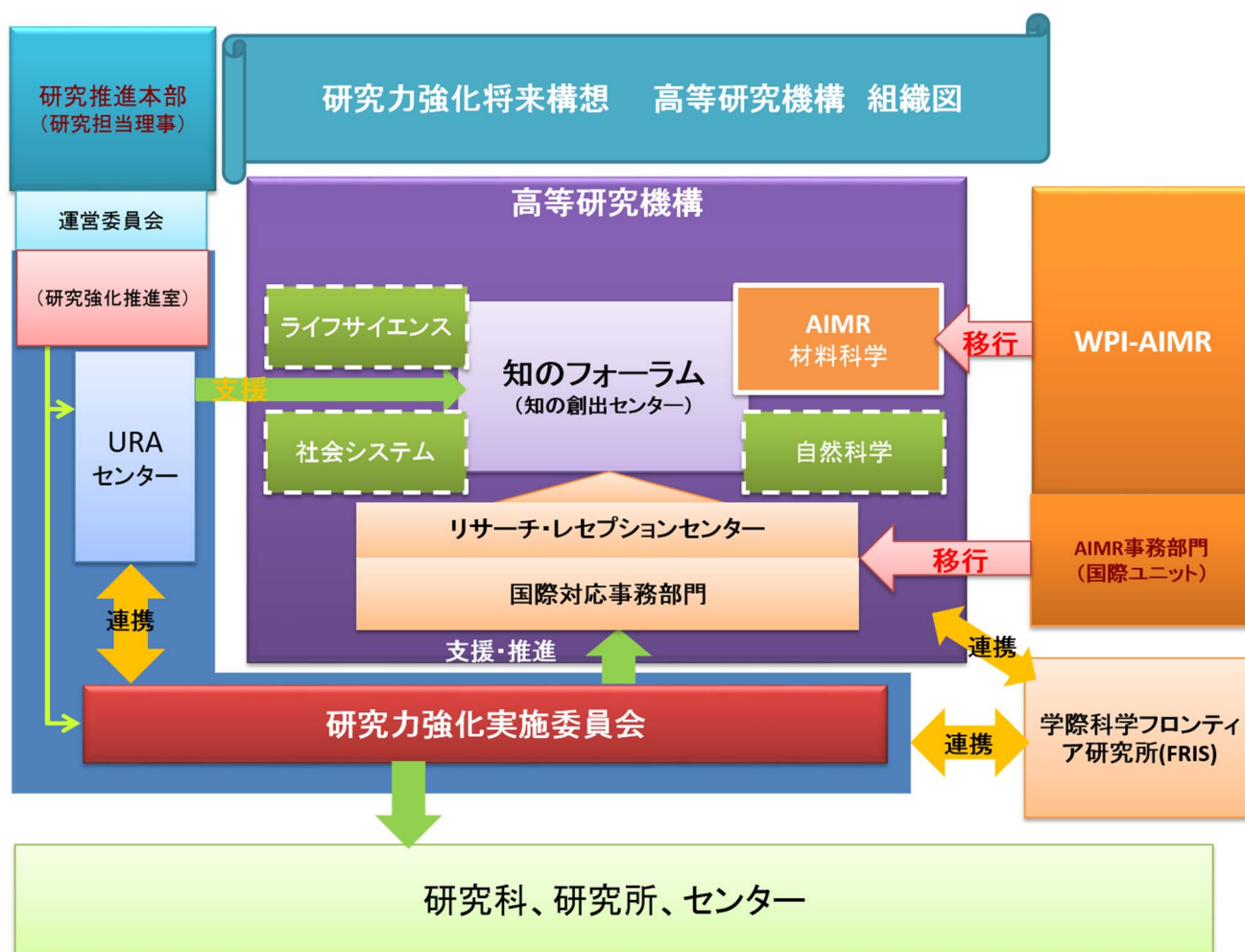
### 世界をリードする頭脳循環ハブ



## 世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

### 添付資料3. ホスト機関における拠点の組織的位置付け

※拠点のホスト機関における組織的位置付けが分かる図及び中長期的な計画等の抜粋、あるいはこれらの検討状況を記載すること。



東北大学の第三期中期計画（平成28年4月1日～平成34年3月31日）より、AIMRに関わる箇所の抜粋

#### 2 研究に関する目標を達成するための措置

##### (2) 研究実施体制等に関する目標を達成するための措置

##### ②-1 世界最高水準の最先端研究機構群の設置

□ 本学の総力を挙げて最先端研究に取り組むため、高等研究機構に設置した物質・材料分野（原子分子材料科学高等研究機構）の強化を着実に進め、高等研究機構に新たな分野・研究組織等を順次整備して、世界最高水準の研究環境及び研究支援体制を構築・拡充するとともに、高等研究機構と研究科・附置研究所等との有機的な連携を促進する。

## 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

## 添付資料4 世界トップレベル研究拠点の進展・持続に係るリソース計画

年次計画 (平成29年～平成33年)					
<資金>					(百万円)
年 度	29	30	31	32	33
・補助金額	- (※)	- (※)	- (※)	- (※)	- (※)
・ホスト機関の措置予定額 (内訳)	<b>763.5-863.5</b>	<b>763.5-863.5</b>	<b>763.5-863.5</b>	<b>763.5-863.5</b>	<b>763.5-863.5</b>
人件費	<b>628.7</b>	<b>628.7</b>	<b>628.7</b>	<b>628.7</b>	<b>628.7</b>
事業推進費	<b>192.8</b>	<b>192.8</b>	<b>192.8</b>	<b>192.8</b>	<b>192.8</b>
旅費	<b>20.0</b>	<b>20.0</b>	<b>20.0</b>	<b>20.0</b>	<b>20.0</b>
設備備品等費	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
研究プロジェクト費	<b>17.0</b>	<b>17.0</b>	<b>17.0</b>	<b>17.0</b>	<b>17.0</b>
サテライト経費	<b>5.0</b>	<b>5.0</b>	<b>5.0</b>	<b>5.0</b>	<b>5.0</b>
・外部資金獲得計画	<b>2200.0</b>	<b>2200.0</b>	<b>2200.0</b>	<b>2200.0</b>	<b>2200.0</b>
・合計額	<b>2963.5-3063.5</b>	<b>2963.5-3063.5</b>	<b>2963.5-3063.5</b>	<b>2963.5-3063.5</b>	<b>2963.5-3063.5</b>
	※インセンティブ経費配当額の変動に伴う				
<人員>					(人)
年 度	29	30	31	32	33
・総人員	<b>124</b>	<b>124</b>	<b>124</b>	<b>124</b>	<b>124</b>
教員 (研究職員)	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>
うち専任	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>26</b>
うち併任	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
・ポスドク	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>48</b>
・RA等	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>
・研究支援者	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
・事務職員	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>

(※) 補助金見込額は含めないこと。

- 金額については、小数点以下第一位まで記入。

- 幅がある場合上限と下限を示し、その変動条件についても注釈によって示すこと。

**<平成29年度以降において講ずる措置>**

- 適切な人員（テニュアポスト）、スペース及びその他必要な措置に関する戦略・取組についての行動計画等

ホスト機関（総長、担当理事及びホスト機関内関係部局長）との対話・協議に基づき立案した人的・財政的リソース等の組織構想に沿って行動計画を策定しその具体化を進める。特に、「東北大学グローバルイニシアティブ構想」事業で設置した高等研究機構（OAS）の傘下に最初に置いた研究所としても、AIMRの恒久性と独立性を維持できるように最大限の支援を行うものである。

**【適切な人員（ポストの措置に関する戦略・取組み）】**

ホスト機関が拠出するリソース（10のテニュアポスト及び財源）を活用した教員任期制の下、ホスト機関内関係部局と有機的に連携し、テニュアトラック制確立に取り組む。

**【適切なスペースの措置に関する取り組み】**

WPIプログラム支援期間中に拠点の用に供するとして整備した約17,300㎡に及ぶスペース並びに供与した土地・建物・設備・インフラを引き続きAIMRに提供する。

**【その他、必要な措置に関する戦略・取組み】****○研究設備の措置に関する取り組み**

共通機器センターの安定的運営に資する財源確保のため、施設設備の利用拡大と課金化を支援する。

**○若手研究者及び滞在外国人研究者に対する支援の継続**

ホスト機関からのリソースとAIMR独自に獲得する財源を活用し、PD及びRA枠を一定数確保・雇用し、引き続き若手研究者の支援を行う。またOASに設置したリサーチレセプションセンターを通じ、若手研究者の海外渡航に関する支援を行う。

**○海外サテライト機能の維持**

ホスト機関からのリソースを活用し、海外サテライト設置機関（ケンブリッジ大学、シカゴ大、中国科学院、カルフォルニア大サンタバーバラ校、フラウンホッフナーENAS）等との海外研究者交流を引き続き実施するほかジョイントワークショップを開催し更なる連携強化を図る。