

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) Executive Summary (延長審査用)

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

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することを明記し「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 2 年間の様子観察措置をクリアした。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 47 編の論文を含む 1,852 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 賞等、権威ある国際学術賞も数多く受賞し、既に World Premier Status を実現している。

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て、外国人研究者比率約 50% 又はそれ以上 (28 カ国) 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には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が確立した。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. 拠点形成の全体像

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することを明記し(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、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、および、以下に記述する成果からも、AIMR は既に World Premier Status を実現していると言える。

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。拠点の設立以降、論文の出版数も順調に伸び、設立からの約6年半の間に 1,852 編の論文を発表、うち 47 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 A. 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)デビッド・サーノフ賞、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 23~34 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するほか、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** に掲載するなど、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が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、国際共同研究加速のシステムを構築した。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、GI³（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が確立し、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に集中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（助教）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「スピントロニクス大学院コース」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する計画である。

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（延長審査用）

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

全様式共通の注意事項：

※特に指定のない限り、平成26年3月31日現在の内容で作成すること。

※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。

※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、事業費について[添付様式1]に記載すること。

AIMR は平成 19 年度より、拠点が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（拠点設立時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することを明記し（平成 23 年度提出・拠点構想見直し申請書）、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。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二年間（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 月通達 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、AIMR は「期待以上の顕著な進展」を果たすことで 2 年間の様子観察措置をクリアした（以上、平成 26 年 1 月通達 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 25 年 12 月までの間に **Science、Nature、Nature 姉妹誌**に掲載された 47 編の論文を含む 1,852 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 賞等、権威ある国際学術賞も数多く受賞し、既に World Premier Status を実現している。

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て、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（計 28 カ国より）。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が確立し、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、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原動力となっている。

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、2007～2014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]に記載すること。

AIMRの研究成果の特色は、原子・分子の観察、制御に基づく基礎研究から新材料創製、デバイス構築など社会貢献につながる応用研究までを、拠点内の完全な融合によって階層間を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挙げる。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) を用い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観察が可能な STM の開発に挑んだ(「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 SrTiO₃、TiO₂、ワイドギャップ半導体β-Ga₂O₃ 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 Li_xCoO₂ 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) を開発し、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が示唆された。これらの成果が *Physics Today* (April 25, 2011) 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ナノメートル又はマイクロメートルスケールの領域の付着性や剛性 (ヤング率)なども含む機械特性を 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、分子レベルの性質と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、この研究には数学者が参画し、構造解析に計算ホモロジーの方法を適用した。金属ガラス中の幾何学的に歪んだ正 20 面体のクラスターが長距離に亘って

単純な位相幾何学的連結構造をもち、空間を充填していることがわかった。このように、AIMR は最先端の実験技術と数学の導入によって、半世紀もの間謎となっていた問題を解決し、BMG の構造解析における金字塔を打ち立てた。(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 11-14 **Physical Review Letters, Nature Materials, Science** 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が無い。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 では電荷キャリアの制御により、(1) 絶縁体である酸化物 (SrTiO_3 , 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 (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し、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 (LiTi_2O_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 15-18 **Nature Materials, Nature Nanotechnology, 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、水上成美准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 of 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、ラシュバ効果に起因するスピン偏極、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。宮崎教授、水上准教授の TMR に関する成果は[17]のところで述べる。

(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 19-22 **Nature Materials, Nano Letters, Nature Communications** に掲載)

*[8] フォノンエンジニアリング：格子振動を制御する

フォノンは格子振動を量子化したものであり、熱伝導に関与する。熱伝導度はおおよそ電気伝

導度に比例する傾向（ヴィーデマン＝フランツ則）があるため、熱伝導性が電気伝導性の陰に隠れてしまうことが多い。しかしながら、近年、ナノ空間（カゴ）の中に異種原子取り込んだクラスレートと呼ばれる材料のグループにおいて、その傾向に従わない例外があることがわかった。クラスレートでは、カゴに取り込まれた異種原子が「非調和ラットリングフォノン」と呼ばれる自由運動をし、この運動がフォノンの散乱を助長することによって電気伝導度は維持したまま、熱伝導度のみを低下させる効果をもつ。この性質は熱電変換材料にとってメリットとなる。また、 $Ba_{24}Si_{100}$ と $Ba_{24}Ge_{100}$ という 2 種類のクラスレートを比較から、この性質が、高い転移温度 T_c をもつ超伝導体の開発にもつながることが明らかになった。（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 23 **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。彼らはイオン液体を 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がどの程度シリカ表面との界面付近で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、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 24 **Physical Chemistry Chemical Physics** に掲載）

*[10] ポリマーの重合を操る

ポリマーの長く柔軟な骨格は絡まりやすく、長距離秩序を持たない構造を形成する傾向があるため、一般にポリマーの単結晶を得ることは難しく、材料科学においても長年の課題となっていた。カリフォルニア大学サンタバーバラ校の AIMR ジョイントラボラトリーの研究者らは、最初にモノマーの状態ですべて単結晶成長させ、その後、可視光で重合してポリマー単結晶とする画期的な方法で、ポリマーの単結晶を作製することに成功した。最初にモノマーの単結晶を育成し、その後で可視光によって隣接したモノマー同士を重合させるという方法をとったのである。可視光を使って結晶中の低分子を高分子に完全に交換することができたのは、今回が初めてである。熱によって可逆的にモノマーに分解させることもできる。生成したポリマー高強度であり、ポリマー鎖を単離することも可能であり、幅広い応用が想定される研究成果である。（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 25 **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、点欠陥、双晶、結晶粒界などの様々な欠陥サイトを含み、これらは破壊の起点となり、また、化学反応における活性点と成り得る。

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徴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サイトがないため長尺化が可能であるが、微小電気機械システム (MEMS) 研究室との融合研究により、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、ナノ共振器に応用可能であることが見出されている。更に彼らは、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を開発している。(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。また自動車排ガス触媒に利用される 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** (February 16, 2011) 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に対して、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(MnO_2)を包み込むカゴの役割を担うものとしてナノポーラス金を使用し、充放電速度を改善し、電荷貯蔵容量を増大させることに成功した。(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] 超高強度セラミックス

セラミックスの材料開発においても大きな進展があった。セラミックスの脆さの大部分は、結晶粒界の性質に起因している。セラミックスが通常、圧縮粉末を融点よりわずかに低い温度で焼結することで作製され、破壊開始点となりうるさまざまな結晶粒構造が内部に発生してしまう。本研究において AIMR の研究者は炭化ホウ素を通常よりも低めの温度で高い圧力をかけて焼結し、均一な粒径の微結晶集合体を得た。このような条件で作製した試料中では、薄いアモルファス炭素層が結晶の表面を覆っており、これが結晶粒を滑らせる潤滑剤の役割を果たす。これはセラミックスの脆性を改善する画期的な方法であり、「セラミックスは脆い」というこ

れまでの一般常識を変えてくれるかもしれない。(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 **Nature Communications** 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、繊維状である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。最も基本的な材料として、生体組織の作製には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」を開発している。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の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、このプロジェクトに沿って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限界 Shockley-Queisser (S-Q) リミットを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の生成させ、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、更に、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。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。特に、 ABX_3 型ペロブスカイト型水素化物に着目し、その形成機構を放射光 X線回折の“その場”測定によって世界で初めて解明することに成功した。今回見出した、3段階の反応過程は、今後の応用に向けた大いなる前進である。(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 33, 34 **Nanotechnology, Applied Physics Letters** 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

省エネルギー化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、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。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上、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 C₆₀ 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分野に力を入れ、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(生体模倣)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機能の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」の成果のところでも述べたように、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、生命活動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。これは金属ガラスの優れた強度などの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て、省資源・省エネルギーにつながる。MEMS技術は、AIMRの分野融合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、グリー

ン持続性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、総合領域の各分野におけるトップの雑誌に掲載されている。参考データとして、ここでは、**Science**、**Nature**、**Nature** 姉妹誌に掲載された論文数（著者所属にAIMRが明記されているもの）を示す。

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<i>Science</i>		1		1	2		3
<i>Nature</i>					1		
<i>Nature Communications</i>				1	2	2	7
<i>Nature Materials</i>		1	2	2	2	3	5
<i>Nature Nanotechnology</i>			1		2	1	1
<i>Nature Physics</i>			2	1	1	1	1
<i>Nature Photonics</i>						1	
Sum total	0	2	5	5	10	8	17

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を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、研究エリアを事務・居室エリアから物理的に分離し、特に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、更にその上に2段階のノイズキャンセリングシステムを設置し、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な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、酸化物表面や薄膜表面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-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、超臨界熱水合成技術を開発し、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)、全試料全対応の多機能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、および工作機械類を設置している。パート2は、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る。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、調整もこれらの教職員が行っている。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]に記載すること。

詳細は添付様式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（6ヶ月）であったのに対し、発足2年目以降は20.8億円（平成20年度）、23.7億円（平成21年度）とAIMRで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、その後年間23億円以上を維持している（平成25年度は34.5億円）。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、磯部寛之教授は戦略的創造研究推進事業（**ERATO**）を獲得し、平成25年度末より、AIMR本館にてプロジェクトを開始している。その他にも、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**）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AIMRに在籍したことによる研究資金獲得力の向上として認められる。

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から輩出され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研究成果である。平成19年10月から平成25年12月までの間にAIMRの研究者が発表した1,852編の論文中、601編（32.9%）が国内の東北大学以外の研究機関との共著論文、713編（38.5%）が海外の研究機関との共著論文であり、他機関との共同研究による論文が全論文の70%以上となっている。拠点内での融合研究はもちろんのこと、世界中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記述すること。

・主要な賞の受賞・招待講演・基調講演等を[添付様式2]に記載すること。

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、IEEEのDavid Sarnoff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7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に焦点をあて紹介している。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た新しい材料、デバイス・システムの創製を通じて人々の幸福に貢献することであり、過去7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列挙する。

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PI）
- ・ 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、76社のコンソーシアム（阿尻雅文PI）
- ・ 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PI）
- ・ 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」予算額 平成25年度総額5.77億円、平成26-27年度19.49億円、平成28-33年度未定（研究リーダー：末永智一PI）

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.
- ・ 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
- ・ 中山幸仁 「金属ガラスナノワイヤの製造方法、該製造方法により製造された金属ガラスナノワイヤ、及び金属ガラスナノワイヤを含む触媒」 出願日：2012年4月17日、国際出願番号：PCT/JP2012/060309
- ・ 大野英男 「不揮発性論理集積回路」 出願日：2012年4月25日 出願番号：特願2012-099785 公開番号：特開2013-229721
- ・ 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、60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立すると共に、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。

宮崎照宣教授、水上成美准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研究室として、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予定である。

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蓄電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ており、6件特許出願、JST-ALCA（研究代表 宇根本篤講師）での採択に至った。これらの成果は、(株)日立製作所とのAIMR共同研究部門の設置にも大きく貢献しており、今後蓄電デバイスとしての更なる高エネルギー密度化などの課題に取り組む。

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記述すること。

・メディア報道掲載等の実績を[添付様式2]に記載すること。

添付様式2-4, 2-5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NIMSの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、また、広報・アウトリーチオフィスは事務部門の国際ユニットに組み込むことによって強化した。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は中道博士の指揮の下、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。

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2-5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。「**SpringerBriefs in Mathematics**」や「**Mathematics for Materials Research**」（Editor-in-Chief M. Kotani）等の国際的出版も拠点のプレゼンス向上に寄与している。

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 21 年度より、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を推進してきた。平成 25 年度までに 94 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 年度は 18 件、平成 25 年度は 22 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給した。平成 24 年度には**数学－材料科学連携**が本格的に開始され、そのような連携研究の萌芽的のステージを支援するために採択件数が増やされた。融合研究支援を受けた研究については、その翌年度の Tea Time 時に成果を発表し、機構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 は数学者の新機構長、理論物理学者の新事務部門長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**を大きく推進させた。平成 23 年 3 月に設立された**数学ユニット**は現在、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）および 5 名の助教からなる。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の必要性が生じ、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、応用数学者からなる**インターフェースユニット**を平成 24 年度に組織した。現在、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 8 人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いる。

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。インターフェースユニットの研究者とこのターゲットプロジェクトは大変効果的にリンクし合い、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、質的に高い学術的な展開を期待できる状態へと成長している。インターフェース研究者の役割も徐々に発展し、彼ら自身が主体的に融合研究のリーダーとなり、既に複数の論文を投稿する状況もみられる。数学の導入によって材料科学に新展開がもたらされ、また逆に数学にとって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。

AIMR における異分野融合は図 1 に模式的に示すような形で発展した。平成 19 年に AIMR が設立され、バルク金属ガラスグループ、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。これら 4 つはすぐに混じり合うことは難しかったが、平成 21 年度に「融合研究支援制度」が始まり、異グループの研究者が共同で研究課題を提案して 1 年間研究をすることで、(平成 22 年度時点で) グループ間のコミュニケーションがとれるようになり、分野間の重なりも部分的にはあるが徐々に広がった。平成 22 年度末より**数学－材料科学連携**が始まり、**数学ユニット**、**インターフェースユニット**が設立され、あらゆる分野の共通言語である数学の導入と、実験材料科学者と数学者の間を橋渡しする若手理論研究者の活躍により、全ての分野はその境界線が見えなくなるまでに

融合し、相手の分野を意識することなく、議論し、研究できるようになってきている。

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イム、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機構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3～4ヶ月ごとに行っている。

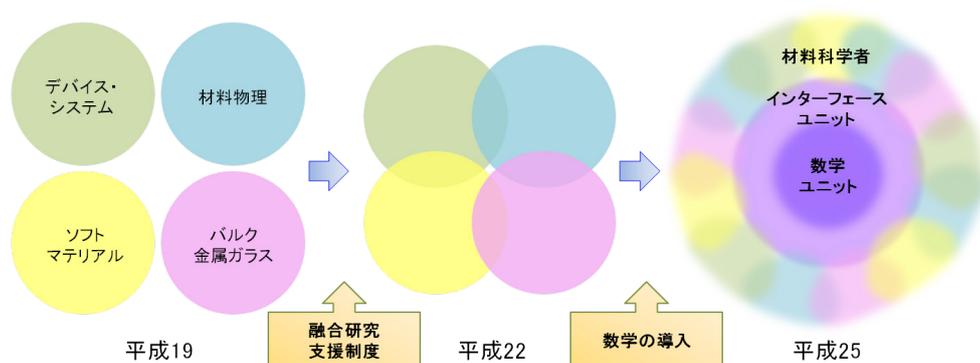


図1 AIMRにおける異分野融合の時間発展

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

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。

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6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) 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**)
- 8) 高効率触媒としてのナノポーラス金 (**Angewandte Chemie International Edition**)
- 9) 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**)
- 10) ナノポーラス金の還元的触媒作用 (**Journal of the American Chemical Society**)
- 11) スケルトンナノポア構造をもつ金属ガラスPd触媒 (**Chemical Communications**)
- 12) 2層グラフェンC₆Ca (**Proceedings of the National Academy of Sciences USA**)
- 13) フォトランジスタ用の還元型酸化グラフェン (**ACS Nano**)
- 14) コバルト添加二酸化チタンの電界誘起強磁性 (**Science**)
- 15) 金属ガラスナノワイヤとナノ共振器への応用 (**Advanced Materials**)
- 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]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、GI³(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、連携准教授との連携により、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。

[バルク金属ガラス (BMG) グループ]

A. Lindsay Greer教授：ケンブリッジ大学材料科学冶金学科の前学科長。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。

Alain Reza Yavari教授：グルノーブル工科大学教授。平成23年にAward for Scientific Excellence, French National Center for Scientific Research (CNRS)を受賞。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る。Konstantinos Georganakakis博士 (助教)をAIMRに配置し、共同研究体制を整えている。

[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Filippo Federici Canova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Federici Canova 博士ほか、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。現在、一杉太郎(AIMR准教授)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いる。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用いたセンサーの開発など、共同研究を進めている。

[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フト校教授。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 (II, AIMR)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ている。適宜、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、滞在させている。

万 立駿教授：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ている。

平成25年度からダラム大学教授で分子系超伝導体の世界的研究者である**Kosmas Prassides**教授もAIMRに加わっている（平成26年度中にAIMR専任PIとして着任予定）。

[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라운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AIMRにYuching Lin博士（准教授）、Yaochuang Tsai 博士(助手)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、配置している。このような強固な連携に基づき、AIMRフ라운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。今後、より包括的な契約に拡張予定である。

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）、**Winfried Teizer**准教授（テキサスA&M大学）、**Hongkai Wu**（香港科学技術大学）をジュニア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。一つの特異な（新たな）ケースとして、東北大学の他部局の協力も得て更に頭脳循環を進めることを目的に平成25年に開始した「AIMR頭脳循環プログラム」によって、AIMR学内連携教授である平山祥郎教授研究室に滞在した**Pawel Hawrylak**博士（カナダ国立研究評議会主任研究官。1999年フンボルト賞受賞者）が、滞在中の研究をまとめAIMRとの共著論文としてPhysical Review B (2014)に発表している。このような様々な共同研究を通じてAIMRのグローバルネットワークが広がっている。

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]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の国際的知名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**に示すようにポストクの多くは外国人である。拠点設立時からのポストク総数は109人となり、その73%に相当する80人が外国人である（**添付様式4-4**の総数を参照）。

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でポストクとして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]に記載すること。

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。ジョイントラボラトリーには、下表のようにAIMRのポストクが雇用、配置されている。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
ケンブリッジ		
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
G. R. Grimmett (Mathematics)	Dr. Demeter Kiss	小谷元子教授
UCSB		
Prof. Fred Wudl (Organic device)	Dr. Yonghao Zheng	谷垣勝己教授

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]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7回で15以上の国からのべ1,400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の国際的知名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、まず最初に、90%以上の職員が英語対応の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年度末から研究者が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、GI³ 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、既に9名の若手研究者がこの派遣プログラムを利用し、海外留学している。

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。まず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。教授会のような合議制が残っていれば、このようにわずか2年で迅速にチャレンジを開始し、萌芽的な成果を得ることはできなかったであろう。

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回開催している国際アドバイザリーボード (年1回ミーティング)、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、まず最初に、90%以上の職員が英語対応の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。また、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原動力となっている。

- 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。またこれらの蓄積が、平成26年度中に「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」に引き継がれる予定である。

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]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、機構長のトップダウン意思決定によって、人事・給与面、研究環境整備、機構の研究戦略(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]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]に記載すること。

過去7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、数学・インターフェースユニットのメンバーとして13名の若手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の仕方を展開している。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6%、その他の研究者の女性比率は10%）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「スピントロニクス大学院コース」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する計画である。

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「ディスティンクイッシュト 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（6月にはカーネギー研究所から、9月にはシカゴ大学から）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機会を設ける予定である。

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、機構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25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25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における材料科学の長期的な将来戦略についての議論が望まれる。AIMRにとって自信を持って現在の戦略を継続することは重要である。しかしその一方、短-中期戦略も平行して注意深く考えておくべきである。

[対応]

結晶学が幾何学や群論を基礎として発展したように、歴史的に見れば、数学が物質・材料科学を始めとする様々な分野に影響を与え、各時代のイノベーションに関わってきたことは明白であり、また、数学と異分野の相互作用は長い年月をかけて熟成され新しい学問領域へと発展していくことも歴史が物語っている。すなわち、数学-材料科学連携はあくまでも長期的視点で取り組むべきものである。現在、AIMRにおいて、その萌芽的な結果が出始めているのも、10年間という通常のプロジェクトよりは長いWPIプログラムの支援があったからこそであり、この数学-材料科学連携の挑戦はプロジェクトの切れ目等に影響されることなく、長く継続されることに本質的な意義がある。ホスト機関である東北大学がAIMRを恒久的に維持すると約束していることは、この挑戦を保証するものであり心強い。一方、WPIプログラム委員会による本指摘のように、短・中期戦略も並行して進めることも重要である。特にこの数学-材料科学連携の着実な進展の中心的役割を果たしている若手研究者は数年間の任期中に業績を挙げて次のポジションへと移っていく必要があり、若手の短い任期中での成功と数十年のスパンを必要とする数学-材料科学連携の成就をどう両立させるかは、最も難しく重要な問題である。機構長は、この挑戦を開始する際に、まずは数学を適用しやすい分野から着手し徐々に適用範囲を広げていくこと、AIMRは数学の研究所ではなくあくまでも材料科学の研究所であり、これまでに世界トップを走ってきた研究も怠ってはいけないことを強調している。すなわち、各材料科学者のこれまでの強みを更に伸ばす短・中期戦略を進めつつ、それと並行して長期戦略である数学との連携の幅を広げ、最終的に全ての分野で数学のフレーバーが見出せる研究所としていくことを表明している。このような挑戦を更に確実・強固に進めるためにも、我々は今、いくつか出始めた萌芽的の結果を更に前進させる必要があり、5年間の支援延長は非常に重要である。

[指摘課題2]

AIMRは数学-材料連携研究の限界について、またどの分野に彼らの努力を集中させるべきであるのか熟考すべきである。今後行っていく中で出会うであろう限界と困難を認識しておくべきである。したがって、材料科学のどの分野が数学-材料連携研究によってチャレンジされるべきなのか、さらなる議論が必要であろう。

[対応]

プログラム委員会の指摘のように、数学との連携の難しさは分野によって異なるため、どの分野との連携に集中すべきかは十分な議論をして決定すべきである。その際に、数学連携の難しさを先入観や一面的な考察で判断するのは適切でない。例えば、WPIプログラム委員会による平成23年度のフォローアップ結果（平成24年12月）の「4. 拠点に対する要望と提案」において、

AIMRは「例えば合成化学のように、数学と材料科学の融合という概念だけでは簡単に解決できない課題がある」という指摘を受けたが、合成化学の磯部寛之PIグループが数学者との共同研究によって、有限長カーボンナノチューブに幾何学的定義を与える指標作りに成功 (Pure and Applied Chemistry 86, 489–495 (January 2014)) するなど、数学との融合が難しいと思われた分野でむしろ成果が出てきている。これを教訓に、どの分野と連携するかに関しては、先入観や一面的な考察で切り捨てることなく、多面的に検討して判断していきたい。

[持続性への努力に関するコメント]

里見総長による東北大学のビジョンはAIMRを、大学全体を改革するためのモデルとして位置づけている。タスクフォースが設置され、WPIプログラム終了後の持続可能な組織的体制が描かれてきている。どのように将来の新しい組織を他の既存の研究組織の間に位置づけるのか、またどのようにそれらの組織は材料科学研究において役割を分担するのかは明確にされるべきである。

[対応]

東北大学は材料科学分野が強い大学であり、そのため、金属材料研究所、多元物質科学研究所のように既に知名度の高い物質・材料科学の研究所が存在する。そのような材料科学の一大拠点にありながらも、AIMRは過去7年間に築き上げた国際化、システム改革、そして材料科学研究所として最も重要な異分野融合、それも世界トップレベル研究者の融合による新しい材料科学創出を先導する研究所として、その存在意義は揺るがない。更にAIMRは、平成26年度中に設立される高等研究機構に入る最初の研究所として、重要な役割を大学より任されている。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

1. 平成25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。
- ・平成24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を添付すること。

【平成25年度実績】									
主任研究者 計31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*(54)	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*(56)	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*(48)	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*(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 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 * (43)	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%	0%	20%	2013年 4月	常時拠点に滞在して参画	
栗原 和枝 * (63)	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 * (46)	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 * (60)	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	
西浦 廉政 * (63)	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 * (48)	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	
齊藤 英治 * (42)	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	
下村 政嗣 * (60)	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・ 教授	工学博士 高分子科 学	80%	0%	0%	20%	拠点構想 開始時点	常時拠点に滞在して参画	

高橋 隆* (62)	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* (59)	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* (59)	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* (55)	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* (55)	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	
Benoit Collins* (36)	オタワ大学・数理統計学・准教授	Ph.D/ 数学（確 率論）	50%	0%	25%	25%	2013年 4月	年に合計6月以上拠点に滞在	若手研究者の派遣 （1人，2.5月） （1人，2月） （1人，1月）
Tomasz Dietl* (63)	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2回拠点に滞在 ・カンファレンス出席	
Thomas Gessner* (59)	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	若手研究者の派遣 （1人，2008年～5年5月） （1人，2012年～1年3月） （1人，6.5月） （1人，6月） （1人，2.5月）

Alan Lindsay Greer* (58)	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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 (1人, 2012年～1年5月)
<u>Kosmas Prassides*</u> (56)	ダラム大学・化学学科・教授	Ph.D./ 化学	20%	0%	45%	35%	2013年 4月	<ul style="list-style-type: none"> ・2月毎に拠点に滞在 ・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, 3月)
Thomas P. Russell* (61)	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	<ul style="list-style-type: none"> ・年に2回拠点に滞在 ・カンファレンス出席 	
Alexander Shluger* (59)	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	<ul style="list-style-type: none"> ・年に3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, 2012年～1年6月) (1人, 1月)
Li-Jun Wan* (56)	中国科学院・化学研究所・教授	Ph.D./ 表面化学	20%	0%	45%	35%	拠点構想 開始時点	<ul style="list-style-type: none"> ・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, 6月)
Paul S. Weiss* (54)	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	<ul style="list-style-type: none"> ・若手研究者の派遣 	若手研究者の派遣 (1人, 2012年～1年9月)
Qi kun Xue* (50)	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	<ul style="list-style-type: none"> ・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, 2012年～1年7年)
Alain Reza Yavari* (64)	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	<ul style="list-style-type: none"> ・年に数回拠点に滞在 ・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 (1人, 2008年～5年9月) (1人, 1月)

Ali Khademhosseini* (38)	ハーバードメディカルスクール・准教授	Ph.D./ バイオ工 学	35%	0%	45%	20%	2009年 11月	<ul style="list-style-type: none"> ・年に数回拠点に滞在 ・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～3年9月) (1人, 2011年～3年) (1人, 2013年～5月)
Winfried Teizer* (43)	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"> ・年に数回（合計3月以上）拠点に滞在 ・所属機関（テキサスA&M大学）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～3年4月) (1人, 2011年～3年3月) (1人, 2.5月)
Hongkai Wu* (35)	香港科学技術大学・化学部・助教	Ph.D./ 化学	35%	0%	45%	20%	2009年 11月	<ul style="list-style-type: none"> ・年に1月拠点に滞在 ・所属機関（香港科学技術大学）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～3年5月) (1人, 2011年～3年1月)

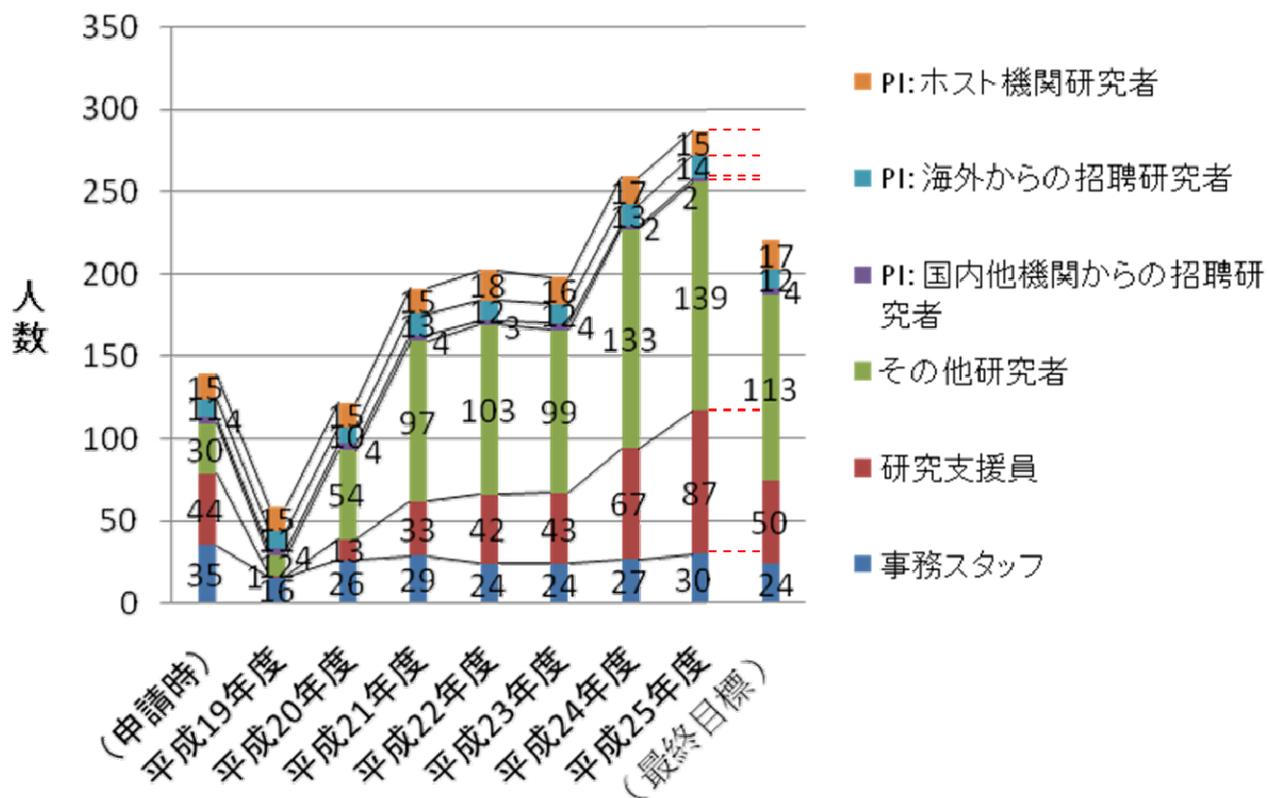
平成25年度に拠点構想に参加しなかった研究者

氏名	所属機関・部局・職	拠点構想 参加時期	理由	対応
宮崎 照宣	東北大学・ 原子分子材料科学高等研究機構・研究者	拠点構想 開始時点	東北大学の雇用上限年齢に関する取扱いに基づく	
徳山 道夫	東北大学・ 多元物質科学研究所・研究者	拠点構想 開始時点	東北大学の雇用上限年齢に関する取扱いに基づく	
Kevin J. Hemker	ジョンズ・ホプキンス大学・医工学科・ 教授	拠点構想 開始時点	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）

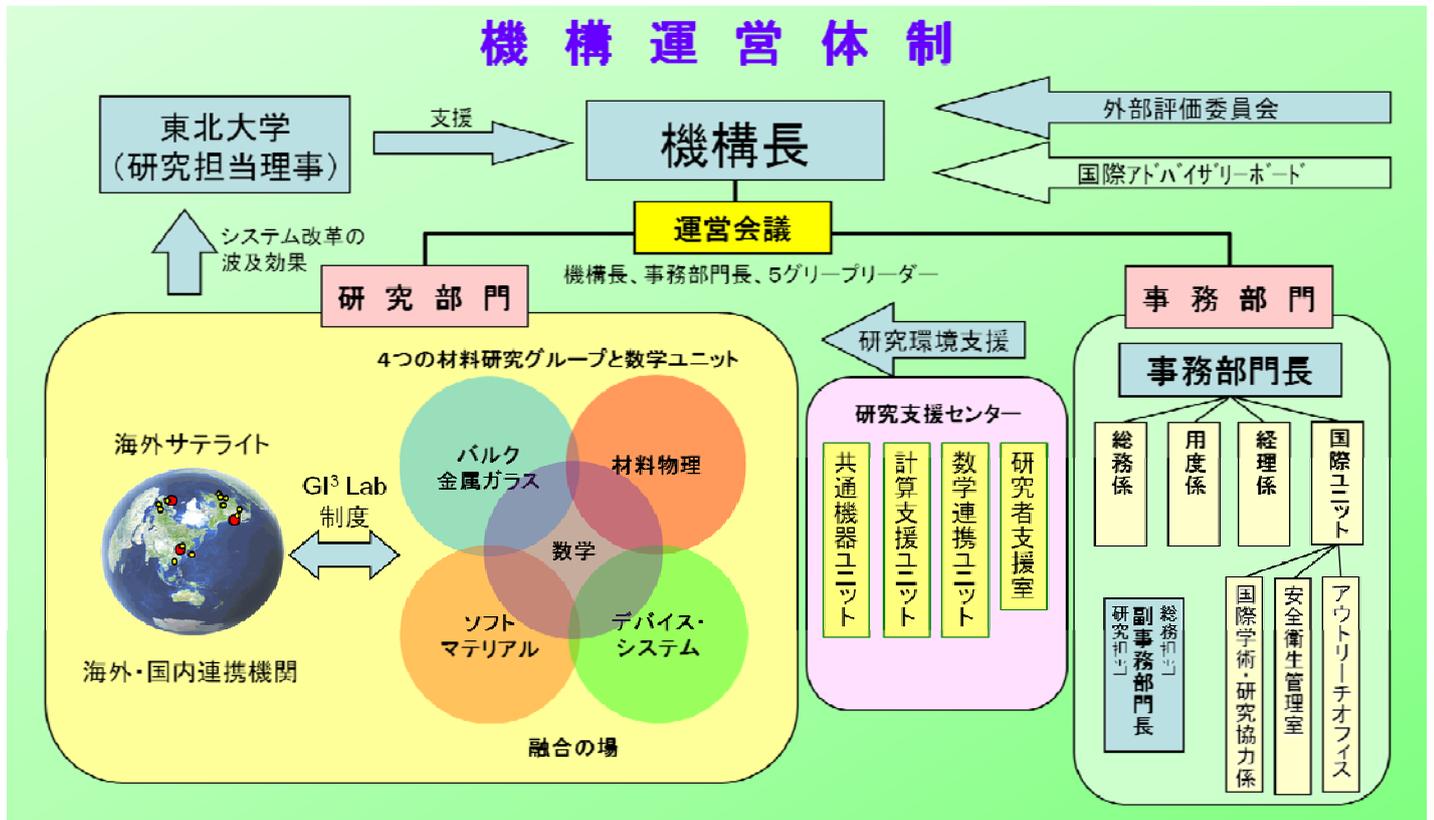
2. 構成員員数の推移

※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）

3. 運営組織図

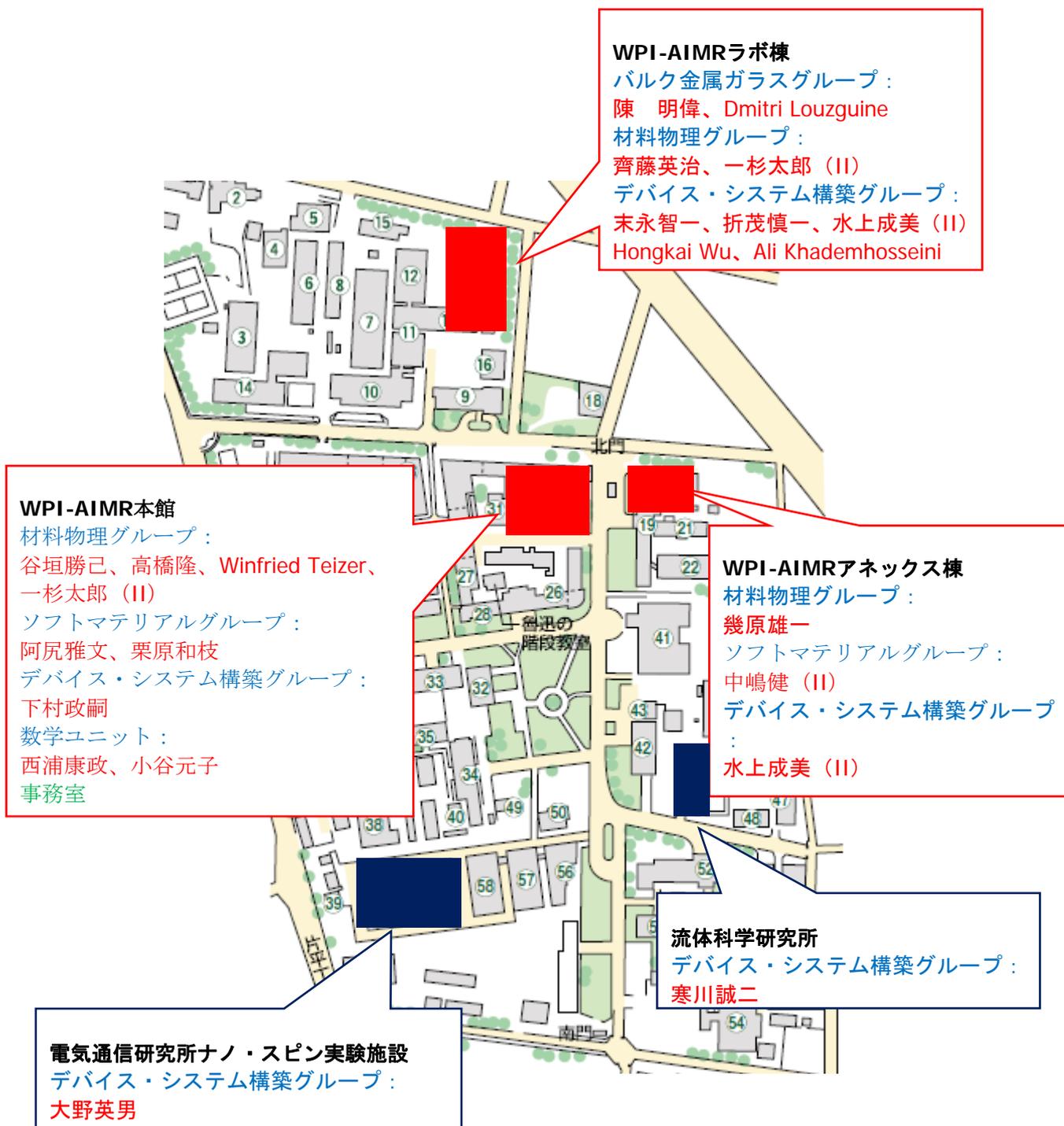


世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

4. 拠点施設配置図



【片平キャンパス】



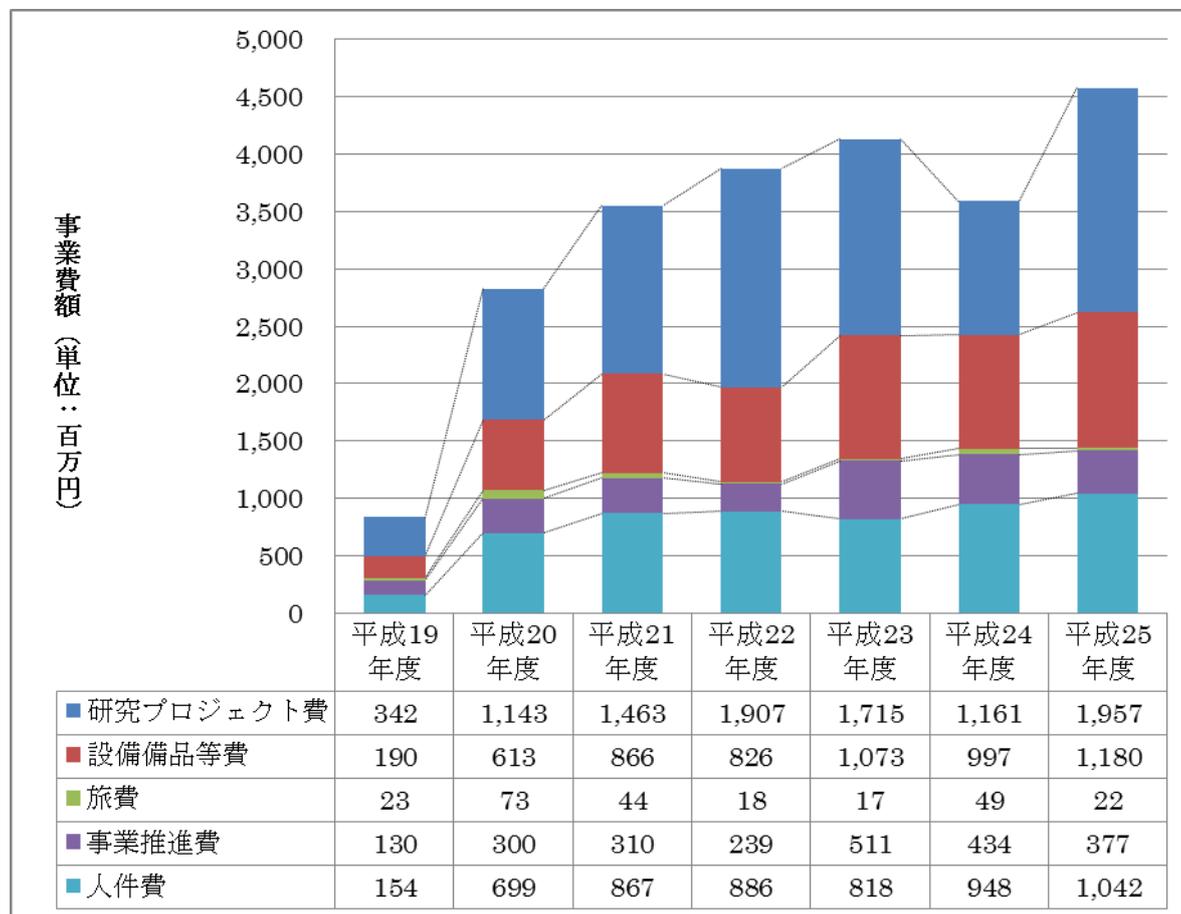
【青葉山キャンパス】



世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

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。



6. 平成25年度事業費

○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 18人	189
	・その他研究者 99人	630
	・研究支援員 28人	36
	・事務職員 41人	163
	計	1042
事業推進費	・招へい主任研究者等謝金 11人	16
	・人材派遣等経費 0人	0
	・スタートアップ経費 33人	116
	・サテライト運営経費 3ヶ所	9
	・国際シンポジウム経費 1回	36
	・施設等使用料	
	・消耗品費	33
	・光熱水料	65
	・その他	102
		計
旅費	・国内旅費	2
	・外国旅費	8
	・招へい旅費 国内7人、外国14人	10
	・赴任旅費 国内6人	2
		計
設備備品等費	・建物等に係る減価償却費	139
	・設備備品に係る減価償却費	1041
		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	1729
	・科学研究費補助金等による事業	228
		計
合	計	4578

(単位：百万円)

平成25年度WP I 補助金額	1334
平成25年度施設整備額	0
平成25年度設備備品調達額	1141
・シリコン高アスペクトエッチング装置 1式	99
・集積構造機能検証システム 1式	92
・超伝導核磁気共鳴装置 (600MHz) 1式	80
・単結晶X線構造解析装置 1式	57
・環境適応検証システム 1式	57
・高分解能飛行時間型質量分析システム 1式	55
・多目的X線回折複合システム 1式	52
・素子作製用雰囲気制御チャンバー 1式	49
・物理特性測定装置 1式	38
・極微細デバイス用スピントロニクス材料エッチング装置 1式	34
・その他	528

○サテライト等関連分

(単位：百万円)

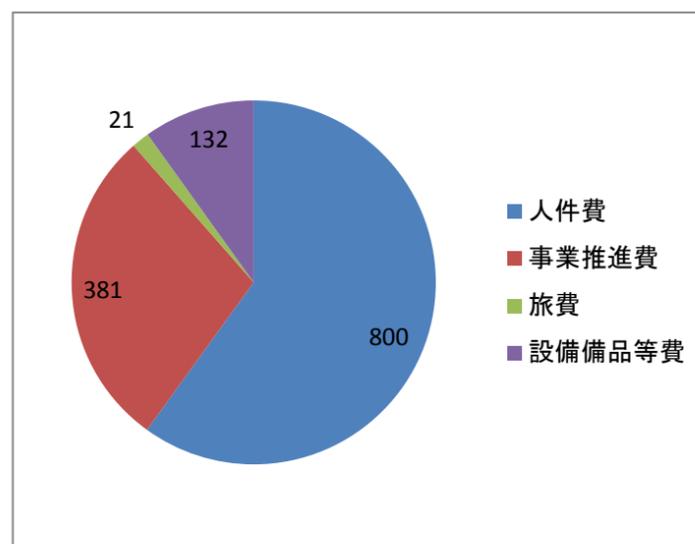
経費区分	内訳	事業費額
人件費	・主任研究者 3人	91
	・その他研究者 15人	
	・研究支援員 0人	
	・事務職員 0人	
	計	91
事業推進費		25
旅費		18
設備備品等費		
研究プロジェクト費		
合	計	134

7. 平成25年度WPI補助金支出

○総額

(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)	53
	・その他研究者 (102人)	602
	・研究支援員 (29人)	36
	・事務職員 (31人)	98
	計	800
事業推進費	・招へい主任研究者等謝金 (11人)	16
	・人材派遣等経費 (0人)	
	・スタートアップ経費 (33人)	124
	・サテライト運営経費 (3ヶ所)	9
	・国際シンポジウム経費 (1回)	36
	・施設等使用料	
	・消耗品費	32
	・光熱水料	64
	・その他	100
		計
旅費	・国内旅費	1
	・外国旅費	8
	・招へい旅費 (国内：7人) (外国：14人)	10
	・赴任旅費 (国内：6人) (外国：0人)	2
	計	21
設備備品等費	・設備備品調達額	132
	計	132
合	計	1334



○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 (3人)	91
	・その他研究者 (15人)	
	・研究支援員 (0人)	
	・事務職員 (0人)	
	計	91
事業推進費		25
旅費		18
設備備品等費		
合	計	134

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

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 SrTiO₃ 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があり、アルミン酸ランタンとチタン酸ストロンチウムという2つの絶縁体の界面が導電的になるのはその代表的な例である。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い。本研究では、パルスレーザー堆積装置（PLD）を連結させた高分解能の走査トンネル顕微鏡（STM）を開発し、ペロブスカイトの一種であるチタン酸ストロンチウムを原子1個単位でホモエピタキシャル成長させる実験を行った。この材料系では理想的な表面を幅広い酸素分圧条件で再現性高く作製することが可能であり、本実験技術は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。

- *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_xCoO₂. **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なイオンであり、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。AIMRの研究者らは本研究において、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（LiCoO₂）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することができた。Liイオンが秩序的な分布をする傾向が確認され、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ものである。

* 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：本研究では、絶縁体である酸化物を導電性にできる画期的な方法がAIMRの研究者によって示された。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）法を用いた原子レベル制御技術を駆使して作製し、その導電性について調べ、堆積層の数を増やしていくと、チタン酸ストロンチウム（ SrTiO_3 ）が絶縁体から導電体へ転移するという事実を発見した。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、絶縁体層の数を増やしていったときの影響を調べ、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示している。この結果から、絶縁体から電子材料を生み出す新たな可能性を示唆される。

- *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：セラミックスは、金属材料とは異なって複雑な結晶構造（原子配列）をもっており、歪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の研究者らは、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移構造と、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 C_6Ca . **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C₆Ca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、世界のトップレベルのエネルギー分解能をもつ高分解能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。まず最初に、理論予測どお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。しかしながらこのギャップは、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。これらの結果は、層間原子の役割の重要性、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高いC₆Caの超伝導転移温度がもたらされていると示唆される。

- *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 BaFe₂As₂. **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BaFe₂As₂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、BaFe₂As₂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型光電子分光装置（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、ミ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、柔らか過ぎて従来の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の間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さまざまなものがあるが、実験では比較的広い体積に関する平均的な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。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

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ナノメートルまで小さくして、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、単結晶からではしか得られないような、はっきりした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、秩序ある小さい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沢山含んだ岩塩（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になるであろう。

- *14. 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). （本論文は添付様式3の融合研究成果と重複）

数学－材料科学連携：AIMRの数学者および実験研究者の間の融合研究チームは、金属ガラス中の原子構造を解析し、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。実験チーム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原子構造を特定する技術を開発し、数学者チームはその構造解析に「計算ホモロジー」の方法を適用した。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。具体的には、金属ガラス中の正20面体クラスターに見られる幾何学的歪みが長距離に亘ってシンプルにトポロジカルに連結し、空間を充填していることがわかった。歪んだ正20面体とFCC格子的な対称性の高い構造が共存しており、これも歪みをもった構造が結果的に原子の稠密充填をもたらしていることにつながっている。半世紀に亘る矛盾が解明されたのである。

【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 1：チタン酸ストロンチウム（ 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 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. K. Ueno, S. Nakamura, H. Shimotani, H.T. Yuan, N. Kimura, T. Nojima, H. Aoki, Y. Iwasa and M. Kawasaki, Discovery of superconductivity in KTaO_3 by electrostatic carrier doping. **Nature Nanotechnology** 6, 408–412 (2011).

電界効果ドーピングによる超伝導の発現 2 : AIMRは東京大学との共同研究で、酸化タンタルカリウム (KTaO_3)などの既知の材料に対して人工的に大量の電荷をドーピングし、超伝導状態を実現することに成功した。イオン液体を用いた電気二重層トランジスタを用いての結果である。試料材料を取り付けた電気回路にイオン液体を滴下すると材料と液体の界面に電気二重層が形成される。ゲート電極に電圧を印加すると、電気二重層に起因する非常に高い電界によって、通常の電界効果トランジスタ(FET)よりも大量のキャリアが材料中にドーピングされる。この方法は、化学的ドーピングのような限界がなく、これまで化学的ドーピングでは超伝導状態にならなかった物質であっても超伝導状態にできる可能性がある。

17. 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。

- *18. 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(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、 LiTi_2O_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

- *19. 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。

20. 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 conveyer" **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。

- *21. A. Takayama, T. Sato, S. Souma, T. Oguchi and T. Takahashi, Tunable spin polarization in bismuth ultrathin film on Si(111). **Nano Letters** 12, 1776–1779 (2012).

ラシュバ効果によるスピン偏極とその膜厚依存性：これまでスピン偏極電子の生成には、スピンが自発的に整列する強磁性物質が利用されていた。しかしデバイス応用には、磁場よりも電場を用いる方が有利である。この場合、スピン偏極には、電子の電荷とスピンを結びつける「スピン軌道相互作用」が用いられる。「ラシュバ効果」は、その目的を実現する代表的な現象であり、AIMRの研究者はラシュバ効果を示す金属ビスマス超薄膜について研究した。彼らは、シリコン表面上に16から80原子層の厚さを持つビスマス単結晶薄膜を作成し、スピン偏極状態がビスマス薄膜表面だけでなく、ビスマス薄膜とシリコン基板との界面においても発現していることを見出した。彼らは更に、ビスマス薄膜の厚さを変化させることでスピン偏極の大きさを調節できることを示した。これらの材料は、スピン偏極電子による次世代スピントロニクスデバイスへの応用や、新奇量子効果の基礎研究に使用できるものと期待される。

- *22. 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、既存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、この組成コントロール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] フォノンエンジニアリング：格子振動を制御する

- *23. J. Tang, J. Xu, S. Heguri, H. Fukuoka, S. Yamanaka, K. Akai and K. Tanigaki, Electron-phonon interactions of Si₁₀₀ and Ge₁₀₀ superconductors with Ba atoms inside. **Physical Review Letters** 105, 176402 (2010).

ラットリング運動によるフォノン制御：カゴ型構造体内の原子振動の研究をもとにした新しいフォノンエンジニアリングにより、超伝導転移温度を上げる方法が示唆された。本研究では、シリコンまたはゲルマニウムのネットワークからなるカゴ型構造体にゲスト原子としてバリウムを内包させた特異な物質に関して、カゴの中でバリウム原子が自由に動き回る現象（非調和ラットリング運動によるフォノンの創出）と、物性の関係を詳細に調べた。具体的には、Ba₂₄Si₁₀₀とBa₂₄Ge₁₀₀という2種類のクラスレートを比較し、カゴが大きく強い電子-格子相互作用をもつ物質の方が、予想に反して超伝導特性を損なっていることが判明した。この詳細な解析から、カゴ型構造の設計を工夫すること、新しい超伝導体を創出できる可能性があることが明らかになった。また、新しい電子格子相互作用を利用した熱電変換の可能性についても言及している。

* [9] 2つの表面間、固体/液体界面に働く力学特性

- *24. 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 (February 2014).

界面のダイナミクスを観る：異種のイオン液体の接触界面における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を用いて解析した。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] から、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2つのヒドロキシル化した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の結果、イオン液体分子の形状がシリカ表面との界面付近でカチオンとアニオンの層状構造にどのように影響するか、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実験によって観測された粘性変化を定量的に説明する。

* 研究成果[10] ポリマーの重合を操る

- *25. L. Dou, Y. Zheng, X. Shen, G. Wu, K. Fields, W.-C. Hsu, H. Zhou, Y. Yang, and F. Wudl, Single-crystal linear polymers through visible light-triggered topochemical quantitative

polymerization. **Science** 343, 272–277 (2014).

ポリマー単結晶を作る：ポリマーの長く柔軟な骨格は絡まりやすく、長距離秩序を持たない構造を形成する傾向があるため、一般にポリマーの単結晶を得ることは難しい。しかし、反応性モノマーを、目的とするポリマーの繰り返し距離にほぼ一致する位置に整列させた分子結晶内で重合反応が起こるようになれば、これも可能となる。カリフォルニア大学サンタバーバラ校のAIMRジョイントラボラトリーの研究者らは、このようなアプローチに基づき、ビス(インデンジオン)というモノマーから「可視光」の照射・重合によってポリマーの単結晶を作製することに初めて成功した。この重合反応は、高濃度溶液中や半結晶薄膜中でも可能であり、かつ、熱によって分解しモノマーに戻すことができる。更に、重合や分解の過程で変色するので、重合反応の進行状況を肉眼で確認できる長所もある。このような特徴から幅広い応用が考えられる。

【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). (本論文は添付様式3の融合研究成果と重複)

粒界が無く理想的なナノワイヤ：本論文は、金属ガラスのナノワイヤ作製に対する潜在的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の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, T. Adschiri and A. Suda, Extra-low-temperature oxygen storage capacity of CeO₂ 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、CeO₂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 CeO₂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°Cという低温条件において、通常のCeO₂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CeO₂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). (本論文は添付様式3の融合研究成果と重複)

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）で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の研究チームでは二酸化マンガン(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 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。彼らは 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 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 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] 超高強度セラミックス

- *30. K. M. Reddy, J. J. Guo, Y. Shinoda, T. Fujita, A. Hirata, J. P. Singh, J. W. McCauley and M. W. Chen, Enhanced mechanical properties of nanocrystalline boron carbide by nanoporosity and interface phases. **Nature Communications** 3, 1052 (2012).

セラミックスを強化する新アイデア：炭化ホウ素セラミックスは、弾丸をはじくほど硬いにもかかわらず非常に脆いため、低い応力で破壊が起こる。これは、セラミックスが通常、融点よりわずかに低い温度で焼結して作製され、破壊開始点となりうるさまざまな結晶粒構造が内部に発生してしまうためである。それに対し、AIMRの研究者は、塑性変形が可能な「ナノ結晶」セラミックス状態の炭化ホウ素を合成することによって、その耐久性を高める方法を発見した。彼らは脆性を低減するため、通常よりも低めの温度で高い圧力をかけて均一な粒径の炭化ホウ素微結晶を得た。更に彼らは、不規則な形状のナノ孔が全体に分布していること、また、薄いアモルファス炭素層が結晶とナノ孔の表面を覆っており、これが結晶粒を滑りやすくする潤滑剤の役割を果たしていることを突き止め、結晶粒が圧縮中に滑り、より高い圧力に耐えられることを明らかにした。

* 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、まず最初に、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して、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のアプローチとなることが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」を開発した。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上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コートしたガラス表面にこれを転写し、マイクロパターンのあるナノシート層を形成した。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目的とした「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た。

【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で追究した。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. R. Sato, H. Saitoh, N. Endo, S. Takagi, M. Matsuo, K. Aoki, and S. Orimo, Formation process of perovskite-type hydride LiNiH_3 : In situ synchrotron radiation X-ray diffraction study. **Applied Physics Letters** 102, 091901 (2013).

エネルギー変換・貯蔵・輸送に向けた錯体水素化物 : ABX_3 型ペロブスカイトは構造的な特徴とそれによって発現される電子物性によって常に注目を集めてきた物質である。本研究では、ペロブスカイト型水素化物 LiNiH_3 に着目し、その形成機構をSPRING-8における放射光X線回折「その場」観測によって世界で初めて解明することに成功した。 LiH と Ni の混合物は873 K、3 GPaの条件下で水素化し、更にX線回折パターンの経時変化を追っていくと、まず Ni が水素化して NiH_x となり、その後 $\text{Li}_y\text{Ni}_{1-y}\text{H}$ 固溶体が生成、最終的にペロブスカイト型水素化物 LiNiH_3 へと変換される3段階の反応過程で形成されることがわかる。特に $\text{Li}_y\text{Ni}_{1-y}\text{H}$ 固溶体が前駆体としての役割を果たすことを見出したことは、今後の応用に向けた大いなる前進である。

* 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カギとなる特性である。本研究では、磁気摩擦を超短レーザーパルスを用いて測定した。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る。今回、研究者らは、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、高純度で作製でき、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を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C₆₀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、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)表面を自己組織化により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] バイオイメージング・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型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を、

深いマイクロウェルの底部に仕込んだわずか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。

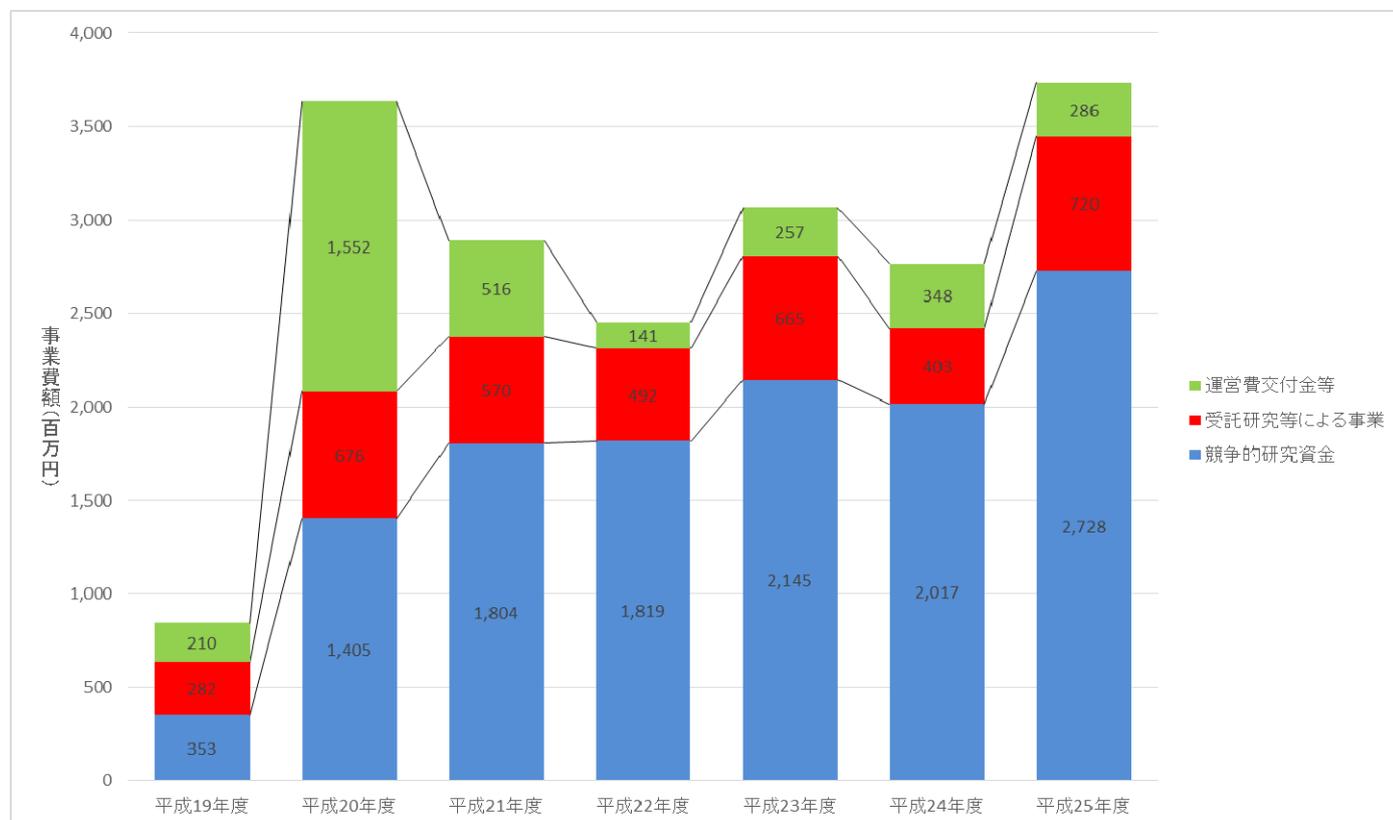
* 研究成果[20] 微小電気機械システム(MEMS)

- *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が出たのも、AIMRの融合研究の推進があればこそである。

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。



[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 (H21-H25) : 1,557百万円
- 代表研究者：大野 英男 教授
研究費累計 (H21-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) : 750百万円

【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) : 197百万円
- 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-H25) : 42百万円

【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：山口 雅彦 教授
研究費累計 (H21-H23) : 127百万円
- 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：折茂 慎一 教授
研究費累計 (H25) : 39百万円

【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

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. 高橋 隆, 第11回 本多フロンティア賞, 平成26年2月 (授賞式は平成26年5月).
2. **Kosmas Prassides**, Royal Society Wolfson Research Merit Award, 平成26年2月.
3. **Ali Khademhosseini**, Elected AAAS(American Association for the Advancement of Science) Fellow, 平成25年.
4. **Alexander Shluger**, 2013 Daiwa Adrian Prizes, 平成25年.
5. 一杉太郎, Gottfried Wagener Prize 2013, 3rd prize, 平成25年.
6. 栗原和枝, Selected as the "IUPAC 2013 Distinguished Women in Chemistry or Chemical Engineering", 平成25年.
7. 大野英男, Fellow of American Physical Society, 平成24年.
8. **Ali Khademhosseini**, The 2012 Young Investigator Award, Biochemical Engineering Journal, 平成24年.
9. 大野英男, IEEE David Sarnoff Award, 平成24年.
10. 幾原雄一, Fellow, The American Ceramic Society, 平成23年.
11. **Ali Khademhosseini**, Presidential Early Career Award for Scientists and Engineers (PECASE), 2011.
12. **Ali Khademhosseini**, Early Career Award in Nanotechnology, The IEEE Nanotechnology Council (NTC), 平成23年.
13. **Alain Reza Yavari**, Award for Scientific Excellence, French National Center for Scientific Research (CNRS), 平成23年.
14. 板谷謹悟, The Prix Jacques Tacussel Award of the International Society of Electrochemistry, 2011.
15. **Mingwei Chen**, The 2011 Distinguished Award, The 8th International Workshop on Intermetallic and Advanced Materials, China, 平成23年.
16. 幾原雄一, Humboldt Research Award, 平成23年.
17. 栗原和枝, A. E. Alexander Lecture Award 2011, The Royal Australian Chemical Institute, 平成23年.
18. 山本嘉則, Centenary Prize 2009, Royal Society of Chemistry, UK, 平成21年.
19. 西 敏夫, International Rubber Conference Organization (IRCO) Medal, 平成21年.
20. 井上明久, James C. McGroddy Prize for New Materials, American Physical Society, 平成21年.
21. 宮崎照宣, Oliver E. Buckley Condensed Matter Prize, American Physical Society, 平成21年.
22. 宮崎照宣, 朝日賞, 平成20年.
23. 山本嘉則, Arthur C. Cope Scholar Award, American Chemical Society, 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. 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)
2. 折茂慎一, "Advanced hydride researches for hydrogen and electrochemical energy storages", IUPAC 9th International Conference on Novel Materials and Synthesis, 中国・上海, 平成25年10月17-22日 (キーノート講演)
3. 齊藤英治, "From spin pumping to spin Seebeck effect", SpinCat workshop 2013, ドイツ・マインツ, 平成25年10月9日 (基調講演)

4. 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)
5. 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)
6. 齊藤英治, "Dynamical generation of spin currents", Joint European Magnetic Symposia 2012 (JEMS2012), イタリア・パルマ, 平成24年9月12日 (準基調講演)
7. 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)
8. 阿尻雅文, "Supercritical Route for Super Hybrid Materials", ISSF 10th International Symposium on Supercritical Fluids, 米国・サンフランシスコ, 平成24年5月13~16日 (キーノート講演)
9. **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
10. 下村政嗣, "New trends in next generation biomimetics: Innovative paradigm shift based on biodiversity", 2012 International Symposium on Nature-Inspired Technology, 韓国・江原, 平成24年1月9~11日 (キーノート講演)
11. 末永智一, "Highly-Sensitive Electrochemical Imaging for Biosensing", US-Japan Workshop on Bio-Inspired Engineering of Next-Generation Sensors and Actuators, 米国・サンフランシスコ, 平成23年11月12~13日 (キーノート講演)
12. 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)
13. **Dmitry V. Louzguine-Luzgin**, K. Georgarakis, J. Antonowicz, G. Vaughan, A.R. Yavari, T. Egami, A. Inoue, "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)
14. 阿尻雅文, "Supercritical Route for Super Hybrid Nanomaterials", International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT 2011), シンガポール, 平成23年6月27日~7月1日 (キーノート講演)
15. 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
16. 谷垣勝己, "What we have learned from Fullerenes: From the viewpoint of physical parameters", Fullerene Silver Anniversary Symposium, ギリシャ・クレタ島, 平成22年10月4~10日 (キーノート講演)
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)
20. **Mingwei Chen**, "Structure and Properties of Nanoporous metals", International Conference on Frontiers in Materials Science & Technology (FMST2008), オーストラリア・ブリスベン, 平成20年3月26~28日 (キーノート講演)

4. アウトリーチ活動一覧

※以下の表を用いて、平成23～25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	H23年度実績 (件数、回数)	H24年度実績 (件数、回数)	H25年度実績 (件数、回数)
広報誌・パンフレット	13	5	7
一般向け講演会・セミナー	22	4	7
小・中・高向けの授業・実験・実習	5	7	17
サイエンスカフェ	0	3	3
一般公開	5	2	2
イベント参加・出展	13	6	13
プレスリリース	28	26	26

5. 平成23～平成25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、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	2014/3/9 2014/2/6 2014/2/1	日本経済新聞 日経産業新聞 河北新報	サメの歯の原子構造の可視化に成功(幾原)
2	2013/12/25	朝日新聞	老舗の流儀7「リケジョ本家の気概 次代に」(小谷)
3	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)
4	2013/11/27 2013/11/15	日経産業新聞 日刊工業新聞	有機薄膜太陽電池の電荷損失を防ぐ要因を理論的に解明(田村)
5	2013/11/25	日経サイエンス	Front Runner 挑む「不連続なものの形の本質を探る」(小谷)
6	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)
7	2013/10/29 2013/9/17	NHK(サイエンス)	東北大学からの挑戦状(小谷)
8	2013/9/22 2013/9/12	BS11(ウィークリーニュースONZE) 読売新聞、毎日新聞、日経産業新聞	高山あかり博士 ロレアル-ユネスコより奨励賞受賞
9	2013/8/31	TBS(未来の起源)	ナノテクノロジーが医療を大きく変える(藤枝)
10	2013/8/11 2013/7/12	日本経済新聞 河北新報、日経産業新聞	ガラスは歪んだ20面体で埋められている(陳、小谷)
11	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)
12	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)
13	2013/3/12	日刊工業新聞、日経産業新聞、電波新聞	環境にやさしい「水素」を利用した新たな機能材料の開発指針(折茂)
14	2013/1/17	日本経済新聞	知の明日を築く「東北大学の原子分子材料科学高等研究機構」
15	2012/11/6	日本経済新聞、日経産業新聞、日刊工業新聞	ミクロな世界のサンドウィッチ-グラフェン層間化合物の作成に初めて成功(高橋、一杉)
16	2012/9/24 2012/9/21	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)
17	2012/6/25 2012/6/18	NHK教育	NHK ETV テストの花道「BENBUキャンパスツアー 東北大学」(高橋、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	2012/6/12 2012/6/11	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	2012/6/4	日刊工業新聞、日経産業新聞、河北新報	量子ドット太陽電池 シリコン製で12.6% 東北大 豪を抜き世界最高効率(寒川)
21	2012/5/24	読売新聞	磁性半導体技術を開発 家電省エネ化の切り札(大野)
22	2011/12/4 2011/11/17	読売新聞 中日新聞、東京新聞、日経産業新聞、日刊工業新聞	セラミックス内で不純物が「超構造」(幾原)
23	2011/11/9 2011/11/5	日本経済新聞、河北新報 日本経済新聞	東北大 独研究機関と協定 先端分野で学术交流推進(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	2014/1/29 2014/1/27	Chemistry Views Chemical & Engineering News	サメの歯の原子構造の可視化に成功(幾原)
2	2013/11/12 2013/10/25 2013/10/24	Science News Chemistry World materials360 online	Water squishes into stable shapes, no container required (Russell)
3	2013/7/15	Physics World Microscopy analysis	ガラスは歪んだ20面体で埋められている(陳、小谷)
4	2013/4/29	Phys.org Science Daily	Bioengineers create rubber-like material bearing micropatterns for stronger, more elastic hearts (Khademhosseini)
5	2013/4/22	Physics World	磁気の波を用いた熱エネルギー移動に成功(齊藤)
6	2013/2/25	Fox News	Rise of the machines? New steps toward bionic humans (Khademhosseini)
7	2012/8/30	Physics World	Special Report Japan
8	2012/2/14	CBS News	Boston Researchers Work To Grow Human Organs (Khademhosseini)
9	2011/6/28	EL COMERCIO	Hay que abaratar el coste de los nanomateriales para que la sociedad los utilice (Yavari)

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

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). (本論文は添付様式2の研究成果と重複)

AIMRの数学者および実験研究者の間の融合研究チームは、金属ガラス中の原子構造を解析し、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。実験チーム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原子構造を特定する技術を開発し、数学者チームはその構造解析に「計算ホモロジー」の方法を適用した。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。具体的には、金属ガラス中の正20面体クラスターに見られる幾何学的歪みが長距離に亘ってシンプルにトポロジカルに連結し、空間を充填していることがわかった。歪んだ正20面体とFCC格子的な対称性の高い構造が共存しており、これも歪みをもった構造が結果的に原子の稠密充填をもたらしていることにつながっている。半世紀に亘る矛盾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、酸化物薄膜を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。これは薄膜中のLiの含有量の酸素分圧依存性を原子衝突に誘起されたブ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ものである。

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は、例えば、(n,m)という座標を用いたカイラル指数を使ったもので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に関する指標(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コンピューティング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、作製が困難であった。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、革新的な「数理化学」技術を開発した。これにより、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になった。

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、BMGの変形に関して解析を行った。まず彼らは、フラクストリートメントとキャスティング法を用いて、Ni₅₀Pd₃₀P₂₀の組成をもつバルク金属ガラスを作製し、この合金のガラス構造の形成過程をX線回折法と透過型電子顕微鏡によって解析した。室温の1軸圧縮条件におけるこの材料の変形挙動が歪み速度 $5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ と、擬静水圧条件での3つの異なる歪み速度において測定された。カオス的な要素をもつ鋸歯状の流動挙動が出現し、これを確率論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、まず最初に、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、実験が進行するにつれて、これらのダイナミクスの性質が変化し、既に材料中にできていたせん断帯を広げるようにして歪みが生じ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/金属複合膜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を調べた。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. 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ている。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AFMを用いて微視的領域の粘性分布から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で測定された粘性の不均一構造は2.5 nmの特徴的長さを持ち、それがSTZの特徴的サイズスケールとよく整合することが明らかになった。これはそのような不均一構造とSTZの間に深い関係があることを示唆している。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)との類似性が、異なる材料間をつなぐ共通原理の発見を期待させる。

8. N. Asao, Y. Ishikawa, N. Hatakeyama, Menggenbateer, Y. Yamamoto, M. W. 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). (本論文は添付様式2の研究成果と重複)

電気化学処理(脱合金化処理)で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。バルク金属ガラスグループとソフトマテリアルグループの融合研究チームは、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した。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。

9. 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、ナノポーラス金を、球面収差補正機能を搭載した走査透過電子顕微鏡を用い、また、ガス圧を慎重に制御しながら、CO酸化反応の「その場」観察を行った。ナノ細孔の湾曲した部分では、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。

10. 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いだした。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。

11. 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して直径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できるようになった。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。

12. 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).

グラフェンの層と層の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、最も薄い形態のカルシウム系GICでありながら、バルクグラファイトとしての長所をもつ。 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。

13. 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。

14. 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。

15. 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). (本論文は添付様式2の研究成果と重複)

本論文は、金属ガラスの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の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。

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の研究成果と重複)

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が出たのも、AIMRの融合研究の推進があればこそである。

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、機械的な制御ができる生体の足場材料は、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にかつ簡単にしかも短時間で垂直に立てるために誘電泳動 (DEP) の利用を試みた。CNTの方向を制御した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の筋肉細胞は、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やCNTを水平に向けさせたハイドロゲルの中で培養された細胞よりも、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 π - π 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。

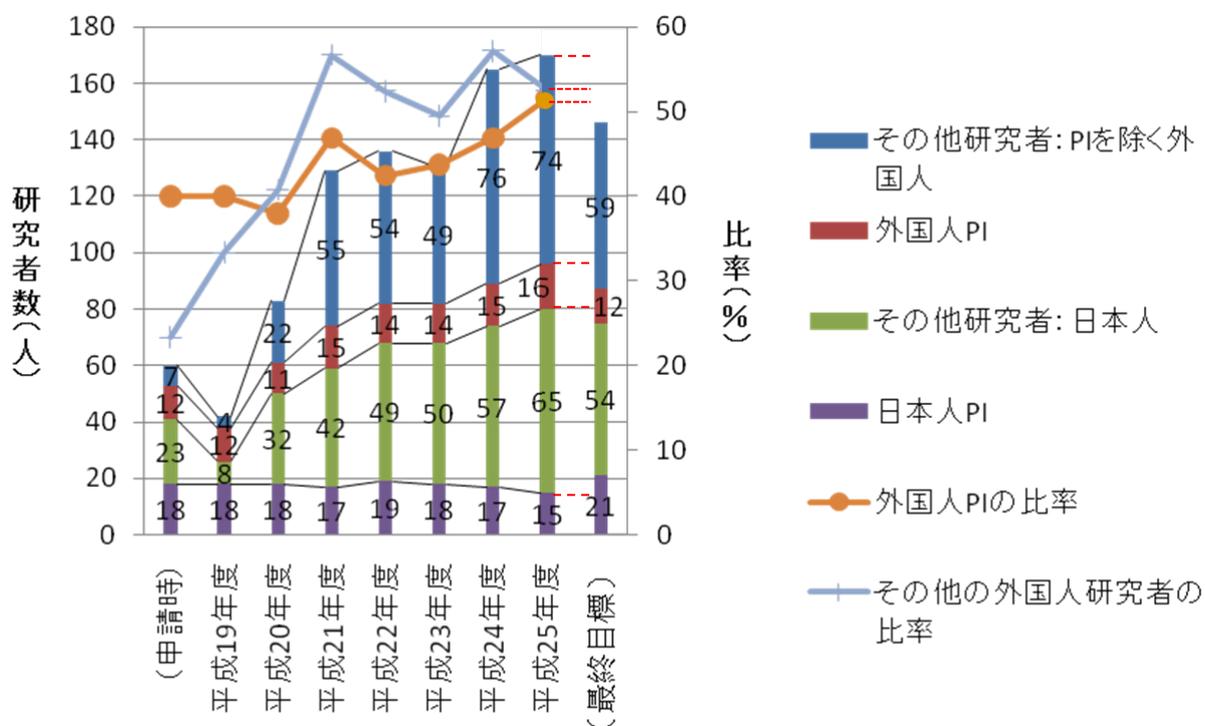
20. H. Tamura, I. Hamada, H. Shang, K. Oniwa, Md. Akhtaruzzaman, T. Jin, N. Asao, Y. Yamamoto, T. Kanagasekaran, H. Shimotani, S. Ikeda, and K. Tanigaki. Theoretical analysis on the optoelectronic properties of single crystals of thiophene-furan-phenylene co-oligomers: efficient photoluminescence due 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）

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。



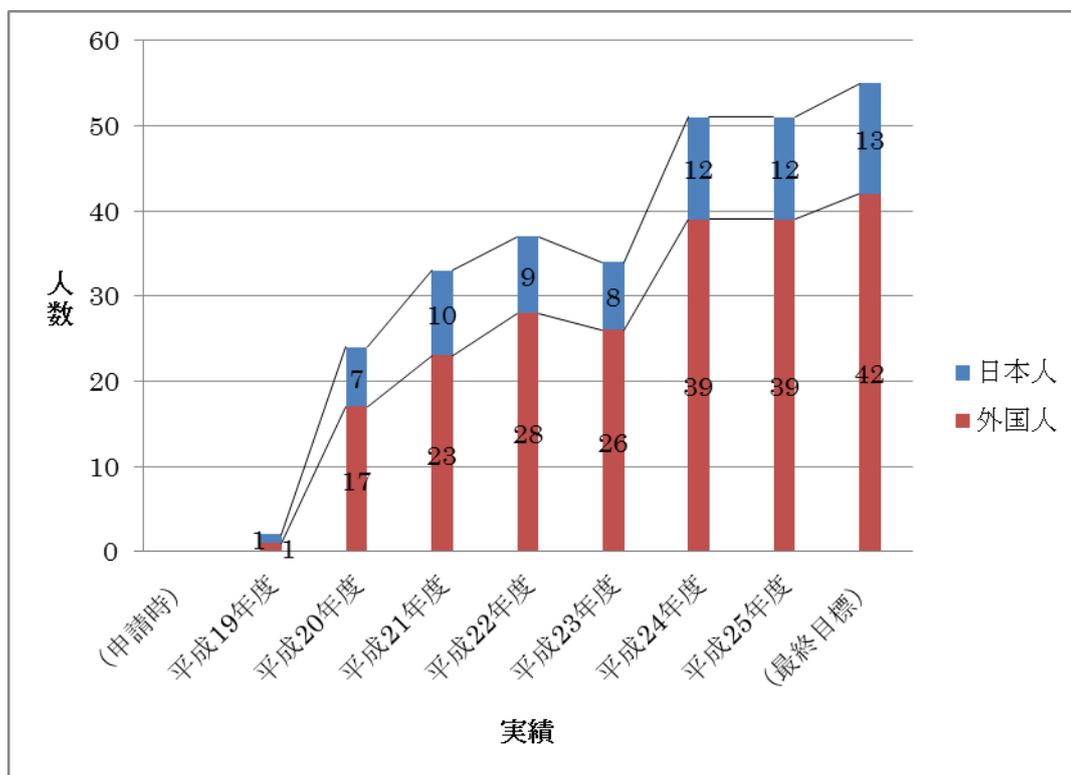
2. ポスドクの国際公募の実施と応募・採用状況

・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%>

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。

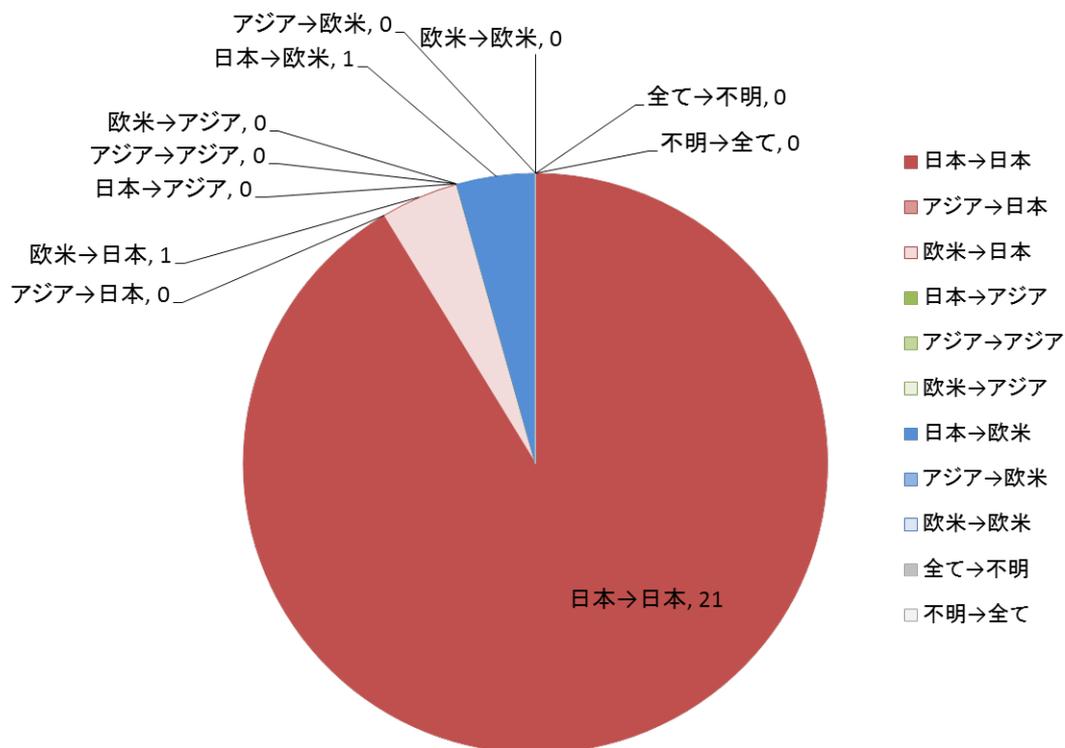


4. ポスドクの国際的就職状況

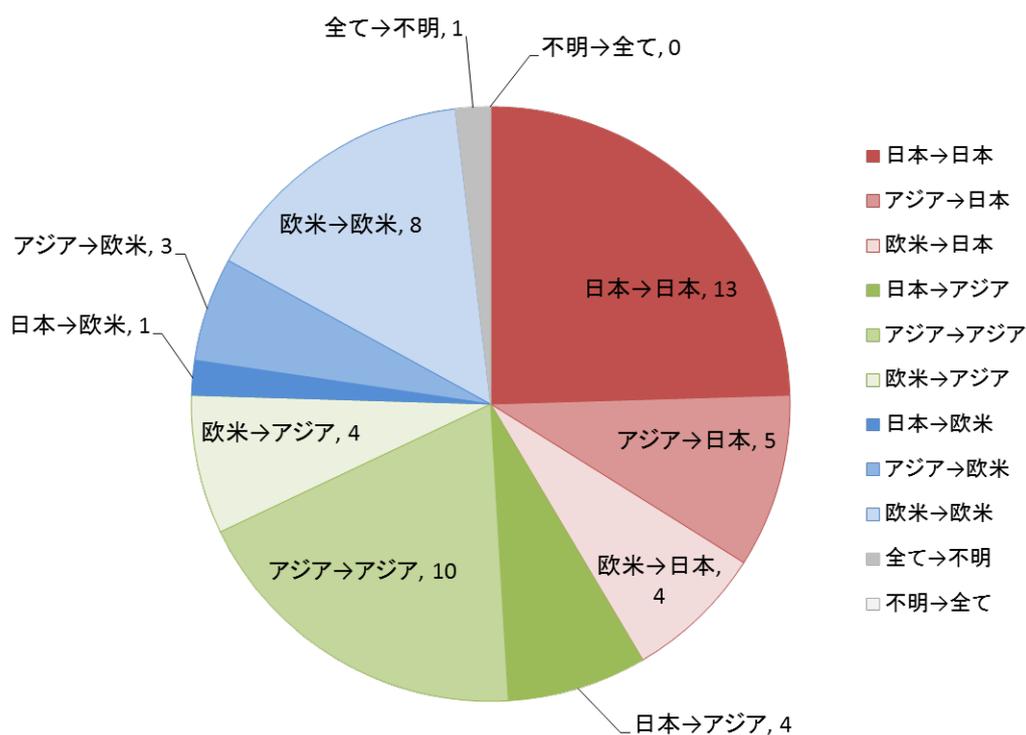
※1名につき、1行で作成すること。

- ・ ○○→△△は、○○にある研究機関からWPI拠点に移動したのち、△△にある研究機関に移動したことを意味する。
- ・ n/aは、所属機関が不明や出産等による退職を意味する。

日本人ポスドク



外国人ポスドク



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：浦項工科大学先端材料科学機構(AMS)
協定の名称：AIMRとAMSにおける学術交流に関する協定書
締結時期：2010年3月27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：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

5. 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

6. 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

7. 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

8. 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

9. 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

10. 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

11. 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
12. 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
13. 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
14. 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
15. 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
16. 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
17. 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
18. 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

19. 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

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
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	1 st 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 2 nd 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 (グルノーブル、フランス)	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）

1. ホスト機関による支援の実績

1-1. ホスト機関からのリソース供与

(1) 資金、人員

(平成19年～平成26年)									
<資金>									(百万円)
年度	19	20	21	22	23	24	25	26	計
人件費	11	164	243	24	75	257	242	197	1,213
教員(研究職員)									
うち専任		94	130	19	3	188	177	125	736
うち併任	9								9
ポストク RA等									
研究支援者		1	24				1		26
事務職員	2	69	89	5	72	69	64	72	442
事業推進費	5	101	105	116	122	53	3	24	529
旅費	0	8	7	1	0	8	1	0	25
設備備品等費	0	932	161	0	61	30	39	30	1,253
研究プロジェクト費	350	599	204	193	30	18	38	31	1,463
合計額	366	1,804	720	334	288	366	323	282	4,483
<人員>									(人)
年度	19	20	21	22	23	24	25	26	計
総人員									
教員(研究職員)	2	15	14	16	3	18	19	18	105
うち専任		13	12	15	3	16	17	16	92
うち併任	2	2	2	1		2	2	2	13
ポストク RA等									
研究支援者		2	12				1		15
事務職員	1 (0)	12 (11)	24 (11)	12 (12)	17 (16)	10 (10)	10 (10)	10 (10)	96 (80)

※ <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。

(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ている。

1-2. 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いるところである。

1-3. 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ぎ「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いる。

1-4. 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。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年度に新たに設立する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・発展させることとなっている。

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年度に機関内全事務職員に配布することになっている。

1-5. 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。

1-6. 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期中期計画において、拠点への支援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、ホスト機関内の「研究特区 高等研究機構」として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。

2. ホスト機関の中期計画

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

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 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。

-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 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。

-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。

-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。

-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。

-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。

-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。

-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。

-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 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。

-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。

-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。

-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 修学支援の充実

修学支援の取組を充実する。

-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。

-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 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。

-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。

-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。

-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 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。

-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 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。

-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 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。

-2 教育と文化への貢献

3. 女性研究者数の推移

※平成23年度～平成25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	最終目標
研究者		14, 10%	11, 8%	15, 9%	16, 9%	22, 15%
		136	131	165	170	146
内 訳	主任研 究者	2, 6%	2, 6%	2, 6%	2, 6%	2, 6%
		33	32	32	31	33
	その他 の研究 者	12, 12%	9, 9%	13, 10%	14, 10%	20, 18%
		103	99	133	139	113