

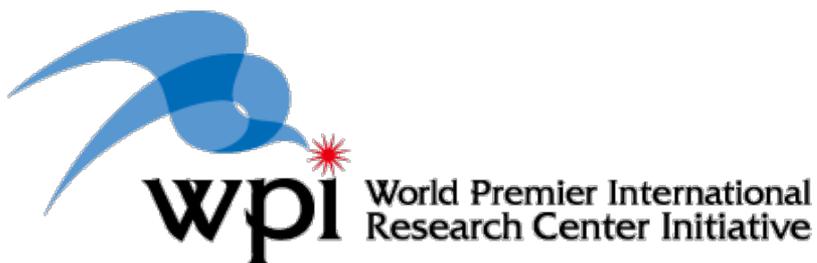


ワールド リーディングハブを目指して

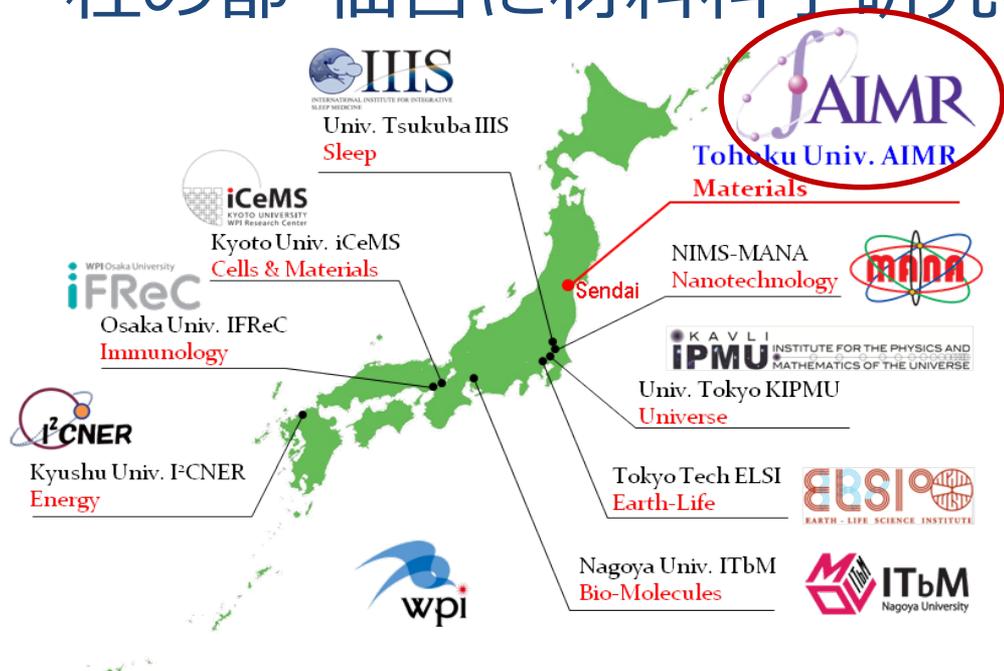
World Premier International
Research Center(WPI)

**ADVANCED INSTITUTE
FOR MATERIALS RESEARCH**

機構長 小谷 元子



“杜の都”仙台に材料科学研究の世界拠点



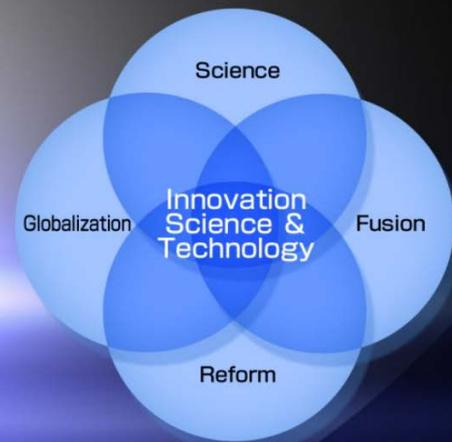
- 2007年に世界トップレベル研究拠点 (WPI) の1つとして設立
- 東北大学が伝統的に強い材料科学分野の世界拠点を目指す

世界トップレベル研究拠点事業

世界のなかで
「目に見える」研究拠点
頭脳循環のハブ

年間13億円 10年間の支援
(2007-2016)

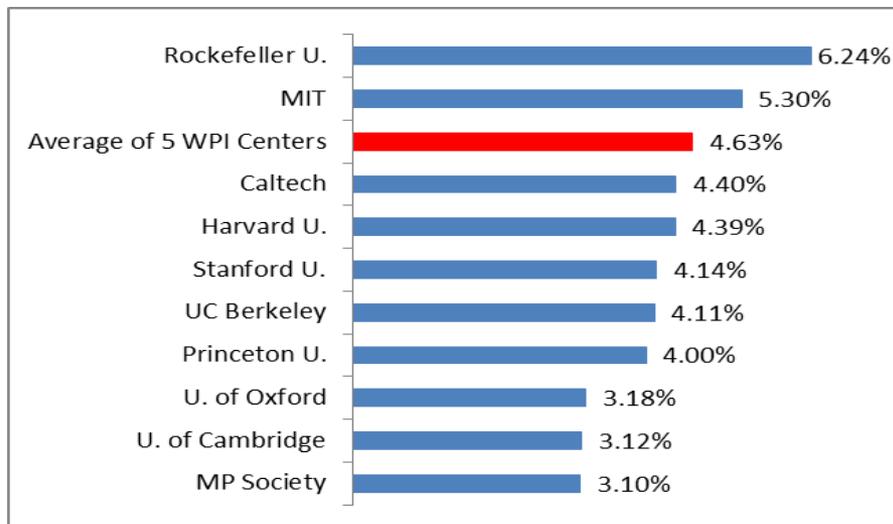
- 1 Science : Leading-edge research level
- 2 Globalization : Realization of an international research environment
- 3 Reform : Reform of the research organization
- 4 Fusion : Creation of interdisciplinary domains



世界トップレベル研究拠点形成(WPI)プログラム 公募時の必須事項

- 中長期的な計画への位置づけ
- 実施期間(10年間)
 - 研究:新領域の開拓
 - 組織:PI10~20名、1~2割は外国人、過半数が世界トップレベル研究者
 - 総勢(若手研究者、研究支援者、事務)200名、うち3割は外国人
 - ホスト機関のコミットメント
 - リソース供与(研究者による競争的研究費獲得、現物供与(人件費部分負担・スペースの提供))
 - 拠点運営の独立性を担保
 - 他部局との調整を支援
 - 制度の柔軟な運営に協力
 - インフラ
 - 最大限の支援
- 終了後:世界トップレベル研究拠点であり続けられる

トップレベルサイエンス



5拠点におけるトップ1%ペーパー割合

国際化 & 異分野融合研究

- 高い国際性:
 - 40%の研究者が外国人(406/1,006).
 - 国際シンポジウム、ワークショップ、サマースクール
- 融合研究の推進:
 - AIMR: 数学と材料科学の連携
 - Kavli IPMU: 数物連携
 - iCeMS: セルバイオロジーと材料科学の統合
 - iReC: 免疫、バイオイメージング、バイオインフォマティクス
 - MANA: ナノ・アーキテクトに基づく異分野融合研究

主任研究者 31名 (外国人16名)

全スタッフ数 約200 名

(研究者の50%以上が外国人)

公用語 : 英語

最高峰の研究と第一級の研究環境・支援体制

材料科学、物理、化学、工学を統合し、新しい材料科学を構築し、社会に貢献する。世界最高の頭脳と実験装置による最先端研究

世界初 研究所レベルでの数学—材料科学連携

- 数学の視点を導入し、材料の性質に関する共通の原理を導きだす
- 予測にもとづいて、新しい機能性材料を作り出す



9年間で2,609 報の論文をハイ・インパクト雑誌から出版 (年間約350報)

- The number of published papers

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
Number of papers	37	210	260	334	335	336	340	380	377	2,609

- Many papers have been published in **Science, Nature and their sister journals.**

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Science		1		1	2		3	1		
Science Advances (New)									2	
Nature					1				1	
Nature Communications				1	2	2	7	8	8	
Nature Materials		1	2	2	2	3	5		4	
Nature Nanotechnology			1		2	1	1		1	
Nature Physics			2	1	1	1	1	2		
Nature Photonics						1				
Nature Chemistry									1	
Sum total	0	2	5	5	10	8	17	11	17	Total 75

- Advanced Materials, Physical Review Letters (PRL), Applied Physics Letters (APL), Journal of the American Chemical Society (JACS), Nano Letters, Lab on a Chip, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS).

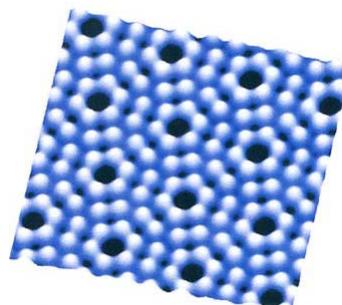
1. 世界をリードするサイエンス

AIMRの研究目標

既存の研究分野を超えて融合研究を行うことで
新しい材料科学を創造し、社会に貢献する

- 異なる材料に共通な機能発現の背後にある
基本原理の解明
- この原理に基づき新たな機能や新しい材料を
予測する基盤の構築
- 創エネルギー、省エネルギー、環境浄化に貢
献するグリーンマテリアルの創製

“原子の観察”

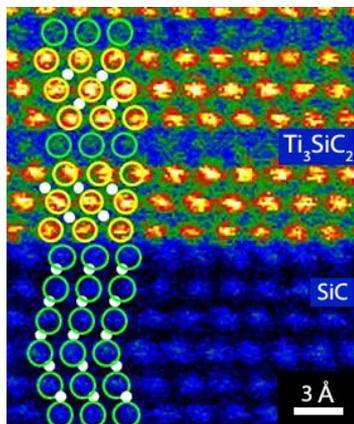


シリコン結晶表面の
個々のSi原子

固体表面
の原子構造

走査トンネル顕微鏡 (STM)

Appl. Phys. Lett. (2011), *ACS Nano* (2011)



界面の原子構造

走査型透過電子顕微鏡
(STEM)

Science (2009)
Nature Mater. (2009)
Nature Comm. (2010)
Nature (2011)

“超伝導体、トポロジカル絶縁体の
電子状態の観察”

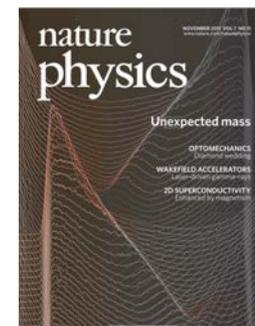
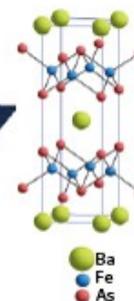
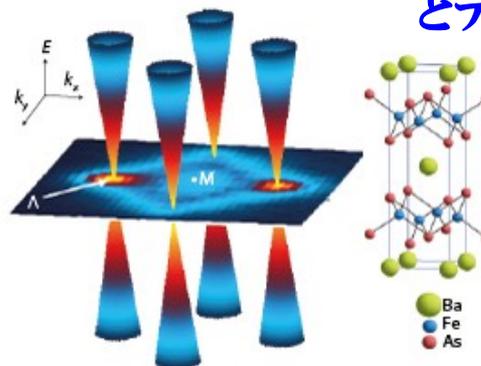


スピン及び角度分解型光電子分光装置
(spin-ARPES)

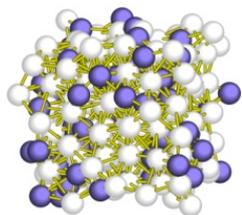
世界最高性能を実現

Nature Phys. (2009), *Phys. Rev. Lett.* (2010)
Nature Phys. (2011)

トポロジカル絶縁体
とディラックコーン状態



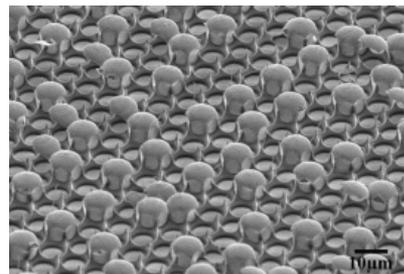
“金属ガラス”



極めて強く
しなやかな
非晶質金属

Proc. Natl. Acad. Sci. (2008) *Phys. Rev. Lett.* (2009)
Nature Mater. (2011) *Nature Mater.* (2011)

“生体模倣物質”



生物系の機能を人工
物質で実現して応用

超撥水性表面
水滴をはじき返すばかりでなく
吸着する表面構造を実現



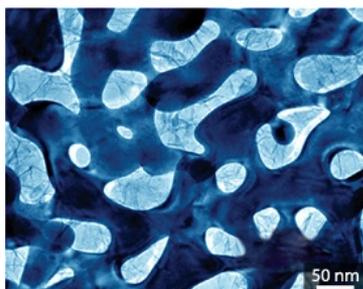
<http://www.flickr.com/photos/brunociampi/>

Chem. Mater. (2009)
Chem. Lett. (2011)

“ナノ細孔金属”



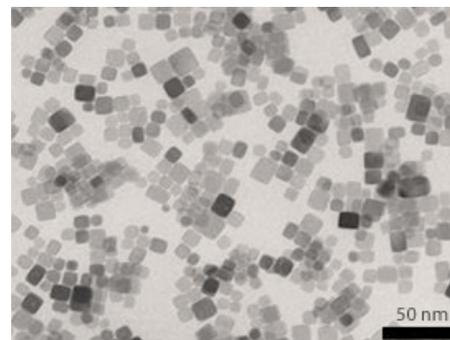
高効率触媒



スーパー蓄電気

Angew. Chem. Int. Ed. (2010) *Chem. Comm.* (2011)
Nature Nanotech. (2011) *Nature Mater.* (2012)

“無機/有機超ハイブリッド物質”



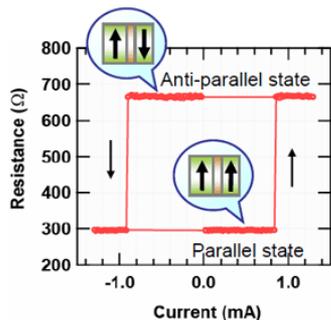
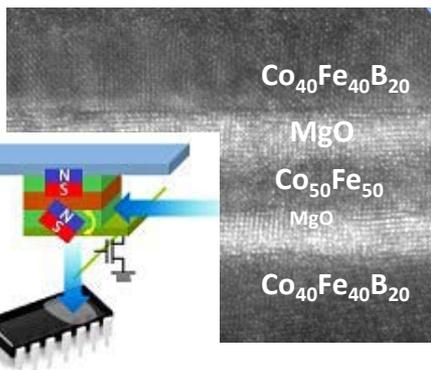
超臨界熱水合成法による
CeO₂ ナノ結晶の生成

放射清浄用の
ナノ結晶

Chem. Mater. (2010) *Nano Lett.* (2011)

JAIMR デバイスへの応用

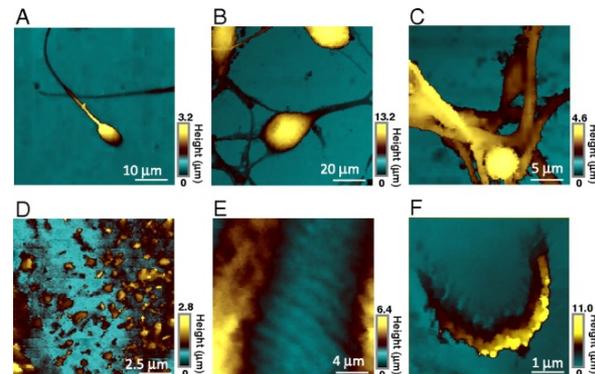
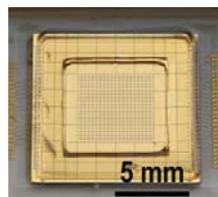
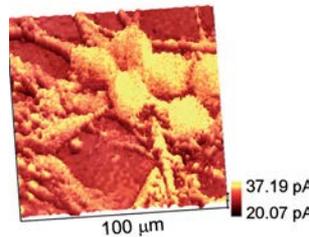
“スピントロニクス”



トンネル磁気抵抗 (TMR) デバイス
磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) を目指して

Phys. Rev. Lett. (2011) *Appl. Phys. Lett.* (2011)

“生体イメージングと生体センシング”



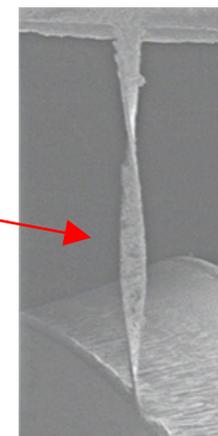
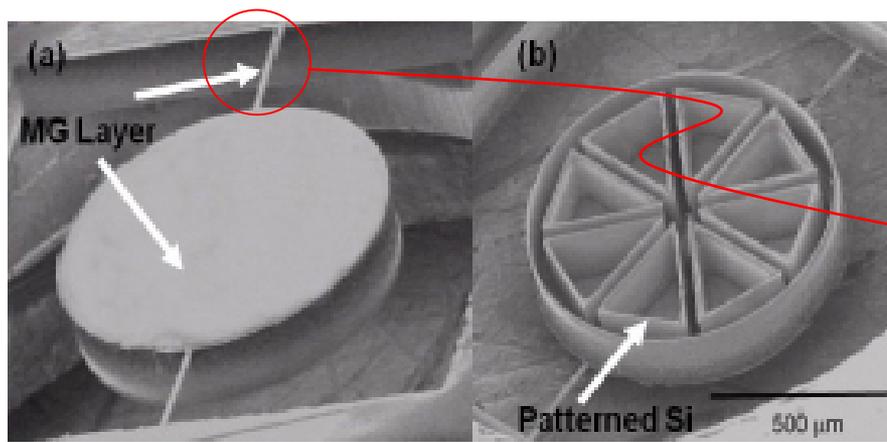
Angew. Chem. Int. Ed. (2011)
Proc. Natl. Acad. Sci. (2012)
Lab Chip (2012)

“MEMS”

マイクロ電気機械系

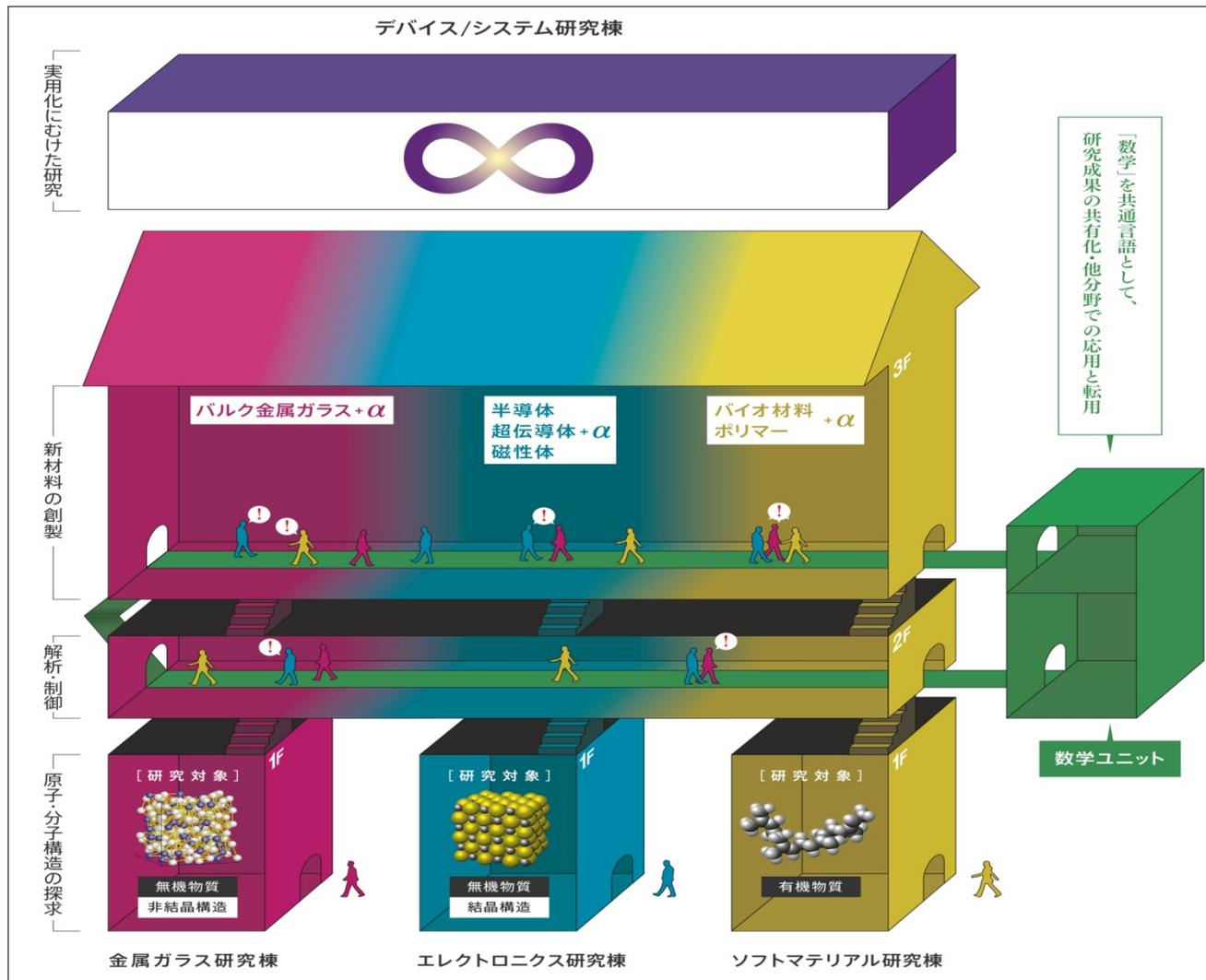
しなやかな金属ガラスを用いた“マイクロ鏡”

Optics Lett. (2011)



2. 異分野融合による パラダイム創出

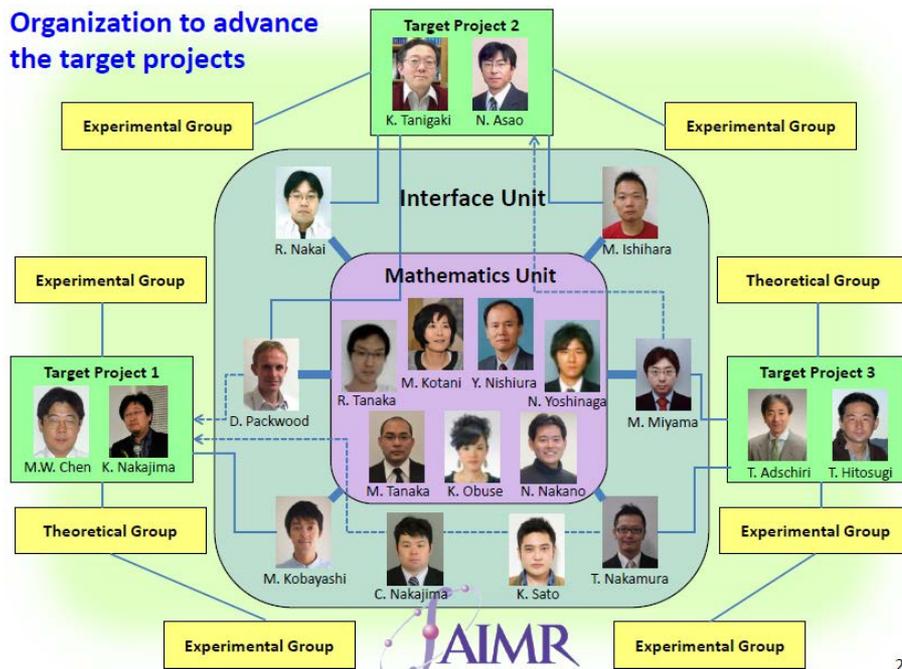
数学の視点で、異なる材料の背後にある構造を見出し、 統合的な材料科学創成する。



3つのターゲットプロジェクト

- 非平衡材料 Non-equilibrium Materials based on Mathematical Dynamical Systems
- トポロジカル材料 Topological Functional Materials
- 階層構造材料 Multi-Scale Hierarchical Materials based on Discrete Geometric Analysis

Organization to advance the target projects

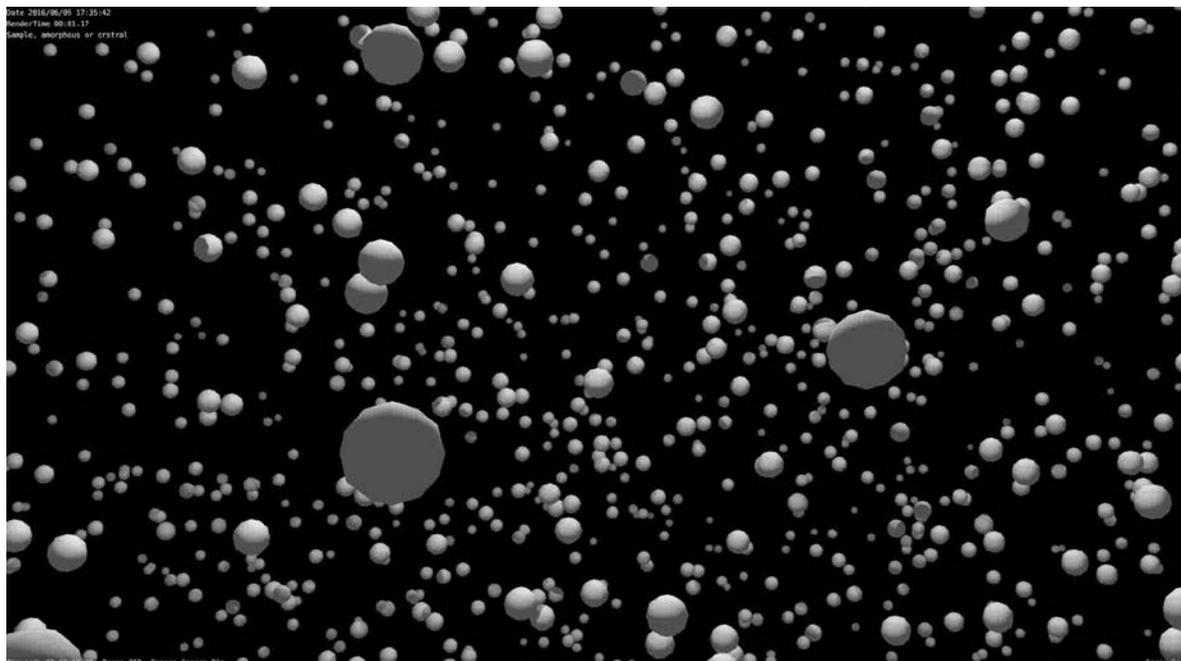


数学・インターフェースユニット
数学・理論系若手の独立研究環境

TP・インターフェースフォーラム
フュージョン・リサーチ提案
共通機器室
メンターによる指導

トポロジカル・データ解析

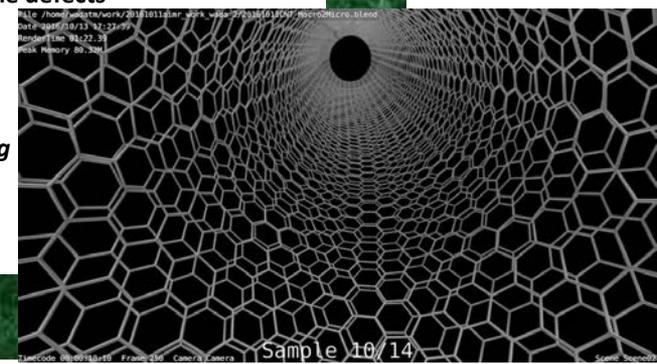
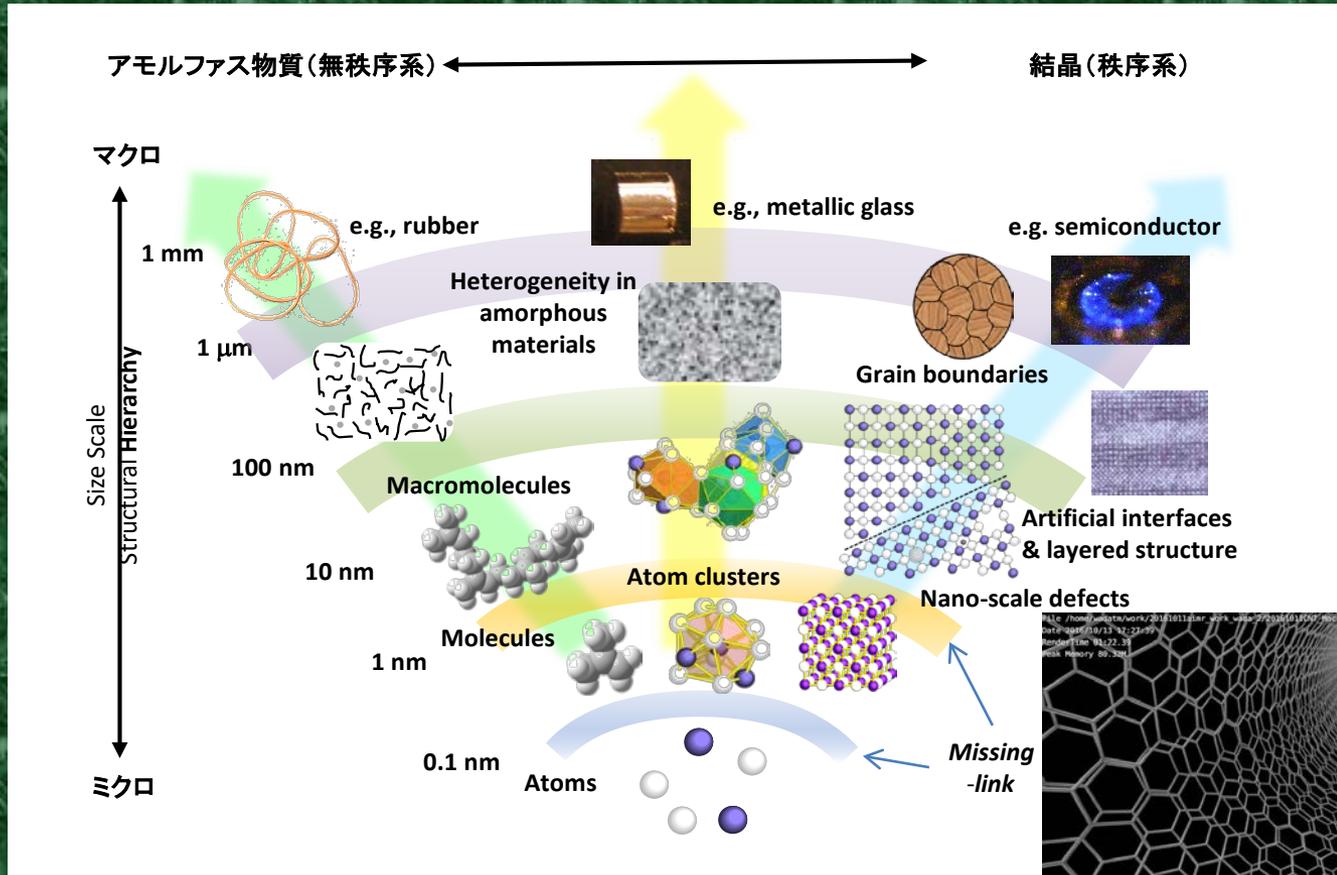
無秩序系に隠れた秩序を発見



結晶・ガラス・液体の3状態を区別する新手法

階層構造材料

hierarchy



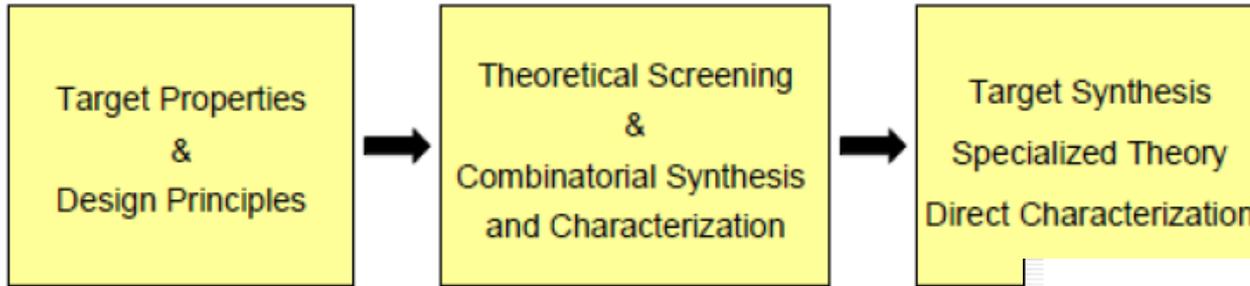
構造・機能・プロセスの相関と機構解明

in US

Material Genome Initiative

マテリアル ゲノム

(2012~) \$100M



Center for Inverse Design

逆デザインセンター

(2009~2014) \$4M

Center for Inverse Design
 EFRC Director: Alex Zunger
 Lead Institution: National Renewable Energy Laboratory

Mission: Achieve the grand challenge of materials and nanostructures by design: Given the desired, target property, find the structure/configuration that has it, and then make the material

Historically, the development of new materials for technological applications has been based to a large extent on trial-and-error searches or accidental discoveries. This pattern is exemplified not only by the historic discovery of semiconductivity in Si and GaAs, but also, more recently, by the discovery of new materials with unsuspected physical and chemical properties, including: high- T_c in cuprates or iron-based superconductors, high tensile strength in carbon nanotubes, and colossal magneto-resistance in manganites. Since (i) in many cases, materials with fundamentally new properties are found outside the chemical neighborhood of the "usual suspects" materials, and (ii) the development of accidentally-discovered materials may take a long time (because it takes a long time to figure out what it is that has been discovered), the current practice of materials-by-discovery may not be the best way to lead to game-changing technologies. We will prefer materials design over materials discovery. As far as theory is concerned, our strategy is to reverse the conventional approach of "given the structure of a solid or molecule, predict its electronic properties", into "given the target electronic properties (required for a given technological application), find the structure that has such properties"



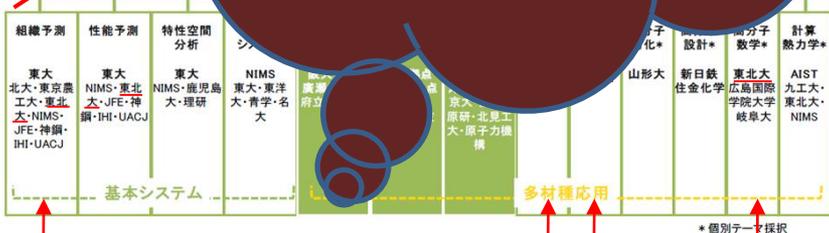
1. Inverse-Design approach versus conventional approach to materials discovery.

Center for Inverse Design	
National Renewable Energy Laboratory (lead institution)	A. Zunger (Director), L.L. Kazmerski, D.S. Ginley, J.D. Perkins, A. Franceschetti, S. Lan, M. d'Avezac, P.A. Graf .
Northwestern University	A.J Freeman, K.R. Poeppelmeier, T.O. Mason
Oregon State University	J.F. Wager, D.A. Keszler
Stanford University/SSRL/SLAC	M.F. Toney

SIP革新的構造材料



数学の役目
データの階層構造
を材料科学者の
直観にあう
「言葉」に。
数値化、可視化



東北大

JSTイノベーションハブ構築支援事業 「情報統合型 物質・材料開発イニシアティブ」

NIMSを拠点にデータ科学をフル活用
した材料開発を推進

経済産業省

産業技術総合研究所(AIST)を舞台と
したマテリアルズインテグレーション

cf.

人工知能(AI)研究センター
ビッグデータに基づくAIと論理的・形式的な知識駆動
型のAIを融合

マテリアルズ・インフォマティクスに基づいた
新材料の探索

田中 功 教授(京大)グループ

理論・実験・計算科学とデータ科学が連携・
融合した先進的マテリアルズインフォマティクス
のための基盤技術の構築
研究総括: 常行真司教授(東大)



AIMRは、数学的視点を提供できる
唯一のセクターとして大きな期待

3. 国際化

頭脳循環のハブ

研究者の国際化

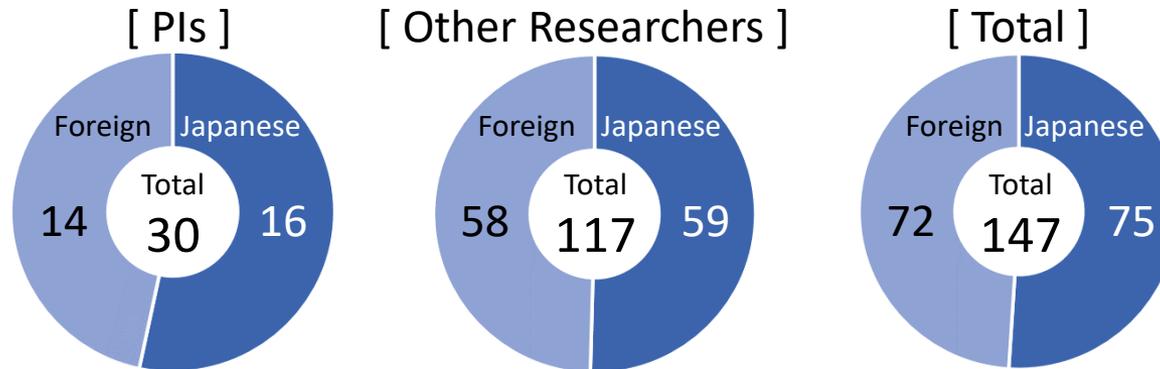
主幹研究員 (PI) 全 30 人中 14人が外国人 (47%)

USA 4, China 4, UK 3, Germany 1, Russia 1, Poland 1

全研究者 (短期滞在研究員を含む) 全147人中外国人72人 (49%)

Asia-Oceania 67%, Europe 22%, North America 4%,
Middle-South America 2%, Middle East 5%

約90% の博士研究員が海外から (14 カ国)



as of March 31, 2016

短期滞在支援プログラム

GI³ (Global Intellectual Incubation and Integration)
AIMR Overseas Dispatch Program for young researchers

国際的プレゼンスの向上

- 15 の海外連携校
- 3 のコアパートナー: ジョイントラボの設置
 - ケンブリッジ大学
 - 中北京(中国科学院・清華大学)
 - カルフォルニア大学
- GI³ による中長期訪問
- AIMR International Symposium 15カ国1,400 以上の参加者
- ワールドリーダーの訪問滞在(ノーベル賞、フィールズ賞受賞者を含む)
- 国際研究集会 @ケンブリッジ、UCSB、ハーバード、E-MRS
- サマースクール 13カ国から30名の学生が参加(MIT, UCSB, ETHなどから200名以上の応募)
- 国際共同研究プロジェクト フラウンホッファー、IMEC, etc.



4. 若手育成とキャリア支援

若手研究者による国際頭脳循環とプロモーション

Pierre Richard

Assist Prof
at AIMR



Professor
at IPCAS

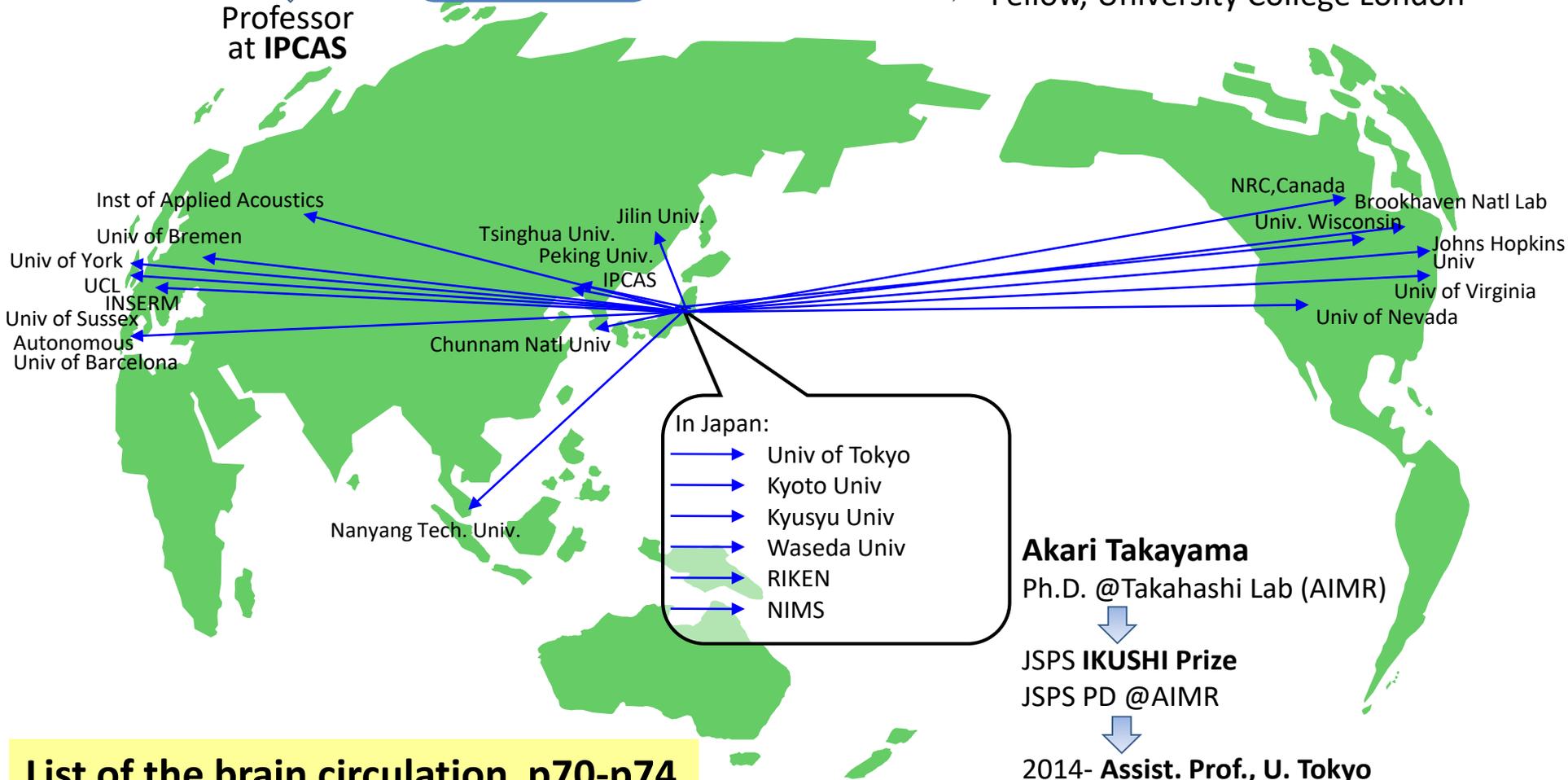
Excellent
achievement
by ARPES

Peter Sushko

After researcher at GI³ lab:



Royal Society University Research
Fellow, University College London



List of the brain circulation p70-p74

159 members have been promoted to other positions at other places.

5. システム改革

システム改革と大学への波及効果

- ◆ 機構長によるトップダウン意志決定
- ◆ 業績評価に基づく能力別サラリー.
- ◆ 研究支援センター(共通機器室、計算支援ユニット、数学連携ユニット、研究者サポートオフィス)
- ◆ 二重所属制度
- ◆ 英語によるサービス(90%の事務スタッフが英語で対応、書類・メールの日英併記)



大学への波及
(制度化・組織化)

高等研究機構の設置
知のフォーラム、リサーチ・レセプションセンターの設置
海外リサーチステーション(海外ラボ)
二重所属制度
ディステングィッシュト プロフェッサー制度
文章の英語化・マニュアル化・事務職員の海外研修

共通機器室：

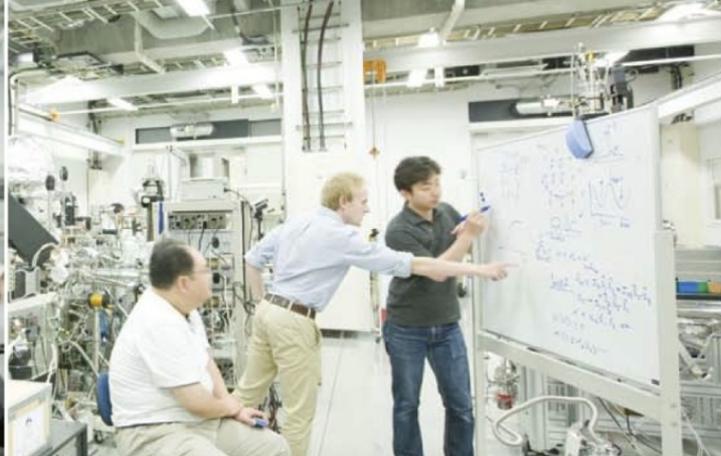
新メンバーの実験立ち上げに
予備的な実験(特に若手の独立研究)

The polite and thorough support in English by the technical staff is helpful for researchers from abroad ! 英語で対応してくれるテクニカルスタッフが親切だった。

Thanks to the Common Equipment Room, our paper has been accepted to a journal for publication ! おかげで、論文がとりました。



3D printer in the Common Equipment Room is very much useful also for theoretical researchers and mathematicians ! 3Dプリンターがすぐに入って助かった。



Communi

世界トップレベルの
集結するAIMR。
自由な議論と交流
新たな発想は生ま

Research

4つの研究グループと数学ユニット。
ここでは、世界最高水準の研究環境がある。



清聴ありがとうございました
www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp

数学と材料科学の融合という独創的な取り組みが
発展にとって分水嶺となったと、いつの日か語られ

