

アトミックスケール電磁場解析プラットフォーム

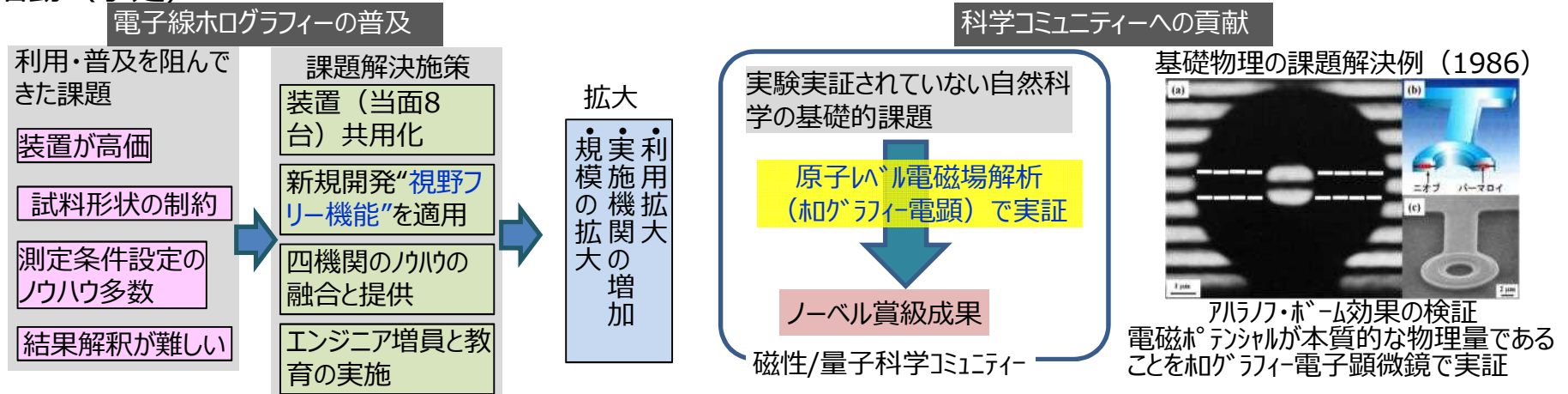
株式会社 日立製作所 研究開発グループ
基礎研究センタ
品田博之

世界最高分解能超高圧和格子電子顕微鏡をはじめとするアミックスケール電磁場計測装置及び技術を、国内外の第一線の材料研究および量子物理分野の課題解決に広く活用できるように共用プラットフォーム化し、イノベーションの創出を目指す。

1) 体制 (予定) :

機関名称	各機関の特徴と主な分担.
代表機関：日立製作所基礎研究センター	世界最高分解能超高圧和格子電子顕微鏡,他3台の装置で計測.
実施機関 (財) ファインセラミックスセンター	和格子電子顕微鏡の産業界ユーザー向け計測の多くの実績を活用.
九州大学超顕微解析研究センター	金属系材料計測の研究成果多.磁性材料中心に計測・解析を担う.
東北大学多元物質科学研究所	幅広い物質科学の研究成果多.主に計測結果の解析を担う.
協力機関 大阪大学超高圧電子顕微鏡センター	超高圧電子顕微鏡の運用・共用化で実績多.各種アドバイスを頂く.
理化学研究所創発物性科学研究所	日立と共同で和格子電顕の応用研究実績多.各種アドバイスを頂く.

2) 活動 (予定) :



3) 適用研究分野：超電導,新磁石,電池などの材料分野及び量子力学をはじめとする基礎科学分野。

4) 人材育成：本PFでは,これまで電子線和格子技術を習得していないユーザーへの実験指導だけでなく,データ解析など高レベルでのアドバイスをを行うとともに,初心者から経験者迄それぞれのレベルに応じたセミナーを開催し,電子線和格子によりアミックスケールで電磁場解析できる研究者・技術者の育成を図る。

代表機関：日立製作所 品田博之

実験・研究実施部門：日立製作所研究開発グループ 基礎研究センター
運営・渉外・広報等：日立製作所研究開発グループ 戦略室技術統括センター
収入・支出管理：日立製作所研究開発グループ 管理統括センター財務部

運営委員会

※ メンバーは検討中

テーマの選定

実施機関：ファインセラミックスセンター 平山司

実験・研究実施部門：ナノ構造研究所
広報等：ファインセラミックスセンター研究企画部
再委託金の管理：ファインセラミックスセンター事務局

協力機関

理化学研究所
創発物性科学研究
センター

実施機関：九州大学 村上恭和

実験：九州大学超顕微解析研究センター
広報等：九州大学総務部広報室
再委託金の管理：九州大学工学部等総務課研究企画係

大阪大学
超高压電子顕微鏡
センター

実施機関：東北大学 進藤大輔

実験：東北大学多元物質科学研究所
広報等：東北大学多元物質科学研究所広報情報室
再委託金の管理：東北大学多元物質科学研究所経理課経理係

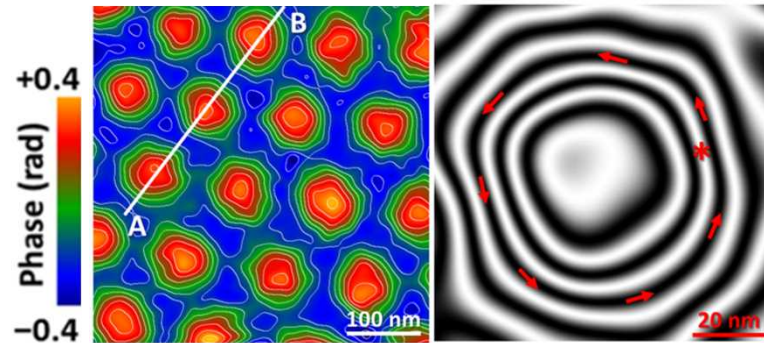
※ 国内外の他の機関とも
今後協力体制構築予定

超高圧ホログラフィー電顕の有効性・先進性を実例を挙げた上でプラットフォーム事業に供するポテンシャルと意義を明確にする.具体的には,

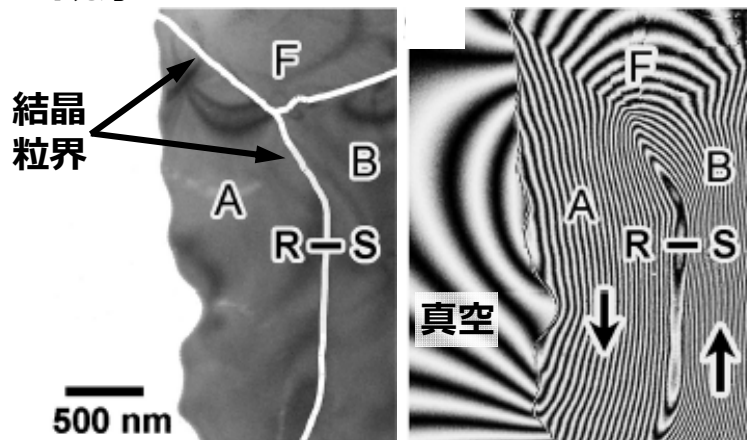
- 超高圧ホログラフィー電顕を共用化した場合の外部利用者の見積もりを明確にする.**
- 研究成果の再確認とその有用性,外部利用者増加によるイノベーション創出の可能性を検討する.**

電子線ホログラフィーの有効性・先進性を示す応用例

- トポロジカルなスピンの三次元磁気構造の計測(*1)



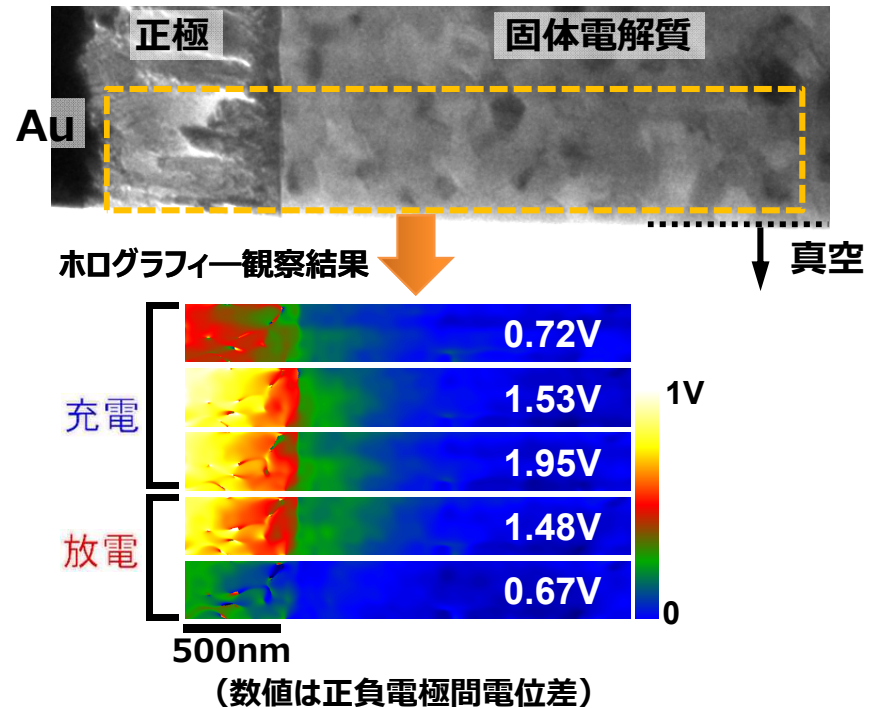
- 納メートル磁石結晶粒界近傍の磁束分布観察(*2)



(a)通常電子顕微鏡像

(b)位相再生像
(黒線1本が磁束に対応)

- 全固体Liイオン電池における電極/電解質の充放電その場電位分観察(*3)



(*1) H.S.Park *et al.*, *Nature Nanotech.* **13**, 337(2014)

(*2) Y. Murakami *et al.*, *Acta Mater.* **71**, 370(2014)

(*3) K. Yamamoto *et al.*, *Angew.Chem. Int.Ed.* **49**, 4414 (2010)

電子線ホログラフィー計測で連携,または検討中の主な案件

(青字は6月の審査会以降に問い合わせ頂いた研究テーマ)

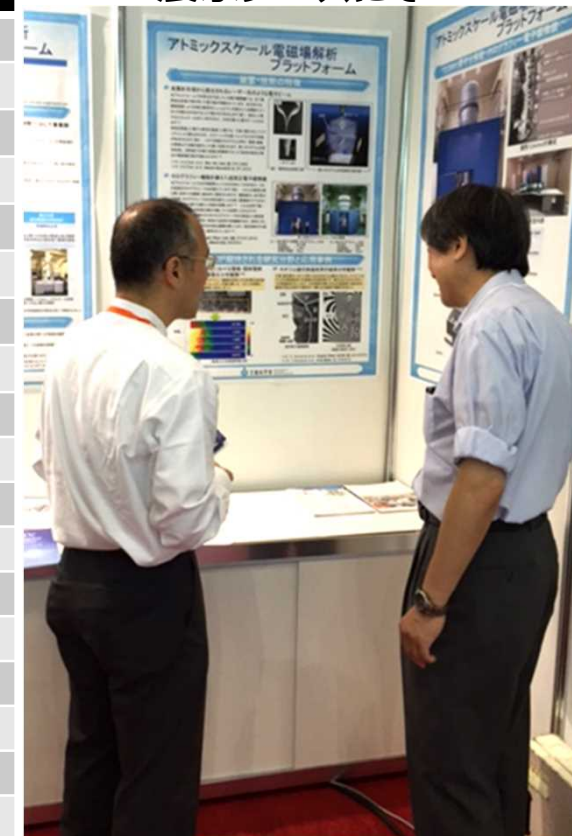
所属機関/代表者	テーマ 概要	状況
理化学研究所 CEMS 十倉 好紀 センター長	将来の極低消費電力デバイス材料として期待される微小磁気渦スクリッチのメカニズム解析	【共同研究実施中】 Nature nanotech., Nano letters等多数採択実績あり。
Brookhaven National Lab. Dr. Yimei Zhu Univ.of California, San Diego Prof.Jorge Hirsch	高温超電導体の基礎理論の検証	【共同研究実施中】 (滞在立会い実験進行中)
京都大学大学院工学研究科 中村 裕之 教授 Budapest Univ. of Techno. & Econom. Prof. István Kézsmárki	Néel型の磁束分布を持つスクリッチ材料の計測	【共同研究実施中】 計測・解析用の試料を受領.計測のための試料作製と計測方法を検討中。
京都大学大学院理学研究科 北川 宏 教授	テーマ探索中 (ナノ粒子による新合金の開発等)	装置のご紹介済,ご視察,ディスカッション計画中。
物質・材料研究機構 宝野 和博 FIO-	磁石材料の原子スケール磁気構造解析と保持力機構の解明	元素戦略PJに関わる複数の共同実績あり。
東北大学大学院工学研究科 陳 明偉 教授	二次元物質の機械的挙動と原子構造の解析	【共同研究実施中】 博士課程インター受け入れに伴い,実験を継続中。
北海道大学低温研究センター 木村 勇氣 准教授	隕石内析出物の磁化分布計測	【共同研究実施中】 理化学研究所と共同で実験を実施.結果を投稿中。
名城大学LED共同研究センター 上山 智 教授	化合物半導体の電位分布計測	【共同研究実施中】
電機メーカー P社	二次電池の電位分布計測	【共同研究実施中】
非鉄金属メーカー F社	パワー半導体の電位分布計測	【共同研究実施中】

イベントでの展示・広報活動（1）

- JASIS-2016（9月7～8日）へ当プラットフォーム事業のポスターを展示.
- 共用装置の利用に関する問い合わせでは、磁壁移動の動的観察の提案（兵庫県立大）あり.現在実施を検討中.
- 展示へのおもな来訪者は以下を参照.

機関	所属
AIST	研究戦略部
FEI	営業部
NIMS	グリーンリサイクルプロセスグループ
TDK	製品解析ソリューションユニット
TOTO	素材研究部
大阪大学	産業連携本部
東京大学	先端ナノ計測センターほか
東京理科大学	研究推進機構 総合研究院
兵庫県立大学	LIGAプロセス研究開発センター
北海道大学	グローバルファシリティーセンター
高エネルギー研究所	産業利用促進グループ
埼玉県産業総合センター	化学技術担当
ウシオ電機	光源事業部
東芝ナノアナリシス	戦略マーケティング部
マイクロフェーズ	取締役
明治	食品分析科学G
富士フィルム	R&D統括本部解析技術センター
堀場製作所	開発本部第2製品開発センター

展示ブースにて



イベントでの展示・広報活動（2）

- 電子線ホログラフィーに関する国際ワークショップ^oを2017年2月中旬に開催を決定
- 超高圧ホログラフィー電子顕微鏡を適用すべき研究テーマについて議論.
- 招待講演者の選定を完了し、プログラム案の作成などの準備を継続中.

【公開予定のHP案】



イベントでの展示・広報活動（2）

有力研究者を招聘しヒューマンネットワークを構築

既に共同研究実施中

国際WSで議論に参加頂く予定

メールベースで随時アドバイ頂く

氏名	所属機関	研究分野など
Chen Ning Yang	清華大学	• 物理学 1957年ノーベル物理学賞受賞
Sir. Anthony Leggett	University of Illinois	• 物理学 2003年ノーベル物理学賞
Yimei Zhu	Brookhaven National Laboratory	• 電子顕微鏡 米国DOEメンバー
Etine Snoeck	CNRS CEMES	• 電子顕微鏡
Christian Colliex	CNRS	• 電子顕微鏡 元国際顕微鏡学会会長
Albert Fert	CNRS/Thales	• 物理学 磁性 2007年ノーベル物理学賞
Peter Grünberg	Forschungszentrum Jülich GmbH	• 物理学 磁性 2007年ノーベル物理学賞
Hannes Lichte	Technische Universität Dresden	• 電子顕微鏡
Marek Malac	National Institute for Nanotechnology	• 電子顕微鏡
Martha McCartney	Arizona State University	• 電子顕微鏡
Jorge. E. Hirsch	UC San Diego	• 物理学
Archie Howie	University of Cambridge	• 電子顕微鏡
David. J. Smith	Arizona State University	• 電子顕微鏡
John. N. Chapman	University of Glasgow	• 物理学 磁性
Ulrich Dahmen	Lawrence Berkeley National Lab.	• 電子顕微鏡
Rafal. E. Dunin-Borkowski	Ernst Ruska-Centre for Microscopy	• 電子顕微鏡
David. C. Bell	Harvard University	• 電子顕微鏡
István Kézsmárki	Budapest Univ. of Techno. & Econom.	• 物理学 磁性

イベントでの展示・広報活動 (2)

- 電子線回折フォーワーショップ°【EHWJ・2017】講演プログラム案を作成.
- 日米欧の各拠点から参集した総勢30名の研究者による講演.
- 当日聴講希望者と合わせて100名ほどの規模になると予想.

1日目 (2/15)		2日目 (2/16)		3日目 (2/17)	
【Opening】Osakabe & Shinada(日立)					
Off axis holography 装置・手法	R. Dunnin-Borkowski (イラストルスカセンター・ドイツ)	Magnetic 応用	E. Snoeck (CNRS CEMES・フランス)	Off axis holography 応用	M. McCartney (アリゾナ州立大・米国)
	M. Link (CEOS・ドイツ)		S.Mori (大阪府立大)		T. Hirayama (JFCC)
	F. Houdellier (CNRS CEMES・フランス)		Y.Murakami (九州大)		M. Lehmann (ハルム工科大・ドイツ)
	M. Kuwahara (名古屋大)		Z. Yu (理研)		M. Hytch (CNRS CEMES・フランス)
* Lunch		* Lunch		* Lunch	
位相計測 I	Y. Zhu (ブルックハブマン国立研究所・米国)	【Keynote Lecture】 S. Iijima (名城大, NEC)	* Labo Tour		Off axis holography 応用
	C.Phatak (アルゴンヌ国立研究所・米国)		* Conclusion		D.Wolf (ハルム工科大・ドイツ)
	K. Harada (理研)	位相計測 II	Y. Takai (大阪大)	* Banquet	Y.Kondo (日本電子)
	T. Latychevskaia (チュリッヒ大・スイス)		M.Malac (ナテックナジ-研究所・カナダ)		D. Shindo (東北大, 理研)
	B. McMorran (カリフォルニア大・米国)		M. Beleggia (デンマーク工科大)		
N.Shibata (東京大)					
T.Tanigaki (日立)					

【特別講演】
ナチーフ発見者としても御高名な飯島澄男先生に快諾頂いた。

イベントでの展示・広報活動（3）

- 日本顕微鏡学会・【様々なイメージング技術研究部会】第4回研究会を共催。
- 総勢40名程度の規模ながら、多岐にわたる分野を代表する研究者が参集。
- 共用利用装置としての超高压ホログラフィー電顕に関する情報交換を実施。

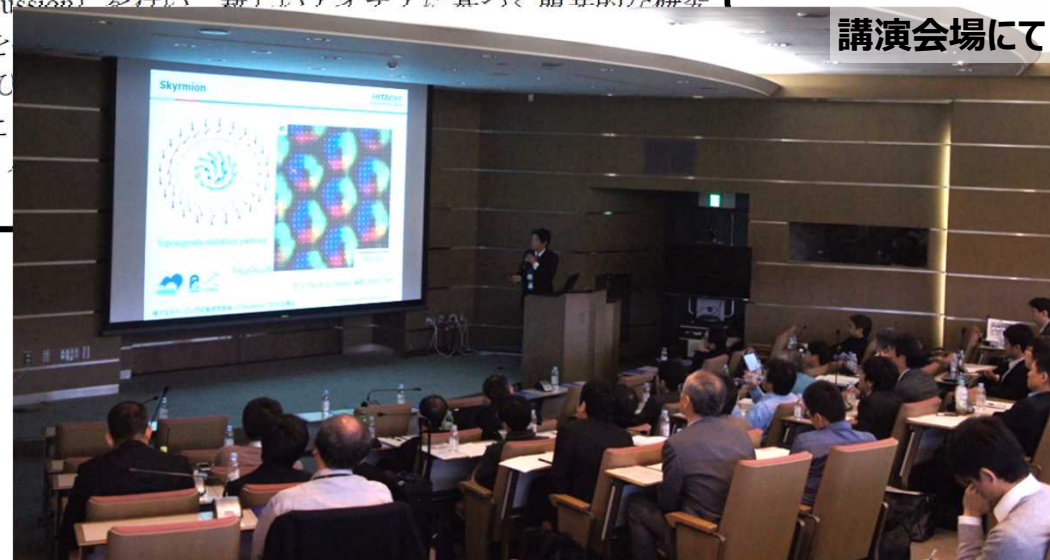
主催：日本顕微鏡学会 様々なイメージング技術研究部会
第4回 研究会 プログラム

共催：文部科学省 先端研究基盤共用促進事業 共用プラットフォーム形成支援プログラム
「アトミックスケール電磁場解析プラットフォーム」

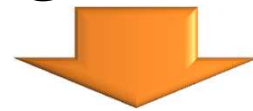
共催：新学術領域研究「3D 活性サイト科学」

本研究部会は、可視光、X線、電子線、中性子、ミュオン、地震波、電波、走査型プローブなど、様々なプローブを用いた「イメージング技術」をキーワードに、それぞれの専門手法、応用分野、対象スケールの枠を越えた異分野交流型の議論（Interdisciplinary discussion）を行い、新しいアイデアに基づく萌芽的な研究または異分野間の相補的な共同研究を生み出す機会を

第4回研究会は、「波面制御されたプローブ」および講師の先生方を招き、下記の日時、場所にて開催いたします。世界最高の空間分解能を誇る1.2 MVホログラフィー電顕にご参加ください。



超高圧ホログラフィー電顕を共用化した場合の外部利用者の見積もりを明確にする。



- 現在実施中のものを含め以下の研究テーマをプラットフォーム事業として推進する予定。

スキルミオン関連(理研ほか)	2件
高温超伝導理論の検証実験 (BNL,UCSD)	1件
二次元物質の機械的挙動と原子構造解析(東北大)	1件
隕石内析出物の磁化分布計測(北大)	1件
磁壁移動の高分解能動的観察 (兵庫県立大)	検討中

- 再審査（6月23日）以降,超高圧ホログラフィー電顕に適する2件の研究テーマの提案有り。
- これまでの傾向から,本採択後された後も年間あたり3～4件の研究テーマ提案を頂ける感触を得ている。
- 300kVホログラフィー電顕向けテーマを含めた提案テーマ数の合計は上記の2～3倍となる見通しを得ている。

超高圧ホログラフィー電顕の有効性・先進性を実例を挙げた上でプラットフォーム事業に供するポテンシャルと意義を明確にする.具体的には,

- **超高圧ホログラフィー電顕を共用化した場合の外部利用者の見積もりを明確にする.**
- **研究成果の再確認とその有用性,外部利用者増加によるイノベーション創出の可能性を検討する.**

装置完成後のおもな採択済み論文

(英文誌投稿のみ, 応用研究成果は青字)

No.	年月日	タイトル	概要
		掲載誌	
1	2015.2.18	Aberration corrected 1.2-MV cold field-emission transmission electron microscope with a sub-50-pm resolution Appl. Phys. Lett. 106, 074101	世界最高点分解能43pmの 検証結果
2	2015.6.1	Large anisotropic deformation of skyrmions in strained crystal Nature Nanotech. 10, p589	結晶歪みとスクリム(磁気渦) の相互作用を観察
3	2015.8.3	Real-Space Observation of Short-Period Cubic Lattice of Skyrmions in MnGe Nano Lett., 15, 5438	MnGeスクリム(磁気渦) の観 察結果
4	2015.9.23	Development of an Aberration Corrected 1.2-MV Field Emission Transmission Electron Microscope Microscopy and Microanalysis , Vol. 21,Suppl. S3,p1597	原子分解能・和ケラフィー電顕開 発の総括
5	2015.9.23	Three-Dimensional Magnetic Vortex Cores Visualized by Electron Holographic Vector Field Tomography Microscopy and Microanalysis , Vol. 21,Suppl. S3,p2149	ナノメートル分解能での3次元磁場 計測結果
6	2015.9.23	Electrostatic-Potential Analysis of Charged Particles by Split-Illumination Electron Holography Microscopy and Microanalysis , Vol. 21,Suppl. S3,p1969	開発した電顕の光学系、特に 収差補正器による効果
7	2016.3.23	Information transfer of 25.5 nm ⁻¹ in a 1-MV field-emission transmission electron microscope Microscopy doi:10.1093/jmicro/dfw009	世界最高情報伝達性能 25.5pmの検証
8	2016.4.15	Spontaneous Polarization and Bulk Photovoltaic Effect Driven by Polar Discontinuity in LaFeO ₃ =SrTiO ₃ Hetero junctions. Phys. Rev. Lett., 116, 156801	次世代光発電素子の自発分 極現象の観察

装置完成後のおもな採択済み講演(1)

(応用研究成果は青字)

No.	年月日	タイトル	概要
		発表学会	
1	2015.4.22	Aberration corrected 1.2-MV cold field-emission transmission electron microscope with a sub-50-pm resolution	原子分解能・ホログラフィー電顕開発と世界最高点分解能43pmの検証結果
		PICO 2015 @ オランダ (最先端電子顕微鏡の国際シンポジウム)	
2	2015.5.13	1.2MV収差補正電界放出電子顕微鏡の分解能評価	開発した電顕の光学系、特に収差補正器
		日本顕微鏡学会第71回学術講演会	
3	2015.5.13	1.2MV球面収差補正電界放出透過電子顕微鏡の開発	原子分解能・ホログラフィー電顕開発総括
		日本顕微鏡学会第71回学術講演会	
4	2015.5.13	1MVホログラフィー電子顕微鏡を用いた装置高安定化評価	世界最高点分解能達成のための環境安定化
		日本顕微鏡学会第71回学術講演会	
5	2015.8.8	Development of an Aberration Corrected 1.2-MV Field Emission Transmission Electron Microscope	原子分解能・ホログラフィー電顕開発の総括
		Microscopy and Microanalysis 2015	
6	2015.8.8	Three-Dimensional Magnetic Vortex Cores Visualized by Electron Holographic Vector Field Tomography	ナノメートル分解能での3次元磁場計測結果
		Microscopy and Microanalysis 2015	

装置完成後のおもな採択済み講演(2)

(応用研究成果は青字)

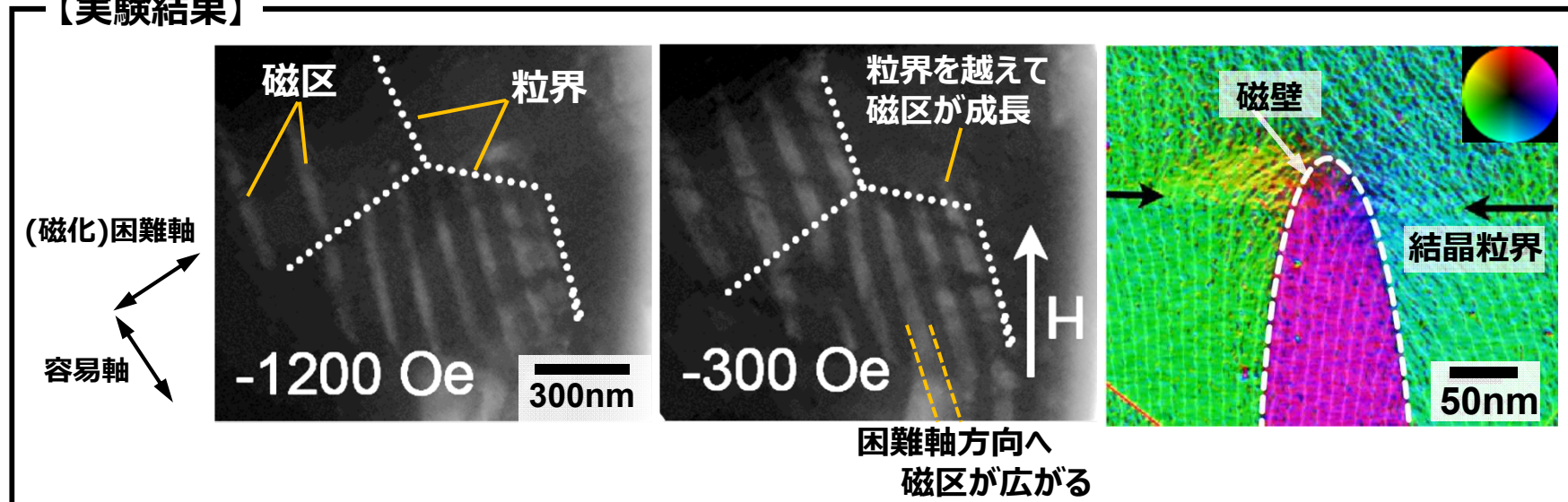
No.	年月日	タイトル	概要
		発表学会	
7	2015.8.8	Electrostatic-Potential Analysis of Charged Particles by Split-Illumination Electron Holography Microscopy and Microanalysis 2015	開発した電顕の光学系、特に収差補正器による効果
8	2016.1.11	Domain wall pinning within sintered NdFeB magnets studied by magnetic transmission electron microscopy MMM-Intermag 2016 Joint Conference	NdFeB磁石の磁壁移動の高分解能観(1)
9	2016.7.24	Development of Pulse Magnetization System on Aberration Corrected 1.2-MV Field Emission Transmission Electron Microscope Microscopy & Microanalysis 2016	超高感度高分解能の磁性体内部磁場計測
10	2016.8.28	In-situ Lorentz microscopy and electron holography of domain wall pinning behavior in Nd-Fe-B magnets under 3kOe applied field REPM 16@ドイツ(磁性の国際ワークショップ)	NdFeB磁石の磁壁移動の高分解能観察(2)
11	2016.9.2	Split-illumination Electron Holography Applied to Electrostatic Potential Analyses of Oxide Hetero junctions with Polar Discontinuity The 16th European Microscopy Congress	新和グラフィ光学系の次世代光発電素子の自発分極現象への応用

超高圧ホログラフィー電顕の最近の成果発表例

REPM 16@ドイツ(2016/8月、磁性の国際ワークショップ)での講演

- 車載モーターなどに用いられる高性能磁石の磁区観察結果.
- 磁化困難軸方向への磁区が広がる, 粒界を越えて磁区が侵入する, といった従来想定されていなかった新しい現象の観察に成功.
- 厚い試料を**磁場フリーの空間**に置いて, **高分解能**観察を実現する, 超高圧ホログラフィー電顕ならではの**“オンリーワン”**の成果.

【実験結果】



研究成果の再確認とその有用性,外部利用者増加によるイノベーション創出の可能性を検討する.

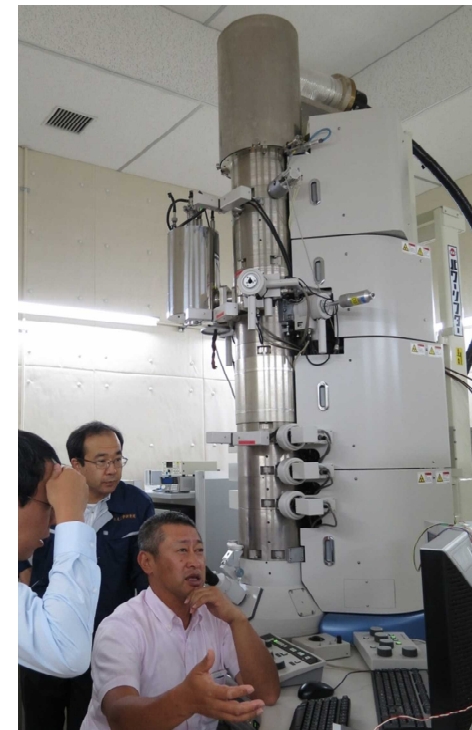


- 厚い試料, 磁場フリー試料位置での高分解能化の要求に対応できる装置は超高圧ホログラフィー電顕のみ.
- 磁石の観察では従来想定されていなかった, 粒界を越えた磁区の侵入などの新奇な現象を観察し, 装置ポテンシャルの高さを発揮.
- 光発電素子の分極作用の観察では, 表面の不活性領域の影響を膜厚の増加で回避可能な, 膜厚緩和の効果が貢献.

このほかのFS活動

九州大学でのホログラフィー技術者の育成講習

- 事業開始後の速やかな実験遂行の実現を目的に、装置の運転状況の確認を兼ねたホログラフィー技術者育成講習会を実施。
(9/28～30@九州大学)
- 対象者：PD,M1,B4 各1名.
- 通常観察手順及び磁場フリー試料位置での観察.
- ホログラフィー観察光学系の調整法と、得られたホログラムの再生方法.
- 計測結果の解釈.
- ホログラムの取得・再生までの一連の動作.



300kVホログラフィー電子顕微鏡
(九州大学・超微細解析研究センター)

今後のFS活動予定

- 国際ワークショップを成功させる。
- 上記ワークショップでの議論を吟味し、超高圧ホログラフィー電顕ユーザー数の見積もり精度を向上。
- 超高圧ホログラフィー電顕を用いた研究と成果発表の推進。
- 事業開始に向けた提案テーマ受け入れ態勢の構築（テーマ選定委員のリストアップ、受付HPのデザイン）。
- 従事人員の育成計画および費用調査を継続。