

第2期中期目標期間
(平成24～27年度)
自己点検・評価報告書

平成28年3月
元素戦略研究センター

目 次

- I 中期目標期間の実績概要
- II 特記事項
- III 次期中期目標期間に向けた課題等

I 中期目標期間の実績概要

1. 組織の特徴

元素戦略研究センター (Materials Research Center for Element Strategy: 以下 MCES) は 2012 年 (平成 24 年) に発足した元素戦略研究を行うための組織である。したがって、第 2 期中期目標期間中における中期目標は設定されていない。本報告書においては MCES の設置目的にかんがみた自己点検・評価を記載する。

(目的)

元素戦略研究は、資源量が豊富でありふれた元素、毒性のない元素を使って高機能な材料を作り出そうとする本邦発祥の研究政策である。これは 2004 年 (平成 16 年) に箱根で行われた科学技術振興機構 (JST) 主催のシンポジウム「夢の物質を求めて」における討議を収斂させたコンセプト「元素戦略」

(Element Strategy Initiative) に発する。この会議で、当元素戦略研究センター長である細野秀雄らによる“C12A7 ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$) の機能発現に関する研究成果”が元素戦略研究の典型例として取り上げられた。「元素戦略」は第 3 次科学技術政策のナノテク・材料分野の中で取り上げられ、2007 年 (平成 19 年) から開始された文科省・経産省の連携プロジェクトの第一号の発足に繋がった。

当初、このような動きは本邦でのみ見られたものであったが、2010 年 (平成 22 年) の中国による希土類金属の輸出制限を端緒に、米国、欧州、韓国、中国においても同様の政策が立ち上がった。

本邦では 2011 年 (平成 23 年) の初めから文部科学省ナノテクノロジー・材料開発推進室主導で元素戦略検討会が設置され、ナノの次の重点政策として元素戦略を如何に進めるかという議論が集中的に行われた。その結果、当時すでに行われていた「産学連携型」や「CREST/さきがけ」での元素戦略プロジェクトに加えて、10 年の研究期間をもって全国的な拠点を設置し、オールジャパン体制で取り組むこと、材料創製と理論・計算科学、先端計測の緊密な連携、そして強力なリーダーを立てること、という新プロジェクト方針が決まった。緊縮財政下の新規施策としては異例の予算措置がなされ、2012 年 (平成 24 年) 2 月に磁石材料、電池・触媒材料、電子材料、構造材料という 4 つの領域でプロジェクトが公募となった。

細野らは「ユビキタス元素戦略」プロジェクトを強力に推進しているなどのこれまでの経緯と大学当局の支援により、電子材料領域に応募をすべく準備を進めた。物質・材料研究機構 (NIMS) の大橋領域長、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 物質構造科学研究所の村上所長から連携の申し出を受け、東工大を拠点する東工大元素戦略拠点 (Tokodai Institute of Element Strategy: 以下 TIES) 構想をまとめ公募に応じ、採択に至った。東京工業大学は、TIES の遂行を主目的とする学内組織 MCES を 2012 年 8 月 1 日から 10 年の期限で統合研究院の中に発足させた。

東京工業大学の規則において MCES は「電子材料の元素フロンティアを開拓し、豊富で無害な元素で新しい材料科学分野の発展に資するための研究に学内外と広く連携して取り組む」を目的に挙げ、上述の TIES 遂行のため組織であることを明確にしている。MCES では設置における主目的である TIES の推進に加え、

- i) 大型国家プロジェクトの拠点となりこれを推進する。
- ii) 産学共同研究の拠点となりこれを推進する。

の2点を重点課題としている。



図1 2015年に完成した元素戦略研究センター棟（S8棟、すずかけ台キャンパス内）

大型国家プロジェクトでは前出の

- 1) 文部科学省元素戦略プロジェクト〔拠点形成型〕電子材料領域東工大元素戦略拠点（TIES）に加え、
- 2) 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 ACCEL(Accelerated Innovation Research Initiative Turning Top Science and Ideas into High-Impact Values)プログラム“エレクトライドの物質科学と応用展開”（以下 ACCEL）

の2課題をいずれも細野秀雄センター長が研究代表者となって、運営している。

産学共同研究に関しては ACCEL の枠組みにおいて2社が MCES に研究拠点を置き共同研究が進行している。

〔沿革〕 MCES に特に関連が深い事柄を列挙する。

年	事項
1999年	JST・戦略的創造研究推進事業 ERATO プログラムにおいて“細野透明電子活性プロジェクト”（総括責任者 細野秀雄、～2004年）
2001年	細野グループが典型的絶縁体である $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ においてその半導体化技術を開発（Nature）
2003年	同グループが同材料において常温、大気下で安定な電子化物を発見（Science） 同グループが透明半導体 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_5$ 単結晶薄膜を用いた TFT トランジスタを開発（Science）
2004年	JST 主催のシンポジウム「夢の物質を求めて」においてコンセプト「元素戦略」が提案される。 JST・ERATO SORST プログラムにおいて“透明酸化物のナノ構造を活用した機能開

	拓と応用展開”（研究代表者 細野秀雄，～2010） 細野グループが透明非晶質半導体 In-Ga-Zn-O(IGZO)薄膜を用いた高移動度 TFT トランジスタを開発(Nature)
2006年	東京工業大学応用セラミックス研究所が附属セキュアマテリアル研究センターを設置（時限10年）（「材料ユビキタス元素共同戦略」プロジェクトを受託し同センターが運営（2008-2013年）
2008年	細野グループが鉄を主成分に含む高温超伝導体を発見（JACS）
2010年	内閣府最先端研究開発支援プログラム(FIRST)において“新超電導および関連機能物質の探索と産業用超電導線材の応用”（中心研究者 細野秀雄，～2014年） 中国が希土類金属の輸出を制限（元素戦略研究の重要性が一般にも注目される）
2011年	JST・戦略的創造研究推進事業さきがけプログラムに“新物質科学と元素戦略”（研究総括 細野秀雄，～2016年）を発足
2012年	文部科学省元素戦略プロジェクト〔拠点形成型〕の電子材料領域において東工大元素戦略拠点（TIES）を開始（研究代表者 細野秀雄） 東京工業大学元素戦略研究センター(MCES)が発足(8/1) 細野グループが C12A7 電子化物を用いた高効率アンモニア合成触媒を開発(Nat. Chem.) JST と MCES 共催により緊急シンポジウム “Beyond Haber-Bosch Process: アンモニア合成のブレークスルーを目指して”を実施（東京 12/18）
2013年	細野グループが2次元性電子化物 Ca ₂ N を発見(Nature)
2013年	JST・戦略的創造研究推進事業 ACCEL プログラム第1号として“エレクトライドの物質科学と応用展開”（ACCEL）（研究代表者：細野秀雄）を開始
2015年	東京工業大学すずかけ台キャンパスに元素戦略研究センター新棟（以下 MCES 棟）が竣工

(特徴)

1) 研究資源を集中した大型プロジェクト推進のための組織

MCES はすでに述べてきたように、研究プロジェクト推進のための組織である。細野センター長は現在実施中の2つの大型プロジェクトの研究代表者であり、そのリーダーシップが研究遂行、研究支援の両面で発揮できるような組織作りをしている。

MCES 棟竣工（2015年）以前には人的および物的研究資源がすずかけ台キャンパス内の J1, R3, S1, S2 棟に分散されていた。2015年以降はそれらを MCES 棟に集中配置した。概略で表すと、

5F： バルク体、粉体合成

4F： 分析と評価

3F： 薄膜合成と評価

2F： 産学共同研究スペース

1F： 全学共用スペース（レクチャーホール）

地階：微構造評価

となっている。この配置により、機能的な研究環境を実現し、無駄のない予算執行を可能にしている。

研究員の居室は各自に独立したデスク空間を作り、勉強や論文執筆への集中を確保している。一方、MCES 棟各階には会議室、ゼミ室以外にも少人数での議論が可能な場所を作り、活発な議論を誘発する構造となっている(図 2)。

プロジェクトリーダーでもある細野センター長のリーダーシップの発揮、現場リーダーとなる専任、特任教員やプロジェクト運営にかかわるプロジェクトマネージャーからの指示、助言がきめ細かくスピーディーに伝わる体制を構築した。



図 2 デスクスペース(左)と談話スペース(右)

2) 産学共同研究拠点

MCES 棟では 2 階実験室を企業が利用できる産学共同研究拠点としている。広さは 241m² で現在 2 社によりその約 3/4 が利用されている。MCES における産学共同研究は ACCEL プロジェクトを中心に実施されている。ここで、プロジェクト発足時からのメンバーが 2 社、その後の研究成果の進展に伴い 7 社と機密保持契約を取り交わしている。企業が懸念する当方の機密保持に関しては、実験室の施錠はもちろん、MCES 棟出入口は 24 時間入館制限がかけられている。また MCES における諸会議の参加者には機密保持に関する誓約書の提出が求められている。

(具体的な社名はプレスリリースなどを除き契約上の理由により公表していない。)

3) 元素戦略研究における共同研究体制

プロジェクト推進のため、研究設備などの点において相補的である(1)国立研究開発法人物質・材料研究機構、(2)大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、(3)東京大学物性研究所などとの連携が設置規則において定められている。

2. 実績の概要

1) 大型国家研究プロジェクトの現状

1-1) TIES プロジェクトの現状

文部科学省「元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>」電子材料領域「東工大元素戦略拠点」

・目的 本プロジェクトはこれまでの成功体験に基づく材料開発方針から離れ、電子材料の元素フロンティアを開拓する。すなわち、革新的な概念に基づく材料設計指針を構築して、豊富で無害な元素をベースとした実用に耐える材料を創り、新しい材料科学を切り拓くことを目的としている。これを実現するために、物性理論・理論計算・先端評価技術の支援により、新しい材料系に有効な材料科学を構築し、

希少・毒性元素を含まない新規高性能電子材料を開発するルートを開拓する。

・**組織** TIES は「東京工業大学」を拠点とする一方、材料合成・解析評価・計算科学において拠点にはない先端研究手段を有する「物質・材料研究機構(NIMS)」「高エネルギー加速器研究機構(KEK)」「東京大学物性研究所・計算物質科学研究センター(CMSI)」を連携機関として共同研究組織を構成している(図3)。

・**研究期間** 2012年-2022年(予定)

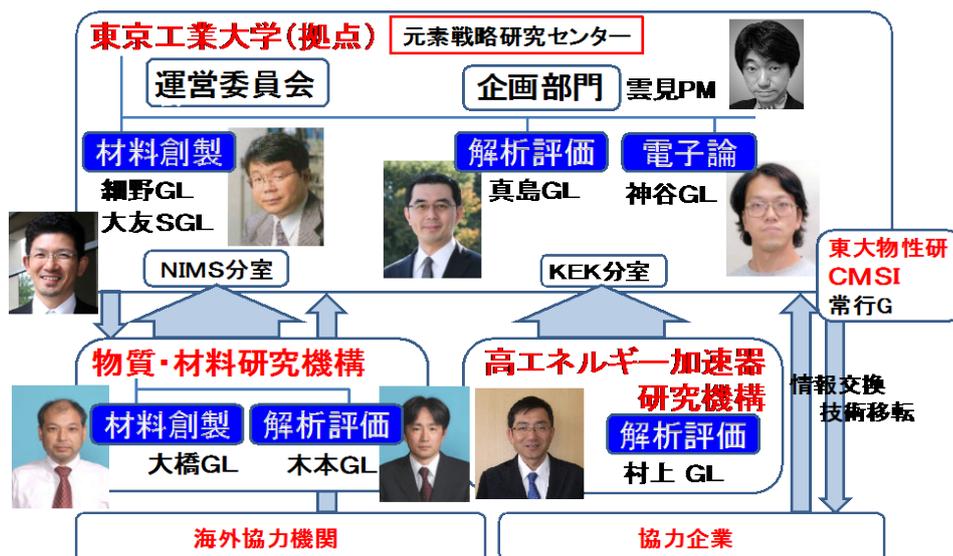


図3 TIESの体制と組織

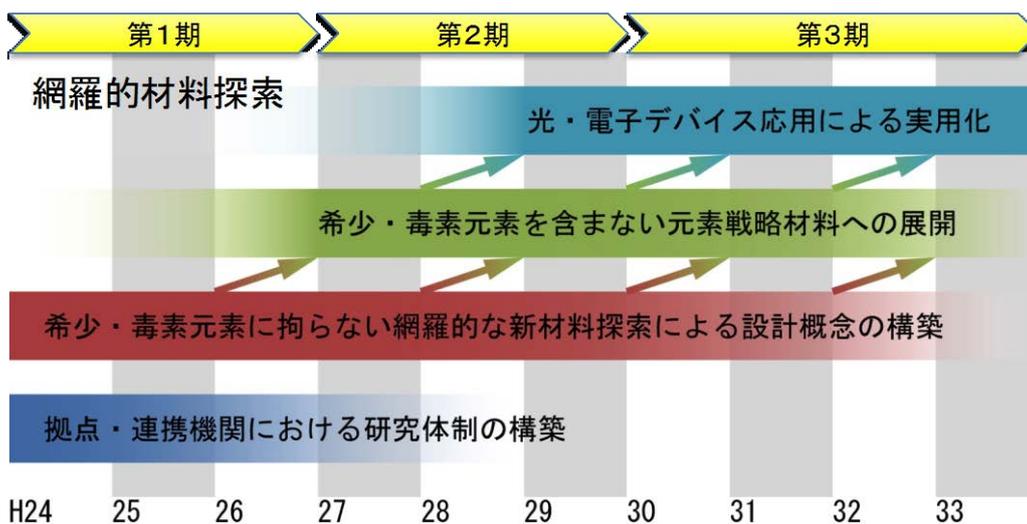


図4 TIESの実実施計画と3期に分かれる研究フェーズ

・**実施計画と現状** 本事業は、10年の研究期間を3期に分けて目標を設定し計画されている(図4)。現状は第1期(広範な物質系を対象に、材料の機能-結晶構造-電子構造に潜んでいる一般規則・概念を明らかにし、新しい材料設計の概念を構築する)が終了し第2期(第1期に見出した新材料のシーズが

ら、希少・毒性元素を含まない元素戦略材料に展開する。産官学連携による実用化へのシナリオを立案する)に入ったところであり、第3期(産官学連携による新材料の実用化を目指して、光・電子デバイスなどの応用研究を展開し、事業化の礎を築く)を見据えたフェーズとなっている。

・**顕著な成果** 本プロジェクトで得られた顕著な成果を列挙する。

- 1) 鉄ヒ素系超伝導体への新規アニオン(H-)を用いた高電子ドーピングによる新超伝導領域およびその母相となる新磁気秩序相の発見 (Nature Phys. 10, 300 (2014), Sci. Rep. 5, 7829 (2015), Appl. Phys. Lett. 104, 182603 (2014) など)
- 2) 電子機能物質中の水素の状態、役割と機能との関係の解明 (Nature Comm. 5, 3575 (2014)など)
- 3) ケイ酸塩系で初めての強誘電体の実証 (Angew. Chem. Int. Ed. 52, 8088 (2013)など)
- 4) パワーエレクトロニクス用耐高温高誘電率誘電体の探索 (Appl. Phys. Lett. 106, 112904 (2015)など)
- 5) 2次元エレクトライドの発見・実証 (Nature 494, 336 (2014)) とマテリアルインフォマティクスを活用した新規物質の理論予測 (Phys. Rev. X 4, 031023 (2014); Inorg. Chem. 53, 10347 (2014)など) およびその合成 (Chem. Mater. 26, 6638 (2014)) (図5, 表1)
- 6) 高精度・高速バンドアラインメント計算法の確立 (Phys. Rev. B 89, 195205 (2014); Phys. Rev. B 90, 155405 (2014)など) (図6)と、これに基づくマテリアルインフォマティクスの活用による新規窒化物半導体の理論予測および合成 (Nature Comm., 7, 11962 (2016))

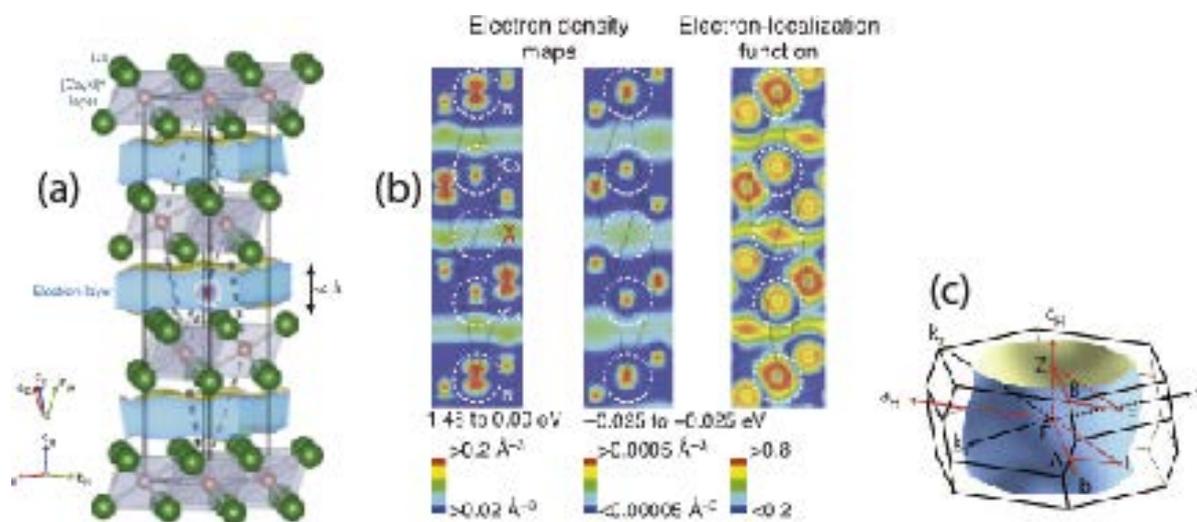


図5 2次元エレクトライド Ca_2N の(a)結晶構造, (b)電子構造と(c)第一ブリルアンゾーンのフェルミ面。層間の自由空間に電子が2次元で閉じ込められている。

表1. マテリアルインフォマティクスでスクリーニングした2次元エレクトライド候補物質。

S	Space group (No.)	Structure type	a (Å)		c (Å)		m (μB)	
			calculation	experiment	calculation	experiment	calculation	experiment
Ca_2N	1 R3m (166)	Anti-CdCl ₂	3.50	3.624, ^a 3.627 ^b	18.75	19.10, ^a 18.97 ^b
Sr_2N	1 R3m (166)	Anti-CdCl ₂	3.86	3.855, ^c 3.762 ^d	20.95	20.725, ^c 19.589 ^d
Ba_2N	1 R3m (166)	Anti-CdCl ₂	4.05	4.029, ^c 3.991 ^d	22.85	22.425, ^c 22.079 ^d
Y_2C	2 R3m (166)	Anti-CdCl ₂	3.61	3.617, ^e 3.625 ^f	18.45	17.960, ^e 17.964 ^f
Gd_2C	2 R3m (166)	Anti-CdCl ₂	3.65=3.64	3.639 ^g	18.50=18.43	18.415 ^g	7.73=7.76	7.26 ^g
Tb_2C	2 R3m (166)	Anti-CdCl ₂	3.59=3.56	3.584, ^h 3.595 ⁱ	18.39=18.28	18.040, ^h 18.190 ⁱ	6.52=6.69	7.6 ^h
Dy_2C	2 R3m (166)	Anti-CdCl ₂	3.57=3.52	3.584 ^h	18.35=18.20	17.890 ^h	5.41=5.49	6.8 ^h
Ho_2C	2 R3m (166)	Anti-CdCl ₂	3.55=3.50	3.556, ^j 3.550 ^j	18.19=18.05	17.70, ^j 17.67 ^j	4.36=4.46	7.16 ^j
Er_2C	2 R3m (166)	Anti-CdCl ₂	3.56=3.55	...	18.07=18.06	...	3.27=3.28	...

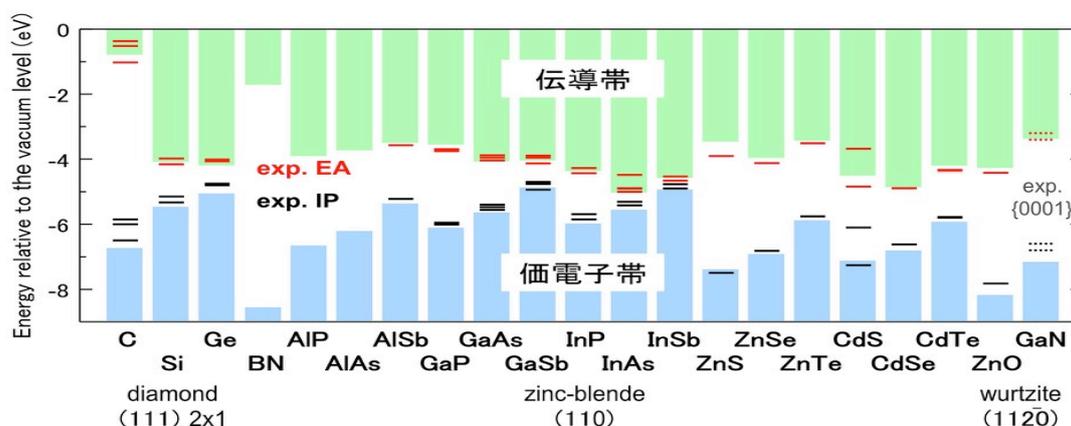


図6 多体摂動論 (GW 近似) に基づくバンドアラインメントの高精度計算結果による実験値の再現。

これらの研究成果は論文、口頭発表、特許などにより報告されており、年次ごとの報告数を表2に示す。また Nature など代表的な論文誌への掲載数も併せて記載する。なおこの表は TIES 全体の数を示し、MCES 正味の実績数に関しては後述する。

表2 TIES における外部発表状況

		2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度
口頭・ポスター発表	国内	100	236	269	334
	国外	21	76	82	114
	合計	121	312	351	448
論文掲載	国内	13	28	23	35
	国外	27	70	133	142
	合計	40	98	156	177
特許出願	JP	7	1	4	7
	国際	0	4	0	1
	合計	7	5	4	8
代表的論文誌への掲載	Nature 系	3	4	7	9
	Sci. Repts	1	1	5	7
	Science			1	4
	JACS		2	5	4
	Angewandte C		1	1	
	ACS Nano	1		3	6
	PRA-X	3	10	18	19
	PRL	2	1	2	9
	APL	1	6	12	9
JAP	2	5	4	13	

・ **TIES への評価** 2015年に文部科学省による第1回の中間評価が行われ、高評価を得た。II-1章に詳述する。

1-2) ACCEL プロジェクトの現状

科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(ACCEL)「エレクトライドの物質科学と応用展開」

2013年、科学技術振興機構(JST)はACCELプログラム(Accelerated Innovation Research Initiative Turning Top Science and Ideas into High-Impact Values)を開始した。このプログラムは基礎研究の際立った成果から派生した革新的技術の実用的応用を促進するもので、ACCEL 細野エレクトライドプロジェクトは2013年にこのプログラムの第1号の研究プロジェクトに選定された。

・ **目的** エレクトライド(電子化物)は電子がアニオンとして作用する特異な材料であるものの、不安定すぎて実用には適さないと長い間考えられてきた。一方、先に実施されてきた細野 ERATO, ERATO SORST, FIRST 各プロジェクトで開発された C12A7 ($12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$)エレクトライドは化学的、熱的安定性、電子放出の容易さなど大きな利点を持つ(図7)ことから、様々な応用展開が可能な材料として期待されてきた。ACCEL においては高機能触媒、電子材料などの実用的利用のためにこの特異な材料の応用を試行する。

研究は以下のような目標についての POC(proof of concept)を形成することにより実施されている。

- 1) アンモニアのオンサイト合成を可能にする高性能触媒とプロセスの開発
- 2) 大型有機ディスプレイの製造を可能にする電子注入・輸送層の開発
- 3) 低温分解による CO_2 の利用と様々な化学反応への展開
- 4) 2次元エレクトライドなど新規物質の開発

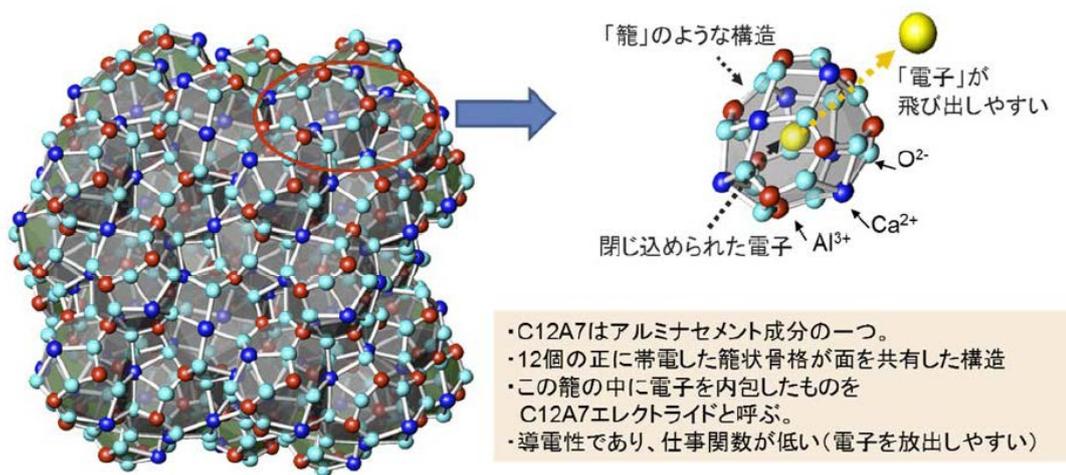


図7 C12A7 ($12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$)の結晶構造と特性の起源

・ **組織** ACCEL では MCES 細野グループのほかに東工大応用セラミックス研究所原亨和グループ、関西学院大学(2016年度から)高エネルギー加速器研究機構、米国 Pacific Northwest National Laboratory、韓国成均館大学(2015年度)のほか、国内企業2社が参画している。

・ **研究期間** 2013年から2018年

・ **顕著な成果** 本プロジェクトで得られた顕著な成果を列挙する。

1) アンモニア合成・分解触媒の高性能化と新プロセス開発

・Ru/C12A7 エレクトライドによるアンモニア合成機構を明らかにし、これから得られたコンセプトを触媒開発指針とした。C12A7 エレクトライドの高機能化検討結果を踏まえ、二次元エレクトライドへの検討移行を早めに判断したことにより、従来の約5倍の活性を有する低温作動型新触媒の開発に成功した(図8)(Nat. Comm. 6, 6731 (2015), J. Am. Chem. Soc. 137, 14517 (2015)など)。

・アンモニア合成反応における平衡制約を回避するため、アンモニア合成と分離を同時に行う新規プロセスの開発に関して、基礎実験を実施中である。

これらの成果を基に、企業とオンサイト型アンモニア合成プラントの共同開発を開始した。

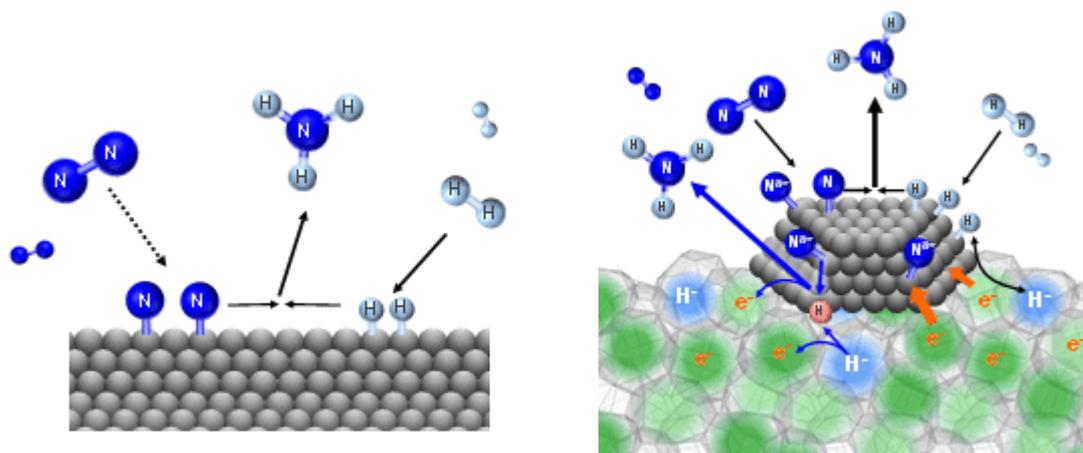


図8 既存触媒(左)とルテニウム担持したC12A7 エレクトライド(右)上でのアンモニア合成のメカニズム

既存触媒では N_2 の解離が律速であるのに対し、C12A7 エレクトライドは、カゴの中の電子がルテニウムに供与され、それが窒素分子に移動することで窒素三重結合 ($N \equiv N$) の切断が容易となり、ルテニウム上で切断された水素はケージ内に H^+ イオンとして取り込まれ、原子状水素として放出され窒素原子と反応しアンモニアが生じる

2) 新反応探索と CO_2 資源化検討による新テーマ発掘

・不飽和アルデヒドのカルボニル基の選択水素化用触媒として、高選択性 Ru-Fe/C12A7:e を開発した。

3) 有機 EL デバイス化技術開発 (TFT 層は IGZO を使用)

・従来の正構造型の Al/LiF を上回る発光特性を実現するために、a-C12A7:e (電子注入層) と新たに設計した New TAOS (電子輸送層) の組み合わせを利用した逆構造 OLED ボトムエミッション素子の開発に成功した(図9)(SID 2015 DIGEST, P-176L, 1710 (2015)など)。

また共同研究機関である旭硝子株式会社では a-C12A7:e スパッタリング用基板を実用化した。(2016年5月にメディア発表した (<http://www.jst.go.jp/kisoken/accel/news/index.html>。))

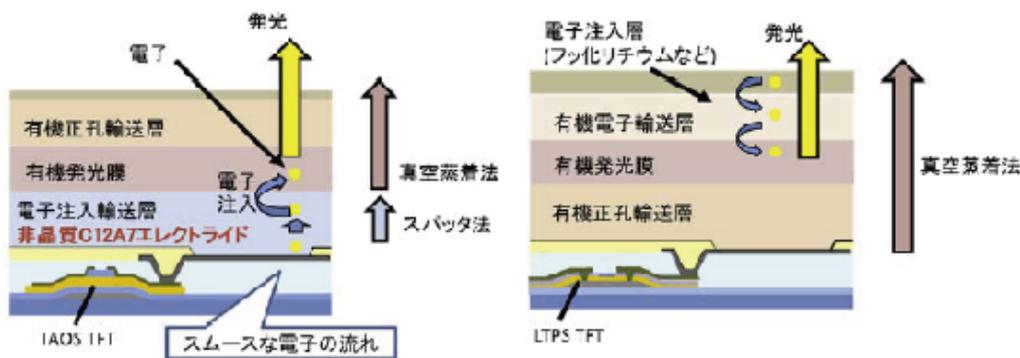


図9 従来の OLED(右)と逆構造型(左)OLED
非晶質 C12A7 エレクトライドを利用することによりデバイス構造として有利な逆構造型 OLED の作成が可能となった。

4) 電子化物の物質科学 (探索と評価)

・新規エレクトライドの探索を開始し、 Y_2C 以外に、 Tb_2C , Gd_2C 等の候補化合物の可能性を確認した。 Ca_2N , $Ca-N-H$ 系については、計算科学を用いて仕事関数を推算しアンモニア合成活性との考察を行った。水に対して安定な、 Y_5Si_3 エレクトライドを見出した。(Chem. Mater. 26, 6638 (2014), J. Am. Chem. Soc., 138 (12), 3970 (2015)など)

これらの研究成果は論文、口頭発表、特許などにより報告されており、年次ごとの報告数を表3に示す。また Nature 系など代表的な論文誌への掲載数も併せて記載する。なおこの表は ACCEL 全体の数を示し、MCES 正味の実績数に関しては後述する。

表3 ACCEL における外部発表状況

		2013 年度	2014 年度	2015 年度
口頭・ポスター発表	国内	22	24	28
	国外	10	25	21
	合計	32	49	49
論文掲載	国内	0	0	0
	国外	3	22	19
	合計	3	22	19
特許出願	JP	4	7	5
	国際	0	8	7
	合計	4	15	12
代表的論文誌への掲載	Nature 系	1	1	
	Sci. Reps			1
	JACS	1	2	3
	Angewandte C		1	
	PRA-X		2	3
	PRL		1	
	APL		1	

・ACCEL への評価

2015 年に JST による中間評価が行われ、高評価を得た。II-1 章に詳述する。

2) 研究成果の発信など

各プロジェクトの 2012 年度から 2015 年度における研究成果の外部発表に関し、すでに表 3, 4 に記載した。記載は外部研究機関を含む全体数であるため、ここに MCES 正味で外部発表件数および代表的論文誌への掲載状況、学会における招待講演数を表 4 に示す。ここで MCES 正味とは細野センター長、神谷副センター長、MCES 専任教員（3 名）、客員、特任教員、博士研究員のうち、MCES を主たる研究場所とする研究者が関わる成果発信を意味する。

表 4 MCES 正味における外部発表件数

		2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度
口頭・ポスター発表	国内(内招待講演)	77 (39)	94 (44)	63 (29)	83 (33)
	国外(内招待講演)	64 (36)	116 (37)	62 (35)	66 (33)
	合計(内招待講演)	141 (75)	210 (81)	125 (64)	149 (66)
論文掲載	国内	4	7	1	2
	国外	48	60	52	55
	合計	52	67	53	57
特許出願	JP	17	11	8	10
	国際	1	6	3	4
	合計	18	17	11	14
解説記事		7	11	8	7
成著		8	4	4	2
代表的論文誌への掲載	Nature 系	5	3	3	
	Sci. Repts				2
	JACS	2	2	5	4
	Angewandte C		2	1	
	PRA-X	10	9	4	4
	PRL	1	1	1	
	APL		4	5	3
	JAP	2	3	2	2
	PNAS		1		1

3) 外部資金の獲得

2012 年度より 2015 年度における MCES 正味での外部資金獲得状況を表 5 に示す。ここで MCES 正味とは細野センター長、神谷副センター長、MCES 専任教員（3 名）の他に客員、特任教員、博士研究員のうち、MCES を主たる研究場所とする研究者による外部資金獲得額を意味する。また、TIES における MCES 配分額には MCES を兼任する東工大教員への配分額を含む。

表 5 MCES 正味での外部資金獲得状況

単位：千円

	2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度
TIES 総額 (2012-) (内 MCES 配分額)	685,630 (381,407)	685,630 (338,042)	611,000 (324,360)	608,500 (327,672)
ACCEL 総額 (2013-) (内 MCES 配分額)	()	436,540 (371,059)	314,964 (267,720)	202,001 (171,701)
FIRST プロジェクト(2009-2013) (内東工大配分額)	731,950 (214,600)	555,950 (223,700)	()	()
その他の競争的資金〔件数〕 (内 MCES 配分額)	125,277 [9] (663)	86,280 [10] (18,049)	63,665 [16] (35,422)	58,305 [15] (50,482)
奨学寄附金〔件数〕 (内 MCES 配分額)	5,307 [5] (0)	6,510 [7] (3,945)	4,000 [6] (200)	5,500 [4] (5,500)

4) 人員構成

MCES の人員構成を表 6 に示す。表 6 には MCES を兼任する者を含む。MCES には学外機関や学内他機関からの兼任者、所属は MCES であっても学外機関あるいは学内他機関を主な研究・仕事場所とする者があるため、実際に MCES 棟を主たる研究・仕事場所とする人数を () で表す。この表に記載した人数は各年度の末日におけるものである。また MCES に所属する外国籍者数を { } で示す。

表 6 MCES の人員構成

	2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度
東工大専任教員 (内 MCES 専任)	14 名 (3 名)	14 名 (3 名)	13 名 (3 名)	14 名 (3 名)
東工大客員および特任教員 {内外国籍者} (内 MCES 専任)	8 名 {0} (3 名)	10 名 {0} (5 名)	18 名 {2} (11 名)	23 名 {7} (18 名)
博士研究員 {内外国籍者} (内 MCES 専任)	0 名 {0} (0 名)	4 名 {1} (3 名)	15 名 {9} (14 名)	9 名 {1} (7 名)
研究支援員 (内 MCES 専任)	1 名 (0 名)	4 名 (1 名)	16 名 (10 名)	19 名 (12 名)
事務担当者 (内 MCES 専任)	1 名 (1 名)	1 名 (1 名)	3 名 (3 名)	3 名 (3 名)

II 特記事項

1. 優れた点

(1) 中間評価でのプロジェクトに対する高い評価

研究プロジェクト推進のための組織である MCES にとって、その成功は最優先事項である。TIES, ACCEL はともに 2015 年にそれぞれに中間評価を受けた。両者とも高評価であった。以下に評価者からの具体的な指摘事項について記載する。

・TIES: 元素戦略プロジェクト4 拠点の中では最も高い評価であったことが口頭で通知された。特にプロジェクトの運営や研究実績に対し重要な懸念を示す指摘はなく、今後とも現状の計画を基にプロジェクトを推進することとされた。具体的な意見としては、1) 出口イメージ、目標を明確に設定すること、2) マテリアルズ・インフォマティクスの活用を推進すること、3) 研究対象とする電子材料のデバイス（製品）への戦略を立てること、4) 若手の育成、アピールの場を設けること、などがあった。これにより、2016 年度の予算は他の拠点が現状維持あるいは減額であったのに対し、増額となった。

・ACCEL: 結果通知された内容によれば、エレクトライドを用いた高活性なアンモニア合成触媒、OLED への展開が評価され、企業との共同研究による社会実装に向けた取り組みも評価された。また知財戦略も明確との評価を得た。今後に向けてはアンモニア合成、OLED それぞれの社会実装に向けた研究開発の継承が期待されている。この高評価により 2016 年度の予算額は増額となった。

(2) 若手研究者の育成

プロジェクト推進を通じて、最先端大型研究を経験した優れた若手研究者を育成することは大切な使命の一つである。研究スキルとマネジメント能力の醸成のため、MCES では若手研究者に対し、以下を強く指導している。

- 1) 質の高い研究を行い、その成果をトップジャーナルへ投稿することを標準とする。
- 2) 競争的資金の獲得を積極的に行うこと。MCES では大型プロジェクトにより研究資金は一般に比して多額であるが、若手の将来のためには、自らが努力して競争的資金を獲得するスキルを磨くことは重要と考えている。

その結果、表 4 に示される掲載論文数の約 9 割は若手研究者が筆頭著者となっている。

競争的研究資金の獲得に関しては 45 歳以下の若手研究者の実績として、表 7 を示す。

表 7 MCES に所属する若手研究者による研究費の獲得

単位：千円

	2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度
その他の競争的資金〔件数〕	755 [1]	20,672 [4]	40,290 [8]	32,440 [9]
奨学寄附金〔件数〕	0 [0]	3,945 [4]	200 [1]	2,500 [1]

2012 年度から 2015 年度における若手研究者（特任准教授，特任助教，ポスドク）の退任後を追跡すると、

- ・日本人研究者：国内大学教育研究職 4 名，国内企業 2 名，国外企業 2 名
- ・外国人研究者：国外大学教育研究職 5 名，国内企業 1 名，国外企業 1 名，国外研究機関 1 名，その

他・不明 3名

となっている。この中には研究実績を評価され、海外企業の上級技術者としてリクルートされた者（日本人特任准教授）や、母国の大学の副教授となった者（外国人特任助教）などが含まれる。

（3）積極的な外部発信と知財戦略

表4に示すようにMCESは創設4年間で229報の論文を発表した。これらにはNature系など評価が高い論文誌への掲載が多く含まれている（表4に記載している代表的論文誌で82報）。

顕著な研究成果が得られた時には積極的にプレスリリースを行うこと、一般社会へのアウトリーチ活動にも努めることを行動指針としている。

近年、重要性が強調されている知財に関しては各プロジェクトマネージャーに企業での研究および知財経験が豊富な人材を充て、明確な知財戦略の下に4年間で国内国際を合わせて60件の特許出願を行ってきた。

（4）国際化への対応

表5に示すようにMCESには多数の外国人研究者が在籍している。そのほとんどは日本語を解さないが、彼（彼女）らがハンディキャップなしに研究活動ができるよう、MCESではミーティングの公用語を英語としている。加えて事務的連絡事項も英語を併記することを原則としている。

また国際的情報発信のため、以下の国際会議を主催した。

- 1) Tokyo Tech International Symposium: New Horizon of Electronic Materials Using Abundant Elements
2015年6月3日（東京工業大学元素戦略研究センター）
- 2) Tokyo Institute of Technology and Uppsala University Joint Workshop
Theoretical and Computational Approach to New Materials
2015年6月4-5日（東京工業大学元素戦略研究センター）

加えて

- 3) 8th International Symposium on Transparent Oxide and Related Materials for Electronics and Optics
2013年5月13-15日（早稲田大学）
- 4) The Seventh International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC7)
2013年9月19-21日（メルパルク横浜）
- 5) The Eighth International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC8)
2014年6月25-27日（メルパルク横浜）
- 6) The Ninth International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC9)
2015年10月19-21日（エポカルつくば）
- 7) THE INTERNATIONAL CHEMICAL CONGRESS OF PACIFIC BASIN SOCIETIES 2015
2015年12月15-20日（ホノルル）

などを共催し、元素戦略特別セッションを開催した。

（5）受賞

MCESメンバーの多くがその研究成果を評価され学会等から表彰を受けた。2012年度から2015年度においてMCESメンバーの受賞を以下に示す。

個人受賞

細野秀雄（教授（兼任），センター長）

2012年度 仁科記念賞（2012）

第65回日本化学会賞（2013）

第54回本多記念賞（2013）

NIMS Award 2013（2013）

第35回（2013年度）応用物理学会論文賞（解説論文賞）（2013）

第17回工学教育賞（業績部門）（2013）

Mott Lecture, The 25th International Conference on Amorphous and Nano-crystalline Semiconductors (ICANS 25, August 18-23, 2013 Toronto, Ontario Canada) (2013)

Thomson Reuters Citation Laureate (for his discovery of Iron-based Superconductors) (2013)

日本イノベーター大賞 優秀賞（2013）

The ITC 10th Anniversary Prize (for his pioneering development of the metal-oxide semiconductors, which caused an explosion of research on the topic and has recently been applied to mass production of flat-panel displays using the material.) ITC2014 (2014)

米国物理学会 James C. McGroddy Prize for New Materials (2014)

日本学士院賞および恩賜賞（2015）

第40回井上春成賞（2015）

第2回知的財産貢献賞（2016）

平成27年度日本化学会名誉会員（2016）

2016年（第32回）日本国際賞（Japan Prize）（2016）

2016年 SID (The Society of Information Display)フェロー（2016）

神谷利夫（教授（兼任），副センター長）

日本セラミックス協会 学術賞（2013）

SID (The Society of Information Display)特別功績賞（2015）

伊藤満（教授（兼任））

文部科学大臣表彰（研究部門）（2015）

大友明（教授（兼任））

船井学術賞（2013）

平松秀典（准教授（兼任））

平成24年度 東工大挑戦的研究賞（2012）

平成25年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞（2013）

北野政明（准教授）

日本化学会 優秀講演賞（2013）

平成27年度触媒学会奨励賞（2016）

石油学会平成27年度奨励賞（2016）

平成27年度手島精一記念研究賞藤野志郎賞（2016）

松石聡（准教授）

平成26年度 東工大挑戦的研究賞（2014）

第9回凝縮系科学賞 (2014)

谷口博基 (客員准教授)

第9回日本物理学会若手奨励賞 (2014)

熊谷悠 (特任講師)

第53回セラミックス基礎科学討論会「Best Presentation Award」(2015)

第25回日本金属学会奨励賞 (2015)

第25回日本MRS年次大会奨励賞 (2016)

清水荘雄 (特任助教)

応用物理学会講演奨励賞 (2014)

連名受賞

Toshio Kamiya, Kenji Nomura and Hideo Hosono

Best Paper Prize, Science and Technology of Advanced Materials (2012)

Hideo Hosono, Kenji Nomura, Youichi Ogo, Tomoya Uruga, Toshio Kamiya

The Most Cited Paper Award, Journal of Non-Crystalline Solids (2007-2011) (2012)

Yusuke Nakai, Kenji Ishida, Yoichi Kamihara, Masahiro Hirano, and Hideo Hosono

第18回日本物理学会論文賞 (2013)

Fuji FUNABIKI, Toshio KAMIYA and Hideo HOSONO

2012年度 J. Ceram. Soc. Jpn. 優秀総説賞 (2013)

細野秀雄, 林克郎, 戸田善丈, Alexander Shluger and Peter Sushko

Daiwa Adrian Prize 2013 (2013)

細野秀雄, 神谷利夫, 川副博司

第2回セラミックス大賞(2016)

2. 特色ある点

(1) プロジェクトを基盤とする学内外研究機関間共同研究

MCESは東京工業大学組織運営規則の基づくその組織及び運営規則において、連携する機関として、(1)国立研究開発法人物質・材料研究機構、(2)大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、(3)東京大学物性研究所、(4)その他、といった具体的機関名をあげている。

TIESでは、上記を連携機関として、研究設備、研究分野などが互いに相補的な関係にあることから共同研究が活発に行われ、表2に示される論文掲載数において、その40%以上が複数機関による共著となっている。

ACCELでは、高エネ研、成均館大学、Pacific Northwest National Laboratoryが連携機関となっており、TIES同様に表3に示す論文数のうち30%以上の論文が複数機関による共著となっている。

またこれら機関からの出張者のための居室をMCES棟内(2F)に設けている。

(2) プロジェクトを基盤とする産学連携研究

ACCELプログラムは、基礎研究で得られたトップサイエンスの成果を、イノベーション志向の研究マネジメントにより成果の技術的成立性を証明・提示し、適切な権利化を推進することにより、企業などでの研究開発の流れにつなげることを目的としている。その趣旨より、企業との共同開発研究は望まれる形態であり、発足時の連携メンバーとして2つの企業（国内）が参画していた。その後の研究成果により、多数の企業から連携の打診があり、現在までに7社（国外を含む）の企業と、秘密保持契約を締結し、実用化に向けて検討している。

TIES においては現在材料探索中心の第1フェーズが終了したところであり、共同研究契約を結んでいる企業はない。これから実用化を見据えた第2、第3フェーズが開始され、当然企業との連携、共同研究の必要が生じてくる。

MCES 棟2階は企業との共同研究を行うための研究実験スペースとして確保しており、現在までに2社で約3/4の面積を使い、研究を立ち上げている。またMCESでは企業が懸念する機密保持に配慮し、研究室スペース入り口の24時間の施錠、MCES所属研究者に機密保持に関する誓約を求めている。

(3) 機能的な研究環境の実現

MCESでは複数の教員が在籍するが、個別の研究室体制を廃し、研究資材の共同利用を徹底している。もちろん、学生や博士研究員の指導に関する責任分担は明確にしている。これにより、予算の効率的運用、新人でもすぐに慣れる研究室、指示・指導のしやすさなどを実現した。MCESでは細野センター長がこれまで行ってきた大型研究プロジェクトERATO, ERATO-SORST, FIRSTなどを通じて多くの優れた研究設備を取得してきた。これらをMCES棟内に集約している。



各階の主な役割と設備は以下のとおりである。

5F： バルク体及び粉体合成

グローブボックス（7台）、電気炉（多数）、X線回折装置、ボールミル、FZ式単結晶製造装置、アークメルト装置など

センター長室、教員室、学生居室、会議室

4F： 分析と評価

触媒性能評価ライン・システム、単結晶X線構造解析装置、ESR、パルスESR、顕微レーザーラマン分光装置、可視・UV分光装置、FT-IR分光装置、PPMS、SQUIDなど

教員室、学生居室、研究支援員居室、小会議室

3F： 薄膜合成と評価

成膜装置（PLD, MBE, スパッタリングなど）、薄膜用X線回折装置、AFMなど

MCES/TIES 事務室, 計算機室, 研究員居室, 中会議室

2F: 産学共同研究スペース

ACCEL 事務室, 客員教員室, プロジェクト関係出張者居室, 研究員室

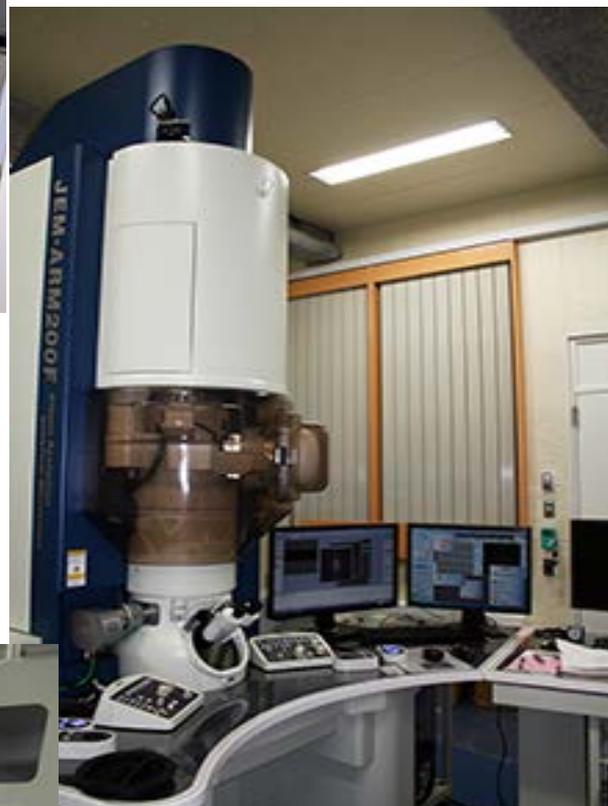
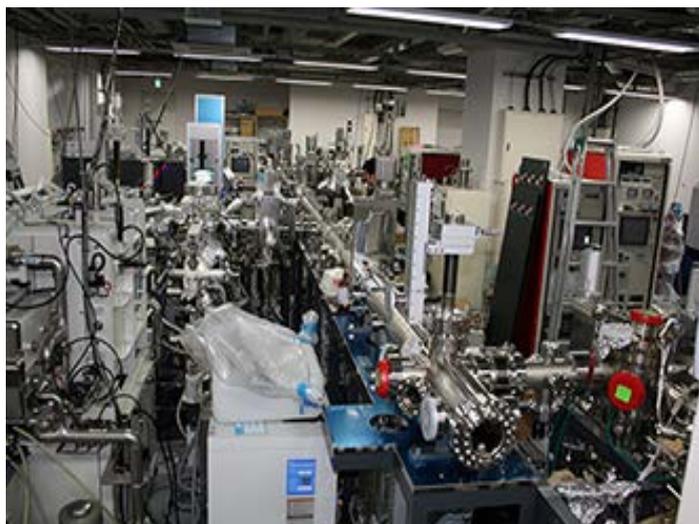
1F: 全学共用スペース

レクチャーホール, 控室, ロビーなど

地階: 微構造評価

STEM, EPMA, SEM, FIB, STM, 超高压実験設備など

変電室, 機械室



Ⅲ 次期中期目標期間に向けた課題等

(1) 研究室の安全性の確保

2012年度から2015年度においてMCESメンバー（学生を含む）の中から、医師の治療が必要なけがが2件、火災が1件起きている。このような災害をできる限りなくすよう、研究室環境の見直し改善を進める。また研究者の心身の健康を図るべく、工夫を重ねたい。

(2) 研究者倫理の確立

これまで研究者倫理上の問題は起きていないものの、プロジェクトのような研究成果を強く求められる環境では、常にその危険を意識すべきであろう。重要な発見には必ずクロスチェックをかけるといったこれまでの方針に加え、CITIの受講義務化などRCR（Responsible Conduct of Research）教育を積極的に取り入れていきたい。

(3) 維持・発展

MCESにとって次期中期目標期間において最も深刻な懸念はACCELプロジェクトが2017年度をもって終了することである。これまでに記載のようにMCESは多数の大型研究設備を有し、これを維持するだけでも大きな予算を要している。MCESは2022年までの時限機関であるが、それまでの間の維持・発展を図り、将来には解消あるいは改組にせよ、発展的なものとするための努力を重ねることはMCESメンバーの務めであると考え。そのための外部資金の獲得、優秀な若手研究者（特任教員、博士研究員など）の獲得、国内外の機関との共同研究の推進など、次期も積極的に取り組んでいきたい。

(4) 間接経費の確保

MCESでは多数の研究者が活動しているものの、東工大専任教員は2016年度末において准教授3名のみである（2016年度からは助教1名が赴任予定）。したがって大学当局の部局配分は少額であり、プロジェクトにおける間接経費の戻し分が主たる部局運営経費となっている。そのため、例えば2016年より予定される雑誌購読料の大幅な負担増には対応が難しい状況となっている。間接経費の確保に関し、大学当局にも善処を求めていきたいと考えている。