

戦略的創造研究推進事業
— 個人型研究(さきがけ) —

研究領域
「超空間制御と革新的機能創成」

研究領域事後評価用資料

研究総括： 黒田 一幸

2019 年 3 月

目 次

1. 研究領域の概要	1
(1) 戦略目標	1
(2) 研究領域	6
(3) 研究総括	7
(4) 採択課題・研究費.....	8
2. 研究領域および研究総括の設定について.....	12
(1) 研究領域選定の理由.....	12
(2) 研究総括指定の理由.....	13
3. 研究総括のねらい.....	14
4. 研究課題の選考について.....	15
(1) 研究課題の選考方針.....	15
(2) 選考結果	16
(3) 選考結果のまとめ.....	19
5. 領域アドバイザーについて.....	20
6. 研究領域の運営について.....	23
7. 研究領域としての戦略目標の達成状況について.....	39
8. 総合所見	49

1. 研究領域の概要

(1) 戦略目標

「選択的物質貯蔵・輸送・分離・変換等を実現する物質中の微細な空間空隙構造制御技術による新機能材料の創製」

① 達成目標

空間空隙構造制御技術（物質を構成する元素間結合の隙間「空間空隙」の形状・寸法・次元及び配列等の構造を自在に設計・制御・活用するための共通基盤となる技術）により、そのもととなる物質が本来持ち得なかった革新的な機能を創出し、通常の方法では解決できない環境・エネルギー、医療・健康等における諸課題を解決するグリーン・ライフ部素材の創製に向け、以下の目標の達成を目指す。

- 選択的物質貯蔵・輸送・分離・変換等を可能とする革新的な空間空隙制御材料の創製
- 空間空隙構造制御技術に係る技術体系の構築

② 将来実現し得る重要課題の達成ビジョン

本戦略目標において「達成目標」に記載した研究成果が得られることで、その諸技術を活用した新たな機能を持った材料が創製され、幅広い社会ニーズや産業分野での課題解決に適用することが可能となる。デバイスや医薬品等の各応用分野に応じて、学术界と量産・市場化等を担う産業界との協力体制を早期から構築することにより、第4期科学技術基本計画（平成23年8月19日閣議決定）に掲げられたグリーンイノベーション及びライフイノベーションの推進に向け、環境・エネルギー、医療・健康、社会インフラ等の分野から、例えば、以下の成果が事業終了後5年程度で得られることを目指す。

- ・不安定な気体を効率的に貯蔵・輸送し、かつ自在に分離・変換する技術の開発
- ・排水や汚染水、大気の浄化を高性能かつ経済的に行う分離膜の開発
- ・感知機能や有効成分の放出調整機能を備えたドラッグデリバリーシステムの開発
- ・耐震・免震機能を飛躍的に向上する空隙率制御による超軽量・高強度構造材料の開発

このほか、太陽電池・二次電池等のエネルギー変換材料や、半導体・超伝導等の電磁気材料、センサー・生体適合材料等の分子認識材料といった様々な分野での実用化が考えられる。

③ 具体的内容

（背景） 「空間空隙」を舞台とする新しい概念へ！

近年、物質・材料の設計の自由度及び組成・構造の制御性が格段に向上し、持続可能社会の実現に不可欠な新機能を発現する物質・材料の創出が可能となってきている。この10年間の成果として、ポーラス（多孔質）材料、メソポーラス材料、カゴ状構造物質などで、特

異なナノ構造を特徴とする新物質の形成法や多様な機能を引き出すシーズ技術が発掘され、熾烈（しれつ）な国際競争の中で、技術の先鋭化が著しく進展してきた。現時点で我が国は素材産業において世界的に高いシェアを誇り、基礎的な研究も高いレベルにあるが、今後も競争力を維持できる保証はない。特に、物質・材料に対し、高エネルギー変換、超伝導、高イオン伝導、耐熱、高機械強度、軽量、生体活性、医療、創薬等に関わる新機能の発現や、飛躍的な機能向上に対する要求が世界的に高まっている中、各国に先駆けて、「界面」「表面」といった概念から歴史的に一步進んだ「空間空隙の活用」という新しい概念の下、革新的な次世代新機能材料を開発・供給していくという戦略が今こそ求められている。

（研究内容） 「空間空隙」を活用した新機能の創出へ！

本戦略目標で提示した空間空隙構造制御による新機能材料の創製という新たなコンセプトの下、それを目指す過程で創出される多数の技術シーズを基盤とし、基礎・応用、物理・化学など、立場の異なる研究者間の意識を高いレベルで共有し、人的ネットワーク形成を促進しつつイノベーション創出を図る。具体的には、達成目標である「選択的物質貯蔵・輸送・分離・変換等を可能とする革新的な空間空隙制御材料の創製」の実現に向けた（1）技術シーズに基づく機能先鋭化の課題、及び（2）社会実装に向けた基盤的技術課題と、達成目標「空間空隙構造制御技術に係る技術体系の構築」に向けた（3）材料創製の基盤となる観察・解析技術、原理解明等に係る課題を相互に連携しつつ推進することにより、達成目標及び将来ビジョンの実現を目指す。具体的には、以下の研究を想定する。

- （1） 空間空隙制御材料の設計と合成＜機能先鋭化＞
 - ・空間空隙制御材料における構造及び相互作用の設計と機能発現
 - ・空間空隙構造を有する物質の新規合成技術開拓
- （2） 空間空隙制御材料の実装＜社会実装に向けた基盤的技術＞
 - ・ナノからマクロへの規模拡大、高強度化、高速合成、低コスト化
- （3） 共通基盤技術の構築＜観察・解析技術、原理解明＞
 - ・空間空隙制御材料における物理的諸現象（物質輸送・貯蔵及び物質・エネルギー変換等）の観測・解析技術
 - ・計算機シミュレーション及びマルチスケール・モデリングによる空間空隙構造の合成プロセス及び構造と機能の設計・解析技術

④ 政策上の位置付け（政策体系における位置付け、政策上の必要性・緊急性等）

第4期科学技術基本計画では、産業競争力の強化に向けた共通基盤の強化のため、「付加価値率や市場占有率が高く、今後の成長が見込まれ、我が国が国際競争力のある技術を数多く有している先端材料や部材の開発及び活用に必要な基盤技術、高機能電子デバイスや情報通信の利用、活用を支える基盤技術など、革新的な共通基盤技術に関する研究開発を推進するとともに、これらの技術の適切なオープン化戦略を促進する」こととされ、また、領域

横断的な科学技術の強化に向け、「先端計測及び解析技術等の発展につながるナノテクノロジーや光・量子科学技術、e-サイエンス等の高度情報通信技術、数理科学、システム科学技術など、複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術や融合領域の科学技術に関する研究開発を推進する」こととされている。さらに、「ナノテクノロジー・材料科学技術の研究開発方策について<中間取りまとめ>」（平成23年7月 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 ナノテクノロジー・材料科学技術委員会）においては、「国際的な優位性を保持するためには、革新的な技術の開発が不可欠であることから、社会的課題を設定する際に把握可能な技術のみに重点化するのではなく、中長期的観点から、潜在的可能性を持つ技術の創出に向けた研究開発等の取組も推進すべき」とされ、課題解決に向けた重点研究開発課題である「物質材料設計及び制御技術」の一つに「空間及び空隙構造の制御」が取り上げられている。

以上のとおり、第4期科学技術基本計画に掲げられている重要課題「グリーンイノベーションの推進」「ライフイノベーションの推進」「我が国の産業競争力の強化」に向け、革新的な材料の開発が政策的にも求められているところである。

⑤ 他の関連施策との連携及び役割分担・政策効果の違い

現在、我が国の材料開発関連の戦略目標としては、物質・材料の特性・機能を決める元素の役割の解明を目指す「レアメタルフリー材料の実用化及び超高保磁力・超高靱性等の新規目的機能を目指した原子配列制御等のナノスケール物質構造制御技術による物質・材料の革新的機能の創出」（平成22年度戦略目標）や、「環境・エネルギー材料や電子材料、健康・医療用材料に革新をもたらす分子の自在設計『分子技術』の構築」（平成24年度戦略目標）が存在する。これら既存の戦略目標は材料組成や成分そのものを改変させて「如何（いか）に新機能を創発させるか？」といった考え方であるのに対し、本戦略目標は元素や分子間に存在する「空間や空隙（カゴ）を如何に活用するか？」といった全く異なるアプローチである。すなわち、既存の戦略目標と目的や研究内容において相互補完関係にあり、新機能創出という共通目標を掲げて異なるアプローチから推進するものである。既存の戦略目標との相乗効果により我が国の材料開発の基盤を更に強固なものとすることで、環境・エネルギー、医療・健康等の諸分野における新材料開発において革新をもたらすことが可能となる。なお、空間空隙制御材料の一つの例として触媒やエネルギーキャリア（エネルギーの輸送・貯蔵のための担体）があるが、「環境、エネルギー、創薬等の課題対応に向けた触媒による先導的な物質変換技術の創出」（平成24年度戦略目標）及び「再生可能エネルギーの輸送・貯蔵・利用に向けた革新的エネルギーキャリア利用基盤技術の創出」（平成25年度戦略目標）との研究成果や基盤技術の共有等の連携を図ることが求められる。

文部科学省においては、平成24年度より、ナノテクノロジーに関する研究設備の全国的な共用体制を構築する「ナノテクノロジープラットフォーム」事業を開始するなど、研究施設・設備の共用や異分野融合のための環境整備を促進している。本戦略目標においては、研

究の効果的推進、既存の施設・設備の有効活用、施設・設備導入の重複排除等の観点から、大学・独立行政法人等が保有し広く開放されている施設・設備や産学官協働のための「場」等を積極的に活用することが求められる。

⑥ 科学的裏付け（国内外の研究動向を踏まえた必要性・緊急性・実現可能性等）

空間空隙制御材料としては、ゼオライト、メソポーラス材料、多孔性金属有機構造体（Metal Organic Framework (MOF)）/多孔性配位高分子（Porous Coordination Polymer (PCP)）等が主要な材料群となっている。特に、近年 MOF/PCP に関する論文数が中国を中心として世界的に増加傾向にあり、トムソン・ロイターの「Materials Science and Technology 2011」においても、3つの注目研究テーマの1つに MOF が採り上げられ、当分野に対する中国の対応について、「これらのデータは、MOF の研究が中国の研究者と中国政府にとって優先的な研究分野であることを示しており、これは恐らく、単に学術的興味のためだけでなく、エネルギー貯蔵やその他の産業応用に向けた巨大な可能性を狙ったことだろう」と紹介している。また、同社の論文引用数に基づく分析によると、“ドラッグデリバリーやバイオセンサーへの応用に向けたメソポーラスシリカナノ粒子（Mesoporous silica nanoparticles for drug delivery and biosensing applications）”や“高秩序メソポーラスポリマーカーボン構造（Highly ordered mesoporous polymer and carbon frameworks）”が世界的に注目されているところである。

一方、我が国では、世界で初めてメソポーラスシリカの合成に成功するとともに、多孔性配位高分子（PCP）の応用可能性に 1990 年代から着目し世界的な成果を上げるなど、「空間空隙」を活用する試みは他国に先駆けて行われてきた。最近では、セメントの構成成分の一つでもあるナノサイズのカゴ状の骨格がつながった構造を有する $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ （C12A7、酸化カルシウム・酸化アルミニウム化合物）を活用した高活性なアンモニア合成触媒の実現が発表され、約 100 年前に確立されたアンモニア製造技術（ハーバーボッシュ法）に革新をもたらす可能性があるとして産業的にも学術的にも注目されている。また東日本大震災以降、セシウム等の放射性元素の回収・除去にゼオライト等のメソポーラス材料が着目されるなど、空間空隙制御材料による課題解決の新たな展開も期待されている。

以上のような国内外の研究動向を踏まえ、我が国としてもこれまでの学術的・技術的・人的蓄積を生かし、「空間空隙」という新しい概念の下、応用展開を見据えた基盤的研究を早急に実施すべきである。

⑦ 検討の経緯

国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター（JST/CRDS）が開催した「物質・材料分野」俯瞰ワークショップ（平成 20 年 12 月）及び「ナノテクノロジー分野」俯瞰ワークショップ（平成 21 年 8 月）において、ナノテクによる新機能材料開発の重要性が改めて確認されるとともに、重要課題として「空間空隙制御・利用技術」が挙げられた。これを受

け、科学技術未来戦略ワークショップ「空間空隙制御・利用技術」（平成 21 年 10 月）が開催され、「新物質開発を先導する指導原理の一つとして空間・空隙を設計・制御する方法論はコアとなる重要概念であり、そのための具体的な諸技術は社会課題解決や産業競争力強化に大きく寄与する」との共通認識が得られるとともに、具体的な技術的課題の抽出や制度設計上の課題に関する検討が行われた。上記の議論を踏まえ、JST/CRDS 戦略プロポーザル「空間空隙制御材料の設計利用技術～異分野融合による持続可能社会への貢献」が策定され、「微細な空間・空隙を設計・制御することにより、革新的物質機能を生み出す方法論」がコアとなる概念として示され、地球規模の社会的課題解決や、我が国の産業競争力強化に大きく寄与することが期待されている。

以上の議論も踏まえ、科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 ナノテクノロジー・材料科学技術委員会が取りまとめた「ナノテクノロジー・材料科学技術の研究開発方策について<中間取りまとめ>」（平成 23 年 7 月）において、課題領域「科学技術基盤」における「物質材料設計及び制御技術」として、「空間及び空隙の制御（ナノ、マイクロ、ミリのマルチスケールのポーラス構造等で、高比強度、強靱性、選択透過性、反応性等の実現等）」が課題解決に向けた重点研究開発課題とされ、既存の組織を超えて活動を統合するような新たな枠組みが必要であるとの指摘がなされ、それ以降、継続的に議論が重ねられた。

また、総合科学技術会議 科学技術イノベーション政策推進専門調査会 ナノテクノロジー・材料共通基盤技術検討ワーキンググループにおいて、今後強化すべき技術領域の一つとして空間空隙制御材料が取り上げられ（平成 24 年 11 月）、特許網構築の重要性、実用化に向けた集中的な取り組みとともに、合成・物性・相互作用等のメカニズムの理解に向け、計算科学を含む基礎的なアプローチを並行して進めることの重要性が示された。

本戦略目標は、これらの検討の結果を踏まえて作成したものである。

⑧ その他

本戦略目標においては、「空間空隙」という新しい概念の下、応用展開を見据えた基盤的研究を推進することとしている。環境・エネルギー、医療・健康等における諸課題の解決のためには、空間空隙構造制御技術を軸に様々な研究領域の研究者が積極的に参入し、実質的に協働するための環境が必要となる。また、本戦略目標の成果を共通基盤技術の構築に向けて発展させていくためには、産業界との協力体制を早期から構築するなどの取組が重要である。

(2) 研究領域

「超空間制御と革新的機能創成」（平成25年度発足）

研究領域の概要

本研究領域では、環境・エネルギーや医療・健康をはじめとする社会的ニーズに応えるべく、「時代を創る」新物質・材料の創製に向けて、物質中の空間空隙を高度に設計・制御する「超空間制御技術」を確立し、従来の空間利用の常識を超える革新的機能の創出を目指す。

具体的には、エネルギー変換材料、化学物質の貯蔵・輸送・分離・変換を可能にする材料、分子認識材料、医用材料、構造材料、電子材料等への利用に向けて、高度に設計・制御した空間空隙を革新機能創成の場として捉えた先駆的・独創的な研究を推進する。

加えて、将来的な素材化、プロセス化の技術の流れを意識し、空間空隙の合成化学の側面と、最先端計測および計算による機能解明等、広い観点を背景とした挑戦的なアプローチを有する研究を目指す。

世界を牽引し、物質・材料開発研究のフロンティア開拓を期待できる挑戦的・意欲的な研究に取り組む。

物質中の微細な空間・空隙構造を制御した材料の設計・利用技術

空間空隙制御材料とは 物質・材料を構成する元素間結合の「すき間」の形状・寸法・次元および配列などの構造をナノ～マイクロメートルで制御することによって、バルク材料にはない新機能を発現する材料。構造、機能、相互作用を検討し、それらを組織化して新機能を創出、革新的機能材料を開発する。分離、吸着、触媒、貯蔵、イオン伝導、エネルギー変換などの機能を発揮させる。

機能・物性は構成**元素と構造**（結晶系、アモルファス）でほぼ決まる。

ナノスケールで「すき間」の制御

バルク材料

ナノテクの進展で制御が可能に！

元素戦略を補完する戦略

環境・資源・エネルギー分野に強み
“バルク材料にはない革新的新機能の発現”

分離、吸着、触媒、貯蔵、熱電変換、超伝導、イオン伝導

軽量

空間空隙制御材料

- ・エネルギー変換：光電、電気化学、熱電、摩擦
- ・超伝導：エレクトロニクス、電力貯蔵、送電
- ・物質貯蔵：触媒、吸着、捕獲、輸送、電極材料
- ・反応・合成：触媒(MOF)、反応場
- ・構造材料：軽量、高強度、高耐久、断熱
- ・分離：レアメタルやガス、液体の分離・吸着技術

・CRDS戦略プロポーザル：空間空隙制御材料の設計利用技術 ～異分野融合による持続可能社会への貢献～（平成22年3月発行）
・CRDS WS報告書：科学技術未来戦略ワークショップ「空間空隙制御・利用技術」（平成21年10月開催）

(3) 研究総括

黒田 一幸 (早稲田大学理工学術院 教授)

(4) 採択課題・研究費

(研究期間直接経費合計)

採択年度	研究代表者	所属 役職 上段：研究終了時 下段：採択時	研究課題	研究費 (千円)
2013年度 (1期生)	猪熊 泰英	北海道大学 准教授 東京大学 助教	細孔性結晶を用いた微量薬物の分解・代謝過程の可視化	43,400
	内田 さやか	東京大学 准教授 同上	イオン結晶の階層的構築と吸着・輸送・変換場への応用	40,200
	生越 友樹	金沢大学 教授 同上 准教授	分子レベルで制御された次世代キラル超空間の創製と機能開拓	44,600
	金 賢得	京都大学 助教 同上	高次ナノ超構造体の空間空隙を主導パラメータ群とする高効率光電変換物質の計算科学的デザイン	41,400
	阪本 康弘	JST さきがけ研究者 大阪府立大学 特別講師	ゼオライト骨格中へテロ原子の直接観察とサイト制御	45,870
	立川 貴士	神戸大学 准教授 大阪大学 助教	ナノ粒子の高次空間制御による高効率光エネルギー変換系の創製	39,990
	西原 洋知	東北大学 准教授 同上	応力で自在に変形する超空間をもつグラフエン系柔軟多孔性材料の調製と機能開拓	31,031
	野村 淳子	東京工業大学 准教授 同上	遷移金属酸化物薄膜で形成されたメソ空間での固体触媒機能の発現	38,350
	樋口 雅一	京都大学 助教 同上	電荷分離空間の創製と革新的機能の展開	40,450
	藤森 利彦	信州大学 准教授 同上	階層的ナノ空間内の擬高圧光反応による新規導電材料の創製	38,110
2014年度 (2期生)	村井 俊介	京都大学 助教 同上	メソポーラス材料を基盤とする新規フォトニクス材料の創製	37,900
	浅川 雅	金沢大学 准教授 同上 助教	ゲスト分子-空間空隙相互作用の原子スケール3次元AFM計測技術の開発	43,813
	石渡 晋太郎	東京大学 准教授 同上	極限環境でのナノ空間創製・制御による革新的電子材料の開拓	43,920
	一川 尚広	東京農工大学 特任准教授 同上 助教	三次元 Gyroid 極小界面を用いたプロトン伝導性空間の創成	39,700
	小野 利和	九州大学 准教授	多孔性有機結晶の閉塞空間を活用した革新	50,220

		同上 助教	的光エネルギー変換材料の創製	
	神谷 和秀	大阪大学 助教 東京大学 助教	多孔性共有結合性有機構造体から成る革新的空気酸化触媒の創製	43,100
	佐賀 佳央	近畿大学 教授 同上 准教授	光合成タンパク質における規則的ナノ空隙群の創成	40,800
	Sivaniah Easan	京都大学 教授 同上 特定拠点准教授	ナノ超空間中の流動を利用した吸着と結晶化制御による新機能開拓	40,000
	清水 智子	物質・材料研究機構 主任 研究員 同上	空間制御による原子解像度イメージング技術革新	48,350
	豊玉 彰子	名古屋市立大学 講師 同上	コロイド共晶の構造制御と新規波長選択光学材料の創製	40,000
	二瓶 雅之	筑波大学 准教授 同上	有機ケージナノ空間の精密制御による超微小金属酸化物粒子の創製と革新的機能開拓	40,000
	平尾 一	香港城市大学 副教授 ナンヤン工科大学 助教授	マルチスケール・モデリングによる金属酵素型多孔性配位高分子の原理解明とデザイン	44,490
	松田 亮太郎	名古屋大学 教授 京都大学 特定准教授	超活性種の自在発生による未知化学種の実現と吸着・物質科学の新展開	49,073
	山田 鉄兵	九州大学 准教授 同上	キラルなホストとゲストを利用した分子ネジの創成と展開	43,400
2015年度 (3期生)	今岡 享稔	東京工業大学 准教授 同上	デンドリマー超空間によるクラスター形状誘導と機能創出	40,758
	織田 晃	JST さきがけ研究者 岡山大学 博士研究員	ゼオライト場を利用した既存金属の新奇電子状態の創出	42,074
	久保 祥一	物質・材料研究機構 主任 研究員 同上	ナノ空間制御によるキラルナノテンプレート創製と光メタマテリアルへの展開	40,350
	小林 浩和	JST さきがけ研究者 京都大学 特定准教授	金属ナノ粒子と多孔性金属錯体のハイブリット化による革新的機能の創出	40,907
	齋藤 敬	Monash University Senior Lecturer 同上 講師	ナノ空間内でのトポケミカル反応による構造制御と単分散高分子への展開	45,380
	坂本 良太	東京大学 助教 同上	液液界面・気液界面を利用した機能性低次元空間物質「ナノシート」の創製	47,900

	田中 良和	東北大学 教授 北海道大学 准教授	超巨大蛋白質会合体の内部空間を利用した 結晶化デバイスの創出	48,610
	藤田 大士	京都大学 准教授 東京大学 助教	自己集合が導き出す新規多面体群：物質合 成と数学的考察	41,000
	藤田 伸尚	東北大学 助教 同上	補空間次元を介した物質系のトポロジカル 制御	16,470
	三宅 亮介	お茶の水女子大学 講師 同上	結晶ナノ空間の複合的な空間変換に基づく 機能創成	43,000
	安井 隆雄	名古屋大学 准教授 同上 助教	がん転移メカニズム解明にむけた人工超空 間の創製	52,200
	山田 高広	東北大学 准教授 同上	トンネル空間制御による革新的金属間化合 物系熱電材料の創製	41,820
	吉田 浩之	大阪大学 助教 同上	外場応答性トポロジカル欠陥ネットワー クの構築と多安定性デバイスへの応用	42,800
	渡邊 峻一郎	東京大学 特任准教授 同上 博士研究員	分子インプランテーションによる超分子エ レクトロニクスの創成	41,000
			総研究費	1,592,436

さががけ「超空間制御と革新的機能創成」採択課題の俯瞰

ターゲットとする領域	エネルギー・環境	空間構造制御 (生越)	イオン分離 (内田)	プロトン伝導 (一川)	空間形状制御 (西原)	プラズモニクス (村井)
		ナノ酸化物 (二瓶)	電荷分離空間 (樋口)	運動制御 (山田鉄)	熱電材料 (山田高)	メタマテ構造 (久保)
	ケミカルズ	触媒設計 (野村)				
		触媒設計 (神谷)	膜分離 (Sivaniah)			
		新規化学種 (松田)			分子インプラ ンテーション (渡邊)	
	エレクトロニクス				電導材料 (藤森)	リン光発光 (小野)
	導電・半導体材料 (立川)		ナノシート (坂本)		液晶欠陥制御 (吉田)	
ライフ		巨大分子精密合成 (藤田大)	タンパク構造 (佐賀)			
		巨大構造解析 (田中)	ガン化因子解析 (安井)			
基盤技術	TEM構造 解析 (阪本)	結晶構造 解析 (猪熊)	AFM/STM 構造解析 (清水)			
	マルチスケール モデリング (平尾)	AFM構造解析 (浅川)		光電変換計算 (金)	トポロジカル 制御 (藤田伸)	
	物質変換	貯蔵・捕獲 ・輸送	エネルギー 変換	電気・磁気・光学 物性制御		
空間の使い方						

2. 研究領域および研究総括の設定について

(1) 研究領域選定の理由

本研究領域は、人類が直面する環境・エネルギー、医療・健康等の諸問題を解決するために、物質を構成する原子・分子の配置と結合によって生じる隙間、すなわち、空間空隙の形状、寸法、次元、大きさ、組成、規則性、結晶性および界面を自在に設計・制御・活用するための共通基盤となる空間空隙構造制御技術によって、既存材料・技術では実現困難な新機能・新物性を発現させ、革新的機能性材料を創製することを目指す。「空間空隙」とは、ナノ、メソ、マクロといった様々な階層のスケールの物質で発現する機能を理解し、設計・制御する際の新しい基本概念である。

新物質群の創製に支点を置きつつも、高度な構造解析や計算など、多様な独創的・挑戦的な個人型研究を推進することで、従来の多孔質材料研究の延長線上では得られない科学技術イノベーションの源泉となる先駆的な研究成果を期待することができる。また、多様な研究課題間にシナジー効果が生まれ、異分野にまたがる強いつながりを持った研究者ネットワークが形成され、空間空隙を体現できる研究者集団となることが見込まれる。したがって、さきがけを選定することは適切である。

さらに、さきがけ、CRESTの2つの研究領域を選定し、両者で密な連携を図っていくことで、空間空隙制御技術をいかした素材・製品につながる機能・物性の研究開発を相補的・相乗的に行うことが見込まれるほか、空間空隙制御技術を体現していくうえで核となる研究者ネットワークが構築されることが期待される。

以上のとおり、分野の垣根を超えた研究者ネットワークの形成及び異分野融合研究を推進することで、新しい研究領域を産み出し、幅広い社会ニーズに応える物質・材料開発へのブレークスルーを起こすことが期待される。よって、本研究領域は戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。

対象となりうる研究分野は、物理、化学、生物学、計算科学、工学、材料科学、計測技術等、多岐にわたり、「空間空隙技術の構築」を共通言語とした独創的かつ挑戦的な研究提案が多数見込まれる。

物質中における、ナノメートルレベルの「空間空隙」の形状・寸法・次元及び配列などの構造を設計・制御して、そのもととなる物質が本来持ち得なかった高い物質機能を創出し、通常の材料では解決できない資源、エネルギー等の諸課題を解決

なぜ空間空隙材料に着目するのか？

通常の材料では解決できない資源、エネルギー等の諸課題の解決に資することが可能

→「原子サイズのカゴ(空隙)」を使用することで究極的に安全で確実な物質の貯蔵・輸送・分離技術を確立し、CO₂固定化や水素エネルギー高効率活用において革新的な成果をもたらす。

「界面」「表面」といった概念から歴史的に一步進んだ「空間空隙」を舞台とする新しい概念を提唱

→基礎学術分野と応用技術分野の双方向的コミュニケーションが可能となり、ひいては、異分野融合による新学術分野創出が期待される。



空間空隙で期待される超高性能

- 【変換・輸送】
 - 誘電率の低減 (誘電率1.5以下) ※現状は2以下でも困難
- 【透過・分離】
 - 超高伝導度固体リチウム伝導体 (リチウムイオン伝導度 10^{-4} S/cm以上) ※ポストリチウムイオン電池の実現可能性
- 【光・電磁波制御】
 - 光閉じこめ (閉じこめ時間 $1,000$ ナノ秒以上) ※現状約 100 ナノ秒
- 【低密度化・高剛性化】
 - 超高強度・超軽量 (チタン合金の強度2倍、靱性2倍、重量2/3)

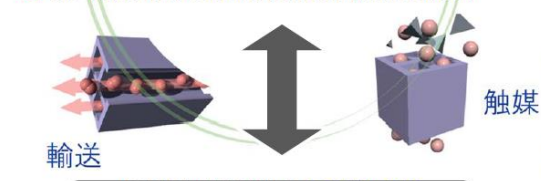
空間空隙制御材料とは

物質・材料を構成する元素間結合の「すき間」の形状・寸法・次元及び配列などの構造制御によって、バルク材料にはない新機能を発現する材料。



如何に空間や空隙(カゴ)を活用し、新機能を創発させるか？

- ①空間空隙制御材料における構造及び相互作用の設計と機能発現
- ②設計に則った空間空隙構造を持つバルク材料の合成技術の創成
- ③空間空隙制御材料における物質的諸現象の観測・解析技術



如何に原子を制御して新機能を創発させるか？

これは「元素戦略」や「分子技術」のアプローチ方法であり、本戦略目標はこれらと相互補完の関係にある。最終的にこれら事業との研究成果が相乗効果を生み、我が国の材料戦略において世界的に優位な立場に引き上げる！

空間・空隙技術創出による機能材料例

- ・物質貯蔵・捕獲・輸送材料
 - ガス吸蔵/フィルタ/センサー/DDS等
- ・エネルギー変換材料
 - 光電変換/電気化学変換/熱電変換等
- ・電気・磁気材料
 - 誘電体/半導体/磁性体/超伝導等
- ・構造材料
 - 軽量/高強度/高耐久材料等

アウトプット例

太陽電池関係
 現行の25%(単接合・非集光型)を遙かに上回る30~50%の太陽電池

燃料電池関係
 結晶空隙・欠陥の固溶効果等による超高濃度水素吸蔵機能の実現

フォトニック関係
 超高速光スイッチ等に活かせる長時間の光閉じこめ機能の実現

インフラストラクチャ関係
 超軽量・高強度構造材料等の空隙制御による構造材料の軽量化機能の創成

(2) 研究総括指定の理由

研究総括 黒田 一幸

黒田一幸は、無機材料科学の研究者として、層状ケイ酸塩と多様な有機化合物との反応およびナノ複合体の合成を幅広く展開している。

黒田一幸が発表したメソポーラスシリカ薄膜は最も優れた構造規則性を有していると評されており、優れた研究実績を有している。特に、ケイ酸塩有機複合体からのメソ多孔体への変換は1988年に世界に先駆けて報告されたもので、その波及効果は極めて大きく、1992年のモービル社から報告されたMCM-41型のシリカメソ多孔体に先駆けるものであり、これを契機に世界中でメソ多孔体研究が爆発的に展開されている。

また、黒田一幸は、触媒調製化学賞、日本粘土学会賞、日本セラミックス協会学術賞などを受賞しており、本研究を推進するに必要な先見性、洞察力を十分に有していると考えられる。

さらには、日本化学会の理事及び関東支部長、日本セラミックス協会理事、ゼオライト学会学会長、日本粘土学会副会長、日本ゾルゲル学会副会長などをつとめていることから、関連分野の研究者から信頼され、適切な評価と公平な選考を行いうるとみられる。

以上のとおり、黒田一幸は、本さきがけ研究領域の研究総括として適任であると考えられる。

3. 研究総括のねらい

(1) 戦略目標に対する研究領域の位置づけを受けて、どのようにねらいを定めたか

環境、エネルギー、医療・健康、をはじめとする社会や人間生活の様々なニーズにおいて、新材料創製が与える影響は非常に大きく、材料創製が次の時代を創造し、牽引すると考えられる。例えば、ゼオライトは学術的にも大きく発展するとともに産業応用され、メソ多孔体は応用研究のみならず、吸着科学などの学術の進展にも大きく貢献してきた。多孔性金属有機構造体 (metal organic framework (MOF)) /多孔性配位高分子 (Porous coordination polymer (PCP)) は、錯体科学の範疇を超えて物質科学の大きな一分野を形成し、産業応用のポテンシャルも含め、ホットな研究開発競争の真只中にあるといっても過言ではない。我が国は、これらの多孔質物質開発において先頭を走ってきた実績があり、今後これを強化し、さらに追従を許さないレベルに高めていくことが重要な課題のひとつと言える。

このため、様々な組成、構造の空間空隙を有する物質は数多く存在する中、敢えて新物質群の創製を本研究領域の中心的な旗印としてねらいを定める。本研究領域の中から「時代を創る」新規物質群の創製を目指す。

(2) 研究領域で実現をねらうこと

そのためには、これまでの物質群の延長線上ではなく、斬新なアイデア・概念で新たな物質群をデザインすることが求められる。無機合成化学や有機合成化学といった「化学的」視点はもちろんのこと、最終的に求められる機能という視点、さらには物質の根源からアプローチする立場からの「物理学的」視点、さらに「工学的」「生物学的」「医学・薬学的」「農学的」など多角的な視点を持ち合わせることによって初めて飛躍的な発展が可能となる。本研究領域では、さまざまな分野の「連携・融合」を目指す。

加えて、新たな物質群のデザインには、構造解析やシミュレーション等の進化と深化が必要である。最先端の評価・観測技術は、従来より格段かつ精密に空間空隙を評価でき、かつ動的な挙動を理解することができる。また、計算科学との協働、すなわち、新物質の機能や物性の予測、メカニズム解析の深耕も目指す。

4. 研究課題の選考について

(1) 研究課題の選考方針

本研究領域では、従来の空間利用の常識を超える材料群が対象となるため、細孔径や表面の構造に起因する機能に留まることなく、新たな機能創成の場としての「空間空隙」を共通キーワードに、空間空隙の高度な設計・制御、すなわち、「超空間制御」によって、従来にないアイデアの実現を目指す。そして、貯蔵・輸送、分離・変換技術、高性能かつ経済的な分離膜、ドラッグデリバリーシステム、太陽電池、熱電材料等のエネルギー変換材料、半導体・超伝導等の電子材料、センサー・生体適合材料など、環境・エネルギーや医療・健康をはじめとする社会の様々なニーズと深く関わる材料の創製を期待する。

空間空隙を従来の多孔質材料としてのみ捉えるのではなく、革新的機能創成の場として使うためには、独創性の高い提案は当然のこと、提案が絵空事ではなく、どのような着想、洞察、理論的考察をもとにしているか、そして研究計画が実行可能である裏付けを求める。

分野は化学、工学、薬学、物理学、生物学、バイオメディカルなど幅広い学術領域を対象とするが、加えて、

1. 空間空隙が本質的役割を果たすと期待できる提案であるか
 2. 定義された空間空隙の設計の意図が明確であるか
 3. 「機能発現が見込まれる」のみならず既存物質・競合物質の機能の水準に比して「どのような」そして「どの程度の」アドバンテージを見込むのかについて検討されているか
- など、研究テーマによって程度の差こそあれ、上記の観点でしっかり検討した提案であることを期待した。

空間空隙に関連するパラメータは数多くあるが、それらをよく吟味して空間空隙から生まれる機能の本質がどこにあるのかを深く考え、独自の視点に立脚した創造的な提案、研究者自身が「このテーマこそ今やるべきであり、自分がそれをやりたい」と強く望み実行可能であることを十分に期待させる予備的検討がなされている提案、などを期待した。10年後、20年後の社会的課題の解決に資する応用を見据えつつ、サイエンスのフロンティアを開拓する意欲的な研究提案を歓迎した。

(2) 選考結果

① 平成 25 年度選考結果

平成 25 年度（2013 年度）は、応募総数 182 件、評価者 28 名（領域アドバイザー 12 名、外部評価委員 16 名）で書類選考を実施、面接対象研究提案 30 件を選考し、面接選考を経て 11 件を採択した。

採択された研究課題が扱う物質・材料は広範にわたり、例えば、ゼオライト、メソ多孔体、配位高分子、細孔性結晶、環状有機分子、グラフェン系多孔体、メソ結晶などがあり、機能を示すキーワードとしては、吸着、吸蔵、輸送、触媒、イオン伝導、光電変換、キラリティ、プラズモン結晶、メタマテリアル、動的な機能発現などであった。加えて、計算科学、超高分解能電子顕微鏡による解析などの研究課題も採択した。

一方、初年度採択した研究領域のみでは、本領域をバーチャルネットワーク型研究所として機能させるには不十分と考えられ、さらに多くの異なるバックグラウンドと研究の方向性をもつメンバー構成が課題である。

以下に採択課題の俯瞰を示した。空間・空隙による物理的な物性制御、構造材料としての物性制御に関する課題が望まれた。

平成25年度 採択課題

ターゲットとする領域	エネルギー・環境	空間構造制御 (生越)	イオン分離 (内田) 電荷分離空間 (樋口)	空間形状制御 (西原)	フォト・プラズモ ニクス材料 (村井)
	ケミカルズ	触媒設計 (野村)			物理的な物性制御
	エレクトロ	導電・半導体材料 (立川)		電導材料 (藤森)	
	ライフ				
	基盤技術	TEM構造解析 (阪本)	結晶構造解析 (猪熊)	光電変換計算 (金)	
	物質変換	貯蔵・捕獲 ・輸送	エネルギー 変換	電気・磁気・光学 物性制御	
空間の使い方					

② 平成 26 年度選考結果

平成 26 年度（2014 年度）は、応募総数 182 件が、評価者 26 名（領域アドバイザー 12 名、外部評価委員 14 名）で書類選考を実施、面接対象研究提案 31 件を選考し、面接選考を経て 13 件を採択した。

採択された研究課題は、例えば、有機系多孔体では室温リン光発光材料、高压合成とソフトケミストリーの組み合わせなど、物理系の課題も採択できた。加えて、金属酸化物粒子の創出、触媒反応制御などユニークな課題、錯体系においては分子認識を超える機能、不安定化学種の安定化による新規物質の創製、光合成タンパク質を活用したナノ空間群創製やジャイロイド極小曲面を用いたイオン伝導などを採択した。基盤技術として、AFM による計測・イメージング技術、計算科学によるアプローチも従来の限界を超える提案となっている。

一方、低次元空間を有する物質群、ライフサイエンスへの展開など、本来この領域に一定数必要とされている課題が十分な採択に至っていない。

平成26年度 採択課題

ターゲットとする領域	エネルギー・環境	ナノ酸化物 (二瓶)	フロン伝導 (一川) 運動制御 (山田)			
	ケミカルズ	触媒設計 (神谷) 新規化学種 (松田)	膜分離 (Sivaniah)			
	エレクトロ				リン光発光 (小野) コロイド共晶 (豊玉) 高压合成 (石渡)	
	ライフ	タンパク構造 (佐賀)	ライフサイエンスへの展開			
	基盤技術	マルチスケールモデリング (平尾)	AFM/STM構造解析 (清水) AFM構造解析 (淺川)			
	物質変換	貯蔵・捕獲 ・輸送	エネルギー 変換	電気・磁気・光学 物性制御		
空間の使い方						

③ 平成 27 年度選考結果

平成 27 年度（2015 年度）は、過去 2 回の募集を大きく上回る 259 件の応募があり、評価者 27 名（領域アドバイザー 13 名、外部評価委員 14 名）で書類選考を実施、面接対象研究提案 34 件を選考し、面接選考を経て 14 件を採択した。募集最終年度でもあり、選考会議では研究分野のバランス、研究者間の連携可能性、異分野融合の可能性の視点からも議論を行なった。

採択された研究課題は空間の捉え方や使い方に特徴のあるものが多く、新たに数学的センスを取り入れた研究やたんぱく質会合体内部空間など、数物系や生命系にまたがる提案を採択し、加えて低次元系物質であるナノシートの課題も取り上げることができた。

以下に採択課題の俯瞰を示した。

平成27年度 採択課題

ターゲットとする領域	エネルギー・環境			熱電材料 (山田高)	メタマテ構造 (久保)
	ケミカルズ	ユニポリマー合成 (齋藤)			
	エレクトロ	ナノ粒子合成 (今岡)	SurMOF触媒 (小林)		分子インプラネーション (渡邊)
	ライフ	セオライト設計 (織田)	二空間制御 (三宅)	ナノシート (坂本)	液晶欠陥制御 (吉田)
	基盤技術	巨大分子精密合成 (藤田大)	巨大構造解析 (田中)	ガン化因子解析 (安井)	
	トポロジカル制御 (藤田伸)				
	物質変換	貯蔵・捕獲・輸送	エネルギー変換	電気・磁気・光学的物性制御	
空間の使い方					

(3) 選考結果のまとめ

応募者総数 623 名に対して、38 名（内、女性 4 名）を採択し、採択率 6%（競争率 16 倍）であった。空間空隙を制御して革新的な機能創成を目指す本研究領域として、広範囲な材料群、革新的な評価・解析技術、それらを先導する理論をバランスよく採択することができた。

研究領域内外の研究者らとの切磋琢磨を通じて、その相乗効果から大きな展開が生まれることが期待できる。

さきがけ「超空間制御と革新的機能創成」採択課題の俯瞰

ターゲットとする領域	エネルギー・環境	空間構造制御 (生越) ナノ酸化物 (二瓶)	イオン分離 (内田) 電荷分離空間 (樋口)	プロトン伝導 (一川) 運動制御 (山田鉄)	空間形状制御 (西原) 熱電材料 (山田高)	プラズモニクス (村井) メタマテ構造 (久保)
	ケミカルズ	触媒設計 (神谷) 新規化学種 (松田)	膜分離 (Sivaniah)			分子インプラネーション (渡邊)
	エレクトロ	導電・半導体材料 (立川)			電導材料 (藤森) ナノシート (坂本)	リン光発光 (小野) コロイド共晶 (豊玉) 高圧合成 (石渡) 液晶欠陥制御 (吉田)
	ライフ	巨大分子精密合成 (藤田大) 巨大構造解析 (田中)	タンパク構造 (佐賀)	ガン化因子解析 (安井)		
	基盤技術	TEM構造解析 (阪本) マルチスケールモデリング (平尾)	結晶構造解析 (猪熊)	AFM/STM構造解析 (清水) AFM構造解析 (淺川)	光電変換計算 (金)	トポロジカル制御 (藤田伸)
		物質変換	貯蔵・捕獲・輸送	エネルギー変換	電気・磁気・光半物性制御	
空間の使い方						

5. 領域アドバイザーについて

以下に領域アドバイザーのリストを示す。

氏名	現在の所属	役職	任期
有馬 孝尚	東京大学大学院新領域創成科学研究科	教授	平成 27 年 4 月～平成 31 年 3 月
伊藤 耕造	東京大学大学院新領域創成科学研究科	教授	平成 25 年 6 月～平成 26 年 11 月
陰山 洋	京都大学大学院工学研究科	教授	平成 25 年 6 月～平成 31 年 3 月
金子 克美	信州大学環境・エネルギー材料科学研究所	特別特任教授	平成 25 年 6 月～平成 31 年 3 月
北川 進	京都大学物質－細胞統合システム拠点	拠点長 ・教授	平成 25 年 6 月～平成 31 年 3 月
小谷 元子	東北大学材料科学高等研究所	所長・教授	平成 25 年 6 月～平成 31 年 3 月
瀬戸山 亨	三菱ケミカル(株)横浜研究所 瀬戸山研究室	執行役員 ・室長	平成 25 年 6 月～平成 31 年 3 月
堂寺 知成	近畿大学理工学部	教授	平成 25 年 6 月～平成 31 年 3 月
中山 智弘	科学技術振興機構研究開発戦略センター企画運営室	フェロー ・室長	平成 25 年 6 月～平成 31 年 3 月
平野 愛弓	東北大学材料科学高等研究所 ／電気通信研究所	主任研究者 ・教授	平成 25 年 6 月～平成 31 年 3 月
福岡 淳	北海道大学触媒科学研究所	教授	平成 27 年 4 月～平成 31 年 3 月
藤田 誠	東京大学大学院工学系研究科	教授	平成 25 年 6 月～平成 31 年 3 月
水野 哲孝	東京大学大学院工学系研究科	教授	平成 25 年 6 月～平成 27 年 3 月
宮田 浩克	キヤノン(株)総合 R&D 本部基盤技術統括部門ナノ材料・分析技術開発センター	主席研究員	平成 25 年 6 月～平成 31 年 3 月
八島 栄次	名古屋大学大学院工学研究科	教授	平成 27 年 4 月～平成 31 年 3 月

*人選にあたっての考え方

本領域で取り扱う研究の専門領域（専門的視点）、産業化に繋げるための視点（産業的視点）、社会情勢との整合性（社会的視点）から十分な議論が行えるよう、幅広い領域の専門家に領域アドバイザーをお願いした。

(1) 専門的視点

アカデミアからは本研究領域で扱う広範な革新材料に対応できるよう、専門性を考慮して以下のメンバーを選出した。

- ・物理系領域：
 - 有馬 孝尚（東京大学） 物性物理
 - 堂寺 知成（近畿大学） 単結晶物理額、ソフトマター物理学
- ・物理化学系領域：
 - 金子 克美（信州大学） 炭素化学
- ・無機系領域：
 - 陰山 洋（京都大学） 固体無機化学
- ・錯体化学系領域：
 - 北川 進（京都大学） PCP/MOF
 - 藤田 誠（東京大学） 錯体化学
- ・有機/高分子系領域：
 - 伊藤 耕造（東京大学） 高分子化学
 - 八島 栄次（名古屋大学） 高分子化学
- ・バイオ系領域：
 - 平野 愛弓（東北大学） バイオ・医療
- ・触媒系領域：
 - 水野 哲孝（東京大学） 触媒化学
 - 福岡 淳（北海道大学） 触媒化学
- ・数理系領域：
 - 小谷 元子（東北大学） 数学

(2) 産業的視点

企業在籍者として、新しい触媒反応プロセス、メソ構造材料の機能創製など、基礎研究と共に新たな産業を切り拓いてきた経験のある2名のアドバイザを選出、社会ニーズとの整合性、研究課題の戦略性について議論を深めた。

- ・瀬戸山 亨（三菱ケミカル(株)） 触媒反応プロセス
- ・宮田 洋克（キャノン(株)） メソ構造材料

(3) 社会情勢的視点

科学技術政策を立案する JST フェローである1名のアドバイザを選出した。日本のみならず、海外の研究動向についてもアドバイスをいただいた。

- ・中山 智弘（JST 研究開発戦略センター）

(4) その他

瀬戸山亨（三菱ケミカル(株)）は、CREST「超空間制御に基づく高度な特性を有する革新的機能素材等の創製」の研究総括であり、同時に、黒田一幸（早稲田大学）も

領域アドバイザーを務めることで、さきがけとCRESTの情報交換と共同体制を構築した。

<採択課題俯瞰図におけるアドバイザーの位置づけ>

ターゲットとする領域	エネルギー・環境	中山智弘(JST) 金子克己(信州大)			
	ケミカルズ	福岡淳(北大) 水野哲孝(東大) 瀬戸山亨(三菱ケミカル)		北川進(京大) 伊藤耕造(東大) 八島栄次(名大)	
	エレクトロ	宮田浩克(キャノン)		陰山洋(京大) 有馬孝尚(東大)	
	ライフ	平野愛弓(東北大)			
	基盤技術	堂寺知成(近大)		藤田誠(東大) 小谷元子(東北大)	
		物質変換	貯蔵・捕獲 ・輸送	エネルギー 変換	電気・磁気・光学 物性制御
空間の使い方					

6. 研究領域の運営について

(1) 研究領域運営方針やマネジメント、その成果について

「時代を創る」新物質・材料群の創製に向けて、物質中の空間空隙を高度に設計・制御する「超空間制御技術」を確立し、従来の空間利用の常識を超える革新的機能の創出を目標として、超空間を革新機能創成の場として捉えた先駆的・独創的な研究を推進した。

そのために、超空間の合成化学はもとより、最先端の計測技術及び理論計算による構造設計・機能発現の解明等、広い観点を組み合わせたアプローチ、さらに、さまざまな異分野との「連携・融合」を目指した。従来、計測技術や理論計算は実験先導による現象の解析、理論的解明になるケースが見受けられるが、計測、理論が実験を先導する、或いは、両者が切磋琢磨して新たな新物質・材料群の開発に繋げることを目標とした。加えて、国際連携、海外研究者との共同研究の推進に努めた。

さきがけ領域内研究者の連携については、共同研究を積極的に支援し、研究領域内共同研究 46 件（共著論文 19 報、共同出願 3 件）を行った（表：第 6 章(3)⑧「超空間領域内での研究連携」参照）。特筆すべき成果として、生越友樹研究者、西原洋知研究者の領域内共同研究が順調に発展し、平成 29 年度さきがけネットワーク（化学領域）採択、平成 30 年度 CREST「革新的反応」研究領域への採択と繋がっている。

海外研究者との連携については、JST 国際強化支援を活用し、さきがけ研究の加速・拡充、成果の最大化、及び研究者のレベルアップを目的とした研究者支援「海外武者修行」を継続的におこなった。内容は以下の通りである。

- ・ トップクラス海外研究者との共同研究の開始（さきがけ研究の加速・拡充）
- ・ さきがけ研究成果の最大化（共著論文、研究連携、研究者の受け入れ・交流など）
- ・ 英語プレゼンテーションスキル・ディベート力の向上

さきがけ研究者自らが最先端の欧米等海外研究機関を複数訪問し、研究成果の紹介、研究推進のための議論を行う短期派遣であり、本支援により、共同研究、国際的な研究者感覚、ディベート力の向上、研究領域の活性化に繋がった。その結果、現在までに、共同研究 17 件（共著論文 6 報）、研究者の受け入れ 2 件、学会などへの招へい 2 件、情報交換などネットワークの継続中 20 件、と活発な連携が継続している。（表：6 章(3)⑦「国際強化支援（海外武者修行）での成果一覧」参照）

さらに、上記の国際強化支援とは別に、さきがけ研究推進・加速のため、研究者独自に国内、海外研究者との連携も積極的に進め、海外研究機関との共同研究 30 件、共著論文 21 報、超空間領域以外のさきがけ研究領域研究者との共同研究 11 件、共著論文 2 報、国内研究機関との共同研究 40 件、共著論文 3 報の研究成果を挙げている。（表：6 章(3)⑨「領域外での研究連携【海外研究機関】【さきがけ研究者】【国内研究機関】」参照）

研究ステージによって、企業との共同研究 20 件実施し、共著論文 1 報、共願特許 7 件、さらに、さきがけ超空間発、国内ベンチャー 2 件を立ち上げた。また、さらなる発展として、

平成 30 年度 JST A-STEP、NEDO STS にそれぞれ 1 件ずつ採択された。(表：6 章(3)⑨
「領域外での研究連携【企業】」参照)

研究課題の進捗管理、指導については、採択直後(10 月)に研究者の所属する研究室を訪問し、具体的な研究計画について徹底議論し、達成目標のイメージを明確化した。研究進捗は、月報(概況、課題、特許のみを簡潔に記載)で把握し、特に進捗状況に不安がある場合は別途議論の場を設定し、研究の方向性等の議論、見直しを行った。加えて、アドバイザーによるメンター制を導入し、研究加速・推進のみならず、研究者としてのアドバイスを含めて個別の議論(研究者がアドバイザーを訪問)を行った。

(2) 総括サイトビジットと総括・アドバイザー(メンター)個別面談の実施

採択初年度に研究者サイトビジットを行い、必要に応じて個別面談を実施した。

総括サイトビジットでは、研究総括と技術参事による訪問 38 回(全研究者)、技術参事と領域担当による訪問 36 回(国内研究者のみ)実施した。上長へのさきがけ研究への理解と協力、さきがけ研究方針の緻密な議論を目的として行い、さらに、研究現場を見学することで個別の研究環境課題(研究人員、研究設備、他)を把握することにより、課題解決への助言、研究支援の考慮情報が得られ有効に活用することができた。

メンター制による個別面談では、研究の行き詰まりや研究環境上の問題など、より身近な問題・課題について、研究総括、或いは、領域アドバイザーと議論を行い、より具体的、かつ、的確なアドバイスに繋がり効果は高かった。実施回数はこのべ 25 回を数えた。

(3) 会議・シンポジウム等の開催、国際強化について

① 領域会議

領域会議は 12 回(年 2 回開催)実施した。出席者は、研究総括、領域アドバイザー、さきがけ研究者、JST 関係者であり、合宿形式で行った。なお、さきがけ研究終了者にも積極的な参加を促した。

領域会議に先立ち、さきがけ研究者の自主的なミーティング「オフ会」を開催し、「我々の考える超空間とは?」「私の考える欠陥と機能とは?」「我々が研究者として飛躍するためにさきがけを如何に使うか?」等、研究のみならず広範な話題についてざっくばらんで本音の議論を行った。

第 1 回：2013/12/14 JST 東京本部別館(東京) 26 名参加(1 期生)

第 2 回：2014/5/9-10 コスモスクエア国際交流センター(大阪) 23 名参加

第 3 回：2014/11/21-22 クロスウエーブ幕張(千葉) 37 名参加(1, 2 期生)

第 4 回：2015/4/19-20 クロスウエーブ梅田(大阪) 40 名参加

第 5 回：2015/12/6-8 クロスウエーブ府中(東京) 54 名参加(1, 2, 3 期生)



- 第6回：2016/5/15-17 長浜ロイヤルホテル（滋賀） 55名参加
第7回：2016/12/18-19 東京ガーデンパレス（東京） 55名参加
第8回：2017/5/14-16 アクトシティ浜松（静岡） 43名参加
第9回：2017/11/12-13 東京ガーデンパレス（東京） 45名参加
第10回：2018/6/3-5 淡路夢舞台国際会議場（兵庫） 42名参加
第11回：2018/10/4-5 AP市ヶ谷（東京） 34名参加

② 課題事後評価会

本研究領域の課題事後評価は、課題事前評価（課題選考会議）と同様の個別面談形式で行った。目的は、さきがけ研究成果の更なる発展と今後のさきがけ研究の方向性について議論を深めることとし、研究者1名ずつプレゼンテーションと議論を行った。

- 一期生課題事後評価会：2016/12/17 JST 東京本部別館（東京）
二期生課題事後評価会：2017/12/13 JST 東京本部別館（東京）
三期生課題事後評価会：2018/12/16 JST 東京本部別館（東京）

なお、事後評価会での結果を受けて、各アドバイザーからのコメント（研究課題に対するアドバイスに加えて、研究者として大きく成長するための視点を含めたアドバイス）を集約し研究者一人一人にフィードバックした。

③ さきがけ/CREST「超空間」合同キックオフミーティング

「超空間」研究領域の合同キックオフミーティングを開催した。同じ戦略目標に属する研究者が集い、人的ネットワーク作り、研究課題の情報交換を目的としたもので、口頭発表、ポスター発表で議論を深めた。

- 日時：2014年3月10日（月） 12:50～18:00
 場所：JST 東京本部別館
 参加：さきがけ/CREST 研究総括、領域アドバイザー、研究者 60名参加

④ さきがけ/CREST「超空間」合同シンポジウム、兼さきがけ成果報告会

日本化学会春季年会の特別企画、コラボレーション企画を活用して、CREST・さきがけ合同シンポジウム「超空間を舞台とする新しい化学」「超空間が拓く革新的機能と新素材」を継続開催した。日本化学会春季年会会場での開催ということもあり、毎回 100 名以上の参加者を得て盛況であった。

(i) 日本化学会第 95 春季年会(2015) 特別企画

「超空間制御」研究領域合同シンポジウム～超空間を舞台とする新しい化学～

□ 日時：2015 年 3 月 26 日(木) 13:40～16:30

□ 場所：日本大学 船橋キャンパス

(ii) 日本化学会 第 96 春季年会 (2016) コラボレーション企画

「超空間制御」研究領域合同シンポジウム～超空間を舞台とする新しい化学～

□ 日時：2016 年 3 月 25 日(金) 13:30～16:40

□ 場所：同志社大学 京田辺キャンパス

(iii) 日本化学会 第 97 春季年会 (2017) コラボレーション企画

「超空間制御」研究領域合同成果シンポジウム～超空間が拓く革新的機能と新素材～

(兼) さきがけ H25 年度採択 (1 期) 成果報告会

□ 日時：2017 年 3 月 18 日(土) 10:00～16:00

□ 場所：慶応義塾大学 日吉キャンパス

(iv) 日本化学会 第 98 春季年会 (2018) コラボレーション企画

「超空間制御」研究領域合同成果シンポジウム～超空間が拓く革新的機能と新素材～

(兼) さきがけ H26 年度採択 (2 期) 成果報告会

□ 日時：2018 年 3 月 21 日(水) 10:00～16:30

□ 場所：日本大学 船橋キャンパス



(v) 日本化学会 第 99 春季年会 (2019) コラボレーション企画 ※予定

「超空間制御」研究領域合同成果シンポジウム～超空間が拓く革新的機能と新素材～

(兼) 研究成果報告会

日時：2019年3月18日(月) 10:00～16:30

場所：甲南大学 岡本キャンパス

⑤ 研究者主導の研究分科会（領域内外での連携）

研究のさらなる加速と成果の最大化を目的とし、研究の現状とその将来像、またステップアップの計画について、目的に応じて、総括、領域アドバイザを含めた拡大会議を実施した。参加者は、分科会の趣旨に応じて、共通の専門性を有する研究者、異分野の研究者などである。

(i) 第1回成果展開検討会 「先鋭会：成果の最大化を目指して」（領域内異分野）

日時：2016年7月8日(金) 12:45～19:15

場所：東北大学東京分室

(ii) 第2回成果展開検討会 「超電子空間制御の会」（共通の専門性）

日時：2017年3月4日(土) 12:15～18:00

場所：JST 東京本部別館（東京）

(iii) 成果展開検討会（超空間・微小エネ・ナノエレ・元素戦略等8領域参加）（領域外異分野） 「ポスト新機能物質開発のための戦略会議」

日時：2017年11月14-15日

場所：東京大学本郷キャンパス（東京）



(iv) 成果展開検討会 「結晶超空間ミーティング1, 2」（共通の専門性）

日時：2017年7月8日(土) 12:30～18:00

日時：2018年7月8日(日) 12:30～18:00

場所：お茶ノ水女子大学（東京）

⑥ 対外向けPR

日本化学会秋季事業「CSJ 化学フェスタ」では、「元素戦略」「分子技術」と連携した物質・

材料の創出に関する紹介、「超空間」の切り口で拓く新しい化学分野の展開の可能性について説明を行った。

(i) 第4回 CSJ 化学フェスタ JST 特別企画

“元素”と“分子”と“空間”の総合制御で未来の物質・材料を生み出そう

- 日時：2014年10月15日(水)
- 場所：タワーホール船堀 10:00～17:10

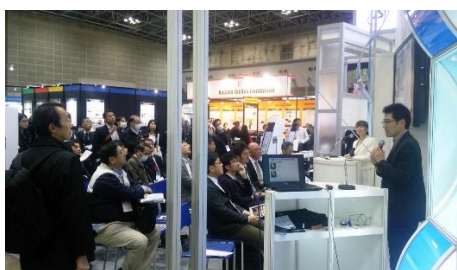
(ii) 第6回 CSJ 化学フェスタ テーマ企画

ナノ空間材料 ～穴ぼこだらけがいい感じ～

- 日時：2016年11月15日(火) 9:30～12:00
- 場所：タワーホール船堀

(iii) nano tech2017

- 日時：2017年2月15日～2月17日
- 場所：東京ビックサイト
- 出展：生越友樹「分子レベルで制御された次世代キラル超空間の創製と機能開拓」
西原洋知「応力で自在に変形する超空間をもつグラフェン系柔軟多孔性材料の調製と機能開拓」
藤森利彦「階層的ナノ空間内の擬高圧光反応による新規導電材料の創製」
小野利彦「多孔性有機結晶の閉塞空間を活用した革新的光エネルギー変換材料の創製」



“超空間” PR 活動 立ち見が出る盛況ぶり
(東京ビックサイトのナノテク展にて)

(iv) JST フェア

- 日時：2017年8月31日～9月1日
- 場所：東京ビックサイト
- 出展：安井隆雄「がん転移メカニズム解明にむけた人工超空間の創製」
※個別相談数 60 件

(v) 新技術説明会@JST 本部別館 1 階

- 日時：2018年3月1日
- 場所：JST 東京本部別館
- 発表：生越友樹「革新的多孔性材料への挑戦」

～リング状分子を並べて作る超空間～
小野利彦「自己組織化を用いた有機固体発光材料」
～燐光発光材料とセンサー素子～

(vi) 雑誌座談会・解説記事による「超空間」PR（現代化学、10月号、頁24-32、2014）

□ 雑誌座談会：

超空間を設計する化学（黒田一幸総括、瀬戸山亨総括、北川進アドバイザー）



写真左から

瀬戸山亨（三菱ケミカル(株) 執行役員/横浜研究所瀬戸山研究室 室長）

黒田一幸（早稲田大学理工学術院 教授）

北川進（京都大学物質－細胞統合システム拠点 拠点長/教授）

□ 解説記事：

- ・「空間制御の歴史」 辰巳敬（東京工業大学 名誉教授）
- ・「儂い穴、頑固な穴」 小谷元子（東北大学 所長/教授、領域アドバイザー）
- ・「ジャイロイドの迷宮」 堂寺知成（近畿大学 教授、領域アドバイザー）

⑦ 国際強化支援（海外武者修行）

さきがけ研究者の育成（共同研究の開始、国際的な研究者感覚や英語でのディベート力の向上等）を目的として、研究者独自で海外著名研究者（室）を訪問し、議論を戦わせる、海外武者修行を実施した。訪問先では小人数による Mini Symposium 開催、研究者との個別議論、共同研究への進展など目的を達成した。各研究者の派遣期間は一週間程度であった。成果の一覧を次ページに纏めた。

第1回海外武者修行：2016年1月21日～1月30日

実施者：10名（2,3名チームでの訪問、1期生）

訪問場所：独（3）、英（2）、仏（1）、スペイン（4） 合計10カ所

第2回海外武者修行：2016年11月18日～2017年3月28日

実施者：8名（2,3名チーム、或いは単独での訪問、2,3期生選抜）

訪問場所：独（6）、英（5）、仏（4）、伊（3）、豪州（2）、スイス、フィンランド（1）
合計22カ所

第3回海外武者修行：2018年1月18日～3月21日

実施者：5名（単独での訪問、3期生）

訪問場所：独（3）、英国（3）、シンガポール（2）、日本（2）、スペイン、スウェーデン、タイ（1） 合計13カ所

進捗している海外連携（成果）

2018年11月20日時点

成果	件数
共同研究開始・継続	17
共著論文	6
研究者の受け入れ	3
学会等への招待	5
情報交換（訪問、国際学会）	20

第6章(3)⑦国際強化支援(海外武者修行)での成果一覧

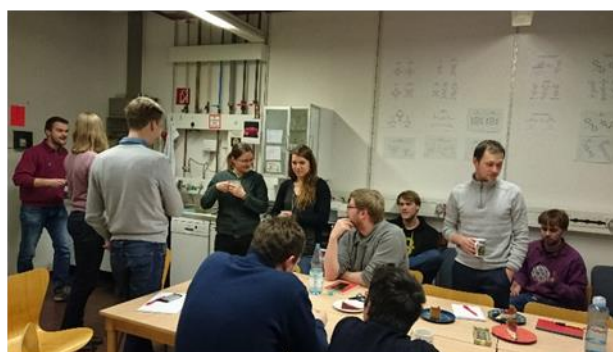
2018.11時点

No	研究者名	訪問先	ステータス	論文など成果
1	内田 さやか	Prof. Lee Cronin	・共同研究 2016/7英国Newcastle, 2017/8中国北京化工大学、 2018/5英国StAndrewsにて keynote, invited speaker 国際会議で紹介頂いた複数の研究者と共同研究進展	①J.Phys. Chem.Lett. (Just Accepted) ・Chemical Science 総説執筆中
2	生越 友樹	Prof. Andrew I Cooper	・共同研究	②J. Am. Chem. Soc. 2018, 140(22), 6921-6930
3	西原 洋知	Prof. Diego Cazorla-Amoros Prof. Emilia Morallon	・共同研究 H30JST/CONCERTプロジェクト申請中 2019CESEP(スペイン)Organizing Cometeeteに参加	③Carbon, 2016, 99, 157-166. ④Adv. Funct. Mater. 2016, 26, 6418-6427. ⑤J. Mater. Chem. A, 2016, 4, 4610-4618. ⑥Carbon, 2018, 129, 510-519. ・共著論文執筆中
4	吉田 浩之	Prof. Claudio Zannoni	・共同研究	ポスター発表(27th ILCC)、論文作成中
5	石渡 晋太郎	Prof. M. Hayward	・共同研究 学科主催セミナーに招聘 熱電材料に関する共同研究(Goodwin)	ペロブスカイト特集号招待論文を投稿(予定) (ChemCommのguest editorとして)
6	安井 隆雄	Dr. Annap Klamchuen	・共同研究	論文投稿中 2019年4月より大学院博士課程を受入(予定)
7	吉田 浩之	Prof. Etienne Brasselet	・共同研究	共著論文執筆中
8	村井 俊介	Prof. Hernán Míguez	・共同研究	共著論文執筆中
9	生越 友樹	Prof. Lee Cronin	・共同研究	
10	村井 俊介	Prof. Jaime Gómez Rivas	・共同研究	
11	小林 浩和	Prof. Ben Slater	・共同研究	理論計算の議論(2018.10来日)
12	小林 浩和	Prof. Fernando Rey García	・共同研究	in situ IR測定結果の議論(2018.9訪問)
13	齋藤 敬	Dr. Chan Anqi Dr. Jayasree Seayad	・共同研究	
14	三宅 亮介	Prof. Guido Clever	・共同研究	
15	安井 隆雄	Prof. Mats Nilsson	・共同研究	共同での予算申請準備中
16	吉田 浩之	Prof. Emmanuelle Lacaze	・共同研究	科研費(国際共同研究加速基金B)応募中
17	吉田 浩之	Prof. Etienne Brasselet	・共同研究	共著論文執筆中
1	西原 洋知	Prof. Juan M. D. Tascon	・ネットワーク継続中(人材交流)	京谷研ポスドクがTasconラボのポスドクに着任
2	坂本 良太	Prof. Felix Zamora	・ネットワーク継続中(人材交流)	2月、8月、計4ヶ月学生派遣を受け入れ
3	野村 淳子	Prof. Fernando Rey Garcia	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	固体酸性質の評価法に関するディスカッション
4	藤森 利彦	Prof. Juan M. D. Tascon	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	CARBON誌の査読依頼が増加
5	村井 俊介	Prof. Philippe Barois	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	研究連携(データ解析)
6	石渡 晋太郎	Dr. S. Dutton	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	
7	石渡 晋太郎	Dr. J. W. G. Bos	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	
8	清水 智子	Dr. Markus Heyde Dr. Takashi Kumagai	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	
9	清水 智子	Prof. Katharina Franke	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	
10	清水 智子	Dr. Sylvain Clair	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	
11	今岡 享稔	Prof. Hannu Häkkinen	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	
12	齋藤 敬	A/Prof. Jun Goto	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	
13	齋藤 敬	Prof. Hitoshi Kasai	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	
14	齋藤 敬	Prof. Kazumi Sada	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	
15	坂本 良太	Prof. Mario Ruben	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	学会に招聘
16	三宅 亮介	Dr. Carlos Martí-Gastaldo	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	
17	山田 高広	Prof. R. Dronskowski	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	
18	山田 高広	Prof. B. Albert	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	2018年9月訪問
19	吉田 浩之	Prof. Giuseppe Strangi	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	
20	吉田 浩之	Prof. Slobodan Zumer Prof. Igor Musevic	・ネットワークが継続中(情報交換など研究連携)	

国際強化支援を活用した“海外武者修行”の様子



※小人数での徹底した議論



※訪問先での議論しやすい雰囲気作り



※必要に応じて開催したミニシンポジウムの様子

⑧ 「超空間」領域内での研究連携

「超空間」研究領域内に於いて研究連携を積極的に推進する活動を展開した。その結果、次ページ一覧に示す多くの成果に繋がった。

- ・ 共同研究フェージビリティスタディ（JST）制度の積極的活用
共同研究の可能性を検討するために、1件1名100万円を上限とした研究費の支援
- ・ 研究連携を視野に入れた領域会議
プレゼンテーションで共同研究の可能性の視点を入れた議論やポスターセッションでの具体的な個別議論の実施
- ・ 領域会議とは別の研究分科会・成果展開検討会（異分野融合、専門分野）の開催
- ・ 上位概念で捉えた研究課題の設定。 さきがけネットワーク、CREST等への発展

⑨ 「超空間」領域外（他のさきがけ領域を含む国内外の研究機関、企業）での研究連携

対外的「超空間」領域のPR活動、さきがけCREST「超空間」合同シンポジウム、JSTフェア、ナノテク展、新技術説明会、雑誌などでの解説、を通して多くの研究連携、研究成果が得られている。成果の一覧を、海外研究機関（国際強化支援を除く）、他研究領域のさきがけ研究者、国内研究機関、企業に分けて示した。

No	研究者名	研究者名	研究課題	論文	特記事項
1	内田さやか	野村淳子	メソポーラスイオン結晶ナノ空間中の水分子の赤外分光法による解析	①Dalton Trans., 45, 2805-2809 (2016) ②Dalton Trans., 46, 3105-3109 (2017) ③Phys. Chem. Chem. Phys., 19, 29077 (2017) ④Chem. Lett., 47, 668-670 (2018) ⑤Acta Cryst. C in Press	
2	生越友樹	西原洋知	ポーラスカーボンの合成・解析	⑥Angew. Chem. Int. Ed., 54, 1-5(2015)	(H29年度)さきがけNW 採択 (H30年度)CREST 採択
3	生越友樹	小野利和	ピラー-[n]アレーンの光学特性評価	⑦Adv. Funct. Mater., 28, 1707369	共同FS課題
4	生越友樹	平尾一	ピラーアレーンの直鎖アルカンの選択的取り込み ピラーアレーンのイソオクタンの選択的取り込み	⑧Chem. Commun., 53, 8577-8580 (2017) ⑨Angew. Chem. Int. Ed., 57, 1592 (2018)	
5	西原洋知	野村淳子	Niサフナノクラスターを担持したZTCのH2吸着特性	⑩J. Mat. Chem. A, 2018, 6, 12523-12531.	
6	野村淳子	平尾一	ゼオライトに関する研究	⑪J. Phys. Chem. C 121, 25411 (2017)	
7	樋口雅一	Sivaniah Easan 金賢得	MOF設計・合成に関する研究	⑫J. Am. Chem. Soc. 139, 11576 (2017)	
8	浅川雅	佐賀佳央	光合成関連タンパク質LH2のサブユニット分解能AFM観察 光合成関連タンパク質LH2のサブユニット分解能AFM観察 色素脱離挙動の理論と実験との関連性を考察(領域外含む)	⑬Biochemistry 56, 3484-3491 (2017) ⑭Biochemistry 57, 3075-3083 (2018) ⑮Biochemistry 57, 3075-3083 (2018)	共同FS課題 共同FS課題 共同FS課題
9	神谷和秀	西原洋知	COFの炭素材料としての展開	⑯Nat. Commun. 2017, 8, 109.	
10	Sivaniah Easan	平尾一	多孔質ガス分離膜技術のフローの研究	⑰Nat. Energy 2, 17086 (2017)	
11	Sivaniah Easan	樋口雅一	MOFメンブレン中のガス輸送に関する研究	⑱J. Am. Chem. Soc. 139, 11576 (2017)	
12	三宅亮介	山田鉄兵	ニッケルペブチド錯体のCO2吸着挙動	⑲Chem. Eur. J 24, 793-797 (2018)	
13	二瓶雅之	平尾一	金属ナノ粒子を取り込むOrganic cageの研究	論文投稿中	
14	猪熊 泰英	浅川雅	探針先端へのゲスト分子の固定化に関する分子設計		
15	内田さやか	齋藤敬	ポリマー内包型メソポーラスイオン結晶の合成		
16	生越友樹	藤森利彦	ピラー-[n]アレーン架橋チューブの合成、機能性硫黄の開発		
17	生越友樹	浅川雅	AFMによるピラー-[5,6]アレーンの配列測定	論文投稿中	
18	生越友樹	一川尚広	ピラー-[n]アレーンの液晶性評価		
19	生越友樹	坂本良太	ピラーアレーン2Dシートモノレイヤーの合成		
20	生越友樹	安井隆雄	水溶性ピラーアレーンによるオリゴペブチド認識		
21	金賢得	樋口雅一 平尾一	効率的な水素貯蔵・輸送を実現する多孔性材料のデザイン		
22	金賢得	立川貴士	DNAオリガミを用いた超精密高次ナノ複合構造体の開発		
23	立川貴士	小野利和	一分子蛍光観察による発光メカニズム解明		
24	立川貴士	内田さやか	メソポーラスイオン結晶ナノ空間内における銀クラスターの発光挙動	論文投稿中	
25	西原洋知	今岡享稔	Pt担持したGMSの応力変化に伴うPt触媒活性		
26	樋口雅一	松田亮太郎			
27	樋口雅一	平尾一	POP-Ru触媒に関する研究、MOFへの水素吸着の研究		
28	藤森利彦	立川貴士	その場光照射SEMプローバを用いた低次元メソ結晶の光伝導度測定		
29	村井俊介	田中良和 久保博	タンパク質の3次元中空結晶を鋳型とするナノロッドの作製		共同FS課題
30	浅川雅	平尾一	グラファイトへの有機分子の吸着に関する研究		
31	神谷和秀	平尾一	COFの研究		
32	神谷和秀	坂本良太	2次元ナノシートのプロトン伝導性		
33	佐賀佳央	平尾一	再構成したタンパク質色素の分光特性の計算化学観点からの考察		
34	佐賀佳央	田中良和	B800脱離LH2タンパク質の結晶構造解析		
35	Sivaniah Easan	村井俊介	COS構造のフォトニック結晶としての光学的解析		
36	二瓶雅之	石渡晋太郎	磁気体積効果に関する研究		
37	二瓶雅之	安井隆雄	癌治療材料への応用		
38	松田亮太郎	齋藤敬	可逆的光応答性を示すアミン誘導体を有するナノポーラス金属錯体の機能開拓		共同FS課題
39	山田鉄兵	平尾一	シクロデキストリンに関する研究		
40	今岡享稔	西原洋知	クラスター担持材料としてGMS (Graphene Meso Sponge) の検討		
41	齋藤敬	吉田浩之	液晶欠陥(空間)を鋳型とする構造制御可能なトポケミカル重合		共同FS課題
42	藤田大士	渡邊峻一郎	ラジカルピン種が有機金属ケージに取り込まれる証拠を掴んだ		共同FS課題
43	三宅亮介	渡邊峻一郎	ペブチド銀錯体の熱分解プロセスで発生するAg(0)-Ag(I)混合状態解析		
44	安井隆雄	猪熊泰英	カルボニルの錯と酸化亜鉛ナノワイヤの特異的結合		
45	安井隆雄	松田亮太郎	酸化亜鉛ナノワイヤ上にMOFの形成		
46	安井隆雄	齋藤敬	ナノスケールの穴によるポリマー合成		

第6章(3)⑨領域外(他のさきがけ研究領域を含む国内外の研究機関、企業)での研究連携

研究者名	連携・共同研究機関	研究課題	共著論文等の研究成果
【海外研究機関】			
1 内田さやか	北京工科大学	ポリオキメタレート化合物を用いた電池材料の開発	①Structure and Bonding, Springer, Vol. 176, p. 65-87 (2018) 博士課程学生受け入れ
2 内田さやか	オーケリッジ国立研究所	POM-PEG 複合体のプロトン状態解析	②J. Phys. Chem. Lett. Ingress
3 生越友樹	アムステルダム大学 A. M. Brouwer	ピラ-アレーンを基にしたロタキサン・光学材料の開発	③Chem. Eur. J. 2018, 24, 6325-6329
4 金賢得	ナンン工科大学 Loh Zhi Heng	Vacancy-Diamondが示す未知電子励起ダイナミクス	④Nature Communications, Vol.7, 13510 (2016)
5 西原洋知	清華大学 Quanhong Yang	磁性変形する撥水ナノカンモリス	⑤ACS Nano, Advanced Science
6 西原洋知	カルガリー大学 George Shimizu	有機金属錯体中に閉じ込められた電子	⑥Chemistry-A European Journal
7 藤森利彦	テキサス大学 Manthiram	Li法による金属硫黄真空ONTを正極とした小型Li-S二次電池	⑦Small (2017), DOI:10.1002/sml.201603768
8 清水智子	マドリード自治大学 Perez	アノターゼ酸化チタン表面へのベンタセン分子の吸着状態	⑧Nature Communications 6, 7265 1-9 (2015)
9 平尾一	南洋理工学 Yanli Zhao	POP内の金属粒子 (Ru) の触媒能の研究	⑨Chem. Eur. J. 2015, 21, 19016-19027
10 平尾一	南洋理工学 John Mondal	POP内の金属粒子 (Pd) の触媒能の研究	⑩ACS Appl. Mater. Interfaces 2016, 8, 15307-15319
11 平尾一	南洋理工学 Xiaodong Chen	アルミナ表面における光化学反応	⑪J. Am. Chem. Soc. 2017, 139, 269-276
12 平尾一	シンガポール国立大学 Dan Zhao	POP内に取込まれた分子の発光に関する研究	⑫Chem. Mater. 2016, 28, 7889-7897
13 藤原敬	Rubly Bently Joseph R. Bellare	電荷エネルギー分離機構の解析	⑬Polym. Chem. 2017, 9, 6927-6937
14 藤原敬	AgroParisTech Florent Allais	リグニンの酵素分解	⑭ACS Sustainable Chem. Eng. 2018, 6, 10097-10107
15 坂本良太	香港浸会大学 Wong, W.-Y.	ジビニル-ポルフィリン配位子を用いた亜鉛錯体ナノシート	⑮Angew. Chem. Int. Ed. 2017, 56, 3526-3530
16 坂本良太	マドリード自治大学 Rapakoussou, A	Huisgen環化反応を利用した有機ナノシートの界面合成	⑯Chem. Eur. J. 2017, 23, 8443-8449
17 内田和良	マックスプランク研究所 Christos Gatsogiannis	クライオ電子顕微鏡によるヘモシアニンの内部構造の解析	⑰Nature Commun., 8, 1512 (2017)
18 渡邊健一郎	Tubingen大学 Frank Schreiber	分子インプラネーション中の高分子半導体の構造解析	⑱Journal of Materials Chemistry C, 5, 12023 (2017)
19 渡邊健一郎	Rutgers大学 Vitaly Porodov	分子インプラネーション中の高分子半導体の電子輸送	⑲Organic Electronics, 47, 139 (2017)
20 藤田伸尚	九州大学 藤田伸尚	トリアミンを基にした原子層型ナノシート	論文執筆中
21 藤田伸尚	上海同済大学 ルハン等	ジャイロイドにおける双晶形成過程およびその詳細な特徴	論文執筆中
22 清水智子	チェコAcademy of Science Jelinek	ポルフィレン, Pd-Au 二次光触媒の研究	論文準備中
23 内田さやか	カルスルー工科大	ポリオキメタレート化合物の吸着特性	
24 西原洋知	Kasetsart Univ. Paisan Kongkachuchay	触媒担体への応用	
25 西原洋知	清華大学 Quanhong Yang	LIB用正極担体としての応用	
26 小野利和	Polish academy of sciences Daniel Gryko	多成分反応を用いた電子豊富なホスト分子の合成	
27 平尾一	ソウラ国立大学 Soon Hywel King	金属錯体表面の反応に関する研究	
28 田中浩之	Ivan Franko National University of Lviv Bohdan Ostalsh	タンパク質の構造解析に関する共同研究を開始	
29 吉田浩之	国立交通大学 Jieh-Wen Tsang	電極パターニングと液晶配向パターニングの相関関係解析	
【さきがけ研究者】			
1 坂本良太	さ「ナノエ」 長夕英輔	界面合成法を駆使したグラフィンの精密合成	①J. Am. Chem. Soc. 2017, 139, 3145-3152.
2 坂本良太	さ「ナノエ」 長夕英輔	トリフェニルをコアとした有するグラフィンを誘導体の合成	②ACS Appl. Mater. Interfaces 2018, DOI:10.1021/acami.800743.
3 佐賀良典	さ「ナノエ」 長夕英輔	電子ドナー分子と受容体分子の複合体の形成	共同FS課題
4 佐賀良典	さ「ナノエ」 長夕英輔	Li2Oの欠陥の形成メカニズム	共同FS課題
5 山田鉄兵	さ「ナノエ」 藤枝徳彦	ケララ空間の可視化	共同FS課題
6 藤原敬	さ「ナノエ」 藤枝徳彦	インクジェットプリンターによるユニフォームポリマーの合成	共同FS課題
7 坂本良太	さ「ナノエ」 藤枝徳彦	ナノメートルの低次元空間を利用した触媒反応の構築	共同FS課題
8 三宅亮介	さ「ナノエ」 藤枝徳彦	異種空間の連動した構造変換を利用する反応探索の自動化	共同FS課題
9 三宅亮介	さ「ナノエ」 藤枝徳彦	柔軟なペーパーが形成する巨大環状結晶の機能探求	
10 安井隆雄	さ「ナノエ」 藤枝徳彦	急速劣化を利用したエコーノーマの選択的分離・回収技術	共同FS課題
11 吉田浩之	さ「ナノエ」 藤枝徳彦	液晶の欠陥への発光性高分子材料の濃縮挙動に関する検討	
【国内研究機関】			
12 山田高広	産総研 池田拓史	放射光・NMR測定による平均および局所結晶構造解析	③J. Phys. Chem. C 2017, 121, 20141-20149
13 吉田浩之	北里大学 吉田純	欠陥層における局所相分離挙動の検討	④27th Int. Liquid Crystal Con. (ILCC 2018)
14 西原洋知	京大、東北大、大阪府立	応力印加による水の強制脱着過程	⑤Carbon (共著論文)
15 西原洋知	岡山大学	水酸化ワランを用いたワラン多孔体(共同研究)	共著論文1件、論文準備中
16 西原洋知	九州大、千葉大、大阪府立	有機物の脱炭素化	有機物の脱炭素化
17 村井優介	NIMS 石井智・長尾志昭	共同研究中、共著論文投稿、グラント獲得(基盤B)	共著論文・基盤B
18 村井優介	北海道大学 中西貴之・長谷川謙哉	共同研究中、共著論文投稿、グラント獲得(基盤B)	論文投稿、基盤B
19 松田英太郎	京都大学 渡邊哲	マイクロリアクターを用いた脂溶性POC創製	特許出願
20 安井隆雄	阪大産研 古賀大尚	ナノセルロースを用いた体液中microRNA検出診断法の開発	出願準備中
21 山田高広	京都大学 高津浩	比熱測定によるジニル化合物の局所振動モードの観測	投稿準備中
22 山田高広	東北大学 藤田基基	中性子非弾性散乱測定による局所振動モードの観測	論文準備中
23 藤原敬	理化学研究所 中村亮	赤色の有機錯体の構造決定	
24 生越友樹	金沢大学 秋篠茂久	単結晶X線構造解析	
25 生越友樹	金沢大学 水野元博	固体NMR解析	
26 生越友樹	大阪大学 久末一朗	2D-ピラ-[6]アレーン集積体の計算による解析	
27 生越友樹	東京工業大学 稲木信介	ピラ-[6]アレーンの部分酸化による集合体の構築	
28 生越友樹	東京工業大学 稲島孝典	GH-XPDによるピラ-[6]アレーン積層構造の解析	
29 金賢得	大阪府立大学 金大貴	量子ドット結晶の光励起ダイナミクス	
30 西原洋知	東京工業大学 室原剛也	COの脱炭素化によるワラン多孔体	
31 村井優介	大阪府立大学 遠藤達也	共同研究中、ナノインクを用いた周期構造作製	
32 小野利和	熊本大学 杉本学	発光メカニズム解明を目的とした量子化学計算	
33 小野利和	兵庫独立大学 阿部正明	DAC下での発光スペクトル測定	
34 小野利和	信州大学 吉田裕安村	電界効果を用いた発光性ナノファイバーの創製	
35 佐賀良典	関西学院大学 橋本秀樹	タンバク質の時間分解分光法による励起ダイナミクス	
36 清水智子	大阪府立大学 長浦理恵	多孔性有機薄膜のAFM測定	
37 二瓶博之	分子科学研究所 近藤謙哉、正岡肇行	ナノ粒子による触媒活性	
38 藤原敬	理化学研究所 吉川浩史	Li二次イオン電池への応用研究	
39 三宅亮介	山形大学 金井輝彦	2次元配列を持つナノドット結晶の機能探求	
40 吉田浩之	理化学研究所 荒間史人、謝啓史	ピロジナルリソト構造と配向欠陥の相互作用の解明	
【企業】			
1 山田高広	K社	メソ結晶光触媒の実用化(共同研究)	A-STECI-様
2 西原洋知	ANA	DMOの共同開発によるワラン多孔体(共同研究)	①Advanced Functional Materials (共著論文)
3 西原洋知	N社	液体メソ結晶の高性能化の熱安定性(共同研究)	1)特許出願1件、論文準備中
4 西原洋知	T社	高電圧キャパシタへの応用(共同研究)	2)特許出願2件、論文準備中
5 樋口雅一	P社	MOFサンプル評価	④PCT/JP2015/055228 (WO2015129685A1)
6 小野利和	N社	有機発光材料の耐久性、応用展開	5)特許出願
7 豊玉彰子	A社	実用化に向けた共同研究を開始	6)特許出願
8 豊玉彰子	T社	装置開発に関する共同研究を開始	7)特許出願
9 樋口雅一	M(S&T社) (現M&S社)	MOF材料開発	①技術移転 (ベンチャー立ち上げ)
10 樋口雅一	D社	撥水性材料開発	技術移転活動を継続
11 安井隆雄	T社	尿中microRNA抽出までの自動化装置の開発	共同FS課題
12 安井隆雄	Icaria(株)	尿中microRNA解析法ベンチャー立ち上げ	②技術移転 (ベンチャー立ち上げ)、JST/SUCCESS申請中、NEDO/STS採択
13 西原洋知	N社	全周面LiSへの応用(共同研究)	
14 西原洋知	K社	LIB正極用の有機ワラン担体への応用	
15 西原洋知	J社	リチウムイオンキャパシタへの応用(共同研究)	
16 野村淳子	T社	ハブリッド型スーパーキャパシタの開発	
17 藤森利彦	Y社	機能性電質の用途開発	
18 村井優介	S社	疑似白光源の試作に成功	
19 小野利和	R社	DAC下での単結晶X線構造解析	
20 神谷和秀	P社	非公開	

(4) 人材の輩出・成長の状況

① 昇任

准教授→教授	5名	生越友樹（金沢大） 佐賀佳央（近大） Sivaniah Easan（京大） 松田亮太郎（京大→名大） 田中良和（北大→東北大）
講師→Senior Lecturer	1名	齋藤敬（豪州 Monash 大）
助教→准教授	5名	猪熊泰英（東大→北大） 立川貴士（阪大→神戸大） 浅川雅（金沢大） 藤田大士（東大→京大） 安井隆雄（名大）
主任研究員→准教授	1名	清水智子（NIMS→慶大）※終了翌月
助教→講師	1名	三宅亮介（お茶の水女子大）
助教→特任准教授	1名	一川尚広（東京農工大）
さきがけ専任→特任准教授	1名	渡邊峻一郎（東大）
さきがけ専任→助教	1名	織田晃（岡山大→名大）

② 主な表彰・受賞

○文部科学大臣表彰 若手科学者賞：

生越友樹（2014）、内田さやか（2014）、猪熊泰英（2015）、松田亮太郎（2015）
小林浩和（2016）、今岡享稔（2017）、村井俊介（2018）、清水智子（2018）
坂本良太（2018）

○日本化学会 進歩賞： 猪熊泰英（2014）、小林浩和（2015）、坂本良太（2015）
藤田大士（2018）、安井隆雄（2018）

○日本化学会 女性化学者奨励賞： 内田さやか（2013）

○ナイスステップな研究者： 猪熊泰英（2014）

○Honda-Fujishima Prize： 神谷和秀（2017）

○新化学技術研究奨励賞 ステップアップ賞： 山田鉄兵（2017）

○新化学技術研究奨励賞： 金賢得（2016）

○Chemist Award BCA MBLA： 生越友樹（2016）

③ さきがけ研究課題のステージアップ

(i) 生越友樹研究者

さきがけ「超空間」→H29 さきがけネットワーク「化学」→H30CREST「革新的反応」

生越友樹研究者の「有機分子をビルディングブロックとした有機系結晶多孔体技術」と西原洋研究者の「多孔性カーボン材料の緻密な分子構造設計技術」が連携した研究課題が H29 年度さきがけネットワーク（化学分野）に採択された。

研究課題名：有機化学的手法による結晶性 3 次元カーボン構造体の合成

研究代表者：生越友樹（金沢大学）

研究グループ：

生越グループ 生越友樹（さ超空間）、畠山琢次（さ元素戦略）

西原グループ 西原洋、浅川雅、平尾一（さ超空間）

坂本グループ 坂本良太（さ超空間）

神谷グループ 神谷和秀（さ超空間）

仁科グループ 仁科勇太（さ分子技術）

さらに、同一の研究チームで H30 年度 CREST「新たな生産プロセス構築のための電子やイオン等の能動的制御による革新的反応技術の創出」に採択された。

研究領域名：新たな生産プロセス構築のための電子やイオン等の能動的制御による革新的反応技術の創出

研究課題名：新物質群「3 次元カーボン構造体」と革新的触媒反応

研究代表者：生越友樹（金沢大学）

(ii) 立川貴士研究者

さきがけ「超空間」→H30_A-STEP「産学共同フェーズ」（研究成果最適展開支援）

立川貴士研究者の「ナノ粒子の高次空間制御による高効率光エネルギー変換系材料技術」と（株）カネカの保有する実用化技術が連携した課題が H30 年度 A-STEP 産学共同フェーズ（シーズ育成タイプ FS）に採択された。

課題名：太陽光水素製造・利用システムの社会実装を可能とする高効率ヘマタイトメソ結晶光電極の開発

(iii) 安井隆雄研究者

さきがけ「超空間」→H30 JST SUCCESS（出資型新事業創出支援）

→H30 NEDO STS (Seed-stage Technology-based Startups)

(5) 研究費の追加支援と導入設備等一覧 (1,000 千円以上の案件)

年度	氏名	金額(千円)	目的	
H27	猪熊 泰英	1,000	カルボニルによるホスト結晶の合成 (有機合成装置)	
	生越 友樹	2,500	2Dピラーアレーンシートの合成 (偏光フィルム測定ユニット)	
	阪本 康弘	4,400	TEM観察工程合理化のための加熱ステージの導入等	
	西原 洋知	3,141	柔軟炭素材料開発のための有機合成手法開発 (MW合成装置)	
	藤森 利彦	4,900	CNT間隙へのハロゲン導入による機能発現 (UV-VIS-NIR分光装置) 等	
	村井 俊介	1,000	プラズマモニタリングモードでのリン光寿命測定による機能評価	
	浅川 雅	1,100	ホスト固定状態を評価するための光学顕微鏡	
	石渡 晋太郎	2,040	超高压合成装置への熱起電力測定装置の機能付加	
	小野 利和	4,000	リン光発光メカニズム解明 (長寿命リン光寿命測定装置)	
	神谷 和秀	3,100	COF細孔内イオン伝導評価用交流インピーダンス測定装置	
	清水 智子	7,000	ラマン散乱測定を可能とするAFM/光複合装置 (SPMコントローラ)	
	松田 亮太郎	6,200	粉末X線回折装置 (研究環境立ち上げ)	
H28	山田 鉄兵	2,500	柔軟性結晶の固体間相転移を利用した熱電変換系の評価装置	
	猪熊 泰英	2,000	合成実験装置の増強 (研究環境立ち上げ)	
	生越 友樹	2,000	合成実験装置の増強	
	阪本 康弘	1,000	東北大TEM実験による支援	
	西原 洋知	2,000	モノリス合成用高温焼成炉	
	浅川 雅	2,400	カンチレバー振動制御技術構築のためのマイクロマニピュレータ	
	石渡 晋太郎	1,000	高压セル関連消耗材料	
	小野 利和	1,000	蛍光 (含むリン光) 寿命測定装置の長寿命測定改造	
	清水 智子	1,000	ロードロック用排気ポンプ、放射温度計	
	齋藤 敬	2,140	液滴量制御 (ディスプレイセンサー) によるユニポリマー合成技術	
	田中 良和	3,400	実験環境立ち上げ	
	安井 隆雄	4,000	ナノワイヤ合成用マルチターゲットコンパクトコーター	
H29	小野 利和	2,900	長寿命燐光発光ナノファイバーの開発 (紡糸装置)	
	平尾 一	3,500	計算機使用料、計算機 (研究環境立ち上げ)	
	平尾 一	1,000	機械学習用ソフトウェア	
	松田 亮太郎	1,850	ESRのその場観察測定システムの移設・改造 (研究環境立ち上げ)	
	阪本 良太	4,000	ナノクリックシートの基本物性評価 (ガス・蒸気吸着測定装置)	
	田中 良和	1,800	クライオ電顕を用いた構造解析の実施	
H30	安井 隆雄	4,000	ナノワイヤの選択的捕捉性の解明 (偏光赤外多角入射分光装置)	
	織田 晃	2,000	金属オキシル含有ゼオライト合成装置の改造	
	田中 良和	2,410	実験装置の更新等	
	三宅 亮介	1,600	複合空間機能予測のためのソフトウェア	
	山田 高広	1,350	精密温度制御高温環状炉	
	阪本 良太	2,500	研究加速のための人材雇用	
H27	吉田 浩之	1,540	パターンニング用露光機修理 (大阪北部地震被災)	
	金 賢得	1,000	共同研究FS: 電荷分離ダイナミクス解明 (物質変換: 坂本研究者)	
	小野 利和	1,000	共同研究FS: 天然素材を用いたリン光発光材料 (太陽光: 小堀研究者)	
	H28	小野 利和	1,000	共同研究FS: ビラレンを用いたリン光発光材料 (超空間: 生越研究者)
		阪本 良太	1,000	共同研究FS: 触媒機能を有するクワックシート (革新的触媒: 邨次研究者)
	H29	安井 隆雄	1,000	共同研究FS: 液液界面による μ -RNA選択的分離・回収 (1細胞: 福山研究者)
		田中 良和	1,000	共同研究FS: プラズマモックアップ作成 (超空間: 村井研究者)
		藤田 大士	1,000	共同研究FS: 液晶中の欠陥を鋳型としたトポケミカル重合 (超空間)
		渡邊 峻一郎	1,000	共同研究FS: 空間運動型反応ターゲット絞り込み (マインフォ: 森研究者)
		三宅 亮介	1,000	共同研究FS: 空間運動型反応ターゲット絞り込み (マインフォ: 森研究者)
	安井 隆雄	1,000	共同研究FS: microRNA抽出の自動化装置の作成準備 (東レエンジ)	
	合計		105,271	

小野利和: リン光発光メカニズムの解明 (~1s 長寿命のリン光寿命 (τ) 測定装置導入
清水智子: 吸着分子の化学的解析を目的としたラマン散乱測定機能を追加した AFM 開発
安井隆雄: ナノワイヤの選択的捕捉性解明のための表面構造解析装置導入
坂本良太: ナノシートの機能性バルク材料展開のためのガス吸着特性評価装置導入

7. 研究領域としての戦略目標の達成状況について

さきがけ「超空間」では、1期生11名、2期生13名、3期生14名の合計38名の研究者を採択し、環境、エネルギー、医療・健康をはじめとする様々なニーズに対応できる革新的機能材料群の創製を目指した。これらを実現するためには、有機無機材料の合成のみならず「物理学的」「工学的」「生物学的」「医学・薬学的」など多角的な視点を持ち合わせる事が重要であると考え、さまざまな分野の「連携・融合」を目指した。加えて、最先端の評価・解析技術、計算科学との協働も重要視し、さきがけ内外での研究連携が開始、具体的な機能創製に繋がる多くの研究成果が生まれた。国際連携については特に注力し、国際強化支援（海外武者修行）を最大限活用して、海外研究機関、研究者との多くの共同研究、共著論文、研究連携を行った。

(1) 研究成果の達成状況

研究領域全体での成果は、論文337報、学会等での招待講演件数521件（口頭発表総数1182件）、特許出願45件と多くの研究成果を発信することができたと考えている。

学術論文としては、Nature系雑誌：22件、Journal of the American Chemical Society：23件、Angewandte Chemie International Edition：25件を始め多くの著名な国際学術誌に掲載されている。

さきがけ「超空間」領域で、特徴的、かつ重要であると思われる研究成果を以下に述べる。

① 領域全体として見た場合の特筆すべき研究成果

(事例1) 生越友樹研究者（1期）

「分子レベルで制御された次世代キラル超空間の創成と機能開拓」

研究者が独自に見出し、新しい物質群の潮流を形成したリング状有機空間物質「Pillar[n]arene」（ピラーアレーン）について、その柱構造を活かした集積化や構造制御、集積体の分離特性を用いたオクタン価向上、分子レベルで制御された空間を有する炭素材料の創出（西原洋知との共同研究に発展、H29年度さきがけネットワーク「化学領域」、H30年度CREST「革新的反応」に採択）など、オリジナリティーのある研究を推し進め、ピラーアレーンを基礎研究から材料へと昇華することに成功した。それらの研究成果は、著名な国際誌を中心に原著論文・総説・著書を発表、国際招待講演を行った。特に、Monographs in Supramolecular Chemistry シリーズ（王立化学会）に単独Editorとする書籍“Pillararenes（2016）”を刊行、さらに、総説誌Chem. Rev. 誌（アメリカ化学会）にピラーアレーンに関する総説論文を掲載し、この領域を開拓したパイオニアとして、国際的なイニシアティブを確立している。これらの成果によって、平成26年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞、基礎有機化学会野副記念奨励賞（2016年）、MSD生命科学財団BCA/MBLA（2016年）など多くの受賞実績を得るに至っている。

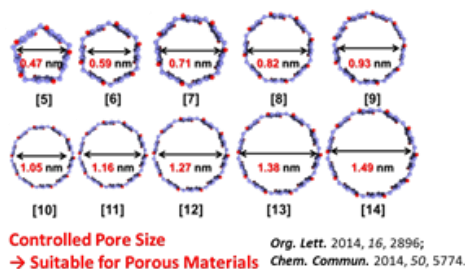


図1 0.47 nmから1.49 nmまで分子レベルで制御された空間を有するピラー[n]アレーン (n = 5-14).

論文

Ogoshi, T.; Yoshikoshi, K.; Sueto, R.; Nishihara, H.; Yamagishi, T.

“Porous Carbon Fibers Containing Angstrom-Level Controlled Pores from Pillar[6]arene Cavity Size by Calcination of Two Dimensional Porous Sheets”

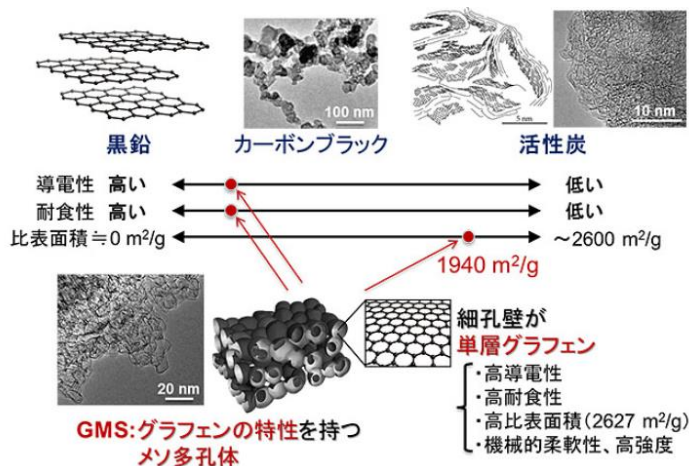
Angew. Chem. Int. Ed. 2015, 54, 6466-6469. 【被引用数：26】

概要：六角柱環状分子ピラー[6]アレーンを集積化させ2次元ナノシートを合成し、焼成を行うと、ピラー[6]アレーンの空孔サイズを保持したポーラスカーボンが得られた。耐熱性の高いヘキサゴナルパッキング構造の形成により、構造が制御されたポーラスカーボンを得ることができた。

(事例2) 西原洋知研究者 (1期)

「応力で自在に変形する超空間をもつグラフェン系柔軟多孔性材料の調製と機能開拓」

弾性変形する超空間に焦点を絞り、研究者独自の物質であるGMS(グラフェンメソスポンジ)の開発に成功した。GMSは従来の炭素材料とは異なり、三次元的な骨格構造を有するグラフェン多孔体である。高導電性、高耐食性、高比表面積、さらに機械的柔軟性/高強度を兼ね持つ炭素材料であり、吸着や触媒、電池等エネルギー関連炭素材料等への展開が可能であるため、学術的・産業的に高く評価されている。多く共同研究が進行中であるほか、複数の企業から引き合いを受け実用化に向けた検討も進行中である。



論文

Hiroto Nishihara, Tomoya Simura, Shunsuke Kobayashi, Keita Nomura, Raúl Berenguer, Masashi Ito, Masanobu Uchimura, Hiroshi Iden, Kazuki Arihara, Atsushi Ohma, Yuichiro Hayasaka, Takashi Kyotani,

“Oxidation-Resistant and Elastic Mesoporous Carbon with Single-Layer Graphene Walls”

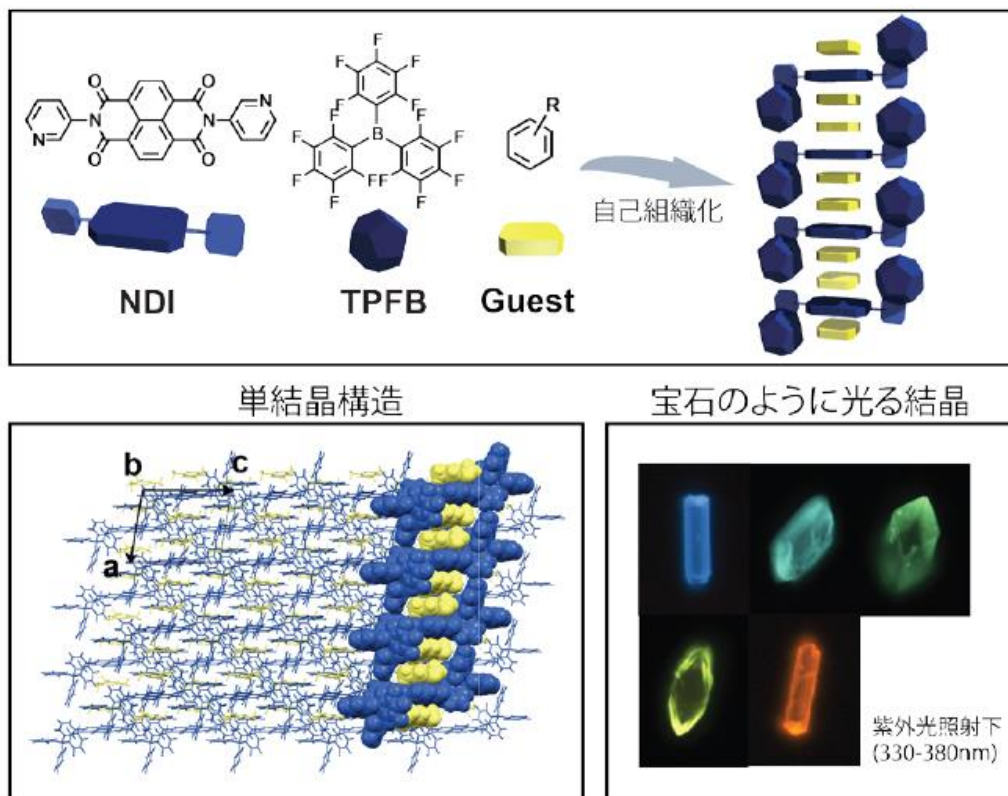
Advanced Functional Materials, 2016, 26, 6418-6427 【被引用数：13】

概要：単層グラフェンを細孔壁とするメソ多孔質炭素「グラフェンメソスポンジ」を開発した。グラフェンの利点である、高比表面積、高導電率、耐腐食性を併せ持ち、なおかつ機械的な柔軟性に富むユニークなカーボン材料であり、超高電圧キャパシタ、高耐久の触媒担体、新型エアコンへの利用など様々な応用が期待される。

(事例3) 小野利和研究者 (2期)

「多孔性有機結晶の閉塞空間を活用した革新的光エネルギー変換材料の創製」

閉塞空間内に有機物質群の導入により室温でリン光発光が得られることを見いだした。リン光/蛍光の制御、スイッチング、色制御、高発光量子収率、長寿命化など、応用に向けた材料設計技術を構築し、光機能特性を利用したガスセンサー、圧力センサー、酸素センサーへの応用など、学術的、社会的にも広く興味もたれる材料技術となりつつある。



論文

Toshikazu Ono*, Manabu Sugimoto, Yoshio Hisaeda*

“Multicomponent Molecular Puzzles for Photofunction Design: Emission Color Variation in Lewis Acid-Base Pair Crystals Coupled with Guest-to-Host”

J. Am. Chem. Soc. 2015, 137(30), 9519-9522 【被引用数：32】

概要：多成分系分子の自己組織化を利用して、パズルの要領で分子を並べ、紫外光照射下で多色発光する有機固体発光材料の創製を行った。重金属を含まず、安心、安全、簡便な機能性色素のあらたな調製法を提示した。

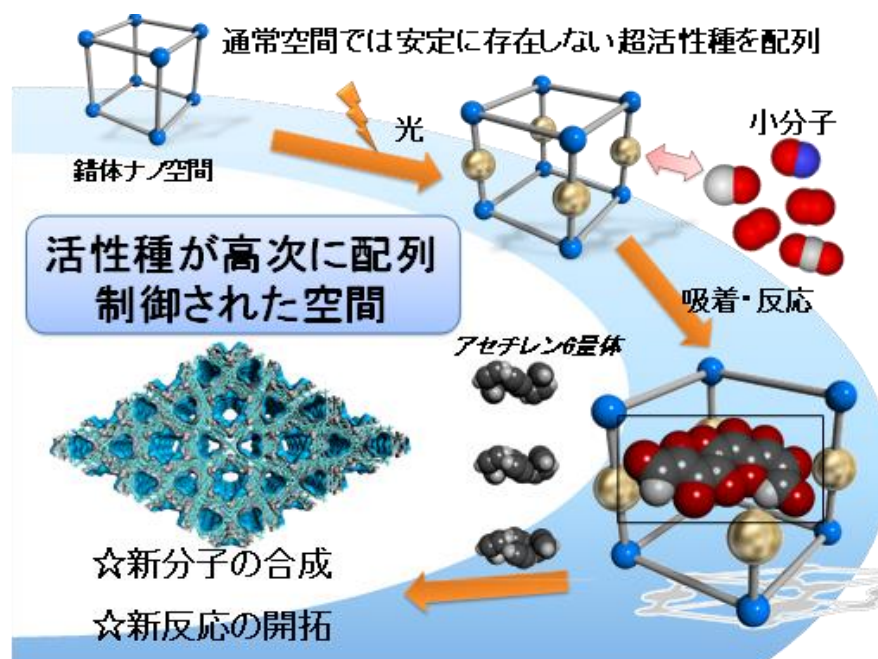
(事例4) 松田亮太郎研究者 (2期)

「超活性種の自在発生による未知化学種の実現と吸着・物質科学の新展開」

通常空間では安定に存在し得ない超活性種を PCP ナノ空間内に規則的あるいは階層的に発生させ、取り込まれたゲスト分子との相互作用によって、未知化学種の合成とその合成プロセスを明確にし、吸着化学や分子変換化学へのプラットフォームを構築した。

具体的には、活性種である非配位状態の窒素原子を PCP ナノ空間内に導入し、この窒素原子を起点として未知化学種である「アセチレン六量体クラスター」の合成に成功し、さらに、本物質がゲート型吸着現象を示すことも発見した。従来ゲート型吸着現象は PCP の動的構造特性に起因するものと考えられていたが、活性種を起点とした分子クラスター化によっても同様な現象が実現できることを実証して明示した。

基礎的な研究課題であるが、新規な化学種や特異的な現象が従来材料では不可能とされていた機能を発現が期待される。



論文

Yunsheng Ma, Ryotaro Matsuda*, Hiroshi Sato, Yuh Hijikata, Liangchun Li, Shinpei Kusaka, Mawlin Foo, Fengfeng Xue, George Akiyama, Rongxin Yuan, Susumu Kitagawa*

“A Convenient Strategy for Designing a Soft Nanospace: An Atomic Exchange in a Ligand with Isostructural Frameworks”

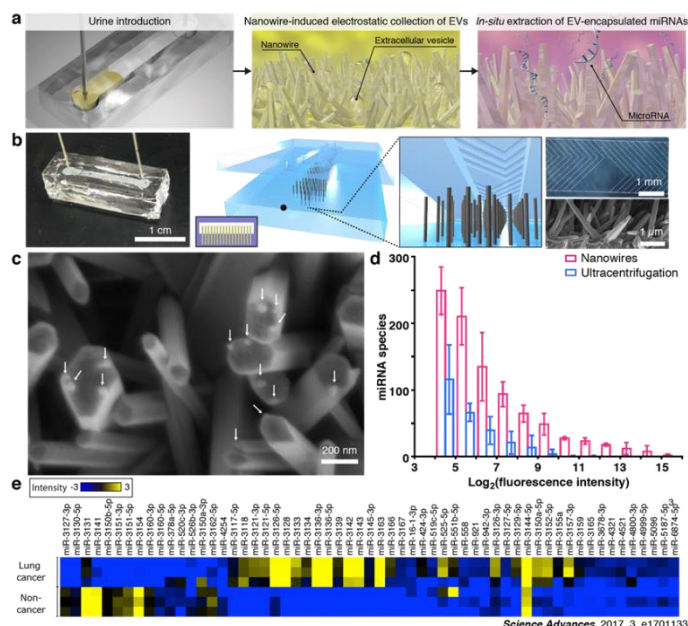
J. Am. Chem. Soc., 2015, 137 (50), pp 15825-15832 【被引用数：14】

概要：細孔内部表面に活性種である窒素原子を露出させた新規ナノ空間物質を合成、窒素原子を起点に未知の化学種である「アセチレン六量体クラスター」の合成に成功、本物質がゲート型吸着現象を示すことも発見し、POCを達成した。

(事例5) 安井隆雄研究者 (3期)

「がん転移メカニズム解明に向けた人工超空間の創製」

人工超空間の創製技術(微細流路中に「狙った空間位置」に「狙った材料・表面」で「狙った大きさ・空間空隙」を設計)を駆使し、がん細胞から正常細胞へ輸送されるエクソソーム解析を可能とし、1mLの尿による非侵襲がん発症前診断の実現に大きく近づいた。実用化に向け、本研究成果に基づいたベンチャー企業 Icaria (株) を共同創立し、尿中 microRNA を用いた早期がん診断技術の普及を進めている。



- (a) ナノワイヤ空間を用いた尿中エクソソーム捕捉と microRNA 回収
- (b) ナノワイヤ空間を有するデバイス
- (c) ナノワイヤ空間に捕捉されたエクソソームの SEM 画像 (矢印がエクソソームを示す)
- (d) microRNA 回収種類比較(超遠心 vs. ナノワイヤ空間)
- (e) 肺がん vs. 非がんの発現 microRNA 比較

論文

T. Yasui, T. Yanagida, S. Ito, Y. Konakade, D. Takeshita, T. Naganawa, K. Nagashima, T. Shimada, N. Kaji, Y. Nakamura, I. A. Thiodorus, Y. He, S. Rahong, M. Kanai, H. Yukawa, T. Ochiya, T. Kawai and Y. Baba,

“Unveiling massive numbers of cancer-related urinary-microRNA candidates via nanowires”

Science Advances, 2017, 3, e1701133. 【被引用数：5】

概要：酸化亜鉛ナノワイヤによるナノ空間を作製し、尿中の細胞外小胞体を99%以上捕捉した。その細胞外小胞体からmicroRNAを抽出すると従来方法(300種類程度)に比べ、1300種類以上のmicroRNAを発見することに成功した。またがん患者と非がん患者の尿中microRNA比較により各種がんを診断可能であることを示した。

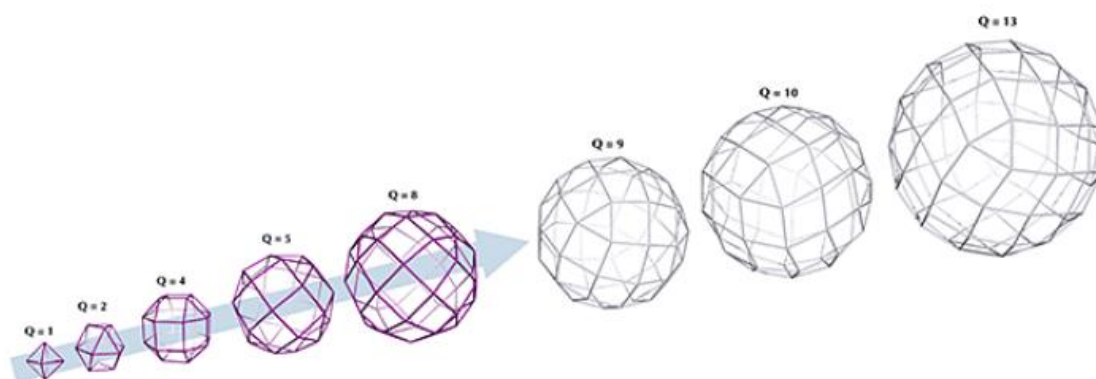
(事例6) 藤田大士研究者 (3期)

「自己集合が導き出す新規多面体群：物質合成と数学的考察」

三次元空間にかかる幾何学的な制約を分子設計に組み込み、これまでに類をみない新物質(多面体型(二十・十二面体)の巨大中空分子)を合成することに成功した。さらに、これまでは経験論に頼っていた自己集合系のデザインに、新たに数学(具体的にはグラフ理論)を用いた自己集合現象を説明する仮説を構築し、実験的にその仮説を実証した。

具体的には、世界で初めて、4価のゴールドバーク多面体構造をとる物質群の存在を発見し、人工的に作ることに成功した。

この設計指針は、合成可能な幾何構造に特定の上限值を持たないことを示しており、自己集合の化学にさらなる可能性をもたらすことが期待される。C&EN ニュース、Chemistry Worldにも論文成果が紹介された。



4価ゴールドバーク多面体群 (左の5種が実験で存在が確認された)

論文

D. Fujita, Y. Ueda, S. Sato, N. Mizuno, T. Kumasaka, M. Fujita

“Self-assembly of tetravalent Goldberg polyhedra from 144 small components”

Nature. 2016, 540, 563-566. 【被引用数：105】

概要：世界で初めて、4価（それぞれの頂点に4つの辺が接続）ゴールドバーグ多面体構造を有する物質群の存在を発見、さらに人工的に合成することに成功した。自己集合の本質に迫る研究であり、タンパク質の超分子構造、ウイルスの骨格構造など巨大分子構造の設計につながる。

②さきがけ「超空間」領域内共同研究の実績

※詳細は、本資料「6章(3)⑧ 「超空間」領域内の研究連携」を参照

研究連携を意識した領域会議の実施、また、積極的な研究分科会（有志）の開催などを通して、活発な領域内共同研究を開始し、共著論文、共同出願などの成果に繋がった。

- (i) 共同研究の開始 (46 件)
- (ii) 共著論文 (19 報)
- (iii) 共同出願特許 (3 件)

さらに、生越研究者、西原研究者を中心とした研究課題において、平成 29 年度さきがけネットワーク（化学領域）、平成 30 年度 CREST「革新的反応」研究領域への採択へ発展した。

③さきがけ「超空間」領域外（他さきがけ領域を含む国内外の研究機関）共同研究の実績

※詳細は、本資料「6章(3)⑦ 国際強化支援（海外武者修行）、6章(3)⑨ 領域外の研究連携」を参照

JST 国際強化支援、共同研究フィージビリティスタディ制度（研究支援）等を活用して、さきがけ領域外研究者、産業界など幅広く連携を進めた。その結果、共同研究、共著論文、共願特許出願などの成果に繋がった。

- (i) 共同研究の開始（海外：47 件、国内：40 件）
- (ii) 共著論文（海外：27 報、国内：5 報）
- (ii) 共同出願特許（2 件）

(2) 科学技術イノベーションに寄与する成果の見通し（企業との連携）

※詳細は、本資料「6章(3)⑨ 領域外の研究連携」を参照

研究のステージに合わせて、ナノテク展、JST フェア、新技術説明会等で対外的な PR 活動を行い、企業との連携を積極的に図った。成果を以下に示す。

- ① 共同研究の開始 20 件
- ② 特許出願実績 7 件（共願特許）
- ③ 共著論文 1 件
- ④ ベンチャー立ち上げ 2 件（技術移転）
- ⑤ ファンド獲得 2 件（JST:A-STEP 採択、NEDO:STS 採択、JST:SUCCESS 申請中）

(3) プレスリリース

以下に記すプレスリリースを行った。

① 研究機関/JST 共同発表

- 1-1. 2016年7月8日 **藤田大士** (東京大学)
幾何学の定理を活用したものづくり
- 1-2. 2016年7月14日 **西原洋知** (東北大学)
導電性・耐食性に優れた大表面積スポンジ状グラフェンの開発に成功
- 1-3. 2016年12月22日 **藤田大士** (東京大学)
分子の自己集合現象の解明に迫る物質群の存在を発見
- 1-4. 2017年4月10日 **立川貴士** (神戸大学)
水素生成量が1桁増加する光触媒の開発に成功
- 1-5. 2017年4月17日 **生越友樹** (金沢大学)
ガス分子のサイズと形状を色の変化で見分け安定に貯蔵できる新たな空間材料
- 1-6. 2017年12月16日 **安井隆雄** (名古屋大学)
尿中マイクロRNAから「癌」を特定
- 1-7. 2018年4月19日 **猪熊泰英** (北海道大学)
ヒントは粘土 有機ナノ構造を自在に作るカルボニルひもを開発
- 1-8. 2018年10月26日 **石渡晋太郎** (東京大学)
膨張させるとスピン配列がねじれる磁石の発見

② 研究機関単独発表

- 2-1. 2014年1月22日 **立川貴士** (大阪大学)
p型およびn型半導体ナノ粒子からなる金属酸化物メソ結晶の合成に成功
- 2-2. 2014年6月27日 **樋口雅一** (京都大学)
気体や有機分子を取り込む超撥水性材料を開発
- 2-3. 2015年6月29日 **清水智子** (NIMS)
アナターゼ型酸化チタン表面を構成する原子の種類の特定に成功
- 2-4. 2015年7月31日 **小野利和** (九州大学)
世界初! パズルの要領で分子を並べ、新しい機能性色素を作る技術を開発
- 2-5. 2016年2月1日 **石渡晋太郎** (東京大学)
質量ゼロのディラック電子の流れを制御できる新しい磁石を発見
- 2-6. 2016年5月10日 **渡邊峻一郎** (東京大学)
導電性ポリマーの電気が流れる仕組みを解明し、「金属化」するプラスチックを実現
- 2-7. 2016年9月20日 **神谷和秀** (大阪大学)
白金使用量を約80%削減した燃料電池の電極を開発

- 2-8. 2016年11月14日 **石渡晋太郎** (東京大学)
極性構造歪みの制御を通じた熱電変換効率の向上に成功
- 2-9. 2017年4月25日 **田中良和** (北海道大学)
細胞内における硫黄修飾の新たな反応機構を解明 –ミトコンドリア機能制御の研究に手がかり–
- 2-10. 2017年7月25日 **西原洋知** (東北大学)
カーボンの中に金属が規則配列した触媒-CO₂削減や燃料電池の白金代替に期待–
- 2-11. 2017年8月1日 **渡邊峻一郎** (東京大学)
世界初、有機半導体の電荷とスピンの緩和機構を解明 –室温有機スピントロニクスとシリコンに迫る高速有機エレクトロニクスに道–
- 2-12. 2017年9月26日 **今岡享稔** (東京工業大学)
数原子からなる白金クラスター触媒の大量合成に成功 –従来よりも1,000倍以上の効率で–

8. 総合所見

(1) 研究領域としての研究成果の見通し

本資料に示すように、従来の空間物質の枠を超えた画期的成果が続出しており、これまでの多孔質物質の範疇を超える多様な空間を有する新物質創製が進み、それらの革新的機能創成も継続して展開され、超空間制御がカバーする科学技術が拡大し、今後も我が国における空間材料関連領域の拡がりや研究推進が強力に発展する見通しである。

研究成果は論文、特許などで2018年11月現在、Nature誌1報を含みNature姉妹誌22報、Science Advances誌6報、J. Am. Chem. Soc.誌 Angewandte Chemie International Edition誌等には多数の論文が掲載され、総論文数337報、国際特許6件含む計45件の特許出願、国際会議における数多くの招待講演により明白である。国際共同研究も広がっており、空間・空隙をキーワードに当領域が大きく拡大しており、さきがけ研究者の今後の研究発展も十分期待できる。

研究成果に加えて、さきがけ超空間研究者の著しい成長も大きな成果である。准教授から教授への昇格5名を含む14名の昇格があった。日本化学会進歩賞4名、文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞者も9名を数えるなど大きな成果を挙げた。

(2) 研究領域のマネジメントについて

採択、運営の両面から記述する。さきがけ研究提案の採択基準は、1. 独創的、挑戦的、革新的か、2. 空間・空隙の本質的役割が明確か、3. 研究計画が実行可能であることの裏づけをしっかりと示しているか、4. さきがけ採用で飛躍が期待できるか、であった。加えて研究分野のバランス、研究者同士の連携可能性、異分野融合の視点も加え選考した。

当領域内外にわたる広範なさきがけ研究者間共同研究を強く推奨し、異なる思想、研究動機、方法論等に触れてもらい、領域会議を中心に真剣に議論を継続した。年2回の合宿形式領域会議を基本にしつつ、適宜フォーカスを絞ったミニ会議、研究者らの自主的研究会を織り交ぜて運営した。また、テーマが挑戦的であるが故に研究進捗が滞る研究者に対しては、見守りつつもタイミングを見計らって個別にフォローした。当領域ではさきがけ研究者が希望した場合には、領域アドバイザーがメンターとして、個別に研究者と面談・激励する機会を設け、研究者はアドバイザーを訪問して直接議論し、アドバイザーが研究者の背中を押す機会を設定し、さきがけ研究者が飛躍するきっかけとなった。アドバイザーの方々は献身的に若手研究者と連携をとって下さり、通常の領域アドバイザーに期待される役割以上のご貢献を頂いた。ここに記し深く感謝する。

(3) 本研究領域を設定したことの意義

空間・空隙の科学技術は、多孔質物質の従来の概念・枠組みを大きく超え、材料創製を

先導するコンセプトの一つとして極めて重要な役割を果たしている。本研究領域の設定により機能材料創製における主要パラメータとして空間を意識する感覚が当領域さきがけ研究者では普遍的になりつつあり、我が国における独自の材料創製の感覚を醸成する上で極めて有効である。その意味からも物質材料に関わる基礎科学と応用の今後の展開において、超空間制御の概念が有効に機能することを確信させる意義深い領域設定であったと判断する。

(4) 今後への期待や展望

当研究領域 38 名のさきがけ研究者の中でも一期生はすでに領域での活動を終了して 2 年近くなるが、いずれも各分野での活躍が顕著であり、我が国の化学系、材料系若手研究者として目立った活躍を展開している。上記論文成果からも評価できるように我が国のトップレベル研究者になり得る逸材が当研究領域より数多く輩出しているので、今後の活躍が大いに期待できる。国際共同研究も強く推奨したが、さきがけ研究者らはそれに十分応えて、幅広く共同研究を展開した。その意味でも当研究領域の真の事後評価は彼らの 10 年後の姿で決まるものと考えている。

(5) 感想、その他

伸びしろの大きい若い研究者達が切磋琢磨し、多くの共同研究をスタートさせ、年毎に国内外に幅を広げていく行動力があり、若手研究者達のエネルギーを素晴らしいと改めて思う。当研究領域では初めてさきがけプログラムに採択された研究者が殆どを占め、結果的に超空間研究領域でのさきがけらしい独特の雰囲気を保つことができ、領域会議における厳しい討論と、互いに補い合い、共同でさらに高いレベルを目指す雰囲気の中で、研究領域を運営できたことに感謝している。技術参事、事務参事をはじめ支援スタッフの方々のご貢献も大きく、研究期間終了時の「卒業式」では全員が一回り大きく頼もしくみえ、総括冥利に尽きる思いであった。

以上