

領域略称名： 元素ブロック 領域番号： 2401
-----------------------------

平成26年度科学研究費補助金「新学術領域研究  
(研究領域提案型)」に係る中間評価報告書

「元素ブロック高分子材料の創出」

(領域設定期間)

平成24年度～平成28年度

平成26年6月

領域代表者 (京都大学・大学院工学研究科・教授・中條善樹)

# 目 次

## 研究領域全体に係る事項

1. 研究領域の目的及び概要	2
2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	4
3. 研究の進展状況	6
4. 若手研究者の育成に関する取組状況	9
5. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	10
6. 総括班評価者による評価	11
7. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	13
8. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）	16
9. 今後の研究領域の推進方策	21

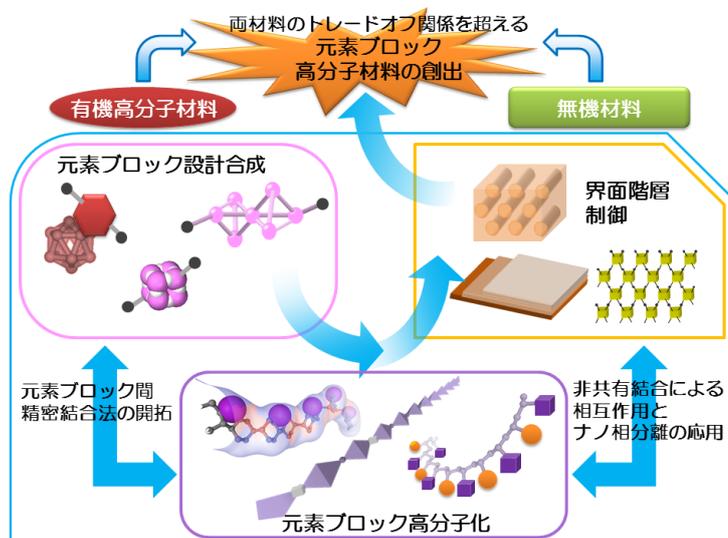
# 研究領域全体に係る事項

## 1. 研究領域の目的及び概要（2ページ程度）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、これまでの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

### ①研究概要

本領域は、**有機化学の手法と無機元素ブロック作製技術を巧みに利用した革新的合成プロセスにより、多彩な元素群で構成される“元素ブロック”を開拓し、その精密結合法の開発によって従来の有機高分子を凌駕する電子・光学・磁気機能制御が追究できる“元素ブロック高分子”を開拓する。**また、非共有結合による相互作用や異種高分子成分のナノ相分離を利用した界面階層制御法の開拓によって、固体状態で有機高分子材料と無機材料のトレードオフを高度なレベルで融合させる革新的概念に基づく**“元素ブロック高分子材料”**の創出とその学理の確立を目的としている。



さらに、本学術領域により育成される若手を中心とした研究人材によって**日本の未来を化学で元気にすることを目指す。**

ゼオライトやグラファイトなどの共有結合性無機材料やエレクトロセラミックスなどのイオン性固体に代表される高機能無機材料は、熱力学的に安定な構造を作り出すものであり、多彩な構造の分子を自在に設計可能な有機高分子またはポリシロキサンなどの無機高分子のような合成概念は存在しない。最近、無機元素が規則的・空間的に配置されたクラスター化合物など、従来の有機物では達成できない機能を有する無機元素ブロックが合成されるようになってきた。この無機元素ブロックに有機化学の手法を巧みに組み込むことで、例えばホウ素クラスターと $\pi$ 共役系炭素を巧みに組み合わせ、LUMO 準位等の精密制御が可能な、有機にも無機にも分類されない元素ブロックが生み出されている。これらを共役系鎖で結合させる高分子化により、発光波長・量子収率を変化させることができ、さらに電子豊富元素架橋 $\pi$ 電子系ブロック高分子とのナノ相分離を利用した階層界面制御によってpn 接合半導体など自在にエネルギー準位とその空間配置を制御した、従来の有機高分子や無機材料では達成できない革新的半導体デバイス構築が期待できる。そこで、多彩な元素群で構成される構造単位（元素ブロック）を新たに設計合成し、これらを高分子化させる手法と、所望の機能を発現するように高次化および階層界面制御する手法を獲得することで、従来の有機高分子材料では不可能な電子・光学・磁気特性と、従来の無機材料の欠点である成形加工性と自在設計性を、高度なレベルで共有する高分子材料の創出が期待できるという着想に至った。

本領域を創成し発展させるためには、従来の有機、無機、有機金属、および高分子それぞれの合成手法と低次元無機ナノ構造作製技術を高度に組み合わせた分子設計により多様な元素ブロックを創出し、これらを用いて新材料を創製するとともに、その機能・物性の解明、理論面からの積極的支援が不可欠である。そこで、世界の一線級の研究者を中核とし、本領域に興味のある幅広い分野の若手研究者を公募して参画させ、国際的にも稀有な研究グループを組織し、研究連携を強力にマネジメントすることで、**高分子材料分野における新たな学術領域を世界に先駆けて創成するとともに、視野が広く、新しい概念の創出に意欲的な若手研究者の育成**を学際的に推進する。

### ②研究の学術的背景

主鎖が炭素以外の元素のみで構成され、側鎖に有機成分が結合したポリシロキサンなどに代表される“無機高分子”は、有機側鎖の構造を変えることで耐熱性、耐油性、または難燃性に優れるものが合成され、様々な分野で利用されている。さらに有機高分子の分野では、新たな物性や機能を発現する材料への期待から、ヘテロ元素を有機高分子主鎖に導入した、いわゆる“ヘテロ元素含有高分子”がケイ素を中心として発展し、近年になってホウ素やリン含有高分子へと研究領域が大きく広がり始め、従来の“無機高分子”との融合化への機運が高まっている。無機材料に関しては、最近の微細構造解析技術の発展にともなって、無機元素ブロックの例である低次元ナノ構造を有するシルセスキオキサン、ナノ粒子等に注目が集まり、従来の無機材料では考えられない特性が明らかにされつつある。

有機高分子は無機材料と比べて機械特性や熱安定性に劣り、逆に無機材料は加工性、分子設計容易性が悪い。これらのトレードオフを克服する技術として有機高分子と無機成分をナノレベルで融合させた“有機－無機ハイブリッド”が創出された。しかし、分子・ナノ構造の設計自由度や機能安定性など、有機高分子と無機材料のトレードオフとなる各々の優れた性能や機能を同時に高度なレベルで両立する材料創製は困難であり、従来の**有機－無機ハイブリッドの概念を超えるブレイクスルー**が求められるようになっている。

### ③研究期間内に明らかにすること

本領域研究では、高分子化学または無機化学を基盤とし、無機高分子、ヘテロ元素系高分子、および無機元素ブロックの合成を精力的に行っている研究者とともに、元素の特徴を活かした材料の組織化、物性評価および理論解析を行っている一線級の研究者を結集させる。相互交流・連携により、有機化学や無機化学といった既存の学問領域に囚われず、元素ブロック高分子材料を創出するための基盤となる課題を明確にする。

次に、広い分野からの若手研究者で構成される公募班の夢と元素ブロック高分子材料の考えとを互いに接近させた材料設計を推進するべく、研究参画者相互の意見交換および共同研究を積極的にマネジメントする。これより従来の無機材料、有機高分子あるいは無機高分子とは一線を画す“**元素ブロック高分子材料**”と呼ぶべき新しい概念の材料を生み出す。本領域研究の終了時には、超機能を担う新素材への飛躍的な展開への糧となる“**元素ブロック高分子材料**”の学理を確立する。

### ④研究対象

本領域研究の対象は、**既存の学問分野の枠に収まらない融合領域の創成**を目指すものである。具体的には、無機元素含有高分子や無機元素ブロックの分野を基盤とした研究者だけでなく、有機材料または無機材料分野ではあるが本領域の目指す方向に興味を持つ若手研究者を広く公募し、適切なマネジメントによる異分野研究者間での議論や共同研究および人材育成を推進することによって、従来にない学術領域の創成を行うものである。

### ⑤本領域の発展が学術水準の向上につながる点

本領域研究では、有機化学を基盤として無機高分子やヘテロ元素系高分子を、或いは無機化学を基盤として無機高分子や無機元素ブロックの合成及びその物性に関して精力的に研究を行っている研究者とともに、異なる分野であっても新しい領域を生み出して行きたいと意気込んでいる若手研究者のアイデアを強力にマネジメントすることで、参画研究者がそれぞれ基盤とする学問の学術レベルの飛躍的發展を図ることができる。さらに、これら重要な材料研究領域がともに目指すべき方向としての”元素ブロック高分子材料“という学問領域が創成されれば、将来の低炭素社会の実現に向けた独創的革新的高分子材料を世界に先駆けて創製するための基礎指針となる。また、本領域研究の研究活動は、参画する若手研究者の育成にもつながり、わが国の学術水準を飛躍的に高めることになる。**世の中に役に立つ材料創製のための学術分野を確立**することで「**日本の未来を化学で元気にする**」ことになる。

## 2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2 ページ程度）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、研究組織間の連携状況について組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

本領域は、A01 班 元素ブロック設計、A02 班 高分子化制御、A03 班 界面階層制御、A04 班 シーズ包括育成の4つの研究項目（研究班）で構成し、領域代表及び計画班員を中心に公募班員と相互に連携しながら精力的に研究を推進している。各研究班の研究項目は以下のとおりである。

### A01 班 元素ブロック設計

有機化学、無機化学または有機 - 無機ハイブリッド化学、それぞれの観点から、本領域の基礎となる研究を行う。様々な独創的シーズを元素ブロックとして活用し、従来の有機物では達成できない機能を有する分子構造とサイズを精緻に制御した無機クラスター化合物に有機官能基を導入する。他の研究班、特に A02 班との連携によって高分子化を進める。

### A02 班 高分子化制御

有機合成および有機金属化学的手法または無機化学的手法による元素ブロック設計から材料開発までを視野に入れた高機能元素ブロック高分子材料の創出を図る。A01 班と A03 班との適切な連携・共同研究を通じ、元素ブロックの導入や高分子化における構造と物性の相関性を明らかにする。

### A03 班 界面階層制御

高分子の表面・積層界面構造制御と物性評価、および光学特性・電子物性を追及した材料設計を進める上で、他の3班との連携・共同研究を通じた界面および階層制御、三次元空間制御に関する研究を行う。新素材への飛躍的展開を見据えて、界面階層制御技術を駆使した元素ブロック高分子材料創出に努める。

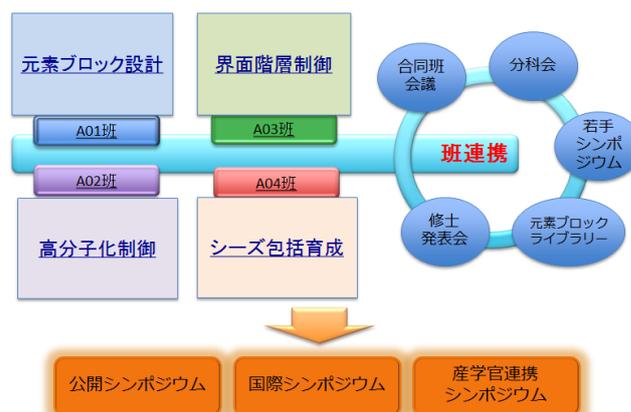
### A04 班 シーズ包括育成

本領域を真に新規性の高い独創的な学術領域に押し上げるため、共同研究を強力に推進する体制を確立する。有機化学、無機化学、高分子化学、有機金属化学、計算化学などを学問的基盤とし、未来材料を自らの手で創出したいという若手公募研究者の班内、班間の共同研究への推進により、異分野交流させ、学術水準の向上を図る。

H25 年度での公募研究者は、それぞれ A01 班 13 人（4）、A02 班 10 人（3）、A03 班 11 人（4）、A04 班 12 人（2）（括弧内は計画班員の人数）で、北海道大学から熊本大学に至る全国的な研究組織を構築している。

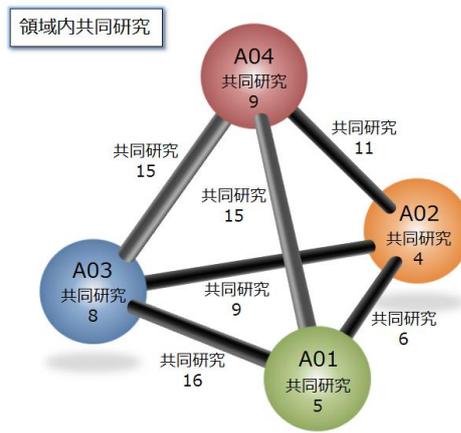
### 研究組織と班連携

個別班会議を随時開催し、さらにこれまで 5 回の合同班会議（第 1 回 H24 年 9 月 28 日、第 2 回 H25 年 3 月 9 日、第 3 回 H25 年 7 月 6 日、第 4 回 H26 年 1 月 29 日、第 5 回 H26 年 4 月 24 日）を開催した。個別班会議では、若手公募研究者が積極的に議論できるよう各班で工夫し、他の班からも自由に参加できるようにした。合同班会議では、各班からの研究報告に対して、専門外の分野からも様々な角度で学術的な議論し、学術領域の拡大を図った。領域代表は積極的に班間連携による共同研究を推奨した結果、これまでに 104 件の共同研究が立ち上がり、既に論文 13 件（他 2 件印刷中）、学会発表 50 件の成果を公開した。また、共同研究を促進するために、公募班より共同研究旅費の応募申請を受け付け、支給する制度を設けた。さらに、若手研究員の海外派遣の支援も行った。



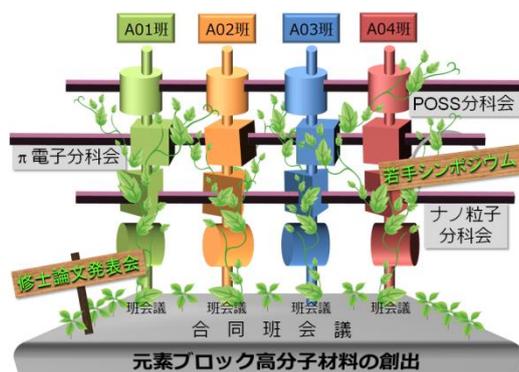
班構成と班連携の組織図

班連携活動を活性化する目的で、総括班より3名の班連携担当を設置し、公募研究員の研究内容情報を共有し、計画班と公募班との連携及び班間連携のサポートを行った。また、本領域では、公募研究者の各班への所属は固定したものではないことを当初より明言しており、研究内容の進展に伴って、効率的な班運営と領域内の共同研究の推進を図る事を目的に、A04班を中心とした**班間移動**を検討した。H26年2月1日に開催したA04班個別会議において、研究員の希望に基づき、領域代表、班長、班連携担当が協議した上で、H26年度より7名の公募研究者の班間移動を確定した。この班間移動で、班内の研究はもとより共同研究が効率的に進展することが期待できる。



領域内共同研究の実態

研究班の垣根を越えた活動として、分科会を開催した。本領域には、ナノ粒子関連材料を研究対象にしている研究者が比較的多く、また、異分野であってもナノ粒子に興味を持っている研究者が多いことから、H25年10月5日に、「ナノ粒子分科会」を班の枠組みを超えて開催し、基礎から応用技術に至る広範な議論を展開した。また、H26年4月22日に「 $\pi$ 電子系分科会」を開催し、本領域内で活用される $\pi$ 電子系分子の合成から応用までの価値のある議論を行った。特化した分科会であるため、班会議とは異なる深い議論が可能であった。今後は、7月12日に「ナノ粒子分科会 part II」、H27年3月に「POSS分科会」を企画している。



班間連携と活動

若手公募研究者間の連携を促進するには、お互いの情報交換が不可欠である。公募研究者の中から比較的若い代表者を選び、企画運営を任せられた**若手シンポジウム**を、H25年10月10日から2日間に渡って開催した。さらに、各班員の研究室に所属している修士学生を対象に、**合同修士論文発表会**を毎年開催している。これらは、縦糸の班組織の活動と異なり、横糸の班連携活動であり、学術領域充実に多に役立っている。

情報公開による円滑な共同研究を促進する目的で、ネット上に「**元素ブロックライブラリー**」を構築した。研究者が保有している技術シーズ、装置等をライブラリー化し、領域内限定で情報の共有化を図ることで共同研究の構築に展開できると考えている。

今までに4回の公開シンポジウムを開催し、そのうち1回は本領域と比較的関連した学問分野を有すると思われる新学術領域研究「融合マテリアル：分子制御による材料創成と機能開拓」と共催で開催した（H26年1月28日）。互いの学術情報を交換すると共に、領域外の研究者と交流できた事は大きな意義があり、今後の研究の進展に大きな示唆を得られた。また、企業研究者を講師に招いて、**産学官連携シンポジウム**（H25年12月12日）を開催した。若手研究者にとって、最先端の企業研究者の話が聞けることができたことは、自身の研究の方向性を見極める一助になった。一方、産学官連携シンポジウムにおいて本領域の研究内容を積極的に公開することにより、企業からの参加者にも興味を持ってもらうように工夫した。本領域の研究成果が産業的に利用される可能性が広がることを期待している。また、元素ブロック高分子材料に関する海外研究者を招いて、H26年5月31日に**国際シンポジウム**を開催した。さらに、9名の海外研究者に**国際アドバイザー**（Harry R. Allcock (The Pennsylvania State University, USA), Chang-Sik Ha (Pusan National University, Korea), Roald Hoffmann (Cornell University, USA), Frieder Jaekle (Rutgers University, USA), Richard M. Laine (University of Michigan, USA), Ian Manners (University of Bristol, UK), Christopher K. Ober (Cornell University, USA), Ulrich S. Schubert (University of Jena, Germany), Kenneth J. Wynne (Virginia Commonwealth University, USA)) を委嘱し、今後も**本学術領域のグローバル化を推進**していく計画である。

### 3. 研究の進展状況【設定目的に照らし、研究項目又は計画研究毎に整理する】（3 ページ程度）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、現在どこまで研究が進展しているのか記述してください。また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らして、どのように発展したかについて研究項目又は計画研究毎に記述してください。

本研究領域では、“元素ブロック高分子材料”という新しい概念に基づく領域を立ち上げ発展させることで、従来の有機高分子材料・無機材料および有機-無機ハイブリッド材料などでは達成できないような電子・光学・磁気機能を有する材料の合成を目指している。このため、A01（元素ブロック設計）、A02（高分子化制御）、A03（界面階層制御）の各研究項目で研究を推進するとともに、A04（シーズ包括育成）として、A01-A03 の分類にこだわらず、シーズ志向の研究や積極的な相互交流により、領域の活性化に貢献する挑戦的な研究項目を設けた。A04 での元素ブロック高分子の理論的な解析などの横断的な研究、研究項目にこだわらず対象物質で分類した分科会の開催、領域研究者の化合物・知識・技術などを共通プラットフォーム化したライブラリー構築などを契機として、盛んに共同研究が行われ、既に多くの成果に結びついている。

**A01 班：** A01 班では、有機化学または無機化学を基盤とし、元素ブロック高分子のモノマーに相当する多彩な元素ブロックを合成することを主に担当し、これまでに様々な組成の元素ブロックを創製することに成功している。加えて、集合体形成や高分子化、さらには物性評価へも可能な限り展開している。

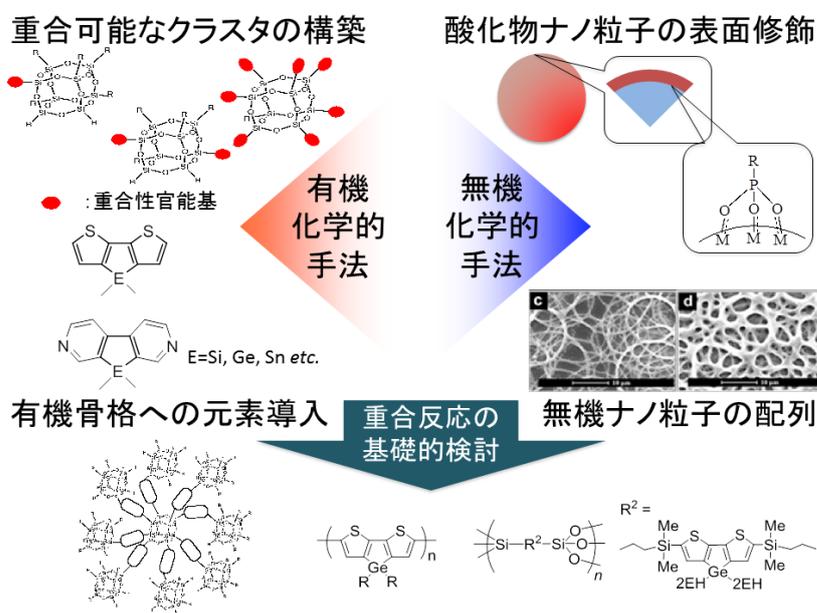
有機化学を基盤として元素ブロックを構築する手法では、かご型シルセスキオキサン（Polyhedral Oligomeric Silsesquioxanes, POSS）構造を用いる、あるいは有機骨格の中に元素を組み込むことによって元素ブロックを合成している。

POSS構造を用いた検討では、重合性官能基を限定した数（1あるいは2）、あるいは全てのケイ素に導入する手法を確立した。一方、Si、Ge、Sn、Sbなどの典型元素でチオフェン環、ピリジン環などのπ電子系を架橋した元素架橋π電子系化合物を合成する手法を確立し、様々な元素ブロックの作製に成功している。

無機化学を基盤として元素ブロックを構築する手法では、代表的酸化物であるチタニアのナノ粒子を用い、その表面に有機官能基を固定化する手法とナノ粒子を配列させる手法の開発に成功している。有機ホスホン酸を用いてナノ粒子表面に有機官能基を自在に導入して元素ブロック化する手法を確立し、重合性官能基の導入にも成功している。また、ナノ粒子を特異な構造に配列させた集合体形成を可能とする手法も開発しており、高分子化手法と組み合わせることにより、構造形成が期待できる。

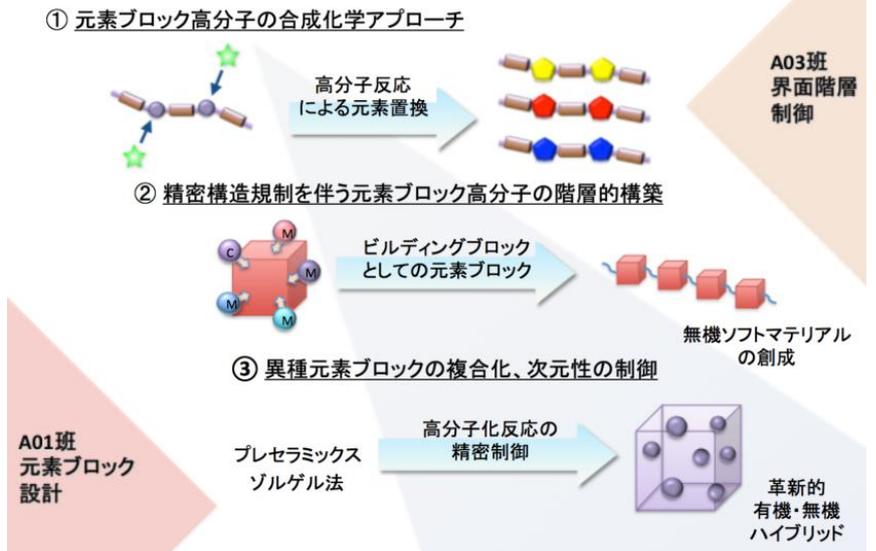
有機化学的手法による元素ブロックに関しては、重合反応に関する基礎的検討も行い、A02 班との連携を進めている。さらに、物性の発現に向けて、元素ブロックの重合に加えて、元素ブロックと他の単量体との共重合も検討を開始している。得られた重合体や元素ブロックに関して、A03 班と連携して発光材料や太陽電池などへの応用に向けた物性評価を行い、元素ブロック高分子材料への展開に向けた準備を進めている。さらに、A04 班と連携し、構造解析や物性発現機構に関する検討を進めている。

**A02 班：** A02 班では、有機合成化学、有機金属化学、および無機化学的手法を駆使した元素ブロックの高分子化と高分子構造の精密制御技術の確立を目指して、次に示す進展をみている。



有機金属化学的アプローチとして、高分子反応による多彩な元素ブロック高分子の構築法の開拓を行っている。低原子価金属錯体の反応性を活かし、主鎖に遷移金属-炭素結合を持つ高分子を設計・合成し、その主鎖の組み換えを伴う高分子反応技術を開発し、これによって従来法では合成がほとんど達成できていない14族~16族の多彩な典型元素およびそれらを含む元素ブロックを $\pi$ 電子系に組み込んだ $\pi$ 共役高分子を合成することが可能となった。今後、さらに遷移金属元素を含む様々な元素ブロックを骨格内に適切に

## 元素ブロック高分子 高分子化戦略 一次構造精密制御



付与した $\pi$ 共役高分子へと展開し、デザイン可能な $\pi$ 共役元素ブロック高分子の合成技術としての位置づけを行う。さらに、得られた元素ハイブリッド型 $\pi$ 共役高分子の特異な光・電子特性に立脚した機能材料の構築を展開する。

また、有機化学的アプローチによる元素ブロックの高分子化として、剛直で高いナノ元素ブロックを最小限の柔軟なソフト鎖で結合したネックレス型元素ブロック高分子の開発を行うことで、究極の有機無機ナノハイブリッド材料の開発指針を確立するとともに、無機ソフトマテリアルという新しい材料分野の創成を目指している。ハードセグメントとソフトセグメントの微妙なバランスによってシナジーが発現する構造特異点の例として、低線膨張性とフレキシビリティの両立を可能とする材料の開発に成功し、それがナノエントロピー弾性効果であることを証明した。

さらに、無機元素化合物に特徴的な化学反応や相互作用を利用することで無機元素化合物を主成分とする元素ブロック高分子の合成法を開拓している。モノシランからジシロキサン、テトラシロキサンを合成し、その重合によりポリシルセスキオキサンへと階層的かつ高効率にケイ素化合物を合成する技術確立した。さらにこれらをフラーレンや金属ナノ粒子などの様々な元素クラスターと複合化したハイブリッド元素ブロック高分子の構築に成功した。精密な反応制御と生じたナノ構造の相関性を明確にすることで、元素ブロック高分子の構造をより一層、精密に制御する技術の開発を行っていく。

A01 班の開発した元素ブロックの高分子化とその構造制御、A03 班との高次構造制御や構造・特性の評価など、これらの元素ブロック高分子化技術を駆使した幅広い共同研究が進行中である。最終的に、元素ブロック高分子における構造と材料物性との相関性を整理し、統合することで、元素ブロック高分子材料のための新たな設計指針を明らかにしていく。

**A03 班：** A03 班では、元素ブロックならびに元素ブロック高分子を用いた界面および階層制御、多官能性クラスター型元素ブロックの三次元空間制御に関して、基盤となる材料づくりと評価に関する課題に取り組んで、順調に成果を出している。

金属酸化物ナノ粒子（たとえばジルコニア）に対する新規な表面処理剤（新規デュアルサイト型シランカップリング剤:疎水性基と二つのカップリング部位が対称的な構造にあり、二本足で表面結合可能）を用いた有機溶剤分散体の合成を行い、これらとマトリックス・ポリマーを組み合わせることで、透明・高屈折率ハイブリッド材料の創製に成功している。

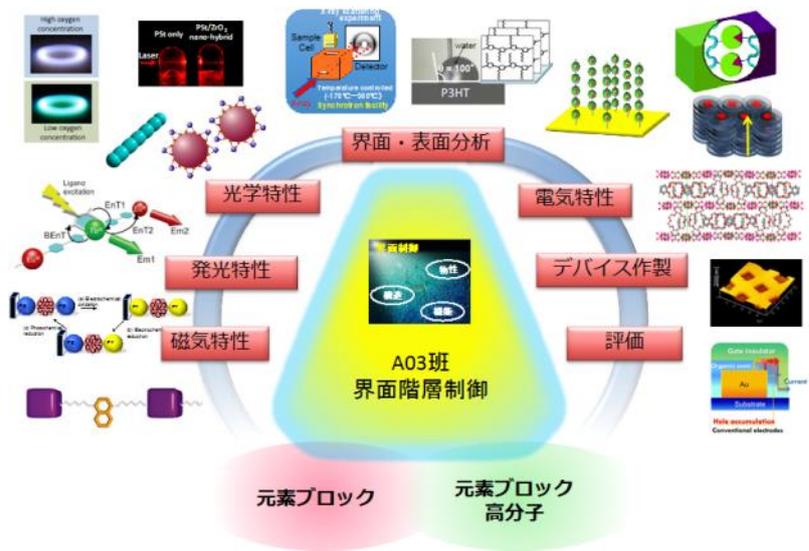
また、希土類を利用した元素ハイブリッドとして、平均サイズ 12 nm の立方体型 EuS ナノ結晶を合成した。これら EuS ナノ結晶は自己会合により巨大組織体を形成し、ポリマー薄膜上に集積させて磁気機能を評価したところ、組織体を形成していない EuS ナノ結晶に比べて保持力および残留磁化が 2 倍に向上することを見出している。これら希土類を含む元素ブロック高分子は、新しい磁気機能物質として今後重要になると期待できる。

元素ブロック高分子としてポリ(3-ヘキシルチオフェン) (P3HT)を取り上げ、同高分子が合成高分子として有数の高い結晶弾性率を有し、またその表面はポリテトラフルオロエチレンを凌ぐ撥水性高分子であることが見出された。これらのことは P3HT が導電性高分子としての側面以外にも、高弾性率高分子材料、高撥水性高分子材料としても有用な元素ブロック高分子であることを示したことを意味する。

さらに、P3HT によるトップゲート型の薄膜トランジスタを作製した。従来型のボトムゲート型に比較して、トップゲート構造を採用することにより、トランジスタが極めて高移動度、高安定な特性を示すことが明らかにされた。このことは積層界面制御の観点からデバイス化を試みることで、元素ブロック高分子を利用する際の性能を飛躍的に向上させ得ることを意味している。

これらの成果に加え、A01、A02、A04 班との共同研究、計画班—計画班、計画班—公募班、公募班—公募班間の多数の共同研究が進展しており、元素ブロック高分子を用いた界面および階層制御に向けた研究が順調かつ精力的に進められている。

**A04 班:** A04 班では、シーズ志向の研究や積極的な相互交流により、領域の活性化に貢献する挑戦的な研究を推進した。計画研究では、ホウ素元素の特徴を活かした設計から、刺激応答性のある元素ブロック高分子を創製し、**元素ブロック高分子材料創出のモデルケース**を提示した。また、高いレベルの理論的な考察によって、元素ブロックの電子状態・物性制御、および高分子化による材料機能発現に関する情報を得て、それを基に分子・材料設計指針を示すことで、各計画・公募研究を強力にバックアップした。公募研究では、このようなバックアップのもと、個々の研究と共に共同研究も盛んに行われ、新規なキラル螺旋高分子、低配位 14 族元素リンカー、キラルリン元素ブロック、かご型元素ブロックなどが創出された。今後も A01-A03 班との連携を強め、領域の活性化につなげる。



各班への理論的・実験的バックアップ  
元素ブロック高分子材料創出のモデルケース提示  
公募班との円滑なコラボレーションの推進

**公募班との連携**

**キラル元素ブロックの創出**  
optical resolution transformation  
CPL  $\Phi_{\text{em}} = 0.45$   
 $\Phi_{\text{em}} = 1.1 \times 10^2$   
*J. Am. Chem. Soc.* 2014, 136, 3350

**超分子元素ブロック**  
charge transfer  
*Tetrahedron Lett.* 2014, 55, 271



**班間連携**

**元素ブロック光学材料の開発**  
Sulfur-Conjugated Organic-Inorganic Hybrids  
*J. Polym. Sci. A, Polym. Chem.* in press.

**理論との共同研究**  
新規元素ブロックの電子状態の予測  
 $M = \text{B, Al, Ga, In}$   
Me<sub>2</sub>N, tBu  
口頭発表, 第32回無機高分子研究討論会

#### 4. 若手研究者の育成に係る取組状況（1 ページ程度）

領域内の若手研究者の育成に係る取組状況について記述してください。

本新学術領域研究では、若手シンポジウム、国際シンポジウム、産学官連携シンポジウム、および合同修士論文発表会などの若手主導の研究発表の機会を設け、お互いの研究を活性化するとともに人的交流を促進している。若手シンポジウムについては、H25 年 10 月 10 日（木）～11 日（金）に合宿形式で 26 名の若手を含む 30 名の参加者のもとで行い、参加者の互選によって予め選出された 10 名の若手研究者から 30 分ずつ講演が行われ、優秀発表賞の授与を行った。合宿形式ならではのアットホームな雰囲気のもと、活発な議論が絶え間なく交わされ、これを通して若手同士の親交が深まり、共同研究開始のきっかけとしても極めて有効な機会となった。本年度も、議論をさらに活性化するアイデアを盛り込みつつ若手シンポジウムを発展させる計画である。また、「無機高分子の合成と機能：各種元素及び元素ブロックを含む新しいハイブリッド材料の創製を目指して」と題した高分子学会無機高分子研究会主催のセミナーが H24 年 10 月 12 日（金）～13 日（土）および H25 年 10 月 11 日（金）～12 日（土）に本新学術領域研究の協賛のもとでそれぞれ開催され、本領域から若手研究者や大学院学生が多数参加し、最新の情報交換と関連分野に関する深い議論を行った。

さらに、H26 年 5 月 31 日（土）に京都工芸繊維大学 60 周年会館において国際シンポジウム“International Symposium on Polymeric Materials Based on Element-Blocks”を本新学術領域研究主催で開催し、新進気鋭の若手研究者である Prof. J. Pyun (Univ. of Arizona)、Prof. K.-Y. Baek (Korea Institute of Science and Technology)、Prof. J. Genzer (NC State Univ.)、Prof. Y.-B. Lim (Yonsei Univ.)ら 4 名を海外から招き、国内の若手を含め計 8 件の招待講演と班員全員のポスター発表を行い、活発な国内外の若手研究者の交流を行った。

産学官連携シンポジウムを H25 年 12 月 12 日（木）に大阪市立工業研究所にて産学の若手を中心とした 95 名の参加者のもとで開催し、領域のアウトリーチ活動としての効果は勿論のこと、特に企業側の若手研究者と班員との情報および人的交流の場として極めて有効な機会となった。

合同修士論文発表会は、第 1 回を H25 年 3 月 8 日（金）に京都工芸繊維大学 60 周年記念館で計画班の研究グループを中心に開催し、58 名の参加者のもとで大学院生から 11 件の活発な口頭発表が行われた。また、第 2 回は H26 年 3 月 8 日（土）に神戸大学統合研究拠点コンベンションホールにて公募班の研究グループも交えて開催し、95 名の参加のもとで、英語によるショートプレゼンテーションとこれに続くポスター発表が 26 件行われ、熱気にあふれる議論が交わされた。第 1 回、第 2 回ともに優秀発表賞の授与を行い、さらに若手中心の懇親会を開催し、活気にあふれる交流の場をもつことができた。今後もこの領域を将来支えていく若手の育成を目的として修論発表会を継続開催し、若手研究者の育成を通して本領域を活性化する計画である。

さらに、若手研究者が本新学術領域研究内および国外研究機関などと共同研究を円滑に推進し、また国際会議等の場で発表を行う機会を増やすことを目的に、渡航費を支援する仕組みを設け、若手の班員および研究協力者の研究活動の活性化をあわせて推進している。共同研究を通して、領域内の他研究機関への学生・ポスドクの派遣も進んでおり、H25 年度には 29 名、延べ 86 日間に達した。若手の刺激と活性化につながると期待できる。このような試みは、修士課程修了生の博士後期課程への進学が H26 年度に班員 1 人当たり 0.7 人と比較的高いことにも反映されているのではないかと考えている。なお、本領域ではこれまでの活動を通して若手研究者の昇任 8 件（他、学生のアカデミックポストへの着任 2 件）、受賞 16 件、大学院生の受賞 115 件（領域内の表彰は含めず）などをその成果の一部として挙げることができる。



## 5. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）（1 ページ程度）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

### ① 研究領域内で共有する装置の導入および利用

H24 年度の装置導入例として、無機元素ブロックを基盤とした微粒子の評価に必要な、ゼータ電位・粒径測定装置を京都工芸繊維大学に導入した。本装置は、A01 班の中と A04 班の櫻井との元素ブロック dendrimer 微粒子配列化に関する共同研究に活かされている。また、光学活性元素ブロックおよび高分子の励起状態における構造解析と発光特性評価に不可欠な、円偏光発光測定システムを京都大学に導入した。本装置の共同利用実績を抜粋すると、A01 班清水の新規光学活性  $\pi$  共役系元素ブロックの特性評価、A02 班富田のリン原子含有光学活性元素ブロック高分子の特性評価、A03 班長谷川の光学活性ランタニド錯体の励起状態における構造考察、そして A04 班森末のフタロシアニン元素ブロックの励起状態における高次構造評価など多岐にわたる。このように、A01～A04 の全ての班から利用実績があり、領域内で有効活用されていることが分かる。これらの成果の一部は、論文として既に報告している。

H25 年度には、動的光散乱式粒子径分布測定装置が早稲田大学に導入された。本装置は A01 班菅原と A03 班松川とのチタニアの表面修飾に関する共同研究で利用され、導入後間がないにもかかわらず、既に学会発表できる成果をあげている（粉体粉末冶金協会春季大会、H26 年 6 月 4 日）。

### ② 研究領域の共同研究・人的交流に関わる支援

研究領域の共同研究を円滑に促進する目的で、**公募班員の人的交流を支援する制度**を設けている。研究代表者のみならず、研究分担者や研究室所属学生を含め、共同研究先における実験や測定などを目的とした旅費の一部を支援する制度である。この制度には予算の限りがあるが、上限を超える申請がある場合には、申請内容を吟味の上採択の可否を決定し、できるだけ多くの研究グループが効果的な支援を受けることが出来るよう配慮している。

また、共同研究促進の一環として、班員が掲げる元素ブロックや測定技術等をライブラリーという形（=**元素ブロックライブラリー**）でプラットフォーム化し、お互いの研究を可視化することを試みている。班員の端末からアクセスするためのサーバー設置（熊本大学）、およびデータベースを構築・維持するための費用を支援している。

### ③ 若手海外派遣に伴う支援

新学術領域が若手研究者育成の場を担うことを鑑み、40 歳未満の班員または共同研究者を対象として、**若手海外派遣支援プログラム**を設けている。海外研究機関との共同研究をはじめ、国際会議や海外研究機関における講演など、若手研究者の海外での活動に対して旅費および滞在費の一部を支援する制度である。なお、本プログラムへの応募は随時受け付けており、主旨に一致する申請は予算の許す限り直ちに受理することで時間的制約を設けないようにしている。

### ④ シンポジウム等の開催に伴う支援

主催行事の例として、当領域に特徴的な若手育成企画である合同修士論文発表会や若手シンポジウム、産学官連携シンポジウム、そして班員による勉強会（分科会：ナノ粒子分科会・ $\pi$  電子系分科会など）を開催し、それらに伴う費用を支援している。

科学研究費により得られた成果を広く配信するためには、上記主催行事や公開シンポジウムの開催に加えて、関連団体と連携してシンポジウム等を開催することが望ましい。例えば、H25 年には高分子学会との協賛で、高分子夏季大学（7 月 17-19 日）や高分子討論会（9 月 11-13 日）に特別セッションを設けた他、日本接着学会と界面化学研究会講演会を 2 度共催した（7 月 10 日、11 月 8 日）。さらには、アウトリーチ活動として東広島市、日本化学会中国四国支部に協賛して、化学実験教室を 4 回（H25 年 6 月 1 日、7 月 11 日、8 月 9 日、11 月 16 日）開催し、それらの必要経費の一部を支援した。

## 6. 総括班評価者による評価（2ページ程度）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

本領域に係る中間評価として、下記評価委員および領域フェロー全員から評価コメントを頂戴した。

### 【評価委員】

岡本佳男 名古屋大学  
田中勝久 京都大学工学研究科  
戸嶋直樹 山口東京理科大学工学部  
檜山爲次郎 中央大学研究開発機構  
宮下徳治 東北大学多元物質科学研究所

### 【領域フェロー】

梶原鳴雪 名古屋大学  
木村良晴 京都工芸繊維大学工芸科学研究科  
黒田一幸 早稲田大学理工学術院

<敬称略>

頂いたコメントの中から要点を幾つか抜粋し、以下の項目別に原文のまま記載した。

### 本領域研究の運営・研究組織

- ・ 評価委員の指名の他にも、領域フェローなどの仕組みを設け、無機高分子分野以外に、高分子化学、有機化学、クラスター化学、材料科学、計算機科学などの種々の専門分野の学識経験者を、評価委員として動員し、「元素ブロック」という幅広く新しい研究領域の評価を滞りなく実施している。（戸嶋）
- ・ 本領域が新学術領域として発足し、研究が推進されることは時宜を得ており、産業界からも注目度が高くその先見性が評価される。本領域では、研究業績の高い評価だけでなく、特徴的な面はマネージメントの優れた成果である。事務局、総括班を中心として、新たな研究推進のためのアイデア、活動的な仕組みや取り組みが積極的に行われ、研究組織運営の面でも今後の新学術領域などの組織的研究集団の運営の手本となる成果が上げられており、評価したい。（宮下）
- ・ 領域代表者が常々語っているように、化学によってわが国の科学・技術を元気づけるべく最大の努力がなされていることに感服している。（檜山）
- ・ 本領域で目指す材料開発に欠くことの出来ない元素ブロックの設計と合成、高分子合成、構造解析、機能設計、理論予測と解析を専門とする研究者がバランスよくメンバーに加わっている。これらの研究者間の意見交換と共同研究が活発に行われ、研究の進展に大いに寄与しており、多数のメンバーで行う新学術領域研究としての意義が認められる。（岡本）

### 研究の進展状況と研究成果

- ・ 押し並べて研究の進展状況は順調であり、上述の研究領域の設定目的に照らして、研究は着実に進展している。各班員が独自の視点で元素あるいは元素ブロックの特徴を踏まえた研究を展開しているが、それらは決して互いに発散することなく、統一された元素ブロック高分子の概念のもとに進められている。（田中）
- ・ 主として「合成」、「構造化」、「解析・機能化」にグループ分けされ、それぞれにおいて一定のまとまりができるように配慮され、かつ連携を保ちながら活発に研究が行われきた。その結果、1.5～2年という短期間で初期の想定を超える成果があったように思われる。成果発表も SIC ジャーナルを中心に多数行われており、ジャーナルの表紙を飾るハイライトとなった研究も数多くある。（木村）
- ・ 班員間での相互交流と共同研究を幾重にも積極的にすすめ、挑戦的研究を奨励している。その結果、それぞれ単独では実現できなかったと思われる研究成果がどんどん誕生している。（檜山）
- ・ 多様な元素ブロック群の精密合成が行われ、分子設計に基づいた新規高分子材料が創製され、興味ある半導体特性や発光性などが報告されている。多くの研究成果が上げられていることは研究業績欄で明らかである。これらの成果はインパクトファクターの大きな世界的雑誌の表紙を飾る成果、多くの受賞例、テレビ、新聞報道などに取りあげられている。（宮下）
- ・ 公開シンポジウム或いは合同班会議に参加したが、確実に研究は進歩発展していることが良くわかる。（梶原）

### 本領域の特色・特徴

- ・ メンバーに若手の研究者が多く、院生による研究発表も行われており、研究の継続的な発展に注力しているのは、本領域の特徴の一つである。（岡本）
- ・ 領域内研究成果をバラバラのまままで放置するのではなく、将来の研究に役立てるべく確固たるデータベー

スすなわち元素ブロックライブラリーの構築が計画されていて、わが国の将来のポテンシャルを高める努力もされている。(檜山)

- ・フレキシブルかつ効果的な班員の班間移動、若手育成目的の英語による合同修士論文発表会の開催、研究者の開発した新規な元素ブロックを班員間に利用可能なデータベースの「元素ブロックライブラリー」の開設、他の新学術領域との合同の公開成果発表会、国際シンポジウムの開催、産学官連携講演会など多くのものが評価される。(宮下)
- ・合同修士論文発表会は、所属機関の枠を超えて密に交流する場が設けられており、若手研究者育成に極めて重要なイベントである。(黒田)

#### **研究成果・情報の発信など**

- ・領域外部に対するアウトリーチ活動は、公開の研究発表等を通じて適切に行われている。(岡本)
- ・化学会春季年会においては特別企画として存在感を示しており、最終日にも関わらず多くの参加者を集めて議論がなされた。情報発信力は非常に強く、ニュースレターも既に 10 号を数え、これが班員の切磋琢磨を生む推進力にもなっており、順調に発展していることを伺わせる。高分子学会は勿論のこと、セラミックス協会におけるシンポジウム開催など、班員の所属学会の多様性を反映して分野横断的な取り組みに繋がっている。(黒田)
- ・若手研究者への配慮もよくなされており、高分子学会無機高分子研究会をうまく利用して若手交流の機会を作っている。また、日本化学会、高分子学会の年次大会や討論会の機会をうまく利用して研究成果の確認と社会への流布に努めており、高く評価できる。(木村)
- ・様々な学術雑誌における論文の掲載や、国内外の学会での招待講演を含めた発表のみならず、学術雑誌の表紙などとしての採用、一般的な科学雑誌での紹介、プレスリリースなど、多くの形で公表されている。また、班員が研究成果の積極的な公表と社会への普及に努めている様子が十分に伺える。(田中)

#### **今後の研究領域推進方策**

- ・実用化が近く或いは新学術領域の出現があると思われる材料が見出されたら、その材料に関し元素ブロック高分子プロジェクト参加者全員で研究することも必要と思う。(梶原)
- ・国際シンポジウムを開催し、世界へ「元素ブロック」の概念を発信する機会を持ったことはよかった。今後も国際シンポジウムを定期的で開催すべきである。「元素ブロック」の概念は国内には相当普及したと思うので、今後国際社会にこの概念の普及を図るべく努力する必要があると考えるからである。そのための手段の一つとして、さらに英語での成書の発行を最終年度には行えるように、今から準備しておくのがよい。(戸嶋)
- ・本領域の最大の特徴は A04 班で、「従来の有機高分子材料、無機材料、有機 - 無機ハイブリッド材料を超える未来材料を自らの手で創出したい」という若手研究者を公募により参画させることで、異分野交流による新発想を育て...」とあるように、従来の発想とは異なる概念や新物質が誕生することを強く期待させる。今後、この点をさらに強力に推進して頂くことを希望している。(黒田)

#### **各計画研究の継続に係る審査の必要性・経費の適切性**

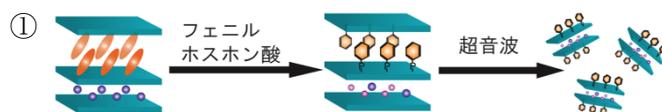
- ・本新学術領域は従来の学問領域の枠を超えた研究者が集い、それぞれの専門分野を活かしながらも互いに密に連携して、統一された新概念である元素ブロック高分子を念頭に置いた研究が進められており、すでに多くの研究成果が得られている。そのような観点から総合的に判断すれば、継続に当たっては、審査を改めて行う必要性を感じない。(田中)
- ・各計画研究は適切に行われており、計画研究の計画班班員は、それぞれ研究領域の中で役割を分担して領域代表を助けており、継続に問題はなく、審査の必要性はない。経費は適切に使われているが、国際シンポジウムの開催、英文成書の発行などの評価委員からの提案を適切に実施するためには、予算の増額も検討されるべきである。(戸嶋)

## 7. 主な研究成果（発明及び特許を含む）[研究項目毎に計画研究・公募研究の順に整理する]

（3 ページ程度）

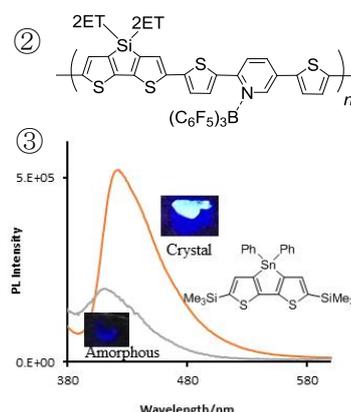
現在実施している新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（発明及び特許を含む）について、現在から順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目毎に計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。

**A01班 計画研究：** 菅原は、A03班の松川とともに、  
① 選択的な層表面修飾と剥離を組み合わせることで、層状物質 $K_4Nb_6O_{17} \cdot 3H_2O$ から二層構造の元素ブロックを

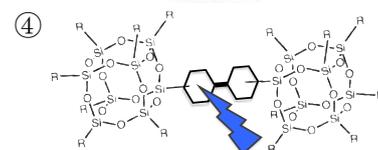


作製することに成功した (①)。得られた二層構造の元素ブロックは、層間にイオンなどを固定化することにより、新しいタイプの元素ブロックへの展開が期待できる（領域内共同研究、*Langmuir* **2014**, *30*, 1169）。なお、このような活動を含めた研究に対して、菅原は、H24年度日本セラミックス協会学術賞を受賞している。

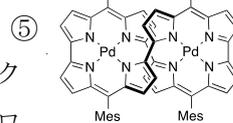
大下は、ケイ素架橋ピチオフェンとピリジン-ホウ素錯体からなるD-Aポリマーを合成し (②)、高起電圧の薄膜太陽電池への応用を明らかにした。これは元素ブロック高分子の性質を制御する手法として重要であり、*Polym. J.*の表紙にも採用されている (2013, 45, 1153)。また、A03班の長谷川と共同で、新しい元素ブロックとして、スズ架橋ピチオフェン（ジチエノスタンノール）を初めて合成し、スズ元素の特性に由来する結晶化促進発光を示すことを見出した (③)。新しいクロミック材料の骨格として、展開できる。この成果は、ACSの *Noteworthy Chemistry* で紹介された（領域内共同研究、*Organometallics* **2013**, *32*, 4136）。



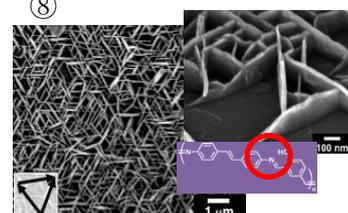
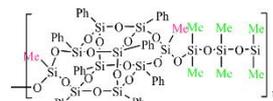
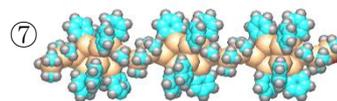
中は、2つのかご型シルセスキオキサン（POSS）を剛直な $\pi$ 共役系で架橋することで、優れた発光特性を有するダンベル型 POSSを合成した (④)。精緻に設計した元素ブロックの適切な集積による機能材料への展開を実証した重要な成果である。（*J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.* **2012**, *50*, 4170–4181）。また、A03班の櫻井とともに、イオン性液体部位を末端に有するPOSS核 dendrimer を組織化した分子間ネットワーク構造の形成に成功し、固体電解質への応用を明らかにした。元素ブロック高分子の新しい機能展開として興味深い結果である（領域内共同研究、*Polym. J.* **2014**, *46*, 42）。



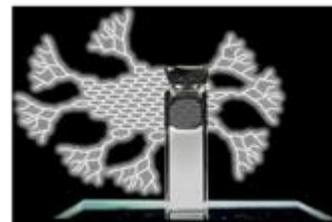
**A01班 公募研究：** 忍久保は、ポルフィリン骨格を有する元素ブロックの更なる展開をもたらす重要な成果を挙げている。たとえば、8個のピロールからなるオクタフィリンパラジウム二核錯体の合成に成功し (⑤)、これが、弱い反芳香族性をもつことを明らかにした。このような研究内容は、*Angew. Chem. Int. Ed.*のHot paper やFrontispiece (⑥) として採用されている (2013, 52, 13727, 2014, 53, 1506)。



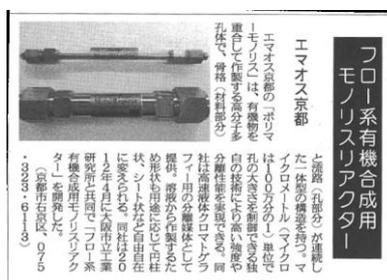
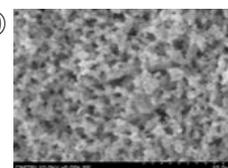
**A02 班 計画研究：** 國武は、かご形シルセスキオキサンとシロキサン鎖の交互ポリマーの一次構造と物性を系統的に比較し、フレキシビリティと低線膨張性という本来トレードオフな関係性の両立を可能にした (⑦)。新たなジャンルのメタマテリアルとなることが期待される。無機材料に匹敵する低線膨張性は画期的であり、第 63 回高分子学会年次大会プレス発表研究 9 件のひとつに選ばれた。また、元素ブロック分子の穏やかな条件での化学液相成長法を開発し、結晶性の高い二次元・三次元 $\pi$ 共役ナノ薄膜の作製に成功した。特に、サレン骨格を導入するとグラファイトやグラフェン表面に基板面に対して垂直方向にナノシートが成長することを見出した (⑧)。高次構造の自己組織的制御の新しい可能性として期待される（*Polymers* **2013**, *54*, 3452）。



**A02 班 公募研究：** 灰野は、比較的穏やかな手法でエッジ以外の部分を酸化させることなく、グラフェンを剥離、分散させることに成功した。さらに、この過程でグラフェンのエッジ部分に導入したカルボキシル基を dendrimer で修飾した元素ブロックとして、グラフェン量子ドットの合成に成功した。この量子ドットは有機溶媒に可溶であり、効率の良い白色発光を示すことを見出した (9)。新規な単一成分での白色発光材料として、大変興味もたれる (*Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, 53, in press)。



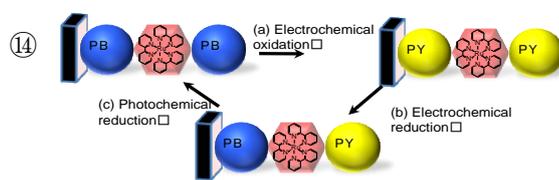
**A03 班 計画研究：** 松川は、本領域研究で開発した表面改質剤であるデュアルサイト型シランカップリングを用いて、安定なジルコニアナノ粒子分散体の作製に成功した。特許出願 (特許公開 2014-70060、出願日 2012 年 10 月 1 日) 後、実用化に向けて (株) ダイソーと共同研究を行っている。また、A03 班の内藤とともに、ポリシルセスキオキサンをゲート絶縁膜に用いた有機 TFT のトランジスタ特性について検討し、プリンタブル電子デバイスの作製に成功した (領域内共同研究、*Int. J. Polym. Sci.* **2012**, Article ID 852063)。また、エポキシ樹脂硬化時のスピノーダル分解で形成できるモノリス (10) の表面にパラジウムナノ粒子を担持したカラムリアクターを作製した。このカラムリアクターは、フロー系有機合成におけるヘック反応や鈴木カップリング反応などのパラジウム触媒反応に適用できる。本技術は「モノリスリアクター」として、ベンチャー企業のエマオス京都と製品化に向けて共同開発を進めている。2013 年 4 月、中小企業優秀新技術・新製品賞「産学官連携特別賞」(りそな中小企業振興財団、日刊工業新聞社 主催) を受賞し、同時に日刊工業新聞にて報道された (11)。



長谷川は、赤色発光する Eu(III) 錯体および緑色発光する Tb(III) 錯体を配列させた新しい元素ブロック高分子を合成した。これにより、200 K では緑、300 K では黄色、400 K ではオレンジ、そして 500 K では赤に発光する新しい物質 (カメレオン発光体) を創製した (*Angew. Chem. Int. Ed.* **2013**, 52, 6413)。「温度によって発光色が変化するカメレオン発光体 (希土類錯体ポリマー)」(12、13) として、TV、新聞等、一般雑誌などで広く取り上げられた。ユニークな発光体として元素ブロック高分子の特徴を生かした利用展開が期待できる。これらを含む研究成果に対して、H25 年度日本化学会 学術賞および H25 年度光化学協会賞が授与されている。



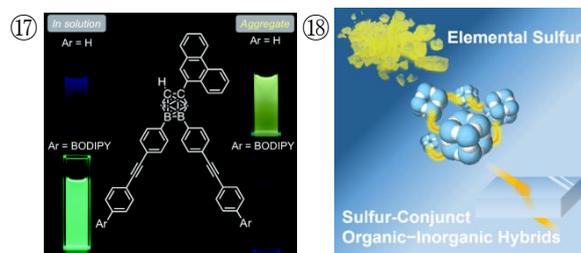
**A03 公募研究：** 松井は、ルテニウム錯体を含む元素ブロック高分子を利用するハイブリッド積層体を用いることで、単一の電極で 3 原色 (シアン、マゼンタ、イエロー)、黒と、多色に着色できるエレクトロクロミズム材料を創製した (14) (*J. Am. Chem. Soc.*, **2014**, 136, 842)。化学工業日報 (2013.6.6) にも「1つの電極で 4 色に変化」として紹介され、元素ブロックを利用した新規電極としての展開が期待できる。



**A04 計画研究：** 中條は、POSS を用いたハイブリッド材料において、超高感度 MRI 造影剤や MR-発光バイモダルプローブなど様々な生体関連材料を作製した (15)。この成果は、*Bull. Chem. Soc. Jpn.* の表紙に採択されたほか (2013, 86, 1231-1239)、日本経済新聞でも報道された (16)。

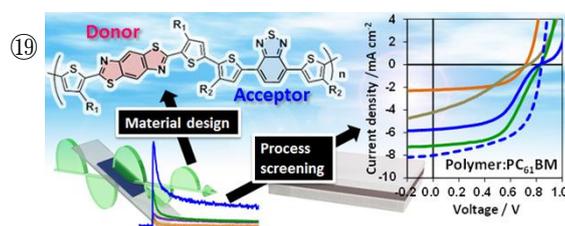


また、これを含む関連の研究成果で、共同研究者の田中一生が ⑰ H24 年度の日本化学会進歩賞を受賞した。さらに、ホウ素クラスター「カルボラン」を主骨格に有する新しい高分子蛍光発光材料を開発した。これらを一分子中で組み合わせ、他の足場骨格では実現困難な発光色制御を達成した。この成果は、*Asian J. Org. Chem.* 誌に掲載され (2014, 3, 624)、Wiley 出版社の Web 雑誌 ChemistryViews において紹介された (⑰)。



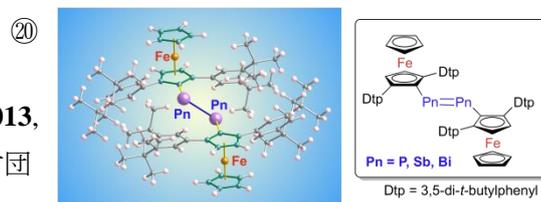
**A04 公募研究：** 田中一生は、A04 班渡瀬と共同で、単体硫黄を直接的に原料として用いた POSS とのハイブリッド材料を作製し、高屈折率・高アッペ数材料としての可能性を示した (⑱) (領域内共同研究、*J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.* 2014, 52, in press)。このような POSS を利用した光学材料の開発により、田中は、H26 年度宇部興産学術振興財団学術奨励賞を受賞した。

佐伯は、A03 班小野田との共同研究で、高エネルギーイオンビームを生体由来タンパク質に照射することで、生体機能と酵素活性を保持しながらも、アスペクト比 1000 を超えるナノワイヤーの形成に成功した (領域内共同研究、*Nature Commun.* 2014, in press)。さらに、佐伯は、独自に開発したデバイス伝導度評価法による材料スクリーニングを基にして、弱電子ドナーコンセプトの新規太陽電池高分子を設計・合成し、高効率太陽電池を実現した。この成果は、*Adv. Funct. Mater.* の表紙に採用された (⑲) (2014, 24, 28)。



三田は、A02 班の灰野と共同で折り畳みらせん構造を形成するポリフェニレンエチニレンの合成に成功した。光学活性共役高分子の階層構造形成の新しい例として興味深い (領域内共同研究、*Macromolecules* 2013, 46, 8161)。

笹森は、新規な d- $\pi$  電子共役系開発を目的として、二つのフェロセニルユニットを高周期 15 族元素  $\pi$  電子系で架橋した化合物の合成に初めて成功し、それぞれの元素の特徴を反映した特異な性質を示すことが分かった (⑳)。この成果は、*Bull. Chem. Soc. Jpn.* で表紙に採用されている (*Bull. Chem. Soc. Jpn.* 2013, 86, 1132)。このような研究の成果で、笹森はドイツ・フンボルト財団から Friedrich Wilhelm Bessel Research Award を受賞した。



## 8. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5 ページ程度）

現在実施している新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。論文の場合、現在から順に発表年次をさかのぼり、計画研究・公募研究毎に順に記載し、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に\*印を付してください。また、一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

### 研究成果

- ・主な論文 計画研究 [ ]内は、備考。共同研究には、研究機関での同一研究グループによるものは含めない。
- 1. Sakata, K.; Taguchi, S.; Uemura, S.; \*Kunitake, M.; Kawano, S.; Nishimi, T., Continuous Porous Poly-N-Isopropylacrylamide Gels Prepared from a Bicontinuous Microemulsion *Chem. Lett.* **2014**, *43*, 240-242. [The Editor's Choice]
- 2. \*Morisaki, Y.; Gon, M.; Sasamori, T.; Tokitoh, N.; \*Chujo, Y. Planar Chiral Tetrasubstituted [2.2]Paracyclophane: Optical Resolution and Functionalization, *J. Am. Chem. Soc.* **2014**, *136*, 3350-3353.
- 3. Jeon, J.-H.; Tanaka, K.; \*Chujo, Y. Synthesis of Sulfonic Acid-Containing POSS and Its Filler Effects for Enhancing Thermal Stabilities and Lowering Melting Temperatures of Ionic Liquids, *J. Mater. Chem. A* **2014**, *2*, 624-630. [Journal Cover Paper]
- 4. Kajiwara, Y.; Tanaka, K.; \*Chujo, Y. Enhancement of Dye Dispersibility in Silica Hybrids through Local Heating Induced by the Imidazolium Group under Microwave Irradiation, *Polym. J.* **2014**, *46*, 195-199. [ハイライト論文]
- 5. Kimura, N.; Kato, Y.; Suzuki, R.; Shimada, A.; Tahara, S.; Nakato, T.; Matsukawa, K.; Mutin, P.H.; \*Sugahara, Y. Single- and Double-Layered Organically Modified Nanosheets by Selective Interlayer Grafting and Exfoliation of Layered Potassium Hexaniobate, *Langmuir* **2014**, *30*, 1169-1175. [領域内共同研究]
- 6. \*Ohshita, J.; Murakami, K.; Tanaka, D.; Ooyama, Y.; Mizumo, T.; Kobayashi, N.; Higashimura, H.; Nakanishi, T.; Hasegawa, Y. Synthesis of Group 14 Dipyridinometalloles with Enhanced Electron-Deficient Properties and Solid-State Phosphorescence, *Organometallics* **2014**, *33*, 517-521. [領域内共同研究]
- 7. \*Ohshita, J.; Nakashima, M.; Tanaka, D.; Morihara, Y.; Fueno, H.; Tanaka, K. Preparation of D-A Polymer with Disilanobithiophene as New Donor Component and Application to High-voltage Bulk Heterojunction Polymer Solar Cell, *Polym. Chem.* **2014**, *5*, 346-349. [領域内共同研究]
- 8. \*Ohshita, J.; Kaneko, F.; Tanaka, D.; Ooyama, Y. Preparation and Photo-Induced Energy And Electron Transfer of New Donor-Silicon-Acceptor Polymers, *Asian J. Org. Chem.* **2014**, in press. [Chemistry Views で紹介]
- 9. \*Naka, K.; Shinke, R.; Yamada, M.; Belkada, F.; Aijo, Y.; Irie, Y. Shankar, S. R.; Smaran, K. S.; Matsumi, N.; Tomita, S.; Sakurai, S. Synthesis of Imidazolium Salt-Terminated Poly(amidoamine)-Typed POSS-Core Dendrimers and Their Solution and Bulk Properties, *Polym. J.* **2014**, *46*, 42-51. [領域内共同研究]
- 10. Huang, S.-C.; Minami, T.; \*Naka, K.; Chujo, Y. Fabrication of Amorphous Calcium Carbonate Composite Particles-Polymer Multilayer Films by a Layer-by-Layer Method, *Polymer Composites* **2014**, in press. [領域内共同研究]
- 11. Miyata, K.; Konno, Y.; Nakanishi, T.; Kobayashi, A.; Kato, M.; Fushimi, K.; \*Hasegawa, Y. Chameleon Luminophore for Sensing Temperatures: Control of Metal-to-Metal and Energy Back Transfer in Lanthanide Coordination Polymers, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2013**, *52*, 6413-6416.
- 12. Kajiwara, Y.; Nagai, A.; Tanaka, K.; \*Chujo, Y. Efficient Simultaneous Emission from RGB-Emitting Organoboron Dyes Incorporated into Organic-Inorganic Hybrids and Preparation of White Light-Emitting Materials, *J. Mater. Chem. C* **2013**, *1*, 4437-4444. [Journal Cover Paper]
- 13. Tokoro, Y.; Yeo, H.; Tanaka, K.; \*Chujo, Y. Synthesis and Tuning of Optical Properties of Conjugated Polymers Involving Benzo[h]quinoline-Based Neutral Pentacoordinate Organosilicon Complexes in the Main Chain, *Polym. Chem.* **2013**, *4*, 5237-5242. [Journal Cover Paper]
- 14. Qin, G., \*Watanabe, A. Surface Texturing of TiO<sub>2</sub> Film by Mist Deposition of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles, *Nano-Micr. Lett.* **2013**, *5*, 129-134. [Journal Cover Paper]
- 15. Matsumoto, T.; Tanaka, K.; \*Chujo, Y. Synthesis and Optical Properties of Stable Gallafluorene Derivatives; Investigation of Their Emission via Triplet States, *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 4211-4214.
- 16. Tanaka, K.; Chujo, Y. Unique Properties of Amphiphilic POSS and Their Applications, *Polym. J.* **2013**, *45*, 247-254.

[Invited Review]

17. \*[Hasegawa, Y.](#); Maeda, M.; [Nakanishi, T.](#); Doi, Y.; Hinatsu, Y.; Fujita, K.; Tanaka, K.; Koizumi, H.; Fushimi, K. Effective Optical Faraday Rotations of Semiconductor EuS Nanocrystals with Paramagnetic Transition Metal Ions, *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 2659-2666.
  18. Kobayashi, M.; [Saito, H.](#); [Boury, B.](#); [Matsukawa, K.](#); \*[Sugahara, Y.](#) Epoxy-Based Hybrids using TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Prepared via a Non-Hydrolytic Sol-Gel Route, *Applied Organomet. Chem.* **2013**, *27*, 673-677. [領域内共同研究]
  19. Shiono, T.; Tando, F.; Nakano, H.; \*[Sugahara, Y.](#) Microstructural behavior of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Formation in Reactions between Layered Iron Oxychloride and Sodium *n*-Pentoxide, *Solid State Sci.* **2013**, *19*, 156-161. [Adv. Engineer. Mater.で紹介]
  20. Tanaka, D.; \*[Ohshita, J.](#); [Ooyama, Y.](#); Morihara, Y. Synthesis and Optical and Photovoltaic Properties of Dithienosilole-Dithienylpyridine and Dithienosilole-Pyridine Alternate Polymers and Polymer-B(C<sub>6</sub>F<sub>5</sub>)<sub>3</sub> Complexes, *Polym. J.* **2013**, *45*, 1153-1158. [Journal Cover Paper]
  21. Tanaka, D.; \*[Ohshita, J.](#); [Ooyama, Y.](#); Kobayashi, N.; Higashimura, H.; [Nakanishi, T.](#); [Hasegawa, Y.](#) Synthesis, Optical Properties, and Crystal Structures of Dithienostannoles, *Organometallics* **2013**, *32*, 4136-4141. [領域内共同研究、ACS Noteworthy Chemistryで紹介]
  22. Yeo, H.; Tanaka, K.; \*[Chujo, Y.](#) Isolation of  $\pi$ -Conjugated System through Polyfluorene from Electronic Coupling with Side-Chain Substituents by Cardo Structures, *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.* **2012**, *50*, 4433-4442. [Journal Cover Paper]
  23. Tanaka, K.; [Chujo, Y.](#) Advanced Functional Materials Based on Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane (POSS), *J. Mater. Chem.* **2012**, *22*, 1733-1746. [Invited Review]
  24. Tokoro, Y.; Nagai, A.; Tanaka, K.; \*[Chujo, Y.](#) Synthesis of  $\pi$ -Conjugated Polymers Containing Aminoquinoline-Borafluorene Complexes in the Main-Chain, *Macromol. Rapid Commun.* **2012**, *33*, 550-555. [Journal-Selected Paper]
  25. Kaneko, T.; Kamochi, Y.; Yamamoto, H.; [Matsukawa, K.](#); \*[Sugahara, Y.](#) Preparation of Epoxy-Based Hybrid Films from an Aqueous TiO<sub>2</sub> Dispersion via Solvent Exchange and Surface Modification with *n*-Octylphosphonic Acid, *Composite Interfaces*, **2012**, *19*, 593-601. [領域内共同研究]
  26. \*[Naka, K.](#); Kato, T.; Watase, S.; [Matsukawa, K.](#) Organic Vapor Triggered Repeatable On-Off Crystalline-State Luminescence Switching, *Inorg. Chem.* **2012**, *51*, 4420-4422. [領域内共同研究]
  27. Minehara, H.; Narita, A.; [Naka, K.](#); Tanaka, K.; Chujo, M.; Nagao, M.; \*[Chujo, Y.](#) Tumor Cell-Specific Prodrugs Using Arsonic Acid-Presenting Iron Oxide Nanoparticles with High Sensitivity, *Bioorg. Med. Chem.* **2012**, *20*, 4675-4679. [領域内共同研究]
  28. Sakamaki, D.; \*Ito, A.; [Tanaka, K.](#); Furukawa, K.; Kato, T.; Shiro, M. 1,3,5-Benzenetriamine Double- and Triple-Decker Molecules, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, *51*, 8281-8285.
  29. \*[Matsukawa, K.](#); Watanabe, M.; Hamada, T.; Nagase, T.; [Naito, H.](#) Polysilsesquioxanes for gate insulating materials of organic thin-film transistors, *Int. J. Polym. Sci.*, **2012**, *2012*, 852063. [領域内共同研究]
  30. Yokoyama, Y.; Sakamaki, D.; \*Ito, A.; [Tanaka, K.](#); Shiro, M. A Triphenylamine Double-Decker: From a Delocalized Radical Cation to a Diradical Dication with an Excited Triplet State, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2012**, *51*, 9403-9406.
  31. Sakamaki, D.; \*Ito, A.; Furukawa, K.; Kato, T.; Shiro, M.; \*[Tanaka, K.](#) A Polymacrocyclic Oligoarylamine with a Pseudobeltane Motif: Towards a Cylindrical Multispin System, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, *51*, 12776-12781.  
その他、計画研究の論文発表 242 報 (総説を含む)
- ・公募研究
32. Sekiya, R.; Uemura, Y.; Murakami, H.; \*[Haino, T.](#) White-Light-Emitting Edge-Functionalized Graphene Quantum Dots, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, *53*, in press, DOI: 10.1002/anie.201311248.
  33. \*[Shimizu, S.](#); Nakano, S.; Kojima, A.; \*Kobayashi, N. A Core-Expanded Subphthalocyanine Analogue with Significantly-Distorted Conjugated Surface and Concomitant Unprecedented Properties, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, *53*, 2408-2412.
  34. Yokoi, H.; Wachi, N.; \*Hiroto, S.; \*[Shinokubo, H.](#) Oxidation of 2-Amino-Substituted BODIPYs Providing Pyrazine-Fused BODIPY Trimers, *Chem. Commun.* **2014**, *50*, 2715-2717. [Journal Cover Paper]
  35. Fukuoka, T.; Uchida, K.; Sung, Y. M.; Shin, J.-Y.; Ishida, S.; Lim, J. M.; Hiroto, S.; Furukawa, K.; \*Kim, D.; \*Iwamoto, T.; \*[Shinokubo, H.](#) Near-IR Absorbing Nickel(II) Porphyrinoids Prepared by Regioselective Insertion of

- Silylenes into Antiaromatic Nickel(II) Norcorrole, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, *53*, 1506-1509. [Frontispiece に採用]
36. \*Shin, J.-Y.; Yamada, T.; \*Yoshikawa, H.; \*Awaga, K.; \*Shinokubo, H. An Antiaromatic Electrode-Active Material Enabling High Capacity and Stable Performance of Rechargeable Batteries, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, *53*, 3096-3101. [Hot paper、 Frontispiece に採用]
  37. \*Negishi, Y. Towards the Creation of Functionalized Metal Nanoclusters and Highly Active Photocatalytic Materials Using Thiolate-Protected Magic Gold Clusters, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **2014**, *87*, 375-389. [Journal Cover Paper, CSJ Journal Report に採用]
  38. Takeoka, H.; Fukui, N.; \*S. Sakurai, Nakamura, Y.; \*Fujii, S. Nanomorphology Characterization of Sterically Stabilized Polypyrrole-Palladium Nanocomposite Particles, *Polym. J.* **2014**, in press. [領域内共同研究]
  39. Okamoto, Y.; \*Onoda, A.; Sugimoto, H.; Takano, Y.; Hirota, S.; Kurtz, Jr., D. M.; Shiro, Y.; \*Hayashi T. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-dependent Substrate Oxidation by an Engineered Diiron Site in a Bacterial Hemerythrin, *Chem. Commun.* **2014**, *50*, 3421-3423. [Journal Cover Paper]
  40. Tsuji, M.; \*Saeki, A.; Koizumi, Y.; Matsuyama, N.; Vijayakumar, C.; \*Seki, S. Benzobisthiazole as Weak Donor for Improved Photovoltaic Performance: Microwave Conductivity Technique Assisted Molecular Engineering, *Adv. Funct. Mater.* **2014**, *24*, 28-36. [Journal Cover Paper]
  41. \*Saeki, A.; Tsuji, M.; Yoshikawa, S.; Gopal, A.; Seki, S. Boosting Photovoltaic Performance of a Benzobisthiazole Based Copolymer: A Device Approach Using a Zinc Oxide Electron Transport Layer, *J. Mater. Chem. A* **2014**, *2*, 6075-6080. [Emerging Investigator Issue に掲載]
  42. \*Morisue, M.; Fukui, H.; Shimizu, M.; Inoshita, K.; Morisaki, Y.; Chujo, Y. Chirality Induction in Binuclear Phthalocyanine Tweezers, *Tetrahedron Lett.* **2014**, *55*, 271-274. [領域内共同研究]
  43. Lu, F.; Yamamura, M.; \*Nabeshima, T. A Highly Selective and Sensitive Ratiometric Chemodosimeter for Hg<sup>2+</sup> Ions Based on an Iridium(III) Complex via Thioacetal Deprotection Reaction, *Dalton Trans.* **2013**, *42*, 12093-12100. [Journal Cover Paper]
  44. Kido, H.; Shin, J.-Y.; \*Shinokubo, H. Selective Synthesis of a [32]Octaphyrin(1.0.1.0.1.0.1.0) Bis(palladium) Complex by a Metal-Templated Strategy, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2013**, *52*, 13727-13730.
  45. Tsurugi, H.; Tanahashi, H.; Nishiyama, H.; Fegler, W.; Saito, T.; Sauer, A.; Okuda, J.; Mashima, K. Salt-free Reducing Reagent of Bis(trimethylsilyl)cyclohexadiene Mediates Multi-electron Reduction of Chloride Complexes of W(VI) and W(IV), *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 5986-5989.
  46. \*Negishi, Y.; Mizuno, M.; Hirayama, M.; Omatoi, M.; Takayama, T.; Iwase, A.; Kudo, A. Enhanced Photocatalytic Water Splitting by BaLa<sub>4</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>15</sub> Loaded with ~1nm Gold Nanoclusters using Glutathione-Protected Au<sub>25</sub> Clusters, *Nanoscale* **2013**, *5*, 7188-7192. [Journal Cover Paper]
  47. \*Negishi, Y.; Kurashige, W.; Niihori, Y.; Nobusada, K. Toward the Creation of Stable, Functionalized Metal Clusters, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2013**, *15*, 18736-18751. [Journal Cover Paper]
  48. Demirci, A.; Matsui, J.; \*Mitsuishi, M.; Watanabe, A.; Miyashita, T. Film Preparation of Siloxane-Based Polymer Containing Anthracene Group, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **2013**, *579*, 34-38. [領域内共同研究]
  49. \*Haino, T.; Hirai, Y.; Ikeda, T.; Saito, H. Photoresponsive Two-Component Organogelators based on Trisphenylisoxazolybenzene, *Org. Biomol. Chem.* **2013**, *11*, 4164-4170. [Journal Cover Paper]
  50. \*Kozaki, M.; Suzuki, S.; Okada, K. Dendritic Light-Harvesting Antennas with Excitation Energy Gradients, *Chem. Lett.* **2013**, *42*, 1112-1118. [CSJ Journal Report で紹介]
  51. \*Kuroiwa, K.; Kimizuka, N. Self-assembly and Functionalization of Lipophilic Metal-Triazole Complexes in Various Media, *Polym. J.* **2013**, *45*, 384-390. [Journal Cover Paper]
  52. \*Matsui, J.; Kikuchi, R.; Miyashita, T. A Trilayer Film Approach to Multicolor Electrochromism, *J. Am. Chem. Soc.* **2014**, *136*, 842.
  53. Penaloza, D.; \*Shundo, A.; Matsumoto, K.; Ohno, M.; Miyaji, K.; Goto, M.; \*Tanaka, K. Spatial Heterogeneity in the Sol-gel Transition of a Supramolecular System, *Soft Matter* **2013**, *9*, 5166-5172. [Journal Cover Paper, June's Hot papers で紹介]
  54. \*Shundo, A.; Hori, K.; Ikeda, T.; Kimizuka, N.; \*Tanaka, K. Design of a Dynamic Polymer Interface for Chiral Discrimination, *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 10282-10285.

55. \*Inagi, S.; Nagai, H.; Tomita, I.; Fuchigami, T. Parallel Polymer Reactions of a Polyfluorene Derivative by Electrochemical Oxidation and Reduction, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2013**, *52*, 6616-6619.
56. \*Inagi, S.; Fuchigami, T. Electrochemical Post-functionalization of Conducting Polymers, *Macromol. Rapid Commun.*, in press. [Invited Feature Article]
57. Sakagami, M.; \*Sasamori, T.; Sakai, H.; Furukawa, Y.; \*Tokitoh, N., 1,2-Bis(ferrocenyl)dipnictenes: Bimetallic Systems with a Pn=Pn Heavy  $\pi$ -Spacer (Pn: P, Sb, and Bi), *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2013**, *86*, 1132-1143. [Journal Cover Paper]
58. Tanaka, K.; Chujo, Y. Chemicals-Inspired Biomaterials; Developing Biomaterials Inspired by Material Science Based on POSS, *Bull. Chem. Soc. Jpn* **2013**, *86*, 1231-1239. [Journal Cover Paper, Invited Review]
59. Sogawa, H.; Shiotsuki, M.; Hirao, T.; Haino, T.; \*Sanda, E. Synthesis of Optically Active Poly(*m*-phenyleneethynylene-aryleneethynylene)s Bearing Hydroxy Groups and Examination of the Higher Order Structures, *Macromolecules* **2013**, *46*, 8161-8170. [領域内共同研究]

その他、公募研究の論文発表 260 報 (総説を含む)

・書籍 85 件 (うち、計画班によるもの 28 件)

・学会発表

1. Chujo, Y. Advanced Luminescent Materials Based on Organoboron Polymers, Polymer Conference, Bangkok, Thailand, 2013/3/28 (Plenary Lecture).
2. Hasegawa, Y. Lanthanide complexes with remarkable asymmetric dodecahedron structure, 19th International SPACC symposium, The society of pure and applied coordination chemistry (SPACC), Sapporo, 2012/8/3-4 (Plenary Lecture).
3. Tomita, I.  $\pi$ -Conjugated Polymers Possessing Versatile Elements-Blocks, IUPAC 9th International Conference on Novel Materials and Synthesis(NMS-IX) & 23rd International Symposium on Fine Chemistry and Functional Polymers (FCFP-XXIII), Shanghai, 2013/10/17-22 (Plenary Lecture).

その他、2103 件 (内、招待・依頼講演など 372 件)

(内、計画班によるもの 小計 1044 件、基調・招待・依頼講演など 180 件)

・特許 出願 84 件、取得 15 件 (内、計画班によるもの 出願 54 件、取得 9 件)

#### 新聞・テレビなどでの報道

1. 中條善樹 (A04計画) 「MRIで初期がん検出」日本経済新聞, H25/7/9.
2. 松川小洋 (A03計画) 「日本を支えるKANSAIものづくり企業166エマオス京都」日刊工業新聞, H24/11/6. (この報道で「フロー系有機合成用モノリスリアクター」第25回中小技術優秀新技術・新製品賞産学官連携特別賞を受賞)
3. 國武雅司 (A02計画) 「材料の枠を超え新学術」熊本日日新聞, H26/3/19. (領域研究の概要と第4回公開シンポジウムの紹介)
4. 長谷川靖哉 (A03計画) 「温度で色かわるカメレオン発光体」TBS TVニュース; 「カメレオン発光体北大が開発」朝日新聞33面, H25/5/11; 「温度で色かわる発光体北大が開発宇宙船などに応用期待」日経新聞42面, H25/5/11; ガリレオX「海底のレアアース資源」BSフジにて放映, H25/6/9.
5. 田中敬二 (A03公募) 「生体適合フィルム開発九大が技術水で軟らかさ調整」日経産業新聞, H25/10/8.
6. 藤井秀司 (A04公募) 「ホタテ貝殻有効利用」日刊工業新聞, H25/12/16.

その他、新聞報道26件、テレビ放映1件

**ホームページ (HP)** HP (<http://element-block.org/>) を H24 年 9 月に開設し、領域の紹介を行うほか、随時研究成果や公開行事の案内および活動状況を公開した。

**ニュースレター** ニュースレターNo.1-10 (それぞれ 2-12 頁) を作成し、印刷物での配布と HP からのダウンロードにより公開した。巻頭言、研究紹介、元素ブロックライブラリー、活動状況、公開行事の情報を発信した。

**主催シンポジウム等** (名称・日付・場所・参加者総数・うち領域外参加者数・参加企業)

1. キックオフミーティング・H24/9/15・京都・91 名・63 名・横浜ゴム(株)、(株)日本触媒、東亜合成(株)など 4 社
2. 第 1 回公開シンポジウム・H25/2/2・東京・90 名・42 名・住友化学(株)、ブリヂストン(株)、日産化学工業(株)、横浜ゴム(株)、住友大阪セメント(株)、(株)東芝、旭硝子(株)、出光興産(株)、松本油脂製薬(株)など 15 社
3. 第 2 回公開シンポジウム・H25/7/5・東京・130 名・19 名・三菱化学科技研、三井化学(株)、DIC(株)、宇部

- 興産(株)、日産化学工業(株)、住友大阪セメント(株)、旭硝子(株)、東亜合成(株)、日立化成(株)など 17 社
- 第 3 回公開シンポジウム (新学術「融合マテリアル」との合同開催)・H26/1/28・広島・210 名・17 名 (「融合マテリアル」関係者を除く)・(株)ブリヂストン、トヨタ自動車(株)、戸田工業(株)、日東電工(株)など 8 社
  - 第 4 回公開シンポジウム・H26/4/23・熊本・98 名・8 名・日産化学(株)、三菱商事(株)、大電(株)など 4 社
  - 第 1 回産学官連携シンポジウム (大阪市立工業研究所との両主催)・H25/12/12・大阪・95 名・57 名 (大阪市立工業研究所関係者を除く)・関東電化工業 (株)、堺化学工業 (株)、三洋化成工業 (株)、信越化学工業 (株)、住友精化 (株)、住友電気工業 (株)、第一工業製薬 (株)、帝人デュポンフィルム (株)、東亜合成 (株)、日油 (株)、(株)日本触媒 (2 名)、日本ゼオン (株)、マツダ (株)、三菱ガス化学 (株) など 38 社
  - 第 1 回国際シンポジウム・H26/5/31・京都・90 名・12 名・日本電気硝子(株)、ブリヂストン、DSP 五協フード&ケミカル(株)、NH ネオケム(株)の 4 社

そのほか、共催・協賛および関連行事 (班員がオーガナイザーなどとして寄与したもの) を開催し、領域の成果の公開に努めた。以下に主なものを記す (名称・日付・場所・参加者総数)。

- 日本セラミックス協会第 25 回秋季シンポジウム・第 61 回高分子討論会 ジョイントサテライトシンポジウム「革新的ハイブリッド材料研究討論会」・H24/9/18・名古屋・40 名 (オーガナイザー: A01 班・中)
- 高分子学会無機高分子研究会セミナー・H24/10/12・1・静岡・38 名 (協賛)
- 日本化学会第 93 春季年会特別企画「元素ブロック高分子材料の創出」・H25/3/25・滋賀・約 80 名 (オーガナイザー: A01 班・中)
- 高分子夏季大学分科会「ハイブリッド高分子材料」・H25/7/18・広島・約 100 名 (協賛)
- 高分子討論会 特定テーマセッション「元素ブロック高分子-ハイブリッド高分子が拓く未来-」・H25/9/11-13・石川・約 80 名 (オーガナイザー: A01 班・大下、A02 班・郡司)
- 日本化学会 化学フェスタ「技術革新の種を撒く: 新学術領域が目指す未来の化学」・H25/10/22・東京・約 100 名 (領域代表が本学術領域について講演、ファシリテータとして、パネルディスカッションに参加)
- 元素ハイブリッド研究会 (協賛・元素ハイブリッド研究会主催)・H25/3/13 と H26/3/10 の 2 回・大阪市立工業研究所・参加計 75 名 (8 割が企業の研究者・技術者) (協賛)
- 日本化学会第 93 春季年会特別企画「元素ブロック高分子材料の新展開」・H26/3/30・愛知・約 100 名 (オーガナイザー: A02 班・郡司)

その他、協賛講演会 4 件を行った。今後も、日本セラミックス協会第 27 回秋季シンポジウム特定セッション「元素ブロック: 作製と高分子化戦略」H26/9/9-11 (オーガナイザー: A01 班・菅原)、第 63 回高分子討論会特定テーマ「元素ブロック高分子の創成と機能」H26/9/24-26 (同 A03 班・松川) などが既に予定されている。

## 一般向けアウトリーチ活動

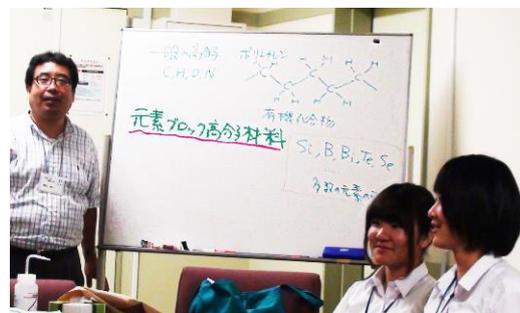
### ・共催行事

- 日本化学会化学だいすきクラブ「10 年後の君たちの未来と化学@京都」(日本化学会との共催)・H25/8/7・京都工芸繊維大学松ヶ崎キャンパス・参加 7 名 (中高生)

### ・協賛行事および班員が主体となって領域の紹介や関連する活動を行ったもの

- 子供化学実験教室～集まれ! 未来の化学者たち (協賛・日本化学会中国四国支部主催)・H25/11/16・広島大学東広島キャンパス・参加 176 名 (小中学生と父母)・NHK ローカルニュースで報道された。
- サイエンスカフェ札幌「光る分子が世界を描く～カメレオン発光体」(A03 班・長谷川)・H25/7/2・札幌紀伊国屋書店・参加 80 名 (一般)
- 文科省 SSH(スーパーサイエンスハイスクール)理系 「身近な高分子材料の不思議を探る」のテーマで研究体験 (A04 班・櫻井)・京都工芸繊維大学・H25/8/5-9・参加 4 名 (京都府立洛北高校生徒) (右写真)

その他、上記を含めて 172 件のアウトリーチ活動が行われた。



## 9. 今後の研究領域の推進方策（2ページ程度）

今後どのように領域研究を推進していく予定であるか、研究領域の推進方策について記述してください。また、領域研究を推進する上での問題点がある場合は、その問題点と今後の対応策についても記述してください。また、目標達成に向け、不足していると考えているスキルを有する研究者の公募班での重点的な補充や国内外の研究者との連携による組織の強化についても記述してください。

本新学術領域研究「元素ブロック高分子材料の創出」の目的は、多彩な元素群で構成される構造単位（元素ブロック）を新たに設計合成し、これらを高分子化させる手法と、所望の機能を発現するように高次化および階層界面制御する手法を獲得することで、従来の有機高分子材料では不可能な電子・光学・磁気特性と、従来の無機材料の欠点である成形加工性と自在設計性を、高度なレベルで共有する新素材への飛躍的な展開への糧となる高分子材料を創出する学術領域を創成するとともに、この学術領域により育成される若手を中心とした研究人材によって「日本の未来を化学で元気にする」ことである。

研究期間の前半において、総括班で班長、班間連携、若手育成、ライブラリー、ニュースレター、ホームページ、産学官などの担当者を配置し、積極的にそれぞれの役割を果たすことによって、研究領域の活動を**ボトムアップ的に活性化**することに成功している。研究領域全体として、高分子化学または無機化学を基盤とし、無機高分子、ヘテロ元素系高分子、および無機元素ブロックの合成を精力的に行っている研究者とともに、元素の特徴を活かした材料の組織化、物性評価および理論解析を行っている計画班同士の相互交流・連携により、有機化学や無機化学といった既存の学問領域に囚われず、元素ブロック高分子材料を創出するための基盤となる課題を明確にできた。その後、計画班の範疇を超える野心的な分野を切り拓こうとする公募班との相互の意見交換および共同研究を積極的にマネジメントすることができ、多数の論文や学会発表によって成果が公表され、顕著な成果が多数の雑誌の表紙を飾るとともに、多くの新聞およびテレビによってその成果が広く世間に紹介された。また、班員の昇進や受賞もそれぞれ多数であり、本領域のアクティビティの高さが多いに示される結果となっている。現在のところ、問題は全く発生しておらず、領域代表の強力なマネジメントによって、ボトムアップ的に新学術領域を創成しようという雰囲気になり、満ち溢れ、枠に捕われない有機的な連携による研究活動、情報の共有、社会貢献などを進めている。

これらをふまえて、本領域の使命である「日本の未来を化学で元気にする」を旗頭に継続して領域研究を推進していく予定である。

### （1）計画班に関して

計画班については積極的にそれぞれの役割を果たしている。今後も、総括班メンバーとして、班長、班間連携、若手育成、ライブラリー、ニュースレター、ホームページ、産学官、などの担当を、責任をもって自主的に担当させる。個別には「計画班員」が高い意識をもって活発に研究を進めており、今後は次元やサイズを考慮した多様なブロックを取り入れて、物質の幅を拡大しつつ、新規材料創製、新規化学合成プロセス開発、新規電気・磁気・光学特性開発などを包括的に視野に入れた元素ブロック高分子材料の創出のための領域全体を見据えた研究や共同研究を進めるにあたって、核となることを大いに期待している。

### （2）公募班に関して

もとの計画研究にはなかった新しい分野の開拓に意欲的な公募研究班の参入によって、研究領域全体の研究が活性化され、若手研究者が非常に活発に領域で活動した。今後は、班間移動をさらに実施、より効率的な運営、班をまたいだ共同研究の活性化を進めたい。また、元素ブロック高分子材料の創出に不可欠な理論、物性に精通した研究者をより多く採択したい。

### （3）有機的な連携による研究活動、情報の共有について

各班に班間連携担当者を置き、共同研究を積極的に後押しするとともに、公募班の申請による共同研究旅費補助や班間移動による活性化および共同利用装置の有効利用によって共同研究が104件（うち論文発表13件）と極めて多くなった。今後も、この仕組みを継続させるとともに、領域全体を見据えた共同研究

の推進を図る。領域の組織としての縦糸である班に対して、元素ブロックに関連した共通キーワードで班をまたいだ横糸として本領域独自の取り組みである分科会を、これまで「ナノ粒子」、「 $\pi$ 電子系」で開催し、今後「POSS」での開催も決まっている。分科会が研究推進と人材育成に予想以上に極めて有効であることがわかったことから、これから公募班からの提案によって新たなキーワードで分科会を開催する。

領域内の研究者に限定して公開している元素ブロックライブラリーをさらに充実させることで、班員であるメリットを活かして共同研究を積極的に進めたい。

#### (4) 若手研究者育成について

若手研究者育成は、研究領域の活性化および本領域の使命である「日本の未来を化学で元気にする」ためにも欠かすことができない。研究期間前半において公募班として多数の若手研究者が採択されたことは、研究に対する分野を超えた興味や、積極的な共同研究につながるなど、極めて有効に働いた。若手公募班が主体とした若手研究会の企画や活発な議論など、将来の研究領域を牽引するに十分と判断できた。今後もこの方針を継続させるとともに、若手研究者の海外派遣を積極的に支援することで、本領域を世界に広めていきたい。本領域ではさらに、これからの元素ブロックを背負って立つべき人材の育成を重視しており、各班員の研究室の学生のモチベーションアップも必要であることから英語によるプレゼンテーションを課した合同修士論文発表会を企画した。これは研究領域全体の底上げにとって極めて大きな意味があり、今後も続けたい。

#### (5) 外部研究グループ、研究者、企業などとの連携について

研究期間前半において「融合マテリアル」との領域合同公開シンポジウムを開催することで、領域を超えた連携を行うことが、互いの領域を活性化することに多いに貢献できると判断されたため、今後も領域間の連携を強めたい。「元素ブロック高分子材料」を世界に示すことが強く望まれているため、英語のホームページを充実させるとともに、世界へ「元素ブロック」の概念を発信するため国際シンポジウムを積極的に開催するとともに、“元素ブロック”の概念を紹介する英語の総説を執筆し、最終年度には英語の単行本を出版する。さらに、9名の国際アドバイザーを設置し、ホームページの英語版や国際シンポジウムの報告などを海外の著名な方にアドバイザーの立場で見ってもらうことにより、本領域の国際的な周知を目指す。

本領域の公開シンポジウムは企業からの参加者が多いことが特徴であり、企業からの注目も大きいことから研究期間前半において産学官連携シンポを開催し、個別の企業でのシンポジウムも多数行った。研究期間後半はさらに、産学官の連携を強めて「日本の未来を化学で元気にする」使ってもらえる材料を育て、共同研究を展開することで、**世の中に役に立つ材料創製のための学術分野を確立**する。