

領域略称名：融合マテリアル  
領域番号：2206

平成27年度科学研究費補助金「新学術領域研究  
(研究領域提案型)」に係る事後評価報告書

「融合マテリアル：分子制御による材料創成と機能開拓」

平成22年度～平成26年度

平成27年6月

領域代表者 (東京大学・大学院工学系研究科・教授・加藤 隆史)

# 目 次

1. 研究領域の目的及び概要	8
2. 研究領域の設定目的の達成度	10
3. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況	13
4. 審査結果の所見及び中間評価で指摘を受けた事項への対応状況	14
5. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	17
6. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）	20
7. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	25
8. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	27
9. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度	31
10. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況	32
11. 総括班評価者による評価	33

## 研究組織

研究項目	課題番号 研究課題名	研究期間	代表者氏名	所属機関 部局 職	構成 員数
X00	22107001 融合マテリアル：分子制御による材料創成と機能開拓の総括研究	平成 22 年度 ～ 平成 26 年度	加藤 隆史	東京大学 大学院工学系研究科・教授	26
A01 計	22107002 融合マテリアル形成制御用無機クラスターの設計と合成	平成 22 年度 ～ 平成 26 年度	垣花 真人	東北大学 多元物質科学研究所・教授	2
A01 計	22107003 融合マテリアル形成および機能発現のための制御分子の設計と合成	平成 22 年度 ～ 平成 26 年度	加藤 隆史	東京大学 大学院工学系研究科・教授	3
A01 計	22107004 分子制御による融合マテリアル形成の計算科学シミュレーション	平成 22 年度 ～ 平成 26 年度	灘 浩樹	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 環境管理研究部門・主任研究員	2
A01 計	22107005 機能性ペプチドによる融合マテリアルの精密設計と合成	平成 22 年度 ～ 平成 26 年度	鳴瀧(菅原)彩絵	名古屋大学 大学院工学研究科・准教授	1
A02 計	22107006 界面機能設計による融合マテリアルの構築	平成 22 年度 ～ 平成 26 年度	青島 貞人	大阪大学 大学院理学研究科・教授	3
A02 計	22107007 バイオネラルの無機組織構造に学ぶ融合マテリアルの構築	平成 22 年度 ～ 平成 26 年度	大槻 主税	名古屋大学 大学院工学研究科・教授	2
A02 計	22107008 有機分子高度組織体を用いる融合マテリアルの構築	平成 22 年度 ～ 平成 26 年度	菊池 裕嗣	九州大学 先導物質化学研究所・教授	2
A02 計	22107009 人工機能化タンパク質を用いた融合マテリアルの構造制御	平成 22 年度 ～ 平成 26 年度	新垣 篤史	東京農工大学 大学院工学研究院・准教授	1
A03 計	22107010 有機分子制御型無機結晶の合成と融合機能の開拓	平成 22 年度 ～ 平成 26 年度	今井 宏明	慶應義塾大学 理工学部応用化学科・教授	3
A03 計	22107011 ナノ融合分子集合体による機能開拓とバイオ応用	平成 22 年度 ～ 平成 26 年度	片桐 清文	広島大学 大学院工学研究科・准教授	2
A03 計	22107012 有機ゲルおよび高分子を用いる融合マテリアルの動的機能の開拓	平成 22 年度 ～ 平成 26 年度	竹岡 敬和	名古屋大学 大学院工学研究科・准教授	1
計画研究 計 12 件					
A01 公	23107503 動的階層構造を持つ液晶秩序の構築と金属融合ハイブリッド材料の創製	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	吉澤 篤	弘前大学 大学院理工学研究科・教授	1

A01 公	23107504 DNAグロビュール構造を核とした多元積層ナノクラスターの構築	平成23年度 ～ 平成24年度	梅津 光央	東北大学 大学院工学研究科・准教授	1
A01 公	23107505 バイオミネラリゼーション分子機構に基づく新規機能性ナノデバイスの創製	平成23年度 ～ 平成24年度	小川 智久	東北大学 大学院生命科学研究科・准教授	2
A01 公	23107508 有機シリカ系ハイブリッドクラスターの集積による多孔性ネットワークの構築	平成23年度 ～ 平成24年度	下嶋 敦	東京大学 大学院工学系研究科・准教授	1
A01 公	23107509 階層的自己組織化構築したクラスター錯体の磁場配向	平成23年度 ～ 平成24年度	佐藤 宗太	東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 (WPI-AIMR)・准教授 (ERATO)	1
A01 公	23107512 自己組織化ペプチドを用いるナノファイバーの構築と融合マテリアル展開	平成23年度 ～ 平成24年度	三原 久和	東京工業大学 大学院生命理工学研究科・教授	1
A01 公	23107514 有機分子-無機分子融合超分子ヒドロゲルの創製	平成23年度 ～ 平成24年度	山中 正道	静岡大学 理学部・准教授	1
A01 公	23107516 光学活性融合マテリアル創出を指向したキラルリンポリマーの合成と高次構造制御	平成23年度 ～ 平成24年度	森崎 泰弘	京都大学 大学院工学研究科・講師	1
A01 公	23107517 金属超分子を構成単位とする融合マテリアルの構築	平成23年度 ～ 平成24年度	今野 巧	大阪大学 大学院理学研究科・教授	1
A01 公	23107521 無機有機複合材料の新規製法創成に向けたシリコンバイオミネラル形成機構の解明	平成23年度 ～ 平成24年度	清水 克彦	鳥取大学 産学・地域連携推進機構・准教授	1
A01 公	23107523 バイオミネラリゼーションの時空間的制御を可能とするケージドペプチドの創製	平成23年度 ～ 平成24年度	重永 章	徳島大学 大学院ヘルスバイオサイエンス研究部 (薬学系)・助教	1
A01 公	23107524 着せ替えウイルス融合マテリアルの創製	平成23年度 ～ 平成24年度	松浦 和則	鳥取大学 大学院工学研究科・教授	1
A01 公	23107533 融合マテリアル形成用無機ナノシートの開発と生物模倣積層集積による高次機能の創製	平成23年度 ～ 平成24年度	長田 実	物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・准主任研究者	1
A01 公	23107535 刺激応答性構造色バルーンの開発とマイクロカプセルによる金ナノロッド配列構造の形成	平成23年度 ～ 平成24年度	東口 顕士	京都大学 大学院工学研究科・助教	1
A01 公	25107702 動的階層構造液晶を用いた特異的金属集積による表示・薬理活性機能の創成	平成25年度 ～ 平成26年度	吉澤 篤	弘前大学 大学院理工学研究科・教授	1
A01 公	25107703 真珠バイオミネラリゼーション分子機構に基づく機能性融合ナノマテリアルの創製	平成25年度 ～ 平成26年度	小川 智久	東北大学 大学院生命科学研究科・准教授	1

A01 公	25107708 階層的自己組織化構築したク ラスタ-錯体の磁場配向 (平 成 25 年 6 月 27 日まで)	平成 25 年度	佐藤 宗太	東北大学 原子分子材料科学高等研 究機構 (WPI-AIMR)・准教授 (ERATO)	1
A01 公	25107709 ポリオンコンプレックスナ ノ構造を中心とする融合マテ リアル創出法の開発	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	岸村 顕広	九州大学 大学院工学研究院・准教授	1
A01 公	25107710 無機有機ハイブリッドクラ スターの集積による多孔性融合 マテリアルの創製	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	下嶋 敦	早稲田大学 先進理工学部・准教授	1
A01 公	25107713 有機分子-無機分子融合超分 子ヒドロゲルの機能開拓	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	山中 正道	静岡大学 大学院理学研究科・准教授	1
A01 公	25107715 光学活性融合マテリアル創出 を指向したキラリンポリマ ーの合成	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	森崎 泰弘	京都大学 大学院工学研究科・講師	1
A01 公	25107716 溶ける錯体フレームワークを 用いた融合機能材料の開発	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	堀毛 悟史	京都大学 大学院工学研究科・助教	1
A01 公	25107717 イオノマー膜を有する構造色 バルーン機能化	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	東口 顕士	京都大学 大学院工学研究科・助教	1
A01 公	25107721 タンパク質および無機物で着 せ替えたウイルス融合マテリ アルの創製	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	松浦 和則	鳥取大学 大学院工学研究科・教授	1
A01 公	25107722 シリコンバイオミネラルに関 わる新規タンパク質グラシン による融合マテリアルの創成	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	清水 克彦	鳥取大学 産学・地域連携推進機構・ 准教授	1
A01 公	25107724 バイオミネラリゼーションの 時空間的制御を可能とするケ ージドタンパク質の創製	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	重永 章	徳島大学 大学院ヘルスバイオサイ エンス研究部 (薬学系)・講師	1
A02 公	23107506 環境低負荷プロセスによる材 料表面への低次元酸化物ナノ 構造の高次構築	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	関野 徹	東北大学 多元物質科学研究所・准教 授	3
A02 公	23107513 印象派物理学による天然複合 材料の研究:マテリアル開発に おける指導原理の構築	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	奥村 剛	お茶の水女子大学 大学院人間文化 創成科学研究科・教授	1
A02 公	23107515 リビングラジカル重合による金 属含有特殊構造ポリマーの開発	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	佐藤 浩太郎	名古屋大学 大学院工学研究科・准教 授	1
A02 公	23107520 イオン液体-ナノ粒子融合マ テリアルの構築	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	中嶋 琢也	奈良先端科学技術大学院大学 物質 創成科学研究科・准教授	1

A02 公	23107525 PLGA階層化炭酸アパタイトフォームの創製	平成23年度 ～ 平成24年度	石川 邦夫	九州大学 大学院歯学研究院・教授	1
A02 公	23107526 マグネタイト-高分子ハイブリッドの微細構造制御と微小球の構築	平成23年度 ～ 平成24年度	宮崎 敏樹	九州工業大学 大学院生命体工学研究科・准教授	1
A02 公	23107531 DNA-金ナノ粒子・ハイブリッドによる高機能ナノ組織体の構築	平成23年度 ～ 平成24年度	大矢 裕一	関西大学 化学生命工学部・教授	1
A02 公	23107534 バイオとMEMSの融合-チャネル膜タンパクセンサの創製	平成23年度 ～ 平成24年度	川野 竜司	財団法人神奈川科学技術アカデミー・研究員	2
A02 公	25107701 配位高分子由来精密ネットワーク高分子を利用した融合マテリアルの構築	平成25年度 ～ 平成26年度	佐田 和己	北海道大学 大学院理学研究院・教授	2
A02 公	25107704 低次元酸化物ナノ材料の高次構造と機能の融合	平成25年度 ～ 平成26年度	関野 徹	大阪大学 産業科学研究所・教授	3
A02 公	25107706 A-B-A 三元ブロック共重合体を用いた高分子単分子膜中の鎖末端間距離のAFM測定	平成25年度 ～ 平成26年度	熊木 治郎	山形大学 大学院理工学研究科・教授	1
A02 公	25107712 印象派物理学の精神に基づいた融合マテリアルの研究の展開	平成25年度 ～ 平成26年度	奥村 剛	お茶の水女子大学 大学院人間文化創成科学研究科・教授	1
A02 公	25107714 連鎖および逐次ラジカル重合による金属含有特殊構造ポリマーの開発	平成25年度 ～ 平成26年度	佐藤 浩太郎	名古屋大学 大学院工学研究科・准教授	1
A02 公	25107718 階層制御された超分子ポリマーを用いた自己修復性融合マテリアルの創出	平成25年度 ～ 平成26年度	高島 義徳	大阪大学 大学院理学研究科・助教	1
A02 公	25107720 ナノ粒子融合マテリアルの構築と応用	平成25年度 ～ 平成26年度	中嶋 琢也	奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科・准教授	1
A02 公	25107725 PLGA 階層化炭酸アパタイトフォームの界面制御	平成25年度 ～ 平成26年度	石川 邦夫	九州大学 大学院歯学研究院・教授	1
A02 公	25107727 テンプレートをを用いて構造制御されたマグネタイトナノ粒子の創成と磁気的特性解明	平成25年度 ～ 平成26年度	宮崎 敏樹	九州工業大学 大学院生命体工学研究科・准教授	1
A02 公	25107731 二相性セラミックスを用いた有機無機ナノ秩序構造の構築	平成25年度 ～ 平成26年度	竹岡 裕子	上智大学 理工学部・准教授	1

A02 公	25107736 MEMS 技術と生体材料の融合による脂質二分子膜計測システムの確立	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	川野 竜司	東京農工大学 大学院工学研究院・准教授	1
A03 公	23107502 希土類フタロシアニンを介した金ナノ粒子間の量子伝導制御	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	中村 貴義	北海道大学 電子科学研究所・教授	1
A03 公	23107507 有機半導体／無機透明ナノ多孔性電極から成る新規有機薄膜太陽電池の開発	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	西原 洋知	東北大学 多元物質科学研究所・准教授	2
A03 公	23107510 ソフトナノ粒子を基盤とする有機-無機ハイブリッドの創成とバイオ応用	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	佐々木 善浩	京都大学 大学院工学研究科・准教授	2
A03 公	23107511 半導体ナノシート液晶を基盤とする動的融合系の構築と光エネルギー変換	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	中戸 晃之	九州工業大学 大学院工学研究院 物質工学研究系・教授	1
A03 公	23107518 不揮発性ゲルを用いた革新的融合マテリアルの合成と電気化学アクチュエータへの応用	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	津田 哲哉	大阪大学 大学院工学研究科・助教	2
A03 公	23107519 キラル三次元ナノ構造液晶を用いた有機無機融合ネットワークの構築とフォトニクス応用	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	尾崎 雅則	大阪大学 大学院工学研究科・教授	1
A03 公	23107522 ナノカーボン融合マテリアルの形態制御と機能設計	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	高口 豊	岡山大学 大学院環境生命科学研究科・准教授	2
A03 公	23107527 無機ホウ素クラスター融合 BNC T デリバリーマテリアルの開発	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	長崎 健	大阪市立大学 大学院工学研究科・教授	5
A03 公	23107528 希土類錯体の融合多次元コンプレックスの界面構造制御と偏光発光相関	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	長谷川 美貴	青山学院大学 理工学部・教授	2
A03 公	23107530 イオン液体中で界面活性剤が形成する自己組織体を用いたナノ形態制御酸化チタンの創成	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	酒井 秀樹	東京理科大学 理工学部・教授	1
A03 公	23107532 無機・金属ナノ粒子表面への分子応答性ゲル層の形成とその応答機能発現	平成 23 年度 ～ 平成 24 年度	宮田 隆志	関西大学 化学生命工学部・教授	2
A03 公	25107705 鋳型を利用したナノカーボン融合マテリアルの調製と機能開拓	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	西原 洋知	東北大学 多元物質科学研究所・准教授	2

A03 公	25107707 QOL の高い腹膜透析を目指したシリカ含有レドックスナノ粒子の作製と評価	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	長崎 幸夫	筑波大学 数理物質系・教授	1
A03 公	25107719 融合マテリアルによる薄膜太陽電池の高効率化	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	尾崎 雅則	大阪大学 大学院工学研究科・教授	2
A03 公	25107723 バイオミネラリゼーションに倣ったナノカーボン融合マテリアルの形態制御と機能探索	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	高口 豊	岡山大学 大学院環境生命科学研究科・准教授	2
A03 公	25107726 プロトン認識ナノゲルの異相融合による動的機能開拓	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	星野 友	九州大学 大学院工学研究院・助教	2
A03 公	25107728 無機ナノシートを用いた光機能性無機—有機融合液晶の構築	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	中戸 晃之	九州工業大学 大学院工学研究院 物質工学研究系・教授	3
A03 公	25107729 含ホウ素希土類酸化物ナノ粒子の BNCT 薬剤への応用	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	長崎 健	大阪市立大学 大学院工学研究科・教授	3
A03 公	25107730 薄膜構造と光特性の融合による温感型発光性鎖状希土類錯体開発	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	長谷川 美貴	青山学院大学 理工学部・教授	2
A03 公	25107732 液／液界面の精密制御によるナノ形態制御融合マテリアルの創製	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	酒井 秀樹	東京理科大学 理工学部・教授	1
A03 公	25107733 $\pi$ 共役レドックス融合型エネルギー貯蔵マテリアルの創出	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	小柳津 研一	早稲田大学 理工学術院・教授	1
A03 公	25107734 DNA・ナノメタル自己組織化融合マテリアルの開発と機能開拓	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	大矢 裕一	関西大学 化学生命工学部・教授	2
A03 公	25107735 分子応答性ゲルを用いたスマート融合ナノマテリアルの創成と新機能発現	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	宮田 隆志	関西大学 化学生命工学部・教授	2
公募研究 計 68 件					



# 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、応募時までの研究成果を発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。

## ■研究の学術的背景

人類の生活を豊かにしている様々な材料の合成には多大な資源とエネルギーが使われている。人類が目指すべき**自然と調和した社会の実現には、省エネルギー・省資源・低環境負荷型の材料構築学**が求められている。このような状況において、**自然界における生物の“ものづくり”の姿**から学び、新しい機能材料の創製に役立てていくのは重要なアプローチである。特に、生物のつくる**バイオミネラル**は、自然と調和するありふれた無機物質と生分解性有機分子から、常温常圧の温和な省エネルギー条件において、「分子が構造形成を制御」することにより作られる精緻な構造物である。すなわち、自己修復性・刺激応答性がある「骨」、きわめて頑丈な高強度ナノ材料としての「歯」、しなやかで強靱なカニの「甲殻」やウニの「棘」、美しい光沢を示すマイクロ構造材料としての「貝殻真珠層」などがその代表例である。人類はいまだに、このような材料を、最新の物質・材料科学をもってしても作ることはできない。

自然界における生物の“ものづくり”の姿は、材料構築学の一つのよい手本である。これらの生物による“ものづくり”プロセス、「**バイオミネラルイゼーション**」という言葉は、真珠養殖が盛んである我が国で1960年ごろから使われ始めた言葉であるため、よく理解された内容と誤解を受けやすいが、実際は、そのプロセスには不明な点が多い。バイオミネラルイゼーションへの材料の側からのしっかりとした系統的・組織的なアプローチは無かったに等しい。もし、**バイオミネラルイゼーションをさらに深く理解して、バイオミネラルに近い人工材料を再構築し、さらに有機成分として最近の進歩が著しい動的有機機能材料・超分子材料と融合させることができれば、社会と調和し、かつ多様で高機能の精密複合材料の創製に展開することができるはずである。**この目的の実現のためには、現在個別に発展してきた学問体系、すなわち有機材料学（高分子化学・有機化学・超分子化学・液晶学）、無機材料学（セラミクス学・無機化学・錯体化学）、物理学（結晶成長学・ソフトマター学）、生物学（生体分子化学・バイオテクノロジー）の融合が強く望まれている。本領域はそれにこたえるべく、2010年6月にスタートした。



## ■研究の目的

本領域では、上記各分野の研究者が結集して、自然と調和して持続的に発展可能かつ快適な「材料調和社会」実現に向けて、省エネルギー・省資源・低環境負荷性、かつ高機能な材料の創製とそのための材料構築学の創成を目的とした。すなわち、従来の有機・高分子やセラミックスなどの物質を超えた、有機と無機、ハードとソフト、秩序（結晶）と無秩序（非晶）の融合による新しい材料づくり「**分子制御による融合マテリアル創成**」を通して、社会的な要求の高い新時代を先導する学問の構築を目指した。それにより有機・無機など物質の種類の単純な分類を超えた新しい融合マテリアル学の確立を目標とした。

高分子・ゲル・液晶などの「ソフトな機能性有機成分」を分子制御用テンプレートとして用いることにより、カルシウム・リンなどの自然と調和する生体元素からなる「ハードな機能性無機成分」の結晶化の常温常圧における精密制御の実現を目指した。有機分子が材料形成に精密に関与するプロセスを利用して形成した複合構造において、これらの有機・無機成分を真の意味で融合させることによる高度な機能を発揮させる材料の創製、それにより材料調和社会に資する材料構築学の創成を本領域の目的とした。

具体的には、以下のマテリアルを創製し、新しい材料構築学の基盤とすることを目指した。

### 1 自然調和型構造材料

自然と調和する制御用精密有機高分子（合成高分子・ペプチド）と無機成分を階層的複合化することにより、省エネルギープロセスによる高強度構造マテリアルの創製を目指した。主として自然界に豊富に存

在する炭酸カルシウム・リン酸カルシウムなどの無機成分を用いて、常温合成・成形性向上・無害な廃棄を視野に入れ、分子からナノレベルでの構造制御を行い、自然に調和する構造材料設計・構築を行った。特に、歯や骨のような軽量性・優れた力学特性を兼ね備えた材料、カニの甲羅のような軽量性・柔軟性・強靭性を兼ね備えた自然調和材料を、有機および無機の融合により創製することを狙った。

## 2 動的融合機能材料

自己補強機能や自己修復機能を有する動的融合機能材料を、動的有機高分子と無機結晶のナノ配列を精密に制御して融合させることにより構築した。液晶やゲルなどの動的ソフトマターを活用することにより、従来の有機/無機複合材料には無い、刺激にตอบสนองする自己補強機能などの動的機能を発現させた。さらに、エネルギー・バイオ材料にも展開した。たとえば、電極材料、機能触媒材料、生体センサ、バイオメディカル関連素子の構築のために、ソフトとハードの融合により高機能を発揮する材料を創製することを目指した。

### ■我が国の学術水準の向上・強化につながる点

本領域では、従来、ほとんど交流のなかった高分子・有機材料学、液晶ソフトマター学と、無機材料学、結晶成長学、計算科学、物理学、バイオテクノロジー学、生物学の研究者の学問的融合を行うことを目指した。これまで、関連分野の研究はそれぞれの分野において進んでいた。しかし、特に、「分子制御」による温和な条件下での材料合成という概念に着目すると、関連の研究が機能材料の開発に展開できているとは言い難かった。超分子化学・高分子化学などの有機系関連化学、無機材料科学や結晶成長学、生化学においても分子制御レベルの結晶成長の重要性が個々に認識されつつある。我が国はこれらのテクノロジーにおいて世界レベルでトップを争う水準であるが、学問間の相互作用という点では弱かった。分子制御による構造構築と、それによる新たな機能の開拓へと展開する研究領域「融合マテリアル」を創成することにより、我が国の物質・材料分野に、世界を大きくリードする一分野を形成させることが可能であると考え、本領域を推進した。

本領域では、計画研究代表者には若手の研究者を積極的に登用し、特に、准教授・助教を積極的に計画研究代表とした。若手研究者と実績が十分ある研究者が融合するような体制で領域を運営した。さらに、研究代表者が指導している大学院生にも積極的に研究および議論に参画してもらうことで、次世代の科学を担う研究者の育成を徹底して行い、学術水準の向上・強化を計ることとした。

### ■組織の概要

新しい分野融合型の研究を推進するために、対象とする学問および材料・物質により班を構成することは避けた。3つの計画班（11件の計画研究）を組織して、相互に連携しあい、分子制御の基礎技術を確立しながら、自然調和型構造材料と動的融合機能材料への応用に発展させた。

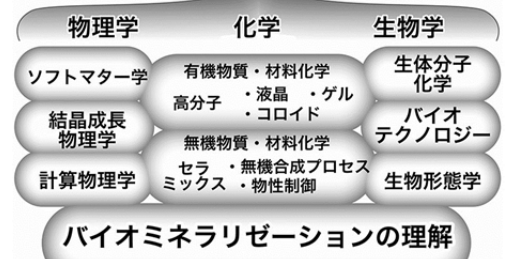


新しい学術領域と材料の創成：  
自然・人間・材料調和社会の実現

「分子制御による融合マテリアル」

自然調和型構造材料・動的融合機能材料

“バイオミネラリゼーションに倣いそれを超える”



## 2. 研究領域の設定目的の達成度（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、どの程度達成できたか、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の達成度合いについて、具体的に記載してください。必要に応じ、公募研究を含めた研究項目ごとの状況も記述してください。

研究領域の設定目的の達成度を、以下の3項目に基づきまとめた：1. 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の達成度合い、2. 応募時に目的とした材料創製の達成度合い、3. 各班の研究項目毎の状況。

### 1. 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の達成度合い

我々が目指している融合材料学が、応募時、設定した2つの研究の対象、(設定目的1)既存の学問分野に収まらない新興・融合領域、および(設定目的3)共同研究等の推進による研究領域の新たな展開、に照らして、その達成度合いを以下に記載する。

#### 設定目的(1)既存の学問分野の枠に収まらない新興・融合領域の創成

バイオミネラルは、ナノレベルの無機ユニットが有機分子の制御によって階層的に集積された精緻な複合材料である。無機ユニットと有機分子が能動的に相互作用している点で人工的な複合材料とは異質であり、原子・分子レベルで有機・無機物が混合したハイブリッド材料とも異なり、既存の学問分野の枠には収まらない。そこで融合材料では、このような能動的相互作用を有する有機/無機複合体を人工的に構築するため、分子制御の知見に基づき、構造構築を行い、機能開拓を進めた。この段階で特に有機や無機、物理、科学、バイオの枠を越えて材料を設計するプラットフォームを作ることができた。これら分野を融合するプロセスとして、学会におけるシンポジウム・学術ジャーナルの特集号、学術書の発刊などを行い、新しい材料分野を構築した。

#### 設定目的(3)多様な研究者の新たな視点や手法による共同研究等の推進による当該研究領域の新たな展開

融合材料では、個々の研究だけでなく多様な研究者の新たな視点や手法による、班内・班間連携、計画・公募間連携による共同研究が中心的な役割を果たした。ここでは、材料として「鉄」を基盤とする融合材料の例を示す。

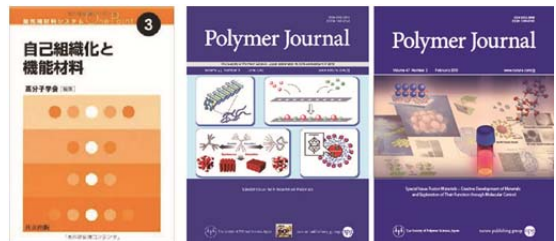
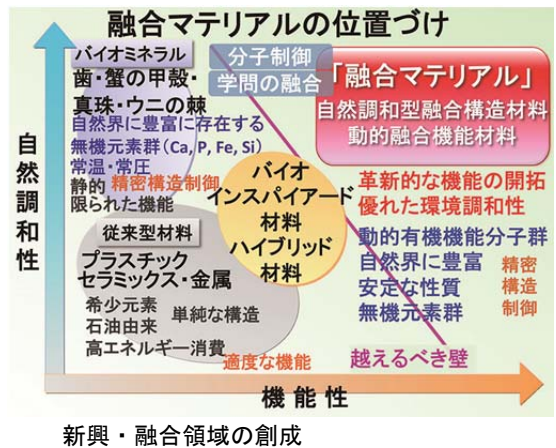
自然に豊富に存在し環境への負荷の小さな材料「鉄」を用いた班内・班間連携による10グループ(計画研究6グループ、公募4グループ)の共同研究が行われた。まず、磁性細菌を用いて創製した $Fe_3O_4$ や有機配位子を用いて融合プロセスで合成した $Fe_2O_3$ を用いてビニルエーテルのカチオン重合を検討した。ここでは、バイオ分野の研究者が創製した $Fe_3O_4$ の構造を無機分野の研究者が精密に分析し、有機高分子合成研究者が触媒に用いてカチオン重合を行った。その結果、分子量分布の狭いリビングポリマーが合成できただけでなく、触媒の再利用も可能であった。その後、より社会的影響力の大きなラジカル重合に挑戦した際には、まず2グループの高分子合成研究者が協力してリビングラジカル重合の条件を新しく開拓し、その条件下、他の4グループが異なる融合的な方法で創製を行った酸化鉄を用いて、重合の検討を行った。より汎用性の大きなモノマー(スチレン)を用いて検討した結果、いずれも市販の酸化鉄とは異なる重合挙動を示し、ピコリン酸存在下の水熱処理で作成した特異な形態を有する酸化鉄は、市販の酸化鉄に比べ10倍以上の速度で制御重合が進行することがわかった(6グループ)。これらはいずれも、分野の異なる多様な研究者による共同研究の推進により初めて成し得た結果である。

### 2. 応募時に目的とした材料創製の達成度合い

本領域では、応募時に分子制御による融合材料創製として、(1)自然調和構造材料および(2)動的融合機能材料の創製を目的とした。ここでは、それらの創製に関して達成度合いを検証する。

#### (1)自然調和構造材料：

自然と調和する制御用精密高分子(合成高分子・ペプチド)と無機成分を階層的複合化することにより、省エネルギープロセスによる融合材料の創製を目指した。その結果、甲殻類のバイオミネラルイゼーションに学び、アモルファス炭酸カルシウム(ACC)を安定化する制御分子を利用して、透明かつ強靱なACC/ナノセルロース融合材料が開発され特許出願も行われた。また、アミノ酸を用いて作製した単分散シリカナノ粒子が精密合成ブロックコポリマーの存在下で異方的な自己集合性を示しナノリングを形成した。このように、有機材料と無機材料の融合により省エネルギープロセスで、環境に対応する軽量・柔軟な構造材料の構築により、当初の目的を達成した。



領域内研究代表者ら執筆による著書、および Polymer Journal 特集号

領域内研究代表者ら執筆による著書、および Polymer Journal 特集号

(2) 動的融合機能材料：

自己補強機能や自己修復機能を有する動的融合機能マテリアルを動的有機高分子と無機結晶のナノ配列を精密に制御して融合させることにより構築した。たとえば、環境応答性の有機高分子とナノ多孔質の無機フレームとの融合により、温度にตอบสนองして水・有機相を行き来し、多量の薬剤を運搬・放出するマイクロシャトル粒子が創製できた。これは融合マテリアル学により初めて創製できる材料の例である。また、微細な炭酸カルシウム結晶から構成された貝殻稜柱層の欠落部を特定の制御分子を利用して in vitro で再生し、バイオミネラルの自己修復機能の一部の再現に成功した。このようにゲルと無機材料などを用いて、環境応答性・自己修復機能を有する材料を構築することにより、応募時の目的が達成された。

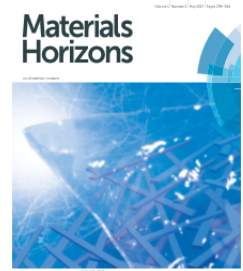
3. 研究項目の状況

**A01 項目**は、融合マテリアル創成の基盤を担当する項目である。新しい制御分子の開発と、実験科学・計算科学の双方に基づく融合マテリアル形成機構の解明を通じて、融合マテリアル開発のための基盤技術を構築した。その結果、以下に示すように、融合マテリアル創成および学問の融合のための基盤として、以下の各分野において研究を進めた。有機・高分子化学分野、無機化学・錯体化学分野、バイオ化学分野、計算科学分野において、従来にはない化合物の創成および創成技術の確立が達成された。

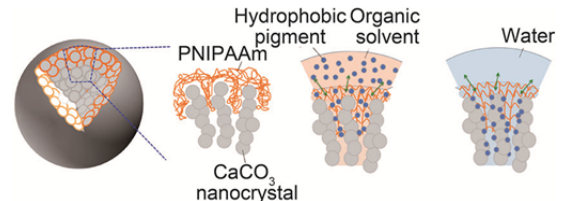
有機・高分子化学分野では、高濃度の無機塩を含む水溶液をゲル化できる超分子ゲルや、無機イオンの添加でゲル化する刺激応答性の超分子ゲルが開発され、タンパク質の回収が可能な電気泳動用ゲルとしての利用が報告された。さらには、高腫瘍活性機能を持つネマチック液晶、重金属イオンにตอบสนองして構造色を変化させる高分子バルーンの開発などに至っており、多様な機能を有する分子の開発に成功している。無機化学・錯体化学分野では、新規な無機クラスターと制御分子による、特異な面を露出した酸化鉄や酸化チタン粒子が合成された。また、球状錯体をテンプレートとする金属酸化物・金属クラスターの合成法が確立された。亜鉛イオンを含む融解性錯体および無加湿プロトン伝導性を有するその非晶質体や多核金属錯体を用いたカチオン-アニオン分離集積型の融合マテリアルが得られており、有機と無機が分子レベルで融合した化合物が創成された。バイオ化学分野では、海綿のバイオミネラルから新規なタンパク質グラシンが単離・構造決定され、その組換えタンパク質によりシリカの形成能が再現された。真珠マトリックスタンパク質についても組換えタンパク質発現系が確立された。加えて自己集合性ブロックポリペプチドへの銀粒子の形成による抗菌性ファイバー膜の作製に成功しており、本領域研究により新しい技術の確立に至った。

計算科学分野では、結晶成長の分子制御機構のシミュレーション解析が実施され、反応場である水や、制御分子が果たす役割が明らかとなり、結晶成長におけるこれまでにない知見が得られた。

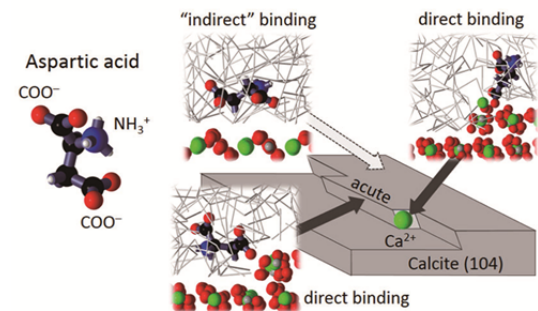
**A02 項目**は、自然に豊富に存在する無機成分を有機材料と融合して組織化し省エネルギー・省資源・低環境負荷型でかつ優れた性質を有する自然調和型材料を構築する検討を行った。その結果、複数の制御重合法を用いてブロック型や周期性を有するシークエンスの制御されたポリマーを合成することができ、それらを用いることにより、新しい融合マテリアルを創製できた。初めてツボ型中空シリカナノ粒子の創製（右図）、シリカナノ粒子の配列制御、均一な高次構造を有する有機/無機複合微粒子などが創製された。また、鋳型となるネットワーク高分子をナノ多孔性配位高分子(MOF)により設計し、有機/無機ダブルネットワークやゲル微粒子の表面へ無機塩を導入している。ブロック型生分解性ポリ乳酸を用いてバイオインターフェースや二相性セラミックス複合体の創製、液晶設計により無機結晶成長の制御を行った例もある。一方、蛋白質による酸化鉄の結晶成長に関しては、ブロック型シークエンスの蛋白質で酸化鉄の結晶成長過程の制御ができることがわかった。また、



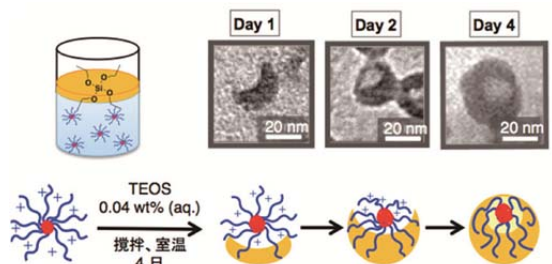
透明なアモルファス炭酸カルシウム/ナノセルロース融合マテリアル (A01 加藤)



温度応答分子運搬マイクロシャトル粒子 (A02 青島・A03 今井)



アスパラギン酸カルサイト表面吸着と成長制御機構の計算科学解析 (A01 灘)



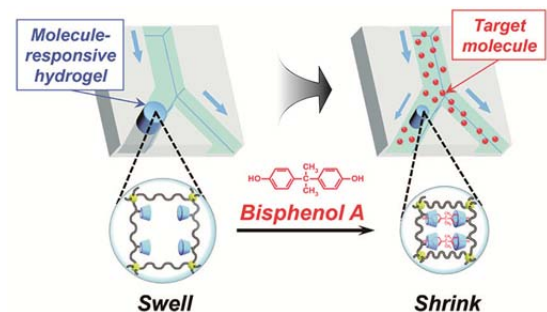
ブロックポリマーを用いたツボ型シリカナノ微粒子創製 (A01 鳴瀧・下嶋・A02 青島)

有機／無機材料間の選択的接着や自己修復材料創製のために、ホスト-ゲスト分子認識部位を有機側／無機側に設計・導入し、接着の新しい概念を見出した。以上の例はいずれも新しい有機材料の設計方法の開拓とそれによる界面制御を示している。これまで有機高分子やペプチドの精密合成は数多いが、それを用いて制御された有機／無機界面や複合材料が創製した例は極めて少ない。本研究ではそれを系統的に検討した初めての例である。

多様な研究者による共同研究を材料側からまとめてみると、上述の「鉄」以外の材料では、以下の例がある。ヒドロキシアパタイトでは、ヒドロキシアパタイト/高分子複合体のバイオメティック合成、擬似体液でヒドロキシアパタイト形成、アパタイト-高分子系ハイブリッドへの機能付与、配向したアパタイト結晶の生成、ヒドロキシアパタイト配向構造体の合成と機械的特性評価、液晶を用いたヒドロキシアパタイトの形成、リン酸カルシウム複合体の合成、液晶場におけるヒドロキシアパタイトの結晶成長制御が検討された。またシリカでは、有機/シリカハイブリッドの合成、両親媒性ブロックコポリマーを用いたシリカナノ粒子の配列制御、アミノ基を有するブロックコポリマーを用いたツボ型中空シリカナノ粒子の創製、両性高分子電解質によるシリカナノ粒子の創製、マイクロ流路を用いたシリカアモルファス粒子の作製、マイクロ流路を利用した角度依存性のない構造発色性材料の調製、シリカナノ粒子の炭素被覆による光散乱特性の変化が検討された。その他、炭酸カルシウム、液晶、酸化チタン、金属ナノ粒子、ポリシロキサン分野などでも活発な共同研究が進められた。一方、研究手法の異なる共同研究として、有機・無機複合型天然物質（ロブスター外骨格や真珠層）の強靱性制御のための理論的検討も行われた。

A03 項目は、無機ユニットと有機分子が能動的に相互作用することによって生み出される機能の開拓に焦点を絞って動的融合マテリアルの創製に取り組んだ。その結果、以下に示すように、バイオメディカル機能分野、エネルギー機能分野、光学機能分野、電子機能分野、動的分離機能分野において、能動的な相互作用に基づく顕著な機能の発現が見られている。これらの材料系では、これまでの複合材料やハイブリッド材料とは異なり、無機ユニットの有機分子が能動的に相互作用することで新たな機能が発現されることが示されている。したがって、機能開拓面から、新興・融合領域の創成が達成できたと判断できる。バイオメディカル分野では、温度応答性分子集合体と磁性無機ナノユニットとの融合によって、磁場応答による温度上昇が薬物放出を引き起こす、ナノレベルでシステム化された動的な材料の構築に成功した。このようなナノシステム化した融合マテリアルは、磁性ユニット・多糖ナノゲル、アップコンバージョン蛍光体・フラーレン・分子集合体の組み合わせでも実現され、MRI 造影剤、温熱療法、近赤外線を用いた光線力学療法などに応用が期待される。さらに、中性子捕捉療法に適した、含ホウ素無機ユニットを有機分子によって生体適合性を付与した材料を開発し、特許出願に至っている。分離機能分野では、環境応答性分子と無機構造フレームとの相互作用によって、CO<sub>2</sub>分離能をもつゲル材料、温度に応答して水・有機相を行き来し、薬剤を運搬・放出するマイクロシャトル粒子、特定分子に応答して流れを制御するマイクロ流路などが実現された。これらは、ナノレベルの筋肉としての高分子が環境に応答して膨潤・収縮・イオン化し、それを骨格としての無機フレームが支えることで機能を実現した動的マテリアルであり、融合化によって、これまでにないユニークな機能発現につながった例である。

機能開拓面においても、多様な研究者の新たな視点や手法による共同研究が中心的な役割を果たしてきた。具体例として、バイオメディカル分野では、分子集合体およびナノ無機粒子の構築を得意とする研究者が、環境応答高分子やナノゲルの研究者と共同することで、アップコンバージョン蛍光体は、無機合成の研究者が医工学分野の研究者と共同することで成果が生み出されている。ホウ素捕捉療法向けの材料開発においても、医療材料分野の研究者との人材融合が活かされた成果である。同様に、動的・分子機能分野でも、上記に示した機能開拓は、環境応答性分子の専門家と無機結晶および MEMS 研究者との共同研究であり、多様な研究者の視点や手法の融合効果によるものである。光機能・電子機能分野における、シリカ粒子とカーボンの融合による構造色の発現には、カーボン研究者や MEMS 研究者の協力が不可欠であった。エネルギー分野の二次電池活物質においては、扱う物質系が異なることから直接の共著論文には至っていないものの、アイデアの共有によって新規な動的機能発現につながった。このように多様な研究者の共同研究等の推進により、当該研究領域の新たな展開が得られた。以上示したように、「3. 研究項目の状況」においても、各班ともに十分な達成度が得られたと判断できる。



マイクロ流路と分子の融合による分子応答性ゲルバルブ (A02 川野・A03 宮田)

### 3. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況（1 ページ程度）

研究推進時に問題が生じた場合には、その問題点とそれを解決するために講じた対応策等について具体的に記述してください。また、組織変更を行った場合は、変更による効果についても記述してください。

#### （1）東日本大震災（平成 23 年 3 月 11 日）による被災への対応

東日本大震災発生時（平成 23 年 3 月 11 日）、当領域には、被害が甚大であった東北大に、計画：垣花（A01）、公募：小川（A01）、関野（A02）、西原（A03）の 4 グループが所属しており、本震による被害および度重なる余震により、各グループとも研究の進捗に大きな遅れが生じることが懸念された。実際に平成 23 年度は学期が 5 月より開始されるほど都市機能はダメージを受けており、また、研究室のインフラの回復には一ヶ月以上必要であった。研究再開後も耐震対策などに時間を割くこととなり、特に平成 23 年度は、十分な研究時間を確保することが困難であった。しかしながら、震災後即時、安否確認を行うとともに、人的な面・装置の面・金銭の面における支援を行い、領域のネットワーク機能を活かすことで、研究の進捗の遅れを最小にすることができた。また、震災時、平成 23 年 6 月に仙台地区において第 2 回公開シンポジウムおよび合同班会議の開催が計画されていた。震災直前までその準備が進められていたが、震災により仙台市区での開催が不可能となり、平成 23 年春の公開シンポジウム開催が危ぶまれた。しかしながら、開催地および現地実行委員の再選定を速やかに実施し、領域全体で協力して取り組むことにより、開催日および内容を変更することなく、福岡にて第 2 回公開シンポジウムを開催するに至った。同シンポジウムが 120 名を越える参加者を集めたことから、本シンポジウムは盛会に終了した。なお、仙台地区での公開シンポジウムおよび合同班会議は、平成 25 年 1 月に開催し、東北大学大学院農学研究科附属複合領域生態フィールド教育研究センター（女川センター）におけるバイオミネラルリゼーション研修などを含めた内容で成功裏に終えている。以上のように未曾有の大災害に見舞われたものの、総括班の適切な対応と領域メンバーの協力により、研究計画、運営への影響が最小限に抑えることができた。このことは平成 24 年に実施された中間評価にて、当該領域の評価が A+ であったことから明らかである。

#### （2）公募班研究課題の継続性に関する対応

前期（平成 23-24 年度）の公募班研究で、事情により後期（平成 25-26 年度）に参加出来なかった研究代表者で希望する研究者については、総括班の連携研究者とすることで、共同研究を継続できる環境を設け、その結果、前期における共同研究の格段の発展に結びつけることができた。

#### 4. 審査結果の所見及び中間評価で指摘を受けた事項への対応状況（2ページ程度）

審査結果の所見及び中間評価において指摘を受けた事項があった場合には、当該コメント及びそれへの対応策等を記述してください。

##### <審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況>

審査結果の所見において、「天然に倣いつつ従来型材料の性質を超える新材料創製に注力するという考え方は、自然調和型材料や、動的融合機能材料への展開を含めた今後の材料創製に大きな可能性を秘めており、新しい分野として期待できる」とのコメントを受けた。そこで、当初目的の達成及び分野確立に向けて、自然界における生物のものづくりに学ぶ「省エネルギー・省資源・低環境負荷型の材料合成」を領域全体の統一認識として研究に取り組んだ。その結果、従来の有機高分子やセラミックスなどを超える、有機・無機、ソフト・ハード、動的・静的機能がそれぞれ融合したマテリアルを、分子が材料合成プロセスを精密に制御する「分子制御プロセッシング」によって構築し、多様な「自然調和型融合構造材料」および「動的融合機能材料」の開発に繋げることに成功した。結果として、論文1402報（うち共同研究論文96報）の成果に繋がった。また、グループ間の共著とまでは行かなくとも、多くの論文が「融合マテリアル」に所属することにより生み出されており、本プロジェクトの効果は大きい。

##### <中間評価で指摘を受けた事項への対応状況>

中間評価においては、全体の評価結果A+（研究領域の設定目的に照らして、期待以上の進展が認められる）の評価を受けた。領域代表のリーダーシップ、質・量ともに優れた研究成果、活発なアウトリーチ活動が高く評価された。今後もさらに共同研究の発展と分野融合が期待されているとのコメントがあった。一方で、「より効率的な領域運営のために、非常に多様化している領域内のテーマを整理し、効果的な共同目標を明確化することとの意見もあった。」、「学術的な基礎を強化するために、原理解明や構造解析をより一層進めることとの意見もあった。」とコメントを受けた。そこで、中間評価後に総括班において直ちに対応策を検討し、特にこれら領域全体の重点課題と見据えて運営に取り組んできた。また、「個々の研究の寄せ集めと見える部分があるので、今後の融合成果に期待したいとの意見もあった。」とコメントを受けたため、引き続き共同研究や班員の連携の強化に努めてきた。以下に、3つの課題に対する活動・成果についてそれぞれに分けて記載する。

##### 「より効率的な領域運営のために、非常に多様化している領域内のテーマを整理し、効果的な共同目標を明確化することとの意見もあった。」に対する活動・成果

従来の合同班会議に加え、「トピックス研究会議」を開催した。同会議においては総括班が主体となって機能や材料毎に研究チームを作り、融合研究のマッチングや新規テーマの探索に積極的に取り組んだ。高い生体適合性を示す融合構造材料や医療応用を目的とするバイオメディカル材料のように、本研究領域全体で取り組むテーマを検討し、多様な学問領域を結集することで、社会に対し大きなインパクトを持つテーマ設定を行った。特に、バイオミネラルの基本要素で自然界のありふれた材料群、「酸化鉄」、「炭酸カルシウム」、「シリカ」、「リン酸カルシウム」をシーズ指向型の共同研究テーマとして設定し、融合によって大きな発展が期待される機能群、「高強度材料」、「低環境負荷触媒」、「バイオメディカル」、「動的分離機能」、「エネルギー機能」、「光学機能」等のニーズ指向型の共同研究テーマとして設定し、計画研究と公募研究が連携しながらその推進に尽力した（7. 研究組織の項目を参照）。合同班会議やトピックス会議には、企業の研究者も招聘することでより広い視点からの意見交換を行い、共同研究の目標を明確化した。その結果、研究項目A01～A03班の枠を超えた多数の研究チームが形成され、新しい分野融合研究の展開に繋がった。そのうち、優れた成果につながった代表的な共同研究を機能に基づく共同研究と、材料に基づく共同研究に分けて記載する。

##### 材料に基づくシーズ指向の共同研究

- ・炭酸カルシウムチーム：融合マテリアル創製の基盤となるバイオミネラルイゼーション機構の理解と分子制御技術の開発を目指した。A01 加藤・A01 灘・A02 菊池らは、貝殻やサンゴなどの基本材料である炭酸カルシウム結晶核生成前駆体の制御による融合材料の構築を行った(*Chem. Asian J.*, 2013)。また、A01 加藤・A02 新垣・A01(公募)清水らは、バイオミネラルイゼーションの分子機構と材料合成に向けた応用研究に関する最新の知見と今後の展開を総説としてまとめ、この分野の方向性を示した(*Org. Biomol. Chem.*, 2015)。
- ・酸化鉄チーム：多様な応用に対応するため、形態・サイズの制御法、表面修飾法の開発を目的とした。A02 青島・A02 新垣・A03 今井らは、磁性細菌による酸化鉄および磁性細菌に着想を得たバイオインスパイアードプロセスで創製した酸化鉄がポリマー合成用の触媒として機能することを見出した(*Chem. Commun.*, 2012)。ここにさらにA01 垣花・A02(公募)佐藤・A03 片桐らに加わり、酸化鉄を用いたポリマ

一合成に関する大規模な共同研究を実施した (*RSC Advances*, 2015)。

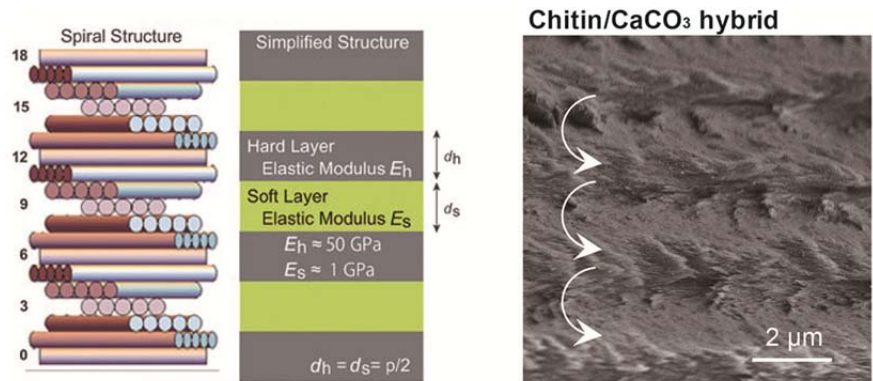
- リン酸カルシウムチーム：A02 大槻、A02(公募)宮崎、A03 今井らは、骨や歯の基本材料であるヒドロキシアパタイトについての共同研究をおこない、温度応答性の骨補填材や歯のエナメル質に類似した人工材料の合成に成功した (*Mater. Sci. Eng., C*, 2011; *Bio-medical Mater. Eng.*, 2013; *J. Asian Ceram. Soc.*, 2013)。

機能に基づくニーズ指向の共同研究

- 高強度材料チーム：A01 加藤、A02(公募)奥村らは、バイオミネラルが持つ高い機械的強度の要因を検討した。印象派物理学のスケーリング則を適用することによって、階層構造に基づく優れた機械的特性が理論的に解明された (*Adv. Eng. Mater.*, 2013, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 2014, *MRS Bulletin*, 2015)。
- バイオメディカルチーム：医療分野で利用される粒子材料開発を目的として共同研究に取り組み、A03 片桐・A02 青島らは交流磁場に応答する新規リポソーム (*Small*, 2011)を開発し、A03(公募)長崎・A03 片桐・A03(研究分担者)富田らは腫瘍増殖抑制効果を持つ複合ナノ粒子の新しい機能材料を開発した(特許)。
- 光学機能チーム：A03 竹岡、A02(公募)川野、A02(公募)西原らは、構造発色を持つ融合マテリアルの開発に取り組んだ。MEMS 技術やナノカーボン技術の分野融合によって角度依存のない優れた構造色を示す融合マテリアル粒子を生み出すことに成功した (*Angew. Chem. Int. Ed.*, 2013; *J. Mater. Chem. C*, 2015)。

「学術的な基礎を強化するために原理解明や構造解析をより一層進めること」との意見に対する活動成果

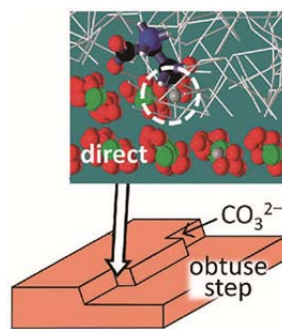
材料化学者 (A01 垣花、A01 加藤、A02 菊池、A03 今井、A01 連携小林、A01 連携西村、A03 連携緒明) と、理論物理学者 (A02 奥村) およびシミュレーション科学者 (A01 灘)、実験物理科学者 (A01 連携 佐崎)、生物工学者 (A02 川野) が、議論・共同研究して、融合マテリアル創成のための基礎面の強化を行った。まずターゲットとする自然調和型材料のモデルとなるバイオミネラルとして、強靱な力学特性を



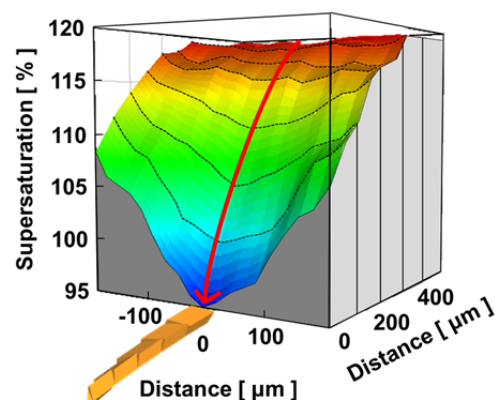
甲殻類外骨格のキラル構造が強靱性に及ぼす物理的合理性を示すシミュレーション図、及び、これらに学び合成したらせん構造を持つ融合マテリアル

を示す貝殻真珠層や甲殻類外骨格を選び、それらにおいて実験・理論両面からの構築を行った。甲殻類外骨格は、有機高分子成分と無機成分が単純に混合ではなく精緻な階層構造を有している。A02 奥村は、A01 加藤および国際アドバイザーとの議論を基に、貝殻真珠層・甲殻類外骨格の強靱性の発現に関して、スケーリング則を提唱した。すなわち、高強度融合材料の階層構造が力学特性に及ぼす物理的合理性を理論化した。この理論は、国際的に大きな反響を呼び、バイオミメティック材料研究において重要なアプローチとして認められ、米国材料学会機関誌である *MRS Bulletin* 誌の 2015 年 4 月号バイオミメティック特集号

に、招待論文を執筆した。また階層構造を作製するために、A01 垣花および A01 加藤は、A01 灘と共同で有機/無機融合構造形成過程における有機制御分子による結晶成長の分子制御機構を計算科学によってシミュレーション解析を行い、実際に得られる融合マテリアルと比較を行った (*J. Phys. Chem. B*, 2013, *Chem. Asian J.* 2013, *Polym. J.* 2015)。これらの共同研究によりこれまでは解析が困難であった結晶成長前駆体の分子レベルでの詳細な解析が可能となった。ま



無機結晶表面と相互作用する制御分子と表面吸着水のシミュレーション



結晶成長端における濃度場のその場観察



た、これらの共同研究のおかげで計算科学によって融合材料の形成初期段階において、制御分子と無機化合物の界面（反応場）に存在する水の果たす役割についても、興味深い知見が得られている。また A02 川野と A02 奥村が共同して、昆虫に見られる微細構造が水和する原理をシミュレーションと実証実験との比較により解明した (*Sci. Rep.* 2015)。一方、融合材料の基本構造の解明、および形成メカニズム解明を目指した共同研究が A03 今井、A02(連携研究者)佐崎らによって行われた。バイオミネラル類似の階層構造が有機マトリクス内において形成される様子を、位相シフト干渉顕微鏡を用いてその場観察することに成功し、成長過程を詳細に解析したところ、濃度場と結晶成長速度の同期的振動現象が階層構造を形成する重要な要素であることを解明した (*Chem. Commun.*, 2015)。これは高度な光学顕微鏡技術と結晶成長制御技術の融合によって生み出された成果であり、多様な融合材料の構造や形成メカニズムの解明に利用可能である。

**「個々の研究の寄せ集めと見える部分があるので、今後の融合成果に期待したいとの意見もあった。」に対する活動・成果**

本研究領域は、領域に参加するまで全く互いの存在も知らず、交流することが無かった多くの研究者によって構成されており、特に公募メンバーに関しては採択され研究開始時点で初めて共同研究を行うことになったため、中間評価の時点では論文としての成果が比較的少なめに去らざるを得なかった事情がある。また、新規な融合材料を創出するためにゼロからのアプローチやチャレンジングなテーマも数多く、共同研究の実数に比べて発表された研究論文数が少なめになる傾向も否めない。そのような背景において、本研究領域で得られる成果が単なる研究の寄せ集めとならないよう、総括班が中心となって合同班会議毎に共同研究実施状況の確認、新テーマ設定、研究チームのマッチングの検討を行い、領域内で積極的かつ効率的に共同研究が行える実施体制の整備を進めた。「7. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況」に示すとおり、ニーズおよびシーズの両面からのアプローチする研究チームを構築し、研究目標の明確化を行った。その結果、平成 27 年 3 月 31 日時点での論文数は 1402 報（原著論文 968 報、総説 259 報、著書 175 報）、うち共同研究は 96 報（原著論文 78 報、総説・解説記事 4 報、著書 14 報）であり、本研究領域の取り組みに対する成果が現れている。また一見共著ではなく、共同研究論文として見えないものも、融合材料内の研究者との議論により達成されたものが多い。さらに引き続き、共同研究論文の執筆が続けられており、今後も総論文数は増加する予定である。

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

（3 ページ程度）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果（発明及び特許を含む）について、新しいもの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ごとに計画研究・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。

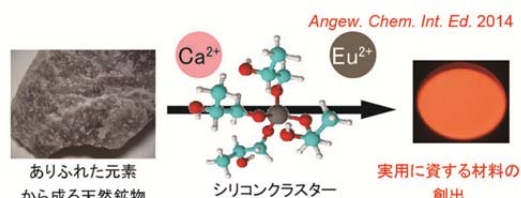
### 研究項目 A01「分子制御による融合マテリアルの創製」

A01 班では、有機分子・高分子・液晶・ゲル、機能性ペプチドの設計・合成・配列化、結晶成長シミュレーションを行い、それを基盤としてハイブリッド材料・無機クラスター・金属錯体などの融合マテリアルの構築に関する成果を挙げた。以下に、計画研究および公募研究の代表的な研究例を示す。

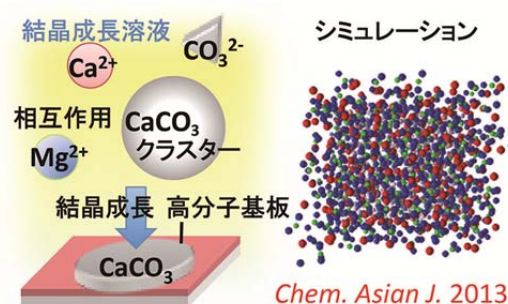
**【計画研究】**A01 垣花は、天然鉱物を手本とし、水分散性シリコンクラスターとユウロピウムを融合させることにより、革新的な蛍光体材料の創出に成功した (*Angew. Chem. Int. Ed.*, 2014)。一連の研究は企業との実用化に向けた共同研究へと発展し、特許出願も行っている。A01 加藤は、イオン伝導性有機液晶を基盤としたリチウムイオン融合電池の構築を A03 細野と共同で行い、動的機能融合マテリアルの創成に大きく貢献した (*Polym. J.* (融合マテリアル特集号: 加藤領域代表が代表編集), 2015)。A01 鳴瀧は、自己集合性を有するエラスチン類似ポリペプチド (ELP) の開発と機能配列の付加および ELP ナノファイバーとゼラチンからなる融合足場材料の作製に成功し (*Biopolymers*, 2015)、また精密合成ポリマーを利用したシリカナノ粒子の配列制御を A01 (公募) 下嶋および A02 青島と共同で実施し成功させるなど融合マテリアルの精密設計と合成に大きく貢献した (*Polym. J.* (融合マテリアル特集号), 2015)。A01 加藤は高分子を用いた炭酸カルシウム結晶薄膜形成の分子制御に成功するなど融合マテリアルのハイブリッド構造形成手法の開発を促進させ (*Small*, 2014)、また刺激に応答して発光する分子集合体を構築し (*Angew. Chem. Int. Ed.*, 2011)、A03(公募)長谷川と制御可能な多様な蛍光を持つ動的機能材料の創成も達成した (*J. Am. Chem. Soc.*, 2012)。

計算科学分野では、A01 灘が、有機分子による結晶成長制御機構の例としてアスパラギン酸を基盤とするカルサイト表面成長制御の機構をシミュレーションにより明らかにするなど分子制御による融合マテリアル形成制御機構の解明に大きく貢献した (*J. Phys. Chem. C*, 2014)。無機化学分野では、A01 垣花が、A02 青島や A01(公募)長田との共同研究により、分子制御により形態が制御された結晶の合成とその光機能開拓に成功した (*J. Ceram. Soc. Jpn.*, 2013)。また、炭酸カルシウム結晶核生成前駆体に着目した融合材料の構築について A01 加藤、A01 灘、A02 菊池と共同研究 (*Chem. Asian J.*, 2013) により計算科学と実証実験の融合による形成機構の解明が検証された。

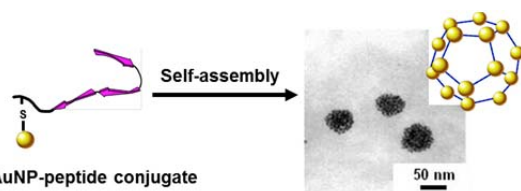
**【公募研究】**A01(公募)清水は、バイオミネラルにおけるシリカ形成促進機能発部位を同定することに成功した。また A01 加藤および A01 新垣と議論を重ね、共同で融合マテリアル創成につながる成果をまとめた (*Org. Biomol. Chem.*, 2015)。A01(公募)堀毛は、融解性多孔性配位高分子 (MOF) の合成と形状変化・制御及び機能開拓に成功した (*J. Am. Chem. Soc.*, 2015)。A01(公募)重永は、ケージド非水解性リン酸化アミノ酸の合成とそれを含むペプチドの紫外線による活性制御を達成し、バイオミネラリゼーションの時空間制御を可能とするタンパク質創製技術を促進させた (*Angew. Chem. Int. Ed.*, 2015)。A01(公募)下嶋は、A01 鳴瀧と共同で単分散中空シリカナノ粒子やシリカ系コアシェルナノ粒子の合成法を開拓するなど多孔性融合マテリアルの創製に貢献した (*Langmuir*, 2015)。A01(公募)吉澤は、分子設計により表示・薬理活性機能を有する構造秩序の時空間揺らぎを持つ動的ネマチック液晶相の創成を達成した (*J. Mater. Chem. B & C*, 2014)。A01(公募)小川は、マベ真珠マトリクスタンパク質の構造と機能の解明およびその多層膜調整による材料合成を行うなど自然を超える機能材料創製に貢献した (*PLoS ONE*, 2014)。A01(公募)松浦は、ウイルス由来ペプチドを基盤とするナノカプセルの DNA 表面を金ナノ粒子および血清アルブミンで着せ替えた融合材料の創製に成功した (*Nanomaterials*, 2014)。



有機分子の配位子を基盤とするシリコンクラスターを用いる革新的蛍光性動的機能融合材料 (A01 垣花)



有機高分子を基盤とする炭酸カルシウム結晶前駆体に着目した自然調和型融合材料の構築 (A01 加藤、A01 灘、A02 菊池の共同研究)



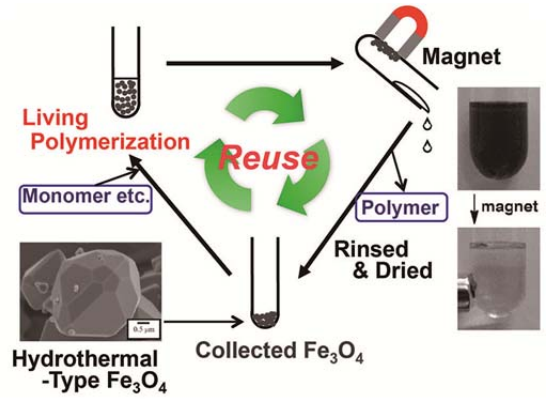
有機分子であるペプチドを基盤とする融合クラスターの合成 (A01 松浦: 平成 23 年度日本学術振興会賞受賞)

## 研究項目 A02 「融合マテリアルの構造構築」

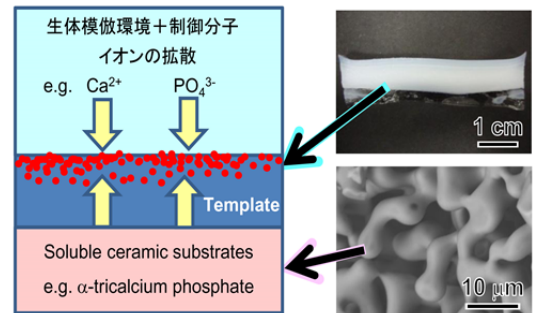
A02 班は、自然に豊富に存在する無機成分を有機成分と融合して組織化し、省エネルギー・省資源・低環境負荷型でかつ優れた性質を有する自然調和型材料を構築した。

【計画研究】有機高分子分野で A02 青島は、制御された有機／無機界面や複合材料を創製するため、様々な制御構造を有する新しい有機高分子を設計し、その合成法を開発した。たとえば、酸化鉄によるリビングカチオン・ラジカル重合を 6 グループ共同で行った(*RSC Advances*, 2015)。また、ブロックポリマーを合成してシリカナノ粒子の作製と配列制御 (A01 鳴瀧、(公募)下嶋らと共同: *Polym. J.* (融合マテリアル特集号), 2015) を行うとともに、足場材料になり得る選択分解型交互ポリマー(*ACS Macro Lett.*, 2014)、高感度刺激応答フィルム、選択的抗菌性材料などの創製を行った。バイオミネラル分野で A02 大槻は、骨組織と一体化する人工骨材料の創製を目的とし、リン酸カルシウムを中心とした機能性構造材料の構築を行った。たとえば、ヒドロキシアパタイトの形成を促進するセルロースナノファイバーの表面状態を解明した (A01 加藤、鳴瀧と共同: *Polym. J.* (融合マテリアル特集号), 2015)。また、有機高分子存在下で繊維状のリン酸カルシウムを得る条件を明らかにし、生成する結晶相を制御できることを示した (*J. Cryst. Growth*, 2013)。温度応答ゲル化する多糖ゲル表面にリン酸カルシウム化合物の骨類似アパタイトを形成する機能を付与した(A02(公募)宮崎と共同: *Mater. Sci. Eng., C*, 2011)。さらに、体液模倣環境下で有機分子を用いて無機結晶の生成を制御し構造構築する研究や、酸化鉄/ヒドロキシアパタイト複合体の合成にも成功した。A02 菊池は、有機分子の自己組織化に基づいたナノ材料の制御による構造構築として、配向欠陥のネットワークに異種物質を位置選択的に配列させた新規なナノ構造化融合マテリアル、秩序領域で無機物質等をテンプレート合成させた高秩序・高階層融合マテリアルを創製した。たとえば、フラストレート液晶相の周期的な欠陥構造へハイパーブランチポリマーを導入し、新たなナノ組織体を構築した(A01(公募)東口と共同: *Soft Matter*, 2015)。一方、サーモトロピックやリोटロピック液晶による炭酸カルシウムおよびヒドロキシアパタイト結晶の形態制御とその機構解明と結晶成長場としてのフラストレート液晶相の開発を行った(A01 加藤と共同)。バイオ分野で A02 新垣は、生体に見られる精緻な構造構築の解明と構造材料開発及び解析支援技術の開発を行った。形態制御タンパク質の機能部位を同定して制御機構を検討し、その結果に基づきタンパク質の種類と発現量を変えることで結晶成長過程が制御できることを示した(*J. Jpn. Soc. Powder Powder Metall.*, 2014)。

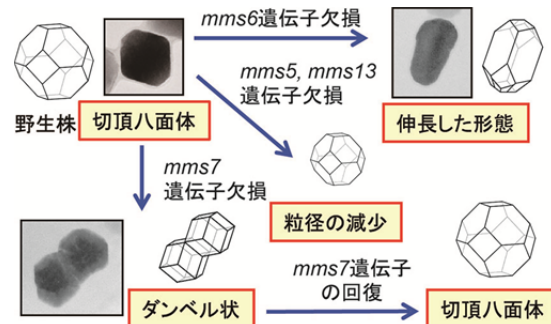
【公募研究】有機高分子分野で A02(公募)佐藤は、新規開発した逐次ラジカル重合とリビングラジカル重合により周期的に官能基を導入し、均一な高次構造を有し温度応答により形態を変化させる有機／無機複合微粒子を創製した。A02(公募)高島はホスト-ゲスト化学による新しい概念でゲルとガラスの接着を検討し、自己修復性や刺激応答性を有する動的機能材料を作製した (*Macromol. Rapid Commun.*, 2014)。バイオミネラル分野で A02(公募)石川は、ポリ(乳酸-グリコール酸)の共重合体を用いることにより炭酸アパタイトフォームの生体親和性を下げずに機械的強度を増強し、A02(公募)竹岡(裕)は多孔性セラミックスの気孔中でのポリ乳酸、ポリグリコール酸、その共重合体の *in-situ* 合成により人工骨材料として利用可能な機械的強度を有する複合材料も創製した。また融合・酸化物分野では、様々なナノチタニア構造の構築、金ナノ粒子とイオン液体が高秩序に配列した自己集合体の構築、金ナノ微粒体にオリゴ DNA を導入しナノ自己組織体の創製が行なわれた。一方、理論・構造解析分野で A02(公募)奥村は、A01 加藤との共同研究で真珠層強靱性に関してスケーリング法則を適応することにより検証した(*Adv. Eng. Mater.*, 2013)。



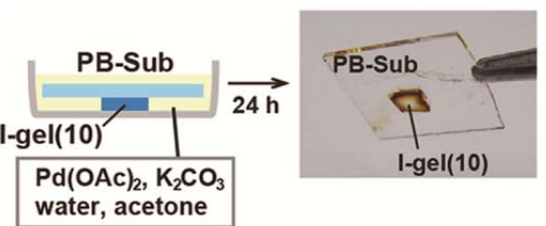
酸化鉄を基盤とする融合マテリアルの構造構築 (A02 青島 A01 垣花 A02 新垣 A02 佐藤 A03 今井 A03 片桐と 6 グループに渡る共同研究)



ヒドロキシアパタイトを基盤とするバイオミネラルに倣う融合マテリアルの構造構築 (A02 大槻)



部分欠損ペプチドの分子制御による磁気微粒子融合マテリアルの構造構築 (A02 新垣)



新規ホスト-ゲスト型接着機構による高分子ゲルとガラスの融合界面構造構築 (A02 高島)

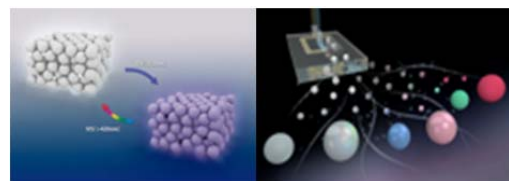
### 研究項目 A03「融合材料の機能開拓」

A03 班では、多様な分野における融合機能を見出し、既存の学問分野に当てはまらない新たな機能をもつ融合材料群を開拓した。

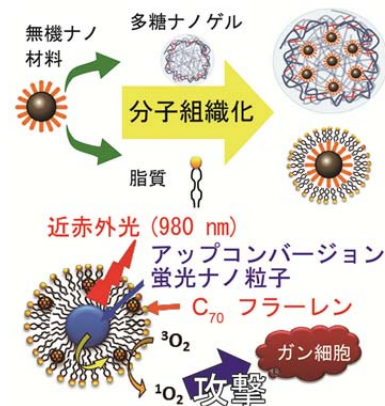
【計画研究】動的分離機能分野では、A03 今井が A02 青島との共同研究によって、温度にตอบสนองして水・有機相を行き来し、薬剤分子を運搬・放出する融合マイクロシャトル粒子を開発した (*J. Mater. Chem. B* 2015)。光学機能分野では、A03 竹岡が白色のシリカナノ粒子と黒色のカーボン粒子を融合することで多彩な構造色の発現に成功し、安全で安定性の高い融合材料顔料への展開を進めた (*J. Mater. Chem. C*, 2015, 2014, *Angew. Chem. Intl. Ed.* 2014)。ここでは、A03 片桐、A02(公募)川野との共同研究が本材料の機能向上や合成法改善に重要な役割を果たした。バイオメディカル機能分野では、A03 片桐・富田が行った有機分子集合体と無機ナノ粒子がナノレベルで組織化されたガン治療用の融合材料の一連の開発が特筆される。A03(公募)佐々木と共同で多糖ナノゲルと酸化鉄ナノ粒子を組み合わせ、画像診断用 MRI 造影剤と温熱療法に応用可能な材料を合成 (*ChemPlusChem* 2014) するとともに、A01 垣花との共同で近赤外光で活性酸素を発生する光線力学療法用ナノ材料を開発 (*J. Ceram. Soc. Jpn.* 2013) した。また、A03(公募)長崎と共同で、ホウ素を高濃度で含み有機分子によって生体親和性をもつ粒子を開発した。この融合材料は中性子捕捉療法による腫瘍増殖抑制効果用材料として期待される (特許出願)。さらに、A02 青島との共同研究により、磁性ナノ粒子と温度感受性高分子・脂質膜などを組み合わせることで交流磁場にตอบสนองして内包物を放出する DDS 用新規リポソームが得られた (*Small* 2011)。電子・エネルギー機能分野では、A03 今井は、導電性酸化ナノロッドの配向構造体を導電性高分子との融合によって照射による電導度変化をきわめて大きくすることに成功し、センサとしての可能性を示した (*J. Mater. Chem.* 2012)。また、A03 今井らは有機媒質中の結晶成長によって卵殻類似のメソ結晶構造をもつ炭酸塩を合成し、それを前駆体として多様な多孔質マンガン化合物の開発に成功した。なかでも、MnO/Co ナノ構造と有機電解質が融合した新規な高次構造体は高容量と高耐久性が両立したリチウムイオン二次電池用の負極活物質として優れた特性を示すことが実証された (*Adv. Funct. Mater.* 2011, 日本経済新聞 2010)。また、自己修復機能分野では、A03 今井は、微細な炭酸カルシウム結晶から構成された貝殻稜柱層の欠落部を特定の制御分子を利用して *in vitro* で再生し、バイオミネラルの自己修復機能の一部の再現に成功した (*Chem. Eur. J.* 2011)。

【公募研究】動的分離機能分野では、A03(公募)宮田は、A02(公募)川野との共同によって、特定分子にตอบสนองして流れを制御するマイクロ流路を実現した (*Macromol. Rapid Commun.* 2015)。A03(公募)星野は、環境応答性分子と無機構造フレームとの相互作用によって優れた CO<sub>2</sub> 分離能をもつ融合材料を開発した (*Angew. Chem. Intl. Ed.* 2014)。バイオメディカル機能分野では、A03(公募)宮田による分子応答性ゲルを金と融合した特定タンパク質の認識チップを開発した (*Chem. Lett.* 2014)。エネルギー機能分野では、A03(公募)西原が、シリコンとナノカーボンを融合しリチウムイオン電池負極として、高耐久性・高容量を実現した

(*Nanoscale* 2014)。光・電子機能に関連する分野では、A03(公募)中戸は、分子間の光誘起電子移動を粘土粒子の集合構造によって制御する光化学反応系を構築し、ナノシート液晶による光触媒反応の制御した (*J. Mater. Sci.*, 2014, *J. Mater. Chem. C* 2012)。この成果は、有機物質と無機物質とをナノオーダーでの精緻に複合化した融合構造によって光エネルギーを特定の電気化学反応に利用できることを示している。A03(公募)高口は、カーボンナノチューブ/超分子複合体をベースに SiO<sub>2</sub> とのハイブリッドや Pt(II)錯体の導入に成功し、優れた水の光分解のための光触媒となることを明らかにした (*New J. Chem.* 2013, *Adv. Mater.* 2011)。さらに、A03(公募)長谷川が A01 加藤との共同で、刺激にตอบสนองして発光する液晶の開発に成功した (*Chem. Lett.* 2014)。

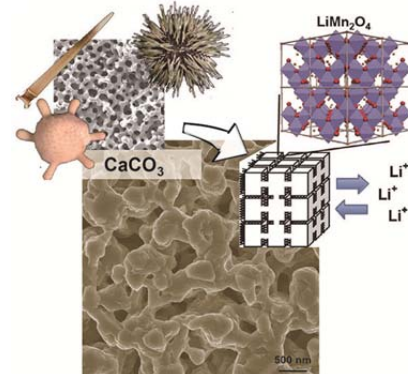


多様な色彩を実現した白色シリカと黒色カーボン融合材料 (A03 竹岡)

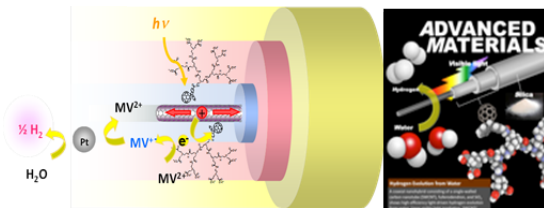


環境応答性を示す融合ナノシステム(A03 片桐, 富田と A02 青島の共同研究)

電子・エネルギー機能分野では、A03 今井は、導電性酸化ナノロッドの配向構造体を導電性高分子との融合によって照射による電導度変化をきわめて大きくすることに成功し、センサとしての可能性を示した (*J. Mater. Chem.* 2012)。また、A03 今井らは有機媒質中の結晶成長によって卵殻類似のメソ結晶構造をもつ炭酸塩を合成し、それを前駆体として多様な多孔質マンガン化合物の開発に成功した。なかでも、MnO/Co ナノ構造と有機電解質が融合した新規な高次構造体は高容量と高耐久性が両立したリチウムイオン二次電池用の負極活物質として優れた特性を示すことが実証された (*Adv. Funct. Mater.* 2011, 日本経済新聞 2010)。また、自己修復機能分野では、A03 今井は、微細な炭酸カルシウム結晶から構成された貝殻稜柱層の欠落部を特定の制御分子を利用して *in vitro* で再生し、バイオミネラルの自己修復機能の一部の再現に成功した (*Chem. Eur. J.* 2011)。



高性能電極材料としての生体を模倣した融合材料 (A03 今井)



光触媒性を示す SWCNT/フラロドendロン/SiO<sub>2</sub> 機能性融合材料 (A03 高口)

## 6. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5 ページ程度）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果の公表の状況（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、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に記載し、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。また、別添の「(2) 発表論文」の融合研究論文として整理した論文については、冒頭に◎を付してください。

### 【主な論文】（青字：領域内共同研究の成果、赤字：特記事項）

#### A01 班 (402 報)

#### 計画研究 (132 報)

(原著論文)

- ◎Q. D. Truong, H. Kato, M. Kobayashi, \*M. Kakihana, “Hierarchical Structures of Rutile Exposing High-index Facets”, *J. Cryst. Growth*, 418, 86-91 (2015).
- ◎J. Sakuda, E. Hoşono, M. Yoshio, T. Ichikawa, T. Matsumoto, H. Ohno, H. Zhou, \*T. Kato, “Liquid-Crystalline Electrolytes for Lithium-Ion Batteries: Ordered Assemblies of a Mesogen-Containing Carbonate and a Lithium Salt”, *Adv. Funct. Mater.*, 25, 1206-1212 (2015). †A03 班 連携研究者, A03 班との共同研究 [selected as a front piece]
- ◎J. Wang, A. Sugawara-Narutaki, †A. Shimojima, ††M. Osada, R. Ma, \*T. Okubo, “Dendritic Silica Nanoparticles Synthesized by a Block Copolymer-Directed Seed-Regrowth Approach”, *Langmuir*, 31, 1610-1614 (2015). †A01 班 研究代表者, ††総括班連携研究者, A01 班内の共同研究
- ◎S. Zhou, †Y. Oda, ††A. Shimojima, T. Okubo, \*†††S. Aoshima, \*A. Sugawara-Narutaki, “Ring Assembly of Silica Nanospheres Mediated by Amphiphilic Block Copolymers with Oxyethylene Moieties”, *Polym. J.*, 47, 128-135 (2015). †総括班連携研究者, ††A01 班 研究代表者, †††A02 班 研究代表者, A01, A02 班の共同研究 融合マテリアル特集号
- ◎D. H. T. Le, T. Okubo, \*A. Sugawara-Narutaki, “Beaded Nanofibers Assembled from Double-Hydrophobic Elastin-Like Block Polypeptides: Effects of Trifluoroethanol”, *Biopolymers*, 103, 175-185 (2015).
- ◎J. Wang, H. Yabe, †A. Shimojima, T. Sekiguchi, A. Sugawara-Narutaki, \*T. Okubo, “Amino Acid-assisted One-dimensional Assembly of Semiconducting Metal Oxide Nanoparticles in Aqueous Alcohol Media”, *Chem. Lett.*, 43, 934-935 (2014). †A01 班 研究代表者, A01 班内の共同研究
- ◎D. Hogberg, B. Soberats, S. Uchida, M. Yoshio, L. Kloo, H. Segawa, and \*T. Kato, “Nanostructured Two-Component Liquid-Crystalline Electrolytes for High Temperature Dye-Sensitized Solar Cells”, *Chem. Mater.*, 24, 6496-6502 (2014). Editor's Choice に選出, C&E News で紹介
- ◎Y. Sato, H. Kato, M. Kobayashi, T. Masaki, D.-H. Yoon, and \*M. Kakihana, “Tailoring of Deep-Red Luminescence in Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>” *Angew. Chem. Int. Ed.*, 53, 7756-7759 (2014).
- ◎K. Tanabe, D. Kodama, †M. Hasegawa, \*T. Kato, “Aggregation-Induced Emission of a Liquid-Crystalline Quinolinium Salt Molecule in Aqueous Solution”, *Chem. Lett.*, 43, 184-186 (2014). †A03 班 研究代表者, A03 班との共同研究
- ◎T. Saito, †Y. Oaki, T. Nishimura, A. Isogai, \*T. Kato, “Bioinspired Stiff and Flexible Composites of Nanocellulose-Reinforced Amorphous CaCO<sub>3</sub>”, *Mater. Horiz.*, 1, 321-325 (2014). †A03 班 連携研究者, A03 班との共同研究
- ◎S. Kajiyama, T. Nishimura, T. Sakamoto, \*T. Kato, “Aragonite Nanorods in Calcium Carbonate/Polymer Hybrids Formed through Self-Organization Processes from Amorphous Calcium Carbonate Solution”, *Small*, 10, 1634-1641 (2014).
- ◎\*H. Nada, “Difference in the Conformation and Dynamics of Aspartic Acid on the Flat Regions, Step Edges, and Kinks of a Calcite Surface: A Molecular Dynamics Study”, *J. Phys. Chem. C*, 118, 14335-14345 (2014).
- H. Tomono, \*H. Nada, F. Zhu, †T. Sakamoto, †T. Nishimura, ††T. Kato, “Effects of Magnesium Ions and Water Molecules on the Structure of Amorphous Calcium Carbonate: A Molecular Dynamics Study”, *J. Phys. Chem. B*, 117, 14849-14856 (2013). †A01 班 連携研究者, ††A01 班 研究代表者, A01 班内の共同研究
- F. Zhu, \*T. Nishimura, T. Sakamoto, H. Tomono, †H. Nada, Y. Okumura, †H. Kikuchi, \*T. Kato, “Tuning the Stability of CaCO<sub>3</sub> Crystals with Magnesium Ions for the Formation of Aragonite Thin Films on Organic Polymer Templates”, *Chem. Asian J.*, 8, 3002-3009 (2013). †A01 班 研究代表者, ††A02 班 研究代表者, A01, A02 班の共同研究 [selected as a back cover picture]
- ††M. Osada, M. Kobayashi, M. Kakihana, “Enhanced Dielectric Response Induced by Controlled Morphology in Rutile TiO<sub>2</sub> Nanocrystals”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 121, 593-597 (2013). †A01 班 研究代表者, A01 班内の共同研究
- K. Tanabe, Y. Suzui, †M. Hasegawa, \*T. Kato, “Full-Color Tunable Photoluminescent Ionic Liquid Crystals Based on Tripodal Pyridinium, Pyrimidinium, and Quinolinium Salts”, *J. Am. Chem. Soc.*, 134, 5652-5661 (2012). †A03 班 研究代表者, A03 班との共同研究
- \*M. Kobayashi, V. Petrykin, †K. Tomita, M. Kakihana, “Hydrothermal Synthesis of Brookite-type Titanium Dioxide with Snowflake-like Nanostructures using a Water-soluble Citratoperoxotitanate Complex”, *J. Cryst. Growth*, 337, 30-37 (2011). †A03 班 研究分担者, A03 班との共同研究
- K. Yamamoto, S. Matsushima, ††K. Tomita, Y. Miura, M. Kakihana, “Low Temperature Synthesis of Titanium Complex Oxides by a New Synthetic Route of Water-soluble Titanium Complex from Titanium Chloride and Titanium Sulfate as Starting Materials”, *J. Jpn. Soc. Powder Powder Metall.*, 58, 584-590 (2011). †A03 班 研究分担者, A03 班との共同研究
- \*T. Nishimura, H. Imai, †Y. Oaki, T. Sakamoto, \*T. Kato, “Preparation of Thin-Film Hydroxyapatite/Polymer Hybrids”, *Chem. Lett*, 40, 458-460 (2011). †A03 班 連携研究者, A03 班との共同研究 Editor's Choice に選出
- W. Chaikittisilp, M. Kubo, T. Moteki, A. Sugawara-Narutaki, †A. Shimojima, \*T. Okubo “Porous Siloxane-Organic Hybrid with Ultrahigh Surface Area through Simultaneous Polymerization-Destruction of Functionalized Cubic Siloxane Cages”, *J. Am. Chem. Soc.*, 133, 13832-13835 (2011). †A01 班 研究代表者, A01 班内の共同研究
- †Y. Oaki, H. Ohno, \*T. Kato, “Nanosegregated Composites of an Imidazolium Salt and a Layered Inorganic Compound: Organization of both Anions and Cations in Interlayer Space”, *Nanoscale*, 2, 2362-2365 (2010). †A03 班 連携研究者, A03 班との共同研究

(総説・解説)

- M. Kobayashi, †M. Osada, H. Kato, \*M. Kakihana, “Design of Crystal Structures, Morphologies, and Functionalities of Titanium Oxide Using Water-soluble Complexes and Molecular Control Agents”, *Polym. J.*, 47, 78-83 (2015). †A01 班 研究代表者, 招待論文 融合マテリアル特集号
- \*H. Nada, “Importance of Water in the Control of Calcite Crystal Growth by Organic Molecules”, *Polym. J.*, 47, 84-88 (2015). 融合マテリアル特集号
- 西村達也, 朱方捷, 伴野秀和, †灘浩樹, \*加藤隆史, “バイオミネラリゼーションに学ぶ有機/無機複合体の設計と合成: 高分子およびマグネシウムイオンによる炭酸カルシウムのモルホロジー制御”, *オレオサイエンス*, 14, 417-423 (2014). †A01 班 研究代表者, A01 班内の共同執筆 第14回日本油化学会オレオサイエンス賞受賞
- \*加藤隆史, †大槻主税, “融合マテリアル: 分子制御による材料創成と機能開拓”, *未来材料*, 12, 49-53 (2012). †A02 班 研究代表者, A01, A02 班の共同執筆
- 坂本健, †新垣篤史, ††清水克彦, 西村達也, \*加藤隆史, “有機分子の制御による異方的結晶成長と無機/有機ハイブリッド構造の形成”, *セラミックス*, 47, 285-290 (2012). †A02 班 研究代表者, ††A01 班 研究代表者, A01, A02 班の共同執筆

#### 公募研究 (270 報)

(原著論文)

- ◎R. Aoyama, H. Sako, M. Amakatsu, \*M. Yamanaka, “Palladium Ion-Induced Supramolecular Gel Formation of Tris-Urea Molecule”, *Polym. J.*, 47, 136-140 (2015). 融合マテリアル特集号
- ◎\*K. Matsuura, S. Fujita, G. Ueno, “Self-assembled Artificial Viral Capsid Decorated with Gold Nanoparticles”, *Polym. J.*, 47, 146-151 (2015). 融

合マテリアル特集号

3. ©Y. Fujiwara, \*S. Horike, K. Kongpatpanich, T. Sugiyama, N. Tabori, †H. Nishihara, S. Kitagawa, “Control of Pore Distribution of Porous Carbons Derive From Mg<sup>2+</sup> Porous Coordination Polymers”, *Inorg. Chem. Front.*, 2, 473-476 (2015). †A03 班 研究代表者, A03 班との共同研究 Hot Paper に選出
4. ©T. Naganuma, W. Hoshino, Y. Shikanai, R. Sato, K. Liu, S. Sato, K. Muramoto, M. Osada, K. Yoshimi, \*T. Ogawa “Novel Matrix Proteins of *Pterea penguin* Pearl Oyster Shell Nacre Homologous to the Jacalin-Related  $\beta$ -Prism Fold Lectins.” *PLoS ONE*, 9, e112326 (2014). [featured in *Nature Chemical Biology's News & Views, January Issue 2015*]
5. ©D. Umeyama, \*S. Horike, M. Inukai, T. Itakura, \*S. Kitagawa, “Reversible Solid-to-Liquid Phase Transition of Coordination Polymer Crystals”, *J. Am. Chem. Soc.*, 137, 864-870 (2015).
6. ©M. Gon, \*Y. Morisaki, \*Y. Chujo, “Optically Active Cyclic Compounds Based on Planar Chiral [2.2]Paracyclophane: Extension of the Conjugated Systems and Chiroptical Properties”, *J. Mater. Chem. C*, 3, 521-529 (2015). [selected as a back cover picture]
7. ©H. Sasaki, Y. Takanishi, J. Yamamoto, \*A. Yoshiwara, “Supermolecular Bent Configuration Composed of Achiral Flexible Liquid Crystal Trimers Exhibiting Chiral Domains with Opposite Handedness”, *J. Phys. Chem. B*, 119, 4531-4538 (2015).
8. ©H. Chen, L. Xiao, Y. Anraku, P. Mi, X. Liu, H. Cabral, A. Inoue, T. Nomoto, \*A. Kishimura, \*N. Nishiyama, \*K. Kataoka, “Polyion Complex Vesicles for Photo-induced Intracellular Delivery of Amphiphilic Photosensitizer”, *J. Am. Chem. Soc.*, 136, 157-163 (2014).
9. ©W. Nishiyama, Y. Takanishi, J. Yamamoto, \*A. Yoshizawa, “Molecular Design for a Cybotactic Nematic Phase”, *J. Mater. Chem. C*, 2, 3677-3685 (2014).
10. ©S. Sakamoto, Y. Tamura, H. Hata, Y. Sakamoto, \*A. Shimojima, \*K. Kuroda, “Molecularly Designed Nanoparticles by Dispersion of Self-Assembled Organosiloxane-Based Mesophases”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 53, 9173-9177 (2014). [selected as an inside cover picture]
11. ©J. Wang, J. K. Katahara, A. Kumamoto, T. Tohei, †A. Sugawara-Narutaki, A. Shimojima, \*T. Okubo, “Synthesis of String-bean-like Anisotropic Titania Nanoparticles with Basic Amino Acids”, *RSC Advances*, 4, 9233-9235 (2014). †A01 班 研究代表者, A01 班内の共同研究
12. ©K. Ebisuno, M. Denda, K. Ogura, T. Inokuma, \*A. Shigenaga, \*A. Otaka, “Development of Caged Non-hydrolyzable Phosphoamino Acids and Application to Photo-control of Binding Affinity of Phosphopeptide Mimetic to Phosphopeptide-recognizing Protein”, *Bioorg. Med. Chem.*, 22, 2984-2991 (2014).
13. S. Guo, A. Sugawara-Narutaki, T. Okubo, †\*A. Shimojima, “Synthesis of Ordered Photoresponsive Azobenzene-Siloxane Hybrids by Self-Assembly”, *J. Mater. Chem. C*, 1, 6989-6995 (2013). †A01 班 研究代表者, A01 班内の共同研究
14. M. Inoue, \*K. Higashiguchi, \*K. Matsuda, “Photocontrol of Solvent Responsiveness of Structural Colored Balloons”, *Langmuir*, 29, 7047-7051 (2013).
15. T. Sawada, \*H. Mihara, “Dense Surface Functionalization Using Peptides that Recognize Differences in Organized Structures of Self-assembling Nanomaterials”, *Mol. BioSyst.*, 8, 1264-1274 (2012).
16. K. Higashiguchi, K. Yasui, M. Ozawa, K. Odoi, †\*H. Kikuchi, “Spatial Distribution Control of Polymer Nanoparticles by Liquid Crystal Disclinations”, *Polym. J.*, 44, 632-638 (2012). †A02 班 研究代表者, A02 班との共同研究 自己組織化材料特集号
17. \*M. Osada, K. Ono, T. Sasaki, “Nano-Materials Design for High-TC Ferromagnets of Ti<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>O<sub>2</sub> Nanosheets”, *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, 9, 936-941 (2012).
18. K. Takao, K. Suzuki, T. Ichijo, S. Sato, H. Asakura, K. Teramura, K. Kato, T. Ohba, T. Morita, \*M. Fujita, “Incarceration of (PdO)<sub>n</sub> and Pd<sub>n</sub> Clusters by Cage-Templated Synthesis of Hollow Silica Nanoparticles”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 51, 5893-5896 (2012).
19. Y. Hirai, Y. Nagao, A. Igashira-Kamiyama, \*T. Konno, “Enantioselective/Anion-Selective Incorporation of Tris(ethylenediamine) Complexes into 2D Coordination Spaces between Tripalladium(II) Supramolecular Layers with D-Penicillamine”, *Inorg. Chem.*, 50, 2040-2042 (2011).
20. \*S. Ohara, Y. Hatakeyama, M. Umetsu, Z. Tan, T. Adschiri, “Fabrication of Pd-DNA and Pd-CNT hybrid nanostructures for hydrogen sensors”, *Adv. Powder Technol.*, 22, 559-565 (2011).

(総説・解説)

1. \*小川智久, “マベ真珠バイオミネラルイゼンション:マトリックスタンパク質による結晶界面制御”, *C & I Commun.*, 40, 27-30 (2015). 招待論文
2. \*A. Otaka, K. Sato, A. Shigenaga, “Chemical Synthesis of Proteins Using N-Sulfanylethylamide Peptides, Based on N-S Acyl Transfer Chemistry”, *Top. Curr. Chem.*, 363, 33-56 (2015). 依頼論文
3. \*M. Yamanaka, “Urea Derivatives as Low-Molecular-Weight Gelators”, *J. Inclusion Phenom. Macrocy. Chem.*, 77, 33-48 (2013). 招待論文
4. \*K. Matsuura, “Biomolecular Self-assembling Systems for Multivalent Ligand Display”, *Trend Glycosci. Glycotech.*, 25, 227-239 (2013). 招待論文
5. T. Nakanishi, M. Naito, †Y. Takeoka, ††K. Matsuura, “Versatile Self-assembled Hybrid Systems with Exotic Structures and Unique Functions”, *Curr. Opin. Coll. Int. Sci.*, 16, 482-490 (2011). †A03 班 研究代表者, ††A01 班 研究代表者, A01, A03 班の共同執筆

A02 班 (387 報)

計画研究 (158 報)

(原著論文)

1. ©A. Kanazawa, K. Satoh, S. Kanaoka, †M. Kakihana, †M. Kobayashi, J. Sato, †††H. Imaj, ††††Y. Oaki, ††A. Arakaki, †††K. Katagiri, M. Kamigaito, \*S. Aoshima, “Controlled Radical Polymerization of Styrene with Magnetic Iron Oxides Prepared through Hydrothermal, Bioinspired, and Bacterial Processes”, *RSC Advances*, 5, 51122 – 51129 (2015). †A01 班, ††A02 班, †††A03 班 研究代表者および連携研究者, A01, A02, A03 班との共同研究 6 グループによる共同研究論文
2. ©S. Morimune-Moriya, S. Kondo, †A. Sugawara-Narutaki, ††T. Nishimura, †††T. Kato, \*C. Ohtsuki, “Hydroxyapatite Formation on Oxidized Cellulose Nanofibers in a Solution Mimicking Body Fluid”, *Polym. J.*, 47, 158-163 (2015). †A01 班 研究代表者, ††A01 班 連携研究者, †††A01 班 研究代表者, A01 班との共同研究 融合マテリアル特集号
3. ©S. Kigoshi, A. Kanazawa, S. Kanaoka, \*S. Aoshima, “In Situ and Readily Prepared Metal Catalysts and Initiator for Living Cationic Polymerization of Isobutyl Vinyl Ether: Dual-Purpose Salphen as a Ligand Framework for ZrCl<sub>4</sub> and an Initiating Proton Source”, *Polym. Chem.*, 6, 30-34 (2015).
4. ©Y. Karasawa, M. Kimura, A. Kanazawa, S. Kanaoka, \*S. Aoshima, “New Initiating Systems for Cationic Polymerization of Plant-Derived Monomers: GaCl<sub>3</sub>/Alkylbenzene-Induced Controlled Cationic Polymerization of  $\beta$ -Pinene”, *Polym. J.*, 47, 152-157 (2015). 融合マテリアル特集号
5. ©\*E. Shin, I. Y. Kim, S. B. Cho, C. Ohtsuki, “Hydroxyapatite Formation on Titania-Based Materials in a Solution Mimicking Body Fluid: Effects of Manganese and Iron Addition in Anatase”, *Mater. Sci. Eng., C*, 48, 279-286 (2015).
6. ©\*S. Fukushima, K. Arikawa, K. Yoshinaga, H. Higuchi, H. Kikuchi, “Infrared Extinction of a Dye-Doped (Polymer/Liquid Crystal) Composite Film”, *Crystals*, 5, 163-171 (2015).
7. ©\*I. Y. Kim, K. Kikuta, C. Ohtsuki, “Hydroxyapatite Formation through Dissolution-Precipitation Reaction: Effects of Solubility of Starting Materials”, *Ceram. Int.*, 40 Part A, 14385-14390 (2014).
8. ©A. Kanazawa, S. Kanaoka, \*S. Aoshima, “Rational Design of Oxirane Monomers for Efficient Crossover Reactions in Concurrent Cationic Vinyl-Addition and Ring-Opening Copolymerization with Vinyl Ethers”, *Macromolecules*, 47, 6635-6644 (2014).
9. ©A. Kanazawa, R. Hashizume, S. Kanaoka, \*S. Aoshima, “Design of Benign Initiator for Living Cationic Polymerization of Vinyl Ethers: Facile in Situ Generation of Vinyl Ether-Hydrogen Halide Adducts and Subsequent Controlled Polymerization without a Lewis Acid Catalyst”, *Macromolecules*, 47, 1578-1585 (2014).
10. ©K. Kakisaka, H. Higuchi, Y. Okumura, \*H. Kikuchi, “A Fluorinated Binaphthyl Chiral Dopant for Fluorinated Liquid Crystal Blue Phases”, *J. Mater. Chem. C*, 2, 6467-6470 (2014).
11. ©A. Arakaki, A. Yamagishi, A. Fukuyo, M. Tanaka, \*T. Matsunaga, “Coordinated Functions of Mms Proteins Define the Surface Structure of Cubo-octahedral Magnetite Crystals in Magnetotactic Bacteria”, *Mol. Microbiol.*, 93, 554-567 (2014).
12. †H. Yoshida, S. Yabu, H. Tone, H. Kikuchi, ††\*M. Ozaki, “Electro-optics of cubic and tetragonal blue phase liquid crystals investigated by two-beam interference microscopy”, *Appl. Phys. Express*, 6, 062603 (2013). †A03 班 連携研究者, ††A03 班 研究代表者, A03 班との共同研究
13. A. Arakaki, A. Yamagishi, \*T. Matsunaga, “Protein-Mediated Morphological Regulation of Magnetite Crystal in Magnetotactic Bacteria”, *J. Jpn. Soc. Powder Powder Metall.*, 61, S99-S103 (2014).

14. [A. Kanazawa](#), [S. Kanaoka](#), \*[S. Aoshima](#), “Concurrent Cationic Vinyl-Addition and Ring-Opening Copolymerization Using B(C<sub>6</sub>F<sub>5</sub>)<sub>3</sub> as a Catalyst: Copolymerization of Vinyl Ethers and Isobutylene Oxide via Crossover Propagation Reactions”, *J. Am. Chem. Soc.*, 135, 9330-9333 (2013).
15. [A. Kanazawa](#), [S. Shibutani](#), [N. Yoshinari](#), †[T. Konno](#), [S. Kanaoka](#), \*[S. Aoshima](#), “Structure Effects of Lewis Acids on the Living Cationic Polymerization of *p*-Methoxystyrene: Distinct Difference in Polymerization Behavior from Vinyl Ethers”, *Macromolecules*, 45, 7749-7757 (2012). †A01 班 研究代表者, A01 班との共同研究
16. †[K. Higashiguchi](#), [K. Yasui](#), [M. Ozawa](#), [K. Odoi](#), \*[H. Kikuchi](#), “Spatial Distribution Control of Polymer Nanoparticles by Liquid Crystal Disclinations”, *Polym. J.*, 44, 632-638 (2012). †A01 班 研究代表者, A01 班との共同研究 [自己組織化材料特集号](#)
17. [A. Arakaki](#), [K. Shibata](#), [T. Mogi](#), [M. Hosokawa](#), [K. Hatakeyama](#), [H. Gomyo](#), [T. Taguchi](#), [H. Wake](#), [T. Tanaami](#), [T. Matsunaga](#), \*[T. Tanaka](#), “Efficient DNA Release from PAMAM Dendrimer-Modified Superparamagnetic Nanoparticles for DNA Recovery”, *Polym. J.*, 44, 672-677 (2012). [自己組織化材料特集号](#)
18. [A. Kanazawa](#), [S. Kanaoka](#), [N. Yagita](#), †[Y. Oaki](#), †[H. Imai](#), \*[M. Oda](#), ††[A. Arakaki](#), \*[T. Matsunaga](#), [S. Aoshima](#), “Biologically Synthesized or Bioinspired Process-Derived Iron Oxides as Catalysts for Living Cationic Polymerization of a Vinyl ether”, *Chem. Commun.*, 48, 10904-10906 (2012). †A03 班 連携研究者・研究代表者, ††A02 班 研究代表者, A02, A03 班の共同研究
19. \*[I. Y. Kim](#), [R. Iwatsuki](#), [K. Kikuta](#), [Y. Morita](#), †[T. Miyazaki](#), [C. Ohtsuki](#), “Thermoreversible Behavior of  $\kappa$ -Carrageenan and Its Apatite-Forming Ability in Simulated Body Fluid”, *Mater. Sci. Eng., C*, 31, 1472-1476 (2011). †A02 班 研究代表者, A02 班内の共同研究
20. [S. Yabu](#), †\*[H. Yoshida](#), [G. Lim](#), [K. Kaneko](#), [Y. Okumura](#), [N. Uehara](#), \*[H. Kikuchi](#), ††[M. Ozaki](#), “Dual Frequency Operation of a Blue Phase Liquid Crystal”, *Optical Materials Express*, 1, 1577-1584 (2011). †A03 班 連携研究者, ††A03 班 研究代表者, A03 班との共同研究

(総説・解説)

1. \*[A. Arakaki](#), [K. Shimizu](#), [M. Oda](#), †[T. Sakamoto](#), †[T. Nishimura](#), ††[T. Kato](#), “Biomimetic Synthesis of Functional Organic/Inorganic Hybrid Materials: Organic Molecular Control of Self-Organization of Hybrids”, *Org. Biomol. Chem.*, 13, 974-989 (2015). †A01 班 連携研究者, ††A01 班 研究代表者, A01 班との共同執筆 [\[selected as a front cover picture\]](#)

2. \*[横井太史](#), [上高原理暢](#), [大槻主税](#), “バイオセラミックスを用いた複合材料の創成”, *Phosphorus Letter*, 81, 58-68 (2014).

3. \*[C. Ohtsuki](#), “Development of Highly Functionalized Ceramic Biomaterials”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 121, 129-134 (2013). [第 66 回\(平成 23 年度\)日本セラミックス協会賞受賞論文](#)

4. \*[菊池裕嗣](#), “ブルー相液晶：液晶ディスプレイへの応用”, *化学工学*, 77, 501-505 (2013).

5. [S. Kanaoka](#), [H. Shimomoto](#), [D. Fukami](#), \*[S. Aoshima](#), “Well-Defined Fluorine-Containing Star Polymers of Vinyl Ethers: Precision Synthesis by Base-Assisting Living Cationic Polymerization and Thermoresponsive Solubility Transitions”, *ACS Symp. Ser.*, 1106, 65-79 (2012).

#### 公募研究 (229 報)

(原著論文)

1. [T. Anzai](#), [M. Kawauchi](#), [T. Kawauchi](#), \*[J. Kumaki](#), “Crystallization Behavior of Single Isotactic Poly(methyl Methacrylate) Chains Visualized by Atomic Force Microscopy”, *J. Phys. Chem. B*, 119, 338-347 (2015).
2. ©\*[Y. Takeoka](#), [M. Hayashi](#), [N. Sugiyama](#), [M. Yoshizawa-Fujita](#), [M. Aizawa](#), [M. Rikukawa](#), “In-Situ Preparation of Poly(L-Lactic Acid-Co-Glycolic Acid)/Hydroxyapatite Composites as Artificial Bone Materials”, *Polym. J.*, 47, 164-170 (2015). [融合マテリアル特集号](#)
3. \*[R. Adhikari](#), [B. Joshi](#), [R. Narro-García](#), [E. D. L. Rosa](#), [T. Sekino](#), [S.W. Lee](#), “Er<sup>3+</sup> Loaded Barium Molybdate Nanoparticles: IR to Visible Spectral Upconversion”, *Mater. Lett.*, 142, 7-10 (2015).
4. ©[M. Tani](#), †[R. Kawano](#), [K. Kamiya](#), \*[K. Okumura](#), “Towards Combinatorial Mixing Devices Without Any Pumps by Open-Capillary Channels: Fundamentals and Applications”, *Sci. Rep.*, in press. †A02 班 研究代表者, A02 班内の共同研究
5. ©[R. Taniguchi](#), [T. Yamada](#), [K. Sada](#), \*[K. Kokado](#), “Stimuli-Responsive Fluorescence of AIE Elastomer Based on PDMS and Tetraphenylethene”, *Macromolecules*, 47, 6382-6388 (2014).
6. ©[S. Nomura](#), \*[K. Tsuru](#), [M. Maruta](#), [S. Matsuya](#), [I. Takahashi](#), [K. Ishikawa](#), “Fabrication of Carbonate Apatite Block from Set Gypsum Based on Dissolution-Precipitation Reaction in Phosphate-Carbonate Mixed Solution”, *Dent. Mater. J.*, 33, 166-172 (2014).
7. [H. Aoshima](#), [M. Uchiyama](#), \*[K. Satoh](#), \*[M. Kamigaito](#), “Interconvertible Living Radical and Cationic Polymerization through Reversible Activation of Dormant Species with Dual Activity”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 53, 10932-10936 (2014).
8. [J. Kumar](#), \*[T. Nakashima](#), [H. Tsumatori](#), \*[T. Kawai](#), “Circularly Polarized Luminescence in Chiral Aggregates: Dependence of Morphology on Luminescence Dissymmetry”, *J. Phys. Chem. Lett.*, 5, 316-321 (2014).
9. [M. Nakahata](#), [Y. Takashima](#), \*[A. Harada](#), “Redox-Responsive Macroscopic Gel Assembly Based on Discrete Dual Interactions”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 53, 3617-3621 (2014).
10. \*[O. Komatsu](#), [H. Nishida](#), [T. Sekino](#), [K. Yamamoto](#), “Application of Titanium Dioxide Nanotubes to Tooth Whitening”, *Nano Biomedicine*, 6, 63-72 (2014).
11. [R. Kawano](#), [Y. Tsuji](#), [K. Kamiya](#), [T. Kodama](#), [T. Osaki](#), [N. Miki](#), \*[S. Takeuchi](#), “A Portable Lipid Bilayer System for Environmental Sensing with a Transmembrane Protein”, *PLoS ONE*, 9, e102427 (2014).
12. [Y. Hamamoto](#), \*[K. Okumura](#), “Realistic Numerical Analysis of a Bioinspired Layered Composite With a Crack: Robust Scaling Laws and Crack Arrest”, *Adv. Eng. Mater.*, 15, 522-528 (2013). [\[selected for the front cover and highlighted on the web page\]](#).
13. [R. Kawano](#), [Y. Tsuji](#), [K. Sato](#), [T. Osaki](#), [K. Kamiya](#), [M. Hirano](#), [T. Ide](#), [N. Miki](#), [S. Takeuchi](#), “Automated Parallel Recordings of Topologically Identified Single Ion Channels”, *Sci. Rep.*, 3, 1-7 (2013).
14. \*†[T. Miyazaki](#), [J. Mukai](#), [E. Ishida](#), [C. Ohtsuki](#), “Apatite Mineralization Behavior on Polyglutamic Acid Hydrogels in Aqueous Condition: Effects of Molecular Weight”, *Bio-Medical Mater. Eng.*, 23, 339-347 (2013). †A02 班 研究代表者, A02 班内の共同研究
15. \*[T. Miyazaki](#), [S. Anan](#), [E. Ishida](#), [M. Kawashita](#), “Carboxymethyl dextran/magnetite Hybrid Microspheres Designed for Hyperthermia”, *J. Mater. Sci.: Mater. Med.*, 24, 1125-1129 (2013).
16. \*[K. Okumura](#), “Simple Model for the Toughness of a Helical Structure Inspired by the Exoskeleton of Lobsters”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 82, 124802 (2013). [\[OPEN SELECT\]](#)
17. [D. J. Park](#), \*[T. Sekino](#), [S. Tsukuda](#), [S. Tanaka](#), “Nanostructures and Physicochemical Properties of Pt Nanoparticle-Loaded Titania Nanotubes Synthesized by Photoreduction Method”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 120, 307-310 (2012).
18. [T. Nakashima](#), \*[N. Kimizuka](#), “Controlled Self-Assembly of Amphiphiles in Ionic Liquids and Formation of Ionogels by Molecular Tuning of Cohesive Energies”, *Polym. J.*, 44, 665-671 (2012). [自己組織化材料特集号](#)
19. \*[Y. Ohya](#), [S. Takeda](#), [Y. Shibata](#), [T. Ouchi](#), [A. Kano](#), [T. Iwata](#), [S. Mochizuki](#), [Y. Taniwaki](#), [A. Maruyama](#), “Evaluation of Polyanion-Coated Biodegradable Polymeric Micelles as Drug Delivery Vehicles”, *J. Contr. Rel.*, 155, 104-110 (2011).
20. †[A. Kanazawa](#), [K. Satoh](#), \*[M. Kamigaito](#), “Iron Oxides as Heterogeneous Catalysts for Controlled/Living Radical Polymerization of Styrene and Methyl Methacrylate”, *Macromolecules*, 44, 1927-1933 (2011). †A02 班 連携研究者, A02 班内の共同研究

(総説・解説)

1. \*[K. Okumura](#), “Simple Views on the Strength and Toughness of Bio-Composites Consisting of Soft and Hard Elements”, *MRS Bulletin*, 40, 333-339 (2015). [\[Invited Review\]](#).
2. \*[関野徹](#), [田中俊一郎](#), “化学反応場制御による低次元ナノ構造チタニアの創製と高次機能”, [まてりあ](#), 53, 546-549 (2014).
3. [K. Iseda](#), [K. Kokado](#), \*[K. Sada](#), “Design and Function of Smart Polymer Bels Based on Ion Recognition”, *React. Funct. Polym.*, 73, 951-957 (2013).
4. \*[T. Miyazaki](#), †[K. Ishikawa](#), ††[Y. Shirosaki](#), †††[C. Ohtsuki](#), “Organic-Inorganic Composites Designed for Biomedical Applications”, *Biol. Pharm. Bull.*, 36, 1670-1675 (2013). †A02 班 研究代表者, ††総括班連携研究者, †††A02 班 研究代表者, A02 班内の共同執筆
5. \*[奥村剛](#), “印象派物理学で描きだす身近に潜むシンプルな物理：しずく、あわ、真珠、クモの巣を題材として”, *物性研究*, 97, 1058-1081 (2012). [依頼原稿](#)

#### A03 班 (438 報)

##### 計画研究 (110 報)

(原著論文)

1. ©[Y. Munekawa](#), \*[Y. Oaki](#), [K. Sato](#), \*[H. Imai](#), “Incorporation of Organic Crystals in the Interspace of Oriented Nanocrystals: Morphologies and Properties”, *Nanoscale*, 7, 3466-3473 (2015). [表紙に採択](#)
2. ©\*[K. Katagiri](#), [S. Yamazaki](#), [K. Inumaru](#), [K. Koumoto](#), “Anti-Reflective Coatings Prepared via Layer-by-Layer Assembly of Mesoporous Silica

- Nanoparticles and Polyelectrolytes”, *Polym. J.*, 47, 190-194 (2015). [融合マテリアル特集号](#)
3. ©M. Teshima, T. Seki, †[R. Kawano](#), S. Takeuchi, S. Yoshioka, \*[Y. Takeoka](#), “Preparation of Structurally Colored, Monodisperse Spherical Assemblies Composed of Black and White Colloidal Particles Using a Micro Flow-Focusing Device”, *J. Mater. Chem. C*, 3, 769-777 (2015). †A02 班 研究代表者, A02 班との共同研究 [[Published as a Back Cover Picture](#)]
  4. ©\*[Y. Oaki](#), R. Muramatsu, \*[H. Imai](#), “Polymer-mediated Dendritic Growth of a Transition Metal Salt Crystal as a Template for Morphogenesis”, *Polym. J.*, 47, 183-189 (2015). [融合マテリアル特集号](#)
  5. ©H. Tamaki, H. Watanabe, S. Kamiyama, [Y. Oaki](#) \*[H. Imai](#), “Size-Dependent Thermochromism through Enhanced Electron-Phonon Coupling in 1 nm Quantum Dots”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 53, 10706-10709 (2014).
  6. ©Y. Nakagawa, H. Kageyama, [Y. Oaki](#), \*[H. Imai](#), “Direction Control of Oriented Self-Assembly for 1D, 2D, and 3D Microarrays of Anisotropic Rectangular Nanoblocks”, *J. Am. Chem. Soc.*, 136, 3716-3719 (2014).
  7. ©Y. Munekawa, \*[Y. Oaki](#), \*[H. Imai](#), “An Experimental Study on the Processes of Hierarchical Morphology Replication by Means of a Mesocrystal: A Case Study of Poly(3,4-Ethylenedioxythiophene)”, *Langmuir*, 30, 3236-3242 (2014).
  8. ©\*[K. Katagiri](#), K. Ohta, K. Sako, K. Inumaru, K. Hayashi, †[Y. Sasaki](#), K. Akiyoshi, “Development and Potential Theranostic Applications of a Self-assembled Hybrid of Magnetic Nanoparticle Clusters with Polysaccharide Nanogels”, *ChemPlusChem*, 79, 1631-1637 (2014). †A03 班 研究代表者, A03 班内の共同研究
  9. ©A. B. Imran, K. Esaki, H. Gotoh, T. Seki, K. Ito, Y. Sakai, \*[Y. Takeoka](#), “Extremely Stretchable Thermosensitive Hydrogels Prepared by Introducing Polyrotaxane-Based Slide-Ring Cross-Linkers and Ionic Groups into the Polymer Network”, *Nat. Commun.*, 5, 5124 (2014).
  10. ©R. Hirashima, T. Seki, †[K. Katagiri](#), Y. Akuzawa, T. Torimoto, \*[Y. Takeoka](#), “Light-Induced Saturation Change in the Angle-Independent Structural Coloration of Colloidal Amorphous Arrays”, *J. Mater. Chem. C*, 2, 344-348 (2014). †A03 班 研究代表者, A03 班内の共同研究
  11. \*[K. Katagiri](#), K. Ohta, K. Koumoto, K. Kurosu, †[Y. Sasaki](#), \*K. Akiyoshi, “Templated Nucleation of Hybrid Iron Oxide Nanoparticles on Polysaccharide Nanogels”, *Colloid Polym. Sci.*, 291, 1375-1380 (2013). †A03 班 研究代表者, A03 班内の共同研究
  12. N. Naruse, \*[K. Tomita](#), †[M. Kakihana](#), “Synthesis and Morphology Control of Red Emitting  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  Phosphor by Precipitation from Homogeneous solution Using Hexamethylenetetramine”, *J. Soc. Inorg. Mater. Jpn.*, 20, 225-230 (2013). †A01 班 研究代表者, A01 班との共同研究
  13. \*[Y. Takeoka](#), S. Yoshioka, A. Takano, S. Arai, K. Nueangnoraj, †[H. Nishihara](#), M. Teshima, Y. Ohtsuka, T. Seki, “Producing Coloured Pigments with Amorphous Arrays of Black and White Colloidal Particles”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 36, 7261-7265 (2013). †A03 班 研究代表者, A03 班内の共同研究
  14. W. Wang, [Y. Oaki](#), †[C. Ohtsuki](#), T. Nakano, \*[H. Imai](#), “Formation of c-Axis-Oriented Columnar Structures through Controlled Epitaxial-growth of Hydroxyapatite”, *J. Asian Ceram. Soc.*, 1, 143-148 (2013). †A02 班 研究代表者, A02 班との共同研究
  15. R. Ise, [Y. Oaki](#), \*[H. Imai](#), “Spontaneous Formation of Sinuous and Wavy Micropatterns with Helical Growth of  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  in Polymer Matrix”, *Cryst. Growth Des.*, 12, 4397-4402 (2012).
  16. [Y. Oaki](#), R. Adachi, \*[H. Imai](#), “Self-Organization of Hollow-Coned Carbonate Crystals through Molecular Control by Using an Acid Organic Polymer”, *Polym. J.*, 44, 612-619 (2012).
  17. \*[K. Katagiri](#), Y. Imai, K. Koumoto, T. Kaiden, K. Kono, †[S. Aoshima](#), “Magnetoresponsive On-Demand Release of Hybrid Liposomes Formed with  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Nanoparticles and Thermosensitive Block Copolymers”, *Small*, 7, 1683-1689 (2011). †A02 班 研究代表者, A02 班との共同研究
  18. K. Yamamoto, S. Matsushima, \*[K. Tomita](#), Y. Miura, †[M. Kakihana](#), “Synthesis of Titanium-based Ceramics by a new Synthetic Route of Water-soluble Titanium Complexes”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 119, 494-497 (2011). †A01 班 研究代表者, A01 班との共同研究
  19. Y. Matsumoto, \*[K. Tomita](#), Y. Sekine, †[M. Kakihana](#), “Synthesis and Water Splitting Activity of  $\text{NaTaO}_3$  Photocatalyst by Hydrothermal Method and Solvothermal Method”, *J. Jpn. Soc. Powder Powder Metall.*, 58, 578-583 (2011). †A01 班 研究代表者, A01 班との共同研究
  20. Y. Matsumoto, \*[K. Tomita](#), Y. Sekine, †[M. Kakihana](#), “Development of New Solution Method using Citric Acid and Ethylenediamine for Borate Compounds”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 119, 486-489 (2011). †A01 班 研究代表者, A01 班との共同研究

(総説・解説)

1. \*[Y. Takeoka](#), “Fusion Materials for Biomimetic Structurally Colored Materials” *Polym. J.*, 47, 106-113 (2015). [[Invited Review](#)]
2. \*[H. Imai](#), “Mesocrystals and Their Related Structures as Intermediates between Single Crystals and Polycrystals”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 122, 737-747 (2014). [第 68 回\(平成 25 年度\)日本セラミックス協会賞受賞論文](#)
3. \*[富田恒之](#), †[長崎健](#), “新規ホウ素含有ナノ粒子の開発と BNCT への応用”, *Isotope News*, 718, 9-14 (2014). †A03 班 研究代表者, A03 班内の共同執筆
4. \*[Y. Takeoka](#), “Stimuli-Responsive Opals: Colloidal Crystals and Colloidal Amorphous Arrays for Use in Functional Structurally Colored Materials”, *J. Mater. Chem. C*, 1, 6059-6074 (2013). [[Invited Review](#), [Published as a Cover Picture](#)]
5. \*[片桐清文](#), [河野健司](#), †[青島真人](#), “外部シグナルに応答して内包物を放出する有機-無機ハイブリッドカプセル”, *機能材料*, 32, 14-21 (2012). †A02 班 研究代表者, A02 班との共同執筆

公募研究 (328 報)

(原著論文)

1. ©Y. Kawata, H. Yoshida, S. Tanaka, A. Konkanok, \*[M. Ozaki](#), †[H. Kikuchi](#), “Anisotropy of the Electro-Optic Kerr Effect in Polymer-Stabilized Blue Phases”, *Phys. Rev. E*, 91, 022503 (2015). †A02 班 研究代表者, A02 班との共同研究
2. \*[T. Nakato](#), T. Fujita, E. Mouri, “Synergistic Photocatalytic Hydrogen Evolution over Oxide Nanosheets Combined with Photochemically Inert Additives”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 17, 5547-5550 (2015).
3. ©A. Kawamura, T. Katoh, T. Urugami, \*[T. Miyata](#), “Design of Molecule-Responsive Organic-Inorganic Hybrid Nanoparticles Bearing Cyclodextrin as Ligands”, *Polym. J.*, 47, 206-211 (2015). [融合マテリアル特集号](#)
4. ©Y. Shiraki, K. Tsuruta, J. Morimoto, C. Ohba, A. Kawamura, R. Yoshida, †[R. Kawano](#), T. Urugami, \*[T. Miyata](#), “Preparation of Molecule-Responsive Microsized Hydrogels via Photopolymerization for Smart Microchannel Microvalves”, *Macromol. Rapid Commun.*, 36, 515-519 (2015). †A02 班 研究代表者, A02 班との共同研究 [[Front Cover](#)]
5. J. Li, Y. Aizawa, K. Hiramoto, E. Kasahara, D. Tsuruta, T. Suzuki, A. Ikeda, [H. Azuma](#), \*[T. Nagasaki](#), “Anti-Inflammatory Effect of Water-Soluble Complex of 1'-Acetoxychavicol Acetate with Highly Branched  $\beta$ -1,3-Glucan on Contact Dermatitis”, *Biomed. Biopharmacother.*, 69, 201-207 (2015).
6. \*[H. Nishihara](#), T. Suzuki, H. Itoi, B.-G. An, S. Iwamura, R. Berenguer, [T. Kyotani](#), “Conversion of Silica Nanoparticles into Si Nanocrystals through Electrochemical Reduction”, *Nanoscale*, 6, 10574-10583 (2014).
7. \*[Y. Nagasaki](#), T. Yaguchi, T. Matsumura, T. Yoshitomi, Y. Ikeda, A. Ueda, A. Hirayama, “Design and Use of Silica-Containing Redox Nanoparticles, siRNP, for High-Performance Peritoneal Dialysis”, *Biomater. Sci.*, 2, 522-5298 (2014).
8. A. Bhadani, T. Endo, S. Koura, K. Sakai, M. Abe, \*[H. Sakai](#), “Self-Aggregation and Liquid Crystalline Behavior of New Ester-Functionalized Quinuclidinium Surfactants”, *Langmuir*, 30, 9036-9044 (2014).
9. T. Sukegawa, I. Masuko, \*[K. Oyaizu](#), \*[H. Nishide](#), “Expanding the Dimensionality of Polymers Populated with Organic Robust Radicals Toward Flow Cell Application: Synthesis of TEMPO-Crowded Bottlebrush Polymers Using Anionic Polymerization and ROMP”, *Macromolecules*, 47, 8611-8617 (2014).
10. \*[M. Hasegawa](#), H. Ohtsu, D. Kodama, T. Kasai, S. Sakurai, [A. Ishii](#), K. Suzuki, “Luminescence Behaviour in Acetonitrile and in the Solid State of a Series of Lanthanide Complexes with a Single Helical Ligand”, *New J. Chem.*, 38, 1225-1234 (2014). [[Access in the Top 10](#)]
11. M. Yoneya, T. Makabe, A. Miyamoto, Y. Shimizu, Y. Miyake, H. Yoshida, [A. Fujii](#), \*[M. Ozaki](#), “Tilt Orientationally Disordered Hexagonal Columnar Phase of Phthalocyanine Discotic Liquid Crystals”, *Phys. Rev. E*, 89, 062505 (2014).
12. ©H. Yoshida, S. Yabu, H. Tone, Y. Kawata, †[H. Kikuchi](#), \*[M. Ozaki](#), “Secondary Electro-Optic Effect in Liquid Crystalline Cholesteric Blue Phases”, *Optical Materials Express*, 4, 960-968 (2014). †A02 班 研究代表者, A02 班との共同研究
13. ©H. Tone, H. Yoshida, S. Yabu, \*[M. Ozaki](#), †[H. Kikuchi](#), “Effect of Anisotropic Lattice Deformation on the Kerr Coefficient of Polymer-Stabilized Blue-Phase Liquid Crystals”, *Phys. Rev. E*, 89, 012506 (2014). †A02 班 研究代表者, A02 班との共同研究
14. \*[Y. Ohya](#), J. Matori, T. Ouchi, “Preparation of Growth Factor-Loaded Biodegradable Matrices Consisting of Poly(depsipeptide-co-lactide) and Cell Growth on the Matrices”, *React. Funct. Polym.*, 81, 33-39 (2014).
15. H. Suzuki, Y. Iizumi, M. Tange, S.-K. Joung, A. Furube, T. Wada, [T. Tajima](#), \*[Y. Takaguchi](#), T. Okazaki, “Spectroscopic Characterization of



Nanohybrids Consisting of Single-walled Carbon Nanotube and Fullerodendron”, *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 22, 44-56 (2014).

16. M. Yue, \*Y. Hoshino, Y. Ohshiro, K. Imamura, Y. Miura, “Temperature-Responsive Microgel Films as Reversible Carbon Dioxide Absorbents in Wet Environment”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 53, 2654-2657 (2014). [Hot paper, Inside back cover.]
17. N. Dewi, H. Yanagie, H. Zhu, K. Demachi, A. Shinohara, K. Yokoyama, M. Sekino, Y. Sakurai, Y. Morishita, N. Iyomoto, \*T. Nagasaki, Y. Horiguchi, †Y. Nagasaki, J. Nakajima, M. Suzuki, K. Ono, K. Kakimi, H. Takahashi, “Tumor Growth Suppression by Gadolinium-neutron Capture Therapy Using Gadolinium-Entrapped Liposome as Gadolinium Delivery Agent”, *Biomed. Biopharmacother.*, 67, 451-457 (2013). †A03 班 研究代表者, A03 班内の共同研究
18. \*T. Tsuda, E. Mochizuki, S. Kishida, H. Sakagami, S. Tachibana, M. Ebisawa, N. Nemoto, Y. Nishimura, \*S. Kuwabata, “Observation of Electrochemical Reaction and Biological Specimen by Novel Analytical Technique Combined with Room-Temperature Ionic Liquid and Scanning Electron Microscope”, *Electrochemistry*, 80, 312-314 (2012).
19. \*H. Sakai, S. Taki, K. Tsuchiya, A. Matsumura, K. Sakai, M. Abe, “Photochemical Control of Viscosity Using Sodium Cinnamate as a Photoswitchable Molecule”, *Chem. Lett.*, 41, 247-248 (2012). Editor's Choice 記事に採択
20. S. Yabu, Y. Tanaka, K. Tagashira, H. Yoshida, A. Fujii, †H. Kikuchi, \*M. Ozaki, “Polarization-Independent Refractive Index Tuning Using Gold Nanoparticle-Stabilized Blue Phase Liquid Crystals”, *Opt. Express*, 36, 3578-3580 (2011). †A02 班 研究代表者, A02 班との共同研究 (総説・解説)
1. \*長崎幸夫, “生体適合性ポリエチレングリコール表面の設計と機能”, *科学と工業*, 89, 15-22 (2015).
2. †富田恒之, \*長崎健, “ホウ素中性子捕捉療法剤としての含有ホウ素希土類酸化物”, *化学工業*, 65, 512-517 (2014). †A03 班 研究分担者, A03 班内の共同執筆
3. \*中戸晃之, “無機ナノシート液晶の外場配向とマクロ組織化”, *C & I Commun.*, 39, 9-11 (2014).
4. \*Y. Hoshino, H. Lee, Y. Miura, “Interaction Between Synthetic Particles and Biomacromolecules: Fundamental Study of Nonspecific Interaction and Design of Nanoparticles That Recognize Target Molecules”, *Polym. J.*, 46, 537-545 (2014). 招待論文
5. †富田恒之, \*長崎健, “新規ホウ素含有ナノ粒子の開発と BN 橋を利用した生体分子応答性ゲルの創製”, *C & I Commun.*, 38, 34-37 (2013). †A03 班 研究分担者, A03 班内の共同執筆

### 【書籍】

本新学術領域での研究成果をとりまとめ、幅広い分野の学生や研究者へ発信することを目的として、下記の書籍を出版した。  
「高分子ワンポイント 自己組織化と機能材料」 高分子学会編集、共立出版、2012 年 7 月

### 【その他】

上記の他に、著書 175 編、国際学会等での招待講演 440 件、国内学会等での招待講演 499 件、特許 81 件、新聞報道 115 件等で研究成果を発表した。詳細は領域ホームページにて公開されている。

### 【ホームページ [日本語版: <https://www.fusion-materials.org/>, 英語版 <https://www.fusion-materials.org/en/>]

トップページに新着のトピックスを配置して最新の情報を提供している。研究成果やニュースレターを PDF ファイルでダウンロード可能。

### 【主催シンポジウム】

下表のように全 11 回の公開シンポジウムを開催した。第 3 回、第 10 回公開シンポジウムはそれぞれ国際シンポジウムとして開催した。第 8 回公開シンポジウムは、新学術領域研究「元素ブロック高分子」第 3 回公開シンポジウムとの合同開催である。

公開シンポジウム一覧

シンポジウム	開催年月日	開催場所	特別講演者	参加者
キックオフミーティング	2010.9.24	東京大学 山上会館	河本邦仁, 長澤寛道	100
第 1 回	2011.1.22	東京大学 武田ホール	秋吉一成, 黒田一幸	200
第 2 回	2011.6.17	福岡ガーデンパレス	北川 進	120
第 3 回 (国際シンポジウム)	2011.10.16~18	鳥羽国際ホテル	西原 寛, Helmut Cölfen, Nico Sommerdijk, Fiona Meldrum, 白杵有光	110
第 4 回	2012.1.30	大阪大学 中之島センター	辰巳砂昌弘, 高原 淳	137
第 5 回	2012. 6. 8	慶應義塾大学 協生館	彌田智一, 山下正廣	187
第 6 回	2013.1.28	TKP ガーデンシティ仙台	阿尻雅文, 赤阪 健	105
第 7 回	2013.5.20	慶應義塾大学 協生館	堂免一成, 古川義純	155
第 8 回(新学術領域研究「元素ブロック高分子」第 3 回公開シンポジウム合同開催)	2014.1.28	ホテル広島ガーデンパレス	各領域代表および班長による講演	200
第 9 回	2014.5.12	大阪大学 中之島センター	原口和敏, 足立吟也	119
第 10 回 (国際シンポジウム)	2014.11.2~4	東京大学 武田ホール	Stephen Mann, Helmut Cölfen, Joanna Aizenberg, Nico Sommerdijk, Fiona Meldrum, Michael Aizenberg, David Kisailus	164
第 11 回	2015.1.26	北九州国際会議場	君塚信夫	100

### 【アウトリーチ活動】

右表に示すように、平成 22 年～26 年度で 13,000 名を超える参加者に対してアウトリーチ活動を行った。領域代表の加藤は率先して国民との対話を行った。一日体験化学教室を 15 回実施し、高校生のべ 390 名以上に対して液晶を例に実験と講義を行った。A01 加藤、A02 菊池、A02 佐藤、A02 中嶋、A02 竹岡、A02 宮崎は、スーパーサイエンスハイスクール (SSH) の高校生と講義や実験を通じて直接対話を行い、先端技術としての分子制御と融合マテリアルを紹介することで、科学者としての将来を考えるきっかけを与えることができた。A03 今井は、NPO 法人学びの支援コンソーシアムが主催する学び体験フェア マナビゲート 2013 (於: 東京国際フォーラム) において、「生き物の結晶にまなぶものづくり」に関する説明や実験により 1400 名の一般参加者に融合マテリアルを紹介した。A03 長谷川は府中東高校において模擬授業「色と分子と機能: レアアースの発光をみよう」を行い、700 名の高校生に材料の源である原子の世界を紹介した。また、A03 長谷川の理科系女子に対する取り組みに関する記事が米国主要新聞 *New York Times* 誌および *International Herald Tribune* に紹介された。A03 竹岡の発色する微粒子の研究は、ドラえもんもつと! ふしぎのサイエンス vol.6 ドラえもんぬりえ実験 (小学館) <https://www.youtube.com/watch?v=qClS9sYDHXo> として、小学館の運営するドラえもんのホームページに掲載された。小学生へサイエンスの面白さを見せることができた。

### アウトリーチ活動における対話参加者の内訳

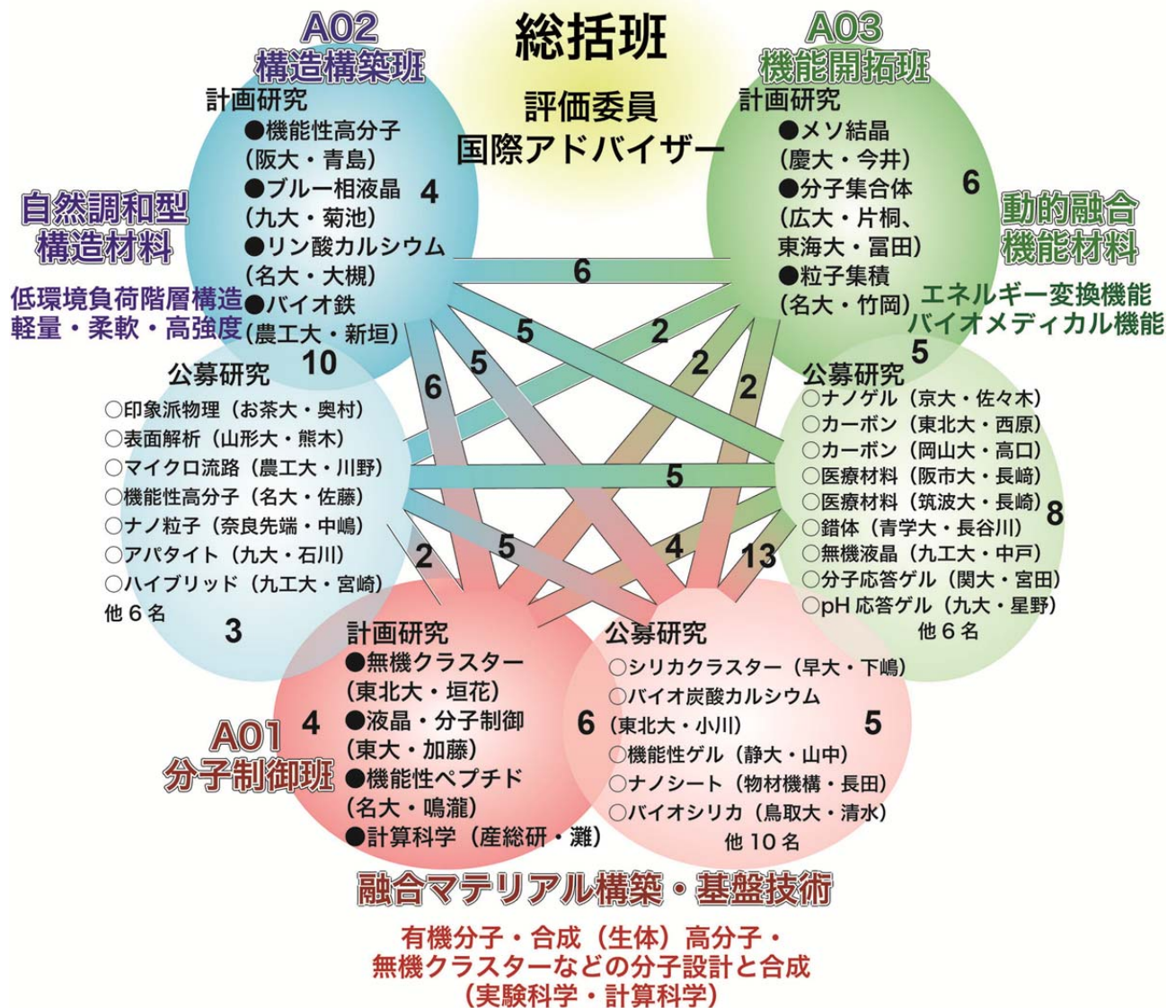
年度	件数	参加者
22	7	1,910
23	49	3,181
24	44	2,484
25	57	3,019
26	37	2,568
計	194 件	13,162 名

7. 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）

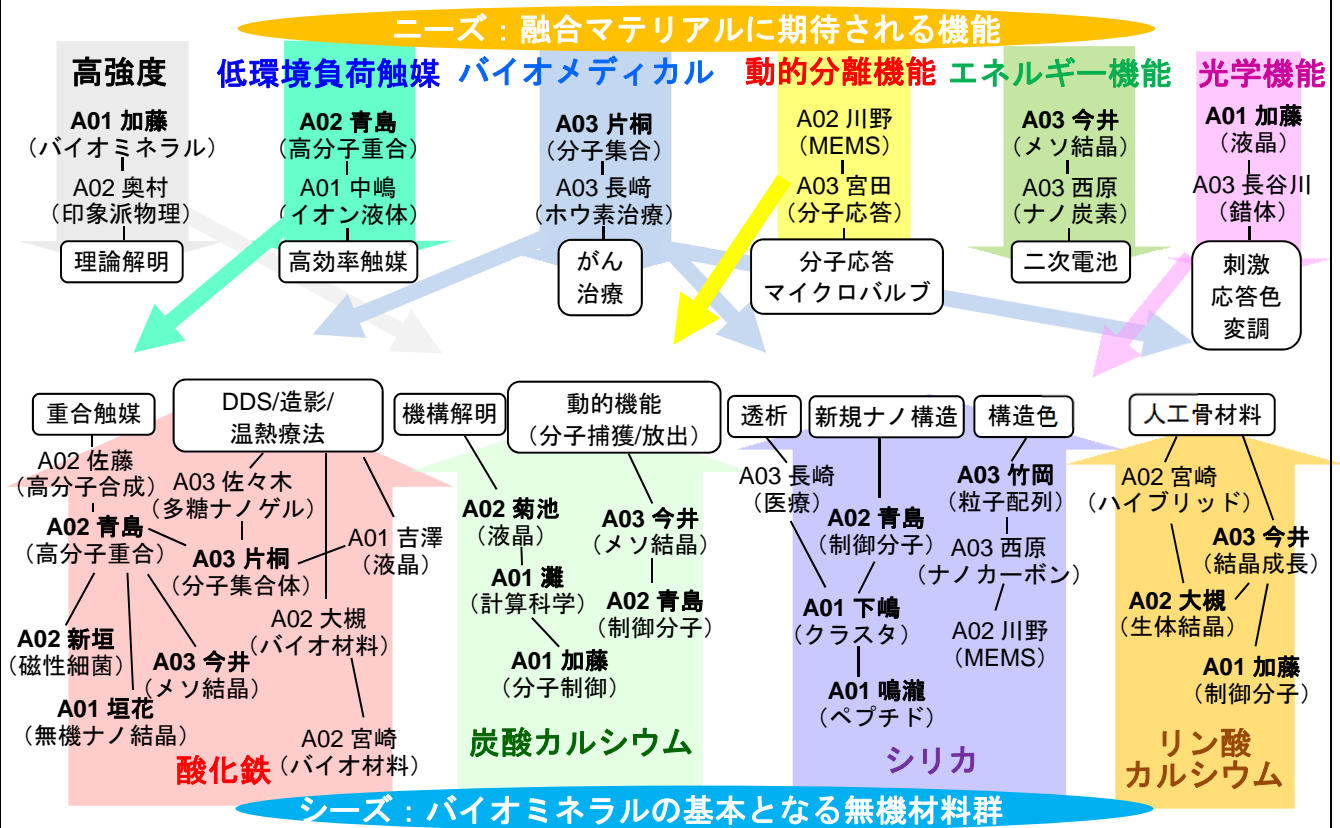
領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、どのように研究組織間の連携や計画研究と公募研究の調和を図ってきたか、組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

本研究領域は、領域代表を中心とする総括班による統括の下、以下の3研究項目3班集体で実施された。  
 A01 班：分子制御による融合マテリアルの創製（計画研究4課題、公募研究前期14課題・後期12課題）  
 A02 班：融合マテリアルの構造構築（計画研究4課題、公募研究前期8課題・後期11課題）  
 A03 班：融合マテリアルの機能開拓（計画研究3課題、公募研究前期11課題・後期12課題）  
 （総括班25名、評価委員4名、国際アドバイザー7名）

分子による材料の形成・組織化・構造制御（＝分子制御）により、有機と無機、ソフトとハード、動的と静的が融合したマテリアルを構築する「融合マテリアル学」の創成に向けて、研究班を以下のように組織した。基盤となる分子制御技術をA01班が中心となって追究し、A02班では、その制御手法を発展させて融合マテリアルの構造構築を目指し、さらにA03班では、構築された構造から機能を開拓する研究に主眼を置いた。班ごとに計画研究(●印11課題)が主軸となり、これを公募研究(○印前期33課題・後期35課題)が支える形で協同して研究を遂行した。総括班によって共同研究テーマが設定され、合同班会議での協議を通じて班内・班間で連携し、計画班と公募班との調和を図った。下図では、主な研究課題と各班内および班間の連携状況を示す。



共同研究における連携状況およびテーマを下図に示す。総括班は、自然界のありふれた無機材料群（＝バイオミネラルの基本材料群）をシーズとし、多様なマテリアルの融合によって期待する機能群をニーズとして、下記のようなシーズ指向およびニーズ指向の共同研究を企画・推進した。合同班会議を通じて計画研究と公募研究の連携を図り、シーズとなる無機材料群から多様な機能発現につながっている。（太字：計画班、細字：公募班）



シーズとなる無機材料をベースとする共同研究例

- 【酸化鉄①】 A01 垣花（無機ナノ結晶）、A02 青島（高分子重合）、A02 新垣（磁性細菌）、A02 佐藤（高分子合成）、A03 今井（メソ結晶）による低環境負荷な新たな高分子合成触媒の開発
- 【酸化鉄②】 A02 青島（高分子重合）、A03 片桐（分子集合体）、A03 佐々木（多糖ナノゲル）によるドラッグデリバリーシステム（DDS）・造影・温熱治療用材料の開発
- 【炭酸カルシウム①】 A01 加藤（分子制御）、A01 灘（計算科学）による分子制御にもとづく結晶成長機構の解明
- 【炭酸カルシウム②】 A02 青島（制御分子）、A03 今井（メソ結晶）による動的分子捕捉機能材料の開発
- 【シリカ①】 A01 鳴瀧（ペプチド）、A01 下嶋（クラスター）、A02 青島（制御分子）による新規ナノ構造材料の開発
- 【シリカ②】 A02 川野（MEMS）、A03 竹岡（粒子配列）、A03 西原（ナノカーボン）による新規構造色材料の開発
- 【リン酸カルシウム①】 A02 大槻（生体結晶）、A02 宮崎（ハイブリッド）による温度応答性を有する生体適合材料の開発
- 【リン酸カルシウム②】 A02 大槻（生体結晶）、A03 今井（結晶成長）による骨類似材料の開発

ニーズとなる機能をベースとする共同研究例

- 【高強度】 A01 加藤（制御分子）、A02 奥村（印象派物理学）による高強度融合材料の理論構築
- 【バイオメディカル】 A03 片桐（分子集合体）、A03 長崎（ホウ素中性子捕捉療法）による新規がん治療用材料の開発
- 【動的分離】 A02 川野（MEMS）、A03 宮田（分子応答）による分子応答マイクロバルブの開発
- 【エネルギー貯蔵】 A03 今井（メソ結晶）、A03 西原（メソ結晶）らによる新規電極材料の開発
- 【光学機能】 A01 加藤（液晶）、A03 長谷川（錯体）による刺激応答性変色材料の開発

## 8. 研究経費の使用状況（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。

本研究領域で購入した主な設備は次頁の通りである。各設備は、本領域の研究者が相互に共同利用できるよう整備された。主要な設備の活用状況は以下の通りである。

分析走査電子顕微鏡（平成22年度、東北大学）は、新規酸化鉄触媒に関する三グループ共同研究（A03 今井、A02 青島、A02 新垣）において効果的に活用され、その成果は共著論文として *Chem. Commun.* 誌、*RSC Advances* 誌（英国化学会）に公表された。本設備を使用して得られた本研究領域の研究成果が装置のカタログに掲載されている ([http://www.hitachi-hightech.com/jp/product\\_detail/?pn=em-su3500](http://www.hitachi-hightech.com/jp/product_detail/?pn=em-su3500))。

試料水平型多目的X線回折装置（東京大学、平成22年度）、分光エリプソメータ M-550（東京大学、平成22年度）、高精度3軸ステージ（東京大学、平成22年度）、分子制御挙動解析機器（産業技術総合研究所、平成22年度）は、炭酸カルシウム結晶薄膜形成に関する三グループ共同研究（A01 加藤、A01 灘、A02 菊池）に効果的に活用され、その結果は *Chem. Asian J.* 誌（Wiley-VCH）*CrystEngComm* 誌（英国化学会）および *Polym. J.* 誌（Nature Publishing Group および高分子学会共同出版）に掲載された。

分子制御挙動解析機器（産業技術総合研究所、平成22年度）を用いて、A01 加藤との共同研究が推進され、炭酸カルシウム結晶薄膜形成における制御機構の解明に活用された。この成果は *J. Phys. Chem. B* 誌に公表された。機能性ハイブリッド構造シミュレータ（産業技術総合研究所、平成25年度）、大容量分子データアナライザー（産業技術総合研究所、平成26年度）も結晶成長のメカニズム解明に用いられた。

分光エリプソメータ（東京大学、平成22年度）は、温度応答性高分子ブラシテンプレートの厚みを正確に測定するために用いられ、無機結晶の結晶成長テンプレートとして必要とする厚みについて、詳細な知見が得られ、これらの結果は、*CrystEngComm* 誌（英国化学会）および *Polym. J.* 誌（Nature Publishing Group および高分子学会共同出版）にそれぞれ掲載された。

リアルサーフェスビュー顕微鏡（慶應義塾大学、平成22年度）は、A03 今井、A02 青島、新垣による新規酸化鉄触媒に関する共同研究に使用され、その成果は共著論文として *Chem. Commun.* 誌、*RSC Advances* 誌（英国化学会）に公表された。また、A03 今井、高口との共同研究においても新規なナノ複合体の解析などにも有効に活用された。

液体クロマトグラフィー（東京大学、平成22年度）は、融合マテリアル形成用機能性ポリペプチドの精製に用いられた。マルチタイプ ICP 発光分光分析装置（東京農工大学、平成22年度）は、バイオミネラルイオン機構の解明、及びそのプロセスを利用した材料の創製過程における無機イオンの定量分析に用いられた。電池充放電装置（慶應義塾大学、平成23年度）は試料のリチウムイオン電池電極として特性を評価するものであり、二台の装置を活用することによって融合マテリアルのエネルギー材料として機能開拓が迅速に進められた。

分子間相互作用定量 QCM 装置（広島大学、平成24年度）は研究項目 A03 片桐グループにおいて、磁場応答マイクロカプセルの調製過程の高分子電解質の交互積層時の各層における積層量の定量や同マイクロカプセルおよび近赤外線光線力学療法用融合マテリアルの水中における帯電表面への吸着状態の分析に使用した。これらによって磁場応答放出に適したカプセル殻の厚さの設計や粒子の細胞への効率的な取り込みに適したカプセルの設計が可能になった。また、共同研究としては公募研究の佐々木グループ（A03 公募前期）とのナノゲル-磁性ナノ粒子融合マテリアルの開発を行った際に粒子吸着量等を定量するのに活用された。

円二色性分散計（東京大学、平成23年度）は、融合マテリアル形成用機能性ポリペプチドの二次構造解析に用いられた。その他、エレクトロスピンニング、紫外可視近赤外分光光度計、疲労試験機、顕微赤外システム、走査型電子顕微鏡などの各研究に必要な装置等が導入・整備され有効に活用された。

本研究領域では、博士研究員として計5名を採用した。その内4名は大学の准教授・助教に着任するなどアカデミックポストに採用され、残りの1名も重工業関係の名門企業に就職するなど、研究推進と若手研究者の育成に有効に活用された。また、総括班会議42回、公開シンポジウム11回（国際シンポジウム2回を含む）、若手スクール11回（延べ570人以上の参加）の開催などや国際アドバイザーの招聘（Prof. Stephen Mann (Univ. Bristol, UK), Prof. Helmut Cölfen (Univ. of Konstanz, Germany), Prof. Nico A. J. M. Sommerdijk (Eindhoven Univ. of Tech., the Netherlands), Prof. Fiona Meldrum (Univ. of Leeds, UK), Prof. Joanna Aizenberg (Harvard Univ., USA), Prof. Michael Aizenberg (Harvard Univ., USA), Prof. David Kisailus (UC Riverside, USA) など、研究の推進、若手研究者の育成、成果の公表、領域の運営などに極めて効果的に研究費が活用された。

以上のように、研究費は効率的かつ適性に使用された。

・研究費の使用状況

(1) 主要な物品明細 (計画研究において購入した主要な物品 (設備・備品等。実績報告書の「主要な物品明細書」欄に記載したもの。) について、金額の大きい順に、枠内に収まる範囲で記載してください。)

年度	品名	仕様・性能等	数量	単価 (円)	金額 (円)	設置(使用)研究機関
22	分析走査電子顕微鏡	日立製 SU1510	1	14,689,500	14,689,500	東北大学
	試料水平型多目的X線回折装置	Rigaku Smartlab/3KW	1	14,175,000	14,175,000	東京大学
	マルチタイプ ICP 発光分光分析装置	(株)島津製作所製 ICPE-9000	1	11,550,000	11,550,000	東京農工大学
	リアルサーフェスビュー顕微鏡	VE-9800	1	9,870,000	9,870,000	慶應義塾大学
	分光エリプソメータ M-550	日本分光(株)水平型分光エリプソメータ M-550	1	9,103,500	9,103,500	東京大学
	液体クロマトグラフィー	GEヘルスケア・ジャパン(株) ÄKTApurifier10	1	8,046,528	8,046,528	東京大学
	高精度 3 軸ステージ	Rigaku Smartlab 対応	1	3,360,000	3,360,000	東京大学
	分子制御挙動解析機器	(株)HPC システムズ HPC5000-Z800	1	1,477,777	1,477,777	産業技術総合研究所
23	円二色性分散計	日本分光(株) J-820	1	10,959,900	10,959,900	東京大学
	電池充放電装置 (10V/1A)	HJ1001SD8	2	1,081,500	2,163,000	慶應義塾大学
24	分子間相互作用定量 QCM 装置	(株)イニシウム AFFINIX QN	1	2,887,500	2,887,500	広島大学
25	機能性ハイブリッド構造シミュレータ	(株)HPC システムズ HPC-5000 (3.0M)	1	1,386,000	1,386,000	産業技術総合研究所
26	大容量分子データアナライザー	HP Z820/CT Workstation	1	626,400	626,400	産業技術総合研究所

(2) 計画研究における支出のうち、旅費、人件費・謝金、その他の主要なものについて、年度ごと、費目別に、金額の大きい順に使途、金額、研究上必要な理由等を具体的に記述してください。

【平成22年度】

・旅費

- 9月23日 目的地：東京 ¥366,550- 第9回総括班会議のため(12名分)(総括班経費)

・人件費・謝金

- 博士研究員(研究支援者)人件費(8月1日~3月31日) ¥2,469,011- 領域研究推進のため(東北大学)
- 技術補佐員人件費(11月1日~3月31日) ¥598,880- 実験・研究補助のため(東京大学)
- 公開シンポジウム謝金(総括班経費)(1月22日) ¥307,480- 第1回公開シンポジウム講演者(2名)、評価委員(2名)・手伝い学生(8名)

・その他

- ホームページ作成費 ¥928,200- 「融合マテリアル」ホームページ作成費用(総括班経費)

【平成23年度】

・旅費

- 11月25~27日 目的地：鳥取 ¥3,331,590- 第5回若手スクール参加者旅費(53名分)(総括班経費)
- 10月16~18日 目的地：鳥羽 ¥1,579,928- 第1回国際(第3回公開)シンポジウム参加者・招へい外国人講演者・日本人講演者・評価委員旅費(9名分)(総括班経費)
- 11月27~12月3日 目的地：米国、ボストン ¥1,260,970- (2名分) 米国材料化学会での招待講演、成果発表と融合マテリアル創成のための情報収集のため(東京大学)

・人件費・謝金

- 特任研究員(准教授相当)人件費(4月1日~3月31日) ¥7,247,756- 本研究で開発した無機クラスターの応用展開のために研究代表者と共に研究に従事した。本研究課題における応用展開に資する学術成果の多くは、同研究員の寄与が極めて大きく、*Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, *53*, 7756. を初めとする国際著名学術雑誌へ成果の掲載、それらが新聞報道されるといった成果の「見える化」に貢献した。また、同特任准教授は、研究領域での成果を評価され、平成26年4月に岡山理科大学の准教授に着任し、人材の育成や流動化という観点での成果の「見える化」の一例となっている。(東北大学)
- 国際シンポジウム謝金等(10月16~18日) ¥683,500- 第1回国際(第3回公開)シンポジウム招へい講演者(外国人講演者3名、日本人講演者2名)・評価委員3名の謝金(総括班経費)
- 事務補佐員(東京大学)謝金(1名分)(4月1日~3月31日) ¥1,304,002- 「融合マテリアル」総括運営事務作業のため(総括班経費)

・その他

- シンポジウム(11月16日~18日)会場費 ¥1,491,308- 第1回国際(第3回公開)シンポジウム会場(鳥羽国際ホテル)会場費および会議費のため(総括班経費)
- 共通機器使用料(4月1日~3月31日) ¥1,097,536- 実験試作室利用料、核磁気共鳴、飛行時間型質量分析装置、および元素分析装置他使用のための使用料(東京大学)
- 要旨集作成費 ¥837,375- 第1回国際(第3回公開)公開シンポジウム要旨集作成費用(要旨集データ作成、レイアウト編集、A4カラー、96ページ、250部印刷)(総括班経費)

【平成24年度】

・旅費

- 1月28~29日 目的地：仙台 ¥3,183,360- 第6回公開シンポジウム・若手スクール・総括班参加者・講演者・評価委員旅費(52名分)(総括班経費)
- 7月19~27日 目的地：英国、リーズ・オランダ、アイントホーフェン工科大学 ¥1,206,380- (2名分) ファラデーデスクッションでの招待講演、成果発表と情報収集のため(東京大学)
- 12月20~21日 目的地：東京 ¥449,180- 若手合同シンポジウム参加者旅費(12名分)(総括班経費)

・人件費・謝金

- 特任研究員人件費(4月1日~3月31日) ¥4,919,178- 実験・研究補助のため(大阪大学)
- 事務補佐員(名古屋大学1名・東京大学2名)謝金(4月1日~3月31日) ¥3,584,212- 「融合マテリアル」総括運営事務作業のため(総括班経費)
- 公開シンポジウム謝金(1月28~29日) ¥377,390- 第6回公開シンポジウム講演者(3名)・評価委員(4名)の旅費を含む謝金(総括班経費)

・その他

- シンポジウム手配及び運營業務 ¥810,521- 第5回公開シンポジウム・および合同班会議事前準備及び運営のための業務委託費(総括班経費)
- 慶應義塾理工学部中央試験所利用料 ¥181,119- 大型分析装置を集中管理している学内分析センターにおける電子顕微鏡等の利用のため(慶應義塾大学)

【平成25年度】

・旅費

- 11月24~26日 目的地：蒲郡 ¥2,595,760- 第8回若手スクール参加者旅費(55名分)(総括

班経費)

- 1月27～29日 目的地：広島 ¥3,672,000- 第8回公開シンポジウム・第9回若手スクール・総括班会議参加者・講演者・評価委員旅費(58名分)(総括班経費)
- 4月6～10日 目的地：米国、ニューオリンズ ¥771,800- アメリカ化学会ミーティングでの融合マテリアルに関する情報収集のため(東京大学)

・人件費・謝金

- 事務補佐員(名古屋大学1名・東京大学2名)謝金(4月1日～3月31日) ¥4,111,953- 「融合マテリアル」総括運営事務作業のため(総括班経費)
- 研究支援者雇用費(4月1日～3月31日) ¥3,145,164- 実験・研究支援のため(慶應義塾大学)
- 公開シンポジウム謝金(1月27～29日) ¥401,460- 第8回公開シンポジウム講演者(6名)・評価委員(3名)の謝金(総括班経費)

・その他

- シンポジウム手配および運営業務 ¥852,043- 第7回公開シンポジウム運営および合同班会議事前準備のための業務委託費(総括班経費)

【平成26年度】

・旅費

- 11月2日～4日 目的地：東京 ¥6,142,608- 第2回国際(第10回公開)シンポジウム参加者・総括班会議参加者旅費(国内参加者43名分・海外招へい者7名分航空券代)(総括班経費)
- 5月12日～13日 目的地：大阪 ¥2,372,350- 第9回公開シンポジウム・若手スクール参加者・総括班会議参加者・講演者・評価委員旅費(57名分)(総括班経費)
- 1月26日～28日 目的地：北九州 ¥2,178,833- 第11回公開シンポジウム・第11回若手スクール参加者・総括班会議参加者・講演者・評価委員旅費(48名分)(総括班経費)
- 8月9日～18日 目的地：アメリカ サンフランシスコ ¥545,192- 第248回アメリカ化学会(サンフランシスコ、8月10日～14日)に参加し、高分子を用いたシリカナノ粒子創製などの口頭発表及び関連するポスター発表を行い、融合マテリアルの創成に関する情報収集及び研究打ち合わせを行った。(大阪大学)

・人件費・謝金

- 事務補佐員(名古屋大学1名・東京大学3名)謝金(4月1日～3月31日) ¥7,286,733- 「融合マテリアル」総括運営事務作業のため(国際シンポジウム開催および最終年度運営事務のため増員)(総括班経費)
- 特任研究員人件費(4月1日～10月31日) ¥3,046,092- 実験・研究のため(東京大学)
- 国際シンポジウム謝金(11月2日～4日) ¥1,027,570- 第2回国際(第10回公開)シンポジウム国際アドバイザー講演者(7名)・評価委員(4名)・手伝い学生(9名)の謝金(総括班経費)

・その他

- 要旨集作成費 ¥979,260- 第2回国際(第10回公開)シンポジウム要旨集作成費用(要旨集データ作成、レイアウト編集、A4カラー122ページ、350部印刷)(総括班経費)

(3) 最終年度(平成26年度)の研究費の繰越しを行った計画研究がある場合は、その内容を記述してください

該当なし

## 9. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度（1ページ程度）

研究領域の研究成果が、当該学問分野や関連分野に与えたインパクトや波及効果などについて記述してください。

本新学術領域研究は、省エネルギー・省資源・低環境負荷型の新しい材料構築が可能となる学理の創成を目的として取り組み、有機および無機の分子を巧みに融合し自然調和性に優れた材料を構築するための様々な方法を提示することができた。その研究成果は、新しい材料構築学として、高分子化学と無機材料（セラミックス）化学を主軸として、さらに従来には十分な交流のなかった有機合成化学、理論物理学、生物工学、材料工学、計算科学など諸分野を横断する学問の融合を進めるものとなった。

### 【当該および関連学問分野へのインパクト】

以下のような、研究成果の学術論文誌への掲載数および領域メンバーの受賞数、特に著名雑誌への掲載数、学術誌の表紙への採用数、学会賞の受賞数は、本学術領域研究の成果が当該および関連および関連学術分野に与えた強いインパクトを示すものである。

#### (1) 学術論文

総論文数：968件、有機化学・無機化学 *J. Am. Chem. Soc.* 誌 (2013 IF: 11.44) 20件、*Angew. Chem. Int. Ed.* 誌 (2013 IF: 11.22) 22件、高分子化学・無機材料科学：*Macromolecules* 誌 19件、*Biomacromolecules* 誌 7件

物理学：*J. Phys. Chem.* 誌 17件、*Phys. Rev.* 誌 6件、生物学：*J. Biol. Chem.* 誌 3件、*Mol. Microbiol.* 誌 1件

#### (2) 受賞

総受賞数：291件、学会賞受賞数：11件（代表的な受賞）高分子学会学会賞、日本バイオマテリアル学会賞、日本セラミックス協会賞、日本希土類学会奨励賞（足立賞）

### 【当該および関連学問分野への波及効果】

以下のような、学術雑誌における融合マテリアル関連テーマ特集号の発刊、国内学会における特定セッションの継続的な開催、国際学会における Fusion Materials セッションの開催などは、融合マテリアルという新学術分野が当該および関連学問分野へ波及していることを示すものである。

#### (1) 学術論文誌特集号の発刊

高分子学会が発行する欧文雑誌である *Polymer Journal* 誌の特集号（自己組織化特集号、融合マテリアル特集号）に掲載され、2012年6月号および2015年2月号として発刊された。本誌は、分野を横断した研究者が、融合マテリアルをキーワードとした成果を集約したものである。融合マテリアルの概念が材料の構築と機能開拓に関連する様々な分野の交流を促進している。

#### (2) 学協会における関連セッションの開催

関連の学協会において、融合マテリアルに関連した様々なセッションが開催された（高分子学会の討論会において計4回、日本セラミックス協会秋季シンポジウムにおいて計2回、バイオマテリアル学会、日本化学会において、それぞれ1回）。ここでは、融合マテリアルの概念や成果が多くの研究者に伝えられるとともに、異なる学協会の研究者の交流の場を提供した。特に、高分子学会討論会では本領域終了後においても融合マテリアルに関するセッションが継続的に開催されており、学術領域として定着しつつあることを示している。また、2015年環太平洋国際化学会議において Fusion Materials セッションが日本ばかりでなく、米国・中国・韓国の研究者によって企画され、世界中から多様な研究者が参加予定である。これまでに2回の国際シンポジウムの開催を通じて国際的に本学術領域の概念や成果を普及させており、その波及効果が表れていると考えられる。

#### (3) 他の新学術領域研究との連携

「ナノメディシン」、「バイオアセンブラ」、「ソフト界面」、「配位プログラム」、「元素ブロック」との合同シンポジウムが開催され、従来の学会では交わらないような研究者間の交流が行われた。また、異なる新学術領域研究に関係する若手研究者間での交流も行われ、融合マテリアルの概念の広い波及が行われた。

### 【産業分野への波及効果】

材料開発の基盤となる学術領域で新しい概念を築いたことは、産業分野への波及効果も大きい。本領域研究が主催したシンポジウムにおいても、企業からの参加者はのべ91人となり、産業界へも融合マテリアルの概念と成果を普及している。さらに、本学術領域の成果に関連して81件の特許が出願されており、企業との共同研究による実用化の検討も進められている。また、領域関係者のアウトリーチ活動の件数は194件あり、のべ13,162人の参加を得た。このような領域関係者のアウトリーチ活動も新しい材料開発に対する理解に大きな貢献を果たしたと言える。



## 10. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況（1 ページ程度）

研究領域内での若手研究者育成の取組及び参画した若手研究者の研究終了後の動向等を記述してください。

本領域では、融合マテリアルのコンセプトの学術分野における広い浸透と将来的な発展を目的として、研究成果を積極的に発信すると共に特に若手研究者の育成に注力して取り組んできた。以下に、本研究領域における若手研究者育成の取り組みと、参画した若手研究者の研究終了後の動向の2つの項目に分けて記述する。

### 1. 研究領域内での若手研究者育成の取り組み

#### (a) 若手スクールの開催

本領域では、若手研究者育成のための取り組みとして、特に若手スクールの開催に注力した。5年間の研究期間において計11回の若手スクールを開催し、参加者数は延べ570人以上にのぼった（下記表参照）。若手スクールへの参加をきっかけとして19人が博士課程に進学したことは特筆すべき点である。若手の参加者が積極的に交流し、互いに刺激し合う様子が伺え、その結果、材料学に関わる広い分野に精通した若手人材の育成を行うことができたと考えている。実際の運営にあたっては若手が積極的にマネジメントに関わり、創意工夫を凝らした企画を提案・実施した。国内研究機関の研究者のみならず、企業や海外の研究者も講師として招き、関連学問分野に対する広い視野を与えると共に、研究者としてのキャリアパスに関する講演会や交流会も実施した。また、ポスターセッションにおいては若手ポスター賞を設け、若手の参加者を奨励するように努めた。



開催若手スクーラー一覧

回	開催年月日	場所	参加者数 (うち学生数)	実施内容
1	2011/09/30~10/1	岡山	41 (21)	若手研究者による講演、ショートプレゼンテーションとポスターを用いたテーブルディスカッション
2	2011/10/14	東京	90 (60)	領域国際アドバイザーによる講演、若手研究者による講演
3	2012/01/31	大阪	36 (27)	若手研究者によるチュートリアルレクチャー及び研究講演
4	2012/06/09	横浜	83 (78)	同上
5	2012/11/25~11/27	鳥取	47 (30)	現地研究者による講演、若手研究者によるチュートリアルレクチャー、ポスターを用いたテーブルディスカッション、女子学生・女性研究者キャリアミーティング、鳥取大学乾燥地研究センター見学
6	2012/12/20~12/21	東京	100 (76)	新学術領域研究「配位プログラム」との若手合同シンポジウムを開催。若手教員による講演、ショートプレゼンテーション
7	2013/1/28~1/29	仙台	30 (24)	若手研究者による講演、ショートプレゼンテーションとポスターを用いたテーブルディスカッション
8	2013/11/24~11/26	蒲郡	60 (43)	領域内外の研究者による講演、ショートプレゼンテーションとポスターを用いたテーブルディスカッション、女子学生・女性研究者キャリアミーティング、東レ株式会社名古屋事業所見学
9	2014/1/27	広島	33 (27)	若手研究者による講演、ポスターを用いたテーブルディスカッション
10	2014/5/13	大阪	39 (37)	同上
11	2015/01/27	北九州	16 (13)	過去10回の若手スクール参加者による研究発表

#### (b) 若手の受賞

本領域に参画した研究室の学生・博士研究員による受賞は、5年間の研究期間において合計222件に上った。また、若手教員（准教授、講師、助教）による受賞は44件あった。特に、A01 佐藤准教授、A02 佐藤准教授、A02 高島助教が文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞するなど、本領域の若手は各分野から高い評価を得ている。

### 2. 本研究領域に参画した若手研究者の研究終了後の動向

#### (a) 博士学位取得者の総数と進路

研究期間内において、本学術領域研究に関わり学位を取得した者の人数は、46名である。このうち企業への就職が22名、大学等の研究機関への着任は24名となっている。

#### (b) 領域内研究者の昇任等

本領域に参画した研究者の研究期間内における昇任は、下記の通りである。

教授への昇任：6件、准教授への昇任：8件、講師への昇任：2件、助教への採用：3件、主任研究員への昇任：1件、企業への採用：1件。特に、A01 灘グループの伴野 PD は、本領域に参画後、自身の従来の研究とは異なる新しい研究課題に取り組む中で着実に成果を挙げたことが評価され、株式会社 IHI・研究員に選抜採用されたことは特筆すべき例である。

## 11. 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。

本領域では4名の評価委員、ならびに7名の国際アドバイザーより助言等を受けてきた。終了に当たり、下記の評価・総評を得た。

### 國武 豊喜（北九州産業学術推進機構・理事長 九州大学・名誉教授）

従来無機材料、特にセラミックの化学はマクロな技術に支えられており、生体系に見られるような精密で多様な構造の作製は殆ど行われて来なかった。それが有機物質の分子の精密さを活用した融合マテリアルの概念により大きく変わろうとしている。所謂鑄型合成は過去20年余り行われて来たが、本領域におけるような統合的、多面的な活動により局面が変わろうとしている。

加藤領域代表のリーダーシップは賞賛に値する。本領域研究の全期間を通じてさまざまな新しい取り組みが行われた。会議は常に円滑に進行し、参加者の満足度は高かったと見られる。特に共同研究の積極的な推進、若手研究者の育成は素晴らしかった。内容や共同研究を含め計画研究と公募研究との間の垣はまったく感じられない。まさに両者が融合している。

### 南 努（大阪府立大学・名誉教授）

新学術領域研究「融合マテリアル」における領域代表のリーダーシップは際立っていると思います。最も特徴的なことは、「共同研究」、「若手研究者の育成」、「アウトリーチ活動」を極めて積極的に推進されてきたことにあると思います。なかでも重要なことは「共同研究」の推進にあると思います。研究者が出会っただけで、自然発生的に「共同研究」が生まれることはありません。共同研究を進めるような、仕掛けと強い指導力があって初めて実現するものです。今回の「融合マテリアル」における異なる研究グループ間での共同研究の多さは、驚くに値します。

アウトリーチ活動は、社会的に実質的な効果を表すするには、長時間を要することになります。しかしながら、1万人を超える小、中、高校生などの参加者に「科学」を直接経験してもらうことが出来たことは、非常に大きな意義があると思います。そういう参加者が、将来「科学」や「技術」の分野に進むきっかけになる可能性があり、日本の科学技術を担う人材が生まれる可能性を秘めています。

### 檜山 爲次郎（中央大学研究開発機構・教授 京都大学・名誉教授）

世界一流誌に多くの成果が公表されている。材料研究が無機、有機、高分子、生体関連のものがそれぞれに追及されて、いろいろな構造・機能が明らかにされた。次の段階は、各領域にまたがる分野(複合材料)に注目が集まることは必然である。この視点から考えると、この領域の方向性、将来性は明るく、期待が大きいことはいうまでもない。

若手スクールが頻繁に各地で開催され、学生たちが意欲的に情報交換をおこなっているのが10年後彼らが独立研究者になった時の才能発揮が楽しみである。

### 秋吉 一成（京都大学 大学院工学研究科・教授）

本領域開始からのプロジェクトリーダーの熱意と様々な工夫により、運営体制も成熟し、様々な専門を有する研究者において Fusion Materials の概念の共有も進み、着実に共同研究も進んでいることは高く評価しえる。班内や班間の共同研究の件数は通常の学術領域の研究に比べても極めて活発に行われている。研究の質と量とも特筆に値する成果を挙げていると判断される。Fusion Materials の言葉と概念が世界的にも広がっている。今後も世界にさらにアピールしえる分野として大いに期待される。

### Stephen Mann (Professor, University of Bristol, UK)

This is a very exciting programme that has succeeded in great measure to bring together a diverse research community within Japan. (本領域は日本中の多様な研究コミュニティのとりまとめに見事に成功している非常にエキサイティングなプログラムです。) ...

This is a brilliant achievement, and really illustrates the upgrading and enhancement that the programme has delivered. (本領域の研究業績は快挙です。この領域は素晴らしい進展を示している。) ...

I expect Japan to lead the way in this novel and creative research field provided that future support for related activities are put in place. (私は、関連する研究に対して引き続きサポートが続けられ、日本がこの新規かつ創造的な研究分野をさらに先導していくことを期待しています。)

### Joanna Aizenberg (Professor, Harvard University, USA)

The research initiative is a big success, without a doubt. It has demonstrated not only a highly impactful research, but notably it has brought together a big group of collaborators with diverse expertise, making possible a number of highly interdisciplinary projects. (本領域は、疑うことなく、大成功です。非常にイン

パクトのある研究成果だけではなく、特筆すべきは、学際的なプロジェクトを可能にする多様な専門分野の研究者をとりまとめていることです。) ...

The organization of the Research Initiative by Prof. Takashi Kato is really impeccable. This is reflected in the excellent level of achievements of the interdisciplinary group of project members and in flawless organization of the Symposium itself. (本領域は非の打ちどころのない組織です。これは、領域メンバーによる学際的な共同研究の業績が非常に優れている点や、シンポジウムの完璧な運営から明らかです。) ...

It is really important to maintain the momentum, so that the effort put into positioning Japanese researchers in this position does not fade. (大切なことは、日本の研究者がこの研究分野の立ち位置を守るためにも、この勢いを維持することです。)

#### **Michael Aizenberg (Senior Staff Scientist, Harvard University, USA)**

This research initiative is an excellent example of how ultimate results can benefit from a thoughtful organization of research activities, targeted funding, productive collaborations, and interdisciplinary body of researchers. (本領域は、熟慮された組織、的を絞った財政支援、生産的な共同研究、そして学際的な研究者集団の形成によって最大限の成果が得られることを示した素晴らしい例です。) ...

The Fusion Materials field is and will remain highly important, so there is no doubt it is worthy of continuous support. Especially so, given the excellent level of achievements to date. (これまでの素晴らしい成果に鑑み、本領域は今後も重要でありつづけるでしょう。疑いようもなく、継続的な支援を受けるにふさわしいです。)

#### **Helmut Cölfen (Professor, University of Konstanz, Germany)**

Since this initiative has gained world-wide visibility meanwhile through the excellent research which is done, I also expect a strong future impact of the research groups in this initiative in the field of advanced and sustainable fusion materials. This grant has truly helped to create a new and viable research field in Japan, which will continue in the future. (本領域は素晴らしい研究を通じて世界に認知されることとなりました。進化した持続可能な融合マテリアルを創製する本領域は将来にわたり強い影響力を持つでしょう。本助成は、日本において新しく活気のある研究領域を創成するのに真に役立ちました。) ...

Prof. Kato not only had the scientific vision when this initiative started four years ago, but he also managed to transfer it to the PIs thus forming a truly cooperative network. (領域代表は科学的展望を研究代表者に伝達し真に共同的なネットワークを作り上げました。)

#### **Fiona Meldrum (Professor, University of Leeds, UK)**

This has been a highly successful research project which has enabled the new research area of “fusion materials” to be established both within Japan and internationally. (本領域は、日本と世界において、融合マテリアルという新しい研究領域を確立することに非常に成功しました。) ...

Through the excellent dissemination profile, it has also raised the profile of Japanese science in this area. (素晴らしい成果公表を通じて、この分野の日本の科学の注目度を高めました。) ...

The highly collaborative nature of the project has also enabled junior academics to establish scientific collaborations with a wide range of established academic groups across Japan. (協調性の高いこのプロジェクトにおいて、若手研究者が国内の広い分野の研究グループと共同研究を確立することができました。)

#### **David Kisailus (Professor, University of California Riverside, USA)**

The leadership and organization provided a good platform to collect and share data so that individual efforts were combined to yield significant progress. (領域代表のリーダーシップと本組織は、各研究者を結び付けて重要な進歩を生み出すよいプラットフォームを提供しました。) ...

Dr. Kato has provided an excellent vision and guided a very large team to a huge success. This is very rare to achieve such success with a large and diverse team. (領域代表は素晴らしい展望を持ち、巨大なチームを大成功へと導きました。大きく多様な組織がこのような成功を収めるのは大変珍しいことです。)

#### **Nico A.J.M. Sommerdijk (Associate Professor, Eindhoven University of Technology, The Netherlands)**

The approach of the project, i.e. by involving many young researchers from many different disciplines, and by selecting research challenges at the frontiers of science, has generated momentum, and I am convinced the effects of this research initiatives will carry though for many years to come. (様々な研究分野から多くの若手研究者が参画し、科学の最前線の挑戦的課題に取り組んだ本領域のアプローチは推進力を生みました。本領域の波及効果は今後何年にも及ぶでしょう。) ...

What is particularly impressive is that outreach activities have involved more than 10 000 participants! (特に素晴らしいのは1万名を超える参加者に対してアウトリーチ活動を行ったことです。)