

戦略的創造研究推進事業
— 個人型研究(さきがけ) —

研究領域「分子技術と新機能創出」

研究領域事後評価用資料

研究総括: 加藤 隆史

2018 年 2 月

目 次

1. 研究領域の概要	1
(1) 戦略目標	1
(2) 研究領域	6
(3) 研究総括	8
(4) 採択研究課題・研究費.....	9
2. 研究領域および研究総括の設定について.....	13
3. 研究総括のねらい	15
4. 研究課題の選考について	16
5. 領域アドバイザーについて	22
6. 研究領域の運営について	25
7. 研究を実施した結果と所見	27
8. 総合所見	48

1. 研究領域の概要

(1) 戦略目標

「環境・エネルギー材料や電子材料、健康・医療用材料に革新をもたらす分子の自在設計『分子技術』の構築」

① 達成目標

「分子技術（物理学、化学、生物学、数学等の科学的知見を基に、分子を設計、合成、操作、制御、集積することによって、分子の特性を活かして目的とする機能を創出し、応用に供するための一連の技術）」の構築を目指し、蓄電デバイス、有機薄膜太陽電池等の分子を用いた超低消費電力・超軽量デバイスの実現や、ドラッグデリバリーシステム、機能性医療材料などの革新的な治療方法の確立等の基盤技術となる以下の技術体系を構築する。具体的には、以下の目標達成を目指す。

- 「設計・創成の分子技術（精密合成技術と理論・計算科学との協働により、新規機能性物質を自在に設計・創成する技術）」に係る技術体系の構築
- 「形状・構造制御の分子技術（分子の形や構造を厳密に制御することにより、新たな機能の創出に繋げる技術）」に係る技術体系の構築

② 将来実現しうる重要課題の達成ビジョン

有機ELディスプレイに代表されるように、既に今日様々な部品や機器が分子素材である“ソフトマテリアル”に移行しつつある。これは、低環境負荷、資源制約への対応、そして、高い生体親和性といった人間社会全体の課題に対して本質的な解決策をソフトマテリアル、すなわち、それを実現する「分子技術」が与えることを示唆するものである。

本戦略目標下において「①達成目標」に記載した研究成果が得られることで、分子性物質としての機能設計が可能となり、その結果として幅広い社会ニーズの課題解決に適用することが可能となる。関連する学問分野の研究者と産業界との協力体制を構築することにより、第4期科学技術基本計画に掲げられたグリーンイノベーション、ライフイノベーションの推進に向け、例えば、下記の成果が事業終了後5年程度で得られることを目指す。

- 『ソフトマテリアルで構成された電子機器』
既存の半導体や金属に置き換わり、導電性制御が可能となる有機材料が電子機器の素材として使用され、低環境負荷の超低消費電力のコンピュータや超軽量携帯情報端末が創出される。
- 『超低消費電力かつ資源再利用に対応した太陽電池フィルム』

分子材料を用いた素材原料や製造プロセスの転換による超低コストかつ低環境負荷の太陽電池が創出される。

● 『ドラッグデリバリーシステム等を活用した創薬、治験等』

感知機能や有効成分の放出を調整できる機能を備えた高度な薬物送達（ドラッグデリバリーシステム）の開発や、組織や臓器の再生に必要な機能性医療材料の3次元での構造化などにより、安全で有効性の高い治療が実現される。

上記の他、脱化石資源、高密度二次電池、高度環境モニタリング、低コスト造水・水浄化といった分野での実用化が考えられる。

③ 具体的内容

（背景）分子科学から分子“技術”へ！

近年、例えば、低環境負荷の発電技術として注目されている有機太陽電池の開発では、フラーレンという分子からなる薄膜のn型半導体としての導入が大きな進展に繋がっている。また、創薬の世界では、分子の構造や形状をコンピュータ上で設計することにより、副作用が大幅に軽減され、疾患部をピンポイントで狙う分子標的薬が可能になってきた。このような成果の背景には、分子科学という基礎的学問が存在する。従来の分子科学では、自然界を観察し、探索することによって、様々な分子を発見・解析し、天然の分子を人工的に模倣することで、同様の機能を得てきた。しかし近年の新たな流れとして、コンピュータの急速な性能向上や測定・解析技術等の著しい進展に伴い、自然界にモデルを求めずとも、目的とする機能を設計し、それに合った物質を得るといった研究開発事例が見出されるようになってきた。

これらの状況を踏まえ、本戦略目標では、「分子技術」を開発することによって、環境・エネルギー技術や情報通信技術、医療技術等を下支えする一連の材料創製技術に対し、抜本的なブレークスルーをもたらすことを目指すものである。

（研究内容）グリーンイノベーション、ライフイノベーションに共通する
基盤技術の確立へ！

本戦略目標では、グリーンイノベーション、ライフイノベーションに関わる革新的成果を創出するために、個別応用課題の研究開発とは“別”に様々な分野への展開が可能な「分子技術」を確固たる土台として築いておくことで、個別施策の研究開発や異分野融合が加速されることを目指す。「分子技術」の研究開発においては、従来の化学や物理学、生物学、数学といった学術分野単独の知見では推進が困難であり、応用課題上のボトルネックを共通の課題として、分野融合的なアプローチにより、それを克服する体系を構築することが重要である。本戦略目標では、「分子技術」を、分野横断的な「設計・創成の分子技術」、「形状・構造制御の分子技術」、「変換・プロセスの分子技術」と、具体的な応用

分野を見据えた「電子状態制御の分子技術」、「集合体・複合体制御の分子技術」、「輸送・移動制御の分子技術」からなる6つの要素技術からなるものと捉え、特に、最も根本的な「設計・創成の分子技術」と、「形状・構造制御の分子技術」に重点を置くこととする。以下、具体的な研究開発課題の例を挙げる。

(i) 設計・創成の分子技術

設計・創成の分子技術とは、新規機能性物質を自在に創成することを目指す技術である。すなわち、従来型の勘と経験に大きく頼る手法から踏み出し、合成と理論解析が密接に協力し、目的とする機能を持つ物質を思うがままに設計し、合成する指導原理を与える技術である。

(研究開発課題例)

- ・機能から分子を創出するための理論創成とシミュレーション技術の開発
- ・分子構造の予測を可能にする分子デザイン手法の開拓
- ・機能設計・予測に基づく精密合成法の開発
- ・分子性物質の高純度精製法の開発

(ii) 形状・構造制御の分子技術

形状・構造制御の分子技術とは、分子配列、分子集積、自己組織化等に基づいて創成される分子レベルのナノ構造から、実用材料を構築するための1次元、2次元、3次元のマクロ構造を自在に創成する技術であり、分子の形や構造を厳密に制御することにより、新たな機能の創出に繋げるための技術である。

(研究開発課題例)

- ・自己組織化等ビルドアップ及びトップダウン手法による空間空隙構造形成技術
- ・ナノからマクロ構造への規模拡大技術
- ・マクロ構造を持つ材料における物理的諸現象の観測・解析技術
- ・計算機シミュレーションによるマクロレベルの構造・機能の設計・解析

④ 政策上の位置付け（政策体系における位置付け、政策上の必要性・緊急性等）

「分子技術」によって創出されるソフトマテリアルは、21世紀の課題である低環境負荷、省エネ・省資源、低コスト、人間・社会との親和性等に答え得る多様な能力を備えている。これらを実現する「分子技術」を、国の基盤技術として確固たるものとするのが、本戦略目標の最大の目標である。「分子技術」が生み出す高付加価値産業は、我が国の経済発展を支えるとともに、世界の環境・エネルギー問題、安全・安心、医療・健康問題等の解決に大いに寄与することが期待される。

「第4期科学技術基本計画」（平成23年8月19日閣議決定）では、産業競争力の強化に向けた共通基盤の強化のため、「付加価値率や市場占有率が高く、今後の成長が見込まれ、我が国が国際競争力のある技術を数多く有している先端材料や部材の開発及び活用に必要な

な基盤技術、高機能電子デバイスや情報通信の利用、活用を支える基盤技術など、革新的な共通基盤技術に関する研究開発を推進するとともに、これらの技術の適切なオープン化戦略を促進する」こととされ、また、領域横断的な科学技術の強化に向け、「先端計測及び解析技術等の発展につながるナノテクノロジーや光・量子科学技術、シミュレーションやe-サイエンス等の高度情報通信技術、数理科学、システム科学技術など、複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術や融合領域の科学技術に関する研究開発を推進する」こととされている。さらに、「ナノテクノロジー・材料科学技術の研究開発方策について<中間取りまとめ>」（平成23年7月科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会ナノテクノロジー・材料科学技術委員会）においては、「国際的な優位性を保持するためには、革新的な技術の開発が不可欠であることから、社会的課題を設定する際に把握可能な技術のみに重点化するのではなく、中長期的観点から、潜在的可能性をもつ技術の創出に向けた研究開発等の取組も推進すべきである」とされ、課題解決に向けた重点研究開発課題である「物質材料設計及び制御技術」の一つに分子技術が取り上げられている。

こうした科学技術の施策が一昨年末の「第5期科学技術基本計画」でもさらに継承・発展されており、特に持続的で革新的なイノベーションの開発が急務であると強調されている。分子技術はまさにその中核になる科学技術である。

⑤ 他の関連施策との連携及び役割分担・政策効果の違い

これまで、「太陽電池」や「蓄電池」、「創薬」といった出口テーマ毎に分かれて課題を解決しようとする施策が主流であった。しかしながら本戦略目標では、様々な分野において共通してボトルネックとなっている技術的課題を、「分子技術」という横断的技術概念で捉え直し、多様な分野の研究者が協力して研究に取り組むことを意図している。「分子技術」は、我が国がこれまで長年に渡って積み上げてきた基礎科学の成果を発展的に再編し、これまでにはない新たな技術体系を構築するものである。

「分子技術」を展開・体系化する過程においては、物理学、化学、生物学、数学の基礎分野のみならず、ナノテクノロジー、情報技術、バイオテクノロジー等の工学分野の寄与が不可欠であり、これらの学問領域での融合が求められるとともに、各種の技術を複合的に活用することが必要となるため、材料設計技術やプロセス技術といった技術レベルでの融合も必要となるものである。

また、平成24年度に設定する戦略目標「環境、エネルギー、医療等の課題対応に向けた触媒による先導的な物質変換技術の創出」において、物質変換のための新しい触媒開発を開始することとしているが、当該技術は、「分子技術」を確立する上でも重要な要素技術である「変換・プロセスの分子技術」を補完するものとなり得ることから、必要な連携を図ることが求められる。

⑥ 科学的裏付け（国内外の研究動向を踏まえた必要性・緊急性・実現可能性等）

本戦略目標は、我が国が環境・エネルギー問題、医療・健康等に関する諸問題の解決に率先して貢献するための新たな材料技術戦略である。我が国はナノテクノロジー・材料技術に基づく部素材産業が強く、なかでも本戦略目標に掲げる「分子技術」については強さを保持している。例えば、ディスプレイ製品の中に用いられる分子性物質の多くの市場占有率は、日本が国際的にも圧倒的である。この新しい技術分野の基礎を学問的に深化させて、より革新性を高めるための戦略的かつ総合的な研究投資はまだ国内、海外ともに実施されておらず、我が国が先駆けて推進することにより、世界をリードできる可能性がある。

⑦ 検討の経緯

独立行政法人（現：国立研究開発法人）科学技術振興機構研究開発戦略センター（JST/CRDS）において、平成 20 年 7 月に「物質・材料分野俯瞰ワークショップ」が開催され、ナノテクの成果、融合の効果、今後の課題について、議論が交わされ、「分子技術」という概念を確立することが提案された。平成 21 年 12 月には、「分子技術」が今後我が国にとって重要な基幹的技術に成り得るかどうかを専門家間の集中議論によって検証するとともに、今後の方向性や具体的な研究開発課題を抽出する目的で、「科学技術未来戦略ワークショップ『分子技術』」が開催された。ワークショップにおける議論を踏まえ、今後重点的に推進すべき研究領域、課題等について更なる検討が行われ、平成 22 年 3 月に戦略イニシアティブ「分子技術“分子レベルからの新機能創出”～異分野融合による持続可能社会への貢献～」がとりまとめられた。

以上の議論も踏まえ、文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会ナノテクノロジー・材料科学技術委員会が平成 23 年 7 月に中間とりまとめを行った「ナノテクノロジー・材料科学技術の研究開発方策について」において、課題解決に向けた重点研究開発課題である「物質材料設計及び制御技術」の一つに分子技術が取り上げられた。本戦略目標は、これらの検討の結果を踏まえて作成したものである。

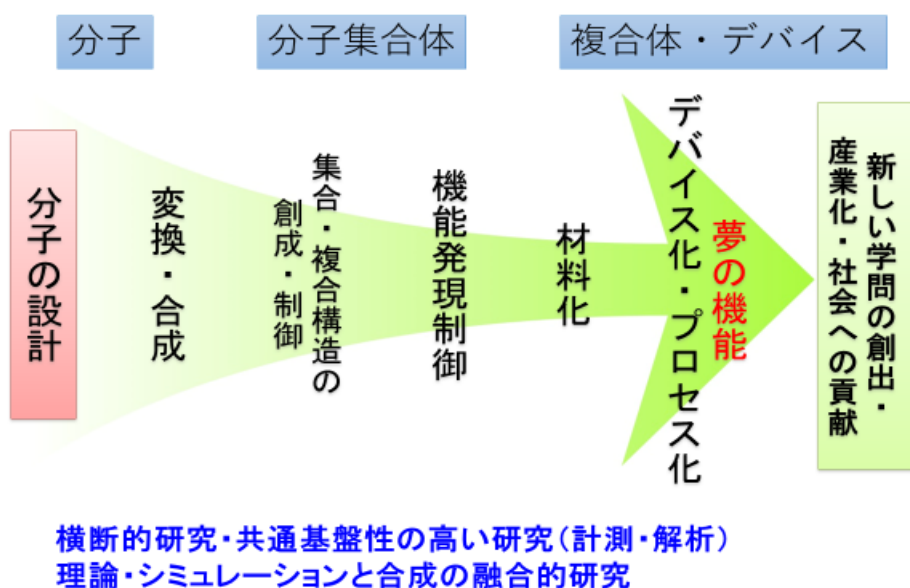
⑧ 留意点

「分子技術」の開発には、異分野の研究者が積極的に参入し、実質的に協働するための環境が必要である。また、本戦略目標の成果を「分子技術」の構築に向けて発展させていくため「分子技術」を前競争領域における共通基盤技術として捉え、つくばイノベーションアリーナ等、産学官協働のための「場」を積極的に活用することが重要である。

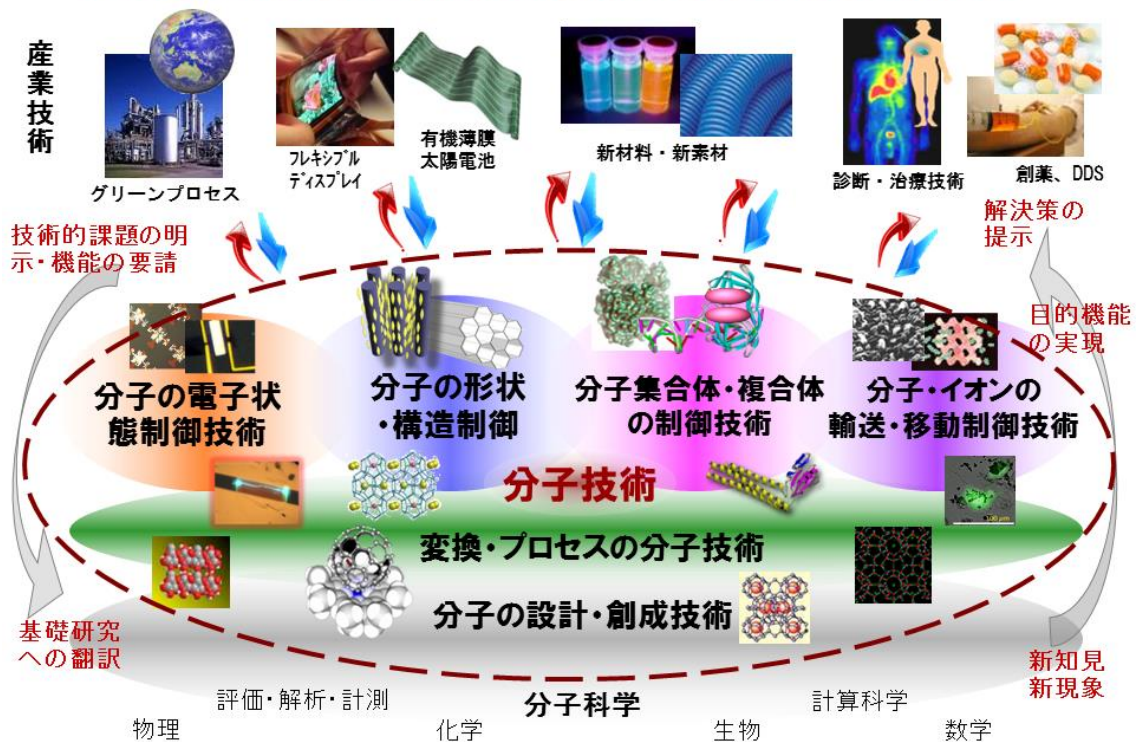
(2) 研究領域

「分子技術と新機能創出」(H24 年度発足)

本研究領域は、分子を基盤とする新材料・新デバイス・新プロセス等の創出のため、分子の働き・振舞いを自在に制御する「分子技術」を開拓・確立し、分子材料に関する我が国の学問と産業力のさらなる発展と新たな展開を強力に推進すること、さらに社会の持続的発展に貢献することを目的とする。明確に設定した分子材料の機能創出のための分子構造の設計・合成・変換技術、分子の集合・複合構造の創成・制御技術、分子機能発現技術、デバイス化・プロセス化の創成技術に関する、革新的・挑戦的及び独創的「分子技術」の研究を対象とする。さらに、設計→変換→集合・複合化→機能発現→材料化→デバイス・プロセス化の技術の流れを意識した挑戦的アプローチを含有する共通基盤性の高い研究、理論・シミュレーションと分子設計・変換を融合する研究など、分子材料の根幹技術に関する研究が含まれる。



従来の解析ベースから
狙った機能の発現を目指した設計ドリブンの分子技術へ



具体的には、機能創出を明確に見据えた分子の設計・合成・変換技術、1次元・2次元・3次元の分子集合体・複合体の秩序構築技術、電荷やイオンの振舞いを制御するエネルギー・デバイス材料構築技術、高選択的に分子・イオンを人工膜・ミセルなどの集合構造により輸送する環境・医療材料の構築技術などに関する基盤的研究から材料化への流れを総合的に意識した研究、さらに分子の計測・解析技術に関する研究など、「分子技術」の創成に資する先端的・独創的・根本的研究を重要な対象とする。

(3) 研究総括

加藤隆史 (東京大学 大学院 工学研究科 教授)

(4) 採択課題・研究費

(百万円)

採択年度	研究者	所属・役職 上段：研究終了時 下段：採択時	研究課題	研究費
2012年度 (1期生)	青木 伸之	千葉大学 准教授	万能性基幹分子による再生型エレクトロニクス創生	40
		同上		
	石井 宏幸	さきがけ専任研究者	高性能有機材料創出のための分子描像に立脚した 大規模量子伝導計算理論の確立とその応用	26
		筑波大学 助教		
	長田 健介	東京大学 准教授	pDNAの量子化折り畳み構造形成の解明と遺伝子送達への応用	45
		同上		
	葛谷 明紀	関西大学 准教授	核酸ナノ構造を活用したトポロジカル超分子合成技術の創成	40
		同上		
	齊藤 尚平	京都大学 准教授	「 π 電子系を動かす」技術に基づく新規機能材料の創出	51
		名古屋大学 助教		
	杉原 伸治	福井大学 准教授	ナノ分子材料を目指した自己組織化高分子の精密直接水系重合	49
		同上		
東口 顕士	京都大学 助教	超分子構造体の光誘起形態変化と光駆動物質輸送	41	
	同上			
牧浦 理恵 ライフイベントにより 2016.8.2に終了	大阪府立大学 准教授	液相界面を利用した高配向性機能分子膜の創製	45	
	大阪府立大学 特別講師			
村田靖次郎	京都大学 教授	炭素 π 共役系分子錯体の非平衡単分子界面科学	40	
	同上			
藪 浩	東北大学 准教授	バイオミメティック分子技術と自己組織化による磁性機能素子の創出	41	
	同上			
2013年度 (2期生)	内田 幸明	大阪大学 准教授	磁気液晶効果とフォトニック構造を利用した有機磁気光学素子の開発	40
		大阪大学 助教		
	大内 誠	京都大学 准教授	結合を操って構築する創造性分子鎖：位置・配列・形態の制御による機能創出	31
同上				

2013 年度 (2 期生)	大栗 博毅	東京農工大学 教授	多官能性三次元骨格群の構築と生体融合型物質生産システムの創製	33
		北海道大学 准教授		
	大野 工司	京都大学 准教授	ポリマーブラシ付与複合微粒子添加系ポリマー/イオン液体ブレンド膜の開発	37
		同上		
	岡本 敏宏	東京大学 准教授	革新的有機半導体分子システムの創出	38
		同上		
	景山 義之	北海道大学 助教	ヘテロ集積分子集合体の方向性をもった遊泳	30
		同上		
	川井 清彦	大阪大学 准教授	蛍光の blinking を自在に操る分子技術の創出	30
		同上		
	川井 茂樹	物質・材料研究機構 主幹研究員	分子化学構造および機械電気特性の超高分解能測定の実現	46
		バーゼル大学 シニアリサーチャー		
	木本 路子	[2015. 10. 31 研究終了]	人工塩基対による低分子化核酸アプタマー薬物複合体の創製	-
		理化学研究所 上級研究員		
武仲 能子	産業技術総合研究所 主任研究員	スライド型ナノアクチュエータの開発に向けた基盤技術の確立	29	
	産業技術総合研究所 研究員			
田原 一邦	明治大学 准教授	反応性分子の自己集合による精密グラフェン化学修飾技術の開発	31	
	大阪大学 助教			
仁科 勇太	岡山大学 准教授	炭素二次元シートの自在合成と機能創出	41	
	岡山大学 助教			

	羽田 真毅	岡山大学 助教	フェムト秒電子プローブで探索する 機能性有機物質の光誘起ダイナミクス	37
		マックスプランク シニアリサーチャー		
	早川 晃鏡	東京工業大学 准教授	超微細加工分子材料の創成と自己組 織化技術	33
		同上		
	樋口 祐次	東北大学 助教	高分子の劣化と破壊：量子化学と統 計物理の融合	26
		同上		
	夫 勇進	山形大学 准教授	スピン多重度制御による超光電変換 デバイスへの実展開	30
同上				
村岡 貴博	東京農工大学 准教授	タンパク質疾患治療技術としての、 タンパク質機能を肩代わりする合成 分子の開発	43	
	東北大学 助教			
村越 道生	鹿児島大学 准教授	生体膜分子の力学的理解とナノバイ オデバイスへの新展開	30	
	同上			
2014 年度 (3 期生)	味岡 逸樹	東京医科歯科大学 准教授	低酸素状態で構造変換するタンパク 質を用いる脳再生デバイスの創製	31
		同上		
	網代 広治	奈良先端科学技術 大学院大学 特任准教授	複機能性高分子による循環器治療バ イオマテリアルの創出	36
		大阪大学 特任准教授		
加藤 敬行	東京大学 助教	鏡像タンパク質および鏡像核酸を合 成するための分子技術の開発	30	
	同上			
唐澤 悟	昭和薬科大学 教授	協同効果的ながん集積可能な超分子 メタルフリー造影剤の開発	31	
	九州大学 准教授			

2014年度 (3期生)	倉重 佑輝	京都大学 特定准教授	革新的分子励起状態理論を基盤とする有機材料高次機能の制御設計	30
		分子科学研究所 助教		
	桑田 繁樹	東京工業大学 准教授	プロトンと電子移動を制御する分子技術に基づいた新機能触媒の創製	30
		同上		
	酒井 崇匡	東京大学 准教授	ゲル化臨界クラスターを基盤としたゲルシステムの創製	28
		東京大学 助教		
	佐藤浩太郎	名古屋大学 准教授	異種反応を介した高分子共重合体の自在設計技術の構築	30
		同上		
	宍戸 厚	東京工業大学 教授	動く光を利用した分子配列技術の構築	25
		東京工業大学准教授		
	田中 克典	理化学研究所 主任研究員	生体内合成化学治療：動物内での生理活性分子合成	32
		理化学研究所 准主任研究員		
	成島 哲也	分子科学研究所 助教	強い局所光学活性を利用したキラル光デバイス	41
		同上		
	秦 猛志	東京工業大学准教授	環境調和型分子変換を基軸とするヘテロπ共役分子群の創製	34
		同上		
星野 大樹	理化学研究所 研究員	コヒーレントX線を用いた摩擦界面ダイナミクス評価手法の確立	30	
	同上			
楊井 伸浩	九州大学 准教授	フォトン・アップコンバージョン分子技術の開拓	42	
	九州大学 助教			
湯浅 順平	東京理科大学 講師	光のスピン状態を自在に制御することの出来る分子システムの創出	31	
	奈良先端科学技術大学院大学 助教			
			総研究費	1,484

*各研究課題とも3年間の見込み総額

2. 研究領域および研究総括の設定について

(1) 研究領域選定の理由

本研究領域では、環境・エネルギーや医療・健康分野等における社会的な課題を解決するため、分子素材の新機能・新物質・新材料の創出を目指した「分子技術」を構築するための研究開発を推進し、グリーンイノベーションやライフイノベーションの創出を目指すものである。現状では、「超低消費電力・超軽量デバイス」、「有機薄膜太陽電池」、「創薬・DDS」などのそれぞれの応用テーマ毎に分散し、応用上のボトルネックを解決しようとする研究が主流となっている。これに対して、本研究領域における分子技術では、様々な技術を有する研究チームや個々の研究者が分野融合し、様々な観点からボトルネックとなっている共通課題を合理的に解決することが望まれている。

本研究領域においては、ポテンシャルの高い個人研究者によって、オリジナリティーの高い革新的なアプローチを含有する従来の枠に囚われない挑戦的な研究を推進することで、持続的なイノベーション創出の源泉となる先駆的な研究成果を期待することができる。また、分野横断的な交流を促進することで個人研究者間にシナジー効果が生まれ、異分野にまたがる強いつながりを持った研究者ネットワークが形成され、分子技術を体現できる研究者集団となることが見込まれる。したがって、さきがけを選定することは適切である。さらに、CREST、さきがけの2つの研究領域を選定し、両方で密な連携を図っていくことで分子技術の構築へ向けた相補的・相乗的な研究が推進されるほか、分子技術を体現していくうえで核となる研究者ネットワークが構築されることが期待される。

以上のとおり、分野の垣根を超えた研究者ネットワークの形成及び異分野融合研究を推進することで、新しい研究領域を産み出し、幅広い社会ニーズに応える物質・材料開発へのブレークスルーを起こすことが期待される。よって、本研究領域は戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。CREST、さきがけとも、対象となりうる研究分野は、物理、化学、生物学、計算科学、工学、材料科学、計測技術等、多岐にわたり、「分子技術の構築」を共通言語とした独創的かつ挑戦的な研究提案が多数見込まれる。

(2) 研究総括指定の理由

研究総括 加藤 隆史

加藤隆史は、液晶・機能性高分子の研究に永年携わり、超分子材料の先駆けとなった超分子液晶の創製にはじまり、電場や機械的刺激に応じて発光色などの性質を変える液晶の開発、イオン伝導を行う機能性液晶の開発、液晶ゲルの発見など、多くの先駆的な業績を挙げてきた。従来のポリマーと異なる独自の分子設計により、刺激・環境に柔軟に対応する動的構造変化を有する機能性材料の創製といった、新しい機能性高分子化学の潮流を生み出しており、まさに「分子技術」の本質を捉えた研究を遂行してきている。その成果は、国内外にも認められ、日本 IBM 科学賞、日本液晶学会業績賞、中国科学院化学研究所 Molecular Science Forum Lecture Professorship、高分子学会賞等を受賞している。さらには、トムソン・ロイターによる 2010 年の First Breaking Paper (材料科学分野) にも選ばれていることから、本研究領域を推進するに必要な先見性、洞察力を十分に有していると考えられる。また、日本化学会理事、国際液晶学会理事を務めていることから、関連分野の研究者から信頼され、適切な評価と公平な選考を行いうると見られる。さらに、文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「融合マテリアル」領域代表を務めている等、本研究領域のマネジメントを行うに適した経験と能力を十分有していると考えられる。

以上より、同氏は「分子技術」を基盤とする広範な研究分野をカバーする本研究領域の研究総括として適任であり、若手研究者への厚い指導力を基に、優れた調整能力と強力なイニシアティブを発揮していただけると期待できる。

3. 研究総括のねらい

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

分子を基盤とする新材料・新デバイス・新プロセス等の創出のため、分子の振る舞いを制御する新しい学問としての「分子技術」を開拓・確立し、分子材料に関する我が国の学問と産業力のさらなる発展と新たな展開を強力に推進すること、さらに社会の持続的発展に貢献することが目的であり、このための革新的・挑戦的および独創的な「分子技術」の研究を対象として推進することにねらいを定めた。

そして、「分子技術」を、我が国を救う National Pride として展開し、新分野開拓・人材育成・産学連携・学会連携を進める。

(2) 研究領域で実現をねらったこと、研究成果として目指したこと

「分子技術」は、材料化、デバイス化、プロセス化に資することを意図して、物理学、化学、生物学、数学等の科学的知見をもとに、分子機能を創出し、応用に供するための一連の技術である。目的をもって分子を設計・変換・合成して、その分子を自在に制御して、精密に集合・複合構造を創成し、機能発現する基盤技術となる体系である。

これによって、新しい学問の創出や産業化・社会への貢献を研究成果として目指していく。

また、研究成果として、上記以外に、横断的研究・共通基盤性の高い研究（計測・解析）や理論・シミュレーションと合成の融合的研究も目指した。

(3) 科学技術の進歩への貢献や、科学技術イノベーション創出に向けて目指したこと、等

横断的研究・共通基盤性の高い研究（計測・解析）や理論・シミュレーションと合成の融合的研究による科学技術の進歩への貢献を目指した。

また、集合・複合構造の創成・制御、材料化、デバイス化・プロセス化により、新素材・デバイス・環境・エネルギー・ヘルスケアなどの科学技術イノベーション創出を目指した。

4. 研究課題の選考について

(1) 研究課題の選考方針、及び選考結果

① 選考方針

環境、資源、安全安心、健康・医療問題等、地球上における様々な課題の克服と人類の永続的発展のために分子材料の貢献が求められている。分子材料には、低環境負荷・資源制約への対応、そして生体への高い親和性といった性質が期待されているからである。これを実現する「分子技術」とは、新材料、新デバイス、新プロセス、有用物質創出に資することを意図して、物理学、化学、生物学、数学等の科学的知見をもとに、分子機能を創出し、応用に供するための一連の技術である。目的をもって分子を設計・合成して、その分子を自在に制御して、精密な集合化・複合化を行い、分子の特性を生かして、革新的な材料創製を確立する基盤技術となる体系である。これに対する言葉として「分子科学」があるが、これは、分子および分子集合体の構造や物性を分子のレベルで解明し、化学反応や分子の相互作用およびその本質を、理論と実験の両面から明らかにすることを目的とする学問である。「分子科学」が与える知見・理解を基盤として、「分子技術」は、所望の分子材料の機能を創出する。

わが国は、分子を基盤とする機能材料の分野において、学問および産業は高い国際競争力を維持しているが、「分子技術」の体系を構築・確立することにより、さらに、それを強化・発展させ、国力の源泉とするとともに、広く人類の幸福に貢献する。本研究領域はこのような「分子技術」に取り組み、新しい革新的な材料創成につながる学問体系を強化する。「分子技術」を技術として確立していくために、「分子の設計・創成技術」、「変換・プロセスの技術」を基盤として、「分子の電子状態制御技術」、「分子の形状・構造制御技術」、「分子集合体・複合体の制御技術」、「分子・イオンの輸送・移動制御技術」の技術の本質的な開発が必要である。狙った機能の発現を目指して自在に戦略目標のための革新的機能材料を構築するには、分子とその集合体の振舞いと性質の本質的な理解を深めることが必要になる。単一の分子と分子の集合体の振舞いは機能発現と密接な関係を有しているが、分子は多様・複雑である。これらの相関関係を理解して、圧倒的な機能発現に結び付けていくのが本研究領域の使命である。そのためには、上で述べた一つの技術にとどまらず、分子の設計から分子集合体・複合体の制御までの一連の流れが重要であり、本研究領域では、分野の融合・異なる分野の協力も視野に入れた提案も歓迎する。

公募にあたっては、明確に設定した分子材料の機能創出のための分子構造の設計・合成・変換技術、分子の集合・複合構造の創成・制御技術、分子機能発現技術、デバイス化・プロセス化の創成技術に関する、革新的・挑戦的および独創的「分子技術」の研究を期待する。分子材料の機能発現のための分子構造の設計・合成・変換技術、自己組織化などの省エネルギー・環境低負荷プロセスを用いた分子の集合・複合構造の創成・制御技術、分子機能発現技術、デバイス化・プロセス化の創成技術に関する先端的・根本的・横断的研究を対象とする。さらに上述の技術の流れを意識した挑戦的アプローチを含有する共通基盤

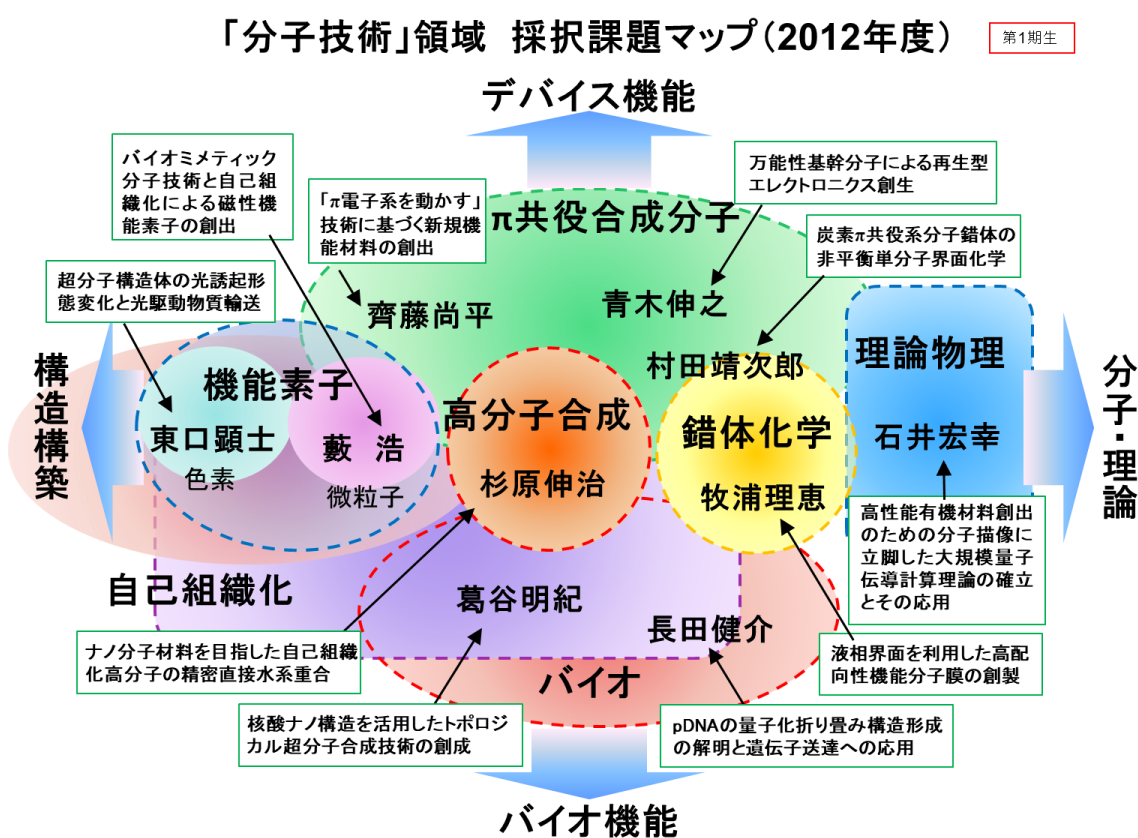
性の高い研究、理論・シミュレーションなどの数理的アプローチと分子設計・変換を融合する研究などの研究も含まれる。具体的には、機能発現を明確に見据えた分子の設計・合成・変換技術、ナノからマイクロ・マクロなスケールに至る1次元・2次元・3次元の分子集合体・複合体の秩序構築技術、電荷やイオンの動きを制御するエネルギー・デバイス材料構築技術、高選択的に分子・イオンを人工膜・ミセルなどの集合構造により輸送する環境・健康・医療材料の構築技術などに関する基盤的研究から、その材料化・応用への流れを総合的に意識した研究、分子の計測・解析技術を創出する研究など、「分子技術」の創成に資する先端的・独創的・根本的研究を重要な対象とする。

分野としては、化学、材料、バイオ、機械、電気、システム、物理さらには数学などの幅広い分野からの研究者の応募を期待している。自らの頭で考えたオリジナリティーの高い独創的な提案ということがポイントである。さらに、異分野の研究者が、本研究領域という共通のプラットフォームにおいて、融合して、新しい本質的な学問への展開を生みだし、先導できることが基本であり、そのような柔軟な考え方を期待している。あくまで、申請者個人の主体性が基軸であるが、特に分野融合的な研究を遂行する目的で、申請者との共同研究・異分野との融合研究が必要な場合には、さきがけ研究を異分野間と密接に連携することもできる。その場合には、さきがけにおける主体性（ご自身の専門性や役割）とともに、異分野との連携（連携先の専門性や役割）について詳述する。連携先は、公的機関にかかわらず、企業等も可能である。

② 選考結果

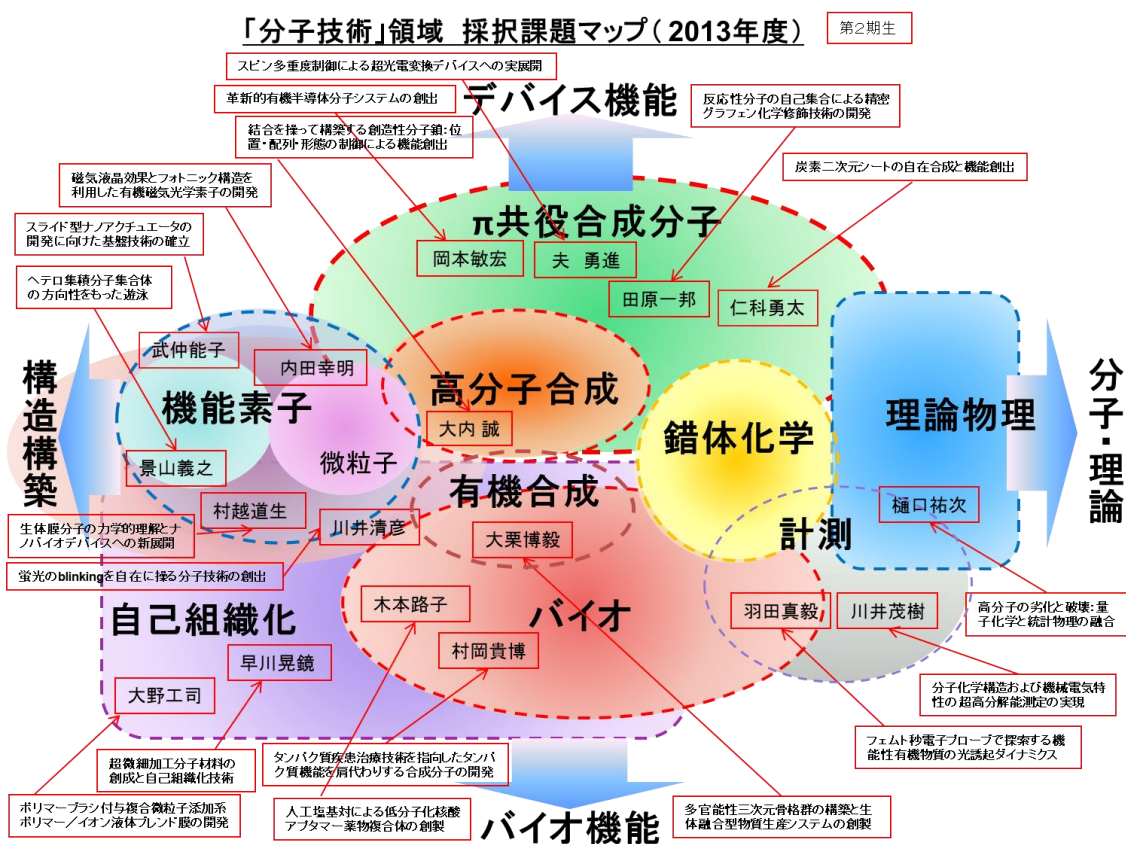
(i) 1期生 (2012年度) 選考結果

2012年度は、359名もの応募者があり、分野としては、予想通り、化学、材料、バイオ、機械、電気、システム、物理、数学などの幅広い分野からの研究者の応募があった。その後、書類選考で30名まで絞り、最終的には10名を面接で選考した。採択課題マップを下図に示す。このように、幅広い分野の研究者を採択することができた。



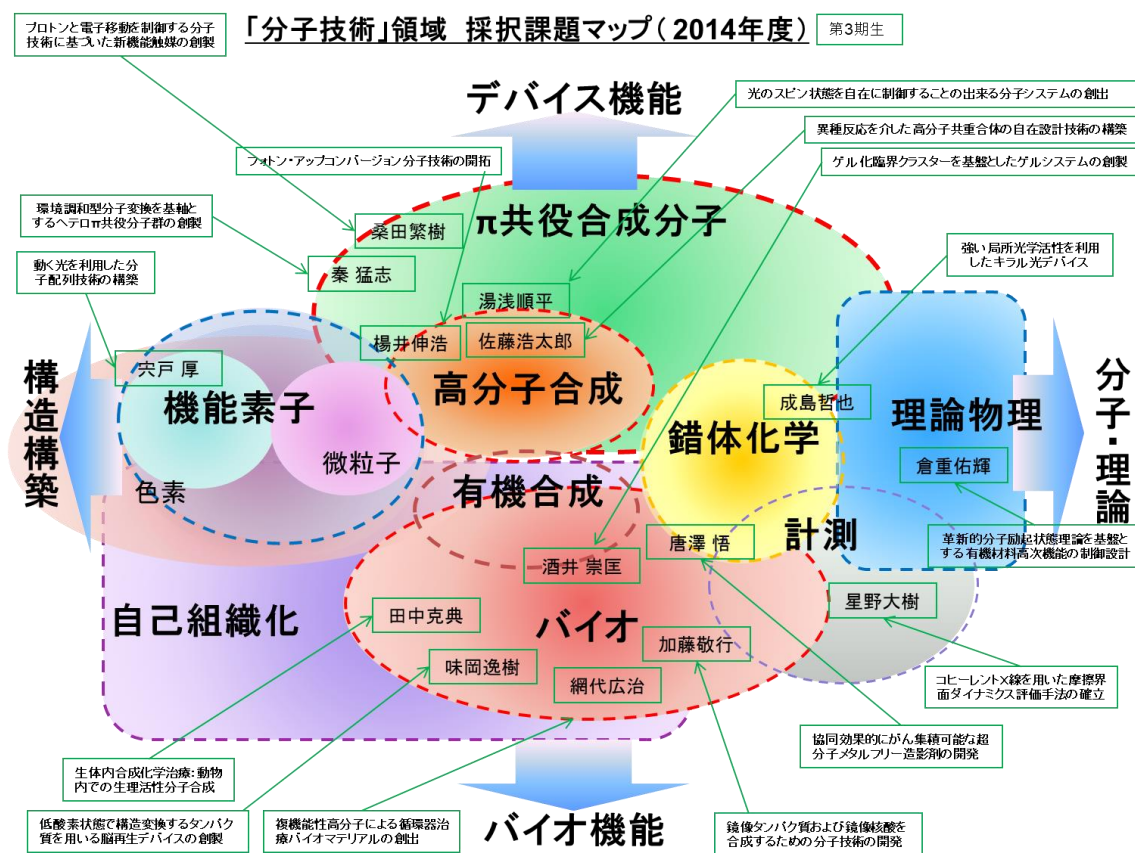
(ii) 2 期生 (2013 年度) 選考結果

2013 年度は、234 名の応募者があり、幅広い分野からの研究者の応募があった。その後、書類選考で 41 名まで絞り、最終的には 18 名を面接で選考した。採択課題マップを下図に示す。横断的研究・共通基盤性の高い研究を実施するために、計測関係の研究者を 2 名採択した。



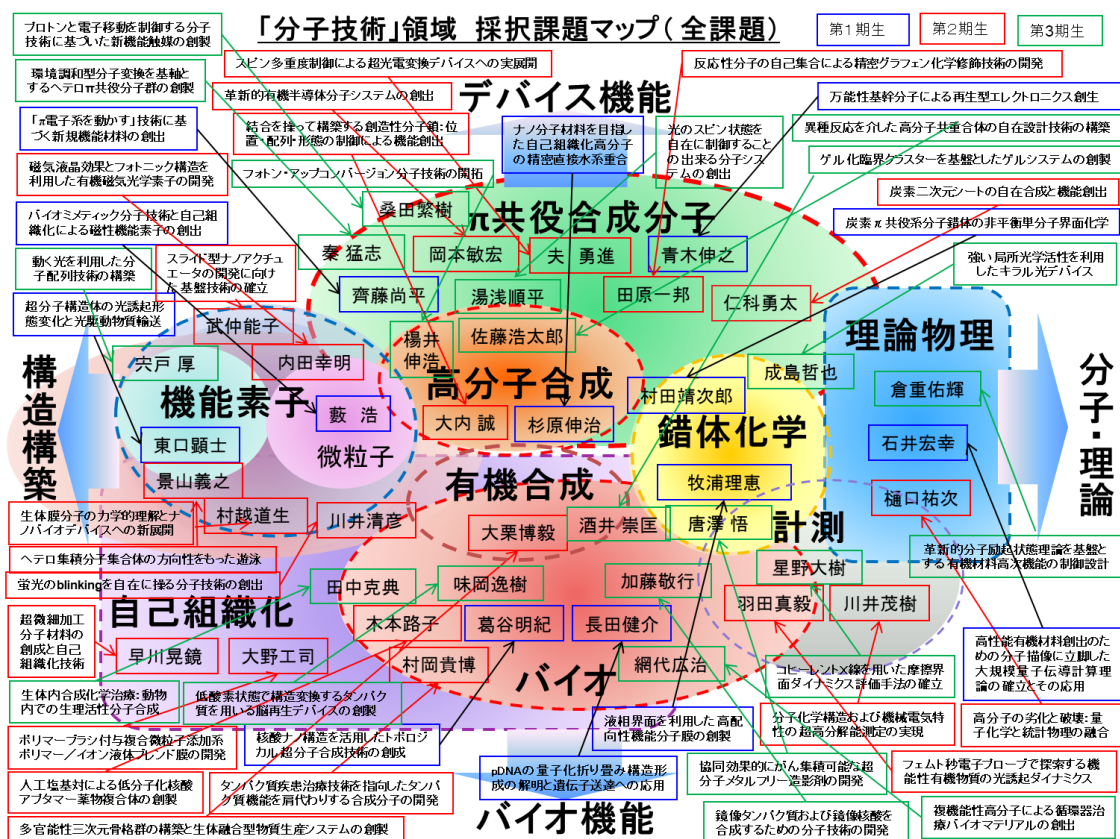
(iii) 3期生 (2014年度) 選考結果

2014年度は、219名の応募があった。書類選考で39名まで絞り、最終的には15名を面接で選考した。採択課題マップを下図に示す。このように、バイオ分野の研究者を多く採択した。



(2) 研究課題採択を通じ、戦略目標を達成する上で必要な研究課題、研究者の参加が適切に得られたか、等

812名の応募者に対して、43名の選考で、約20倍の競争率であった。「分子技術」の戦略目標を達成する上で必要なデバイス・バイオ・機能素子・高分子・有機材料・錯体から理論物理・計測までの研究課題、研究者の参加が適切に得られた。



5. 領域アドバイザーについて

本研究領域では、分野の垣根を超えた研究者ネットワークの形成及び異分野融合研究を推進することで、新しい研究領域を産み出し、幅広い社会ニーズに応える物質・材料開発へのブレークスルーを起こすことが期待されることから、領域アドバイザー16名に、日本を代表する化学業界の企業在籍者（研究部門）を主体に委嘱した。

領域アドバイザー名 (専門分野)	終了時の所属 () は開始時の所属 ※変更がある場合 変更がない場合は記載なし	役職	任期
山本 尚	中部大学 分子性触媒 センター CREST「新機能創出を 目指した分子技術の 構築」研究領域	センター長 研究総括	2012年10月～2018年3月
伊藤 忠	富士フイルム(株) R&D統括本部	研究主幹	2012年10月～2018年3月
彌田 智一	同志社大学 ハリス理化学研究所 (東京工業大学)	教授	2012年10月～2018年3月
尾崎 雅則	大阪大学 大学院工学 研究科	教授	2012年10月～2018年3月
金井 求	東京大学 大学院薬学 系研究科	教授	2012年10月～2018年3月
菊池 裕嗣	九州大学 先導物質化 学研究所	教授	2012年10月～2018年3月
龔 劍萍 (グン・チェンピン)	北海道大学 大学院先 端生命科学研究院	教授	2012年10月～2018年3月
澤村 正也	北海道大学 大学院理 学研究院	教授	2012年10月～2018年3月
清水 紀弘	デンカ(株)	取締役 常務 執行役員	2012年10月～2018年3月
瀧宮 和男	東北大学大学院 理学研究科 (理化学研究所)	教授	2012年10月～2018年3月

西原 寛	東京大学 大学院理学系研究科	教授	2012年10月～2018年3月
長谷川 美貴	青山学院大学 理工学部	教授	2012年10月～2018年3月
浜地 格	京都大学 大学院工学研究科	教授	2012年10月～2018年3月
辺見 昌弘	東レ(株) 水処理事業部門担当、研究本部	理事	2012年10月～2018年3月
谷田部 俊明	理想科学(株) (帝人(株))	社外取締役	2012年10月～2018年3月
渡邊 毅	J S R (株) 戦略事業副担当	執行役員	2012年10月～2018年3月

現役の企業在籍者として、従来からの化成品のみでなく、機能性材料やヘルスケア材料等、新たな分野を切り拓いてきた経験のある以下のメンバーを選出・委嘱した。

- ・伊藤 忠 (富士フイルム(株))
- ・清水 紀弘 (デンカ(株))
- ・辺見 昌弘 (東レ(株))
- ・谷田部 俊明 (帝人(株))
- ・渡邊 毅 (J S R(株))

これにより、幅広い社会ニーズに応える物質・材料開発へのブレークスルーを起こすための研究テーマの選定や方向付けのアドバイスを研究者に行う体制が構築できた。

また、大学関係者としては、その専門性を考慮し、以下のメンバーを選出・委嘱し、多様な材料に対応できる体制となった。

- ・彌田 智一 (東京工業大学)
材料化学全般
- ・尾崎 雅則 (大阪大学)
分子エレクトロニクス全般
- ・金井 求 (東京大学)
薬学全般
- ・浜地 格 (京都大学)
バイオケミストリー全般
- ・菊池 裕嗣 (九州大学)
ソフトマター (高分子、液晶)、化学・物性全般
- ・龔 劍萍 (北海道大学)
高分子ゲルの表面・界面化学全般

- ・澤村 正也（北海道大学）
有機金属化学全般
- ・西原 寛（東京大学）
錯体化学・電気化学・光化学全般
- ・長谷川 美貴（青山学院大学）
錯体化学, 光化学, 界面・コロイド化学全般
- ・瀧宮 和男（理化学研究所）
有機合成化学、機能性有機化学全般

さらには、山本 尚（中部大学）は、CREST「新機能創出を目指した分子技術の構築」の研究総括であり、同時に、加藤 隆史（東京大学）もCREST「新機能創出を目指した分子技術の構築」の領域アドバイザーを務めることで、さきがけとCRESTの情報交換と共同体制を構築した。

6. 研究領域の運営について

(1) 研究総括の研究領域運営方針や研究領域のマネジメントについて

本研究領域では、以下のような運営とマネジメントを意識的に行い、個人研究ではあるが、研究者および分野の融合を意識的に進め、新しい研究分野を生み出すことにつとめた。

○ポテンシャルの高い個人研究者を選定して、オリジナリティーの高い革新的なアプローチを含有する従来の枠にとらわれない研究をするように誘導した。

○化学・材料・物理・バイオ・機械工学などの多様な分野からの研究者が結集しているので、それぞれのシナジー効果により、分野融合の新しい方向性を出せるように進めた。

○機能を創出する「分子技術」という観点から、産業界ともさまざまな交流を行い、研究者の幅広い視野を養成した。

○国際化も重要なポイントと考え国際的な活動も積極的に行った。ドイツ DFG との連携による、会議をベルリンにて行った。さらに国際派遣プログラムにより研究者の国際レベルでの共同研究等を推進した。国際科学技術共同研究推進事業（戦略的国際共同研究プログラム）日本－フランス 共同研究（日仏分子技術）とも緊密な連携を保って進めた。

○産学連携を進めた。企業出身のアドバイザー、JACI、展示会、特許出願、SciFoS

○関連の CREST 分子技術との連携 日本化学会春季年会

(2) 研究テーマの導き方について

研究者は、もともとアカデミアの自分の専門分野の中にどっぷりと浸かっており、視野が狭いことが多い。具体的には、

○企業アドバイザーからの産業化への応用等のアドバイスをもらうことにより、視野が広がり、特許出願や企業との共同研究につながっていった例。

○理論物理を専門とする研究者が合成化学者と融合することにより、優れた論文を共同で発表することが出来るようになった例。

○研究に行き詰まり、大きく遅れが生じていたが、研究総括や領域アドバイザーから、重点的に取り組むポイントの助言を受け、打開できた例。

等があり、視野を広げて、前進できたことも多くあった。

(3) 研究領域としての人材の輩出・成長の状況について

採択した 43 名の研究者のうち、半数近い 19 名がさきがけ終了直後も含めて昇任した。
また、若い研究者が就任したのも特徴的であった。

下記に一覧を示す。

准教授→教授	5名	大栗博毅研究者 唐澤悟研究者 穴戸厚研究者 大内誠研究者（終了直後） 早川晃鏡研究者（終了直後）
助教→准教授	8名	仁科勇太研究者 楊井伸浩研究者 齊藤尚平研究者 内田幸明研究者 倉重佑輝研究者 酒井崇匡研究者 村岡貴博研究者 田原一邦研究者
講師→准教授	1名	牧浦理恵研究者
助教→講師	1名	湯浅順平研究者
准主任研究員→主任研究員	1名	田中克典研究者
シニアリサーチャー→主幹研究員	1名	川井茂樹研究者
准教授→チームリーダー	1名	夫勇進研究者（終了直後）
シニアサイエンティスト→助教	1名	羽田真毅研究者

7. 研究を実施した結果と所見

分子技術は様々な分野の基礎科学を統合し、材料における具体的な機能創出を目指すものである。その目指す機能はデバイス機能からバイオ機能まで幅広く、これらを実現するためには化学合成のみならず、分子理論から構造構築まで幅広い知見が必要である。

1期生10名、2期生18名、3期生15名の合計43名の研究者を採択し、高分子合成、錯体化学、 π 共役合成分子などの研究者と共に、自己組織化、機能素子、バイオ、さらには理論物理の研究者を幅広くバランス良く採択し、互いの相乗効果を狙った。

その結果、互いの技術を補完し合う共同研究、互いの成果を組み合わせる新しいテーマに取り組む共同研究などが進み、具体的な機能創出に結びつく多くの成果が得られている。

SciFoS (Science for Society) 活動や新技術説明会などを通して研究の出口開拓に積極的に関わるとともに、国際強化支援策を活用して、海外の研究者とも連携を密に取り研究を進めた。

(1) 研究成果の達成状況

さきがけ「分子技術」研究領域合計での論文数は563件で、学会等での口頭発表件数は1770件で、特許出願数は91件であり、研究領域として数多くの成果発信をすることが出来たと考える。

学術論文としては、Science, Nature Chemistry, Nature Communications, Advanced Materials, Science Advances, Angewandte Chemie International Edition, Journal of the American Chemical Society, Nano Letters, ACS Nano, Physical Reviews等の国際誌に掲載されている。

さきがけ「分子技術」の研究成果で、特徴的かつ重要と思われるものを以下に述べる。

①研究課題の事例をあげて、領域全体として見た場合の特筆すべき研究成果

(事例1) 齊藤尚平研究者は、一連の光機能性材料の開発に成功した。ここで特筆すべきは、論文1にあるように基礎的学理を追求する一方で、論文2のように、それを利用した機能材料開発と社会的価値創出を両立させたことである。

論文1

K. Nagura, S. Saito*, H. Yusa, H. Yamawaki, H. Fujihisa, H. Sato, Y. Shimoikeda, S. Yamaguchi*,
“Distinct Responses to Mechanical Grinding and Hydrostatic Pressure in Luminescent Chromism of Tetrathiazolylthiophene”

Journal of the American Chemical Society, 135, 10322 (2013). [被引用数:147]

概要：力に応答するメカノクロミック発光材料は、すでに数多く報告されていたが、本論

文では、異方的なすり潰し（機械刺激）と等方的な静水圧とで発光色変化の挙動が全く異なる材料を初めて報告した。発光色からナノレベルでの力のかかり方を判別できる材料。

論文 2

S. Saito^{*}, S. Nobusue, E. Tsuzaka, C. Yuan, C. Mori, M. Hara, T. Seki, C. Camacho, S. Irle, S. Yamaguchi,

“Light-melt adhesive based on dynamic carbon frameworks in a columnar liquid-crystal phase”,

Nature Communications, 7, 12094 (2016). [被引用数:5]

概要：高温でも使用でき、光で剥がせる液晶接着材料の開発に初めて成功した。従来の仮固定用の接着材料には、熱で剥がすタイプのホットメルト接着材料が使われているが、高温では接着力を失ってしまうため使用に制約があった。本論文では、独自に光応答性の機能分子を設計・合成し、自己凝集力が高いカラムナー液晶を創ることで、紫外光を使った光剥離機能と100℃前後の耐熱接着機能の両方を実現する新しい接着材料の開発に成功した。このライトメルト接着材料と名付けられた材料は、従来の高分子接着の常識を覆す可能性を秘めた「液晶接着」の概念を産業界に普及させることに貢献した。

(事例 2) 川井茂樹研究者は、基礎研究を追求した。従来のように原子間力顕微鏡で単に固体の表面構造を観察するだけでなく、独自に超高感度な顕微鏡の開発や測定手法の開発などを行って、分子骨格を直接的に観察することで分子の凝集するメカニズムを解明したり、表面で起こる化学反応を追跡したりすることに成功した。また、このような反応で生成したナノ炭素構造物を原子間力顕微鏡の探針で動かすことに成功して、高分子の表面から離脱する過程を詳細に検出できることがわかった。言い換えると、ナノメートルサイズの構造物の機械特性を測るツールを実現した。更に、コーティング剤としても注目されている炭素薄膜（グラフェン）の超低摩擦現象のメカニズムについても解明できた。

計測関係を専門としており、単分子間に働く力学的特性と電気特性を“原子分解能レベル”でその場での測定を実現する高い分解能の観察技術を用いて、基盤表面上の単分子や自己組織化膜の構造解析や、ホウ素をグラフェン内に規則的にドーピングする化学反応の様子をその場観察した。この多くの研究は「さきがけ」というネットワーク型研究所という組織を有効に活用して、合成化学を専門とするさきがけ研究者と行った共同研究で遂行されたことは、特筆に値する。

論文 1

S. Kawai, A. Benassi, E. Gnecco, H. Söde, R. Pawlak, K. Mullen, D. Passerone, C. Pignedoli, P. Ruffieux, R. Fasel, and E. Meyer,

“Superlubricity of Graphene Nanoribbons on Gold Surfaces”,

Science, 351, 957 (2016). [被引用数:38]

概要：原子間力顕微鏡の探針を使い、金の表面上で生成したリボン状のグラフェンを操作することにより、その界面で発生する超潤滑現象を見出した。この現象は、金とグラフェ

ンの格子が一致しないことに起因しており、長さ数 10 ナノメートルのグラフェンでも 100 ピコニュートン以下の力で動かせることを示した。

論文 2

S. Kawai, S. Saito, O. Oshima, S. Yamaguchi, A. S. Foster, P. Spiker, and E. Meyer,

“Atomically controlled substitutional boron-doping of graphene nanoribbons”,

Nature Communications, 6. 8098 (2015). [被引用数:72]

概要：表面化学反応を用いて、リボン状のグラフェンの中に原子レベルで決まった位置にホウ素を導入することに成功した。二次元薄膜のグラフェンそのものはバンドギャップがないためそのままでは、デバイスには使えない。一方で、グラフェンを数ナノメートル幅のリボン状に加工することでバンドギャップを発生できることが示されて以来、盛んに研究が行われている。本研究は、ホウ素を導入することにより更に機能をもったナノグラフェンを生成することに成功した。

(事例 3) **田中克典研究者**は、イノベーションによる社会実装まで行った。独自の糖鎖クラスターを効率的なドラッグデリバリーシステムとして活用して、マウス内での合成研究を進め、当初計画した生体内合成化学治療を実現した。領域会議では、特に企業のアドバイザーの指摘を受けながら、治療にとどまらず診断への展開にも踏み込んだ研究を展開し、実際に企業との連携研究室を開設するなど、ライフサイエンスにおける新しい分子技術を提供した。一方、さきがけの SciFoS や国際強化支援、あるいは新技術説明会を最大限に利用して、国内外の研究者や企業との連携を深めた。

論文 1

L. Latypova, R. Sibgatullina, A. Ogura, K. Fujiki, A. Khabibrakhmanova, T. Tahara, S. Nozaki,

S. Urano, K. Tsubokura, H. Onoe, Y. Watanabe, A. Kurbangalieva, K. Tanaka,

“Sequential Double “Clicks” Toward Structurally Well-Defined Heterogeneous N-Glycoclusters:

The Importance of Cluster Heterogeneity on Pattern Recognition In Vivo”,

Advanced Science, 4, 1600394 (2017) . [Journal Cover] [Very Important Paper] [被引用数:7]

概要：アルブミンに様々な糖鎖を導入することによって不均一な糖鎖クラスターを合成した。マウス内での分子イメージングを行うことにより、糖鎖の不均一性が体内動態に著しい影響を及ぼすことを実証し、糖鎖クラスターによる「パターン認識機構」が生体内での選択的な認識に重要であることを明らかにした。また、糖鎖クラスターによる「パターン認識機構」を基盤とした新規なドラッグデリバリーシステムを提起した。本論文は、カバー図として採択されるとともに、Advanced Science 誌における最も重要な論文の 1 つとして、修正なく採択された。

(事例 4) **岡本敏宏研究者**は、通常の領域会議とは別に横断的な材料勉強会を立ち上げ、2 期生同士のみでなく、1 期生～3 期生までの研究者を巻き込み、共同研究を促進するととも

に、自ら、複数個の共同研究で論文発表にまで至っている。例えば、下記の論文は、1 期生の石井宏幸研究者との共同研究を行った成果である。

論文

A. Yamamoto, Y. Murata, C. Mitsui, H. Ishii*, M. Yamagishi, M. Yano, H. Sato, A. Yamano, and J. Takeya, and T. Okamoto*,

“Zigzag-elongated Fused π -Electronic Core: A Molecular Design Strategy To Maximize Charge Carrier Mobility”,

Advanced Science, 1700317 (2017). [Back cover に採用] [被引用数:0]

概要：有機半導体材料は、弱い分子間力で集合しているため、固体中であっても、室温のエネルギーで分子が運動（分子間振動）して、電荷の伝導が阻害されるため、電荷移動度が低くなることが問題である。本研究では、分子間振動を抑制するとともに、振動がおこっても伝導へ悪影響が出にくいこれまで前例のない有機半導体分子群の開発に成功した。塗布印刷法により得られた単結晶を用いたトランジスタで、有機半導体として世界最高レベルの $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を達成した。本研究は、論文誌で高く評価され、backcover に採用された。なお、本研究成果について、東京大学と筑波大学との共同プレスリリースを行った。

(事例 5) 村岡貴博研究者は、さきがけ研究テーマにおいて一連のたんぱく質模倣分子の合成に成功した。これらの成果は高い評価を得て、日本化学会進歩賞、文部科学大臣表彰若手科学者賞をはじめ 8 つの受賞につながり、生体関連化学分野の若手トップランナーの一人として注目されるようになった。

論文 1

T. Muraoka, K. Umetsu, K. V. Tabata, T. Hamada, H. Noji, T. Yamashita, and K. Kinbara, “Mechano-Sensitive Synthetic Ion Channels”,

Journal of the American Chemical Society, 139,18016 (2017). [被引用数:0] JACS Spotlight に選出

概要：脂質二分子膜に対する張力に応答して透過性をスイッチする合成イオンチャネルの開発に初めて成功した。1 回膜貫通型分子では分子集合体を形成してイオン透過性のスイッチングを示すのに対し、3 回膜貫通型分子では一分子でスイッチングを示すことが明らかとなった。さらにスイッチングを引き起こす張力は、天然の張力応答性イオンチャネルと同程度であることも示された。生体は、張力応答性イオンチャネルによって、触覚や聴覚を獲得している。そのため、張力応答性を示す合成分子の開発は、新たなセンシングデバイスの実現につながる。

(事例 6) 羽田真毅研究者は、計測の専門家と、合成化学者と共同研究することにより、液晶分子の精密な構造解析の視点で新たな領域を切り拓いた。

論文

M. Hada, S. Saito, S. Tanaka, R. Sato, M. Yoshimura, K. Mouri, K. Matsuo, S. Yamaguchi, M. Hara, Y. Hayashi, F. Röhricht, R. Herges, Y. Shigeta, K. Onda, R. J. D. Miller

“Structural Monitoring of the Onset of Excited-State Aromaticity in a Liquid Crystal Phase”,

Journal of the American Chemical Society, 139, 15792 (2017). [被引用数:0]

概要：液晶分子の立体構造を決定し、その機能の元となる分子運動を理解することで、より高精度かつ広範囲な液晶材料の開発が可能になると期待されてきた。しかし、液晶中の炭素鎖に埋もれた分子骨格の高速な動的挙動を直接的に構造解析する手法は全く存在せず、液晶分子の運動を解析する新しい手法の確立が求められてきた。本研究では、時間分解電子線回折法と時間分解赤外分光法を組み合わせることにより、液晶分子（ π -シクロオクタテトラエン誘導体）の構造解析と動的挙動を直接的に観察した。

（事例 7）**宍戸厚研究者**は、動く光を利用した新しい分子配列制御法を構築するとともに、分子配向フィルムの特異的物性を明らかにすることを目的として研究を進め、当初の期待以上の興味深い結果を得た。その成果を、招待口頭発表、国際論文、プレスリリース、新聞およびテレビでのメディア紹介にて、社会へ情報発信した。

論文

K. Hisano, M. Aizawa, M. Ishizu, Y. Kurata, W. Nakano, N. Akamatsu, C. J. Barrett and A. Shishido,

“Scanning wave photopolymerization enables dye-free alignment patterning of liquid crystals”,

Science Advances, 3, e1701610 (2017). [被引用数:0]

概要：露光される部分を移動しながら光照射することにより、分子の拡散や流動を引き起こし、この流れによって均一な配向パターンを形成した。また、光重合性液晶であれば化合物の分子骨格や重合反応の種類に依存せず、多彩な分子の配向にも成功した。特に分子が放射状に並んだパターンの作製では、従来の偏光を用いる光配向法に比べて、1 万分の 1 ほどの微細化および光エネルギーの劇的な低減を実現した。ナノからマイクロスケールの微細な分子配向構造を大面積にわたり一段階でパターン形成できることから、これまでできなかった光の微細加工が可能になる。今後、高精細フレキシブルディスプレイなどへの応用が期待される。

（事例 8）**酒井崇匡研究者**は、高分子ゲルを生体内で用いるための必要最低限の機能を、「生体内に安全に留置でき、形状安定性を持ち、そして安全に壊すことができること」であると定義し、その機能を創出するための分子技術を展開した。本研究は、まずゲル化を物理的に理解し、得られた知見を持って、これまでに無い分子設計を提案し、最終的には求められた機能を実現した。そして、得られたゲルが人工硝子体として機能することを動物実験で示し、今後の網膜剥離の治療に向けて当初目標を超える成果を上げた。この成果は、初めてのハイドロゲルからなる人工硝子体としてプレス発表され、新聞記事として報道された。

論文

K. Hayashi, F. Okamoto, S. Hoshi, T. Katashima, DC. Zujur, X. Li, M. Shibayama, EP. Gilbert,
U. Chung, S. Ohba, T. Oshika, T. Sakai,

“Fast-forming hydrogel with ultralow polymeric content as an artificial vitreous body”

Nature Biomedical Engineering, 1, 0044 (2017). [被引用数:14]

概要：高分子ゲルを体内で作製した場合に、経年劣化に伴いゲルが膨潤し、周辺組織に問題を与えることを指摘し、新たに膨潤圧を低減したゲルの作製方法を提案した。さらには、そのゲルの人工硝子体としての適応可能性を示した。

(事例 9) 楊井伸浩研究者は、「エネルギーマイグレーションに基づくアップコンバージョン」「これまで困難であった波長変換」という目的を予定通り達成し、論文投稿やプレスリリースに加え、それぞれ新しいコンセプトとして総説に纏めた。本研究を通じ、「アップコンバージョン分子技術」を光がかかわる広範な分野において欠かせない基盤技術とするための礎を築くことができたと考えている。また、JST の新技術説明会では 200 名ほどの企業人の前で発表し、個別相談を通じて今後の産学連携に繋がるものと考えられる。

論文

S. Amemori, Y. Sasaki, N. Yanai,* and N. Kimizuka*

“Near Infrared-to-Visible Photon Upconversion Sensitized by a Metal Complex with Spin-Forbidden yet Strong S_0-T_1 Absorption”,

Journal of the American Chemical Society, 138, 8702 (2016). [被引用数:12]

概要：近赤外光から可視光へのアップコンバージョンは太陽電池やバイオ応用に必須であるが、特に 800 nm を超える近赤外光の利用はほぼ成功例が無かった。S-T 吸収を利用し、その問題点である系間交差を経ずに直接三重項状態を形成することに成功した。ルブレンのナノ粒子中にドナー分子を均一に分散させ、そのナノ粒子を酸素バリア能の高いポリビニルアルコール中に分散させたところ、得られた固体フィルムは 3.1% という高い UC 量子収率を示した。これは固体中において隣接するドナーからアクセプターへのエネルギー移動が効率的に行われたためであり、分子集積系の利点が顕著に反映された結果である。

② さきがけ研究領域内「共同研究」

さきがけ「分子技術」では、いろいろな専門の研究者がおり、研究領域内での「共同研究」を推奨したので、1期生から3期生まで年次を超えて数多くの共同研究が実施され、そのうち、期間内に、12報の共著論文と2報の共同出願特許が生まれた。下記にこれらを列挙する。今後も成果物が出てくると予想される。

(i) 共著論文 (12報)

論文1: 川井茂樹研究者 (2期生) と齊藤尚平研究者 (1期生) との共同研究

S. Kawai, S. Saito, O. Oshima, S. Yamaguchi, A. S. Foster, P. Spiker, and E. Meyer,

“Atomically controlled substitutional boron-doping of graphene nanoribbons”,

Nature Communications, 6, 8098 (2015). [被引用数:72]

概要

グラフェンナノリボンへのホウ素原子のドーピングに成功した。一酸化窒素などの超高感度ガスセンサー開発などに貢献が期待される。JST からプレスリリース (科学技術振興機構報第1124号)。

論文2: 川井茂樹研究者 (2期生) と齊藤尚平研究者 (1期生) との共同研究

E. Carbonell-Sanroma, P. Brandimarte, R. Balog, M. Corso, S. Kawai, A. Garcia-Lekue, S. Saito, S. Yamaguchi, E. Meyer, D. Sanchez-Portal, and J. I. Pascual,

“Quantum Dots Embedded in Graphene Nanoribbons by Chemical Substitution. “

Nano Letters, 17, 50 (2016). [被引用数:7]

概要

論文1の成果を受けてスペインの研究チームと始めた共同研究の成果。論文1の方法を応用して合成したホウ素ドーピンググラフェンナノリボンが、量子ドット的な振る舞いを示すことを示した。

論文3: 羽田真毅研究者 (2期生) と齊藤尚平研究者 (1期生) との共同研究

M. Hada, S. Saito, S. Tanaka, R. Sato, M. Yoshimura, K. Mouri, K. Matsuo, S. Yamaguchi, M. Hara, Y. Hayashi, F. Röhricht, R. Herges, Y. Shigeta, K. Onda, R. J. D. Miller

“Structural Monitoring of the Onset of Excited-State Aromaticity in a Liquid Crystal Phase”,

Journal of the American Chemical Society, 139, 15792 (2017). [被引用数:0]

概要

液晶分子の立体構造を決定し、その機能の元となる分子運動を理解することで、より高精度かつ広範囲な液晶材料の開発が可能になると期待されてきた。しかし、液晶中の炭素鎖に埋もれた分子骨格の高速な動的挙動を直接的に構造解析する手法は全く存在せず、液

晶分子の運動を解析する新しい手法の確立が求められてきた。本研究では、さきがけ「分子技術と新機能創出」領域内の齊藤尚平研究者との共同研究により、時間分解電子線回折法と時間分解赤外分光法を組み合わせることにより、液晶分子（ π -シクロオクタテトラエン誘導体）の構造解析と動的挙動を直接的に観察した。

論文 4： 川井茂樹研究者（2期生）と岡本敏宏研究者（2期生）との共同研究

S. Kawai^{*}, A. Sadeghi^{*}, T. Okamoto^{*}, C. Mitsui, R. Pawlak, T. Meier, J. Takeya, S. Goedecker, and E. Meyer, “Organometallic Bonding in an Ullmann-Type On-Surface Chemical Reaction Studied by High-Resolution Atomic Force Microscopy”, *Small*, 12, 5303 (2016). [被引用数:6]

概要

屈曲型パイコア分子の新展開として、同領域の川井茂樹研究者と共同研究を行った。まず、ハロゲン置換 V 字型誘導体 (X-DNT-VW) の金属基板上 (Ag や Cu など) での分子の集合体構造や挙動解析について研究を行い、炭素-炭素結合形成で古くから知られている Ullmann 型反応について、基板上での反応追跡に成功し、屈曲型パイコア群の新展開が見られた。

論文 5： 岡本敏宏研究者（2期生）と川井茂樹研究者（2期生）との共同研究

I.P-Zulaica, J. L- Checa^{*}, A. Sadeghi, Z. M. Abd El-Fattah, C. Mitsui, T. Okamoto^{*}, R. Pawlak, T. Meier, A. Arnau, J. E. Ortega, J. Takeya, S. Goedecker, E. Meyer, and S. Kawai^{*}, “Precise engineering of quantum dot array coupling through their barrier widths”, *Nature Communications*, 8, 787 (2017). [被引用数:0]

概要

量子ドットは、その構造内に電子を閉じ込めることがよく知られている。量子ドットが周期的に集積すると、協調的相互作用により新奇な量子特性が現れることが期待される。すなわち、隣接する量子ドット間に存在する潜在的な障壁を制御することは、相互のクロストークを変調するために不可欠である。本研究では、ハロゲン置換芳香族化合物中の架橋部位の元素を置換することによって、表面上で障壁幅の精密なエンジニアリングが可能であり、量子ドット相互結合の程度によって閉じ込め特性が調整できることを明らかとした。本研究により明らかとした自己組織化分子ネットワークを用いることで、二次元電子ガスを完全に制御する方法への新しい道が開かれると大いに期待される。

論文 6： 石井宏幸研究者（1期生）と岡本敏宏研究者（2期生）との共同研究

A. Yamamoto, Y. Murata, C. Mitsui, H. Ishii^{*}, M. Yamagishi, M. Yano, H. Sato, A. Yamano, and J. Takeya, and T. Okamoto^{*}, “Zigzag-elongated Fused π -Electronic Core: A Molecular Design Strategy To Maximize Charge Carrier Mobility”, *Advanced Science*, 1700317 (2017). [被引用数:0]

概要

有機半導体材料は、弱い分子間力で集合しているため、固体中であっても、室温のエネルギーで分子が運動（分子間振動）して、電荷の伝導が阻害されるため、電荷移動度が低くなることが問題である。本研究では、分子間振動を抑制するとともに、振動がおこっても伝導へ悪影響が出にくいこれまで前例のない有機半導体分子群の開発に成功した。塗布印刷法により得られた単結晶を用いたトランジスタで、有機半導体として世界最高レベルの $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を達成した。本研究は、論文誌で高く評価され、backcover に採用された。なお、本研究成果について、東京大学と筑波大学との共同プレスリリースを行った。

論文 7： 川井清彦研究者（2 期生）と東口顕士研究者（1 期生）との共同研究

K. Kawai, K. Higashiguchi, A. Maruyama, T. Majima

“DNA Microenvironment Monitored by Controlling Redox Blinking”,

ChemPhysChem, 16, 3590 (2015). [被引用数:2]

概要

蛍光色素が DNA 二本鎖内に存在する場合、色素周辺の DNA 配列が mismatch, deletion, insertion それぞれについて、蛍光消光剤との衝突確率が互いに異なることを蛍光ブリンキングから確認した。系間交差とそれに続く還元により消光状態になったローダミン 6G が発光可能な一重項基底状態に戻るには、溶液中の酸化剤との衝突を必要とする。酸素分子のサイズは小さいため DNA 構造の差異を拡散速度差から検出するのは難しいが、嵩高い鉄錯体 Fe(III)DTPA を酸化剤として用いることでその差を明瞭化させた。

論文 8： 内田幸明研究者（2 期生）と藪浩研究者（1 期生）との共同研究

Y. Iwai, Y. Uchida, H. Yabu, N. Nishiyama

“3D Lattice Structure Control of Ordered Macroporous Materials by Self-Assembly of Liquid Droplets” Macromolecular Rapid Communications, 38, 16000502 (2017). [被引用数:0]

概要

内田研究者が持つエマルジョン形成技術と藪研究者が持つ液滴配列および光硬化ハイドロゲルの作製技術を融合することで、 $100 \mu\text{m}$ を超えるサイズの空孔を持つ多孔質体の形成手法を開発した。具体的には水中油滴型 (W/O) エマルジョンを液滴のサイズ程度のスリットを持つ平板に流し込み、水中に溶かしておいたモノマーおよび架橋剤を光重合することにより固化させ、鋳型油滴を取り除くことで多孔体を形成する。スリットの厚みを変えることで液滴の配列や 3 次元的な空孔作製にも成功し、マイクロレンズアレイの鋳型や多孔質スキャフォールドへの展開が可能な多孔体作製手法を確立した。

論文 9： 川井茂樹研究者（2 期生）と田原一邦研究者（2 期生）との共同研究

S. Kawai, V. Haapasilta, B. D. Lindner, K. Tahara, P. Spijker, J. A. Buitendijk, R. Pawlak, T. Meier, Y. Tobe, A. S. Foster, and E. Meyer.

“Thermal Control of a Sequential On-surface Transformation of a Hydrocarbon Molecule on Copper Surface.” *Nature Communications*, 7, 12711 (2016). [被引用数:12]

概要

表面化学反応を用いて炭素同士を結合させることで表面上にナノ構造物を直接的に作る事ができる。本研究では、従来の反応を更に発展させ、加熱温度に応じて三段階の化学反応を実現した。その結果、溶液中の化学では生成が困難な新化合物を高い選択性で生成できることを示した。

論文 10 : 早川晃鏡研究者 (2 期生) と岡本敏宏研究者 (2 期生) との共同研究

T. Makita, M. Sasaki, T. Annaka, M. Sasaki, H. Matsui, C. Mitsui, S. Kumagai, S. Watanabe, T. Hayakawa, T. Okamoto, and J. Takeya,

“Spontaneously formed high-performance charge-transport layers of organic single- crystal semiconductors on precisely synthesized insulating polymers”,

Applied Physics Letter, 110, 163302 (2017). [被引用数:1]

概要

低分子半導体溶液に絶縁性高分子のポリメタクリル酸メチル (PMMA) を添加して塗布を行うことで、より高速で安定的に半導体単結晶膜が得られたことに関する論文である。製膜時の自発相分離現象によって得られた低分子半導体単結晶/PMMA 界面を基に、トランジスタ特性に大きな影響を与えるトラップ密度を OFET 特性から評価した。さらに、この手法を用いて有機無機ハイブリッド CMOS インバータの作製に成功した。

論文 11 : 夫勇進研究者 (2 期生) と倉重佑輝研究者 (3 期生) と羽田真毅研究者 (2 期生) との共同研究

S. Kawata, Y.-J. Pu, A. Saito, Y. Kurashige, T. Beppu, H. Katagiri, M. Hada, J. Kido, "Singlet Fission of Non-polycyclic Aromatic Molecules in Organic Photovoltaics", *Advanced Materials*, 28, 1585 (2016). [被引用数:12]

概要

一重項励起子が二つの低エネルギーの三重項励起子へと分裂する一重項分裂は、有機太陽電池の高効率化に期待されている。従来の縮合多環系構造によらない、新しい一重項分裂分子を開発し有機太陽電池内での一重項分裂挙動を明らかにした。非縮合多環系の一重項分裂性材料として 3 種のチエノキノイド化合物を合成した。量子化学計算から、いずれの化合物においても一重項分裂のエネルギー条件を満たすことが示唆された。チエノキノイド化合物から得られる光電流は、低磁場において増加した後、高磁場になるにつれて減少した。これは T_1 準位のゼーマン分裂による一重項分裂速度の低下に起因する光電変換効率の低下を示している。非縮合多環系分子の有機太陽電池内での一重項分裂特性を明らかにしたのはじめての例であり、アセンやペリレンなどの縮合多環骨格に依らない一重項分裂

材料の新しい分子設計の指針となる。

論文 12 : 宍戸厚研究者 (3 期生) と岡本敏宏研究者 (2 期生) との共同研究

T. Kubo, R. Häusermann, J. Tsurumi, J. Soeda, Y. Okada, Y. Yamashita, N. Akamatsu, A. Shishido, C. Mitsui, T. Okamoto, S. Yanagisawa, H. Matsui, J. Takeya,

“Suppressing molecular vibrations in organic semiconductors by inducing strain”, Nature Communications, 7, 11156 (2016). [被引用数:16]

概要

指で曲げるだけで電流が格段に向上する有機物半導体材料を開発した。柔らかく、印刷可能な単結晶の有機半導体薄膜を用いれば、従来より約 15 倍高感度な応力応答デバイスを安価に作れる。今回新たに分子の熱振動を抑制する新しい応力応答の効果を見いだした。通常、電圧入力に対して電流出力の応答が速い有機デバイスを開発するには、新規の化合物の合成に頼ることが多い。指の力で曲げるだけで高速化できることを発見した。実際に電流応答の速度は 1.7 倍に向上した。心拍センサーなどのヘルスケアデバイスに加えて、橋や道路などの劣化診断に使う歪みセンサーなどに応用できる。

(ii) 共同出願特許 (2 件)

特許 1 : 藪浩研究者 (1 期生) と齊藤尚平研究者 (1 期生) の共同出願

国際出願番号 : PCT/JP2015/082143 国際出願日 : 2015. 11. 16

国際公開番号 : W02016/080358 国際公開日 : 2016. 5. 26

優先権主張番号 : 特願 2014-233309 優先日 : 2014. 11. 18

発明の名称 : メカノクロミック発光材料、該メカノクロミック発光材料を架橋したメカノクロミック樹脂

発明者 : 藪浩、齊藤祐太、齊藤尚平、山口茂弘、信末俊平

出願人 : 科学技術振興機構

概要 : 動く π 共役系分子を架橋点に組み入れることにより、応力によって発光色が変化するメカノクロミック発光材料の製造方法を提供する。

特許 2 : 内田幸明研究者 (2 期生) と藪浩研究者 (1 期生) の共同出願

国際出願番号 : PCT/JP2016/086905 国際出願日 : 2016. 12. 12

国際公開番号 : W02017/104610 国際公開日 : 2017. 6. 22

優先権主張番号 : 特願 2015-243016 出願日 : 2015. 12. 14

特願 2016-142659 出願日 : 2016. 7. 20

発明の名称 : 多孔フィルム、多孔フィルム製造方法、マイクロレンズアレイ、マイクロリアクターおよびバイオデバイス

発明者 : 岩井陽典、内田幸明、藪浩

出願人 : 科学技術振興機構

概要 : 本発明は、多孔フィルム、多孔フィルム製造方法、マイクロレンズアレイ、マイクロリアクターおよびバイオデバイスに関するものである。所定の直径の球形に成形された

液滴をエネルギーの付与により硬化することが可能な溶液に分散し、液滴を整列させた後、連続相を硬化することで、様々な材料系から 10～2000 μm 程度の孔径を有する低コストで製造する手法を提案した。

(2) 産学連携への取り組み

① 領域会議（工場見学）

さきがけ研究進捗報告とディスカッションのための領域会議を 11 回開催した。そのうち 8 回は、企業在籍領域アドバイザーの会社にある工場や研究所等の見学を実施し、研究室の狭い世界だけでなく、「ものづくり」の現場を体感して、視野を広げた。

回	日付	場所	工場見学等
第 1 回	2012/11/23-24	筑波（茨城県）	－
第 2 回	2013/5/17-19	鳥羽（三重県）	J S R (株) 四日市工場
第 3 回	2013/12/13-15	宮島（広島県）	帝人(株) 岩国事業所
第 4 回	2014/5/17-19	名古屋（愛知県）	東レ(株) A&A センター
第 5 回	2014/11/22-24	小田原（神奈川県）	富士フイルム(株) 先進コア技術研究所
第 6 回	2015/5/17-19	青梅（新潟県）	デンカ(株) 青梅工場
第 7 回	2015/10/31-11/2	相生（兵庫県）	理化学研究所 大型放射光施設
第 8 回	2016/7/2-3	世田谷（東京都）	－
第 9 回	2016/12/11-12	焼津（静岡県）	富士フイルム(株) 吉田南工場
第 10 回	2017/7/1-3	富岡（群馬県）	富岡製糸場
第 11 回	2017/11/19-20	御茶ノ水（東京都）	－

② SciFoS [Science for Society]

(i) 目的

研究でチャレンジしている取り組みが社会的な価値を創造し、またはどのような社会的ニーズを満たすものなのか、研究者自身が一旦研究（室）の外に出て考え、再整理し、自分の研究を社会からの期待の中で位置づけなおす作業を自ら行うことを通じ、仮説検証によるコミュニケーション能力の重要性に気づき、今後の研究のステップアップにつなげ、さらにその体験を他領域研究者や領域内の他研究者と共有し、社会の中の科学という観点から自らの研究を振り返る機会を得ることを目的とした。

(ii) ワークショップの位置づけと仕組み

“さきがけ研究者向け SciFoS” 活動は研究者の研究展開を見通すための活動と位置づけら

れた。研究者自らが行う企業へのインタビューを行うことと、米 NSF(National Science Foundation)の iCORPS プログラムにおける「価値仮説検証法」より転用した“価値仮説シート”、“検証結果シート (インタビューメモ)” の評価シートをツールとして用いることにより、研究者の今後の研究アクションを浮かびあがらせる事を行った。

この取り組みの参考にしているのは、米 NSF の iCORPS プログラムである。

http://www.nsf.gov/news/special_reports/i-corps/index.jsp

iCORPS プログラムは研究成果の出口を求め、そのまま起業することを想定しているが、SciFoS プログラムは基礎研究を行うさきかけ研究者向けにアレンジして、研究活動に資するようにした。研究者が自分のコミュニケーション能力の向上や研究計画の反映につながるように留意した。

講師 (総合アドバイザー) : iCORPS の手法を発案者の Steve BLANK 氏 (スタンフォード大学) より学んだ堤孝志氏 (三井住友海上キャピタル(株)) および飯野将人氏 (ナント・モバイル(株))。

組織構成 : 研究総括、領域アドバイザー、研究者 (第 1 回)

研究総括 : 加藤隆史 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

領域アドバイザー : 渡邊毅 (J S R)

参加者 : 石井宏幸研究者、葛谷明紀研究者、齊藤尚平研究者、
杉原伸治研究者、藪浩研究者

実施期間 : 2013 年 11 月 ~ 2014 年 2 月

スケジュール詳細

実施期間中に参加者全員のミーティング 3 回、インタビューの実践を 2 期間実施した。

- ・ 第 1 回ミーティング (キックオフ) 2013 年 11 月 15 日
- ・ インタビューの実践 I 期間
- ・ 第 2 回ミーティング (中間フォロー) 2013 年 12 月 18 日
- ・ インタビューの実践 II 期間
- ・ 第 3 回ミーティング (最終報告会) 2014 年 2 月 11 日

活動成果 (2 件抜粋)

○齊藤尚平研究者

光照射で固体から液体へと可逆的に変化する材料を研究。通常、熱や溶媒で溶かす接着剤を光照射で行う用途を考え、仮固定剤メーカー、半導体加工業者等 4 ヶ所をインタビュー。その結果、当初の期待はかなりの外れであることが判明。有意な情報は以下のようなものである。はがしたら捨てるため、可逆性は余り必要ない。それよりも“アウトガスを出さない”事が最大の売りになる、耐熱性とコストがクリアできれば、使える技術になる可能性あり。

○藪浩研究者

磁場で応答するカラー微粒子を研究中。低消費電力を強みに電子ペーパーの用途を考え、

①電子ペーパー製造企業、②色材製造企業、③ディスプレイ材料製造企業④ライフサイエンス企業等4ヶ所をインタビュー。

その結果、当初期待していた“電子書籍”市場は飽和していることが判明したが、他用途への展開が拓け“研究テーマの設定は基本的には間違っていない”ことが判った。有意な情報は以下の通り。①ディスプレイとしては低消費電力を極めて欲しい、カラー化は必要度低い、②大画面公告表示板の用途がある、③派生技術としていた超強力接着材料に注目が集まった、などが示唆された。また、ライフサイエンス企業からは磁性粒子を用いた診断用微粒子への応用可能性を提案され、サイズの微細化による表面積の増大や構造を利用した新規の診断システムの構築の可能性が示唆された。

さらに、2015年度から実施された SciFoS 展開型活動には下記の7名が参加した。

武仲能子研究者、網代広治研究者、唐澤悟研究者、酒井崇匡研究者
田中克典研究者、楊井伸治研究者、大内誠研究者

③ 新化学技術推進協会（JACI）

「公益社団法人 新化学技術推進協会」（JACI）にて、会員企業に向けての交流会を実施した。産学連携を目的として企画したもので、当領域の研究の中でも特に出口指向の研究内容を5人の研究者が紹介し産業界との交流を図った。

JACI の初めての試みで参加者はノミネートで96名、会場がほぼ満員と盛況であった。研究者の説明も企業の方用に実験結果の動画などを盛り込み判りやすく行った。また、JACI 理事長も今後も共同して進めたい旨のコメントをいただいた。

JACI 会員企業以外に、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）関係者、JST 産学連携展開部の関係者も参加しこの機会を積極的に利用すると共に、“化学工業日報”社の取材も行われた。「分子技術」は、幅広い分野の技術を複合的に取扱い産業化に役立てようと設定されたもので、この取り組みは大変意義のあるものとなった。

第1回 JST さきがけ「分子技術と新機能創出」研究者と JACI の交流会

1. 日時 2015年5月13日（水） 14:00～18:00
2. 場所 JACI 会議室
3. 交流会
 - (1) オープニング：JST さきがけ「分子技術と新機能創出」研究領域のご紹介
加藤 隆史（研究総括） 東京大学 大学院工学系研究科 教授
 - (2) 大規模電子伝導シミュレーションの開発と分子性材料への応用
石井 宏幸 筑波大学数理物質系
 - (3) 動くπ共役骨格にもとづく材料機能の創出
齊藤 尚平 名古屋大学物質科学国際研究センター
 - (4) 光分子配向に基づく機能性フィルムの創製と力学解析

- 宍戸 厚 東京工業大学資源化学研究所
- (5) フォトン・アップコンバージョン分子技術の現状と可能性
- 楊井 伸浩 九州大学大学院工学研究院
- (6) カテコール基を有する新規ポリマーの合成と接着・還元能
- 藪 浩 東北大学多元物質科学研究所

第2回 JST さきがけ「分子技術と新機能創出」研究者と JACI の交流会

1. 日時 2016年1月12日(火) 14:00~18:00
2. 場所 JACI 会議室
3. 交流会
 - (1) オープニング：JST さきがけ「分子技術と新機能創出」研究領域のご紹介
加藤 隆史 (研究総括) 東京大学 大学院工学系研究科 教授
 - (2) 結合を操る精密重合：側鎖配列・主鎖形態の制御と機能
大内 誠 京都大学大学院工学研究科
 - (3) ポリマーブラシ付与複合微粒子の精密合成と応用展開
大野 工司 京都大学化学研究所
 - (4) 屈曲型パイ電子系コアが切り拓く機能性有機半導体材料の開発
岡本 敏宏 東京大学大学院新領域創成科学研究科
 - (5) インジェクタブルで安全なソフトハイドロゲルの創製
酒井 崇匡 東京大学大学院工学系研究科
 - (6) マイクロ流体デバイス
内田 幸明 大阪大学大学院基礎工学研究科

④ JST 新技術説明会、JST フェア

JST 新技術説明会

日付	発表者	所属	タイトル
2015/2/6	藪 浩	東北大学	ナノ構造化有機-無機ハイブリッド微粒子の製造方法および多様な材料に接着するポリマー接着剤
2017/2/9	田中 克典	理化学研究所	生体内を高度に見分ける糖鎖 DDS と生体内での分子合成技術
2017/2/9	齊藤 尚平	京都大学	光で剥がせる液晶接着材料の開発 ～分子技術で高温接着にも対応～
2017/12/21	酒井 崇匡	東京大学	やわらかく 生体に優しい インジェクタブルポリマーゲル
2017/12/21	楊井 伸浩	九州大学	近赤外光を可視光へとアップコンバージョンする分子性材料

これらいずれも約 100 名以上の企業関係者の聴衆で、発表後の名刺交換、さらに個別相談があり、JST 主催の本説明会の中でもトップクラスの注目度となった。そのいくつかは共同研究へと進展した。

JST フェア

日付	発表者	所属	タイトル
2015/8/27	藪 浩	東北大学	ナノ構造化有機-無機ハイブリッド微粒子の製造方法および多様な材料に接着するポリマー接着剤
2016/8/25	仁科 勇太	岡山大学	カーボンナノシートの精密合成と複合化による新機能の創出
2017/8/31	宍戸 厚	東京工業大学	フレキシブルデバイス表面ひずみのリアルタイム解析装置の開発

上記と同様に、企業関係者からの個別相談があり、その後、サンプル提供や共同研究の話につながった。

(3) 学会展開

①日本化学会春季年会（さきがけ-CREST 分子技術 共同企画）

社会の持続的発展と産業力のさらなる発展には、分子の働き・振る舞いを自在に制御する「分子技術」を確立し、分子を基盤とする新材料・新デバイス・新プロセス等を創出することが重要で、新たな展開を生み出し、幅広い社会ニーズに応える物質・材料の機能創出を見据え、基盤的研究から材料化への流れを総合的に意識した「分子技術」が創り出す新しい世界を議論するため、日本化学会春季年会において、さきがけ-CREST「分子技術」共同で、中長期シンポジウムを5年間継続的に開催した。

シンポジウム名	日時	場所	人数
日本化学会 94 春季年会 分子技術中長期シンポジウム 「社会の持続的発展のための分子技術」	2014年3月27日	名古屋大学	100名
日本化学会 95 春季年会 分子技術中長期シンポジウム 「分子設計と分子技術：環境、資源、安全安心のための分子技術」	2015年3月27日	日本大学	100名
日本化学会 96 春季年会 分子技術中長期シンポジウム 「分子設計と分子技術：その創り出す新しい世界」	2016年3月24日	同志社大学	150名

日本化学会 97 春季年会 分子技術中長期シンポジウム 「分子設計と分子技術：社会に発展・革新をもたらす新機能の創出」	2017年3月16日	慶応義塾大学	150名
日本化学会 98 春季年会 分子技術中長期シンポジウム 「分子設計と分子技術：新機能によるイノベーション」	2018年3月20日	日本大学	—

② CSJ 化学フェスタ

さきがけ研究終了報告会は、日本化学会秋季事業の「CSJ 化学フェスタ」にて、“JST 特別企画”として行った。終了報告会は、大規模学会の中で開催し集客効果を狙うとともに、終了半年前に開催することによって、報告会での議論内容・示唆・アドバイスを研究報告書に盛り込めるようにした。

開催趣旨：「分子技術」とは、分子の特性を活かして目的とする機能を発現させ、社会に貢献する材料・デバイス等の創製に供するための一連の技術で、物理学・化学・数学・生物学等の上に成り立つ新しい体系の確立を目指し、2012年度から文部科学省の戦略目標のもと、JSTのCREST・さきがけで目的指向の基礎研究が進めてきた。本企画では、期間終了するさきがけ「分子技術」研究者の成果発表を中心に、期待される将来の姿や「分子技術」のポテンシャルについても紹介し、参加者と議論する。

シンポジウム名	日時	場所	人数
CSJ 化学フェスタ 2015 JST 特別企画： 「分子技術が創り出す新しい世界と材料」 ～さきがけ若手研究者たちの挑戦～ 「第1期生終了報告会」	2015年10月15日	タワーホール船堀	140名
CSJ 化学フェスタ 2016 JST 特別企画： 「分子技術が創り出す新しい世界と材料」 ～さきがけ若手研究者たちの挑戦～ 「第2期生終了報告会」	2016年11月16日	タワーホール船堀	150名
CSJ 化学フェスタ 2017 JST 特別企画：	2017年10月18日	タワーホール船堀	120名

「分子技術が創り出す新しい世界と材料」 ～さきがけ若手研究者たちの挑戦～ 「第3期生終了報告会」			
--	--	--	--

(4) 国際強化

JSTはCREST・さきがけの国際連携の効果的な推進を通じて、我が国の「分子技術」研究をますます加速・拡充し、世界をリードすることを目指してきた。

「分子技術」という概念は、「科学的知見を基に、分子を設計・合成・操作・制御・集積することによって、分子の特性を活かして所望の機能を創出し、応用に供するための一連の技術」のことを指すものとして、文部科学省の戦略目標に設定された。それを受けて、JSTでは2012年度にCREST・さきがけの研究領域を発足し、「分子技術」の研究開発を推進してきた。2013年度には、フランス国立研究機構（ANR：Agence Nationale de la Recherche）と連携し、SICORP（国際科学技術共同研究推進事業）を通じて日仏共同研究を支援した。

2015年度に若手研究者育成の一環で、ドイツ研究振興協会（DFG：Deutsche Forschungsgemeinschaft）と連携し、日独「分子技術」ワークショップを開催した。

① 日仏「分子技術」公開シンポジウム：Japan-France Symposium on Molecular Technology

JSTとフランス国立研究機構（ANR：The French National Research Agency）は、日本とフランスの研究者ネットワークの構築や、優れた「分子技術」の研究成果の共有を目的に、公開シンポジウム：Japan-France Symposium on Molecular Technologyを開催した（2015年3月9日 於：パリ）。開会セッションでは、マイケル・マトゥローズ ANR 理事長、小笠原一郎 在フランス日本国大使館公使、外村正一郎 JST 理事が登壇し、「分子技術」の研究開発の重要性と、日仏共同研究をはじめとする国際連携が、その推進ツールとして非常に有効であることが改めて共通の認識となった。

基調講演では、フランスからジャン・ロンカリ教授（CNRS Research Director at MOLTECH Anjou, University of Angers）が、分子の電子状態制御による有機半導体や太陽電池などのデバイス開発研究について、最新の成果を紹介した。日本からは、CREST「新機能創出を目指した分子技術の創出」の山本尚研究総括（中部大学教授/シカゴ大学名誉教授/SICORP 研究主幹）が、JSTが提唱した「分子技術」という新研究領域を説明し、その事例としてCRESTの研究成果を紹介した。さきがけ「分子技術と新機能創出」の加藤隆史研究総括（東京大学教授/SICORP 副研究主幹）は、さきがけの研究成果および加藤研究室の最新の研究プロジェクトを紹介し、いずれの講演もフランスの研究者の高い関心を集めた。

また、CRESTからは、菅裕明研究代表者（東京大学）および石谷治研究代表者（東京工業大学）、さきがけからは、瀧宮和男領域アドバイザー（理化学研究所）、岡本敏宏研究者（東京大学）、石井宏幸研究者（JST/筑波大学）、大内誠研究者（京都大学）、村岡貴博研究者（東北大学）が口頭発表を行い、質疑応答では会場から多くの質問が寄せられた。さらに、4名

のさきがけ研究者は、フランスの研究者と合同のポスターセッションにも参加し、熱心な議論が交わされ、シンポジウムは盛況のうちに終了した。

JST は CREST・さきがけの研究開発と日仏共同研究を効果的に連携させることにより、我が国の「分子技術」研究をますます加速・拡充し、世界をリードすることを目指す。

② 日独「分子技術」ワークショップ

JST さきがけ「分子技術と新機能創出」研究領域（研究総括：加藤隆史 東京大学大学院工学系研究科 教授）とドイツ研究振興協会（DFG：Deutsche Forschungsgemeinschaft）は、さきがけ研究者とドイツの若手研究者の国際的なネットワークの構築や、優れた「分子技術」の研究成果の共有を目的にワークショップを開催した。

加藤隆史 研究総括（東京大学）、瀧宮和男 研究領域アドバイザー（理化学研究所）、Stefan Hecht 教授（フンボルト大学）、Peter Bäuerle 教授（ウルム大学）がオーガナイザーを務め、「分子技術と新機能創出」研究領域のさきがけ研究者 16 名およびドイツで活躍する若手研究者 15 名が参加し、研究発表を行った。いずれの発表も参加者の高い関心を集め、質疑応答のセッションでは熱心なディスカッションが行われた。また、休憩時間など活用して、さらにディスカッションをする光景も見受けられ、ワークショップは盛況のうちに終了した。発表セッションは、高分子合成のみならず、自己組織化材料、触媒、バイオテクノロジー、計測技術など、「分子技術」ならではの幅広い分野で構成され、日頃は異なる分野で活躍する日独の若手研究者も一堂に会し、日独研究者間に加えて異分野研究者間の交流も実現した。

③ ドイツ Stefan Hecht 教授（フンボルト大学）招聘「分子技術」ワークショップ

さきがけ「分子技術と新機能創出」研究領域（平成 24 年度発足）において、ドイツの新進気鋭の Stefan Hecht 教授（フンボルト大学）招聘ワークショップを実施し、さきがけ研究者と「分子技術」に関してディスカッションを行った。

日時：2016 年 5 月 21 日（土）

場所：JST 東京別館 2F セミナー室

出席者：Stefan Hecht 教授（フンボルト大学）

さきがけ「分子技術」加藤研究総括（東京大学）、さきがけ研究者 15 名

内容：Hecht 教授から「分子技術」の研究内容についての講演を実施し、さきがけ研究者とのディスカッションを活発に行った。その後、さきがけ研究者 15 名が発表し各人に対して Hecht 教授からコメントをいただいた。鋭くかつ温かいコメントで、さきがけ研究者にとってよい刺激となり、今後の展開が期待できる場となった。

④ 国際共同研究

JST の国際強化支援策を活用し、本研究領域の研究者が、築いてきたネットワークを活用

し、研究成果の最大化に資する国際共同研究の推進を図った。

(5) 研究成果によってもたらされた国内外の顕彰・受賞、等

科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手技術者賞を下記 8 名の研究者が受賞した。また、日本化学会進歩賞を下記 3 名が受賞した。さらに、CREST「分子技術」山本尚研究総括が設立したライジングスター賞を仁科勇太研究者が獲得した。

受賞者名	賞の名称	授与者名	受賞日
齊藤尚平	科学技術分野の 文部科学大臣表彰 若手科学者賞	文部科学省	2014 年 4 月 17 日
牧浦理恵			2014 年 4 月 17 日
藪 浩			2014 年 4 月 17 日
川井茂樹			2015 年 4 月 24 日
村岡貴博			2016 年 4 月 12 日
倉重佑輝			2016 年 4 月 12 日
酒井崇匡			2016 年 4 月 12 日
田原一邦			2017 年 4 月 11 日
齊藤尚平	日本化学会進歩賞	日本化学会	2015 年 3 月 28 日
村岡貴博			
倉重佑輝			
仁科勇太	ライジングスター賞	山本尚研究総括	2014 年 10 月 25 日

(6) 本研究領域に続く研究資金の獲得状況

下記のように本研究領域に続く研究資金を獲得した（代表例：1 億円以上）。

・藪浩研究者（代表者）

日本医療研究開発機構 2 億 6,000 万円 [2016 年度～2019 年度]

医療分野研究成果展開事業（先端計測・機器開発プログラム）

「抗原修飾ヤヌス粒子を用いた簡易計測装置」

・村田靖次郎（代表者）

科学研究費助成事業 基盤研究(S) 1 億 6,010 万円 [2017 年度～2021 年度]

「ナノスケールラボラトリーの創製と深化」

・仁科勇太研究者（代表者）

環境省 1 億 1,000 万円 [2017 年度～2019 年度]

C02 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業

「グラフェンの合成技術開発とエネルギーデバイスへの応用による C02 削減への貢献」

8. 総合所見

(1) 研究領域のマネジメントについて（研究課題選考、研究領域運営）

本領域では、3年間3期にわたる募集において、延べ812名もの応募者があった。分野としては、期待通り、化学、材料、バイオ、機械、電気、システム、物理、数学などの幅広い分野からの研究者の応募が得られた。我が国の「分子技術」関連分野の広がり、我が国の分子技術関連の研究者の活発さを実感させるものであった。

書類選考、面接選考と膨大な業務となったが、領域アドバイザー、選考委員の努力により、「分子技術」の戦略目標を達成する上で必要な研究課題、参加研究者を適切に選ぶことができた。採択された43名で構成される研究者による分子技術研究を、単純な個人の研究の集積ということではなく、全体としてシンクロナイズさせながら進めることができたと考えている。

本質的な研究・独自の視点で問題にアプローチすることが重要であるという方針で、研究を遂行した。結果として、世界的にも注目を集める気鋭の研究者を生み出すことができた。主観的な見解になるが、我が国の研究者のさきがけ「分子技術」に関する評価は高いものをいただいたのではないかと考える。多くの研究者が全国的な賞を受賞（8名が文部科学大臣表彰若手科学者賞、3名が日本化学会進歩賞を受賞）し、また、19名が昇進により、ステップアップを果たすことが出来た。

研究討議を、年2回泊まりでの領域会議において突っ込んだ内容にすることにより、研究の方向性・共同研究の可能性・論文の執筆や投稿などについて密接な指導を行った。さらに、年2回の頻度では足りないことも多いので、必要に応じて随時、電子メールおよび直接の面接により、指導も行った。分子技術としての出口を意識させるために、領域会議に併設して企業の工場や研究所見学を随時行い、ものづくり産業の原点を体感させた。さらに、国際展開も行い、国際的な研究者としての育成の土台も作った。

また、領域会議の機会などに度々、総括自身の研究に対する考え方、これまでの経験、研究倫理、研究論文の出版への姿勢などを折に触れて研究者に語りかけ、対話を行った。

以上の内容についてより詳しく以下に述べる。

①本質的な研究・独自の視点で問題にアプローチする（領域会議における議論）

「分子技術」は、学問横断的な体系である。「分子技術」の研究展開においては、関連領域の理解力が重要である。「自分の分子技術に関するオリジナリティーの高い研究分野を確立することがまず第一とすべきであるが、自分の分野のみに閉じこもっているだけでは不十分であり、分子からねらいを定めた機能を発現する材料・デバイスまでの流れを、多様な学問のつながりの中で理解・展開していくことが必要である」ということを、ことあるごとに研究者に説いた。

②人材育成への配慮

研究者の平均年齢は37歳（採択時）であり、自分の関係する領域以外の知見が乏しい場合や業績が十分でない場合も多い。しかしながら、領域会議や工場見学、さらに様々な公開報告会を通じて、異分野の考え方や産業界の視点を知り、より幅の広い研究者に育つように心がけた。また、国際的にも、その成果とともに際立った活躍ができるように、国際展開の経験を多く持たせた。

また、採択時の提案が、順調に進まない場合も、基本を堅持したままの方向転換などのアドバイスも行い、これにより新しい分子技術の創出につながった例も多い。

女性研究者にも配慮を行った。ライフイベントの女性研究者にも、研究のスローダウン前後に適切なアドバイスを適宜行うことにより、最終的には「さきがけ」研究の総まとめとして、その分野の一流誌に論文（ACS Nano, 11, 10875 (2017)）を報告でき、プレス発表にもつなぐことができた。

③異分野融合による共同研究の推進

異分野の研究者がともに相互作用することが「分子技術」の発展に重要であるという考えのもと、研究者も、機能性合成分子からバイオ分子まで、合成から理論・計測まで幅広い範囲の研究者を「分子技術」研究の推進のために採択した。領域会議などにおいては、これらの研究者が互いの研究や分野を理解して、十分な議論の時間が出来るように運営を工夫した。これにより、合成分野と計測分野の研究者、あるいは合成分野・錯体分野・理論分野の研究者の共同研究が開始されて、結果として10件以上の優れた共同研究の論文を世に出すことが出来た。

④産業界との接点の経験

アドバイザーに産業界から複数お願いした。東レ、帝人、富士フイルム、デンカ、JSRからのアドバイザーとの交流・議論を通して、研究に対する産業界からの見方を学んでもらうことを目指した。アドバイザーも非常に協力的であり、よい産学協同の展開ができた。また、これらのアドバイザーの協力により、領域会議の直後に、東レ名古屋地区、帝人岩国地区、富士フイルム吉田南（静岡）地区、デンカ糸魚川地区、JSR四日市地区の、工場・研究所の訪問、技術交流を行った。さらに、研究総括の産業界ネットワークを使い、対外的な交流もすすめた。公益社団法人新化学技術推進協会（JACI）において、2回の研究報告会（2015年5月および2016年1月）を進めた。これは、研究総括がJACIのフロンティア連携委員会の委員であったという産業界との連携関係により計画できたものであり、各回とも80名以上の参加者があり、非常に好評であった。

SciFoS活動は、本研究領域がJSTで最初に行った。これは、JSTのSciFoS事務局から相談を受け、積極的に引き受けたものである。この活動により、参加した研究者の視野を大きく広げることが出来、共同研究もスタートしており、実施した価値があった。

本研究領域の多くの研究者が、これまでの研究経歴の中で産業界との交流・接触の機会がなかったと述べており、産業の現場で巨大な設備を実際に間近で体感し、関係者と交流した経験は、人材育成の意味でも極めて有意義であったと考えられる。

その結果、企業との共同研究や特許出願が、本研究領域から生み出されている。

⑤国際化の展開

「分子技術」の展開にとって国際化も重要な要素である。「分子技術」をいう言葉を生み出し、我が国が本分野を主導していくべきと考えられるからである。分子技術関連の学問のレベルの高さ、また、産業においても分子機能材料において、世界最高品質の素材を製造できる世界を先導しているレベルから見てもそれが可能である。国際的な研究者を育てるという人材育成も肝要である。これらの目的のために、(1) 日仏「分子技術」との連携、(2) 日独「分子技術」ワークショップ、(3) 国際的な研究者の招聘、(4) 国際強化プログラムを推進して「分子技術」に関する国際的な共同研究の展開と、国際的な研究者としての人材育成を図った。

「国際科学技術共同研究推進事業（戦略的国際共同研究プログラム）」の一環として、JST とフランス国立研究機構（Agence Nationale de la recherche (ANR)）と「分子技術」に関する日本－フランス共同研究 ANR（フランス側のファンディングエージェンシー）の共同により日仏分子技術プログラムが立ち上がり、CREST 分子技術の山本研究総括が研究主幹、さきがけ「分子技術」の加藤研究総括（著者）が研究副主幹として、採択から研究進捗報告まで共同で運営に当たっている。結果として、本研究領域の研究者も採択されて、国際的な共同研究の展開を図ることができた。具体的には、大内誠研究者の「配列制御高分子による革新材料の創出」（平成 27-30 年度）、仁科勇太研究者の「分子設計に基づく生体適応型高耐久性 3 次元グルコースバイオ燃料電池の創出」（平成 27-30 年度）が採択された。

日独「分子技術」ワークショップは、ドイツ側オーガナイザーとして、フンボルト大学の Stefan Hecht 教授およびウルム大学の Peter Bauerle 教授に就任をお願いし、日本側は研究総括と瀧宮和男アドバイザーで、それぞれドイツ側・日本側の若手を推薦して、ドイツベルリンにおいて開催した。

その2ヶ月後に、日独「分子技術」ワークショップドイツ側オーガナイザーの Stefan Hecht 教授を日本に招いて、さきがけメンバーとワークショップを開催した。ベルリンでの日独「分子技術」ワークショップに参加できなかったさきがけ「分子技術」メンバーが報告を行い、極めて有意義なコメントをいただくことができた。

さきがけ「分子技術」研究者の国際展開として、各研究者の国際共同研究を資金援助した。本領域の各研究者がそのテーマに従い、アメリカ、ドイツ、英国、ロシア、スイス、スロベニア、アイスランドなどの各国の研究者と共同研究を推進した。国際的な研究を展開しながら国際的な研究者を育成するのに有効な方策であった。

(2) 研究領域としての研究成果

科学技術の進歩に貢献する研究成果の例を以下に箇条書きで示す。

①合成系の研究が、計測分野や産業分野と相互作用することにより大きく発展した例

π 共役系分子の分野からは数多くの特筆すべき成果が得られた。まず、齊藤尚平研究者は、従来の高分子による接着の常識を越える、光ではがせる独創的な液晶接着材料を創製した (*Nature Communication*, 7, 12094 (2016))。本研究は、SciFoS がきっかけとなり産業界との共同研究も始まり特許も出願されている。また、本内容は、JST 新技術説明会で発表し、アンケートで最も評価の高いものの一つとなった。さらに、計測の分野の羽田真毅研究者と共同研究を行い、液晶接着材料の電子線時間分解測定により、分子の振る舞い(ダイナミクス)を、精密に理解することに成功した (*Journal of the American Chemical Society*, 139, 15792 (2017) に報告)。これらの成果は、JST および所属大学でプレスリリースを行い日経産業新聞(平成 29 年 5 月 10 日)に掲載された。このように、新しい概念の革新的な分子技術を創成することができた。

②医療に展開する分子技術の創成の例：分子技術と臨床分野の共同研究により臨床研究まで展開した例

ライフサイエンスの分野からも画期的な分子技術が生まれた。これまでに生きている動物の中で有機合成化学を行うことは不可能であると考えられてきたが、田中克典研究者は体内の疾患部位で自在に分子を合成する一般技術を開発した (*Angewandte Chemie International Edition*, 56, 3579 (2017))。望む疾患部位で薬を作り、副作用を起こさない選択的な診断や治療を実現した。本研究の一部は、大阪大学病院との共同研究を経て臨床研究にも成功した。患者を救う世界で唯一の分子技術として、2018 年に JST および所属機関から大々的にプレスリリースする予定である。さらに、JST 新技術説明会や SciFoS への参加がきっかけとなり、企業と共同して国内外の医療診断現場への適応が急ピッチで進められている。このように、基礎技術開発に留まらず、世界中の患者を救う大きな可能性を秘める分子臨床技術を実現した。

③計測・理論の研究者と合成の研究者の協業により新しい分野を生み出した例

川井茂樹研究者は、原子間力顕微鏡 (AFM) を駆使して、計測と合成・機能の境界領域の分子技術を確立した。特筆されるのは、分子による超潤滑の発見である。この表面における分子の制御技術を駆使して、岡本研究者との共同研究により、量子ドットの集積による新しい自己組織化分子ネットワークを構築した (*Nature Communications*, 8, 787 (2017))。

また、理論物理の石井宏幸研究者は、岡本敏宏研究者とともに有機半導体として世界最高レベルの移動度を達成した (*Advanced Science*, 1700317-1/8 (2017))。東大と筑波大から共同プレスリリースされた。

(3) 科学技術イノベーション創出への展望

「分子技術」は、分子を基盤とする新規材料・新デバイス・新プロセスを創出するための基盤技術であり、分子に関する極めて広い分野に活用可能な技術である。すなわち、当初の目標である無限に存在しえる分子から最善・最適の分子を精密合成技術と理論・計算科学との協働により自在に設計・合成・集合・配列・複合化して、望む機能を自在に発現させるという究極の分子合成・材料構築というイノベーション創出に向けて、新しい方向性を示すことが出来たと考えている。具体的には、前述した、齊藤尚平研究者の「液晶接着」田中克典研究者の「分子医療」、川井茂樹研究者の「超潤滑」および、宍戸厚研究者の「動的分子配向」など、全く新しい概念の材料・システムを「分子技術」分野において創成できた。

(4) 本研究領域を設定したことの意義、科学技術に対する貢献、問題点等

(研究開始以前と事後評価時点の比較を念頭において)

「分子技術」という言葉は、研究開始以前すなわち戦略目標の設定以前は存在していなかったが、本研究領域の設定後、分子に関する幅広い研究領域を結集する概念として、この分子技術を、わが国の **National Pride** として発展することに注力した。すなわち、言葉は存在していなかったが、その言葉の包含する概念・分野は、学界・産業界においても世界を先導する流れにあった。我が国の分子技術関連分野の基礎レベルが高く、ノーベル賞も分子技術関連のものも多くある。このような物まねではない独創的なイノベーションをさらに進めていくことが重要と考えられた。さらに、産業としても化学産業などの分子技術産業は国際的に強く、我が国の分子技術関連の機能材料産業なくしては、人類が現在使っている情報機器・輸送機器やディスプレイなどの展開・高性能化はなかったといっても過言ではない。また、材料関連の化学産業は輸出総額が輸送機器について 2 番目の産業であり、我が国の繁栄の元となっている。

この状況をさらに発展・展開して、我が国の繁栄と人類への貢献につなげていくために、「分子技術」の設定は時宜を得たものと考えられた。本領域の設定により全体としての位置付けや戦略が明確になった。学問としては、この分子技術により、明確な目標のもとに関連の諸分野の議論・連携に有効なプラットフォームが構築出来た。また、本領域の活動を通して、産業界との共通の問題意識を共有する基盤づくりに成功したと考えている。参加した研究者がメインに活動するフィールドは幅広く多様である。今後の分野横断的な学会連携にも展開していくと確信する。

分子の振る舞いは極めて複雑である。例えば、無数の分子からなる生体において、そこの分子の振る舞いに関して、現在の科学技術では、そのほとんどは説明できていないといっても過言ではない。AI によっても現状では分子材料の物性予測は困難である。

「分子技術」の流れは 5 年では完成しないものである。この流れを続けることを希望しているが、現時点では、この成功した流れが関連の領域として設定されて、つながってい

く状況となっていないことが残念である。本「分子技術」は、総合的に投資効果の極めて高い領域であり、産業の発展にも大きく貢献していることは間違いない。今後の支援を皆様にお願ひするとともに、私の方でも積極的に自分なりに微力ながらその流れを進めていきたいと考える。

(5) 今後への期待、展望

「分子技術」カバーする範囲が、分子を基盤とする技術という基本を踏まえて、物理・化学・生物・工学・材料ときわめて広いことが特徴であり、これは極めて重要であったと考えている。それは、今後、本領域で育った研究者が、それぞれの分野で中核的な存在となり、ネットワークを従来交流のなかった分野間で構築され、環境・エネルギー・デバイス・医療などの分野においてイノベーションが創出されていくことが確信されるからである。

本研究領域は、1期が359名、2期が234名、3期が219名と多数の応募があり、我が国における関連分野の裾野の広さを示している。その中から選んだ43名が、広い分野で活発で独創的な研究展開を行い、本領域の分野のレベルをさらに押し上げることに成功したと考えている。

採択された研究者は、当初は自分の分野の全く狭い範囲しか視野にない研究者も多かった。しかし、幅広い分野をカバーする分子技術のおかげで視野が広まったことも重要であった。多くの優れた共同研究も生まれた。この視野の広がった研究者たちが、今後益々各分野を融合させていく原動力になっていくことを期待する。それが、今後の産学連携・分野連携・学会連携の中核になっていくと確信する。

情報科学、バイオ・医療などの分野も、分子技術の展開なくして本質的なイノベーションに到達しない部分も多く、分子技術がさらに羽ばたいて、人類にとって有用な革新的新領域の創成の核として貢献し続けると考えられる。

(6) 所感、その他

採択や領域会議などの運営、日々の連絡など、多くのエネルギーと時間を割くことになったが、トータルとして大変有意義なものであった。幅広い分野で活躍しているモチベーションの高い研究者と交流し、彼らにアドバイスをしていくプロセスは、極めて楽しく建設的なものであった。短期間であったが、多くの研究者が目に見えて成長していく姿に接することができたのは幸甚であった。

「さきがけ」という仕組みはきわめて優れていると感じる。本領域のさきがけに加わったことで、研究やそれに関連する人脈に極めて広く大きく展開して研究人生が変わったと述懐している研究者は多い。

本研究領域の研究者全員が最後まで「分子技術」を忘れず、残りの研究人生を送ってもらえると望外の喜びである。

領域アドバイザーの先生方の高い視点からの研究者へのアドバイスや指導がなければ、このような大きな研究の進展はなかったと感じており感謝する。

領域運営を献身的に行っていただいた領域担当・技術参事・事務参事の皆様の御支援に心より御礼申し上げたい。本研究領域の立ち上げから展開まで、一貫してご支援いただいた科学技術振興機構の理事長、理事、戦略研究推進部 部長、調査役、CRDS フェローの皆様に深く感謝する。

以上