

(独) 科学技術振興機構
戦略的創造研究推進事業
個人型 (さがけ)

研究領域事後評価用資料

「界面の構造と制御」
(2006-2011 年度)

研究総括 川合 真紀

2012 年 3 月 19 日

目 次

1. 戦略目標	3
2. 研究領域	3
3. 研究総括	3
4. 採択課題・研究費	4
5. 研究領域のねらい	9
6. 研究課題の選考について	9
6－1. 選考の考え方	9
6－2. 応募内容と選考結果	9
6－3. 採択者に期待すること	10
7. 領域アドバイザーについて	11
8. 研究領域の運営の状況について	11
8－1. 採択テーマ、研究者の分布	12
8－2. 研究者の視野を広げるための工夫	12
8－3. 研究進捗状況に応じた積極的支援	14
8－4. 知的財産権活動	16
9. 領域のねらいに対する成果の達成状況	17
9－1. 異分野交流・研究協力への発展	18
9－2. 特許出願・企業との共同研究	21
9－3. 受賞	23
9－4. 研究者の栄転に伴う異動	24
9－5. さきがけ研究修了後の外部資金獲得	25
10. 科学技術上の進歩に資する成果/社会・経済的な価値創出への期待	26
10－1. 基礎科学技術上の進歩に資する成果	26
10－2. 応用科学技術上の進歩に資する成果	30
10－3. 社会・経済的価値創出	32
11. 総合所見	37

1. 戦略目標

戦略目標名：「異種材料・異種物質状態間の高機能接合界面を実現する革新的ナノ界面技術の創出とその応用」

- ①異種材料・異種物質状態間の接合界面として、ナノバイオ医療技術、エレクトロニクス技術、発電・蓄電エネルギー技術などに関連した、生体材料と人工物との接合界面、ソフト材料とハード材料との接合界面（有機物と金属・絶縁体など）、異なる機能材料の接合界面（半導体と金属・絶縁体など）、エネルギー変換と物質移動を伴う固液界面などの高機能化を実現すること。
- ②界面や表面の機能を積極的に利用し、新規反応場や新規プロセスなどの新機能の創製を行うこと。さらに、異種材料の接合の結果生じる分子反応場としての界面の機能を探索すること。
- ③ナノ粒子の生体材料（細胞膜など）の界面上の挙動に関する知見を蓄積すること。

2. 研究領域

研究領域名：「界面の構造と制御」（平成 18 年度発足）

本研究領域は、異種材料・異種物質状態が接する界面に着目し、新たなナノ界面機能や制御技術の創出およびその応用を目指す研究を対象とした。異なる物質系の界面構造や機能を制御し、さらに高付加価値を有する機能を創出するには、最新の分子工学、界面工学、薄膜工学、精密材料創製化学、ナノメカニクス、精密分子操作、表面反応ダイナミクス、精密加工などの分野における、ナノスケールレベルの界面の観測や分析手法の開発およびそれによる知識の蓄積、界面のナノ構造制御技術などが不可欠であり、これら広い観点を背景とした着想をもつ研究を対象とした。

一方、細胞や生体組織などの生体関連物質をデバイスの一部として扱う研究において、界面は重要な機能を担うが、現時点では開拓的な研究分野であり、個人レベルの新しい独創的着想を活かした要素研究なども対象に活動を行った。

平成 18 年 10 月に第 1 期生研究者 14 人の精鋭を集めて発足し、平成 19 年度に第 2 期生研究者 10 名、平成 20 年度に第 3 期生研究者 10 名を加え、計 34 名のバーチャルラボを運営した。

3. 研究総括

川合 眞紀

（理化学研究所 理事 / 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授）

4. 採択課題・研究費

※各研究課題とも3年間の見込みの総額
(百万円)

採択 年度	研究者	所属・役職 上段：研究終了時 下段：応募時	研究課題	研究費 ※
平成 18 年度	大矢 忍	東京大学 大学院工学系研究科 助教 同上 助手	半導体スピンバンドエンジニアリングとデバイス応用	46
	岡田 美智雄	大阪大学 科学教育機器リノベーションセンター 教授 同上 大学院理学研究科 助手	表面化学反応立体ダイナミクスの解明	44
	木口 学	東京工業大学 大学院理工学研究科 准教授 北海道大学 大学院理学研究院 講師	制御された単分子-金属接合系の構築およびその物性制御	41
	齋藤 秀和	産業技術総合研究所ナノスピントロニクス研究センター チーム長 同上 エレクトロニクス研究部門 研究員	強磁性金属/半導体界面制御によるスピントランジスタの創生	34
	佐藤 久子	愛媛大学 大学院理工学研究科 准教授 科学技術振興機構 CREST 研究員	キラル金属錯体ネットワーク膜の製造とVCD/RAS コンカレント測定法の開発	42
	末益 崇	筑波大学 大学院数理物質科学研究科 准教授 同 助教授	機能性ヘテロ界面による Si 系高効率薄膜太陽電池	35
	高田 正基	Max-Planck-Institut fuer Mikrostrukturphysik 研究員 大阪大学大学院基礎工学研究科 特任助手	強磁場走査トンネル分光法による単一分子のスピン計測	45

(百万円)

採択 年度	研究者	所属・役職		研究課題	研究費 ※
		上段：研究終了時	下段：応募時		
平成 18 年度	中西 周次	東京大学 先端科学技術研究センター 特任准教授	大阪大学 大学院基礎工学研究科 助手	興奮性固液ナノ界面での物質ベクトル輸送	45
	Harold Y. Hwang	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授	同上 助教授	静電エネルギーの発散を利用した人工界面相の創成と制御	45
	福井 賢一	大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授	東京工業大学 大学院理工学研究科 助教授	光応答分子探針を利用した界面相互作用の抽出計測	45
	堀 克敏	名古屋工業大学 大学院工学研究科 准教授	同上 助教授	細菌ナノファイバーの構造と接合界面の制御	54
	宮田 隆志	関西大学 化学生命工学部 教授	同上 工学部 助教授	分子応答性材料を用いたインテリジェントインターフェースの創製	41
	叶 深	北海道大学 触媒化学研究センター 准教授	同上 助教授	細胞膜の界面分子構造と機能性の解明	63
	吉田 直哉	東京大学 先端科学技術研究センター 助教	同上 国際・産学共同研究センター 助手	固液界面におけるダイナミックな相互作用の制御	40

(百万円)

採択 年度	研究者	所属・役職 上段：研究終了時 下段：応募時	研究課題	研究費 ※
平成 19 年度	大島 義文	大阪大学 超高压電子顕微鏡センター 特任准教授 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 助教	電極ギャップに発現する単分子ダイナミックス	40
	小笠原 寛人	Stanford University/SLAC スタッフサイエンティスト 同上 線形加速器センター(SLAC) 同上	三相界面の化学組成と電子状態の解明	32
	川崎 忠寛	名古屋大学 大学院工学研究科 助教 同上	ナノ金触媒の反応中における表面・界面構造変化の直視解析	32
	齋藤 彰	大阪大学 大学院工学研究科 准教授 同上 助教	放射光 STM によるナノ構造の分析と制御	39
	柴田 直哉	東京大学 大学院工学系研究科 助教 同上	ナノコヒーレント界面の構造計測と機能設計	43
	竹谷 純一	大阪大学 産業科学研究所 教授 同上 大学院工学研究科 准教授	有機単結晶シートのヘテロ接合による高機能ナノ界面の創製	74
	館山 佳尚	物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクニクス研究拠点 独立研究者 同上 計算科学センター 主任研究員	固液界面酸化還元反応の理論的反応設計技術の構築	27

(百万円)

採択 年度	研究者	所属・役職 上段：研究終了時 下段：応募時	研究課題	研究費 ※
平成 19 年度	新留 琢郎	九州大学 大学院工学研究院 准教授 同上	光・環境-応答型多層界面金ナノロッドの創製	40
	西野 智昭	大阪府立大学 21 世紀科学研究機構 講師 東京大学大学院理学系研究科 助教	分子間トンネル効果顕微鏡による単一分子分析法の開発	40
	渡邊 一也	(2007 年 11 月 1 日研究開始) 京都大学 大学院理学研究科 准教授 自然科学研究機構分子科学研究所 助教	超短パルス光による振動励起を用いた表面反応制御	35
平成 20 年度	安宅 憲一	Freie Universität Berlin シニアサイエンティスト/さきがけ 専任研究者 Universität Bielefeld シニアサイエンティスト	時間分解表面増強赤外吸収分光法による光受容タンパク質単分子膜の動的挙動の解析	43
	生嶋 健司	東京農工大学 工学部 准教授 同上	テラヘルツ波の単一光子検出と近接場センシング	53
	川村 稔	理化学研究所 基幹研究所 専任研究員 同上 研究員	抵抗検出型核磁気共鳴による電子スピン偏極測定法の開発	40
	好田 誠	東北大学 大学院工学研究科 准教授 同上 助教	半導体ヘテロ界面のスピン軌道相互作用制御による電氣的スピン生成・検出機能の創製	46

(百万円)

採択 年度	研究者	所属・役職 上段：研究終了時 下段：応募時	研究課題	研究費 ※
平成 20 年度	田中 裕行	大阪大学 産業科学研究所 助教 同上	単一分子 DNA のナノポアシーケンシング	40
	塚崎 敦	東京大学 大学院工学系研究科付属量子相エレクトロニクス研 究センター 特任講師 東北大学 金属材料研究所 助教	酸化物界面への電氣的・磁氣的機能性の付加と 制御	47
	野村 慎一郎	東北大学 大学院工学研究科 准教授 京都大学 物質・細胞統合システム拠点 特定研究員	高次構造制御による膜タンパク質機能発現リ ポソームの構築	43
	松崎 典弥	大阪大学 大学院工学研究科 助教 同上	ナノ構造制御薄膜を用いた細胞界面の制御に よる組織チップの創製	41
	森 俊明	東京工業大学 大学院生命理工学研究科 准教授 同上	細胞膜表層上のナノ糖鎖の精密集積構造の構 築	47
	山本 貴富喜	東京工業大学 大学院理工学研究科 准教授 東京大学 生産技術研究所 助教	ナノ界面空間での電気二重層制御を利用した 一分子電気インピーダンス計測法の創成	70
			総研究費	1,492

5. 研究領域のねらい

異なる物質相の交わる表面や界面を舞台として、触媒や電池など近代社会の基礎となる重要な産業が生まれた。近代産業の基盤である半導体デバイスもまた、界面機能を集積することにより発達してきた。ナノテクノロジーの発達により、物質材料のナノメートルレベルでの構造制御が可能となり、新たな機能を付加された物質材料が次々と開発されている。さらに、無機材料・有機材料・生体物質といった従来の材料分野を越えて、多種多彩な物質が機能発現の要素材料として扱われるようになってきた。本領域は、このような新しい物質材料開発の潮流に応えるべく、界面をナノメートルスケールで制御することが鍵となる現象の創出や、界面現象を観察するための手法開発などの独創性の高いテーマは特を重要なものと考えて推進した。

本領域では研究者個人の発想に基づく創造的な研究に重点を置いてきたが、一方で、個々の研究者に新しい発見や発明の芽を期待して、異分野の研究者間の交流を推奨した。本領域の研究成果が物質科学の新たなブレークスルーに繋がる役目を担えることを期待し運営した。

6. 研究課題の選考について

6-1 選考の考え方

全ての物質材料の機能発現には界面の存在が大なり小なり影響を与える。界面を積極的に利用した機能もあれば、界面の影響を極力減らすことにより機能を期待する場合もある。界面の構造や状態を観測したり制御したりする技術は、材料科学や生命科学のほとんど全ての先端分野で必要不可欠となりつつある。本領域ではナノメートルスケールの界面観測や分析手法の開発、およびそれらを用いた学術研究、さらには界面のナノ構造制御技術などを中心課題とし、新しい界面機能創出につながる独創的な着想をもつ研究を対象として選考を実施した。

6-2 応募内容と選考結果

[平成 18 年度：第 1 期生] <応募：207 件、面接対象：28 件、採択：14 件>

本研究領域の提案に対し、国公立大学、独立行政法人の研究機関、民間企業等から計 207 件もの応募があった。応募内容は、単分子や単一スピンレベルの分析や分子反応ダイナミクスなど高度な分析手法開発を主体とする研究、半導体スピントロニクスや強相関電子系の界面物性研究、キラルな分子系、インテリジェントゲルなどソフトな分子系界面の研究など、多岐に渡り、界面科学の基本的な共通概念の構築に繋がる研究が提案された。また、細菌の接合や表面の濡れなどのマクロな現象をナノスケールで理解することを目指す研究なども提

案された。これらの応募課題を、領域アドバイザーの協力を得て書面選考ならびに 2 日間にわたる面接選考を行い、14 件を採択した。

選考にあたっては、提案者自身のオリジナリティおよび、物質科学の新たなブレークスルーに繋がり得るかなどを重視して選考したが、面接に残るには約 7 倍、採択されるには約 15 倍の狭き門を通過しなければならないことになった。

[平成 19 年度：第 2 期生] <応募：157 件、面接対象：22 件、採択：10 件>

本研究領域の提案に対し、国公立大学、独立行政法人研究機関、国立研究機関等から計 157 件の応募があった。応募内容は、高度な分析手法による触媒反応現象や界面の分子メカニズムの解明に関する研究、固液界面における酸化還元反応を取り扱うための新しい計算手法の開発、超短パルス光や X 線照射による表面反応制御に関する研究、など、多岐に渡り、界面科学の基本的な共通概念の構築に繋がる研究が提案された。また、ドラッグデリバリーのための新しいナノカプセルや機能性多層ナノロッドの研究、有機電子デバイス創製につながる有機単結晶の界面電子伝導制御に関する研究なども提案された。これらの応募課題より 10 件を採択した。

[平成 20 年度：第 3 期生] <応募：122 件、面接対象：27 件、採択：10 件>

本研究領域の募集に対し、国公立大学、独立行政法人研究機関、国公立研究機関等から計 122 件の応募があった。応募内容は、生体高分子の単分子計測や界面電子スピン状態計測あるいはテラヘルツ波近接場イメージングなど高度な計測・分析手法の開発を主体とする研究、タンパク質単分子膜の動的挙動解析や酵素反応メカニズムの原子・分子レベルでの解明に関する研究、半導体や強相関電子系の界面物性研究など、多岐に渡り、界面科学の基本的な共通概念の構築に繋がる研究が提案された。また、リポソーム脂質膜への膜タンパク質挿入による機能化や生体類似組織チップの開発に関する研究など、将来の医学への応用を目指した研究も提案された。これらの応募課題より 10 件を採択した。

6-3 採択者に期待すること

本研究領域は、材料・生命科学の広範な研究分野を対象としているので、応募された研究内容も多く、学際分野にまたがっている。今回採択されなかった課題の中には、面接に選ばれなかった課題を含めて多くの非常に興味深い提案があったことは言うまでもない。この領域では、研究者個人の発想に基づく創造的な研究に重点を置いて選考を行ったが、領域活動では、異分野の研究者間の交流を奨励し、日常の学術研究活動では接点の少ない分野の考え方などを通じて新しい発見や発明が生まれることを期待した。この領域が物質科学の新たなブレークスルーに繋がる役目を担えることを期待している。

7. 領域アドバイザーについて

本領域の研究内容は大別すると、①表面や界面の観測手法の開発、②デバイスや検出システムの開発、③新奇材料開発、④生体界面の機能創出（バイオ）、⑤理論（界面）、の5つのカテゴリーに分類できる。領域アドバイザーの人選に当たっては、これら広い研究範囲をカバーするために、専門分野や研究テーマのバランスを十分に考慮し、物理、化学、工学、生命科学の分野で豊富な知識と経験を有する研究者に就任を依頼した。本領域の研究者にとっては、専門分野からの指摘を受けられると共に、多彩なアドバイザー群により異なる研究分野からも助言を受けることができ、ここでの研究推進に大いに役立った。

○領域アドバイザー一覧

氏名	所属	現役職	任期
荒川 泰彦	東京大学 生産技術研究所	教授	平成 18 年 4 月～平成 24 年 3 月
猪飼 篤	東京工業大学 イノベーション研究推進体	特任教授	平成 18 年 4 月～平成 24 年 3 月
小野 崇人	東北大学 大学院工学研究科	教授	平成 18 年 4 月～平成 24 年 3 月
片岡 一則	東京大学 大学院工学系研究科	教授	平成 18 年 4 月～平成 24 年 3 月
新海 征治	崇城大学 工学部	教授	平成 18 年 4 月～平成 24 年 3 月
高柳 英明	東京理科大学 理学部	教授	平成 18 年 4 月～平成 24 年 3 月
多田 博一	大阪大学 大学院基礎工学研究科	教授	平成 18 年 4 月～平成 24 年 3 月
塚田 捷	東北大学 原子分子材料科学高等研究機構	教授	平成 18 年 4 月～平成 24 年 3 月
野地 博行	東京大学 大学院工学系研究科	教授	平成 18 年 4 月～平成 24 年 3 月
福谷 克之	東京大学 生産技術研究所	教授	平成 18 年 4 月～平成 24 年 3 月
松本 吉泰	京都大学 大学院理学研究科	教授	平成 18 年 4 月～平成 24 年 3 月

平成 24 年 2 月 1 日現在

8. 研究領域の運営の状況について

本研究領域では採択時に、表面界面の化学や物理、界面の機能創出としてのデバイスや検出システムの開発、および生体界面の機能創出などの研究分野で、斬新な着想の研究テーマ、個性豊かなテーマ、材料開発で新しい研究分野を開くテーマなどの採択に考慮した。挑戦的で想像力豊かな研究者 34 名がバーチャルラボを構成し研究を進めたが、運営に当たっては研究者同士が直接的に刺激し合うこと、相互交流・協力の成果が生まれること、研究の視野を広げること、などに心掛けた。

8-1. 採択テーマ、研究者の分布

提案内容と個人の資質を顧慮して選考を行ったが、採択テーマは戦略目標に即して、“表面界面観測手法開発”（①⑤：18件）と、“界面機能の応用開発”（②③④：16件）がバランスの良い比率となっている。研究者の所属機関も偏ることなく多くの国内研究機関から採択され、さらに海外研究機関からの採択も2件あった。

（1）採択テーマ分布

①表面や界面の観測手法の開発	： 17件（7件、7件、3件）
②デバイスや検出システムの開発	： 9件（4件、1件、4件）
③新奇材料開発	： 3件（2件、1件、0件）
④生体界面の機能創出（バイオ）	： 4件（1件、0件、3件）
⑤理論（界面）	： 1件（0件、1件、0件）

*（）内：各期の件数、第1期、第2期、第3期、の順に記載

（2）採択研究者の所属機関分布

大学等：北海道大学、東北大学、筑波大学、東京大学、東京農工大学、東京工業大学、分子科学研究所、名古屋工業大学、京都大学、大阪大学、関西大学、九州大学

公的研究機関：理化学研究所、物質・材料研究機構、産業技術総合研究所

海外研究機関：Stanford University（米国）、Universitat Bielefeld（独国）

（3）理論研究者の採択

戦略目標である“異種材料・異種物質状態間の高機能接合界面を実現する”には実験と理論の協調が必要であり、“革新的ナノ界面技術の創出とその応用”には異分野の研究者間の交流が必要である。その為、研究テーマには理論テーマの配置を図ることとし第二年度（平成19年度）に1名の採択を行った。

＜採択された理論研究者＞

第2期生 館山佳尚 研究者

研究課題：「固液界面酸化還元反応の理論的反応設計技術の構築」

8-2. 研究者の視野を広げるための工夫

研究者が己の狭い学術分野に閉じこもることなく、広く科学技術の考え方に触れることは将来にとって有益である。異なる学際分野の研究者間の交流を常に促すよう図ると共に、研究協力・共同研究に発展し個々人では成しえない研究成果に結び付けられることを促した。さらに、アドバイザーの協力を得て領域会議特別講演を催し、領域研究者のロールモデルとも言える領域アドバイザー

や研究総括が一研究者の立場から自らの研究について講演し、領域会議でのディスカッションの発展に帰した。また、CREST 研究領域との合同領域会議、さきがけ研究領域との合同研究終了報告会を開催し領域外研究者との交流を促進した。

(1) 研究協力促進、共同研究への発展

本領域は特に広い学際分野から研究者が集まっているので、通常参加する学会などでは出会う機会のない異分野の若手研究者との交流が促進できたことは大変有意義であった。また、物理、化学、工学、生命科学などの既存の学際分野の枠組みを越えて、本領域独自の5つのカテゴリーに分類したことで、表面界面、デバイス・検出、生体界面、材料、理論という枠組みの下で各研究者が、各々の研究分野ではあまり気にしていなかった点を互いの議論の中から気づくなど、近い分野の研究者間でも新たな発見があった。それらの成果は、共同研究、共著論文の発表などに発展している。(成果詳細：9-1章、9-2章 参照)

(2) 領域会議(1泊2日の宿泊形式；年2回、計10回開催)

さきがけ領域会議はクローズドで、研究内容の詳細や開発段階の研究内容も披露されるので、新たな発想、共同研究に繋がるきっかけを掴みやすい。これは、さきがけ事業ならではの特徴である。領域会議毎にサマリーとして、研究総括が研究者の寸評を披露し、研究者の現状立ち位置を認識させると共に激励を図った。また、研究進捗に対する総括やアドバイザーからの指導・激励と共に、研究者同士の議論が活発に行われるよう心懸けた。この事により、領域会議で研究者間の活発な議論が展開され、多くのアイデア発掘、共同研究に結びついた。

また、さきがけ研究者が次のステージとして目指す大型研究にCRESTがあるが、領域会議をCREST「ナノ界面技術の基盤構築」研究領域との合同で開催したところ、さきがけ研究者が臆することなく対等に渡り合うなど、その存在感を主張できたのも成果の一つである。

(3) 成果発表会

① 3領域合同シンポジウム

研究内容が比較的近い分野のさきがけ研究領域が、研究交流による一層の相乗効果を目指して合同研究報告会を開催した。サイエンスの深耕やテクノロジーの先進化、そしてイノベーションへの昂揚が喚起され、その後の交流、共同研究、研究ファンド獲得に結びついた。

② 領域終了シンポジウム

本領域は、界面科学に関する広範な研究課題に多くの成果を上げてきた。

研究領域活動最後を締めくくるものとして、最終年度に当研究領域研究者全員による「計測・デバイス・生体界面の分野横断と新展開」のテーマで研究発表を行った。

③国際シンポジウム

国内外の研究状況を把握した上で、研究の幅をさらに広げることを目指して「界面の構造と制御」をテーマとした国際ワークショップを、Max Plank Gesellschaft Flitz Haber Institute の協力を得、ドイツ・ベルリンにおいて開催する予定である。界面科学は日独両国において精力的な研究が進められているが、さきがけ終了後の研究の国際レベルでの発展・飛躍を図ると共に、2011 年が日独修好 150 周年を迎えた記念の年であった事も踏まえ、両国の次の 150 年を見据える若手世代の研究交流、国際ネットワークの構築を図るものとして開催する。

[領域会議、研究終了報告会での主な特別講演]

MEMS関連特別講演	小野崇人 領域アドバイザー(第9回領域会議:平成23年6月)
	江刺正喜 (外部招聘)(第3期生研究終了報告会:平成24年1月)
理論関連特別講演	塚田捷 領域アドバイザー(第3期生研究終了報告会:平成24年1月)
ナノバイオ関連特別講演	野地博行 領域アドバイザー(第1期生研究終了報告会:平成22年1月)

[研究終了報告会]

JSTさきがけ3研究領域合同 公開シンポジウム 「もう一つ先の世界を求めて」 ～先端化と融合化の調和～ 「ナノ製造技術の探索と展開」研究領域 「界面の構造と制御」研究領域 「物質と光作用」研究領域 開催日:①平成22年1月/②平成23年1月	JSTさきがけ「界面の構造と制御」研究領域 公開シンポジウム 「界面科学のフロンティア」 計測・デバイス・生体界面の分野横断と新展開 開催場所:東北大学・片平さくらホール 開催日:平成24年1月5日
--	--

[さきがけ研究成果の世界発信とJSTさきがけ制度アピール(予定)]

日本-ドイツ国際シンポジウム「界面の構造と制御」 German-Japanese International Symposium “Structure and Control of Interfaces” 開催場所:独 Magnus-Haus Berlin, Berlin, Germany 開催日:2013年1月9日-11日

8-3. 研究進捗状況に応じた積極的支援(研究環境整備支援、研究加速、震災対応)

研究開始時に、研究総括は技術参事と共に全ての研究者を訪問し、設備を含めた研究環境を直接確認しつつ、研究の進め方についてヒアリングを行った。さらに、必要に応じて技術参事が別途研究者を訪問し研究者と密に接することにより、研究遂行上の問題点をきめ細かく把握した上で、必要な措置を速やかに実行した。

また、当初計画を上回る進展がみられた研究テーマについては、技術参事が領域会議の議論や半期進捗報告内容などをもとに研究者と密に連絡を取り、研究計画の修正の必要性等を抽出し、研究総括と相談の上的確なテーマ設定、費用の増額などを措置した。

一方、栄転に伴う異動も多く、同一研究機関内での栄転も含めると全研究者 34 名中 7 割弱に相当する 23 名がさきがけ採択後に栄転した。これらの異動に伴い新しい研究環境を立ち上げるために必要となった費用の支援に積極的に取り組んだ。異動に伴い生じるであろう手間や研究に対する負の影響を出来る限り短縮できるように努めた。

以上に加え、東日本大震災により研究遂行が困難になるほどの被害を被った研究者に対して、計画実行上支障のない程度までの支援も実施した。

(1) 研究開始時の環境整備・・・生嶋健司研究者（第3期生）

研究開始時には全ての研究者の所属機関を訪問し、設備を含む研究環境を確認し研究の進め方についてのヒアリングを行った。その中で、生嶋研究者は開始時が所属機関の移転の時期にあたっていたために、様々な環境整備が必要であった。訪問時に“テラヘルツ顕微鏡システム導入に伴う天井工事”の必要性を確認したので、研究費を追加配分した。

(2) 研究加速・・・竹谷純一研究者（第2期生）

「イオン液体」と高移動度のルブレノ有機単結晶のヘテロ界面を利用することで、有機半導体の電界効果としては最高の増幅特性(trans-conductance: 20 μ S)を達成した。この成果を受け、固体液体界面近傍で実現する新たな電子状態を利用する物質開発をより効率的に進めるために研究費を追加配分した。本措置により加速された研究の成果は論文3件にまとめられ、それぞれ高い評価を得ている。(成果詳細：10-3. ④章 参照)

(3) 震災に伴う研究期間延長・・・好田誠研究者（第3期生）

研究室（東北大内）が所属する研究科の建物が深刻な被害にあい、危険建物として立入禁止措置がとられた。そのため、実験研究が6ヶ月間実施できないことになった好田研究者はその間を利用して理論的な側面からの研究を継続して成果を挙げ続けることはできたものの、実験研究は停止を余儀なくされた。代替実験室は無事に設置されることとなったが、計画されていたさきがけ研究を完了するために研究期間を延長（6ヶ月）することとした。

(4) 震災に伴う破損設備支援・・・山本貴富喜研究者（第3期生）

東京都内においても、研究実施場所の建物の状況などで大きな被害が出たところがある。山本研究者の所属する東京工業大学の大岡山キャンパスでも、多くの装置が被災した。震災後に山本研究者は、近隣研究機関の設

備を借用することで対応をしてきたが、主要設備「レーザー顕微鏡システム」については代用品が見つからず急遽新規購入を検討せざるを得なくなった。その費用を追加配分した。新規装置を用いた成果は興味深いもので、分子量が小さい程シグナルが増幅されるという、常識とは逆の特徴を備えた独創的な測定系を完成させることができた。本測定系は、これまで困難であった“分子量の小さい生体分子”の伝導率・誘電率の超高感度測定、反応毎の微弱電流解析による高分子残基の個別同定、などを可能とするもので、タンパク質や高分子の構造解析への応用が期待できる成果となった。

(成果詳細：10-2. ③章 参照)

○主な支援内容一覧

(1) 研究環境整備	
生嶋 健司	さがけ研究開始に伴う研究環境整備 テラヘルツ顕微鏡システム導入に伴う天井工事費用支援 (クライオスタットに挿入して実験を行うためには天井高さが1m不足)
塚崎 敦	東北大学から東京大学への異動に伴う環境整備 さがけ研究費で購入した酸化物分子線エピタキシー装置等の精密実験装置の解体・移動・設置費用
(2) 研究加速	
堀 克敏	高付着性の <i>Acinetobacter</i> 属細菌の全ゲノム決定にかかる費用の追加配分
竹谷 純一	研究進展に伴い物質開発を効率的に進めるための高感度磁化率測定装置の導入費用の追加配分
山本 貴富喜	当初研究計画の前倒し達成に伴い更なる成果創出に向けた電子ビーム描画装置導入費用の追加配分
(3) 震災対応	
好田 誠	実験研究中断に伴う研究期間延長
山本 貴富喜	破損したレーザー顕微鏡システムの導入費用の追加配分

8-4. 知的財産権活動

本領域の研究は“革新的ナノ界面技術の創出とその応用”を目指すもので、実用化までを見据えた知的財産権活動も重要である。技術参事を中心に、発明の発掘、出願戦略の立案に積極的に取り組み、研究者が知的財産権取得に向けての意識をもてるように努めた。特許出願に関する考え方ならびに技術参事の役割を下記に示す。

＜特許出願に関する考え方＞

研究者との検討を経て発明が特許性（新規性、進歩性及び産業利用上の可能性）を有していると判断されたものについて下記の考え方のもとに出願する。

- （１）国内出願：“さきがけ”のような基礎研究は必ずしも十分な市場性（経済性）が見通せず、現時点で市場性（経済性）見積もりは難しいが、“研究を事業化するためのマインド養成、ならびに、知的財産権確保意識の昂揚のため積極的に知的財産権化することを推奨する。
- （２）外国出願：下記条件のうち最低１つを満たしているものを対象として審査委員会に諮り外国出願申請を行う。
 - ①戦略的出願：実用化されれば産業・社会的に影響大なる可能性を有するもの
 - ②さきがけ研究者起業支援：研究者自ら当該発明を使った製品化による起業を目指しているもの
 - ③企業等が発明の製品化を志向しているもの

＜技術参事の役割＞

- （１）発明発掘（研究者及び技術参事）

ポイント１：研究開始直後

提案された研究課題には重要かつ基本的な発明が多く含まれている。技術参事は研究者から研究課題についての解説を受け、その中に含まれる発明を発掘する。

ポイント２：注目すべき実験結果・アイデア等が得られた時点

日頃から特許マインドの育成に努め、研究者からのタイムリーな報告の習慣付け。

- （２）弁理士選定（技術参事）

（１）によって発掘された発明分野にふさわしい弁理士を選定。

- （３）特許性の検討及び出願作戦の立案（弁理士、研究者及び技術参事）

弁理士による発明者インタビュー及び技術参事を交えた出願作戦の検討・立案

9. 領域のねらいに対する成果の達成状況

本研究領域では研究者の自由な発想による研究を推進することと並行して、個人では得難い新たな付加価値を生み出すことを目指していくつかの試みを行った。特に、界面計測を専門とする研究者とデバイス研究や生体科学研究を専門とする研究者との間での交流や協力関係の構築に心がけた。さらに、本領域の研究活動により得られた研究成果のうち、特に実用化の可能性ある発明が含まれるものについては特許出願を積極的に促進した。

このような領域運営の方針を反映して、新たなテーマの着想や革新的な技術展

開の方向付けが成されると共に、多くの研究協力が形成された。また、実用化が見込まれる研究については、戦略的・集中的に特許出願が行われ、数多くの企業との共同研究が生まれている。以上の結果は、領域研究者の多数の受賞や栄転したこと、さらには、研究終了後に大きな外部資金の獲得に成功したことにも結びついている。

9-1. 異分野交流・研究協力への発展

領域会議などでの議論を契機に多くの異分野交流が生まれ、共同で研究を進める研究協力も現れた。当研究領域では多様な計測技術の研究者を中心に、デバイス・検出システムや新規材料開発、生体界面の研究者がミックスされており“異分野のアイデアを融合”することによる新たな研究展開が促進され、本領域の大きな特徴のひとつとなった。さらに、他領域や国内外研究機関との共同研究にも発展している例が見られる点も特筆すべきであろう。

領域内異分野交流・研究協力

① 界面計測における研究協力：叶深研究者/吉田直哉研究者

叶研究者と吉田研究者は、表面機能として親水性・疎水性の2種類のシランを作り分ける技術を利用して、混合自己組織化単分子膜（混合 SAM; Self-Assembled Monolayer）を作成し、それぞれの SAM への取り込まれ方の違いやその表面の状態を共同研究した。吉田研究者が材料を提供し、叶研究者が開発した和周波発生分光法(SFG)や X 線光電子分光法(XPS)等により表面物性を評価した。その結果、親水性のシランの方が混合 SAM への取り込みの早いことや、水中での測定から、作製した混合 SAM の帯電状態の pH 依存性を明らかにするなどの成果が得られ、共著の論文としてまとめた。

(関連論文)

Y. Tong, E. Tyrode, M. Osawa, N. Yoshida, T. Watanabe, A. Nakajima, and S. Ye, "Preferential Adsorption of Amino-Terminated Silane in a Binary Mixed Self-Assembled Monolayer", *Langmuir* **27**, 5420-5426.(2011)

② 界面計測（SFG 分光法）と生体界面研究：叶深研究者/松崎典弥研究者

叶研究者は、細胞積層法の研究を行っている松崎研究者と協力し、人工細胞膜の基板である高分子電解質多層膜の界面構造を解析した。正電荷及び負電荷をもつ高分子電解質分子を交互に析出させる（Layer-by-Layer, LbL）過程で薄膜の界面分子構造がどのように変化するかを和周波発生（SFG）分光法により詳しく観察した結果、膜内の混合が進行している可能性をはじめて観測するなど、LbL 法で作製された高分子電解質薄膜の応用に重要な知見を与える成果が得られた。本共同研究は、北海道大学触媒化学研究センターの

共同利用研究テーマとして採択された。現在、論文作成に向けて引き続き共同研究が進められている。

③ 界面計測(スペクトル測定)とデバイス研究：渡邊一也研究者/竹谷純一研究者

竹谷研究者が開発した有機デバイス（有機 FET）の動作条件下における電荷変調吸収スペクトル測定を渡邊研究者が行い、キャリア（正孔）の可視・近赤外領域電子スペクトル観測に成功した。その成果は、下記学会発表をはじめ計4件の発表に結びついている。

（関連学会発表）

石野 雄太、宮田 潔志、渡邊 一也、三輪 一元、植村 隆文、竹谷 純一、松本吉泰、“過渡吸収分光によるジナフトチエノチオフェン(DNTT)固体の電子励起状態ダイナミクス”、第5回分子科学討論会 2011 札幌（2011）

④ 界面計測（電子顕微鏡）とデバイス研究：柴田直哉研究者/塚崎敦研究者

柴田研究者は、断面透過型電子顕微鏡(TEM)評価技術の開発を行っており、その最適な評価対象として、塚崎研究者の作製する高品質酸化物界面を評価している。一方で塚崎研究者は断面 TEM により得られる観測データを元に界面形成の方針を得ており、界面計測とデバイス研究の密な相互協力が行われている。その成果は、下記学会発表等に現れはじめていると共に、柴田研究者が、修了後に次のさきがけに採択された研究テーマ（原子分解能電磁場計測電子顕微鏡法の開発と材料相界面研究への応用）を着想する契機となった。

（関連学会発表）

塚崎敦、柴田直哉、幾原雄一、川崎雅司、永長直人、十倉好紀、“Co 添加 ZnO 系ヘテロ構造における異常ホール効果の観測”、東京大学低温センター研究交流会（2012）

⑤ 電気化学と生体界面研究：中西周次研究者/堀克敏研究者

中西研究者は、領域での議論を通して同期生の堀研究者（専門：微生物付着性ファイバー）の研究に着目した。中西研究者は専門の電気化学の技術と考え方と、堀研究者の研究対象とを融合させ、「微生物付着性ファイバーの電気化学特性と電気-化学エネルギー変換」に関する共同研究を開始した。さらにこの共同研究を進めて「微生物代謝の電気化学制御」という新しいコンセプトを提案し、下水排水からのエネルギー・有価物質の収集を目指した研究を展開している。

（関連学会発表）

1. 劉歆, 石川聖人, 松田翔一, 河合知之, 堀克敏, 中西周次, 橋本和仁、“3D21 超高付着性トルエン分解菌 *Acinetobacter* sp. Tol5 株からの電流生成”、電気化学 78 回大会（2011）

2. 木元裕紀, 劉歆, 松田翔一, 石川聖人, 中西周次, 堀克敏, 橋本和仁、“2D03

高付着性細菌 *Acinetobacter* sp. Tol5 株の電流生成能の電極電位依存性”、
2011 年電気化学秋季大会 (2011)

⑥ デバイス研究における研究協力：川村稔研究者/好田誠研究者

川村研究者は、電子スピン操作の研究を行っている好田研究者との議論の中で、InGaAs 系試料の電子スピン偏極を、自身の抵抗検出型核磁気共鳴法によって測定できないかという着想に至り、現在好田研究者からの試料提供を受け、超微細相互作用の共同研究を開始している。

さきがけ他領域との共同研究

佐藤久子研究者は、さきがけ「構造制御と機能」領域の棚谷綾研究者(お茶の水女子大学准教授)の新開発材料サンプルを膜で振動円二色性 (Vibrational Circular Dichroism; VCD) 測定を行い、世界で初めて有機オリゴマーの螺旋の向きを決定することに成功した。

(関連論文)

M. Kudo, T. Hanashima, A. Muranaka, H. Sato, M. Uchiyama, I. Azumaya, H. Kagechika, and A. Tanatani, “Identification of Absolute Helical Structures of Aromatic Multi-layered Oligo(*m*-phenylurea)s in Solution”, *J. Org. Chem.* **74**, 8154-8163 (2009)

CREST 研究領域との共同研究

木口学研究者は、CREST 領域との合同報告会において東大の藤田誠教授と知り合い、藤田研の超分子と木口研の単分子計測を融合し、 π スタック系の電子伝導特性に関する共同研究を展開した。

(関連論文ならびに学会発表)

1. M. Kiguchi, T. Takahashi, Y. Takahashi, Y. Yamauchi, T. Murase, M. Fujita, T. Tada, and S. Watanabe. "Electron Transport through Single Molecules Comprising Aromatic Stacks Enclosed in Self-assembled Cages", *Angew. Chem. Int. Ed.* **50**, 5708-5711 (2011)
2. 木口 学、高橋 雄太、高橋 拓也、山内 祥弘、村瀬 隆史、藤田 誠、“26aWX ピラー型かご状単分子接合の電気伝導度の分子サイズ依存性”、*Meeting abstracts of the Physical Society of Japan* **65**, 884 (2010)
3. 高橋 拓也、木口 学、山内 祥弘、村瀬 隆史、藤田 誠、“23aGL-3 Au 電極に架橋したピラー型のかご状単分子の電気伝導特性”、*Meeting abstracts of the Physical Society of Japan* **65**, 959 (2010)

国内外研究機関との共同研究への発展

松崎典弥研究者は、さきがけ研究の成果を元に「最先端・次世代研究開発支援プログラム」に採択されると共に、現在、国内 26 研究機関、海外 4 研究機関と共同研究を強力に推進している (成果詳細：10-3. ⑤章 参照)

9-2. 特許出願・企業との共同研究への発展

本領域で得られた研究成果のうち、実用化に向けた応用が期待できる発明が含まれるものについては、前述の「特許出願に関する考え方」に沿って積極的に特許出願した。中でも特に産業利用上のインパクトが高い発明が含まれるものについては、技術参事を中心として周到な特許戦略の立案をサポートし、当該技術分野の基本特許を含めた包括的な特許出願が行われた。

その結果として、領域全体の特許出願件数は、84 件（国内 56 件/外国 28 件）に達した。また出願した技術成果を基に、関連企業との共同研究へと発展しているケースが多数生まれている。

○代表的な特許出願一覧

研究者氏名	主な技術名	主な産業応用分野	特許出願件数
末益 崇	シリコンをベースとする高効率太陽電池およびその製造方法	次世代高効率太陽電池	7 件 (国内 3/外国 4)
堀 克敏	微生物に対して非特異的付着性及び／又は凝集性を付与又は増強する方法及び遺伝子	バイオリアクター等環境分野	8 件 (国内 1/外国 7)
宮田 隆志	分子応答性ゲル微粒子およびその製造方法ならびにその利用	ドラッグデリバリーシステム (DDS) 等医療分野、センサー等環境分野	11 件 (国内 4/外国 7)
竹谷 純一	有機半導体素子及び有機半導体素子の作製方法	環境低負荷型の次世代エレクトロニクス材料	10 件 (国内 8/外国 2)
新留 琢郎	金ナノロッド/金微粒子の製造方法およびその用途	DDS、経皮ワクチンシステム	9 件 (国内 9/外国 0)
好田 誠	量子ポイントコンタクトを用いたスピン偏極電流によるスピン整流効果の発生方法	スピン生成・制御・検出を融合した能動スピン制御素子	9 件 (国内 9/外国 0)
松崎 典弥	細胞の三次元構造体	マイクロ組織チップ等再生医療、創薬分野	12 件 (国内 7/外国 5)
山本 貴富喜	サンプル溶液処理装置	モバイルウイルスセンサー、環境センサー	7 件 (国内 5/外国 2)

平成 24 年 2 月 1 日現在

企業との共同研究への発展

- ① 末益崇研究者は、さきがけ研究テーマである「バリウムシリサイド系半導体太陽電池」のプロトタイプの動作実証に成功すると共に、製造方法に関する基本特許をはじめ、ドーピング技術、トンネル接合技術に関する 7 件の特許出願を行った。

本成果をもとにした次世代の高効率薄膜太陽電池の実用化に向けて、関連企業との共同研究を開始している。(成果詳細：10－3．①章 参照)

- ② 堀克敏研究者は、微生物細胞に遺伝子を導入することにより微生物に固体表面付着性と自己凝集性を付与する画期的技術確立し、本技術を粘着性細菌ナノファイバーの蛋白質、遺伝子とその利用技術に関する発明として計8件の特許出願を行った。本成果の応用が期待される環境浄化やバイオリクター関連企業との共同研究を開始している。(成果詳細：10－3．②章 参照)
- ③ 宮田隆志研究者は、分子応答性を示すナノ粒子やゲル薄膜の合成方法を確立し、これに関する11件の特許出願を行った。本成果をもとに、ドラッグデリバリーシステム(DDS)や診断センサーへの応用に向けて、関連企業との共同研究を開始している。(成果詳細：10－3．③章 参照)
- ④ 竹谷純一研究者は、溶液を塗布して結晶化させた新しい有機半導体界面を形成することによって、産業界で期待されていた高移動度有機半導体の作製に成功した。多数のデバイスを一度に作製するプロセス開発も併せて行い、高いスループットかつ環境低負荷型のエレクトロニクスへのブレークスルーを実現した。これらの技術に関して10件の特許を出願し、関連企業との共同研究が行われている。なお本技術は「塗れるトランジスタ」として、日本経済新聞による2011年度技術トレンド調査において、iPS細胞の研究などを抑えて首位を獲得している。(成果詳細：10－3．④章 参照)
- ⑤ 山本貴富喜研究者は、ナノ流路とナノ電極から構成されるデバイスを作製し、1分子レベルでの分子の分離・分画を実現する1分子ソーターの手法を確立した。本デバイスの製造方法をはじめ、微細構造を有する基板の接合方法やシリコン樹脂と非シリコン樹脂との接着方法を含めて計7件の特許出願を行い、現在、関連企業との共同研究を開始している。(成果詳細：10－2．③章 参照)

9-3. 受賞

本領域の研究成果は外部表彰にも顕著に現れている。日本 IBM 科学賞、日本化学会進歩賞をはじめとして数多くの学会・企業等から表彰を受けている。領域全体の外部表彰件数は 29 件であった。

○主な受賞一覧

研究者氏名	受賞名	受賞題目
Harold Y. Hwang	日本 IBM 科学賞(物理部門)	遷移金属酸化物ヘテロ構造における界面電子物性の開拓
松崎 典弥	日本化学会進歩賞	ナノ構造高分子材料による細胞操作と生体組織モデルの構築
柴田 直哉	本多記念研究奨励賞	原子分解能電子顕微鏡を用いたセラミックス界面の局所構造解析
齋藤 秀和	文部科学大臣表彰若手科学者賞	新規強磁性半導体を用いたデバイス応用に関する研究
好田 誠	本多記念会原田研究奨励賞	半導体における電氣的スピン注入・スピン制御に関する研究
木口 学	日本物理学会若手奨励賞	金属表面を利用した新規ナノ構造の作製および新たな表面・界面物性の探索
中西 周次	電気化学会進歩賞・佐野賞	電気化学における非線形ダイナミクスによる自己組織化と微視的秩序構造形成
大島 義文	日本顕微鏡学会学会賞(瀬藤賞)	超高真空透過型電子顕微鏡を用いたナノ物性計測手法の開発と応用
西野 智昭	日本分析化学会奨励賞	分子探針を用いた走査型トンネル顕微鏡による単分子分析法の開発

平成 24 年 2 月 1 日現在

9-4. 研究者の栄転に伴う異動

領域研究者 34 名中 23 名（うち所属機関の異動を伴うもの 14 名）がさがけ研究開始後に栄転した。特に採択時には教授は 0 名であったが、現時点において 8 名の教授を輩出したことが特筆される。

○栄転状況一覧

職名	採択時	現在	増減
教授	0	8	+8
准教授（助教授）	10	14	+4
助教（助手）・講師	16	6	-10
(独法)チームリーダー等	0	3	+3
研究員等	8	3	-5
合計	34	34	—

（平成 24 年 2 月 1 日現在）

○教授への栄転者一覧

研究者名 (さがけ期間)	さがけ開始時所属	昇格後の所属
福井 賢一 (2006/10-2010/3)	東京工業大学大学院理工学研究科 助教授	2008/4 大阪大学大学院基礎工学 研究科 教授
宮田 隆志 (2006/10-2010/3)	関西大学工学部 助教授	2008/4 関西大学化学生命工学部 教授
岡田 美智雄 (2006/10-2010/3)	大阪大学大学院理学研究科 助手	2008/7 大阪大学科学教育機器リ ノベーションセンター 教授
Harold Y. Hwang (2006/10-2010/3)	東京大学大学院新領域創成科学研 究科 助教授	2009/2 東京大学大学院新領域創 成科学研究科 教授 2010/10 Professor, Stanford University/SLAC
佐藤 久子 (2006/10-2010/3)	東京大学 客員研究員 (JST さがけ専任研究者)	2009/4 愛媛大学大学院理工学研 究科 准教授 2010/4 同 教授
末益 崇 (2006/10-2010/3)	筑波大学大学院数理物質科学研究 科 助教授	2010/4 筑波大学大学院数理物質 科学研究科 教授
竹谷 純一 (2007/10-2011/3)	大阪大学大学院工学研究科 准教授	2010/4 大阪大学産業科学研究所 教授
堀 克敏 (2006/10-2010/3)	名古屋工業大学大学院工学研究科 准教授	2011/4 名古屋大学大学院工学研 究科 教授

（異動時期順、平成 24 年 2 月 1 日現在）

9-5. 研究修了後の外部資金獲得状況

さきがけ研究の成果を下に、研究終了後に大きな外部資金を獲得した研究者が多いのも、本領域の特徴である。主な外部資金の例（さきがけ研究者が研究代表者として獲得したケース）を下記に示す。「最先端・次世代研究開発支援プログラム」に4名が採択されたことは特筆に値する。「NEDO ナノテク・先端部材実用化研究開発」、「CREST」、「さきがけ」等の大型の研究資金を得て当領域での研究を飛躍させている研究者が多いことも特徴である。

○主な外部資金獲得状況（研究代表者）

最先端・次世代研究開発支援プログラム（4件）	
齋藤 秀和	スピントロニクス技術を用いた超省電力不揮発性トランジスタ技術の開拓（2011-2014年度）
福井 賢一	エネルギー変換場としての界面電気二重層の分子論的描像の解明とその応用展開（2011-2014年度）
堀 克敏	バクテリオナノファイバー蛋白質の機能を基盤とする界面微生物プロセスの構築（2011-2014年度）
松崎 典弥	1細胞レベルで3次元構造を制御した革新的ヒト正常・疾患組織モデルの創製 *さきがけ期間中に採択（2011-2014年度）
NEDO ナノテク・先端部材実用化研究開発（1件）	
竹谷 純一	革新的な高性能有機トランジスタを用いた薄型ディスプレイ用マトリックスの開発（2009-2012年度）
CREST（1件）	
末益 崇	シリサイド半導体 pn 接合による Si 系薄膜結晶太陽電池（2010-2015年度）
さきがけ（2件）	
柴田 直哉	原子分解能電磁場計測電子顕微鏡法の開発と材料相界面研究への応用（2011-2014年度）
館山 佳尚	第一原理統計力学による太陽電池・光触媒界面の動作環境下電荷移動・励起過程の解明（2011-2014年度）

平成 24 年 2 月 1 日現在

1 0．科学技術上の進歩に資する成果、社会・経済的な価値創出への期待

1 0－1．基礎科学技術上の進歩に資する成果

本研究領域では、界面をナノメートルスケールで制御することが鍵となる現象の創出や、界面現象を観察するための手法開発などの独創性の高いテーマを特に重要なものと考えて推進したが、これらの研究テーマから、基礎科学技術上有用な多くの成果が得られた。

① 木口学研究者（第1期生）

木口研究者は、金属-分子接合部位の探索を精力的に行い、従来から多用されていた Au-S を超える新たな接点構造を作製し、電極に架橋される単分子の状態を明らかにした。その結果、バルクでは絶縁体であるベンゼンが単分子接合下では金属単原子と同程度の高い伝導特性を示すという単分子接合に特徴的な物性の観測に成功するなど注目すべき成果を得た。電極に挟まれた分子の架橋状態と電気伝導度の相関を系統的に調べることで得られたデータは、分子デバイスの基礎となる重要なものであり、また従来 Au-S などに限られていた電極との接合部位を多彩な化学種に広げることを実験的に示す貴重なものである。非弾性トンネル分光により分子の架橋状態を明らかにする研究も、今後の分子デバイスの開発に重要な情報を提示するものである。分子を介しての電気伝導の詳細についても、振動励起や電子正孔対形成との相関など、今後の発展が期待できる。

（関連論文）

1. M. Kiguchi, R. Stadler, I. S. Kristensen, D. Djukic, and J. M. van Ruitenbeek, "Evidence for a single hydrogen molecule connected by an atomic chain", *Phys. Rev. Lett.* **98**, 146802 (2007).
2. M. Kiguchi, O. Tal, S. Wohlthat, F. Pauly, M. Krieger, D. Djukic, J.C. Cuevas, and J.M. van Ruitenbeek, "Highly conductive molecular junctions based on direct binding of benzene to platinum electrodes", *Phys. Rev. Lett* **101**, 046801 (2008)
3. M. Kiguchi, T. Nakazumi, K. Hashimoto, and K. Murakoshi, "Atomic motion in H₂ and D₂ single-molecule junctions induced by phonon excitation", *Phys. Rev. B* **81**, 045420 (2010).
4. M. Kiguchi, T. Takahashi, Y. Takahashi, Y. Yamauchi, T. Murase, M. Fujita, T. Tada, and S. Watanabe. "Electron Transport through Single Molecules Comprising Aromatic Stacks Enclosed in Self-assembled Cages", *Angew. Chem. Int. Ed.* **50**, 5708-5711 (2011)

② Harold Y. Hwang 研究者（第1期生）

Hwang 研究者は、原子スケールレベルで制御された界面を有する遷移金属酸化物ヘテロ構造の作成し、界面二次元電子系の創成を示し、強相関界面という新しい概念を提唱し、また、静電ポテンシャルの界面発散による電子状態の再構成（ポーラーカタストロフィー）の指摘など、遷移金属酸化物の豊かな物性がヘテロ構造の界面において新しい物理と機能を生み出すことを示した。これらは、物性物理学とデバイス工学の融合領域における「遷移金属酸化物ヘテロ構造の界面科学」という新しい研究分野の発展に大きく貢献するものと期待される。

(関連論文)

1. M. Takizawa, Y. Hotta, T. Susaki, Y. Ishida, H. Wadati, Y. Takata, K. Horiba, M. Matsunami, S. Shin, M. Yabashi, K. Tamasaku, N. Nishio, T. Ishikawa, A. Fujimori, and H. Y. Hwang, “Spectroscopic Evidence for Competing Reconstructions in Polar Multilayers LaAlO₃/LaVO₃/LaAlO₃,” *Phys. Rev. Lett.* **102**, 236401:1-4 (2009)
2. Y. Kozuka, M. Kim, C. Bell, B. G. Kim, Y. Hikita, and H. Y. Hwang, “Two-Dimensional Normal-State Quantum Oscillations in a Superconducting Heterostructure,” *Nature* **462**, 487-490 (2009).
3. C. Bell, S. Harashima, Y. Kozuka, M. Kim, B. G. Kim, Y. Hikita, and H. Y. Hwang, “Dominant Mobility Modulation by the Electric Field Effect at the LaAlO₃/SrTiO₃ Interface,” *Phys. Rev. Lett.* **103**, 226802:1-4 (2009)

③ 福井賢一研究者（第1期生）

照射する光の波長によって可逆的な構造変化を起こす光異性化は、分子機械の駆動機構として注目されているが、福井研究者は、このような性質を持つ分子を、走査トンネル顕微鏡の探針として用い、分子の変形によって化学修飾した探針と試料間の化学的相互作用が大きく変化することを利用して化学種の同定を試みた。外部からの光照射により探針先端の化学特性を制御することで探針先端の分子と基板表面の分子との相互作用を変化させ、化学種を識別するという極めてユニークな概念の基盤を示すことに成功した。分子で修飾された探針による局所プローブ観察はこれまで多くあるが、外部摂動（ここでは光反応による構造変化）により分子探針の効果を明確に示した例は初めてである。また、電気化学ポテンシャルを制御して固・液界面での原子間力顕微鏡の高感度出力を可能とする装置(EC-FM-AFM)を構想・完成させたことも大きな成果である。これにより、電極界面に生じる電気二重層の微視的解析に道が拓けた。

(関連論文)

1. D. Takamatsu, K. Fukui, S. Aroua, and Y. Yamakoshi: "Photoswitching Tripodal Single Molecular Tip for Noncontact AFM Measurements: Synthesis,

Immobilization, and Reversible Configurational Change on Gold Surface", *Org. Biomol. Chem.* **8**, 3655-3664 (2010).

2. K. Umeda and K. Fukui, "Observation of redox-state dependent reversible local structural change of ferrocenyl-terminated molecular island by electrochemical frequency modulation AFM", *Langmuir* **26**, 9104-9110 (2010).
3. Y. Yokota, T. Harada, and K. Fukui, "Direct observation of layered structures at ionic liquid/solid interfaces by using frequency-modulation atomic force microscopy", *Chem. Commun.* **46**, 8627-8629 (2010)

④ 叶深研究者（第1期生）

二重共鳴ブロードバンド和周波発生分光(SFG)は、界面の分子種の同定とその配向を決めるユニークな分光法である。タンパク分子の生体機能の多くが、脂質二重膜からなる細胞膜表面で生じるが、脂質二重膜を構成する分子の種類、膜中のコレステロールなどの存在により、タンパク反応場が異なることが知られている。叶研究者は、本研究によりレーザーを活用した二重共鳴ブロードバンド SFG システムを構築し、これを用いて、相転移に伴う二分子膜の構造変化や加水分解酵素による二分子膜の構造変化を捉えることに成功した。本研究で構築された SFG システムは明るくかつ光学セットアップが迅速にできるよう工夫されており、今後、生体系の複雑な分子の組み合わせの謎に迫ることが期待できる。

(関連論文)

1. Ye, S. and M. Osawa, "Molecular Structures on Solid Substrates Probed by Sum Frequency Generation (SFG) Vibration Spectroscopy", *Chem. Lett.*, **38**, 386-391, (2009)
2. Tong, Y.; Zhao, Y.; Li, N.; Osawa, M.; Davies, P.; Ye, S., "Interference Effects in the Sum Frequency Generation (SFG) Spectra of Organic Thin Films. Part I: Theoretical Modeling and Simulation." *J. Chem. Phys.*, **133**, 034704.(2010)
3. Tong, Y.; Zhao, Y.; Li, N.; Osawa, M.; Davies, P.; Ye, S., "Interference Effects in the Sum Frequency Generation (SFG) Spectra of Organic Thin Films. Part II: Applications to Different Thin Film Systems." *J. Chem. Phys.*, **133**, 034705 (2010)
4. Tong, Y.; Li, N.; Liu, H.; Ge, A.; Osawa, M.; Ye, S., "Mechanistic Studies by Sum-Frequency Generation Spectroscopy: Hydrolysis of a Supported Phospholipid Bilayer by Phospholipase A2." *Angew. Chem. Int. Ed.*, **49**, 2319-2323. (2010)

⑤ 柴田直哉研究者（第2期生）

柴田研究者は原子分解能透過型電子顕微鏡法を用いてセラミック界面の問題に

挑戦し、セラミック界面原子・電子構造の直接決定、界面ドーパント原子直接観察と機能発現メカニズムの解明、転位芯構造とすべりメカニズムの解明等の成果を挙げた。これらの研究はセラミック界面現象の本質的な理解を可能にするとともに、原子スケールからの材料設計指針を与える画期的な成果であり、今後大いなる発展が期待される。

(関連論文)

1. N. Shibata, A.Goto, S.-Y. Choi, T. Mizoguchi, T. Yamamoto and Y. Ikuhara, “Direct imaging of reconstructed atoms on TiO₂ (110) surfaces,” *Science*, **322**, 570-573 (2008).
2. N. Shibata, A.Goto, K. Matsunaga, T. Mizoguchi, T. Yamamoto and Y. Ikuhara, “Interface structures of gold nanoparticles on TiO₂ (110),” *Phys. Rev. Lett.* **102**, 136015 (2009).
3. N. Shibata, S.D. Findlay, S. Azuma, T. Mizoguchi, T. Yamamoto and Y. Ikuhara, “Atomic-scale imaging of individual dopant atoms in a buried interface,” *Nature Materials* **8**, 654-658 (2009).

⑥ 塚崎敦研究者（第3期生）

塚崎研究者は、分子エピタキシー法を駆使し、特に成長速度に着目して高品質酸化物界面の作製条件を最適化することで、極めて高純度かつ平坦な界面形成が可能であることを見出し、電子移動度を従来の酸化物系での世界最高値と比して約10倍高めることに成功した。この高品質試料を用いて、二次元電子輸送における相互作用の本質にかかわる分数量子ホール効果を酸化物界面において世界で初めて観測することに成功した。分数量子ホール効果は、巨視的量子輸送現象の1つであり、今後の酸化物材料の応用展開上重要な発見である。本研究は、酸化物物性の量子輸送現象の発現や解明に飛躍的な進歩をもたらす切っ掛けとなると期待されている。また、近年青色発光素子に続く次世代素子として着目されている紫外線発光素子や透明トランジスタなどの実用化に向けた課題克服にも大きく寄与し、これまでにない酸化物材料の世界を切り開くものと期待される。

(関連論文)

1. A. Tsukazaki, S. Akasaka, K. Nakahara, Y. Ohno, H. Ohno, D. Maryenko, A. Ohtomo, and M. Kawasaki “Observation of fractional quantum Hall effect in an oxide.”, *Nature Materials* **9**, 889 (2010)
2. S. Akasaka, A. Tsukazaki, K. Nakahara, A. Ohtomo, and M. Kawasaki, “Improvement of electron mobility above 100,000 cm²V⁻¹s⁻¹ in Mg_xZn_{1-x}O/ZnO heterostructures”, *Japanese Journal of Applied Physics* **50**, 080215 (2011)
3. S. Akasaka, K. Nakahara, H. Yuji, A. Tsukazaki, A. Ohtomo, M. Kawasaki,

“Preparation of epitaxy-ready surface of a ZnO (0001) substrate”, *Appl. Phys. Express* **4**, 035701 (2011)
(関連特許出願) 1 件特許出願中

10-2. 応用科学技術上の進歩に資する成果

界面機能はナノバイオ医療技術やソフト材料とハード材料との接合分野で高機能化を実現するなど、大きな応用分野を拓く成果が得られている。

① 新留琢郎研究者 (第2期生)

金ナノロッドは生体組織透過性が高い近赤外域に吸収を持ち、吸収した光を熱に変換するというフォトサーマル効果を示す。金ナノロッドは表面修飾が容易なので様々な分子で修飾することにより機能化が可能である。金ナノロッドを実際に様々な診断や治療システムに応用するためには、生体適合化、標的化、薬物のコントロールリリースなどといった複雑な機能を付与するとともにこれらの機能を、必要な場所で、的確なタイミングで発揮させる必要がある。このため新留研究者は金ナノロッドを機能性分子で修飾する際、光あるいは組織内環境に応答する界面を利用することで上記目的達成の見通しを得た。この研究の過程で上記検査及び治療システム構築のためのいくつかの基本要素技術が確立され、下記に分類される多数の特許が出願された。

④ ロッド状金微粒子構造体に関するもの (2 件)

⑤ 金微粒子被覆体に関するもの (5 件)

⑥ 分析用チップに関するもの (1 件)

⑦ 生体の近赤外分光法に関するもの (1 件)

(関連論文)

1. D. Pissuwan, K. Nose, R. Kurihara, K. Kaneko, Y. Tahara, N. Kamiya, M. Goto, Y. Katayama, T. Niidome, “A solid-in-oil dispersion of gold nanorods can enhance transdermal protein delivery and skin vaccination”, *Small* **7**, 215-220 (2011)
2. S. Yamashita, H. Fukushima, Y. Akiyama, Y. Niidome, T. Mori, Y. Katayama, T. Niidome, “Controlled-release system of single-stranded DNA triggered by the photothermal effect of gold nanorods and its in vivo application”, *Bioorg. Med. Chem.* **19**, 2130-2135 (2011)
3. S. Yamashita, H. Fukushima, Y. Niidome, T. Mori, Y. Katayama, T. Niidome, “Controlled-release system mediated by a retro Diels-Alder reaction induced by the photothermal effect of gold nanorods”, *Langmuir*, in press

(関連特許出願) 以下を含め、国内9件の出願を行った。

「金微粒子被覆体とその製造方法、およびその用途」

発明者：新留琢郎、新留康郎、片山佳樹、秋山泰之

出願人：国立大学法人九州大学、大日本塗料株式会社、三菱マテリアル株式会社
出願番号：2009-217241

② 好田誠研究者（第3期生）

量子ポイントコンタクト（QPC）とスピン軌道相互作用を組み合わせることで、外部磁場を用いることなく、電気的な相互作用のみでスピンを生成したり検出することが可能であることを明らかにした。このことは、QPCを用いてスピン偏極を生成し、それをシュテルンゲルラッハタイプのスピンスピンフィルタ（SGスピンスピンフィルタ）と組み合わせることで、スピン検出が可能であることを示している。SGスピンスピンフィルタは、スピン軌道相互作用により生まれる有効磁場の空間勾配を利用してスピンスピンフィルタ機能を生み出すのに対し、QPCもまた有効磁場の空間勾配を利用してスピン偏極が生まれる意味では、同じスピン軌道相互作用を利用してもスピン生成とスピン検出の異なる手法を生み出すことができる。これはスピン軌道相互作用が、既存の電気的なスピン制御のみならず、様々なスピン機能を生み出す手法としてユニバーサルに利用できる可能性を示しており、スピンスピンフィルタ素子など電子スピン半導体の実現に繋がる事が期待できる。

（関連論文）

1. Y. Kunihashi, M. Kohda, and J. Nitta, “Enhancement of Spin Lifetime in Gate-Fitted InGaAs Narrow Wires”, *Phys. Rev. Lett.* **102**, 226601 (2009)
2. M. Kohda and J. Nitta, “Enhancement of spin orbit interaction and the effect of interface diffusion in InGaAsP/InGaAs heterostructures”, *Phys. Rev. B* **81**, 115118 (2010)
3. M. Kohda, J. Ohe, H. Sanada, M. Yamamoto, T. Ohtsuki, and J. Nitta, “Proposal for electrical detection of spin separation with in-plane magnetic field in mesoscopic Stern-Gerlach spin filter”, *SPIE* **7600**, 76001B (2010)

（関連特許出願） 以下を含め、国内9件の出願を行った。

「量子ポイントコンタクトを用いたスピン偏極電流によるスピン整流効果の発生方法」

発明者：好田誠、新田淳作、小林研介

出願人：科学技術振興機構

出願番号：2011-180767

③ 山本貴富喜研究者（第3期生）

山本研究者は生体分子がひとつしか流ることが出来ない分子サイズの断面積を持つナノ流路の特徴を利用して、ナノ流路を流れる生体分子を1分子ずつ検出し、さらに分子の種類毎に異なる流路出口に誘導することにより、1分子ずつ分離・回収する究極の分離手法である1分子ソーターの手法を確立し、特許出願を行った。

1 分子ソーターは環境中の目に見えない粒子やウイルス・バクテリアなど、これまでセンシングすることができなかった様々なナノ粒子状物質を検出する広義の環境センサーへの応用が期待されている。中でも感染予防を実現するためのキイデバイスとなる可能性も有する画期的な技術である。

(関連論文)

1. T. Yamamoto, and T. Fujii, "Nanofluidic Single-molecule Sorting of DNA: A New Concept in Separation and Analysis of Biomolecule", *Nanotechnology*, **21**, 39, 395502 (2010)
2. T. Yamamoto, S. Lee, and T. Fujii, "Nonlinear Electrical Impedance Measurement Controlling Conformation of DNA", *Journal of Robotics and Mechatronics*, **22**, 5, 601-607 (2010)
3. T. Yamamoto, "Study on 172-nm Vacuum Ultraviolet Light Surface Modifications of Polydimethylsiloxane for Micro/Nanofluidic applications", *Surface and Interface Analysis*, **43**, 9, 1271-1276 (2010)

(関連特許出願) 以下を含め国内 5 件、外国 2 件の出願を行った。

「流路デバイス及びそれを含むサンプル処理装置」

発明者：山本貴富喜

出願人：科学技術振興機構

出願番号：2009-293960、2009-274921

国際出願番号：PCT/JP2010/062497

10-3. 社会・経済的価値創出

さきがけ研究の成果として多くの技術（発明）が生まれたが、その中でも実用化されれば産業・社会的に影響大なる可能性を有すると思われるものについては前記特許出願ポリシー（8-4章 参照）に従い、国内出願に加えて原則として主要国への国際特許出願を行った。下記にその代表的な例を述べるが、これらのケースは海外も含めた実用化を指向する企業との共同研究が進行中である。

① 末益崇研究者（第1期生）

バリウムシリサイドは、クラーク数の大きい元素で構成され、高い結晶性を示し、太陽スペクトルに整合した光吸収特性を持ち、高吸収係数による薄膜化を図れる、といった特徴を兼ね備える理想的な太陽電池材料として有望視されている。末益研究者は、このバリウムシリサイドの可能性にいち早く着目し、さきがけ研究期間中に以下の開発項目を実施し、**Shottkey** 接合型太陽電池としての動作実証に成功した。

- ・不純物ドーピングによる半導体の伝導型・キャリア密度制御
- ・SiO₂基板上での高吸光度の薄膜形成

- ・ BaSi₂/Si トンネル接合の形成

バリウムシリサイド系半導体太陽電池は末益研究者オリジナルの発明であり、基本特許を含め下記 3 件の出願を行った。

- ・ バリウムシリサイド系半導体を使った太陽電池に関するもの（基本特許）
- ・ ドーピング技術に関するもの
- ・ 接合技術に関するもの

(関連論文)

1. Y. Matsumoto, D. Tsukada, R. Sasaki, M. Takeishi, and T. Suemasu, “Photoresponse Properties of Semiconducting BaSi₂ Epitaxial Films Grown on Si(111) Substrates by Molecular Beam Epitaxy.” *Appl. Phys. Express* **2**, 021101 (2008)
2. D. Tsukada, Y. Matsumoto, R. Sasaki, M. Takeishi, T. Saito, N. Usami, and T. Suemasu, “Photoresponse Properties of Polycrystalline BaSi₂ Films Grown on SiO₂ Substrates Using (111)-Oriented Si Layers by an Aluminum-Induced Crystallization Method.” *Appl. Phys. Express* **2**, 051601 (2009)
3. T. Saito, Y. Matsumoto, M. Suzuno, M. Takeishi, R. Sasaki, T. Suemasu, and N. Usami, “Fabrication of n⁺-BaSi₂/p⁺-Si Tunnel Junction on Si(111) Surface by Molecular Beam Epitaxy for Photovoltaic Applications.” *Appl. Phys. Express* **3**, 021301 (2010)

(関連特許出願) 下記を含め、国内 3 件、外国 4 件の出願を行った。

「シリコンをベースとする高効率太陽電池およびその製造方法」

発明者：末益 崇

出願番号：2007-208729（出願人：筑波大学）

米国出願番号：US2009/0044862（出願人：科学技術振興機構）

※米国では既に特許化 United States Patent No.7999178 (Aug.16, 2011)

「半導体材料、それを用いた太陽電池、およびそれらの製造方法」

発明者：末益 崇

出願番号：2007-223671（出願人：筑波大学）

国際出願番号：PCT/JP2008/065312（出願人：科学技術振興機構）

「太陽電池およびその製造方法並びに BaSi 層の成膜方法」

発明者：末益 崇、宇佐美徳隆

出願番号：2009-185666（出願人：筑波大学、東北大学）

国際出願番号：PCT/JP2010/057936（出願人：筑波大学、東北大学）

②堀克敏研究者（第 1 期生）

堀研究者は細胞自己凝集性と固体表面への高い非特異的付着性を示す細菌の細

胞表層に存在する巨大蛋白質を主成分とするナノファイバーの発見者であり、この新しい生体高分子である細菌性ナノファイバーの高次構造と付着機構を解明するとともに、これまでにない新しい分子や細胞の界面接合技術やアレイ技術の開発を進めてきた。

現在、遺伝子組換え微生物による医薬品の生産、バイオエタノールの発酵生産から、微生物細胞を利用した化学品の合成などが実施されるようになり、微生物利用技術は重要な産業技術となっている。しかしながら反応の担い手である微生物細胞の生産、物質生産後の微生物の反応液からの分離の点で未だ大きなコスト的課題を残している。この課題解決には反応後の微生物分離を容易にし、且つ貴重な微生物細胞を連続的にあるいは反復して利用するためには、微生物細胞の固定化や自己凝集の技術が鍵となっていた。堀研究者は、もともと付着性や凝集性を示さない微生物細胞に細胞自己凝集性と高い非特異的付着性を示す遺伝子を導入することにより、微生物に固体表面付着性と自己凝集性を付与する画期的な技術確立した。この技術は粘着性細菌ナノファイバーの蛋白質、遺伝子とその利用技術に関する発明として特許出願された。

(関連論文)

1. K. Hori, H. Watanabe, S. Ishii, Y. Tanji, and H. Unno “Monolayer adsorption of a bald mutant of the highly adhesive and hydrophobic bacterium, *Acinetobacter* sp. Tol 5, to a hydrocarbon surface”, *Appl. Environ. Microbiol.* **74**, 2511-2517 (2008)
2. S. Ishii, S. Miyata, Y. Hotta, K. Yamamoto, H. Unno, and K. Hori, “Formation of filamentous appendages by *Acinetobacter* sp. Tol 5 to adhere to solid surfaces”, *J. Biosci. Bioeng.* **105**, 20-25 (2008)
3. K. Hori, M. Ishikawa, M. Yamada, A. Higuchi, Y. Ishikawa, and H. Ebi “Production of peritrichate bacterionanofibers and their proteinaceous components by *Acinetobacter* sp. Tol 5 cell affected by growth substrates”, *J. Biosci. Bioeng.* **111**, 31-36 (2010)

(関連特許出願) 国内 1 件、外国 7 件の出願を行った。

「微生物に対して非特異的付着性及び/又は凝集性を付与又は増強する方法及び遺伝子」

発明者：堀 克敏

出願人：名古屋工業大学

出願番号：2009-554183

国際公開番号：WO2009/104281

③ 宮田隆志研究者（第 1 期生）

疾病のシグナルとなる生体分子や環境汚染の原因となる環境関連分子などに応答

する刺激応答性ゲル（分子応答性ゲル）の合成に成功した。分子応答性ゲルは広範な分野に利用可能なスマートソフトマテリアルとしてドラッグデリバリーシステム等医療分野やセンサー等実用的な応用が期待されている。そのため一般的な合成方法に関する技術を開発し発明の特許出願にも注力した。

（関連論文）

1. K. Okawa, T. Miyata, and T. Uragami, “Fluorescence Resonance Energy Transfer by Quencher Adsorption into Hydrogels Containing Fluorophore”, *J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys.*, **44**, 3245-3252 (2006).
2. T. Miyata, N. Asami, and T. Uragami, “Structural Design of Stimuli-Responsive Bioconjugated Hydrogels That Respond to a Target Antigen”, *J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys.*, **47**, 2144-2157 (2009).
3. T. Miyata, N. Asami, Y. Okita, and T. Uragami, “Controlled Permeation of Model Drugs through a Bioconjugated Membrane with Antigen-Antibody Complexes as Reversible Crosslinks”, *Polym. J.* **42**, 834-837 (2010)

（関連特許）以下を含め、国内4件、外国7件の出願を行った。

「分子応答性ゲル微粒子およびその製造方法ならびにその利用」

発明者：宮田隆志、浦上 忠

出願人：科学技術振興機構、関西大学

出願番号：2007-122459

国際公開番号：WO2008/139902

④竹谷純一研究者（第2期生）

竹谷研究者の研究テーマの中核をなす有機半導体は、デバイス作成の際は低コストかつ環境負荷の小さいプロセスでの生産が可能であるため、次世代のエレクトロニクス材料として注目されている。この研究において竹谷研究者は下記特性の有機半導体を開発し、次世代エレクトロニクスへのブレークスルーとなる技術確立した。また、関連の特許出願を多数行った。

- ・溶液を塗布して結晶化させた新しい有機半導体表面を形成することにより産業界で期待されている目標値 $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の移動度実現。
- ・望む位置にアレイ状多数のデバイスを一度に形成するプロセス技術の開発

（関連論文）

1. Y. Wakabayashi, J. Takeya, and T. Kimura, “Sub-A resolution electron density analysis of the surface of organic rubrene crystals”, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 066103 (2010).
2. M. Yamagishi, J. Soeda, T. Uemura, Y. Okada, Y. Takatsuki, T. Nishikawa, Y. Nakazawa, I. Doi, K. Takimiya, and J. Takeya, “Free-electron-like hall effect in

high-mobility organic thin-film transistors.”, *Phys. Rev. B (Rapid Communications)* **81**, 161306 (2010)

3. K. Nakayama, Y. Hirose, J. Soeda, M. Yoshizumi, T. Uemura, M. Uno, W. Li, M. Uno, M.-J. Kang, M. Yamagishi, Y. Okada, E. Miyazaki, Y. Nakazawa, A. Nakao, K. Takimiya, and J. Takeya, “Patternable solution-crystallized organic transistors with high charge carrier mobility”, *Adv. Mater.* **23**, 1626 (2011)

(関連特許) 下記を含め、国内 8 件、外国 2 件の出願を行った。

「有機半導体素子及び有機半導体素子の作製方法」

発明者：竹谷純一、植村隆文

出願人：大阪大学

国際出願番号：PCT/JP2010/064488

「電界効果トランジスタ、電界効果トランジスタの製造方法、中間体及び第 2 中間体」

発明者：竹谷純一、小野 新平、関 志朗

出願人：科学技術振興機構、電力中央研究所

出願番号：2009-548853

国際公開番号：WO2009/087793

米国公開番号：US 2010 0051913 A1

⑤松崎典弥研究者（第 3 期生）

松崎研究者は高分子とタンパク分子を積層したナノ薄膜により細胞の表面への接着などを制御し、生体外で生体組織モデルの構築する先駆的な研究を展開してきた。最大の成果は、細胞表面に形成したナノ薄膜により細胞同士の接着を制御すると共に、細胞の配置を精密に制御して望みの三次元組織を構築する革新的手法の確立である。この技術は高分子化学・材料化学分野だけでなく、再生医療や創薬分野に大きなインパクトを与え実用化が期待されており、実用化に備えて多数の特許出願を行っている。

(関連論文)

1. M. Matsusaki, S. Amemori, K. Kadowaki, and M. Akashi, “Quantitative 3D Analysis of Nitric Oxide Diffusion in a 3D Artery Model Using Sensor Particles”, *Angew. Chem. Int. Ed.* **50**, 7557 (2011)
2. A. Nishiguchi, H. Yoshida, M. Matsusaki, and M. Akashi, “Rapid Construction of Three-Dimensional Multilayered Tissues with Endothelial Tube Networks by the Cell Accumulation Technique”, *Adv. Mater.* **23**, 3506 (2011)
3. M. Matsusaki, R. Amekawa, M. Matsumoto, Y. Tanaka, A. Kubota, K. Nishida, and M. Akashi, “Physical and Specific Crosslinking of Collagen Fibers by Supramolecular Nanogelators”, *Adv. Mater.* **23**, 2957 (2011)

(関連特許) 下記を含め、国内 7 件、外国 5 件の出願を行った。

「三次元細胞培養体の生体シグナルの検出方法及び検出キット」

発明者：松崎典弥、明石満、岡野和宣

出願人：科学技術振興機構

出願番号：2008-289011

国際公開番号：WO2010/055829

「腫瘍組織モデルの製造方法」

発明者：松崎典弥、明石満、細谷仁美、狩野光宣、宮園浩平、片岡一則、Horacio Amadeo Cabral、伊地知秀明

出願人：科学技術振興機構

出願番号：2010-138465

1 1. 総合所見

物質界面で生じる新たな物性や機能の創出には既存の物質科学分野を越える考え方が必要とされる。制限された空間に生じる現象を相手にするので、観測手法にも工夫が要る。「界面の構造と機能」領域では、多様な物質を対象として、かつ、個々の物質材料ではとうてい期待できないような新奇機能の発現を期待した。物質系で分類される従来の学問分野で築いてきた知や技を結集し、新しい考え方をお互いに取り入れることにより、人類の知を最大限に活用することが期待できる領域でもあった。

従来の学問分野の枠を越えて研究者を選考するため、研究者の選考は苦悩の連続であった。できるだけ広く異なるバックグラウンドを持つ研究者を採用すること、研究手法にも特徴のある研究者を集めることに留意した。そして、基本的には優れた研究者個人の発想に基づく創造的な研究に重点を置いて領域を運営してきたが、一方で、個々の研究者に新しい発見や発明の芽を期待して、異分野の研究者間の交流を推奨し、本領域の研究成果が物質科学の新たなブレークスルーに繋がる役目を担えることを期待した。

年二回開催した領域会議は、研究者同士の交流の場として最大限機能した。普段の研究生活ではめったに席を同じくすることがないほど離れた研究分野の研究者が同席することになるため、始めの段階では理解しあえる研究者同士、即ち、近い分野の研究者同士でのディスカッションは密度が濃くなり大変深いレベルまで進んだ。一方、遠く離れた分野の研究を理解しようと、類似分野の研究者同士でのディスカッションを通じて、徐々に共通言語を見つける作業が進んだ様に思われる。総括の立場で出来ることは、それぞれ異なる分野同士でどういう相互作用が可能かを常に問うことであった。本領域の研究者はこの問いに真摯に取り組み徐々に回答を見出していった。分野を越えた共同研究が数多く始まったことは、本領域の副産物とし

で大いに評価したい。本領域で築いた交流は、ここに集まった優れた研究者たちの生涯の財産となると確信している。

さきがけ研究中に多くの研究者が特許を出願している。以前から知財獲得に長けていた研究者も何人かはいたが、多くは本領域での活動を通じて知財獲得の習慣を身に付けたように思う。産業界での抱負な経験を有する技術参事が、研究計画や徐々に出つつある成果に含まれる知財の価値を評価し、それを下に研究者との密な相談を経て、特許出願に至ったケースが多い。総括と技術参事の二人三脚の成果であると自負しているところである。技術参事の手腕に敬意を表したい。

領域の運営を成功裏に終えることが出来たのは、研究テーマの選択が適切であったこと、優秀な研究者が集まったことに加え、アドバイザーの方々の適切な指導により研究期間中の研究者が大いに成長したことが挙げられる。研究者もアドバイスを越える成果をあげ、また、予想以上の研究協力関係を築いて頂いた事など、研究の経験を共有できる喜びを日々感じる事が出来たことは幸せであった。さきがけの素晴らしい仕組みと伝統をこれからも絶やすことなく、多くの若い研究者の育成に貢献し続けていただきたい。最後に、私どもの領域の運営にご支援いただいた JST の方々に心からの感謝の気持ちをお伝えしたい。彼らの支援無しには本領域の成功はあり得なかった。