

戦略的創造研究推進事業
—個人型研究(さきがけ)—

研究領域
「ナノシステムと機能創発」

研究領域事後評価(予備評価)用資料

平成 26 年 3 月 24 日

目次

1. 研究領域の概要	1
(1) 戦略目標	1
(2) 研究領域	2
(3) 研究総括	3
(4) 採択課題・研究費.....	4
2. 研究領域および研究総括の選定について.....	8
3. 研究総括のねらい.....	9
4. 研究課題の選考について.....	10
5. 領域アドバイザーについて.....	12
6. 研究領域の運営の状況について.....	14
7. 研究領域のねらいに対する成果の達成状況.....	23
8. 総合所見	30

1. 研究領域の概要

(1) 戦略目標

「プロセスインテグレーションによる次世代ナノシステムの創製」

「プロセスインテグレーションによる次世代ナノシステムの創製」の戦略目標は、「ナノテクノロジーを活用したプロセスの高度化と統合化を進めることによって、バイオとエレクトロニクスが融合したナノシステム、ナノ構造による化学反応場を利用したシステム、自律的に機能する分子システムなど、MEMS (NEMS) 等を含む次世代ナノシステムの創製を目指す」である。

これまで、様々なデバイスやシステムに見られる高速化・集積化・小型化等は、主としてトップダウンプロセス技術の発展に支えられてきた。それはシリコン CMOS の高集積化がフォトリソグラフィ技術の微細化によりなされてきたことに顕著に表れている。フォトリソグラフィ等の加工精度は 2007 年現在で 45 nm レベルに達しているが、上記の革新的な機能をもつナノシステムの創製には、数 nm レベルまで加工精度を高めることが必要である。一方、自己組織化に代表されるボトムアッププロセスでは、1 nm をきる分子サイズレベルでの形成精度も実現可能であるが、現状では分子等を配列させるだけの技術レベルに止まっている。自己組織化の技術を、分子配置、分子構造等を時間的・空間的にダイナミックに制御して自在にナノ構造体を構築することのできるレベルまで高めるとともに、それらナノ構造体を組み合わせることによって自律的に機能を創発するような自己機能化のレベルに発展させていくことが必要である。

本戦略では、「従来からの技術的蓄積のあるトップダウンプロセスと、今後の発展が大いに期待されるボトムアッププロセスについて、それぞれの高度化を一層推進するとともに、それらプロセス技術の様々な融合を試みることで、上記次世代ナノシステムの創製をはかることを目的」としている。

以上の戦略目標を受けて、若手研究者を中心とするさきがけにおいては以下のように目標を具体化した。

創発とは、局所的な相互作用を持つ個々の要素が多数集まることでその総和とは質的に異なる高度で複雑な秩序または自律的機能やシステムが生じる現象を指し、生物を含め広く自然界を捉えようとする基本的な考え方の 1 つである。創発現象が発現するためには階層構造の存在が必要であるがその発現機構についてはいまだよくわかっていない。本領域はこのような自律的機能創発のしくみを解析・解明するとともに機能創発を取り込んだ次世代ナノシステムの設計・創製を目指す研究を対象としている。

現在の最先端デバイスや電子機械システムは数多くの極小電子部品がアセンブリーした系であるが、環境変化に応じて自律分散的に判断し、行動するレベルには達していない。それは現在のシステムが多段階かつ相互作用を持つ階層構造を有していないからと言われ

ている。それゆえ、戦略目標にあるような「機能創発を備えたナノシステム」を将来的に実現するためには、従来のトップダウンプロセス技術を中心とするナノテクノロジーに加え、自然界を普遍的に律していると考えられる「創発」という新しいコンセプトを取り入れることが重要な解決策と考えられ、その一つの有力なアプローチは、生体に見られるような分子レベルからスタートしたボトムアップ手法によって自己組織構造体を構築し、その階層性によって発揮される高度な創発機能との概念的、技術的融合-統合が重要なものとなる。しかしながら、このような取り組みはこれまでなされたこともなく、かつ創発発現の仕組みがよくわかってない現段階でその実現を目指すことは容易なことではない。しかし、これこそが我が国のイノベーションをもたらすコンセプトと基本技術になるものであり、これによって次代の世界をリードする環境と社会調和型科学技術になりうると考えられる。だからこそ、極めてチャレンジに富むこのような研究戦略を将来性ゆたかな若手に託すことは、さきがけ研究の重要なミッションであるといえよう。さきがけとしての具体的な目標は、ナノテクノロジーを活用したプロセスの高度化と統合化を一層進めるとともに、上述の機能創発という新しい概念を取り入れることによって、革新的戦略的次世代ナノシステムの設計と創製を目指すことである。

本領域では半導体工学や、デバイス設計工学、固体物理、レーザー科学などトップダウンプロセス技術を中心とするナノテクノロジー研究者と、分子生物学、有機化学、無機化学、高分子科学、医科学など分子レベルのボトムアップ研究を得意とする研究者、という研究手法の全く異なる極めて多彩な研究者から成り立っていることが大きな特徴である。それゆえ、これら異分野研究者間の活発な討論と議論を通じ、異分野間融合研究を推進して次世代ナノシステムの実現と人材育成をはかると共に、学問融合を積極的に推進して新たな分野を開拓する契機をつくることも本領域の目標である。

(2) 研究領域

「ナノシステムと機能創発」（平成 20 年度発足）

本研究領域は、ナノテクノロジーにおけるトップダウン手法の高度化と精密なボトムアップ手法の駆使、場合によってはそれらの手法の融合によって、要素技術の単なる総和や重ね合わせではない自律的、非線形的に機能を生み出す「“創発する”」研究を推進し、次世代ナノシステムの構築を目指している。バイオとエレクトロニクスが融合したシステム、ナノ構造による反応場を利用したシステム、自律的に機能する分子システム等が具体的な次世代ナノシステム創製の例であるが、この実現のためにはフォトリソグラフィ、イオンビーム加工に代表されるトップダウンプロセス、自己組織し階層性を有する構造体を構築するボトムアッププロセス、さらには創発現象の発現とその仕組みに関する取り組みが重要となる。

このためには、1)精密工学・電子工学・物理工学・知能情報工学などトップダウンを中心的手法とする分野、2)多種多様な生体物質や高分子物質・無機材料・ナノ粒子・様々な構造をもつ有機分子等のナノ構造体を時間的・空間的にダイナミックに制御する分野、3)生体分子の示す自己構造化・自己複製・自己修復等の挙動から得られる定量的な情報の抽出や解析を行い、機能化するための設計指針やプロセスを確立する分野、更には、4)生命科学・物質科学など自律的機能創発のしくみの解析・解明を目指す分野等々が対象となろう。

本研究領域のキーワードである“創発”は、次世代ナノシステムに期待される重要な属性としての意味と同時に、本研究領域の研究者の間の刺激的な相互作用が、個々の研究活動を越えた飛躍的なテーマ展開に結びつくことへの期待と確信を表現したのものである。本研究領域を、この意味でバーチャルなナノ融合ラボと捉え、参加研究者の間のコラボレーションを奨励し、ナノシステムの実体化に向けたジョイントプロジェクトの自発的展開を積極的に推進していく。

(3) 研究総括

長田義仁 ((独)理化学研究所 客員主管研究員)

(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：応募時	研究課題	研究費※
平成 20年度	岩堀健治	奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 研究員 (同上)	温度制御自己組織化システムの設計 とナノ粒子高次構造による機能発現	37
	梅津光央	東北大学 大学院工学研究科 准教授 (同上)	ナノ界面特異的バイオ接合分子を用いた多元ナノ結晶集合	40
	角五 彰	北海道大学 大学院理学研究院 物質化学研究室 准教授 北海道大学 理学研究院生命理学部門生命融合科学分野 助教	階層構造を有する ATP 駆動型ソフト バイオマシンの創製	42
	佐々木善浩	京都大学 工学研究科 高分子化学専攻 准教授 東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 准教授	三次元人工細胞アレイからなる化学 チップの創成	40
	田川美穂	名古屋大学 大学院工学研究科 准教授 東京大学大学院総合文化研究科 特任研究員	DNA セルフアセンブリによるナノシ ステムの創製	38
	松村幸子	がん研究会 がん研究所蛋白創製研究部 特任研究員 癌研究会 癌研究所蛋白創製研究部 研究員	適応進化的に機能創発するナノキャ リアの開発	43
	藪 浩	東北大学 多元物質科学研究科 准教授 東北大学 多元物質科学研究科 助教	メタマテリアルの自己組織的作製と ナノリソグラフィへの応用	66
	山内悠輔 (5年型)	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 独立研究者 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若手独立研究者	次世代磁気記録媒体に向けたナノ構 造制御システムの構築	101
	山越葉子	ETH-Zurich Laboratory of Organic Chemistry Lecturer / Senior Scientist ペンシルバニア大学 医学部・Department of Radiology Assistant Professor	超分子型フラーレンを用いた in vivo イメージング試薬の開発	39
	横川隆司 (5年型)	京都大学 大学院工学研究科 准教授 立命館大学 理工学部 専任講師	分子による分子の操作を可能にする Molecular Total Analysis Systems (MTAS)	100

平成 21年度	一木正聡	産業技術総合研究所 集積 マイクロシステム研究セン ター 研究チーム長 東京大学 大学院工学系研 究科 精密機械工学専攻 准教授	ナノ格子制御による薄膜キャパシタ 構造の作製と剥離・転写・接合によ るナノ電子部品用実装技術の確立	38
	木戸秋 悟	九州大学 先導物質化学研 究所 教授 (同 上)	細胞運動・機能を操作するナノ・マ イクロメカニカルシステムの構築	41
	木村建次郎	神戸大学 大学院理学研究 科 准教授 神戸大学 大学院理学研究 科 講師	ナノシステムの大規模集積化に向け た高速電子線露光法の開発	46
	齊藤健二	新潟大学 企画戦略本部若 手研究者育成推進室 テニ ュアトラック助教 東京理科大学 理学部第一 部応用化学科 助教	ナノ細線状半導体光触媒システムの 開発	39
	白幡直人 (大挑戦) (3年→5年)	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 独立研究者 物質・材料研究機構 ナノ セラミックスセンター 主 任研究員	制御された単分子/環境半導体ナノ 構造を素材とした発光素子創製	(研究継 続中)
	高見澤 淳	首都大学東京 大学院理工 学研究科 特任助教 (同 上)	ナノ構造を利用した高感度質量分析 総合システムの開発	39
	田中秀明	大阪大学 蛋白質研究所 助教 (同 上)	生体粒子 vault の立体構造情報を基 盤とした新規 DDS の戦略的開発	39
	豊田太郎 (5年型)	東京大学 大学院総合文化 研究科 准教授 千葉大学 大学院工学研究 科 助教	分子デザインによるリピッド・ワー ルドの創発	(研究継 続中)
	内藤昌信	物質・材料研究機構 環 境・エネルギー材料部門環 境再生材料ユニット主幹研 究員 奈良先端科学技術大学院大 学 物質創成科学研究科 助教	Nano から Micro への精密自己組織化 で拓く円偏光有機レーザーの創製	53
	永野修作	名古屋大学 大学院工学研 究科 准教授 名古屋大学 大学院工学研 究科 助教	高分子ナノマテリアルの光アクティ ブ制御と機能探索	39
	平野愛弓	東北大学 大学院医工学研 究科 准教授 (同 上)	ナノ形状設計に基づく人工神経細胞 膜センサーの創製と機能発現	48
廣畑貴文 (5年型)	York 大学 電気学科 准教 授 York 大学 電気学科 講師	ナノ・スピンモーターの開発	(研究継 続中)	

平成 21年度	山西陽子	芝浦工業大学 機械工学科 准教授 東北大学 大学院工学研究 科バイオロボティクス専攻 助教	ナノ電気メスによる高精度細胞セン シング・加工システム	40
	横山英明	東京大学 大学院新領域創 成科学研究科 准教授 (同 上)	ブロックコポリマーテンプレートに よる3次元ナノパーツの創成	39
	和田 章	理化学研究所 基幹研究所 専任研究員 理化学研究所 伊藤ナノ医 工学研究室 研究員	創発的機能制御性ペプチドアプタマ ーの創成	39
平成 22年度	池内真志 (5年型) (大挑戦)	東京大 先端科学技術研究 センター 助教 名古屋大学 大学院工学研 究科 COE 特任助教	膜マイクロマシニング技術を基盤と する共創的再生医療プラットフォー ムの構築	(研究継 続中)
	上野貢生	北海道大学 電子科学研究 所 准教授 (同 上)	ナノギャップ金属構造を利用した赤 外・テラヘルツ光検出システム	40
	小寺哲夫	東京工業大学 量子ナノエ レクトロニクス研究センタ ー 助教 (同 上)	ナノ半導体配列構造を用いた情報処 理機能創製	42
	角南 寛	北海道大学 大学院先端生 命科学研究院 研究員 (同 上)	三次元パターンを利用した新規細胞 走性の開発	40
	千葉大地	東京大学 工学系研究科 物理工学専攻 准教授 京都大学 化学研究所 助 教	電界による磁化スイッチングの実現 とナノスケールの磁気メモリの書込 み手法への応用	54
	松永行子	東京大学 生産技術研究所 特任講師 東京大学 生産技術研究所 特任助教	ボトムアップ組織形成術による生体 組織システムの構築	43
	藤内謙光	大阪大学 大学院工学研究 科 准教授 (同 上)	有機ナノクリスタルの発光プロセス 変換による新規バイオイメージング システムの開発	43
	堂野主税	大阪大学 産業科学研究所 准教授 大阪大学 産業科学研究所 助教	疎水領域を有する核酸を用いた機能 創出	39
	長尾祐樹 (→最先端次 世代)	北陸先端科学技術大学院大 学 マテリアルサイエンス 研究科 准教授 東北大学 大学院工学研究 科 助教	ナノプロトニクス現象を利用した化 学素子化燃料電池の開発	(途中で 終了)
	生津資大	兵庫県立大学 大学院工学 研究科 准教授 (同 上)	発熱ナノカプセル粒子の鑄込成型体 を用いた瞬間接着技術の創成	47

平成 22年度	早水裕平	東京工業大学 大学院理工 学研究科 准教授 University of Washington Materials Science and Engineering Research Associate	機能性ペプチドを用いたナノシステ ムの創製	47
	古海誓一	物質・材料研究機構 先端 フォトニクス材料ユニット 主幹研究員 物質・材料研究機構 光材 料センター 主任研究員	3次元メゾスコピック・エンジニア リングによる有機アクティブレーザ ー光源の創出	46
	宮内雄平	京都大学 エネルギー理工 学研究所 特任准教授 京都大学化学研究所 特別 研究員	量子ナノ構造近接相互作用により創 発する先端光機能	47
	山田智明 (5年型)	名古屋大学 大学院工学研 究科 准教授 東京工業大学 大学院総合 理工学研究科 特任助教	スマートセンシングのためのナノオ ブリック圧電体の創製	(研究継 続中)
	吉田浩之	大阪大学 大学院工学研究 科 助教 (同上)	液晶自己組織化にドライブされたス イッチャブル・メタマテリアルの創 製	40
総研究費				1,547

二期生の白幡直人、豊田太郎、廣畑貴文と三期生の池内真志、山田智明は研究期間が5年のため、研究機関終了時に改めて評価に加える。

三期生の長尾祐樹は「最先端次世代プログラム」に採択されたため研究を途中で終了しており、評価には加えない。

※各研究課題とも見込みの総額

2. 研究領域および研究総括の選定について

本研究領域は、従来からの技術的蓄積のあるトップダウンプロセスと、今後の発展が大いに期待されるボトムアッププロセスについて、それぞれの高度化を一層推進するとともに、それらプロセス技術の様々な組み合わせを試みることで、次世代ナノシステムの創製を目指す研究を対象とした。

さきがけでは、特に、個人の独創的な発想を活かし、次世代ナノシステムの創製に向けた高次機能を創発するモノづくりを目指し、広範な分野の中から次世代ナノシステムへのトリガーとなるべき機能創発を目指す独創的研究を取り上げる領域が選定された。

同じ戦略目標の下に推進する CREST「プロセスインテグレーションによる機能発現ナノシステムの創製」では、トップダウンプロセスとボトムアッププロセスとの融合による革新的な機能を発現する次世代ナノシステムの構築を目指し、CREST「プロセスインテグレーションに向けた高機能ナノ構造体の創出」では、制御性と拡張性に課題を抱えるボトムアッププロセスに生体模倣等の新たな手法を取り込むことで、システムのキー要素となる自立した機能材料を創出する研究を推進する。これらの研究領域は、総合的かつ相補的に対象分野を満たすように考慮されており、より複雑な構造や高い機能を有する次世代デバイス・システムの創製を目指す戦略目標の達成に向けて選定された。

上記の実現には、幅広い分野に造詣が深く、関連分野の研究者からの信頼が厚い上、マネジメント能力を兼ね備えた人物を総括に選定する必要があった。長田義仁は、高分子ゲルを用いた人工筋肉の研究で世界的に高い評価を得ており、「創発」をキーとした分野横断的な研究を展開し、高分子学会賞、日本化学会学術賞、高分子化学功績賞を受賞するなど優れた研究実績を有し、高分子学会副会長や日本 MRS 常任理事を歴任するなどの実績がある。

また、北海道大学では理事・副学長兼知的財産本部長を経験しており、理化学研究所では当時、副所長を務め、九州大学、北海道大学、大阪大学と連携した「分子情報生命科学」研究の中心的役割を果たしており、我が国の世界トップレベル研究拠点(WPI)プログラムのプログラムオフィサーも務めている。

さらに、平成 17 年度からのさきがけ「構造制御と機能」領域のアドバイザーとなるなど若手研究者の人材育成にも大いに貢献し、本研究領域のように多くの若手研究者の応募が見込まれるさきがけ研究領域の研究総括として適任と考えた。

なお、本領域の総括は当初は、(独)産業技術総合研究所の横山浩主幹研究員に引き受けていただいたが、事情により初年度の募集中に辞退されたために長田義仁氏に総括をお願いした。

3. 研究総括のねらい

本領域の目標は、機能創発する次世代ナノシステムの構築を目指す独創的・挑戦的研究を展開することである。ここでいう創発(emergence)とは、下位の階層レベルにおける要素的、局所的相互作用が環境との関係のもとで、マクロな秩序状態が新たに自律的に、しかも単なる総和や重ね合わせではなく、非線形的に形成され、その結果、集積的(integrated)協同的(cooperative)同調的(synchronized)機能が上位の階層レベルで発現することである。“創発”は、生物を含め広く自然界を捉えようとする基本的な考え方の1つであり、とりわけ「階層性」についての意識が大切になる。たとえば、ナノテクノロジーの象徴的成果の一つである、感覚器官(センサー)や運動器官(モーター)を備えた最先端ロボットは、究極の電子機械分子システムということが出来るが、それは数多くの極小電子部品が要素として集合したシステムであり、いまだ、自律分散的に環境に反応し自律的に行動するシステムのレベルには達していない。その理由の一つとして階層性がないことによる創発性の欠如が指摘されており、これを実現するにはトップダウンプロセス技術を中心とするナノテクノロジーに加え、生体に見られるような分子レベルからスタートしたボトムアップな自己組織化による階層構造の構築と、それゆえに発揮される高度な創発機能との概念的、技術的融合-統合が重要なアプローチとなる。

本領域はこのような自律的機能創発のしくみを考察するとともに機能創発を発現しうる次世代ナノシステムの設計・創製等をめざすことを研究対象としている。本領域では、MEMS (NEMS) やナノデバイスに代表されるナノテクノロジーを活用したプロセスのさらなる微小化や機能拡張、新規分野への応用を目指した独自のアプローチを進めるとともに、時間軸・空間軸の両面でダイナミックにプログラム可能なボトムアップ手法による自己組織化とその応用を考えることによって、たとえばバイオとエレクトロニクスが融合したような次世代ナノシステムの構築を目指す。

本領域の特徴は半導体工学や固体物理、レーザー工学などトップダウンプロセス技術を中心とするナノテクノロジー研究者と、生物科学、物質科学、高分子科学など分子レベルのボトムアップ研究を得意とする研究者という極めて多彩な研究者から成り立っていることである。これら異分野研究者間の討論と議論を通じ、異分野間コラボレーションと融合を推進し、次世代ナノシステムの設計・創出を積極的に進めていく。これら次世代ナノシステムは、将来的には低品位分散エネルギー集約システム、外部の指令によって組み替え可能な分子構造体、ナノ空間での物理化学現象に基づく効率的なナノ運動システム、人工筋肉やアクチュエーターデバイス、これらを統合した医用ナノシステムなどの開発と実現につながり、現代社会が抱える、環境、資源、エネルギー、福祉など喫緊の諸課題を解決する環境調和型イノベーションを創出し、世界をリードする日本固有の次世代科学技術となる可能性を持つ。

真の創発機能を持つナノシステムを構築するためには、ナノスケールにおける微細加工、原子分子の挙動の観測、精密な生体分子操作といったハード技術の向上だけでなく、創発

現象を解析し、理解を一層深めるための数理科学的解析、シミュレーションといった理論やソフト技術の発展も将来重要となろう。本さきがけ研究が既存の諸科学領域を統合し、新規融合科学領域の創成の契機になることも狙いのひとつである。幸い、アドバイザー陣は、別表にあるようにトップダウンプロセス、ボトムアッププロセス、ならびにデバイス・システムに関し深い知見と経験を有するきわめて多領域の専門家から成り立っている。総括並びにアドバイザー陣は領域全体を俯瞰しつつ強力なイニシアチブを発揮して、互いのグループ間の連携を密にし、共通インフラも使いながら、異分野間融合、理論と実験の統合、人材の交流等を活発に推進して成果につなげたい。

4. 研究課題の選考について

本研究領域は、独創的な発想の下に、微細加工、電子工学、知能情報工学などのトップダウン手法の高度化とバイオ・分子科学、生命科学、医用工学などボトムアップ手法の高次構造化と階層化、さらに両手法の融合・統合を図ることにより、次世代高次機能を創発するナノシステム、たとえば、高細密三次元加工プロセスによる高機能ナノシステム、自己組織化分子機能システム、創発機能センシング・運動ナノデバイスなどの構築と実現を目指す挑戦的な研究を対象としている。

単にトップダウン手法とボトムアップ手法の融合を図るだけでなく、また既存の学問領域や手法を組み合わせたものでもなく、それらを超えて融合した独自の発想と独創的設計とその技術の集積にもとづいた挑戦的提案を求めた。「創発」については分野や個人によって様々な捉え方がある。そこで本領域では「創発」に関しては研究者に広く自由に捉えてもらって様々な考え方、手法、物質系でできるだけ自由にアプローチし、独自の考え方に基づく次世代ナノシステムの提案を評価して選考した。

また、これまでの3年型の研究に加え、5年型の研究と大挑戦型を公募したのも特徴である。

(1) 平成20年度

公募に際してバイオ素子、細胞アレイチップ、ナノキャリア、ナノリソグラフィ、ナノ記録媒体など、105件(5年型90件、3年型15件)の応募があった。これらの研究提案を12名の領域アドバイザーのご協力を得て書類選考を行なった。「さきがけ」プログラムの趣旨にあるような、若手研究者らしい独自の、そして挑戦的発想であることを重視した。このような観点から研究提案22件(うち3年型17件、5年型5件)を面接対象とした。面接選考に際しては提案者自身の着想であるかどうかという前記の趣旨確認に加え、研究内容の発展性、提案者の問題意識、研究環境など多面的に公平かつ厳正な選考を行った。

選考の結果、初年度は、10件(うち3年型8件、5年型2件)を採択することにした。自己組織化ナノ粒子、DNAナノシステム、 μ TASなど、いずれも新しい着想と意欲にみちた課題を選ぶことが出来たものと考えている。不採択課題の中にも、挑戦的、意欲的な課題も

数多く見受けられたが、計画性に問題があったり、本研究領域の対象の枠外であったりして採択までには至らなかった。これらの提案者には今回の問題点を踏まえた上で、提案を練り直して、再挑戦するよう助言した。

(2) 平成 21 年度

平成 21 年度も 3 年型と 5 年型の研究を公募した。さらに、希望する応募者については平成 21 年度から始まった「大挑戦型」研究についても選考を行い、より一層多様な分野と深化した発想の下、挑戦的で夢多い提案がなされることを期待した。

平成 21 年度は、さまざまな分野の研究者から合計 177 件(3 年型 146 件、5 年型 31 件)もの応募があった。これは前年のほぼ 2 倍であり、本研究領域が科学の進むべき方向を的確に捉えているだけでなく、数多くの若手研究者の要望に応え、広く注目されていることの表れであると確信した。

選考に当たっては、応募課題の利害関係者の関与を避け、他制度の助成金などにも留意し、公平、厳正に行った。提案数が多かったため、12 名の領域アドバイザーの他にあらたに 7 名の外部評価委員のご協力を得て書類選考を行った。「さきがけ」プログラムの趣旨にあるように、若手研究者らしい独自のそして挑戦的発想に基づく研究提案であるかどうかを重視した。このような観点から選考した結果、44 件(3 年型 36 件、5 年型 8 件)を面接対象とした。

面接選考に際しては、提案者自身の着想による独自の挑戦的な内容であるかどうかに加えて、研究内容の科学性・発展性、提案者の問題意識と研究環境など、多面的な要素を公平かつ厳正に検討して選考を行った。その結果、14 件(3 年型 12 件、5 年型 2 件)の提案を「通常型」研究として採択するに至った。これらはいずれも上記の観点を満たし、新しい着想と意欲にみちた課題であると考えられる。さらに、14 件を除いた 30 件の中から、極めて創造性豊かで研究目標が達成された際の波及効果が大きいもの 2 件を「大挑戦型」研究に推薦したところ、1 件が採択となった。

不採択課題の中にも挑戦的・意欲的で優れた提案もあったが、採択数に限りがあるため残念ながら採択できなかった。また、オリジナリティが明確でない、研究実施計画が十分に練られていない、他の手段との比較が不十分である、アイデアは良いが科学的な検討が不足している、等々の理由で採択には至らなかった提案もあり、これらの提案者には今回の問題点を踏まえて提案を練り直し、再度さきがけに挑戦するよう助言した。

(3) 平成 22 年度

平成 22 年度も 3 年型と 5 年型の研究提案を公募した。また、希望する応募者については前年度から始まった「大挑戦型」研究としての選考も行った。

平成 22 年度は本研究領域の公募最終年度であったが、様々な分野の研究者から合計 254 件(3 年型 205 件、5 年型 49 件)もの応募があった。この数は初年度の約 2.5 倍、昨年の約

1.4倍で2年連続の大幅な増加であった。応募数の増加は、本研究領域が今後の科学が進むべき方向を的確に捉えているとともに、数多くの若手研究者の要望に応え、広く注目されていることの現われであろう。

254件の提案を正確に評価するため、15名の領域アドバイザーの他にあらたに8名の外部評価者のご協力を得て書類選考を行った。選考に際しては、さきがけプログラムの趣旨にあるように、若手研究者らしい独自のそして挑戦的発想に基づく研究提案であるかどうかを重視した。このような観点から厳正に選考した結果、254件の研究提案のうち38件(3年型30件、5年型8件)を面接対象とした。

面接選考では、提案者自身のアイデアによる独自の挑戦的内容であるかどうかに加えて、研究内容の科学性・発展性、提案者の問題意識と研究環境など、多面的な要素を公平かつ厳正に検討して審査した。38件の面接選考の結果、3年型13件、5年型2件の合計15件(大挑戦型1件を含む)の提案が採択されるに至った。なお、大挑戦型の選考を希望した提案のうち、極めて創造性豊かで研究目標が達成された場合の波及効果が大きいと期待される3件を推薦した。その結果、5年型として採択した1件が大挑戦型としても採択されることになった。

これら15件の研究提案は、いずれも上記の評価基準を十二分に満たし、新しい着想と意欲にみちた課題であると考えられる。

なお、不採択提案の中にも挑戦的・意欲的で優れたものが多数あったが、採択数に限りがあるためこれらを採択できなかったのは残念であった。一方、研究のオリジナリティが明確でない、研究実施計画に問題がある、最終目標へ至る過程が十分検討されていない、他の手段との比較が不十分である、アイデアは良いが科学的検討が不足している、さらには、本研究領域の趣旨に合致しない、等々の理由で採択に至らなかった提案もあったので、これらの提案者には今回の問題点を踏まえて研究内容を練り直し、今後の研究をさらに発展させるよう助言した。

平成22年度採択された3期生が、既にさきがけ研究を進めている本研究領域の1期生・2期生とともに、独創的で画期的な研究を推進し、将来の科学技術の興隆に資するようアドバイザーの方々とともに助言、指導した。

5. 領域アドバイザーについて

領域アドバイザーの推挙に当たっては、本領域の内容と趣旨に対して深い理解があることに加え、研究の発展性、提案者の問題意識、研究環境に対する配慮など多面的かつ公平に判断できる科学・技術者を考慮するようにした。次に本領域の特徴である半導体工学や固体物理などトップダウンプロセス技術を中心とするナノテクノロジー研究者および生物科学、物質科学、高分子科学など分子レベルの研究を得意とするボトムアップ研究者の中から他分野に関してもできるだけ広い知識と経験を有する専門家を推薦対象とした。さらに異分野研究者間の討論と議論の重要性を理解し、異分野間コラボレーションと融合をア

ドバイスでき、次世代ナノシステムの実現に向けたジョイントプロジェクトの展開を積極的にバックアップしていけるような我が国を代表する第一線の専門家 15 名を幅広く網羅した。

領域アドバイザーの人選にあたっては、上記の点に加え、特に以下の点を考慮した。

- ・若手研究者に対し積極的、直接的、かつ愛情と熱情をもってアドバイスできる方
- ・研究方向や研究方針を具体的に提案して指導できること
- ・幅広い研究哲学を持っていること
- ・高度の技術を持っていること
- ・さきがけ研究でロールモデルになり得ること
- ・女性研究者、企業所属の研究者、数理科学研究者

物質科学の応募者および採択者が多いため、平成 22 年度より、高分子、液晶、固体物性を専門とする物質科学のアドバイザーを 3 名増員して(合計 15 名)、一層の活発化と、より丁寧な対応を図った。

外部評価委員は各年の応募状況により、多い専門分野に応じて該当する分野の専門家に書類選考への参加依頼をした。

技術参事が事務参事とともに常に早めに日程調整したので、別表にあるように毎回多くのアドバイザーの出席を得、極めて活発な研究指導がなされた。

(1) 領域アドバイザー

氏名	所属	現役職	任期
新井史人	名古屋大学	教授	平成 20 年 7 月～平成 28 年 3 月
生田幸士	東京大学	教授	平成 20 年 7 月～平成 28 年 3 月
居城邦治	北海道大学	教授	平成 22 年 3 月～平成 28 年 3 月
今堀 博	京都大学	教授	平成 20 年 7 月～平成 28 年 3 月
宇佐美光雄	(株) R & V	代表取締役	平成 20 年 7 月～平成 28 年 3 月
江刺正喜	東北大学	教授	平成 20 年 7 月～平成 28 年 3 月
須賀唯知	東京大学	教授	平成 20 年 7 月～平成 28 年 3 月
染谷隆夫	東京大学	教授	平成 20 年 7 月～平成 28 年 3 月
田口善弘	中央大学	教授	平成 20 年 7 月～平成 28 年 3 月
中西八郎	東北大学	監事	平成 20 年 7 月～平成 28 年 3 月
原 正彦	東京工業大学	教授	平成 20 年 7 月～平成 28 年 3 月
原田慶恵	京都大学	教授	平成 20 年 7 月～平成 28 年 3 月
三谷忠興	北陸先端科学技術大学院大学	名誉教授	平成 22 年 3 月～平成 28 年 3 月
山下一郎	奈良先端科学技術大学院大学	客員教授	平成 20 年 7 月～平成 28 年 3 月
渡辺順次	東京工業大学	教授	平成 22 年 3 月～平成 28 年 3 月

(2) 外部評価委員

依頼年度	氏名	所属（当時）	役職
平成 21 年度	明石 満	大阪大学 大学院工学研究科	教授
	居城邦治	北海道大学 電子科学研究所	教授
	伊藤嘉浩	(独)理化学研究所 基幹研究所	主任研究員
	魚崎浩平	北海道大学 大学院理学研究院	教授
	菊池裕嗣	九州大学 先導物質化学研究所	教授
	竹田美和	名古屋大学 大学院工学研究科 小型シンクロトロン光研究センター	教授 センター長
	吉川研一	京都大学 大学院理学研究科	教授
平成 22 年度	明石 満	大阪大学 大学院工学研究科	教授
	魚崎浩平	(独)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	主任研究員
	菊池裕嗣	九州大学 先導物質化学研究所	教授
	小松紘一	福井工業大学 工学部	教授
	竹田美和	名古屋大学 大学院工学研究科	教授
	出村 誠	北海道大学 大学院先端生命科学研究院	教授
	野地博行	大阪大学 産業科学研究所	教授
	前田瑞夫	(独)理化学研究所 基幹研究所	主任研究員

6. 研究領域の運営の状況について

さきがけ研究の趣旨・目的は「戦略目標に基づいて未来のイノベーションの芽を育む個人型研究」であり、「ユニークなイノベーション、ヒューマンネットワーク形成」である。

さきがけ期間中はもちろん、その後も長きにわたって各研究者が広い視野と高い志を持って独自の新しい研究を切り拓き、世界をリードできるような研究者を育成するため、総括は以下の基本運営方針を定めた。

- ① 成果主義を求めず、研究の背景に通底する意味と価値を深く議論して研究の独創性と質を高める。
- ② 異分野を積極的にとり入れ、新分野、未開拓領域を切り開く能力を育てる。
- ③ 国際最高レベルに達する表現力と幅広い伝達力を涵養する。

本戦略目標は、単なる技術的・プロセス的研究ではなく、あくまでも創発機能を有する次世代ナノシステム概念を構築し、その創製を目指す研究を対象とするものであり、この点を明確に意識した領域運営を目指した。

そこで、基本方針のもと、トップダウン、ボトムアップ、システム構築の各分野について幅広く、深い知見を持ちかつ領域全体を広く俯瞰できる 15 名のアドバイザーのもと、個人個人の研究の独自性を最大限尊重すると同時にその研究の長所・短所、将来方向と展望、

同分野での世界的位置づけ、他分野との関係などに関して深く議論を促し、指導した。また領域内の連携を密にしつつ、異分野間の交流と議論、理論と実験の融合、他の研究拠点との連携をはかるなどの人材の交流等をして成果につなげるための具体的な運営につとめた。

また、重要な基盤技術になると考えられる研究に対しては集中的な議論や提言をし、関連研究者の紹介や関係機関との連携協力体制の助言なども積極的に行った。

(1)「領域会議」等

「領域会議」は最重要活動であるため、上記の基本方針、運営方針に基づいて以下のような特徴ある領域会議を実施した。「領域会議」では、半年間の研究成果の進捗と今後の方向性の検討を行うとともに、研究者が自分の研究を本質的に捉え直し、研究能力の向上と外部発信力も付けるように努めた。

① 研究者は原則、全員出席義務とした。事前に会議日程の十分な予告をして最大数の研究者・アドバイザーが参加できるようにした(研究者・アドバイザー参加者数の表参考)。アドバイザーは領域会議で講演、座長、講評などに主体的に関与した。

② 多分野の研究者・アドバイザーがいるという特徴を生かし直截的、多面的な討論と具体的な助言、親切な激励を通して研究の飛躍的進展に尽くした。

また、英語での発表と討論、さきがけ他領域との合同領域会議、同じ戦略目標を持つCREST2 研究領域との研究交流会及び合同公開シンポジウムの実施、など多彩な領域会議形態の工夫をした。

③ 世界レベルの研究者としての能力と力量をつけるため、様々な発表テーマを与え発表内容の工夫をした。具体的なテーマを挙げると、

- ・世界の関連研究の中でそして過去の関連研究の中で自分の研究がどのような位置にあるか、をプレゼンする(研究の時空間的相対化)
- ・社会(たとえばメディア、会社経営者、政治家、一般市民)に対し研究内容を簡潔明瞭に説明する(社会的アピール力向上)
- ・将来(10年～20年後)の自分の研究の展望・展開について大きな視野でプレゼン(自分の研究の時間的相対化)

これらはさきがけ研究者が日常的に意識しない場合が多く、大きな視点から今後の方向性と自分自身の研究姿勢を客観的に見つめなおす貴重な機会になった。

④ 要旨集(研究者の発表要旨が中心)を開催1週間前には送付して、会議での議論の活発化を促した。さらに、口頭発表に加え、ポスター発表も実施して、専門的でより深い議論が十分時間を取って徹底的にできるようにした。

⑤ 領域メンバー全員が、より親しく、深く議論できるように様々な交流会を通じ、アドバイザー—研究者間、研究者—研究者間、研究者—卒業生間で親しくなれるよう様々な工夫をした。

会議名	開催日	開催場所
第1回領域会議	平成21年2月	静岡県熱海市
第2回領域会議	平成21年10月	宮城県宮城郡松島町
第3回領域会議	平成22年3月	大阪府大阪市
第4回領域会議	平成22年9月	北海道札幌市
「構造制御と機能」研究領域(岡本佳男研究総括)との合同領域会議		
第5回領域会議	平成23年3月	愛知県名古屋市
第6回領域会議	平成23年9月	茨城県つくば市
第7回領域会議	平成24年3月	京都府京都市
第8回領域会議	平成24年10月	東京都千代田区(JST)
CREST2 領域との3研究領域合同シンポジウム(平成24年10月) プロセスインテグレーションによる機能発現ナノシステムの創製(曾根純一 総括) プロセスインテグレーションに向けた高機能ナノ構造体の創出(入江正浩 総括)		
第9回領域会議	平成25年3月	福岡県福岡市
第10回領域会議	平成25年9月	兵庫県姫路市
第11回領域会議	平成26年2月	静岡県足柄下郡箱根町



領域会議の様子

(2) 「研究室見学会」の実施

研究室見学を行い、研究内容の紹介と研究者同士の研究交流を図った。実際に機器や施設などを見学したり、多様な研究情報を得ることによって、他分野の具体的研究に触れて新しい刺激や触発が受けられたとの声が多く大変好評であった。また、具体的な情報をもとに交流する機会となったため、領域内で多くの共同研究や情報交換、相互援助などが実現し有効であった。さらに、研究者の自発的研究会も実施された。即ち、1期生と2期生有志が他領域さきがけ研究者(卒業生)と一緒にナノサイエンスに関する年始の小シンポジウムを、また、3期生全員が各自の研究発表を聞きながら気楽に徹底的に議論する若手研究会を行った。これらも、上記の他領域との合同会議の実施、さらには、領域会議での親密な議論の推進などがその背景にある。

実施時期	研究機関	見学した研究室
平成 21 年 10 月	東北大学	研究室 (4 カ所)
平成 22 年 9 月	北海道大学	研究室 (2 カ所)
平成 23 年 3 月	名古屋大学	研究室 (3 カ所)
平成 23 年 9 月	物質・材料研究機構	機構のご厚意により施設全体を見学
平成 24 年 3 月	京都大学	研究室 (2 カ所)
平成 24 年 10 月	東京大学	研究室 (3 カ所)
平成 25 年 3 月	九州大学	研究室 (4 カ所)
平成 25 年 9 月	兵庫県立大学	研究室 (2 カ所)



研究室見学会の様子

(3) サイトビジットの実施

採用年度に研究総括と技術参事(及び事務参事、領域担当者)が勤務先に行き、上司に挨拶してさきがけ研究者へのバックアップを依頼した。さらに、研究室を見学して研究環境も確認し、さきがけ研究者の意気込みや悩みなどを良く聞いて必要な対処を行った。

また、これとは別に技術参事単独で研究者を訪問して、研究内容について説明を受けるとともに、JST に対する要望などを聞き、その解決のために尽力した(なお、研究とは直接関係ない個人的な悩みなどについてサポートすることもあった)。

さらに、特許に関する基本的な情報を研究者に説明し積極的に出願することを促した。

訪問日	研究者	訪問先	目的
H20/10/09	角五 彰	北海道大学	さきがけ研究への協力依頼、研究環境の確認
10/24	田川美穂	東京大学	
12/18	山内悠輔	物質・材料研究所	
12/22	岩堀健治	奈良先端科学技術大学院大学	
12/22	横川隆司	立命館大学	
12/26	梅津光央、藪 浩	東北大学	
H21/1/5	田川美穂	東京大学	米国異動に関する打合せ
1/19	佐々木善浩	東京医科歯科大学	さきがけ研究への協力依頼、研究環境の確認
1/19	松村幸子	癌研究会 癌研究所	
2/5	横川隆司	立命館大学	研究状況の確認
2/6	岩堀健治	奈良先端科学技術大学院大学	特許の打合せ
3/10	梅津光央、藪 浩	東北大学	研究状況の確認
3/18	佐々木善浩	東京医科歯科大学	研究状況の確認
3/19	横川隆司	立命館大学	移転の打合せ
3/23	松村幸子	癌研究会 癌研究所	研究状況の確認
3/24	山内悠輔	物質・材料研究所	研究状況の確認
3/25	角五 彰	北海道大学	研究状況の確認
6/12	横川隆司	京都大学	研究状況の確認
8/24	梅津光央、藪 浩	東北大学	特許の打合せ
10/26	永野修作	名古屋大学	さきがけ研究への協力依頼、研究環境の確認
11/05	和田彰	理化学研究所	
11/17	一木正聡	東京大学	
12/04	木戸秋悟	九州大学	
12/08	高見沢淳	首都大学東京	
12/10	白旗直人	物質・材料研究機構	
"	横山英明	東京大学	
12/24	永野修作	名古屋大学	
"	内藤昌信	奈良先端科学技術大学院大学	
12/25	田中秀明	大阪大学	
"	木村建次郎	神戸大学	
H22/01/19	斎藤健二	東京理科大学	設備の確認
1/14	横川隆司	京都大学	さきがけ研究への協力依頼、研究環境の確認
2/03	山西陽子	東北大学	
"	平野愛弓	東北大学	
2/25	豊田太郎	東京大学	研究状況の確認
3/26	平野愛弓	東北大学	
"	廣畑貴文	東北大学にて(所属はヨーク大学)	研究状況の確認

訪 問 日	研 究 者	訪 問 先	目 的
H22/4/19	木村建次郎	神戸大学	特許の打合せ
4/20	和田 彰	理化学研究所	さきがけ研究への協力依頼、研究環境の確認
5/18	内藤昌信	奈良先端科学技術大学院大学	
H22/5/18	木村建次郎	神戸大学	
5/18	田中秀明	大阪大学	
10/22	廣畑貴文	ヨーク大学(英国)	
10/25	山越葉子	E T H(スイス)	研究契約の協議
11/05	斎藤健二	東京理科大学	研究設備の借用の相談
12/10	上野貢生	北海道大学	さきがけ研究への協力依頼、研究環境の確認
H23/2/15	小寺哲夫	東京工業大学	
3/11	山田智明	名古屋大学	さきがけ研究への協力依頼、研究環境の確認
4/15	松永行子	東京大学	
4/19	古海誓一 白幡直人	物質・材料研究機構	地震被害状況の確認
5/12	堂野主税、藤内謙光	大阪大学	さきがけ研究への協力依頼、研究環境の確認
5/13	宮内雄平	京都大学	
5/20	角南 寛	北海道大学	
6/01	梅津光央、藪 浩 平野愛弓	東北大学	地震被害状況の確認
7/4	千葉大地	京都大学	さきがけ研究への協力依頼、研究環境の確認
7/5	吉田浩之	大阪大学	
8/25	池内真志	東京大学	
9/21~25	田川美穂	ブルックヘブン国立研究所 (米国)	研究契約の協議
11/17	一木正聡	東京大学	日本科学未来館研究室での安全確保の確認
11/25	一木正聡	東京大学	日本科学未来館での研究実施に関する打合せ
12/26	生津資大	兵庫県立大	さきがけ研究への協力依頼、研究環境の確認
H24/1/11	一木正聡	東京大学	さきがけ研究と未来館での安全性確保の確認
2/25	一木正聡	東京大学	未来館でのドラフトチャンバー設置の確認
5/21	一木正聡	東京大学	未来館での安全確保とラボツアーの打合せ
06/07	早水裕平	東京工業大学	さきがけ研究への協力依頼、研究環境の確認
6/13	斎藤健二	新潟大学	
11/29	早水裕平	東京工業大学	異動後の研究環境と研究進捗の確認
11/29	松永行子	東京大学	さきがけ研究進捗と研究環境の確認
H25/1/29	白幡直人、内藤昌信	物質・材料研究所	さきがけ研究と特許に関する打合せ
3/29	角南 寛、上野貢生	北海道大学	研究状況の確認
7/26	千葉大地	東京大学	異動後の確認
8/21	廣畑貴文	ヨーク大学(英国)	研究状況の確認
8/27	白幡直人	物質・材料研究機構	研究状況の確認

(4) アウトリーチ活動

1) ホームページ

応募者への便宜を図るとともに研究成果を広く国民に発表するために、領域のホームページを作成した。領域の紹介(概要と方針)、研究総括とアドバイザーの紹介、各研究者の紹介と課題などを掲載し、その後研究の進捗に伴い、研究トピックスや研究成果(各研究者の外部発表など)を追加・充実した。また、領域の主要な活動である「領域会議」についても毎回報告を開催し、会議の概要を写真添付で内外に紹介した。(各研究者には領域会議参加に関する感想文を寄稿してもらい、どのような気持ちでさきがけ研究を始めたかなどを披瀝してもらった)

さらに、公開シンポジウム開催の際には、内容の告知・宣伝を行うとともに参加登録をホームページで実施した。

<http://www.jst.go.jp/presto/emergence/>

最終更新日: 2013年10月29日

What's New! [一覧はこちら](#)

2013年12月に3期生研究成果報告会が開催され、お陰様で盛会のうちに終了しました。多数のご参加ありがとうございました。

[2013年9月19日～20日「第10回領域会議」が開催されました。](#)

[宮内研究者の研究が京大HPIに掲載されました。\(2013年7月8日\)](#)

[2013年4月 本領域2名の研究者\(1期生・山内悠輔研究者と2期生・内藤昌儀研究者\)が、平成25年度文部科学大臣表彰・若手科学者賞を受賞が決まりました。](#)

[2013年3月6日～8日 第9回領域会議が開催されました。](#)

[2012年12月に2期生研究成果報告会が開催され、お陰様で盛会のうちに終了しました。多数のご参加ありがとうございました。\(なお、3期生研究成果報告会は、2013年12月頃開催する予定です\)](#)

[2012年10月3日～4日 第8回領域会議が開催されました。](#)

[2012年6月4日 プレスリリースが行われました。](#)

[本部担当の横田さんがJSTを退職されました。\(4月30日付\) 今後は、上田亮さんが担当されます。](#)

[領域事務所が引越しました。\(4月13日、新しい住所は「領域事務所」に記載\)](#)

[2012年3月7日～9日 第7回領域会議が開催されました。](#)

[2012年1月6日 北海道大学で領域主催のシンポジウムが開催されました。ご参加ありがとうございました。](#)

[2011年12月16日 一期生研究成果報告会が開催されました。多数のご参加ありがとうございました。\(なお、二期生の研究成果報告会は2012年12月17日～18日に開催する予定です\)](#)

[2012年1月6日、シンポジウム「次世代の物質科学・ナノサイエンスを探る」を北海道大学で開催します。詳細はここをクリックして下さい。](#)

「プロセス」10月17日(木) インテグレーションによる次世代ナノシステムの創製」 3 研究領域公開シンポジウム

ナノシステム 研究成果報告会 (2013年12月19日～20日)

2) プレス発表

研究の成果が得られた時はプレス発表を行った。10 件のプレス発表を行った。

研究者	プレス発表
山内悠輔	平成 21 年 6 月 23 日 物質・材料研究機構、科学技術振興機構 「白金ナノ金平糖：微細構造を持つ白金ナノ粒子の開発に成功」 http://www.jst.go.jp/pr/announce/20090623/index.html
岩堀健治 内藤昌信	平成 22 年 8 月 30 日、奈良先端科学技術大学院大学・科学技術振興機構 「次世代のナノテクの基本材料をかご状タンパク質内部で作製に成功」 http://www.naist.jp/pressrelease/detail_j/topics/965/
上野貢生	平成 23 年 8 月 北海道大学 「数ナノメートルの加工分解能を有する光リソグラフィ技術の開発に成功」 http://www.hokudai.ac.jp/bureau/topics/press_release/110816_pr_es.pdf
千葉大地	平成 23 年 11 月 京都大学、JST 「室温で電圧による磁力のスイッチに成功」 http://www.jst.go.jp/pr/announce/20111003-2/
山田智明	平成 23 年 12 月 13 日 高輝度光科学研究センター、東京工業大学、ほか 「“ナノドメイン”構造を有する圧電体薄膜の超高速応答を実証」 http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news_data/h/h1/news6/2011/111213_1.htm
山内悠輔	平成 23 年 12 月 19 日 物質・材料研究機構、科学技術振興機構 「新たな高機能性材料メソポーラス・プルシアンブルーの合成に成功」 http://www.jst.go.jp/pr/announce/20111219/index.html
内藤昌信	平成 23 年 12 月 19 日 物質・材料研究機構、奈良先端科学技術大学院大学 「ポリマーがカーボンナノチューブを可溶化する過程のリアルタイム観測に初めて成功」 http://www.naist.jp/pressrelease/detail_j/topics/1469/
千葉大地	平成 24 年 6 月 京都大学、JST 「電圧で局所的な磁極反転スピードが 20 倍に向上」 http://www.jst.go.jp/pr/announce/20120607/
宮内雄平	平成 25 年 7 月 8 日、京都大学 「カーボンナノチューブを効率良く光らせる新たなメカニズムを発見ー希少元素を使わず常温で動作するナノサイズの量子光素子の実現に期待ー」 http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news_data/h/h1/news6/2013/130708_1.htm
宮内雄平	平成 25 年 10 月 16 日 九州大学 「カーボンナノチューブの電子準位を決定できる「経験式」を確立」 http://www.kyushu-u.ac.jp/pressrelease/2013/2013_10_16.pdf

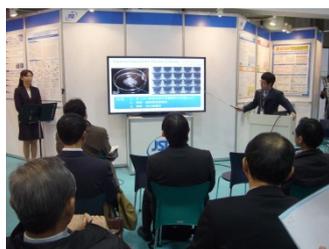
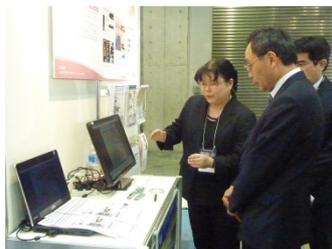
3) JST ニュース (JST の広報誌) への掲載

JST ニュースでは山内悠輔、千葉大地、池内真志、3名の研究者の成果を取り上げてもらった。

4) 展示会活動

国際ナノテクノロジー総合展が毎年1月頃に開催されるので成果が発表できる段階に達した研究を推薦し3名の研究者が発表した。

(木村建次郎：平成22年度、山西陽子：平成24年度、池内真志：平成25年度)



(5) 賞の推薦

さきがけ本部やアドバイザーなどからの連絡をもとに様々な賞の募集を研究者に伝え応募を勧めた。また、研究総括が適当と思われる研究者に応募を勧めたり研究者が自ら推薦を求めたりした場合は、すべて研究総括が推薦状を書き、受賞のためのバックアップを行った。

(6) 特許出願

JSTの知財担当者に領域会議で特許について講演してもらい、研究者の関心を高め特許出願の必要性和手続きの具体的流れを伝え特許出願のマインドを養成した。さらに、研究者のサイトビジットの際、および技術参事単独の研究者訪問の際に特許の説明を行い、各研究に基づく出願可能性について研究者と討論した。領域会議やさきがけの会合では知財担当者が、特許出願の可能性のある研究者と打合せを実施した。これらの取り組みの結果、特許出願数を増加させることができた。

(7) 東日本大震災(2011年3月)被害に対する対応

東日本大震災発生直後から当領域の全メンバーの安否と被害を調べた結果、身体的には全員無事だったが東北大学とNIMSの研究者の研究設備に被害があったため、総括と技術参事が現地を訪問して被害実態を把握した。東北大学3名の研究者、NIMSの2名の研究者については、被害が甚大だったので被害回復のための予算措置と研究期間の延長などを本部に要請し認められた結果、さきがけ研究を全うすることができた。

(8) 領域会議のベビーシッターについて

本領域 2 名の女性研究者が領域会議に参加するには、前年に生まれた幼児(約 1 歳)を会場近くの保育所で一時保育することが必須であった。そこで、両研究者の費用負担軽減を本部に要望し、領域会議参加中に要する保育費用の一部を補助してもらうことになった。これはさきがけでは初めての例であったが、保育にも問題がなく上記研究者が領域会議で発表・討論・交流ができ、大変有意義であった。

7. 研究領域のねらいに対する成果の達成状況

本戦略目標は、「ナノシステムと機能創発」という課題を通じて未来型・環境調和型の社会・産業の在り方を科学技術の側面から挑戦的に提言できるような真に革新的ナノプロセスの創製と開発を目指している。その可能性のひとつとして「創発」という自然界、とりわけ生物界における自律分散機能に着目し、その理解を深めるとともに、そのメカニズムをプロセスに取り込むという先導的だが困難な目標を掲げている。創発という概念を先導的にナノシステムに取り込むことは、我が国における国際競争の優位性を確保すると同時に、環境・資源・エネルギーなど現代社会が抱える喫緊の問題を解決する未来型の産業構造を構築する上で有力なアプローチになるもので、そのために本領域での活動を通じ、戦略的・体系的に推し進める必要があると考えられるのである。本領域の成果は以下の未来型科学技術創出の可能性を有している。

- ・イノベーションを生むための中核となるような革新的材料・プロセス技術の創出
- ・環境、資源、エネルギーなど現代社会が抱える喫緊の問題解決への新コンセプトと新システムの提案
- ・国民の健康と生活の安全・安心を支える革新的ナノテクノロジー・材料技術の創生
- ・生命システムの動作原理の解明と活用のための基盤技術の創出

具体的な目標としては、トップダウン手法を中心とするナノシステムの一層の高度化・高精細化とともに、これまでこういったナノシステムと融合や統合の試みがなされなかったボトムアッププロセスを概念的ないしは技術的に取り込むことにより、革新的次世代ナノシステムを創製する研究を対象としている。具体的には、トップダウンプロセスを主な手法とする研究者は、それらを一層高度に発展させると同時に、機能創発をする素過程にまで立ち戻って帰納的ないしは演繹的に創発機構を取り入れる努力が期待されている。一方で、ボトムアッププロセスを中心的な手法とする研究者は、自ら創発機能を発現する構造体を構築する革新的なボトムアッププロセスを開発し、その知見に基づいてプログラムされたナノシステムを開発するという挑戦的で困難な目標に立ち向かうことを求めている。

本研究領域では、慎重な選考を経た結果、極めて幅広い学問分野から次世代ナノシステム構築を目指す多彩な研究課題を採択した。それらを研究手法や物質系によって整理すると、以下の 5 グループに大別できる。

- ①ナノレベルの高度化・高細性化による機能創発

- ② トップダウンプロセスとバイオが融合した次世代ナノシステムの構築
- ③ 高次構造形成によって階層化した有機・無機・高分子系材料による機能化ナノシステム
- ④ タンパク質や DNA 等生体材料の自己組織化を利用した創発機能を有するシステム
- ⑤ 自己組織化によって創発する光機能性システム

①はトップダウン手法を中心として無機系物質を、②は生物系物質のボトムアップ的考え方や手法を取り入れてトップダウン的な無機系物質のシステム化を、③はボトムアップ手法を中心として異種物質系によるヘテロ高度化とシステム化を、④は生物系物質のボトムアップ的手法で、高度階層化とシステム化を、⑤はボトムアップ手法をさらに高度化しつつトップダウン手法を凌駕する創発機能のデザインと創製をそれぞれ目指そうとしたものである。いずれもこれまでに試みのない挑戦的課題に取り組んでおり、数々の世界トップレベルの独創的成果を挙げたものと評価したい。

さきがけの研究成果は、いずれも世界のトップレベルの学術雑誌や国内外の会議で数多く発表されていて、国際論文の発表は 468 編(国内発表は 12 編)、特許は国内出願 63 件(国際出願 14 件)に達した。プレス発表は 10 件行い、文部科学大臣表彰(3 件)、サー・マーティンウッド賞(1 件)、イギリス王立化学会賞(1 件)はじめ、極めて多数の受賞をしている。なお、昇進(助教から准教授など)した者は 15 名を数える。

	H21 年度	H22 年度	H23 年度	H24 年度	H25 年度
研究者の人数	10 名	25 名	40 名	36 名	18 名
論文発表(国内)	1 件	3 件	4 件	2 件	2 件
(国際)	19 件	52 件	166 件	162 件	69 件
特許出願(国内)	3 件	12 件	18 件	21 件	9 件
(国際)	3 件	3 件	1 件	7 件	0 件
プレス発表	1 件	1 件	5 件	1 件	2 件
文部科学大臣表彰	1 件	—	—	2 件	—
サー・マーティンウッド賞	—	—	—	1 件	—
イギリス王立化学会賞	—	—	—	1 件	—

「ナノシステムと機能創発」という異質な概念と手法が組み合わせられた目標設定に対し、各研究者は、どのように包括的・統合的な捉え方をして研究対象を構想し、研究方針と戦略を構築し、それをどのように発展させ、成果につなげるかという極めて困難な作業が求められる。にもかかわらず、上記のように各課題で数多くの世界をリードする独創的研究成果の数々が生れたのは、異分野融合を重視した適切な課題設定がおおきな役割を果たしたものと考えられる。その困難な目標に対し果敢に挑戦して成果を創出した研究者の努力は高く評価されなければならない。加えて、本研究領域は、前述のように多彩な分野の研

究者とアドバイザー陣から成り立っているが、領域会議を中心に研究者同士あるいはアドバイザーとの間の極めて活発な議論やアドバイスがあっはじめて達成されたものでもあって、本領域の成果は今後の目標設定の上でも大いに参考になろう。

上記の研究活動に加え、本領域では世界レベルで活躍できるような研究者として必要な素養と姿勢を涵養することもつとめた。毎回趣向を凝らした領域会議でのプレゼンテーション(英語の発表や社会やメディアに対する説明、自分の研究の時間的・地理的客観化等々)を通じ、発表の仕方、議論の進め方など、研究室の外で初めて可能になる企画を積極的に進めたが、研究者たちはその意図するところをよく理解し、熱心に応えてくれた。研究者たちが自主的にシンポジウムを企画したり報告会を定期的で開催したのはその表れであろう。これらの活動を通じて若手研究者が自らと自らの研究に対し、一層の自信と確固たる信念のようなものを獲得したと多くの研究者は第11回領域会議で感想を述べているし、アドバイザーもまた、それを強く感じ取っている。

このトップダウンプロセスとボトムアッププロセスの融合・統合は、製造技術分野における日本の優位性をさらに高めるものであり、今後も引き続いて体系的に取り組むべき課題であると言える。

以下に、本領域成果の例として、第1期生研究者3名、第2期生研究者3名、第3期生研究者4名、さらに現在継続中の5年型研究者3名が行った研究の狙い、成果を個別に紹介する。

(1)角五 彰 研究者(第1期生)

生体分子モーターを能動的に集積することで自律的に機能創発する ATP 駆動型ソフトバイオマシンを創製することを目的とした。研究者はアクチン-ミオシン系、および微小管-キネシン系について、それぞれ自己組織化するための条件探索と形成される構造について詳細に検討した。その結果、自己組織化される際にアクチンや微小管集合体の構造を決定する因子が存在することを明らかにした。また、自己組織化と非対称環境を組み合わせることで生体分子モーター集合体にセンチメートルオーダーの構造秩序を付与することに成功し、未だ実現されていない高効率・高機能の創発型 ATP 駆動型ソフトバイオマシンの創製が近い将来実現できることを示した。さらに、それら集合体全体の運動が規則的なパターンを自律的に形成することを見出し、人工的に自律分散性を発現することにも成功した。これらの成果は、生物運動における創発機能発現という、現代生物科学が抱える最も重要な課題のモデルになるので極めて重要な成果であり、今後その機構解明のための有力な武器になろう。

(2)山内悠輔 研究者(第1期生)

ボトムアップ手法で形成したナノ構造体の鋳型とトップダウン方式で微細加工された基板を用いてナノ空間内で自律的に高次機能を創発する自己組織化集合体システムを構築し

た。トップダウン方式では、50nm 以下のサイズの精密加工は難しく、本方法のようなボトムアップ手法によって自己組織化された構造体は、原子・分子サイズより一回り大きいサイズを自発的に規則的に配列制御して微細加工できるという特徴があり、トップダウン方式の細孔壁の結晶転移を活用することによって垂直配向膜の合成に成功したことは特筆に値する。これは、トップダウン方式単独ならびにボトムアップ手法単独では従来なし得なかった巧みな融合技術であり、その先鞭をつけたものである。本方法によって得られた高配向性の薄膜は、メソ細孔中に有機分子、共役高分子、磁性金属などを導入することによって、極めてオリジナリティの高い応用展開も示すことができた。山内研究者は、これらの成果をトップクラスの学術雑誌に数多く発表し、特許出願を積極的に行ったのみならず、メディアなどを通じて広く社会に訴えるなどして、その研究姿勢もまた高く評価されるべきである。

(3) 藪 浩 研究者(第1期生)

波長よりも小さい金属-誘電体の周期構造は、負の屈折率を持ち、回折限界以下の光を投影できるメタマテリアルとなることが報告されている。藪研究者は相分離構造を持つブロック共重合体ナノ微粒子を金属化してメタマテリアルを作製し、金属-誘電体周期構造の屈折率を制御する可能性を示した。本研究では、自己組織化により内部にナノサイズの相分離構造を持つブロック共重合体微粒子を作製し、ナノメッキ技術により金属化することで、紫外・可視光領域におけるメタマテリアルを作製する事を目的とした。同時に、これをレンズに用いることで、回折限界を超えるナノリソグラフィ技術の確立を目指した。研究成果として、マイクロ波による相分離構造の迅速形成手法および無機-有機ハイブリッド粒子の作製手法、集積化手法を確立し、ボトムアップ型メタマテリアル作製の可能性を示した。これらの成果は論文、特許として発表されている。メタマテリアルとしての負の屈折率はまだ実現していないものの、化学的に制御することによって、屈折率を低下させることができることを示し、創発性ナノシステムへの展開の可能性を示したことは高く評価できる。今後ナノリソグラフィへの展開や新規光学素子への応用も期待される。

(4) 木戸秋 悟 研究者(第2期生)

マイクロパターンニング技術を応用して、細胞接着性ゲルの表面弾性率分布を自在に設計できる手法を独自に開発し、これによって新規の細胞機能操作材料の開発を行った。細胞運動は生体組織における様々な生理学的・病理学的過程に重要な役割をなしており、そのメカニズムの理解と制御技術の確立は、細胞分子生物学における学術的基礎からも、また医用工学分野への応用展開の視点からも重要課題である。本研究では、力学場から受け取るメカノシグナルをプログラマ的に入力制御する材料を設計し、この硬軟領域パターンニングしたゲル上では間葉系幹細胞が自発的運動する過程で硬い領域と軟らかい領域のいずれにも定住できなくなる現象が生じることを発見した。この現象を利用すると、幹細胞は培

養基材の硬さ軟らかさを強制的に短い周期で振動的に経験させられることとなり、結果として基材硬度依存的な分化系統決定の抑制を示し、未分化状態を維持することがわかった(分化フラストレーション、幹細胞の分化フラストレーション現象=未分化を保持する現象)。この成果は、幹細胞を若く元気に保ち、安定した品質で供給するための培養原理を明らかにしたものであり、病理学的にも医工学的にも極めて重要な発見と考えられる。

(5) 木村建次郎 研究者(第2期生)

独自アイデアにより、全く新しい高速電子線露光法の開発を目指した。コンピュータを高速化するためには、半導体素子を一層微細化する必要があり、それにはさらに短い波長で加工する必要があるが、これを使えないのは、電子線をレンズで絞るときに大きな“収差”が発生するからである。この収差の影響で、本来の電子の波長に比べると遥かに大きなパターンしか描けないし、電子線を並列に均一に出射する方法も確立されていない。木村研究者はマイクロチャネルプレート(MCP)が、光束を増幅・変換可能な電子線束発生方法として利用できること、さらに収差に関しては、静電場の基礎方程式の基本的な性質とコンピュータの高速演算処理を利用することで低減可能であることに着目し、MCPを電子線束発生に使う世界初の電子線露光装置を試作し、かつパターンの縮小投影に成功し(6件の特許出願)、同時に収差低減に関する計算機実験にも成功した。本研究で見出した方法では、従来の電子顕微鏡のレンズを1/20に縮小でき小型電子顕微鏡や電子波散乱トモグラフィなどの実現が可能となる極めて重要な研究成果である。本研究の成功は、原子数十個単位の半導体素子が製造されるようになること、極めて微細な短針をもつ電子顕微鏡が将来、開発される可能性があることを示しており、今後、これらの早期実用化をめざし、研究開発の体制を早急に整えることが我が国の科学技術のイノベーションのために緊急に要請される。

(6) 内藤昌信 研究者(第2期生)

μm の垂直配向膜を媒質とする面発光型の円偏光有機レーザーシステム開発を目指した。円偏光レーザーは量子暗号通信に必要な円偏光光源、3次元ディスプレイなど、次世代の光情報プロセッシングの主力として注目されている。本研究では、有機分子としては最大級の円偏光度と発光量子収率を持つ有機色素ピレンと γ シクロデキストリン(CDx)の包接錯体を材料とし、この円偏光発光性分子素子をキャビティ中に垂直配向かつ膜厚を発光波長と精密に一致させるボトムアップ手法により、低消費エネルギー高効率型の円偏光有機レーザーの創出をめざした。その結果、 γ -CD-ピレン誘導体の包接錯体をクリック反応で高分子化する手法を創出し、トップダウン技術で作製したキャビティの高さに併せて高分子長を制御しながら垂直配向化する自己組織化重合手法を確立した。本研究で、分子長を所望の長さに制御し円偏光発光性超分子を垂直に配向させる技術を確立したのは画期的成果として高く評価できる。また、リソグラフィのマスクパターン中で超分子クリック重合を

行くとパターンの高さで重合が停止することを利用して円偏光発光性有機薄膜の膜厚を制御するという興味深い知見も得た。ボトムアップとトップダウンの手法を活用して円偏光発光材料の分子設計-構造・機能相関を明らかにしたことは新しい合成化学手法としての価値も高い。本研究で得られた知見は、円偏光有機レーザーの実現のみならず、有機ELやセキュリティペイントなどへの応用も期待できよう。

(7) 小寺哲夫 研究者(第3期生)

ナノシリコン配列構造中に電子を一個一個閉じ込め、そのスピンの向きを操作することで、量子コンピュータ創出のための基礎技術を確認することを目指した。そのため、(A) ナノシリコン中に電子スピンを制御して閉じ込める技術の開発、(B) 電流が流れなくなるスピン閉塞現象の実現とスピン緩和要因の解明、を課題とした。その結果、電子スピンを20nm程度の領域に1つ1つ閉じ込める技術を開発し、電子数ただ1つの変化を電荷計により検出することに成功し、電子スピンの性質により電流が流れなくなるスピンプロックードを実現した。さらに、(C) 閉じ込め電子の状態を量子ドット電荷検出計による読み出し、(D) 電子スピンの回転を電圧パルスや高周波により制御して、量子情報処理に必要な操作を実現するなどして量子情報素子やフラストレート系の実現に向けた基盤技術を開発した。これらの成果は、電子スピンを利用した量子コンピュータの実現に一步近づく要素技術を開発したものと見えよう。同研究者が開拓したこれらの成果はトップクラスの雑誌に報告、学会などで高い評価を受け、数々の賞を受賞していることを総括としても喜びたい。

(8) 千葉大地 研究者(第3期生)

磁石の磁極方向を磁界ではなく電界で可逆的にスイッチさせ、それをナノスケールの磁気メモリの新しい書き込み手法へ応用しようということであり、こういった試みはこれまでにない。この手法が実現すれば、素子に電流を故意に流さずに済むので動作時の飛躍的な消費電力の削減が期待でき、さらに安価な磁石を所望の特性にでき、磁石の用途が拡大する。精力的な研究推進の結果、コバルトのような強磁性半導体に電圧を加えることによって磁性を消したり元に戻したりできること、即ち磁界を使わずに電界のみで磁化スイッチングを引き起こすことに見事成功し、Nature Materials, Nature Communications その他の雑誌に報告した。これらに加え、磁壁の伝搬スピードを電界により数桁制御可能であることも明らかにした。これらの成果は従来の考えの延長からは予測できない成果であり、精密なナノスケール回路の集積により発揮された見事な創発現象ということができよう。この成果は磁性だけでなく、電子の数を変えることで物質の基本性質を、自在に操り様々な性質をもたせる可能性を持っていることを示しており、新たな“錬金術”の道が開けるかもしれない夢多い成果ということができよう。

(9) 古海誓一 研究者(第3期生)

高分子ゲルはゼリーや豆腐など我々の日常生活でなじみ深い物質であるが、古海研究者は、精密重合によって数百 nm の大きさのコロイド微粒子をボトムアップ的に作製し、それを 3 次元的に規則配列・集積した階層構造をつくることによってゲル状フォトニッククリスタルを形成し、次世代フォトニックシステムに繋がるアクティブなレーザー発振を実現した。しかもその Q 値は 1.1×10^4 という世界トップレベルの高い値を持つ優れた性能を示した。ゲルは液体を含む高分子網目のネットワーク構造で柔軟性を示すので、応力によって変形し、赤色、オレンジ色、黄色と連続的に波長可変のアクティブなレーザー発振することも実証した。さらに、フォトクロミック化合物導入によって、マイクロパターンレーザー発振の可逆的な光スイッチングにも成功し、精密に合成した高分子ゲルがアクティブなレーザー発振できるという報告はこれまでに例がない創発現象であって、特に、サイズ可変という高分子ゲルの基本特性を生かした波長可変レーザー発振に関する研究成果は高分子科学の可能性に新たな機軸を切り開いたばかりでなく、その産業応用も大きな可能性を秘めていると考えられ、その成果は高く評価されるものである。これらの成果は論文や特許出願としてまとめられている。

(10) 宮内雄平 研究者(第3期生)

カーボンナノチューブは、光照射や電流印加によって近赤外の光が発することが知られており、将来のエネルギー光源やイメージング用の発光体として期待されているが、その発光効率は非常に低く、大幅にその効率を上げることが強く求められている。宮内研究者は、ナノチューブ 1 本に約 1 個程度の非常に希薄な割合で、励起子を局所的に閉じ込める「0 次元(量子ドット)」状態をナノチューブ上に作ると、「0 次元(量子ドット)状態」では、細線上(1 次元状態)の励起子(約 1%程度)と比べ約 20 倍の桁違いに高い効率(約 18%程度)で励起子 1 個を光子 1 個に変換できることを見出した(Nature Photonics 並びに特許出願)。この効果は、励起子が量子ドット状態に閉じ込められることで、「次元性(運動の自由度)」と「空間的広がり」が変化し、カーボンナノチューブの限界を超えて発光効率が高められることを示しており、励起子の次元性の変換に伴う創発現象を示す重要な発見と位置付けられる。この成果は将来的に新しい量子光機能素子の実現や高効率な量子光源など革新技术の実現につながると期待される。本研究はその研究成果のみならず、課題設定の仕方とアプローチの手法は研究者が持つ包括的・系統的に対象をとらえ理解しようとする優れた資質を示すものであろう。

5 年型及び、大挑戦型研究として現在進行中の課題においても優れた成果が挙がりつつある。

(11) 廣畑貴文 研究者(2期生 5年型)

Fe と GaAs の半導体中に注入したスピンの生成するスピン伝達トルクを利用し強磁性体ナ

ノドットの磁気モーメントの回転によって駆動するナノ・モーターの開発を目標としている。現在までのところ、GaAs 基板上にエピタキシャル Fe 層を世界で初めて完全分離界面として生成することに成功し、これを用いた 3 端子、4 端子面内スピンバブル素子を作成して GaAs 基板中へのスピンの注入と検出にも成功している (Physical Review B)。今後は電場もしくは磁場を印加するゲート電極を追加し、ゲート電極を用いて GaAs 基板中を流れるスピン偏極電子を回転させ、世界初の数 MHz 電場の高速で回転するナノ・モーターを実現する計画である。このような試みは世界でも全く行われておらず、極めて挑戦的・意欲的研究と言えよう。

(12) 白幡直人 研究者(第 2 期生大挑戦型：期間延長により合計 5 年間)

非酸化性シリコンクラスター粒子を 5nm 以下のサイズで連続的に制御する精密重合を開発した。しかも、単元素から成るこの半導体ナノ粒子を用いて、そのサイズを変えるだけで 300-1000nm という広い波長域において連続的に波長を制御できるレーザー発光に成功した(特許出願)。これはナノ粒子化することでバルク結晶のシリコンのバンド構造からは予測できない強い発光であり、この発光が HOMO-LUMO 間における光励起子の直接遷移的な再結合に基づいていること、周波数を変調するには、ナノ粒子の「相」「大きさ」「表面」を精密に制御する必要があることなど重要な学術的知見を得た。

(13) 池内真志 研究者(第 3 期生 5 年型・大挑戦)

これまで加工不可能とされていたコラーゲンを用い、それを研究者独自のトップダウン膜微細加工技術を駆使してボトムアップ的に移植可能な人工細胞培養のための 3 次元組織体の構築に成功し、これによって世界で初めて 3 次元人工毛細血管床を実現した。生体の毛細血管に類似した構造を人工的に作製できるのは、現時点では当該研究者の技術が最も先進的であろう。この手法を用い、従来手法に比べ、10 倍以上の効率で iPS 細胞の胚様体を作製できるアレイも開発した。この成果は組織再生のブレークスルー技術になると評価されており、企業と共同で製品化を進めるなど、すでに実用化直前の成果も出ており、大挑戦として今後も引き続き飛躍的成果が得られると考えられる。

8. 総合所見

(1) 研究領域と研究総括の選定・研究領域のマネジメントについて

本領域は、生物を含め、自然界が示す自律的な秩序形成と機能創発を人工的な微細加工などの技術に取り入れ、融合させるという挑戦的な目的で設定されたが、スピントロニクスから運動タンパクの運動制御にいたる極めて幅広い分野の研究者を採択し研究を行うことができた。これらの幅広い研究分野の研究者が研究総括の掲げる「創発」という目標にどのようにアプローチし、どれほど目標とするところまで近づくことができたかは研究者によって違いがあるが、将来有望な研究がいくつも生まれていることは領域の設定と研究

総括・領域アドバイザーの指導とアドバイスが適切であったことを示している。このような異なった概念が同時並列的に一つの目標のもとに、戦略的・体系的に研究を進める例は、あまり例がなく、今後の目標設定の上で参考になろう。領域の運営においても各研究者は異分野の研究に領域会議や研究室訪問で間近に接することで異分野への抵抗感が減り、自らの研究の幅を広げるきっかけとなったほか、一人では解決できない部分について協力してもらえ研究者を領域の内外で探して目標の達成のために努力するようになったことがうかがえる。

(2) 研究領域としての成果、科学技術イノベーション創出への展望など

本領域の目標「ナノシステムと機能創発」の持つ意味をもう一度考えてみたい。機能創発とは前掲のように“局所的な相互作用を持つ個々の要素が多数集まることで、その総和とは質的に異なる高度で複雑な秩序または自律的機能やシステムが生じる現象”を指し、その発現は生物の世界によく見ることができ。しかしながらその発現機構は未解明の点が多い。今わかっていることは、そのメカニズムは現在我々が手にするあるいは将来的に描くところのエレクトロニクスに基づくナノシステムと根本的に異なっており、ある意味ではその原理は次に述べるように対照的である。

トップダウンによって実現されているナノデバイスでは電子をキャリアーとして固体半導体中を高速移動することにより演算されるので、1素子・1機能(シングルファンクション)であり、機能化のための回路設計製作の方法論が確立している。したがって、LSIのような機能集合体、すなわち集積回路デバイス製作が可能である。一方で高集積化、高速化にともなって発熱によるエネルギー損失が大きいという課題を現在抱えている。

一方、生物に見られる創発機能発現においては、キャリアーは主としてイオンや分子であり、それらが、水媒体中をカスケード的に極めて多段階のプロセスを経て信号を伝達し演算している。そこでのキャリアー移動速度は電子とは比較できないほど遅いものの、演算処理はパターン形成によっていて、低エネルギー損失高効率動作が可能である。

ここで問題になるのは、そのプロセスが熟揺らぎ、分岐や発展的フィードバックを持つ時空間複雑系、散逸構造やカタストロフィといったキーワードで表現される非線形非平衡系の複雑なカスケード反応によって発現されることである。それゆえ、1集合体・多機能(マルチファンクション)システムという特徴を持つかわりに、無数の素反応からなるネットワークの全体構造が現時点で今もって描けないことである。したがって、機能集合体即ち細胞や生体組織における機能発現メカニズムもまた不明であるので、作動制御技術はもちろんのこと、人工的に機能集合体を設計製作するすべがないということである。

このように考えてみると、創発発現の仕組みはいまだ不明な点が多く、少なくとも生物界で見られるような創発機能を現在の延長線上のナノシステムにそのまま導入することには、ある意味で飛躍があり、大きな困難を伴うのは容易に想像できる。しかしながら本領域でこのような目標を設定したことは、それゆえにこそ若手研究者に現在のナノシステム

が抱える基本的課題をいち早く捉えてもらうと同時に、我が国の将来の科学技術のあるべき方向と姿を先導的に考える機会を設け、よって社会価値観の変革を伴うイノベーションにつなげて欲しいという意欲的・挑戦的な構想のもとに設定されたものと推察される。環境や社会と調和する未来型のナノシステムを作るための挑戦をするというその観点からこの目標を考えてみると、「ナノシステムと機能創発」という問題提起はまことに先導的・創造的目標といえよう。

このような困難な目標設定にもかかわらず、研究成果を総括してみると、各研究者は世界を先導する数多くの萌芽的・革新的学理と次世代の産業構造を変革しようとするような科学技術を提案し、見事に期待にこたえたものと評価できる。

そして本領域はその活動を通じて、「機能創発」という新しい学術上の概念を達成するために、次の4つのアプローチが存在することを明らかにした。

- ① ナノレベルの高度化による機能創発
- ② ヘテロナノ構造構築による機能創発
- ③ 外部刺激によるナノ構造制御と機能創発
- ④ 生物運動制御による自発的機能創発

①では、ナノレベルでの規則構造構築を高度化(場合によってはそれらを階層化)することによって同調・集積といった新たな機能創発を見出した系で、たとえば分子シンクロナイズ効果によって強円偏光発振可能となること(内藤)、スピン閉じ込めによって量子演算素子を作れることを証明したこと(小寺)、原子レベルの解像度を持つ超小型電子顕微鏡開発による生物医学用途への応用可能性(木村)、3nm以下のサイズで制御したシリコンクラスター粒子による連続波長可変レーザー発光(白幡)、数十nmの厚みで積層堆積させた軽金属一遷移金属多層膜が瞬間発熱と素子接合への応用(生津)、世界初の数MHz電場の高速で回転するナノ・モーターの開発(廣畑)などがその例である。

②では有機-無機、バイオ-金属等、無機-バイオなど異なる物質間でナノ構造を構築することによって、単独では得られない特異的な機能創発を発現する系で、金属-抗体-セラミックス交互ナノ接合によるプラズモン共鳴(梅津)、屈折率制御が可能であることを示し、メタマテリアル創出の方向論を確立したこと(藪、吉田)、自己集合ペプチド-マンガニ錯体を集積化を利用した毒性の低い磁気共鳴画像(MRI)造影剤キャリアの開発(松村)、半導体微細加工と脂質二分子膜とを組み合わせたチャンネル埋め込み型脂質二分子膜の形成と薬物副作用の評価法の開発(平野)、ナノギャップ金チェーン構造体による近赤外テラヘルツ光の発生(上野)、3次元微細加工技術と高密度細胞集積化によるコラーゲンゲル3次元血管モデルの創製(松永、池内)、グラフェン表面上でのペプチドの規則的ナノワイヤー構造形成(早水)、発光性多孔質有機塩と様々な有機分子、生物活性分子との錯体形成による発光変調(藤内)など数多くの例を挙げることができる。

③では外部電場印加によって、ナノレベルの構造が応答し、新たな機能が発現された系で、磁性の可逆的スイッチングのみならず、現代の錬金術にもつながるような基本物性の

変換の可能性を示したこと(千葉)、ゲルという含水高分子ナノ微粒子を用いて応力による波長可変レーザーを実現したこと(古海)、化学的に作ったゼロ次元励起子は1次元CNT上で強力で発光できること(宮内)、などをあげることができる。

④では運動タンパクの自己組織集合体が数多く集合すると、それ自身、自律分散的にパターン形成するように運動して、生物組織に全く新しい性質を付与したり、創発モデルを作りうること(角五)、高弾性-低弾性ゲル状に幹細胞を運動させると細胞は基材硬度依存的に未分化状態を維持(幹細胞の分化フラストレーション現象)し、幹細胞を若く元気に保存できること(木戸秋)、などがその例である。

これらはいずれも、トップダウン手法によるナノレベルでの規則構造形成、あるいはボトムアップ手法による自己組織化と階層構造形成、ないしはその両方の技術の特性を巧みに構想し、高度化することによって創発機能に結び付けた例で、これほど多彩な分野と手法によってナノ構造を制御し、創発システムを本領域のように体系的に構築した前例は世界的にもなく、高く評価されるべき成果だと考えられる。また、これらの成果は「ナノレベルでの構造制御を究めた物質系反応場における応答は、適切な条件下では質的変質を遂げ、機能創発する可能性を有する」という根本的で重要な学理を提案できることを示している。

根本原理につながるこれらの独創的基礎的研究が、忽然として新産業と社会変革をもたらす可能性があることを考えると、本領域のどの研究が将来産業界に应用されるかを安易にとりあげ、それらについてさらに評論・コメントすることここでは避けたい。それぞれの成果の中に独自の考え方、すぐれた解析力、そして世界第一級レベルの高度の技術力が提示されていて、まさにさきがけ研究にふさわしい誇るべき成果の数々が生み出され、新学術領域の創出のみならず、イノベーションにつながる次世代新産業が創出する可能性を示したことを総括として誇りに思うとともに、それらを研究者、及びアドバイザー一人一人と共有したい。

以上