

# 平成25年度 新学術領域研究（研究領域提案型） 事後評価結果（所見）

## 研究領域名

ソフトインターフェイスの分子科学

## 研究期間

平成20年度～平成24年度

## 領域代表者

前田 瑞夫（独立行政法人理化学研究所・前田バイオ工学研究室・主任研究員）

## 研究領域の概要

生体分子、高分子などのソフトマターの界面は、外部からの刺激によって構造や性質が大きく変化するソフトな特性がその大きな特徴であり、この動的な界面をソフトインターフェースと定義する。ソフトインターフェースは、生物機能の多様性を支える源になっているばかりでなく、医療を支えるバイオマテリアルやバイオデバイスなどの性能を支配する重要な因子と位置づけられる。しかし、その分子レベルの研究はほとんどなされておらず、しばしば従来の知識では理解できない現象がみられる。本提案領域研究では、精密な界面の構築技術や特性解析技術を開発し、また界面が関与する新奇現象・物性を解明しつつ分子認識デバイスなど新たな機能材料の開発を進め、ソフトインターフェースの分子科学を創出する。

## 領域代表者からの報告

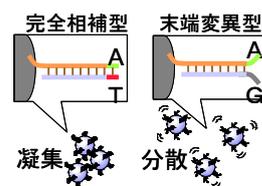
### 1. 研究領域の目的及び意義

タンパク質・核酸・多糖類などの生体高分子、液晶や両親媒性分子、コロイドなど、大きな内部自由度を特徴とする有機物質を総称してソフトマターという。外部からの刺激により構造や性質が大きく変化する、いわゆるソフトな特性がその大きな特徴である。このようなソフトマターが形成する動的な界面をソフトインターフェースと定義する。ソフトインターフェースは、生物機能の多様性を支える源になっているばかりではなく、未来医療を支えるバイオマテリアル・バイオデバイスの性能を支配する重要な因子として位置づけられる。しかし、その分子レベルの研究は緒に就いたばかりである。ソフトな界面では、従来の知識では理解できない現象もしばしば見られる。

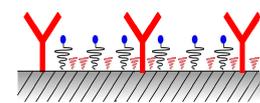
たとえばソフト界面での分子認識において、以下のような異常現象が見出されている。DNA 固定化ナノ粒子を研究していた領域代表者の前田瑞夫（理化学研究所）らは、二重鎖DNAを表層に密生させた金ナノ粒子のコロイド安定性が、DNA自由末端側の塩基対構造に明敏に応答するという奇妙な現象に遭遇した。自由末端にミスマッチ（一塩基変異）が存在すると、完全相補（フルマッチ）の場合と比べて、高イオン強度における安定性が著しく増大するのである。これは、DNA密生相とバルクの界面における分子構造のわずかな変化が、マクロでダイナミックな現象に増幅されたことを意味する。このDNAナノ粒子が示す新奇現象を用いた一塩基多型診断の原理は、高い信頼性を有するとして国内外で注目を集めている。しかし分子レベルでの機構は未解明のままである。界面における分子鎖状態の解明が待たれる。

一方、領域事務担当で計画研究代表者の一人である長崎幸夫（筑波大学）らは、抗体と水溶性高分子（ポリエチレングリコール：PEG）が密に配置された表面を構築する過程において、抗体の活性がPEGの共固定によって増強され、これまでにない高い感度を有する抗体基板が調製できることを見出した。この「界面増強ELISA」とも言うべき新奇現象の分子機構はまだ明らかでないが、PEGが抗体タンパク質の立体構造に影響を与えている可能性があり、今後のソフトインターフェースの特性解析研究に興味もたれる。

ナノテクノロジーは、表面・界面という古くからある未解明の研究課題に新たな光を当てた。特に、原子間力顕微鏡に代表されるようなナノ計測技術の飛躍的な進展に伴い、表面を直接、見ることが可能となり、これがさらにバイオサイエンスの分野にも波及してきている。加えてバイオセンシングの観点からも、表面や界面の精密計測ならびに利用技術に関して、近年著しい進歩が見られている。しかし、抗体や遺伝子などのバイオ素子を基板表面上に固定すると、その活性・特異性が



ソフト界面異常現象(1)  
DNAブラシ自由末端での一塩基完全識別



ソフト界面異常現象(2)精密PEGブラシによる抗体活性超増感

著しく低下してしまうのが一般的であった。そこで本領域代表者らは、バイオ素子を固体に直接結合させるのではなく、水に溶存する高分子を介してこれを行うことの重要性を指摘し、2001年度科学技術振興調整費「先導的研究等の推進」(01-03年度)に採択され、前田、長崎、高井まどか(総括班メンバー・計画研究代表者:東京大学)が参画して「バイオコンジュゲート材料」に関する研究を進めてきた。ここで、高分子の構造を精密に制御し、その親水性・疎水性や荷電のバランスなどを変化させたところ、上述の例のような従来の知識では理解できない、いくつかの新奇な界面現象に遭遇したのである。

本新学術領域研究では、生体分子を含む界面構成因子を動的・空間的に捉えるソフトインターフェースの分子科学という新しい視点から、精密な界面制御技術や三次元的な界面評価技術を開発し、界面が関与する新奇現象・物性を見出しつつ新たな分子認識デバイス開発を進めることを目的として、異なる学問分野の研究者が参画し、新たな融合学術領域の創成を目指す。

ここで言う「ソフト界面」とは、二相間の「境界面(interface)」ではなく、もちろん固体の表面(surface)でもなく、むしろ二相のあいだに存在する新たな領域であって、「界面域」ないし「界面圏」とでも表現されるべき「境界相(inter-phase)」である。このようなソフト界面の構成因子としては、生体分子を始めとするソフトマターそのものに加え、溶媒分子や共存塩類をも含めて考えなければならない。すなわちこの領域においては、生体分子ないし高分子鎖が、厚み方向の組成の揺らぎを伴い活発に分子運動を示す相として存在する。このような相はしかしバルクとも性質が大きく異なるものである。ソフトインターフェースは、疎水性効果、クーロン力、エントロピー、浸透圧などが関与する特異な場であり、バルクとは異なるエネルギー状態と分子運動状態を示す。

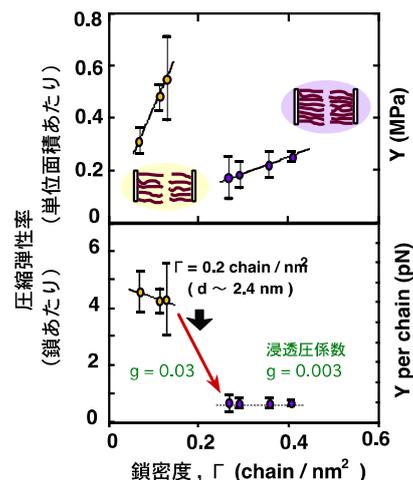
これに対し、総括班メンバーで計画研究代表者の高原 淳(九州大学)は、総括班(評価担当)の梶山千里(九大総長(当時))らと共同で、走査粘弾性顕微鏡を世界に先駆けて開発し、ソフト界面の新しい分子科学的性質を見出している。すなわち、硬いガラス状高分子固体であっても、表面では分子鎖末端が濃縮することによる自由体積の増大、あるいは低分子量成分の濃縮による表面可塑化により、ガラス転移温度は室温以下に低下し、表面がソフトな状態となっていることを明らかにした。すなわち、表面・界面の分子鎖熱運動性の特異性を明らかにしている。これらはソフトインターフェースの物性評価の重要性と、表面分子設計の重要性を指摘するものである。

さらに、界面における分子の組織化に目を向けることも必要である。すなわち総括班メンバーで計画研究代表者の一人である栗原和枝(東北大学)らは、独自の設計による表面力測定装置を駆使して、固-液界面の高分子電解質ブラシの圧縮弾性率に、密度依存性の転移を見出している。低密度側で固くなるという新奇現象であり、対イオンの浸透圧(すなわち対イオンの活量、高分子電解質鎖への結合の強さ)に転移があるとして解釈されている。これは界面の高分子電解質ブラシの特性の解明に、界面独自の計測が必要であることを示している。同グループは、また、固-液界面の液体の構造を精力的に研究しており、固-液界面に吸着した液体分子が水素結合により分子組織体を形成することを明らかにしている。従来の知識からすると驚くほど長距離の十から数十 nm に及ぶこの界面分子マクロクラスターは、もう一つの界面構成要素であり、ソフトインターフェースの機能を考える上で、界面の液体分子もまた重要な役割を担っているであろうことを示している。

このように、本提案領域は既存の学問分野の枠に収まらない新興・融合領域の創成を目指すものである。加えて、多様な研究者が新たな視点や手法による共同研究を推進することにより、当該領域の飛躍的な進歩が見込まれる。例えば、冒頭に述べた DNA 密生相が示す新奇現象の解明には上記の表面力測定が、抗体/PEG 共界面が示す特異性増強現象についてはラマン法を始めとする分光学的手法が特性解析に有効であり、さらに精密な界面設計を進めることがその更なる性能向上に対して有益であると考えられる。ソフト界面の分子基盤については、表面開始グラフト重合、自己組織化などのボトムアップ的な手法や、ナノインプリント、電界紡糸などのトップダウン的な手法が整い、様々な表面機能特性を有するソフトインターフェースを自在設計・パターン化構築することが可能となってきている。

ソフト界面の特性解析や分子基盤について独自性の高い取り組みが近年、急速に進んで来ており、ソフトインターフェースの分子科学を一つの新学術領域として研究する必要性に対する問題意識とともに、その準備がまさに整ったと言えよう。我が国において精密な界面構造設計・制御技術が著しく進歩し、また気鋭の研究者によって三次元的な界面評価技術が次々と開発され、さらにソフトインターフェースが関与する新奇な現象がいくつか見出されつつある今、世界に先駆けて本研究領域をスタートさせ、日本が同分野をリードしていくことが必要である。

国内外の状況について、まず欧米に目を向けると、スイス ETH のグループが中心となったバイオ界面に



ポリグルタミン酸ブラシ (pH 10) の圧縮弾性率の密度依存性

関する国際会議 BIOSURF がスイス国内で 1997 年より隔年で開催され、主に欧米研究者を中心として討論が進められている。領域代表者の前田は 01 年、事務担当者の長崎は 03 年に招待講演を行っている。04 年にはオーストラリアにて、International Conference and Workshop on Physical Chemistry of Bio-Interfaces が開催された。この会議では表面解析、非特異吸着抑制、分子認識表面の構築、アレイ技術の創出など、界面に特化した討論が 2 日半にわたり続けられ、世界中からおおよそ 100 名の先導的研究者が参加した。一方、表面科学分野で最も権威のある、物理系の米国真空学会 (AVS) にも、Biomaterial Interface Division があって、盛んに活動している。04 年に長崎が、06 年には前田が招待講演を行っている。さらに 06 年から同学会が、バイオ界面に関するオープンアクセスジャーナル Biointerphases を創刊し、注目を集めている。前田、長崎、高原はその編集委員 (co-editor) を務めている。東京では 03 年に、The First International Congress on Bio-nanointerface (ICBN 2003 TOKYO) が開催された。この会議では、本領域のメンバーから前田と高原が基調講演を行ったほか、長崎、高井、菊池明彦 (計画研究代表者: 東京理科大学) らが招待講演を行った。国内の学会では、高分子学会・日本化学会などにおいてバイオインターフェースやソフトインターフェースを主題とした研究会やシンポジウムが近年、開催されるようになってきている。

このような取り組みを通じて、ソフトインターフェースの重要性は国内外で広く認識されつつある。しかしながら、ソフトマターからなる固-液ないし気-液界面の動的空間を分子科学の視点から重点的に研究し、新しい学術領域を創出していこうという研究組織は現状では見当たらず、本領域を早急に立ち上げることがきわめて重要であると考えられる。このような背景から本新学術領域研究の応募に至った。

## 2. 研究の進展状況及び成果の概要

ソフトマターは、タンパク質や核酸・多糖類などの高分子・液晶・両親媒性分子・コロイドなど大きな内部自由度を特徴とする有機物質の総称である。外部からの刺激によって構造や性質が大きく変化するソフトな特性が、その大きな特徴である。このようなソフトマターから形成される動的な界面をソフトインターフェースと定義する。ソフトインターフェースは、生物機能の多様性を発現する源になっているため、医療を支えるバイオマテリアルやバイオデバイスなどの性能や機能をコントロールする重要な因子と位置づけられる。しかし、その分子レベルでの研究はほとんどなされておらず、しばしば従来の知識では理解できない現象がみられる。したがって、バイオマテリアル・デバイスの開発のために、生体分子を表面固定化するというような合目的なアプローチにとどまることなく、生体分子を含むソフトな界面が持つ特性を分子レベルで明らかにしていく学術的な取り組みが必要であると考えられる。ゆえに本新学術領域研究では、様々な先端材料を開発していく上で重要な鍵を握る「界面」について、単純な二相系に挟まれた「面」としてではなく、動的かつ空間的な分子の特性が大きく現れる「ソフトな界面」と捉える。この認識に基づき、ソフトインターフェースの分子科学という新しい視点から、精密な界面分子基盤の構築、界面分子計測技術を開発していくとともに、それら界面が関与する新奇な現象・物性を解明することで分子デバイスなど新たな機能材料の開発を推進し、新たな学術領域の創成と将来の産業基盤の確立に資することを目的とした。

すなわち、本新学術領域研究では、生体分子を含む界面構成因子を動的・空間的に捉えるソフトインターフェースの分子科学という新しい視点から、精密な界面制御技術や三次元的な界面評価技術を開発し、界面が関与する新奇現象・物性を見出しつつ、分子認識デバイスなどの新たな機能材料の開発を進めてきた。異なる学問分野の研究者が参画し、新たな融合学術領域の創成を目指す。これによりソフトインターフェースを統括する学理を構築し、バイオマテリアル・バイオチップ等への応用に向けた設計指針を生み出すことを目標に研究を進めた。

ソフト界面の理解には、ラマン散乱法や和周波発生分光法などの分光学的手法、表面力測定法、電気化学的手法、大型放射光施設を用いる溶液小角 X 線散乱法や X 線反射率測定法、等が特性解析に有効であると考えられる。ソフト界面の設計・創成については、表面開始グラフト重合、DNA オリガミ、などのボトムアップ的な手法や、ナノインプリント、バイオリソグラフィなどのトップダウン的な手法が整い、様々な表面機能特性を有するソフトインターフェースを自在設計・パターン化構築することが可能となってきている。これらを得意とする研究者の有機的連携を図ることを本領域の大きな目標とした。

このように本提案領域は「既存の学問分野の枠に収まらない新興・融合領域の創成を目指す」ものである。加えて、「多様な研究者が新たな視点や手法による共同研究を推進することにより、当該研究領域の新たな展開を目指し」てきた。

また、研究人材の育成も極めて重要な課題である。領域主催の研究会には博士研究員や大学院生にも積極的に参加していただき交流を深めることを目指した。共同研究を通じてポスドク・大学院生の交流を図り、次代を担うべき世代の視野を広げることに尽力する。「ソフト界面」は、先端材料を物理学・化学・生物学の多面から学ぶという新たな視点を提供する学術領域であり、ワークショップやサマースクールの開催などを通じて概念の普及と学問体系化に努める。そのための教科書づくりを本領域が中心となって進める。以上の取り組みを強力に推進し、人材育成に努めてきた。

以下にその具体的な取り組みと成果について述べる。なお学術的成果については項目 8 で詳しく述べる。

### 1) 計画研究の設定とスタートアップ

本申請領域研究では、ソフトインターフェースに関する第一線の研究者が、A01「分子基盤」、A02「分子計測」、A03「分子認識」の3つの研究項目、13の計画研究グループを組織した。自己組織化によるボトムアップ型の界面構築法や、ナノインプリントないしはリソグラフィーなどのトップダウン法と組み合わせた精密パターンニングを先導してきた界面分子基盤の専門家、各種分光法やX線・中性子散乱・反射率測定、原子間力顕微鏡、表面力測定、界面電気化学測定など界面解析の専門家、さらにタンパク質や核酸、多糖類そして細胞までを自在に操ることのできる機能界面の専門家が一堂に会する点に特色があり、それらの緊密な連携のもとに新たな学術領域の創成を目指した。計画研究代表者13名のうち、大学教授は5名、准教授4名、研究独法の部長級3名であり、その後3名が教授昇任を果たしている。ちなみに女性は13名中4名(31%)であり、これについては後述する。

領域発足後、ただちにこれら13の計画研究をスタートさせるとともに、ホームページを立ち上げたほか、発足2ヶ月後には公募研究の募集案内も兼ねた領域活動紹介のため第1回公開シンポジウムを開催し、企業関係者や大学研究者を中心に100名の参加を得た。ここでの熱心な質疑討論から大きな期待が感じられ、順調なスタートを切ることが出来た。

### 2) 領域設定ならびに研究項目の妥当性

公募研究には20件の募集枠に対して200件近い応募があり、この新しい領域に対する研究者の関心の高さが明らかとなった。また3つの研究項目に対してはそれぞれ5:6:7の比率で応募があり、合成・構築に比して計測・解析やバイオ・応用の割合がやや高いものの、おおむね項目ごとにバランスの良い件数分布となった。これらのことは、本領域の設定課題が時宜を得たものであり、研究項目の設定が適切であったことを示している。

### 3) 若手研究者の積極的登用と共同研究

第2年次秋からは公募研究者24名が加わり研究交流や共同研究はさらに活発となった。公募研究者は全体に若く、24名のうち教授職はわずか3名であった(採択時点)。計画研究代表者13名をあわせた39名についてみても教授級(独法部長級を含む)は8名にとどまり、全体に若い組織であることが本領域の大きな特徴である。もちろんこれは分野が新しいことと無関係ではない。若い研究者らは皆、自身のオリジナルのテーマを提案してきており、主体性を持った研究運営が可能であったため、スムーズに交流が進んだ。

計画研究・公募研究計37件というまとまった数の研究が同時進行していた訳だが、本領域ではこれを研究項目ごとに細分化はせず、常に全員参加の全体会議形式で公開シンポジウムならびに非公開の領域会議を行ってきた。すなわち、領域型研究で一般に行われる「班会議」は一切開催しなかった。これは各研究者の専門分野を超えた交流を図るためであり、それは夜の情報交換会での活発な交流や20件近い共同研究となって結実している。これについては後で詳述する。

#### 4) 多様な研究人材の融合による新学術領域の創成

後半の第4年次には公募研究の大幅な入れ替えが起こった。すなわち審査の結果、計25件の採択が決まったが、前半からの継続は9件にとどまり、16件が新規課題となった。こうした研究課題の大幅入れ換えは領域の継続性・統一性という点からは一般に好ましくないと考えられ、また5年間の研究成果をまとめた形で示す上では不利な状況であるとも考えられる。しかし「多様な研究者が新たな視点や手法による共同研究を推進することにより、当該研究領域の新たな展開を目指すもの」という本領域の目的に照らせば、これはチャンスである。実際、前後半通じて延べ40人の公募研究者の参画を得た訳であり、これにより「既存の学問分野の枠に収まらない新興・融合領域の創成を目指すもの」としての本研究領域の裾野が大きく広がったと考えることが出来る。

このような流動性が見られた理由としては、前半の公募研究者24名から実に5名もの若手研究者が「最先端・次世代研究開発支援プログラム」に採択されたことが大きく寄与している。本学術領域の発展性を示す一つのエピソードとして触れておきたい。また計画研究代表者13名、公募研究代表者40名の計53名から、教授への昇任は13名、准教授への昇任は7名を数えたことを付記したい。これらはもとより各研究者の能力や努力の賜物であるが、もし本領域がいささかなりとも寄与をしたのであれば望外の喜びである。

#### 5) 班会議ではなく横串型や合宿型の研究会開催

全体会議（公開シンポジウムと領域会議で1泊2日）のみでは機動性に欠けることと、討論時間が限られることから、領域全体に横串を刺す形でテーマ設定を行い、1泊2日でのワークショップを計3回開催して交流の機会を増やした。特に福岡市での「ソフト界面と水」、富山市での「ソフト界面のダイナミクス」では合宿形式で開催し、外部からの講師の先生も交え、夜遅くまで議論が続き、交流をさらに深めることが出来た。これらワークショップは領域内では自由参加とし、また外部にも公開としたが、内部からは毎回半数以上のメンバーが参加し、また外部からも企業研究者を中心に多数の参加を得ることが出来た。なお全体会議においても合宿形式は効果が高く、つくば市（第3回）、大阪市（第4回）、福岡市（第6回）、山形市（第8回）では、メンバーには出来るだけ連携研究者や学生も連れて指定の宿に泊まっていただくことで、交流の機会を用意するように心がけた。こうした機会を通じて、博士研究員が民間企業の幹部候補（正社員研究員）として採用される事例が生まれたほか、大学間での人材交流も進んだ。

#### 6) 研修コース（計13回）の開催

本領域は「既存の学問分野の枠に収まらない新興・融合領域の創成を目指すもの」であることから、研究手法や取り組み方はいずれも新しいものが多く、その情報交換は研究の促進に大いに有効である。特にソフト界面の構築・解析・応用の枠を超えた交流が大切である。そこで「ソフト界面研修コース」を設け、新しい手法を体験したり、原理を学んだり、共同研究の下打ち合わせをするための機会を用意した。これらは、個々の計測装置や技術を持つ研究室からのオファーに大きく依存した取組であるが、遠隔地の学生が参加する場合に旅費の補助を行うなど、総括班でも出来る限りの支援につとめた。独自の計測手法や合成技術を持つ研究者が積極的にそのサイエンスの開示につとめ、また領域メンバーが基礎からそれを学ぶことで、今後の分野の発展に大きく資する基礎基盤が形成された。研修コースは延べ13回を数えた。具体的な詳細は項目5で後述する。

#### 7) 若手研究者企画による国際会議等の開催

ミニシンポジウムの企画を若手研究者から公募し、これを総括班で支援する制度を設け、人材育成に努めた。これについても項目5で述べる。そのうち特に国際会議を講師の人選や連絡、そして運営まで自由にまかされて進めることは大きな経験になったという。また「ソフト界面と文化遺産」と題したミニシンポジウムは、大規模改修中の姫路城を実際に視察しながら、漆喰などのソフトな融合材料について文化財の専門家から学ぶという滅多に無い機会に恵まれ、評価委員の梶山先生や領域メンバーのほか一般の参加者にも大変好評であった。このような機会を通じ、若手研究者の育成に貢献できたと考えている。

#### 8) 新学術領域研究・関連4領域・合同公開シンポジウムの開催

新学術領域研究の制度が発足した最初の年に、本領域はスタートした。その後の数年のうちに、

本領域もそれを一つのターゲットとして目指しているバイオマテリアル研究について、いくつかの領域が採択され、それぞれ活動を続けている。これら新学術領域研究で相互の情報交換を図ることを目的に、4領域合同公開シンポジウムを開催した。具体的には「融合マテリアル」「ナノメディシン分子科学」「超高速バイオアセンブラ」そして本「ソフト界面」から一人ずつ代表が出て、それぞれの領域のコンセプトと最新の成果を紹介した（2012年7月10日東大・小柴ホール）。また同様の催しを第35回日本バイオマテリアル学会大会（2013年11月26日タワーホール船堀）において開催することが決まっている。本領域の取組や成果が他の学術領域へと波及していくためのまたとない機会である。

#### 9) 女性研究者の育成

人材育成の観点から女性研究者を重視してきたことにも触れておきたい。計画研究代表者13名のうち、三浦、栗原、佐藤、高井の4名が女性研究者である（約31%）。またうち3名は若手である（採択時：三浦36歳、高井40歳、佐藤41歳）。このうち三浦、高井は本領域研究期間中にそれぞれ九州大教授、東大教授への昇任を果たした。また佐藤（産総研・主任研究員）は2012年に東工大・連携教授に就任したほか、同年、電気化学会第一回女性躍進賞を受賞している（「分子認識ソフト界面の構築と膜構造および機能評価に関する研究」）。なお公募研究においては通常の科研費審査と同様のプロセスで書面（性別は記載しない）審査が進められるため、男女の別を考慮する余地はない。結果としてのべ40名の公募研究者のうち女性研究者は2名であった。

#### 10) 大学・研究室間の交流促進

先にも述べた通り、本領域の研究代表者は総じて若く、主宰する研究室も必ずしも大きいものではないため、所属する学生は比較的狭い研究分野にとらわれ、交流範囲も研究室近傍に限られるという問題がある。そこで本領域では特に、組織を超えた研究室間での合同研究発表会の開催に学生旅費の補助などを通じて積極的に支援を行ってきた。詳細は後述するが、複数の研究室間で計3回の合同研究会が企画運営された。なかには別の新学術領域研究との間での4研究室合同発表会もあり、こうした取組が今後、研究分野を超えて広がっていくことを大いに期待するものである。

#### 11) 産業界との連携

産業界との交流について、評価委員の梶山先生から助言を受けており、これを達成するための一つの方策として2012年11月9日には「ソフト界面・新技術発表会」（於、東京大学）を開催した。本領域の5年間の成果が社会に還元されることを目指し、実用化の可能性が高いと思われる10件の成果をそれぞれの研究代表者が発表した。同発表会には企業からの40名を含め、70名の参加を得た。

またもう一つの方策として、産業界の研究者に連携協力者としての参加をお願いし、公開シンポジウムだけでなく領域研究者に閉じた領域会議でもこれら企業研究者に討論に加わっていただくような仕組みをつくった（連携協力者制度）。それまでの公開シンポジウムに参加して下さった企業研究者の方々を中心に、20名の方々に協力をお願いし、熱心に討論に参加していただいている。本領域研究者はこれに大きな刺激を受けたことは言うまでもない。また領域内の中国人博士研究員が企業研究者の目に留まり、幹部候補の正社員として採用されるに至ったことは同制度の成果として特筆したい。

### 審査部会における所見

#### A （研究領域の設定目的に照らして、期待どおりの成果があった）

##### 1. 総合所見

本研究領域では、ソフトマターが形成する動的な界面をソフト界面と定義し、ソフト界面の創成、ソフト界面の計測、ソフト界面の機能化の3つに対して研究が遂行された。異なる分野の研究者が連携・協力することでこれまでにない新しい知見を見出し、研究領域の設定目的に照らして期待どおりの成果が得られている。また、今後のさらなる学術の発展と新しい機能応用が期待される。

## 2. 評価に当たっての着目点ごとの所見

### (a) 研究領域の設定目的の達成度

本研究領域では、既存の分野に収まらない新興・融合領域の創成が目的の一つであり、従来の静的な界面科学とは異なる動的な界面領域に関する新しい学問分野が提案された。また、多様な研究者が協力することによる当該研究領域の新たな展開を目指すという目的においては、異分野の研究者が綿密に協力することでソフトマター科学や界面科学分野の発展に大きく貢献しており、いずれも初期の目的を達成したと言える。

### (b) 研究成果

外部からの刺激に応じて構造や物性、機能が変化する動的な領域であるソフト界面を構築することに成功している。また、最新の分光学的手法や原子間力顕微鏡など多角的なアプローチによってソフト界面の定量的な計測が行われた。さらに、ソフト界面の機能の活用に向けて、バイオ分野に対して精力的に研究が行われ、いくつかの優れた機能が見出された。

### (c) 研究組織

表面科学、バイオ、分光学、シミュレーションなど、本領域の研究遂行に必要な専門性を持つ研究者がバランスよく集まって組織されており、領域会議やワークショップを通じて密接な連携が行われた。研究項目を横断した多くの共同研究が実施され、領域提案型の研究として十分なチームワークが発揮された。

### (d) 研究費の使用

特に問題点はなかった。

### (e) 当該学問分野、関連学問分野への貢献度

ソフトインターフェイスの概念の重要性は化学系の学会を中心に十分に認知され、ジャーナルでの特集や多数のシンポジウムが行われるなど、本研究領域を起点とする波及効果があった。

### (f) 若手研究者育成への貢献度

計画研究及び公募研究ともに多くの若手研究者が参画しており、若手研究者が自身のオリジナルのテーマを本研究領域の中で大きく発展させた。また、若手研究者の企画による国際シンポジウムを実施するなど、運営も含めた積極的な若手の登用と育成が行われた。