

ナノテクノロジー・材料分野における
現状分析と今後の対応に関する取りまとめ（案）

平成 21 年 3 月 23 日

ナノテクノロジー・材料 P T では、第 3 期科学技術基本計画の中間フォローアップとして、分野別推進戦略に示される研究開発領域（ナノエレクトロニクス領域、材料領域、ナノバイオテクノロジー・生体材料領域、推進基盤領域、ナノサイエンス・物質科学領域）ごとに、タスクフォースを開催（のべ 12 回）し、外部専門家の協力の下で現状分析を行うとともに、今後の対応について検討を実施した。これらタスクフォースにおける検討やこれまでのナノテクノロジー・材料 P T での検討状況を踏まえ、ナノテクノロジー・材料 P T として、以下の通り取りまとめる。

1. 現状分析

（1）国内外の状況

（i）第 3 期科学技術基本計画策定以降の世界的な情勢の変化

ナノテクノロジー・材料分野への重点的な公的研究支援が開始されてから、日米では 8 年目を迎えたことに加え、世界各国においても公的研究支援が充実されてきている中、本分野を取り巻くグローバルスケールでの状況が大きく変化してきている。とりわけ、本分野の各研究領域に共通な状況として、第 3 期科学技術基本計画策定以降においては、以下のような顕著な情勢変化が見られる。

- ① 環境、エネルギー、資源問題に世界的な関心の広がりが見られ、新世代の太陽電池等の再生可能エネルギー技術、省エネルギーのための輸送機械部材の軽量化、希少資源の節約・代替技術、高機能触媒、浄化用フィルターなど、地球温暖化、資源枯渇、水・食料問題という全地球的課題への対策に向けての関心・取組が本格化し、ナノテクノロジー・材料技術によるブレークスルーへの期待が高まってきている。
- ② 米欧に加え、中国、韓国、台湾、シンガポールの競争力が一段と強化されてきているほか、インド、ロシアで新たなナノテクノロジー国家戦略が開始されるなど、ナノテクノロジーの産業化へ向けた国際競争の激化が進んできている。
- ③ 世界同時不況の影響によりナノテクノロジー・材料分野の主要な出口産業であるエレクトロニクス産業を始めとして、各種関連産業において 2008 年以降はマイナス成長へ推移しつつあり、今後の実用化推進に

当たっての影響が懸念される。

(ii) 諸外国の動向

欧米各国は、この1、2年のナノテクノロジー・材料分野における商業化の兆しや、エネルギー・環境分野への浸透を期待して、公的投資をさらに強化する傾向が見える。特に、米国においてその傾向は顕著である。

米国では2001年より始まった国家ナノテクノロジー計画（National Nanotechnology Initiative, 以下「NNI」という。）が継続されており、2008年度予算案において前年度比13%増の高い伸びを確保した。

米国は、2007年12月にNNI戦略プラン（2004年）を改善した新戦略プラン、そして2008年4月にはPCAST（大統領科学技術諮問会議）による3年に1回のNNIに対する評価レポートを、相次いで発表した。NNIの戦略構成要素としては、従来7項目であったPCA（Program Component Area）においてEHS（環境、健康、安全）を独立させて新しく8項目としている。また、2009年度は\$1.5Bの概算要求であり、2001年から積算すると連邦政府の公的支援額は\$10B（約1兆円）に達している。さらに、米国連邦政府及び州政府では産学官の連携による様々な取組が積極的に行われている。

一方、欧州では2007年に第7次欧州研究開発フレームワーク（2007年～2013年）（以下「FP7」という。）が策定された。FP7の中に入力段階の基礎研究から出力段階の市場化技術までが取り込まれており、ナノテクノロジー関連予算についてはFP6の2倍近い年間予算5億ユーロ（総額35億ユーロ）が予定されている。また、EU予算に加えて、各国が独自のナノテクノロジー予算を確保して研究開発が行われている。

ナノテクノロジー分野への研究開発資金の投入は近年、アジア各国においても伸びている。特に、中国、韓国、台湾、シンガポール等でナノテクノロジーへの重点的な取り組みが行われている。韓国では、「第2次科学技術基本計画（2008年～2012年）」が決定され、5年間で総額60兆ウォン（約5.3兆円）以上の政府研究開発資金の投入を行うことを目標としている。その中で、ナノテクノロジーを4技術分野の一つと位置付け、その中核技術に対するロードマップ（2007年—2020年）を策定し、ナノ技術の先進トップ3への躍進を目指している。このような各国政府のバックアップもあって、ナノテクノロジー関連の論文数に関してはアジア諸国からの発表が急増しており、特に、中国、韓国、台湾、シンガポールのこの分野での躍進は顕著である。中国は、ナノ材料だけでなくナノバイオテクノロジーに注力し、最近、中国科学院の化学研究所でナノバ

イオテクノロジーの5年プロジェクトがスタート、蘇州にはバイオベイという国際ベンチャー拠点が形成されつつある。

また、ロシアが、2007年に初めて8ヵ年の国家科学技術計画を発表、2010年には1000億円を投入し、2015年までにナノ製品販売を3兆2千億円とすることを目標としている。2008年からは、ナノテク研究のインフラ整備のため、NNN（National Nanotechnology Network）計画を開始している。

（iii）我が国の動向

我が国においては重点推進4分野の一つとしてナノテクノロジー・材料分野に投資が行われ始めて8年が経ち、費用対効果を検証しつつ、ナノテクノロジー産業創出への期待やグローバルな展望を求める声が強くなりつつある。第3期科学技術基本計画においてもナノテクノロジー・材料分野への投資は引き続き重点化され、研究投資も増額傾向にあり、平成20年度は865億円であり、平成21年度予算案においては、881億円が計上されている。現状の研究開発のレベルでは欧米と総じて肩を並べている。しかし、高い伸び率を示す欧米（参考：米国（2008年）、13億5000万ドル）の予算レベルでの差は広がりつつある。

また、ナノテクノロジーを中心とした研究拠点や共同研究ファシリティーへの資金投入が、米国、欧州ともに活発である。一方、我が国では研究拠点や共同研究ファシリティー、教育や人材育成、国際戦略、国民を巻き込むナノテクノロジー産業の振興策など長期的な視野や戦略的な投資、ポートフォリオの形成などの点で遅れをとっている。これまでの成果は、独立行政法人等の自発的努力による研究ファシリティーの整備や、文部科学省のナノテクノロジー・ネットワークによる施設・設備の共用化に留まっている。

一方、ナノテクノロジーの実用化、製品化の動きが本格化しつつあり、この傾向はベンチャー振興にも顕著に現れつつある。例えば、民間ベースでのベンチャー振興の取組として、ナノテクノロジービジネス推進協議会等がビジネスマッチング等の活動を推進している。また、新しい局面として深刻化する地球環境問題の解決に向け、ナノテクノロジー・材料が期待されており、関連する施策等が実施され、さらに研究開発促進などの検討も行われている。実用化については、JST研究開発戦略センターの調査によると、日本国内でも2007年12月時点までで、ナノエレクトロニクスや生活関連ナノ製品を中心に386事例が確認されている（詳細は後述）。

また、ナノテクノロジー・材料分野における各研究開発領域に特有な状

況変化等は以下の通りである。

【ナノエレクトロニクス領域】

周辺分野である情報通信分野の施策も含め、ナノエレクトロニクス領域関連の研究開発においては、2006～07 年にかけて文部科学省、経済産業省による4つの大きなプロジェクトが開始されている。Selete、産業技術総合研究所の「次世代半導体研究センター」、物質・材料研究機構の「半導体材料センター」等において研究は進捗している。

【材料領域】

資源問題解決の決定打となる希少資源・不足資源代替材料の開発を目指し、平成19年度より文部科学省と経済産業省の連携（合同戦略会議の設置、同時公募による連携）による研究開発施策が開始された。また、特筆すべきものとして、我が国の研究グループによる新系統超伝導物質の発見に伴い、当該超伝導物質に関する取組が強化された。

【ナノバイオテクノロジー・生体材料領域】

超早期診断、低侵襲医療を目的とした医療分野において、厚生労働省と経済産業省の連携によるマッチングファンドが行われ、医学の高度な専門知識と民間企業の先端的な工学技術を融合させた研究が実施されてきたほか、研究拠点の形成により、医学・工学融合領域での研究及び教育体制の整備が進んだ。加えて、ナノ研究は医療分野のみならず、食品の開発や生体に各種の影響を及ぼす毒物、さらには、病因・環境物質の測定など関連する研究分野への広がりを見せている。

【推進基盤領域 及び ナノサイエンス・物質科学領域】

人材育成と研究環境整備に関しては、平成19年より第二期ナノテクノロジー・ネットワークが開始され、全国の大学、独立行政法人等13拠点（26機関）が有する先端的な研究施設・機器の共用化を進め、分野融合を促進し、ナノテクノロジー研究基盤の整備・強化を図っている。これにより、ナノファウンダリ、電子顕微鏡、大型放射光、分子合成などの共用施設の開放が進んでおり、ナノサイエンス・物質科学研究のすそ野を広げた功績は大きい。また、テクニシャン育成のための新しいキャリアパス設計や若手研究員の企業におけるインターン制度などが開始されている。

また、ナノテクノロジー分野における国際的な動向として、平成19年5月よりOECDの科学技術政策委員会の下に「ナノテクノロジー作業部会」が設定され、ナノテクノロジーの成果を示す指標の共通化、国際共同研究開発促進のためのデータベース作成、研究インフラの利用や国際協力の有効な方法などナノテクノロジーの責任ある推進方策につ

いて議論されている他、「工業ナノ材料安全作業部会」ではISO/TC 229とも連携してナノ材料の安全性評価開発支援のための、工業ナノ材料のヒト健康、環境影響に関する動きが活発化してきている。

こうした中、日本においては、平成18年度には科学技術振興調整費における「ナノテクノロジー影響の他領域専門家パネル」の報告、平成19年度からは、連携施策群「ナノテクノロジーの研究開発推進と社会受容に関する基盤開発」を設置している。

さらに、平成19年度後半から平成20年度にかけて、関係各省においてナノマテリアルに関する安全対策の取組が進められている。また、経済産業省（NEDO）によるプロジェクトの成果が出始め、国際的に高い評価を受けている。

ナノテクノロジー・材料分野やライフサイエンス分野など幅広い分野で飛躍的な成果が多数創出されることが期待されている国家基幹技術であるX線自由電子レーザー（XFEL）については、継続的な予算措置が行われており、開発は順調に進展しているところである。

（２）国際競争力比較

国際的な競争力の比較に当たり、共通的な指標である論文・特許に着目すると、ナノテクノロジー・材料分野の論文数は米国がトップで中国が2位、日本、ドイツと続く。しかし、中国、シンガポール、韓国、台湾のアジア勢の論文数急増は顕著である。引用数でみた論文の数については、米、EU、日本の順で上位を占め、他のアジア諸国を上回っている。

特許庁がまとめた、ナノテクノロジー・材料分野の平成19年度重点8分野の特許出願状況調査報告書をもとにまとめた特許の動向は以下の通りである。

我が国特許庁における公開／公表件数を、研究区分別に見ると、ナノ情報デバイスが最も多く、ナノ医療、加工・合成・プロセスがこれに続く。また、登録件数においてもナノ情報デバイス、加工・合成・プロセス、ナノ医療に他の区分が続く。

また、データベースが異なること（日本特許：PATOLIS-IV）、米・欧特許：DWPI（Dialog）、対象期間が異なること（日本：2007年1月～2007年12月、米・欧：2006年9月～2007年8月）から、単純比較はできないものの、日米欧3極で公開／公表、登録された特許の総数に対して日本国籍の出願人がそれぞれ44%、50%を占める。同分野が引き続き3極の中で一定の強みを有することが見て取れる。しかし、ナノテクノロジー・材料関連の日本、米国、欧州の公開／公表件数の公報発行年月（2001年

1月～2007年9月)の推移を見ると日本が常に1位を維持しつつ微増しているものの伸び悩んでおり、着実に増加し続けている米国や欧州との差が狭まりつつある。

また、科学技術政策研究所が2004年に実施したデルファイ調査の中では、日本のナノテク・材料の研究開発水準は米国に対してはやや優位あるいは同等程度、EU諸国に対してはやや優位と判断されている。

また、ナノテクノロジー・材料分野における各研究開発領域に特有な国際競争力は以下の通りである。

【ナノエレクトロニクス領域】

ナノエレクトロニクス分野がカバーする範囲は極めて広いが、研究分野では量子ドット等の光応用、カーボンナノチューブ等のナノエレクトロニクス材料及びMEMS応用などは世界的にも強い。しかし、極めて強い研究分野であっても、日本はその技術を事業化するしくみが十分でなく、いわゆる「死の谷」の問題を抱えている。

また、半導体産業に関して日本企業の競争力を分析すると、マーケットシェアや生産能力などで半導体デバイス製造企業の地位が低下傾向にある反面、半導体製造装置や電子材料は高い競争力を保っている。半導体製造に必要な設備投資額が世界的に増加する状況の下、日本企業の設備投資額はむしろ減少傾向にあり、SamsungやIntelのような海外企業に及ばない水準に留まっている。

半導体業界は、世界的に3つ程度の企業連合に分かれて投資を集約する傾向にあり、日本国内も含めて統合・再編の動きがある。研究開発に関しても、IBMやIMECなどを中心として外部連携やグローバルな研究体制構築が進んでおり、日本企業は、上記研究開発連合への参加を積極的に進めている。国内研究機関では外国籍研究者の比率が極端に小さく、また企業の研究費に占める社外委託分の比率が小さいなど、グローバル化やオープンイノベーション化で遅れている傾向が見られる。

【材料領域】

材料領域では、長期的で基礎研究を含めたリスクの高い挑戦的研究課題だけでなく、ロードマップに対してのアプローチやコスト削減等の産業競争力強化のための研究も重要とされる。これらの中で、近年の状況変化(エネルギー、環境問題、近隣諸国の追い上げ)を踏まえ、長期的で挑戦的に取り組むべきと考えられる主要課題に関する国際競争力については、次の通りである。

- ・燃料電池に関しては、実証試験で日本が先行しているが、新材料研究では競合状態にある。

- ・鉄を含む新系統超伝導物質については、我が国発の技術であり、現時点で優位にあるが、世界とりわけ中国で急速に研究投資が強化されている。
- ・二次電池については、容量 10 倍・低価格化を目指すとともに、自動車への展開や自然エネルギー平準化利用に向け、日本のオリジナル技術開発が行われている。
- ・太陽電池については、我が国の優位は保たれているが、世界の競争は激化している。材料研究では競合している部分も多い。
- ・高機能触媒については、触媒全般では世界的に優位にあるが、基礎研究では研究人材は手薄である。

【ナノバイオテクノロジー・生体材料領域】

ナノバイオテクノロジー・生体材料領域全体としては、日本の研究水準は高いものの、産業技術力は欧米の後塵を排している状況にある。

個別技術として、内視鏡による診断や手術技術の開発は、精密機器や電気機器を小型化する日本の得意分野が生かされ、国際的に見ても高い競争力、製品シェアを有している。PET、MRI といった分子イメージングにおいて活用される機器については、この 10 年間は海外に押されている傾向にあるといえるが、これらの機器を活用した診断技術については順調に進展してきている。

DDS 分野においては、日本の研究者によって EPR 効果 (Enhanced Permeation and Retention effect) が提唱されて以降、特に固形がんに対するターゲティング研究は活発に行われてきている。また、新規 DDS 材料の開発も近年活発に行われており、国際的に見てもこの分野の研究開発水準は高いと言える。

【推進基盤領域 及び ナノサイエンス・物質科学領域】

ナノ領域の最先端計測装置の事業化に関しては、全体的に見ると、米国と比較して日欧が世界をリードしている。

ナノ材料の安全性の評価に関しては、国際的なスケールで多様な議論がされていて、標準化の問題とも関係して今後の動きが加速されるものと予想される中、日本のナノ材料安全性評価法に関するプロジェクトは世界をリードする質の高さを誇っている。

(3) 研究開発、事業化の状況

ウッドロー・ウィルソンセンターの Project of Emerging Nanotechnology (PEN) の成果の一つであるナノテク関連商品の調査結果によると、世界のナノテク関連製品数は 2005 年以降に急に増え始め、2006 年 3 月の

210から2008年の8月には800を超え、毎週、世界でナノテク新製品が3～4種産み出されていることになる。日本（JST研究開発戦略センター）と台湾の独自の調査では、日本国内でも2007年12月で既に386事例が確認され、台湾では200以上のナノマーク製品が公的に認定されている。

これは、2005年以降、各国のナノテク研究開発投資が製品として結実し始めた兆候であり、ナノテク・材料分野も第一世代（個別分野の先鋭化・極限化：ナノ先鋭化）から第二世代（先鋭化した異分野のナノが融合：ナノ複合化）に移行しつつあると見られている。今後、この分野はさらに、エネルギーを含む地球環境問題などへのイノベーションドライバーとして技術の成熟を目指し、第三世代（各種ナノ技術を構成的に組み上げる：ナノ組織化）に突入すると考えられる。

ここ数年のナノテク製品数の急増を反映して、また、今後のエネルギー・環境分野への長期的な貢献への期待もあって、ナノテク産業の市場予測は大幅に上方修正されている。ナノテク専門の調査機関（米国Lux Research社）によると、2007年のnanotech-based goodsは既に13兆円（US\$147B）にのぼり、2015年には280兆円（US\$3.1T）に達すると予想されている。

また、ナノテクノロジー・材料分野における各研究開発領域における特徴的な研究開発、事業化の状況は以下の通りである。

【ナノエレクトロニクス領域】

先端半導体の研究では学術的に高い成果が得られており、世界のトップ集団に位置しているが、研究開発の段階から量産化技術の開発へと進めるには巨額の資金が必要となっており、企業単独での開発は困難になっている。

Si-LSIに新材料を導入し、CMOS回路のみでは実現できない機能を実現しようとの動きが活発化している。代表例にMRAM、ReRAM、ナノブリッジ（原子スイッチ）、PRAM、FeRAMなどがあり、フラッシュメモリーの限界を打破する不揮発高速・大容量メモリーや、再構成可能論理回路などへの応用を狙っている。

カーボンナノチューブ(CNT)の材料基盤技術、配線やトランジスタへの応用技術では世界最高水準の研究を推進しているが、韓国の追い上げが急である。新たに登場したグラフェンに関しては、欧米が研究先行している。

地球温暖化とエネルギー問題の解決には、パワーエレクトロニクスを活用した機器の高効率化が重要であり、SiC、GaNデバイスへの注目が高まっている。SiCデバイスの実用化としてダイオード等への応用は始まったがトランジスタやこれを用いたインバータなどへの応用はこれからであり、基板コスト、デバイスの信頼性が課題となっている。

光の分野では量子ドットやSi フォトニクスの研究が大きく進展している。また、日本は量子ドットの開発では世界的にトップレベルにあり、産学連携によるベンチャーも起業している。応用市場はまだ見えないが量子カスケードレーザーがTHz 光源として有望視される。

半導体LSI チップとMEMS との集積化による付加価値向上が重要になってきており、自動車、計測、情報端末の入出力等、多様な応用が広がりつつある。

【材料領域】

材料領域の主要課題に関する状況は、次の通りである。

燃料電池については、企業での実証試験段階にあり実用化に近い段階である。しかし、材料劣化機構解明などの基礎研究がまだ十分にはなされていない状況である

鉄系の新系統超伝導物質については、2008 年 2 月に我が国の研究グループによって発見されたもので、その発現機構解明や新規物質探索等の基礎研究段階にある。

二次電池については、ハイブリッド自動車はNi-MH 電池からLi イオン電池へ移行する段階にあり、企業での実用化研究もされている。固体電解質、汎用資源元素を用いた新規電極材料、新機構・新構造の原理解明については、基礎研究段階にある。

太陽電池については、第1世代(Si 系)は住宅用・工場用等に実用化されている。また、薄膜化や形状制御による低コスト化・省資源化を含めた技術開発が行われている。第2世代(非Si 系・色素増感型・有機系)は基礎研究から実用化準備と言える研究段階まで幅広い。第3世代(量子ドット等)は基礎研究段階にある。

高機能触媒については、貴金属削減の応用研究が主体で、実用化されつつある。一方、脱貴金属化は基礎研究段階といえる。

【ナノバイオテクノロジー・生体材料領域】

がんの超早期診断を対象とした分子イメージング研究において、がんを短時間で撮像する手法の開発や、プローブのがんへの高集積性の確認、微小がんの診断に繋がる撮像装置の検出感度の向上等が図られるなど、がんの超早期診断の実現に近づいている。この他にも、分子イメージング研究においては、アルツハイマー病の早期診断技術等が進展してきている。

また、厚生労働省、経済産業省の連携により、各種医療機器開発・評価ガイドラインが策定されてきている。文部科学省、厚生労働省、経済産業省による「革新的医薬品・医療機器創出のための5か年戦略」では、ベンチャー企業の育成、臨床研究・治験環境の整備、審査の迅速化等が謳われ、先端医療開発特区の導入、ベンチャー企業を対象とした支援事業が開始さ

れた他、医工連携を推進する各種取組が実施されるなど、事業化を促進する施策も進展してきている。

【推進基盤領域 及び ナノサイエンス・物質科学領域】

最先端計測装置の事業化という観点では、我が国では産学官の協力が積極的に進められている分野が多いという特徴があり、他国に比べて積極的に進められている。しかしドイツなどのヨーロッパ諸国に見られる小中規模のベンチャーは日本では育たず、既存の企業との連携が多いことが特徴であるが、両者とも一長一短はある。

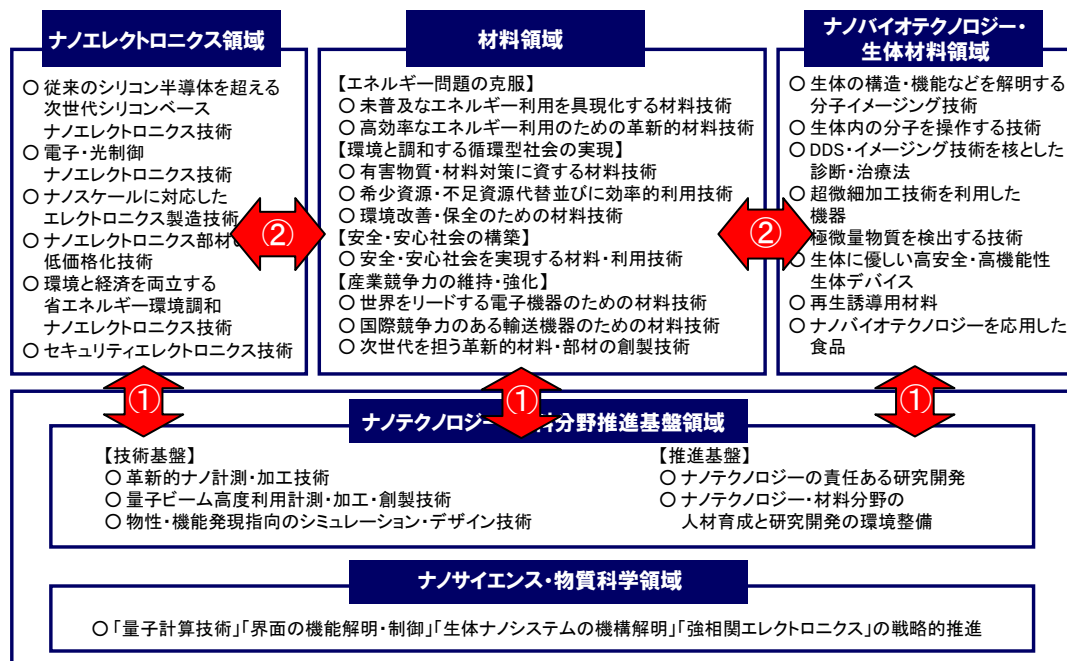
(4) 領域融合の状況

(i) ナノテクノロジー・材料分野内での融合

T Fにおける議論を踏まえ、ナノテクノロジー・材料分野内の研究領域の関係を俯瞰すると、

- ①ナノエレクトロニクス領域、材料領域、ナノバイオテクノロジー・生体材料領域の3領域は、それぞれの研究推進に当たって、推進基盤領域/ナノサイエンス・物質科学領域における研究基盤、基礎研究成果を活用しつつ、基礎から応用面への縦の繋がりで融合を進めてきている。
- ②さらに、材料領域の研究成果が、特に出口に近い研究領域であるナノエレクトロニクス領域、ナノバイオテクノロジー領域・生体材料領域での研究に活用されているといった融合が認められる。

これらをまとめると以下の図の様な領域融合関係が見られる。



↔ : 領域間の融合関係

(ii) 他の重点・推進7分野への展開

各研究領域 と他の重点・推進分野との融合状況は以下の通りである。

【ナノエレクトロニクス領域】

ナノエレクトロニクスによる技術革新は、その主要な出口産業と密接に関係する情報通信分野にとどまらず、環境・エネルギー・安全・健康など様々な社会的課題を解決するものとして期待が大きい。

特に、環境・エネルギー分野への貢献に関しては、半導体および半導体応用製品の低消費電力化を進める一方、SiC、GaNなどのパワーデバイスの進展による電源利用効率の向上がを目指した研究が進められている。

また、ものづくり分野の強化は、日本の産業競争力の源泉となる。エレクトロニクスは今後も日本の中核的産業となることから、特に半導体生産技術におけるものづくり力の強化策が求められる。製品付加価値を高める上で、半導体 LSI チップと MEMS との集積化技術など、半導体とナノテクノロジーを融合した新製品分野を創生して、幅広い応用製品へと波及させる技術の開発が進められている。

【材料領域】

材料領域の研究の目的を見た際、大半がエネルギー分野との連携が必要で、一部環境分野との連携も重要である。連携の形態としては、システムの実用化研究を推進する他分野から材料特性のニーズを提供し、ナノテク・材料分野が独自に新規な高性能材料を創製し提供するという役割分担を基本とし、元素戦略的な出口側との垂直連携が望ましい姿である。また、社会基盤・フロンティア分野との融合事例として、革新的な構造材料を用いた新構造システム建造物に関しての内閣府、総務省、文部科学省、経済産業省、国土交通省の連携や人工衛星の部材等への材料研究の成果の活用などがある。

【ナノバイオテクノロジー・生体材料領域】

ナノバイオテクノロジー・生体材料領域の中でも、ナノメディシンの範疇に入る領域はライフサイエンス分野と切り離して考えることはできない。特に、臨床研究推進のための体制整備、医療におけるITの活用、医理工連携等の促進、バイオ産業等における標準化の推進、バイオベンチャーの育成・支援などのライフサイエンス分野における推進方策は、ナノメディシンにとっても、重要な課題である。

また、実際に低侵襲医療機器の開発に関して、ナノテクノロジー・材料分野の戦略重点科学技術施策とライフサイエンス分野の戦略重点施策との省庁横断的な連携へと発展するなど、実際にライフサイエンス分

野との融合が進んでいる。

さらに、情報通信分野の国家基幹技術であるスーパーコンピュータ開発において、次世代生命体統合シミュレーションソフトウェアの開発（グランドチャレンジアプリケーション）から生体のナノスケールシミュレーション面などでの貢献がある。また、微量化学物質を検出するセンサー技術といったナノデバイス開発の環境分野への応用も期待されている。

【推進基盤領域 及び ナノサイエンス・物質科学領域】

国家基幹技術であるX線自由電子レーザ（XFEL）は、世界的にも優れた機能を有することとなり、その機能を十分活かした戦略的な研究課題に取り組むことが何よりも重要である。また、産業界へも大きな波及効果が見込めるものであり、その共用にあたっては、ナノテク・材料分野に限定することなく、広い分野からの利用促進に努めるべきである。特に、企業等の応用分野の利用者との連携を図りつつ応用研究テーマを増やすことが重要である。

これらの状況をまとめると、ナノテクノロジー・材料分野は、他の重点・推進分野との融合関係が強く、効果的な連携を推進すべきである。

2. 今後の対応（事業化促進のための課題と推進方策）

ナノテクノロジー・材料分野の研究開発の推進に当たり、製品の事業化（産業化）に当たり、技術の事業化を促進する仕組みが充分ではないという傾向を踏まえ、各TFで検討された課題と推進方策のうち、第3期科学技術基本計画の残り期間の取組を行うに当たり、課題となる事項と検討が望まれる推進方策を以下に示す。

【ナノエレクトロニクス領域】

エレクトロニクス産業は今後も日本の主要産業と位置づけるべきであるが、電子材料、電子部品、半導体製造装置、民生用の応用製品などでは世界をリードし続けているものの、その中核である半導体デバイス産業での日本の地位は明らかに低下している。そこで、エレクトロニクス産業で再び世界の主導的立場をとるためには、半導体デバイス産業で一定以上の地位を維持しつつ、さらに今後中心的役割を担うと予想されるナノエレクトロニクスによる技術革新と、それに呼応した新しいエレクトロニクス産業の創出が必要である。21世紀の社会的課題を考慮するに、まさにこのことが、技術立国日本の国益につながるものと考えらる。

半導体集積回路の微細化が困難になってきたことから、微細化に頼らず集

積回路に新たな機能を付加して価値を高めることが重要になってきており、ナノエレクトロニクス研究への期待は大きい。日本が強さを誇る民生エレクトロニクス応用分野などをさらに強くする機能性の付加が望まれる。しかし、ナノエレクトロニクス研究では新材料、新デバイス構造が重要であり、実用化に至るまでのリスクが高いため、単独企業で基礎研究フェーズから実用化判断のフェーズまで継続して研究開発投資を続けることが困難になっている。このいわゆる「死の谷」の問題を克服するためには、実用化を判断できる段階まで大学、研究独法とともに企業間で協力して研究開発していくことが必要である。このような研究体制の例は欧州の IMEC、米国の Albany (IBM) で見ることができるが、日本では個別研究や新材料・新デバイスの動作検証までのプロジェクトに留まっている。

推進方策としては、大学・研究独法や各企業で個別に研究している材料、デバイス、プロセスの研究成果や人材を集めて、効率的な研究を進めていく体制を整えることである。具体的には、例えばナノエレクトロニクス素子の原理実証の基礎研究から製品化につなげる素子の集積化の実証といったフェーズまでの研究開発を可能とするナノエレクトロニクス研究拠点の構築が望まれる。この拠点到大学、研究独法、企業それぞれの叡智を結集し、分野融合と人材融合を同時に進めながらナノエレクトロニクスの研究成果を新たな付加価値を持つ半導体集積回路として具現化し、新たなエレクトロニクス産業創造につなげていく。このような拠点で世界に先駆けて欧米に無い新しい技術潮流を作り出せれば、海外の拠点へと流れつつある日本および海外の優秀な人材を集めることも可能になるとと思われる。

【材料領域】

エネルギー問題と資源問題の解決につながる研究課題の重要性・緊急性がより一層高まっている。第3期科学技術基本計画の計画段階では、未普及のエネルギー利用などに重点が置かれたが、現在の状況変化を考慮すると、材料領域として「未普及（例えば、燃料電池関連材料、超電導材料、新規の二次電池材料や熱電材料等）」以上に「未利用（、広く希薄に分布する温度差を利用する熱電変換材料等）」に着眼して研究を進めていくべきである。

一方で、最近の高度な機能性向上の要求に応えるためには、真に材料によるブレークスルーが必要とされる。他の領域や分野との連携も当然重要であるが、基礎科学としての材料研究を大切にし、強化していくことも不可欠である。連携する場合の材料の軸足は、「基礎科学・基礎研究」であり、他省庁や企業との連携も、軸足をしっかりと据え付けていくことが前提となる。

近年の状況変化（エネルギー、環境問題、近隣諸国の追い上げ）を踏まえ、

燃料電池、二次電池、太陽電池、高機能触媒、新系統超伝導体、を中心として、長期的で挑戦的に取組むべきと考えられる推進方策を以下の通り提案する。

燃料電池についてはエネルギー分野と適切な役割分担を明確にし、エネルギー分野が主導している実証試験で得られた課題を材料の基礎研究へフィードバックする流れを構築する必要がある。一方、材料分野は基盤解析技術を駆使した基礎研究と新規材料の研究開発を担う。二次電池についてはエネルギー分野とナノテクノロジー・材料分野との連携を図り、課題実現のためには材料特性値として何が必要かをブレイクダウンする。例えば、材料のブレークスルーがあって、新しい材料特性のチャンピオンデータができれば、こういう新しいアプリケーションができるというようなロードマップを作成し、大学・研究機関と民間で共有することが重要である。

太陽電池については、材料の基礎研究は「材料」主導で進めるのが良いが、太陽電池システムでは二次電池と同様、エネルギー分野との連携が必要である。

高機能触媒については化学の分野だけでなく物理、ナノサイエンスの融合が必要となる。環境・エネルギー分野との連携も必要で、効率的触媒研究の体系的な取り組みが出来るような体制作りのため、学協会などが主導しつつ、効率的な産学官の連携体制が重要である。

新系統超伝導体については、物性物理や固体化学との融合、それに電子・電気工学の加わった展開が必要である。

近隣諸国との学術的な活動における競争激化への対応であるが、発想・視点の転換もひとつの打開策につながる可能性がある。これまで、大規模化や高効率化を前提とした視点だけで研究課題が議論されてきた。例えば、エネルギー問題解決にしても、小規模なエネルギー発生・貯蔵といったマイクロエネルギー開発といった新たな視点からの研究のアプローチが必要とされる。

【ナノバイオテクノロジー・生体材料領域】

ナノバイオテクノロジー領域の研究推進に当たっては、医療という一つの出口を見据えた場合、基礎研究から実用化に進める段階での課題を解決する必要がある。これには、これまで各種の指摘がなされ改善が進められつつある制度面の課題だけでなく、企業へ成果を受け渡すための障壁となる研究者側の課題に着目したアプローチも重要となってくる。

また、事業化まで結びつけるためには、リスクの高さ、小回りの効く事業化体制、組織的な事業化力という、相反する条件をクリアしなければならない。わが国には、米国のベンチャーの様な社会的な風土がまだ完全には形成

されていない面もあることから、まずは産学連携を進め、基盤研究を大学等が担う仕組みを作っていくことや、継続的な研究支援、ベンチャーの育成等も重要である。

これまでの産学連携のプロジェクトを振り返ってみると、大学等と企業がはじめから終わりまで密に連携してプロジェクトを同時進行的に推進した例は少なく、大学は大学、企業は企業と離散的になされてきたケースも多い。そして最終段階になって大学から企業（基礎から応用）へのバトンタッチということになり、臨床研究での有効性や安全性の評価について熟知している研究者も多くは無いことから、大学－企業間の認識にギャップが生じ、バトンタッチがなかなかうまくいかない。加えて、工学的な研究から医療・臨床研究に移行する際の学問領域の壁の問題もある。これらの課題解決のためには、学問領域の連携、産学の連携、国際的な研究連携を進めることで、大学等の研究機関から企業への成果の一連の移行の流れをスムーズに進めていくことが肝要である。これらに加え、研究開発投資面、制度面等における政策的な支援を組み合わせしていくことも重要なポイントと考える。

推進方策としては、これまで実施されている各種施策や制度面への対応等の着実な実施とともに、①産学連携、学問領域融合に資するオールジャパンでの基盤的な研究体制づくりとして、ナノバイオ研究を強力に推進している研究機関を中核とした、ネットワーク型の研究体制の構築、②医・薬・工等の学問領域の連携の推進に当たり、事業化を見据え臨床での有効性や安全性の評価ができる医師・工学研究者等の育成、③継続的なバイオ関連ベンチャー企業の支援が望まれる。

【推進基盤領域 及び ナノサイエンス・物質科学領域】

日本のナノテクノロジー・材料分野は学術的にも産業技術的にも世界のトップレベルを維持しており、得られた成果の活用を通してほぼ全産業分野に貢献している。特に今後、21世紀の課題であるエネルギーや環境分野においてもナノテクノロジー・材料技術は最も期待されている。中長期に亘ってこの分野の合理的な発展を支える推進方策の充実の本質的に重要であり、戦略的な研究支援が必要である。これに加え、ナノテクノロジー分野の国際協調、国民理解を進めることについても着実に実施する必要がある。

ナノテクノロジー・材料は、他の重点・推進分野との融合関係が強く、効果的な連携を推進すべき分野である。異分野間を横断して俯瞰的な視野を持つ人材を育成することが重要である。そこで、異分野知識の吸収・融合、グローバルな視点での社会ニーズの把握、急変する環境に対応した状況判断力の養成、等を促進する継続的な施策が必要である。

ファンディング方法について戦略として考える場合、トップダウン型とボ

トムアップ型のバランスが必要であり、中長期的に考えた場合には、短期の大型プロジェクトだけでなく、少額でも長期的・継続的な研究プログラムも必要となってくる。基盤に近い領域でのサイエンスは広いスペクトルを維持していることが重要であり、また、そのような基礎領域の研究者とニーズ側の研究者との情報交流とインセンティブが本質的に必要である。今後、トップダウン型戦略的ファンディングとして、日本が高い学術ポテンシャルを有する物性物理や材料科学の卓越したリーダー達を総動員し、出口側と連携した地球規模課題の解決のためのプロジェクトも十分検討される必要があるだろう。

共用施設や研究開発拠点の形成については、欧米に比して投入額に差があるだけでなく、日本のセンターが国際的に開かれていないことで国際協力の機会が奪われているとの指摘もあることから、戦略的な予算措置と国際化の推進が望まれる。

ナノマテリアルの社会的受容性に関してリスク評価・管理手法の開発（研究開発、基盤整備、測定）については、関係省庁の連携により引き続き推進するとともに、それらの結果をOECD等と情報交換することにより、積極的に国際貢献を行うことが重要である。また、ナノテクノロジーの社会受容性の向上のためには、ナノテクノロジーのリスクガバナンスについても検討が必要である。さらに、ナノテク材料を作製する事業者が自己の努力と見識でリスク評価をし、その結果を国民に伝え国民理解を得ていく道筋を作っていくことも必要である。それに当たり、国際標準化、国際協調等の議論に関しては、ISOを始めとし、様々な動きがあるが、これらに関係者への情報提供の仕組みも、国際対応の一つの課題として挙げられる。

ナノテクノロジー・材料の分野におけるナノサイエンス・物性科学研究の役割は、その基盤となる共通する基礎研究や基盤的な計測・観察技術の開発を行い、引き続き我が国の強みの源泉を維持する重要なものである。基礎研究の担い手としては大学や公的研究機関に期待するところが大きく、産業界は大学および公的研究機関においてナノサイエンス分野をより強力に推進することを以前にも増して期待している。

ナノサイエンス分野では、ロードマップを描けないような不連続な進歩を促す研究領域を包含することから、技術ロードマップを用いた研究開発戦略の策定方法の枠を超えた施策が重要である。すなわち、基礎研究の成果が実用に結びつくまでには長期間を要するため、適切な評価を行った上で継続的に研究資金を研究者が得られるような競争的研究資金制度のあり方と併せて、長期的視点に立った研究開発投資のしくみに対する工夫が課題である。

国家基幹技術であるX線自由電子レーザ（XFEL）については、継続的な予算措置が行われており、開発は順調に進展しているところであり、広い

分野からの利用促進を努めることや装置の性能を生かした戦略的な課題の設定が望ましい。

以上の検討結果を踏まえた、各研究開発領域における事業化促進に当たっての課題と推進方策のまとめは別紙の通りである。

(別紙) 各研究開発領域における事業化促進に当たっての課題と推進方策
(まとめ)

ナノテクノロジー・材料分野の各研究開発領域において事業化を促進するに当たっての現状認識、解決すべき課題、望まれる推進方策は以下の通りである。

【ナノエレクトロニクス領域】

○現状認識

- ・ 周辺分野である情報通信分野の施策も含めや関連の研究開発において、複数のプロジェクトが進行中。
- ・ 量子ドット等の光応用、カーボンナノチューブ等のナノエレクトロニクス材料及びMEMS応用などは世界的にも強いが、日本は技術を事業化する仕組みが不十分。
- ・ 半導体業界は、世界的に3つ程度の企業連合に分かれて投資を集約する傾向にあり、日本国内も含めて統合・再編途上。

○課題

- ・ 民間のエレクトロニクス応用分野がごく身近に存在するというメリットを十分に活かし切れていないのではないか。
- ・ 個々の企業、大学、研究機関が必ずしも有機的な連携を行うまでの段階ではなく、ナノエレクトロニクス産業全体の底上げに至っていないのではないか。

○推進方策

- ・ 集積化実証まで可能なナノエレクトロニクス領域の研究拠点の構築。
- ・ 企業、大学、研究機関がそれぞれの叡智を結集して新しい付加価値を生み出し、その研究成果を産業化につなげられるような、世界に先駆けて新しい技術潮流を作り出すためのグローバルな研究開発体制の構築。

【材料領域】

○現状認識

- ・ 資源問題解決のための希少資源・不足資源代替材料の開発に関する各省の連携施策が開始。
- ・ 我が国の研究グループによる新系統超伝導物質の発見を機に、超伝導物質に関する研究が活発化。

- ・近年の状況変化（エネルギー、環境問題）により、長期的に取り組むべき課題が顕在化

○課題

- ・近年の状況変化（エネルギー、環境問題、近隣諸国の追い上げ）を踏まえた材料研究のアプローチが必要ではないか。
- ・高度な機能性向上要求に応えるための材料開発の推進が必要ではないか。
- ・一方で、基礎科学としての材料研究も重要ではないか。

○推進方策

- ・未普及エネルギー・資源の利用を具現化するため、燃料電池、新規超伝導体、二次電池、太陽電池、高機能触媒に係る材料開発の継続的な推進。
- ・未利用なエネルギー・資源の利用のための新材料開発（例えば、新規熱電材料等）の推進。
- ・基礎から応用に向けた研究段階ごとの特性に応じ、材料研究者が役割分担し、最終的な成果を目指す府省・産学官連携体制の整備。

【ナノバイオテクノロジー・生体材料領域】

○現状認識

- ・超早期診断、低侵襲医療に係る研究において、各省の連携施策が実施されてきたほか、研究拠点の形成による医学・工学融合領域での研究や人材育成が進展。
- ・食品の開発や環境物質の測定等に関連する分野への研究領域が拡大。
- ・国際競争力としては、日本の研究水準は高いものの、産業技術力は欧米の後塵を排している状況。

○課題

- ・産学連携の中で、大学等と企業の研究連携が必ずしも十分でなかったケースも多いのではないか。
- ・事業化まで結びつけるに当たり、米国のベンチャー企業のような風土が、我が国にはまだ完全には形成されていないのではないか。
- ・医薬工連携などにおいて、大学組織内、学会等において、学問領域間の壁の解消が必要ではないか。

○推進方策

- ・学問領域の融合と産学連携の推進に資するオールジャパンでのネットワーク型の研究体制の構築による基盤的な研究体制づくり。
- ・継続的なバイオ関連ベンチャー企業の支援。
- ・事業化を見据えて臨床での有効性や安全性の評価ができる医師・工学研究

- 者等の育成。
- ・ 制度面の課題の解決等の着実な実施。

【推進基盤領域 及び ナノサイエンス・物質科学領域】

○現状認識

- ・ ナノテクノロジー・ネットワークなどの共用施設の開放や拠点形成等による人材育成が進展。
- ・ ナノマテリアルのリスク、安全性に関する国際的な活動が高まる中で、我が国でも連携施策群の設置のほか、関係各省においてナノマテリアルに関する安全対策等の取組が開始。
- ・ 国家基幹技術であるX線自由電子レーザー（XFEL）の開発は着実な予算措置の下、順調に進展。

○課題

- ・ ナノテクノロジー・材料分野の研究資源配分のあり方については、短期の大型プロジェクトだけでなく、少額でも長期的・継続的な研究プログラムも必要ではないか。
- ・ 共用施設や研究開発拠点の形成については、欧米に比して投入額に差があるだけでなく、国際的に開かれた機関は少ないのではないか。
- ・ ナノテク分野は異分野間を横断して俯瞰的な視野を持つ人材を育成することが必要ではないか。
- ・ ナノテクノロジー分野の国際協調、国民理解を引き続き進めていくことが必要ではないか。

○推進方策

- ・ 基盤となる基礎研究や観測技術に対し、適切な評価を行った上で継続的に研究資金を研究者が得られるような、長期的視点に立った仕組みの構築。
- ・ 拠点ネットワーク、中核的拠点構築への戦略的な予算措置と国際化推進。
- ・ 異分野知識の吸収・融合、グローバルな視点での社会ニーズの把握、急変する環境に対応した状況判断力の養成、等を促進する継続的な施策。
- ・ 関係省庁の連携によるナノマテリアルのリスク評価・管理手法の研究推進とリスクガバナンスについての検討及び国際的な議論の状況を関係者へ情報提供する仕組みの構築。
- ・ X線自由電子レーザー（XFEL）について、広い分野からの利用促進と装置の性能を生かした戦略的な課題の設定。

(参考1) TF構成員及び開催状況

TF構成員

○共通課題・推進基盤TF構成員 (※主査)

田中 一宜※	(独) 科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー／(独) 産業技術総合研究所フェロー
潮田 資勝	(独) 物質・材料研究機構 フェロー
大林 元太郎	東レ(株) 研究本部 理事
片岡 一則	東京大学 大学院工学系研究科マテリアル工学専攻 教授
河田 聡	大阪大学 大学院工学研究科応用物理学専攻 教授 ／大阪大学フォトニクス先端融合研究センター長
佐野 睦典	イノベーション・エンジン(株) 代表取締役
曾根 純一	日本電気(株) 中央研究所 支配人
武林 亨	慶應義塾大学医学部 教授
十倉 好紀	東京大学 大学院工学系研究科物理工学専攻 教授
中西 準子	(独) 産業技術総合研究所安全科学研究部門 部門長
本田 国昭	大阪ガス(株) 技術開発本部 理事
横山 浩	(独) 産業技術総合研究所ナノテクノロジー研究部門 主幹研究員

○ナノエレクトロニクスTF構成員 (※主査)

中村 道治※	(株) 日立製作所 取締役
荒井 滋久	東京工業大学量子ナノエレクトロニクス研究センター 教授
荒川 泰彦	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
石内 秀美	(株) 東芝 研究開発センター 次長
江刺 正喜	東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 教授
大野 英男	東北大学 電気通信研究所 教授
金山 敏彦	(独) 産業技術総合研究所ナノ電子デバイス研究センター長
曾根 純一	日本電気(株) 中央研究所 支配人
谷口 研二	大阪大学 大学院工学研究科 教授
知京 豊裕	(独) 物質・材料研究機構 半導体材料センター長
平本 俊郎	東京大学 生産技術研究所 教授
益 一哉	東京工業大学 統合研究院 教授
横山 直樹	(株) 富士通研究所ナノテクノロジー研究センター長
渡辺 久恒	(株) 半導体先端テクノロジーズ 社長

○材料TF構成員（※主査）

馬越 佑吉※	（独）物質・材料研究機構 理事
射場 英紀	トヨタ自動車（株）電池研究部長
岡田 益男	東北大学 大学院工学研究科 教授
河内 哲	住友化学（株）最高顧問
澤本 光男	京都大学 大学院工学研究科高分子化学専攻 教授
中村 崇	東北大学 多元物質科学研究所 教授
西山 昭雄	三菱マテリアル（株）加工事業カンパニー ダイヤモンド工具事業部部長
細野 秀雄	東京工業大学 フロンティア研究センター 教授
宮山 勝	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
村上 正紀	立命館大学 副総長

○ナノバイオTF構成員（※主査）

梶谷 文彦※	川崎医療福祉大学 副学長／教授
安宅 龍明	オリンパス（株）新規中核事業企画本部 コーディネーター
生田 幸士	名古屋大学 大学院工学研究科 教授
馬越 祐吉	（独）物質・材料研究機構 理事
片岡 一則	東京大学 大学院工学系研究科 教授
木寺 詔紀	横浜市立大学 大学院総合理学研究科 教授
田中 一宜	（独）科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー／（独）産業技術総合研究所 フェロー
平岡 真寛	京都大学 大学院医学研究科 教授
野地 博行	大阪大学 産業科学研究所 教授
松村 光雄	元（独）科学技術振興機構 研究開発戦略センター シニアフェロー
亀井 信一	（株）三菱総合研究所 科学・安全政策研究本部 副本部長

○ナノサイエンスTF構成員（※主査）

川合 真紀※	理化学研究所 主任研究員 / 東京大学 教授
阿部 晃一	東レ（株） 取締役・研究本部長
魚崎 浩平	北海道大学大学院 理学研究院化学部門 教授
岡島 博司	トヨタ自動車（株）技術企画統括センター 主幹
川合 知二	大阪大学 産業科学研究所 教授
高田 昌樹	（独）理化学研究所 放射光科学総合研究センター 主任研究員

樽茶 清悟	東京大学	大学院工学系研究科物理工学専攻	教授
常行 真司	東京大学	大学院理学系研究科物理学専攻	教授
細野 秀雄	東京工業大学	フロンティア研究センター	教授
長谷川 修司	東京大学	大学院理学系研究科物理学専攻	准教授
真島 豊	東京工業大学	大学院理工学研究科	准教授

開催状況

○共通課題・推進基盤TF

第1回：平成20年10月 2日（木）

第2回：平成20年10月30日（木）

第3回：平成20年12月 9日（火）

○ナノエレクトロニクスTF

第1回：平成20年 9月26日（金）

第2回：平成20年11月27日（木）

第3回：平成21年 2月 9日（月）

○材料TF

第1回：平成20年10月 7日（火）

第2回：平成20年12月 5日（金）

○ナノバイオTF

第1回：平成20年10月24日（金）

第2回：平成21年 2月12日（木）

○ナノサイエンスTF

第1回：平成20年11月10日（月）

第2回：平成20年12月16日（火）