

平成 23 年 6 月 6 日

先端研究施設共用イノベーション創出事業
【ナノテクノロジー・ネットワーク】(ナノ・ネット事業)
中間評価指摘事項について

(独) 物質・材料研究機構 国際ナノテクノロジーネットワーク拠点

1. 研究課題追跡調査の経緯

【ナノテクノロジー・ネットワーク】は、先端研究施設共用イノベーション創出事業の一環として、文部科学省の下で平成 19 年から開始された事業である。本事業は開始より 3 年度目を迎えた平成 21 年度に、「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」(平成 21 年 2 月 文部科学大臣決定)等に基づき中間評価を受けた。

中間評価は科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会ナノテクノロジー・材料委員会において行われ、以下の通り評価された。

1. 必要性(社会的・経済的意義)に関する評価基準の要件、「先端研究環境を幅広い研究者に提供する」を満たしており、適正な進捗が見られる。
2. 有効性(研究・開発活動への貢献)に関する評価基準の要件、「①ナノテクノロジー研究の裾野の拡大に有効。②融合効果の促進に有効。③人材育成に有効。」を満たしており、適正な進捗が見られる。
3. 効率性(システムとしての妥当性)に関する評価基準の要件、「①参画機関の先端機器・設備等のポテンシャルを活用するシステムの構築、②分野融合の促進、国際競争力の確保するシステムの構築」を満たしており、適正な進捗が見られる。

しかしながら、今後の研究開発を方向性を見据えたとき、さらに改善すべき点として、指摘事項が2点追加された。以下は、追加指摘事項2点とそれに対するナノテクノロジーネットワーク事業参加機関の対応方法である。

指摘事項1

○ 単純な支援・成果数の実績統計ではなく、追跡アンケート調査等によりナノネットの使用が研究の推進にどの程度の重みを持ったかを適切に評価する仕組みが必要である。よって、有効性(研究・開発活動への貢献)に関する評価基準の要件として、「支援結果が利用者の研究・開発の加速に大きく貢献したか。」を追加する。

第1段階

- 1) 平成 19-20 年度の課題について、参画機関が主導して追跡調査アンケートを実施する。
- 2) ナノネットの成果を踏まえて、その後どのように研究が展開したかを調べる
- 3) 統一フォーマットにより、web を用いて行い、定量的な資料とする。

第2段階

- 1) アンケート結果の中が、特記すべき課題について、各機関と該当ユーザーの間でさらに詳細な報告書を作成する。
- 2) 特記すべき点としては、①Nature 論文、②実用化に貢献、③異分野と協力関係、④異種の機関との協力
- 3) 自己評価としては、①イノベーションへの貢献度合い、②ナノネットならではの成果か? など

指摘事項2

○ グローバル競争の中で、しかも、世界の主要国でほとんど同時にスタートしたナノテク国家計画において、施設の共用化はもっとも高い融合効果を期待されており、米国、台湾、韓国などの類似施設の状況と比較しながら設備・装置の拡充を検討・計画すべきである。よって、必要性(社会的・経済的意義)に関する評価基準の要件として、「提供している先端共用施設・支援は国際的に見て遜色ないか。」を追加する。

- 1) 技術分野毎に共用施設の質が異なるので、分野別の調査が望ましい。
- 2) 「ナノ計測・分析」、「微細加工」、「分子・物質合成」、「極限環境」(「放射光」)の 4～5分野別に幹事機関が設定され、分野別の活動を行っているので、これを活用する。
- 3) 共用施設の設備・装置に関する調査は、これまでも多くあるので、それらをいったんまとめて、ナノネットの設備群と比較検討する。
- 4) 共同利用の仕組み、運営については、多分まとまった調査は行われていないので、これは各技術分野で必要に応じて行う。
- 5) この調査では技術の「質」と「量」のみを考えるのではなく、共同利用に日夜従事している研究者の視点から、運営、成果の活用、問題点などについて、具体的な指摘が必要。
- 6) 各分野の固有技術に囚われるのではなく、今後必要となる関連異分野についても、「科学技術政策課題」とどのようにリンクしているかを勘案しつつ記述する必要がある。
- 7) 今後の事業展開について、分野を超えて、あるべき姿についても記述すること。

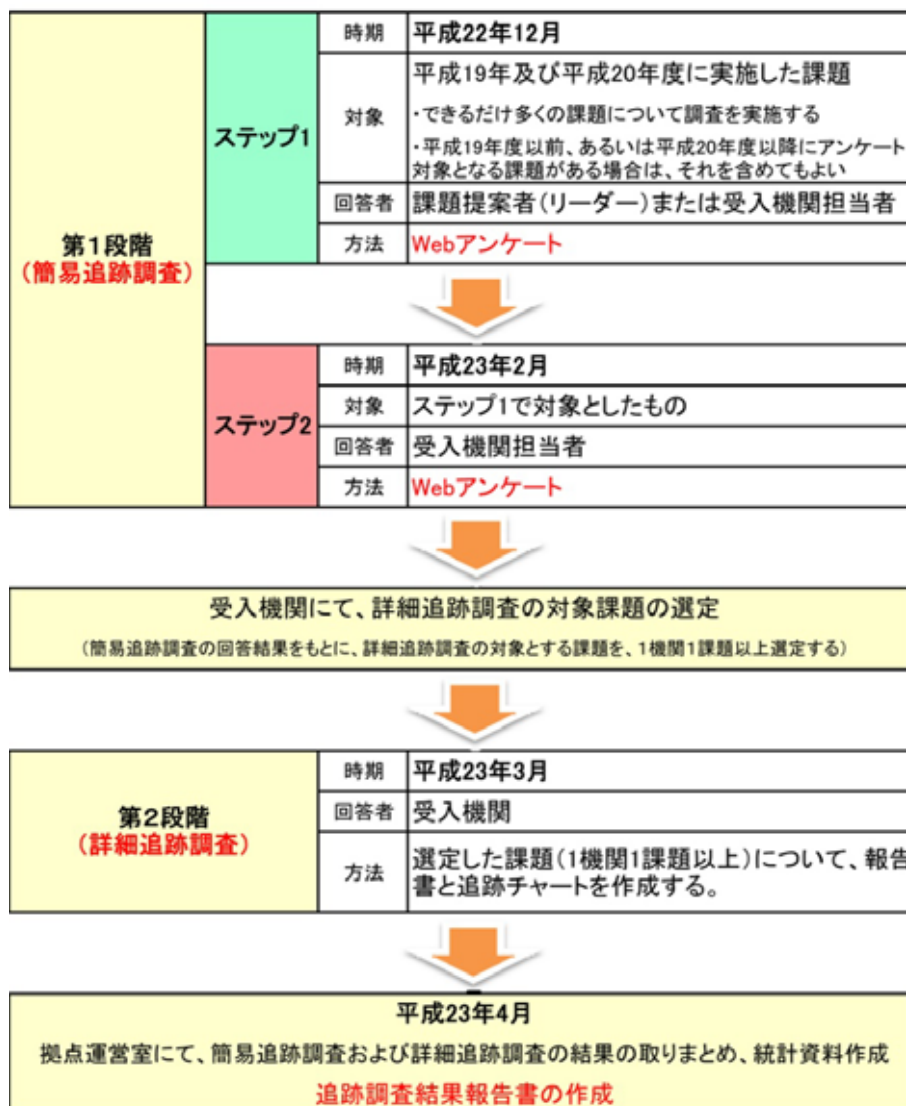
以上

先端研究施設共用イノベーション創出事業
【ナノテクノロジー・ネットワーク】 (ナノ・ネット事業)
 中間評価指摘事項 1 (研究課題追跡調査第 1 段階 **Web** アンケート) について
 ～ まとめ ～

(独) 物質・材料研究機構 国際ナノテクノロジーネットワーク拠点

ここでは指摘事項1(研究課題追跡調査第1段階 **Web** アンケート)についてナノテクノロジーネットワーク事業ユーザ及び参加機関に対する研究課題追跡調査の結果について報告する。

1. 調査の対象と方法、調査の流れ



第1段階（簡易追跡調査）ステップ1

平成 19-20 年度の課題について、参画機関が主導して追跡調査アンケートを実施する。
(平成 19-20 年度以外に対象となる課題がある場合は、それを含めてもよいこととした。)
統一フォーマットの Web アンケートとし、定量的な資料とする。

第1段階（簡易追跡調査）ステップ2

ステップ1で回答のあった研究課題の Web アンケートシートに、受入機関担当者がアクセスし、ナノネットの成果を踏まえて、①イノベーションへの貢献度合い、②ナノネットならではの成果か？など、機関回答項目の記入を行う。

第2段階（詳細追跡調査）

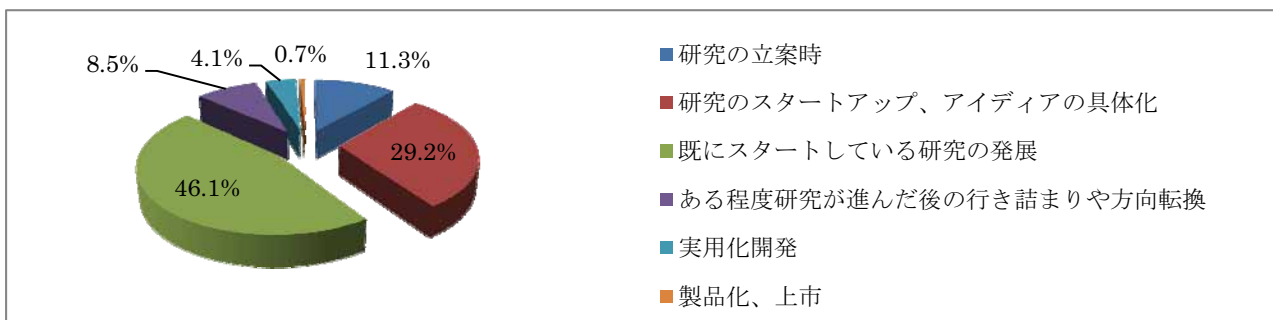
簡易追跡調査結果より、特記すべき課題について、各機関と該当ユーザの間でさらに詳細な報告書を作成する。
特記すべき点としては、①Nature 論文、②実用化に貢献、③異分野と協力関係、④異種の機関との協力など。

2. 調査結果全体の傾向

- (1) 平成 22 年 12 月 27 日～平成 23 年 2 月 11 日までに回答があったものを集計した。
- (2) アンケート総数は、2,281、回答数 1,320、回答率 57.9%であった。
- (3) 研究課題提案者所属機関別では、大学・大学院 62.2%、公的研究機関 16.4%、大企業 13.6%、中小企業 4.9%、ベンチャー企業 2.9%であった。
- (4) 利用した研究領域は、ナノ計測・分析 40.3%、超微細加工 44.2%、分子・物質合成 8.5%、極限環境 0.7%、放射光 6.3%であった。
- (5) 利用の形態は、装置利用 50.9%、技術代行 16.8%、共同研究 28.2%、技術相談 4.1%であった。
- (6) 利用年度は、平成 19 年度以前 4.4%、平成 19 年度 23.4%、平成 20 年度 32.0%、平成 21 年度 24.4%、平成 22 年度 15.8%であった。

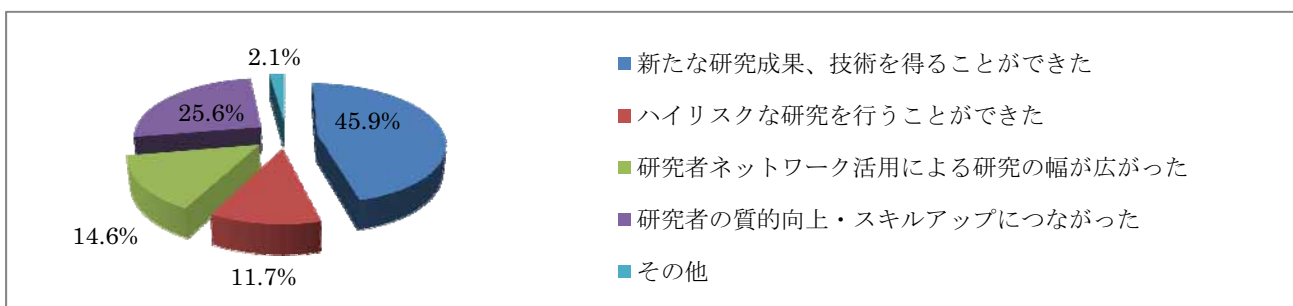
3. 質問の内容とその結果

質問 1: ナノネット事業を利用したのは、研究のどのフェイズにおいてか



質問 2: ナノ・ネット事業の利用結果について

【メリット】(回答数：2403 件)



メリット「その他」として回答のあった内容(回答数:51件より抜粋)

- ・自前で大型・最先端装置を購入・維持管理するリスクなしにデータが取得できた。(17件)
- ・研究開発速度が向上した。(6件)
- ・次のステップへの早期意志決定に役立った。(5件)
- ・高度な専門知識、技術、ノウハウに基づいた支援をしてもらえた。(5件)

デメリットとして回答のあった内容(回答数:59件より抜粋)

- ・希望の利用回数(マシンタイム)の確保が困難。(21件)
- ・希望する時期と実際に支援してもらえる時期にズレがあり、研究の機会を逃してしまう。(8件)
- ・利用の手続きが複雑。(6件)

質問 3:研究課題展開について (回答数:1,320件)

継続している 80.2% (1,058件)、中止した 19.8% (262件)

継続しているもののうち、研究段階 89.6%、実用化開始段階 8.4%、製品化・上市段階 2.0%

中止の理由 (回答数:262件より抜粋)

- ・一定の成果が得られ、区切りがついた。(93件)
- ・研究提案者本人や共同研究者が所属機関を異動、退職、卒業した。(46件)
- ・問題解決が困難であることが判明し、研究の方向性を検討中。(24件)
- ・所属企業の方針が変更になった。(22件)
- ・プロジェクトが終了した。更新がされなかった。(21件)

質問 4:研究課題継続方法について (複数選択を可として場合は回答数:1,431件)

- ・ナノ・ネット事業を利用して研究の継続を実施中 42.7% (612件)
- ・助成制度(公的な競争的資金)を使って研究の継続を実施中 15.2% (218件)
(科研費 62.8%、JST13.8%、NEDO9.6%など)
- ・独自の予算で研究の継続を実施中 38.3% (549件)
- ・実用化を達成 0.7% (9件)
- ・他分野・他技術への応用展開を実施中 3.0% (43件)

質問 4で、「実用化を達成」と回答のあったもの(回答数:9件)

ナノ・ネットの利用年度					実用化の達成年度	実用化達成の内容
H19以前	H19	H20	H21	H22		
	○	○			22	電解液中での放電プラズマ法により、50nm サイズ以下の各種ナノ粒子を安定に製造する条件・技術を開発
				○	22	化粧品「VIVCO」を製品化し、1年間で5億円の売り上げを達成した。
○				○	22	Impact to electronic structure on thermoelectric devices
	○				20	NTTアドバンステクノロジー株式会社より、Ni電鍍タイプのナノインプリント用モールドとして、NIM-80L RESO 凸(Ni)、NIL-100L RESO 凸(Ni)の形式で販売されている。
	○				21	電子情報材料
			○	○	21,22	研究成果からマイクロデバイスを射出成形で製作するためのニッケル電鍍マスターを製作できた。
○		○			21	超高压電子顕微鏡によりシリコン基板中の結晶欠陥を観察した結果を元に、デバイス構造の設計を見直し、結晶欠陥の抑制に結びついた。
		○			22	京大の特許を活用し、SERS測定用基板 Wavelet として実用化完了。
		○			22	ニッケル系電鍍材料による金属部品の製作

実用化に関しては、質問 6(ナノ・ネットの効果・効用及びその波及効果)への回答へも、「知財申請につながった。(回答数:89件)」、「実用化、新製品開発につながった。(回答数:75件)」との回答があった。

質問5：ナノ・ネット事業の研究課題で開発された成果の普及について

特許出願			論文発表		口頭発表		解説記事		プレス発表
国内	海外	PCT出願	国内誌	海外誌	国内発表	国際発表	国内誌	海外誌	
387	64	81	235	1,459	2,081	1,652	306	50	106

各種受賞等（回答数：136件より抜粋）

- ・手島精一記念研究賞受賞
- ・日本化学会進歩賞
- ・高分子学会 Wiley 賞
- ・平成 22 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞
- ・First Place in Science as Art Awards 受賞 2010 Materials Research Society Spring Meeting
- ・2009 年度第 26 回井上研究奨励賞（井上科学振興財団）

質問6：ナノ・ネットの効果・効用（科学技術／社会／経済／人材育成）等、及びその波及効果について

（回答数：1,208件より抜粋）

【科学技術】

- ・研究の高度化、スピードアップに有効。（436件）
- ・新技術（手法、材料、デバイス等）の開発につながった。（214件）
- ・研究の幅や応用先が広がった。（200件）
- ・ナノネットがなければ利用できなかった装置を使用できた。（163件）
- ・当該研究分野へ大きなインパクトを与えた。新展開につながった。（160件）

【社会】

- ・日本の科学技術全体のレベルアップや国際的な競争力アップにつながる。（55件）
- ・成果が一般向けメディアで紹介され、成果普及や啓蒙、科学教育につながった。（16件）
- ・別々の装置インフラを接続でき、研究の効率化に有効。（16件）

【経済】

- ・知財申請につながった。（89件）
- ・実用化、新製品開発につながった。（75件）
- ・自前で装置を購入せずに、最先端の装置を低料金で利用することができた。（34件）
- ・開発期間の短縮や、ユーザーニーズのキャッチアップ等が企業の競争力強化につながった。（16件）

【人材育成】

- ・最先端の機器やノウハウに触れることで、研究者として成長できた。（360件）
- ・研究者間の技術や知識の交換・共有につながった。（97件）
- ・ナノネットの研究成果や専門技術習得がユーザの業績となり、ポストを得ることができた。（12件）

【人材育成】への効果・効用として、具体的内容の回答があったもの

ナノ・ネットの利用年度					利用者所属	回答内容
<H19	H19	H20	H21	H22		
		○			大学・大学院	チャレンジングな研究テーマを行うことができた。研究成果を上げることができ、そのおかげで、 ポストを得ることができた ことから、研究者の育成に役立った。
	○				大学・大学院	最先端の研究のための最先端の装置は、大きな研究成果につながり、それを元にした 学生の海外留学につながる ことになった。出願特許については、公開情報を見た企業からの問い合わせがあり、全く目的とは異なる方向での共同研究が新たにスタートした。
		○			大学・大学院	前年度の本事業の成果が他分野の研究に発展し、大きな成果を上げることができた。 担当した学生は優秀者海外派遣事業にも採択 され、出願特許は企業との共同研究につながっている。
	○				大学・大学院	若手研究者の育成につながる研究成果をあげることができた。超高圧電子顕微鏡を用いてのみ達成可能な照射実験により、貴重な研究データが得られた。申請研究そのものではないが、 申請研究により得られた研究データをもとに発展した研究内容が、若手研究者の受賞の貢献 につながった。

	○			大学・大学院	今回得たデータは国内で広く用いられている獣医組織学の教科書に引用された。それらの結果を基に農学部助教に採用もされた。
○	○			大学・大学院	私立大学単独では設置・維持が難しい特殊電子顕微鏡装置の使用により、コンピュータシミュレーション等との比較検討が容易となり、研究範囲が飛躍的に拡大された。また、研究者としての人材育成にも大きく役立ち、本装置の使用により研究成果をあげた、多数の博士課程修了生も現在、電子顕微鏡関連の分野で活躍中である。
		○		大学・大学院	雇用創出効果：本プロジェクトは、大学でシーズから創りあげたため、学術的意義も大きく、専属で2人のポスドクを雇用し、学術論文を発信している。一方、連携先企業では、ニッケルナノ粒子製造部門を、事業部に組み込み、人員を強化してサンプル製造、スケールアップに力をいれている。
		○		大学・大学院	この測定は当時の大学院修士課程1年生が行ったが、当該学生はこの研究をきっかけに研究にのめりこみ、大学院博士後期課程に進学するに至った。さらに、日本学術振興会の特別研究員DC1に採択された。
	○			大学・大学院	学生の成長を促し、良い会社に就職できた。
		○		大学・大学院	水資源分野のトップジャーナルへ2編の論文が掲載され、学生が博士取得後に民間会社の研究開発部署で国際的に活躍している。
	○			公的研究機関	微細加工分野に関して、経験の少ない技術者（学生含む）に短期間で、関連技術の習得が可能となり、関連分野への就職・学位取得等につながった。
	○			公的研究機関	多層膜構造により電流コラプスと耐圧特性の向上につながった。学生及び派遣職員の技術の向上が行われ、就職などに有利に働いた。

質問7：その他（問題点、要望等）について（回答数：242件より抜粋）

【センター機能強化】

- ・高度な内容の技術相談への対応窓口（6件）
- ・支援機関・拠点をまたぐ利用システムの構築（4件）

【広報強化】

- ・周囲にナノネットの存在を知らない人が多い。もっと宣伝すべき。（8件）
- ・どこに何があり、何ができるのか、利用窓口はどこかをもっとアピールして欲しい。（4件）

【事業の拡充、サービス強化】

- ・装置の拡充（保守、更新、新規導入、オプション追加、使用条件緩和など）（27件）
- ・現場スタッフ（装置管理者、オペレーター、インストラクター）の増員、常駐化（20件）
- ・利用できる時間帯の拡大（夜間、休日など）（10件）

【利用者負担軽減、利便性追及】

- ・旅費・滞在費の補助、宿泊施設の用意など、遠方からの利用者への助成（13件）
- ・利用申込手続きの簡素化、柔軟化、スピードアップ（10件）
- ・課金制度に反対。無料か、無料に近い料金で利用させてほしい。（6件）

【ナノ・ネット事業を利用した感想（肯定的）】

- ・自前で大型・最先端装置を購入・維持管理するリスクなしにデータが取得できる。（21件）
- ・日本の科学技術全体の発展、国際的な競争力アップにつながる。（19件）
- ・研究の高度化、スピードアップに有効。（14件）
- ・萌芽的研究や新規技術の可能性検討に有効。（11件）

【ナノ・ネット事業を利用した感想（否定的）】

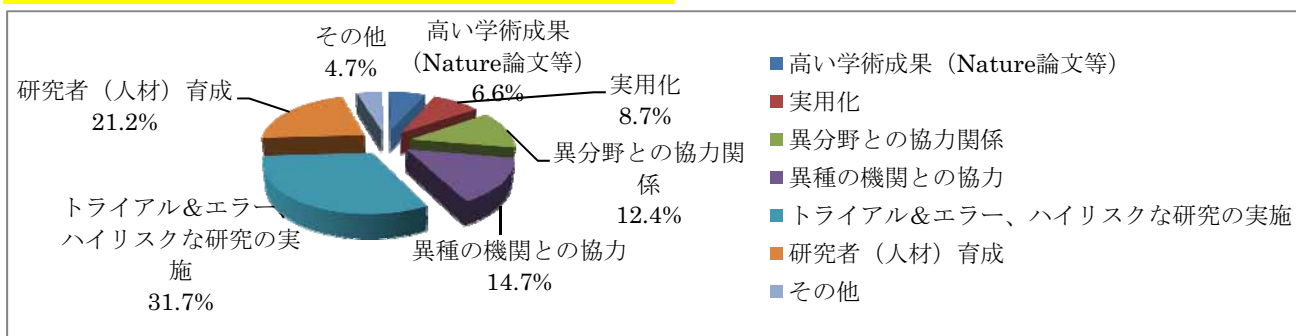
- ・装置が混雑していて予約がとりにくい。研究進展のブレーキになってしまう。（7件）

【ナノ・ネット事業の継続について】

- ・今後もナノネット事業を継続して欲しい。今後も利用したい。（108件）
- * 「継続の必要なし、もうやめたらよい」という回答はゼロでした。

4. 受入機関担当者の回答項目

質問 A：ナノ・ネット事業の貢献項目（複数回答可）

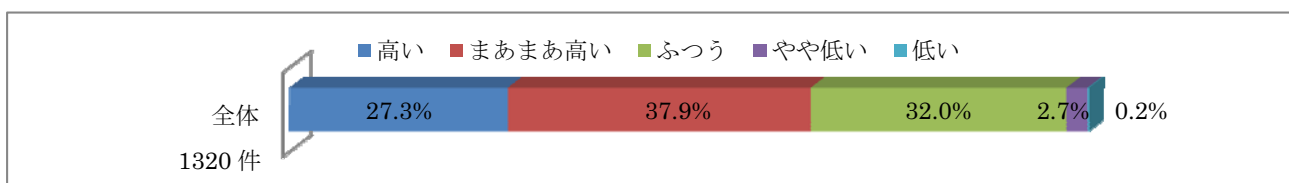


質問 A で、ナノ・ネット事業の貢献項目「その他」として回答のあったもの

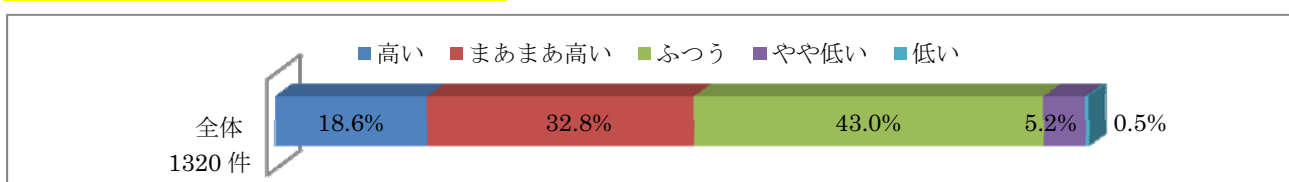
(回答数：109 件より抜粋)

- ・新たな学術知見の獲得。(42 件)
- ・民間企業からの利用促進。(17 件)
- ・大型装置共同利用の促進。(15 件)
- ・知財申請。(14 件)
- ・実用化、製品化。(11 件)
- ・長期的・計画的な人材育成 (ユーザのスキルアップ、学生の博士号取得)。(9 件)

質問 B：ナノ・ネット事業の貢献度合い (ナノ・ネットならではの成果が得られたか)



質問 C：イノベーションへの貢献度合い



課題追跡調査 Web アンケート結果が示しているように、研究課題は継続されている場合が多く、一部実用開始段階に至っている。継続方法としては、ナノネット事業を利用する場合も多いが、公的な競争的資金を獲得して継続されている場合もかなりある。実用化を達成し、年間売り上げを計上したり、特許を活用して測定基板の実用化を完了したものもある。実用化、新製品開発、知財申請まで含めると約 170 件にのぼる。科学技術上のメリット以外にも、人材育成ではナノネットでの活動がキャリアパスにつながった例も散見される。ただし、センター機能や広報の強化、事業の拡大、サービスの拡大に関する要望は依然として強い。利用者は、ナノネット事業の継続を強く支持しており、今後も継続すべきと考えられる。受入担当機関においても、ナノネットの成果はイノベーションへの貢献度合いはかなり高いと評価されている。

以上

先端研究施設共用イノベーション創出事業
【ナノテクノロジー・ネットワーク】(ナノ・ネット事業)
中間評価指摘事項 1 (研究課題追跡調査第 2 段階詳細調査) について
～ まとめ ～

(独) 物質・材料研究機構 国際ナノテクノロジーネットワーク拠点

ここでは指摘事項1(研究課題追跡調査第 2 段階詳細調査)についてナノテクノロジーネットワーク事業ユーザ及び参加機関に対する研究課題追跡調査の結果について報告する。

1. 詳細調査の進め方

- (1) Web アンケート調査の回答結果をもとに、ナノネット参加機関において詳細な課題追跡調査を行った。
- (2) Web アンケート回答数は 1,320 件であり、ナノネット事業と関連して様々な研究の進展が図られている。その中から、事業の性格を考慮して、ナノネットならではの事例を抽出するため、1機関1研究領域あたり1課題以上を選定し、追跡調査報告書及び追跡チャート、補足資料等を作成した。
- (3) 課題の選定に当たっては、以下の5点に特に着目した。
 - ・高い学術成果が得られたもの
 - ・実用化に向かって研究が進展し、社会・経済にインパクトの大きいもの
 - ・異分野・異種機関との協力により研究が発展したもの
 - ・ハイリスク・チャレンジングな研究が行われたもの
 - ・研究の効率化・スピードアップに貢献したもの
- (4) また、平成 20、21 年度においては、ナノネット事業運営会議メンバーにより、顕著な成果が選出されているので、それらを加えることとした。

2. 詳細調査結果全体の傾向

詳細追跡調査課題(57 件)の一覧を別表 1 に示す。

代表的な例は、別添資料として「追跡調査報告書」及び「追跡チャート」、「補足 PPT 資料」を示す。

高い学術成果が得られたと判断できるもの(10 件)には、Nature 誌への論文掲載や、当該研究分野に大きなインパクトを与え、高被引用論文として高い評価を受けた研究が含まれている。

実用化に向かって研究が進展し、社会・経済にインパクトの大きいもの(13 件)には、製品開発に成功し、年間で大きな売り上げを達成したり、特許を活用し、測定用基板等として実用化に成功した例もある。

異分野・異種機関との協力により研究が発展したもの(8 件)には、微細加工技術を医療分野に応用し、高度な計測技術に応用した例や、遺伝子治療に展開できるナノシステムの開発を行った研究が含まれている。

ハイリスク・チャレンジングな研究が行われたもの(12 件)には、ナノ構造の光学的特性に着目し、光アンテナを作製する技術開発や、カーボンナノチューブを使ったエミッタの瞬間実装などの技術が含まれている。

研究の効率化・スピードアップに貢献したもの(14 件)には、MEMS 技術を利用した振動型発電器の試作開発や、温暖化ガスの放出がない固体高分子型燃料電池スタックの性能向上などが含まれている。

以上

別表1 中間評価指摘事項1(研究課題追跡調査第2段階) 詳細追跡調査課題一覧

成果の分類	補足資料	支援機関	研究領域	研究題名	ユーズ所属
学術 (10件)	○	東北大学	極限環境	希土類ナノ磁石の磁性評価	電気通信大学
	○	物質・材料研究機構	ナノ計測・分析	マルチフェロイックス固体電子材料のナノ構造観察	科学技術振興機構ERATO十倉マルチフェロイックスプロジェクト
	○	日本原子力研究開発機構	ナノ計測・分析、放射光	リチウム電池電極最表面のその場解析	東京工業大学
		東北大学	ナノ計測・分析	リチウムイオン伝導性酸化物の微細構造解析	学習院大学
		物質・材料研究機構	ナノ計測・分析	磁性半導体における構造的、化学的分離の有無と強磁性特性の相関	筑波大学 物質工学系
		東洋大学	超微細加工	微細加工を施した基板上への有機薄膜の成長とその電気伝導に関する研究	東京大学
		東京大学	ナノ計測・分析	p型ワイドギャップ半導体薄膜LaCuOSeの断面TEM観察	東京工業大学応用セラミクス研究所
		分子科学研究所	ナノ計測・分析	920MHz超高磁場NMRによるアミロイドβペプチドの重合開始機構の構造生物学的基盤の解明	国立長寿医療センター研究所
		名古屋工業大学	ナノ計測・分析	ホイスラー合金系エピタキシャル薄膜のメスバウアー分光測定	九州大学
社会・経済 (13件)		九州シンクロtron光研究センター	ナノ計測・分析	XAFSを用いた大気ナノ物質科学	九州大学大学院理学研究院化学部門
	○	北海道大学	超微細加工	ダイナミックマスキングリソグラフィ技術による3次元光重合体の作製に関する研究	株式会社オプトメイト
	○	産業技術総合研究所	超微細加工	微量イオン物質のセンシング技術研究と環境センサの開発	日立化成工業株式会社
	○	京都大学	超微細加工	斜め蒸着による異方性光学膜の作製	株式会社ニデック
	○	九州大学	分子・物質合成	s/o化技術を利用した医薬品・化粧品に関する研究	SOファーマ株式会社
		産業技術総合研究所	超微細加工	貴金属化合物の研究1	株式会社フルヤ金属
		東京大学	超微細加工	マイクロ熱物性センサーの開発	慶應義塾大学
		東京工業大学	ナノ計測・分析	GHz帯域伝導ノイズ抑制用フェライトめっき膜のナノコラムナー構造の観察	東京工業大学応用セラミクス研究所
		東京工業大学	超微細加工	フラーレン類のレジスト分野における各種特性データの取得	三菱化学株式会社
		東京工業大学	超微細加工	電子ビーム露光と無電解メッキ法を用いたナノギャップ電極作製に関する研究	東京工業大学
		早稲田大学	超微細加工	プラズモンアンテナ型超高度センサーの開発	早稲田大学理工学研究所
		京都大学	超微細加工	微細加工技術を用いた音響センサーの開発	大阪大学基礎工学研究科
		広島大学	超微細加工	ナノスケールSi光導波路の中空化とこれを用いた光学式慣性力センサ	関西大学 システム工学部
	山口大学	超微細加工	真空装置のための高真空性能表面処理の研究	三菱プラント工業	
異分野・異種機関との協力 (8件)	○	物質・材料研究機構	極限環境	930MHz 固体NMRによるオレフィン重合触媒の構造解析	東邦チタニウム株式会社
	○	名古屋大学	超微細加工	マイクロ流体デバイスによる遺伝子デリバリーナノシステム構築	京都薬科大学、北海道大学大学院生命科学部
	○	豊田工業大学	超微細加工	単一分子検出マイクロ流路チップの開発	株式会社 ESPINEX
		東北大学	ナノ計測・分析	バイオマスのニッケル触媒炭化によって得られる機能性ナノ炭素粒子の微細構造	北見工業大学
		物質・材料研究機構	超微細加工	血液付着評価のための超撥水性表面の作製	東邦大学医療センター-佐倉病院放射線科
		京都大学	ナノ計測・分析	サクラン金属複合体のCryo-TEM観察	北陸先端科学技術大学院大学
		大阪大学	ナノ計測・分析	脊椎動物の網膜視細胞発生における形態学的解析	大阪バイオサイエンス研究所第4研究部
		立命館大学	超微細加工	LIGAプロセスを用いたアクリル樹脂基板上への微細形状パターンニング技術の確立	スターライト工業株式会社
ハイリスク・チャレンジング (12件)	○	北海道大学	超微細加工	テラヘルツ帯にプラズモン共鳴波数を有する金ナノスリットリング構造の光学特性	ローム株式会社 フォトニクス研究開発センター
	○	東京大学	超微細加工	ナノカーボン材料のカスタム合成	東京大学 大学院工学系研究科
		北海道大学	ナノ計測・分析	環境セル型電子顕微鏡による水素放出反応の動的観察	北海道大学大学院工学研究科
		千歳科学技術大学	超微細加工	ポリマーアクチュエータ作製方法の検討	フォトニクスサイエンステクノロジー(株)
		東北大学	分子・物質合成	新しい不均一系触媒の開発	東北大学
		物質・材料研究機構	超微細加工	Identification of Enterovirus 71 receptor	財団法人東京都医学研究機構・東京都臨床医学総合研究所
		産業技術総合研究所	超微細加工	プラズモンセンサの作製とバイオセンシングへの応用	筑波大学
		早稲田大学	ナノ計測・分析	分子ワイヤーおよび単一分子膜の導電性測定のための精密メッキ法を用いた超平坦電極作製	物質・材料研究機構
		北陸先端科学技術大学院大学	ナノ計測・分析	微生物ナノ粒子の観察と解析	県立広島大学
		北陸先端科学技術大学院大学	ナノ計測・分析	遷移金属添加窒化物半導体のバンド構造解明	京都工芸繊維大学
効率化・スピードアップ (14件)		大阪大学	超微細加工、分子・物質合成	両極伝導物質RH2の(R=Y, Gd, Sc, Ti)高品質化による極低ホール係数材料の創製	埼玉大学大学院理工学研究科
		九州大学	分子・物質合成	光増感型 dendrimer の構造制御と発光特性評価	静岡大学電子工学研究所
	○	東京大学	超微細加工	環境発電のためのMEMSエレクトレット発電器	東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻
	○	大阪大学	ナノ計測・分析、超微細加工	ナノ空間制御による新機能性材料の創製	早稲田大学 理工学術院
		東北大学	ナノ計測・分析	プロトン伝導性酸化物の微細構造解析	富山高専専門学校
		東洋大学	超微細加工	Ni-Ti系超塑性材料、形状記憶合金の内部組織観察	永田精機株式会社
		早稲田大学	超微細加工	超微細めっき技術基礎検討	(株)LEAP
		分子科学研究所	ナノ計測・分析	SiC表面分解カーボンナノチューブ生成法における清浄表面処理に関する研究	名城大学理工学部
		分子科学研究所	分子・物質合成	グラフェン壁を持つ多孔性肺胞状炭素の創成	分子科学研究所
		名古屋工業大学	ナノ計測・分析	フッ化物薄膜を用いた紫外光学素子開発	名古屋工業大学
		日本原子力研究開発機構	放射光	その場X線回折による格子不整合InGaAs/GaAsの歪緩和過程に関する研究	豊田工業大学
		日本原子力研究開発機構	放射光	高性能パワーデバイス用SiC-MOS構造の界面物性評価とその特性改善技術の開発	大阪大学 大学院工学研究科 生命先端工学専攻
		物質・材料研究機構 共用ビームステーション	放射光	Hard X-ray photoelectron spectroscopy of Heusler compounds	Johannes Gutenberg - University, Mainz
		九州大学	ナノ計測・分析	半導体ナノ粒子の構造制御と解析	産業技術総合研究所
	北九州産業学術推進機構	超微細加工	マイクロパターンニング技術を利用した細胞チップの構築	公立大学法人北九州市立大学 国際環境工学部 環境生命工学科	
	佐賀大学	ナノ計測・分析	極端紫外光を用いた光脱離質量分析装置の開発	株式会社NTP	

先端研究施設共用イノベーション創出事業【ナノテクノロジー・ネットワーク】
 (ナノ・ネット事業) 研究課題追跡調査報告書

支援機関名	物質・材料研究機構
研究課題名	マルチフェロイック固体電子材料のナノ構造観察
利用者氏名	于秀珍、金子良夫、十倉好紀
利用者所属	科学技術振興機構 ERATO 十倉マルチフェロイックプロジェクト
研究領域	<input checked="" type="checkbox"/> ナノ計測・分析 <input type="checkbox"/> 超微細加工 <input type="checkbox"/> 分子・物質合成 <input type="checkbox"/> 極限環境 <input type="checkbox"/> 放射光
利用の形態	<input type="checkbox"/> 装置利用 <input type="checkbox"/> 技術代行 <input checked="" type="checkbox"/> 共同研究 <input type="checkbox"/> 技術相談
利用年度	<input type="checkbox"/> 平成 19 年度以前 <input checked="" type="checkbox"/> 平成 19 年度 <input checked="" type="checkbox"/> 平成 20 年度 <input checked="" type="checkbox"/> 平成 21 年度 <input checked="" type="checkbox"/> 平成 22 年度

1. ナノ・ネット事業を利用したのは、研究のどのフェイズにおいてか

次世代のスピントロニクス材料の開発の一環として、遷移金属を含む合金系に着目した。この系の磁気構造について中性子回折による先行研究が海外でなされていたが、極めて狭い温度と磁場領域で「スキルミオン (skyrmion) と呼ばれる渦巻状のスピンの配列が形成されていることが示唆されていた。われわれはナノネット支援事業において、極低温ローレンツ顕微鏡による時期構造解析を、おもに酸化物系を中心に展開してきたため、直ちにその検証と実空間直接観察を試みることにした。

2. ナノ・ネット事業の利用結果について

$\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Si}$ の結果は極めて良好で、そのデータは 2010 年の Nature 誌に掲載された。更に、平成 22 年度も引き続き支援が行われ、そこでは FeGe において室温近傍でスキルミオンを発生させ、それをローレンツ電顕観察することにも成功し、その成果は 2011 年の Nature Materilas に掲載された。

またこれらの成果は学界からも注目を集め、これまでに固体物理、顕微鏡 (日本顕微鏡学会和文誌)、日本結晶学会誌 (印刷中) などの有力な雑誌に解説記事が掲載された。更に米国物理学会 (APS) で招待後援するなど、広く世界から注目を集めた。

3. ナノ・ネット事業利用終了後の研究課題展開について		
ナノネット終了後（平成 24 年度以降）も、何らかの形で共同研究を継続することが望ましいと考える。今後は電場や応力に起因するスピン配列の解析手法が重要になると思われる。		
4. ナノ・ネット事業利用終了後の研究課題継続方法について		
当面は、十倉教授が進めている FIRST プログラムの一環として継続されることが考えられるが、具体的なことは未定である。		
5. ナノ・ネット事業の研究課題で開発された成果の普及について		
	ナノ・ネット事業により得られた成果	ナノ・ネット事業利用終了後に研究を継続し得られた成果
特許出願	国内 0 件、海外 0 件、PCT 出願 0 件	国内 件、海外 件、PCT 出願 件
論文発表	国内誌 0 件、海外誌 2 件	国内誌 件、海外誌 件
口頭発表	国内発表 5 件、国際発表 5 件	国内発表 件、国際発表 件
解説記事	国内誌 3 件、海外誌 0 件	国内誌 件、海外誌 件
プレス発表	4 件	件
各種受賞等		
6. ナノ・ネット事業の貢献内容について		
今回のスキルミオン観察は、NIMS のローレンツ電顕以外では実行不可能（観察のノウハウも含めて）であった。このため、ナノネット事業による解析支援が極めて有効であった。		
7. イノベーションへの貢献について		
今回の成果が直ちに実用材料に適用されるとは期待しにくいだが、渦状スピン（ボルテックス）を活用した磁気デバイスは将来のスピン트로ニクスへの応用が大いに期待されている。		
8. 科学技術的／社会的／経済的な効果・効用及び波及効果について		
スキルミオンを世界で初めて可視化することに成功したのは、基礎科学としても大きな意義を有する。また将来の磁気デバイス（スピン트로ニクス）応用も期待される。ナノ計測手法の新しい分野を切り開いた意義も大きいと考える。		
9. その他（問題点、要望等）について		
主要な装置は 1997 年頃の導入で、やや老朽化・陳腐化しており、今後の装置更新や機能追加などを検討していただきたい。		

マルチフェロイックス 固体電子材料のナノ構造観察

Nano structure Analysis of Multi-Ferroics Materials

Keywords Lorentz TEM, Skyrmion, Anomalous Hall Effect, Spintronics, Multi-Ferroics

らせんスピン構造をもつ $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Si}$ に、磁場をかけると渦巻状のスピン超構造(スカームيون; Skyrmions)が生成することを、極低温ローレンツ電顕法で可視化することに、世界で初めて成功しました。スカームيونは二次元的な周期性を有し、最密な六方晶構造であることが分かりました。この画期的な研究成果は2010年7月、Nature誌に発表されました。

約500ガウスの弱磁場中で、渦巻型スピン超構造状態(スキルミオン格子)を作り出すことに、世界で初めて成功しました。スキルミオン(Skyrmion)は、強磁性や反強磁性とは異なる新奇なスピン秩序状態である。今回、高分解能ローレンツ電子顕微鏡法を用いて、初めてその実空間観察に成功した。本研究は、ERATO、NIMS、理研、東大の共同研究である。

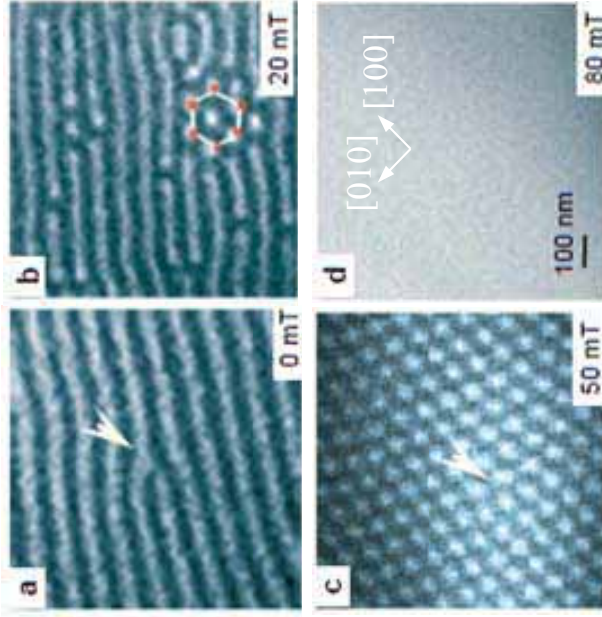


図1 $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Si}$ らせん磁性体(a)への磁場印加の影響。(b)約20mTでスキルミオンが始め、(c)50 mTで六方格子を形成するが、更に磁場を強めると(d) 80mTで強磁性になる。

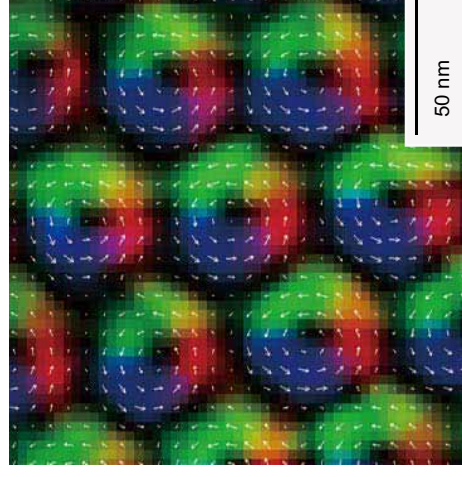
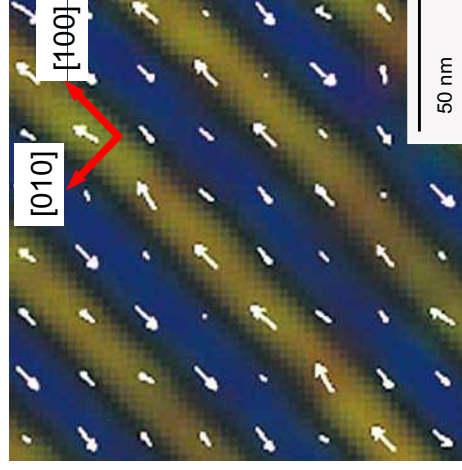


図2 TIE解析法によって得られた、らせんスピン構造(左)と渦巻スピン(スキルミオン)(右)の2次元磁化分布。

参考文献(References)

- 1) X.Z. Yu, Y. Matsui, Y. Tokura et.al., "Real-space observation of a two-dimensional skyrmion crystal", *Nature* 465, 901-904 (2010)
- 2) X.Z. Yu, Y. Matsui, Y. Tokura et.al., "Near room-temperature formation of a skyrmion crystal in thin-films of the helimagnet FeGe", *Nature Mat.* 10, 106-109 (2011)

マルチフェロイック固体電子材料のナノ構造観察 科学技術振興機構ERATO十倉マルチフェロイックスプロジェクト

イノベーションの
可能性軸

