

# プロジェクト事後評価報告書

評価委員会開催日：平成24年1月13日

評価委員：（敬称略、五十音順）

日下幸則 福井大学 医学部医学科 教授

熊谷 寛 大阪市立大学大学院 工学研究科 教授

末宗幾夫 北海道大学 電子科学研究所附属ナノテクノロジー研究センター 教授

確定年月日：平成24年2月28日

プロジェクト名	ナノ機能組織化技術開発の研究
研究責任者の所属・役職・氏名	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 ナノ機能集積ユニット長（元ナノ機能集積グループリーダー） 中山知信
実施期間	平成18年度～平成22年度
研究目的と意義	NIMSが世界に誇るナノスケールでの加工・分析・計測技術ならびに超伝導物質など各種物質の制御技術をさらに高度化しかつ融合し、それらを駆使することによって、特異な性質を持つ個々のナノ構造をナノスケールで機能的に組織化したシステムとしてのナノ機能組織化構造を構築する技術、およびその機能を計測し評価する技術を確立する。組織化によって実現するナノシステムは、ナノテクノロジーの真価を示すものとなる。コンピュータを例にとると、既存の演算回路を単純に小さくするのではなく、質的な変革をもたらすような新しい情報処理システム（例えば脳型の情報処理システム等）の実現であり、新しいコンピュータアーキテクチャーの実現である。これは、21世紀の社会や経済が要求する2つのキーワード：「省エネルギー」と「環境に優しい」を併せ持つデバイスの実現に結びつく。
研究内容	本研究プロジェクトでは、以下の6つのサブテーマを設定し、それらを独立した研究グループが担当しながらも密接な連携の下に、ナノ機能組織化に必要な物質・材料技術を高度化してナノ機能組織化技術を開発する。 (1)複数のナノ構造による相互連携機能の研究、(2)ナノ構造計測技術の開発と高度化、(3)ナノ構造探索・組織化と機能制御、(4)トップダウン技術とボトムアップ技術による高温超伝導体の研究、(5)量子機能の制御と新機能発現と解明、(6)超伝導物質の探索とメカニズムの解明、を行う。
ミッションステートメント（具体的な達成目標）	ナノ構造の特異な物性や機能を活用するための材料・デバイス（原子スイッチ集積回路、分子メモリーデバイス、テラヘルツ (THz) 発振デバイスなど）の実現と、その様なナノ機能を集積するために必要なトップダウン技術およびボトムアップ技術に加えてそれらの融合技術を開発し、たとえば脳型コンピュータなどの新しいコンピュータアーキテクチャーの基盤技術を実現する。
平成18年度～平成22年度までの主な研究成果（アウトプット）及び研究成果から生み出された（生み出される）効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）	1) 主な研究成果（アウトプット）： <ul style="list-style-type: none"> <li>・走査トンネル顕微鏡からの発光を用い、非磁性体探針からスピン偏極した表面状態を介してガリウムヒ素基板に伝播する電子のスピン偏極度を調べる手法を開発した。</li> <li>・室温で自在に読み書きできる単分子メモリ技術を開発した。</li> <li>・溶液中で単分子を検出できる、実用的単分子識別センサーを開発した。</li> <li>・走査4探針原子間力顕微鏡を開発した。</li> <li>・原子スイッチを3端子型化した「アトムトランジスタ」の開発、原子スイッチによるシナプス動作の実現、光信号を入力とする「光原子スイッチ」の動作実証など、原子スイッチの多機能化に成功した。</li> <li>・有機単分子に導電性高分子鎖を接続する、「化学的ハンダづけ」と名付けた単分子配線法を開発した。</li> <li>・固有ジョセフソン接合からの THz 発振に成功。出力の一桁高い高バイアス条件での THz 放射新条件を見出すとともに、レーザー顕微鏡による定在波発振様式の解明に成功した。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・固有ジョセフソン接合における二つの磁束状態間のスイッチングが電流印加により可能となる現象を発見し、新原理超伝導メモリの可能性を示した。</li> <li>・メゾスコピック超伝導体における単一ボルテックスフロー制御に成功した。</li> <li>・新鉄系超伝導物質 Fe(Te, S) を発見した。</li> </ul> <p>2) 研究成果から生み出された（生み出される）効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・マルチプローブ技術は、次世代のナノデバイスに対応する計測・評価技術として、産業全般に波及効果をもたらす技術となるだろう。</li> <li>・単分子識別センサーは、ナノバイオ研究の新しい展開を生み出すだろう。</li> <li>・原子スイッチは製品化に向けた企業との共同研究が著しく進展した。新機能の開発で、ロジック素子としての原子スイッチも注目されるようになった。</li> <li>・化学的ハンダづけは、単分子デバイス回路実現への鍵となるだろう。</li> <li>・固有ジョセフソン接合の集積技術は、THz 発振素子として期待される。</li> <li>・単一ボルテックス制御は、ボルテックス素子開発への重要な一歩である。</li> <li>・ダイヤモンドの超伝導の研究は、半導体と超伝導を結ぶ新しいデバイスの開発に波及するだろう。</li> </ul>
<p>プロジェクトの目標の達成度合い及び自己点検・評価</p>	<p>プロジェクトの目標の達成度合い： 順調に進展し目標を超えて達成できた。</p> <p>自己点検・評価： 全てのサブテーマにおいて、順調に成果が得られ、目標が達成された。さらに、当初は想定に無かった驚くべき成果も得られており（単分子メモリ、単分子識別センサー、原子スイッチナノワイヤー、THz発振新条件の発見、磁束制御デバイス、新規鉄系超伝導体の開発など）、計画を超えた進展であったと考えている。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>
<p>①研究計画、実施体制、マネージメント、連携 （計画はきめ細かったか、ロードマップに問題はなかったか、実施体制は十分だったか、マネージメントの是非、連携の範囲や連携課題、連携の成果はどうだったか、どこが問題なのか、ほか）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・6つのグループを束ねているが、顕著な成果も多く、マネージメントも正しい。</li> <li>・中間評価での指摘を受け、探索的な研究に的を絞って功を奏している。</li> <li>・ナノ構造のナノ機能に関する探索的ではあるが、チャレンジングな計画が立てられている。</li> <li>・内外の研究機関、グループ間で有機的な連携が行われた。</li> <li>・ナノ機能の発現、その計測、これに基づいた革新デバイスについて、NIMS 内部、国内の企業・研究機関との共同研究、海外との国際連携が有効に機能している。</li> </ul>
<p>②研究開発の進捗状況及び具体的目標の達成度 （研究責任者の自己点検・評価を踏まえて、進み具合はどうだったか、目標は達成されたか、目標は具体的であったか、世界レベルで見ると目標は高かったか・低かったか、問題点は何か、ほか）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・目標設定は具体的であり、世界レベルで見ると十分に高かった。その上で、すべてのグループでプロジェクトは順調に進展し、当初の目標を達成したばかりか、単分子メモリ技術、原子スイッチ技術、テラヘルツ波放射技術、ボルテックスビリヤード、ダイヤモンド超伝導体など、革新的な成果を挙げた。</li> <li>・超伝導系でも単一ボルテックスの電流制御やテラヘルツ発振に成功しており、評価される。</li> <li>・ナノ計測の分野では、スピン偏極電子を円偏光を通して観測する技術を確立している。</li> <li>・原子スイッチの開発と Si-LSI（大規模集積回路）との混載化の成果と共に、学習機能を有する原子スイッチの開発は、今後の脳型コンピュータへの展開が期待される。そのための今後のプロジェクトでは、これまでのハード面での探索的な研究と、これをうまく活用するソフト面からの研究のコラボレーションが有効と思われる。</li> </ul>

<p>③論文・特許等の直接の成果（アウトプット）、効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）</p> <p>（世界レベルの質の成果が出たか、どのような効果・効用あるいは波及効果が出たか（期待されるか）、研究タイプを考慮した費用対効果は、問題点は何か、ほか）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>論文はNATURE MATERIALSをはじめとする世界レベルの学会誌等に241件掲載され、招待講演が243件あり、43件の特許を出願するなど、アウトプットの質と量は極めて高い。</li> <li>多くの査読論文発表、国際会議での招待講演発表などを通じて、成果の公表が十分なされている。また特許出願による知財権の取得も行われている。</li> <li>企業との共同研究により素子化を目指す等、大きな波及効果を生み出そうとしている。</li> <li>磁性鉄系超伝導体の開発に成功したので、鉄と同族のコバルト、ニッケルでも同様の可能性もあるのではないかと。今後の検討を考えられたい。</li> </ul>																																						
<p>④総合評価</p> <p>（研究全体に対する総合的所見、及び上記評価項目①～③に含まれない、その他の評価ポイントがあれば追加してコメント）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>総じて、計画通りの成果が挙げられていると評価される。</li> <li>計画外においても顕著な成果が非常に多く、評価できる。</li> <li>それぞれの研究サブテーマが継続的に発展できることを期待する。またNIMSで先導している走査型マルチプローブ顕微鏡関連技術等に対しては、世界的なプレゼンスを維持するためにも、喫緊に装置の整備拡充と人員が望まれる。</li> <li>走査型マルチプローブ顕微鏡がNIMS独自でなされていて、その計測の需要も高まっているので、国際的に応じられるよう、体制整備（人、設備）を望む。</li> </ul>																																						
<p>各委員の総合評価点 （10点満点）</p>	<p>9、9、9</p>																																						
<p>総合評価点平均 （10点満点）</p>	<p>9.0</p>																																						
<table border="1"> <tr> <th>総合評価点</th> <th>評価</th> </tr> <tr> <td>10</td> <td rowspan="2">S</td> </tr> <tr> <td>9</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td rowspan="3">A</td> </tr> <tr> <td>7</td> </tr> <tr> <td>6</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td rowspan="4">B</td> </tr> <tr> <td>4</td> </tr> <tr> <td>3</td> </tr> <tr> <td>2</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>C</td> </tr> </table>	総合評価点	評価	10	S	9	8	A	7	6	5	B	4	3	2	1	C	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">評価基準</th> </tr> <tr> <td>10</td> <td>全ての点において模範的に優れていた。</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>多くの点において非常に優れていた。</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>総合的に優れていた。</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>優れたプロジェクトであった。</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>平均的なプロジェクトであった。</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>一部の計画の見直しが必要であった。</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>期待されたほどではなかった。</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>計画を見直して継続すべきであった。</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>プロジェクトの見直し、計画の抜本的な変更が必要であった。</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>大きな問題があり、プロジェクトを中止すべきであった。</td> </tr> </table>	評価基準		10	全ての点において模範的に優れていた。	9	多くの点において非常に優れていた。	8	総合的に優れていた。	7	優れたプロジェクトであった。	6	平均的なプロジェクトであった。	5	一部の計画の見直しが必要であった。	4	期待されたほどではなかった。	3	計画を見直して継続すべきであった。	2	プロジェクトの見直し、計画の抜本的な変更が必要であった。	1	大きな問題があり、プロジェクトを中止すべきであった。
総合評価点	評価																																						
10	S																																						
9																																							
8	A																																						
7																																							
6																																							
5	B																																						
4																																							
3																																							
2																																							
1	C																																						
評価基準																																							
10	全ての点において模範的に優れていた。																																						
9	多くの点において非常に優れていた。																																						
8	総合的に優れていた。																																						
7	優れたプロジェクトであった。																																						
6	平均的なプロジェクトであった。																																						
5	一部の計画の見直しが必要であった。																																						
4	期待されたほどではなかった。																																						
3	計画を見直して継続すべきであった。																																						
2	プロジェクトの見直し、計画の抜本的な変更が必要であった。																																						
1	大きな問題があり、プロジェクトを中止すべきであった。																																						