

戦略的創造研究推進事業

－CRESTプログラム－

研究領域「高度情報処理・通信の実現に向けて
のナノ構造体材料の制御と利用」

研究領域中間評価用資料

平成18年 3月 14日

1. 戦略目標

戦略目標：情報処理・通信における集積・機能限界の克服実現のためのナノデバイス・材料・システムの創製（平成14年度設定）

1. 名称

情報処理・通信における集積・機能限界の克服実現のためのナノデバイス・材料・システムの創製

2. 具体的な達成目標

2010年に訪れると予想されている現方式のシリコン集積回路の微細加工限界（ムーアの法則の限界）を越えた、次世代の情報処理・通信を担う新たな情報処理・通信用デバイス・材料・システム開発をめざす。この際、シリコン基板及び非シリコン基板の双方の取り組みを実施する。

また、これらデバイス・材料・システムを活用するためのインターフェースとしても有用な各種センシング技術（最先端的計測法・先端センサー素子とセンサー管理システムの開発等）による健康・環境計測法の実現を目指す。

これらの目標達成のため、革新的な物性を有する物質創成からデバイス・システム開発までの総合的な推進を目指す。

このため、2010年代に実用化・産業化を図るべく、以下のような成果等を目指す。

- ・現在の半導体よりも演算速度を2桁向上するとともに、消費電力を2桁以上低減する情報通信用デバイスの探索。
- ・革新的なナノ素材とナノプロセスの開拓、新機能・新特性を持つ超集積素子の実現及び、医療応用・障害克服などに貢献するための集積システムの生体親和性の飛躍的向上。
- ・革新機能を付与した単一分子の合成及び高度集積化法の開拓等、機能分子を望むように集積して回路を形成する技術の確立及び分子デバイスシステムへ応用
- ・ナノメモリーの原理・素材・方式の解明を通じ、現在のハードディスクの記録密度の1000倍程度の記録密度を目指す。
- ・固体量子ビット素子、超伝導系量子磁束素子、相関電子素子、相関光子素子、スピン制御素子、ナノチューブ・ナノワイヤ素子等、新原理素子の探索及び技術的な壁の打破
- ・大容量・超高速の光通信技術に必要な光発生、光変調、光スイッチ、光増幅、光検出、光メモリ、表示などへの革新につながるナノ構造フォトニクスや材料の開発を通じた次世代光技術の創製
- ・バイオ分子の自己組織化を利用したナノスケールの新素子、新材料の創製を通じた高集積バイオチップの開発
- ・半導体、酸化物や磁性体中の電子の持つもう1つの自由度であるスピンを電子デバイスにおける新しい自由度として積極的に活用した、新しいナノ構造を利用したスピンエレクトロニクス材料の探索・創製
- ・超分子を用いたバイオナノ超分子センサー、導電性超分子スイッチング素子、ナノマシンなどの分子デバイス、ナノ材料の開発
- ・フラーレンの集積化、ナノデバイスへの応用に不可欠なCNT超微細加工技術、コンポジット材料開発
- ・フラーレン、ナノチューブに次ぐ新たなナノ集合体材料の創製と開発を通じたクラスター・ナノ粒子集合体をベースにした素子の実用化
- ・従来は全く異なる物質・材料として扱われてきた有機物質と無機物質とをナノスケールで融合させた構造を持つ全く新しい物質・材料群による素子の開発

3. 目標設定の背景及び社会経済上の要請

経済のグローバル化と国際競争の激化等に伴う産業競争力の低下、雇用創出力の停滞といった現下の経済社会の課題を科学技術、産業技術の革新により克服し、我が国の産業競争力を強化し、経済社会の発展の礎を着実に築くことが不可欠である。このような革新的な科学技術、産業技術の発展の鍵を握るものとして、ナノレベルで制御された物質創製、観測・評価等の技術であるナノテクノロジーが、近年急速に注目されている。

具体的には、

- ①半導体を用いた高速・高集積・低消費電力デバイス技術に関し、国際競争力を確保することに加え、
- ②全く新しい原理を用いた次世代のデバイス・材料の礎を確立することが長期的展望にたった我が国の国際的な技術競争力の確保にとり必要不可欠である。

また、これらの実用化・産業化の目標を達成するためには、ナノレベルでの計測・評価、加工、数値解析・シミュレーションなどの基盤技術開発や、革新的な物性、機能を有する新物質創製への取組みが必須である。

なお、総合科学技術会議分野別推進戦略（平成13年9月）においても、情報通信分野においては、国家的・社会的課題の克服のため、「次世代情報通信システム用ナノデバイス・材料」が5つの重点領域の1つとして位置づけられているところである。

4. 目標設定の科学的な裏付け

情報通信分野における我が国の技術競争力は、欧米に比べて全体的に低下傾向にある。これまで大きな役割を果たしてきた民間の研究開発については、その投資額の日米格差が急速に拡大しており、内容的にも製品開発に重点を移しつつあるため、我が国の競争力強化に向け、リスクの高い研究開発等について国の役割が一層重要となっている。

特に、次世代情報通信システム用ナノデバイス材料においては、2010年に訪れると予想されている現方式のシリコン集積回路の微細加工限界（ムーアの法則の限界）を越えた、次世代の情報処理・通信を担う多様な新原理デバイス・材料・システムの構築に向け、現在、各国が世界標準の獲得競争のまっただ中にある。我が国として、次世代情報通信用デバイス開発において、世界を凌駕するための取組みを緊急に準備することが必要であるが、この際、シリコン基板及び非シリコン基板の双方について産業化を見据えながら段階的な目標設定も行いつつ、戦略的に取り組むことが必要である。

ソフトウェア無線等の新規通信方式への転換につれて、通信システムの急速な高速・大容量化が今後とも予想されているが、半導体の集積化・高機能化はムーアの予測に従い、3年で4倍のペースで進んでおり、2005年には素子の最小寸法が100nmを切り、ナノデバイス時代に突入することとなる。このため、大容量、高演算速度、省エネルギー、高セキュリティその他の画期的な機能を有する新原理デバイス・材料・システムの開発が急がれている。

具体的には、

- ・現在の延長の技術においては、高速化限界、セキュリティ問題、消費電力等の課題の克服に加え、量子効果等により現れる素子の動作や製造技術上の物理的な限界、製造コスト等の問題を回避するための革新的なナノ素材やプロセスの開発、量子ドット、量子細線、ナノチューブ等を取り込んだスイッチ素子の開発が求められる。
- ・現在使われているLSIメモリ、磁気ディスク、光ディスクの性能限界の壁をうち破るとともに、強誘電体メモリーなどの次世代メモリーの開発が求められている。
- ・更に、現在の方式の集積回路とは全く異なる新たな原理に基づくデバイスとして、単一分子素子、各種固体Qビット素子、超伝導系新量子磁束素子、スピンエレクトロニクス等の技術開発も次世代の世界標準獲得の観点から積極的に取り組むべき重要な課題である。
- ・加えて、このようなデバイスやシステムの開発に際しては、革新的な物性、機能を有す

る新物質創製が必須であり、超分子、カーボンナノチューブ、フラーレン、クラスター・ナノ粒子をはじめとした積極的開発が必要である。

5. 重点研究期間

ナノテクノロジー分野については、競争が激しく多くの研究領域を推進する必要があるため初年度のみ公募とし、次年度以降には新たに同じ研究領域での公募は行わない。1研究課題は概ね5年の研究を実施する。(なお、優れた研究成果を上げている研究課題については、厳正な評価を実施した上で、研究期間の延長を可能とする。)

2. 研究領域

「高度情報処理・通信の実現に向けたナノ構造体材料の制御と利用」

(平成14年度発足)

領域の概要

この研究領域は、バルクとは異なるナノ構造体において、微細な構造・組織等を制御することにより、高度情報処理・通信の実現に向けたこれまでにない特徴的な物性・高機能・新機能を有する材料等の創製や、その利用を図る研究を対象とする。

具体的には、既にバルクとして存在している物質の「ナノ化」、すなわち薄膜・微粒子等の極微細構造はもちろん、ナノ粒子やクラスター原子・分子、分子性物質等、無機物質・有機物質さらにそのハイブリッド系を制御し、これまでにない機能・物性等を有する革新的新材料の創製を目指す研究、フラーレン・カーボンナノチューブ等の新機能性材料の創製やナノデバイス・システムへの利用を目指す研究等が対象となる。なお、本研究領域は戦略目標「非侵襲性医療システムの実現のためのナノバイオテクノロジーを活用した機能性材料・システムの創製」および「環境負荷を最大限に低減する環境保全・エネルギー高度利用の実現のためのナノ材料・システムの創製」にも資するものとなる。

3. 研究総括

福山 秀敏 (東北大学 金属材料研究所 教授)

4. 採択課題・研究費

(百万円)

採択年度	研究代表者	中間評価時 所属・役職	研究課題	研究費
平成14年度	石田武和	大阪府立大学 教授	超伝導ナノファブリケーションによる新奇物性と応用	383.8
	小林速男	自然科学研究機構 教授	新規な電子機能を持つ分子ナノ構造体の構築	429.9
	篠原久典	名古屋大学 教授	新世代カーボンナノチューブの創製、評価と応用	704.7
	田中一義	京都大学 教授	精密分子設計に基づくナノ電子デバイス構築	409.1
	中嶋 敦	慶應義塾大学 教授	次世代光磁気材料を指向したナノデザイン制御	435.9
	永長直人	東京大学 教授	相関電子コヒーレンス制御	474.6
	山下正廣	東北大学 教授	量子スピン系ナノ分子磁石の創製	363.3
			総研究費	3,201.3

5. 研究総括のねらい

「物質科学」には実に多様な側面があり、その対象分野は基礎から応用ときわめて幅広いといえます。しかし、現在「応用」上重要な役割を果たしている材料が実現された過程は、シリコンを代表とする半導体デバイス、ポリアセチレンのような有機導電性薄膜の例を見るまでもなく、多く（ほとんど）の場合地味な基礎的な研究が発端となっています。つまり「材料」はまず「物質」として発見され、その性質、物性が究明されて、それに工夫を重ねて初めて社会に有用な材料となっています。材料にとって、基礎科学と工学は車の両輪であります。

本領域「ナノ構造体材料」において、主として前者の観点、すなわち、基礎科学を基軸に「ナノ物質」の可能性を追求し、しかし同時に絶えず「材料」としての可能性を探ることを基本的な方針としました。「ナノ物質」に関しては、従来2つの視点が強調されてきました；バルクの物質を小さくしてゆくという「トップダウン的」、もう一方は、原子・分子を基に微小物質を合成するという「ボトムアップ的」です。前者は物理的、後者は化学的な側面が強いです。本領域にはこの両者が混在します。しかし、この両者を区別することなく「物質科学」の対象として総合的に意見交換する機会を多く設け、本領域での目標実現はもとより、「物質科学」の将来に向けたより大きな発展に備えるよう努力しました。

すでに得られている具体的な成果としては、「スピンの局所構造の関与した新しい電気伝導機構の提案」、「微小超伝導における渦構造の解明」、「 MgB_2 良質ジョセフソン接合の実現」、「多様な分子性結晶の合成と物性解明」、「有機サイリスターの実現」、「遷移金属—分子クラスターの合成とスピン配列の発現」、「鎖状分子磁石の合成」、「良質カーボンナノチューブの合成」などがあります。

なお世界的に広く関心がもたれている「分子デバイス」が本領域の目標の一つに掲げられています。これは、分子に電極をつけ（さらにゲート電極により）分子間に流れる電流を制御するという「究極のナノデバイス」です。この「夢」実現に向けて広く多大な努力がなされていますが、「微小電極」および「安定した電極・分子接合」の実現には「局所構造の特定・安定化とそこでの電子状態の究明」という基礎と応用のいずれにとっても挑戦的な研究課題が横たわっており、「電極問題」としてこれからの的確な状況判断に基づく焦点を絞った究明が待たれます。

6. 選考方針

情報処理・通信の基盤は物質の持つ機能によって支えられています。そのような物質のナノ化は情報処理・通信の高度化にとって必然です。この「ナノ化」には、2つの方向があります。一つは、既にバルクとして存在が知られている物質を微小化・微細化する方向であり、一方はナノ構造体としてしか存在しない物質系の発見あるいは安定化です。このようなナノ構造体が示す機能は電子状態によって規定されており、従って、ナノ物質に対する真のねらいは新しい電子状態の探索にあります。このような観点から、本研究領域には、半導体・金属（半金属）・酸化物等バルクにも存在する物質の制御されたナノ化を行い、それに伴う新しい物性（たとえば、バルク金属・半金属の絶縁体化、超伝導と磁性等タイプの異なる酸化物の接合）の探求をはじめ、フラーレン・カーボンナノチューブ・ゼオライト・鎖状分子等、それ自身ナノ構造をもつ物質およびその結晶が持つ新しい物性の可能性探索が含まれます。無機物質・有機物質のいずれも対象とし、バイオ物質にはしばしばみられる金属を含む有機分子の結晶等の無機・有機ハイブリッド系も積極的に対象とします。ただし、「電子」の振る舞いに注目し、新しい機能発現を目指すことを基本とします。

7. 領域アドバイザー

領域アドバイザー	所属	役職	任期
秋光 純	青山学院大学 理工学部	教授	平成 14 年 11 月～
川合知二	大阪大学 産業科学研究所	教授 所長	平成 14 年 11 月～
黒田一幸	早稲田大学 理工学部	教授	平成 14 年 11 月～
小林昭子	東京大学 大学院理学系研究科	教授	平成 14 年 11 月～
高尾正敏	松下電器産業（株）中尾研究所	総括担当参事	平成 14 年 11 月～

領域アドバイザー	所属	役職	任期
玉尾皓平	(独) 理化学研究所 フロンティア研究システム	システム長	平成 14 年 11 月～
寺倉清之	北海道大学 創成科学研究機構	教授	平成 14 年 11 月～
十倉好紀	東京大学 大学院工学系研究科	教授	平成 14 年 11 月～
北岡良雄	大阪大学 大学院基礎工学研究科	教授	平成 16 年 10 月～
藤原毅夫	東京大学 大学院工学系研究科	教授	平成 16 年 12 月～

人選・依頼するに当たっての考え方

個々の「物質」に特有な性質に深い理解を持ち、かつ「物性」の多面的な性質の総合的な判断に基づいて、「激励的なアドバイス」を期待できる方々をお願いしました。

8. 研究領域の運営

a) 研究総括の方針や研究領域のマネージメント

チーム内におけるメンバー間の協力・連携関係の構築のためチームリーダーとしばしば意見交換しています。加えて、チームの活動が自閉的にならないよう、チーム間の情報交換・意識の共有化に努めました。それは、各個別のテーマ究明の中から生まれる「物質科学」における重要な成果は必ず普遍性をもち、他のテーマにも手がかりを与える可能性があるからです。とりわけ、本領域では「物理」と「化学」が混在しており、このような「異文化」間の情報交換は有益と考えました。

b) 研究テーマの導き方について。

チーム内での研究テーマの絞込み・力点の修正等についてはチームリーダーと個別に意見交換しています。並行して、「電極問題」のように、より広範囲にわたるテーマについては、チーム間のみならず領域外の専門家を交えた会合（国際シンポジウムを含む）を開催して理解を深めています。

9. 研究の経過

a) 研究領域全体としての特筆すべき研究成果

- 1 「スピンの局所構造の関与した新しい電気伝導機構の提案」
- 2 「微小超伝導における渦構造の解明」
- 3 「MgB₂ 良質ジョセフソン接合の実現」
- 4 「多様な分子性結晶の合成と物性解明」
- 5 「直流を交流に変換する有機サイリスター材料「有機導電体・-(BEDT-TTF)₂CsCo(SCN)₄の単結晶」の実現」
- 6 「遷移金属—分子クラスターの合成とスピン配列の発現」
- 7 「鎖状分子磁石の合成と挙動の解明」
- 8 「良質二層カーボンナノチューブの選択合成技術の開発と用途開発」
- 9 「多数本の2層カーボンナノチューブのトランジスターへの応用」
- 10 「スピンホール効果」
- 11 「スピン液体の発見」
- 12 「超電導量子干渉素子(SQUID)顕微鏡画像の高解像度化のための数値処理方法」
- 13 「表面増強ラマン散乱活性基板を用いた物質の定量法」
- 14 「界面だけを選んで分析できる計測技術の開発」

b) 研究成果の科学技術・国民生活・社会経済等に対する効果への展望

「技術」の基盤は「材料」によって支えられています。「材料」は工夫を重ねて有用になった「物質」の一形態です。したがって、「技術」の基には「物質」がありますが、「物質」が「材料」に変身するまでには一般に大変長い期間が必要です。(現在の「技術・情報」を支える半導体におけるトランジスター効果が小さな装置で発見されたのは 1948 年のことで

す。)この「物質」の合成・作製とその性質「物性」の究明を目指すのは「物理学」と「化学」です。本研究領域では物理と化学の研究者が個性を生かしつつ異文化の交流を行った興味ある活動であり、わが国のみならず世界的な見地からもこれからの「物質科学」研究活動に影響を与えるでしょう。

c) 今後の期待や展望、懸案事項

「物質科学」は基礎から応用に多面的様相をもっています。その基礎を担う学問分野は「物理学」と「化学」ですが、それについて十分な学識を極め、それをもとに「物質」を様々な角度から見る習慣ないし社会的風土の成長が必要です。さいわい我が国はこのような「物質科学文化」が成長しつつあり、これからのたいへん楽しみです。本研究領域のメンバーがそのような意識を持ってより大きな課題に挑戦することを期待しています。

10. 総合所見

a) 現時点での研究領域としての成果

チームごとの個別の成果が多く創出されたことは印象的です。加えて、「電極問題」のように基礎・応用両面で実に多岐に亘る問題についてチーム間で意見交換する状況が生まれたことも将来に向けての大きな資産でしょう。さらに、フォーラム「分子系の物性」が誕生し、そこで物理学と化学の研究者が一緒に「生体物質」の物性について理解を深めたことは「物質科学基礎研究」の将来に大きく寄与することになります。

b) 研究領域単位で研究を遂行することの意義

「物質科学」の基盤を支える「物理学」と「化学」の研究者の意識の共有化と連繫構築に大きな影響を持ったといえます。

c) 感想、その他

領域主催の全体会議には多くの若い方々が参加しています。これらの方々が研究領域の各チームでの先端的な研究活動に触れ、各学問分野の学識を徹底的に習得した上で「物質科学」を総合的に考える習慣を身につけることができれば「若手育成」としてこれ以上望むものはないといえます。

領域評価用資料 添付資料 (CRESTタイプ)

研究領域「高度情報処理・通信の実現に向けてのナノ構造体材料の制御と利用」

1. 応募件数・採択件数

採択年度	応募件数	採択件数
平成14年度	54	7
平成15年度	14	0
平成16年度	25※	2
採択数 計		9

※ 平成16年度は戦略目標（3目標）毎に公募し、ナノテク分野別バーチャルラボ9領域全体で選考した。

2. 主要業績

2. 1 外部発表件数と特許出願件数（平成14年11月1日～18年1月31日）

領域全体	論文発表		口頭発表		特許		合計
	国内	国際	国内	国際	国内	外国	
平成14年度	2	22	99	21	0	0	144
平成15年度	6	89	230	166	10	0	501
平成16年度	8	189	248	217	14	2	678
平成17年度	1	73	162	159	3	2	400
合計	17	373	739	563	27	4	1,723

石田チーム	論文発表		口頭発表		特許		合計
	国内	国際	国内	国際	国内	外国	
平成14年度	0	0	19	2	0	0	21
平成15年度	0	4	44	49	0	0	97
平成16年度	1	28	56	63	3	0	151
平成17年度	0	6	28	53	1	0	88
合計	1	38	147	167	4	0	357

小林チーム	論文発表		口頭発表		特許		合計
	国内	国際	国内	国際	国内	外国	
平成14年度	0	5	19	3	0	0	27
平成15年度	0	18	31	27	3	0	79
平成16年度	0	31	20	19	2	1	73
平成17年度	0	9	3	2	0	1	15
合計	0	63	73	51	5	2	194

篠原チーム	論文発表		口頭発表		特許		合計
	国内	国際	国内	国際	国内	外国	
平成14年度	2	10	16	8	0	0	36
平成15年度	4	32	49	41	1	0	127
平成16年度	3	44	51	33	4	0	135
平成17年度	1	25	37	44	0	0	107
合計	10	111	153	126	5	0	405

田中チーム	論文発表		口頭発表		特許		合計
	国内	国際	国内	国際	国内	外国	
平成14年度	0	0	7	0	0	0	7
平成15年度	1	8	35	8	1	0	53
平成16年度	0	20	42	35	0	1	98
平成17年度	0	5	18	11	0	0	34
合計	1	33	102	54	1	1	192

中嶋チーム	論文発表		口頭発表		特許		合計
	国内	国際	国内	国際	国内	外国	
平成14年度	0	2	5	0	0	0	7
平成15年度	0	7	30	12	4	0	53
平成16年度	3	15	27	15	1	0	61
平成17年度	0	7	37	8	2	0	54
合計	3	31	99	35	7	0	175

永長チーム	論文発表		口頭発表		特許		合計
	国内	国際	国内	国際	国内	外国	
平成 14 年度	0	5	25	7	0	0	37
平成 15 年度	1	17	27	27	0	0	72
平成 16 年度	1	42	31	43	3	0	120
平成 17 年度	0	6	5	23	0	1	35
合計	2	70	88	100	3	1	264

山下チーム	論文発表		口頭発表		特許		合計
	国内	国際	国内	国際	国内	外国	
平成 14 年度	0	0	8	1	0	0	9
平成 15 年度	0	3	14	2	1	0	20
平成 16 年度	0	9	21	9	1	0	40
平成 17 年度	0	15	34	18	0	0	67
合計	0	27	77	30	2	0	136

2. 2 代表的な論文

1) 石田チーム

Daisuke Fujiwara, Shigehito Miki, Kazuo Satoh, Tsutomu Yotsuya, Hisashi Shimakage, Zhen Wang, Satoru Okayasu, Masaki Katagiri, Masahiko Machida, Masaru Kato, Takekazu Ishida

“Pulse laser irradiation into superconducting MgB₂ detector”

Physica C, Vols. **426-431** (2005) pp. 1716-1720

[概要] MgB₂ 中性子検出器を設計するために検出器に 20ps のパルスレーザー照射を行い、熱緩和応答を調べた。また、センサー部分の熱容量を小さくするためと感度を上げるためにメンブレン構造の MgB₂ 素子を開発した。検出回路を工夫して、パルスレーザー照射による熱感信号の観測に初めて成功した。応答時間は 1 μs より速いことが分かった。このことは、この検出器が 1 秒間に 10⁶ 事象よりも高いレートで中性子を検出可能である画期的な性能を持つことを意味している。

Masaru Kato, Masayuki Ako, Masahiko Machida, Tomio Koyama and Takekazu Ishida

“Ginzburg Landau calculations of d-wave superconducting dot in s-wave superconducting matrix”

Physica C, Vols. **412-414**, pp. 352-357 (2004)

[概要] 高温超伝導体と従来型超伝導体の任意の複合構造に超伝導状態と磁場分布を計算する方法を 2 分 Ginzburg-Landau 方程式に有限要素法を適用する方法で初めて開発した。我々は、2 種類の超伝導体接合のコーナーに自発的磁束が発生することを理論的に実証した。また、従来型超伝導体に埋め込まれた高温超伝導体ドットを提案し、d ドットと命名した。幾種類かの d ドット周りの超伝導秩序パラメーターと磁場分布を計算して求めることができた。

H. Shimakage,*, K. Tsujimoto, Z. Wang, M. Tonouchi

“Insulator layer formation in MgB₂ SIS junctions”

Physica C, Vols. **426-431** (2005) pp. 1469-1473

[概要] MgB₂ を利用した初めての Josephson 接合の実証実験に成功した。MgB₂/AlN/NbN SIS 接合の電流電圧特性に及ぼす薄膜成長条件依存性を調べた。絶縁層 AlN の成膜時の基板温度を上昇させると、臨界電流密度や常伝導抵抗が上昇することが分かった。この結果は、絶縁層 AlN の成膜前か成膜中に、MgB₂ 層と AlN 層の間に付加的な絶縁層が形成されることを意味している。この付加的な絶縁層は AlN 成膜温度を上げればあげるほど厚くなる。電流密度の AlN 厚みを 0.14 から 0.70nm まで変えると、付加的な絶縁膜は 1.0 から 1.5nm

となると評価した。更に、 $\text{MgB}_2/\text{AlN}/\text{MgB}_2$ SIS 接合では、更に絶縁層が厚くなることが確認された。

2) 小林チーム

H. Tanaka, M. Tokumoto, S. Ishibashi, D. Graf, E. S. Choi, J. S. Brooks, S. Yasuzuka, Y. Okano, H. Kobayashi and A. Kobayashi

“Observation of three-dimensional Fermi surfaces in a single-component molecular metal, $[\text{Ni}(\text{tmdt})_2]$ ”

J. Am. Chem. Soc., Vol. **126**, pp. 10518-10519 (2004)

[概要]数年前に小林らは単一分子だけで金属結晶を作ることが可能であることを初めて報告した。現在ではかなりの数の単一分子性金属が小林らによって開発されているが、これらの金属結晶を大きな結晶として得ることは困難であり、精密な物性評価は容易ではない。本論文はマイクロカンチレバーを用いて微小結晶の磁化測定を高磁場、極低温で行うことによって、最初の単一分子性金属 $[\text{Ni}(\text{tmdt})_2]$ の結晶の de Haas-van Alphen 振動を観測し、バンド計算と対比することによって、フェルミ面を決定したものである。本研究は基礎科学的なものであるが、単一分子から出来た結晶がフェルミ面を持つことを厳密に証明したことの意義は大きく、「分子」や特に「分子性結晶」の概念にとって、基本的な意義をもつものであると思われる。

F. Sawano, I. Terasaki, H. Mori, T. Mori, M. Watanabe, N. Ikeda, Y. Nogami and Y. Noda

“An Organic Thyristor”

Nature, Vol. **437**, pp. 522-524 (2005)

[概要]有機伝導体の物理および化学研究は、現在特に我が国において大きな発展を遂げている。本論文は森らが以前に報告した有機伝導体、 $\theta\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{CsCo(SCN)}_4$ で「サイリスター」効果が観測されたことを報告したものである。本現象は有機伝導体の研究における最近の大きなトピックスとなっている結晶中の電荷秩序の発達および融解と密接に関係しており、有機伝導体の基礎的な物性研究が実用的にも重要な意義を持つ現象に直結していたことを示すもので、非常に注目を集め、本研究成果はテレビ、新聞などにより広く社会に報道された。本論文には非線形伝導現象の測定結果、電荷局在を示すX線散漫散乱強度の電流密度依存性の実験結果などが報告されている。電荷秩序現象は本研究領域の研究総括である福山先生が先鞭をつけ、その重要性を指摘してきたトピックスである。低温ではあるがこのような現象が pnpn 構造を持つ半導体素子ではなく、有機伝導体単結晶で観測されたことは有機伝導体の潜在的な可能性を示すものとして大いに注目される。

H. Cui, K. Takahashi, Y. Okano, H. Kobayashi, Z. Wang and A. Kobayashi

“Dielectric Properties of Porous Molecular Crystals Containing Polar Molecules”
Angew. Chem., Vol. **117**, pp. 6666-6670 (2005)

[概要]最近ポーラス物質を利用した新しい機能性物質の開発研究が大きな注目を集めている。著者達はポーラス分子物質のナノ構造性を利用した新規な機能性分子物質を開発することを目指して、ポーラス物質（可能ならばポーラス分子磁性体物質）の空孔内に水分子などの有極性分子を導入することにより新しいタイプの高誘電性物質を作ろうと試みた。本報告は著者等が2003年に報告したポーラスフェリ磁性体 $[\text{Mn}_3(\text{HCOO})_6](\text{sol})$ (sol は結晶溶媒)を用い、結晶溶媒として H_2O と CH_3OH を1:1で含む結晶の誘電率を300-4Kの温度範囲で調べ、誘電率が異方的で、分子の配向の自由度の温度変化に起因すると思われる特徴的な温度変化を示すことを観測したものである。これまで誘電特性に注目したナ

ノポーラス分子物質の研究は皆無であり、本研究は機能性分子物質の開拓の新たな方向性を示すものとなりうるものと思われる。

3) 篠原チーム

B-Y. Sun, Y. Sato, K. Suenaga, T. Okazaki, N. Kishi, T. Sugai, S. Bandow, S. Iijima and H. Shinohara

“Entrapping Exohedral Metallofullerenes in Carbon Nanotubes: (CsC₆₀)@SWNT Nano-Peapods”

J. Am. Chem. Soc., Vol. **127**, pp. 17972–17973 (2005)

[概要] セリウム (Ce) 金属原子がフラーレン C₆₀ に外側から付いた、金属外接フラーレンの1次元のアレイを、世界に先駆けて単層カーボンナノチューブ内部に高密度ドープすることに成功した。これは金属外接フラーレン・ピーポットと呼ばれ、通常では非常に不安定な金属外接フラーレンはカーボンナノチューブ内では、極めて安定に存在できることが解明された。このピーポットの電子デバイスへの応用が期待されている。

J. Jiang, R. Saito, Ge. G. Samsonidze, S. G. Chou, A. Jorio, G. Dresselhaus and M. S. Dresselhaus

“Electron-Phonon Matrix Elements in Single-Wall Carbon Nanotubes”

Phys. Rev. B, Vol. **72**, 235408-1-11 (2005)

[概要] 単層カーボンナノチューブの電子格子作用の計算を報告。電子格子相互作用の計算は、共鳴ラマン強度、発光強度、輸送での緩和など関連する成果の中心をなすものであり、プロジェクト前半の集大成である。実際この計算のために電子状態やフォノンを計算するプログラムの改良があり、実験との定量的な比較が多くなされた。

I. Takesue, J. Haruyama, N. Kobayashi, S. Chiashi, S. Maruyama, T. Sugai and H. Shinohara

“High-Tc Superconductivity in Entirely End-Bonded Multi-Walled Carbon Nanotubes”

Physical Review Letters, *in press* (2006)

[概要] 多層カーボンナノチューブを金属電極で完全終端することで T_c=12K で超伝導転移が発現することを発見した。これは従来の 30 倍以上高い T_c である。さらにこの多層チューブにおいて、朝永・ラッティンジャー液体と超伝導との競合が電極とナノチューブの接合の仕方に敏感であることを見出した。

4) 田中チーム

T. Otsubo, S. Ueno, K. Takimiya, and Y. Aso

“Dendrimer-Encapsulated Oligothiophenes”

Chemistry Letters, Vol. **33**, No. 9, pp. 1154–1155 (2004)

[概要] 分子ワイヤーに用いるオリゴチオフェン骨格に被覆分子としてのベンジルエーテルデンドロンを導入し、12 量体までを合成した。吸収スペクトルの解析からすると、分子設計通り π ダイマーの生成は抑止されている。

T. Kitagawa, Y. Idomoto, H. Matsubara, D. Hobara, T. Kakiuchi, T. Okazaki, and K. Komatsu

“Rigid Molecular Tripod with an Adamantane Framework and Thiol Legs. Synthesis and Observation of an Ordered Monolayer on Au(111)”

J. Org. Chem., (2006) *in press*

[概要] アダマンタン分子骨格を用いた分子三脚と、その 4-ハロフェニル誘導体を合成し、さらに金の(111)面上に三点吸着した SAM を形成することを確認した。最も単純な分子三脚の SAM では、最近接分子間距離が 8.7 Å になっている。

E. Fujiwara, M. Takada, Y. Yamashita, and H. Tada

“Field-Effect Transistors Based on Single-Crystalline Wires of Bis-(1, 2, 5-Thiadiazolo)-p-Quinobis(1, 3-Dithiole)”

Japanese J. of Applied Physics, Vol. **44**, No. 2, pp.L82-L84 (2005)

[概要] BTQBT (ビス(1, 2, 5-チアジアゾロ)-p-キノビス(1, 3-ジチオール)) の単結晶分子ワイヤーを、約 5 μm の間隙距離を持つ金電極間に架橋させて有機 FET を作製した。これについて 5-300 K の温度範囲で電荷移動度を測定した。金電極表面と分子内のイオウ原子との間には強い親和力が働いている可能性がある。

5) 中嶋チーム

Ken Miyajima, Atsushi Nakajima, Satoshi Yabushita, Mark B. Knickelbein, and Koji Kaya

“Ferromagnetism in One-Dimensional Vanadium-Benzene Sandwich Clusters”

J. Am. Chem. Soc. (Communications) Vol. **126**, No. 41, pp. 13202-13203 (2004)

[概要] 気相反応で生成されるバナジウム金属とベンゼン分子の多層サンドイッチクラスターの磁性を測定した。この多層サンドイッチクラスターの磁気モーメントが、層数の増加とともに比例して増加することを見出し、室温で分子磁石になることを明らかにした。この発見は、分子磁石の最小単位が金属原子 2 個と有機分子 3 個によって形成されることを示した世界初の成果である。

Kiichirou Koyasu, Minoru Akutsu, Masaaki Mitsui, and Atsushi Nakajima

“Selective Formation of MSi_{16} (M=Sc, Ti, and V)”

J. Am. Chem. Soc. (Communications) Vol. **127**, No. 14, pp. 4998-4999 (2005)

[概要] 金属原子 1 個をケイ素原子 16 個で内包した構造体を気相反応によって選択的に生成させることに成功した。とりわけ、チタン原子では中性状態で安定であることを、負イオン光電子スペクトルの測定と化学吸着測定から実証することに成功した。これまで多くの研究者がケイ素原子だけのカゴ型構造体が生成できずにいたが、金属原子内包によって電子的にも構造的にも安定なケイ素カゴ型構造体が生成することを明らかにし、ケイ素原子ケージによる超原子を実現させた。

Satoru Fujiyoshi, Takaaki Ishibashi, and Hiroshi Onishi

“Fourth-Order Raman Spectroscopy of Wide-Bandgap Materials”

Journal of Physical Chemistry B (Letter) Vol. **109**, No. 18, pp. 8557-8561 (2005)

[概要] 非線形ラマン効果を利用して二酸化チタン結晶の表面原子振動のスペクトルを計測した。基礎となる分光手法は 1997 年にアメリカで発明された。原子位置が大きく振動する低波数振動モードを、周囲の媒質の妨害をうけずに測定する能力を秘めた手法であるが、信号強度が弱いことが計測法としての発展と普及を妨げてきた。本研究では、フェムト秒レーザー光源を中核とした分光計測システムを構築し最適化することによって、無色透明な化合物の計測に世界ではじめて成功した。これまで有色化合物に限られてきた計測対象を大きく拡張する成果である。

6) 永長チーム

S. Murakami, N. Nagaosa, and S.C. Zhang

“Dissipationless quantum spin current at room temperature”

Science, Vol. **301**(5638), p. 1348(2003)

[概要] GaAs などの半導体中に電場をかけると、その垂直方向にスピン流が流れることを理論的に予言し、それがバンド構造に由来する散逸を伴わないカレントであることを指摘した。この予言はその後、実験的に検証された。

T. Hanaguri, C. Lupien, Y. Kohsaka, D.-H. Lee, M. Azuma, M. Takano, H. Takagi and J. C. Davis

“A 'checkerboard' electronic crystal state in lightly hole-doped $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ ”

Nature, Vol. **430**, p. 1001, (2004)

[概要] 高温超伝導酸化物中の強く相互作用する電子が形成するナノレベルの自己組織化構造（チェッカーボード）を走査型トンネル電子顕微鏡を用いて発見した。

F. Kagawa, K. Miyagawa and K. Kanoda

“Unconventional critical behavior in a quasi-two-dimensional organic conductor”

Nature, Vol. **436**, p. 534 (2005)

[概要] 層状有機伝導体の圧力研究により、2次元モット転移の臨界現象を初めて観測し、相互作用する2次元電子系がこれまでに知られている多体系のどのクラスにも分類できない特異なものであることを発見した。

7) 山下チーム

R. Clerac, H. Miyasaka, M. Yamashita, and C. Coulon

“Evidence for Single-Chain Magnet Behavior in a MnIII-NiII Chain Designed with High Spin magnetic Units: A Route to High Temperature Metastable Magnet”

J. Am. Chem. Soc., Vol. **124**, pp. 12837-12844 (2002)

[概要] 世界で初めて強磁性単一次元鎖磁石 ($[\text{Mn}_2(\text{saltmen})_2\text{Ni}(\text{pao})_2(\text{py})_2](\text{ClO}_4)_2$) の合成に成功した。3.5 K 以下の温度でヒステリシスが観測され、量子磁石であることを証明した。交流磁化率の周波数依存性も観測された。Cole-Cole プロットが半円周であり、単緩和であることも分かった。アレニウスプロットからポテンシャル障壁の大きさが 72 K であることが分かった。

M. Ferbinteanu, H. Miyasaka, W. Wernsdorfer, K. Nakata, K. Sugiura, M. Yamashita, C. Coulon, and R. Clerac

“Single-Chain Magnet $(\text{NEt}_4)[\text{Mn}_2(5\text{-MeOsalen})_2\text{Fe}(\text{CN})_6]$ Made of MnIII-FeIII-MnIII Trinuclear Single-Molecule Magnet with an $ST=9/2$ Spin Ground State”

J. Am. Chem. Soc., Vol. **127**, pp. 3090-3099 (2005)

[概要] 世界で2例目の強磁性単一次元鎖磁石 ($(\text{NEt}_4)[\text{Mn}_2(5\text{-MeOsalen})_2\text{Fe}(\text{CN})_6]$) を合成した。1.1 K 以下でヒステリシスが観測された。交流磁化率に周波数依存性が観測された。Cole-Cole-プロットも半円周であり単緩和であることが分かった。これらの実験結果は単一次元鎖磁石である証拠である。

T. Kajiwara, M. Nakano, Y. Kaneko, S. Takaishi, T. Ito, M. Yamashita, A. Igarashi-Kamiyama, H. Nojiri, Y. Ono, and N. Kojima

“A Single-Chain Magnet Formed by a Twisted Arrangement of Ions with Easy-Plane Magnetic Anisotropy”

J. Am. Chem. Soc., Vol. **127**, pp. 10150-10151 (2001)

[概要] 一軸異方性が正の値を持つ初めての化合物 ($[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{ClO}_4)_2\{\text{Fe}^{\text{III}}(\text{bpca})_2\}]\text{ClO}_4$) を合成することに成功した。これはスピン軸同士が互いに 90° 振じれて繋がっているために磁氣的に相互作用して一軸成分が残るために一次元鎖磁石になったわけである。この研究成果によりいろいろな金属イオンをうまく並べれば一次元鎖磁石になることを証明した。交流

磁化率に周波数依存性が観測され、Cole-Cole プロットも半円周であり、単緩和であることが分かった。ポテンシャル障壁は 27 K であることが分かった。

3. 受賞等

受賞者名	賞の名称	授与者名	受賞日 (時期)
粟野祐二他	nano tech 大賞	nano tech 2005	2005.03
石橋孝章他	技術賞	日本表面科学会	2004.03
大西 洋	矢崎学術奨励賞	矢崎科学技術振興記念財団	2004.03
辻井敬亘	Wiley 賞	高分子学会	2003.04
徳本 圓	The Jack E. Crow Prize	ISCOM VI	2005.09
永長直人	仁科記念賞	仁科記念財団	2005.12
永長直人	日産科学賞	日産科学振興財団	2004.03
藤原秀紀	進歩賞	日本化学会	2004.03
藤芳 暁	奨励賞	分子構造総合討論会	2004.09
町田昌彦	計算科学技術部会功績賞	日本原子力学会	2004.03
三井正明	奨励賞	分子構造総合討論会	2005.09
山方 啓	奨励賞	日本表面科学会	2004.11
山下正廣	学術賞	日本化学会	2005.03
山下正廣	井上学術賞	井上科学振興財団	2003.02
四谷 任	平成16年度文部科学大臣賞・研究功績賞	文部科学省	2004.04

集計日、「平成18年1月31日現在」

4. シンポジウム等

シンポジウム名	日時	場所	入場者数	特記事項
International CREST Workshop on "Contact Problem-Toward Molecular Devices"	2004.10.08	札幌市	50名	
領域ミーティングキックオフ会議	2003.04.19	東京都	90名	
第1回領域ミーティング	2003.08.23	箱根町	96名	
第2回領域ミーティング	2004.04.26	東京都	100名	
第3回領域ミーティング	2004.08.18	熱海市	110名	
第4回領域ミーティング	2005.02.11	東京都	110名	
第5回領域ミーティング	2005.08.27	熱海市	120名	

集計日、「平成18年1月31日現在」

5. その他の重要事項 (新聞・雑誌・テレビ等)

- 1) 永長チーム 高木グループ プレス発表 平成16年7月6日
高温超伝導メカニズム解明への手がかりー電子の運動状態に対する格子振動効果の直接観測に成功ー
- 2) 永長チーム 永長グループ プレス発表 平成16年9月8日
光のホール効果を解明ー 光通信、量子コンピュータ分野における新たな技術へー

- 3) 永長チーム 高木グループ プレス発表 平成16年8月24日
高温超伝導の解明に結びつく電子秩序を観測
- 4) 小林チーム 徳本グループ プレス発表 平成16年11月4日
一種類の分子からなる結晶の金属性を証明
— 金属特性の証拠であるフェルミ面の観測に初めて成功 —
- 5) 永長チーム 鹿野田グループ プレス発表 平成17年7月26日
層状物質中の電子が示す異常な臨界挙動を発見
— 高温超伝導など強相関電子物性の理解に向けた一歩 —
- 6) 小林チーム 森グループ プレス発表 平成17年9月20日
有機サイリスタ — 直流を交流に変換する有機物単結晶 —
(NHK朝のニュースで紹介された)
- 7) 永長チーム 高木グループ プレス発表 平成17年12月13日
温度が上がると縮む新物質を発見 — 熱膨張を打ち消す夢の材料 —
(多数の問い合わせがあり、共同研究に発展した)

6. その他の添付資料

- 1) 資料1 領域ホームページ (HP) について

7. 中間評価結果

平成14年度採択課題平成17年度中間評価結果

1-1. 研究課題名： 超伝導ナノファブリケーションによる新奇物性と応用

1-2. 研究代表者： 石田 武和

1-3. 研究概要

本研究の主な柱は ①我が国で発見された MgB_2 のエレクトロニクスへの応用可能な高品質薄膜の作製とその接合技術改良およびそれを用いた中性子検出器の作製、②異なる超伝導対称性の複合構造を利用した d ドットの作製、③これらに関連する理論・シミュレーションである。

1-4. 中間評価結果

1-4-1. 研究の進捗状況と今後の展望

当初計画にほぼ沿った進捗状況である。オリジナルな発想に基づいた MgB_2 膜を利用した中性子検出器では、レーザー照射による予備実験の段階である。デバイス化の過程で高品質薄膜作製技術、微細加工技術などが得られている。d ドット作製とその物理の解明、将来的には Q ビットとしての応用についての研究も着実に進展している。超伝導ナノ微細加工に基づく計測技術の発展により、中性子検出器として検証実験が期待される。

1-4-2. 研究成果の現状と今後の見通し

計画された研究課題はいずれも大変難しいテーマであるが、理論の協力を得て着実な成果を得ている。

特に、①表面平滑度の良い MgB_2 薄膜が得られていること、②それを使って MgB_2 積層型 SIS 接合の作製に世界で初めて成功したこと、③ d ドットの操作に関するシミュレーションによる予測の実行、④超電導量子干渉素子 (SQUID) 顕微鏡画像の高解像度化のための数値処理方法など、優れた包括的な研究成果を挙げている。

しっかりしたナノファブリケーション技術に基づいて、目標課題の実験的検証に向けた進捗とその成果が期待できる。

1-4-3. 今後の研究に向けての助言・提言

全体として参画メンバーが有機的連携を保ちながら研究が進められており、計画は順調であると判断される。しかし、予想される一番大きな課題、すなわち MgB_2 検出器の試作品の作製が残っているため、なるべく早い時期に検出器の試作品を作れる所まで到達することが望まれる。ま

た、この技術は他への応用も可能（例えば MgB_2 のテラヘルツ発振デバイスへの応用）なので、他の応用について検討することも意味のあることと思われる。

1-4-4. 戦略目標に向けての展望

検出器を中性子に照射して確認するという大きな課題が残っているので、一層の奮起を期待したい。ダイナミックレンジの広い中性子検出器が実用化されることが望ましいが、デバイス化に向けての感度についての更なる考察も必要と思われる。

1-4-5. 総合的評価

このチームは明確な目標に向かってチーム一丸となって努力している姿が良くわかり、CREST 型として充分機能している。特に、 MgB_2 を中性子検出器に利用するという計画は独自のものである。このシステムが成功すれば、ダイナミックレンジが広い中性子カウンターとして有用である。しかし、それだけに大変難しい課題であり、次のステップとして、中性子を実際に照射して検出器の機能を検証するという大きな課題が残っている。理論チームの強化によって、学術的成果を挙げる方向性が明確になり、具体的な成果も挙げている。

2-1. 研究課題名： 新規な電子機能を持つ分子ナノ構造体の構築

2-2. 研究代表者： 小林 速男

2-3. 研究概要

研究開始当初の背景と目的は、分子性伝導体の開発・物性評価および分子集積体デバイスの基礎研究を先導してきた研究者が協力して「新規な電子機能を持つ分子ナノ構造体の合成・評価」を推進することを通して、「分子ナノ構造体材料」についての開発・応用の基礎的知見の集積に寄与することである。通常分子を対象とするナノテクノロジーが「単一分子デバイス」を念頭においているに対して、本研究では「分子集積体デバイス」を目標としている。単一分子ではなく、分子集積体を対象とすることによって、「分子集合体の物性研究や機能性の研究」と「分子ナノ構造材料およびそのデバイス化の基礎研究」が連続的につながった研究として実施することが可能になるとの主張が基本にある。

本チームの当初課題は、(1) 磁気・伝導協奏機能を示す分子物質の開発と物性評価、(2) 単一分子性金属の開発と物性、(3) 有機ゼオライトの分子ナノ空間を利用した新規機能性分子物質の構築と電子物性、(4) 分子性ナノワイヤおよび分子メカニカルデバイスの構築である。

(1) の課題は、分子を集積することにより異なる分子機能を足し合わせて、従来にない新たな協奏的機能を示す物質を設計・構築することを目指すことである。ここでは「伝導」と「磁性」に関わる「分子部品」を組み上げて協奏的な磁気・伝導機能を発揮する分子性伝導体の研究を目指している。

(2) の課題は、単一分子性伝導体を用いることによって従来よりも格段に高い磁気転移温度をもつ磁性伝導体の開発を試みると共に、単一分子性金属の電子構造を決定することなどである。

(3) の課題は、ポーラス分子物質のナノ分子空間構造を利用した金属ナノワイヤの構築と電子物性の研究である。この課題は「ポーラス分子空間構造を用いた新たな多重機能分子磁性材料および新規な誘電材料の開発」を目指すことである。また、物質開発と並行して、分子材料の「微小化」を念頭に、従来は不可能であったミクロンサイズの微小結晶の物性評価を推進することを目指す目標に、微小結晶の構造決定、磁気測定、伝導度測定を試みることも課題としている。

(4) の課題は、将来の集積分子エレクトロニクス実現のため、分子性物質の材料化とシステム化を研究することである。方針としては分子性物質のナノ材料化を行うとともに、それらを用いてデバイスプロトタイプを作製し、さらに超分子構造と分子性導体・磁性体を分子レベルでシステム化することにより、デバイスアクションに繋がるような新しい機能を開拓することである。

2-4. 中間評価結果

2-4-1. 研究の進捗状況と今後の展望

全般的な状況として、分子性伝導体における新現象の探索、多重機能伝導性分子物質の開発、微小試料の物性評価技術の開発、ナノ磁性体のためのマイクロ SQUID 装置の開発等の物質・材料

開発、結晶成長技術開発に加え、新規な測定技術の開発・改良などにも進捗成果が認められる。

研究課題として、一群の物質の物性多様性を追求しており、評価時点の進捗としては満足できる。また新規物質のナノサイズ、ミクロンサイズでの評価の困難さを克服するために必要な新規な特性評価装置をグループとして開発し、実用に供し、あるいは供されることを目指していることも大きく評価できる。

分子集合体を用いた主にエレクトロニクスを目指すための分子修飾の試みやプロセス技術としてのいくつかの結晶作製プロセス開発の試みもなされて、その結果も出ており、順調な進捗である。

今後の展望としては、磁性・伝導性・誘電性等の個々の特性だけでなく、相互が外場・内場を通じてお互いに影響し合う、いわゆる多重機能発現の観点からは最近の物質科学での興味ある分野であり、エレクトロニクスへの展開や分子エレクトロメカニクスへの展望はまだ開けているとは言えないが、様々な試みの中からブレークスルーの手がかりが得られるものと期待される。

2-4-2. 研究成果の現状と今後の見通し

これまで、着実な成果を挙げている。具体的には、磁場誘起超伝導、有機サイリスタ（直流-交流変換）などの現象の発見。新しい磁性分子伝導体の開発、光応答型磁性伝導体、新規圧力誘起超伝導体。新しい多核遷移金属錯体、単一分子性金属、単一分子性金属結晶のフェルミ面の決定、ナノサイズ、ミクロンサイズの結晶成長技術の開発など学理の究明。物性評価技術として、AFM マイクロカンチレバーを用いたミクロン結晶の磁化測定、SQUID 磁束計の製作、ナノ磁性体用マイクロ装置の開発のほか、将来のナノ構造に由来する新規な電子デバイスへのヒントを与える研究成果が得られている

本研究課題が扱っている物質群は学理的には興味ある物質系であるが、役に立つ材料が見えてくるまでには、なお時間がかかると思われる。特に低温での特性を、室温で安定的に得るためには多くの課題があると思われる。応用に対する課題よりも、きっちりとした学理を究めることが現時点では重要であり、今後もその観点から研究を進めることが望ましい。

2-4-3. 今後の研究に向けての助言・提言

本チームにおける活動は、実績もあり、得意な専門分野が活かされるようにテーマが設定されており大いに評価される。しかし見方を変えると、チーム全体としての進む方向はチームの外からは多少見えにくい構造になっている。特に物質開発としてはいくらかでも研究対象はあるが、発散してしまう可能性もある。プロジェクト運営という観点から、発散させた方がよい部分と、収束させた方がよい部分の見極めが必要と思われる。

プロジェクトの後半におけるチームの活動としては、各グループの得意とするところを活かしつつ、チーム全体の方向が見えるようなチーム運営をお願いしたい。そのため、プロジェクト終了時のアクティビティを想定し、そこから逆にチーム全体の計画を見直すことも検討の余地がある。

2-4-4. 戦略目標に向けての展望

戦略目標では、いわゆるシリコンデバイスのムーアの法則をボトムアップで克服することが想定されている。そのためには、シリコン以外の物質群とそれらに由来する新規な物性を有効に活用することが必要である。本チームの研究課題は一連の分子を様々な外場のもとで制御し、新規な特性を得ることを目的としている。またもう一つの目標である集積の問題については、解決すべき課題はあるものの、分子デバイスの特長である小さな分子の特性が集合体でもほぼ維持できるという特徴を活かす方針で克服可能であるという意味で、将来のデバイス実現のための基礎データが得られるものと期待される。

2-4-5. 総合的評価

構成されている各グループは、それぞれ実績のある得意の専門分野で、分子性導体について新しい物質の合成、新現象の探索・多重機能伝導性分子物質の開発とこれらの物性評価に関して世界的に評価されている高い成果を挙げている。プロジェクトとしての観点からは、5年間の計画の中での成果の位置づけが見えにくいと思われる。今後、終了時の総合的成果（達成目標）を想定して、その大まかな道筋を示すなどアクションプランのようなもの設定が望まれる。

3-1. 研究課題名： 新世代カーボンナノチューブの創製、評価と応用

3-2. 研究代表者： 篠原 久典

3-3. 研究概要

新世代のカーボンナノチューブ(CNT)、すなわち2層カーボンナノチューブ(DWNT)およびナノ・ピーポットについて、選択的合成、評価、応用、実用化を目指した研究を行うことを目的とする

3-4. 中間評価結果

3-4-1. 研究の進捗状況と今後の展望

多くの金属内包フラーレン・ピーポットを合成しており、着実な前進がある。とくに、2層チューブとピーポットで世界をリードしている。基礎物性から電子・情報分野への応用に至るまでを目指して、世界をリードする研究を強力に推進している。特に優れている点は、高純度化、大量合成である。名古屋大学グループが DWNT やピーポットの合成条件検討、評価を行い、他の大学のグループが特性評価、理論解析を行っており、順調に研究が進捗している。企業のグループにおいて、CNT の工業的製造法の開発や DWNT を用いた FET の開発などの応用研究が順調に行われている。

今後とも、DWNT とピーポットの合成に重点を置きつつ、CNT の基礎的な物性の解明や FET などへの実用を目指した取り組みを、組織的に行うことが望まれる。

3-4-2. 研究成果の現状と今後の見通し

どのグループも概ね期待以上の成果を得ている。DWNT による FET の試作や、多層 CNT の超伝導の発見などは、予想以上に速やかに達成された。なお、CNT の超伝導については、実験条件の確認など慎重な研究遂行を期待している。

世界をリードする研究が展開されている。多数の論文発表、新聞発表が行われており、非常に競争の激しい分野であるが、充分存在感を示している。世界で最も高純度で高品質の2層カーボンナノチューブを合成する方法を開発したことが大いに評価される。このプロジェクトでは、高品質の DWNT の合成に支えられており、物性測定、分析、理論解析、応用の研究グループが配置されていて、全体的にも高度な成果を挙げている。

研究推進体制については適切であるが、各グループで用いるナノチューブが異なるなど、今後一層の連携が望まれる。合成と物性評価の連携が図られているが、現段階では、デバイス側からの物質設計への要求は充分見えていない。物性探索のグループと CNT 合成グループの連携がやや弱いと思われる部分がある。

研究費の使い方はバランスが取れた運用となっている。

3-4-3. 今後の研究に向けての助言・提言

高品質の DWNT の大量合成法、直径の制御のみならず、カイラリティー制御を目指しての理論研究とのより強い連携、および実用に向けた研究をより強力に進めることが求められる。今後の CNT の市販化とデバイス化において十分な成果が得られるような研究を発展が望まれる。

領域の戦略目標達成に向けての指針が必ずしも明確になっているとはいえない部分も見られるので、デバイス応用への道筋などを提示して頂きたい。これまでにない新規な CNT 物質の合成と評価、応用をめざせばなお好ましい。

3-4-4. 戦略目標に向けての展望

最も難しい電子デバイス応用に向けてのより一層の前進が期待される。今後、CNT の長さ、カイラリティー、径を制御できるとさらに大きな展望が拓けると思われる。金属内包フラーレン・ピーポットと今までにない高純度・高品質の2層カーボンナノチューブの創製については十分な展望があり期待できる。新世代カーボンナノチューブの電子デバイスへの応用が期待される。

3-4-5. 総合的評価

課題目標（2層チューブとピーポット）に対して、当初計画以上の成果が得られるなど、着実に進展している。新世代カーボンナノチューブの物質科学について基礎から応用に至るまで、世

界をリードする研究が強力に推進されている。金属内包フラーレン・ピーポット、DNA 内包フラーレン・ピーポットなどの電子物性の解明、超伝導に関する系統的研究と超伝導機構の実験的解明、CNT の発光過程の解明と超伝導機構の理論的解明などを強力に推進して、今後のさらなる発展を期待したい。

4-1. 研究課題名： 精密分子設計に基づくナノ電子デバイス構築

4-2. 研究代表者： 田中 一義

4-3. 研究概要

本研究は、シリコン電子素子では達成できない、ナノ電子デバイスである単一分子トランジスタを有機・無機融合分子系に基づくボトムアップ方式によって、真の意味で作製することを目指している。そのため(1)有機・無機融合物質から構成されるボトムアップ型のナノ構造体を精密かつテーラード的に設計・合成する基礎技術を確認すること、(2)ナノ構造体の動作環境を整え、動作確認を行うこと、(3)この研究では電子ナノ計測が不可欠であり、さらに有機分子/金属界面での電子授受の制御を行うこと、を三つの柱として、研究を進めている。

4-4. 中間評価結果

4-4-1. 研究の進捗状況と今後の展望

分子ワイヤー、分子ドット、電極アンカーなど、パーツの合成は進んでいる。特に、分子ワイヤーについては、96 量体 (37.2 nm) もの、平面性の高い被覆型長鎖オリゴチオフェンが合成されている。また、ポリシラン R-Si-Au のように Si-Au の直接の結合を実現していること、Si 電極の上に、AFM を用いた局所陽極酸化により、特定の場所に特定の有機分子を固定化したこと、メッキ法により 10 nm 以下のナノギャップ電極の作製にしたことなど、各部分においては多くの成功を収めている。しかし、全体としてのデバイス形成はまだできていない。周波数変調の原子間力顕微鏡 (FM-AFM)、非接触原子間顕微鏡 (NC-AFM) およびケルビンプローブ原子間顕微鏡による、電極とワイヤーの接続の可視化、および局所的電位測定技術の整備、電極と分子ワイヤーの接合に関する量子化学計算、および TranSIESTA-C による伝導度の計算の実行、伝導におけるフォノンの効果の研究の準備など、計測技術や理論的な支援は十分に達成されている。

4-4-2. 研究成果の現状と今後の見通し

オリゴチオフェン 96 量体合成、メッキナノギャップ電極、グラフ化、FM/AFM 法による分子系の高感度高分解能電磁計測法、有機分子ワイヤー金電極表面への吸着状態の電子状態計算など、パーツがほぼでき上がってきたので、それらを組み合わせる段階にある。金属ナノギャップ電極の作製は、メッキ法の適用によって、ほぼ可能な状況に近づいている。そこに機能を有する分子を橋渡しして電子の授受をさせるのであるが、この段階を制御よく行うことはなかなか困難な状況であると思われる。しかし、今後の研究の進展によっては克服される可能性もあるので、今後の研究に期待したい。

4-4-3. 今後の研究に向けての助言・提言

単一分子デバイスの作製に関わる基本的な問題、たとえば分子-金属接合に関わる電極問題、ナノスケール界面制御、電子移動の物理など、本質的な問題を扱う研究の成果には予期せぬ波及効果が期待される。また電極問題として研究課題チームを越えた領域共通の取り組みがみられ、今後も化学・物理の共同作業の中から新しい方向が生まれることが期待される。何が困難であるかという根本的な理解が得られつつあるので、そこを集中的に攻撃する仕組みを検討すると良いであろう。

4-4-4. 戦略目標に向けての展望

目標はボトムアップ方式のナノテクの極めつけであるが、目的を達成するためには、いくつもの困難に直面することがあると思われる。特に、化学の裏付けが必要なものについては、デバイス化を急がずに研究を進めていただきたい。そして2極の電極でまず実験を完成することを目指した方がよいと思われる。世界的にも未完成の目標であり、わが国での研究進展をぜひ実現していただきたい。

4-4-5. 総合的評価

目的がある意味では非常に明確なだけ、成功か不成功かの二者択一のように見える。しかし、その目標達成を目指してのそれぞれの受け持ちのところでは、確実に技術の向上と結果が出ている。領域内での関連チームとの連絡をよくとり、特に電極問題については、関係者の意見を参考にしながら研究を進めるのが良いと思われる。このプロジェクト研究を進めたことによって初めて明らかになった大変大きな問題をいくつも抱えているが、問題点を浮き彫りにすることは、大変重要である。プロジェクト期間を超えた中長期的観点からも、本研究を推進すべきである。今後の分子デバイスの可視化と動作確認に期待したい。

5-1. 研究課題名： 次世代光磁気材料を指向したナノデザイン制御

5-2. 研究代表者： 中嶋 敦

5-3. 研究概要

研究目標としては3つが挙げられる。

- 1) クラスタ機能単位の創成・評価とナノ制御クラスタ蒸着基板の作製（光・電子・磁気特性）：サイズ・組成・幾何学的構造を規定した複合有機金属ナノクラスタの生成法の開発、孤立気相系での複合クラスタの光・電子・磁気特性の測定、クラスタの基板上へのソフトランディング、およびクラスタが配置された表面蒸着系での電子物性測定である。
- 2) 周期デザイン基板の創成とクラスタ修飾基板の評価（顕微鏡、振動分光）：人工的に構造制御された電子物性・光磁気物性の発現を可能にするために、周期制御された基板として、金属、金属酸化物、半導体のような固体基板上に展開した有機自己組織化膜を活用し、着地状態の均一性やクラスタ間の局所的電荷移動を非接触 AFM (NC-AFM) やケルビンプローブ顕微鏡により評価する。また、表面・界面の分光のため、和周波分光および四次ラマン分光の改良・開発を行う。
- 3) 気相クラスタおよびクラスタ修飾基板の磁性評価：複合クラスタの磁気的性質を、気相孤立系においては分子線技術とシュテルン・ゲルラッハ型磁場偏向測定によりクラスタ中の電子スピンとスピン緩和について情報を得る。クラスタ蒸着試料の磁性と微視的レベルの表面磁性を磁気力プローブ顕微鏡で観測する。周期デザイン基板上のナノクラスタに対して、高輝度放射光施設を光源とする X線磁気円偏光測定法を適用し、金属原子ごとの磁性を解明する。

5-4. 中間評価結果

5-4-1. 研究の進捗状況と今後の展望

チーム間やグループ間の連携もよくとれており、十分進捗している。「クラスタ創成・蒸着基板評価グループ」の成果は、クラスタ科学における大きな進歩と考えられる。「周期デザイン基板創成・クラスタ修飾基板評価グループ」もソフトランディングに進歩を示している。また、表面・界面での分光技術の改良・開発にすぐれた成果を挙げている。ただし、周期デザイン基板創成については、作製の見込みについて疑問視する声もあり、今後の新概念の創出とその実現に期待したい。「米国 Argonne 国立研究所グループ」は精密な評価技術を有し、クラスタ間、クラスタ・基板間の相互作用解明に貢献している。

また、アントラセンのクラスタのサイズにともなう自己組織化の変化の発見等は、当初計画で想定していなかった新しい展開である。今後も順調な進展が見込まれるが、次世代光磁気材料をどのように創成していくのか、やや発散気味のテーマをいかに整理していくか、また戦略目標に向けてのデバイス化への道筋の明確化は必要となるであろう。

5-4-2. 研究成果の現状と今後の見通し

クラスタを種々のレベルで制御することに成功しており、大変興味深い結果が得られている。今後の発展の芽も見出していることから、充分期待できる。取得特許が技術実施許諾契約まで至っているのは中嶋チームのみであり、このチームの独創性豊かな取り組みの一つの証といえる。

5-4-3. 今後の研究に向けての助言・提言

本研究の基礎的および学術的貢献と重要性を高く評価するものであるが、本研究課題の進展によって、次世代光磁気材料を指向していく具体的計画の検討が必要であろう。学術的興味からは、クラスターの電子状態の解明など現在取り組んでいる課題の更なる高度化・深化を期待したい。また、光磁気において、クラスターでなければならない電子状態を実現してみせることも非常に興味深い。具体的な提案としては、応用を見越してのクラスターの基板への配置の仕方のより徹底的な研究、基板上の個別のナノ構造の電荷移動計測の確立が望まれる。

他チームとの多様な連携を深め共同研究・融合研究もさらに推進してほしい。

5-4-4. 戦略目標に向けての展望

デバイス化への道筋がそれほど明確ではないが、新規クラスター状物質の発見は、将来の光・電子・磁気材料に大きな発展をもたらす可能性がある。大気中でも安定に使えるサンプルを提供できれば大きな進歩となる。また、多様なナノ構造に立脚したデバイスの計測評価法としてもその意義は大きい。

5-4-5. 総合的評価

研究がやや発散気味の面もあるが、比較的小さなチームであるにも関わらず、質・量ともに十分な成果を挙げており、順調に推移していると判断される。

6-1. 研究課題名： 相関電子コヒーレンス制御

6-2. 研究代表者： 永長 直人

6-3. 研究概要

本研究の目的は、将来の高度情報処理・通信のための機能性材料を強相関電子系のコヒーレンスという概念をもとに実現することである。例えば、磁場で電気伝導が変化する超巨大磁気抵抗効果といった現象はその一例である。機能という点に注目したとき、磁場、電場、光、圧力などの各種刺激に対して、“非対角的”な応答をナノスケールで設計・制御するために、トポロジカル相制御（ボトムアップ）とクリティカル相制御（トップダウン）の双方向からこれらの自由度顕在化の学理を確立することを目指している。例えば、強相関デバイスの位相の担い手は、軌道やスピンといった内部自由度であり、上述した2つの方向から、軌道やスピンの量子コヒーレンスと種々の秩序の多相臨界性を制御する研究を進めている。

6-4. 中間評価結果

6-4-1. 研究の進捗状況と今後の展望

強相関電子系で特徴的なトポロジカルコヒーレンスとクリティカルコヒーレンスの2つの側面から、有機物と無機物の区別なく、以下のような先端的で斬新な研究展開がなされている。

①強相関電子系のバンド構造におけるトポロジカル構造、②光のホール効果、③モット臨界性、④ドーピングされた三角格子系スピン液体と超伝導、などの研究成果は新しい問題を世界に発信している。理論の側からのベリー位相に基づく種々の新現象の提案があり、他方、実験の側からの新しい観測が理論研究を刺激して、研究は順調に進捗していると判断される。

今後の展望としては、「位相制御を新しい観点」で実現すること、ナノスケールでの古典的振る舞いと巨大化する応答に関する界面制御の理論に基づいて実験的なプロトタイプを迫及することを期待したい。

6-4-2. 研究成果の現状と今後の見通し

基礎科学の面でのインパクトの強い成果、(1) トポロジジーが引き起こすカレント、(2) スピン秩序のないモット絶縁体、(3) 臨界性とその実空間観測、(4) ナノスケールでの古典的振る舞いと巨大化する応答に見られる界面の大切さの指摘などの予測を超えた現象の発見は特筆に値する。今後のナノテクノロジーにおいて、トポロジカルカレントがどのような技術的インパクトを与えるかは興味深い。位相空間で強相関電子系の物理をブロッホ状態と違う観点で見ることによって新しい物理体系がみえてくることを期待する。ベリー位相エンジニアリングは、応用への切り口

へと展開されることも期待される。さらに界面や表面の特異性がより明確になってくると思われ、デバイス化における具体的な問題を把握することにもつながる。

6-4-3. 今後の研究に向けての助言・提言

ナノという切り口をより強調して言えば、表面や界面での現象、ナノスケールになった場合に表面や界面の特異な現象が系全体に及ぼす効果などに、より一層注目してもよい。

理論と実験の協力の強化という点については、検討の余地がある。これまでに得られている優れた基礎研究をさらに個々の研究者が深化し、さらに発展させることと並行して、新現象の理論的な解明、理論的な提言の実証などを手がけてグループの協奏効果を発揮して頂きたい。体制としては、理論と実験の協力体制の強化は検討課題である。

本課題の理論の進展から発せられる物質合成への刺激は単にチーム内メンバーのみならず、他領域を含む多くの合成系研究者にも価値あるもので、今後それらの情報共有を進めるべきではないか。

STM/STS による強相関係の研究においては、表面の特異性とバルクの性質を明確に区別できることが必要である。

レベルの高い研究活動、成果を挙げており、現状の体制がよく機能しておりこのまま進めればよい。

6-4-4. 戦略目標に向けての展望

高度情報処理に向けた将来の新しい電子技術学理としての重要な提案がなされている。界面の理解を通して、モット系/金属接合の理解とデバイスへの展開の可能性を追求している。STM 技術を利用したナノファブリケーション等に発展する可能性も示唆される。近未来にデバイスに繋がるテーマではないが、物質科学の基本的な見方に大きな影響を与えるテーマであり、相応の結果が出てきているので、もうしばらく学理を究めることが重要である。ナノサイエンスにおける強相関係の特徴と有利さが概念として説明されているが、具体的にナノスケールでの表面や界面での問題への切り込みは今後の課題である。以上の点から、「相関電子コヒーレンス制御」の戦略目標の十分な達成を予感させる。

6-4-5. 総合的評価

従来コントロールしにくい（あるいは実験的に観測しにくい）「位相」という概念の重要性を示したということで研究代表者の功績は大変大きい。また、各共同研究者もそれぞれの分野で重要な仕事をしており、総合的に高く評価したい。ただ、難を言えば各人が別々に仕事をしている感があり、もう少し有機的連携を取りつつ研究を進めることが望ましい。強相関電子系の内部自由度の量子コヒーレンス制御による新現象の発見および解明を機軸にすえて、わが国の基礎研究分野での成果を世界へ発信することが本研究プロジェクトの重要な役割であり、この期待に添えている。この点を高く評価したい。今後は、本研究チームのメンバー相互の有機的連携によって世界に誇れる研究成果を挙げていただくこと、そのなかから強相関電子素子などの応用への入り口が開かれれば、申し分ないと言える。

7-1. 研究課題名： 量子スピン系ナノ分子磁石の創製

7-2. 研究代表者： 山下 正廣

7-3. 研究概要

ボトムアップ式分子創製を手段として、「ナノワイヤー単分子磁石」、「ナノリング単分子磁石」、「ナノ粒子ワイヤー」、「ナノ粒子ネットワーク」という全く新しい形態のナノサイズ磁石に焦点をあて、これら物質の合理的設計法を開拓するとともに、機能性の向上、および磁気秩序の「ナノ-バルク境界」の探求を行っている。また低次元磁石としての近未来材料への新しい突破口を目指している。

7-4. 中間評価結果

7-4-1. 研究の進捗状況と今後の展望

分子性低次元磁石および関連する量子磁石の研究では、新しい分子性底次元磁石を合成するな

ど世界をリードする進捗がある。研究代表者を中心とする合成グループが研究を牽引しており、その試料の評価を他のグループが分担している。チーム構成がやや複雑になったが、その連携によって物理的機構などについても重要な知見が得られ始めた。

7-4-2. 研究成果の現状と今後の見通し

今後とも、分子性低次元磁石を用いたナノサイズ磁石の創製に向けて、着実に大きな進展が見込まれる。物理測定グループ、理論解析グループとの連携、あるいは重要課題にむけた集中化によって、ナノサイズ磁石のための物質科学的基盤だけではなく、分子性低次元磁性体の科学に大きなブレークスルーを生むような物理概念を生むことも期待できる。

7-4-3. 今後の研究に向けての助言・提言

合成グループ・測定グループ・理論グループとの有機的連携によって、今後「予期せぬ」磁性現象の発見などのブレークスルーがあるとよい。これには、量子磁性現象だけでなく、すでに成果の出始めた磁性の光制御など、単次元磁石の多機能化を図ることもひとつの研究の方向であろう。

7-4-4. 戦略目標に向けての展望

新しい単分子磁性体の合成と物理的評価が活発に進められており、将来のスピンエレクトロニクスの知的基盤としての寄与は充分にある。一方で、基本的特性のパラメーター上の多様性を追うだけでなく、新しい機能・物性を視野に捉えた集中化も必要である。

7-4-5. 総合的評価

種々の興味ある分子性低次元磁石を合成しており、質・量ともに十分な成果が得られている。今後もこのボトムアップ的アプローチから、高機能性「ナノサイズ磁石」を見出すなど質の高い成果を発信することが期待される。一方で、単分子磁石によって、いかなる高機能を見出すのか、たとえば、高い温度で動作する古典的磁石かそれとも低温でも機能的な量子効果を発現する磁石なのか、研究の進展によっては物理測定・理論グループの方向性も統合した研究課題の重点化が望まれる。

資料－1 領域ホームページ (HP) について

福山領域のHPでは、次の方針で情報を発信している。

URL <http://www.nanostruct-mater.jst.go.jp/>

1. 福山領域 HP の特徴

1) 迅速な発信

プレス発表後、重要な成果が論文に掲載された後に、領域ミーティング後、成果の内容を研究ハイライト（できる限り英語で）として掲載する。

2) 研究成果（公表論文、口頭発表）のリスト公表

各チームから外部発表の連絡が届いた翌月に、論文発表と口頭発表のリストを掲載する。

3) 日本語版のページと英語版ページとの対応

ほとんどのページで日本語版と英語版のページが対応している。海外からのアクセスは20%程度と推定される。

2. 掲載項目

- ・研究領域：戦略目標、領域の概要、研究総括の募集・選考に当たっての考え方、など
- ・研究課題：課題概要とその説明、サブグループの紹介（リーダー、実施機関、実施項目）
- ・メンバー：総括、アドバイザー、メンバー（学生を除く）全員の所属、職名、HP
- ・研究成果：論文・口頭発表のチーム別リスト、研究ミーティング、出版物、受賞の記録
- ・ハイライト：領域ミーティングのハイライト、プレス発表、など
- ・研究余滴：研究の周辺の話題など気楽な読み物を提供
- ・年次報告：各年度の「研究実施報告書」
- ・リンク集：メンバー所属機関のHP、JST 関連サイト、お役立ちリンク集
- ・研究事務所：領域事務所、チーム事務担当者、アクセス

3. 利用実績（平成17年4月～平成18年1月）

表 最近12ヶ月間の利用状況

月	一日あたりの平均				月合計					
	Hits	Files	Pages	Visits	Sites	KBytes	Visits	Pages	Files	Hits
Jan 2006	4,045	2,959	601	216	2,718	804,690	6,713	18,642	91,742	125,402
Dec 2005	3,243	2,353	493	181	2,268	645,554	5,630	15,295	72,973	100,533
Nov 2005	4,108	2,890	791	223	2,577	758,045	6,695	23,736	86,704	123,250
Oct 2005	4,312	3,106	705	235	2,881	756,496	7,301	21,866	96,300	133,676
Sep 2005	3,956	2,591	625	218	2,195	579,110	6,541	18,774	77,758	118,702
Aug 2005	3,229	2,131	459	198	2,018	602,092	6,142	14,240	66,067	100,115
Jul 2005	3,177	2,124	497	201	2,254	654,769	6,236	15,437	65,861	98,506
Jun 2005	3,456	2,484	528	192	2,070	633,152	5,765	15,861	74,536	103,687
May 2005	3,130	2,159	549	186	1,909	485,594	5,781	17,031	66,955	97,059
Apr 2005	3,382	2,312	532	208	1,947	470,624	6,268	15,964	69,372	101,465
最近12ヶ月間の総合計						6,815,678	68,141	190,123	832,106	1,195,753

(注：2005年3月のデータは一部欠落しているため、実際はこれより数値は大きい)

用語の定義

Hits (ヒット数)：エラーをも含む、WEB サーバーのログに記録されたすべてのアクセス数

Files (ファイル数)：Hits のうち、正常アクセスの数

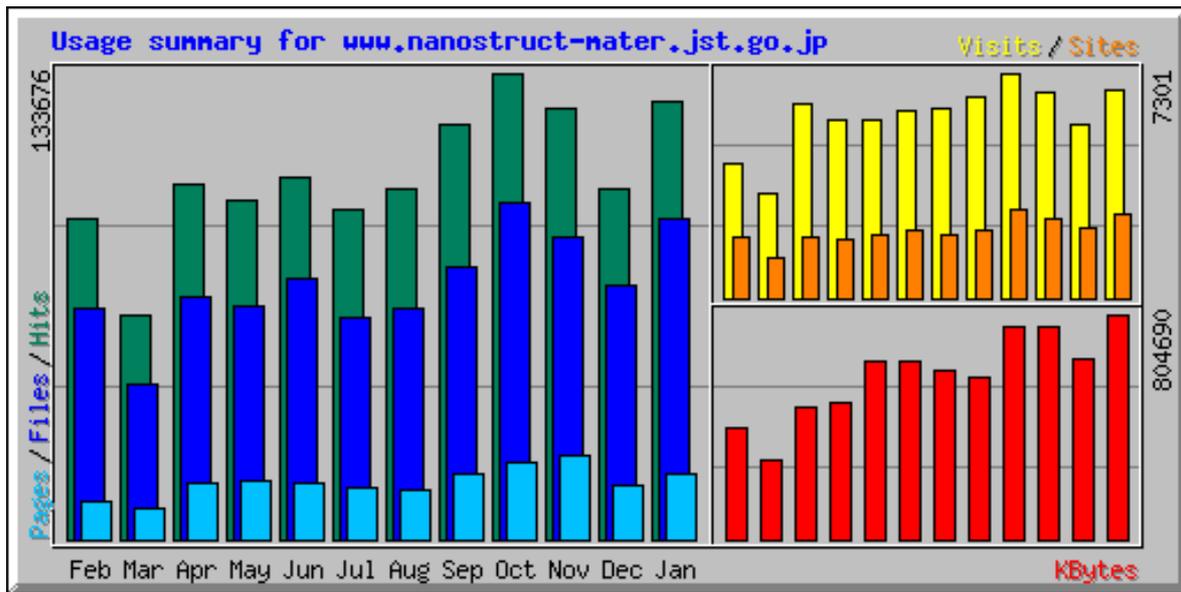
Pages (ページ数)：Hits のうち、HTML ページの数

Visits (訪問者数)：訪問者数 (30 分以内で同一 IP からはカウントしない)

Sites (サイト)：訪問者数 (一年間で同一 IP からはカウントしない)

KBytes：転送したデータ容量

付図 表の図示



(注：2005年3月のデータは一部欠落しているため、実際はこれより数値は大きい)