

**戦略的創造研究推進事業
発展研究（SORST）**

研究終了報告書

研究課題
「分子プログラミングによる電子ナノ空間の創成と応用」

**研究期間：平成 17 年 10 月 1 日～
平成 23 年 3 月 31 日**

研究総括 相田 卓三
(東京大学大学院工学系研究科 教授)

1. 研究課題名

「分子プログラミングによる電子ナノ空間の創成と応用」

2. 研究実施の概要

本研究プロジェクトでは、有機薄膜太陽電池、有機電界効果トランジスタ、有機エレクトロルミネッセンスデバイス、フレキシブルディスプレイなど、軽量・柔軟・高効率な次世代のエネルギー変換デバイスや表示記録デバイスの開発に関連し、その根幹を担うことが期待される「革新的基礎科学」を開拓することを目標とした。特に、新規有機・高分子・超分子材料開発を基盤とし、それらの集積構造・基礎物性の解明から、機能発現・エレクトロニクス応用に向けた研究を幅広く推進した。

本プロジェクトの前身である ERATO 相田ナノ空間プロジェクトでは、研究の一環として、カーボンナノチューブをコンポーネントとする電子活性ソフトマテリアルを開拓した。具体的には、単層カーボンナノチューブのイオン液体懸濁液を乳鉢で捏ねるかあるいは超音波処理を行うことで得られるゲル状物質（バッキーゲル）と、それらから誘導されるプラスチック（バッキープラスチック）である（*Science* 2003）。この発見を契機に、プロジェクト内の一研究グループの方向性を電子活性ソフトマテリアルの開拓に大きくシフトさせる決断を行った。すなわち、分子グラフェンと呼ばれる「ヘキサベンゾコロネン（HBC）」に高度な自己組織化能を導入し、グラファイト類似の構造を有する低次元組織体を構築するという研究に着手した。その結果、両親媒性 HBC の自己組織化により、酸化によるドーピングで導電性を発現する「グラファイトナノチューブ」の開発に成功した（*Science* 2004）。

「電子ナノ空間の創成と応用」を目指す本 SORST プロジェクトは、この研究を集中的に展開した。電子活性な分子のデザインとその配列制御による機能発現に関する基礎科学を開拓し、グラファイトナノチューブの光電子機能化・構造安定化・構造制御に関して積極的に研究を進めた。また、グラファイトナノチューブ以外にも、様々な電子活性な分子集合体（ナノ構造体・液晶・ゲル）の開発を行った。さらには、カーボンナノチューブ複合体からなるバッキーゲル・バッキープラスチックを用いた発展研究として、アクチュエータ・有機エレクトロニクス方面への応用研究を展開した。その結果、5年間のプロジェクト研究期間において、注目すべき多くの重要な知見や成果を獲得し、今後、当該研究分野をさらに大きく発展させるための確固たる土台を築くことに成功している。

本プロジェクトにおいて遂行した研究を大きく分類すると、（1）自己組織化グラファイトナノチューブの機能化と構造・物性制御、（2）有機半導体液晶における分子配列制御と光電子機能、（3）カーボンナノチューブ複合体を用いたフレキシブルエレクトロニクス、（4）新規機能性高分子・超分子・ゲルの開発、の4項目となる。各項目の具体的な研究課題を以下に列挙する。

（1）自己組織化グラファイトナノチューブの機能化と構造・物性制御

1-1. 光導電性グラファイトナノチューブ

- 1- 2. 水分散性グラファイトナノチューブ
- 1- 3. 内外表面の官能基が異なる Janus 型グラファイトナノチューブ
- 1- 4. 金属コートグラファイトナノチューブ
- 1- 5. 不斉金属錯体の複合化による一方巻きらせんグラファイトナノチューブ
- 1- 6. グラファイトナノチューブの軸方向への p n 接合の形成
- 1- 7. グラファイトナノチューブの可逆的表面重合と構造安定化
- 1- 8. グラファイトナノコイルの作製と表面重合による構造安定化・らせん制御
- 1- 9. ナノチューブ形成のための分子構造パラメーターと集積構造の解明
- 1- 10. 光起電グラファイトナノチューブ
- 1- 11. フォトクロミズムを利用したグラファイトナノチューブの光伝導制御
- 1- 12. グラファイトナノチューブ電界効果トランジスタ
- 1- 13. グラファイトナノチューブにおける異方的電気伝導
- 1- 14. グラファイトナノチューブにおけるソレノイド効果の検証
- 1- 15. グラファイトナノチューブの基板表面への垂直配向と集積化
- 1- 16. 有機ラジカルナノチューブによる磁性の発現

(2) 有機半導体液晶における分子配列制御と光電子機能

- 2- 1. オリゴチオフェン- フラーレン連結分子からなる光伝導性液晶
- 2- 2. 側鎖へのエステル基付与による光キャリアの長寿命化
- 2- 3. イミダゾリウム置換トリフェニレン誘導体における双連続立方相の実現

(3) カーボンナノチューブ複合体を用いたフレキシブルエレクトロニクス

- 3- 1. バックギーゲル自立薄膜の作製と機械・電気特性
- 3- 2. バックギーゲルを用いた空中作動アクチュエーター
- 3- 3. バックギープラスチックによる伸縮自在な有機半導体デバイス集積体の構築
- 3- 4. トリフェニレン液晶へのカーボンナノチューブの分散・複合化

(4) 機能性高分子・超分子・ゲル

- 4- 1. 粘土とデンドリマーバインダーからなる高含水ハイドロゲル
- 4- 2. デンドリマーポルフィリン車輪による光捕集とエネルギー移動システムの構築
- 4- 3. 光伝導性オリゴチオフェン- ペリレンジイミドナノファイバー
- 4- 4. 金属配位トリフェニレンのサーモ/メカノクロミズム
- 4- 5. パイ電子が高密度に集積したらせん状分子の動的挙動
- 4- 6. キラリティー制御による光伝導性フラーレン-ポルフィリンナノファイバー
- 4- 7. 高分子矢じりによる立体規則性を制御した自己組織化ナノファイバー
- 4- 8. 光伝導性銅フタロシアニン-ペリレンジイミドナノファイバー

ナノソフトマテリアルグループでは、「ソフトな分子集合体・ナノ材料の創成と機能化」を研究目標として掲げ、様々な新規分子集合体の構築・構造解明・機能発現、イオン液体／カーボンナノチューブ複合体を用いたフレキシブルエレクトロニクスへの応用、機能性超分子・高分子・ゲルの開発を積極的に行った。本 SORST プロジェクトは、発足当初は福島孝典をグループリーダーとする本グループのみによるスタートであり、同氏が 2007

年 9 月をもって独立行政法人理化学研究所へ異動後は、同グループに所属していた金武松をグループリーダーとし、研究課題を継続した。本グループでは、上記研究課題のうち、1-1~9、2、3、4-1~4を遂行した。約5年の研究期間で、Nature 誌（粘土とデンドリマーからなる高含水ハイドロゲルの開発；2010 年）、Science 誌（ドナー/アクセプター分子層からなる光電導性同軸ナノチューブの開発；2006 年、バッキープラスチックによる伸縮自在な有機半導体デバイス集積体の構築；2008 年）、Nature Materials 誌（ゴム状伝導体のプリント加工による伸縮自在有機発光表示デバイス；2009 年）をはじめとする、国際的に評価の高い科学雑誌に多くの研究成果を発表した。

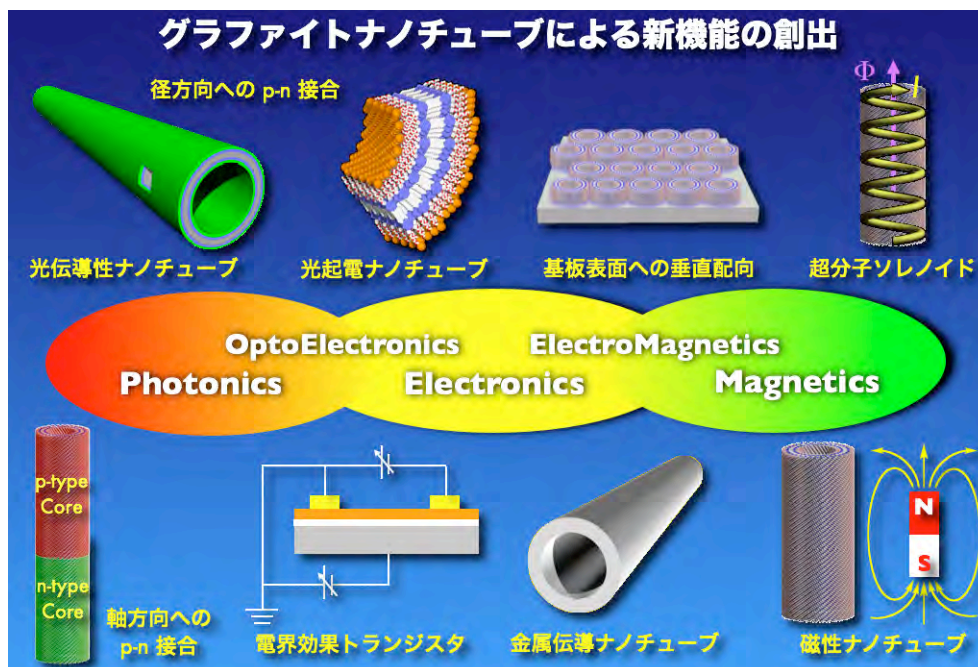
一方、ナノデバイスグループは、2008 年 7 月より新たに立ち上げたグループで、それまでナノソフトマテリアルグループに在籍していた山本洋平をグループリーダーとした。本グループでは、「分子ナノ構造体の物性・機能の発現」を目標とした。サブグループ間の共同研究は引き続き密接におこない、ナノソフトマテリアルグループにおいて開発された新規分子集合体のデバイス化、機能・物性の追究を集中的に行った。本グループでは、上記研究課題のうち、1-10~16、4-5~8を遂行した。メンバーは少数ながら、約2年の研究期間で、アメリカ科学アカデミー紀要（分子グラフェン/フラーレンヘテロ接合による両極性電導同軸ナノチューブ；2009 年）、Nature Chemistry 誌（パイ電子が高密度に詰まったレドックス応答型分子らせん；2010 年）など、国際的に評価の高い科学雑誌に研究成果を発表した。

5 年間のプロジェクト期間中に、英文論文 44 本（うち招待レビュー論文 8 本）、邦文論文 16 本を発表した。また、海外/国際 117 件、国内 61 件の招待講演、海外/国際 30 件、国内 103 件の一般講演を行った。

3. 研究構想

(1) 研究開始時に目指した目標

グラファイトナノチューブを形成する両親媒性ヘキサベンゾコロネン（HBC）の高度な自己組織化を駆使し、次世代の電子活性ソフトナノマテリアルの創成に向けての究極のデザイン戦略を確立することを目指している。特に、トリエチレングリコール鎖末端に機能団を導入し、表面に合目的な機能団を密に集積したグラファイトナノチューブを設計し、グラファイト層が有する電子機能と表面機能団との協調に基づく新機能の創成を目指す（下図）。また、グラファイトナノチューブがラセン状にパイスタッキングした HBC からできていることに着目し、ラセン状電導現象に基づく磁性の発現（ナノソレノイド）の可能性を探る。さらに、この研究で培われた経験をもとに、基本戦略を広く一般の電子活性分子にまで拡張し、次世代の情報産業を支える新規ソフトマテリアルの新たな普遍的設計指針を確立する。



(2) 研究計画と意義・実施状況

[1] グラファイトナノチューブによる光電変換機能の実現

化石燃料や放射性物質を必要としないクリーンなエネルギー変換デバイスの開発は 21 世紀の科学技術の最重要課題であり、とりわけ太陽電池には熱い視線が注がれている。今日、無機材料からなるアモルファスもしくは多結晶シリコン太陽電池が実用化されているが、最近、軽量化、低コスト化、大面積化、および、将来のプラスチックエレクトロニクスの担い手として、有機薄膜で太陽電池を実現すべく、世界がしのぎを削っている。有機薄膜太陽電池において効率の高いシステムを実現するためには、電子を与える分子（電子供与体；D）と電子を受け取る分子（電子受容体；A）をそれぞれ別々に積層させ、かつそれらを可能な限り広い接触面積で接合させることが望まれる。そのような観点からグラファイトナノチューブを眺めると、それを実現するための格好の構造モチーフを有して

いる。というのは、ナノチューブの壁内部には、DであるHBCが規則正しく整列しているため、チューブの内外表面をA分子層で密に覆うことが出来れば、1分子層レベルの精密さで、非常に広い接触面積でのD/Aヘテロ接合が実現できると予想できる。そこで、Aとして機能する数種類の分子部位をHBCの側鎖末端に付与した新規誘導体を設計し、それらの自己組織化挙動について検討をおこなった。その結果、いくつかの系で自己組織化ナノチューブが形成することを見出した。それらの光電子機能について詳細に検討した結果、顕著な光電導性、電子とホール両極性電気伝導、さらには光起電力特性の発現に成功した。また、これらの物性を精密にチューニングできる手法を見出し、機能の最適化を実現した。

[2] グラファイトナノチューブのエレクトロニクス応用

半導体の高集積化・微細化が急速に進行する昨今、そのサイズは数十ナノメートルの領域に入り、トップダウンによる微細化は限界に達しようとしている。そこで、構造体を原子・分子レベルで組み上げるボトムアップ型のナノ構造体形成が注目されている。この傾向は現在ではシリコンなどをベースとする無機半導体に関するものであるが、近い将来、有機半導体についても同様の微細化技術が求められると考えられる。そこで、本プロジェクトで開発したグラファイトナノチューブの電子材料としての応用について検討を行った。具体的には、本ナノチューブの電界効果トランジスタ特性、構造と物性の相関、キャリア輸送のメカニズムなどについて様々な測定手法を用いて詳細に検討した。さらに、このような1次元構造体の軸方向へのpn接合形成に関する研究を進め、リニアヘテロ接合型ナノチューブを実現した。

[3] グラファイトナノチューブの電気磁気機能の発現

グラファイトナノチューブ内では、HBC部位がらせん状にスタックしている。もし電荷キャリアがらせんに沿って流れるのであれば、チューブ内部に磁束が発生しているのではないかと着想のもと、グラファイトナノチューブのソレノイドとしての特性について検討を行った。その検証のため、1方向巻きナノチューブおよびそれらを束ねた高配向性ファイバーを作製し、その電気伝導特性および、電流誘起による磁束の発生について検討を重ねたが、磁束の発現に関する再現性のあるデータを取得には至らなかった。しかしながら、様々な測定から、確かにナノチューブ内において1次元的にキャリアが伝導しているという確証を得た。さらに、ナノソレノイドの実現に向け、コイル状分子集合体の構築や、金属伝導を示すナノチューブ・ナノコイルの構築に着手し、巻方向を制御した導電性ナノコイルの構築を実現した。また、ナノチューブを足場としたナノマグネットの構築に向けた研究をすすめ、ナノチューブ表面を磁性金属イオンや有機ラジカルでコートしたナノチューブを実現した。

[4] グラファイトナノチューブの構造パラメーターと集積構造の解明

両親媒性HBCがなぜチューブ状構造体を形成するのか？分子構造と組織体の構造の相関は、学会発表において頻繁にうける質問の一つでもある。この根本的な疑問を解決するため、HBCの周辺側鎖の長さや種類を変えた一連のHBC誘導体を合成し、その自己組織化挙動について検討をおこなった。その結果、チューブ状構造体形成のために必要な構造パラメーター（およびそれぞれの役割）は、1. HBCコア（パイスタック）、2. 十分

に長い (C_{12} 程度) 直鎖状のアルキル側鎖 (2 分子膜形成)、3. HBC コアに付与したフェニル環 (HBC 部位のオフセットによるらせん構造の誘起)、の 3 つであり、親水性側鎖は構造形成にとって必ずしも必要な構造ではないことを明らかにした。また、チューブの壁内部の詳細な分子配列構造を知る目的で、高配向性ナノチューブファイバーを用いた放射光 X 線回折実験を行った。得られた特徴的な回折パターンを綿密に解析し、分子集積構造を解明した。

[5] グラファイトナノチューブの配向制御

グラファイトナノチューブのデバイス特性を最大限に引き出す上で、ナノチューブの配向制御は非常に重要な課題である。ナノチューブが 1 軸配向したファイバーの作製には成功しているものの、基板表面に配向した試料の作製は、ナノメートルスケールの構造体からバルク (マクロスコピック) としての特性を得るためには重要であるが、今日においてもなお、超分子集合体を思い通りに配向させるための確立した方法は存在しない。特に、グラファイトナノチューブを用いて高効率な太陽電池を作製する上では、基板に対し垂直 (ホメオトロピック) 配向したナノチューブ集積体の構築が必要不可欠である。これに関して本プロジェクトでは、ホメオトロピック配向を実現するための方法論として、親水側鎖末端に水酸基を付与した HBC 誘導体と、水酸基と水素結合部位を有する高分子 (ポリビニルピリジン) との共組織化を試みた。基板表面にそれぞれからなる 2 層膜を作製し、それをクロロホルム溶液中でアニールした結果、驚くべき事に、自発的にホメオトロピック配向したナノチューブ集積体が形成することを見出した。この手法を用いると、基板表面のみでなく、様々な無機・高分子ナノ構造体表面にもナノチューブを高密度に集積することができる。

[6] グラファイトナノチューブの構造安定化

分子の自己組織化は精緻なナノ構造体を与えるが、本質的に熱や溶媒に不安定であり、構造が容易に崩壊する。従って、実際のデバイス作動条件などにおいてもその構造を維持させるには、チューブ構造を安定化させる方策が必須である。すでに、トリエチレングリコール末端に導入したオレフィンのメタセシス反応により、耐熱性の高いグラファイトナノチューブの合成に成功しているが、ここでは、触媒を利用しないクリーンな反応による自己組織化チューブ構造の安定化法を確立した。

[7] グラファイトナノチューブの表面機能化・水分散化

グラファイトナノチューブは、カーボンナノチューブに似てバンドルを形成しやすい。ナノチューブ一本一本の物性を探索する場合には、高分散したナノチューブが必要である。ここでは、グアニジニウムイオン等のカチオン種を表面に導入し、静電的反発により高度に分散したグラファイトナノチューブの創成を目指した。グアニジニウムイオン類はオキシアニオンと強く相互作用することが知られており、これを利用すると、生成したナノチューブと混合するだけでその表面に所望の官能基を導入することが可能となり、グラファイトナノチューブの新たな応用の道が開ける。また、表面にアジド基を有するグラファイトナノチューブの合成に挑戦し、クリックケミストリーの基質に対する外表面と内表面のアクセシビリティの差を利用した Janus 型グラファイトナノチューブ (内表面と外表面の官能基が異なるナノチューブ) の創成を実現した。このナノチューブは、チューブの内

部空間にだけ選択的にゲストを導入するための戦略を提供する。

[8] 有機半導体液晶材料の開発

固相と液相の中間に属する液晶相は、分子配列の周期性と流動性を併せもつユニークな相である。近年、電子活性な分子の液晶化、いわゆる有機半導体液晶に大きな注目が集まっている。液晶材料の利点として、1. 塗布するだけで簡便に薄膜の形成・加工ができる、2. 外場や機械的摩擦あるいは基板表面処理による配向制御が可能、3. 集積構造の自己修復が可能である、といった点が挙げられる。本プロジェクトでは、DとAが連結した分子に着目し、D/Aの1分子層レベルのヘテロ接合を実現するための方法論として、側鎖の相互不貫入性、すなわち連結分子に対し左右非対称に親水性側鎖と疎水性側鎖を付与するという方法を提案した。このような観点のもとで設計した両親媒性D-A連結分子は、分子層レベルの相分離構造を実現し、高効率な光誘起電荷分離と電子・ホールのスームズな輸送、結果として高い光電変換機能を発現した。この方法は、液晶材料のみでなく、自己組織化ナノ材料においてD/Aのナノ相分離構造を実現する上で、非常に有効な方法である。また、これらに加え、数十ミリ秒にも及ぶ極めて長い光キャリア寿命を有する液晶や、3次元的な電荷輸送ネットワークを有する液晶を開発した。

[9] バッキープラスチックのフレキシブルエレクトロニクス応用

前身のERATO 相田ナノ空間プロジェクトにおいて開発した、イオン液体-カーボンナノチューブ(CNT)複合体(バッキーゲル、バッキープラスチック)は、高い電気・イオン伝導性と柔軟性・伸縮性を兼ね備えている。このような特徴を利用し、バッキープラスチックの応用展開として、空中作動アクチュエーター、伸縮性集積回路シート、伸縮性有機電界発光シートなどの開発に着手した。

(3) 新展開から生まれた新たな研究目標

[1] オルトオリゴフェニレンからなる高密度パイ電子ラセン構造体

多数のベンゼン環を一次元に連結したポリフェニレンは、パイ共役系高分子の最も基本的な骨格のひとつである。意外にも、ベンゼン環同士をそのオルト位で連結したオルトフェニレン類に関する報告例は極めて限られている。本プロジェクトでは、オルトフェニレン類がベンゼン環の高度なスタッキングによりユニークなラセン構造をとることに注目し、パイ電子を高密度で有する一次元構造体としての新たな可能性を探るべく、オルトフェニレンオリゴマー・ポリマーの研究を新たにスタートした。

[2] 粘土とデンドリマーバインダーからなる高含水ヒドロゲル

環境問題への関心が高まる中、環境に優しいクリーンな素材の開発に向けてさまざまな取り組みがなされている。とりわけ水は地球上の生命にとって必要不可欠なものであり、実際、地球の表面の71%は水で覆われ、私たちの体の65%は水から成り立っている。このように自然界や生物界にとって水は大変重要な役割を担っており、ほとんどが水でできている材料を作り出すことができれば、究極のエコ材料となることが期待される。そこで本プロジェクトでは、水を主成分とする材料(アクアマテリアル)の研究開発に着手した。基本構想として、親水性の高分子の両末端をカチオン性のデンドロン基で修飾した高分子

化合物を設計し、デンドロン基とクレイの層の表面との相互作用を利用してクレイ層を親水性高分子で非共有結合的に架橋して形成される網目構造に水を保持させるという戦略を考案した。

(4) サブグループの役割分担

本プロジェクトの母体となった ERATO プロジェクトにおいては、3つのサブグループが場所を同じくして研究を行うというそれまでにはなかった研究体制をつくり、サブグループ間での共同研究は半ば常識であった。その文化を継承し、ERATO プロジェクトから人的・物的精鋭を抽出して結成した本 SORST プロジェクトでは、発足時にはサブグループを撤廃し、プロジェクトリーダー (PL: 相田卓三)、グループリーダー (GL: 福島孝典)のもと、ナノソフトマテリアルグループの1グループ体制で、「ソフトな分子集合体・ナノ材料の創成と機能化」という研究目標に向けて、全員がある意味の共同研究を行うという体制を確立した。このことにより、情報が研究員全員にフィードバックし、風通しの良い研究環境が実現できた。2007年9月をもって福島 GL が異動した後は、同グループに所属していた金武松を GL とし、同研究課題を継続した。2008年7月からは、新たにナノデバイスグループを立ち上げ、ナノソフトマテリアルグループに所属していた山本洋平を GL とした。「分子ナノ構造体の物性・機能の発現」を研究目標とし、2サブグループでの研究体制を確立したが、サブグループ間の共同研究は引き続き密接に行った。特に、ナノソフトマテリアルグループにおいて開発された新規分子集合体を、ナノデバイスグループにおいてデバイス化し、機能・物性の追究を行った。

また、非接触法による光導電性や電荷輸送特性評価は、大阪大学田川研究室、関研究室、分子科学研究所中村研究室、新潟大学生駒研究室と、透過型電子顕微鏡観察は産業総合技術研究所石井博士と、有機薄膜デバイス・カーボンナノチューブデバイスの作製・評価は理化学研究所塚越グループ、東京大学染谷研究室、産業総合技術研究所畠グループと、空中作動アクチュエーターの作製は産業総合技術研究所安積グループと、放射光X線回折実験は理化学研究所高田研究室との共同研究により実施した。結果として、上述したように著しく円滑な研究体制のもと、多くの重要な知見や成果が得られるに至っている。

4. 研究実施内容

4. 1. “ソフトな分子集合体・ナノ材料の創成と機能化”（ナノソフトマテリアルグループ）

4. 1. 1. グラファイトナノチューブの機能化・構造安定化・集積構造の解明

(1) 実施の内容

本研究プロジェクトの前身である ERATO 相田ナノ空間プロジェクトでは、炭素二次元平面であるグラフェン（図 1 a）の部分構造であるヘキサペリヘキサベンゾコロネン（HBC, 図 1 b）をビルディングブロックとし、適切な自己組織化プログラムを付与することにより、構造明確な電子・光機能性ナノオブジェクトの構築を検討してきた。その結果、両親媒性 HBC 1（図 1 c）が自己組織化により直径 20 ナノメートルの超分子ナノチューブ（グラファイトナノチューブ）を形成することを見出し、世界的に大きなインパクトを与えた（*Science* 2004, 304, 1481–1483.）。このグラファイトナノチューブは、疎水性側鎖／HBC ユニット／親水性側鎖が相分離した一次元構造体と考えることができるが、その親水性置換基（トリエチレングリコール鎖：TEG）末端を化学修飾することにより、表面構造を自由にデザインできる特徴を有する（図 2）。本研究プロジェクトでは、このアプローチにより様々な分子部位を親水側鎖末端に付与することにより、グラファイトナノチューブの機能化を試みた。その結果、顕著な光導電性や光起電力特性を示すナノチューブ、水分散性ナノチューブ、内外表面に異なる機能部位を有するナノチューブ、金属で表面をコーティングしたナノチューブ、異なる電子状態を有するナノチューブ同士の長軸方向へのヘテロ接合など、多くの特筆すべき機能を有する自己組織化ナノチューブの構築に成功した。また、親水側鎖末端に様々な重合部位を導入することにより、形成するナノチューブやナノコイルの構造安定化に成功した。さらに、ナノチューブを形成するために必要な分子構造パラメーターの検討や、ナノチューブ内部における詳細な分子集積構造の解明を行った。

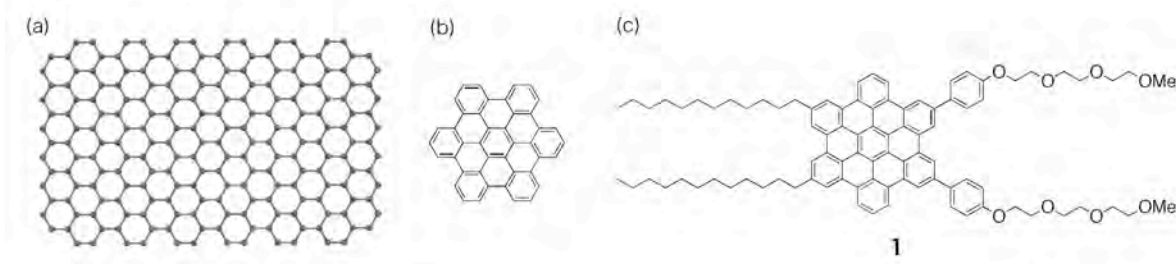


図 1. (a) グラフェン、(b) HBC、および (c) 両親媒性 HBC の構造模式図。

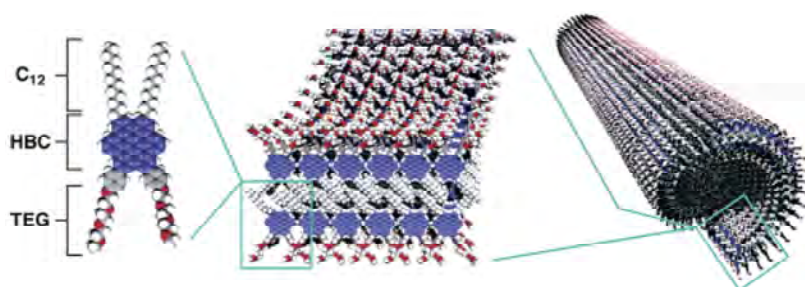


図 2. 両親媒性 HBC ナノチューブの階層構造の模式図。

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

グラファイトナノチューブの表面修飾による機能化

光導電性グラファイトナノチューブ

この自己組織化ナノチューブは、壁の内部に電子供与体（D）である HBC が規則正しく配列している。したがって、壁の内外表面を電子受容体（A）で覆うことが出来れば、1 分子層レベルの精緻な D/A ヘテロ接合をナノ構造体中に作り込むことが出来ると予想できる。本グループでは、HBC の TEG 鎖末端の一方に電子受容体であるトリニトロフルオレノン（TNF）を導入した誘導体（HBC-TNF）を設計しその自己組織化について検討した。その結果、自己組織化条件をうまく制御することにより、HBC-TNF からなる直径 16 ナノメートルのナノチューブが形成することを見出した。このナノチューブにおいて、電子受容能を有する TNF 層が、電子供与能を有する HBC 層をラミネートした同軸構造が実現している（図 3）。従って、光誘起電子移動を介して、HBC 層にホールを、TNF 層に電子を生成させることにより、光電導特性や光起電力特性を示すことが期待できる。実際、光照射により、暗電流と比較して 1 万倍にも及ぶ大きな光電流の発生が示された。種々の検討から、1. HBC 部位の光励起による励起子の発生、2. HBC 部位から TNF 部位への光誘起電子移動による電荷分離状態の形成、3. HBC 中に生じたホールの電導、というプロセスにより、約 0.7 マイクロ秒の寿命で光キャリアが発生することを明らかにした（*Science* **2006**, 314, 1761–1764.）。この研究成果は、新聞をはじめとする各種メディア、*Nature* 誌や *C&EN* 誌（アメリカ化学会）上でハイライトされるなど、非常に大きなインパクトを与えた。

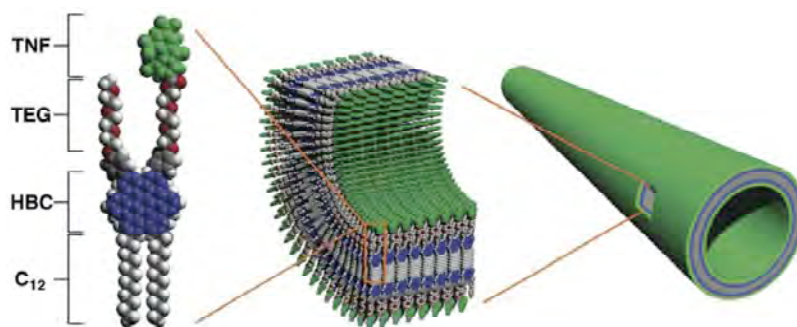


図 3. HBC-TNF からなる光電導性同軸ナノチューブの階層構造の模式図。

この光導電性を示す同軸型グラファイトナノチューブにおいて、表面の電子受容体の密度を制御出来れば、光電子移動、電荷再結合、および光電導挙動のより詳細な検討ができる。そこで、HBC-TNF と TNF を含まない HBC 誘導体の共組織化（コアセンブリー）について検討した。HBC 誘導体それぞれのみからなるナノチューブは直径が異なることから、それらが互いに混合してナノチューブを形成するかどうかは、分子集合体化学においても興味深いテーマである。実際、コアセンブリーを行った結果、これらの誘導体はどの混合比においても、別々に析出することなく、互いに混じり合ってナノチューブを形成することを明らかにした（図 4）。特筆すべき事に、このナノチューブにおいて、表面の TNF の割合を減らすと、光電導性が顕著に増大する（*J. Am. Chem. Soc.* **2007**, 129, 9276–

9277.)。

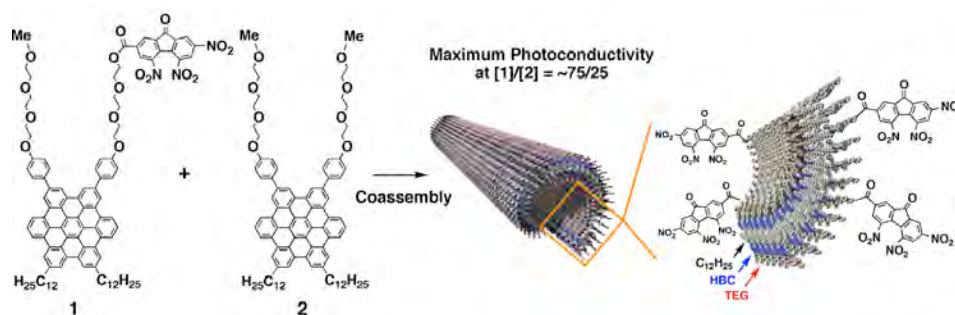


図4. コアセンブリによるグラファイトナノチューブの構築。

水分散性グラファイトナノチューブ

グラファイトナノチューブの特異な形態は、ドラッグデリバリーシステム（DDS）に代表される生体関連機能材料としての応用という観点からも興味深い。その目的のためには水分散性ナノチューブを構築する必要がある。そこで、水分散性と生体分子認識能を併せ持つナノチューブの構築を目的に、イソチオウロニウム塩を TEG 末端に導入した HBC 誘導体の自己組織化を検討した。その結果、一本一本を水中に分散することが可能なナノチューブの構築に成功した（図5）。詳細な検討から、このグラファイトナノチューブは水中でオキソアニオンを表面に捕捉することを明らかにした（*J. Am. Chem. Soc.* **2007**, 129, 719–722.）。この発展研究として、イソチオウロニウムイオンより生体適合性が高いと考えられるグアニジニウムイオンをナノチューブ表面に導入することを計画し、グアニジニウムイオンを一方の TEG 鎖末端に有する HBC 誘導体を合成し、自己組織化を検討した。その結果、イソチオウロニウムイオンの場合と同様にナノチューブを与えることを見出した。これらの水分散グラファイトナノチューブの生体関連機能の発現が期待できる。

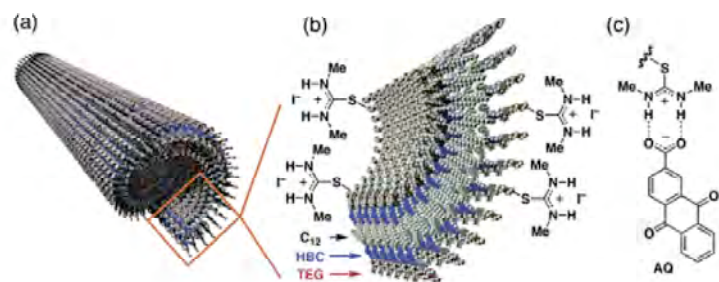


図5. (a) 水分散性グラファイトナノチューブ、(b) その表面構造の模式図、および (c) アニオン捕捉機構。

内表面と外表面の官能基が異なる Janus 型グラファイトナノチューブの創成

ナノチューブの外表面は内表面に比べて空間的な制限が小さいため、適切な反応を選択することにより外表面の選択的な機能化が可能であると考えられる。実際、アセチレンを末端に持つデンドロンを「クリックケミストリー」を用いてナノチューブと反応させたところ、もっぱらその外表面のみにデンドロンが付加し、内表面のアジ基はほぼ未反応のま

ま残ることを見出した。この外表面修飾ナノチューブに対して、分子サイズの小さいアルキンを同様に反応させたところ、内表面のアジ基に付加し、径方向にジブロック構造を持つ Janus 型のナノチューブが生成した (図 6)。このように内外表面に異なる官能基を導入することで、ナノチューブ内部への選択的なゲストの導入や外表面への選択的な物質吸着・機能化などが期待できる (*J. Am. Chem. Soc.* **2008**, *130*, 1530–1531.)。

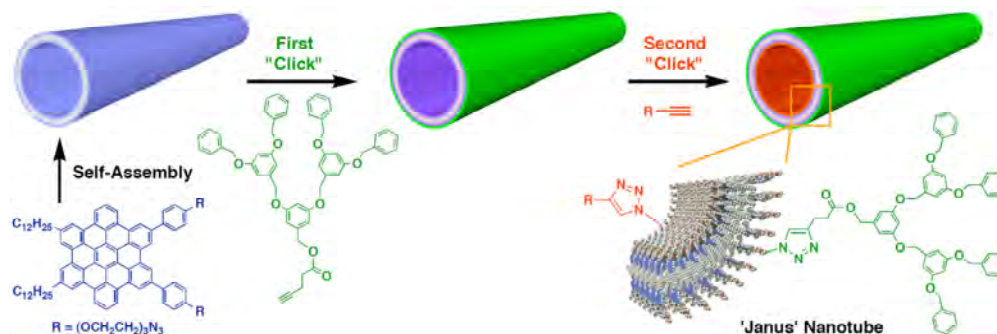


図 6. クリック化学を用いた Janus 型グラファイトナノチューブ.

金属コートグラファイトナノチューブ

ナノ構造体表面への金属の集積化は、触媒・センサー・水素やエネルギー貯蔵・エレクトロニクスなどの観点から大変興味深いテーマである。本研究では、ナノチューブをナノスケールの Scaffold とした有機—無機ハイブリッドナノチューブの作製を目的に、親水性側鎖末端に金属への高い配位能を有するピリジル基を導入した HBC 誘導体を設計した (図 7)。その自己組織化挙動を検討した結果、分子分散した溶液への金属イオン (Pt^{2+}) の添加が、高度に制御された自己集合化を誘起しナノチューブを与えることを見出した。さらに、自己組織化プロセスの違いにより、直径や壁厚の異なるナノチューブが選択的に生成することを見出した。表面を白金で覆うことにより、触媒機能などの発現が期待できる (*Angew. Chem. Int. Ed.* **2009**, *48*, 4747–4750.)。

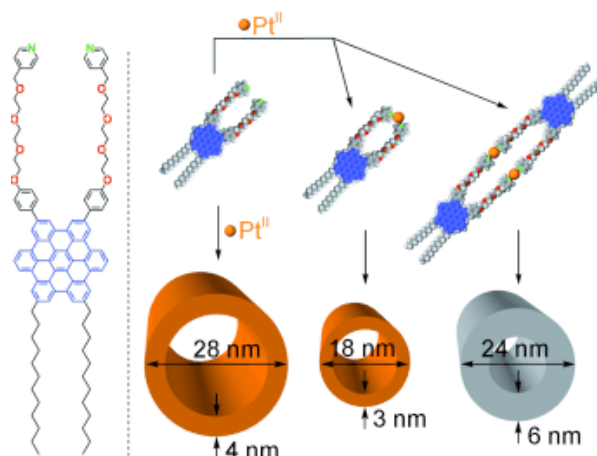


図 7. 金属イオン架橋ネットワークにより形成する、直径や集積構造の異なる自己組織化グラファイトナノチューブの模式図.

不斉金属錯体の複合化による一方巻きらせんグラファイトナノチューブの創成

前 ERATO プロジェクトでは、親水側鎖の一部にポイントキラリティーを導入することにより、1 方向巻きらせん構造を有するグラファイトナノチューブの構築に成功した。本研究では、アキラルな HBC 誘導体に対しキラル化合物を添加することによるらせんキラリティーの誘起が可能であるかについて、検討を行った。その結果、親水性側鎖末端に金属への高い配位能を有するピリジル基を導入した HBC 誘導体とキラル白金 BINAP 錯体の共組織化により、一方向巻きのらせん要素を有するナノチューブが形成することを見出した（図 8）。つまり、不斉中心を持つ金属錯体が提供する遠位のポイントキラリティーが超分子キラリティー（ π スタックのねじれ）に翻訳されたことになる。さらには、チューブの吸収帯に観測される円二色性（一方巻きのらせん要素に起因）が配位子交換により BINAP の除去した後も、6 ヶ月以上にわたりらせんキラリティーが損なわれることなく、らせん形状をそのまま保持（キラルメモリー）しつづけることも見出した。すなわち、このチューブは「不斉炭素によらない構造的な不斉（ π スタックのねじれ）のみでできた巨大な不斉ナノ空間」と見なすことができる。これらの結果について、現在論文準備中である。

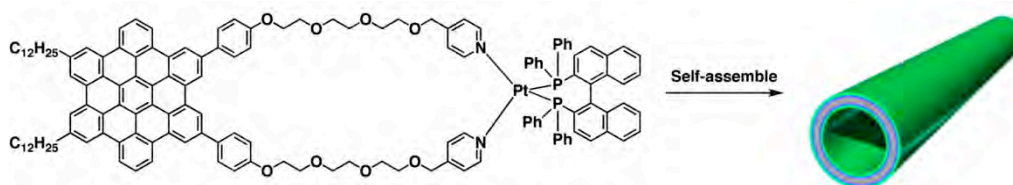


図 8. キラル白金 BINAP 錯体を付加した HBC 誘導体からなる一方巻きらせん構造を有するグラファイトナノチューブ.

グラファイトナノチューブの構造安定化

酸化還元や光二量化によるグラファイトナノチューブの可逆的表面重合と安定化

構造が脆弱な超分子集合体を安定化させる手法の開拓は、ソフトマテリアルの応用的観点からも重要な課題である。本グループでは、親水性置換基末端にクマリンを導入した両親媒性 HBC 誘導体から自己組織化ナノチューブを作製し、ナノチューブ表面でのクマリンの可逆な光二量化反応を利用して、構造の固定化とモノマーへの解離が可逆に起こる系を構築した（図 9）。また、光による溶解度変化を利用したリソグラフィーにより基板上へのナノチューブのパターン化が可能であることを見出した（*J. Am. Chem. Soc.* **2006**, *128*, 4220–4221）。さらに、親水性置換基末端にチオール性官能基を導入した両親媒性 HBC 誘導体の自己組織化により、表面がチオール官能基で覆われたナノチューブを作製した。この系では、酸化反応によるチオールからジスルフィド、還元反応によるジスルフィドからチオールへの変換により、ナノチューブ構造を保ったまま可逆な表面重合反応が進行することを見出した（*J. Polym. Sci. Part A. Polym. Chem.* **2006**, *44*, 5120–5127.）。

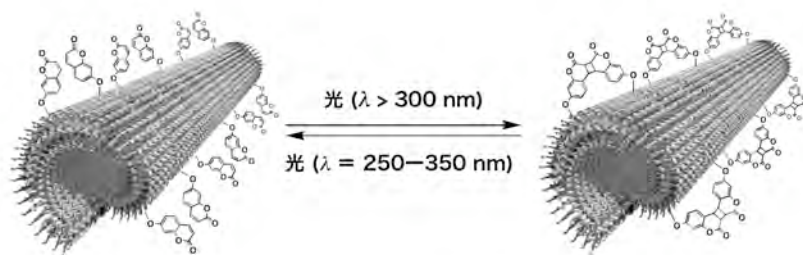


図9. ナノチューブの可逆的光二量化による構造固定化.

ノルボルネン部位を有する両親媒性 HBC の自己組織化と表面重合

ERATO プロジェクトにおいて、オレフィンメタセシス重合によるナノチューブの構造安定化について検討してきた (*J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127*, 8284–8285.)。その研究の一環として、ノルボルネン官能基を TEG 末端に導入した HBC の自己組織化を検討した。その結果、条件の違いによりナノチューブとナノコイルをそれぞれ選択的に与えることを見出した (*J. Am. Chem. Soc.* **2006**, *128*, 14337–14340.)。これらの自己組織化ナノ構造体は、Grubbs 触媒による開環メタセシス重合 (ROMP) により構造安定化できることを明らかにした (図10)。この結果は次に示す「導電性を示すグラファイトナノコイルの創成とその巻き方向の完全制御」という本プロジェクトの目標にとって重要な発展を遂げた。

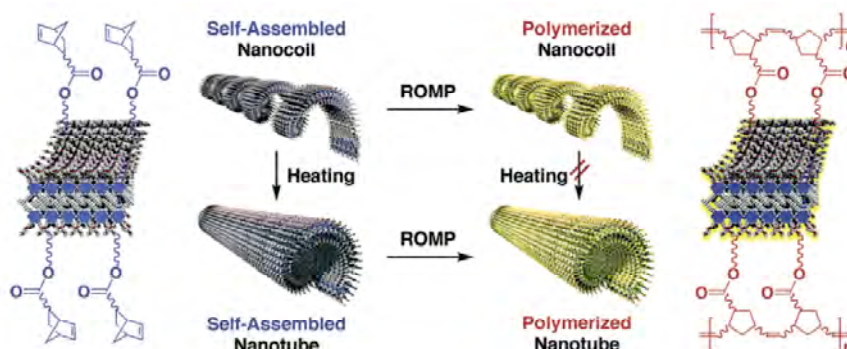


図10. ノルボルネンを有する両親媒性 HBC の自己組織化と ROMP による構造安定化.

ナノソレノイドとしての機能発現を目指した展開

本プロジェクトでは、分子ソレノイドの実現を究極の目標としている。これまで様々な HBC 誘導体について検討してきたが、この目的を実現するための格好のモチーフとなる一方巻きコイル状ナノ構造体の選択的合成を達成するには至っていなかった。本研究では、上述のノルボルネン置換グラファイトナノコイルの巻き方向を制御するための方法論を模索し、一方巻きのラセンキラリティーを有するナノコイルの構築を実現した。具体的には、ノルボルネン部位を有する両親媒性 HBC のナノコイルの形成過程において、キラル側鎖を有するノルボルネン-HBC 誘導体の共自己組織化により不斉増幅現象が働くことを見出した (図11)。また、このナノコイルをヨウ素に晒す事により HBC 部位の部分的酸化が進行し、半導体的な導電特性を示すことを明らかにした。この成果は、分子ソレノイドの実

現に向けた大きな進歩であり、Angewandte Chemie 誌 (*Angew. Chem. Int. Ed.* **2008**, 47, 1672–1675) に報告した。



図 1 1. 導電性を示すグラファイトナノコイルの構築.

グラファイトナノチューブ形成のための分子構造パラメーターと集積構造の解明

自己組織化によるナノ材料設計において、コンポーネント分子と自己組織化挙動の相関を詳細に調べることは重要な課題である。これに関連して、エチレンオキシ基からなる親水性側鎖の長さを様々に変化させた HBC 誘導体 (図 1 2) の自己組織化を検討した結果、トリエチレンオキシ基、ジエチレンオキシ基、エチレンオキシ基、メトキシ基を有する HBC 誘導体ではいずれも、ナノチューブ構造体を与えることが明らかになった。すなわち、両親媒性はナノチューブを形成するための不可欠な要素でない。一方、疎水性置換基を取り除いたり、2つのフェニル基を取り除いた HBC 誘導体では、ナノチューブの形成は見られないことから、これらの分子部位はナノチューブ構造体の形成には欠かせない構造部位であることを明らかにした。

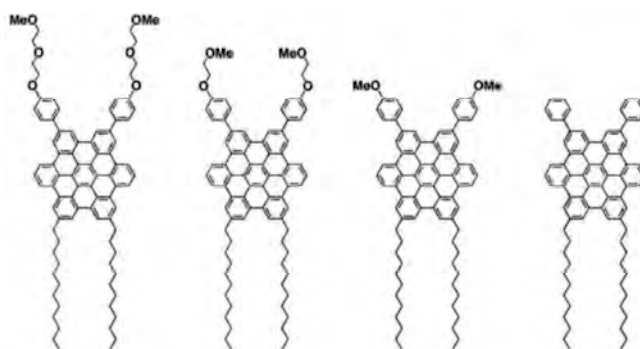


図 1 2. 異なる長さの親水性置換基を有する双頭型 HBC 誘導体.

分子集合体における詳細な分子配列構造を解明することは、それらの機能、物性を開拓する上で重要と考えられるが、通常の測定方法により詳細に構造決定することは容易ではない。しかしながら、より詳細な構造解析を行う上で、ナノチューブが一軸方向に配向した試料が必要不可欠である。本グループでは、キラル部位を有する HBC 誘導体からなる一方巻きナノチューブ (*Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2005**, 102, 10801–10806.) が、一ヶ月ほど溶媒中に放置すると、数百ミクロン程度まで成長したナノチューブ同士が絡み

合い、激しくバンドル化することを見出した。そこで、先端部を釣り針状に加工したガラス棒を用いて、この懸濁液からナノチューブバンドルを引き上げることで、ナノチューブが一方向に並んだ、長さ数センチ程度のファイバーを作製することに成功した (*Adv. Mater.* **2006**, 18, 1297–1300.)。このファイバーを用いて、大型放射光施設 Spring-8 による高輝度 X 線回折実験を行った結果、**図 1 3** に示す鮮明な 2 次元 X 線回折像を得た。詳細な解析の結果、**図 1 4** に示すように、HBC 部位はあたかも螺旋階段のように螺旋を形成しながら巻き上がり、ナノチューブ構造を形成していることを明らかにした (*J. Am. Chem. Soc.* **2008**, 130, 9434–9440.)。上記の分子構造パラメーターと併せて考えると、HBC コアに付加したフェニル環が HBC 平面に対し約 27° ねじれることにより HBC の積層にオフセットを与え、結果としてらせん構造が誘起されていることが推定できる。

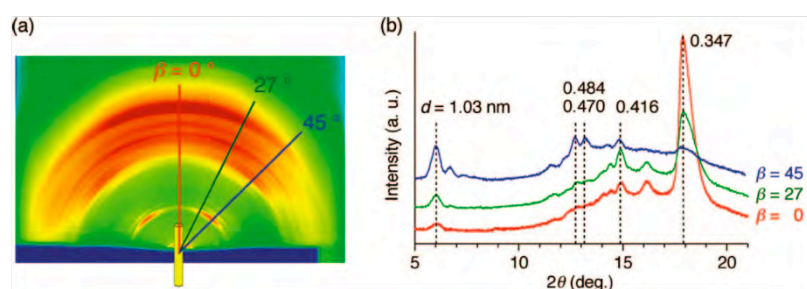


図 1 3. 2 次元 X 線回折像とその断面プロファイル。

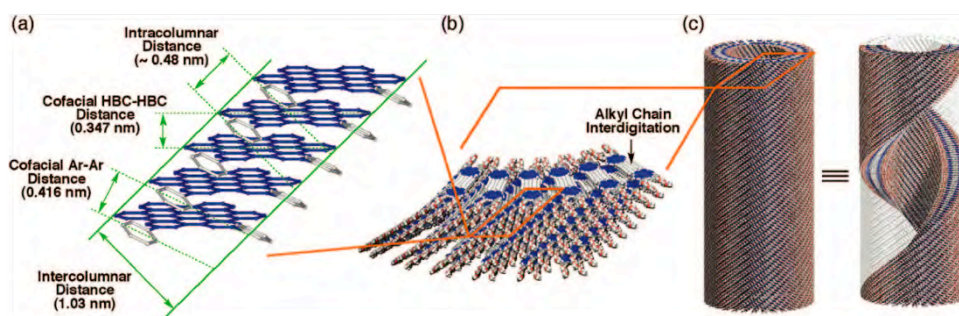


図 1 4. グラファイトナノチューブにおける分子配列構造の模式図。

4. 1. 2. 有機半導体液晶における分子配列制御と光電子機能

(1) 実施の内容

本研究項目では、有機半導体材料の液晶化による分子配列制御、液晶相構造制御、および様々な新規物性の発現をめざした。とりわけ、電子供与体 (D) と受容体 (A) のナノ相分離構造は、有機半導体材料による高効率な光電変換機能を実現する上で、極めて重要である。本研究では、側鎖の相互不溶性を利用して、液晶中における D と A の分子層レベルでの配列制御を試みた。また、光キャリアの長寿命化も光電変換機能における重要な要素である。これを実現するため、側鎖への様々な官能基の導入を検討し、極めて長い光キャリア寿命を示す液晶材料の創成を実現した。さらには、3 次元的な電荷輸送経路を有する極めて珍しいディスコティック液晶相を発現する系を見出した。ディスク状分子は積層

して1次元的なカラムナー構造をとることがほとんどであるが、そのような場合に電子機能を得るためにはカラムをチャンネル方向に配向させる必要がある。本研究で実現した双連続立方相液晶は、等方的な電荷輸送パスを有していることから、配向制御の必要がなく、デバイス作製におけるプロセスの簡便化が期待できる系である。

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

オリゴチオフェン-フラーレン連結分子からなる光伝導性液晶

本グループでは、分子レベルでのD/Aヘテロ接合の構築について検討してきた。その一環として、Dとしてのオリゴチオフェン誘導体とAとしてのフラーレン誘導体を連結した分子に、左右非対称に親水性側鎖と疎水性側鎖を導入した分子をデザインした。この分子が液晶を形成する際に、親水/疎水側鎖の相互不溶性の効果により、DとA部位がそれぞれで集積し合い、結果として分子層レベルでのD/Aナノ相分離構造が実現することを見出した(図15左)。参照物質として、両末端に疎水側鎖を付与した分子からなる液晶(図15右)を合成し、光電導性の比較を行った結果、明らかに両親媒化により明確な相分離構造を実現している系の方が、大きな光電流と光キャリアの長寿命化を実現していることが明らかになった。これらの特性は、今後この分子を用いて有機薄膜太陽電池を作製する上で、非常に重要な特性と考えられる(*J. Am. Chem. Soc.* **2008**, *130*, 8886–8887.)。

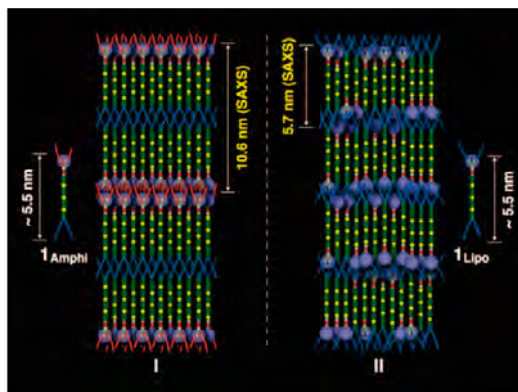


図15. 両親媒性オリゴチオフェン-フラーレン誘導体によるD/Aナノ相分離構造。

エステル基を付与した液晶性ヘキサベンゾコロネンによる光キャリアの長寿命化

一般に、拡張パイ共役平面をコアに有する分子の液晶相転移温度は100℃以上であり、室温で利用可能な光電導性を持つ液晶開発の妨げとなっている。本グループでは、アルキル鎖末端にオリゴオキシエチルエステルを有するHBC誘導体が室温以下まで安定に液晶を形成することを発見した。さらに、この液晶相の光電導挙動について調べた結果、エステル部位の導入により、光誘起キャリアの寿命がこれまで報告されているHBC誘導体よりもおよそ1万倍も長くなり、数十ミリ秒にも達することを見出した(図16)。光キャリアの長寿命化は、光電変換素子の高効率化における重要な要素の一つであり、このような分子設計戦略が、今後有機光電変換材料の開発における設計指針の一つになる可能性を示唆するものである(*Chem. Asian J.* **2009**, *4*, 876–880.)。

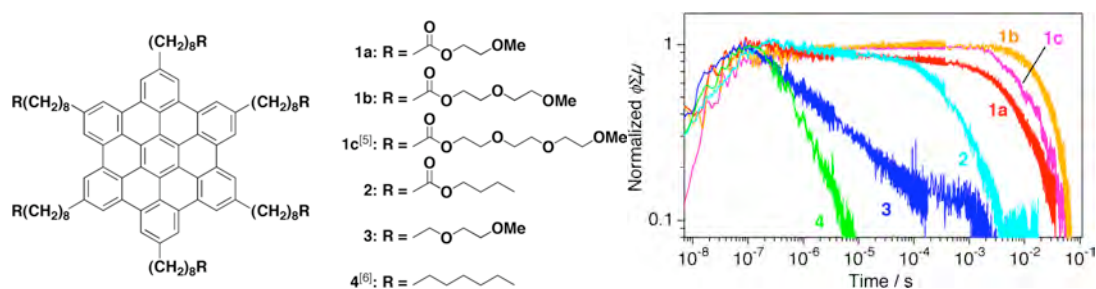


図 16. エステル置換 HBC 誘導体の分子構造と光キャリアの長寿命化。

イミダゾリウム置換トリフェニレン誘導体における双連続立方相の実現

一般にディスク状分子は、積層して一次元カラムを形成し、これがさらに二次元的に集積して液晶相を発現する。電荷キャリアは一次元カラムを通じて流れるため、カラムナー液晶 (Col_h ; 図 17b 下) は一次元カラムに沿った方向に大きな電導性を示す。これまで「電荷輸送経路を持つディスコティック液晶といえばカラムナー相」というのが常識であった。しかし、ディスク状分子が形成するカラムを三次元的に集積できれば、あらゆる方向に高い電荷輸送経路をもつ液晶性有機半導体を実現できる可能性がある。ERATO プロジェクトでは、トリフェニレンにイミダゾリウム塩を付与した誘導体 (図 17a, $\mathbf{1}_{10}$) が高温領域 (70–114 °C) にて Col_h 液晶相を発現することを報告してきた (*Chem. Commun.* **2005**, 101–103.)。しかしながら、室温から 70 °C 付近まで暗視野偏光顕微鏡像として観測される液晶相がどのような形態をとっているのかに関しては不明であった。そこで、本研究では大型放射光施設 SPring-8 での高輝度 X 線回折測定を行い、相構造について検討した。その結果、この相が双連続立方相 (Cub_{bi} ; 図 17b 上) であることを明らかにした。ディスク状分子が室温において双連続立方相を形成する初めての例である。さらに、様々なトリフェニレン誘導体 $\mathbf{1}_n \sim \mathbf{3}_n$ (図 17a) の液晶の挙動についても検討した結果、周辺のアルキル側鎖が長くなるほど ($n = 10 \rightarrow 14$)、 Cub_{bi} 相を発現する温度範囲が拡大することが明らかになった。中でも $\mathbf{1}_{14}$ は Col_h 相をまったく発現せず、室温以下から 200 °C 以上まで Cub_{bi} 相を安定にとるという結果は特筆すべきである。

これまでに、ディスク状分子からなる Cub_{bi} 相はほとんど例が無く、その電気的特性は未知である。そこで、室温で Cub_{bi} 相を形成するトリフェニレン誘導体 $\mathbf{1}_{10}$ の電気伝導度を測定したところ、 Col_h 相を形成する類似物質とほぼ同等の値であることを見いだした。しかも、イミダゾリウム塩を有する誘導体の光キャリア寿命 (0.64 ミリ秒) は、単純なアルキル基を側鎖とするトリフェニレン $\mathbf{4}$ (0.004 ミリ秒) に比べて 2 桁以上も長いことが明らかになった。これらの結果から、三次元の電荷輸送経路を持つ Cub_{bi} 相が、新しい液晶性有機半導体のモチーフになることが実証できた。また、物質科学の観点からも、「なぜこのような構造の分子が Cub_{bi} 相を形成するのか？」という興味深い問題を提起しており、今後の研究の発展が期待される。これらの成果をアメリカ化学会誌に発表し、該当号の表紙に選出された (*J. Am. Chem. Soc.* **2009**, *131*, 17722–17723.)。

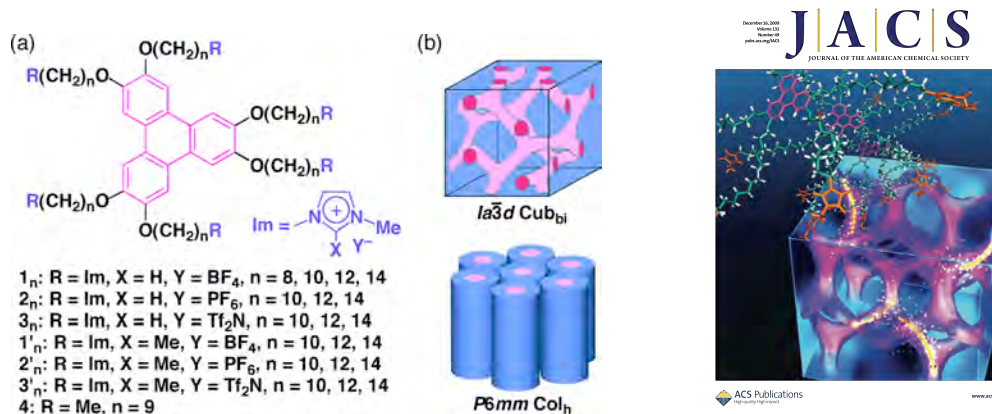


図 17. 様々なイミダゾリウム置換トリフェニレン誘導体の分子構造と、双連続立方相および六方晶カラムナー相の模式図、および表紙絵。

4. 1. 3. カーボンナノチューブ複合体によるフレキシブルエレクトロニクス

(1) 実施の内容

オールプラスチックエレクトロニクスの実用化のためには、柔軟で伸縮性のある導電性材料による基板や電気配線の作製が不可欠である。しかしながら、これまで高分子材料などのソフトマテリアルでその要請を満たすほどの高導電性を有する材料は存在しない。一方、ERATO 相田ナノ空間プロジェクトでは、カーボンナノチューブ (CNT) と混合することによりイオン液体がゲル化するという現象を見出した。本研究プロジェクトでは、この発見をより発展的に展開すべく、空中作動アクチュエーター、伸縮性集積回路シート、伸縮性有機電界発光シートなどへの応用をめざし研究を進めた。

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

バッキーゲル自立薄膜の作製と機械・電気特性

重合部位を付与したイオン液体と CNT を乳鉢中で混合してゲル状とし、テフロンシートで挟んで薄膜状とした後、重合反応を進行させることにより、写真に示すような自立薄膜の作製に成功した (図 18)。CNT を加えずに形成したシートと比較し、CNT をわずか 7 重量パーセント混合するだけで、シートの強度は 120 倍にも増大する。また、電気伝導性は、3 重量パーセントの CNT の添加により 3 桁以上 ($10^{-4} \rightarrow 10^{-1} \text{ S cm}^{-1}$) 向上し、10 重量パーセント添加したシートでは 1 S cm^{-1} にも及ぶことを明らかにした (Small 2006, 2, 554–560)。



図 18. カーボンナノチューブとイオン液体の複合化とポリマー化による自立薄膜の形成。

バッキーゲルを用いた空中作動アクチュエーター

バッキーゲルは、導電性を担う CNT と電場に応じて移動可能なイオンからなる。この特徴を利用し、バッキーゲルのアクチュエーターとしての応用展開を試みた。図 19 に示すように、高誘電性のポリフッ化ビニリデン層をバッキーゲルでサンドイッチした 3 層型素子を開発した。この素子に電圧を印加すると、わずか 3 V の印加により素子の大きな変形・屈曲が発生し、10 Hz 程度の周波数においても屈曲・伸張を再現よく繰り返す。不揮発性のイオン液体を用いることで、室温・大気下での連続作動が可能になったばかりでなく、CNT を電極として用いることで金属電極の使用を最小限に抑え、作製プロセスの簡便化・低コスト化を実現した (*Adv. Mater.* **2009**, 21, 1582–1585.)。

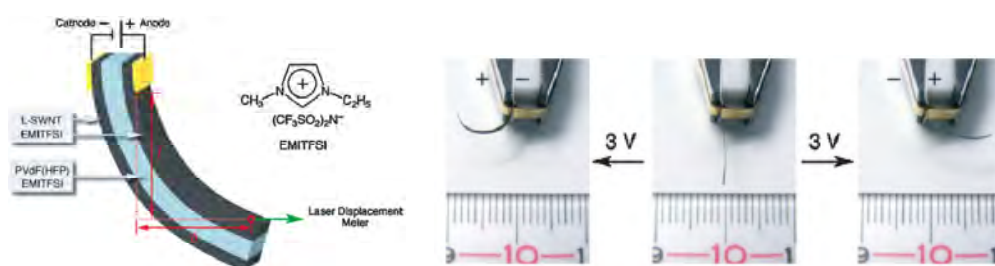


図 19. カーボンナノチューブ/イオン液体複合体（バッキーゲル）から作製した空中作動アクチュエーター。

バッキープラスチックによる伸縮可能な有機半導体デバイス集積体の構築

バッキープラスチックは伸縮性が高く、引き延ばした状態でも高導電性が維持される。この特徴を利用し、有機トランジスタからなるアクティブマトリックス集積回路をバッキープラスチックで配線したシート状素子を開発した。このシートを 1 軸あるいは 2 軸方向へ 70% 程度伸張した場合にも、この素子は機械的にも電子的にも損なわれることなく作動した (図 20)。この伸縮可能なフレキシブル電子回路は、でこぼこした表面や、ロボットアームのジョイント部位のような可動部分に設置することができるため、今後のさらなる応用展開が期待できる (*Science* **2008**, 321, 1468–1472.)

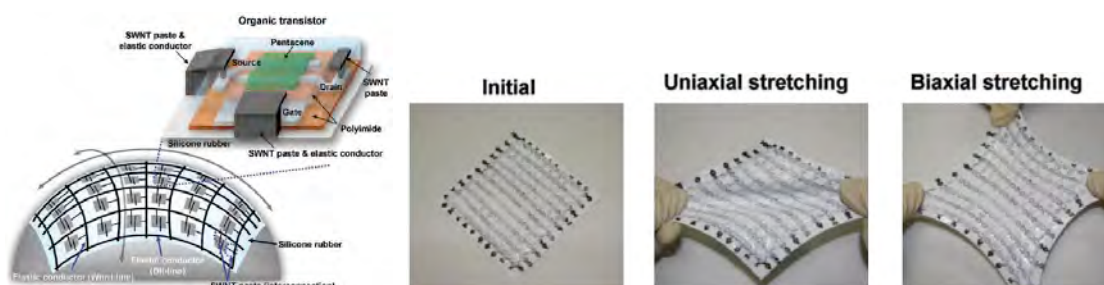


図 20. バッキープラスチックを用いた伸縮性有機半導体デバイスの模式図と、1 軸および 2 軸方向への伸縮性。

バッキープラスチックのエレクトロニクス応用をさらに発展させ、有機電界発光素子をバッキープラスチックを用いて配線した伸縮性表示デバイスを PDMS シート上に構築した (図 21)。その結果、市販されている導電ゴムを使用した場合と比較して、同電圧下、電

流値が30倍、発光輝度が50倍にも達し、銅による配線と比較してもほぼ遜色ない値を示した。また、シートの伸張や屈曲に対しても性能の低下は見られなかった。(Nature Mater. 2009, 8, 494–499.)

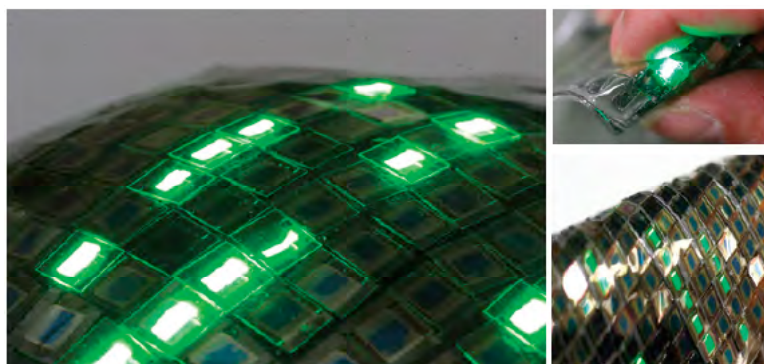


図21. ゴム状伝導体のプリントプロセスによる伸縮性有機発光素子表示デバイス。

4. 1. 4. 機能性超分子・ゲルの開発

(1) 実施の内容

本研究項目では、超分子集合体による機能性材料、とりわけ、自然・環境に優しい材料の開発に向けた研究を推進した。特に、粘土とデンドリマーバインダーからなり、水を主成分とする機能性ハイドロゲル、高い光電変換機能を有するデンドリマーポルフィリン、オリゴチオフェンペリレンジイミドナノファイバーの開発を行った。また、熱および機械的刺激に応じて結晶構造と色が劇的に変化する金属錯体集積体を発見した。

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

粘土とデンドリマーバインダーからなる高含水ハイドロゲル

本プロジェクトでは、親水性の高分子の両末端をカチオン性のデンドロン基で修飾した高分子化合物を設計し、デンドロン基とクレイの層の表面との相互作用を利用してクレイ層を親水性高分子で非共有結合的に架橋して形成される網目構造に水を保持させるという基本構想のもとに、強度のあるアクアマテリアルの開発に取り組み、約95%の高含水率と0.5 MPa（メガパスカル）の高剛性を併せ持ち、形状保持性と自己修復性を持つ透明なアクアマテリアルの開発に成功した。この剛性は天然物由来のアクアマテリアルとして知られ、このアクアマテリアルとほぼ同等の水分を有しているこんにゃくの強度の約500倍に相当する。ハイドロゲル（アクアマテリアル）の作り方としては、共有結合による架橋構造を利用する方法と非共有結合による超分子的方法が知られているが、本プロジェクトでは非共有結合による方法を選んだ。それは、混ぜるだけで簡単に作れることと自己修復性が期待できるためである。

今回開発に成功したアクアマテリアルは、水、クレイナノシート、両末端デンドロン化高分子（Gn-binder; nは末端デンドロンの世代数：図22左上）、ポリアクリル酸ソーダ（ASAP）の4つの成分からできている。クレイは天然に存在する安価な粘土鉱物で、クレイナノシートが層状に積み重なった構造を持っている。ASAPの水溶液とクレイを混合すると積層したクレイナノシートのエッジの正に帯電した部分がアニオン性のASAPに覆わ

れてクレイを構成するクレイナノシートが1枚1枚はがれて、水中に均一に分散する。この分散液を攪拌しながら親水性のポリエチレングリコール（数平均分子量は、10,650）鎖の両末端を、末端にグアニジニウムカチオン）を有するデンドロン基で修飾した Gn-binderを加えると、グアニジニウムカチオンが多数のオキシアニオンの存在するクレイナノシートの表面と相互作用して、長いポリエチレングリコール鎖を介してクレイナノシートを結合し3次元の網目構造を形成して透明なハイドロゲルが生成する（図22右上）。

このハイドロゲルに強い力を加えるとゲルの構造が破壊されて擬液体状態となりますが、力を取り除くと直ちにハイドロゲルの状態に戻り、剪断力の付加—解除を繰り返しても再現性よく擬液体—ハイドロゲルの転移が繰り返されることから、このハイドロゲルが優れた自己修復性を有することが明らかとなった。興味深いことに、このハイドロゲルのブロックをスライスして得た断片を、スライスした直後に貼り合わせれば容易に新たなブロックが形成される（図22下）。さらに、このハイドロゲルが生理活性のあるたんぱく質を変性させることなくゲル内に取り込むことができる（*Nature* 2010, 463, 339—343.）。

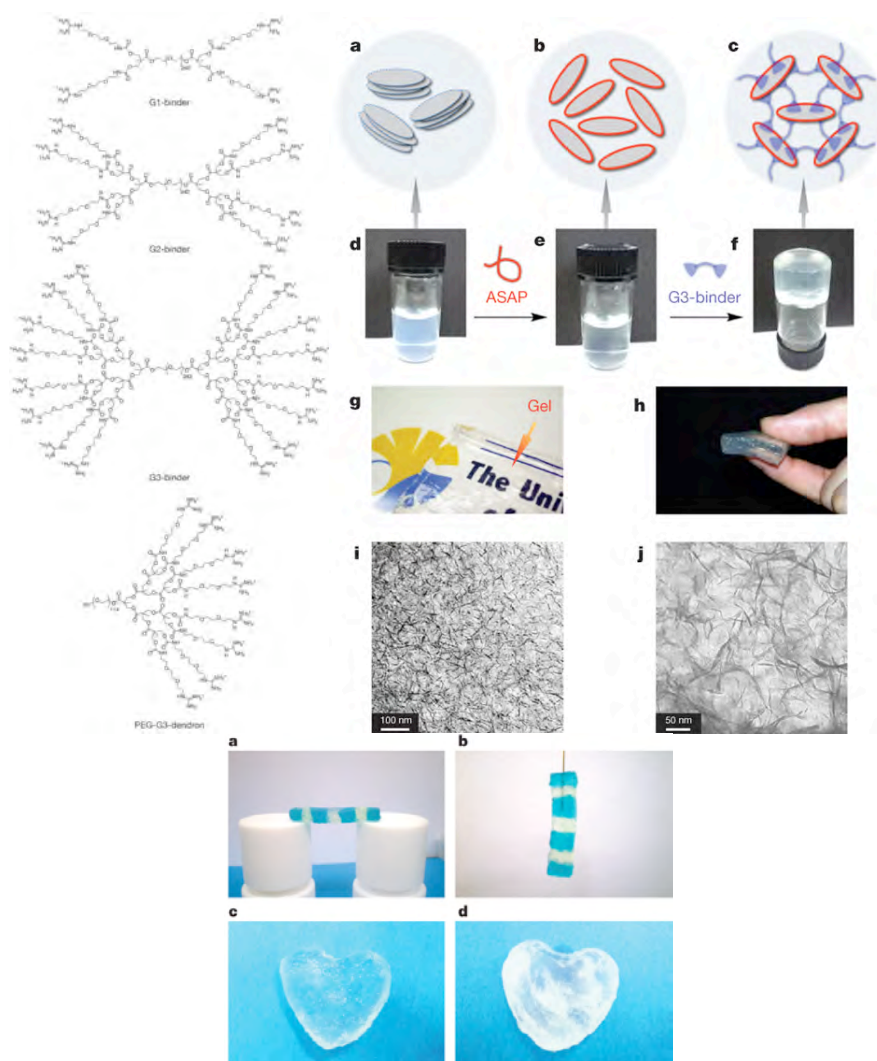


図22. Gn-binder ($n=1-3$) の分子構造（左上）、ハイドロゲルの作り方（右上 a– f）、透明性（右上 g, h）、透過型電子顕微鏡写真（i, j）、およびメチレンブルー着色ゲルと未着色ゲルの貼り合わせブロック（下 a, b）、賦型したハイドロゲル（下 c）、THF で置換したゲル（下 d）。

デンドリマーポルフィリン車輪による光捕集とエネルギー移動システムの構築

ポルフィリンデンドリマーの外表面に、電子アクセプターとしてフラーレン誘導体を超分子相互作用により導入し、多数の電子ドナー・アクセプターアレイを有するデンドリマーを構築した (図23)。このデンドリマーアレイはサイズ排除クロマトグラフィーにより分離精製できるほど安定であった。ポルフィリン部位を光励起すると、フラーレンへの電子移動により電荷分離状態が達成された。また、デンドリマーの世代が増すにつれ電荷分離速度は増大するのに対して、電荷再結合速度は世代に依存しないことも見出した (*J. Am. Chem. Soc.* **2006**, 128, 10527–10532, *Chem. Eur. J.* **2006**, 12, 7576–7584.)。

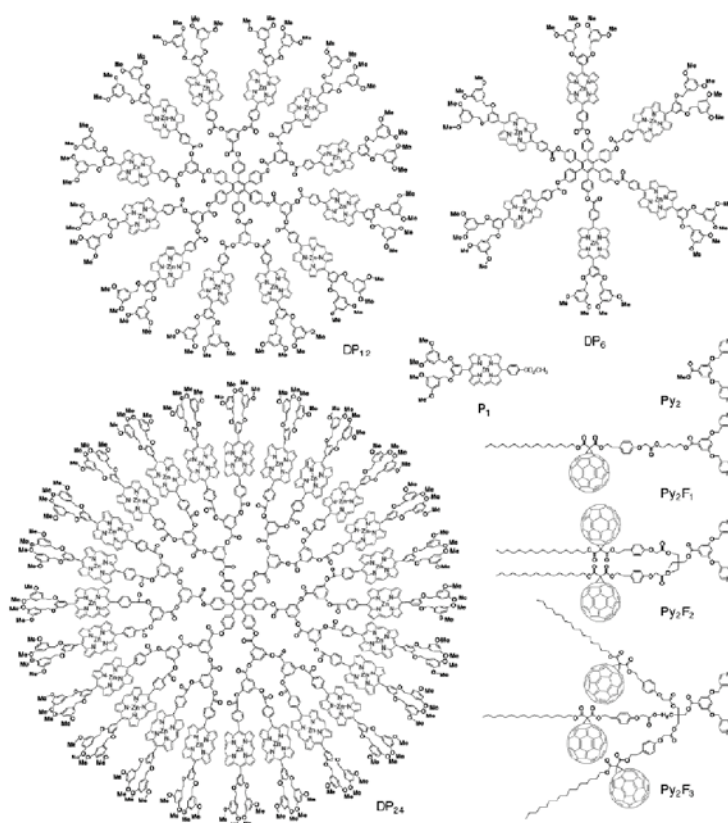


図23. デンドリマーポルフィリン車輪分子とフラーレン誘導体の分子構造.

オリゴチオフェン-ペリレンジイミド連結分子からなる光伝導性ナノワイヤー

本プロジェクトでは、分子レベルでの電子供与体 (D)、受容体 (A) 層のヘテロ接合の構築について検討してきた。これまでに、Dとしてオリゴチオフェン誘導体、Aとしてフラーレン誘導体を用い、親水側鎖と疎水側鎖の相互不溶性を利用した D/A 相分離構造の構築について発表した (*J. Am. Chem. Soc.* **2008**, 130, 8886–8887.)。本研究では、側鎖の影響による D/A ヘテロ接合の実現をより明確に証明するため、A部位としてペリレンジイミドを用いた。自己凝集しやすいフラーレンに比べ、ペリレンジイミドは種々の電子供与体と D/A 錯形成しやすいため、側鎖の相互不溶性による D/A 相分離構造の形成を証明するのに適していると考えられる。結果、たしかに両親媒性側鎖を導入した場合に、D/A のナノ相分離構造が形成することを見出した (図24) (*Chem. Asian J.* **2010**, 5, 1566–

1572)。また、当該号の中表紙に選出された。

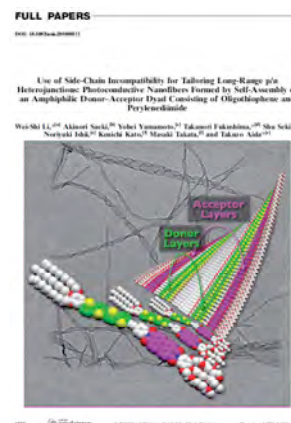
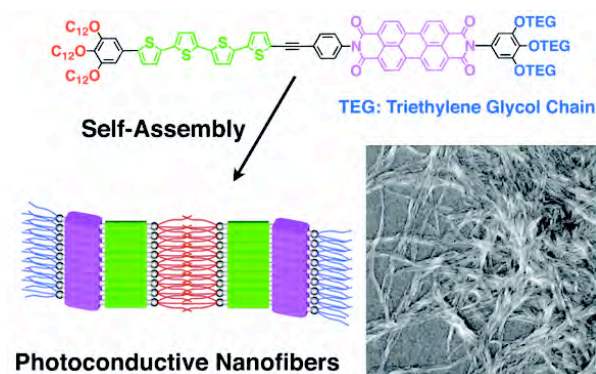


図 2 4. 両親媒性オリゴチオフェン-ペリレンジイミド誘導体による D/A ナノ相分離構造の模式図と電子顕微鏡写真、および中表紙。

4. 2. “分子ナノ構造体の物性・機能” (ナノデバイスグループ)

4. 2. 1. グラファイトナノチューブの電子・光電子・磁気機能と配向制御

(1) 実施の内容

本グループでは、ナノソフトマテリアルグループにて構築したグラファイトナノチューブを基盤とした徹底的な機能化・物性発現に主眼をおき、集中的な検討を行った。特に、グラファイトナノチューブを用いた光電変換機能の発現と物性の最適化・制御方法の確立、グラファイトナノチューブの電子機能、磁気機能および電荷輸送メカニズムについて追究した。さらには、グラファイトナノチューブの配向を制御するための方法論について開拓した。

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

HBC-C₆₀ 同軸ナノチューブによる両極性電荷輸送

これまでに本プロジェクトでは、電子受容体としてトリニトロフルオレノン (TNF) が表面を覆ったヘキサベンゾコロロン同軸ナノチューブの構築および光導電性の発現に関して報告してきた。しかしながら、TNF は電子受容体としては機能するものの、電子輸送特性はあまりよくない。太陽電池としての特性を得るためには、電子とホール両方が効率よく流れる必要がある。そこで、TNF より優れた電子輸送能を持つフラレン誘導体を電子受容性ユニットとして導入した HBC-C₆₀ を設計し、その自己組織化を検討した。その結果、表面にフラレンが高密度で集積した同軸グラファイトナノチューブの構築に成功した (図 2 5 a)。このナノチューブは、有機太陽電池に必要な構成要素のすべてを一本のナノチューブ内に兼ね備えている。すなわち、電子輸送層、ホール輸送層、およびこれらが約 1 ナノメートルの絶縁層を介した広い接触面積でのヘテロ接合である。独自に開発した 1 次元ナノ構造体のための横方向チャネルデバイス (図 2 5 b) を用いて光起電力特性を測定した結果、このナノチューブは顕著な光起電力特性を示すことを明らかにした。さら

に、HBC-C₆₀とフラーレンが付加していないHBCのコアセンプリーにより表面のフラーレン密度を任意に制御したナノチューブの構築に成功し（図25a）、それらの電荷輸送特性、光電子物性を詳細に検討した結果、電子とホールがバランスよく流れるときに、最も大きな光起電圧が発生することを見出した（図25c）。このことは、バルク試料においては広く知られた特性であるが、ナノ構造体においてもその法則が成り立つことを明確に示すことができた。また、今後の課題として、このようなナノメートルスケールの構造体からバルクとしての特性を引き出すためのデバイス開発に関する研究が必要と考えられる（*Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2009**, *106*, 21051–21056.）。

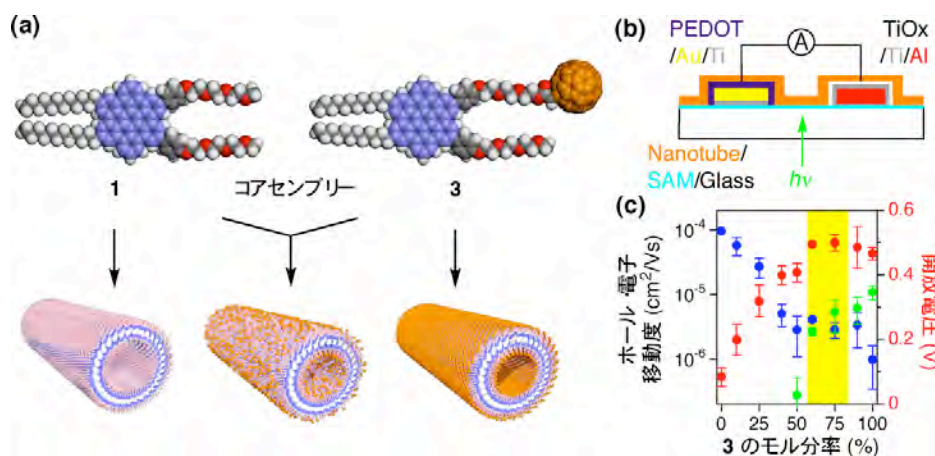


図25. (a) HBC-C₆₀の分子構造と表面のC₆₀密度を制御した同軸ナノチューブ. (b) 横方向チャネルP Vセルの構造模式図. (c) HBC-C₆₀のモル混合比に対する、ホール移動度、電子移動度、開放電圧のプロット.

フォトクロミズムを利用したグラファイトナノチューブの光伝導性制御

コアセンプリー法によりグラファイトナノチューブ表面の電子受容体 (TNF, C₆₀) 密度を制御することにより、ナノチューブの光伝導性や光起電力特性を制御できることを上で示した。この方法は物性を最適化する上で大変有効であるが、ナノチューブ表面を覆う分子の電子受容機能を外部刺激により制御することが出来れば、一つのコンポーネントから光伝導性のオン・オフや連続的な変調が可能となる。フォトクロミック分子であるジチエニルエテン (DTE) は、紫外/可視光照射により開環/閉環状態を可逆的に変化させることが出来るが、その際に DTE 部位の電子状態も大きく変化し、閉環状態の時にのみ、HBC に対して電子受容体として機能することが予測される。このような観点から、親水側鎖末端に DTE 部位を付与した HBC 誘導体を合成し、自己組織化について検討を行った結果、DTE 部位の開環/閉環状態の違いに関わりなく、直径 20 ナノメートルのナノチューブを形成することを見出した。さらには、ナノチューブ表面の DTE の開環/閉環状態を紫外/可視光照射により変化させることにより、光伝導性の連続的な変調が可能であることを明らかにした（図26）。この成果を、*Advanced Materials* 誌に発表し、該当号の表紙に選出された（*Adv. Mater.* **2010**, *22*, 829–832.）。

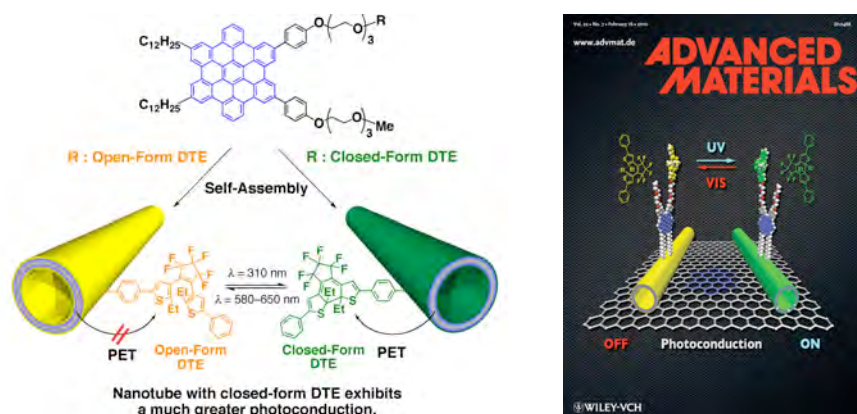


図 26. HBC- DTE の分子構造と形成する同軸ナノチューブの模式図および表紙絵.

グラファイトナノチューブによる電界効果トランジスタの作製

グラファイトナノチューブの壁内には電子活性部位が規則正しく配列していることから、化学ドーピングや光キャリア注入によりこのナノチューブは電気伝導性を示す。そこで、このナノチューブを電子活性層として用いた、電界効果トランジスタ (FET) を作製し、その特性について検討した (図 27)。その結果、ゲートバイアスを負に印加することによりホールが誘起され、典型的な p 型 FET 特性を示すことを明らかにした。また、ナノチューブ表面の親水側鎖がキャリア移動度に与える影響について詳細に調べた結果、側鎖の長さが短くなるに従い、系統的な電界効果移動度の上昇が確認された。低温においてその違いはより顕著になり、表面の側鎖が最も短い ($n = 0$) ナノチューブは 260 K において、最も長い ($n = 3$) ナノチューブに比べ桁以上も高い電界効果移動度を示すことを見出した (*Chem. Lett.* **2009**, 38, 888–889.)。

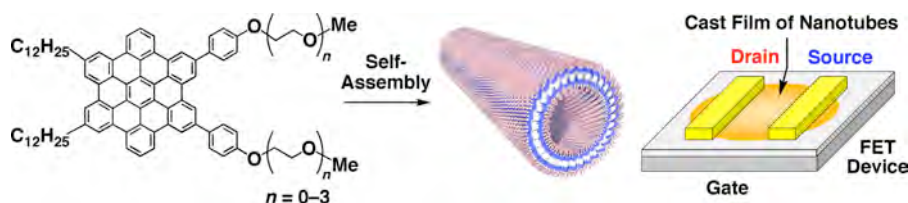


図 27. HBC ナノチューブ薄膜による電界効果トランジスタ.

グラファイトナノチューブにおける異方的電気伝導の検証

高配向性グラファイトナノチューブファイバー (図 28) を用い、ナノチューブ内部の電気伝導性の異方性について検討した。このファイバーをヨウ素蒸気に晒すと、ファイバーの色が瞬時に黄色から濃茶色に変色するとともに ESR 活性となることから、HBC の酸化によりホール (カチオンラジカル) が生成することが確認できる。また、電気抵抗が 7 桁以上も減少 ($10^8 \rightarrow 10 \Omega \text{cm}$) し、半導体的な導電特性を示す。電気伝導度の温度変化測定より、チューブの壁内部で一次元的なキャリア伝導が起きていることが確認できる。さらにはファイバーの長軸方向の電導度が、横方向の電導度に比べ 10–35 倍程度大きいことを明らかにした (*Adv. Mater.* **2006**, 18, 1297–1300. 表紙絵に選出)。また、この異方的電気伝導特性は、非接触法であるフラッシュフォトリシス時間分解マイクロ波電導

測定、E S RおよびNMRの温度変化測定からも実証され、ナノチューブ内におけるらせん電気伝導の可能性を示唆する結果が得られた (*J. Phys. Soc. Jpn.* **2008**, 77, 034710/1–6, *Synth. Met.* **2010**, 160, 275–279.)。

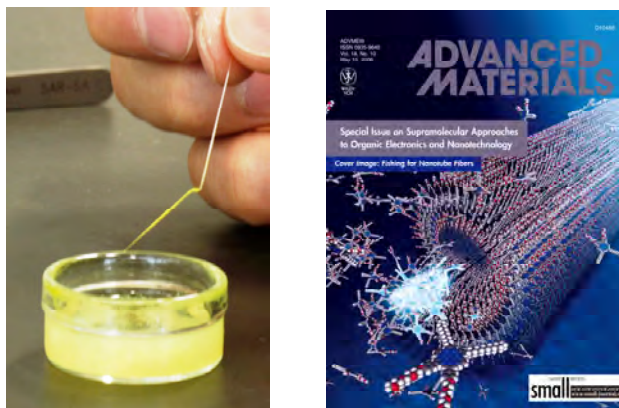


図28. 一方向巻き HBC ナノチューブの引っ張り加工による高配向性ファイバーの写真と表紙絵.

4. 2. 2. 機能性高分子・超分子集合体

(1) 実施の内容

本研究項目では、特異な集合形態や挙動を示す分子・高分子の開発を進めた。具体的には、レドックス反応によるオルトフェニレンオリゴマーのらせん反転挙動、キラリティー制御によるポルフィリン・フラーレン集合体のモルフォロジー制御と光伝導特性、タクティシティー制御によるシクロオレフィンポリマーのモルフォロジー制御、銅フタロシアニン・ペリレンジイミド8量体連結分子からなる光伝導性D/Aコアシェル型ナノファイバー、などに関する研究を行った。

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

パイ電子が高密度に集積したらせん状分子の動的挙動

多数のベンゼン環を一次元に連結したポリフェニレンは、パイ共役系高分子の最も基本的な骨格のひとつである。これまで、多くのパラ型およびメタ型で連結したポリフェニレン類が合成され、超分子構造体の構築や有機エレクトロニクス材料の構成成分として頻繁に利用されている。これに対して、意外にも、ベンゼン環同士をそのオルト位で連結したオルトフェニレン類に関する報告例は極めて限られている。このような背景のもと本プロジェクトでは、オルトフェニレン類がベンゼン環の高度なスタッキングによりユニークなラセン構造をとることに注目し、パイ電子を高密度で有する一次元構造体としての新たな可能性を探るべく、オルトフェニレンオリゴマー・ポリマーの合成に着手した。種々の条件検討の結果、鎖長の長いオルトフェニレンポリマーの構築、さらに末端の置換基の自由な修飾が可能な合成法を確立することに初めて成功した (図29上)。その構造と性質に関する種々の検討の結果、オルトフェニレンはその非常に混雑した構造から予想されるより

も動的であり、溶液中ではラセン反転が進行していることが明らかになった。興味深いことに、オルトフェニレンのラセンは、電子状態の違いに応じてその動的特性が変化する。研究過程において偶然にも我々は、オルトフェニレンオクタマー誘導体がキラル結晶化を起こし、右巻きラセンあるいは左巻きラセンのいずれか一方のコンフォーマーからなる単結晶を与えることを見出した。このオルトフェニレンは結晶中で非常にタイトなラセン構造を形成しているが、溶媒に溶かすとすぐに速いラセン反転によりラセミ化する。−10 °C における CD シグナル強度の半減期はわずか 352 秒しかない。しかしキラルな単結晶を、一電子酸化剤を含む溶液に溶解させると、驚くべきことに、ラセン反転の速度は酸化剤のない溶媒に溶解させた場合に比べて 450 倍も遅くなり、−10 °C における CD 強度の半減期は 44 時間にも達した（**図 29** 下）。高密度に電子を含有するラセン分子の堅さが、パイ電子の出し入れによって制御可能であるという本新規現象は、応答機能材料に新たなデザインコンセプトをもたらすものと期待できる（*Nature Chem.* **2010**, *in press*）。

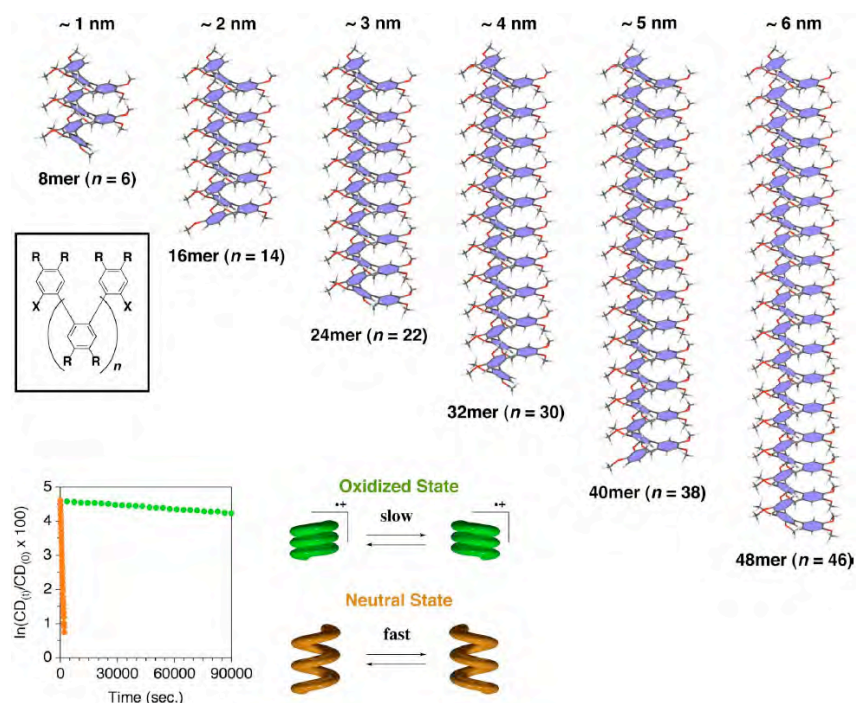


図 29. オルトフェニレンオリゴマーの分子構造とらせん構造の模式図、およびオルトフェニレン 8 量体の中性体（オレンジ）と酸化体（緑）におけるらせん反転速度の違いを反映した CD 強度の時間変化。

キラリティー制御による光伝導性フラーレンーポルフィリンナノファイバー

電子ドナーとアクセプターを適切に組み合わせたダイアッドは、光誘起電子移動のモデルとして幅広く研究されている。一方、ダイアッドを集積化して光導電性材料へと展開するためには、生じたキャリアの移動経路が確保されたドナー・アクセプター分離積層構造の実現が望ましい。本研究では両親媒性構造を有する新規ポルフィリンーフラーレンキラルダイアッド（**図 30** 上）を設計し、その自己組織化と光電子機能について検討を行った。合成したダイアッドのラセミ体と光学異性体を用いて、適当な溶媒条件下で自己集積化を

行った結果、興味深いことに、光学異性体とラセミ体とで集合体の構造に差異が現れることを見出した。すなわち、光学異性体を用いると長さが数 μm にも及ぶファイバー状となり、一方でラセミ体を用いた場合には直径 1 μm 程度の球状構造体となった（**図30**下）。これらの集合体の光導電性を測定した結果、光学異性体からなるファイバーはラセミ体からなる球状構造体に比べ、格段に大きな光導電性を示した。さらに、ファイバー状集合体について Time-of-flight 法によるキャリア移動度の評価を行ったところ、電子・ホール移動度ともに有機物としては高い値を示し、ambipolar な特性を有することが明らかになった。この特性は、有機光電変換材料として非常に重要であり、太陽電池材料への応用が期待できる（*J. Am. Chem. Soc.* **2010**, 132, 6628–6629.）。

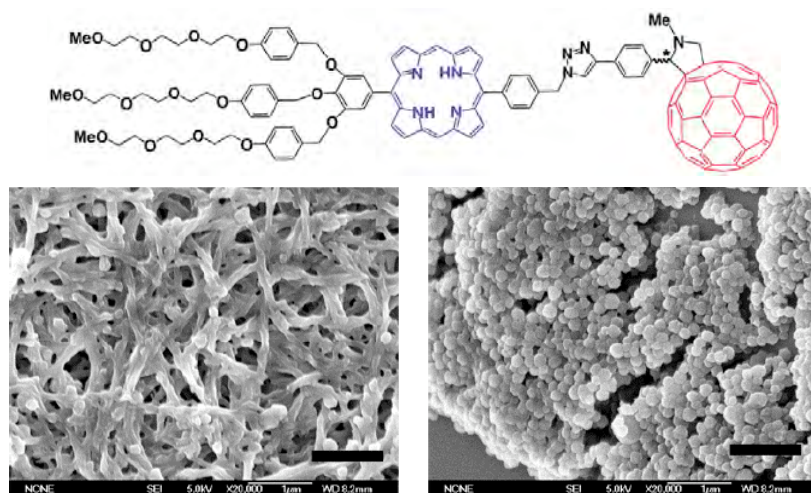


図30．ポルフィリン-フラレン連結分子の分子構造（上）と光学異性体とラセミ体それぞれからなるナノファイバー（左下）および球状構造体（右下）。

高分子矢じりによる立体規則性を制御した自己組織化ナノファイバー

立体特異的配位重合は高分子の主鎖の立体規則性制御によりポリマーの形状を制御するため、ポリマーの微視的な自己集合ならびに巨視的な自己組織化をも制御した精緻な高分子材料を生み出す可能性を秘めている。この立体特異的配位重合においては配位子設計が鍵となることから、本研究では特異形状を有する新規環状窒素系配位子を設計合成した。得られた配位子の Pd(II) 錯体を用いて非共役ジエンの重合を行ったところ、この系で初となるトレオジシンジオタクチック特異的な環化重合が進行し、特異形状を有する新規立体規則性シクロオレフィンポリマーが生成した（**図31**左）。ポリマー溶液の詳細な解析から、得られた特異形状ポリマーが有機溶媒中で自己集合してナノファイバーとなることを見出した。トレオジアイソタクチックなシークエンスに富むポリマー（**図31**右）は集合挙動を示さないため、この自己集合は立体規則性に依存したものである。この特異形状ポリマーは水素結合部位やパイ電子相互作用可能な芳香環を有しない。ファンデルワールス力のみでゲルを与えるポリマーとしてアイソタクチックポリプロピレンなどが挙げられるが、形成される構造体は一般に（球状構造である）球晶が優先される。また、ファンデルワールス力のみでの自己集合によるナノファイバー形成を達成した希有な例としてポリ（メタクリル酸メチル）（PMMA）ステレオコンプレックスが存在するが、得られるナノファイバー

(三重螺旋包摂錯体) は立体規則性の異なる二種類の PMMA から構成されているという点で本系と異なる。

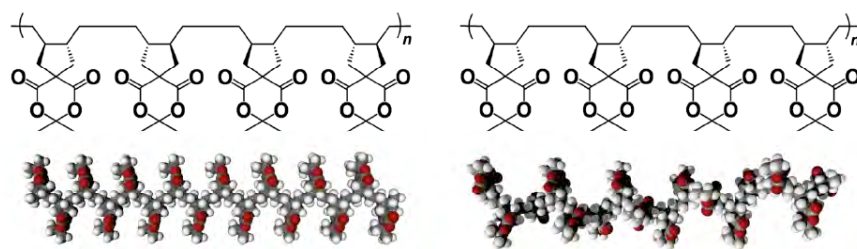


図 3 1. 合成したポリマーの化学構造と 16 量体の CPK モデルの模式図. (左) トレオジシンジオタクチックポリマー、(右) トレオジアイソタクチックポリマー.

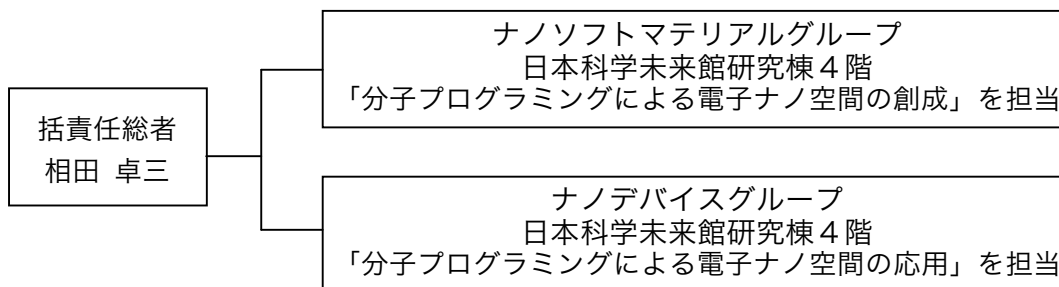
5. 類似研究の国内外の研究動向・状況と本研究課題の位置づけ

有機・高分子材料の自己組織化に基づく「ソフトナノマテリアル」の創成は、次世代を担う材料開発に密接に関連する極めて重要な課題であり、世界中の研究者が有用な材料設計指針と機能を求めて日夜しのぎを削っている。上述したグラファイトナノチューブに関する一連の研究成果は、電子ナノ材料の分野に基礎科学として世界的にも大きなインパクトを与えた。このことは代表論文 (*Science* **2004**, 304, 1481, *Science* **2006**, 314, 1761.) が、発表からそれぞれ6年および4年で被引用回数が280および160を超えていることから明らかであり、関連分野のマイルストーンとして位置づけられている。本研究では、パイ電子系分子をナノ構造体のコンポーネントとすることで、従来からよく知られていた脂質やペプチドからなる自己組織化体とは異なり、ナノスケールの電子活性な表面や空間を構築できることが最大の特徴である。そして、化学的にデザイン可能な表面や数〜十数ナノメートルサイズの内孔を利用することにより、カーボンナノチューブでは実現困難な新しい電子、光電子物性の探求への期待が高まっている。

本研究課題は新しいエレクトロニクス概念とも密接に関連している。すなわち、パイ共役分子・高分子からなる薄膜を利用した電子デバイス、いわゆるプラスチックエレクトロニクスである。従来のシリコンを基盤とするデバイスとはまた異なる特性が期待されるこれらの技術に対して現在強い関心が寄せられ、実用化へ向けた研究開発が、アカデミック、産業界を問わず盛んになされている。その実現のためには、目的とするデバイスに応じて、電極基板上にコンポーネント分子を都合良く配列させる方法論の開拓が鍵となっている。さらにプラスチックエレクトロニクスの先にある目標として、パイ共役系分子を空間特異的に配列してできる構造明確なナノオブジェクトをデバイスの活性層として用いようとする「超分子エレクトロニクス」の概念も提案されている。このような大きな流れの中、自己組織化を利用したパイ電子系ナノ構造体の作製に関する報告が日増しに増大している。しかしながら実際には、その機能開拓まで踏み込んで議論がなされている例は極めて少なく、また、分子集積構造の形態をコンポーネント分子の構造から予測することも未だ困難な問題として残されている。本プロジェクトでは、グラファイトナノチューブをはじめとして、独創的なアプローチにより、機能発現のための分子配列が完璧に制御されたナノ構造体の先駆的な例をいくつか見出し、その成果は国内外から高く評価されている。国際的にみても類い希な「分子化学」と「物性物理学」の融合を基盤とする本研究課題は、まさに電子活性ナノ材料開拓の世界に新機軸を築くものと期待されている。

6. 研究実施体制

(1) 体制



(2) メンバー表

①ナノソフトマテリアルグループ(平成 17 年 10 月 1 日～平成 23 年 3 月 31 日)

氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
福島 孝典	派遣先	JST 研究員	研究全般の企画および推進	平成 17 年 10 月～ 平成 19 年 9 月
三隅 良彦	派遣先	JST 研究員	ヘテロ環縮合芳香族化合物による 低次元半導体ナノ集積体の構築	平成 17 年 10 月～ 平成 18 年 4 月
金 武松	派遣先	JST 研究員	自己組織化ナノチューブの構築全 般	平成 17 年 10 月～ 平成 21 年 6 月
李 維実	派遣先	JST 研究員	マルチポルフィリン デンドリマーの合成	平成 17 年 10 月～ 平成 20 年 9 月
郭 言明	派遣先	JST 研究員	人工ペプチドナノ空間の構築と 光応答機能の開拓	平成 17 年 10 月～ 平成 18 年 5 月
山本 洋平	派遣先	JST 研究員	新規材料の機能評価全般	平成 17 年 10 月～ 平成 20 年 6 月
山本 拓矢	派遣先	JST 研究員	自己組織化ナノコイルの構築全般	平成 17 年 10 月～ 平成 20 年 6 月
張 関心	派遣先	JST 研究員	光電導性および 水分散性ナノチューブの合成	平成 17 年 10 月～ 平成 19 年 9 月
本柳 仁	派遣先	JST 研究員	新規有機半導体の合成と 次元規制ナノ集積体の構築	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 2 月
木本 篤志	派遣先	JST 研究員	ヘテロ接合型ナノ分子集積体の 構築と機能開拓	平成 18 年 4 月～ 平成 19 年 9 月
佐藤 寛泰	派遣先	JST 研究員	新規ラセン状 π 共役オリゴマー の合成と機能開拓	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 6 月
J. Mynar	派遣先	JST 研究員	Janus 型グラファイトナノチュー ブ及びヒドロゲルの創成	平成 19 年 3 月～ 平成 21 年 5 月
張 春	派遣先	JST 研究員	自己組織化ナノコイルの構築全般	平成 19 年 12 月～ 平成 20 年 12 月
Md. A. Alam	派遣先	JST 研究員	新規ヘテロ芳香族化合物による 機能性ソフトマテリアルの設計 と機能解析	平成 19 年 12 月～ 平成 21 年 6 月
F. Hajjaj	派遣先	JST 研究員	新規化合物の合成と自己組織化に よるソフトマテリアルの機能解析	平成 21 年 4 月～ 平成 22 年 3 月

平原 衣梨	派遣先	JST 研究員	新規化合物の合成と自己組織化によるソフトマテリアルの機能解析	平成 21 年 4 月～
小阪 敦子	派遣先	JST 技術員	合成実験全般およびカーボンナノチューブ複合材料の作製	平成 17 年 10 月～ 平成 20 年 3 月
砂 有紀	派遣先	JST 技術員	合成実験全般	平成 17 年 10 月～ 平成 17 年 12 月
本柳 仁	東 京 大 学	技術員	表面架橋能をもつ超分子 ナノチューブの開拓	平成 17 年 10 月～ 平成 18 年 3 月

② ナノデバイスグループ (平成 20 年 7 月 1 日～平成 23 年 3 月 31 日)

氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
山本 洋平	派遣先	JST 研究員	新規材料の機能評価全般と 研究全般の推進	平成 20 年 7 月～ 平成 22 年 10 月
佐藤 寛泰	派遣先	JST 研究員	新規ラセン状 π 共役オリゴマーの 合成と機能開拓	平成 20 年 7 月～ 平成 20 年 12 月
山口 章久	派遣先	JST 研究員	自己組織化グラファイトナノ チューブ・ナノコイルの機能化	平成 20 年 9 月～
朴 致映	派遣先	JST 研究員	新規芳香族化合物の自己組織化に よるソフトマテリアルの 設計と機能解析	平成 20 年 12 月～

7. 研究期間中の主な活動

(1) ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名 称	場 所	参加 人数	概 要
H17. 12. 27	2005 SORST 冬期研究会	日本科学未来館	14	プロジェクト内ミーティング
H18. 08. 10	2006 SORST 夏期研究会	日本科学未来館	14	プロジェクト内ミーティング
H18. 12. 26	2006 SORST 冬期研究会	日本科学未来館	15	プロジェクト内ミーティング
H19. 08. 10	2007 SORST 夏期研究会	日本科学未来館	14	プロジェクト内ミーティング
H19. 12. 26	2007 SORST 冬期研究会	日本科学未来館	15	プロジェクト内ミーティング
H20. 08. 07	2008 SORST 夏期研究会	日本科学未来館	15	プロジェクト内ミーティング
H20. 12. 25	2008 SORST 冬期研究会	日本科学未来館	15	プロジェクト内ミーティング
H21. 08. 03	2009 SORST 夏期研究会	日本科学未来館	15	プロジェクト内ミーティング
H21. 12. 26	2009 SORST 冬期研究会	東大工学部5号館	14	プロジェクト内ミーティング
H22. 08. 02	2010 SORST 夏期研究会	日本科学未来館	10	プロジェクト内ミーティング

(2) 招聘した研究者等

なし

8. 発展研究による主な研究成果

- (1) 論文発表（英文論文 44 件, 邦文論文 16 件,
その他の英文論文(東京大学工学部, 相田研究室) 37 件)

① Original Papers

- [1] Amorphous Carbon-promoted Low-temperature Crystallization of Silica.
Akihiro Okabe, Makiko Niki, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
Chem. Lett. **2006**, 35, 228–229. DOI: 10.1246/cl.2006.228
- [2] Photochemical Stitching of a Tubularly Assembled Hexabenzocoronene Amphiphile
by Dimerization of Coumarin Pendants.
Jin Motoyanagi, Takanori Fukushima, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2006**, 128, 4220–4221. DOI: 10.1021/ja060593z
- [3] Dramatic Effects of Dispersed Carbon Nanotubes on Mechanical and
Electroconductive Properties of Polymers Derived from Ionic Liquids.
Takanori Fukushima, Atsuko Kosaka, Yohei Yamamoto, Takuji Aimiya,
Shunsuke Notazawa, Toshikazu Takigawa, Tamotsu Inabe, and Takuzo Aida
Small **2006**, 2, 554–560. DOI: 10.1002/sml.200500404
- [4] A Glass Hook Allows Fishing of Hexa-peri-hexabenzocoronene Graphitic Nanotubes:
Fabrication of a Macroscopic Fiber with an Anisotropic Electrical Conduction.
Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, Wusong Jin, Atsuko Kosaka, Toshifumi
Hara, Toshikazu Nakamura, Akinori Saeki, Shu Seki, Seiichi Tagawa, and
Takuzo Aida
Adv. Mater. **2006**, 18, 1297–1300. DOI: 10.1002/adma.200502116

- [5] Construction of Segregated Arrays of Multiple Donor and Acceptor Units Using a Dendritic Scaffold: Remarkable Dendrimer Effects on Photoinduced Charge Separation.
Wei-Shi Li, Kil Suk Kim, Dong-Lin Jiang, Hiroyuki Tanaka, Tomoji Kawai, Jung Ho Kwon, Dongho Kim, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2006**, *128*, 10527–10532. DOI: 10.1021/ja063081t
- [6] Relationship between Incoherent Excitation Energy Migration Processes and Molecular Structures in Zinc (II) Porphyrin Dendrimers.
Sung Cho, Wei-Shi Li, Min-Chul Yoon, Tae Kyu Ahn, Dong-Lin Jiang, Jiwon Kim, Takuzo Aida, and Dongho Kim
Chem. Eur. J. **2006**, *12*, 7576–7584. DOI: 10.1002/chem.200600213
- [7] Self-Assembled Graphitic Nanotubes from an Amphiphilic Hexabenzocoronene Bearing Thiol Functionalities: Redox-Mediated Polymerization and Depolymerization.
Jin Motoyanagi, Takanori Fukushima, Atsuko Kosaka, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
J. Polym. Sci. Part A. Polym. Chem. **2006**, *44*, 5120–5127. DOI: 10.1002/pola.21615
- [8] Stabilization of a Kinetically Favored Nanostructure: Surface ROMP of Self-Assembled Conductive Nanocoils from a Norbornene-Appended Hexa-*peri*-hexabenzocoronene.
Takuya Yamamoto, Takanori Fukushima, Yohei Yamamoto, Atsuko Kosaka, Wusong Jin, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2006**, *128*, 14337–14340. DOI: 10.1021/ja064461h
- [9] Photoconductive Coaxial Nanotubes of Molecularly Connected Electron Donor and Acceptor Layers.
Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, Yuki Suna, Noriyuki Ishii, Akinori Saeki, Shu Seki, Seiichi Tagawa, Masateru Taniguchi, Tomoji Kawai, and Takuzo Aida
Science **2006**, *314*, 1761–1764. DOI: 10.1126/science.1134441
(Highlighted in *Nature Nanotech.* **2007**, *2*, 77: News & Views, see also *C&EN*, *Chemistry World*, *Newscientist*, *nanotechweb*, *Technology Review*).
- [10] Spin-Crossover Physical Gel: A Quick Thermoreversible Response Assisted by Dynamic Self-Organization.
Tsuyohiko Fujigaya, Dong-Lin Jiang, and Takuzo Aida
Chem. Asian J. **2007**, *2*, 106–113. DOI: 10.1002/asia.200600371
- [11] Formation of Water-Dispersible Nanotubular Assembly Decorated with Isothiouronium Ion Groups and Its Supramolecular Functionalization.
Guanxin Zhang, Wusong Jin, Takanori Fukushima, Atsuko Kosaka, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2007**, *129*, 719–722. DOI: 10.1021/ja0671518
- [12] Molecular Engineering of Coaxial Donor–Acceptor Heterojunction by Coassembly of Two Different Hexabenzocoronenes: Graphitic Nanotubes with Enhanced Photoconducting Properties.
Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, Akinori Saeki, Shu Seki, Seiichi Tagawa, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2007**, *129*, 9276–9277. DOI: 10.1021/ja073577q
- [13] Radially Diblock Nanotube: Site-Selective Functionalization of a Tubularly Assembled Hexabenzocoronene.
Justin L. Mynar, Takuya Yamamoto, Takanori Fukushima, Noriyuki Ishii, and

Takuzo Aida

J. Am. Chem. Soc. **2008**, *130*, 1530-1531. DOI: 10.1021/ja075822b

- [14] Conductive One-Handed Nanocoils by Coassembly of Hexabenzocoronenes: Control of Morphology and Helical Chirality
Takuya Yamamoto, Takanori Fukushima, Atsuko Kosaka, Wusong Jin, Yohei Yamamoto, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
Angew. Chem. Int. Ed. **2008**, *47*, 1672-1675. DOI: 10.1002/anie.200704747
- [15] Possible One-Dimensional Helical Conductor: Hexa-*peri*-hexabenzocoronene Nanotube.
Toshifumi Hara, Ko Furukawa, Toshikazu Nakamura, Yohei Yamamoto, Atsuko Kosaka, Wusong Jin, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
J. Phys. Soc. Jpn., **2008**, *77*, 034710-1-034710-6. DOI: 10.1143/JPSJ.77.034710
- [16] Improved Bath Sonication Method for Dispersion of Individual Single-Walled Carbon Nanotubes Using New Triphenylene-Based Surfactant.
Tatsuhiro Yamamoto, Yuhei Miyauchi, Jin. Motayanagi, Takanori Fukushima, Takuzo Aida, Masaru Kato and Shigeo Maruyama
Jpn. J. Appl. Phys., **2008**, *47*, 2000–2004. DOI: 10.1143/JJAP.47.2000
- [17] High Performance Fully Plastic Actuator Based on Ionic-Liquid-Based Bucky Gel.
Ken Mukai, Kinji Asaka, Kenji Kiyohara, Takushi Sugino, Ichiro Takeuchi, Takanori Fukushima and Takuzo Aida
Electrochimica Acta., **2008**, *53*, 5555–5562. DOI: 10.1016/j.electacta.2008.02.113
- [18] Amphiphilic Molecular Design as a Rational Strategy for Tailoring Bicontinuous Electron Donor and Acceptor Arrays: Photoconductive Liquid Crystalline Oligothiophene–C60 Dyads.
Wei-Shi Li, Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, Akinori Saeki, Shu Seki, Seiichi Tagawa, Hiroyasu Masunaga, Sono Sasaki, Masaki Takata, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2008**, *130*, 8886-8887. DOI: 10.1021/ja802757w
- [19] Systematic Studies on Structural Parameters for Nanotubular Assembly of Hexa-*peri*-hexabenzocoronenes.
Wusong Jin, Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, Noriyuki Ishii, Jungeun Kim, Kenichi Kato, Masaki Takata, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2008**, *130*, 9434-9440. DOI: 10.1021/ja801179e
- [20] A Rubberlike Stretchable Active Matrix Using Elastic Conductors.
Tsuyoshi Sekitani, Yoshiaki Noguchi, Kenji Hata, Takanori Fukushima, Takuzo Aida and Takao Someya
Science, **2008**, *321*, 1468-1472. DOI: 10.1126/science.1160309.
(selected for “Express On-line Publication”).
- [21] Highly Conductive Sheets from Millimeter-Long Single-Walled Carbon Nanotubes and Ionic Liquids: Application to Fast-Moving, Low-Voltage Electromechanical Actuators Operable in Air.
Ken Mukai, Kinji Asaka, Takushi Sugino, Kenji Kiyohara, Ichiroh Takeuchi, Naohiro Terasawa, Don N. Futaba, Kenji Hata, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
Adv. Mater. **2009**, *21*, 1582–1585. DOI: 10.1002/adma.200802817
(Highlighted by *Nature Asia*).
- [22] Unusual Side Chain Effects on Charge-Carrier Lifetime in Discotic Liquid Crystals.

- Jin Motoyanagi, Yohei Yamamoto, Akinori Saeki, Md. Akhtarul Alam, Atsushi Kimoto, Atsuko Kosaka, Takanori Fukushima, Shu Seki, Seiichi Tagawa, and Takuzo Aida
Chem. Asian J. **2009**, *4*, 876-880. DOI: 10.1002/asia.200800481
- [23] Stretchable active-matrix organic light-emitting diode display using printable elastic conductors.
 Tsuyoshi Sekitani, Hiroyoshi Nakajima, Hiroki Maeda, Takanori Fukushima, Takuzo Aida, Kenji Hata, and Takao Someya
Nature Mater. **2009**, *8*, 494-499. DOI: 10.1038/nmat2459
- [24] Metal Ion-Coated 'Graphite' Nanotubes: Coordination Chemistry for Controlled Self-Assembly of a Pyridyl-Appended Gemini-Shaped Hexabenzocoronene Amphiphile.
 Wei Zhang, Wusong Jin, Takanori Fukushima, Noriyuki Ishii, Takuzo Aida
Angew. Chem. Int. Ed. **2009**, *48*, 4747-4750. DOI: 10.1002/anie.200900756
- [25] Charge Transport Properties of Hexabenzocoronene Nanotubes by Field Effect: Influence of the Oligoether Side Chains on the Mobility.
 Yohei Yamamoto, Wusong Jin, Takanori Fukushima, Takeo Minari, Kazuhito Tsukagoshi, Akinori Saeki, Shu Seki, Seiichi Tagawa, and Takuzo Aida
Chem. Lett. **2009**, *38*, 888-889. DOI:10.1246/cl.2009.888
- [26] Ambipolar-Transporting Coaxial Organic Nanotubes with a Tailored Molecular Graphene-Fullerene Heterojunction.
 Yohei Yamamoto, Guanxin Zhang, Wusong Jin, Takanori Fukushima, Noriyuki Ishii, Akinori Saeki, Shu Seki, Seiichi Tagawa, Takeo Minari, Kazuhito Tsukagoshi, and Takuzo Aida
Proc. Natl. Acad. Sci. USA, **2009**, *106*, 21051-21056. DOI: 10.1073/pnas.0905655106
- [27] 'Bicontinuous Cubic' Liquid Crystalline Materials from Discotic Molecules: A Special Effect of Paraffinic Side Chains with Ionic Liquid Pendants.
 Md. Akhtarul Alam, Jin Motoyanagi, Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, Jungeun Kim, Kenichi Kato, Masaki Takata, Akinori Saeki, Shu Seki, Seiichi Tagawa, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2009**, *131*, 17722-17723. DOI: 10.1021/ja905373d
 (selected as "Front Cover").
- [28] An Analytical System for Single Nanomaterials: Combination of Capillary Electrophoresis with Raman Spectroscopy or With Scanning Probe Microscopy for Individual Single-walled Carbon Nanotube Analysis.
 Tatsuhiro Yamamoto, Yoichi Murakami, Jin Motoyanagi, Takanori Fukushima, Shigeo Maruyama and Masaru Kato
Anal. Chem. **2009**, *81*, 7336-7341. DOI: 10.1021/ac901197v
- [29] High-Water-Content Mouldable Hydrogels by Mixing Clay and a Dendritic Molecular Binder.
 Qigang Wang, Justin L. Mynar, Masaru Yoshida, Eunji Lee, Myongsoo Lee, Kou Okuro, Kazushi Kinbara, and Takuzo Aida
Nature **2010**, *463*, 339-343. DOI:10.1038/nature08693
 (Highlighted by *C&EN*, *New Scientist*, *Nature Protocol*).
- [30] Magnetic Field Effect on the Photocarriers in Self-Assembled Hexabenzocoronene Nanotubes.
 Yusuke Wakikawa, Tadaaki Ikoma, Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida

Synthetic Metals, **2010**, 160, 275-279. DOI: 10.1016/j.synthmet.2009.08.052

- [31] Hexabenzocoronene Graphitic Nanotube Appended with Dithienylethene Pendants: Photochromism for Modulation of Photoconductivity.
Yaning He, Yohei Yamamoto, Wusong Jin, Takanori Fukushima, Akinori Saeki, Shu Seki, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
Adv. Mater. **2010**, 22, 829-832. DOI: 10.1002/adma.200902601
(selected as "Front Cover").
- [32] Shape-directed Assembly of a 'Macromolecular Barb' into Nanofibers: Stereospecific Cyclopolymerization of Isopropylidene Diallylmalonate.
Yasunao Miyamura, Kazushi Kinbara, Yohei Yamamoto, Vakayil K. Praveen, Kenichi Kato, Masaki Takata, Atsushi Takano, Yushu Matsushita, Eunji Lee, Myongsoo Lee, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2010**, 132, 3292-3294. DOI: 10.1021/ja910901e
- [33] Chiroselective Assembly of a Chiral Porphyrin–Fullerene Dyad: Photoconductive Nanofiber with a Top-class Ambipolar Charge-Carrier Mobility.
Yumi Hizume, Kentaro Tashiro, Richard Charvet, Yohei Yamamoto, Akinori Saeki, Shu Seki, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2010**, 132, 6628-6629. DOI: 10.1021/ja1014713
- [34] Use of Side-Chain Incompatibility for Tailoring Long-Range p/n Heterojunction: Photoconductive Nanofibers by Self-Assembly of an Amphiphilic Donor–Acceptor Dyad Consisting of Oligothiophene and Perylenediimide.
Wei-Shi Li, Akinori Saeki, Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, Shu Seki, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
Chem. Asian J. **2010**, 5, 1566-1572. DOI: 10.1002/asia.201000111
(selected as "Frontispiece Picture").
- [35] Form Factor of an N-layered Helical Tape and Its Application to Nanotube Formation of Hexa-*peri*-hexabenzocoronene-based Molecules.
Cilaine V. Teixeira, Heinz Amenitsch, Takanori Fukushima, Jonathan P. Hill, Wusong Jin, Takuzo Aida, Matti Hotokka and Mika Lindén
J. Appl. Cryst. **2010**, 43, 850-857. DOI: 10.1107/S0021889810015736
- [36] Redox-Responsive Molecular Helices with Highly Condensed π -Clouds.
Eisuke Ohta, Hiroyasu Sato, Shinji Ando, Atsuko Kosaka, Takanori Fukushima, Daisuke Hashizume, Mikio Yamasaki, Kimiko Hasegawa, Azusa Muraoka, Hiroshi Ushiyama, and Takuzo Aida
Nature Chem., in press.

② **Other Papers** (東京大学工学部, 相田研究室, 抜粋)

- [1] Nanotechnology-based Photodynamic Therapy for Neovascular Disease Using a Supramolecular Nanocarrier Loaded with a Dendritic Photosensitizer.
Tyuichi Ideta, Fumitaka Tasaka, Woo-Dong Jang, Nobuhiro Nishiyama, Guo-Dong Xiang, Atsushi Harada, Yasuo Yanagi, Yasuhiro Tamaki, Takuzo Aida, and Kazunori Kataoka
Nano Lett. **2005**, 5, 2426–2431. DOI: 10.1021/nl051679d
- [2] Semibiological Molecular Machine with an Implemented "AND" Logic Gate for Regulation of Protein Folding.
Shinichi Muramatsu, Kazushi Kinbara, Hideki Taguchi, Noriyuki Ishii, and Takuzo

Aida

J. Am. Chem. Soc. **2006**, *128*, 3764–3769. DOI: 10.1021/ja057604t

- [3] A Self-Regulatory Host in an Oscillatory Guest Motion: Complexation of Fullerenes with a Short-Spaced Cyclic Dimer of an Organorhodium Porphyrin.
Ayako Ouchi, Kentaro Tashiro, Kentaro Yamaguchi, Takeshi Akasaka, and Takuzo Aida
Angew. Chem., Int. Ed. **2006**, *45*, 3542–3546. DOI: 10.1002/anie.200600478
- [4] “Hermaphroditic Chirality” of a D₂-Symmetric Saddle-Shaped Porphyrin in Multicomponent Spontaneous Optical Resolution: Inclusion Cocrystals with Double-Helical Porphyrin Arrays.
Yukitami Mizuno, Md. Akhtarul Alam, Akihiko Tsuda, Kazushi Kinbara, Kentaro Yamaguchi, and Takuzo Aida
Angew. Chem., Int. Ed. **2006**, *45*, 3786–3790. DOI: 10.1002/anie.200503054
- [5] Mechanical Twisting of a Guest by a Photoresponsive Host.
Takahiro Muraoka, Kazushi Kinbara, and Takuzo Aida
Nature **2006**, *440*, 512–515. DOI: 10.1038/nature04635
(see *C&EN*, *nanotechweb*, *Newscientist*).
- [6] Sensing of Chiral Fullerenes by a Cyclic Host with an Asymmetrically Distorted π -Electronic Component.
Yoshiaki Shoji, Kentaro Tashiro, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2006**, *128*, 10690–10691. DOI: 10.1021/ja063828f
- [7] A Self-Locking Molecule Operative with a Photoresponseive Key.
Takahiro Muraoka, Kazushi Kinbara, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2006**, *128*, 11600–11605. DOI: 10.1021/ja0632308
- [8] From Electron Pump to Proton Channel.
Kazushi Kinbara, and Takuzo Aida
Science **2006**, *313*, 51–52. DOI: 10.1126/science.1130124
- [9] Crystallographic and Chiroptical Studies on Tetraarylferrocenes for Use as Chiral Rotary Modules for Molecular Machines.
Takahiro Muraoka, Kazushi Kinbara, Atsushi Wakamiya, Shigehiro Yamaguchi, and Takuzo Aida
Chem. Eur. J. **2007**, *13*, 1724–1730. DOI: 10.1002/chem.200601098
- [10] Catalysis of a Peptidic Micellar Assembly Covalently Immobilized within Mesoporous Silica Channels: Importance of Amphiphilic Spatial Design.
Wataru Otani, Kazushi Kinbara, Quigmin Zhang, Katsuhiko Ariga, and Takuzo Aida
Chem. Eur. J. **2007**, *13*, 1731–1736. DOI: 10.1002/chem.200601099
- [11] Metalloporphyrin Hosts for Supramolecular Chemistry of Fullerenes.
Kentaro Tashiro, and Takuzo Aida
Chem. Soc. Rev. **2007**, *36*, 189–197. DOI: 10.1039/b614883m
- [12] Chiroptical Sensing of Asymmetric Hydrocarbons using a Homochiral Supramolecular Box from a Bismetalloporphyrin Rotamer.
Junko Aimi, Kazumasa Oya, Akihiko Tsuda, and Takuzo Aida
Angew. Chem. Int. Ed. **2007**, *46*, 2031–2035. DOI: 10.1002/anie.200604330
- [13] Reversible Operation of Chiral Molecular Scissors by Redox and UV Light.
Takahiro Muraoka, Kazushi Kinbara, and Takuzo Aida
Chem. Commun. **2007**, 1441–1443. DOI: 10.1039/b618248h

- [14] A Chemist Sees a Commercial Future for Designer Polymers.
Takuzo Aida
Nature **2007**, *446*, 235. DOI: 10.1038/446234a
- [15] Amplified Chiral Transformation through Helical Assembly.
Kunihiko Toyofuku, Md. Akhtarul Alam, Akihiko Tsuda, Norifumi Fujita, Shigeru Sakamoto, Kentaro Yamaguchi, and Takuzo Aida
Angew. Chem. Int. Ed. **2007**, *46*, 6476-6480. DOI: 10.1002/anie.200701668
(selected as "Inside Cover").
- [16] Spectroscopic Visualization of Vortex Flows Using a Dye-Containing Nanofiber.
Akihiko Tsuda, Md. Akhtarul Alam, Takayuki Harada, Tatsuya Yamaguchi, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
Angew. Chem. Int. Ed. **2007**, *46*, 8198-8202. DOI: 10.1002/anie.200703083
(Selected as "VIP" and "Hot Paper". Highlighted in *Nature Materials* **2007**, *6*, 924; News & Views, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2008**, *47*, 636-638, *Nanotechweb*, and *Chemistry & Industry Magazine*).
- [17] Dendrimer Generation Effects on Photodynamic Efficacy of Dendrimer Porphyrins and Dendrimer-loaded Supramolecular Nanocarriers.
Yuan Li, Woo-Dong Jang, Nobuhiro Nishiyama, Akihiro Kishimura, Satoko Kawauchi, Yuji Morimoto, Sayaka Miake, Takashi Yamashita, Makoto Kikuchi, Takuzo Aida, and Kazunori Kataoka
Chem. Mater. **2007**, *19*, 5557-5562. DOI: 10.1021/cm071451m
- [18] Hosting Fullerenes by Dynamic Bond Formation with an Iridium Porphyrin Cyclic Dimer: A 'Chemical Friction' for Rotary Guest Motions.
Makoto Yanagisawa, Kentaro Tashiro, Mikio Yamasaki, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2007**, *129*, 11912-11913. DOI: 10.1021/ja0747526
- [19] Chirality Sensing of Fullerenes Using Cyclic Hosts Having a Chiral *N*-Substituted Porphyrin: A Remote Substituent Effect.
Yoshiaki Shoji, Kentaro Tashiro, and Takuzo Aida
Chirality **2008**, *20*, 420-424 (Special Issue for the Nina Berova's Birthday).
DOI: 10.1002/chir.20467
- [20] "Directed 1D Assembly of a Ring-Shaped Inorganic Nanocluster Templated by an Organic Rigid Rod Molecule: An Inorganic/Organic Polypseudorotaxane"
Md. Akhtarul Alam, Yeong-Sang Kim, Saho Ogawa, Akihiko Tsuda, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
Angew. Chem. Int. Ed. **2008**, *47*, 2070-2073. DOI: 10.1002/anie.200705308
(selected as "Front Cover").
- [21] Chiral Ferrocenes as Novel Rotary Modules for Molecular Machines.
Kazushi Kinbara, Takahiro Muraoka, and Takuzo Aida
Org. Biomol. Chem. **2008**, 1871-1876 (Emerging Area). DOI: 10.1039/b718982f
(selected as "Front Cover").
- [22] Control of Molecular Structures and Photophysical Properties of Zinc(II)Porphyrin Dendrimers Using Bidentate Guests: Utilization of Flexible Structures of Dendrimer as a Controllable Mold.
Jaesung Yang, Sung Cho, Hyejin Yoo, Jaehong Park, and Dongho Kim, Wei-Shi Li, and Takuzo Aida
J. Phys. Chem., Part A, **2008**, *112*, 6869-6876. DOI: 10.1021/jp800337y
- [23] Translation of Helical Chirality from Polymer into Monomer: Supramolecular

- Polymerization of a Chirality-Memory Molecule with an Asymmetric Pd(II) Complex.
Md. Akhtarul Alam, Akihiko Tsuda, Yoshihisa Sei, Kentaro Yamaguchi, and Takuzo Aida
Tetrahedron **2008**, *64*, 8264-8270 (Special Issue for the Sir Fraser Stoddart's Birthday). DOI: 10.1016/j.tet.2008.05.126
- [24] Toward Long-Distance Mechanical Communication: Studies on a Ternary Complex Interconnected by a Bridging Rotary Module.
Hiroyuki Kai, Shinji Nara, Kazushi Kinbara, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2008**, *130*, 6725-6727. DOI: 10.1021/ja801646b
- [25] 'Conformational' Solvatochromism: Spatial Discrimination of Nonpolar Solvents Using a Supramolecular Box of a pi-Conjugated Zinc Bisporphyrin Rotamer.
Junko Aimi, Yuka Nagamine, Akihiko Tsuda, Atsuya Muranaka, Masanobu Uchiyama, and Takuzo Aida
Angew. Chem. Int. Ed. **2008**, *47*, 5153-5156. DOI: 10.1002/anie.200801332
(selected as "Inside Cover").
- [26] Prominent Electron Transport Property Observed for Triply Fused Metalloporphyrin Dimer: Directed Columnar Liquid Crystalline Assembly by Amphiphilic Molecular Design.
Tsuneaki Sakurai, Keyu Shi, Hiroshi Sato, Kentaro Tashiro, Atsuhiko Osuka, Akinori Saeki, Shu Seki, Seiichi Tagawa, Sono Sasaki, Hiroyasu Masunaga, Keiichi Osaka, Masaki Takata, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2008**, *130*, 13812-13813. DOI: 10.1021/ja8030714
- [27] Template Sol-Gel Synthesis of Mesostructured Silica Composites Using Metal Complexes Bearing Amphiphilic Side Chains: Immobilization of a Polymeric Pt Complex Formed by a Metallophilic Interaction.
Wataru Otani, Kazushi Kinbara, and Takuzo Aida
Faraday Discussions **2009**, *143*, 335-343. DOI: 10.1039/b904896k
- [28] Liquid Crystalline Corannulene Responsive to Electric Field.
Daigo Miyajima, Kentaro Tashiro, Fumito Araoka, Hideo Takezoe, Jungeun Kim, Kenichi Kato, Masaki Takata, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2009**, *131*, 44-45. DOI: 10.1021/ja808396b
- [29] Molecular Glues Carrying Multiple Guanidinium Ion Pendants via an Oligoether Spacer: Stabilization of Microtubules against Depolymerization.
Kou Okuro, Kazushi Kinbara, Kouhei Tsumoto, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2009**, *131*, 1626-1627. DOI: 10.1021/ja800491v
- [30] A Tubular Biocontainer: Metal Ion-Induced 1D Assembly of a Molecularly Engineered Chaperonin
Shuvendu Biswas, Kazushi Kinbara, Nobuhiro Oya, Noriyuki Ishii, Hideki Taguchi, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2009**, *131*, 7556-7557. DOI: 10.1021/ja902696q
- [31] Adhesion Effects of a Guanidinium Ion Appended Dendritic Molecular Glue on the ATP-Driven Sliding Motion of Actomyosin.
Kou Okuro, Kazushi Kinbara, Kuniaki Takeda, Yuichi Inoue, Akihiko Ishijima, and Takuzo Aida
Angew. Chem. Int. Ed. **2010**, *49*, 3030-3033. DOI: 10.1002/anie.200906139
(selected as "Hot Paper", Highlighted by *Nature Chemistry*).

- [32] One-Pot Enantioselective Extraction of Chiral Fullerene C₇₆ Using a Cyclic Host Carrying an Asymmetrically Distorted, Highly π -Basic Porphyrin Module.
Yoshiaki Shoji, Kentaro Tashiro, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2010**, *132*, 5928-5929. DOI: 10.1021/ja910701q
- [33] Self-Repair of a One-Dimensional Molecular Assembly in Mesoporous Silica by a Nanoscopic Template Effect.
Hendrik O. Lintang, Kazushi Kinbara, Kenichi Tanaka, Takashi Yamashita, and Takuzo Aida
Angew. Chem. Int. Ed. **2010**, *49*, 4241-4245. DOI: 10.1002/anie.200906578
- [34] Columnar Liquid Crystal with a Spontaneous Polarization along the Columnar Axis
Daigo Miyajima, Fumito Araoka, Hideo Takezoe, Jungeun Kim, Kenichi Kato, Masaki Takata, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2010**, *132*, 8530-8531. DOI: 10.1021/ja101866e
- [35] Coupling of a C₂-Chiral Ferrocene with Phenylalkynyl Groups: Novel Ferrocenophanes Carrying Multiple Chiral Ferrocenyl Units.
Takahiro Fukino, Norifumi Fujita, and Takuzo Aida
Org. Lett. **2010**, *12*, 3074-3077. DOI: 10.1021/ol1010714
- [36] Spectroscopic Visualization of Sound-induced Liquid Vibrations Using a Supramolecular Nanofibre.
Akihiko Tsuda, Yuka Nagamine, Reiko Watanabe, Yoshiki Nagatani, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
Nature Chem. **2010**, *Advanced Online*. DOI: 10.1038/nchem.825
- [37] Oligo(4-aminopiperidine-4-carboxylic acid): An Unusual Basic Oligopeptide with an Acid-Induced Helical Conformation.
Joon-il Cho, Masahiro Tanaka, Sota Sato, Kazushi Kinbara, and Takuzo Aida
J. Am. Chem. Soc. **2010**, *in press*. DOI: 10.1021/ja106118w

③ Invited Reviews (English)

- [1] π -Electronic Soft Materials Based on Graphitic Nanostructures.
Takanori Fukushima
Polymer J. **2006**, *38*, 743-756. DOI: 10.1295/polymj.PJ2006042
- [2] Ionic Liquids for Soft Functional Materials with Carbon Nanotubes.
Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
Chem. Eur. J. **2007**, *13*, 5048-5058. DOI: 10.1002/chem.200700554
- [3] Soft materials with graphitic nanostructures.
Takuzo Aida, and Takanori Fukushima
Phil. Trans. R. Soc. A **2007**, *365*, 1539-1552. DOI: 10.1098/rsta.2007.2030
- [4] Molecular Design and Self-Assembly of Functional Dendrimers.
Wei-Shi Li, Woo-Dong Jang, and Takuzo Aida
Macromolecular Engineering, **2007**, *2*, 1057-1102.
- [5] Photoconductive Coaxial Nanotubes Consisting of a Heterojunction of Electron Donor and Acceptor Molecular Layers.
Yohei Yamamoto
Kobunshi, **2007**, *56*, 972
- [6] The Gift of Healing.
Justin L. Mynar, and Takuzo Aida
Nature **2008**, *451*, 895-896. DOI: 10.1038/451895a

- [7] Self-Assembled Nanotubes and Nanocoils from π -Conjugated Building Blocks.
Takuya Yamamoto, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
Adv. Polym. Sci. **2008**, *220*, 1-27. DOI: 10.1007/978-3-540-85105-9
- [8] Dendrimer Porphyrins and Phthalocyanines.
Weishi Li, and Takuzo Aida
Chem. Rev. **2009**, *109*, 6047-6076. DOI: 10.1021/cr900186c

④ Invited Reviews (Japanese)

- [1] アンテナ効果.
江東林
デンドリティック高分子, NTS, **2005**, 226-245.
- [2] プリントブル高分子アクチュエータ材料の開発.
安積欣志、福島孝典、相田卓三
未来材料, NTS, **2005**, *10*, 14-19.
- [3] カーボンナノチューブゲル.
福島孝典
イオン液体 II –驚異的な進歩と多彩な近未来–, シーエムシー出版, **2006**, 283-289.
- [4] 超分子、自己組織型高分子 –カーボンナノ材料を中心として–.
山本洋平, 福島孝典, 相田卓三
未来材料, NTS, **2006**, *6*, 60-66.
- [5] カーボンナノチューブ・イオン液体ゲルを用いた高分子アクチュエータ.
安積欣志, 福島孝典, 相田卓三
化学と工業, **2007**, *60*, 436-439.
- [6] 自己組織化によるナノサイズの光電導性同軸ケーブルの開発.
山本洋平, 福島孝典, 相田卓三
月刊 *Material Stage*, 技術情報協会, **2007**, *7*, 89-93.
- [7] イオン液体を利用した CNT ゲルの開発とナノ複合材料への応用.
福島孝典, 相田卓三
ナノカーボンハンドブック, NTS, **2007**, 463-468.
- [8] プログラムされた自己組織化によるグラファイトナノチューブ.
福島孝典, 金武松, 相田卓三
有機合成化学協会誌, **2007**, *65*, 852-861.
- [9] π 電子系分子の自己組織化による中空ナノ構造体の構築とその機能.
山本拓矢, 福島孝典, 相田卓三
水素社会に向けての有機貯蔵材料とナノ技術, シーエムシー出版, **2008**, 271-284.
- [10] カーボンナノチューブ分散ゲルの形成と応用.
福島孝典
有機分散系の分散・凝縮技術, シーエムシー出版, **2008**, 95-104.
- [11] グラフェン系ナノチューブの構築と機能.
福島孝典, 山本洋平, 相田卓三
ナノチューブ状物質の最新技術と応用展開 –非カーボン系ナノチューブの合成・機能と用途開発–, フロンティア出版, **2008**, 230-238.
- [12] 鋳型分子の設計による機能性メソポーラスシリカの開拓.
岡部晃博, 福島孝典, 相田卓三

触媒, **2008**, 50, 264-269.

- [13] 自己組織化ナノチューブにおけるらせん状電導挙動の実証.
山本洋平
分子研レターズ 58 「共同利用研究ハイライト 2」, **2008**, 72-74.
- [14] ディスク状分子の自己集積による電子活性ナノチューブの構築.
山本洋平, 福島孝典
液晶学会誌, **2008**, 12, (4) 279-286.
- [15] ヘキサベンゾコロネンナノチューブ.
山本洋平, 福島孝典
超分子サイエンス～基礎からイノベーションまで～, NTS, **2009**, 315-322.
- [16] 分子集合体から機能を引き出す.
山本洋平
化学と工業, **2009**, 62, 811.

(2) 口頭発表

① 学会

招待講演

海外/国際 117 件, 国内 61 件

一般講演

海外/国際 30 件, 国内 103 件

② その他 なし

①-1 招待講演, 基調講演, 特別講演

①-1-1 海外/国際

- [1] Takuzo Aida 招待講演
Synthesis and Functions of Nanostructured Soft Materials.
3rd COE 21 International Symposium on Human-Friendly Materials Based on Chemistry. Tokyo, Japan. October 3-4, 2005.
- [2] Takuzo Aida 招待講演
Fabrication of Self-Assembled Graphitic Nanotubes and Their Functions.
The 2nd Tsukuba International Symposium on Organic Main Group Element Chemistry. Tsukuba, Japan. December 3, 2005.
- [3] Takanori Fukushima, and Takuzo Aida 招待講演
Fabrication of Self-Assembled Graphitic Nanotubes and Their Functions.
International Symposium on Molecular Scale Electronics. Tsukuba, Japan. December 5-6, 2005.
- [4] Takuzo Aida 特別講演
Design and Utilization of Novel Functional Dendrimers.
Dutch Dendrimer Day at Technology University of Eindhoven. Eindhoven, Netherlands. December 8, 2005.
- [5] Takanori Fukushima, Wusong Jin, Atsuko Kosaka, Niki Makiko, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida 招待講演
Self-Assembled Graphitic Nanotubes Formed from Hexa-peri-hexabenzocoronene Amphiphiles.
PacifiChem 2005. Honolulu, Hawaii, USA. December 15-20, 2005.
- [6] Takuzo Aida 招待講演

- Switching Phenomena Triggered by Phase Transitions.
Pacifichem 2005. Honolulu, Hawaii, USA. December 15-20, 2005.
- [7] Takuzo Aida 招待講演
Electroconductive Nanotubes by Directed Self-Assembly.
Pacifichem 2005. Honolulu, Hawaii, USA. December 15-20, 2005.
- [8] Takuzo Aida 招待講演
Molecular and Supramolecular Chirality: Design and Functions.
Gordon Research Conferences "Organic Structures & Properties". Buellton, CA, USA. January 8-13, 2006.
- [9] Takuzo Aida 招待講演
Macromolecular and Supramolecular Approaches to Novel Functional Nanomaterials.
Organic Chemistry Seminar at the California Institute of Technology.
Pasadena, CA, USA. March 22, 2006.
- [10] Takuzo Aida 招待講演
Functional Soft Materials Based on Nano Carbons.
The 231st ACS National Meeting. Atlanta, GA, USA. March 26-30, 2006.
- [11] Takuzo Aida 招待講演
Chirality in Supramolecular Systems.
The 231st ACS National Meeting. Atlanta, GA, USA. March 26-30, 2006.
- [12] Takuzo Aida 基調講演
Self-Assembled Graphitic Nanotubes and Their Functions.
International Meeting on the Chemistry of Nanotubes: Science and Applications.
Arcachon, France. April 2-5, 2006.
- [13] Takuzo Aida 招待講演
Novel Electronic Nanomaterials by Programmed Self-Organization.
Singapore International Symposium by Mitsui Chemicals. Singapore. April 17-18, 2006.
- [14] Takuzo Aida 招待講演
Soft materials with graphitic nanostructures.
Royal Society Discussion Meeting on Supramolecular nanotechnology for organic electronics. London, UK. June 5-6, 2006.
- [15] Takanori Fukushima 招待講演
Non-Covalent Graphitic Nanotubes via Programmed Self-Assembly.
The International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments. Kusatsu, Shiga, Japan. June 6-8, 2006.
- [16] Takuzo Aida 招待講演
Chirality in Supramolecular Systems for Machinery and Materials Sciences.
18th International Symposium on Chirality. Busan, Korea. June 25-28, 2006.
- [17] Takuzo Aida 基調講演
Supramolecular Chemistry and Materials Science of Metalloporphyrins.
International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines. Rome, Italy. July 2-7, 2006.
- [18] Takuzo Aida, and Takanori Fukushima 招待講演
Non-covalent Graphitic Nanostructures by Programmed Self-Assembly.

The International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM Dublin 2006). Dublin, Ireland. July 2-7, 2006.

- [19] Takuzo Aida 招待講演
Self-Assembled Graphitic Nanotubes as Novel Photo- and Electro-active Nanomaterials.
World Polymer Congress – Macro 2006, 41st International Symposium on Macromolecules. Rio de Janeiro, Brazil. July 16-21, 2006.
- [20] Takuzo Aida 基調講演
Designer Nanoporous Materials.
International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals. Tottori, Japan. July 30-August 2, 2006.
- [21] Takuzo Aida 招待講演
Programmed Self-Assembly for Functional Soft Nanomaterials.
2nd International Symposium on New Materials Science by Kyoto University 21st Century COE Project. Kyoto, Japan. September 5-6, 2006.
- [22] Takuzo Aida 招待講演
Molecular Design and Functions of Graphitic Nanotubes.
American Chemical Society 232nd National Meeting & Exposition. San Francisco, CA, USA. September 10-14, 2006.
- [23] Takuzo Aida 特別講演
Design of Electronic Nanomaterials by Programmed Self-Assembly.
Lecture at the DuPont Experimental Station. Wilmington, PA, USA. September 14, 2006.
- [24] Takuzo Aida 特別講演
Design of Electronic Nanomaterials by Programmed Self-Assembly.
Lecture at the University of Pennsylvania. Philadelphia, PA, USA. September 15, 2006.
- [25] Takuzo Aida 招待講演
Design of Electronic Nanomaterials by Programmed Self-Assembly.
The Summit Symposium. Jeju island, Korea. September 24, 2006.
- [26] Takuzo Aida 招待講演
Photoelectronics of Composites Based on Organic Carbon Nanotubes.
6-th International Conference Electronic Processes Inorganic Materials. Gurzuf (Great Yalta), Crimea, Ukraine. September 25-29, 2006.
- [27] Takuzo Aida 招待講演
Programmed Self-Assembly for Functional Nanostructures.
Chemistry/IBNAM Seminar. NorthWestern University, Chicago, IL, USA. October 27, 2006.
- [28] Takuzo Aida 招待講演
Design of Functional Nanomaterials by Directed Self-Assembly.
The 10th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry. Kyoto, Japan. November 13-17, 2006.
- [29] Takuzo Aida 招待講演
Functional Nanomaterials Based on Supramolecular Approaches.
The 5th International Forum on Chemistry of Functional Organic Chemicals. Tokyo, Japan. November 19-20, 2006.

- [30] Takuzo Aida 招待講演
Soft Nanocarbons by Programmed Self-Assembly.
Trends in Nanoscience 2007. Kloster, Irsee, Germany. February 25-28, 2007.
- [31] Takuzo Aida 招待講演
Light-Driven Molecular Machines That Control Guest Motions.
American Chemical Society 233rd National Meeting & Exposition. Chicago, IL, USA. March 25-29, 2006.
- [32] Takuzo Aida 基調講演
Biom mineralization and Catalysis of Mesostructured Silica Templated by Condensable Peptidic Lizard Amphiphiles with a Cleavable Alkyl Tail.
American Chemical Society 233rd National Meeting & Exposition. Chicago, IL, USA. March 25-29, 2006.
- [33] Takanori Fukushima 招待講演
Molecularly Engineered Graphitic Nanotubes.
One-Dimensional Nanostructures for Nanoarchitectonics, 6th Nanoarchitectonics Workshop 2007. Tsukuba, Ibaragi, Japan. March 1-2, 2007.
- [34] Takuzo Aida 特別講演
Functional Soft Materials by Molecular Engineering and Programmed Assembly.
Rohm & Haas Lecture. UC Berkeley, CA, USA. April 24, 2007.
- [35] Takuzo Aida 招待講演
Functional Soft Materials by Molecular Engineering and Programmed Assembly.
Molecular Science Forum Lecture at the Institute of Chemistry, Chinese Academy of Science (ICCAS). Peking, China. May 16, 2007.
- [36] Takuzo Aida 基調講演
Designer Graphite: Molecular Design and Optoelectronic Functions.
Young(-ish) Giants of Chemistry Conference - A Meeting to Celebrate the 65th Birthday of Sir J. Fraser Stoddart. Edinburgh, Scotland. June 6-9, 2007.
- [37] Takuzo Aida 招待講演
Graphitic Nanotubes by Programmed Self-Assembly.
ICRIS'07 The Science and Technology of Well-Controlled Polymer Assemblies. Kyoto, Japan. June 11-13, 2007.
- [38] Takuzo Aida 招待講演
Conceptually New Molecular Machines.
NIMS Conference on Recent Breakthroughs in Materials Science and Technology. Tsukuba, Japan. July 11-13, 2007.
- [39] Takuzo Aida 基調講演
Programmed Molecular Assembly for Advanced Materials and Functions.
21st International Congress for Heterocyclic Chemistry. Sydney, Australia. July 15-20, 2007.
- [40] Takuzo Aida 基調講演
Functional Soft Materials by Programmed Molecular Assembly.
12th International Symposium on Novel Aromatic Compounds. Awaji, Japan. July 22-27, 2007.
- [41] Takanori Fukushima, and Takuzo Aida 招待講演
Ionic Liquids as New Dispersants for Carbon Nanotubes: Applications to

Functional Soft Materials.

2nd International Congress on Ionic Liquids (COIL-2). Yokohama, Japan.
August 5-10, 2007.

- [42] Kinji Asaka, Ken Mukai, Ichiro Takeuchi, Takushi Sugino, Kenji Kiyohara, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida 招待講演
Electromechanical Soft Actuators Based on Carbon Nanotube Ionic Liquid Gels.
2nd International Congress on Ionic Liquids (COIL-2). Yokohama, Japan.
August 5-10, 2007.
- [43] Takuzo Aida 招待講演
Novel Electroactive Soft Materials by Programmed Self-Assembly of Conjugated Molecules.
1st University of Tokyo-Yonsei Joint Symposium. Seoul, Korea. August 7-9, 2007.
- [44] Takuzo Aida 基調講演
The Design and Synthesis of Olefin Metathesis Catalysts.
The 11th International Conference on Circular Dichroism. Groningen, Nether Land. September 2-9, 2007.
- [45] Takuzo Aida 招待講演
Chirality in Supramolecular Systems.
The International Symposium on Molecular Technology. Dankook University, Yongin, Korea. October 15, 2007.
- [46] Takuzo Aida 招待講演
Electronic Nanomaterials by Programmed Molecular Assembly.
BASF Conference on Nanomaterials. Singapore. October 21-24, 2007.
- [47] Takuzo Aida 招待講演
Electronic Nanomaterials by Programmed Molecular Assembly.
7th France-Japan Workshop on Nanosciences and Nanomaterials. Strasbourg, France. October 24-28, 2007.
- [48] Takuzo Aida 招待講演
Designer Nanocarbons by Programmed Molecular Assembly.
CNBI–CNSI Symposium on Nano Biotechnology. UCLA, CA, USA. November 1-2, 2007.
- [49] Takuzo Aida 招待講演
Programmed Self-Assembly toward Functional Nanomaterials.
American Chemical Society Division of Polymer Chemistry "Opportunities for Nanostructured Polymeric Materials for Device Fabrication". Lake Tahoe, NV, USA. November 4-8, 2007.
- [50] Takuzo Aida 招待講演
Molecular Machines based on Non-Interlocking Molecules.
21st Solvay Conference on Chemistry "From Noncovalent Assemblies to Molecular Machines". Brussels, Belgium. November 28-December 1, 2007.
- [51] Takuzo Aida 招待講演
Graphitic Nanotubes : Molecular Design and Functions.
2008 Villa Conference on Interaction Among Nanostructures. Orlando, FL, USA. February 3-7, 2008.
- [52] Takanori Fukushima 招待講演
Soft materials with Carbon-Rich Nanostructures.

International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPM 2008). Kirchberg Tirol, Austria. March 1-8, 2008.

- [53] Takuzo Aida 招待講演
Programmed Self-Assembly for Nanostructured Optoelectronic Materials.
MRS Symposium AA: Conjugated Organic Materials--Synthesis, Structure, Device, and Applications. San Francisco, CA, USA. March 24-28, 2008.
- [54] Kinji Asaka, Ken Mukai, Ichiro Takeuchi, Kenji Kiyohara, Takushi Sugino, Naohiro Terasawa, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida 招待講演
High Performance Fully Plastic Actuator Based on Ionic-Liquid-Based Bucky Gel.
Chem OnTube 2008, Zaragoza, Spain. April 6-9, 2008.
- [55] Takuzo Aida 招待講演
Frontier Chemistry at Todai ----- Supramolecular and Macromolecular Chemistry.
Tsinghua Week at Todai. Beijing, China. May 19-21, 2008.
- [56] Takuzo Aida 招待講演
Programmed Assembly for Nanostructured Electronic Materials.
The 1st International Conference of the Grand Challenge to Next-Generation Integrated Nanoscience. Tokyo, Japan. June 3-7, 2008.
- [57] Takuzo Aida 招待講演
Designing Soft Nanocarbons by Programmed Assembly.
The 3rd International Conference "Smart Materials, Structures and Systems". Sicily, Italy. June 8-13, 2008.
- [58] Takuzo Aida 招待講演
Programmed π -Conjugated Molecules for Fabrication of Novel Optoelectronic Nanomaterials.
The 17th International Conference on Organic Synthesis. Daejeon, Korea. June 22-27, 2008.
- [59] Takuzo Aida 招待講演
Molecular Glue: A New Biointerface for Protein Functionalization.
Bio Academic Forum. Tokyo, Japan. July 2-4, 2008.
- [60] Takuzo Aida 基調講演
Chirality in Non-Covalently Assembled Molecular Systems.
20th International Symposium on Chirality. Genève, Switzerland. July 6-9, 2008.
- [61] Takuzo Aida 招待講演
Programmed π -Conjugated Molecules for Novel Optoelectronic Nanomaterials.
The third Joint International Symposium on Macrocyclic & Supramolecular Chemistry. Las Vegas, NV, USA. July 13-18, 2008.
- [62] Takuzo Aida 招待講演
Designer Conductive Nanotubes by Programmed Self-Assembly.
The 8th International Symposium on Functional π -Electron Systems. Graz, Austria. July 20-25, 2008.
- [63] Takanori Fukushima 招待講演
Tailoring of bicontinuous Donor/Acceptor Molecular Arrays for Optoelectronic Functions.
GCOE Chemistry Innovation Symposium. The University of Tokyo, Tokyo, Japan. September 8, 2008.
- [64] Takuzo Aida 招待講演

- Programmed Assembly for Nanostructured Electronic Materials.
Polydays 2008. Berlin, Germany. October 1-2, 2008.
- [65] Takanori Fukushima 招待講演
Programmed Self-Assembly of pi-Conjugated Molecular Building Blocks Toward Electroactive Materials.
JAPAN-KOREA Polymer Young Scientist Symposium, (JSPS). Niigata, Japan, October 22-25, 2008.
- [66] Takuzo Aida 招待講演
Frontier Chemistry at Todai ----- Supramolecular and Macromolecular Chemistry.
Japan-Korea 3rd Summit Symposium. Siem Reap, Kingdom of Cambodia. November 4, 2008.
- [67] Takuzo Aida 招待講演
Rational Design Strategy for Electroactive Nano and Liquid Crystalline Materials.
4th International Meeting on Molecular Electronics. Grenoble, France. December 8-12, 2008.
- [68] Takuzo Aida 基調講演
Tailoring of Functional Materials by Programmed Assembly.
Honorary Symposium for Prof. Roeland Nolte "A Master in Molecular Matter".
Nijmegen, Netherlands. December 11-12, 2008.
- [69] Takuzo Aida 招待講演
Nano-Structured Materials and Their Functions via Molecular-Level Control.
2008 Japan-USA Seminar on Polymer Synthesis : Meeting the Challenge of Molecular Level Control. Awaji, Japan. December 13-17, 2008.
- [70] Takuzo Aida 招待講演
Programmed Assembly for Molecularly Engineered Electronic Materials.
427. Wilhelm und Else Heraeus-Seminar: Molecular and Organic Electronics Bridging the Gaps. Physikzentrum Bad Honnef, Germany. January 25-29, 2009.
- [71] Takuzo Aida 招待講演
Nano-Structured Materials and Their Functions via Molecular-Level Control.
The 1st International Seminar on Polymer Materials Science and Technology.
Harbin Engineering University, Harbin, China. February 2, 2009.
- [72] Takuzo Aida 特別講演
Programmed Assembly toward Photoconductive and Photovoltaic Nanomaterials.
Swiss Chemical Society Spring Meeting 2009. Neuchate, Switzerland. February 11, 2009.
- [73] Takanori Fukushima 招待講演
Carbon-Rich Nanotubes Formed by Self-Assembly of a Small Graphene Fragment.
Okazaki Conference 2009 :From Aromatic Molecules to Graphene: Chemistry, Physics and Device Applications. Okazaki, Japan. February 21-23, 2009.
- [74] Takanori Fukushima 招待講演
Molecular Assembly Approaches towards Electroactive Nanostructures.
2009 WPI-AIMR Annual Workshop, (TohokuUniversity). Zao, Miyagi, Japan. March 1-6, 2009.
- [75] Takuzo Aida 招待講演
Light-Harvesting Processes in Dendritic and Tubular Objects.

- Light-Harvesting Processes 2009. Kloster Banz, Germany. March 10-14, 2009.
- [76] Takuzo Aida 特別講演 (2009 ACS Award in Polymer Chemistry 受賞講演)
Molecular Programming for Advanced Polymeric and Supramolecular Materials.
American Chemical Society Spring 2009 National Meeting & Exposition (ACS Award in Polymer Chemistry). Salt Lake City, USA. March 22-26, 2009.
- [77] Takuzo Aida 招待講演
Programmed Molecular Assembly for Functional Nanomaterials.
Second Cristofor I. Simionescu Symposium --Frontiers in Macromolecular and Supramolecular Science--. Bucharest, Romania. June 1-5, 2009.
- [78] Wataru Otani, Kazushi Kinbara, and Takuzo Aida 招待講演
Template Sol-Gel Synthesis of Mesoporous Silica Composites Using Metal Complexes Bearing Amphiphilic Side Chains: Immobilization of a Polymeric Pd complex Formed by a Metallophilic Interaction.
Faraday Division 143: Soft Nanotechnology. London, UK. June 15-17, 2009.
- [79] Takuzo Aida 招待講演
Novel Soft Functional Materials Based on Carbon Nanotubes and Graphite Nanotubes.
Tenth International Conference on the Science and Application of Nanotubes. Beijing, China. June 21-26, 2009.
- [80] Takuzo Aida 招待講演
Design of Functional Soft Materials by Programmed Molecular Assembly.
NIMS Conference 2009. Tsukuba, Japan. July 21-24, 2009.
- [81] Takuzo Aida 特別講演
Molecular Design for Advanced Functions.
40th CUSO Summer School in Organic Chemistry. Villars, Switzerland. August 23-27, 2009.
- [82] Takuzo Aida 基調講演
Molecular Programming of Complex Nanostructure for Advanced Functions.
First International Meeting on Organic Materials for a Better Future. Ostuni Marina, Italy. September 12-16, 2009.
- [83] Takuzo Aida 招待講演
Programmed Molecular Design for Tailoring Functional Nanobiomaterials.
The 13th Asian Chemical Congress. Shanghai, China. September 14-16, 2009.
- [84] Takuzo Aida 招待講演
Soft Carbon and Graphite Nanotubes for Electronic Applications.
11th International Conference on Advanced Materials. Rio de Janeiro, Brazil. September 20-25, 2009.
- [85] Takuzo Aida 招待講演
Programmed Molecular Assembly for Functional Nanomaterials.
The 2009 Global COE International Symposium for Future Molecular Systems. Kyushu University, Fukuoka, Japan. September 30, 2009.
- [86] Takuzo Aida 基調講演
Tailoring of Complex Nanostructures for Advanced Functions.
G-COE International Symposium on: "Dynamic Phenomena in Molecular Complex Chemistry". Tohoku University, Sendai, Miyagi, Japan. October 2, 2009.
- [87] Takuzo Aida 招待講演

- Programmed Self-Assembly for Tailoring Electronic Soft Materials.
8th International Conference on Advanced Polymers via Macromolecular Engineering. Dresden, Germany. October 4-7, 2009.
- [88] Takuzo Aida 特別講演
Programmed Self-Assembly for Tailoring Electronic Soft Materials.
Special Lecture at the Institute of Organic Chemistry and Biochemistry. Prague, Czech Republic. October 7, 2009.
- [89] Takuzo Aida 基調講演
Programmed Molecular Assembly for Tailored Functional Materials.
The Second Asian Symposium on Advanced Materials. Fudan University, Shanghai, China. October 11-14, 2009.
- [90] Takuzo Aida 基調講演
Programmed Molecular Assembly for Tailored Functional Materials.
Aquitaine Conference on Polymers. Arcachon, France. October 13-16, 2009.
- [91] Takuzo Aida 基調講演
Programmed Assembly for Designing Optoelectronic Nano and Bulk Organic Materials.
International Workshop on Organic Photoswitchable Multifunctional Molecules and Materials. Shanghai, China. October 25-27, 2009.
- [92] Takuzo Aida 特別講演
Dendritic Macromolecules for Energy and Environmental Issues.
31st Annual Bayer Lecture Series at University of Pittsburgh. Pittsburgh, PA, USA. November 4-5, 2009.
- [93] Takuzo Aida 特別講演
Carbon Nanomaterials by Programmed Self-Assembly.
31st Annual Bayer Lecture Series at University of Pittsburgh. Pittsburgh, PA, USA. November 4-5, 2009.
- [94] Takanori Fukushima 招待講演
Nanostructured Materials from pi-Conjugated Building Blocks.
RIKEN International Symposium on Chemistry and Materials Science. Wako, Saitama, Japan, November 5-6, 2009..
- [95] Takuzo Aida 特別講演
Functional Soft Materials by Programmed Self-Assembly.
The Stephanie Kwolek Lecture in Materials Chemistry at Carnegie Mellon University. Pittsburgh, PA, USA. November 6, 2009.
- [96] Takuzo Aida 招待講演
Programmed Molecular Assembly for Tailoring Functional Materials.
The 9th Tatehina Conference on Organic Chemistry. Tatehina, Nagano, Japan. November 13-15, 2009.
- [97] Takuzo Aida 招待講演
Programmed Molecular Assembly for Optoelectronic Materials.
Material Research Society 2009 Fall Meeting. Boston, MA, USA. November 30-December 2, 2009.
- [98] Takanori Fukushima 招待講演
Molecular Assemblies toward Electronic Nanomaterials.
2010 RIKEN Conference on Soft Materials & Interfaces. Harima, Hyogo, Japan.

January 11-14.

- [99] Takuzo Aida 特別講演
Dendrimers for Energy, Biological, and Environmental Issues.
Merck-Pfister Lecture in Organic Chemistry. Boston, MA, USA. January 14-15, 2010.
- [100] Takuzo Aida 特別講演
Organic Electronics Using Carbon and Graphite Nanotubes.
Merck-Pfister Lecture in Organic Chemistry. Boston, MA, USA. January 14-15, 2010.
- [101] Takuzo Aida 基調講演
Functional Soft Materials by Programmed Self-Assembly.
Minisymposium on the Frontier in Organic Chemistry. Taipei, Taiwan. March 15, 2010.
- [102] Takuzo Aida 招待講演
Programmed Assembly for Tailoring Novel Optoelectronic and Bioresponsive Nanomaterials.
American Chemical Society Spring 2010 National Meeting & Exposition, Division of Polymeric Materials: Science and Engineering. San Francisco, CA, USA. March 21-25, 2010.
- [103] Takuzo Aida 招待講演
“Aqua Material: A High-Water-Content Moldable Hydrogel from Clay.”
Fourth Asian Summit Symposium on Supramolecular Chemistry. Okinawa, Japan. May 12-15, 2010.
- [104] Takuzo Aida 招待講演
Aqua Materials.
2nd International Symposium on Polymer Materials Science and Technology in Harbin. Harbin, China. May 30-June 4, 2010.
- [105] Takuzo Aida 招待講演
Aquamaterials.
5th International Symposium on Macrocyclic and Supramolecular Chemistry. Nara, Japan. June 6-10, 2010.
- [106] Takuzo Aida 基調講演
Programmed Molecular Assembly for Tailored Functional Materials.
12th International Conference on Modern Materials and Technologies. Tuscany, Italy. June 13-18, 2010.
- [107] Takuzo Aida 招待講演
Chirality for Materials Science.
22nd International Symposium on Chirality. Sapporo, Japan. July 12-15, 2010.
- [108] Takuzo Aida 招待講演
Advanced Molecular Design for Photoactive Nano and Bulk Materials with p/n-Heterojunction.
Black Forest Forum focusing in Soft Matter. Freiburg, Germany. July 20-23, 2010.
- [109] Takuzo Aida 招待講演
Photofunctional Soft Nanomaterials by Programmed Molecular Design.
15th Beijing International Photosynthesis Congress. Beijing, China. August 22-27, 2010.

- [110] Takuzo Aida 招待講演
Programmed Molecular Assembly for Tailored Functional Materials.
First Trilateral Symposium on NanoBio Integration. Berlin, Germany. October 1-3, 2010.
- [111] Takuzo Aida 特別講演
Tailoring Functional Organic Materials by Advanced Molecular Design and Programmed Assembly.
2010 Novartis Lecture in Organic Chemistry at the University of Illinois. Chicago, IL, USA. October 7, 2010.
- [112] Takanori Fukushima 招待講演
invited.
アジア研究協力. Taipei, Taiwan, November 7-11, 2010.
- [113] Takuzo Aida 招待講演
invited.
MRS Fall Meeting 2010, Boston, USA. November 29-December 3, 2010.
- [114] Takuzo Aida 招待講演
invited.
Pacifichem 2010. Honolulu, Hawaii, USA. December 15-20, 2010.
- [115] Takanori Fukushima 招待講演
invited.
Pacifichem 2010. Honolulu, Hawaii, USA. December 15-20, 2010.
- [116] Takuzo Aida 招待講演
invited.
Royal Australian Chemical Institute Annual Meeting. Coffs Harbour, Australia. February 13-17, 2011.
- [117] Takuzo Aida 招待講演
invited.
International Conference on Biomaterials Science in Tsukuba. Tsukuba, Japan. March 16-18, 2011.

① -1-2 国内

- [1] 相田卓三 招待講演
高分子・超分子化学的アプローチによる機能性ナノマテリアルの創成.
神奈川大学工学部HRC特別講演会「化学空間の設計と制御－機能物質の創製を目指して－」. 神奈川大学, 神奈川. 2005年10月1日.
- [2] 福島孝典 招待講演
カーボンナノチューブを用いたイオン液体のゲル化.
特定領域「イオン液体の科学」公開シンポジウム. 東京工業大学すずかけ台キャンパス, 神奈川. 2005年10月5日.
- [3] 相田卓三 招待講演
自己組織化による機能性ナノマテリアル.
ヒューマンライフサイエンスフォーラム2005. 大阪. 2005年10月20日.
- [4] 福島孝典 招待講演
パイ電子系化合物を集積してナノ空間を作る
東京大学化学生命工学専攻談話会. 東京大学本郷キャンパス, 東京. 2005年10月19日.

- [5] 相田卓三 招待講演
自己組織化による機能性ソフトマテリアルの創成.
第16回北海道大学触媒化学研究センター研究討論会『精密材料設計のフロンティアー 戦略と機能化ー』. 北海道大学, 北海道. 2005年11月10日.
- [6] 福島孝典 招待講演
イオン液体とカーボンナノチューブからなるコンポジット材料.
分離技術会「イオン液体による革新的新規プロセスの開発」講演会. 早稲田大学理工学部55号館, 東京. 2005年11月22日.
- [7] 相田卓三 招待講演
自己組織化を利用する低次元ナノマテリアルの創成.
富士裾野21世紀フォーラム. 静岡. 2006年1月27-28日.
- [8] 相田卓三 招待講演
超分子化学的アプローチによるバイオミメティックナノ材料.
ナノバイオ研究拠点開設記念シンポジウム. 東京大学, 東京. 2006年2月3日.
- [9] 相田卓三 招待講演
炭素ナノクラスターの超分子化学と材料科学.
TARA公開セミナー「特異な分子構造と物性を持つ「かご状炭素物質」の開拓」.
筑波大学, 茨城. 2006年3月8日.
- [10] 相田卓三 招待講演
新しい分子機械の構築と応用.
TARA公開セミナー「特異な分子構造と物性を持つ「かご状炭素物質」の開拓」.
筑波大学, 茨城. 2006年3月8日.
- [11] 山本拓矢 招待講演
Programmed Self-Assembly toward New pi-Electronic Nanoarchitectures.
東京工業大学特別講演. 東京工業大学, 東京. 2006年6月5日.
- [12] 福島孝典 招待講演
グラファイト構造を有する低次元ナノソフトマテリアルの創成.
京都大学特別講演. 京都大学, 京都. 2006年6月8日.
- [13] 福島孝典 招待講演
カーボンナノチューブとイオン液体からなる物理ゲルとその応用.
高分子学会主催「ゲルワークショップ イン 知多」. 美浜町, 愛知. 2006年8月6-8日.
- [14] 山本洋平, 福島孝典, 砂有紀, 相田卓三 招待講演
光伝導性ヘキサベンゾコロネンナノチューブ.
2006年秋季 第67回応用物理学関係連合講演会. 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 滋賀. 2006年8月29日-9月1日.
- [15] 福島孝典 招待講演
低次元パイ電子系ナノマテリアルの創成.
第10回名古屋大学VBLシンポジウム. 名古屋大学, 愛知. 2006年10月16-17日.
- [16] 福島孝典 招待講演
グラファイト構造を有する低次元ナノソフトマテリアルの創成.
高分子学会関東支部茨城地区「若手の会」第21回交流会. 日立, 茨城. 2006年10月26-27日.
- [17] 福島孝典 招待講演
CNTとイオン液体からなるゲルの作製と応用.

NEDOナノテク・先端部材実用化研究開発「高配向性CNTを用いたナノ構造制御による低電圧駆動高分子アクチュエーターの研究開発」第1回研究開発委員会. 産業技術総合研究所関西センター, 大阪. 2006年11月14日.

- [18] 福島孝典 招待講演
分子組織化によるカーボンリッチナノ構造体の構築
第17回日本MRS学術シンポジウム. 日本大学, 東京. 2006年12月8-10日.
- [19] 相田卓三 招待講演
自己組織化プログラムによるソフトナノカーボンの創成.
文部科学省特定領域補助金”次世代共役ポリマーの超階層制御と革新機能”第4回公開シンポジウム. 名古屋, 愛知. 2007年1月17日.
- [20] 福島孝典 招待講演
分子グラフェンからなるナノチューブ状自己組織化体と機能.
応用電子物性分科会研究会. 機械振興会館, 東京. 2007年1月24日.
- [21] 福島孝典 招待講演
炭素リッチナノチューブに基づく新規材料設計.
実環境計測・診断システム協議会. 産総研九州センター福岡サイト, 福岡. 2007年2月23日.
- [22] 福島孝典 招待講演
カーボンナノチューブをモチーフとしたソフトナノマテリアル.
第253会 ゴム技術フォーラム月例会. 赤坂, 東京. 2007年5月21日.
- [23] 福島孝典 招待講演
イオン液体を利用したカーボンナノチューブ複合材料の開発.
ナノ構造ポリマー研究会講演会. 東京工業大学百年記念館, 東京. 2007年5月24日.
- [24] 福島孝典 招待講演
自己組織化によるカーボンリッチナノマテリアルの創成.
第9回 茅CREST若手討論会. マホロバマインズ三浦, 神奈川. 2007年6月12日.
- [25] 相田卓三 招待講演
Conceptually New Molecular Machines.
The 2nd Summit Symposium. 洞爺, 北海道. 2007年6月16-19日.
- [26] 福島孝典 招待講演
イオン液体を利用したカーボンナノチューブソフトマテリアルの創製と応用.
07-1 高分子ナノテクノロジー研究会, 東京工業大学百年記念館, 東京. 2007年6月27日.
- [27] 福島孝典 招待講演
パイ電子系分子ナノチューブの構築と機能.
液晶フォトンクス・光デバイス研究フォーラム・分子配向エレクトロニクス研究フォーラム合同講演会. 東京ビックサイト, 東京. 2007年7月18日.
- [28] 相田卓三 招待講演
ナノスケールで機能をデザインする.
第56回高分子討論会. 名古屋工業大学, 愛知. 2007年09月19-21日.
- [29] 相田卓三 招待講演
分子プログラミングによるソフトナノカーボンの設計.
日本化学会関東支部大会. 首都大学東京南大沢キャンパス, 東京. 2007年9月27-28日.
- [30] 福島孝典 招待講演

ソフトナノチューブの作製と応用.

日本化学会関東支部大会. 首都大学東京南大沢キャンパス, 東京. 2007年9月27-28日.

- [31] 福島孝典 招待講演
ソフトナノチューブの作製と応用.
第37回構造有機化学討論会. 北海道大学, 札幌, 北海道. 2007年10月27-29日.
- [32] 福島孝典 招待講演
自己組織化によるパイ電子系分子ナノチューブの構築とその機能.
高分子学会 07-2光反応・電子用材料研究会. 東京工業大学, 東京. 2007年11月15日.
- [33] 相田卓三 招待講演
分子プログラミングによる機能性ナノマテリアルの創成.
CNBIセミナーシリーズ, Center for NanoBio Integration The University of Tokyo. 東京大学, 東京. 2008年1月22日.
- [34] 福島孝典 招待講演
自己組織化によるカーボンリッチ1次元ナノアキテクチャー.
高分子学会 07-2 超分子研究会. 東京工業大学, 東京. 2008年1月24日.
- [35] 相田卓三 招待講演
自己組織化の高度な制御と機能性ナノ構造.
SORSTジョイントシンポジウム(8)「有機合成力」ーそのダイナミズム.
コクヨホール, 東京. 2008年1月29-30日.
- [36] 相田卓三 招待講演
分子科学から分子技術へ一分野融合が鍵.
日本化学会第88回春季年会第4回公開討論特別シンポジウム「先進分子技術：自然・生活環境の向上をめざして」. 立教大学, 東京. 2008年3月26-30日.
- [37] 福島孝典 招待講演
カーボンリッチナノチューブを基盤とするソフトマテリアルの創製.
日本化学会第88回春季年会. 立教大学, 東京. 2008年3月26-30日.
- [38] 相田卓三 招待講演
Supramolecular Chemistry of Carbon Nanoclusters.
第3回ホスト・ゲスト化学シンポジウム. 上智大学, 東京. 2008年5月31日.
- [39] 福島孝典 招待講演
カーボンリッチナノマテリアルへの分子化学的アプローチ.
東北大学 WPI-GCOE シンポジウム. 仙台, 宮城. 2008年6月5日.
- [40] 福島孝典 招待講演
カーボンリッチナノ構造体への分子化学的アプローチ.
ナノバイオ若手ネットワークキングシンポジウム. 三島, 静岡. 2008年6月12-13日.
- [41] 相田卓三 招待講演
インテリジェントバイオインターフェース：刺激応答を創出する.
日本DDS学会学術集会. 東京. 2008年6月30日.
- [42] 福島孝典 招待講演
自己組織化によるカーボンリッチナノマテリアルの創製.
日本化学会栃木地区講演会. 宇都宮大学, 宇都宮, 栃木. 2008年7月.
- [43] 相田卓三 招待講演

研究の醍醐味- 波瀾万丈をエンジョイできるマインド.
錯体化学若手の会夏の学校. 沖縄. 2008年7月31日.

- [44] 相田卓三 招待講演 (2008年 錯体化学会貢献賞受賞講演)
動的ナノ構造体の分子設計と科学.
第58回錯体化学討論会. 金沢大学角間キャンパス, 石川. 2008年9月22日.
- [45] 山本洋平 招待講演
低次元自己組織化ナノ構造体の創成と電子・光電子物性.
超分子創成化学セミナー. 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 滋賀. 2008年9月27日.
- [46] 山本洋平 招待講演
グラファイトナノチューブと関連ソフトマテリアルの創成と電子物性.
高分子学会 第3回超分子研究会講座. 上智大学, 東京. 2008年10月24日.
- [47] 相田卓三 招待講演
分子プログラミングによるソフトナノマテリアルの設計と機能.
第24回ゼオライト研究発表会. 東京. 2008年11月26日.
- [48] 福島孝典 招待講演
高電導性ゴム素材の開発.
高分子同友会勉強会. 高分子同友会, 東京. 2008年12月
- [49] 相田卓三 特別講演 (第61回 日本化学会賞受賞講演)
分子間相互作用の精密制御によるナノスケールの機能創成.
日本化学会第89回春季年会. 日本大学船橋キャンパス, 船橋, 千葉. 2009年3月27-30日.
- [50] 福島孝典 招待講演
パイ電子系の組織化から生まれる新たな展開.
日本化学会第89回春季年会. 日本大学船橋キャンパス, 船橋, 千葉. 2009年3月27-30日.
- [51] 山本洋平 招待講演
自己組織化による電子活性ナノチューブの創成.
日本化学会第89回春季年会. 日本大学船橋キャンパス, 船橋, 千葉. 2009年3月27-30日.
- [52] 山本洋平 招待講演
高輝度X線による分子集合体の構造解析.
SPring-8 成果報告会. 筑波大学, 茨城. 2009年5月8日.
- [53] 福島孝典 招待講演
特異構造を有するパイ電子系分子集合体.
日本学術振興会情報科学用有機材料第142委員会第35回研究会(ABC部会合同).
東京理科大学, 東京. 2009年7月10日.
- [54] 山本洋平 招待講演
分子集合体の物性.
構造有機若手の会夏の学校. 和歌山県休暇村紀州加太, 和歌山. 2009年8月5-7日.
- [55] 福島孝典 招待講演
特異なパイ電子系分子集合体の構築とその機能.
日本化学会第3回関東支部大会(2009). 早稲田大学, 東京. 2009年9月4-5日
- [56] 福島孝典 招待講演

特異なパイ電子系分子集合体の構築とその機能.

第25回若手研究者のための化学道場. 松山, 愛媛. 2009年9月7-8日.

- [57] 山本洋平 招待講演 (日本化学会第59回進歩賞受賞講演)

自己組織化による電子活性ナノ材料の創成.

第90回日本化学会春季年会. 近畿大学, 東大阪市, 大阪. 2010年3月26-29日.

- [58] 福島孝典 招待講演

カーボンナノチューブゲルの創製とそのソフト電極材料への応用.

高分子エレクトロニクス・有機EL合同研究会. 神田駿河台化学会館, 東京. 2010年7月23日.

- [59] 山本洋平 招待講演

電子・光機能を有する分子集合体構築のための自己組織化戦略.

物質工学セミナー. 筑波大学, 茨城. 2010年8月2日.

- [60] 福島孝典 招待講演

電子・光機能を有する有機・高分子材料: 静と動の応答機能開拓へ向けて.

第59回高分子討論会. 北海道大学, 北海道. 2010年9月15-17日.

- [61] 山本洋平 招待講演

電子・光機能を示す分子集合体構築のための自己組織化戦略.

名古屋大学GCOE物質科学フロンティアセミナー. 名古屋, 愛知. 2010年11月19-20日.

①-2 一般講演

①-2-1 海外/国際

- [1] Yohei Yamamoto, Wusong Jin, Takanori Fukushima, Toshifumi Hara, Toshikazu Nakamura, and Takuzo Aida
Fabrication and Electrical Properties of a Macroscopic Fiber Consisting of Aligned Hexa-peri-hexabenzocoronene Nanotubes.
Pacifichem 2005. Honolulu, Hawaii, USA. December 15-20, 2005.
- [2] Kentaro Nakayama, Jun Tokuhito, Kimihiko Saito, Shiro Shichijo, Takanori Fukushima, Shiro Matsukawa, Yohei Yamamoto, and Takuzo Aida
Thin Film Transistors Composed of Solution-Processable Anthracene Derivative Fused with Thiophene Rings.
The Seventh International Symposium on Functional π -Electron Systems. Osaka, Japan., May 15-20, 2006.
- [3] Toshifumi Hara, Mitsugu Furukawa, Toshikazu Nakamura, Yohei Yamamoto, Wusong Jin, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
Possible Semiconductor to Insulator Transition in Electrical Conductive Hexa-peri-hexabenzocoronene Nanotube.
The Seventh International Symposium on Functional π -Electron Systems. Osaka, Japan. May 15-20, 2006.
- [4] Toshifumi Hara, Mitsugu Furukawa, Toshikazu Nakamura, Yohei Yamamoto, Wusong Jin, Takanori Fukushima, and+ Takuzo Aida
Magnetic Properties of Hexa-peri-hexabenzocoronene Nanotube Investigated by Magnetic Resonance.
The Third IUPAC-sponsored International Symposium on Macro- and Supramolecular Architectures and Materials (MAM-06). Waseda University, Tokyo, Japan. May 28-Jun 1, 2006.
- [5] Hidenori Ichihara, Takefumi Shimomura, Kozo Ito, Takanori Fukushima,

- Wusong Jin, and Takuzo Aida
DC-Electrical Measurement of Hexa-peri-hexabenzocoronene Graphitic Nanotube.
Royal Society Discussion Meeting on Supramolecular Nanotechnology for Organic Electronics. London, UK. June 5-6, 2006.
- [6] Wusong Jin, Takanori Fukushima, Makiko Niki, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
Self-Assembled Graphitic Nanotubes with One-Handed Helical Arrays.
The International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM Dublin 2006). Dublin, Ireland. July 2-7, 2006.
- [7] Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, Yuki Suna, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
Photoconduction of Self-assembled Nanotubes Consisting of Hexabenzocoronene-Trinitrofluorenone Dyads.
The International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM Dublin 2006). Dublin, Ireland. July 2-7, 2006.
- [8] Toshikazu Nakamura, Mitsugu Furukawa, Toshifumi Hara, Yohei Yamamoto, Wusong Jin, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
Pulsed and Multi-frequency Magnetic Resonance Investigation for Organic Conductors and Conducting HBC Nanotube.
The Asia-Pacific EPR/ESR Symposium 2006 (APES 2006). Akademgorodok, Novosibirsk Scientific Center, Novosibirsk, Russia. August 22-28, 2006.
- [9] Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
Optoelectrical Properties of Coaxial Nanotubes Consisting of Electron Donor and Acceptor Molecular Layers.
One-Dimensional Nanostructures for Nanoarchitectonics, 6th Nanoarchitectonics Workshop 2007. Tsukuba, Ibaragi, Japan. March 1-2, 2007.
- [10] Takuya Yamamoto, Takanori Fukushima, Wusong Jin, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
Formation of Nanocoils and Nanotubes via the Self-Assembly of Norbornene-Appended Amphiphilic Hexabenzocoronene Derivatives.
One-Dimensional Nanostructures for Nanoarchitectonics, 6th Nanoarchitectonics Workshop 2007. Tsukuba, Ibaragi, Japan. March 1-2, 2007.
- [11] Kentaro Nakayama, Jun Tokuhira, Kimihiko Saito, Shiro Shichijo, Takanori Fukushima, Shiro Matsukawa, Yohei Yamamoto, and Takuzo Aida
A Novel Soluble Anthracene Derivative for Organic Thin Film Transistors.
International Conference on Materials for Advanced Technologies 2007 (ICMAT2007). Singapore. July 1-6, 2007.
- [12] Takuya Yamamoto, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
Helical Nanoarchitectures by Programmed Self-Assembly of Norbornene-Appended Hexabenzocoronene Derivatives.
Chirality at the Nanoscale. Sitges, Barcelona, Spain. September 17-21, 2007.
- [13] Takuya Yamamoto, Takanori Fukushima, Yohei Yamamoto, Atsuko Kosaka, Wusong Jin, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
Formation of One-Handed Nanocoils by Coassembly of Hexabenzocoronene Derivatives.
The International Symposium on Engineering Materials based on Self-Assembling and Self-Organization (ISEM2008). Tokyo, Japan. March 3-5, 2008.
- [14] Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, Akinori Saeki, Shu Seki, Seiichi Tagawa, and Takuzo Aida

Self-Assembled Hexabenzocoronene Nanotubes as One-Dimensional Electronic and Optoelectronic Nano-Materials.

The 8th International Symposium on Functional π -Electron Systems. Graz, Austria. July 20-25, 2008.

- [15] Takuya Yamamoto, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
Formation of One-Handed Nanocoils by Self-Assembly of Norbornene-Appended Hexabenzocoronene Derivatives.
Yamada Conference 2008. Awaji, Hyogo, Japan. September 1-4, 2008.
- [16] Yusuke Wakikawa, Tadaaki Ikoma, Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
Magnetic Field Effect on the Photocarriers in Self-assembled Hexabenzocoronene Nanotube.
SPINOS 2009, 2nd Topical Meeting on Spins in Organic Semiconductors., Salt Lake City, Utah, USA. February 4-7, 2009.
- [17] Fatin Hajjaj, Kentaro Tashiro, Takeshi Akasaka, Tatsuhisa Kato, and Takuzo Aida
Host-Guest Spin Communication Switchable by Guest Confinement.
The 37th Fullerene-Nano Tubes General Symposium. Tsukuba, Ibaragi, Japan. September 1-3, 2009.
- [18] Yusuke Wakikawa, Tadaaki Ikoma, Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
Electron Acceptor Dependence of the Photocarrier Dynamics in Self-assembled Hexabenzocoronene Nanotube.
International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM) 2010. Kyoto, Japan. July 7-9, 2010.
- [19] Wei Zhang, Wusong Jin, Takanori Fukushima, Noriyuki Ishii, and Takuzo Aida
Non-Volatile Chiral Memory in Organic Nanotubes.
Chirality 2010 (ISCD-22). Sapporo, Hokkaido. July 12-15, 2010.
- [20] Eisuke Ohta, Hiroyasu Sato, Shinji Ando, Atsuko Kosaka, Takanori Fukushima, Daisuke Hashizume, Mikio Yamazaki, Kuniko Hasegawa, and Takuzo Aida
Dynamic Molecular Helices with a High π -Electron Density.
Chirality 2010 (ISCD-22). Sapporo, Hokkaido. July 12-15, 2010.
- [21] Takashi Kajitani, Yuki Suna, Atsuko Kosaka, Shigeki Fujikawa, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
A New Class of Liquid-Crystalline Materials Composed of a Cylindrical Helix.
Chirality 2010 (ISCD-22). Sapporo, Hokkaido. July 12-15, 2010.
- [22] Yusuke Wakikawa, Tadaaki Ikoma, Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
Photocarrier Generation and Recombination in Self-assembled Hexabenzocoronene.
SPINOS 2010: 3rd Topical Meeting on Spins in Organic Semiconductors. Amsterdam, The Netherlands. August 30-September 3, 2010.
- [23] Chika Akabane, Ken-ichi Iimura, Norihiro Kato, Takanori Fukushima, Yohei Yamamoto, and Takuzo Aida
Monolayer Characterization and Photocurrent Property of Organic Semiconductor Molecules with Partial Graphene Skeleton.
NCSS2010: International Conference on Nanoscopic Colloid and Surface Science. Makuhari, Chiba, Japan. September 19-22, 2010.

- [24] Yohei Yamamoto, Wei-Shi Li, Wusong Jin, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
Advanced Molecular Design for Photoactive Nano and Bulk Materials with p/n-Heterojunction.
Pacifichem 2010. Honolulu, Hawaii, USA. December 15-20, 2010.
- [25] Chika Akabane, Ken-ichi Iimura, Norihiro Kato, Takanori Fukushima, Yohei Yamamoto, and Takuzo Aida
Monolayer Characterization and Photocurrent Generation of Organic Semiconductor Molecules with Partial Structure of Graphene Skeleton.
Pacifichem 2010. Honolulu, Hawaii, USA. December 15-20, 2010.
- [26] Eri Hirahara, Takashi Yamashita, Hitoshi Yusa, Tsuyohiko Fujigaya, Naruki Tsuji, Jungeun Kim, Kuniyoshi Sugimoto, Nobuhiro Yasuda, Shigeru Kimura, Masaki Takata, and Takuzo Aida
A New Mechanochromic Material Composed of an Assembled Metallotriphenylene.
Pacifichem 2010. Honolulu, Hawaii, USA. December 15-20, 2010.
- [27] Jeongho Lee, Akihisa Yamaguchi, Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, Norifumi Fujita, and Takuzo Aida
Ionic Liquid Crystalline Triphenylenes: Their Unusual Behaviors upon Hybridization with Carbon Nanotubes.
Pacifichem 2010. Honolulu, Hawaii, USA. December 15-20, 2010.
- [28] Vakayil K. Praveen, Yohei Yamamoto, Takanori Fukushima, Yoshihide Tsunobuchi, Koji Nakabayashi, Shin-ichi Ohkoshi, and Takuzo Aida
Hexabenzocoronene Nanotubes with Organic Radical-Metal One-Dimensional Magnetic Chains.
Pacifichem 2010. Honolulu, Hawaii, USA. December 15-20, 2010.
- [29] Wei Zhang, Wusong Jin, Takanori Fukushima, and Takuzo Aida
Supramolecular Block Polymers: Formation and Properties of Hexabenzocoronene Nanotubes with Axial Heterojunctions.
Pacifichem 2010. Honolulu, Hawaii, USA. December 15-20, 2010.
- [30] Yohei Yamamoto, Guanxin Zhang, Wusong Jin, Takanori Fukushima, Akinori Saeki, Shu Seki, and Takuzo Aida
Photovoltaic Coaxial Nanotubes with Molecular Graphene/Fullerene Heterojunction.
Pacifichem 2010. Honolulu, Hawaii, USA. December 15-20, 2010.

①-2-2 国内

- [1] 中村敏和, 原俊文, 古川貢, 山本洋平, 金武松, 福島孝典, 相田卓三
磁気共鳴法によるヘキサベンゾコロネンナノチューブの電子状態研究.
特定領域研究「次世代共役ポリマーの超階層制御と革新機能」第2回全体会議・公開シンポジウム. 大阪大学コンベンションセンター, 大阪. 2006年1月12-13日.
- [2] 山本洋平, 福島孝典, 砂有紀, 石井則行, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
電子受容体を有するヘキサベンゾコロネン超分子ナノチューブの光伝導特性.
第53回応用物理学関係連合講演会. 武蔵工業大学, 東京. 2006年3月22-26日.
- [3] 本柳仁, 福島孝典, 石井則行, 相田卓三
可逆な光二量化反応を利用したヘキサベンゾコロネンナノチューブの表面重合と脱重合.
日本化学会第86回春季年会. 日本大学理工学部船橋キャンパス, 船橋, 千葉. 2006年3月27-30日.
- [4] 福島孝典, 金武松, 小阪敦子, 石井則行, 相田卓三

クウランエーテルを親水部とする双頭型両親媒性ヘキサベンゾコロネンの自己集合化：疑似グラファイト構造でできた二分子膜ベシクルの生成と性質。
日本化学会第86回春季年会. 日本大学理工学部船橋キャンパス, 船橋, 千葉.
2006年3月27-30日.

- [5] 山本拓矢, 福島孝典, 金武松, 砂有紀, 石井則行, 相田卓三
両親媒性ヘキサベンゾコロネンを側鎖に有するポリノルボルネンの自己組織化によるナノコイルの形成.
日本化学会第86回春季年会. 日本大学理工学部船橋キャンパス, 船橋, 千葉.
2006年3月27-30日.
- [6] 山本洋平, 福島孝典, 砂有紀, 石井則行, 相田卓三
電子受容体を側鎖末端に有する両親媒性ヘキサベンゾコロネン誘導体の自己組織化と光伝導特性.
日本化学会第86回春季年会. 日本大学理工学部船橋キャンパス, 船橋, 千葉.
2006年3月27-30日.
- [7] 金武松, 福島孝典, 砂有紀, 石井則行, 相田卓三
フッ素官能基で被覆されたヘキサベンゾコロネンナノチューブ.
日本化学会第86回春季年会. 日本大学理工学部船橋キャンパス, 船橋, 千葉.
2006年3月27-30日.
- [8] 原俊文, 古川貢, 中村敏和, 山本洋平, 金武松, 福島孝典, 相田卓三
磁気共鳴法によるヘキサベンゾコロネンナノチューブの電子状態考察.
日本物理学会第61回年次大会. 愛媛大学・松山大学, 愛媛. 2006年3月27-30日.
- [9] 福島孝典, 金武松, 小阪敦子, 石井則行, 相田卓三
クウランエーテルを有する双頭型ヘキサベンゾコロネン誘導体の自己集合化.
第55回高分子学会年次大会. 名古屋国際会議場, 名古屋, 愛知. 2006年5月24-26日.
- [10] 安積欣志, 福島孝典, 小阪敦子, 相田卓三
カーボンナノチューブ・イオン液体ゲルアクチュエーターの膜厚と応答性能.
第55回高分子学会年次大会. 名古屋国際会議場, 名古屋, 愛知. 2006年5月24-26日.
- [11] 金武松, 福島孝典, 砂有紀, 石井則行, 相田卓三
両親媒性ヘキサベンゾコロネン誘導体の自己集合化における置換基の影響.
第55回高分子学会年次大会. 名古屋国際会議場, 名古屋, 愛知. 2006年5月24-26日.
- [12] 李維実, 相田卓三
Construction of Artificial Photosynthetic Systems based on Multiporphyrin Dendrimers.
第55回高分子学会年次大会. 名古屋国際会議場, 名古屋, 愛知. 2006年5月24-26日.
- [13] 山本洋平, 福島孝典, 砂有紀, 石井則行, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
光伝導性ヘキサベンゾコロネン超分子ナノチューブ.
第55回高分子学会年次大会. 名古屋国際会議場, 名古屋, 愛知. 2006年5月24-26日.
- [14] 山本拓矢, 福島孝典, 金武松, 砂有紀, 石井則行, 相田卓三
両親媒性ヘキサベンゾコロネンを有するノルボルネンの開環重合と形成されたポリマーの自己組織化によるナノコイルの構築.
第55回高分子学会年次大会. 名古屋国際会議場, 名古屋, 愛知. 2006年5月24-26日.

日.

- [15] 張関心, 金武松, 福島孝典, 石井則行, 相田卓三
イソチオウロニウム塩を有する両親媒性ヘキサベンゾコロネン誘導体の自己組織化.
第55回高分子学会年次大会. 名古屋国際会議場, 名古屋, 愛知. 2006年5月24-26日.
- [16] 金武松, 張関心, 福島孝典, 石井則行, 相田卓三
アニオン捕捉能を有する水分散性グラフィティックナノチューブ.
第55回高分子討論会. 富山大学五福キャンパス, 富山. 2006年9月20-22日.
- [17] 山本拓矢, 福島孝典, 金武松, 石井則行, 相田卓三
ヘキサベンゾコロネン誘導体の自己集合化によるラセンナノコイルの生成と不斉増幅現象.
第55回高分子討論会. 富山大学五福キャンパス, 富山. 2006年9月20-22日.
- [18] 小川由紀子, 向健, 竹内一郎, 清原健司, 安積欣志, 福島孝典, 小阪敦子, 相田卓三
カーボンナノチューブ・イオン液体ゲルアクチュエーターの構造と電気メカニカル応答.
第55回高分子討論会. 富山大学五福キャンパス, 富山. 2006年9月20-22日.
- [19] 李維実, 木本篤志, 福島孝典, 三隅良彦, 相田卓三
Synthesis and Properties of Oligo(benzothiadiazole).
第55回高分子討論会. 富山大学五福キャンパス, 富山. 2006年9月20-22日.
- [20] 本柳仁, 福島孝典, 小阪敦子, 石井則行, 相田卓三
有機導電性ナノチューブのパターニング.
第55回高分子討論会. 富山大学五福キャンパス, 富山. 2006年9月20-22日..
- [21] 山本洋平, 福島孝典, 砂有紀, 石井則行, 相田卓三
Hexabenzocoronene - Trinitrofluorenone Dyadの自己集合化; ナノ構造への電子供与体と電子受容体のコンパートメント化と光伝導特性.
第55回高分子討論会. 富山大学五福キャンパス, 富山. 2006年9月20-22日.
- [22] 原俊文, 古川貢, 中村敏和, 山本洋平, 小阪敦子, 福島孝典, 相田卓三
磁気共鳴法による電気伝導性ヘキサベンゾコロネンナノチューブの電子状態研究.
分子構造総合討論会2006. グランシップ, 静岡. 2006年9月20-23日.
- [23] 福島孝典, 金武松, 相田卓三
両親媒性ヘキサベンゾコロネンからなるナノチューブ状集合体の形成と機能.
第6回夢科有機化学会議. 茅野, 長野. 2006年11月10-12日.
- [24] 原俊文, 古川貢, 中村敏和, 山本洋平, 小阪敦子, 金武松, 福島孝典, 相田卓三
ヘキサベンゾコロネンナノチューブの電子状態の磁気共鳴法による考察.
第45回電子スピンスサイエンス学会年会. 京都工芸繊維大学, 京都. 2006年11月14-16日.
- [25] 福島孝典
パイ共役分子の自己組織化による有機・高分子材料設計ーグラファイトをモチーフとした低次元ナノマテリアルー.
東京工業大学有機・高分子物質特別講義第三. 東京工業大学大岡山キャンパス, 東京. 2006年12月5日.
- [26] 伊藤晃太, 山畑クリストフ, 武川哲也, 山本拓矢, 福島孝典, 相田卓三, コラールドミニク, 橋口原, 藤田博之
MEMSピンセットを用いたHBCナノチューブの捕獲
機械学会 情報・知能・精密機器部門(IIP部門)講演会. 東京工業大学大岡山キャンパス

ンパス, 東京. 2007年3月19-20日.

- [27] 金武松, 張関心, 福島孝典, 小阪敦子, 石井則行, 相田卓三
イソチオウロニウム基を表面に有する水分散性ヘキサベンゾコロネンナノチューブの作製とその機能化.
日本化学会第87回春季年会. 関西大学千里山キャンパス, 大阪. 2007年3月25-28日.
- [28] 山本洋平, 福島孝典, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
ドナー/アクセプター分子層が接合した同軸ナノチューブの光伝導・光起電特性.
日本化学会第87回春季年会. 関西大学千里山キャンパス, 大阪. 2007年3月25-28日.
- [29] 山本拓矢, 福島孝典, 金武松, 石井則行, 相田卓三
ノルボルネンを末端に持つ両親媒性ヘキサベンゾコロネン誘導体の自己組織化によるコイル、チューブ、球状構造体の形成.
日本化学会第87回春季年会. 関西大学千里山キャンパス, 大阪. 2007年3月25-28日.
- [30] 山本洋平, 福島孝典, 張関心, 金武松, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
ドナー/アクセプター分子層がヘテロ接合した同軸ナノチューブの光電導特性と光起電効果.
第56回高分子学会年次大会. 国立京都国際会館, 京都. 2007年5月29-31日.
- [31] 山本拓矢, 福島孝典, 金武松, 石井則行, 相田卓三
ヘキサベンゾコロネン誘導体の自己集合化によるナノコイルの生成: 不斉増幅現象が引き起こすラセン巻き方向の制御.
第56回高分子学会年次大会. 国立京都国際会館, 京都. 2007年5月29-31日.
- [32] 木本篤志, 福島孝典, 石井則行, 相田卓三
位置規則性オリゴ(3-アルキルチオフェン)の自己集合化による電子リッチなナノファイバーの構築.
第56回高分子学会年次大会. 国立京都国際会館, 京都. 2007年5月29-31日.
- [33] 竹内一郎, 安積欣志, 清原健司, 向健, 白石壮志, 福島孝典, 相田卓三
カーボンナノチューブ/イオン液体ゲルアクチュエーターのキャパシタンスと応答特性.
第56回高分子学会年次大会. 国立京都国際会館, 京都. 2007年5月29-31日.
- [34] 金武松, 張関心, 福島孝典, 相田卓三
水分散性ヘキサベンゾコロネンナノチューブの作製.
第33回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム. 九州大学医学部, 福岡. 2007年7月11-13日.
- [35] 山本洋平, 福島孝典, 金武松, 張関心, 三成剛生, 塚越一仁, 相田卓三
自己組織化ヘキサベンゾコロネンナノチューブを用いたp型および両極性FET.
第68回応用物理学会学術講演会. 北海道工業大学, 北海道. 2007年9月4-8日.
- [36] 山本洋平, 福島孝典, 張関心, 金武松, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 三成剛生, 塚越一仁, 相田卓三
ヘキサベンゾコロネン自己組織化ナノチューブの電子・光電子物性
第56回高分子討論会. 名古屋工業大学, 名古屋, 愛知. 2007年9月19-21日.
- [37] 福島孝典, 山本洋平, 張関心, 金武松, 石井則行, 相田卓三
電子供与体-受容体連結型分子の自己集合による同軸ナノチューブの形成とその機能.
第56回高分子討論会. 名古屋工業大学, 名古屋, 愛知. 2007年9月19-21日.

- [38] 本柳仁, 福島孝典, 小阪敦子, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
室温以下でディスコティック液晶相を示すヘキサベンゾコロネン誘導体：その設計と光電導挙動.
第56回高分子討論会. 名古屋工業大学, 名古屋, 愛知. 2007年9月19-21日.
- [39] 段曉菲, 金武松, 福島孝典, 相田卓三
アクリジンユニットを有するヘキサベンゾコロネン誘導体の合成と自己集合化.
第56回高分子討論会. 名古屋工業大学, 名古屋, 愛知. 2007年9月19-21日.
- [40] 張維, 金武松, 福島孝典, 相田卓三
配位結合形成が誘起するヘキサベンゾコロネン誘導体のナノチューブ形成.
第56回高分子討論会. 名古屋工業大学, 名古屋, 愛知. 2007年9月19-21日.
- [41] 竹内一郎, 安積欣志, 杉野卓司, 清原健司, 向健, 白石壮志, 福島孝典, 相田卓三
ナノカーボン/イオン液体ゲル電極を用いたアクチュエーターのイオン移動と応答特性.
第56回高分子討論会. 名古屋工業大学, 名古屋, 愛知. 2007年9月19-21日.
- [42] 山本拓矢, 福島孝典, 山本洋平, 小阪敦子, 金武松, 石井則行, 相田卓三
ヘキサベンゾコロネン誘導体の自己集合化による片方巻きナノコイルの生成.
第37回構造有機化学討論会. 北海道大学, 札幌, 北海道. 2007年10月27-29日.
- [43] 本柳仁, 福島孝典, 小阪敦子, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
室温以下でカラムナー液晶を示すヘキサベンゾコロネン誘導体：その設計と光電導挙動.
第37回構造有機化学討論会. 北海道大学, 札幌, 北海道. 2007年10月27-29日.
- [44] 山本拓矢, 福島孝典, 山本洋平, 小阪敦子, 金武松, 石井則行, 相田卓三
ヘキサベンゾコロネン誘導体の自己集合化による導電性ナノコイルの構築：共自己組織化による形状とラセンキラリティーの同時制御.
SORSTジョイントシンポジウム(8)「有機合成力」ーそのダイナミズム. コクヨホール, 東京, 2008年1月29-30日.
- [45] 山本洋平, 福島孝典, 金武松, 張関心, 三成剛生, 塚越一仁, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
自己組織化ヘキサベンゾコロネンナノチューブの電界効果トランジスタ特性
日本化学会第88回春季年会. 立教大学, 池袋, 東京. 2008年3月26-30日.
- [46] 山本洋平, 金武松, 福島孝典, 金廷恩, 加藤健一, 高田昌樹, 相田卓三
高輝度X線回折法を用いたヘキサベンゾコロネンナノチューブの構造解析.
日本化学会第88回春季年会. 立教大学, 池袋, 東京. 2008年3月26-30日.
- [47] 山本拓矢, Justin Mynar, 福島孝典, 小阪敦子, 石井則行, 相田卓三
Click Chemistryを用いたヘキサベンゾコロネンナノチューブ内外表面への選択的官能基化.
日本化学会第88回春季年会. 立教大学, 池袋, 東京. 2008年3月26-30日.
- [48] 本柳仁, 福島孝典, 小阪敦子, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
両親媒性側鎖を有するヘキサベンゾコロネン誘導体：室温以下でのカラムナー液晶相の発現と光電導挙動.
日本化学会第88回春季年会. 立教大学, 池袋, 東京. 2008年3月26-30日.
- [49] 李維実, 山本洋平, 福島孝典, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
Control of Donor-Acceptor Chromophoric Packing with Molecular Amphiphilicity.
第55回高分子学会年次大会. パシフィコ横浜, 神奈川. 2008年5月28-30日.
- [50] 山本洋平, 福島孝典, 張関心, 金武松, 石井則行, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一,

- 三成剛生, 塚越一仁, 相田卓三
 フラーレンおよびヘキサベンゾコロネン分子層がヘテロ接合した同軸ナノチューブにおける電荷輸送特性.
 第55回高分子学会年次大会. パシフィコ横浜, 神奈川. 2008年5月28-30日.
- [51] 山本拓矢, 福島孝典, 山本洋平, 小阪敦子, 金武松, 石井則行, 相田卓三
 ヘキサベンゾコロネン誘導体の自己集合形態とラセンキラリティーの同時制御による一方巻きナノコイルの構築.
 第55回高分子学会年次大会. パシフィコ横浜, 神奈川. 2008年5月28-30日.
- [52] 山本拓矢, Justin Mynar, 福島孝典, 小阪敦子, 石井則行, 相田卓三
 クリックケミストリーを用いたポスト官能基化による径方向にジブロック構造を有するヘキサベンゾコロネンナノチューブの構築.
 第55回高分子学会年次大会. パシフィコ横浜, 神奈川. 2008年5月28-30日.
- [53] 山本洋平, 福島孝典, 張関心, 金武松, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 三成剛生, 塚越一仁, 相田卓三
 フラーレン/ヘキサベンゾコロネン同軸ナノチューブの電子・光電子物性.
 2008年秋季第69回応用物理学会学術講演会. 中部大学, 愛知. 2008年9月2-5日.
- [54] 金武松, 山本洋平, 福島孝典, 石井則行, 金廷恩, 加藤健一, 高田昌樹, 相田卓三
 ヘキサベンゾコロネン自己組織化ナノチューブの形成に重要な構造因子の解明.
 第57回高分子討論会. 大阪市立大学杉本キャンパス, 大阪. 2008年9月24-26日.
- [55] 和亜寧, 金武松, 張維, 福島孝典, 相田卓三
 Photochemical Modulation of Self-Assembly Mode of Azobenzene-Appended Hexabenzocoronenes.
 第57回高分子討論会. 大阪市立大学杉本キャンパス, 大阪. 2008年9月24-26日.
- [56] 山本洋平, 福島孝典, 張関心, 金武松, 石井則行, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 三成剛生, 塚越一仁, 相田卓三
 フラーレン-ヘキサベンゾコロネン同軸ナノチューブにおける両極性電荷輸送特性.
 第57回高分子討論会. 大阪市立大学杉本キャンパス, 大阪. 2008年9月24-26日.
- [57] 福島孝典, 李維実, 山本洋平, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
 双連続した電子ドナー/アクセプター層を有する分子組織体構築への設計戦略.
 第57回高分子討論会. 大阪市立大学杉本キャンパス, 大阪. 2008年9月24-26日.
- [58] 樋爪友美, Richard Charvet, 田代健太郎, 山本洋平, 佐伯昭紀, 関修平, 相田卓三
 キラルな両親媒性ドナー・アクセプターダイアッドの自己組織化による光導電性材料の創成.
 第57回高分子討論会. 大阪市立大学杉本キャンパス, 大阪. 2008年9月24-26日.
- [59] 山本洋平, 福島孝典, 金武松, 相田卓三
 Photovoltaic Properties of Hexabenzocoronene-Fullerene Coaxial Nanotubes.
 蓼科有機化学会議 (8th Tateshina Conference on Organic Chemistry).
 蓼科フォーラム, 蓼科, 長野. 2008年11月7-9日.
- [60] 山本洋平, 和亜寧, 金武松, 福島孝典, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
 フォトクロミックヘキサベンゾコロネン同軸ナノチューブ: ジチエニルエテンユニットの閉環/開環反応による光電導性制御.
 第58回高分子学会年次大会. 神戸国際会議場, 兵庫. 2009年5月27-29日.
- [61] 山口章久, Md. Akhtarul Alam, 山本洋平, 福島孝典, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
 イミダゾリウムイオン部位を有するペリレンビスイミド誘導体の液晶挙動と光電子物性.

- 第58回高分子学会年次大会. 神戸国際会議場, 兵庫. 2009年5月27-29日.
- [62] Md. Akhtarul Alam, 本柳仁, 山口章久, 山本洋平, 福島孝典, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
Room-Temperature Bicontinuous Cubic Discotic Liquid Crystal Consisting of an Imidazolium Ion-Appended Triphenylene.
第58回高分子学会年次大会. 神戸国際会議場, 兵庫. 2009年5月27-29日.
- [63] 張維, 金武松, 福島孝典, 石井則行, 相田卓三
Chiral Memory in a Nanoscale Molecular Assembly.
第58回高分子学会年次大会. 神戸国際会議場, 兵庫. 2009年5月27-29日.
- [64] Vakayil K. Praveen, 山本洋平, 福島孝典, 相田卓三
Magnetic Nanotubes via Self-Assembly of Nitroxide Radical- Appended Hexabenzocoronenes.
第58回高分子学会年次大会. 神戸国際会議場, 兵庫. 2009年5月27-29日.
- [65] 李廷湖, 藤田典史, Md. Akhtarul Alam, 山本洋平, 福島孝典, 相田卓三
カーボンナノチューブと高い親和性を有するイミダゾリウム塩側鎖含有ディスコティック液晶性分子.
第58回高分子学会年次大会. 神戸国際会議場, 兵庫. 2009年5月27-29日.
- [66] 樋爪友美, Richard Charvet, 田代健太郎, 山本洋平, 佐伯昭紀, 関修平, 相田卓三
キラルな両親媒性ドナー・アクセプターダイアッドの自己組織化による光導電性材料の創成.
第58回高分子学会年次大会. 神戸国際会議場, 兵庫. 2009年5月27-29日.
- [67] 梶谷孝, 佐藤寛泰, 小阪敦子, 藤川茂樹, 福島孝典, 相田卓三
新しいメソゲンとしての筒状 π -ヘリックス.
第58回高分子学会年次大会. 神戸国際会議場, 兵庫. 2009年5月27-29日.
- [68] 太田英輔, 佐藤寛泰, 小阪敦子, 福島孝典, 山崎幹緒, 長谷川仁子, 相田卓三
新規な動的 π -ヘリックス: 結晶化における対称性の破れと誘起されたキラリティーの電子酸化反応によるメモリー.
第58回高分子学会年次大会. 神戸国際会議場, 兵庫. 2009年5月27-29日.
- [69] 山本洋平
ディスク状分子による電子活性ナノチューブの構築.
有機ナノチューブ連絡会. 産業技術総合研究所, 筑波, 茨城. 2009年6月18日.
- [70] 山口章久, Md. Akhtarul Alam, 山本洋平, 福島孝典, 相田卓三
イミダゾリウムイオン部位をアルキル側鎖末端に有するドナー及びアクセプター分子の合成と液晶挙動.
2009年日本液晶学会討論会. 東京農工大学小金井キャンパス, 東京. 2009年9月13-15日.
- [71] 梶谷孝, 砂有紀, 小阪敦子, 藤川茂紀, 福島孝典, 相田卓三
新規メソゲンの発見: 筒状 π 共役らせん分子の液晶発現.
2009年日本液晶学会討論会. 東京農工大学小金井キャンパス, 東京. 2009年9月13-15日.
- [72] 山本洋平, 張関心, 金武松, 福島孝典, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
電子ドナー/アクセプターヘテロ界面を有する自己組織化ナノチューブの構築と光電子機能.
第58回高分子討論会. 熊本大学工学部黒髪キャンパス, 熊本. 2009年9月16-18日.
- [73] 山本洋平, 和亜寧, 金武松, 福島孝典, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
フォトクロミックヘキサベンゾコロネンナノチューブ: ジチエニルエテンユニ

- ットの閉環／開環反応による光電導制御。
第58回高分子討論会. 熊本大学工学部黒髪キャンパス, 熊本. 2009年9月16-18日.
- [74] 山口章久, Md. Akhtarul Alam, 山本洋平, 福島孝典, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
イミダゾリウムイオン部位を長鎖アルキル末端に有するドナー及びアクセプター分子の液晶挙動と光電子物性.
第58回高分子討論会. 熊本大学工学部黒髪キャンパス, 熊本. 2009年9月16-18日.
- [75] 福島孝典, Md. Akhtarul Alam, 本柳仁, 山本洋平, 佐伯昭紀, 関修平, 田川精一, 相田卓三
イミダゾリウムイオンを側鎖末端に有するディスク状分子の自己集合化ー双連続キュービック液晶相の形成とその電荷輸送特性ー.
第58回高分子討論会. 熊本大学工学部黒髪キャンパス, 熊本. 2009年9月16-18日.
- [76] 張維, 金武松, 福島孝典, 石井則行, 相田卓三
A Long-term Chiral Footprint in a Nanoscale Molecular Assembly.
第58回高分子討論会. 熊本大学工学部黒髪キャンパス, 熊本. 2009年9月16-18日.
- [77] Praveen V. K, 山本洋平, 福島孝典, 角淵由英, 中林耕二, 大越慎一, 相田卓三
Magnetic Nanotubes via Self-Assembly of Nitronyl Nitroxide-Appended Hexabenzocoronenes.
第58回高分子討論会. 熊本大学工学部黒髪キャンパス, 熊本. 2009年9月16-18日.
- [78] 李廷湖, 藤田典史, 相田卓三, Md. Akhtarul Alam, 山本洋平, 福島孝典
イオン液体側鎖を有するディスコティック液晶分子とカーボンナノチューブの複合.
第58回高分子討論会. 熊本大学工学部黒髪キャンパス, 熊本. 2009年9月16-18日.
- [79] 太田英輔, 佐藤寛泰, 小阪敦子, 福島孝典, 山崎幹緒, 長谷川仁子, 相田卓三
 π 電子が高密度で集積したヘリックス分子の動的特性.
第58回高分子討論会. 熊本大学工学部黒髪キャンパス, 熊本. 2009年9月16-18日.
- [80] 脇川祐介, 生駒忠昭, 山本洋平, 福島孝典, 相田卓三
自己組織化ヘキサベンゾコロネンナノチューブにおける光生成キャリアスピンダイナミクス.
分子科学討論会 2009. 名古屋大学東山キャンパス, 名古屋, 愛知. 2009年9月21-24日.
- [81] 太田英輔, 佐藤寛泰, 小阪敦子, 福島孝典, 山崎幹緒, 長谷川仁子, 相田卓三
 π 電子が高密度で集積した動的ラセン分子：自発的対称性の破れを伴う結晶化による不斉誘起とそのメモリー.
第20回基礎有機化学討論会. 群馬大学, 桐生, 群馬. 2009年9月28-30日.
- [82] 脇川祐介, 生駒忠昭, 山本洋平, 福島孝典, 相田卓三
自己組織化ヘキサベンゾコロネンナノチューブの光キャリアダイナミクス.
金研ワークショップ 2009. 東北大学, 仙台, 宮城. 2009年10月5-6日.
- [83] 脇川祐介, 生駒忠昭, 山本洋平, 福島孝典, 相田卓三
自己組織化ヘキサベンゾコロネンナノチューブの磁気伝導における励起光依存性.
第48回電子スピンサイエンス学会. 神戸大学, 兵庫. 2009年11月10-12日.
- [84] 山本洋平, 張関心, 金武松, 福島孝典, 相田卓三
ヘキサベンゾコロネンとフラーレンのヘテロ接合による光起電ナノチューブ.
SORSTシンポジウム (4) 「ナノ空間材料」その特性と魅力. 東京. 2010年1月29-30日.
- [85] 赤羽千佳, 加藤紀弘, 飯村兼一, 福島孝典, 山本洋平, 相田卓三
グラフェン部分骨格を有する有機半導体分子膜の構造と光電流特性.

- 第90回日本化学会春季年会. 近畿大学, 東大阪市, 大阪. 2010年3月26-29日.
- [86] 張維, 金武松, 福島孝典, 石井則行, 相田卓三
径方向および軸方向にヘテロ接合したヘキサベンゾコロネンナノチューブの構築
第90回日本化学会春季年会. 近畿大学, 東大阪市, 大阪. 2010年3月26-29日.
- [87] 福島孝典, Md. Akhtarul Alam, 本柳仁, 山本洋平, 佐伯昭紀, 関修平, 相田卓三
室温で双連続キュービック液晶相を発現するディスク状分子の発見
第90回日本化学会春季年会. 近畿大学, 東大阪市, 大阪. 2010年3月26-29日.
- [88] 平原衣梨, 藤ヶ谷剛彦, 山下俊, 遊佐齊, 杉本邦久, 金廷恩, 辻成希, 安田伸広, 木村滋, 高田昌樹, 相田卓三
熱/圧力で駆動するトリフェニレン架橋白金錯体の動的システム.
第90回日本化学会春季年会. 近畿大学, 東大阪市, 大阪. 2010年3月26-29日.
- [89] 太田英輔, 佐藤寛泰, 小阪敦子, 福島孝典, 橋爪大輔, 山崎幹緒, 長谷川仁子, 相田卓三
自発的対称性の破れを伴う結晶化による不斉誘起とそのメモリー.
第90回日本化学会春季年会. 近畿大学, 東大阪市, 大阪. 2010年3月26-29日.
- [90] 梶谷孝, 砂有紀, 小阪敦子, 藤川茂紀, 福島孝典, 相田卓三
オリゴオルトフェニレン: 筒状らせん分子からの液晶形成と巨視的配向特性.
第90回日本化学会春季年会. 近畿大学, 東大阪市, 大阪. 2010年3月26-29日.
- [91] 安藤伸治, 太田英輔, 小阪敦子, 福島孝典, 橋爪大輔, 村岡梓, 牛山浩, 相田卓三
パイ電子が高密度に集積した新規らせん分子の構築とその動的挙動.
第90回日本化学会春季年会. 近畿大学, 東大阪市, 大阪. 2010年3月26-29日.
- [92] 李廷湖, 藤田典史, 山口章久, 山本洋平, 福島孝典, 相田卓三
Ionic Liquid Crystalline Triphenylenes: Their Unusual Behaviors upon Hybridization with Single-Walled Carbon Nanotubes.
第59回高分子学会年次大会. パシフィコ横浜, 横浜, 神奈川. 2010年5月26-28日.
- [93] 朴致映, 福島孝典, 相田卓三
Polymer-Directed Supramolecular Polymerization of an Amphiphilic Molecular Graphene into Nanotubular Assemblies.
第59回高分子学会年次大会. パシフィコ横浜, 横浜, 神奈川. 2010年5月26-28日.
- [94] 太田英輔, 佐藤寛泰, 安藤伸治, 小阪敦子, 福島孝典, 橋爪大輔, 山崎幹緒, 長谷川仁子, 相田卓三
オリゴオルトフェニレン: 結晶化による自発的対称性の破れによる不斉誘起とそのメモリー.
第59回高分子学会年次大会. パシフィコ横浜, 横浜, 神奈川. 2010年5月26-28日.
- [95] 梶谷孝, 砂有紀, 小阪敦子, 藤川茂紀, 福島孝典, 相田卓三
オリゴオルトフェニレン: 筒状らせん分子のサーモトロピック液晶発現とマクロスコピック配向特性.
第59回高分子学会年次大会. パシフィコ横浜, 横浜, 神奈川. 2010年5月26-28日.
- [96] 安藤伸治, 太田英輔, 小阪敦子, 福島孝典, 橋爪大輔, 越野広雪, 村岡梓, 牛山浩, 相田卓三
オリゴオルトフェニレン: パイ電子が高密度に集積したナノスケール筒状らせんの構築とその動的挙動.
第59回高分子学会年次大会. パシフィコ横浜, 横浜, 神奈川. 2010年5月26-28日.
- [97] 太田英輔, 佐藤寛泰, 安藤伸治, 小阪敦子, 砂有紀, 福島孝典, 橋爪大輔, 相田卓三
高密度 π 電子含有ラセン分子の合成と動的特性.
第21回基礎有機化学討論会. 名古屋大学, 名古屋, 愛知. 2010年9月9-11日.

- [98] 平原衣梨, 遊佐斉, 山下俊, 藤ヶ谷剛彦, 大谷亮太, 岡島敏浩, 中田一弥, 辻成希, 金廷恩, 杉本邦久, 高田昌樹, 相田卓三
自己集合性メタロトリフェニレンからなる新規メカノクロミック材料.
第59回高分子討論会. 北海道大学, 札幌, 北海道. 2010年9月15-17日.
- [99] 朴致映, 福島孝典, 相田卓三
Controlled and Site-Specific Self-Assembly of an Amphiphilic Molecular Graphene with a Polymer.
第59回高分子討論会. 北海道大学, 札幌, 北海道. 2010年9月15-17日.
- [100] 山口章久, 山本洋平, 福島孝典, 佐伯昭紀, 関修平, 相田卓三
銅フタロシアニン-ペリレンジイミド連結分子からなる光導電性同軸ナノファイバーの構築.
第59回高分子討論会. 北海道大学, 札幌, 北海道. 2010年9月15-17日.
- [101] 山本洋平, 李維実, 福島孝典, 佐伯昭紀, 関修平, 相田卓三
両親媒性分子デザインによる電子ドナー/アクセプターヘテロ接合の形成.
第59回高分子討論会. 北海道大学, 札幌, 北海道. 2010年9月15-17日.
- [102] 太田英輔, 佐藤寛泰, 安藤伸治, 小阪敦子, 砂有紀, 福島孝典, 橋爪大輔, 相田卓三
 π 電子が高密度に集積した新規ラセン分子の特異な動的挙動.
第59回高分子討論会. 北海道大学, 札幌, 北海道. 2010年9月15-17日.
- [103] 脇川祐介, 生駒忠昭, 山本洋平, 福島孝典, 相田卓三
一次元光伝導性ヘキサベンゾコロネン自己組織体のキャリア生成における電子受容体効果.
第49回電子スピンスイエンス学会. 名古屋大学, 名古屋, 愛知. 2010年11月11-13日.

(3) 特許出願

(SORST研究の成果に関わる特許 (出願人がJST以外のものを含む))

	件数
国内出願	17
海外出願	10
計	27

(4) その他特記事項

① プレス発表

- “ 光で電気を流すナノサイズ同軸ケーブルの開発に成功”
(光エレクトロニクス分野の発展に大いに期待)
科学技術振興機構報 第366号. December 12, 2006.“
- “ ナノ分子コイルのスパイラル電気伝導性を実証”
自然科学研究機構分子科学研究所プレスリリース. March 6, 2008.
- “ 太陽電池の構造に生体膜の原理を導入、光電効率の飛躍的向上に期待”
(液晶性有機薄膜の理想的な分子配列を実現)
独立行政法人理化学研究所プレスリリース. June 19, 2008
- “ 第2の炭素ナノチューブの構造をSPRING-8の放射光で解明”
(DNAを連想させるグラファイト状分子対のらせん階段)
独立行政法人理化学研究所プレスリリース. June 20, 2008
- “ 電子とホールを同時に流すグラファイトナノチューブの開発に成功”
(新たな太陽電池材料として期待)

科学技術振興機構報 第689号. November 24, 2009.

“ アリの巣状に分岐した液晶構造を発見”
(三次元的な電荷輸送経路を持つ液晶性有機半導体の新しいモチーフに)
独立行政法人理化学研究所プレスリリース. December 1, 2009.

“ 高強度で自己修復性のあるアクアマテリアルの開発に成功”
(水からできた究極の環境無負荷材料として期待)
科学技術振興機構報 第707号. January 21, 2010.

② 報道

- [1] 相田卓三.
“ 全国高校化学グランプリ 2005、表彰式開催、I C h O代表も”
化学工業日報. November 22, 2005.
- [2] 相田卓三.
“ 東大、フラーレンの分子内での振動を発見—分子機械構築に道”
日刊工業新聞. December 7, 2005.
- [3] 相田卓三.
“ Molecular machine twists other molecules”
Nanotechweb. March 22, 2006.
- [4] 相田卓三.
“ ウイルスの10分の1、ナノサイズのペンチ、東大など開発、手術に応用期待”
日本経済新聞 夕刊. March 23, 2006.
- [5] 相田卓三.
“ 東大、光で動く分子ピンセットの合成に成功”
日刊工業新聞. March 23, 2006.
- [6] 相田卓三.
“ 分子を変形させる「ペンチ」を開発”
朝日新聞. March 28, 2006.
- [7] 相田卓三.
“ 光で動く「超小型ペンチ」を開発 分子をねじる加工に成功”
産経新聞 東京朝刊. May 1, 2006.
- [8] 相田卓三.
“ 光で動く「超小型ペンチ」を開発 分子をねじる加工に成功”
産経新聞 大阪朝刊. May 1, 2006.
- [9] 相田卓三, 福島孝典.
“ 東大など、アクリル樹脂、強度120倍—ナノチューブ混ぜ込む”
日経産業新聞. June 29, 2006.
- [10] 相田卓三.
“ アクチュエーター、低電圧で柔軟な動き、東大など開発—ロボ応用期待”
日経産業新聞. July 18, 2006.
- [11] 相田卓三.
“ ナノサイズのDDS、治療応用間近に—大学の成果生かしベンチャーが先陣”
日経ナノビジネス. November 27, 2006.
- [12] 福島孝典.
“ 高分子アクチュエーター、応用開発急ピッチ”
日経ナノビジネス, 51, 2-3, December 11, 2006.

- [13] 福島孝典.
“ Nano-cables convert light into electricity”
New Scientist Tech. December 14, 2006.
- [14] 相田卓三.
“ Nanotube Photoconductors”
Royal Society of Chemistry, Chemistry World, December 14, 2006.
- [15] 相田卓三.
“ 同軸ナノケーブル 光導電タイプを開発 電流変化1万倍超”
化学工業. December 15, 2006.
- [16] 相田卓三.
“ 東大が極細チューブ、光を当てると電気が流れる”
日本経済新聞. December 15, 2006.
- [17] 相田卓三.
“ 東大、ナノチューブ、光を電気に変換——小型太陽電池へ応用”
日経産業新聞. December 15, 2006.
- [18] 相田卓三.
“ 東大、ナノサイズの同軸ケーブル開発— 光照射し電流値1万倍に”
日刊工業新聞. December 15, 2006.
- [19] 相田卓三.
“ J S T—東大、光導電タイプの同軸ナノケーブルを開発”
化学工業日報. December 15, 2006.
- [20] 相田卓三.
“ 「光で発電」が可能に J S Tが世界初の高い導電性ナノチューブ開発に成功”
電気新聞. December 15, 2006.
- [21] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
東京新聞(Web.). December 15, 2006.
- [22] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
東奥日報(Web.). December 15, 2006.
- [23] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
デーリー東北新聞(Web.). December 15, 2006.
- [24] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
岩手日報(Web.). December 15, 2006.
- [25] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
山形新聞(Web.). December 15, 2006.
- [26] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
北日本新聞(Web.), December 15, 2006.
- [27] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
新潟日報(Web.) . December 15, 2006.

- [28] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
信濃毎日新聞(Web.). December 15, 2006.
- [29] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
中日新聞(Web.). December 15, 2006.
- [30] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
西日本新聞(Web.). December 15, 2006.
- [31] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
福井新聞(Web.). December 15, 2006.
- [32] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
京都新聞(Web.). December 15, 2006.
- [33] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
神戸新聞(Web.). December 15, 2006.
- [34] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
河北新報(Web.). December 15, 2006.
- [35] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
山陰中央新報(Web.). December 15, 2006.
- [36] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
四国新聞(Web.). December 15, 2006.
- [37] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
佐賀新聞(Web.). December 15, 2006.
- [38] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
熊本日日新聞(Web.). December 15, 2006.
- [39] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
宮崎日日新聞(Web.). December 15, 2006.
- [40] 相田卓三.
“ 光で電气流す極細チューブ 次世代太陽電池に応用か”
秋田魁新聞(Web.). December 15, 2006.
- [41] 相田卓三, 福島孝典, 山本洋平.
“ Nanotube Photoconductors: Coaxial structure shapes optoelectronic properties”
Chemical & Engineering News, 2006, 84, 14-15. December 18, 2006.
- [42] 相田卓三, 福島孝典, 山本洋平.
“ Photoconductive Nanotubes Self-assemble”

Nanotechweb. December 19, 2006.

- [43] 相田卓三.
“ Nanowires Conduct Photocurrent”
MIT Technology Review. December 20, 2006.
- [44] 相田卓三.
“ ミクロ世界の電源となる新素材開発 1 万倍の光伝導効果”
asahi.com. December 29, 2006.
- [45] 相田卓三.
“ ミクロ世界の「電源」期待 東大教授ら、素材開発”
朝日新聞. December 30, 2006.
- [46] 相田卓三, 福島孝典.
“ Organic Nanotubes: Travel Lightly”
Nature Nanotechnology, Research Highlights. January 5, 2007.
- [47] 相田卓三.
“ Self-assembled nanotubes exhibit photoconductivity”
Optics.org. January 2, 2007.
- [48] 相田卓三, 福島孝典, 山本洋平.
“ 光をあてると電気が発生 ナノサイズ同軸ケーブル開発”
科学新聞. January 13, 2007.
- [49] 福島孝典.
“ 高分子アクチュエーター 発電用など開発急ピッチ”
日経産業新聞. January 18, 2007.
- [50] 相田卓三, 福島孝典, 山本洋平.
“ Photoconduction at the nanoscale”
Nanomaterials News. January 23, 2007.
- [51] 相田卓三.
“ 超極小！直径わずか16ナノメートル。光導電性同軸ナノチューブの開発で、
次世代太陽電池の開発に光が！”
DIME. February 20, 2007.
- [52] 福島孝典.
“ 21世紀の気鋭 自ら研究環境変え奮起”
日経産業新聞. February 22, 2007.
- [53] 相田卓三, 福島孝典, 安積欽志.
“ 用一映屯池作屯源的微型振落器”
The Japan Journal (中文版), 2007, 2, 16. February, 2007.
- [54] 相田卓三, 福島孝典, 安積欽志.
“ Like a Insect out of Water”
The Japan Journal, 2007, 3, 32. February, 2007.
- [55] 相田卓三, 福島孝典, 山本洋平.
“ Self-assembly is ready to roll”
News and Views, Nature Nanotechnology, 2007, 2, 77-78. February, 2007.
- [56] 相田卓三, 福島孝典, 山本洋平.
“ 光をあてると発電する“ ナノケーブル”
Newton, 2007, 27, 13. March 7, 2007.

- [57] 相田卓三, 福島孝典.
“ 光で電気を流すナノサイズ同軸ケーブル”
OHM, 2007, 94, 10-11. March 12, 2007.
- [58] 相田卓三, 福島孝典, 山本洋平.
“ 自己組織化による光導電性同軸ナノチューブの開発”
セラミックス. 2007, 47, 313. April 1, 2007.
- [59] 相田卓三.
“ 光導電性を持つグラファイト由来のナノチューブを開発”
Nature Asia-Pacific, Web. April 16, 2007.
- [60] 相田卓三.
“ 切っても元通り、弾力抜群新素材 仏のグループが開発”
朝日新聞 夕刊. February 21, 2008. (相田教授のコメント)
- [61] 相田卓三.
“ 東大が新界面活性剤 半導体素子開発に道”
日刊工業新聞. March 4, 2008.
- [62] 相田卓三, 福島孝典, 金武松, 山本洋平.
“ 「HBCナノチューブの構造」理研など解明”
科学新聞. July 11, 2008.
- [63] 相田卓三.
“ 東大など、多様な要素技術駆使、CNT用いた高導電性エラストマーで”
化学工業日報. August 12, 2008.
- [64] 相田卓三.
“ ケース・スタディーケース・スタディ”
日経マイクロデバイス. September 1, 2008.
- [65] 相田卓三.
“ 第58回錯体化学討論会：金沢大学で9月20日から3日間”
科学新聞. September 5, 2008. (錯体化学会貢献賞を受賞する相田教授の紹介)
- [66] 相田卓三.
“ 有機薄膜太陽電池、分子整列、発電効率を改善——東大など、化学結合で新材料”
日経産業新聞. January 28, 2009.
- [67] 相田卓三.
“ 東大と東北大、「分子のり」開発、たんぱく質や核酸・糖を結合、がん治療に活用へ”
日経産業新聞. February 6, 2009.
- [68] 相田卓三.
“ 日本化学会、27日から千葉・船橋で春季大会”
化学工業日報. March 24, 2009. (日本化学会賞を受賞した相田教授の講演内容の紹介)
- [69] 相田卓三.
“ 「最新の研究発表と未来志向の学術講演」日本化学会の第89春季年会～日大理工学部 船橋キャンパスで27日から4日間”
科学新聞. March 27, 2009. (日本化学会賞を受賞した相田教授の講演内容の紹介)
- [70] 相田卓三.
“ 高付加価値技術－伸縮自在の配線－高付加価値技術 伸縮自在の配線 自由曲面や可動部に電子機能を付加, 引っ張ると伸びる有機ELを開発”
日経マイクロデバイス. July 1, 2009.

- [71] 相田卓三.
“ 東大と J S T、電子・ホールを同時に流す黒鉛ナノチューブ構造体を開発”
日刊工業新聞. November 24, 2009.
- [72] 相田卓三.
“ “ 95 %水” の新素材開発 接着剤など医療への応用期待 東大グループ”
NHK ニュース おはよう日本. January 21, 2010.
- [73] 相田卓三.
“ 切っても元通り新材料”
朝日新聞（関西版）朝刊. January 21, 2010.
- [74] 相田卓三.
“ 「95 %水」の新素材 切っても元通り、手術に 東京大のチームが開発”
朝日新聞（関東版）夕刊. January 21, 2010.
- [75] 相田卓三.
“ アクアマテリアル：98 %水の新素材開発 プラスチック代替ー東大チーム”
毎日新聞. January 21, 2010.
- [76] 相田卓三.
“ 水分 98%で高強度 東大が新材料 コンニャクの 500 倍”
日経産業新聞. January 21, 2010.
- [77] 相田卓三.
“ 東大、簡易プロセスで高含水ハイドロゲル、自己修復性有し強度も確保”
化学工業日報. January 21, 2010.
- [78] 相田卓三.
“ 東大、高強度で自己修復性持つ含水材料を開発”
日刊工業新聞. January 21, 2010.
- [79] 相田卓三.
“ 新素材：98 %水…医療などで利用期待 東大チームが開発”
毎日 jp. January 21, 2010.
- [80] 相田卓三.
“ 韓日の研究陣、自己修復力のあるハイドロゲル開発（上）”
朝鮮日報. January 21, 2010.
- [81] 相田卓三.
“ ほとんどが水の新素材誕生”
朝日小学生新聞. January 23, 2010.
- [82] 相田卓三.
“ ポリマーに代わる「アクアマテリアル」：東大チームが開発”
WIRED VISION. January 26, 2010.
- [83] 相田卓三.
“ 高強度で自己修復性持つアクアマテリアル開発”
科学新聞. January 29, 2010.
- [84] 相田卓三.
“ 強度こんにゃくの 500 倍 東大が水分 98 %の新物質開発”
産経新聞. February 1, 2010.
- [85] 相田卓三.
“ 強度はコンニャクの 500 倍”
しんぶん赤旗. February 14, 2010.

- [86] 相田卓三.
“ 98%が水の新素材／東大教授が開発”
東奥日報 夕刊. February 15, 2010.
- [87] 相田卓三.
“ 水98%の新素材開発＊高い強度、製造簡単＊医療など応用に期待”
北海道新聞 夕刊. February 16, 2010.
- [88] 相田卓三.
“ アクアマテリアル 98%が水、新素材完成 医療分野への応用期待”
秋田魁新報. February 23, 2010.

③ 受賞

- [1] 山本洋平
第53回応用物理学関係連合講演会講演奨励賞（2006年）
- [2] 山本洋平
日本化学会 第87回春季年会優秀講演賞（2007年）
- [3] 山本拓矢
日本化学会 第87回春季年会優秀講演賞（2007年）
- [4] 福島孝典
日本化学会 第22回若い世代の講演会講演賞（2008年）
- [5] 本柳仁
日本化学会 第88回春季年会優秀講演賞（2008年）
- [6] 福島孝典
文部科学大臣表彰若手科学者賞（2008年）
- [7] 相田卓三
錯体化学会貢献賞（2008年）
- [8] 相田卓三
2009 ACS Award in Polymer Chemistry（2009年）
- [9] 相田卓三
第61回 日本化学会賞（2009年）
- [10] 山本洋平
日本化学会 第23回若い世代の講演会講演賞（2009年）
- [11] 山本洋平
高分子学会 平成20年度高分子研究奨励賞（2009年）
- [12] Fatin Hajjaj
フラーレン・ナノチューブ学会 2009年度大澤奨励賞（2009年）
- [13] 山本洋平
日本化学会 第59回進歩賞（2010年）

9. 結び

(1) 研究の目標等から見た達成度

本 SORST プロジェクトでは、グラファイトナノチューブを形成する両親媒性ヘキサベンゾコロネン（HBC）の高度な自己組織化を駆使し、次世代の電子活性ソフトナノマテリアルの創成に向けての究極のデザイン戦略の確立を目標として掲げた。また、この研究で培われた基本戦略を広く一般の電子活性分子にまで拡張し、次世代の情報産業を支える新規ソフトマテリアルの新たな普遍的設計指針の確立を目指した。具体的な内容は「3. 研究構想」に示したが、現在論文発表準備中のものも含め、8－9割は達成できたものと考えている。さらには、SORST プロジェクト発足当初には想定していなかった新展開による多くの研究成果を得ることができ、全体としては 100%以上の達成度を実現できたのではないかと考えている。

具体的には、グラファイトナノチューブによる光電子機能に関しては、完全に目標を達成することができ、光伝導性同軸ナノチューブや光起電ナノチューブなど、いくつかの重要な成果を論文として発表することができた。また、グラファイトナノチューブの表面機能化、構造安定化、集積構造の解明、配向制御に関しても、当初の期待以上の成果を挙げることができた。唯一実現に至らなかったものとして、グラファイトナノチューブによる超分子ソレノイドが挙げられる。一方向巻きナノチューブが配向したファイバーの構築と電流誘起磁化測定、一方向巻きナノコイルの構築など、ナノソレノイド実現に向けた様々な試みを行ったが、ソレノイド特性を示すデータを得るに至らなかった。より高い導電性を示すナノコイルの構築が、本目標実現のための鍵となるのではないかと考えられる。

カーボンナノチューブ・イオン液体複合体からなるバッキープラスチックのフレキシブルエレクトロニクスに向けた応用研究に関しては、予想を上回る成果を挙げることができた。特に、空中作動アクチュエーターや伸縮自在のフレキシブル集積回路・発光表示素子の実現など、特筆すべきいくつかの成果を得た。また、有機半導体液晶に関しても、D/A 分子層ヘテロ接合の構築と光電変換機能の実現、光キャリアの長寿命化、3次元的な導電パスを有する液晶の実現など、多くの成果を得ることができた。

さらには、研究の新展開からいくつかの重要な成果を挙げることができた。一つは、らせんを形成する分子であるオルトフェニレンオリゴマーに関する研究展開であり、結晶化過程での自発的対称性の破れによる不斉誘起および電子酸化反応によるキラルメモリー効果に関する成果である。もう一つは、デンドロンによるナノクレイの超分子化学的架橋による含水量 95%以上のハイドロゲルの開発である。これらはいずれも、SORST 発足当初の計画には入っていなかったが、研究を進めていく過程で出くわした新奇現象を深く掘り下げていった結果、見出すことができた重要な発見である。これらを包括的に鑑み、本 SORST プロジェクトの達成度は 100%を超えるものであったと確信している。

(2) 得られた成果の意義等の自己評価および今後の研究展開

「化学」は物質を分子のレベルから設計できる唯一の学問分野であり、「物性物理学」は物質の本質を探り一般法則を見出す学問と位置付けられる。これらが真に融合することが「機能物質創成」に欠かせないプロセスであるが、現実には、国際的にみてもそうなってい

るとは言い難い。本研究では、「電子・磁性・光」をキーワードに、「化学」と「物理学」を「低次元性ナノ構造」を介して融合させることが大きな目標であり、本研究目標の達成により、この思想の重要性を世界に先駆けて示すことができたのではないかと考えている。

多くの物質はナノレベルでは異方的である。その異方性の根源は、一次元、二次元といった低次元の秩序構造であり、とりもなおさずそれは、空間における分子の特異な配列に帰結される。「異方性」はまさに特異な電子・磁気・光物性を示す新材料設計に求められる重要な要素であり、分子化学と物性物理学の真の融合がなければ着実な進展は望めない。「分子を用いる材料」、すなわち「ソフトマテリアル」は、柔軟性、加工の容易さ、ミニチュア化という観点において、従来のシリコンでは実現できない機能を有する次世代デバイスの開拓に大きく貢献するものと考えられているが、分子を期待通りに自己組織化させるためのプロトコルの開拓を物性物理学者に期待することはできない。「パイ電子系分子のデザイン $\longleftrightarrow$ 分子プログラムに基づく自己組織化 $\longleftrightarrow$ 電子・磁気・光物性の探索」のシームレスな融合を基盤とする本研究の意義がそこにある。本プロジェクトが掲げるこの材料設計戦略は「物作り」を基盤とする我が国の科学技術の進展に大きく貢献するものである。同時に、基礎科学におけるブレイクスルーを実現する高い可能性も秘めており、本研究課題のキーワードである「電子—磁気—光」機能性ソフトマテリアルは、我が国がこれまで得意としてきた産業分野の今後の発展に大きく貢献することは疑いない。

研究実施状況の項目に述べたように、5年間で本 SORST プロジェクトの研究は大きな広がりを見せた。グラファイトナノチューブに関する展開では、ナノ構造体の安定化、パターニング、分散性の向上、選択的な表面修飾、無機物質との複合化など、自己組織化ソフトナノマテリアルをデザインする上で必要不可欠かつ一般性の高い多くの設計戦略を世界に示すことができた。なかでも、*Science* 誌および米国科学アカデミー紀要に掲載された同軸ナノチューブの構築は、光電変換材料設計の新指針を提示するものとして大きな注目を集めている。これら光電変換機能をもつナノチューブを基板表面へ配向させることが出来れば、超分子材料を用いた高効率な有機太陽電池の開発に向け、大きな前進になるであろう。また、有機薄膜太陽電池や電界効果トランジスタなどの有機エレクトロニクスの基本コンポーネントは、キャストイングやインクジェットなどプリントベースの簡便な方法での作製が望まれており、本プロジェクトが開拓している「自己組織化プログラムに基づくソフトマテリアル」はまさにその絶好の素材を提供するものである。応用的側面からは、グラファイトナノチューブやその関連研究を通じ、有機エレクトロニクスのコンポーネントとなる材料設計に通じる新コンセプトを提案することができた。これらの研究を発展させることにより、塗布するだけで基板上に高秩序に配列する分子群の開発も夢ではない。

以上のように、本研究プロジェクトは、パイ電子系分子、高分子群に期待されながら未だに実現していない多くの機能を現実のものとする、最も高い可能性を秘めた研究集団であると考えている。

(3) 研究代表者としてのプロジェクト運営について

SORST 移行後、グループを一本化したこともあり、チーム全体としては、非常にまとまった研究を展開することが出来た。また、平成 20 年よりグループを 2 つに分けたが、それぞれのグループが密に連携しあいながら風通しの良い状態でプロジェクトを進行できた点は大変よかったと感じている。また、前身の ERATO プロジェクトで大型装置などの研究設備を整えていたため、研究費の大半を研究員・技術員の人件費に充てることができ、マンパワーが何より必要である新物質・新材料の創製に関する研究を積極的に推進することが出来た。また、他大学・研究機関の多くの研究者との共同研究を積極的行った結果、物質創製・評価・デバイス構築・応用に至るまで、広く研究活動を行うことが出来た。とくに、95%以上の含水率をもつアクアマテリアルや、バッキーゲルからなるフレキシブルエレクトロニクスは、実用化を視野に入れた応用研究を進めることが出来た。

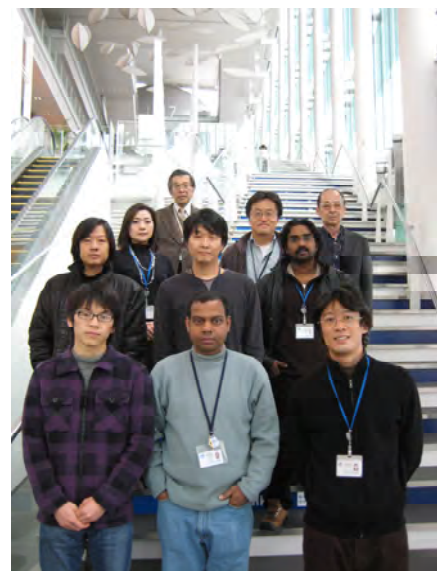
本研究プロジェクトに参画した研究員はのべ 20 人におよぶが、その多くが本プロジェクトを経て大学や研究所などのアカデミアのポストを得た。プロジェクト参画後のポストの内訳は、教授・主任研究員 3 名、准教授・講師 3 名、助教 5 名、博士研究員 7 名、民間企業 2 名である。また、東京大学大学院に所属する学生・留学生のうち数名は本プロジェクトの研究室にて研究活動を行ったが、プロの研究者に囲まれて研究・教育を受けることにより、将来研究者になるための非常によい経験を積むことができたのではないかと考えており、人材育成の点からも大きな意義があったと考えている。

(4) グループフォト（日本科学未来館にて）



2007 年 4 月 11 日

山本(洋)、Myner、金、木本、山本(拓)
福島、本柳、小阪、李、佐藤、張(関)



2009 年 1 月 9 日

清水
高橋(直)、朴、高橋(義)
金、山口、Praveen
張(維)、Alam、山本(洋)