

研究課題別 中間評価結果

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. **研究代表者:** 相田 卓三 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

3. 研究概要

本研究の究極の目標は、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クスデバイス、フレキシブルディスプレイ等、軽量で柔軟かつ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新材料の創出である。そこで、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研究を行っている。これまで、様々な機能を有する分子デザイン、配列制御による機能発現に関する多くの研究を実施しており、以下に主な成果を示す。

1) 光導電性を示す同軸性グラファイトナノチューブの作製

HBC のトリエチレングリコール鎖末端の一方にトリニトロフルオレノン(TNF)を導入した誘導体を設計し、TNF層で表面が覆われた同軸性ナノチューブを構築した。このチューブは、電子受容性を有する TNF ユニットが電子供与性を有する HBC 層をラミネートした構造からなり、光誘起電子移動を利用することで、HBC 層にホールを、TNF 層に電子を生成させることが期待実際に、このチューブ構造が顕著な光伝導特性を示すことを見出し、種々の測定手法により物性メカニズムの考察を行った。

2) 共組織化(コアセンプリー)によるナノチューブの電子物性のチューニング

1)で作製した HBC と TNF が連結した同軸性グラファイトナノチューブで、TNF 層の密度を制御することが出来れば、光電子移動、電荷再結合および光伝導挙動の詳細な検討が可能となる。そこで TNF を含まない HBC 誘導体と HBC-TNF の共組織化を検討し、表面の電子受容体の密度を制御したナノチューブの作製を可能とした。そして、HBC-TNF の割合と光キャリアの寿命、蛍光特性、構造変化等の関連性を調べた。

3) バッキーゲルを用いた新素材

柔軟かつ軽量な高分子材料で伝導性材料を作製することは、プラスチックエレクトロニクスの実用化のために要な点である。ERATO 研究におけるバッキーゲルの発見に基づき、カーボンナノチューブと重合性イオン液体からなる高伝導性新素材を見出した。バッキーゲルのもう 1 つの応用として研究代表者らが開発した空中駆動アクチュエータ開発研究は、実用化に向けた検討を行うべく、NEDO プロジェクトに継承されている。

4. 中間評価結果

4 - 1. 研究の進捗状況と今後の見込み

ERATO 研究を継承し発展してきた側面と、当初の研究計画とは異なる新たな展開を示すという側面があるのが特徴的である。前者において特筆すべきところは、同軸性グラファイトナノチューブの光伝導特性の発見等、多くの研究成果を上げている点であり、研究の進捗状況は高く評価出来る。後者においては、磁場によって左右のらせん巻きを制御出来る点が挙げられるが、評価を行うには証明実験が必要である。

このように、本研究では各種の合目的機能を持たせたナノチューブの作製が主要な位置を占めている。これは、将来の有機電子デバイス作製技術において根幹を担うことが期待される取り組みであると言え、研究代表者らの研究の進め方には一貫性が見受けられる。

この研究成果を実用化するため、企業との連携等の幅広い手段を講じることが望ましい。例えば、ERATO 研究から推進されてきたバッキーゲル関連の研究の一部は実用化の可能性を視野に入れて NEDO プロジェクトに移管されているが、このことは極めて高く評価される。今後、集中的に取り組むべき課題を今一度検討し、学術的検証が重要な位置を占める研究について選択と集中が望まれるところである。

4 - 2. 研究成果の現状と今後の見込み

上記のような研究の進捗に伴い、多くの研究成果が上がっていることについて疑いの余地はない。これらの研究成果を、基礎的(科学的)研究と応用的(技術的)研究の両面から評価したい。

本研究が、関連研究者コミュニティの評価が良好で注目されていることから明らかなように、基礎的な研究成果は高いものである。特に、グラファイトナノチューブに関する成果が有力な論文誌に多く掲載されている事実から、非常に重要な科学的知見およびインパクトを与えていると考えられる。また、グラフェン修飾体の自己組織化によるナノ材料研究を展開する中で、新たな組織体構築や機能開発を目指した工夫が行われており、今後も多くの結果が期待出来る。チューブ内を電気が流れるメカニズムや HBC 以外の分子グラフェンを用いての自己組織化の制御等をさらに追究していくことが、この分野の確立に欠かせない重要な課題である。

一方、応用的研究の側面は、電界効果トランジスタ(FET; Field Effect Transistor)や太陽電池等の電子デバイスへの応用を視野に入れた計画の下、予備的な結果が得られつつある段階である。これらの材料が、電子デバイス機能を革新的に高めるかどうかは未知であるため、今後はデバイスに応用した際の性能予測を行った上で研究を進める必要がある。

4 - 3. 総合的評価

独自の有機ナノチューブを作製する等、世界的に見ても先駆的な研究を展開し、関連研究者に多くの科学的知見やインパクトを与えていることは非常に高く評価出来る点である。分子グラフェンの自己組織化を基盤とするグラファイトナノチューブの作製やグラファイトを用いた光導電性同軸ケーブルの発見等、研究の進捗は良好である。今後、グラファイトナノチューブ機能探求等の研

究を展開することで、微小電子回路の開発研究等のナノエレクトロニクス分野への貢献が期待出来る。

その一方で、デバイスを含めた応用展開については、今後は性能予測も視野に入れたナノ構造体の作製技術を中心に、応用分野の研究者との積極的な交流や実用化に向けた企業との連携を積極的に行う等の戦略性を打ち出すことを強く望みたい。これまで培ってきた研究成果やそれに基づく将来展望、および SORST の制度趣旨等を総合的に考慮し、今後生み出すべき技術的インパクトとは何なのかを検討した上で研究課題の選択と集中を図り、戦略性とリーダーシップを十分に発揮すべきである。基礎研究としては高い成果が得られており、世界の中での本研究の存在価値をさらに高めるべく、成果を次のステージにつなげる努力が必要である。