

研究課題別 事後評価結果

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 総 括： 相田 卓三（東京大学 大学院工学系研究科 教授）

3. 研究内容および成果：

本研究課題(SORST)の基本的理念及び目標は、ERATO相田ナノ空間プロジェクト(2000年10月から2005年9月)での成果等を基盤に、新規な有機・高分子・超分子材料開発を行うとともに、それらの集積構造・基礎物性の解明から機能発現等に至る基礎的研究の推進を通して、有機太陽電池、有機電界効果トランジスタやフレキシブルディスプレイといった、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資することであった。これをもとにして、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的研究、具体的には、グラファイトナノチューブの光電子機能化・構造安定化・構造制御に関する研究が進められた。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)の開発が行われた。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、約5年間の研究期間の中で、以下をはじめとした多くの成果を上げた。

(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

- ・ヘキサベンゾコロネン(HBC)の末端基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(HBC-TNF)、自己組織化能を利用して同軸性グラファイトナノチューブを作製した。さらにこのチューブが顕著な光伝導特性を示すことを見出し、物性発現のメカニズムを明らかにした。
- ・TNFより優れた電子輸送能を持つC₆₀誘導体を導入したHBC-C₆₀を設計し、自己組織化グラファイトナノチューブの構築に成功するとともに、顕著な光起電力特性を示すことを見出した。

(2)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応用

- ・ERATO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開発した。さらにこの応用展開の一つとして、高誘電性のポリフッ化ビニリデンをこの素材でサンドイッチした素子を開発し、良質なアクチュエータ特性を確認した。
- ・バッキープラスチックの機械的・電気的特性を活かし、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素子を開発した。

(3)機能性超分子・ゲルの開発

- ・SORSTにおいて新たに、水を主成分とする材料、具体的に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の合成に着手した。その結果、約95%の高含水率と0.5MPaの高剛性を併せ持ち、形状保持性と自己修復性も兼ね備えた透明なアクアマテリアルの開発に成功した。

(4) 特異な集合形態や挙動を示す分子・高分子の開発

・ベンゼン環どうしをオルト位で連結した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らせん構造をとることに着目し、鎖長の長いオルトフェニレンポリマーの構築や末端の置換基の自由な修飾が可能な合成法の確立に成功した。また、オルトフェニレンオリゴマーにおけるらせん分子の堅さが、 π 電子の出し入れによって制御可能であることも見出した。

4. 事後評価結果

4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

期間中の外部発表、特許等の実績を示す。

発表論文:(邦文) 16件/(英文) 45件

口頭発表:(国内)164件/(国際)147件 (うち招待講演は、国内61件/国際117件)

特許出願:(国内) 17件/(外国) 10件

これらの実績を通じ、まず、質および量ともに十分な成果の発表が行われたと評価することができる。Nature や Science をはじめとした論文誌への掲載や多数の招待講演だけでなく、プレス等でも成果が適宜採り上げられるなど、相田教授のグループのポテンシャルの高さは広く世界に発信されたものと認められる。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中、相田教授らは、ERATO での知見等を手がかりとして、SORST 開始当初の研究構想の基本骨格となった、ボトムアップのナノテクノロジーとしての自己組織化の高度なテクノロジー(分子プログラミング)を駆使し、従来には無かった数多くの新規物質を創出することに成功した。またそれらの多くが、実用化への期待の高いものとして国内外から高く注目されるに至っており、このことは SORST として好ましい展開を示していることも付け加えておきたい。

また今後の実用化という意味においても、知的財産権の取得は適切に行われたと認められる。

4-2. 成果の科学技術への貢献

独自の材料を分子設計から行い、その機能を解明し、さらにそれらを手がかりに応用へと繋げていく研究スタイルは一貫しており、化学や材料科学を中心とした研究分野に極めて大きなインパクトをもたらしたといえる。

さらに4-1. でも述べたように、実用化への期待の高い材料については、今後さらなる展開に期待したいところである。バッキーゲルを用いた空中作動アクチュエータや、バッキープラスチックで配線したシート素子は、主にエレクトロニクス応用における期待が高い。また SORST 開始時には研究構想の中には無かった殆どが水であるアクアマテリアルの開発は、昨今の環境問題への関心が高まる中で、実用化も含めて、今後予想し得ない新たな展開があるかも知れない。

自己組織化グラファイトナノチューブについては、自己組織化制御技術全体としては極めて高

いレベルにあるものの、磁場による左右のらせん巻き制御については未達となっている。また、マクロレベルでの導電性が十分ではないなど、応用研究としてはまだ入口にある。従って、チューブそのものを活かして実用化へと展開するには、今後新たな知見や物質としての特異性などが示されていく必要がある。

総じて判断すれば、それらの点をカバーして余りある成果が創出されていると言える。

4-3. その他特記事項(受賞等)

相田教授は、SORST を含むこれまでの一連の業績が評価されて、錯体化学会貢献賞(2008年)、アメリカ化学会賞(高分子化学分野、2009年)、日本化学会賞(2009年)、及び紫綬褒章(2010年)を、それぞれ受賞及び受章した。また SORST に参画した若手研究者についても、文部科学大臣表彰(若手科学者賞)、日本化学会進歩賞、及び各種学会の講演賞などを受賞した。

またこうした若手は、上述の賞を数多く受けただけでなく、国内外の大学(教授3名、准教授2名、講師1名、助教7名、博士研究員2名)や企業(2名)に次のポジションを得ており、人材養成の観点からも顕著な成果を上げた、ここに特記しておく。