

「特別推進研究」研究期間終了後の効果・効用、波及効果に関する自己評価書

- 研究代表者氏名 中村 栄一（東京大学・大学院理学系研究科・教授）
- 研究分担者氏名 松尾 豊（東京大学・大学院・理学系研究科・助手）
赤阪 健（筑波大学・大学院・数理物質科学研究科・教授）
- 研究課題名「炭素クラスター複合体の精密有機合成化学」
- 課題番号 13001002
- 補助金交付額（直接経費のみ）

平成13年度	147,000 千円
平成14年度	94,000 千円
平成15年度	91,000 千円
平成16年度	55,000 千円

【研究期間終了後の効果・効用、波及効果に関する内容】

1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか。

(1) 概要

本研究の成果を基礎として、研究代表者は平成16年10月より(独)科学技術振興機構 ERATO プロジェクト研究総括として「中村活性炭素クラスタープロジェクト」を開始した。ERATO プロジェクトでは、「化学の力によって炭素に内在する性質を引き出し、新しい性質を付与する」という考え方を基本において、炭素クラスター科学の新局面を開くという学術的成果を追及すると同時に、その成果を活かして電子・情報産業や生物学の発展に資する技術の基礎を築くことを目指した。このために本プロジェクトには、「機能素子グループ」、「デバイス創製グループ」、「ナノ構造解析グループ」の3つの研究グループを設置し、東京大学、産総研、および三菱化学(株)の研究グループと密接な連携を保って研究を遂行した。

機能素子グループでは、松尾豊助手が東京大学の助手を辞してグループリーダーとなり、フラーレンに官能基を導入する新規手法の開拓、そしてそれに基づいて数百種類の新しい分子や新しい形式の分子集合体を創出し、それらの階層的ナノ組織体の構造制御による機能発現で顕著な成果を挙げた。これらの研究は、有機薄膜太陽電池に用いる新規フラーレン誘導体、ビスシリルメチルフラーレン[SIMEF]の開発に結実し、デバイス創製グループとの密接な連携により、世界最高レベルのエネルギー変換効率を達成した。

デバイス創製グループでは、三菱化学(株)からデバイス開発の専門家がグループリーダーとして派遣され、フラーレン誘導体をはじめとする有機物に特有な、光電変換機能、発光機能、化学的安定性などに着目し、有機薄膜太陽電池や有機EL素子として有用な新規化合物群の創出に成功した。これまでの常識を打ち破る新しい構造を持つ低分子塗布型高効率有機薄膜太陽電池を開発するとともに、低分子材料の分子設計を基に電子供与体/電子受容体のナノ階層構造を提案し、今後の一層の高効率化への扉を開いた。

ナノ構造解析グループでは、産総研の電子顕微鏡分野の専門家がグループリーダーとなり、有機分子を観察することを目的とした世界最新鋭の高分解能電子顕微鏡(HRTEM)の開発を行った。観察対象となる有機分子を合目的的に設計・合成して研究を進め、研究開始1年余で、「有機分子の動き」の観察に世界で初めて成功した。この成果は、「電子顕微鏡では個別有機分子の観察は困難である。」という常識を覆すものであり、*Science* 誌(2007)に発表されるととも

に NHK ニュースや全国紙などで国民に広く報道され、各界に大きなインパクトを与えた。さらに、ナノチューブに内包したフラーレンの 2 量化反応過程を高分解電子顕微鏡で観察することに成功し、これまで科学者が知りたかった分子同士の反応における原子の組み替えの様子を電子顕微鏡で観察できる事を初めて実証した。

プロジェクト終了直前の 2010 年 1 月には、JST 戦略的イノベーション創出推進事業に「塗布型長寿命有機太陽電池の創出と実用化に向けた基盤技術開発」という研究課題で採択され、ERATO で得られた有機薄膜太陽電池に関する成果を切れ目無く次の段階に移行させることができた。今後、実用化に向けた研究開発のさらなる加速が期待できる。

(2) 論文発表、国際会議等への招待講演における発表など

- ・論文発表数：75 件

発表論文全体の約半数は、科学一般 (*Science*, *PNAS*)、化学 (*J. Am. Chem. Soc.*, *Angew. Chem.*)、物理 (*Phys. Rev. Lett.*) および材料科学 (*Adv. Mater.*) などの分野を代表する雑誌に掲載され、その成果の多くが内外のマスメディアや二次情報誌に採り上げられた。

- ・書籍、総説：25 件

- ・国際会議等への招待講演：61 件

The 2006 Gilbert Stork Lecture (2006), The 37th Humboldt Research Awardee Symposium (2007) French-Japanese Symposium on Medical and Fine Chemistry (2008) など。

- ・特許出願件数：35 件 (国内 28 件、海外 7 件)

(3) 研究費の取得状況 (研究代表者として取得しているもののみ)

○科学研究費補助金 (文部科学省)

- 1) 「研究種目名」：基盤研究 S

「研究課題名」：「元素の多様性と多元素協働効果の解明および有機合成への展開」

「研究期間」：平成 18 年度～平成 21 年度

「研究期間全体の配分額」：74,000 千円 (直接経費)

- 2) 「研究種目名」：特別推進研究

「研究課題名」：「有機半導体分子の合成とナノ組織化による高効率光電変換」

「研究期間」：平成 22 年度～平成 26 年度

「研究期間全体の配分額」：458,700 千円 (直接経費)

○その他

- 1) 「制度担当府省等」：文部科学省 (独) 科学技術振興機構

「制度名」：戦略的創造研究推進事業総括型実施研究 (ERATO)

「研究課題名」：「中村活性炭素クラスタープロジェクト」

「研究期間」：平成 16 年 10 月～平成 22 年 3 月

「研究期間全体の配分額」：1,853,000 千円 (プロジェクト総額)

- 2) 「制度担当府省等」：文部科学省 (独) 科学技術振興機構

「制度名」：戦略的イノベーション創出推進事業

「研究課題名」：「塗布型長寿命有機太陽電池の創出と実用化に向けた基盤技術開発」

「研究期間」：平成 22 年 1 月～平成 31 年 3 月

「研究期間全体の配分額」：727,912 千円 (プロジェクト総額、直接経費のみ)

(4) 特別推進研究の研究成果を背景に生み出された新たな発見・知見

1) 新規フラレン誘導体の開発と光・電子機能の解明

高効率・高選択的炭素クラスター化学修飾反応をさらに機能性分子合成に有効な手法とすべく研究を進め、これまで困難であったフラレンのモノ付加体および2重付加体を定量的に合成する新しい方法を見出した。また、カルボン酸誘導体を単分子膜としてITO電極上に固定化することにより新しい光電変換機能を見出すなど、フラレン誘導体を持つ独特の性質や集合体の構造を明らかにした。新規 π 電子共役系シクロフェナセン（十重付加体）および縮合コラニユレン（十重付加体の位置異性体および八重付加体）の有機EL素子デバイスを作製し、フラレン誘導体のなかでは最高の外部量子収率を示すことを明らかにするとともに、液晶の機能を付与し、新しい発光液晶材料の合成にも成功した。

2) 新型有機薄膜太陽電池の開発

フラレンの光・電子機能や分子集合体の高次集積構造の精密構築に関する研究は、有機薄膜太陽電池に用いる新規フラレン誘導体、ビスシリルメチルフラレン[SIMEF]の開発に結実し、これまでの常識を打ち破る新しい構造を持つ低分子塗布型高効率有機薄膜太陽電池を開発した。電子供与体として熱変換型低分子材料を用い、電子受容体として新たに開発したフラレン誘導体「SIMEF」と組合せる事で、低分子材料では困難であると考えられていた塗布型「p-i-n」素子構造を形成する事に初めて成功し、世界最高レベルのエネルギー変換効率を達成した。

3) 水を通さないフラレン膜

細胞膜の基本構造である「分子二重膜」をフラレンから作ると、最大で通常の細胞膜の一百万倍水を通しにくい膜ができることを明らかにした。バイオ燃料として注目されているエタノールを精製する過程で必要とされる水とエタノールの分離膜など、環境問題やエネルギー科学における鍵物質の分離という観点から、将来の工業的な応用が期待される。

4) フラレンによる動物への遺伝子導入

研究代表者らが独自に見出したフラレン-アミン複合体による遺伝子導入手法をさらに深化させるべく研究を進め、これまでの細胞レベルで検討してきたアミノフラレンによるDNAの細胞への導入・発現の効果を *in vivo* レベルで実証することができた。この研究によってアミノフラレンが従来のリポフェクチンに比べて組織障害性が低く、Drug Delivery System(DDS)の担体として有望であることを明らかにした。さらに、糖尿病治療効果のあるインシュリン遺伝子を持つDNAと結合させて動物の体内に注入し、遺伝子が発現することで血糖値が下がることを実証した。

5) 電子顕微鏡を用いて有機分子の動きを見ることに成功

観察対象となる有機分子を合目的に設計・合成し、カーボンナノチューブの中に閉じ込めることにより、「有機分子の動き」の観察に世界で初めて成功した。この成果は、「電子顕微鏡では個別有機分子の観察は困難である。」という常識を覆すものであり、NHKニュースや全国紙などで国民に広く報道され、各界に大きなインパクトを与えた。

6) 一般国民への普及活動への貢献

プレス発表を積極的に行い、テレビ、新聞、雑誌など各種のメディアを通して、最先端の科学技術の成果を一般国民に伝える普及活動に貢献した。科学技術週間では、パネル展示を行い、「分子が見えたのはすごい！」と一般見学者から高い評価を受けた。ERARO 終了ビデオは、第51回科学技術映像祭(2010)で研究開発部門優秀賞を受賞し、一般にも公開されている。また、毎年実施される東大オープンキャンパスでは、モデル実験や展示などを通じて、化学に興味を持つ高校生(約60名)に最先端の化学の面白さを伝え、多くの感想文が寄せられている。

2. 特別推進研究の研究成果が他の研究者による活用された状況はどうか。

本書類作成時点までの間に、特別推進研究の研究成果が他の研究者に活用された状況について、次の(1)、(2)の項目ごとに具体的かつ明確に記述してください。

(1) 学界への貢献の状況

特別推進研究の研究成果は、ERATO プロジェクトに引き継がれ、大きな発展を遂げた。フラーレンに官能基を導入する新規手法の開拓、そしてそれに基づいて数百種類の新しい分子や新しい形式の分子集合体を創出し、有機化学、無機化学および材料科学分野で新しい世界を切り開いた。たとえば、官能基化フラーレンを無機半導体表面に単分子膜形成させ、そのナノ構造の制御による光電変換機能スイッチング機能を付与することができた。フラーレン多核金属錯体のひとつであるダブルデッカーバッキーフェロセンの研究成果は、*Chemical & Engineering News* (2006)に取上げられるとともに、「ボール状の炭素分子：鉄原子の間にゴール」と題して日本経済新聞(2006年6月9日)にも掲載され、国内外から高い評価を受けた。また、これまでの細胞レベルで検討してきたアミノフラーレンによるDNAの相貌への導入・発現の効果を *in vivo* レベルで実証することができ、新たな遺伝子導入法として期待される。

フラーレン誘導体は有機薄膜太陽電池のアクセプター材料として世界的に注目されているが、これまではPCBM系フラーレン誘導体を用いるのが主流であった。電子供与体として熱変換型低分子材料を用い、電子受容体として新たに開発したフラーレン誘導体「SIMEF」と組合せる事で、低分子材料では困難であると考えられていた塗布型「p-i-n」素子構造を形成する事に初めて成功し、世界最高レベルのエネルギー変換効率を達成した(*J. Am. Chem. Soc.*, 2009)。これまで理想的とされていたが、誰も作製できなかった電子供与体・電子受容体の新しい相互貫入構造、「生け花剣山構造」を形成できたことが成功の鍵である。低分子材料の分子設計を基に、電子供与体/電子受容体のナノ階層構造をデザインするという有機薄膜太陽電池の合目的な設計指針を提案し、今後の一層の高効率化への扉を開いた。有機薄膜太陽電池の研究では高分子材料系がこれまでの主流であったが、高分子化合物は本質的に高純度化が困難であるとともに、性能の寿命が短いことなどが大きな問題となっていた。高効率な低分子塗布型有機薄膜太陽電池の登場は、低分子材料は蒸着型でという従来の常識を覆し、高分子材料から、高純度化が容易で製造コストが安い塗布型低分子半導体材料への転換を促す大きな潮流を生み出した。

さらに、「有機分子の動き」の観察に世界で初めて成功した成果は、“集団での分子の振る舞いはこれまでも多くの手法で観察されているが、「個」の存在を初めて手のひらに載せたことは、物質科学の世界に大きな可能性を開くと同時に、「集団」から「個」の世界への意識改革を迫るという面でも世界観を変える画期的な成果である(読売新聞夕刊夕景時評：2007年4月19日)”とあるように、この研究成果は、新しい科学技術の流れを生み出すものとして高く評価されている。今後、ナノチューブの内側や外側の空間を利用した「有機分子の動的構造解析」が、化学反応、生体分子の相互作用などに関する学術研究における新しい手段として発展するものと期待できる。

本特別推進研究の研究成果はナノ炭素材料を新しい機能性材料へと発展させるものであり、世界を圧倒的にリードしている。このようにして広がりを見ている日本発のナノ炭素材料科学をさらに発展させるため、平成20年度からは新学術領域研究「高次 π 空間の創発と機能開発」を立ち上げ、新規ナノ炭素材料に基づく低炭素社会実現に向けての取り組みも進んでいる。

(2) 論文引用状況

研究期間中に発表された論文

- S. Zhou, C. Burger, B. Chu, M. Sawamura, N. Nagahama, M. Toganoh, U. E. Hackler, H. Isobe, and E. Nakamura. Spherical Bilayer Vesicles of Fullerene Based Surfactants in Water: A Laser Light Scattering Study. *Science*, **291**, 1944-1947 (2001). 「五重付加型フラーレンアニオンが二重膜ベシクルになることを見出した論文」 199 件
- M. Sawamura, K. Kawai, Y. Matsuo, K. Kanie, T. Kato and E. Nakamura. Stacking of Conical Molecules with a Fullerene Apex into Polar Columns in Crystals and Liquid Crystals. *Nature*, **419**, 702-705 (2002). 「シャトルコック型フラーレン誘導体による液晶を見出した論文」 154 件
- E. Nakamura, N. Yoshikai, and M. Yamanaka. Mechanism of C-H Bond Activation/C-C Bond Formation Reaction between Diazo Compound and Alkane Catalyzed by Dirhodium Tetracarboxylate. *J. Am. Chem. Soc.*, **124**, 7181-7192 (2002). 「二核ロジウム錯体によるジアゾ化合物を用いた炭素-炭素結合形成反応を見出した論文」 83 件
- M. Sawamura, Y. Kuninobu, M. Toganoh, Y. Matsuo, M. Yamanaka and E. Nakamura. Hybrid of Ferrocene and Fullerene. *J. Am. Chem. Soc.*, **124**, 9354-9355 (2002). 「フェロセンとフラーレンのハイブリッドであるバッキーフェロセンを見出した論文」 75 件
- Y. Matsuo, K. Tahara and E. Nakamura. Theoretical Studies on Structures and Aromaticity of Finite-Length Armchair Carbon Nanotubes. *Org. Lett.*, **5**, 3181-3184 (2003). 「理論計算によってカーボンナノチューブの芳香族性の周期性を見出した論文」 69 件
- E. Nakamura, K. Tahara, Y. Matsuo and M. Sawamura. Synthesis, Structure and Aromaticity of a Hoop-shaped Cyclic Benzenoid [10]Cyclophenacene. *J. Am. Chem. Soc.* **125**, 2834-2835 (2003). 「環状π共役系シクロフェナセンの初めての合成を報告した論文」 60 件
- Y. Matsuo, A. Muramatsu, R. Hamasaki, N. Mizoshita, T. Kato and E. Nakamura. Stacking of Molecules Possessing a Fullerene Apex and a Cup-shaped Cavity Connected by Silicon-Connection. *J. Am. Chem. Soc.*, **126**, 432-433 (2004). 「安定なシャトルコック液晶を報告した論文」 59 件
- A. Hashimoto, H. Yorimitsu, K. Ajima, K. Suenaga, H. Isobe, J. Miyawaki, M. Yudasaka, S. Iijima, E. Nakamura. Selective Deposition of a One-atom to a Multi-atom Gadolinium(III) Cluster in a Hole Opening of Single-Wall Carbon Nanohorn. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **101**, 8527-8530 (2004). 「カーボンナノホーンに担持したガドリニウム金属原子の電子顕微鏡観察を報告した論文」 54 件
- M. Yamanaka, S. Kato and Eiichi Nakamura. Mechanism and Regioselectivity of Reductive Elimination of π-Allylcopper (III) Intermediates. *J. Am. Chem. Soc.*, **126**, 6287-6293 (2004). 「πアリル銅による位置選択的反応の反応機構を提案した論文」 45 件

研究期間終了後に発表された論文

- Y. Maeda, S. Kimura, M. Kanda, Y. Hirashima, T. Hasegawa, T. Wakahara, YF Lian, T. Nakahodo, T. Tsuchiya, T. Akasaka, J. Lu, X. W. Zhang, Z. X. Gao, Y. P. Yu, S. Nagase, S. Kazaoui, N. Minami, T. Shimizu, H. Okumoto, and R. Saito, Large-Scale Separation of Metallic and Semiconducting Single-Walled Carbon Nanotubes, *J. Am. Chem. Soc.* **127**, 10287-10290 (2005). 「アミンを用いる簡便な方法によって半導体性や金属性を有する単層カーボンナノチューブの分離できることを見出した論文」 130 件
- J. Lu, S. Nagase, X. W. Zhang, D. Wang, M. Ni, Y. Maeda, T. Wakahara, T. Nakahodo, T. Tsuchiya, T. Akasaka, Z. X. Gao, D. P. Yu, H. Q. Ye, W. N. Mei, and Y. S. Zhou, Selective Interaction of Large or Charge-Transfer Aromatic Molecules with Metallic Single-Wall Carbon Nanotubes: Critical Role of

- the Molecular Size and Orientation, *J. Am. Chem. Soc.* **128**, 5114-5118 (2006). 「分子との相互作用を明らかにして単層カーボンナノチューブの分離に関する新しいメカニズムを提案した論文」 63 件
- Y. Maeda, M. Kanda, M. Hashimoto, T. Hasegawa, S. kimura, Y. F. Lian, T. Wakahara, T. Akasaka, S. Kazaoui, N. Minami, T. Okazaki, Y. Hayamizu, K. Hata, J. Lu, and S. Nagase, Dispersion and Separation of Small Diameter Single-Walled Carbon Nanotubes, *J. Am. Chem. Soc.* **128**, 12239-12242 (2006). 「アミンを用いることによって単層カーボンナノチューブの工業的分離方法を見出した論文」 55 件
 - Y. Matsuo, A. Muramatsu, Y. Kamikawa, T. Kato, and E. Nakamura. Synthesis, Structural, Electrochemical and Stacking Properties of Conical Molecules Possessing Buckyferrocene on Apex. *J. Am. Chem. Soc.*, **128**, 9586-9587 (2006). 「バッキーフェロセンのシャトルコック型液晶を報告した論文」 42 件
 - H. Nikawa, T. Kikuchi, T. Wakahara, T. Nakahodo, T. Tsuchiya, G. M. A. Rahman, T. Akasaka, Y. Maeda, K. Yoza, E. Horn, K. Yamamoto, N. Mizorogi, and S. Nagase, Missing Metallofullerene La@C₇₄, *J. Am. Chem. Soc.* **127**, 9684-9685 (2005). 「溶媒抽出によって不溶性のLa@C₇₄の分離に初めて成功した論文」 41 件
 - H. Isobe, T. Tanaka, W. Nakanishi, L. Lemiègre, and E. Nakamura. Regioselective Oxygenative Tetraamination of [60]Fullerene. *J. Org. Chem.*, **70**, 4826-4832 (2005). 「フラーレンのテトラアミノ化反応を見出した論文」 33 件
 - M. Koshino, T. Tanaka, N. Solin, K. Suenaga, H. Isobe, and E. Nakamura. Imaging Single Molecules in Motion. *Science*, **316**, 853 (2007). 「電子顕微鏡観察によって単一分子の動きを初めて捉えることに成功した論文」 32 件
 - Y. Matsuo, H. Isobe, T. Tanaka, Y. Murata, M. Murata, K. Komatsu and E. Nakamura. Organic and Organometallic Derivatives of Dihydrogen-encapsuled [60]Fullerene. *J. Am. Chem. Soc.*, **127**, 17148-17149 (2005). 「水素内包フラーレンバッキーフェロセンの合成を報告した論文」 31 件
 - D. M. Guldi, G. M. A. Rahman, R. Marczak, Y. Matsuo, M. Yamanaka, and E. Nakamura. Sharing Orbitals: Ultrafast Excited State Deactivation with Different Outcomes in Bucky Ferrocenes and Ruthenocenes. *J. Am. Chem. Soc.*, **128**, 9420-9427 (2006). 「過渡吸収測定によってフラーレン金属錯体の超高速光電荷分離を見出した論文」 28 件
 - Y.-W. Zhong, Y. Matsuo, and E. Nakamura. Lamellar Assembly of Conical Molecules Possessing a Fullerene Apex in Crystals and Liquid Crystals. *J. Am. Chem. Soc.*, **129**, 3052-3053 (2007). 「フラーレン誘導体のラメラ型液晶を報告した論文」 28 件
 - Y. Matsuo and E. Nakamura. Syntheses, Structure, and Derivatization of Potassium Complexes of Penta(organo)[60]fullerene-Monoanion, -Dianion, and -Trianion into Hepta- and Octa(organo)fullerenes. *J. Am. Chem. Soc.*, **127**, 8457-8466 (2005). 「フラーレン誘導体の還元体の単離を報告した論文」 25 件
 - Y. Matsuo, K. Tahara, and E. Nakamura. Synthesis and Electrochemistry of Double-decker Buckyferrocenes. *J. Am. Chem. Soc.*, **128**, 7154-7155 (2006). 「フラーレンの二核鉄錯体の合成と電気化学を報告した論文」 23 件
 - H. Isobe, W. Nakanishi, N. Tomita, S. Jinno, H. Okayama, and E. Nakamura. Gene Delivery by Aminofullerenes: Structural Requirements for Efficient Transfection. *Chem. Asian J.*, **1**, 167-175 (2006). 「アミノフラーレンによる遺伝子導入に成功した論文」 23 件

3. その他、効果・効用等の評価に関する情報

次の(1)、(2)の項目ごとに、該当する内容について具体的かつ明確に記述してください。

(1) 研究成果の社会への還元状況

・「有機薄膜太陽電池の実用化への貢献」

これまで困難であったフラーレンのモノ付加体および2重付加体を定量的に合成する新しい方法の開発が、太陽電池デバイス材料の開発につながり、新型有機薄膜太陽電池の開発に貢献した。電子供与体として熱変換型低分子材料を用い、電子受容体として新たに開発したフラーレン誘導体「SIMEF」と組合せる事で、低分子材料では困難であると考えられていた塗布型「p-i-n」素子構造を形成する事に初めて成功し、世界最高レベルのエネルギー変換効率を達成した。フラーレン誘導体は有機薄膜太陽電池のアクセプター材料として世界的に注目されているが、これまではPCBM系フラーレン誘導体を用いるのが主流であった。熱特性や結晶性の制御が可能で工業的に大量合成が容易な新規フラーレン誘導体、ビスシリルメチルフラーレン[SIMEF]の開発は、純正有機合成化学から工業的な有機半導体材料設計への新しい科学技術の流れを産み出し有機薄膜太陽電池の実用化を一層促進するものと考えられ、企業化検討が民間企業で精力的に行われている。

・「耐熱性フォトレジスト実用化への貢献」

フラーレンに官能基を定量的に導入する新しい手法の開発が耐熱感光性樹脂の開発につながり、耐熱性フォトレジストとして実用化が期待されている。開発された耐熱感光性樹脂は300℃以上に加熱してもほとんど熱分解による重量減少を起さず、従来必要であった揮発分処理(アニーリング)工程が不要で、デバイスの熱によるダメージを考慮する必要がなくなった。感度、解像度、エッチング耐久性の3要素を満たしたフラーレンを使ったフォトレジストの実用化に期待が高まっている。

・「リチウム二次電池開発への貢献」

官能基を導入したフラーレン誘導体はリチウム二次電池の溶解液の開発につながり、高性能なリチウム二次電池の開発に貢献した。リチウム二次電池正極材料にフラーレン誘導体を添加することにより、電池性能の向上が図られている。また、負極物質として用いる炭素性物質の表面に特定の基を有するフラーレン誘導体を存在させることで、二次電池の充放電における初期効率が向上することも明らかにされており、フラーレン類の高い電子吸引力性を利用した高性能な電池の開発が期待できる。

従来のフラーレンの研究は、先端性を重視し、「物質の量的供給」を軽視してきたきらいがある。これに対し、本研究成果の特徴は、「高水準の科学」と「新物質の量的供給」とを両立させた点にあり、ここで得られた数多くの化合物群は純正科学を超えて次世代技術のプラットフォームになるものである。

(2) 研究計画に関与した若手研究者の成長状況

本研究に携わった若手研究者の多くは、その後、大学等の研究機関において昇進を達成している。また大学院学生は、大学の教員職や大企業の研究部門にて活躍している。半数以上(13人中7名)が大学のポストに着任するか、海外でPDのポジションを得ている。また、研究分担者であった松尾豊助手は、特別推進研究で行った研究を発展させ、35歳の若さで東京大学大学院理学系研究科 光電変換化学講座(社会連携講座)の特任教授に就任している。

(研究期間中の職→現職)

松尾 豊	助手→JST/ERATO グループリーダー →東大・特任教授
戸叶基樹	大学院学生→京都大・PD→九大・助教
國信洋一郎	大学院学生→岡山大・助教
田原一邦	大学院学生→阪大・助教
村松彩子	大学院学生→富士フイルム (株)
岩下暁彦	大学院学生→三井化学 (株)
伊藤慎庫	大学院学生→京大・大学院生→東大・特任助教
安田茂雄	大学院学生→京大・大学院生→ハーバード大・PD
森田耕平	大学院学生→旭化成ファーマ (株)
Yu-Wu Zhong	博士研究員→コーネル大・PD→中国科学院科学研究所助教授
藤田健志	大学院学生→南洋工科大学 (シンガポール)・PD
佐藤総一	講師→首都大・准教授
前田 優	大学院学生→学芸大・准教授
若原孝次	講師→物材研・主幹研究員
土屋敬広	助手→筑波大・講師
生沼みどり	博士研究員→筑波大・講師
仲程 司	博士研究員→近畿大・助教
松永洋一郎	大学院学生→コニカ (株)
山田道夫	大学院学生→学芸大・助教
飯塚裕子	大学院学生→旭化成 (株)
二川秀史	大学院学生→ (株) ホンダ技研