

平成 22 年 5 月 26 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2005～2009

課題番号：17067002

研究課題名（和文）次世代共役ポリマーの超階層制御と革新機能

研究課題名（英文） Control of Super-Hierarchical Helical Structures of Next-Generation Conjugated Polymers and Their Innovative Functions

研究代表者

赤木 和夫 (AKAGI KAZUO)

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20150964

研究成果の概要（和文）：本特定領域研究は、導電性高分子で代表される共役ポリマーの未曾有のポテンシャルを導出し、次代を切り拓く革新的な電子・光・磁気機能の創出を目的とした。そのため、我が国を代表する当該分野の研究者群を組織し、その総力を結集した。卓越した分子設計と反応・重合設計を基盤とし、従前にはない斬新な共役ポリマーを創成し、一次構造から高次構造へ至る超階層構造の自在制御と、集合体や複合体への組織化と形態制御、そして精緻な物性評価と積層構造化による極限機能を探求した。本領域研究により、世界の共役ポリマー研究をリードするとともに、確固とした基礎研究と応用研究に裏づけられた共役ポリマー科学の学術創成を推進した。

研究成果の概要（英文）：The present research area has aimed to explore profound potentialities of conjugated polymers and to extract innovative electronic, magnetic and optical functions that should give rise to the next-generation materials. The project has focused on (i) synthesis of novel and fruitful conjugated polymers by means of sophisticated designs for molecules and chemical reactions, and (ii) super-hierarchical control covering primary to higher order structures, and morphological control of self-organized assemblies and complexes, and (iii) precise evaluation of physical properties and investigation of intrinsic functions by virtue of well defined multi-layered structures. Through rigorous achievement of the project, we have fostered and cultivated the scientific field of conjugated polymers.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	7,600,000	0	7,600,000
2006年度	7,600,000	0	7,600,000
2007年度	7,600,000	0	7,600,000
2008年度	7,600,000	0	7,600,000
2009年度	3,000,000	0	3,000,000
総計	33,400,000	0	33,400,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学・高分子・繊維材料、複合化学・高分子化学

キーワード：共役ポリマー・階層制御・機能制御・ヘリカルポリアセチレン・

キラル液晶場・らせん構造・キラル発光・キラルドーパント

### 1 研究開始当初の背景

非局在化した $\pi$ 電子や $\sigma$ 電子をポリマー鎖上に持つ共役ポリマーは、未曾有の機能を内包している。その材料としての働きや機能は、ポリマーの高次構造や組織形態に大きく依存する。有機ポリマーと無機ポリマーとの複合材料、あるいは有機ポリマーと生体ポリマーとの会合体においても、ファンデルワールス力や水素結合力などの分子間相互作用を基にした超階層構造により、その物性や機能が大きく左右されることが広く認識されている。生体系においては、階層的に独立した分子や組織が協同的に作用し精巧な機能を生み出している。光・電子デバイスにおいても機能を十二分に引き出すには、分子材料を単純に積層、配列するだけではなく、独立した機能を有する分子材料を高次に組織化し階層性を制御して大域的に配列することが重要である。

### 2. 研究の目的

卓越した分子設計と反応・重合設計を基盤とし、従前にはない斬新な共役ポリマーを創成し、ポリマーの階層構造制御や次元性をはじめとするトポロジー制御、モルホロジーや結晶構造の大域的な制御を目指す。また、共役ポリマーのサブミクロンからナノメートルレベルでの微細加工や積層構造、機能や応答の精密制御を行い、次世代の光・電子材料への展開を図る。さらに、電子・光機能を基軸として、これらを高度にシステム化した生体機能や極限性能をも視野に入れ、革新機能を達成する条件を追究する。本研究では、共役ポリマーおよびその関連物質群に焦点を当て、次代を切り拓く革新的な電子・光・磁気機能の創出を目指して、化学と物理、基礎と応用、あるいは理学と工学との垣根を越えた学際的な研究を推進する。

### 3. 研究の方法

研究領域全体の運営と研究計画の立案と推進や班員間の連携協力および成果の公開などのために、23名からなる総括班を設置した。6名の学識経験者が総括班評価者として参画し、評価活動にあたった。研究の実施にあたり4つの研究班を設置し、当初は計画班（代表者：17名、分担者：13名）でスタートし、平成18年度から公募班（代表者：39名、分担者21名）の参画を得た。平成19年度および平成20年度には計画班（代表者：17名、分担者：15名）および公募班（代表者：39名、分担者：15名）の参画を得て総数86名の研究体制となった。

次世代共役ポリマーを用いた超階層構造の構築とその学理の探求および革新的な応用の開拓を目指す本領域における基盤となる共役ポリマーの設計と合成を中心課題とする研究チームを **A01 班「次世代共役ポリマーの創成」**、多様な高分子や低分子をも用いた超階層構造の構築を中心課題とする研究チームを **A02 班「超階層構造の構築」**、共役ポリマーとその超階層構造体の機能性の制御を目指す研究チームを **A03 班「超光電子機能の制御」**、次世代共役ポリマーからなる超階層構造を用いた革新的な機能の開拓を目指す研究チームとして **A04 班「革新機能の探索」**を設置した。

領域内での新規な共同研究の推進により本領域および関連学域の深化に向けた取り組みを行った。特に、本領域の運営に当たっては共同研究の推進に留意した。企画会議および総括班会議などで主に試料の開発チームと評価チームの連携に関して議論し、組織的な共同研究体制を敷いた。共同研究推進のため、班会議を毎年2回開催し、うち1回は各班とも合宿形式の合同班会議を開催した。

### 4. 研究成果

総括班と4つの研究班の有機的な連携を進めることで、領域内の参画研究者の高いポテンシャルを背景とした先進的な研究と、領域内の共同研究を積極的に推進した。これにより、共役ポリマーの新しい材料概念を創出し、その応用を見据えた極限機能を明らかにした。たとえば、 $\pi$ 共役ポリマーの特徴的な超階層構造における電荷移動現象、 $\pi$ 共役分子からなる分子系超構造における電荷輸送特性とその共同現象、ならびに特異な光学特性などに関する先進かつ広範な成果を挙げ、材料やデバイス開発の基盤概念として共役ポリマーの超階層制御の有効性を明らかにした。これらの成果に関連して8回の公開シンポジウム、3回の国際ワークショップ、国内向け書籍出版、国際学術雑誌の特集号の刊行、さらには1003編の論文の発表と67件の特許出願などを通じて国内外を通じてその成果を公開し、本領域の基盤概念に関して世界的な認知を確立した。

### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計1003件）

1. "Helical Polyacetylene - Asymmetric Polymerization in a Chiral Liquid Crystal

- Field", \*K. Akagi, *Chemical Reviews*, 109, 5354-5401 (2009).
2. "Macroscopically Aligned Helical Conjugated Polymers in Orientation-Controllable Chiral Nematic Liquid Crystal Field", T. Mori, T. Sato, M. Kyotani, \*K. Akagi, *Macromolecules* 42, 1817-1823 (2009).
  3. "Advances in Liquid Crystalline Conjugated Polymers", \*K. Akagi, *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.* 47, 2463-2485 (2009).
  4. "Helical Carbon and Graphitic Films Prepared from Iodine-Doped Helical Polyacetylene Film using Morphology-Retaining Carbonization", M. Kyotani, S. Matsushita, T. Nagai, Y. Matsui, M. Shimomura, A. Kaito, \*K. Akagi, *J. Am. Chem. Soc.* 130, 10880-10881 (2008).
  5. "Helicity-Controlled Liquid Crystal Reaction Field Using Nonbridged and Bridged Binaphthyl Derivatives Available for Synthesis of Helical Conjugated Polymers", T. Mori, M. Kyotani, \*K. Akagi, *Macromolecules* 41, 607-613 (2008).
  6. "Dynamic Switching of Linearly Polarized Emission in Liquid Crystallinity-Embedded Photoresponsive Conjugated Polymers", H. Hayasaka, K. Tamura, \*K. Akagi, *Macromolecules* 41, 2341-2346 (2008).
  7. "Electro-Optical Behavior of Ferroelectric Liquid Crystalline Polyphenylene Derivatives", K. Suda, \*K. Akagi, *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.* 46, 3591-3610 (2008).
  8. "Dynamic Switching of Linearly Polarized Emission in Liquid Crystallinity-Embedded Photoresponsive Conjugated Polymers", H. Hayasaka, K. Tamura, \*K. Akagi, *Macromolecules* 41, 2341-2346 (2008).
  9. "Highly Twisted Helical Polyacetylene with Morphology Free From Bundle of Fibrils Synthesized in Chiral Liquid Crystal Reaction Field", M. Goh, M. Kyotani, \*K. Akagi, *J. Am. Chem. Soc.* 129, 8519-8527 (2007).
  10. "Helical Polyacetylenes Synthesized in Helical Sense and Pitch Controllable Chiral Nematic Liquid Crystal with Unprecedented Temperature Dependence", M. Goh, T. Matsushita, M. Kyotani, \*K. Akagi, *Macromolecules* 40, 4762-4771 (2007).
  11. "An Ultrafast Chargeable Polymer Electrode Based on the Combination of Radical Polymer and Aqueous Electrolyte", K. Koshika, N. Sano, K. Oyaizu, \*H. Nishide, *Chem. Commun.* 7, 836-838 (2009).
  12. "Emerging N-Type Redox-Active Radical Polymer for a Totally Organic Polymer-Based Rechargeable Battery", T. Suga, H. Ohshiro, S. Sugita, K. Oyaizu, \*H. Nishide, *Adv. Mater.* 21, 1627-1630 (2009).
  13. "Synthesis and Photochemical Reactions of Photochromic Terarylene having Leaving Methoxy Group", H. Nakagawa, S. Kawai, T. Nakashima, \*T. Kawai, *Org. Lett.* 11, 1475-1478 (2009).
  14. "Photo-, Solvent-, and Ion-Controlled Multichromism of Imidazolium-Substituted Diarylethenes", T. Nakashima, K. Miyamura, T. Sakai, \*T. Kawai, *Chem. Eur. J.* 15, 1977-1984 (2009).
  15. "Photochromic Amorphous Molecular Materials Based on Dibenzothienylthiazole Structure", S. Kawai, T. Nakashima, Y. Kutsunugi, H. Nakagawa, H. Nakano, \*T. Kawai, *J. Mater. Chem.* 19, 3606-3611 (2009).
  16. "Complexation Behavior of Supramolecular Organic Fluorophore by Solid-State Co-grinding Crystallization Using 2-Anthracenecarboxylic Acid and (R)-1-(2-Naphthyl)ethylamine and Its Optical Property", Y. Imai, K. Murata, K. Kawaguchi, T. Harada, Y. Nakano, T. Sato, \*M. Fujiki, R. Kuroda, Y. Matsubara, *Eur. J. Org. Chem.* 9, 1335-1339 (2009).
  17. "Theory of Antibunching of Photon Emission I", \*K. Seki, M. Tachiya, *J. Chem. Phys.* 130, 024706 (2009).
  18. "Synthesis and Properties of Helical Poly(phenylacetylene) Derivatives. Effect of Chirality Combination on the Helicity", R. Liu, F. Sanda, \*T. Masuda, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.* 46, 4183-4192 (2008).
  19. "DNA-lipid Complexes Carrying Carbazole and Triphenylamine Moieties: Synthesis, and Chiroptical and Photoelectronic Properties", J. Qu, R. Morita, H. Ashitaka, N. Ogata, \*T. Masuda, *Polymer* 49, 3663-3670 (2008).
  20. "Synthesis and Properties of DNA Complexes Containing 2,2,6,6-Tetramethyl-1-piperidinoxy (TEMPO) Moieties as Organic Radical Battery Materials", J. Qu, R. Morita, M. Satoh, J. Wada, F. Terakura, K. Mizoguchi, N. Ogata, \*T. Masuda, *Chem. Eur. J.* 14, 3250-3259 (2008).
  21. "Dynamic Structure of Regioregular Poly(alkylthiophene)s", K. Yazawa, Y. Inoue, \*T. Yamamoto, N. Asakawa, *J. Phys. Chem. B* 112, 11580-11585 (2008).
  22. "Synthesis and Characterization of Radical-Bearing Polyethers as an Electrode-Active Material for Organic

- Secondary Batteries", K. Oyaizu, T. Suga, K. Yoshimura, \*H. Nishide, *Macromolecules* **41**, 6646-6652 (2008).
23. "Nernstian Adsorbate-like Bulk Layer of Organic Radical Polymers for High-Density Charge Storage Purposes", K. Oyaizu, Y. Ando, H. Konishi, \*H. Nishide, *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 14459-14461 (2008).
  24. "Lipase-catalyzed Polymerization of L-Lactide in Ionic Liquids", M. Yoshizawa-Fujita, C. Saito, Y. Takeoka, \*M. Rikukawa, *Polym. Adv. Technol.* **19**, 1396-1400 (2008).
  25. "Nanoscale Observation of Polymer Electrolyte Membranes-Surface Morphology and Proton Conduction of Nafion Membranes-", N. Takimoto, A. Ohira, Y. Takeoka, \*M. Rikukawa, *Chem. Lett.* **37**, 164-165 (2008).
  26. "Synthesis and Solid-State Polymerization of Triyne and Eneidyne Derivatives with Similar  $\pi$ -Conjugated Structures", K. Mizukoshi, S. Okada, T. Kimura, S. Shimada, H. Matsuda, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **81**, 1028-1033 (2008).
  27. "Chemical Doping into Nanocrystals of Poly(diacetylene)", K. Baba, H. Kasai, Y. Shinohara, \*S. Okada, H. Oikawa, H. Matsuda, H. Nakanishi, *Jpn. J. Appl. Phys.* **47**, 3769-3771 (2008).
  28. "Control of Dispersion State of Silsesquioxane Nanofillers for Stabilization of Polystyrene Thin Films", N. Hosaka, N. Torikai, M. Hino, \*H. Otsuka, A. Takahara, *Langmuir* **24**, 5766-5772 (2008).
  29. "Evidence of Photoluminescence Quenching in Poly(3-Hexylthiophene-2,5-Diyl) due to Injected Charge Carriers", V. Singh, A. K. Thakur, S. S. Pandey, W. Takashima, \*K. Kaneto, *Synth. Met.* **158**, 283-286 (2008).
  30. "A Comparative Study of Al and LiF:Al Interfaces with Poly (3-Hexylthiophene) Using Bias Dependent Photoluminescence Technique", V. Singh, A. K. Thakur, S. S. Pandey, W. Takashima, \*K. Kaneto, *Org. Electr.* **9**, 790-796 (2008).
  31. "Photomodulation of Ionic Interaction and Reactivity: Reversible Photoconversion between Imidazolium and Imidazolinium", T. Nakashima, M. Goto, S. Kawai, \*T. Kawai, *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 14570-14575 (2008).
  32. "ESR Observations of Optically Generated Solitons in the Quasi-One-Dimensional Iodo-Bridged Diplatinum Complex Pt<sub>2</sub>(n-pentylCS<sub>2</sub>)<sub>4</sub>I", H. Tanaka, H. Nishiyama, \*S. Kuroda, T. Yamashita, M. Mitsumi, K. Toriumi, *Phys. Rev. B* **78**, 033104 (1-4) (2008).
  33. "Charge-Density-Wave to Mott-Hubbard Phase Transition in Quasi-One-Dimensional Bromo-Bridged Pd Compounds", S. Takaishi, M. Takamura, T. Kajiwara, H. Miyasaka, M. Yamashita, M. Iwata, H. Matsuzaki, H. Okamoto, H. Tanaka, \*S. Kuroda, H. Nishikawa, H. Oshio, K. Kato, M. Takata, *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 12080-12084 (2008).
  34. "Roles of Spin Fluctuation and Frustration in the Superconductivity of  $\beta$ -(BDA-TTP)<sub>2</sub>X (X=SbF<sub>6</sub>, AsF<sub>6</sub>) under Uniaxial Compression", H. Ito, T. Ishihara, H. Tanaka, \*S. Kuroda, T. Suzuki, S. Onari, Y. Tanaka, J. Yamada, K. Kikuchi, *Phys. Rev. B* **78**, 172506 (1-4) (2008).
  35. "Continuous Control of Third-order Optical Nonlinearity in Charge-Transfer-Type", \*H. Kishida, K. Hirota, H. Okamoto, H. Kokubo, T. Yamamoto, *Appl. Phys. Lett.*, **92**, 033309 (2008).
  36. "Stiffness- and Conformation-Dependent Polymer Wrapping onto Single-Walled Carbon Nanotubes", M. Naito, K. Nobusawa, H. Onouchi, M. Nakamura, K. Yasui, A. Ikeda, \*M. Fujiki, *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 11697-16703 (2008).
  37. "Polysilanes on surfaces", M. Naito, \*M. Fujiki, *Soft Matter*, **4**, 211-223 (2008).
  38. "Organic Light-Emitting Field-Effect Transistors Operated by Alternating-Current Gate Voltages", T. Yamao, Y. Shimizu, K. Terasaki, \*S. Hotta, *Adv. Mater.* **20**, 4109-4112 (2008).
  39. "Polarized Emissions from Single Crystals of Thiophene/Phenylene Co-oligomers Measured by Microspectroscopy", T. Yamao, Y. Taniguchi, K. Yamamoto, T. Miki, T. Ohira, \*S. Hotta, *Jpn. J. Appl. Phys.* **47**, 4719-4723 (2008).
  40. "Laser Oscillation in a Highly Anisotropic Organic Crystal with a Refractive Index of 4.0", T. Yamao, K. Yamamoto, Y. Taniguchi, T. Miki, \*S. Hotta, *J. Appl. Phys.* **103**, 093115 (2008).
  41. "Optical Properties and Micro-Capillary Laser of Blue Emissive  $\pi$ -Conjugated Polymers Based on 9,10-Dihydrophenanthrene Unit", K. Masuyama, \*A. Fujii, T. Nakao, T. Asao, H. Fukumoto, T. Yamamoto, J. Sakai, R. Hidayat, M. Ozaki, *Jpn. J. Appl. Phys.* **47**, 4724-4727 (2008).
  42. "Synthesis and Helical Structure of Poly(N-butynylamide)s Having Various Side Chains, Where the Helix Is Highly Affected by the Methyl Branch and the Lactone

- Moiety", T. Fujii, M. Shiotsuki, Y. Inai, F. Sanda, \*T. Masuda, *Macromolecules* 40, 7079-7083 (2007).
43. "Synthesis and Helical Structure of Poly(N-butynylamide)s Having Various Side Chains, Where the Helix Is Highly Affected by the Methyl Branch and the Lactone Moiety", Y. Suzuki, J. Tabei, M. Shiotsuki, Y. Inai, F. Sanda, \*T. Masuda, *Macromolecules* 41, 1086-1092 (2007).
  44. "Charge Injection Mechanism across Au-poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) Interface", A. K. Thakur, A. K. Mukherjee, D. M. G. Preethichandra, W. Takashima, \*K. Kaneto, *J. Appl. Phys.* 101, 104508 (2007).
  45. "Ambipolar Field Effect Transistors Based on Poly(3-hexylthiophene)/Fullerene Derivative Bilayer Films", \*K. Kaneto, M. Yano, M. Shibao, T. Morita, W. Takashima, *Jpn. J. Appl. Phys.* 46, 1736 (2007).
  46. "Unipolarization of Ambipolar Organic Field Effect Transistors toward High-Impedance Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Circuits", W. Takashima, T. Murasaki, S. Nagamatsu, T. Morita, \*K. Kaneto, *Appl. Phys. Lett.* 91, 071905 (2007).
  47. "Novel Photochromic Molecules Based on 4,5-Dithienyl Thiazole with Fast Thermal Bleaching Rate", S. Kawai, T. Nakashima, K. Atsumi, T. Sakai, M. Harigai, M. Imamoto, H. Kamikubo, M. Kataoka, \*T. Kawai, *Chem. Mater.* 19, 3479-3483 (2007).
  48. "Photochromism of Thiazole-Containing Triangle Terarylenes", T. Nakashima, K. Atsumi, S. Kawai, T. Nakagawa, Y. Hasegawa, \*T. Kawai, *Eur. J. Org. Chem.* 2007, 3212-3218 (2007).
  49. "Electron-Nuclear Double Resonance Observation of Spatial Extent of Polarons in Polythiophene and Poly(3-alkylthiophene)", \*S. Kuroda, K. Marumoto, T. Sakanaka, N. Takeuchi, Y. Shimoi, S. Abe, H. Kokubo, T. Yamamoto, *Chem. Phys. Lett.* 435, 273-277 (2007).
  50. "Ambipolar Organic Light Emitting Field Effect Transistors with Modified Asymmetric Electrodes", K. Yamane, H. Yanagi, A. Sawamoto, \*S. Hotta, *Appl. Phys. Lett.* 90, 162108-162114 (2007).
  51. "Microdisk and Microring Lasers of Thiophene-Phenylene Co-Oligomers Embedded in Si/SiO<sub>2</sub> Substrates", F. Sasaki, S. Kobayashi, S. Haraichi, S. Fujiwara, K. Bando, Y. Masumoto, \*S. Hotta, *Adv. Mater.* 19, 3653-3655 (2007).
  52. "Spectrally Narrowed Emissions Occurring Near an Interface Between a Single Crystal Thiophene/Phenylene Co-Oligomer and a Glass Substrate", T. Yamao, K. Yamamoto, Y. Taniguchi, \*S. Hotta, *Appl. Phys. Lett.* 91, 201117 (2007).
  53. "Effect of Diene Ligands in the Rhodium-Catalyzed Polymerization of Phenylacetylene", I. Saeed, M. Shiotsuki, \*T. Masuda, *Macromolecules* 39, 8977-8984 (2006).
  54. "Living Polymerization of Phenylacetylene with Tetrafluorobenzobarrelene Ligand-Containing Rhodium Catalyst Systems Featuring the Synthesis of High Molecular Weight Polymer", I. Saeed, M. Shiotsuki, \*T. Masuda, *Macromolecules* 39, 8567-8574 (2006).
  55. "A High-Spin and Helical Organic Polymer: Poly{[4-(dianisylaminium)phenyl]acetylene}", H. Murata, D. Miyajima, \*H. Nishide, *Macromolecules* 39, 6331-6336 (2006).
- (その他 948 件の雑誌論文)
- [学会発表] (計 328 件)
1. K. Akagi, Construction of Superhierarchical Structure of Helical Polyacetylene by using Liquid Crystal Field, 30 Years of Conducting Polymers for American Chemical Society, March 26, 2007.
  2. K. Akagi, Fibril Bundle-Free Helical Polyacetylene Synthesized in Ultimately Twisted Chiral Nematic Liquid Crystal Field, International Conference on Synthetic Metals, June 12, 2008.
  3. K. Akagi, From Helical Polyacetylene to Helical Graphite: Synthesis in Helical Sense-Controllable Liquid Crystal Field and Morphology-Retaining Carbonization, US-Japan POLYMAT 2008 Summit, August 10, 2008.
- (その他 325 件の学会発表)
- [図書] (計 73 件)
1. 赤木和夫 (監修), 次世代共役ポリマーの超階層性らせん構造の制御と革新機能の創出, 出版シーエムシー, 2009.
  2. K. Kaneto, S. Okada, N. Kobayashi, M. Rikukawa, H. Kishida (Guest Editors), Special Issue, International Symposium on Control of Super-Hierarchical Helical Structures and Innovative Functions of Next-Generation Conjugated Polymers, *Synthetic Metals*, 159, 9-10, (2009).
- (その他 71 件の図書)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 67 件)

名称：フォトクロミック色素

発明者：河合 壯, 中嶋 琢也, 河合 重和

権利者：奈良先端科学技術大学院大学

種類：特許

番号：特願 2006-189651

出願年月日：18 年 7 月 10 日

国内外の別：国内

(その他 66 件の出願)

〔その他〕

ホームページ等

・特定領域研究・超階層制御

<http://www.choukaisou.com/>

・2010 年合成金属の科学と技術に関する国際会議 (ICSM 2010)

<http://www.icsm2010.com/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

赤木 和夫 (AKAGI KAZUO)

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20150964 (H17~H21)

### (2) 研究分担者

増田 俊夫 (MASUDA TOSHIO)

福井大学工学部環境・生命未来工学科・教授 (H17~H20)

研究者番号：60026276

金藤 敬一 (KANETO KEIICHI)

九州工業大学大学院生命体工学研究科・教授

研究者番号：70124766 (H17~H20)

藤木 道也 (FUJIKI MICHIIYA)

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・教授

研究者番号：00346313 (H17~H20)

山本 隆一 (YAMAMOTO TAKAKAZU)

東京工業大学・資源化学研究所・教授

研究者番号：10016743 (H17~H20)

黒田 新一 (KURODA SHIN-ICHI)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20291403 (H17~H20)

西出 宏之 (NISHIDE HIROYUKI)

早稲田大学・理工学術院応用化学専攻・教授

研究者番号：90120930 (H17~H20)

堀田 収 (HOTTA SHU)

京都工芸繊維大学・大学院工芸科学研究科・教授

研究者番号：00360743 (H17~H20)

溝口 憲治 (MIZOGUCHI KENJI)

首都大学東京・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：40087101 (H17~H20)

阿部 修治 (ABE SHUJI)

独立行政法人 産業技術総合研究所・

ナノテクノロジー研究部門・副研究部門長、

ナノ構造物性理論グループ長

研究者番号：30356373 (H17~H20)

岸田 英夫 (KISHIDA HIDEO)

名古屋大学・大学院工学研究科マテリアル理工学専攻・准教授

研究者番号：40311633 (H17~H20)

岡田 修司 (OKADA SHUJI)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：30221197

河合 壯 (KAWAI TSUYOSHI)

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・教授

研究者番号：40221197 (H17~H21)

陸川 政弘 (RIKUKAWA MASAHIRO)

上智大学・理工学部化学科・教授

研究者番号：10245797 (H17~H20)

小林 範久 (KOBAYASHI NORIHISA)

千葉大学・大学院融合科学研究科・教授

研究者番号：50195799 (H17~H20)

大塚 英幸 (OTSUKA HIDEYUKI)

九州大学・先端物質化学研究所・准教授

研究者番号：00293051 (H17~H20)

藤井 彰彦 (FUJII AKIHIKO)

大阪大学・大学院工学研究科電気電子情報工学専攻・准教授

研究者番号：80304020 (H17~H20)

### (3) 連携研究者 (0)