

平成23年 1月 18日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2009

課題番号：18064008

研究課題名（和文） メタルテンプレート型インターロック分子の動的挙動と空間制御

研究課題名（英文） Controlled Dynamic Behavior of Interlocked Molecules with Metal Template Motifs

研究代表者 高田 十志和 (TAKATA TOSHIKAZU)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：40179445

研究成果の概要（和文）：ロタキサンやカテナンを構成するコンポーネントは、共有結合ではなく空間的な結合で結ばれているため、その自由度と運動性には特別な注目が集まっている。このようなシステムにおいては、これまでの共有結合化合物には全く見られなかった現象がしばしば観測される。ロタキサンのような空間結合系は弱い相互作用を近傍効果によって増幅できるため、元素間に働く相互作用を解明するのに極めて適した系である。本研究では、ロタキサンを用いて遷移金属元素と高周期典型元素の間に生まれる相乗的な相互作用に的を絞ってその特性を明らかにするとともに、その結果をベースとしてロタキサン構造を鍵とする新分子触媒や分子モーターを開発した。

研究成果の概要（英文）：Rotaxanes possessing catalytic functions have attracted much attention due to their unique structures consisting of mechanically linked components and their properties. The use of the rotaxane-based molecules as a reaction template enables the amplification of weak interactions by a proximity effect between the components, providing an ideal scaffold to evaluate the inherence of interaction between the elements. This study is focused on an evaluation of synergy effect generated between a transition metal and typical elements. On the basis of these results, we developed a new rotaxane catalyst and linear molecular motor including the rotaxane skeleton as a key unit.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	7,100,000	0	7,100,000
2007年度	7,100,000	0	7,100,000
2008年度	7,100,000	0	7,100,000
2009年度	7,100,000	0	7,100,000
年度			
総計	28,400,000	0	28,400,000

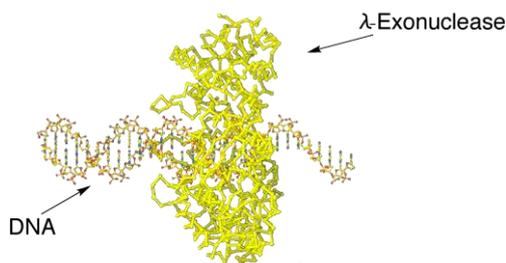
研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・有機化学

キーワード：ロタキサン・パラジウム・触媒・相互作用・空間結合

## 1. 研究開始当初の背景

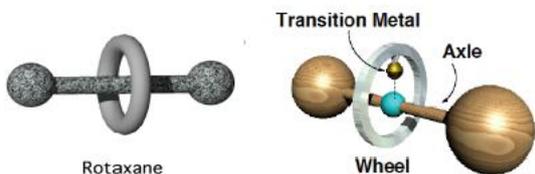
天然にはロタキサン構造を触媒発現機構として持つ酵素がいくつか知られており、そのうちの1つであるラムダエキソヌクレアーゼは2本鎖DNAを1本鎖へと選択的に分解する触媒能を有していることが知られている。この酵素にはロタキサン構造に基づく着目すべき、2つの超性能が含まれている。



1つ目は、ポリマー鎖に沿って反応するため、ポリマーの高次構造の影響を受けない高分子反応が可能になる点であり、もう1つは触媒とポリマーとの錯形成によって、反応濃度の問題を克服するとともに、近傍効果による反応の加速が認められる点である。このように、ロタキサン構造は反応触媒として、大きな利点や可能性を含んでいるものの、研究開始当初にはロタキサンをプラットフォームとすることで基礎化学に貢献するような研究はほとんど存在していなかった。Rowanによる環状構造を持つ触媒設計についての先駆的な報告例はあるものの、ロタキサンの特性を利用した分子設計とは言えず、ロタキサン触媒系に現れる結果を基盤とした分子触媒、分子モーター等への展開にも大きな期待が寄せられていた。

## 2. 研究の目的

ロタキサンやカテナンを構成するコンポーネントは、共有結合ではなく空間的な結合（機械的結合、トポロジカル結合などとも呼ぶ）で結ばれているため、その自由度と運動性には特別な注目が集まっている。



このようなシステムにおいては、これまでの共有結合化合物には全く見られなかった現象がしばしば観測される。ロタキサンやカテナンでは輪成分中の原子と軸成分中の原子の間の相互作用の結果が、非常に大きくその特性に現れてくる。従って、例えば金属を輪または軸に導入したロタキサンで

は、軸または輪中の配位性元素との間に生まれる特異な相互作用がたいへん興味深い。このような意味でロタキサン等をプラットフォームとする構造体は化学反応や反応機構のprobeとして魅力的であり、元素の特性を研究する上でたいへん有効な物質である。

本特定研究では複合元素間に働く相互作用や協同効果を解明し、応用展開の道を拓くことを目的としているが、ロタキサンのような空間結合系は弱い相互作用を増幅できるため、元素間に働く相互作用を解明するのに極めて適した系である。本研究では、ロタキサンやカテナンといったインターロック分子を用いて遷移金属元素と高周期典型元素の間に生まれる相乗的な相互作用に絞ってその特性を明らかにするとともに、その結果をベースとしてロタキサン構造を鍵とする分子触媒や分子モーター構築に関する応用研究について検討した。

## 3. 研究の方法

我々は先にパラジウムテンプレート型<sup>[2]</sup>ロタキサンの合成について報告しており、そのロタキサンを触媒や分子モーターのモチーフとして分子を設計し、研究を推進した。

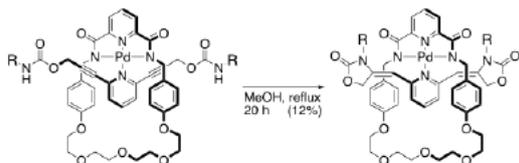
主として以下の各項目について検討した。

- (1)各種遷移金属・典型元素含有ロタキサン錯体の合成：Pd, Pt等の金属と配位子からなるロタキサンを金属テンプレート法を用いて合成した。
- (2)コンポーネントの動的挙動の精査：NMR等による溶液中における運動性評価（コンポーネントの並進及び回転運動の精査）を行った。
- (3)分子モーターの設計：ロタキサンの動的特性を利用した直線分子モーターを合成した。
- (4)新触媒設計・機能評価：ロタキサン中間体を経由する分子サイズ選択的なマクロサイクル触媒を合成し、その反応性を評価した。
- (5)分子形状選択的な高分子反応の開発：マクロサイクル触媒を活用した連続的且つ形状選択的な高分子反応系を開発した。

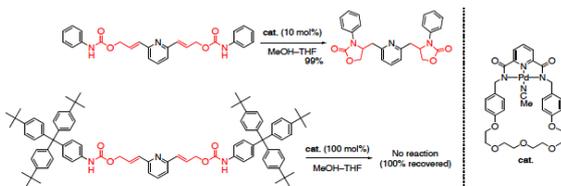
## 4. 研究成果

インターロック分子を用い、遷移金属元素と高周期典型元素の間に生まれる相乗効果を精査し、また新しい研究領域・分野をつくることを目的に、遷移金属含有ロタキサンの合成と特性評価を行った。その結果(1)ロタキサン錯体内における相乗的な相互作用を明らかとし、①配位の強さ、②配位子交換の可能性、③ロタキサン構造の特異性と安定性の関係、④並進及び回転運動性の評価を行った。その中でもパラジウム金属含有ロタキサンにおいて、その近傍効果によって反応が加速し、コンポーネント間の接触に

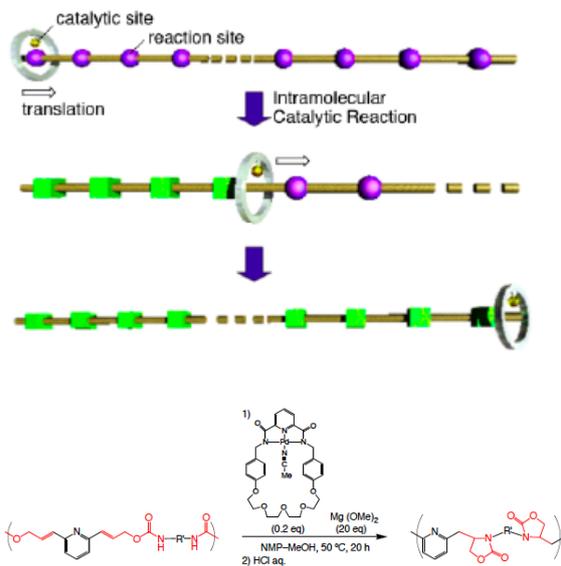
よる触媒的な自己反応変換系を見いだした。



またこの知見を活用し、パラジウムを固定化した輪状の分子触媒が、貫通構造（擬ロタキサン構造）を形成できるような化合物にのみ触媒能を発揮することが明らかとなった。



さらにこうした知見を踏まえ、(2)リニア分子モーター合成のための分子設計と基本動作系の構築を行った。すなわち、輪成分の移動に伴って、軸成分上での反応点が順次変換する分子を設計・合成することで、移動方向を制御できるような①リニア分子モーターの基本原理に加え、②様々な軸成分を持つロタキサン合成法、③ポリマーへの展開（ポリロタキサンの合成法）、並びに④遷移金属含有[n]カテナンの新合成法についてそれぞれ確立してきた。こうした系を発展、応用すれば、リニア分子モーターのみならず、効果的な高分子反応や、高分子鎖の動的な立体保護、分子サイズを認識できる酵素様の新触媒の創製が期待できる。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 32 件)

1) Synthesis of Main Chain-Type Polyrotaxanes by New Click Polymerization Using Homoditopic Nitrile *N*-Oxides via Rotaxation-Polymerization Protocol, Young-Gi

Lee, Yasuhito Koyama, Morio Yonekawa, Toshikazu Takata\*, *Macromolecules*, **2010**, *43*, 4070–4080. (査読有り)

2) Synthesis of acetylene-functionalized [2]rotaxane monomers directed toward side chain-type polyrotaxanes, Kazuko Nakazono, Keiichiro Fukasawa, Takashi Sato, Yasuhito Koyama, Toshikazu Takata, *Polym. J.* **2010**, *42*, 208–215. (査読有り)

3) High-Yield One-Pot Synthesis of Permethylated  $\alpha$ -Cyclodextrin-based Polyrotaxane in Hydrocarbon Solvent through and Efficient Heterogeneous Reaction, Kazuko Nakazono, Tomoyuki Takashima, Takayuki Arai, Yasuhito Koyama, Toshikazu Takata, *Macromolecules* **2010**, *43*, 691–696. (査読有り)

4) “Successive Catalytic Reactions Specific to Pd-Based Rotaxane Complexes as a Result of Wheel Translation along the Axle” Norihito Miyagawa, Masanori Watanabe, Takenori Matsuyama, Yasuhito Koyama, Toshiyuki Moriuchi, Toshikazu Hirao, Yoshio Furusho, Toshikazu Takata\*, *Chem. Commun.* **2010**, *46*, 1920–1922. (査読有り)

5) One-pot Synthesis of Native and Permethylated  $\alpha$ -Cyclodextrin-containing Polyrotaxanes in Water, Takayuki Arai, Masanori Hayashi, Naoto Takagi, and Toshikazu Takata, *Macromolecules*, **42**, 1881–1887 (2009) (査読有り)

6) Thiazolium-Tethering Rotaxane-Catalyzed Asymmetric Benzoin Condensation: Unique Asymmetric Field Constructed by The Cooperation of Rotaxane Components, Yuya Tachibana, Nobuhiro Kihara, Kazuko Nakazono, and Toshikazu Takata, *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, in press (査読有り)

7) Synthesis and Characterization of Poly[3]rotaxane through The Mizoroki-Heck Coupling Polymerization of Divinyl-functionalized [3]Rotaxane, Takashi Sato and Toshikazu Takata, *Polymer Journal*, **41**[7], 2739 ~ 2742 (2009) (査読有り)

8) Polyrotaxane Network as a Topologically Cross-linked Polymer: Synthesis and Property, Toshikazu Takata, Takayuki Arai, Yasuhiro Kohsaka, Masahiro Shioya, and Yasuhito Koyama, Proceeding of Yamada Conference 2008 (査読無し)

9) Graft polyrotaxane: Graft Polymer Possessing Movable Graft Chains on Cyclodextrins as The Polyrotaxane Wheels, Tomoyuki Takashima, Kazuma Hinoue, Masanori Hayashi, Yasuhito

Koyama, Toshikazu Takata, *J. Chem. Phys.: Conf. Ser.*, **2009**, 184, 012024. (査読有り) .

10) Crown Ether-*tert*-Ammonium Salt Complex Fixed as Rotaxane and Its Derivation to Neutral Rotaxane, Kazuko Nakazono, Shigeki Kuwata Toshikazu Takata, *Tetrahedron Lett.*, **49**, 2397 ~ 2401 (2008) (査読有り)

11) Synthesis of Main Chain-Type Polyrotaxane by Polymerization of Homoditopic [2]Rotaxane Through Mizoroki-Heck Coupling, Takashi Sato, Toshikazu Takata, *Macromolecules*, **41**, 2739 ~ 2742 (2008) (査読有り)

12) A Novel Synthetic Route to Poly(crown ether) through Rotaxanation-Protection Protocol, Tuya Bilig, Yasuhito Koyama, Toshikazu Takata, *Chem. Lett.*, **37**, 468 ~ 469 (2008) (査読有り)

13) Thermodynamically and Kinetically Unfavored Transposition of Wheel Component in Rotaxane, Yoshimasa Makita, Nobuhiro Kihara, Toshikazu Takata, *J. Org. Chem.*, **73**, 9245 ~ 9250 (2008) (査読有り)

14) Polyrotaxane Networks Formed via Rotaxanation Utilizing Dynamic Covalent Chemistry of Disulfide, Tuya Bilig, Tomoya Oku, Yoshio Furusho, Yasuhito Koyama, Shigeo Asai and Toshikazu Takata, *Macromolecules*, **41**, 8496 ~ 8503 (2008) (査読有り)

15) Tributylphosphane-Catalyzed Condensation of Alcohol and Carboxylic Acid with DCC Directed toward to Rotaxane Synthesis, Yoshimasa Makita, Nobuhiro Kihara, Toshikazu Takata, *Chem. Lett.*, **36**, 102 ~ 103 (2007) (査読有り)

16) Catalytic Asymmetric Synthesis and Optical Resolution of Planar Chiral Rotaxane, Yoshimasa Makita, Nobuhiro Kihara, Naohisa Nakakoji, Toshikazu Takata, Shinji Inagaki, Chiyo Yamamoto, Yoshio Okamoto, *Chem. Lett.*, **36**, 162 ~ 163 (2007) (査読有り)

17) Effect of Steric Barrier on the Shuttling of Rotaxane Having Crown Ether Wheel, Nobuhiro Kihara, Yoshifumi Koike and Toshikazu Takata, *Chem. Lett.* **36**, 208 ~ 209 (2007) (査読有り)

18) Main Chain-Type Polyrotaxane with Controlled Ratio of Rotaxanated Units, Toshikazu Takata, Yasuhiro Kohsaka, Gen-ichi Konishi, *Chem. Lett.*, **36**, 292 ~ 293 (2007) (査読有り)

19) One-Pot Synthesis of Main Chain-Type Polyrotaxane Containing Cyclodextrin Wheels, Takayuki Arai, Toshikazu Takata, *Chem. Lett.*, **36**, 418 ~ 419 (2007) (査読有り)

20) Solvent-Free Synthesis of Pseudopolyrotaxane and Polyrotaxane: Efficient

Threading Complexation of Cyclodextrin Wheel and Linear Polymer Axle to Yield Pseudopolyrotaxane and Its Fixation to Polyrotaxane by Direct Grinding of A Solid Mixture, Toshikazu Takata, Runtao Liu, Takeshi Maeda, Nobuhiro Kihara, Akira Harada, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **45**, 1571 ~ 1574 (2007) (査読有り)

21) Synthesis of Poly[2]rotaxane by Sonogashira Polycondensation, Hisahiro Sasabe, Norihiro Inomoto, Nobuhiro Kihara, Akiya Ogawa, Toshikazu Takata, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **45**, 4154 ~ 4160 (2007) (査読有り)

22) Solvent-Free Synthesis of Unmodified Cyclodextrin-Based Pseudopolyrotaxane and Polyrotaxane by Grinding, Runtao Liu, Akira Harada, Toshikazu Takata, *Polym. J.*, **39**, 21 ~ 23 (2007) (査読有り)

23) Synthesis of A Main Chain-Type Polyrotaxane Consisting of Poly(crown ether) and *sec*-Ammonium Salt Axle and Its Application to Polyrotaxane Network, Yasuhiro Kohsaka, Gen-ichi Konishi, Toshikazu Takata, *Polym. J.*, **39**[8], 861 ~ 873 (2007) (査読有り)

24) Rotaxane as An Effective Scaffold: Synthesis of [3]Rotaxane and Connection of The Wheel Components Arranged on The Axle, Takashi Sato, Toshikazu Takata, *Tetrahedron Lett.*, **48**, 2797 ~ 2801 (2007) (査読有り)

25) Synthesis of Rotaxanes Consisting of Crown Ether Wheel and *sec*-Ammonium Axle under Basic Condition, Kazuko Nakazono, Toshikazu Takata, *Tetrahedron Lett.*, **48**, 3409 ~ 3411 (2007) (査読有り)

26) Synthesis of [60]Fullerene-Functionalized Rotaxanes, Hisahiro Sasabe, Kei-ichiro Ikeshita, G. Abraham Rajkumar, Nobuhiro Watanabe, Nobuhiro Kihara, Yoshio Furusho, Kazuhiko Mizuno, Akiya Ogawa, Toshikazu Takata, *Tetrahedron*, **62**, 1988 ~ 1997 (2006) (査読有り)

27) Rotaxane Synthesized by End-Capping via Hydroiruthenation of Axle Terminal Acetylene And Its Derivation to  $\eta^3$ -Allylruthenium Complex-Containing Rotaxane, Hisahiro Sasabe, Nobuhiro Kihara, Kazuhiko Mizuno, Akiya Ogawa, Toshikazu Takata, *Chem. Lett.*, **35**, 212 ~ 213 (2006). (査読有り)

28) Photoinduced Electron Transfer Processes in Rotaxanes Containing [60]Fullerene and Ferrocene; Effect of Charge of Axle on Light Induced Molecular Motion, Atula S. D. Sandanayaka, Hisahiro Sasabe, Yasuyuki Araki, Nobuhiro Kihara, Yoshio Furusho, Toshikazu Takata, Osamu Ito, *Aust. J. Chem.*, **59**, 186 ~ 192 (2006) (査読有り)

29) Structure and Properties of Rotaxanes Synthesized via Acylative End-Capping of Sequential *O*- and *N*-Acylation Protocol for High Yield Preparation and Modification of Rotaxanes: Synthesis, Functionalization, Structure, and Intercomponent Interaction of Rotaxanes, Yuya Tachibana, Hiroaki Kawasaki, Nobuhiro Kihara, Toshikazu Takata, *J. Org. Chem.*, **71**, 5093 ~ 5104 (2006) (査読有り)

30) Photoinduced Electron Transfer Processes in Three Component Rotaxanes with Porphyrins, [60]Fullerene, and Ferrocene, G. Abraham Rajkumar, Atula S. D. Sandanayaka, Kei-ichiro Ikeshita, Yasuyuki Araki, Yoshio Furusho, Toshikazu Takata, O. Ito, *J. Porphyrin Phthalocyanin*, **10**, 1346 ~ 1359 (2006) (査読有り)

31) Prolongation of Lifetime of Charge-Separated State at Low Temperature in Photoinduced Electron-Transfer System of [60]Fullerene and Ferrocene Moiety Tethered by Rotaxane Structures, G. Abraham Rajkumar, Atula S. D. Sandanayaka, Kei-ichiro Ikeshita, Yasuyuki Araki, Yoshio Furusho, Toshikazu Takata, Osamu Ito, *J. Phys. Chem. B*, **110**, 6516 ~ 6525 (2006). (査読有り)

32) Polyrotaxane and Polyrotaxane Network: Supramolecular Architectures Based on The Concept of Dynamic Covalent Bond Chemistry, Toshikazu Takata, *Polym. J.*, **38**, 1 ~ 20 (2006). (査読有り)

[学会発表] (計 10 件)

1) Takayuki Arai, Toshikazu Takata, Movable Crosslink Polymer Network: Synthesis and Property of Polyrotaxane Networks Using An Oligocyclodextrin Crosslinker, 2nd Japan-Korea Joint Seminar 2008 and International Symposium: Synthesis and Application of Advanced Functional Materials (JKIS 08), 2008.11.05. Tokyo.

2) Toshikazu Takata, Kazuko Nakazono, Yasuhito Koyama, New Aspects of Crown Ether-*sec*-Ammonium Rotaxane: Significant Roles in Biological and Material Sciences, Yamada Conference, 2008.09.04. Awaji.

3) Toshikazu Takata, Synthesis, Properties and Application of Rotaxanes Formed by Utilizing Dynamic Covalent Bond, 2008.07.10. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.

[図書] (計 11 件)

1) Efficient Syntheses of Rotaxanes and Construction of Polyrotaxanes and Its Polymer Networks Based on The Dynamic Covalent Chemistry, Toshikazu Takata, in *BOTTOM-UP NANOFABRICATION: Supramolecules*,

*Self-Assemblies, and Organized Films*, Katsuhiko Ariga and Hari Singh Nalwa Ed., **2009**, Chapter 12, p.311 ~ 329

2)  $\pi$  共役系高分子の精密構造制御 (高田十志和, 中藪和子 (第 17 章、らせん状に集積されたロタキサン組織体の構築と特性)、赤木和夫編、シーエムシー、**2009**, p. 225 ~ 231.

3) 高田十志和, 中藪和子, 赤木和夫編、シーエムシー、 $\pi$  共役系高分子の精密構造制御 (第 17 章、らせん状に集積されたロタキサン組織体の構築と特性) (2009), p. 225 ~ 231.

4) 木原伸浩, 高田十志和, 三共出版, 分子認識と超分子, 早下隆, 筑部浩編 (第 10 章, 超分子マシーンへのアプローチ,) (2008), p. 175 ~ 193

5) 環状・筒状超分子新素材の応用技術、高田十志和監修、高田十志和 (第 1 章、環・筒・管の特性を活かした超分子材料)、シーエムシー出版、**2006**.

6) Nobuhiro Kihara, Toshikazu Takata, Toshikazu Hirao Ed., Springer, Through-Space Control of Redox Reactions Using Interlocked Structure of Rotaxanes, in *Redox Systems under Nano-Space Control* (2006), p. 215 ~ 247.

[産業財産権]

○出願状況 (計 29 件)

1) 刺激応答性高分子架橋体およびその製造方法、荒井隆行、高田十志和、第 98144932 (2009) . 2009/12/25、台湾

2) 刺激応答性高分子架橋体およびその製造方法、荒井隆行、高田十志和、第 98144933 (2009) . 2009/12/25、台湾

3) 刺激応答性高分子架橋体およびその製造方法、荒井隆行、高田十志和、第 98144934 (2009) . 2009/12/25、台湾

4) 刺激応答性高分子架橋体およびその製造方法、荒井隆行、高田十志和、PCT/JP2009/071135 (2009) . 2009/12/18、米国

5) 刺激応答性高分子架橋体およびその製造方法、荒井隆行、高田十志和、PCT/JP2009/071136 (2009) . 2009/12/18、米国

6) 刺激応答性高分子架橋体およびその製造方法、荒井隆行、高田十志和、2009/12/18、PCT/JP2009/071137、米国

7) ロタキサン化合物および抗ガン剤、高田十志和、小山靖人、中藪和子、長谷川俊秀、李泳基、小野信文、西尾和人、藤田至彦、PCT/JP2009/005503 (2009) . 2009/10/21、米国

8) 高分子架橋体および高分子架橋体の製造方法、荒井隆行、高田十志和、特願 2009-002152 (2009) . 平成 21 年 1 月 8 日、国内

9) 熱応答性高分子および熱応答性ゲルフィルム、荒井隆行、高田十志和、特願2009-001782 (2009) . 平成21年1月7日、国内

10) 熱応答性高分子および熱応答性ゲルフィルム、荒井隆行、高田十志和、特願2009-001782 (2009) . 平成21年1月7日、国内

11) 熱応答性ゲルフィルム、荒井隆行、高田十志和、特願2009-001783 (2009) . 平成21年1月7日、国内

12) 修飾擬ポリロタキサンおよび修飾ポリロタキサン、ならびにそれらの製造方法、荒井隆行、高田十志和、特願2009-000561 (2009) . 平成21年1月6日、国内

13) 修飾擬ポリロタキサンおよび修飾ポリロタキサンの製造方法、荒井隆行、高田十志和、高島智行、特願2008-290132 (2008) . 国内

14) 刺激応答性高分子架橋体およびその製造方法、荒井隆行、高田十志和、特願2008-333574 (2008) . 平成20年12月26日、国内

15) 刺激応答性高分子架橋体およびその製造方法、荒井隆行、高田十志和、特願2009-333574 (2009) . 平成20年12月26日、国内

16) ロタキサン化合物および抗ガン剤、高田十志和、小山靖人、中藪和子、長谷川俊秀、李泳基、小野信文、西尾和人、藤田至彦、特願2008-270424 (2008) . 平成20年10月21日、国内

17) ロタキサン、及びその製造方法、高田十志和、中藪和子、特願2007-235598 (2007) . 平成19年9月11日、国内

18) 高分子架橋前駆体、高分子架橋対およびそれらの製造方法、荒井隆行、高田十志和、特願2007-222450 (2007) . 平成19年8月29日、国内

19) 部分アシル化シクロデキストリンの製造方法および部分アシル化ロタキサンの製造方法、荒井隆行、高田十志和、特願2007-207014 (2007) . 平成19年8月8日、国内

20) アシル化ロタキサン及びその製造法、荒井隆行、高田十志和、特願2007-207013 (2007) . 平成19年8月8日、国内

21) Adhesive compositions with good flexibility and durability and high gel fraction, Arai, Takayuki; Kashio, Mikihiro; Takata, Toshikazu, PCT Int. Appl. (2007), 27pp. CODEN: PIXXD2 W0 2007097365 A1 20070830 CAN 147:302315, AN 2007:964536, CAPLUS. 米国

22) ポリロタキサンの製造方法、荒井隆行、

高田十志和、高木直人、特願2007-175230 (2007) . 平成19年7月3日、国内

23) 擬ポリロタキサンおよびポリロタキサンの製造方法、高田十志和、特願2007-0070553 (特願2005-261530) (2007) . 国内

24) ポリロタキサンの分子内触媒反応方法、高田十志和、松山剛知、渡辺将浩、特願2007-077030 (特願2005-263209) (2007) . 国内

25) 擬ポリロタキサンおよびポリロタキサンならびにそれらの製造方法、荒井隆行、高田十志和、林正憲、特願2007-021401 (2007) . 平成19年1月31日、国内

26) ポリロタキサンおよびポリロタキサンの製造方法、荒井隆行、高田十志和、特願2006-193804 (2006) . 平成18年7月14日、国内

27) 擬ポリロタキサンおよびポリロタキサンならびにそれらの製造方法、荒井隆行、高田十志和、特願2006-129017 (2006) . 平成18年5月8日、国内

28) 擬ポリロタキサンおよびポリロタキサンの製造方法、荒井隆行、高田十志和、特願2006-080070 (2006) . 平成18年3月23日、国内

29) 粘着剤組成物およびこれを用いた粘着シート、荒井隆行、樫尾幹広、高田十志和、特願2006-046212 (2006) . 平成18年2月23日、国内

[その他]

ホームページ

<http://www.op.titech.ac.jp/polymer/lab/takata/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高田 十志和 (TAKATA TOSHIKAZU)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：40179445

### (2) 研究分担者

小山 靖人 (KOYAMA YASUHIITO)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・助教  
研究者番号：10456262