

平成 21 年 5 月 27 日現在

研究種目：若手スタートアップ  
研究期間：2007～2008  
課題番号：19850005  
研究課題名（和文）高速駆動・高耐久性を有するハイパーブランチゲルの創製  
研究課題名（英文）Development of novel hyper-branch gel with high performance as an actuator

## 研究代表者

原 雄介（HARA, Yusuke）  
早稲田大学・先端科学・健康医療融合研究機構・講師  
研究者番号：90452135

## 研究成果の概要：

本研究は、ソフト&ウェットな性質を有する高分子ゲルの分子構造を空間的にデザインすることによって、アクチュエーターとしての機能として望まれている高速駆動・高耐久性を実現することを目標とする。本研究では、ゲルの分子構造を空間的にデザインするという新しい着想を用いて、高速・高耐久性を有する新規高分子ゲルアクチュエーターを実現することを目指した。さらに、本提案ゲルの物理化学的諸物性を明らかにすることで、そのメカニズムを明らかとすることも目的としていた。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,350,000	0	1,350,000
2008年度	1,350,000	405,000	1,755,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	405,000	3,105,000

研究分野：複合化学

科研費の分科・細目：高分子化学

キーワード：高分子ゲル、アクチュエータ、人工筋肉

## 1. 研究開始当初の背景

既存のゲルアクチュエーターは、応答速度が遅く、繰り返し動作特性（耐久性）が低いことから、実用化を図る上で大きな問題となっていた。

## 2. 研究の目的

本研究は、ソフト&ウェットな性質を有する高分子ゲルの分子構造を空間的にデザインすることによって、アクチュエーターとして

の機能として望まれている高速駆動・高耐久性を実現することを目標とした。ゲルアクチュエータの致命的な欠点を改善するため、本研究では、ゲルの分子構造を空間的にデザインするという新しい着想を用いて、高速・高耐久性を有する新規高分子ゲルアクチュエータを実現することを目指した。さらに、本提案ゲルの物理化学的諸物性を明らかにすることで、そのメカニズムを明らかとすることも目的とした。

### 3 . 研究の方法

ゲル内部に溶媒排出のための流路を分子レベルで確保し、さらに高分子鎖同士の絡み合いを同時に回避することが可能な、球状高分子でゲル骨格を形成し、それらを直鎖状高分子で化学架橋する新規ゲルを検討することで、駆動速度及び駆動耐久性の改善を行う。

### 4 . 研究成果

合成に成功した新規ゲルは、ゲル骨格が球状ポリマーで構成されているため、溶媒排出のための流路が常に確保されことで高速応答が実現できた。さらに球状高分子同士は絡み合いを起こしにくいいため、アクチュエータの繰り返し特性（耐久性）が大幅に改善された。

### 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 16 件)

1. S. Nakamaru, S. Maeda, Y. Hara\* and S. Hashimoto: "Control of Autonomous Swelling-Deswelling Behavior for a Polymer Gel" J. Phys. Chem. B 113 (14), pp 4609-4613 (2009). (査読有)
2. Y. Hara and R. Yoshida : "Self-oscillating polymer fueled by organic acid", J. Phys.

Chem. B, 112(29), pp8427-8429 (2008). (査読有)

3. Y. Hara\* and R. Yoshida : "A viscosity self-oscillation of polymer solution induced by the BZ reaction under acid-free condition", J. Chem. Phys., 128, 224904 (2008). (査読有)
4. H. Okuzaki, T. Saido, H. Suzuki, Y. Hara, H. Yan: "A Biomorphic Origami Actuator Fabricated by Folding a Conducting Paper", J. Phys.: Conf. Ser., 127, pp1-7 (2008). (査読有)
5. K. Ozawa, Y. Hara, H. Yan, H. Okuzaki: "Synthesis of High-strength Gel Film and Their Electromechanical Properties", *Kobunshi Ronbunshu*, 65, pp653-657 (2008). (査読有)
6. S. Maeda, Y. Hara, R. Yoshida, S. Hashimoto: "Design of Self-Oscillating Gel Actuators for aiming at Chemical Robot", *Kobunshi Ronbunshu*, 65, pp634-640 (2008). (査読有)
7. S. Maeda, Y. Hara, R. Yoshida and S. Hashimoto : "Self-oscillating gel for Chemical Robot " , *Advanced Robotics*, 22, pp1329-1342 (2008). (査読有)
8. S. Maeda, Y. Hara, R. Yoshida and S. Hashimoto: "Peristaltic Motion of Polymer Gels", *Angew. Chem. Int. Ed.*, 120 , pp1-5 (2008). (査読有)
9. S. Maeda, Y. Hara, R. Yoshida, S. Hashimoto : " Control of the dynamic motion of a gel actuator driven by the Belousov-Zhabotinsky reaction", *Marcomol. Rapid Commun.*, 29(5), pp401-405 (2008). (査読有)
10. H. Yan, T. Kagata, Y. Mori, Y. Harashina, Y. Hara, H. Okuzaki, "Micrometer-scaled

Channel Lengths of Organic Field-effect Transistors Patterned by Using PEDOT/PSS Microfibers", *Chemistry Letters*, 37(1), pp44-45 (2008). (査読有)

11. H. Okuzaki, T. Takahashi, Y. Hara, Y. Hu : "Conducting Nanofiber Yarns Fabricated by Electrospinning", *SEN'I GAKKAISHI*, 64(1), pp14-19 (2008). (査読有)
12. H. Yan, Y. Hara, H. Okuzaki : " Unique Shapes and Film Surface of Conductive Polymers Induced by Electrical Ways", *Kobunshi Ronbunshu*, 65, pp1-5 (2008). (査読有)
13. H. Okuzaki, T. Takahashi, Y. Hara, H. Yan, "Uniaxially Aligned Carbon Nanofibers Derived From Electrospun Precursor Yarns", *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 46(3), pp305-310 (2007). (査読有)
14. S. Maeda, Y. Hara, T. Sakai, R. Yoshida, S. Hashimoto : "Self-walking gel", *Adv. Mater.*, 21(19), pp3480-3484 (2007). (査読有)
15. H. Yan, S. Endo, Y. Hara, H. Okuzaki: "Plastic Shottky Barriers Fabricated by a Line Patterning Technology", *Chemistry Letters*, 36(8), pp986-987 (2007). (査読有)
16. S. Maeda, Y. Hara, R. Yoshida, S. Hashimoto : " Chemical robot -Design of self-walking gel-", *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2007)*, pp2150-2155, (2007). (査読有)

[学会発表](計 38 件)

1. 佐々木祥太、宮嶋尚、桑原哲夫、原 雄 介、前田真吾、橋本周司 “ UV照射により調製したアクリル系高分子ゲルの炭素化挙動” 第 35 回炭素材料学会年会、筑波大学、2008 年 12 月.

2. Y. Hara, S. Maeda, S. Hashimoto : " Design and functional control of a molecular Robot " Workshop on Biomedical Science Engineering, October 10, 2008, Waseda Univ., Japan.
3. 原 雄介、前田真吾、吉田亮、橋本周司” 自ら駆動するゲルロボットの創製とその機能制御”, 第 61 回コロイドおよび界面化学討論会, 九州大学, 2008 年 9 月.
4. 原 雄介、前田真吾、吉田亮、橋本周司” 心筋を模倣した新規自励振動型高分子と自励粘性振動の解析” 日本化学会 第 2 回関東支部大会, 群馬大学, 2008 年 9 月.
5. Y. Hara, S. Maeda, R. Yoshida, S. Hashimoto : "Development of novel soft actuator aimed at achieving chemical robot" AsMew International Symposium, August 27-29, 2008, Waseda Univ., Japan.
6. Y. Hara, S. Maeda, R. Yoshida, S. Hashimoto : "Novel self-oscillating polymer system fueled by organic acid and analysis of viscosity self-oscillation" AsMew International Symposium, August 27-29, 2008, Waseda Univ., Japan.
7. 小澤 啓二、原 雄介、巖 虎、奥崎秀典:" 高強度薄膜ゲルの合成と電場応答特性” 第 57 回高分子学会年次大会, 横浜パシフィコ, 2008 年 5 月.
8. 小林慶子、松尾 恵里、原 雄介、巖 虎、入山 裕、奥崎秀典:" PNIPAM 共重合体の温度応答特性とエレクトロスピニングによるナノファイバー化” 第 57 回高分子学会年次大会, 横浜パシフィコ, 2008 年 5 月.
9. 木下 真玲央、酒井 崇匡、原 雄介、前田 真吾、橋本 周司、吉田 亮:" 生体環境下での駆動を目指した自励振動ゲル

- の設計と機能制御” 第 57 回高分子学会年次大会, 横浜パシフィコ, 2008 年 5 月.
10. 加賀田翼、原 雄介、巖 虎、奥崎秀典:”高分子マイクロファイバーを用いた有機トランジスタのチャンネルパターン作製” 第 57 回高分子学会年次大会, 横浜パシフィコ, 2008 年 5 月.
  11. 巖 虎、有馬 進、森 雄作、賀田 翼、佐藤 浩、原 雄介、奥崎秀典:”PEDOT/PSS コロイド溶液より作製した導電性ナノ薄膜” 第 57 回高分子学会年次大会, 横浜パシフィコ, 2008 年 5 月.
  12. S. Maeda, Y. Hara, R. Yoshida, S. Hashimoto :”Design of the dynamic motion of Self-oscillating gel”, The 235th ACS National Meeting, April 6-10, 2008, New Orleans, LA.
  13. R. Yoshida, M. Kinoshita, T. Sakai, Y. Hara, S. Maeda, S. Hashimoto:”Design of self-oscillating polymer and gel for biomimetic materials”, The 235th ACS National Meeting, April 6-10, 2008, New Orleans, LA.
  14. 松尾 恵里、小林慶子、入山 裕、原 雄介、巖 虎、奥崎秀典:”PNIPAM共重合体の温度相転移における疎水基の効果” 日本化学会第 88 春季年会, 立教大学, 2008 年 3 月.
  15. 巖 虎、加賀田 翼、原 雄介、奥崎 秀典:”高分子マイクロファイバーを用いた有機トランジスタのチャンネルパターン作製” 日本化学会第 88 春季年会, 立教大学, 2008 年 3 月.
  16. 松尾 恵里、小林慶子、入山 裕、原 雄介、巖 虎、奥崎秀典:”PNIPAM共重合体の温度相転移における疎水基の効果” 日本化学会第 88 春季年会, 立教大学, 2008 年 3 月.
  17. 中丸 啓、前田真吾、原 雄介、吉田亮、橋本周司:”高温で駆動する新規自励振動ゲルの創製” 日本化学会第 88 春季年会, 立教大学, 2008 年 3 月.
  18. 阿部秀和、前田真吾、原 雄介、橋本周司:”表面改質手法を用いたゲルの接着性制御に関する研究 ” 日本化学会第 88 春季年会, 立教大学, 2008 年 3 月.
  19. 木下真玲央、前田真吾、橋本周司、原 雄介、酒井 崇匡、吉田 亮 ”生体環境下での駆動を目指した自励振動ゲルの設計と機能制御” 第 19 回高分子ゲル研究討論会, 東京大学山上会館, 2007 年 3 月.
  20. 前田真吾、原 雄介、吉田亮、橋本周司:”BZ 反応を蠕動運動に変換する高分子ゲルアクチュエーターの設計” 第 45 回日本生物物理学会, 横浜パシフィコ, 2007 年 12 月.
  21. H. Yan, T. Kagata, Y. Mori, Y. Harashina, Y. Hara, H. Okuzaki, "Micrometer-Scaled Channel Length of OFETs Patterned by Using PEDOT/PSS Microfibers", Singapore International Chemistry Conference 5 (SICC-5) & Asia-Pacific International Symposium on Microscale Separation and Analysis (APCE2007), Syngapore, December, 2007.
  22. H. Okuzaki, Y. Hara, and H. Yan, "Electrically Driven Paper Actuators using Conducting Polymers", 4th World Congress on Biomimetics, Artificial Muscles and Nao-Bio, November 6-9, 2007, Cartagena, Spain.
  23. 原科 裕子、原 雄介、巖 虎、奥崎 秀典:”高導電性高分子のマイクロファイバー化と電気・力学特性” 平成 19 年度

- 繊維学会秋季研究発表, 京都工芸繊維大学, 2007年10月.
24. 原 雄介、小林慶子、巖 虎、奥崎秀典:”エレクトロスピニングによる温度応答性ナノファイバーの創製”, ゲルワークショップ イン 名古屋、KKRホテル名古屋, 2007年9月.
  25. 原 雄介、小林慶子、小澤啓二、巖 虎、奥崎秀典:”エレクトロスピニングによるナノファイバゲルの創製”, 第56回高分子討論会、名古屋工業大学, 2007年9月.
  26. 巖 虎、加賀田 翼、原科 裕子、原 雄介、奥崎 秀典:”導電性高分子マイクロファイバーを用いる有機トランジスタのチャンネルパターンニング”, 第56回高分子討論会、名古屋工業大学 2007年9月.
  27. 森 雄作、加賀田 翼、有馬 進、佐藤 浩、原 雄介、巖 虎、奥崎 秀典:”PEDOT/PSS フィルムの高次構造と電気力学特性”, 第56回高分子討論会、名古屋工業大学, 2007年9月.
  28. 原科 裕子、原 雄介、巖 虎、奥崎 秀典:”PEDOT/PSS のマイクロファイバー化と導電特性”, 第56回高分子討論会、名古屋工業大学 2007年9月.
  29. 木下真玲央、原 雄介、酒井 崇匡、前田真吾、橋本周司、吉田 亮 ”生体環境下での駆動を目指した自励振動ゲルの設計と機能制御”, 第56回高分子討論会、名古屋工業大学 2007年9月.
  30. 原 雄介 “新規アクチュエーター創製のための分子設計とその機能制御”, 第7回広域物性研究会最若手会、富士教育研修所 2007年9月8日. (Oral)【金泉賞受賞 (最優秀発表賞)】
  31. 有馬 進、佐藤 浩、加賀田 翼、森 雄作、原 雄介、巖 虎、奥崎 秀典:”PEDOT/PSSの高次構造と電気特性における溶媒効果”, 第68回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学, 2007年9月.
  32. Y. Hara, R. Yoshida :”Molecular design and function of novel self-oscillating polymer under biological condition and analysis of viscosity self-oscillation”, ISSP International WorkshopThe 7th Gel Symposium(GelSympo 2007), The University of Tokyo, Japan, August , 2007,173-174.
  33. S. Maeda, Y. Hara, R. Yoshida, S. Hashimoto :”Self-Walking Gel”, ISSP International WorkshopThe 7th Gel Symposium(GelSympo 2007), The University of Tokyo, Japan, August , 2007, 175-176.
  34. K. Kobayashi, Y. Hara, H. Yan, H. Okuzaki:”Non-woven Fabric of PNIPAM Nanofibers fabricated by Electrospinning”, ISSP International WorkshopThe 7th Gel Symposium(GelSympo 2007), The University of Tokyo, Japan, August , 2007, 79-80.
  35. Hu Yan, Shunsuke Endo, Yusuke Hara, and Hidenori Okuzaki, “Plastic Shottky Diodes Fabricated by a Line Patterning Method”, 12th IUPAC International Symposium on Macromolecular Complexes (MMC-12), , Fukuoka, Japan , August , 2007.
  36. K. Kobayashi, Y. Hara, H. Yan, H. Okuzaki:”Non-woven Fabric of PNIPAM Nanofibers fabricated by Electrospinning”, International Nanofiber Symposium, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, June, 2007.

37. 原 雄介, 吉田亮:”生体環境下で駆動する新規自励振動型高分子の機能と自励粘性振動の解析”,第 56 回高分子学会年次大会, 京都国際会議場, 2007 年 5 月.
38. 前田真吾, 原 雄介, 吉田亮, 橋本周司:“新規自律歩行型ケミカルアクチュエータの設計”, 第 56 回高分子学会年次大会, 京都国際会議場, 2007 年 5 月.

〔図書〕(計 1 件)

奥崎秀典, 原 雄介, 加賀田翼, 「最新 導電性高分子全集 ~高導電率化 / 経時変化の制御 / 汎用有機溶媒への溶解性向上~, 第 5 節 レーザープリンターを用いた導電性高分子のパターニングとデバイス化」, 技術情報協会, pp228-238.

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 1 件)

原 雄介, 巖 虎, 奥崎秀典 特願 2007-228385:  
“温度応答性を有する高分子ファイバーおよび不織布、並びにその製造方法”  
【PCT/JP2008/65740】

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

【受賞】

1. The 14th International Symposium on Recent Advances in Drug Delivery Systems Poster Award 【2009 年 2 月】  
「Self-Oscillating Gel as Novel Biomimetic Materials」
2. 財団法人 国際科学技術財団 研究助成  
【2008 年 12 月】「高速応答・高耐久性を有する新規ドラッグデリバリーシステムの構築とその実用化検討」
3. 財団法人 泉科学技術振興財団 研究助

成 【2008 年 10 月】「分子構造が三次元的に空間デザインされた新規機能性ゲルの創製」

4. 第 61 回コロイドおよび界面化学討論会ポスター賞受賞 【2008 年 9 月】「自ら駆動するゲルロボットの創製とその機能制御」
5. 財団法人 池谷科学技術振興財団 研究助成 【2008 年 4 月】「分子構造の 3 次元的设计手法を用いた新規アクチュエーターの創製」
6. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2007) 【2007 年 10 月】Hewlett-Packard Most Innovative Paper Award 「Chemical robot -Design of self-walking gel-」
7. 第 7 回広域物性研究会最若手会 金梟賞受賞 (最優秀発表賞) 【2007 年 9 月】「新規アクチュエーター創製のための分子設計とその機能制御」
8. 第 18 回テレビ山梨サイエンス振興基金 テレビ山梨厚生文化事業団 研究助成 【2007 年 8 月】「物理的相互作用を用いた高分子ゲルアクチュエーターの 3 次元的设计手法の確立」
9. ISSP International Workshop The 7th Gel Symposium (GelSympo 2007) Poster Award 【2007 年 8 月】「Self-Walking Gel」

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

原 雄介 (HARA YUSUKE)

早稲田大学先端科学・健康医療融合研究機構・講師

研究者番号: 90452135