

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21750222

研究課題名(和文) 高発生力型の新規自律振動性高分子ゲルの創製

研究課題名(英文) Design of novel autonomous oscillating gels with high generative force

研究代表者

前田 真吾 (MAEDA SHINGO)

早稲田大学・理工学術院・助教

研究者番号：40424808

研究成果の概要(和文)：生体は、流入するエネルギーと生体内部で散逸するエネルギーが均衡して、一定の散逸構造を持つシステムである。その生体内部には、神経細胞の膜電位、心臓の拍動、サーカディアンリズムなど、細胞レベルから一個体至るまでの階層において自律的な機能を有している。このような生体が持つ複雑かつ精密に組み立てられた時空間機能を、人工的に組み上げることができれば、生体を模倣したアクチュエータや自律歩行するゲルロボットや自律駆動ポンプなどの実現が期待できる。本研究では、生体システムと同程度もしくはそれ以上の発生力を有する自律振動性的高分子ゲルの実現を目指す。

研究成果の概要(英文)：Living organisms have a system with dissipative structures. In this system, there are several autonomic phenomena exhibiting spontaneous oscillation that do not require any on-off switching of external stimuli, as represented by membrane potential, heartbeat, circadian rhythm, and so on. If gels with self-oscillating functionality like biological motions are realized, novel biomimetic actuators, self-walking robots and self-beating micropumps, could become feasible. In this study, the purpose is a realization of self oscillating gels with high generative force.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：高分子・繊維材料

キーワード：ゲルアクチュエータ

## 1. 研究開始当初の背景

外部環境に応答して膨潤・収縮変化する刺激応答性ゲルは、基礎から応用まで数多くの研究が推進されている。例えば、マイクロ流体素子、細胞の接着制御、アクチュエータなどが挙げられる。一方、近年では電気的な刺激に応答する高分子が盛んに研究され、ア

クチュエータやデバイスへの応用展開が行われている。しかしながら、刺激応答性高分子からなるアクチュエータを駆動するためには、温度や電場などの刺激を制御する何らかの外部装置や電気回路が必要となる。一方生命体は、生体内部で起こる多段階かつ並行的な多数の生化学反応を巧みに利用すること

で、自律的な情報処理やアクチュエーションを行う非平衡開放系の分子システムである。もし、このような生命体の優れた分子システムを人工的に合成することが可能になれば、従来とは全く異なるアクチュエータやデバイスが実現可能となる。これまで生命体のような自律システムの構築には、生体高分子や心筋細胞が用いられてきた。これに対して申請者は、生体由来のシステムを用いることなく、合成高分子のみで構成された完全人工合成型の自律システムの構築を目指している。

## 2. 研究の目的

本研究では、これまでほとんど行われてこなかった自励振動ゲルの発生力を大幅に向上させることを研究目的とする。発生力はアクチュエータなどへの応用展開に関し、重要なファクターである。

## 3. 研究の方法

最近の研究結果を踏まえてマイクロドメイン構造及びその周りの直鎖状高分子が発生力に及ぼす因子を解明する。次にさらなる発生力向上のための最適な合成方法を探る。

また、静的な力学物性を計測するために、合成したゲルを平衡膨潤状態における引張り試験を溶液下で行う。なお、通常の引張り試験とは異なり、溶液下で行わなければならないので自作による歪ゲージを使用した温調付きの引張り試験を実施する[図4]。それにより、応力と歪の関係、ヤング率、体積弾性率などの力学的物性とゲルの相分離構造の関係を明らかにする。次に、振動反応に伴う自励振動ゲルの周期的な発生力を計測する。

## 4. 研究成果

温度などの環境を制御することで、発生力や周期などが変化することが明らかとなり、さらなる分子設計を行う上で重要な知見を得ることができた。初年度に明らかにしたゲルの構造に対する発生力の関係を元に、さらなる分子設計を探索する。

また、ゲルの主鎖の検討も同時に行った。PNIPAAmは温度に应答するため、32度以上でその体積が1次相転移する。そのため、駆動温度範囲も限定されていた。温度应答性を持たないPVPを主鎖とする主鎖を検討した結果、温度に应答しない振動ゲルを実現することに成功した。

## 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 12 件)

1. H. Nakagawa, Y. Hara, S. Maeda, S. Hashimoto “A Pendulum-Like Motion of Nanofiber Gel Actuator Synchronized with

External Periodic pH Oscillation”, *Polymers*, 3(1), 405-412, 2011. 査読有

2. S. Maeda, Y. Hara, S. Hashimoto “Design of autonomous gel actuators”, *Polymers*, 3(1), 299-313, 2011. 査読有
3. S. Maeda, Y. Hara, S. Hashimoto “Autonomous pattern formation driven by chemical energy in gel system”, *Proc. IEEE nano 2010* (in press). 査読有
4. H. Nakagawa, Y. Hara, S. Maeda, S. Hashimoto “A novel design of nanofibrous gel actuator by electrospinning”, *Proc. IEEE nano 2010* (in press). 査読有
5. 橋本周司, 前田真吾, 原雄介, “ケミカルロボット-化学反応で動くロボット”, *未来材料*, 10(2), pp.38-43, (2010). 査読無
6. Y. Hara, S. Maeda, S. Hashimoto, R. Yoshida, “Molecular Design and Functional Control of Novel Self-Oscillating Polymers”, *International Journal of Molecular Science*, 11(2), pp.704-718, (2010). 査読有
7. S. Maeda, Y. Hara, R. Yoshida, S. Hashimoto “Active polymer gel actuators”, *International Journal of Molecular Science*, 11(1), pp.52-66, (2010). 査読有
8. R. Yoshida, T. Sakai, Y. Hara, S. Maeda, S. Hashimoto, D. Suzuki, Y. Murase, “Self-oscillating gel as novel biomimetic materials”, *J. controlled. Release*, 140(3), pp.186-193, (2009). 査読有
9. Y. Hara, S. Maeda, R. Yoshida, S. Hashimoto “Development of novel self-oscillating molecular robot fueled by organic acid” *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009)*, pp.2223-2227 (2009). 査読有
10. S. Maeda, Y. Hara, R. Yoshida, S. Hashimoto “Chemical Robot –Design of Peristaltic Polymer Gel Actuator–” *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009)*, pp.4325-4330 (2009). 査読有
11. S. Nakamaru, S. Maeda, Y. Hara, S. Hashimoto “Development of novel self-oscillating gel actuator for achievement of chemical robot” *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009)*, pp.4319-4324 (2009). 査読有
12. S. Nakamaru, S. Maeda, Y. Hara, 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

[学会発表] (計 19 件)

1. S. Maeda, Y. Hara, S. Hashimoto,

- "Autonomous pattern formation driven by chemical energy in gel system", IEEE International conference on nanotechnology 2010 (IEEE Nano 2010), Aug. 17-20, Seoul, Korea. (Poster).
2. H. Nakagawa, Y. Hara, S. Maeda, S. Hashimoto "A novel design of nanofibrous gel actuator by electrospinning", IEEE International conference on nanotechnology 2010 (IEEE Nano 2010), Aug. 17-20, Seoul, Korea. (Poster).
  3. Y. Hara, S. Maeda, R. Yoshida, S. Hashimoto "Development of novel molecular robots fueled by organic acid" IEEE/RSJ International conference on Interigent robot and systems 2009 (IROS 2009), Oct. 11-15, 2009, St. Louis, USA. (Oral).
  4. S. Maeda, Y. Hara, R. Yoshida, S. Hashimoto, "Chemical Robot Design of Peristaltic Polymer Gel" IEEE/RSJ International conference on Interigent robot and systems 2009 (IROS 2009), Oct. 11-15, 2009, St. Louis, USA. (Oral).
  5. S. Nakamaru, S. Maeda, Y. Hara and S. Hashimoto, "Development of novel self-oscillating gel actuator for achievement of chemical robot", IEEE/RSJ International conference on Interigent robot and systems 2009 (IROS 2009), Oct. 11-15, 2009, St. Louis, USA. (Oral).
  6. 前田真吾, 原雄介, 橋本周司, "自発的に運動する高分子ゲルアクチュエーターの設計" 第71回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010年9月.
  7. 中川裕貴, 前田真吾, 原雄介, 橋本周司, "エレクトロスピンニング法によるナノファイバーアクチュエーターの創製" 第71回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010年9月.
  8. 前田真吾, 原雄介, 秋元琢磨, 橋本周司, "化学反応波とカップルした高分子ゲルの運動について", 第65回日本物理学会, 岡山大学, 2010年3月26日.
  9. 阿部 秀和, 原 雄介, 前田 真吾, 橋本周司, "表面改質手法を用いたゲルの接着手法に関する研究", 第21回高分子ゲル研究討論会, 東京大学山上会館大会議, 2010年1月14日.
  10. 中丸 啓, 原 雄介, 前田真吾, 吉田亮 橋本周司: "高速駆動するゲルアクチュエーターの創製", 第21回高分子ゲル研究討論会, vol. 21, pp.91-92, 東京大学山上会館大会議, 2010年1月14日.
  11. 原 雄介, 前田真吾, 橋本周司, 吉田亮:"高分子鎖の化学構造が与える凝集・解離自励振動現象への影響", 第19回非線形反応と協同現象研究会、横浜国立大学, 2010年1月9日。(Poster)
  12. 原 雄介, 前田真吾, 吉田 亮, 橋本周司:"生体環境下で自律駆動する化学ロボットの創製と自励粘性振動の解析", 第18回ポリマー材料フォーラム、タワーホール船堀, 2009年11月26日。(Poster)
  13. 前田真吾, 原 雄介, 橋本周司:"BZ反応とミクロ相分離した高分子ゲルの力学振動について", 日本物理学会 2009年秋季大会、熊本大学, 2009年9月26日。(Poster)
  14. 原 雄介, 前田真吾, 橋本周司:"高機能薬物放出デバイスを目指した新規デンドリマーゲルの機能制御", 第58回高分子討論会、熊本大学, 2009年9月18日。(Poster)
  15. 原 雄介, 前田真吾, 吉田亮, 橋本周司:"生態環境下で自律駆動する化学ロボットの分子設計と自励粘性振動の解析", 第62回コロイドおよび界面化学討論会、岡山理科大学, 2009年9月19日。(Poster)
  16. 石井友章, 原 雄介, 前田真吾, 橋本周司:"誘電エラストマーアクチュエータの周波数応答特性と発生力に関する研究", 第58回高分子討論会、熊本大学, 2009年9月18日。(Oral)
  17. 阿部秀和, 原 雄介, 前田真吾, 橋本周司:"無機微粒子を用いたゲルの接着手法に関する研究", 第58回高分子討論会、熊本大学, 2009年9月18日。(Oral)
  18. 中丸 啓, 原 雄介, 前田真吾, 橋本周司:"ゲルアクチュエータの高強度化と駆動特性に関する研究", 第58回高分子討論会、熊本大学, 2009年9月17日。(Oral)
  19. 原 雄介, 前田真吾, 橋本周司 "生体環境下で自律駆動するゲルロボットの創製" 日本化学会 第3回関東支部大会, 早稲田大学, 2009年9月4日。(Poster)
- [その他]  
新聞・記事
1. NewScientist "Chemical 'caterpillar' points to electronics-free robots", April, 2009.
  2. 日本経済新聞 2009年7月20日 「自力で動く高分子 開発 早大など 人工心臓に応用」
  3. 日刊工業新聞 2009年6月29日「早大、自律移動のゲル開発 ―化学反応で駆動―」
- 招待講演
1. 前田真吾: "振動反応で駆動する化学ロボット", 第47回自律分散システム部会研

- 研究会，首都大学，2010年12月4日.
2. 前田真吾: “化学反応で動くロボット”，  
公立ほこだて未来大学，2010年5月.
  3. 前田真吾: “ケミカルロボットの設計”，  
第7回「ぬれ・接着・破壊」の物理，早  
稲田大学，2009年12月12日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前田 真吾 (MAEDA SHINGO)

早稲田大学・理工学術院・助教

研究者番号：40424808