

平成22年 5月 14日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20710092

研究課題名（和文） ボトムアップ法によるダイナミックナノデバイスの開発

研究課題名（英文） Development of dynamic-nano-device on the bases of bottom-up strategy

研究代表者

田丸 俊一（TAMARU SHUNICHI）

崇城大学・工学部・准教授

研究者番号：10454951

研究成果の概要（和文）：人工糖脂質分子を自己組織化的に集積させることで、特有の流動特性を有する超分子型のナノ・マイクロファイバーを開発した。この流動性ファイバー上に固定された物質の移動は、ファイバーの範囲内に厳しく限定されていた。ファイバー上に固定したイオン性の物質を外部電場により意図する方向に移動させる事に成功した。この研究成果は今後、ナノサイズの物質輸送システムを構築するために有用である。

研究成果の概要（英文）：An artificial supramolecular rail using the fluidic property of self-assembled nanofibers comprising glyco-lipid was developed. Interestingly, we revealed that a supramolecular nanofiber had a sufficient fluidity based on its non-crystalline nature to function as a molecular track for the directional movement of attached molecules, proteins and nanobeads along the fiber

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：理工学系研究

科研費の分科・細目：ナノサイエンス

キーワード：超分子化学・ナノ材料・ダイナミクス・イオン液体・ナノマシン

1. 研究開始当初の背景

ナノスケールの限定された空間・経路において、高度に制御された物質の移動・輸送を可能にするナノデバイスの創製は、特にナノマシン開発やそれらを組み合わせたナノシステムの構築に大きく寄与する。よって、こうしたナノ材料の開発研究は高い注目を集めるが、現在に至るまでに、生体

内の分子機械であるミオシン・キネシン・微小感をそのまま利用した物質移動システムに関する研究に終始しているのが現状である。これらの研究からも有益何県が多数報告されているが、タンパク質を使用しているために生産性に問題が有る、その動作原理から燃料となるATPの供給が必須であり、独立的な輸送系ではない、などと言う

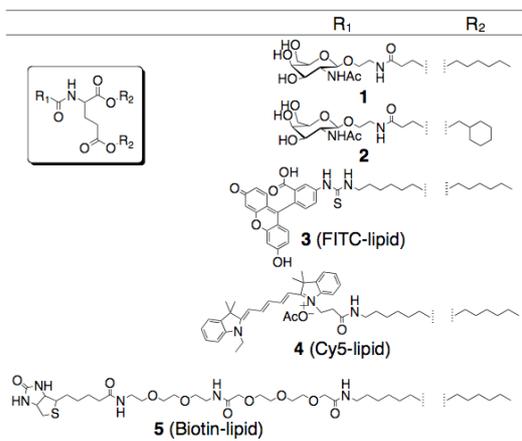
点で問題が残り、機能性ナノ材料としての現実的な応用は極めて限定されていると言わざるを得ない。以上の様に、ナノスケールの物質輸送システムの構築に関する研究は未だ発展途上と言え、完全人工系でのシステムの構築は特に重要とされている。

2. 研究の目的

超分子とは有機小分子が自己組織化によって非共有結合的に集積する事で形成した明確な構造を持つ分子集合体である。よって、その分子集合状態を適切に制御する事で、分子集合体としては巨視的には静的かつ安定であるが、その分子集合体の構成分子一つ一つに関しては動的自由度を確保できるものと考えられる。つまり、適正な設計に基づいて構築した超分子ではその構成分子それぞれが移動可能であり、この特性を利用する事で、微小サイズの完全人工型の物質輸送システムが構築できるものと期待される。本研究では、上記の作業仮説が成り立つ事を証明し、実際の物質輸送システムの構築を行った。また、ナノエレクトロニクス素材やナノマシンなどの開発に対して、より現実的に貢献し得るナノ材料の創製を指向して、有機小分子とイオン液体分子が非共有結合的に組織化した超分子ナノ構造体を用いて、非溶液条件（大気下さらには真空下）で分子の移動・拡散に基づいて機能を発揮する流動性ナノ構造体の創製と、そのナノサイズでの物質輸送システムへの展開を試みた。

3. 研究の方法

水中で超分子ファイバーを形成する人工糖脂質型分子 **1** と界面活性剤型の蛍光プローブ **3** とを混合する事で、蛍光プローブを非共有結合的に担持した超分子ファイバーを形成させた。このファイバーが持つ流動性について、蛍光消光回復法（FRAP法）を用いて解析を行った。さらにイオン性の蛍光プローブ **3, 4** を担持した超分子ファイバーを用いて外部電場による物質輸送システムへの展開



の可能性を評価した。さらに、マイクロビーズを荷物に見立てて、ビオチン型界面活性剤 **5** を非共有結合的に担持した超分子ファイバーにストレプトアビジンを介してマイクロビーズを連結し、その移動を解析する事で物質輸送システムのモデル化を行った。

イオン液体と相互作用する部位を導入した双頭型非対称界面活性剤を合成し、疎水性イオン液体共存下で水中に溶解させる事で、イオン液体を内包した超分子の構築を行い、得られた超分子の物理的性質の解析を行った。

4. 研究成果

FITC 骨格を有する界面活性剤型蛍光プローブ **3** を担持した超分子ファイバーの一部に強いレーザー光を照射する事で FITC を破壊し蛍光を消光させたのち、その部位の蛍光変化を経時的に追跡した。その結果、消光された領域の末端からの蛍光プローブの流入に伴う蛍光の回復が確認された（図1）。この蛍光回復のプロセスは極めてファイバー上に限定的である事から、蛍光プローブの流入は超分子ファイバーを伝って進行している事が確認された。以上によりこの超分子ファイバーが流動性を有しており、超分子ファイバー上に厳しく限定された物質輸送が可能である事が示唆された。蛍光プローブの流入速度から、この超分子ファイバー上の流動速度は $0.7 \pm 0.2 \mu\text{mS}^{-1}$ と見積もられた。この速度は細胞膜で観測される物質の流動速度と同等である。

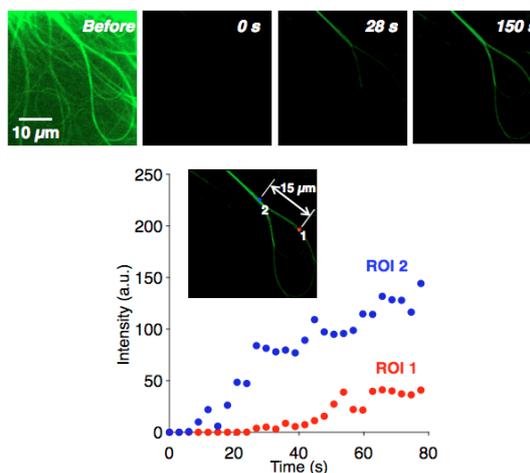


図1 FRAP法による超分子ファイバーの流動性の確認

次に **3** がアニオン性である事を利用して、外部電場による超分子ファイバーに沿った物質輸送について検討した。通電条件下において、**3** は超分子ファイバーを伝って常に陽極側へと移動した。ファイバーの陽極側の橋がU字型に湾曲している場合、**3** はそれ以上陽極側に移動することは無く、徐々に湾曲部

に蓄積されて行った。この事から、超分子ファイバー上の物質を外部刺激によって輸送する場合においても、物質の移動範囲は超分子ファイバー上に厳しく限定されている事が明らかとなった。以上の知見から、次に流動性超分子ファイバーを利用して物質選択型輸送のモデル実験を行った。3 とともにカチオン性の蛍光プローブ 4 を担持した流動性超分子ファイバーが円状に集積した部分に着目して外部電場を与えた結果、アニオン性の 3 は常に陽極側へ、カチオン性の 4 は常に陰極側に移動し蓄積する事が確認された (図 2)。

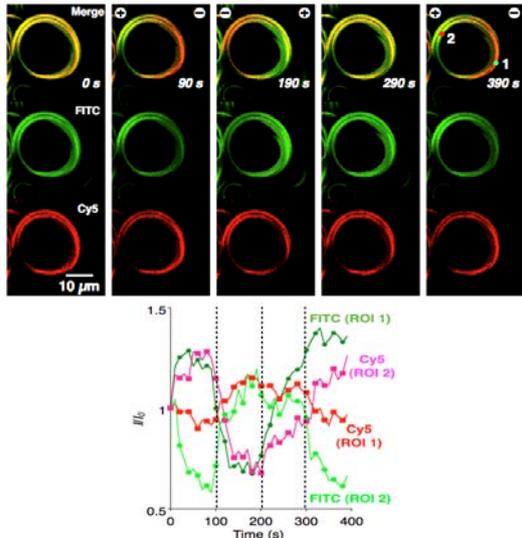


図 2 流動性超分子ファイバー上における外部電場によるイオン性物質の輸送

ビオチン型界面活性剤 5 を超分子ファイバーに担持することで、ストレプトアビジン固定マイクロビーズを流動性ファイバー上に係留する事に成功した。このマイクロビーズの移動は、ファイバー上に厳しく限定されており、その移動速度はマイクロビーズのサイズにほぼ依存していなかった (図 3)。以上より、流動性超分子ファイバー上の物質移動は超分子ファイバー自身の流動速度に支配されている事が示唆された。

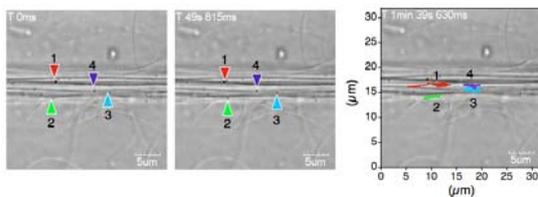


図 3 流動性超分子ファイバー上におけるマイクロビーズの移動挙動

興味深い事に、マイクロ流路内に調製した超分子ファイバーは外部電場を与えると速やかに流路軸方向に配列する事が確認され

た。今後、方向性の高い物質輸送システムを構築する上で、重要な知見である。

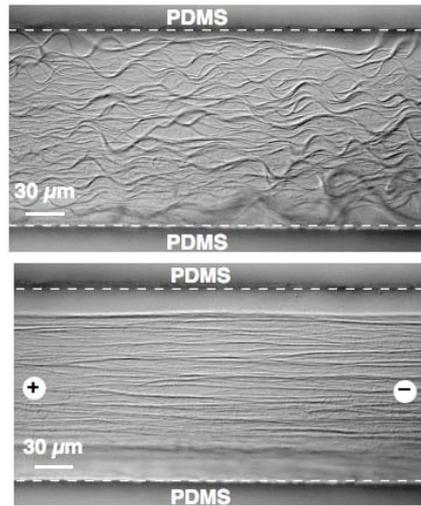


図 4 外部電場による流動性超分子ファイバーの配列

非対称双頭型界面活性剤の存在下で、本来水に不溶のイオン液体を水中に溶解させることが出来た。動的光散乱法から、はイオン液体/水型のエマルジョンを形成している事が示唆された。粒径の経時変化から、このエマルジョンは高い安定性を有している事が確認された。

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 1 件)

1. Fluidic Supramolecular Nano- and Micro-fibers as Molecular Rails for Regulated Movement of Nanosubstances. S.-i. Tamarua, M. Ikeda, Y. Shimidzu, S. Matsumotoa, S. Takeuchic, I. Hamachi *Nature Communications* **2010**, accepted.

[学会発表] (計 2 件)

1. 田丸俊一
超分子型ゲルの開発とその機能化および展開
衝撃エネルギー産業化コンソーシアム
熊本大学産学連携シンポジウム2010
(2010. 3. 3)

2. 田丸俊一
人工糖脂質誘導体による流動性超分子ナノファイバーの創製と機能
第 3 回万有若手交流合宿セミナー
(2009. 11. 21-22)

[その他]
ホームページ等
<http://www.nano.soyo-u.ac.jp/laboratory/tamaru/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田丸 俊一 (TAMARU SHUNICHI)

崇城大学・工学部・准教授

研究者番号：10454951