

# 分子性電磁ナノコイルからなるメディカルデバイスの創成

研究代表者

帯刀 陽子 東京農工大学大学院工学研究院応用化学部門 講師

共同研究者

西原 禎文 広島大学理学研究科 教授



## 1. 研究の背景と達成目標

ナノテクノロジー・材料分野は、最重要な研究推進分野と位置づけられている。特異な機能を発現する原子・分子操作および構造の階層化は、ナノテクノロジーにおけるボトムアップアプローチとして有用であり、分子エレクトロニクスデバイスの開発を可能にする。本提案では、集合状態で導電性を有する分子性電磁ナノコイルの開発を目指した。申請者がこれまでの研究で得た「高導電性分子の設計・合成法」、「1次元ナノ組織体作製法」及び「ナノ物性評価法」を発展させることで、自己活性化分子性電磁ナノコイルを作製し、構造と機能の相関を解明することとした。

以下の3項を達成基準として研究を進めた。

- (i) 有機導電性分子からなる新規誘導体を合成し、これら誘導体を利用した分子集合体電磁ナノコイルを作成する。ナノコイル作成における達成基準は、直径約  $5 \mu\text{m}$ 、巻き数  $10^3$ - $10^4$  巻、ピッチ  $10 \text{ nm}$  とする。更に、配向性発現の基準は、ナノコイルが凝集して形成する  $\mu\text{m}$  オーダーのドメインが特定方向へ配列することとした。
- (ii) バルク状態でのナノコイルの電磁気物性を検討する。起電力向上に関するパラメータを、測定データに基づき明確にする。
- (iii) 構造や配向性が再現性良く、安定して得られる方法を追究し、構造と起電力との関係を明らかにする。また、新規誘導体を用いてナノコイルを作製し、起電力向上に関するパラメータが新規誘導体にも適用可能であるかを検証することでも、構造と起電力の相関解明を達成する。

## 2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- (i)-1 既存誘導体を用いたナノコイルへの組織化を達成した。ナノコイル作製における達成基準は、直径約  $5 \mu\text{m}$ 、巻き数  $10^3$ - $10^4$  巻、ピッチ  $10 \text{ nm}$  としたが、コイル形状については概ね目標値を達成した。
- (i)-2 特定方向に傷を付与したマイカ基板を用いることで、ナノコイルに配向性が発現することを見出した。
- (ii)-1 (i)で得た既存誘導体からなるナノコイルが、誘導起電力を発生させることが可能であることを明らかにした。
- (ii)-2 起電力と外場の関係を解析したところ、周波数と起電力の関係が1次関数的な挙動を示し、磁場と起電力の関係は2次関数でフィッティング可能であることが分かった。
- (iii)-1 基板の乾燥時間、温度を制御することで、再現性よく組織体や配向性を得ることが可能となった。ナノコイルの配向性の有無が、起電力の値に影響を与えることを明らかにした。
- (iii)-2 新規に合成した誘導体を用いて組織体を作成し、その構造を評価した。

これまでに様々なナノコイルが報告されているが、有機物からなる分子集合体ナノコイルが生じる起電力について評価している報告例は、国内外において皆無である。そのため、本研究が達成された暁には、分子エレクトロニクス分野をリードする代表的な研究に成り得る。

### 3. 研究成果

本研究では、集合状態で導電性を有する有機導電性分子を組織化することで分子性ナノコイル(R体:右巻き、S体:左巻き)を作成した。さらに、それらが電磁特性(誘導起電力)を生じることを明らかにした。具体的には、室温で導電性を示す Tetrathiafulvalene を分子の中心部位とし、その両端に嵩高いキラル分子である R-、S-フェニルエチル基と水素結合部位であるウレタンを導入した誘導体を用いた。この時得られたナノコイルは、達成目標(直径約 5  $\mu\text{m}$ 、巻き数  $10^3$ - $10^4$  巻、ピッチ 10 nm)を概ね達成できた。ナノコイルの配向性については、特定方向に傷を付与したマイカ基板用い、試料溶液をキャストした後 24 時間、密閉状態で乾燥させることで、安定して得られることが分かった(図 1)。

次に、分子性ナノコイルの電磁物性について解析した。起電力の測定は、周波数と磁場からの距離を変化させながら評価した。起電力は、周波数が高周波数になる程増大し、磁極からの距離  $1/r^2$  に比例する。測定結果を解析したところ、周波数と起電力の関係は 1 次関数的な挙動を示し、磁場と起電力の関係は 2 次関数でフィッティング可能であることが分かった(図 2)。このことから、ナノコイル自体が磁場を受けることで、誘導起電力を生じていることが示された。また、配向性を有しているナノコイルからはより大きな起電力が得られた。

### 4. 今後の展開

本研究で提案する分子性ナノコイルを用いて細胞の足場材料を作製することで、医療デバイス分野に適用できる医療用ナノマテリアルが開発可能となる。特異な物理特性を有する機能階層的な超構造体を、設計通りに組み上げプログラミングした後、細胞培養、動物実験技術、免疫組織化学分野へ適用することにより、革新的材料・分子デバイスの創出分野に先駆的な研究になる。

### 5. 発表実績

- [1] S. Nakamura, T. Takei, S. Nishihara, S. Okada, T. Akutagawa, T. Nakamura, Y. Tatewaki, Jpn. J. Appl. Phys. 59 SDDA10 (2019).
- [2] K. Ichihashi, D. Konno, KY. Maryunina, K. Inoue, K. Toyoda, S. Kawaguchi, Y. Kubota, Y. Tatewaki, T. Akutagawa, T. Nakamura, Angew. Chem., 58, 13, 4169-4172 (2019).
- [3] 特許, 「電磁材料、並びに、それを含むシールド材、導電シート及び給電部材」, 発明者:帯刀陽子, 西原禎文, P190016180.
- [4] 有機導電性分子を用いたナノコイル構造の作製とその特性, 帯刀陽子, 表面真空学会 2019, 2Fp02, 招待講演.

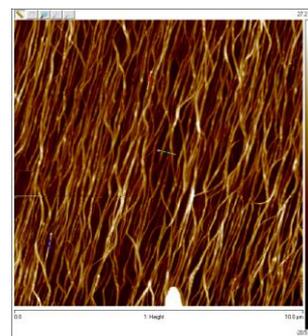
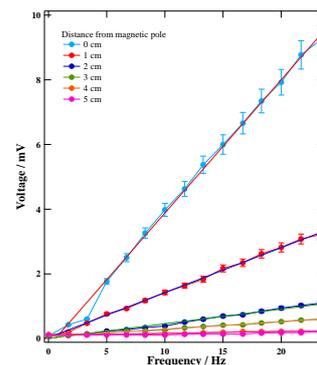


図 1 配向性を有するナノコイルの AFM 像.

(a)



(b)

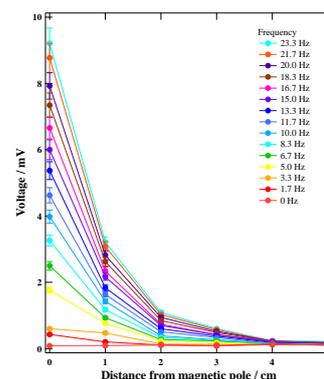


図 2 ナノコイルの起電力測定.

(a)周波数 vs 起電力, (b)磁極からの距離 vs 起電力.