

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05210

研究課題名(和文)分子性ナノコイルの電磁特性評価とスキャホールドへの応用

研究課題名(英文) Electromagnetic properties of molecular nanocoils and application for the scaffold

研究代表者

帯刀 陽子 (TATEWAKI, Yoko)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・講師

研究者番号：30435763

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、起電力を発生させることができる分子性電磁ナノコイルの構造と電磁物性の相関を明らかにし、自己発電型電磁ナノコイルスキャホールドの開発を目指した。具体的には、有機導電性分子からなる分子性電磁ナノコイルを構築した。さらに、自己発電型分子性電磁ナノコイルの電磁物性を評価することで、分子性電磁ナノコイルの構造と電磁物性の相関を解明した。さらに、分子性電磁ナノコイルスキャホールドを作成し細胞培養を行い、細胞毒性を示さないこと、細胞の増殖率が2倍以上になったことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、「分子性電磁コイルの電磁物性」の構造学的解明を図った。分子性電磁コイルの誘導起電力を細胞培養へ適用することで、細胞増殖を活性化させる自己発電型ナノコイルスキャホールドの創成は学術的・産業的に重要な課題であると位置づけられる。また、これまでに、電場や磁場が細胞増殖過程に大きく関与することは既に明らかとなっている。分子性ナノコイルを足場材料として利用することで、電磁誘導に基づく局所電場を細胞増殖、組織再生に利用するという内容は先駆的な課題である。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to investigate the structures of molecular electromagnetic nanocoils that are able to produce an electromotive force and the structure and electro-magnetic property relationships, and to develop a self-powered electromagnetic nanocoil scaffold. More specifically, molecular electromagnetic nanocoils composed of organic conductive molecules were assembled. Furthermore, by characterising the electromagnetic properties of the self-powered molecular electromagnetic nanocoils, the relationship between the structure and electromagnetic properties of the molecular electromagnetic nanocoils was investigated. Furthermore, a molecular electromagnetic nanocoil scaffold was prepared and cell culture was carried out, and it was found that the molecular electromagnetic nanocoil did not show cytotoxicity and the cell growth rate was more than twice as high as that of the molecular electromagnetic nanocoil.

研究分野：物性化学

キーワード：ナノコイル 分子性導体 分子集合体 ナノワイヤ 誘導起電力 電磁誘導

1. 研究開始当初の背景

これまでに、電磁誘導に基づく誘導起電力を生じる分子性電磁ナノコイルの存在を世界に先駆けて実証した。分子性ナノコイルは、有機導体である TTF (Tetrathiafulvalene) に水素結合形成部分としてウレタン部位、螺旋形性部分として R-体と S-体のフェニルエチル基を導入した誘導体を合成することで作成した。また、分子性電磁ナノコイルに交流強磁場を印加することで、コイル由来の電磁誘導による誘導起電力約 14 mV を、オシロスコープを用いて観測することにも成功している。一方、再生医工学に関する研究は医歯薬学分野のみならず、理工学分野も含めて国内外で盛んに行われている。中でも、再生に必要な細胞を効果的に機能させる新規足場材料の開発が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、起電力を発生させることができる分子性電磁ナノコイルの構造と電磁物性の相関を明らかにし、自己発電型電磁ナノコイルスキャホールドの開発を目指した。電磁特性を有する分子性電磁ナノコイルは、大表面積や多孔質性といった足場材料として不可欠な形状を有しているだけでなく、磁場印加により細胞を活性化できる起電力を誘起する可能性があることから、これまでにない電磁機能を持つ医療デバイスの再生医療への応用を目指した。

3. 研究の方法

「分子性電磁ナノコイル組織体作成」、「電磁物性評価」、「分子性電磁ナノコイルのスキャホールドへの応用」に分け研究を進める。初段階として、これまでの研究で得られた分子性電磁ナノコイルを用いて構造と物性の相関を評価する。次いで、得られた分子性電磁ナノコイルを用いてスキャホールドを作成し、骨芽細胞へ適用することで、細胞増殖が促進される起電力印加条件と骨再生療法への応用を図る。具体的には、これまでの研究の成果で得られた、導電性分子電磁ナノコイルを作製した。作製時の温度、溶媒の種類、乾燥時間等の外的要因を制御することで、コイル直径、巻き数、ピッチ、配向性をコントロールしたナノコイル構造を複数作成する。分子性電磁ナノコイルの電磁特性は、強磁場発生装置を用いて交流磁場を印加し評価する。最終的に、分子性電磁ナノコイルを組み込んだスキャホールドを用いて、細胞の播種・培養を行う。はじめに、分子性電磁ナノコイルの大表面積と多孔質性などのモルホロジーが、細胞培養と細胞付着性に与える影響を評価する。更に電場や磁場が細胞活性化に大きく関与することは、既に明らかとなっていることから、本研究では、交流磁場を印加することで誘起される分子性電磁ナノコイルの誘導起電力に基づく局所電圧を用いて、細胞の活性化を図る。この材料を生体材料として応用するために、分子性電磁ナノコイルの表面に細胞を播種・培養し、細胞の増殖を促進させるための最適な電磁場印加条件、起電力値を検討する。

4 . 研究成果

はじめに、これまでの研究で得られた分子性電磁ナノコイルを作成し、その電磁特性を評価した。物性評価の際に、ノイズを含んだ状況で誘導起電力値が得られたため、装置の改良を行い材料由来の起電力値を正確に測定した。この分子性電磁ナノコイルを用いてスキャホールドを作成し、その上に骨芽細胞を播種した。骨芽細胞の増殖が促進される起電力印加条件を検討し、最適周波数と磁力を決定した。一方で、ナノコイル作製の温度、溶媒の種類、乾燥時間等の外的要因を制御することで、コイル直径、巻き数、ピッチ、配向性をコントロールした螺旋構造を複数作成した。しかし、構造の変化の再現性が乏しいことから、安定した構造変化を生じるような条件を今後も継続して追求する。最終的に、分子性電磁ナノコイルを組み込んだスキャホールドを用いて、細胞の播種・培養を行った。交流磁場を印加することで誘起される分子性電磁ナノコイルの誘導起電力に基づく局所電圧を用いて、細胞の増殖を促した。誘導起電力が無い場合と比較すると、2倍以上の増殖率を示すことが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Kobukai Chisato, Tadaï Momo, Nishimura Tamaki, Hattori Kohei, Nishihara Sadafumi, Okada Shuji, Tatewaki Yoko	4. 巻 61
2. 論文標題 Fluorescent properties of a cage-shaped molecule composed of tetrakis[4-(4-pyridylphenyl)]ethylene moieties	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SE1004 ~ SE1004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac5531	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ryoko Arai † Kazuki Saito † Sadafumi Nishihara ‡ Shuji Okada § Yoko Tatewaki	4. 巻 121
2. 論文標題 Synthesis and polymerization of diacetylene derivatives with 1,4-benzoquinone	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Technical Report	6. 最初と最後の頁 1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kohei Hattori Nishihara Sadafumi Okada Shuji Akutagawa Tomoyuki Nakamura Takayoshi Yoko Tatewaki	4. 巻 121
2. 論文標題 Polymerization and Preparation of Nanocrystals composed of 10, 12-nonacosadienoic acid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Technical Report	6. 最初と最後の頁 4-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Chisato KOBUKAI † Taku KATO † Momo TADAI † Sadafumi NISHIHARA ‡ Tomoyuki AKUTAGAWA § Takayoshi NAKAMURA ¶ Yoko TATEWAKI	4. 巻 121
2. 論文標題 Self-assembly of cage structures composed of several disk-like molecules	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Technical Report	6. 最初と最後の頁 15-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hirohisa OISHI † Sadafumi NISHIHARA ‡ Tomoyuki AKUTAGAWA § Takayoshi NAKAMURA ¶ Yoko TATEWAKI †	4. 巻 121
2. 論文標題 Preparation of Conductive Nanofibers Composed of C3-Symmetric TTF Derivatives"	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Technical Report	6. 最初と最後の頁 18-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tamaki Nishimura † Chinatsu Matsumoto † Sadafumi Nishihara ‡ Tomoyuki Akutagawa § Takayoshi Nakamura ¶ Yoko Tatewaki	4. 巻 121
2. 論文標題 Cell culture of molecular nanocoil scaffolds for the application of regenerative medicine	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Technical Report	6. 最初と最後の頁 29-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 N. Maezono, A. Sasaki, A. Matsumoto, S. Nishihara, T. Akutagawa, T. Nakamura, T. Mimami, Y. Tatewaki,	4. 巻 123
2. 論文標題 Evaluation of proliferation process of saos-2 cells seeded on Molecular nanocoil scaffolds under the application of magnetic field	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEICE Technical Report	6. 最初と最後の頁 28-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Iida, S. Nishihara, T. Akutagawa, T. Nakamura, Y. Tatewaki	4. 巻 123
2. 論文標題 Synthesis of C3 symmetric TTF molecules with chiral and hydrogen bonding moieties and preparation of CT complexes with F4TCNQ	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEICE Technical Report	6. 最初と最後の頁 3-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計29件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Kohei Hattori, Yoko Tatewaki, Sadafumi Nishihara, Shuji Okada
2. 発表標題 Preparation and Optical properties of Polyanocrystal Structures Composed of 10, 12-nonacosadiynoic Acid
3. 学会等名 13th International Conference on Nano-Molecular Electronics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryoko Arai, Kazuki Saito, Yoko Tatewaki, Sadafumi Nishihara, Shuji Okada
2. 発表標題 Synthesis and Polymerization of Diacetylene Derivatives with Acceptor Unit
3. 学会等名 13th International Conference on Nano-Molecular Electronics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前園 宜孝、松本 知夏、松本 彬、西原 禎文、芥川 智行、中村 貴義、南 豪、帯刀 陽子
2. 発表標題 磁場印加下におけるナノコイルスキャホールドを用いたSaos-2細胞培養評価
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大石 博久、飯田 大雅、西原 禎文、芥川 智行、中村 貴義、帯刀 陽子
2. 発表標題 3回対称性TTF誘導体を用いた電荷移動錯体からなるナノファイバーおよびナノコイルの作成
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 服部 康平 ¹ 、西原 禎文 ^{2,3} 、岡田 修司 ⁴ 、帯刀 陽子
2. 発表標題 10,12-ノナコサジン酸を用いたポリジアセチレンナノ結晶の作成と光特性評価
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirohisa Oishi ¹ , Taiga Ida ¹ , Sadafumi Nishihara ^{2, 3} , Tomoyuki Akutagawa ⁴ , Takayoshi Nakamura ⁵ , and Yoko Tatewaki ¹
2. 発表標題 Synthesis and Fabrication of Nanofibers Composed of C3-Symmetric TTF Derivative and Fluorinated TCNQ
3. 学会等名 12th International Symposium on Organic Molecular Electronics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Hattori ¹ , Sadafumi Nishihara ^{2,3} , Shuji Okada ⁴ , and Yoko Tatewaki ¹
2. 発表標題 Fabrication and Polymerization of Nanocrystals Composed of 10,12-Nonacosadienoic Acid
3. 学会等名 12th International Symposium on Organic Molecular Electronics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chisato Kobukai ¹ , Momo Tadai ¹ , Sadafumi Nishihara ² , Shuji Okada ³ and Yoko Tatewaki ¹
2. 発表標題 Preparation and Optical Properties of Cage Structures Composed of Disk-like Molecules with Pyridine
3. 学会等名 KJF-ICOMEF 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大石 博久 ¹ , 木村 雄登 ¹ , 西原 禎文 ² , 芥川 智行 ³ , 中村 貴義 ⁴ , 帯刀 陽子
2. 発表標題 3回対称性を有するTetrathiafulvalene誘導体の合成とそのCT錯体からなるナノファイバーの電気物性評価
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本知夏 ¹ , 西村珠姫 ¹ , 西原禎文 ² , 芥川智行 ³ , 中村貴義 ⁴ , 南豪 ⁵ , 帯刀陽子 ¹
2. 発表標題 素結合を付与したTTF誘導体とF4TCNQ錯体からなる 分子性ナノコイルスキャホールドのSaos-2細胞に対する毒性評価
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 帯刀 陽子 ¹ , 西村 珠姫 ¹ , 菅野 由佳 ¹ , 西原 禎文 ² , 芥川 智行 ³ , 中村 貴義 ⁴
2. 発表標題 分子末端にキラル部位を付与した有機導電体からなる ナノコイルの電磁特性
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoko Tatewaki ¹ , Chisato Kobukai ¹ , Sadafumi Nishihara ²
2. 発表標題 Synthesis and Optical Properties of Cage Structures Composed of Tetratopic Pyridyl Compounds
3. 学会等名 ICFPE2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大石 博久 ¹ , 飯田大雅 ¹ , 西原 禎文 ^{2, 3} , 芥川 智行 ⁴ , 中村 貴義 ⁵ , 帯刀 陽子
2. 発表標題 3 回対称性Tetrathiafulvalene 誘導体とF4TCNQ 錯体からなる ナノファイバーネットワーク構造の作成
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 服部康平 ¹ , 西原禎文 ^{2,3} , 岡田修司 ⁴ , 帯刀陽子
2. 発表標題 10,12-ノナコサジン酸を用いたナノ結晶の作成と固相重合評価
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前園 宜孝 ¹ , 西村 珠姫 ¹ , 松本 知夏 ¹ , 松本 彬 ² , 西原 禎文 ^{3,4} , 芥川 智行 ⁵ , 中村 貴義 ⁶ , 南 豪 ² , 帯刀 陽子
2. 発表標題 水素結合、キラル部位を有するTetrathiafulvalene誘導体からなる ナノコイルネットワーク材料の作成とSaos-2細胞に対する細胞毒性評価"
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoko Tatewaki, Sadafumi Nishihara, Tomoyuki Akutagawa and Takayoshi Nakamura
2. 発表標題 Electromagnetic properties of self-assembled molecular nanocoils composed of phenylmethyl-substituted tetrathiafulvalene derivatives
3. 学会等名 Pacifichem 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoko Tatewaki ¹ , Tsuyoshi Minami ² , Sadafumi Nishihara ³ , Akutagawa Tomoyuki ⁴ and Takayoshi Nakamura ⁵
2. 発表標題 The Scaffold of molecular nanocoils composed of organic conducting materials, and its electromagnetic properties with AC magnetic field
3. 学会等名 12th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前園 宜孝 ¹ , 松本 彬 ² , 佐々木 青葉 ¹ , 西原 禎文 ^{3, 4} , 芥川 智行 ⁵ , 中村 貴義 ⁶ , 南 豪 ² , 帯刀 陽子 ¹
2. 発表標題 分子性ナノコイルスキャホールドを用いたSaos-2 細胞の培養とその電気シグナルを用いた細胞増殖の評価
3. 学会等名 動的分子を機序にした分子固体化学の探究 第2 回研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋山雄貴 ¹ , 西原 禎文 ^{3, 4} , 芥川 智行 ⁵ , 中村 貴義 ⁶ , 南 豪 ² , 帯刀 陽子 ¹
2. 発表標題 電荷移動錯体から成る分子性ナノコイルの作成及びその応用展開
3. 学会等名 動的分子を機序にした分子固体化学の探究 第3回研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 廣瀬史哉 ¹ , 西原 禎文 ^{3, 4} , 芥川 智行 ⁵ , 中村 貴義 ⁶ , 南 豪 ² , 帯刀 陽子 ¹
2. 発表標題 末端に水素結合・キラル部位を有するTTF 誘導体の合成とその F4TCNQ 錯体からなる 1 次元螺旋組織体の作成と評価
3. 学会等名 動的分子を機序にした分子固体化学の探究 第3回研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐々木 青葉 ¹ , 前園 宜孝 ¹ , 松本 彬 ² , 西原 禎文 ^{3, 4} , 芥川 智行 ⁵ , 中村 貴義 ⁶ , 南 豪 ² , 帯刀 陽子 ¹
2. 発表標題 TTF誘導体と F4TCNQ からなる分子性ナノコイルスキャホールドの作成と Saos-2 細胞培養への利用
3. 学会等名 動的分子を機序にした分子固体化学の探究 第3回研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 飯田 大雅 ¹ , 西原 禎文 ^{2,3} , 芥川 智行 ⁴ , 中村 貴義 ⁵ , 帯刀 陽子 ¹
2. 発表標題 キラル部位と水素結合部位を有する3回対称TTF分子の合成とF4TCNQとのCT錯体の作成
3. 学会等名 電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 前園 宜孝 ¹ , 松本 彬 ² , 佐々木 青葉 ¹ , 西原 禎文 ^{3, 4} , 芥川 智行 ⁵ , 中村 貴義 ⁶ , 南 豪 ² , 帯刀 陽子 ¹
2. 発表標題 磁場印加下における分子性ナノコイルスキャホールド上に播種したSaos-2細胞の増殖過程評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 帯刀 陽子 ¹ , 南 豪 ² , 西原 禎文 ^{3,4} , 芥川智行 ⁵ , 中村貴義 ⁶
2. 発表標題 スキャホールド材料への応用を目指したTTF誘導体とF4TCNQ錯体からなる分子性ナノコイルの作成と電磁特性
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 廣瀬 史哉1・西原 禎文2,3・南 豪4・芥川 智行5・中村 貴義6・帯刀 陽子1
2. 発表標題 水素結合とキラル部位を有するTTF誘導体の合成とF4TCNQ錯体を用いた1次元螺旋組織体の評価
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐々木 青葉1、前園 宜孝1、松本 彬2、西原 禎文3,4、芥川 智行5、中村 貴義6、南 豪2、帯刀 陽子1
2. 発表標題 分子性ナノコイルを用いたスキャホールドの作成と細胞培養への応用
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 帯刀 陽子1
2. 発表標題 磁場印加下において分子性ナノコイルが生じる誘導起電力を利用したスキャホールド材料の開発
3. 学会等名 第6回 生体膜デザインコンファレンス(招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yoko Tatewaki1, Tsuyoshi Minami2, Sadafumi Nishihara3, Akutagawa Tomoyuki4 and Takayoshi Nakamura5
2. 発表標題 Preparation of scaffold with induced electromotive force composed of molecular nanocoils and evaluation of cell proliferation.
3. 学会等名 14th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 飯田大雅 ¹ , 西原 禎文 ^{3, 4} , 芥川 智行 ⁵ , 中村 貴義 ⁶ , 南 豪 ² , 帯刀 陽子 ¹
2. 発表標題 水素結合とキラル部位を分子末端に有する 3 回対称 TTF 分子を用いた 分子性ナノコイルの作成とその電気物性評価
3. 学会等名 動的分子を機序にした分子固体化学の探究 第2 回研究会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	西原 禎文 (Nishihara Sadafumi) (00405341)	広島大学・先進理工系科学研究科(理)・教授 (15401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------