

令和元年6月12日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18874

研究課題名(和文) 体外からの磁場制御により駆動・治療操作可能な血管内インプラントの設計試作

研究課題名(英文) Design and fabrication of endovascular implant controlled by external magnetic field

研究代表者

竹村 泰司 (TAKEMURA, Yasushi)

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：30251763

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：動脈の内側にコレステロールなどの脂質が固化すると血管を狭窄し、動脈硬化の一因となる。1 mm径の小型インプラントにより脂質を掘削するワイヤレスの低侵襲治療を実現することを研究目的とした。小型磁石を装着したインプラントを体外に設置したコイルにより位置・駆動制御することが可能であり、そのための体外コイルアレーの形状・電力等を明らかにした。

また小径インプラントに機能を付与するには電源が必要である。印加磁場の時間変化率に無依存の高速磁化反転を生じる特殊な磁性線に着目し、高効率なワイヤレス給電の原理検証に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

動脈の内側に固化したコレステロールなどの脂質を掘削する治療法として、表面にダイヤモンド粒子を付着させたロータブレード(直径1.25～2.5 mm)をカテーテルで導入する方法が認可されている。これを1 mm径の小型インプラントで置き換え、ワイヤレスで体外から制御することは低侵襲治療を実現する観点から極めて意義が大きい。また血管内に導入したインプラントやマイクロロボットを活用する治療についてはアイデアはあったが、電源をどうするかという具体的な提案に乏しかった。本研究では特殊な磁性線を用いる新しいアイデアで実現可能な技術を見いだしたことは学術的にも意義がある。

研究成果の概要(英文)：Solidification of cholesterol and lipid inside of the artery causes constriction of blood vessels, resulting in arteriosclerosis. This study aims to realize a small implant within 1 mm diameter for shaving cholesterol and lipid inside as invasive treatment. The implant is designed as to control its position and motion by an externally applied magnetic field. The condition of the applied magnetic field and the excitation coil array were studied. Wireless power transmission is significant in order to functionalize the implant. The high efficient wireless power transmission was achieved by using a magnetic wire which exhibited a fast magnetization reversal.

研究分野：磁気工学

キーワード：磁場制御 体内インプラント 低侵襲治療

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、コイルとコンデンサを閉接続した共振回路が外部から印加する交流磁場により残留抵抗のジュール熱で高効率に発熱することを利用した癌温熱治療用インプラントを研究してきた。交流磁場の電磁誘導によりコイルに生じる誘導起電力が電源となり、コイルとコンデンサに電流が生じる。高周波時の渦電流損失を除けば人体を透過する磁場は、磁気共鳴画像診断 MRI に代表されるように体内外間でのエネルギーや信号の伝送に適している。18 ゲージ注射針で体内輸送できる 0.9 mm 径への小型化・高発熱化 (IEEE Trans. Magn. 2011 年) や体外コイルの設計試作について研究成果を得てきた。

動脈内に固着した脂質を掘削するロータブレードの治療効果が高く評価されている反面、カテーテルを挿入する手足の痛みや合併症の危険性などの課題も多い。またカテーテルを介して体内で回転させる先端部、ロータブレードの動力源は、モーターでは不可能であるために、高圧窒素ガスを用いたガスタービンである。体外に設置する励磁コイルによりワイヤレスでインプラントを回転させる本構想に至った。

### 2. 研究の目的

動脈の内側にコレステロールなどの脂質が固化すると血管を狭窄し、動脈硬化の一因となる。表面にダイヤモンド粒子を付着させたロータブレード (直径 1.25 ~ 2.5 mm) をカテーテルで導入し、脂質を掘削する治療が我が国でも 1997 年に認可された。これを 1 mm 径の小型インプラントで置き換え、ワイヤレスの低侵襲治療を実現することが本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

平成 29 年度は、フェライト磁石を用いた 1 mm 径インプラント及び 3 連のコイルアレーによる位置制御用コイルを設計し、インプラントの位置・駆動制御を可能とする励磁条件を見いだすことを研究計画とした。3 連コイルアレーから発生する磁場強度の空間分布からコイル配置を最適化させることに挑戦する。

平成 30 年度は、コイルアレーの消費電力を一定にした条件下で、インプラントの位置・駆動制御を可能とする励磁条件の最適化を試みた。さらにインプラントが血流に流されない励磁条件を検討した。また 1mm 以下の小径インプラントでは電池を装着することが難しく、電磁誘導方式による送電コイル・受電コイル間でのワイヤレス給電が有望である。印加磁場の時間変化率に無依存の高速磁化反転を生じる特殊な磁性線に着目し、ワイヤレス給電は可能か、その原理検証を行った。

### 4. 研究成果

フェライト磁石を用いた 1 mm 径インプラントを体外に設置したコイルにより位置・駆動制御するためには、3 連のコイルアレーが有効であることを見いだした。励磁コイルから発生させる直流磁場  $H_z$  の磁場勾配により、磁気モーメント  $m_z$  には推進力が働く (図 1)。これにより、インプラントはコイル端部から中心に移動する。 $m_z = 3.8 \times 10^{-9}$  Wb・m と仮定すると、コイル間隔を 300 mm にしても推進力  $F_x = 1.5$  mN を得ることが可能である。

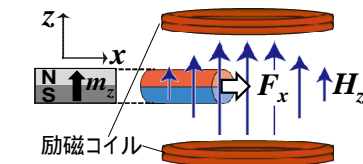


図 1 磁場勾配によるインプラントの推進力

第 1 段階として 3 連コイルアレーから発生する磁場強度の空間分布からコイル配置を最適化させた。次に人体を取り囲むようなコイルアレーの配置を検討した。コイルアレーの組み合わせを 8 対とすると、当初に構想していた 3 連コイルアレーと比較して消費電力の指標においても利点があることを示した。コイルにヨークを設置することにより血流に対しても推進力を確保できることも明らかに当初の研究目的を達成した。

1mm 径以下の小径インプラントを体外からのコイルで位置・駆動制御したとしても、それに機能を付与するには電源が必要である。1mm 径では、カプセル内視鏡 (11mm 径) のように電池を装着することが難しく、電磁誘導によるワイヤレス給電が期待される方法であろう。通常は高透磁率フェライトなどをコアとする受電コイルを用いるが、体外から体内に発生させる交流磁場の強度・周波数は電力的にも制約がある。そこで印加磁場の時間変化率に無依存の高速磁化反転を生じる FeCoV 磁性線を用いた。

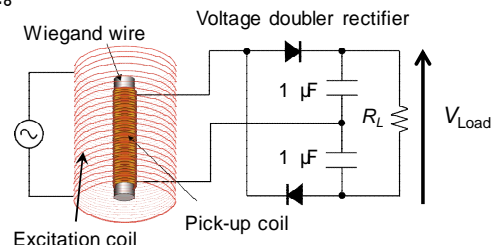


図 2 FeCoV ワイヤのパルス出力を DC 電圧に平滑化する回路

熱ひねり処理した FeCoV ワイヤは、外周部と内周部で保磁力が異なる磁氣的に 2 層構造を示すことが知られている。このうち外周部は低保磁力を示す磁氣的ソフト層であり、その磁化反転は大バルクハウゼンジャンプと呼ばれる高速磁化反転を生じる。磁性線に検出コイルを巻く



図 3 Wiegand パルスの平滑化

と外部印加磁場の時間変化率に依存しないパルス電圧 (Wiegand パルス) を得る。図 2 に示した平滑回路を利用すると直流電圧となる (図 3)。従来用いられている高透磁率フェライトをコアとする受電コイルと比較して、100 Hz - 10 kHz の低周波領域において伝送効率が低いことを実証した。また励磁周波数 10 kHz において最大 22 mW 程度の電力が得られることを明らかにした。この電力は現在、実用されているカプセル内視鏡での電力と同程度であり、例えば 1mm 径のインプラントやマイクロロボットなどで要する電力を十分にワイヤレス給電可能との見通しを得た。

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- 1) Katsuki Takahashi, Akitoshi Takebuchi, Tsutomu Yamada, and Yasushi Takemura Power supply for medical implants by Wiegand pulse generated from a magnetic wire Journal of the Magnetics Society of Japan, 査読有, Vol.42, No.2, pp. 49-54, 2018. DOI: 10.3379/msjmag.1803R008

〔学会発表〕(計 9 件)

- 1) Hiroki Hoshiyama, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura, Vibration-type energy harvester for wide frequency range using a Wiegand wire, Joint MMM-Intermag Conference (Conference on Magnetism and Magnetic Materials and IEEE International Magnetics Conference), 2019.
- 2) Katsuki Takahashi, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura, Wireless power transmission for implantable medical devices using a Wiegand pulse in magnetic wires, Joint MMM-Intermag Conference (Conference on Magnetism and Magnetic Materials and IEEE International Magnetics Conference), 2019.
- 3) Takafumi Sakai, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura, Enhanced output power from energy-harvesting device using a Wiegand wire with flux guidance, Joint MMM-Intermag Conference (Conference on Magnetism and Magnetic Materials and IEEE International Magnetics Conference), 2019.
- 4) 和口修平、高橋克希、竹村泰司、河村篤男、Wiegand ワイヤコイルを用いた体内ロボットへの給電手法に関する考察、電気学会全国大会、2019.
- 5) Yasushi Takemura, Recent developments on Wiegand wire and its device applications, Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2018), 2018.
- 6) Tomohiro Aoto, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura, Evaluation of magnetic field generated from body-size excitation coil for hyperthermia and implantable medical devices, The Biomedical Engineering Society (BMES) Annual Meeting, 2018.
- 7) Yasushi Takemura, Wireless power transmission to medically implantable device using magnetic wire, 10th International Conference & Exhibition on Biosensors & Bioelectronics, 2018.
- 8) Katsuki Takahashi, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura, Frequency dependence of wireless power transmission using Wiegand wire for implantable medical devices, The Third International Workshop on Magnetic Bio-Sensing (IWMBS2018), 2018.
- 9) Katsuki Takahashi, Tsutomu Yamada, and Yasushi Takemura, Efficient wireless power transmission to medical implant using Wiegand sensor, IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG), 2018.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

[www.takemura.ynu.ac.jp](http://www.takemura.ynu.ac.jp)

## 6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：山田 努

ローマ字氏名：(YAMADA, tsutomu)

所属研究機関名：横浜国立大学

部局名：大学院工学研究院

職名：助手

研究者番号（8桁）：70251767

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。