

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01394

研究課題名(和文) 自走式カプセル内視鏡の研究

研究課題名(英文) Impulse-driven Capsule for Medical Inspection

研究代表者

伊藤 高廣 (Ito, Takahiro)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号：10367401

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：振動を利用して生体内を自走できる、カプセルカメラを実現した。検査時に違和感や苦痛がなく、検査率の飛躍的向上へつなげる。本研究では、振動を利用して走行するカプセルが、生体を構成する柔らかい管の中で前後方向に走行できることを実証した。ヒトの腸と類似したイヌの腸内で走行させ、カプセルが画像を撮影しながら腸内走行の様子をビデオに収めることに、世界で初めて成功した。さらに、ワイヤレス給電によりイヌの腸内でカプセルを走行させることにも成功した。本技術による自走式カプセル内視鏡は、自宅にいながらにして腸内の検査ができるため、コロナ後の新生活における、在宅医療にも貢献することができる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

振動を利用して生体内を自走できる、カプセルカメラを実現した。本研究の学術的意義は、振動を利用して、生体を構成する柔らかい管の中で前後に走行できることを理論で予測し実験で確認したことである。力学モデルによるシミュレーションで振動周波数と波形を最適化し、実験ではヒトの腸と類似したイヌの腸内で走行させ、カプセルが画像を撮影しながら腸内走行の様子をビデオに収めることに、世界で初めて成功した。本研究のワイヤレス給電技術は体内医療機器への給電にも応用できる。本技術による自走式カプセル内視鏡は、自宅にいながらにして腸内の検査ができるため、コロナ後の新生活における、在宅医療にも貢献することができる。

研究成果の概要(英文)：We have developed a capsule camera that can travel in the living body using vibration. There is no discomfort or pain during the inspection, which leads to a dramatic improvement in the inspection rate. In this study, we demonstrated that a capsule that travels using vibration can travel in back and forth direction in the soft tube that makes up the living body. For the first time in the world, we succeeded in running the capsule in the intestine of a dog, which is similar to the human intestine, and recording a video of the capsule running in the intestine while taking an image. In addition, we succeeded in running the capsule in the intestines of dogs by wireless power supply. Since the self-propelled capsule endoscope using this technology can inspect the intestines even at home, it can also contribute to home medical care in a new life after corona.

研究分野：マイクロメカニズム

キーワード：カプセル 内視鏡 自走 振動

1. 研究開始当初の背景

高齢化社会を迎え、簡易で精度の高い医療検査技術の開発が急務である。従来のカプセル内視鏡は、消化管のぜん動運動に頼って移動するため、検査に時間がかかった。また、従来の走行カプセル研究では、足や尾ひれなどの駆動部が体内を傷つける危険性があった。大腸の疾患は多いにもかかわらず、検査受診率が低い。早期発見の為に、医師と患者の負担が少ない検査法が求められている。

2. 研究の目的

上記背景にある問題を解決すべく、カプセルを走行させ消化管内を検査することを目指し、筆者らは振動を用いてなめらかな形状のカプセルを自走させる研究を進めてきた。しかし生体内の走行は、従来検証してきた人工的なパイプや腸模型とは異なり、動物実験にて走行を確かめる必要があった。筆者らは東京農工大の協力を得て、生きたイヌを用いた動物実験にて検証できることとなった。イヌの腸は比較的ヒトの腸と似た大きさ長さ特徴を有しているため、ブタなどより近い結果が期待できる。

本提案のメカニズムでは、図1に示すように、なめらかな外形の自走式カプセルを使用し、生体内を傷つけることなく検査・治療を可能とし、かつ検査時間の短縮も実現できる。振動を利用して生体内を安全に自走できる本マイクロメカニズムの先進性を生かし、さらにマイクロロボットなどの技術を応用して、図2に示すように、消化管特に大腸内を肛門から逆方向へ走行できるカプセルカメラを実現する。自分で座薬の様に入れて検査ができるため恥ずかしくなく、検査率の飛躍的向上、ひいては大腸がんによる死亡0へつなげる。本研究では、振動を利用して走行するカプセルが、生体を構成する柔らかい管の中で走行できることを目的とした。

3. 研究の方法

大腸内のヒダを乗り越える為の方策、カプセル形状(長さ、形、表面状態)、推進力(コイル形状、パルス信号)、小型化のためのアクチュエータ強化、カメラとレンズについて、実験と通して最適形状、構成、システムを求める。

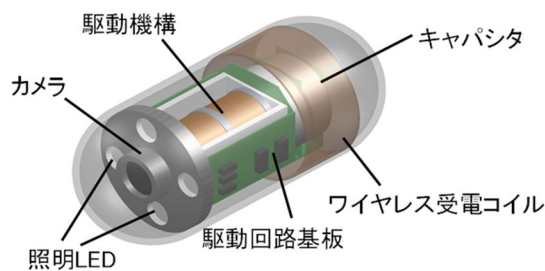


図1 自走式カプセル外観

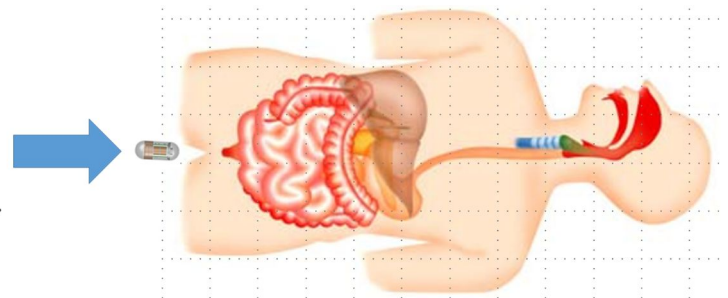


図2 自走カプセルによる大腸検査

4. 研究成果

前記、図1に示す自走式カプセルは、サイズが直径11[mm]、全長31[mm]であり、走行機構、カメラ、制御基板、キャパシタを備えている。走行機構を搭載することにより、腸内での能動的な移動、動作の制限の緩和を可能としている。また、キャパシタを搭載することで、腸内での長時間の稼働することができる。加えて、カプセルは駆動メカニズムによって走行することができるため、カメラによるリアルタイムでの検査が可能である。本研究では、無線給電と分けて走行性能評価を行なうため、まず市販のボタン型電池を電源として使用し評価を行った。

本研究のカプセルは、図1のようにカプセル内部に電磁力を利用した走行機構を搭載しているため、車輪や手足、ひれ等を用いた他の走行機構と異なり、カプセル外部を滑らかな形状に保つことができるため、腸内を損傷させる危険性がない。また、走行機構は、永久磁石とコイルを用いた構成とし、コイルに電圧を印加することで発生する磁力と永久磁石の磁力が吸着・

反発し合うことでコイル内部に位置する永久磁石を振動させる。この永久磁石を振動させることで起こる振動、内壁への衝突を利用してカプセルの前進・後退を行なう。

・動物実験による検証

東京農工大学の動物実験の装置を備えた実験室にて、走行機構・カメラを搭載したカプセルの実験を行った。

制御基板を電源に接続後、カプセルを組み立てる。電源を接続してから3分後、正常に走行機構が動作していることを確認し、犬の肛門にカプセルを挿入した。その後、腸内での走行、カメラ画像の撮影・無線伝送を行った。また、肛門に挿入したカプセルは走行を10秒間、撮影・無線転送を10秒間、これらの動作を交互に繰り返していき、約5分後、電力不足により動作が停止した。

なお本実験は、東京農工大学動物実験倫理規定を遵守し、東京農工大学動物実験小委員会の承認のもとに実施した（承認番号 28-104）

・腸内での走行

絶食状態の犬の肛門にカプセルを挿入した後、エコー装置、X線装置、ビデオスコープ内視鏡、聴診器を用いて腸内でのカプセルの動作確認を行った。これらの器具を用いた動作確認の様子を図3に示す。



図3 動物実験時のカプセル位置と動作を観測する様子
(右上：X線装置使用、左下：内視鏡仕様)

次に、エコー装置とX線装置、ビデオスコープ内視鏡で撮影した画像を図4に示す。

まず、X線装置による写真ではカプセルの姿を確認することはできたが、静止画であるため、動作している様子は確認できなかった。次に、エコー撮影では動画による観察を行なうことができたが、カプセルの動作を確認するまでには至らなかった。また、聴診器では犬の体内にあるカプセルが走行機構によって振動している音を聞き取ることができた。最後に、ビデオスコープ内視鏡ではカプセルが腸内を走行している様子を捉えることができた。しかし、カプセルが腸内で走行している場合とその場を動けない場合があることが確認された。

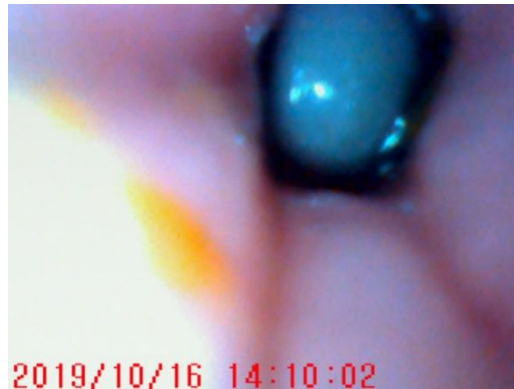
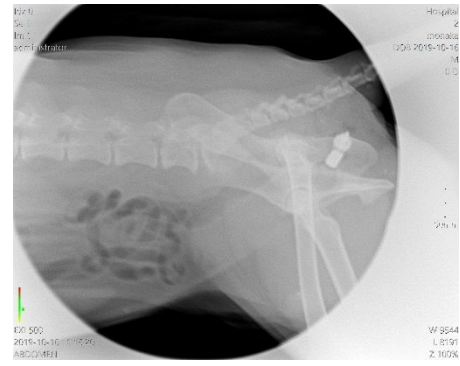


図4 イヌの腸内を走行するカプセル観察結果

(上左：エコー装置画像、左下方にカプセルが斜めに捉えられている、上右：X線装置画像、カプセルが右の方に白く映っている、下：ビデオスコープ内視鏡による画像、腸内のカプセルを捉えている)

・カメラ画像の無線伝送

絶食状態の犬の肛門にカプセルを挿入した後、カプセルによる腸内の撮影を行った。実験の様子を図5に、カプセルから送られてきた腸内画像図6に示す。



図5 イヌの腸内を走行するカプセルからカメラ画像を伝送する実験

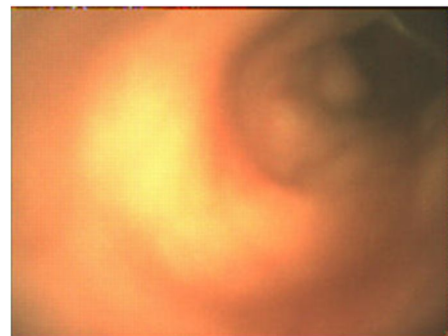


図6 カプセルカメラが捉えた腸内画像

カプセルが腸内で撮影した画像は外部の受信機に無線伝送した。図6のカプセルで撮影した画像はカプセルの照明の明るさの調整を行ってから撮影したものである。ビデオスコープの照明の影響をなくすため、カプセルが撮影状態であるとき、ビデオスコープの照明は消している。図5に示すようにカメラ画像を無線伝送することに成功した。しかし、撮影画像はぼんやりとしたものになっていることを確認した。また、カプセルによって撮影した画像からもカプセルが腸内を走行していることが確認できた。

・結果の評価

イヌを用いた実験おこない、カプセルの腸内での走行、カメラ画像の無線伝送の動作を確認した。本カプセルが、生体内を撮影しながら走行する様子を、別の内視鏡を用いて捉え記録することに成功した。また、ワイヤレス給電により、生体内をカプセルが走行する様子を動画で捉えることに、世界で初めて成功した。腸内のカプセル走行についてはエコー装置、X線装置、ビデオスコープ内視鏡、聴診器の4つの動作を確認する方法を用いたが、動作している様子を確認するためには聴診器と内視鏡を併用して動作を確認することが最適であった。

カメラ画像の無線転送についてはカプセルの照明の調整することで腸内を撮影することができた。画像がぼやけている原因として、カプセルの外殻によってカプセル内部にある光源の光が反射していることが考えられる。腸内の走行に関しては走行機構が生み出す推進力の向上させること、カメラ画像については画質を向上させること、加えて、無線給電によって安定して電力を供給し、長時間の動作を行なうことが今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Hiroyuki ICHIKI, Kenta ASAI, Shotaro WATANABE, Takairo ITO, Sunao MURAKAMI
2. 発表標題 Impulse-driven Capsule for Medical Inspection
3. 学会等名 17th International Conference on Precision Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浅井 謙太, 渡邊 翔太郎, 一木 浩之, 伊藤 高廣, 村上 直, 勝田 ちひろ, 田中 あかね, 松田 浩珍, 辻 卓則
2. 発表標題 大腸用自走式カプセル内視鏡の走行性能に関する研究
3. 学会等名 2019年度精密工学会春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuichiro KAWASHIMA, Kenta ASAI, Shotaro WATANABE, Takahiro ITO, Sunao MURAKAMI, Kaoru KARASAWA, Chihiro KATSUTA, Akane TANAKA, Hiromu KUTSUMI
2. 発表標題 Impulse-driven Capsule for Medical Inspection
3. 学会等名 18th International Conference on Precision Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川島 雄一郎, 浅井 謙太, 渡邊 翔太郎, 伊藤 高廣, 村上 直, 唐澤 薫, 勝田 ちひろ, 田中 あかね, 久津見 弘
2. 発表標題 自走式カプセル内視鏡の研究
3. 学会等名 2020年度精密工学会秋季大会
4. 発表年 2020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	村上 直 (MURAKAMI SUNAO) (90443499)	九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授 (17104)	
研究分担者	落合 秀夫 (OCHIAI HIDEO) (70341518)	九州工業大学・保健センター・教授 (17104)	削除：2018年8月23日

	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
研究協力者	田中 あかね (TANAKA AKANE)		
研究協力者	勝田 ちひろ (KATSUTA CHIHIRO)		
研究協力者	唐澤 薫 (KARASAWA KAORU)		
研究協力者	久津見 弘 (KUTSUMI HIROMU)		

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
---------	---------