

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 18 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008 ～ 2011

課題番号：20560244

研究課題名（和文） 消化管内走行／検査／投薬マイクロメカニズムに関する研究

研究課題名（英文） Impulse-driven small capsule for medical treatment

## 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

## 研究成果の概要（和文）：

滑らかなカプセル形状ながら、胃や腸の中を自走できるカプセルについて研究開発を行った。従来の内視鏡では検査が難しい小腸を、従来のカプセル内視鏡より短時間で検査できるようになる。本研究では、カプセルに駆動回路を内蔵し無線化することを試みるとともに、MEMS技術により薬剤を蓄え放出する機構を作製し評価した。本走行カプセルに搭載し、将来の検査・治療、に役だてることができる。

## 研究成果の概要（英文）：

A traveling small capsule has been developed. The capsule has a smooth outer surface and is driven by inertia force and friction force. Measuring only 7 mm in diameter and 12 mm in length, it is sufficiently small to be placed in the human gullet or intestines. The capsule contains a small magnet and a coil, and an electric pulse drives the magnet to move the capsule. To investigate the feasibility of our traveling capsule, we did the theoretical analysis and the computer simulation using a simple model. We performed an experimental investigation on making our capsule travel on a plastic plate. We also showed that it can travel on the surface of a pig's intestine. Our capsule may be useful for medical treatments such as inspection, drug delivery and operation.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度	0	0	0
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、知能機械・機械システム

キーワード：マイクロマシン、バイオメカトロニクス、制御工学、生物・生体工学、ドラッグデリバリー

## 1. 研究開始当初の背景

人体のおよそ70%は細い管で構成されている

といわれている。細く柔らかい管の中を走行する微小な機械が実現すれば、従来困難であった診療・治療の可能性を飛躍的に広げ解決手段を提供できるようになる。

現在は消化管の手術後に、胃や腸がきちんとつながったかどうかを検査するため、小さなゴムの球を患者に飲んでもらい、ぜん動運動により排出されることを確認する導通検査等が行なわれてきた。しかし、この検査では球を飲んでから排出されるまでに約1日を要していた。自走できる滑らかな形状の小さなカプセルが実現できれば、ぜん動運動に加えて自力で移動するので、検査にかかる時間、さらには入院費用を削減することができる。

消化管内を移動する機械については、国内外ですでにいくつかの提案がなされてきているが、それらは機械外部に移動のための手足に相当する突起があったり、滑らかな形状であっても腸のぜん動運動を利用して自然に押し出されたりするものであった。滑らかな外形を持ちかつ自走できる微小機械は実現されてこなかった。

これまでに、この消化管内走行カプセルの1次試作品を完成し、ブタの腸の上を含めた走行実験を行ない、基本性能を確認した。この成果は、平成16年4月21日の日刊工業新聞第一面に記事で紹介されるなど、内外の注目を集めた。平成17年度からは科研費を給付いただき、実用化を目指して小型化、高効率化等の改良を行った。その結果、長さは従来の1/2以下とし、走行速度は2倍以上の改善を達成した。

今回は、外部からの電力供給なしに走行できる無線化を施し、さらに検査投薬機能をマイクロマシン技術の応用により付加する。このためには実験装置を拡充する必要があり、科学研究費補助金を申請した。

## 2. 研究の目的

研究期間内に明らかにする事項は次のとおりである。

- (1) 外部からのケーブルによる電力供給なしにカプセルを走行できること（無線化）
- (2) 管内特定部位の試料を採集できること
- (3) 管内特定部位に投薬することができること

従来の走行カプセルはケーブルにより外部から電力を供給し走行させていた。消化管内の検査に使用するためには無線化が必須である。カプセルを自走させるためには電源として小型のボタン電池を内蔵させる必要がある。このため現在交流電流を用いて駆動しているものが電池による直流電源となるため、交流を発生させる微小な駆動回路を設計・製作する。以上の要素部品を組み合わせることで自走が可能であることを実験により示す。

管内を走行するだけでなく、特定部位の消化液、生体のごく微小部分の採集を行い、検査に供することを目指す。具体的には特定箇所では採集口を開閉することで走行中に自然に周囲の液体を採集すること及び、微小なアームを出し入れして、生体の微小部分を採集することを試みる。また、管内の特定部分で薬液を吐出する機能を付加する。飲んで体中にまわると副作用の恐れのある薬剤でも、体の内部の特定部位にだけ投薬することが可能となる。具体的な機構としては、微小なシリンジ、プランジャを作成し、任意の場所で薬液を吐出できることを実験により確認する。

## 3. 研究の方法

### 走行カプセルの無線化

これまで研究してきた走行カプセルでは電力をケーブルにより外部から供給している。しかし消化管内を走行させるためには自走できるように無線化が必須である。そのため、従

来からの駆動装置に加え、動力源である電池と、駆動回路もカプセル内に収められるよう各部を小型化する。

走行カプセルは、内部磁石の往復運動による振動を走行原理としているため、カプセル内を回路や電池にスペースを割くと、磁石往復運動の長さが短くなり、走行のための力を著しく弱めることとなる。この問題を克服するため、コイルの改良による電磁力の増強、コイルに流す電流波形の改良による走行効率の改善がさらに必要となる。

#### (1) 駆動回路の小型化

走行カプセルの駆動には、内部磁石を往復運動させるため交流電流を用いている。内臓電池で駆動するためには、電池の直流電流を交流に変換し、駆動用に増幅する回路も必要となる。回路としては無安定マルチバイブレータにアンプを接続したものが使用可能であり、カプセルを駆動する検証実験も行った。しかし現状の回路は数cm角の基板上にあり、カプセルに収めるためには格段に小型化する必要がある。まず市販されている回路チップで小型化、動作検証し、次に集積化回路の設計、製作を行う。

回路製作に必要な電子部品を購入する。

#### (2) 駆動系の小型化

直径7mm、長さ12mmのカプセルに収まるコイルのボビン(円筒)径は5mm、長さ6mmである。現段階では、このボビンに0.05mm径のエナメル線でコイルを約200回巻いている。しかし電池と回路のカプセル内収納に伴いコイルボビンも短くなるため、巻き数を多くして電磁力を確保する必要がある。巻き数を多くするために、より細い0.03mm径のエナメル線を300回以上巻くこととする。

上記のような非常に細いエナメル線を小さなボビンに巻くには、線を切らずに多数回規則正しく巻く必要があり、手作業では困難が伴う。従って微小コイルを作成するための装置も同時に作成する必要がある。微小コイル巻き装置は、極細エナメル線を巻いてあるもとのボビン(直径1.5cm、高さ20cm)からエナメル線を繰り出す部分、張力を一定に保つ部分、微小ボビンに均等に巻くため左右に往復する腕の部分、微小ボビンを回転させる部分、巻き数を自動的にカウントし表示する部分から構成される。

電池・回路内蔵カプセルの製作にあたり、現有設備の小型旋盤、フライス盤は使用可能であるが、極細エナメル線、アルミパイプ、微小コイル巻き装置用にモータ、ギア、電子

回路部品の材料費が新たに必要となる。

#### ・理論解析

走行カプセルの走行原理は、カプセル内磁石の往復運動による衝撃力、慣性反力である。しかし、単純な往復運動のみでは、その場で振動するだけで一方向に走行することはできない。走行のためには、左右非対称な内部構造が関係しているものと推定している。この走行原理を力学モデルによりシミュレーションできれば、より速く移動するカプセルを設計することが出来るようになる。

#### 4. 研究成果

消化管内を自走して検査時間の短縮を目指したカプセルを、設計・製作・評価した。特にカプセル小型化、無線化(自走)、投薬機構、生体採集機構を重点化して進めた。この結果、(1)電源、駆動回路、走行機構を滑らかなカプセルの内部に収めて自走させること、(2)MEMS技術によりカプセルに収まる投薬機構を製作すること、(3)形状記憶合金アクチュエータを利用した生体採集機構を製作すること、を達成した。

(1)無線化では、ワンチップマイコンを用いてプログラミング可能かつ走行に必要な波形発生する回路をカプセル内に収めて自走実験に成功した。ただしカプセルの大きさが直径20mm、長さ40mmとまだ大きく、呑み込めるサイズに小型化する課題が残った。

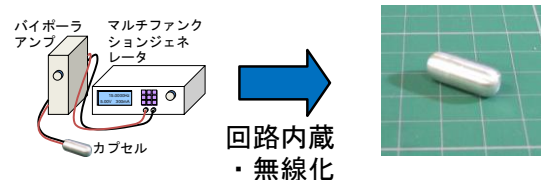


図1. 外部の装置、回路を内蔵・無線化



図 2. 製作した無線カプセル (長さ 40mm)

(2) 投薬メカニズムは、MEMS 加工技術により、Si ウエハを  $500\mu\text{m}$  深掘りして薬タンクを製作し、金の薄膜による蓋を形成して、電流を流すと蓋が溶けて薬が吐出する機構を作製できた。ただし、容量をより大きくする課題が残った。

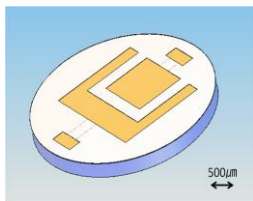


図 3. 投薬メカニズム (MEMS 技術による)

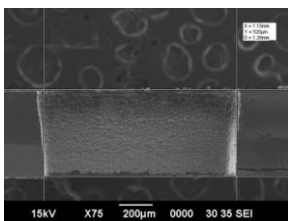


図 4. 製作した投薬機構 (断面 SEM 写真)

(3) 生体採集アクチュエータは、微小なブラシを出し入れして生体を微量最終するもので、形状記憶合金を用いたアクチュエータで微小ブラシを前後に動作するものを製作した。しかし、サイズがまだ 15mm あり、さらなる小型化が必要である。

必要な各要素を具体化することができたことが、今回の成果であり、意義のある点である。振動を利用することにより、滑らかな外形で、体内を傷つけることなく自走できることは、本研究の走行カプセルが初めて実現したことである。現状のカプセル内視鏡は自走

できないため検査に時間がかかるという問題点を本カプセルは解決できる。さらなる小型化と改良により、今後医療現場において、検査、治療に役立つことと期待している。

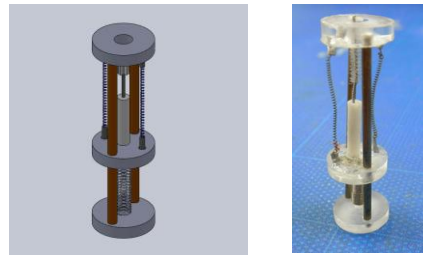


図 5. 生体採集機構

## 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 2 件)

- ① Takahiro Ito, Shohei Ishimori, and Teru Hayashi, Impulse-driven Micromechanism Capsule, Journal of Advanced Mechanical Design Systems, and Manufacturing, 査読有, 4 巻 2010, 315-323.
- ② Takahiro Ito, Takuto Ogushi, Teru Hayashi, Impulse-driven capsule by Coil-induced Magnetic Field Implementation, Mechanism and Machine Theory, 査読有, 45 巻 2010, 1642-1650.

[学会発表] (計 9 件)

- ① パノーパ アモンパン, 木藤祥貴, 伊藤高廣, 林輝, 消化管内走行カプセルの研究—一段差を乗り越えるための制御方法の検討—, 精密工学会秋季大会, 2011 年 9 月 20 日, 金沢大学.
- ② Amornphun PHUNOPAS, Takahiro ITO, Yoshitaka KITO, Takeshi ARIMITSU and Teru HAYASHI, Impulse-driven Capsule for Medical Treatment, The 2<sup>nd</sup>

Japan-China-Korea joint conference on MEMS/NEMS 2011, September 5, 2011, Jeju Korea.

- ③ 木藤祥貴, 石盛祥平, パノープアモンパン, 伊藤高廣, 林輝, 消化管内走行カプセルとシミュレーション, 精密工学会春季大会, 2011年3月14日, 東京, 東洋大学.
- ④ Takahiro Ito, Yoshitaka Kito, Shohei Ishimori, Teru Hayashi, Capsule Micromechanism Driven by Impulse, Workshop on Microactuators and Micromechanisms MAMM 2010, May 27, 2010, Aachen, Germany.
- ⑤ 石盛祥平, 伊藤高廣, 林輝, 消化管内走行カプセルの研究, 2009年度精密工学会秋季大会, 2009年9月11日, 神戸大学.
- ⑥ Takahiro Ito, Shohei Ishimori and Teru Hayashi, Impulse-driven Small Capsule for Medical Treatment, 2009 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment, June 19, 2009, Tsukuba Japan.
- ⑦ 原田博規, 小櫛拓人, 森下武志, 伊藤高廣, 林輝, 消化管内多方向推進カプセルの開発, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2008年9月9日, 神戸大学.
- ⑧ Takuto Ogushi, Takeshi Morishita, Takahiro Ito and Teru Hayashi, Impulse-driven Capsule by Wireless Implementation, 24<sup>th</sup> ISPE International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future (CARS&FOF 2008), July 29, 2008, Koriyama, Japan.
- ⑨ Takahiro Ito, Takuto Ogushi and Teru Hayashi, Development of

Impulse-driven Small Capsule, 24<sup>th</sup> ISPE International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future (CARS&FOF 2008), July 29, 2008, Koriyama, Japan.

[図書] (計2件)

- ① Gondi Kondaiah Ananthasuresh, Burkahard Corves, Victor Petuya Editors, Takahiro Ito, et. al., Springer, Micromechanics and Microactuators (Mechanisms and Machine Science 2, Capsule Micromechanism Driven by Impulse), 2012, 11-22.
- ② 林輝, 伊藤高廣, 株式会社コロナ社, 運動とメカニズム, 2009, 182.

[その他]

- ① 伊藤高廣, 消化管内走行カプセル, 消化管内走行カプセル研究会フォーラム講演, 2012年3月9日, 福岡県飯塚市.
- ② 国際ロボット展 出展, 2011年11月9-12日, 東京ビッグサイト.
- ③ マイクロマシン/MEMS展 出展, 2011年7月13-15日, 東京ビッグサイト.
- ④ 毎日新聞 2011年7月26日社会・総合面 (25) 記事掲載「自走カプセル開発着々」(九州版).
- ⑤ 伊藤高廣, 体内を動き回るカプセルが医療を変える -消化管内走行カプセル- (研究最前線) 記事掲載, 九工大通信, Vol. 37, 2010年10月1日発行.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

伊藤 高廣 (ITO TAKAHIRO)

九州工業大学・情報工学研究院・教授

研究者番号: 10367401