

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 25 年 3 月 26 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010 年 ~ 2012 年

課題番号：22760199

研究課題名（和文） 体内移動ロボット駆動用機能材料としての磁性粒子

研究課題名（英文） Magnetic particles for deformable robot maneuvered in a confined environment

研究代表者

野方 誠（NOKATA MAKOTO）

立命館大学・理工学部・准教授

研究者番号：80335067

研究成果の概要（和文）:

粒子状の磁性体を外部磁場で動かすことにより臓器と腹壁の間を移動する小形医用ロボットの開発を通じ、体内での駆動、移動、変形を自在に実現できる磁性粒子流体を開発し、新たな機能材料として確立することを目的とし、多軸磁場発生装置の開発と、体内移動ロボットの移動原理の考案について研究を行った。体内移動ロボットについては、柔軟で変形できる本体が、周囲との接触がある状態ですべりのない移動ができる駆動原理を提案した。この駆動には、ウォーターズネークという玩具の仕組みを流用した。その構造は円筒型の水風船であり、円筒外側を握ることで増加する水圧により円筒内側の風船膜が外側に押し出され、外側の膜は内部に巻き込まれ、全体ですべり無しの回転が生じ、やがて把持した部分も押し出され手から離れる。外力による内部の水圧上昇に代わり、内部に入れた磁性粒子に外部磁場を印加し、円筒を内側から押すことで風船膜に内側から外側へと回転が生じ移動する。提案した移動原理の特長として、周囲環境とそれに接する円筒外側にすべりが生じない移動であること、内部の磁性体を外部磁場で引っ張るので移動のためのアクチュエータやバッテリーを搭載やエネルギーの供給が不要で無線駆動であること、弾性膜と液体と磁性粒子により構成されているため柔軟であり変形ができ、自然状態の太さより細い管内や狭い部への侵入と移動ができた。構造が単純であるため小形化が可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）:

This research presents an advanced locomotion method that produces non-slipping motion in digestive organs and the abdominal cavity. New movement principle of the robot, which has a soft and deformable body that can move through a confined space is proposed. The mechanism of a toy water snake is applied to this principle. Magnetic particles inside the water balloon are affected by the external magnetic field and push the inner side of a balloon to the direction of a magnetic field. We construct an experimental model to verify the proposed principle, the sliding movement is measured using the model. Confirmatory experiments of movement are conducted in the two sheets that imitated internal organs.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2012 年度	300,000	90,000	390,000
総計	3,300,000	990,000	4290,000

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：医用ロボット，磁場駆動，柔軟ロボット，体内移動

1. 研究開始当初の背景

腸管内検査機器として，柔軟管状の内視鏡が一般に用いられる．経口などで体内に挿入し，手で押し引きして先端を移動する．これに対し，先端部が単体で移動する内視鏡として，カプセル内視鏡がある．蠕動運動で受動的に移動するもの，永久磁石を搭載し外部磁場の切り替えによる回転するものなど能動的に進むものがある．また，小形モータを搭載してねじりを発生させ推進力を得るものもある．しかし電力を供給する配線や永久磁石が必要であったり，器官内膜の巻き込みが生じる可能性がある．強磁性体を搭載し磁場勾配で無線で腹腔内を移動するものもあるが，すべり移動であるため摩擦の影響を受けやすい．本体が変形のない硬い構造であることが問題点となる場合がある．

2. 研究の目的

研究実施者はこれまでに，磁性粒子と非磁性粒子の比重の違いを利用することで，単純な磁場波形で一定の回転や移動を発生させる駆動方式を考案して機構を試作した．その駆動方式を発展させ，管状消化器官や腹壁臓器間といった周囲や側面，上下面で接触がある狭い環境で，柔軟で変形できる本体でかつすべりのない移動ができる駆動方法を提案し，試作モデルで動作検証する．

3. 研究の方法

柔軟で変形できる本体が，周囲との接触がある状態ですべりのない移動ができる駆動原理を提案する．この駆動には，ウォーターズネークという玩具の仕組みを流用する．その構造は円筒型の水風船であり，円筒外側を握ることで増加する水圧により円筒内側の風船膜が外側に押し出され，外側の膜は内部に巻き込まれ，全体ですべり無しの回転が生じ，やがて把持した部分も押し出され手から離れる．提案する移動原理を説明する．外力による内部の水圧上昇に代わり，内部に入れた磁性粒子に外部磁場を印加し，円筒を内側から押すことで風船膜に内側から外側へと回転が生じ移動する．提案した移動原理の特長として，周囲環境とそれに接する円筒外側にすべりが生じない移動であること，内部の磁性体を外部磁場で引っ張るので移動の

ためのアクチュエータやバッテリーを搭載やエネルギーの供給が不要で無線駆動であること，弾性膜と液体と磁性粒子により構成されているため柔軟であり変形ができ，自然状態の太さより細い管内や狭い部への侵入と移動ができる．また構造が単純であるため小形化が可能である．

4. 研究成果

原理検証のために円筒風船形状の試作モデルを作成した．円筒風船には市販の玩具を流用した．材料は熱可塑性エラストマである．内部は，磁性粒子として移動の妨げにならないように水より比重の大きいものと小さい中空鉄ビーズ（TEC-BALL，JFE テクノリサーチ株式会社製）を130個ずつ入れ，全体を水で充満した．これにより，サイズは長さ115mm×高さ35mm×幅42mmになった．中央部の黒色の帯は，滑り移動の有無を確認するためにつけたマーカーであり，円筒膜のつなぎ目でもある．試作モデルを用いて，移動条件に関する測定を行った．体内の腹腔環境を模擬したシート（ポリビニールアルコール臓器モデル，聖和デンタル製）を上下面に貼り付け，その間隔を28mmから1mmずつ増やし，シートで挟まれた試作モデルを直接引っ張り無回転で滑らせた時の力を摩擦力として，同様に引っ張り方を変えて滑りのない状態で回転変形するときの力を変形に必要な力として計測した．実験装置はロードセル（KYOWA製 LUX-A-1KN），自動ステージ（シグマ光機製 SGSP 20-30），PCから構成されている．結果を表1に示す．28-33mmの間隔で移動のための磁場発生力が存在することとその値が確認できた．

表1 体内模擬環境の移動条件測定

シート間隔 [mm]	摩擦力 (a+b)[N]	変形力 (c)[N]
28	2.31	0.378
29	2.15	0.346
30	1.99	0.328
31	1.81	0.304
32	1.73	0.284
33	1.69	0.263

移動のための磁力を発生する磁場発生システムについて説明する．ソレノイド（外径：230[mm]，内径：105[mm]，長さ：70[mm]，

線断面:2×5[mm], 巻数:300[回], 鉄心直径100[mm], 鉄心長さ60[mm]), 着磁電源装置(50-900[v], 10000[μF], 最大許容電流:10000[A],)で構成される。着磁電源装置は、内部のコンデンサに充電時間0~5[s]で電荷を蓄え一気に放電するため、ソレノイドには単発でピークを持つ磁場が発生する。図1はソレノイド端面から7[cm]離れた中心軸上での磁束密度の波形である。移動実験では、その計測点にモデルを置き、30[mm]間隔のシート内で挟んだ。磁場発生装置がモデルに与えた瞬間最大磁力は0.52[N]であった。

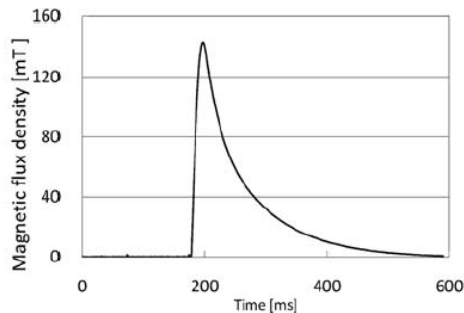


図1 ソレノイドが発生する磁束密度。ソレノイド端面から7[cm]離れた中心軸上での波形

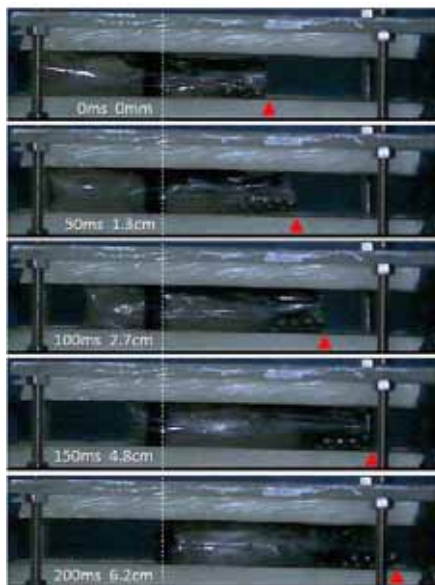


図2 モデル移動実験結果

モデルの移動の様子を図2に示す。動作はハイスピードカメラで撮影し、50[ms]間隔で画像を切り出した。長さはそれぞれの時間ごとに磁場印加開始時からの移動距離を示している。先端(三角印)は移動しているが、黒マーカの位置がシリコンシートに対し移動していないことから、滑りの無い移動であることを確認した。コイルの方向に6.2[cm]の移動したが、膜の継ぎ目部分が他

に比べて硬いことからこの部分が先頭に到達したときに停止した。この部分を小さくすることで移動距離はさらに大きくなるため、円筒膜の製作方法を今後検討する。膜全体に周期的な伸縮が見られた。移動の効率を大きくするためには、膜材料や内部の水の量を選定する必要がある。今後、モデルのサイズを変え、様々な環境での移動や小形化に取り組み、本移動原理の有用性を検証する。

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)

野方 誠, 大林巧, 塩見尚礼, 谷徹, 軟性内視鏡用の大把持力を有する極細径鉗子の開発, 生体医工学, 50(4), 査読有, 2012, 345-351

野方 誠, カテーテル手術用外径1mm把持鉗子の構造解析と試作検証, システム制御情報学会論文誌, 査読有, 24巻5号, 2011, 101-108

[学会発表](計11件)

発表者名:大川剛史, 野方 誠

発表タイトル:軟性内視鏡に搭載する細径鉗子の駆動システム開発

学会等名:第10回生活生命支援医療福祉工学系連合大会(LIFE2012)

発表年月日:2012/11/3

発表場所:名古屋大学(愛知県)

発表者名:國佐英生, 野方 誠

発表タイトル:軟性内視鏡手術に用いる直径2ミリ高把持力鉗子

学会等名:第10回生活生命支援医療福祉工学系連合大会(LIFE2012)

発表年月日:2012/11/3

発表場所:名古屋大学(愛知県)

発表者名:佐藤伶香, 野方 誠

発表タイトル:一体構造型把持鉗子の設計試作と血管カテーテルへの搭載

学会等名:日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会2012

発表年月日:2012/5/29

発表場所:アクティシティ浜松(静岡県)

発表者名:Makoto Nokata

発表タイトル:Deformable Robot Maneuvered by Magnetic Particles for Use in a Confined Environment

学会等名:012 IEEE International Conference on Robotics and Automation

発表年月日:2012/5/17

発表場所:Saint Paul (USA)

発表者名: Makoto Nokata
発表 標 題 :Development of 2mm
Forceps with high grasping force for
flexible endoscopic surgery
学会等名:China-Japan SYMPOSIUM
on ADVANCED ROBOTIC
発表年月日:2012/04/25
発表場所:立命館大学 (滋賀県)

発表者名: 野方 誠
発表標題:医用ロボティクスの薬学応用
学会等名:第3回 ナノバイオ創薬研究
シンポジウム
発表年月日:2012/03/14
発表場所:京都大学 (京都府)

発表者名:Makoto Nokata
発表 標 題 :Medical Robot Driven by
External Magnetic Force in Human
Body's Internal Field
学会等名:ShU-RitsU Joint Workshop
on Field Robotics
発表年月日:2011/12/28
発表場所:Shanghai (China)

発表者名:Makoto Nokata
発表標題:Mechatronics for Medical and
Rehabilitation Support
学 会 等 名 : 2011 International
Symposium on Nano Science and
Technology
発表年月日:2011/11/19
発表場所:Tainan (Taiwan)

発表者名:野方 誠
発表標題:柔軟な円筒胴体の外部磁場に
よる狭わい空間移動
学会等名:第29回日本ロボット学会学術
講演会
発表年月日:2011/09/9
発表場所: 芝浦工業大学 , 豊洲キャンパ
ス (東京都)

発表者名:野方 誠
発表標題:軟性内視鏡手術用極細径生検
鉗子の設計製作
学会等名:第19回日本コンピュータ外科
学会大会
発表年月日:2010/11/4
発表場所:九州大学 (福岡県)

発表者名:野方 誠
発表標題:比重の小さい磁性粒子を用い
た磁場回転移動
学会等名:第28回日本ロボット学会学術
講演会
発表年月日:2010/09/23

発表場所: 名古屋工業大学 (愛知県)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

野方 誠 (NOKATA MAKOTO)
立命館大学・理工学部・准教授
研究者番号 : 80335067