

磁気強度で関節剛性を制御可能な 微細作業用マニピュレータ

金沢大学 理工研究域 フロンティア工学系 教授 田中 志信

2019年8月22日



概要

- ・ 微細作業用のマニピュレータとして「外科手術(体腔鏡下手術)支援」への適用を想定.
- 多関節で任意の関節の屈曲方向を自由に選べ、さらに各関節の硬さ(剛性)を任意に設定可能な小型マニピュレータの具現化を最終目標.
- そのための要素技術として、印加する磁界強度により剛性が変化する「磁気粘弾性コンパウンド」を内蔵した関節を開発した。

背景



- ◆近年の医療での特徴は低侵襲

 - ・傷が小さい・身体的負担が少ない

 - ・回復が早い・出血量が少ない



体腔鏡下外科手術が広く普及

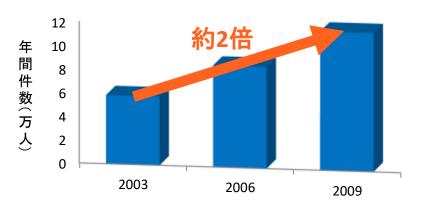
◆体腔鏡下外科手術 体の数箇所切開しトロッカーを挿入, そこに内視鏡や手術器具を挿入し ビデオモニターを見ながら行う手術

利点

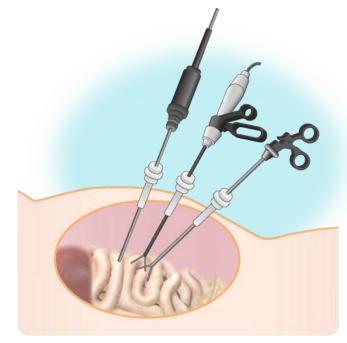
- 傷が小さい
- 術後の回復が早い
- 術後疼痛が微小

欠点

- 手術道具の干渉
- 内視鏡視野に死角
- ★観察,可動範囲が限られる



腹腔鏡下手術等の内視鏡外科手術総症例数の推移 日本内視鏡学会,日本産科婦人科内視鏡学会,及び日本Endurology・ESWL学会

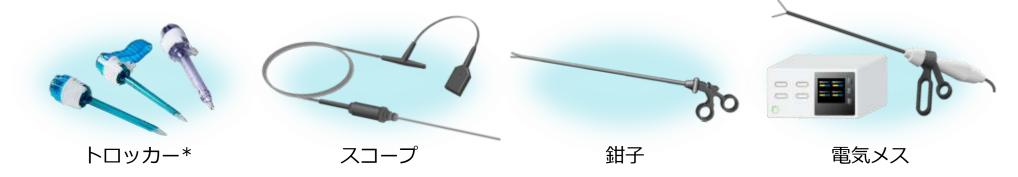


内視鏡手術

背景•目的



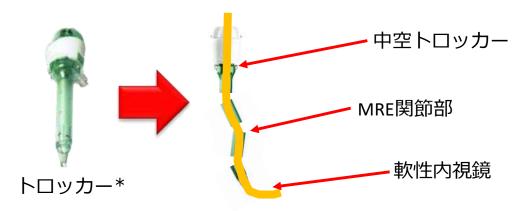
◆体腔鏡下手術に用いる主な手術器具



- ・関節がない
- ・可動範囲が限られる



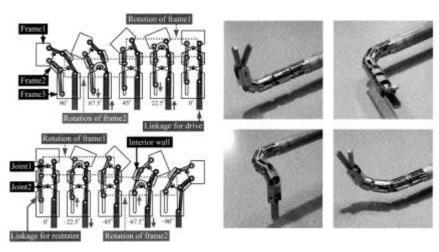
任意の関節のみを屈曲可能な内視鏡下手術支援 のための多関節マニピュレータの開発



従来技術と課題



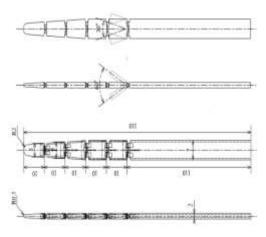
リンク式マニピュレータ



山下紘正ら. (2004). 多節スライダ・リンク機構を用いた腹部外科手術用鉗子マニピュレータの開発. 日本コンピュータ外科学会誌, 5(4), 421-427.

- ・1関節の自由度は "1"で,2自由度を得るには最低 2 関節必要.
- ・障害物を避けるようなS字 状の屈曲は不可.

ワイヤ式マニピュレータ





早稲田大学大学院理工学研究科,岡本淳,"低侵襲手術用 空間確保マニピュレータに関する開発"2006年3月

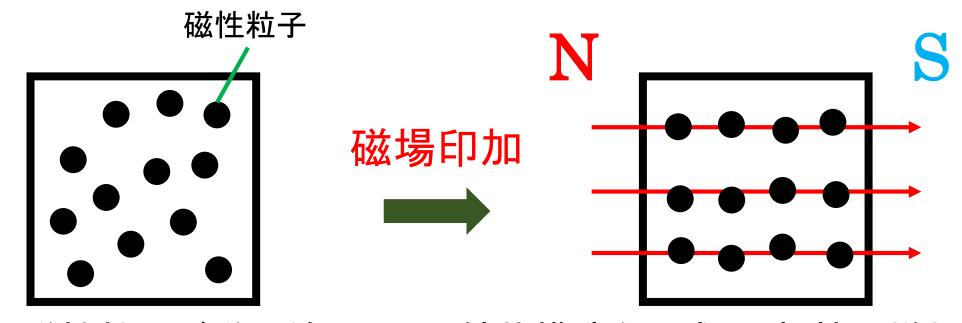
- ・1関節で2自由度が可能だが、4本のワイヤと4個のモータが必要.
- ・関節数が増えるとワイヤ本数とモータ数も増加.

本技術の特徴



磁性コンパウンド

外部磁場強度を制御することで力学特性を変化させることが可能な機能性材料



内部磁性粒子が磁力線に沿って鎖状構造を形成 → 抵抗力増加 磁場印加前後で粘度や弾性率等の特性が変化

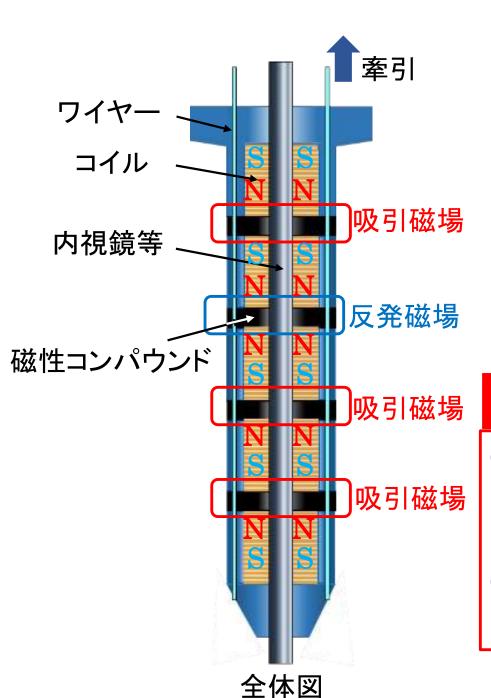
> 小松崎俊彦; 岩田佳雄; 山下剛. 磁気粘弾性エラストマの開発とセミアクティブ振動制御への応用. 日本機械学会論文集 C 編, 2011, 77.784: 4510-4520.

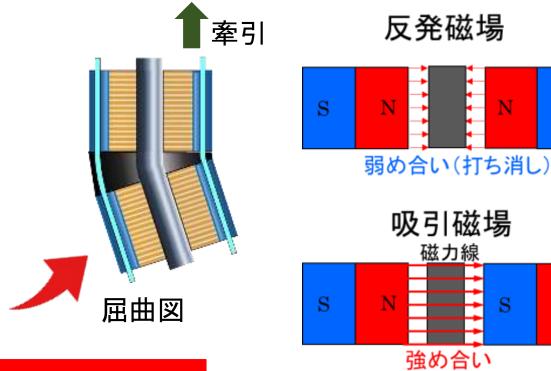
多自由度の関節剛性を磁場強度で制御

マニピュレータ構造案



N



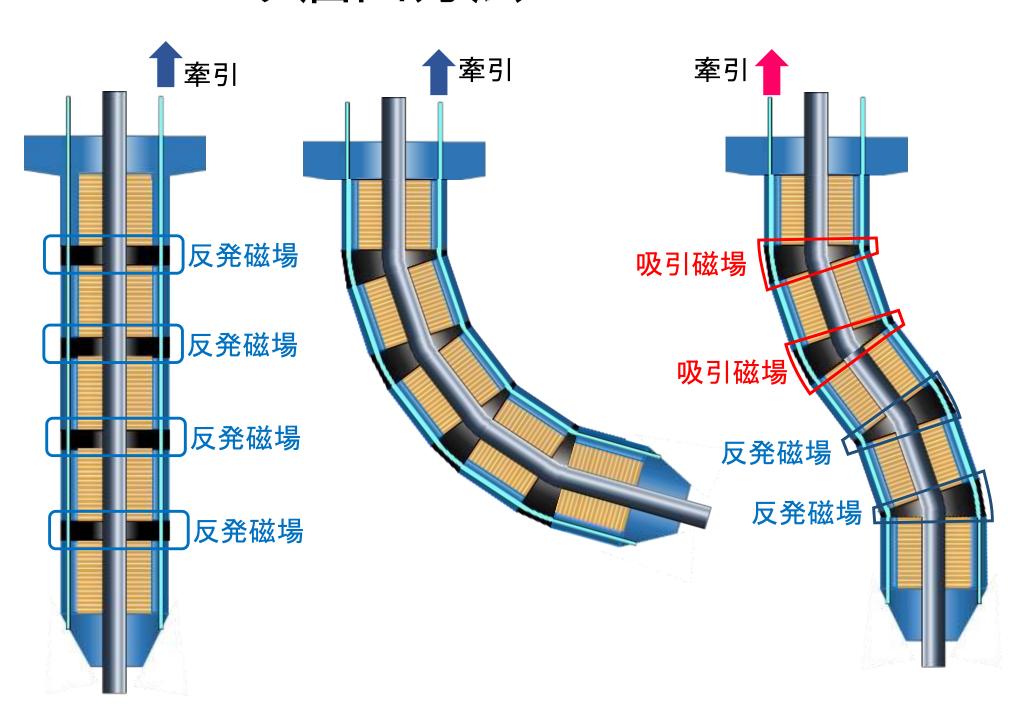


最重要課題

- ① 吸引磁場印加時と反発磁場印加時で関節剛性に差を生じさせる
- ② 屈曲した状態で角度を固定し関節毎に異方向へ屈曲させる

マニピュレータ屈曲方法



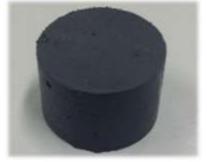


プロトタイプ関節部



磁気粘弾性エラストマ (MRE: Magneto-Rheological Elastomer)

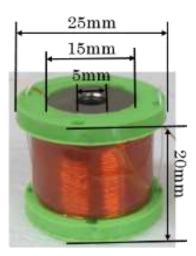
小松崎俊彦; 岩田佳雄; 山下剛. 磁気粘弾性エラストマの開発とセミアクティブ振動制御への応用 . 日本機械学会論文集 C 編, 2011, 77.784: 4510-4520.



MRE

シリコン内部にカルボニル鉄粉を分散固定

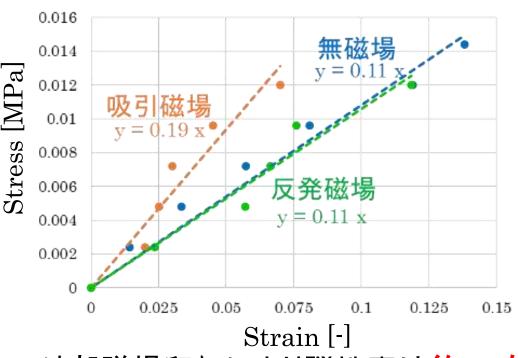
- 外部磁場により弾性的性質を可変
- •任意の形状に成形可能
- •粒子が沈降しない



▶ コア材: 快削純鉄

- ➤ フランジ:PLA
- ➤ 銅線径: φ0.3mm
- ▶ 巻数:約410巻
- ➤ 性能:1Aで約60mT

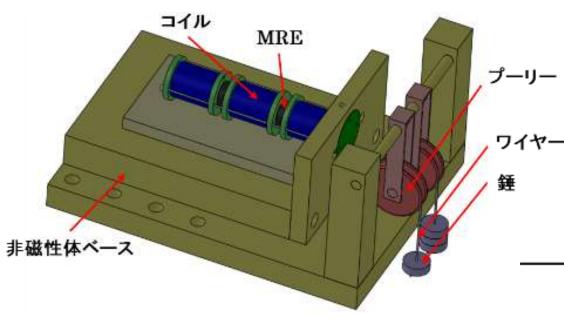
電磁石の外観



外部磁場印加により弾性率は約1.7倍

関節部屈曲試験





- 左右のワイヤーに異なる個数の錘を 吊り下げる
- 第1コイル・第2コイル・第3コイルに 電流を流し関節の磁場を制御

	磁場条件		屈曲角度 [deg]	
	第1関節	第2関節	θ1	θ2
I	吸引	吸引	0.6	2.0
П	吸引	反発	3.0	7.9
Ш	反発	吸引	6.6	2.7
IV	反発	反発	5.3	8.1

第3コイル 第2関節 第2コイル 第1関節 第1コイル

固定部

角度の定義

吸引磁場でも屈曲してしまっている為 磁性コンパウンドや電磁石を改良することで 磁場印加時の関節剛性を高める必要あり

磁性コンパウンドの改良





MRG (無磁場状態)



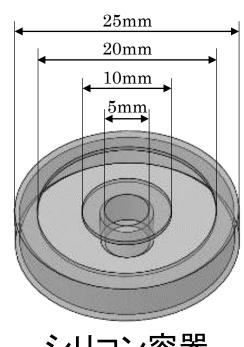
MRG (磁場印加時)

磁気粘弾性ゲル

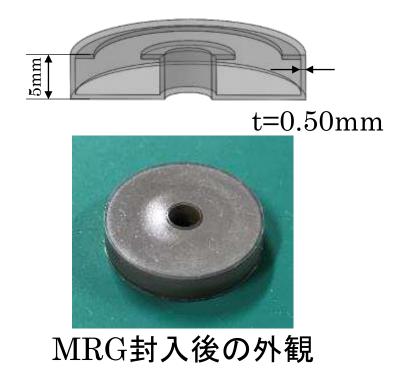
(MRG: Magneto-Rheological Gel)

カルボニル鉄粉と媒質を所定重量比で混合

- •エラストマと比較して内部磁性粒子の易動性が高い
 - ➡ 鎖状構造を形成しやすく大きな特性変化
- シール性を考慮する必要がある

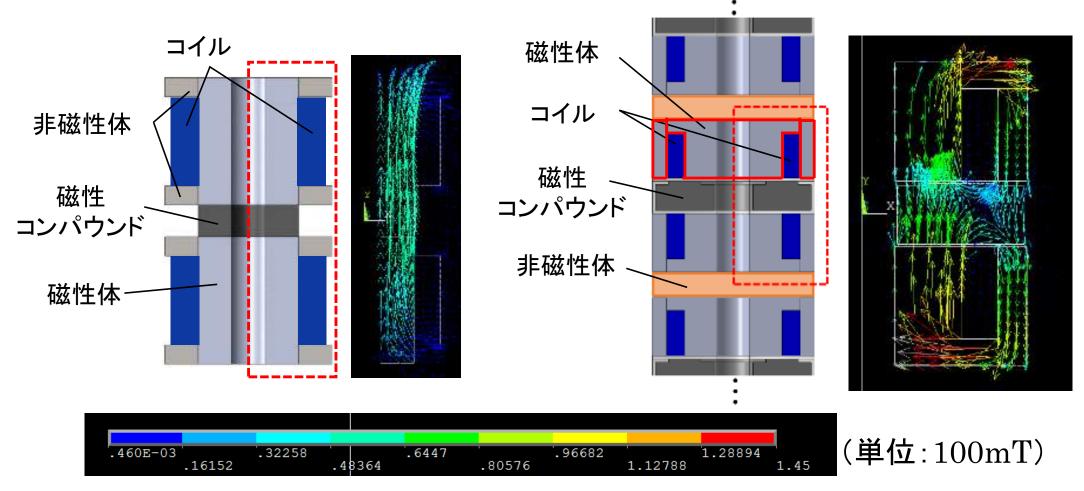


シリコン容器



電磁石の改良





コア・フランジを一体化させ磁性体の外殻を付設する



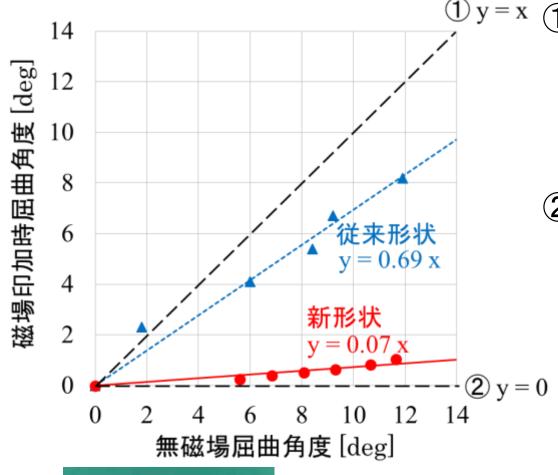
磁気閉回路形成

ループ内に磁性コンパウンドを配置する事でより磁束を磁性コンパウンドに集中できる構造を新たに考案

従来構造の約1.4倍の磁束密度を確認

屈曲試験における性能評価





x = x ① y = x 磁場印加時屈曲角度=無磁場屈曲角度



屈曲角度の差が最小=性能0%

② y = 0無磁場屈曲角度の値に関わらず 磁場印加時屈曲角度が0



屈曲角度の差が最大=性能100%



新形状関節部

MRE(従来形状)関節部 性能: (1 - 0.69) × 100=31 % MRG(新形状)関節部 性能: (1 - 0.07) × 100=93 %

約3倍の性能改善に成功

屈曲角度固定試験

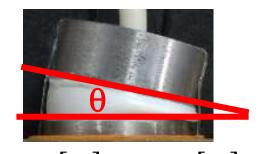


課題:屈曲角度の固定

- (1) 無磁場状態(関節が軟らかい状態)で 右側に荷重を加え十分に屈曲させる
- (2) 屈曲した状態で磁場を印加することで関節を固定したに任意の荷重を加える
- (3) 各屈曲状態の屈曲角度を上部から撮影した 写真から測定する



新形状関節部



L:0 [N] R:3.8 [N] 無磁場 θ:12.0 [deg]



L:0 R:0 磁場印加 11.7



L:2.6 R:0 磁場印加 11.4



L:3.8 R:0 磁場印加 11.1

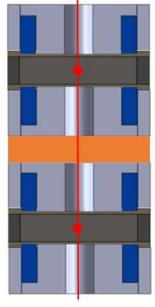
関節内部に封入したMRGが屈曲した状態で形状を保つことで 屈曲角度の戻りを1割程度におさえる事に成功

マニピュレータ操作例









第1関節

第2関節

- (1)無磁場状態で第1関節, 第2関節共に屈曲
- (2)屈曲した第1関節に磁場を印加し固定
- (3)第2関節を無磁場状態で屈曲
- (4)屈曲させた第2関節に磁場を印加し固定
- (5)第1関節を無磁場状態で屈曲



新技術の特徴・従来技術との比較

多関節マニピュレータの関節部に磁性コンパウンドを用いることで・・・

- ① リンク式の欠点:1関節の自由度が"1"で、関節数を増やしてもS字状の屈曲は不可.
- ★新技術:1関節の自由度"2"でS字状屈曲も可能.
- ② ワイヤ式の欠点:関節数が増えるとワイヤ本数とモータ数が増加.
- ★新技術:関節数が増えてもワイヤ本数とモータ数は"4"のまま.



想定される用途

• 体腔鏡下手術支援 · 脳外科手術支援器具

• 顕微鏡下マニピュレーションシステム

• 狭小空間におけるマニピュレーション機器



実用化に向けた課題

現在、関節部分の構造が固まりつつあるレベルで、実用化に向けては以下に示すように多くの課題がある.

- 関節剛性の更なる改善, 小型 軽量化, コイルの省電力化(発熱低減), ワイヤ牽引制御機構の開発, etc.
- 医療応用に向けて:薬事のクリア,滅菌への対応,ディスポーザブル化, etc.



企業への期待

・下記技術を持つ企業との共同研究(または少数試作の受注)

高性能永久磁石の製作・加工 高性能マイクロコイルの製作 袋状シリコンゴムの成形

手術支援機器を開発中の企業、特に体腔鏡 下低侵襲手術分野への展開を考えている企業との共同研究。



本技術に関する知的財産権

• 発明の名称:多関節マニピュレータ

• 登録番号 : 特許第6482079号

• 出願人 : 金沢大学

• 発明者 : 田中志信, 小松崎俊彦



お問い合わせ先

金沢大学 ティ・エル・オー ライセンシング アソシエイト 吉田 真弓

TEL 076-264-6115
FAX 076-234-4018
e-mail info@kutlo.co.jp