

消化管内走行カプセル

桐蔭横浜大学 ○小櫛 拓人, 桐蔭横浜大学 ◎伊藤 高廣 教授, 小笠原プレジジョンラボラトリー 林 輝

要旨

消化管の手術後に行う導通試験の時間短縮のため、走行カプセルの研究を行ってきた。現在カプセルの走行には交流電源が用いられており、有線であるためにカプセルが飲み込みづらいという欠点がある。そこでカプセルを無線化することが現在の課題となっている。無線化をする方法の一つとしてカプセル内に電池を搭載させることが挙げられる。本研究では直流電源を用いた無線化実現の可能性を探ることを目的としている。

1. 研究目的・意義

現在、消化管の手術後の導通試験としてゴム球が使用されている。しかしゴム球は消化管のぜん動運動のみで動いているため排出されるのに長い時間を要する。そこで自走式のカプセルを用いれば大幅な時間短縮が見込まれるとして研究が行われてきた。時間を短縮することが出来れば患者のストレス減少や入院費用の節減にも繋がるからである。しかし現時点ではカプセルが有線であるために飲み込みづらいという大きな欠点がある。そこでカプセルの無線化が大きな課題となっており、無線化実現の方法の一つとしてカプセル内にボタン電池を搭載させるという方法がある。現在のカプセルは交流電源を用いて動かしているために電池で動かすことは出来ない。そこで、本研究では直流電源を用いた無線化実現の可能性を探ることを目的とした。

2. 研究の方法

研究はまず交流電源を用いて走行するカプセルを製作し、そのカプセルと比較用に直流電源を用いて走行するカプセルを製作した。そして製作した両カプセルの比較実験を行った。これ以降、交流電源を用いて走行するカプセルのことを交流カプセル、直流電源を用いて走行するカプセルのことを直流カプセルと呼ぶことにする。

2.1 交流カプセルの概要

製作した交流カプセルの構造を図1に示す。カプセルはカプセル本体とコイル、および可動質量で構成されている。コイルには直径 0.1[mm]のエナメル線をアルミニウム製のシリンダーの回

りに 100 回巻きつけてある。可動質量は直径 3[mm]、長さ 10[mm]のネオジウム製の永久磁石である。カプセル本体に固定しているコイルに交流電流を流すと電流の流れる方向が周期的に変化するため、コイルによる磁界の方向も変化する。それにより永久磁石がピストン運動をする。永久磁石が移動する際に発生する慣性反力と壁面への衝突で発生する衝突力の組み合わせでカプセルが走行することが出来る。またカプセルに加える入力波形の電圧値、デューティ比、オフセット比を変えることでカプセルの走行速度を変えることが出来る。

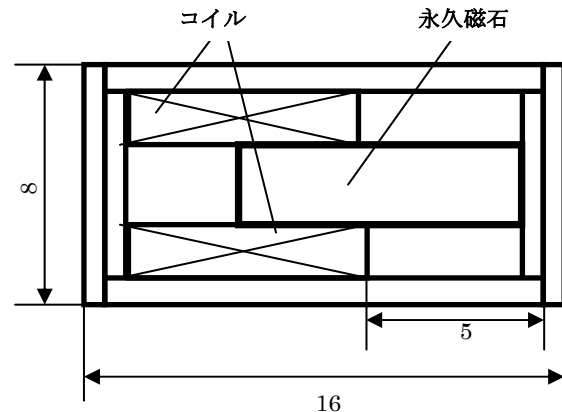


図1 カプセルの構造 (単位: mm)

2.2 直流カプセルの概要

カプセル本体のサイズ、構造、使用している磁石は交流カプセルと同じだが、直流カプセル内にはシリンダーに直径 0.1[mm]のエナメル線を 100 回ずつ二重に巻いており、コイルが 2 つ存在する。流れる電流の方向が逆である 2 つのコイルを周期的に切り替える事で磁界の方向を変化させることが出来、永久磁石に交流カプセルの時と同様のピストン運動を再現させている。コイル

の切り替え方法として無安定マルチバイブレータ回路を利用している。直流カプセルの回路図を図2に示す。無安定マルチバイブレータ回路の信号が出力される部分に直接コイルを接続しても電流値が低いいためコイルは電磁石として機能しない。そこで図2中のトランジスタTR1、TR4を用いて電流値を増幅している。また抵抗Rx、Ryは可変抵抗となっており、信号が出力される周期を変化できるようになっている。本研究ではカプセルと回路基板を分けて製作した。

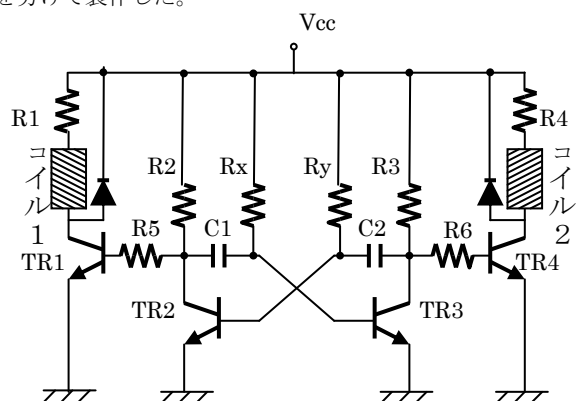


図2 直流カプセル回路図

2.3 両カプセルの表面温度の比較

カプセルは長時間作動させると発熱するという問題がある。交流、直流両カプセルの走行速度を10[mm/s]に統一して電流を流し始めてからの7分間、1分刻みで表面温度測定を行った。

2.4 両カプセルの電磁力比較

カプセルの移動速度を理論的に解析するには電磁力を測定する必要がある。交流、直流両カプセルに内蔵されているコイルの電磁力測定を行った。永久磁石がコイルから飛び出ている長さを2~8[mm]、1[mm]刻みで変化させて計測を行った。加える電圧値1.5~3.5[V]で計測している。

3. 実験結果とその意味

3.1 直流カプセルの走行

無安定マルチバイブレータ回路を用いた直流カプセルは走行することに成功した。可変抵抗Rx、Ryの抵抗値を変化させることによりカプセルの走行速度の変化も確認することが出来た。これは可変抵抗の値を変化させる事で信号の出力周期が変化し、交

流カプセルの入力波形のデューティ比を変えることで交走行速度が変化する時と同じ現象が起こっていると考ええる。電圧3.0[V]で走行が確認できたため、回路基板を小さくすることが可能ならば、ボタン電池と共にカプセル内に搭載することが出来、無線化実現も可能と考える。

3.2 両カプセルの表面温度の比較結果

速度統一時の両カプセルの表面温度の比較結果を表1に示す。温度は全てセ氏温度である。それぞれ最高温度と最低温度の差に注目すると直流カプセルは0.8[°C]、交流カプセルは4.0[°C]の直流カプセルのほうが交流カプセルに比べて上昇量が少ない。ジュールの法則からジュール熱は電流値の2乗に比例する。これは同じ速度で比較したときに直流カプセルのほうが流れる電流値が低いためだと考える。将来、カプセルを服用する場合、人体に熱による悪影響が出ると考える。よってカプセルの表面温度計測はこれからも重要になると考える。

表1 両カプセルの表面温度の比較結果

時間[分]	開始	1	2	3	4	5	6	7
交[°C]	21.5	23	23.8	24.9	25.5	25.3	24.5	24.3
直[°C]	22.4	22.6	22.6	23.0	23.0	23.0	23.1	23.2

3.3 両カプセルの電磁力比較結果

測定結果から電圧値2.5[V]をコイルに加えたときの結果を抽出し、両カプセルの電磁力比較結果を図3に示す。結果を見るとどのコイルでも電磁力が最大となる距離が存在することが分かる。カプセルの走行速度は永久磁石が壁に衝突する時の衝突力が影響するため電磁力が最大となる距離で衝突するように設計すればより速い走行カプセルを製作することが出来ると考える。

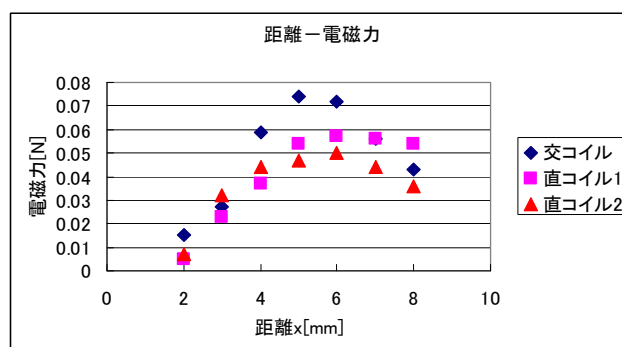


図3 両カプセルの電磁力比較結果