

レプトスピラ菌の水中駆動力推定のための 磁気マイクロマシンの適用

東北学院大学工学部 学生員 ○佐藤将基, 山崎聡之
東北学院大学工学部 正会員 韓 連熙, フェロー 石橋良信
東北大学電気通信研究所 石山和志, 那須野 弘

1. はじめに

レプトスピラ症は、経皮感染する人畜共通感染症で、発熱、悪寒、頭痛、筋痛、結膜充血などの初期症状をもって発病しタイプから、黄疸、出血、腎不全を伴う重篤なワイル病まで多岐にわたる。レプトスピラ菌は、スピロヘータ目のレプトスピラ属に属するグラム陰性細菌で、大きさは $0.1 \sim 0.15 \times 6 \sim 24 \mu\text{m}$ で、右巻きの螺旋状細菌であり、一端または両端が鉤状に曲がっているのが特徴である。

レプトスピラ菌が水中でどの程度の推進力をもって移動するか、また皮膚へどの位の力で侵入するかは検討されていない。今回、これらの推進力について磁気スパイラルマイクロマシン（以下、マイクロマシン）を用いて推定した結果について報告する。

2. 実験装置および方法

レプトスピラ菌を想定したマイクロマシンを作製した。回転し、推進するマイクロマシンは、駆動力、抵抗力ともに寸法の 3 乗に比例するため、マイクロマシンの小型化にはスケーリング則の制限を受けない¹⁾。実験に供したマイクロマシンは、*L. interrogans* の 5,000 倍の大きさで、タングステン線をスパイラル状にし、先端には磁石を取り付けてある。図-1 にマイクロマシンを示す。



図-1 磁気マイクロマシン

磁力による回転のための装置は、ガウスメーター、ファンクション・ジェネレータ、2 軸コイルから成っている。水中を想定した実験では、水を浸した試験管にマイクロマシンを入れ、2 軸コイルの中に垂直にセットした。

また、回転数（周波数）は、基本的に 100 回/s と仮定した²⁾。一方、軟寒天の実験では、化学走性実験で菌の侵入がみられた 0.25 g/50 mL (5 g/L), 0.30 g/50 mL (6 g/L), 0.35 g/50 mL (7 g/L) の 3 種の軟寒天を作製し、試験管の液体部にはシリコンオイル（動粘度 1,000 と 100 cSt センチストークス）を満たし、重力の影響を外すため 2 軸コイルに水平に設置した。シリコンオイルは（GE 東芝シリコン TSF451-1000 および 100, GE 東芝シリコン(株)）を用いた。なお、軟寒天へマイクロマシンが食い込む力は、寒天の表面での押しつける力であり、一度食い込んでしまえば油でも水でも同様な値を得ることができる。

3. 実験結果および考察

(1) 水中での推進力

マイクロマシンの回転を計算する場合、磁界の強さは磁気トルクに換算する必要がある。磁界の強さと磁石の強さの積がトルク（磁気モーメント）になる。

$$T = M \times H \times \sin \theta$$

T: 磁気トルク, M: 磁気モーメント

H: 磁気の強さ, θ : 磁界と磁気モーメントのなす角 ($\sin \theta \approx 1$)

図-2 は、磁界の強さと周波数との関係を示している。

キーワード: レプトスピラ菌 磁気マイクロマシン 推進力 経皮感染

住所: 多賀城市中央一丁目 13-1・電話 022-368-7418, FAX: 022-368-7070



図-2 磁界の強さと周波数との関係

磁界の強さと周波数との関係から単位換算し、今回使ったマイクロマシンでは、少なくとも 3.7×10^{-7} Nm以上のトルクを出して動いていることが判明した。

したがって、レプトスピラの場合には、マイクロマシンが5,000倍であることを考慮して；

回転数が100回の場合には、

$$T = 2.9 \times 10^{-18} \text{ Nm}$$

また、回転数が50回の場合には、

$$T = 1.5 \times 10^{-18} \text{ Nm}$$

となり、これより大きいトルクなら菌は回転し、水中を移動していると推察される。

(2) 軟寒天への侵入力

推力は；

$$\text{推力 (N)} = mg - \rho Vg$$

m ：マイクロマシンの質量

ρ ：シリコンオイルの比重

V ：磁石の体積 g ：重力加速度

で表わされる。

ここで、浮力である ρVg は非常に小さいので計算では無視することができる。

図-3は、周波数と推力の実験結果を図示している。

オイル中でマイクロマシンが釣り合った状態から求まる原点を通る直線を利用し、マイクロマシンが寒天に食い込んだときの周波数（横軸）に対する推力（縦軸）であれば、マイクロマシンは軟寒天に侵入する力を得ることができる。基本的に、同じ濃度の寒天では、ほぼ同じ推力になるはずであり、近似の値のとき確からしいと判断できる。

マシンが軟寒天に食い込むときの Hz に対する縦軸の値は；

平均値で、

$$1,000 \text{ cSt の場合 } 1.1 \times 10^{-8} \text{ N}$$

$$100 \text{ cSt の場合 } 4.5 \times 10^{-9} \text{ N}$$

と見積もられた。

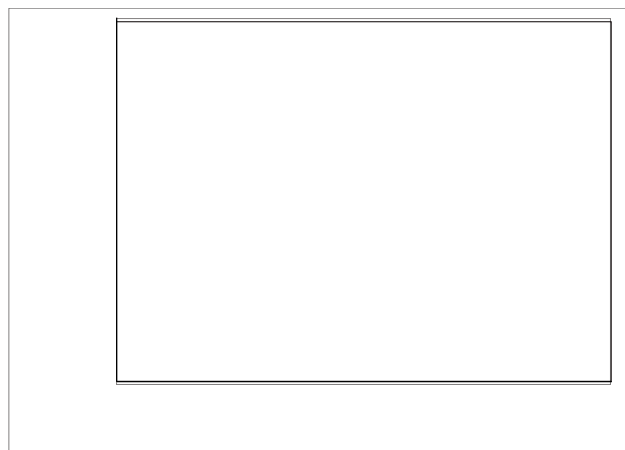


図-3 周波数と推力の関係

以上の実験の結果から、レプトスピラ菌が寒天に食い込む推力に換算すると、 $9.0 \times 10^{-13} \text{ N} \sim 2.2 \times 10^{-12} \text{ N}$ の力で実験に供した軟寒天に侵入する可能性があるかと推測される。

実験により、軟寒天の中に入る推力が得られた事実は皮膚からのレプトスピラ菌が侵入する力を推定する際に大きな知見を与えられられる。

4. おわりに

磁気マイクロマシン実験を通して、水中での推進力および寒天に侵入する力を推定することができた。

今後は、実際の皮膚への侵入の対応を考察したいと考えている。

参考文献)

- 1) 石山和志他：磁気トルクを利用したマイクロマシンの小型化に関する検討，電気学会論文誌 E，Vol.126，No.11，pp.590-595，2006.
- 2) 曲山幸生：Private Communication