

らせん形状生物にめっき 電磁波に応答するマイクロコイルの開発

(討論会タイトル バイオテンプレート法による金属マイクロコイルの作製と電磁波応答特性)

東工大資源研¹・住友鉱山開発センター²

鈴木壮一郎¹・伊藤香織¹・○彌田智一¹・山野辺康德²・菅本憲明²・山田厚²

(Tel: 045-924-5266) 討論会発表番号[1L5-09]

概要 蓮の茎にあるらせん状道管と藻類スピルリナの表面に金・銀・銅を無電解めっきし、30~50 μmのコイル直径をもつ微細コイルの作製に成功した。金属コイルは、直径が小さくなるほど高い周波数の電磁波に応答する。この特徴から、微細コイルは、ミリ波(30~300 GHz)を用いた超高速ワイヤレスコミュニケーション、さらには、光と電波の中間にあたるテラヘルツ波(0.3~3 THz)も含む、未開拓領域の高周波技術への応用が期待されている。

1. 維管束らせん紋をめっきする

「維管束」という言葉を覚えているだろうか?この言葉は、中学校の理科第2分野の教科書に出てくる。植物の茎の中を貫く小さなパイプの束であり、水や養分を運ぶ。維管束は、根から水や養分を運ぶ道管と光合成で作られた養分を運ぶ篩管からなる。その道管の壁には、セルロースからできた小さならせん状の組織が形成される。例えば、蓮根(レンコン:ハスの地下茎)や蓮の茎に切れ目を入れて引きちぎると、その切り口から細い糸が出てくる。これを顕微鏡で観察すると、いくつもの繊維が帯のように並び、らせん状に巻いた構造がみえる(図1)。これが維管束らせん紋である。実は、インターネットで調べると、中学や高校の理科クラブの教材になるほど知名度があることがわかる。この維管束らせん紋に銀めっきをしたところ、形状だけではなく、一本一本の繊維の内側まで一様に銀被覆されていることがわかった(図2)。らせん直径は約50 μm、ピッチは約100 μmであった。この大きさは、髪の毛の太さと同程度であり、精密機械工業で製造される最小のコイルに相当する。金属めっきテンプレートとなる維管束らせん紋をより小さな植物組織から採取すれば、さらに小さなコイルの作製が可能である。



図1 蓮の茎から維管束らせん紋を採りだす。

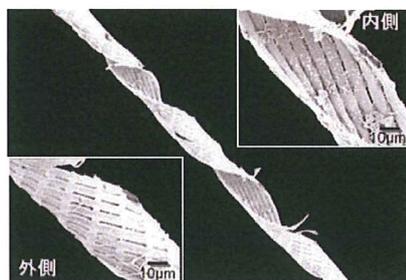


図2 銀めっきした蓮維管束らせん紋。内側と外側の拡大図を示す。

2. 単細胞微細藻類スピルリナをテンプレートに

スピルリナは、藍藻綱コレモ目の直径約30 μm、ピッチ約50 μm、長さ300-500 μmのらせん形状をした濃緑色の単細胞微細藻類である(図3)。国立環境研究所保有株から株分けされたチャド湖原産のスピルリナを専用培養液(SOT 培地, Spirulina-Ogawa-Terui の略)により培養した。これを濾過し、エタノール中に5分間浸漬し、表面洗浄した。その後、無電解めっきにより、金属被覆を行った(図4)。生体組織には、進化の末にたどり着いた様々な小さなかたちがある。これらは驚くほど緻

密で規則的である。故に、人工的に模倣し、大量に作製することは困難である。専門外ではあるが、生き物のかたちの形成には、それなりの理由があると思われる。めっきなどの化学反応を用いて金属や他の物質で被覆すると、元のかたちからは想像もつかない全く新しい性質が現れるのではないかと心躍る。私たちがテンプレートをキーワードに新しいものづくりに取り組んでいる理由でもある。

3. マイクロコイルの電磁波応答特性

電波（電磁波）は、電場と磁場が変化して空間を伝わる横波である。磁場が変化するとコイルに電気が流れる（電磁誘導、ファラデーの法則）。コイルの電流が変化すると磁場が変化（自己誘導、相互誘導）。自己誘導の起こしやすさは、自己インダクタンス（L、単位はヘンリー（H））として表される。これらは、高校物理の内容であり、釈迦に説法かもしれない。しかし、私たちは、この研究を通じて改めて勉強した。上述の特性から、コイルは電波を吸収したり発生したりする。電波は、その変化の速さ（振動数あるいは周波数）によって、携帯電話や電子レンジのマイクロ波、赤外線、可視光線、紫外線、X線など呼び名が異なる。どの振動数の電波に応答するかは、コイルの大きさと関係がある。今回作製したサンプルは、電磁誘導・自己誘導特性を示すコイルとして機能し、ギガヘルツ帯の電波に応答することがわかった。マイクロコイル一本を固定し、4端子法により、被覆金属に由来した電気伝導度を確認した。さらに、マイクロコイル両端にエナメル導線を配線し、SQUIDのサンプルホルダーロッド先端に固定した。SQUIDチャンバー内の磁束検出コイルの中心に位置するマイクロコイルに電流を流すと、誘導磁化の発生が確認できた。形状の異なる数種類のマイクロコイルについて測定し、コイル長、コイルピッチ、コイル巻き数など形状因子に依存した100 nHレベルの非常に小さい自己インダクタンスが得られた。コイルが応答する周波数 f は、 $f = 1 / 2\pi\sqrt{LC}$ （Lは自己インダクタンス、Cはコンダクタンス、単位はファラド(F)）と表されるので、小さいLほど高い周波数に応答することがわかる。電波応答の評価は、ネットワークアナライザを用いて行った。同軸管反射法により10~50 GHz範囲の電磁波吸収の周波数依存性評価を検討した。蓮由来の銀マイクロコイルを約2 mmの長さに切断し、含有量約1 vol%として、シリコン樹脂中に包埋した。このサンプルから数10 GHz領域に明瞭な吸収帯(-25 dB(0.32%)の反射損失)が検出され、99%以上の高周波電波が吸収されることがわかった。ギガヘルツ帯の電波は、大容量の情報を高速で送受信できる重要な電波である。近い将来、植物組織から作製した電子部品が使われる時代が来るかもしれない。

適用分野 無線通信・電磁波吸収体・マイクロアンテナ・チップインダクタ・高周波型近接センサ・集積回路・メタマテリアル

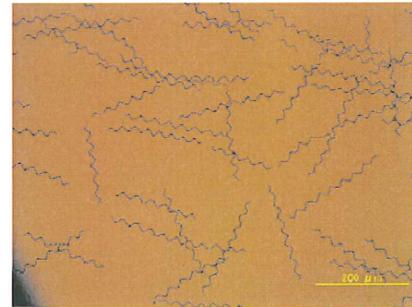


図3 単細胞微細藻類スピルリナの光学顕微鏡像。

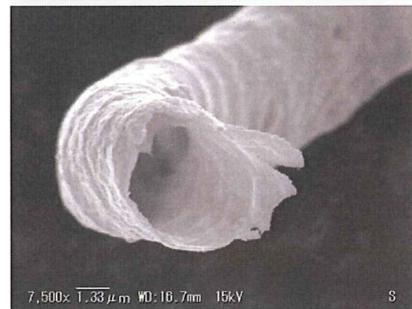
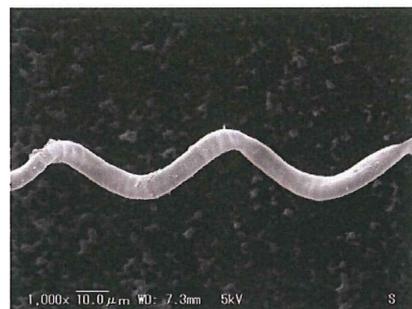


図4 スピルリナをテンプレートとした銅マイクロコイルのSEM像。めっき中スピルリナは溶けてしまうため、中空コイルになることがわかる（下図）。