

## らせん形状生物にめっき ミリ波、THz 波帯電磁波に応答する金属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テラヘルツ帯電磁波応答特性)

東工大資源研 ○鈴木壮一郎・鎌田香織・彌田智一

(Tel: 045-924-5246) 討論会発表番号[2U02]

**概要** ①蓮の茎にあるらせん状維管束と②微細藻類スピルリナの表面に、金・銀・銅を無電解めっきし、①50~100  $\mu\text{m}$ 、②30  $\mu\text{m}$  のコイル直径をもつ2種類の微細金属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. 維管束らせん紋にめっきする

中学校の理科の教科書に出てきた「維管束」。我々はこれを最初のテンプレートとして選んだ。植物の茎の中を貫く小さなパイプの束であり、水や栄養分を運ぶ役割を担っている。この維管束は根から水を運ぶ道管と、光合成で作られた栄養分を運ぶ師管からなっている。この道管の壁には、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、私たちが日頃食べている蓮根。この蓮根を切る時に切り口から細い糸がでてくる。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見える(図1)。これが維管束らせん紋である。我々

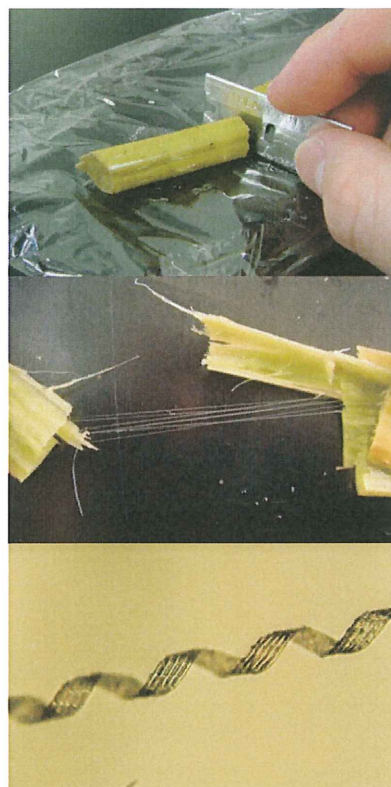


図1 蓮の茎(非食用部分)から維管束らせん

は、非食用部分である蓮根の茎の部分に着目し、維管束らせん紋を採取した。このらせん紋に銀めっきしたところ、形状だけでなく、一本一本の繊維の内側まで一様に銀被覆されている事がわかった(図2)。らせん直径は約50  $\mu\text{m}$ 、ピッチは約100  $\mu\text{m}$ 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。金属めっきの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。

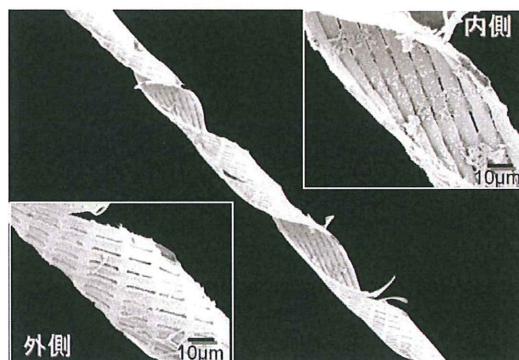


図2 銀めっきした蓮維管束らせん紋の走査型電子顕微鏡像。(内側と外側の拡大図を示す。)

### 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、藍藻綱ユレモ目の直径約30  $\mu\text{m}$ 、ピッチ約70  $\mu\text{m}$ 、長さ300-1000  $\mu\text{m}$  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、グルタルアルデヒド水溶液中に12時間浸漬し、表面を処理した。その後、無電解めっきにより、金属被覆を行った(図4)。この結果、テンプレートであるスピルリナを完全に反映した

金属マイクロコイルの作製に成功した。金属はめっき液を変更することで、金、銀、銅、ニッケルなど様々な金属に適応可能である。また、今回作製できた金属コイルは直径約 30  $\mu\text{m}$  と極小である。このような極小金属コイルを工業的に作製することは非常に困難であり、レーザー技術、真空技術等、多様な手法を用いても、大量に安価に作製することはできず、一本あたり 1 万円以上の価格となる。本研究は、生体をテンプレートとして無電解めっきを施すだけで、大量に安価に微小な構造を作製でき、工業的にも応用可能な作製方法である。

### 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）。これにより、コイルは電波を吸収したり発生したりすることができる。電波は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应答するかは、コイルの大きさと関係がある。今回作製したマイクロコイルはそのサイズから、ギガヘルツ帯～THz 帯と呼ばれる 3 GHz～300THz の電波に应答する可能性があり、これらの帯域における電磁波応答特性を測定した。ミリ波帯での測定では自由空間法により電磁波吸収特性を測定した（図5）。蓮由来銅マイクロコイルは約 2 mm の長さに切断し、含有量  $10^{-2}\text{wt}\%$  としてシリコン樹脂中に包埋した。スピルリナ由来銅マイクロコイルは 10wt% でシリコン樹脂中に包埋した。測定結果から、蓮由来コイルでは -10dB（入射波に対して 90%）の吸収、スピルリナ由来コイルでは -30dB 以上（入射波に対して 99.9%以上）の吸収を示した。これは低濃度であるにも関わらず、優れた結果であり、工業的にも応用が期待される。

テラヘルツ帯域の測定では、スピルリナ由来銅マイクロコイルを 3wt% でパラフィン中に包埋し、THz 時間領域分光法を用いて 0~2THz の帯域で測定を行った。この結果、左右円偏光に対して、選択的吸収挙動が確認され、作製した金属マイクロコイルが光学活性を示すことを確認した。

蓮の維管束ならびにスピルリナは左巻きのコイル形状しか存在しないという特異的な性質を持っている。この所以は自然の妙であるが、その形状を反映した特性を確認する事ができた。これらの結果から、今回作製した金属マイクロコイルは特定円偏波吸収体や、メタマテリアルなど広く応用が期待される。電波は大容量の情報を高速で送受信できる。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・特定円偏波吸収体・集積回路・メタマテリアル・光学活性体

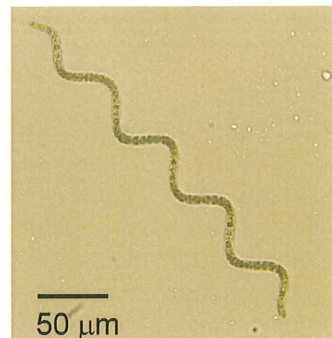


図3 単細胞微細藻類スピルリナの光学顕微鏡像。

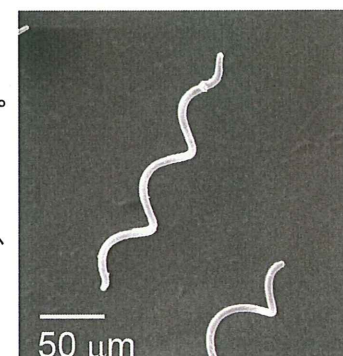


図4 スピルリナをテンプレートとした銅マイクロコイルの走査型電子顕微鏡像。

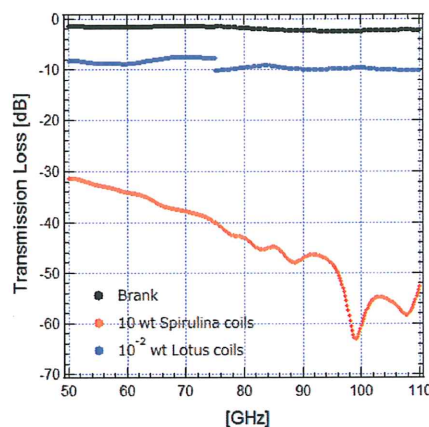


図5 蓮由来金属コイル(青)、Spirulina由来金属コイルのミリ波帯透過減衰(リファレンス(黒))