

論文

植物マイクロコイル含有電磁シールド材

上野 武司*¹⁾ 竹村 昌太*¹⁾ 小林 丈士*²⁾ 島田 勝廣*³⁾
菅本 憲明*⁴⁾ 山野辺 康徳*⁴⁾ 山田 厚*⁴⁾

Electromagnetic shielding material containing plant micro-coils

Takeshi Ueno*¹⁾, Shota Takemura*¹⁾, Takeshi Kobayashi*²⁾, Masahiro Shimada*³⁾
Noriaki Sugamoto*⁴⁾, Yasunori Yamanobe*⁴⁾, Atsushi Yamada*⁴⁾

Micro-coils can be produced from a spiral organ of plant origin (Spirulina, a type of vascular and algae) by electroless plating. The electromagnetic properties of silicone sheets containing copper-plated micro-coils have been investigated to evaluate their possibility as an electromagnetic absorption material. Permeability measurements indicated a substantial increase in the specific permeability in contrast to sheets without the micro-coils. 3mm-thick sheets indicated an electromagnetic absorption of 20dB at the maximum in the measured frequency range of 1 to 40GHz.

キーワード: マイクロコイル

Keywords: Micro Coil, Spirulina, EMC

1. 緒言

藻類の一種であるスピルリナは、藍藻綱ユレモ目の幅約 5-8 μm , 長さ約 300-500 μm ほどの「らせん形」をした濃緑色の単細胞微細藻類であり、熱帯地方の湖に自生する。スピルリナの表面は有機物で構成されているため導電性が殆どない。しかしながらスピルリナの表面に無電解めっきを行って金属皮膜を形成し導電性を付与することで、マイクロコイルを形成することができる⁽¹⁾。この方法は等方的にめっきが可能であるため、有機物の表面を覆うように金属材料の皮膜を形成することができる。

本研究では、スピルリナ表面に銅、ニッケルあるいは銅・ニッケル合金の皮膜を形成することを試みている。無電解めっきは、試料の表面に触媒を吸着して、めっき液に浸すことにより還元反応で金属材料を形成することができる。処理後のスピルリナ表面に対し走査型電子顕微鏡による観察と EDX による元素分析を行った。

作製したマイクロコイルを電磁シールド材に利用可能か評価するためマイクロコイルを含有させた樹脂シートを作製した。近年、ミリ波の応用が検討されており⁽²⁾、この周波数領域での電磁シールドの要求が高まりつつある。スピルリナを母材とするマイクロコイルは、その寸法及び形状の均一性からミリ波領域で最適な電磁波シールド材となる可能性がある。そこで作製したシートマイクロストリップ

ライン法により 1~40GHz の吸収性能を評価した。

2. 実験方法

培養したスピルリナを準備し、無電解めっきを行った。無電解めっきは、表面に触媒を吸着させて、還元反応によりめっきを行うものである。めっきにより形成される材料は、銅、ニッケル、銅・ニッケル合金である。作製したマイクロコイルは、走査型電子顕微鏡で表面を観察した。また皮膜の元素分析は EDX を用いて実施した。またマイクロコイルの集合体の電気抵抗も測定した。

作製したマイクロコイルは、2液混合によるシリコーンゴムに含有させてシート化した。シリコーンゴムのみのシートを基準として、吸収性能を評価した。吸収性能は、マイクロストリップライン法を用いて評価した。

2.1 めっき材料の電気抵抗の測定

めっき材料としては、銅、ニッケル、銅・ニッケル合金の3種類について検討した。銅及びニッケルの合金の比率を変化させることにより、電気抵抗を制御することを試みた。これは、電磁波吸収を行う際に、吸収材内に電磁波が吸収材表面で反射しないように電気抵抗値を制御することが求められているためである。銅、ニッケル及び銅ニッケル合金の抵抗率の関係を図1に示す。

*1) 多摩テクノプラザ

*2) エレクトロニクスグループ

*3) 技術経営支援室

*4) 住友金属鉱山株式会社

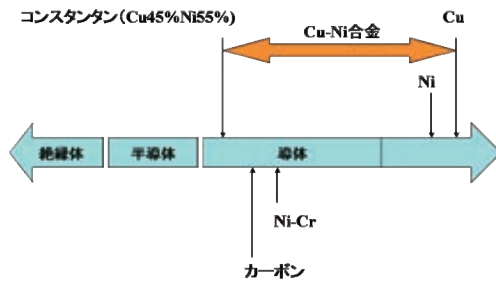


図1. 銅、ニッケル及び銅ニッケル合金の抵抗率

ニッケルを 55%含有するコンスタンタン組成で抵抗率が最大となり、その前後の組成では良導体から抵抗体までの広い範囲で、電気抵抗が変化する。

試作した銅ニッケル合金マイクロコイルについては、EDX により、元素分析を行った。また、試作マイクロコイルについてシート抵抗を測定した。液状シリコン樹脂中で分散させたマイクロコイルを電極上に滴下し、抵抗値を測定した。

2.2 同軸管法によるマイクロコイルの評価 マイクロコイルを同軸管法の治具に接続し、電磁波吸収特性を測定した。同軸管法の治具は、ネットワークアナライザに接続し、そのときの信号の減衰を測定することにより評価した。減衰が見られる周波数及び吸収量の評価を行った。

2.3 マイクロコイル含有シートの作製と電気的特性測定 銅マイクロコイルのシートを以下の方法で作製した。銅の素材自体は比透磁率が 1 であり、磁界には影響しないので、マイクロコイルの形状の影響を受けているかがインピーダンス測定で確認が可能である。

マイクロコイルを埋め込む樹脂としてシリコンゴムを用いた。シリコンゴムとしては、速硬性型取り用バテ（アクサジャパン製ブルーミックス）を用いた。これは基材と触媒の 2 種類の素材を練り合わせて使用するものであり、マイクロコイルを均一に分布させることが可能であることから、この樹脂を選択した。練り合わせる時間は約 4 分、硬化時間は約 2 時間である。このときのコイルの方向については、等方的であると予想する。このゴムにマイクロコイルを混ぜて厚さ 1.6mm のシートを作製した。シートの大きさは、50×60×1.6mm とした。このときの基材と触媒の重量はそれぞれ 5g とし、シート全体の重さは 10g である。また、マイクロコイルを含有させたシートのコイルの含有量は、0.1g である。

シート内のマイクロコイルの有無による電気的特性の違いを、インピーダンスアナライザ（アジレント製 E4991A）を用いて比誘電率及び比透磁率の測定を行った。

2.4 電磁波級数性能の評価 電磁波吸収性能をマイクロストリップライン法により評価した。この方法は、マイクロストリップラインをネットワークアナライザに接続して信号を伝送させ、吸収体を配置したときの伝送信号の変化から評価する方法である。この方法は IEC62333 -1,-2 で規格化されており、近傍界の電磁波吸収性能を評価する方法である。その測定系の概要を図 2 に示す。

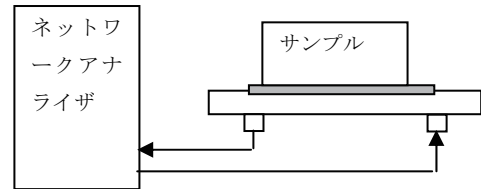


図2. マイクロストリップライン法

この方法を用いて、電磁波吸収性能に対するマイクロコイルの影響を、周波数特性として測定し評価した。

3. 結果および考察

3.1 作製したマイクロコイル 試作した銅ニッケル合金マイクロコイルの走査型電子顕微鏡像を図 3 に示す。



図3. 作製したマイクロコイル

図 3 より、内部のスピルリナ組織はめっき浴にほぼ溶解してしまい、無電解めっきによる表面導電層が残存した中空コイルが形成されている。そしてスピルリナのらせんの向きは左ネジになっている。

図 4 に試作銅ニッケル合金マイクロコイルの元素分析を行った結果を示す。銅及びニッケルのピークが見られる。形成しためっき皮膜はりんとの合金であるため、りんも検出されている。またスピルリナの残存有機物、若しくは試料固定用カーボンテープに由来する炭素も検出されている。

図中に挿入の表は簡易組成分析の結果で、ニッケルの比率が 70%を超えている。過剰にニッケルが含有される傾向は、めっき浴中でのニッケルの分解析出が銅に比べて著しく速いことに起因しており、この傾向を抑制して組成制御をすることは困難であった。

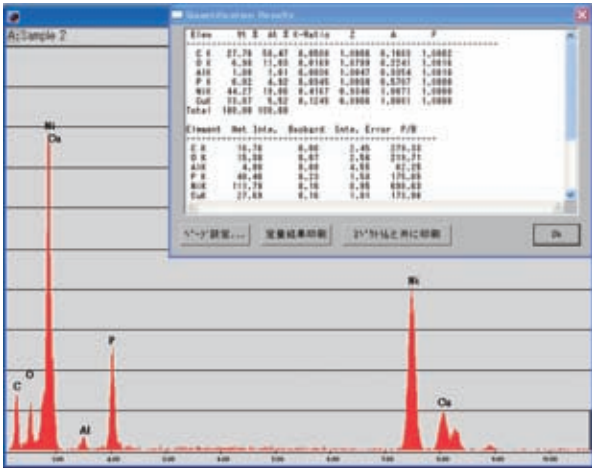


図4. 元素分析結果

銅ニッケル合金系では組成制御されたマイクロコイル試料を準備するに至らなかったが、対照データの取得を意図して銅めっきのみによるマイクロコイルの電気抵抗を測定したところ、新規の知見を得た。図5に示した電極パターンの治具を用い、銅マイクロコイルのシート抵抗値を測定した結果を図6に示す。液状シリコン樹脂中に分散させたマイクロコイルを電極に滴下したところ、マイクロコイルの沈殿進行に伴いシート抵抗が変化し、最終的に約330Ωと予想外に高い抵抗値が測定された。マイクロコイル間に形成される微小接点が比較的高い接触抵抗を持つことが原因と推定される。測定された約330Ωのシート抵抗値は、真空の特性インピーダンスに極めて近く、到来電波の整合吸収に適した値となっている。

このように、組成制御により個々のコイルの抵抗体化を特に図らなくとも、マイクロコイルの集合物が接触抵抗による集団的な抵抗を持つことが判ったので、これを到来電波とのインピーダンス整合や電波吸収の損失源として利用することにした。



図5. シート抵抗を測定した治具

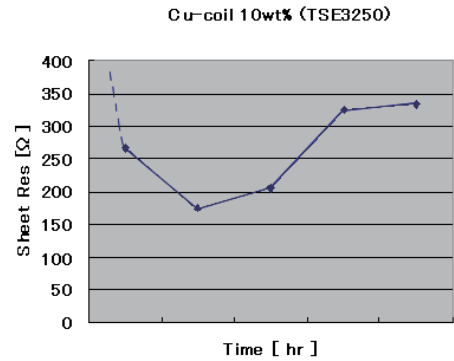


図6. 測定したシート抵抗値

3.2 同軸管法によるマイクロコイルの評価 同軸管法によるマイクロコイルの電磁波吸収性能の測定結果を図7に示す。測定周波数は10GHz~50GHzまで測定した。その結果、10GHz以上において、吸収性能がみられる。ただし、マイクロコイルの導電性の影響もあると思われることから、形状由来で吸収が見られるのか今後の検討課題である。

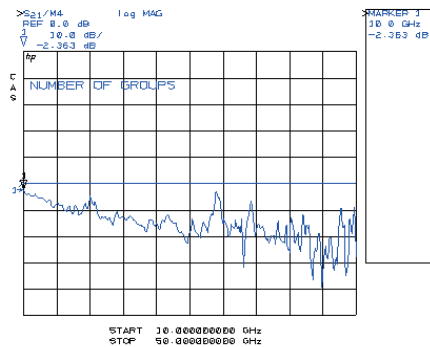


図7. 同軸管法によるマイクロコイルの吸収性能

3.3 シートの電気的特性 作製したシートの比誘電率、比透磁率をインピーダンスアナライザ（アジレント製E4991A）で測定し評価した。比誘電率は、1.6mm厚の試料を用いて測定した。また比透磁率は、内径6mm、外形20mmで1.6mm厚のドーナツ型の試料を用いて測定した。周波数10MHz~1GHzの比誘電率と比透磁率の測定結果を以下に示す。

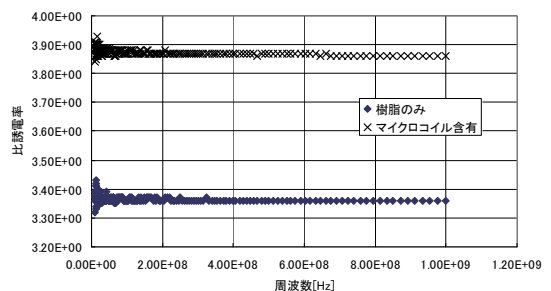


図8. 比誘電率の測定結果

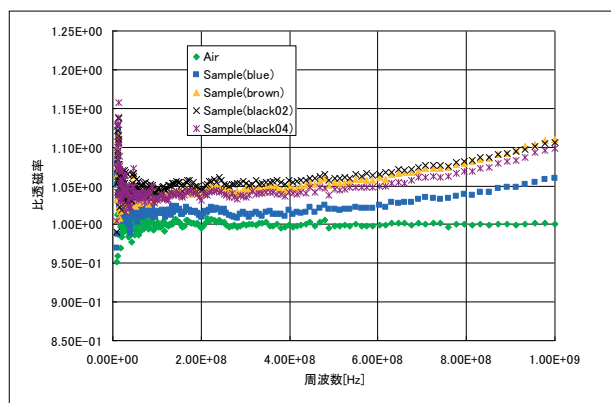


図9. 比透磁率の測定結果

比誘電率は、周波数に対して一定であり、樹脂のみの試料は3.37であり、マイクロコイル含有のものは3.86であった。そして静電容量 C は、電荷 Q 、印加電圧 V 、誘電率 ϵ 、試料の面積 S 、厚みを d としたとき

$$C=QV=\epsilon S/d$$

となる。 V が一定で、樹脂に蓄積される電荷 Q も一定としたとき、試料厚み d が小さくなると誘電率 ϵ が大きくなる。マイクロコイルは導電性を持つため、試料の見かけ上の厚さが薄くなるのが予想されることから、比誘電率が上昇することが予想される。

また比透磁率は、マイクロコイルを含有させると0.05増加している。銅自体には、比透磁率が1であり、材料の寄与ではなく、コイルの形状に由来するものと考えられる。

ただし、マイクロコイルの有無による比透磁率の変化が小さいことから、この周波数において電磁シールド効果はあまり期待できるものではない。

さらに、シートの体積抵抗率もハイレジスタンスメータ（アジレント製4339B）で測定したところ、試料どちらも $1 \times 10^{14} \Omega \text{cm}$ 以上であり、導電性はほとんどない。

これらの比誘電率、比透磁率の測定結果をもとに、従来の電磁波吸収体と同様に理論的に解析を実施する予定である。

マイクロコイルの特徴としては、コイル長、コイル径、ピッチ等が短いことから、その長さと波長が一致させることにより電磁波シールド効果が期待することが可能と考える。

3.4 電磁波吸収性能 マイクロストリップライン法による測定により、周波数18~40GHzにおける電磁波吸収性能を測定した。その結果を図10に示す。

横軸がマイクロストリップラインを伝送する信号の周波数 (GHz)、縦軸はその信号の減衰を表している。マイクロコイル含有の試料は伝送周波数38GHzにおいて、高いロスが見られた。マイクロコイルを樹脂に含有することにより、伝送線路に影響を及ぼすことが確認できた。

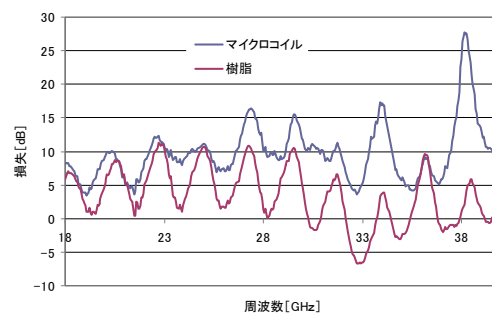


図10. 電磁波吸収効果

これは、マイクロコイルとマイクロストリップラインが相互インダクタンスで影響を及ぼしていることが想定される。(マイクロコイルのめっき材料が銅であり、比透磁率が1のため材料固有の特性から磁界に影響されないため、マイクロコイルの形状が影響されているものと考えられる。)

結果から、銅のマイクロコイルを含有させたシートは、マイクロストリップライン法による電磁波吸収性能を評価したところ、GHz超の周波数において吸収が見られた。これは、マイクロコイルの形状由来の吸収によるものと考えられる。

4. 結言

本研究では、以下の項目を明確にすることができた。

植物マイクロコイルを含有させた樹脂シートの試作を実施した。インピーダンスアナライザを用いた誘電率及び透磁率の測定で磁界に影響を受けることから、マイクロストリップライン法による評価を実施し電磁波吸収性能を確認した。

また、Cu-Ni 両元素を含むめっき膜の生成を簡易分析で確認した。さらに純Cuめっきであってもコイル集合体としてのシート抵抗を測定したところ100~200Ωと比較的高い値を示した。

謝辞

スピルリナの育成/めっきに関する住友金属鉱山株式会社、伊佐淳一氏の技術的補助に謝意を表します。

(平成22年7月1日受付, 平成22年10月8日再受付)

文 献

- (1) 大塚雅之, 鎌田香織, 中川勝, 彌田智一:「らせん紋を鋳型とする導電性マイクロコイルの作製と物性」日本化学会第85春季年会, (2005)
- (2) 橋本修:「電波吸収体の技術と応用」(2008)