

# 金属周期構造体の電磁気的特性評価に関する研究

杉浦宏和\* 吉村慶之\*

近年の無線通信装置は高性能かつ多機能化しており、我々のライフスタイルをより快適にしている。その一方で混信による機器の誤動作・誤通信や漏洩電波による情報の盗聴・改ざん等を引き起こす恐れもある。このような対策に電波を吸収する材料(以下、電波吸収体)が用いられているが、これらの材料は一般に重厚である、あるいは開発に多くの時間・費用を要する、等の課題がある。そこで、本研究では新たな電波吸収技術となる金属小片の周期配列(以下、金属周期構造体)に着目し、その特性評価を行うことで従来材料の課題解決への対応を検証した。これより、本構造体の各パラメータによる電波吸収特性を明確にし、異なる用途に対応した周波数で設計・試作したところ一般要求性能以上の電波吸収体試料を得た。その結果、従来材料より薄い試料を実現し、従来の課題について対応可能であることを実証した。

キーワード: 電波吸収体, 金属周期構造体, 電磁ノイズ, ETC, 無線LAN

## The Research of Metal Arrayed Structures for Electromagnetic Properties

Hirokazu SUGIURA and Yoshiyuki YOSHIMURA

Recently, a wireless communication terminal is being high efficiency, getting multi-functional, this makes our lifestyles more comfortable, but on the other hand, can cause malfunction or incorrect communication by interference, electrical interception or interpolation by leaking of information. Then an electromagnetic absorber materials can be used for overcoming these problems, but generally, these absorbers has a disadvantage of thick and heavy, or taking long term or cost high in development. So we research for properties of metal arrayed structures, which is new electromagnetic absorb technology, in order to overcome considering availability of the way of using that technique for these problems. Then we realize a characteristic of electromagnetic absorption by this stricter, and then we design electromagnetic absorber which is to be satisfied the least required performance in general and measure the ability of the sample in each way of the useful frequency. By fulfilling more tin sample than conventional materials, we confirm the usability of that technique for the problems of electromagnetic absorbing materials.

Keywords : electromagnetic absorber, metal arrayed structures, electromagnetic noise, Electronic Toll Collection system, wireless LAN

### 1. 緒 言

近年の無線通信装置は高性能かつ多機能化の一途を辿っており、電波の通信利用での拡大(増加)が進んでいる。例えばスマートフォンは通話・メールに加え、動画等の大容量データの送受信や電子マネーの利用が可能で、従来からの携帯基地局との交信用電波に加え、無線LAN, Bluetooth, 非接触ICタグの電波の送受信を可能としている。また、交通インフラではETCシステムの登場によりノンストップで高速道路料金ゲートの通行が可能となった。このように電波の通信利用での増加および拡大は我々のライフスタイルをより快適に

させるが、一方で混信による機器の誤動作・誤通信や電波の漏えいにより情報の盗聴・改ざんを引き起こすことが危惧されている。更に今後も新たな通信技術の登場や無線端末の普及等が予想されるため、電波利用環境の改善・整備等が必要となる。

こうした対策の一つに電波吸収体<sup>1)</sup>が用いられており、その一例を図1に示す。これは母材に損失材料を添加したものであり、母材は一般にゴムや発泡ウレタン、損失材料にはフェライトやカーボン粉末が用いられる。電波吸収体の開発では要求性能や採用する環境に応じてこれら材料を選定し、配合比率を調整しながら調合・加工している<sup>2)</sup>。この際の課題として、①吸収性能が添加する損失材料の形状や大きさのばらつき

\*電子情報部

の影響を受けやすく電波吸収体の作製条件の調整が非常に煩雑となり、製品開発に費用や期間を要する。②周波数が厚みに依存し、特に低い周波数帯では、材料が厚くなる。③含有させる損失材料がフェライトの場合は重く、カーボンでは汚れやすい。④製造に必要となる金型が一般に高価である、等のことが挙げられる。

そこで本研究では、電波吸収体としての応用が期待されている金属小片の周期配列を示す構造体(以下、金属周期構造体<sup>3)</sup>)の電波吸収特性や構造的性質を調べ、従来材料の抱える課題の解決を図る。

## 2. 金属周期構造体の電波吸収特性

### 2.1 金属周期構造体の構成

金属周期構造体は、図2に示すように導電性平板上の樹脂板に金属製の小片(以下、パッチ)を周期的に並べることで構成される<sup>4),5)</sup>。金属は常時、導電性(電波に対しては反射性)を示すが、電波の波長に対し十分小さい周期で並べることで、特定の周波数において導電性とは異なる電磁気的特性(電波吸収性能)が現れる。この性質はパッチ寸法に係る形状パラメータや樹脂の電気的特性等により変化することが知られており、金属周期構造体による電波吸収体への応用は、本構造のパラメータを調整することにより実現が可能となる。

### 2.2 電波吸収特性のパッチ配列依存性

図2に示すように、パッチの形状パラメータ(寸法 $w$ および間隔 $g$ )の異なる試料を作製し、本構造体の吸収特性を評価した。試料は汎用の両面銅張りプリント基板(厚み:1.6mm)を用い、パッチは片面の銅箔をミリング加工により削り出すことで形成した。これら試料の電波吸収率の評価結果を図3に示す。これより、パッチ寸法に関してはその大きさに対し吸収のピーク周波数が概ね反比例の関係にあることから、パッチが平板アンテナと同様の原理で動作していると考えられる。また、パッチ間隔については周波数よりも吸収率への影響が大きい。これは、パッチ間の静電容量が増減するため、電波入射面の電波吸収特性が変化するものと考えられる。

以上のことにより、金属周期構造体の電波吸収周波数や吸収率の特性はパッチの形状パラメータにより調整可能であることが確認できた。従来の電波吸収体において所望の電波吸収特性を発現させるには、材料の

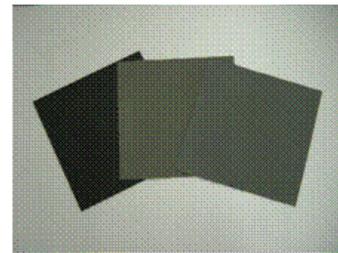


図1 電波吸収体

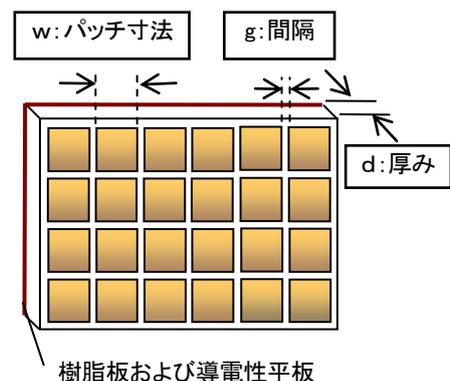


図2 金属周期構造体概要図

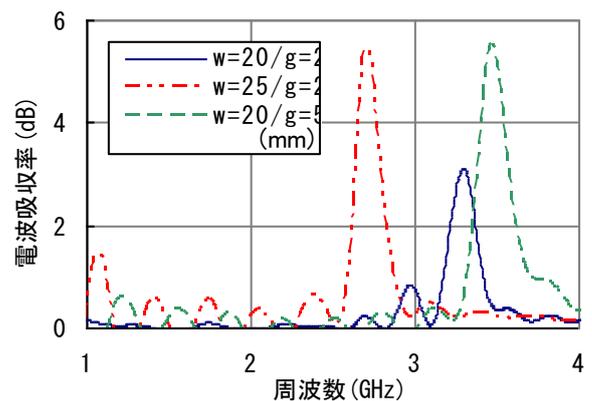


図3 パッチの並びによる電波吸収特性 (実測結果)

選定・配合・厚みの調整等の工程で煩雑な作業を要するが、金属周期構造体の応用により、これらの作業が不要となり、開発期間やコストの低減が期待できる。

### 2.3 電氣的パラメータによる吸収特性

本構造の電氣的パラメータ(樹脂の誘電損失、パッチの導電率)による電波吸収特性の変化を電磁界シミュレータ((独)CST社製 MW-studio)を用いて解析した。ここで、シミュレーションモデルの形状パラメータは $w=25\text{mm}$ ,  $g=5\text{mm}$ ,  $d=1\text{mm}$  と設定している。

図4は誘電損失を変化させた際の電波吸収特性を解析した結果である。同図では誘電損失によって吸収率

は大きく変化するが、ピーク周波数は殆ど変わらないことを示している。図5は、この最大の電波吸収率に対する誘電損失依存性を解析した結果である。誘電損失が小さい領域では吸収性能はほとんど発現していない。この妥当性については、図3に用いた汎用プリント基板の誘電損失を評価したところ0.02と小さいことから、パッチの並びを変えた場合にも吸収率は最良で5dB程度にしかならないことで確認できる。また、電波吸収率がピークとなる条件は、パッチの形状パラメータ(w, g)の組合せにより異なる。

図6は、パッチの導電率に対する電波吸収率のピーク特性について解析した結果である。この結果より、ある程度( $10^6$  S/m程度)までは導電性が高いほど吸収性能が向上し、以降はほぼ一定となることが明らかになった。このことから、金属周期構造体の設計・製作の際はパッチに十分な導電性が確保されるよう留意する必要がある。

以上の考察結果から、金属周期構造体における樹脂の誘電損失やパッチの導電率などの電気的パラメータは電波吸収率への影響が大きいことが明確となった。電気的パラメータは形状パラメータに比べ、変更・調整が容易ではないため、設計の際は事前に十分考慮することが必要である。

### 3. 電波吸収体開発の実用性評価

#### 3.1 設計・試作

実際の無線通信の用途に採用されている周波数(無線LAN用: 2.45GHz/ETCシステム用: 5.8GHz)で一般要求性能(電波吸収率: 20dB)以上を発現する電波吸収体を設計・試作し、性能評価を行った。

設計・試作について、これまでに得た各パラメータ特性の評価結果から検討した手順を次に示す。

- ① 樹脂板の誘電損失特性を明確にし、その厚みを設定する。
- ② パッチ材料の導電性を測定し、十分な値( $10^6$  S/m程度以上)であることを確認する。
- ③ 要求仕様に対し、パッチの寸法・間隔を設計する。

以上の手順に従い、樹脂板として用いたポリスチレンの誘電損失を評価したところ、値は0.06であった。この樹脂板の厚みは1mmで一定としたうえで、目標性能(周波数および吸収率)を満たすよう、パッチの寸法w および間隔g を設計した。その値を表1に示す。

図7に電波吸収体試料を示す。同図左に示す2.45GHz用はポリスチレン板全体を銅メッキし、ミリング加工

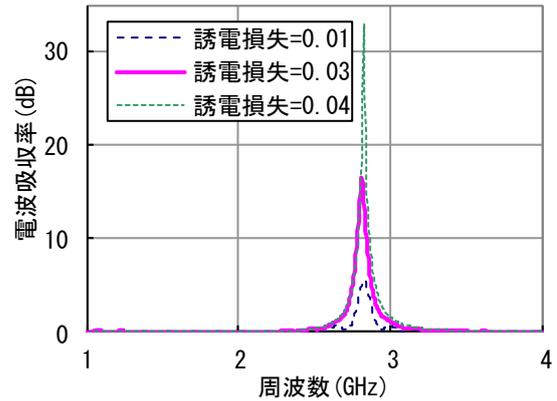


図4 誘電損失と電波吸収率との関係 (シミュレーション結果)

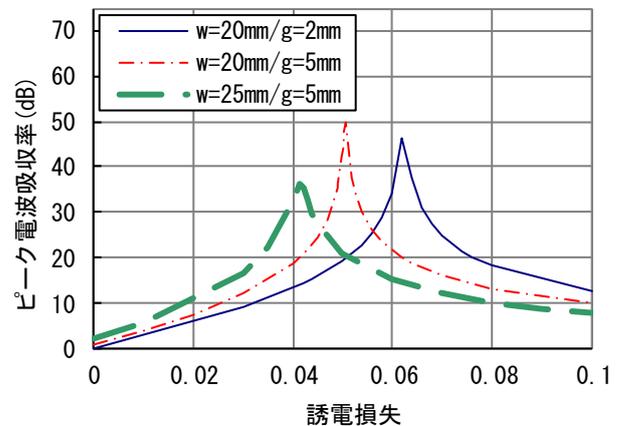


図5 誘電損失に対するピーク電波吸収率 (シミュレーション結果)

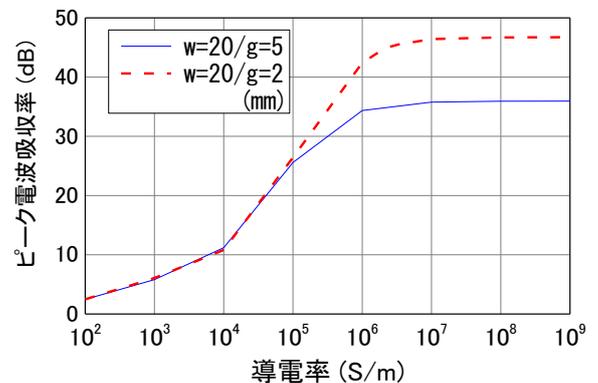


図6 導電率と電波吸収率との関係 (シミュレーション結果)

表1 試作試料の設計値

	2.45GHz 用	5.8GHz 用
パッチ寸法 w (mm)	35.0	15.5
パッチ間隔 g (mm)	1.0	10.0
樹脂厚み d (mm)	1.0	10.0

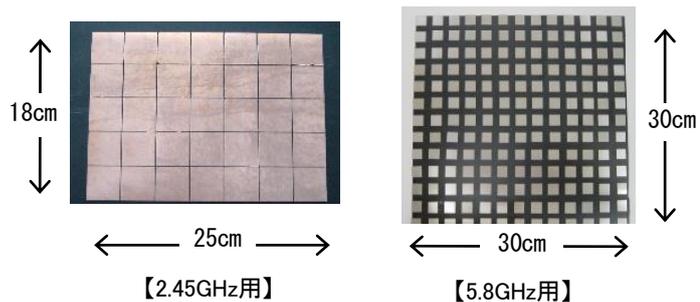


図7 試作した電波吸収体試料の概観

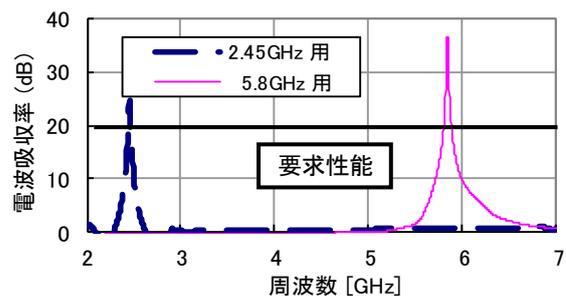


図8 試作品の実測による電波吸収率評価結果

表2 電波吸収体の課題に対する従来材料と金属周期構造体の比較

課題項目	従来材料	金属周期構造体
材料	母材(ゴム等)にカーボン粉末等を調合するため重い	導電性の薄板(パッチ含む)と樹脂のみで軽い
設計	添加物の配合比率設計に原料の形状やバラつき管理が必要	最終的なパッチの形状パラメータで容易に設計可能
製造	材料の調合・成形・焼結が複雑かつ高価な金型が必要	樹脂上にパッチを配置するための管理が容易で高価な金型も不要
厚み・重量	周波数に依存(2.45GHz : 7.3mm / 5.8GHz : 3mm)・重い	周波数によらず一定かつ軽薄化可能(2.45GHz/5.8GHz 共に1mm)

によりギャップを形成した。また、同図右に示す5.8GHz用はSUS製の板状小片をパッチとしてポリスチレン板上に周期的に配置した。なお、2.45GHz用および5.8GHz用共に試作の段階でパッチの導電性を測定し、十分な導電性( $10^6$  S/m 以上)があることを確認している。

### 3. 2 特性評価

図8は、図7の各試料の電波吸収特性を測定した結果である。それぞれの試料は電波吸収体が一般に要求される性能(電波吸収率：20dB)以上を示し、従来材料では2.45GHzおよび5.8GHz用吸収体の厚みはそれぞれ7.3mm,3.0mmとなるのに対し金属周期構造体ではいずれも1mmで試作しており、薄型化を図ることができた。

表2に、検討の結果得られた電波吸収体としての特長を従来材料と比較して示す。

## 4. 結 言

電波吸収体が抱える課題解決するため、金属周期構造体の応用を検証した結果を以下に示す。

- (1) 金属周期構造体の形状パラメータおよび電気的パラメータに対する電波吸収特性を明確化した。これより設計手順を考察し、異なる用途に対応した周波数で吸収性能が発現する試料を設計・試作・評価した。
- (2) 金属周期構造体で2.45GHzおよび5.8GHz用それぞれにおいて一般要求性能以上の電波吸収体の実現可能であることを示し、従来材料に対する薄型軽量等の優位性も実証できた。

## 謝 辞

本研究の遂行に当たり、終始適切なお助言を頂いた金沢大学理工学域教授 八木谷聡氏、ニッコー(株)シニアスペシャリスト 西田斉氏に謝意を表します。また、材料をご提供頂いた馬場化学工業(株)代表取締役社長 馬場貢氏、小松精練(株)研究開発部長代理 林豊氏ならびに中山武俊氏に感謝します。

## 参考文献

- 1) 橋本修. 次世代電波吸収体の技術と応用展開. シーエムシー出版. 2003, p.387.
- 2) 杉浦宏和, 吉村慶之, 橋泰至, 西田斉. 電波吸収体の材料定数測定システムの開発. 石川県工業試験場研究報告. 2009, no.58, p. 27-30.
- 3) 杉浦宏和, 吉村慶之, 西田斉, 八木谷聡. メタマテリアルによる電波吸収体の実用性の一考察. 信学総大, 2013, B-4-3.
- 4) 真田篤志. メタマテリアルとは何か. 信学総大, 2006, BT-1-4
- 5) Olli Luukkonen, Filippo Costa, Constantin R.Simovski, Agostino Monorchio, and Sergei A. Tretyakov. A Thin Electromagnetic Absorber for Wide Incidence Angles and Both Polarizations. IEEE Trans Antennas Propag, vol.57, No.10, 2009, p.3119-3125.