

製品事例

アルミナセラミックスを用いた 1層型誘電性電波吸収体の設計

(株)ウイセラ Maeda Yoshitoshi
前田 益利

技術部 開発・技術課
〒509-6251 岐阜県瑞浪市日吉町南洞5391-1
☎0572-64-2001 e-mail y-maeda@wicera.co.jp

はじめに

ミリ波の実用化については、車載レーダーが普及し始めてから久しく、ミリ波という言葉も徐々に浸透してきている。通信機器においても大容量化が必要なインフラ設備などにて40GHz帯、60GHz帯、80GHz帯での実用化が進んできている。また、民生品でも28GHz帯などを活用する5Gが話題になっており、今後ミリ波の活用はさらに増えていくと考えられる。その一方でミリ波帯におけるノイズ対策もより必要になってくることから、ミリ波帯向けの電波吸収体の需要が増えてくると考えられる。

本稿では、ミリ波に対応した当社製品の電波吸収セラミックスを事例に1層型誘電性電波吸収体の設計について説明する。

材料系

一般的には電波吸収体はゴムシートやウレタンなどの母材に炭素、フェライト、金属粉などのフィラーを添加して誘電特性や磁気特性をもたせることが多い。

当社製品の場合は母材にアルミナ、フィラーとして炭素を添加することにより誘電損失を持たせた誘電性電波吸収体となる。

製造方法

当社では粉体プレス成形によりアルミナセラミックス製品を製造している。原料を湿式で粉碎・混合した後、成形しやすいようにスプレードライにて顆粒状に造粒。その後、プレス成形機にて製品形状に成形して焼成、必要に応じてバレル研磨などの後加工を行う。

電波吸収セラミックスの場合、図1に示すとおり、通常アルミナ製品の製造工程に炭素を添加したスラリーを造粒し、還元状態で焼成することにより、製品に炭素を残留させて誘電損失を得ている。

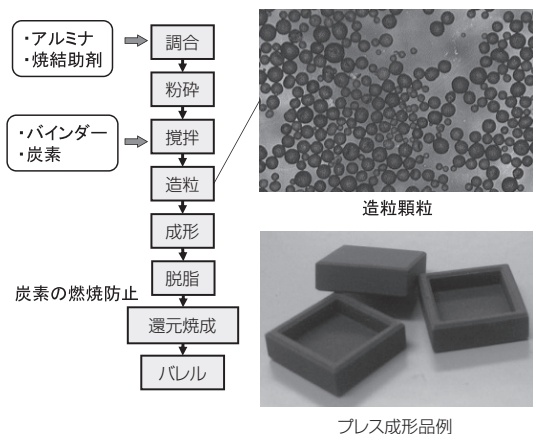


図1 電波吸収セラミックス製造工程

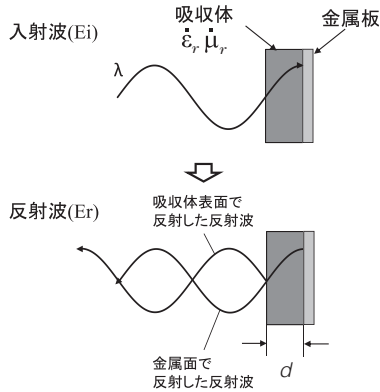


図2 電波吸収体イメージ

設計理論

薄層型電波吸収体の吸収イメージは図2に示すとおり、吸収体表面で反射した電波と吸収体を透過し、背面の金属で反射した電波が半波長ずれることにより打ち消し合う効果を利用したものとなる。

誘電性もしくは磁性の電波吸収体の場合、波源(ノイズ源)と吸収体の距離が十分に離れたところ($2\pi/\lambda$ 以上)から垂直に入射したときの吸収量は式(1)となり、一般的にはdB換算したものをを用いる^{1), 2)}。

$$\text{吸収量[dB]} = -20\log\left|\frac{E_r}{E_i}\right|$$

$$\frac{E_r}{E_i} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

$$Z_{in} = Z_0 \sqrt{\frac{\dot{\mu}_r}{\dot{\epsilon}_r} \tanh\left(j\frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r}\right)} \quad \text{式(1)}$$

この式により、真空中の特性インピーダンス Z_0 は $377[\Omega]$ の定数であることから、吸収量に影響するファクターは、波長 λ (=周波数)、吸収体厚み d 、複素比誘電率 $\dot{\epsilon}_r(\epsilon_r' - j\epsilon_r'')$ 、複素比透磁率 $\dot{\mu}_r(\mu_r' - j\mu_r'')$ の4つとなるが、電波吸収セラミックスのような誘電性電波吸収体の場合は複素比透磁率が1となるため、ファクターは3つとなる。また、この設計方法では、吸収体表面、金属面で反射した各々の反射波が打ち消し合う条件に整合する吸収体の設計には適度な厚みが必要であり、厚ければいいというものではない。

複素比誘電率の測定

アルミナに炭素を1.0wt%、1.2wt%、1.5wt%添加させたサンプルを作製し、図3、4に示す導波管法(3.94~5.99GHz)と自由空間法(18~50GHz)を用いてミリ波帯での複素比誘電率を測定した結果を図5に示す。

測定結果としては、炭素の添加量を上げると複

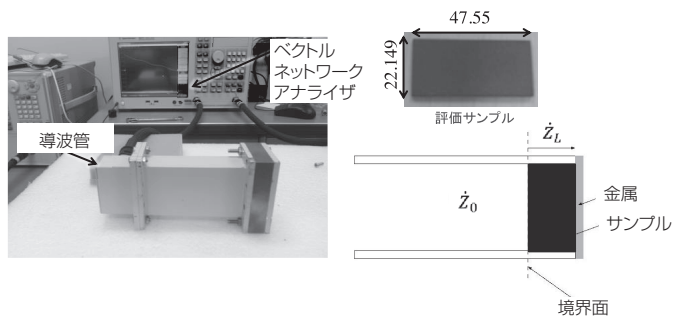


図3 導波管法(3.94~5.99GHzの複素比誘電率)

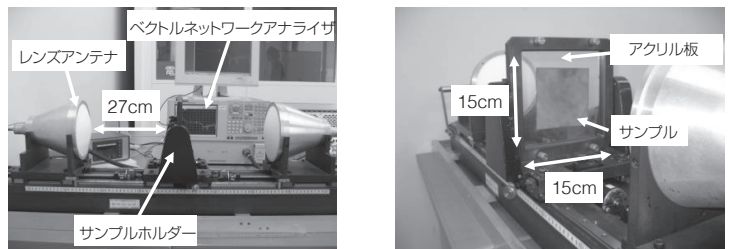


図4 自由空間法(18~50GHzの複素比誘電率・電波吸収量)

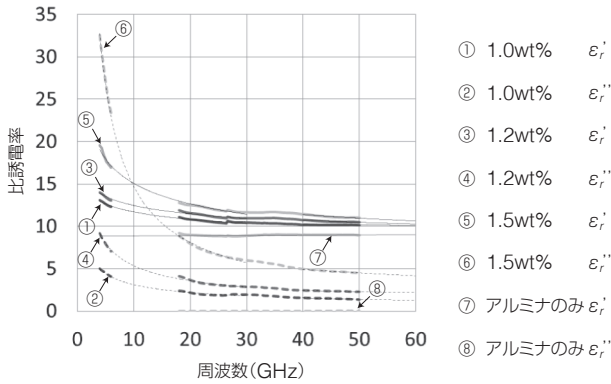


図5 複素比誘電率測定結果

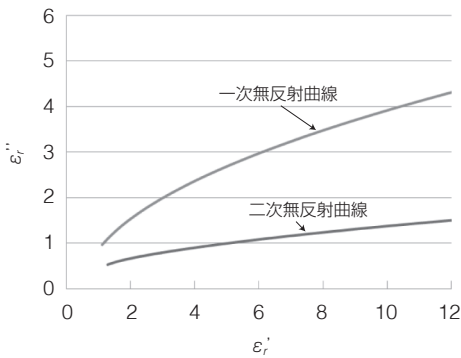


図6 無反射曲線

素比誘電率の実部(ϵ_r')、虚部(ϵ_r'')の両方とも上昇するが、虚部への影響の方がより大きいことが確認できる。また、周波数が高いほど誘電率は下がるが、高周波側になるとほとんど横ばいになっている。

電波吸収体の設計

電波吸収体の吸収量が最大となる(反射率が0になる)条件は式(1)から式(2)を満足する条件であることが確認できる。

$$1 = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh\left(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r}\right) \quad \text{式(2)}$$

この式で d/λ を任意の値に固定すると複素比誘電率 ϵ_r が求まり、 d/λ を徐々にずらしていくと図6のグラフを描くことができる。このグラフを無反射曲線といい、この曲線上に近い複素比誘電率の材料が電波吸収体として活用できるものとなる。

一例として、ミリ波帯の中でも無免許で利用可

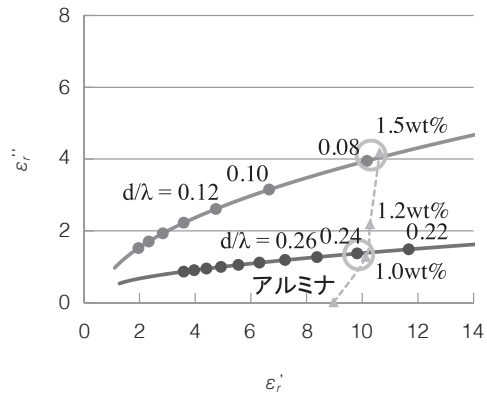


図7 吸収体として活用できるか無反射曲線による確認

能なためよく活用されている60GHzでの吸収体設計を行う。図5より50GHzまでの測定結果から推定した60GHzでの複素比誘電率を無反射曲線上にプロットしたものを図7に示す。60GHzでは炭素を1.0wt%添加したものが一次無反射曲線に、1.5wt%添加したものが二次無反射曲線に近く、吸収体設計に適していることが確認できる。また、このグラフからこれ以上 ϵ_r'' を上げてても無反射曲線から遠ざかるだけであることから、これ以上炭素の量を増やすメリットがないことが分かる。

式(1)に60GHzにおける波長($\lambda=4.997$)と複素比誘電率の値を代入することにより、図8に示す厚み-吸収量のグラフが描ける。ここで吸収量が最大となる厚みのものが、その周波数における吸収体として最適な厚みとなり、炭素を1.0wt%添加したものは厚みが1.18mmの時に、1.5wt%添加したものは0.39mmの時に吸収ピークがあり、

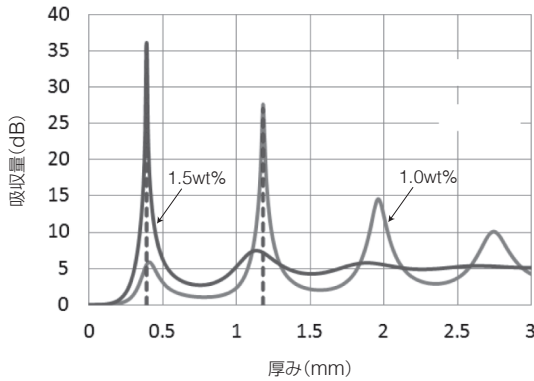


図8 各材質の60GHzにおける吸収体厚み-吸収量の関係

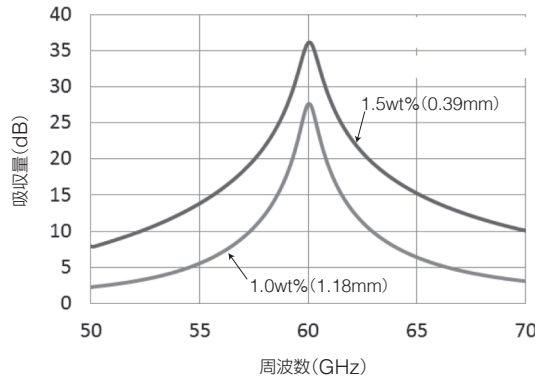


図9 各材質の最適厚みにおける周波数-吸収量の関係

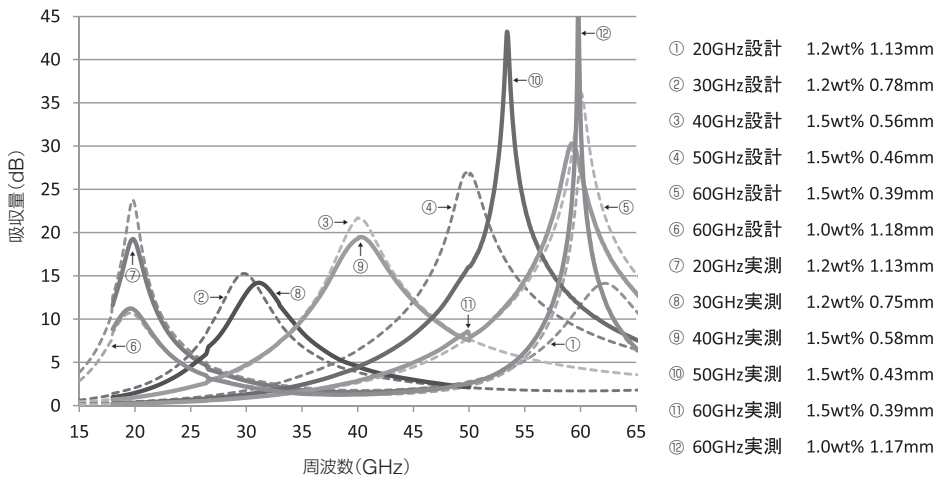


図10 20~60GHzでの設計値と実測値の比較

各材質ではこれらの厚みのものが60GHzにおける電波吸収体の設計となる。

次に、式(1)にこの最適厚みと複素比誘電率を代入すると、図9に示す周波数-吸収量のグラフが描け、その電波吸収体の吸収特性となる。

以上までが、電波吸収体設計の一連の流れとなる。

■ 電波吸収体の実測

上記の方法で設計した電波吸収体が設計通りの吸収特性を持っているか確認するため、実際に設計値どおりのサンプルを作製し、自由空間法を用いて吸収量を測定したデータを図10に示す³⁾。

点線が20~60GHzにて複素比誘電率から算出

した設計値、実線がサンプルを測定した実測値になる。各周波数にてほぼ設計値どおりの吸収特性が得られ、問題なく電波吸収体を作製できていることが確認できる。

■ 100GHz付近での吸収特性確認

図5にて高周波側ではほぼ横ばいになっていることから、50GHz以上の高周波の複素比誘電率もある程度推測できる。そのため、炭素添加量1.0wt%の材質のもので、推測値から設計した厚み違いのサンプルを数枚作製し、図11に示す反射電力法にて100GHz付近での吸収特性を測定した。

測定結果を図12に示す。設計値と測定値を比較すると設計値と誤差はあるものの吸収ピークが

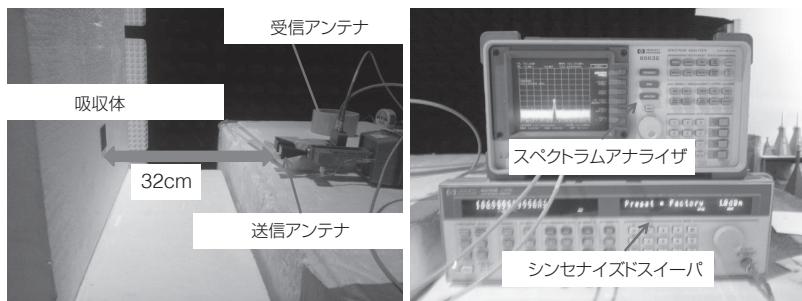


図 11 反射電力法(100GHz 付近の電波吸収量)

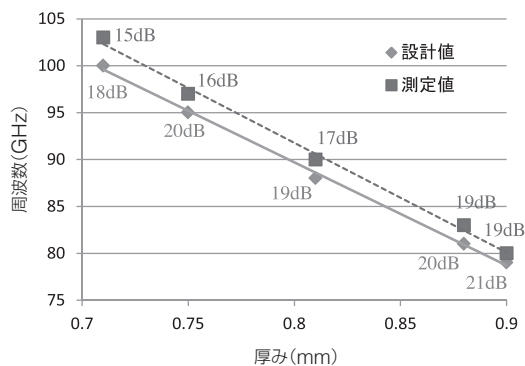


図 12 炭素添加量 1.0wt% の材質の 100GHz 付近の設計値と実測値の比較

あることが確認されたため、本材料系では 100GHz 付近までは吸収特性が得られており、電波吸収体としての有効に活用できると考えられる。

電波吸収セラミックス(アルミナ-炭素系電波吸収体)の用途

誘電性電波吸収体の特徴として、材料の誘電率が高く、使用する周波数が高いほど厚みが薄くなる傾向がある。電波吸収セラミックスは、母材がアルミナであるため、あまり誘電率が高くなく ($\epsilon_r' = 10$ 程度) 低周波で吸収特性を出すためには厚みが必要となる。例えば、WiFi や Bluetooth などでは一般的に用いられている 2.4GHz では 8mm 以上の厚みが必要となるので、実用性が低くなる。そのため、1mm 程度で設計できる 20GHz ~ 100GHz のミリ波帯を中心とした周波数帯域を主な活用範囲と考えている。

セラミックス製のものはゴムシートなどの樹脂製のものと比べると、硬いため加工が難しいという面はあるものの、耐熱性や耐久性に優れている

ため、高温に晒されるところや野外、長期使用する場合への信頼性は高い。熱伝導率も高いため放熱が必要な所にも使用しやすい。また、フレキシブルではないため曲面への貼付けは難しいが、立体形状の加工も可能と、用途に応じた棲み分けができるものと考えている。

おわりに

以上が当社製品を事例にした 1 層型誘電性電波吸収体の設計の説明となる。電波吸収特性は複素比誘電率 ϵ_r' や複素比透磁率 μ_r' といった材料定数と密接にかかわっており、材料定数から算出できる。そのため、電波吸収体の設計段階では電波吸収量を測定するよりも、まず材料定数を測定し、その材料系で実現できそうな特性を調査することが重要である。

一方、本設計では「波源(ノイズ源)と吸収体の距離が十分に離れたところ ($2\pi/\lambda$ 以上) から垂直に入射した場合」が前提となっており、それ以外の条件(ノイズ源が近い、斜めに入射した場合など)では最適な条件が変わるため設計方法も変わる。また、実際に電波吸収体が必要なところは複雑な電波環境となっていることも多く、その場合は最適条件の設計が困難なため、実機テストをしながら調整を行う必要がある。

参考文献

- 1) 橋本修: 電波吸収体のはなし pp.43~50 日刊工業新聞社 (2001)
- 2) 清水康敬ほか: 電磁波の吸収と遮蔽 pp.147~149 日経技術図書(1989)
- 3) 寺崎光、安住壮紀、前田益利、宇野誠、橋本修: カーボンブラック含有アルミナの複素比誘電率に基づいた一層型電波吸収体の最適設計 信学ソ大 B-4-36 P339(2009)