

ピラミッド型電波吸収体における形状及び入射角の吸収体内温度分布に対する影響

今井 卓^{†a)} (正員) 田口 健治[†] (正員)
 柏 達也[†] (正員) 田畑 隆司^{††}
 久保 賢児^{††} 佐藤 永一^{††}

Effect of Pyramid Shape and Incident Angle on Temperature Distribution in Pyramidal Radio Wave Absorber

Suguru IMAI^{†a)}, Kenji TAGUCHI[†],
 Tatsuya KASHIWA[†], Members, Takashi TABATA^{††},
 Kenji KUBO^{††}, and Eiichi SATOU^{††}, Nonmembers

[†] 北見工業大学工学部電気電子工学科, 北見市
 Dept. of Electrical and Electronic Eng., Kitami Institute of
 Technology, 165 Koen-cho, Kitami-shi, 090-8507 Japan
^{††} E&C エンジニアリング株式会社, 横浜市
 E&C Engineering Co., Ltd., 3-16-1 Shin-Yokohama,
 Kohoku-ku, Yokohama-shi, 222-0033 Japan
 a) E-mail: now_i@mail.kitami-it.ac.jp

あらまし ピラミッド型電波吸収体における形状及び入射角の吸収体内温度分布に対する影響を FDTD 法を用いた熱伝導解析により調べた。その結果、本解析で検討した周波数及びピラミッド形状の組み合わせにおいては、いずれの入射角に対しても吸収体の単位体積当りの表面積が増加するに従って吸収体内の最大温度が低下する事が示された。

キーワード ピラミッド型電波吸収体, 温度分布, 反射係数, 斜め入射波, FDTD 法

1. ま え が き

ピラミッド型電波吸収体は電波暗室において広く用いられている。高出力レーダなどの大電力照射に対応した高耐熱型電波吸収体の開発においては、電波吸収特性及び吸収体内温度分布を把握する事が重要となる [1]。従来、正面入射波に対するピラミッド型電波吸収体の温度分布解析が行われてきた [2]。また、ピラミッド型電波吸収体における形状の反射係数に対する影響が調べられてきた [3]。しかしながら、ピラミッド型電波吸収体における形状及び入射角の両方が吸収体内温度分布に与える影響を定量的に調べた例は筆者らの知る限りない。

本論文では、FDTD 法を用いた熱伝導解析 [4] により電磁界及び熱の連成シミュレーションを行い、ピラミッド型電波吸収体における高さ及び幅、並びに入射角の吸収体内温度分布に対する影響を初めて定量的に調べた。

2. ピラミッド型電波吸収体の FDTD モデル

図 1 にピラミッド型電波吸収体の FDTD モデルを

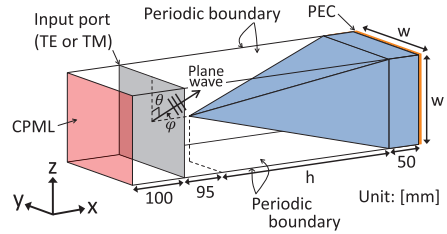


図 1 ピラミッド型電波吸収体の FDTD モデル
 Fig.1 FDTD model of pyramidal radio wave absorber.

表 1 シミュレーション条件
 Table 1 Simulation conditions.

Plane wave	Frequency [GHz]	2.45
	Power [mW/cm ³]	100.0
	Polarization	TE, TM
Incident angle	θ [deg.]	90
	ϕ [deg.]	0,10,20,30,40,50,60
Pyramidal absorber	ϵ_r	1.6375
	σ [S/m]	0.1738
	Density [kg/m ³]	41.0
	Specific heat [J/K/kg]	1310.0
	Thermal conductivity [W/m/K]	0.074
	Initial temperature [°C]	30.0
Ambient temperature [°C]	30.0	
Heat-transfer coefficient [W/m ² /K]	30.0	
Spatial increment [mm]	1.0	

示す。ここで、 h 及び w はそれぞれピラミッドの高さ及び幅を示している。また、周期境界条件として sin-cos 法 [5] を用いている。本モデルでは、ピラミッド型電波吸収体底面の金属板として薄い金属箔を仮定している。そのため、熱伝導解析において吸収体底面は直接空気に接していると仮定した [6]。

表 1 に本論文で用いたパラメータを示す。ここで、本論文において用いた熱伝達率は、 $h = 255$ mm, $w = 102$ mm のピラミッド型電波吸収体に対して正面入射を行う条件において、吸収体内温度分布の測定結果と熱伝導解析結果が一致するように決定している。尚、本論文では吸収体の複素比誘電率は温度に依存しないと仮定した。また、FDTD 解析における空間離散間隔は電磁界解析結果が収束する 1.0 mm とした。

3. 解析結果

FDTD 法を用いた熱伝導解析 [4] では、次の手順で温度分布を計算している。1) FDTD 法によりピラミッド型吸収体の吸収電力分布を求める。2) 1) で得られた吸収電力分布を用いて熱伝導方程式により温度分布を求める。

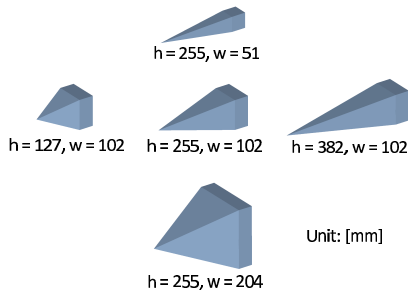


図 2 ピラミッド型電波吸収体の高さ及び幅の組み合わせ
Fig. 2 Combinations of height and width of pyramidal radio wave absorber.

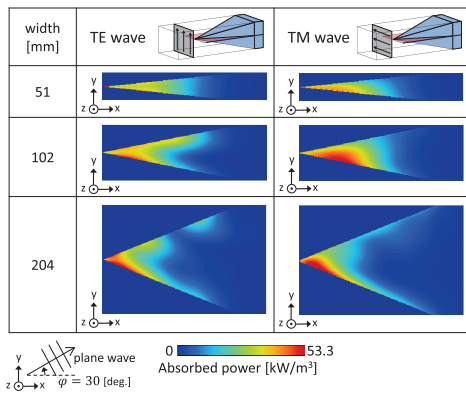


図 3 ピラミッド型電波吸収体における幅の吸収電力分布に対する影響 ($h = 255 \text{ mm}$, $\phi = 30 \text{ 度}$)
Fig. 3 Effect of pyramid width on absorbed power distribution in pyramidal absorber ($h = 255 \text{ mm}$, $\phi = 30 \text{ deg.}$).

本来であれば、ピラミッドにおける高さ及び幅の全組合せについて温度分布を調べる必要があるが、本論文では、例として図 2 に示す 5 種類の組合せについて検討を行った。

3.1 吸収体の吸収電力分布及び温度分布

図 3 にピラミッド型電波吸収体における幅の吸収電力分布に対する影響を示す。ここでは、例として $h = 255 \text{ mm}$, $\phi = 30 \text{ 度}$ とした。また、図 4 に図 3 の吸収電力分布に対する温度分布を示す。

図 3 より、いずれのピラミッド幅においても入射方向に面した部分の吸収電力が大きくなっていることが示されている。また、図 4 より、ピラミッドの中心付近において温度が高くなっていることが分かる。結果として、吸収電力分布と温度分布は必ずしも一致しないことが示されている。尚、他のピラミッド高さ及び幅、並びに入射角に対しても同様の傾向を示した。

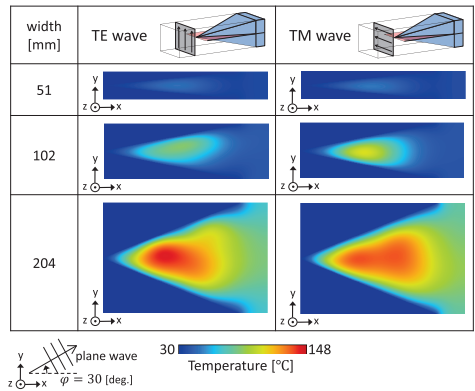


図 4 ピラミッド型電波吸収体における幅の吸収体内温度分布に対する影響 ($h = 255 \text{ mm}$, $\phi = 30 \text{ 度}$)
Fig. 4 Effect of pyramid width on temperature distribution in pyramidal absorber ($h = 255 \text{ mm}$, $\phi = 30 \text{ deg.}$).

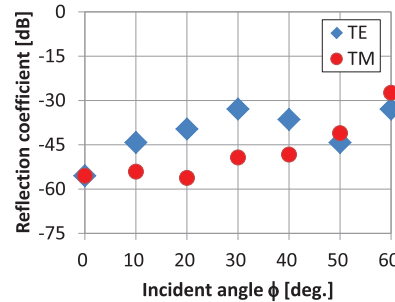


図 5 ピラミッド型電波吸収体の反射係数に対する入射角の影響 ($h = 255 \text{ mm}$, $w = 102 \text{ mm}$)
Fig. 5 Effect of incident angle on reflection coefficient of pyramidal absorber ($h = 255 \text{ mm}$, $w = 102 \text{ mm}$).

3.2 吸収体の反射係数及び最大温度に対する入射角の影響

図 5 にピラミッド型電波吸収体の反射係数に対する入射角の影響を示す。また、図 6 に吸収体内の最大温度に対する入射角の影響を示す。ここでは、例として $h = 255 \text{ mm}$, $w = 102 \text{ mm}$ としている。図より、入射角 ϕ が増加するとともに反射係数が増加し、吸収体内の最大温度が低下していることが分かる。他のピラミッド高さ及び幅の組合せに対しても同様の傾向を示した。

3.3 吸収体内の最大温度に対する形状の影響

表 2 に図 2 で示されるピラミッド高さ及び幅に対する吸収体の単位体積当たりの表面積を示す。また、図 7 に一例として入射角 $\phi = 30 \text{ 度}$ の場合におけるピ

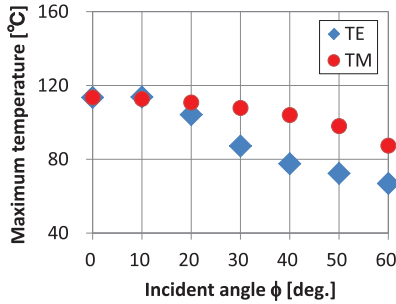


図6 ピラミッド型電波吸収体内の最大温度に対する入射角の影響 ($h = 255$ mm, $w = 102$ mm)

Fig. 6 Effect of incident angle on maximum temperature in pyramidal absorber ($h = 255$ mm, $w = 102$ mm).

表2 ピラミッド高さ及び幅に対する吸収体の単位体積当たりの表面積

Table 2 Surface area per unit volume of absorber for each height and width of pyramid.

h [mm]	w [mm]	Surface area per unit volume of absorber [m^2/m^3]	
(a)	255	204	27.4
(b)	127	102	39.9
(c)	255	102	45.2
(d)	382	102	48.3
(e)	255	51	81.9

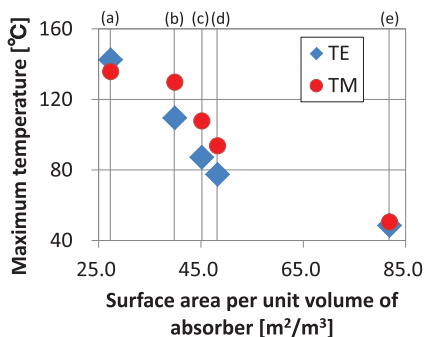


図7 ピラミッド型電波吸収体の単位体積当たりの表面積に対する最大温度 ($\phi = 30$ 度), (a) $h = 255$ mm, $w = 204$ mm, (b) $h = 127$ mm, $w = 102$ mm, (c) $h = 255$ mm, $w = 102$ mm, (d) $h = 382$ mm, $w = 102$ mm, (e) $h = 255$ mm, $w = 51$ mm

Fig. 7 Maximum temperature for surface area per unit volume of pyramidal absorber ($\phi = 30$ deg.).

ラミッド型電波吸収体の単位体積当たりの表面積に対する吸収体内の最大温度を示す。表2より、ピラミッド高さ及び幅の組合せによって吸収体の単位体積当た

りの表面積が大きく異なることが分かる。図7より、吸収体の単位体積当たりの表面積が増加するとともに、吸収体内の最大温度が低下することが示されている。これは、吸収体の単位体積当たりの表面積が増加する事で放熱されやすくなるためだと考えられる。他の入射角 ϕ に対しても同様の傾向を示した。

4. むすび

本論文では、ピラミッド型電波吸収体における高さ及び幅、並びに入射角の吸収体内温度分布に対する影響を電磁界と熱の連成シミュレーションにより定量的に調べた。その結果、本論文において用いたピラミッド高さ及び幅、並びに入射角において、吸収体の単位体積当たりの表面積が大きいほど吸収体内の最大温度が低下する事が明らかとなった。この事により、従来明確ではなかったピラミッド形状並びに入射角と吸収体内温度分布との定量的な関連性が明らかとなった。今後は、入射波の周波数との関連性について調べる予定である。

文 献

- [1] S. Imai, K. Taguchi, T. Kashiwa, T. Tabata, K. Kubo, and E. Satou, "Effect of height and width of pyramid on temperature distribution characteristics of pyramidal radiowave absorbers," EMC'14/Tokyo, 16P2-B1, pp.773-776, Tokyo, May 2014.
- [2] T. Sasagawa, S. Watanabe, O. Hashimoto, T. Saito, and H. Kurihara, "Study on the temperature limitation of the injecting power to a pyramidal EM-wave absorber," IEICE Trans. Electron., vol.E92-C, no.10, pp.1319-1321, Oct. 2009.
- [3] S. Kent and I. Catalkaya, "Effect of apex angle on absorption characteristic of pyramidal absorbers," URSI XXXth General Assembly and Scientific Symposium, Istanbul, Turkey, Aug. 2011.
- [4] F. Torres and B. Jecko, "Complete FDTD analysis of microwave heating processes in frequency-dependent and temperature-dependent media," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol.45, no.1, pp.108-117, Jan. 1997.
- [5] P. Harms, R. Mittra, and W. Ko, "Implementation of the periodic boundary condition in the finite-difference time-domain algorithm for FSS structures," IEEE Trans. Antennas Propag., vol.42, no.9, pp.1317-1324, Sept. 1994.
- [6] 加藤正則, 橋本 修, 中村貴之, 二川佳央, "1層型樹脂系電波吸収体の照射電力に対する温度及び吸収特性変化の解析," 信学論 (B), vol.J86-B, no.10, pp.2182-2188, Oct. 2003.

(平成26年8月25日受付, 12月11日再受付,
27年4月10日公開)