

部分反射板の考察

小林, 祐介 / Kobayashi, Yusuke

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

58

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

3

(発行年 / Year)

2017-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014173>

部分反射板の考察

CONSIDERATION OF PARTIAL REFLECTIVE PLATE

小林 祐介

Yusuke KOBAYASHI

指導教員 山内潤治

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

This paper presents the verification of an equation on a partial reflective plate (PRP). Approximate ray theory is applied to the PRP. First, a reflection phase of the EBG reflector is shown. Second, the PRP is placed between the EBG reflector and an antenna. A situation where reflected and transmitted waves are repeated infinitely for an incident wave is formulated.

Key Words : partial reflective plate, approximate ray theory, EBG

1. まえがき

修士論文では、EBG 反射板上にあるアンテナについて議論をしている。本稿では、初めに EBG 反射板における反射特性を示す。入射波に対する反射位相が明示されている。次に、この EBG 反射板とアンテナの間に部分反射板(PRP)を配置する。入射波に対して無限回反射透過を繰り返す状況を考察する。これに関しては、堀、川上らによって既に光学近似理論を用いて議論されている[1][2]。本稿では、本議論の正当性について再吟味する。なお、本稿は修士論文の付録に一部記載している。

2. EBG 反射板

図 1 に EBG 反射板の構造及び座標系を示す。設計周波数を 6 GHz とする。EBG 反射板を構成する金属パッチは長方形である。

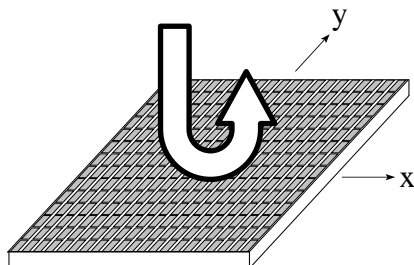


図 1 EBG 反射板の構造

図 2 に反射位相の周波数特性を示す。設計周波数 6 GHz において、x 方向の偏波及び y 方向の偏波の反射位相のうち少なくとも 1 つが $\pm 90^\circ$ 以内であり、もう 1 つが $\pm(90^\circ + 30^\circ)$ となるように構造値が決定されている[3]。

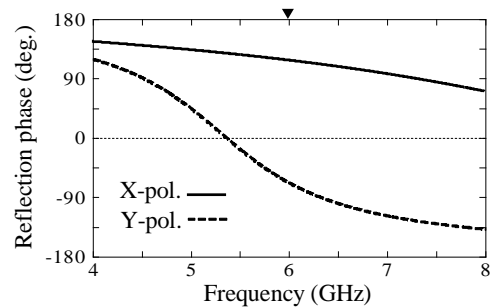


図 2 反射位相の周波数特性

3. PRP 特性

次に、EBG 反射板とアンテナの間に PRP を配置する。その構造及び座標系を図 3 に示す。

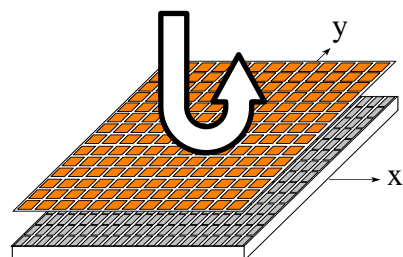


図 3 PRP 装荷 EBG 反射板の構造

PRP と EBG 反射板の 2 層から構成されるシステムに、上方から入射した電磁波の無限回 ($N \rightarrow \infty$) 反射波電界 E_r は次式で表される。

$$E_r = E_0 + \sum_{n=1}^N E_n = E_0 + \frac{E_1}{1-r} \quad (1)$$

但し, E_0 は $n=0$ 時の反射電界, E_1 は $n=1$ 時の反射電界である. ここに $E_n \equiv rE_{n-1}$ かつ

$$E_r = E_{in} e^{j\phi_s} \quad (2)$$

とおく. 但し, E_{in} は入射波電界, ϕ_s は反射波の入射波に対する位相を表している. 以後, 簡単化のために入射波電界 $E_{in} = 1$ とする.

式(1)の E_0 , E_1 , r を式(3)~式(5)で定義する.

$$E_0 \equiv |S_{11}| e^{j\phi_{11}} \quad (3)$$

$$E_1 \equiv |S_{21}|^2 e^{j(2\phi_{21} + \phi_h)} \quad (4)$$

$$r \equiv |S_{11}| e^{j(\phi_{11} + \phi_h)} \quad (5)$$

ここで, ϕ_{11} は PRP の反射位相, ϕ_{21} は PRP の透過位相, ϕ_h は PRP と EBG 反射板間の位相変化量を表している. 但し,

$$\phi_h \equiv 2\phi_\varepsilon + \phi_{ref} \quad (6)$$

$$\phi_\varepsilon \equiv \frac{2\pi h}{\lambda} \quad (7)$$

とする.

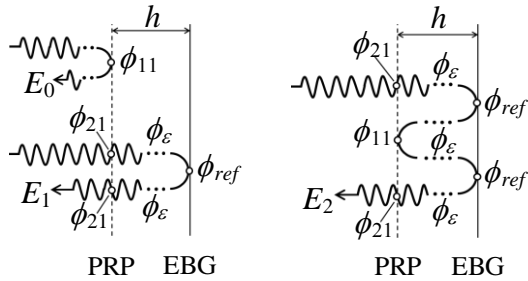


図4 反射電界 E_0 , E_1 , E_2

式(6)に式(7)を代入し整理すると, 式(8)が得られる. 但し, ϕ_ε を負の値として代入している: 文献[1]の導出過程をそのまま(ϕ_ε を正の値)使用すると矛盾が生じる. これに関しては, 福井高専川上から私信を得ている.

$$\begin{aligned} \phi_h &= 2 \left(-\frac{2\pi h}{\lambda} \right) + \phi_{ref} \\ \therefore \frac{h}{\lambda} &= \frac{1}{4\pi} (-\phi_h + \phi_{ref}) \end{aligned} \quad (8)$$

式(3)を用いて式(5)を整理すると, 次式が得られる.

$$r = E_0 e^{j\phi_h} \quad (9)$$

式(1)に式(2)を代入し, 両辺に $(1-r)$ を掛ける.

$$(1-r)E_0 + E_1 = (1-r)e^{j\phi_s} \quad (10)$$

式(10)に式(4)及び式(9)を代入し整理すると, 式(11)が得られる.

$$\begin{aligned} (1 - E_0 e^{j\phi_h}) E_0 + |S_{21}|^2 e^{j(2\phi_{21} + \phi_h)} &= (1 - E_0 e^{j\phi_h}) e^{j\phi_s} \\ \therefore e^{j\phi_h} &= \frac{e^{j\phi_s} - E_0}{|S_{21}|^2 e^{j2\phi_{21}} + (e^{j\phi_s} - E_0) E_0} \end{aligned} \quad (11)$$

式(11)について, 両辺の自然対数を取り整理すると, 式(12)が得られる.

$$\begin{aligned} \ln e^{j\phi_h} &= \ln \left[\frac{e^{j\phi_s} - E_0}{|S_{21}|^2 e^{j2\phi_{21}} + (e^{j\phi_s} - E_0) E_0} \right] \\ \therefore \phi_h &= \frac{1}{j} \ln \left[\frac{e^{j\phi_s} - E_0}{|S_{21}|^2 e^{j2\phi_{21}} + (e^{j\phi_s} - E_0) E_0} \right] \end{aligned} \quad (12)$$

式(8)に式(12)を代入し整理すると, 式(13)が得られる.

$$\begin{aligned} \frac{h}{\lambda} &= \frac{1}{4\pi} \left\{ -\frac{1}{j} \ln \left[\frac{e^{j\phi_s} - E_0}{|S_{21}|^2 e^{j2\phi_{21}} + (e^{j\phi_s} - E_0) E_0} \right] + \phi_{ref} \right\} \\ \therefore \frac{h}{\lambda} &= \frac{j}{4\pi} \ln \left[\frac{e^{j\phi_s} - E_0}{e^{j\phi_{ref}} \{ |S_{21}|^2 e^{j2\phi_{21}} + (e^{j\phi_s} - E_0) E_0 \}} \right] \end{aligned} \quad (13)$$

4. まとめ

式(13)は, 文献[1]の式(4)と一部異なる. 異なる箇所は, 分母の+符号の直後の $e^{j\phi_s}$ である.

参考文献

- 1) 堀俊和, "メタ・サーフェスの設計技術とアンテナ・伝搬への応用," 信学論(B), vol. J99-B, no. 9, pp. 646-654, Sept. 2016.
- 2) Y. Kawakami, T. Hori, M. Fujimoto, R. Yamaguchi, and K. Cho, "Low-profile design of metasurface considering FSS filtering characteristics," IEICE Trans., vol. E95-B, no. 2, pp. 477-483, Feb. 2012.
- 3) T. Nakamura and T. Fukusako, "Broadband design of circularly polarized microstrip patch antenna using artificial ground structure with rectangular unit cells," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 59, no. 6, pp. 2103-2110, Jun. 2011.