

開口をもつ導体遮蔽弊板による電磁波の散乱

Scattering of Electromagnetic Waves by a Conducting Screen with Apertures

○近藤裕斗<sup>1</sup>, 尾崎亮介<sup>2</sup>, 山崎恆樹<sup>2</sup>

\*Yuto Kondo<sup>1</sup>, Ryouzuke Ozaki<sup>2</sup>, Tuneki Yamasaki<sup>2</sup>

Abstract: Recently, it is important problems that the EM noise occurs from electronic devices. As the devices with the signal of high frequency component has increased, it is necessary to remove EM noise. In this paper, we have show a formulation to analyze the scattering problem by conducting screen with arbitrary apertures.

1. はじめに

近年、電子機器の利用が増大し、電子機器から発生する電磁ノイズが他の機器に誤作動を起こさせる等の問題が生じている。電子機器の妨害波発生抑圧、及び放送、通信等に電磁ノイズが干渉することによって生じる外部への情報漏洩の防止等、空間的な電磁環境の制御に、電磁機器や建物そのものに対する電磁遮蔽が有効な手段となる。そこで周期的遮蔽板内に任意の開口をもつ遮蔽板のモデルは、周波数選択フィルター等の設計において有用である<sup>[1,2]</sup>。

本文では、周波数選択フィルター等の設計の目的で、Fig.1 のような開口をもつ導体遮蔽板に平面電磁波が z 軸の負の方向から入射した場合での散乱特性を点整合法(Point-Matching Method)<sup>[4]</sup>を用いて透過係数を解析した<sup>[5,6]</sup>。

2. 解析法

本文は、開口をもつ導体遮蔽板の散乱問題を解析する。開口をもつ導体遮蔽板は、Fig.1 のように x, y 方向にそれぞれ周期 2a, 2b をもつ構造で、x 軸方向に a, y 軸方向に b の開口をもつ厚さ零の完全導体板である。Fig.1 の断面図を Fig.2 に示す。領域 S<sub>I</sub> (z > 0) の媒質定数を (ε<sub>1</sub>, μ<sub>0</sub>)、領域 S<sub>II</sub> (z < 0) の媒質定数を (ε<sub>2</sub>, μ<sub>0</sub>) とする。入射波は、次式の平面波とする。

$$E_x^{(i)} = E_0 e^{j(\omega t - k_i z)}, H_y^{(i)} = E_x^{(i)} / Z_i \quad (1)$$

但し、 $Z_i = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_i}$ ,  $k_i = \omega \sqrt{\epsilon_i \mu_0}$ ,  $i = 1, 2$  であり、 $i$  は領域 S<sub>I</sub>, S<sub>II</sub> を表している。Fig.1 の様な 2 次元モデルの問題にはヘルツベクトルを用いた解析が有効である領域 S<sub>I</sub>, S<sub>II</sub> のヘルツベクトル π は次式となる。

$$\pi_z^{(i)} = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} F_{mn} \cdot \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cdot \cos\left(\frac{n\pi}{b} y\right) \cdot e^{-\gamma_{mn}^{(i)} z} \quad (2)$$

$$\pi_z^{(i)*} = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} F_{mn}^* \cdot \cos\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cdot \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) \cdot e^{-\gamma_{mn}^{(i)} z} \quad (3)$$

$$\pi_z^{(r)} = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} G_{mn} \cdot \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cdot \cos\left(\frac{n\pi}{b} y\right) \cdot e^{\gamma_{mn}^{(i)} z} \quad (4)$$

$$\pi_z^{(r)*} = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} G_{mn}^* \cdot \cos\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cdot \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) \cdot e^{\gamma_{mn}^{(i)} z} \quad (5)$$

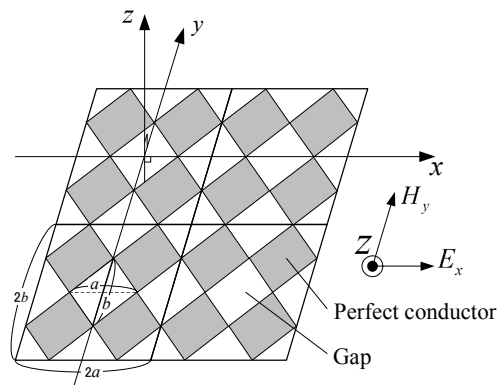


Fig.1 Structure and coordinate system by Conducting Screen with Apertures

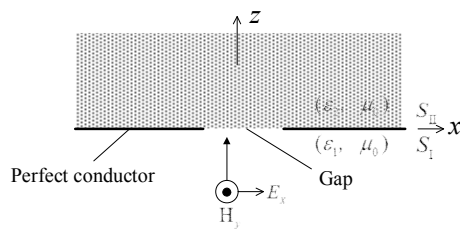


Fig.2 Structure and coordinate system by Conducting Screen

但し、z 軸方向の伝搬定数  $\gamma_{m,n}^{(i)}$  は次式となる。

$$\gamma_{m,n}^{(i)} \triangleq \sqrt{(m\pi/a)^2 + (n\pi/b)^2 - k_i^2}, \quad i=1,2 \quad (6)$$

電気系ヘルツベクトル  $\pi_z^{(i)}$ 、磁気系ヘルツベクトル  $\pi_z^{(i)*}$  については次式で表せる<sup>[3]</sup>。

$$E = \nabla \times \nabla \times \pi_z^{(i)} - \mu_0 \nabla \times \frac{\partial \pi_z^{(i)*}}{\partial t} \quad (7)$$

$$H = \nabla \times \nabla \times \pi_z^{(i)*} + \epsilon_i \nabla \times \frac{\partial \pi_z^{(i)}}{\partial t} \quad (8)$$

式(7),(8)に式(2)~(5)を代入することにより、領域 S<sub>II</sub> における電磁界の透過波の x, y 成分 (E<sub>x</sub>, E<sub>y</sub>, H<sub>x</sub>, H<sub>y</sub>) は、次式の関係式となる。但し、 $F_{m,n}$ ,  $G_{m,n}$ ,  $F_{m,n}^*$ ,  $G_{m,n}^*$  は、境界条件から求まる未知散乱係数である。

1 : 日大理工・院 (前)・電気      2 : 日大理工・教員・電気

$$E_x^{(t)} = F_0 e^{-jk_0 z} - \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \gamma_{mn}^{(2)} \frac{m\pi}{a} F_{mn} + j\omega\mu_0 \frac{n\pi}{b} F_{mn}^* \right] f_1(x, y) \quad (9)$$

$$E_y^{(t)} = -\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \gamma_{mn}^{(2)} \frac{n\pi}{b} F_{mn} + j\omega\mu_0 \frac{m\pi}{a} F_{mn}^* \right] f_2(x, y) \quad (10)$$

$$H_x^{(t)} = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ -j\omega\epsilon_2 \frac{n\pi}{b} F_{mn} + \gamma_{mn}^{(2)} \frac{m\pi}{a} F_{mn}^* \right] f_2(x, y) \quad (11)$$

$$H_y^{(t)} = \frac{F_0}{Z_2} e^{-jk_0 z} - \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \left[ j\omega\epsilon_2 \frac{m\pi}{a} F_{mn} + \gamma_{mn}^{(2)} \frac{n\pi}{b} F_{mn}^* \right] f_1(x, y) \quad (12)$$

$$f_1(x, y) \triangleq \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-\gamma_{mn}^{(2)}z} \quad (13)$$

$$f_2(x, y) \triangleq \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-\gamma_{mn}^{(2)}z} \quad (14)$$

また領域  $S_I, S_{II}$  の反射波も同様に求めることができる。境界条件式は、導体上では接線成分が 0 となり、開口上では接線成分が連続であることから  $z=0$  となる。したがって各接線成分は導体上で、

$$\begin{aligned} [E_x^i]_{z=0} + [E_x^r]_{z=0} &= [E_x^t]_{z=0} = 0 \\ [E_y^r]_{z=0} &= [E_y^t]_{z=0} = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

開口上で、

$$\begin{aligned} [E_x^i]_{z=0} + [E_x^r]_{z=0} &= [E_x^t]_{z=0} \\ [E_y^r]_{z=0} &= [E_y^t]_{z=0} = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} [H_y^i]_{z=0} + [H_y^r]_{z=0} &= [H_y^t]_{z=0} \\ [H_x^r]_{z=0} &= [H_x^t]_{z=0} = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

の条件が導かれ、未知散乱係数  $\mathbf{F}_{m,n}, \mathbf{G}_{m,n}, \mathbf{F}_{m,n}^*, \mathbf{G}_{m,n}^*$  が求まる。点整合法(Point-Matching Method)では、電磁界を有限長  $N$  で打ち切り、次式の標本点の  $x, y$  座標で境界条件を満足させる。

$$x \rightarrow x_\alpha = \frac{a}{2N+1}(2\alpha) \quad , \quad (\alpha = 0, 1, \dots, N) \quad (18)$$

$$y \rightarrow y_\beta = \frac{b}{2N+1}(2\beta) \quad , \quad (\beta = 0, 1, \dots, N) \quad (19)$$

電力透過係数  $\rho_t$  は、式(15)~(17)で求めた電磁界の未知散乱係数を用いて次式に求まる。

$$\rho_t = \frac{\frac{1}{2} \text{Re} \int_{-a}^a \int_{-b}^b [E_x^{(t)} \times H_y^{(t)} + E_y^{(t)} \times H_x^{(t)}] dx dy}{\frac{1}{2} \text{Re} \int_{-a}^a \int_{-b}^b [E_x^{(i)} \times H_y^{(i)}] dx dy}$$

### 3. 数値解析

Fig.3 に 2 つの解析モデルを示す。モデル(A)は、Fig.3 に示すような四角形であり、モデル(B)はモデル(A)の中に位置する八角形である。Fig.4 は、Fig.3 の解析モデル(A),(B)において、打ち切りモード数  $N=32$  としたときの規格化周波数  $k_0 a$  に対する電力透過係数  $\rho_t$  を示したものである。Fig.4 より、モデル(A)とモデル(B)を比較した際、モデル(A)はモデル(B)より低い周波数で共振することが分かる。また、モデル(B)はモデル(A)よりも最初の共振が次の共振に近づくことが分かる。周波数が低い場合に生じる小さい共振に関しては、今後検討していく予定である。

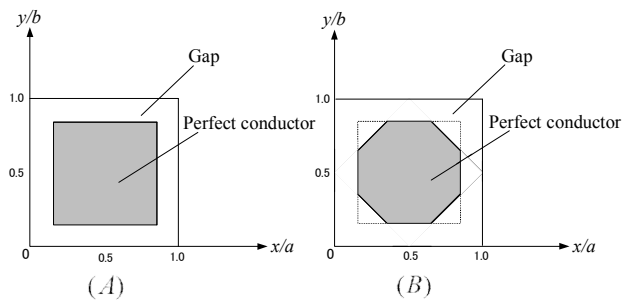


Fig.3 analytic model

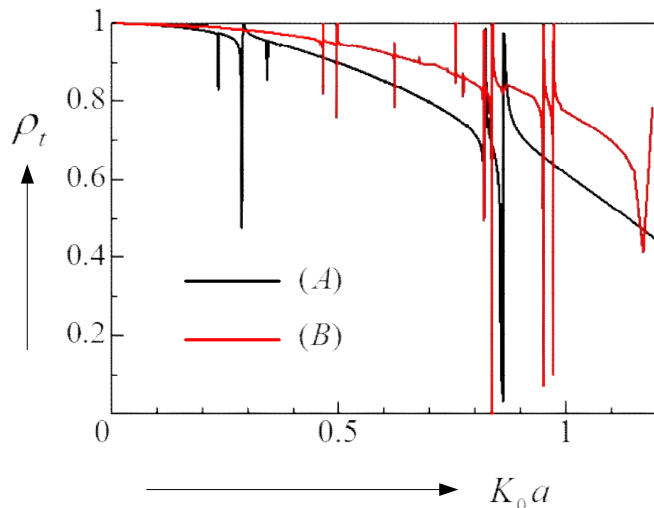


Fig.4 power transmission coefficient

### 4. まとめ

本文では、開口をもつ導体遮蔽板に平面電磁波が入射した場合の散乱問題を点整合法を用いて解析し、導体部の形状変化による透過係数の比較を検討した。今後は、開口部の形状を変化させた場合や、領域  $S_{II}$  の誘電率を変化させた場合での電力透過係数との比較を検討していく予定である。

### 5. 参考文献

- [1] 三松出版：「電磁ノイズ発生メカニズム&電磁ノイズを克服する法」, pp.15-86, (2011).
- [2] 三枝健二：「電磁波吸収・遮蔽の基礎理論」, 電磁波吸収、遮蔽の材料・設計と応用, No.259, pp.24-36, (2009).
- [3] 虫明, 安達：「基礎電波工学」, 共立出版, pp.7-15, (1970).
- [4] 細野：「電磁波工学の基礎」, pp.256-259, 昭晃堂, (1973)
- [5] 甲藤, 尾崎, 山崎：「周期的開口をもつ導体遮蔽板による電磁波の散乱」, 日大理工学術講演会, L-35, pp.1035-1036 (2012).
- [6] 甲藤, 尾崎, 山崎：「周期的開口をもつ導体遮蔽板による電磁波の散乱」, 電学全大, 1-019, (2013).