

金属V溝構造におけるテラヘルツ波の超集束：動径方程式の近似解析解

Superfocusing of Terahertz Waves in the Metallic V-Groove Structures:

An approximate analytical solution of the Radial Equation

福井大教育¹, 福井大遠赤セ², 福井工大³, 海保大⁴ ○栗原 一嘉¹, 草間 究¹, 山本 晃司²,

桑島 史欣³, 森川 治⁴, 谷 正彦²

Univ. Fukui¹, FIR UF², FUT³, JCGA⁴ ○Kazuyoshi Kurihara¹, Kiwamu Kusama, Kohji Yamamoto²,

Fumiyoshi Kuwashima³, Osamu Morikawa⁴, Masahiko Tani²

E-mail: kuri@u-fukui.ac.jp

我々は、準変数分離法[1]を用いて、金属V溝構造におけるテラヘルツ波の近似解析解を求めている。前回の発表[2]で、境界条件の解 $\zeta_u^{(0)}(\rho)$ の近似式

$$\zeta_u^{(0)}(\rho) = -(\varepsilon_1 \beta_2 \rho / \alpha \varepsilon_2) \tanh\{(\pi - \alpha) \beta_2 \rho\} \quad (1)$$

を求めることができたので、今回は、動径方程式

$$\partial_{\rho\rho} R_u(\rho) + \rho^{-1} \partial_{\rho} R_u(\rho) + \{k_p^2 + \zeta_u(\rho) / \rho^2\} R_u(\rho) = 0 \quad (2)$$

を近似的に解くことを議論する。ここで、 $\beta_j = \sqrt{k_p^2 - \varepsilon_j k_0^2}$, $j=1,2$ である。 ε_1 と ε_2 は、それぞれ、誘電体と金属の誘電率であり、 k_p は平面構造での表面プラズモンの波数 $k_p = k_0 \sqrt{\varepsilon_1 \varepsilon_2 / (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}$, k_0 は電磁波の自由空間での波数である。誘電率の典型的な値として、1 THzでのアルミニウムを想定し、 $\varepsilon_1 = 1$, $\varepsilon_2 = -3.2 \times 10^4 + i6.7 \times 10^5$ を用いる。また、金属V溝のテーパ角度 $\alpha = 20^\circ$ とする。式(1)は、 $\tanh x \sim 1$ ($|x| \geq \pi$)を用いると、

$$\zeta_u^{(0)}(\rho) \sim -\varepsilon_1 \beta_2 \rho / \alpha \varepsilon_2 \sim \varepsilon_1 \rho / \alpha (-\varepsilon_2)^{1/2} \quad \text{for } \rho \geq |\pi / (\pi - \alpha) \beta_2| \sim |\varepsilon_2^{-1/2}| / k_0 \quad (3)$$

となる。今回の計算条件では、真空での波長 λ_0 を用いて、 $\rho \geq 1.9 \times 10^{-4} \lambda_0$ となる。動径方程式(2)は、式(3)を用いると、次のように変形できる。

$$\partial_{\rho\rho} R_u(\rho) + \rho^{-1} \partial_{\rho} R_u(\rho) + \{\varepsilon_1 k_0^2 + \varepsilon_1 / \rho \alpha (-\varepsilon_2)^{1/2}\} R_u(\rho) = 0 \quad \text{for } \rho \geq |\varepsilon_2^{-1/2}| / k_0 \quad (4)$$

式(4)において、V溝先端へ向かって伝搬する解は、

$$R_u(\rho) = \rho^{-1/2} H_{-1/2}^{-}(-\varepsilon_1^{1/2} / \{2k_0 \alpha (-\varepsilon_2)^{1/2}\}, \rho k_0 \varepsilon_1^{1/2}) \text{ と書ける。}$$

ここで、 $H_{-1/2}^{-}(\cdot, \cdot)$ は、第2種ハンケル・クーロン波動関数である。図1に、動径関数の近似解析解 $R_u(\rho)$ のグラフを示す。近似解析解の絶対値が、超集束による磁場増強を直接的に反映しており、V溝先端からの距離 ρ が小さくなる程大きくなっている。

以上より、金属V溝構造におけるテラヘルツ波の超集束モードに関して、動径関数の近似解析解を得ることに成功した。

[1] K. Kurihara *et al.*, *J. Phys. A*, vol. 41, 295401, 2008.

[2] 栗原一嘉他, 2016年春応用物理学会, 21a-P6-8.

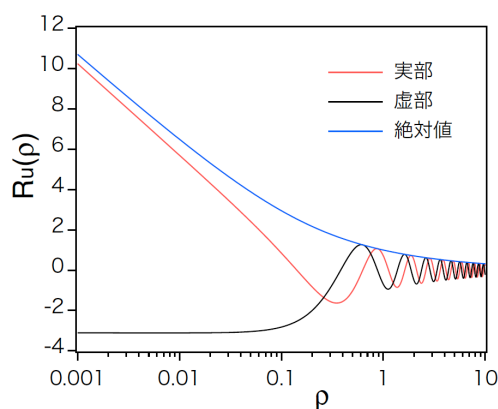


図1 動径関数の近似解析解のグラフ。
横軸は波長で規格化している。