

ナノスケールアンテナの電磁界解析 Analysis of electromagnetic fields for nano-scale antennas

○加藤司¹, 岩松寛², 大貫進一郎³*Tsukasa Kato¹, Hiroshi Iwamatsu², Shinichiro Ohnuki³

Abstract: With the developments in optical technologies, the near-field light is important for optical recording and processing, since the near-field light generated at nearby surface of metal objects can be focused beyond the diffraction limit. In this study, we analyze electromagnetic fields for nano-scale antennas using the FDTD method. The relationship between the electric field intensity and the incident wavelength for antenna geometries is clarified.

1. はじめに

光技術の発展に伴い光記録の高密度化や光加工の微細化の分野で近接場光の利用が注目され、高効率な近接場光発生素子としてナノスケールアンテナの設計が求められている^[1].

本報告では、ナノスケールアンテナとして尖端付き金属球を 2 個配置した場合について電磁界解析を行なう。また、尖端の鋭さを変化させたときの電界の大きさと入射波長の関係について検討を行なう。

2. 解析形状

解析に用いる尖端付き金属球を Figure 1 に示す。球半径 r の球表面から、 y 軸上に長さ a の尖端を考える。この a の値により尖端の鋭さ θ は式(1)で与えられる。

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{r}{\sqrt{2ra + a^2}}\right) \quad (1)$$

入射波は z 軸正方向から負方向へ伝搬する振幅 $1[\text{V/m}]$ の y 方向直線偏波とする。本報告では、金属の分散関係を精度良く表す LD モデルを用いる^[2]。周波数領域における金属の比誘電率 $\epsilon_r(\omega)$ は、分極率 $\chi_l(\omega)$ とすると式(2)で表される。

$$\epsilon_r(\omega) = 1 - \frac{A_0 \omega_p^2}{\omega(\omega + j\nu_0)} + \sum_{l=1}^K \chi_l(\omega) \quad (2)$$

$$\chi_l(\omega) = \frac{A_l \omega_p^2}{(\omega_l^2 - \omega^2) - j\nu_l \omega}$$

ただし ω_p : プラズマ周波数, ω_l : 共振周波数,
 ν_0, ν_l : 衝突周波数, A_0, A_l : 媒質定数.

Figure 2 は LD モデルにおける Au の入射波長に対する比誘電率を示したものである。図に示すように Au は光の波長帯で負の誘電率を持つことがわかる。

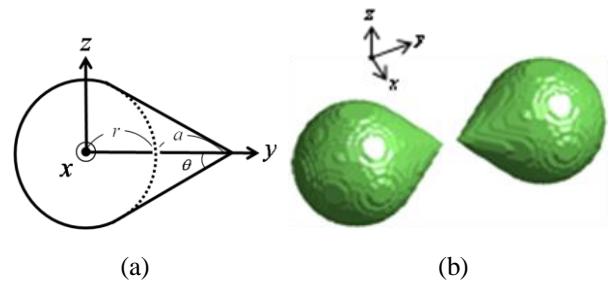


Figure 1. Geometry of a nano-scale antenna.

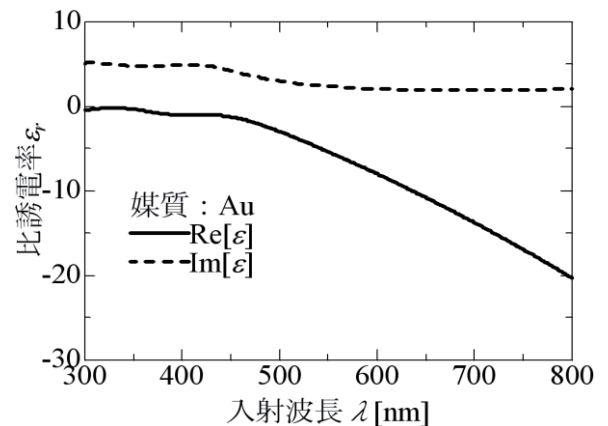


Figure 2. Dielectric constant of Au for the LD model.

3. 数値解析

電磁界解析には FDTD 法を用いる。FDTD 法では複素誘電率を直接適応できないので、電子の運動方程式を中心差分法で解くことで分散性を組み込む^[3]。

本報告では、球半径 50 nm, 媒質 Au の尖端付き金属球について電磁界解析を行なう。Figure 1 (b)に示す 2 物体の尖端間隔は 10 nm 離れており、観測点をその中心点とする。また観測点における定常状態での電界の最大値を近接場光の強さとする。

Figure 3 は Figure 1 (b)に示す尖端付き金属球 $\theta=56.4^\circ$ の場合と、尖端なし金属球において入射波長に対する電界を示したものである。解析形状の違いにより、得

られるピーク電界が大きくなっていることが確認できる。

Table 1 はそれぞれのピーク電界とその時の入射波長を示したものである。尖端なし金属球に比べ尖端付き金属球の場合、ピーク電界を 1.37 倍に増幅できていることが確認できる。

Figure 4 は尖端の鋭さを変化させた場合の入射波長に対する電界を示したものである。尖端を鋭くする程、ピーク電界が大きくなっていることが確認できる。

Table 2 は尖端の鋭さ θ を変化させたときのピーク電界とその時の入射波長を示したものである。 $\theta=65.4^\circ$ の場合と $\theta=41.8^\circ$ の場合を比べると、ピーク電界は 2.34 倍に増幅できていることが確認できる。またこのとき、ピーク電界を得られる入射波長は長波長方向に遷移していることも確認できる。

4. まとめ

ナノスケールアンテナの例として尖端付き金属球を 2 個配置した場合のピーク電界とその時の入射波長の変化を FDTD 法により求めた。直線偏波を入射した時、尖端なし金属球を配置した場合に比べ、尖端付き金属球を配置した場合の方が 1.37 倍の電界強度を得ることができた。また尖端の鋭さを変化させた場合、尖端が鋭い程光の波長帯でより大きなピーク電界を得ること、尖端の鋭さによりピーク電界を得られる入射波長が長波長方向に遷移することを確認した。

5. 参考文献

- [1] 大津元一, ナノオプティクス大容量ストレージ, オーム社, 2008.
- [2] A. D. Rakic, A. B. Djurišić, J. M. Elazar, and M. L. Majewski, "Optical Properties of Metallic Films for Vertical-Cavity Optoelectronic Devices", *Appl. Opt.* **37**, 5271-5283, 1998.
- [3] T. Yamaguchi and T. Hinata, "Optical near-field analysis of spherical metals", *Application of the FDTD method combined with the ADE method*, *Opt. Express*, **15**, pp.11481-11491, 2007.
- [4] 岩松寛, 岡田辰一郎, 大貫進一郎, 芦澤好人, 中川活二: 「ナノアンテナにおけるプラズモン共鳴の位相特性」, The 2010 IEICE Society Conference, C-1-9, 2010.
- [5] 加藤司, 大貫進一郎: 「FDTD 法によるナノスケールアンテナの解析」, 電気学会 2010 第 1 回学生研究発表会, 2-3, 2010.

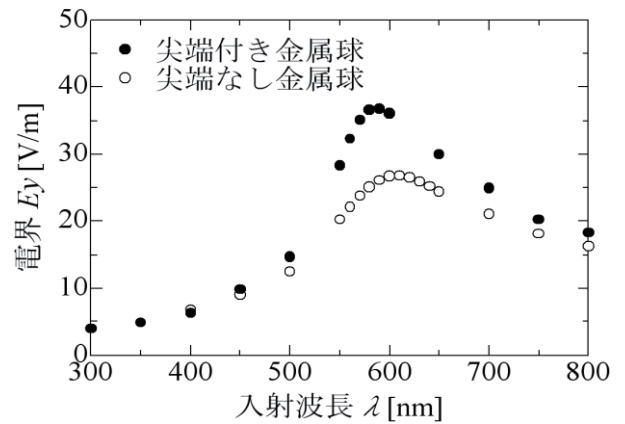


Figure 3. Electric field intensity on the incident wavelength for spheres and spheres with an apex.

Table 1. Comparison between spheres and spheres with an apex.

	Electric field intensity E_y [V/m]	Incident wavelength λ [nm]
Two metal spheres	26.8	610
Two metal spheres with an apex	36.8	590

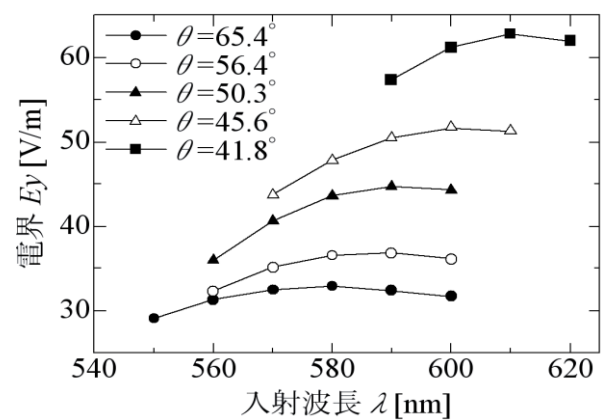


Figure 4. Electric field intensity on the incident wavelength for the angle variation.

Table 2. Maximum electric field intensity for various apices.

Angle of an apex θ [deg]	Electric field intensity E_y [V/m]	Incident wavelength λ [nm]
65.4	26.8	580
56.4	36.8	590
50.3	44.7	590
45.6	51.7	600
41.8	62.8	610