

微小セラミック球による電磁波の散乱に関する研究

大川恵理* 三ヶ田均, 尾西恭亮 (京都大学)
谷口清 (日特建設) 石橋象二郎 (日本中央研究所) 芦田謙 (NPO 法人 EEFA)

A study on electromagnetic waves scattered by fine ceramic spheres

Eri Ohkawa*, Hitoshi Mikada Kyosuke Onishi (Kyoto Univ.),
Kiyoshi Tniguchi (NITTOC), Shojiro Ishibashi (NCK), Yuzuru Ashida (NPO EEFA)

Abstract: It is well known that the insolation raises the room temperature in buildings and that the crisis of electric power supply is regularly caused by air conditioning in mid summer. Recently, some experiments demonstrated that the room temperature could be kept low when the external wall of buildings were coated with paint admixed with fine ceramic spheres whose diameter is in micron scale. The consumption of energy, therefore, will be reduced if room temperature is controlled without any air conditioning and the heat island effects would be lowered. However, the mechanism of this temperature suppression has not been investigated. In this study, we aimed to find out the mechanism of the temperature suppression and the effective size of admixed spheres. First, we assumed that the electromagnetic waves which had a certain range of frequencies were scattered to shield the radiated heat energy in the insolation. For verifying the hypotheses and for finding the range of effective size, we used the Mie theory to calculate the intensity of scattered light by a set of packed spheres. As a result, we found that amplitude of scattered light depended on the wavelength of incident light and on the size of spheres. We concluded that these two parameters are the important clue for achieve our objectives.

1. はじめに

塗料にある微小セラミック球を混ぜて金属に塗布すると、混ぜていないものを塗布した場合、あるいは何も塗布していない場合に比べ、太陽光照射時の温度上昇が抑制される。天井 外壁の温度上昇を抑えることで室温の上昇が抑えられ、夏場のエアコン使用による電力消費の抑制が期待できるため、この塗料は天井や外壁など屋外の塗装で導入されはじめています。

この塗料についての実験的な考察はこれまでも行われてきたが、温度上昇を抑制する効果の理論説明はほとんどなされていないため、最適なセラミック球の組成やサイズについてはよく分かっていない。しかし、高性能な塗料の開発や応用を可能とするためには、温度上昇抑制効果を理論的に解明することが必要である。

そこで、本研究では温度上昇を抑制するメカニズムをシミュレーションにより解明することをめざした。

2. 仮説と立証方法

ある物体に、それを構成する原子 分子 あるいは結合の固有振動数に近い振動数の電磁波が入射すると原子や分子が共振して激しく運動し、それによって温度が上昇する。そのため、物体の固有振動数周辺の振動数を持つ波を遮断することができれば温度上昇を抑

制できるのではないかと考え、光という電磁波について検討することにした。

はじめに、温度上昇の抑制には光の散乱現象が関係しており セラミック球が光を散乱させることで塗料の層を透過する光が弱められると仮定した。光は電磁波であるので、位相条件によっては入射波と散乱波が打ち消しあう。そこで、球の大きさや入射波の波長を変えたときの入射波と散乱波の関係を調べ、仮説の検証を行った。検証には、G Mieによって導かれた厳密解(Born and Wolf, 1999)を用いて塗料中の各球による散乱波を計算し、重ね合わせる方法を用いた。なお、本研究では、複数の微小球による散乱における各球の相互作用については考慮せずに検討を行った。

3. 1個の微小シリカ球による散乱

セラミック球が光を散乱させることで塗料の層を透過する光が弱められるという仮定を検証するために、本研究では球による散乱を考察する。まずは、Mie の理論を用い1球の場合の散乱について検討する。

Mie の理論によると 図1のように比誘電率 $\epsilon^{(1)}$ の絶縁体(I) (波数 $k^{(1)}$) から比誘電率 $\epsilon^{(2)}$ と導電率 σ をもった球(II)に振幅1の平面波が図1のように入射したときの散乱波は、球を原点

とした球座標 (r, θ, ϕ) の関数として以下のように表される。

$$E_r^{(s)} = \frac{1}{k^{(1)2}} \cdot \frac{\cos \phi}{r^2} \sum_{l=1}^{\infty} l(l+1) {}^e B_l \zeta_l^{(1)}(k^{(1)}r) P_l^{(1)}(\cos \theta)$$

$$E_{\theta}^{(s)} = -\frac{1}{k^{(1)}} \cdot \frac{\cos \phi}{r} \sum_{l=1}^{\infty} \left[{}^e B_l \zeta_l^{(1)'}(k^{(1)}r) P_l^{(1)'}(\cos \theta) \sin \theta - i^m B_l \zeta_l^{(1)}(k^{(1)}r) P_l^{(1)}(\cos \theta) \frac{1}{\sin \theta} \right]$$

$$E_{\phi}^{(s)} = -\frac{1}{k^{(1)}} \cdot \frac{\sin \phi}{r} \sum_{l=1}^{\infty} \left[{}^e B_l \zeta_l^{(1)'}(k^{(1)}r) P_l^{(1)'}(\cos \theta) \frac{1}{\sin \theta} - i^m B_l \zeta_l^{(1)}(k^{(1)}r) P_l^{(1)}(\cos \theta) \sin \theta \right] \quad (1)$$

ただし、 $E^{(s)}$: 散乱波の電場、 ζ : Riccati の第 3 種 Bessel 関数、 P : 随伴 Legendre 関数、 B : 複素係数、 ζ' : ζ のそれぞれの引数に関する微分である。

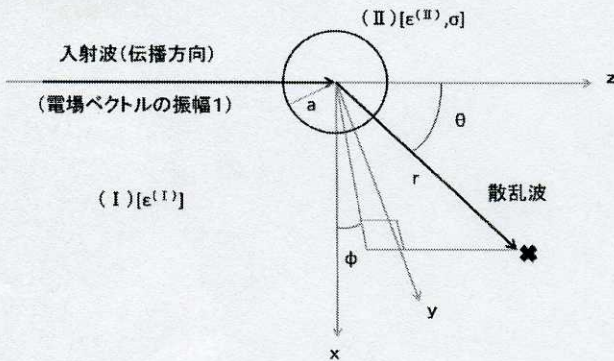


図 1 散乱の模式図

本研究では (I) として空気、(II) としてシリカを想定し、

$\epsilon^{(1)}=1.0$, $\epsilon^{(II)}=11.9$, $\sigma=2.52 \times 10^{-4} / (\text{m} \cdot \Omega)$ の各値を用いた。また真空中での光速は $c=3.0 \times 10^8$ (m/s) とした。

図 2 (a)~(i) は、球から波長に比べ十分離れた場所 (距離 $r=1000 \mu\text{m}$) での散乱波の強度を ϕ について平均化し、 θ について極座標表示したものであり 図 3 は球半径 a が $0.3 \mu\text{m}$ と $0.5 \mu\text{m}$ の 2 つの場合の図を重ねたものである。振幅は、入射波振幅を 1 とした場合について、原点からの距離で示されている。散乱波が散乱角 θ によって違う強度になっており 球の半径が大きいが全体として散乱強度が大きく また球が小さくなると等方散乱に近づくことが分かる。

図 2, 図 3 は距離 $r=1000 \mu\text{m}$ での散乱強度であるが、次に検討する球が多数の条件では球と観測点の間の距離を小さくして計算を行うため、球からの距離が波長より小さい場合の散乱波の強度を調べた。

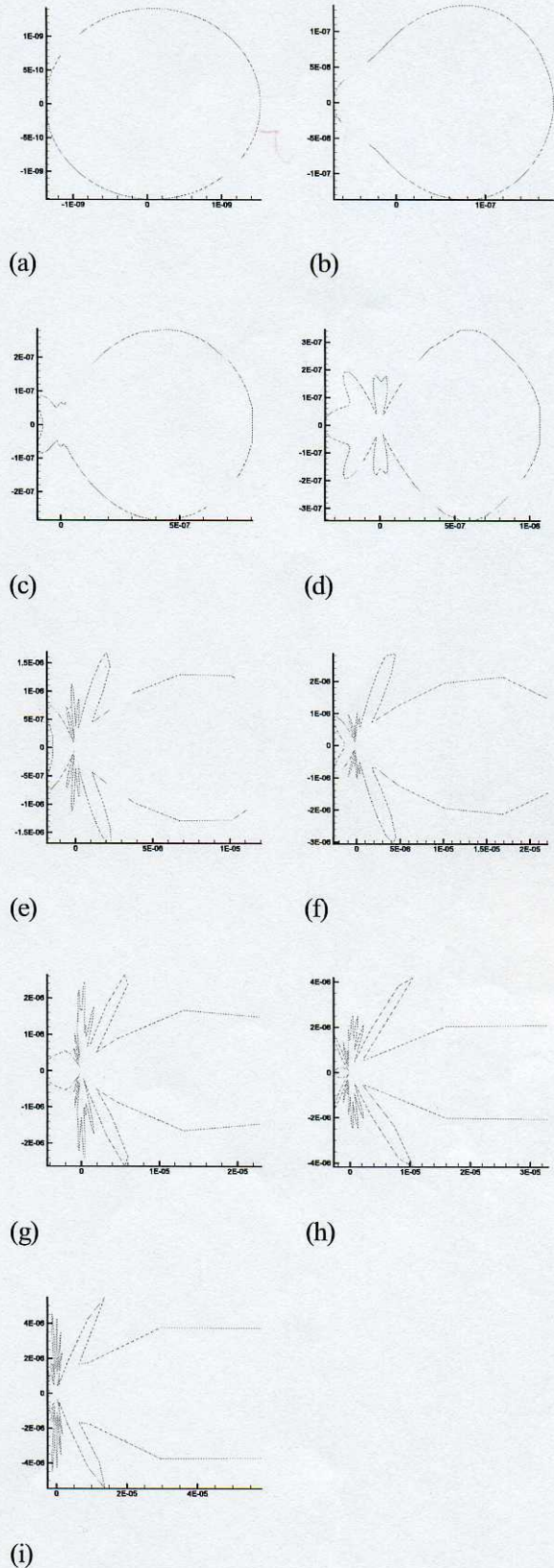


図 2 距離 $r=1000 \mu\text{m}$ での散乱波の強度
球半径 a が (a) $0.1 \mu\text{m}$ (b) $0.3 \mu\text{m}$ (c) $0.5 \mu\text{m}$ (d) $0.7 \mu\text{m}$
(e) $1.0 \mu\text{m}$ (f) $1.2 \mu\text{m}$ (g) $1.5 \mu\text{m}$ (h) $1.7 \mu\text{m}$ (i) $2.0 \mu\text{m}$

