

突き合わせ部および溝を持つ導体板による 低周波遮へい効果

田中 章雄*¹ 石田 浩一*² 武平 信夫*² 三木 俊克*³

Low-Frequency Shielding Effectiveness of the Conductor with Butt and Groove

Akio TANAKA*¹, Kouichi ISHIDA*², Nobuo TAKEHIRA*²
and Toshikatsu MIKI*³

Abstract

The problem of electromagnetic shielding effectiveness of a thin plane metal sheet of infinite extent is solved. In this paper, we study low-frequency shielding effectiveness of the conductor with butt and groove which have various shapes of cross section. The result in this article is that butt in conductor reduces shielding effectiveness.

Key Words : Shielding Effect, Conductor with Butt and groove, Sheet Conductor.

1. まえがき

現代社会において携帯電話をはじめ社内LANなど電磁波を利用した様々な機器が存在し、急速に普及している。また非意図的に電磁波を漏洩している電気・電子機器も多く存在している(パソコンやテレビ、モーターなど)。電磁波の漏洩は、情報の漏洩、機械の誤動作につながるほか、人体への影響も現在問題となっている。これらの問題に対し建築業界では金融機関を中心に電磁シールドを設けた付加価値のあるビルを建築するなどに対応している⁽¹⁾。

上記は比較的高周波を対象としているが、家庭電気機器(電気シェーバー、電子レンジ等)を中心とした低周波磁界⁽²⁾、超電導機器による直流磁界なども検討を要する課題である。

平板状導体による低周波遮へい効果についてはLevy氏⁽³⁾にはじまり、その後Schelkunoff氏⁽⁴⁾、Moser氏⁽⁵⁾、Ryan氏⁽⁶⁾、Bannister氏⁽⁷⁾らによって理論、実験の両面から詳細な研究がなされ、Seki

氏ら⁽⁸⁾、雨宮氏ら⁽⁹⁾、⁽¹⁰⁾によって更に検討が加えられている。著者らも導体板が移動した場合について検討している⁽¹¹⁾。

ところでシールド室の扉、ハッチ、シールド筐体の蓋の継ぎ目にはフィンガー・ガスケットを用いているが、これらの存在はシールド効果を大きく低下させる⁽¹²⁾。

本研究は、数種の断面形状の突き合わせ部をもつ平板状導体の遮へい効果および溝を持つ導体板の遮へい効果について実験的に検討したものである。

その結果、突き合わせ部を物理的に密着させても、遮へい効果は大きく損なわれることが判明した。端面を工夫しても若干の改善がみられる程度である。溝が存在しても接続部があれば遮へい効果の減少を抑えることができる。

2. 突き合わせ部のない場合の遮へい効果の導出

図1に解析モデルを示す。突き合わせ部のない

*¹ 宇部工業高専専門学校

*² 機械電気工学科

*³ 山口大学

平板導体が遮へい導体として存在する場合の二次コイルへの起電力は、導体板が無限に広いという仮定の下に次式^(1,3)となる。

$$E = - \frac{j\omega\mu_0 N_0 N_1 I}{2a_0 a_1 \tau_0 \tau_1 (1-\beta_0)(1-\beta_1)} \times \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \left(\int_{\beta_0 a_0}^{a_0} a J_1(a\zeta) da \right) \times \left(\int_{\beta_1 a_1}^{a_1} a J_1(a\zeta) da \right) \times \frac{e^{-z_{01}\zeta} (e^{-\tau_0\zeta} - 1)(e^{-\tau_1\zeta} - 1)}{\zeta^2} \times v e^{-jc\zeta \sin\phi} d\phi d\zeta \quad (1)$$

この式は導体板が移動中でも適用できる。

$$v = \frac{4e^{(\zeta-\gamma)d}}{\left(\frac{\gamma}{\zeta} + \frac{\mu}{\mu_0}\right)\left(\zeta + \frac{\mu_0}{\mu}\right) + \left(\frac{\gamma}{\zeta} - \frac{\mu}{\mu_0}\right)\left(\zeta - \frac{\mu_0}{\mu}\right)e^{-2\gamma d}} \quad (2)$$

$$\gamma = \sqrt{\zeta^2 - j\omega\mu v \zeta \sin\phi + j\omega\sigma\mu} \quad (3)$$

τ_0 : 励磁コイルの長さ τ_1 : 検出コイルの長さ
 a_0 : 励磁コイルの外半径
 a_1 : 検出コイルの外半径
 N_0 : 励磁コイルの巻数 N_1 : 検出コイルの巻数
 ω : 角周波数 I : 励磁電流
 μ_0 : 真空の透磁率 μ : 遮へい板の透磁率
 σ : 遮へい板の導電率 d : 遮へい板の厚さ
 E_0 : 遮へい板が存在しない場合の誘導起電力
 E : 遮へい板が存在する場合の誘導起電力
 v : 遮へい板の移動速度
 β_0 : 励磁コイルの外半径に対する内半径の比
 β_1 : 検出コイルの外半径に対する内半径の比
 c : 励磁・検出コイル軸間距離
 Z_{01} : 励磁・検出コイル間のエアギャップ
 ζ, ϕ : フーリエ変換に伴う変数
 $J_0(a\zeta)$: 第一種第零次ベッセル関数
 $J_1(a\zeta)$: 第一種第一次ベッセル関数

遮へい導体が存在しない場合における誘導起電力は(2)式において $d=0$ とすることにより次式となる。

$$E = - \frac{j\omega\pi\mu_0 N_0 N_1 I}{a_0 a_1 \tau_0 \tau_1 (1-\beta_0)(1-\beta_1)} \times \int_0^\infty \left(\int_{\beta_0 a_0}^{a_0} a J_1(a\zeta) da \right) \times \left(\int_{\beta_1 a_1}^{a_1} a J_1(a\zeta) da \right) J_0(c\zeta) \times \frac{e^{-z_{01}\zeta} (e^{-\tau_0\zeta} - 1)(e^{-\tau_1\zeta} - 1)}{\zeta^2} d\zeta \quad (4)$$

突き合わせ部を持つ導体、突き合わせ部を持たない導体のいずれについても遮へい効果を次式のように定義する。

$$S = 20 \log_{10} \left| \frac{\text{導体が存在しない場合の起電力}}{\text{導体が存在する場合の起電力}} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{E_0}{E} \right| \quad (dB)$$

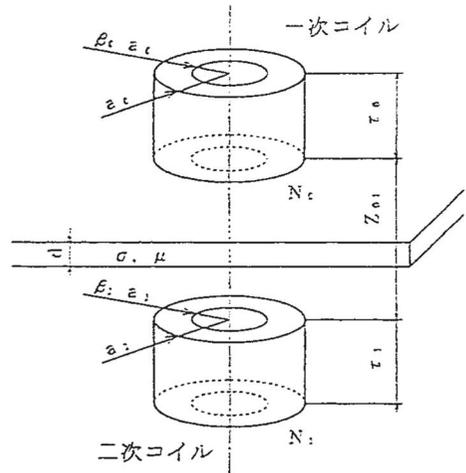


図1 解析モデル

3. 実験および検討

3.1 突き合わせ部がない導体板の遮へい効果

ベークライト製のコイル枠にフォルマール線を巻いてコイル系を作成した。遮へい導体として厚さ10mmのアルミ板(JIS1050)を用い、図2に示すように、突き合わせ部のない導体および凸凹状、階段状、平面状の突き合わせ部を持つ導体を製作した。(以下これら形状をNo. 1, No. 2, No. 3, No. 4と呼ぶ)。導電率は導体板から切り出した角柱を精度よく仕上げ、ダブルブリッジにより測定した。実験中は突き合わせ部を十分密着させた。また、突き合わせ部が同軸に配置された励磁、検出両コイルの軸上にくるように設置した。

コイル系・遮へい導体の諸元を表1に示す。

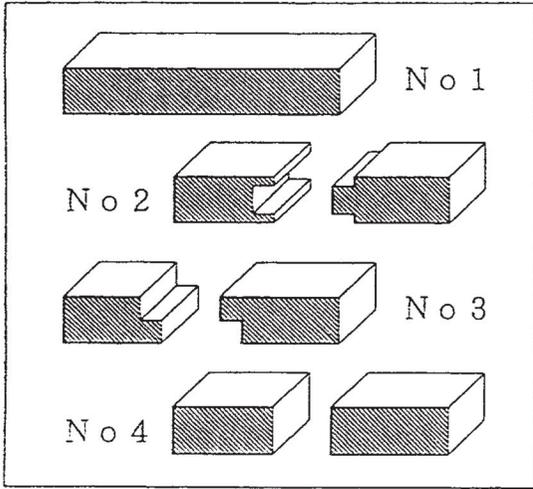


図2 各種断面形状

表1. コイル系・遮へい導体の諸元

| | |
|-------|---|
| 一次コイル | $a_c = 22.24$ [mm] $\beta_c = 0.68683$ $\tau_c = 9.45$ [mm] $N_c = 262$ |
| 二次コイル | $a_s = 20.82$ [mm] $\beta_s = 0.72526$ $\tau_s = 9.70$ [mm] $N_s = 500$ |
| 遮へい導体 | アルミニウム 厚さ $t = 10$ [mm] $t = 5$ [mm] 大きさ 370×400 [mm ²] 導電率 3.53×10^7 [S/m] |

図3に実験装置の概略を示す。励磁周波数が1kHz以上ではコンデンサを接続して必要な電流を供給した。測定周波数はコイル系の分布容量を考慮して10kHz以下とした。

図4は、遮へい導体板としてNo. 1を用いたときの実験値と計算値を比較したものである。両者はよく一致している。

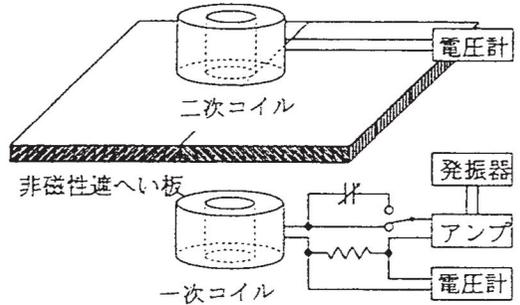


図3 実験装置の概略図

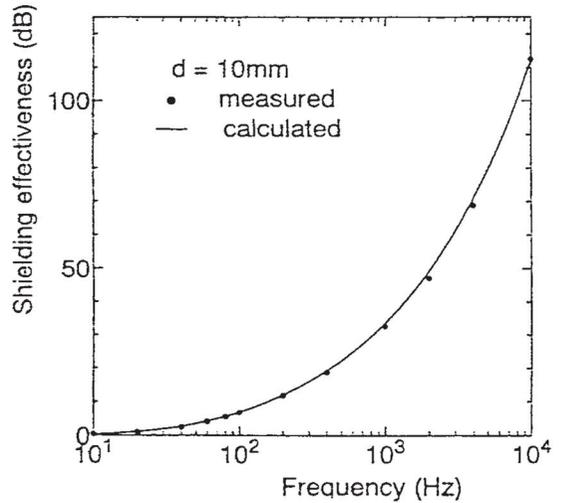


図4 突き合わせ部がない場合の遮へい効果

3.2 各種突き合わせ部を持つ導体板の遮へい効果

図5は図2に示す各種突き合わせ部を持つ遮へい導体板の遮へい効果を比較したものである。

結論からいえば、どの断面形状を取ったとしても突き合わせ部を持つものは、持たないものに比べ遮へい効果は大きく損なわれることがわかる。それ故、電磁シールドを有効に実現するには可能な限り一体型のものを作らなければならない。

突き合わせ部があると、遮へい効果が大きく損なわれることが判明した。しかし突き合わせ部の形状によりわずかな差異が認められるので、それについて検討をする。

図6は比較を容易にするために、図5の縦軸を拡大したものである。励磁周波数が200Hz以下では差はないが、それ以上になると形状による差がでてくる。No. 4に比べNo. 2, No. 3の突き合わせ部をもたせれば多少遮へい効果を改善できる。No. 2が遮へい効果が最も大きく、突き合わせ部

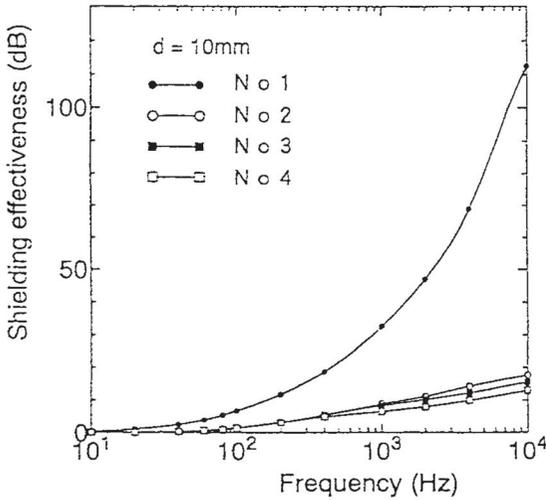


図5 各種突き合わせ部による遮へい効果の比較

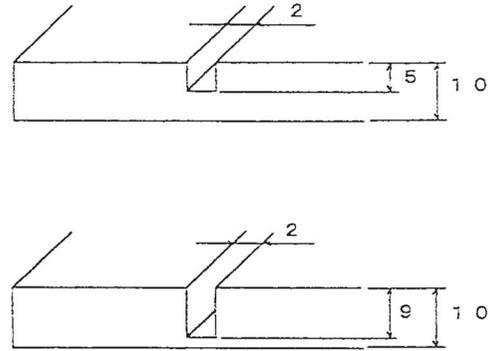


図7 溝の形状

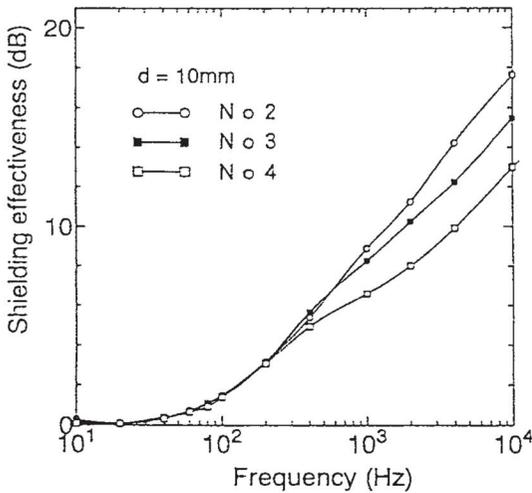


図6 図5の拡大図

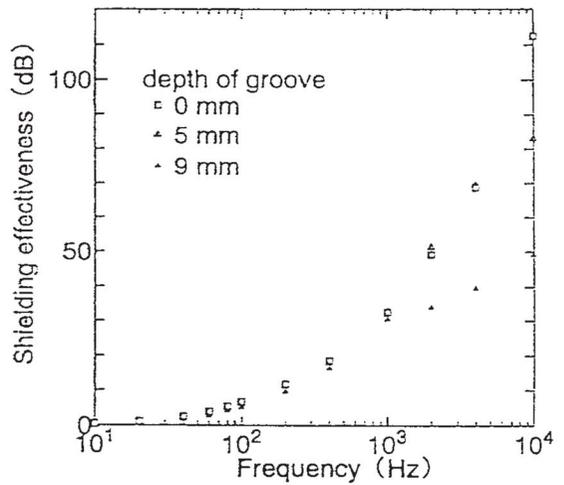


図8 開口部が一次コイル側にある場合の遮へい効果

が複雑な形状の方が遮へい効果が大きくなるといえる。

3.3 溝の存在による遮へい効果への影響

前節において導体が突き合わせ部を持つと、その形状がどのようなであっても、遮へい効果を低下させる要因となることが判明した。

本節では導体が完全に切断され、突き合わせ状態となるまでの過程において、遮へい効果がどのように変化するかを調べた。導体の厚さが10 mmで、溝の深さが5 mmのものとは9 mmの2種類を用意した。溝の幅は加工技術から2 mmとした。溝の形状を図7に示す。

3.3.1 開口部が一次コイル側にある場合

溝の開口部が一次コイル側にあるか、二次コイル

側にあるかによって若干特性が異なる。ここでは開口部が一次コイル側にある場合について検討する。図8に特性を示す。遮へい効果は溝が深くなるほど低下している。ただし、1 kHzまでは大差がなく、それを過ぎると差が開いてくる。溝深さ9 mmの場合は1 kHz付近で不連続となる。

3.3.2 開口部が二次コイル側にある場合

図9に開口部が二次コイル側にある場合の特性を示す。開口部が一次コイル側にある場合よりも僅かに低下しているが、特性は相似である。開口部が一次コイル側であっても、二次コイル側にあっても大差がないと結論づけられる。

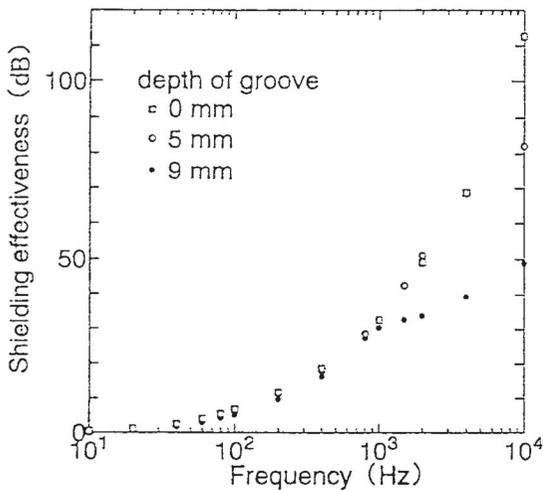


図9 開口部が二次コイル側にある場合の遮へい効果

4. むすび

本研究では突き合わせ部を持つ導体は遮へい効果が突き合わせ部を持たないものに対して大きく損なわれることがわかった。このことはシールド建築において特に注意が必要である。

文献

- 1) 「日経産業新聞」6680号 1997年1月7日(火)
- 2) 中村英樹, 上村佳嗣, 山田芳文, 雨宮好文: 電気シェーバーによる体内の誘導電流の計算, 電子情報通信学会論文誌 (B II), Vol. J 79-B II No. 12, pp.1045-1047 (1996.12)
- 3) S.Levy: "Electromagnetic shielding effect of an infinite plane conducting sheet placed between circular coaxial cables", *Proc.IRE*, 21, 923, June(1936)
- 4) S.A.Schelkunoff "Electromagnetic Waves", Princeton, N.J. Van Nostrand (1943) 森脇訳,

電磁波論, 岩波書店

- 5) J.R.Moser: "Low-frequency shielding of a circular loop electromagnetic field source", *IEEE Trans. Electromagnetic compatibility*, EMC-9, 6, March (1967)
- 6) C.M.Ryan: "Computer expression for predicting shielding effectiveness for the low-frequency plane shield case", *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, EMC-10, 83, Sept. (1967)
- 7) P.R.Bannister: "New theoretical expressions for predicting shielding effectiveness for the plane shield case", *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, EMC-10, March (1968)
- 8) Y.Seki, B.Mukohda & F.Mizonuma: "The theoretical expression for predicting shielding effectiveness for near field", *Proc of the 6th Symp. on EMC (Tokyo)*, 528 (October, 1984)
- 9) 雨宮好文, 山口 尚, 水沢 丕雄: "金属シートによる磁気ダイポール磁界のシールド効果果理論式の導出", 信学技報, EMC J 89-22 (1989.6)
- 10) 雨宮好文, 長尾嘉則, 山口 尚: "コイル面に垂直な金属シートによる磁界シールド効果", 信学技報, EMC J 89-53 (1989.10)
- 11) 武平信夫, 田中章雄, 近藤仁志: "移動平板導体による低周波領域における遮へい効果", 電気学会論文誌, Vol. 106-A, No. 9, (1986.9)
- 12) Henly W. Ott, 松井浮夫: "実践ノイズ遮減技法", ジャテック出版
- 13) 武平信夫, 田中章雄: "移動平板導体に対してフォーク形コイルの特性解析", 電学論A, 101, 11, 551-558 (1981)

(2004.9.6 受理)