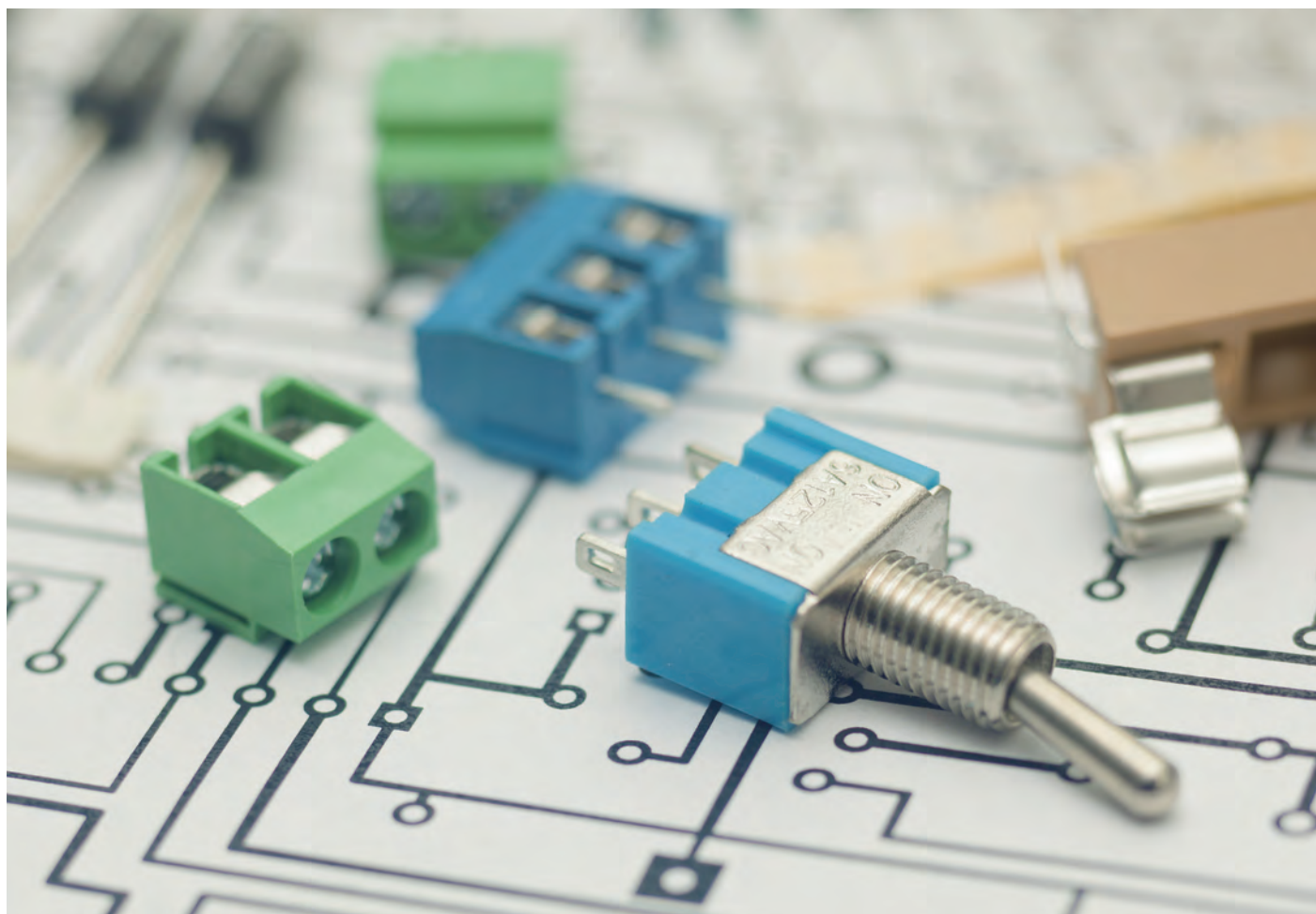


# 古典的シールド理論と近傍界測定

Bogdan Adamczyk  
Nick Dipisa

本稿では、シェルクノフ (Schelkunoff) の式<sup>[1]</sup>に基づく古典的なシールド理論の基礎となる基本的概念を扱う。これらの数式の適用性を評価するためには、式が作られた由来や式を導出したときの仮定、式の使用制限への理解が必要である。本稿はガイド役として、上記のポイントについて論じていく。目的はシェルクノフの式の導出を示すことではなく、一般的に容認されているシールド理論の基礎たるシェルクノフの最終的な式につながる過程を説明することである。電磁波源に近い磁界と電界の測定を実施することによって、シェルクノフの式が正しいことを検証する。シェルクノフの式による結果と近傍界の磁界測定に相関があることを示すが、近傍界の電界測定には相関がない。そのかわり電磁波源に近い近傍界電界の測定結果は遠方界用に開発された波動理論に従う。この事実に対するもつともらしい説明はシールド理論が点波源を仮定して開発されたということだが、これは実際の電磁波源および近傍界測定とは異なる。



はじめに

シールド理論は、次の3つの基本的な概念に基づく。

- 2つの媒体の境界で起こる反射と伝搬
- 電気ダイポールアンテナおよび磁気ダイポールアンテナの放射電磁界
- 電磁波の波動インピーダンス

金属シールドの遠方界に対するシールド効果について、最初  
の概念は反射損失を R とし吸収損失を A として、周波数 f の関数と  
して解析的な式で導かれている。<sup>[2][3]</sup>

$$A_{dB} = 3.34t\sqrt{f\mu_r\sigma_r} \quad (1.1a)$$

$$R_{m,dB} = 14.57 + 10\log_{10}\left(\frac{fr^2\sigma_r}{\mu_r}\right) \quad (1.1b)$$

ここで、t はインチ単位で与えられたシールド材の厚さ、 $\mu_r$  と  $\sigma_r$  は、それぞれ (自由空間に対する) 比透磁率と (銅に対する) 比導電率である。これらの式は、電界シールドと磁界シールドの両方に有効であり、一般に電磁界 (または電磁波) のシールドと言われている。

基本的なダイポールアンテナと波動インピーダンスの概念を組み  
合わせる場合、遠方界の式から近傍界のシールド効果を求める  
式を導出できる。

近傍界の吸収損失は、例えば (1.1a) 式のように遠方界と同じ式  
によって求められる。近傍界における反射損失を、電界源の場合  
 $R_e$  で、磁界源の場合  $R_m$  で表すと、それぞれ次の式 (1.2a) と式 (1.2b)  
で求められる。

$$R_{e,dB} = 322 + 10\log_{10}\left(\frac{\sigma_r}{\mu_r f^3 r^2}\right) \quad (1.2a)$$

$$R_{m,dB} = 14.57 + 10\log_{10}\left(\frac{fr^2\sigma_r}{\mu_r}\right) \quad (1.2b)$$

本稿では、シエルクノフの由来を概説し、近傍界測定に対する  
式の有効性を試験する。全体構成は以下の通りである。セクショ  
ン1では、2つの媒体の境界で起こる電磁波の反射と伝搬を概説  
する。セクション2では、電磁波伝達の観点から金属シールドの  
効果を論じる。セクション3では、電気ダイポールと磁気ダイポ  
ールの放射電磁界について説明する。遠方界と近傍界のシールド  
の式は、それぞれセクション5とセクション6で述べる。セクショ  
ン7では測定のセットアップを示す。セクション8では、分析およ  
びシミュレーションによる結果が近傍界測定と相関していること  
を示す。

セクション1: 境界で起こる電磁波の反射と透過

図 1.1 で示すように、2つの媒体間の境界に垂直入射した均一  
電磁波について考えてみよう。各媒体は3つの構成要素のパラメ

タによって説明される。 $\mu$  = 透磁率、 $\epsilon$  = 誘電率、 $\sigma$  = 導電率  
(注: これらは実数値)。各媒体は単純、つまり線形で同質、等  
方性であると仮定する。

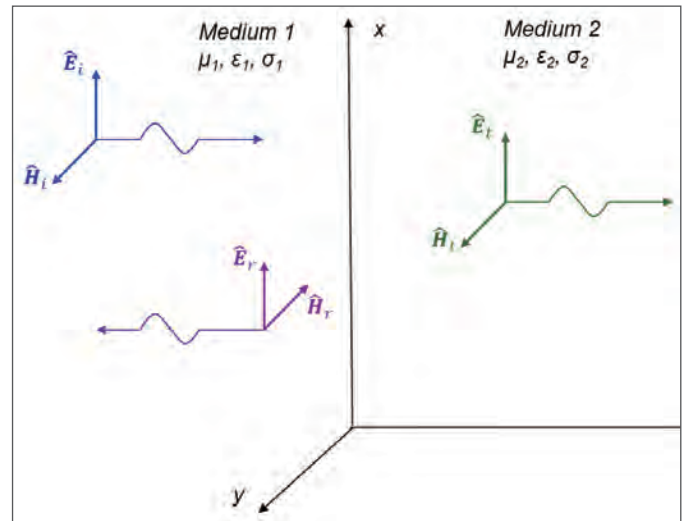


図1.1. 境界で起こる均一電磁波の反射と透過

入射波が xy 平面上の2つの媒体の境界にぶつかると、**反射波**と  
**透過波**が生じる。インターフェースの電界と磁界に境界条件を適  
用することによって、電界と磁界の振幅に関する式が求められる。  
これらの振幅は、各々の媒体の複雑な固有のインピーダンスと関  
係している。固有のインピーダンスは媒体の要素別パラメータに  
関係があり、以下の式 (1.3a) と式 (1.3b) で求められる (注: 「ハッ  
ト (^)」 の付いた変数は複素量を意味する)。<sup>[3]</sup>

$$\hat{\eta}_1 = \sqrt{\frac{j\omega\mu_1}{\sigma_1 + j\omega\epsilon_1}} = \eta_1 \angle \theta_{\eta_1} \quad (1.3a)$$

$$\hat{\eta}_2 = \sqrt{\frac{j\omega\mu_2}{\sigma_2 + j\omega\epsilon_2}} = \eta_2 \angle \theta_{\eta_2} \quad (1.3b)$$

反射波の振幅は入射波の振幅に関係していて、次の式 (1.4a) で  
求められる。<sup>[4]</sup>

$$\hat{E}_r = \hat{\Gamma} \hat{E}_i \quad (1.4a)$$

ここで、 $\hat{\Gamma}$  は境界の反射係数であり、次の式 (1.4b) で求めら  
れる。

$$\hat{\Gamma} = \hat{\Gamma} \angle \theta_{\Gamma} = \frac{\hat{E}_r}{\hat{E}_i} = \frac{\hat{\eta}_2 - \hat{\eta}_1}{\hat{\eta}_2 + \hat{\eta}_1} \quad (1.4b)$$

透過波の振幅は入射波の振幅に関係していて、次の式 (1.5a) で  
求められる。

$$\hat{E}_t = \hat{T} \hat{E}_i \quad (1.5a)$$