

エンクロージャのシールド効果の測定 — MIL-STD-285 の概要

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2024 年 2 月 6 日

目次

1	はじめに	1
2	一般	1
2.1	概要	1
2.2	シールド効果	2
3	測定法	2
3.1	低インピーダンス電磁界 (磁界)	2
3.2	高インピーダンス電磁界 (電界)	3
3.3	平面波	5
4	参考資料	5

1 はじめに

MIL-STD-285 (1956)^[1] では電氣的試験のために用いられるシールド・エンクロージャ (シールド・ルーム) のシールド効果 (shielding effectiveness; SE) の評価の方法が述べられている。この規格は非常に古く、1997 年に廃止されているものの、それ以降もしばしば参照されている。^{†1}

本稿ではこの規格、MIL-STD-285 (1956) の概要を述べる。なお、本稿は規格の内容全てをカバーするものではなく、また正確であるとも限らないので、規格についての正確な情報は規格そのもの^[1]を参照していただきたい。

2 一般

2.1 概要

- この規格は 1997 年に廃止されており、その理由として IEEE 299^{[3][7]} が適切な代替となると判断された旨が述べられている。

- この規格は電氣的試験のために用いられるシールド・エンクロージャ (シールド・ルーム) への適用が意図されている。

より小さいシールド・エンクロージャの評価には、例えば MIL-STD-1377^[2] や IEEE 299.1^[4] に含まれているような方法を適用できるかも知れない。

- 低インピーダンス電磁界 (磁界)、高インピーダンス電磁界 (電界)、平面波の 3 つの測定法が述べられている。^{†2}

- 周波数掃引を行なうのではなく、

- 低インピーダンス電磁界 (磁界) — 150 ~ 200 kHz の範囲のいずれかの周波数
- 高インピーダンス電磁界 (電界) — 200 kHz、1 MHz、18 MHz
- 平面波 — 400 MHz

での測定を行なうように述べられている。^{†3}

- 時代背景から、受信側のメータの示度がシールドありの場合となしの場合で同一となるようにアッテネータを調整し、それらの減衰量の差からシールド効果を求めるような手順が示されている。

現代では、エンクロージャのシールド効果が高い場合のシールドなしでの測定 (基準測定) で外付けのアッテネータが必要となるかも知れないことを除き、受信側での信号レベルをスペクトラム・アナライザやレシーバなどで直接測定してその差からシールド効果を求めることができるだろう。

^{†1} 但し、測定法として MIL-STD-285 を参照していても、この文書で述べられている具体的な測定法には従っていないことが多いと思われる。また、シールド材の評価方法としてこの規格が準用されていることもある。

^{†2} 電磁界のインピーダンスは磁界の強さ (H (A/m)) に対する電界の強さ (E (V/m)) の比率 E/H (Ω) である。

^{†3} 必要な場合、機器が対応可能な範囲で他の周波数での測定を行なうことも、場合によっては周波数掃引での測定を行なうことも可能だろう。

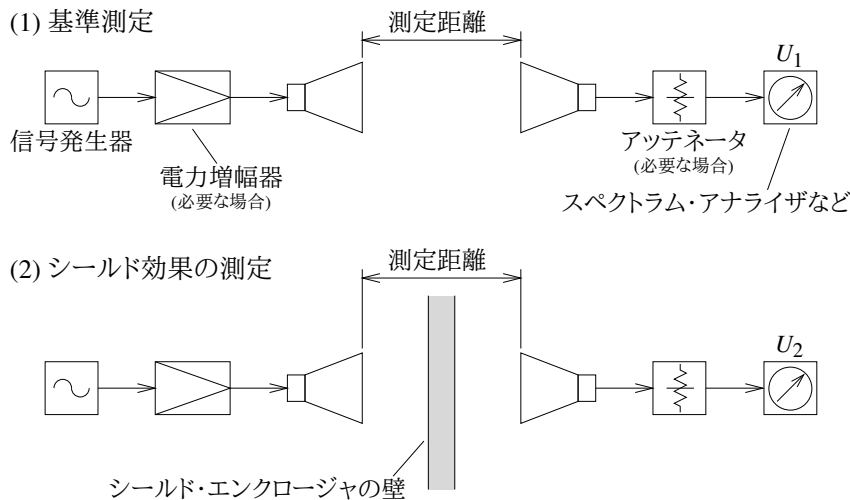


図 1: シールド効果の測定の原理

- エンクロージャの外側に送信アンテナを、エンクロージャの内側に受信アンテナを置くように述べられている。^{†4}

2.2 シールド効果

シールド効果 (shielding effectiveness) はシールドによって電磁界がどれだけ減衰するかを示すものである。

電界、あるいは平面波に対するシールドを考えた場合、シールドがない状態での放射源からある距離離れた位置での電界強度を E_1 ($\mu\text{V}/\text{m}$)、その他の条件を同一のままにシールドを通すようにした場合の電界強度を E_2 ($\mu\text{V}/\text{m}$) とすると、そのシールド効果 SE (dB) は

$$SE = 20 \log_{10} \frac{E_1}{E_2}$$

のように、また磁界に対する SE は電界強度 E ($\mu\text{V}/\text{m}$) の代わりに磁界の強さ H ($\mu\text{A}/\text{m}$) を (あるいは磁束密度 B (T) を) 用いて同様に

$$SE = 20 \log_{10} \frac{H_1}{H_2}$$

のように求めることができる。

^{†4} 測定対象のエンクロージャのシールド性にもよるが、相当のレベルの電磁界を放射させることが必要となるだろう。このため、法的な制限のため、また周囲への干渉の防止のため、可能な場合は測定対象のエンクロージャそのものを大きなシールドルームや電波暗室の中に置いて測定を行なう、逆にシールド・エンクロージャの内側から照射するようにする (そのようにした場合はこの規格に従った測定とは言い難くなるが) などの対応が必要となるかも知れない。

さらに、測定系が同一であれば、測定された電圧にアンテナ係数を適用して電界強度や磁界の強さに換算するまでもなく、シールドがない状態での測定値を U_1 (μV)、シールドを通した時の測定値を U_2 (μV) として、

$$SE = 20 \log_{10} \frac{U_1}{U_2}$$

より求めることができる。

測定結果をデシベルで (例えば $E_{(\text{dB})}$ ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$) や $U_{(\text{dB})}$ ($\text{dB}\mu\text{V}$) で) 表現すれば、 SE (dB) は単純に

$$SE = E_{1(\text{dB})} - E_{2(\text{dB})}$$

$$SE = U_{1(\text{dB})} - U_{2(\text{dB})}$$

のようになる。

3 測定法

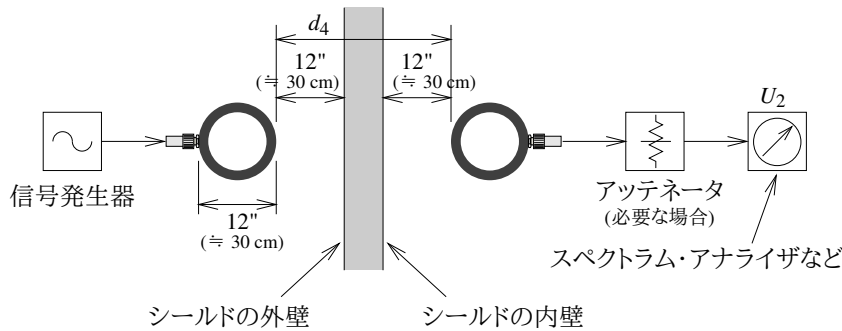
3.1 低インピーダンス電磁界 (磁界)

1. 送信用ループとして #6 AWG^{†5} の銅線を 1 回巻いた直径 12 in (約 30 cm) のループを、受信用ループとしてそれと同様のものを用いる。^{†6}

^{†5} 導体外径 約 4.1 mm、導体断面積 約 13.3 mm²

^{†6} 200 kHz では波長 $\lambda = 1500$ m であり、このような波長と比較して極めて小さいループは、磁界のみを放射するものとみなすことができる。そのようなループから放射された電磁界のインピーダンスは距離が離れるにつれて上昇する (図 5) が、この測定条件では送信ループからシールドまでの距離は波長に対して極度に小さく、シールドの位置でも依然として磁界が支配的な、すなわち低インピーダンスの電磁界を得られると考えられる。

(1) シールドを介した測定



(2) 基準測定

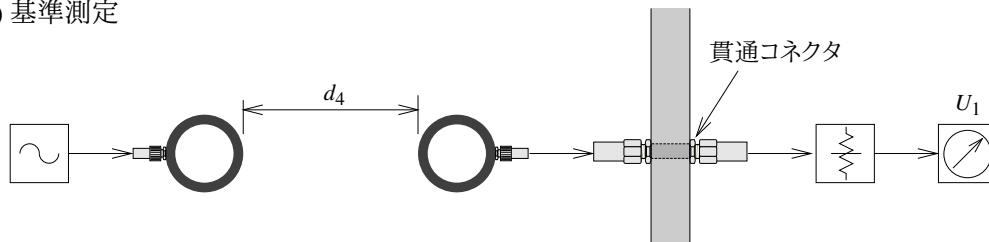


図 2: 低インピーダンス電磁界 (磁界)

2. 信号発生器の出力レベルはシールドを隔てて置かれた受信用ループで適当なレベルの出力を得られるように調整する。

この測定で必要となる磁界を得るためにはかなり大きな電流を流すことが、従ってそれに対応した電力増幅器が必要となりそうである。^{†7} また、駆動対象のループは非常に低インピーダンス (インダクタンス $1 \mu\text{H}$ 弱、 200 kHz におけるインピーダンス 1Ω 程度と推定される) であるので、電力増幅器がそのような負荷に対応したものでない場合、直列に抵抗を接続することも必要となるかも知れない。

3. ループを次のように配置し、受信用アンテナ側で得られた最大の受信レベル U_2 を記録する (図 2 (1)):

- エンクロージャの周囲の任意の箇所に、
- 送信用ループはシールドの外壁から 12 in (約 30 cm)、また受信用ループはシールドの内壁から 12 in (約 30 cm) 離し、双方のループの面をシールドの面に直交する同一の面に合わせるようにして、^{†8}

- シールドの継ぎ目に対して任意の向きで。

4. ループの配置や送信用アンテナに印加する信号のを維持したままでループ間にシールドがない状態とした時の受信レベル U_1 を記録する (図 2 (2))。
5. それらの測定結果から SE を求める (§2.2)。

3.2 高インピーダンス電磁界 (電界)

1. 送信用アンテナとしてカウンターポイズを備えたエレメント長 41 in (約 104 cm) のモノポール・アンテナを、受信用アンテナとしてそれと同様のもの (カウンターポイズを用いるようにはなっていない) を用いる。^{†9}

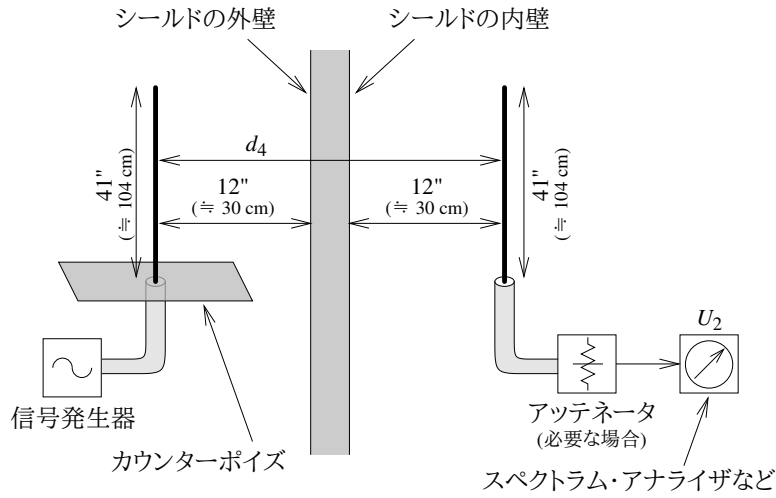
これはループをシールドの面と平行として双方のループの軸を合わせる (同軸) ように配置する、すなわち同軸 (coaxial) とする NSA 94-106^[6] にあるような測定法とは異なる。

^{†9} 41 in のエレメントは約 70 MHz で $\lambda/4$ となり、それよりも相当に低い周波数では主として電界のみを放射するものとみなすことができる。そのようなアンテナから放射された電磁界のインピーダンスは距離が離れるにつれて低下する (図 5) が、 20 MHz でも波長 $\lambda = 15 \text{ m}$ で、送信アンテナからシールドまでの距離 12 in (約 30 cm) は 0.02λ 程度に相当するので、シールドの位置でも依然として電界が支配的な、すなわち高インピーダンスの電磁界を得られると考えられる。

^{†7} 規格 [1] では高電圧に充電されたコンデンサをループを通して間欠的に放電させて発生させた高電流のパルスを用いる方法が示されている。

^{†8} すなわち、送受信ループの配置は共面 (coplanar) とする。

(1) シールドを介した測定



(2) 基準測定

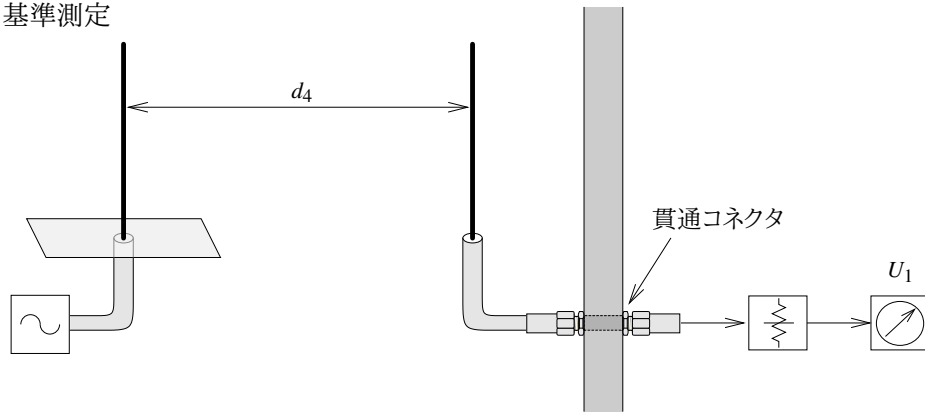


図 3: 高インピーダンス電磁界 (電界)

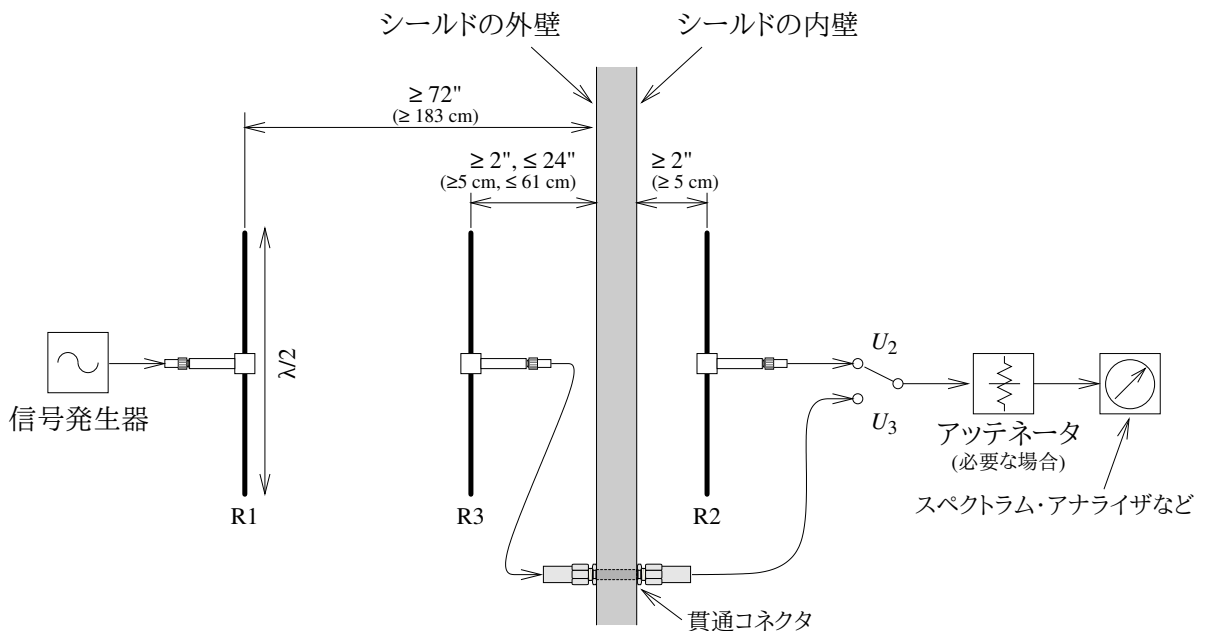


図 4: 平面波

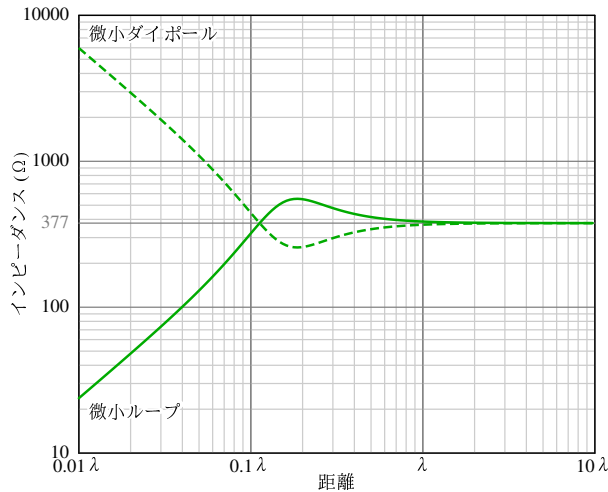


図 5: 電磁界のインピーダンス

2. 信号発生器の出力レベルはシールドを隔てて置かれた受信用アンテナで適当なレベルの出力を得られるように調整する。

この測定で必要となる電界を得るためにはかなり大きな電圧を印加することが、従ってそれに対応した電力増幅器が必要となりそうである。^{†10}

3. アンテナを次のように配置し、受信用アンテナ側で得られた最大の受信レベル U_2 を記録する (図 3 (1)):

- エンクロージャの周囲の任意の箇所に、
- 送信用アンテナはシールドの外壁から 12 in (約 30 cm)、また受信用アンテナはシールドの内壁から 12 in (約 30 cm) 離し、エレメントを面をシールドの面に平行させて、
- シールドの継ぎ目に対して任意の向きで。

4. アンテナの配置を維持したままでアンテナ間にシールドがない状態とした時の受信レベル U_1 を記録する (図 3 (2))。

5. それらの測定結果から SE を求める (§2.2)。

3.3 平面波

1. 送信用アンテナ (R_1) として測定周波数に同調したダイポールを、受信用アンテナ (R_2, R_3)

としてそれと同様のものを用いる。

2. 信号発生器の出力レベルはシールドを隔てて置かれた受信用アンテナ R_2 で適当なレベルの出力を得られるように調整する。

3. アンテナを次のように配置し、アンテナ R_2 での受信レベル U_2 、及びアンテナ R_3 での受信レベル U_3 を記録する (図 4):

- 送信用アンテナ R_1 はシールドの外壁から 72 in (約 183 cm) 以上、また波長の 2 倍以上離して、
- 受信用アンテナ R_2 はシールドの内壁から 2 in (約 5 cm) 離し、最大の受信レベルを得られるように、
- もう 1 本のアンテナ R_3 をシールドの外壁から 2 in (約 5 cm) 以上 24 in (約 61 cm) 以下離し、最大の受信レベルを得られるように配置する。

4. それらの測定結果から SE を求める (§2.2)。

4 参考資料

- [1] MIL-STD-285 (1956), *Method of Attenuation Measurements for Enclosures, Electromagnetic Shielding, for Electronic Test Purposes*
- [2] MIL-STD-1377, *Department of Defense Test Method Standard: Effectiveness of Cable, Connector, and Weapon Enclosure Shielding and Filters in Precluding Hazards of Electromagnetic Radiation to Ordnance (Hero), Measurement of*
- [3] IEEE 299, *IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures*
- [4] IEEE 299.1, *IEEE Standard Method for Measuring the Shielding Effectiveness of Enclosures and Boxes Having all Dimensions between 0.1 m and 2 m*
- [5] EN 50147-1, *Anechoic chambers — Part 1: Shield attenuation measurement*
- [6] NSA 94-106, *Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures*

^{†10} 規格 [1] では自動車用のイグニッション・コイルなどを用いて発生させた高電圧のパルスを用いる方法が示されている。

- [7] エンクロージャのシールド効果の測定 —
IEEE 299 の概要, 株式会社 e・オータマ 佐藤,
2024,

<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>