

# ケーブルのシールド性能の評価 — IEC 62153-4-5 (吸収クランプ法) の概要

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2022 年 2 月 7 日

## 目次

1	概要	1
2	共通事項	2
2.1	基本的な測定セットアップ	2
2.2	吸収クランプ	2
2.2.1	吸収クランプの減衰の測定	2
2.3	アブソーバ	3
2.3.1	アブソーバの減衰の測定	3
2.4	遮蔽減衰量や結合減衰量の算出	3
3	遮蔽減衰量	4
3.1	遮蔽減衰量の測定	4
3.2	特性インピーダンスの同定	4
3.3	インピーダンス整合回路	4
3.3.1	$Z_1 < 50 \Omega$	4
3.3.2	$Z_1 > 50 \Omega$	4
4	結合減衰量	5
4.1	結合減衰量の測定	5
4.2	バラン	6
5	参考資料	6

## 1 概要

IEC 62153-4-5<sup>[1]</sup> ではケーブルの 30 MHz ~ 1 GHz<sup>†1</sup>の周波数範囲でのシールド性の評価にしばしば用いられている吸収クランプ法による遮蔽減衰量の測定について述べられている。

また、これは平衡型のケーブル (シールドされていないものを含む) の差動信号の漏洩を抑制する能力の指標となる結合減衰量の評価についての情報も含む。

本稿ではこの IEC 62153-4-5 の概要を述べる。なお、本稿はそ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、正確な情報は規格そのもの<sup>[1][2]</sup>を参照されたい。

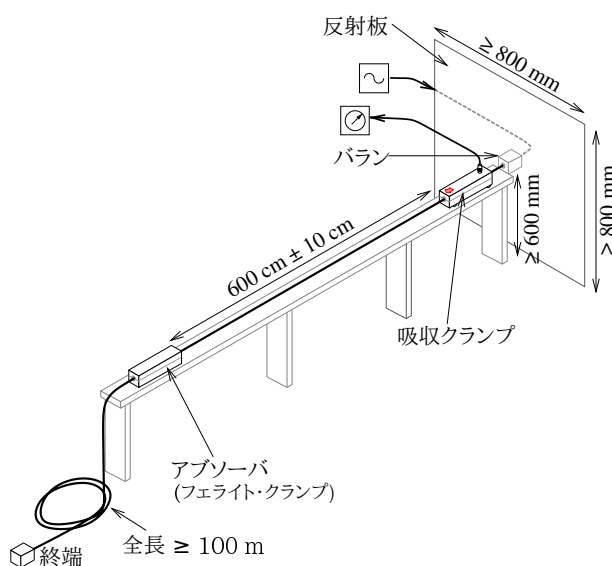


図 1: 吸収クランプ法の測定セットアップの例

<sup>†1</sup> その周波数に対応している吸収クランプを用いれば数 GHz までの測定も可能である。だが、このような周波数での測定を行ないたい場合や高いダイナミックレンジを得たい場合は他の測定法、例えば三重同軸法のような方法の使用も考慮すると良いかも知れない。三重同軸法 (IEC 62153-4-4, -4-7) については [4] で述べている。

## 2 共通事項

### 2.1 基本的な測定セットアップ

測定対象のケーブルは図1のように 800 mm × 800 mm 以上の反射板の中央から反射板と垂直に引き、吸収クランプとアブソーバを互いに 6 m 離して取り付ける。<sup>†2</sup>

測定対象のケーブル (吸収クランプとアブソーバまでの範囲) から 600 mm の範囲には金属の物体 (例えばグラウンド・プレーンやシールド・ルームの壁など) があってはならない。

結合減衰量の測定 (§4) では測定対象ケーブルの全長は 100 m 以上とするが、吸収クランプとアブソーバの先のケーブルの配置はあまり気にする必要はない。

測定サイトに関しては特別な要求はないが、シールドされていない環境で測定しようとする場合には外部からの放送波や周辺の機器などからの電磁界が測定対象のケーブルで拾われて正常な測定を妨げる可能性にも注意すべきである。

また、例えばシールド・ルームの壁から 600 mm 強の位置に測定対象のケーブルを引いて測定を行っても良いことになるが、そのような環境ではシールド・ルームの壁面との相互作用やシールド・ルーム内での共振などが測定結果に影響を与える可能性も考えられる。

測定サイトの測定結果への影響を抑えるためには、この測定はできる限り壁から離れた位置で、また可能な場合には妨害電力測定 (吸収クランプでのエミッション測定)<sup>[3]</sup> と同様に吸収クランプ測定サイト<sup>[2]</sup> として適切なサイト、例えば放射エミッション測定にも適したオープン・サイトや電波暗室のようなサイトで行なうと良いかも知れない。

測定は、図6や図10で図示するように、近端と遠端の2箇所で行なう：

- 近端 — 吸収クランプを信号発生器側 (反射板の直近) に電流プローブが終端側を向くように

<sup>†2</sup> 一見、妨害電力の測定<sup>[3]</sup> と良く似ているように見えるかも知れないが、吸収クランプの向きが逆 (近端と遠端のいずれの測定でも吸収クランプは電流プローブがアブソーバの側を向くように取り付ける) で、また吸収クランプの位置は固定となる。吸収クランプの向きが逆となっているのは奇妙に見えるかも知れないが、これは妨害電力の測定では主に EUT から共通モードで発射されたノイズを測定することが意図されているのに対してこの測定では主に吸収クランプとアブソーバのあいだの 6 m の区間で漏れ出した信号を測定しようとしていると考えればわかりやすいだろう。

取り付け、またアブソーバを吸収クランプから 6 m の位置に取り付ける；

- 遠端 — アブソーバを信号発生器側 (反射板の直近) に取り付け、また吸収クランプをアブソーバから 6 m の位置に電流プローブが信号発生器側を向くように取り付ける。

### 2.2 吸収クランプ

この測定では、例えば図2のような、少なくとも 30 MHz～1 GHz に、より高い周波数までの測定を行なう場合はその周波数範囲に対応した吸収クランプ (absorbing clamp) を使用する。

吸収クランプは妨害電力の測定<sup>[3]</sup> に用いられるものと同様のものであるが、吸収クランプの特性の補正に必要なデータは下記のような形で取得するので、妨害電力の測定に用いる場合と異なり、あらかじめクランプ係数の測定 (校正) が行なわれている必要はない。

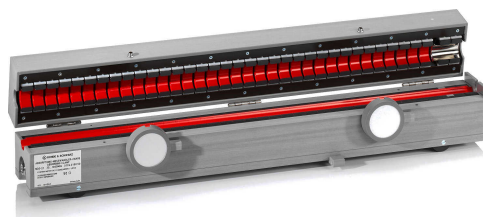


図2: 吸収クランプの例 (写真は Rohde & Schwarz 社の厚意による)

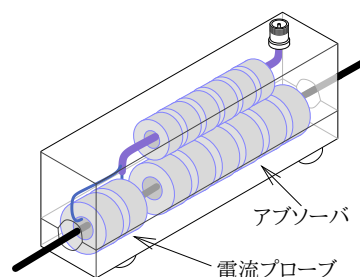


図3: 吸収クランプの原理

#### 2.2.1 吸収クランプの減衰の測定

吸収クランプの減衰  $a_{cl}$  は、 $a_{cal}$  を図4のようなセットアップで測定された合成損失で  $a_{cal} = -20 \log_{10} |S_{21}|$ 、 $a_{rfl}$  をその測定における反射損失

で  $a_{\text{rff}} = -10 \log_{10} |1 - S_{11}|^2$  として<sup>†3</sup>、

$$a_{\text{cl}} = a_{\text{cal}} - a_{\text{rff}}$$

から<sup>†4</sup>、また測定結果から差し引くべき測定セットアップの減衰  $a_{\text{m}}$  は、 $a_{\text{balun}}$  をバランの損失 (該当する場合; §4.2) として

$$\begin{aligned} a_{\text{m}} &= a_{\text{cl}} + a_{\text{balun}} \\ &= a_{\text{cal}} - a_{\text{rff}} + a_{\text{balun}} \end{aligned}$$

から求められる。

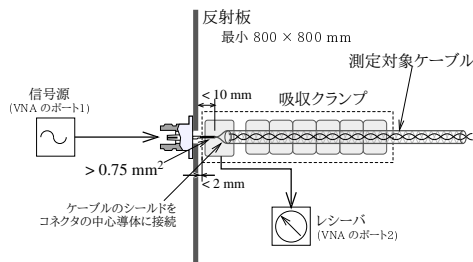


図 4: 校正のセットアップ

## 2.3 アブソーバ

アブソーバ (減結合クランプ、フェライト・クランプ) は 10 dB 以上の減衰を与える必要がある。

### 2.3.1 アブソーバの減衰の測定

アブソーバの減衰量は、吸収クランプの損失の測定と似た図5のような構成で、アブソーバを入れた時のレーザでの測定レベルの低下分 (系の減衰量の増加分) として測定される。

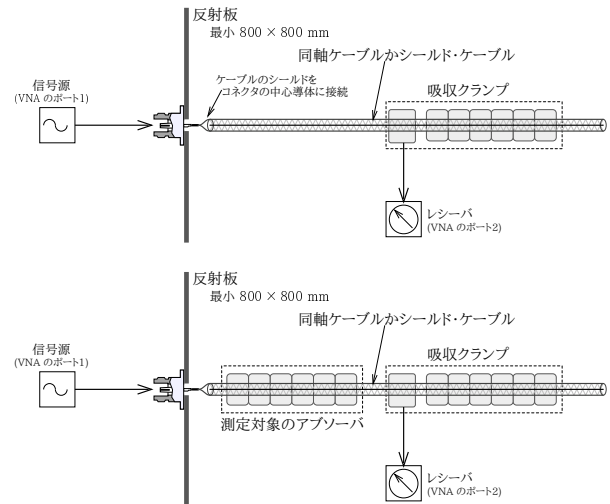


図 5: アブソーバの減衰量の測定

## 2.4 遮蔽減衰量や結合減衰量の算出

遮蔽減衰量や結合減衰量  $a_c$  は、測定対象のケーブルに注入された電力を  $P_1$ 、近端と遠端でのそれぞれで吸収クランプで測定された電力の最大値をそれぞれ  $P_{2n}$  と  $P_{2f}$  として、

$$a_c = 10 \log_{10} \left( \frac{P_1}{\max[P_{2n}, P_{2f}]} \right)$$

と定義される。

これは、§3 (遮蔽減衰量) や §4 (結合減衰量) のような形での測定の結果から、信号発生器からの電力を  $P_o$ 、近端と遠端でのそれぞれでレーザで測定された電力をそれぞれ  $P_{4,n}$  と  $P_{4,f}$ 、測定結果から差し引くべき測定セットアップの減衰を  $a_{\text{m}}$  (§2.2.1)、インピーダンス整合回路の電圧ゲインを  $k_{\text{m}}$  (該当する場合; §3.3) として、

$$a_c = 10 \log_{10} \left( \frac{P_o}{\max[P_{4,n}, P_{4,f}]} \right) - a_{\text{m}} + 20 \log_{10}(k_{\text{m}})$$

によって求められる。<sup>†5 †6</sup>

インピーダンス整合回路やバランを用いる場合のインピーダンス整合回路のゲイン (分圧比) の影響は  $k_{\text{m}}$  として考慮され、またバランの損失  $a_{\text{balun}}$  は既に  $a_{\text{m}}$  に含まれているが、他に補正されていない損失やゲインがある場合はその考慮も必要となる。

<sup>†3</sup>  $S_{21}$  は S パラメータでのポート 1 からポート 2 への伝達を示すパラメータで、ポート 1 からの入射波の電力の平方根に対するポート 2 からの出射波の電力の平方根を示す複素数の値となる。また、 $S_{11}$  はポート 1 からポート 1 への反射を示すパラメータで、ポート 1 からの入射波の電力の平方根に対するポート 1 からの出射波 (反射波) の電力の平方根を示す複素数の値となる。より詳しく知りたい方は S パラメータに関する解説を参照いただきたい。

<sup>†4</sup> この測定 (図 4) では信号はケーブルのシールド (もしあれば) を含めたケーブル全体と反射板のあいだに注入されるが、著しく不整合となり、不整合の程度に応じた電力がケーブルの入り口で反射されることが予想される。この場合、ケーブルに注入される電力がその分低下し、減衰が大きく測定されることになるため、その補正のために測定された減衰量から  $a_{\text{rff}}$  を差し引いている。

<sup>†5</sup> 一般に、 $10 \log_{10}(P_2/P_1) = 20 \log_{10}|S_{21}|$

<sup>†6</sup> バラン (結合減衰量の場合) かインピーダンス整合回路 (遮蔽減衰量の場合) で整合が取られていると仮定されており、この式には測定系と測定対象のケーブルのあいだでの不整合の影響の補償は含まれていない。

測定の結果は周波数によってかなりの変動を示すので、その包絡線 (減衰量が小さくなる方の) を最終的な測定結果として考える。

### 3 遮蔽減衰量

#### 3.1 遮蔽減衰量の測定

遮蔽減衰量 (screening attenuation) の測定では、測定対象のケーブルの芯線 (多芯ケーブルの場合は図7のように全ての芯線を括接続する) とシールドのあいだにその特性インピーダンスと等しい終端抵抗を接続して終端する。そのケーブルは図6のように吸収クランプとアブソーバを通して引き、そのシールドは反射板に全周でしっかりと接続する。<sup>†7</sup>

測定対象ケーブルの特性インピーダンスが  $Z_0$  (= 50  $\Omega$ ) と一致する場合は信号発生器の出力から直接、それらが異なりインピーダンス整合が必要な場合は信号発生器の出力をインピーダンス整合回路 (§3.3) を通して、測定対象ケーブルの芯線とシールドのあいだに信号を印加できるように接続する。

ケーブルの特性インピーダンスが不明な場合は §3.2 で述べるような方法で同定できる。

信号はケーブルの芯線とシールドのあいだに注入し、その時の吸収クランプの出力を近端 (吸収クランプを信号発生器に近い側に終端側に向けて取り付ける) と遠端 (吸収クランプを終端に近い側に信号発生器側に向けて取り付ける) の双方について測定する。

遮蔽減衰量は、この測定の結果から §2.4 で述べたような方法で算出できる。

基本的には図6のような構成で測定された減衰量 ( $S_{21}$ ) の値そのものはあまり意味を持たないが、類似のケーブル間の相対的な比較などの目的の場合、吸収クランプの減衰の補正や遮蔽減衰量への換算を行わずに、測定された減衰量をそのまま比較することもできるかも知れない。

図6や上の説明では信号発生器とレシーバを用いるような形で述べているが、実際の測定は S パラメータ・テスト・セットを備えたベクトル・ネット

ワーク・アナライザ (VNA) で行なうことが推奨される。<sup>†8</sup>

#### 3.2 特性インピーダンスの同定

測定対象のケーブルの特性インピーダンスが不明な場合、以下のいずれかの方法で測定することができる:

- 立ち上がり時間 200 ps 以下の TDR (time domain reflectometer) で測定する。
- サンプルの長さが  $\lambda/8$  程度となる周波数、

$$f_{\text{test}} \approx \frac{c_0}{8 \cdot L_{\text{sample}} \cdot \sqrt{\epsilon_{r1}}}$$

における、遠端を短絡とした時のインピーダンス  $Z_{\text{short}}$ 、及び開放した時のインピーダンス  $Z_{\text{open}}$  を測定し、サンプルの特性インピーダンス  $Z_1$  を

$$Z_1 = \sqrt{Z_{\text{short}} \cdot Z_{\text{open}}}$$

より求める。

#### 3.3 インピーダンス整合回路

##### 3.3.1 $Z_1 < 50 \Omega$

測定対象のケーブルの特性インピーダンス  $Z_1$  が測定系のインピーダンス  $Z_0 = 50 \Omega$  よりも低い場合は図8のようなインピーダンス整合回路を使用する。

この回路の電圧ゲイン  $k_m$  は、

$$k_m = \frac{R_1 R_p}{R_1 R_p + R_p R_s + R_1 R_s}$$

##### 3.3.2 $Z_1 > 50 \Omega$

測定対象のケーブルの特性インピーダンス  $Z_1$  が測定系のインピーダンス  $Z_0 = 50 \Omega$  よりも高い場合は図9のようなインピーダンス整合回路を使用する。

この回路の電圧ゲイン  $k_m$  は、

$$k_m = \frac{R_1}{R_s + R_1}$$

<sup>†8</sup> 減衰だけであれば信号発生器とレシーバでも測定できる (細かい周波数ステップで測定すべきであることに注意) だろうが、吸収クランプの減衰の測定 (§2.2.1) では  $S_{11}$  の測定も必要となり、この測定をネットワーク・アナライザを用いずに行なうのは煩雑であろう。

<sup>†7</sup> シールドの接続が適切に行なわれていない場合、測定結果が有意に悪化する (遮蔽減衰量が低く測定される) 可能性が予想される。いわゆる「ビッグテール」は測定結果を著しく悪化させる可能性が高く、避けるべきであろう。

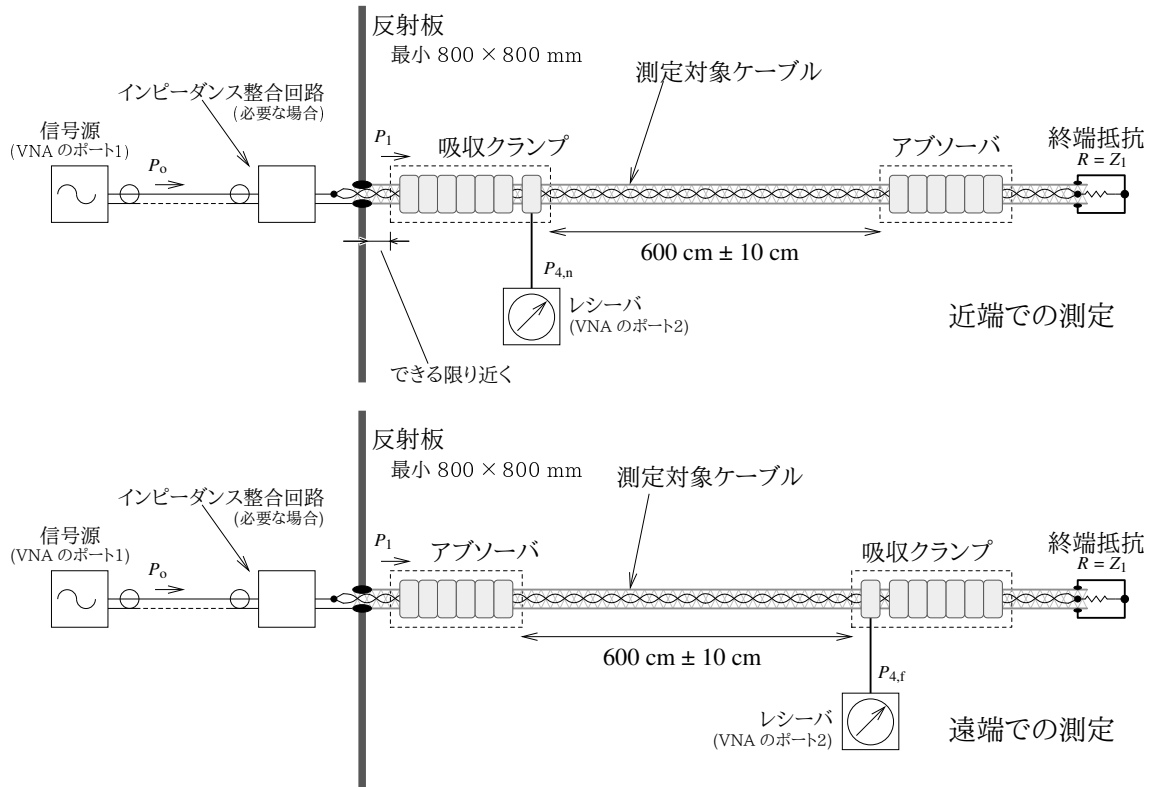


図 6: 遮蔽減衰量の測定の原理

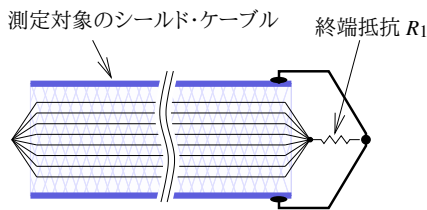


図 7: 多芯ケーブルの処理 — 全ての芯線を一括接続して一本の同軸ケーブルのように扱う

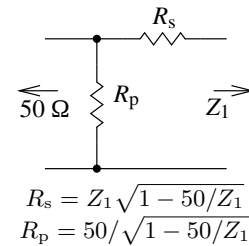


図 9: インピーダンス整合回路:  $Z_1 > 50 \Omega$

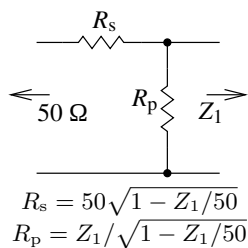


図 8: インピーダンス整合回路:  $Z_1 < 50 \Omega$

## 4 結合減衰量

### 4.1 結合減衰量の測定

結合減衰量 (coupling attenuation) の測定は平衡型のケーブルにのみ適用可能で、その測定は測定対

象の平衡ペアにノーマル・モードの信号を注入した時の吸収クランプの出力を測定することによって行なう (図 10)。

この測定では、図 11 のように測定対象のケーブル内の測定対象とする平衡ペアを適切なバランを介して信号発生器に接続し、その平衡ペアの遠端、及びその他の平衡ペアの両端を平衡ペアの特性インピーダンスで終端するようにする。また、ケーブルの不平衡の影響を反映させるため、測定対象のケーブルの全長は 100 m 以上とする。

このケーブルは、遮蔽減衰量 (§3) の測定の場合と同様、図 10 のように吸収クランプとアブソーバを通して引く。

この状態で信号発生器からバランを介して信号を



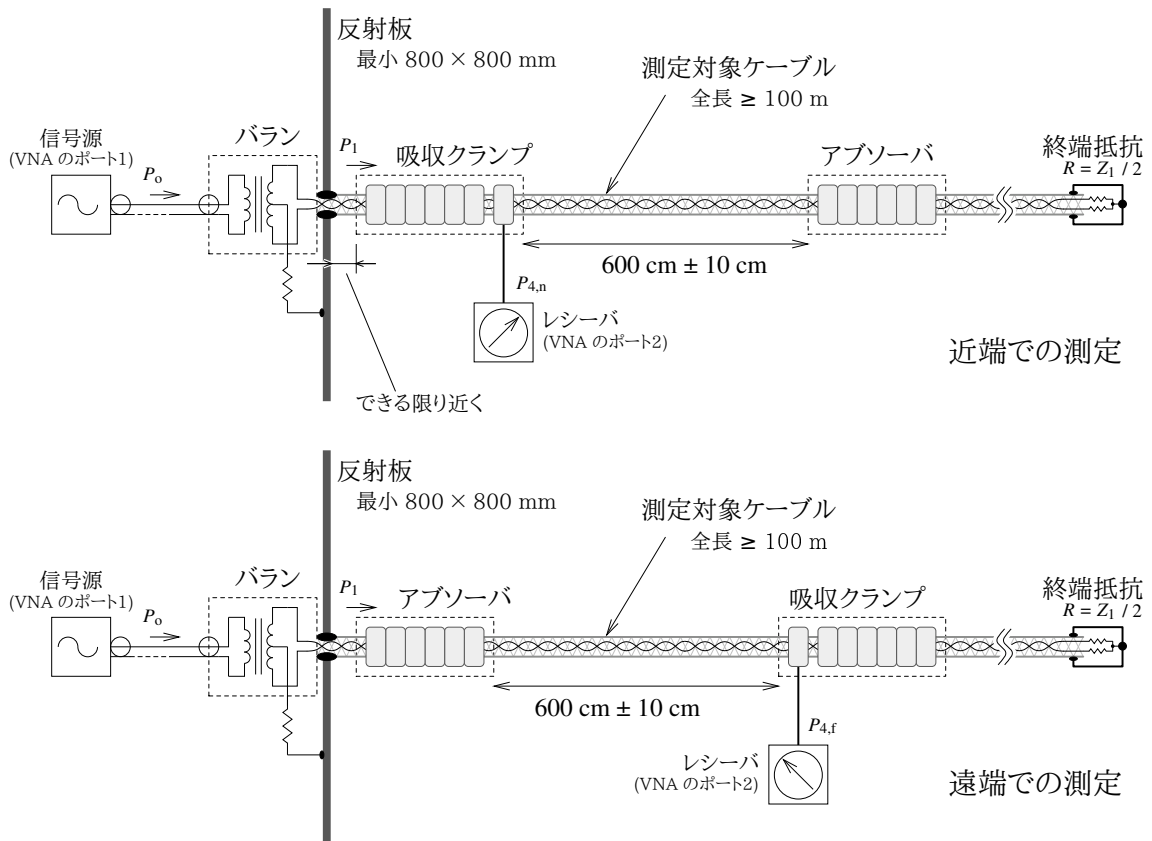


図 10: 結合減衰量の測定の原理

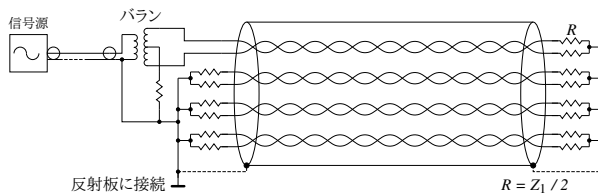


図 11: 結合減衰量測定での終端

印加し、その時の吸収クランプの出力を近端 (吸収クランプを信号発生器に近い側に終端側に向けて取り付ける) と遠端 (吸収クランプを終端に近い側に信号発生器側に向けて取り付ける) の双方について測定する。

結合減衰量は、この測定の結果から §2.4 で述べたような方法で算出できる。

測定の対象となるケーブルはシールドされていることが多いと思われるが、この測定法ではシールドなしのものも測定可能で、その場合は平衡によるエミッションの低減の効果のみが評価されることになる。

## 4.2 バラン

バランは、使用する信号発生器と測定対象のケーブルに整合する、少なくとも規格で示された条件を満たすものを使用する。

バランの損失  $a_{\text{balun}}$  は整合する 3 つのバランを 2 つずつ背中合わせにしての 3 セットの損失測定の結果から算出する。

測定対象の平衡ペアの平衡度が高い場合、バランやその接続 (また終端やその接続) が平衡を損なわないように特に注意が必要となるかも知れない。

## 5 参考資料

- [1] IEC 62153-4-5, *Metallic communication cable test methods – Part 4-5: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Coupling or screening attenuation – Absorbing clamp method*
- [2] CISPR 16-1-3, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-3: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Ancillary equipment – Disturbance power*

- [3] 家庭用機器や電動工具などのエミッション — CISPR 14-1:2020 の概要, 株式会社 e・オータマ 佐藤, 2021,  
<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [4] ケーブルのシールド性能の評価 — IEC 62153-4-4, -4-7 の概要, 株式会社 e・オータマ 佐藤, 2021,  
<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [5] *Cable Shielding for Electromagnetic Compatibility*, Anatoly Tsaliovich, Springer, 1995, ISBN: 1441947396
- [7] *Cable Shielding Test Methods: A comparison of different Test Methods*, Joachim Mueller, 2007 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, IEEE, 2007, DOI: 10.1109/IEMC.2007.231,  
<https://doi.org/10.1109/IEMC.2007.231>