

IEC 61000-4-21 の概要 — リバブレーション・チャンバ試験法 — 追補 1: 遮蔽効果の測定

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2026 年 5 月 27 日

目次

1	概要	1
1.1	チューナの動作	2
2	ケーブル・アセンブリ、ケーブル、コネクタ、ウェーブガイド、及び受動マイクロ波コンポーネントの遮蔽効果測定	2
2.1	試験セットアップ	2
2.2	遮蔽効果の測定	3
3	ガスケットや素材の遮蔽効果測定	3
3.1	試験セットアップ	3
3.2	試験治具の検証	3
3.3	測定ダイナミック・レンジの特定	4
3.4	遮蔽効果の測定	6
4	エンクロージャの遮蔽効果測定	7
4.1	試験セットアップ	7
4.2	最低使用可能周波数の特定	7
4.3	測定ダイナミック・レンジの特定	7
4.4	遮蔽効果の測定	7
5	参考資料	8

1 概要

IEC 61000-4-21 はリバブレーション・チャンバを用いた試験法に関する規格で、チューナ/スターラを各ステップで静止させるモード同調 (mode tuned) 動作^{†1}やチューナ/スターラを連続的に回転させるモード攪拌 (mode stirred) 動作での、様々な試験法が扱われている。

本項では、この規格の本稿の執筆の時点での最新版である IEC 61000-4-21:2011^[1] で触れられている事項のうち、

- ケーブル・アセンブリ、ケーブル、コネクタ、ウェーブガイド、及び受動マイクロ波コンポーネントの遮蔽効果測定 (情報)
- ガスケットや素材の遮蔽効果測定 (情報)
- エンクロージャの遮蔽効果測定 (情報)

の概要を述べる。

リバブレーション・チャンバの性質のため、これらの測定の結果は指向性や偏波の影響を受けないことが期待される。測定周波数範囲の規定はないが、低い周波数での測定のためには大きなチャンバやチューナが必要となることから、これらの測定法は高い周波数範囲での使用に適している。

この規格で述べられている事項のうち、チャンバの検証、及び放射イミュニティ試験法と放射エミッション測定法の概要は [2] で述べた。なお、これらの記事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。

^{†1} ISO 11452-11^{[3][4]} で用いられるものと同様のもの。

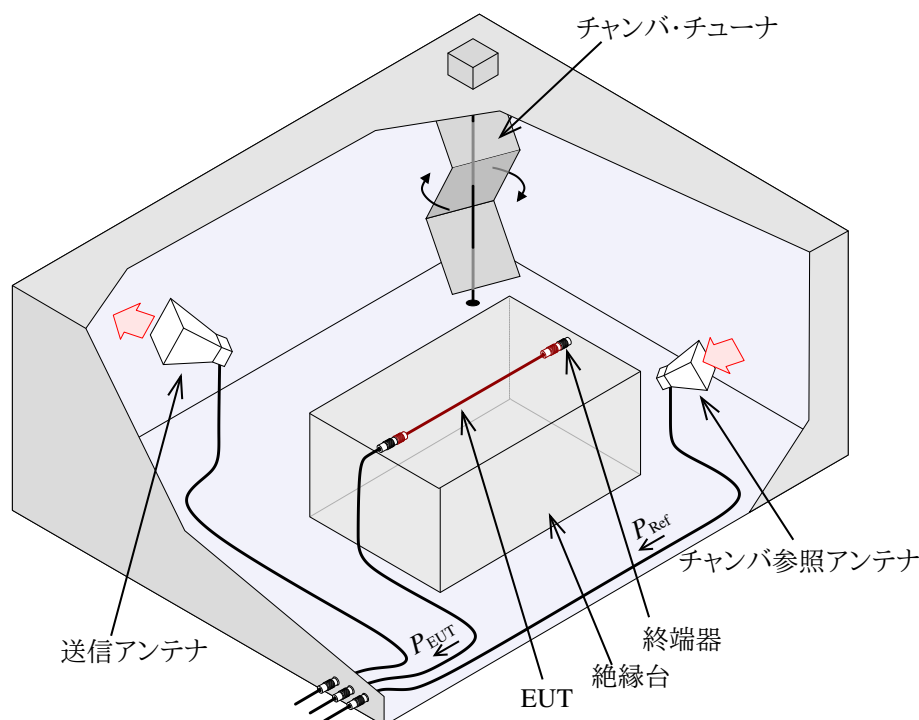


図 1: ケーブル・アセンブリ等の遮蔽効果の測定

1.1 チューナの動作

遮蔽効果の測定はモード同調とモード攪拌のいずれで行なうこともできるが、測定系の応答の早さのため、この測定はモード攪拌の使用に適している。

チューナ (スターラ、パドル・ホイール) は次のように動作させる:

- モード同調

各ステップでチューナを完全に静止させながら、少なくともチャンバ検証で用いられた数のステップを用い、周波数毎に完全に 1 回転するように等間隔のステップでチューナを回転させる。

- モード攪拌

少なくともチャンバ検証に際して収集された数のサンプルに測定対象物が曝されることを確かとするように選択されたチューナ回転率で、チューナを連続的に回転させる。

ガスケットや素材 (§3)、またエンクロージャ (§4) の遮蔽効果の測定では、チャンバ・チューナをモード同調で、試験治具や試験対象のエンクロージャのチューナをモード攪拌で動作させることも可能である。この場合、それぞれの周波数での測定は、チャ

ンバ・チューナをチャンバ検証で用いられたものと同じの数のステップを用いて 1 回転させながら、チャンバ・チューナのそれぞれのステップで試験治具や試験対象のエンクロージャの中のチューナを完全に 1 回転させて行なう。

2 ケーブル・アセンブリ、ケーブル、コネクタ、ウェーブガイド、及び受動マイクロ波コンポーネントの遮蔽効果測定

2.1 試験セットアップ

ケーブル・アセンブリ等の遮蔽効果の測定のセットアップのイメージを図 1 に示す。送信アンテナと参照アンテナはチャンバ検証で用いられたものと同じとし、送信アンテナは RF 信号源に、参照アンテナはレシーバにチャンバの壁面の貫通コネクタを介して接続する。

測定対象の EUT (ケーブル・アセンブリなど) もチャンバの壁面の貫通コネクタを介してレシーバに接続し、EUT の他のコネクタは遮蔽された終端器で終端する。EUT からチャンバの壁面までの接続デバイス (同軸ケーブルなど) の長さは最低試験周

波数における $\lambda/3$ 以上の長さとし、EUT はリバブレーション・チャンバの均一領域に置くようにする。

2.2 遮蔽効果の測定

ケーブル・アセンブリ等の遮蔽効果は、図 1 にイメージを示すような試験セットアップを用い、次のような手続きで測定できる:

- (1) それぞれの試験周波数で、
 - (a) RF 信号源からチャンバ送信アンテナに適度な電力を注入する。
 - (b) チューナを回転させ (§1.1)、チューナが完全に回転するあいだの参照アンテナに結合した電力 P_{Ref} と EUT に結合した電力 P_{EUT} を記録する。
 P_{Ref} や P_{EUT} はレシーバで観測された電力から接続デバイス (同軸ケーブル) の減衰量を補正して求めることができる。
 - (c) 遮蔽効果 SE (dB) はこの測定結果から以下の式で計算できる:

$$SE = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{Ref}}}{P_{\text{EUT}}} \right)$$

測定系のダイナミック・レンジは所望の遮蔽効果よりも 5 dB 以上高いべきであり、これは EUT の代わりに良く遮蔽されたデバイスを接続して同様に測定を行なうことで確認できる。

3 ガasketや素材の遮蔽効果測定

3.1 試験セットアップ

ガasketや素材 (板状やフィルム状のもの) の遮蔽効果の「入れ子となったチャンバ」のアプローチによる測定のセットアップのイメージを図 5 に示す。

この測定は開口部以外は良好な遮蔽を与える試験治具を用い、素材の測定の場合は開口部に測定対象の素材を取り付け、またガasketの測定の場合は開口部に測定対象のガasketを介してカバー・プレート (金属板) を取り付けて行なう。

この試験治具はリバブレーション・チャンバ内で電磁界に曝されるが、試験治具内にもチューナが取り付けられ、それ自身もリバブレーション・チャンバとして働く。

3.2 試験治具の検証

試験治具の検証は次のように行なうことができる:

- (1) 試験治具の最低使用可能周波数 (lowest useable frequency) LUF を以下の式で示される試験治具が少なくとも 60 の可能なモード ($N = 60$) を持つ周波数として特定する:^{†2}

$$N = \frac{8\pi}{3} abd \frac{f^3}{c^3} - (a + b + d) \frac{f}{c} + \frac{1}{2}$$

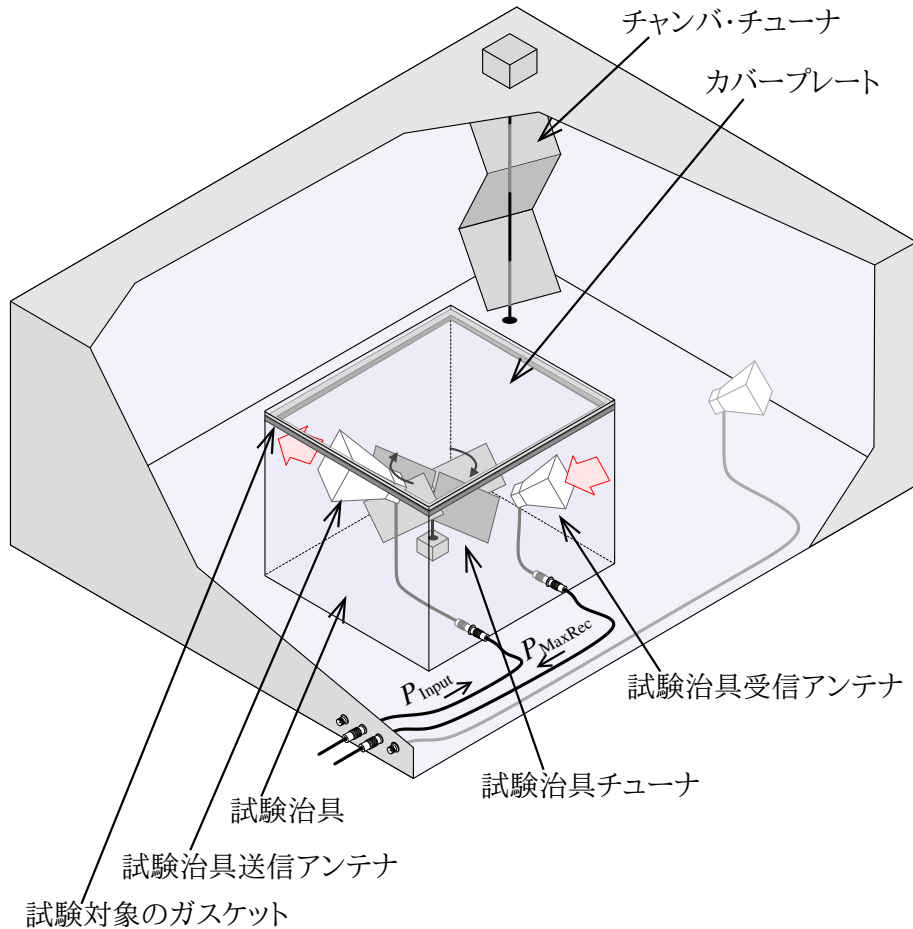
ここで、 $a \times b \times d$ は試験治具の内寸 (m)、 c は試験治具内の波動の伝播速度 (m/s)、 f は周波数 (Hz)、 N はモード数である。

データは試験治具の LUF よりも低い周波数から収集しても良いが、 LUF よりも下では測定の不確かさは急激に増加するのでそのようなデータは注意して扱うべきである。

- (2) 図 2 にイメージを示すように、試験システムを次のように構成する:
 - 遮蔽効果の測定の際と同様に試験治具内にチューナと受信アンテナを設置する。
 - 試験治具内に送信アンテナを設置し、RF 信号源に接続する。
 - 遮蔽効果の測定の際と同様に、試験治具に試験対象のガasketや素材を取り付ける。

- (3) それぞれの試験周波数で、
 - (a) RF 信号源から試験治具送信アンテナに適度な電力を入力する。
 - (b) チューナを回転させ (§1.1)、チューナが完全に回転するあいだの試験治具受信アンテナのアンテナ端子における最大受信電力 P_{MaxRec} 、また試験治具送信アンテナへの進行波電力 P_{Forward} と反射波電力 $P_{\text{Reflected}}$ を記録する。
これらの電力はレシーバで測定された電力から接続デバイス (同軸ケーブル) の減衰量を補正して求めることができる。
 - (c) 試験治具送信アンテナへの正味入力電力 $P_{\text{Input}} = P_{\text{Forward}} - P_{\text{Reflected}}$ と最大受信電力 P_{MaxRec} のあいだの比率を求めるこ

^{†2} $a = b = d$ の場合は $LUF \approx 0.6/a$ (GHz) と推定される。



試験対象のガスケット
素材や窓材のような試験品の場合は治具の開口部に試験品を取り付ける

図 2: ガスケットの遮蔽効果の測定 — 試験治具の検証

とで試験治具検証係数 (test fixture validation factor) $TFVF$ を特定する:

$$TFVF = \frac{P_{MaxRec}}{P_{Input}}$$

- (4) 時間が許すならば、試験治具送信アンテナや試験治具受信アンテナの位置を変えてこの手続きを 2 回以上繰り返す。

この場合、 $TFVF$ はその平均値から求める。

3.3 測定ダイナミック・レンジの特定

試験セットアップのダイナミック・レンジは所望の遮蔽よりも 5 dB 以上高いべきである。

ダイナミック・レンジは次のように求めることができる:

- (1) 試験治具から素材やカバー・プレートを取り外す。

- (2) 試験治具から送信アンテナを取り外し、試験治具の送信アンテナ接続ポートに測定が意図された遮蔽よりも 10 dB 以上高い遮蔽を持つ終端器を取り付ける (図 3)。

- (3) それぞれの試験周波数で、

(a) RF 信号源からチャンバ送信アンテナに適度な電力を入力する。

(b) チューナを回転させ (§1.1)、チューナが完全に回転するあいだの試験治具受信アンテナのアンテナ端子における最大受信電力 $P_{Rx Antenna}$ を記録する。

- (4) 試験治具受信アンテナを良く遮蔽された終端に置き換えて同様の測定を繰り返し、その状態でのアンテナ端子における最大受信電力 $P_{Rx Termination}$ を記録する (図 4)。

- (5) 上記の 2 つのステップで得られた値のあいだの比率を $TFVF$ で補正することで測定セット

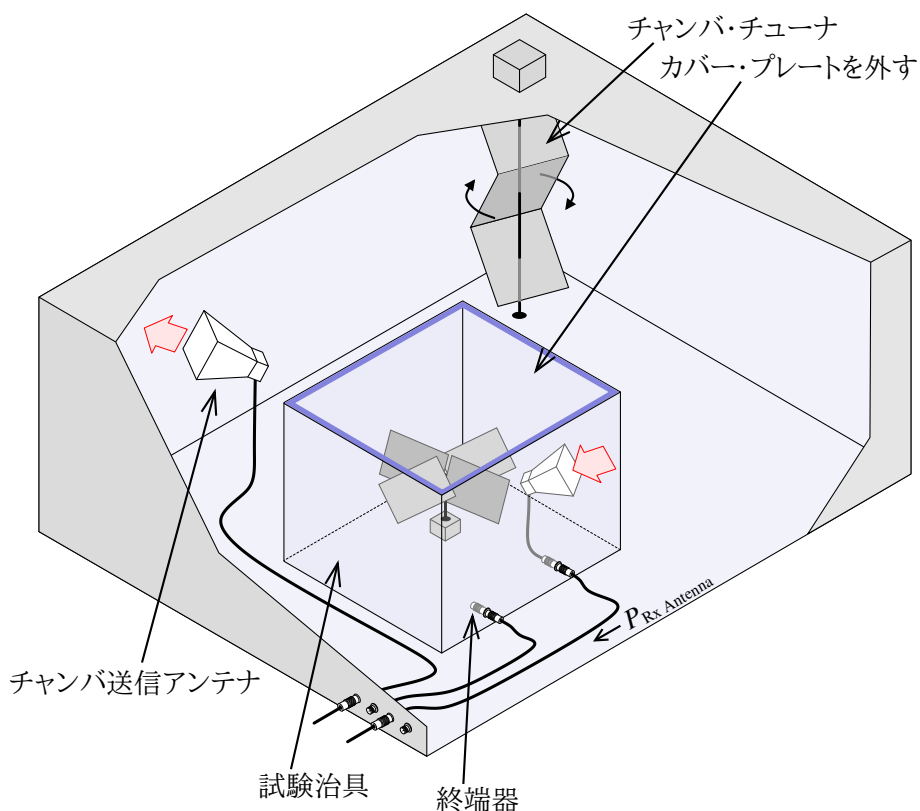


図 3: ガasketの遮蔽効果の測定 — ダイナミック・レンジの確認 (1)

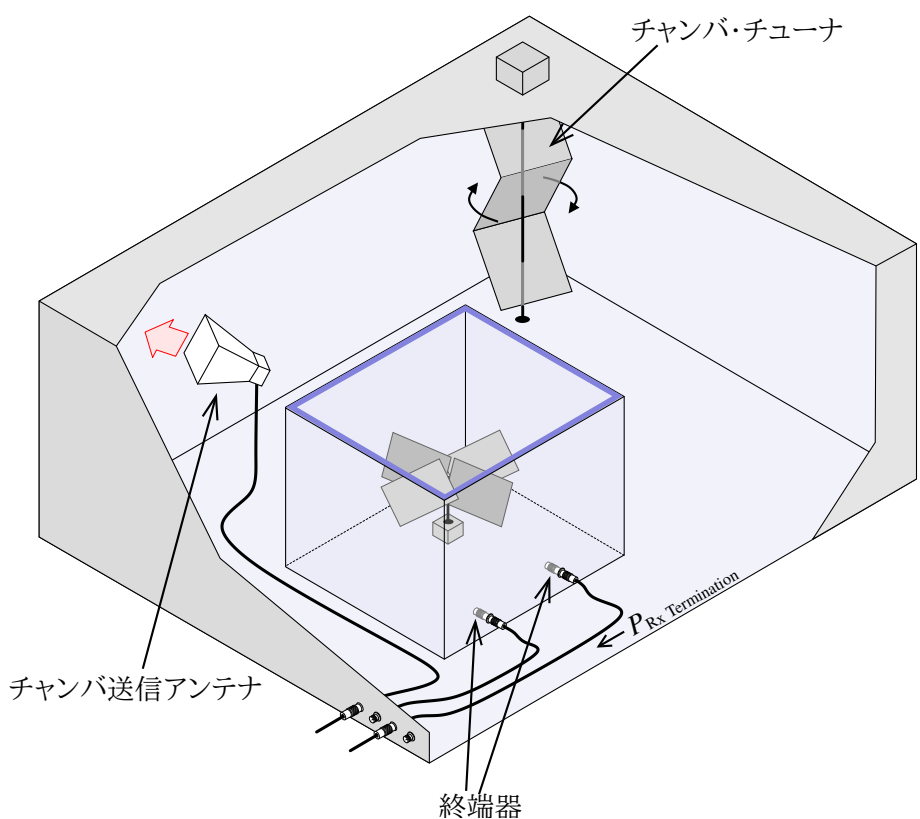


図 4: ガasketの遮蔽効果の測定 — ダイナミック・レンジの確認 (2)

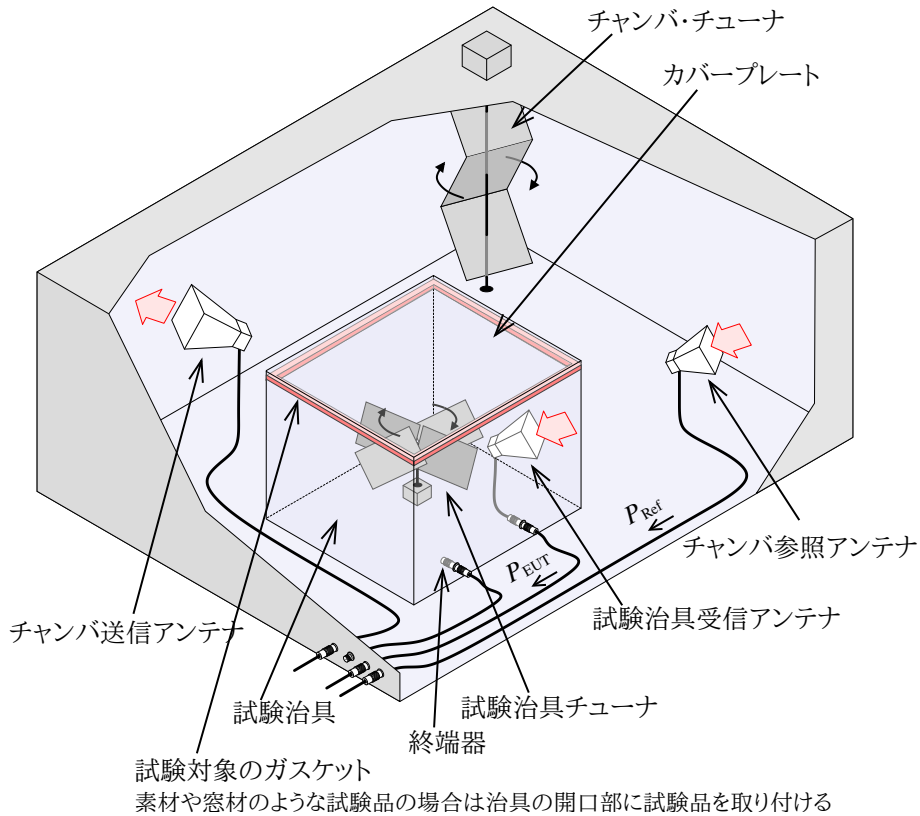


図 5: ガスケットの遮蔽効果の測定

アップのダイナミック・レンジを求める:

$$\text{Dynamic Range} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{Rx \text{ Antenna}}}{P_{Rx \text{ Termination}}} \right) + 10 \log_{10}(TFVF)$$

3.4 遮蔽効果の測定

ガスケットや素材の遮蔽効果は次のような手続きで測定できる:

(1) 図5にイメージを示すように、試験システムを次のように構成する:

- リバブレーション・チャンバ内に設置したチャンバ送信アンテナを RF 信号源に接続する;
- 試験治具内に設置した試験治具受信アンテナをレシーバに接続する;
- リバブレーション・チャンバ内に設置したチャンバ参照アンテナをレシーバに接続する;

- リバブレーション・チャンバ内のチューナに加え、試験治具内にもチューナを設置する。
チューナはできる限り大きいものとし、受信アンテナから $\lambda/4$ の離隔距離を維持すべきである;
- 試験治具に試験対象のガスケットや素材を取り付ける。

(2) それぞれの試験周波数で、

- (a) RF 信号源からチャンバ送信アンテナに適度な電力を入力する。
- (b) チューナを回転させ (§1.1)、チューナが完全に回転するあいだの参照アンテナに結合した電力 P_{Ref} と試験治具受信アンテナに結合した電力 P_{EUT} を記録する。
これらの電力はレシーバで測定された電力から接続デバイス (同軸ケーブル) の減衰量を補正して求めることができる。
- (c) 遮蔽効果 SE (dB) はこの測定結果から以

下の式で計算できる:

$$SE = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{Ref}}}{P_{\text{EUT}}} \right) - 10 \log_{10}(TFVF)$$

- (3) 必要な場合、漏洩が疑われる領域を覆うように既知の遮蔽材 (例えばアルミニウムや銅の箔やテープ) を取り付けて同様の測定を繰り返す。

遮蔽効果は、 SE の代わりに IEC 61000-4-21^[1] G.5 で述べられているように伝送断面積 σ_a で表現することもできる。

4 エンクロージャの遮蔽効果測定

4.1 試験セットアップ

エンクロージャの遮蔽効果の測定は §3 と似た形で、測定対象のエンクロージャ自身にチューナと受信アンテナを取り付けたものをリバブレーション・チャンバ内に置いて電磁界に曝すことで行なうことができる。

試験対象のエンクロージャはリバブレーション・チャンバの壁から最低試験周波数における $\lambda/4$ 以上離して、またリバブレーション・チャンバの床からも卓上型のエンクロージャの場合は最低試験周波数における $\lambda/4$ 以上、床置き型のエンクロージャの場合は 10 cm 離して配置する。

4.2 最低使用可能周波数の特定

§3.2(1)と同様、エンクロージャの内寸からその最低使用可能周波数 LUF を特定する。

データはエンクロージャの LUF よりも低い周波数から収集しても良いが、 LUF よりも下では測定の不確かさは急激に増加するのでそのようなデータは注意して扱うべきである。

4.3 測定ダイナミック・レンジの特定

試験セットアップのダイナミック・レンジは所望の遮蔽よりも 5 dB 以上高いべきである。

ダイナミック・レンジは次のように求めることができる:

- (1) 試験されるエンクロージャの内部を露出させるために必要な全てのハッチや扉などを取り外す。

- (2) それぞれの試験周波数で、

- (a) RF 信号源からチャンバ送信アンテナに適度な電力を入力する。
 (b) チューナを回転させ (§1.1)、エンクロージャ受信アンテナのアンテナ端子における最大受信電力 $P_{\text{Rx Antenna}}$ を記録する。

- (3) エンクロージャ受信アンテナを良く遮蔽された終端に置き換えて同様の測定を繰り返し、その状態でのアンテナ端子における最大受信電力 $P_{\text{Rx Termination}}$ を記録する。

- (4) 上記の 2 つのステップで得られた値のあいだの比率を求めて $TFVF$ で補正することで測定セットアップのダイナミック・レンジを特定する:

$$\text{Dynamic Range} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{Rx Antenna}}}{P_{\text{Rx Termination}}} \right)$$

4.4 遮蔽効果の測定

エンクロージャの遮蔽効果は次のような手続きで測定できる:

- (1) 図 6 にイメージを示すように、試験システムを次のように構成する:

- リバブレーション・チャンバ内に設置したチャンバ送信アンテナを RF 信号源に接続する;
- リバブレーション・チャンバ内に設置したチャンバ参照アンテナをレシーバに接続する;
- エンクロージャ内に設置したエンクロージャ受信アンテナをレシーバに接続する;
- リバブレーション・チャンバ内のチューナに加え、エンクロージャ内にもチューナを設置する。
 チューナはできる限り大きいものとし、受信アンテナから $\lambda/4$ の隔離距離を維持すべきである;
- エンクロージャの扉は閉じる。

- (2) それぞれの試験周波数で、

- (a) RF 信号源からチャンバ送信アンテナに適度な電力を入力する。

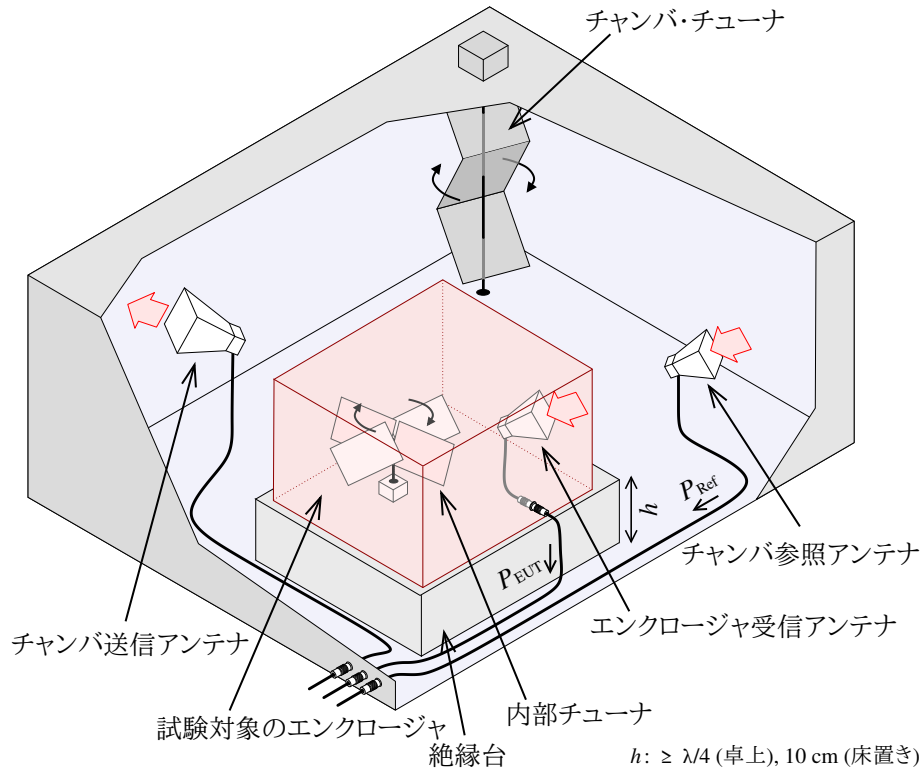


図 6: エンクロージャの遮蔽効果の測定

- (b) チューナを回転させ (§1.1)、チューナが完全に回転するあいだの参照アンテナに結合した電力 P_{Ref} とエンクロージャ受信アンテナに結合した電力 P_{EUT} を記録する。これらの電力はレシーバで測定された電力から接続デバイス (同軸ケーブル) の減衰量を補正して求めることができる。
- (c) 遮蔽効果 SE (dB) はこの測定結果から以下の式で計算できる:

$$SE = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{Ref}}{P_{EUT}} \right)$$

- (3) 必要な場合、漏洩が疑われる領域を覆うように既知の遮蔽材 (例えばアルミニウムや銅の箔やテープ) を取り付けて同様の測定を繰り返す。

5 参考資料

- [1] IEC 61000-4-21:2011, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-21: Testing and measurement techniques — Reverberation chamber test method*

- [2] IEC 61000-4-21 の概要 — リバブレーション・チャンバ試験法, 株式会社 e・オートマ, 2026, <https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>

- [3] ISO 11452-11:2010, *Road vehicles — Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy — Part 11: Reverberation chamber*

- [4] ISO 11452-11 の概要 — 車載機器のイミュニティ試験 (リバブレーション・チャンバ), 株式会社 e・オートマ, 2025, <https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>