

# リバブレーションチャンバー

航空宇宙と軍事テスト要件のための  
設計と施工に関する考察



**BEYOND MEASURE.™**

 **ETS-LINDGREN**<sup>®</sup>  
An ESCO Technologies Company

# リバレーションチャンバー： 航空宇宙と軍事テスト要件のための 設計と施工に関する考察

リバレーションチャンバーは主に、DO-160のカテゴリール、4～6 GHzで7,200V/mなど、電子機器への高い電界強度でのイミュニティやエミッションを評価するために使用されます。

他のテスト方法と比較すると、リバレーションチャンバーには、低コストであること、より高い「電界-入力電力」比であること、そして、大規模で複雑なテストシステムやデバイスを収容することなどのアドバンテージがあります。このタイプのチャンバーは、プリコンプライアンステスト、または、MIL-STD-461E/F/G、IEC61000-4-21、およびRTCA DO-160E/F/Gなどの規格に対するコンプライアンステスト、両者のために使用することができます。リバレーションチャンバー固有の構造により、今日の軍事及び航空宇宙テスト規格で要求される高い電界強度でのロバスト試験を容易に行うことができます。

リバレーションチャンバーは、その内部表面を使用し、RFフィールドを内部で反射させることによって動作します。1つまたは複数の攪拌機(チューナー)によって、キャビティ内のバウンダリコンディションを変化させます。バウンダリコンディションが変化すると、チャンバーボリューム全体にわたってモードピークが移動していきます。このことにより、大きなワーキングボリューム全体に統計的に等方で、電界的に均質なフィールドを作り出すことができます。統計理論を使用することで、ある点で測定された電界を、他の位置での最大電界を予測するために使用することが出来ることを示すことが可能です。

最新のチューナー設計により、モードチューニングテスト中の速いセトリング時間や最大スループットが保証されます。試験規格で認められている場合には、モードスタード(連続回転)での測定も可能です。

リバレーションチャンバーには、等方性と均質性という固有の特性があり、それによりテストにユニークな特徴を提供します。正しく構成され、ある与えられた不確かさのレベルを仮定すると、電界測定結果はチャンバー内のどこで取られたものでも同じになるでしょう。さらに、カップリングメカニズムに影響がない場合、被試験機器(EUT)の再構成による測定への影響は最小限で済みます。異なるサイズの異なるリバレーションチャンバー間で比較されるEUT測定値は、関連するチャンバー補正值と不確かさを考慮すると、同じになります。その利点は、高い測定再現性と試験結果の再生産性にあります。

加えてこのリバレーションチャンバーの魅力を挙げるならば、特に追加のDUTロスが最小限の場合、他のテスト環境で必要とされるよりも少ない電力で非常に高い電界強度を生成できることです。その利点は、性能を損なうことなくコストを抑えたアンプを使用できる点です。リバレーションチャンバーは、コンピューター室、医療機器室、航空機用アビオニクスルーム、自動車エンジン室などのキャビティの複雑なEMC環境をシミュレートするのに非常に適しています。うまく設計されインストールされたリバレーションチャンバーは、試験中すべてのウェーブポラリゼーションと入射角をシミュレートします。

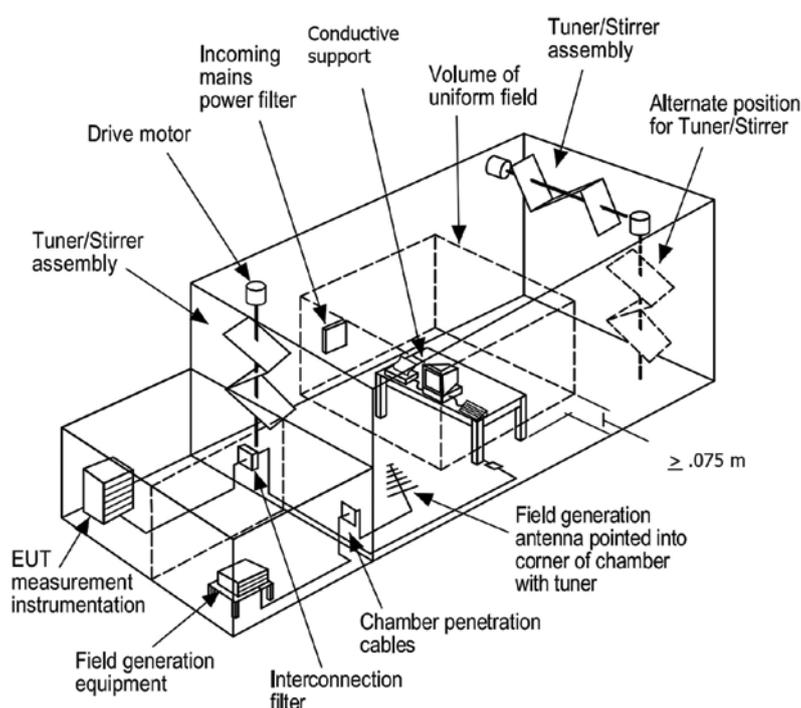
重要な軍事および航空宇宙テスト用途向けの新しいリバレーションチャンバーの設置を検討する際には、投資に対するリターンを最適化するため、次の項目が基本入門書となるでしょう。



## チャンバーデザイン

市場には数多くの規格化されたサイズのリバレーションチャンバーが存在していますが、テスト要求を正確に満たすために、熟練したRFシールディングサプライヤーと協力してチャンバーを設計するほうがより費用対効果が高くなります。熟練したRFシールディングサプライヤーは、ご希望の周波数範囲を達成させるため適切なチャンバーボリュームを決定し、モード密度とQバンドワイズを最適化するために内装の仕上げを選択し、電界強度の要件を満たすための正しいアンテナとアンプの組み合わせを推奨します。設置場所やテスト要件によって、例えば、カリフォルニアの場合、どこに設置される場合でも、地震ゾーン4の要件を満たすために、チャンバーの補強や追加の構造的な支えなど、耐震に関する配慮が必要となる場合もあります。

以下は、RTCA DO-160Gにて規定されている代表的なリバレーションチャンバーのレイアウトです。



RTCA DO-160Gにて規定されるレイアウト

## 代表的なリバレーションチャンバーレイアウト

メモ:

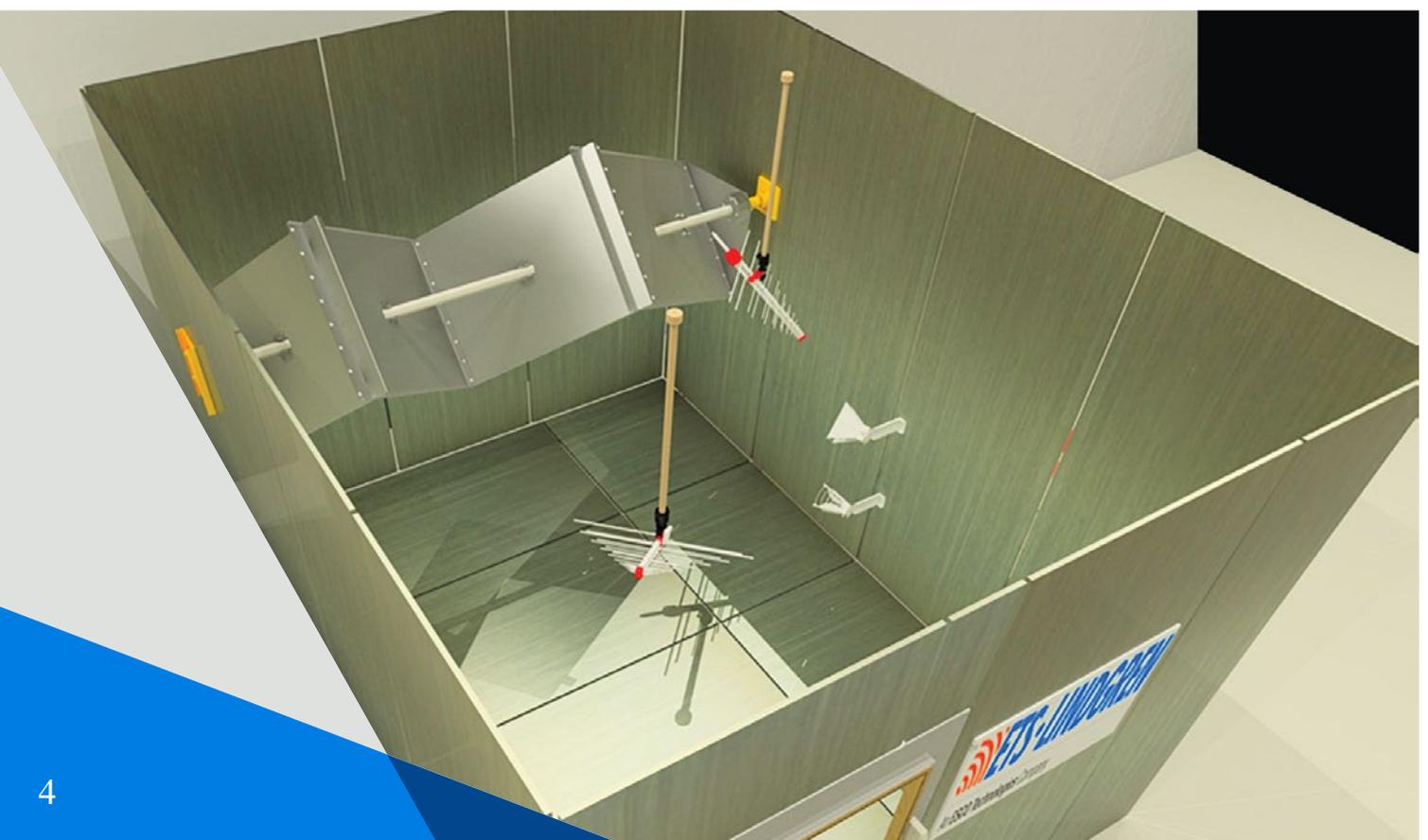
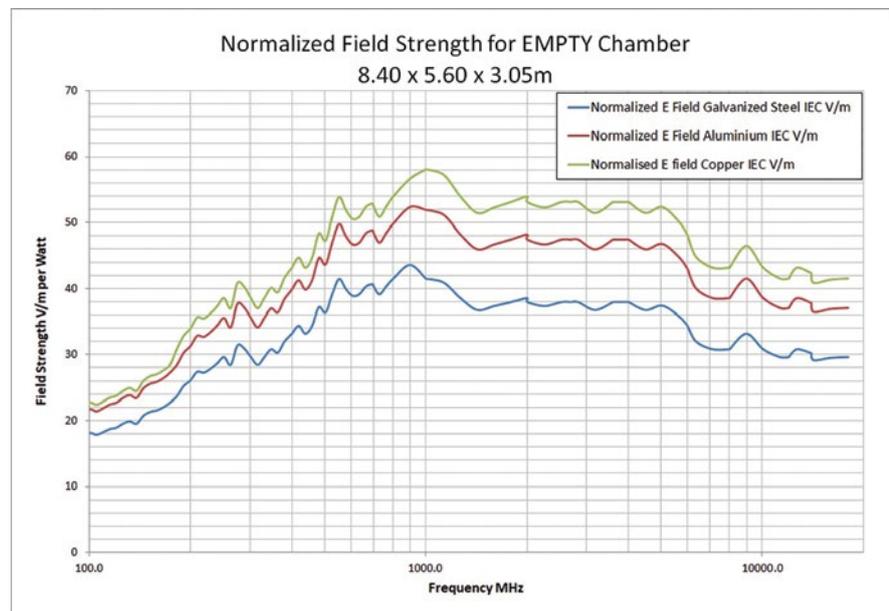
(1) ワーキングボリュームはチャンバーの表面、電界生成用アンテナ、またはチューナーアセンブリから最低でも0.75m（または1/4波長）離れていなければならない。

(2) チャンバーは、いかなる不必要な電波吸収素材も使用されていない状態を保つ必要があります。木製のテーブルや、カーペット、床仕上げ材、天井のタイルなどのアイテムは使用しないでください。露出した照明器具もまた、潜在的な負荷の要因となります。新規のチャンバーの場合、チャンバーの評価は、ドア、通気口、アクセスパネル以外のサポート機器の設置より前に行うことをお勧めいたします。

## チャンバーマテリアル

従来のEMCチャンバとは異なり、リバレーションチャンバは、内装や外装表面に異なる素材を使用することがあります。例えば、リバレーションチャンバ内部のシールドングパネルの表面を銅で仕上げることでQを高め、キャビティ内電界強度を高めることが出来ます。外側のシールドングパネルの表面は、通常はスチールです。費用対効果の高い材料であると同時に、必要なRFシールドングパフォーマンスを提供するためです。内部の床はさらに異なる素材で仕上げられることもあります。例えば、床は耐久性の観点からアルミニウムを敷く場合があります。これは、軍用車両など重量の重い製品をテストする際や、チャンバ内外を機器が出入りすることが多いときに考慮すべき特に重要な点です。

以下に示すのは、DO-160法で期待される標準化された電界強度シミュレーションであり、このサイズのチャンバでの亜鉛メッキ、アルミニウム、銅の場合の比較です。これらの材料は、チャンバ性能に直接影響します。





## チャンバーコンストラクション

最適なチャンバー構造は、クランプシステムでアSEMBルされた自立型エンクロージャーであるシールドモジュラーパネルセクションで構成されています。亜鉛メッキ加工されたスチールのシート（理想は28ゲージ）は、高密度粒子および、または、合板ボードコアに積層されています。パネルは、「ハット」、「フラット」及び「コーヴ」クランプシステムで結合され、シールドパネルの設置面に均一でかつ一貫した圧力のコンタクトを提供します。このクランピングセクションは、腐食を防ぐために亜鉛メッキ加工され、中央の4インチ間隔のセルフテーピング亜鉛メッキファスナーで接合されます。シングルスキンの折り畳み構造体（PAN フォーム）を使用する代替の施工方法も一般的に使用されています。これは、亜鉛メッキ鋼板やアルミニウムのチャンバーに適しています。

電気的なアイソレーションを維持するためには、シールドされた床パネルの下に誘電体防湿材と下敷きを敷く必要があります。滑らかな床面を確保するために、クランプシステムでは皿ねじを使用します。このタイプの構造では、要件が変更された場合、モジュラーまたはPANフォームパネルをフェライト敷設および/または従来の吸収体が敷設された無響チャンパーに変換することができます。これらのシールドソリューションは、広い周波数範囲において高いシールド性能を提供すると同時に、ラボのテストニーズが変更になった場合にも新しい環境を作る柔軟性を提供することができます。

## シールド性能代表値

磁界 20 dB @ 1 kHz / 56 dB @ 10 kHz / 100 dB @ 200 kHz

電界 ≥ 100 dB from 200 kHz to 50 MHz

平面波 ≥ 100 dB from 50 MHz to 1 GHz

マイクロ波 ≥ 100 dB @ 10 GHz



## 重要なチャンバーコンポーネント：ドア、チューナー、その他

### RFシールドドア

リバレーションチャンバーでは、様々なタイプのシールドドアをご利用いただけます。手動操作のスイング式ドアからプッシュボタン式の完全自動スライドドアまでありますが、その中から用途に最適なドアのタイプを選択するのは難しいことかもしれません。どのくらいの頻度でドアを開閉しますか？また、どのくらいの重量の製品をテストしますか？チャンバーへ入れることができる重量ですか、またはカートを使ってチャンバーに入れる必要はありますか？この場合、例えば、ドアの敷居が低くなる、つまり、チャンバーの床面と同じ高さになったり溝を掘って設置したりすることから、スライドドアが好ましい場合があります。スイングドアに必要なくぼみのある溝は、人の出入りには適していますが、EUTのサイズが大きい場合や重量が大きい場合には適切ではない場合があります。



### チューナー

チューナーは、一般的にはアルミニウム製の大きな反射板で作られ、リジッドボックス（トラス）フレームか、あるいはシングルスパインによって支えられた構造をしており、RFリバレーションチャンバーでの使用に不可欠な、効率的な反射面を提供できるよう設計されています。ほとんどのチューナーは、ポジショニングコントローラーを使用してコンピュータ制御されています。チューナー用コントローラーは、角度位置情報のデジタルディスプレイを提供したり、スピードや、スタード並びにチューンド両者のモードオペレーションでのポジションをコントロールします。理想的なチューナーには、以下のような重要な特徴があります：

- 堅牢かつ軽量の構造
- 短時間のセtringタイム
- 効率的なRFスキヤタリング
- チャンバーサイズに合った寸法
- 動作周波数に応じた断面
- シンクロナスまたはステッパーモーター
- チューンド及びスタードモードオペレーションに適した設計

モードスターリング法には周波数スターリングのような方法もありますが、現行規格ではこれらはカバーされていません。



## その他

もちろん、アンテナ、ポジショナーやソフトウェアなしではテストを完了させることはできません。チャンバーの設計と構造に関して、これまで述べた“最重要事項”の他、これらのキーコンポーネントにも注意を払う必要があります。また、これらキーコンポーネントは一体となって動作する必要があるだけでなく、長納期品であることもあります。必要とされる最適なアンテナやポジショナーの推奨品についてはサプライヤーへお尋ねください。例えば、特定のテスト要件において、ある複数のアンテナを別のアンテナに置き換えることでダウンタイムを短くすることをお考えならば、そのアンテナは十分広帯域なアンテナである必要があるでしょう。テストレポート作成機能など、最大限の柔軟性と利便性を提供するソフトウェアオプションも必要となるでしょう。ほとんどの企業は、貴社のスタッフのテスト能力を高めるために、ラボスタッフと管理者にソフトウェアトレーニングを提供するでしょう。このトレーニングは新しいリブレーションチャンバーを建てる際のプロポーザルに含まれていることが要求されます。

## 認証試験

いかなるタイプのRFシールドエンクロージャーであっても、設置完了後にチャンバーの認証テストを実施することが不可欠です。シールド検証テストでは一般に、MIL-STD-285およびIEEE-299のテスト方法に従い、最大10 GHzの平面波までで、4つの周波数ポイントにおいて実行されます。シールド性能は、アンテナ、RFケーブルなどのシステムコンポーネントを設置する前に保証される必要があります。さらに、DO-160F/G（エンブティーチャンバーで100 MHz～18 GHz）ごとのリブレーション検証テストを実行する必要があります。チャンバーの性能をドキュメント化するために、詳細テストレポートを提供し、ファイルに保存しておく必要があります。

## ただの金属の箱ではありません

垂直統合されたソリューションサプライヤーは、チャンバーのすべてのコンポーネントがシームレスに連携することを保証いたします。プロジェクトコンタクトが一つに統一され、第三者のサプライヤーに頼る際のリスクや責任が軽減されます。製造をコントロールすることにより、垂直統合型のテストソリューションサプライヤーは、特定のテストアプリケーションに合わせて製品のパフォーマンスを調整し、効率的に将来の運用要件をサポートできます。潜在的なサプライヤーと現在および将来のテスト要求への展望について話し合うことにより、長期的な投資を保護します。サプライヤーの資格を確認し、顧客からの照会を求め、提供されるメンテナンスサービスを評価し、サプライヤーの財務能力を文書化して、プロジェクトをタイムリーに完了させます。適切に設計、製造および設置されたリブレーションチャンバーは、もはや単なる「金属製の箱」ではありません。

「製品は、そのライフサイクルを通じて意図された設置場所または電磁環境内で確実に動作するように設計およびテストされています。多くの場合、特定の環境で特定の機能または複数の機能を実行するように設計された製品は、多くの無関係な業界およびプラットフォームに渡ってさまざまなアプリケーションを満たしながら、これらの機能を実行するシステムに統合されることもあります。最も一般的なシナリオは、市販の (COTS) 機器が、軍用アプリケーションに統合される例です。意図された電磁環境と新しく提案された設置環境との間の変動は大きくなる可能性があり、深刻な製品設計リスクをもたらす可能性があります。これらの電磁環境効果 (E<sup>3</sup>) の違いを理解し、製品認証を求める前に設計リスクを軽減することが重要です。このインフォグラフィックは、最も一般的な軍事、航空宇宙、および商業EMIテスト標準の比較を提供し、潜在的なリスクと必要条件のギャップを明らかにします。」

Jeff Viel  
Chief Electrical Engineer and General Manager of NTS Plano

## EMI/EMC試験

以下はNTS様のご好意により掲載しております。追加情報について、またはインフォグラフィックの「EMI / EMC要件比較」の全容はNTS様のウェブサイトwww.nts.com をご覧ください。

### EMI/EMC試験カテゴリー



**イミュニティ/感受性試験**  
一連の特定プラットフォームベースの環境にさらされた場合の、製品の潜在的な運用上の影響を評価します。  
以下を含みます:

- 放射感受性/イミュニティ試験(電圧及び磁界)
- 伝導感受性/イミュニティ試験(電圧及び電流)
- サージ、スイッチングトランジェント、ライトニング
- 電源品質 (ドロップ、サグ、変動)

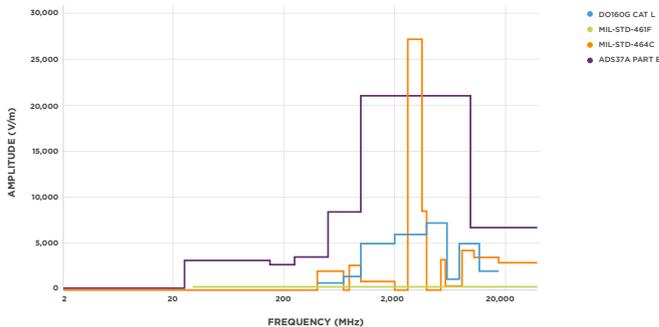


**エミッション試験**  
適切なEMI設計管理が実施されていることを保証する (既存のエミッションレベルのプラットフォームに基づく)

- 放射エミッション試験 (電界及び磁界)
- 伝導エミッション試験 (電圧及び電流)
- 電源品質 (高調波、パワーファクター)

### 放射感受性試験レベル比較

振幅、周波数範囲、ステップサイズ、及び変調など、規格によって放射感受性レベルに違いがあることがわかります。



### 放射エミッション電界比較

周波数範囲、測定距離、解像度など、差異の共通エリア



About NTS:  
NTS (National Technical Systems, Inc.)は、米国に本社を置く、検査、認証サービスの大手プロバイダーであり、民間航空、宇宙、防衛、原子力、電気通信、産業、電子機器、医療、および自動車のエンドマーケットにおいて、4000を超えるクライアントに密接なサービスを提供しています。NTSに関する追加情報については、www.nts.com にアクセスしてください。

さらにサポートが必要ですか? ETS-Lindgrenにおまかせください! ETS-Lindgren担当者までお電話(03-3813-7100)いただくか、弊社ウェブサイト(www.ets-lindgren.com)をご覧ください。

