

*Application Note***10 BASE-T1L イーサネット EMI および EMC テスト結果**

Steffen Graf, Quirin Hauf

概要

本書は、DP83TD510E シングルペアイーサネット PHY を用いた Sitara ベースのマイコン開発プラットフォームである TIDA-010261 ボードにおいて実施された、一連の EMI/EMC 測定について説明します。目的は、EMI および EMC の課題の原因を特定することでした。このテストによって、100MHz から 300MHz までの周波数範囲で過剰なエミッションの発生が検出され、その原因として電源ノイズ、SD カードのクロッキング、ダイオードが生成する内部チャージャポンプノイズである可能性が示唆されました。これを改善するために、シールド、パターン長の整合、内部 EMMC の使用など、PCB 設計を修正しました。最終的な結果として、放射が大幅に低減し、CISPR 32 規格に適合しました。

目次

1 はじめに	2
2 システムの説明	3
3 分類	4
4 EMI および EMC の概要	5
4.1 EMI.....	5
4.2 EMC.....	5
4.3 EMI および EMC テスト.....	5
5 テストの説明	6
6 テストの詳細と結果	7
6.1 バースト: IEC 61000-4-4.....	7
6.2 ESD: IEC 61000-4-2.....	9
6.3 サージ: IEC 61000-4-5.....	10
6.4 伝導エミッション: IEC 61000-4-6.....	12
6.5 放射エミッション: IEC 61000-4-3.....	13
6.6 伝導エミッション EN 61000-6-3 EMCL DC (LISN)	15
6.7 CISPR 32.....	16
6.8 伝導エミッション CISPR 32 信号.....	17
6.9 Rad EMS CISPR 32 FAR.....	19
7 まとめ	24
8 参考資料	24

商標

Sitara™ is a trademark of Texas Instruments.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

本書は、10 BASE-T1L イーサネットリファレンスデザインである TIDA-010261 について、電磁干渉(EMI)および電磁両立性(EMC)テストの結果に関する詳細な技術レポートです。このレポートでは、以下のような EMI/EMC テストのさまざまな側面を説明しています：

1. **はじめに:** EMI/EMC テストのコンセプトと製品開発におけるその重要性の概要。
2. **テスト設定:** CISPR 32 および IEC 規格に準拠した、放射エミッション(RE)、伝導エミッション(CE)、電磁感受性(EMS)テストの設定の説明。
3. **放射エミッションのテスト結果:**
 - 図 6-15 から 6-25 は、アンテナからのさまざまな距離における クラス A および クラス B 機器の放射エミッション測定結果のグラフを示しています。
 - 表 6-6 は、シールド付き SPE ケーブルとシールドなしツイストペアケーブルの周波数の CISPR 32 FAR テストの結果データ(最小および最大測定値)を示します。
4. **伝導エミッション テスト結果:** 図 6-16 から 6-18 は、CISPR 32 測定規格を使用した クラス A および クラス B デバイスの 50kHz および 30MHz 周波数範囲での伝導エミッションの測定結果を示します。
5. **電磁感受性(EMPS)試験:**
 - 図 9-36 は、TIDA-010261 の電磁源に対する感受性を調査するための放射耐性テストの設定を示しています。
6. **結果の分析:** 伝導エミッションおよび放射エミッションテストはすべて合格したものの、改善の余地(たとえば、内蔵 SD カードの使用や回路パターンの整合など)があることを示す、EMI/EMC テストデータに関する考察。
7. **まとめ:** EMI/EMC のテスト結果をまとめ、成果とプロセス改善の方向性を強調します。

本書の要点：

- 10 BASE-T1L イーサネットリファレンスデザインは、ほとんどの EMI/EMC テストに合格し成功を収めています。
- SD カードなどの内蔵高速コンポーネントによるノイズ放射を低減する機会があります。
- 電子回路設計でパターン長とインピーダンスを最適化することで、EMI の挙動を軽減できます。

この技術レポートは、さまざまな業界で製品開発に取り組むエンジニア、特に複雑な電子機器を扱い、システムへの電磁感受性テストの適用に関するガイダンスを必要とする業界のエンジニアに役立ちます。

2 システムの説明

このリファレンス デザインは、センサとアクチュエータのためのデジタル バック エンドを実装しています。上位層との通信では、10BASE-T1L SPE を使用して 10Mbps のデータスループットで最大 1km のケーブル長を実現できます。この設計に電力を供給するための 2 つのオプション：

1. イーサネットラインから電力供給される PoDL PD として機能
2. 24V 電源を接続してスタンダードアロンモードで動作させる

ボード上の Sitara™ AM2434 プロセッサを使うと、高速フーリエ変換 (FFT) 計算などのデータ処理をエッジ側で直接実行できる強力なセンサまたはアクチュエータを実装できます。PHI コネクタと BoosterPack コネクタを備えたインターフェイスオプションとして、4 チャンネル統合型電子圧電 (IEPE) 振動センサーフロントエンドを実装した、**4 チャンネル統合型電子圧電 (IEPE) 振動センサーインターフェイスリファレンスデザイン** 設計ガイドに接続可能です。この設計ガイドに示す例の振動センサは、4 つのアナログ チャンネルの振動データを捕捉するだけでなく、データを処理するため (FFT 計算など) にも使用でき、その結果に基づいて決定を下すことができます。



図 2-1. PCB TIDA-010261

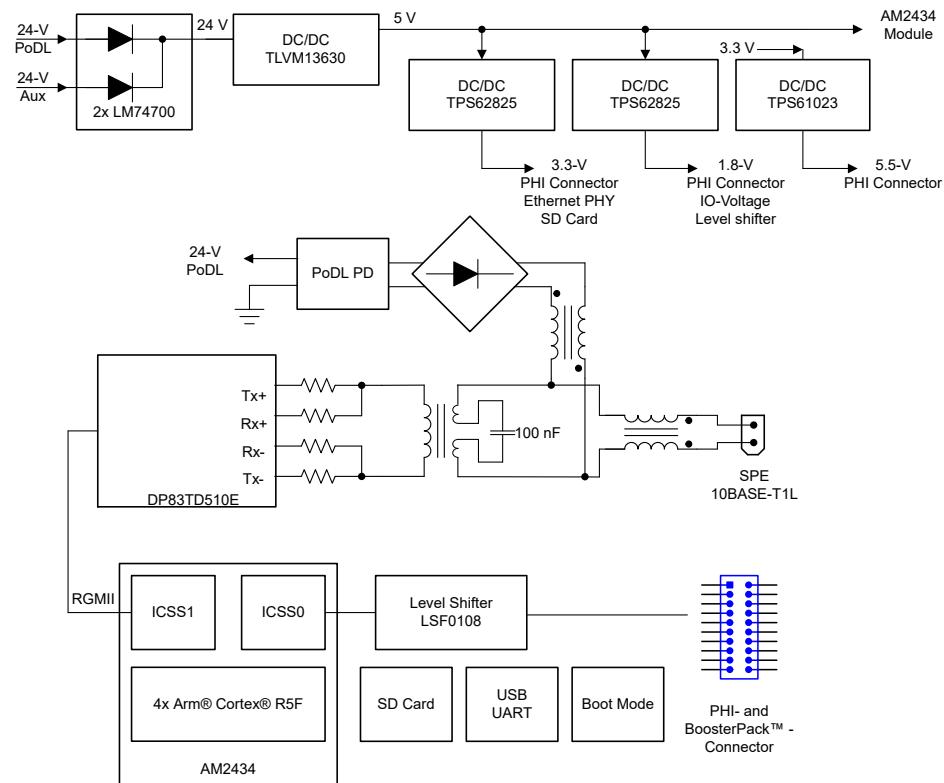


図 2-2. TIDA-010261 のブロック図

3 分類

TIDA-010263 テストボードは、EMC および EMI のテスト規格と、産業用アプリケーションの基準を満たすように考案されています。規格に従って、次のテストが選択されます：

- IEC 61000-4-2: Electrostatic Discharge (ESD) (静電気放電)
- IEC 61000-4-3: 放射耐性 (RI)
- IEC 61000-4-4: 電気的高速過渡現象 (EFT)
- IEC 61000-4-5: サージ耐性 (SI)
- IEC 61000-4-6: 伝導耐性 (CI)
- IEC 61000-6-3 EMCL DC 伝導電圧エミッション
- CISPR 32: 産業、科学、医療 (ISM) 機器からの EMI に関する放射エミッション

表 3-1. 分類マトリックス

性能(合格基準)	説明
A	モジュールが意図されたように動作を続行すること。テスト中であっても、機能喪失、パフォーマンス、イーサネットパケットが破損しないこと
B	テスト中の一時的なパフォーマンス低下は許容されます。テスト後、手動による介入なしに、モジュールが意図されたように動作を続行すること。
B*	モジュールが意図されたように動作を続行すること。テスト実施中も機能や性能の損失がないこと。一部のデータパケットが欠落している可能性がありますが、通信が完全にリンク喪失しているわけではないこと
C	テスト実施中、機能の損失は許容されるが、ハードウェアやソフトウェアの破損はないこと。テスト後、手動による再起動、電源切断、電源投入のいずれかの後、モジュールは意図した動作を自動的に継続すること。自己回復性なし

基準 A の定義は、お客様によって異なります：

- 通信インターフェイスでは、連続したエラーが 3 回未満であっても、基準 A と見なされることがよくあります。
- お客様は通常、標準電圧の 2 倍でテストを実施します。
- **基準 A(特に EFT において)の達成は、競争上の優位性が得られます。**

-> 過酷な産業環境において、性能の向上とダウンタイムの短縮を両立させ、より堅牢なシステムを実現します

4 EMI および EMC の概要

電子工学および電気工学において、EMI(電磁干渉)およびEMC(電磁両立性)テストは不可欠な手順です。

4.1 EMI

電磁干渉(EMI)とは、電気機器または電子機器から放射される望ましくない電磁妨害(EMI)のことで、周囲のデバイスや通信システムの性能に影響を及ぼす可能性があります。たとえば、適切にシールドされていないデバイスは、近くの電子機器を妨害する無線周波数干渉を発生させる可能性があります([EMI と EMC の違いは何ですか？](#))。

4.2 EMC

電磁両立性(EMC)とは、電子機器が有害な干渉をしたり、他の機器からの電磁放射の影響を受けたりすることなく、環境内で正しく機能する能力を意味します。基本的に EMC は、機器が妨害を引き起こしたり、妨害を受けたりすることなく、他の機器と共に存して機能することを保証します([EMC と EMI とは？](#))。

4.3 EMI および EMC テスト

EMI/EMC テストは、製品が規制規格に準拠し、他の機器に干渉したり影響を受けたりすることなく、適切に機能することを確認するために実施されます。一般にこれらのテストには、以下が含まれます：

エミッションテスト

- このテストは、デバイスが生成する電磁放射を測定して、放射が許容限度内であることを確認します(コンプライアンステスト)

耐性テスト

- デバイスが、性能を低下させることなく外部の電磁妨害にどれほど耐えられるかを評価します([電磁両立性\(EMC\) テスト](#))

これらのテストは、実際の環境で電子機器の安全性、信頼性、規制への適合性を確認する上で不可欠です。

5 テストの説明

テスト中、2つのTIDA-010261 PCBを、シールド付きまたはシールドなしのツイストペア（シングルペアイーサネットケーブル）のいずれかに接続しました。ボードは、外部24V電源で電力を供給されます。

耐性テスト中のデータ整合性をテストするために、LinuxはeMMCから実行され、一方のボードはiperf3サーバーを実行し、もう一方のボードはiperf3サーバーに接続し、耐性テストの実行中に、TCPスループットテストを実行します。iperf3の出力から、データレートと再試行カウンタが監視され、ハードウェアからはリンクLEDが監視されました。

```
Connecting to host 192.168.1.11, port 5201
[ 6] local 192.168.1.10 port 43962 connected to 192.168.1.11 port 5201
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate   Retr  Cwnd
[ 6]  0.00-1.00   sec  1.24 MBytes  10.4 Mbits/sec  0   21.2 KBytes
[ 6]  1.00-2.00   sec  1.14 MBytes  9.56 Mbits/sec  0   33.9 KBytes
[ 6]  2.00-3.00   sec  1.14 MBytes  9.56 Mbits/sec  0   33.9 KBytes
[ 6]  3.00-4.00   sec  1.14 MBytes  9.56 Mbytes/sec 0   33.9 KBytes
[ 6]  4.00-5.00   sec  1.14 MBytes  9.56 Mbytes/sec 0   33.9 KBytes
```

図 5-1. Iperf3 EFT データ記録開始

```
[ 6] 595.00-596.00 sec  1.24 MBytes  10.4 Mbits/sec  6   21.2 KBytes
[ 6] 596.00-597.00 sec  1018 KBytes  8.34 Mbits/sec  5   24.0 KBytes
[ 6] 597.00-598.00 sec  1.24 MBytes  10.4 Mbits/sec  5   28.3 KBytes
[ 6] 598.00-599.00 sec  1018 KBytes  8.34 Mbits/sec  6   21.2 KBytes
[ 6] 599.00-600.00 sec  1.24 MBytes  10.4 Mbits/sec  4   24.0 KBytes
[ 6] Interval      Transfer     Bitrate   Retr  Cwnd
[ 6]  0.00-600.00 sec  657 MBytes  9.19 Mbits/sec  10835
[ 6]  0.00-600.01 sec  657 MBytes  9.18 Mbits/sec
                                                               sender
                                                               receiver
iperf Done.
```

図 5-2. Iperf3 EFT データ記録終了



図 5-3. シングルペアイーサネットと 2 つの接続された TIDA-010261

6 テストの詳細と結果

6.1 バースト: IEC 61000-4-4

は、一般にバーストと呼ばれる電気的高速過渡現象(EFT)に対する電気的および電子機器の耐性をテストするための要件と方法を規定する規格です。これらのバーストは、誘導負荷、リレー接点のスイッチング、またはその他の電源回路の急激な変化によって通常生成される、スイッチング過渡現象をシミュレートした短く高速の高周波数パルスです。この規格の目的は、機器がこの種の妨害波にさらされた際に、データ損失やハードウェア障害を発生させることなく、適切に機能を継続できることを確認することです。

テスト設定には、指定された電圧レベル、パルス幅、繰り返し周波数でパルスを生成できるバーストジェネレータが含まれます。このパルスは、電源ラインへの直接注入、または容量性結合クランプ(CCC)を使用した信号ラインおよび制御ラインへの容量結合によってEUTに結合されます。この機器は、直接電気的に接続することなく、EFT/バースト妨害波をEUTに注入するために使用されます。標準的なバースットテスト設定には、テスト対象の重大°Cクラスに応じて、0.5kVから数kVまでのKVレベルと、5kHzまたは100kHzの周波数の使用が含まれています。結合・分離ネットワーク(CDN)は、回路の関連しない部分に干渉することなくバーストエネルギーが適切に印加されることを確認するテスト設定の重要な要素です。EUTは動作中の応答についてテストされ、誤動作、中断、損傷の有無が監視されます。評価基準には、機器で一時的なパフォーマンスの低下、データ損失、または完全な障害が発生したかどうかの判断が含まれます([EMC規格](#))。

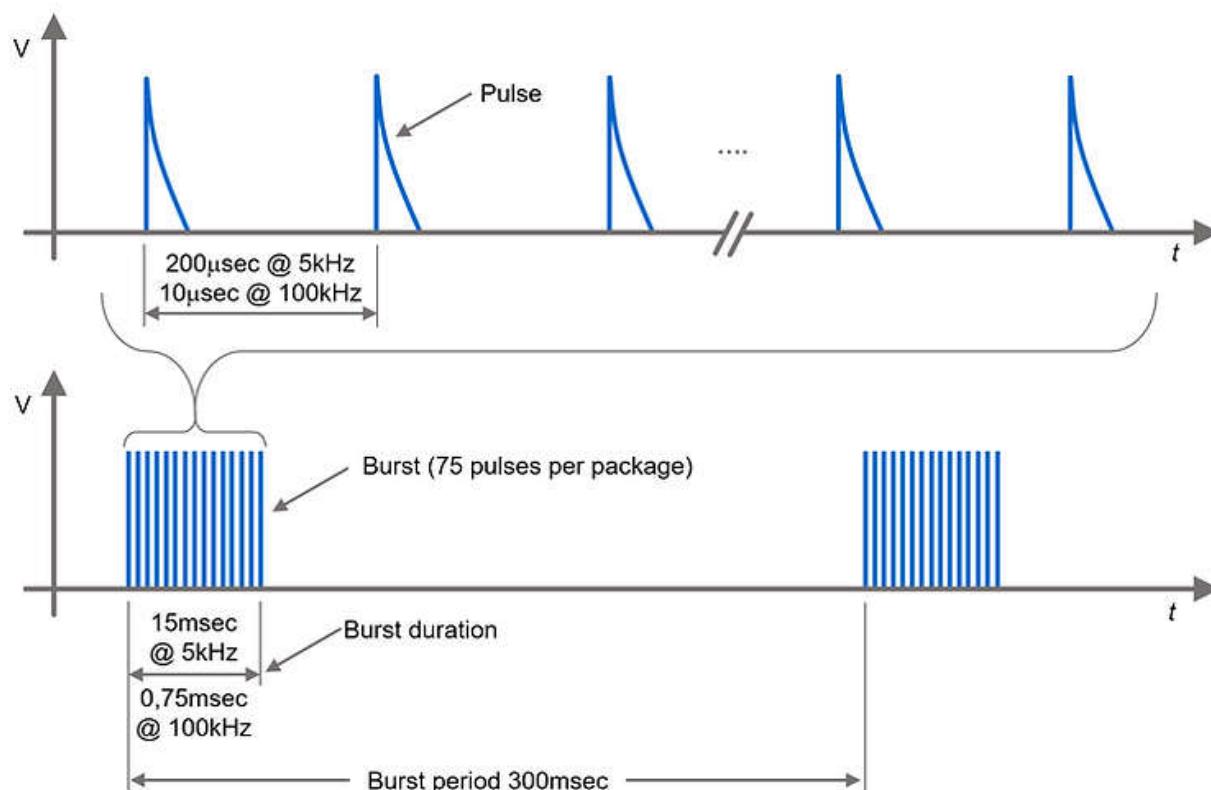


図 6-1. バースト 61000-4-4 ジェネレータ出力信号



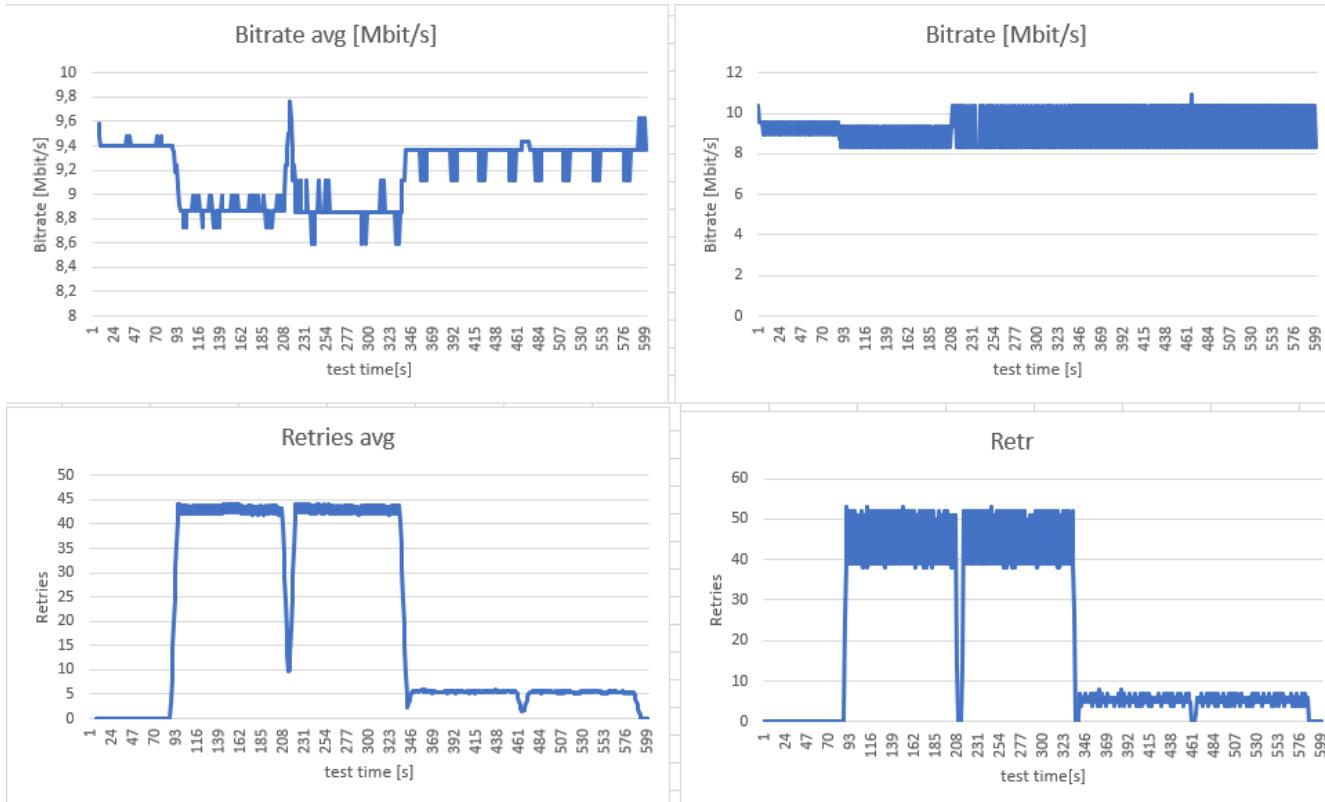
図 6-2. バーストテスト設定 TIDA-0101261

表 6-1. TIDA-010261 EFT 結果

テスト	IEC 規格	ケーブル	テスト信号		テストの説明	条件	テスト結果
			電圧	周波数			
EFT	IEC 61000-4-4	シールド付き SPE	$\pm 2\text{kV}$	5kHz	DC 入力ラインに 対して、CDN を 使ってバーストを 結合	A	合格
				100kHz		A	合格
	IEC 61000-4-4	シールド付き SPE	$\pm 2\text{kV}$	5kHz	SPE へ CCC(カ ップリングクラン プ)を介してバ ーストを結合	A	合格
				100kHz		A	合格

表 6-1. TIDA-010261 EFT 結果 (続き)

テスト	IEC 規格	ケーブル	テスト信号		テストの説明	条件	テスト結果
			電圧	周波数			
EFT	IEC 61000-4-4	シールドなしツイストペア	$\pm 2\text{kV}$	5kHz	DC 入力でのバースト	B*	合格
				100kHz		B*	合格
	IEC 61000-4-4	シールドなしツイストペア	$\pm 2\text{kV}$	5kHz	SPE ～ CCC(カッピングクリンプ)を介してバーストを結合	B*	合格
				100kHz		B*	合格


図 6-3. Iperf 3 結果プロットシールド付きケーブル

6.2 ESD: IEC 61000-4-2

静電放電は、静電放電(ESD)に対する電気・電子機器の耐性をテストするためのフレームワークを提供する技術規格です。

この規格は、テストの設定と手順の両方の要件を規定しており、デバイスが ESD イベントにどのように応答するかを評価するための一貫性と再現性のあるテストを保証します。

技術的には、この規格は接触放電と空気放電の 2 つの主な放電タイプを対象にしています。接触放電には、導電性のチップを介して被試験デバイス(DUT)に静電気を直接印加することが含まれ、これにより、より制御され、再現性の高い結果が得られます。空気放電は、静電エネルギーが空気中を通って DUT に達するシナリオをシミュレートし、接触が必ずしも導電性を持つとは限らない現実世界での状況を表します。

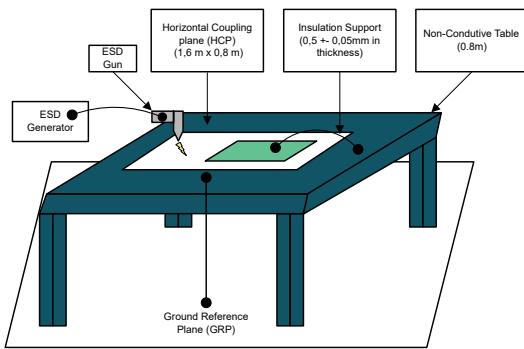


図 6-4. テストベンチの基本的な ESD 設定の例

この規格では、複数のテスト電圧レベルが定義されており、通常はキロボルト(kV)単位で測定されます。低(2kV)から高(15kV以上)まで。IEC 61000-4-2 の重要な側面は、高精度の電圧パルスを供給する ESD シミュレータ(ESD ガン)ケーブルの使用と放電波形が厳格なタイミングと振幅基準を満たすことを検証するための仕様であるということです。このテスト規格の目的は、デバイスの取り扱い中、動作中、または環境の変化中に発生する可能性のある静電気放電に対して、誤動作や故障を引き起こさずに耐えられることを確認することです。

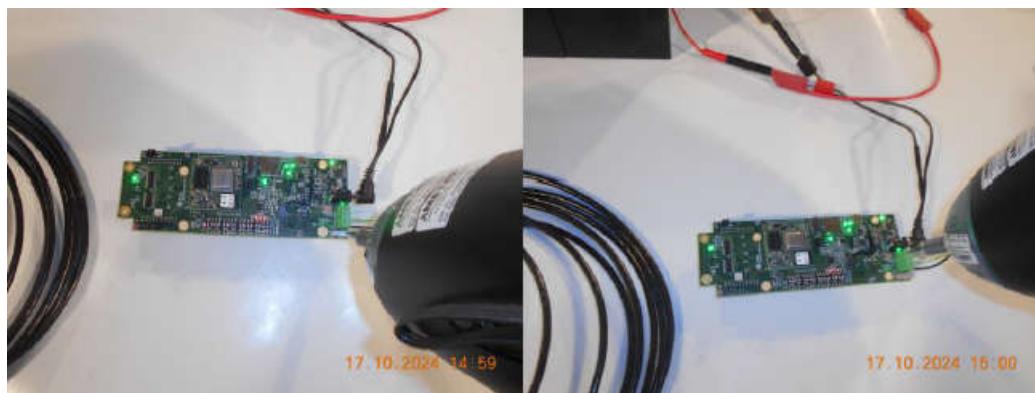


図 6-5. TIDA-010261 の ESD 注入

ESD テストでは、EUT を各定格で少なくとも 20 回(正極と負極でそれぞれ 10 回)の放電でテストします。表 6-2 は、ESD テストの結果を示します。

表 6-2. TIDA-010261 の ESD テスト結果

テスト	IEC 規格	ケーブル	テスト信号		電圧レベル/極性	注入回数	結果
			注入位置	モード			
ESD	IEC 61000-4-2	シールド付き SPE	HCP/VCP	CD	.± 8kV	各 10 個	合格基準 A
			SPE シールド	CD	.± 8kV	各 10 個	合格基準 B*
ESD	IEC 61000-4-2	シールドなしツイストペア	HCP/VCP	CD	.± 8kV	各 10 個	合格基準 A
			SPE シールド	CD	.± 8kV	各 10 個	合格基準 B*
			ツイストペア端子	CD	.± 4kV	各 10 個	合格基準 B*

6.3 サージ:IEC 61000-4-5

これは、落雷や電力スイッチングなどのイベントに起因する高エネルギー過渡減少であるサージ電圧に対する、電気機器および電子機器の耐性をテストするためのガイドラインを規定する規格です。これらのサージは、電子システムやコンポーネントに重大な損傷を与える可能性があり、デバイスがそのような事象に故障なく対応できるように設計することが重要です。サージテストには、定義された波形特性(通常は $1.2/50\mu\text{s}$ の電圧波形または $8/20\mu\text{s}$ 電流波形)を生成できるサージ発生器を使用します。これらのパラメータは、サージパルスの立ち上がり時間と持続時間を指定します。

結合・分離ネットワーク (CND) を経由して EUT とサージ発生器が接続され、サージを電源ライン、信号ライン、通信ポートなどの目的のポイントに直接誘導します。このサージは、差動モード(ライン間)と同相モード(ラインとグランド間)の両方で印加でき、実際のシナリオをシミュレートすることができます。標準テストのレベルは、テストの厳格度に応じて、通常 0.5kV から高電流の数 kV の範囲です。この場合、最大定格は 1kV と 24A 電流です。これらのテストの目的は、規定された条件 ([EMC 規格](#)) 下で、サージ事象に対して、EUT が損傷、データ損失、誤動作を生じることなく耐えられるかどうかを評価することです。

Test setup for unshielded connection lines. Line-to-line/earth coupling via capacitors.

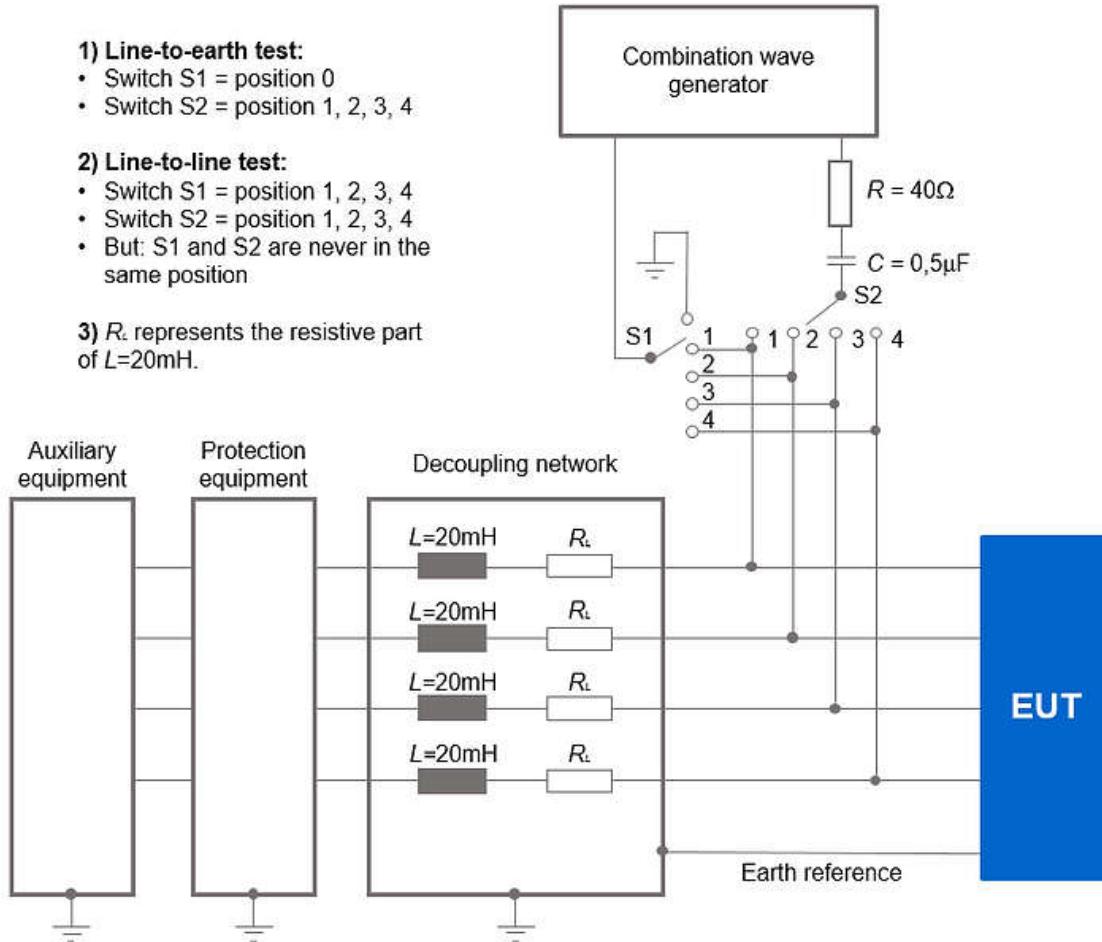


図 6-6. デカップリングネットワークのサージ



図 6-7. サージ テスト設定



図 6-8. サージ テスト設定

表 6-3. TIDA-010261 の サージ テスト結果

テスト	IEC 規格	ケーブル	インピーダンス	テスト電圧	テストの説明	条件	テスト結果
サージ	IEC 61000-4-5	シールド付き SPE	41Ω(カップリングネットワークから 2Ω のソースインピーダンス + 40Ω)	500V	シールドなしのツイストペアのサージ	B	合格
	IEC 61000-4-5	シールド付き SPE	42Ω(カップリングネットワークから 2Ω のソースインピーダンス + 40Ω)		シールド付きケーブルの直接注入にサージ発生	B	合格
サージ	IEC 61000-4-5	シールドなしツイストペア	43Ω(カップリングネットワークから 2Ω のソースインピーダンス + 40Ω)	1kV	シールドなしのツイストペアのサージ	B	合格
	IEC 61000-4-5	シールドなしツイストペア	44Ω(カップリングネットワークから 2Ω のソースインピーダンス + 40Ω)		シールド付きケーブルの直接注入にサージ発生	B	合格

6.4 伝導エミッション: IEC 61000-4-6

この規格は、150kHz～80MHz の周波数範囲（この周波数範囲は、1kHz の正弦波による 80% 振幅変調（AM）における伝導無線周波数（RF）妨害波に対する電気・電子機器の耐性に焦点を当てています。この規格は、電力線や通信配線などのケーブルを介して伝導される RF 信号に機器がさらされる可能性のある環境を対象としており、このような環境では望ましくない電流が発生してデバイスの性能に影響を与える可能性があります。

この規格は、これらの導電路を経由して機器に侵入する可能性のある実際の RF 妨害波をシミュレートする方法を定義しています。この規格では、RF 発生器と電力増幅器を使用して、妨害波信号を生成し、結合・分離ネットワーク、または電流注入プローブを経由して EUT に注入する方法を規定しています。結合機器は、RF エネルギーが PCB の関連部分に一貫して印加されるようにし、減結合機器はテスト信号を分離して、設定の他の部分への干渉を防止します。テストの目的は、RF 妨害波が存在する環境で、機器が性能、データ損失、または動作障害を発生させることなく、どの程度正常に機能し続けることができるかを評価することです。

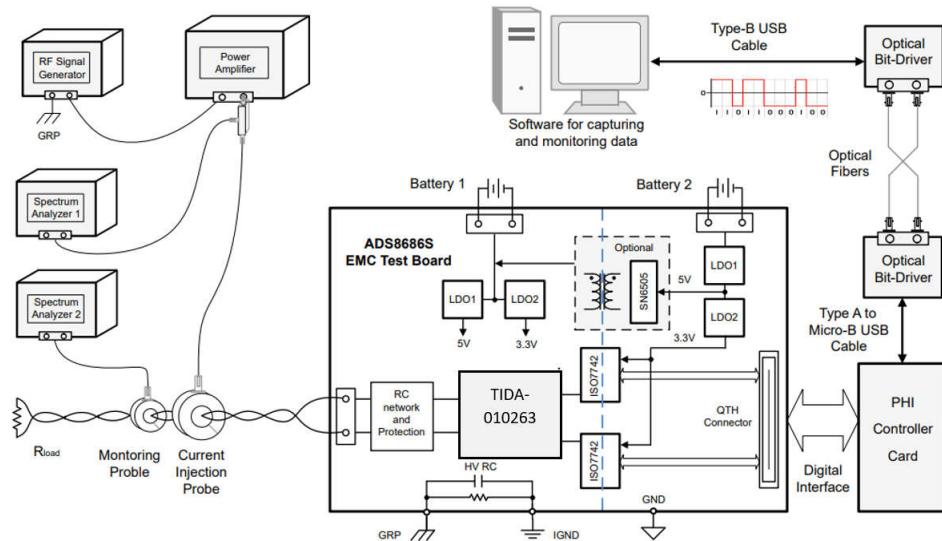


図 6-9. ブロックダイヤグラム 伝導エミッション テスト設定(例)

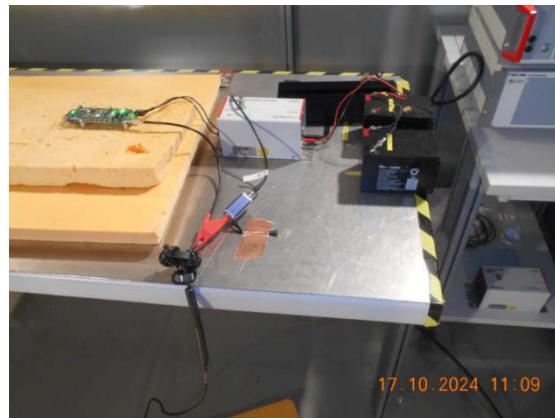


図 6-10. 伝導エミッション テスト設定の TIDA-010261

表 6-4. TIDA-010261 の伝導エミッション結果

テスト	IEC 規格	ケーブル	テスト信号		テストの説明	条件	テスト結果
			電界強度	周波数			
伝導耐性	IEC 61000-4-6	シールド付き SPE ケーブル	20V	150kHz-80MHz	DC 入力での伝導耐性	A	合格
	IEC 61000-4-6	シールド付き SPE ケーブル	20V	150kHz-80MHz	SPE での伝導耐性	A	合格
伝導耐性	IEC 61000-4-6	シールドなしツイストペア	20V	150kHz-80MHz	DC 入力での伝導耐性	A	合格
	IEC 61000-4-6	シールドなしツイストペア	20V	150kHz-80MHz	SPE での伝導耐性	A	合格

6.5 放射エミッション: IEC 61000-4-3

この規格は、放射 RF 電磁界に対する電気・電子機器の耐性テストの手順を定義した技術規格です。この規格は、機器が連続した RF 電磁界にさらされた際にどのように動作するかを評価し、無線送信機、携帯電話、その他の無線通信機器からの干渉に直面する実際の状況をシミュレートするための詳細なフレームワークを提供します。

技術的には、この規格では、定義された周波数範囲（通常は 80MHz から 6GHz）にわたって均一な電磁界を生成できる RF 発生器、アンプ、アンテナを使用する必要があります。この周波数範囲は、1kHz の正弦波で 80% の振幅変調 (AM)

されています。テスト設定は、試験対象機器(EUT)が配置されている領域全体にわたって、ボルト/メートル(V/m)で測定される磁界強度が一定であることを確認する必要があります。この規格では、反射を最小限に抑え、正確な現場適用を確保するために、無響室または半無響室でEUTをテストする必要があると規定しています。

IEC 61000-4-3 は、電界強度の各種試験レベルを規定しており、一般的な標準レベルは 1V/m から 10V/m まで、より厳格なテストでは、それ以上の範囲になることもあります。EUT は、電磁界への曝露の可能性があるすべての角度に対応するため、複数の方向でテストされます。テスト中は、EUT に性能低下、データエラー、誤動作の兆候がないか監視する必要があります。

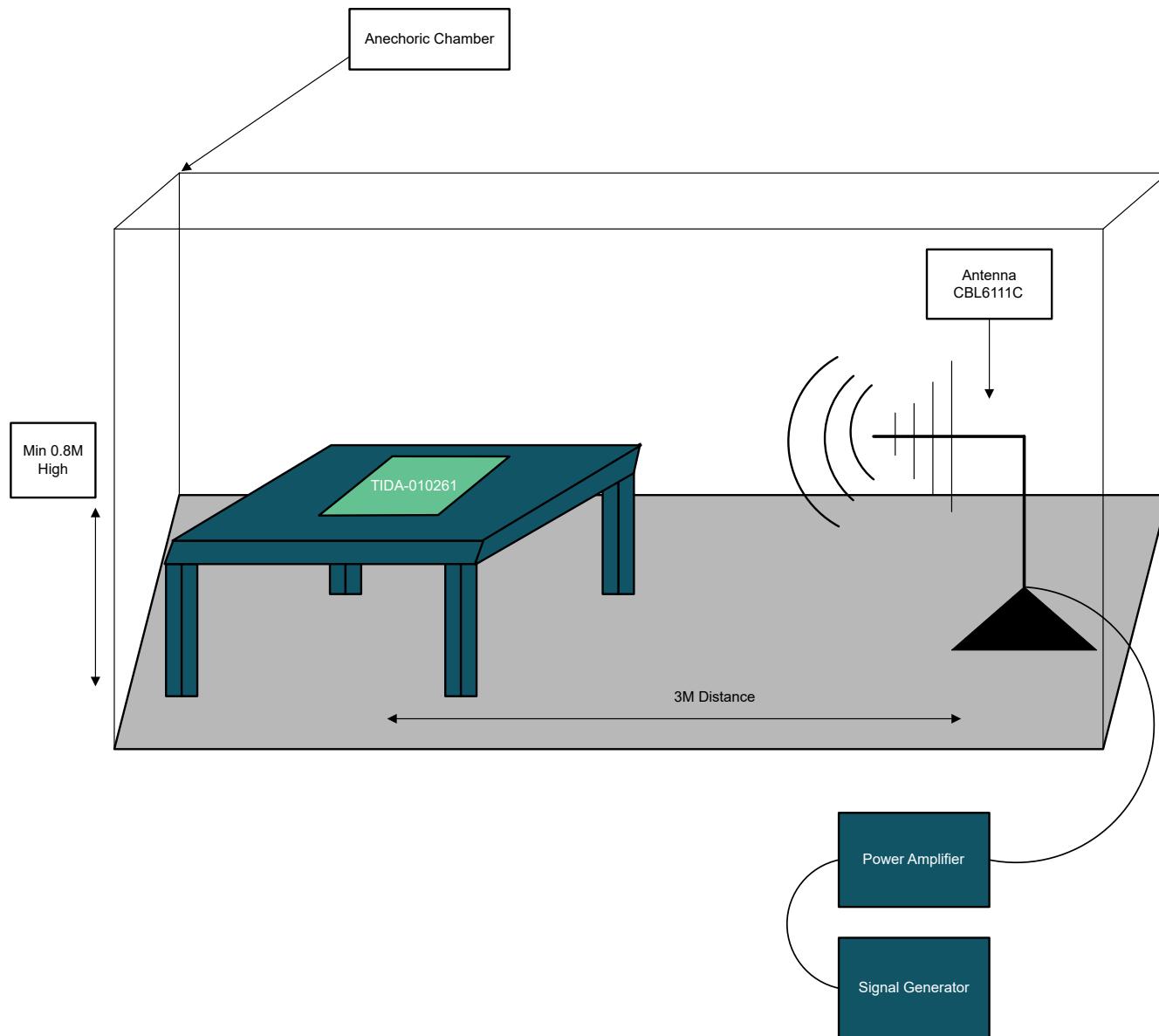


図 6-11. 放射耐性テスト設定(例)

表 6-5. 放射耐性テストの結果 TIDA-010261

テスト	IEC 規格	ケーブル	テスト信号		アンテナ偏波	条件	テスト結果
			電界強度 V/m	周波数			
放射耐性 (RI)	IEC 61000-4-3	シールド付き SPE ケーブル	20V/m	80 MHz-1 GHz	水平	A	合格
					垂直	A	合格
	IEC 61000-4-3	シールド付き SPE ケーブル	10V/m	1 GHz ~ 6 GHz	水平	A	合格
					垂直	A	合格
放射耐性 (RI)	IEC 61000-4-2	シールドなしツイ ストペア	20V/m	80MHz-1 GHz	水平	A	合格
					垂直	A	合格
	IEC 61000-4-3	シールドなしツイ ストペア	10V/m	1 GHz ~ 6 GHz	水平	A	合格
					垂直	A	合格

6.6 伝導エミッション EN 61000-6-3 EMCL DC (LISN)

この規格は、住宅、オフィス、軽工業環境で使用される機器から発生する電磁放射を制御するための要件を定めています。この規格によって、電子機器が 0.15MHz～30MHz の周波数範囲に、干渉する可能性のある過剰な電磁妨害波を放射しないことが保証されます。

適合性を検証するために、両方のタイプのエミッションについてテスト手順が定義されています。伝導エミッションはラインインピーダンス安定化ネットワーク(LISN)を使用して測定し、放射エミッションはアンテナとスペクトラムアナライザを使用して、通常は半無響室または屋外の試験場で評価されます。EUT は、放射に影響する可能性があるため、接続されているすべてのケーブルや周辺機器を含め、通常の動作状態に設定する必要があります。この理由から、DC 入力における伝導エミッションが測定されました。

Global Graph:

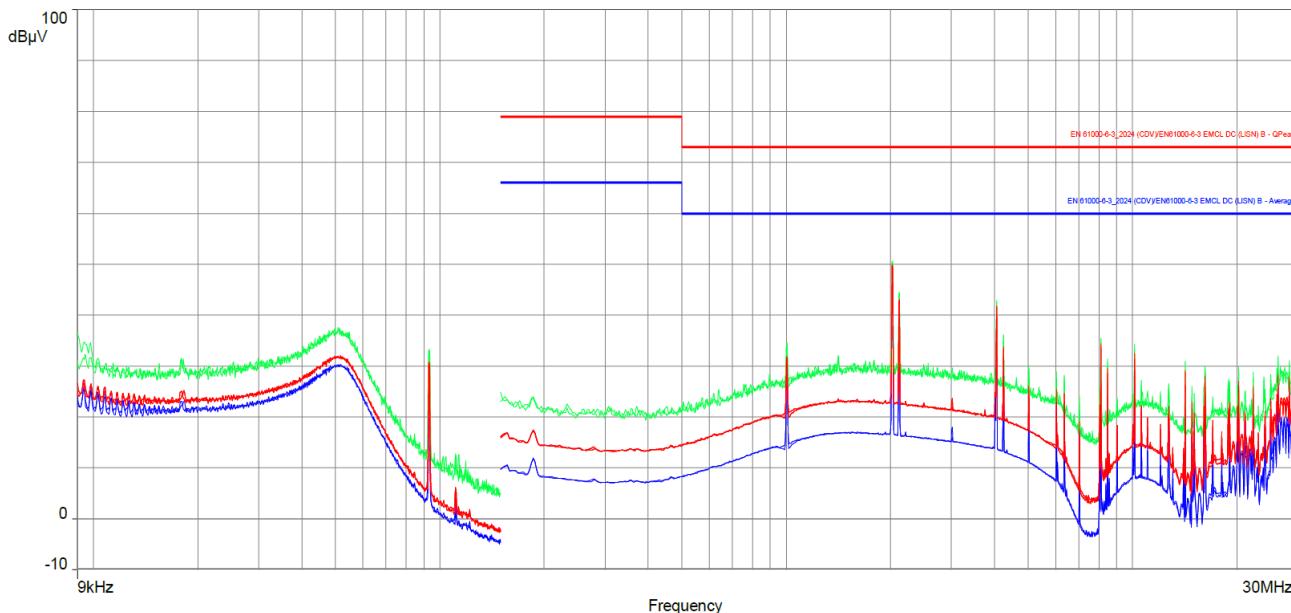


図 6-12. グローバルグラフ シールド付き SPE 伝導エミッション EN 61000-6-3 EMCL DC (LISN)

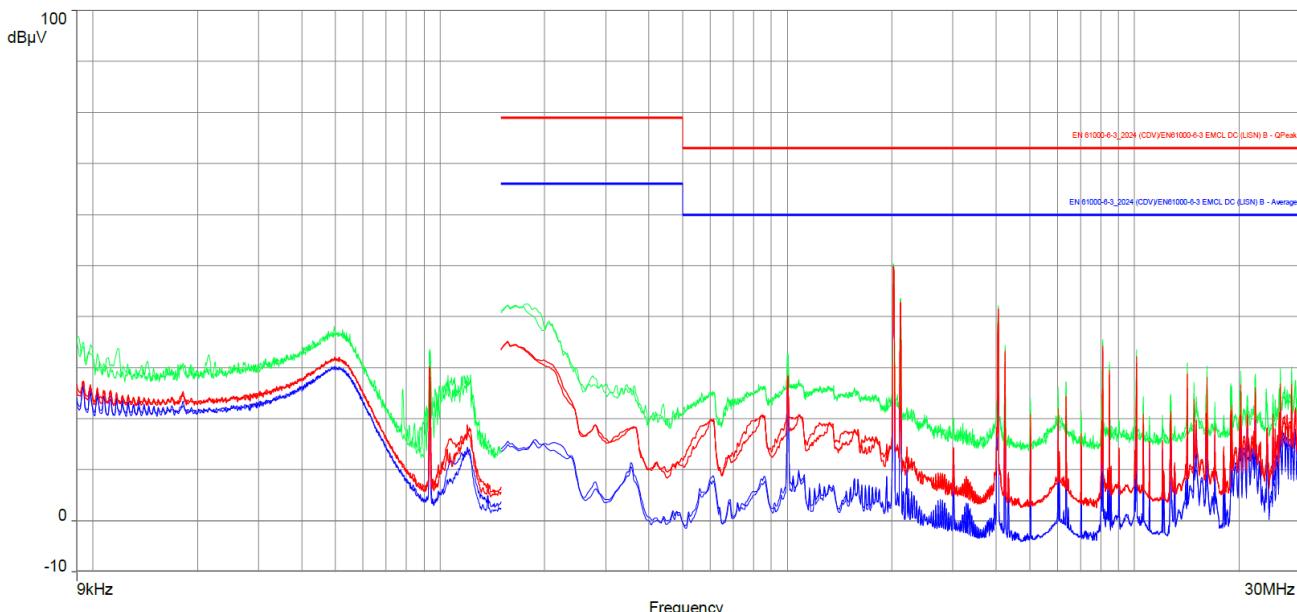


図 6-13. グローバルグラフ シールドなしツイストペア 伝導エミッション EN 61000-6-3 EMCL DC (LISN)

6.7 CISPR 32

この規格は、マルチメディア機器からの電磁放射の限度値と測定方法を規定する国際規格です。これには、情報技術、オーディオ、ビデオ、放送受信などのさまざまな機能を実行する機器が含まれます。CISPR 32 の主な目的は、マルチメディア機器が周辺の機器やシステムの動作を妨げるレベルの電磁妨害波 (EMI) を放射していないことを確認することです。CISPR 32 は、伝導性と放射性の両方の電磁波の限度値を定義しています。伝導エミッションとは、電源ケーブルまたは信号ケーブルに沿って伝わる不要な RF 信号を指し、放射エミッションとは、機器から直接空気中に放射される電磁エネルギーを指します。

コンプライアンステストでは、無響室や半無響室などの制御された環境に PCB を配置し、アンテナ、スペクトラムアナライザ [GS1]、ラインインピーダンス安定化ネットワークなどの標準化されたテスト用装置を使用して放射が測定されます。これらの設定により、機器の放射レベルが指定された限度値を下回り、他のデバイスを干渉しないことを確認できます。

実際には、より感度が高く、異なるフィルタや検出器を備えた特殊な受信機が使用されます。ただし、最近はこのような機能を統合したスペクトラムアナライザもいくつか登場しています。

6.8 伝導エミッション CISPR 32 信号



図 6-14. 伝導エミッション CISPR 32 TIDA-010261

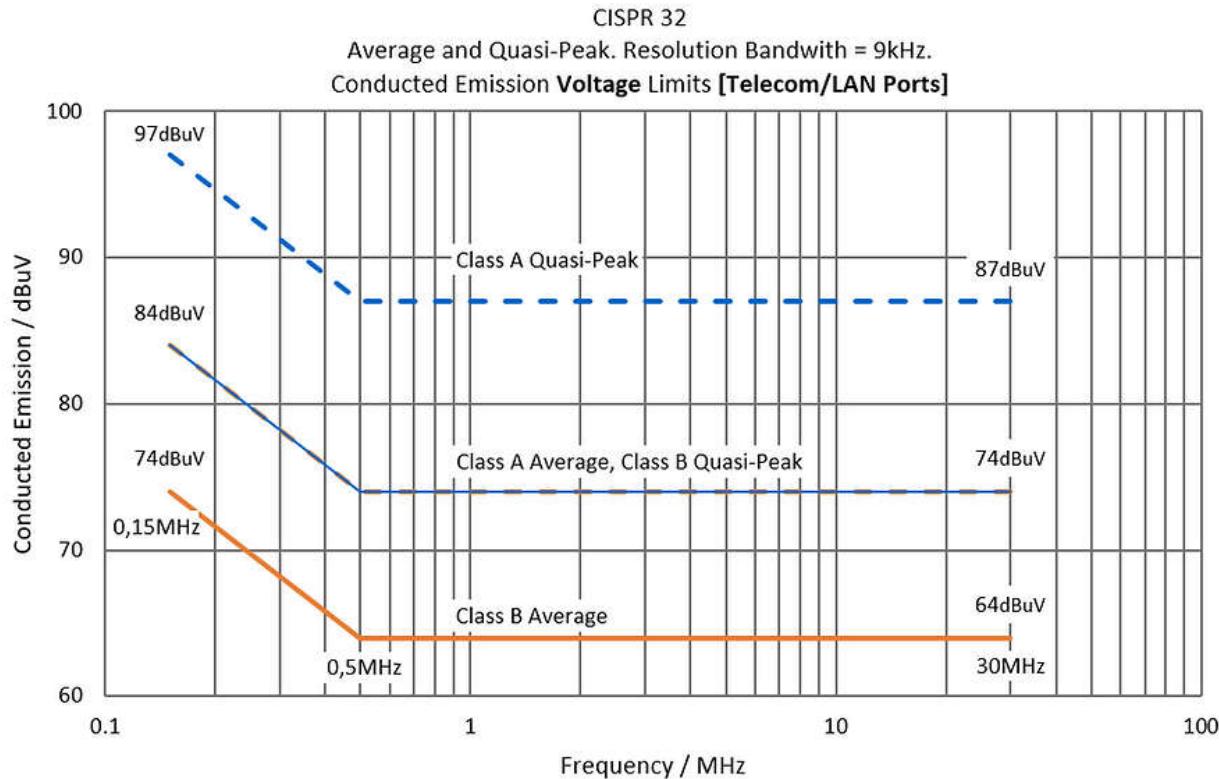


図 6-15. 伝導エミッション CISPR 32 信号制限

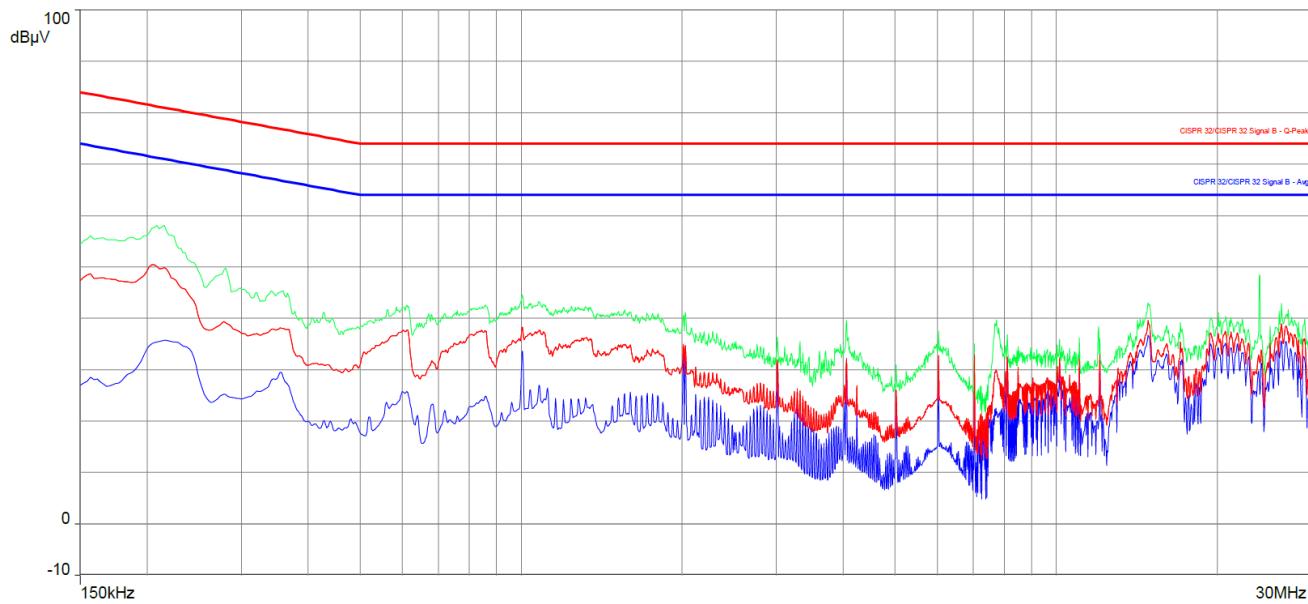


図 6-16. 伝導エミッション CISPR 32 信号シールド付き SPE ケーブル

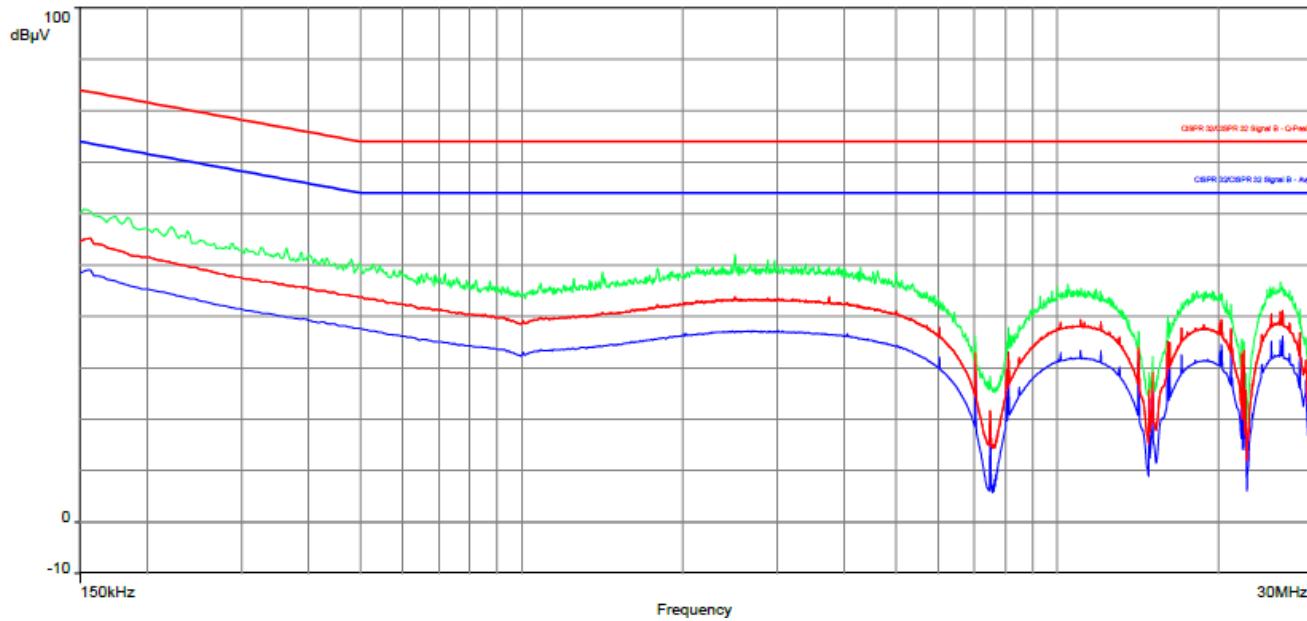


図 6-17. 伝導エミッション CISPR 32 信号シールドなしツイストペア

6.9 Rad EMS CISPR 32 FAR

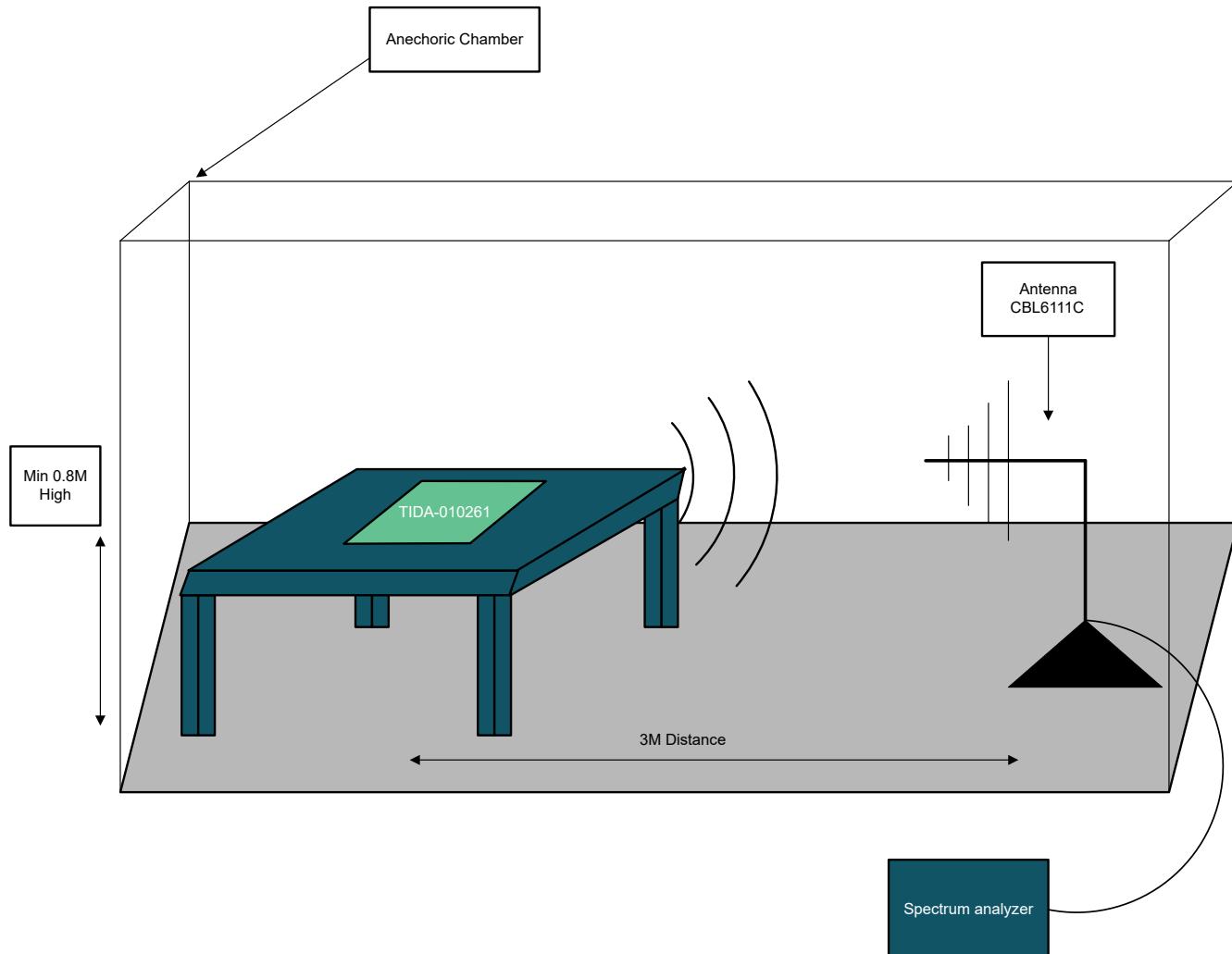


図 6-18. CISPR 32 FAR テスト設定(例)

図 6-19 は、EUT QP 検出器([EMC 規格](#))を使用した場合の、アンテナと EUT 間の距離(3m と 10m)における、クラス A およびクラス B の適切な制限ラインを示しています。

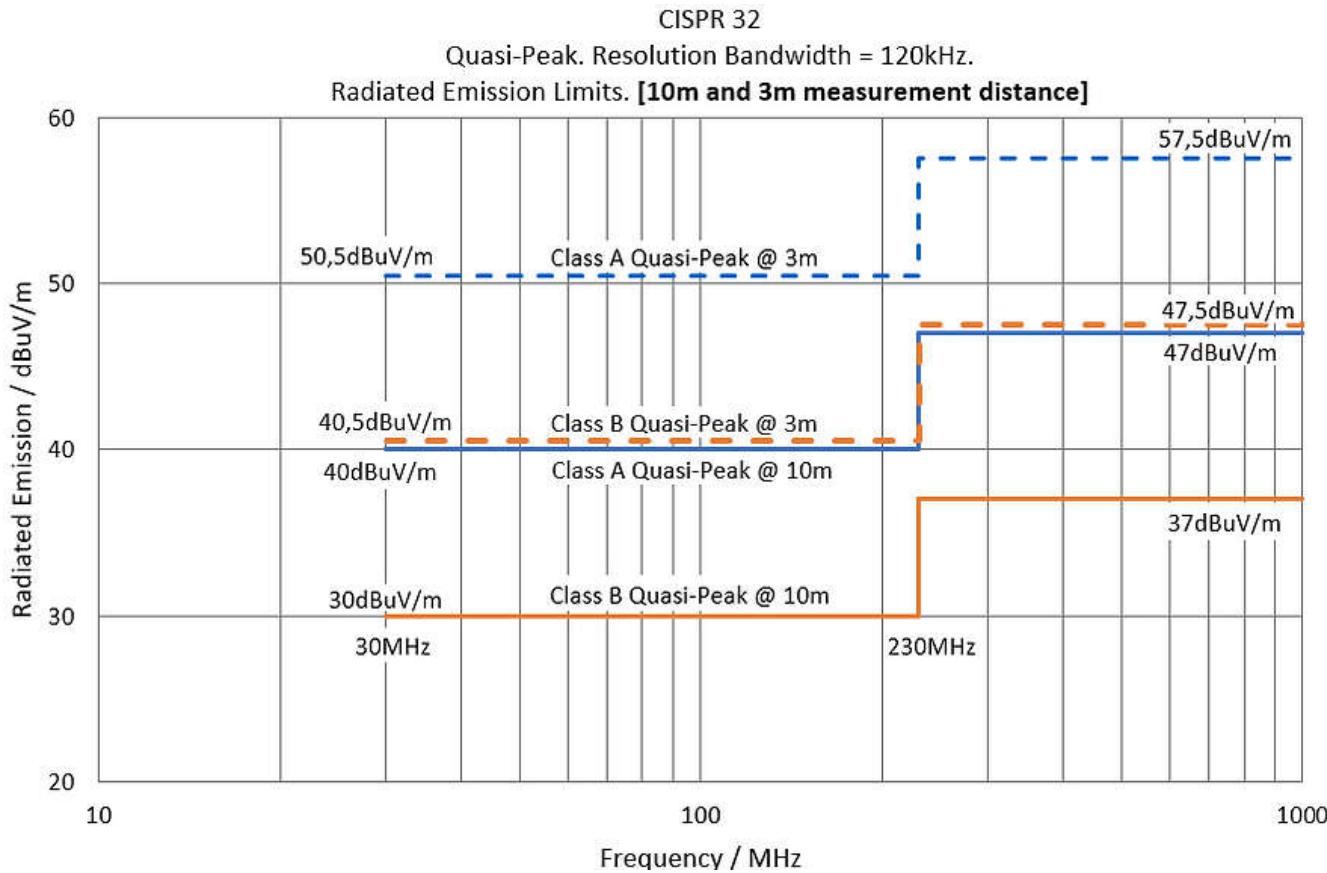


図 6-19. 放射エミッション CISPR 32 制限

表 6-6. CISPR 32 FAR テスト結果 TIDA-010261

IEC 規格	ケーブル	周波数範囲 (MHz)	3 m 距離	
			クラス A (dB μ V/m)	クラス B (dB μ V/m)
CISPR 32	シールド付き SPE ケーブル とシールドなしツイストペア	150kHz - 30MHz	43	30
		30MHz~230MHz	50.5	40.5
		230MHz~1GHz	57.5	47.5
		1GHz~3GHz	76	70
		3GHz~6GHz	80	74

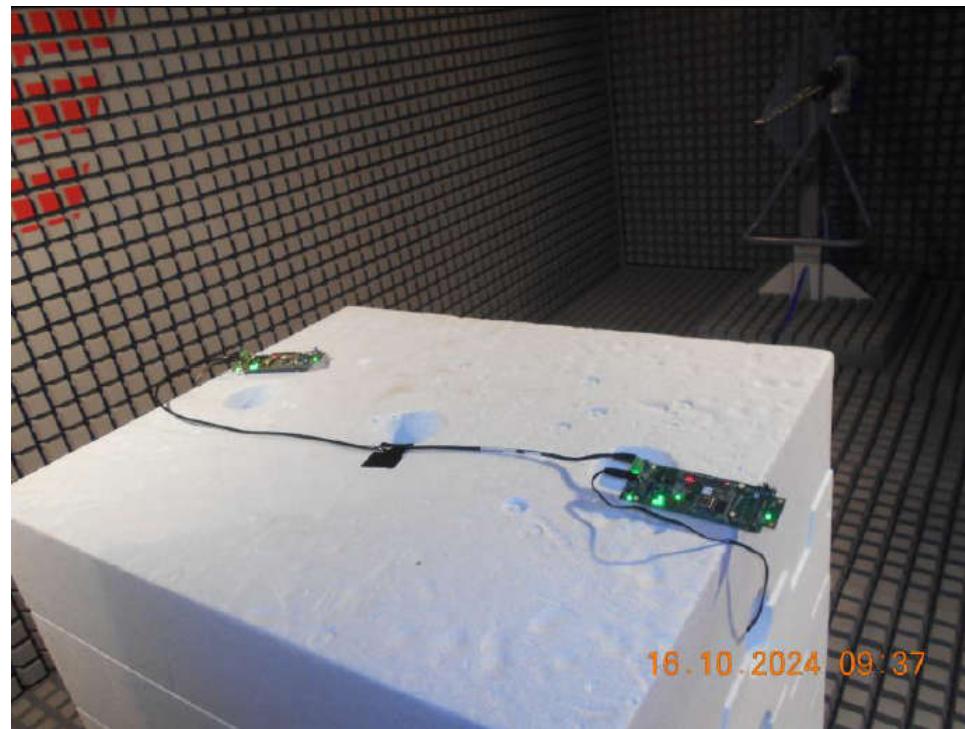


図 6-20. テスト設定:TIDA-010261 シールド付き SPE 放射エミッション



図 6-21. テスト設定 TIDA-010261 シールドなしシングルレツイストペア放射エミッション

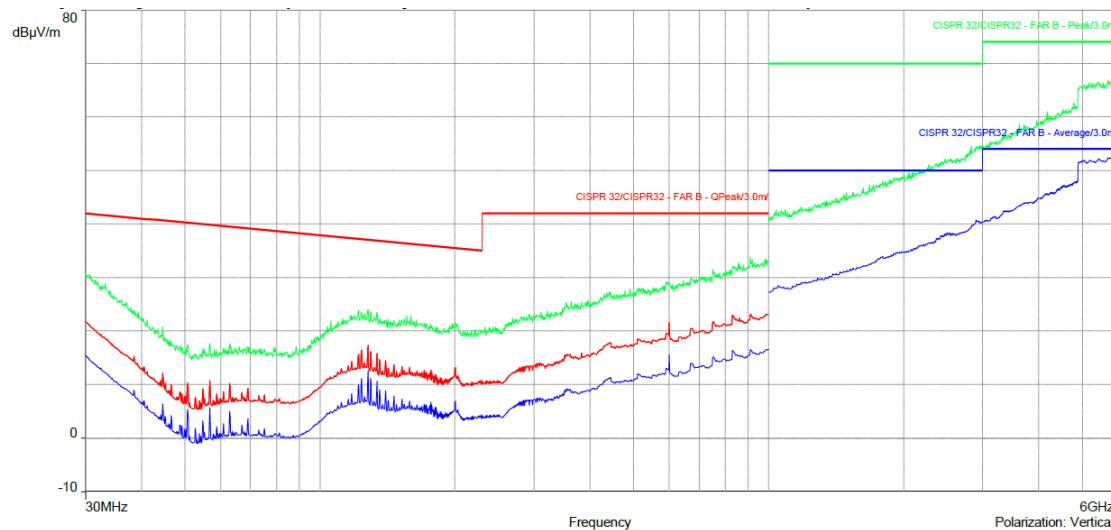


図 6-22. CISPR 32 FAR 信号、放射エミッションシールド付きケーブル、垂直

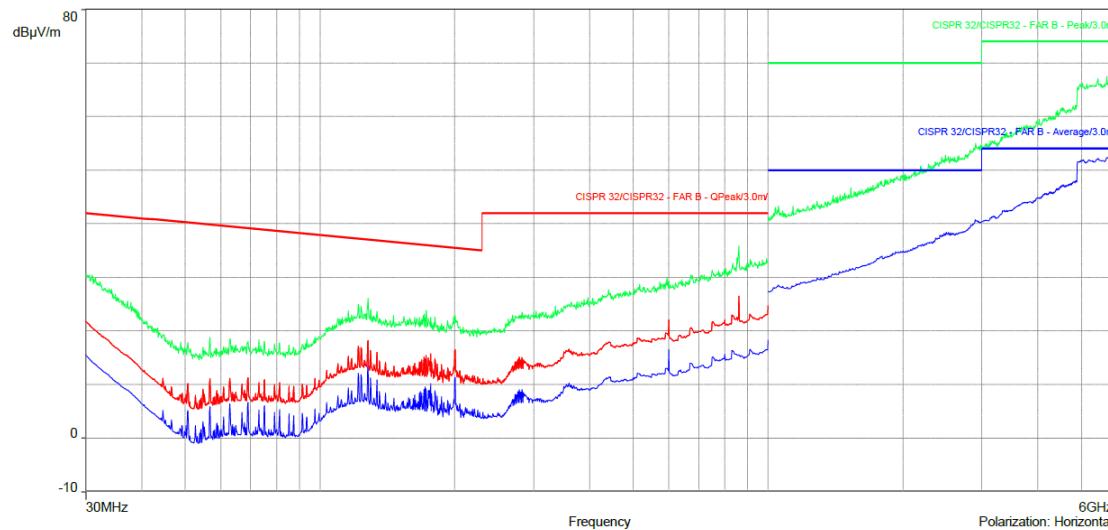


図 6-23. CISPR 32 FAR 信号、放射エミッションシールド付きケーブル、水平

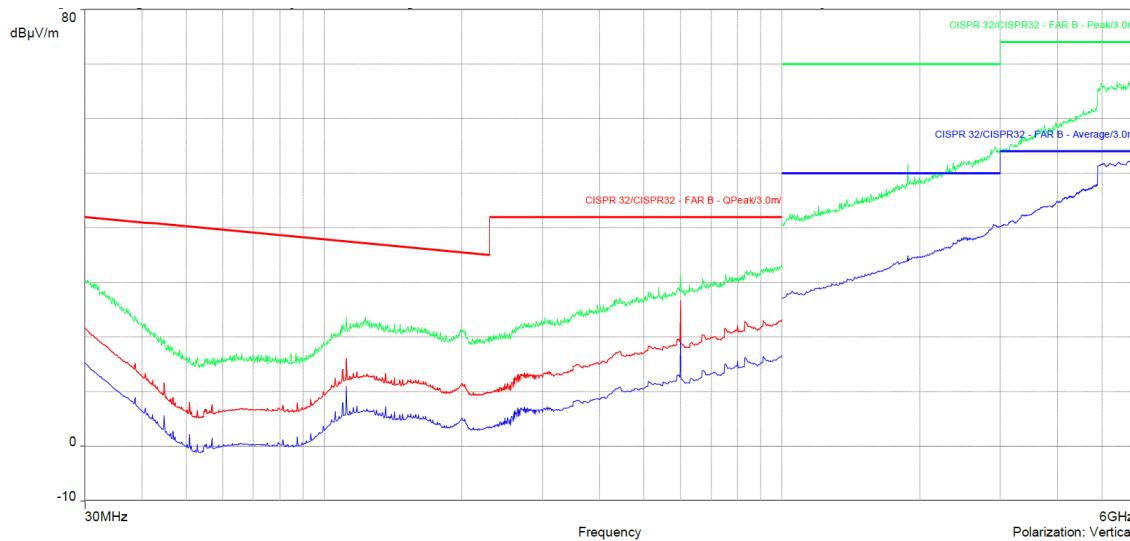


図 6-24. CISPR 32 FAR シールドなしケーブル、垂直

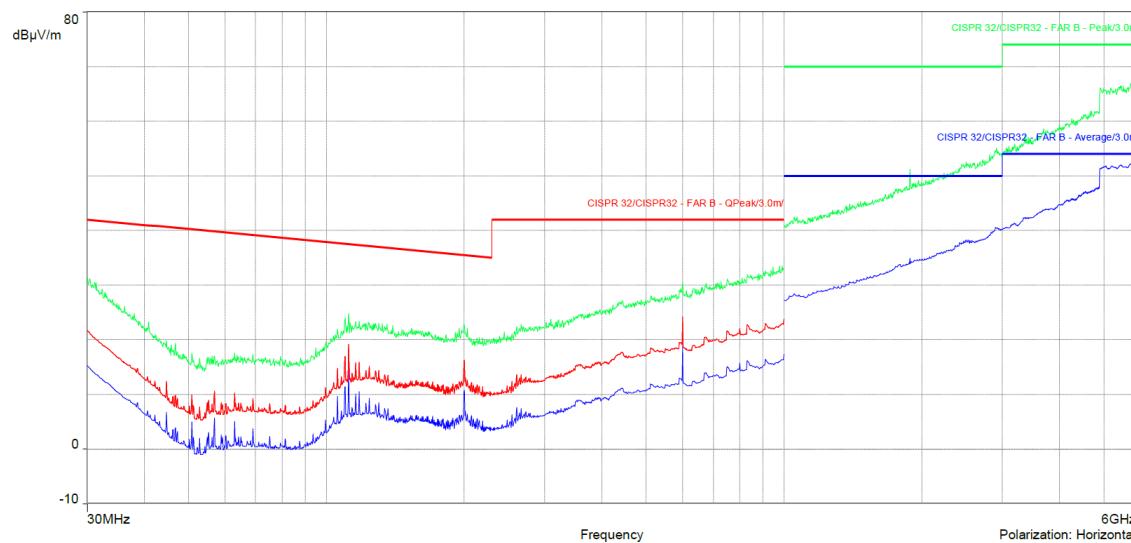


図 6-25. CISPR 32 FAR シールドなしケーブル、水平

7 まとめ

すべてのテストに合格済みであり、TIDA-010261 の EMI/EMC 性能は実証およびテスト済みです。

さらなる改良の可能性があります。たとえば、SD カードは、立ち上がり時間は 1ns で、200MHz クロック周波数で動作します。これらのエミッションを削減するために、内部 EMMC を使用する可能性があります。EMI の動作を低減するには、設計においてトレイス長とインピーダンスを整合させることが非常に重要です。

8 参考資料

1. テキサス・インスツルメンツ、[Four-Channel Synchronous IEPE Vibration Sensor Interface Reference Design](#)、デザインガイド。
2. Com-Power、[What's the Difference Between EMI and EMC?](#)
3. Digi-Key、[What are EMC and EMI?](#)
4. コンプライアンステスト、[EMI and EMC Testing Basics Guide](#)。
5. TÜV SÜD、[Electromagnetic Compatibility \(EMC\) Testing](#).
6. Silicon Labs, [IEC 61000-4-2 ESD System Level Protection](#).
7. IEC 適合性評価システム、[Standard IEC 61000-4-3:2020](#)。
8. Ametek コンプライアンステストソリューション、[IEC 61000-4-4 EFT/Burst](#)
9. EMC 規格、[Handbook on EN 6100-4-4: Electrical fast transients and the EN 61000-4-4 test method](#).
10. Academy of EMC、[EMC Standards](#)。
11. テキサス・インスツルメンツ、[EMC Compliance Testing for Precision ADC Systems](#)、ユーザーガイド。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の默示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または默示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されているテキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](#) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

TIは、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Webツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の默示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または默示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したもので、(1)お客様のアプリケーションに適したTI製品の選定、(2)お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3)お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されているTI製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TIはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TIや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TIおよびその代理人を完全に補償するものとし、TIは一切の責任を拒否します。

TIの製品は、[TIの販売条件](#)、[TIの総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#)またはTI製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TIがこれらのリソースを提供することは、適用されるTIの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TIがカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TIの製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TIはそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025年10月