

Application Note

TI ミリ波レーダー デバイス規制準拠ガイド



概要

このアプリケーション ノートでは、ミリ波レーダーデバイスを対象とする各種規制規格への準拠に関する要件について説明しています。ここでは、欧州向けに販売される機器の規格である無線機器指令 (RED) と米国の規格である FCC (連邦通信委員会) について詳細に検討しています。これらの試験、一般的な問題、問題の解決に向けて TI が提供するツールについても説明します。

レーダーの製品ラインアップは 60GHz と 77GHz デバイスで構成されていますが、本書では主に 60GHz デバイスに焦点を当てています。この情報は、PCB アンテナと 60GHz デバイスのアンテナ オン パッケージ (AOP) の両方のバリエーションに適用されます。

注

すべての試験レポートとサポート資料は、[TIREX](#) ページの認証パッケージに掲載されています。

目次

1 概要.....	3
2 一般的な認証手順.....	4
3 規制準拠の概要.....	6
3.1 欧州連合の規制: 無線機器指令 (RED).....	6
3.1.1 短距離レーダー (EN 305 550).....	6
3.1.2 短距離レベル プロロービング レーダー (EN 302 729).....	9
3.1.3 RF 露出制限 - EN 62311.....	10
3.1.4 電気的安全性 - EN 62368.....	11
3.1.5 電磁両立性 (EMC) - EN 301 489.....	11
3.2 連邦通信委員会 (FCC).....	12
3.2.1 最終製品および FCC 条項.....	12
3.2.2 60GHz レーダーの動作 (47 CFR §15.255).....	13
3.2.3 レベル プロロービング レーダー (47 CFR §15.256).....	16
3.2.4 モジュラー承認 (47 CFR §15.212).....	17
3.2.5 電磁波ばく露要件.....	18
3.3 日本の電波法.....	18
3.3.1 BW、指定された周波数、および公差.....	18
3.3.2 帯域外およびスプリアス放射.....	19
3.3.3 コントローラの機能.....	19
3.4 無線計画調整部門 (WPC).....	19
3.4.1 許可されている動作周波数と承認.....	19
3.4.2 機器タイプの承認.....	19
3.5 連邦電気通信機構 (IFT).....	20
3.5.1 基本波放射レベルと BW.....	20
3.6 ブラジル電気通信庁 (ANATEL).....	20
3.6.1 基本波放射レベル、BW、最大デューティサイクル.....	20
3.6.2 ライセンス.....	20
3.7 運輸通信省 (MTC).....	20
3.8 国家通信局 (ENACOM).....	21
4 適用される条件と式.....	22
4.1 デューティ サイクル係数.....	22
4.2 実効等方放射電力 (EIRP).....	22

4.3	フリスの公式.....	22
4.4	遠方境界.....	22
5	ツールとセットアップ.....	23
5.1	ハードウェア設定.....	23
5.2	内部ラボのテスト設定.....	23
5.2.1	近傍界回路プロービング.....	23
5.2.2	占有帯域幅テスト.....	24
5.2.3	放射パターンの測定.....	24
5.3	MMWAVESTUDIO.....	25
5.3.1	LUA スクリプトの実行.....	25
5.4	mmWave Visualizer.....	26
5.5	IWR6843ISK-ODS テストケース.....	26
6	共通の問題と解決策.....	29
6.1	ピーク電力.....	29
6.2	占有帯域幅.....	29
6.3	スプリアス放射.....	30
6.3.1	14.4GHz 高調波.....	30
6.3.2	推奨される解決策.....	31
6.4	オーバーシュート.....	33
6.5	周波数安定性.....	34
6.5.1	CW 信号の生成.....	34
6.5.2	温度および電圧範囲全体にわたる周波数安定性.....	34
6.6	EIRP スパイクおよびスペクトル アナライザ BW.....	35
7	参考資料.....	37
8	改訂履歴.....	37

商標

Bluetooth® is a registered trademark of Bluetooth SIG, Inc.

Wi-Fi® is a registered trademark of Wi-Fi Alliance.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 概要

注

この文書は、TI のミリ波レーダー デバイスを搭載した機器の認証に関する入門ガイドとしてのみ使用することを意図しています。本書は完全なリファレンスではなく、規制機関から提示された規格の代わりとなるものではありません。認証要件については、試験機関、規制機関、または法律の専門家にお問い合わせください。

意図的放射と非意図的放射を行う製品は世界中で販売されています。これらの製品は、それを動作させる地域に適用される規制規格に準拠する必要があります。

- FCC - 米国
- CE/RED - ヨーロッパ
- TELEC/MIC - 日本
- ISSED - カナダ
- KCC/MSIP - 韓国
- SRRC/CCC - 中国

すべての試験レポートとサポート資料は、[TIREX](#) ページの認証パッケージに掲載されています。

	60 GHz	77 GHz
USA FCC	57-71 GHz – Short-Range Field Disturbance Sensors (radars) for non-ADAS functions. License free under specified conditions 61-61.5 GHz – ISM band, reduced output power restrictions	75-85 GHz – Level Probing Radar (Downward-facing narrow beam) 76-81 GHz – Vehicular Radar, Airplane-installed wingtip radar 76-77 GHz – FOD at airports, Fixed infrastructure
European Common Market CE / RED	57-64 GHz – Open, restrictions on output power, Level Probing Radar, Tank Level Probing Radar 61-61.5 GHz – Open, reduced restrictions on output power See RED section for more details	75-85 GHz – Level Probing Radar, Tank Level Probing Radar 76-77 GHz – Vehicular Radar, Fixed Traffic Monitoring, Railroad crossings, manned rotorcraft 77-81 GHz – Vehicular Radar
China SRRC / CCC	59-64 GHz – Open for Radiolocation 61-61.5 GHz – Open according-ISM rules	76-77 GHz – Vehicular Radar
Korea KCC / MSIP	57-66 GHz – Open for low output power Rule Code: K176C 61-61.5 GHz – No regulations so far, possibly open according-ISM rules	75-85 GHz – Armature Satellite, Space Research, Radio astronomy, Astronomy Research, Geostationary Orbit Satellite 76-77 GHz – ADAS Automotive Radar (Rule Code: K37G)
Japan MIC / TELEC	60-61 GHz – Low Power Equipment Millimeter-Wave Radar 57-66 GHz – Millimeter Wave Image Transmission and Millimeter-Wave data Transmission	76-77 GHz – Open 77-81 GHz – Open, possibly for vehicular radar

* Certification within this band is on hold at the time of writing

図 1-1. 地域、アプリケーション、動作周波数

これらの規制機関の役割は、さまざまなデバイスが連携して動作できること、試験対象機器 (EUT) が回復不能な機能の喪失を伴わずに他のデバイスからの干渉に対応できること、帯域内および帯域外電力が規定の制限範囲内であり、スプリアス放射が許容可能なレベルであり、RF ばく露が安全なレベルであること、などを検証することです。

この文書では、TI のミリ波短距離レーダーをセットアップして実行するために TI が提供するいくつかのテストとツールについても簡単に説明します。RED および FCC 適合試験について詳細に説明しますが、他の規制試験にも同様のツールや情報が適用されます。

2 一般的な認証手順

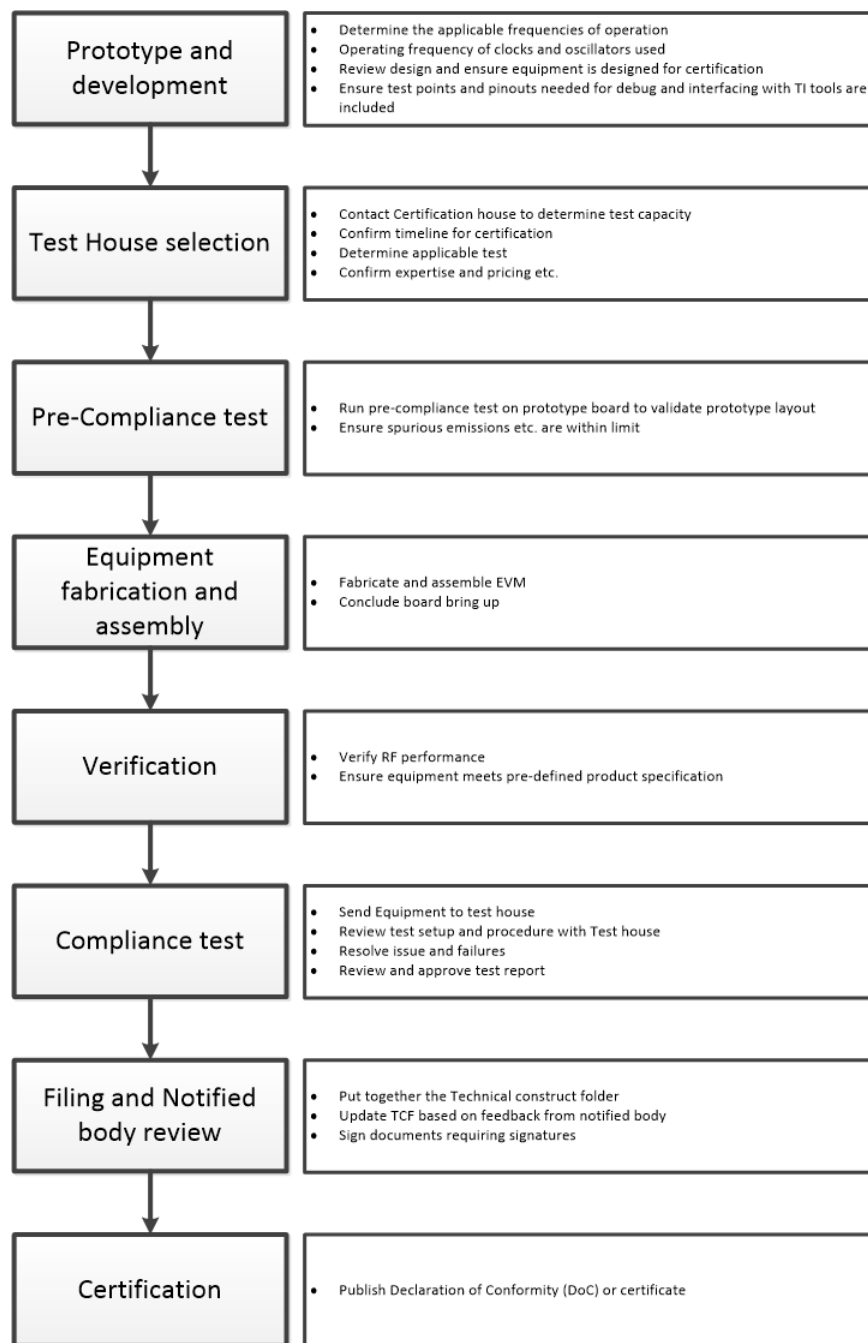


図 2-1. 設備の構築と認証の一般的なプロセス

図 2-1 に示すように、プロトタイプおよび開発フェーズから開始する場合、製品ライフサイクルの後半で回避可能な問題を事前に捕捉して回避できるように、認証を考慮して機器を設計する必要があります。これは、複数の規制市場で事業を展開する場合に特に当てはまります。

テストハウスを選択するときは、コストだけでなく、スタッフの技術的能力、電気通信認証機関 (TCB) の実績、提供されるサービスの全体的な品質も考慮することが重要です。また、地域で評判の良いテストハウスや TCB を選ぶことで、質問や問題のデバッグ、今後のプロジェクトの計画で協力関係を築きやすくなります。通常は、試験を開始した後に別のテストハウスに変更することはできません。信頼できるテストハウスを選択することが重要です。これは、認証を取得しやすい機関の選択を防ぐためです。

設計プロセス中にテスト サンプルをテスト ハウスに送り、「事前スキャン」とも呼ばれる事前の適合試験を行うと、非常に役立つ場合があります。事前スキャンは、テスト ハウスが実施する初期試験の一種で、EUT から放出される大まかな放射の発見に焦点を当てています。これは、通常の適合試験で最初の実施されるステップであり、ピーク ホールド検出器と広帯域を使用して電磁波を検出します。検出された放射が、制限値に対して最小限のマージンを維持していれば、最終スキャンは必要ありません。ただし、スプリアスが観測されてからといって、スプリアスの振幅が事前スキャンと同様に大きくなるとは限りません。実際には低くなることも少なくありません。前述のように、事前スキャンでは、違反するスプリアスが検出されることがあります。これは、最終リリース前にボードの設計を改善するのに役立つ、コスト効率の優れたオプションです。

事前スキャンの結果を念頭に置いて、さらにデバイスの検証、妥当性の評価、生産を始めることができます。その後、最終製品のサンプルを適合試験に使用できます。

適合試験中は、テストハウスのスタッフと定期的に連絡を取ることが重要です。これにより、問題が TCB 側の最終製品に関する知識不足にあるのか、不合格となる潜在的な問題が存在していたのかにかかわらず、発生した問題を迅速に見つけて解決できます。

多くの場合、試験フェーズが完了して証明書が発行される前に、TCB から追加文書の提出と検証が求められます。サイクルと市場投入までの時間を短縮するために、早い段階から TCB とコミュニケーションを取り、新しい文書の作成に十分な時間を確保できるようにします。多くの場合、この文書には、会社に代表して表明を行う権限のある担当者の署名が必要になります。このような文書に署名する担当者を選定するために、内部的に調整することが重要です。また、デバイスが準拠する必要があるマーキング基準について、テストハウスのスタッフに確認する必要があります。

肯定的な評価結果が出ると、TCB は規制機関への関連文書の提出を支援します。ヨーロッパの共通市場で販売される製品の場合、Notified Body (NB) への申請も必要です。FCC の場合は、電気通信認証機関から申請を行います。

FCC による承認後、開発者は FCC ロゴを使用して認証済みの製品であることを示し、製品に FCC ID を記載することができます。NB による承認後、開発者は、適合した規格を適合宣言 (DoC) に追加し、CE ロゴを製品に付けることができます。DoC は、一般に公開しなければなりません。

通常、CE マーキングが付いた製品の DoC には、少なくとも次の内容が含まれています。

- 製品名、型式、シリアル番号またはバッチ番号と目的
- 製造元の名称と連絡先情報
- 整合法令および整合規格を示す適合宣言
- Notified Body の詳細
- 署名

3 規制準拠の概要

3.1 欧州連合の規制: 無線機器指令 (RED)

欧州議会および欧州理事会 (2014 年 4 月 16 日) の無線機器市場に関する加盟国の法律の整合に関する指令 2014/53/EU および廃止指令 1999/5/EC。第 3 条の必須要件は、[こちら](#)をご覧ください。

EU 内で販売される無線機器と電気機器の基本要件に従って、60GHz と 80GHz のレーダー機器には、以下の統一規格が適用されます。

- EN 62311. 安全性、RF ばく露 - 電磁界 (0 Hz ~ 300 GHz) に対する人体ばく露制限に関連する電子機器および電気機器の評価。この規格は、指令 2014/53/EU の第 3.1 条 (a) の必須要件を網羅しています
- EN 62368-1. オーディオ/ビデオ、情報および通信技術機器 – 第 1 部: 安全性要件、電気的安全性。この規格は、指令 2014/53/EU の第 3.1 条 (a) の必須要件を網羅しています
- EN 301 489-3. 無線機器およびサービスの電磁両立性 (EMC) 規格。第 1 部: 共通技術要件。この統一規格は、指令 2014/53/EU の第 3.1 (b) 条の必須要件と指令 2014/30/EU の第 6 条の必須要件を対象としています。
- EN 305 550. 近距離無線機器 (SRD)、40 GHz ~ 246 GHz 周波数範囲で使用される無線機器。無線スペクトルアクセスに関する統一規格。これは、指令 2014/53/EU の第 3.2 条の必須要件を網羅しています
- EN 302 729. 近距離無線機器 (SRD) レベル プロービングレーダー (LPR) 機器が動作周波数: 57GHz ~ 64GHz、75GHz ~ 85GHz。指令 2014/53/EU の第 3.2 条の必須要件を網羅した統一規格。
- EN 302 264. 近距離無線機器 (SRD) 77GHz ~ 81GHz 帯で動作する交通 / 輸送テレマティクス (TTT) 機器。指令 2014/53/EU の第 3.2 条の必須要件を網羅した統一規格。
- EN 301 091. 近距離デバイス (SRD) 交通 / 輸送テレマティクス (TTT)。76GHz ~ 77GHz 範囲で動作するレーダー機器。指令 2014/53/EU の第 3.2 条の必須要件を網羅した統一規格。

通常、最終製品の設計者は、完成した最終製品の外側に CE マークを表示する必要があります。通常は 5mm の高さですが、十分なスペースがない場合は、肉眼ではっきりとマークが見えている限り、小さくすることができます。スペースがまったくない場合は、筐体の CE マークの表示を省略できます。NB に対して正当な理由の申請を行う必要があります。さらに、CE ロゴと WEEE ロゴは、パッケージおよび最終製品のユーザー ガイドにも記載する必要があります。

3.1.1 短距離レーダー (EN 305 550)

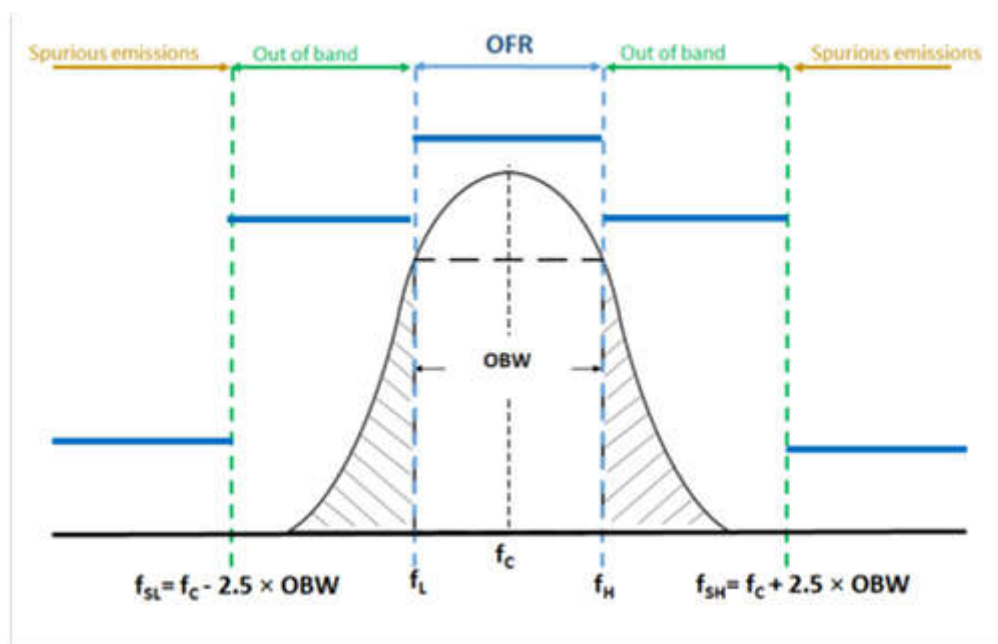


図 3-1. OFR、帯域外、スプリアス放射周波数制限

以下の制限および試験が適用されます。

- デューティ サイクル: 電力計を使用する場合、デューティ サイクルは平均電力測定値に考慮されます。デューティ サイクル ([セクション 4.1](#)) のセクションを参照してください。
- 動作周波数の許容範囲: EN 305 550V2.1.0 のセクション 4.3.1 (セクション 7.3 EN 305 550-1V1.2.1) を参照してください。これは、デバイスの動作が許可されている周波数の範囲です。
- 動作周波数範囲 (OFR): EN 305 550V2.1.0 のセクション 4.3.2 を参照してください。これは、デバイスの意図的な動作周波数範囲です。IWR6843 ミリ波デバイスは 57GHz ~ 64GHz の帯域で動作しますが、61.0GHz ~ 61.5GHz の帯域幅での動作も可能です。占有帯域幅 (OBW) は、動作周波数範囲で合計電力の 99% を占有している帯域幅として測定されます。

表 3-1. 動作周波数範囲

帯域幅 (GHz)	FL (GHz)	FH (GHz)
57 ~ 64	> 57	< 64
61.0 ~ 61.5	> 61	< 61.5
122 ~ 123	> 122	< 123
244 ~ 246	> 244	< 246

- 平均電力: EN 305 550V2.1.0 のセクション 4.3.3 (セクション 7.2 EN 305 550-1V1.2.1) を参照してください。平均電力は、放射電力または平均等価等方放射電力 (EIRP) の測定値であり、送信サイクル中の最大送信電力レベルを示します。57GHz ~ 64GHz の制限は 100mW EIRP (20dBm EIRP) であり、同じ制限は 61.0GHz ~ 61.5GHz に適用されます。信号アナライザを使用して測定を行う場合、チャンネルの電力機能が使用されます。

$$20\text{dBm EIRP} = 115.23\text{dBuV/m at } 3\text{m} \quad (1)$$

- 平均電力スペクトル密度: EN 305 550V2.1.0 のセクション 4.3.4 (セクション 7.1 EN 305 550-1V1.2.1) を参照してください。これは、最大アンテナ ゲインの方向における伝送帯域幅にわたる放射電力スペクトル密度として定義されます。57GHz ~ 64GHz の制限値は 13dBm/MHz の EIRP です。61.0GHz ~ 61.5GHz には制限は定義されていません。
- 帯域外 (OOB) 放射: EN 305 550V2.1.0 のセクション 4.3.5 (セクション 7.4 EN 305 550-1V1.2.1) を参照してください。OOB 帯域幅は、[式 2](#) に従って計算されます。

$$f_{sl} = f_c - 25 \times \text{OBW} \quad (2)$$

$$f_{sh} = f_c + 25 \times \text{OBW} \quad (3)$$

[表 3-2](#) は、ミリ波デバイスが 4GHz の全帯域幅と 500MHz 帯域幅の両方で動作する帯域外およびスプリアス放射の制限と帯域幅を示します。

占有帯域幅 (OBW) は、総平均電力の 99% を含む意図的な信号平均電力の幅です。この制限値以下、およびそれ以上の電力 (帯域外放射) は、平均電力の 0.5% に等しくなければなりません。これは、信号の -23dBc 帯域幅に相当します。

表 3-2. 帯域外およびスプリアス放射帯域幅

OBW/OFR	許可動作周波数範囲	fsl	fl	fc	fh	fsh	OOB 制限
4GHz	57GHz ~ 64GHz	52	60	62	64	72	-20dBm/MHz
500MHz (61 ~ 61.5 の範囲外で動作している場合は、4GHz と同様の制限が適用されます)	61.0GHz ~ 61.5GHz	60	61	61.25	61.5	62.5	-10dBm/MHz

- 放射スプリアス放射: EN 305 550V2.1.0 のセクション 4.3.6 (セクション 7.5 EN 305 550-1V1.2.1) を参照してください。スプリアス放射周波数範囲には、OOB 制限を超える周波数が含まれます。スプリアス放射は、基本周波数の 2 次高調波まで測定されます。IWR6843 は 60 ~ 64GHz で動作し、2 次高調波は 128GHz です。

- レシーバのスプリアス: EN 305 550V2.1.0 のセクション 4.4.2 (セクション 8 EN 305 550-1V1.2.1) を参照してください。第 4.4.2.1 項によれば、レシーバ スプリアスは、装置が受信専用モードで動作できる場合にのみ適用されます。ミリ波デバイスは同時送信 / 受信モードで動作するため、このテストは適用されません。
- レシーバ干渉信号処理: EN 305 550V2.1.0 のセクション 4.4.3 を参照してください。これにより、デバイスの帯域内、OOB、リモート帯域周波数制限内で送信を行う他の無線アプリケーションと共存できる能力が測定されます。干渉源は、帯域内周波数では 10dBm 等価 EIRP で、OOB およびリモート帯域周波数では 20dBm 等価 EIRP で送信する必要があります。

$$\text{In band frequency} = \text{center frequency (fc)} \quad (4)$$

$$\text{OOB} = \text{Fc} \pm \text{OBW} \quad (5)$$

$$\text{Remote band} = \text{Fc} \pm 10 \times \text{OBW} \quad (6)$$

3.1.2 短距離レベル プロービング レーダー (EN 302 729)

レベル プロービング レーダーは、多くの業界でプロセス制御とともに使用されているレーダーで、通常は液体の非接触測定を可能にするだけでなく、指定された保管スペースに充填された他の粒子や物体の非接触測定を可能にします。これにより、静的なレベルだけでなく、充填 / 移送の速度を測定し、漏出を検出することができます。LPR は、トランスミッタとレシーバの組み合わせで構成する必要があります。散乱を低減するために、専用のアンテナと狭い視野角が必要です。これらのシステムには、FMCW、パルス レーダー、または類似の手法を使用できます。

3.1.2.1 許容周波数範囲と動作帯域幅

ETSI では、4 つの異なる周波数範囲を使用できます。高いほうの 2 つの帯域を使用すると、ターゲット分解能を最大限に高めることができます。これは、これらの帯域の周波数が最も高く、帯域幅が最大になるためです。このため、多くの顧客がこの 2 つの帯域に移行し始めています。ただし、ETSI は 57 ~ 64GHz 帯に関して特定の LPR 規制を設定していますが、FCC は規定していません。したがって、FCC と ETSI の両方の規制市場を対象としたアプリケーションでは、75 ~ 85GHz 帯が最も有利な場合があります。ETSI で許可される LPR 周波数帯域とそれらに関連する帯域幅の詳細については、表 3-3 を参照してください。

LPR の動作範囲を決定するために、ETSI は、最大電力から 20dB 低下した F_L と F_H を定義しています。F_L と F_H は、動作の許容帯域幅内に完全に収まる必要があります。

表 3-3. 動作周波数

帯域の開始周波数 (GHz)	帯域の終了周波数 (GHz)	使用可能な帯域幅 (GHz)
6	8.5	2.5
24.05	26.5	2.45
57	64	7
75	85	10

- 平均電力スペクトル密度:MPSD は、使用する帯域全体で放射できる電力量の制限を設定します。制限は、メインローブと半球の両方に設定されます。

表 3-4. 最大平均電力スペクトル密度

動作周波数帯域 (GHz)	メインビーム内の最大平均 EIRP スペクトル密度 (dBm/MHz)	半球での最大平均 EIRP スペクトル密度
6-8.5	-33	-55
24.05-26.5	-14	-41.3
57-64	-2	-41.3
75-85	-3	-41.3

- 最大ピーク電力:また、ETSI は、動作帯域幅内の 50MHz 帯域でのピーク EIRP に制限を設定しています。

表 3-5. 最大ピーク電力

動作周波数帯域幅 (GHz)	最大 EIRP (dBm)	3m での等価最大 EIRP 電界強度レベル (dBμV/m)
6-8.5	7	102.26
24.05-26.5	26	121.26
57-64	35	130.26
75-85	64	129.26

- 6 ~ 8.5GHz 帯および 24.05 ~ 26.5GHz 帯では、放射電力に関する他の制限があります。この文書では、これらについて説明しません。これらは EN 302 729 のセクション 4.3.83 で確認できます。

- 57 ～ 64GHz および 75 ～ 85GHz 帯域のレーダーでは、メインビーム内で許可されている動作帯域の範囲外に次の制限が適用されます。最大平均電力スペクトル密度は、許容帯域内最大平均電力スペクトル密度より 20dB 低くなければなりません。

3.1.2.2 アンテナの要件

EN 305 550 規格とは異なり、LPR 規格にはアンテナの視野に対する厳格な要件が含まれています。ただし、これはメインローブで非常に寛大なゲインが許容されていることで相殺されます。これは、背の高いタンクでの良好な SNR を確認したり、厚いポータルや挿入部を通して放射する場合に重要です。

LPR を動作させるには、アンテナの方向は下向きにしかできません。特定の傾きや角度に変更しないでください。

表 3-6 に、許容されるアンテナ ビーム幅とサイドローブ抑制を示します (サイドローブが 60 度より低い角度の場合)。図 3-2 に、この測定方法を示します。ETSI はアンテナ ビーム幅の標準定義を使用しています。これは、ゲインのピークからゲインが 3dB 減少するハーフ パワービーム幅 (HPBW) です。

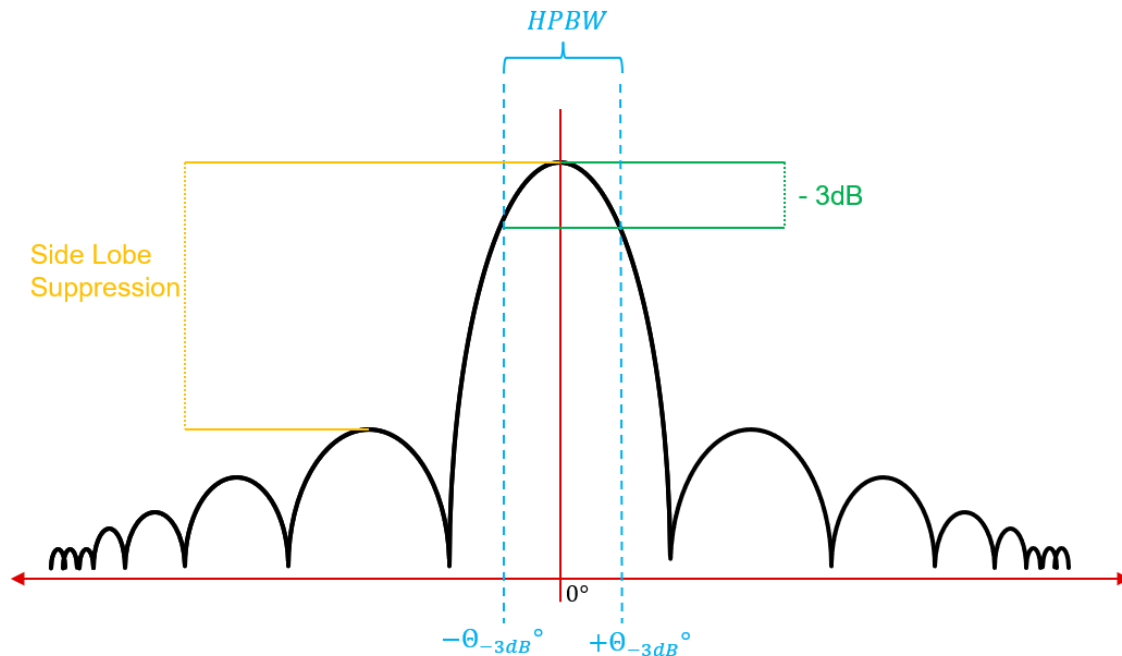


図 3-2. アンテナ放射パターンの定義

表 3-6. 最大アンテナ ビーム幅

許容動作帯域 (GHz)	最大アンテナ ビーム幅 (度)	アンテナ サイドローブ抑制 (dB)
6-8.5	12	-22
24.05-26.5	12	-27
57-64	8	-39
75-85	8	-38

3.1.3 RF 露出制限 - EN 62311

この制限は、RF 被ばくによる体組織または体表面への悪影響を防止するために設定されています。

表 3-7. 周波数範囲

周波数範囲	等価平面波電力密度 (W/m2)
2GHz ～ 300GHz	10

$$\text{Power density} = \frac{\text{MeanPower(WEIRP)}}{4\pi R^2} \quad (7)$$

ここで、

- R = 最小分離距離

3.1.4 電気的安全性 - EN 62368

この規格では、音声、映像、情報通信技術、電圧 600V 以下のビジネス / オフィス機器などの各種機器の安全性を規定しています。安全基準と安全対策は、機器の使用に起因する火災の発生によって引き起こされる痛み、負傷、物的損害を防止および低減することです。詳細については、[こちら](#)を参照してください。

3.1.5 電磁両立性 (EMC) - EN 301 489

以下の条件は EMC の放射ノイズと耐性に関する規格に準拠した試験に適用されます。

表 3-8. EMC の放射ノイズと耐性に関する性能基準

条件	試験中	試験後
A	意図したとおりに動作する。機能の損失がない。意図しない応答はない	意図したとおりに動作する。機能の損失がない。性能の低下はない。保存データの消失や、ユーザーがプログラム可能な機能の損失はない。
B	機能の損失を示すことがある。意図しない応答はない	意図したとおりに動作する。損失した機能は自動的に復帰する。性能の低下はない。保存データの消失や、ユーザーがプログラム可能な機能の損失はない。

EN 301 489-1 における以下の項目は、TI IWR6843 と MMWAVEICBOOST 評価ボードの組み合わせに適用されます。この装置は DC 電源を必要としますが、通信機器ではないため、一部の試験は適用されません。ユーザーは、自身の最終製品に適用する試験項目を判断する必要があります。

表 3-9. EN 301 489-1 の第 8 項 – EMC 放射ノイズの結果の測定方法と許容値

環境現象		判定
単体で測定された補助装置の筐体 - 第 8.2 項	補助装置: EN 55032 で規定されているクラス B の制限に適合	合格
補助装置: 3m の測定距離で 1GHz を超える放射妨害波		合格
通信センターのみでの使用を意図した補助装置: EN 55032 で規定されているクラス A の制限に適合		該当なし
通信センターのみでの使用を意図した補助装置: 3m の測定距離で 1GHz を超える放射妨害波		該当なし
DC 電源入出力ポート - 第 8.3 項	EN 55032 に基づく Class B の制限	合格
通信センターのみでの使用を意図した装置		該当なし
AC 主電源入出力ポート - 第 8.4 項	EN 55032 で規定されているクラス B の制限	該当なし
通信センターのみでの使用を意図した装置: EN 55032 で規定されているクラス A の制限に適合		該当なし
高調波電流放射 (AC 主電源入力ポート) - 第 8.5 項	高調波電流放射に関する EN 61000-3-2/A1 の当該要件は、入力電流が相あたり 16A 以下の装置に適用されます。入力電流が相あたり 16A を超える装置には EN 61000-3-12 が適用されます。	該当なし
電圧変動とフリッカ (AC 主電源入力ポート) - 第 8.6 項	電圧変動とフリッカに関する EN 61000-3-3 の当該要件は、入力電流が相あたり 16A 以下の装置に適用されます。入力電流が相あたり 16A を超える装置には EN 61000-3-11 [13] が適用されます。	該当なし
通信ポート - 第 8.7 項	EN 55032 で規定されているクラス B の制限	該当なし
通信センターのみでの使用を意図した装置: EN 55032 で規定されているクラス A の制限に適合		該当なし

表 3-10. EN 301 489-1 の第 9 項、イミュニティ試験結果の試験方法とレベル

環境現象	テストポート	参照規格	判定
無線周波数電磁界 (80MHz ~ 1000MHz および 1000MHz ~ 6000MHz) - 第 9.2 項	筐体	EN 61000-4-3	合格
静電放電 1 - 第 9.3 項	筐体	EN 61000-4-2	合格
高速過渡、同相モード - 第 9.4 項	AC 主電源ポート	EN 61000-4-4	該当なし
信号ポート、通信ポート、制御ポート		該当なし	
DC 電源ポート		合格	

表 3-10. EN 301 489-1 の第 9 項、イミュニティ試験結果の試験方法とレベル (続き)

環境現象	テスト ポート	参照規格	判定
無線周波数、同相モード (0.15MHz ~ 80MHz) – 第 9.5 項	AC 主電源ポート	EN 61000-4-6	該当なし
信号ポート、通信ポート、制御ポート		該当なし	
DC 電源ポート		合格	
過渡現象とサージ - 第 9.6 項	車両での使用も意図されている移動式無線装置および補助装置の 12V および 24V DC 電源入力ポート	ISO 7637-2	該当なし
電圧低下および遮断 – 第 9.7 項	AC 主電源ポート	EN 61000-4-11	該当なし
線間および対地間のサージ - 第 9.8 項	AC 主電源ポート	EN 61000-4-5	該当なし
通信ポート		該当なし	

EN 301 489-1 に加えて、特定の最終装置に対する EN 301 489-1 の適用を定める規格が存在します。これらは補足的な規格であり、EN 301 489-1 の規格の適用方法がより詳しく記述されています。ほとんどの 60GHz レーダーには、EN 301 489-3 が適用されます。この規格では、EN 301 489-1 の解釈方法が明確に記述されています。ここには 4 つの条件が規定されています。

1 つ目は、実際の使用に代表される送信信号でデバイスをテストする必要があるため、放射耐性のための受信信号は、使用可能な最小信号よりも 30dB 高くする必要があります。定義された信号がレシーバの飽和を引き起こす場合についての規定が設けられています。

2 つ目は、「電源オフ」、「スタンバイ」などのさまざまな動作モードの認識です。これらのモードは通常、動作原理の読み取りにより決定されます。非送信モード中は、デバイスが予期しない送信を行ってはなりません。

3 つ目は、特定のポートでの放射ノイズと伝導放射の適用時期を明確にすることです。これについては、EN 301 489-3 の表 4 を参照してください。表 4 から、放射ノイズはすべての機器に一般的に適用されます。DC 電源入力 / 出力ポートの伝導放射はすべての据置用機器に必要です。最後に、AC 主電源入出力および有線ネットワークの伝導放射は、固定位置の機器にのみ適用されます。

EN 301 489-3 では、最終的に追加のテストを行う必要はありません。EN 301 489-3 では、レーダーやその他の特定の SRD の用途に適用される EN 301 489-1 の要件を単純に明確にしています。

3.2 連邦通信委員会 (FCC)

1934 年の通信法によって創設されて以来、連邦通信委員会は無線周波数スペクトルの使用を管轄し、米国内のすべての人々が可能な限り利用できるように管理しています。FCC の規則改正は、連邦規則集の Title 47 の更新によって行われます。これらの規則は、米国およびその領土内のすべての運用で拘束力があると考えられています。FCC 技術局 (OET) は、FCC 規制の実施を明確にするために使用されるナレッジ・データベース (KDB) の更新を実施しています。KDB は規制を修正または置き換えるものではありませんが、ほとんどの TCB はその通知に従っています。Title 47 の内容は広範囲にわたりますが、ここでは、60GHz レーダーと TLPR に関連するセクションのみに焦点を当てています。

テストと認証が完了すると、機器メーカーは、適用される規制に準拠していることを示すために、機器の筐体に FCC ロゴを表示することができます。いずれの場合も、FCC は、承認されたハードウェアに FCC ID を FCC ID: XXXXXX の形式で明記することを義務付けています。パッケージと機器のユーザー ガイドにも同様の記載を行う必要があります。FCC は、デバイスの電子標識を許可しています。

3.2.1 最終製品および FCC 条項

表 3-11 に、主な最終製品カテゴリ、許容される周波数帯域、規格の解釈に基づく適用可能な FCC 条項を示します。

表 3-11 は、執筆時点での情報であり、最新ではない可能性があります。使用事例の詳細を FCC に確認することをお勧めします。

表 3-11. 最終製品

最終製品	周波数帯域	FCC 条項
ゾーン占有用のエリア スキャナ	60GHz	FCC 15.255 - 固定フィールド外乱センサ

表 3-11. 最終製品 (続き)

最終製品	周波数帯域	FCC 条項
自動ドアおよびゲート	60GHz	FCC 15.255 - 固定フィールド外乱センサ
ジェスチャ認識	60GHz	FCC 15.255 - インタラクティブ モーション センシング用の近距離無線機器
高精度のセンス	60 GHz または 77 GHz	FCC 15.255 固定フィールド外乱センサ FCC 15.256 レベル プロービング レーダー
長距離対応の人検出	60GHz	FCC 15.255 - 固定フィールド外乱センサ
人数計測	60GHz	FCC 15.255 - 固定フィールド外乱センサ
ロボティクス	77GHz	FCC Part 95 (ロボットによる人や物品の移動)
交通監視	60GHz	FCC 15.255 - 固定フィールド外乱センサ
バイタルサイン	60GHz	FCC 15.255 - 固定フィールド外乱センサ
車載車内センシング	60GHz	FCC 15.255 - 固定フィールド外乱センサ (車が停止している場合)
車載センシング	77GHz	FCC Part 95

3.2.2 60GHz レーダーの動作 (47 CFR §15.255)

2023 年 8 月、連邦通信委員会 (FCC) は (54 ~ 71GHz) 帯域での 60GHz レーダーに関する規制を更新しました。これらの新しい規制は、グローバルな EMC/EMI 規制の調和を模索し、産業用およびコンシューマ用のアプリケーション、ADAS 以外の車載アプリケーションにおける 60GHz レーダーの利用範囲の大幅な拡大を目的とする、FCC のミッションに基づくものです。

FCC は、帯域幅に基づいて §15.255 を構造化しています。該当する各帯域幅には、特定の周波数、EIRP、ロケーション、必要に応じて適用されるデューティサイクルの制限があります。ここでは、それぞれについて簡単に説明し、使用可能な事例をいくつか紹介します。

最も一般的に使用されている帯域の 1 つは、産業、科学、医療 (ISM) の帯域です。ISM 帯域は、61GHz ~ 61.5GHz の 500MHz 帯域です。帯域幅が狭いため、平均およびピーク EIRP に 36dBm が許容されます。

新しい魅力的な動きとして、レベル プローブレーダー (LPR) やタンクレベル プローブレーダー (TLPR) として知られるレベル センシング アプリケーションで 60GHz レーダーを利用できる点があります。これは、ETSI との調和の一步です。ただし、ETSI とは異なり、FCC は特定の 60GHz LPR/TLPR に対する規制を策定していません。§15.255 の下で LPR/TLPR システムの認証を申請する設計者は、前述の制限をすべて満たす必要があります。これにより、ローパワー サイドローブで狭い FOV アンテナを使用する必要がなくなります。

しかし、これは、FCC と ETSI の両方の規制の下での認証に同じハードウェアを利用することを考えている LPR/TLPR システム設計者には、新たな課題となります。これは、ETSI が 60GHz の LPR/TLPR に対してローパワーのサイドローブを備えた狭い FOV アンテナを必要とするためです。ここで課題となるのは、500MHz BW よりも広い帯域を必要とする設計者向けのピーク EIRP に関する規制の不調和です。基本的に、設計者はより広い BW において、FCC 規制で許可されている値よりも多くのゲインが必要になる可能性があります。したがって、FCC 規制と ETSI LPR/TLPR 規制間の相互運用性を必要とする設計者にとっては、80GHz 帯を使用するほうが簡単です。FCC では、これは 47 CFR 15.256 で規制されています。

これまで、レベル プロービング レーダーは FCC の 47 CFR 15.256 によって規制されていました。この規制により、75 ~ 85GHz 帯が下向きのレベル プロービング システムに開放されます。この帯域は、欧州の規制機関 ETSI で、LPR/TLPR アプリケーションに最大の相互運用性を提供する EN 302 729 と調和しています。

3.2.2.1 基本波放射レベル、BW、最大デューティ サイクル

新しい §15.255 では、基本波放射だけでなく、TX アクティブ送信時間の BW 制限と制限もあります。具体的には、§15.255(c)(2)-§15.255(c)(3) は、最大ピーク伝送電力制限を回避できる FDS の制限を定義しています。これらの制限と BW は特定のユースケースに関連しており、使用中の FDS 間の競合の可能性を減らすことを目的としています。

§15.255 の目的のために、トランスミッタのデューティ サイクル制限は実際にはトランスミッタのオフ時間間隔を使用して定義されます。この場合、**33ms** のウィンドウにおいてトランスミッタがオフである必要がある最小の合計時間があります。この場合、任意の連続 **33ms** ウィンドウを使用でき、その最小値を満たす必要があります。さらに、トランスミッタが **2ms** 以上オフになっている間隔のみが最小値にカウントされます。通常、チャープ間のアイドル時間は、制限に対してカウントするには小さすぎます。これを見るもう 1 つの方法は、フレームの構造を考慮することです。フレームは、バースト内のチャープ数とフレーム内で設定されたバースト数で構成されます。通常、チャープ間のアイドル時間とバースト期間はどちらも **2ms** よりはるかに短くなります。したがって、フレーム間またはディープ スリープ期間は **2ms** 以上である必要があります。**33ms** のウィンドウ内で、これらの **2ms** 期間の合計は **16.5ms** または **25.5ms** 以上でなければなりません。

BW、EIRP の制限は、§15.255(c)(2) で規定されています。次の表にその概要を示します。以下のリンクには、適切な BW と制限の決定に役立つディシジョン ツリーが記載されています。

周波数帯域 (GHz)	平均放射 TX 電力	ピーク放射 TX 出力	デューティ サイクル (オフ時間)	要件	レギュレーション
57.0-59.4	規定された制限なし	20dBm	規定された制限なし	屋内。 33ms 経過後を除き、モードの変更は不可	§ 15.255(c)(2)(i)
57.0-59.4	規定された制限なし	30dBm	規定された制限なし	屋外。 33ms 経過後を除き、モードの変更は不可	§ 15.255(c)(2)(i)
57.0-61.56	規定された制限なし	3dBm	規定された制限なし	33ms 経過後を除き、モードの変更は不可	§ 15.255(c)(2)(ii)
57.0-61.56	規定された制限なし	20dBm	50%	33ms 経過後を除き、モードの変更は不可	§ 15.255(c)(2)(ii)
57.0-64.0	規定された制限なし	14dBm	77.3%	33ms 経過後を除き、モードの変更は不可	§ 15.255(c)(2)(iii)(A)
57.0-64.0	規定された制限なし	20dBm	50%	屋外の一時的または固定アプリケーション。 33ms 経過後を除き、モードの変更は不可	§ 15.255(c)(2)(iii)(B) (1)
57.0-64.0	規定された制限なし	20dBm	50%	屋外および車両のエクステリアの移動用アプリケーション。 33ms 経過後を除き、モードの変更は不可	§ 15.255(c)(2)(iii)(B) (2)
61.0-61.5	40dBm	43dBm	規定された制限なし	なし	§ 15.255(c)(2)(iv)

1. 61.0GHz ~ 61.5GHz の帯域で動作する固定の電界妨害センサの場合は、この帯域幅を外れ、かつ 57GHz ~ 71GHz の範囲内の放射は、10dBm の平均電力および 13dBm のピーク電力を超えないようにする必要があります。

2. 61.0GHz ～ 61.5GHz 帯域外の意図的な使用事例では、61.0GHz ～ 61.5GHz 帯域外の使用事例に対する追加制限ではなく、57GHz ～ 71GHz 帯域を満たす必要があります。

このフローチャートは、チャープ、バースト、フレームの構成を制御する適切な規制を選択する際に役立ちます。

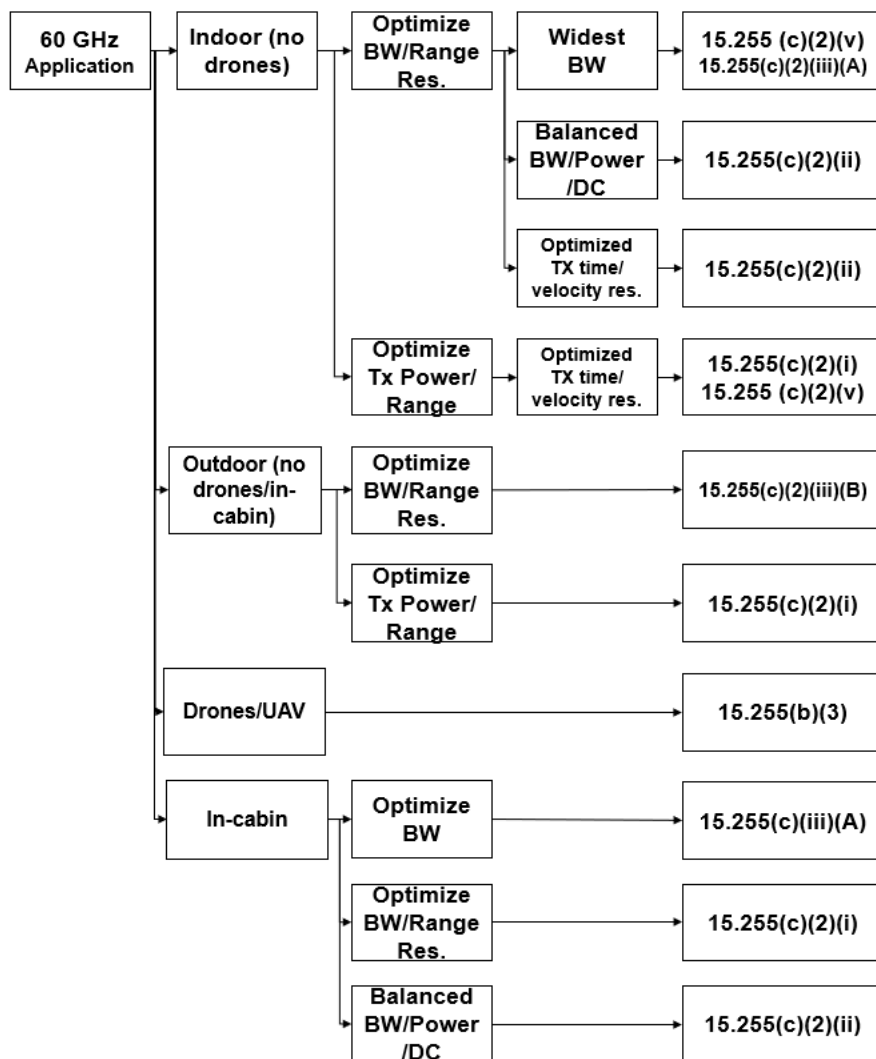


図 3-3. FCC § 15.255 特定用途向けチャープに関する推奨事項

3.2.2.2 スプリアス放射

スプリアス放射は、§15.255(d) で規定されています。40GHz 未満では、スプリアス放射は FCC §15.209 で規定されている制限を満たす必要があります。40GHz ～ 200GHz の間では、57GHz ～ 71GHz 以外のスプリアス放射が、3m の距離で 90pW/cm² を超えないようにする必要があります。表 3-12 に、上述の内容を示します。

表 3-12.

周波数 (MHz)	電界強度 (マイクロボルト / メートル)	測定距離 (メートル)
0.009-0.490	2400/F(kHz)	300
0.490-1.705	24000/F(kHz)	30
1.705-30.0	30	30
30-88	100**	3
88-216	150**	3
216-960	200**	3

表 3-12. (続き)

周波数 (MHz)	電界強度 (マイクロボルト / メートル)	測定距離 (メートル)
960-40000	500	3
40000-57000	20000	3
71000-200000	20000	3

一般に、スプリアス放射は基本波放射のレベルを超えてはなりません。

3.2.2.3 周波数安定性

周波数安定性の制限は §15.255(f) で規定されています。基本波放射は、§15.255(c)(2) から §15.255(c)(4) で規定されている許容帯域内に維持する必要がある、-20°C ~ 50°C 間および 85% ~ 115% 定格入力電圧からの入力電圧変動にわたって維持する必要があります。

一部のテストハウスでは、連続波 (CW) 測定としてこれを実行する傾向があります。これは、FMCW 測定の代替方法よりシンプルなためです。CW 測定は、デバイスを mmWAVE STUDIO に接続することで行うことができますが、必ずしも単純ではありません。システムインテグレータとして最も簡単なオプションは、テストハウスに FMCW 試験として測定を依頼することです。

3.2.2.4 FCC の免除およびその他の関連情報

これまで、FCC は特定のユースケースおよび条件の下で一部のアプリケーションに対する免除を認めてきましたが、これらの免除では、FCC §15.255 規格の以前の解釈の範囲外での使用が認められています。短距離インタラクティブ モーションセンシングデバイスにおいて承認されたパート 15 の免除申請の例は [こちら](#) で確認できます。

§ 15.255 規制の更新により、免除の必要性は、完全ではないにしてもほとんど消えています。ただし、免除申請に関心がある場合は、免除プロセスの所要時間が不明なため、製品設計の初期段階から免除プロセスを始める必要があります。

3.2.3 レベル プロービングレーダー (47 CFR §15.256)

§15.255 に基づいてタンクレベルプロービングレーダーを作成する際に 60GHz レーダーの使用は可能ですが、§ 15.256 と比べると、重大な欠点はいくつかあります。§15.256 の主な利点は、§15.255 よりもはるかに大きな出力を可能にすることであり、高層のタワーやサイロのほうがより効果的に利用できます。幸いなことに、TLPR と LPR システムのシステム設計者は、レベルプロービングレーダー規制の観点から ETSI と FCC の間のグローバルな調和を活用することができ、開発コストと導入コストを削減できます。

3.2.3.1 使用上の制限

§15.256 では、レベルプロービングレーダー (LPR) を一般消費者向けに販売することを禁じています。LPR は通常、商業用または産業用を想定しています。また、LPR は固定された場所に設置する必要があります。移動中または輸送中は、限られたスペース内であっても動作させてはなりません。また、LPR には専用アンテナまたは内蔵アンテナが必要であり、アンテナのメインビームは垂直かつ下向きにする必要があります。これらの要件のほとんどは §15.255 で規定されていませんが、次に示すように、基本波放射電力ははるかに高くなります。

3.2.3.2 基本波放射、BW

LPR は、どちらの周波数帯域で LPR が動作しているかにかかわらず、50MHz BW 以上で動作する必要があります。FCC は、BW を中心周波数の上下において外側の電力が 10dB 低下する 2 点間の幅と定義しています。これは、20dB の低下としている ETSI 規制とは異なります。

表 3-13. LPR の基本波放射制限

許容動作帯域 (GHz)	平均 EIRP (任意の 1MHz での dBm)	ピーク EIRP (任意の 50MHz での dBm)
5.925-7.250	-33	7
24.05-29.00	-14	26
75-85	-3	34

FCC は、LPR の平均 EIRP とピーク EIRP の両方に制限を設けています。これは他の操作と比較して特別な方法で行われます。FCC は ETSI のようなスペクトル密度を使用しません。平均 EIRP については、FCC は電力平均化検出器を使用しながら、任意の 1MHz BW 内で検出された最大電力レベルを見つけて報告することにより、平均 EIRP を計算する必要があります。これは、BW を横切ってスライドし、検出された最高電力と検出された周波数のみを報告する 1MHz ウィンドウを備えた平均化検出器として考えることができます。

ピーク電力については、FCC は最大平均電力が検出された周波数を中心として 50MHz BW のピーク電力検出器を使用するものとしています。この 50MHz BW は、上記の許可された BW 内にすべて配置する必要があります。よくあることですが、検出器の RBW が 50MHz 未満の場合、ピーク EIRP 制限は以下の表に従って低減します。RBW は 1MHz より低く、または 50MHz より大きくしないでください。VBW が RBW より小さくならないようにする必要があります。

表 3-14. 検出器の RBW に基づくピーク EIRP の低減

検出器の RBW (MHz)	EIRP 制限の低減
50	該当なし
$1 \geq \text{RBW} > 50$	$20 \times \log(\text{RBW}/50)\text{dB}$

3.2.3.3 アンテナの制限

すでに説明したように、設計上、LPR に使用するアンテナは専用にするか、内蔵する必要があり、アンテナのメイン ビーム (ボアサイト) は垂直かつ下向きにする必要があります。さらに、FCC はアンテナ サイドローブに制限を設けています。これと上記の基本波放射を測定するために、検出器とアンテナ間の最も高い結合角度を求めることによって、真の照準位置を決定します。

アンテナ HPBW およびサイドローブ抑制の図解については、[図 3-2](#) を参照してください。[表 3-15](#) は、LPR に対して FCC が規定している HPBW およびサイドローブ抑制の規制について説明しています。これらの値は、FCC が LPR に対する 57GHz ~ 64GHz レーダーの使用を承認していないことを除いて、ETSI 規制と同じです。

表 3-15. HPBW およびサイドローブ抑制

周波数帯域 (GHz)	HPBW (度)	サイドローブ抑制 (dB)
5.925-7.250	12	-22
24.05-29.00	12	-27
75-85	8	-38

3.2.3.4 不要な放射

意図しない放射とは、§15.209 に記載されている放射です。

3.2.4 モジュラー承認 (47 CFR §15.212)

レーダーの用途によっては、1 回で認証可能なレーダー モジュールを作成し、各最終製品の帯域内試験 (§15.255) なしで複数の異なるホスト システムに組み込むほうが良い場合があります。このようなソリューションは「モジュラー承認」レーダーと呼ばれます。このレーダーは単一の PCB で構成され、レーダー チップ、水晶発振器、電源が内蔵されています。これらはすべてシールドで覆う必要があります。このモジュラー承認プロセスは 47 CFR §15.212 で規定され、KDB 44637 に詳細が記述されています。この主な利点は、企業やその顧客が、試験の負担を軽減することで時間とコストの両方を節約できる点です。

これは、Bluetooth® や Wi-Fi® などのモジュールを作成する際に使用されるプロセスと同じです。このプロセスで作成したモジュールは、1 つの会社の製品内で使用することも、他社が最終製品に組み込める製品として販売することも可能です。

モジュラー承認のレーダーの一部として作成する必要がある重要な書類 (顧客向けの文書) があります。顧客は、モジュールをホスト システムに統合する方法と、予期せぬ放射がないことを確認するために推奨されるテストについて、正確に理解する必要があります。内部モジュールのみの場合、この要件は緩和されます。ただし、このプロセスでは、最終的な統合システムでインバンド テストの必要がなくなるだけであることに注意することが重要です。このプロセスによって、安全性または EMC 試験の要件が免除されることはありません。

他の FCC 申請と同様に、申請の連絡先と FCC ID を識別するために、FCC 登録コードを設定する必要があります。FCC ID は、3 ～ 5 文字のプレフィックスと、その後続くメーカー選択の最大 15 文字で構成されます。最初の 3 ～ 5 文字は FCC によって割り当てられ、申請者コードと呼ばれます。モジュラー承認を申請する前に、申請者コードを申請し、所定の料金を支払う必要があります。これは、他の FCC 機器の承認と同じです。

残念ながら、レーダーのモジュラー承認は FCC によってのみ許可されており、他の規制機関では許可されていません。ただし、他の規制環境 (ETSI や JRL など) では、モジュールでインバンド テストを 1 回実行し、その結果を将来のホスト統合で活用することで、テスト全体の負荷を軽減できます。これらの規制に関する最新の解釈については、テスト ハウスまたは法務アドバイザーに確認してください。

3.2.5 電磁波ばく露要件

FCC 規格には、電磁波ばく露に適用されるさまざまなセクションがあり、使用事例に応じてすべてへの準拠が義務付けられています。

1. [1.1307\(b\)](#) - 環境に重大な影響を及ぼす可能性のある事業。環境評価 (EA) を準備する必要があります。
2. [1.1310](#) - 高周波ばく露量の制限。
3. [2.1091](#) - 高周波ばく露評価: モバイル デバイス。
4. [2.1093](#) — 高周波ばく露評価: 携帯機器。

3.3 日本の電波法

日本で販売または輸入される最終製品は、日本の電波法 (JRL) の対象となります。この法律は、以下のような規制と告示によって実施および執行されます。無線法施行規則、無線設備規則 (ORE)、特定無線設備の技術基準適合証明等に関する省令 JRL およびそれに付随するすべての規制は、ARIB 規格 T-73 にも組み込まれています。JRL の規則と施行は総務省が管轄しています。

適合性を証明する機器には、MIC 登録番号が発行されます。この登録番号は、技適マークとともに明示する必要があります。デバイスに通信モデムが搭載されている場合は、そのデバイスに技術基準適合認定番号も付与されます。この番号は、MIC 登録番号とともに明示する必要があります。技適マークは通常、直径 3mm 以上です。マークと登録番号が肉眼でははっきりと見える範囲であれば、マークを小さくすることができます。十分なスペースがない場合は、技適マークを電子ラベルまたはユーザー マニュアルに示すこともできます。技適マークが機器の筐体に明示できない場合は、技適マークを製品パッケージに追加する必要があります。

3.3.1 BW、指定された周波数、および公差

日本の電波法では、ミリ波レーダーは 57GHz ～ 64GHz の帯域、または認可されている 61GHz ～ 61.5GHz の ISM 帯域での動作が許可されています。[表 3-16](#) に、上述の内容を示します。電波法では、FCC と同様に TX オン時間が 33ms 間隔ごとに 3.0ms を超えないように、送信信号のデューティサイクルが義務付けられています。この目的は、他のレーダー システムが中断なしで送信を行うのに十分な時間を確保できるようにすることです。

表 3-16.

ISM バンド	全周波数帯域
61GHz ～ 61.5GHz	57GHz ～ 64GHz

電波法では、周波数の許容誤差を機能 (FMCW) モードではなく、CW モードでテストすることが義務付けられています。この種のテストを実施するように計画を作成する必要があります。ただし、代替試験計画の作成を MIC に申請することも可能です。ユーザーは、この点をテストハウスと話し合う必要があります。周波数の許容誤差とは、上記のように、単に FMCW チャープの中心周波数が指定の周波数帯域から逸脱してはならないことを意味します。

ETSI または FCC 規制と比較して、電波法では 13dBm 以下の比較的低い TX EIRP が許可されています。これは、10dBm のアンテナへの入力電力の制限に加えて適用されます。これは、システム全体だけでなく、送信機の出力電力にも制限を設けるように設計されています。さらに、「アンテナ電力」と呼ばれる TX EIRP は、申請値から 50% 上方、70% 下方への逸脱のみが許可されています。ただし、最大 TI EIRP の 13dBm に違反することは許容されません。[表 3-17](#) に、上述の内容を示します。

表 3-17.

制限値	許容電力範囲
上限:	アンテナ出力 +50%
下限:	アンテナ出力 -70%

3.3.2 帯域外およびスプリアス放射

他の規制法と同様に、JRL はスプリアス放射と帯域外放射の基準も規定しています。ただし、ETSI とは異なり、これらの帯域は 99% OBW よりも絶対周波数によって決定されます。表 3-18 に、スプリアス放射および帯域外放射に適用可能な制限を示します。

表 3-18.

周波数	最大電界強度	ドメイン
> 55.62GHz	-30dBm/MHz	スプリアス
55.62GHz ~ 57GHz	-26dBm/MHz	帯域外
64GHz ~ 67.5GHz	-26dBm/MHz	帯域外
< 67.5GHz	-30dBm/MHz	スプリアス

JRL では、TX スプリアスおよび OOB 放射の制限に加えて、他の無線機器に干渉しない発信源からの放射に制限を設けています。これは、受信アンテナと同じ電気的特性を維持するように設計された擬似アンテナ回路を使用して測定されます。これらの 2 次放射は 20nW に制限されています。

3.3.3 コントローラの機能

同じ筐体内にある他の無線機器からの干渉を防止するために、レーダーは変調方式またはその他の方法により、検出された波が対象のレーダーからのものか、別の無線デバイスからのものかを判断する必要があります。この情報を使用して、レーダーはその送信を停止することができなければなりません。これについては、ORE 第 14-2-1-1 条および第 14-2-2-1 条で規定されています。

3.4 無線計画調整部門 (WPC)

無線計画調整部門 (WPC) はインド通信省の電気通信局の組織です。他の国とは異なり、WPC はスペクトルへのアクセス許可と割り当ての両方の機能を担当しています。しかし、他の国と同様に、電磁波スペクトルへのアクセスには WPC からの許可が必要です。

3.4.1 許可されている動作周波数と承認

この資料の執筆時点で、WPC は産業、科学、医学 (ISM) 帯域でのアクセスのみを許可しています。この帯域は、「Use of Low Power and Very Low Power Short Range Radio Frequency Devices (Exemption of Licensing) Rules, 2018」、(G.S.R.1047 (E)) The Gazette of India, Extraordinary, Part II, Section 3 (I) (2018 年 10 月 18 日付) 規則 3 で許可されています。

規則 3 の表 IX、15 行目で、周波数 61.0GHz ~ 61.5GHz の間でライセンスのない動作が許可されており、ピーク電力制限は 100mW EIRP (20dBm EIRP) と規定されています。15 行目では、この帯域の規格として ETSI 標準 EN 305 550 を挙げています。

現在、WPC は ISM 帯域を超える 57GHz ~ 64GHz 帯へのアクセスを許可していません。しかし、この組織は、国際標準に合わせてこの帯域へのアクセスを検討する意向があることを公式に発表しています。

RED の要件を満たし、製品に CE ロゴ マークを付け、DoC を発行することで、WPC のコンプライアンス要件を満たすことができます。

3.4.2 機器タイプの承認

G.S.R.1047 (E) の規則 5 により、すべての無線機器は、インドに輸入する前に WPC から機器タイプの認証を受けなければなりません。ETA を受領していないと、国境で無線機器が押収される可能性があります。同様に、インドで販売されている無線機器も、WPC からの ETA を必要とします。ETA は、どの企業が申請したかにかかわらず、同じ機器を輸入するすべての企業に適用されます。

統合型製品のチャープ BW が、同じデバイスに関する TI の EN 305 550 レポートで観察したものと同じである場合、輸入者は自社の ETA 申請で TI のレポートを使用することで、インド市場への輸入を円滑に進めることができます。TI は、これらのレポートを一般に TI Radar Toolbox (「mmWave radar sensors」→「Hardware kits and boards」→「<EVM Name>」→「Emissions Certification」→「Red Certification Collateral」→「Report Name」) に保存します。

3.5 連邦電気通信機構 (IFT)

IFT は、メキシコにおける無線周波数装置の使用を管理する規制機関です。IFT は、ISM 帯域の認定など、ミリ波に関する独自の規制を定めています。

3.5.1 基本波放射レベルと BW

IFT は、いくつかの制限の下で ISM 帯域やその他の BW の使用を許可しています。FCC または ETSI 規制のいずれかに対する免除を申請することで、これらの規格からの逸脱許可を IFT から受けることができます。

公布されているように、IFT は次の BW および EIRP 制限を規定しています。

表 3-19. 許可されたシステム EIRP

周波数帯域 (GHz)	最大 BW (MHz)	平均 EIRP (dBm)	ピーク EIRP (dBm)
61-61.5	500	40	43
57-64	500	10	13
57-64	--	-10	10

IFT は、FCC のようにデューティ サイクルに制限を加えていません。また、IFT はトランスミッタの電力に制限を設けています。これらの制限については、表 3-20 を参照してください。

表 3-20. 最大許容トランスミッタ出力

BW	最大トランスミッタ出力
100MHz 超	500mW (27dBm)
< 100MHz	$BW \text{ (MHz)} \times 500 \text{ (mW)} / 100 \text{ (MHz)}$

3.6 ブラジル電気通信庁 (ANATEL)

ブラジルの関連規制機関は ANATEL です。ANATEL は、国民議会が定めた法律に基づき規定の策定や解釈を公表しています。ミリ波レーダー デバイスはその管轄下にあります。

3.6.1 基本波放射レベル、BW、最大デューティサイクル

ANATEL は最近、FCC の 47 CFR 15.255 規制との整合を行いました。これは、FCC 規制に準拠しているデバイスが自動的にブラジルの規制に準拠することを意味します。

3.6.2 ライセンス

ANATEL ライセンスは現地の代理店にのみ発行され、レーダー デバイスの輸入または販売前に取得する必要があります。これらのライセンスは、デバイスの種類に応じて 12 ～ 24 か月ごとに更新する必要があります。評価基板に対しては、ライセンスの取得は不要です。

3.7 運輸通信省 (MTC)

ペルーの規制当局である MTC は、最近 57GHz ～ 64GHz 帯域の規制を緩和しました。レーダー搭載システムは、EIRP、OBW、周期性について試験済みであり、最終製品に埋め込まれた QR コードをスキャンすることでその試験データにアクセスできるようにする必要があります。また、申請者は、MTC による機器タイプの承認を申請する必要があります。発行された ETA 証明書の有効期間は無期限になります。ペルーに無線機を輸入する場合は、輸入前に ETA を申請する必要があります。

3.8 国家通信局 (ENACOM)

ENACOM はアルゼンチン共和国の無線機器規制機関です。FCC や ETSI と同様に、ENACOM には規制を通じて国内法を実施する権限があります。ミリ波レーダーの場合、ENACOM は 57GHz ~ 71GHz 帯での動作を許可していますが、この場合は平均電力が 40dBm を上回らないこと、またピーク電力が 43dBm を上回らないことという制限があります。

便利なことに、ENACOM は国外で生成されたテストレポートの使用も許可しています。これにより、FCC や ETSI など、他のテストレポートを活用することができます。

4 適用される条件と式

4.1 デューティ サイクル係数

デューティ サイクル係数は、バースト全体のデューティ サイクルに各バースト内のデューティ サイクルを乗算した値として計算されます。

$$\text{Duty Cycle Factor(dB)} = 10\log\left(\frac{1}{X}\right) \quad (8)$$

ここで、 X = デューティ サイクルです

表 4-1. バースト内およびバースト間のデューティ サイクルを使用して計算されたデューティ サイクル補正

BW モード	オン時間	期間	デューティ サイクル	オン時間	期間	デューティ サイクル	デューティ サイクルリニア	デューティ サイクル	デューティ サイクル補正
	バースト間			バースト内			合計		
1300	4.29	16.06	0.267	29.66	33.33	0.890	0.24	23.76	6.24

4.2 実効等方放射電力 (EIRP)

EIRP は、送信電力とアンテナ ゲインの合計として定義されます。これら 2 つのパラメータが判明している場合、EIRP は式 9 のように計算できます。EIRP は、非等方性アンテナのピーク角度での最大放射電力を示します。

$$\text{EIRP} = P_t - L_c + G_a \quad (9)$$

ここで、

- P_t は TX 電力です
- L_c はケーブルまたは配線損失です
- G_a はアンテナ ゲインです

4.3 フリスの公式

テスト設定では、電力計を使用して受信電力 (P_r) を測定します。受信アンテナのゲイン (G_r) は既知であり、動作周波数、および受信アンテナから EUT までの距離を測定します。式 10 に示すように、EUT TX チェーンの未知の送信電力はフリスの公式で計算します。

$$\text{EIRP(Friis)} = P_T \times G_T = \frac{P_R}{G_R} \times \left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)^2 \quad (10)$$

ここで、

- P_R は測定電力です
- G_R は受信測定アンテナのゲインです
- D は測定距離です
- λ は波長です

4.4 遠方界境界

遠方界境界は、式 11 のように定義されます。名前のとおり、遠方界境界はアンテナから遠く離れた領域です。基本波信号はこの境界を超えて測定されます。これは、アンテナ パターンなどの電磁界特性が EUT の遠方界で変化しないためです。

$$R(\text{far-field}) = \left(\frac{2 \times L^2}{\lambda}\right) \quad (11)$$

ここで、

- L は、アンテナの最大寸法です (メートル単位)。
- λ は波長です (メートル単位)。

5 ツールとセットアップ

TI の **MMWAVESTUDIO** は、TI のミリ波センサの評価と特性解析を目的として設計されています。

MMWAVEVISUALIZER を使用すると、**ミリ波ソフトウェア開発キット (SDK)** や **ミリ波低消費電力 SDK** のデモから出力されるデータをリアルタイムでプロット表示することができます。どちらのツールでも、テストに必要なチャープ パラメータを設定できます。

5.1 ハードウェア設定

EUT の認定、テスト、特性解析では、MMWAVEICBOOST と互換性のある 60 ピン SAMTEC コネクタを含むオプションを追加することを推奨します。MMWAVEICBOOST キャリア カードを使用すると、デバッグ、エミュレーション、および USB 接続を経由した MMWAVESTUDIO や mmWave Visualizer などのミリ波ツールとの直接インターフェイスを実現できます。MMWAVEICBOOST と DCA1000EVM リアルタイム データ キャプチャ アダプタを組み合わせると、未加工の A/D コンバータ (ADC) データのキャプチャを有効にできます。MMWAVEICBOOST の設定方法については、[ユーザーガイド](#)を参照してください。

60 ピン コネクタを使用できないユーザー向けに、mmWave Studio や mmWaveVisualizer とのインターフェイスに必要なペリフェラルを[図 5-1](#) に示します。これは、一部の規制で求められる連続波モードなどの機能へのアクセスを検証するためのものです。

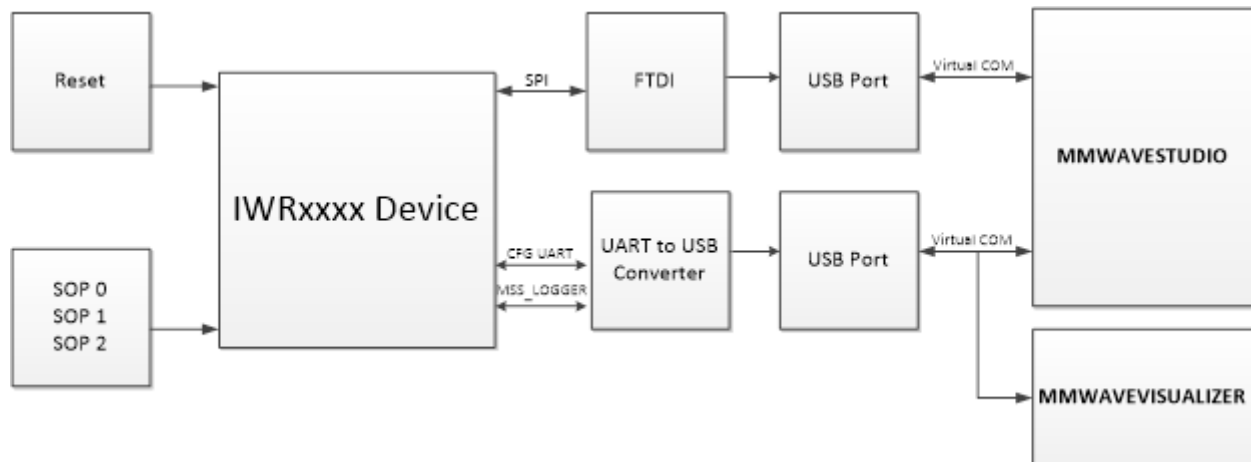


図 5-1. TI のツールとのインターフェイス

5.2 内部ラボのテスト設定

設計を内部で評価し、システムが認証に適合するかどうかを事前に判断することが望ましい場合が少なくありません。多くの場合、TCB と同レベルで詳細まで同じ測定を実行することは、面倒でコストがかかり、社内で完了するのに時間がかかります。これには、無響室、ケーブル、アンテナ、キャリブレーション、検証、認証のコストと複雑さが関係しています。

しかし、プレスキャンや認定のためのシステムのデバッグや準備を行う際に、より簡単な対策がないわけではありません。このセクションでは、認定の準備や放射レポートのデバッグに使用できる、いくつかの重要なテクノロジーと設定について説明します。

5.2.1 近傍界回路プロービング

放射が検出された場合、放射源の特定が難しいことがあります。それに役立つ手法の 1 つが近傍界プローブと呼ばれます。近傍界プローブは「スニッフィング」とも呼ばれますが、この方法では、特定のサイズのプローブ アンテナを使用して放射ノイズの発生源を追跡します。通常、次の機器を使用します。

- プローブ アンテナ
 - アンテナは、特定の周波数範囲、特に関心のある周波数を検出するように調整またはサイズ設定する必要があります
- ケーブル
- スペクトル アナライザ

- アナライザの周波数範囲は、対象の信号より大きくする必要があります
- シールド チャンバーまたは無響室
 - 他の外部信号が測定に干渉しないように選択します

一般的なプロセスは次のとおりです。

- EUT、SA、アンテナ、サポート装置をチャンバー内に配置します。EUT および SA 以外の電子機器は、測定結果の影響を防ぐため、チャンバーの外に配置します。
- SA は、ピーク検出器を使用してトレースを最大ホールド モードに設定します。これにより、SA は画面上で検出された最大電力スパイクを保持します。
- その後、プローブ アンテナはゆっくりと体系的に EUT 全体を通過し、コンポーネントやプラッターと接触することなく、それらの約 1~2 センチメートル上の位置を維持します。
- スパイクが見つかったら、スクリーンをクリアしてリセットし、放射の場所を確認できます。

放射源が見つかり、放射位置と周波数に基づいて発生源を特定できます。これは、パターンの長さ、または実装された金属部品のサイズを考慮することで実現できます。その大きさが放射の $1/4$ 波長に近づくと、アンテナとして効果的に機能し始めます。

この手法は、放射の検出に役立ちますが、すべての近傍界放射が遠方界放射につながるわけではないことを認識することが重要です。すべての近傍界放射が EMC の問題を引き起こすわけではありません。これは通常は、事後対応またはデバッグ作業での利用に適しています。このセクションでは、手動での測定方法について説明しましたが、ある程度のコストで利用可能な自動試験ソリューションがあります。

5.2.2 占有帯域幅テスト

最新のスペクトラム アナライザの多くは、オプションのソフトウェア パッケージとして、または購入の標準として、占有帯域幅テストが含まれています。これは、レーダーが FCC または ETSI 99% OBW テスト、またはピーク EIRP テストに適合しているかどうかを判定するのに役立ちます。これには、次の 2 つの方法があります。

- 較正付きでの測定
 - これは最も信頼性の高い測定方法ですが、システムの損失を測定して計算してから除去が必要になるため、時間とコストがかかります。
- 相対測定
 - EIRP の真の値が必要ない場合に使用します。これは、周波数成分とその相対電力が重要な場合です

どのスペクトル アナライザでもレーダーの帯域内トーンを測定できるとは限らないことに注意してください。このため、ダウン コンバータまたはレンジ拡張モジュールを使用することがよくあります。これは通常、適切に制御、較正されたダウン ミキサーで、帯域内信号をスペクトル アナライザが解釈できる周波数に変換します。レンジ拡張モジュールを使用する際の主な懸念事項は、スペクトルにスプリアスが混入する可能性があることです。このため、EUT を測定する前に、レンジ拡張モジュールを適切に特性評価することが重要です。

この測定を正しく実行するには、次の手順を実行します。

1. スペクトル アナライザを、最大ホールドおよびピーク検出モードに設定します
2. 解像度の帯域幅を 1MHz に設定します (これは ANSI 規格と同様です)。
3. スイープ時間を大きな値 (たとえば 600 秒) に設定します (これは、検出器で十分なチャープ電力を蓄積するためのものです)。
4. レーダーを構成し、チャープを行い、スペクトル アナライザに情報を集められるようにします

得られたデータを使用して、必要な構成が規制範囲内で発生しているか、電力がフラットになっているか、見かけ上の電力スパイクがないかを確認できます。相対測定を使用する場合は、電力レベルが測定値と異なることに注意することが重要です。

5.2.3 放射パターンの測定

カスタム アンテナを設計する場合や、レドームまたはレンズ システムの性能を評価する場合、放射パターンと視野角の測定は欠かせません。放射パターンの測定は、規制申請、特に JRL の場合にも役立ちます。このセクションでは、放射パターンを簡単に測定する方法を紹介します。

このような測定には、以下が必要です。

- 高周波無響室
- 自動 1 軸または 2 軸のジンバル
- コーナー リフレクタとマウント

無響室は広い部屋である必要はなく、冷蔵庫の梱包箱のサイズで十分です。自動ジンバルやチャンバーも高額なものは必要ありません。Millibox.org は、費用対効果の高いオプションを提供するベンダーの 1 つです。

アンテナの放射パターンの測定手順は次のとおりです。

1. コーナー リフレクタと EUT をチャンバーの反対側の端に配置します。
2. 実行するチャープ スweepを決定します。
 - a. 通常、500MHz または 1GHz で、中心周波数が対象周波数です。この試験は、異なるチャープ開始周波数で複数回繰り返すことができ、さまざまな周波数でのアンテナ性能をより詳細に把握できます。
3. レーダーを構成し、水平角または垂直角を目的のステップ サイズでスweepするようにジンバルを設定します。
 - a. ステップ サイズを細かくすると、試験時間が長くなりますが、より詳細な結果が得られます。
 - b. また、試験時間が長くなりますが、軸外の測定も可能です。
4. 角度のステップごとに、レーダー チャープを送信します。デバイスがサポートしている場合は、DCA1000 または SPI-ADC のキャプチャを使用して未加工の ADC データをキャプチャします。

試験の最後に、すべての ADC ファイルを収集して後処理を実行します。データはレーダー キューブとして形成されます。データの後処理は、MATLAB、Python、または別の計算システムで実行できます。レーダー キューブで反射板によって引き起こされた強いピークを探します。仮想アンテナごとに 1 つの結果があるはずです (有効な RX x 有効な TX)。ピーク電力レベルに関連する角度に対してプロットすると、仮想アンテナの放射パターンを見つけることができます。

送信アンテナと受信アンテナのペアのゲインがそれぞれ同じであれば、必要に応じて、これをアンテナ ゲインにさらに分解することができます。

ボアサイトを見つけるには、ピーク ゲインを見つけます。この場合のハーフ パワービーム幅は、ボアサイトの両側の角度範囲として定義され、その電力がピークから 6dB 低下します。これは、HPBW の従来の定義である -3 dB ポイントとは対照的です。これは、プロットが仮想アンテナ ペアを表し、HPBW に 1 つではなく 2 つのアンテナが示されているためです。

この他にも CW 放射パターンの測定手法はありますが、複雑なため、別のアプリケーションノートで説明する予定です。

5.3 MMWAVESTUDIO

mmWave Studio は、認証に必要なチャープのセットアップと構成を行うための、使いやすいプラットフォームを提供します。LUA スクリプトを使用すると、ある程度の自動化が可能になります。mmWave Studio の使用方法の詳細については、『DCA1000EVM データ キャプチャ カード ユーザー ガイド』を参照してください。

5.3.1 LUA スクリプトの実行

スクリプトを実行するには、「browse」をクリックし、LUA スクリプトが含まれているディレクトリに移動し、スクリプトを選択して「Run」を選択します。IWR6843 評価基板の認証に使用するサンプル LUA スクリプトは、認証パッケージに含まれています。

LUA スクリプトにアクセスするには、TIREX パッケージをダウンロードしてインストールする必要があります

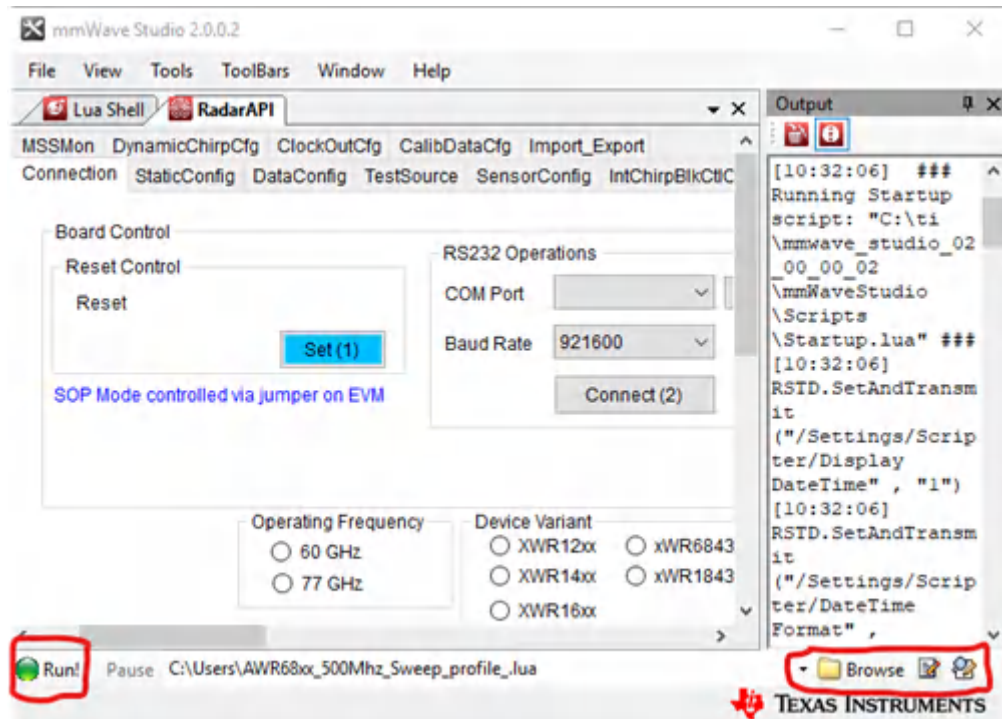


図 5-2. LUA スクリプトの実行

5.4 mmWave Visualizer

EMC と干渉の影響は、[mmWave Visualizer](#) でテストできます。既知の距離でコーナー リフレクタを使用して、EUT の正常動作と干渉後の動作を確認できます。すぐに使用できる SDK デモの詳細については、[TIREX のページ](#)を参照してください。mmWave Visualizer では、テストに必要なさまざまなチャープを送信するミリ波デバイスを構成することもできます。

5.5 IWR6843ISK-ODS テストケース

IWR6843 テストでは、チャープの生成と[セクション 3.1.1](#)に関連するテストに mmWave Studio を使用し、[セクション 3.1.5](#)に mmWave Visualizer と Out-of-Box デモを使用しました。

3 種類のチャープ構成でテストしました。LUA スクリプトは認定パッケージに含まれています。

表 5-1. チャープ構成

帯域幅	動作周波数範囲	ご確認:
300MHz	61 ~ 61.5GHz	ar1.ProfileConfig(0, 61.1, 2, 3.4, 18, 0, 0, 0, 0, 0, 16.693, 1, 128, 10000, 0, 131072, 30)
		ar1.ChirpConfig(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)
		ar1.FrameConfig(0, 0, 0, 128, 16, 0, 1)
1300MHz	57 ~ 64GHz	ar1.ProfileConfig(0, 60.25, 3.6, 3.5, 29.7, 0, 0, 0, 0, 0, 43.995, 1, 256, 10000, 0, 131072, 30)
		ar1.ChirpConfig(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)
		ar1.FrameConfig(0, 0, 0, 128, 16, 0, 1)
4000MHz	57 ~ 64GHz	ar1.ProfileConfig(0, 60.25, 7, 5.0, 69.5, 0, 0, 0, 0, 0, 53.265, 1, 256, 4000, 0, 131072, 30)
		ar1.ChirpConfig(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)
		ar1.FrameConfig(0, 0, 0, 128, 16, 0, 1)

表 5-1 に、構成パラメータの内訳を示します。このスクリプトで使用する Ar1 コマンドの詳細については、mmWave Studio の Lua シェルで `help ar1.command` (たとえば `help ar1.ProfileConfig`) と入力してください。サポートされている ar1 コマンドの完全なリストについては、Lua シェルで `help ar1` と入力してください。

- チャープ プロファイル構成を定義するプロファイル構成 API - ar1.ProfileConfig(UInt16 profileId, Single startFreqConst, Single idleTimeConst, Single adcStartTimeConst, Single rampEndTime, UInt32 tx0OutPowerBackoffCode, UInt32 tx1OutPowerBackoffCode, UInt32 tx2OutPowerBackoffCode, Single tx0PhaseShifter, Single tx1PhaseShifter, Single tx2PhaseShifter, Single freqSlopeConst, Single txStartTime, UInt16 numAdcSamples, UInt16 digOutSampleRate, UInt32 hpfCornerFreq1, UInt32 hpfCornerFreq2, Char rxGain)
- フレームの各チャームに使用されるプロファイルを定義するチャープ構成 API - ar1.ChirpConfig(UInt16 chirpStartIdx, UInt16 chirpEndIdx, UInt16 profileId, Single startFreqVar, Single freqSlopeVar, Single idleTimeVar, Single adcStartTimeVar, UInt16 tx0Enable, UInt16 tx1Enable, UInt16 tx2Enable)
- 順次送信するチャープのシーケンスを含むフレーム形式を定義するフレーム構成 API - ar1.FrameConfig(UInt16 chirpStartIdx, UInt16 chirpEndIdx, UInt16 frameCount, UInt16 loopCount, Single periodicity, Single triggerDelay, UInt16 TriggerSelect)

1300MHz のテストケースを見てみましょう。

- [表 4-1](#) のように、バースト内のオン時間はおおよそ rampEndTime 周期に相当し、rampEndTime と idleTimeConst の合計です。バースト間の周期は、フレーム構成に示される周期です。
- 遠方界境界は、[式 11](#) を使用して計算されました。アンテナの最大寸法を 13mm とすると、[表 5-2](#) に示すように遠方界が計算されます。すべての RF テストは、遠方界領域で実施されました。

表 5-2. 遠方界境界

中心周波数	L (m)	ラムダ (m)	遠方界 (m)
60.85	0.0130	0.0049	0.0690

- テスト結果、規格、および測定の詳細は、[セクション 3.1](#) と [TIREX](#) の認証パッケージで確認できます。

6 共通の問題と解決策

6.1 ピーク電力

問題に関する説明: ピーク電力が規制の制限を超えています。

ソリューション: TX パワー バックオフを実装します

ar1.ProfileConfig (0, 60.25, 7, 5.0, 69.5, TXBO, TXBO, TXBO, 0, 0, 0, 53.265, 1, 256, 4000, 0, 131072, 30)

パワー バックオフ、TXBO = 3、6、9、12... (サポートされている値については、[SDK のドキュメント](#)を参照)

詳細:

- IWR6843ISK TX 電力 = 10dBm/TX アンテナ
- TX ゲイン = 8dBi

同時に 3 つの TX を使用する場合:

$$\text{TX power} = 10\log(10^{10} + 10^{10} + 10^{10}) \quad (12)$$

$$\text{Total TX Power} = \text{TX power} + \text{TX gain} = 14.8 + 8 = 228\text{dB} \quad (13)$$

LUA スクリプトの代わりに **mmWave Visualizer** とそれに付属する構成ファイルを使用する場合、**ProfileCFG** パラメータで TX バックオフを設定することで、TX 電力のバックオフを指定します。8 ビット値のそれぞれが TX1、TX2、TX3 に対応しています。

たとえば、すべての TX チャンネルで 6dB のバックオフの場合、TX 電力制御ワードは 0x060606、つまり 394758 (この 10 進数値を使用) になります。対応する **profileCfg** コマンドを次に示します。

profileCfg 0 62.00 30 10 69.72 **394758** 0 28.42 1 128 2180 0 0 24

これは mmwaveink HTML ドキュメントで定義されています。

6.2 占有帯域幅

問題に関する説明: デバイスは、許可された ISM 占有帯域幅内で送信していません。

ソリューション: 必要に応じて信号帯域幅を更新します。

詳細:

ETSI EN 305 550V2.1.0 のドラフトによれば、占有帯域幅は周波数帯域の幅として定義されており、下限周波数より低い周波数帯域と上限周波数より高い周波数帯域では、放出される平均電力はそれぞれ所定の放射の総平均電力の 0.5% に等しくなります。これは、信号の -23dBc 帯域幅にほぼ相当します。

4GHz 帯域幅などより広い帯域幅では、(64GHz ~ 60GHz) からの大きな周波数ジャンプがあり、アンダーシュートが発生し、セトリング タイムに影響を及ぼし、-23dBc 帯域幅制限を超える可能性があります。

たとえば、帯域幅内での 1300MHz の使用事例では、[表 6-1](#) に示すようになります。これは、チャープ構成のスロープ パラメータまたはチャープ パラメータを変更することで、変更できます。

表 6-1. ProfileCFG

帯域幅	ProfileCFG
1300MHz	ar1.ProfileConfig(0, 60.25, 3.6, 3.5, 29.7, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 43.995, 1, 256, 10000, 0, 131072, 30)

$$\text{Bandwidth} = \text{Frequency slope (MHz/uS)} \times \text{Ramp end time(uS)} \quad (14)$$

$$= 43.983 / 29.70 \quad (15)$$

$$= 1306.3\text{MHz} \quad (16)$$

6.3 スプリアス放射

問題に関する説明: スプリアス放射の測定は、特定の周波数でのスパイクを示し、不適合につながります。

ソリューション: デバイス上に金属シールドを追加し、グランドに正しく接続されていることを確認します。

詳細: 組み込みシステムの設計は通常、異なる周波数で動作するさまざまなクロックとクロックソースで構成されています。レイアウトに応じて、これらのクロックは基本周波数のノイズまたは基本周波数の倍数のノイズ (放射) を発生させる可能性があります。デバイスとクロックソースの周囲のグランドに十分に接続されたシールドを追加すると、ファラデー ケージが形成され、電磁界が囲まれた状態に保たれます。

6.3.1 14.4GHz 高調波

問題に関する説明: AOP 以外の評価キットでは、スプリアス EMI が 14.4GHz の倍数で示されます。

ソリューション: 金属シールドまたは RF アブソーバを使用してください。

詳細:

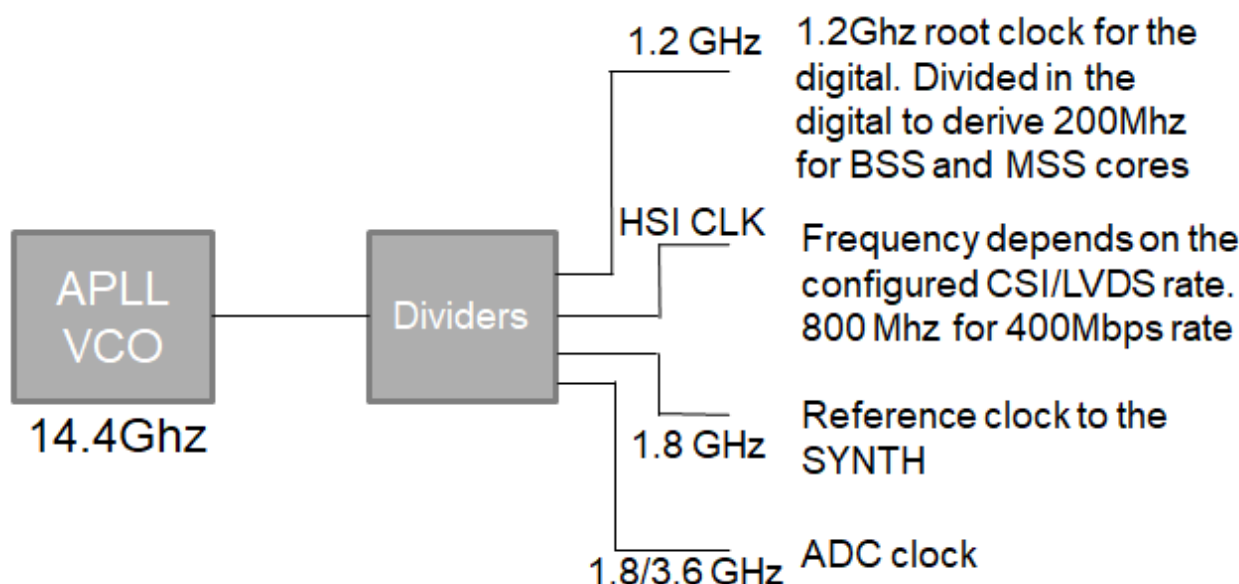


図 6-1. APLL VCO クロック

デバイス内のすべてのクロックは、14.4GHz APLL から派生します。図 6-1 に、レーダー デバイス内のルートクロック ツリーを示します。テストおよび認定の際、この周波数の 14.4GHz のピークおよび高調波は、図 6-2 に示すようにスプリアス放射として表示されます。14.4GHz の 2 次高調波 (28.8GHz) は、規制の制限値を超えて放射ノイズを発生させています。

6.3.2 推奨される解決策

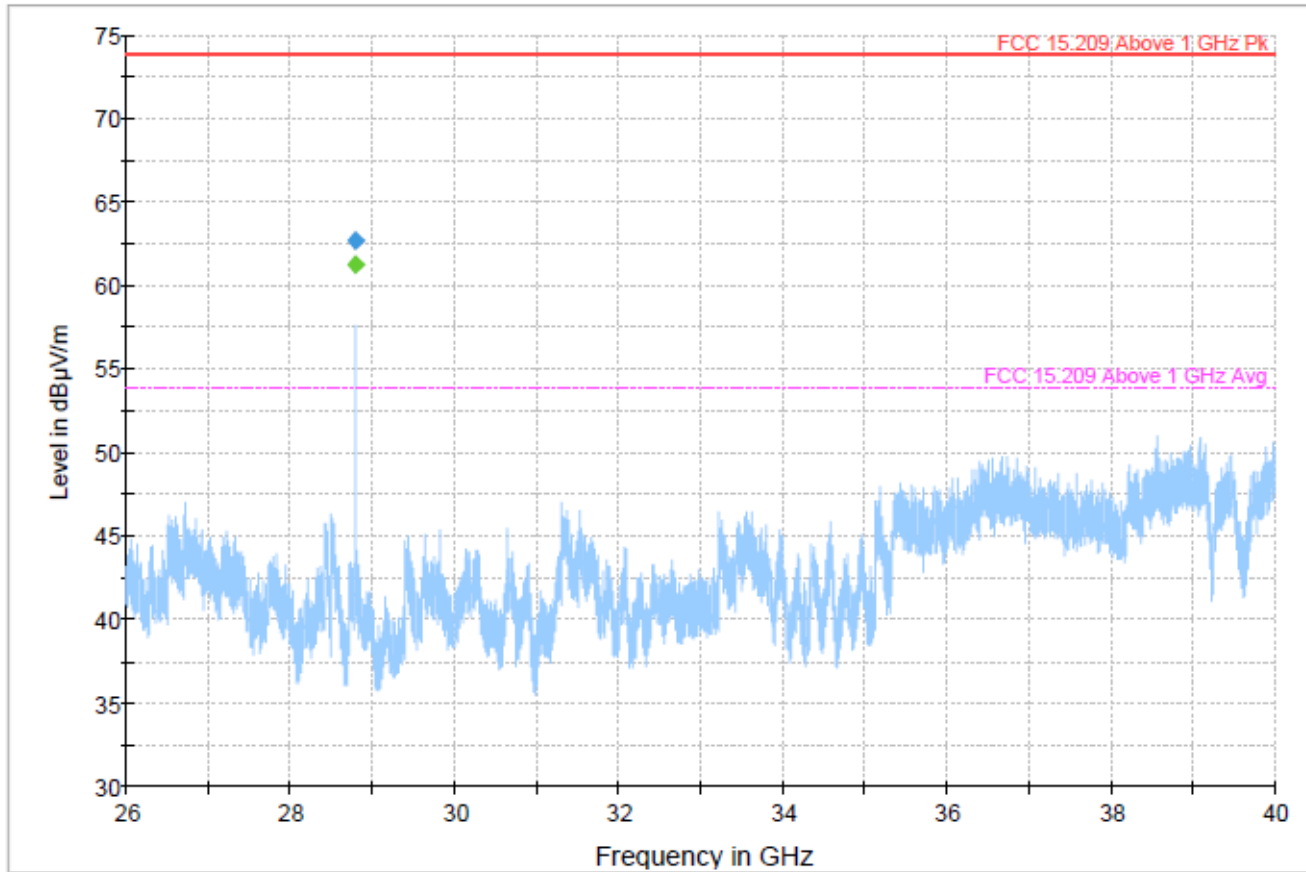
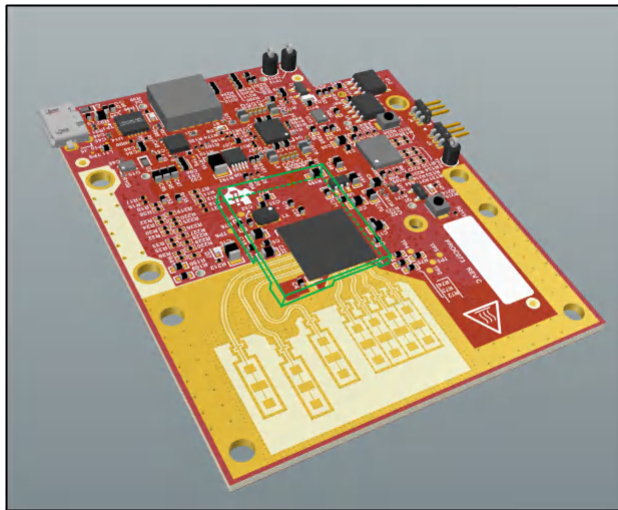


図 6-2. 28.8GHz のスプリアス EMI

6.3.2.1 ハードウェア測定

- シールドまたはアブソーバは、[図 6-3](#) と [図 6-4](#) に示すように配置する必要があります。
- 該当するミリ波デバイス、デカップリング コンデンサ、水晶振動子、周囲の PCB 領域は、シールドまたはアブソーバで覆う必要があります。
- シールドは、目的の部品を覆って適切にグラウンドに接続し、アブソーバは PCB および対象となる部品に適切に接着する必要があります。
- PCB のシールドは、RF 配線よりも 2mm 以上高く配置します。そうしないと、RF 伝送ラインがシールドと結合する恐れがあり、RF マッチングが妨げられる可能性があります。製造公差、磨耗や破損、シールド アセンブリなどを考慮して、基板から 2mm 以上の高さが常に維持されるようにする必要があります。
- RF アブソーバを使用する場合は、アンテナを覆ってはなりません。TX および RX パターンの領域で、アブソーバが IC のエッジを超えないように配置する必要があります。
- 放射の抑制に使用されるアブソーバとしては、Cuming Microwave (GDX/PPGA 0.03 インチ) などがあります。



すべての RF 配線は、シールド カバーから 2mm 以上離す必要があります。

図 6-3. シールドの配置

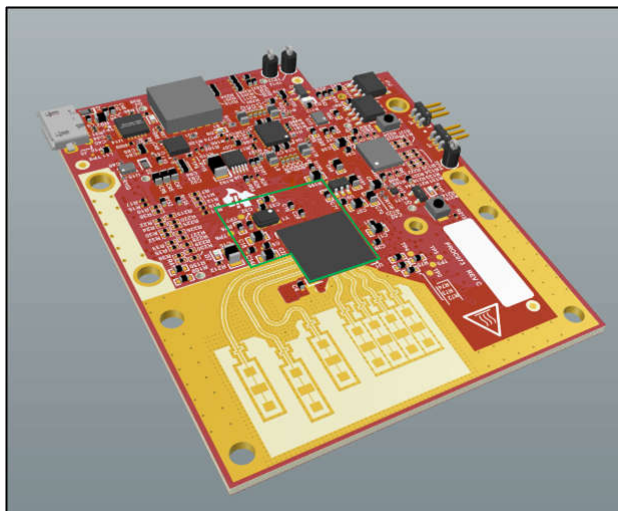


図 6-4. RF アブソーバの配置

6.3.2.2 ソフトウェア測定

6.3.2.2.1 APLL のデューティ サイクリング

14.4GHz および 28.8GHz のスプリアスを低減する 1 つの方法は、APLL のデューティ サイクリングの調整です。このためには、APLL をパワーダウン モードに設定します。これを実行するには、まず必要なシステム クロックを処理してから、APLL を無効にします。RFAFE と APLL のパワーダウンは、ユーザーのニーズに応じて GPADC をイネーブルまたはディセーブルにして完了できます。その後、AFE と APLL はチャープ前に再有効化されます。

APLL のデューティ サイクリングを使用することで、スプリアスを完全に除去することはできませんが、APLL の平均放射を大幅に低減できます。APLL のデューティ サイクリングは、RTRIM の変更のような積極的なオプションよりも先に検討すべきオプションです。これは、RTRIM を変更するとセンササイズが不安定になる可能性があり、絶対に必要な場合にのみ実行する必要があるためです。APLL デューティ サイクルの詳細については、『[TI のミリ波センサで電力最適化を実現するソフトウェア戦略](#)』アプリケーション ノートを参照してください。

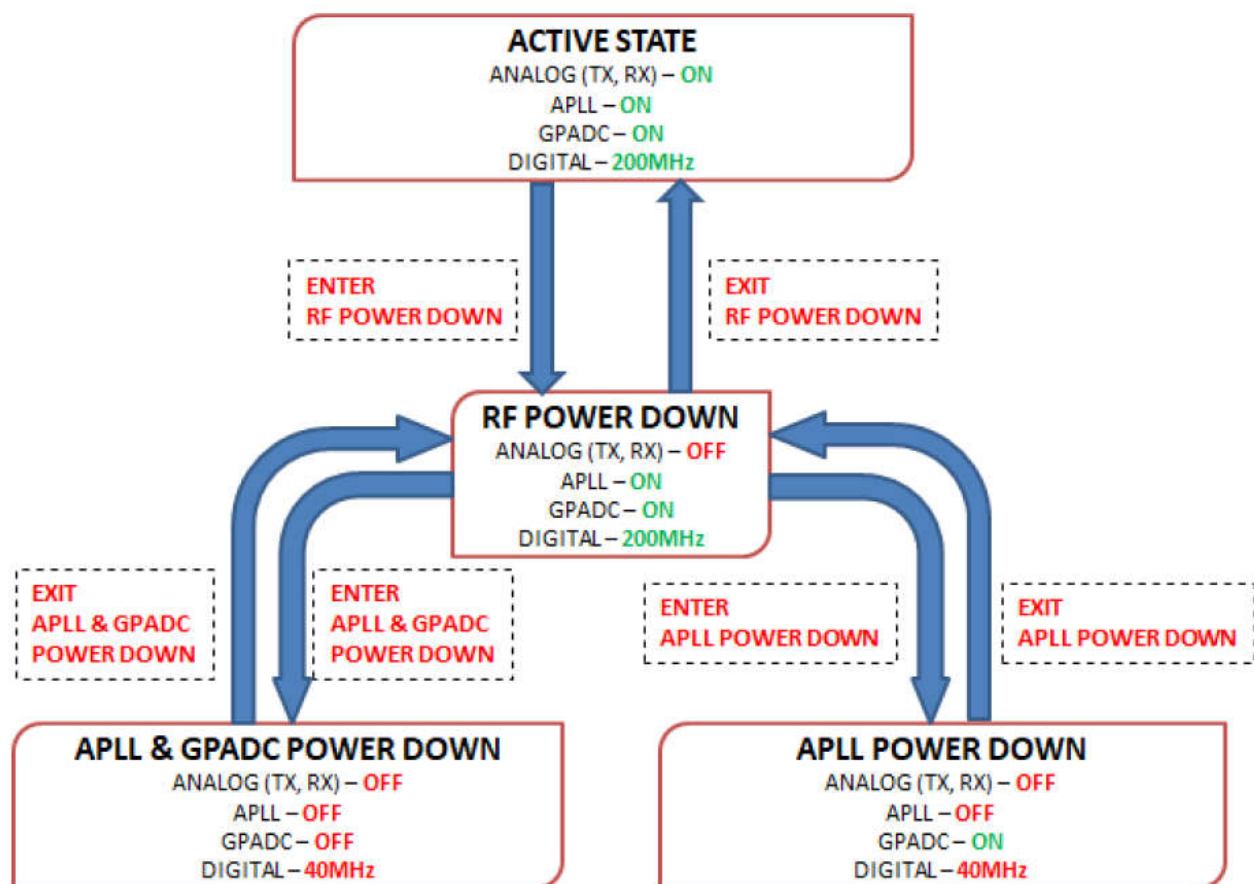


図 6-5. アナログドメインの電力状態

6.3.2.2.2 BSS ファームウェアでの APLL VCO RTRIM 設定

BSS ファームウェアでの APLL VCO RTRIM 設定:

- 該当するミリ波デバイスで APLL VCO の設定を変更することで、14.4GHz およびその高調波の放射を低減できます。適切な APLL VCO RTRIM 設定を行うと、14.4GHz および 28.8GHz でのスプリアス放射の振幅を小さくできます。
- APLL VCO RTRIM 設定と使用可能な値を変更するためにアプリケーション ソフトウェアを変更する方法の詳細については、mmWave Industrial Toolbox の以下のガイドを参照してください。

<MMWAVE_INDUSTRIAL_TOOLBOX_INSTALL_PATH>/certification/RTRIM Modification Guide

パスの例:「Industrial Toolbox」または mmWave Sensors で「Industrial Toolbox」に移動

6.4 オーバーシュート

問題に関する説明:テスト結果は、チャープの開始時のオーバーシュートまたはアンダーシュートを示しています。

ソリューション:TX 開始時間を長くします

```
ar1.ProfileConfig (0, 62.10, 2, 3.4, 18, 0, 0, 0, 0, 0, 16.693, 1, 128, 10000, 0, 131072, 30))
```

上で強調表示されているパラメータは、TX 開始時間が 1μsであることを示しています。

詳細:

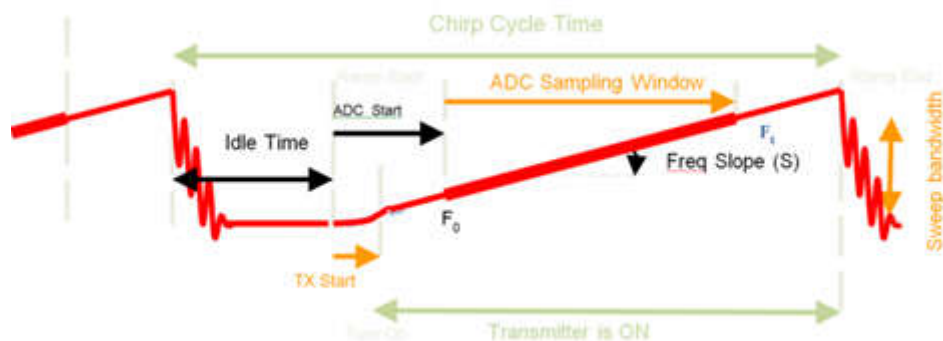


図 6-6. チャープ図

TX 開始時間は、周波数ランプの開始からトランスミッタがオンになるまでの経過時間を示します。図 6-6 でランプ スタートによってマークされたランプの開始時に、シンセサイザ、HPF アナログ フィルタ、デシメーション フィルタなどがオンになり、ある程度のセトリング タイムが必要になる場合があります。TX が過渡期間内にオンになった場合、送信された信号にオーバーシュートまたはアンダーシュートが発生する可能性があります。

6.5 周波数安定性

6.5.1 CW 信号の生成

問題に関する説明: 周波数の安定性測定で CW 信号を生成します。

ソリューション: CW 信号の送信に DCA1000EVM と MMWAVESTUDIO を使用します。

詳細: 認証パッケージに含まれている連続波 LUA スクリプト (AWR68xx_xxGHz_CW_profile.lua) を使用して CW 信号を生成できます。生成される周波数は、ar1.ContStrConfig API を使用して設定された周波数で、単一トーンです。

6.5.2 温度および電圧範囲全体にわたる周波数安定性

問題に関する説明: 周波数が温度および電圧範囲全体にわたって制限範囲内にありません。

ソリューション: 室温での約 0PPM の偏差を確認するため、クロック上のコンデンサを調整します。

詳細: FCC パート 15.255、周波数安定性あらゆる動作条件において、このセクションで規定されている周波数帯域内に、基本波放射を収める必要があります。機器は、 $-20^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で動作し、定格入力電圧の 85% ~ 115% の入力電圧変動があると想定されます (ただし、これとは異なる条件であることを実証する正当な理由が提示された場合は除きます)。

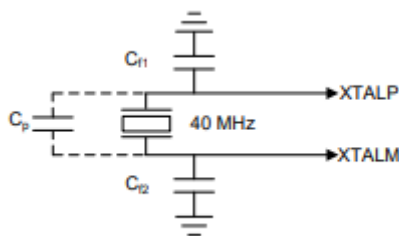


図 6-7. 40MHz 水晶振動子の容量

$$\text{LoadCapacitor } C_L = C_{f1} \times \frac{C_{f2}}{C_{f1} + C_{f2}} + C_p \quad (17)$$

ここで、

- C_p は寄生容量です
- C_{f1} と C_{f2} は並列接続のコンデンサです

IWR6843 には、CLKP ピンに 40MHz 水晶振動子または外部発振器が必要です。これは、初期ブートアップ時、および内部 APLL やその他のクロックのリファレンスとして使用されます。IWR6843ISK 評価基板の場合、図 6-7 に示すように水晶振動子が実装されています。コンデンサは、表 6-2 に示す要件を満たすように選択されています。

表 6-2. コンデンサの要件

名称	説明	最小値	標準値	最大値	単位
Fp	並列共振水晶振動子周波数		40		MHz
CL	水晶振動子の負荷容量	5	8	12	pF
温度範囲	想定される動作温度範囲	-40		105	°C
周波数の許容誤差	水晶振動子の周波数の許容誤差	-50		50	ppm

FCC の要件を満たすため、室温での発振器の周波数偏差が 0ppm になり、周波数偏差が電圧および温度の範囲全体にわたって周波数帯域内に収まるように、コンデンサを調整する必要があります。

6.6 EIRP スパイクおよびスペクトル アナライザ BW

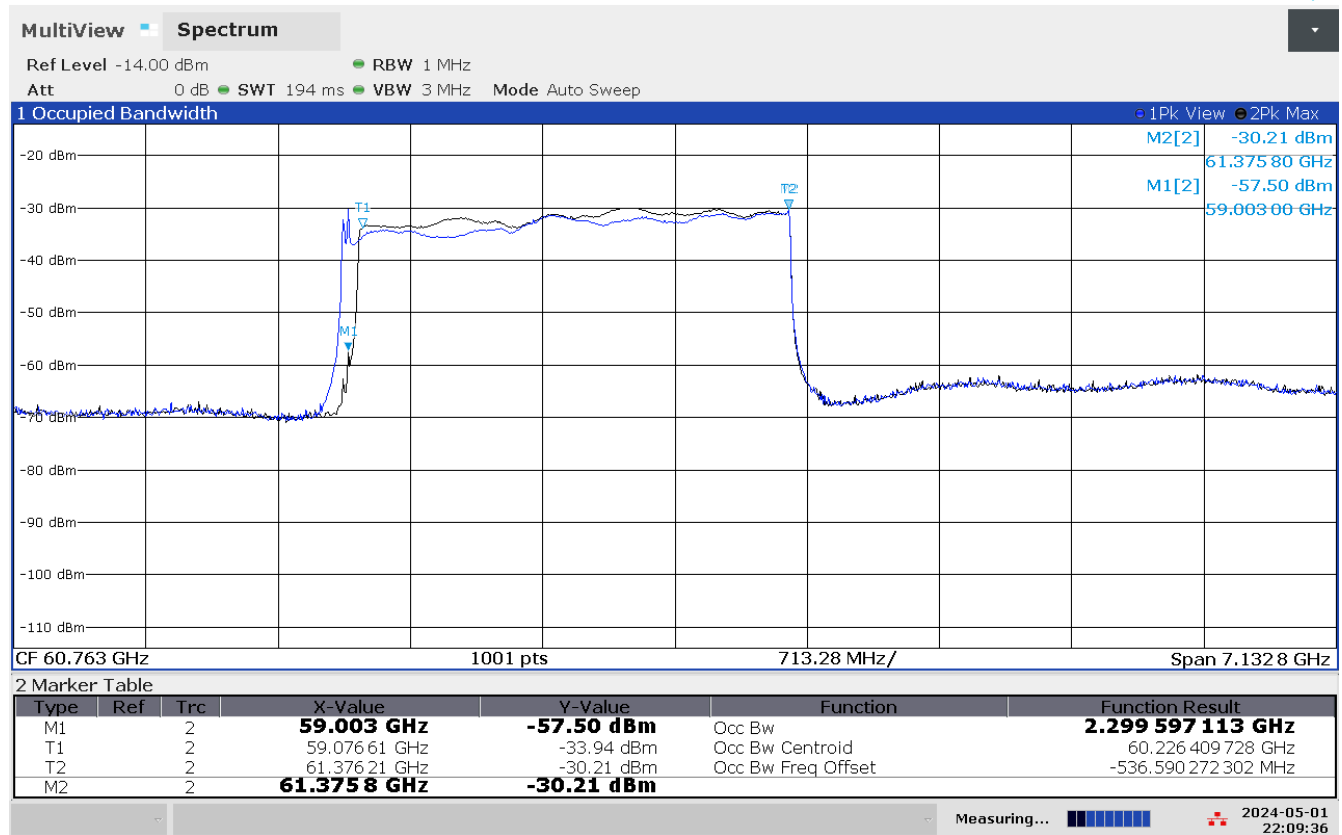
EN 305 550 または 47 CFR 15.255 でピーク電力測定を行うと、キャリアに EIRP スパイクが見られることがあります。これは、チャープの開始周波数と停止周波数でよく見られます。チャープ開始周波数スパイクは通常、2 つのうち最も高い電力です。実際には、これらの EIRP スパイクは本物ではなく、むしろ測定アーチファクトです。スパイクは、スペクトル アナライザのテスト BW で発生します。

ここで背景について説明しておきましょう。完璧な世界では、スペクトル アナライザの BW は対象となる信号の帯域幅よりもはるかに大きくなり、最初のパスでフル信号のサンプリングに十分なサンプリングレートが得られます。ただし、多くの信号 (マルチ GHz FMCW レーダー チャープなど) では、これは現実的ではなく、不可能です。さらに、すべての規制申請者に均一ではありません。ANSI では、試験で均一性を確認するため、スペクトル アナライザの BW を 1MHz に固定することを推奨しています。

これにより、測定性能に大きな変化が生じます。たとえば、問題の信号が検出器を非常に速く通過し、エネルギーが検出器に蓄積されるのに十分な時間がないとします。この現象は減感化として知られており、放射電力で過少測定の原因となります。この問題を克服するために、ANSI では検出された電力のこの減少を補償するために実行できる計算を提供しています。これは、しばしば減感補正因子と呼ばれています。

チャープの開始と終了時に、次のチャープの VCO とシンセサイザのリセットとして、オーバーシュート イベントやアンダーシュート イベントが発生する可能性があります。発生する総電力は実際には規制に違反しませんが、感度の低い検出器は非 FMCW のオーバーシュートおよびアンダーシュートから追加のエネルギーを収集することができます。この結果、キャリアに見かけのスパイクが生じ、テスト ハウスは補正係数を適用します。これは大幅にマージンを悪化させ、場合によっては規制の逸脱を引き起こす可能性があります。これは開始周波数と停止周波数で発生するため、FMCW 信号の一部ではないことを証明するのは困難です。したがって、見かけの EIRP スパイクが消えるまで TX 開始時間を長くすることを推奨します。この結果、BW はわずかに減少しますが、スパイクの電力が減り、スパイクがスプリアス領域に押し下げられます。マージンと適合性が大幅に改善されます。これは通常、TX 開始時間遅延の 1.5μs ~ 2μs ままで実現できます。

図 6-8 に、この例を示します。スコープは 1MHz RBW に設定されているため、検出器の感度が低下します。青い線は、FCC 不適合となる可能性のある EIRP スパイクを伴うチャープを示しています。黒い曲線は同じチャープ構成を示していますが、TX オン時間は 1μs です。EIRP スパイクは残っていますが、現在は OOB 領域にあります。



10:09:37 PM 05/01/2024

図 6-8. EIRP スパイクの例と解決策

7 参考資料

- [無線機器指令 \(RED\)](#)
- ISM 帯域および近距離無線機器の規制適合の概要、Matthew Loy、Raju Karingattil、Louis Williams
- [欧州議会および欧州理事会指令 2014/53/EU](#)
- [近距離無線機器 \(SRD\)、40 GHz ~ 246 GHz 周波数範囲で使用される無線機器。無線スペクトル アクセスに関する統一規格](#)
- [無線機器およびサービスの電磁両立性 \(EMC\) 規格。第 1 部: 共通技術要件、指令 2014/53/EU の第 3.1 条 \(b\) の必須要件、および指令 2014/30/EU の第 6 条の必須要件を対象とした統一規格](#)
- [近距離無線機器。車載および監視レーダー機器向けの測定技法](#)
- [1999/519/EC: 電磁界 \(0Hz ~ 300GHz\) への一般市民の被ばくの制限に関する 1999 年 7 月 12 日の理事会勧告](#)
- [無線機器およびサービスの電磁両立性 \(EMC\) 規格。第 1 部: 共通技術要件、指令 2014/53/EU の第 3.1 条 \(b\) の必須要件、および指令 2014/30/EU の第 6 条の必須要件を対象とした統一規格](#)
- [テキサス インスツルメンツ、TI レーダー デバイスにおけるチャープ パラメータのプログラミング アプリケーション レポート](#)
- [FCC Part 15](#)
- [FCC Part 95](#)
- [ARIB T-73 規格](#)
- [IFT 規制](#)
- [ANATEL 規制](#)
- 「Use of Low Power and Very Low Power Short Range Radio Frequency Devices (Exemption of Licensing) Rules, 2018」、(G.S.R.1047 (E)) The Gazette of India、Extraordinary、Part II、Section 3 (I) (2018 年 10 月 18 日付)

8 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision C (December 2021) to Revision D (August 2026)	Page
• 文書全体を更新。.....	3

Changes from Revision B (February 2021) to Revision C (December 2021)	Page
• 「推奨解像度」セクションを更新。.....	31

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黙示保証、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、明示的または黙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す。(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、TI は一切の責任を拒否します。

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 © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月