

2.4 GHz の無線用低コスト PCB アンテナ: STM32WB シリーズ向けのメアンダ設計

概要

このアプリケーション・ノートでは、STM32WB シリーズマイクロコントローラについて取り上げます。

PCB(プリント回路基板)アンテナを使用する主な理由の 1 つは、無線モジュールの総コストを削減できるためです。上手に設計および実装された PCB プリントアンテナには、SMD(表面実装デバイス)のセラミックと同等の性能が備わっています。

一般に、セラミック SMD アンテナのフットプリントは、PCB プリントされたものよりも小さくなっています。PCB プリントされたアンテナソリューションの場合、アンテナに必要なスペースに応じて PCB のサイズが増加することは、無線モジュールが大きくなり、PCB のコストが増加することを意味します。ただし、PCB ソリューションは一般に、SMD セラミックアンテナよりも安価です。

STM32WB シリーズのデモンストレーションおよび開発ボードは、このアプリケーション・ノートに基づいて PCB プリントアンテナを実装します。

1 一般情報

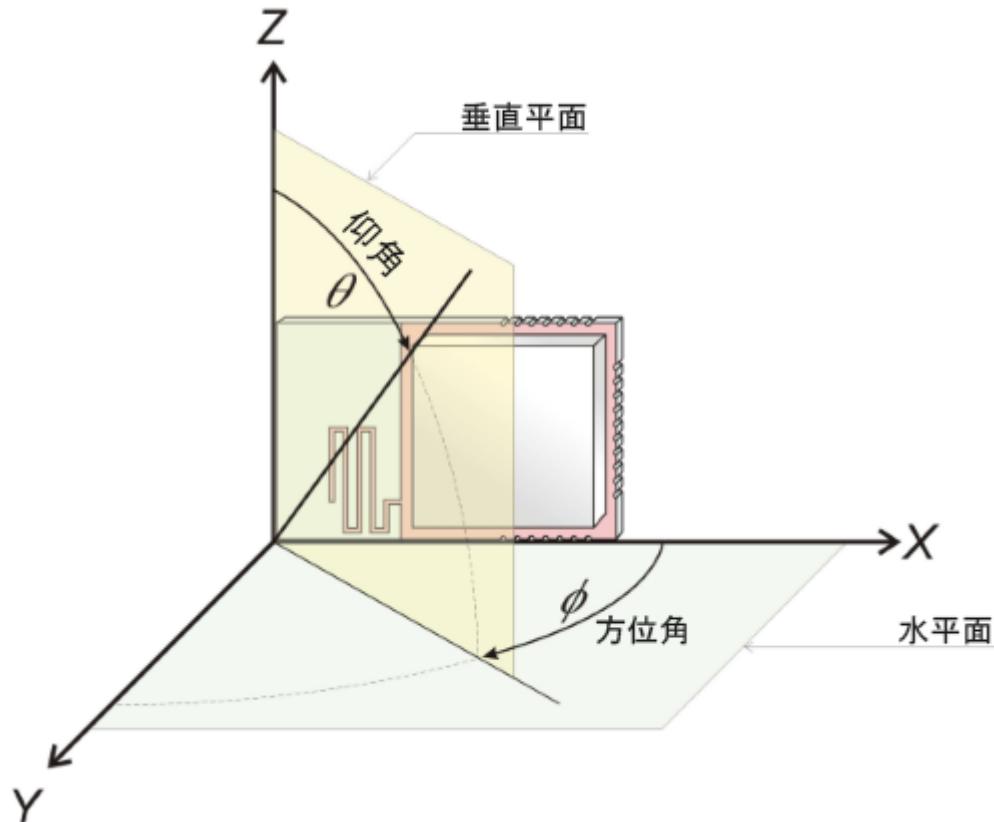
本書は、STM32WB シリーズの Arm® ベースのデバイスに適用されます。
注 Arm は、米国内およびその他の地域にある Arm Limited(またはその子会社)の登録商標です。



2 座標系

本書では、次の図に示す球座標系を使用します。

図 1. 球座標系



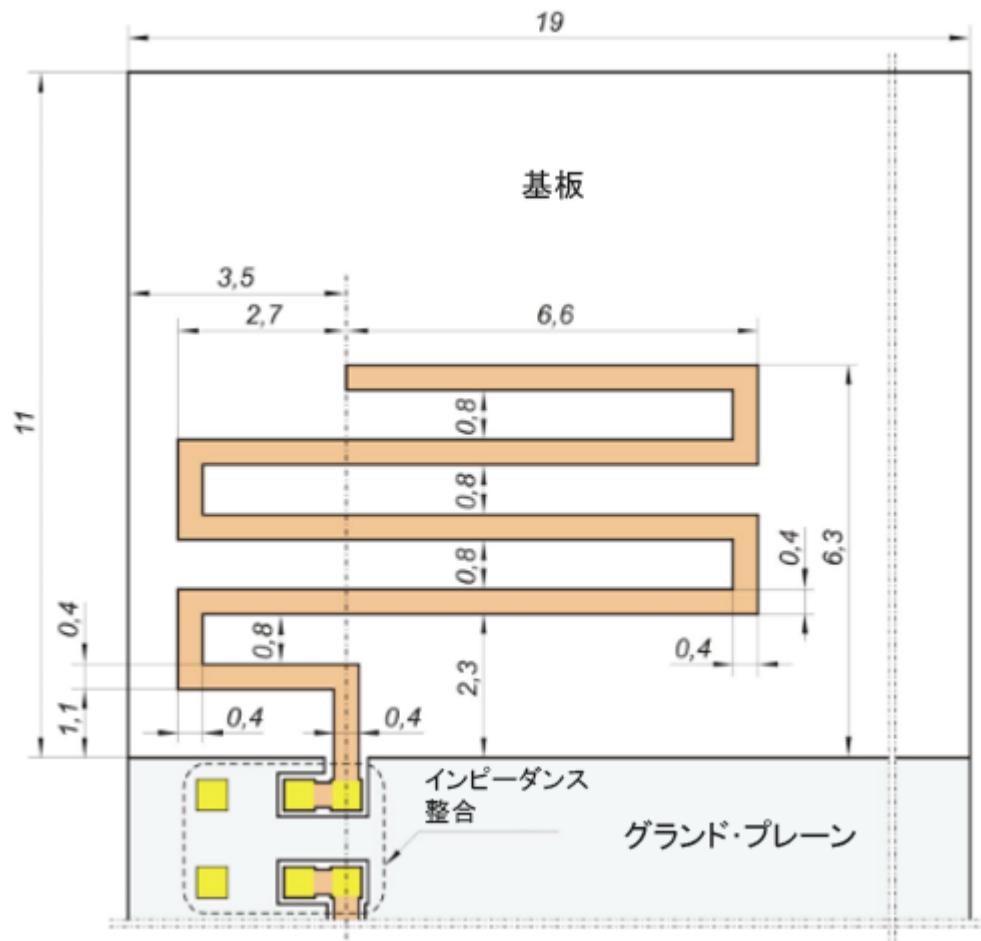
PCB モジュールは、垂直方向(平面 X-Z)に、座標系の原点の近くに配置されます。方位角は X 軸から Y 軸に向かって放射状に広がり、仰角は Z 軸から水平方向に X-Y 平面に向かって放射状に広がります。

地理システムやナビゲーションシステムのように、X 軸は「北軸」、Y 軸は「東軸」、Z 軸は「天頂軸」と呼ばれることがあります。

3 レイアウト仕様

使用される PCB 材料の電気パラメータを含め、PCB アンテナはレイアウトの影響を受けます。次の図に示すレイアウトにできるだけ近いレイアウトを使用することを推奨します。

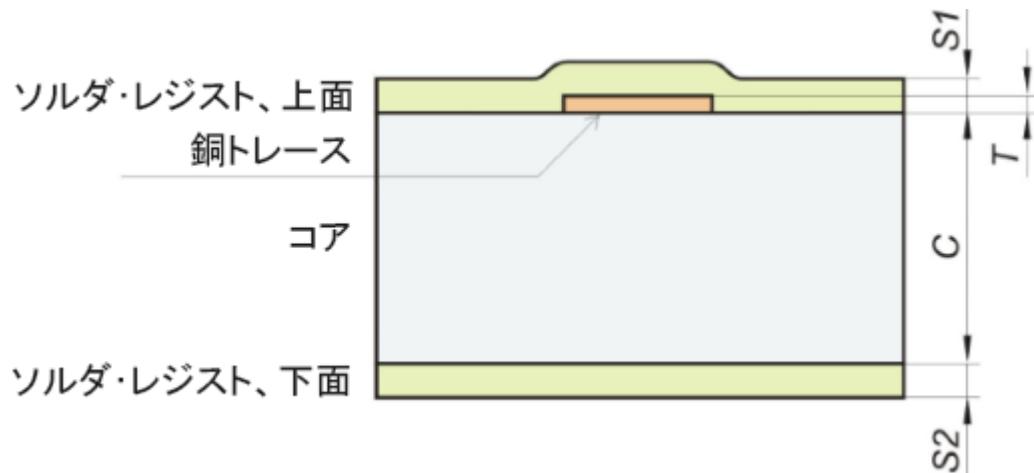
図 2. PCB アンテナの寸法(mm 単位)



PCB アンテナの電気パラメータと性能は、使用する基板、特にコアの厚さと誘電率によって決定されます。

次の図に、PCB アンテナ領域における基板の標準的な断面を示します。

図 3. アンテナ領域での PCB 断面



次の表に定義されているパラメータを使用した基板を推奨します。

表 1. 推奨基板仕様

レイヤ	寸法			誘電率 ϵ_R
	ラベル	値(mil)	値(μm)	
ソルダ・レジスト、上面	S_1	0.7	17.78	4.4
銅トレース	T	1.6	40.64	-
コア	C	28	711.2	4.4
ソルダ・レジスト、下面	S_2	0.7	17.78	4.4

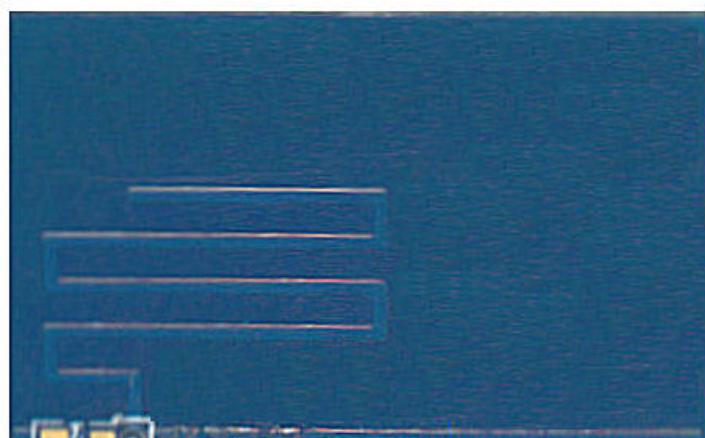
4

インピーダンス整合

メアンダ状の PCB アンテナは、インピーダンス回路を π トポロジと整合させることによって、必要な 50Ω インピーダンスに同調できます。[図 2](#) では、インピーダンス整合領域は点線で示されています。公称条件において、このアンテナは、必要な公称インピーダンス(50Ω)に非常に近いインピーダンスを示します。

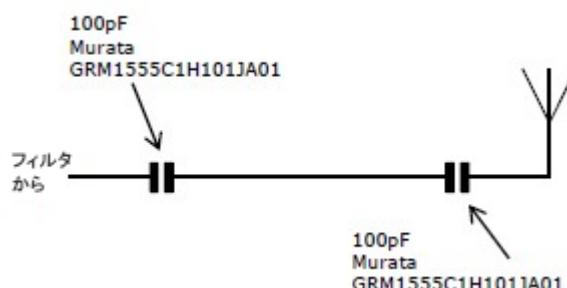
この設計の性能を検証するために、アンテナのサンプルが(本書に記載された仕様に従って)製造されています。次の図に、このアンテナを示します。

図 4. メアンダ状のアンテナを備えた 802.15.4 と BLE の PCB の一部(約 4:1 のスケール)



製造されたサンプルが期待される性能を発揮する場合(インピーダンス整合は不要)、次の図に示すように、インピーダンス整合回路は 2 つの 100 pF コンデンサを直列に接続することによってバイパスされます。

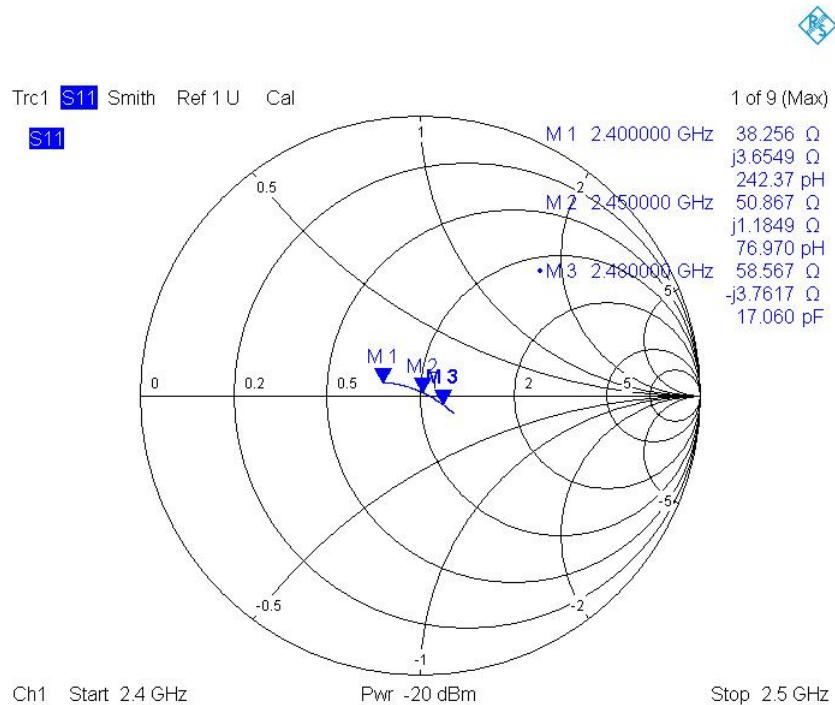
図 5. インピーダンス整合回路のバイパス - RF への直接接続



メアンダ状のアンテナのすべての電気パラメータは、バンドパスフィルタ(BPF)への接続部で、 $2.4 \text{ GHz} \sim 2.5 \text{ GHz}$ の周波数をカバーする周波数スパンで測定されています。

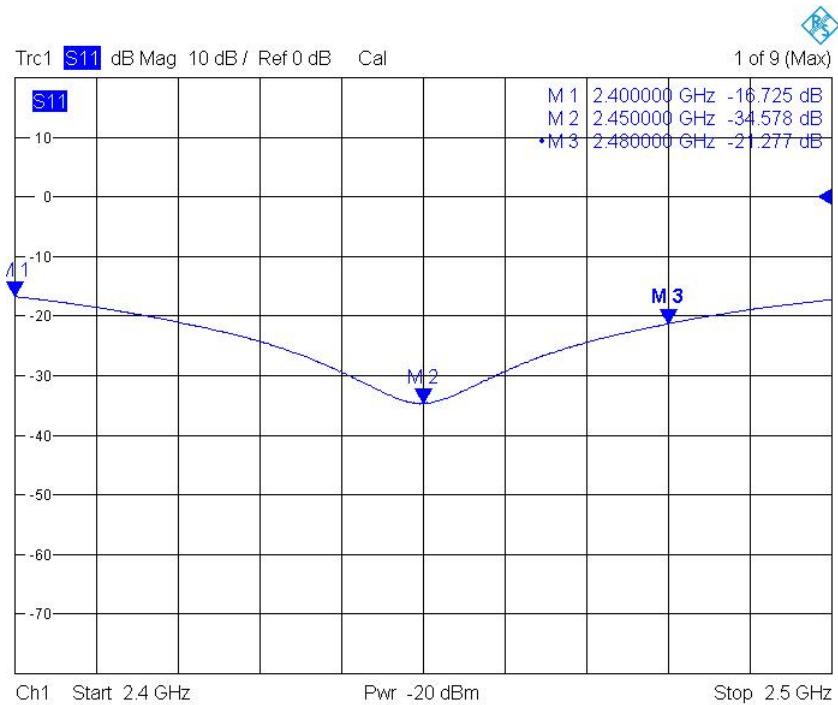
アンテナの複素インピーダンスを、次の図のスミス・チャートに示します。

図 6. メアンド状のアンテナの複素インピーダンス(スミス・チャート)



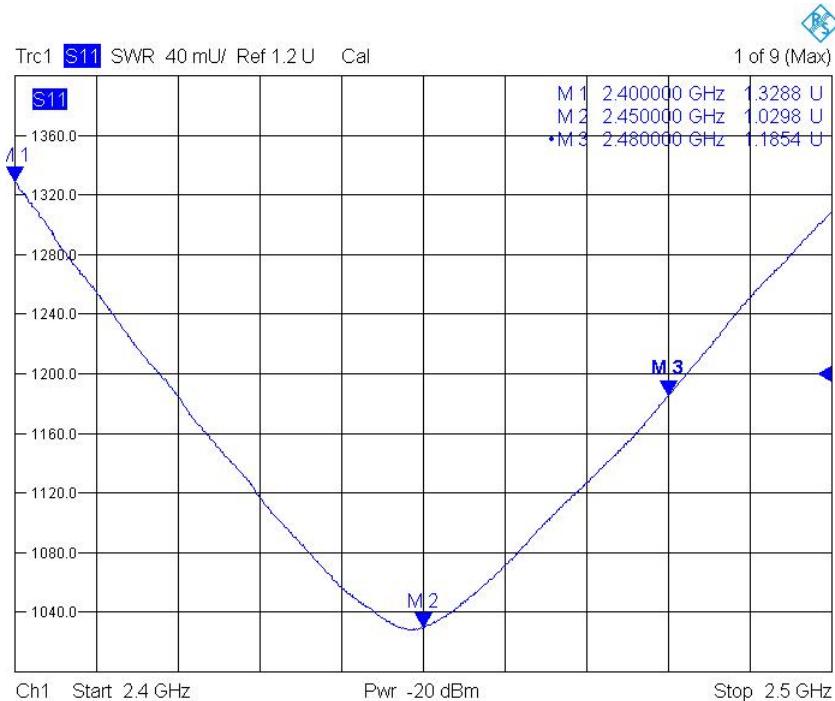
次の図は、S11 パラメータの大きさ(対数スケール)を示します。

図 7. 対数スケールでの S11 パラメータ(デカルトプロット)



次の図に、定在波比(SWR)を示します。

図 8. アンテナ定在波比(SWR)



以下の変更は、PCB アンテナの放射インピーダンスに影響します。

- ボードサイズのわずかな変動
- 金属シールド
- プラスチックカバーの使用
- アンテナの近くに他のコンポーネントが存在すること

最高性能のインピーダンス整合回路がこれらの影響を補正するため、動作周波数に対して 50Ω の最適インピーダンスを達成できます。

5 放射パターン、3 次元可視化

放射パターン(遠方電界の大きさ $|E|$)の3次元(3-D)可視化を、ISM帯域の中心周波数 2.44175 GHzについて行いました。

図 9. 3次元放射パターンの概要

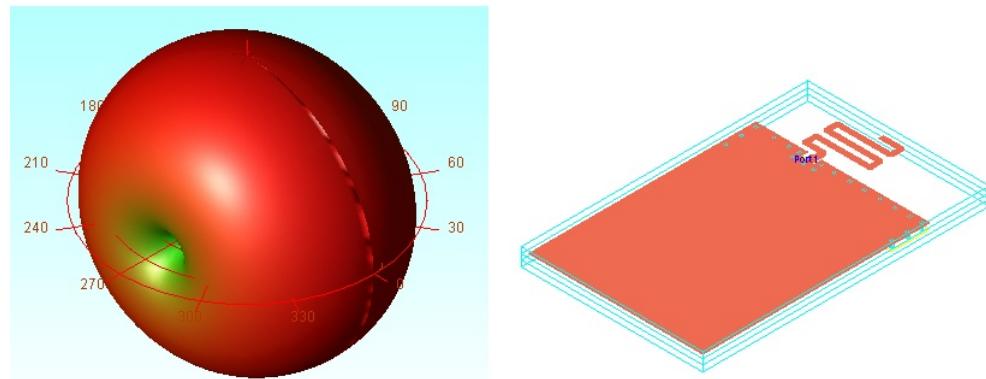
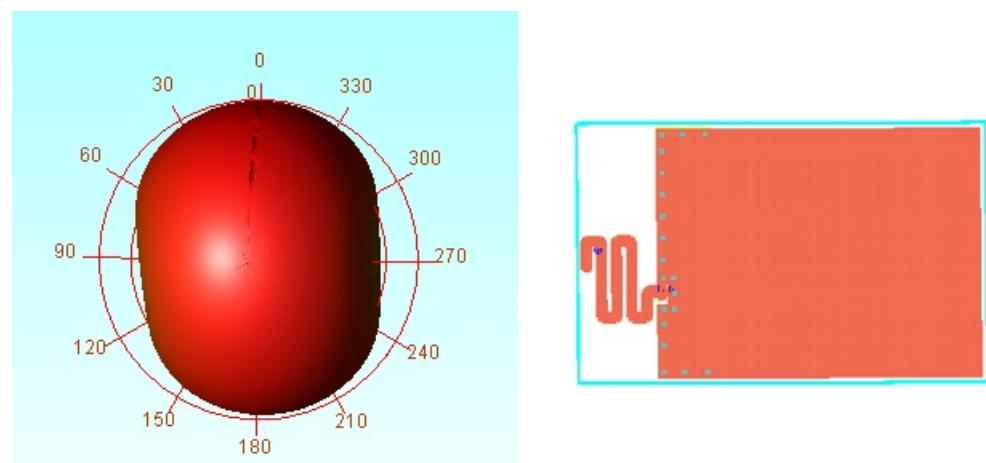


図 10. X-Z 平面上の放射パターン



6 放射パターン、2次元可視化

このセクションでは、すべての放射パターンは、遠方電界の大きさ $|E|$ に関連し、正規化されて、対数スケール(dB)で示されます。これは、最大グローバル放射パターン(遠方電界 E の最大の大きさ)が 0 dB レベルで表されることを意味します。

アンテナの放射パターンの詳細を示すために、3つの2次元(2-D)の主要断面図を示します。図 11 に示すように、球座標系でのモジュールの向きを考慮してください。

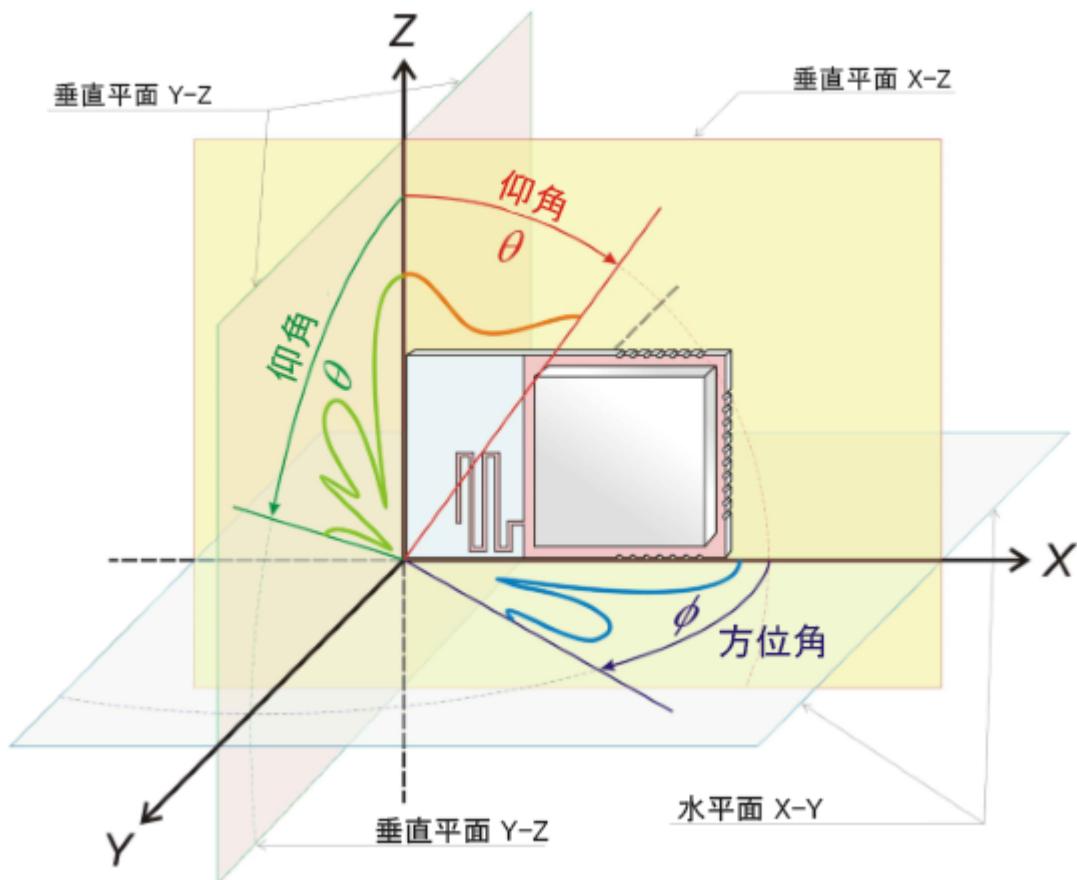
3次元(3-D)遠方界放射パターンは、3-D パターンにある 3 つの 2 次元(2-D)の断面図として可視化されます。これらの断面図には、次の主平面を使用します(図 11 を参照)。

- 1つの水平 X-Y 平面
- 2つの垂直面:X-Z 平面および Y-Z 平面

次の図のプロットの色は、以下のとおりです。

- 「青」のプロットは水平 X-Y 平面上に描画されます。このとき、方位角 ϕ は X 軸上の 0° から Y 軸に向かって、X 軸上の 360° に達するまで放射状に広がります。
- 「赤」のプロットは X-Z 平面上に描画されます。このとき、仰角 θ は Z 軸上の 0° から X 軸の正の部分に向かって、Z 軸の負の部分で 180° に達するまで放射状に広がります。このプロット(X-Z 平面の断面)では、仰角 θ は $X < 0$ の場合、負です。
- 「緑」のプロットは Y-Z 平面上に描画されます。このとき、仰角 θ は Z 軸上の 0° から Y 軸の正の部分に向かって、Z 軸の負の部分で 180° に達するまで放射状に広がります。このプロット(Y-Z 平面の断面)では、仰角 θ は $Y < 0$ の場合、負です。

図 11. 2-D プロットを使用して 3-D 放射パターンを可視化するための主平面

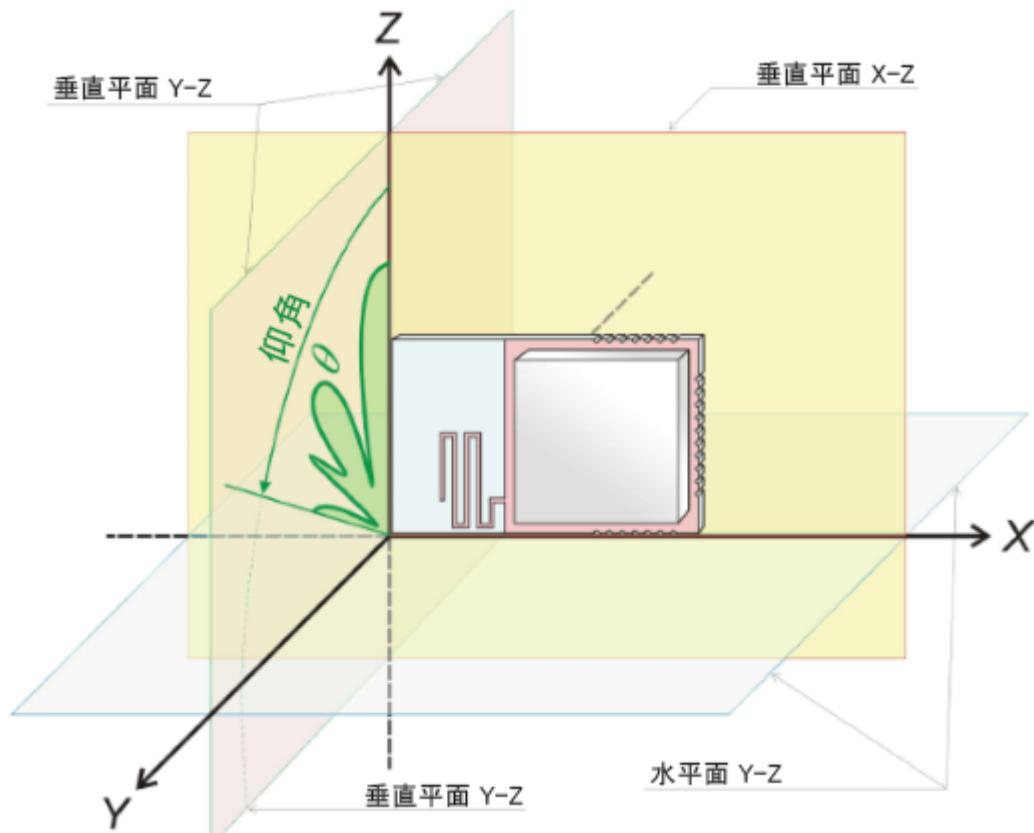


このセクションでは、比較と説明のみを目的として、ショートダイポールを使用しています。

6.1 Y-Z 平面上の放射パターン

図 13 と 図 14 の最初の放射パターンは、Y-Z 平面上の通常の電界放射パターン $|E|$ (遠方界)を表します。次の図に、Y-Z 平面に対するモジュールの方向と、このプロットを示します。

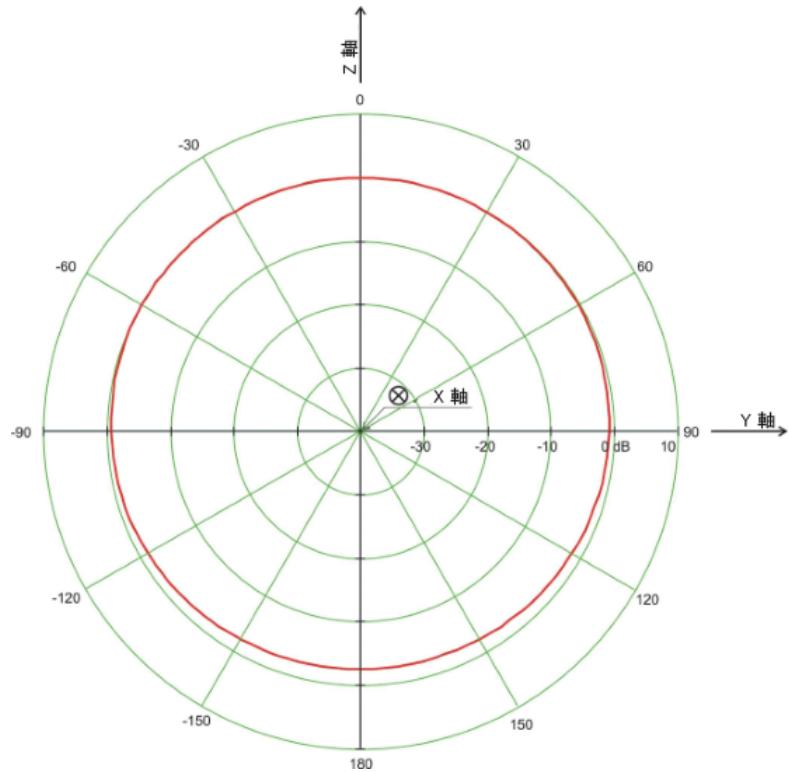
図 12. Y-Z 平面上にプロットされた遠方界放射パターン



注

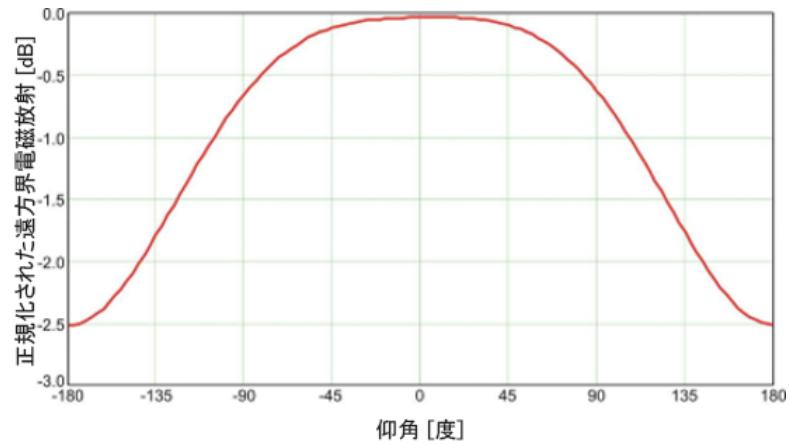
放射レベルはほぼ一定であり、放射はこの平面上でほぼ全方向性です。垂直方向のダイポールの場合、このパターンは水平方向の放射に相当します。

図 13. Y-Z 平面上の正規化された放射パターン(極座標プロット)



次の図は、前の図と同じ放射パターンをデカルトプロットで表したものです。

図 14. Y-Z 平面上の正規化された放射パターン(デカルトプロット)

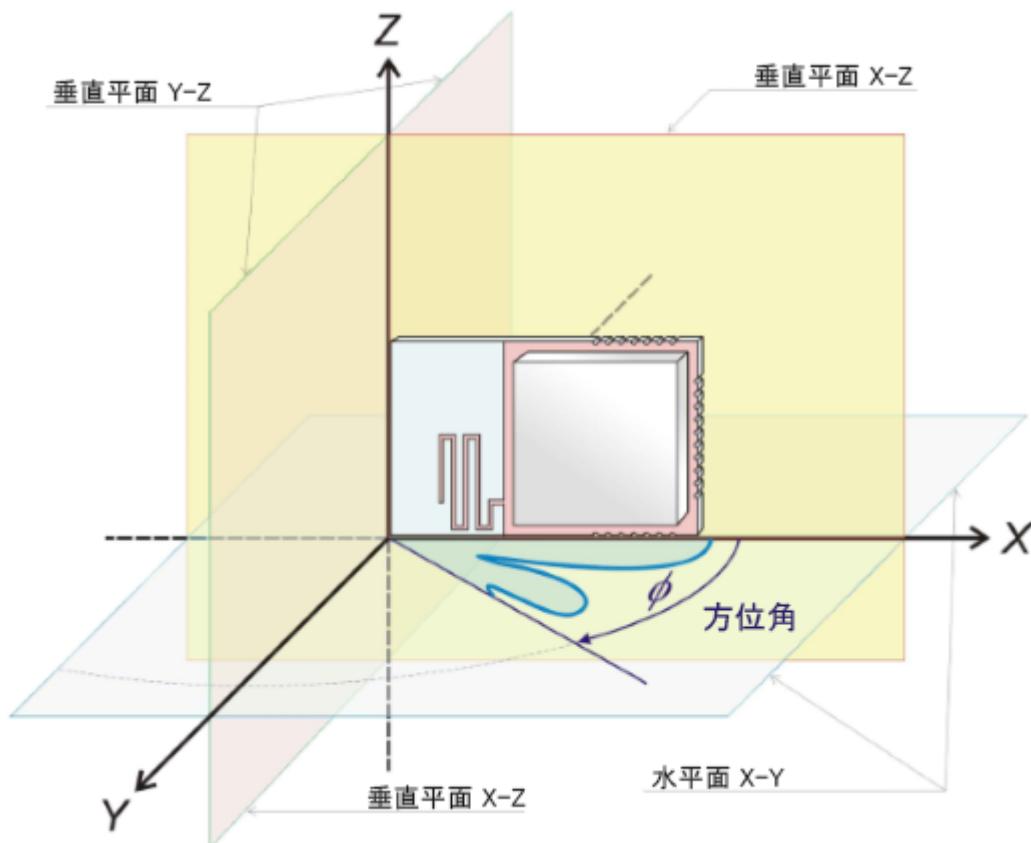


6.2

X-Y 平面上の放射パターン

図 16 と 図 17 の 2 番目の遠方界放射パターンは、X-Y 平面上の電界の正規化された大きさ $|E|$ を表します。次の図に、X-Y 平面に対するモジュールの方向と、このプロットを示します。

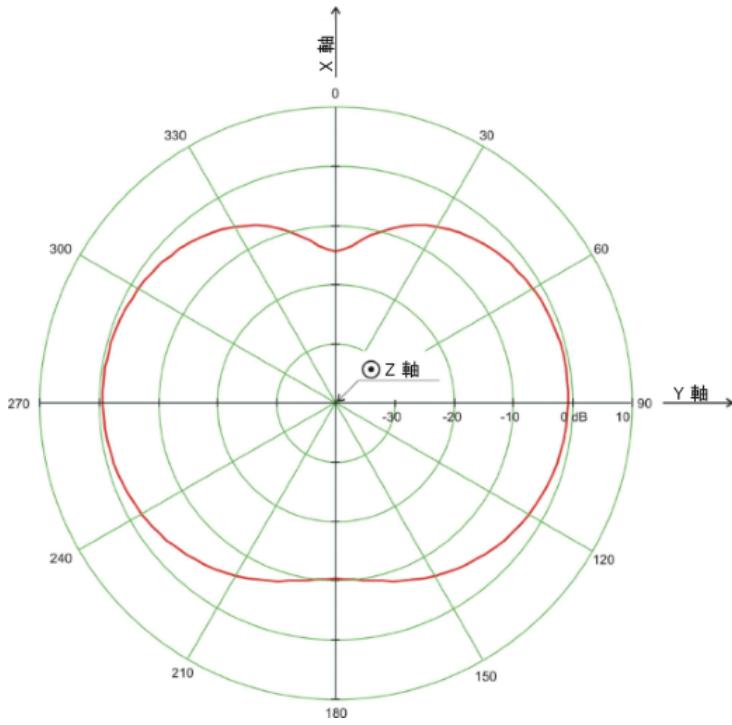
図 15. X-Y 平面上にプロットされた遠方界放射パターン



垂直方向のダイポールの場合、このパターンは垂直方向の放射に相当します。

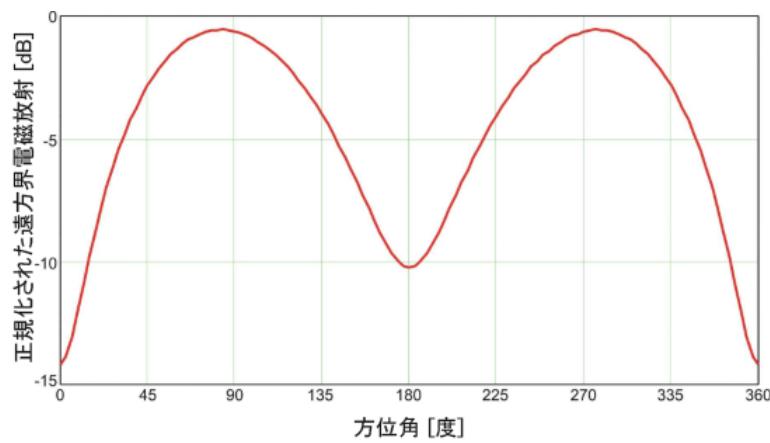
このソリューションでは、レシーバがダイポールアンテナの Z 軸内にある場合に、標準的なダイポールのように見えない方向を示さないことに注意してください。このソリューションでは、特定の XY 方向で、最大減衰の範囲は 10 ~ 14 dB の間です。

図 16. X-Y 平面上の正規化された放射パターン(極座標プロット)



次の図は、前の図と同じ X-Y 平面上の $|E|$ の遠方界放射パターンをデカルトプロットで表したものです。

図 17. X-Y 平面上の正規化された放射パターン(デカルトプロット)

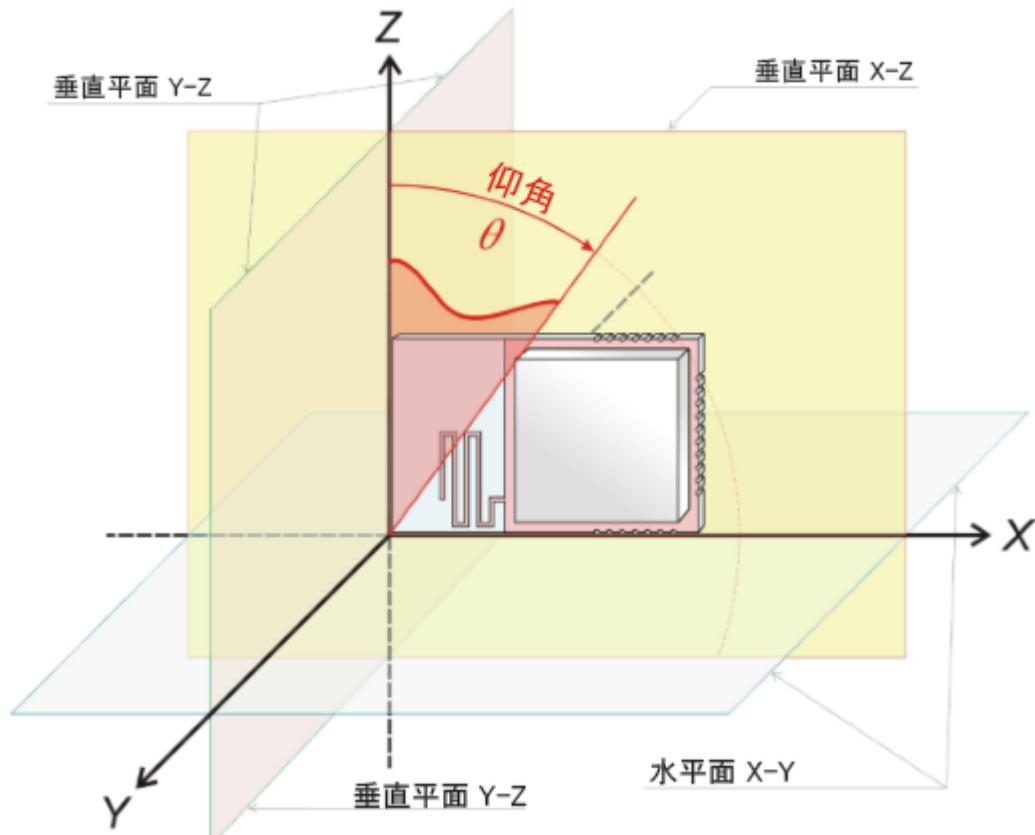


6.3

X-Z 平面上の放射パターン

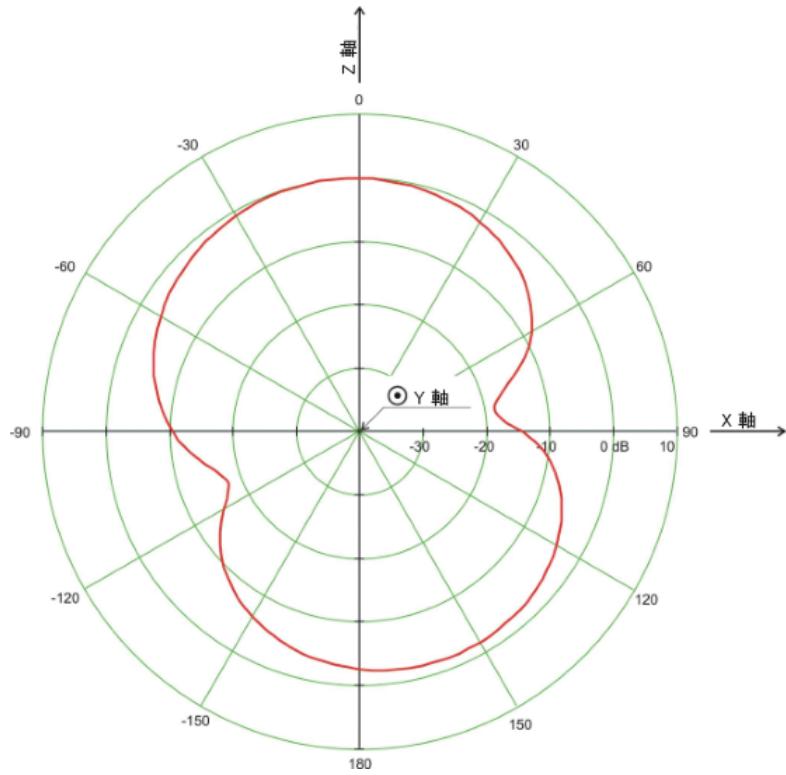
図 19 と 図 20 の 3 番目と最後の放射パターンは、X-Z 平面上の正規化された電界放射パターン $|E|$ (遠方界) を表します。次の図に、X-Z 平面に対するモジュールの方向と、このプロットを示します。

図 18. X-Z 平面上にプロットされた遠方界放射パターン



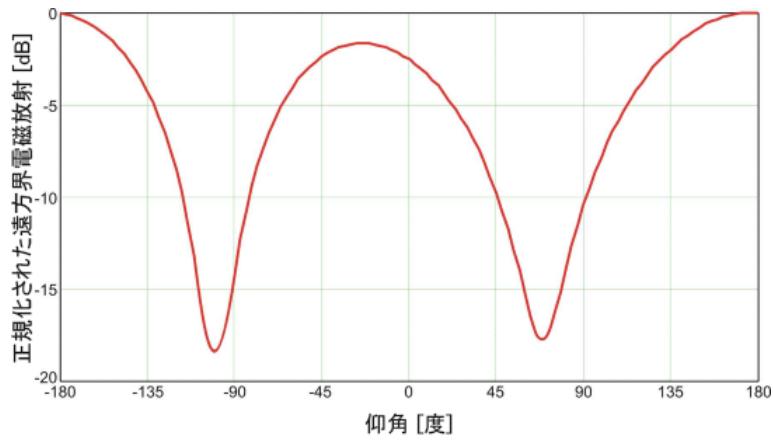
水平方向のダイポールの場合、このパターンは垂直方向の放射に相当します。

図 19. X-Z 平面上の正規化された放射パターン(極座標プロット)



次の図は、前の図と同じ X-Z 平面上の遠方電界放射パターンをデカルトプロットで表したものです。

図 20. X-Z 平面上の正規化された放射パターン(デカルトプロット)



7

性能

アンテナは、ISM 帯域の中心周波数 2.44175 GHz で、次の主要性能パラメータを示します。

- 指向性 2.21 dB
- ゲイン 1.95 dBi
- 最大強度 0.125 W/ステラジアン

8 機械的衝撃および PCB 影響

このようなアンテナの最終製品への統合は、グランド・プレーンが近すぎる場合に損なわれます。グランド・プレーンがないアンテナの周囲には、十分な空間を残す必要があります。

注 金属製の物体があると、アンテナの性能と放射パターンに影響します。同じように、デバイスが手動で操作される場合、ユーザの手や体の位置がアンテナの設計に影響することがあります。

改版履歴

表 2. 文書改版履歴

日付	版	変更内容
2018 年 1 月 17 日	1	初版発行
2018 年 9 月 14 日	2	文書の公開範囲を更新。
2019 年 2 月 25 日	3	文書の公開範囲を更新。
2019 年 4 月 23 日	4	図 2. PCB アンテナの寸法(mm 単位)を更新。

目次

1	一般情報	2
2	座標系	3
3	レイアウト仕様	4
4	インピーダンス整合	6
5	放射パターン、3次元可視化	9
6	放射パターン、2次元可視化	10
6.1	Y-Z平面上の放射パターン	11
6.2	X-Y平面上の放射パターン	13
6.3	X-Z平面上の放射パターン	15
7	性能	17
8	機械的衝撃およびPCB影響	18
	改版履歴	19
	図一覧	21

図一覧

図 1.	球座標系	3
図 2.	PCB アンテナの寸法(mm 単位)	4
図 3.	アンテナ領域での PCB 断面	5
図 4.	メアンダ状のアンテナを備えた 802.15.4 と BLE の PCB の一部(約 4:1 のスケール)	6
図 5.	インピーダンス整合回路のバイパス - RF への直接接続	6
図 6.	メアンダ状のアンテナの複素インピーダンス(スミス・チャート)	7
図 7.	対数スケールでの S11 パラメータ(デカルトプロット)	7
図 8.	アンテナ定在波比(SWR)	8
図 9.	3 次元放射パターンの概要	9
図 10.	X-Z 平面上の放射パターン	9
図 11.	2-D プロットを使用して 3-D 放射パターンを可視化するための主平面	10
図 12.	Y-Z 平面上にプロットされた遠方界放射パターン	11
図 13.	Y-Z 平面上の正規化された放射パターン(極座標プロット)	12
図 14.	Y-Z 平面上の正規化された放射パターン(デカルトプロット)	12
図 15.	X-Y 平面上にプロットされた遠方界放射パターン	13
図 16.	X-Y 平面上の正規化された放射パターン(極座標プロット)	14
図 17.	X-Y 平面上の正規化された放射パターン(デカルトプロット)	14
図 18.	X-Z 平面上にプロットされた遠方界放射パターン	15
図 19.	X-Z 平面上の正規化された放射パターン(極座標プロット)	16
図 20.	X-Z 平面上の正規化された放射パターン(デカルトプロット)	16

重要なお知らせ(よくお読み下さい)

STMicroelectronics NV およびその子会社(以下、ST)は、ST 製品及び本書の内容をいつでも予告なく変更、修正、改善、改定及び改良する権利を留保します。購入される方は、発注前に ST 製品に関する最新の関連情報を必ず入手してください。ST 製品は、注文請書発行時点で有効な ST の販売条件に従って販売されます。

ST 製品の選択並びに使用については購入される方が全ての責任を負うものとします。購入される方の製品上の操作や設計に関して ST は一切の責任を負いません。明示又は默示を問わず、ST は本書においていかなる知的財産権の実施権も許諾致しません。

本書で説明されている情報とは異なる条件で ST 製品が再販された場合、その製品について ST が与えたいかなる保証も無効となります。

ST および ST ロゴは STMicroelectronics の商標です。ST の登録商標については ST ウェブサイトをご覧ください。www.st.com/trademarks その他の製品またはサービスの名称は、それぞれの所有者に帰属します。

本書の情報は本書の以前のバージョンで提供された全ての情報に優先し、これに代わるものです。

© 2023 STMicroelectronics – All rights reserved