

AUTOMOTIVE UWB DEVICE TESTING OVER THE AIR

校正／検証ソリューション

製品：

- ▶ R&S®CMP200
- ▶ R&S®CMQ200 HS
- ▶ R&S®CMQ500
- ▶ R&S®WMT
- ▶ R&S®WinIQSIM2
- ▶ R&S®CM-Z300A

Yong Shi | 1SL394 | バージョン 0e | 04.2023

<http://www.rohde-schwarz.com/appnote/1SL394>

目次

概要.....	4
謝辞.....	5
1 UWB の基礎	6
1.1 規格.....	6
1.2 UWB の周波数とチャンネル.....	6
1.3 UWB 物理層の信号特性.....	7
1.3.1 UWB 波形.....	7
1.3.2 フレーム構造.....	8
1.3.3 同期ヘッダー (SHR)	8
1.3.4 物理層ヘッダー (PHR) と物理層サービスデータユニット (PSDU)	11
1.3.5 STS (Scrambled Timestamp Sequence)	11
1.4 走行時間 (ToF)	13
1.4.1 SS-TWR (Single-Sided Two-Way Ranging)	13
1.4.2 DS-TWR (Double-Sided Two-Way Ranging)	14
2 OTA の基本.....	15
2.1.1 遠方界.....	15
2.1.2 クワイエットゾーン (QZ)	16
2.1.3 ホワイトボックス法とブラックボックス法.....	17
3 UWB OTA テストソリューション	17
3.1 システムの概要と準備.....	17
3.1.1 ハードウェア要件.....	19
3.1.2 ソフトウェア要件.....	24
3.1.3 配線.....	33
3.1.4 IP 設定	36
3.1.5 CMQ200/CMQ500 内の DUT 配置.....	37

3.2	テスト手順.....	40
3.2.1	WMT テストプランエディターの操作	40
3.2.2	WMT テストランナーの操作	41
3.3	校正.....	45
3.3.1	OTA テストシステムの経路損失校正	45
3.3.2	デバイス校正ルーチン	46
3.4	検証.....	55
3.4.1	トランスミッター	56
3.4.2	レシーバー感度.....	63
3.4.3	ToF 測距 (SS-TWR)	65
4	参考文献.....	68
5	付録.....	70
A	Mini-Circuits パワースプリッター／コンバイナーZFRSC-183+データシート	70
B	WMT テストプランエディターでのパラメータ	70
B.1	共通設定.....	70
B.2	トランスミッターテストの設定.....	71
B.3	レシーバーテストの設定.....	73
B.4	ToF の設定	75
C	テストプラン構成ファイル (testconfig.ini)	76
D	ToF テストのパワーレベル設定	78
E	波形ファイルの取り扱い.....	81
F	レシーバー感度探索.....	82

概要

UWB（ウルトラワイドバンド）テクノロジーは、免許不要の周波数帯で動作するデバイス間通信用の近距離広帯域無線テクノロジーです。モバイルデバイス間の正確でセキュアなピアツーピア測距を可能にする最適な RF 位置決めテクノロジーであり、きわめて小さい消費エネルギーで高い耐干渉性を発揮し、他の無線通信システムとの共存も容易です。UWB は、資産トラッキング、セキュア決済、パーソナルトラッカー、リアルタイム位置情報サービス、車両へのキーレスアクセス／始動など、さまざまなアプリケーションに使用されます。米国調査会社 ABI Research（ABI リサーチ）の予測によると、2026 年までに、UWB デバイスの年間出荷台数は 10 億を大幅に上回る見込みです。2026 年に出荷されるほぼすべてのスマートフォンで UWB サービスがサポートされるようになります [1]。

UWB デバイスのテスト面について言えば、一般に他の無線製品と同様に、2 つのテスト方法を採用できます。1 つは、電子計測器と被試験デバイス（DUT）の間を有線で RF 接続する従来のテストモード（いわゆる伝導テスト）で、もう 1 つは OTA 電波暗室での無線（OTA）テストモードです。コスト、スペース、複雑さ、製品の RF コネクタへのダイレクトアクセスなどの制限要因により、伝導モードでテストできるとは限らない場合もあれば、伝導モードでのテストが必ずしも必要ではない場合もあります。この場合は、OTA テストは避けられない方法になってきます。さらに、OTA テストは実条件での DUT の使用を反映していません。

このアプリケーションノートでは、無線製造テスト（WMT）環境におけるトランスミッター（Tx）、レシーバー（Rx）、Time of Flight（ToF）テストに対応する R&S® OTA テストソリューションについて説明します。本書に記載されている測定結果は、NXP の Trimension™ NCJ29D5 UWB 車載用 IC に基づいています。

伝導モードでの UWB デバイスのテストについては [2] に記述されており、R&S®のその他の自動車用アクセス制御テストソリューションについては、この [リンク](#)先に記載されています。

このアプリケーションノートの残りの部分は、以下のような構成になっています。

第 1 章では、UWB の基礎について説明します。

第 2 章では、OTA の基本について簡単に紹介します。

第 3 章では、UWB OTA テストソリューションについて詳しく説明します。内容としては、テストソリューションのハードウェア／ソフトウェア要件、Tx、Rx、ToF テストに関する知識などがあります。

付録では、紹介したテストソリューションに関連する有用な情報を、参考のために紹介します。

このアプリケーションノートでは、R&S®製品に関して以下の略称を使用します。

R&S®CMP200 無線機テスタは、CMP200 と記します。

R&S®CMQ200 高シールド（HS）シールドボックスは、CMQ200 と記します。

R&S®CMQ500 シールドボックスは、CMQ500 と記します。

R&S®CM-Z300A UWB 走行時間 (ToF) 測定用アクセサリキット (CMP200 用) は、ToF キットと記します。

R&S®SP6T RF 接続キットは、RF スイッチと記します。

R&S®WinIQSIM2 信号発生ソフトウェアは、WinIQSIM と記します。

このアプリケーションノートの読者は、UWB 物理層に関する基本的知識があることを前提とします。前提知識が十分でない場合は、UWB ホワイトペーパー [3]で、基礎知識、テスト、認証または UWB IEEE 802.15.4 [4]/IEEE 802.15.4z 規格 [5]に関する詳細をご覧ください。

謝辞

R&S®は、このアプリケーションノートに対する貴重な技術的貢献に関して、NXP®カスタマーアプリケーションサポートに心より感謝いたします。

1 UWB の基礎

この章では、UWB テクノロジーの基礎について説明します。

1.1 規格

高レートパルス繰り返し (HRP) UWB 物理層は、IEEE 802.15 ファミリーのタスクワーキンググループの 1 つである IEEE802.15.4 で標準化されています。この規格では、HRP UWB の物理層プロトコルデータユニット (PPDU)、変調、RF 要件 (動作周波数バンド、チャンネル割り当て、ベースバンドインパルス応答、送信パワースペクトラム密度 PSD マスクなど) が定義されています。

IEEE802.15.4z 規格は IEEE802.15.4 の修正版であり、HRP UWB 物理層に基づく強化された測距デバイス (ERDEV)、通称 HRP-ERDEV の仕様が記されています。HRP-ERDEV は 2 つのモードで動作します。1 つはパルス繰り返し周波数 (PRF) が公称 64 MHz のベースパルス繰り返し周波数モード、もう 1 つは PRF が 124.8 MHz または 249.6 MHz のハイパルス繰り返し周波数 (HPRF) モードです。

自動車業界では、グローバルな業界団体の Car Connectivity Consortium® (CCC) が 2011 年に設立されました。この団体は、小型自動車やモバイルデバイスで一貫して優れたユーザー体験を提供するためのインタフェースの標準化を目指しています。CCC デジタルキー規格によって、スマートフォンを自動車キーとして広く採用することが可能になりました。最新のデジタルキーリリース 3.0 では、IEEE 802.15.4z 規格に基づく UWB セキュア測距テクノロジーと、標準の Bluetooth®Low Energy 接続 [6] の組み合わせにより、ハンズフリーの位置認識型キーレスアクセスと、位置認識機能が追加されています。

2019 年に設立された FiRa® Consortium は、コンプライアンスおよび認証プログラムを通じて複数のデバイス間の相互運用性を確保することで、UWB エコシステムの拡大を目指す組織です。

このアプリケーションノートでは、IEEE 802.15.4 および IEEE 802.15.4z 規格を、それぞれ 802.15.4 および 802.15.4z と記します。

1.2 UWB の周波数とチャンネル

802.15.4 [4] に基づく UWB のチャンネル割り当てを表 1-1 に示します。

HRP UWB 物理層は、3 つのバンドグループ内の 16 のチャンネルで動作します。バンドグループには、サブギガヘルツ (subGHz)、ローバンド、ハイバンドがあり、それぞれバンドグループ 0、1、2 と呼ばれます。

バンドグループ	周波数レンジ	チャンネル番号	中心周波数 (MHz)	帯域幅 (MHz)	必須 (M) / オプション (O)
0 (subGHz)	249.6 MHz~749.6 MHz	0	499.2	499.2	M
1 (ローバンド)	3.1~4.8 GHz	1	3494.4	499.2	O
		2	3993.6	499.2	O
		3	4492.8	499.2	M
		4	3993.6	1331.2	O
2 (ハイバンド)	6.0~10.6 GHz	5	6489.6	499.2	O
		6	6988.8	499.2	O
		7	6489.6	1081.6	O
		8	7488	499.2	O
		9	7987.2	499.2	M
		10	8486.4	499.2	O
		11	7987.2	1331.2	O
		12	8985.6	499.2	O
		13	9484.8	499.2	O
		14	9984	499.2	O
		15	9484.8	1354.97	O

表 1-1 : HRP UWB 物理層のチャンネル割り当て

チャンネル 4、7、11、15 を除き、各チャンネルの帯域幅は 500 MHz です。チャンネル 0、3、9 のサポートは、関連するバンドでの UWB 実装に必須です。現在市販されている UWB 製品のほとんどは、チャンネル 5~9 のハイバンドグループ専用です。

例えば、NXP Trimention™ NCJ29D5 デバイスは、6 GHz~8.5 GHz のハイバンドで動作します。

1.3 UWB 物理層の信号特性

1.3.1 UWB 波形

ロールオフ係数 $\beta = 0.5$ のルートナイキスト (RRC) パルスシェーピングを、基準パルスとして適用することが必須です (式 1-1 を参照)。そのインパルス応答 $r(t)$ は次のとおりです。

$$r(t) = \frac{4\beta}{\pi\sqrt{T_p}} \frac{\cos[(1+\beta)\pi t/T_p] + \frac{\sin[(1-\beta)\pi t/T_p]}{4\beta t/T_p}}{1 - (4\beta t/T_p)^2}$$

式 1-1 : UWB のインパルス応答

ここで、 T_p はパルスの持続時間 (ns 単位) です。

1.3.2 フレーム構造

HRP 測距対応デバイス（HRP-RDEV）は、802.15.4 [4]に準拠した物理層実装に基づく測距機能を支援します。

HRP-RDEV の物理層プロトコルデータユニット（PPDU）のフレーム構成は、図 1-1 に示すように、同期ヘッダー（SHR）、物理層ヘッダー（PHR）、物理層サービスデータユニット（PSDU）から構成されます。

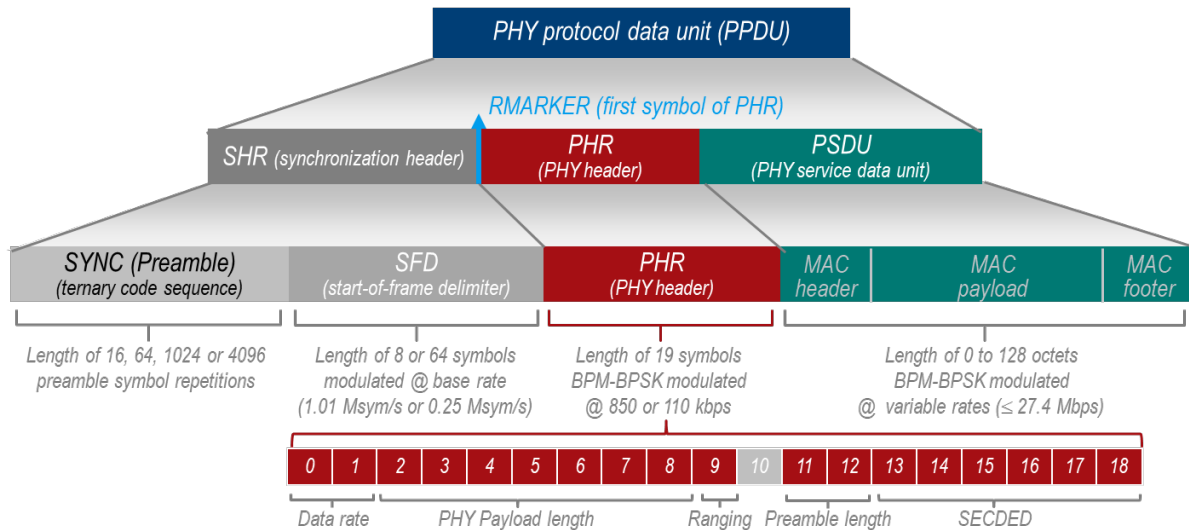


図 1-1 : UWB HRP-RDEV の PPDU (802.15.4)

802.15.4 規格の増補版である 802.15.4z は、高度にセキュアで精密な測距に対する需要の高まりに応えるものです。主な機能拡張は次のとおりです。

- ▶ HRP PPDU フォーマットへの STS (Scrambled Timestamp Sequence) の導入
- ▶ プリアンブルおよびデータフィールドへの PRF 増加の適用

これらの機能拡張をサポートするデバイスは、HRP-ERDEV (HRP Enhanced Ranging Device) と呼ばれます。次の 2 つの必須機能がサポートされる必要があります。

- ▶ 公称 PRF 64 MHz のベースパルス繰り返し周波数 (BPRF) モードでの動作
- ▶ 124.8 MHz または 249.6 MHz の高い PRF のハイパルス繰り返し周波数 (HPRF) モードでの動作

1.3.3 同期ヘッダー (SHR)

同期ヘッダー (SHR) は、プリアンブルとフレーム開始デリミター (SFD) から構成されます。

1.3.3.1 プリアンブル

プリアンブルコードインデックス

SHR のプリアンブル部分は、タイミング同期、パケット検出、キャリア周波数オフセットの回復に用いられます。

各プリアンブルシンボルは、3 値アルファベット{-1,0,1}で作成された定義済みのプリアンブルコードシーケンスから構成されます。802.15.4 [4]では、必須の長さ 31 のプリアンブルコードシーケンスと、オプションの長さ 127 のプリアンブルコードシーケンスが仕様化されています。表 1-2 には、チャンネルに依存する長さ 31 のプリアンブルコードシーケンスが、個々のインデックス (1~8) とともに記されています。

インデックス	コードシーケンス C_i	チャンネル番号 ¹
1	-0000+0-0+++0+-000+----+00-+0-00	0, 1, 8, 12
2	0+0+-0+0+000-++0-+----00+00++000	0, 1, 8, 12
3	-+0++000-+----+00++0+00-0000-0+0-	2, 5, 9, 13
4	0000+-00-00-++++0+-+000+0-0++0-	2, 5, 9, 13
5	-0+-00+++++000-+0+++0-0+0000-00	3, 6, 10, 14
6	++00+00----+0+-000+0+0-+0+0000	3, 6, 10, 14
7	+0000+-0+0+00+000+0+----0-+00-+	4, 7, 11, 15
8	0+00-0-0++0000--+00-+0+-+0+0+00	4, 7, 11, 15

表 1-2: 長さ 31 の 3 値プリアンブルコードシーケンス [4]

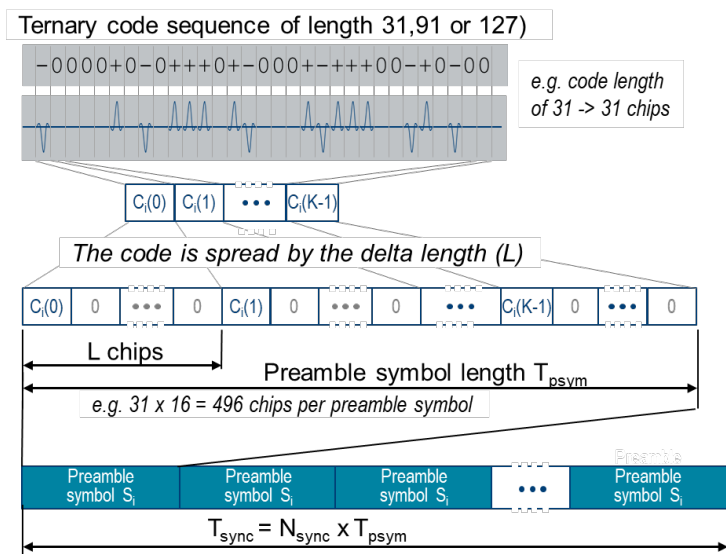
長さ 127 の 3 値プリアンブルコードシーケンスの使用はオプションです。長さ 127 の 3 値シーケンスは、インデックス 9~24 の合計 16 種類が仕様化されています。長さ 31 のプリアンブルコードシーケンスと同様、適用されるプリアンブルインデックスはチャンネルに依存します。長さ 127 のプリアンブルコードシーケンスの詳細は、802.15.4 の表 15-7 [4]に記載されています。

HRP-ERDEV の場合は、これに加えて、長さ 91 の 3 値プリアンブルコードシーケンス (コードインデックス 25~32) のサポートが必須です。長さ 31 および長さ 127 の場合と異なり、長さ 91 のコードインデックスはチャンネルに結びついていません。長さ 91 のプリアンブルコードシーケンスの詳細は、802.15.4z の表 15-7a [5]に記載されています。

プリアンブル長

プリアンブルコードが拡散されてプリアンブルシンボルを構成し、そのプリアンブルシンボルが繰り返されて、SHR の SYNC フィールド部分が構成されます (図 1-2 の例を参照)。SYNC フィールドはプリアンブルシンボルの単純な繰り返しであり、プリアンブルシンボルの繰り返し回数は、802.15.4 [4]に定義されているように、16、64、1024、4096 です。HPRF モード (PRF > 64 MHz) の場合、802.15.4z [5]に定義されているように、HRP-ERDEV は 32 および 64 のプリアンブルシンボルの繰り返しのサポートし、オプションで 16、24、48、96、128、256 もサポートします。

¹チャンネル間通信が必要な場合、コードインデックス 1~6 は、HRP UWB チャンネル 4、7、11、15 (チャンネル帯域幅 > 500 MHz) でも使用できます。



- $C_i()$ Preamble code sequence with code index i
- K Preamble code sequence length. 31, 127 or 91 (only for HRP ERDEV)
- L Spreading factor (Length of delta function δ_L)
- S_i Preamble symbol after spreading containing $K \times L$ chips

図 1-2：拡散によるプリアンブルシンボル S_i の構成 [4]

プリアンブル長（16、32、64、1024、4096）は、プリアンブルシンボルの繰り返し回数を表します。

1.3.3.2 フレーム開始デリミター（SFD）

SFD は、プリアンブルの終了と、物理層ヘッダー（PHR）の開始を示します。

SFD タイプ

SFD は、必須の 8 シンボル（ショート）とオプションの 64 シンボル（ロング）をサポートします（表 1-3 を参照）。どちらが用いられるかは、HRP-RDEV の以後の送信データレートによって決まります [4]。

SFD 長	用途	サポート
64 シンボル（ロング）	低データレート（110 kbps）用	オプション
8 シンボル（ショート）	その他のデータレート用	必須

表 1-3：HRP-RDEV の SFD シーケンス（802.15.4）

HRP-ERDEV の SFD タイプは表 1-4 [5]に示されています。

SFD タイプ	SFD 長	モード	サポート
0	8 [¶]	BPRF	必須
1	4	HPRF	必須
2	8	BPRF / HPRF	必須

[¶] HRP-RDEV（802.15.4）のショート SFD シーケンス（8 シンボル長に相当）（表 1-3 を参照）

SFD タイプ	SFD 長	モード	サポート
3	16	HPRF	必須
4	32	HPRF	オプション

表 1-4 : HRP-ERDEV の SFD シーケンス (802.15.4z)

1.3.4 物理層ヘッダー (PHR) と物理層サービスデータユニット (PSDU)

仕様 [4] [5]に基づき、PHR と PSDU のデータレートは、使用中の PHR データレートモードに応じてあらかじめ定義されています。対応する PHR ビットレートと、関連する PSDU ビットレートの詳細については、HRP-RDEV に関しては表 1-5、HRP-ERDEV に関しては表 1-6 および表 1-7 を参照してください。

PHR データレートモード	PHR ビットレート (Mb/s)	PSDU ビットレート (Mb/s)
DRMDR	0.85 または 0.11	0.11 / 0.85 / 6.8 / 27.2

表 1-5 : HRP-RDEV の PHR および PSDU データレート (802.15.4)

PHR データレートモード	PHR ビットレート (Mb/s)	PSDU ビットレート (Mb/s)
DRBM_LP	0.85	6.8
DRBM_HP	6.8	6.8

表 1-6 : HRP-ERDEV の BPRF モードの PHR および PSDU データレート (802.15.4z)

PHR データレートモード	ビタビ制約長	PHR ビットレート (Mb/s)	PSDU ビットレート (Mb/s)	平均 PRF (MHz)
DRHM_LR	CL3	3.9	6.8	124.8
DRHM_LR	CL7	7.8	7.8	124.8
DRHM_HR	CL3	15.6	27.2	249.6
DRHM_HR	CL7	31.2	31.2	249.6

表 1-7 : HRP-ERDEV の HPRF モードの PHR および PSDU データレート (802.15.4z)

1.3.5 STS (Scrambled Timestamp Sequence)

802.15.4z [5]では、データインテグリティを強化するため、STS (Scrambled Timestamp Sequence) を含む新しいフレーム構造が導入されました。これは基本的に、AES-128 暗号化アルゴリズムを使用して作成されたパルスのシーケンスであり、HRP UWB の物理層フレーム構造に追加されます。

STS のパケット構造 (0、1、2、3)

フレーム内での STS 部分の位置に応じて、4 種類の STS パケット構造が定義されています (図 1-3 を参照)。各 STS パケット構成で、RMARKER はレガシーRDEV と同じ役割を果たし、フレームのタイムスタンプの基準ポイントとなります。

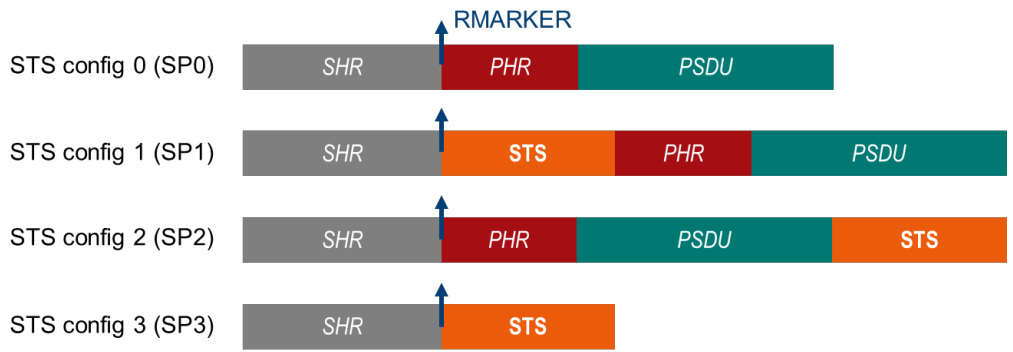


図 1-3 : STS (Scrambled Timestamp Sequence) のパケット構成

SP3 は PHR と PSDU を含まないことに注意してください。このため、データ部分の測定が必要な場合、SP3 は避ける必要があります。

STS の生成方法を下の図 1-4 に示します。

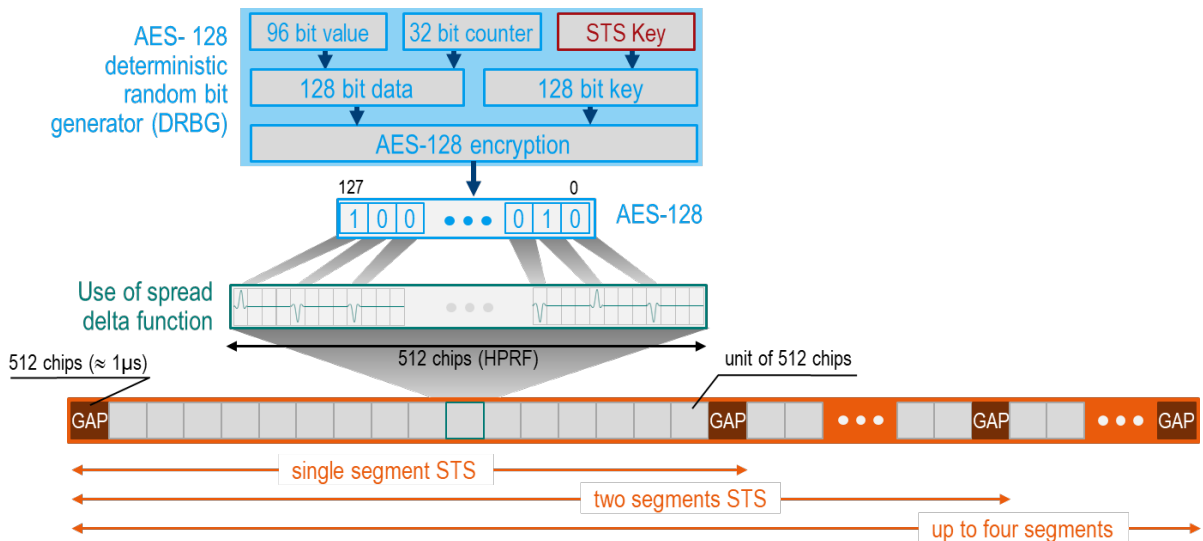


図 1-4 : STS の生成 (拡散長 4、HPRF)

各 HRP-ERDEV モードに関連する STS パラメータを表 1-8 に示します。

HRP-ERDEV モード	拡散長 L	パルス間隔 (チップ数)	平均 PRF (MHz)	STS 長 (512 チップ単位)	サポートされるセグメント数
BPRF	8	8	62.4	64	1
HPRF	4	4	124.8	32, 64, 128, 16 ^{III} , 256 ^{III}	1, 2, 3 ^{III} , 4 ^{III}

表 1-8 : STS パラメータ

STS インデックス

波形発生用の STS のインデックスは、 $0 \sim 2^{32}$ の任意の整数です。

^{III} オプション

STS 長

STS 長は、各 STS セグメントの長さを 512 チップ単位で表します。表 1-8 に示すように、値は 16、32、64、128、256 のいずれかです。

STS セグメント数

STS セグメント数は、STS フィールド内のセグメントの総数を表します。HPRF の場合は、最大 4 セグメントがサポートされます（表 1-8 を参照）。

1.4 走行時間 (ToF)

UWB テクノロジーでは、ToF 法による距離測定が用いられます。ToF とは基本的に、イニシエーター（タグ）とレスポnder（アンカー）の間で信号が自由空間を伝搬する時間です。その推定値は、信頼性の高い堅牢な測距タイムスタンプに基づきます。

双方向測距 (TWR) は、2 台の UWB デバイスの間の距離を測定する一般的な方法の 1 つで、特にデバイスの間にクロック同期がない場合に多く用いられます。すなわち、各デバイスは自身のクロック基準を使用して独立に測定を行います。2 台のデバイスの間の ToF がわかれば、距離は ToF と光速の積として容易に計算できます。

以下の各セクションでは、SS-TWR (Single-Sided Two-Way Ranging) と DS-TWR (Double-Sided Two-Way Ranging) の 2 種類の TWR 方式について説明します。[5]での修正により、測距機能がさらに強化され、STS を使用したセキュア測距がサポートされるようになりました (1.3.5 を参照)。これは、攻撃者が距離偽装攻撃によって距離推定プロセスを操作するのを防ぐものです。

1.4.1 SS-TWR (Single-Sided Two-Way Ranging)

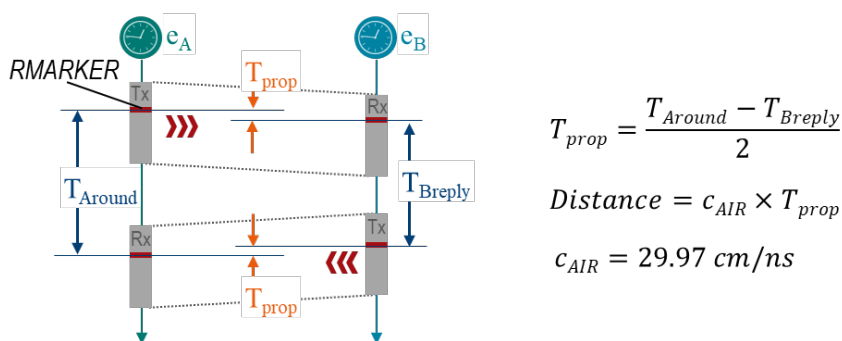


図 1-5 : SS-TWR (Single-Sided Two-Way Ranging)

図 1-5 に示すように、デバイス A (タグ) が ToF を推定することによりデバイス B (アンカー) までの距離を判定しようとしています。デバイス A は測距フレーム (PHR の RFRAME フラグがセットされているもの) を通じてデバイス B にポーリングメッセージを送信し、最終的にデバイス B から返された応答メッセー

ジを受信します。RMARKER は、RFRAME の PHR の最初のシンボルの先頭がローカルアンテナに到達した時刻と定義されます。これは、メッセージの往復時間を測定するためのストップウォッチの役割を果たします。

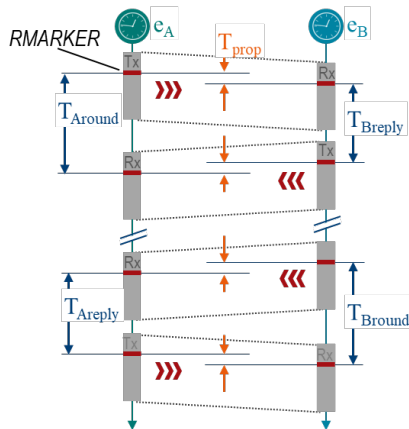
いくつかの時間差が測定または計算されます。 T_{prop} は、無線での伝搬時間です。時間 T_{Around} および T_{Breply} は、デバイス A と B で独立に、それぞれのローカルクロックを使用して測定される処理時間です。 T_{Breply} の測定結果は、デバイス B から A への応答メッセージに載せて送られます。 T_{Around} と T_{Breply} を知ることで、デバイス A は自身の ToF を $T_{prop} = \frac{T_{Around} - T_{Breply}}{2}$ という式で計算します。距離は $c_{AIR} \times T_{prop}$ となります。ここで、 c_{AIR} は光速 (29.97 cm/ns) です。

SS-TWR では、トランスミッター側とレシーバー側のクロックが同期されている必要はありません。ただし実際には、両方の側のクロック発振器の不完全性から生じるクロックジッタやクロックオフセット誤差のために、ToF の推定誤差が生じます。SS-TWR 法の距離推定誤差の支配的要因は、応答時間 T_{Breply} です。

このアプリケーションノートでは、主に SS-TWR について説明します。

1.4.2 DS-TWR (Double-Sided Two-Way Ranging)

SS-TWR と同様、DS-TWR も非対称的な測距法です。すなわち、両方のデバイスで応答時間が一致する必要はありません。これは、開始方向が異なる 2 つの SS-TWR 手順の組み合わせです。



$$T_{prop} = \frac{T_{Around} \times T_{Bround} - T_{Areply} \times T_{Breply}}{T_{Around} + T_{Bround} + T_{Areply} + T_{Breply}}$$

$$Distance = c_{AIR} \times T_{prop}$$

$$c_{AIR} = 29.97 \text{ cm/ns}$$

図 1-6 : DS-TWR (Double-Sided Two-Way Ranging)

DS-TWR の原理を図 1-6 に示します。全体の手順はデバイス A (タグ) からデバイス B (アンカー) に向けて開始されます。デバイス B はデバイス A に応答を送信し、同様にしてデバイス B がデバイス A に対して第 2 ラウンドの SS-TWR を開始します。デバイス B がデバイス A からの応答を受信すると、全体の手順が完了します。通常は、デバイス B からデバイス A へのポーリングメッセージと応答メッセージは 1 つのメッセージに結合できます。このため、実際には DS-TWR は 3 つのメッセージによって実行されます。

$$\text{ToF の推定結果 } T_{prop} = \frac{T_{Around} \times T_{Bround} - T_{Areply} \times T_{Breply}}{T_{Around} + T_{Bround} + T_{Areply} + T_{Breply}}$$

ToF 推定値 T_{prop} がわかれば、距離は SS-TWR の場合と同じ原理で計算できます。すなわち、ToF 推定値に光速を乗じて距離を求めます。SS-TWR に比べると、ToF 推定値に対するクロックオフセットの影響が大幅に低減されています。DS-TWR の推定誤差は ToF だけに依存し、SS-TWR の場合と異なり TBreply には影響されません [7]。

2 OTA の基本

2.1.1 遠方界

アンテナ周辺の電磁波の伝搬と放射は、3つの領域に分類されます。すなわち、図 2-1 に示すように、リアクティブな近傍界、放射近傍界、遠方界 (FF) です。

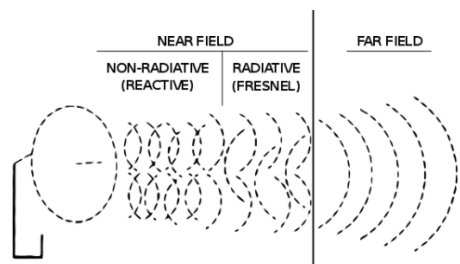


図 2-1：アンテナ周辺の電磁波の伝搬領域（出典：Wikipedia）

基本的に、OTA テスト環境で重要なのは遠方界です。その理由は、この領域では電磁波が主に平面波の特性を持つとみなされるからです。FF で実行された測定は、測定の信頼度が高くなります。FF とみなすことができる最小距離は、フラウンホーファー距離 (FHD) r_{Fr} と呼ばれています。これは次のように表されます。

$$r_{Fr} = \frac{2D^2}{\lambda}$$

式 2-1：フラウンホーファー距離

ここで、D はアンテナの放射開口部サイズ、 λ はキャリア周波数の波長を表します。

アンテナパターン全体が関連する場合には、FHD を考慮する必要があります。ただし、ここで扱う UWB アプリケーションのように、アンテナ伝送パターンのメインローブだけが重要な場合には、FHD よりも緩い基準である Derat 距離 r_{De} (式 2-2 を参照) が使用できます。

$$r_{De} = \lambda \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^{0.8633} \left[0.1673 \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^{0.8633} + 0.1632 \right]$$

式 2-2：Derat 距離

これを考慮することで、測定性能に悪影響を与えずに、OTA チャンバーのサイズを小さくすることができます [8]。

このアプリケーションノートで解説する OTA ソリューションでは、測定/フィードアンテナとして、図 3-8 に示す Vivaldi アンテナが使用されています。アンテナ開口部が 70 mm の Vivaldi アンテナを使用した、UWB チャネル 5 および 9 の FHD と Derat 距離の研究結果を表 2-1 に示します。これより、Derat 距離 r_{De} を考慮することで、FF 距離が大幅に短縮されることがわかります。

	r_{Fr} (mm)	r_{De} (mm)
UWB チャネル 5 (6.4896 GHz)	~210	~140
UWB チャネル 9 (7.9872 GHz)	~260	~160

表 2-1: UWB チャネル 5 および 9 で放射している Vivaldi アンテナの r_{Fr} と r_{De} の比較

ダウンリンク方向、すなわちテストから DUT への方向で FF 条件が満たされるためには、Vivaldi アンテナと DUT アンテナの間の距離が Derat 距離 r_{De} 以上であることが必要です。この条件を満たすことが特に推奨されるのは、位相偏差を低いレベルに抑える必要がある到来角 (AoA) テストシナリオの場合です。

2.1.2 クワイエットゾーン (QZ)

クワイエットゾーン D は、平面波基準からの振幅と位相の偏差が制限される領域を定義します [9]。FHD では、表面 D 上で振幅差は無視でき、位相偏差 $\Delta\phi$ は最大 22.5° です [10]。図 2-2 に、クワイエットゾーンのサイズを判定する方法を示します。

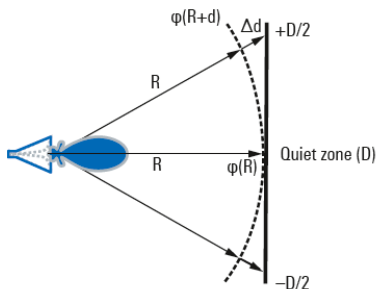


図 2-2: クワイエットゾーンのサイズの判定

クワイエットゾーンのサイズは、テストする DUT のサイズ (あるいはホワイトボックス法の場合は DUT アンテナのサイズ) を制限し、チャンバーのサイズも反映します。クワイエットゾーンが大きいほど、チャンバーのサイズも大きくする必要があります。このため、大きいアンテナサイズの DUT をテストできます。

前のセクションで述べたように、DUT アンテナと Vivaldi アンテナの距離が Derat 距離 r_{De} 以上であれば、ダウンリンク方向のテストは QZ 内で行われます。

これに対して、反対方向 (アップリンク) では、DUT から見ると、ホワイトボックス法が採用されていると仮定した場合 (詳細は 2.1.3 を参照)、DUT アンテナのサイズとキャリア周波数がわかれば、Derat 距離 r_{De} を導出できます。導出された r_{De} がチャンバーのサイズ (CMQ200/CMQ500 では最大 300 mm) を超えなければ、QZ でのアップリンクテストも保証されます。

2.1.3 ホワイトボックス法とブラックボックス法

OTA 環境でのテストには、基本的に、ホワイトボックス法とブラックボックス法の 2 つの方法があります。

ホワイトボックス法は、DUT のアンテナ位置が正確に知られている場合に適しています。この方法は、研究開発や製造のアプリケーションで一般的に用いられます。

一方、ブラックボックス法では、DUT アンテナの位置が不明です。このため、FHD または Derat 距離の判定には最大 DUT 寸法までを考慮する必要があり、大きいチャンバーが必要になります。ブラックボックス法は、DUT コンフォーマンステストやサービス段階でのテストで重要な役割を果たします。

ブラックボックス法に比べると、ホワイトボックス法では OTA チャンバーのフロアスペースを小さくすることができます。このアプリケーションノートでテストする DUT は NXP チップセットに基づいており、アンテナの位置があらかじめわかっているため、ここではホワイトボックス法について主に説明します。

3 UWB OTA テストソリューション

3.1 システムの概要と準備

シールドチャンバー CMQ200 HS を使用した UWB OTA テストソリューションを図 3-1 に示します。別の方法として、シールドチャンバー CMQ500 を UWB テスト用に使用することもできます。



図 3-1 : CMQ200 HS を使用した R&S UWB OTA テストセットアップ

このアプリケーションノートでは、2 種類のセットアップ（システムバリエーション 1 とバリエーション 2）を扱います。これらは、シールドチャンバーに取り付けられた Vivaldi アンテナの数と、それに関連するチャンバーとの RF 接続が異なっています。

図 3-2 に示すセットアップのブロック図（システムバリエーション 1）では、チャンバー内に Vivaldi 測定アンテナが 1 つあり、RF フィードスルーに接続されています。このセットアップは、UWB Tx、Rx、ToF 測定に対応します。

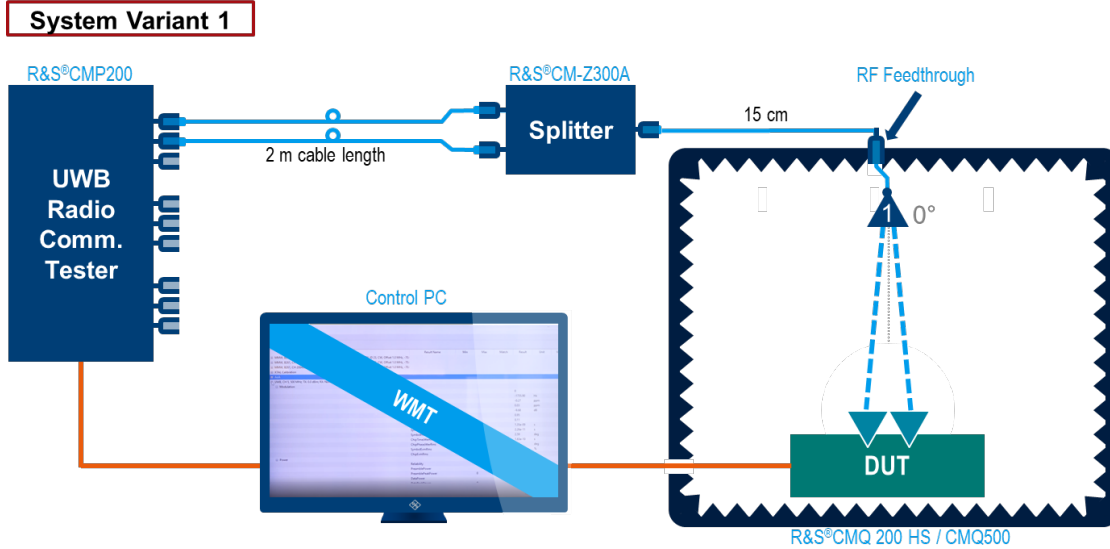


図 3-2：システムバリエーション 1 のブロック図：Tx、Rx、ToF 測定用の RF フィードスルーを備えた UWB OTA テスト環境（1 つの Vivaldi アンテナ）

さまざまな衝突角度からの AoA を容易に検証するには、複数の Vivaldi アンテナを備えたテストソリューションが推奨されます。この場合、RF 経路のスイッチングを可能にするため、図 3-3 に示すように、RF スイッチ（R&S SP6T）を採用する必要があります（システムバリエーション 2）。

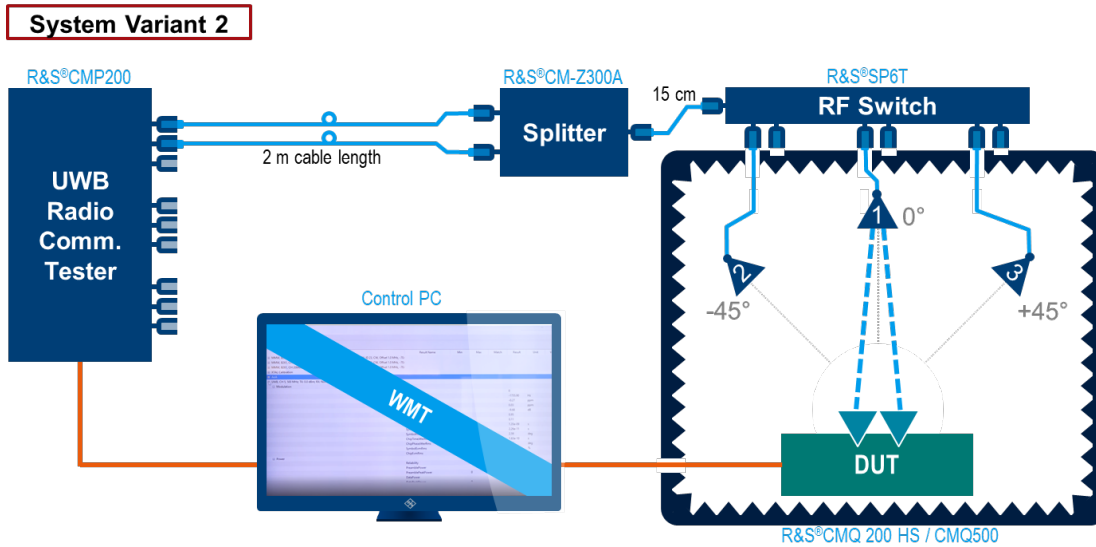


図 3-3：システムバリエーション 2 のブロック図：Tx、Rx、ToF、AoA 測定用の RF スイッチを備えた UWB OTA テスト環境（複数の Vivaldi アンテナ）

3.1.1 ハードウェア要件

ソリューションのハードウェア要件は以下のとおりです。

- ▶ 被試験デバイス (3.1.1.1 を参照)
- ▶ 無線機テスト CMP200 (3.1.1.2 を参照)
- ▶ UWB ToF キット R&S CM-Z300A (3.1.1.3 を参照)
- ▶ シールドチャンバー CMQ500 または CMQ200 および高シールド (HS) オプション (3.1.1.4 を参照)
- ▶ リニア偏波 Vivaldi アンテナ CMQ-725A (アンテナキット 5、UWB) (3.1.1.5 を参照)
- ▶ RF 接続キット：RF スイッチ CMQ-B744A または RF フィードスルー CMQ-B742A (3.1.1.6 を参照)
- ▶ 制御 PC (Microsoft Windows® OS を搭載した PC)

3.1.1.1 被試験デバイス (DUT)

このアプリケーションノートでは、次の NXP 評価ボードをテスト用に使用します。

- ▶ UWB Tx、Rx、ToF テスト用には、NXP Trimension™ NCJ29D5 車載用 UWB 評価ボード [11] (図 3-4)。



図 3-4：NXP Trimension™ NCJ29D5 評価ボード

このアプリケーションノートで実行される UWB テストは、下の表 3-1 に示す DUT バージョン情報に基づいています。

UCI バージョン	UCI CCC バージョン	CCC バージョン	ファームウェアバージョン	デバイスバージョン
1.0	1.5	0.2.6	2.0.0	22.0

表 3-1：DUT のバージョン情報

- ▶ AoA 測定は、次世代 NXP Trimension™ NCJ29D6 チップセットによって可能になる予定です。このチップセットは、このアプリケーションノートのリリース時点ではまだ開発中です。

3.1.1.2 無線機テスタ CMP200

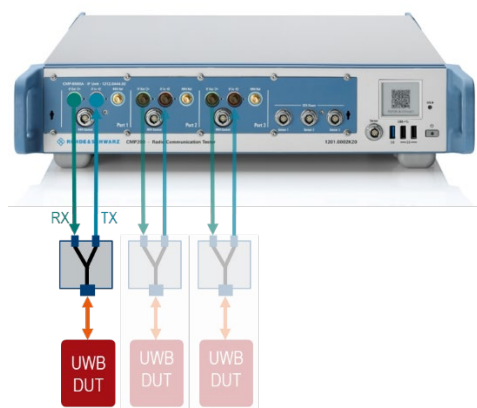


図 3-5：複数の切換可能なポートを備えた R&S CMP200

CMP200 は、ワンボックスのモバイル無線機テスタ（MRT）であり、UWB や 5G FR2 のノンシグナリングモードでのテストに適しています。6~20 GHz の周波数レンジに対応した汎用アナライザと、任意波形発生器を備えています。周波数レンジ 6~20 GHz の定義済み波形（-100 dBm）の再生をサポートします。1 GHz 帯域幅の 3 つの切り替え可能ポートにより、高速な測定が可能です。

その他の情報については、こちらの[リンク](#)先をご覧ください。

3.1.1.3 UWB ToF キット R&S CM-Z300A

UWB 走行時間（ToF）キット CM-Z300A は、信号経路全体で一定の群遅延（GD）と挿入損失（IL）を実現するアクセサリのセットです。これは、システムのアンテナ遅延校正と経路損失校正のために重要です。詳細については 3.3.1 と 3.3.2.3 を参照してください。

ToF キット Z300A（図 3-6）の内容は以下のとおりです。

- ▶ パワースプリッター（モデル：Minicircuit ZFRSC-183+）（付録 A のデータシートを参照）
- ▶ アッテネータ（6 dB、10 dB、20 dB、30 dB）
- ▶ RF ケーブル（2×2 m）
- ▶ RF ケーブル（1×15 cm）



図 3-6 : UWB ToF キット CM-Z300A

ToF キット内のアッテネータ (6 dB、10 dB、20 dB または 30 dB) は、必要に応じて信号経路に挿入することで、CMP200 の IFin ポートの受信パワーレベルを調整するために使用できます。これは、安定した信号検出のために必要な場合があります。ToF テストの際のパワーレベル調整の詳細は、付録 D に記載されています。

3.1.1.4 シールドチャンバー

CMQ200 HS または CMQ500 は、UWB OTA テスト用に最適なシールドチャンバーであり、以下の特長を備えています。

- ▶ 動作周波数レンジ：CMQ200 HS 0.3~14 GHz/CMQ500 0.7~77 GHz
- ▶ 80 dB を超える高いシールド効果
- ▶ UWB AoA 測定などに必要なマルチアンテナセットアップに最適





図 3-7 : OTA チャンバー-CMQ200 HS (上) および CMQ500 (下) の正面図と背面図

一般的に、OTA シールドチャンバーは、お客様のテストニーズに応じて、ドアの開閉機構、テーブルレイアウト、フィクスチャレイアウト、フィードスルー (RF、USB、その他の接続) などの柔軟な構成が可能です。チャンバー構成の詳細については、[12]を参照するか、R&S 営業担当者までお問い合わせください。

このアプリケーションノートでは、チャンバー内の DUT の電源供給と制御に USB を使用します。そのため、アクセサリとして USB フィードスルーが必須です。それに加えて、RF フィードスルーまたは RF スイッチ (3.1.1.6 を参照) を装備する必要があります。

R&S ウェブサイトの詳細情報：[CMQ200 製品ページ](#)および [CMQ500 製品ページ](#)

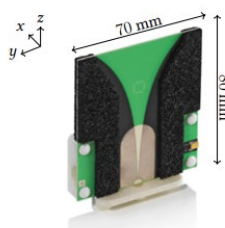
3.1.1.5 アンテナキット

アンテナキット (CMQ-B725A) には、OTA チャンバー内の UWB テストのための標準化されたコンポーネントが含まれています。これを使用すれば、RF ケーブルの長さの違いに起因する測定の不確かさを除去できます。キットには、UWB 測定に必要な周波数レンジに対応したアンテナが含まれています。

含まれるコンポーネントは次のとおりです。

▶ Vivaldi アンテナ

2.4~18 GHz の周波数レンジに対応し、指向性パターンと高い利得を備えた単一のリニア広帯域 UWB アンテナ。図 3-8 に、オープン開口部サイズが 70 mm の Vivaldi アンテナを示します。



(b) R&S TS-F24-V2

図 3-8 : 開口部サイズ 70 mm の R&S TS-F24-V2 (Vivaldi アンテナ)

- ▶ Vivaldi アンテナと OTA チャンバーの RF スイッチまたは RF フィードスルーを接続する 55 cm の RF ケーブル
- ▶ Vivaldi アンテナ固定アクセサリ：3D フィクスチャおよび 45° アダプター

3.1.1.6 RF 接続キット

2 種類の RF 接続キット（RF フィードスルーまたは RF スイッチ）が選択可能です。どちらの RF 接続キットも、周波数レンジの上限は 40 GHz です。

1 つの Vivaldi アンテナは、チャンバー内の RF フィードスルー（CMQ-B742A）を通じて接続されます（システムバリエーション 1）。

オプションの RF スイッチ RS SP6T（CMQ-B744A）（図 3-9 を参照）が必要なのは、AoA 測定などのために複数の Vivaldi アンテナを OTA チャンバー内に取り付ける必要がある場合です（システムバリエーション 2）。



図 3-9：RF スイッチモジュール SP6T

RF スイッチ RS SP6T には、6 つのスイッチポートがあります。正面から見たポート番号の配置を図 3-10 に示します。

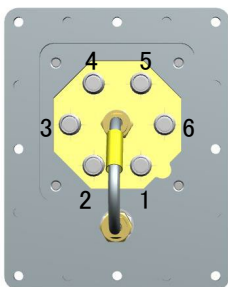


図 3-10：RF スイッチ（SP6T）の正面から見たポート番号の配置

マルチアンテナセットアップの場合、RF スイッチ位置の変更は、WMT ソフトウェアに完全に統合された CMQ のリモートインタフェースを通じて制御されます。これを可能にするには、RF スイッチポートと Vivaldi アンテナの接続が、テスト構成ファイル `testconfig.ini` で正しく設定されている必要があります。

図 3-11 に構成の例を示します。3 つの Vivaldi アンテナが RF スイッチに接続され、スイッチは CMP200 の Port1.IFin ポートに接続されます。このコンスタレーションでは、`testconfig.ini` ファイルのニーモニック「`relay`」の最後の数字によって、Vivaldi アンテナが接続される RF スイッチポートの番号が決まります。図 3-12 に、Vivaldi アンテナ 1（中央のアンテナ）に対応する `testconfig.ini` ファイルの設定を示します。

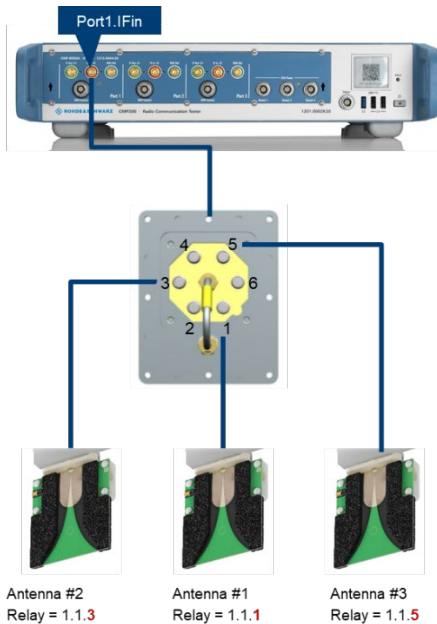


図 3-11 : RF スイッチポート番号の設定

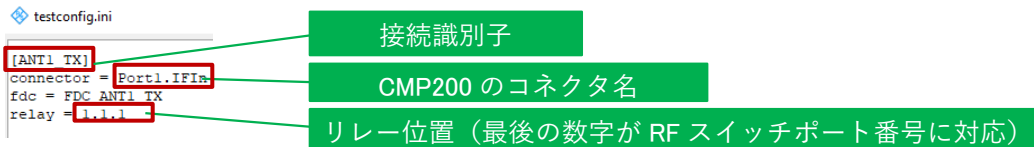


図 3-12 : testconfig.ini のリレー設定

testconfig.ini ファイルの詳細は、付録 C に記載されています。

3.1.2 ソフトウェア要件

この章では、テストソリューションのソフトウェア要件の概要を示します。

3.1.2.1 CMP200 ファームウェア

3.1.2.1.1 一般事項

CMP200 には、CMP200 ファームウェアをインストールする必要があります。これは、信号の発生と解析を制御し、ウェブベースの GUI である CMsquares を通じた測定器へのリモートアクセスを可能にします。ライセンスに関しては、UWB テスト用には以下のライセンスが必要です。

- ▶ UWB 測定オプション KM300
- ▶ WinIQSIM2 任意波形発生オプション KW300 (波形ファイルの発生用)
- ▶ スマートチャネルソフトウェアオプション CMP-K103 を使えば、3 台の DUT の並列テストによりテスト時間を短縮可能 (オプション)

図 3-13 は、CMP200 の CMsquares^{IV}による UWB 測定を表します。CMsquares にアクセスするには、任意の PC でウェブブラウザのアドレスフィールドに CMP200 の IP アドレスを入力します。ただし、PC と CMP200 は同じ IP サブネット上に存在する必要があります（3.1.4 の IP 設定を参照）。

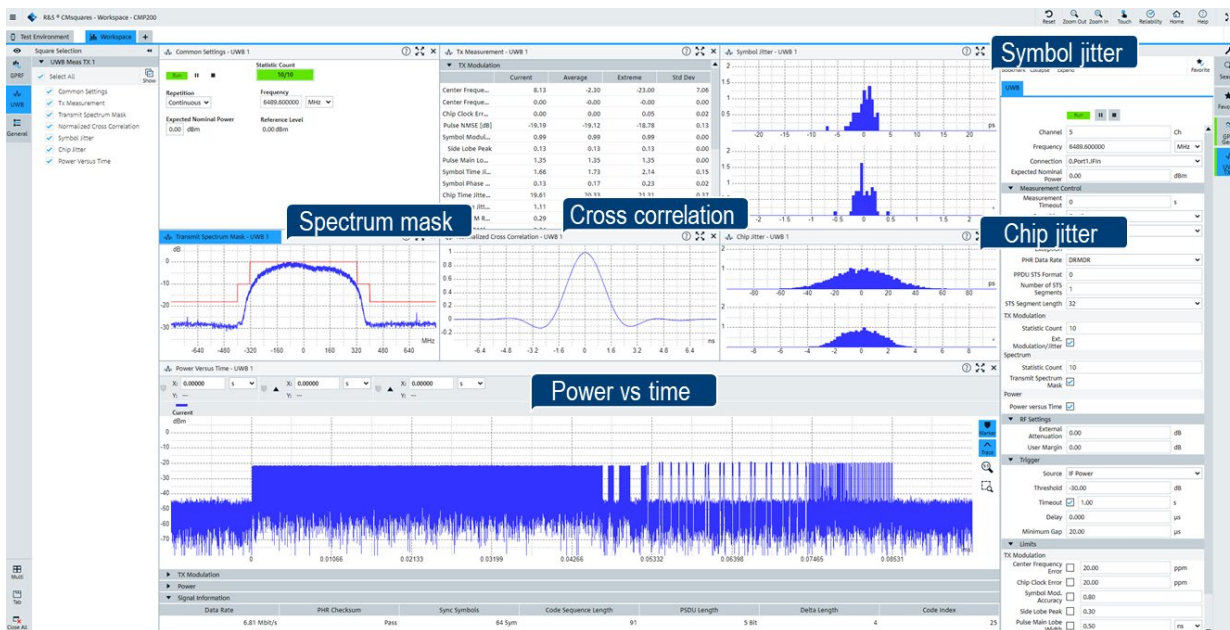


図 3-13 : CMP200 の CMsquares での UWB 測定

3.1.2.1.2 インストール

Gloris^V (<https://gloris.rohde-schwarz.com/>) をチェックして、CMP200 に最新のソフトウェアがインストールされていることを確認します。最新でない場合は、以下の手順でソフトウェアをアップデートします。

1. CMP200 ソフトウェアのインストーラー (setup_cmp200_xyz^{VI}.exe) を Gloris から制御 PC にダウンロードします。
2. 制御 PC 上でインストーラーをリモート実行し、以下の手順を実行します。
 - a) インストーラーをダブルクリックすると、ソフトウェアディストリビューターが起動します。そこで "Remote Installation" を選択し、"Next" を押して続行します (図 3-14)。これにより、ソフトウェアをリモートで CMP200 にインストールできます。

^{IV} CMsquares は、CMP200 のウェブベースのグラフィカルユーザーインターフェース (GUI) を表します。

^V Gloris は R&S のセルフサービス型カスタマーポータルです。

^{VI} xyz は CMP200 のソフトウェアバージョンに置き換えます。

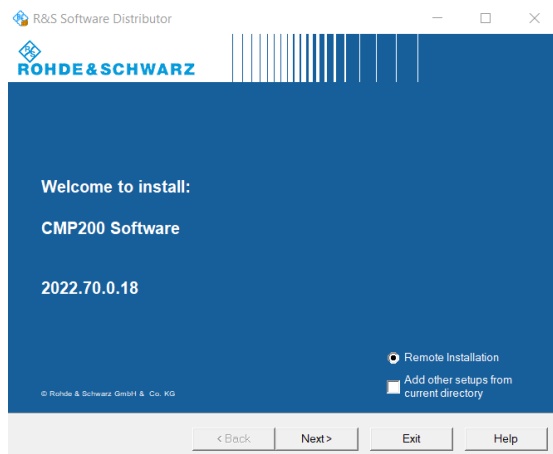


図 3-14：ソフトウェアディストリビューターの起動

b) ライセンス契約に同意し、“Next” を押して続行します（図 3-15）。

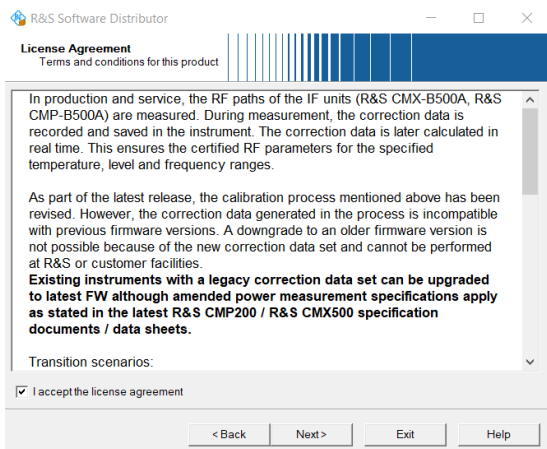


図 3-15：ライセンス契約への同意

c) インストールするパッケージをすべて選択し、“Next” を押して続行します（図 3-16）。

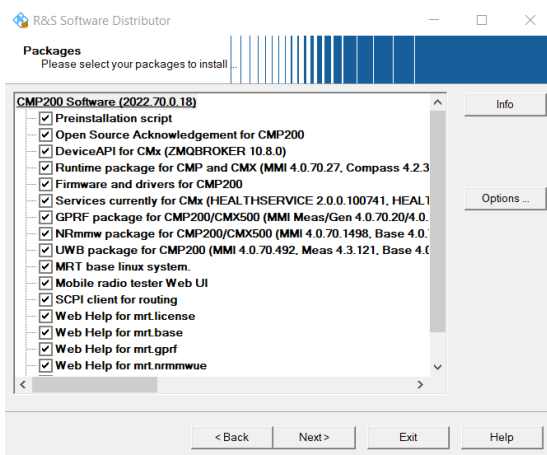


図 3-16：インストールするパッケージの選択

d) ソフトウェアのリモートインストール先として、“Device List” で CMP200 ユニットを選択し、“Install” を押してインストールプロセスを開始します（図 3-17）。

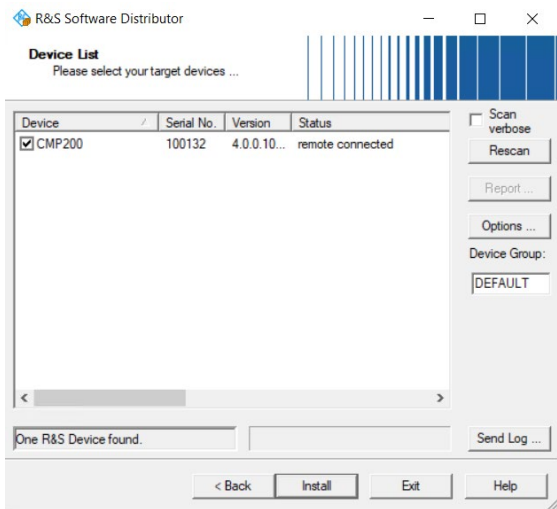


図 3-17 : CMP200 ユニットの選択

- e) しばらく待つと、“Status” 列に “Ready: see report for details” というテキストが表示されます。“Report” をクリックして、インストールが成功したことを確認します。
- f) “Exit” をクリックして、ソフトウェアディストリビューターを終了します。
- g) CMP200 を再起動します。
- h) CMP200 が起動し、ファームウェアアップデートプロセスが完了したら、CMP200 の IP アドレスを制御 PC のブラウザに入力すると（セットアップの IP 設定については 3.1.4 を参照）、CMP200 の GUI（CMsquares）がロードされます（図 3-18）。

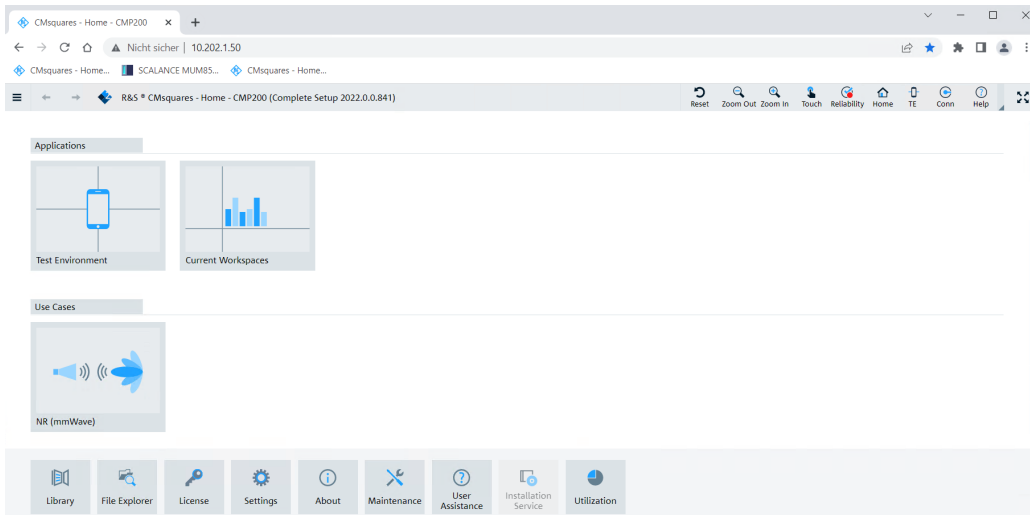


図 3-18 : CMsquares のロード

3.1.2.2 WinIQSIM

3.1.2.2.1 一般事項

WinIQSIM は、Windows ベースの信号発生ソフトウェアであり、UWB 波形を含むデジタル変調信号波形を作成します。作成された波形ファイルを使用すれば、同じテスト信号設定で再現性のあるテストを実行できます。

ここに示すアプリケーションでは、WinIQSIM は、UWB テスト信号を UWB レシーバーテスト用の波形ファイルの形式で制御 PC 上に作成します。その後、波形ファイルは CMP200 に転送されて再生されます。

図 3-19 に WinIQSIM のメイン GUI ウィンドウを示します。

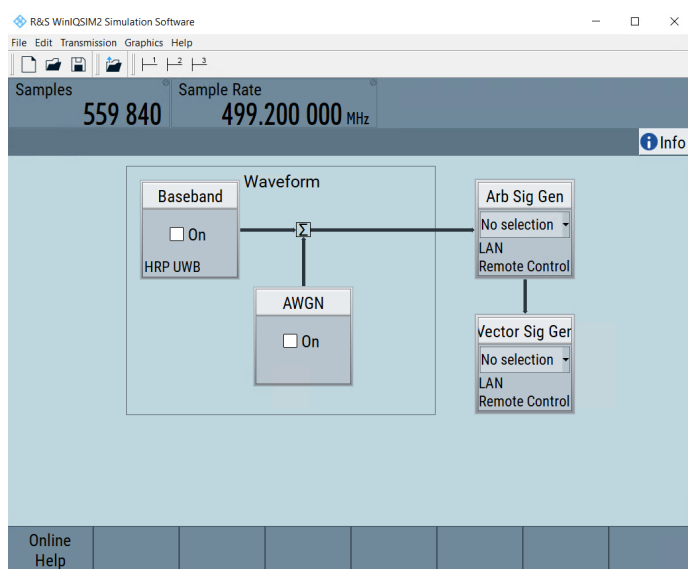


図 3-19 : WinIQSIM のメイン GUI ウィンドウ

3.1.2.2.2 インストール

1. <https://www.rohde-schwarz.com/us/software/winiqsim2/> にアクセスして最新の WinIQSIM ソフトウェアを入手し、制御 PC にインストールします。ソフトウェアは、Windows インストーラー形式で配布されています。
2. WinIQSIM ソフトウェアを起動し、バックグラウンドで動作させておきます（WMT が WinIQSIM を制御します）。これが必要なのは、新しい波形ファイルを作成する場合だけです。必要な波形ファイルがすでに CMP200 上に存在する場合、WinIQSIM は不要なので、バックグラウンドで動作させておく必要はありません。

3.1.2.3 Wireless Automated Testing (WMT) ツール

3.1.2.3.1 一般事項

WMT は Python ベースのソフトウェアソリューションであり、5G NR、Wi-Fi、Bluetooth、UWB (UWB Tx、Rx、ToF、AoA テストを含む) などのチップセットおよびモジュールの RF テストに使用されます。このソリューションは、量産テストや研究開発アプリケーション向けに設計されています。モジュラーアーキテクチャーにより柔軟な統合が可能で、製品の市場投入までの時間を短縮できます。

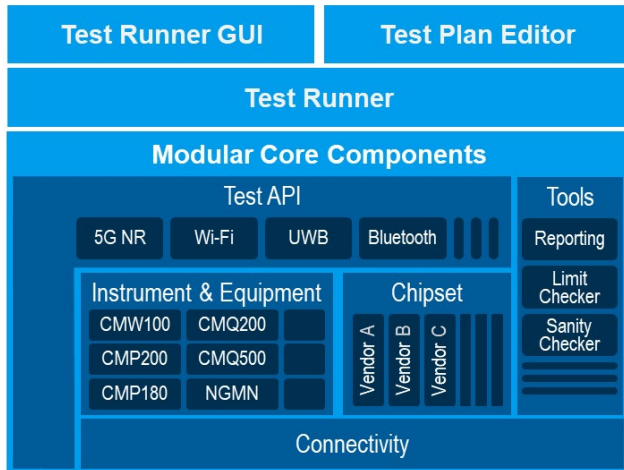


図 3-20 : WMT のアーキテクチャー

図 3-20 に示すように、WMT は制御 PC にインストールされ、測定器 (CMP200 など) の制御、OTA チャンバー (CMQ200/CMQ500 など) との通信、DUT の制御 (UWB DUT との UCI 通信)、テストケースの実行、リミットチェック、レポート収集の機能を果たします。

制御部分は次の機能を備えています。

- ▶ SCPI リモートインタフェース経由での TCP/IP の Raw ソケット接続を使用した CMP200 の制御
- ▶ CMQ200/CMQ500 チャンバーの場合、AoA テストなどのマルチアンテナのケースで使用する測定アンテナを選択するために、RF スイッチ位置の設定が必要です。これは、リモートインタフェース経由で TCP/IP の Raw ソケット接続を使用して制御されます。
- ▶ 制御インタフェース (COM ポート) を通じた標準の FiRa または NXP 独自 UCI コマンド通信による DUT の制御

WMT では、WMT テストプランエディターと WMT テストランナーの 2 種類の GUI が提供されています。以下の部分では、テストプランエディターとテストランナーを、それぞれ WMT テストプランエディターおよび WMT テストランナーと同じ意味で使用します。

テストプランエディター（図 3-21）では、名前からわかるように、テストプランの新規作成や、既存のテストプランの変更が可能です。各テストプランには、それぞれ固有のパラメータ設定を持つ複数のテストルーチンを含めることができます（詳細については 3.3 および 3.4 を参照）。

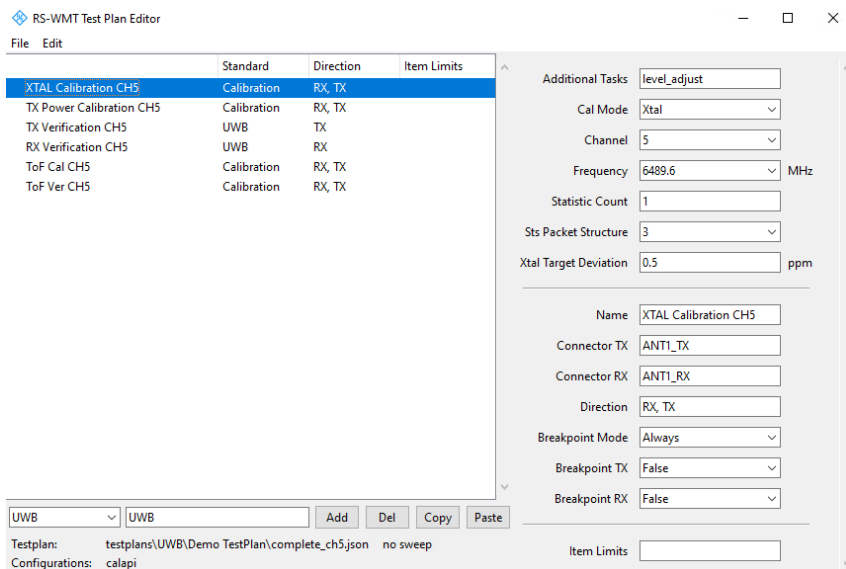


図 3-21 : WMT テストプランエディターの GUI

テストランナー（図 3-22）は、選択したテストプランのテスト実行と、複数 DUT の並列テストのための環境を提供します。各テストプランが実行された後、テストレポートを調べることができます。必要な場合、テスト実行に関連するデバッグログをテストランナーからチェックできます。

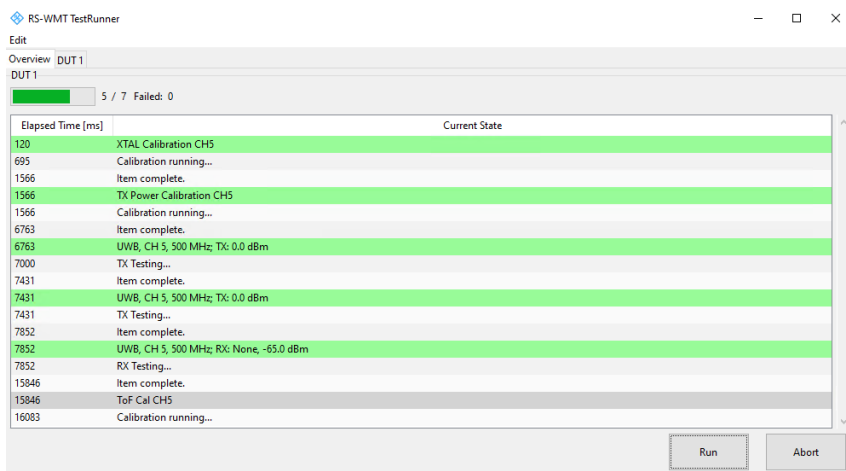


図 3-22 : WMT テストランナーの GUI

その他の情報については、こちらの[リンク先](#)をご覧ください。

3.1.2.3.2 インストール

WMT ソフトウェアは、NXP Trimension™ NCJ29D5 などのチップ向けの Windows インストーラー形式で配布されています。インストーラー NXP_NCJ29D5D_UCI_Custom-Custom.1.0.0.7.msi を実行し、以下のインストール手順を実行します。

1. ようこそページで “Next” ボタンを押します。

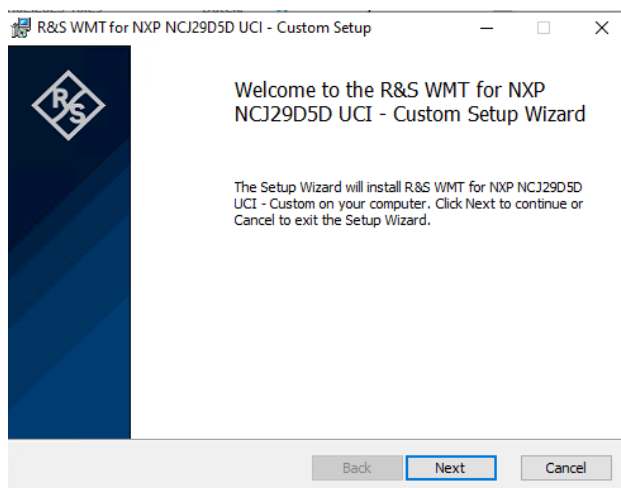


図 3-23 : ようこそページ

2. “Next” ボタンを押してライセンス契約に同意します。

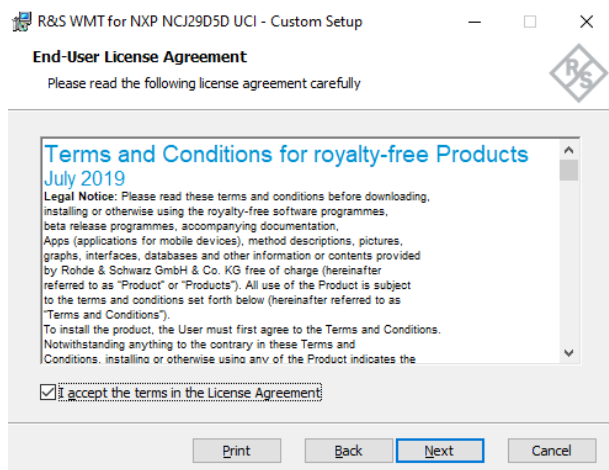


図 3-24 : ライセンス契約への同意

3. 制御 PC 上のインストールフォルダーを指定し、“Next” ボタンを押して続行します。

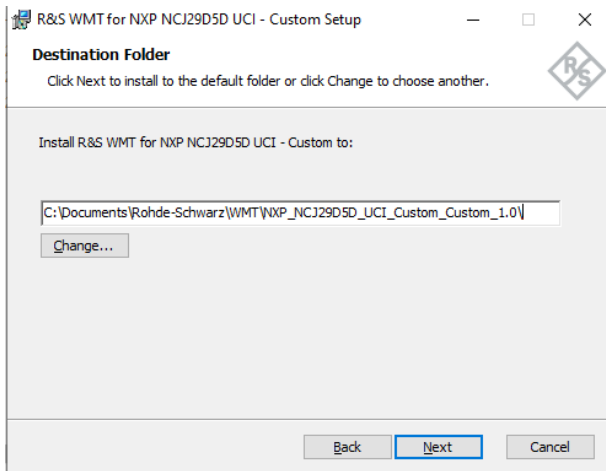


図 3-25：インストール先フォルダーの指定

4. “Install” ボタンを押してインストールを開始します。

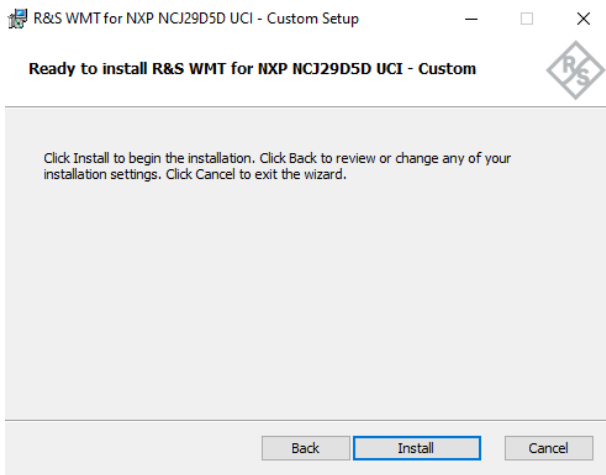


図 3-26：インストールの確認

5. インストールプロセスが完了するまで待ち、“Finish” ボタンを押して終了します。

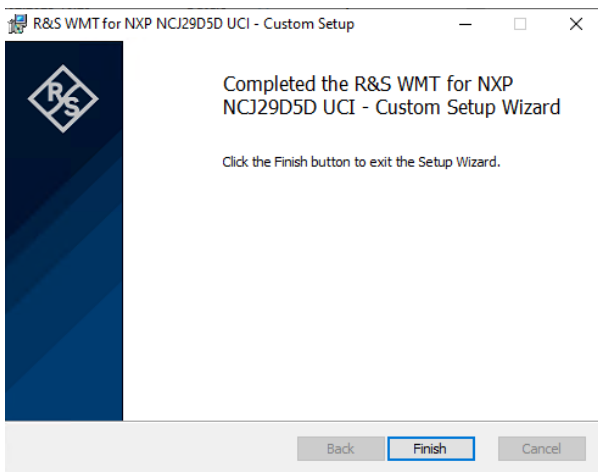


図 3-27：インストールの完了

インストールが成功すると、WMT インストールフォルダーの下にフォルダー構造が作成されます（図 3-28 を参照）。そこから、テストプランエディター（testplan_editor.exe）とテストランナー（testrunner_gui.exe）を起動できます。インストールフォルダーの下にテストプランを保存するためのサブフォルダー “testplans” がない場合は、作成します。

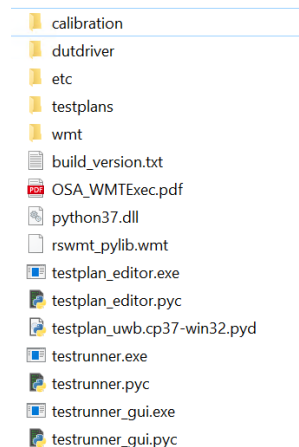


図 3-28 : インストールフォルダーの下のフォルダー構造

3.1.2.4 DUT USB ドライバー

評価ボード NXP Trimension™ NCJ29D5 用の USB ドライバーを制御 PC にインストールする必要があります。

<https://www.pemicro.com/opensda/> にアクセスして、USB ドライバーのインストーラー

（PEDrivers_install.exe）を入手します。

3.1.3 配線

テストセットアップのシステム配線を以下の図 3-29、図 3-30、図 3-31 に示します。

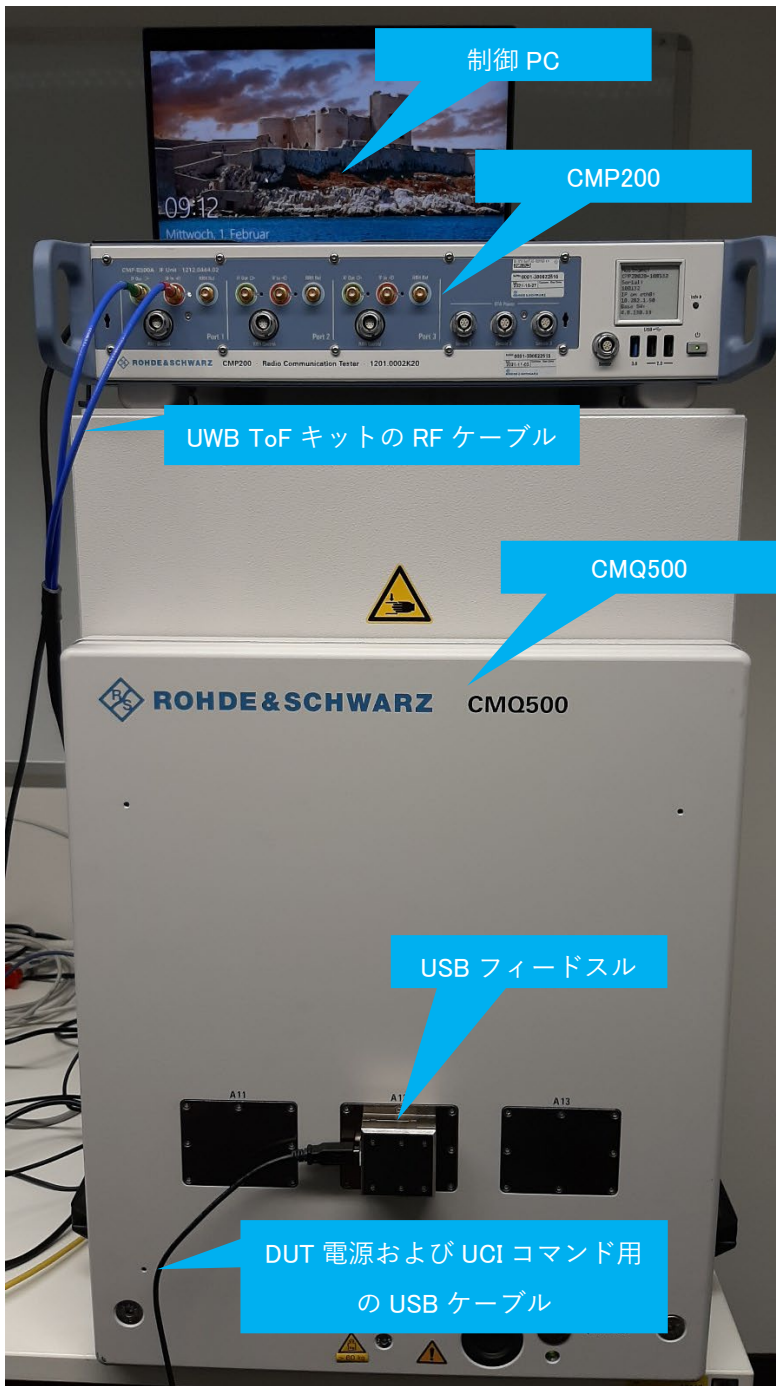


図 3-29 : 配線済みのセットアップの正面図

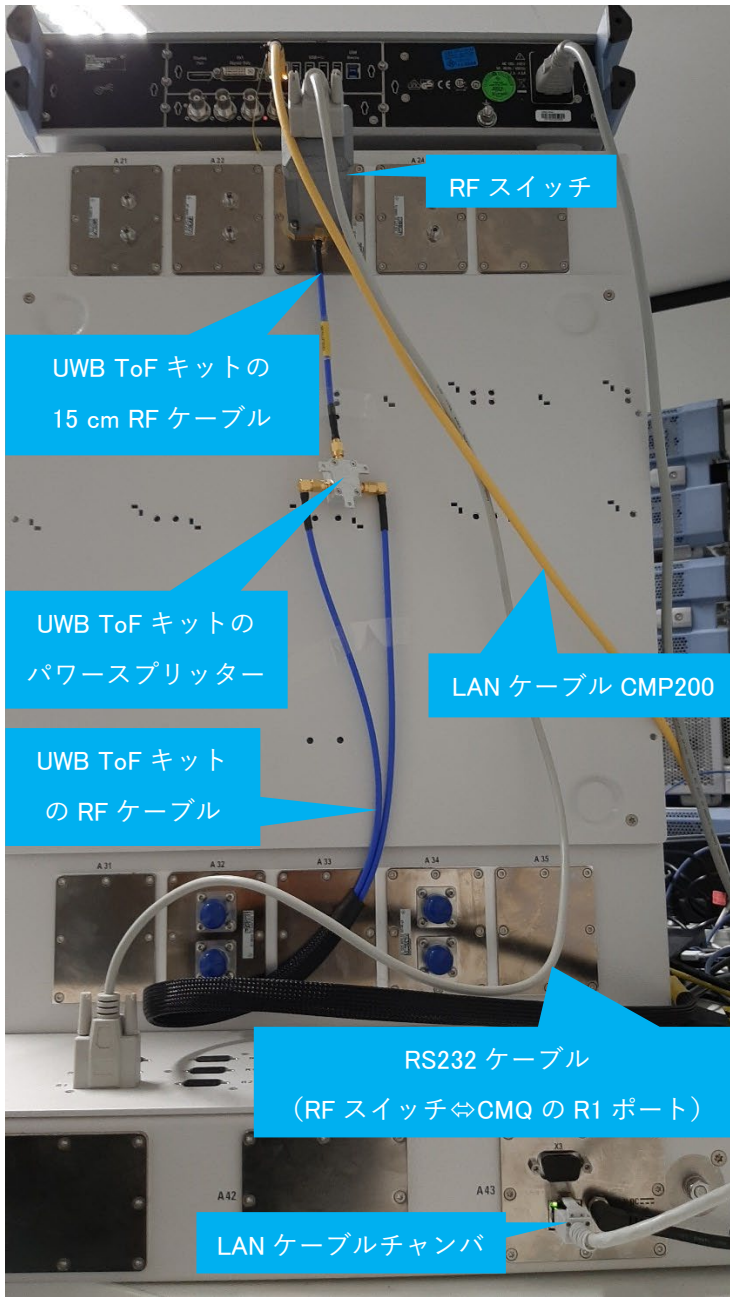


図 3-30 : 配線済みのセットアップの背面図

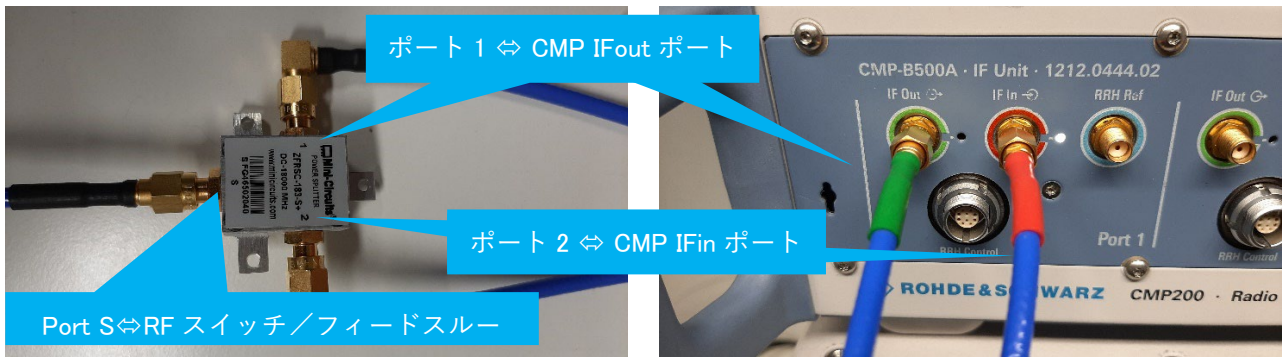


図 3-31 : パワースプリッターの配線と CMP200 の RF ポートとの接続

3.1.4 IP 設定

CMP200 と PC の IP アドレスは、同じ IP セグメントに属する必要があります。そのためには、DHCP を使用する方法と、スタティック IP 割り当てを行う方法があります。

▶ DHCP による IP アドレスの自動割り当て

CMP200 と制御 PC の両方が接続するネットワークで DHCP サーバーが動作しており、接続されたデバイスに IP アドレスを自動的に割り当てます。これは、CMP200 と制御 PC が企業ネットワークに接続される場合に一般的なケースです。

ただし、CMQ200/CMQ500 チャンバーの IP アドレスは 192.168.178.41 に固定されています。多くの場合、制御 PC と CMP200 の IP アドレスは、DHCP サーバーによってこれとは異なる IP サブネット（例：サブネット 10.202.1.*）に割り当てられます。この展開シナリオでは、制御 PC が CMP200 とチャンバーの機能を制御するために 2 つのネットワーク上で動作する必要があるため、図 3-32 に示すように制御 PC に 2 つのネットワークインターフェースが必要になるのが普通です。

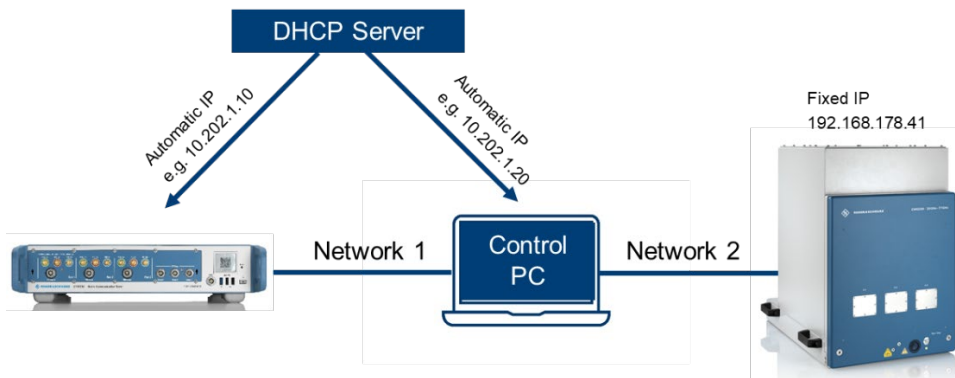


図 3-32 : CMP200 と制御 PC の IP アドレスが DHCP サーバーによって自動的に割り当てられる場合、制御 PC に 2 つのネットワークインターフェースが必要

▶ IP アドレスの手動割り当て（スタティック IP）

CMP200 と制御 PC の両方にスタティック IP アドレスを設定します。これは、セットアップがスタンドアロンで動作する場合に一般的なケースです。

先に説明した自動割り当ての場合と異なり、IP アドレスを手動で設定する場合、ユーザーは、制御 PC と CMP200 の両方の IP アドレスを、チャンバーの固定 IP アドレスと同じサブネット（例：192.158.178.*）に属するように設定できます。そのため、制御 PC のネットワークインターフェースは 1 つで十分です。

CMP200 の IP アドレスの手動設定の詳細については、[13]の第 6.8.1 章を参照してください。

ヒント：

CMP200 の IP アドレスは、再起動が成功した後で、測定器フロントパネルの LED ディスプレイで直接読み取ることができます。

3.1.5 CMQ200/CMQ500 内の DUT 配置

前に 2.1.3 で述べたように、このアプリケーションノートで扱うのは、OTA チャンバー内のホワイトボックス法です。すなわち、DUT アンテナの物理的位置は知られていると仮定します。

OTA チャンバー内の測定では、Vivaldi 測定アンテナと DUT のアンテナの間の自由空間距離を知ることがきわめて重要です。この距離は、信号の経路損失と伝搬遅延に影響します（校正の詳細については 3.3 を参照）。

CMQ200/CMQ500 では、表 3-2 に示すように、テーブルレイアウトを内部式と引き出し式の 2 種類から選択できます。テーブルレイアウトのタイプは、発注時のチャンバー構成に含まれています。

テーブルレイアウト	オプション	説明	注記
内部テーブルレイアウト	R&S®CMQ-B701A	テーブルは CMQ 内部に取り付け	テーブルの高さはユーザー定義可能
引き出し式テーブルレイアウト	R&S®CMQ-B702A	テーブルは CMQ 前面の引き出しに取り付け	取り付け位置は 2 種類の固定位置から選択

表 3-2 : CMQ のテーブルレイアウト

引き出し式テーブルレイアウト（図 3-33 を参照）の場合、テーブルの取り付け位置を、2 種類の固定位置（下の位置 1 と上の位置 2）から選択できます。2 つの位置は 135 mm 離れています。さらに、Vivaldi アンテナをチャンバー内に取り付けるために、R&S から購入したアンテナ固定アクセサリ（アンテナキット 3.1.1.5 を参照）を使用する場合、引き出し式テーブル位置 1 と Vivaldi アンテナの間の距離は 313 mm に固定されます（図 3-34 を参照）。これらの基準値は、後で Vivaldi アンテナと DUT の間の自由空間距離を求めるために使用できます。

テーブルはドアに取り付けられるため、DUT のロード／アンロードに便利です。このため、例えば製造現場でロボットアームを使用する場合などに有利です。

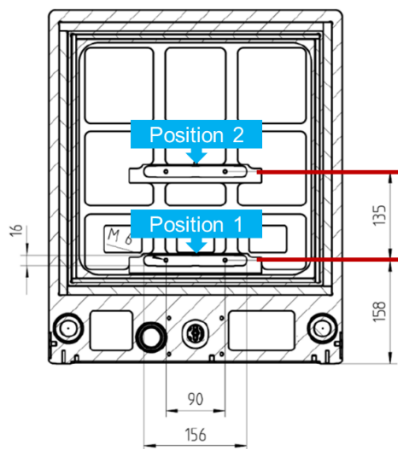


図 3-33 : CMQ200/CMQ500 の引き出し式テーブルレイアウトでの 2 種類の固定位置

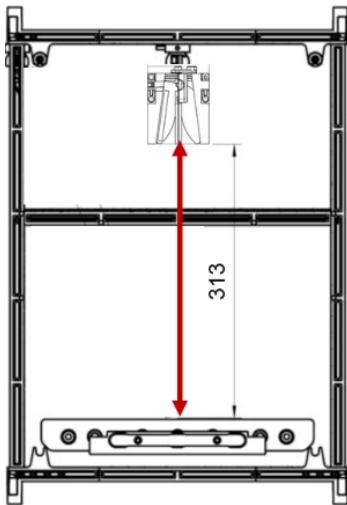


図 3-34 : 引き出し式テーブル位置 1 と Vivaldi アンテナの間の距離 (313 mm)

一方、内部テーブルレイアウトでは、テーブルはチャンバー内の任意の高さ位置に取り付けることができます。これにより、当然、DUT 位置の自由度が高まります。

どちらのテーブルレイアウトを選択した場合でも、自由空間距離は求める必要があります。これは、Vivaldi 測定アンテナの開口部と DUT のアンテナの間の距離です。CMQ200/CMQ500 のクレードル (スケーラーの付いた固定フレーム) を使用すれば、Vivaldi 測定アンテナと DUT アンテナを Y 軸に関して同じ平面上に配置できます。X 軸上の自由空間距離は、クレードルを使用し、DUT のアンテナの幾何学的状況を考慮することで算出できます。DUT と Vivaldi アンテナの開口部間の X 軸上の最小距離は、表 2-1 で示した Derat 距離以上である必要があります。例えば、チャンネル 5 をテストする場合、最低 14 cm 離れている必要があります。

図 3-35 (内部テーブルレイアウト) は、AoA テストを含むすべての UWB テストでの推奨される DUT 位置と 3 つの Vivaldi アンテナの位置を示します。Vivaldi アンテナの DUT アンテナに対する衝突角は、アンテナアダプターを使うことで、 22.5° のステップ幅で調整できます。図 3-36 に示す例では、アンテナがアンテナアダプターで 45° に固定されています。

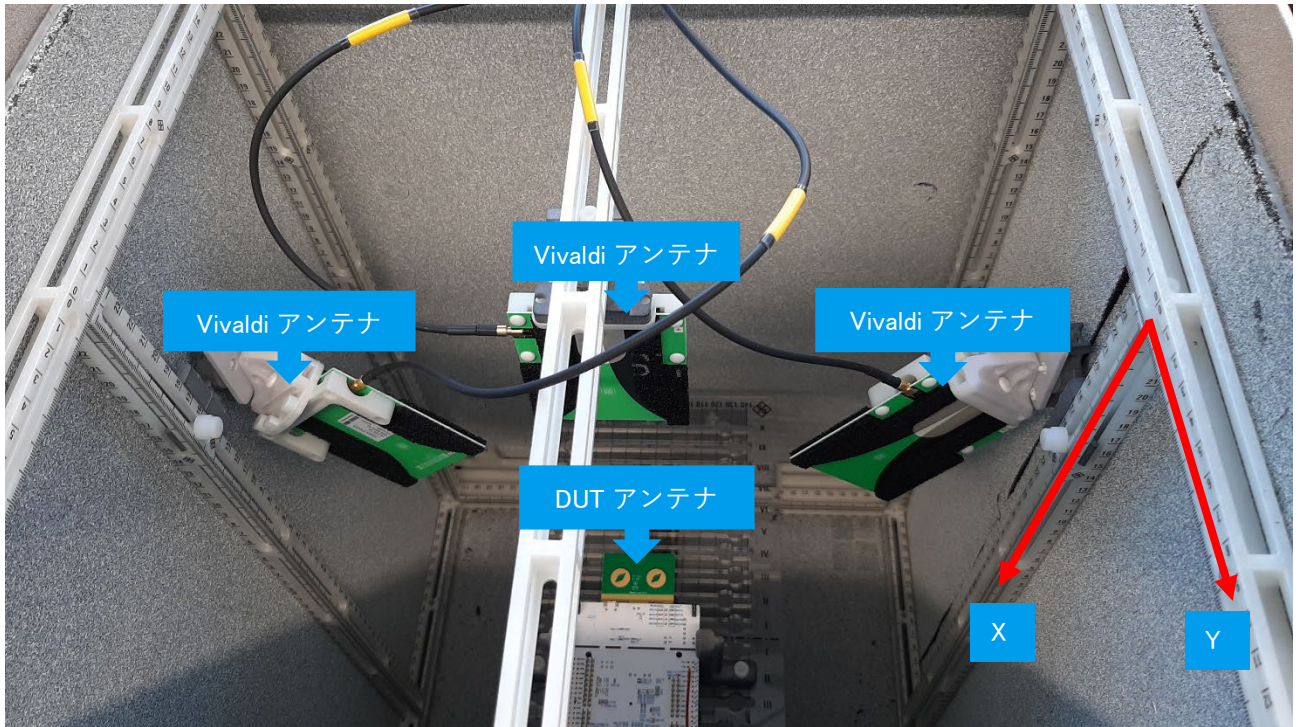


図 3-35 : CMQ200 チャンバーでの UWB AoA テスト用の UWB DUT および測定アンテナ (Vivaldi) の配置

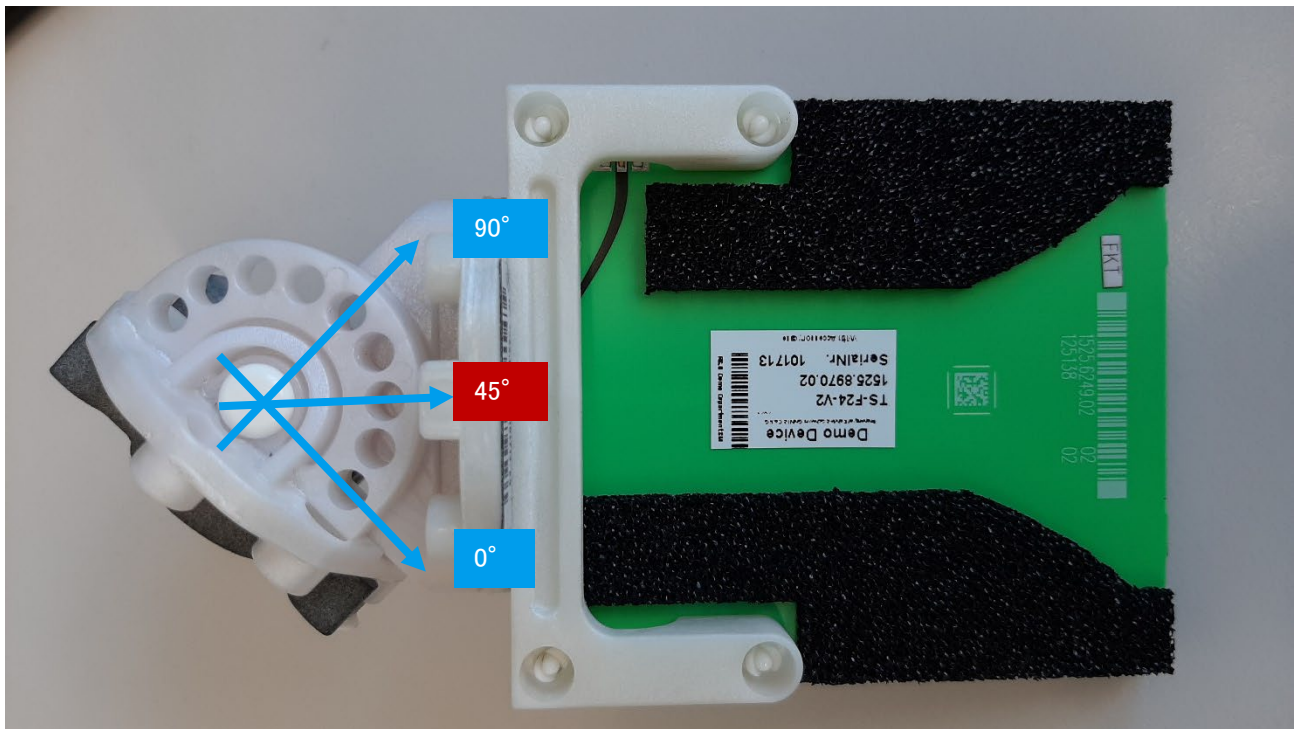


図 3-36 : アダプターによる Vivaldi アンテナの角度調整 (45°)

3.2 テスト手順

3.2.1 WMT テストプランエディターの操作

テストプランエディターで新規 UWB テストプランを作成するか、既存のテストプランを設定します。

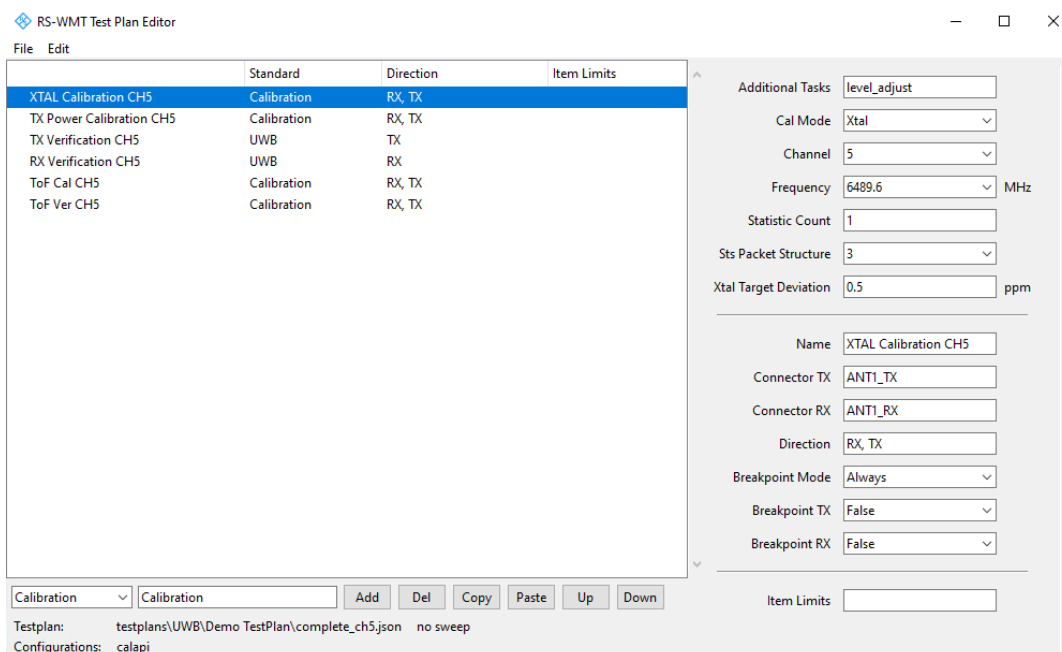
1. WMT インストールフォルダーで、testplan_editor.exe をダブルクリックしてテストプランエディターを起動します。
2. テストプランエディターでは、新規テストプランの作成（メインメニュー>“File”>“New”…）や、既存のテストプランの確認または変更（メインメニュー>“File”>“Open”…）を実行できます。図 3-37 を参照してください。

テストプランには、トランスミッター、レシーバー、ToF テスト用のテストルーチンを含めることができます。



図 3-37 : テストプランエディターで新規テストプランを作成/既存のテストプランを開く

テストプランの例を以下の図 3-38 に示します。校正および検証ルーチンの作成とその設定についての詳細は、第 3.3.2 章と第 3.4 章に記載されています。



3.2.2 WMT テストランナーの操作

テストランナーでテストプランを実行するには、以下の手順を実行します。

1. WMT インストールフォルダーで、testrunner_gui.exe をダブルクリックしてテストランナーGUI を起動します。
2. テストランナーGUI では、テスト構成ファイル (testconfig.ini) を使用可能にする必要があります。図 3-39 に示すように、これにはテストランナーのメインメニュー > “Edit” > “Settings” からアクセスでき、3 つの操作オプションが利用できます。
 - Edit : テスト構成ファイルをテキストエディターで編集します。
 - Open : WMT インストールフォルダーのサブフォルダー\etc にある既存のテスト構成ファイルを開きます。
 - New : 定義済みの構成構造を持つ新規テスト構成ファイルを作成します。

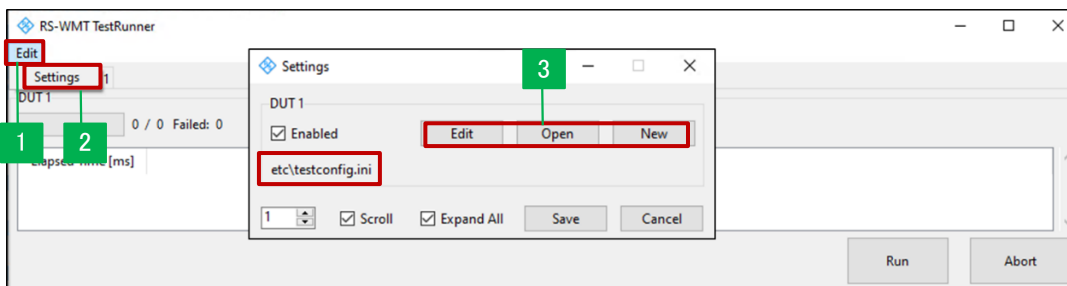


図 3-39 : テストランナーでのテスト構成ファイル “testconfig.ini” へのアクセス

3. “testconfig.ini” ファイルを設定します。図 3-40 に最も重要な設定を示します。
 - テストプランのアクティブ化（一度にアクティブ化できるテストプランは 1 つだけです。アクティブ化するには、対象のテストプランの前にあるセミコロン記号を削除します）
 - 制御 PC の DUT 制御（UCI 通信）用の仮想シリアルポート（例：COM3）の指定
 - CMP200 の IP アドレスの入力
 - 必要な場合、任意発生器の有効化
 - 接続の定義（名前、CMP200 の物理コネクタ、関連する接続の FDC^{vii}）

^{vii} FDC = Frequency Dependent Correction（周波数依存補正）

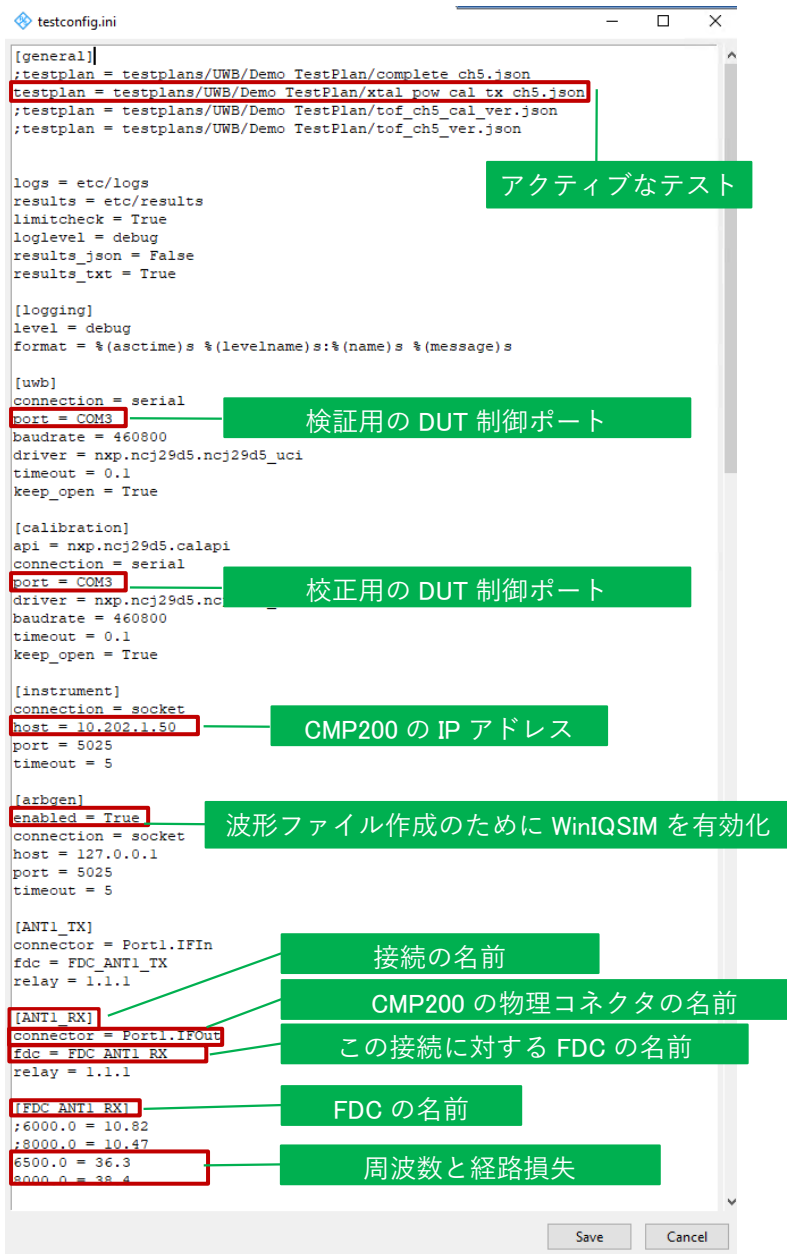


図 3-40 : “testconfig.ini” ファイルの最も重要な設定

図 3-40 の設定に関するヒント

- “testconfig.ini” ファイルに入力された DUT 制御ポート（仮想シリアルポート）は、Windows OS のデバイスマネージャーで確認できます。例えば、図 3-41 では COM3 ポートが割り当てられています。
- 測定器の IP アドレスは、CMP200 のフロントパネルにある LED ディスプレイから容易に読み取ることができます。

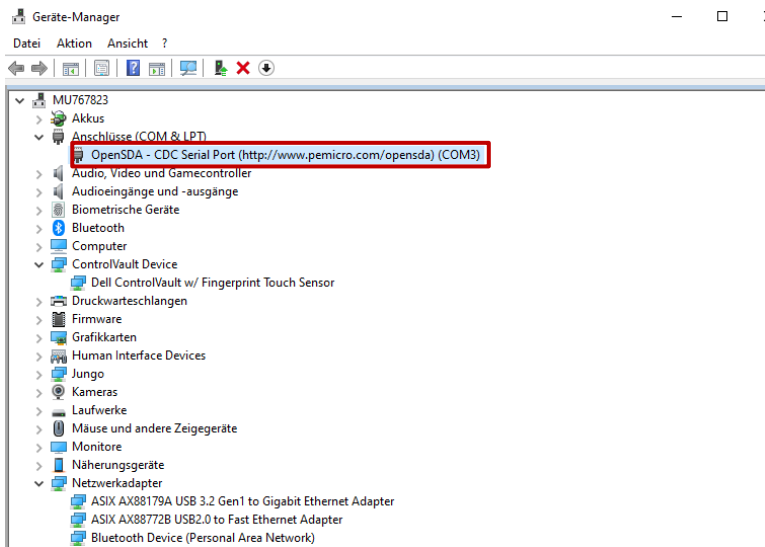


図 3-41 : Windows デバイスマネージャーでの割り当てられた DUT 制御ポートの確認

4. “Save” ボタン (図 3-40) を押して “testconfig.ini” の変更を確認し、設定ウィンドウの “Save” ボタン (図 3-39) を押して終了します。
5. テストランナーGUI のメインウィンドウの “Run” ボタンをクリックして、テストプランを実行します (図 3-42 を参照)。テストプラン実行の進捗状況はテストランナーGUI 上で更新され、実際のテスト結果は GUI の “DUT^{VIII}” タブで確認できます。

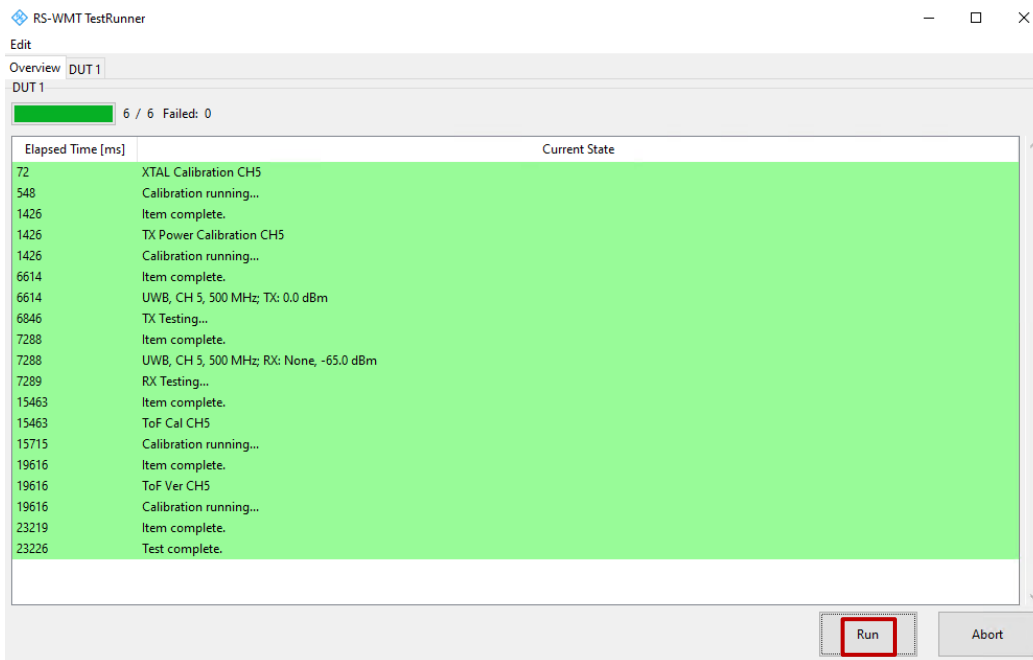


図 3-42 : WMT テストランナーの概要

^{VIII} x は DUT 識別子のサフィックスです。サフィックスは新しい DUT インスタンスが追加されるたびに 1 ずつ増えます。

6. テストプラン実行が完了すると、テスト結果全体が“DUTx”に表示されます（図 3-43 を参照）。必要な場合、“View Log” チェックボックスをオンにして、詳細ログを確認します（図 3-44）。これはデバッグの際に非常に役立ちます。

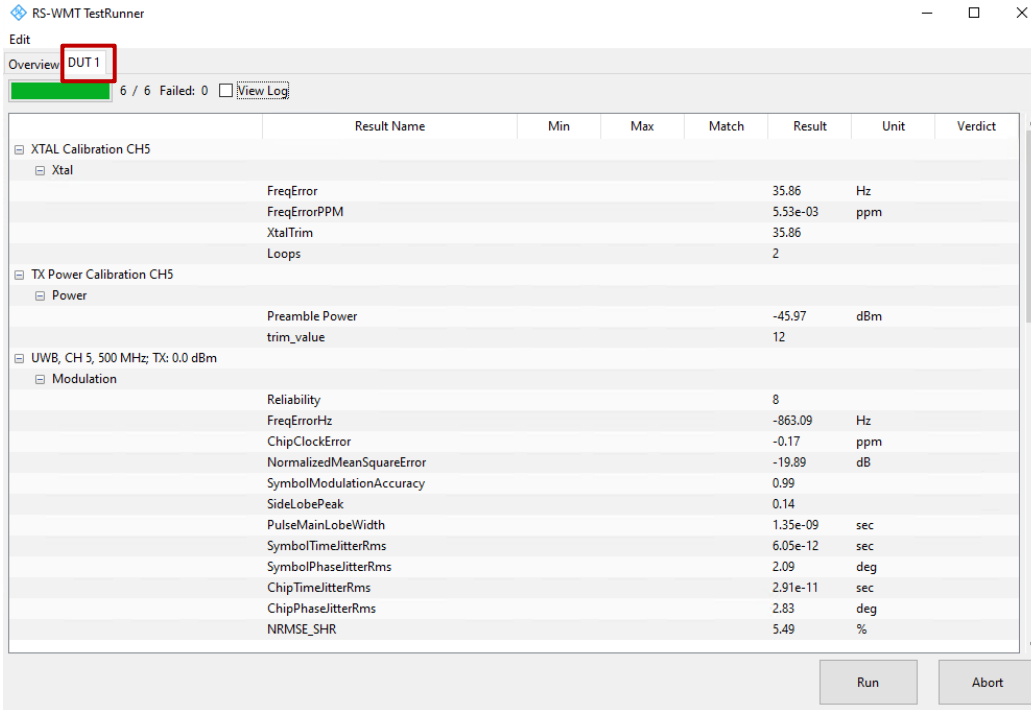


図 3-43：テストランナーの結果ページ

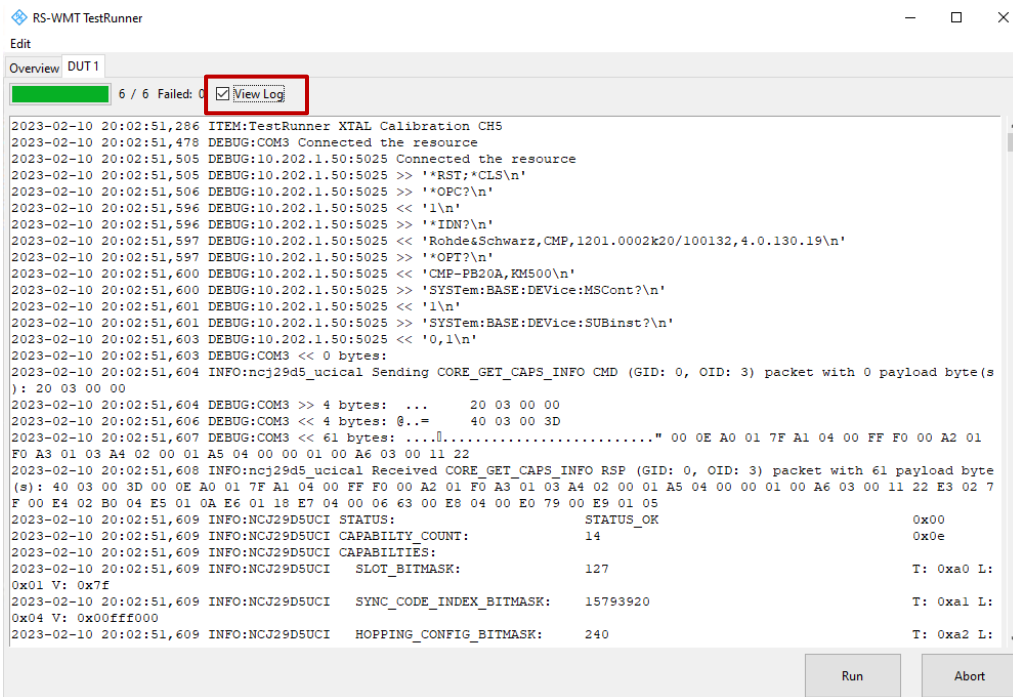


図 3-44：テストランナーのログ表示

7. 必要な場合、WMT インストールフォルダーの下のサブフォルダーetc/results/DUTx/および etc/logs/DUTx/に移動して、保存されているテスト結果ファイルとログファイルを取得します。

3.3 校正

この章では、校正について、OTA テストシステムの経路損失校正とデバイス校正の2つの側面から説明します。

3.3.1 OTA テストシステムの経路損失校正

OTA テストシステムの経路損失校正は、パワーレベル補正による正確な測定を可能にするために必要です。この校正で考慮されるのは、信号伝搬チェーンを構成するすべてのコンポーネントによって発生する挿入損失 (IL) と、チャンバー内の自由空間での信号パワーレベル損失です。後者は自由空間経路損失 (FSPL) と呼ばれ、通常は OTA システムのパワー損失の支配的要素です。

3.1 ですでに述べたように、ここでは2種類のシステムバリエーションを考慮します。すなわち、RF フィードスルーを含むチャンバー (バリエーション 1) と、RF スイッチを含むチャンバー (バリエーション 2) です。図 3-45 に示すように、どちらのセットアップバリエーションの場合でも、経路損失 (PL) には、既知のコンポーネント (ToF キット、RF フィードスルー/RF スイッチ、Vivaldi アンテナ、3.1.1.3、3.1.1.5、3.1.1.6 を参照) による固定 IL 部分と、距離と周波数に依存する FSPL が含まれます。

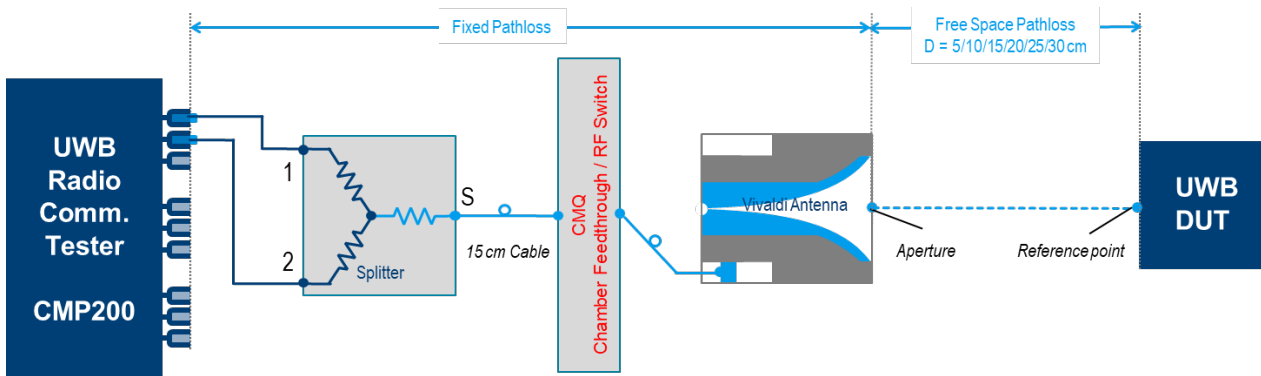


図 3-45: 経路損失全体の概要図 (信号経路の固定挿入損失と、距離と周波数に依存する自由空間損失の合計)

表 3-3 のルックアップテーブルは、ToF キットのアッテネータ (3.1.1.3 を参照) を信号経路に使用しない場合の、CMP200 の出力ポートから DUT アンテナまでの全経路損失を示します。アッテネータを信号経路に接続する必要がある場合には、対応する追加の経路損失 (6、10、20 または 30 dB) を、ルックアップテーブル内の経路損失に加算する必要があります。

OTA セットアップ	周波数	さまざまな自由空間距離での CMP 出力から DUT までの経路損失					
		5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm
バリエーション 1 (RF フィードスルー)	6.5 GHz	-30.0 dB	-33.6 dB	-36.1 dB	-38.1 dB	-39.8 dB	-41.4 dB
	8 GHz	-32.1 dB	-35.6 dB	-38.1 dB	-40.1 dB	-41.6 dB	-42.9 dB
バリエーション 2 (RF スイッチ)	6.5 GHz	-30.2 dB	-33.8 dB	-36.3 dB	-38.3 dB	-40.0 dB	-41.6 dB
	8 GHz	-32.4 dB	-35.9 dB	-38.4 dB	-40.4 dB	-41.9 dB	-43.2 dB

表 3-3: アッテネータを挿入しない状態での 6.5 GHz および 8 GHz での CMP 出力ポートから DUT までの全経路損失

ルックアップテーブルを使用すれば、システムの信号経路損失をすばやく簡単に知ることができます。全経路損失を決める要因としては、OTA セットアップのバリエーション（RF フィードスルーか RF スイッチか）、動作周波数、Vivaldi アンテナと DUT アンテナの間の自由空間距離があります。例えば、RF スイッチ使用のセットアップ、動作周波数 6.5 GHz、Vivaldi アンテナと DUT の距離 15 cm の場合、該当する PL 値は -36.3 dB です。

PL 値は、WMT でテストを実行する前に、テストプラン構成ファイル testconfig.ini で設定する必要があります（詳細については 3.2 または付録 C を参照）。図 3-46 は、6.5 GHz で 36.3 dB^{ix}の PL が、FDC_ANT1_RX と FDC_ANT1_TX の両方の周波数依存補正に適用されることを示しています。これらは、CMP200 の物理コネクタ Port1.IFOut と Port1.IFIn に適用される FDC です。これらのコネクタを識別するコネクタ名は、それぞれ“ANT1_RX”と“ANT1_TX”です。テストプランエディターで設定する必要があるのは、識別子となるコネクタ名（例：ANT1_RX、ANT1_TX）だけです。

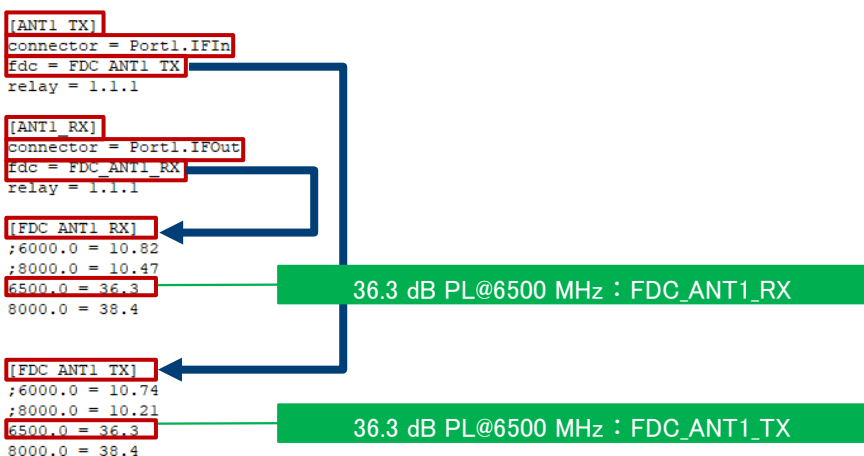


図 3-46 : WMT での testconfig.ini ファイルへの経路損失の入力

3.3.2 デバイス校正ルーチン

UWB デバイスに対しては、検証前に内部校正ルーチンを実行する必要があります。これには、水晶振動子校正、Tx パワー校正、ToF 校正があります。

3.3.2.1 水晶振動子 (XTAL) 校正

水晶振動子 (XTAL) 校正は、DUT の中心周波数オフセット (CFO) 誤差を仕様限界内に収めるために必要です。これはチャンネルに依存しません。図 3-47 に、水晶振動子校正ルーチンの作成手順と、テストプランエディターでの重要な関連設定を示します。

^{ix} testconfig.ini ファイルでは経路損失値を正の値で入力します。

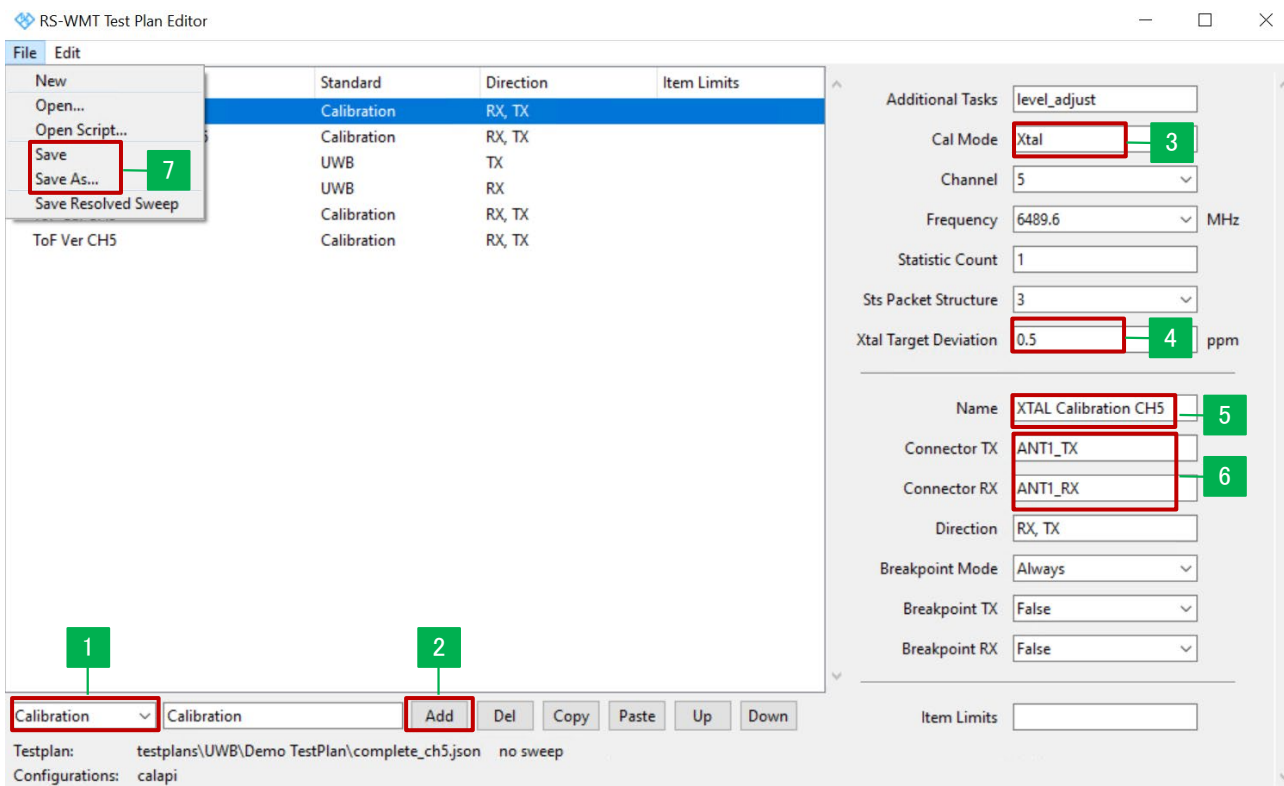


図 3-47：テストプランエディターでの XTAL 校正ルーチンの作成と設定

1. テストプランエディターの規格選択フィールドで、“Calibration” を選択します。
2. “Add” を押して校正ルーチンを追加します。
3. 校正モードとして “Xtal” を選択します。
4. 水晶振動子の偏差リミットを定義します。特に指定がない限り、デフォルト値の 0.5 ppm をそのまま使用してかまいません。
5. 校正ルーチン名を指定します（例：“XTAL Calibration CH5”）。
6. Tx 方向と Rx 方向の両方のコネクタのコネクタ名を指定します（例：“ANT1_TX”、“ANT1_RX”）。指定したコネクタ名は、testconfig.ini ファイルに記述されているものと一致する必要があります（FDC とコネクタの対応については 3.3.1 を参照）。
7. メインメニューバーで、“File” > “Save/Save As”…を選択して、テストプランを保存します。

テストランナーで XTAL 校正ルーチンを実行すると（3.2.2 を参照）、校正結果が図 3-48 のように表示されます。ここでは、FreqErrorPPM が 0.06 ppm と表示されており、このルーチンで定義されたりミットの 0.5 ppm を下回っています。DUT のトリムパラメータ FREQ_DIFF は、対応する XTAL トリム値 418,09 Hz によって更新されます。

	Result Name	Min	Max	Match	Result	Unit	Verdict
XTAL Calibration CH5							
Xtal							
	FreqError				418.09	Hz	
	FreqErrorPPM				0.06	ppm	
	XtalTrim				418.09		
	Loops				2		

図 3-48 : テストランナーでの XTAL 校正結果

3.3.2.2 パワー校正

FCC では、UWB デバイスの送信パワーの最大パワースペクトラム密度を -41.3 dBm/MHz 未満にすることを義務付けています。UWB DUT がこのパワー要件を満たすことを確認するため、パワー校正ルーチンが必要です。校正は各チャンネルおよびアンテナに対して実行する必要があります。

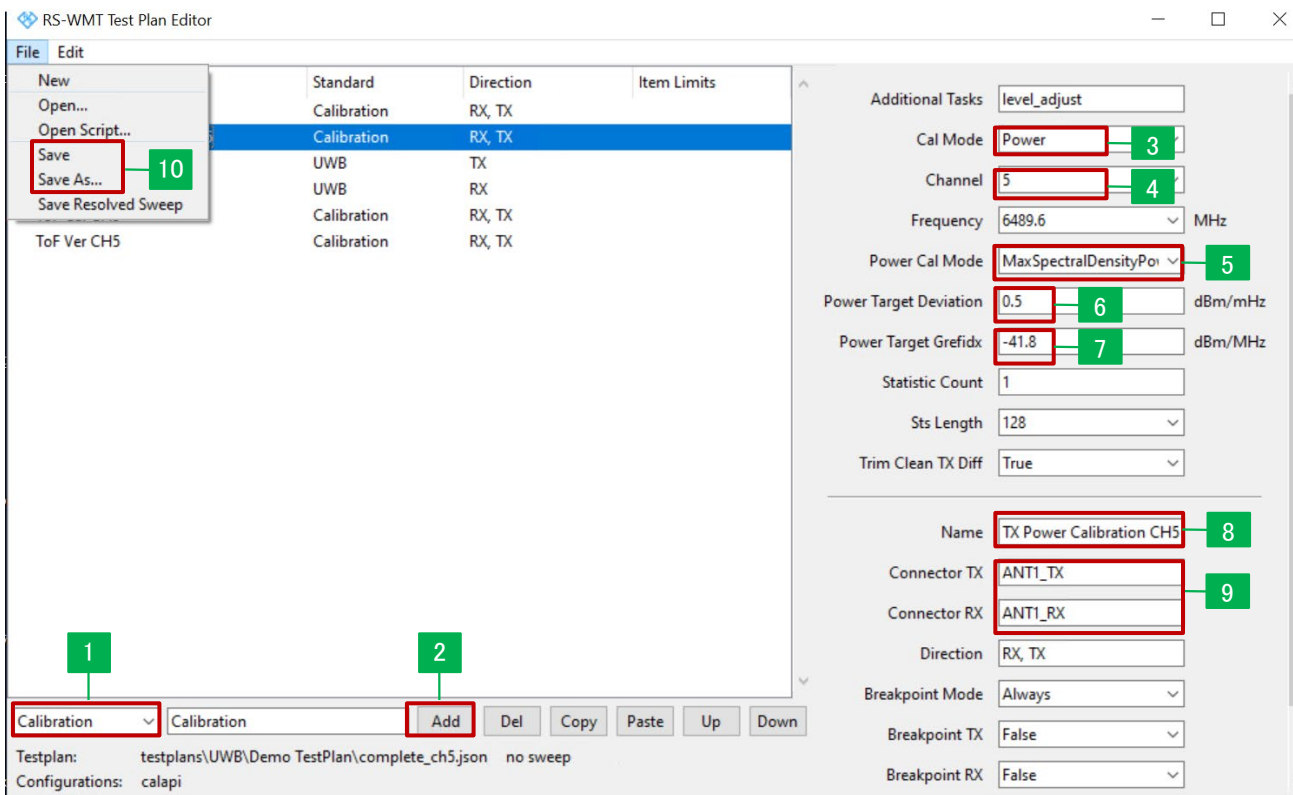


図 3-49 : テストプランエディターでの Tx パワー校正ルーチンの作成と設定

1. テストプランエディターの規格選択フィールドで、“Calibration” を選択します。
2. “Add” を押して校正ルーチンを追加します。
3. 校正モードとして“Power” を選択します。
4. UWB チャンネルを選択します（例：チャンネル 5）。
5. パワー校正モードとして“MaxSpectralDensityPower” を選択します。
6. パワー偏差ターゲットを定義します（例：デフォルト値の 0.5 dBm/MHz）。

7. パワーターゲットとして“-41.8 dBm/MHz”を指定します（ここではワーストケースを考慮しています。Tx パワーが FCC のリミットである -41.3 dBm/MHz を満たすためには、0.5 dBm/MHz の最大パワー偏差を考慮する必要があるからです）。
8. 校正ルーチン名を指定します（例：“Tx Power Calibration CH5”）。
9. Tx 方向と Rx 方向の両方のコネクタのコネクタ名を指定します（例：“ANT1_TX”、“ANT1_RX”）。指定したコネクタ名は、testconfig.ini ファイルに記述されているものと一致する必要があります（FDC とコネクタの対応については 3.3.1 を参照）。
10. メインメニューバーで、“File” > “Save/Save As”…を選択して、テストプランを保存します。

Tx パワー校正ルーチンをテストランナーで実行すると（3.2.2 を参照）、校正結果が図 3-50 のように表示されます。ここでは、トリムパラメータ TX_POWER_DIFF（受信した Tx パワーと予想 Tx パワーの差）の値として 12 が DUT に対して設定されています。NXP® UCI 仕様 [14]によれば、このトリム値は +3 dB に対応します。

TX Power Calibration CH5			
Power			
Preamble Power	-45.91	dBm	
trim_value	12		

図 3-50：テストランナーでの Tx パワー校正結果

3.3.2.3 ToF 校正

精密な測距を行うには、UWB デバイスのアナログアンテナフロントエンドとデジタル処理ユニットの間の過大な内部時間遅延すなわちアンテナ遅延を測定し、以後の測距セッションで補正する必要があります。アンテナ遅延は、Tx と Rx の両方向で発生します。図 3-51 に示されている DUT 側の T_{TX} と T_{RX} を算出する必要があります。それこそがこのセクションで説明する ToF 校正の役割です。

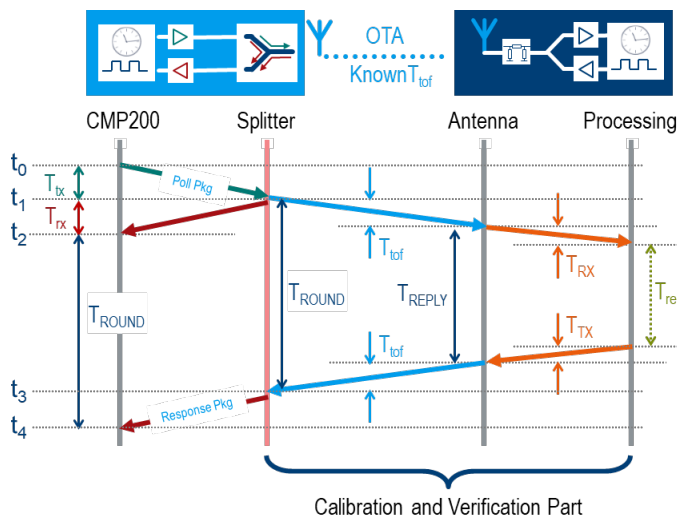


図 3-51：アンテナ遅延校正および ToF 検証の原理（表 3-4 を参照）

名称	説明
t_0	ポーリングパケットの発信時刻
t_1	ポーリングパケットがスプリッターに到着した時点の時間インスタンス
t_2	ポーリングパケットがスプリッターから CMP200 に返された時点の時間インスタンス
t_3	DUT 応答パケットがスプリッターに到着した時点の時間インスタンス
t_4	DUT 応答パケットが CMP200 に到着した時点の時間インスタンス
T_{tx}	CMP200 からスプリッターまでのポーリングパケットの伝搬時間 ($t_1 - t_0$)
T_{rx}	スプリッターから CMP200 に返されたポーリングパケットの伝搬時間 ($t_2 - t_1$)
T_{ROUND}	t_4 と t_2 の時間差 ($t_4 - t_2$)。これは t_3 と t_1 の時間差 ($t_3 - t_1$) に等しくなります。
T_{tof}	走行時間
T_{REPLY}	DUT 応答時間 ($T_{RX} + T_{re} + T_{TX}$)
T_{RX}	DUT のレシーバー経路の内部アンテナ遅延
T_{TX}	DUT のトランスミッター経路の内部アンテナ遅延
T_{re}	DUT の内部パケット処理時間

表 3-4：アンテナ遅延校正のタイミング (図 3-51 を参照)

アンテナ遅延校正の原理を以下に説明します。

図 3-51 に示すように、 T_{ROUND} は、 t_2 にスプリッターから返されたポーリングパケットの RMARKER と、 t_4 に CMP200 のアナライザ側に到着した DUT の応答パケットの間のタイムインターバルを表します。また、 T_{ROUND} は、スプリッターでの t_3 と t_1 の時間差でもあります。スプリッターから CMP200 までのパケットの伝搬時間も同じなので、 $T_{ROUND} = t_3 - t_1 = t_4 - t_2$ となります。したがって、ToF の計算と検証の際には、スプリッターの右側だけが時間計算に用いられます。

式 3-1

$$T_{ROUND} = T_{re} + 2T_{tof} + T_{RX} + T_{TX}$$

ここで、 $T_{RX} + T_{TX}$ は、双方向アンテナ遅延を表します。

式 3-2

$$T_{RX} + T_{TX} = T_{ROUND} - T_{re} - 2T_{tof} = t_4 - t_2 - T_{re} - 2T_{tof}$$

ここで、 t_2 と t_4 は、CMP200 で測定されたパケットの RMARKER のタイムスタンプであり、 T_{re} は DUT から報告された応答時間です。ToF 校正の場合、 T_{tof} は既知の ToF です (既知の ToF 値を求める方法の詳細は、以下の図 3-52 と図 3-53 に示されています)。式 3-2 の結果が実際の校正結果です。 $T_{RX} + T_{TX}$ の半分がアンテナ遅延であり、校正ルーチンの終了時にトリム値として DUT に設定されます。その結果、この更新されたトリム値が ToF 検証ルーチンで採用されます (3.4.3 を参照)。

このアプリケーションノートで説明する OTA テストソリューションの場合、 T_{tof} は 2 つの部分に分かれています。すなわち、システムのコンポーネントで発生する固定群遅延 (GD) と、無線信号の伝搬時間です。ToF キット、UWB アンテナキット、および RF フィードスルーまたは RF スイッチのどちらかを使用した場合、スプリッターの中央から Vivaldi アンテナの開口部までの固定 GD の合計値は、RF フィードスルーを使

用するセットアップ（システムバリエーション 1）で 4.08 ns、RF スイッチを使用するセットアップ（システムバリエーション 2）で 4.51 ns です。信号経路内の各コンポーネントの GD への寄与の詳細を表 3-5 に示します。

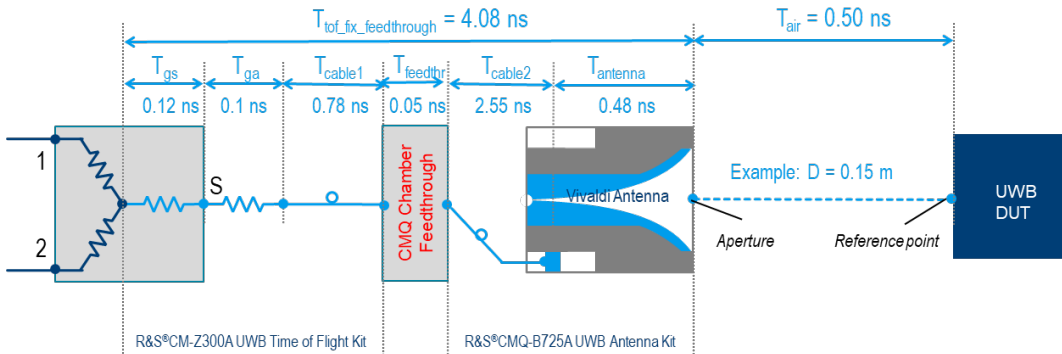
項目	群遅延 (ns)		説明	コメント
	$T_{\text{tof,fix_feedthrough}}$	$T_{\text{tof,fix_Switch}}$		
T_{gs}	0.12	0.12	スプリッター（中央から SUM ポートまで）	ToF キットオプション CM-Z300A に含まれる
T_{ga}	0.10	0.10	アッテネータ ^x	ToF キットオプション CM-Z300A に含まれる
T_{cable1}	0.78	0.78	15 cm RF ケーブル	ToF キットオプション CM-Z300A に含まれる
T_{switch}	該当なし	0.48	RF スイッチ SP6T	アンテナキットオプション CMQ-B744A に含まれる
T_{feedthr}	0.05	該当なし	RF フィードスルー	CMQ200/CMQ500 の標準構成に含まれる
T_{cable2}	2.55	2.55	55 cm RF ケーブル	アンテナキットオプション CMQ-B725A に含まれる
T_{antenna}	0.48	0.48	RF フィードから Vivaldi アンテナの開口部まで	アンテナキットオプション CMQ-B725A に含まれる
SUM	4.08	4.51		

表 3-5：信号経路に 6 dB アッテネータがある場合の固定群遅延のリスト

図 3-52 と図 3-53 に、システムバリエーション 1 と 2 の ToF 計算の例を示します。どちらの場合も、DUT のアンテナ（基準点）は Vivaldi アンテナから 0.15 m の位置にあるので、信号の自由空間伝搬時間 $T_{\text{air}} = \frac{D}{c \cdot u}$ = 0.50 ns となります。ここで、 D は、Vivaldi アンテナの開口部と DUT の基準点の間の距離 (m) です。定数 c は光速 (m/ns) すなわち 0.3 m/ns です。空気中の速度係数 u は 1 です。固定 GD の 4.08 ns および 4.51 ns を加算すると、ToF の合計値は、RF フィードスルーを使用するシステムバリエーション 1 で 4.58 ns、RF スイッチを使用するシステムバリエーション 2 で 5.01 ns となります。

^x ToF キット内の各アッテネータ (6、10、20、30 dB) の間の群遅延のバラツキは、最大で約 15 ps です。この群遅延は、アッテネータを接続した場合のみ考慮する必要があります。

System Variant 1



Example:

$$T_{\text{tof}} = T_{\text{gs}} + T_{\text{ga}} + T_{\text{cable1}} + T_{\text{feedthru}} + T_{\text{cable2}} + T_{\text{antenna}} + T_{\text{air}} = T_{\text{tof_fix_feedthrough}} + T_{\text{air}} = 4.08 \text{ ns} + 0.50 \text{ ns} = 4.58 \text{ ns}$$

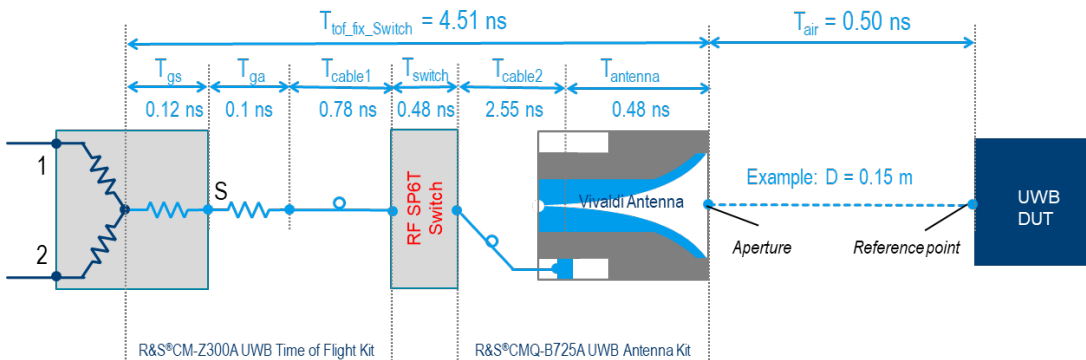
Where

$$T_{\text{tof_fix_feedthrough}} = T_{\text{gs}} + T_{\text{ga}} + T_{\text{cable1}} + T_{\text{feedthru}} + T_{\text{cable2}} + T_{\text{antenna}} = 0.12 \text{ ns} + 0.1 \text{ ns} + 0.78 \text{ ns} + 0.05 \text{ ns} + 2.55 \text{ ns} + 0.48 \text{ ns} = 4.08 \text{ ns}$$

$$T_{\text{air}} = D / (c \cdot v) = 0.15 \text{ m} / 0.3 \text{ m/ns} = 0.50 \text{ ns} \quad (D: \text{Distance from Aperture, } c: \text{speed of light, } v: \text{velocity factor} = 1)$$

図 3-52: RF フィードスルー (システムバリエーション 1) で OTA 距離が 0.15 m の場合の ToF 計算の例

System Variant 2



Example:

$$T_{\text{tof}} = T_{\text{gs}} + T_{\text{ga}} + T_{\text{cable1}} + T_{\text{switch}} + T_{\text{cable2}} + T_{\text{antenna}} + T_{\text{air}} = T_{\text{tof_fix_switch}} + T_{\text{air}} = 4.51 \text{ ns} + 0.50 \text{ ns} = 5.01 \text{ ns}$$

Where

$$T_{\text{tof_fix_switch}} = T_{\text{gs}} + T_{\text{ga}} + T_{\text{cable1}} + T_{\text{switch}} + T_{\text{cable2}} + T_{\text{antenna}} = 0.12 \text{ ns} + 0.1 \text{ ns} + 0.78 \text{ ns} + 0.48 \text{ ns} + 2.55 \text{ ns} + 0.48 \text{ ns} = 4.51 \text{ ns}$$

$$T_{\text{air}} = D / (c \cdot v) = 0.15 \text{ m} / 0.3 \text{ m/ns} = 0.50 \text{ ns} \quad (D: \text{Distance from Aperture, } c: \text{speed of light, } v: \text{velocity factor} = 1)$$

図 3-53: RF スイッチ (システムバリエーション 2) で OTA 距離が 0.15 m の場合の ToF 計算の例

コンポーネントの固定 GD ($T_{\text{tof_fix_feedthrough}}$ または $T_{\text{tof_fix_switch}}$) と T_{air} は、ToF 校正ルーチンで設定する必要があります。

テストルーチン設定の要件に応じて、固定 GD $T_{\text{tof_fix_feedthrough}} = 4.08 \text{ ns}$ または $T_{\text{tof_fix_switch}} = 4.51 \text{ ns}$ は、式 3-3 を適用することで距離に変換する必要があります。

式 3-3

$$\text{経路遅延 (m)} = T_{\text{tof_fix}} * c * v$$

ここで、 $v = 0.71$ は計算に使用する速度係数で、光速 $c = 0.3 \text{ m/ns}$ です。

これより、 $T_{tof_fix_feedthrough}$ と $T_{tof_fix_switch}$ は、距離にするとそれぞれ 0.87 m と 0.96 m に相当します。

図 3-54 に、ToF 校正ルーチンの作成と設定の手順を示します。

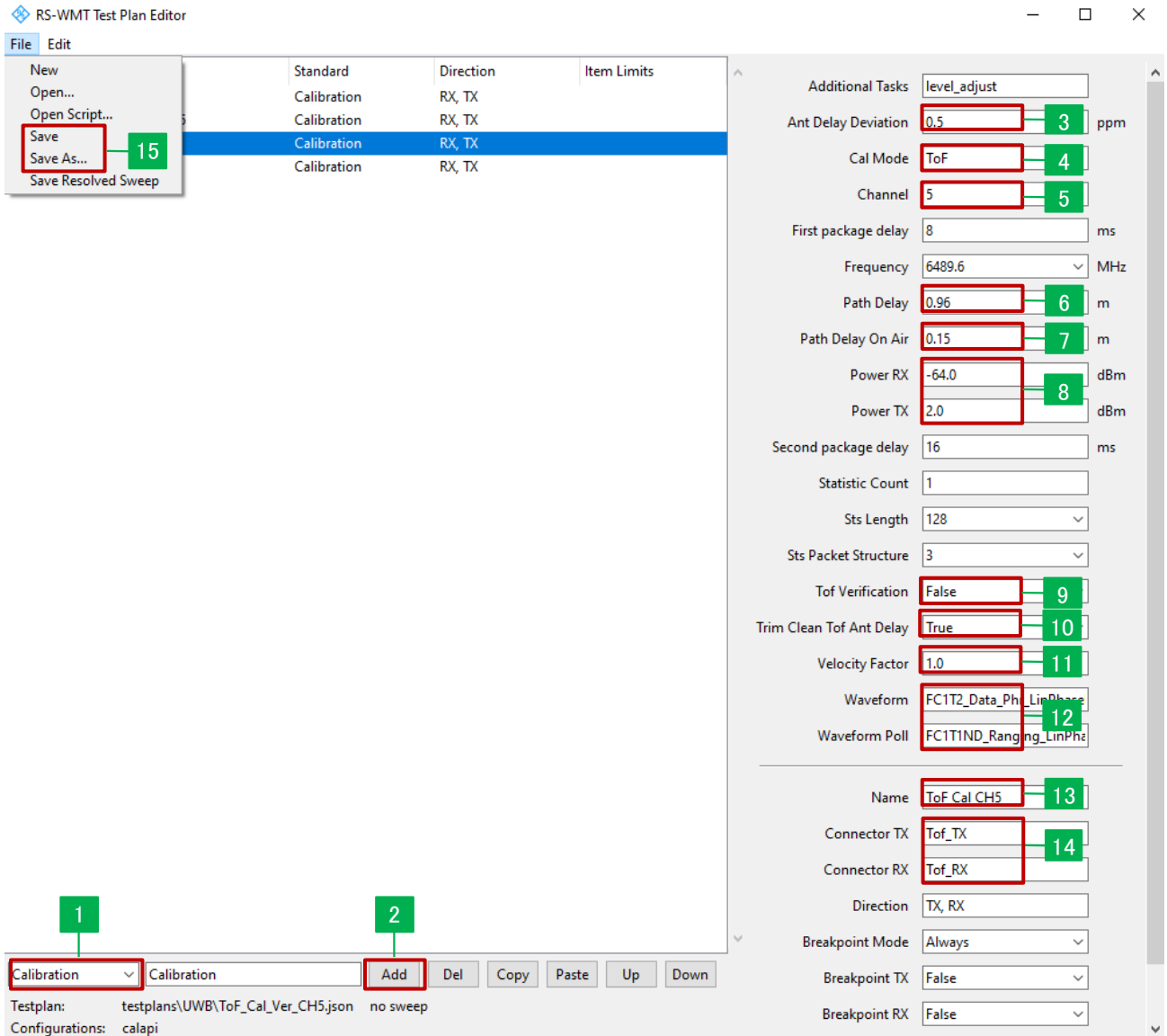


図 3-54 : テストプランエディターでの ToF 校正ルーチンの作成と設定

1. テストプランエディターの規格選択フィールドで、“Calibration” を選択します。
2. “Add” を押して校正ルーチンを追加します。
3. アンテナ遅延偏差の値を定義します（例：デフォルト値の 0.5 ppm）
4. 校正モードとして“ToF” を選択します。
5. UWB チャネルを選択します（例：チャンネル 5）。

6. 固定群遅延として、0.96 m ($T_{tof_fix_switch}$ 、システムバリエーション 2 の場合) または 0.87 m ($T_{tof_fix_feedthrough}$ 、システムバリエーション 1 の場合) を入力します。
7. Vivaldi アンテナと DUT アンテナの間の自由空間距離を入力します (例: 0.15 m)。
8. 適切な DUT Rx パワーおよび Tx パワーレベルを入力します。これらのパワーレベルの求め方については、78 ページの付録 D を参照してください (注意: パワーレベルが不適切な場合、CMP200 での信号検出が安定しない可能性があります)。
9. これは校正ルーチンなので、“ToF Verification” を “False” に設定します。
10. “Trim Clean ToF Ant Delay” フラグを “True” に設定して、DUT のアンテナ遅延のトリム値をこのルーチンの開始時にクリーンにすることを指定します。
11. 信号は空気中を伝搬するので、速度係数を “1” に設定します。
12. 波形ファイル名はデフォルトのままにしておきます。

テスト開始前に、2 つの波形ファイルを CMP200 にアップロードする必要があります (波形ファイルの処理については、81 ページの付録 E を参照してください)。2 つの波形ファイルは、DUT (NCJ29D5) の要件に従って、CMP200 上で 8 ms のタイムインターバル (図 3-55) で再生されます。

- 波形ファイル 1 (プレポーリングパケット) :

FC1T2_Data_Phr_LinPhaseRRC0p45_waveform_1_resample.wv

- 波形ファイル 2 (ポーリングパケット) :

FC1T1ND_Ranging_LinPhaseRRC0p45_waveform_2_resample.wv

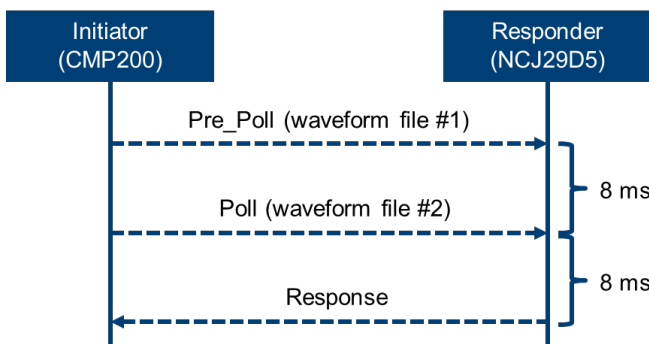


図 3-55 : NXP NCJ29D5 の測距メッセージフロー

13. ToF 校正ルーチン名を指定します (例: “ToF Cal CH5”)。
14. ToF 校正に使用する Tx 方向と Rx 方向の両方のコネクタのコネクタ名を指定します (例: “ToF_TX”、 “ToF_RX”)。指定したコネクタ名は、testconfig.ini ファイルに記述されているものと一致する必要があります (FDC とコネクタの対応については 3.3.1 を参照)。
15. メインメニューバーで、“File” > “Save/Save As”…を選択して、テストプランを保存します。

ToF 校正ルーチンをテストランナーで実行すると（3.2.2 を参照）、DUT のアンテナ遅延（ns）が判定され、対応するトリム値がトリムパラメータ ANTENNA_DELAY によって DUT に設定されます。図 3-56 に示す例では、アンテナ遅延は 4.13 ns で、15.65 ps の分解能精細度により、トリム値 263 に変換されます。

ToF Cal CH5			
ToF			
Distance	123.76	cm	
Antenna Delay	4.13	ns	
Trim Value	263		
CMP TIME	7846264.70	ns	
DUT TIME	7846257.21	ns	
FREQ ERR	0.23	ppm	
ToF_E	9.26	ns	

図 3-56：テストランナーでの ToF 校正結果

3.4 検証

この章では、WMT でのトランスミッター、レシーバー、ToF の検証ルーチンとその結果について説明します。

車載用 NXP®チップ（NXP Trimimension™ NCJ29D5）に対する CMP200 での UWB テスト用の推奨製品一覧を表 3-6 に示します。

カテゴリ	測定製品（章）	必要な R&S 機器／オプション
Tx/パワー	プリアンプパワー（3.4.1.1）	CMP200、KM300 UWB
Tx/パワー	データパワー（3.4.1.2）	CMP200、KM300 UWB
Tx/変調	周波数エラー（3.4.1.3）	CMP200、KM300 UWB
Tx/変調	チップクロックエラー（3.4.1.4）	CMP200、KM300 UWB
Tx/パルスマスク	パルスマスク（3.4.1.5）	CMP200、KM300 UWB
Tx/変調	SHR/PHR/PSDU/STS NRMSE（3.4.1.6）	CMP200、KM300 UWB
Tx/パルスレベル	平均 PHR/PSDU/STS パルスレベル、SHR 基準（3.4.1.7）	CMP200、KM300 UWB
Tx/マスク	スペクトラムマスクの送信（3.4.1.8）	CMP200、KM300 UWB
Tx/パワー	最大スペクトラムパワー[dBm/MHz]（3.4.1.9）	CMP200、KM300 UWB

カテゴリ	測定製品 (章)	必要な R&S 機器 / オプション
Tx/パワー	最大ピークスペクトラムパワー [dBm/50 MHz] (3.4.1.10)	CMP200、KM300 UWB
受信	RX 感度 (3.4.2)	CMP200、任意波形発生器 UWB SW オプション
ToF	測距 DS-TWR/SS-TWR (3.4.3)	CMP200、任意波形発生器 + KM300 + ToF キット

表 3-6 : CMP200 での NXP Trimension™ NCJ29D5 の測定に使用する製品

3.4.1 トランスミッター

トランスミッターテストでは、パワー、パルスレベル、パルスマスク、送信スペクトラムマスク測定を行います。

すべてのトランスミッターテストで SP3 が考慮されます。このため、UWB フレームのデータ部分 (PHR/PSDU) に対する測定はすべて利用できません。これらが必要な場合は、SP0 を構成する必要があります。

トランスミッター検証ルーチンを作成して設定するには、図 3-57 の手順を実行します。

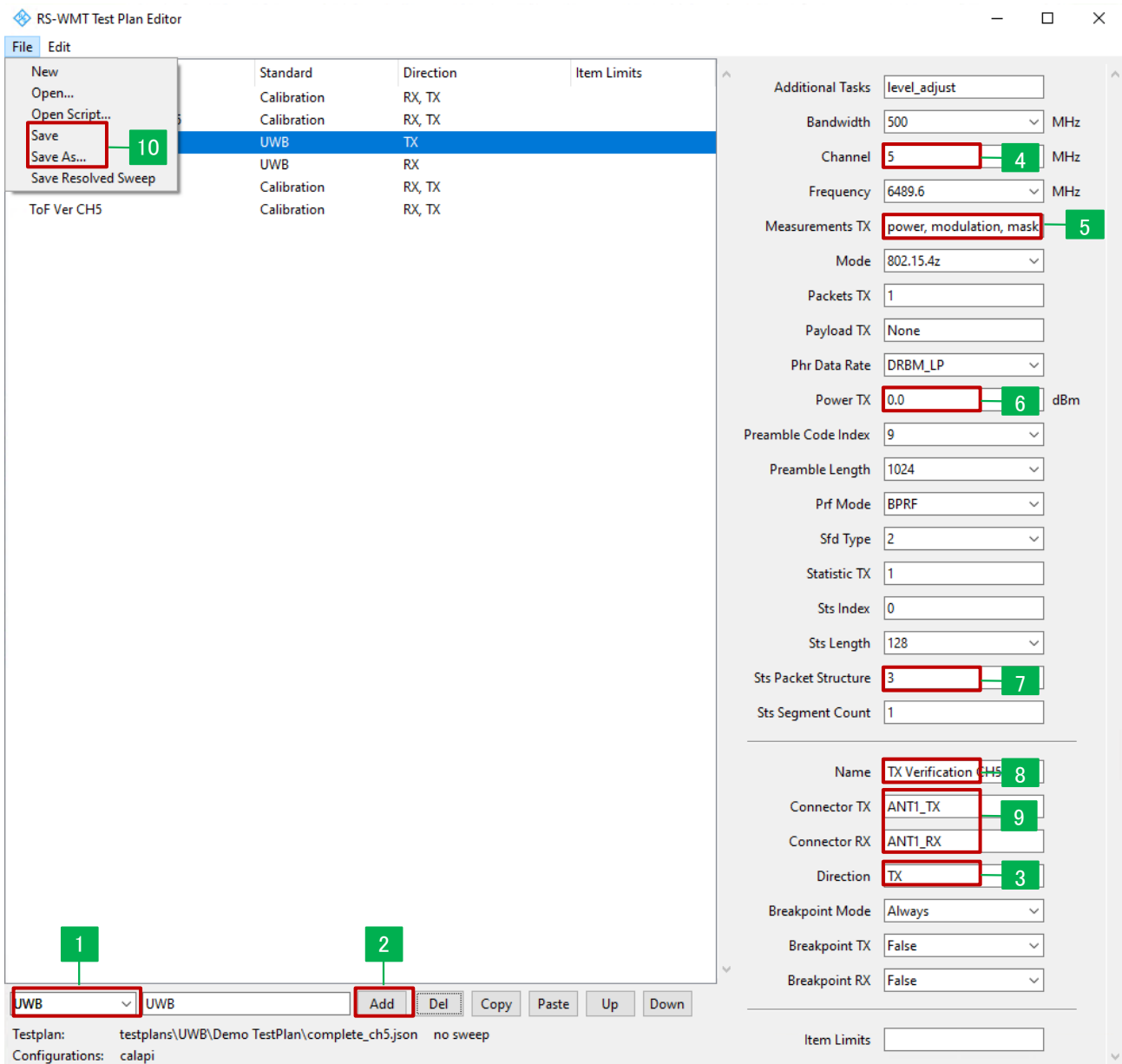


図 3-57：テストプランエディターでの Tx 検証ルーチンの作成と設定

1. テストプランエディターの規格選択フィールドで、“UWB” を選択します。
2. “Add” を押して検証ルーチンを追加します。
3. 方向として “Tx” を選択します。
4. UWB チャンネルを選択します（例：チャンネル 5）。
5. リストから Tx 測定を選択します（図 3-58 を参照）（例：パワー、変調、マスク）。

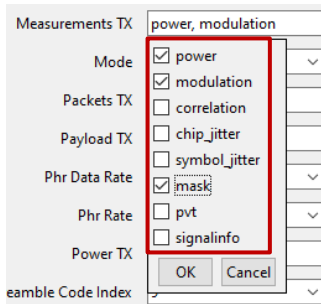


図 3-58 : Tx 測定項目

6. “Power TX” を “0” に設定します。
7. STS パケット構造を “3” に設定します。
8. 検証ルーチン名を指定します（例：“Tx Verification CH5”）。
9. Tx 方向と Rx 方向の両方のコネクタのコネクタ名を指定します（例：“ANT1_TX”、“ANT1_RX”）。指定したコネクタ名は、testconfig.ini ファイルに記述されているものと一致する必要があります（FDC とコネクタの対応については 3.3.1 を参照）。
10. メインメニューバーで、“File” > “Save/Save As”…を選択して、テストプランを保存します。

RS-WMT TestRunner

Edit

Overview DUT1

6 / 6 Failed: 0 View Log

	Result Name	Min	Max	Match	Result	Unit	Verdict
UWB, CH 5, 500 MHz; TX: 0.0 dBm							
Modulation							
	Reliability				0		
	FreqErrorHz				1904.97	Hz	
	ChipClockError				0.28	ppm	
	NormalizedMeanSquareError				-20.00	dB	
	SymbolModulationAccuracy				1.00		
	SideLobePeak				0.14		
	PulseMainLobeWidth				1.35e-09	sec	
	SymbolTimeJitterRms				6.30e-12	sec	
	SymbolPhaseJitterRms				2.36	deg	
	ChipTimeJitterRms				2.96e-11	sec	
	ChipPhaseJitterRms				2.98	deg	
	NRMSE_SHR				5.65	%	
	NRMSE_PHR				NCAP	%	
	NRMSE_PSDU				NCAP	%	
	NRMSE_STS				5.61	%	
Power							
	Reliability				0		
	PreamblePower				-12.92	dBm	
	PreamblePeakPower	0			-2.19	dBm	PASS
	DataPower				NCAP	dBm	
	DataPeakPower				NCAP	dBm	
	MaxSpectralDensityPower	-41.30			-45.88	dBm/MHz	PASS
	MaxPower50MHz				-14.28	dBm	
	GPRF				-30.15	dBm	
Pulse_level							
	Reliability				0		
	PulseLevelPHR				NCAP	dB	
	PulseLevelPSDU				NCAP	dB	
	PulseLevelSTS				0.03	dB	
Mask							
	MarginNegArea2	0			1.13	dB	PASS
	MarginNegArea1	0			4.24	dB	PASS
	MarginPosArea1	0			7.74	dB	PASS
	MarginPosArea2	0			0.60	dB	PASS

Run Abort

図 3-59 : WMT テストランナーでの SP3 による Tx 検証結果

図 3-59 に、Tx 検証ルーチン実行後（3.2.2 を参照）にテストランナーに表示されたトランスミッターテスト結果を示します。

以後の各章では、各トランスミッターテストと適用される合格基準について説明します。

3.4.1.1 プリアンブルパワー

プリアンブルパワーは、UWB PPDU のプリアンブル部分の平均パワーです。

3.4.1.2 データパワー

データパワーは、UWB PPDU の物理層ペイロードの平均パワーです。

3.4.1.3 周波数エラー

[4]の第 15.4.9 章によれば、HRP UWB の物理層送信中心周波数許容値は $\pm 20 \times 10^{-6}$ です。3.4.1.4 で説明するチップクロックの許容値は、これに優先します。

3.4.1.4 チップクロックエラー

[4]の第 15.4.6 章によれば、HRP UWB トランスミッターは 499.2 MHz のピーク PRF でのチップ機能を持つ必要があります、要求される精度は $\pm 20 \times 10^{-6}$ です。さらに、HRP UWB の各物理層チャンネルに関して、送信エネルギーの中心は、表 1-1 に記載されている値に、やはり $\pm 20 \times 10^{-6}$ の精度で一致する必要があります。測定には、1 MHz の分解能帯域幅と 1 kHz のビデオ帯域幅が用いられます。

3.4.1.5 パルスマスク

[5]の第 15.4.4 章によれば、プリカーサー付きのパルスを使用する UWB デバイスの場合、送信パルスが、ロールオフ係数 $\beta = 0.45$ の基準ルートナイキストパルス $r(t)$ の式 (式 1-1) に、最低 ± 3 チップ周期にわたって従うことが推奨されます。送信パルスが最小プリカーサーパルス推奨事項に従う場合、送信パルス形状 $p(t)$ は、図 3-60 のタイムドメインマスクによって制約される必要があります。ここで、パルスのピークは $t=0$ ns で振幅 1 に正規化され、値 1 にスケールされます。時間単位は表 3-7 で定義される T_p です。

チャンネル番号	パルスの持続時間 T_p (ns)	メインローブ幅 T_w (ns)
{0:3, 5:6, 8:10, 12:14}	2.00	0.5
7	0.92	0.2
{4, 11}	0.75	0.2
15	0.74	0.2

表 3-7：各 UWB チャンネルの基準パルス持続時間 ([4]の表 15-12)

パルスは最初のピーク振幅まで単調に増加する必要があります。最初のピーク振幅は、パルスが最初に 1.25% より大きく減少する前の最大振幅と定義されます。

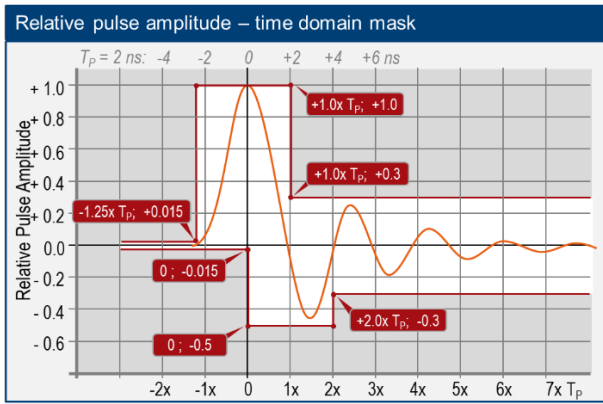


図 3-60 : T_p が 2 ns の HRP UWB 物理層パルスのタイムドメインマスク

名称	タイムインターバル $\times T_p$ (X 軸)	リミット値 (Y 軸)
領域 1 (下)	[-3, 0]	-0.015
領域 2 (下)	[0, 2]	-0.5
領域 3 (下)	[2, 3]	-0.3
領域 1 (上)	[-3, -1.25]	0.015
領域 2 (上)	[-1.25, 1]	1.0
領域 3 (上)	[1, 3]	0.3

表 3-8 : パルス振幅マスクのリミットライン定義

図 3-59 では、結果が次に示すマージン値で示されています。

$$\text{マージン} = \text{リミット値} - \text{測定値}$$

すなわち、マージン値が 0 より大きい場合、測定値はマスクの範囲内です。そうでなければ、測定値は定義されたリミットを超えています。

3.4.1.6 SHR/PHR/PSDU/STS NRMSE

SHR/PHR/PSDU/STS に対する正規化実効値 (NRMSE) 測定は、Fira 仕様の「Transmit Signal Quality (送信信号品質)」の章に基づいています。

SHR および STS の場合 : NRMSE < 25 %

PHR および PSDU の場合 : NRMSE < 30 %

3.4.1.7 平均 PHR/PSDU/STS パルスレベル、SHR 基準

平均 PHR/PSDU/STS パルスレベル (SHR 基準) は、Fira 仕様の「Transmit Signal Quality (送信信号品質)」の章に基づいています。これは ± 2 dB 以内である必要があります。

3.4.1.8 スペクトラムマスクの送信

[4]の第 15.4.5 章によると、送信スペクトラムは、信号の最大スペクトラム密度を基準として、 $0.65/T_p < |f - f_c| < 0.8/T_p$ では -10 dB、 $|f - f_c| > 0.8/T_p$ では -18 dB より小さい必要があります。ここで、 f_c はチャンネルの中心周波数、 T_p は関連するチャンネルのパルスの持続時間です。測定には、 1 MHz の分解能帯域幅と 1 kHz のビデオ帯域幅が用いられます。

表 3-9 に、さまざまなパルスの持続時間に対する送信 PSD マスクのリミットラインの概要を示します。

チャンネル番号	パルスの持続時間 T_p (ns)	$ f - f_c $	
		-10 dB	-18 dB
{0:3, 5:6, 8:10, 12:14}	2.00	325 MHz	400 MHz
7	0.92	705 MHz	870 MHz
{4, 11}	0.75	867 MHz	1067 MHz
15	0.74	878 MHz	1081 MHz

表 3-9：送信スペクトラムマスクのリミットライン

例えば、チャンネル 9 は 7.987 GHz (f_c) で動作し、パルスの持続時間は 2 ns です。したがって、チャンネル 9 の送信スペクトラムマスクは図 3-61 に示すようになります。

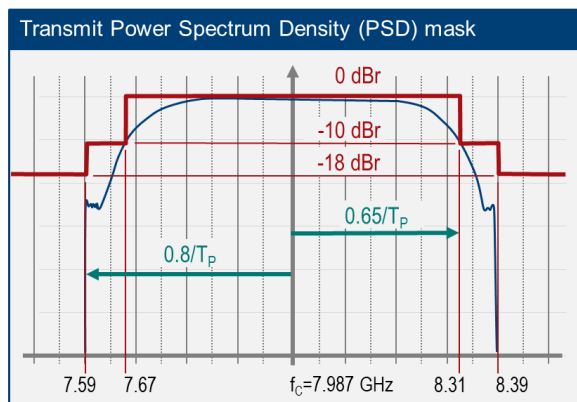


図 3-61：チャンネル 9 の送信スペクトラムマスク

名称	周波数レンジ (X 軸)	リミット値 (Y 軸)
領域 1	$[0.65/T_p, 0.8/T_p]$	-10 dB
領域 2	$> 0.8/T_p$	-18 dB

表 3-10：送信スペクトラムマスクのリミットライン定義

結果の評価はマージンに基づきます。ここで、

$$\text{マージン} = \text{リミット値} - \text{測定値}$$

すなわち、マージン値が 0 より大きい場合、測定値はマスクの範囲内です。そうでなければ、測定値は定義されたリミットを超えています。

3.4.1.9 最大スペクトラムパワー[dBm/MHz]

1 MHz の分解能帯域幅 (RBW) で測定された最大平均スペクトラムパワー。パワーは PPDU 全体にわたって、または PPDU から 1 ms にわたって測定されます [15]。FCC 要件によれば、最大スペクトラムパワー密度は -41.3 dBm/MHz より小さい必要があります。

3.4.1.10 最大ピークスペクトラムパワー[dBm/50 MHz]

50 MHz の分解能帯域幅 (RBW) で測定された最大ピークスペクトラムパワー [15]。FCC セクション 15 によれば、これは 0 dBm/50 MHz より小さい必要があります。

3.4.2 レシーバー感度

レシーバー感度は、DUT が 1 %以下のパケットエラーレート (PER) を達成できる最低の受信信号パワーレベルです。これは Fira 仕様の「パケット受信感度」の章に基づいています。

レシーバー感度テストルーチンを作成して設定するには、図 3-62 の手順を実行します。

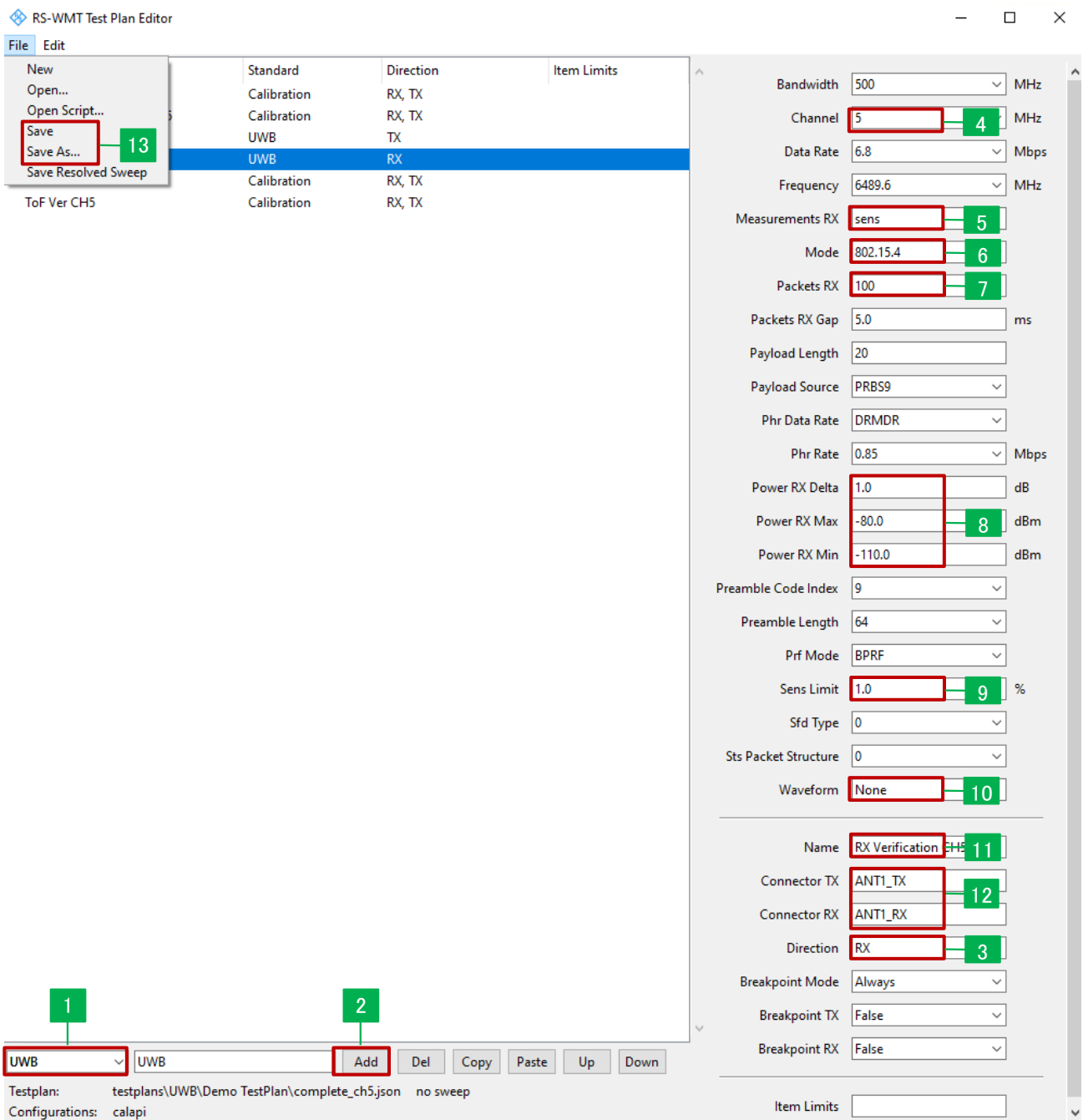


図 3-62 : テストプランエディターでの Rx 検証ルーチンの作成と設定

1. テストプランエディターの規格選択フィールドで、“UWB” を選択します。
2. “Add” を押して検証ルーチンを追加します。
3. 方向として “Rx” を選択します。
4. UWB チャンネルを選択します（例：チャンネル 5）。
5. リストから “Sens” Rx 測定を選択します（図 3-58 を参照）。

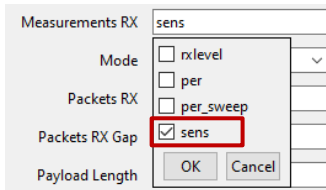


図 3-63 : Rx 測定項目から “Sens” を選択

6. UWB 規格を選択します。
7. 受信パケット数を指定します。
8. 初期レーザパワーレベル範囲（最大値、最小値）と感度探索を終了するデルタ値を定義します。デフォルト設定のレーザパワー最大値 -80 dBm、最小値 -110 dBm、デルタ 1 dB をそのまま使用できます。レーザ感度探索の詳細については、82 ページの付録 F を参照してください。
9. レーザ感度リミットを指定します。デフォルト設定の 1% を使用できます。
10. “Waveform” フィールドにはデフォルト値の “None” を使用します。波形ファイルは WinIQSIM によってオンザフライで作成されます。
11. 検証ルーチン名を指定します（例：“Rx Verification CH5”）。
12. Tx 方向と Rx 方向の両方のコネクタのコネクタ名を指定します（例：“ANT1_TX”、“ANT1_RX”）。指定したコネクタ名は、testconfig.ini ファイルに記述されているものと一致する必要があります（FDC とコネクタの対応については 3.3.1 を参照）。
13. メインメニューバーで、“File” > “Save/Save As”…を選択して、テストプランを保存します。

UWB, CH 5, 500 MHz; RX: None, -65.0 dBm		
Receiver		
Sensitivity	-90.31	dBm
PER@Sensitivity	0	%
PER@-87.50	0	%
PER@-89.38	0	%
PER@-90.31	0	%
PER@-91.25	4.00	%
PER@-95.00	97	%

図 3-64 : テストランナーでの Rx 検証結果

テストランナーでの Rx 検証ルーチンの実行後（3.2.2 を参照）、図 3-64 の結果から、レーザパワーレベルが -90.31 dBm のときに PER が 0%（1% のリミットより下）を達成していることがわかります。この DUT のレーザ感度は、-90.31 dBm です。

3.4.3 ToF 測距（SS-TWR）

ここでは、図 3-51 に示す ToF 校正と同じ原理が考慮されます。ただし、ToF 測距検証ルーチンでは、ToF 校正ルーチンの実行（3.3.2.3 を参照）によって得られた DUT 内部アンテナ遅延 $DT_{RX} + T_{TX}$ の値に基づいて、測距距離、あるいはそれと等価な Vivaldi アンテナと DUT の間の ToF を検証します。

ToF 検証ルーチンを作成して設定するには、図 3-65 の手順を実行します。

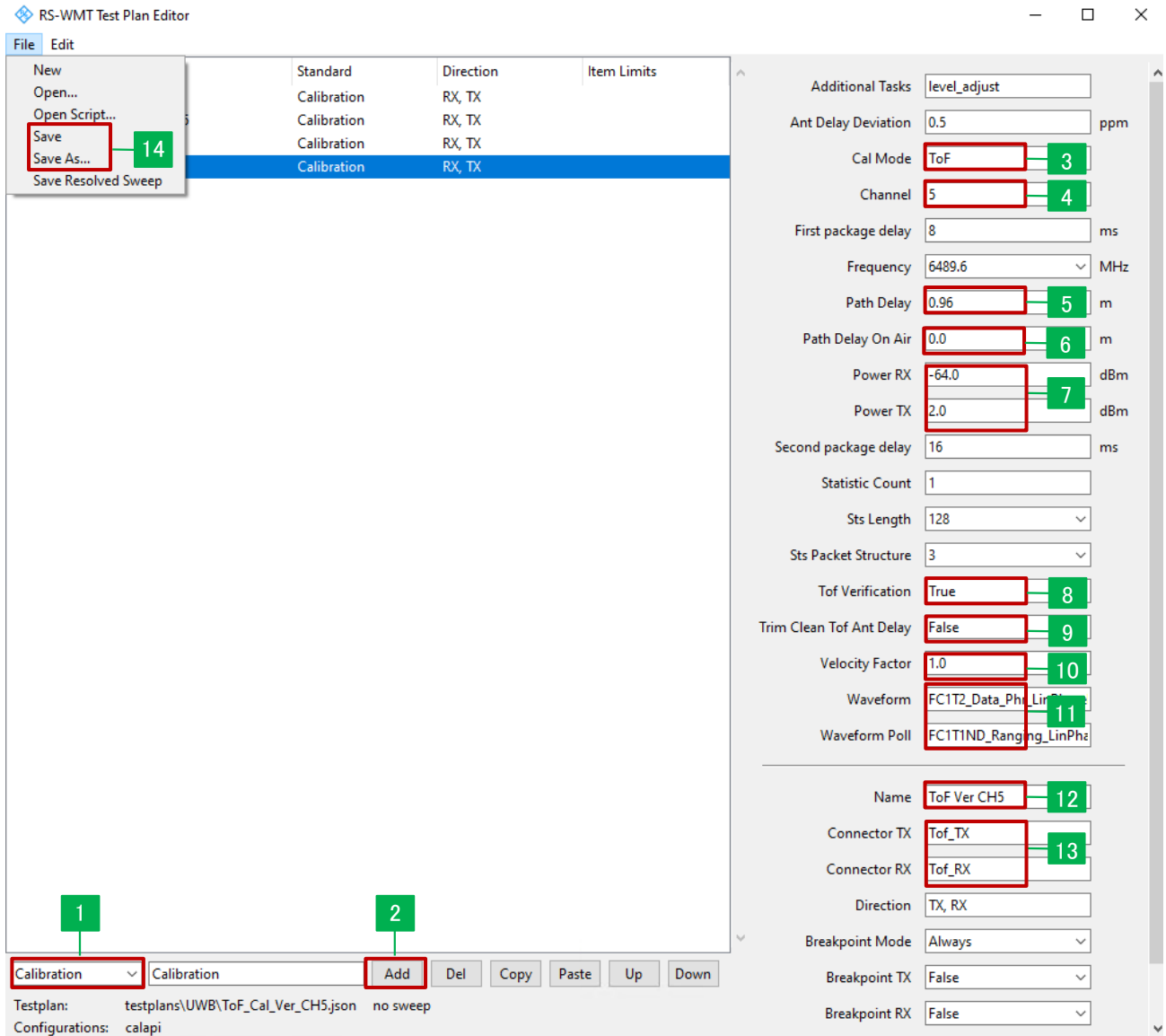


図 3-65 : テストプランエディターでの ToF 検証ルーチンの作成と設定

1. テストプランエディターの規格選択フィールドで、“Calibration” を選択します。
2. “Add” を押して校正ルーチンを追加します。
3. 校正モードとして“ToF” を選択します。
4. UWB チャンネルを選択します（例：チャンネル 5）。
5. 固定群遅延として、0.96 m ($T_{tof_fix_switch}$ 、システムバリエーション 2 の場合) または 0.87 m ($T_{tof_fix_feedthrough}$ 、システムバリエーション 1 の場合) を入力します（3.3.2.3 を参照）。
6. 検証目的の経路遅延として“0”を入力します。

7. 適切な DUT Rx パワーおよび Tx パワーレベルを入力します。これらのパワーレベルの求め方については、78 ページの付録 D を参照してください（注意：パワーレベルが不適切な場合、CMP200 での信号検出が安定しない可能性があります）。
8. これは検証ルーチンなので、“ToF Verification” を “True” に設定します。
9. “Trim Clean ToF Ant Delay” フラグを “False” に設定して、DUT のアンテナ遅延のトリム値を保持することを指定します。
10. 信号は空気中を伝搬するので、速度係数を “1” に設定します。
11. 波形ファイル名はデフォルトのままにしておきます。

テスト開始前に、2 つの波形ファイルを CMP200 にアップロードする必要があります（波形ファイルの処理については、81 ページの付録 E を参照してください）。

- 波形ファイル 1（プレポーリングパケット）：

FC1T2_Data_Phr_LinPhaseRRC0p45_waveform_1_resample.wv

- 波形ファイル 2（ポーリングパケット）：

FC1T1ND_Ranging_LinPhaseRRC0p45_waveform_2_resample.wv

12. ToF 校正ルーチン名を指定します（例：“ToF Ver CH5”）。
13. ToF 校正に使用する Tx 方向と Rx 方向の両方のコネクタのコネクタ名を指定します（例：“ToF_TX”、“ToF_RX”）。指定したコネクタ名は、testconfig.ini ファイルに記述されているものと一致する必要があります（FDC とコネクタの対応については 3.3.1 を参照）。
14. メインメニューバーで、“File” > “Save/Save As”…を選択して、テストプランを保存します。

Parameter	Value	Unit
Distance_cm	15.08	cm
Antenna Delay	0.50	ns
CMP TIME	7846263.82	ns
DUT TIME	7846257.21	ns
FREQ ERR	0.34	ppm
ToF_E	9.24	ns
loopback_delay	390.41	ns
t_repl	7845866.81	ns
cmp_time_1	7845866.81	ns
cmp_time_2	8227664.35	ns
cmp_time_3	16073928.17	ns
ant_delay	4.12	ns

図 3-66：テストランナーでの ToF 検証結果

テストランナーでの ToF 検証ルーチンの実行後（3.2.2 を参照）、検証結果から、Vivaldi アンテナと DUT アンテナの間の距離測定値（cm）と、対応する空気中での ToF がわかります。図 3-66 に示す結果の例では、測距結果は 15.08 cm で、きわめて正確です（Vivaldi アンテナと DUT アンテナの間の物理的距離は 15 cm）。

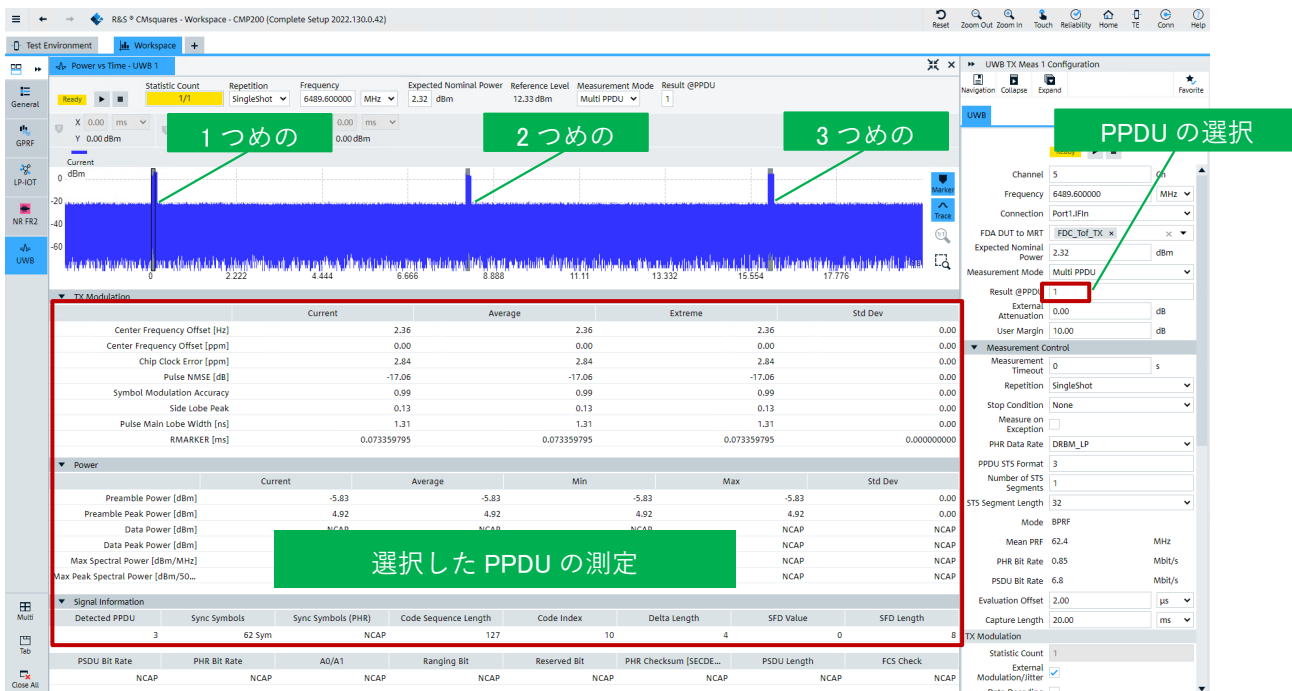


図 3-67 : ToF セッションの PPDU の測定

WMTに加えて、CMsquaresのCMP200パワー対時間(PvT)スクエアには、CMP200によって検出された各PPDUの測定結果を含むToFセッションの概要が示されます。図3-67に示すように、ToFセッション全体で合計3つのPPDUが検出されています。UWB測定設定でPPDU番号を選択すると、選択したPPDUの測定の詳細が表示されます。

4 参考文献

- [1] “ABI Research,” [オンライン]. Available: <https://www.abiresearch.com/press/2022-will-mark-a-new-era-for-wireless-innovation/>.
- [2] R&S®, “HRP UWB Testing with CMP200 radio communication tester,” 著: *Application Note*.
- [3] R&S®, Yong Shi, “High rate pulse ultrawideband physical layer testing and certification,” 著: *White paper*.
- [4] IEEE 802.15.4-2020, “IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks (Approved 6 May 2020)”.
- [5] IEEE 802.15.4z-2020, “IEEE 802.15.4z-2020 Standard for Low-Rate Wireless Networks, Amendment 1: Enhanced Ultra Wideband (UWB) Physical Layers (PHYs) and Associated Ranging Techniques (Approved 4 June 2020)”.

- [6] Car Connectivity Consortium®, “CCC Digital Key Release 3.0 White Paper, CCC Digital Key – The future of vehicle access,” [オンライン]. Available: <https://carconnectivity.org/whitepapers/>.
- [7] B. Großwindhager, “Robust, Efficient, and Scalable UWB-based Positioning using Multipath and Quasi-simultaneous Transmissions,” June 2020.
- [8] G. F. H. F. M. Benoît Derat, “Shortest range length to measure the total radiated power,” *IET Microwaves, Antennas & Propagation, Volume 13, Issue 15*, p. 2584 – 2589, December 2019.
- [9] R&S®, Alexander Nähring, “Demystifying over-the-air (OTA) testing – important antenna parameters, test system setup and calibration,” 著: *White paper*.
- [10] R&S®, “White paper: Over-The-Air RF Conformance Measurement On 5G NR Devices,” 2021.
- [11] “NCJ29D5: Trimension™ Evaluation Board for Automotive Ultra-Wideband,” [オンライン]. Available: <https://www.nxp.com/products/wireless/secure-ultra-wideband-uwband/ncj29d5-trimension-evaluation-board-for-automotive-ultra-wideband:LID2435-R4>.
- [12] R&S®, “R&S®CMQ Shielding Cube Specifications – Data Sheet Version 01.00”.
- [13] R&S®, “R&S®CMP200 Radio Communication Tester User Manual”.
- [14] NXP®, “NXP NCJ29D5 UCI Specification Rev. 1.16,” 7 July 2021.
- [15] R&S®, “R&S®CMP200 UWB Tx Measurements User Manual”.

5 付録

A Mini-Circuits パワースプリッター／コンバイナーZFRSC-183+データシート

Typical Performance Data

Frequency (MHz)	Total Loss ¹ (dB)		Amplitude Unbalance (dB)	Isolation (dB)	Phase Unbalance (deg.)	VSWR S	VSWR 1	VSWR 2
	S-1	S-2						
500.00	6.05	6.07	0.01	6.05	0.01	1.02	1.01	1.01
1000.00	6.07	6.08	0.02	6.06	0.08	1.02	1.02	1.02
2000.00	6.09	6.13	0.04	6.08	0.26	1.02	1.01	1.01
3000.00	6.19	6.22	0.02	6.26	0.28	1.06	1.04	1.04
4500.00	6.27	6.34	0.07	6.36	0.05	1.06	1.04	1.01
6000.00	6.30	6.36	0.07	6.22	0.01	1.07	1.12	1.09
7500.00	6.37	6.39	0.03	6.38	0.08	1.06	1.07	1.06
9000.00	6.34	6.44	0.10	6.67	0.22	1.15	1.03	1.05
10500.00	6.51	6.62	0.11	6.82	0.10	1.17	1.06	1.03
12000.00	6.76	6.82	0.05	6.58	0.91	1.16	1.03	1.06
13500.00	6.82	6.87	0.05	6.47	0.18	1.06	1.15	1.16
15000.00	7.37	7.32	0.05	7.57	0.01	1.12	1.32	1.29
16500.00	7.25	7.04	0.21	7.35	0.78	1.34	1.40	1.25
17000.00	6.79	6.59	0.19	6.84	0.59	1.29	1.34	1.18
18000.00	6.07	5.91	0.15	6.32	0.57	1.07	1.19	1.13

1. Total Loss = Insertion Loss + 6dB splitter loss.

表 5-1 : Mini-Circuits パワースプリッター／コンバイナーZFRSC-183+の性能データ (出典 : Mini-Circuits)

B WMT テストプランエディターでのパラメータ

B.1 共通設定

The screenshot shows the 'Common Settings' (共通設定) section of the WMT test plan editor. The settings are as follows:

- Name: UWB
- Connector TX: ANTI_TX
- Connector RX: ANTI_RX
- Direction: TX
- Breakpoint Mode: Always
- Breakpoint TX: False
- Breakpoint RX: False
- Item Limits: (empty field)

図 5-1 : 共通設定

パラメータ	説明	設定
Name	テストルーチン名	任意

パラメータ	説明	設定
Connector TX	DUT 送信経路 (DUT から CMP200 へ) のコネクタ識別子	この名前は、testconfig.ini ファイルの対応するセクション名と一致する必要があります (3.3.1 を参照)。
Connector RX	DUT 受信経路 (CMP200 から DUT へ) のコネクタ識別子	この名前は、testconfig.ini ファイルの対応するセクション名と一致する必要があります (3.3.1 を参照)。
Direction	DUT から見た方向を指定します。	TX または RX (またはその両方)
Breakpoint Mode	ブレイクポイントモードをオンにします。これにより、テストルーチンがブレイクポイント機能をサポートしていれば、テストルーチンを停止して、CMSquares で測定を手動で開始し、チェックできるようになります。これは主にデバッグのために必要です。	Always (常に) / On Failure (障害発生時)
Breakpoint TX	Tx テストルーチンのブレイクポイントをオン/オフします。	True/False
Breakpoint RX	Rx テストルーチンのブレイクポイントをオン/オフします。	True/False

表 5-2 : テストプランエディターでのテストプランの共通設定

B.2 トランスミッターテストの設定

The screenshot shows a configuration window for a transmitter test. The parameters are as follows:

- Additional Tasks: level_adjust
- Bandwidth: 500 MHz
- Channel: 5 MHz
- Frequency: 6489.6 MHz
- Measurements TX: power, modulation, correl
- Mode: 802.15.4z
- Packets TX: 100
- Payload TX: None
- Phr Data Rate: DRBM_LP
- Power TX: 0.0 dBm
- Preamble Code Index: 9
- Preamble Length: 64
- Prf Mode: BPRF
- Sfd Type: 0
- Statistic TX: 1
- Sts Index: 0
- Sts Length: 64
- Sts Packet Structure: 3
- Sts Segment Count: 1

図 5-2 : STS パケット構造 3 (SP3) でのトランスミッターテストの設定

パラメータ	説明	設定
Additional Tasks	自動レベル調整 (オートレンジ)	オン/オフ
Bandwidth	UWB チャネル帯域幅	表 1-1 を参照
Channel	UWB チャネル	表 1-1 を参照
Data Rate	PSDU ビットレート (1.3.4 を参照) STS パケット構造 3 を選択した場合、このフィールドは非表示です。	表 1-5、表 1-6 および表 1-7 を参照
Frequency	チャンネルの中心周波数	表 1-1 を参照

パラメータ	説明	設定
Measurement Tx	トランスミッターテスト項目	パワー／変調／相関／チップジッター／シンボルジッター／マスク/PvT/信号情報
Mode	UWB 規格	802.15.4/802.15.4z
Packets Tx	送信パケット数	0…5000
Payload Tx	トランスミッターテスト用のペイロード。SP0 の場合のみ必要	SP0：必須（例：0x01、0x02、0x03） SP3：なし
PHR Data Rate	PHR データレートモード（1.3.4 を参照）。	802.15.4：DRMDR 802.15.4z：DRBM_LP/DRBM_HP/DRHM_LR/DRHM_HR
PHR Rate	PHR ビットレート（1.3.4 を参照） STS パケット構造 3 を選択した場合、このフィールドは非表示です。	表 1-5、表 1-6 および表 1-7 を参照
Power Tx	公称 Tx パワー設定	-12 dBm～+14 dBm（分解能 0.25 dBm）
Preamble Code Index	プリアンプルコードインデックスを設定します。	1.3.3.1 を参照
Preamble Length	プリアンプルシンボルの繰り返し回数（1.3.3.1 を参照）	16 / 32 / 64 / 1024 / 4096
PRF Mode	PRF モードを指定します。	BPRF / HPRF
SFD Type	SFD タイプを指定します（1.3.3.2 を参照）。	0/1/2/3/4（表 1-4 を参照）
Statistic Tx	測定の繰り返し回数	> 0
STS Index	現在の STS インデックスを指定します（1.3.5 を参照）。STS パケット構造 0 を選択した場合、このフィールドは非表示です。	表 1-8 を参照
STS Length	STS 長を指定します（1.3.5 を参照）。STS パケット構造 0 を選択した場合、このフィールドは非表示です。	表 1-8 を参照
STS Packet Structure	802.15.4z で定義された STS パケット構造（1.3.5 を参照）	0 / 1 / 2 / 3 ^{xi}
STS Segment Count	STS セグメント数を指定します（1.3.5 を参照）。STS パケット構造 0 を選択した場合、このフィールドは非表示です。	表 1-8 を参照

表 5-3：テストプランエディターでの Tx テストの設定

^{xi} NXP NCJ29D5 UCI 仕様 1.16（2021 年 7 月 7 日）では、SP0 と SP3 のみがサポートされます。

B.3 レシーバーテストの設定

Bandwidth	500	MHz
Channel	5	MHz
Data Rate	6.8	Mbps
Frequency	6489.6	MHz
Measurements RX	sens	
Mode	802.15.4z	
Packets RX	100	
Packets RX Gap	5.0	ms
Payload Length	20	
Payload Source	PRBS9	
Phr Data Rate	DRBM_LP	
Phr Rate	0.85	Mbps
Power RX Delta	1.0	dB
Power RX Max	-80.0	dBm
Power RX Min	-110.0	dBm
Preamble Code Index	9	
Preamble Length	64	
Prf Mode	BPRF	
Sens Limit	1.0	%
Sfd Type	0	
Sts Packet Structure	0	
Waveform	None	

図 5-3 : STS パケット構造 0 (SP0) でのレシーバーテストの設定

パラメータ	説明	設定
Bandwidth	UWB チャネル帯域幅	表 1-1 を参照
Channel	UWB チャネル	表 1-1 を参照
Data Rate	PSDU ビットレート (1.3.4 を参照) STS パケット構造 3 を選択した場合、このフィールドは非表示です。	表 1-5、表 1-6 および表 1-7 を参照
Frequency	チャネルの中心周波数	表 1-1 を参照
Measurement Rx	レシーバーテストのタイプを選択します。	RxLevel/PER/PER Sweep/Sens
Mode	UWB 規格	802.15.4/802.15.4z
Packets Rx	受信パケット数	0…5000
Packets Rx Gap	DUT に送信される 2 つの連続するパケットの間のアイドル時間	0~100 ms
Payload	レシーバーテスト用のペイロード。ペイロードソースが "List" に設定されている場合のみ、ここでペイロードを指定する必要があります。STS パケット構造 3 を選択した場合、このフィールドは非表示です。	0x618801CADE9A555352434E35EC65270AB591
Payload Length	ペイロード長。ペイロードソースが "List" に設定されている場合は設定する必要はありません。STS パケット構造 3 を選択した場合、このフィールドは非表示です。	0..127
Payload MAC FCS	MAC フレームチェックシーケンス (FCS) フィールドを有効/無効にします。このパラメータ設定は、ペイロードソースが "List" に設定されている場合のみ必要	True/False

パラメータ	説明	設定
	です。STS パケット構造 3 を選択した場合、このフィールドは非表示です。	
Payload Source	データソースを選択します。 List：バイナリーファイル PRBS9：ワード長 9 ビットの疑似ランダムバイナリシーケンス (PRBS) All0：すべて 0 のデータを含む内部生成シーケンス All1：すべて 1 のデータを含む内部生成シーケンス STS パケット構造 3 を選択した場合、このフィールドは非表示です。	List/PRBS9/All0/All1
PHR Data Rate	PHR データレートモード (1.3.4 を参照)。	802.15.4：DRMDR 802.15.4z：DRBM_LP/DRBM_HP/DRHM_LR/DRHM_HR
PHR Rate	PHR ビットレート (1.3.4 を参照) STS パケット構造 3 を選択した場合、このフィールドは非表示です。	表 1-5、表 1-6 および表 1-7 を参照
Power Rx Delta	最大受信パワーレベルと最小受信パワーのパワー差を指定します (付録 F を参照)。	例：1 dB
Power Rx Max	初期最大受信パワーレベルを指定します (付録 F を参照)。	例：-80 dBm
Power Rx Min	初期最小受信パワーレベルを指定します (付録 F を参照)。	例：-110 dBm
Preamble Code Index	プリアンプルコードインデックスを設定します。	1.3.3.1 を参照
Preamble Length	プリアンプルシンボルの繰り返し回数 (1.3.3.1 を参照)	16 / 32 / 64 / 1024 / 4096
PRF Mode	PRF モードを指定します。	BPRF / HPRF
Sens Limit	レシーバー感度リミットを指定します。	例：1%
SFD Type	SFD タイプを指定します (1.3.3.2 を参照)。	0/1/2/3/4 (表 1-4 を参照)
STS Index	現在の STS インデックスを指定します (1.3.5 を参照)。STS パケット構造 0 を選択した場合、このフィールドは非表示です。	表 1-8 を参照
STS Length	STS 長を指定します (1.3.5 を参照)。STS パケット構造 0 を選択した場合、このフィールドは非表示です。	表 1-8 を参照
STS Packet Structure	802.15.4z で定義された STS パケット構造 (1.3.5 を参照)	0/1/2/3 (Error! Bookmark not defined. ページの脚注 XI を参照)
STS Segment Count	STS セグメント数を指定します (1.3.5 を参照)。STS パケット構造 0 を選択した場合、このフィールドは非表示です。	表 1-8 を参照
Waveform	CMP200 での再生に使用する波形ファイル名を指定します。“None” というテキストを指定した場合、波形ファイルは、上記の設定フィールドに指定されたパラメータ設定を使用して、オンザフライで作成されます。	“None” または CMP200 にアップロードされている波形ファイル名を入力します。波形ファイルの取り扱いの詳細については、付録 E を参照してください。

表 5-4：テストプランエディターでの Rx テストの設定

B.4 ToF の設定

The screenshot shows a configuration window for ToF tests. The parameters and their values are as follows:

- Additional Tasks: level_adjust
- Ant Delay Deviation: 0.5 ppm
- Cal Mode: ToF
- Channel: 5
- First package delay: 8 ms
- Frequency: 6489.6 MHz
- Path Delay: 0.5 m
- Power RX: -20.0 dBm
- Power TX: 12.0 dBm
- Second package delay: 16 ms
- Statistic Count: 1
- Sts Length: 128
- Sts Packet Structure: 3
- ToF Verification: True
- Trim Clean ToF Ant Delay: True
- Velocity Factor: 0.71
- Waveform: FC1T2_Data_Phr_LinPhase
- Waveform Poll: FC1T1ND_Ranging_LinPhz

図 5-4 : STS パケット構造 3 (SP3) での ToF テストの設定

パラメータ	説明	設定
Additional Tasks	レベル調整	オン/オフ
Ant Delay Deviation	アンテナ遅延の偏差を指定します。	例 : 0.5 ppm
Cal Mode	校正モードを選択します。	ToF
Channel	UWB チャネル	表 1-1 を参照
First Package Delay	NXP チップの固定値 (NXP NCJ29D5)	8
Frequency	チャネルの中心周波数	表 1-1 を参照
Path Delay	スプリッターから Vivaldi アンテナ開口部までの固定経路遅延	システムバリエーション 1 (RF フィードスルーを使用) の場合は 0.87 ^{xii} システムバリエーション 2 (RF スイッチを使用) の場合は 0.96
Path Delay On Air	自由空間距離 (m)	ToF 校正ルーチン : Vivaldi アンテナと DUT アンテナの間の自由空間距離 (m) を入力します。 ToF 検証ルーチン : 0
Power Rx	DUT 受信パワーレベル	付録 D を参照
Power Tx	DUT 送信パワーレベル	付録 D を参照
Second Package Delay	NXP チップの固定値 (NXP NCJ29D5)	16
Statistic Count	測定の繰り返し回数	> 1
STS Length	STS 長を指定します (1.3.5 を参照)。	表 1-8 を参照
STS Packet Structure	802.15.4z で定義された STS 部分を含むパケット構造 (1.3.5 を参照)	1/2/3 (Error! Bookmark not defined. ページの脚注 XI を参照)

^{xii} 計算された値には、6 dB アッテネータの群遅延が含まれます。計算の詳細については、第 3.3.2.3 章を参照してください。

パラメータ	説明	設定
ToF Verification	ToF 検証ルーチンかどうかを示します。	True/False
Trim Clean TOF Ant Delay	デバイスの ToF アンテナ遅延トリム値をリセット	True/False
Velocity Factor	空気中の速度係数を指定します。	1
Waveform	プレポーリング用波形ファイル (NXP 固有)	'FC1T2_Data_Phr_LinPhaseRRC0p45_waveform_1_resample.wv'
Waveform Poll	ポーリングメッセージ用波形ファイル (NXP 固有)	'FC1T1ND_Ranging_LinPhaseRRC0p45_waveform_2_resample'

表 5-5: テストプランエディターでの ToF テストの設定

C テストプラン構成ファイル (testconfig.ini)

テストランナーでテストプランを実行するには、各テスト実行にテスト構成ファイルを割り当てる必要があります。

テスト構成は拡張子が .ini のプレーンテキストファイルであり、WMT インストールディレクトリのサブフォルダー `etc` に存在します。デフォルトでは、構成ファイルの名前は `testconfig.ini` です。ファイル名はもちろんユーザー定義可能です。

下の表 5-6 に、サンプル `testconfig.ini` 構成ファイルのエントリの一覧を示します。角括弧内のニーモニックは、構成セクションの先頭を示します。

テスト構成	コメント
[general]	
<code>testplan = testplans/UWB/test_UWB_TX_CH5.json</code>	選択したテストプラン
<code>;testplan = testplans/UWB/test_UWB_RX_PER_65_CH5.json</code>	先頭がセミコロンのは選択解除されたテストプランを示します。
<code>logs = etc/logs</code>	ログファイルの場所
<code>results = etc/results</code>	結果ファイルの場所
<code>limitcheck = True</code>	リミットチェックを有効化
<code>loglevel = debug</code>	ログレベルの定義 (debug/info)
<code>results_json = False</code>	JSON フォーマットの結果ファイル
<code>results_txt = True</code>	テキストフォーマットの結果ファイル
[logging]	
<code>level = debug</code>	レベル定義 (debug/info)
<code>format = %(asctime)s %(levelname)s:(name)s %(message)s</code>	ログフォーマット
[uwb]	
<code>connection = serial</code>	UWB 検証ルーチンで使用される DUT の接続タイプを定義します。

テスト構成	コメント
<code>port = COM3</code>	接続された DUT の仮想 COM ポートを指定します。Windows デバイスマネージャーで、使用されている COM ポートを確認します。
<code>baudrate = 460800</code>	シリアル接続のボーレートを定義します。
<code>driver = nxp.ncj29d5.ncj29d5_uci</code>	WMT で DUT の UCI 制御に使用するドライバーを指定します。これは WMT のインストールに含まれています。ドライバー自体は、WMT のインストールディレクトリのサブフォルダー <code>dutdriver</code> にあります。
<code>timeout = 0.1</code>	シリアル通信のタイムアウト値
<code>keep_open = True</code>	シリアルポートを開いておく
[calibration]	
<code>api = nxp.ncj29d5.calapi</code>	DUT 校正 API を指定します。これは WMT のインストールに含まれています。API は、WMT のインストールディレクトリのサブフォルダー <code>calibration</code> にあります。
<code>connection = serial</code>	UWB 校正ルーチンで使用される DUT の接続タイプを定義します。
<code>port = COM3</code>	接続された DUT の仮想 COM ポートを指定します。Windows デバイスマネージャーで、使用されている COM ポートを確認します。
<code>driver = nxp.ncj29d5.ncj29d5_uci</code>	WMT で DUT の UCI 制御に使用するドライバーを指定します。これは WMT のインストールに含まれています。ドライバー自体は、WMT のインストールディレクトリのサブフォルダー <code>dutdriver</code> にあります。
<code>baudrate = 460800</code>	シリアル接続のボーレートを定義します。
<code>timeout = 0.1</code>	シリアル通信のタイムアウト値
<code>keep_open = True</code>	シリアルポートを開いておく
[instrument]	
<code>connection = socket</code>	CMP200 のリモート制御インターフェースを定義します。ソケット接続が使用されます。
<code>host = 10.202.1.50</code>	CMP200 の IP アドレスを指定します。
<code>port = 5025</code>	ソケット接続のポート番号を指定します。ポート 5025 は、VISA での Raw ソケット接続用のデフォルトポートです。
<code>timeout = 10</code>	リモートポートのタイムアウトタイマーを定義します。
[arbggen]	
<code>enabled = True</code>	WinIQSIM2 ソフトウェアを使用して任意波形発生器をアクティブにします。
<code>connection = socket</code>	任意波形発生器へのソケット接続を定義します。
<code>host = 127.0.0.1</code>	任意波形発生器の IP アドレスを指定します。ここでローカルホストの IP アドレス 127.0.0.1 を使用するの、WinIQSIM2 ソフトウェアが WMT と同じ PC 上で実行されているからです。
<code>port = 5025</code>	ソケット接続のポート番号を指定します。ポート 5025 は、VISA での Raw ソケット接続用のデフォルトポートです。
<code>timeout = 5</code>	リモートポートのタイムアウトタイマーを定義します。
[relay]	

テスト構成	コメント
<code>enabled = True</code>	CMQ チャンバーの RF スイッチの制御をアクティブにします。
<code>connection = socket</code>	CMQ のリモート制御インタフェースを定義します。ソケット接続が使用されます。
<code>host = 192.168.178.41</code>	CMQ の IP アドレスを指定します。これは固定 IP アドレスです。
<code>port = 5000</code>	ソケット接続のポート番号を指定します。ポート 5000 は CMQ チャンバーの固定ポート番号です。
<code>timeout = 5</code>	リモート制御のタイムアウトタイマーを定義します。
<code>termchar = ¥r</code>	リモート制御コマンドの終端文字を定義します。
<code>driver = wmt.equipment.cmq</code>	CMQ 制御ドライバーを指定します。これは WMT のインストールに含まれています。ドライバーは、WMT のインストールディレクトリのサブフォルダー <code>wmt¥equipment</code> にあります。この例では <code>cmq</code> という名前のドライバーを使用しています。
<code>[ANT1_TX]</code>	セクション名 <code>ANT1_TX</code> はユーザー定義可能です。これは接続の識別子です。この名前は、テストプランエディターの共通設定部分の "Connector TX" フィールドに入力された名前と一致する必要があります (表 5-2 を参照)。
<code>connector = Port1.IFin</code>	物理ケーブル接続に従って、CMP200 の Port1.IFin コネクタを指定します。
<code>fdc = FDC_ANT1_TX</code>	この接続に関連付けられている FDC テーブル名を指定します。
<code>relay = 1.1.1</code>	CMQ のリレー位置を指定します (3.1.1.6 を参照)。
<code>[ANT1_RX]</code>	セクション名 <code>ANT1_RX</code> はユーザー定義可能です。これは接続の識別子です。この名前は、テストプランエディターの共通設定部分の "Connector RX" フィールドに入力された名前と一致する必要があります (表 5-2 を参照)。
<code>connector = Port1.IFOut</code>	物理ケーブル接続に従って、CMP200 の Port1.IFOut コネクタを指定します。
<code>fdc = FDC_ANT1_RX</code>	この接続に関連付けられている FDC テーブル名を指定します。
<code>relay = 1.1.1</code>	CMQ のリレー位置を指定します (3.1.1.6 を参照)。
<code>[FDC_ANT1_RX]</code>	FDC_ANT1_RX という名前の FDC
<code>6500.0 = 36.3</code>	周波数 (MHz)、減衰量 (dB) (表 3-3 を参照)
<code>8000.0 = 38.4</code>	周波数 (MHz)、減衰量 (dB) (表 3-3 を参照)
<code>[FDC_ANT1_TX]</code>	FDC_ANT1_TX という名前の FDC
<code>6500.0 = 36.3</code>	周波数 (MHz)、減衰量 (dB) (表 3-3 を参照)
<code>8000.0 = 38.4</code>	周波数 (MHz)、減衰量 (dB) (表 3-3 を参照)

表 5-6 : testconfig.ini ファイルの例

D ToF テストのパワーレベル設定

図 3-51 に示すように、ToF 校正/検証を実行する際に、CMP200 は、 $t_2t_4T_{ROUND}$ の計算の基になる時間インスタンスおよびで 2 個のパケットを受信します。安定した信号検出のためには、CMP200 の IFin ポートでのこれら 2 個のパケットのパワーレベルが、次の基準を満たす必要があります。

1. CMP200 の IFin ポートに $P_{CMP_IFin_P1}$ 、 $P_{CMP_IFin_P2}$ 、 t_2 と t_4 に到着して検出される 2 個のパケットの絶対パワーレベルおよびは、それぞれ -50 dBm 以上である必要があります。ここで、 $P_{CMP_IFin_P1}$ はスプリッターから戻されたポーリングパケットのパワーレベルであり、 $P_{CMP_IFin_P2}$ は DUT の応答パケットのパワーレベルです。
2. $P_{CMP_IFin_P1}$ と $P_{CMP_IFin_P2}$ の相対パワーレベル差は 10 dB 以下である必要があります。

この基準が満たされない場合、UWB ToF キット (R&S CM-Z300A) に付属するアッテネータを信号経路に追加することで、パワーレベルを調整できます。

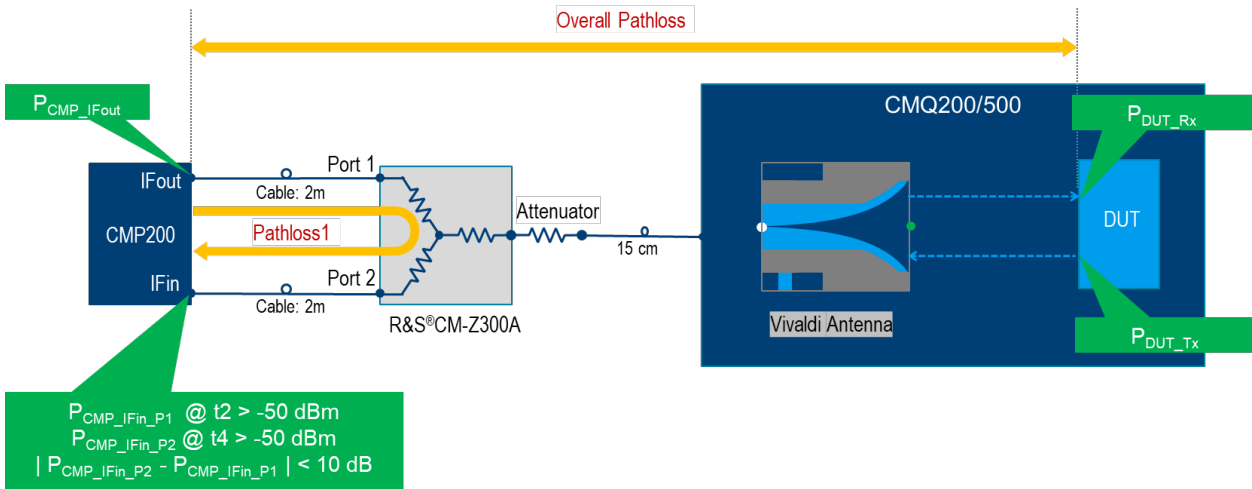


図 5-5 : ToF 校正/検証時のパワーレベルに関する考慮事項

パワーレベル計算に使用する式を以下に示します。

式 5-1

$$P_{DUT_Rx} = P_{CMP_IFout} - \text{全経路損失}$$

ここで、信号経路の全経路損失は表 3-3 に示されています。 P_{DUT_Rx} は DUT の受信パワーであり、テストプランエディターで ToF 校正/検証ルーチンに対して入力する必要があります (“Power RX”、第 3.3.2.3 章、第 3.4.3 章、付録 B.4 を参照)。 P_{CMP_IFout} は、CMP200 の IFout ポートでの出力パワーレベルです。

式 5-2

$$P_{DUT_Tx} < 14 \text{ dBm}$$

P_{DUT_Tx} は DUT の送信公称パワーであり、テストプランエディターで ToF 校正/検証ルーチンに対して入力する必要があります (“Power TX”、第 3.3.2.3 章、第 3.4.3 章、付録 B.4 を参照)。これは DUT ベンダーによって指定される値です。ここに示す例では、NXP によって [14] で定義されています。式 5-3

$$P_{CMP_IFin_P1} = P_{CMP_IFout} - \text{Pathloss1}$$

ここで、Pathloss1 は、CMP200 とスプリッターの間に接続される 2 本のケーブル (各 2 メートル) の損失と、スプリッターのポート 1 とポート 2 の間のアイソレーションを示します。ケーブルの代表的な経路損失

は約 2.2 dB です。スプリッターのアイソレーションの動作周波数における正確な値は、付録 A に示すスプリッターのデータシートに記載されています。

式 5-4

$$P_{CMP_IFin_P2} = P_{DUT_Tx} - \text{全経路損失}$$

DUT の受信パワー P_{DUT_Rx} と送信パワー P_{DUT_Tx} が ToF 校正/検証ルーチンで設定されていれば、CMP200 側のすべてのパワーレベル P_{CMP_IFout} 、 $P_{CMP_IFin_P1}$ 、 $P_{CMP_IFin_P2}$ は、上記の式を適用することで求められます。この章の最初に記述されている 2 つの基準が満たされているかどうかを確認し、満たされていない場合は、基準が満たされるまで P_{DUT_Rx} と P_{DUT_Tx} を異なる値に調整して試してみます。

次の例では、DUT が Vivaldi 測定アンテナから 15 cm の距離に配置されています。チャンバーには、RF スイッチが備わっています（システムバリエーション 2）。信号経路にアッテネータは接続されていません。テストする UWB チャンネルは 5（6.5 GHz）です。このセットアップと設定の場合にレベル計算に使用されるパワーレベルと経路損失を下の表 5-7 に示します。

パワーレベル/経路損失	値	注記
P_{DUT_Rx}	-64 dBm	WMT で設定された DUT の受信パワーレベル
P_{DUT_Tx}	2 dBm	WMT で設定された DUT の送信パワーレベル
全経路損失	36,3	表 3-3 を参照（システムバリエーション 2、6 dB アッテネータ）
P_{CMP_IFout}	-27.7 dBm	Apply (Apply (適用)) 式 5-1
$P_{CMP_IFin_P2}$	-34.3 dBm	式 5-4 を適用、> -50 dBm
$Pathloss1$	10.62 dB (2×2.2 dB のケーブル損失+6.22 dB のアイソレーション)	固定値
$P_{CMP_IFin_P1}$	-38.32 dBm	式 5-3 を適用、> -50 dBm
$ P_{CMP_IFin_P1} - P_{CMP_IFin_P2} $	4.02 dB	< 10 dB

表 5-7：ToF 校正/検証のパワーレベル設定の例

この例の設定では、パワーレベル基準が満たされています。すなわち、 $P_{CMP_IFin_P1}$ と $P_{CMP_IFin_P2}$ は -50 dBm を超えています。その差は 4.02 dB で、10 dB を下回っています。校正では、WMT テストプランエディターで入力された P_{DUT_Rx} と P_{DUT_Tx} の値が正しいことが確認されました。

UWB パワーレベル計算のための“UWB Power Level Calculation”というツールが、Gloris (<https://gloris.rohde-schwarz.com/>) からダウンロードできます。このツールを使えば、 P_{DUT_Rx} と P_{DUT_Tx} を簡単に求めることができます。

E 波形ファイルの取り扱い

レーザードテストや ToF テストには、波形ファイル（任意波形ファイル）が必要です。テストルーチンを開始する前に、必要な波形ファイルが CMP200 で使用可能であることを確認してください。使用可能でない場合は、あらかじめ CMsquares で波形ファイル（.wv）を CMP200 にアップロードしておく必要があります。

CMsquares でのアップロード操作を図 5-6 に示します。

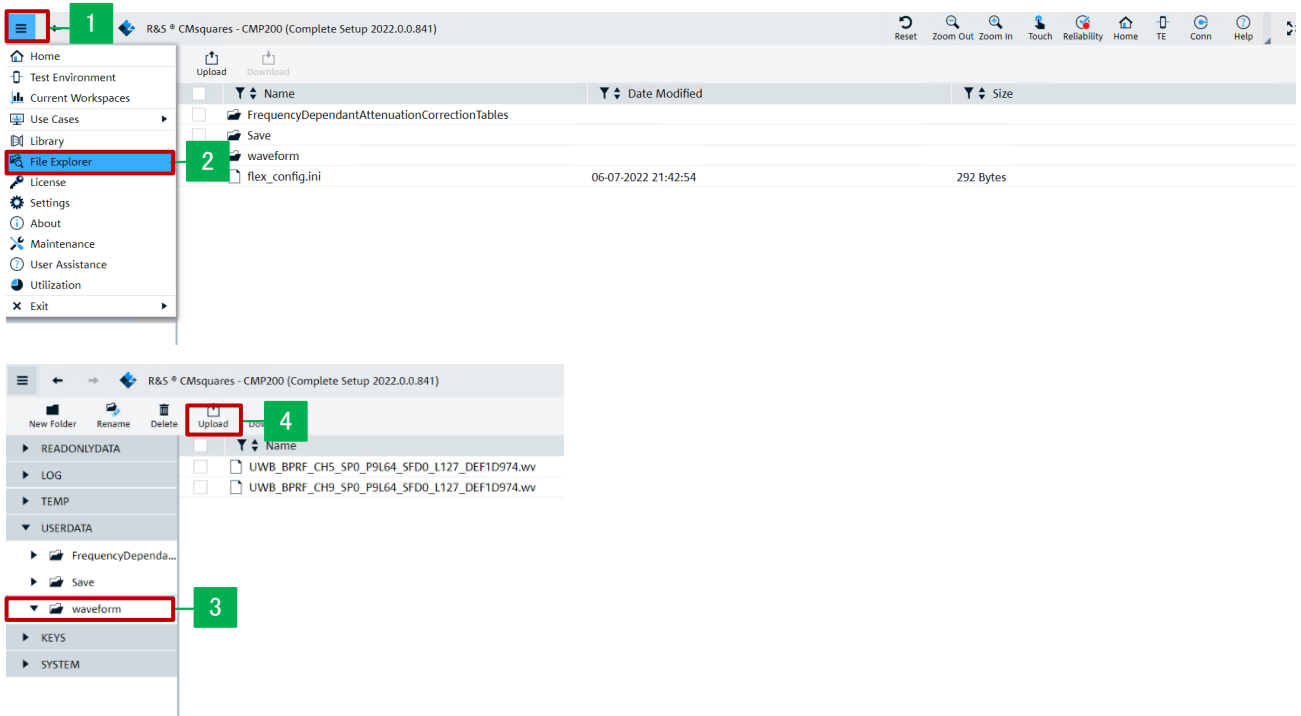


図 5-6 : CMsquares から CMP200 への波形ファイルのアップロード

1. CMP200 の IP アドレスを制御 PC のウェブブラウザに入力して、CMsquares にアクセスします。CMsquares（CMP200 のウェブインターフェース）がロードされたら、ハンバーガーマニューをクリックします。
2. ドロップダウンメニューで“File Explorer”を選択します。
3. CMsquares でファイルエクスプローラーが開いたら、“waveform”フォルダーに移動します。
4. アップロードする波形ファイルを選択し、“Upload”ボタンを押します。

レーザードテストの場合、波形ファイルの別の取り扱い方法があります。テストルーチンのテストプランエディターで任意波形ファイルが明示的に指定されていない場合（“Waveform”パラメータ設定フィールドに“None”が設定されている場合）、テストプランエディターでのレーザードテストのパラメータ設定に基づいて、ローカル制御 PC 上に任意波形ファイルが WinIQSIM2 によってオンザフライで作成されます。作成された任意波形ファイルは、後でテスト実行中に CMP200 に転送されます。そのためには、ルーチンの実行前に WinIQSIM2 を起動し、バックグラウンドで実行しておく必要があります。

F レシーバー感度探索

図 5-7 に、レシーバー感度探索のフローチャートを示します。初期最大レシーバーパワーレベル P_{Max} 、最小レシーバーパワーレベル P_{Min} 、 Δ 値はパラメータであり、3.4.2 と付録 B.3 の記述に従って、レシーバー感度ルーチンで設定しておく必要があります。

感度探索は、 $(P_{Max} + P_{Min}) / 2$ のパワーレベルから始まります。探索中に、 P_{Max} と P_{Min} は、PER の測定結果と、ターゲット感度リミットとの比較に基づいて、動的に変更されます。 P_{Max} と P_{Min} の2つの値が Δ dB 以内のパワー差に集束するまで、反復処理が続けられます。

P_{Max} 、 P_{Min} 、 Δ のパラメータ設定は、レシーバー感度探索の速度と確度に影響する場合があります。

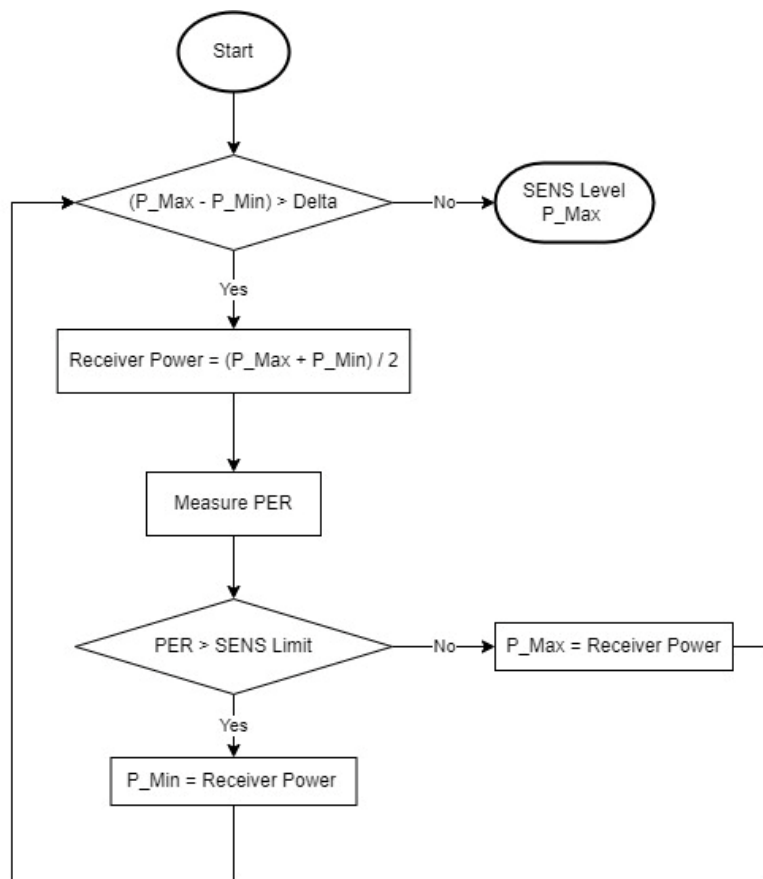
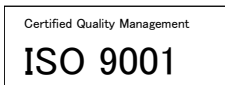


図 5-7：レシーバー感度探索のフローチャート

Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz エレクトロニクスグループは、テスト／測定、放送／メディア、セキュリティー通信、サイバーセキュリティー、モニタリング、ネットワークテストの分野で革新的なソリューションを提供しています。本社をドイツのミュンヘンに構え、設立から 80 年以上にわたり、独立した企業として、70 か国以上で独自の販売／サービスネットワークを展開しています。

www.rohde-schwarz.com/jp



・ シュワルツのセミナー／トレー

www.rohde-schwarz.com/training

ローデ・シュワルツのお客様サポート

www.rohde-schwarz.com/support



R&S®は、Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG の登録商標です。
商標名は所有者のトレードマークです。

1SL394 | バージョン 0e | 04.2023

Application Note | Automotive UWB Device Testing Over the Air
許容限界値の記載のないデータは仕様ではありません。変更の可能性が
あります。

© 2023 Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG | 81671 Munich, Germany
www.rohde-schwarz.com/jp