

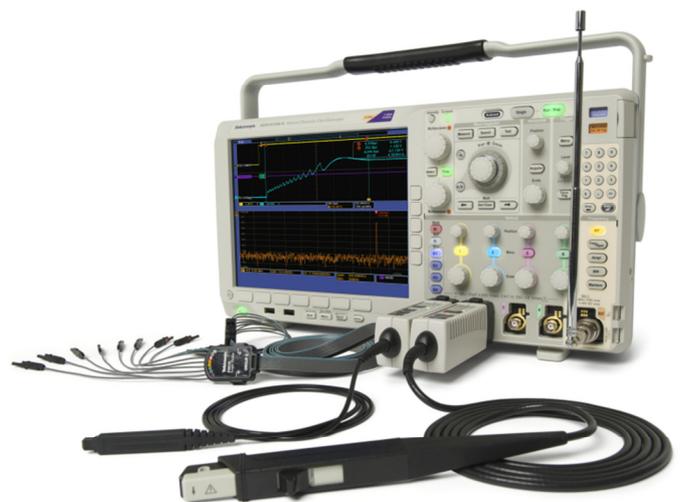
ZigBee 無線モジュールの組み込みとテスト

MDO4000 シリーズ アプリケーション・ノート

はじめに

組み込みの ZigBee (またはその他の IEEE 802.15.4 ベースの protocol) 無線ソリューションの設計では、それを利用する最終製品への統合においていくつかのトレードオフがあります。問題は、最終アプリケーションの性能要求に対する、統合のレベルと開発コストのバランスをとることです。

ローコストの無線技術がさまざまな電気製品のアプリケーションで普及するにつれ、ストリームライン検証や ZigBee モジュール性能の検証が重要になっています。本アプリケーション・ノートでは、テクトロニクス社の MDO4000 シリーズ・オシロスコープを使用した ZigBee 無線モジュール統合の効率的かつ効果的な検証方法についてご紹介します。



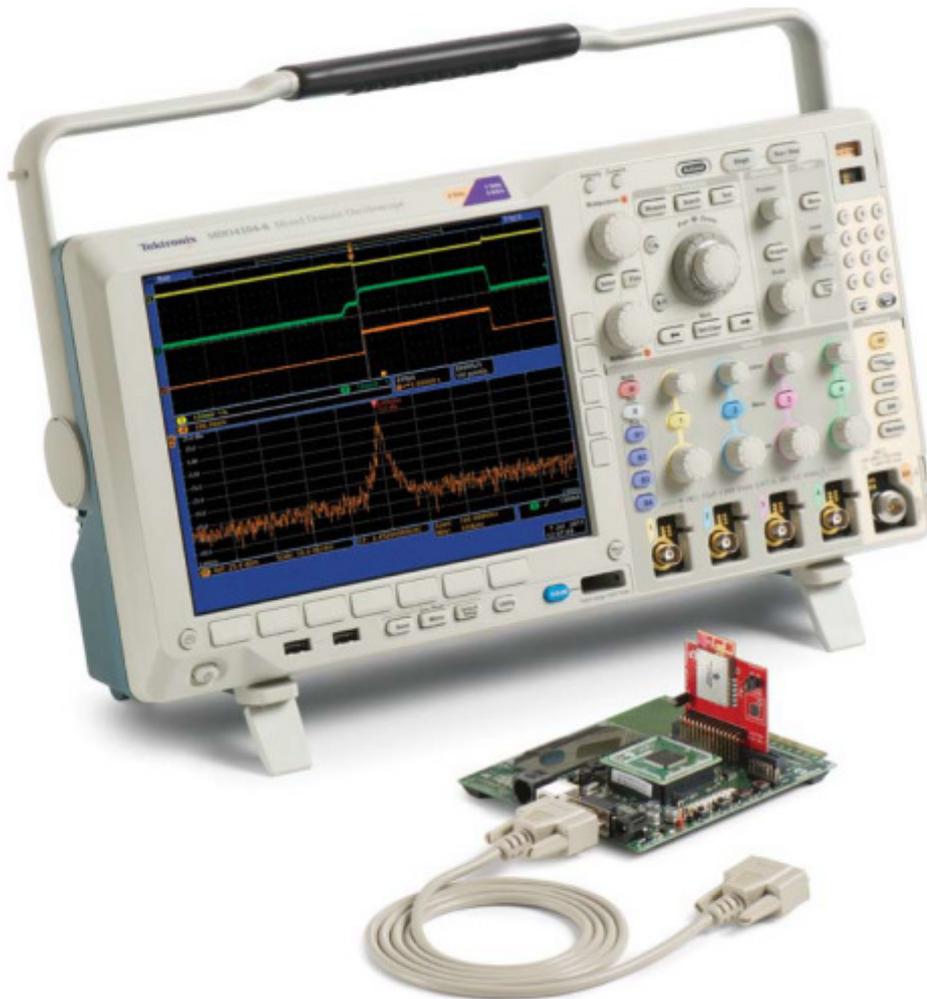


図 1. Tektronix MDO4000 シリーズ・ミックスド・ドメイン・オシロスコープおよび マイクロチップ無線テスト・ボード・モジュール

一般的な ZigBee 無線のオプション

IEEE 802.15.4 の物理レイヤ無線は、さまざまな短距離のコントロール／データ通信アプリケーションで普及しました。ZigBee のプロトコルはデバイスのメッシュ型回線網であるため、広いエリアで数百、数千のデバイス間通信ができます。少なくとも理論上では、ZigBee に準拠したさまざまなソースのデバイスは、互いに通信できます。ZigBee を含むこの通信規格の周辺では、単独の集積回路レベル、およびアンテナが付属し、FCC または国/地域の承認を得ているモジュールなどを使用した構成に、

さまざまなサポートが提供されています。集積回路やモジュールには、さらに 2 つのオプションがあります。IEEE 802.15.4 ローレベル・プロトコルを使った無線回路の組み込み製品は、ZigBee またはその他のハイレベル・ソフトウェア、アプリケーションに対応するため、マイクロコントローラまたはマイクロプロセッサが必要です。または、ZigBee や他のプロトコル・ソフトウェアを実行するマイクロコントローラが組み込まれている IC やモジュールもあります。

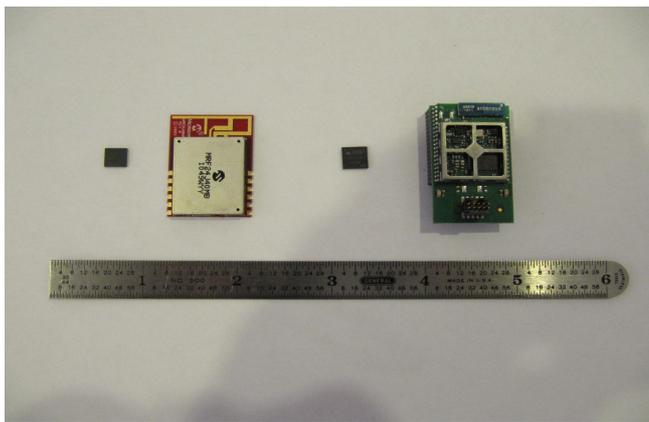


図 2. 異なるベンダーの典型的な ZigBee 無線モジュールの例。無線 IC レベルからマイクロコントローラ、パワー・アンプ、アンテナ、および LNA を完全に統合されたモジュールまで、さまざまなレベルで供給されている

図 2 は、左側から順に、無線のみの IC (Microchip Technologies 社製 MRF24J40)、100mW パワー・アンプと LNA の無線のみのモジュール (Microchip MRF24J40MB)、無線とマイクロコントローラの IC (Ember EM357)、マイクロコントローラ/外部パワー・アンプ/LNA の無線モジュール (Ember EM357-MOD) です。

ZigBee 設計において考慮すべき点

一つのアプリケーション向けにさまざまな無線システムの中から最適なものを選択するには、いくつかのトレードオフもあります。

1. **コスト** — IC に比べ、モジュールの材料コスト対設計承認にかかるコストにはトレードオフがあります。モジュールのコストは、たとえ数が多い場合であっても、サポート・コンポーネントや組立労務費を含んだ無線 IC よりもかなり高価なものになります。経験的には、IC 対モジュールのコスト分岐点は、一般に 10,000~25,000 ユニットになります。
2. **開発時間** — IC レベルの設計承認は、少なくとも1か月、それ以上かかることもしばしばです。

3. **サイズ/形状** — IC レベルからカスタムで無線回路を設計すれば、回路構成を柔軟に対応できます。カスタム設計であれば、製品内の与えられたスペースにモジュールを収めることができます。また、パーツも自由に構成でき、ボードの片側にパーツを配置することができるほか、ボードの両サイド(裏・表面)に振り分けることもできます。
4. **プロトコルの柔軟性** — 組み込みマイクロコントローラのモジュール/IC メーカーの多くは、ZigBee またはその他の通信ソフトウェアのソース・コードにアクセスすることはできません。これは、独自の機能を盛り込もうとしても、ベンダーにこの機能がない限り難しいことを意味します。
5. **独自要求** — 場合によっては、マイクロコントローラまたはその他の機能をどのモジュールでも利用できないようにする必要があります。別なケースでは、商用に利用できないようにすることもあります。例えば、アメリカの規制では 1W までの無線出力パワーが許されていますが、これが実現できるモジュールはほとんどありません。
6. **アンテナの種類と位置** — モジュールは、ボードにアンテナを取り付けることができます。モジュール内のアンテナがシールドされた筐体の中に入っていたり、最終製品のパッケージ・デザインで他の部品と近すぎたりすると、本来の性能を発揮できないことがあります。外部アンテナが必要な場合は、モジュールに対して認可されているアンテナを使用するか、他のエージェンシーによって承認してもらう必要があります。

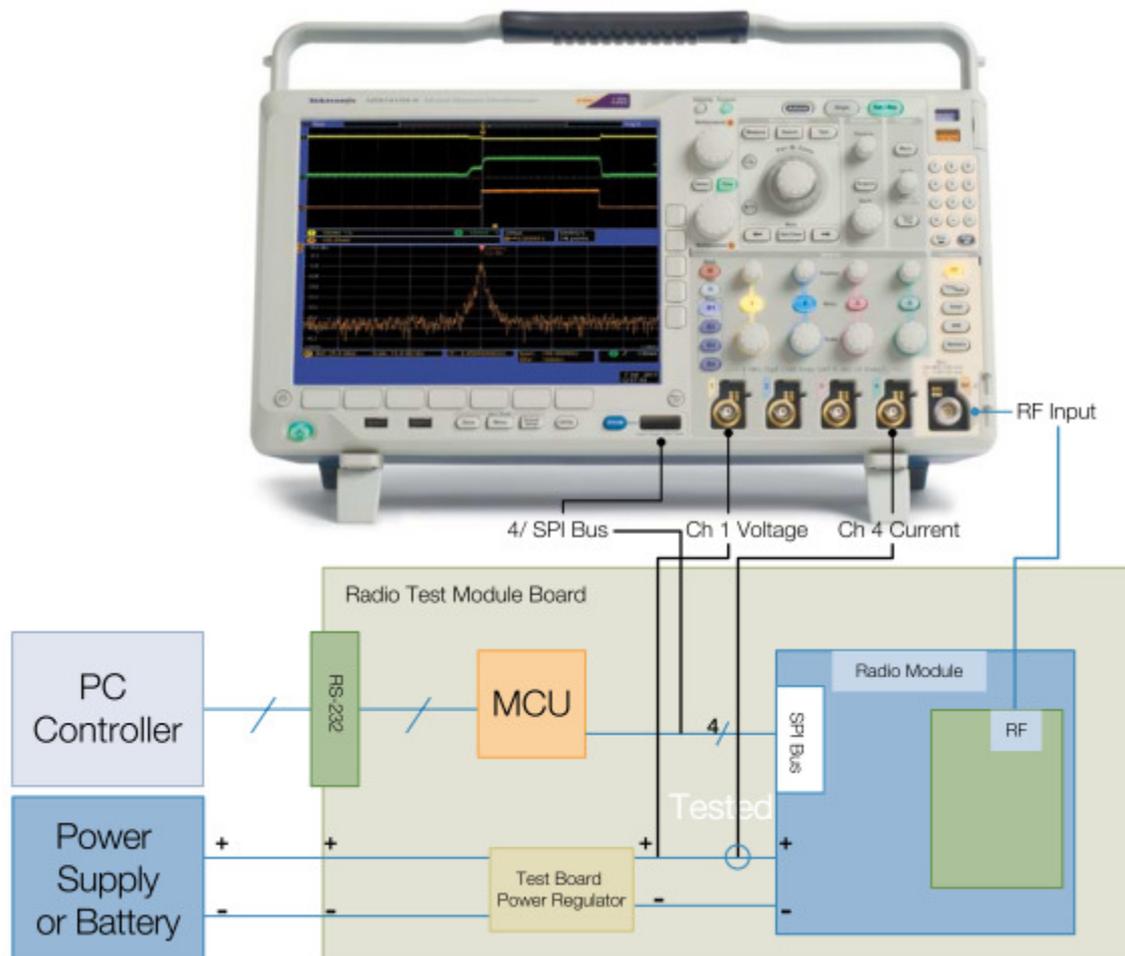


図 3. ZigBee 無線モジュール/テストボード(マイクロチップテクノロジー社製 MRF24J40MB および Explorer16 デモ・ボード)と MDO4000 シリーズ・ミックスド・ドメイン・オシロスコープとの間のテスト接続

無線機能の統合を検証するためのテスト・セットアップ

多くのアプリケーションでは、製品の無線システムと他の部品とはシリアルで通信します。例えば、Microchip の IC / モジュールは 4 線で SPI 接続し、無線 IC とパワー・アンプなどの部品をコントロールします。SPI コマンドは、周波数チャンネルの選択、出力パワー・レベル、動作パラメータなどの内部レジスタの設定で必要になります。

無線動作の検証テストを説明するため、Microchip

Technologies 社の IEEE 802.15.4 対応の増幅無線モジュール MRF24J40MB と、Explorer 16 デモ・ボードを使用します。

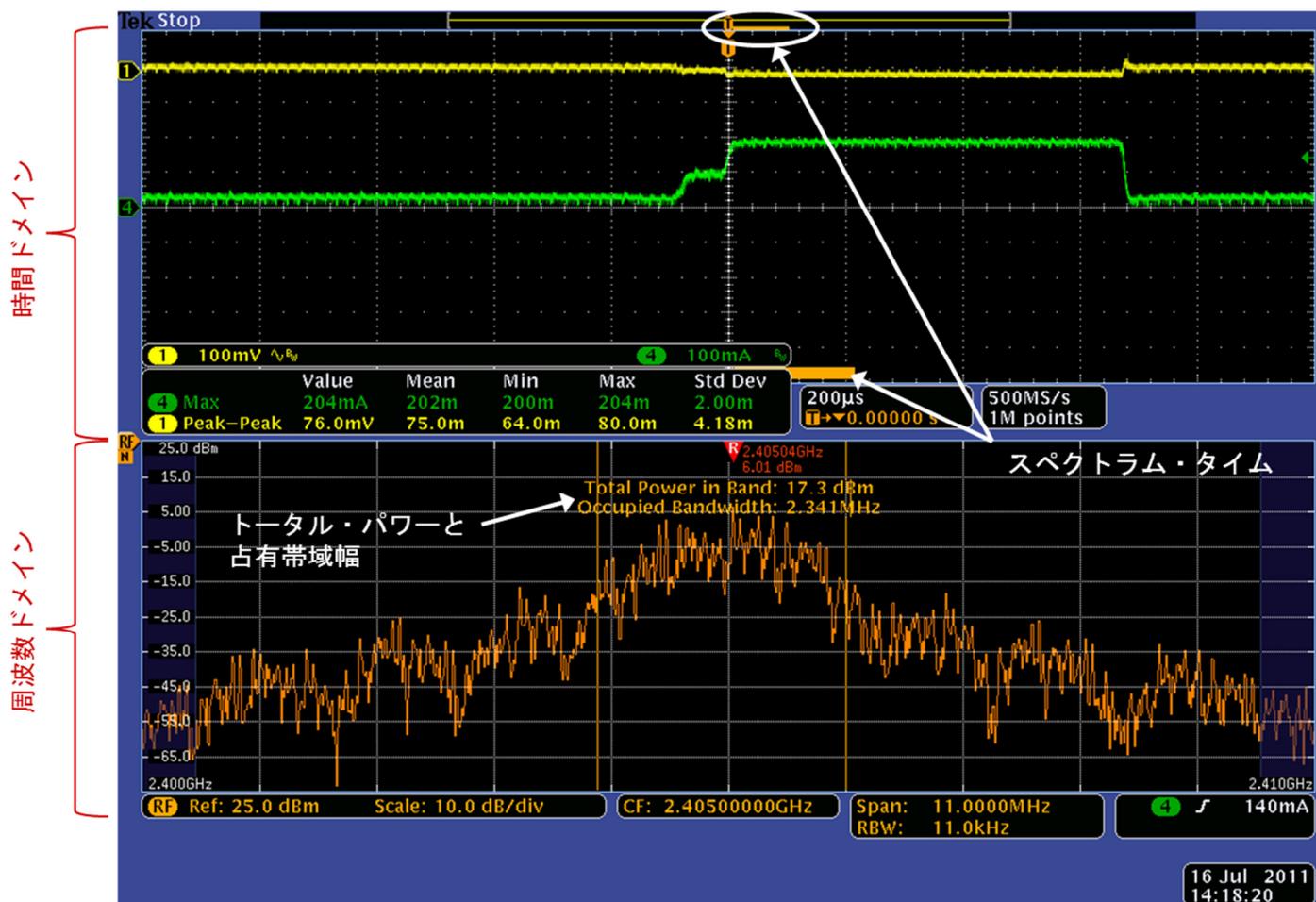


図 4. 時間ドメインと周波数ドメインを同時に表示。時間ドメインの画面上に表示される「スペクトラム・タイム」と呼ばれるオレンジ色のバーの時間間隔に対応する RF スペクトラムが周波数ドメインの画面上に表示されている

時間ドメイン、周波数ドメインの表示

ZigBee を含む IEEE 802.15.4 のチャンネル間スペースは 5MHz です。20dB のチャンネル帯域幅は、チャンネル間スペースよりも大幅に低下していなければなりません。この例では、占有帯域幅は 2.3MHz と測定されています。出力パワーは 20dBm 以下のレンジであると想定されます。

図 4 の上半分の波形下に表示されているオレンジ色のバーは、表示されたスペクトラム波形のもとになった時間間隔を示しています。「スペクトラム・タイム」と呼ばれ

るこのバーを時間ドメインで移動することで、パケット伝送の任意の時間におけるスペクトラムを測定することができます。この例では、無線パケット伝送のターンオン直後の相関関係が表示されています。

テクトロニクス社の MDO4000 シリーズの RF 取込みにより、RF 信号のパワーと占有帯域幅が測定できます。この解析機能により、RF 振幅対時間が計算されます。

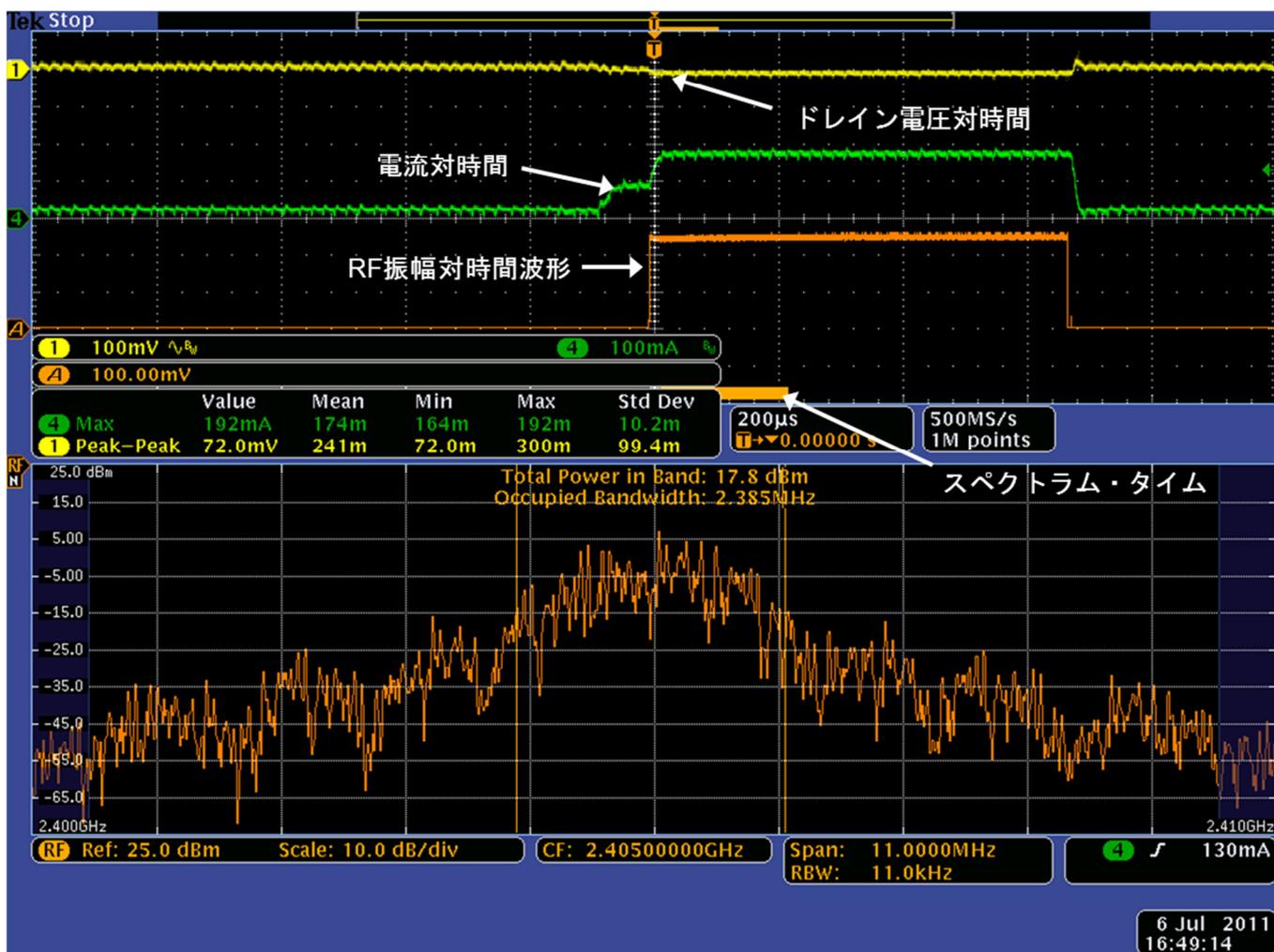


図 5. 電源からのドレイン電圧および電流と RF 振幅対時間の波形が時間ドメイン上に表示されている。周波数ドメイン表示では、時間ドメイン上のスペクトラム・タイム(オレンジ色のバーの時間間隔)に対応した RF の出力パワーと占有帯域を測定

RF 振幅波形の追加

図 5 の波形は図 4 の波形に、RF 振幅対時間の波形を追加します。

この例では、電流／電圧波形と RF 伝送のターン・オンの相関関係を示します。緑の波形は、モジュールからの電流を示しています。パケット伝送時、電流は 200mA 近く流れるため、電源もこの負荷に対応するように設計する必要があります。黄色の波形は、この電流によって影響を受ける電源電圧を示しています。電圧降下はわずか

に 70mV であり、問題ありません。ただし、ピーク・ピーク測定では 72mV となっています。

上半分の波形で A のラベルの付いたオレンジ色の波形は、RF 振幅対時間です。入力電流は 2 ステップで上がっています。最初のステップは、無線 IC がオンになったときのものです。次に、パワー・アンプがオンになる前、周波数シンセサイザが安定するまでの遅延があります。RF パワーの立上りは、電流の 2 番目の立上りと一致しています。ターン・オン時間は約 100 μ s です。

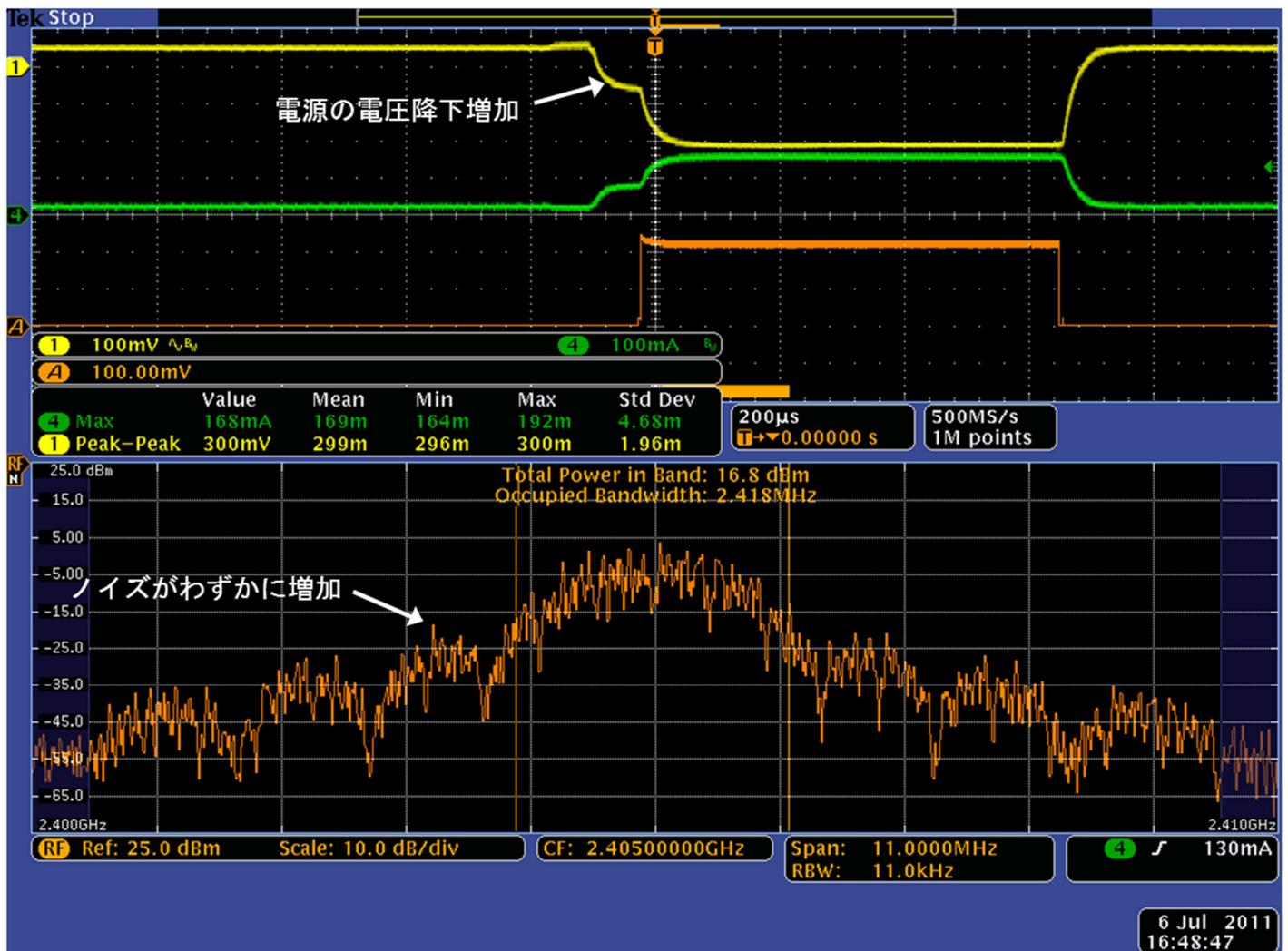


図 6. 容量の低下したバッテリーをシミュレートするためにモジュールに対して直列に抵抗を接続した場合の、RF スペクトラムと測定結果

電源に抵抗を追加

図 6 の例では、容量の低下したバッテリーをシミュレートするため、モジュールに対して直列に 1.5Ω の抵抗を接続します。モジュールからの電流はわずかに 25mA 低下しただけですが、電圧降下は約 230mV になっています。RF パワー測定によると出力パワーは 1dB 低下し、スペクトラム表示に見られるように隣接チャンネル・ノイズがわ

ずかに増加しています。A のラベルの付いた振幅対時間の波形では、低下した出力も確認できます。

バッテリー容量が低下した場合の無線トランスミッタの性能、または電源の電流制限がかかったときの状態を理解し、無線適合性のマージンを理解することが必要になります。

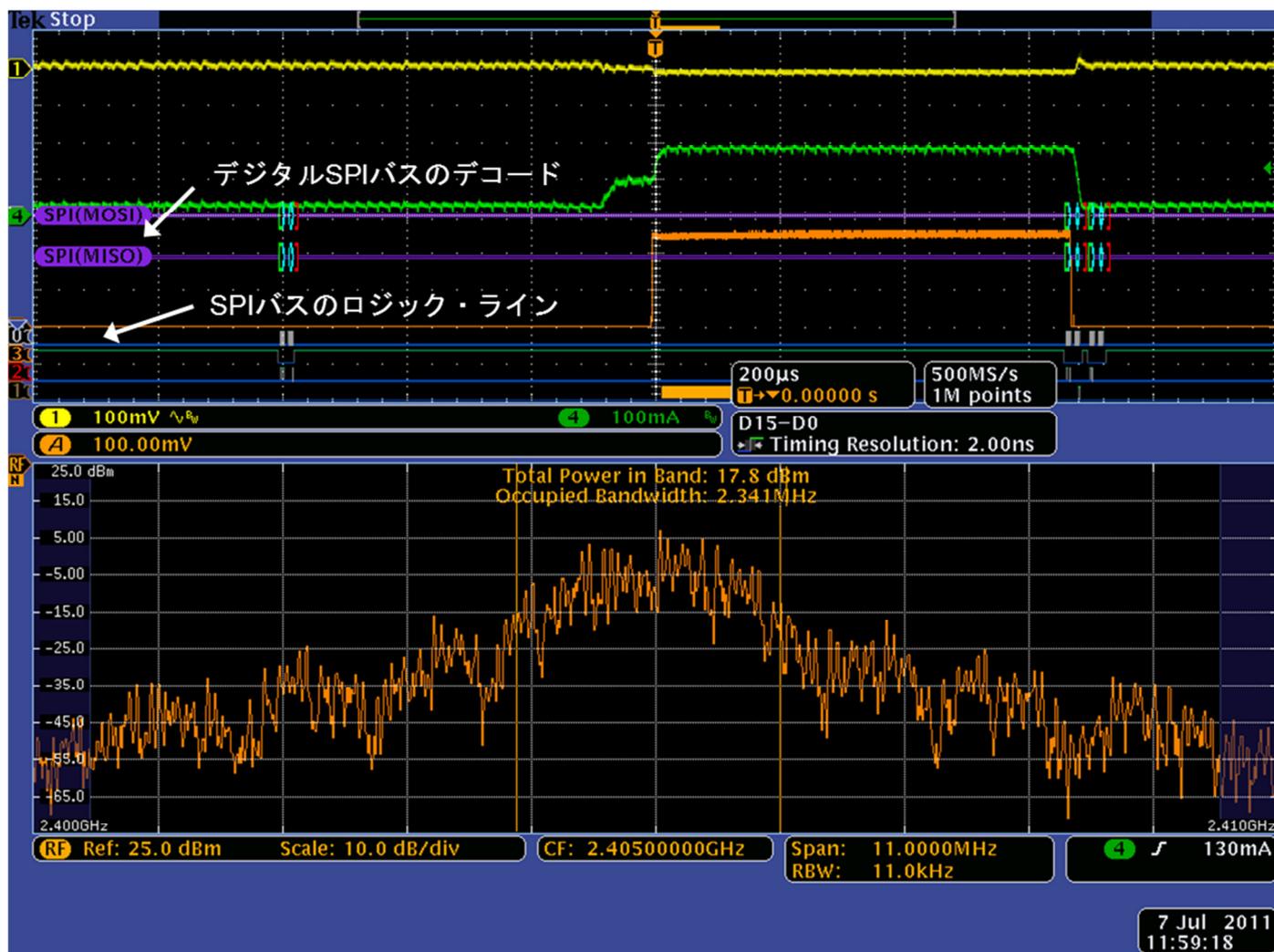


図 7. SPI のデジタル信号(SPI - MOSI 信号と MISO 信号) をデコードした値を画面上に追加した様子

SPI デジタル・コマンド信号の пакет・デコード

無線 IC/モジュールは、特定のアプリケーション、プロトコル特有のセットアップの動作要件に合わせてセットアップしなければなりません。

図 7 では SPI バスのデコードを行っています、この時間スケールでは読み取ることができません。

Ch4 の電流波形の 130mA 以上のレベルでトリガし、アナ

ログ、デジタル、RF 波形を取込んでいます。図 7 の上段の波形目盛の左中央の時間ドメイン測定は、RF がオンになり、このレベルを超えた電流が流れる前に発生するイベントを示しています。これには、デジタル・デコード、電圧、電流のアナログ、および RF 対時間が含まれています。

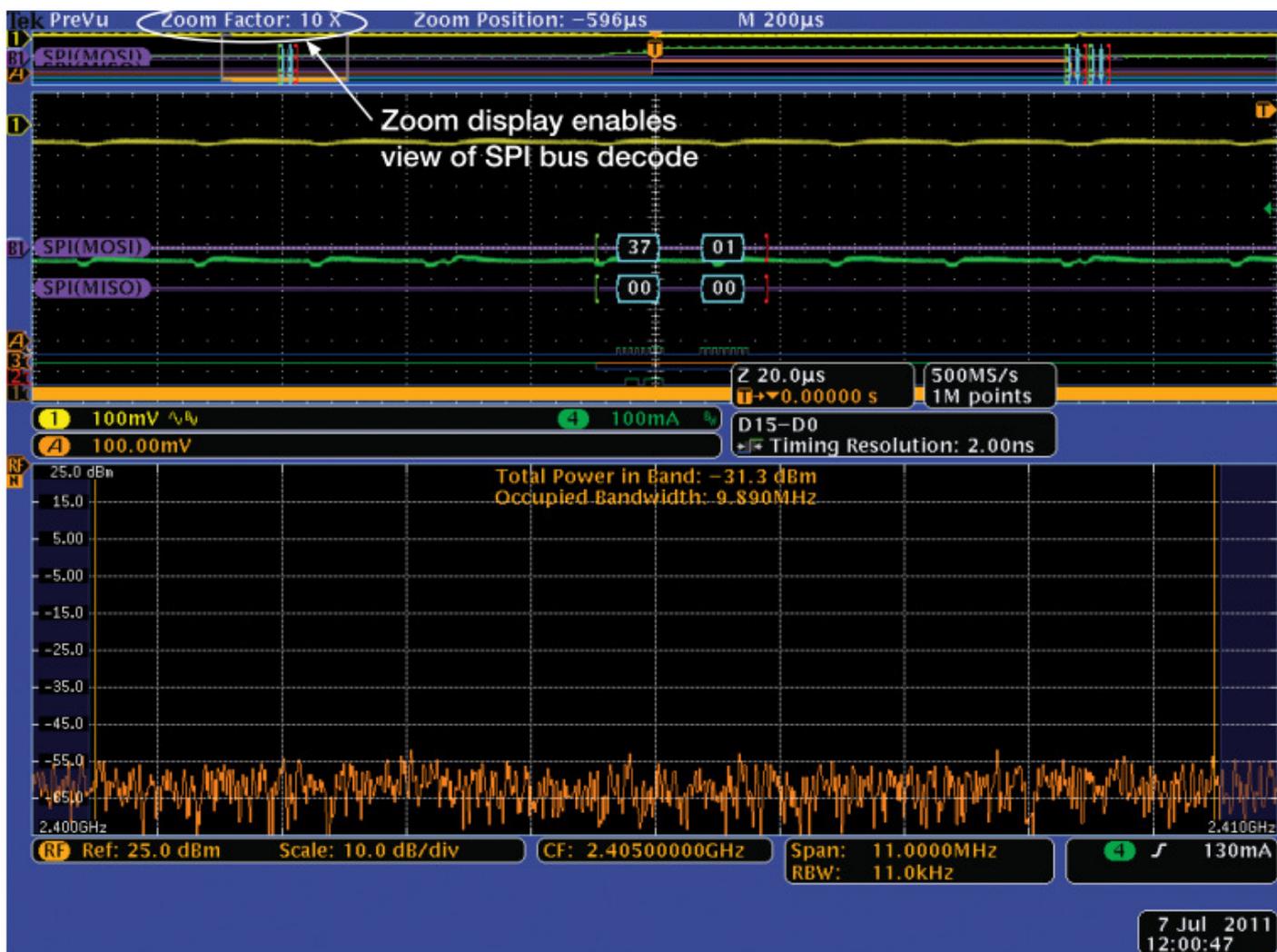


図 8. デジタルトレースとデコードの拡大図。注) 現在スペクトラム・タイムは、無線伝送がターン・オン前の RF スペクトラムを表示

図 8 の時間ドメイン画面上の紫色のトレースは、シリアル・バスのデコード・データです。MDO に標準装備の波形検索エンジン”Wave Inspector”によりデジタル波形の読値やデコード・データを拡大、移動させ表示しています。

SPI(MOSI)のトレースは、モジュールへの Hex フォーマットのコマンドを表示しています。この場合のコマンド[37]は、レジスタにトリガ・コマンド(TXNMTRIG)を送信するコマンドです。そして引数[01]は、約 600 マイクロ秒程度後に、発生することが決定されているトランスミッタ FIFO に

パケットを送信することをモジュールに指示しています。デジタル波形も表示してありますが、自動でデコードされたデータは、デジタル信号よりもずっと読みやすくなっています。

他のコマンドとデータは、SPI(MISO)に戻って確認します。SPI(MISO) は、正しいコマンドを確認し、無線機の動作を検証するためには、コマンド値を読んだり、コマンドにトリガすることが必要です。



図 9. SPI コマンドでトリガを掛けデータ・アキュジションを行った様子。コマンドから無線伝送がオンになるまでの遅延を表示

独自のアーキテクチャを持ったテクトロニクス社のミックスド・ドメイン・オシロスコープ MDO4000 シリーズは、SPI コマンドでトリガを行い、関連のとれた RF イベントを簡単に測定することが可能です。

図 9 は、トリガ・イベントを SPI コマンド[37]、無線伝送トリガにコマンドに変更しました。時間ドメイン表示のマークは、SPI コマンドから電流の流れだす RF Tx がターン・オンするまでの時間が 1.788ms であることを示しています。

前の事例である図7では、コマンドからターン・オンする

までの時間が 600us でしたが、実際のイベントである図9では、3 倍長いことがわかりました。これは、ZigBee の無線機が実際に IEEE 802.15.4 の PHY 層の性能要件のいずれかに準拠して動作していることを示しています。

ZigBee の無線機は、コマンドとターン・オン・イベントの間で、無線が他の ZigBee 無線送信機または他の無線干渉チャネルを Listen できるように擬似ランダム遅延を使用しています。

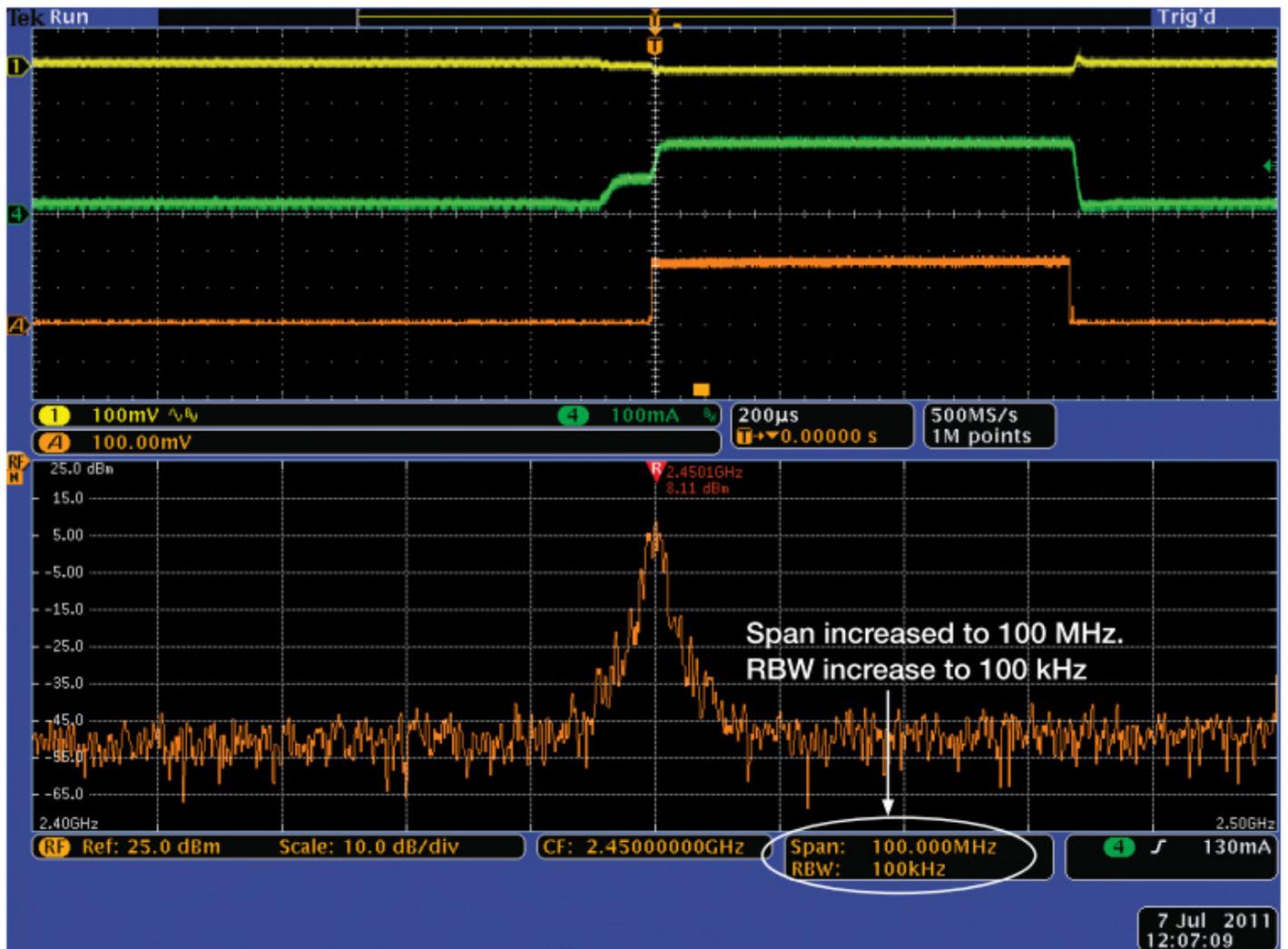


図 10. 2.45 GHz のスペクトラムの広帯域取り込みは、ISM バンド全体の信号の表示が可能

スプリアス信号 -無線機の動作を確認するのに、干渉を引き起こす可能性がないスプリアス信号がないことを確認することは重要です。図 10 は、ZigBee が動作するバンドに有意なスプリアス信号がないことを示しています。モジュールはこの図のための 2.45GHz 帯の中央に送信するように設定されていることに注意してください。ここで

マーカ機能は、ピーク信号を測定するために使用されます。分解能帯域幅が 100 kHz に設定すると、スペクトラムの時間は、現在わずか 20 マイクロ秒に削減されます。

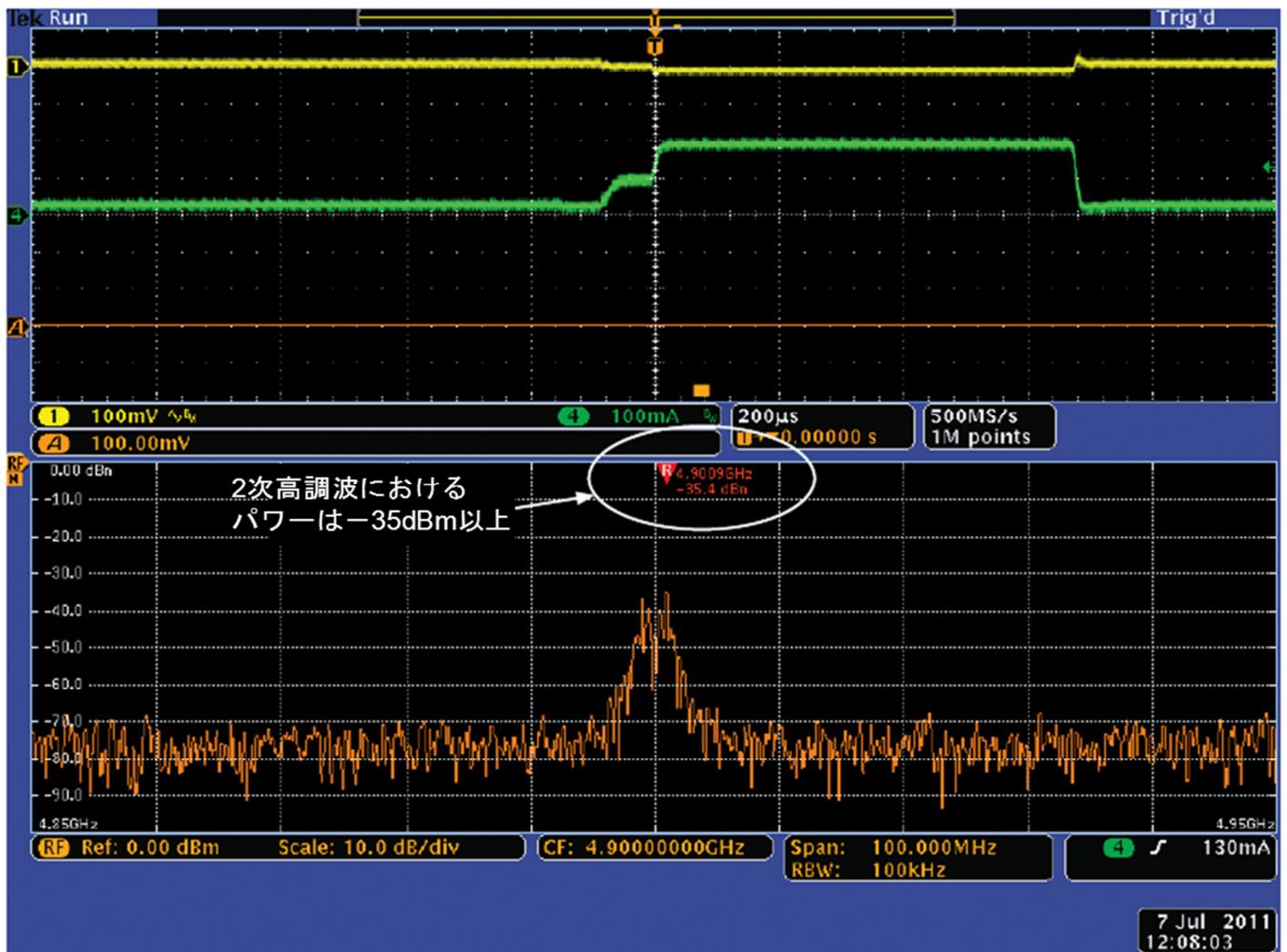


図 11. 前の例と同じターン・オン時間でトリガされた時間相関がとれている 4.9MHz の 2 次高調波

2 次高調波、4.9GHz の検証

図 11 は、伝送信号の 2 次高調波の周波数レンジが、RF 伝送ターン・オンにおける電流のトリガ・レベルと相関性があることを示しています。2 次高調波には小さな信号しかなく、他の周波数には大きな変化がないことがわかります。

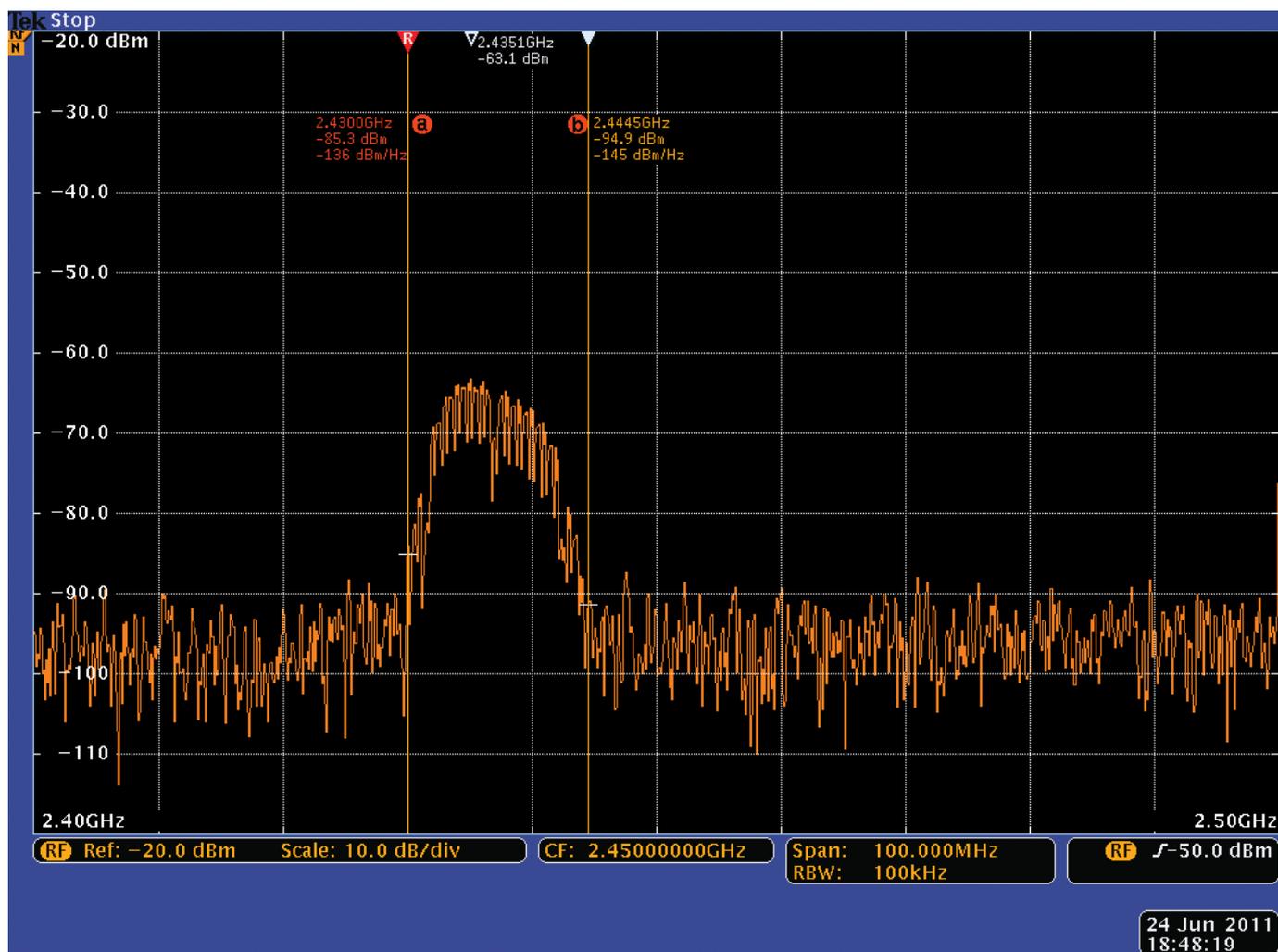


図 12. ワイヤレス LAN 干渉信号が相互作用テスト中にアクセスし影響を与えている

WiFi 干渉信号

MDO は、アンテナを使用することで、干渉の原因となるその他の無線ソースをチェックすることもできます。

図 12 の測定は、ZigBee 無線が使用するいくつかのチャンネルをカバーしています。この無線モジュールのアプリケーションでは、図の WiFi 信号により、ZigBee 無線に障害がでるか、あるいは無線が完全にブロックされる可能性があるため、この周波数周辺のチャンネルは使用しないのが賢明です。

MDO の RF トリガ機能は、特定のバンドの信号をすばやく取込むことができます

a と b のマニュアル・マーカにより、干渉ソースの周波数レンジのリードアウトが表示されています。

まとめ

ZigBee、その他の IEEE 802.15.4 などの無線実装では、設計において数多くのトレードオフがあります。コスト、開発時間、環境、大きさなどを考慮しなければなりません。通常の動作における性能、最終用途環境における他の部品との相互関係を検証することは非常に重要です。テクトロニクスの MDO4000 シリーズ・ミックスト・ドメイン・オシロスコープは、これらの測定に最適な、ユニークで強力なツールです。

Tektronix お問い合わせ先：

日本
お客様コールセンター
0120-441-046

地域拠点

米国 1-800-426-2200
中南米 52-55-54247900
東南アジア諸国/豪州 65-6356-3900
中国 86-10-6235-1230
インド 91-80-42922600
欧州/中近東/北アフリカ 41-52-675-3777
他 30 カ国

Updated 9 October 2009

詳細について

当社は、最先端テクノロジーに携わるエンジニアのために、資料を用意しています。当社ホームページ (www.tektronix.com/ja) をご参照ください。



TEKTRONIXおよびTEKは、Tektronix, Inc.の登録商標です。Microsoft、Windowsは、米国Microsoft Corporationの登録商標です。Dolbyは、米国Dolby Laboratories, Inc.の登録商標です。記載された商標はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

Tektronix®

〒108-6106 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティ B棟6階
3F/良い、オシロ
テクトロニクス お客様コールセンター TEL: 0120-441-046
電話受付時間 / 9:00~12:00・13:00~19:00 (土・日・祝・弊社休業日を除く)

www.tektronix.com/ja

■ 記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。
© Tektronix 2012年1月 48Z-26922-0