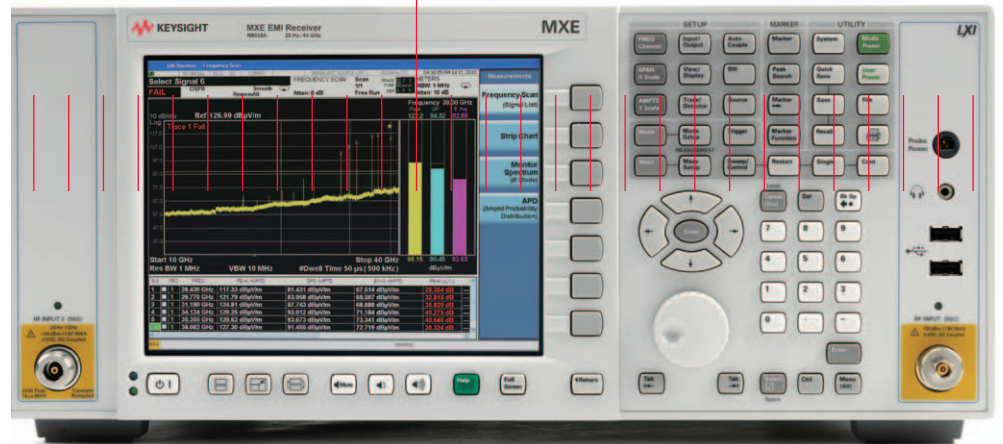


# Keysight Technologies

## EMCコンプライアンス・テスト： タイム・ドメイン・スキャンによる スループットの向上

### Application Note



## はじめに

電磁環境適合性(EMC)テストですべてのエミッションを正確に測定するには、厳密な手法が必要です。テスト時間が長くなればテスト設備の稼働率が高くなり検証できるデバイス数が減少します。このため、サードパーティにテスト費用を支払い新型デバイスをテストすることも必要になり、収益が圧迫されます。

高額な新しいテスト・サイトを設置せずに収益を上げるには、セットアップ、スキャン、ターンテーブルの回転、アンテナの高さの調整など、製品のEMCテスト・サイクルを効率化し、既存のコンプライアンス設備で最高のスループットを実現する必要があります。タイム・ドメイン・スキャンはレシーバのスキャン時間を大幅に削減してテスト時間全体を短縮できるテクノロジーです。これにより、収益が上がり、より速くより大量の製品を市場に投入できます。

このアプリケーション・ノートではタイム・ドメイン・スキャンの概要を紹介し、最も時間を短縮できるテスト・シナリオについて検討します。タイム・ドメイン・スキャンの速度とレシーバの過負荷保護のトレードオフについても評価します。

## タイム・ドメイン・スキャンによる テスト時間全体の短縮

インパルス信号の適切な特性評価を確実に行うために、商用/MILのテスト規格では滞留時間と呼ばれる測定時間が定められています。タイム・ドメイン・スキャンでは、必要な滞留時間を維持しながらレシーバのスキャン時間を短縮できます。

CISPRに基づいた商用テストではプリスキャンに最長1秒の滞留時間が必要になることがあります。エミッションの振幅が時間とともに変化する場合、最終測定に15秒以上の滞留時間が必要になります。MIL-STD-461では、周波数レンジによって1回の測定の滞留時間を15 ms ~ 150 msに指定しています。局部発振器で周波数をステップ設定または掃引する方式の周波数ドメイン・スキャンを採用しているレシーバでは、分解能帯域幅ごとにデータを取得するので滞留時間が長くなります。

タイム・ドメイン・スキャンは、CISPR 16-1-1:2010でプリスキャン用に使用することが認められました。現在では最終測定でも使用が認められていてCISPR 16-1-1に具体的な方法が定められています。MIL-STD-461では、ドキュメントの要件に適合すれば、どのような測定機器も使用することが可能です。

## タイム・ドメイン・スキャンの原理

タイム・ドメイン・スキャンは大きなオーバーラップで高速フーリエ変換(FFT)を行い、複数の分解能帯域幅を含む周波数スパンでエミッション・データを同時に取得してレシーバのスキャン時間を削減しています(図1)。対照的に、周波数ドメイン・スキャンでは別々の分解能帯域幅でデータを取得します。タイム・ドメイン・スキャンで使用できるFFTの帯域幅は1 ~ 10 MHz以上で、CISPRやMILで要求される分解能帯域幅より大幅に広がっています。レシーバは十分に広い帯域幅でデータを取得してから適切な規定の帯域幅で処理するため、確実に規格要件に適合した測定が行えます。周波数ドメイン・スキャンでは毎回の測定でレシーバの滞留時間が必要ですが、タイム・ドメイン・スキャンではFFT帯域幅で取得するすべてのデータに対して滞留時間が1回だけなので測定時間を短縮できます。

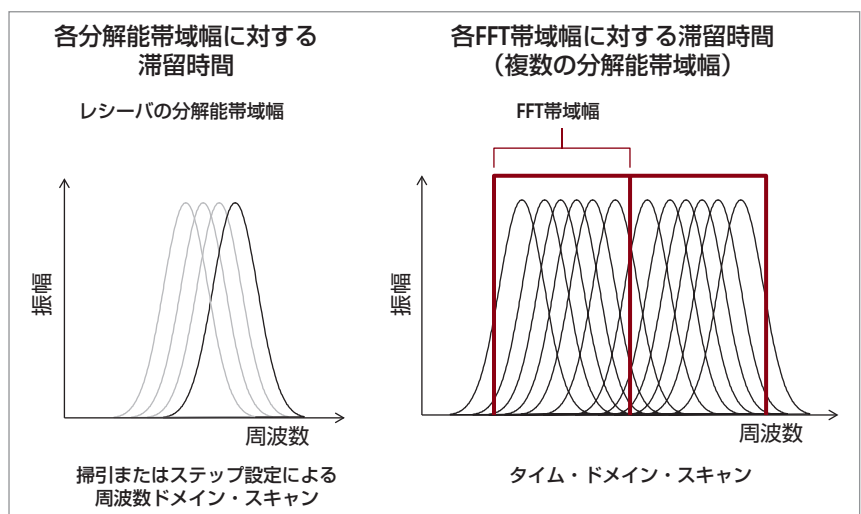


図1. 分解能帯域幅とFFT収集帯域幅の比較

周波数をステップ設定する周波数ドメイン・スキャンと比較すると、タイム・ドメインは帯域幅が広く、周波数ステップがほとんど必要ないため、さらに高速に目的の帯域全体を処理できます。周波数ステップでは、ステップごとに局部発振器の周波数を変更する必要があり、ステップ数が少ないほど局部発振器の再ロックにかかる時間が全体として短くなります。

タイム・ドメイン・スキャン測定は、CISPR 16-1-1:2010およびMIL-STD-461で規定されている振幅確度要件を満たさなければいけません。必要な振幅確度を実現するために、FFT計算を行う際に非常に大きなオーバーラップ(~90%)を設定します。さらに、より広いIF帯域幅で優れた振幅歪み性能を維持できるEMILレーザを使用する必要があります。

タイム・ドメインでFFTのオーバーラップの割合を大きく設定すれば、インパルス信号の正確な捕捉/測定が確実に行えます。図2aはオーバーラップなくFFTを行った場合の、タイム・ドメインにおけるインパルス信号を示したものです。入力信号がFFTの周期外で発生すれば、信号振幅が低めに表示されたり、まったく表示されなかったりする可能性があります。図2bは、同じ信号に対して十分なオーバーラップでFFTを行って、タイム・ドメインで表示したものです。こちらの場合、信号捕捉率が向上し正しいピーク振幅を表示できます。

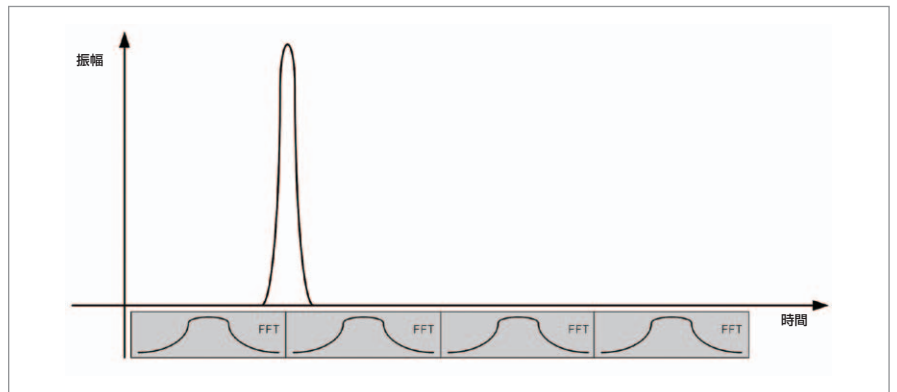


図2a. 従来の連続ウィンドウでサンプリングして時間に余裕のない状態でFFTを行うと、入力インパルス信号を逃す可能性があります。

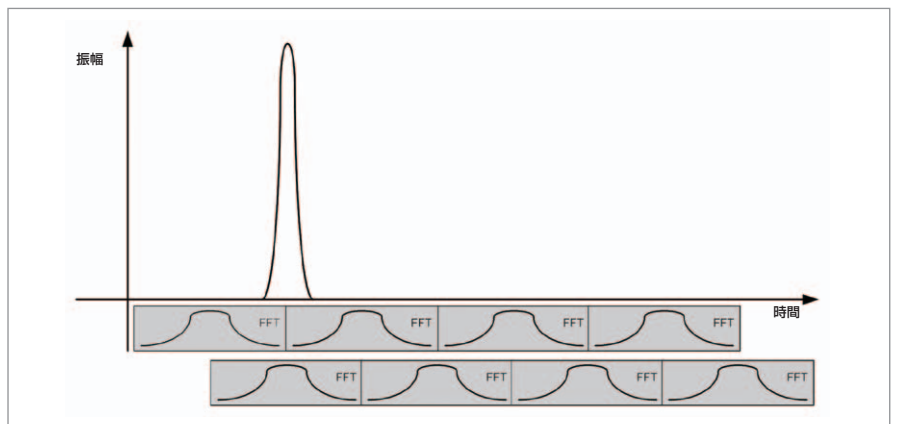


図2b. タイム・ドメインで大きなオーバーラップを設定してFFT測定を行えば、捕捉率が向上し、振幅測定欠損を最小限に抑えられます。

タイム・ドメイン・スキャンの帯域幅では、RF/マイクロ波のプリセクタ帯域幅も考慮する必要があります。プリセクタ・フィルタによりレシーバの初段ミキサに到達するRFエネルギーが帯域制限され、インパルス信号を測定する際に歪みがおおきく、測定ダイナミック・レンジが広がります。タイム・ドメイン・スキャンでプリセクタ・フィルタを考慮して、FFTの振幅確度を確保する方法が2つあります。

- FFTの帯域幅全体で振幅対周波数応答を調整してプリセクタの帯域端の応答を補償する。
- FFTの振幅対周波数応答とプリセクタの振幅対周波数応答が加算されないように、FFTの最大帯域幅を狭くする。

## プリスキャンを数時間から数分に短縮

以下はコンプライアンス・テストの施設で時間を要する主な作業(テスト能力の制限要因)です。

- 被試験機器(EUT)のセットアップと解体
- 疑わしい周波数を識別するためのプリスキャン(アンテナの移動、ターンテーブルの回転、レシーバのスキャンにかかる時間など)
- 最終測定(アンテナの移動、ターンテーブルの回転、シングル周波数レシーバの測定にかかる時間など)

レポートの作成はテスト施設で行わないため、上記には含まれません。

EUTのセットアップと解体にかかる時間はEUTの種類によって大きく異なり、1時間以内で完了する場合もあれば、1日以上かかる場合もあります。アンテナの移動にかかる時間はメーカーにより異なりますが、アンテナ位置を1回変更するのにかかる時間は通常5秒以内です。ターンテーブルの回転速度もメーカーにより異なりますが、通常は1～2 RPMです。ここでは、15°回転するのに5秒程度と仮定します。最終測定にかかる時間は非常に幅があり、疑わしい周波数リストに記載されている周波数の数、各周波数で必要な滞留時間によって変わります。

タイム・ドメイン・スキャンでは、プリスキャン(最終測定の前に行う信号の取得)のプロセス中にレシーバがすべての測定帯域を同調するので、時間を大幅に節約できます。例えば、CISPR 16-2-3:2010(3.1版)のセクション7.6.6に従って疑わしい周波数を取得する場合、ターンテーブルが15°回転することに1回掃引しなければならず、これを受信アンテナの両方の偏波で行う必要があります(全48回のレシーバ・スキャン)。さらに、アンテナの高さのスキャンが必要な場合もあります。3通りの高さで測定する必要がある場合、両方の偏波と各方位を組み合わせて測定するのに全部で144回のレシーバ・スキャンが必要になります。

30 MHz～1 GHzの範囲でエミッションを測定する際はピーク検波器でプリスキャンを行い、疑わしい信号のリストを作成します。各分解能帯域幅で4ポイント(例えば120 kHzのCISPR分解能帯域幅では30 kHzごと)を、1ポイントあたり10 msの滞留時間で測定します。周波数ドメインの場合、市販レシーバではこのスキャンに約250秒かかり、プリスキャンにかかる時間は全体で約10時間に及びます。

例えば、タイム・ドメイン・スキャンの場合は、N9038A MXE EMIレシーバで同じスキャンを約12秒で実行でき全スキャン時間が30分足らずになり、大幅に時間を節約できます。144回のスキャンを取得する場合、ターンテーブルの回転とアンテナの移動にかかる時間は両方のシナリオで同じで、約12分です。

## タイム・ドメイン・プリスキャンが最終測定の代わりにならない理由

タイム・ドメイン・スキャンにより、CISPRで規定されている重み付け検波器(準尖頭値、EMIアベレージ、RMSアベレージ)を使用した場合のスキャン時間も削減できます。これらの検波器では充電／放電の時間が重み付けされていて、タイム・ドメイン・スキャンはピーク検波器によるスキャンよりも遅くなりますが、それでも、重み付け周波数ドメイン・スキャンよりも非常に高速です。

重み付け検波器のスキャン時間が短縮された結果、最終測定の代わりに重み付け検波器による高速タイム・ドメイン・プリスキャンを行ってテスト設備の使用時間をより多く節約できるのではないかという考えが、業界の一部で持ち上がりました。最終測定の振幅ではなく重み付け検波器によるプリスキャンで得られた振幅で、疑わしい信号がエミッション・リミットに適合するかどうか評価しようとするものです。

残念ながら、この手法はCISPR推奨の測定手法と整合がとれていません。CISPR 16-2-3:2010(3.1版)のセクション6.5によれば、最終測定で各信号の重み付けされた振幅をモニタしてそれが安定していることを確認する必要があります。安定していない場合、CISPRでは信号振幅の変動を15秒間モニタすることを要求しています。15秒間の変動が2 dBより大きい場合、その信号はさらに長時間、モニタする必要があります。重み付け検波器によるタイム・ドメイン・スキャンの利点を活かしてCISPR要件に従ったリミット・ラインでエミッションを評価するには、スキャン中のすべての信号の最大値を捕捉するために15秒以上持続してスキャンしなければなりません。結局、滞留時間が長くなり、この手法により節約できるテスト時間はすべて相殺されてしまいます。

## プリセクタの検討：速度と過負荷保護

レシーバ・デザインで帯域幅を広くすればタイム・ドメインの速度が向上し、1回でより広い測定帯域幅を取得できます。広い帯域幅の利点を活用するには、レシーバのプリセクタのフィルタ帯域幅も広くする必要があります。しかし、プリセクタ帯域幅を広くするとインパルス測定に使用できるダイナミック・レンジが狭くなり、インパルス過負荷のしきい値が低下します。

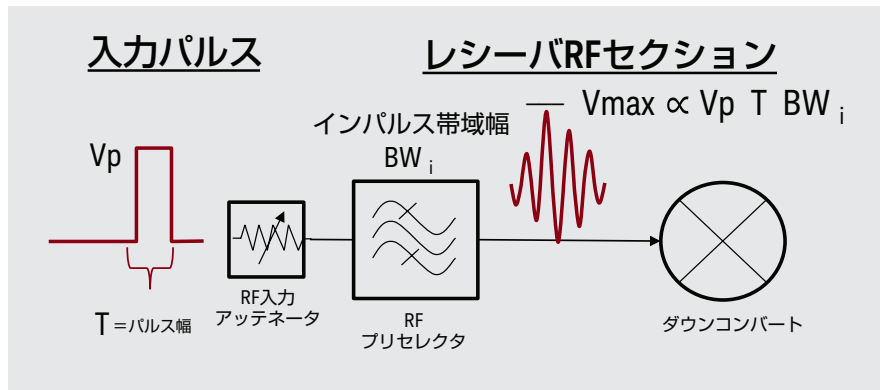


図3. プリセクタのインパルス帯域幅により、レシーバのダウンコンバータへのインパルス入力電圧が制限されます。

RF/マイクロ波プリセクタ・フィルタを使用する目的は、最初のミキサに到達するインパルスの広帯域エネルギーを低減し、インパルス信号を測定する際の過負荷レベルと測定ダイナミック・レンジを改善することです(図3)。インパルスが入力された場合、フィルタを通過する最大信号レベルは、パルスの振幅(V)、パルスの滞留時間(T)、フィルタのインパルス帯域幅(BW)に比例します。

$$V_{in\ max} \propto VT\ BW_i$$

プリセクタ・フィルタの帯域幅を広くしてタイム・ドメイン・スキャンの速度を上げれば、フィルタのインパルス帯域幅が広くなりインパルス信号に対するレシーバのオーバーロード・レベルが低下します。入力アッテネータを増加すればオーバーロードを回避できますが、測定感度が低下します。感度はEMCテストの主要なパラメータなので、システム・デザイナは感度を犠牲にしても測定速度を上げるべきか、短縮される時間が全測定時間に対して有効なのかを検討する必要があります。ほとんどの場合、短縮される時間は全測定時間の数%にしかならず、感度を低下させる価値はありません。

テスト設備用のレシーバを評価する際に重要なのは、タイム・ドメイン・スキャンのスピードと過負荷保護のトレードオフについて理解することです。歪みの仕様(1 dB圧縮と3次インターセプト(TOI)が最も重要)が同程度のレシーバで耐オーバーロード性能を比較するには、特定の周波数でプリセクタの6 dB帯域幅の比を比較します。

$$20\log [(wider BW_{6dB}) / narrower BW_{6dB}]$$

この計算式により、広いプリセクタ帯域幅を備えたレシーバで大きなインパルス信号を測定する際に、過負荷を避けるために追加しなければならない入力アッテネータの値を予測できます。

## タイム・ドメイン・スキャンに最適なレシーバの選択

タイム・ドメイン・スキャン速度はレシーバのアーキテクチャに依存します。帯域幅が広ければ高速になりますが、プリセクタの帯域幅も広がるためレシーバのダウンコンバータに到達するインパルス入力エネルギーが高くなりし、インパルスに対するレシーバのダイナミック・レンジが狭くなります。このような過負荷レベルの低下は入力アッテネータを追加すれば回避できますが、トレードオフとして測定感度が悪化します。

N9038A MXE EMILレシーバは優れた過負荷保護性能を備え、高速なタイム・ドメイン・スキャンが可能で、コンプライアンス・テストに最適です。狭帯域のRFプリセクション・フィルタを採用し、非常に優れたインパルス過負荷保護性能を実現しています。16個のフィルタ(固定が11個、可変が5個)の周波数レンジは20 Hz ~ 1 GHzで、帯域幅は300 kHz ~ 60 MHzです。3.6 GHzより上の周波数ではYIGプリセクタ・フィルタを使用して、60 MHz以下をフィルタリングしています。



## まとめ

タイム・ドメイン・スキャンを行えばテスト時間全体を短縮でき、EMCテストラボのスループットが大幅に向上します。短縮された時間は収益に直結し、その時間に空いている設備を使用して新製品を市場に投入できます。テスト時間は測定要件によって異なりますが、タイム・ドメイン・スキャンで商用規格向けのテストを数時間も短縮できます。またタイム・ドメイン・スキャンにより、プリスキャン時にターンテーブルの回転やアンテナの高さの変更が必要なテストが効率的に行え、最終測定に必要な疑わしい周波数を識別できます。



myKeysight

**myKeysight**

[www.keysight.co.jp/find/mykeysight](http://www.keysight.co.jp/find/mykeysight)  
ご使用製品の管理に必要な情報を即座に手に入れることができます。

**AXIe**

[www.axistandard.org](http://www.axistandard.org)

AXIe(AdvancedTCA<sup>®</sup> Extensions for Instrumentation and Test)は、AdvancedTCA<sup>®</sup>を汎用テストおよび半導体テスト向けに拡張したオープン規格です。Keysightは、AXIeコンソーシアムの設立メンバーです。

**LXI**

[www.lxistandard.org](http://www.lxistandard.org)

LXIは、Webへのアクセスを可能にするイーサネット・ベースのテスト・システム用インタフェースです。Keysightは、LXIコンソーシアムの設立メンバーです。

**PXI**

[www.pxisa.org](http://www.pxisa.org)

PXI(PCI eXtensions for Instrumentation)モジュラ測定システムは、PCベースの堅牢な高性能測定／自動化システムを実現します。

**DEKRA Certified  
ISO 9001:2008**  
Quality Management System

[www.keysight.com/quality](http://www.keysight.com/quality)

Keysight Technologies, Inc.  
DEKRA Certified ISO 9001:2008  
Quality Management System

契約販売店

[www.keysight.co.jp/find/channelpartners](http://www.keysight.co.jp/find/channelpartners)  
キーサイト契約販売店からご購入頂けます。  
お気軽にお問い合わせください。

**キーサイト・テクノロジー合同会社**  
本社〒192-8550 東京都八王子市高倉町9-1

**計測お客様窓口**

受付時間 9:00-18:00(土・日・祭日を除く)

TEL ■■■ 0120-421-345  
(042-656-7832)

FAX ■■■ 0120-421-678  
(042-656-7840)

Email contact\_japan@keysight.com

電子計測ホームページ  
[www.keysight.co.jp](http://www.keysight.co.jp)

● 記載事項は変更になる場合があります。  
ご注文の際はご確認ください。