



テクトロニクスMSOシリーズ・ オシロスコープによる ミックスド・シグナルのデバッグ

はじめに

今日、組み込みシステムはますます複雑になり、設計者は困難な状態に直面しています。一般的な組み込み設計でも、ざっと挙げるだけで、各種アナログ信号、高速／低速シリアル・デジタル通信、マイクロプロセッサ・バスなどが混在しています。I²C、SPIなどのシリアル・プロトコルは、チップ間の通信によく使用されていますが、すべてのアプリケーションでパラレル・バスと置き換わるというものではありません。

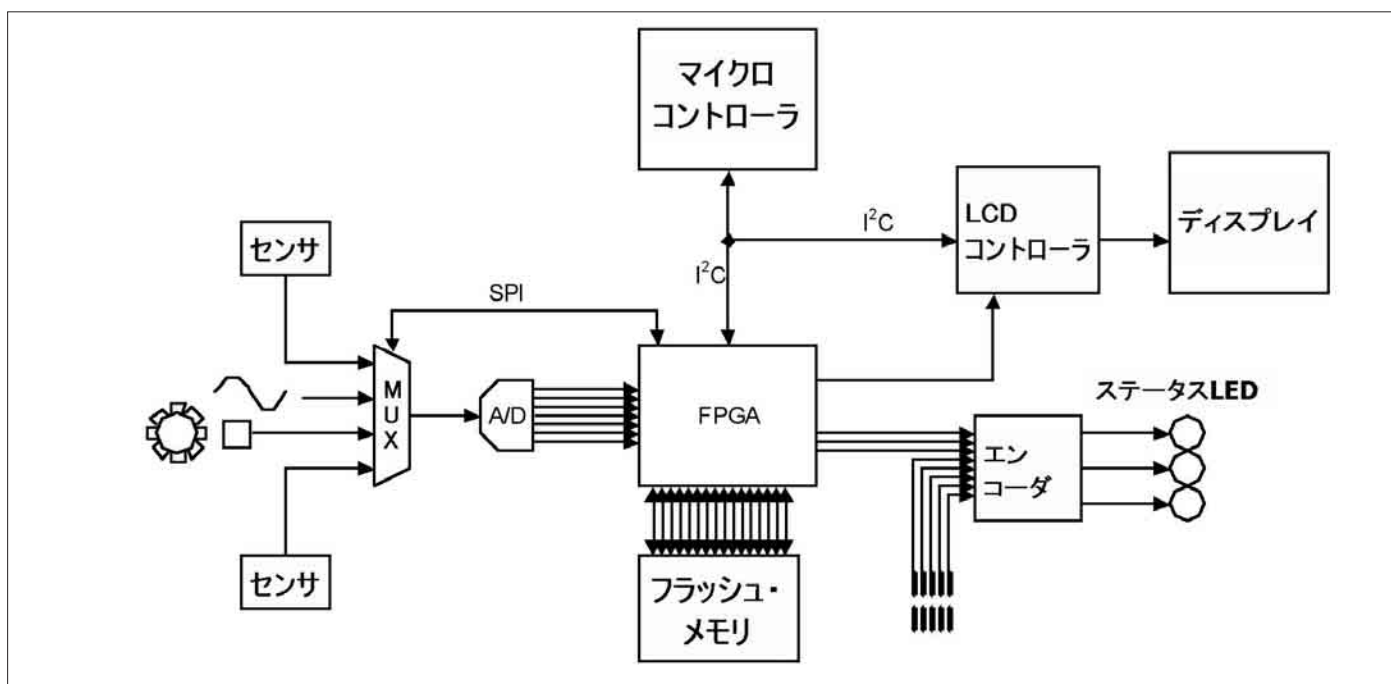


図1. アクイジション/実装システムの簡略図

今日の組込み設計においては、マイクロプロセッサ、FPGA、アナログ・デジタル・コンバータ（ADC）、デジタル・アナログ・コンバータ（DAC）などが使われており、それらが互いに関わった測定は困難なものとなります。例えば、2つのIC間のSPIバスをデコードしながら、同じシステム基板上のADCの入出力を観測しなければならないというケースも考えられます。このようなミックスド・シグナル・システムの例を図1に示します。

図1に示すハードウェアを4チャンネル・オシロスコープ1台でデバッグするのは、手間のかかるわずらわしい作業です。この場合、時間節約のため、オシロスコープを3~4台用意して一度に複数の信号をプロービングするという方法がとれない事はありませんが、一般的ではありません。また多くのデジタル信号にプロービングできるロジック・アナライザを使うこともできますが、デバッグ作業が複雑な上、ロジック・アナライザを設定し、操作方法をマスタするまでの時間を考えると、それだけのメリットが感じられない場合もあります。このような仕事に携わるエンジニアのために、当社が新たに提供する計測器が、MSO（ミックスド・シグナル・オシロスコープ）です。MSO4000シリーズ、MSO3000シリーズ、MSO2000シリーズは、16チャンネル・ロジック・アナライザの基本機能と高い信頼性を持つテクトロニクス4チャンネル・オシロスコープの性能を併せ持った計測器です。

このアプリケーション・ノートでは、ミックスド・シグナル組込み設計のデバッグ・プロセスを例に、当社MSO4000シリーズ、MSO3000シリーズ、MSO2000シリーズの持つ、業界トップクラスの性能を説明します。

MSOシリーズを使用した複数のシリアル・プロトコルの同時デバッグ

回路基板上のシステム・ブロック間通信については、I²C、SPIなどのシリアル・プロトコルを使用して簡素化を図るとというのが、組込み設計エンジニアの共通の手法です。このプロトコルにより配線はシンプルなものになりますが、従来のオシロスコープではそのシステムをデバッグするのが大変です。多くの場合、取込んだシリアル・データを手動でデコードするか、オシロスコープで取込んだデータをエクスポートして後処理やデコードを行うしかありません。シリアル・データをオシロスコープでデコードできれば、デバッグの所要時間を大幅に短縮して、ハードウェアとソフトウェアの影響をリアルタイムに観測することができるはずです。

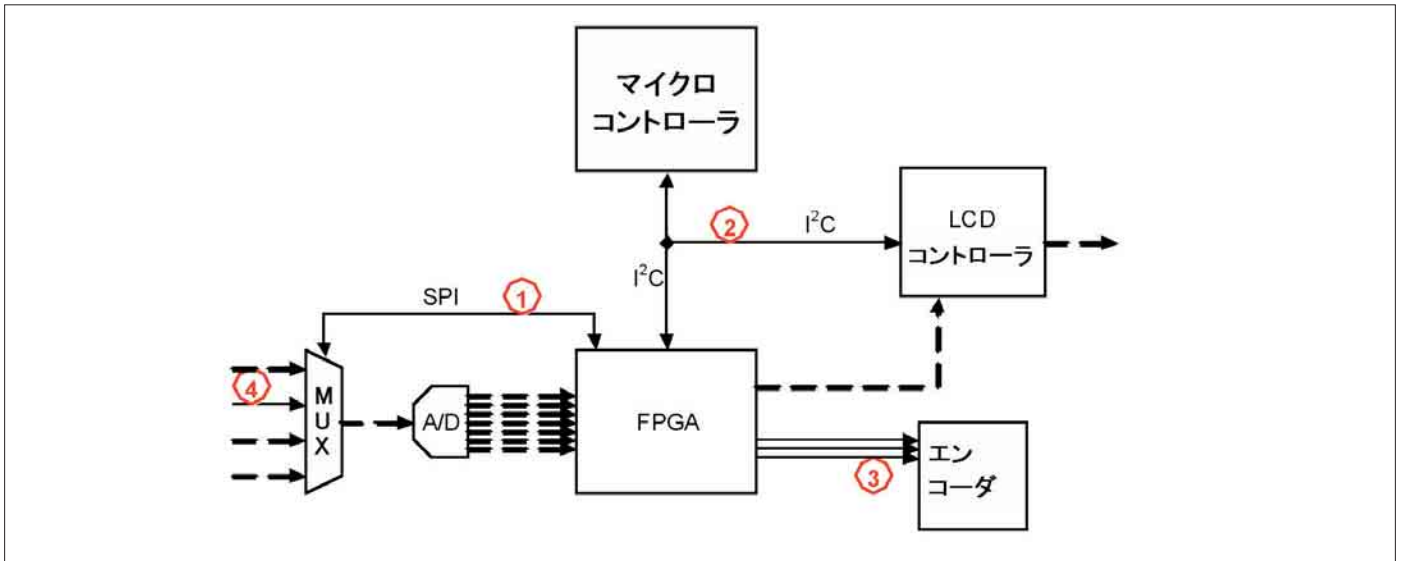


図2. フローブ・ポイントを示したアキュイジション・システムの一部

DPOシリーズ・オシロスコープでは、最大4チャンネルでシリアル・データをフロービングできますが、3線以上を必要とするシリアル・プロトコルもあり、チャンネル数が不足することがあります。そこで必要とされるのが、複数のシリアル・バスを同時にデコード、表示し、それらのタイミングの相関を観測する機能です。当社のMSOシリーズでは、DPOシリーズの持つシリアル・トリガとデコード機能に16のデジタル・チャンネルが追加され、I²C、SPI、CAN、LINの他に、RS-232とパラレル・バスのトリガ、デコード機能を装備しました。MSO4000シリーズとMSO3000シリーズには、I²S、LJ (Left Justified)、RJ (Right Justified)、TDMのオーディオ・バスのトリガ、デコード機能もあります。さらに、MSO4000シリーズには、FlexRayバスのトリガ、デコード機能もあります。また、複数のシリアル・バスとカスタムのパラレル・バスを同時にフロービングし、デコードすることができます。以下に示すのは、MSOシリーズを使用し、図1の組み込み設計の複雑なチップ間通信のエラーをデバッグしたときの例です。

図1のシステムのデバッグでまず判明したのが、回路基板上のステータスLEDが時折、障害発生を示すということです。しかし、ステータスLEDによる漠然としたエラー・レポートでは、問題がハードウェアにあるのか、ソフトウェアにあるのかはわかりません。以前にも、アナログMUXへの入力信号品質に問題があったため、同様のエラーが発生したことがありましたが、原因となったハードウェアはすでに交換されています。システム・エンジニアは、エラーの原因はMUX入力以降にあると考え、MUXのアナログ入力やデジタル・バスにフロービングすることでシステムを広範囲に観測することにしました。デバッグ用に4つのアナログ・チャンネルと16のデジタル・チャンネルを使用できるMSOシリーズを使用して、図2に示す1~4の信号ポイントに接続しました。

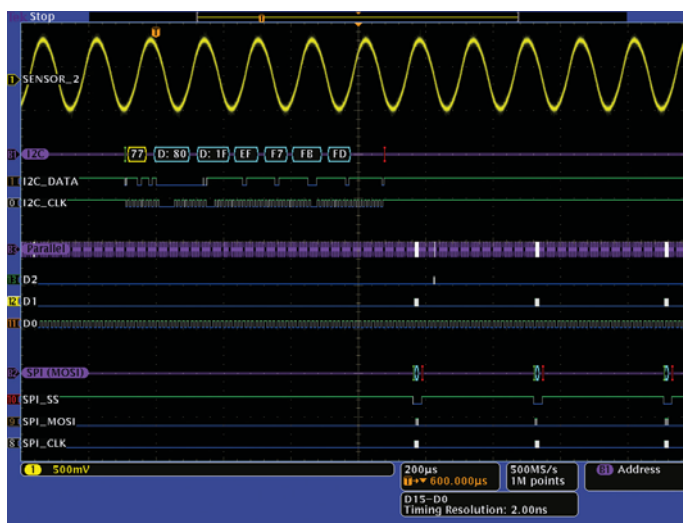


図3. MSO4000シリーズ画面：CH1アナログ入力信号、I²Cバス、SPIバス、パラレル・バスを表示

図3は、MSOシリーズでSPIバス（1番目）、I²Cバス（2番目）、3ビット・パラレル・バス（3番目）、アナログ入力（4番目）を同時にプロービングしたときのMSOの表示画面です。エラーは特定のサブルーチンで発生しているようなので、特定のI²C動作でトリガし、単発取込みするようにMSOシリーズを設定しました。I²Cバスのイベント周辺の有益な情報をすべて取込むことができるよう、レコード長を1Mポイントに設定してサブルーチンを実行し、関連するシステムの動作をMSOシリーズで確認しました。その結果、CH1のMUX入力はいきれいなアナログ波形であり、以前交換されたハードウェアには問題がなく、原因はそれ以外にあることがわかりました。エンジニアは、MSOシリーズを使用して、マイクロプロセッサから書き出されているI²Cデータにトリガしデコードしてみました。I²Cデータが転送された直後のSPIバスとD1信号とD2信号の動作が変です。実行された機能は本来LCDを制御するものであるため、これらバスは反応しないはずで、よくみると、MSOシリーズでデコードしたI²Cデータの値から、マイクロプロセッサがI²Cデータをアドレス0x77に書き込んでいることがわかりました。アドレス0x77はFPGAのアドレスです。本来ここではLCDコントローラのアドレス0x76にデータを書き込まなくてはなりません。



図4. Wave Inspectorでズーム表示したパケットの詳細

図4は、更なる追求のため、同じ波形取込みをWave Inspector機能でズーム表示し、SPIバスとパラレル・バスを詳細に観測したものです。SPIデータのデコードの結果、間違っアドレスされたマスタ（FPGA）はスレーブ（MUX）に0x15のデータを書き込んでいることがわかりました。この間違っSPIコマンドにより、入力MUXに対して入力信号ではなく内部調整用信号を選択するという間違っ動作となります。間違っ信号が選択された結果、それを感知したFPGAがパラレル・バスのステータスLEDにエラー・コードを送っていました。図4では、エラー・コードを示すD2信号の動作とパラレル・バスのデコードも観測できます。

この例では、MSOシリーズにより、観測対象のすべての信号を同時に取込んでデコードすることができたため、ソフトウェアのバグがシステム障害の原因であることがすぐにわかりました。ソフトウェア・プログラマが、マイクロコントローラからのI²Cデータを、LCDコントローラではなく、間違っFPGAに送るようにコーディングしていたというのが真相でした。

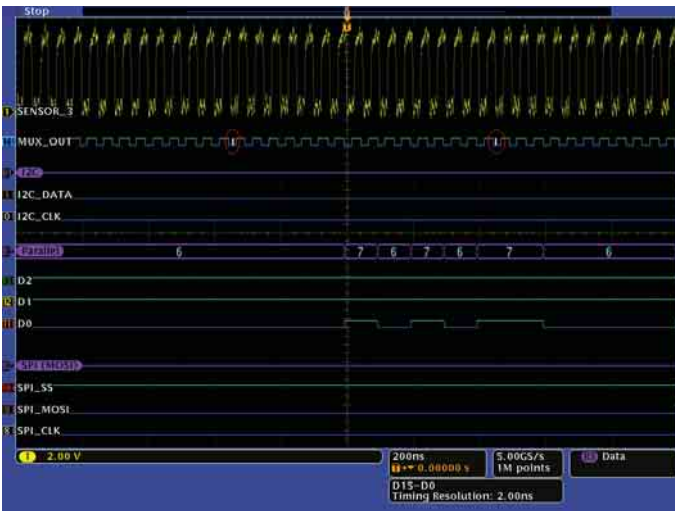


図5. MUX_OUTの白いエッジは、より詳細な情報があることを示す

次世代のデジタル波形表示による問題解決

上記のアドレスに関するバグをシステム・ソフトウェアで修正した後、さらにシステムの機能を調べる中で、エンジニアはまたもステータスLEDが稀にエラーを示すことに気づきました。前のエラーとは違って、どうしたらエラーが再現できるのかわかりませんでした。エラーは不規則に発生しており、システムの特定の機能やサブルーチンとは関係付けられませんでした。

エンジニアは不規則に発生するエラーに戸惑い、どこから観測すればよいかわかりませんでした。従来、このような場合には、ランダムに発生するイベントを運良く発見できることを期待しながら、オシロスコープを使ってシステムのさまざまな部分をランダムに

プロービングしてみる方法をとります。ずっとこのような方法に頼っていたのですが、今はMSOシリーズを適切に設定し、注目すべき全信号ポイントに接続すれば、エラーを短時間で検出することができます。幸い、前述のトラブル解析において、MSOシリーズのほとんどのプローブ・ポイントは接続されたままだったので、その状態から、CH1のプローブを現在選択されているMUX入力（図1のセンサからのデジタル信号）に移動し、さらに、この4箇所のプローブ・ポイントの他に、デジタル・チャンネルでMUX出力をプロービングすることにしました。

FPGAはエラー発生時、それを意味する0x7値を3ビット・パラレル・バスに転送しています。エンジニアは、問題を特定するため、パラレル・バスの0x7値のトリガ・イベントで単発取込みするようにMSOシリーズを設定しました。この取込み結果を図5に示します。この例では、パラレル・バスのデコードとトリガにより、エラー条件を簡単に特定でき、時間の浪費と混乱を回避することができました。この波形取込の例のように、1Mポイントの記録長を使用すると、トリガ・イベント前後の信号の詳細を観測することができます。

図5の波形には、一見すると何も問題がないように思われますが、エンジニアはMUX_OUT信号に2箇所、変わったエッジ・トランジションがあることに気づきました。図5のMUX_OUT信号の白いトランジション部は、この部分にさらに情報が含まれていることを意味しています。MSOシリーズは、マルチ・エッジ検出能力が高く、複数のデジタル・パルス・エッジが含まれた状態を検出した場合、ズームでの観測を促すよう、エッジを白くハイライト表示します。図6は、Wave Inspectorを使って最初の白いトランジション部をズーム表示で詳細に観測したときのようすです。これによると、図5の白いトランジション部は、実際にはMUX出力に発生したグリッチであることがわかります。

アプリケーション・ノート



図6. Wave Inspectorによって検出されたMUX_OUT信号のグリッチ



図7. CH2に表示されたMUX_OUTの詳細

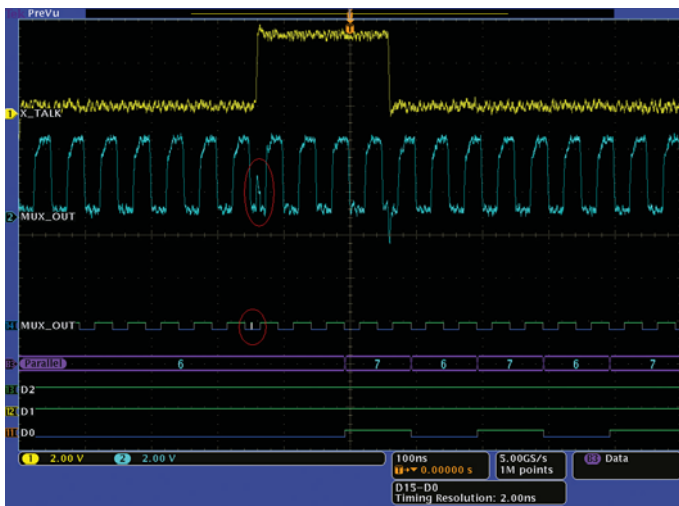


図8. MUX_OUT信号の原因はCH1の波形からのクロストークであることがわかる

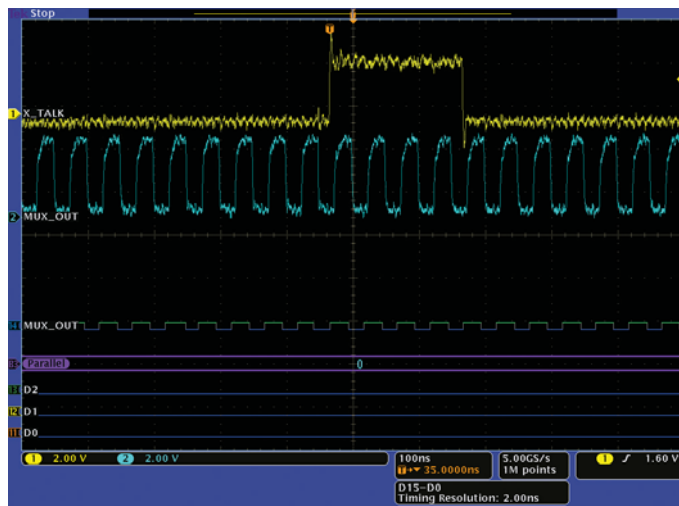


図9. プリント基板を修正することでクロストークは解消

図6は、MSOシリーズで観測したアナログ・チャンネルとデジタル・チャンネル間のタイミング関係を示しています。MUX入力はCH1 (SENSOR_3) に、MUX出力はデジタル・チャンネルD14 (MUX_OUT) に表示されています。エンジニアは、MUX出力にはグリッチがあるものの、MUX入力にはグリッチが見当たらないことに気づき、デジタル・チャンネルでグリッチを確認しつつ、CH2をMUX出力に接続して詳細を観測することにしました。パラレル・バスの0x7値でトリガする設定のまま、MSOシリーズで取込んだ結果を、図7に示します。ここでは、SPIバスとI²Cバスの波

形は、当該信号に集中するためにオフにしています。MUXの入出力でアナログ・プローブを使用した結果、出力で見られたグリッチは入力信号にはないことがわかりました。図7の波形から、MUX_OUT信号のグリッチは、FPGAがエラー・コードを出す直前に発生することがわかります。この2つの信号のタイミング関係から、問題の原因はこのグリッチであると推測され、さらに同じ設定で何回か取込みを行いました。そのたびに図7と同様の結果が観測されました。

テクトロニクスMSOシリーズ・オシロスコープによるミックスド・シグナルのデバッグ

MSOシリーズの観測結果から、エンジニアはMUX_OUT信号のグリッチはクロストークが原因ではないかと考えましたが、既に観測した信号は、いずれもクロストークの原因とは思えません。しかし、プリント基板のレイアウトを詳細に観察したところ、プリント基板上のMUX_OUT信号配線の隣にビアがあることに気づきました。そこで、CH1をプリント基板のビアにプロービングし、パラレル・バスで次のトリガを待ちました。その結果（図8）から、CH1で取込んだ信号のローからハイになるトランジションは、MUX_OUT信号の正のグリッチと直接に時間相関がとれていることがわかります。同様に、ハイからローへのトランジションは、MUX_OUT信号の負のグリッチと直接に時間相関がとれています。

エンジニアは、問題となった信号の配線を変更し、MSOシリーズのCH1でトリガをかけ影響を観測しました。その結果が図9ですが、MUX_OUT信号にCH1に同期したグリッチは見られません。MUX_OUT信号にグリッチがないので、パラレル・バスでエラーが発生することはありません。回路基板を変更することでビアからのクロストークがなくなり、組み込み設計エンジニアはシステム検証を完了しました。

まとめ

このアプリケーション・ノートで説明したように、MSO4000シリーズ、MSO3000シリーズ、MSO2000シリーズは組み込み設計の開発とデバッグに適した強力なツールです。MSOシリーズは、時間相関のとれた16デジタル・チャンネルと、長年つちかわれた4チャンネル・オシロスコープの高い信頼性、直感的なユーザ・インタフェースを併せ持っています。MSOシリーズを使用すれば、オシロスコープを何台も用意する必要はなく、新たにロジック・アナライザの操作方法を習得する必要もありません。

パラレル・バスと、I²C、SPI、USB、CAN、LINバス、RS-232などのシリアル規格のどちらにもトリガし、デコードすることのできるMSOシリーズは、今日の組み込み設計のハードウェアとソフトウェアの複雑な関係を検証するうえで欠かせない存在となっています。

MSOシリーズには豊富な機種が用意されており、最適な一台をお選びいただけます。

	MSO4000シリーズ	MSO3000シリーズ	MSO2000シリーズ
周波数帯域	1GHz、500MHz、350MHz	500MHz、300MHz、100MHz	200MHz、100MHz
チャンネル数	アナログ：4 デジタル：16	アナログ：2または4 デジタル：16	アナログ：2または4 デジタル：16
レコード長（全チャンネル）	10Mポイント	5Mポイント	1Mポイント
最高サンプル・レート（アナログ）	5GS/s*、2.5GS/s	2.5GS/s	1GS/s
最高サンプル・レート（デジタル）	500MS/s（全レコード長） 16.5GS/s（トリガ中心で 10kポイントの場合）	500MS/s（全レコード長） 8.25GS/s（トリガ中心で 10kポイントの場合）	1GS/s（D7~D0の 任意のチャンネル使用時） 500MS/s（D15~D8の 任意のチャンネル使用時）
カラー・ディスプレイ	10.4型XGA	9型WVGA	7型WQVGA
パラレル・バス解析	○	○	○
シリアル・バス・トリガ/ 解析アプリケーション・モジュール	DPO4EMBD型：I ² C、SPI DPO4USB型：USB DPO4COMP型： RS-232/422/485/UART DPO4AUTO型：CAN、LIN DPO4AUTOMAX型： CAN、LIN、FlexRay DPO4AUDIO型： I ² S/LJ/RJ/TDM	DPO3EMBD型：I ² C、SPI DPO3COMP型： RS-232/422/485/UART DPO3AUTO型：CAN、LIN DPO3AUDIO型： I ² S/LJ/RJ/TDM	DPO2EMBD型：I ² C、SPI DPO2COMP型： RS-232/422/485/UART DPO2AUTO型：CAN、LIN
追加可能なアプリケーション・ サポート	パワー解析 HDTV／カスタム・ビデオ	パワー解析 HDTV／カスタム・ビデオ	—

* 1GHz機種

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。記載された商品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

01/10

36Z-20215-3

Tektronix®

日本テクトロニクス株式会社

www.tektronix.com/ja

〒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
お客様コールセンター TEL:0120-441-046
ヨッ!良い オシロ
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)

■ 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