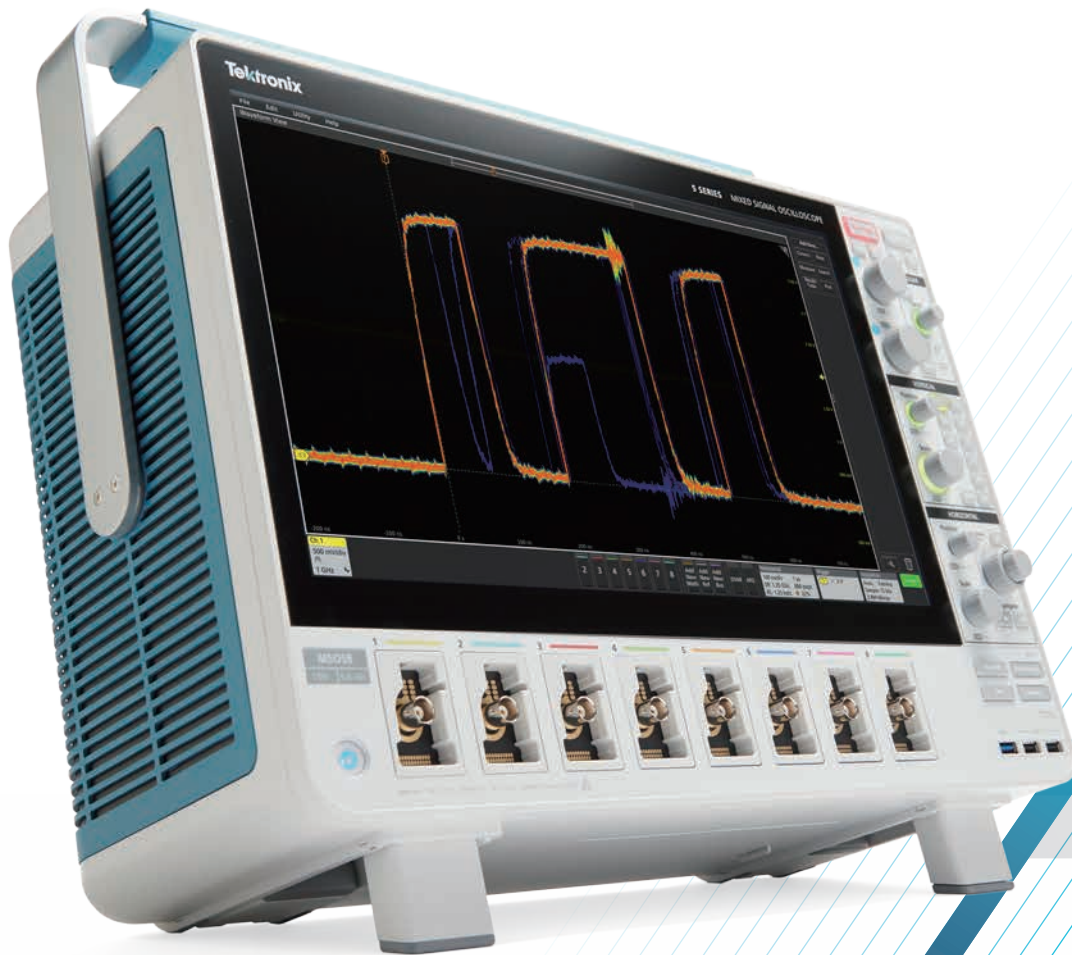


Tektronix[®]

I²C、SPIデコード機能を備えた オシロスコープによる システム問題のトラブルシューティング

アプリケーション・ノート



はじめに

マイクロコントローラをベースとした、ほとんどの設計は、コントローラ間、およびコントローラと周辺チップ間の通信にI²CまたはSPI、またはその両方を使用しています。チップが特定のI²CまたはSPIパケットを送った場合の組み込みシステム内の様子を知ることは、トラブルシューティングにおいて重要な意味を持つことがあります。温度センサ、モータ制御、ヒューマン・インタフェースまたは電力管理など、比較的速度の遅いパラメータを管理する数多くのチップは、他のシステムと共に、通信の主な手段としてこのバスを使用しています。通信用のIC、クロック、ADCなど、その他の高速チップは、このバスを使用して設定されることがあります。例えば、電源投入後の冷却ファンの問題をトラブルシューティングする場合、ファン制御ICに送られるSPIコマンドのタイミングとストラクチャ、さらにファンと電源へのドライバ信号を調べることで問題解決に役立つことがあります。

I²C、SPIバスは明確に定義されており、比較的強固ですが、それでもノイズ、基板レイアウト、リセット問題、実装の微妙な違いなどによって影響を受けることがあります。このため、バス・エラーやロックアップになることがあります。デコード機能を備えたオシロスコープがあれば、バスのデータとバス信号の条件を同時に観測できます。

本アプリケーション・ノートの概要

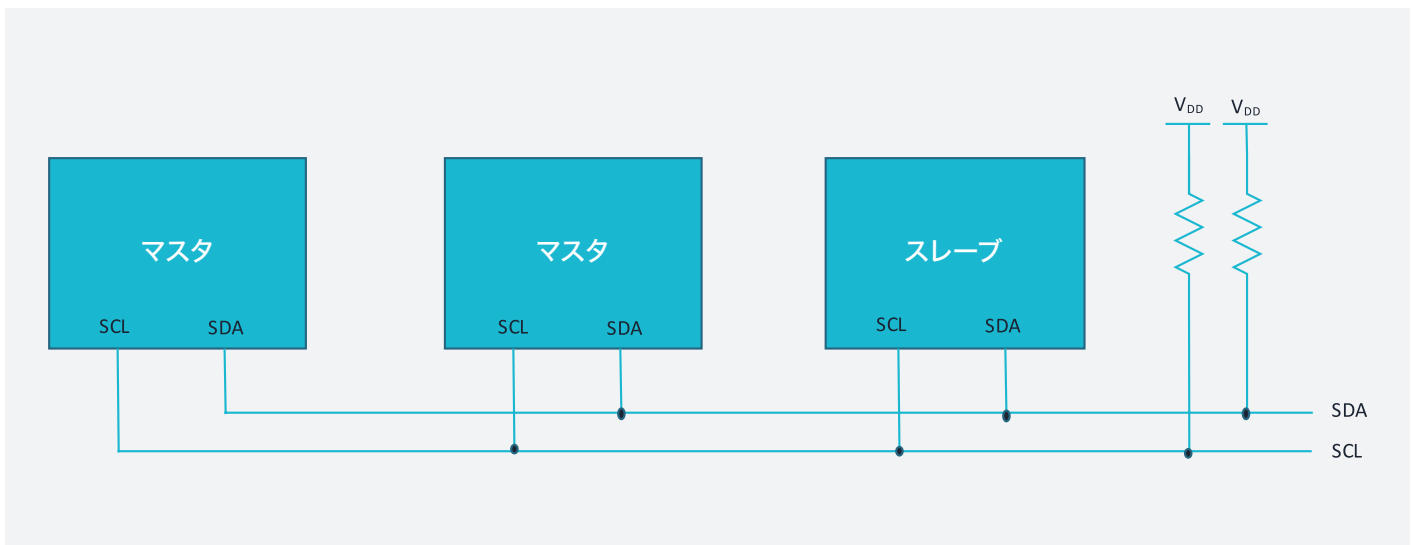
- I²C、SPIの物理レイヤとパケット構造の概要から、トラブルシューティングに役立つ詳細な情報を説明します。
- I²C、SPIのデコード機能を装備したオシロスコープのデコード設定方法を説明します。
- I²C、SPIのデコード機能を装備したオシロスコープのシリアル・バス・データの読み方を説明します。
- I²C、SPIのデコード機能を装備したオシロスコープで可能なトリガ、検索について説明します。

テクトロニクスのおシロスコープにシリアル・トリガ/解析のオプション機能を装備すると、I²C、SPIバスに携わる組み込みシステム・エンジニアのための強力なツールになります。このアプリケーション・ノートでは、5シリーズMSOを使用してI²C、SPIシリアル・バスのデコードとトリガを説明します。

¹ サポート可能なシリアル・バス規格は、オシロスコープによって異なります。オシロスコープによって可能なバスについては、付録Aまたは当社ウェブ・サイト (www.tektronix.com/ja) をご覧ください。

I²C

I²C（アイスクエアシーと読みます）は、Inter-Integrated Circuitの略語です。1980年代初期にPhilips社により、コントローラと周辺のチップを接続するための低価格な方法として開発されました。それ以来、組み込みシステムのデバイス間の通信における世界標準規格として発展しています。単純な2線式であり、Analog Devices社、Atmel社、Infineon社、Cyprus社、Intel社、Maxim社、NXP社、Silicon Laboratories社、ST Microelectronics社、Texas Instruments社などの主要半導体メーカーによって、I/O、A/D、D/A、温度センサ、マイクロコントローラ、マイクロプロセッサなどの広範囲なチップに採用されています。



動作原理

I²Cは、物理的には2線式のインタフェースで、双方向シリアル・クロック (SCL) とデータ (SDA) で構成されています。バス上の複数のマスタとスレーブをサポートしますが、同時には一つのマスタのみがアクティブになります。任意のI²Cデバイスがバスに接続でき、任意のマスタ・デバイスとスレーブ・デバイスで情報を交換できます。各デバイスはユニークなアドレスで認識され、デバイスの機能によって送信、受信のいずれかとして機能します。100kbps (標準モード)、400kbps (ファースト・モード)、3.4Mbps (ハイスピード・モード) のビット・レートがサポートされています。最大デバイス数は、システムのバス負荷容量の上限値400pFから、おおよそ20~30のデバイスが接続できます。

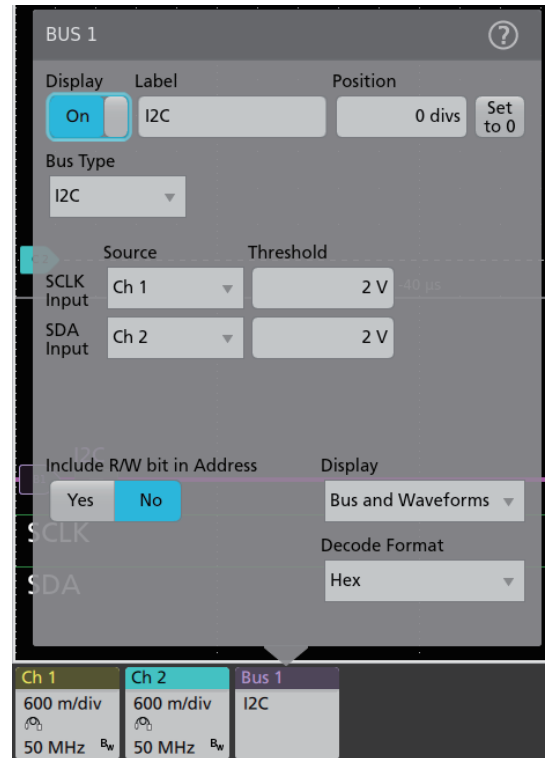
START	ADDRESS	R/W	ACK	DATA0	ACK0	DATA1	ACK1	...	DATAN	ACKN	STOP
	7 or 10 bits	1 bit	1 bit	8 bits	1 bit	8 bits	1 bit	1 bit	8 bits	1 bit	

PC規格では、以下のフォーマットが規定されています。

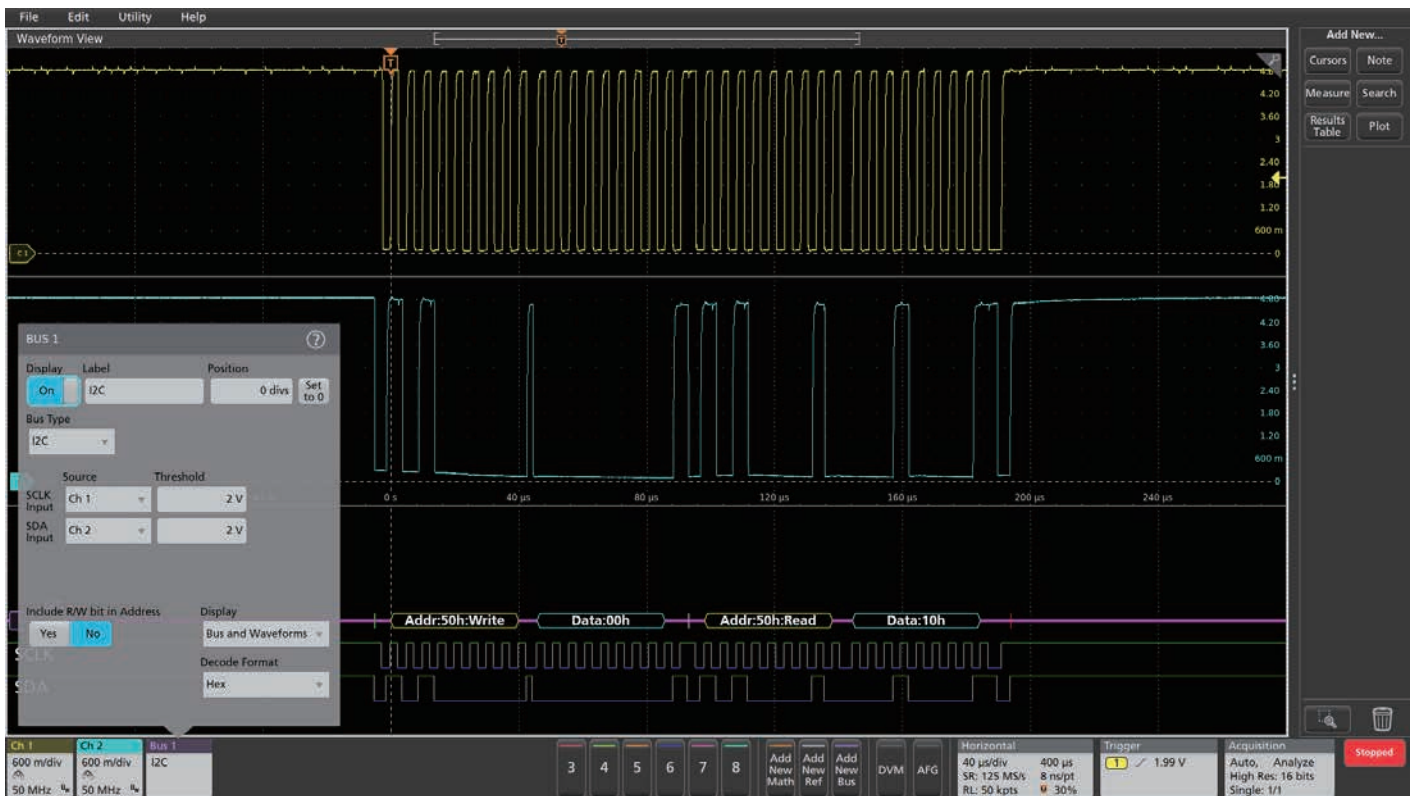
- Start – 通信の最初を示す信号で、この後にメッセージが続きます。
- Address – 7ビットまたは10ビットによるデバイスのアドレスで、読み取りまたは書き込みで使用されます。当初は7ビットのアドレスのみでしたが、10ビットのアドレスも使用できるようになりました。
- R/Wビット – 1ビット。データがデバイスから読取られるのか、デバイスに書き込まれるのかを示します。
- Ack – 1ビット。マスタのアクションをスレーブ・デバイスが正しく受信したことを示します。通常、各アドレス、データ・バイトはAckを持ちますが、常に持つとは限りません。
- Data – 整数のバイトでデバイスの読み取り、書き込みを行います。
- Stop – メッセージの終了を示し、マスタはバスを解放します。

PCのアドレスをデコードする方法には、7ビット+リードまたはライト (R/W) ビット、またはR/Wビットがアドレスに含まれる8ビットの方法があります。7ビット・アドレスの方法は、ファームウェアおよびソフトウェアの設計エンジニアが従うべきPC規格で規定されています。しかし、その他多くのエンジニアは8ビット・アドレス法を使用しています。テクトロニクスのおシロスコープは、どちらの方法でもデータをデコードすることができます。

I²Cバスのデコード設定



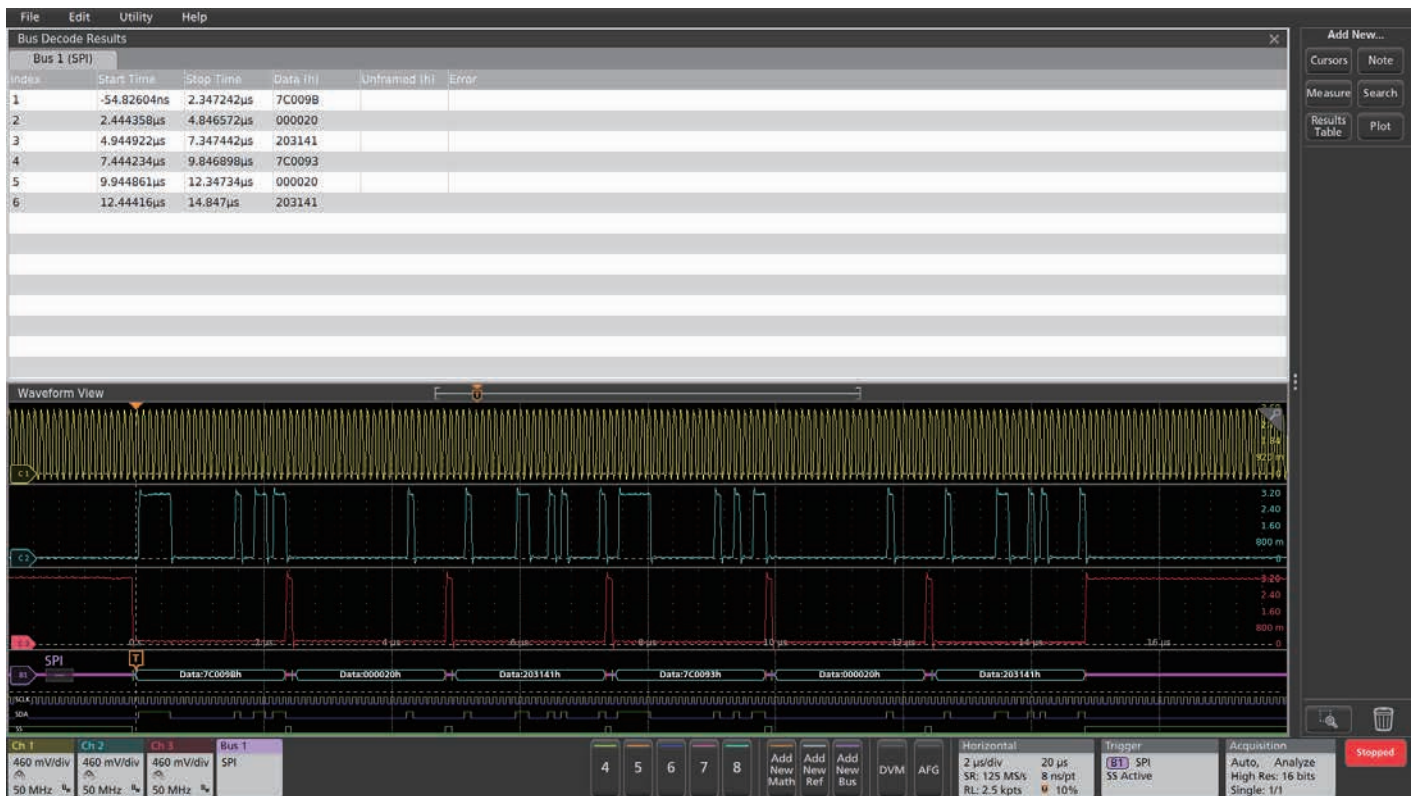
テクトロニクスのおシロスコープでは、前面パネルのBusボタンを押すことでオシロスコープ入力をバスとして設定できます。クロック、データに割り当てたチャンネルをオンにし、ロジックの1、0を決めるためのデジタル・スレッシュホールド・レベルを設定するだけで、オシロスコープはバスを伝送するプロトコルを理解します。



I²Cバスの読み方

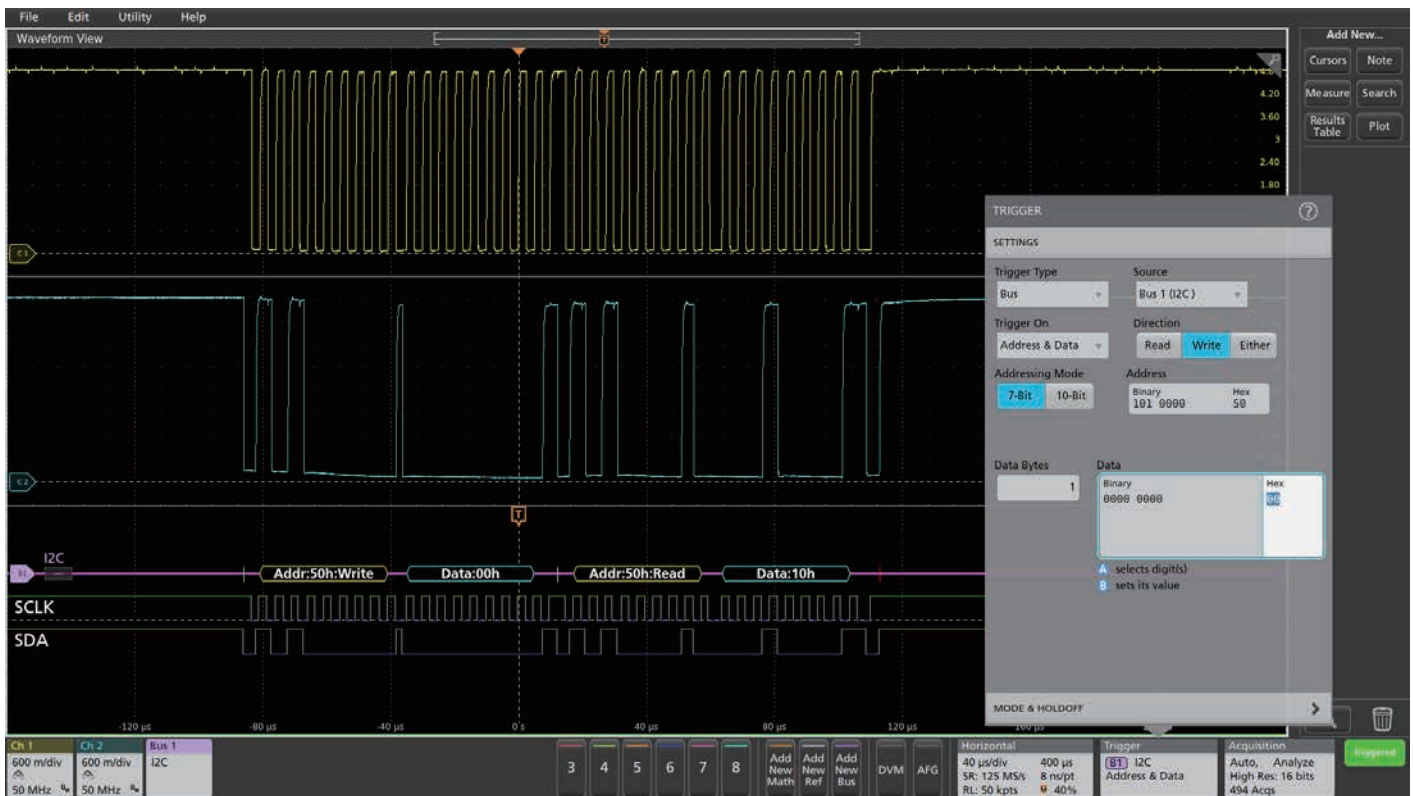
時間相関のとれた波形とバス・デコードの表示は、ハードウェア・エンジニアにとっては馴染みがあり、使いやすいフォーマットです。デコードされたバス波形は、PCメッセージの要素を示しています。

PCバスの要素	表示
開始 前回の停止なしに別の開始が表示された場合は、繰返しの開始が発生する	
アドレス [W]は書き込みを、[R]は読み込みを示す。アドレスの値は、16進またはバイナリで表示される	
データ データの値は、16進またはバイナリで表示される	
Akcなし	
停止	



ファームウェアを担当するエンジニアにとっては、Result Tableの形式の方が便利かもしれません。バスの動きがタイムスタンプとともに表示されるため、ソフトウェアのリストとの比較が容易で、実行速度が簡単に計算できます。

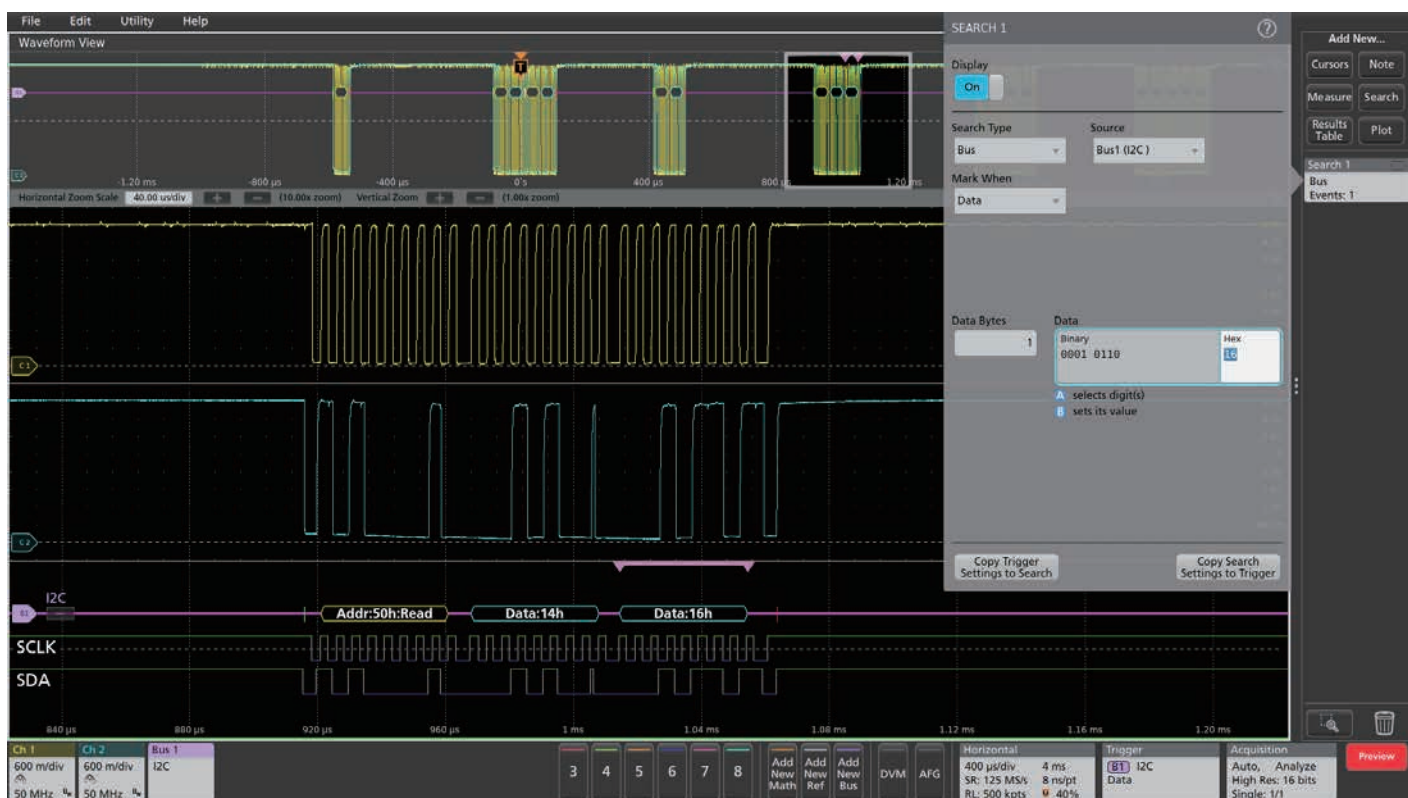
Results Tableは、波形表示とリンクしています。表の行をタップすると、オシロスコープは対応するバス信号、デコードされたバス波形を自動的にズームして、ディスプレイ下部に表示します。



I²Cバスのトリガ

一つまたは複数のシリアル・バスをベースにしたシステムのデバッグでは、オシロスコープはバス・トリガで特定のイベントを検出し、取込めることが重要です。バス・トリガが正しく設定されると、オシロスコープはすべての入力信号を取込み、特定のバス・イベントをトリガ・ポイントにして表示します。この例では、アドレス0x50、データ0x00でトリガしています。

トリガ対象	概要
Start	SDAがローに、SCLがハイになるとトリガします。
Repeated Start	前回の停止なしに開始条件が発生するとトリガします。通常は、バスを開放することなく複数のメッセージを送る場合です。
Stop	SDAがハイに、SCLがハイになるとトリガします。
Missing Ack	スレーブは、アドレスとデータの各バイトの後にAckを送るようにしばしば設定されます。オシロスコープは、スレーブがAckビットを出力しない場合にトリガできます。
Address	特定のアドレス、またはGeneral Call、Start Byte、HS-mode、EEPROM、CBUSを含む、あらかじめプログラムされた特殊なアドレスでトリガします。アドレスは7または10ビットで、バイナリまたは16進で入力します。
Data	バイナリまたは16進で入力された特定のデータの値でトリガします。
Address and Data	アドレスとデータの値の両方、および読み取り、書き込みが入力でき、特定のイベントを取込みます。



I²Cバスの検索

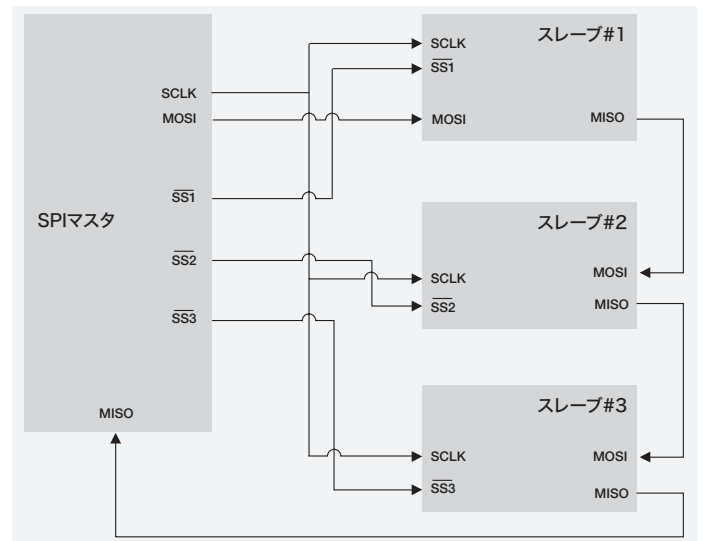
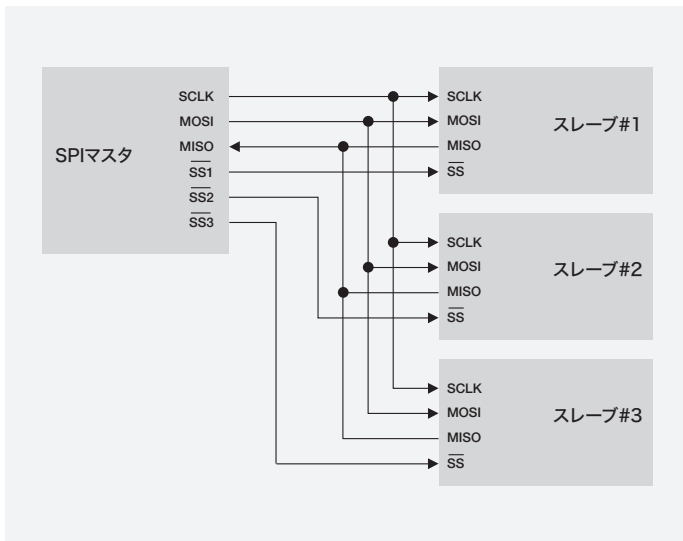
テクトロニクス製のオシロスコープにはWave Inspectorによる検索機能があり、検索条件に合ったすべてのバス・イベントを探し出すことができます。また、それがいくつ発生しているのかもわかります。設定はバス・トリガの設定と同様であり、特定のバス・イベントを自動的に検出し、そのすべてにマークを付けます。この例では、データの値0x16を自動検索しています。このデータ値は取込んだ波形でただ1回取込まれており、シリアル・データ・パケットの位置はピンクのブラケット・アイコンで表示されています。

SPI

SPI (Serial Peripheral Interface) は、1980年代後半に、モトローラ社によって68000シリーズ・マイクロコントローラのために開発されました。バスが簡潔で一般性があるため、数多くの製造メーカーが採用してきました。今では、主に組み込みシステム設計で使用される広範囲な部品に見受けられます。SPIは、主にマイクロコントローラと、直接に接続される周辺デバイス間で使用され、携帯電話、モバイル機器のCPU、キーボード、ディスプレイ、メモリ・チップ間の通信で使用されています。

動作原理

SPIは、マスタ/スレーブ方式の4線式シリアル通信バスです。クロック (SCLK)、MOSI (Master Output/Slave Input)、MISO (Master Input/Slave Output)、スレーブ・セレクト (SS) の4つの信号からなります。2つのデバイスが通信する場合は、常に一方が「マスタ」になり、もう一方が「スレーブ」になります。マスタがシリアル・クロックをドライブします。データは同時に送受信され、全二重プロトコルです。



バス上のデバイスごとにユニークなアドレスを持つのではなく、SSラインにより送受信されるデバイス・データを指定します。したがって、それぞれのデバイスは、マスタから独自のSSを割り当てられます。3つのスレーブ・デバイスがある場合は、マスタから3つのSSが発行されます。

SPIではスレーブ・デバイスはデジー・チェーン接続され、各操作と実行は交互に行われ、結果はマスタに戻ります（これによりデータ経路の状態が検証できます）。

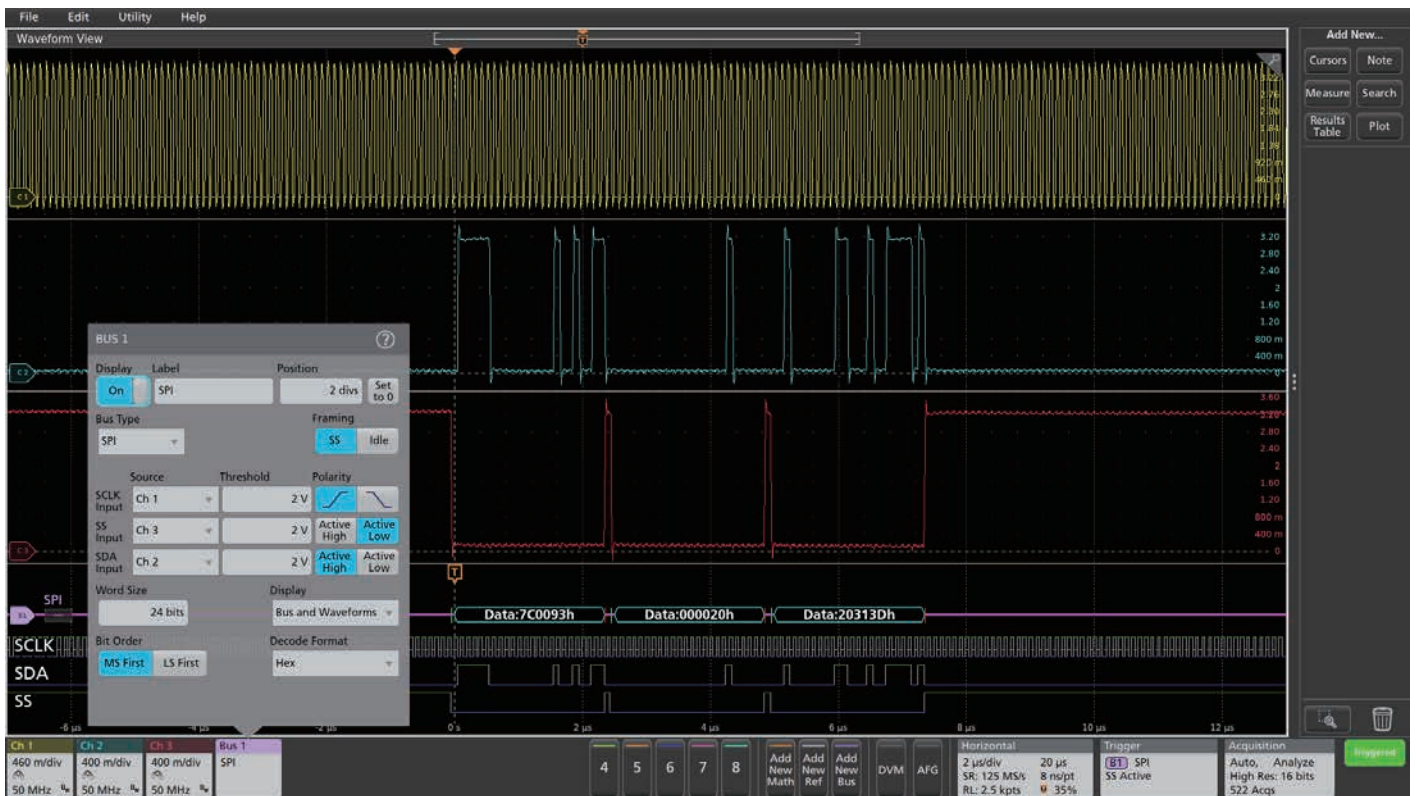
場合によってはスレーブからの返信がマスタに届く必要がなく、そのような場合、MISO信号は省略されます。その他の場合ではマスタは一つ、スレーブも一つですので、SSはまとめてグランドされます。これを一般に2線式SPIと呼びます。

SPIデータ転送が実行されると、8ビット・データ・ワードはMOSIからシフトされる一方、別の8ビット・データ・ワードがMISOにシフトされます。これは、16ビットの循環シフト・レジスタと見ることができます。転送が実行されると16ビット・シフト・レジスタは8ビット分シフトし、マスタとスレーブ・デバイス間で8ビット・データが交換されます。二つのレジスタ、CPOL (クロック極性)、CPHA (クロック位相)により、データが扱われるクロックのエッジを決定します。各レジスタは2種類のステートを持ち、4種類の組み合わせがありますが、互換性はありません。したがって、マスタとスレーブが通信するためには、同じパラメータを使用する必要があります。複数のスレーブが異なった構成で使用される場合、異なったスレーブと通信するためには、マスタはその都度再構成する必要があります。

SPIバスのデコード設定



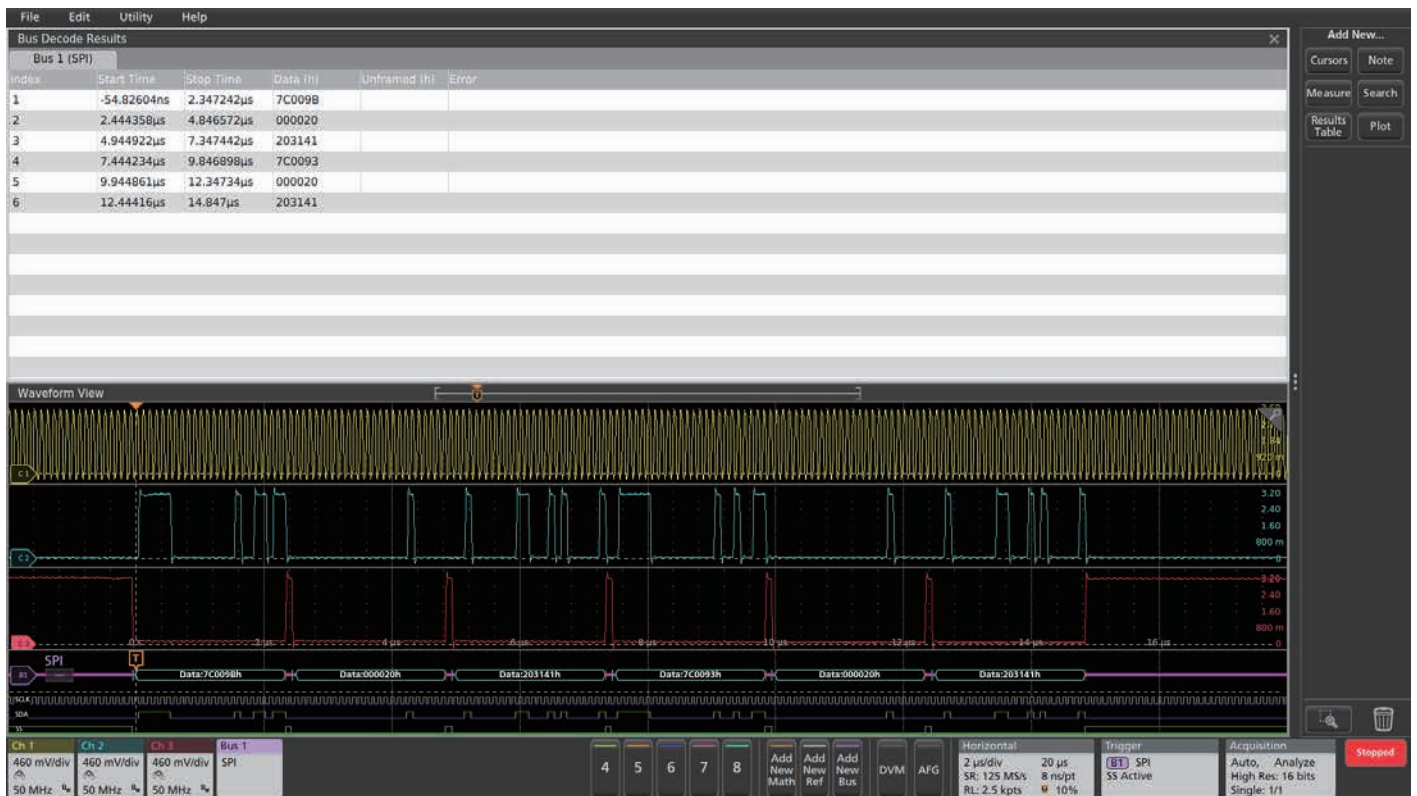
この例では、オシロスコープのアナログ・チャンネル (Ch. 1、Ch. 2、Ch. 3) に受動プローブを接続してSPI信号を取込んでいます。デジタル・チャンネルもバス・デコードで使用できます。Bus設定メニューでSPIバスを設定し、クロック、データのチャンネル、スレーブ選択信号、スレッシュホールド、極性、ワード・サイズを指定します。



SPIバスの読み方

表示モードをBus、Waveformに設定することで、各入力信号のデジタル的な意味（アナログ信号とそれに対応するスレッシュホールド電圧の比較）をすばやく検証できます。このデジタル信号（グリーンはハイ、ブルーはロー）は、SPIのプロトコルにしたがって解釈されます。正しく設定されると、オシロスコープはデコードされた結果を表示します。

SPIバスの要素	表示
開始 前回の停止なしに別の繰返し開始が表示された場合は、繰返しの開始が発生する	
データ データは、16進またはバイナリで表示される	
停止	



デイジー・チェーン接続されたSPIストラクチャのシステムを例に説明します。このサブシステムは、システムにRFクロックを供給するVCO (Voltage-controlled oscillator) を制御します。メインCPUがVCOに6つの24ビット・ワードを書き込むことで、VCOは初期化されます。信号はSPIの電気仕様に適合しているようですが、VCOが正しい周波数を出力していません。

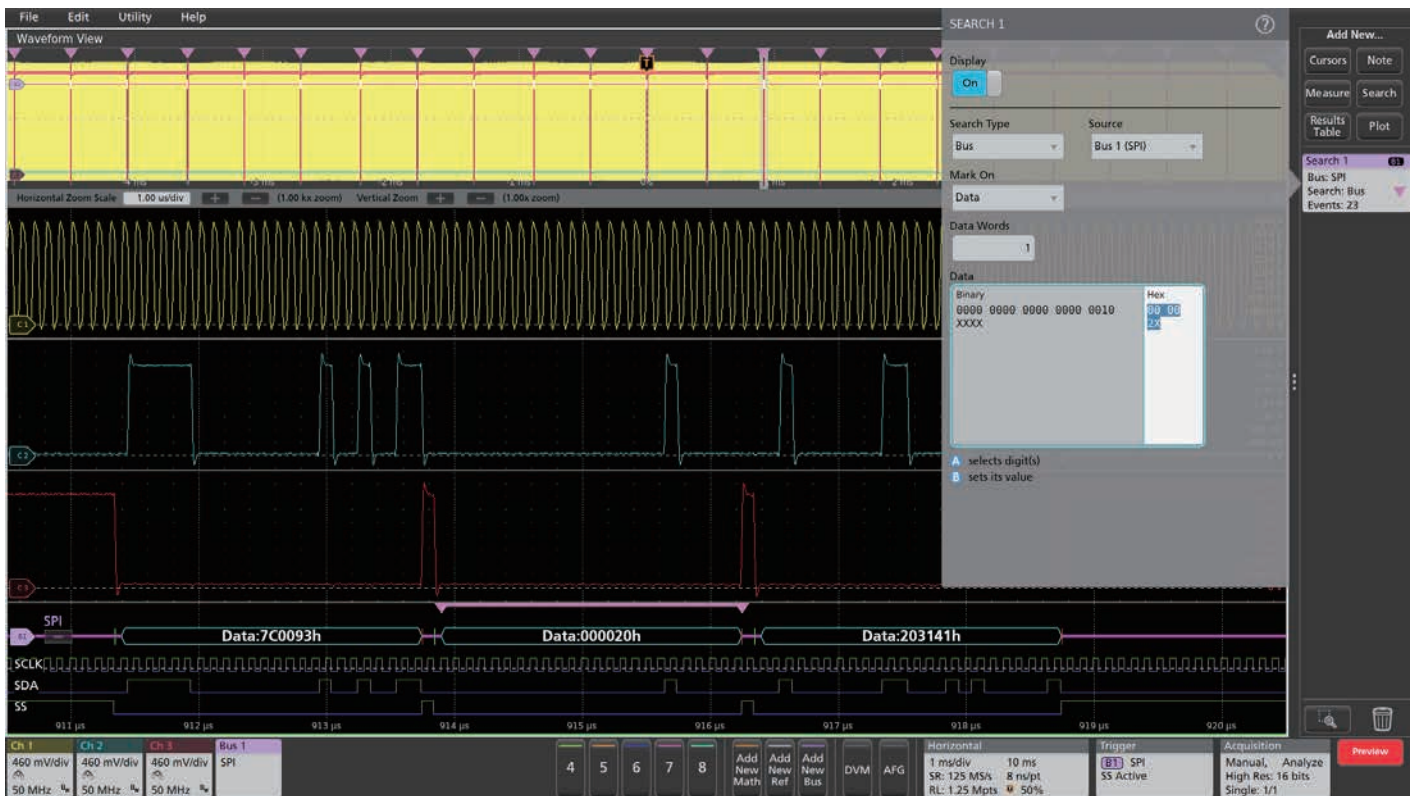
Result Table表示では、VCOの初期化を調べることができます。オシロスコープは、SPIのスレーブ選択信号のアクティブでトリガできます。システムの電源が入ると、オシロスコープは初期化シーケンスを取込んで表示します。

SPIバスのトリガ

この例では、シンプルなSS Activeトリガを使用しています。テクトロニクス製のオシロスコープのSPIトリガ機能を以下に示します。

トリガ対象	概要
SS Active	スレーブ・デバイスでSS (Slave Select) が真になるときにトリガします (3線モード)。
Start of Frame	クロック・アイドル時間でフレーム・タイミングを決定する場合、フレームの開始でトリガします (2線モード)。
Data	ユーザ指定のデータの1つまたは複数のバイトでトリガします (MOSIまたはMISO)。(4000/3000/2000シリーズは、16バイトまでのMOSI、MISOのデータにトリガできます。)

このトリガにより、特定のバス・トラフィックを検出し、取込むことができ、デコード機能ではアプリケーションに対応した、バスで伝送されるすべてのメッセージの内容を表示することができます。



SPIバスの検索

特定の検索条件に合ったすべてのバス・イベントを見つけるには、Wave Inspector による検索機能を使用します。設定はバス・トリガの設定と同様であり、特定のバス・イベントを検出し、そのすべてにマークを付けます。この例では、24ビットのデータの値0x00002hを自動検索しています。このデータは、取込んだ波形において23回発生しています。前面パネルの矢印ボタンを押すと、マークの付いたイベント間を簡単に移動できます。特定のシリアル・データ・パケットの位置は、ディスプレイ下に表示されるピンクのブラケットで表示されます。

付録 A

テクトロニクスは豊富な機種を用意しており、最適な一台をお選びいただけます。

	MSO/DPO70000 シリーズ	DPO7000C シリーズ	5シリーズMSO	MSO/DPO5000 シリーズ	MDO4000C シリーズ	MDO3000 シリーズ	MSO/DPO2000 シリーズ
周波数帯域	33GHz、25GHz、 23GHz、20GHz、 16GHz、 12.5GHz、8GHz、 6GHz、4GHz	3.5GHz、2.5GHz、 1GHz、500MHz	2GHz、1GHz、 500MHz、 350MHz	2GHz、1GHz、 500MHz、 350MHz	1GHz、500MHz、 350MHz、 200MHz	1GHz、500MHz、 350MHz、 200MHz、 100MHz	200MHz、 100MHz、70MHz
アナログ・ チャンネル数	4	4	4、6、8	4	4	2または4	2または4
デジタル・ チャンネル数	16 (MSO)	--	8~64 (オプション)	16 (MSO)	16 (オプション)	16 (オプション)	16 (MSO)
スペクトラム・ アナライザの チャンネル数	--	--	--	--	1 (オプション)	1	--
レコード長 (全チャンネル、 ポイント)	最大62.5M (標準) 最大250M (オプション)	25M (標準) 最大125M (オプション)	62.5M (標準) 125M (オプション)	25M (標準) 最大125M (オプション)	20M	10M	1M
サンプル・レート (アナログ)	最高100GS/s	最高40GS/s	最高6.25GS/s	最高10GS/s	最高5GS/s	最高5GS/s	1GS/s
カラー・ ディスプレイ	12.1型XGA	12.1型XGA	15.6型HD	10.4型XGA	10.4型XGA	9型WVGA	7型WQVGA
シリアル・バス・ トリガ/解析アプリ ケーション	I ² C SPI RS-232/422/485/ UART CAN LIN FlexRay USB 2.0/3.1 Gen1 HSIC 10/100BASE-T Ethernet MIL-STD-1553 8B/10Bデコード D-PHY MIPI デコード PCI Express デコード	I ² C SPI RS-232/422/485/ UART CAN LIN FlexRay USB 2.0 HSIC 10/100BASE-T Ethernet MIL-STD-1553 8B/10Bデコード D-PHY MIPI デコード PCI Express デコード	I ² C SPI RS-232/422/485/ UART CAN LIN FlexRay USB 2.0 10/100BASE-T Ethernet I ² S/LJ/RJ/TDM	I ² C SPI RS-232/422/485/ UART CAN LIN FlexRay USB 2.0 HSIC 10/100BASE-T Ethernet	I ² C SPI RS-232/422/485/ UART CAN CAN FD LIN FlexRay USB 2.0 I ² S/LJ/RJ/TDM MIL-STD-1553	I ² C SPI RS-232/422/485/ UART CAN CAN FD LIN FlexRay USB 2.0 I ² S/LJ/RJ/TDM MIL-STD-1553	I ² C SPI RS-232/422/485/ UART CAN LIN
同時に表示可能な シリアル・バスの数	16	16	原則無制限	16	3	2	2

お問い合わせ先：

オーストラリア 1 800 709 465
オーストリア 00800 2255 4835
バルカン諸国、イスラエル、南アフリカ、その他ISE諸国 +41 52 675 3777
ベルギー 00800 2255 4835
ブラジル +55 (11) 3759 7627
カナダ 1 800 833 9200
中央／東ヨーロッパ、バルト海諸国 +41 52 675 3777
中央ヨーロッパ／ギリシャ +41 52 675 3777
デンマーク +45 80 88 1401
フィンランド +41 52 675 3777
フランス 00800 2255 4835
ドイツ 00800 2255 4835
香港 400 820 5835
インド 000 800 650 1835
インドネシア 007 803 601 5249
イタリア 00800 2255 4835
日本 81 (3) 6714 3010
ルクセンブルク +41 52 675 3777
マレーシア 1 800 22 55835
メキシコ、中央／南アメリカ、カリブ海諸国 52 (55) 56 04 50 90
中東、アジア、北アフリカ +41 52 675 3777
オランダ 00800 2255 4835
ニュージーランド 0800 800 238
ノルウェー 800 16098
中国 400 820 5835
フィリピン 1 800 1601 0077
ポーランド +41 52 675 3777
ポルトガル 80 08 12370
韓国 +82 2 6917 5000
ロシア +7 (495) 6647564
シンガポール 800 6011 473
南アフリカ +41 52 675 3777
スペイン 00800 2255 4835
スウェーデン 00800 2255 4835
スイス 00800 2255 4835
台湾 886 (2) 2656 6688
タイ 1 800 011 931
イギリス、アイルランド 00800 2255 4835
アメリカ 1 800 833 9200
ベトナム 12060128
2016年2月現在



jp.tek.com

テクトロニクス／ケースレイインストゥルメンツ
お客様コールセンター

TEL: 0120-441-046 ヨク! 良い オシロ 電話受付時間 / 9:00~12:00・13:00~18:00
(土・日・祝・弊社休業日を除く)

〒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

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。

Copyright © 2017, Tektronix. All rights reserved. TEKTRONIX および TEK は Tektronix, Inc. の登録商標です。記載された製品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

2017年6月 55Z-61091-0