

Tektronix®

TekScope™ PC解析ソフトウェアによる MIPI C-PHYバスの検証

アプリケーション・ノート



はじめに

MIPI C-PHYSMは、C-PHYリンクを介して通信し、モバイル・カメラやディスプレイ・アプリケーションに適したカメラ・シリアル・インタフェース、ディスプレイ・インタフェース用のPHYを提供します。

画像解像度向上に対する要求により、既存のホスト・プロセッサとカメラ・センサ間のインタフェースの帯域を圧迫しています。

MIPI C-PHYは、低解像度のイメージ・センサから、最大6000万画素のセンサ、さらに4K以上の高解像度のディスプレイ・パネルで使用できます。

C-PHYはD-PHYと同じICピン上に共存するように設計されており、D-PHYと同様に低電力信号のデュアル・モード・デバイスを開発することができます。このC-PHY-D-PHYの組み合わせにより、3チャンネルのC-PHYが可能になります。

C-PHY 技術の概要

MIPI C-PHYは、従来の2線式差動信号方式から、約2.28ビット/シンボルの3相シンボル・エンコーディングを採用しており、3ワイヤのレーン(トリオ)でデータ・シンボルを伝送します。各トリオにはエンベデッド・クロックが含まれます。

D-PHYで 사용되는2線式差動の「レーン」とは異なります。C-PHYは、約2.28ビット/シンボルの3相シンボル・エンコーディングを使用しています。

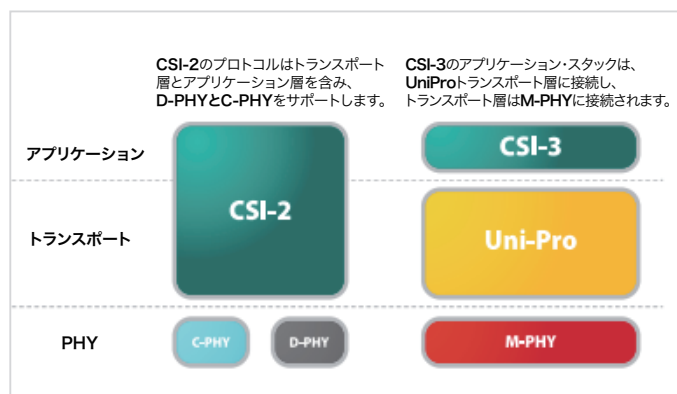
C-PHYのTXレーンはA、B、Cのトリオで構成され、符号化データを用いて16/7≒2.28ビット/シンボルをパックしており2.5Gbpsで動作する場合は1レーンあたり5.7Gbpsに相当します。C-PHY v2.0は最大8Gbpsで動作するトリオで、1レーンあたり18.1Gbpsを実現します。

レシーバは3つの差動RXできており、それぞれが(A-B)、(B-C)、(C-A)という3つの信号のうち2つの差を見ています。

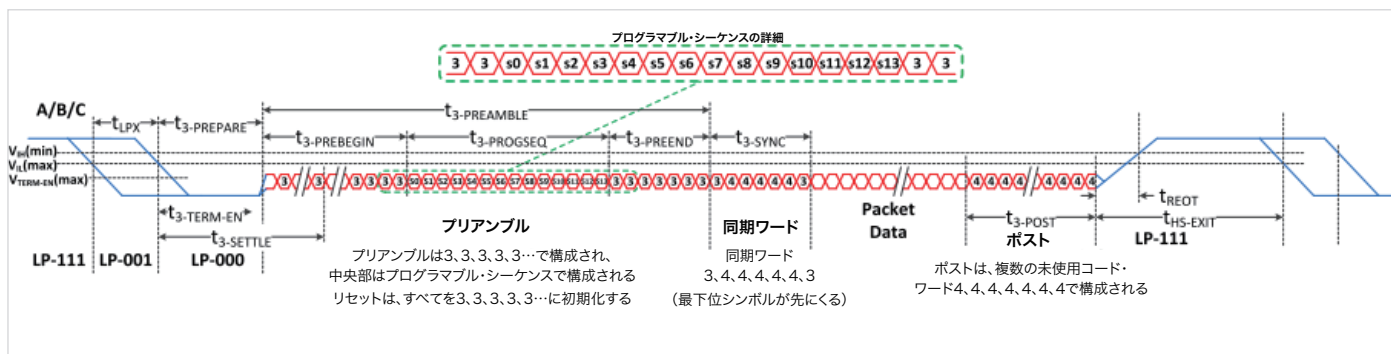
本アプリケーション・ノートの概要

- C-PHY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트에役立つ詳細な情報を説明します。
- C-PHYのデコード機能を装備したオフラインでのオシロスコープのデコード設定方法を説明します。
- C-PHY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。
- C-PHYのデコード機能を装備したオシロスコープで、どのような検索オプションが利用できるのかを説明します。

シリアル解析機能オプションを装備した、テクトロニクスのおシロスコープとTekScope解析ソフトウェアは、C-PHYバスに携わる組込みシステム・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、[TekScope解析ソフトウェア](#)を使用したPHY解析を説明します。当社のシリアル対応の詳細については、[Serial Support Using Oscilloscopes and Optional Software](#)をご覧ください。



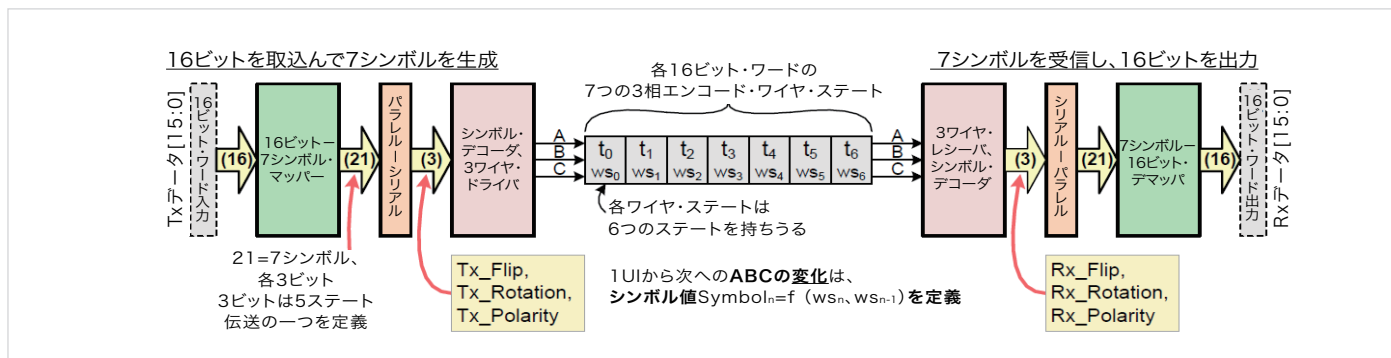
注：このアプリケーション・ノートで使用されているMIPIの仕様図の著作権はMIPI Alliance, Inc.に帰属しており(2007~2022)、許可を得て転載しています。C-PHYSM、D-PHYSMは、MIPI Allianceのサービス・マークです。このアプリケーション・ノートの資料は、テクトロニクスにおけるトレーニングのサポートに必要な場合以外、いかなる目的でも開示、複製、または使用することはできません。



出典：MIPI Alliance/June 2021

C-PHYの出力は、グランド基準の信号は伝送しません。HS-TX信号は250mVのコモンモード電圧レベルに乗っています。

TXでエンコーディングされたビット (すなわち、16ビット→7シンボル→3ワイヤ・ステート・レベル) は、16ビットを7シンボルに、7シンボルを3ワイヤ・ステート・レベルにマッピングするデコード・ロジックを持ちます。



データのエンド・トゥ・エンド伝送、16ビット・ワードのチャンネル・ステートへの変換 (MIPI Allianceからの引用)

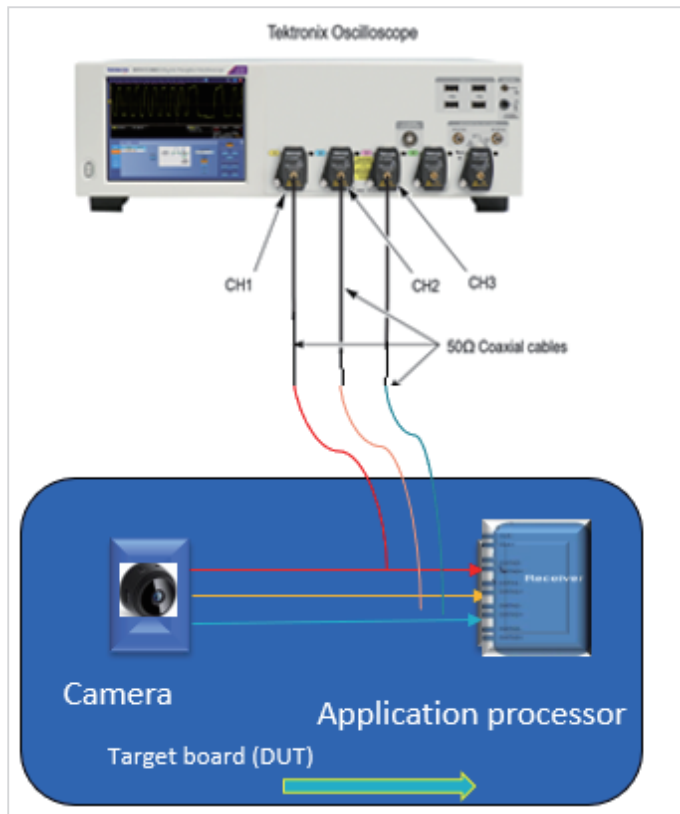
TekScopeによるD-PHY/C-PHYデコーディング



IPアドレスを使用してTekScopeをセットアップするフロー図：任意のプラットフォームによるプロトコル・デコードとサーチ・オプション

波形取込み

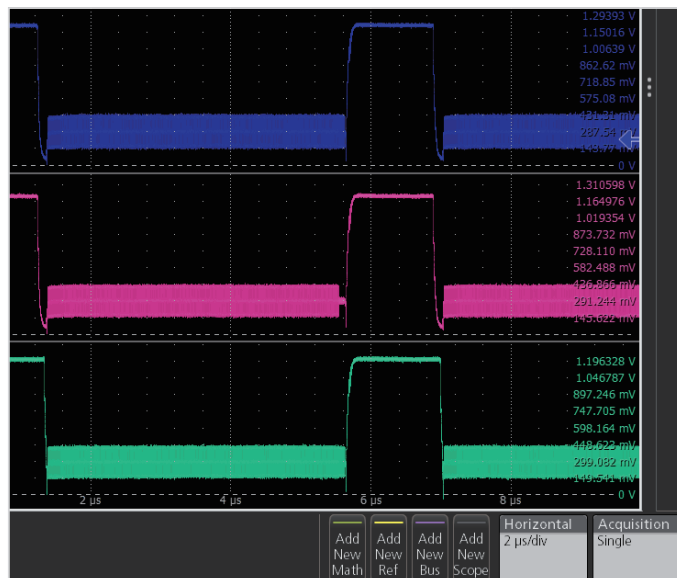
[DPO70000SXシリーズ](#)または[6シリーズB MSO](#)でMIPI C-PHY波形を取込みます。



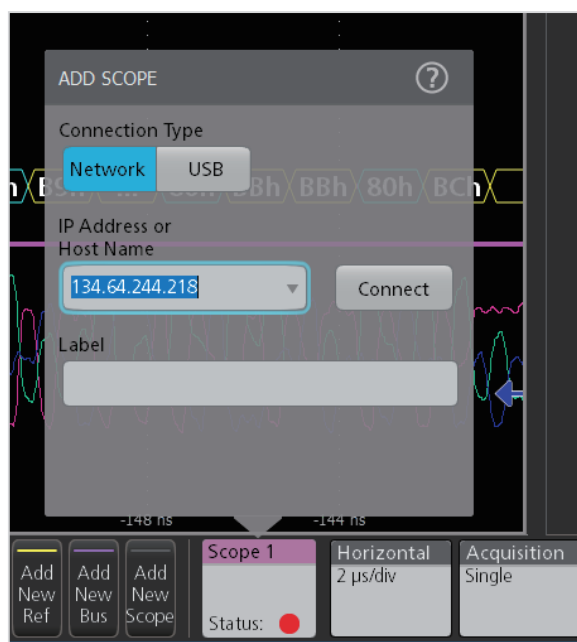
TekScope PCのセットアップ方法

PCにTekScopeソフトウェアをインストールし、アプリケーションを起動します。C-PHYのオプションが有効になっていることを確認します。

TekScopeソフトウェアを起動した後、Add New Scopeをクリックすることでオシロスコープを追加して波形を取込むことができます。



ポップアップ・ダイアログ・ボックスでは、ネットワークまたはUSBポートでオシロスコープが接続できることが確認できます。対応するオシロスコープのIPアドレスを入力してConnectをクリックします。複数のオシロスコープがある場合は、オシロスコープのラベル名が使用できます。



MIPI C-PHYのデコード設定

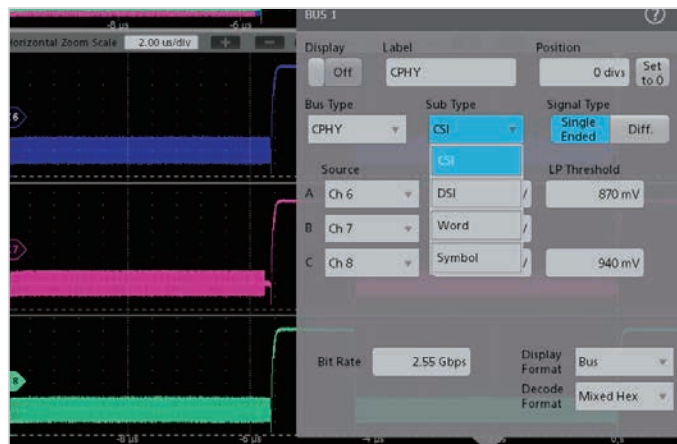
オシロスコープで波形を取込んだ後、ソフトウェア・インタフェースの下にあるAdd New Busを選択して新しいデコード・バスを追加します。



Bus Typeのドロップダウン・リストでCPHYを選択すると、Sub TypeでCSIまたはDSIのデコードが選択できます。



上図では、元のC-PHYシングルエンド信号のVA、VB、VCがデコードできます。ここでは、Signal TypeでSingle Endを選択する必要があります。また、信号ソースがどのチャンネルに設定されているかを確認することができます。次に、信号A、B、Cにおいて、デコードする信号のデジジョン・レベルを決定します。



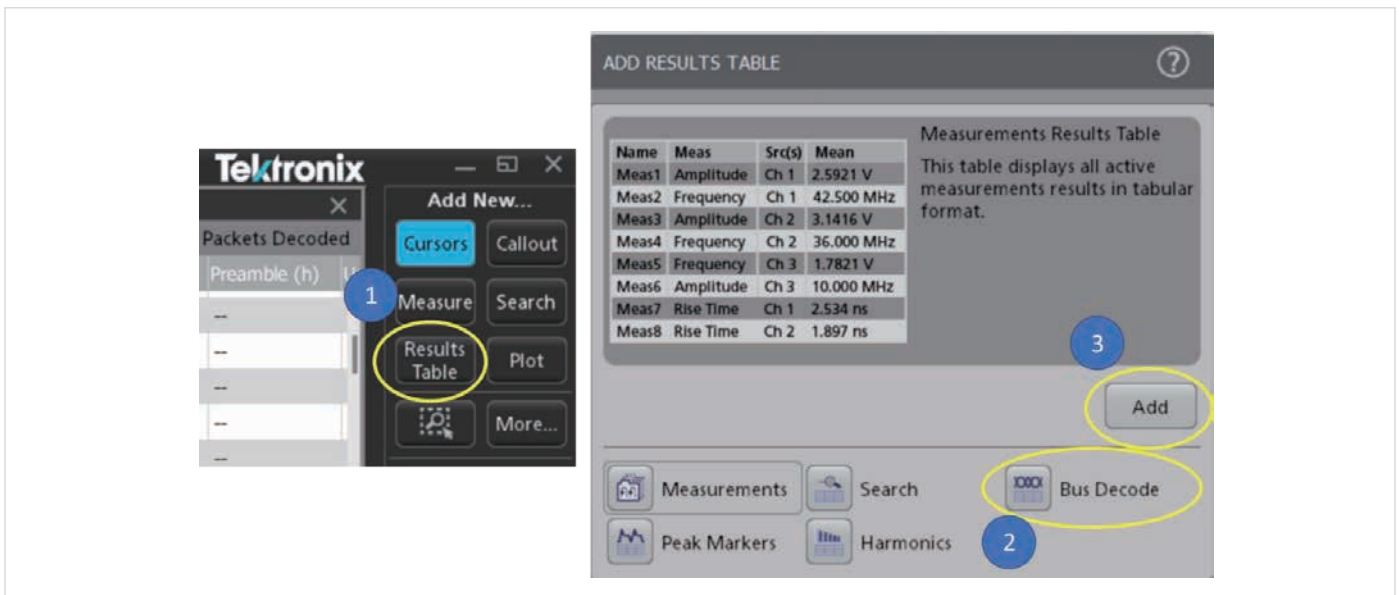
CPHYデコードのスレッシュホールド・レベルには、2つのタイプがあります。Thresholdでは、ハイスピードHS信号の中間レベルを設定し、通常は0です。信号の特定の条件に応じてより詳細に変更することも可能ですが、中間レベルであることが必要です。ローパワーLPスレッシュホールドの入力は、LP信号とHS信号の間の明確なレベルです。このレベルは、HSの実際の信号がLP信号で指定された最大レベル1.2Vを超えないようにする必要があります。

同じインタフェースで、Bit Rateの入力ボックスでS信号のレートを設定し、DisplayをOnにすると、TekScopeは正しくデコードできるようになります。また、Display Format、Decode Formatでは、バスやデコードの表示を好みに合わせてカスタマイズすることも可能です。

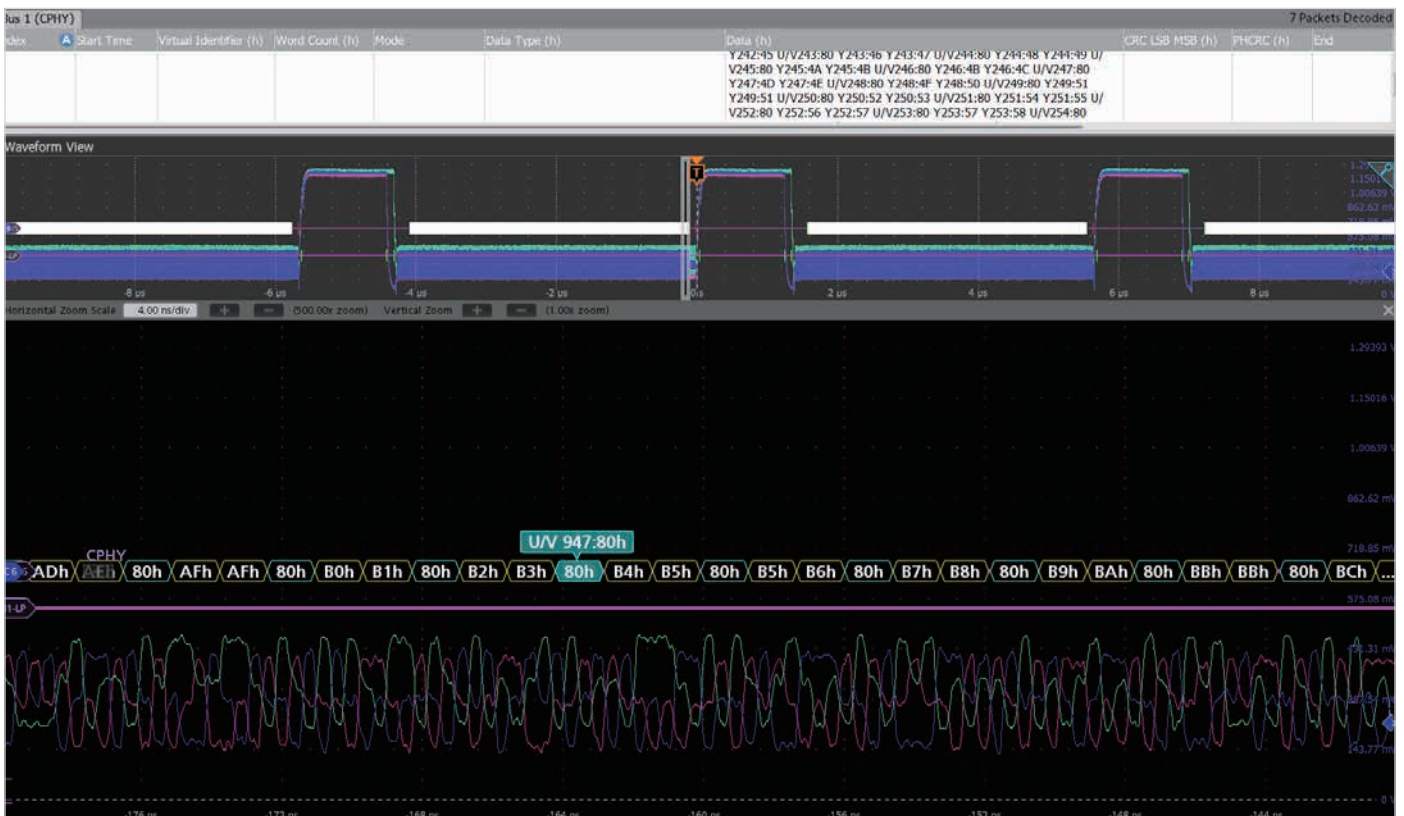
波形のデコード・テーブルの表示とポジション

TekScope PCは、デコードされた信号表示を容易にするため、デコードした結果を表形式で表示し、配置することができます。以下の3つの手順で実行します。

1. ソフトウェア・インタフェースの右上にある第一レベル・メニューでResults Tableを選択します。
2. 結果テーブルのタイプとしてBus Decodeを選択します。
3. Addをクリックしてデコード結果テーブルを追加します。



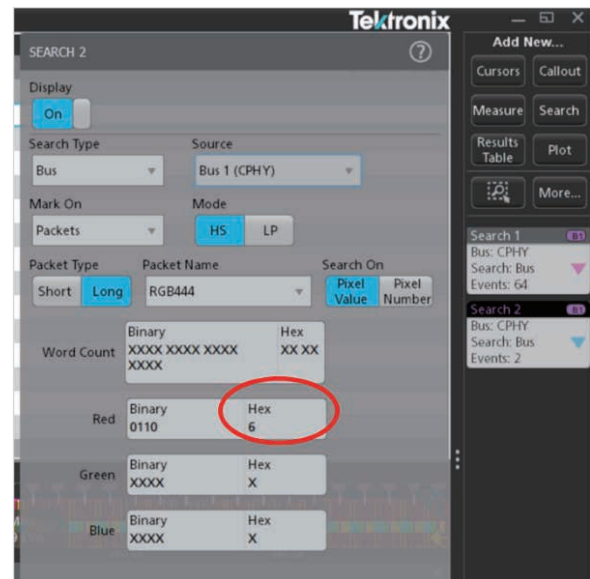
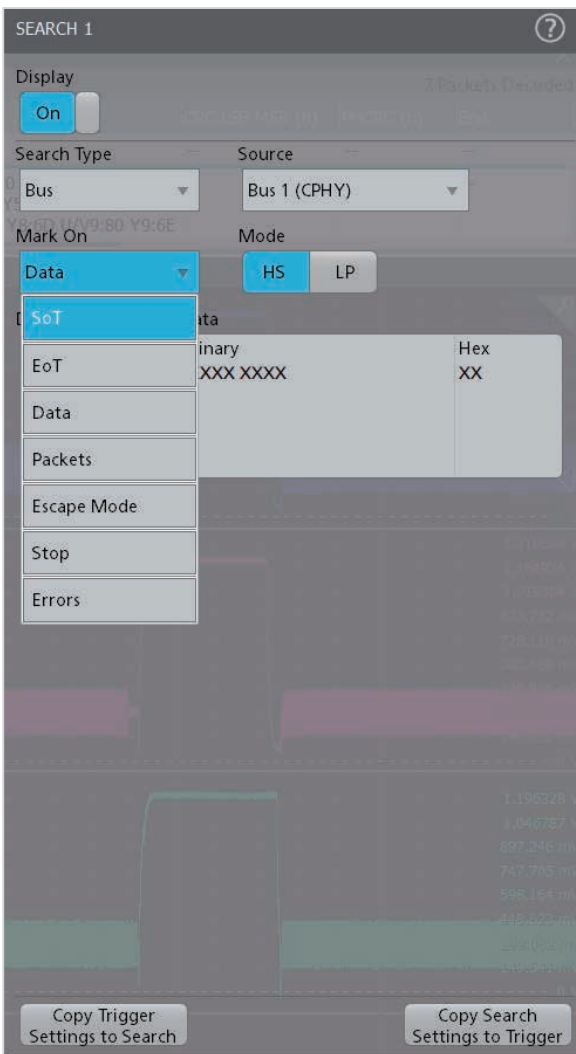
デコード・テーブルにはすべてのデコード・フィールドと結果が一覧表示され、任意のデコード結果をクリックすると、対応する波形に自動的にジャンプするため、デコードした波形の位置合わせやデバッグに非常に便利です。ラベルは同じ色で表示されます。また、デコード・テーブルは csv形式での出力に対応しており、出力する場合はデコード・テーブルを右クリックして Save Table を選択します。



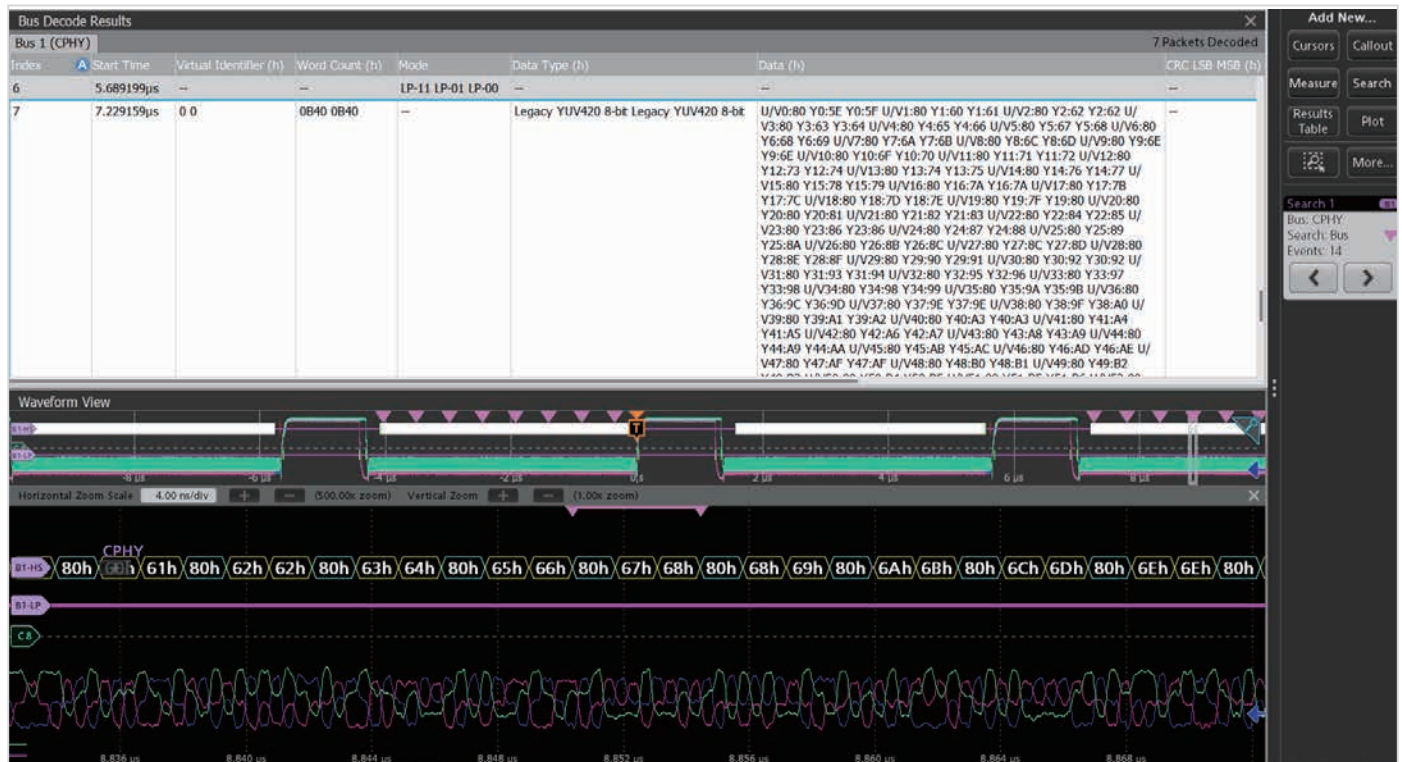
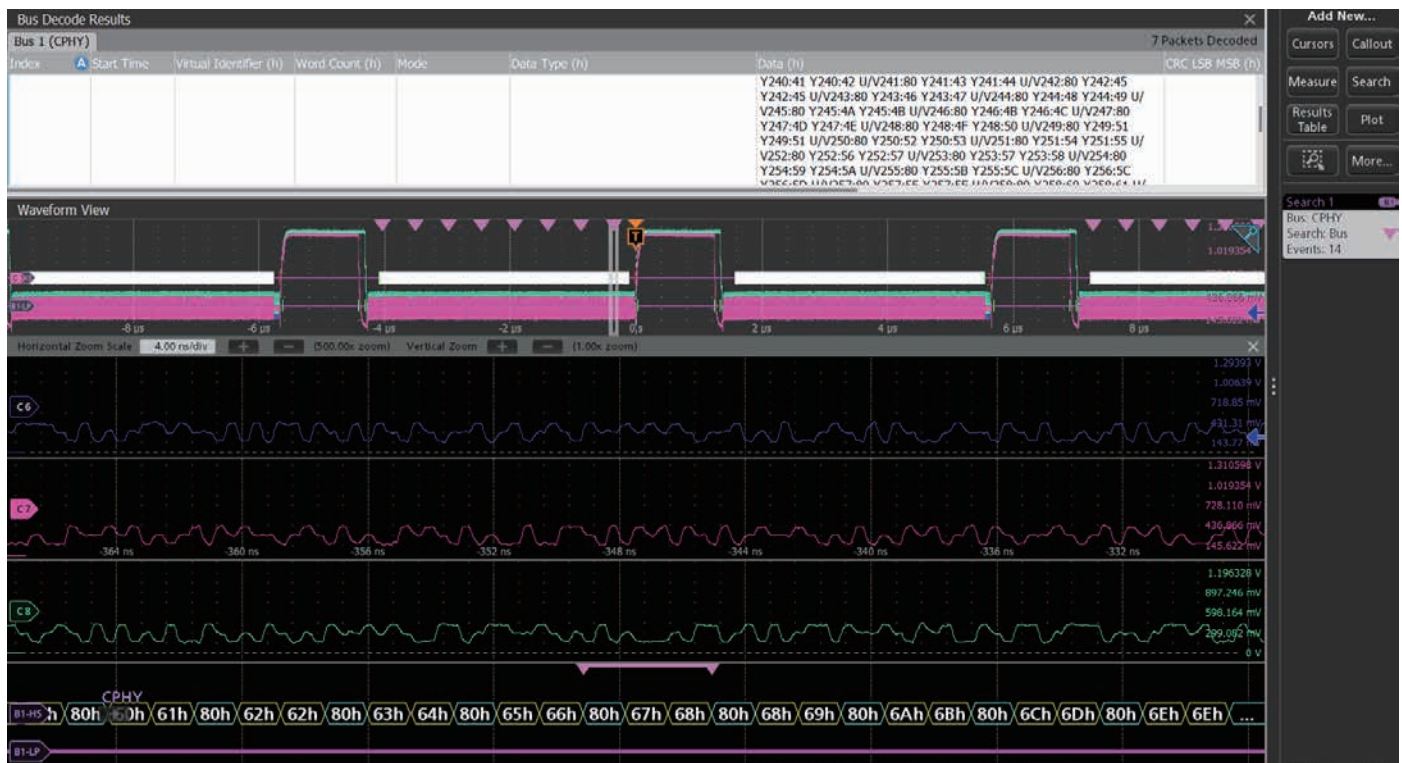
TekScope PC のデコード検索機能

TekScope PCは、バス・デコードの検索、マークも行えます。CPHYのバス・デコードでは、さまざまなデータのタイプ、詳細なデータが検索できます。下図に示すように、SOT、EoT、データ、パケットなど、さまざまなデータが検索できます。ソフトウェアの右上にある第一レベル・メニューのSearchボタンをクリックし、次にSourceで設定したCPHYバスを選択し、Mark Onのドロップダウン・リストから対応する検索項目を選択します。

以下の例は、Long PacketタイプでRGB444エンコーディングのREDデータが"0x06"のピクセルを検索する条件です。



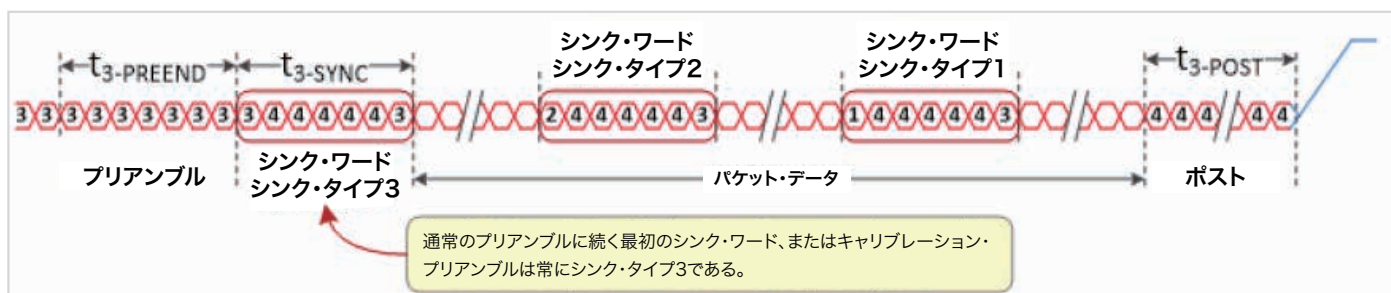
Results Tableでも、同様の操作でSearchを追加することで、あらかじめ設定した検索結果を一覧で表示することができます。同様に、結果リストにもタイムスタンプがあり、クリックすると自動的にジャンプします。



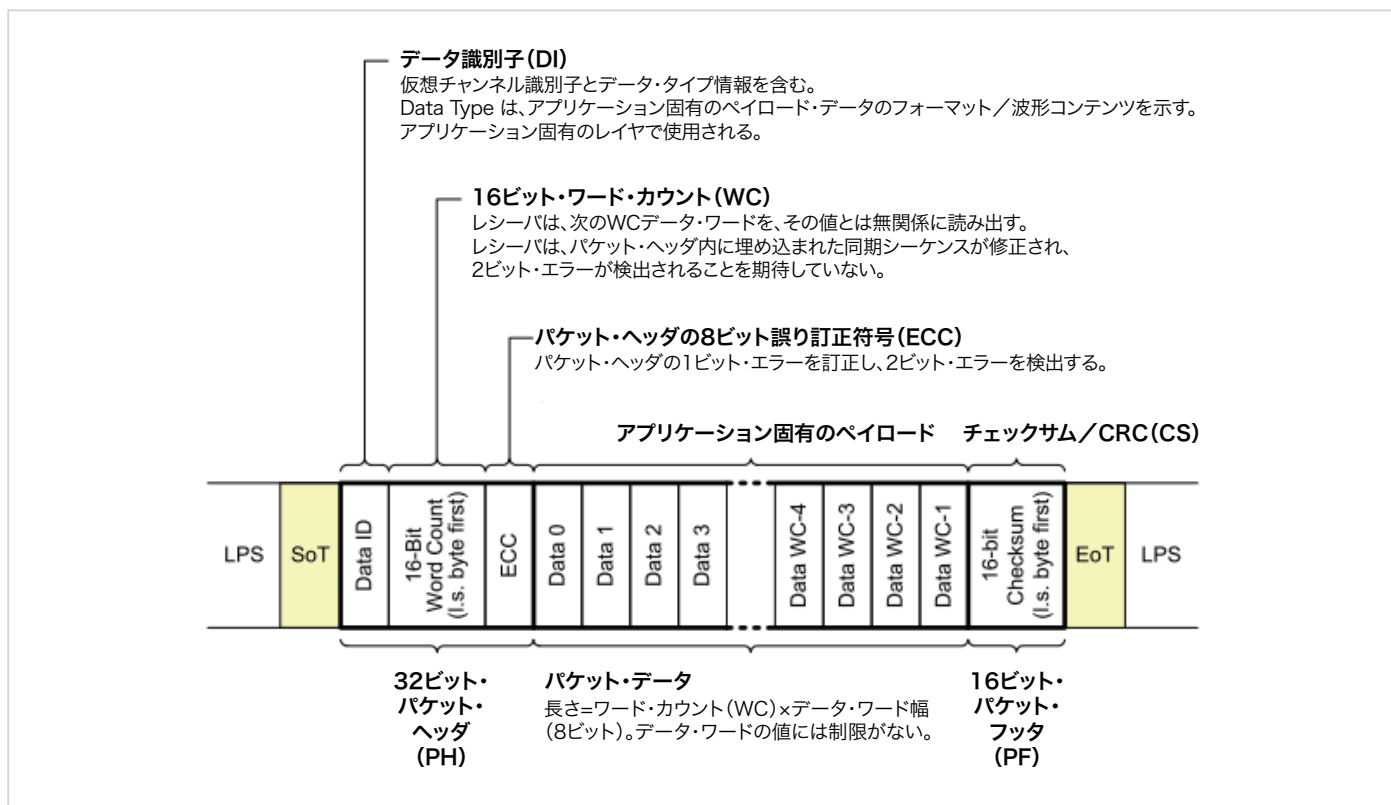
TekScope PCは、PC上でオシロスコープによるMIPI波形のリモート取込み、バス・デコード、検索、ポジショニング機能をサポートしており、オシロスコープでMIPIのデコード、解析をリモートで行う必要があるエンジニアにとって非常に有用です。TekScope PCは、オシロスコープのリソースを節約し、データの並び替え、リモート・コラボレーションを容易にします。高速性と包括的な機能を備え、テクトロニクスのDPO70000シリーズ、6シリーズB MSOなどに対応しており、MIPIバスのデコードや解析が必要なエンジニアにとって非常に有用です。

C-PHYバスの読み方

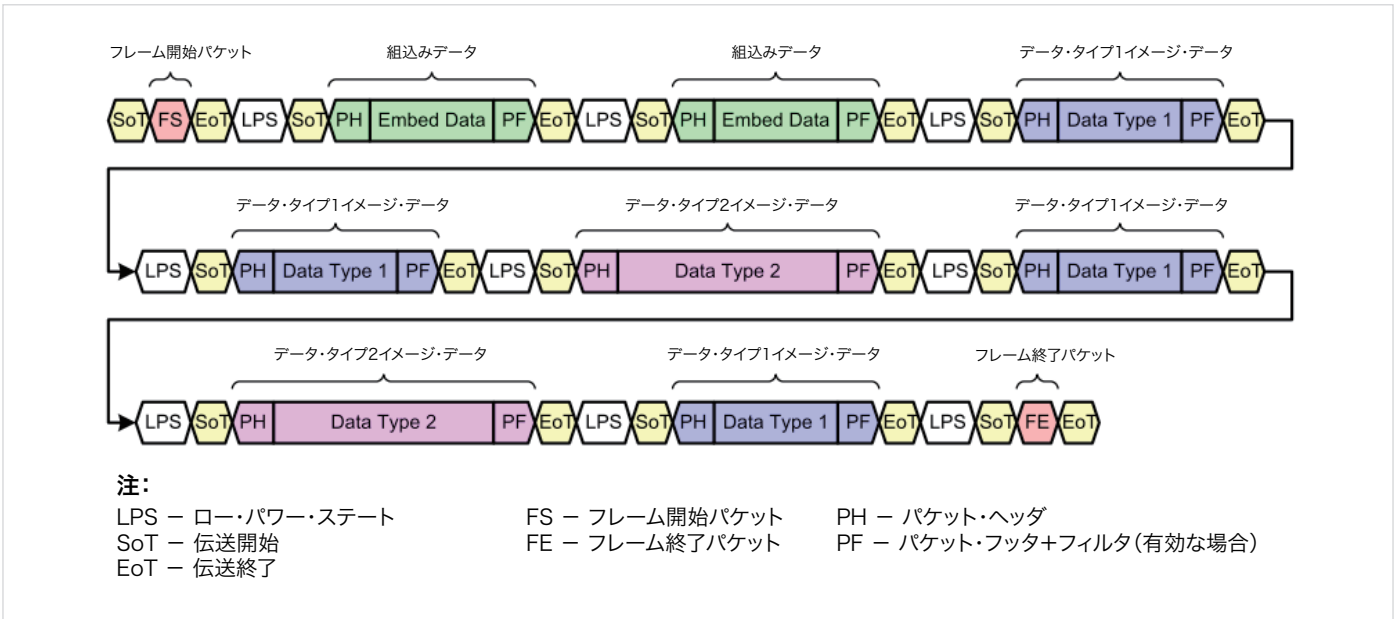
時間相関のとれた波形とバス・デコードの表示は、多くのエンジニアにとっては馴染みがあり、使いやすいフォーマットです。デコードされたバス波形は、C-PHYメッセージの要素を示しています。TekScopeはプロトコル・アナライザのように機能し、対応するバスのバス／波形、ロジック状態／波形の両方を表示します。



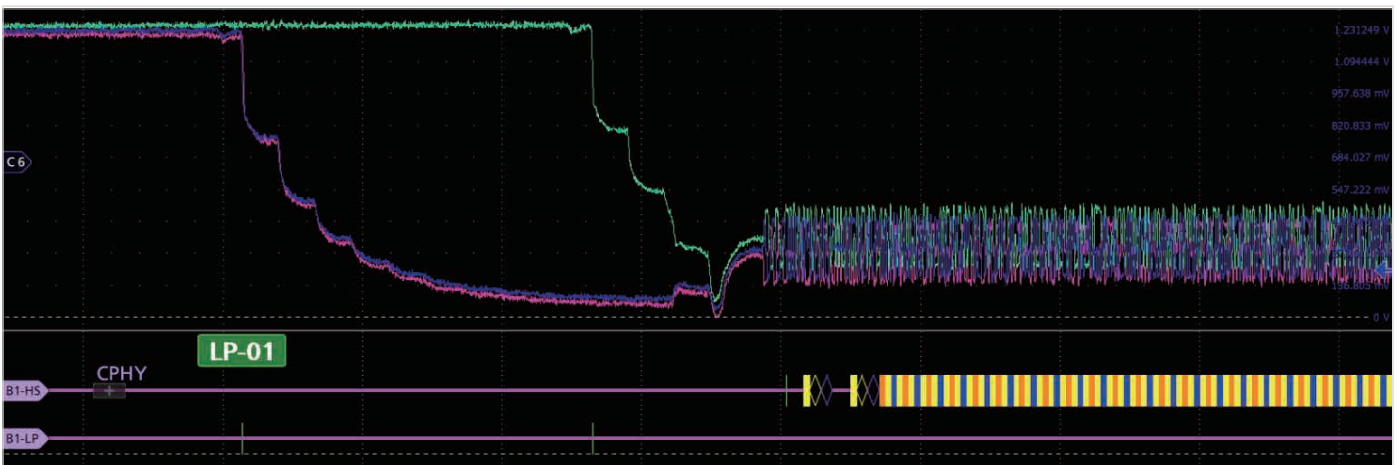
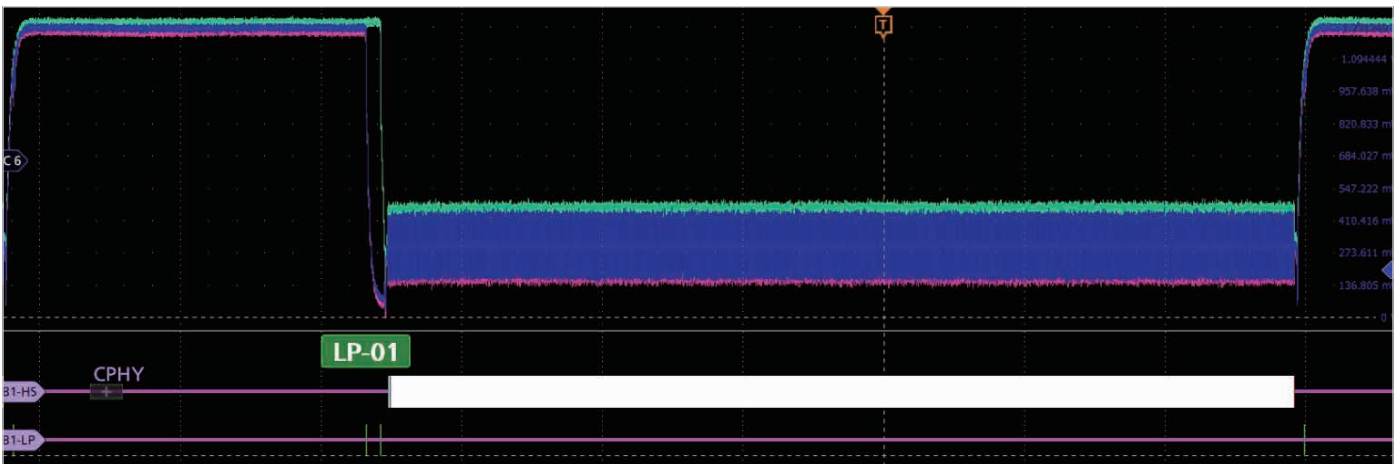
PHYレイヤ信号とプリアンブル (MIPI Allianceからの引用)

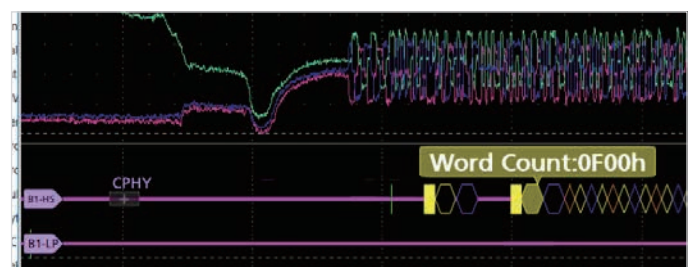
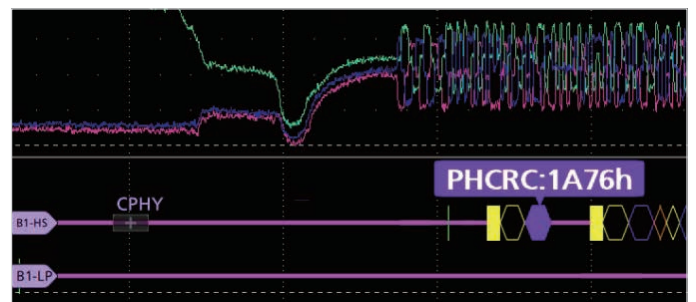
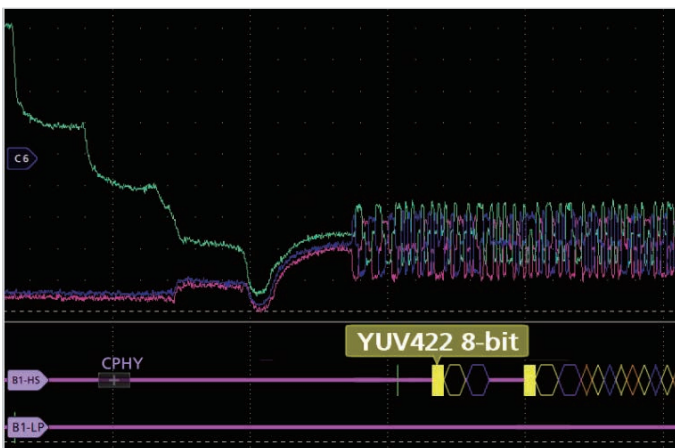
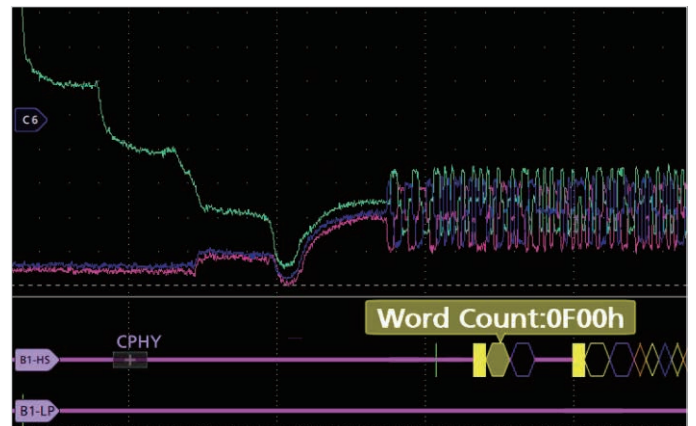
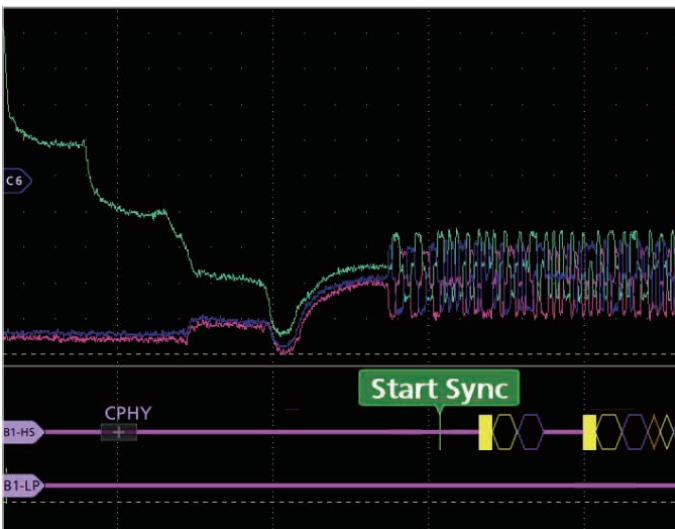
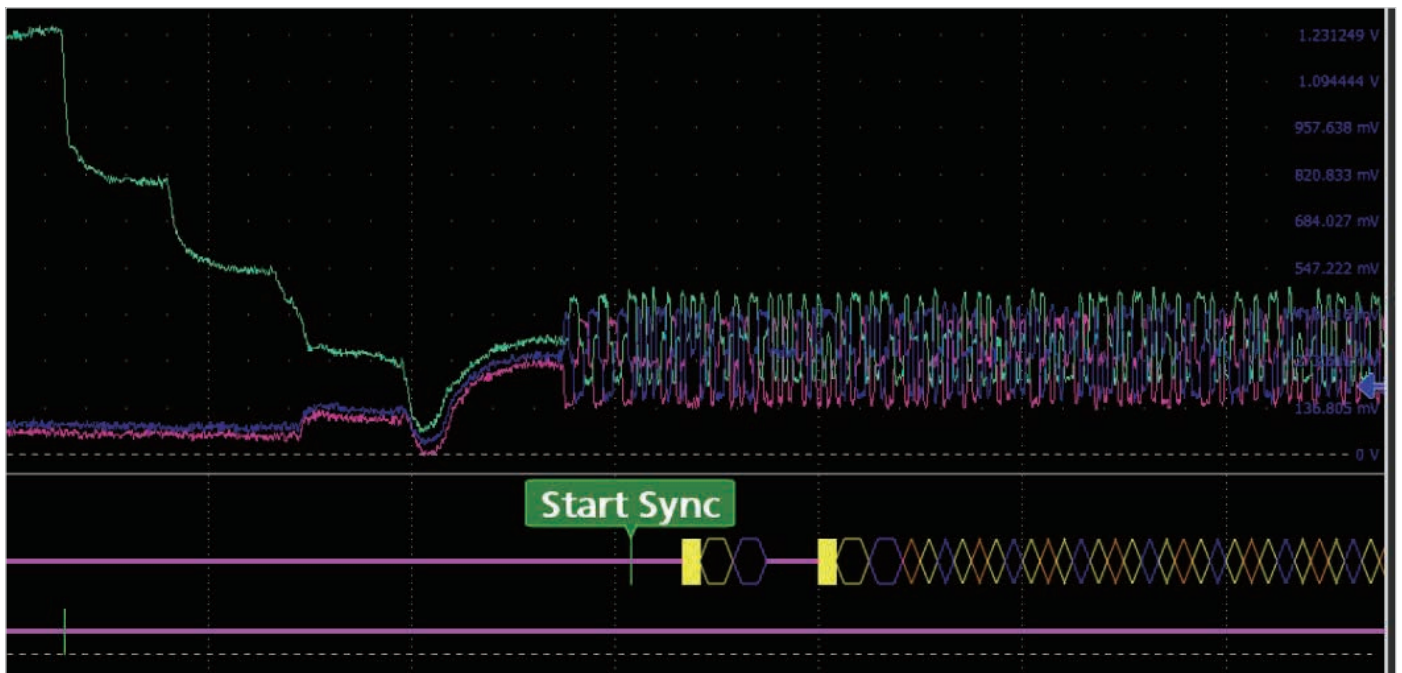


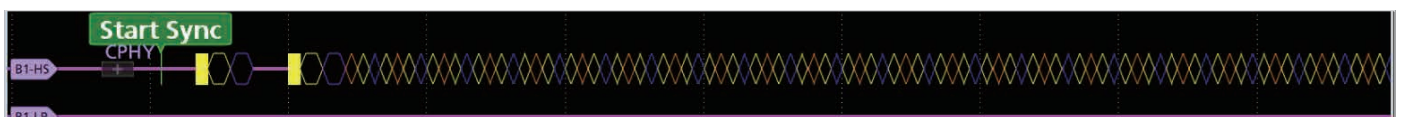
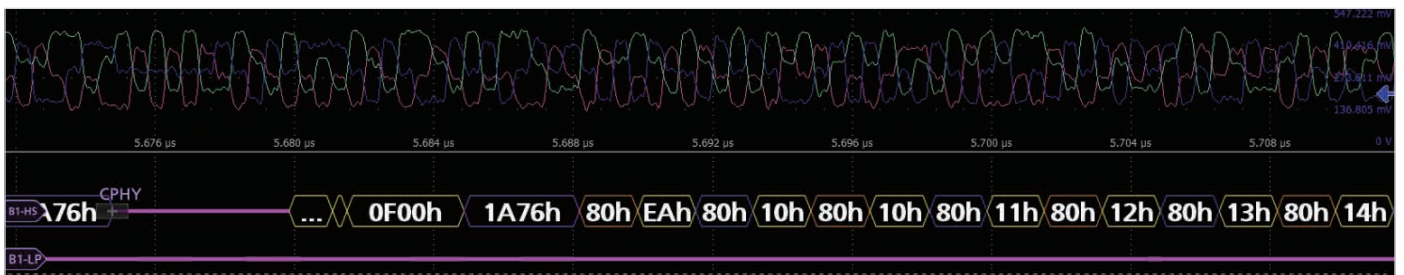
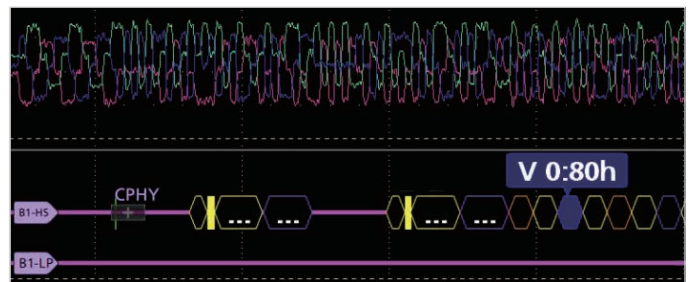
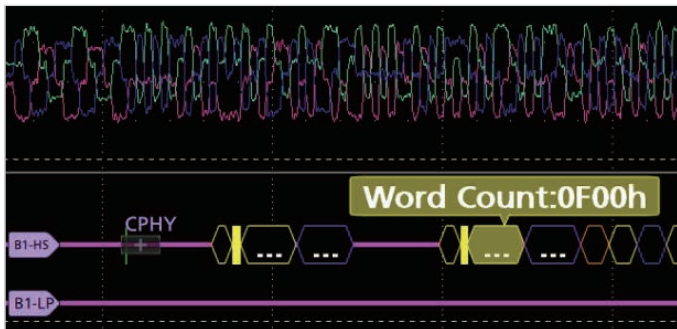
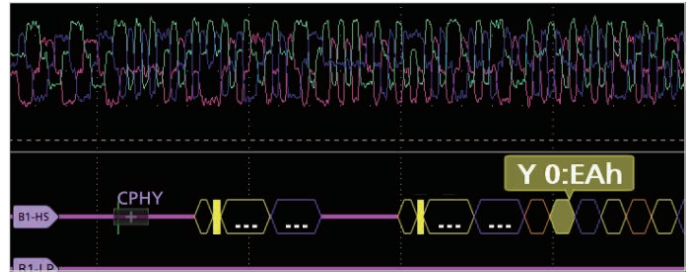
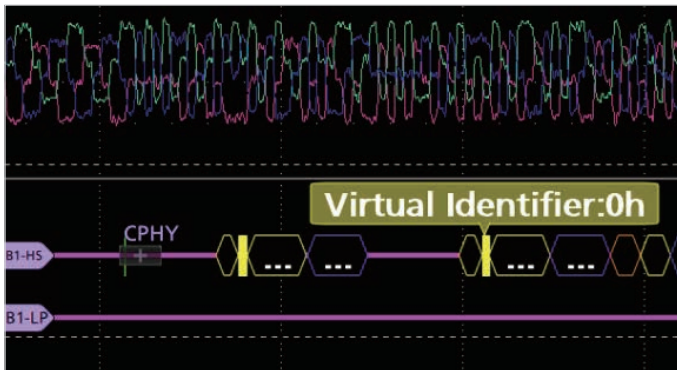
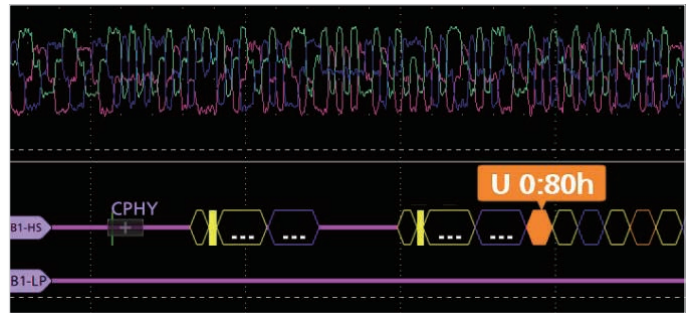
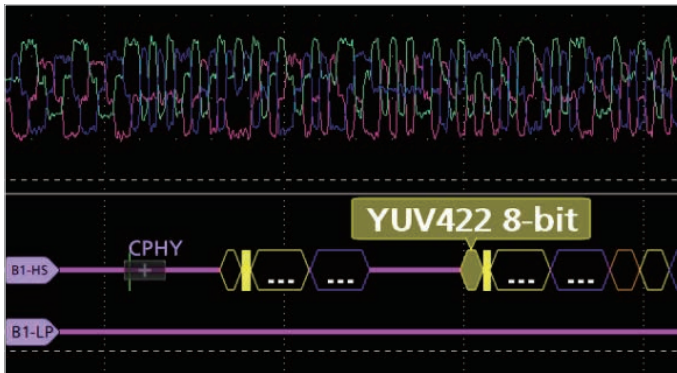
各セグメントの定義 (MIPI Allianceからの引用)



MIPI Allianceからの引用

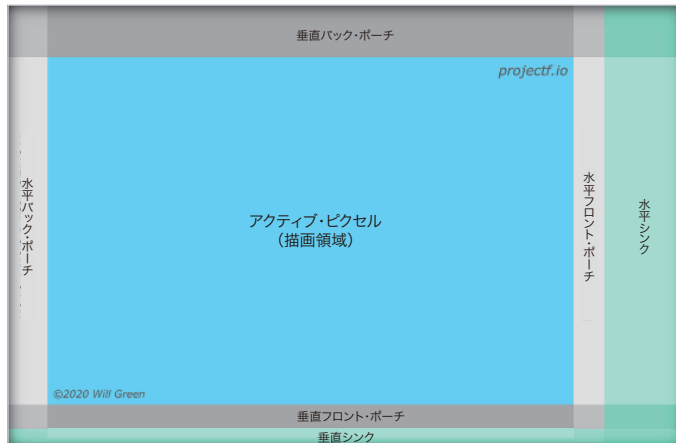






データ・レート対解像度

ビデオ信号には、描画ピクセルとブランキング期間という2つのフェーズがあります。シンク信号はブランキング期間内に発生し、フロント・ポーチとバック・ポーチによってピクセル描画から分離されています。水平シンクはラインを、垂直シンクはフレームを区切ります。



主な定義：

ピクセル・クロック：個々のピクセルが伝送される時間軸

リフレッシュ・レート：画面が1秒間にリフレッシュする回数

解像度：スクリーン内のピクセル数

色深度：1つのピクセルの色を再現するために使用されるビット数

ピクセル・クロックは、次のように求められます。

解像度の例：1280×720p60

ピクセル・クロック=水平サンプル数×垂直ライン数×
リフレッシュ・レート

ここで、水平サンプル数と垂直ライン数は、水平、垂直のブランキング期間を含みます

解像度1280×720pでリフレッシュ・レート60回/秒では1650×750になります。

$$1650 \times 750 \times 60 = 74.25 \text{ MHz}$$

帯域幅=ピクセル・クロック×ピクセル・サイズ (ビット)

データ・レート=帯域幅/レーン数。リフレッシュ・レート=60/120/240

ピクセル・サイズ=8/10/16/18/24レーン=1/2/4

データ・レート=ピクセル・クロック×カラー深度。カラー深度=24ビット (888,256レベル、8b/10変換)

したがって、必要なデータ・レート=2.227Gbps/レーン

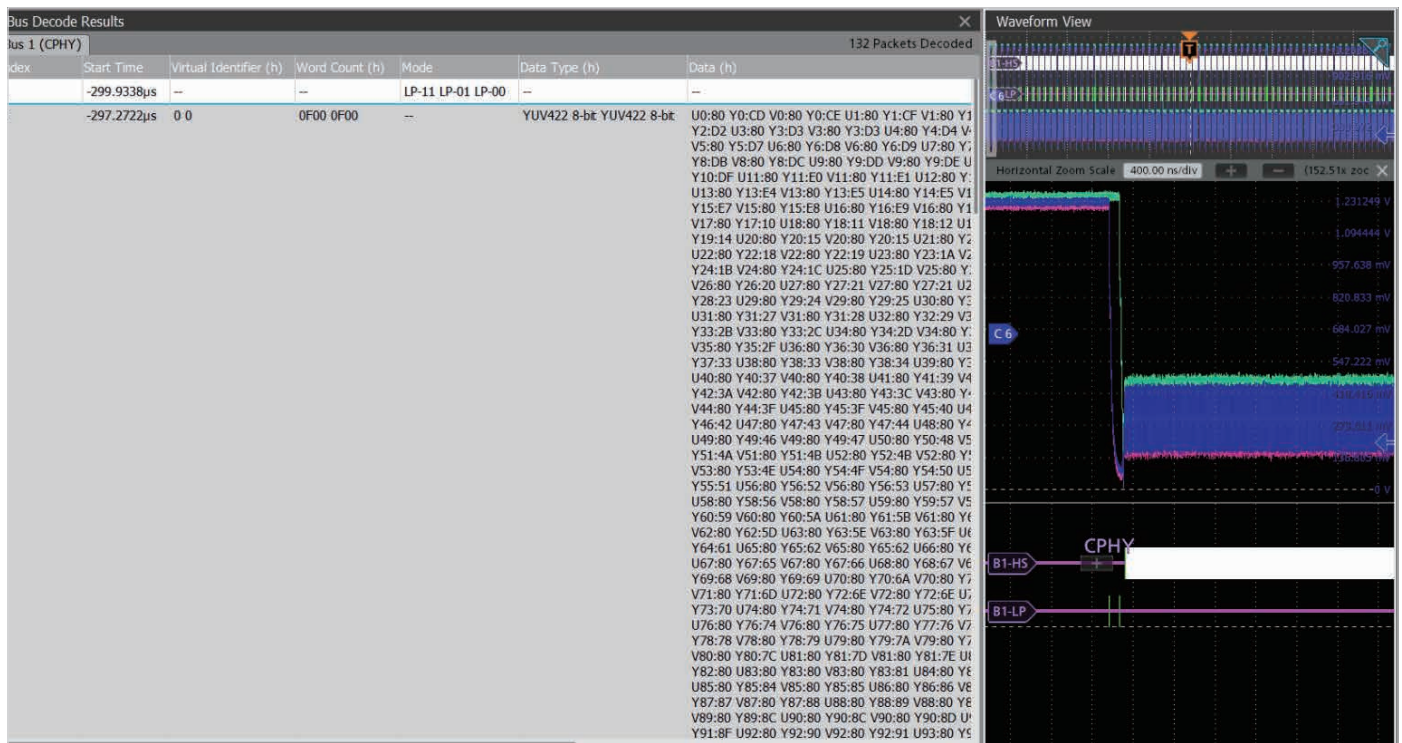
ここで示したスクリーンは、420レガシー・パターン (Y、U/Vを含むビデオ・パケット) を使用して取込んでいます。

C-PHYバスのデコード

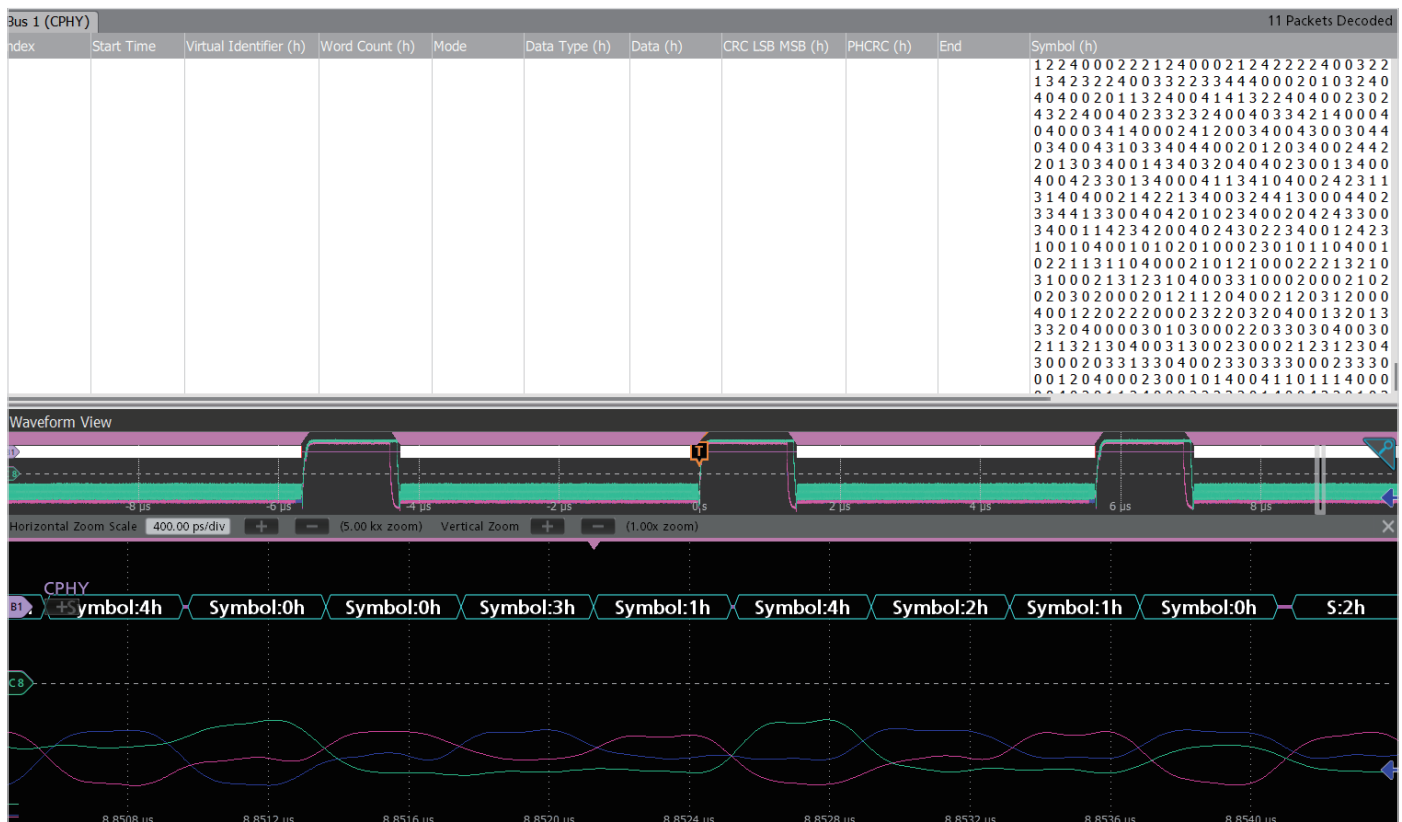
トランスミッタはCSI、420 8ビット・レガシー・ビデオ・パケットを送り、データ・レートは2.5GSPSです。

最初に説明したように (このアプリケーション・ノート最初の「[データのエンド・トゥ・エンド伝送](#)」の図を参照)、パケット構造はローレベル・プロトコル通信：ロング・パケットとショート・パケットで定義されています。ショート・パケット、ロング・パケットのフォーマットと長さは、物理レイヤによって異なります。各パケット構造において、伝送開始 (SoT) シーケンスに続く Exit from Low Power State Following は、パケットの開始を示します。ロー・パワー・ステートに続く伝送終了 (EoT) シーケンスは、パケットの終了を示します。

C-PHYバスの要素	Indicated by:
SoT – Start of Transmission、伝送開始	
EoT – End of Transmission、伝送終了	
LPS – Low Power State、ロー・パワー・ステート	
PH – Packet Header、パケット・ヘッダ	
PF – Packet Footer + Filler (if applicable)、 パケット・フッタ+フィルタ (有効な場合)	
FS – Frame Start、フレーム開始	
FE – Frame End、フレーム終了	

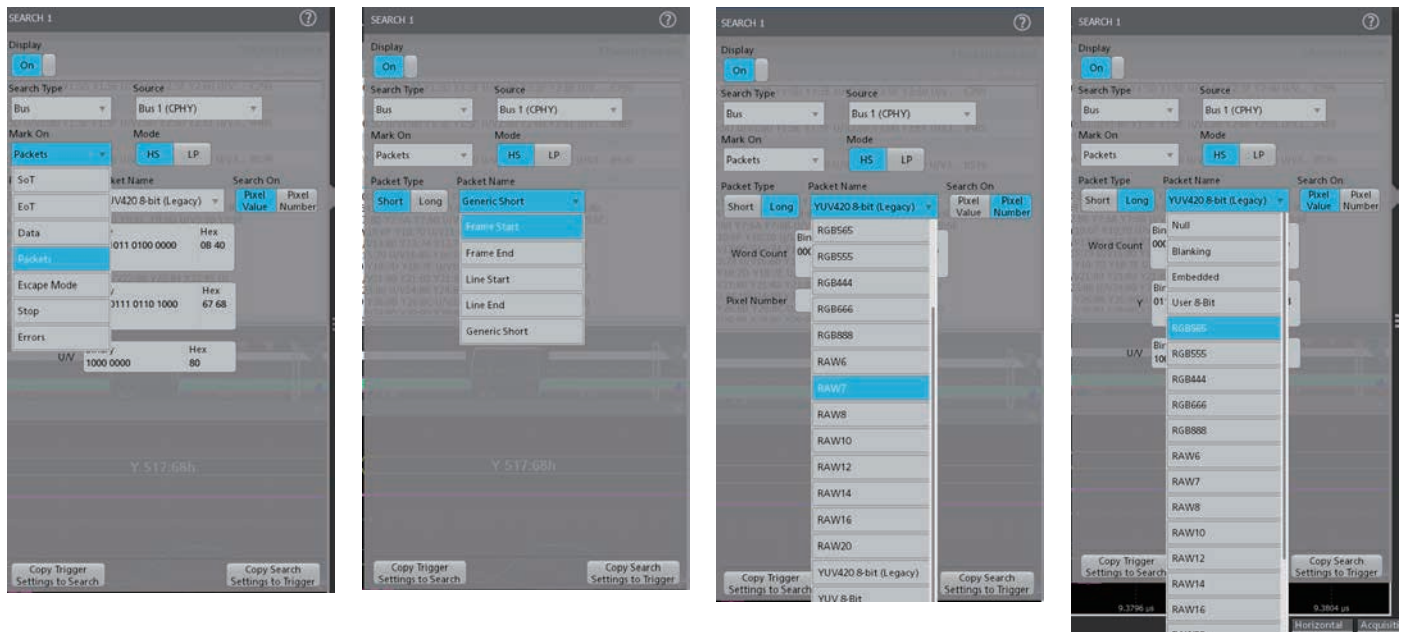


PHYレイヤの信号と、対応するデコード情報



C-PHYの検索

テクトロニクスのオシロスコープには自動検索機能があり、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。



この例では、Packet's というすべてのメッセージを探すように設定しています。

- 用語： SoT – Start of Transmission (伝送開始)、EoT – End of Transmission (伝送終了)、LPS – Low Power State (ロー・パワー・ステート)
- PH – Packet Header (パケット・ヘッダ)、PF – Packet Footer + Filler (if applicable) (パケット・フッタ+フィルタ (有効な場合))
- FS – Frame Start (フレーム開始)、FE – Frame End (フレーム終了)
- LS – Line Start (ライン開始)、LE – Line End (ライン終了)

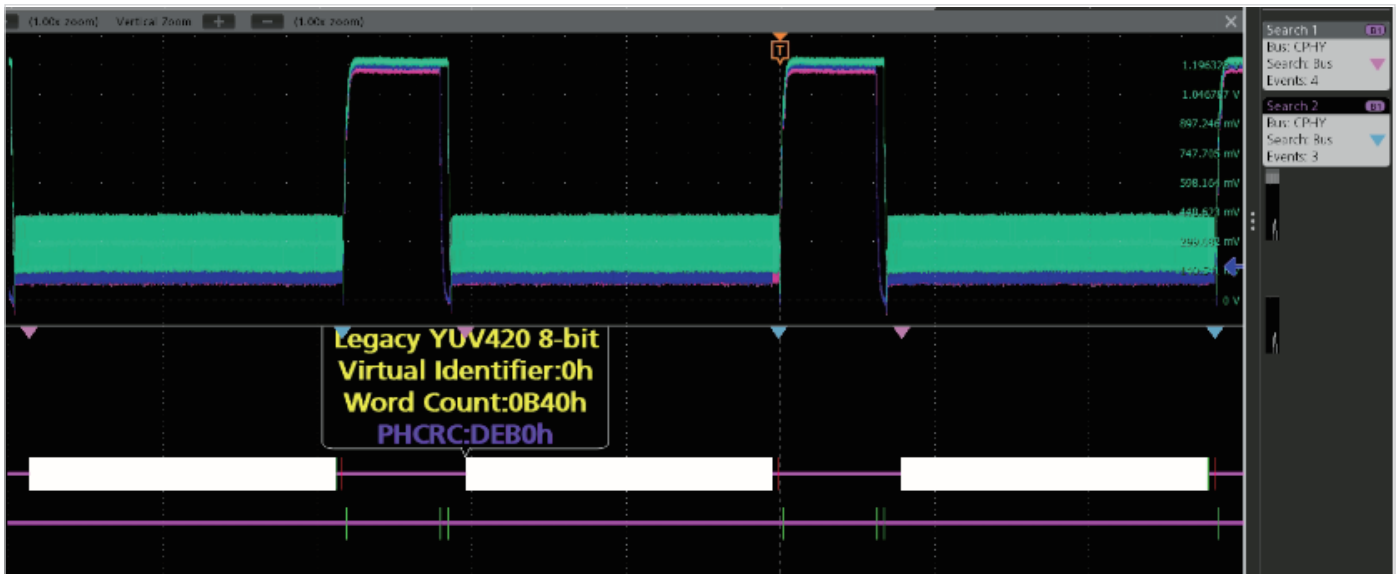
2つ目の例は、アドレス0x3Fのすべてのリードまたはライトを探すように設定しています。

ここでは、特定のアクティビティをピンポイントで検索し、対応するタイミング波形を表示するための検索オプションのリストを紹介しています。

アクティビティとファームウェアの関連付けには、「結果テーブル」のフォーマットが便利です。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。結果テーブルは、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。

Index	Start Time	Virtual Latency (ns)	Word Count (n)	Mode	Data Type (n)	Count (n)
1	-299.932µs	--	--	LP-11 LP-01 LP-00	--	--
2	-297.272µs	0.0	--	IF00 DF00	--	--
3	-290.754µs	--	--	LP-11 LP-01 LP-00	--	--
4	-288.092µs	0.0	--	IF00 DF00	--	--
5	-281.574µs	--	--	LP-11 LP-01 LP-00	--	--
6	-278.912µs	0.0	--	IF00 DF00	--	--
7	-272.394µs	--	--	LP-11 LP-01 LP-00	--	--
8	-269.732µs	0.0	--	IF00 DF00	--	--
9	-263.214µs	--	--	LP-11 LP-01 LP-00	--	--
10	-260.552µs	0.0	--	IF00 DF00	--	--
11	-254.034µs	--	--	LP-11 LP-01 LP-00	--	--
12	-251.372µs	0.0	--	IF00 DF00	--	--
13	-244.854µs	--	--	LP-11 LP-01 LP-00	--	--
14	-242.192µs	0.0	--	IF00 DF00	--	--
15	-235.674µs	--	--	LP-11 LP-01 LP-00	--	--
16	-233.012µs	0.0	--	IF00 DF00	--	--
17	-226.494µs	--	--	LP-11 LP-01 LP-00	--	--
18	-223.832µs	0.0	--	IF00 DF00	--	--
19	-217.314µs	--	--	LP-11 LP-01 LP-00	--	--
20	-214.652µs	0.0	--	IF00 DF00	--	--
21	-208.134µs	--	--	LP-11 LP-01 LP-00	--	--
22	-205.472µs	0.0	--	IF00 DF00	--	--
23	-198.954µs	--	--	LP-11 LP-01 LP-00	--	--
24	-196.292µs	0.0	--	IF00 DF00	--	--
25	-189.774µs	--	--	LP-11 LP-01 LP-00	--	--
26	-187.114µs	0.0	--	IF00 DF00	--	--
27	-180.596µs	--	--	LP-11 LP-01 LP-00	--	--

結果テーブルとデコード・パケット

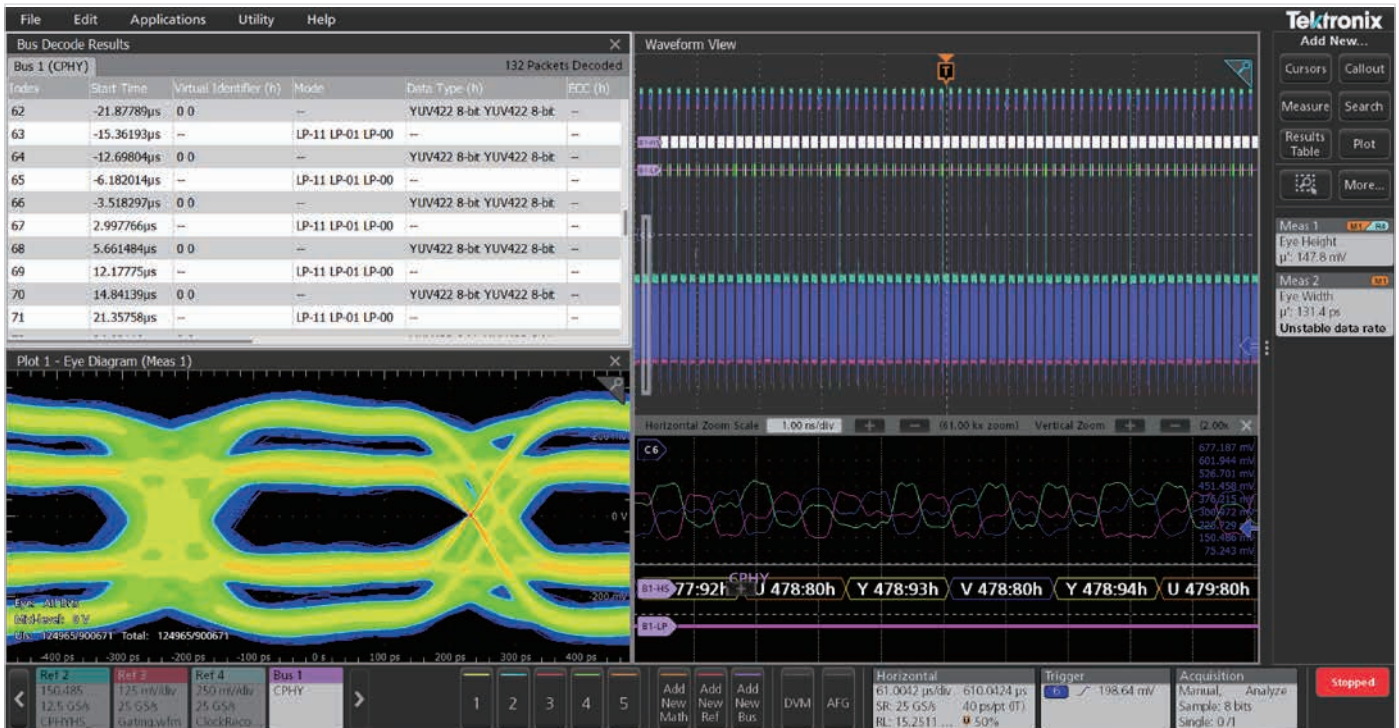


検索のセットアップでは、特定のバス・イベントを指定します。オシロスコープは、指定されたすべてのバス・イベントを探し出し、マークを付けます。この例では、2つの異なるタイプのイベントを自動検索しています。

ディスプレイ右側の結果バッジには、取込んだ検索結果の数と色分けされたマーカ、イベント数が表示されています。ディスプレイ上部の結果テーブルには、デコードされたメッセージ全体が表形式で表示され、正確な開始と停止のタイムスタンプも表示されています。

この例では、2種類の検索が設定されています。ピンクの三角形は、SOTの検索結果を示しています。4件のイベントがこの条件に合致しています。青色の検索条件では3回合致し、アキュイジション内の位置はディスプレイ中央に表示されています。

HS領域にカーソルA、カーソルBを置くと、ジッタ解析ツールとリカバリ・クロックによるアイ・ダイアグラムが表示されます。



まとめ

このアプリケーション・ノートでは、C-PHYの物理レイヤ、パケット構造の概要を説明しました。C-PHYデコード機能を搭載したオシロスコープでのデコードの設定方法、シリアル・バス・データの解釈の仕方について説明しました。検索オプションについても説明しました。

シリアル解析機能オプションを装備した、テクトロニクスのおシロスコープは、C-PHYバスに携わる組込みシステム・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、C-PHYシリアル・バスのデコード、検索を説明するのに、テクトロニクスの[5シリーズMSO](#)を使用しました。テクトロニクスの他のオシロスコープでもC-PHYのトリガ、解析をサポートしているものがあります。当社のシリアル対応の詳細については、[Serial Support Using Oscilloscopes and Optional Software](#)をご覧ください。

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) 3530 8901
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 3086
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) 88 69 35 25
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 2 565 1455
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
2022年2月現在



www.tek.com/ja

テクトロニクス／ケースレイインストルメンツ

各種お問い合わせ先：<https://www.tek.com/ja/contact-tek>

技術的な質問、製品の購入、価格・納期、営業への連絡、修理・校正依頼

〒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 © 2023, 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。

2023年3月 55Z-73943-0