

技術紹介

11 リドライバ内蔵 5m 長 高速伝送メタルケーブル開発 (USB 3.2 Gen.2 / DP1.4-HBR3 対応)

5 meters high-speed signal transmission long metal cable with re-driver development
(Applicable for USB 3.2 Gen. 2 / DP 1.4 – HBR 3)

戸田 健太郎	Kentarou Toda	コネクタ事業部 ハーネス部 主任
安藤 典浩	Norihiro Andou	コネクタ事業部 ハーネス部 エキスパート
山村 淳平	Junpei Yamamura	コネクタ事業部 ハーネス部

キーワード: リドライバ、長尺、メタルケーブル、高速伝送、USB Type-C®

Keywords: Re-driver, Long, Metal cable, High-speed signal transmission, USB Type-C®

要 旨

実物と見紛うほどの大画面かつ高精細サイネージ、デジタルコンソールによる産業機械やシミュレータ、現実との境目までリアリティが向上した仮想空間ゲームやコンピューティングなど、これら市場における情報、体験、エンターテインメントは、没入感というキーワードを基に、据置型ディスプレイや HMD(ヘッドマウントディスプレイ)による空間的疑似体験型へと進化しつつあり、世界的な感染症の影響もある中で、新しい体験型市場が急速に拡大しています。

新しい体験に重要な没入感は、実際にその場にいる様に感じる高解像度や高音質などのソフトウェアと共に、例えば HMD では身体的な動きに負荷や制限がかからない軽量で長尺の接続ケーブルなどのハードウェアが必要不可欠です。

今回、これらの仕様に最適となる軽く細く長尺かつ高解像度と高音質をお届けできる高性能なアクティブケーブルを開発いたしましたのでご紹介をいたします。

SUMMARY

Large screens and high-definition signage that can be mistaken for the real thing, industrial machinery and simulators using digital consoles, and games and computing where virtual space has improved to the border of reality, these market such as Information, experience, and entertainment are combined with the impact of global infectious diseases, the market for new experiences is expanding rapidly with stationary displays and HMDs (head-mounted displays), are evolving into spatially simulated experiences based on the sense of immersion.

The sense of immersion, which is important for new experiences, is combined with software such as high resolution and high sound quality that makes you feel like you are there actually with hardware such as cables is essential.

JAE has developed a light, thin, long, and high-performance active cable that can deliver high resolution and high sound quality that is optimal for this specification, so introduce it this time.

USB Type-C® は USB Implementers Forum, Inc. (USB-IF) の商標です。

1. はじめに

データ処理プロセッサである CPU や GPU の大躍進により、高精細サイネージやディスプレイ、産業機械やシミュレータ、ゲームやコンピューティングなどの市場においては既にいたるところにリアリティが組み込まれ、これらを基にメタバースというキーワードに代表されるコンテンツが様々な市場に急速に広がっています。商業施設におけるショッピング、街を丸ごとメタバース化したイベントやパブリックビューイングの展開、工事現場の危険予知や機械類の操縦や操作の習得、また仮想オフィスを活用した在宅ワークなどの業務関連、アバターによる無人島の開拓や数百人のプレイヤーによる MMORPG といったゲームなどのエンターテインメント等々、メタバース市場は広がりを見せています。

ソーシャルネットワークの先駆けである Facebook 社もメタバースにちなみ社名を Meta に変更するなど期待値も高い中で、メタバースが最終的に目指すところは仮想空間と現実空間の境目を無くすこと、すなわち高精細ディスプレイや HMD による没入感ということになります。

この体験を得るためのハードウェアである高精細ディスプレイや HMD が今後の市場を活性化させるキーアイテムですが、これらは基本的には周辺機器でありコンピュータやゲーム機などの本体と接続して使用するものになります。接続方法は様々ですが、没入感が得られるレベルの映像や音声に加え、データ通信と電力の供給を考慮しますと、身体的な動きの制限や負荷を抑制できる、5 m 程度の長尺かつ $\phi 5 \text{ mm}$ 以下といった細いケーブルによる接続が最適解と考えます。

このケーブルについては大きく 2 つの課題があります。1 つ目は映像通信、データ通信、電力供給の同時対応で、2 つ目は長尺ケーブルによる信号の劣化への対応です。特に長尺ケーブルにおいては電線の径が細くなるほど劣化が顕著になります。

これらの課題を解決するため、映像、データ、電力供給の同時対応ができる USB Type-C®における DP ALT モード(DisplayPort Alternate Mode)規格を採用し、劣化した信号を補償するリドライバと呼ばれる IC をコネクタに内蔵した、図 1 に示すケーブル径 $\phi 5 \text{ mm}$ でケーブル長 5 m のアクティブケーブルを開発いたしました。



図 1. アクティブケーブル外観

2. アクティブケーブルの概要

DP ALT モードは、8.1 Gbps の DisplayPort による高速映像信号の伝送、USB 3.2 による 10 Gbps の高速データ信号の伝送、電力供給を同時に実現できる規格ですが、ケーブルには高速信号伝送に重要な高周波成分が失われるローパスフィルタの特性があるため、今回のケーブルの様に長尺かつ細い場合は特に信号の劣化が進みやすく、信号を通過させることができなくなります。信号が通過しなければ映像も映らずコントロールもできないため、劣化した信号を補償する必要があります。

補償の考え方は大きく分けて 2 つあります。1 つ目は劣化した信号を再生させる方法、2 つ目はそもそも信号帯域での劣化が無い伝送路を使用する方法です。前者のソリューションとしては、メタルケーブルの長さや線径に応じて増大した高周波損失を補償するリピータと呼ばれる IC を使用したアクティブメタルケーブル(ACC: Active Copper Cable)、後者は信号帯域での損失極小で、細く軽量な光ファイバケーブルを伝送路に用いたアクティブ光ケーブル(AOC: Active Optical Cable)になります。

今回のターゲットの市場に対しては表 1 に示す様に、後者の AOC は想定距離に対してオーバースペックで、電力供給にはメタル線も必要となるなど費用対効果も乏しいことから、前者のリピータ IC を使用した製品が市場やお客様のご要望に沿えるものと考えます。

リピータ IC は大きく分けて 2 種類があります。

リドライバ方式は、失われる高周波成分をケーブル前後でリアルタイムに増幅して必要十分な周波数特性まで補償する方式で、想定する差動高速信号×4 に適した小型パッケージ品が供給されております。

リタイマ方式は、入力信号から再生したクロックタイミングで信号波形を再生成する手法によりジッタ抑制された開口率の大きな信号が得られますが、クロックや信号再生のタイムラグが発生、同期制御を含んだ高機能 IC が必要、高価格でパッケージも比較的大きく、周辺プログラミング開発も伴うためリドライバと比較して開発期間も長くなる事が考えられました。

そこで、想定仕様に必要な波形品質を低価格でコンパクトかつ早期実現可能なリドライバ方式を選択しました。またリドライバ IC は各種伝送規格世代に応じた専用品が逐次ラインナップされるため、今回のケーブルにはご要望の多い DP1.4 世代の ALT モード規格に対応可能なものを選定いたしました。

表 1. 各ケーブルのイメージ比較

	一般的な メタルケーブル	ACC (Active Copper Cable)		AOC (Active Optical Cable)
ICの種類	無し	リドライバ	リタイマ	光電変換
信号補償能力	×	○	◎	◎
伝送速度性能	×	○	○	◎
開発コスト	◎	○	△	×
開発期間	◎	○	○	△ / ×
製品価格	◎	○	△	×
ケーブル長	×	○	○	◎
ケーブル径	×	○	○ / ◎	◎

3. リドライバの補償概要

ケーブルにはローパスフィルタ特性がありますが、これは特に、隣り合う符号(具体的にはデータを表す波形)同士が干渉して波形が歪む現象である ISI(Inter-Symbol Interference: 符号間干渉)に対し悪影響を及ぼします。よって主にこの ISI を補償することがリドライバの役割になります。

また、リドライバが想定している補償の対象特性は一般的にはリニアであるため、コネクタ、結線部やケーブルにおける特性インピーダンスの不整合による信号波形の反射や共振によるサックアウトを抑制する高周波設計の必要もあります。

リドライバによる ISI の補償方法については、図 2 に示す様に、単に劣化した信号を増幅するだけでは信号が乱れ、受信側の機器が動作しなくなるため送信側にも工夫が必要となります。一般的には、送信側には特に劣化しやすい信号について、あらかじめ高周波成分を増幅(プリエンファシス)あるいは低周波成分を減衰(ディエンファシス)といったエンファシス機能、受信側には劣化した信号を周波数応答が平坦になるように増幅や減衰などにより補正するイコライザ機能により ISI を補償します。

そして、これらの性能を最大限に引き出すためには、コネクタ、パドルカード(リドライバ等の電子部品を搭載したコネクタに内蔵する小型基板)、結線部およびケーブルの特性インピーダンスの安定、リターンロスやインサーションロスのリニアな周波数特性、低クロストークに代表される高周波設計が必要となります。

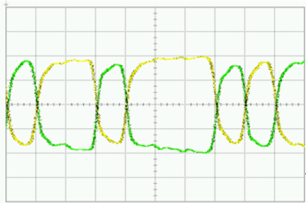
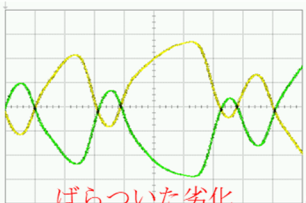
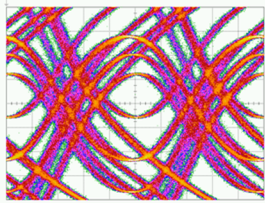
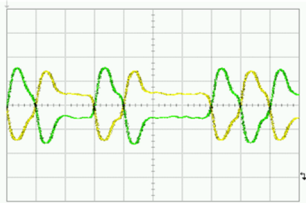
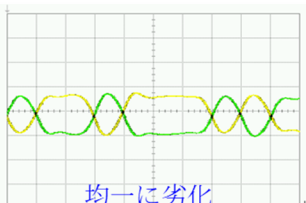
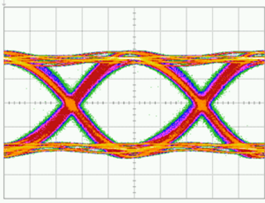
		送信側	受信側	
技術		エンファシス	イコライザ	
内容		受信側で劣化する信号をあらかじめ強調	劣化した信号を増幅	
波形		入力	受信 (増幅前)	受信 (増幅後)
エンファシス	無		 ばらついた劣化	 ばらついた増幅
	有		 均一に劣化	 均一に増幅

図 2. リドライバによる補償の概要

4. 実用化のための回路技術

リドライバを搭載し、DP ALT モードのアクティブケーブルとして動作させるためには、リドライバの周りにそれぞれ機能を持たせた回路の設計および実装が必要となります。本稿では代表的な内容について以降にご説明いたします。

4.1. 電力供給回路

リドライバおよび周辺回路はパドルカードに実装した上で両端のコネクタに内蔵しているため両端ともに電源が必要です。電源は USB Type-C[®] 規格における 5V の VCONN 端子から取ることができますが、周辺機器であるディスプレイや HMD から電力が供給されるとは限りません。よって、電力の供給源として確実なコンピュータやゲーム機といった本体側から、両端パドルカードへ電力が供給されるような回路とする必要もあります。

ここで 2 つの課題があります。1 つは細線かつ長尺ケーブルであるがゆえの直流抵抗による電源電圧が低下する電圧ドロップへの対応、もう 1 つは周辺機器からの電力の供給がある場合のコンフリクトの対処になります。

電圧ドロップの課題に対してはシミュレーションや実際の電圧ドロップ値を確認し、最適となる電源回路および電圧変換器を選択することで、最大 1.5 W、3~5.5 V で動作するように設計いたしました。電力供給のコンフリクトにつきましては図 3 に示す様に VCONN のラインにダイオードを挿入し、周辺機器側から電力供給がある場合も対処できる回路を組み立てました。

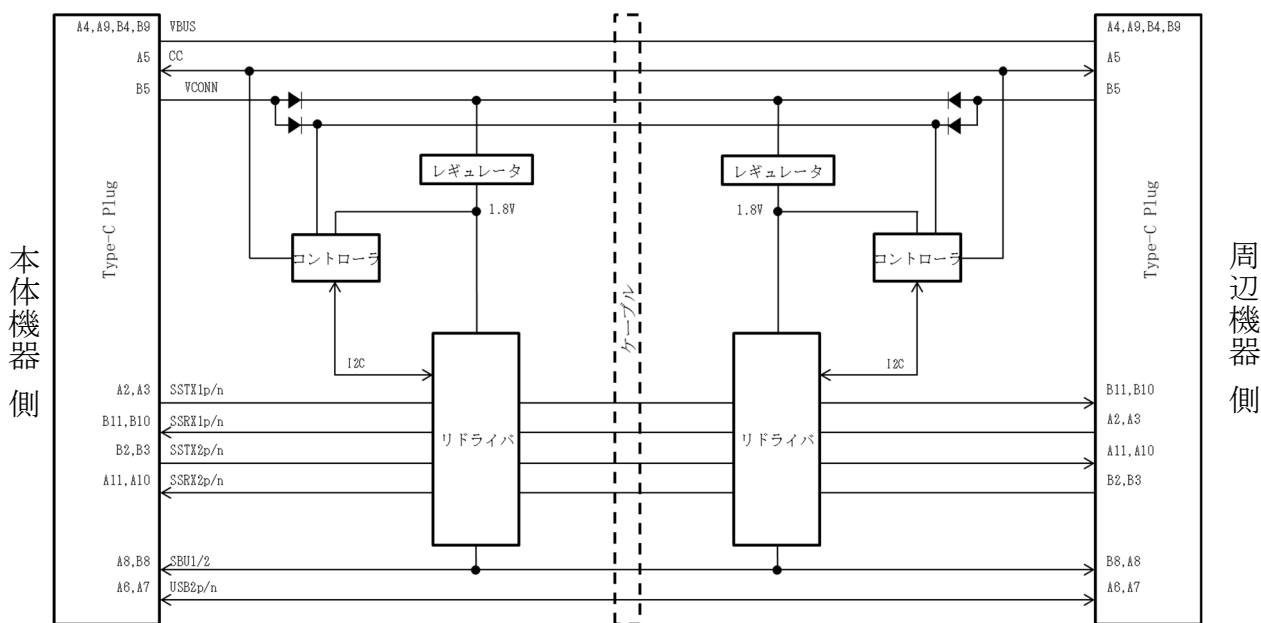


図 3. 電力供給回路

4.2. 電源投入シーケンスおよび突入電流対策

パドルカードにはリドライバをはじめ、PD(パワーデリバリ)コントローラ(E マーカ機能含む)、電圧変換器などの電子部品と回路を搭載していますが、電力供給開始時に 2 つの課題があります。1 つは各電子部品への電力供給開始のタイミング、もう 1 つは電力供給開始時の急激な電流変動すなわち突入電流の抑制です。

リドライバは電力を供給しただけでは所望の動作はせず、コントローラ等からの設定コマンドが必要になります。これは、設定コマンドよりも先にリドライバに電力を供給し、起動しておく必要があることを示しています。各 IC に電圧変換器を設けて起動タイミングや電流を細かくコントロールすれば問題は発生しませんが、部品点数が大幅に増え、結果的にパドルカードのサイズが大きくなり、寸法的な問題も発生します。

よって、部品点数の増加を最小限にとどめるため、共用する電圧変換器の電源バイパス容量最適化による充電過渡電流の低減、及びイネーブル端子へ抵抗およびコンデンサでの時定数組み込みによるタイミングの調整、及び PD コントローラ電源パスへの抵抗挿入による急峻な過渡応答の抑制などの併用により、図 4 に示す様に電源投入シーケンスの最適化と共に突入電流の抑制を達成いたしました。

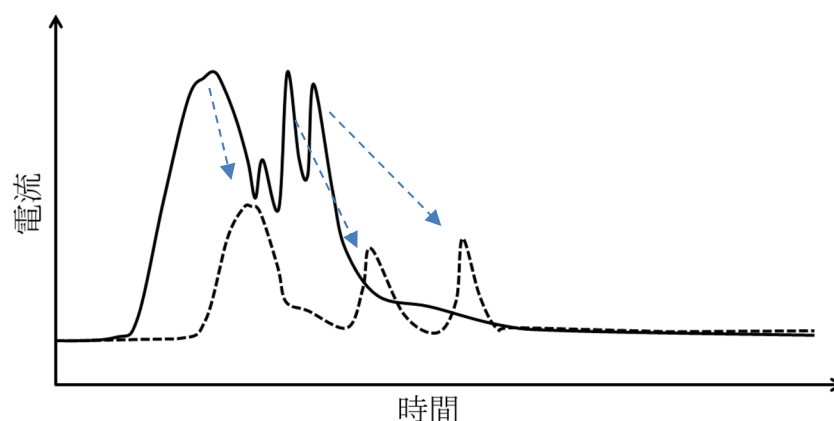


図 4. 電源投入タイミング調整及びピーク電流抑制の効果

4.3. 動作モード設定およびコントローラ設定

アプリケーションの仕様が様々であるため、リドライバの補償は設定により補償度合いの強弱を設定することができます。本稿で挙げたアクティブケーブルにおいても信号の補償はケーブル長などの仕様に合わせ、最適になるようにリドライバを設定する必要があります。各設定項目は十数段階で設定ができますが、どの組み合わせが最適となるのかについては、図 5 に示す様に過不足が無い様に各種の評価を経て決定する必要があります。当社ではこの最適設定を得るために多ポートの VNA(ベクトルネットワークアナライザ)や数十 GHz 対応のオシロスコープなど、高度な測定器を導入し活用することで実現しています。

リドライバの最適設計を得て、最終的には図 6 の様にコントローラに情報を書き込み、アクティブケーブルを機器に接続したときに自動的に最適動作をする様に設計しました。

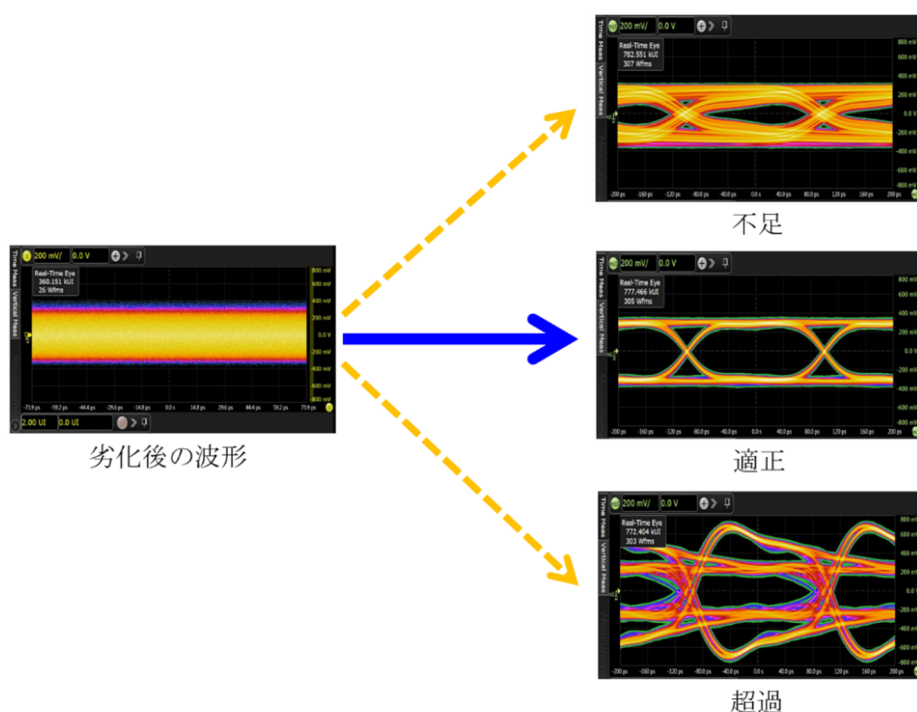


図 5. 信号補償の最適設定

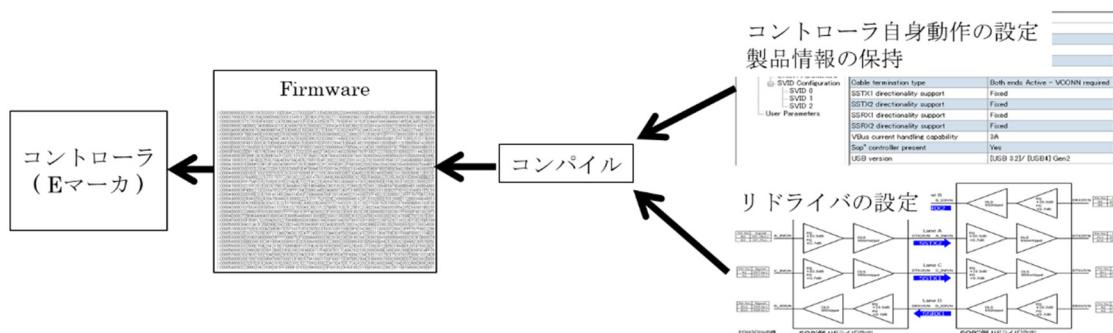


図 6. コントローラの設定

5. まとめと今後の展望

ケーブル径φ5 mm 以下といった細いケーブル、DP ALT 規格を採用した長さ 5 m のリドライバ搭載アクティブメタルケーブルを開発いたしました。

今回開発した製品がメタバースをはじめとした新しい体験市場のさらなる拡大、発展に寄与できれば幸いです。

なお、本稿では DisplayPort 1.4 の 8.1 Gbps(HBR3)と USB 3.2 の 10 Gbps 対応完了をご報告いたしましたが、更なる性能向上を目指し次ステップとして DisplayPort 2.1 や USB4 対応の製品を開発中です。