



# USB Type-Cコネクタ対応アクティブ光ケーブル

Active Optical Cable Using USB Type-C Connector

長崎 泰介\*  
Taisuke Nagasaki

井上 武  
Takeshi Inoue

島田 健作  
Kensaku Shimada

山田 隆史  
Takashi Yamada

石川 弘樹  
Hiroki Ishikawa

前田 靖裕  
Yasuhiro Maeda

コンシューマエレクトロニクス市場において、4K・8K等の高精細ディスプレイや没入体験型ヘッドマウントディスプレイが登場してきている。この分野ではコネクタプラグの小型化及び広帯域・長距離伝送に対応したケーブルが必要とされるため、長距離伝送に優れた光ケーブルのニーズが高まっている。しかしながら、光ケーブルはメタルケーブルよりコネクタプラグのサイズが大きくなるという課題がある。今回当社は、汎用小型高速インタフェースであるUSB Type-Cコネクタに対応し、コネクタプラグがメタルケーブルと同等のアクティブ光ケーブルを開発した。本稿では、今回開発したケーブルの設計概要、伝送特性評価結果、信頼性評価結果について報告する。

Demand for high-resolution displays and virtual reality applications is increasing and the use of these devices is spreading rapidly in the consumer electronics market. Cables attached to these devices are required to support high-speed and long-distance transmission, while maintaining their plug size. We have developed an active optical cable with a USB Type-C connector (a small-sized multifunctional interface) and a plug of the same size as that of a conventional cable. This paper introduces the new cable, describing its design, transmission characteristics, and results in a reliability test.

キーワード：アクティブ光ケーブル (AOC)、USB Type-Cコネクタ、4K・8K、USB、DisplayPort

## 1. 緒言

近年、画像や映像の高画質化（4K・8K）が進み、コンシューマエレクトロニクス市場においては、より高精細なディスプレイやバーチャルリアリティ（VR）に代表される没入体験型ヘッドマウントディスプレイが登場してきている。表1に2K、4K、8Kで必要な伝送速度を示す。従来の2Kと4K・8Kを比較するとより大容量の伝送が必要であることがわかる。

この分野ではコネクタプラグ部の小型化及び広帯域・長距離伝送に対応したケーブルが必要とされている。しかしながら、民生用外部インタフェースで主流となっているメタル線を用いたケーブルでは伝送距離が伸びると伝送信号

の減衰が大きくなる。特に、高速伝送を行う場合は減衰が顕著になるため、伝送容量の増加に伴い伝送距離が短くなるという課題がある。

一方、光ファイバを用いたケーブルでは長距離でも伝送信号の減衰が非常に小さい。そのため民生市場で要求される長さ（～100m）での4K・8K伝送も正常に行うことが可能である。

表2にメタルケーブル製品<sup>(1)</sup>の主な民生用外部インタフェースの伝送速度と最大ケーブル長の状況を示す。

表2 伝送速度と最大ケーブル長の推移

規格	USB2.0	USB3.0	Thunder bolt2	Thunder bolt3
伝送速度	最大 480Mb/s	最大 5Gb/s	最大 20Gb/s	最大 40Gb/s
ケーブル長	最長5m	最長3m		最長2m
コネクタ形状	USB Type A/B		Mini DisplayPort	USB Type C
制定	2000年	2008年	2013年	2015年

表1 2K/4K/8Kで必要な伝送速度（非圧縮の場合）

Resolution	Frame Rate	Color Depth [Unit: Gb/s]		
		8 bit	10 bit	12 bit
2K 1,920×1,080	60 fps	3.0	3.7	4.5
	90 fps	4.5	5.6	6.7
	120 fps	6.0	7.5	9.0
4K 3,840×2,160	60 fps	11.9	14.9	17.9
	90 fps	17.9	22.4	26.9
	120 fps	23.9	29.3	35.8
8K 7,680×4,320	60 fps	47.8	59.7	71.7
	90 fps	71.7	89.6	107.5
	120 fps	95.6	119.4	143.3

また、データおよび映像／音声伝送を行う民生用インタフェースとしてUSB Type-Cが主流になりつつある。USB

Type-Cは2014年に制定されて以降、パソコンとその周辺機器、モバイル端末、モニターと適用範囲を急速に拡大している。USB Type-C コネクタは従来の民生用インタフェースと比較して小型であることに加え、コネクタの裏表を気にせず接続可能であり、様々な既存インタフェースを代替できる利点を有している。図1にUSB Type-Cで代替可能なインタフェースの一例を示す。

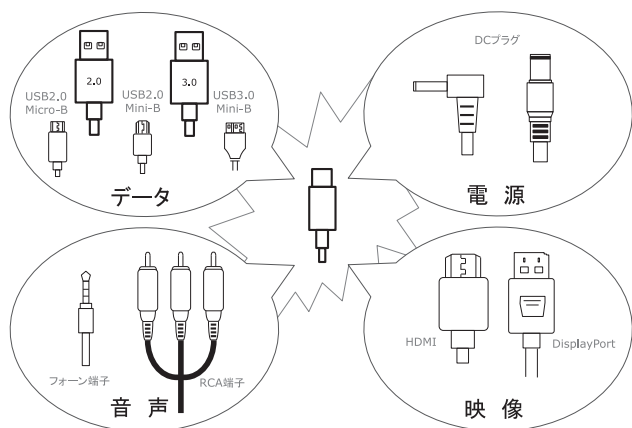


図1 USB Type-Cで代替可能なインタフェース例

当社ではUSB Type-C コネクタに対応したアクティブ光ケーブル（以降USB Type-C AOC）を開発した。今回紹介するUSB Type-C AOCは、DisplayPort1.4（8.1Gb/s×2レーン単方向）とUSB3.1 Gen1（5 Gb/s×1レーン双方向）の伝送規格に対応したものである。本稿では、今回開発したケーブル設計概要と強度特性評価結果、伝送特性評価結果、信頼性評価結果を報告する。

## 2. USB Type-C AOC 概要

1章で記述したように本分野ではコネクタプラグの小型化も市場要求として高い。表3に当社製、民生用高速伝送ケーブルのコネクタプラグを比較したものを示す。今回紹介するUSB Type-C AOCでは当社AOC製品である“Thunderbolt2 AOC<sup>(2)</sup>”と比較して約40%のサイズダウンに成功し、当社メタルケーブル製品“USB Type-C パッシブ銅ケーブル”（以降USB Type-C PCC）と同等のプラグサイズを実現した。

表3 当社製民生用高速伝送ケーブル、サイズ比較

製品名	コネクタプラグサイズ (mm)
USB Type-C PCC (Passive Copper Cable)	22.7
USB Type-C ACC (Active Copper Cable)	31.1
Thunderbolt2-AOC (参考)	37.9
USB Type-C AOC (今回開発品)	22.7

## 3. USB Type-C AOCの設計概要

写真1はUSB Type-C AOCの外観である。写真中に示した、本製品を構成している各要素技術の設計概要について、以下に述べる。

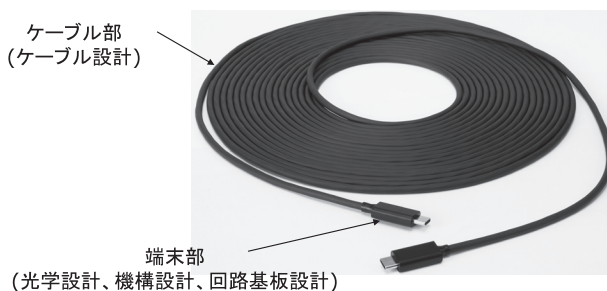


写真1 USB Type-C AOCと各要素技術

### 3-1 ケーブル設計

本ケーブルは光ファイバとメタル線の複合ケーブルとなっている。本ケーブルは単方向8.1Gb/s×2レーン、双方向5Gb/s×1レーンを有しており、それらの伝送を光ファイ

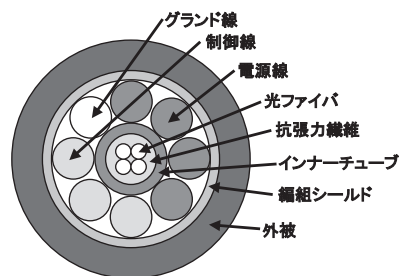
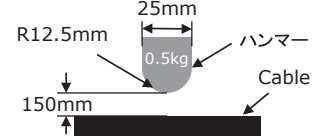


図2 ケーブル断面

バ4芯で行っている。図2に本ケーブルの構成を示す。光ファイバはGIファイバ<sup>\*1</sup>を使用し、機械強度に優れた構造とするため光ファイバを抗張力繊維と共にインナーチューブに内包し、ケーブル中央に位置している。その周りに電源線4本、グラウンド線1本、制御線3本のメタル線が同心円上に配置され、その周りを編組シールド及び外被で覆っている構成となっている。ケーブル外径は4.0mmである。

また、表4に示すように本ケーブルは民生機器や映像機器の使用環境を想定した各種強度試験を満足する性能を有している。

表4 ケーブル特性

試験項目	試験条件	試験結果	判定
Pinch試験	ケーブルを180°折り曲げた状態で5秒放置する。 折り曲げ箇所：3箇所	伝送エラー なきこと	合格
Knot試験	ケーブルに結び目をつくり40Nの力を1時間印加する。 結び目箇所：2箇所	伝送エラー なきこと	合格
衝撃試験	下記図の試験にてハンマーをケーブルに落下させる。 試験回数：2回 	伝送エラー なきこと	合格

### 3-2 光学設計、機構設計

AOCはコネクタプラグ内で電気信号を光信号に変換しケーブル内を光伝送することで長距離伝送を可能にしている。コネクタプラグ内の回路基板上に実装された光電変換素子のVCSEL<sup>\*2</sup>/PD<sup>\*3</sup>からの(への)光を光ファイバへ光学的に結合させるためにレンズモジュールという樹脂成形品を使用している。今回プラグサイズを小型化するためにレンズモジュールとレンズモジュールへの光ファイバの接合方式の開発を行った。

新規レンズモジュールと新規接合方式を採用することで表3に示すように当社製Thunderbolt2 AOCよりコネクタプラグの奥行方向を大幅にサイズダウンすることを実現した。

### 3-3 回路基板設計と光特性

図3にケーブル末端部の機能ブロック図を示す。コネクタ側の電気信号とケーブル側の光信号を変換するVCSEL/PD及び駆動制御ICで構成されている。

図4にUSB3.1 Gen1及びDisplayPort1.4伝送の室温における光出力波形及びその評価系を示す。ケーブル内部の伝送特性評価のため、ケーブルを切断し、その先端に光ファイバを融着して光波形の測定を行った。共に十分なアイ開口が得られ、良好な光波形品質であることを確認した。

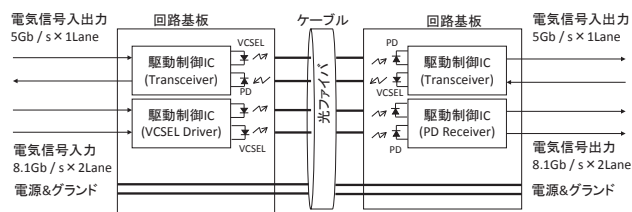


図3 機能ブロック図

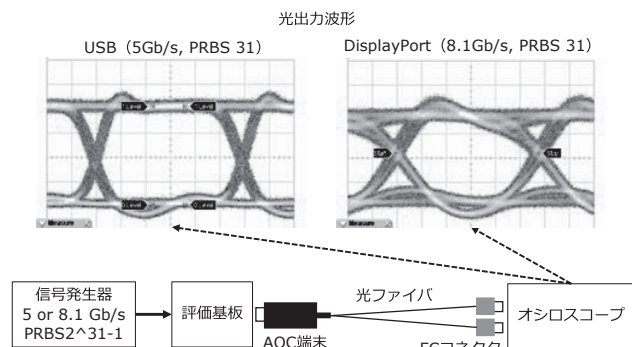


図4 光出力波形及びその評価系

図5にUSB3.1 Gen1及びDisplayPort1.4伝送の室温における典型的な受信感度特性を示す。光出力波形評価と同様、ケーブルを切断し、両端末に光ファイバを融着したものをを用いて測定を行った。最小受信感度(ビット誤り率=1E-12)は、USB、DisplayPort伝送で各々、-19dBm、-14dBm程度と良好な結果が得られた。送信器の光出力が共に約2dBmであることから、伝送マージンはUSB、

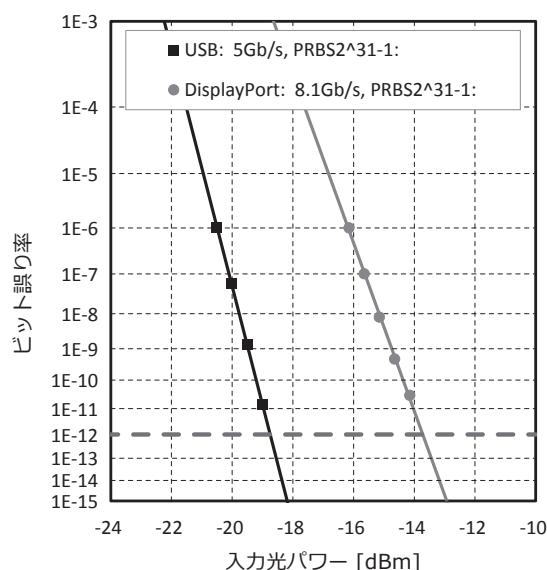


図5 室温における受信感度特性

DisplayPortで各々、21dB、16dBとなり、表5に示す伝送における各種損失・劣化を考慮しても十分なマージンがあり、USB3.1 Gen1及びDisplayPort1.4伝送に関して問題がないことが確認できた。

表5 伝送における各種損失・劣化

項目	値 (dB)
光ファイバの伝送や曲げによる光パワーの損失	~1.0
モード分散*4による受信感度の劣化	~0.5
経年劣化によるVCSELの光出力の低下	~0.5
高温によるVCSEL光出力の低下	~0.5
高温による送信器側の受信感度の低下	~1.0
合計	~3.5

#### 4. 伝送特性評価

図6にUSB Type-C AOCの伝送特性評価系、並びに、USB3.1 Gen1及びDisplayPort1.4伝送後のケーブル出力波形（室温）を示す。USB、DisplayPort共に十分なアイ開口が得られており、また、誤り率測定器を用いて、環境温度0℃から50℃までエラーフリー伝送になることも確認した。

図7にUSB機器及びDisplayPort機器を使用した機能評価系を示す。USBではパソコンとハードディスクとの接続、DisplayPortではパソコンとディスプレイとの接続を行い、USB機器及びDisplayPort機器間で正常にデータ通信ができることも確認した。

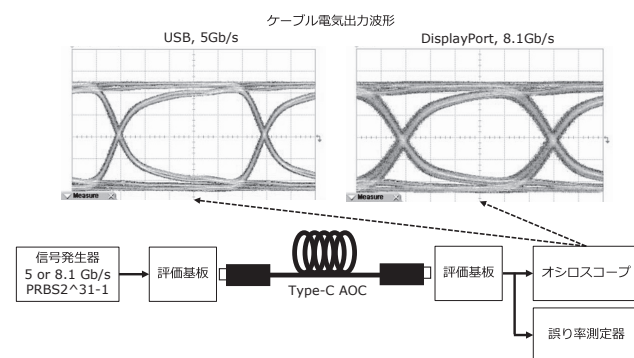


図6 伝送特性評価系及びケーブル電気出力波形

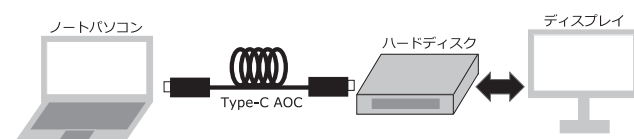


図7 USB及びDisplayPort機能評価系

#### 5. 信頼性試験結果

表6に信頼性試験結果を示す。伝送特性評価系を使用した機能確認により合否判定を行った。試験後のケーブルの機能は、全試験項目において正常であり、十分な信頼性を有していることを確認した。

表6 信頼性試験結果

カテゴリ	試験項目	試験条件	判定基準	結果
環境試験	高温通電	80℃ 2,000時間	試験前後にて下記2点について確認を行う ・外観異常なきこと ・伝送エラーなきこと	合格
	高温高湿保存	85℃/85%RH 500時間		合格
	熱衝撃	-40℃/30min, +85℃/30min. これを1サイクルとし 500サイクル実施する。		合格
機械試験	屈曲試験	屈曲角度：±90° マンドレイル径：φ50mm 引張荷重：400gf 屈曲回数：1,000回		合格
	引張試験	40N 1min		合格
	振り試験	振り角度：±180° 振り回数：1,000回	合格	
	Pinch試験	ケーブルを180°折り曲げた 状態で5秒放置する。 折り曲げ箇所：3箇所	合格	
	Knot試験	ケーブルに結び目を作り 40Nの力を1時間印加する。 結び目箇所：2箇所	合格	
電気特性	ESD	8kV 気中および接触放電	動作異常ないこと	合格

#### 6. 結 言

今回開発したアクティブ光ケーブルでは、新規にレンズモジュール部品とレンズモジュールへのファイバ結合方式を開発することで、コネクタプラグの小型化（USB Type-C PCCと同サイズ）に成功した。また開発したUSB Type-C AOCの信号伝送評価、信頼性評価を実施し、実用上問題ないことを確認した。今後、ディスプレイやバーチャルリアリティ（VR）等に使用される民生用アクティブ光ケーブル市場において、小型のUSB Type-C AOCが更に普及していくことが期待される。

## 用語集

### ※1 GIファイバ

Graded Indexファイバの略称で、マルチモードファイバの一種。ファイバの屈折率に分布を持たせ、モード間の伝搬時間差を低減するように設計されている。

### ※2 VCSEL

Vertical Cavity Surface Emitting LASER（垂直共振器面発光レーザ）の略称で、半導体レーザの一種。基板面に対して垂直に発光すること、及び消費電力が小さいことが特徴。通信用機器に加え、コンピュータマウス、レーザプリンタ等の民生機器にも幅広く使用されている。

### ※3 PD

Photo Diodeの略称で、半導体ダイオードを使用した光検出器の一種。

### ※4 モード分散

マルチモードファイバにおいて、モード間で伝搬時間差が生じる現象のこと。ファイバ出力波形に影響を与える。

- ・ USB Type-CはUSB Implementers Forum, Inc.の商標です。
- ・ Thunderboltは、米国Intel Corporationの米国及びその他の国における商標または登録商標です。

## 参考文献

- (1) 桜井渉 他、「40Gbps 高速伝送インターフェースケーブル“Thunderbolt 3”」、SEIテクニカルレビュー第192号（2018年1月）
- (2) 前田靖裕 他、「Thunderbolt 光ケーブル」、SEIテクニカルレビュー第183号（2013年7月）

## 執筆者

長崎 泰介\* : 光通信研究所 主査



井上 武 : 光通信研究所 主席



島田 健作 : 光通信研究所 主査



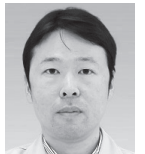
山田 隆史 : 光通信研究所 主席



石川 弘樹 : 光通信研究所 主幹



前田 靖裕 : 光通信研究所 グループ長



\*主執筆者