



40Gbps 高速伝送インターフェースケーブル “Thunderbolt 3”

40 Gbps High-Speed Interface Cable “Thunderbolt 3”

桜井 渉*
Watraru Sakurai

鈴木 昌輝
Masaki Suzuki

岡本 峻明
Takaaki Okamoto

匂坂 多佳実
Takami Sagisaka

Thunderbolt 3⁽¹⁾ は、上り下り共に40Gbpsの高速・大容量伝送が可能な外部インターフェース規格で、コネクタの裏表を気にせず接続可能なUSB Type-C⁽²⁾ コネクタを用いたThunderboltの最新規格である。住友電気工業(株)は、米国インテル社からの仕様開示を受け、柔軟で耐屈曲性に優れた、当社特長の同軸電線技術に高速伝送技術を融合させることでThunderbolt 3ケーブルの開発に成功し、世界初の認証取得を果たした。本稿では、当社特長の同軸電線を用いたThunderbolt 3ケーブルを概説する。

Thunderbolt 3 is a high-speed and high-capacity input/output standard that enables bi-directional 40 Gbps transmission using a reversible USB Type-C connector. Based on Intel Corporation's technical specifications, Sumitomo Electric Industries, Ltd. has developed Thunderbolt 3 cables by combining its flexible and durable cables and high-speed transmission technologies to be the world's first approved vendor of Thunderbolt 3 cables. This paper presents an overview of Thunderbolt 3 cables that use Sumitomo Electric's coaxial cables.

キーワード：Thunderbolt、USB Type-C、高速伝送、同軸電線

1. 緒 言

民生用外部インターフェースは高速化の一途を辿っている。図1に主な民生用外部インターフェースの1レーン^{*1}当たりの伝送速度の高速化の状況を示す。

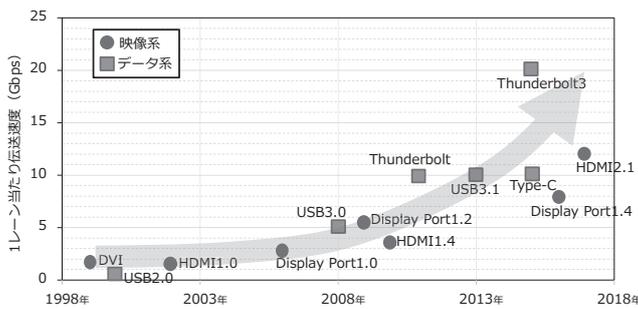


図1 民生用外部インターフェースの高速化

映像系とデータ系に大別されるが、映像系では、フルHD (ハイビジョン) の16倍の画素数の8k (スーパーハイビジョン) 放送開始が2018年に予定されている。これに対応すべく、2017年に発表されたHDMI2.1^{*2}では1レーン当たりの伝送速度が12Gbpsまで向上し、8K (7680×4320画素)、フレームレート^{*3}60Hzの非圧縮伝送が対応可能となる。

データ系ではUSB規格が最も汎用性のある規格として発展を続けており、USB Type-C (以降、Type-C) は、その最新規格である。表1にこれまでのUSB規格とUSB Type-C規格の比較を示す。

表1 USB規格とUSB Type-C

規格	USB2.0	USB3.1	USB Type-C
信号速度	・ Low Speed : 1.5Mbps ・ Full Speed : 12Mbps ・ High Speed : 480Mbps	・ Super Speed : 5Gbps ・ Super Speed Plus : 10Gbps	全ての速度に対応
供給電力	2.5W (5V, 0.5A)	4.5W (5V, 0.9A)	パワーデリバリーで最大100W (20V, 5A)
コネクタ	Type-A類 (パソコンやハブ) 16mm 8mm コネクタ裏表有り	Type-B類 (周辺機器用) 10.5mm 11.5mm	Type-C (パソコン周辺機器共に対応) (Type-A類、Type-B類も使用可能) 12.35mm 6.5mm コネクタ裏表を気にせず接続可能

2015年に上市されたType-Cにおいて、パソコン側、周辺機器側共に対応可能なコネクタとしてType-Cコネクタが新たに導入された。また、1レーン当たりの最大伝送速度として10Gbpsの本格導入、給電規格USBパワーデリバリー^{*4}による最大100W給電対応が可能となった。Type-Cコネクタはこれまで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な特徴を有している。パソコンとその周辺機器以外にも、モバイル端末、モニターとその適用範囲を拡大しており、民生用標準コネクタとして本命視されている。

当社グループは2012年に最大伝送速度双方向20GbpsのThunderboltケーブルをリリースし、外部インターフェースの高速化に対応してきた。今回紹介するThunderbolt 3ケーブルは、そのThunderboltの最新版であり、民生用インターフェースとしては最高の伝送速度である双方向40Gbpsを誇る。本稿では、そのThunderbolt 3の概要、適用例、並びに、当社製Thunderbolt 3ケーブルの構造、特性、信頼性評価結果を報告する。

2. Thunderbolt3の概要

Thunderboltはインテル社とアップル社が共同開発したパソコン用超高速インターフェース規格である。表2にThunderbolt規格一覧を示す。

表2 Thunderbolt規格一覧

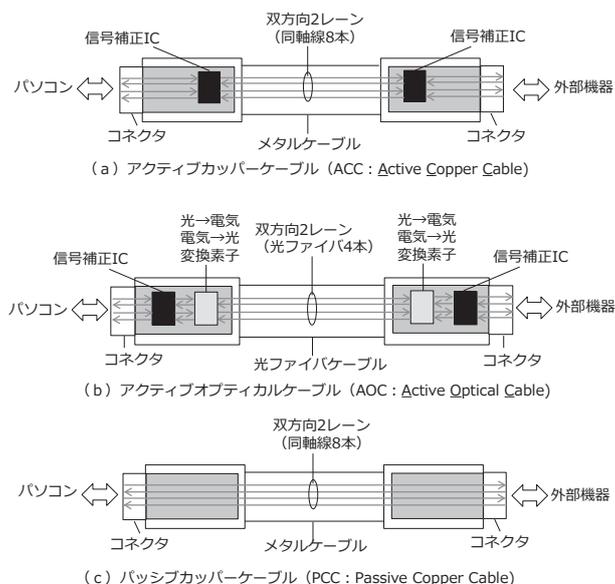
規格	Thunderbolt 1	Thunderbolt 2	Thunderbolt 3
伝送速度	双方向10Gbps (双方向10Gbps × 1レーン)	双方向20Gbps (双方向10Gbps × 2レーン)	双方向40Gbps (双方向20Gbps × 2レーン)
信号	Thunderbolt	Thunderbolt	Thunderbolt、USB3.1、USB2.0
コネクタ	Mini Display Port 7.9mm 10.8mm		Type-C 6.5mm 12.35mm
供給電力	10W		100W
ケーブル種類	ACC (Active Copper Cable): 最長3m AOC (Active Optical Cable): 最長30m		PCC (Passive Copper Cable): 最長0.5m ACC (Active Copper Cable): 最長2m
制定	2011年	2013年	2015年

Thunderbolt 1及びThunderbolt 2はコネクタとしてはMini Display Port^{※5}が採用されており、USB規格との互換性はない。双方向10Gbpsの伝送路をそれぞれ1レーン又は2レーン使用可能である。一方、今回紹介するThunderbolt 3はコネクタとしては新たにType-Cコネクタが採用され、USB規格との互換性を有している点が、Thunderbolt 1及びThunderbolt 2とは大きく異なる点である。また、1レーン当たり伝送速度がThunderbolt 1及びThunderbolt 2の2倍の20Gbpsと向上しており、使用される電線にはより一層の高性能が求められる。

次に、図2にThunderboltケーブルの種類を示す。ケーブルは長さに応じた3種類が存在する。

Thunderbolt 1及びThunderbolt 2は両端末のコネクタ内に内蔵されたICの電気信号補正機能により、最長3mまで対応可能なアクティブ銅ケーブル（以降、ACC。Active Copper Cableの略）と、両端末のコネクタ内で電気信号⇒光信号、光信号⇒電気信号の変換を行い、光ファイバを通じて最長30mまで伝送可能なアクティブオプティカルケーブル（以降、AOC。Active Optical Cableの略）が存在する。

今回のThunderbolt 3のケーブル種類は、ACCに加え、パッシブ銅ケーブル（以降、PCC。Passive Copper



Thunderboltは、1つの高速信号を伝送するのに、ペアをなす2本の信号線を1レーンとして、2本の信号線に逆位相の信号を伝送する差動伝送方式を採用している。
ACC、PCC、AOCそれぞれに必要な同軸電線及び光ファイバの数は以下の通り。
ACCとPCCの場合： 8本（=2（差動伝送ペア）×2（双方向）×2（レーン））
AOCの場合： 4本（=1×2（双方向）×2（レーン））
光ファイバは1つの高速信号を1本のファイバで伝送可能。

図2 Thunderboltケーブルの種類

Cableの略）が導入されている。PCCは、ICによる信号補正がないため、ケーブルは最長0.5mに限られるが、ICがない分、低コストである。なお、Thunderbolt 3には本稿執筆時点（2017年11月）、AOCは存在していない。

3. Thunderbolt 3の適用例

最大40Gbpsの高速伝送性能を活かした例として、ドッキングステーションを図3に示す。

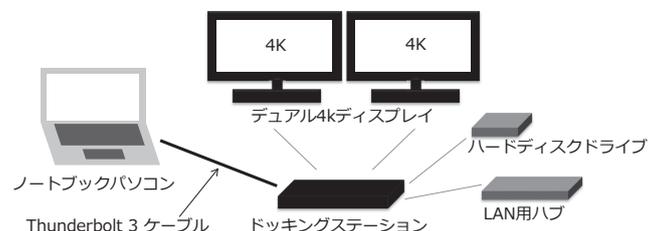


図3 ドッキングステーション

ドッキングステーションはノートブックパソコンの機能拡張装置である。スペースの制約があり、コネクタ数が制限される薄型ノートブックパソコンでも、超高速なThunderbolt

3ケーブル1本でドッキングステーションと接続することで、様々なインターフェースをまとめて扱うことができ、機能拡張が可能である。薄型軽量で携帯性に優れたノートブックパソコンにデスクトップパソコン並みの機能を持たせることが可能である。

4. ケーブル構造

写真1に今回開発したThunderbolt 3ケーブルの外観を示す。既述の通り、Type-Cコネクタを使用しており、ケーブル外径はPCCで4.4mm、ACCで4.6mmである。

図4にThunderbolt 3用に開発したケーブルの断面を示す。

当社のThunderbolt 3ケーブルは高速信号線に同軸電線を採用している。同軸電線を使用したケーブルは、ケーブル外径が細く、柔軟であり、ユーザーの取り扱い性に優れる。図2内にて説明の通り、Thunderboltは差動伝送方式を採用しており、4ペア（8本）の同軸電線が同心円上に配置されている。その他、電源線、低速信号線、編組シールド及び外被から構成される。



写真1 Thunderbolt 3 ケーブル

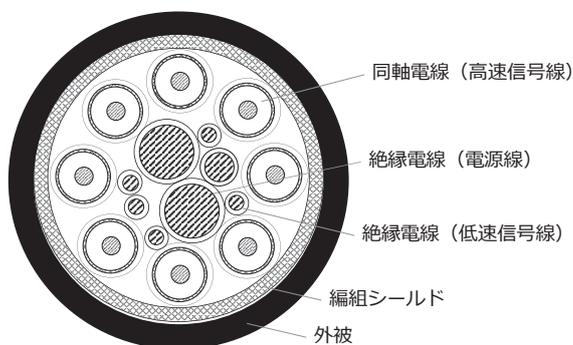


図4 ケーブル構造

5. Thunderbolt 3 ケーブルの特性

図5に今回開発したThunderbolt 3 PCCの差動挿入損失であるSdd21を示す。20GHzの高周波まで信号の遮断が発生しておらず、良好な特性が得られている。

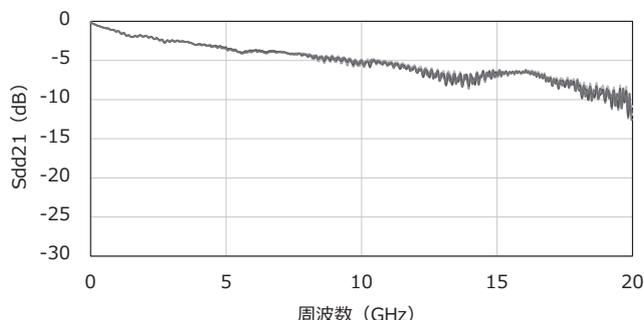


図5 Thunderbolt 3 PCCのSdd21

次に、図6にThunderbolt 3 PCCケーブルの差動モードからコモンモードへの変換量であるScd21を示す。

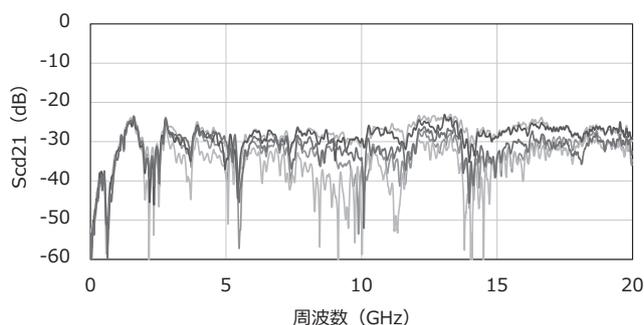


図6 Thunderbolt 3 PCCのScd21

コモンモードは、差動ペアに流れる同相成分ノイズであり、差動ペア電線の平衡度が崩れることで発生し、信号波形ひずみや、電磁放射の原因となる。当社電線は、図4に示す通り、差動ペアを互いに隣り合う同軸電線2本で構成している。同軸電線の特性ばらつきが小さいこと、並びに、ケーブル集合時の差動ペアの線長差が小さいことにより、平衡度が保たれ、コモンモードノイズが、目安となる-20dB以下に抑制されている。

6. Thunderboltケーブルの信頼性評価結果

表3に信頼性結果一覧を示す。判定基準はThunderbolt機器を使用しての機能確認とした。信頼性試験後に機能試験は全て合格しており、実用上問題ない結果が得られた。

表3 Thunderboltケーブルの信頼性試験一覧

	項目	条件	結果	判定基準
環境試験	高温通電	90℃×456時間	合格	試験前後でThunderbolt機器での機能検査において問題ないこと、及び外観異常ないこと
	温湿度サイクル	RH95%@25~85℃ 24時間/Cycle×4 Cycle	合格	
	熱衝撃	-55~85℃ 1時間/Cycle×10Cycle	合格	
機械試験	屈曲試験	2方向100Cycle、 荷重454gf	合格	破壊以外は上記基準
	着脱試験	10000Cycle	合格	
	垂直引張	40N×1分	合格	
	振動試験	50~2000Hz、振幅1.52mm XYZ各方向、20分/回×12回	合格	
	レンチング試験	・モーメント0.75Nm×上下 左右4方向各10秒耐えること ・上下方向2.0Nm以内に破壊 ・左右方向3.5Nm以内に破壊	合格	

当社が採用している同軸電線は、従来から差動伝送に用いられてきた平衡形電線に比較して柔軟で、ユーザーの取り扱い性に優れるのは既述したが、更には、繰り返しの屈曲耐性にも優れている。図7は追加試験として、電線の繰り返しの屈曲時の減衰特性の変化を測定したものである。7000回の屈曲試験前後で変化がなく安定した特性を保っている。

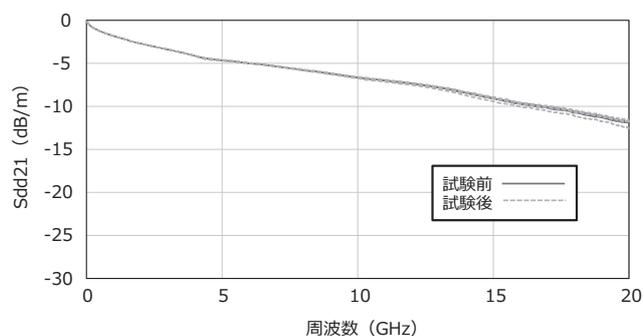


図7 電線の繰り返しの屈曲試験前後のSdd21の変化

7. 結 言

インテル社からThunderbolt 3ケーブルの技術仕様の開示を受け、当社の電線技術、高速伝送技術を融合させることで、Thunderbolt 3ケーブルを開発した。本論文では、Thunderbolt 3の概要、適用例、並びに、当社製Thunderbolt 3ケーブルの構造、特性、信頼性評価結果を

述べ、実用上問題ないことを確認した。

8. 謝 辞

本開発を進めるにあたりインテル社に多大な支援を頂いた。ここに感謝の意を表する。

用語集

※1 レーン

1つの信号を送信する伝送路の単位。高速電気信号の場合、ペアをなす2本の電線で逆位相の信号を送る差動伝送方式が利用されるが、このペアをなす2本の電線が1レーンとなる。

※2 HDMI

デジタル映像信号出力用の標準インターフェースの1つ。現在のHDMI Licensing Administrator, Inc.の前身のHDMI Licensing, LLCにより2002年に制定された。本稿執筆時点での最新版規格であるHDMI2.1は2017年に発表された。

※3 フレームレート

動画の1秒間当たりの画像表示回数。この値が大きいほど動画は滑らかな表示となる。

※4 USBパワーデリバリー

USBケーブルで接続した機器の間で相互に電力を供給するための規格。USB Implementers Forumにより2012年に制定された。

※5 Mini Display Port (ミニディスプレイポート)

デジタル映像信号出力用の標準インターフェースの1つ。2006年にVESA (Video Electronics Standard Association) により制定された。

- ・インテル、Intel、Thunderbolt、Thunderbolt ロゴは米国およびその他の国におけるIntel Corporationの商標または登録商標です。
- ・USB Type-Cは米国およびその他の国におけるUSB Implementers Forumの商標または登録商標です。
- ・アップルは米国およびその他の国におけるApple Inc.の商標または登録商標です。
- ・HDMIはHDMI Licensing Administrator, Inc.の米国およ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) Thunderbolt™ 3 Technology
- (2) USB Type-C Specification Release 1.3

執筆者

桜井 渉* : 住友電工電子ワイヤー(株) 主席



鈴木 昌輝 : 住友電工電子ワイヤー(株)



岡本 峻明 : 住友電工電子ワイヤー(株)



匂坂多佳実 : 住友電工電子製品(深圳)有限公司



*主執筆者