



10Gb/s 高速伝送インターフェースケーブル “Thunderbolt Cable” の開発

桜井 渉*・林 下 達 則・渡 邊 由 将
高橋 亨・筑 井 健 二・梅 津 裕 司
高橋 宏 和・田 村 充 章・千 種 佳 樹

Development of 10Gb/s High-Speed Interface “Thunderbolt Cable” — by Wataru Sakurai, Tatsunori Hayashishita, Yoshimasa Watanabe, Tooru Takahashi, Kenji Tsukui, Hiroshi Umetsu, Hirokazu Takahashi, Mitsuaki Tamura and Yoshiki Chigusa — Thunderbolt is an innovative high-speed input/output (I/O) technology developed by Intel Corporation. It enables 10Gbps transmission between a computer and peripheral devices. Based on Intel's technical specifications, Sumitomo Electric developed a Thunderbolt electrical cable by combining its advanced cable technology with the high-speed transmission technology. The Thunderbolt cable utilizes differential data transmission technology using pairs of coaxial cables that boast excellent signal integrity, low skew and low attenuation. The cable has advanced signal processing circuits in the connectors at both ends for signal compensation. This paper describes the results of signal integrity evaluation and reliability tests.

Keywords: Thunderbolt, high-speed I/O, coaxial cable

1. 緒 言

タブレット型コンピュータは、その携帯性の高さや瞬時の起動、優れたユーザーインターフェースなど、使い勝手の良さから急速に市場を拡大しており、ノートブックパソコンの強力なライバルになりつつある。一方のノートブックパソコンも、負けじと、薄型化・軽量化が進行しており、米国インテル社の提唱する Ultrabook (ウルトラブック)⁽¹⁾ 構想に基づいた薄型モデルのリリースが相次いでいる。ウルトラブックは、薄型軽量の次世代型ノートブックパソコンで、インテル社製の高性能CPUを搭載したものを指す。本来のノートブックパソコンとしての機能を維持しつつ、薄くて軽い本体で持ち運びやすく、起動が速いというタブレットパソコンの特長も備えており、今後リリースされるノートブックパソコンの相当数がウルトラブック化することが予測される。しかし、このノートブックパソコンの薄型化に伴い、インターフェースコネクタの物理的スペースに制約が生じる。既存のインターフェース機能を維持し、

拡張性を確保するためには、複数ある既存インターフェースを1つに統合していく必要がある。そこで登場したのが Thunderbolt である。

この度、当社は、インテル社から Thunderbolt 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 電気ケーブルを開発した。本論文では、Thunderbolt の概要、応用例、信号伝送評価結果と信頼性評価結果に関して述べる。

2. Thunderbolt の概要⁽²⁾

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1に Thunderbolt と主なパソコン用インターフェースの比較を示す。

Thunderbolt は、双方向 10Gb/s の帯域の伝送路を 2

表1 Thunderbolt と主なインターフェースの比較

規 格	Thunderbolt	USB2.0	USB3.0	IEEE1394b
伝送速度	双方向 10Gb/s × 2 レーン	双方向 480Mb/s × 1 レーン	双方向 5Gb/s × 1 レーン	双方向 800Mb/s × 1 レーン
ケーブル長	最大 3m (3m より長い距離は、光ファイバケーブル (アクティブ・オプティカル・ケーブル ^{*1}) で伝送可能)	最大 5m	最大 3m	最大 4.5m
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> データ伝送用、映像伝送用の2つのプロトコル^{*2}に対応 (PCI Express^{*3}、DisplayPort^{*4}) デジチーチェーン接続可能^{*5} 最大供給電力 10W 	<ul style="list-style-type: none"> データ伝送用 ツリー接続^{*6} 最大共有電流 2.5W 	<ul style="list-style-type: none"> データ伝送用 ツリー接続 最大共有電流 4.5W 	<ul style="list-style-type: none"> データ伝送用 ツリー接続 最大供給電力 18W
制 定	2011年	2000年	2008年	2002年

レーン有しており、他の規格を圧倒する高速伝送が可能である。メタルケーブルは最大3mまでの伝送が可能であり、3mより長い距離は光ファイバーケーブル（アクティブ・オプティカル・ケーブル※1）で伝送が可能である。Thunderboltの特徴として、2つのプロトコル※2（データ伝送用にPCI Express※3、映像用にDisplayPort※4）をサポートしており、1本のケーブルでデータ伝送と映像伝送の両方への対応が可能である。外部機器接続はダイジーチェーン接続※5でホスト（パソコン）含め最大7台までの接続が可能であり、ホストからその他の機器に対して最大10Wの電力供給が可能である。また、ビデオデータをスムーズに扱えるように、遅延時間は最大8nsまでとなっている。

3. Thunderboltの応用例

以上述べた特徴から図1のような応用が考えられる。

応用例1はドッキングステーション※7による機能拡張例である。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、デスクトップパソコン並みの機能拡張が可能である。入出力インターフェースの標準であるPCI Expressがパソコンの外部に取り出せるというThunderboltの特徴を生かして、薄型ノートブックパソコンのインターフェース機能を1つのコネクタに統合することが可能となる。

応用例2は、Thunderboltのダイジーチェーン機能を利用したノートブックパソコンの機能拡張である。Thunderboltの高速伝送を生かして、ホスト（パソコン）含め最大7台までの機器をダイジーチェーン接続して使用可能である。DisplayPort対応の大型高精細ディスプレイ

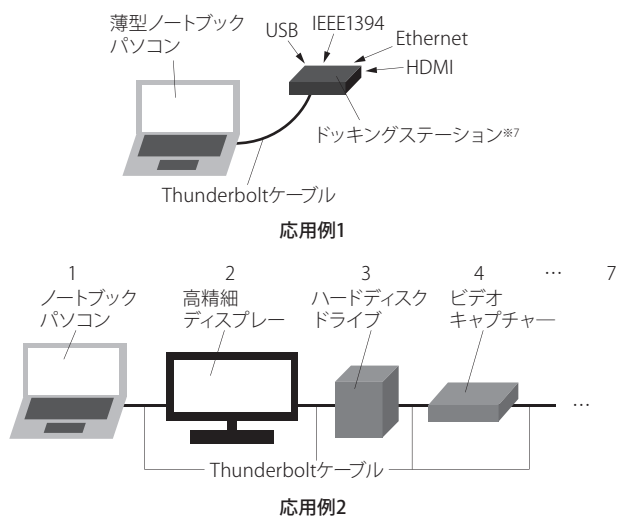


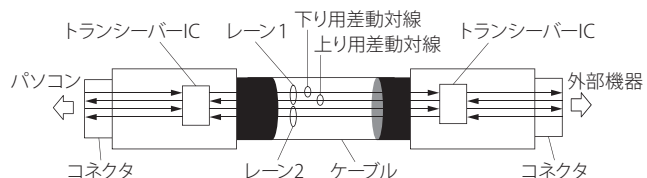
図1 Thunderboltを使ったシステム構成例

を追加したり、ハードディスクに大容量データを高速転送したり、ビデオキャプチャーで高精細画像を編集したりと様々な機能拡張が可能である。

4. Thunderbolt 伝送方式

Thunderboltが扱う10Gb/sの高速信号は、ケーブル、コネクタを伝搬するにしたいが、波形品質が劣化し、そのままでは受信回路で信号を読み取ることは出来ない。Thunderboltケーブルは、図2に示すように、両端のコネクタに内蔵された専用のトランシーバーICにより、信号の増幅や時間補正を行っている。

上り下り双方向の通信は、上り用差動対線、下り用差動対線を1組とした「レーン」を単位とした構成（双対単方向伝送：Dual simplex方式）であり、Thunderboltの場合は2レーンを有する。



レーン：上り、下りそれぞれ専用の差動対線を1組の単位としたもの。上り、下り独立に同時に伝送が可能。

差動対線：対をなす2本の信号線にそれぞれ逆位相の信号を送る方式を差動伝送方式というが、それに用いられる対線のことを差動伝送方式は高周波伝送に適した方式である。

図2 Thunderbolt 伝送方式

5. ケーブル構造

写真1に今回開発したThunderboltケーブルの外観を示す。コネクタは映像伝送用の標準コネクタであるMini



写真1 Thunderbolt ケーブル

DisplayPortであり、ケーブル外径はφ4.2mmである。当社製メタルケーブルでの対応距離は最大3.0mである。

6. ケーブルの構造・特性

図3に今回Thunderbolt用に開発したケーブルの断面を示す。

既述の通り、Thunderboltは双対単方向伝送方式のレーンを2レーン有しており、それらのための4対（8本）の同軸線が同心円状に配置されている。その他、電源線2本、GND線2本、制御線2本の計14心ケーブルである。図4に差動対線の減衰の典型例を図5にSkewの典型例を示す。

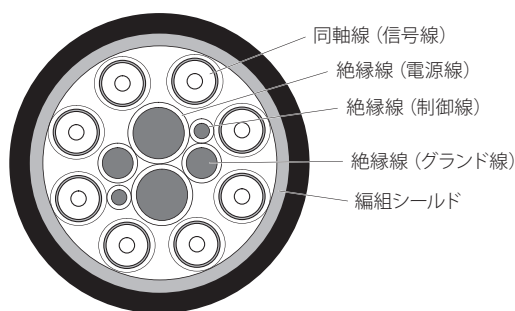


図3 ケーブル構造

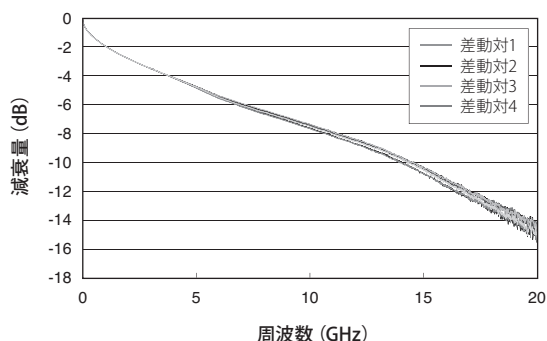


図4 差動線の減衰量

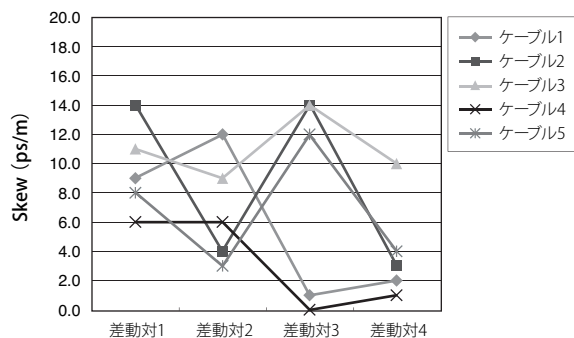


図5 Skew測定結果

7. Thunderbolt ケーブルの伝送特性

次に今回開発したThunderboltケーブルの信号品質確認結果を測定系と併せて図6に示す。

アイパターン1は、信号発生器から出たThunderbolt試験用の基準信号である。アイパターン2は、2つの評価基板通過後の信号で、評価ケーブルに入力される信号である。アイパターン3は、ケーブル通過後のものである。ケーブル通過後も通過前と変わりなくアイ開口が十分に得られておりエラーフリーでの伝送が確認された。

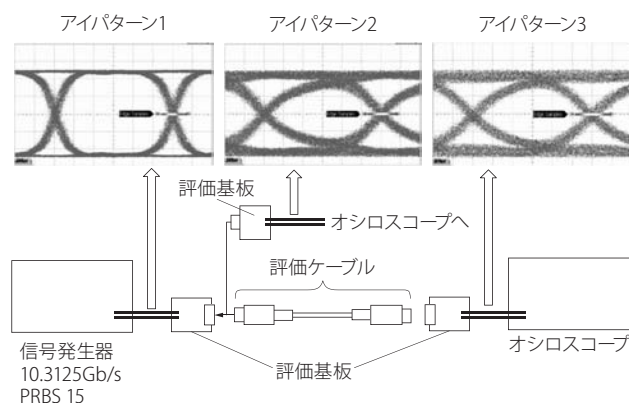


図6 信号品質確認測定系および測定結果

8. Thunderbolt ケーブルの信頼性評価結果

表2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。試験後も全て安定した特性を示しており、実使用上問題ない結果が得られた。

表2 信頼性結果一覧

	項目	条件	判定基準	結果
環境試験	高温通電	90℃×456時間	試験前後でのThunderbolt機器での機能チェックにおいて問題無いこと、および外観異常無いこと	合格
	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 × 10 Cycle		合格
機械試験	振動試験	50～2000Hz、 振幅1.52mm XYZ各方向、 20分/回×12回	試験前後でのThunderbolt機器での機能チェックにおいて問題無いこと、および外観異常無いこと	合格
	屈曲試験	2方向100Cycle、 荷重454gf		合格
	着脱試験	10000Cycle		合格
	垂直引張	4kgf × 1分		合格
電気特性	EMI	30MHz～26.5GHz、 PRBS31、SSC on	FCC、CE、VCCI	合格
	ESD	8kV 気中および接触放電		動作異常無いこと 合格

更に、信頼性追加項目として、ケーブルピンチと湿熱の複合試験を実施した。写真2に示すように、ケーブルを180度折り返して直径の倍の隙間に嵌めた箇所を12箇所作り、信頼性前後での特性を確認したところ、試験後でもThunderbolt機器で問題なく動作することが確認された。当社製のケーブルがピンチと湿熱の複合環境に対しても耐久性があることが確認できた。



写真2 ケーブルピンチと湿熱の複合試験サンプル

9. 結 言

インテル社からThunderbolt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電気ケーブルを開発した。本論文では、Thunderboltの概要、応用例に関して述べた。また開発したThunderboltケーブルの信号伝送評価、信頼性評価を実施し、実用上問題ないことを確認した。

10. 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。ここに感謝致します。

用語集

※1 アクティブ・オプティカル・ケーブル
インターフェースコネクタはメタルのまま、送信側のコネクタに内蔵された回路で電気信号を光信号に変換し、光ケーブルを通して光信号を伝送後、受信側のコネクタに内蔵された回路で光信号を再び電気信号に変換する方式のケーブル。従来のメタルインターフェースをそのまま使用でき、長距離接続でも伝送品質を保証できる。

※2 プロトコル
パソコン同士が通信する際のルール。

※3 PCI Express
ピーシーアイエクスプレス：パソコン内部の通信の標準インターフェースの1つ。入出力インターフェースの拡張のための標準規格でもある。2002年にPCS-SIGにより制定された。

※4 DisplayPort
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により制定された。

※5 デイジーチェーン接続
複数の機器を数珠繋ぎにつないでいく配線方式。

※6 ツリー接続
木の枝のように先端に進むにつれて分岐していく接続方式。

※7 ドッキングステーション
ノートブックパソコンの機能拡張装置。ノートブックパソコン本体を薄型軽量に保って機動性を確保しつつ、デスクトップパソコン並みの機能性を持たせることが可能。Thunderbolt用のドッキングステーションはPCI Expressからその他の従来インターフェースへ変換する機能を有する。

- Thunderbolt、Thunderbolt ロゴ、Ultrabook 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。
- PCI Express は、米国 PCI-SIG 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。
- HDMI は、米国 HDMI LICENSING, L.L.C. 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。
- Ethernet は、富士ゼロックス株式会社の登録商標です。

参 考 文 献

- (1) <http://www.intel.com/content/www/us/en/sponsors-of-tomorrow/ultrabook.html>
 - (2) Thunderbolt™ Technology Transformational PC I/O
<http://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/thunderbolt/thunderbolt-technology-brief.html>
-

執 筆 者

桜井 渉* : 住友電工電子ワイヤー(株) 主席
光通信研究所兼務
電気ハーフネス・光電気複合ハーフネスの開発に従事



林下 達則 : 住友電工電子ワイヤー(株)
渡邊 由将 : 住友電工電子ワイヤー(株)
高橋 亨 : 住友電工電子ワイヤー(株)
筑井 健二 : 住友電工電子ワイヤー(株)
梅津 裕司 : 住友電工電子ワイヤー(株)
高橋 宏和 : 住友電工電子ワイヤー(株) 主席
田村 充章 : 光通信研究所 プロジェクトリーダー
千種 佳樹 : 電子ワイヤー事業部 主幹 博士 (工学)

*主執筆者