



極細同軸線を使用したデータセンター向け ダイレクトアタッチケーブル

Direct Attach Cable with Micro Coaxial Wire for Data Center

前田 靖裕*
Yasuhiro Maeda

島田 健作
Kensaku Shimada

磯谷 佑樹
Yuki Isoya

林下 達則
Tatsunori Hayashishita

春本 道子
Michiko Harumoto

従来データセンター向けダイレクトアタッチケーブルはスキュー等の観点からツイナックス線が主に使用されてきた。しかし、従来のケーブルは太くて硬いという問題があり、昨今のデータセンターのラック内のスイッチおよびサーバーの高密度化に伴い、3m程度までのラック内配線に対して、施工性や放熱性に優れる、細くてしなやかなケーブルのニーズが高まっている。当社はこれまで情報家電製品で培った高度な極細同軸線技術を活用し、従来にない細くてしなやかなダイレクトアタッチケーブル (SFP+及びQSFP+) を開発した。

In data centers, direct attach cables with twinax wire have been used to date in order to avoid defects such as skew. However these cables have drawbacks of being thick and hard. In the background of a recent trend of the rack highly dense with switches and servers, which is common in many data centers, there is a growing need for thin and flexible cable that provides better wiring operation and heat dissipation for intra-rack wiring of up to 3 m. Sumitomo Electric Industries, Ltd. developed novel thin and flexible direct attach cables (SFP+ and QSFP+) by using the advanced micro coaxial wire technology cultivated through information appliance products.

キーワード：ダイレクトアタッチケーブル、極細同軸線、SFP+/QSFP+、データセンター

1. 緒 言

近年、スマートフォンやタブレット端末に代表される情報端末の急速な普及に伴い、インターネット上を流れるデータ量は飛躍的に増大し、これらのデータ通信を支えるデータセンターは益々その重要性を増している。データセンターでは、このような状況を背景にデータ伝送速度の高速化やラック内サーバーの高密度化が進められている。現在、ラック内のスイッチとサーバー間の伝送速度は10Gb/sが主流になりつつあり、40Gb/sに対応した装置も普及し始めている。これらラック内の装置をつなぐ高速伝送に対応したメディアとして、SFP+ (Small Form Factor Pluggable Plus) や QSFP+ (Quad SFP+) に代表されるダイレクトアタッチケーブルが主に使用されている。

従来、ダイレクトアタッチケーブルは、スキュー特性に優れたツイナックス線*1が主に使用されてきた。しかし、従来のケーブルは太くて硬いという問題があり、高密度化された3m程度までのラック内配線には、施工性や運用性、放熱性に優れる、細くてしなやかなケーブルのニーズが高まっている。

こうした要求に応えるべく、当社はこれまで情報家電製品で培った高度な極細同軸線*2技術を活用し、従来にない細くてしなやかなダイレクトアタッチケーブル (SFP+, QSFP+) の開発に成功した。本稿では、ケーブル単体の設計概要と特性、および本ケーブルを採用したSFP+, QSFP+の特性評価結果について報告する。

2. ダイレクトアタッチケーブル概要

表1に今回開発したダイレクトアタッチケーブルの概要を示す。SFP+は10Gb/s、QSFP+は40Gb/s (4x10Gb/s) の伝送速度に対応したフォームファクタであり、ケーブルの端末部に接続されている。ツイナックス線を使用した従来のケーブルの場合、ケーブル径は1m品でもSFP+で4mm以上、QSFP+で6mm以上が一般的であるのに対し、極細同軸線を使用した本製品では同じ1m品でそれぞれ、3.2mm、5.0mmという細径化を実現した。

表1 ダイレクトアタッチケーブル概要

| フォームファクタ | SFP+ | QSFP+ |
|----------|---|---|
| 伝送速度 | 10Gb/s | 40Gb/s |
| 対応規格 | 10GSFP+Cu (SFF-8431) | 40GBASE-CR4 (IEEE802.3 QDR (Infiniband)) |
| ケーブル芯数 | 4芯 (2ペア) | 16芯 (8ペア) |
| ケーブル径 | 3.2 mm (1m) 3.6 mm (3m) | 5.0 mm (1m) 6.4 mm (3m) |
| ワイヤサイズ | AWG34 (1m) AWG32 (3m) | AWG34 (1m) AWG30 (3m) |
| 外観 |  |  |

3. ケーブル設計概要

3-1 ケーブル設計・構造

図1に今回開発したケーブルの断面図を示す。SFP+は1レーン双方向、QSFP+は4レーン双方向の信号伝送を行うため、それぞれ4芯(2ペア)と16芯(8ペア)の同軸線がケーブルに内包されている。

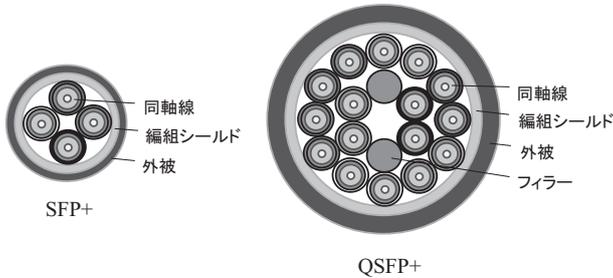


図1 ケーブル断面図

3-2 ケーブル伝送特性

ケーブルの伝送特性に影響を与えるパラメータとして最も重要なものの一つがスキューである。SFP+やQSFP+は差動伝送方式が採用されているが、スキューとはこの差動信号を伝送する際の正側と負側の信号伝送後の時間差のことである。差動信号は正側と負側の信号の電圧差で定義されるため、スキューの大きさがこの電圧差(差動振幅)に影響を与える。すなわち、スキューの大きさが伝送特性に影響を与えることになり、その影響は高周波になるほど顕著となる。スキューを制御するためには、対となる2本の同軸線の特長を如何に抑え込むかが重要となる。具体的には、2本の同軸線の物理長と信号遅延時間を可能な限り一致させることが必要である。例えばケーブル長が1mの場合、対となる同軸線に1mmの差が生じただけで4.7ps/mのスキューが発生してしまう(同軸線の平均的な信号遅延時間は4.7ns/mであるため)。今回当社は多芯化時の物理長差を抑え込むために同軸線を同心円上に配置し、また隣接する同軸線を対とすることで、ケーブルの潰れや非真円による物理長差への影響を限りなく緩和した。一方、信号遅延時間(Td)は $Td = \sqrt{\text{誘電率} / \text{光速}}$ で求められるように、同軸線の中心導体を被覆している絶縁材料の誘電率の差がそのままスキューに影響を及ぼす。誘電率は物質固有の値であるため、絶縁材料の選定が重要であることは勿論だが、10Gb/s伝送に要求される10ps/m以下の低スキューを狙う場合、中心導体と絶縁材料の間の僅かな空気層のばらつきも看過できない。今回当社はこの空気層のばらつきに着目し、長手方向での安定的な制御を行うことで同軸構造での低スキュー化を実現した。今回開発した極細同軸線を使用したSFP+(1m)用ケーブルの差動対

線のスキューの典型例を図2に、減衰量の典型例を図3に示す。スキューは最大でも5~6ps/mであり、10Gb/sすなわち1ビットあたりの信号間隔100psという伝送においては、十分低いレベルに抑えられている。また、減衰量はツイナックス線と同等の特性が得られており、かつ同軸線の場合は汎用ツイナックス線に見られるようなサックアウトと呼ばれる特定周波数範囲での大きな減衰も発生していないことがわかる。尚、ここではSFP+(1m)用ケーブルの特性例を示したが、表1に挙げた他のケーブルでも同様の特性が得られている。

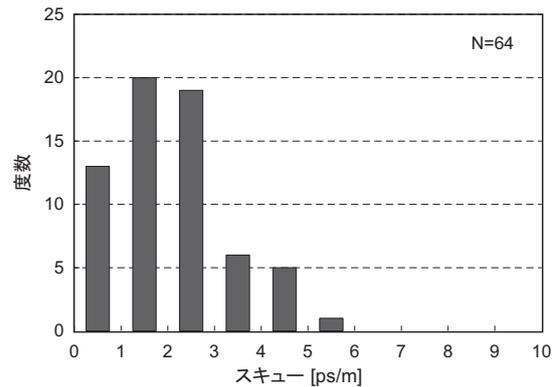


図2 スキュー典型例

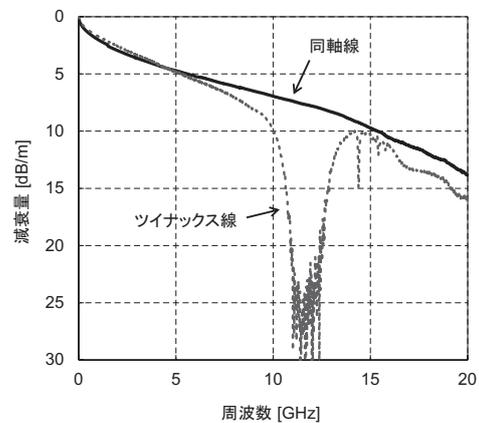


図3 ケーブル減衰量典型例

3-3 ケーブル機械特性

表2に同軸線及びツイナックス線を用いたSFP+(1m)用ケーブルの柔軟性の試験結果を示す。ケーブルを15°曲げた際の曲げ荷重を測定したデータであり、値が小さいほどケーブルが柔らかいことを示す。同軸線多芯構造は圧倒的に柔らかく、ツイナックス構造と比較した場合、荷重値で5倍以上

表2 柔軟性試験結果(曲げ荷重)

| サンプル | 同軸線 | ツイナックス線 | 単位 |
|------|--------|---------|-----|
| No.1 | 0.0055 | 0.0308 | N・m |
| No.2 | 0.0049 | 0.0362 | |
| No.3 | 0.0050 | 0.0420 | |

の差があることがわかる。

柔軟性の高さはそのまま屈曲時の信頼性へと直結する。**表3**に同条件下で同軸線及びツイナックス線を用いたSFP+(1m)用ケーブルを屈曲させ、特定の屈曲回数毎に減衰量を測定した結果を示す。ツイナックス線については1,000回も屈曲する前に断線してしまったが、同軸線については10,000回程度までは断線せずに伝送特性を維持していることがわかる。

表3 屈曲耐久性試験結果

| 屈曲回数(回) | 減衰量@5.0GHz [dB/m] | |
|---------|-------------------|---------|
| | 同軸線 | ツイナックス線 |
| 0 | 4.7 | 4.7 |
| 1000 | 4.6 | 導通なし |
| 5000 | 4.7 | - |
| 10000 | 5.2 | - |
| 15000 | 6.1 | - |
| 16000 | 導通なし | - |

また、**写真1**のように同軸線を用いたSFP+(1m)用ケーブルを自己径で複数箇所折り曲げ、折り曲げ後の状態で減衰量を確認した結果を**図4**に示す。従来のツイナックスケーブルは配線時や抜き差し時、サーバーラックの開閉時の接触によるケーブルの劣化や断線が発生する問題があったが、本同軸線多芯ケーブルは自己径で折り曲げても伝送特性に影響ない

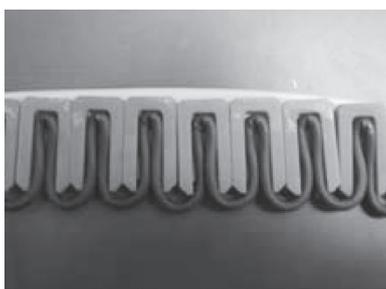


写真1 ケーブル折り曲げ試験

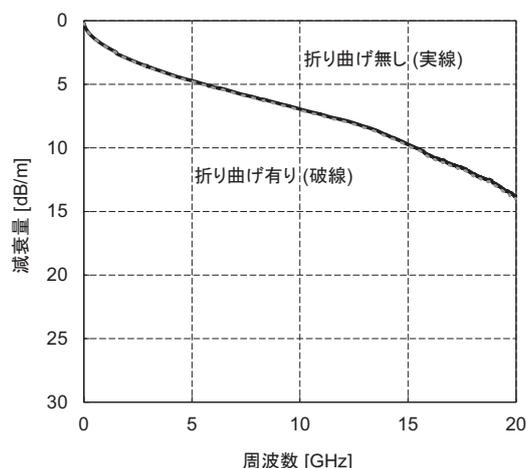


図4 減衰量の折り曲げによる影響

データが得られており、かようなリスクは極めて低いことがわかる。

4. SFP+およびQSFP+ケーブルの特性評価結果

4-1 SFP+ケーブル評価結果

SFP+は通信用モジュールの業界標準規格であるMSA (Multi Source Agreement) で定められたフォームファクタであり、伝送特性をはじめとした電気インタフェース仕様はSFF-8431⁽¹⁾で規定されている。SFP+ (パッシブケーブル) については、この中で“10GSFP+Cu”として仕様が定められており、その中の伝送特性に関する主要性能緒元を**表4**に示す。また、それぞれの項目に対する評価結果 (3m) を**図5**~**図8**に示す。

Vcmはケーブル伝送後に出力される共通モード電圧^{*3}の大きさであり、ケーブルのスキューの影響が最も見えやすい項目であるが、今回開発した低スキューの極細同軸ケーブルを使用することにより、規格に対して十分な実力を有することが確認できた。dWDPとVMA Lossは、ケーブル伝送後の信号波形の劣化の程度を表す項目であり、VCRは対向する他方のレーンに対するクロストーク^{*4}耐性を表す項目であるが、何れも良好な特性であることを確認した。尚、ここでは各規格に対してより特性的に厳しい3m品の評価結果を示したが、1m品も同様に良好な結果が得られた。

表4 10GSFP+Cu主要性能緒元

| 項目 | 最小 | 最大 | 単位 |
|---|------|------|----------|
| Output AC Common Mode Voltage (Vcm) | | 13.5 | mV (RMS) |
| Difference Waveform Distortion Penalty (dWDP) | | 6.75 | dBe |
| VMA Loss | | 4.4 | dBe |
| VMA Loss to Crosstalk Ratio (VCR) | 32.5 | | dB |

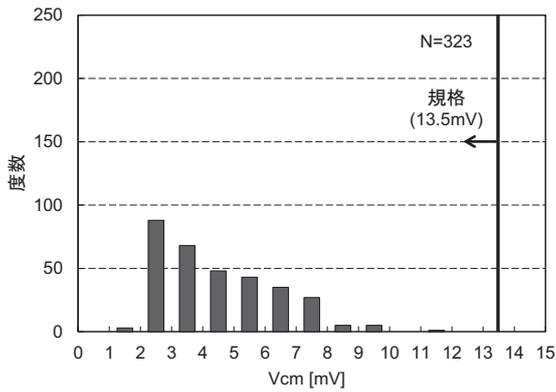


図5 Output AC Common Mode Voltage (Vcm)

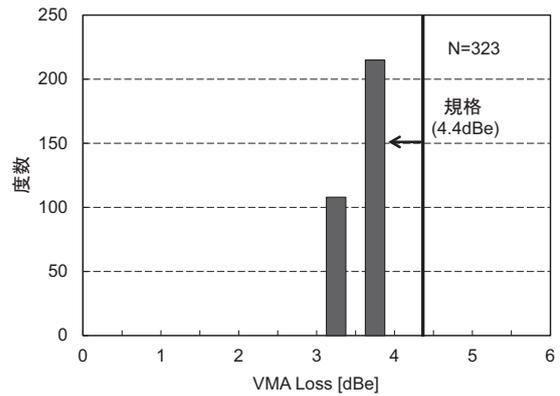


図7 VMA Loss

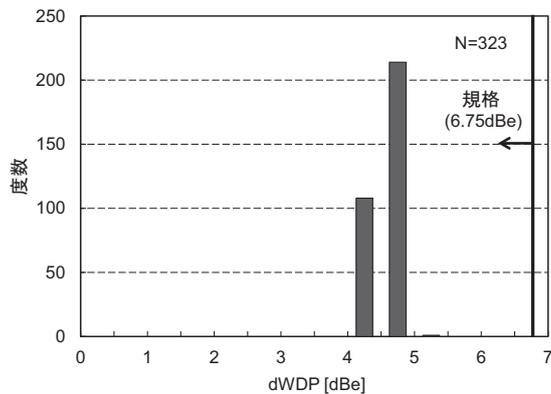


図6 Difference Waveform Distortion Penalty (dWDP)

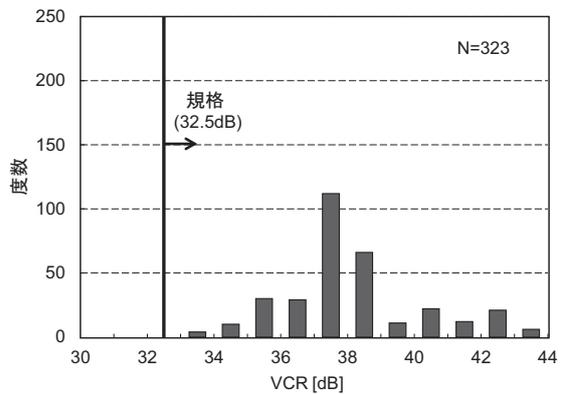


図8 VMA Loss to Crosstalk Ratio (VCR)

4-2 QSFP+ケーブル評価結果

QSFP+もSFP+同様にMSAで定められたフォームファクタであるが、電気インタフェース仕様については、MSAでは規定されておらず、イーサネット^{※5}やインフィニバンド^{※6}等の各通信規格を参照することになっている。本稿では40Gb/s (4x10Gb/s) 対応パッシブケーブルのイーサネット規格である40GBASE-CR4⁽²⁾に対する評価結果を報告する。表5に40GBASE-CR4の代表的な伝送性能緒元を、図9、図10に評価結果の典型例を示す。

ILは信号減衰量を表す項目であり、ケーブルのスキューが大きい場合、その値も大きくなるが、1m、3m共にレーン間のばらつきも小さく、規格に対して十分な実力を有することを確認した。ICNIは他の7つのレーン（同方向3レーン、対向方向4レーン）からのクロストーク耐性を表す項目であ

り、本項目を満足するにはケーブルに内包されている同軸線の高いシールド性能が求められるが、今回開発した同軸線は柔軟性を維持しつつ、シールド性も兼ね備えており、1m、3mともに良好な特性であることを確認した。

表5 40GBASE-CR4主要性能緒元

| 項目 | 最小 | 最大 | 単位 |
|-----------------------------------|----|--------|----------|
| Insertion Loss at 5.15625GHz (IL) | 3 | 17.04 | dB |
| Integrated Crosstalk Noise (ICN) | | 図10を参照 | mV (RMS) |

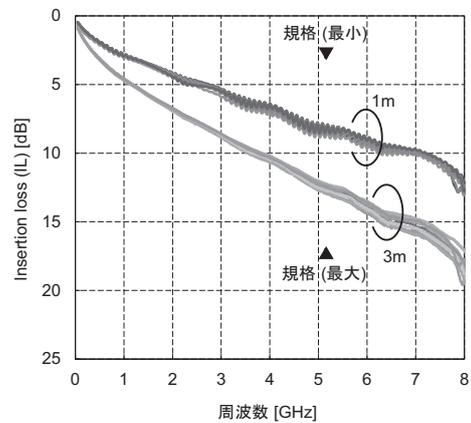


図9 Insertion Loss (IL)

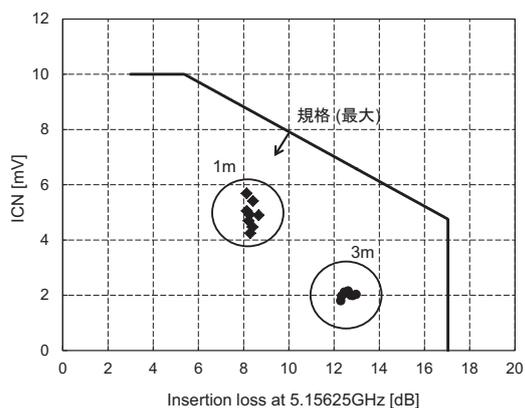


図10 Integrated Crosstalk Noise (ICN)

7. 結 言

極細同軸線の低スキュー化を実現したことにより、従来のツイナックス線を使用したダイレクトアタッチケーブルと同等の伝送特性を持ちながら、細くて柔軟性に優れ、かつ堅牢性も兼ね備えたデータセンター用ダイレクトアタッチケーブル (SFP+, QSFP+) の開発に成功した。本製品は高密度化するラック内の高速信号配線において、施工性や運用性、放熱性の面で大きく貢献できるものとする。

用語集

※1 ツイナックス線

絶縁被覆された2本の信号線とドレイン線を並行に配置し、周囲に導電性のテープを巻き付けてケーブルとしたもの。

※2 同軸線

絶縁被覆された1本の信号線の周囲を編組等の外部導体で覆ってケーブルとしたもの。差動伝送を行うには2本の同軸線が必要となる。

※3 コモンモード電圧

2本の信号線間で発生する同相の電圧。完全な差動信号の場合、コモンモード電圧は0Vとなるが、実際は正負信号間の振幅差や位相差 (スキュー) によって生じる。

※4 クロストーク

伝送信号が他の伝送線路に漏れること。本稿ではダイレクトアタッチケーブルの特定のレーンに対して他のレーンから信号が漏れることを指す。

※5 イーサネット

通信ネットワーク規格の一つ。LAN (Local Area Network) の実質的な標準規格として広く普及している。

※6 インフィニバンド

IBTA (InfiniBand Trade Association) が策定したサーバーや外部ストレージ用の高速インターフェース規格。

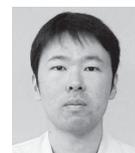
・ Ethernet およびイーサネットは、富士ゼロックス(株)の登録商標です。

参考文献

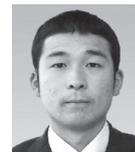
- (1) SFF-8431 Specification for Enhanced Small Form Factor Pluggable Module SFP+ Rev 4.1 (July 6, 2009)
- (2) IEEE 802.3ba™-2010 Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 40Gb/s and 100Gb/s Operation

執 筆 者

前田 靖裕* : 住友電工電子ワイヤー(株) 主席



島田 健作 : 光通信研究所



磯谷 佑樹 : 住友電工電子ワイヤー(株)



林下 達則 : 住友電工電子ワイヤー(株)



春本 道子 : 光通信研究所 グループ長



*主執筆