シールド付きツイストペアケーブルのノイズ耐性評価

渡邊 陽介*, 佐々木 雄一*, 宮崎 千春*, 岡 尚人*, 三須 幸一郎*

Noise Immunity of Twisted Pair Cable with Shielded Sheath

Yosuke WATANABE*, Yuichi SASAKI*, Chiharu MIYAZAKI*, Naoto OKA*, and Koichiro MISU*

* 三菱電機株式会社情報技術総合研究所 (〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船5-1-1)

* Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation (5-1-1 Ofuna, Kamakura-shi, Kanagawa 247-8501)

1. はじめに

さまざまな電気・電子機器に対して高速差動伝送の適用が進んでいる中で、その通信線の伝送品質の向上を目的とした、シールドシース付き平衡ケーブル、STP(Shielded Twisted Pair)ケーブルの利用例が増えている。図1の模式図のとおり、STPケーブルとは、平衡ケーブルの芯線をシールドシースと呼ばれる外導体で包むことで電磁的に遮蔽する構造をもつケーブルのことである。しかし、STPケーブルを利用してシステムを構築する際には、ケーブルのシールドシースが十分に接地されていないと、システム全体のノイズ耐性が劣化してしまう可能性がある。

一方、同軸ケーブルなどのシールドケーブルに関するシールド効果は、これまでも検討がなされており、文献などにも実例が示されている¹⁾。しかし、Ethernetなどの数十～数百MHzまでの周波数成分をもった高速差動伝送を対象として、ノイズ耐性などを評価した例は少なく、過去の事例の踏襲や経験則によって設計がなされることが多い。

以上を踏まえ、本稿では、STPケーブルのシールドシースの接地状態に対するノイズ耐性の把握を主目的とし、Ethernet用のSTP(Shielded Twisted Pair)ケーブルのシールドシースの接地に対するノイズ耐性について、各種の検討を行った結果を述べる^{2),3)}。

図1. STPケーブルの模式図

2. STPケーブルの端末条件

本稿で対象とするSTPケーブルは、カテゴリ7のEthernetケーブルの4対の芯線のうちから、アルミのシールドシースを含めた1対分を抜き出したペア線とする。このケーブルを2.0mの長さで切り出して評価を行う。STPケーブルの両側の端末において、それぞれの芯線にSMAコネクタを取り付け、STPケーブルと測定器を接続できるようにした。また、STPケーブルのSMAコネクタは、アルミ板で作製した固定用の治具にネジで固定し、基準とするグラウンド面から高さ10cmの位置にケーブル端末部分を固定できるようにした。その外観図を図2に示す。

図3に、本稿で検討したSTPケーブルのシールドシース

図2. STPケーブルの端末部分

図3. シールドシースのビグテール接地条件、本数

図4. 反射特性、通過特性の測定系

の接地の各条件を示す。(a)に示したものはSTPケーブルからシールドシースをはがして、非シールド平衡ケーブル、UTP (Unshielded Twisted Pair) ケーブルと同等にした状態である。この条件を「UTP」と呼ぶことにする。(b)はSTPケーブル末端のシールドシースを接地せずにそのままにした状態である。この条件を「STP シース接地無し」と呼ぶことにする。(c)の条件はSTPケーブルのシールドシースに直径1.0mmの導線（ピグテール接地線）を付けて、その線を経由して金属治具、すなわち基準グラウンドに接地した状態である。この条件を「STP ピグテール接地」と呼ぶことにする。最後の(d)の条件は、シールドシースでケーブルの芯線の全体を包み込むようにかぶせ、基準グラウンドに接地した状態である。この条件を「STP シース直接接地」と呼ぶことにする。このとき、SMA コネクタとの接続のために露出した芯線がシールドシースと接触して短絡することがないように、接続部分に絶縁テープを巻いて保護した。また、シールドシースと金属治具で閉めなかったすき間は、すべて導電性テープでふさいで固定している。

以上の接地条件をパラメータとして、本稿では各STPケーブルのノイズ耐性として、伝送特性と外来ノイズ誘導特性の2つを測定している。これらの2つの特性から、それぞれのシールドシースの接地状態に対する「ノイズの伝播しやすさ」と「ノイズの誘起しやすさ」を評価する。

3. STPケーブルの伝送特性

3.1 反射特性、通過特性の測定結果

まず、STPケーブルの基本的な伝送特性を評価するために、ディファレンシャルモードの通過特性と反射特性を測定した。図4に反射特性、通過特性の測定系を示す。基準グラウンドの上に高さ10cmの発泡スチロールのブロックを置き、その上に前述のSTPケーブルを敷設した。シールドシースの接地については、前章で示したシース接地の各条件をケーブルの近端、および遠端の両方の端末に施した。このSTPケーブル両側のSMA コネクタにMixed Mode S Parameter 解析機能を備えた4ポートネットワークアナライザを接続し、ディファレンシャルモードの信号に対する反射特性と通過特性を測定した。ネットワークアナライザの各設定を表1に示す。

表1. ネットワークアナライザ設定

ネットワークアナライザ	Agilent N5230A
測定周波数	300 kHz~300.3 MHz
ポイント数	301 (1 MHz step)
IFBW (IF 帯域幅)	1 kHz
信号印加レベル	-8 dBm
アベレージ	16回

図5. 接地条件に対するディファレンシャルモード通過特性

図6. 接地条件に対するディファレンシャルモード反射特性

図5に接地条件に対するディファレンシャルモード通過特性を、図6に接地条件に対するディファレンシャルモード反射特性を示す。これらの図より、ディファレンシャルモードの通過特性は300 MHzにおいて最大-1.3 dB程度となること、また反射特性は-20~-50 dB程度を推移し、約40 MHzおきの周期的な落ち込みをもつことがわかる。ここで、接地条件別に比較をすると、条件による差異は大きくは見られない。

以上より、STPケーブルのシールドシース接地条件は、ディファレンシャルモードの通過・反射特性にはあまり関連しないことがわかる。

3.2 対地平衡度 (LCL, LCTL) の測定結果

次に、STPケーブルのシールドシース接地条件に対する対地平衡度を測定した。対地平衡度の中には、LCL (Longitudinal Conversion Loss) や LCTL (Longitudinal Conversion Transfer Loss) があり、これらは平衡ケーブルに印加したコ

図7. LCL と LCTL の概要

図8. 接地条件に対する LCL 特性

モンモード電圧がディファレンシャルモード電圧へ変換される比を表している⁴⁾。すなわち、高いLCL, LCTLの値をもつ系は、コモンモードからディファレンシャルモードへの変換が起こりにくい系ということになる。よって、これらの値は、伝播信号から不要なノイズに変換される比であることから、伝送特性の観点から見たノイズ耐性と見なすことができる。

LCLとLCTLの違いは、変換されたディファレンシャルモード電圧を観測する位置が異なるだけである。LCLはコモンモード電圧の印加側端末での変換比、LCTLは印加反対側の端末での変換比を表している。図7にその概要を示す。本節では、その測定方法と結果を述べる。

対地平衡度の測定系は図4と同じであり、ネットワークアナライザのMixed Mode S Parameter機能によって、LCL, LCTLを測定した。この測定では、ネットワークアナライザからコモンモード信号を入力したときに、近端側に現れるディファレンシャルモード信号との比がLCL、一方、遠端に現れるディファレンシャルモード信号との比がLCTLとなる。ネットワークアナライザの諸設定は、表1と同じである。

図8に各接地条件のLCL測定結果を示す。UTPが最もLCLが高く、次いでシース接地無し、シース直接接地、ピグテール接地の順に低くなっていく。よって、STPケーブルのLCLはUTPケーブルよりも低い値で推移することがわかった。この原因として考えられるのは、ケーブル芯線と基準グラウンドの間隔である。シールドシースをもたないUTPでは、芯線と基準グラウンドの間隔をSTPケーブルよ

図9. 接地条件に対する LCTL 特性

りも広く取ることができるため、芯線の構造ばらつきの影響が相対的に小さくなり、LCLが高くなったと考えられる。一方、STPケーブルの場合は、シールドシースが浮いた導体として作用するために、芯線と基準グラウンドの間隔が固定されずに、LCLが低下したと考えられる。しかし、シールドシースを直接接地させれば、ピグテール接地の場合よりもLCLを約10dB改善できる。

図9にLCTLの測定結果を示す。LCTLもLCLと同様の傾向であるが、ピグテール接地のレベルが極端に低くなっている。一方、シース直接接地のレベルは、UTPと同じ程度にまで高くなっており、LCLよりもその違いが顕著となっている。

以上の測定結果より、LCL, LCTLが全体的に高くなるのはUTPの条件であることがわかる。したがって、伝送信号から不要なノイズへの変換抑制を主目的とする場合は、UTPケーブルを使用したほうがよいといえる。しかし、STPケーブルを使用した場合でも、シールドシースの両端を直接接地することで、UTPケーブル並みの特性が得られる。だが、不用意にピグテールで接地してしまうと、ケーブルの伝送特性に影響を与える可能性がある。

4. STPケーブルの外來ノイズ誘導特性

4.1 外來ノイズ誘導特性の測定結果

ここでは、シールドシースの接地状態に対するノイズの誘導のしやすさを評価するために、STPケーブルに対する外來からのノイズの誘導特性を測定した。本章ではノイズ誘導特性の測定法と結果を述べる。

図10に測定系を示す。STPケーブルの敷設条件は、これまでと同じである。ここでは、STPケーブルの遠端側の端末コネクタに付いていた同軸ケーブルを外し、50Ω抵抗を装着して終端した。また、このSTPケーブルの中央の部分にケーブルの2本の芯線をシールドシースごと電流プローブ(FCC社製 Current Probe F-62 type, Bandwidth: 1MHz~1GHz)を挟み、ケーブルの外側からコモンモードノイズを印加する系とした。この系にネットワークアナライザを接続し、Mixed Mode S Parameter機能で電流プローブから印

図10. 外来ノイズ誘導特性の測定系

図11. ディファレンシャルモードへの誘導特性

加したシングルエンド信号に対して、ケーブル芯線に誘起されたディファレンシャルモード信号とコモンモード信号のレベル比をそれぞれ測定した。この比をそれぞれのモードのノイズ耐性とした。このとき、評価対象のSTPケーブルのシース接地状態によって、測定系全体のコモンモードインピーダンス (Z_{comm}) が変動するため、電流プローブの接続入力端の反射特性を各接地条件で測定し、その値でノイズ耐性の測定結果を補正した。

図11に、ディファレンシャルモードへの誘導特性を示す。UTPとシース直接接地では、誘導レベルが全体的に低く抑えられている。一方、シース接地無しやピグテール接地の誘導レベルは、前述の2条件より10dB程度高くなり、外来からのノイズに弱くなっている。これは接地が十分でないシールドシースが浮いた金属となり、ケーブル芯線と結合して、ノイズの誘導要因となったためと考えられる。

図12にコモンモードへの誘導特性を示す。シース直接接地では、他の条件より20dB以上低い誘導レベルとなっており、外来からのノイズに対して強いことがわかる。一方、シース接地無しやピグテール接地の特性は、UTPの値と大差なく、ノイズ抑制効果はほとんど得られていない。

図11におけるUTPとシース直接接地のそれぞれの条件による値の差は、図12のデータほど大きくない。また、今回使用したネットワークアナライザのダイナミックレンジは約-80dBまでであったため、この値を下回る測定ができなかった。よって、実際のシース直接接地のノイズ誘導特性は、図11の値よりさらに低くなる可能性がある。

以上より、ケーブル外側から印加された外来ノイズに対

図12. コモンモードへの誘導特性

図13. 接地箇所による誘導特性の差 (ディファレンシャルモード)

して、ディファレンシャルモード、コモンモード両方の誘導を抑制するためには、STPケーブルの両端のシールドシースを直接接地するべきとの結論が得られる。

4.2 シールドシースの接地箇所の影響

これまでシールドシースを近端、遠端の両側で接地してノイズ誘導特性を測定していたが、ここでは図10における近端と遠端のどちらか一方のみの接地で、両側接地と同じ効果が得られるか検討する。このときのシールドシースの接地条件は、シールドシース直接接地に固定し、測定を行った。

図13に接地箇所によるディファレンシャルモードへの誘導特性を示す。図にはSTPシース直接接地の接地箇所別のデータに加え、UTP、シース接地無し、両端ピグテール接地の特性も比較のために併せて示している。この図より、遠端シース直接接地が他の場合と比べて、約5dB特性が劣化していることがわかる。しかし、その差が現れるレベルも-60dBと相対的に低いレベルでの差であり、ノイズの誘導に大きな影響を与えるほどの違いにはなっていない。したがって、ディファレンシャルモードについては、どの箇所でも接地してもノイズ誘導特性には影響ないと考えられる。

図14に接地箇所によるコモンモードへの誘導特性を示す。この図によると、両端シース直接接地以外の条件では20dB以上、ノイズ誘導特性が劣化している。よって、片方の端末のみの接地はコモンモードに対する抑制する効果

図 14. 接地箇所による誘導特性の差 (コモンモード)

がほとんどないことがわかる。以上より、外来ノイズからの誘導をディファレンシャル・コモンモードの両方で抑制するためには、ケーブル両端でシールドシースを直接接地する必要があることがわかる。

5. まとめ

本稿では、STPケーブルのノイズ耐性について、STPケーブルのシールドシースの接地方法をパラメータとして実験的に検討した。シールドシースの接地に対するケーブルの伝送特性の通過特性・反射特性・対地平衡度 (LCL, LCTL) を測定した結果、下記が明らかとなった。

- 伝送信号からノイズへ変換を抑制したい場合には、UTPケーブルを使用したほうがよい
- STPケーブルを使用する場合は、シールドシースの両端を直接接地することで、UTPケーブルと同等のレベルまで、伝送信号からノイズへの変換を抑制することができる

次に、ディファレンシャルモード・コモンモード信号に対する外来ノイズの誘導特性を測定し、下記が明らかとなった。

- 外来ノイズ耐性を高めるためには、STPケーブルの

シールドシースを直接接地する必要がある

- STPケーブルの両端を接地しなければ、コモンモードに対する外来ノイズ耐性が劣化する

これらの結果からわかる UTP ケーブルと STP ケーブルの違いは以下のとおりである。

- UTP ケーブルは、対地平衡度が良好であり、ディファレンシャルモードに対するノイズ耐性は高いが、シールドシースをもたないため、コモンモードに対する誘導を抑えることができない
 - STP ケーブルは、端末両側のシールドシースを直接接地すれば、ディファレンシャルモード・コモンモード両方のノイズ耐性を高めることができるが、シールドシースの接地がない場合、またはピグテール接地が十分でない場合は、伝送特性、対地平衡度、ノイズ耐性のすべてにおいて、UTP ケーブルよりも悪い特性となる
- 以上を踏まえると、ノイズ耐性向上のために STP ケーブルを用いる場合には、シールドシース両端の十分な接地が必須となるため、端末部分の接続コネクタも含めたシールド設計がより重要になってくる。

(2011.4.28-受理)

文 献

- 1) D. R. J. White: "EMC Handbook Vol. 3," DON WHITE CONSULTANTS INC., 1973
- 2) 渡邊陽介, 熊本武文, 佐々木雄一, 宮崎千春, 岡 尚人, 三須幸一郎: "シールドシース付き平衡ケーブルのノイズ耐性評価に関する検討," 2009 信学総大, No. B-4-66, p. 349, Sept. 2009
- 3) 渡邊陽介, 佐々木雄一, 宮崎千春, 岡 尚人, 三須幸一郎: "シールドシース付き平衡ケーブルの端末処理とノイズシャヘイ効果," 2010 信学総大, No. B-4-8, p. 358, Mar. 2010
- 4) ITU-T Rec. G. 117 (02/96), Feb. 1996