

ホワイトペーパー
シールドコネクタを活用した
ペア内スキューにて
引き起こされたEMIの軽減技術

2023年11月

はじめに

電気信号が伝送される経路は、システムの電磁両立性を助けることもあれば悪影響を及ぼす場合もあります。一般的な経路には、PCB トレース、コネクタ、ケーブルなどがあります。ペア内スキューがどのように EMI を引き起こすかを知るには、まず EMI を定義する必要があります。

EMI とは何か？

EMI(Electromagnetic Interference)とは電磁干渉の略で、外部ソースから発生する電子回路内の不要なノイズのことです。EMI は、発生源から影響を受けるデバイスまでさまざまな経路を辿る可能性があります。一般的な伝導経路は空間放射と導体伝導の 2 種類があります。空間放射型の電磁干渉は、電子機器が無線周波数(RF)信号を発生させ、それが拾われて不要な影響を引き起こす場合に発生します。導体伝導型の電磁干渉は、意図しないエネルギーが信号ケーブルや PCB トレースを経由して発生源から伝導される場合に発生します。

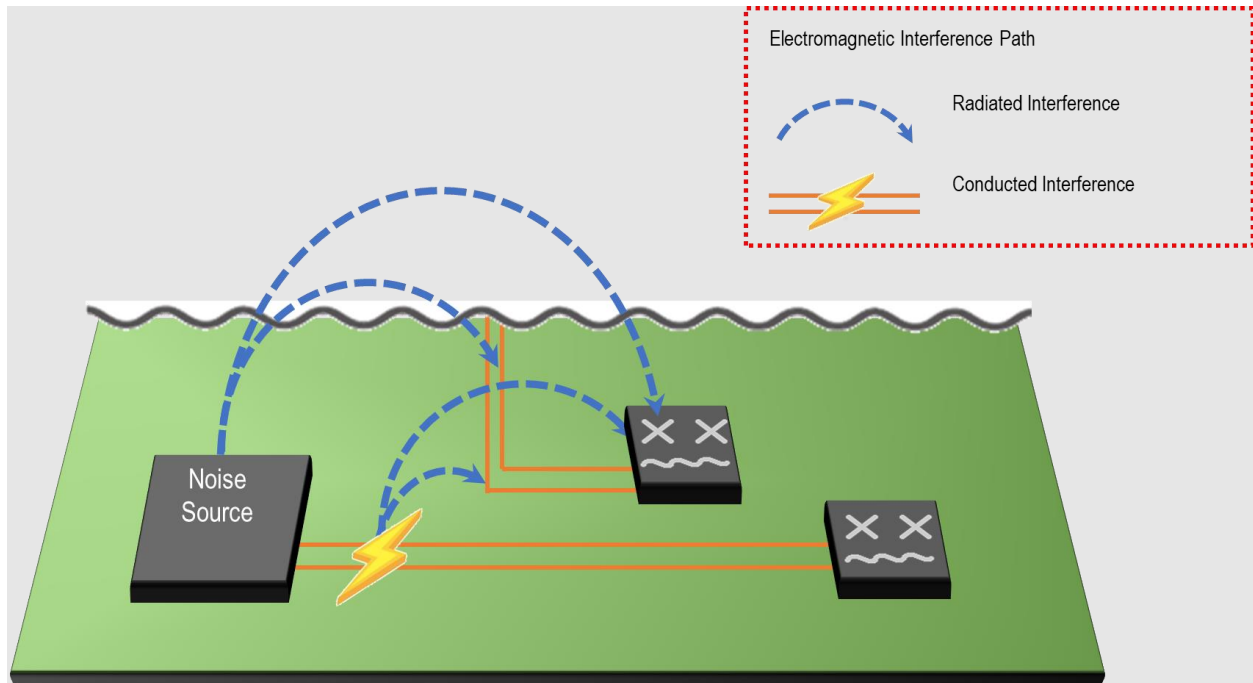


図 1. 電磁干渉経路

一般的なノイズ発生源にはアンテナ、RF チップ、電源などがあります。EMI の弊害には、規定されている放射試験に不合格になることや、近隣のアンテナ感度に影響を与えることなどがあります。

EMI 要件の進化

過去 40 年間で、EMI の要件は進化してきました。1985 年、クレイは世界で最もパワフルなスーパーコンピュータを作りました。現在では、その計算能力はスマートフォンに搭載されています。1980 年代には、典型的なコンピューティング・システムには金属ケースからなるシステム・レベルのシールドで十分でした。現在のコンピューティング・システムは手持ちサイズに小型化され、外部ケーブルはカットされ、放射素子(アンテナ)が機能として意図的に追加されています。そのため、放射箇所を互いに隔離するために、コンポーネントレベルでのシールドが必要になりました。

ケーブルアセンブリと EMI

前述したように、ケーブルアセンブリは、今日の電子機器における電気信号通信における一般的な手段です。ケーブルアセンブリが EMI にどのような影響を与えるかを知るためには、ケーブルアセンブリの構成要素、すなわちケーブルの構造と両端のコネクタを知ることが必要です。

シールドされていないケーブルには、ディスクリートワイヤーとツイストペアの 2 種類があります。

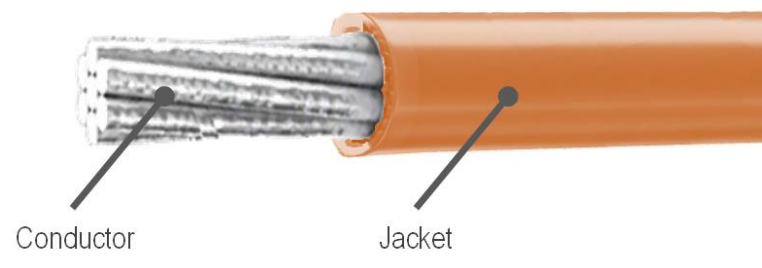


図 2. ディスクリートワイヤー構造

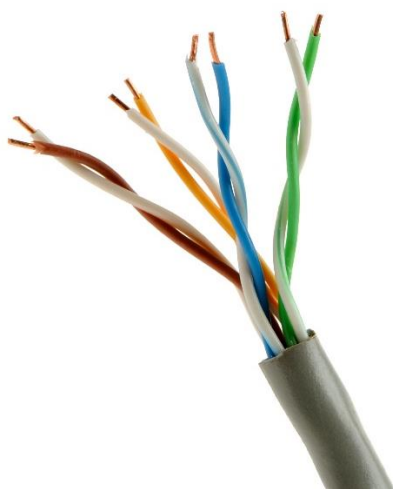


図 3. ツイストペア

どちらも導体の周囲にシールドがないため、EMI 放射を防ぐことはできません。

シールドケーブルは導体にシールドを巻くことで EMI を軽減します。一般的な例としては細線同軸ケーブルとシールド付きツイストペアがあります。

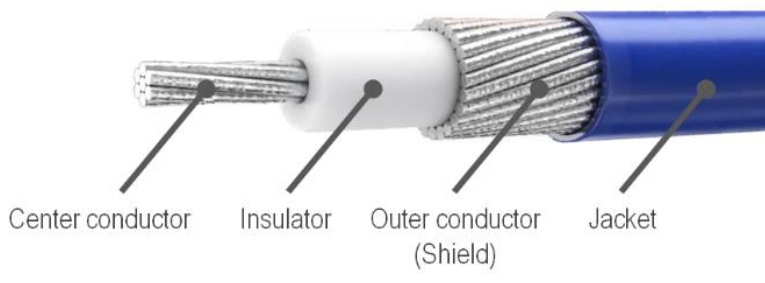


図 4. 細線同軸ケーブルの構造

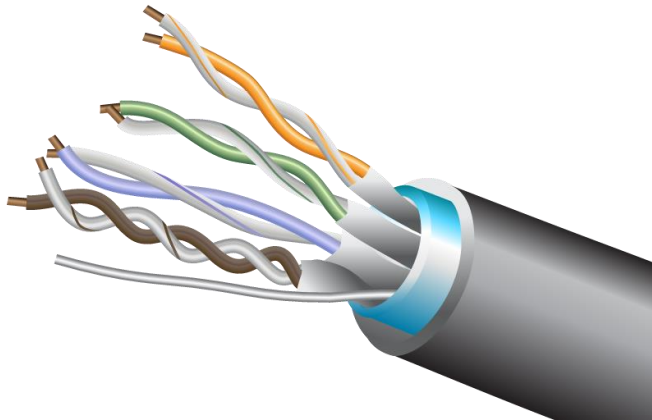


図 5. シールド付きツイストペア

導体のシールドはケーブルからの直接的な放射の抑制に役立ちますが、差動ペア内のミスマッチも EMI を悪化させます。このミスマッチはペア内スキューの原因となります。

ペア内スキュー

ペア内スキュー(P/N スキュー)とは、差動ペア内のプラスとマイナスの信号線間のタイミング差のことで、電氣的な長さの不一致や不均等な伝搬遅延によって生じます。

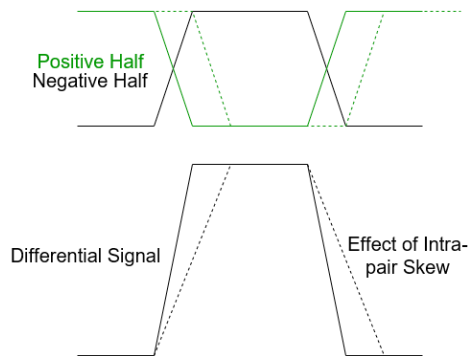


図 6. スキューのない PN ペア(実線)とスキューのある P レーン(破線)の差動信号、スキューのある P レーン(破線)。[画像引用元:www.PracticalEE.com]

P/N の長さが著しくミスマッチしたケーブルアセンブリは、差動ペアの長さがマッチしたケーブルアセンブリよりも大きな電界(E-フィールド)を発生します。以下は、細線 同軸ケーブルとシールドなしコネクタを使用したケーブルアセンブリの E フィールドプロットのシミュレーション結果比較です。左のプロットは長さがマッチした差動ペアであり、右のプロットはペア内に 4mm のミスマッチがあります。長さのミスマッチはペア内スキューを引き起こし、より大きな E フィールドをもたらします。

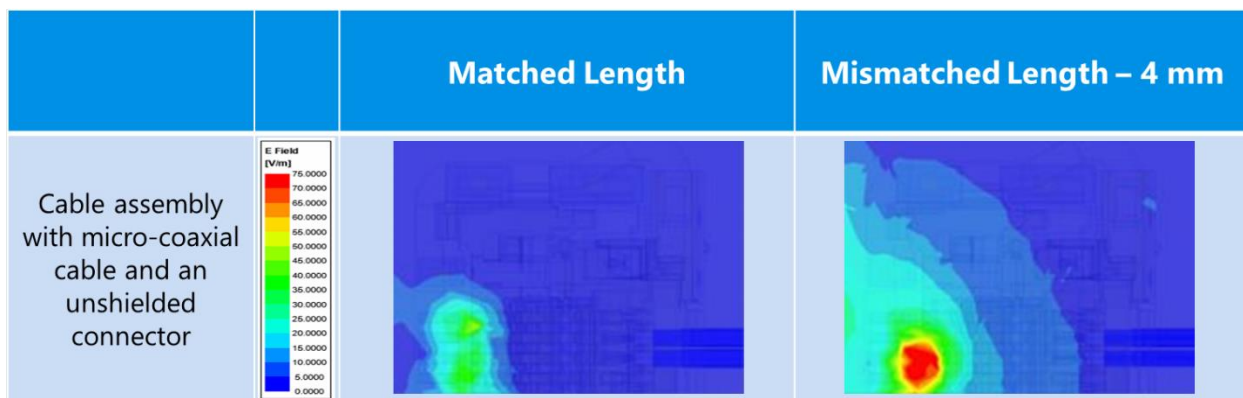


図 7. 長さがマッチしたケーブルアッセンブリと 4mm のミスマッチがある E フィールドの比較

シールド付きコネクタは、EMI を軽減するために、この E フィールド発生の抑制に役立ちます。しかしシェルやシールドのあるコネクタであれば何でも良いというわけではありません。E-フィールドを抑制するためには、シールドがシグナルコンタクトを完全に囲む必要があります。I-PEX では ZenShield® という技術を用いて、様々なコネクタ製品に EMI シールドを施しています。

フルシールドされた ZenShield®コネクタ

以下の 3 つの特徴を持つコネクタを ZenShield®対応品として取り扱っております：

1. 信号端子の接点部だけでなく基板実装部(コンタクト SMT 部)まで全体がコネクタシールドで覆われている
2. Plug と Receptacle のシールド同士が多点で適切にグランド接続されている
3. コネクタシールドが基板(FPC コネクタの場合は FPC)にも多点で適切にグランディングされている

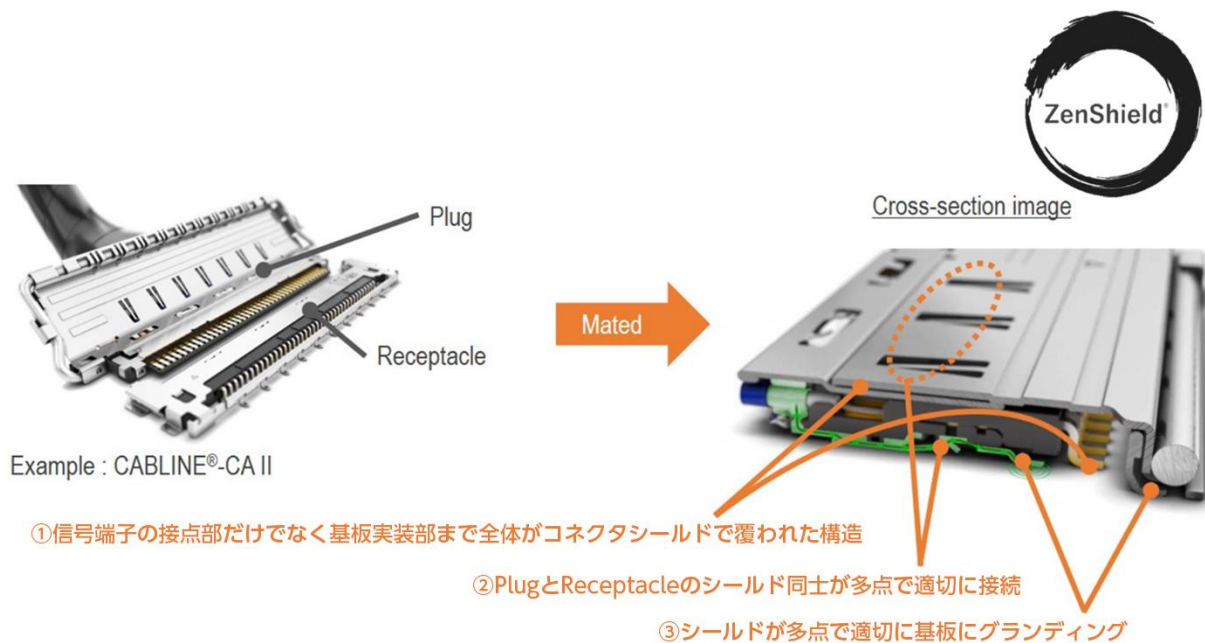


図 8. ZenShield®コネクタの 3 つの特性

ZenShield®コネクタは E フィールドがコネクタの外部に漏れるのをブロックします。下図に示すように、左側のシールドなしコネクタからは E フィールドが自由に放射されます。右側の ZenShield®コネクタは不要な放射がコネクタ外部へ漏れるのを遮断します。

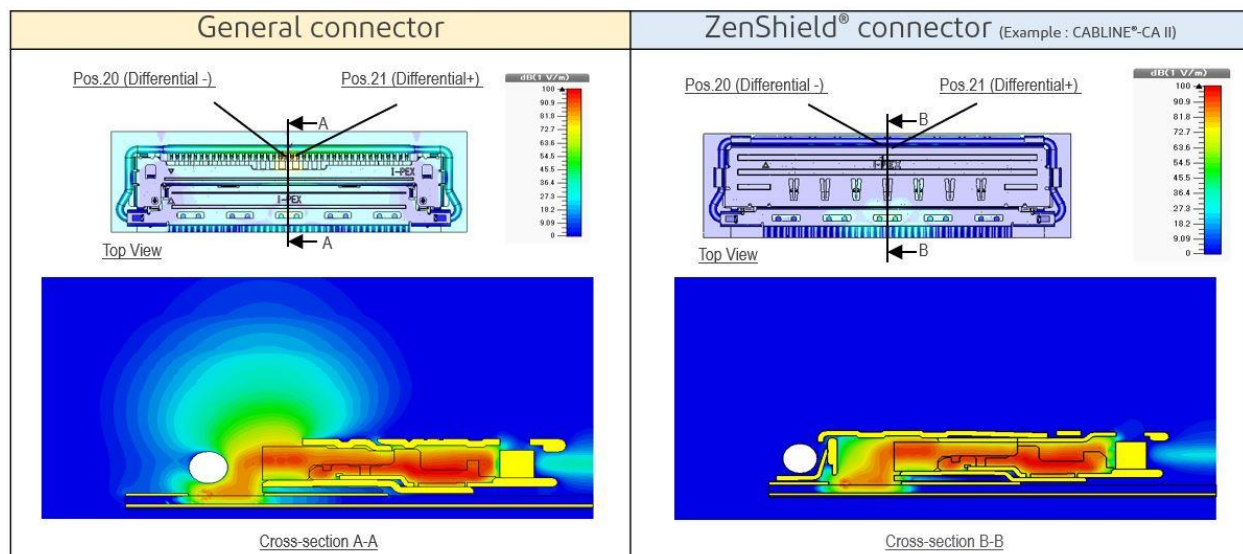


図 9. シールドなしコネクタと ZenShield®コネクタの比較

ペア内スキューによる EMI のシミュレーション

ZenShield®コネクタがペア内スキューによる EMI を軽減することを示すため、以下の条件でシミュレーションを行いました：

1. 細線同軸ケーブルアセンブリの両端にシールドなしコネクタを使用
2. 細線同軸ケーブルの両端にシールドコネクタを使用
3. いずれのケーブルアセンブリも以下のそれぞれの長さでのミスマッチ条件でシミュレーション：
 - a. P/N ミスマッチなし
 - b. 1mm の小さな P/N ミスマッチ
 - c. 4mm の大きな P/N ミスマッチ
4. すべてのシミュレーション条件で 10Gbps の差動入力データを使用
5. E フィールドプロットはコネクタ上 0.5mm で測定

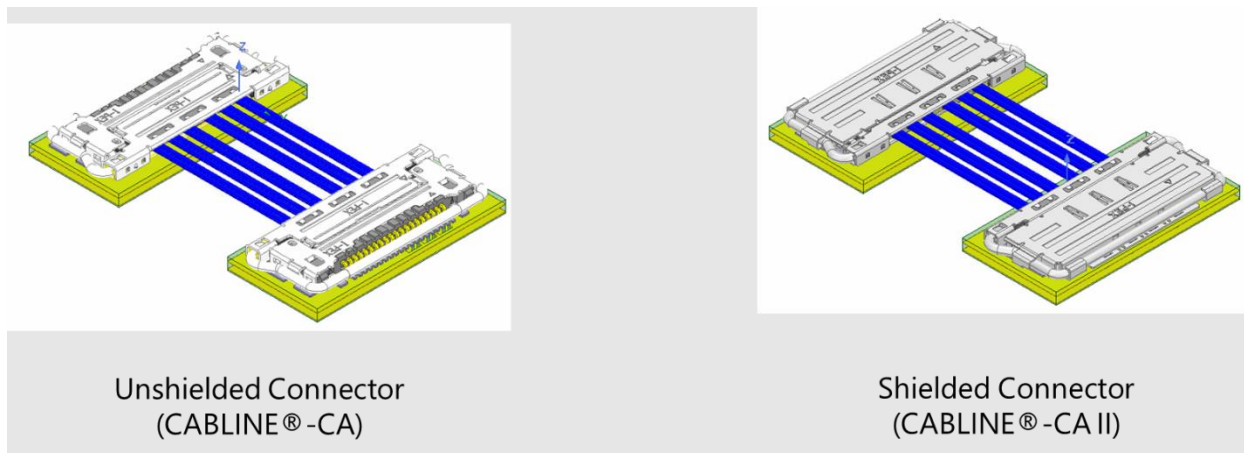


図 10. シールドなしケーブルアッセンブリとシールドケーブルアッセンブリのシミュレーションモデル、およびシールドケーブルアッセンブリのシミュレーションモデル

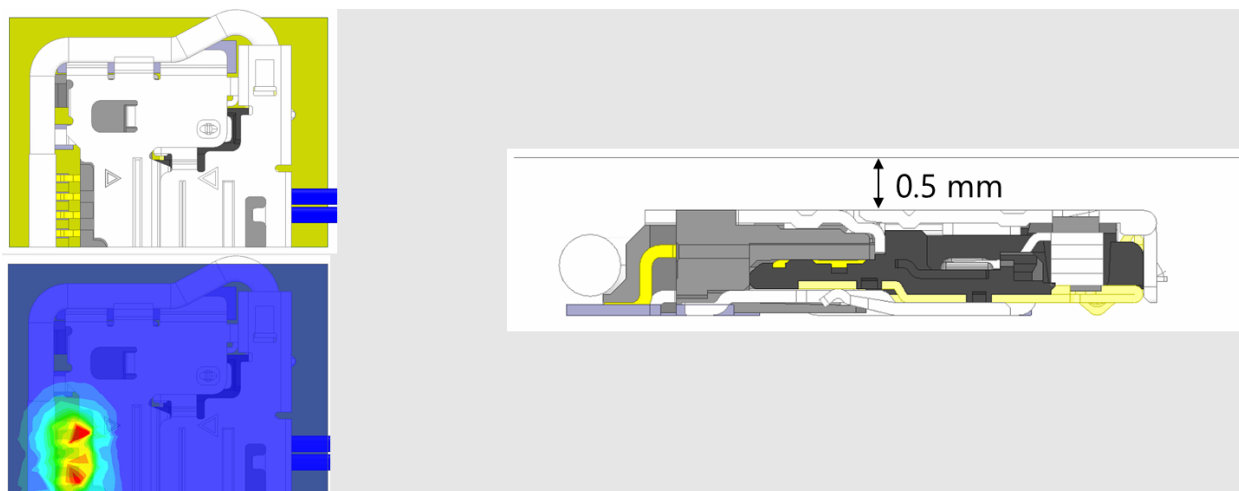


図 11. E フィールドプロットの参照面

シミュレーション結果では、10Gbps での実効ペア内スキュー(EIPS)は、条件 3(a)の P/N ミスマッチなしが 0.2ps、条件 3(b)の P/N ミスマッチ小が 1mm が 3.5ps、条件 3(c)の P/N ミスマッチ大が 4mm が 16.6ps でした。

Condition	Skew (ps)
No P/N mismatch	0.2
Small P/N mismatch of 1 mm	3.5
Large P/N mismatch of 4 mm	16.6

表 1. 10Gbps での実効ペア内スキュー

ミスマッチは差動から共通モードへの変換データでも明らかでした。ミスマッチが大きいほどモード変換は大きくなります。これは差動ペアが不均衡であることから予想された結果です。

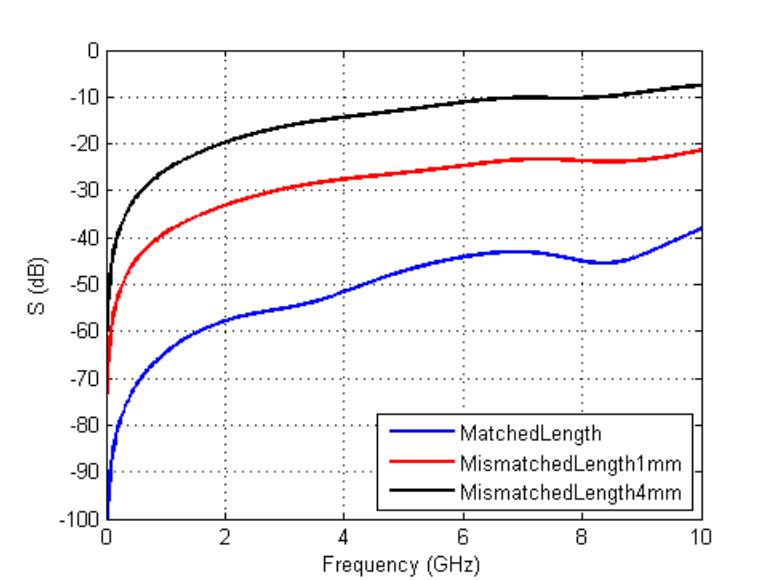


図 12. 差動から共通モードへの変換結果

シールドなしコネクタとシールド付きコネクタの E フィールドプロットを比較すると、ペア内スキューが EMI に与える影響が大きく、シールド付きコネクタを使用するメリットがあることがわかりました。

下図の左から右へミスマッチが大きくなるにつれて、シールドなしコネクタを表す表の上段では E フィールド強度が大きくなっているのがわかります。しかしシールド付きコネクタの結果を示した下段では同じ現象は見られません。これは、E フィールドが ZenShield®コネクタ内に抑制されているためです。これは図 14 に示すコネクタの側面図で確認できます。

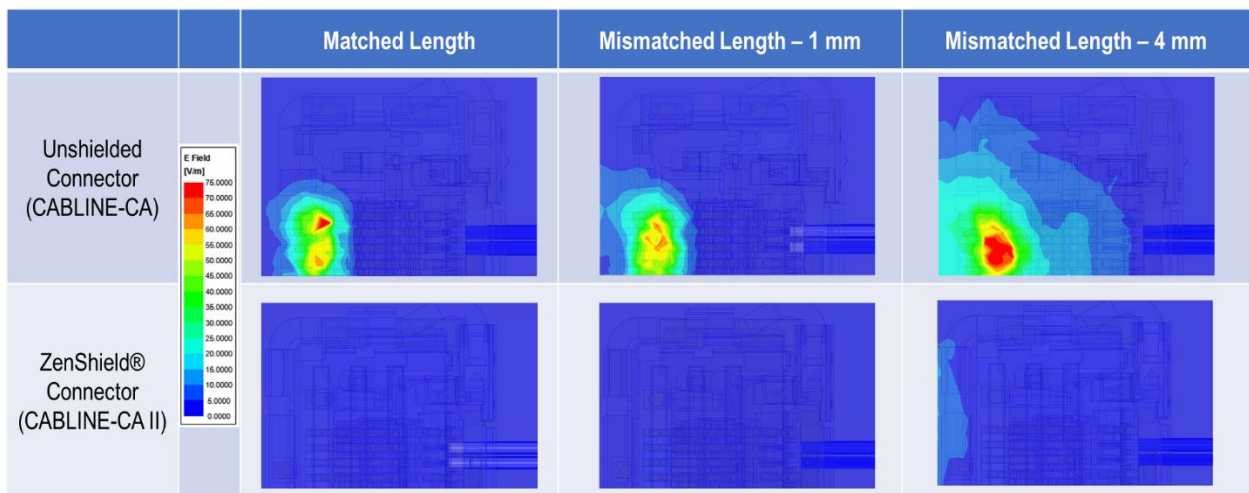


図 13. シールドなしコネクタと様々な P/N ミスマッチのシールドコネクタの上面図からの E フィールドプロット

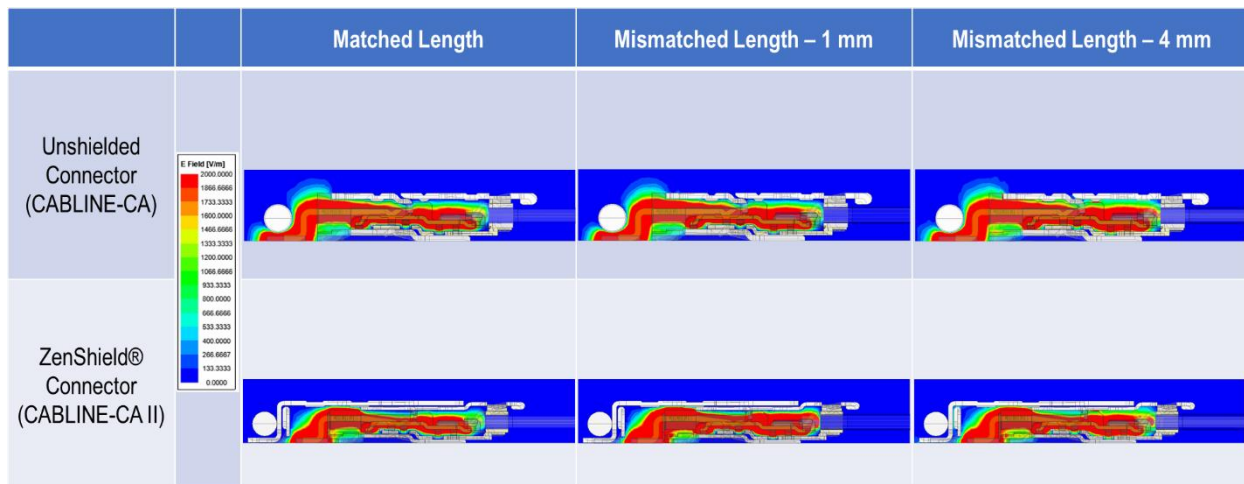


図 14. シールドなしコネクタと様々な P/N ミスマッチのシールドコネクタの側面からの E フィールドプロット

結論

このホワイトペーパーに記載されているテストでは、ZenShield®コネクタはペア内スキューによって引き起こされた EMI を軽減し、ケーブル長の不一致に対する製造および組み立て公差のマーヅンを追加で持たせる理想的なソリューションであることが明らかにされています。

I-PEX