



I-PEX

# ZenShield<sup>®</sup> White Paper

ミリ波およびマルチギガビットアプリケーション向け  
EMCソリューション



## 概要

FCC によって規定される放射エミッション制限に準拠することは、昨今のデジタルシステム設計者にとってはますます困難な課題となっています。最終的な FCC システムレベルテストでの放射エミッション試験に合格するために適切な構成部品を選定する必要があり、システム設計エンジニアは長年にわたり苦勞をしてきました。

本稿では、低コストかつ高性能な相互接続コネクタ製品シリーズそれぞれの放射特性を評価する上で、一般的にアンテナ性能として用いられる放射指向性の解析を用いるなど、内部接続部品のシールド性能を向上させるためにさまざまな手法を評価致しました。

## 目次

背景 .....	2
ZenShield®ファミリー .....	4
コネクタの EMC 性能の分析 .....	6
放射電界エミッション .....	6
第 1 章 .....	7
HFSS 3D 電磁界シミュレーションの結果 .....	7
カテゴリ 1 の結果.....	8
カテゴリ 2 の結果.....	11
カテゴリ 3 の結果.....	14
カテゴリ 1、2、3 コネクタの比較 .....	17
第 2 章 .....	17
最大放射電界解析 .....	17
最大放射電界(シールドコネクタからの放射)と FCC OATS または 3m 法で測定された電界との関連性...	18
結論 .....	23

## 背景

1976年、米国連邦通信委員会(FCC)が“意図しない放射を含む放射エミッション”に対してCFR47 Part 15, Subpart Bを規定して以来、電子機器業界は長い道のりを歩んできました。CFR47 Part 15, Subpart Bでは、10kHzを超える同期信号を含むあらゆるデジタル信号方式に対して、規定された放射エミッション制限を満たすことが求められています。

放射エミッションは以下の2分類に対して、各々に制限が規定されています。(図1)

1. Class A 業務用機器で放射エミッションの制限がある程度厳しいもの
2. Class B 消費者向けに市販されるデバイスで厳しい制限が少ないもの

Title 47 → Chapter I → Subchapter A → Part 15 → Subpart B → §15.109

[Browse Previous](#) | [Browse Next](#)

Title 47: Telecommunication  
PART 15—RADIO FREQUENCY DEVICES  
Subpart B—Unintentional Radiators

---

**§15.109 Radiated emission limits.**

(a) Except for Class A digital devices, the field strength of radiated emissions from unintentional radiators at a distance of 3 meters shall not exceed the following values:

Frequency of emission (MHz)	Field strength (microvolts/meter)
30-88	100
88-216	150
216-960	200
Above 960	500

(b) The field strength of radiated emissions from a Class A digital device, as determined at a distance of 10 meters, shall not exceed the following:

Frequency of emission (MHz)	Field strength (microvolts/meter)
30-88	90
88-216	150
216-960	210
Above 960	300

図1 FCC CFR47 Part 15, Subpart B 放射エミッション制限

FCCがCPUの情報処理速度や、フラットパネルディスプレイの解像度についてまで規制対象に含めることは、世間一般の人々にとっては一見奇妙に思われるかもしれませんが、しかし、現代のデジタル信号(マルチギガビットのデータレートで一般的に動作しているもの)の持つ非常に速い立ち上がり/立ち下がりが、時間とともに変化する電磁界を周辺領域へと伝搬させると考えると、FCCによる規制は理にかなっています。FCCは無線通信(ラジオ、テレビ、携帯電話、衛星通信、地上固定局など)の中断を回避するために、電磁周波数スペクトルが適切に割り当てられ、保護され、規制されていることを保障する責任を負っているためです。

適切に割り当てられたスペクトルに応じて、対象の周波数帯域を利用するユーザーや放送会社へとライセンスが付与されます。各帯域内の全ユーザーに対して帯域幅の可用性と互換性を保証する FCC は、電子デバイス、通信技術、およびデータアプリケーションの継続的な進歩に伴い、ますます困難かつ重要な役割を担っています。一方、多くの高速デジタルデバイスは、設計目的に関係なく、意図しない放射体となり、他の通信チャンネルが割り当てられたスペクトルの適切な使用を損なう可能性があります。

前述したとおり、FCC が 1970 年代に Apple II パーソナルコンピュータや IBM PC などのデバイスからの意図しない放射体に対処し始めて以来、電子機器業界は長い道のりを歩んできました。現在のデータセンター、5G ワイヤレス、クラウド接続、高解像度ビデオ、および自動車用電子機器の爆発的成長とそれに伴う周波数帯域幅の枯渇は、デバイスと構成部品的能力に負担をかけ続け、電磁両立性の維持を困難にしています。

さらに、OEM とエンドユーザーに最適なソリューションを提供するには、小型化・コストダウン・電氣的性能のバランスを取る必要があります。データレートの大容量化は、構成部品のシールド要求を高める一方で、同時にメーカーは短期的な製品ライフサイクルにおいて絶え間なくコストダウンに努める責任があります。

シールドされた構成部品を含めることは、通常の電子設計のオプションではないかもしれませんが。しかし I-PEX は、マルチギガビットデータレートを採用した現代のシステム情勢を汲み、高品質・超小型・高精度な相互接続システムの必要性和電磁両立性の必要性を強く認識しています。このような背景を受け、この度 I-PEX は ZenShield<sup>®</sup>ファミリーのコネクタを開発しました。ZenShield<sup>®</sup>コネクタは特に 5G、動画再生、ポータブルデバイスなどのさまざまなアプリケーション向けのミリ波およびマルチギガビットアプリケーション向けに設計されており、これらハイエンドシステム設計者の抱える問題に対してソリューションを提供します。

## ZenShield<sup>®</sup> ファミリー

ZenShield<sup>®</sup> とは、I-PEX のコネクタ製品における優れた EMC 対策コネクタシリーズの設計デザイン名称です。



I-PEX の ZenShield<sup>®</sup>ファミリーコネクタには、多数のラインアップがありますが、本稿では、これら複数のカテゴリにわたって幅広い用途をもつコネクタ製品のうち 3 製品について述べます。

カテゴリ 1 – MHF<sup>®</sup> 7S マイクロ RF 同軸コネクタ（嵌合高さ 1.4 mm）

カテゴリ 2 – NOVASTACK<sup>®</sup> 35-HDN 基板対基板コネクタ（嵌合高さ 0.7 mm）

カテゴリ 3 – EVAFLEX<sup>®</sup> 5-HD FFC / FPC コネクタ（嵌合高さ 2.0 mm）

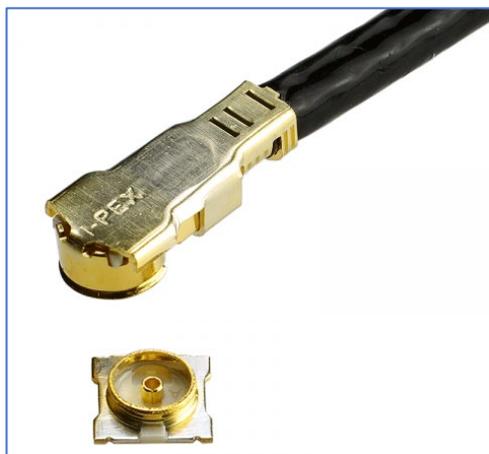


図 1 - MHF® 7S マイクロ RF 同軸コネクタ

### カテゴリ 1 - MHF® 7S マイクロ RF 同軸コネクタ

MHF® 7S は 5G ミリ波アプリケーションに適した小型 RF 同軸コネクタです。業界初のシールド機構を備え、同軸伝送ラインのシールド効果が大幅に向上しています。15GHz で VSWR が最大 1.5。PCB 占有面積は 2.0x2.0mm です。嵌合高さは最大 1.4mm で、32 AWG 同軸(外径 1.13mm)を使用することができます。

- ハロゲンフリー
- RoHS 対応
- REACH 準拠



図 2 - NOVASTACK® 35-HDN 基板対基板コネクタ

### カテゴリ 2 - NOVASTACK® 35-HDN 基板対基板コネクタ

NOVASTACK® 35-HDN コネクタは、5G ミリ波モジュール用に開発されました。信号端子は接地端子によって周囲を覆われているのが特徴です。信号端子ピッチは 0.35mm、嵌合高さは 0.7mm です。このコネクタは、5G ミリ波、Thunderbolt 3、DP、PCI および最大 15GHz までのその他の高周波アプリケーションに最適です。

- ハロゲンフリー
- RoHS 対応
- REACH 準拠



図 3 - EVAFLEX® 5-HD FFC/FPC コネクタ

### カテゴリ 3 - EVAFLEX® 5-HD FFC / FPC コネクタ

EVAFLEX® 5-HD は、オートロック機能を備えた 0.5mm ピッチの FFC/FPC コネクタです。水平嵌合で多点接地によるシールド性能を備えています。

- EMI 漏れを防止するための多点接地を備えた 360°完全シールド
- 高速信号伝送設計 (>10 Gbps、USB 3.1 Gen2 対応)
- 操作者に優しい人間工学に基づいたオートロック設計により、手作業またはロボットによる組み立てが容易になります
- 嵌合高さ：最大 2.20 mm、(ノミナル 2.00 mm)
- 24 芯
- ハロゲンフリー
- RoHS 対応

# コネクタの EMC 性能の分析

## 放射電界エミッション

FCC(または他の EMC 規制機関)では、電磁両立性の項目においてコンピュータまたはデバイス全体の放射エミッション制限を設定するのがほとんどです。デジタル電子システムは多数の部品で構成されており、シールドされていない一部の構成部品に起因した放射電界が許容限度を超えて伝搬することで、システム全体が EMC 試験の規制を満足できなくなる可能性があります。構成部品のシールド効果を評価するためには、いくつかの方法があります。

### ● 3D 電磁界シミュレーション

Ansys HFSS、CST Micro-wave studio、または同様のプログラムなどの 3D 解析ソフトウェアを使用して実行されます。解析上では、コネクタペアの 3D メカニカルモデルがインポートされ、ケーブル、PCB、またはその他の伝送ラインモデルに対し、その使用目的に沿った状態で配置されます。シミュレーションのポートは、伝送ラインモデルの適切なポイント、またはコネクタ自体の信号入力接点に定義されます。出力接点は、短い長さの伝送ラインモデル(同軸、PCB、フレックス回路など)に接続され、伝送ラインの特性インピーダンスで終端されます。次に、周波数範囲、ステップサイズ、信号振幅、境界条件などの種々の電気的条件を設定し、解析空間のメッシュ化を経て、解析が実行されます。EMC 分析の場合、放射電界エミッションがシールド効果の一般的な評価基準となっています。

### ● 屋内シールド電波暗室における測定

基本的に金属製ドアが取り付けられた、電氣的に密閉される大きな金属製の箱であり、壁面等には電波吸収体が適切に設置されています。被試験デバイスを設置するための非金属製ターンテーブル、受信アンテナ、および適切な伝送ライン固定具が備えられており、DUT からの放射電界エミッションの測定に使用されます。

この手法の利点は、これらのチャンバーが一般的にセルラーOTA テストの測定に使用されていることであり、その内部環境が屋外テストサイトと同等の環境となるよう校正されていることにあります。OATS データは、元々、part 15 sub-part J 準拠の目的で FCC により要求されていました。

パッシブ DUT の場合、電波暗室の外に設置したシグナルジェネレーター等の信号源から電波暗室の壁面に取り付けられたバルクヘッド同軸コネクタを介して入力用同軸ケーブルを配線させ、DUT に信号を励起します。このとき、DUT には伝送線路内での信号反射を排除する目的で、特性インピーダンスに等しい負荷により終端されます。DUT に信号が励起されている間、DUT をターンテーブルによって回転させ、DUT の各方向における放射電界が受信アンテナによって検出され、スペクトラムアナライザまたはパワーメータへ伝達されます。この測定をシールドコネクタおよび非シールドコネクタ各々に対して行うことにより、各種コネクタで採用されているシールド機構の効果を判断することが可能です。

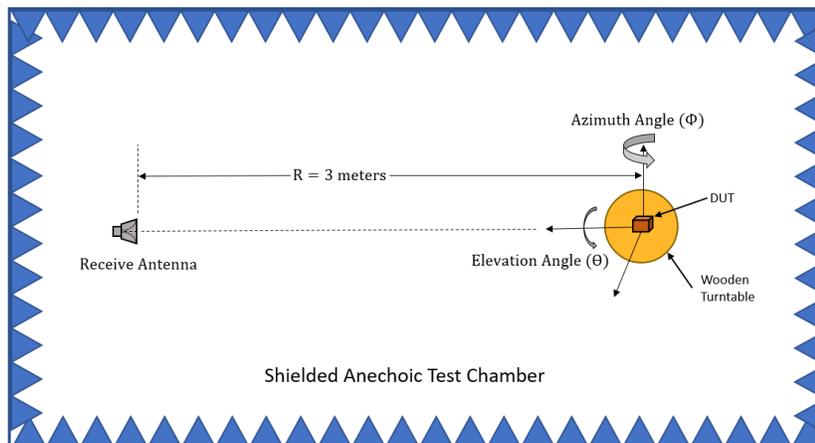


図 5-アンテナ測定範囲図

## 第 1 章

### HFSS 3D 電磁界シミュレーションの結果

本稿では、3D 電磁界シミュレーションとして Ansys HFSS 3D ソルバーを使用し、3 種のコネクタ製品に対して最大電界漏れ量について解析を行いました。

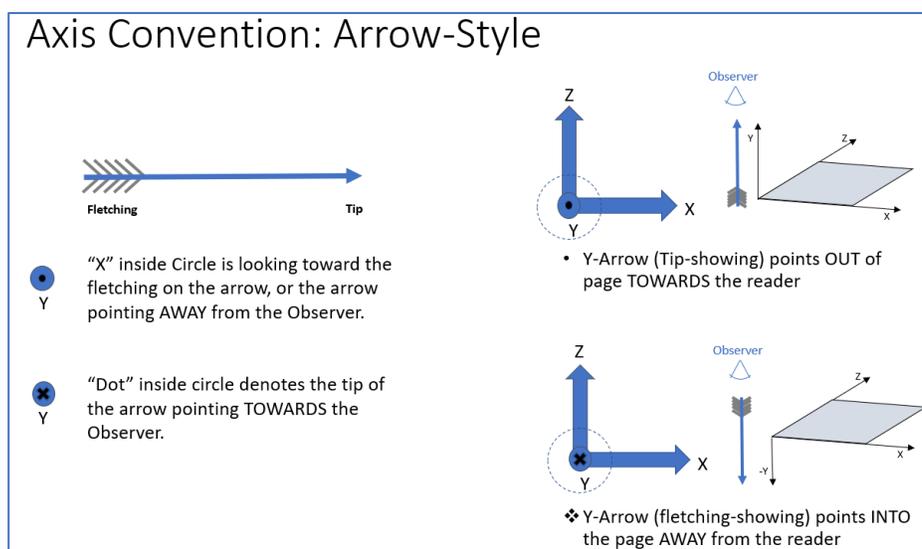


図 6-Axis Convention に関するリファレンスノート

## カテゴリ 1 の結果

### カテゴリ 1 の結果

MHF<sup>®</sup> 7S マイクロ RF 同軸コネクタ、薄型、ストリップライン、ロッキングコネクタ、HFSS 分析

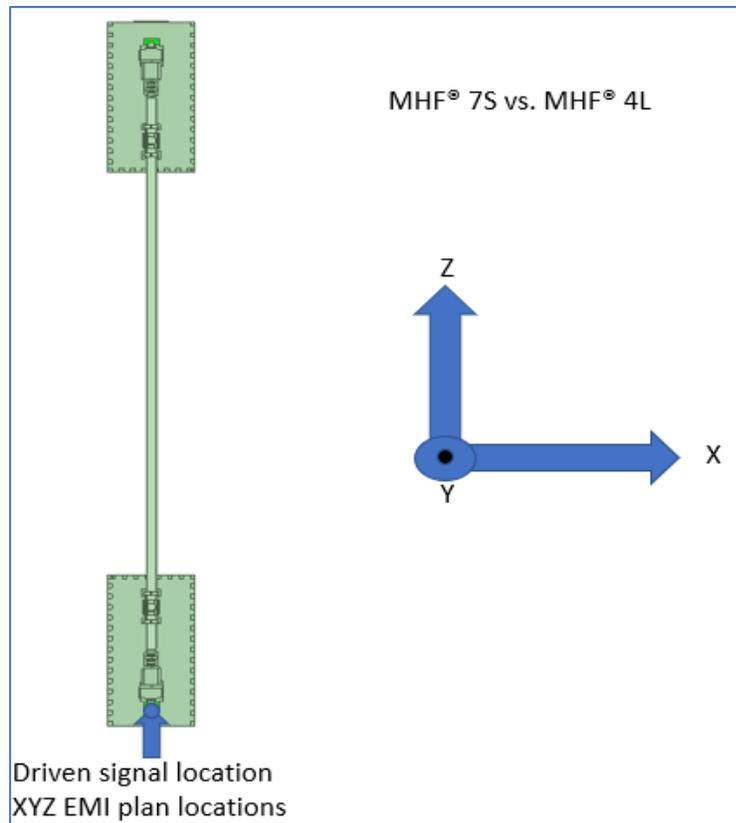


図 7 - マイクロ RF 同軸コネクタ MHF<sup>®</sup> 7S、駆動信号シミュレーションのセットアップ

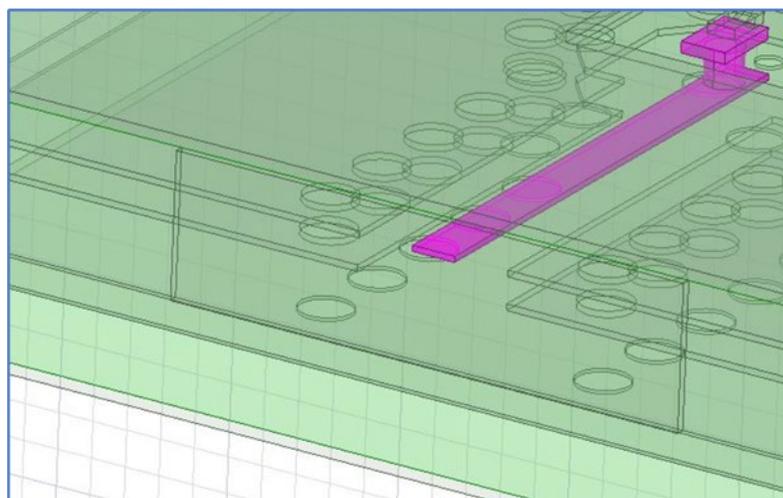


図 8 - マイクロ RF 同軸コネクタ MHF<sup>®</sup> 7S、ポートアサインメント

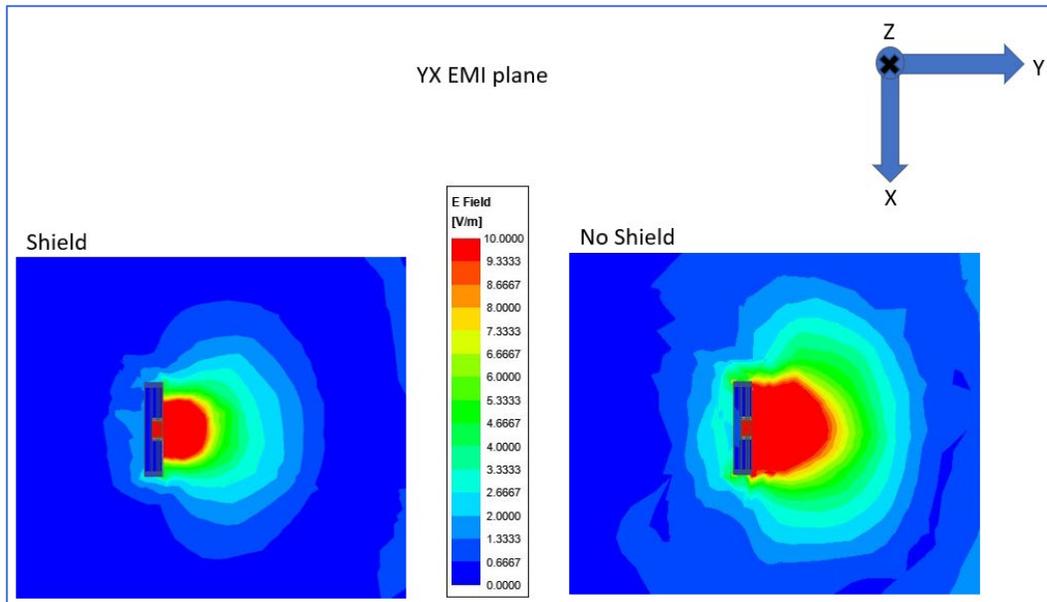


図 9 - マイクロ RF 同軸コネクタ MHF<sup>®</sup> 7S、YX EMI 平面放射パターン

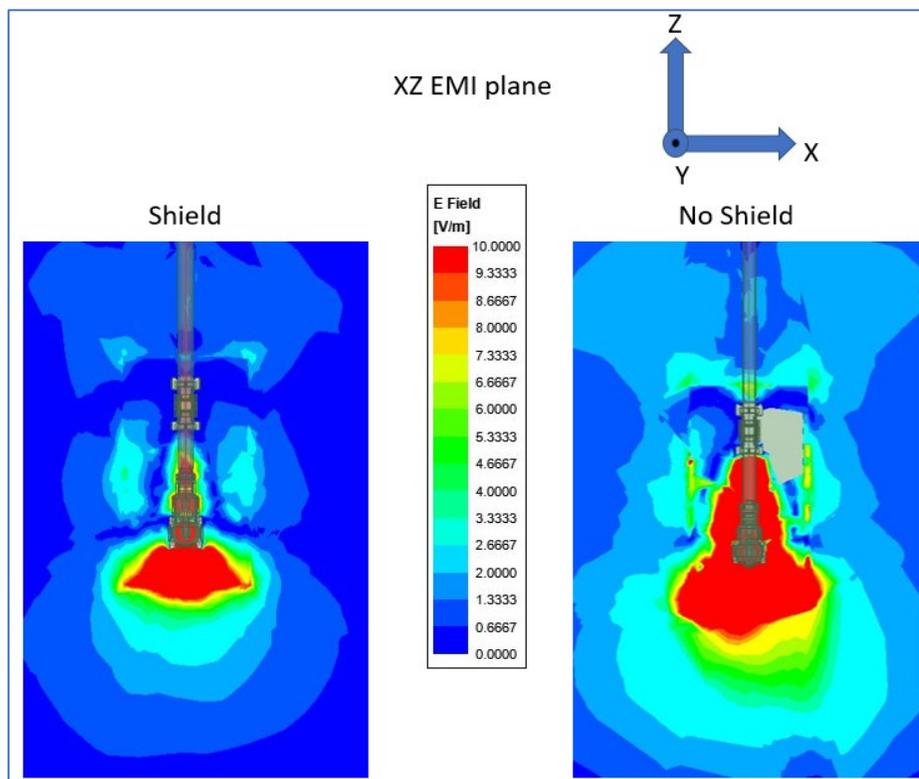


図 10 - マイクロ RF 同軸コネクタ MHF<sup>®</sup> 7S、XZ EMI 平面放射パターン

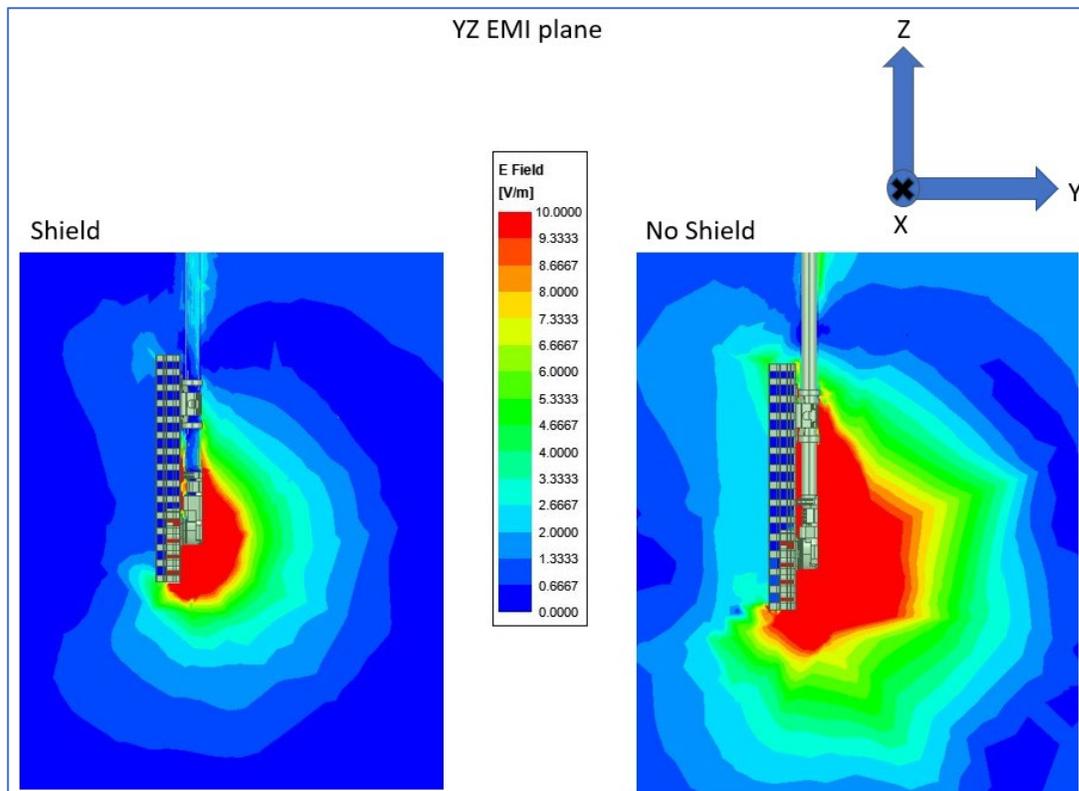


図 11 - マイクロ RF 同軸コネクタ MHF® 7S、YZ EMI 平面放射パターン

Frequency (GHz)	Maximum E-Field Radiated Emissions, SE (dB)		Shielding Effectiveness (dB)
	MHF® 7S (Shielded) (dBuV/m)	MHF® 4L (Unshielded) (dBuV/m)	
1	-90.9	-61.2	29.7
3	-70.7	-40.3	30.4
6	-51.7	-19.2	32.5
7.5	-53.3	-22	31.3
10	-46.4	-17.6	28.8

表 1 - マイクロ RF 同軸コネクタ シールド機構の有無による電界強度とシールド効果

## カテゴリ 2 の結果

NOVASTACK® 35-HDN 基板対基板コネクタ、0.35 mm ピッチ、5G ミリ波コネクタ、HFSS 分析

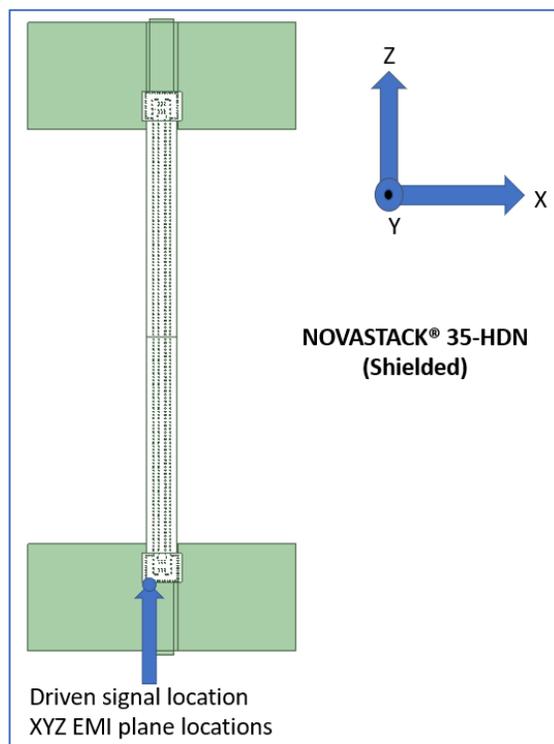


図 12 - NOVASTACK® 35-HDN 駆動信号シミュレーションのセットアップ

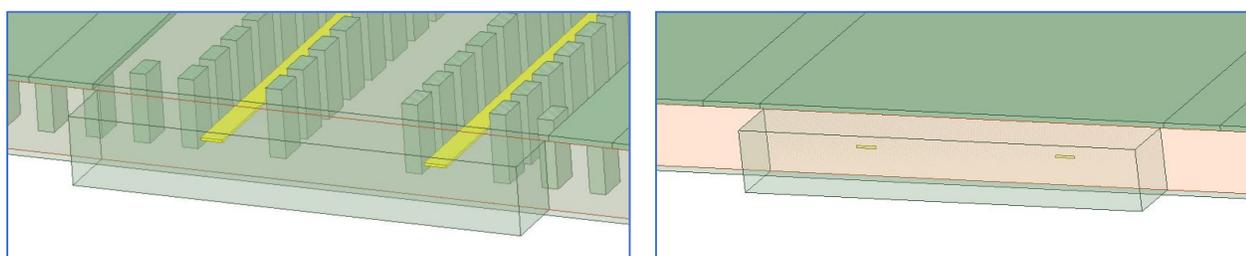


図 13 - 5G 用の 0.35 mm ピッチ、基板対基板コネクタ NOVASTACK® 35-HDN、ポートアサイメント

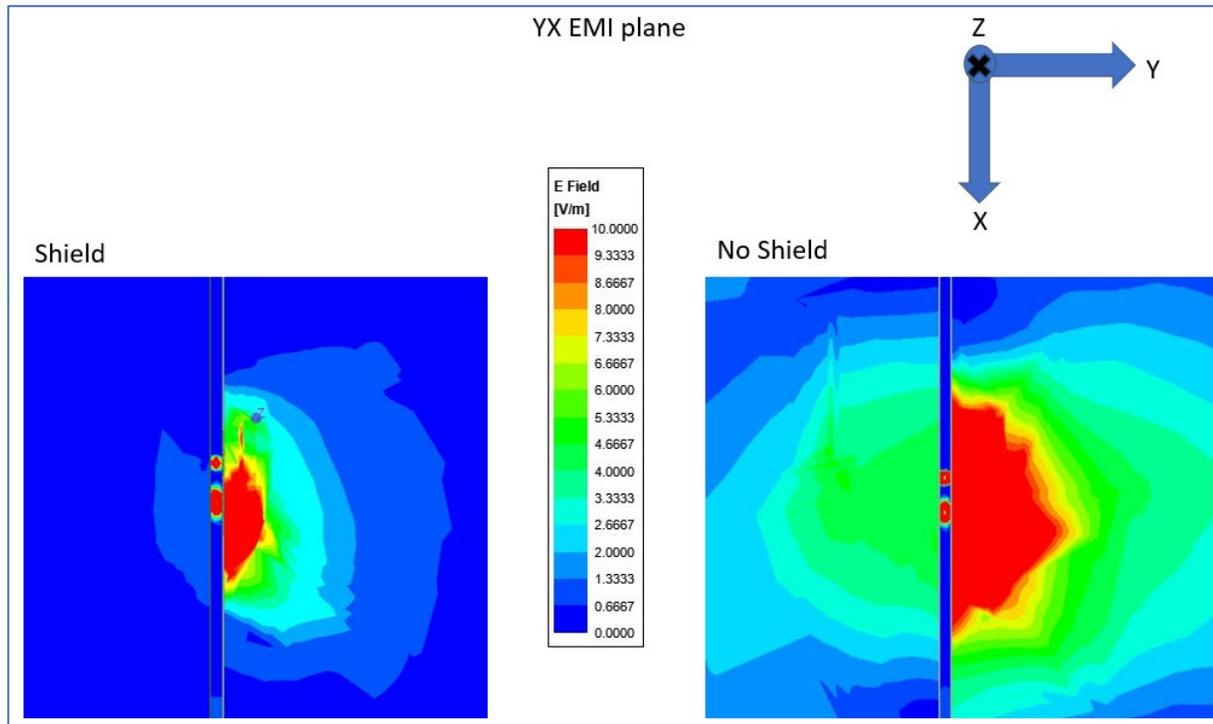


図 14 - 5G用の0.35 mmピッチ、基板対基板コネクタ NOVASTACK® 35-HDN、YX EMI 平面放射パターン

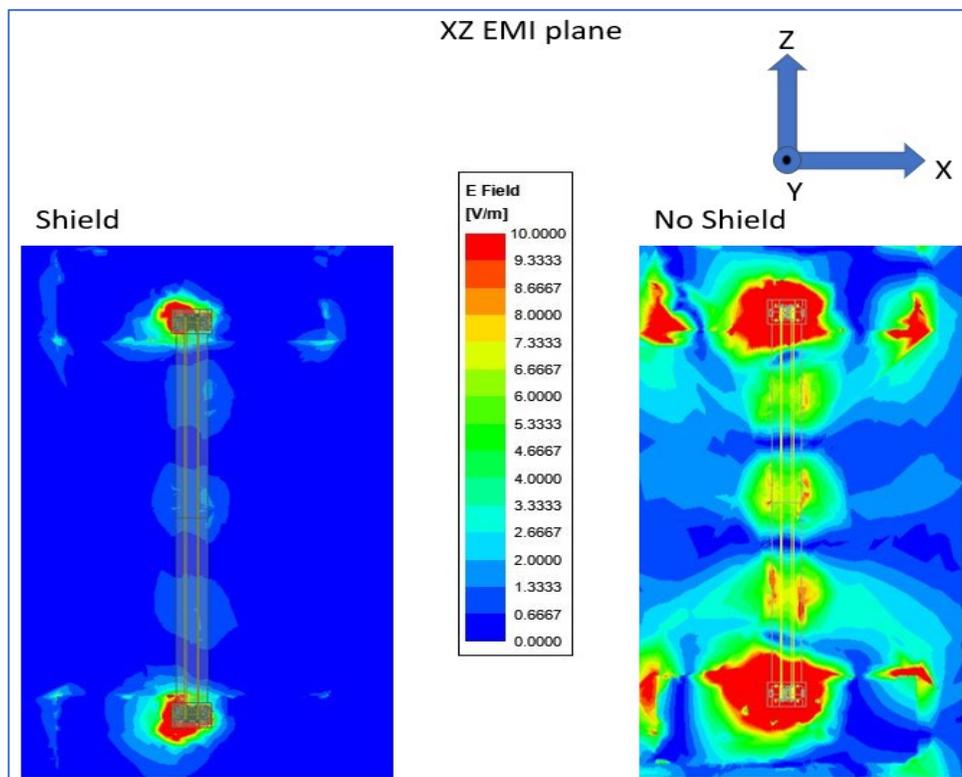


図 15 - 5G用の0.35 mmピッチ、基板対基板コネクタ NOVASTACK® 35-HDN、XZ EMI 平面放射パターン

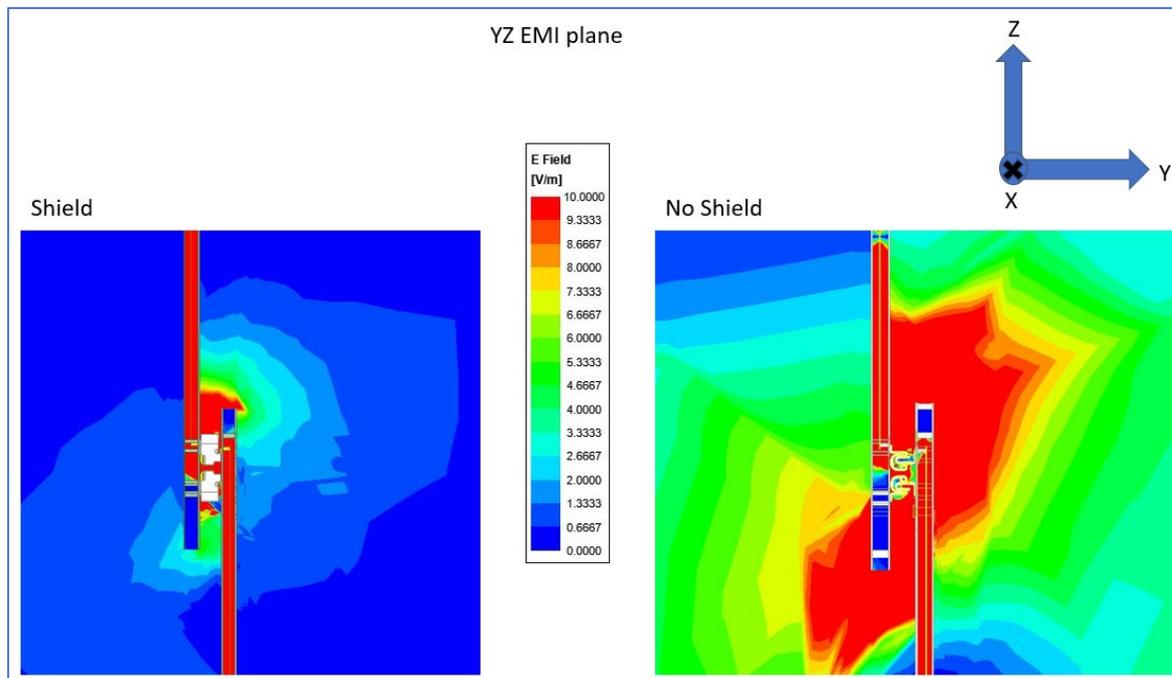


図 16 - 5G 用の 0.35 mm ピッチ、基板対基板コネクタ NOVASTACK® 35-HDN、YZ EMI 平面放射パターン

### Maximum E-Field Radiated Emissions, SE (dB)

Frequency (GHz)	NOVASTACK® 35-HDN (Unshielded) (dBuV/m)	NOVASTACK® 35-HDN (Shielded) (dBuV/m)	Shielding Effectiveness (dB)
1	-48.8	-64.9	16.1
3	-39	-53.4	14.4
5	-27.2	-43.4	16.2
6	-19.8	-36.7	16.9
7.5	-19.5	-34.4	14.9
10	-13.4	-30.8	17.4

表 2 - 基板対基板コネクタ シールド機構の有無による電界強度とシールド効果

## カテゴリ 3 の結果

EVAFLEX<sup>®</sup> 5-HD FPC / FFC コネクタ、高速電装、高さ 2.0 mm、0.5 mm ピッチ、HFSS 分析

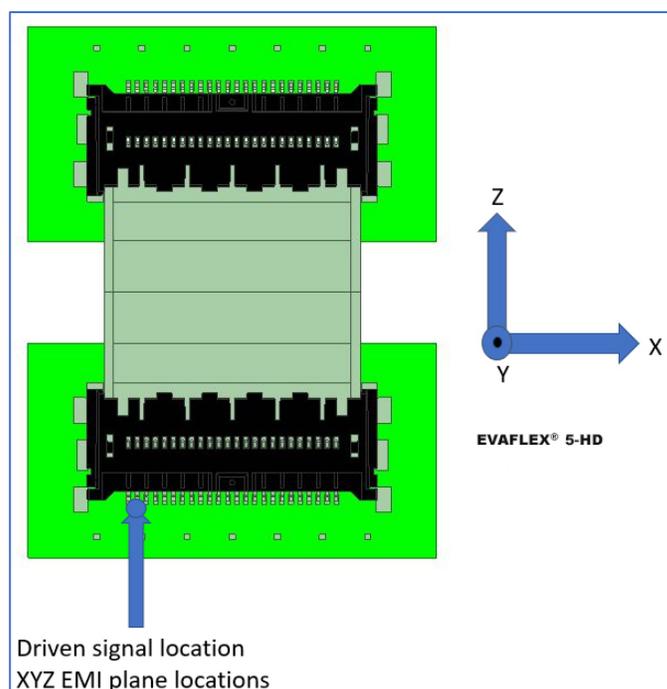


図 17 - FPC / FFC コネクタ EVAFLEX<sup>®</sup> 5-HD、駆動信号シミュレーションのセットアップ

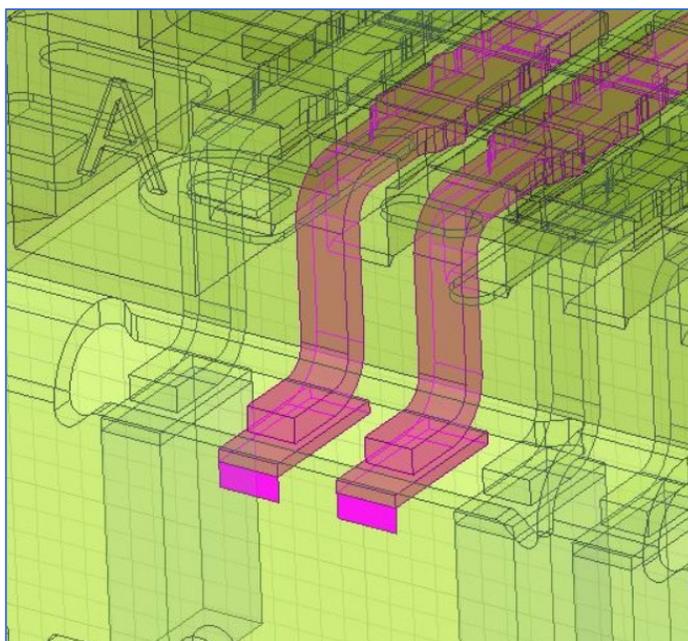


図 18 - FPC / FFC コネクタ EVAFLEX<sup>®</sup> 5-HD、ポートアサイメント

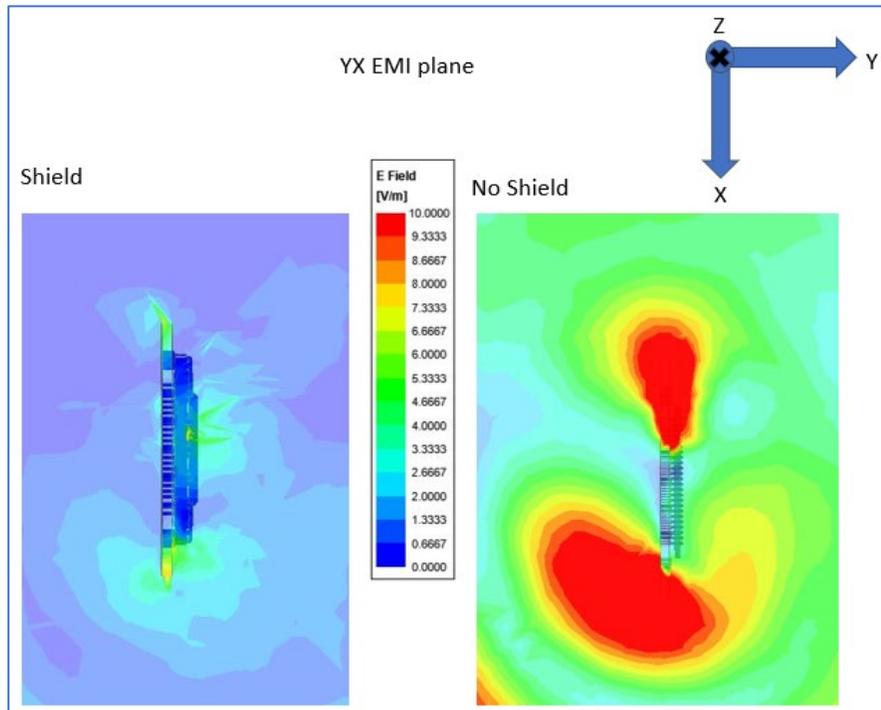


図 19 - FPC / FFC コネクタ EVAFLEX<sup>®</sup> 5-HD、YX EMI 平面放射パターン

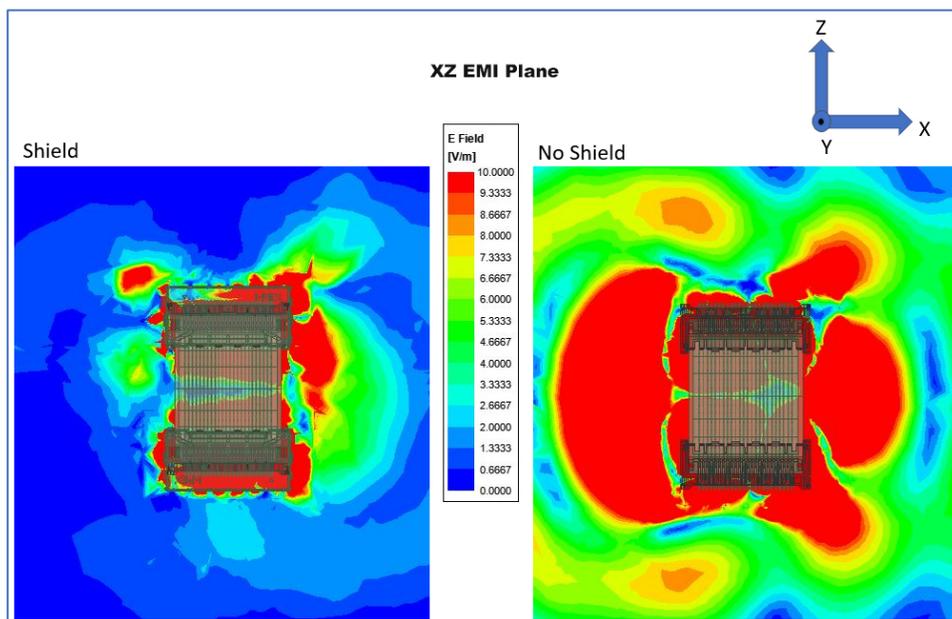


図 20 - FPC / FFC コネクタ EVAFLEX<sup>®</sup> 5-HD、XZ EMI 平面放射パターン

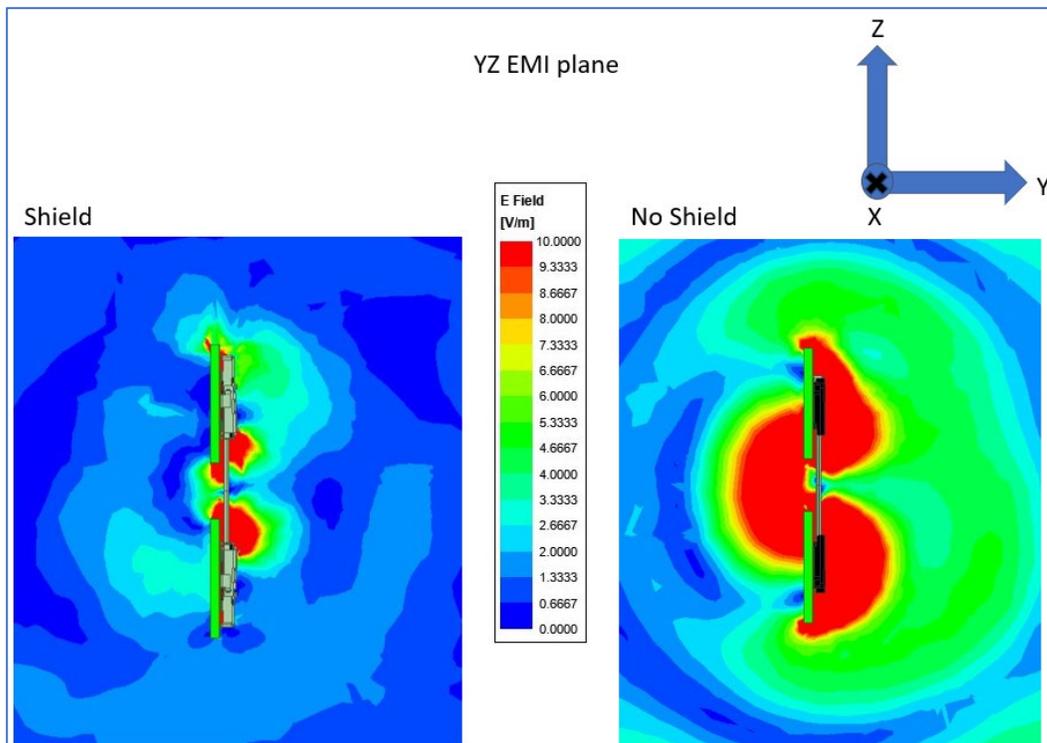


図 21 - FPC / FFC コネクタ EVAFLEX® 5-HD、YZ EMI 平面放射パターン

### Maximum E-Field Radiated Emissions, SE (dB)

Frequency (GHz)	EVAFLEX® 5-HD (Unshielded) (dBuV/m)	EVAFLEX® 5-HD (Shielded) (dBuV/m)	Shielding Effectiveness (dB)
1	-58	-98.6	40.6
3	-27.8	-49.4	21.6
5	-0.9	-40.6	39.7
6	-17.1	-26.5	9.4
7.5	-7.3	-27.9	20.6
10	-4.7	-19.9	15.2

表 3 - FFC / FPC コネクタ シールド機構の有無による電界強度とシールド効果

## カテゴリ 1、2、3 コネクタの比較

Net Improvement in Radiated Shielding Effectiveness (dB)*			
(* positive number denotes shielding improvement)			
Frequency (GHz)			
Frequency (GHz)	MHF® 7S Micro RF Coaxial	NOVASTACK® 35-HDN Ultra-Fine Pitch	EVAFLEX® 5-HD FFC/FPC
1	29.7	16.1	40.6
3	30.4	14.4	21.6
5	n/a	16.2	39.7
6	32.5	16.9	9.4
7.5	31.3	14.9	20.6
10	28.8	17.4	15.2

表 4 – マイクロ RF 同軸、基板対基板、FFC / FPC コネクタの比較：シールド機構の有無による電界強度とシールド効果

## 第 2 章

### 最大放射電界解析

(第 1 章の結果に対する構成部品の選定)

表 4 からわかるように、3 つのコネクタは各々のシールド設計改善により、1~10GHz におけるシールド効果が大幅に改善されました。第 2 章では第 1 章での最大放射電界解析をさらに拡張し、これら構成部品が FCC 規定に準拠するための最大入力電力を定量化します。

単純化された算出モデル：

構成部品に適用される最大許容電力の算出においては、非常に単純化されたモデルを考えます。この保守的なモデルにおいては、コネクタに入力されたすべての電力が放射に利用されるとしています。実際には、この入力電力のごく一部のみが放射に寄与し、電力の大部分は伝送ラインに沿って、目的のデバイス負荷へと供給されます。

## 最大放射電界(シールドコネクタからの放射)と FCC OATS または 3m 法で測定された電界との関連性

最大放射電界を測定するには、一般的に使用されるアンテナ特性評価方法を使用して、シールドコネクタからの放射指向性を求める必要があります。実際の測定システムでは、シールドコネクタからの放射は、通常の測定セットアップのバックグラウンドノイズレベルに埋もれてしまうほど小さくなる可能性があります。この場合、スペクトラムアナライザの分解能帯域幅(RBW)またはビデオ帯域幅(VBW)を下げる、もしくは周波数スパンを下げることで、(掃引時間の増加を伴う必要はあるものの、)ノイズフロアを十分に下げ、DUT からの放射電界を検出することが可能になります。ただしこれらの変更は、測定時間の長時間化につながります。

この測定した放射電界を利用して、コネクタへの特定の入力電力に対する最悪ケースの電界漏れを計算することが可能です。[ここでは、シールドされたエンクロージャー、ガasket等種々の EMI 対策手法によってもたらされる追加のシールド効果を考慮していません。] また、前述の単純化された算出モデルの定義も参照してください。

今回の検討においては、最大放射電界は ANSYS HFSS 3D 電磁界シミュレーションを使用し、コネクタ DUT を未知のアンテナとして扱うことで求められました。

式 1 は、コネクタの最大放射( $Leakage_{dut}$ )、DUT への入力電力( $P_{in}$ )、および実効等方性放射電力(EIRP)の関係を示しています。

### Equation 1:

$$EIRP = P_{in} + Leakage_{dut}$$

Where

$$P_{in} = \text{Input Power}$$

(Input power to the DUT, set during simulation)

and

$$Leakage_{dut} = \text{Connector (DUT) Max E\_Field Radiation}$$

(from HFSS E-Field simulation)

式 1 を使用して  $P_{in}$  と  $Leakage_{dut}$  を組み合わせると、下記のようになります。

EIRP=放射指向性にもとづいて特定方向に集中したときの DUT 放射出力電力

この EIRP を式 2 の P に代入すると、 $r=3m$  の場合の電界強度が求められます。

**Equation 2:**

$$(a) \quad E_{Field} (r = 3m) = \frac{1}{3} \sqrt{30P}$$

$$(b) \quad E_{Field} (r = 3m) = \frac{1}{3} \sqrt{30EIRP}$$

ここまでで、コネクタの最大放射電界( $Leakage_{dut}$ )をシミュレーションし、この  $Leakage_{dut}$  と  $P_{in}$  および式 1 を用いることにより、DUT から放射される最大出力電力(EIRP)としてあらわすことができます。さらに、式 2 では  $r=3m$  の場合の最大電界を予想することが可能です。

しかし、本当に知りたいことは、コネクタの最大放射電界が、FCC 制限を満たすか否か、ではないでしょうか。

これを究明するために、式 1 と 2(b)を組み合わせ、FCC 3m テストチャンバーの放射電界強度の制限内に収まる可能性のある DUT への最大入力電力を導くことができます。

**Equation 3:**

$$EIRP = 10 * \log \left[ \frac{(3E_{limit})^2}{30} \right] = P_{in} - Leakage_{dut}$$

Where

$E_{limit}$  is the FCC limit for E-Field strength (500  $\mu$ V/m, for frequency  $\geq$  960 MHz)

$P_{in}$  is the input power to the DUT

$Leakage_{dut}$  is the maximum device leakage of the DUT

Taking the FCC ( $E_{limit}$ ) maximum limit value of 500  $\mu$ V/m produces Equation 4, solving for  $(P_{in})^{max}$

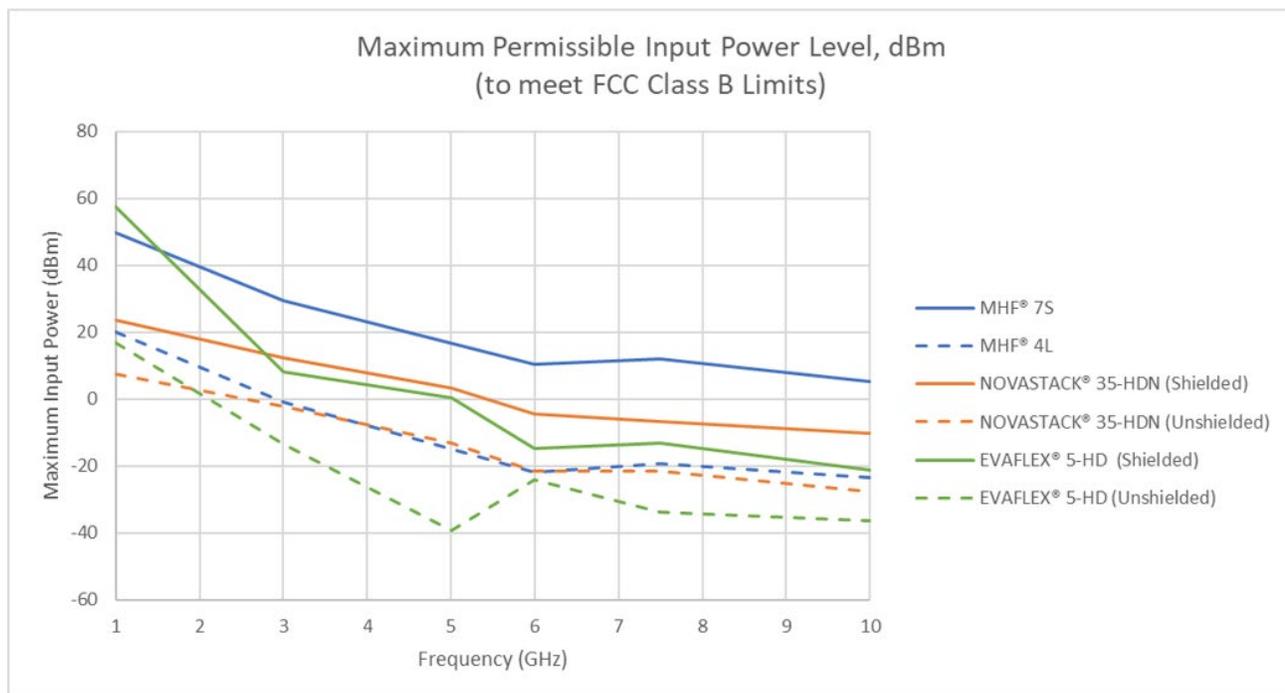
**Equation 4:**

$$P_{in}^{max} \leq -41.2 - Leakage_{dut} \quad (\text{in dBm})$$

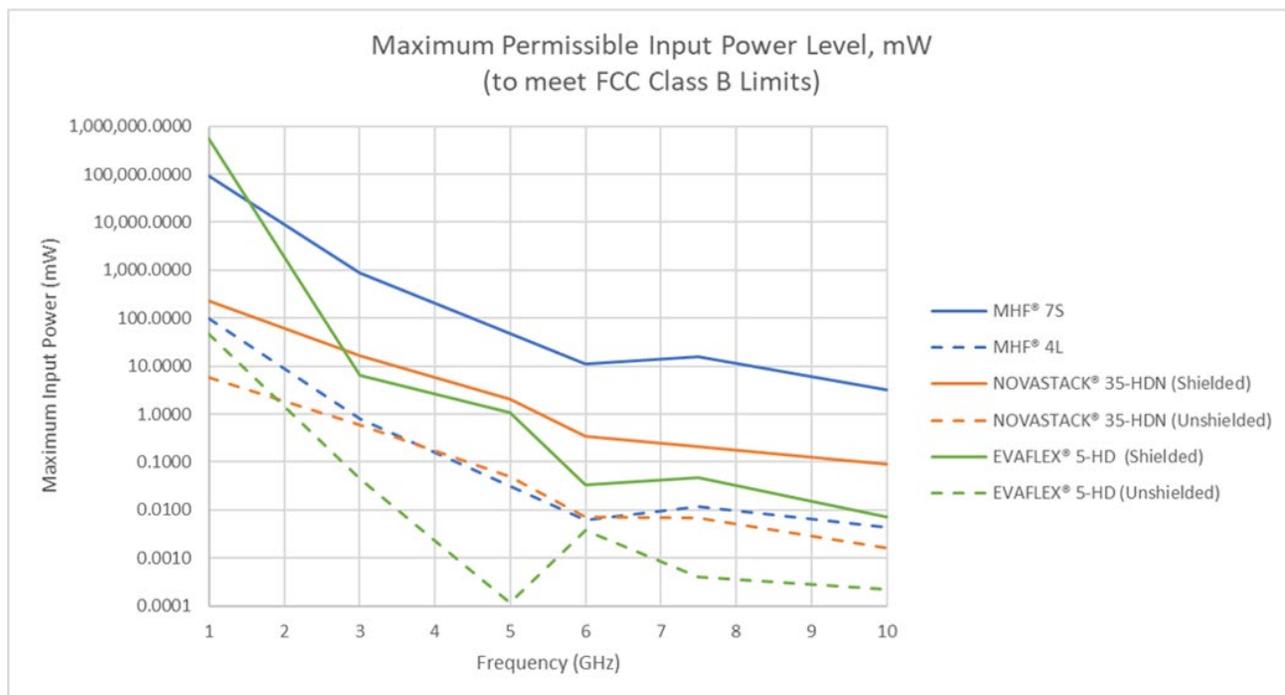
将来の ZenShield®コネクタの最大放射電界をシミュレートし、式 4 を用いることにより、これらの DUT が FCC 3m チャンバーテストに合格する場合の最大許容入力電力を導くことができます。dBm および mW 単位の最大

許容入力電力レベルについては、それぞれグラフ 1 および 2 を参照して下さい。

## グラフ 1



## グラフ 2



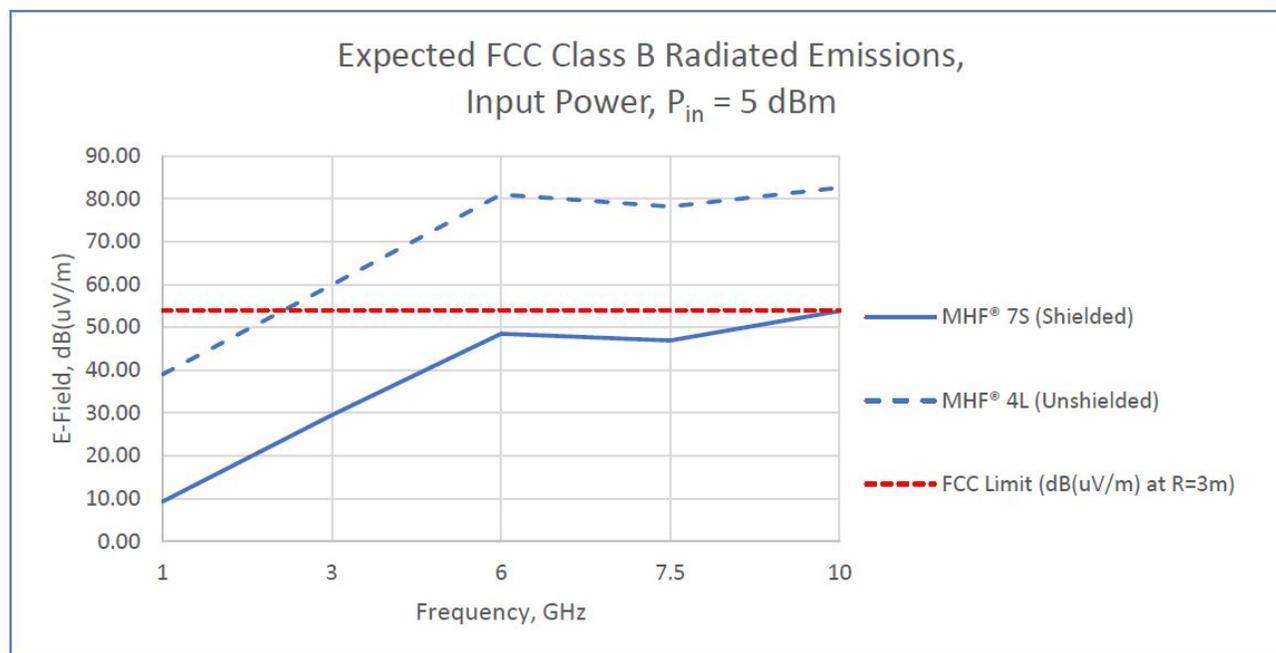
グラフ 1 および 2 から、最悪の場合(許容可能な最低)の電力レベル(通常は 10GHz で発生)が決定されました。これは、指定された周波数の正弦波信号が、FCC 制限を超えない放射電界を生成する電力レベルです。3 つのシールドされた ZenShield®コネクタにおける最大許容電力レベルを表 5 に示します。

ZenShield™ Connector	Frequency (GHz)	Maximum Permissible Input Power Level dBm (to meet FCC limits)
MHF® 7S	10	5
NOVASTACK® 35-HDN (Shielded)	10	-10.5
EVAFLEX® 5-HD (Shielded)	10	-22

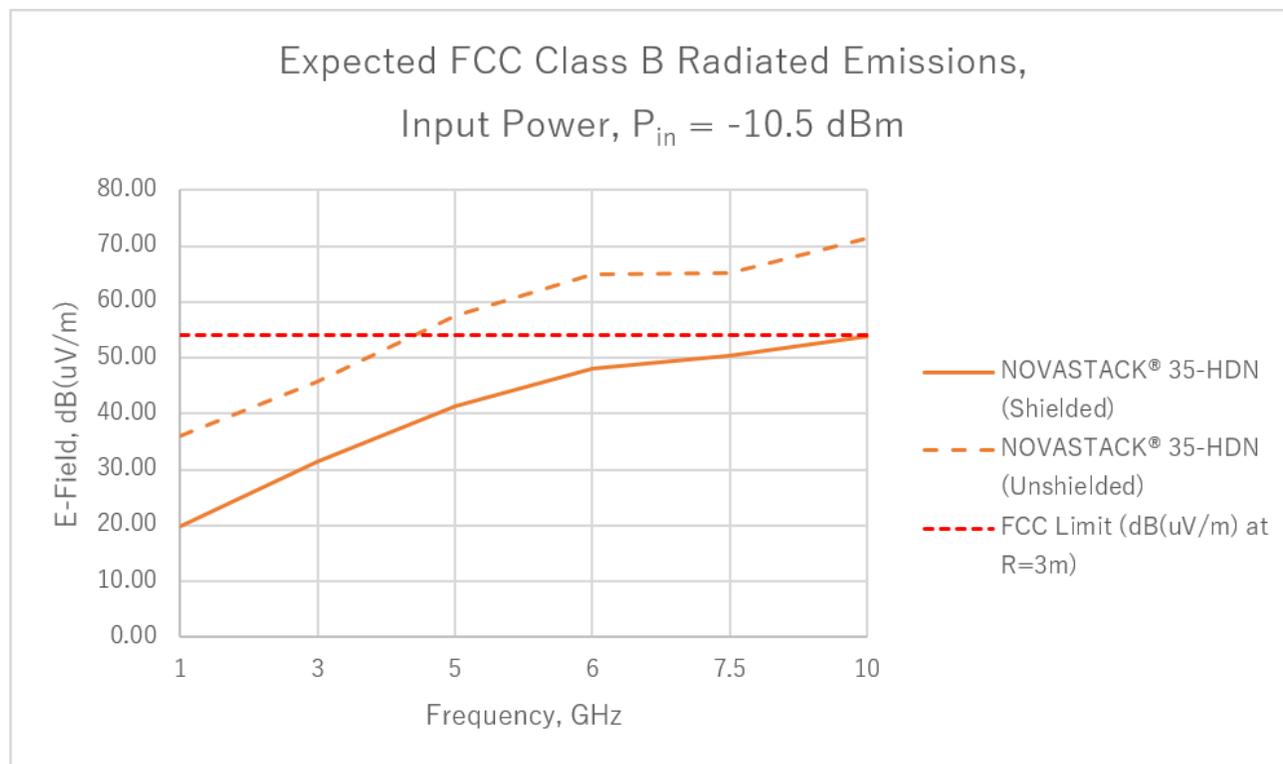
表 5-最大許容電力レベル

各 DUT の最大入力電力を、表 5 に記載の値で固定した場合、各コネクタでのシールド有無の放射電界強度はグラフ 3,4,5 であらわされます。

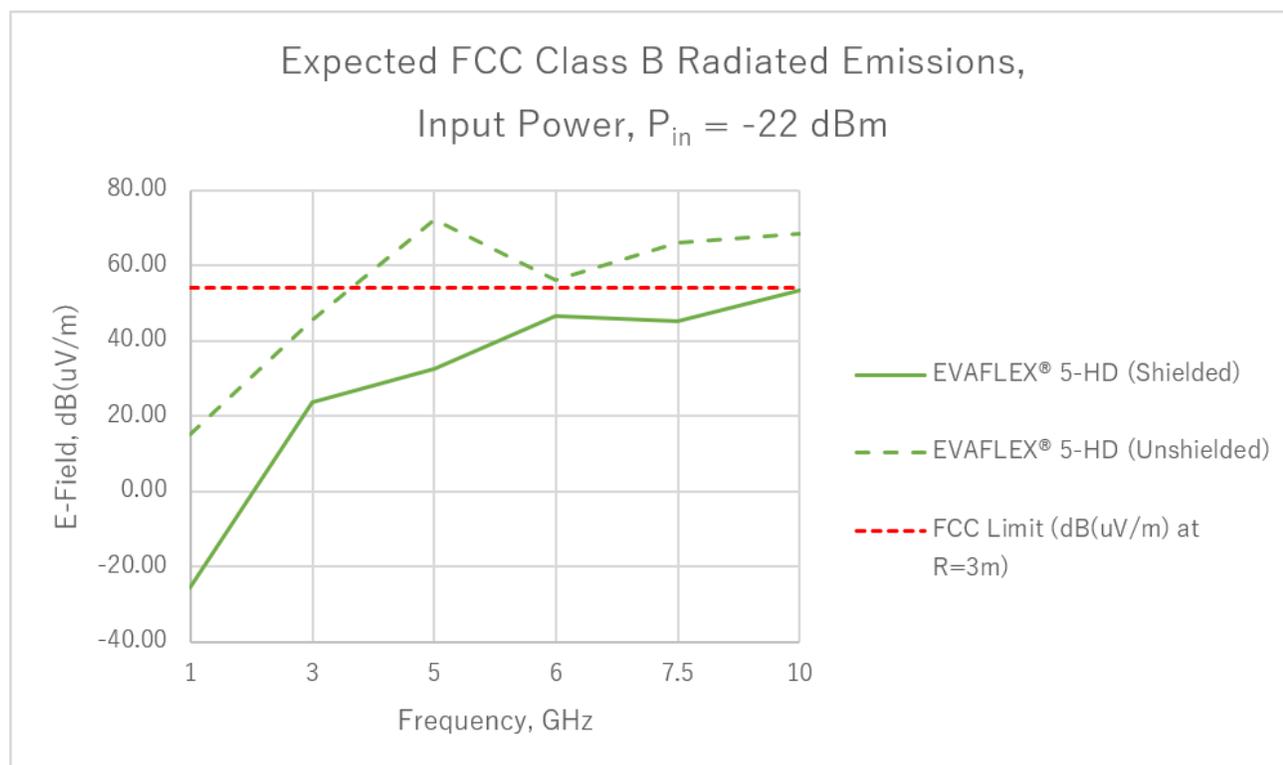
### グラフ 3



グラフ 4



グラフ 5



## 結論

以上までの結果に対して、「ZenShield®コネクタを使用し、入力電力がグラフ 3~5 で提案された最大  $P_{in}$  に制限されていた場合、製品は FCC コンプライアンステストに合格しますか」という疑問が湧き上がることでしょう。これに対する答えは非常に微妙です。FCC コンプライアンステストはシステム全体のテストです。ある部品単体が FCC コンプライアンステストを合格していたとしても、システム全体が放射エミッションの規制基準に合格することが保証される、というわけではありません。I-PEX が他社製品をコントロールできない以上、ZenShield®コネクタを使用したシステムが FCC コンプライアンステストを必ず合格する、とは断言できないのです。

しかし、本稿のシミュレーションで使用された入力電力レベルを上限とした場合、ZenShield®コネクタが原因で、FCC コンプライアンステストが不合格になることはない、と考えることができます。

この設計ガイドは、設計者がミリ波またはマルチギガビット相互接続コンポーネントを選択する際に役立つ出発点になると考えています。

I-PEX のウェブサイトを訪れ、[ZenShield®](#)について学んでみてください。

コスト、スペース、帯域幅、パフォーマンス、および放射制限を遵守する必要のある、物理的に小スペース、大容量、高周波アプリケーションに対して、ZenShield®ファミリーのコネクタは、最適なソリューションを提供するでしょう。

[www.i-pex.com](http://www.i-pex.com)

© I-PEX Inc. 2020. All rights reserved.

I-PEX, MHF, CABLINE, NOVASTACK, EVAFLEX, MINIFLEX, ISH, IARPB, IASLP, ESTORQ, i-Fit, ISFIT は I-PEX 株式会社の登録商標です。本書の記載内容については、予告なく変更することがありますのでご了承ください。内容に含まれる情報の正確性や更新義務について当社は一切の責任を負いません。ご使用前に「使用上の注意」および「取扱説明書」の最新版を必ずご覧いただき、ご理解のうえご使用ください。使用上の注意事項に反して本製品をご使用したことによって生じた不具合、故障及び事故に関し、当社は一切その責任を負いません。極めて高い信頼性・安全性が要求される用途や人命に関わる用途(原子力・航空宇宙・運輸・医療・安全装置等)への使用に関しましては、事前に当社営業窓口までご相談ください。

I-PEX

