

# 技術紹介

## 2

## インターフェース用コネクタ、ケーブルの放射電磁界対策

### Countermeasure of radiated emission for interface cables and connectors

池田 浩昭

Hiroaki Ikeda

コネクタ事業部 製品企画部 主任

**キーワード：**放射電界、USB、HDMI™、高速シリアル通信、CISPR、編組シールドの処理方法**Keywords:** Radiated emission, USB, HDMI™, High speed serial communication, CISPR Braided shield processing method

### 要 旨

デジタル機器は、外部のモニタや周辺機器とデータ通信を行うために、インターフェース用のコネクタやケーブルを使います。これらのインターフェースには、主にデータ通信に使われる USB や画像データの伝送に使う HDMI™ 等があり、1 対の差動信号用のワイヤーに 10 Gbps を超える高速シリアル信号が流れます。この高速なシリアル信号からは、意図しない電磁界が放射され、ラジオやテレビなど無線信号を受信する機器に妨害を与えますので、国際規格などで規制されています。

本稿では、インターフェース用ケーブルの編組シールドの処理方法や、コネクタの実装方法と放射電界の関係を実験で確認しました。その結果、適切な編組シールドの処理やコネクタの実装方法が分かりましたので、それらを報告します。

### SUMMARY

Digital devices use interface connectors and cables to communicate data with external monitors and peripherals. These interfaces include USB, which is mainly used for data communication, and HDMI™, which is used for image data transmission. High-speed serial signals exceeding 10 Gbps flow through a pair of differential signal wires. Unintended electromagnetic fields are radiated from these high-speed serial signals and interfere with devices that receive radio signals, such as radios and televisions, so they are regulated by international standards.

In this paper, we experimentally confirmed the processing method of the braided shield of the interface cable and the relationship between the mounting method of the connector and the radiated electric field. As a result, We found out how to handle the proper braided shield and how to mount the connector, and it will report them.

HDMI™、High-Definition Multimedia Interface™ は、米国およびその他の国における HDMI Licensing Administrator, Inc. の商標または、登録商標です。

## 1. はじめに

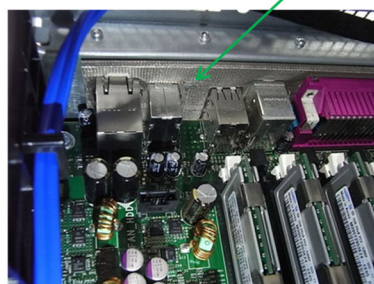
近年、パソコンやスマートフォンに代表されるように、デジタル機器の信号処理速度は飛躍的に増加し、ケーブルやコネクタに求められる性能も年々、厳しくなっています。一方で、信号速度が増えるに従い、電子機器からは不要な放射電界が発生し、周辺の電子機器へ妨害を与え、誤動作を引き起こします。これらの妨害を防ぐために、電子機器から放射される不要な電磁界に対しては国際規格である CISPR(Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques)<sup>1)</sup>があります。また、日本では VCCI<sup>2)</sup>(Voluntary Control Council for Interference by Information Technology Equipment)、米国では FCC<sup>3)</sup>(Federal Communications Commission)により規制されています。USB<sup>4)5)</sup>(Universal Serial Bus)や HDMI<sup>TM 6)</sup>(High-Definition Multimedia Interface<sup>TM</sup>)、DisplayPort<sup>6)</sup>等の外部インターフェースでは、1 m～数 m の長さのケーブルがパソコンや電子機器に接続されるため、流れる信号の波長に対してケーブルが長いと、効率の良いアンテナとして電磁界を空間に放射します。

本稿では、インターフェース用コネクタの実装方法や、ケーブルの編組シールドの端末処理の異なるサンプルを準備して放射電界を測定し、放射電界を抑制する最適な実装方法や端末処理について解説します。

## 2. インターフェースコネクタの実装方法

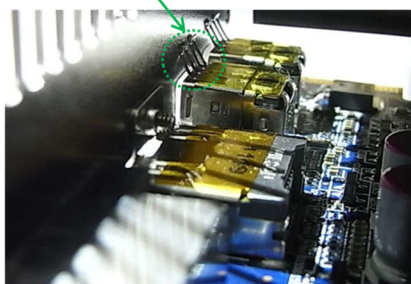
インターフェース部は、長いケーブルが接続されますので、不要な放射電界を抑制するため、コネクタの実装に様々な工夫がされています。図 1 は、パソコン内部でのインターフェース用コネクタの実装例を示しています。図 1(a)は、コネクタと金属製筐体を導電性のあるガスケットで接続して、プリント基板や高速な配線から発生する高周波電流を筐体外部に流れないように工夫しています。図 1(b)は導電性とバネ性を兼ね備えたフランジで筐体とコネクタを電氣的に接続し、コネクタの金属シェルに流れる高周波電流を筐体外部に流さない役割を担っています。図 1(c)はコネクタシェルと一体型になったフランジを金属筐体に直接ネジ留めすることにより放射電界対策と共に、機械的な強度を増しています。

ガスケットで金属筐体とコネクタのシェルを接続



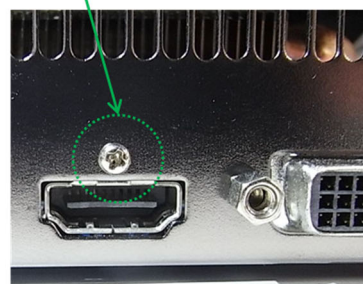
(a) ガスケットによる対策

バネ性のあるフランジでコネクタと筐体を接続 (別部品)



(b) バネによる対策

フランジをネジ留めでコネクタと筐体を接続



(c) ネジ留めによる対策

図 1. インターフェース用コネクタの放射電界対策

このように外部インターフェースを持つ電子機器は、不要な放射電界を外部に発生させないために、様々な工夫がされていますが、実際にどの程度効果があるのでしょうか？また、プリント基板に実装さ

れるコネクタ（レセプタクル）だけの対策で、効果的に放射電界を抑制できるのでしょうか？

そのような疑問に答えるために、数種類のケーブルと実装方法の異なるコネクタを準備して放射電界の実測を行いました。

### 3. 放射電界の測定方法

放射電界の測定は図 2 に示す電波暗室で行いました。この電波暗室は、被測定物からアンテナまでの距離を最大 10 m 離すことが出来、床面を除く 5 面に電波吸収体を取り付けあります。床面は電波を反射する導電体となっています。床面が導電体である理由は、電子機器が使われる地上は電波を効率良く反射しますので、その状況を再現した結果です。

30 MHz～1 GHz の帯域における放射電界測定は、アンテナと被測定物との距離を 10 m として、図 3 に示す高さ 80 cm の樹脂製テーブル上に被測定物を置き、アンテナの高さを一定にしてテーブルを 360° 回転させ電界強度を測定します。この測定をアンテナ高さ 1 m から 4 m まで 1 m 刻みで行い、周波数毎に最大電界強度を記録します。また、電界強度はアンテナの向きを変えて、水平偏波と垂直偏波を測定しました。

1 GHz～6 GHz の測定では、アンテナと被測定物の距離は 3 m、アンテナ高さは 1 m 固定で、テーブルを回転させ、電界強度の平均を水平及び垂直偏波の両方で測定しました。また、1 GHz 以上の帯域での測定では、床面に吸収体を敷き詰め、床面からの反射波を排除しました。

今回の実験は、ケーブルの種類とレセプタクルコネクタの実装方法による効果を見るために、幅 435 mm、奥行き 452 mm、高さ 75 mm のステンレス製の筐体を 2 個準備しました。また、被測定ケーブルの長さは 3 m としました。（図 3 参照）

筐体内部は図 4 のように、レセプタクルコネクタが実装されたプリント基板が金属製スペーサで固定されています。この金属製スペーサは基板のグラウンドにネジ留めされていますので、筐体とプリント基板のグラウンドは電氣的に接続されています。

各基板には 4 本の同軸ケーブルを使って、電波暗室の地下ピットにある信号発生機から 2 対の差動信号が供給されます。差動信号を伝送する同軸ケーブルは、USB や PCI-Express® のように、全二重通信を仮定して、それぞれの基板に 2 本ずつ接続しています。また、各基板の空端子は 50  $\Omega$  の抵抗で終端

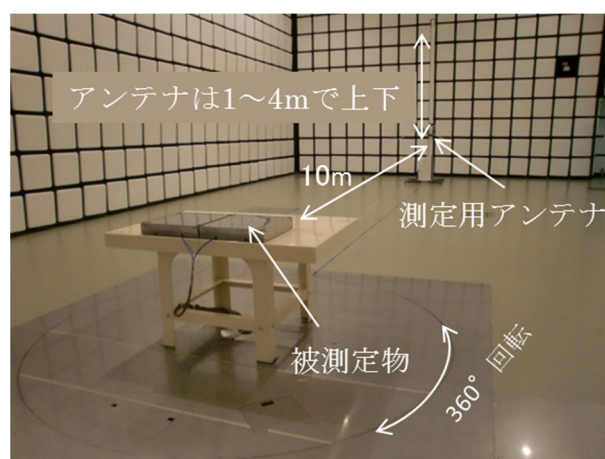


図 2. 10 m 電波暗室

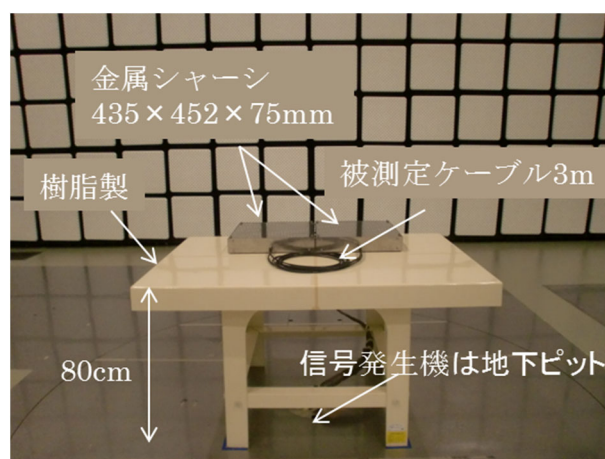


図 3. 被測定ケーブルの配置



しました。従って信号発生機から出力される電力（信号）は、終端抵抗で消費されますので、終端部分では不要な電磁界の放射は発生しません。一般的な差動信号を使った伝送方式でも同じように受信端は必ずある値（一般的に  $50\ \Omega$ ）で終端されています。

信号発生機からは、電圧  $1000\ \text{mVp-p}$ 、ビットレート  $10\ \text{Gbps}$  の信号を出力しました。出力信号はクロック信号のような、方形波の繰り返しパターンではなく、PRBS(Pseudo Random Bit Sequence)と呼ばれる疑似ランダム信号を使いました。PRBS 信号は完全なランダム信号でなく、あるビット長を持つ繰り返しの信号パターンになり、ビット長を長くすることにより、ランダム性を高める事が出来ます。

USB や PCI-Express®、HDMI™ 等のシリアル通信規格では、放射電界を押さえるために出力段で PRBS 信号に変換して出力し、受信側では、逆に変換して、元のデータを復調します。PRBS 信号をハードウェアで実現するのは容易で、DD フリップフロップを使ったシフトレジスタと排他的論理和のゲートで簡単に構成出来ます。今回の実験では、127 ビット毎に繰り返す PRBS 信号を使いました。

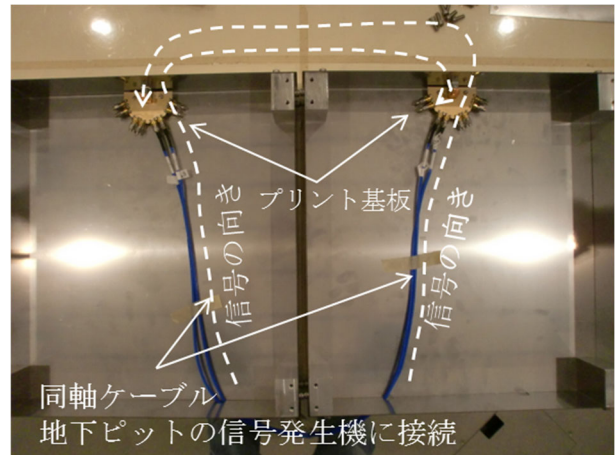


図 4. 筐体内部

## 4. 被測定ケーブル

被測定ケーブルは図 5 のように、各筐体に 2 本のケーブルが接続されていますが、上段のケーブルはダミーとなっており、信号は流れていません。実際に信号が流れているのは、下段のケーブルになります。被測定ケーブルは、図 6 のケーブル S(Strong)、図 7 のケーブル N(Non Connection)、図 8 のケーブル W(Weak)、の 3 種類となります。

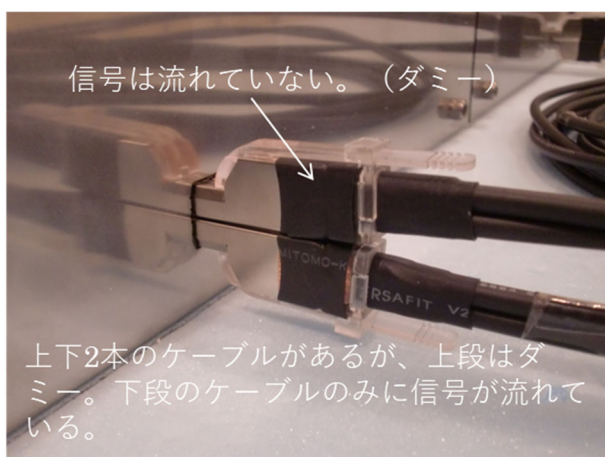


図 5. ケーブル S（強固な接続）



図 6. ケーブル S の詳細

PCI-Express®は PCI-SIG 社の商標です。

ケーブル S は図 6 のようにプラグシェルと編組シールドを金属カバーと銅テープを使い隙間なく接続しています。一方、ケーブル N (図 7 参照) はケーブル S の金属カバーを取り外しており、編組シールドとプラグシェルが接続されていません。電氣的にもプラグシェルと編組シールドは接続されていないので、編組シールドはケーブル両端で浮いた状態になっています。

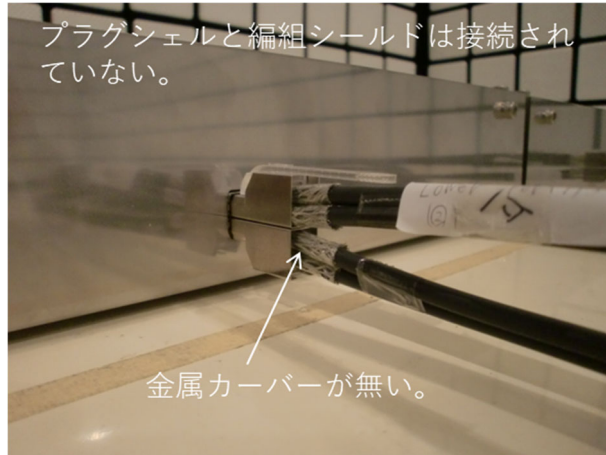


図 7. ケーブル N (接続無)

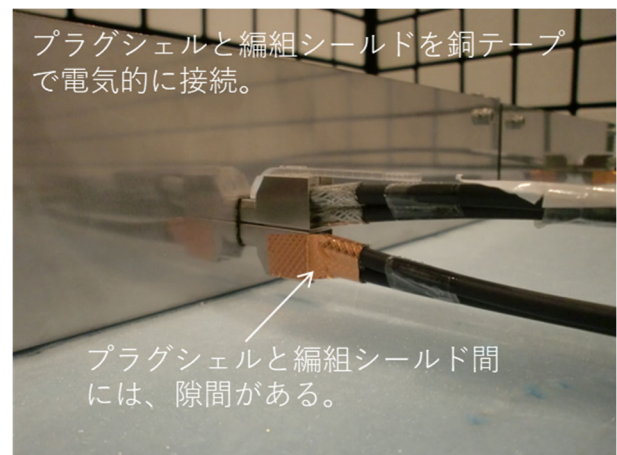
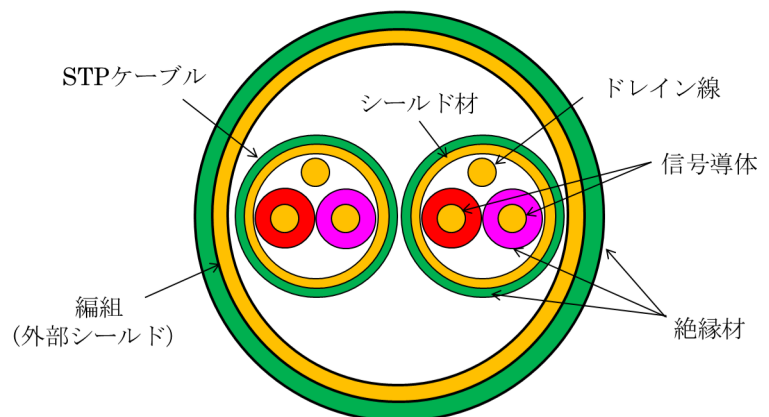


図 8. ケーブル W (弱い接続)

ケーブル W (図 8 参照) は、ケーブル N のプラグシェルと編組シールドの接続部分に銅テープを貼り付け導通させています。しかし、銅テープはプラグシェルと編組シールドを導通させる事を目的としていますので、プラグシェルと編組シールドには隙間が存在します。

図 9 に被測定ケーブルの断面構造を示します。被測定ケーブルは STP(Shielded Twisted Pair)を 2 対束ね編組線でシールドをしています。各 STP はドレイン線を持ち、このドレイン線で STP のシールドを基板グラウンドに、コネクタを介して接続します。



2 対の STP を複合したケーブルを示す。この複合ケーブルの一番外側は細い銅線を編み込んで筒状にしたシールドで覆われている。

図 9. 被測定ケーブル断面

## 5. 被測定コネクタ

被測定コネクタは、図 10 のレセプタクル N(Non Connection)と図 11 のレセプタクル C(Connection) の 2 通りを準備しました。レセプタクル N のシェル(金属製の外郭)は筐体と直接接続されていません。しかし、レセプタクル N のシェルはプリント基板のグラウンドに接続され、基板グラウンドは金属製のスペーサを介して筐体にネジ留めされていますので、筐体とレセプタクルは電氣的には導通しています。

図 11 のレセプタクル C と筐体は銅テープにより直接接続されています。

このように、被測定コネクタは、金属筐体への接続方法が異なり、この影響が放射電界に与える影響を確認します。



図 10. レセプタクル N (直接接続なし)

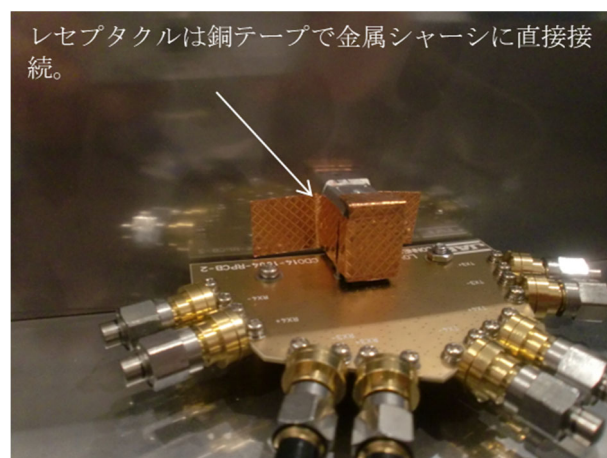


図 11. レセプタクル C (直接接続あり)

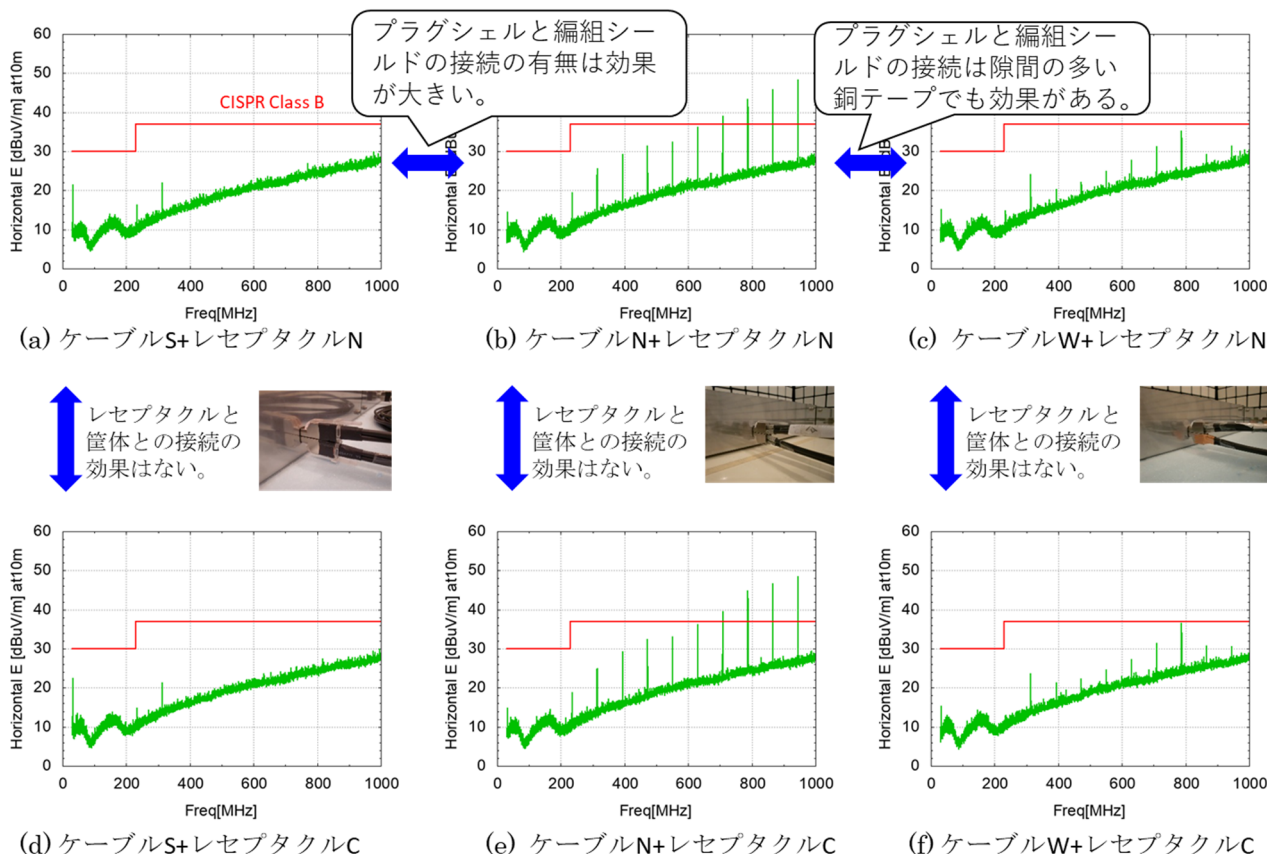
## 6. 測定結果(30 MHz～1 GHz)

電界強度 (30 MHz～1 GHz) の水平偏波の測定結果を図 12 に示します。垂直偏波も水平偏波と概ね同じ結果でしたので、ここでは水平偏波のみを議論します。図 12 の上段である(a)～(c)は、レセプタクル N (筐体との直接接続無) と各ケーブルの組み合わせによる電界強度、図 12 の下段(d)～(f)はレセプタクル C (筐体と直接接続有) と各ケーブルの電界強度になります。図 12(a)はレセプタクル N にケーブル S を接続した時の電界強度であり、33 MHz、234 MHz、312 MHz 以外には目立ったスペクトラムは無く、CISPR32 のクラス B の限度値より十分に低い値になっています。

図 12(d)は同じケーブル S に筐体と直接接続されたレセプタクル C に変更したのですが、ケーブル S を使った放射電界抑制効果が高いため、殆ど変化はありません。プラグシェルと編組シールドの接続が無いケーブル N とレセプタクル N の組み合わせでは、図 12(b)が示すように、限度値を大きく超える放射電界が観測されました。放射電界の低減を狙ってケーブル N にレセプタクル C を組み合わせた図 12(e)も、図 12(b)と比較して殆ど差が無く、レセプタクルによる影響はありません。プラグシェルと編組シールドを銅テープで簡易的に接続したケーブル W とレセプタクル N の結果は図 12(c)となり、ケーブル N とレセプタクル N (図 12(b)) の組み合わせと比較して大幅に放射電界を低減でき、尚且つ、CISPR32 の限度値以下となりました。ケーブル W にレセプタクル C を組み合わせた電界強度は図 12(f)になりますが、レセプタクルによる差は殆ど見られません。

これらの結果から 30 MHz～1 GHz の帯域では、レセプタクルと筐体が直接接続されているかどうかは、放射電界に対して無関係で、ケーブルのプラグシェルと編組シールドの接続が重要である事が分かります。プラグシェルと編組シールドは強固に隙間無く接続するのが重要ですが、この帯域に限れば、銅テープで簡易的に導通させるだけでも、かなりの効果が期待できることが分かりました。





放射ノイズ測定結果(30 MHz～1 GHz)を示す。この帯域では、プラグシェルと編組シールドの接続方法の影響が大きく、レセプタクルとシャーシの接続方法の影響はない。

図 12. 水平電界強度(30 MHz～1 GHz)

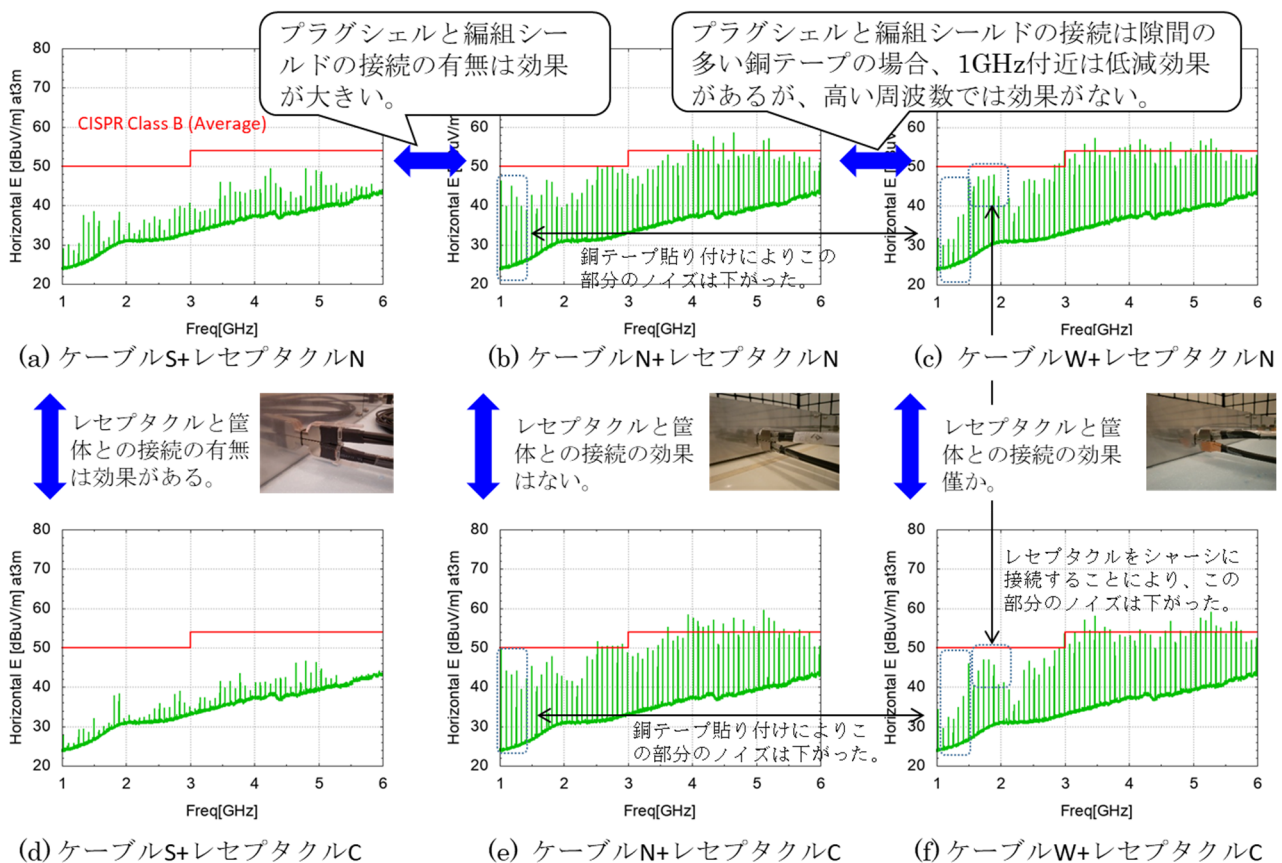
## 7. 測定結果(1 GHz～6 GHz)

1 GHz～6 GHz の水平方向の電界強度の測定結果を図 13 に示します。垂直方向の電界強度もほぼ、同じ傾向ですので、ここでは、割愛します。図 12 と同様に上段の(a)～(c)のグラフはレセプタクル N と各ケーブル、下段の(d)～(f)はレセプタクル C と各ケーブルの組み合わせになります。また、赤いラインは CISPR32 クラス B の限度値を示します。

図 13(a)はケーブル S とレセプタクル N を組み合わせた平均電界強度になり、ケーブル S による放射電界の抑制効果から、限度値に対して、十分低い値となっています。ケーブル S にレセプタクル C を組み合わせた図 13(d)の結果を見ると、レセプタクルを筐体に直接接続することにより、さらに放射電界が低く抑えられることが分かります。ケーブル N とレセプタクル C では、30 MHz～1 GHz の場合と同様に、放射電界は非常大きくなり、4 GHz～5 GHz の帯域で限度値を大きく越えます。図 13(e)に示すケーブル N にレセプタクル C を組み合わせた場合ですが、ケーブル N+レセプタクル N の場合と殆ど差が無く、レセプタクル C による効果は見られませんでした。

ケーブル W とレセプタクル N の組み合わせの結果は図 13(c)になり、1.5 GHz 以下ではケーブル N+レセプタクル N より放射電界の削減効果がありますが、1.5 GHz 以上では、低減効果はありません。1 GHz 以下の帯域では、プラグシェルと編組シールドを銅テープで貼り付けると一定の効果がありましたが、1.5 GHz 以上では、図 13(c)が示す通り殆ど効果はありません。ケーブル W+レセプタクル C に変更しても、1.5 GHz~2 GHz で若干の低減効果がありましたが、2 GHz 以上では、大きな効果はありませんでした。

つまり、1 GHz~6 GHz の帯域では、ケーブルのプラグシェルと編組シールドが隙間無く、且つ、電氣的に接続されている事が重要で、さらにレセプタクルを筐体に直接接続することにより、より大きな放射電界抑制効果が得られます。1 GHz 以下の帯域では、プラグシェルと編組シールドは銅テープなどで簡易的に導通をとっても、一定程度の低減効果がありましたが、1.5 GHz 以上の帯域では、殆ど効果が得られないことが分かります。



放射ノイズ測定結果(1 GHz~6 GHz)を示す。この帯域では、レセプタクルとシャーシの接続方法も影響するが、プラグ側の接続法の影響が大きい。

図 13. 水平電界強度(1 GHz~6 GHz)



## 8. まとめ

ケーブルを 3 種類、レセプタクルを 2 種類準備し、10 Gbps の信号を入力した時の放射電界を測定しました。30 MHz～1 GHz までの帯域では、レセプタクルの影響は無く、ケーブルのプラグシェルと編組シールドが電氣的に接続されていれば、放射電界をある程度抑制できることが分かりました。さらにプラグシェルと編組シールドの接続部分の隙間を無くし、強固に接続すれば、さらに放射電界が下がることも分かりました。

一方、1 GHz 以上の帯域では、プラグシェルとケーブルの編組シールドを電氣的に接続しただけでは、放射電界の抑制効果は無く、プラグシェルと編組シールドを隙間無く接続することにより、初めて放射電界抑制効果を発揮します。1 GHz 以上の帯域におけるレセプタクルの影響は、プラグシェルと編組シールドが強固に接続されたケーブル S と組み合わせれば、放射電界の低減効果がさらに大きくなりますが、それ以外のケーブル N、ケーブル W との組み合わせでは殆ど効果はありません。

従って、ケーブルから発生する放射電界を 1 GHz 以上の帯域まで抑制するには、ケーブルのプラグシェルと編組シールドを隙間無く且つ電氣的に接続し、さらにレセプタクルのシェルを筐体に直接電氣的に接続することにより、より一層放射電界が低減出来ることが分かりました。

### [参考文献]

- 1) Michel Mardiguian 著、小林岳彦 訳、”EMC 設計の実際 放射妨害波の制御”、(丸善、2000 年) p.7-9.
- 2) <https://www.vcci.jp/>
- 3) <https://www.fcc.gov/>
- 4) 野崎原生、畑山仁、池田浩昭、長尾裕樹、長野英生、宮崎仁、“USB Type-C のすべて”、(CQ 出版、2020 年).
- 5) 畑山仁、野崎原生、池田浩昭、志田晟、“USB 3.2 のすべて”、(CQ 出版、2020 年).
- 6) 長野英生、“高速ビデオ・インターフェース HDMI&DisplayPort のすべて”、(CQ 出版、2014 年).