

軍需機器の EMC — MIL-STD-461G の概要

Part 5: 補遺

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2023 年 8 月 21 日

目次

1	概要	1
2	周辺デバイスなどの試験	1
2.1	無線周波伝導エミッション (CE102)	1
2.2	音声周波伝導エミッション (CE101)	4
2.3	伝導サセプティビリティ (CS101, CS114, CS115, CS116, CS117)	4
2.4	放射エミッション (RE102), 放射サセプティビリティ (RS103)	6
2.5	適合性評価に関して	6
2.5.1	適合性評価に関する取り決め	6
2.5.2	試験の実施に関して	6
2.6	補足	7
2.6.1	対向器と複数のケーブルで接続される場合	7
3	参考資料	7

1 概要

このシリーズ^[2]の Part 1~4 では MIL-STD-461G^[1] で示されている様々な試験について解説した:

- Part 1: 主なエミッション要求 (CE101, CE102, RE101, RE102)
- Part 2: 主なサセプティビリティ要求 (CS101, CS109, CS114, CS115, CS116, CS118, RS101, RS103)
- Part 3: 雷誘導トランジェント、及び過渡電磁界へのサセプティビリティ (CS117, RS105)
- Part 4: 無線機器特有の試験 (CE106, RE103, CS103, CS104, CS105)

本項は MIL-STD-461G に関連する Part 1~4 で触れていない事項を扱う。

2 周辺デバイスなどの試験

センサなどの周辺デバイス^{†1}は、上流側となる制御ユニットなどの装置 (以下、対向器と呼ぶ) と 1 本のケーブル (シールドされることもある)、あるいは 1 つのワイヤのバンドル (束) で 1 対 1 で接続され、上流側のシステムとの電源を含む全ての接続がその対向器を介して行なわれる形となることがある (図 1)。

このようなデバイスの評価を適切に行なうためには、試験時の構成やセットアップの検討に際してその使用時の接続に特有の事項の考慮が必要となるかも知れない。

2.1 無線周波伝導エミッション (CE102)

MIL-STD-461G などの試験では、通常は EUT の電源は LISN を介して給電する。

このため、上で示したような周辺デバイスの MIL-STD-461G での試験の際も、例えば 図 2 に例示するようにそのケーブルの途中で電源線を分離して LISN に接続するという対応が考えられ、実際に CE102 (電源線の 10 kHz~10 MHz の伝導エミッション) の測定を含めてそのような形で実施されていることも多い。

だが、次のような理由から、このような形での CE102 の評価はそのデバイスの実際の使用における EMC の評価のために適当ではないものとなる、おそらくは過度に厳しい評価となる可能性も予期されそうである:

^{†1} その他、例えばアクチュエータ、入出力ユニットや信号変換器、操作/表示デバイスなど、その機能に関わらずどのようなデバイスでも。実際にそのようにするかどうかはシステム全体の設計の方針や様々な制約事項などにも依存するが、一般に、消費電力が大きくない、上流側となるユニットとの接続が必要なデバイスは、このような接続とするような設計を選択しやすいだろう。

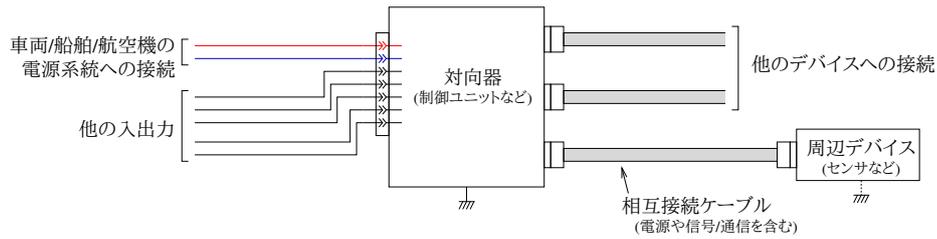


図 1: 周辺デバイスの接続のイメージ

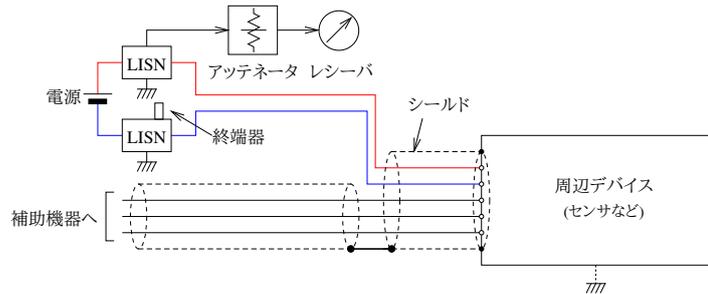


図 2: 周辺デバイスの伝導エミッション測定 (CE102) の接続の例 (1)

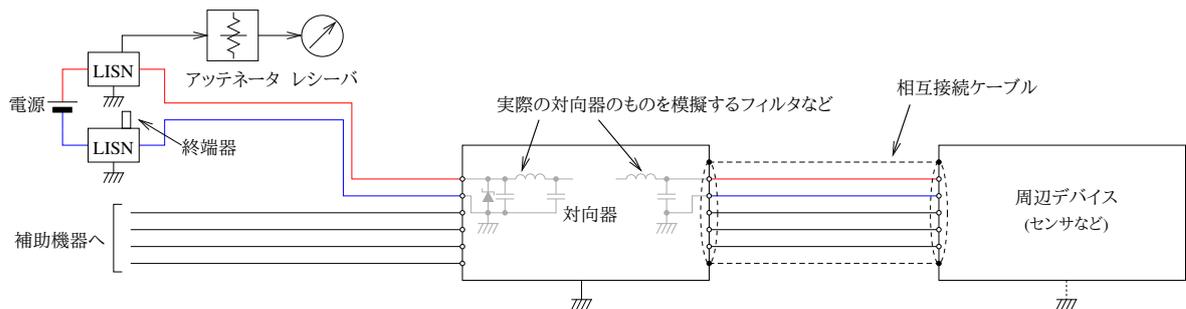


図 3: 周辺デバイスの伝導エミッション測定 (CE102) の接続の例 (2)

- 相互接続ケーブル自身からの妨害の放射や結合に寄与するのは主としてケーブル全体としてのコモン・モード・ノイズ^{†2}であり、電源線を他の線から分離しての測定の結果は、

- その形で測定されたノイズの相当の部分は、そのケーブルに含まれる他の線のノイズで相殺される、従ってエミッションにあまり寄与しないものとなるかも知れない
- そのケーブルが実際の使用ではシールドされる場合、その形での測定ではシールドによる緩和の効果が完全に無視される

ことからその指標として適当なものとなりそうにない;

^{†2} MIL-STD-461G にはそのような伝導での評価は含まれていないが、伝導での評価は例えば DO-160G^{[4][5]} や CISPR 25^{[6][7]} の電流プローブ法のようにケーブル全体に電流プローブを取り付けて行うことができる。

- 相互接続ケーブルの長さは限定的なものとなる^{†3}ことが多く、その場合、一般にそのケーブルからのノイズの放射や結合が CE102 の対象となる周波数範囲^{†4}で問題となるリスクはそれほど高くないと期待される;

- 相互接続ケーブルに含まれる電源線上のノイズの放射や結合が干渉の原因となるリスクはそのケーブルに含まれる他の導体上のノイズによるものと同様 (これは全体として RE102 (10 kHz

^{†3} 例えば最大数メートルに制限されるような。ケーブルの最大長 (また、使用するケーブルやコネクタの指定、特にシールド・ケーブルの場合のその終端処理など) は仕様書などで明確に規定されているべきである。

^{†4} 10 MHz の波長は 30 m、1 MHz の波長は 300 m で、例えばケーブルの最大長が 1 m であれば、それぞれ自由空間における波長の 1/30 以下、及び 1/300 以下に相当し、そのケーブルはこの周波数範囲では効率的なアンテナとして振る舞いそうにはない。波長よりもかなり短いケーブルからの放射が問題となることもあるが、いずれにしても CE102 では電源線以外は扱われず、これらは RE102 (10 kHz~18 GHz の周波数範囲の放射エミッション) でカバーされるであろう。

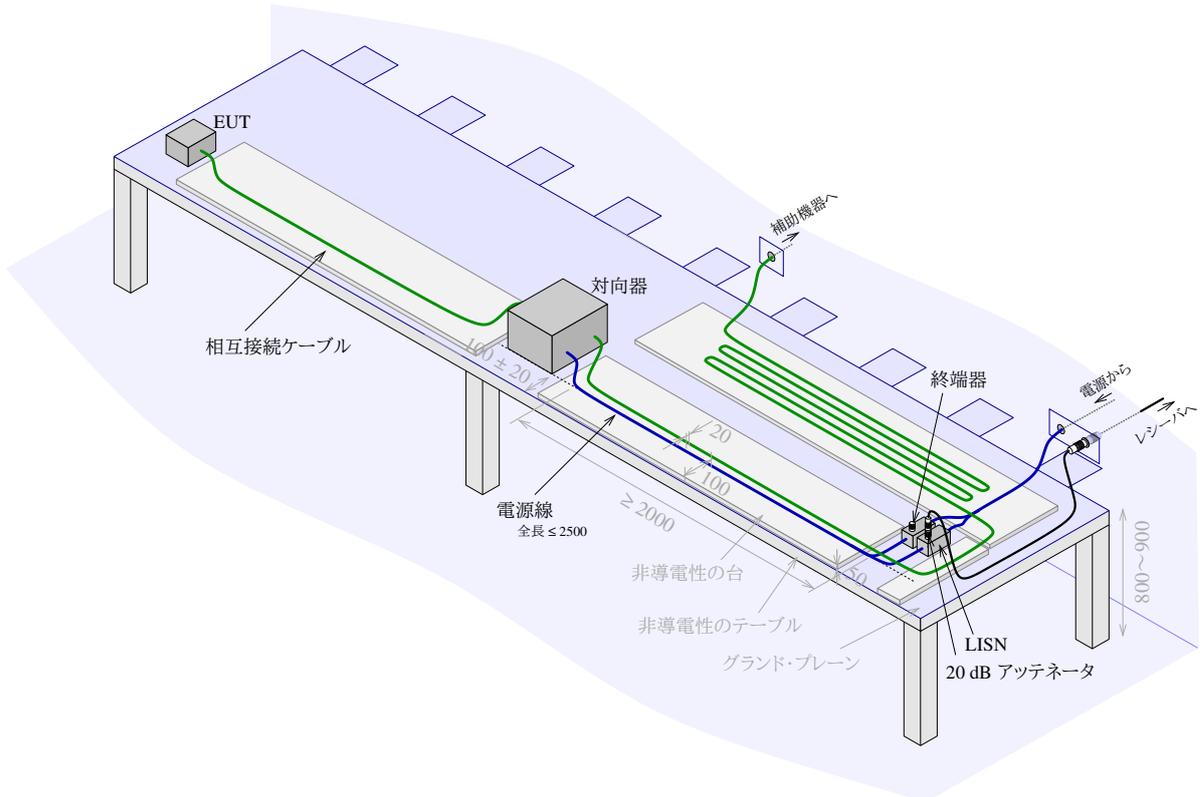


図 4: 周辺デバイスの伝導エミッション測定 (CE102) のセットアップの例 (図3の接続)

～18 GHz の放射エミッション) で評価される) と考えられ、従ってそのケーブルに含まれる電源線のみについて CE102 による評価を行なうことはあまり意味がないかも知れない;^{†5}

- そのデバイスの電源線に流出したノイズが対向器を介して車両/船舶/航空機の電源系統に流出し、それが干渉の原因となる可能性もあるものの、その電源は対向器に組み込まれたフィルタを (場合によっては DC/DC コンバータやレギュレータなども) 通るものとなることも多く、そのような場合、そのノイズはその経路を遡って電源系統に達する前に有意に減衰し、電源系統に流出するノイズのレベルは相互接続ケーブルに含まれる電源線上のノイズのレベルよりも有意に低くなるのが期待される;^{†6}

^{†5} そのデバイスと電源を共有する、対向器やその対向器から給電される他のデバイスへの干渉の可能性は別であるが、通常はそれは大きな懸念となりそうにない。

^{†6} そのデバイスが DC/DC コンバータやインバータのようなものを含む場合、その動作に伴ってスイッチング周波数とその高調波の妨害を発生する。これを電源入力のフィルタで十分に低減するためには比較的大きなフィルタが必要となるかも知れないが、周辺デバイスは寸法の制限のためにそのようなフィルタの組み込みが難しい場合もあり、またそのデバイスに給電する対向器はいずれにしてもフィルタを搭載することが多いと考

- 相互接続ケーブルがシールドされている場合、おそらくは途中でシールドを破って一部の線をシールドの外を引くような形 (図2) となるだろうが、これは少なくとも実際の使用に際しての状況を適切に模擬するものとなりそうになく、その影響でシールドが意図されたように機能しなくなる可能性も予期される。

MIL-STD-461G を見ると、§4.3.8.6 (EUT ケーブルの構成と配置) では「入力 (一次) 電源リード、帰路、及び接地ワイヤはシールドされてはならない」旨が、また §4.3.8.6.2 (入力 (一次) 電源リード) では「実際の設置で相互接続ケーブルの一部として束ねられる電源リードはその束から分離して LISN に引く (シールド・ケーブルのシールドの外を)」旨が述べられおり、規定上、図2 で例示したような接続が必要となるように見えるかも知れない。

だが、この規定は一次電源^{†7}への接続に関するもので、図1 で一次電源に接続されるのは相互接続えられるので、ある程度までは対向器のフィルタに頼るのが実際のかも知れない。

^{†7} この規格では一次電源 (primary power) の意味は定義されていないが、車両/船舶/航空機の電源系統を指すと考えて良いだろう。このような電源は車両/船舶/航空機の様々な箇所に設置される様々な機器に給電され、そのラインに流入したノイ

ケーブルに含まれる電源線ではなく対向器の電源入力線で、従ってこのケースでは相互接続ケーブルに含まれる電源線に関しては必ずしもその規定に従う必要はないと考えることもできそうである。

これらの理由から、このような場合は、

- 評価は実際の対向器、あるいはそれを模擬する試験用の対向器と組み合わせた状態で行なう；
- EUT と対向器のあいだの相互接続ケーブルも実際の使用を模擬したものとし、特に実際の使用でシールドされる場合はそれと同様に適切にシールドされたものとする；
- 電源線の伝導エミッションの測定は対向器の電源入力（車両/船舶/航空機の電源系統に接続されるポイント）で行なう；
- MIL-STD-461G への適合性の評価と別に、その周辺デバイスの実力の確認、対向器やその対応器から給電される他のユニットとの両立性の担保などのために必要であれば、その周辺デバイスの電源入力での評価（図2で例示したような接続での）を追加で行なう

ようにすることを考える余地があるかも知れない（図3, 図4）。

2.2 音声周波伝導エミッション (CE101)

MIL-STD-461G の観点では、§2.1で CE102 について述べたものと同様、CE101（電源線の 30 Hz～10 kHz の音声周波電流）も車両/船舶/航空機の電源系統に接続されるポイントとなる対向器の電源入力で要求を満たせば充分と考えて良さそうである。

2.3 伝導サセプティビリティ (CS101, CS114, CS115, CS116, CS117)

伝導サセプティビリティ試験に関しても、伝導エミッションに関して §2.1 で述べたものと似た次のズが他の機器に伝搬して、また車両/船舶/航空機に張り巡らされたラインから空間に放射されて（そして、他からの妨害がそのラインを介して機器に侵入して）干渉問題の原因となる可能性が予想される。これを考えれば、試験に際して電源入力リードをシールドしない（MIL-STD-461G §4.3.8.6）という要求、また CE102 のエミッション要求（そして、電源入力に対する伝導サセプティビリティの要求）をそのような電源系統に接続されるライン（図1では対向器の電源入力線）にのみ適用することは妥当と言えそうである。

ような理由のため、図2で例示したように電源線を他の線から分離しての試験はそのデバイスの実際の使用における EMC の評価のために適当ではないものとなる、おそらくは過度に厳しい評価となる可能性も予期されそうである：

- 相互接続ケーブルが外部からの妨害を受けてケーブルに妨害が誘起する可能性はあるものの、
 - そのケーブルに誘起する妨害は主としてコモン・モードとなり、電源線間や電源線とその他の線のあいだへのノーマル・モードでの重畳^{†8}はあまり生じないことが予期される；
 - そのケーブルが実際の使用ではシールドされる場合、特に電源線への妨害の印加に関して、この試験ではシールドによる緩和の効果が完全に無視される

ことからその指標として適当なものとなりそうにない；

- 車両/船舶/航空機の電源系統に入り込んだ妨害が対向器を介してそのデバイスに伝播し、それが干渉の原因となる可能性もあるものの、その経路は対向器に組み込まれたフィルタや保護素子を（場合によっては DC/DC コンバータやレギュレータなども）通るものとなることも多く、そのような場合、そのノイズはデバイスに達する前に有意に減衰し、デバイスの電源に入り込む妨害のレベルは電源系統上での妨害のレベルよりも有意に低くなることが期待される；^{†9}
- 相互接続ケーブルがシールドされている場合、おそらくは途中でシールドを破って一部の線をシールドの外を引くような形（図2）となるのだら

^{†8} 電源線を分離しての印加によるサセプティビリティ試験で模擬される。

^{†9} 特にその対向器から複数の周辺デバイスが給電される場合、電源から侵入する低い周波数の伝導妨害、過渡過電圧、逆電圧などに対する保護は上流側のユニットで一括して行なうことができそう、またその方がそれぞれの周辺デバイスで保護を行なうよりも実際的かも知れない。例えば雷誘導トランジェント（CS117で模擬される）への対策として電源入力にサージ・アブソーバを取り付けることが多いが、対向器でサージ・アブソーバで保護された電源を周辺デバイスに給電すればそれぞれの周辺デバイスでの同レベルの保護は不要とできそうであるし、これは特に寸法の制約が厳しい周辺デバイスで助けとなりそうである。勿論、電源入力から侵入した妨害に耐えられるかどうかの確認は必要となるであろうが、この確認は実際に使用されるものと同様の保護が組み込まれた対向器と組み合わせた状態でその対向器の電源入力側に所定の妨害を印加して行なうことができるであろう。

注入デバイスを取り付けて行なう;^{†11}

- 電源線への印加 (全線一括での、また帰路導体や中性線や接地線を除いての) は対向器の入力側に注入デバイスを取り付けて行なう^{†13}
- MIL-STD-461G への適合性の評価と別に、その周辺デバイスの実力の確認、対向器やその対応器から給電される他のユニットとの両立性の担保などのために必要であれば、その周辺デバイスの電源入力での評価 (図2 で例示したような接続での) を追加で行なう

ようにすることを考える余地があるかも知れない (図6, 図5)。

2.4 放射エミッション (RE102), 放射サセプティビリティ (RS103)

放射での試験も、EUT と対向器のあいだの相互接続ケーブルは実際の使用と同様の状態 (実際の使用でシールドされる場合、シールドされ、シールドが適切に終端された状態) として、伝導エミッションに関して §2.1 で述べたものと同様の 図3 で例示したような接続で、例えば 図4に例示したようなセットアップで行なうことができるだろう。

2.5 適合性評価に関して

2.5.1 適合性評価に関する取り決め

このようなデバイスの設計や生産を納入先の要求に応じて行なうような場合、納入先とのあいだで、

^{†11} 相互接続ケーブルの最大長から考えてその妨害の、あるいは低い周波数範囲のその妨害の有意な誘導が生じそうにない場合、その妨害の相互接続ケーブル全体への印加の省略、あるいは低い周波数範囲でのその形での印加の省略^{†12} を考える余地もあるかも知れない。

^{†12} MIL-STD-461G にはそのような規定はないが、一般産業向けの EMC 規格では、伝導無線周波イミュニティ試験 (IEC 61000-4-6, 150 kHz~80 MHz) は 3 m 以下のケーブルを、サージ・イミュニティ試験 (IEC 61000-4-5) は 30 m 以下のケーブルを試験の対象から除外できることも多い。

^{†13} 実際の使用で相互接続ケーブルに含まれる信号線や通信線が対向器を介してその先に接続されるような場合、これに加えて、それらに対応する対向器の入力側の線への印加を行なうことも考えても良いかも知れない。この場合、試験で使用する対向器には実際の使用を模擬するフィルタを入れることを考慮すべきである。一方、それらの線が実際の使用では対向器内の回路に接続されるだけだが、試験に際しては外部の機器 (監視用の計測器など) に接続されるような場合、対向器の先の線 (実際の使用では存在しない) の影響を抑えるため、試験で使用する対向器ではそれらの線は厳重にフィルタするようにすると良いであろう。

適合させる規格とその項目やレベルのみでなく、それぞれの評価をどのような形で行なうかも事前に明確に取り決めておくべきだろう。^{†14}

例えば上で述べたように電源に対する試験を対向器の入力側で行なう方向とする場合、少なくともその旨、また使用する対向器に関する要件 (特にフィルタやその他の保護回路に関して) を明確にすることも必要となりそうである。^{†15†16}

必要な場合、そのデバイスの電源入力線でのエミッションやサセプティビリティの要求 (規格での要求レベルよりも緩和された) についてもここで定めることができるだろう。^{†17}

一方、このようなデバイスの設計や生産を自ら仕様を決めて行なうような場合は、このような要件は製品開発の一部として自ら決めることができるだろう。

このような場合、購入者がそれらの要件をあらかじめ知ることができるように、また実際の設置や使用をその要件を守って行なうことができるように、必要な情報を仕様書や設置指示書などに適切に記載すべきである。

2.5.2 試験の実施に関して

試験を第三者に依頼する場合は特に、試験計画書には、適用する規格や試験項目、動作条件などのみでなく、それぞれの試験時の詳細な構成や配置、対向器やケーブルなどを含む試験で使用する機材の情報、伝導での試験に関してはそれぞれの試験をどの箇所に対して実施するかなども具体的に記載すべきである。

^{†14} そのような取り決めが事前にほとんど、あるいは全く行なわれておらず、また評価の時点でその種の事項の確認や協議を行なうこともできず、必要以上に厳しくなりそうな形での評価を行なっているのを見掛けることもある。

^{†15} 例えば他の事項とともにそれらの事項が明記された納入仕様書を取り交わす、など。

^{†16} そのような提案が受け入れられるとは限らないものの、契約前の仕様の摺り合わせの段階でそれを正当化する技術的な根拠を明確に示して具体的な提案を行えば、契約が結ばれて開発が進展した後でその話を出した場合よりは協議に応じてもらえる可能性は高そうに思われる。

^{†17} 例えば、電源線の伝導エミッションを対向器で 20 dB 以上減衰させることが想定される場合、それから給電されるユニットの電源入力線では規格のエミッション限度よりも 20 dB 高いエミッション限度を適用できるかも知れない。但し、実際にはフィルタの実際の減衰量は様々な要因で変動すること、実際の使用に際しては対向器自身やそれから給電される他のデバイスからのエミッションが加算されるであろうことなどを考慮してマージンを取ることも必要となるかも知れない。

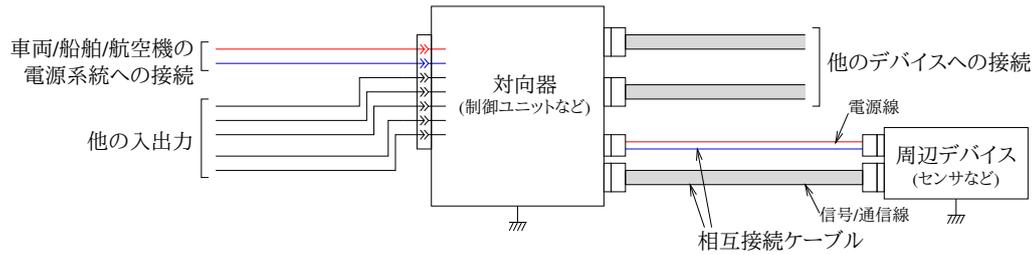


図 7: 周辺デバイスの接続のイメージ — 信号/通信線と電源線が別のケーブルとなる場合

試験で使用する対向器やケーブル (特にシールド・ケーブルの場合) は試験の結果に著しい影響を与える可能性があるため、実際の使用を適切に模擬するように、適切なものを用意し、それらを一貫して使用するようすべきである。

実際の対向器にフィルタやその他の保護回路が搭載されることが想定される (あるいはそのように指示する) 場合、試験で使用する対向器にもそれと同等のフィルタや保護回路を搭載するのが良いだろう。

上では電源以外の線については触れていないが、試験に際して電源以外の入出力線や通信線なども対向器を介してその先の機器 (補助機器) に接続されるような場合、条件を管理し、また対向器から先に接続される機器、またその接続や配置の試験への影響を抑えるため、対向器で適切に終端や減結合 (フィルタ) を行なうことが望ましい。[3]

2.6 補足

2.6.1 対向器と複数のケーブルで接続される場合

上で述べた主な論拠は図 7 に例示するように対向器と複数のケーブルで (例えば信号/通信線と電源線が別のケーブルで) 接続される周辺デバイスにも当て嵌まるであろうし、従ってそのようなデバイスも上で述べたような形で評価することを考える余地がありそうである。

但し、それらのケーブルが 1 つのバンドルとならないような場合、相互接続ケーブルに対する試験はそれぞれのケーブルに対して別々に行なうことが必要と判断されるかも知れない。

だが、上と同様に電源が他のユニットを介して給電されるとしても、その電源ラインが車両/船舶/航空機のような場所に引かれ、その電源ラインに他の不特定のユニットが並列に接続されるような場合、上で述べたような形で評価は正当化しにくいものとなるかも知れない。

3 参考資料

- [1] MIL-STD-461G, *Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment*, Department of Defense, 2015
- [2] 軍需機器の EMC — MIL-STD-461G の概要, 株式会社 e・オートマ 佐藤, 2020,
<https://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>
 - Part 1: 主なエミッション要求 (CE101, CE102, RE101, RE102)
 - Part 2: 主なサセプティビリティ要求 (CS101, CS109, CS114, CS115, CS116, CS118, RS101, RS103)
 - Part 3: 雷誘導トランジェント、及び過渡電磁界へのサセプティビリティ (CS117, RS105)
- [3] 車載機器の EMC 試験の準備 — ロード・シミュレータ、テスト・ハーネスなどの準備, 株式会社 e・オートマ 佐藤, 2018,
<https://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>
- [4] RTCA DO-160G, *Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment*, RTCA, Inc., 2010
- [5] 航空用機器の EMC — RTCA DO-160G の概要, Part 1: 無線周波サセプティビリティ、及びエミッション, 株式会社 e・オートマ 佐藤, 2020,
<https://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>
- [6] CISPR 25, *Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers*
- [7] CISPR 25 の概要 — 車載機器のエミッションの評価, 株式会社 e・オートマ 佐藤, 2016–2023,
<https://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>