

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・オータマ 佐藤智典

2018 年 3 月 19 日

目次

1	概要	1
2	機材の準備	1
2.1	ロード・シミュレータ	1
2.1.1	ロード・シミュレータに必要な/望まれる特性	2
2.1.2	ロード・シミュレータの設計のガイド	3
2.2	周辺機器	5
2.3	テスト・ハーネス	6
2.4	その他のケーブル	7
3	参考資料	7

1 概要

車載機器の EMC 試験では、試験で使用するロード・シミュレータやテスト・ハーネスが試験の結果に大きな影響を与える^{[5][7]}。従って、EMC 試験を適切に実施するためには、ロード・シミュレータやその他の周辺機器、テスト・ハーネスなどの準備を適切に行なうことが必要となる。

このような準備が不足していたことに試験を始めようとした時に、あるいは始めた後で気付いた場合、その準備ができるまで試験を中断することが必要となる、あるいは規格やテスト・プランから外れた、あるいは適切なものとは言い難い形での試験となることで妥協して試験を続行することになるかも知れない。また、それが規格やテスト・プランから外れた、あるいは適切なものとは言い難いものとなることに気付かないまま試験を終えるという状況も考えられる。

このような状況での試験はその有効性に問題を含むものとなる可能性があり、結局は適切な準備を行なった後に改めて再試験を行なうという判断となるかも知れない。だが、このような状況となっている

ことに気付かなかった場合、あるいは気付いていても再試験は不要と安易に判断してその結果を最終的な評価結果とした場合、場合によっては後日大きな問題となる可能性も考えられる。^{†1}

このような問題のリスクを下げ、試験を効果的に行なうためには、試験を意図したように行なうために何が必要となるかを理解し、適切な準備を行なうことが必要となるだろう。

本稿では、ISO 11452^{[1][5][6]} シリーズや CISPR 25^{[2][7]} の試験のためのロード・シミュレータやテスト・ハーネスなどの準備についてのガイドを示す。なお、それぞれの規格の正確な要求は、それぞれの規格^{[1][2][3]}を参照されたい。

2 機材の準備

2.1 ロード・シミュレータ

ISO 11452^{[1][5][6]} シリーズや CISPR 25^{[2][7]} の大部分の試験では、試験対象装置 (DUT) のハーネスはロード・シミュレータで終端することが基本となる。

ロード・シミュレータの役割の 1 つは DUT を意図した状態で動作させることである。だが、ロード・シミュレータのその他の特性が試験の結果に (そして試験の有効性に) 大きな影響を与える可能性があるにも関わらず、その点は規格でも強調されておらず、しばしば見過ごされているように見受けられる。

^{†1} 例えば、規格の規定に従っていない形での試験の結果に基づいて規格への適合を主張したということで紛争となるかも知れない。あるいは、試験を適切に行なっていれば検出できたであろう問題に気付かずに出荷し、フィールドで実際に問題を起こすかも知れない。

2.1.1 ロード・シミュレータに必要な/望まれる特性

ロード・シミュレータは、一般に次のような特性を持つものが必要となる：

- エミッション試験に際して、過剰なノイズを発生しないこと

ロード・シミュレータは DUT と同じ空間に置かれ、テスト・ハーネスに接続されるので、ロード・シミュレータが有意なノイズを発生した場合、それもある程度までは DUT からのノイズと同様に観測されることになる。

一般にそのようなノイズを無視してその他のノイズのみを測定することは許容されないので、ロード・シミュレータが発生するノイズのレベルが高い場合、DUT がエミッション限度を超えるようなノイズを出していないとしてもエミッション試験に不合格となる場合がある。

このような問題を避けるためには、ロード・シミュレータからのノイズが適用するエミッション限度よりも十分に低い（通常、6 dB 以上低い）ことが必要となる。

- イミュニティ試験に際して、試験で印加される妨害で損傷や誤動作を生じないこと

同様に、イミュニティ試験に際してはロード・シミュレータも試験で印加される妨害に曝されるため、イミュニティ試験に際してロード・シミュレータが妨害の影響を受けることも珍しくない。

このような問題を避けるためには、ロード・シミュレータが試験で印加される妨害に余裕を持って耐えられるようにすることが必要となる。

イミュニティ・レベルが試験レベルよりも低いかも知れない機器、例えば一般の計測器やコンピュータなどを試験室内（DUT が置かれる電波暗室やシールド・ルームの中）に置くことやテスト・ハーネスに直結することは、一般に推奨しない。

- DUT から見たノーマル・モード、及びコモン・モードのインピーダンスを管理すること

デバイスのコモン・モード・インピーダンスは DUT の機能に関係しないことも多く、またそ

れが重要であるということがあまり認識されていない傾向があり、ロード・シミュレータの準備に際して考慮されていないことが多い。

だが、ロード・シミュレータを DUT 側から見たコモン・モード・インピーダンス（テスト・ハーネスとグラウンド・プレーンのあいだのインピーダンス）は多くの試験の試験結果に大きな非常に大きな影響を与える。例えば、ISO 11452-4（BCI法）では、ロード・シミュレータ側のコモン・モード・インピーダンスが高ければ^{f2}少なくとも低い周波数範囲では DUT 側に妨害がほとんど注入されず、結果として試験が非常に甘いものになってしまう可能性が高い^[5]。

このような問題を避けるためには、ロード・シミュレータは、DUT を動作させるために必要な特性を持つだけでなく、イミュニティ試験での妨害の印加やエミッション測定でのノイズの測定を妨げないようなインピーダンスを与えるものとする必要があり、基本的には試験周波数範囲の大部分で十分に低いインピーダンスを持つことが望ましい。

- ロード・シミュレータの先に他の機器が接続される場合、その先の機器や配線がロード・シミュレータの DUT ポートのインピーダンスにあまり影響しないこと

テスト・ハーネスの端に接続されたロード・シミュレータが電源に接続される、あるいはロード・シミュレータの先にさらに他の機器（例えばコンピュータや計測器など）が接続される場合も多い。

ロード・シミュレータの電源はその近くに置いた LISN（AN）を介して接続するのが基本であり、その場合、少なくとも低い周波数範囲^{f3}についてはインピーダンスはある程度管理された状態となる。

だが、一般にその他の機器のインピーダンスは管理されておらず、またそれらの機器が試験室外に置かれて長いケーブルで接続されることも珍しくない。

^{f2} 例えばロード・シミュレータがグラウンド・プレーンに低いインピーダンスで接続されていない場合や EMC 対策などの目的でポートにチョーク・コイルを入れている場合はこのような状態となることが予想される。

^{f3} LISN のインピーダンスは通常は 0.1～100 MHz について管理されている。

このような場合、ロード・シミュレータの先に接続された機器やその配線、あるいはそれらの配置が DUT 側からロード・シミュレータを見たインピーダンスに影響を与え、結果的に試験の結果に大きな影響を与えるものとなる可能性がある。

このような問題を避けるためには、ロード・シミュレータの DUT ポートのインピーダンスがロード・シミュレータの先の接続の状態の影響を受けないよう、ロード・シミュレータの DUT ポートとその他のポートのあいだが適切に減結合されていることが望ましい。

- ロード・シミュレータの先に他の機器が接続される場合、他の機器からの妨害の伝搬、あるいは他の機器への妨害の伝搬をできる限り抑制すること

ロード・シミュレータ自身がエミッション測定に悪影響を与えるようなノイズを発生せず、またイミュニティ試験で印加される妨害に耐えるとしても、その先の機器（例えばコンピュータや計測器など）から伝搬するノイズがエミッション測定の結果に悪影響を与え、あるいはイミュニティ試験に際して印加された妨害がその先の機器に伝搬して誤動作を引き起こすかも知れない。

このような問題を避けるためには、ロード・シミュレータが、その先の機器から伝搬するノイズ、あるいはそれらの機器に伝搬するかも知れない妨害をできる限り減衰させることが望ましい。

場合によっては、特にロード・シミュレータからのケーブルを試験室外に置いた敏感な周辺機器に接続するような場合には、ケーブルを試験室から引き出す箇所と周辺機器のあいだに追加のフィルタを設けることが望ましい、あるいは周辺機器の誤動作の防止やノイズの侵入の抑制のためそれが不可欠となるかも知れない。

2.1.2 ロード・シミュレータの設計のガイド

前項で述べたような特性の達成のため、ロード・シミュレータの設計で以下のような点に留意することを推奨する。

- できる限りノイズを発生しないように、また試験で印加される妨害の影響を受けないように設計する
 - 通常は受動回路のみであれば問題とならない
 - デジタル回路（CPU などのクロックを用いたもの、デジタル通信回路など）や DC/DC コンバータはエミッションで問題となりやすく、イミュニティでも問題となるかも知れない
 - アナログ回路（例えばセンサやオペアンプ回路）はイミュニティで問題となりやすく、微小信号を扱う場合には特に慎重な設計が必要となる
 - 同じ回路でもグラウンド・プレーンを持つプリント板で作るよりもユニバーサル基板上で組んだ方が問題となりやすい
 - ノイズを発生する、あるいは妨害の影響を受ける可能性がある回路を用いる場合、フィルタとシールドを厳重に行なうことが望ましい
- DUT ポートのインピーダンスを管理する
 - DUT ポートとグラウンド（ロード・シミュレータのシールド・ケース）とのあいだに適切な容量^{†4}のコンデンサを入れ、DUT ポートのインピーダンスを低インピーダンス状態として管理する
 - できる限り高い周波数まで安定したインピーダンスを与えられるように、このコンデンサは、貫通コンデンサ（シールド・ケースに直接取り付けことができ、その場合は最良の高周波特性を与える）、あるいはグラウンド・プレーンを持つプリント板上に実装した三端子コンデンサとすることが望ましい
 - DUT ポート（コネクタ）からこのコンデンサまでの距離はできる限り短くすることが望ましい

^{†4} このコンデンサの容量の例は ISO 11452-1:2015^[1] や FMC1278^[4] などで示されているが、接続先の回路の特性に応じた調整が必要となるかも知れない。

- 必要な場合はそのコンデンサよりも内側に直列インピーダンスを追加しても良い^{†5}が、コンデンサと DUT のあいだに直列インピーダンス (例えばフェライト・コア) を追加すべきではない
- CAN については、DUT ポートの直近の小容量のコンデンサ^{†6}に加えて、 や  で例示したように分割終端を行なうことが望ましい
- テスト・ハーネスでシールド線が用いられている場合、そのシールドはロード・シミュレータのシールド・ケースに直接接続することが望ましい
- DUT ポート以外のポート (例えば電源や他の機器と接続するためのポート) を設ける場合、それらのポートも出入り口の近くでフィルタする
 - このフィルタは、ロード・シミュレータ内の回路が発生したノイズがケーブルを介して漏洩してエミッション測定で問題となるリスクを、またイミュニティ試験で印加された妨害がケーブルを介してロード・シミュレータ内に侵入してロード・シミュレータの誤動作を引き起こすリスクを低減する
 - このフィルタは、他の機器からの、あるいは他の機器への妨害の伝搬も低減する
- 他の機器に接続するためのポートを設ける場合、それらのポートの接続にシールド・ケーブルを用いる
 - ケーブルのシールドを適切に終端できるコネクタを用いるか、あるいは EMI 用のケーブル・グランド (gland) やクランプを用い、ケーブルがロード・シミュレータに入る箇所ですそのシールドをシールド・ケースに全周で接続することが望ましい
- ケーブルの適切なシールドはケーブルからのノイズの放射や妨害の拾い上げを抑制し、ロード・シミュレータやその先の機器からのノイズのエミッション測定への影響、またイミュニティ試験で印加される妨害のそれらの機器への影響を低減する
- その回路がシールドを必要とするかどうかに関わらず、ロード・シミュレータをシールド・ケースに入れる
 - ロード・シミュレータのシールド・ケースは、DUT ポートに取り付けたコンデンサ、また必要に応じて他のポートに取り付けたフィルタに良好なグランドを提供できる
 - ロード・シミュレータ内のコンデンサやフィルタのグランドへの接続は、このシールド・ケースに高周波的に確実にこなう
 - 三端子コンデンサやフィルタのグランドをプリント板のグランド・プレーンに接続している場合、グランド・プレーンとシールド・ケースをしっかりと接続する
 - シールド・ケースの表面は良好な導電性を持つ金属面が露出した状態^{†7}とし、また底面に足を付けず、試験に際してグランド・プレーンと直接導通させられるようにする
 - 内部の回路がノイズを発生する、あるいは妨害の影響を受ける可能性が考えられる場合、シールドにできる限り開口を設けないようにし、必要に応じて EMI ガスケットや銅テープなどを用いてシールドの隙間を塞ぐ
- ロード・シミュレータは試験の結果に有意な影響を与える可能性があるため、何らかの形で管理し、また変更を加えた時にはその記録を取ることが望ましい

^{†5} 追加の直列インピーダンスは減結合を改善し、その先の回路や配線の DUT ポート側への影響を低減するだろう。その先をロード・シミュレータから引き出して長いケーブルを接続するような場合にはこの減結合が重要となるかも知れず、DUT ポートと他のポートとのあいだが十分に減結合されていれば他のポートの先の状態がロード・シミュレータの DUT ポートのインピーダンスに影響を与えにくくなる。ロード・シミュレータでインピーダンスの管理や減結合が適切に行なわれていない場合の影響の例については [7] で述べた。

^{†6} CAN については、ISO 11452-1:2015^[1] では 10 pF、FMC1278^[4] では 470 pF という値が示されている。

ロード・シミュレータの設計のイメージを  や  に示す。ロード・シミュレータの設計については ISO 11452-1:2015^[1] や Ford FMC1278^[4] でも述べられている。

^{†7} 例えば無塗装の銅など。アルミニウムを用いる場合はアルマイトを行なわないこと。

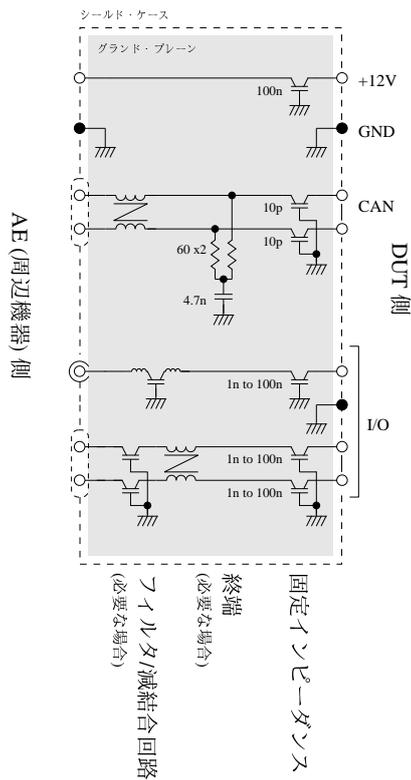


図 1: ロード・シミュレータの設計イメージ (受動回路のみ)

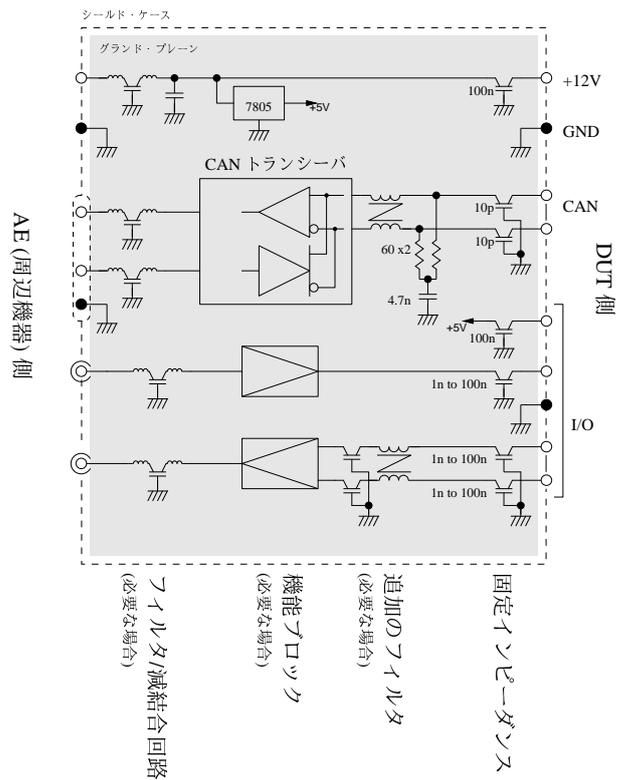


図 2: ロード・シミュレータの設計イメージ (能動回路を含む)

2.2 周辺機器

しばしば、DUT の制御や監視などのために、他の機器、例えば計測器、コンピュータ、ECU などを DUT に接続することが必要となる。

このような機器の接続が必要な場合、以下のようになることが望ましい。

- 用途に合った機器をあらかじめ用意する
- そのような機器の接続はロード・シミュレータを介して行なう
 - － ロード・シミュレータとして望ましい特性を持たないかも知れない機器をテスト・ハーネスに直結しない^{†8}
 - － そのような機器はロード・シミュレータを介して接続し、ロード・シミュレータでインピーダンスの管理やある程度のフィル

^{†8} 特に、グランド・プレーンの外に、さらには試験室の外に置いた周辺機器に適切なロード・シミュレータを介さずに接続した場合、接続した周辺機器、その周辺機器までの配線、周辺機器の電源などの接続、それら全ての配置が試験の結果に大きな影響を与えるようになる可能性がある。このような状況では再現性のある試験はほとんど不可能となるだろう。

タを行なうことで、そのような機器が試験に悪影響を与える可能性を低減できる

- DUT の制御や監視などのために DUT に通常は存在しない線を接続することは避ける^{†9}
 - － まず、そのような接続をなくすことができないかを考えることが望ましい
 - * DUT が通信機能を持つ場合、内部状態を通信で監視できるような試験用のモードを追加することで追加の接続なしで DUT の内部状態を監視することが可能となる場合があるかも知れない
 - * 必要に応じて適当なインジケータを追加し、状態の監視を非接触で行な

^{†9} これに関して、ISO 11452-2 や ISO 11452-4^[1] は、「干渉への DUT の反応のモニタのための機器への接続は、光ファイバ、あるいは高抵抗リードを用いて行なえるかも知れない。他のタイプのリードを使用できるかも知れないが、影響を最小限とするために極度の注意が必要となる。そのようなリードの配置、長さ、そして位置は慎重に文書化しなければならない。モニタ用の機器と DUT のいかなる電氣的接続も DUT の誤動作を引き起こすかも知れない。そのような影響を防ぐためには極度の注意を払わなければならない。」のように述べている。

えるようにできる場合があるかも知れない

- 接続が必要な場合、光ファイバを使用することが望ましい
- どうしても電氣的な接続が必要な場合、高抵抗のリード線を用いればそのリード線の試験への影響を低減できる
- エミッション試験に悪影響を与えるようなノイズを発生せず、またイミュニティ試験で印加される妨害に耐えることがわかっているのではない限り、そのような機器を試験室内に置くことは避ける
 - そのような機器はエミッション試験で大きな問題となるレベルのノイズを発生する可能性がある
 - 一般の計測器やコンピュータは車載機器のイミュニティ試験で予期されるよりもかなり穏やかな環境での使用のみが意図されていることも多く、イミュニティ試験で印加される妨害に耐えられない可能性がある
 - そのような機器に妨害を与えた時、その影響は気付きにくい形で出る可能性もある
- DUT の操作が必要な場合、適切な準備を行なう
 - 例えば妨害を受けている状態でのスイッチ操作やその他の機械的な入力への反応を確認することが必要となる場合がある
 - イミュニティ試験中にそのような操作を行なう場合、妨害の影響を受けない、また妨害に悪影響を与えない形でその操作を行なうことが必要となる
 - これは、例えば遠隔で制御されるプラスチックの空圧アクチュエータ (場合によってはバルーンのようなもの) を用いて行なうことができるかも知れない
 - 試験時に人が試験室内で操作することや DUT の近くに置いたロボットに操作を行なわせるようなことは一般に許容できない

2.3 テスト・ハーネス

試験で使用するテスト・ハーネス (DUT とロード・シミュレータのあいだのハーネス) も試験の結

果に非常に非常に大きな影響を与える^{[5][7]}ので、適切なものを用意することが必要である。

- 適切な長さのテスト・ハーネスを用意する
 - 試験によって複数の長さのハーネスが必要となるのが普通であるので、それぞれの長さのものを用意する
 - 場合によっては、同じ試験を DUT の向きを変えて試験を行なう際にもハーネス長を変えることが必要となるかも知れない
 - 短いハーネスを使用すべき時に長いハーネスを折り畳んで用いてはならない
 - ハーネスの作成を試験時にその場で行なうことも可能な場合、ハーネスの作成のために必要な部材 (コネクタ、ワイヤ、工具など) も用意しておくことが望ましい
- テスト・ハーネスの線の種類や加工などは実際に使用するハーネスを代表するものとする
 - 特に、シールドの有無、シールドの端末処理、線の撚り合わせの有無に注意する
- 例えば対策の効果の確認を行なおうとしている場合のように試験の再現性が重要な場合、同じテスト・ハーネスを用いることが望ましい
 - ハーネスの長さや加工の僅かな違いが測定結果の違いを引き起こす可能性もあるので、再現性が非常に重要な場合には、単に同じように作ったものというだけでなく、同一の個体を用いることが望ましい
 - また、ハーネスの束ね方の違いが測定結果の違いを引き起こす可能性もあるので、再現性が非常に重要な場合には、ハーネスをしっかりと束ね、次の試験までその形状をできる限り保つようにすることが望ましい
- 規格によってはテスト・プランで規定された別の長さのハーネスを用いることが許容される場合もあるが、標準的でない長さのハーネスを用いる場合、その試験への影響を考慮することが望ましい

各規格で必要となるテスト・ハーネスの長さを表1に一覧で示した。

より詳しい情報や、それぞれの試験での機器（特に DUT、ロード・シミュレータ、及びテスト・ハーネス）の配置の例は、参考資料^{[1]~[7]}を参照していただきたい。

2.4 その他のケーブル

ロード・シミュレータとその他の周辺機器のあいだを接続するケーブルも、試験時の配置を考慮して適切なものを用意することが必要となる。

- 用途に合った、適切な長さのケーブルを用意する
 - － 必要な長さは試験時の配置や試験室の状況などによって異なるが、周辺機器を試験室の外に置く場合、かなり長いものが必要となる
 - － ロード・シミュレータで適切にインピーダンスの管理と減結合が行なわれていればこのケーブルやその配置の試験への影響は限定的なものとなることが期待されるので、一般に、テスト・ハーネスのような厳格な管理は不要で、試験によって異なるものを用いても良いだろう
- ケーブルを試験室外まで引き出す場合、その引き出し方の考慮も必要
 - － 同軸ケーブルは試験室の壁面の貫通同軸コネクタを経由して引き出すことができるかも知れないが、その場合、試験室の内側と外側の 2 本のケーブルが必要となる
 - － 貫通同軸コネクタを経由できないケーブルを試験室の外に引き出す場合は壁面の貫通スリーブ（シールド・ルームの壁を貫通するパイプ）を通すことが多いが、コネクタが大きいと貫通スリーブに通らないかも知れない
 - － ケーブルを介しての妨害の漏洩や侵入を低減するため、シールド・ケーブルを用い、ケーブルが壁を抜ける箇所でケーブルのシールドを壁面に接続できるようにしておくことが望ましい

周辺機器を試験室（電波暗室やシールド・ルーム）の外に置いた場合の機器の接続のイメージを図 3 に示す。^{†10}

3 参考資料

[1] ISO 11452 series, *Road vehicles – Component test methods for electrical disturbances by narrowband radiated electromagnetic energy*

- ISO 11452-1:2005, *General and definitions*, ISO, 2005
- ISO 11452-1:2015, *General principles and terminology*
- ISO 11452-2:2004, *Absorber-lined shielded enclosure*, ISO 2004
- ISO 11452-3:2001, *Transverse electromagnetic mode (TEM) cell*, ISO, 2001
- ISO 11452-4:2005, *Bulk current injection (BCI)*, ISO, 2005
- ISO 11452-4:2011, *Harness excitation methods*
- ISO 11452-5:2002, *Stripline*, ISO, 2002
- ISO 11452-7:2003 + A1:2013, *Direct radio frequency (RF) power injection*
- ISO 11452-8:2015, *Immunity to magnetic fields*
- ISO 11452-9:2012, *Portable transmitters*
- ISO 11452-10:2009, *Immunity to conducted disturbances in the extended audio frequency range*
- ISO 11452-11:2010, *Reverberation chamber*

[2] CISPR 25 ed. 2 (2002), ed. 3 (2008) & ed. 4 (2016), *Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers*, IEC, 2002, 2008 & 2016

[3] ISO 7637-2 ed. 2 (2004) & ed. 3 (2011), *Road vehicles – Electrical disturbances from conduction and coupling – Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only*

^{†10} ケーブルを試験室外に引き出した場合、そのケーブルを介して妨害が漏洩するようになる。だが、ケーブルを引き出した先の部屋（図 3 では仮に「観測室」とした）がシールドされていれば、それが問題を起こすリスクは限定的なものとなるだろう。

規格	ハーネス長
ISO 11452-2:2004	≤ 2000 mm (1500 ± 75 mm をグラウンド・プレーンの縁と平行に引く)
ISO 11452-3:2001	試験法と TEM セルの寸法による
ISO 11452-3:2016	試験法と TEM セルの寸法による
ISO 11452-4:2005	1000 ± 100 mm ^{†a}
ISO 11452-4:2011 閉ループ法以外	1700 ⁺³⁰⁰ ₋₀ mm ^{†a}
ISO 11452-4:2011 閉ループ法	1000 ⁺²⁰⁰ ₋₀ mm ^{†a}
ISO 11452-5:2002	ストリップライン内に 1 m 以上引く
ISO 11452-7:2003	印加箇所まで: ≤ 150 mm (≤ 120 mm が望ましい)
ISO 11452-8:2007	規定なし
ISO 11452-8:2015	規定なし
ISO 11452-9:2012	1700 ⁺³⁰⁰ ₋₀ mm ^{†a}
CISPR 25:2002 電圧法	電源: 200 ⁺²⁰⁰ ₋₀ mm、電源以外: ≤ 2 m
CISPR 25:2002 電流プローブ法	1500 ± 75 mm ^{†a}
CISPR 25:2002 ALSE 法	≤ 2000 mm (1500 ± 75 mm をグラウンド・プレーンの縁と平行に引く)
CISPR 25:2008 電圧法	電源: 200 ⁺²⁰⁰ ₋₀ mm、電源以外: ≤ 2 m
CISPR 25:2008 電流プローブ法	1700 ⁺³⁰⁰ ₋₀ mm ^{†a}
CISPR 25:2008 ALSE 法	≤ 2000 mm ^{†a} (1500 ± 75 mm をグラウンド・プレーンの縁と平行に引く)
CISPR 25:2016 電圧法	電源: 200 ⁺²⁰⁰ ₋₀ mm、電源以外: ≤ 2 m
CISPR 25:2016 電流プローブ法	1700 ⁺³⁰⁰ ₋₀ mm ^{†a}
CISPR 25:2016 ALSE 法	≤ 2000 mm ^{†a} (1500 ± 75 mm をグラウンド・プレーンの縁と平行に引く)
ISO 7637-2 Pulse 3	電源: 500 ± 100 mm、電源以外: 規定なし
ISO 7637-2 Pulse 3 以外	規定なし
ISO 7637-2 エミッション	電源: 200 ± 50 mm ^{†b} 、電源以外: 規定なし

^{†a} テスト・プランで別の長さが規定されない場合

^{†b} DUT と LISN のあいだはこの距離だが、途中でスイッチやプローブを接続するため、おそらくその場での加工が必要

表 1: テスト・ハーネスの長さ

[4] FMC1278, *Electromagnetic Compatibility Specification For Electrical/Electronic Components and Subsystems*, Ford Motor Company, 2015,
<http://www.fordemc.com/docs/requirements.htm>

[5] ISO 11452 シリーズの概要 — 前編: ECE R10.05 に関係する規格, 株式会社 e・オートマ 佐藤, 2014–2016
<http://www.e-ohatama.jp/>

[6] ISO 11452 シリーズの概要 — 後編: その他の試験法 (ISO 11452-4:2011, -7, -8, -9, -10, -11), 株式会社 e・オートマ 佐藤, 2014–2016
<http://www.e-ohatama.jp/>

[7] CISPR 25 の概要, 株式会社 e・オートマ 佐藤, 2016
<http://www.e-ohatama.jp/>

[8] ISO 7637-2 & ISO 7637-3 の概要, 株式会社 e・オートマ 佐藤, 2017
<http://www.e-ohatama.jp/>

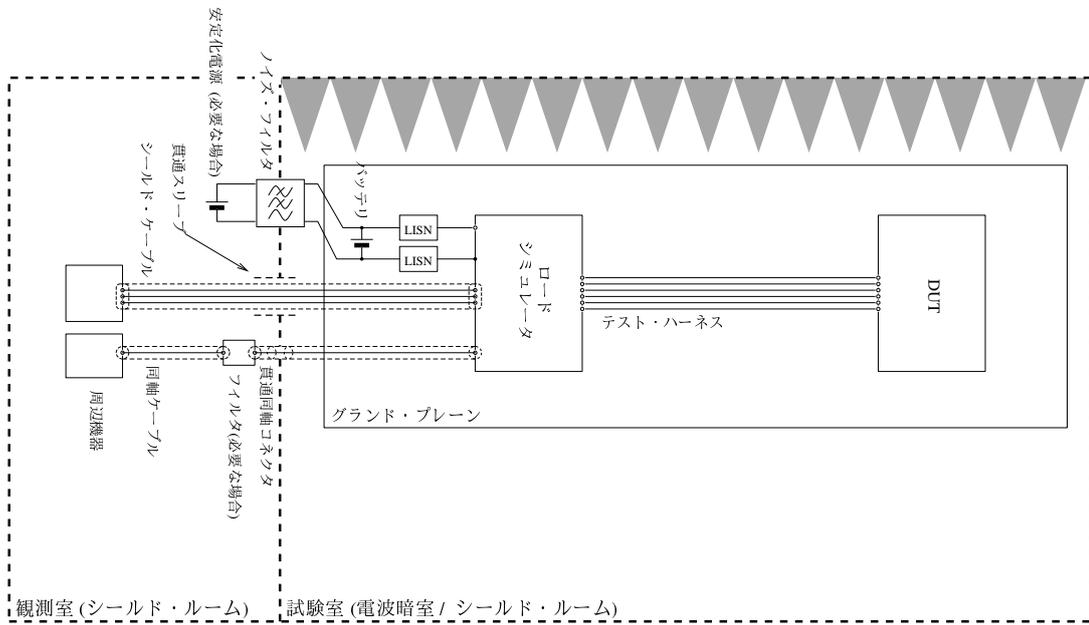


図 3: 試験時の機器の接続の例