

伝導イミュニティ試験の信頼性に関する研究

木島一広・清水章良・中村卓・河野裕

Study on Reliability of Conducted Immunity Testing

Kazuhiro KIJIMA, Akio SHIMIZU, Takashi NAKAMURA and Hiroshi KONO

要 約

試験セッティングが複雑な伝導イミュニティ試験の信頼性を向上させるため、さまざま実験を通じて伝導イミュニティ試験結果を変化させる要因についての知見を取得することを目的として研究を実施した。その結果、規格から外れたセッティングを行った場合の種々の傾向を把握することができた。また、EM クランプの出力レベル調整手続きの際に、校正ジグの接地が不十分な場合、EM クランプの結合係数の低周波側に大きな差異が生じることが明らかとなり、さらに、接地抵抗を測定することで接地状況の良否判定が可能であることがわかった。

1. 緒 言

電子機器の耐ノイズ性を調べるイミュニティ試験の中で、電源線や信号線に重畳した無線周波数の正弦波に対するイミュニティを調べる試験に“伝導イミュニティ試験”がある。“伝導イミュニティ”は、国際電気標準会議が発行している国際規格 IEC61000-4-6 では“Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields”と表記されている¹⁾。日本語では「無線周波数電磁界によって誘導された伝導妨害に対するイミュニティ」という意味になるが、その表題が示すとおり、この試験は、移動端末などの無線送信機から発生した電磁波によって、導体中に誘起された妨害波を模擬したものとなっている。

伝導イミュニティ試験の周波数帯域は 150 kHz～80 MHz (場合によっては 230 MHz まで) となり比較的高周波を取り扱う試験である。そのうえ、IEC 規格に定められた伝導イミュニティの試験のセッティングは非常に複雑であるため、取り回しやセッティングなどの違いにより、試験結果が変化することが懸念される。

そこで本研究では、伝導イミュニティ試験結果を変化させる要因についての知見を取得し、伝導イミュニティ試験の信頼性を向上させることを目的として、

- 結合/減結合回路の違いおよび試験セットアップの違いが試験結果に与える影響
- EM クランプの出力レベル調整手続きが結果に与える影響

の 2 項目についての実験、検討を行ったので報告する。

2. 結合/減結合回路および試験セットアップの違いが試験結果に与える影響の検討

2-1 概要

伝導イミュニティ試験は、無線送信機によって設置機器に接続されたケーブルに誘導されるノイズを模擬している。伝導イミュニティ試験規格の一つである IEC61000-4-6 では、供試機器 (EUT: Equipment Under Test) がノイズの影響を受けやすい状況は、ケーブルに誘導されたノイズ電流が EUT を通り抜けるような場合であるとし、また、EUT と接続ケーブルからなる系は共振モード (1/4 波長、1/2 波長ダイポールアンテナや折り返しダイポールのような動作) となっていると仮定されている¹⁾。このような状況は、後に述べられるような基準接地面に対して 150 Ω のコモンモードインピーダンスを持つ結合/減結合デバイスに代えることができるとしている (図 1)。

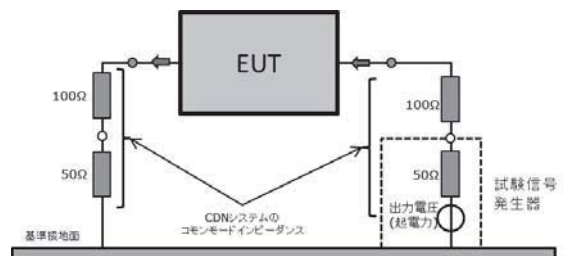


図 1 伝導イミュニティ試験のモデル

実際の試験では、この理想的な状況に近づけるように試験セットアップを行う必要がある。しかし、これらの状況は、EUT に接続される他の結合デバイスの終端状況や EUT に接続されている試験対象外の補助機器 (AE: Auxiliary Equipment) の終端処理の状況によって大きく左右され、試験結果を変化させることが懸念される。

また、IEC61000-4-6 では、ノイズ注入方法についても規定がなされている。ノイズをケーブルに注入する場合には、EUT に接続されているケーブルにノイズを適切に注入し、EUT に接続されている試験対象外の AE に対してはノイズから保護する働きを持つ結合/減結合デバイスを用いる必要がある。結合/減結合デバイスには、

- 結合/減結合回路網 (CDN: Coupling/ Decoupling Network)
- 電流クランプ
- EM クランプ
- 直接注入デバイス

があり、特定の規則によって、注入デバイスを選択する必要がある¹⁾。選択規則のフローチャートを図 2 に示す。

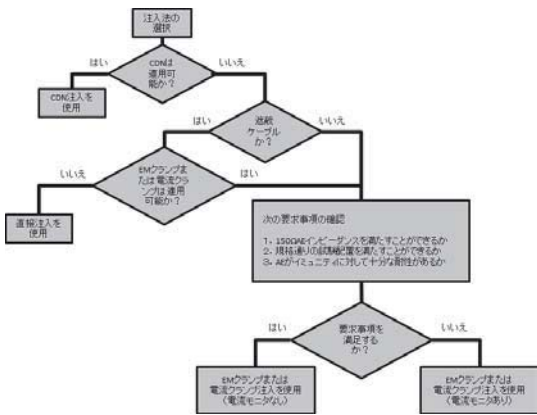


図 2 結合/減結合デバイスを選択するためのフローチャート

適切な CDN を保有している場合は CDN を用いるのが好ましいとされているが、適切な CDN を保有しない場合には代替手段をとる必要がある。しかし、CDN と代替手段では、AE に対する減結合の程度などが異なるため、状況によっては試験結果を変化させる懸念を生じる。

本研究では、これら 2 項目の影響について、実験による検討を行った。

2-2 実験

結合/減結合回路および試験セットアップの違いが試験結果に与える影響の検討実験配置の模式図を図 3 に、使用した機器を表 1 に、実験風景を図 4 に示す。

EUT は液晶モニタが接続された windows XP 搭載のパーソナルコンピュータ (PC) で、キーボードは規格に要求されたとおり人間を模擬した擬似手を介して接地した。AE となる PC (windows XP 搭載) とはハブを介して LAN で接続され、EUT となる PC から AE となる PC にリモートデスクトップ接続し、OpenOffice の writer に

”h”の文字を入力し続けた。試験配置の初期状態は IEC61000-4-6 に準拠するよう図 3 のとおり配置した。

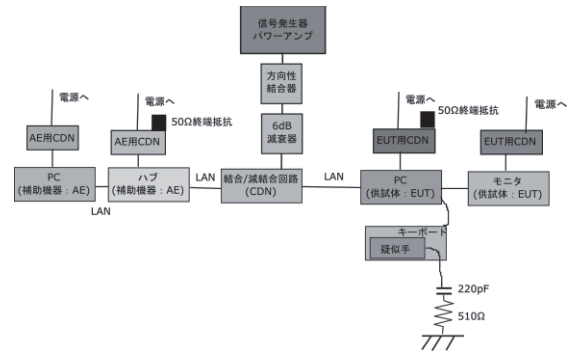


図 3 結合/減結合回路および試験セットアップの違いが試験結果に与える影響の検討実験模式図

表 1 結合/減結合回路および試験セットアップの違いが試験結果に与える影響の検討に使用した機器

装置名	メーカー名および装置型番
信号発生器	Teseq NSG4070
パワーアンプ	Teseq CBA230M-080
方向性結合器	Teseq DCP0100A
6 dB 減衰器	JFW MODEL 50FH-006-100
CDN (ノイズ注入用)	Teseq CDN T8
EM クランプ	Teseq KEMZ 801
電流プローブ	Teseq MD 4070
EUT 用 CDN (PC)	Teseq CDN M316
EUT 用 CDN (モニタ)	Teseq CDN M216
AE 用 CDN (PC)	Teseq CDN M316
AE 用 CDN (ハブ)	Teseq CDN M216

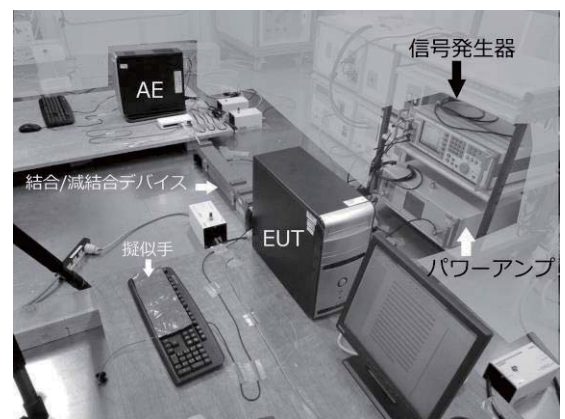


図 4 結合/減結合回路および試験セットアップの違いが試験結果に与える影響の検討実験風景

検討実験では、予備試験において誤動作があることを確認した 18 MHz~80 MHz の周波数帯において 10

Ve.m.f. 1 kHz 80%の振幅変調波を EUT に印加した。
 今回の実験では、以下の4点の相違について、評価を行った。

- ノイズ注入に用いる結合/減結合デバイスが CDN の場合と EM クランプの場合の違い
- EUT 用 CDN (PC) の終端の有無による違い
- AE 用 CDN の有無による違い
- 擬似手の有無による違い

2-3 結果

それぞれの条件において試験した際の誤動作開始周波数と試験終了後の最終状態を表 2 に示す。表中で誤動作開始周波数の横に記載されている記号は誤動作開始時の動作モードを表し、(A) が入力ミスとなる誤動作、(B) がキーボード上の表示ランプが点滅する誤動作を示す。また最終状態欄は、○ が EUT の動作が継続している状態 (試験後の追加操作に対して応答あり)、× が EUT の動作が停止している状態 (試験後の追加操作に対して無反応) を表している。

表 2 結合/減結合回路および試験セットアップの違いが試験結果に与える影響の検討実験結果

	CDN		EMクランプ		EMクランプ (電流モニタあり)	
	誤動作開始 周波数(MHz)	最終状態	誤動作開始 周波数(MHz)	最終状態	誤動作開始 周波数(MHz)	最終状態
初期値(規格どおり)	21.75 (A)	○	21.32 (A)	○	21.53 (A)	○
疑似手なし	20.90 (A)	○	21.53 (A)	○	21.32 (A)	○
EUTCDN終端なし	19.30 (A)	×	19.88 (B)	○	19.88 (B)	○
AECDNなし	22.63 (A)	○	21.75 (A)	×	21.53 (A)	×

実験の結果では、規格に準拠した試験配置による実験では、CDN と EM クランプの間で試験結果に大きな差異は認められなかった。また、今回の実験では擬似手の有無でも大きな差異は認められなかった。

一方、EUT 用 CDN の終端を取り外した場合、CDN、EM クランプ注入ともに誤動作開始周波数が大きく低減した。併せて、CDN 注入では試験終了後 EUT が動作停止となった。また、EM クランプ注入では誤動作開始時の誤動作モードがキーボードランプの点滅に変化した。

AE 側の CDN をすべて外した場合は、EM クランプでの試験において試験終了後の EUT の動作停止が発生した。また CDN 注入では試験開始周波数が若干上昇した。

これらの結果は、コモンモードインピーダンスの変化により AE 側に対して意図しないノイズの回り込みが発生したため生じたものと考えられる。

これらの実験から、EUT 用 CDN の終端の取り外しや AE 側の CDN の取り外しなど、コモンモードインピーダンスが 150 Ω から外れるような状況が発生した場合に試験結果が大きく変化することが実験的に確認された。

3. EM クランプの出力レベル調整手続きが結果に与える影響の検討

3-1 概要

結合デバイスを用いて伝導イミュニティ試験をする際には、既定の電圧を EUT ポートから出力させるために必要な電力をあらかじめ測定し調整する必要がある。結合デバイスが EM クランプの場合の調整手続きのセットアップの模式図を図 5 に示す。

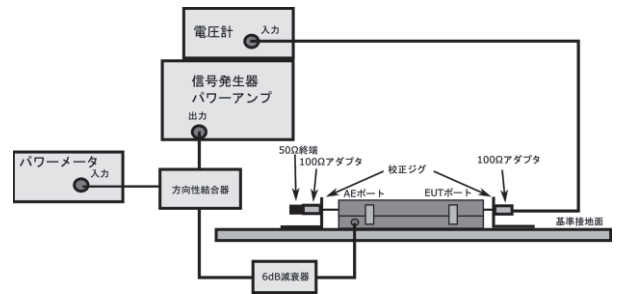


図 5 EM クランプの出力レベル調整手続きセットアップ模式図

この手続きの際には、校正ジグは基準接地面に確実に接地している必要があるが、筆者らは実際の運用の中で、EM クランプの出力レベル調整手続きの際に必要な電力が通常と比較して大きく異なる事象が発生し、その電力が AE ポート側の試験ジグの接地の様子で大きく変化する現象に遭遇した。

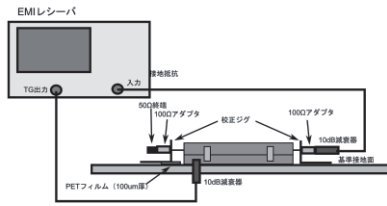
このことから、本研究では、EM クランプの結合係数測定において、AE ポート側の校正ジグの接地状況を変化させた際の結合係数 (供給電力と発生電圧の比) 測定結果の変化を見ることで、EM クランプの出力レベル調整手続きが結果に与える影響を検討した。

3-2 実験

EM クランプの出力レベル調整手続きが結果に与える影響の検討実験配置の模式図を図 6 に、使用した機器を表 3 に、実験風景を図 7 に示す。結合係数測定にはトラックジェネレータ付きの EMI レシーバをスカラアナライザのように使用した。その際、校正ジグ同士をショート用のジグで短絡した状態でスルー校正を実施した。

AE ポート側の校正ジグと校正ジグから 75 mm 離れた箇所にある基準接地面上の接地用ねじの間をデジタルマルチメータで 4 端子法による直流抵抗 (接地抵抗) 測定を行いながら、100 μm 厚で 10 mm 幅の短冊状にした PET 樹脂を AE ポート側の校正ジグと基準接地面の間に挟むことで接地状況を様々に変化させ、その後 150 kHz ~ 80 MHz の周波数帯域で結合係数を測定した。

結合係数測定時



接地抵抗測定時

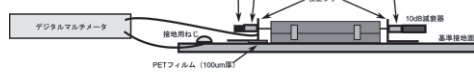


図 6 EM クランプの出力レベル調整手続きが結果に与える影響の検討実験配置の模式図

表 3 EM クランプの出力レベル調整手続きが結果に与える影響の検討実験に使用した機器

装置名	メーカー名および装置型番
EMI レシーバ	Rohde & Schwarz ESIB 26
デジタルマルチメータ	HP 3457A
EM クランプ	Teseq KEMZ 801
校正ジグ (100 Ω アダプタ付き)	Teseq CAL 801A
10 dB 減衰器	Keysight Technologies 8491B-010

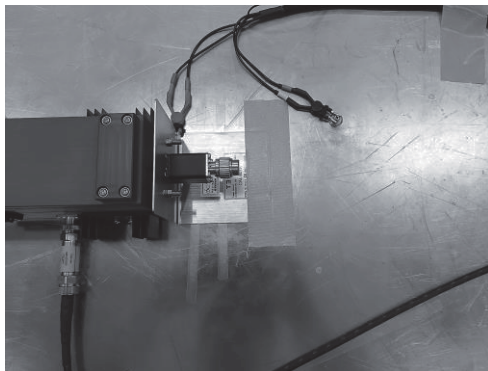


図 7 EM クランプの出力レベル調整手続きが結果に与える影響の検討実験風景

3-3 結果

AE ポート側の校正ジグの接地状況を変化させながら EM クランプの結合係数を測定した結果を図 8 に示す。

接地抵抗が大きくなると 30 MHz から下の周波数帯域で結合係数が変化し、30 MHz 以上ではほとんど変化しなかった。特に 2 MHz 以下の低周波数側で大きく変化する結果が得られた。また、接地抵抗が 29 Ω までは 1 dB 以内の変化量で収まっている。接地抵抗が 123 Ω になると 150 kHz で 4 dB 程度結合係数が低下し、299 Ω では 10 dB 程度変化する結果が得られた。

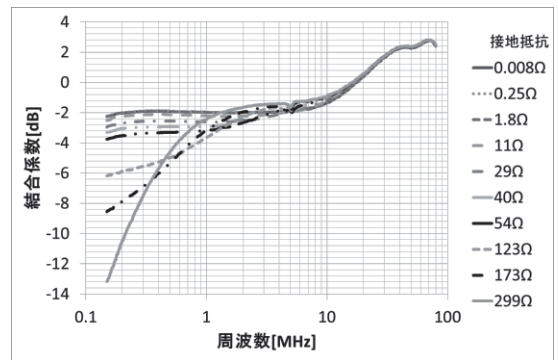


図 8 AE ポート側の校正ジグの接地状況を変化させた時の EM クランプ結合係数測定結果

これらの結果は高周波側ではジグと接地面間の間隙が形成するキャパシタを通じて容量結合で接地するのに対し、低周波側では接地抵抗が挿入され接地が不十分となることによっておこるものと考えられる。

実際の試験において、このような接地不良が発生すると、レベル調整の際に必要な以上に大きな電力が必要となるようにふるまうため、アンプの定格電力を超えれば試験が不可となったり、定格電力以内でも過剰な試験を行ってしまう原因となったりする可能性があるため注意が必要である。

これらの実験から、AE ポート側の校正ジグの接地不良により EM クランプの結合係数の低周波側に大きな差異が生じることが明らかとなり、また、得られた結果から接地抵抗を測定することで接地状況の良否判定が可能となった。

4. 結 言

本研究では、伝導イミュニティ試験を変化させる要因についての知見を取得し、伝導イミュニティ試験の信頼性を向上させることを目的として研究を行った。その結果、以下の成果が得られた。

- 結合/減結合回路の違いおよび試験セットアップの違いが試験結果に与える影響の検討から、規格から外れたセッティングを行った場合の種々の傾向を把握することができた。
- EM クランプの出力レベル調整手続きの際に、校正ジグの接地が不十分な場合、EM クランプの結合係数の低周波側に大きな差異が生じることが明らかとなり、さらに、接地抵抗を測定することで接地状況の良否判定が可能であることがわかった。

参考文献

- 1) 国際電気標準会議:IEC61000-4-6 Ed.4.0:2013 対訳版 (日本規格協会, 東京) (2014)