

安全関連機能を持つ機器のイミュニティ — IEC 61000-6-7 の概要

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2022 年 8 月 29 日

目次

| | | |
|-------|----------------|---|
| 1 | 概要 | 1 |
| 2 | 通常の EMC 規格との関係 | 2 |
| 3 | イミュニティ要求 | 2 |
| 3.1 | 性能判定基準 | 2 |
| 3.1.1 | 性能判定基準 DS | 2 |
| 3.2 | イミュニティ試験レベル | 2 |
| 3.3 | 各試験のポイント | 3 |
| 4 | 試験 | 7 |
| 4.1 | 試験構成 | 8 |
| 4.2 | 動作モード | 8 |
| 4.3 | 監視 | 8 |
| 4.4 | 劣化の考慮 | 9 |
| 5 | 試験計画書 | 9 |
| 6 | 参考資料 | 9 |

1 概要

IEC 61000-6-7^[1] は安全関連機能に対するイミュニティ要求を定めた規格であり、次のような電気/電子機器への適用が意図されている:

- IEC 61508^[4] (あるいはセクタ固有の機能安全規格) の要求への適合が意図されている、
- 工業環境での使用が意図されている、
- 安全関連システム^{†1}での使用が意図されている、かつ
- この規格と同じ側面をカバーする製品規格や製品群規格がない、あるいはそのような規格があるもののより緩い試験レベルがその根拠の提示なしに規定されている。

^{†1} 安全関連システム — EUC (制御対象機器; 機器、機械、プラントなど) の安全状態の達成や維持のために必要な安全機能を実現し、かつそれ自身で、もしくは他の E/E/PE (電気/電子/プログラマブル電子) 安全関連システムやその他のリスク低減手段とともに所望の安全機能で必要な安全インテグリティを達成することを意図した所定のシステム。

この規格は安全関連機能のイミュニティの評価を意図しているものではあるが、単にやや厳しいイミュニティ試験レベルでの試験を要求しているだけであり、この規格への適合によって機能安全のための EMC を達成できるわけではない。^{†2}

この規格は IEC 61000-1-2^[5] で示された機能安全プロセスの検証フェーズにのみ適用されるものであり、機能安全の達成のためには安全ライフサイクルの考慮、安全機能要求と安全度水準 (SIL) を含む安全要求仕様 (SRS) の策定、イミュニティ試験以外の事項を含む EMC 固有のステップの考慮を含む IEC 61000-1-2^[5] で述べられたプロセスや方法論を全面的に適用することが必要となる。^{†4}

本稿では、この IEC 61000-6-7:2014^[1] の概要を述べる。なお、本稿は規格の内容全てをカバーするものではなく、また正確であるとも限らないので、規格についての正確な情報は規格そのもの^[1] を参照していただきたい。

^{†2} 高頻度作動要求の場合、SIL^{†3} 1~4 では危険側故障の頻度が 10^{-5} ~ 10^{-9} 回/時間 (概ね 10 年から 10 万年に 1 回) よりも低いことになるが、これを試験で確認することはそもそも困難であり、またこれらの規格で適用される試験レベルもこのような低い頻度で生じるかも知れない現象までを想定したものではない。さらに、この規格では劣化の影響を考慮すべき旨が述べられている (§4.4) もの、通常行なわれる試験では実際の使用で起こり得る劣化やその他の様々な要因も考慮されず、従ってライフサイクルを通じてのその機器の挙動に関する情報をほとんど与えない。これに関する議論は [11][12] などで見ることができる。

^{†3} SIL (safety integrity level; 安全度水準) は安全度の値に対応したレベルで、SIL 1 が最も低い安全度 (低頻度動作要求モードでの平均故障発生率が 10^{-2} ~ 10^{-1} /動作、高頻度動作要求モードでの危険側故障発生率が 10^{-6} ~ 10^{-5} /時間)、に、SIL 4 が最も高い安全度 (低頻度動作要求モードでの平均故障発生率が 10^{-5} ~ 10^{-4} /動作、高頻度動作要求モードでの危険側故障発生率が 10^{-9} ~ 10^{-8} /時間) に対応する。

^{†4} IET が発行した機能安全のための EMC に関するガイド [13] も参照。

2 通常の EMC 規格との関係

この規格では安全関連の機能のイミュニティ試験のみが扱われており、通常、この規格はエミッションとイミュニティ（安全関連以外の機能を含む）を扱う通常の EMC 規格と組み合わせて適用される。

適用する EMC 規格は通常のルールに従って適用され、適切な製品規格や製品群規格^{†5}があればその規格を、そのような規格がない場合はおそらくは一般規格 IEC 61000-6-2^[2]（イミュニティ）や IEC 61000-6-4^[3]（エミッション）^{†6}のような規格を適用できる。

3 イミュニティ要求

3.1 性能判定基準

3.1.1 性能判定基準 DS

1. 安全用途での使用が意図された機能は、
 - (a) 仕様の範囲から外れるような影響を受けない、あるいは
 - (b) EUT が妨害に検出可能な形で反応し^{†7}、かつ
 - i. 規定状態が維持される、あるいは
 - ii. 宣言された時間内に規定状態が達成される
 ならば、一時的もしくは恒久的に影響（コンポーネントの損傷を含めて）を受けても良い^{†8}

^{†5} 例えば、IEC 61326-3-1、-3-2^[7]、IEC 61131-6^[8]、IEC 61800-5-2^[9] のような。

^{†6} あるいは、それに基づく仕向け先の地域に応じた規格、例えば欧州であれば EN 61000-6-2 と EN 61000-6-4。

^{†7} 例えば安全に関係するセンサの検出感度が妨害の影響で仕様の限界を超えて低下した場合、性能が低下したままの状態で一見普通に動作を継続すべきではなく、その異常を検知し、速やかに規定状態に移行することが必要となるだろう。

^{†8} この規格での判定の上では安全上の用途での使用が意図された機能はこの規格での試験で性能を維持しても規定状態となっても良いが、試験から得られる情報はそのいずれかによって異なる。例えばほとんどの試験で前者の結果となることは比較的高いレベルの妨害を受けた時も安全関連の性能を維持できそうであることを、すなわち高いイミュニティ・レベルを持つことを示すという点で好ましく見えるかも知れないが、妨害の影響で安全関連の性能が損なわれた時の挙動に関する情報を与えない。一方、様々な試験で後者の結果となることは安全関連の性能が妨害の影響を受けやすい、すなわちイミュニティ・レベルがあまり高くはないことを示すものの、妨害の影響で安全関連の性能が損なわれた時に規定状態が達成されるであろうという確信を強めるものとなるであろう。また、規格ではそのような要求はないものの、前者のような場合は試験レベルを上げたり EUT を妨害の影響を受けやすい状態としての追加の試験の実施を、後者のような場合はイミュニティの向上を検討する価値があるかも知れない。

2. 安全用途での使用が意図されていない機能は、一時的もしくは恒久的に影響を受けても良い^{†9}

規定状態 (defined state) は機器の設計で規定された検出可能かつ規定された状態で、それぞれの安全関連機能の規定状態は製造業者が決定し、規定状態を達成するまでに許容される最大時間を含めて文書化される。^{†10}

この規定状態は特定の設計の結果でなければならず、イミュニティ試験に先立って規定されなければならない。通常、それぞれの安全関連機能の規定状態は設計に先立って規定され、機器は障害発生時にあらかじめ定められた規定状態となるように慎重に設計され、またこの規格で述べられているようなイミュニティ試験以外の方法で確認されるであろう。

この性能判定基準 DS は、安全上の用途での使用が意図された機能に対して、またこの規格での試験レベルでの試験に際してのみ適用される。

通常、この規格は他の該当する EMC 規格 (§2 参照) とともに適用され、安全上の用途での使用が意図されていない機能に対しては、また通常のイミュニティ試験の試験レベルでの試験に対してはそのような規格の性能判定基準が適用される。

3.2 イミュニティ試験レベル

IEC 61000-6-7 ではイミュニティ試験レベルは表 1 にその概要を示したように定められている。このイミュニティ試験レベルは多くの試験項目について IEC 61000-6-2^[2] よりも高めのものとなっており、また IEC 61000-6-2 には含まれない IEC 61000-4-16^{†11} や IEC 61000-4-29^{†12} の試験が含まれている (表 2)。

これは工業環境での使用が意図された安全関連の機器のイミュニティ評価を意図して定められたものであるが、使用される機器の種類や電磁環境は様々

^{†9} 安全用途での使用が意図されていない機能のイミュニティは該当する EMC 規格でカバーされる (§2)。

^{†10} この規定は、例えば、異常発生時には 100 ms 以内に接点を開く、1 s 以内にバルブを閉鎖する、などといったものを含むかも知れない。通常、達成される状態は安全側とみなされるものとなるであろうが、ここでは安全側/危険側などの表現は用いられない。

^{†11} IEC 61000-4-16 は IEC 61000-4-6 よりも低い周波数範囲 (DC~150 kHz) のコモン・モード妨害に対するイミュニティの評価を意図している。

^{†12} IEC 61000-4-29 は DC 電源のディップや停電に対するイミュニティの評価を意図している。

であり、この規格で規定された試験レベルはその電磁環境を適切に代表しないかも知れない。測定や経験から電磁環境がわかっている場合はイミュニティ試験の対象とする現象や厳しさレベルはそれに応じて選択する。電磁環境が不明な場合、この規格のイミュニティ試験要求を適用する。^{†13}

3.3 各試験のポイント

表1で示されている試験について、いくつかのポイントを述べる。^{†14}

● 共通事項

- DC 配電網に接続されない、機器間の DC 接続は、I/O ポートとみなす。^{†15}
- 高電流用の結合/減結合回路網が存在しない場合は試験を部分的な負荷条件で実施しても良い。
- 妨害の印加によって規定状態となった場合、それが偶発的なものでないことを確認するため、試験を3回繰り返す。

● IEC 61000-4-2 (静電気放電)

- SIL 3 か 4 の場合、最大の試験レベルでの印加回数を3倍にする。
- 静電気放電 (ESD) の管理のための規定された手続きに従って作業する要員以外の者がアクセスできる箇所が直接放電試験の対象となる。
- 接触放電 8 kV、気中放電 15 kV までの試験レベルはキャビネット・エンクロージャ^{†16}にのみ適用される。

^{†13} 他の様々な事項と同様、おそらくはリスク・マネジメントの中で考慮すべきものとなるであろう。

^{†14} IEC 61000-4-2, -4-3 などの試験法に関しては [6] で触れている。

^{†15} AC 電源に接続される他の機器を介して DC 電源の供給を受ける場合、その DC 電源を供給する機器の AC 側での試験の要否の検討が必要となるかも知れない。

^{†16} キャビネット・エンクロージャの意味は定義されていないが、機械や制御盤のエンクロージャのような、実際の使用に際しての外郭となる部分と考えれば良いと思われる。その扉を開けるなどしなければ触れられないような形で機械や制御盤などの内部に取り付けることが意図された装置の試験では、それよりも高いレベルでの試験が必要と判断された場合を除き、接触放電 6 kV、気中放電 8 kV までで試験すれば良いだろう。また、前面の操作部や表示部が露出するような形で取り付けられる装置の場合、装置の前面 (露出する部分) は接触放電 8 kV、気中放電 15 kV までで、その他の部分は接触放電 6 kV、気中放電 8 kV までで試験することができるだろう。

● IEC 61000-4-3 (放射電磁界)

- この規格で示された高い試験レベルでの試験は規格で指定された周波数範囲^{†17}についてのみ行なえば良い。
- 携帯型無線送信機が 20 cm よりも近くで使用される可能性がある場合、安全マニュアルに機器が妨害を受けるかも知れない旨の警告を含める。^{†18}
- 妨害は 1 kHz 80 % AM で変調するが、他の変調方式での試験も行なって良い。^{†19}
- ドウェル・タイムは、機器が動作し、その妨害に反応するのに十分な時間としなければならない。^{†20}

● IEC 61000-4-4 (電氣的ファスト・トランジェント/バースト)

- SIL 3 か 4 の場合、試験時間を5倍にする。

● IEC 61000-4-5 (サージ)

- 10 m よりも長いケーブルへの接続が意図されたポートが対象となる。
- 電源網に直接接続されるもの以外の I/O ポートについては、30 m よりも長いケーブルのみが対象となる。
- SIL 3 か 4 の場合、最大の試験レベルでの印加回数を3倍にする。
- 必要なイミュニティ・レベルは外部の防護素子を用いて達成しても良く、その場合、使用する素子や設置の要求はユーザー向けの文書に記載する。

^{†17} 84, 137~174, 219.5, 380~400, 420~470, 698~960, 1240~1300, 1428~2700, 3300~3600, 5150~5925 MHz。IEC 61000-6-7:2014 Table 7 参照。

^{†18} この規格ではそのような要求はないものの、機器の近傍での無線送信機の使用を模擬する試験を追加で実施することを考慮する価値があるかも知れない。

^{†19} この規格では 1 kHz 80 % AM の変調が採用されているものの、ほとんどの無線送信機ではこれとは全く異なる変調が用いられており、実際の変調を模擬する変調での試験を追加で実施することを考慮する価値があるかも知れない。

^{†20} 各周波数の妨害は、あらかじめ決定されたドウェル・タイム (dwell time) のあいだ印加される。動作サイクルが長い、間欠的に動作する、あるいは妨害への反応が遅い (例えば時定数の長いフィルタが関係する)、安全性に関する機能がある場合、それに応じてドウェル・タイムを長くすることが必要となるだろう。そのような場合、試験時間を抑えるため、安全性に関する機能を短いドウェル・タイムで評価できるようにする試験用のソフトウェアの用意などを考える価値があるかも知れない。

| 試験 | 試験レベル |
|-----------------------------|---|
| エンクロージャ・ポート | |
| IEC 61000-4-2 | 接触: ± 6 kV (± 8 kV) 気中: ± 8 kV (± 15 kV) |
| IEC 61000-4-3 | 80 MHz~1 GHz: 20 V/m 1.4~2 GHz: 10 V/m 2~6 GHz: 3 V/m |
| IEC 61000-4-8 | 30 A/m |
| AC 電源ポート | |
| IEC 61000-4-4 | ± 4 kV (5 kHz or 100 kHz) |
| IEC 61000-4-5 | ライン-ライン: ± 2 kV ライン-接地: ± 4 kV |
| IEC 61000-4-6 | 0.15~80 MHz: 20 V |
| IEC 61000-4-11, -4-34 | 0 %, 1 サイクル 40 %, 10/12 サイクル (50/60 Hz) 70 %, 25/30 サイクル (50/60 Hz) 0 %, 250/300 サイクル (50/60 Hz) |
| IEC 61000-4-16 | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V |
| DC 電源入出力ポート | |
| IEC 61000-4-4 | ± 2 kV (5 kHz or 100 kHz) |
| IEC 61000-4-5 | ライン-ライン: ± 1 kV ライン-接地: ± 2 kV |
| IEC 61000-4-6 | 0.15~80 MHz: 20 V |
| IEC 61000-4-16 | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60, 150, 180 Hz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60 Hz: 100 V 1 s |
| IEC 61000-4-29 | 40 %, 10 ms 70 %, 10 ms 0 %, 20 ms |
| I/O ポート | |
| IEC 61000-4-4 | ± 2 kV (5 kHz or 100 kHz) |
| IEC 61000-4-5 | ライン-接地: ± 2 kV |
| IEC 61000-4-6 | 0.15~80 MHz: 20 V |
| IEC 61000-4-16 | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60, 150, 180 Hz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60 Hz: 100 V 1 s |
| 電源網に直接接続される I/O ポート、機能接地ポート | |
| IEC 61000-4-4 | ± 4 kV (5 kHz or 100 kHz) |
| IEC 61000-4-5 | ライン-ライン: ± 2 kV ライン-接地: ± 4 kV |
| IEC 61000-4-6 | 0.15~80 MHz: 20 V |
| IEC 61000-4-16 | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60, 150, 180 Hz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60 Hz: 100 V 1 s |

表 1: IEC 61000-6-7:2014 のイミュニティ試験レベル

| 試験 | IEC 61000-6-2:2018 | IEC 61000-6-7:2014 |
|-----------------------------|---|---|
| エンクロージャ・ポート | | |
| IEC 61000-4-2 | 接触: ± 4 kV 気中: ± 8 kV | 接触: ± 6 kV (± 8 kV) 気中: ± 8 kV (± 15 kV) |
| IEC 61000-4-3 | 80 MHz~1 GHz: 10 V/m 1.4~2 GHz: 3 V/m 2~6 GHz: 3 V/m | 80 MHz~1 GHz: 20 V/m 1.4~2 GHz: 10 V/m 2~6 GHz: 3 V/m |
| IEC 61000-4-8 | 3 A/m | 30 A/m |
| AC 電源ポート | | |
| IEC 61000-4-4 | ± 2 kV (5 kHz or 100 kHz) | ± 4 kV (5 kHz or 100 kHz) |
| IEC 61000-4-5 | ライン-ライン: ± 1 kV ライン-接地: ± 2 kV | ライン-ライン: ± 2 kV ライン-接地: ± 4 kV |
| IEC 61000-4-6 | 0.15~80 MHz: 10 V | 0.15~80 MHz: 20 V |
| IEC 61000-4-11, -4-34 | 0 %, 1 サイクル 40 %, 10/12 サイクル (50/60 Hz) 70 %, 25/30 サイクル (50/60 Hz) 0 %, 250/300 サイクル (50/60 Hz) | 0 %, 1 サイクル 40 %, 10/12 サイクル (50/60 Hz) 70 %, 25/30 サイクル (50/60 Hz) 0 %, 250/300 サイクル (50/60 Hz) |
| IEC 61000-4-16 | — — | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V |
| DC 電源入出力ポート | | |
| IEC 61000-4-4 | ± 1 kV (5 kHz or 100 kHz) | ± 2 kV (5 kHz or 100 kHz) |
| IEC 61000-4-5 | ライン-ライン: ± 0.5 kV ライン-接地: ± 1 kV | ライン-ライン: ± 1 kV ライン-接地: ± 2 kV |
| IEC 61000-4-6 | 0.15~80 MHz: 10 V | 0.15~80 MHz: 20 V |
| IEC 61000-4-16 | — — — — | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60, 150, 180 Hz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60 Hz: 100 V 1 s |
| IEC 61000-4-29 | — — — | 40 %, 10 ms 70 %, 10 ms 0 %, 20 ms |
| I/O ポート | | |
| IEC 61000-4-4 | ± 1 kV (5 kHz or 100 kHz) | ± 2 kV (5 kHz or 100 kHz) |
| IEC 61000-4-5 | ライン-接地: ± 1 kV | ライン-接地: ± 2 kV |
| IEC 61000-4-6 | 0.15~80 MHz: 10 V | 0.15~80 MHz: 20 V |
| IEC 61000-4-16 | — — — — | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60, 150, 180 Hz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60 Hz: 100 V 1 s |
| 電源網に直接接続される I/O ポート、機能接地ポート | | |
| IEC 61000-4-4 | — | ± 4 kV (5 kHz or 100 kHz) |
| IEC 61000-4-5 | — — | ライン-ライン: ± 2 kV ライン-接地: ± 4 kV |
| IEC 61000-4-6 | — | 0.15~80 MHz: 20 V |
| IEC 61000-4-16 | — — — — | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60, 150, 180 Hz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60 Hz: 100 V 1 s |

表 2: IEC 61000-6-2:2018 のイミュニティ試験レベルとの比較

| 試験 | IEC 61326-3-1:2017 | IEC 61000-6-7:2014 |
|-----------------------|---|---|
| エンクロージャ・ポート | | |
| IEC 61000-4-2 | 接触: ± 6 kV 気中: ± 8 kV | 接触: ± 6 kV (± 8 kV) 気中: ± 8 kV (± 15 kV) |
| IEC 61000-4-3 | 80 MHz~1 GHz: 20 V/m 1.4~2 GHz: 10 V/m 2~6 GHz: 3 V/m | 80 MHz~1 GHz: 20 V/m 1.4~2 GHz: 10 V/m 2~6 GHz: 3 V/m |
| IEC 61000-4-8 | 30 A/m | 30 A/m |
| AC 電源ポート | | |
| IEC 61000-4-4 | ± 3 kV (5 kHz) | ± 4 kV (5 kHz or 100 kHz) |
| IEC 61000-4-5 | ライン-ライン: ± 2 kV ライン-接地: ± 4 kV | ライン-ライン: ± 2 kV ライン-接地: ± 4 kV |
| IEC 61000-4-6 | 0.15~80 MHz: 10 V | 0.15~80 MHz: 20 V |
| IEC 61000-4-11, -4-34 | 0 %, 1 サイクル 40 %, 10/12 サイクル (50/60 Hz) 70 %, 25/30 サイクル (50/60 Hz) 0 %, 250/300 サイクル (50/60 Hz) | 0 %, 1 サイクル 40 %, 10/12 サイクル (50/60 Hz) 70 %, 25/30 サイクル (50/60 Hz) 0 %, 250/300 サイクル (50/60 Hz) |
| IEC 61000-4-16 | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V |
| DC 電源入出力ポート | | |
| IEC 61000-4-4 | ± 3 kV (5 kHz) | ± 2 kV (5 kHz or 100 kHz) |
| IEC 61000-4-5 | ライン-ライン: ± 1 kV ライン-接地: ± 2 kV | ライン-ライン: ± 1 kV ライン-接地: ± 2 kV |
| IEC 61000-4-6 | 0.15~80 MHz: 10 V | 0.15~80 MHz: 20 V |
| IEC 61000-4-16 | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60, 150, 180 Hz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60 Hz: 100 V 1 s | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60, 150, 180 Hz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60 Hz: 100 V 1 s |
| IEC 61000-4-29 | 40 %, 10 ms — 0 %, 20 ms | 40 %, 10 ms 70 %, 10 ms 0 %, 20 ms |
| I/O ポート | | |
| IEC 61000-4-4 | ± 2 kV (5 kHz) | ± 2 kV (5 kHz or 100 kHz) |
| IEC 61000-4-5 | ライン-接地: ± 2 kV | ライン-接地: ± 2 kV |
| IEC 61000-4-6 | 0.15~80 MHz: 10 V | 0.15~80 MHz: 20 V |
| IEC 61000-4-16 | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60, 150, 180 Hz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60 Hz: 100 V 1 s | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60, 150, 180 Hz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60 Hz: 100 V 1 s |
| 電源網に直接接続される I/O ポート | | |
| IEC 61000-4-4 | ± 3 kV (5 kHz) | ± 4 kV (5 kHz or 100 kHz) |
| IEC 61000-4-5 | ライン-ライン: ± 2 kV ライン-接地: ± 4 kV | ライン-ライン: ± 2 kV ライン-接地: ± 4 kV |
| IEC 61000-4-6 | 0.15~80 MHz: 10 V | 0.15~80 MHz: 20 V |
| IEC 61000-4-16 | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60, 150, 180 Hz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60 Hz: 100 V 1 s | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60, 150, 180 Hz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60 Hz: 100 V 1 s |
| 機能接地ポート | | |
| IEC 61000-4-4 | ± 2 kV (5 kHz) | ± 4 kV (5 kHz or 100 kHz) |
| IEC 61000-4-5 | — — | ライン-ライン: ± 2 kV ライン-接地: ± 4 kV |
| IEC 61000-4-6 | — | 0.15~80 MHz: 20 V |
| IEC 61000-4-16 | — — — — | 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60, 150, 180 Hz: 10 V DC, 16 2/3, 50, 60 Hz: 100 V 1 s |

表 3: IEC 61326-3-1:2017 のイミュニティ試験レベルとの比較

- IEC 61000-4-6 (RF 電磁界によって誘導された伝導性妨害)
 - この規格で示された高い試験レベルでの試験は規格で指定された周波数範囲^{†21}についてのみなえば良い。
 - 妨害は 1 kHz 80 % AM で変調する。
 - ドウェル・タイムは、機器が動作し、その妨害に反応するのに十分な時間としなければならない。^{†20}

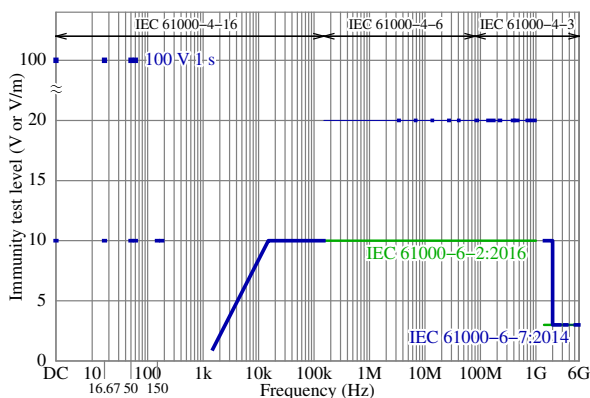


図 1: IEC 61000-4-16, -4-6, -4-3 の試験レベル

- IEC 61000-4-8 (電源周波数磁界)
 - 磁界に敏感なデバイスを含む機器にのみ適用される。
- IEC 61000-4-16 (0~150 kHz のコモン・モード妨害)
 - 電源網に直接接続されるもの以外の I/O ポートについては、30 m よりも長いケーブルのみが対象となる。
 - 設計と設置指示によってこの現象の発生が防止されている機器への適用の必要はない。^{†22}
 - 1.5~150 kHz の周波数範囲の試験では 1×10^{-2} decade/s を超えない割合で周波数掃引を行なう。ステップでの掃引を行なう場合、周波数ステップは前の周波数の 10 % を超えないようにする。

^{†21} 3.39, 6.78, 13.56, 27.12, 40.68 MHz。IEC 61000-6-7:2014 Table 8 参照。

^{†22} 例えば Mesh-CBN ([14] の §2.4 参照) はこのような妨害の発生を効果的に抑制すると期待される。

- 50 Hz と 150 Hz での試験は主電源周波数が 50 Hz の環境での、60 Hz と 180 Hz での試験は主電源周波数が 60 Hz の環境での使用が意図されている場合にのみ行なえば良い。
- DC~60 Hz について、100 V の短時間妨害 (1 s) での試験の要求がある。^{†23}
- 妨害は EUT の性能の確認のために十分な期間印加する。短時間妨害での試験では妨害の印加を繰り返すことが必要となるかも知れない。
- 非シールドの I/O ポート (また DC 電源ポート) が試験の対象となる場合、

- * 試験のためには I/O ポートに図 2 のような回路を接続することが必要となり、その影響で機器の機能が損なわれることも少なくなく、また
- * 試験での AC 100 V や DC ± 100 V の印加によって EUT や周辺機器^{†24} が損傷するかも知れない

ため、事前にその試験が可能かどうかを検討することが望ましい。^{†25}

4 試験

安全関連システムは複雑で大規模な設備となるかも知れず、また様々な物理的な配置で構築されるかも知れない。そのようなシステムのイミュニティ試験を基本規格に従って試験することは難しく、試験は機器レベルで行なうことが推奨される。

^{†23} 100 V 1 s での試験は地絡事故の際の接地電位差の影響などを模擬するものと考えられる。

^{†24} 直流や低周波での試験となることから適切な減結合/絶縁デバイスを用意することが難しく、周辺機器にもその妨害が直接印加される形となるかも知れない。なお、周辺機器を減結合しない形での試験は、周辺機器やその電源が絶縁されているならば許容される。

^{†25} これが問題となり、また試験の対象から外すことも適当ではないような場合、シールド線の使用などの対応を考えることも必要となるかも知れない。ケーブルが適切にシールドされ、かつその両端が低インピーダンスで接地されている場合、妨害電流の大半がシールドを流れ、回路や信号は保護される。そのようなケーブルに対して IEC 61000-4-16 の試験を行なう場合、シールドに 50 Ω を介して妨害を印加する形となり、100 V の試験ではシールドに 2 A が流れることになるので、シールドとその接続はその電流に、また実際の使用状況で地絡事故などの際にシールドが流れることが予期される電流に耐えるようにすべきである。必要な場合、実際の設置状況でシールドに流れる地絡電流は、PEC ([14] の §2.5~§2.6 を参照) の使用によって抑えられるかも知れない。ケーブルのシールドを接地しない、あるいは片側のみで接地することは保護を与えないので、適切ではない。

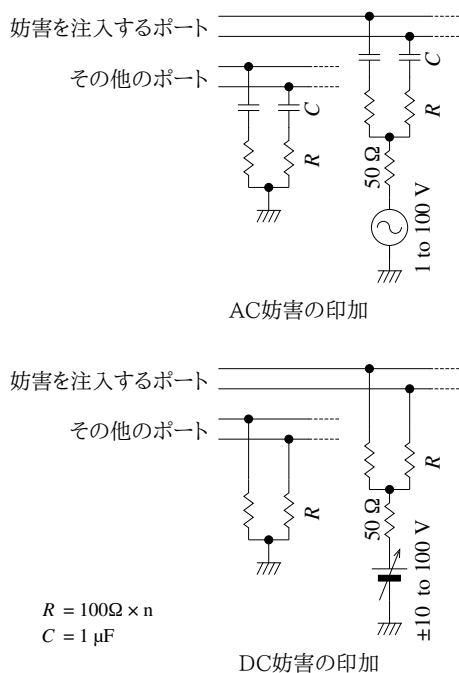


図 2: IEC 61000-4-16 結合回路網の例

機能安全はシステム全体の正しい機能を必要とするが、個々のデバイスを個別に試験することが可能である。安全関連システムの要素として用いることが意図された個々のデバイスの仕様は意図された機能と障害の際に許容される挙動を含み、イミュニティ試験の目的は所定の電磁環境下でその仕様が満足されることを示すこととなる。

EUT のそれぞれの I/O ポートはその安全関連の用途の機能を動作させるために必要なデバイスに接続する。

小形の安全関連システムの場合、システム全体に対してイミュニティ試験を適用できる。

4.1 試験構成

安全関連システムは、固定された構成を持たず、様々なサブ・アセンブリの種類や数、また設置はシステム毎に異なるかも知れない。実際的な状況の模擬のために EUT は製造業者が規定した典型的な設置を代表するように構成し、製造業者が規定した通常の条件で型式試験として試験を実施する。

EMC に関係する可能性がある全てのデバイス、ラック、モジュール、ボードなどは文書化する。様々な構成が可能な場合、型式試験は製造業者が最も敏感となると予期した構成で実施する。全ての種類の

モジュールを少なくとも一度は試験しなければならず、この選択の根拠は試験計画書に文書化する。

同一の種類と機能の複数の I/O ポートがあり、追加のケーブルが結果に有意に影響しないであろうことを示せる場合、そのうちの 1 つにのみケーブルを接続すれば良い。この選択の根拠は試験計画書に文書化する。

様々な周辺機器 (auxiliary equipment; AE) がある場合、実際の動作条件を模擬するために少なくとも 1 種類の周辺機器を選択する。周辺機器は模擬しても良い。

ケーブルや接地は製造業者の仕様に従って接続する。追加の接地接続があってはならない。

4.2 動作モード

安全関連の用途が意図された全ての動作モードの試験が实际的でない場合、最も重要とみなされた、それに加えて電磁妨害に最も敏感とみなされた動作モードを選択する。試験計画書には試験モードの選択の基準を、また安全関連の用途での仕様が意図されているが試験されていない全てのモードの説明を含める。

4.3 監視

試験中、安全上の用途が意図された規定された機能を監視する。

EUT が製造業者の仕様に適合するかどうかを判定するため、監視システムは被測定量の時間と振幅の双方に関して十分な精度と分解能を持たなければならない。

該当する場合、監視システムは以下の状態を検知しなければならない:

- EUT とデバイスのあいだの安全上の用途が意図された機能の実行のためのデータ通信
- 安全上の用途が意図された機能の出力の状態

この監視は EUT の性能が仕様の範囲から外れた場合にそれを確実に検出できるものが必要であり、試験の対象によっては EUT の動作やその監視に工夫が必要となるかも知れない。

また、動作の監視のための手段は EUT の挙動に影響するべきではなく、また試験で印加される妨害の影響を受けるべきではない。

4.4 劣化の考慮

劣化の影響を考慮した追加のイミュニティ試験の実施を考慮すべきである。この種の試験は加速劣化ベースで行なうことができるだろう。^{†26}

5 試験計画書

試験のために必要な情報は試験に先立って試験計画書として文書化する。

試験計画書には次の情報も含める:

- EUT の構成 (EUT の一部となる全てのデバイス、ラック、モジュール、ボードなどを文書化する) や組み立て、I/O ポート、周辺機器 (AE)、ケーブルや接地;
- 動作条件 (動作モード、環境条件、アプリケーション・ソフトウェア);
- 性能の規定 (それぞれのポートと試験に対する特性を可能であれば定量的に規定する);
- 実施する試験。

また、意図された SIL によって試験の要求が変わることもあるため、意図された最大の SIL を含めた製品の情報も記載すべきである。

6 参考資料

- [1] IEC 61000-6-7:2014, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-7: Generic standards – Immunity requirements for equipment intended to perform functions in a safety-related system (functional safety) in industrial*
- [2] IEC 61000-6-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity standard for industrial environments*
- [3] IEC 61000-6-4, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Emission standard for industrial environments*
- [4] IEC 61508-*, *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*

- [5] IEC 61000-1-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 1-2: General – Methodology for the achievement of functional safety of electrical and electronic systems including equipment with regard to electromagnetic phenomena*
- [6] IEC 61000-4 シリーズ イミュニティ試験規格の概要, 株式会社 e・オータマ, 佐藤, 2018, <https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [7] 安全関連機能を持つ機器のイミュニティ — IEC 61326-3-1、-3-2 の概要, <https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [8] プログラマブル・コントローラの EMC — IEC 61131-2 の概要, <https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [9] 可変速駆動システムの EMC — IEC 61800-3 の概要, <https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [11] *Why EMC Immunity Testing is Inadequate for Functional Safety*, Keith Armstrong, 2004, IEEE, doi: 10.1109/ISEMC.2004.1350014, <https://doi.org/10.1109/ISEMC.2004.1350014>

参考: この論考では、EMC 試験が機能安全のためには不十分である理由として、

- イミュニティ試験は一度に 1 つの電磁妨害のみを試験する
- イミュニティ試験は現実の曝露を模擬しない
- EMC 「リスク分析」が行なわれない、
- イミュニティ試験「両立性レベル」は緩すぎる
- イミュニティ試験では予見可能な故障が扱われない
- 電磁性能への物理環境の影響が考慮されない
- 代表的なサンプルのみが EMC 試験される
- EMC 試験は保守、修理、改修、更改、更新 (例えばソフトウェアの) を扱わない
- EMC で許容できる性能の劣化は安全のためには許容できないかも知れない

といったものが挙げられている。

- [12] IET の新しいガイド: 機能安全のための EMC — EMC へのリスクマネジメントの適用, Keith Armstrong, 2008, 佐藤 訳, <https://t-sato.in.coocan.jp/emcj/0811-27-j.html>
- [13] *Overview of techniques and measures related to EMC for Functional Safety*, The Institution of Engineering and Technology, 2013, <https://www.emcstandards.co.uk/overview-of-techniques-measures-for-emc-for-fun> (このガイドの改訂版は IET から購入可能)
- [14] システムと施設の EMC, Keith Armstrong, 2000, 佐藤 訳, <https://t-sato.in.coocan.jp/sysemc/>

© 2022 e-OHTAMA, LTD.

All rights reserved.

免責条項 — 当社ならびに著者は、この文書の情報に関して細心の注意を払っておりますが、その正確性、有用性、完全性、その利用に起因する損害等に関し、一切の責任を負いません。

^{†26} 例えばダンプ・ヒート・サイクル試験や振動試験などによる劣化の促進を伴う。