

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

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2019 年 12 月 16 日

目次

1	概要	1
2	IEC 61326 シリーズの適用	2
2.1	規定された電磁環境	2
2.2	安全関連システムと安全関連システムでの使用を意図した機器の試験	3
2.2.1	安全関連システムでの使用を意図した機器の試験	3
2.2.2	安全関連システムの試験	3
3	イミュニティ要求	3
3.1	性能判定基準	3
3.1.1	性能判定基準 DS	3
3.1.2	性能判定基準 A (IEC 61326-3-2 のみ)	4
3.1.3	性能判定基準の適用	4
3.2	イミュニティ試験レベル	4
4	試験	4
4.1	試験構成	4
4.2	監視システム	7
4.3	動作条件	7
4.4	各試験のポイント	7
5	試験計画書	11
6	参考資料	11

1 概要

IEC 61326-3-1^[1]、及び IEC 61326-3-2^[2] は工業環境で使用される SIL 1~3^{†1} の安全関連システム^{†2}や安全関連機能^{†3}を実行する機器の EMC 要求を定めるものであり、IEC 61326-3-2 は規定された電磁環境での使用が意図されたシステムや機器に、IEC 61326-3-1 はその他の環境での使用が意図されたシステムや機器に適用される。

これら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。^{†4}機能安全のための EMC に関するプロセスや方法論などは IEC 61508^[4] や IEC 61000-1-2^[5] で述べられており、少なくともこれらの規格に、また関係するその他の要求に従うことが不可欠となるであろう。^{†5}

^{†1} SIL (safety integrity level; 安全度水準) は IEC 61508^[4] で規定されたもので、SIL 1~4 に分類される。この中で最も要求水準が厳しいものとなる SIL 4 はこれらの規格ではカバーされない。簡単に言えば高い SIL は危険側の障害を発生する可能性が低いことを意味し、例えば、本質的に危険側障害を起こしにくい設計、多重化、自己診断などによってそれを実現している。

^{†2} 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に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。

^{†3} 安全関連機能 — E/E/PE 安全関連システムやその他のリスク低減手段が実現する、特定の危険事象に関する EUC の安全状態の達成や維持が意図された機能。

^{†4} 高頻度作動要求の場合、SIL 1~3 では危険側故障の頻度が 10^{-5} ~ 10^{-8} 回/時間 (概ね 10 年から 1 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、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。

^{†5} 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。

本稿では、この IEC 61326-3-1:2017^[1]、及び IEC 61326-3-2:2017^[2] 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][2]}を参照していただきたい。

2 IEC 61326 シリーズの適用

IEC 61326-3-1^[1] や IEC 61326-3-2^[2] は IEC 61326-1^[3] の適用範囲に入る機器^{†6}で安全関連システムや安全関連システムでの使用を意図したものに對する追加の要求を定めるもので、IEC 61326-1 と組み合わせて使用される。^{†7}

一般に、IEC 61326-1、IEC 61326-3-1、及び IEC 61326-3-2 のイミュニティ要求は次のように適用される:

- 安全関連以外の機能 — IEC 61326-1
- 安全関連機能:
 - §2.1 で述べるような工業環境での使用が意図されている — IEC 61326-3-2
 - その他 — IEC 61326-3-1

2.1 規定された電磁環境

IEC 61326-3-2 は以下のような環境での使用が意図されたシステムや機器に適用される:^{†8}

1. 立ち入りが制限された産業プラント

プラント (区域) への立ち入りは立ち入り規則で制限され、従業員や訪問者は、立ち入り制限、可搬型送信機の使用、またその環境を電磁現象に対して保護するためのその他の重要な規則を周知される。

2. 可搬型送信機の使用の制限

敏感な区域での可搬型送信機の使用は立ち入り規則で制限される。

立ち入り規則は、送信出力を P (W)、アンテナのゲインを G_a ($= 1.64$ と仮定)、距離を d (m)、電界強度を E (V/m) として、 $E = \sqrt{30 G_a P} / d$ から敏感なデバイスのための最小保護距離を計算することで選択される。^{†9}

3. 電源、制御、信号、あるいは通信線のための独立したケーブル

ケーブルは、信号/制御ケーブル (< 110 V)、低圧電力ケーブル (≤ 1 kV)、高圧電力ケーブル (> 1 kV) の3つの区分に分類され、それぞれの区分は次項のように物理的に隔離される。

4. ケーブルの隔離

異なる区分のケーブルは少なくとも 30 cm 離すか、あるいはケーブル・ダクト/トレーの金属の隔壁で隔離して引かれる。^{†10}

5. 主に金属の構造材から成る工場建屋

建屋は鉄筋コンクリートか金属構造材から成り、その金属構造材や鉄筋は等電位効果の改善のために互いに熔接もしくは接続される。^{†11}

6. 適切な手段による過電圧/雷防護

全ての導体と接地電位のあいだの過電圧を安全な電圧レベルに制限する過電圧/雷防護 (例えば建屋の金属構造材や防護デバイスの使用のような) が存在している。

7. AC 駆動のパイプ加熱システム

AC 駆動のパイプ加熱システム^{†12}が設置されているかも知れない。

8. 敏感な区域の近くに高圧変電所がない

極度に高い磁界や電界を防ぐため、高圧変電所は敏感な区域の外にある。

^{†6} AC 1000 V 以下、あるいは DC 1500 V 以下で動作する、専門家、加工、生産、教育向けの機器がカバーされ、これは計測/試験用、制御用、あるいは試験所用の情報技術機器を含む。IEC 61326-1 の適用範囲に入らない工業環境向けの機器は IEC 61000-6-7^[6] でカバーされるかも知れない。

^{†7} 例えばプログラマブル・コントローラの IEC 61131-6^[7]、可変速駆動システムの IEC 61800-5-2^[8]、電氣的検知保護機器の IEC 61496-1^[9] のように、個別の規格が別に存在しているものもある。

^{†8} これは、プロセス産業、特に化学、石油、製薬プラントの要求に基づく。

^{†9} 例えば、 $P = 5$ W の場合、 $E = 10$ V/m (≤ 1 GHz) とすると $d \approx 1.6$ m、 $E = 3$ V/m (> 1 GHz) とすると $d \approx 5.2$ m となる。

^{†10} ケーブルの引き回しについては例えば [14] の §2.8 も参照。

^{†11} 例えば [14] の §2.4 も参照。

^{†12} 建屋に接地されたパイプに電流を流して加熱を行なうもので、周辺に高い磁界を発生する。

9. CISPR 11 に従った ISM 機器

ISM 周波数を使用する CISPR 11 Group 2 ISM 機器^{†13}が存在する場合、非常に低い無線周波出力のみを送出するか、または十分に離れた場所に設置される。

10. 適格な要員

誤った施行を防ぐため、全ての設置作業は機器とシステムの設置ガイドラインを熟知した訓練済みの要員が行なう。

11. 機器とシステムの定期的な保守

全ての設備はシールドや接地接続の腐食や誤った施行を防ぐために定期保守の対象となる。

12. 機器とシステムの設置ガイドライン

全ての設備は設置プロセス、シールド、接地接続などの詳細を述べたそのプラントの設置ガイドラインに従って設置される。

2.2 安全関連システムと安全関連システムでの使用を意図した機器の試験

これらの規格は、安全関連システム全体に、あるいは安全関連システムでの使用を意図した個々の機器に適用できる。

安全関連システムは、複雑で大規模な設備を含む、様々な物理的な配置で組み立てられるものとなるかも知れず、そのようなシステムの試験は困難なものとなり得るため、イミュニティ試験は機器単位で行なうことが望ましい。

2.2.1 安全関連システムでの使用を意図した機器の試験

それが妨害を受けた時の機能が危険となるかどうかは安全関連システムでの用途に依存し、不明であるものの、安全関連システムでの使用が意図された個々のデバイスは意図された機能と障害の際に許容される挙動を含めて詳細に規定される。^{†14}

^{†13} CISPR 11 の規定上、このような ISM 機器はその周波数範囲内で高い電磁界を放出することが許容されるが、これらの規格のイミュニティ要求レベルは高出力の電磁界を放出する機器との共存を想定したものではないため、その制限が必要となる。

^{†14} 例えば機器が安全関連の接点出力を持つ場合、その接点が開いた場合と閉じた場合のいずれが危険となるかはその機器を安全関連システムの中でどのように使うかに依存し、不明であ

そのようなデバイスのイミュニティ試験では、所定の電磁現象に対してその仕様が満足されているかどうかを確認することが目標となる。

試験では EUT の挙動を確認するが、妨害を受けていない機能からの逸脱は検出可能でなければならず、また試験報告書に記載されなければならない。

2.2.2 安全関連システムの試験

安全関連システムについては、その安全関連システムの意図された機能が、またあり得る安全状態が規定される。

イミュニティ試験の目標は、その安全関連システム全体が製造業者が規定したように、また性能判定基準 DS で要求されるように機能するかどうかを示すこととなる。

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、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

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^{†15}

る。しかしながら、障害発生時に接点を開いた状態とするか閉じた状態とするかは機器の設計に先立って決定され、これはその機器の仕様や性能判定基準 DS にも反映される筈である。この場合、この接点の状態に関しては、それが安全関連システムでどのように使用されるかとは無関係に確認することができる。

^{†15} 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 IEC 61326-1 でカバーされる。

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。^{†16}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設計され、障害発生時にはあらかじめ定められた規定状態となるように設計されるであろう。

3.1.2 性能判定基準 A (IEC 61326-3-2 のみ)

機器は、試験中と試験後、意図したように動作し続けなければならない。機器が意図されたように使用された時、製造業者が規定した性能レベルを下回る性能の劣化や喪失は許容されない。性能レベルは許容される性能の喪失で置き換えても良い。製造業者が最小限の性能レベルや許容可能な性能の喪失を規定していない場合は、それらは製品の説明や文書から、また機器が意図されたように使用された時にユーザーが合理的に期待するものから導けるかも知れない。^{†17}

3.1.3 性能判定基準の適用

IEC 61326-3-1 や IEC 61326-3-2 の性能判定基準は、安全用途での使用が意図された機能に対して、またこれら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。

安全用途での使用が意図されていない機能に対しては、IEC 61326-1 の試験レベルで IEC 61326-1 の性能判定基準が適用される。

安全用途での使用が意図された機能への性能判定基準の適用の一般的なアプローチは:

- 通常の EMC 試験でのイミュニティ試験レベルでは、
 - 性能判定基準 A
 - 性能判定基準 B、かつ観測された逸脱と回復時間が文書化されている

^{†16} 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 以内にパルスを閉鎖する、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、この規格では安全側/危険側などの表現は用いられない。

^{†17} これは IEC 61326-1 の定義と同様だが、IEC 61326-3-2 の要求は非安全関連機能には適用されない。性能判定基準 B や C は安全関連機能には適さないので、IEC 61326-3-2 では使用されない。

- 性能判定基準 C、かつ観測された逸脱は検出可能で文書化されている

- IEC61326-3-1 のイミュニティ試験レベルでは、性能判定基準 DS
- IEC61326-3-2 のイミュニティ試験レベルでは、性能判定基準 DS、もしくは A (表 1, 表 2 参照)

IEC 61326-3-1 での機器やシステムの試験で許容可能な、また許容できない影響の例は、表 3、及び表 4 も参照されたい。

3.2 イミュニティ試験レベル

IEC 61326-3-1 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 61326-1 よりも高めのものとなっており、また IEC 61326-1 には含まれない IEC 61000-4-16 ^{†18} や IEC 61000-4-29 ^{†19} の試験が含まれている。

IEC 61326-3-2 のイミュニティ試験レベルは、IEC 61326-3-1 と同等、あるいはそれよりも低い IEC 61326-1 に近いものとなっているものが多い。但し、IEC 61326-3-2 では多くの試験項目について性能判定基準 DS ではなく A が要求されていることに注意されたい。また、一部、IEC 61326-3-1 よりも厳しい試験レベルが設定されている試験項目もある。^{†20}

これらの規格の試験レベルの対比は、表 1、及び表 2 を参照されたい。

4 試験

4.1 試験構成

EUT が安全関連システム全体でない場合、EUT のポートは安全関連システムを模擬する他の要素

^{†18} 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。

^{†19} 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。

^{†20} IEC 61000-4-29 で 1 s のディップや停電での試験があるが、これらの性能判定基準は DS であるので、通常は問題とならないであろう。また、IEC 61000-4-8 は IEC 61326-3-1 の 30 A/m に対して IEC 61326-3-2 では 100 A/m となっている^{†21}が、電源周波数磁界の影響を受ける機器は少なく、これも滅多に問題とならないであろう。

^{†21} IEC 61326-3-2 は高い電源周波数磁界を発生する AC 駆動のパイプ加熱システムの存在を想定しているため。

試験	IEC 61326-3-1:2017	IEC 61326-3-2:2017	IEC 61326-1:2012 (工業環境)
エンクロージャ・ポート			
IEC 61000-4-2	接触: ±6 kV 気中: ±2, ±4, ±8 kV	接触: ±6 kV 気中: ±2, ±4, ±8 kV	接触: ±4 kV 気中: ±2, ±4, ±8 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: 10 V/m 1.4~2 GHz: 10 V/m 2~2.7 GHz: 3 V/m (2.7~6 GHz: 3 V/m)	80 MHz~1 GHz: 10 V/m 1.4~2 GHz: 3 V/m 2~2.7 GHz: 1 V/m
IEC 61000-4-8	30 A/m	100 A/m	30 A/m
AC 電源ポート			
IEC 61000-4-4	±3 kV (5 kHz)	±2 kV (5 kHz)	±2 kV (5 kHz)
IEC 61000-4-5	ライン-ライン: ±0.5, ±1, ±2 kV ライン-接地: ±0.5, ±1, ±2, ±4 kV	ライン-ライン: ±0.5, ±1 kV ライン-接地: ±0.5, ±1, ±2 kV	ライン-ライン: ±0.5, ±1 kV ライン-接地: ±0.5, ±1, ±2 kV
IEC 61000-4-6	0.15~80 MHz: 10 V 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)	0.15~80 MHz: 10 V 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)	0.15~80 MHz: 3 V 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	10~150 kHz: 10 V	
DC 電源入出力ポート			
IEC 61000-4-4	±3 kV (5 kHz)	±2 kV (5 kHz)	±2 kV (5 kHz)
IEC 61000-4-5	ライン-ライン: ±0.5, ±1 kV ライン-接地: ±0.5, ±1, ±2 kV	ライン-ライン: ±0.5 kV ライン-接地: ±0.5, ±1 kV	ライン-ライン: ±0.5, ±1 kV ライン-接地: ±0.5, ±1, ±2 kV
IEC 61000-4-6	0.15~80 MHz: 10 V 1.5~15 kHz: 1~10 V, 20 dB/decade 15~150 kHz: 10 V	0.15~80 MHz: 10 V 10~150 kHz: 10 V	0.15~80 MHz: 3 V
IEC 61000-4-29	40%, 10 ms 0%, 20 ms	40%, 1000 ms 0%, 1000 ms 0%, 20 ms	DS DS A

表 1: IEC 61326-3-1, -3-2 のイミュニティ試験レベル (1 of 2)

試験	IEC 61326-3-1:2017	IEC 61326-3-2:2017	IEC 61326-1:2012 (工業環境)
I/Oポート			
IEC 61000-4-4	±2 kV (5 kHz)	DS ±1 kV (5 kHz)	A ±1 kV (5 kHz)
IEC 61000-4-5	ライン-接地: ±0.5, ±1, ±2 kV	DS ライン-接地: ±0.5, ±1 kV	DS ライン-接地: ±0.5, ±1 kV
IEC 61000-4-6	0.15 ~ 80 MHz: 10 V	DS 0.15 ~ 80 MHz: 10 V	A 0.15 ~ 80 MHz: 3 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	DS DS 10 ~ 150 kHz: 10 V	A
電源網に直接接続される I/Oポート			
IEC 61000-4-4	±3 kV (5 kHz)	DS ±2 kV (5 kHz)	A ±2 kV (5 kHz)
IEC 61000-4-5	ライン-ライン: ±0.5, ±1, ±2 kV ライン-接地: ±0.5, ±1, ±2, ±4 kV	DS ライン-ライン: ±0.5, ±1 kV DS ライン-接地: ±0.5, ±1, ±2 kV	A ライン-ライン: ±0.5, ±1 kV A ライン-接地: ±0.5, ±1, ±2 kV
IEC 61000-4-6	0.15 ~ 80 MHz: 10 V	DS 0.15 ~ 80 MHz: 10 V	A 0.15 ~ 80 MHz: 3 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	DS DS 10 ~ 150 kHz: 10 V	A
機能接地ポート			
IEC 61000-4-4	±2 kV (5 kHz)	DS 0.15 ~ 80 MHz: 10 V	A ±1 kV (5 kHz)
IEC 61000-4-5		ライン-接地: ±0.5, ±1 kV	A ライン-接地: ±0.5, ±1 kV
IEC 61000-4-6		0.15 ~ 80 MHz: 10 V	A 0.15 ~ 80 MHz: 3 V
IEC 61000-4-16		10 ~ 150 kHz: 10 V	A

表 2: IEC 61326-3-1, -3-2 のイミュニティ試験レベル (2 of 2)

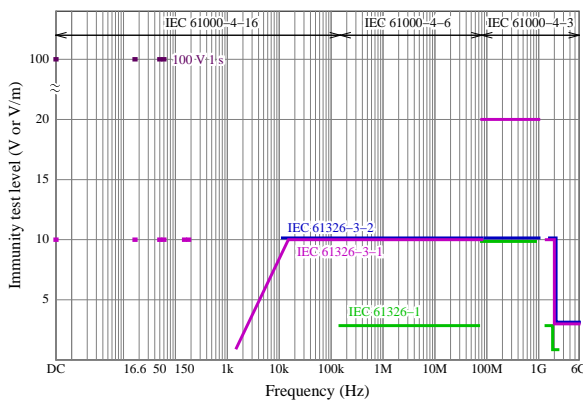


図 1: 各規格の IEC 61000-4-16, -4-6, -4-3 の試験レベル

や実際の要素の特性を模擬する負荷に接続すべきである。

EUT に様々な構成がある場合、最も影響を受けやすいと予期される構成で試験し、また全てのタイプのモジュールを少なくとも 1 度は試験する。

同一のタイプと機能の I/O ポートが複数ある場合、ケーブルの追加が結果に顕著に影響しないと示せるならば 1 つのポートだけにケーブルを接続すれば充分である。

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 AE を選択する。適切な分析的な証拠が他の組み合わせのイミュニティを示すならば、他の AE との組み合わせについて試験を繰り返す必要はないだろう。

4.2 監視システム

多くの場合、試験時の EUT の挙動を監視するための手段が必要となる。

このような監視システムは EUT の挙動に影響してはならず、それが不可能な場合は影響の範囲を文書化する。いかなる場合にも安全関連機能は監視システムの影響を受けてはならない。

4.3 動作条件

仕様の範囲内で最悪条件と推定される動作モードを選択する。

安全機能の作動や解除の瞬間に妨害を印加する必要はないが、試験計画にそれを含めても良い。

4.4 各試験のポイント

表 1 と表 2 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。^{†22}

● 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。^{†23}
- 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)

- IEC 61326-3-1 では、SIL 3 の場合、最大の試験レベルでの印加回数を 3 倍にする。
- 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。

● IEC 61000-4-3 (放射電磁界)

- IEC 61326-3-1 では、ISM 周波数帯や無線サービスに対応した、規格で指定された周波数範囲^{†24}についてのみ試験を行えば良い。
- IEC 61326-3-2 では、2.7~6 GHz の試験は用途から必要な場合のみ行えば良い。
- 妨害は 1 kHz 80 % AM で変調する。^{†25}
- 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。^{†26}

^{†22} IEC 61000-4-2, -4-3 などの試験法に関しては [10] で触れている。

^{†23} 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。

^{†24} 84, 137-174, 219.5, 380-400, 420-470, 698-960, 1240-1300, 1428-2700, 3300-3600, 5150-5925 MHz。IEC 61326-3-1 Table 8 参照。

^{†25} その帯域の無線サービスでの変調を模擬する変調での試験は要求されていない。

^{†26} 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、間欠的に動作する機能がある、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)、基礎安全や基本性能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、基礎安全と基本性能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。

- IEC 61000-4-4 (電氣的ファスト・トランジェント/バースト)
 - IEC 61326-3-1 では、SIL 3 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、及び機能接地ポート (IEC 61326-3-2 のみ) については、30 m よりも長い、あるいは建物の外に引かれるケーブルのみが対象となる。
 - IEC 61326-3-1 では、SIL 3 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。
 - 電源網に直接接続される I/O ポートへの印加は電源用の CDN で行なう。
- IEC 61000-4-6 (RF 電磁界によって誘導された伝導性妨害)
 - IEC 61326-3-1 では、ISM 周波数帯や無線サービスに対応した、規格で指定された周波数範囲^{†27}についてのみ試験を行えば良い。
 - 妨害は 1 kHz 80 % AM で変調する。
 - ドウエル・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。^{†26}
- 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)
 - 20 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、あるいは建物の外に引かれるケーブルのみが対象となる。
- 1.5 ~ 150 kHz (IEC 61326-3-2 では 10 ~ 150 kHz) の試験は、 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。
- IEC 61326-3-1 の場合、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。^{†28}
- 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^{†29}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。^{†30}

^{†28} 100 V 1 s での試験は地絡事故などの際の接地電位差の影響を模擬するものと考えられる。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、これが IEC 61326-3-2 では 100 V での試験が要求されていない理由と思われる。

^{†29} 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。

^{†30} 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を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。

^{†27} 3.39, 6.78, 13.56, 27.12, 40.68 MHz。IEC 61326-3-1 Table 9 参照。

干渉時の影響	安全用途を意図した機能						安全用途を意図しない機能		
	通常の EMC 試験レベル			EMC 安全試験レベル			通常の EMC 試験レベル		
	連続現象	過渡現象	連続現象	過渡現象	連続現象	過渡現象	連続現象	過渡現象	連続現象
1 妨害を受けない	常に許容	常に許容	常に許容	常に許容	常に許容	常に許容	常に許容	常に許容	常に許容
2 再現可能な一時的な性能の劣化、劣化の情報が提供されていく (劣化が自動診断で検知されなくても良い)	規定された限界内でのみ許容	許容	許容	許容	許容	規定された限界内でのみ許容	許容、かつ情報の提供も不要	許容、かつ情報の提供も不要	許容
3 機能の一時的な喪失、試験後は意図したように機能 (自己回復) + 障害が自動診断で検知可能 (障害の情報が提供される)	許容されない (機能は損なわれるべきでなく、通常の EMC の挙動として正常な妨害されない動作が必要)	許容	許容	許容	許容	許容されない	許容	許容	許容
4 機能の一時的な喪失、試験後は意図したように機能 (自己回復) + 障害が (EUT 内部や外部の) 自動診断で検知不能	許容されない	許容されない (DS 固有の側面が優先)	許容されない	許容されない	許容されない	許容されない	許容	許容	許容
5 回復のためにオペレータの介入やリセットが必要な機能の一時的な喪失 + 障害が例えば診断で検知可能 (障害の情報が提供される)	許容されない (通常の EMC 要求が優先、すなわち機能は損なわれるべきでない)	許容	許容	許容	許容	許容されない	許容	許容	許容
6 回復のためにオペレータの介入やリセットが必要な機能の一時的な喪失 + 障害が (EUT 内部や外部の) 自動診断で検知不能	許容されない	許容されない (安全側障害を除く)	許容されない (安全側障害を除く)	許容されない (安全側障害を除く)	許容されない (安全側障害を除く)	許容されない	許容されない	許容	許容
7 5 と同様だが、回復しない (損傷を含む)	許容されない (通常の EMC 要求が優先)	許容されない (通常の EMC 要求が優先)	許容	許容	許容	許容されない	許容	許容	許容
8 6 と同様だが、回復しない (損傷を含む)	許容されない	許容されない	許容されない (安全側障害を除く)	許容されない (安全側障害を除く)	許容されない (安全側障害を除く)	許容されない	許容されない	許容	許容

表 3: 機器の機能の IEC 61326-3-1 でのイミュニティ試験で許容可能な、また許容されない影響の例

干渉時の影響	安全用途を意図した機能				安全用途を意図しない機能			
	通常の EMC 試験レベル		EMC 安全試験レベル		通常の EMC 試験レベル		EMC 試験レベル	
	連続現象	過渡現象	連続現象	過渡現象	連続現象	過渡現象	連続現象	過渡現象
1 妨害を受けない	常に許容	常に許容	常に許容	常に許容	常に許容	常に許容	常に許容	常に許容
2 機能の一時的な喪失、試験後は意図したように機能(自己回復) + 規定された障害応答が実行される	許容されない (機能は損なわれるべきでなく、通常の EMC の挙動として正常な妨害されない動作が必要)	許容	許容	許容	許容	許容	許容	許容
3 機能の一時的な喪失、試験後は意図したように機能(自己回復) + 規定された障害応答が実行されない	許容されない (DS 固有の側面が優先)	許容されない	許容されない	許容されない	許容	許容	許容	許容
4 回復のためにオペレータの介入やリセットが必要な機能の一時的な喪失 + 規定された障害応答が実行される	許容されない (通常の EMC 要求が優先、すなわち機能は損なわれるべきでない)	許容	許容	許容	許容	許容	許容	許容
5 回復のためにオペレータの介入やリセットが必要な機能の一時的な喪失 + 規定された障害応答が実行されない	許容されない	許容されない (安全側障害を除く)	許容されない (安全側障害を除く)	許容されない (安全側障害を除く)	許容されない (安全側障害を除く)	許容されない (安全側障害を除く)	許容されない	許容
6 4と同様だが、回復しない(損傷を含む)	許容されない (通常の EMC 要求が優先)	許容	許容	許容	許容	許容	許容	許容
7 5と同様だが、回復しない(損傷を含む)	許容されない	許容されない (安全側障害を除く)	許容されない (安全側障害を除く)	許容されない (安全側障害を除く)	許容	許容	許容	許容

表 4: システムの機能の IEC 61326-3-1 でのイミュニティ試験で許容可能な、また許容されない影響の例

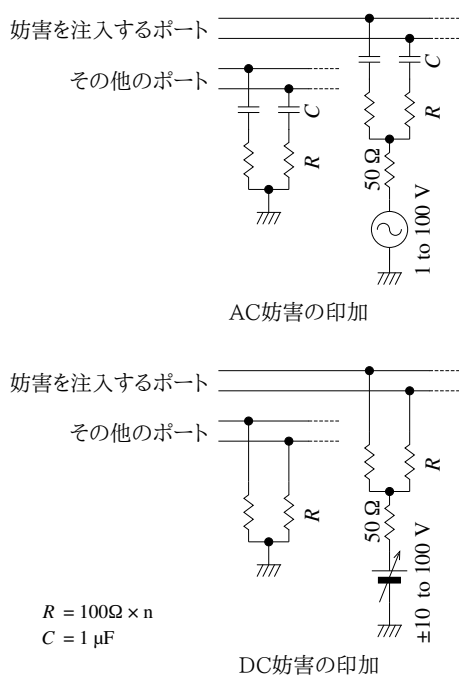


図 2: IEC 61000-4-16 結合回路網の例

5 試験計画書

試験に先立って、少なくとも以下の情報を記載した試験計画書を作成する:

- 試験に関係する入出力ポート
- EUT の構成とその選択の根拠、また必要な周辺機器 (AE) や監視用機器
- 安全機能の動作モード
- イミュニティ試験レベル^{†31}
- 規定状態を含む、性能判定基準
- EUT の挙動の監視
- 規定された性能判定基準に対する EUT の反応の評価

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。

^{†31} 不要と判断した試験がある場合、その旨とその判断の根拠も試験計画書に記載する。

6 参考資料

- [1] IEC 61326-3-1:2017, *Electrical equipment for measurement, control and laboratory use – EMC requirements – Part 3-1: Immunity requirements for safety-related systems and for equipment intended to perform safety-related functions (functional safety) – General industrial applications*
- [2] IEC 61326-3-2:2017, *Electrical equipment for measurement, control and laboratory use – EMC requirements – Part 3-2: Immunity requirements for safety-related systems and for equipment intended to perform safety-related functions (functional safety) – Industrial applications with specified electromagnetic environment*
- [3] IEC 61326-1:2012, *Electrical equipment for measurement, control and laboratory use – EMC requirements – Part 1: General requirements*
- [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 61000-6-7, *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 locations*
- [7] IEC 61131-6, *Programmable controllers – Part 6: Functional safety*
- [8] IEC 61800-5-2, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 5-2: Safety requirements – Functional*
- [9] IEC 61496-1, *Safety of machinery – Electro-sensitive protective equipment – General requirements and tests*
- [10] 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, <http://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,

<http://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/files/iet_overview_of_techniques_measures_for_emc_for_functional_safety_aug_2013_2.pdf

(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,

<http://t-sato.in.coocan.jp/sysemc/>