

鉄道用の信号/通信機器の EMC — IEC 62236-4 の概要

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2023 年 8 月 28 日

目次

1	概要	1
2	適用範囲	1
3	エミッション要求	2
3.1	放射エミッション	2
3.2	伝導エミッション	2
3.3	AC 電源ポートへの高調波電流/フリッカのエミ ッション	3
4	イミュニティ要求	4
4.1	性能基準	4
4.2	IEC 61000-4-2 (静電気放電)	4
4.3	IEC 61000-4-3 (放射電磁界)	4
4.4	IEC 61000-4-4 (ファスト・トランジェント)	4
4.5	IEC 61000-4-5 (サージ)	4
4.6	IEC 61000-4-6 (無線周波コモン・モード妨害)	4
4.7	IEC 61000-4-8 (電源周波磁界)	5
5	補足	5
5.1	試験条件	5
5.2	無線機器の扱い	6
5.3	規格の限界	7
5.3.1	一般	7
5.3.2	通信などとの干渉	7
5.3.3	軌道電流からの誘導	7
5.3.4	電源関連の試験	8
5.3.5	安全との関連	8
5.4	IEC 61000-6-2:2016 のイミュニティ試験レベル との比較	8
6	参考資料	8

1 概要

IEC 62236 シリーズ (表 1) では鉄道関連の EMC 要求が定められており、そのうち IEC 62236-4^[1] では信号/通信機器のエミッションとイミュニティが扱われている。

この規格そのものは強制力は持たないものの、しばしば鉄道環境への設置が意図された機器に対する要求仕様の一部などとして用いられている。

また、欧州ではこれに相当するものが EN 50121-4 として発行されており、これは欧州の鉄道環境への設置が意図された機器の EMC 要求への適合性を示すためなどに用いられている。

本稿では、この IEC 62236-4:2018^[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 適用範囲

この規格^[1] は、鉄道環境への設置が意図された信号/通信機器やその一部となる電源装置などの機器のうち以下のものに、IEC 62236-1:2018^[2] と組み合わせ適用される:

- インターロッキングやコマンド・アンド・コントロール (指令/管理系) のような重要な機器;
- 3 m ゾーンの内側の機器;
- 10 m ゾーンの内側の機器の、3 m ゾーンの内側に接続されるポート;
- 10 m ゾーンの内側の機器の、30 m よりも長いケーブルに接続されるポート。

ここで、3 m ゾーン、及び 10 m ゾーンは最も近くの軌道の中心から 3 m、及び 10 m までの領域を



国際規格	欧州規格	表題	扱われる事項
IEC 62236-1	EN 50121-1	<i>Railway applications — Electromagnetic compatibility — Part 1: General</i>	IEC 62236 (EN 50121) シリーズに関係する一般的な事項
IEC 62236-2	EN 50121-2	<i>Railway applications — Electromagnetic compatibility — Part 2: Emission of the whole railway system to the outside world</i>	鉄道システム全体から周囲環境への電磁妨害のエミッションの制限
IEC 62236-3-1	EN 50121-3-1	<i>Railway applications — Electromagnetic compatibility — Part 3-1: Rolling stock — Train and complete vehicle</i>	鉄道車両の EMC
IEC 62236-3-2	EN 50121-3-2	<i>Railway applications — Electromagnetic compatibility — Part 3-2: Rolling stock — Apparatus</i>	鉄道車両用の機器の EMC
IEC 62236-4	EN 50121-4	<i>Railway applications — Electromagnetic compatibility — Part 4: Emission and immunity of the signalling and telecommunications apparatus</i>	地上側に設置される信号や通信のための機器の EMC
IEC 62236-5	EN 50121-5	<i>Railway applications — Electromagnetic compatibility — Part 5: Emission and immunity of fixed power supply installations and apparatus</i>	固定電源設備やそのような設備での使用が意図された機器の EMC

表 1: IEC 62236 (EN 50121) シリーズ

意味し、軌道に設置される様々な地上子、軌道沿いに設置される信号/通信システムなどの地上設備などの多くがこの領域に入るであろう。

鉄道車両への設置が意図された機器はこの規格ではなく IEC 62236-3-2^{[3][7]} の、また鉄道用の変電所への設置が意図された機器は IEC 62236-3-5 の対象となる (表 1)。

また、鉄道システムでの使用が意図されていても、上記の条件に該当しない、従ってこの規格の (また IEC 62236 シリーズの他の規格の) 対象とならない機器^{†1}は、通常は少なくとも IEC 61000-6-2^[5] (工業環境用向け一般イミュニティ規格; 表 3)、及び IEC 61000-6-4^[6] (工業環境用向け一般エミッション規格; §3) への適合が必要となるだろう。

3 エミッション要求

3.1 放射エミッション

IEC 61000-6-4:2006+A1:2010^[6] (工業環境用向け一般エミッション規格)^{†2}の放射エミッションの要求 (図 2) に適合すること。

参考のため、放射エミッション測定イメージを図 1 に示す。^{†3}

3.2 伝導エミッション

AC 電源ポートは IEC 61000-6-4:2006+A1:2010 (工業環境用向け一般エミッション規格) の伝導エミッションの要求 (図 4) への適合が、DC 電源ポートもそれと同一の要求への適合が必要となる。

参考のため、伝導エミッション測定イメージを図 3 に示す。^{†3}

^{†2} 住宅等の近くへの設置が予期される場合、それに応じてより厳しい程度の適用も考慮すると良いかも知れない。

^{†3} 図 1 や 図 3 は卓上機器に対するものであるが、この規格の対象となる機器の多くは床置き機器として試験することになるだろう。

^{†1} 例えば運転指令所で用いられる機器のような。

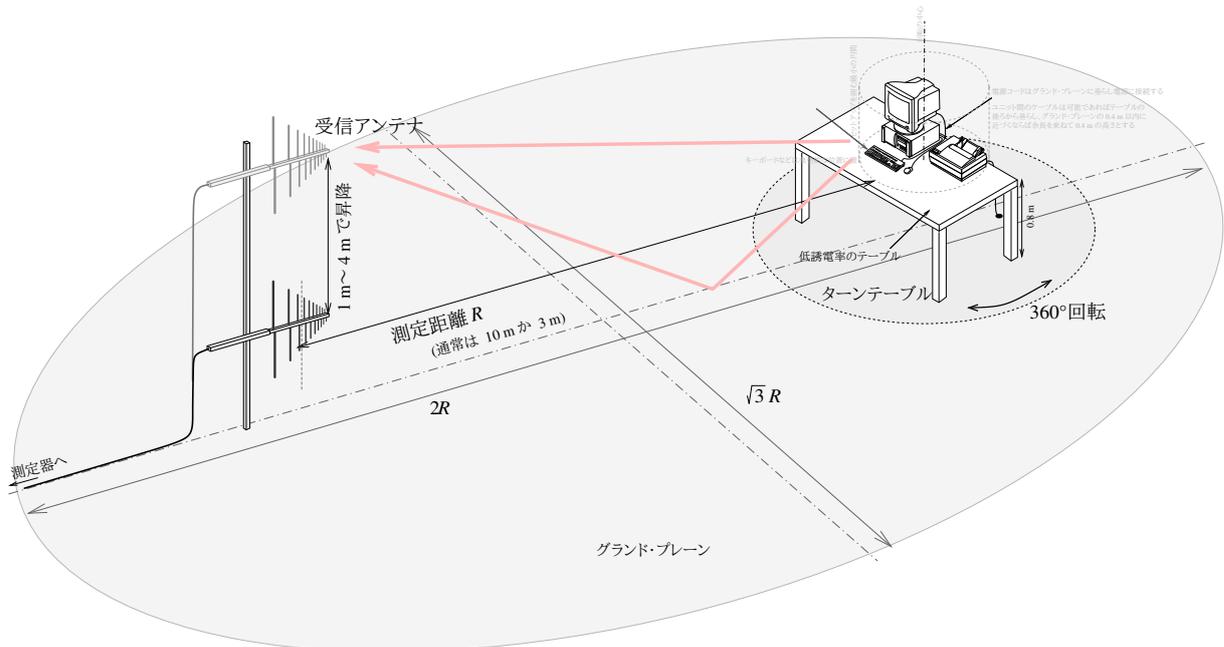


図 1: 放射エミッション測定イメージ (卓上機器のオープン・サイトでの測定)

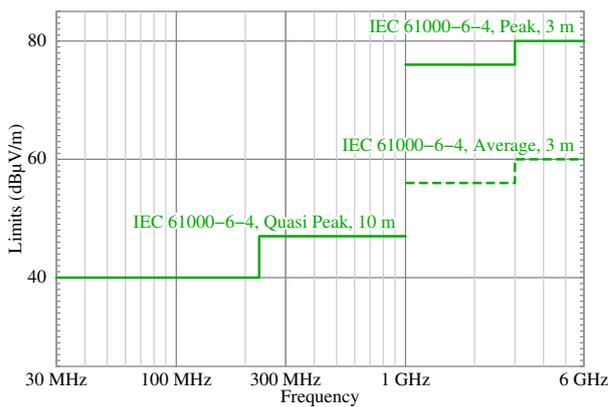


図 2: 放射エミッション限度 (IEC 61000-6-4:2006 +A1:2010)

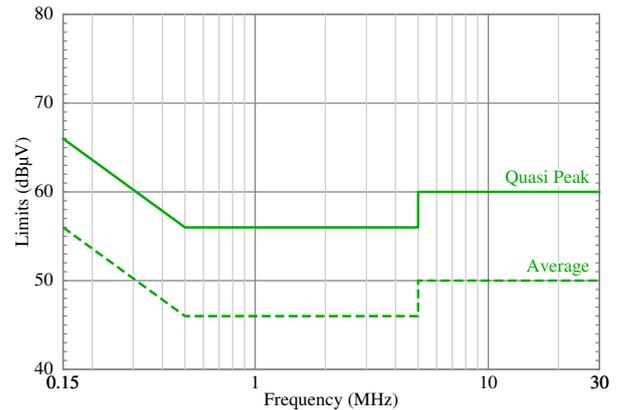


図 4: 伝導エミッション限度 (AC、DC 電源ポート)

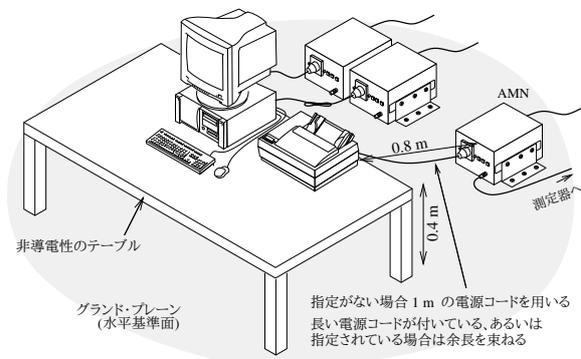


図 3: 伝導エミッション測定イメージ (卓上機器の水平基準面を用いた測定)

3.3 AC 電源ポートへの高調波電流/フリッカのエミッション

対象の機器が IEC 61000-3-2 か -3-12^[11] (AC 電源への高調波電流のエミッション)、あるいは IEC 61000-3-3 か -3-11^[12] (AC 電源の電圧変動とフリッカ) の適用範囲に入る場合、該当する規格も適用される。^{†4}

^{†4} この規格の対象となる機器の多くは公共低圧配電網ではなく鉄道事業者が運用する電源網に接続されるものと思われ、その場合、規格上はこれらの規格の対象からは除外される。これについては §5.3.4 も参照。

4 イミュニティ要求

イミュニティ試験は IEC 61000-4 シリーズ [8] の試験法を用いて行なうが、この規格で、試験項目と試験レベルが表2に示すように、また以下で概要を示すような追加の規定が定められている。

IEC 61000-4 シリーズの主な試験法そのものについては [8] で解説しており、本項ではこれには触れない。

4.1 性能基準

イミュニティ試験での合否の判定に用いる具体的な性能基準 (A、B、C) は IEC 62236-1:2018^[2] で規定された枠組みに従って製造業者が規定する。

4.2 IEC 61000-4-2 (静電気放電)

- IEC 61000-4-2:2008 に従って試験する。
- この規格の試験レベルは公衆や運用スタッフ (保守要員を除く) がアクセスできる機器にのみ適用する。

その他の機器には IEC 61000-6-2^[5] (表3) と同様に接触放電 4 kV、気中放電 8 kV の試験レベルが適用される。^{†5}

4.3 IEC 61000-4-3 (放射電磁界)

- IEC 61000-4-3:2006 に従って試験する。

4.4 IEC 61000-4-4 (ファスト・トランジェント)

- IEC 61000-4-4:2012 に従って試験する。
- 低圧配電網に接続される I/O ポートは電源ポートとみなす。
- I/O ポートへの印加は容量性結合クランプで行なう。

^{†5} IEC 61000-4-2 の規定上は保守の際にのみアクセスできる箇所は直接放電試験の対象からの除外が可能となっているため、そのような機器は直接放電試験は除外可能となることが多いと思われる。だが、保守要員が ESD 防止を適切に行わずに、また場合によっては機器を動作させたまま機器にアクセスする可能性も予期されるかも知れず、そのような場合は特に、そのような箇所も試験の対象から除外しないことが望ましいかも知れない。

- I/O ポートは総延長が 3 m を超える場合にのみ適用する。
- 性能基準 A が適用される。

4.5 IEC 61000-4-5 (サージ)

- IEC 61000-4-5:2014 に従って、1.2/50 μ s のコンビネーション・ウェーブを用いて試験する。
- I/O ポートへは 42 Ω + 0.5 μ F で印加する。^{†6} 大地から絶縁された DC 電源ポートへは 42 Ω + 0.5 μ F での印加が推奨される。^{†7}
- 下位の試験レベルを含めて、各条件で 5 パルスずつ、極性を交互にではなくそれぞれの極性毎に印加する。
- それに関する記述はないものの、この試験レベルはその機器の設置に際して必要に応じて適切なサージ保護が行なわれることを前提とした、最小限の要求と考えた方が良いかも知れない。^{†8†9}

4.6 IEC 61000-4-6 (無線周波コモン・モード妨害)

- IEC 61000-4-6:2013 に従って試験する。

^{†6} これは IEC 62236-4:2008 では推奨となっていた。

^{†7} I/O ポートと同様、この試験にはシールドされていない非対称相互接続線のための CDN (結合/減結合回路網) を用いることができるだろうが、電源ポートへの印加の場合は特に、CDN の電圧や電流の制限に注意が必要となろう。

^{†8} 鉄道システムは雷の影響を受けやすく、適切に保護されていない場合、直撃雷の可能性は別としても、屋外を引かれる長いケーブルが雷からの誘導に伴う高レベルのサージを受ける可能性が、そして機器がこの規格のイミュニティ要求に適合していてもそのようなサージに耐えられない可能性が予期されそうである。例えば [13] では限られた観測にも関わらず架空線では 2~10 kV 程度のサージが相当の頻度で観測されたことが示されている。実際の使用でそのようなサージを受けることが想定される機器は、おそらくは耐雷トランスやサージ防護デバイス (SPD) などを用いて適切な水準の保護を行なうことになるだろう。達成すべき保護のレベルを一概に示すことはできないが、例えば [14] などには 10 kV という保護レベルへの言及があり、この程度を最低限の水準として考えると良いかも知れない。

^{†9} 鉄道システムの大きさやその中で用いられている機器の数を考えれば非常に低い確率に抑えられていると言えるかも知れないものの、実際に運用されている鉄道システムで雷に伴う信号故障による運行遅延のような事象がしばしば発生している。実際に障害を起こす機器はごく少数となるだろうが、鉄道システムの性質上、一箇所での障害が広い範囲での列車の運行に影響して多くの人に影響を与える結果となりやすいこともあり、そのような障害を減らすための努力が行なわれている。[16] では鉄道への雷の影響やその対策にも触れられている。

試験	試験レベル	性能基準
エンクロージャ・ポート		
IEC 61000-4-3	80~800 MHz: 10 V/m (80 % AM, 1 kHz) 800~1000 MHz: 20 V/m 1400~2000 MHz: 10 V/m 2000~2700 MHz: 5 V/m 5100~6000 MHz: 3 V/m	A
IEC 61000-4-8	16.7 Hz: 100 A/m 50 Hz / 60 Hz: 100 A/m DC: 100 A/m	A
IEC 61000-4-2	接触: 6 kV, 気中: 8 kV	B
I/O ポート		
IEC 61000-4-6	0.15~80 MHz: 10 V (80 % AM, 1 kHz)	A
IEC 61000-4-4	2 kV (5 kHz)	A
IEC 61000-4-5	ライン - 接地: 2 kV, ライン - ライン: 1 kV (1.2/50 μ s, 42 Ω + 0.5 μ F)	B
DC 電源ポート		
IEC 61000-4-6	0.15~80 MHz: 10 V (80 % AM, 1 kHz)	A
IEC 61000-4-4	2 kV (5 kHz)	A
IEC 61000-4-5	ライン - 接地: 2 kV, ライン - ライン: 1 kV (1.2/50 μ s)	B
AC 電源ポート		
IEC 61000-4-6	0.15~80 MHz: 10 V (80 % AM, 1 kHz)	A
IEC 61000-4-4	2 kV (5 kHz)	A
IEC 61000-4-5	ライン - 接地: 2 kV, ライン - ライン: 1 kV (1.2/50 μ s)	B
接地ポート		
IEC 61000-4-6	0.15~80 MHz: 10 V (80 % AM 1 kHz)	A
IEC 61000-4-4	1 kV (5 kHz)	A

表 2: イミュニティ試験レベルの概要

- 低圧配電網に接続される I/O ポートは電源ポートとみなす。
- I/O ポートは総延長が 3 m を超える場合にのみ適用する。
- 磁界に敏感なデバイス、例えばホール・センサダイナミック・マイクロホンなどを含む機器にのみ適用する。
- 試験時間は 10 s 以上とする。

4.7 IEC 61000-4-8 (電源周波磁界)

- IEC 61000-4-8:2009 に従って試験する。^{†10}
- 該当する電源周波数のみについて試験する。^{†11}

^{†10} IEC 61000-4-8:2009 は 50 Hz と 60 Hz のみをカバーするが、16.7 Hz と DC についてもその規定を準用する。

^{†11} ここで言う電源周波数は、機器の電源の周波数ではなく、鉄道システムの (軌道に給電されている) 電源の周波数と考えて良いだろう。この周波数は鉄道システムによって異なる。例えば、欧州高速鉄道を含め、欧州の鉄道システムではしばしば 16.7 Hz (16 2/3 Hz) が用いられる。日本では、地域や路線に

5 補足

5.1 試験条件

エミッション試験は最大のエミッションを発生すると、またイミュニティ試験は最大の感受性を示すと製造業者が判断した典型的な動作モードで実施する。同時に動作しない機能がある場合など、複数の

よって、50 Hz、60 Hz、あるいは DC が用いられる。

試験	IEC 61000-6-2:2016	IEC 62236-4:2018
エンクロージャ・ポート		
IEC 61000-4-3	80~800 MHz: 10 V/m 800~1000 MHz: 10 V/m 1400~2000 MHz: 3 V/m 2000~2700 MHz: 3 V/m 5100~6000 MHz: 3 V/m	80~800 MHz: 10 V/m 800~1000 MHz: 20 V/m 1400~2000 MHz: 10 V/m 2000~2700 MHz: 5 V/m 5100~6000 MHz: 3 V/m
IEC 61000-4-8	— 50 Hz / 60 Hz: 30 A/m —	16.7 Hz: 100 A/m 50 Hz / 60 Hz: 100 A/m DC: 100 A/m
IEC 61000-4-2	接触: 4 kV, 気中: 8 kV	接触: 6 kV, 気中: 8 kV
I/O ポート		
IEC 61000-4-6	0.15~80 MHz: 10 V	0.15~80 MHz: 10 V
IEC 61000-4-4	1 kV	2 kV
IEC 61000-4-5	ライン - 接地: 1 kV —	ライン - 接地: 2 kV ライン - ライン: 1 kV (42 Ω + 0.5 μF)
DC 電源ポート		
IEC 61000-4-6	0.15~80 MHz: 10 V	0.15~80 MHz: 10 V
IEC 61000-4-4	1 kV	2 kV
IEC 61000-4-5	ライン - 接地: 1 kV ライン - ライン: 0.5 kV	ライン - 接地: 2 kV ライン - ライン: 1 kV
AC 電源ポート		
IEC 61000-4-6	0.15~80 MHz: 10 V	0.15~80 MHz: 10 V
IEC 61000-4-4	2 kV	2 kV
IEC 61000-4-5	ライン - 接地: 2 kV ライン - ライン: 1 kV	ライン - 接地: 2 kV ライン - ライン: 1 kV
IEC 61000-4-11, -4-34	0 %, 1 サイクル 40 %, 10/12 サイクル 70 %, 25/30 サイクル 0 %, 250/300 サイクル	— — — —

表 3: IEC 61000-6-2 のイミュニティ試験レベルとの比較

動作条件での試験が必要となることもあるかも知れない。

その機器がシステムの一部である、あるいは他の機器と接続できる場合、ポートを動作させるのに必要な機器と接続して実際に動作させて試験する。類似のポートが多数ある場合は、実際の動作状況を模擬し、全ての異なる種類の終端がカバーされるように、十分な数のポート、例えばポートの 20 % か少なくとも 4 つのポートを試験する。

構成や動作モードは試験計画書で規定し、試験時

の実際の構成や動作モードは試験報告書に正確に記載する。

5.2 無線機器の扱い

無線機器もこの規格の適用範囲 (§2) に入ればこの規格の対象となるが、この規格では、

- 無線送信機からの意図的な放射には放射エミッション要求は適用しない;^{†12}

^{†12} 意図的な放射を行なう周波数帯に放射エミッション要求を

- 無線機器に対する規格で規定された除外帯域内についてはイミュニティ要求は適用しない。

一般に、これらの事項、少なくとも無線送信機からの放射の制限は、各地域の無線規則 (EU の場合は無線機器指令) で、またその無線機器をカバーする規格で扱われることになるだろう。

5.3 規格の限界

5.3.1 一般

この規格のイミュニティとエミッションの試験レベルは多くの場合に EMC の達成のために十分なものとなることが期待されるものの、この規格でも明示されているように、これはその機器を鉄道システムに組み込んだ時に満足なものとなることを保証するものではない。

従って、想定される使用状況や機器の性質などを考慮して追加の試験や試験レベルの調整などの必要性を検討することが望ましいと思われる。

5.3.2 通信などとの干渉

鉄道では、信号、鉄道無線、その他の鉄道システム (車軸カウンタ、軌道回路、列車制御システムなど) のために様々な周波数の信号が用いられており、そのような通信などへの干渉の防止も必要となる。

この規格ではそのような干渉の防止は特に考慮されていないばかりでなく、無線機器の評価に際しては規定された除外帯域内についてはイミュニティ要求は適用されず (§5.2)、従ってこの規格への適合は無線受信機の帯域内の妨害に対する保護を与えない。

また、この規格のエミッション限度への適合は通常は妥当な水準の干渉の防止を与えることが期待されるであろうものの、機器の設置場所などによってはこの規格に適合した機器からのエミッションが近傍の敏感な無線受信機などへに干渉を与える可能性も懸念となるかも知れない。

適用しないわけではなく、そのような周波数帯に意図的な放射以外の有意な放射があればそれは測定すべきものとなるだろう。そのような周波数帯のエミッションの測定を、あるいはそのような周波数帯に測定すべきエミッションがあるかどうかの確認を無線送信を行なった状態で行なうことは一般に容易ではなく、その確認のため、無線送信を停止させて、あるいはアンテナの代わりに終端器を接続するなどして無線送信機からの意図的な放射を抑えた状態での測定も行なうなどの対応が有効かも知れない。

このような事項はそれぞれの機器に強く依存し、また鉄道システムで用いられる周波数やその他のパラメータは地域や路線などによって異なるため、干渉の防止のために追加の試験が、あるいはより厳しいエミッション限度やイミュニティ試験レベルの適用が必要となるかどうかは、別途検討が必要となるかも知れない。^{†13}

5.3.3 軌道電流からの誘導

この規格には、軌道電流 (架線や線路を流れる電流)^{†14}によって誘導される電圧の影響^{†15}は考慮されていない旨、またこれは機能仕様でカバーしなければならない旨も明記されている。架線や線路には電源周波数の (またおそらくはその高調波の) 相当の電流が流れ、線路沿いに長く引かれるケーブルにはその電流からの相当の結合が生じることが予期される。

架線と線路とのあいだには高電圧^{†16}が印加され、またしばしば集電子 (パンタグラフやシュー) や車輪と架線や軌条とのあいだで激しいスパークを生じることから、場合によってはそのような電圧やスパークからの影響の考慮も必要となるかも知れない。



Photo: Thomas Nugent, Licence: CC BY-SA 2.0

図 5: パンタグラフのスパーク

^{†13} IEC 62236-3-1 ではそのようなシステムとの両立性のためのエミッション要求は使用される信号や通信などのシステムに応じて規定するように定められている。IEC 62236-4 にはそのような記述はないが、それに準拠することが望ましいかも知れない。場合によっては、特定の区分の機器に対する規格、あるいは鉄道システムの設置や運用の責任を持つ者から出された仕様などにこれに関する追加の要求事項が含まれているかも知れず、そのような場合は少なくともその要求への適合が必要となるだろう。

^{†14} 例えば数 kA のオーダーの。通常の電力系統の送電線や配電線と異なり、他の設備やケーブルの近くを引かれており、また多くの場合は電流の経路となる架線と線路の間隔が開いていることから、線路沿いに引かれるケーブルなどへの影響が大きくなりやすいことが予期される。

^{†15} 必要な場合、IEC 61000-6-7^{[9][10]} などと同様に、そのような誘導電圧の影響は IEC 61000-4-16 を用いて評価できるかも知れない。

^{†16} 例えば新幹線や欧州高速鉄道の 25 kV のような。

5.3.4 電源関連の試験

この規格は電源のディップや短時間停電に対する試験の要求は含まないが、電源障害時の影響の確認のため、IEC 61000-6-2 (§5.4) などに準じたディップや短時間停電に対する確認を行なう価値があるかも知れない。

この規格の対象となる機器は公共低圧配電網には接続されないことも多く、その場合、IEC 61000-3-2 や -3-12^[11] (AC 電源への高調波電流のエミッション)、また IEC 61000-3-3 や -3-11^[12] (AC 電源の電圧変動とフリッカ) の適用範囲には入らないが、電源システムやその電源システムに接続された他の機器への干渉の防止のため、この種の規格の準用を考える価値があるかも知れない。

5.3.5 安全との関連

信号システム、またある種の通信システムや制御システムの誤動作は鉄道システムの運用の安全性を損なうおそれがあり (例えば閉塞の失敗は衝突事故を招くかも知れない)、そのようなシステムでは、想定される妨害で有害な干渉を受けそうにないことのみでなく、干渉を受けたとしても危険側の誤動作を起こさないこと (フェールセーフ) が求められることも多い。例えば信号システムが故障や誤動作を生じた時は信号機は赤を現示して列車を停止させる^{†17} べきで、その逆の挙動を生じないように、少なくともその確率を極めて低くすることが必要となるだろう。

だが、この規格では電磁妨害の安全への影響は考慮されておらず、一般に、安全に関係する事項はその他の事項とともに IEC 62278^[4] で定められたプロセスの中で扱われることになるだろう。

電磁妨害の存在下で安全性を損なわないであろうことをイミュニティ試験によって示せるわけではないものの、その検証の一部として、安全のために重要な機器にはこの規格よりもより厳しいイミュニティ要求を適用するのが適当と判断されるかも知れない。^{†18}

^{†17} これは安全側の挙動となるが、勿論、このような事象の発生の確率も相当に低くすることが必要となる。鉄道システムは、その性質上、単一の設備の障害が広い範囲での列車の運行を妨げ、多くの人に影響を与える可能性を持つことに注意が必要である。

^{†18} 例えば IEC 61000-6-7^{[9][10]} などでそうされているように。

5.4 IEC 61000-6-2:2016 のイミュニティ試験レベルとの比較

IEC 61000-6-2:2016 のイミュニティ試験レベルとの比較を表 3 に示す。

6 参考資料

- [1] IEC 62236-4:2018, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 4: Emission and immunity of the signalling and telecommunications apparatus*
- [2] IEC 62236-1:2018, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 1: General*
- [3] IEC 62236-3-2, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3-2: Rolling stock – Apparatus*
- [4] IEC 62278, *Railway applications – Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)*
- [5] IEC 61000-6-2:2016, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity standard for industrial environments*
- [6] IEC 61000-6-4:2006+A1:2010, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-4: Generic standards – Emission standard for industrial environments*
- [7] 鉄道車両用機器の EMC — IEC 62236-3-2 の概要, 株式会社 e・オータマ, 佐藤, 2022, <https://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>
- [8] 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-ohatama.jp/emc/reference.html>
- [9] 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*
- [10] 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, 2022, <https://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>
- [11] 電源高調波電流の制限 — IEC 61000-3-2, -3-12 の概要, 株式会社 e・オータマ, 佐藤, 2020, <https://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>

- [12] 電圧変動やフリッカの制限 — IEC 61000-3-3、-3-11 の概要, 株式会社 e・オータマ, 佐藤, 2020-2021,
<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [13] 鉄道信号設備の雷被害確率の推定, 新井 英樹, 2013,
https://orsj.org/wp-content/corsj/or58-10/or58_10_593.pdf
- [14] 鉄道信号設備の雷害対策に関する研究 (博士論文要旨), 新井 英樹, 2011,
<http://gazo.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gakui/data/h22/217484/217484a.pdf>
- [15] 鉄道と EMC, 電気学会 電気鉄道の電磁環境に関する協同研究委員会 (編集), オーム社, 2008
- [16] サンダーテロ — 地を這い天空を駆ける悪魔が、熱帯夜の大都市を襲う, 伊藤 眞義, 2009, ISBN: 9447808286