

# IEC 60945 の EMC 要求の概要

—船舶の航法や無線通信に関する機器、その他の機器の EMC—

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2020 年 9 月 28 日

## 目次

1	概要	1
1.1	機器の分類	2
2	エミッション	2
2.1	共通事項	2
2.1.1	EUT の構成	2
2.1.2	試験条件	2
2.2	伝導エミッション	2
2.2.1	限度	2
2.2.2	EUT の構成	2
2.2.3	AMN	3
2.3	放射エミッション	4
2.3.1	限度	4
2.3.2	EUT の構成	4
2.3.3	アンテナ	4
2.3.4	測定サイト	4
3	イミュニティ	6
3.1	共通事項	6
3.1.1	性能基準	6
3.1.2	試験条件	6
3.1.3	無線受信機の扱い	6
3.2	伝導無線周波妨害	7
3.3	放射妨害	7
3.4	早い過渡妨害 (EFT/B)	7
3.5	遅い過渡妨害 (サージ)	8
3.6	短時間電源変動	8
3.7	停電	8
3.8	静電気放電	8
4	その他	8
4.1	コンパス安全距離 (§11.2)	8
4.2	電磁無線周波放射 (§12.2)	9
4.3	VDU からのエミッション (§12.3)	10
4.4	電源の変動限界 (§5.2.2)	10
5	船級規則	10
5.1	船級協会	10
5.2	IACS UR/E10 (Rev. 7) の EMC 要求の IEC 60945:2002 との主な違い	11
6	参考資料	13

## 1 概要

IEC 60945<sup>[1]</sup> は主に船舶の航法や無線通信に関する機器に対する要求事項を定めた規格で、

- SOLAS 条約 (海上における人命の安全のための国際条約)<sup>†1</sup>や漁船の安全のためのトレモリノス国際条約で要求される海上遭難安全システムの一部となる船舶搭載の無線機器
- それらの条約で要求される船舶搭載航法機器、またその他の航法支援手段
- EMC に関しては、船橋に設置されるその他の機器、受信アンテナの近くの機器、また船舶の安全な航法や無線通信に干渉し得る機器

に適用される。<sup>†2</sup>

この規格は航法や無線通信に関する機器の性能や耐環境性などに関する要求に加え、上記の最後の項目で示されているようにより広範な機器に適用されるエミッション (IEC 60945 §9) やイミュニティ (IEC 60945 §10) の要求を含み、本稿では IEC 60945:2002 の EMC 関連の要求について解説する。

また、この規格は上記の 2 つの章にまとめられている EMC の要求以外に EMC で扱われるものと類似した事象に関するいくつかの要求も含み、それらについても §4 で簡単に触れる。



<sup>†1</sup> SOLAS 条約 (International Convention for Safety of Life at Sea) は船舶の安全確保を目的とする国際条約で、主に国際的に運行する客船や排水量 500 t 以上の貨物船に、またそのような船舶の運行に関する施設に適用される。

<sup>†2</sup> ここで言及されているような無線機器や航法機器は遭難の防止や救難に直接関係し、その他の機器もここで言及されているような無線機器や航法機器に干渉すれば遭難を引き起こしたり救難の妨げとなったりする可能性がある。甲板よりも上や船橋に設置される機器では、特に干渉に注意が必要となりそうである。船舶で使用される無線機器の例は表 1 を参照。

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、正確な情報は規格そのもの<sup>[1]</sup>や関連する公式な文書を参照されたい。

## 1.1 機器の分類

この規格では、機器は意図された環境に応じて以下のように分類される:

- 携帯 (portable) — 持ち運ばれる
- 防護 (protected) — 天候から保護される
- 曝露 (exposed) — 天候に曝露される
- 没水 (submerged) — 海水中に置かれる、あるいは継続的に海水に触れる

この分類は EMC にも関係し、没水型の機器は放射エミッション (§2.3)、放射イミュニティ (§3.3)、及び静電気放電 (§3.8) の試験が不要となっている。<sup>†3</sup>

## 2 エミッション

### 2.1 共通事項

#### 2.1.1 EUT の構成

EUT は通常の動作とし、エミッションに影響するかも知れない設定はエミッションが最大となるように調整する。EUT に例えば動作とスタンバイのような複数の動作状態がある場合、エミッションが最大となる動作状態で測定を行なう。

EUT にアンテナ・ポートがあれば非放射性的の疑似アンテナ (疑似負荷、終端器) で終端する。

<sup>†3</sup> 高い周波数の電磁波は、相当の割合が海水面で反射され、また海水中で急激に減衰する (100 dB/m 以上と推定される) ため、機器が完全に海水中に没した状態でのみ使用される場合、放射エミッションや放射イミュニティが問題となるリスクは低いと考えられる。また、海水中では静電気放電の問題も生じない。だが、機器やその一部、あるいは機器に接続されたケーブルが水上に出た状態で使用されるような場合は、依然として放射エミッションや放射イミュニティが問題となるかも知れない。従って、定義上は継続的に海水に触れるだけで没水 (submerged) に分類されるものの、そのような機器についてこれらの要求の適用を省略することが適当かどうかは別途検討した方が良くも知れない。

#### 2.1.2 試験条件

試験は以下の標準試験条件で行なう:

- 温度: 15~35 °C
- 湿度: 20~75 % RH
- 電源電圧: 公称電圧 ±3 %
- 電源周波数: 公称周波数 ±1 %

## 2.2 伝導エミッション

### 2.2.1 限度

EUT の AC や DC の電源ポートに対する伝導エミッションの限度は図1に示すように 10 kHz~30 MHz の周波数範囲について規定されている。この測定は、CISPR 16-1-1 で定められたテスト・レシーバを用いて、10~150 kHz は 200 Hz、150 kHz~30 MHz は 9 kHz の帯域幅で、準尖頭値検波 (QP) で行なう。

その機器が無線送信機を含む場合、その基本周波数と高調波を中心とした幅 200 kHz の除外帯域は限度を適用しない。

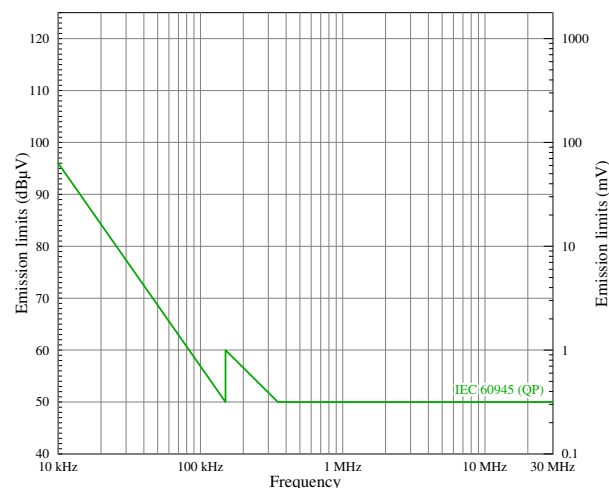


図 1: 伝導エミッション限度

#### 2.2.2 EUT の構成

EUT はグラウンド・プレーン上に置いてボンディングし、EUT の電源ポートと AMN (§2.2.3) を 0.8 m 以下のシールドされたケーブルで接続する (図2)。<sup>†4</sup>

<sup>†4</sup> 船舶では機器はしばしば金属の構造材にボルトで固定されるかそのように固定されたエンクロージャに組み込まれ、金属

周波数帯	機器の種類	受信感度	送信出力
90~110 kHz	LORAN 航法	20 $\mu\text{V}/\text{m}$	受信機のみ
283.5~315 kHz (~325 kHz)	Differential GPS 用ビーコン	5 $\mu\text{V}/\text{m}$	受信機のみ
415~535 kHz	MF 無線電信	50 $\mu\text{V}/\text{m}$	150 W
490 kHz, 518 kHz	NAVTEX (航行警報テレックス)	2 $\mu\text{V}$ e.m.f.	受信機のみ
1605~3800 kHz	MF 無線電話	25 $\mu\text{V}/\text{m}$	400 W p.e.p.
4~27.5 MHz	HF 無線電信、無線電話	25 $\mu\text{V}/\text{m}$	1500 W p.e.p.
121.5~243 MHz	EPIRB/ELT (捜索救助用ビーコン)	送信機のみ	0.5 W
156~165 MHz	VHF 無線電話	2 $\mu\text{V}$ e.m.f.	25 W
406.025 MHz	COSPAS-SARSAT, EPIRB (捜索救助用ビーコン)	送信機のみ	5W
1525~1544 MHz	Inmarsat (衛星通信)	0.03 $\mu\text{V}$ (-167 dBW)	受信機のみ
1575.42 MHz $\pm$ 1.023 MHz	GPS 航法	0.07 $\mu\text{V}$ (-160 dBW)	受信機のみ
1602~1615 MHz	GLONASS 航法	0.07 $\mu\text{V}$ (-160 dBW)	受信機のみ
1626.5~1646.5 MHz	Inmarsat (衛星通信)	送信機のみ	25 W
2.9~3.1 GHz	S band レーダー	1.4 $\mu\text{V}$ (-134 dBW)	25 kW peak
9.3~9.5 GHz	X band レーダー	1.4 $\mu\text{V}$ (-134 dBW)	25 kW peak
9.3~9.5 GHz	SART (捜索救助用トランスポンダー)	-80 dBW	400 mW

表 1: 船舶で使用される無線機器の例 (IEC 60945:2002 Table C.1 に基づく)

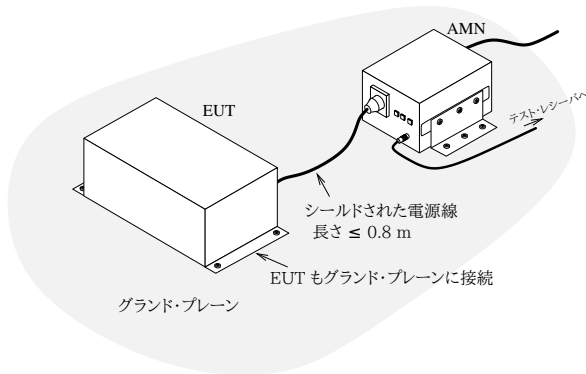
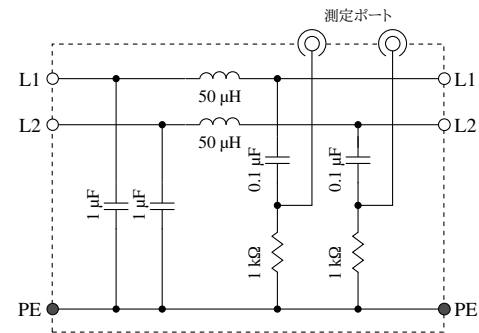


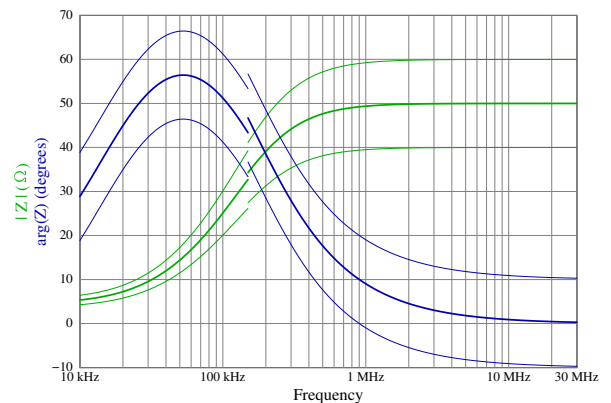
図 2: 伝導エミッション測定の設定アップの例

図 3: AMN (50  $\mu\text{H}$  / 50  $\Omega$ ) の原理 — 単相電源用

### 2.2.3 AMN

AMN<sup>†5</sup>(図 3) は、電源のインピーダンス (図 4) を管理するとともに、電源線上的高周波成分を取り出して測定器 (テスト・レシーバ) に伝える機能を持つ。

規定上、この規格での測定には 50  $\mu\text{H}$  / 50  $\Omega$  (150 kHz~30 MHz) と 50  $\mu\text{H}$  / 50  $\Omega$  + 5  $\Omega$  (9~150 kHz) の 2 種類の AMN が関係するが、単一の AMN で 9 kHz~30 MHz の要求 (図 4) を満足することも可能である。

図 4: AMN のインピーダンス — 50  $\mu\text{H}$  / 50  $\Omega$  + 5  $\Omega$ 、及び 50  $\mu\text{H}$  / 50  $\Omega$  AMN

のシールドや外装を持つケーブルで接続される。このセットアップはそのような状況を想定したものと思われるが、実際の使用で機器が船体に接続されない場合、あるいはシールドされていない電源ケーブルが用いられる場合は別途検討が必要となるかも知れない。

<sup>†5</sup> AMN = artificial mains network (擬似電源回路網)。LISN (line impedance stabilization network) とも呼ばれる。



図 5: AMN の例 (写真は Rohde & Schwarz 社の厚意による)

## 2.3 放射エミッション

### 2.3.1 限度

放射エミッション限度は、測定距離 3 m で、図 8 のように規定されている。この測定は、CISPR 16-1-1 で定められたテスト・レシーバを用いて、150 kHz～30 MHz は 9 kHz、30 MHz～2 GHz は 120 kHz の帯域幅で、準尖頭値検波 (QP) で行なう。<sup>†6</sup>

但し、156～165 MHz<sup>†7</sup>は帯域幅 9 kHz での測定で限度に入れば良い。通常はこの測定も準尖頭値検波 (QP) で行なうが、製造業者と試験所の合意のもとで尖頭値検波 (PK) のレシーバやスペクトラム・アナライザで測定しても良く、その場合は 24 dB $\mu$ V/m の代わりに 30 dB $\mu$ V/m の限度を適用できる。

### 2.3.2 EUT の構成

EUT は相互接続ケーブルを含めて完全に組み立てた状態とし、通常の高さに配置する。<sup>†8</sup>

<sup>†6</sup> 1～2 GHz についても帯域幅 120 kHz、準尖頭値検波 (QP) での測定となっている。CISPR 16-1-1 では QP は 9 kHz～1000 MHz についてのみ規定されており、実際のテスト・レシーバも 1 GHz 以上の QP での測定には対応していないかも知れないが、他の条件が同一であれば尖頭値検波 (PK) での値が QP での値よりも低くなることはないで、場合によっては PK での測定で代用できるかも知れない。

<sup>†7</sup> この国際 VHF 周波数帯 (マリン・バンド) は船舶間や船舶と海岸局のあいだの通信に用いられる VHF 無線のために割り当てられており、対応する VHF 無線機の船舶への搭載が義務付けられている。このバンドの VHF 無線は船舶の運用上重要なもので、その保護のために厳しい限度が設定されている。使用される無線機は周波数偏差が  $\pm 5$  kHz 以下の FM、出力 25 W 以下 (船舶局の場合) のもので、この帯域のエミッション限度は IMO Resolution A.803(19)<sup>[2]</sup> で定められた 2  $\mu$ V e.m.f. の感度を前提として、また機器と VHF 無線アンテナのあいだの距離を 15 m と仮定して定められている。船舶では他の無線通信機、レーダー、電波航法用の受信機などの無線受信機 (表 1) も使用されるが、それらについては保護のために特に厳しい限度を設定する必要はないと判断されている。

<sup>†8</sup> 多くの機器は操作卓やその他のエンクロージャに組み込まれるかそれ自身として船体に取り付けられると思われ、試験での配置の決定ではそれを考慮することが必要となるだろう。

EUT が複数のユニットから成る場合、相互接続ケーブルの長さは製造業者が規定した最大長か 20 m のいずれか短い長さとする。その他の入出力ポートは製造業者が規定した最大長か 20 m のいずれか短い長さのケーブルを接続し、通常接続される機器のインピーダンスを模擬するように終端する。

これらのケーブルの余長は水平に 30～40 cm で束ねる。

### 2.3.3 アンテナ

150 kHz～30 MHz の測定では 60 cm 角に収まる (通常は直径 60 cm の) 静電シールドされたループ・アンテナを用いる。ループ・アンテナの中心の高さは 1.5 m 以上とし、垂直軸に対して回転させて測定する (図 6)。

ループ・アンテナは磁界を検出するが、エミッション限度 (図 8) は電界の強さで規定されているため、377  $\Omega$  (51.5 dB $\Omega$ ) のインピーダンスを仮定して等価電界強度に換算する。

30 MHz 以上ではダイポール・アンテナやその他の CISPR 16-1-4 に従ったアンテナを使用する。アンテナの前後方向の長さは測定距離の 20 % を超えてはならない。

少なくとも 80 MHz 以上ではアンテナはグラウンド・プレーンから 1～4 m の範囲で昇降させ、その場合はアンテナの中心の高さはグラウンド・プレーンから 1.5 m 以上とする<sup>†9</sup>(図 7)。

### 2.3.4 測定サイト

測定は、金属のグラウンド・プレーンを持つ、CISPR 16-1-4 に適合した測定サイト (OATS<sup>†10</sup>か SAC<sup>†11</sup>) で行なう。<sup>†12</sup>

<sup>†9</sup> ダイポール・アンテナは低い周波数ではアンテナの昇降に制約があるが、バイコニカル・アンテナや LPDA (対数周期アンテナ) であれば全周波数範囲で 1～4 m の昇降を行なえるだろう。

<sup>†10</sup> OATS = open-area test site。典型的には屋外の開けた場所に設けられた、規定された周波数範囲にわたって半自由空間環境の模擬が意図された、電磁界の測定に用いられる施設。

<sup>†11</sup> SAC = semi-anechoic chamber。壁と天井が対象の周波数範囲の電磁エネルギーを吸収する電波吸収体で覆われ、床面が導電性のグラウンド・プレーンとなっている、シールド・エンクロージャ。半無響室。

<sup>†12</sup> 但し、CISPR 16-1-4 ではグラウンド・プレーンを持つサイトの特性は 30～1000 MHz についてのみ規定されている。

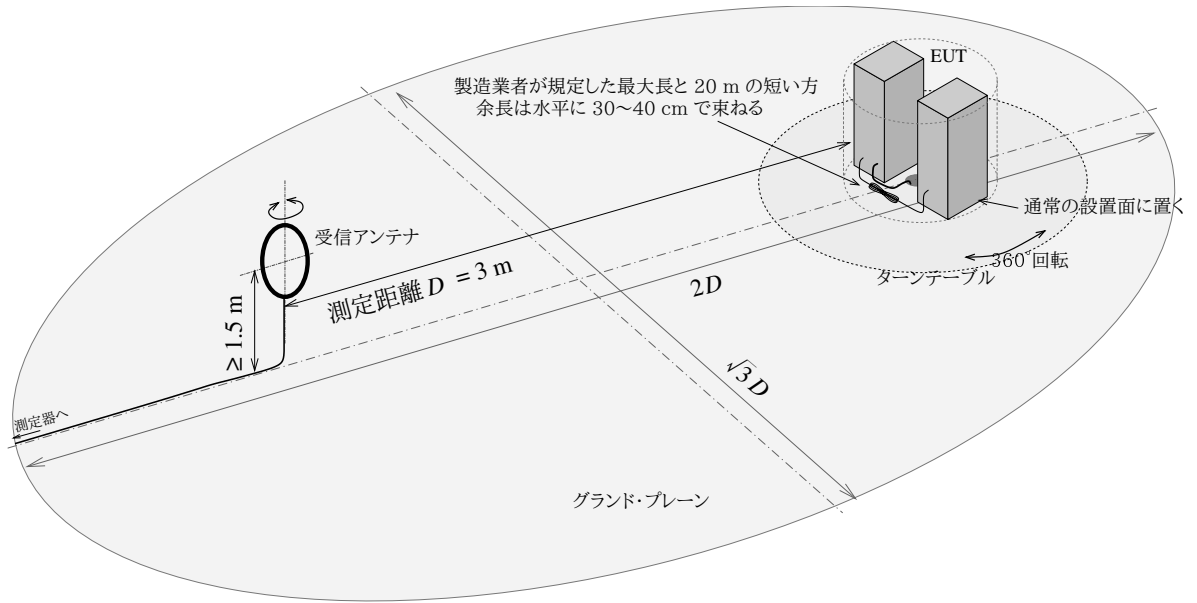


図 6: OATS での磁界エミッション測定

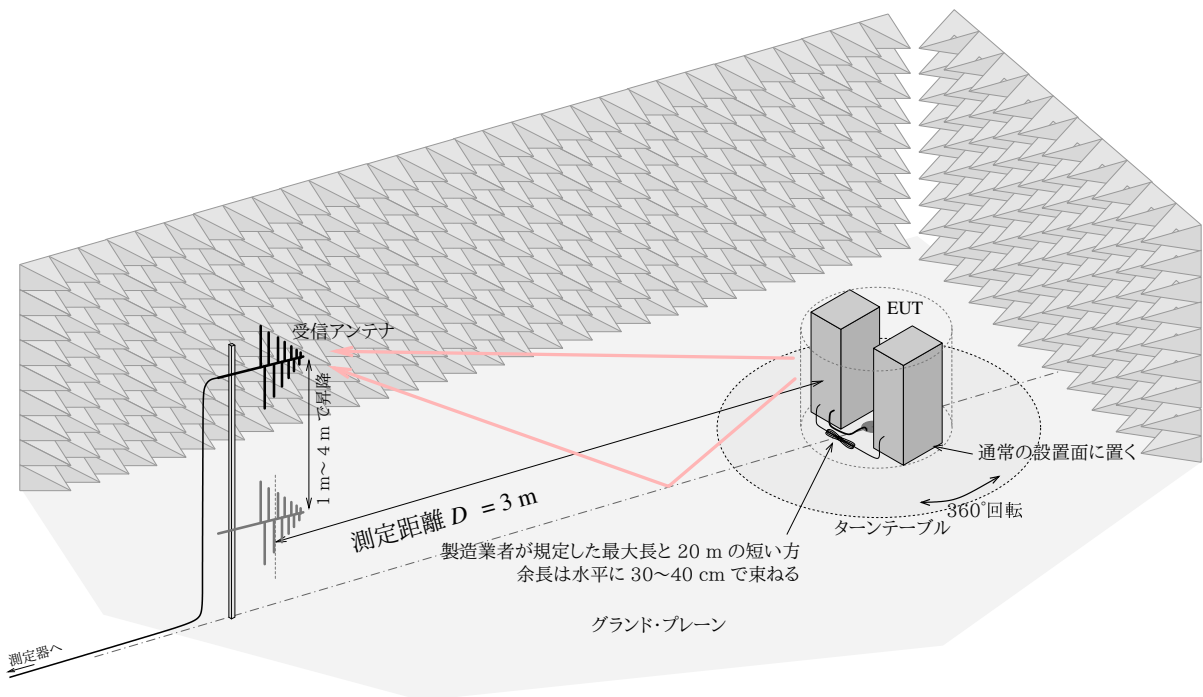


図 7: SAC での放射エミッション測定



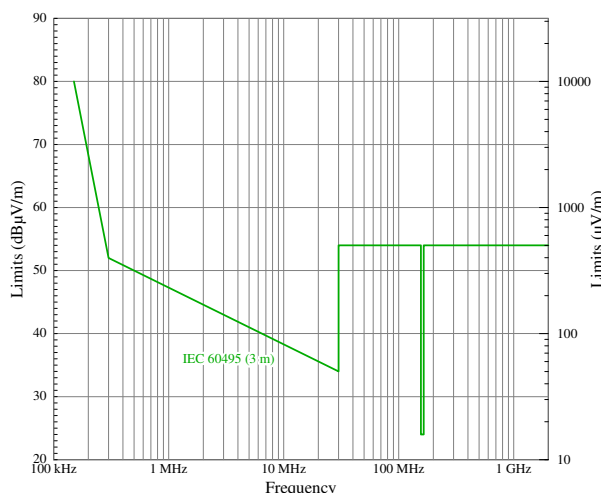


図 8: 放射エミッション限度

30 MHz 以下の測定サイトの規定はないが、特に OATS 以外についてはそのサイトの測定結果への影響に注意が必要かも知れない。<sup>†13</sup>

### 3 イミュニティ

試験の多くは IEC 61000-4 シリーズ<sup>†14</sup>の該当する規格に従って試験を行なうことができる。IEC 61000-4 シリーズの主な試験法については [10] で解説しているの、それらについてはここでは追加のポイントのみを示す。

#### 3.1 共通事項

##### 3.1.1 性能基準

イミュニティ試験で適用する具体的な性能基準<sup>†15</sup>は次のような枠組みに従って製造業者が規定する:

###### a) 性能基準 A

機器は、試験中と試験後、意図されたように動作を続けなければならない。機器に該当する規格や製造業者が発行した技術仕様で規定された性能の低下や機能の喪失は許容されない。

<sup>†13</sup> 30~1000 MHz の測定で用いられるような SAC (半無響室) は壁面と天井の電波吸収体によって反射を抑え、OATS の特性を模擬しているが、その電波吸収体は低い周波数では効果を失い、SAC の壁や天井での強い反射が生じることが予想される。このため、この周波数範囲の SAC での測定には注意が必要となるかも知れない。

<sup>†14</sup> 参照規格の版は 2008 年の Corrigendum 1 で変更されている。

<sup>†15</sup> performance criteria. 性能判定基準、判定基準などとも呼ばれる。

###### b) 性能基準 B

機器は、試験後、意図されたように動作を続けなければならない。機器に該当する規格や製造業者が発行した技術仕様で規定された性能の低下や機能の喪失は許容されない。試験中、自己回復する機能や性能の低下や喪失は許容されるが、実際の動作状態の変化や保存されたデータの喪失は許容されない。

###### c) 性能基準 C

機能が自己回復する、あるいは試験の終わりに機器に該当する規格や製造業者が発行した技術仕様で規定されたように制御部を操作することで回復させられる限り、試験中の一時的な機能や性能の低下や喪失が許容される。

#### 3.1.2 試験条件

試験は、エミッション試験と同様、標準試験条件 (§2.1.2) で行なう。

#### 3.1.3 無線受信機の扱い

EUT が無線受信機を含む場合、

- 伝導無線周波妨害 (§3.2)、及び放射妨害 (§3.3) の試験では、製造業者が規定した動作周波数帯から上下にその上端の周波数の 5% 分上げた周波数範囲内<sup>†16</sup>の妨害の受信機への影響、また受信機その他の狭帯域の応答 (スプリアス応答) は除外できる。
- イミュニティ試験では試験中の無線受信への影響の確認が必要となり、性能基準 (§3.1.1) にもそれに関する基準を含めることが必要となるだろう。<sup>†17</sup>
- 無線機器の試験のためには無線機器やその評価に関する一般的な、またその特定の無線機に関する知識が必要となるだろう。

<sup>†16</sup> 例えば動作周波数帯が 156~165 MHz の場合、147.75 MHz (= 156 - 165 × 0.05) から 173.25 MHz (= 165 + 165 × 0.05) の範囲。

<sup>†17</sup> 音声受信機の場合、SINAD (signal-to-noise and distortion ratio; 信号  $S$ 、雑音  $N$ 、歪み  $D$  として  $(S+N+D)/(N+D)$ ) や S/N 比 (signal to noise ratio; SNR) などが評価に用いられるかも知れない。

試験	試験レベル	判定基準	適用			
			携帯	防護	曝露	没水
伝導無線周波妨害	3 V emf, 150 kHz~80 MHz 規定のスポット周波数で 10 V emf	A	-	✓	✓	✓
放射妨害	10 V/m, 80 MHz~2 GHz	A	✓	✓	✓	-
早い過渡妨害 (EFT/B)	AC 電源ポート: 2 kV differential 信号/制御ポート: 1 kV common mode	B	-	✓	✓	✓
遅い過渡妨害 (サージ)	AC 電源ポート: 1 kV line/earth, 0.5 kV line/line	B	-	✓	✓	✓
短時間電源変動	AC 電源ポート: 電圧 $\pm 20\%$ 1.5 s, 周波数 $\pm 10\%$ 5 s	B	-	✓	✓	✓
停電	電源ポート (AC, DC): 60 s の停電	C	-	✓	✓	✓
静電気放電	接触: 6 kV, 気中: 8 kV	B	✓	✓	✓	-

表 2: イミュニティ要求レベル

### 3.2 伝導無線周波妨害

- 試験は IEC 61000-4-6<sup>[10]</sup> に従って行なう。
- 妨害の注入に用いられるもの以外の CDN は 50  $\Omega$  で終端する。
- 試験は、
  - 3 V emf で 150 kHz~80 MHz を  $1.5 \times 10^{-3}$  decade/s を超えない掃引率で掃引する;<sup>†18</sup>
  - また、10 V emf で 2 MHz、3 MHz、4 MHz、6.2 MHz、8.2 MHz、12.6 MHz、16.5 MHz、18.8 MHz、22 MHz、及び 25 MHz で試験する。
- 妨害は 400 Hz  $\pm 10\%$ 、80 %  $\pm 10\%$  の振幅変調をかける。

### 3.3 放射妨害

- 試験は IEC 61000-4-3<sup>[10]</sup> に従って行なう。
- EUT の 4 面から、またその機器が他の配置でも用いられるならば 6 面全てから、80 MHz~2 GHz、10 V/m の照射を行なう。<sup>†19</sup>

<sup>†18</sup> 1 % ステップでの掃引の場合、 $1.5 \times 10^{-3}$  decade/s ではドウェル・タイム (各周波数の妨害を印加する時間) は約 2.9 秒となる。EUT の誤動作の検出のためにより長い時間が必要となる場合、ドウェル・タイムはそれに応じて長くする。

<sup>†19</sup> 船舶にはしばしば出力が 1 kW のオーダーとなる中波や短波の無線送信機やピーク出力が 10 kW 以上となるかも知れないレーダーなどの高出力の無線送信機が搭載されることを考え

- 80 MHz~1 GHz は  $1.5 \times 10^{-3}$  decade/s、1~2 GHz は  $0.5 \times 10^{-3}$  decade/s を超えない掃引率で掃引する。<sup>†20</sup>
- 妨害は 400 Hz  $\pm 10\%$ 、80 %  $\pm 10\%$  の振幅変調をかける。

### 3.4 早い過渡妨害 (EFT/B)

- 試験は IEC 61000-4-4<sup>[10]</sup> に従って行なう。
- 正負それぞれを 3~5 分間印加する
- パルスの繰り返し率は、1 kV は 5 kHz、2 kV は 2.5 kHz とする。
- AC 電源線への印加は“差動 (differential)”となっているが、IEC 61000-4-4 は差動での印加についての規定を含まず、また試験器も通常は差動での印加に対応していない。

この試験は、IEC 61000-4-4:2004 以降のように電源線へのコモン・モードでの、すなわち電源線の全ての導体への一括での印加 (図 9) を行なう代わりに、あるいはそれに加えて、IEC 61000-4-4:1995 で行なわれていたように電源のそれぞ

ると 10 V/m では不充分のようにも思われるが、通常はそれらのアンテナは他の機器を著しく強い放射に曝さないような形で設置される筈である。強い放射に曝されることが予期される場合、その影響は別途考慮が必要となるかも知れない。

<sup>†20</sup> 1 % ステップでの掃引の場合、 $1.5 \times 10^{-3}$  decade/s ではドウェル・タイム (各周波数の妨害を印加する時間) は約 2.9 秒、 $0.5 \times 10^{-3}$  decade/s では約 8.7 秒となる。EUT の誤動作の検出のためにより長い時間が必要となる場合、ドウェル・タイムはそれに応じて長くする。

れの導体への個別での印加 (図 10) を行なう形で良いものと思われる。

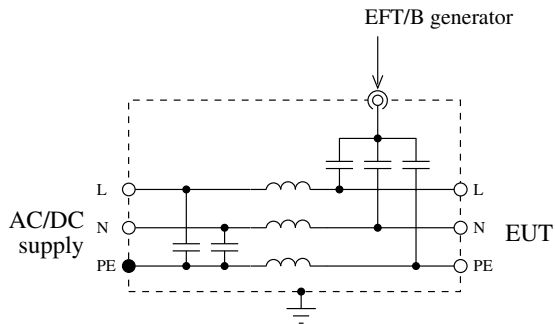


図 9: 早い過渡妨害 (EFT/B) — 電源線への共通モード (一括) での印加

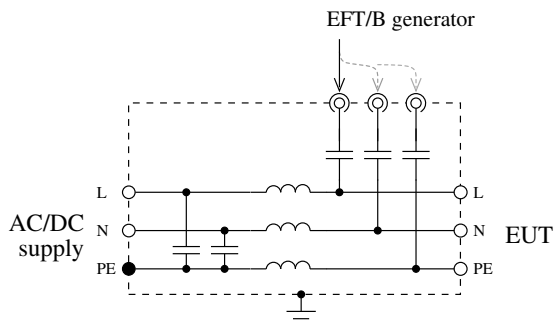


図 10: 早い過渡妨害 (EFT/B) — 電源のそれぞれの導体への印加

### 3.5 遅い過渡妨害 (サージ)

- 試験は IEC 61000-4-5<sup>[10]</sup> に従って行なう。
- AC 電源線のみが対象となる。
- 1.2/50  $\mu$ s のコンビネーション・ウェーブを、それぞれの条件で正負 5 パルスずつ、1 パルス/分で印加する。

### 3.6 短時間電源変動

- この試験は AC 電源入力にのみ適用される。
- 電源電圧と電源周波数を、1 回/分で 5 回ずつ、以下のように変動させる (図 11):

1. 電圧:  $+(20 \pm 1) \%$ ,  $1.5 \pm 0.2$  s  
周波数:  $+(10 \pm 0.5) \%$ ,  $5 \pm 0.5$  s

2. 電圧:  $-(20 \pm 1) \%$ ,  $1.5 \pm 0.2$  s  
周波数:  $-(10 \pm 0.5) \%$ ,  $5 \pm 0.5$  s

電圧と周波数の立ち上がり時間 (10~90 %) は  $0.2 \text{ s} \pm 0.1 \text{ s}$  とする。

### 3.7 停電

- AC と DC の双方の電源に適用されるが、バッテリーからの給電が意図されている、あるいはバックアップ用バッテリーが取り付けられているか接続される機器には適用しない。
- 60 秒の停電を 3 回発生させる。
- IEC 61000-4-11<sup>[10]</sup> に追加の情報がある。<sup>†21</sup>

### 3.8 静電気放電

- 試験は IEC 61000-4-2<sup>[10]</sup> に従って、150 pF / 330  $\Omega$  の ESD (静電気放電) 試験器を用いて行なう。
- それぞれの条件で正負 10 回ずつの印加を行なう。
- EUT の周囲 0.1 m の位置でのグラウンド・プレーンへの印加、及び VCP (垂直結合板) を用いた間接放電試験も行なう。

## 4 その他

本稿では、この規格の EMC 以外の要求のうち、EMC で扱われるものと似た現象に関係するものについて簡単に触れる。

### 4.1 コンパス安全距離 (§11.2)

この試験はその機器が発生する磁界が船のコンパスに許容できない偏差を生じさせないために必要な距離を同定する。

<sup>†21</sup> AC 電源の試験は IEC 61000-4-11 に準じて行なうことができる。DC 電源の試験は IEC 61000-4-11 ではカバーされず、IEC 60945 にもそれ以上の情報はないが、IEC 61000-4-29<sup>[5]</sup> が参考になるかも知れない。



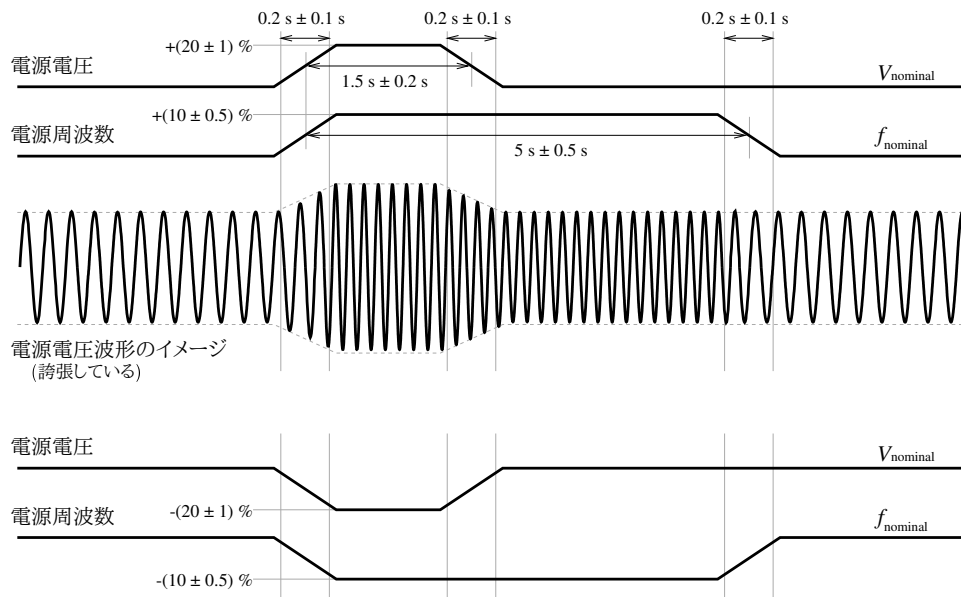


図 11: 短時間電源変動

基準コンパスや操舵磁気コンパス<sup>†22</sup>の近く (5 m 以内) に設置されるかも知れない機器にはこの最小安全距離を明確に表示しなければならない。

実際の偏差は地磁気の強さによって変化するが、赤道地域では基準コンパスでは  $0.1^\circ$  のオーダー、操舵磁気コンパスでは  $0.3^\circ$  で、高緯度ではそれぞれ  $1^\circ$  と  $3^\circ$  となる。

コンパス安全距離は、 $H$  ( $\mu\text{T}$ ) を試験場所の地磁気の水平成分として、基準コンパスに  $5.4^\circ/H$  を超える偏差を生じさせない距離である。日本では地磁気の水平成分  $H$  は  $30 \mu\text{T}$  程度<sup>[12]</sup> で、その場合は  $5.4^\circ/H \approx 0.18^\circ$  となる。

この測定はコンパス ( $0.1^\circ$  のオーダーの偏差を読むようなもの) に EUT を近付けた時にコンパスの指針の偏差が所定の値となる距離を測定することで行なえる (図 12)。

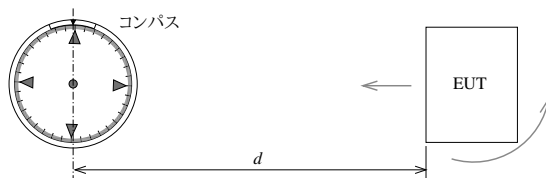


図 12: コンパス安全距離の測定

<sup>†22</sup> 基準コンパスは船の方位の基準となるコンパスで、通常は船体の高い位置に設けられたデッキ (monkey island) に置かれる。操舵磁気コンパスは操舵用のコンパスで、これは操舵装置の位置から方位を読むように設置され、自動操舵装置と一体となっていることもある。

この試験は以下のそれぞれの状態で行なう:

1. 受領時の状態の EUT を、電源を入れずに、
2. ノーマライジング<sup>†23</sup>の後で、電源を入れずに、また
3. 電源を入れて。

それぞれの測定は偏差が最大となる (コンパスの偏差が  $5.4^\circ/H$  に達する距離が最も大きくなる) 向きを見付けるために EUT を回転させて行なう。

## 4.2 電磁無線周波放射 (§12.2)

30 MHz 以上の電磁無線周波エネルギーを放射するように設計された機器は、放射の電力密度が  $100 \text{ W/m}^2$ 、また  $10 \text{ W/m}^2$  となる最大の距離を同定し、その情報を機器の説明書に含める。<sup>†24†25</sup>

<sup>†23</sup> EUT をヘルムホルツ・コイルの中に置いて磁界を印加するかその他の適切な手段を用いて機器に含まれる磁性体の磁束の均一性の最大化 (磁化) を行なう。どれだけの磁界を印加すべきかの情報は無いが、これは機器で用いられている材料の  $B-H$  曲線を参考にできるかも知れない。

<sup>†24</sup> ICNIRP ガイドライン<sup>[6]</sup> の労働者の曝露に関する  $10 \sim 400 \text{ MHz}$  の参考レベルは 6 分平均値で  $10 \text{ W/m}^2$ 、 $400 \text{ MHz}$  以上ではそれよりも大きな値となっている。このレベルは熱的影響に基づくもので、短時間であればより高いレベルの曝露が許容される。

<sup>†25</sup> このような機器は他の機器をイミュニティ・レベル (表 2) を超える電磁界に曝すかも知れず、他の機器への干渉を防ぐために必要な情報の提供も必要となるかも知れない。

### 4.3 VDU からのエミッション (§12.3)

VDU (visual display unit) が放射する静電界、交番電界、また交番磁界が表3に示した限度を超えないことを確認する。

この試験の目的は VDU が放射するそれらの電磁界が安全な限界内にあることを確認することである。<sup>†26</sup>

この測定で用いるべき測定法や測定器については具体的に述べられていないが、TCO Certified で適用されるもの<sup>[7]</sup>が参考になるだろう。

### 4.4 電源の変動限界 (§5.2.2)

電源の変動限界に対する試験は以下の条件で行なう。<sup>†28</sup>

- 船舶の AC 電源: 公称電圧  $\pm 10\%$ , 公称周波数  $\pm 5\%$
- 船舶の DC 電源: 公称電圧  $-10\%$ ,  $+30\%$
- バッテリ:
  - 一次電池 (アルカリ、リチウム): 公称電圧の 0.8 倍から 1 倍
  - 水銀電池: 公称電圧の 0.9 倍から 1 倍
  - 二次電池 (カドミウム): 公称電圧の 0.9 倍から 1.2 倍
  - その他: 製造業者が規定した終止電圧

<sup>†26</sup> 表3で示されている限度は確認された健康影響から導かれたものでなく、ICNIRP ガイドライン<sup>[6]</sup>の一般公衆の曝露に関する参考レベルよりも著しく厳しいが、この対角  $\leq 0.5\text{ m}$  のディスプレイに対する  $5\text{ Hz} \sim 400\text{ kHz}$  の限度は TCO<sup>[7][8]</sup>の基準と整合している。

<sup>†27</sup>  $500\text{ V}$  を超える直流電位を用いない VDU ではこの試験は不要である。“ $\leq 5 \pm 0.5\text{ kV/m}$ ” という表現は奇妙で、その意味もはっきりとしないが、TCO'03<sup>[8]</sup> や JEITA ITR-3003<sup>[9]</sup> などでは管面の静電位が  $\leq \pm 500\text{ V}$  であるべきことが述べられており、ここでも  $\leq \pm 500\text{ V}$  の基準を代わりに適用するのが良いかも知れない。帯電防止処置が行われていない陰極線管の管面は  $10\text{ kV}$  以上に帯電することがある (それが皮膚障害を引き起こす可能性が、また静電気によって弾き飛ばされた粉塵が角膜に傷を付ける可能性が疑われた<sup>[13]</sup>) が、帯電防止処置が行われた陰極線管や LCD では十分に低いレベルとなっている筈である。

<sup>†28</sup> ドライ・ヒート、低温、及び平常温度の各試験は、通常の電源条件と極限の電源条件で行なうように規定されている。

## 5 船級規則

IEC 60945 の対象となる機器が搭載される船舶は船級<sup>†29</sup>を取得することが多く、<sup>†30</sup>その場合、そのような機器についても船級協会が定める技術基準に適合させて証書を取得することが求められることがある。

### 5.1 船級協会

船級協会は、船舶の構造や状態が所定の基準を満たすかどうかの検査の実施、基準を満たすと認められた船舶の登録簿の維持などを行なっている。

世界には多くの船級協会があるが、そのうち以下に示す 12 の船級協会は IACS (国際船級協会連合) に加盟して連携して活動を行っており、国際的に運行する船舶の多くの登録は IACS に加盟している船級協会で行なわれている:

- America Bureau of Shipling (ABS)
- Bureau Veritas (BV)
- China Classification Society (CCS)
- Croatian Register Of Shipping (CRS)
- DNV GL (旧 Det Norske Veritas + Germanischer Lloyd)
- Indian Register of Shipping (IRClass)
- Koren Register (KR)
- Lloyd's Register (LR)
- 日本海事協会 (NK, ClassNK)
- Polish Register of Shipping (PRS)
- RINA (旧 Registro italiano navale)

<sup>†29</sup> ここで言う「船級 (ship classification)」という名称は、当初は船舶の優良さに応じて等級が付けられていたことによる。現在ではこのような等級はなくなり、船級の審査では船級協会の定める基準に適合しているかどうかの評価され、適合していると判断されたならば船級証書が発行されてその船舶の情報が船舶登録簿に記載されることになる。なお、船級という用語は、船舶の構造や大きさなどによる分類を指すために用いられることもある。

<sup>†30</sup> 国際条約や各国の法律に基づく法的な義務と異なり、船級の取得 (船級登録) そのものが必須となるとは限らない。だが、船級を取得していれば法定検査の緩和や免除、保険での優遇などを受けられることもあり、商用の客船や貨物船の多くは船級を取得している。

	表示面の大きさ、対角 ≤ 0.5 m		表示面の大きさ、対角 > 0.5 m	
	限度	測定距離	限度	測定距離
静電界 <sup>†27</sup>	≤ 5 ± 0.5 kV/m	正面 100 mm	≤ 5 ± 0.5 kV/m	*
電磁界:				
5 Hz~2 kHz	≤ 10 V/m rms	正面 300 mm	≤ 15 V/m rms	*
2~400 kHz	≤ 1 V/m rms	全周 500 mm, 正面 300 mm	≤ 10 V/m rms	*
磁界:				
5 Hz~2 kHz	≤ 200 nT rms	全周 500 mm, 正面 300 mm	≤ 250 nT rms	*
2~400 kHz	≤ 25 nT rms	全周 500 mm	≤ 150 nT rms	*

\* 限度となる測定距離を試験報告書に記載する

表 3: VDU からのエミッション

- Russian Maritime Register of Shipping (RS, RSClass)

各船級協会はこれと別に自らの規則を定めているが、IACS は船級に関する統一規則の策定も行っており、そのうち IACS UR/E10<sup>[3]</sup> では船舶の制御、監視、警報、あるいは防護システムでの使用が意図された電気/電子機器の型式認定のための要求事項が定められている。

## 5.2 IACS UR/E10 (Rev. 7) の EMC 要求の IEC 60945:2002 との主な違い

- 船橋や甲板上のゾーンに設置される機器とその他の機器 (一般配電ゾーン) の区分がある。<sup>†31</sup>

- 停電

5 分のあいだに 30 s の停電を 3 回発生させる。EUT が始動に長い時間を要する場合は試験時間を 5 分よりも長くして良いが、追加で始動中にも停電を発生させて試験する。

- 電源変動

船舶の電源の変動は 表 4 の通り。

バッテリーの電圧変動は、

- 充電中のバッテリーに接続される場合、+30 %、-25 %、あるいは充電デバイスからのリップル電圧を含めて充放電特性から同定された値

<sup>†31</sup> 一般配電ゾーンに設置される機器は通常は IEC 60945 の対象とならないだろう。

AC 電源	
恒久的な電圧変動 (%)	恒久的な周波数変動 (%)
+6	+5
+6	-5
-10	+5
-10	-5
電圧トランジェント (%)	周波数トランジェント (%)
+20	+10
-20	-10
DC 電源	
電圧許容差 (持続的)	±10 %
電圧の周期的な変動	5 %
電圧リップル	10 %

表 4: IACS UR/E10 — 電源変動

- 充電中のバッテリーに接続されない場合、+20 %、-25 %

- 放射妨害に対するイミュニティ

周波数範囲は 80 MHz~6 GHz (IEC 60945 は ~2 GHz)、試験レベルは 10 V/m で、 $1.5 \times 10^{-3}$  decade/s を超えない速度で周波数掃引を行なう。

通常は妨害は 80 % 1 kHz (IEC 60945 は 400 Hz) の振幅変調をかけるが、機器の試験に 1 kHz の変調が必要な場合は代わりに 400 Hz の変調を用いることができる。

- 伝導低周波妨害に対するイミュニティ

IEC 60945 には含まれない、AC 電源の場合は

電源周波数からその 200 倍まで (50 Hz の場合は 50 Hz から 10 kHz、60 Hz の場合は 60 Hz から 12 kHz) の、DC 電源の場合は 50 Hz から 10 kHz までの伝導低周波に対するイミュニティの要求がある。<sup>†32</sup>

試験レベル (EUT の電源入力に現れる電圧) は、

– AC 電源

15 次高調波までは公称電圧の 10 %、100 次で公称電圧の 1 % まで下がり 200 次までそのレベルを保つ (図 14)。

但し、電圧は最小 3 V rms とする。

注入される電力が 2 W を超えないように妨害のレベルを抑えても良い。<sup>†33</sup>

– DC 電源

50 Hz~10 kHz で電源電圧の 10 %。

注入される電力が 2 W を超えないように妨害のレベルを抑えても良い。

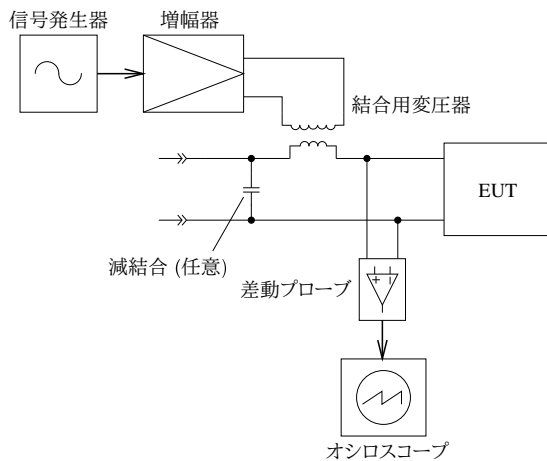


図 13: IACS UR/E10 — 伝導低周波試験セットアップの例

● 伝導無線周波妨害に対するイミュニティ

10 V emf での試験は船橋や甲板上のゾーンに設置される機器にのみ適用。

<sup>†32</sup> この試験は MIL-STD-461G の CS101 と同様のもので、見掛けよりも難しいものとなることがある。[4][11]

<sup>†33</sup> この制限は EUT の電源入力のインピーダンスが低いため EUT の入力に現れる電圧が上がりにくい時に必要となることがある。電力をどのように測定すべきかの具体的な情報はないが、他に適当な手段がない場合、MIL-STD-461G の CS101[4][11] と同様の方法を使用できるかも知れない。EUT の入力に現れる電圧は電源側のインピーダンスが高い場合にも上がりにくくなるため、電力の制限に達した場合、電源側のインピーダンスが高く妨害の注入が妨げられていないかどうか確認すべきである。

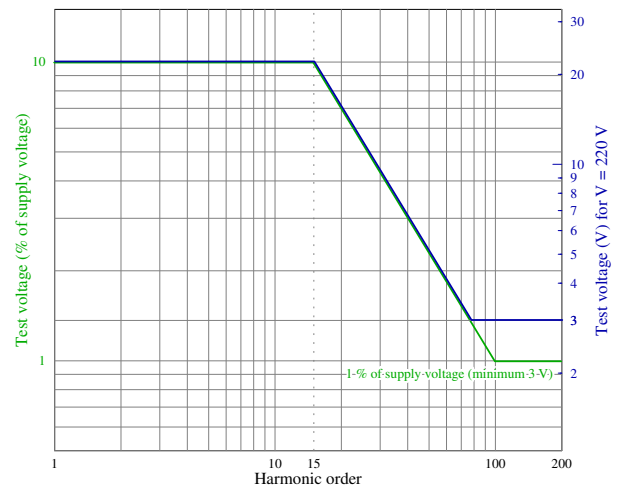


図 14: IACS UR/E10 — 伝導低周波試験レベル

変調は上記の放射妨害に対するイミュニティと同様。

● サージに対するイミュニティ

DC 電源線にも AC 電源線と同じレベルの試験が適用される。

● 伝導エミッション、放射エミッション

測定は CISPR 16-2-1, -2-3 に従って行なう。

船橋や甲板上のゾーンに設置される機器に対する限度は放射エミッションの周波数範囲が 150 kHz~6 GHz (IEC 60945 は ~2 GHz) となっていることを除いて IEC 60945 (図 1, 図 8) と同様だが、それと別にその他の機器 (一般配電ゾーン) に対するより緩い限度が規定されている (図 15, 図 16)。

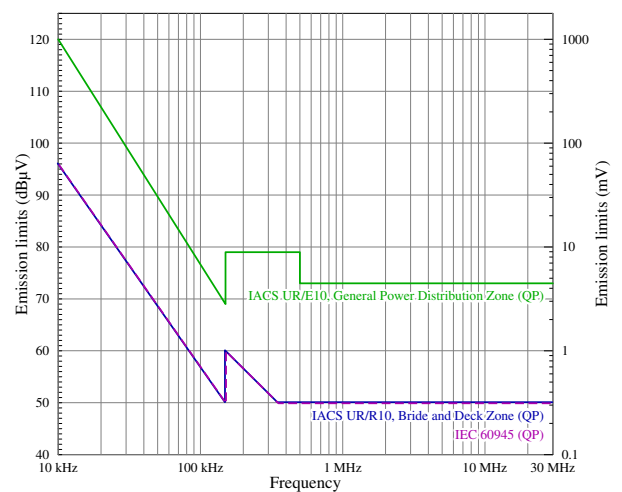


図 15: IACS UR/E10 — 伝導エミッション限度

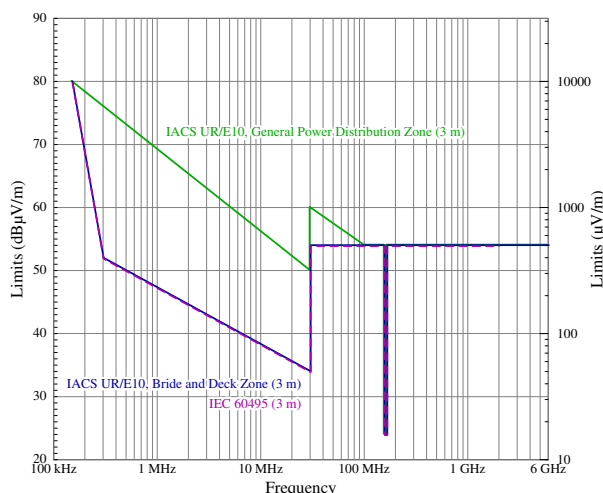


図 16: IACS UR/E10 — 放射エミッション限度

## 6 参考資料

- [1] IEC 60945:2002, *Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – General requirements – Methods of testing and required test results*
- [2] IMO Resolution A.803(19), *Performance Standards for Shipborne VHF Radio Installations Capable of Voice Communication and Digital Selective Calling*, International Maritime Organization, 1995,  
<http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Assembly/Pages/A-1995.aspx>
- [3] IACS UR/E10 (Rev.7), *Requirements Concerning Electrical and Electronic Installations – Test Specification for Type Approval*, International Association of Classification Societies, 2018,  
<http://www.iacs.org.uk/publications/unified-requirements/ur-e/>
- [4] MIL-STD-461G, *Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment*, Department of Defense, 2015
- [5] IEC 61000-4-29, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-29: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations on d.c. input power port immunity tests*
- [6] ICNIRP *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)*, ICNIRP, 1998,  
<https://www.icnirp.org/en/publications/>
- [7] *TCO Certified Generation 8, for displays*, TCO Development AB, 2019,  
<https://tcocertified.com/certification-documents/>
- [8] *Electromagnetic Fields in Offices*, Monica Sandström (National Institute for Working Life, Umeå, Sweden), *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)* 2006, Vol. 12, No. 2, 137–147,  
<https://doi.org/10.1080/10803548.2006.11076677>
- [9] JEITA ITR-3003, 情報処理機器用表示装置の静電気 (electrostatic field) に関するガイドライン (第4版)
- [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・オートマ 佐藤, 2018,  
<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [11] 軍需機器の EMC — MIL-STD-461G の概要 — Part 2: 主なサセプティビリティ要求 (CS101, CS109, CS114, CS115, CS116, CS118, RS101, RS103), 株式会社 e・オートマ 佐藤, 2020,  
<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [12] 国土地理院 地磁気測量 HP,  
[https://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/geomag\\_index.html](https://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/geomag_index.html)
- [13] 電磁界の健康影響 — 工学的・科学的アプローチの必要性, 三浦 正悦, 2004