

電磁適合性（EMC）試験技術の紹介

境野 裕介*1
Sakaino Yuusuke

電気・電子機器の開発（設計、製造）を行うメーカーは、開発製品に対し、電磁適合性（EMC）試験規格を満足することが要求される。当部門で開発する電気・電子機器においても、適用される EMC 試験規格は異なるものの開発する製品に対し、使用する環境に応じた EMC 試験規格を満足することが要求され、その検証を行っている。特に防衛・航空・宇宙分野などの製品は、ミッションを成功するために厳しい要求が適用される。

本稿は、EMC 試験の概要および宇宙分野における試験の具体的な実施例等について試験技術を紹介する。

キーワード：電磁適合性、EMC、伝導雑音、伝導感受性、放射雑音、放射感受性

1. はじめに

電磁適合性とは、Electro Magnetic Compatibility を訳したもので通常は、EMC と呼ばれる。

EMC は、一般的に大きく 2 つの性能のことをいう。1 つはエミッション（Emission）という、開発製品自身が電氣的のノイズを発生して他の電気・電子機器の誤作動を招かない（自身が発生するノイズを抑える）性能である。もう 1 つは感受性（Susceptibility）という、開発製品が他の電気・電子機器が発生した電氣的のノイズによって誤作動を引き起こさない性能である。これは、イミュニティ（Immunity）ともいわれている。

さらにこれら 2 つの性能は、ケーブルやハーネスを經由して伝搬する伝導（Conducted）と装置間の空間を伝わる放射（Radiated）の 2 つに分類される。このため、EMC の評価は、伝導雑音（Conducted

Emission）、放射雑音（Radiated Emission）、伝導感受性（Conducted Susceptibility）、放射感受性（Radiated Susceptibility）の 4 つが対象となる。

伝導雑音、放射雑音のイメージを図 1 に、伝導感受性、放射感受性のイメージを図 2 に示す。

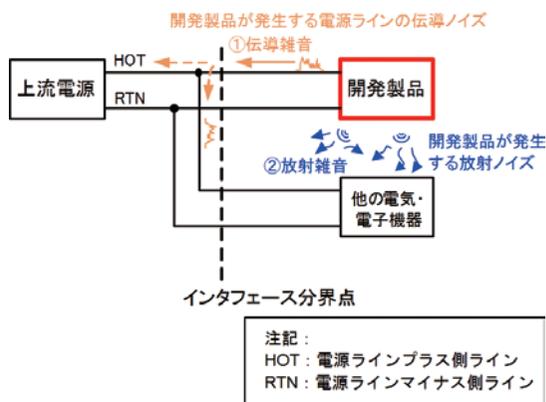


図 1 伝導雑音と放射雑音イメージ図

*1：制御システム事業部 エンジニアリング部 宇宙システムグループ

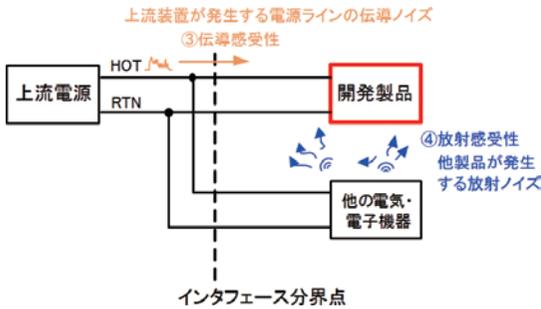


図 2 伝導感受性及び放射感受性イメージ図

2. EMC 試験規格

EMC 試験の規格は、使用する目的・用途・設置場所（国や地域）に応じて要求が異なっている。代表的な EMC 試験規格をまとめたものを表 1 に示す。

表 1 に示すように、本規格は、対象となる開発製品に応じて、EMC 試験を適用するものであることわかる。例えば、医療機器を欧州に輸出す

る場合には、EN 規格（CE マーク）の該当するエミッションと感受性を満足する必要がある。また、コンピュータ機器等の情報処理装置では VCCI が適用され、エミッション要求のみを満足することで、使用可能（販売可能）となる。

このように、要求された試験規格に従い、EMC 試験項目のうちの伝導雑音、放射雑音、伝導感受性、放射感受性の全部または一部を実施することになる。

3. EMC 試験設備

EMC 試験のうち、特に、放射感受性試験では、開発製品に高いレベルの電波を照射する、または、放射雑音試験では、開発製品から放射される微弱的な電波を計測する必要がある。このため、写真 1 に示すような周囲を電氣的に完全に遮蔽したシー

表 1 代表的な EMC 試験規格例

規格	制定	対象となる電気・電子機器	試験項目	
			エミッション	感受性
IEC (International Electrotechnical Commission)	国際電気標準会議	医療機器 (高周波装置)	IEC 60601-1-2	IEC 60601-1-2
		計測・制御・試験室用機器	IEC 61326	IEC 61326
		鉄道分野機器	IEC62236-4、IEC62236-3-2	IEC62236-4、IEC62236-3-2
		船舶搭載機器	IEC 60945	IEC 60945
		共通規格	IEC 61000-6-3、IEC 61000-6-4	IEC 61000-6-1、IEC 61000-6-2
		共通規格	IEC 61000-6-3、IEC 61000-6-4	IEC 61000-6-1、IEC 61000-6-2
CISPR (Comite international Special des Perturbations Radioelectriques)	国際無線障害特別委員会	医療機器 (高周波装置)	CISPR 11	—
		情報技術装置 (ITE)	CISPR 22	—
		放送関連装置	CISPR 13	—
		家庭用器具・工具	CISPR14-1	—
		電気照明	CISPR15	—
		車載機器	CISPR 25	—
		共通規格	CISPR 16	—
JIS	日本工業規格	共通規格	—	JIS C 1000-4-2
		共通規格	—	JIS C 1000-4-3
		共通規格	—	JIS C 1000-4-4
		共通規格	—	JIS C 1000-4-5
		共通規格	—	JIS C 1000-4-6
		共通規格	—	JIS C 1000-4-7
		共通規格	—	JIS C 1806-1
		航空宇宙システム	JIS W 7005	—
		共通規格	—	JIS W 7005
		共通規格	—	JIS W 7005
EN (European Norm)(European Standards: 欧州規格)	欧州規格 (CE マーク)	医療機器 (高周波装置)	EN 60601-1-2、EN 55011	EN 61000-3-2(電源高調波)、EN 61000-3-3(電源電圧変動およびフリッカ)
		計測・制御・試験室用機器	EN 61326	EN 61326
		情報技術装置 (ITE)	EN 55022	EN 55024
		鉄道分野機器	EN 50121-4	EN 50121-4
		船舶搭載機器	EN 60945	EN 60945
		共通規格	EN 61000-6-3、EN 61000-6-4	EN 61000-6-1、EN 61000-6-2
		共通規格	EN 61000-6-3、EN 61000-6-4	EN 61000-6-1、EN 61000-6-2
FCC (Federal Communications Commission)	米国連邦通信委員会	医療機器 (高周波装置)	FCC Part18	—
		情報技術装置 (ITE)	FCC Part15、FCC Part18	—
VCCI (Voluntary Control Council for Information Technology Equipment)	情報処理装置等電波障害自主規制協議会	情報処理装置	VCCI	—
ML	軍用規格	—	ML-STD-461	ML-STD-461
NDS (National Defense Standards)	防衛省規格	—	NDS C 0011	NDS C 0011
SSP (Space Station Program)	Space Station規格	—	SSP30237	SSP30237



写真 1 電波暗室の例
(提供：イー・エム・シー・ジャパン)

ルドルームまたは電波暗室にて試験を行うことが一般的である。

4. EMC 試験の詳細

1章で説明したように EMC 試験は、4つの伝導雑音、伝導感受性、放射雑音、放射感受性に対して試験評価が必要となる。

当部門がこれまで株式会社 IHI エアロスペースのもとで開発してきた JEM (Japanese Experiment Module = 国際宇宙ステーション/日本実験棟「きぼう」) に搭載する実験装置では、表 1 の SSP30237⁽¹⁾ が EMC 試験規格となる。ここでは、SSP30237 で要求される 4つの伝導雑音、伝導感受性、放射雑音、放射感受性について試験要求と SSP30238⁽²⁾ で規定される試験セットアップを説明する。

4.1 伝導雑音 (Conducted Emission)

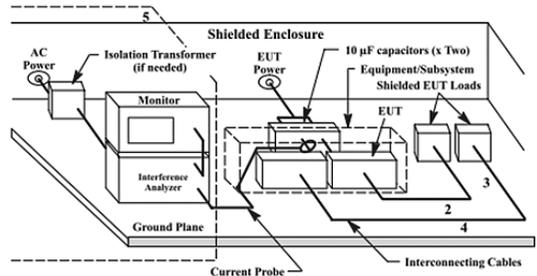
(1) 伝導雑音の試験項目

SSP30237 で要求されている試験項目は以下である。

- ・ CE01 (30Hz ~ 15kHz ノイズ電流)
- ・ CE03 (15kHz ~ 50MHz ノイズ電流)
- ・ CE07 (起動/停止時等の電圧変動)

(2) 試験セットアップ

伝導雑音試験 (ノイズ電流計測) の一般的な試験セットアップを図 3 に示す。



Notes:

1. Shielded enclosure is bonded to ground plane every 90 cm or less.
2. Cable bundles are separated by at least 5 cm.
3. Cables are placed at least 5 cm above ground plane.
4. Cables and leads are placed within 10 cm of edge of ground plane.
5. May be located in a different room.
6. The 10 µF capacitors are not applicable to CE03.

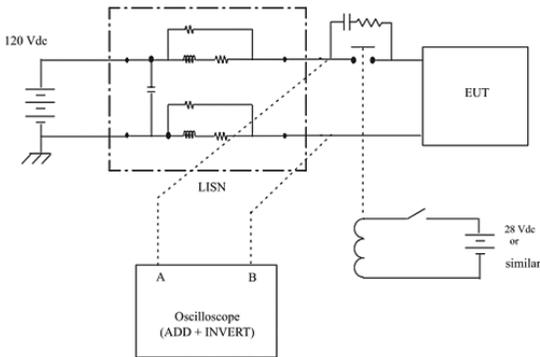
FIGURE 3.2.1.1.3-1 TYPICAL TEST SETUP FOR MEASURING CONDUCTED EMISSIONS ON DC POWER LINES OR INTERCONNECTING LEADS (CE01 AND CE03)

図 3 伝導雑音試験セットアップ例
(CE01、CE03 の例)⁽²⁾

図 3 では、開発製品をグランドプレーンと呼ばれる銅板の上に搭載し、電源と開発製品を電源ケーブルで接続する。電源と開発製品間には、貫通コンデンサを電源ライン HOT/RTN それぞれに挿入する。さらに、LISN (Line Impedance Stabilization Network = 電源インピーダンス安定回路網) または貫通コンデンサの下流にカレントプローブを接続する。これにより、開発製品が通常動作するときの電源ラインに現れるノイズ量を計測する。

CE07 の一般的な試験セットアップを図 4 に示す。

図 4 では、電源と開発製品間に LISN と電源ライン HOT 側に水銀スイッチまたは水銀リレーを挿入し、LISN の電源出力側にオシロスコープを接続する。これにより、起動/停止時の電圧変動が規格以内であることを計測する。



NOTE: Hg switch or relay should be filtered to reduce effects of arcing.
Capacitor reduces arcing on turn-off, resistor reduces effect on turn-on (due to capacitor).

FIGURE 3.2.1.3.3-1 CE07 TEST SETUP

図4 伝導雑音試験セットアップ例(CE07の例)⁽²⁾

(3) 伝導雑音計測 (試験)

CE01 と CE03 は、開発製品の電源ラインの伝導ノイズ電流が図5および図6に示す周波数範囲で規格値を超えないことである。また、CE07は、開発機器の起動/停止などで図7の規定する範囲内に電圧変動が収まることである。

図5および図6は、カレントプローブで電流を計測し、スペクトルアナライザにより周波数対ノイズ電流レベルを計測するものである。また、図7はオシロスコープにより時間対電圧レベル

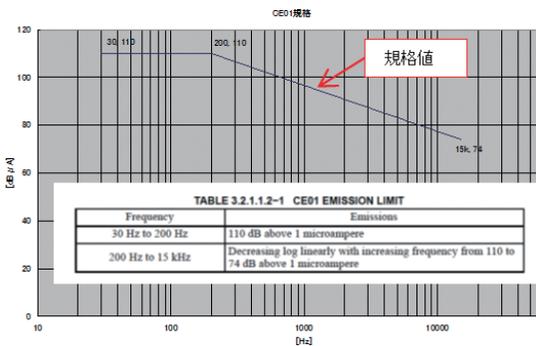


図5 CE01 規格⁽¹⁾

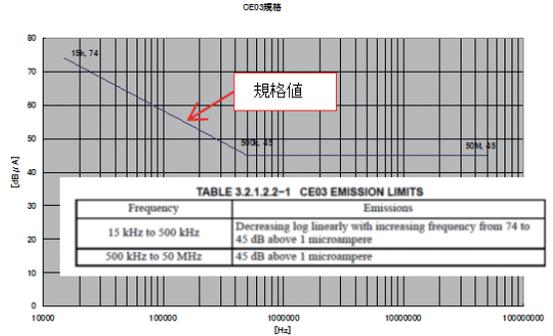
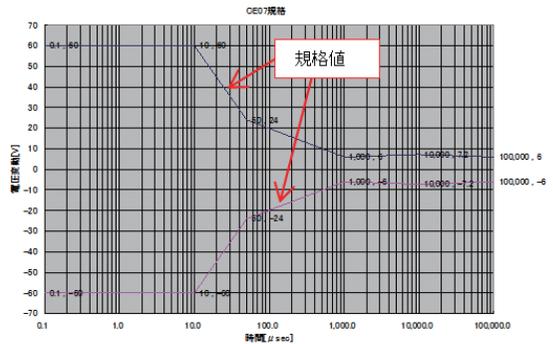


図6 CE03 規格⁽¹⁾



Time (Microseconds)	Percentage of Nominal Line Voltage
0.1 to 10	± 50 percent
10 to 50	Decreasing log linearly with increasing time from ± 50 percent to ± 20 percent
50 to 1000	Decreasing log linearly with increasing time from ± 20 percent to ± 5 percent or ± 6 volts, whichever is greater
1000 to 10,000	± 6 percent or ± 0.5 volts, whichever is greater
10,000 to 100,000	± 5 percent or ± 0.5 volts, whichever is greater

図7 CE07 規格⁽¹⁾

を計測するものである。

CE01、CE03 の電流計測は、電源ライン HOT/RTN に対し、4 回の計測を行う。

- ・ 1 回目の計測：
停止時の電源ライン HOT のバックグラウンド (※1) レベル計測
- ・ 2 回目の計測：
停止時の電源ライン RTN のバックグラウンド (※1) レベル計測
- ・ 3 回目の計測：
起動時の電源ライン HOT の本計測
- ・ 4 回目の計測：
起動時の電源ライン RTN の本計測

※ 1：開発製品以外の試験装置のみを起動した状態での伝導雑音の計測（開発機器には通電しない）。

4.2 伝導感受性 (Conducted Susceptibility)

(1) 伝導感受性の試験項目

SSP30237 で要求されている試験項目は以下である。

- ・ CS01 (30Hz ~ 50kHz 電磁エネルギー印加)
- ・ CS02 (50kHz ~ 50MHz 電磁エネルギー印加)
- ・ CS06 (スパイクノイズ印加)

(2) 試験セットアップ

伝導感受性の一般的な試験セットアップを図 8 ~ 図 10 に示す。

開発製品を電源ケーブルで接続し、電源と開発製品間には、EMC 試験要求で指定されるトランスまたはカップリングコンデンサを接続する。ト

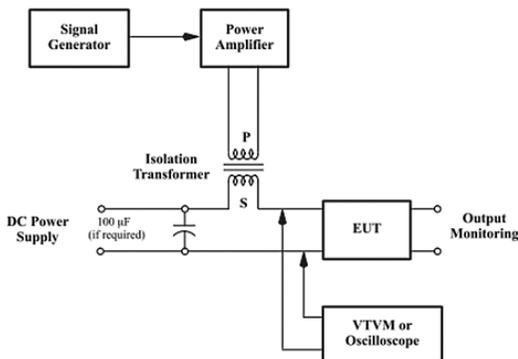
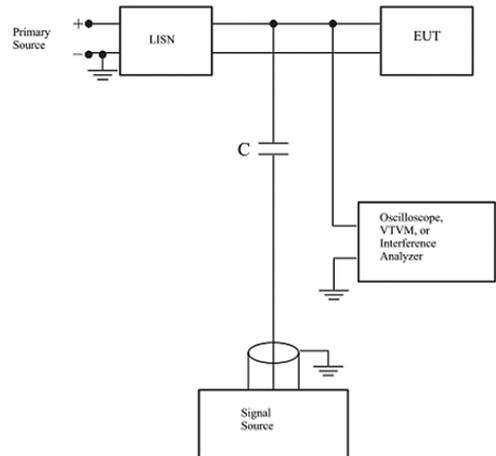


FIGURE 3.2.2.1.3-1 CONDUCTED SUSCEPTIBILITY, 30 Hz TO 50 kHz TYPICAL TEST SETUP (CS01)

図 8 伝導感受性試験 CS01 セットアップ例⁽²⁾

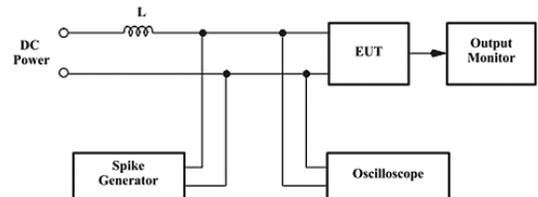


Notes:

1. The value of C shall be chosen such that $X_C < 5$ ohms over the test frequencies
2. Connect the coupling capacitor and the VTVM, Oscilloscope, or Interference Analyzer, within 5 cm of the termination to the EUT

FIGURE 3.2.2.2.3-1 CONDUCTED SUSCEPTIBILITY, 50 kHz TO 50 MHz TYPICAL TEST SETUP (CS02)

図 9 伝導感受性試験 CS02 セットアップ例⁽²⁾



Note: L = 20 microhenries (optional)

FIGURE 3.2.2.3.4-1 CONDUCTED SUSCEPTIBILITY, SPIKE PARALLEL INJECTION TEST SETUP (CS06)

図 10 伝導感受性試験 CS06 セットアップ例⁽²⁾

ランスまたはカップリングコンデンサの下流にオシロスコープまたはスペクトラムアナライザを接続する。

(3) 伝導感受性試験

CS01、CS02、CS06 の要求は、開発製品のすべての運用モードにおいて、ノイズ印加中に開発製品が誤動作しないこと、またはダメージを受けないことである。

なお、印加するノイズ量は、各試験条件で規定されており、トランスまたはカップリングコンデンサのノイズ印加箇所印加レベルを確認する。

図 11 に CS01 の要求を示す。電源ライン HOT 側のみにノイズを印加し、誤動作もしくはダメージの有無を確認する。

Frequency	Voltage
30 Hz to 2 kHz	5 Volts root mean square (Vrms) or 10 percent of the supply voltage (E1), whichever is less
2 kHz to 50 kHz	Decreasing log linearly with increasing frequency from 5 Vrms, or 10 percent E1 whichever is less, to either 1 Vrms or 1 percent of E1, whichever is less

図 11 CS01 要求⁽¹⁾

CS02 の要求は、電源ライン HOT 側および RTN 側それぞれに以下のノイズ (50kHz ~ 50MHz : 1Vrms) を印加し、誤動作もしくはダメージの有無を確認する。

図 12 に CS06 の要求を示す。

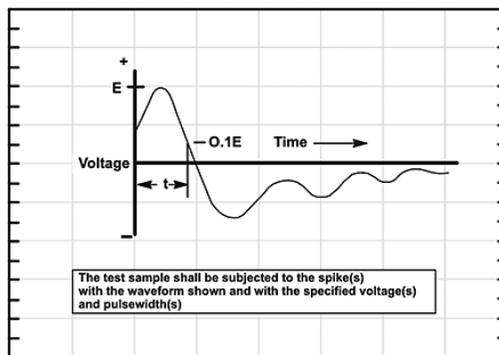
電源ライン HOT 側および RTN 側それぞれに図中のスパイクノイズを印加し、誤動作もしくはダメージの有無を確認する。

4.3 放射雑音 (Radiated Emission)

(1) 放射雑音の試験項目

SSP30237 で要求されている試験項目は、以下のとおりである。

- RE02 (14kHz ~ 10GHz, 13.5GHz ~ 15.5GHz 放射雑音)



SPIKE #1 E = ± Twice the nominal line voltage, t = 10 microseconds ± 20 percent
 SPIKE #2 E = ± Twice the nominal line voltage, t = 0.15 microseconds ± 20 percent

FIGURE 3.2.2.3.2-1 CS06 AND RS02 EQUIPMENT LIMIT

電源ライン HOT/RTN ともに ±ノミナルライン電圧の2倍の電圧(10 μ sec, 0.15 μ sec)を印加する。

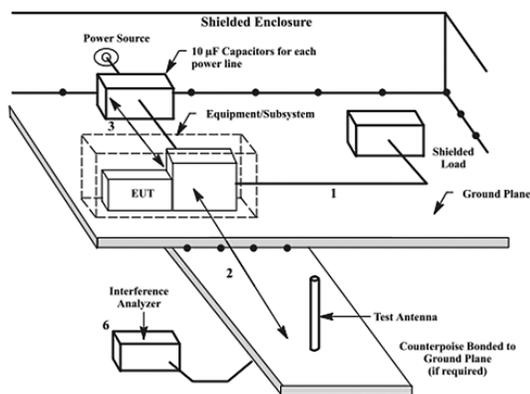
図 12 CS06 要求⁽¹⁾

(2) 試験セットアップ

放射雑音の一般的な試験セットアップを図 13、セットアップの写真を写真 2 に示す。開発製品は、シールドルームまたは電波暗室内に設置し、開発

SSP 30238 Revision D

22 December 1998



Notes:

1. Cables are placed at least 5 cm above ground plane.
2. Requirement at 1 meter.
3. Input power leads are greater than 2 meters and less than 3 meters in length.
4. If the test sample is comprised of more than one unit, interconnecting cable lengths of at least 2 meters shall be exposed to the test antenna except for deliverable cables whose length is less than 2 meters.
5. Matching network is mounted below counterpoise.
6. For measurements above 30 MHz, the interference analyzer shall be placed outside the shielded enclosure.

FIGURE 3.2.3.1.4-1 TYPICAL TEST SETUP FOR RADIATED MEASUREMENTS (RE02)

図 13 放射雑音試験セットアップ例⁽²⁾

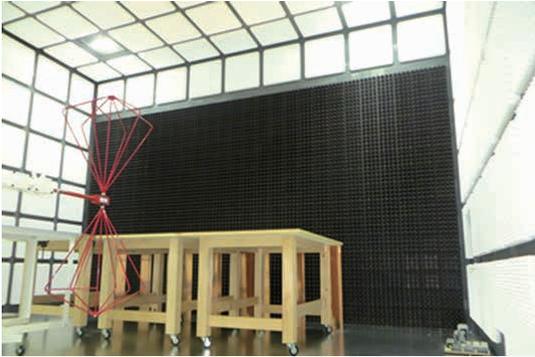


写真2 放射雑音試験セットアップ写真
(提供：イー・エム・シー・ジャパン)

製品以外の装置や設備は可能な限りシールドルーム外へ配置する。

電源と開発製品間には、LISN または貫通コンデンサを接続し、開発品から 1.0m の位置にアンテナを設置する。

(3) 放射雑音の計測 (試験)

RE02 の要求は、開発製品のすべての運用モードにおいて、開発製品から放射される放射ノイズが図 14 に示す規格値を超えないことである。

なお、アンテナ自体に水平方向と垂直方向の特性に違いがある場合には、アンテナの向きを水平方向と垂直方向の 2 回の計測を行う。

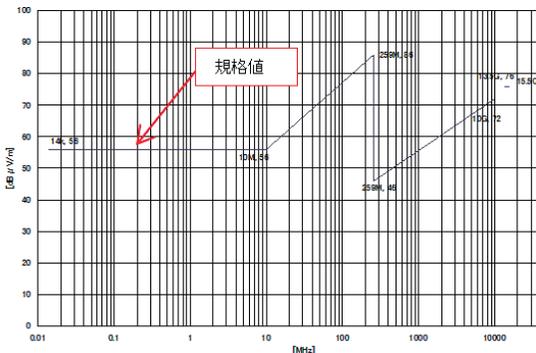


TABLE 3.2.3.1.2.1-1 FIELD EMISSION LIMITS

Frequency	Emissions
14 kHz to 10 MHz	56 dBµV/m
10 MHz to 259 MHz	Increasing log linearly with increasing frequency from 56 to 66 dBµV/m (16 dB per decade)
259 MHz to 10 GHz	Increasing log linearly with increasing frequency from 46 to 72 dBµV/m (16 dB per decade)
13.5 to 15.5 GHz	76 dBµV/m

図 14 RE02 要求⁽¹⁾

計測は以下の 2 回行う。

- ・ 1 回目の計測 (水平/垂直) :
停止時のバックグラウンド (※ 2) 計測
- ・ 2 回目の計測 (水平/垂直) :
起動時の本計測

ともに規格以内である必要がある。

※ 2 : 開発製品以外の試験装置のみを起動した状態での放射雑音の計測 (開発機器には通電しない)。

4.4 放射感受性 (Radiated Susceptibility)

(1) 放射感受性の試験項目

SSP30237 で要求されている試験項目は、以下のとおりである。

- ・ RS03 (14kHz ~ 150GHz、13.7GHz ~ 15.2GHz の電界放射)
- ・ RS02 (磁界放射)

(2) 試験セットアップ

放射感受性の一般的な試験セットアップを図 15、セットアップの写真を写真 3 に示す。

開発製品は、シールドルームまたは電波暗室内に設置する。開発製品以外の装置や設備は、可能な限りシールドルーム外へ配置する。

電源と開発製品間には、LISN または貫通コンデンサを接続し、開発製品から 1.0m の位置にアンテナおよび電界センサを設置する。

また、RS02 の試験セットアップを図 16 に示す。

開発製品の信号ラインケーブルにノイズ印加ケーブルを束ねて結束する。ノイズ印加ケーブルには、スパイクジェネレータを接続し、スパイクジェネレータからの出力をオシロスコープでモニタできるように抵抗を接続する。

(3) 放射感受性試験

RS03、RS02 の要求は、開発製品のすべての運用モードにおいて、ノイズ印加中に開発製品が誤動作しないこと、またはダメージを受けないことである。

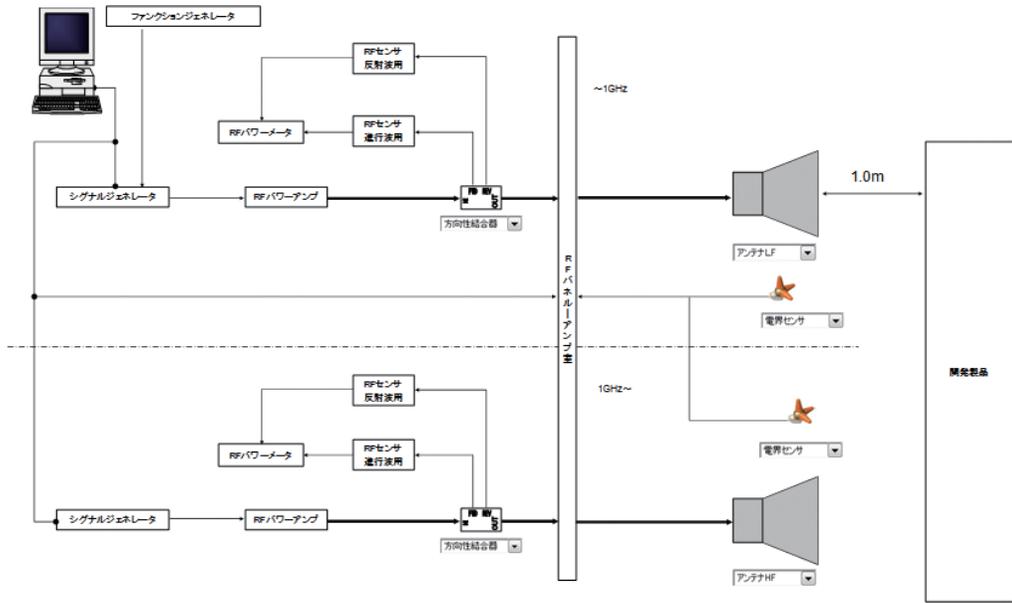


図 15 放射感受性試験セットアップ例 (RS03 相当) (提供：イー・エム・シー・ジャパン)

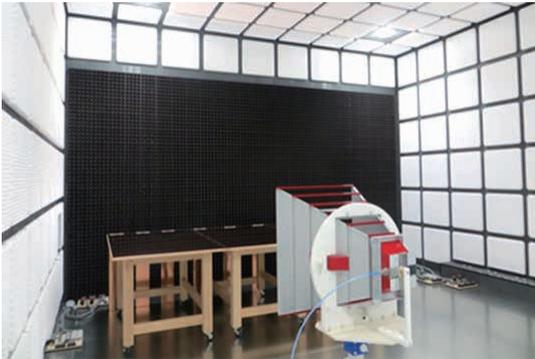


写真 3 放射感受性試験 (RS03) セットアップ写真 (RS03 相当) (提供：イー・エム・シー・ジャパン)

印加するノイズ量は、各試験条件で規定されている。

なお、以下に示すように RS03 と RS02 で放射ノイズの印加方法・目的が異なっている。

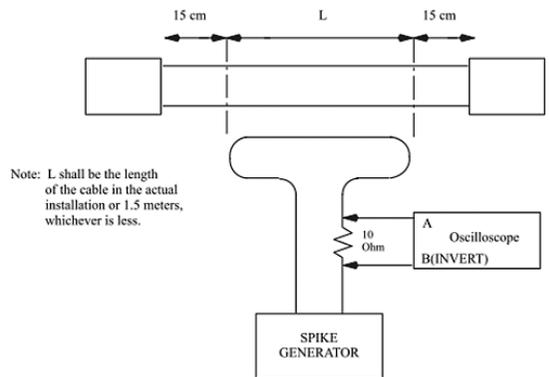
(a) RS03

開発製品から 1.0m 離れた位置にアンテナと電界センサを配置し、アンテナから放射した電界（放射ノイズ）を印加した際の開発製品の動作を確認する。

なお、アンテナ自体に水平方向と垂直方向の

SSP 30238 Revision D

22 December 1998



Note: L shall be the length of the cable in the actual installation or 1.5 meters, whichever is less.

FIGURE 3.2.4.1.3-1 RS02 CABLE TEST SETUP

図 16 放射感受性試験 RS02 セットアップ例⁽²⁾

特性に違いがある場合には、アンテナの向きを水平方向と垂直方向の 2 回の計測を行う。放射ノイズの要求値を 図 17 に示す。

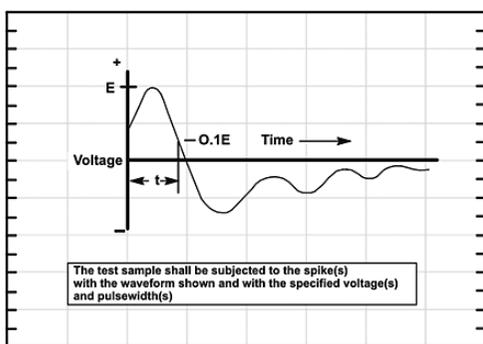
TABLE 3.2.4.2.2-1 RS03 LIMIT LEVELS

Frequency Range	Radiated Electric Field Level
14 kHz to 200 MHz	5 V/m
200 MHz to 8 GHz	60 V/m
8 GHz to 10 GHz	20 V/m
2.2 GHz	161 V/m
8.5 GHz	79 V/m
13.7 GHz to 15.2 GHz	250 V/m

図 17 RS03 要求⁽¹⁾

(b) RS02

開発製品または開発製品が設置される場所の最大電源電圧をノミナル電源とする。印加ケーブルを電源ラインと想定し、図 18 に示すノイズを印加ケーブルから発生させる。



SPIKE #1 E = ± Twice the nominal line voltage, t = 10 microseconds ± 20 percent

SPIKE #2 E = ± Twice the nominal line voltage, t = 0.15 microseconds ± 20 percent

FIGURE 3.2.2.3.2-1 CS06 AND RS02 EQUIPMENT LIMIT

ノイズ印加ケーブルに周辺電源ラインの±2倍の電圧を印加する。

図 18 RS02 要求⁽¹⁾

5. まとめ

電気・電子機器の製品開発における EMC 試験でのさまざまな要求と、当部門で行っている試験方法についての紹介を行った。

EMC 試験に関する技術は日進月歩であり、当社が開発する電気・電子機器の機能性能向上に向け、今後も EMC 試験に関する最新技術を習得してゆく。

謝辞

本稿を作成するにあたり資料提供を快諾いただいた株式会社イー・エム・シー・ジャパン殿に深く感謝する。

参考文献

- (1) マサチューセッツ工科大学ホームページ：
<https://snebulos.mit.edu/projects/reference/International-Space-Station/SSP30237RF.pdf>
- (2) マサチューセッツ工科大学ホームページ：
<http://snebulos.mit.edu/projects/reference/International-Space-Station/SSP30238RD.pdf>



制御システム事業部
エンジニアリング部
宇宙システムグループ
境野 裕介

TEL. 042-523-8319
FAX. 042-523-8320