

半導体デバイスに関するEMC規格 ～エミッション測定法～

徳田 正満

1. まえがき

IoTやセンサ・ネットワーク、自動運転が身近になりつつある現在、電気電子システムのハードウェアとしての信頼性の確保に注目が集まっている。特に、ADAS（先進運転支援システム）などの進展により、車載ネットワークの信頼性向上を中心に、EMC要求が従来の「ノイズ対策の技術」から機器の機能安全性・信頼性を確保するための技術へと変貌しつつある。同時に、イミュニティ特性やESD（静電気放電）耐性の向上に加え、周囲とのワイヤレス接続への低エミッション要求が高まり、電気電子システムの根幹を担う半導体デバイスのEMC評価とEMC設計についても重要性が高まっている。IECのTC47（半導体デバイス）/SC47A（集積回路）では、集積回路（IC）のEMC規格を作成しているが、本稿では、IEC 61967シリーズとして発行されているICのエミッション測定法に関する規格を文献1及び文献2を基にして解説する。なお、半導体デバイスのEMC規格に関する概要は、VCCIだよりのNo.139に掲載されているので、参考されたい³⁾。

2. 集積回路（IC）のエミッション測定法

ICから放出される妨害波の測定法を規定するIEC 61967シリーズのエミッション測定法規格は、周波数領域での測定を前提としており、表1にIEC 61967シリーズの構成を示している。大きく分けて、「伝導性エミッション測定法」であるPart 4、Part 5、Part 6と、「放射性エミッション測定法」であるPart 2、Part 3、Part 8に分かれるが、主に使用されるのは、IEC 61967-4のうちの「150Ω法」である。なお、Part 1-1はPart 3:表面走査法に対応した「近傍界走査データフォーマット」であり、XML形式のデータを採用している。

エミッション測定法（IEC 61967シリーズ）とイミュニティ測定法（IEC 62132シリーズ）を規定する規格は、当初、対象とする周波数範囲を150kHzから1GHzとしていたが、機器や回路の高周波化にともない、周波数範囲はGHz帯に拡張されている。そのため、新しく2010年以降に確定した測定・試験法規格はタイトルから周波数範囲を除き、個別の規格の中で適用する周波数帯を規定することになっている。イミュニティ測定法規格のIEC 62132シリーズに関しては、この方針に従いPart 1（一般的条件と定義）改訂版（Ed.2.0）が2015年に発行され、エミッション測定法規格のIEC 61967シリーズについても同様の方針でIEC 61967-1改訂版（Ed.2.0）が2018年12月に発行された。

最近の話題は、IEC 61967-4の「1Ω法」で上限周波数を30MHzに制限したEd.2.0の発行と、IEC 61967-8「ICストリップライン法」で上限周波数を3GHzから6GHzに変更するEd.2.0の審議開始である。

(1) IEC 61967-1：一般的条件と定義

IEC 61967シリーズに共通の「用語の定義」、共通の「試験条件」、「試験機器」（測定時の分解能帯

域幅 (RBW) を含む)、「ICピンの標準終端条件」、「試験手順」、「テストレポート」の要求、「標準試験基板の仕様」、および「シリーズ内の各試験法の比較表」(Annex A) 等について記載している。1GHz を超える高周波対応の規格 (IEC 61967-2、IEC 61967-6、IEC 61967-8) が既に発行されているので、前述のとおりタイトルから周波数範囲を削除した改定版 (Ed.2.0) が2018年に発行された (日本がプロジェクトリーダー)。改定の際に、Annex Aのシリーズ規格の表が整備された。

表1 半導体集積回路のエミッション測定法規格 (2022年4月現在) ²⁾

IEC 61967: Integrated circuits - Measurement of electromagnetic emissions

	Title
IEC 61967-1:2018 Ed.1.0 (2002-03-12) Ed.2.0 (2018-12-12)	Integrated circuits - Measurement of electromagnetic emissions - Part 1: General conditions and definitions
IEC TR 61967-1-1:2015 Ed.2.0 (2015-08-28)	Integrated circuits - Measurement of electromagnetic emissions - Part 1-1: General conditions and definitions -Near-field scan data exchange format
IEC 61967-2:2005 Ed.1.0 (2005-09-29)	Integrated circuits - Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz - Part 2: Measurement of radiated emissions - TEM cell and wideband TEM cell method
IEC TS 61967-3:2014 Ed.1.0 (2005-06-10) Ed.2.0 (2014-08-25)	Integrated circuits - Measurement of electromagnetic emissions, Part 3: Measurement of radiated emissions - Surface scan method
IEC 61967-4:2002+AMD1:2006 Ed.1.1 (2006-07-27) COR1:2017 (2017-06-29) Ed.2.0 (2021-03-16)	Integrated circuits - Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz - Part 4: Measurement of conducted emissions - 1 ohm/150 ohm direct coupling method
IEC TR 61967-4-1:2005 Ed.1.0 (2005-02-07)	Integrated circuits - Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz - Part 4-1: Measurement of conducted emissions - 1 ohm/150 ohm; direct coupling method - Application guidance to IEC 61967-4
IEC 61967-5:2003 Ed.1.0 (2003-02-13)	Integrated circuits - Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz - Part 5: Measurement of conducted emissions - Workbench Faraday Cage method
IEC 61967-6:2002+AMD1:2008 Ed.1.0 (2002-06-25) Ed.1.1 (2008-03-12) COR1:2010 (2010-08-30)	Integrated circuits - Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz - Part 6: Measurement of conducted emissions - Magnetic probe method
IEC 61967-8:2011 Ed.1.0 (2011-08-11) Ed.2.0: 47A/1136/CD (2022-03)	Integrated circuits - Measurement of electromagnetic emissions - Part 8: Measurement of radiated emissions - IC stripline method

(2) IEC TR 61967-1-1 : 近傍界走査 (NFS) データフォーマット : (放射性)

XML形式のデータを採用した「近傍界走査 (NFS: Near-field scan) データ」の記載法について規定している。主に「表面走査法 : IEC 61967-3 (Emission)、IEC 62132-9 (Immunity)」の測定結果を共有化するために使用されるが、WG2で審議されているICのモデル (ICEM-RE, ICIM-RI) を用いたEMCシミュレーションの結果を近傍界測定結果 (実測値) と比較するためにも使用される。Ed.1.0 (2010) からEd.2.0 (2015) に更新された際に、3Dオブジェクト、バイナリデータファイル、時間領域および周波数領域データの区分線形 (piece-wise linear) データ、測定点とDUT基準面の回転とオフセットを可能にするベクトルが追加されている。また、プローブ係数として位相情報を含む複素プローブ係

数が取り扱い可能となった。

(3) IEC 61967-2 : TEMセル法 : (放射性)

半導体EMC測定法規格として最も早く1995年に規格化されたSAE J1752/3, “TEM cell method”⁴⁾に基づく規格である。当初は150kHz~1GHzのエミッションを対象としていたが、2001年提案の47A/619/NPで高周波対応のwideband TEM cell (いわゆるGTEMセル) で上限周波数18GHzまで拡張されたが、測定感度があまり良くないので、これを改善するものとしてIEC 61967-8 : IEC 62132-8 (ICストリップライン法) が提案されている。同じセットアップでのイミュニティ測定法がIEC 62132-2で規定されている。米国からTEMセル校正法の改定提案が予告されているが、未提案である。

(4) IEC TS 61967-3 : 表面走査法 : (放射性)

いわゆる「近傍界測定法」を標準化したもので、国際規格 (IS: International Standard) ではなく将来のISの位置付けである技術仕様 (TS: Technical Specification) となっている。第1版はIEC TS 61967-3: 2005であるが、2014年に「近傍界走査 (NFS) データ」への対応と、「データ解析」「プローブ係数およびプローブ校正」などが追加された第2版が発行された。

(5) IEC 61967-4 : 1Ω/150Ω法 (VDE法) : (伝導性)

電源系の高周波電流を直列に挿入した1Ω抵抗を介して測定する「1Ω法」と、信号系の高周波電圧に対して150Ωインピーダンスを介して測定する「150Ω法」の組み合わせである。VDE (ドイツ電気技術者協会) からの提案ということで、日本では「1Ω法」は通称「VDE法」と呼ばれていた。2002年にEd.1.0として規格化され、2006年の修正では特にCAN (Controller Area Network, ISO 11898 等) や LVDS (Low Voltage Differential Signaling) のコモンモード・エミッション測定法が追加された。IEC 61967-4はBISS (Basic Interoperable Scrambling System) 規格⁵⁾で引用されておりヨーロッパで良く使われる測定法となっている。特に最近では「150Ω法」が使用される頻度が高まっている。150Ω法の結合回路に関する若干の技術的修正がCorrigendumとして2017年に発行された。なお、現在審議中の後述のIEC 62228-5 イーサネット・トランシーバのEMC評価に関連して、150Ω法の測定帯域を3GHzまで拡張する検討がなされており、2021年発行のEd.2.0では1GHz以上への周波数拡張のためのガイドラインがAnnex Gとして追加された。

IEC 61867-4 Ed.2.0では、上記の「150Ω法」の周波数拡張と同時に、電源系のエミッション測定に使用される「1Ω法」について、上限周波数が30MHzに制限された。従来の「1Ωプローブ」は寄生インダクタンスが大きく、高周波では正確な測定ができないので、寄生インダクタンスを減らすとともに、プローブ特性の検証 (Verification) に関して、Ed.1.0のAnnex A: Probe calibration procedureがAnnex A: Probe verification procedureに変更された。

なお、「1Ω/150Ω法」の実際的な基板設計や測定法の詳細などを説明した、テクニカルレポート (TR) がIEC 61967-4-1として発行されている。この“Application guidance to IEC 61967-4”の中身は、前述のBISSからの引用である。

(6) IEC 61967-5：ワークベンチ・ファラデーケージ法 (WBFC法)：(伝導性)

もともとフィリップス提案の、卓上の小型シールドボックス (WBFC: Workbench Faraday Cage) を使用した伝導性のコモンモード測定法である。対になる同じセットアップのイミュニティ測定法としてIEC 62132-5がある。IEC規格のWBFCは小型であるが、若干寸法を大きくしたものが市販されている。

(7) IEC 61967-6：磁界プローブ法 (MP法)：(伝導性)

2002年に規格化されたMP法 (IEC 61967-6：マグネティック・プローブ法) は日本提案の規格であり、磁界プローブ法とも呼ばれるが、磁界測定が目的ではなく、マイクロストリップ構造の配線を通る高周波電流を非接触で磁界結合により測定する方法である。当初名称がMPであったので、「近傍磁界測定法」と誤解され、IEC TS 61967-3 (表面走査法) と混同されることが多いが、配線インダクタンスやVDE法のような直列抵抗の影響を受けない高周波電流測定法であり、優れている。IEC規格には記載されていないが、マイクロストリップ線路とネットワークアナライザ (VNA) を使用してプローブを複素校正することで、電流の時間波形も高精度で観測できる。現在は2008年修正版で測定帯域を3GHzまで広げている。なお、当初の2002年版に存在した誤植2か所 (プローブ寸法の誤記と、校正係数の式 (A.1) の誤記) を修正する訂正 (corrigendum) が2010年に追加されており、最新版はEd.1.1となっている。

(8) IEC 61967-7：(欠番) Measurement of radiated emissions - Mode Stirred Chamber method

2004年のSC47A/WG9 Eindhoven会議の際にWG内文書として共有されたロードマップ “IC EMC standardization roadmap 2004” に「2005年NP (New Proposal)」提案と記載されて以来、進展が無く、IEC 61967-7は提案されないまま欠番となっている。なお本方法は、いわゆる「Reverberation Chamber (IEC61000-4-21)」および車載機器のイミュニティ試験法 (ISO 11452-11) の小型版であり、対になるイミュニティ測定法も存在する。

(9) IEC 61967-8：ICストリップライン法：(放射性)

ドイツ提案の方法で、エミッション測定 (IEC 61967-8) とイミュニティ測定 (IEC 62132-8) が対の測定法であり、BISS Version 2.0 (2012) 以降で引用されている。原理的にはTEMセル法に近いが、TEMセルおよびGTEMセルよりも小型で感度は良い。後述のIEC 62228-5 (EthernetトランシーバICのEMC評価法)：Ed.1.0 (2021) で、Informativeではあるが引用されている。

IEC 61967-8の上限周波数を3GHzから6GHzに変更するEd.2.0がドイツから提案され、47A/1136/CD (2022-03) の審議が開始された。

【参考文献】

- 1) 和田修己:「VI. 半導体デバイスに関するEMC規格」、世界のEMC規格・規制(2020年度版)、日本能率協会、pp.42-52、2020.7.
https://event.jma.or.jp/TF_EMC2020
- 2) 和田修己:「VII. 半導体デバイスに関するEMC規格」、世界のEMC規格・規制(2022年度版)、日本能率協会、pp.59-67、2022.7.
- 3) 徳田正満:「半導体デバイスのEMC規格 ～概要～」、VCCIだより、No.139、pp.11-13、2021.1.
- 4) SAE J1752/3, "Integrated Circuit Radiated Emissions Measurement Procedure 150kHz to 1000MHz, TEM Cell," Mar. 1995.
- 5) Generic IC EMC Test Specification ("BISS paper"), open copyright by Robert Bosch GmbH, Infineon Technologies AG, Continental AG; ZVEI, "Generic IC EMC Test Specification," Version 2.1, July 2017.
https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2017/Juli/Generic_IC_EMC_Test_Specification/Generic_IC_EMC_Test_Specification_2.1_180713_ZVEI.pdf



徳田 正満 (とくだ まさみつ)

1967年 北海道大学工学部電子工学科卒業
1969年 北海道大学大学院工学研究科電子工学専攻修了
日本電信電話公社に入社し電気通信研究所に配属
1987年 NTT通信網総合研究所通信EMC研究グループリーダー
1996年 九州工業大学工学部電気工学科教授
2001年 武蔵工業大学工学部電子通信工学科教授
2010年 東京都市大学 名誉教授
東京大学 大学院 新領域創成科学研究科 客員共同研究員

主要な受賞

1986年 電子通信学会業績賞を受賞
(光ファイバケーブル設計理論と評価法の研究)
1997年 平成9年度情報通信功績賞受賞(郵政省)
(EMC技術の開発・標準化)
2003年 工業標準化事業功労者として経済産業大臣賞を受賞
2004年 電子情報通信学会フェロー
2007年 IEEE Fellowに昇格