

半導体デバイスに関するEMC規格

～集積回路製品群のEMC規格～

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 62228 シリーズの集積回路製品群 EMC 規格を参考文献 1 及び 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.139³⁾、エミッション測定法は VCCI だよりの No.146⁴⁾ 及びイミュニティ測定法は VCCI だよりの No.147⁵⁾ に掲載されているので参考されたい。

2. 集積回路製品群のEMC規格：バス・トランシーバEMC評価法：IEC 62228シリーズ

集積回路の EMC 測定評価法規格を扱う IEC SC47A/WG9 では、従来は特定製品群の評価は想定せず、一般的な集積回路（IC）のエミッションおよびイミュニティ測定法の審議を行っていたが、IEC 62228 シリーズは半導体 EMC に関する初めての製品群規格であると言える。

車載ネットワーク用トランシーバ IC の EMC 評価規格 IEC 62228 シリーズの現状を表 1 に示す。本シリーズは、当初は車載ネットワークとして良く使用される CAN（Controller Area Network）の信頼性確保のため、CAN 用のトランシーバ IC の EMC 特性評価法として 2004 年にドイツから提案され技術基準（TS: Technical Specification）として規格化された。その後、低速バスの LIN（Local Interconnect Network）トランシーバ IC の EMC 評価法（IEC 62228-2）が国際標準（IS: International Standard）として 2016 年に規格化され、同時に 2016 年秋の IEC フランクフルト会議（SC47A/WG9）で一連の「バス・トランシーバ EMC 試験法規格」を IEC 62228 シリーズとする方針が決定された。

その後、CAN の高速通信版 CAN-FD（Flexible Data-rate）に対応する IEC 62228-3:2019、民生用 Ethernet（100BASE-TX）および車載用 Ethernet（100BASE-T1, 1000BASE-T1）規格を対象とする IEC 62228-5:2021 が続き、2022 年に入り日本提案の CXPI 用トランシーバ IC の試験規格 IEC 62228-7:2022 が発行された。

表1 バス・トランシーバEMC評価法規格及び審議予定（2022年12月現在）

Integrated Circuits- EMC evaluation of bus transceivers

	Title および審議予定
IEC/TS 62228:2007 Ed. 1.0 (2007-02-16)	Integrated circuits- EMC evaluation of CAN transceivers
IEC 62228-1: 2018 Ed. 1.0 (2018-01-09)	Integrated circuit- EMC evaluation of transceivers- Part 1: General conditions and definitions
IEC 62228-2: 2016 Ed. 1.0 (2016-11-18)	Integrated circuit- EMC evaluation of transceivers- Part 2: LIN transceivers
IEC 62228-3: 2019 Ed. 1.0 (2019-03-11)	Integrated circuit- EMC evaluation of transceivers- Part 3: CAN transceivers
IEC 62228-4	Part 4: Flex Ray ⇒（提案時期：未定、担当：未定）
IEC 62228-5: 2021 Ed. 1.0 (2021-04-26)	Integrated circuit- EMC evaluation of transceivers- Part 5: Ethernet transceivers
IEC 62228-5/AMD1 47A/1148/CDV (2022-12-16)	Amendment 1- Integrated circuit- EMC evaluation of transceivers - Part 5: Ethernet transceivers (光Ethernet 1000BASE-RH)
IEC 62228-6: 2022 Ed. 1.0 (2022-11-08)	Integrated circuit- EMC evaluation of transceivers- Part 6: PSI5 transceivers
IEC 62228-7: 2022 Ed. 1.0 (2022-02-22)	Integrated circuit- EMC evaluation of transceivers- Part 7: CXPI transceivers ⇒（2017年にWorking Doc.提案、2017-12:NP, 2019-06:CD：日本担当）
IEC 62228-8	Part 8: SENT/SPC ⇒（提案時期：未定、担当：ドイツ）
IEC 62228-9	Part 9: LVDS ⇒（提案時期：未定、担当：未定）

(1) 「IEC 62228 シリーズ」の構成

IEC 62228 シリーズで扱う通信の配線構成・トポロジ・通信速度をまとめると、下記のようなになる。ただし、Part 5: Ethernet に関しては、後述の通り車載用光イーサネット（1 Gbps およびマルチギガ）に関する EMC 特性評価規格の対象として審議を開始している。

パート	規格	用途：（配線構成・トポロジ・通信速度）
Part 1	General	一般的事項：
Part 2	LIN	general purposes: (1 wire ・ bus ・ 20 kbps)
Part 3	CAN	general purposes: (2 wires ・ bus ・ kbps to Mbps)
Part 4	FlexRay	general purposes: (2 wires ・ P2P, bus ・ 10 Mbps)
Part 5	Ethernet	general purposes: (2, 4, 8 wires ・ P2P ・ 10 Mbps to 1Gbps)
Part 6	PSI5	general purposes, sensors interface: (2 wires ・ P2P, bus ・ 125 kbps)
Part 7	CXPI	general purposes: (1 wire ・ bus ・ 20 kbps)
Part 8	SENT/SPC	general purposes, sensors interface: (1 wire ・ P2P ・ 20 kbps)
Part 9	LVDS	general purposes, high speed data: (2 wires ・ P2P ・ few Gbps)

なお、下記内容が、IEC 62228シリーズが決定されたフランクフルト会議 WG 9 議事録に記載されている。

- IEC 62228シリーズの対象分野・目的は「一般的用途（general purposes）」とする。
- IEC 62228シリーズ規格は、可能な限り、全産業分野に開放する。
- IEC 62228シリーズ規格は、車載応用（automotive applications）に限定しない。
- 規格が特定の領域への適用を想定する場合は、規格の（各Partの）Scopeに明示する。

2016年時点で規格化対象に含めていたFlexRay (IEC 62228-4)は提案者が無く規格化のめどは無い。LVDS (Low Voltage Differential Signaling)は既に車載系でも使用されている高速差動伝送系で、IEC 62228-9 となる予定であるが、現状では IEC への規格案の提案は無い。LVDS を含めさらに高速の差動信号系の SerDes 等については、後述の OPEN Alliance と ASA との連携の中で規格化の対象になることが想定され、日本でも事前対応が必要と考えられる。

(2) 「IEC 62228 シリーズ」の引用規格

IEC 62228 シリーズでは、EMC 測定法の規格として SC47A 規格を引用している。例として、IEC 62228-5:2021(Ethernet トランシーバ IC)の引用規格を省略形で示すと、以下の通りその他の ISO 規格、IEC 規格も引用している。このうち[Normative references]は規格本文中で引用される必須測定規格であるが、注意すべきは[Bibliography (参考文献)]として引用されている規格で、これは「現状では必須測定ではない付録 Annex (Informative)等で使用されているもので、将来的には「必須要件」となる可能性がある。特に、現在はエミッション・イミュニティともに Informative である放射性(Radiated)EMC 試験法の IC stripline method (IEC 61967-8, IEC 62132-8) については、TEM cell method と合わせて要注意である。

【Normative references(基準となる引用規格)】

EMC 測定法関連のみ抽出 (省略形)

IEC 61967-1: General conditions and definitions

IEC 61967-4: 1 ohm/150 ohm direct coupling method

IEC 62132-1: General conditions and definitions

IEC 62132-4: Direct RF power injection (DPI) method

IEC 62215-3: Nonsynchronous transient injection method

IEC 62228-1: General conditions and definitions

ISO 10605, Road vehicles- Electrostatic discharge (ESD)

ISO 7637-2, Road vehicles- Electrical transient conduction along supply lines only

【Bibliography(参考文献)】

CISPR 16-1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus

IEC 61000-4-2: Electrostatic discharge (ESD) immunity test

IEC 61000-4-4: Electrical fast transient/burst immunity test

IEC 61000-4-5: Surge immunity test

IEC 61967-2: TEM cell and wideband TEM cell method

IEC 61967-8: IC stripline method

IEC 62132-2: TEM cell and wideband TEM cell method

IEC 62132-8: IC stripline method

IEC 62615: Transmission line pulse (TLP)

(3) 「IEC 62228 シリーズ」各パートの概要

IEC 62228-2 (LIN) : Ed.1.0 (2016)

単線 (シングルワイヤ) の低速バスである。当初は、EMC 試験基板上に 3 トランシーバを配置した構成で試験する提案であったが、バス特性も含めた EMC 試験ではなく IC 単体のエミッション・イミュニティ特性および ESD 耐性を評価するとの方針で、2 トランシーバ構成に変更されている。

IEC 62228-7 (CXPI) : Ed.1.0 (2022)

LIN と同じく単線 (シングルワイヤ) の低速バスとして日本から提案された CXPI (Clock Extension Peripheral Interface) トランシーバ IC の EMC 評価規格が、2022 年 2 月に IEC 62228-7 Ed.1.0 として発行された。CXPI は日本自動車技術会 JASO D015 および SAE J3076 で規格化され、2020 年に ISO 20794 として通信規格が国際標準規格となっている。LIN に対して CXPI は、通信速度は同等であるが、ノード増加時の応答性確保や、ノード追加・削減の容易性、エラー検出 (CRC 対応) による高信頼性など、車載ネットワークとしての利点に加え EMC 的観点から見ても利点が期待でき、JEITA 半導体 EMC-SC でも規格提案に向け検証実験などを実施し、EMC 評価法規格を 2017 年に IEC 提案したものである。当初の独立トランシーバ IC に加え、Embedded 型トランシーバも含めた評価規格となっている。

なお、エミッションおよびイミュニティ特性のリミットラインとリミットクラス (limit class) の例については Ed.1.0 では未記載となっているが、車載機器の EMC 試験との対応関係を明確化する方向の要求が強くなってきており、Ed.2.0 での追記に向け JEITA 半導体 EMC-SC で検討を継続している。

IEC 62228-3 (CAN) : Ed.1.0 (2019)

CAN トランシーバ規格 (Part 3) は、従来の IEC/TS 62228:2007 (対象通信規格は High Speed CAN (最大 1Mbps) と Low Speed CAN (最大 125kbps)) を改定して、CAN FD (CAN with Flexible Data Rate、データレート 2Mbps と 5Mbps) に対応し、CAN-FD フレームを使用したマスク試験によるイミュニティ評価などが提案されている。また、2015 年に改訂・追加されている ISO 11898 規格に対応し、省電力機能 CAN-PN (Partial Networking) (ISO 11898-6)への対応も含み、従来の CAN に追加された新たな wake-up mode の試験も記載されている。また、コモンモードチョークを含む試験が含まれている。試験基板上の構成は、“IEC/TS 62228 : 2007 Ed.1.0”では 3 トランシーバ構成であったが、新規格では LIN 規格“IEC 62228-2 Ed.1.0”と同様に、2 トランシーバ構成に変更されている。試験信号等については、ISO 11898, Road vehicles- Controller area network (CAN)に準拠している。

IEC 62228-3 (CAN)の Annex D (informative) には、「コモンモードチョーク (CMC)の評価法」が規定されている。Informative であるので「推奨」ではあるが、平衡度の評価法や大電力時の CMC の飽和による特性劣化の評価法が明記されており、実質的には要求事項とみられる。ただし、CAN トランシーバの I/O は差動系とは言え平衡度は非常に悪いので、イーサネットや LVDS などのように高い平衡度を持つ差動伝送系とは本質的に扱いが異なる。CMC 評価規格については、後述も参照。

IEC 62228-5 (Ethernet) : Ed.1.0 (2021)

Ethernet トランシーバ IC の EMC 規格 (Part 5) は、主に車載 Ethernet を対象とし、Ed.1.0 (2021) は車載用 100 BASE-T1, 1000 BASE-T1 および民生用 100 BASE-TX の試験法である。IEC 62228 シリーズとしては対象を車載ネットワークに限定しないため、ロードマップでは「2 線、4 線、8 線」の Ethernet トランシーバを扱うことになっているが、実質的には車載用の Ethernet 規格の仕様標準化を扱う OPEN Alliance*¹が、先行して EMC 規格策定も実施している。なお OPEN(One-Pair Ether-Net)とは車載用の「2 線 1 対 Ethernet 通信」を意味しており、IEEE で策定された通信規格のうち車載用 Ethernet の実装条件や試験法は OPEN Alliance の各 TC (Technical Committee)で仕様(Specification)として審議され、その後 EMC 関連仕様は IEC SC47A に規格提案される。IEC 62228-5 : Ed.1.0 の IEC における NP 提案は 2018 年 1 月であるが、OPEN Alliance では、100BASE-T1 用トランシーバ IC の EMC 仕様*²が、2017 年 10 月に、1000BASE-T1 用の EMC 仕様*³が、2017 年 12 月に Public Specification として公開されており、その内容は IEC の NP とほぼ同一である。

現在、OPEN Alliance では、電気マルチギガ Ethernet を [TC9][TC15]で審議しており、コネクタ評

*¹ OPEN Alliance (One-Pair Ether-Net) Inc. <https://www.opensig.org/home/>

*² B. Körber, FTZ Zwickau, "100BASE-T1 EMC Measurement Specification for Transceivers", Ver.1.0, Final, Public, OPEN Alliance, October 4, 2017.

*³ B. Körber, FTZ Zwickau, "1000BASE-T1 EMC Measurement Specification for Transceivers", Ver.1.0, Final, Public, OPEN Alliance, December 13, 2017.

価法の標準化とリンクセグメント仕様などの検討が進んでいる。さらに OPEN と ASATC E*⁴との連携も進んでいるようである（参考文献 2 を参照）。「Transceiver EMC test spec for Multi GBASE-T1」も [TC15]担当となっているようである。

電気 10Mbps の車載用 2 線 Ethernet(10PSE : 10BASE-T1S)については、OPEN Alliance [TC9] [TC14] で連携して審議が進行中である（参考文献 2 を参照）。これらも近い将来、IEC に追加提案される公算が高いので対応が必要である。

IEC 62228 シリーズのコモンモードチョークおよび ESD 保護素子評価法

IEC 62228-3(CAN)および IEC 62228-5(Ethernet)には、Informative Annex として「コモンモードチョーク (CMC) の評価法」と「ESD 保護素子評価法」が含まれている。Ethernet は CAN に比べて平衡度の要求が高く、特に高速 Ethernet に使用する CMC と ESD 保護素子には高い平衡度が要求されている。Ethernet 用の CMC と ESD 保護素子に対する要求は、OPEN Alliance ではトランシーバ IC の EMC 評価法とは別の仕様文書として、通信速度ごとに 100BASE-T1 用および 1000BASE-T1 用として発行されており*⁵、また前述の通り 10BASE-T1S 用についても仕様の審議が開始されている。

また、マルチドロップ通信を使用する 10BASE-T1S は、1 対 1 の P2P (Peer to Peer) 通信である 100BASE-T1 および 1000BASE-T1 とは異なり、ドロップノードでの反射を小さくする必要性から受信時(RX)のノード容量の最大値を小さくすることが要求され、CMC に対する寄生容量への要求も厳しくなる方向で検討されている。ただし、「部品単体での寄生容量」が小さくても実際に基板上に実装した際には寄生容量は増加するため、「部品への要求」の妥当性の検討が必要である。

なお、現在の IEC 62228-5(Ethernet)の Annex に記載されている CMC の飽和試験に使用される TLP 測定法の測定再現性の確保のためには、現在の記述では不十分な点があることなどが、日本から IEC SC47A/WG9 に対して規格の改善案の提案が計画されている（参考文献 2 を参照）。

IEC 62228-5/AMD1 (光Ethernet) : (2022提案:審議中)

日本から、プラスチック光ファイバ(POF)を使用する 1Gbps 光 Ethernet (1000 BASE-RH、IEEE 802.3bv) に対応するトランシーバ IC および FOT (Fiber Optic Transceiver) の EMC 試験法を IEC 62228-5 の Annex として 2022 年 3 月に提案し、審議を開始した。現在の光イーサネット IC (KDPOF 製) はバッテリー電圧系(V_BAT)を持たないためイミュニティ試験が要求されない。したがって、現提案はエミッション測定のための EMC 評価規格(案)となっている。しかし、ローカル電源系からの妨害の侵入による誤動作を完全に排除することはできないので、今後は何らかの形でローカル電源系からの妨害に対するイミュニティ評価の追加が必要と考えられる。

IEC 62228-6 (PSI5) : Ed.1.0 (2022)

PSI5 (Part 6) と SENT/SPC (Part 8) は、センサインタフェース等に使用される。エアバッグ用ネットワークとして使用される PSI 5 (Peripheral Sensor Interface 5) は PSI 5 organization で仕様策定さ

*⁴ Automotive Serdes Alliance (ASA), TC E(Channel & EMC Testing) <https://auto-serdes.org/>

*⁵ <https://www.opensig.org/about/specifications/>

れており、2線の対撚り線を使用して高イミュニティをうたっている。同じくエアバッグ用インタフェースのDSI (Distributed System Interface) は、今のところ IEC 62228 シリーズのロードマップには含まれていない。SENT/SPC は、車載センサネットワークで使用される「SENT (*Single Edge Nibble Transmission*, SAE J2716) Protocol Interface including SPC (*Short PWM Code*) Support.」である。現状では PSI 5 評価規格 IEC 62228-6 のみ IEC に提案され Ed.1.0 が 2022 年 11 月に発行された。

【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.
- 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) 徳田正満：「半導体デバイスの EMC 規格 ～エミッション測定法～」、VCCI だより、No.146、pp.9-13、2022.10.
- 5) 徳田正満：「半導体デバイスの EMC 規格 ～イミュニティ測定法～」、VCCI だより、No.147、pp.11-14、2023.1.



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