

鉄道における電磁的な境界領域

川崎 邦弘

信号通信技術研究部(通信 研究室長)



かわさき くにひろ

はじめに

いわゆる「境界領域問題」とは、異なる物質同士、あるいは異なる分野同士の接点で起こる現象や問題をいいます。

この本来の「境界領域」の定義とは少し視点が異なりますが、同じ場所に置かれた様々な電気電子機器やシステムが同時に動作したときに、相互に与える電磁的な干渉も、広い意味での境界領域域での問題と言えるかもしれません。このような電磁的な干渉の問題は、電磁環境あるいはEMC(電磁両立性)ともいわれており、近年、環境問題に関する分野の一つとして話題になっています。ここでは、電磁波とEMCの概念について述べたのち、鉄道の電磁的な境界と、鉄道のEMCに関する測定評価法の規格について紹介します。

電磁波とは

電磁波は、電界と磁界がともに振動しながら空間中を伝搬する、電気エネルギーの波です(図1)。電界は「電荷に対して力を作用する場」、磁界は「磁束に対して力を作用する場」と定義されていますが、要は、ある空間に導体やコイルを置いたときに、導線やコイルにどのくらいの電圧もしくは電流を流せるポテンシャルをその空間が持っているか、を表しています(図2)。電界強度の単位は「V/m」、磁界強度の単位は「A/m」です。ちなみに磁界の強さ、というと「G=ガウス」や「T=テスラ」が有名ですが、これらは単位面積当たりの磁束の数を表す「磁束密度」と呼ばれる単位で、磁束密度(T) = 磁界強度(A/m) × 透磁率(H/m)の関係にあります(透磁率:物質中の磁束の通りやすさを示す値。空気中の透磁率は約 1.26×10^{-6} H/m)。この電気エネルギーの波が1秒間に振動する回数を周波数(単位はHz=ヘルツ)と呼び、1周期の波の進行方向の長さを波長(単位はm)と呼びます。なお、「電波」は、一部の周波数の範囲の電磁波をさし、日本では、300万メガヘルツ以下の周波数の電磁波を“電波”と呼んでいます(電波法 第2条)。

EMC = 電磁両立性とは

前節で述べたように、電圧・電流がある空間には必ず電磁界が発生し、電圧・電流が変化すると電磁波が放出されます。また逆に、電磁波が存在する空間に導体やコイルを置けば、電圧・電流が起きます。電気を利用して稼動する電気電子機器やシステムは、導体やコイルの集合体ですので、動作時に電磁界や電磁波を放出している一方、逆に外部から到来する電磁界や電磁波を受けていることとなります。このとき、放出する電磁波が強ければ、隣で動いている機器に影響を与える可能性がありますし、逆に入ってくる電磁波によって自分が影響を受ける可能性もあります。

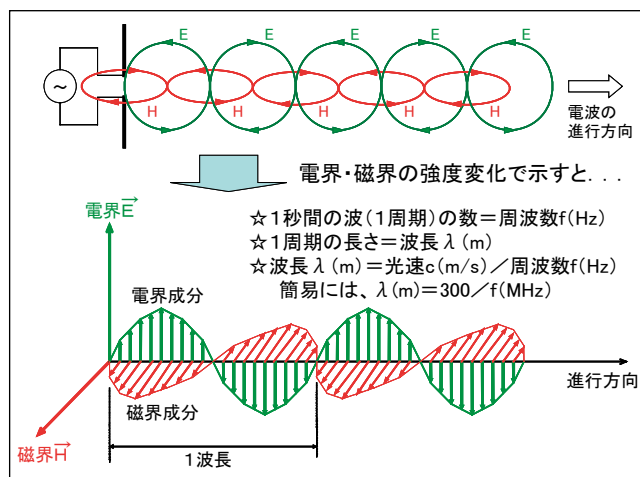


図1 電磁波

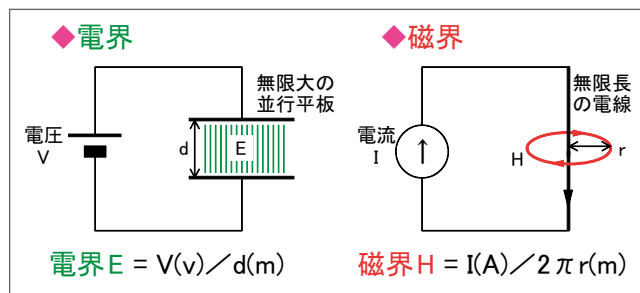


図2 電界と磁界

このような発生源から放出された電磁的なエネルギーが、様々な結合経路（空間、電線など）を伝わって被害側の機器に到達することによって起きる現象を電磁障害（EMI：ElectroMagnetic Interference）と呼んでいます。

このため、同じ場所、即ち同じ電磁環境の下で複数の電気電子機器・システムが同時に動作させようとする場合には、お互いに障害が起きないように、電磁的に両立できる性能をもっている必要があります。このような、他に電磁的な妨害を与えず、かつ影響を受けずに満足に動作できる能力を、EMC（ElectroMagnetic Compatibility：電磁両立性）と呼びます（図3）。

電磁的なエネルギーを外部に放出することを、“エミッション（emission）”と呼びます。似た用語に“放射（radiation）”がありますが、放射はエミッションの1つの形態で、空間中に電磁波として放出されるものをいいます。EMCを実現するためには、エミッションをできるだけ少なくすることがもちろん大事ですが、電気を利用して動作する以上、エミッションを完全に無くすことはできません。また、コストや使い勝手などの面からも、対策には限界があります。そこで、影響を受ける側でも、電磁波が到来しても正常に動作できるように、電磁波に対してある程度の“免疫”を持つことが必要になります。免疫のことを英語でimmunityと言いますが、EMCの分野では、電磁波に耐えられる能力を“イミュニティ”と呼んでいます。イミュニティが高いほど、外から入ってくる電磁波の影響を受けにくくなります。なお、“immunity”の反意語である“susceptibility（感受性：妨害の受け易さ）”が使われる場合もあります。

EMCの測定評価と規格

このような電磁的な干渉を少なくし、様々な機器やシステム同士、あるいは機器・システムと周囲の環境とが相互に共存できる環境をつくるためには、その電磁的な境界がどこかを定義し、その境界において電磁波をどのくらい放出しているか、あるいは逆にどのくらい入ってきているかを把握することがまず必要となります。

ところが、電磁波は、騒音や振動とは異なり人間の五感で感知できないため、直感的に理解することが難しく、電磁波が原因となって起きる電磁障害は、不思議な現象、怪しい現象というイメージをもたれがちです。しかし、電磁波は決して怪しいものでも不思議なものでもなく、きちんと理論的に説明できる物理現象です。従って、電磁波の特

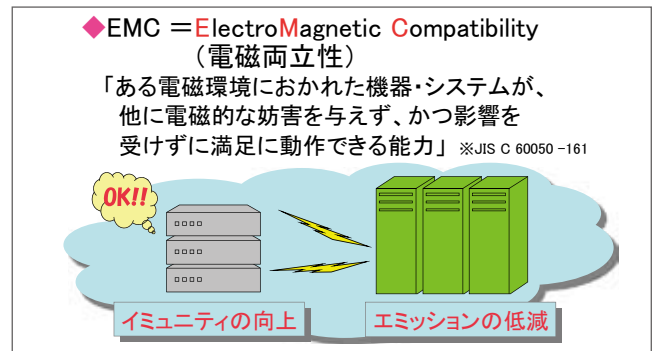


図3 EMC = 電磁両立性

性（強さ、周波数など）を正しく測定することにより、客観的かつ定量的に影響があるのか無いのかを評価することができます。EMCの問題に対処する際には、この「怪しい現象」を如何に冷静かつ客観的に捉えて評価するかが大切です。ただ、残念ながら、電磁波を正しく測定して人間に分かりやすく表す、ということが実は非常に難しく、このことが「電磁波はよくわからない」と言われてしまう原因の一つになっているのかも知れません。

このような電磁波の測定評価を少しでも実施しやすくし、かつ、再現性を確保できる（誰が測定評価しても同じ結果が得られる）よう、測定評価手法の研究・開発が各方面で行われています。開発された手法のうち、実績のあるもの、あるいは現象を正しく捉えられる方法であることが確認されたものについては、規格としてまとめられます。

EMC規格には、この電磁波の測定法（測定するときの条件および方法）と、限度値が定義されます。測定者が自分の都合のよいように測定法を決めて測定したのでは、測定結果を公正に比較・評価できなくなってしまいますので、測定法の統一はEMC規格を作る際の最も重要な仕事の一つになります。一方限度値は、影響を受ける側が許容できる電磁波の強さがどのくらいかを考慮して決定されます。ただし、規格が定める限度値は、その値を守ることによって障害を完全に防ぐことを目的として設定されるわけではありません。機器のエミッションやイミュニティには、どうしてもばらつきが生じます。また、使われ方や使う環境も常に一定とは限りませんので、全ての使用状況を網羅できる測定評価を行うことは実質的に不可能です。このため、統一された測定法は、実際に機器やシステムを使う状況に近づけつつも、実態とは異なるある仮定された使用条件下での測定とならざるを得ません。規格の限度値は、機器やシステムの性能を客観的に評価するため、この仮定された統一条件の下で得られる測定値を評価する基準として設定されます。従って、限度値を守っていても、実際に使う状況では障害が出てしまう可能性が僅かですが残ります。

表1 鉄道における主なEMC

分類	発生源となる可能性のある対象	障害を受ける可能性のある対象	凡その周波数帯
発生源が鉄道内	誘導障害 ・架線に流れる高調波電流 ・車上機器からの放射	・信号機器、信号線 ・沿線の通信線	数kHz～数MHz
	電波雑音 ・架線等に流れる高調波電流 ・集電機構等における放電現象 ・車上機器、変電機器等からの放射	・鉄道環境や沿線で使用する機器類 ・無線通信、放送波	数kHz～数GHz
	磁界 ・架線に流れる電流 ・車上機器、変電機器等からの放射	・鉄道環境や沿線で使用する機器類	DC～数十kHz
	電界 ・架線への印加電圧 ・車上機器、配線への印加電圧	・鉄道環境や沿線で使用する機器類	DC～数十Hz
発生源が外部	人工 ・違法無線等 ・サージ等の異常電圧	・鉄道環境で 사용되는機器類	---
	自然 ・雷 ・静電気	・鉄道環境で 사용되는機器類	---

鉄道とEMC

電気鉄道においても、EMCは避けて通れない問題です。電気鉄道は、電源となる変電所や、負荷である車両、電源を供給するための給配電設備、そして安全かつ正確な運行を実現するための信号通信設備など、様々な機器とシステムが組み合わされることによって実現されています。電気鉄道は、強電(き電、高圧配電など数千～数万V)と弱電(信号、通信、車上での情報伝送など数μV～数十V)の両方が混在していますので、電気鉄道は、電磁界や電磁波の放出源となり得ると同時に、被害者ともなり得る側面も持ち合わせています。電気鉄道における主なEMCは、表1に示すように分類できますが、鉄道内外には多くの電磁的な“境界”があります。

表1中に挙げた発生源となる可能性のある対象は、次の3種類に大きく分類できます。

(1) 地上の固定設備によるもの

固定設備による主な発生源としては、トロリ線、配電線、変電所、き電区分所などが挙げられます。トロリ線・配電線関係では、電流による磁界・電界の発生や、誘導電圧・誘導雑音の発生が考えられ、がいしの汚れによる放電、金属同士の接触不良による放電、電線表面や開閉器の動作時の放電現象が発生源となり得ます。なお、信号設備や通信設備などの固定設備では、電磁障害の被害者となる可能性の方が高いので、影響を避けるための各種の対策が施されています。

(2) 車両によるもの

車両自体の発生源としては、車上に搭載されている、駆動用・補助電源用の電力変換機器、各種電気機器(照明、空調など)、各種配線部分などが挙げられます。

電力変換器も含め、車上の各機器単体については、エミッション対策が施されていますが、機器単体ごとには問題がなくても、車両システムとして組み上がった時に、ぎ装や配線の状態によっては予想外の電磁障害が発生してしまう可能性が否定できません。車上搭載機器におけるEMC対

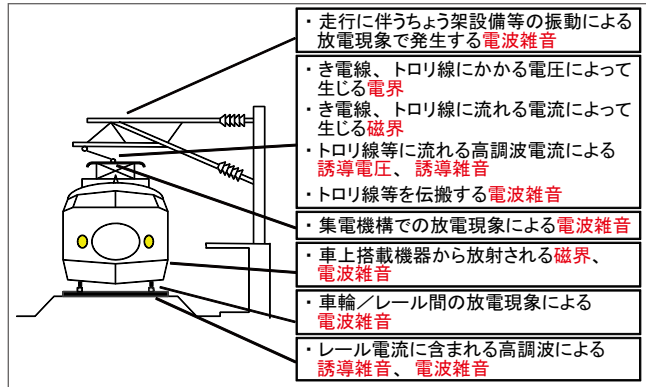


図4 走行に伴う主なエミッション

表2 鉄道用EMC国際規格IEC 62236

規格の番号	タイトル
IEC 62236-1	鉄道応用 電磁両立性 - 総則
IEC 62236-2	鉄道応用 電磁両立性 - 鉄道システム全体から外界への放射
IEC 62236-3	鉄道応用 電磁両立性 - 車両 - 列車・車両からの放射
IEC 62236-3-2	鉄道応用 電磁両立性 - 車両 - 車両搭載機器
IEC 62236-4	鉄道応用 電磁両立性 - 地上の信号通信機器
IEC 62236-5	鉄道応用 電磁両立性 - 固定給電設備で使用される危機

策では、機器単体のみならず、ぎ装・配線にも留意する必要があります。

(3) 列車の走行に伴うもの

列車の走行に伴う発生源としては、図4のような種類があり、次のような特徴があります。

- ① 走行速度や運転状態、周囲の環境によって周波数特性や強度が変化する
- ② 沿線では列車通過前後だけ過渡的・瞬間的に障害が発生する可能性がある
- ③ 周波数によっては、トロリ線やレールによって遠くまで電磁波が伝搬する可能性がある
- ④ 現象自体が不安定なため測定・評価が困難

鉄道におけるEMCに関する測定評価と規格

これまで日本の鉄道では、各鉄道事業者やメーカー、研究機関等に蓄積されている多くの経験と知見をベースとして、境界ごとに個別の手法で測定評価を行い、カット&トライを主とする手法で対策を行うことにより、電磁障害の防止に努めてきました。しかし、鉄道における制御システムや保安システムの複雑化や情報通信技術の導入に伴って、電磁障害の現象が多様化し、障害原因も複合的になってきたことから、電磁的な境界を明確にし、測定評価法を統一する必要性が高まっています。現在、鉄道から周囲環境へのエミッションと、鉄道で使用される機器のエミッションとイミュニティについては、国際規格が既に策定され、測定評価を行う境界と、その境界点での測定法と限度値が定

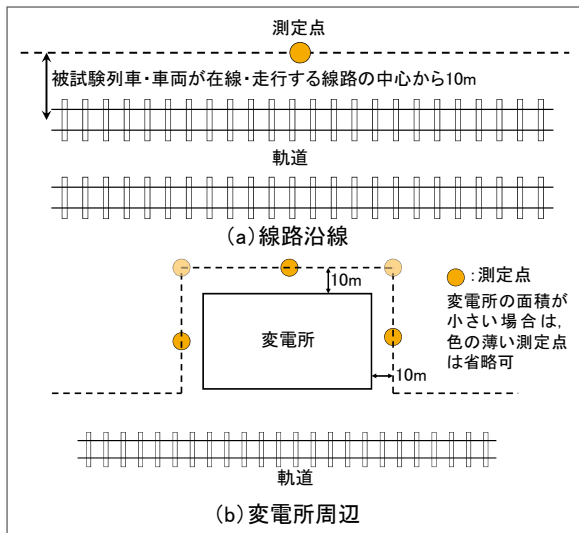


図5 IEC 62236-2が定める鉄道と沿線との境界

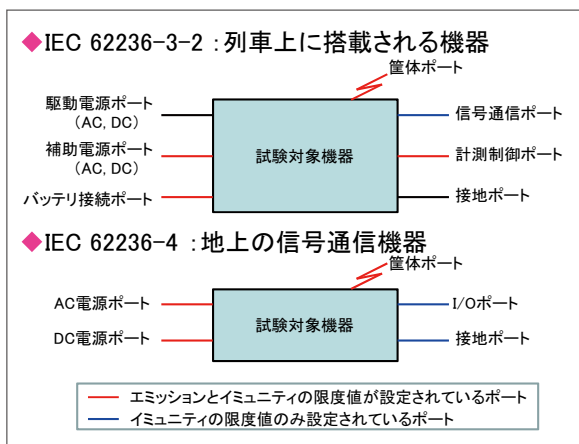


図6 IEC 62236が定める機器における電磁的な境界

められています。

この規格は、国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission : IEC と略称されます) が発行している IEC 62236 と呼ばれる規格で、表2に示すように6つのパートで構成されています。IEC 62236は、2003年4月に第1版が発行されましたが、2008年12月に改訂され、現在は第2版が発行されています。

この国際規格のうち IEC 62236-2では、図5に示すような位置にアンテナを設置して測定することを基本としており、この位置が規格で定める鉄道と沿線環境との“境界”になります(この境界は、“protection boundary : 保護境界”と呼ばれる場合もあります)。また、IEC 62236-3-2～-5では、鉄道環境で使用される機器同士について、図6のように外部と接続される境界点を“ポート”として定義し、それぞれの境界におけるエミッションとイミュニティの双方に対して測定方法と限度値を定めています。

鉄道総研では、IEC 62236-2や-3-1に従った測定評価に対応できる測定用ワゴン車(図7)を所有しており、実際



図7 測定用ワゴン車

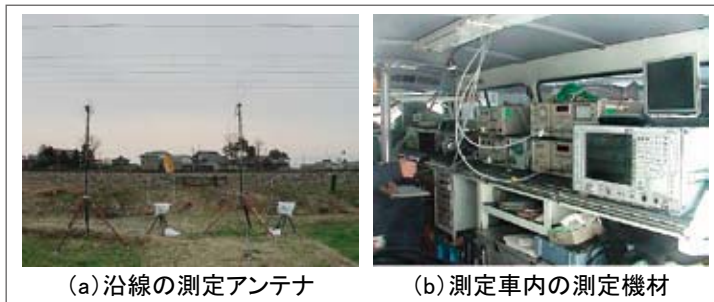


図8 沿線での測定の様子

に測定評価を実施しています(図8)。また、測定評価法に関する国際規格の審議にも参加しており、高架鉄道の沿線での測定法など、鉄道総研で実施している測定法の一部が国際規格に採用されています。

なお、図7に示した測定用ワゴン車は、テレビ放送の受信品質の測定にも使用されています。2011年に予定されている完全デジタル化に向けて、鉄道沿線におけるデジタル放送の受信品質の測定にも対応できるよう、列車通過に伴う動的な受信品質の変化を測定する方法をまとめ、デジタル放送用の測定機材を整備し、測定評価等を行ってきています。この場合は、鉄道と放送の受信アンテナとの間の境界での測定評価を行うことになります。

このほか、鉄道総研では、このような測定評価法だけでなく、鉄道から沿線へのエミッション強度をシミュレーションで予測する手法の研究開発も行っています。

おわりに

ここでは、鉄道における境界領域に類似した問題の一つとして、電磁環境・EMCに関する話題をとり挙げ、EMCの概念や、鉄道のEMC規格について紹介しました。今後、鉄道内外の電磁環境を客観的・定量的にきちんと測定評価することが益々重要になることは間違いありません。直接見たり感じたりすることができない電波をいかに正しくとらえて鉄道の電磁環境を把握すべきか、これからも新しい技術を取り入れながら、測定評価法や予測手法の研究に取り組んでいく予定です。RRR