

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

鉄道沿線の電波環境を 把握・予測する

近年、パソコンやタブレット端末、スマートフォン、家電など、プロセッサを内蔵し無線通信も行う電気電子機器が広く普及し、誰でも手軽に利用できるようになっています。これらの機器が正常に動作・通信できるように整備すべき環境の一つに、電磁的な環境があります。鉄道も例外ではありません。ここでは、鉄道の電磁環境に関するさまざまな取り組みのうち、鉄道沿線における電波の状態を測定評価する手法と予測法について紹介します。



川崎 邦弘
Kunihiko Kawasaki
信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室
室長
【専門分野】 鉄道用無線
通信システム、EMC

はじめに

鉄道沿線の環境に関する話題の一つに電波環境があります。電波環境を整えるためには、沿線での放送・通信に影響を与えるような電波(☞参照)が鉄道から出ていないか、また逆に、鉄道用の設備に影響を与えるような電波が周辺から到来していないか、を把握する必要があります。しかし、電波環境を把握するための測定試験は時間と手間がかかります。そこで、鉄道総研では、鉄道沿線における電波環境を予測する手法の開発に取り組んでいます。ここでは、列車の走行によって沿線に放射される電波雑音の特性を解説し、その把握手法を述べたのち、予測手法の検討状況を紹介します。

EMCと電波雑音

導体に電圧を加えるまたは電流を流すと、周囲の空間には電磁界が発生し、

☞ 電波

電磁波の一部を差す用語で、日本では電波法 第2条で300万メガヘルツ(=3THz)以下の周波数の電磁波と定義されています。

電圧・電流の大きさ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を置けば、導体には電圧・電流が誘起されます。電気電子機器は、いわば導体の集合体です。そのため、必然的に動作時に電磁界や電磁波を放出する一方、外部から到来する電磁界や電磁波を常に受信することになります。このとき、放出される電磁波が強ければ、周囲の機器に影響を与える可能性があり、また周囲からの電磁波によって自分が影響を受ける可能性もあります。このように、発生源から放出された電磁的なエネルギーが、空間や電線などを伝わって被害側の機器に到達して起きる現象をEMI (EMI: ElectroMagnetic Interference: 電磁障害) と呼びます。同じ場所で複数の電気電子機器を同時に動作させる場合には、お互いにEMIが起きないように、電磁的に両立できる性能をもつ必要があります。この性能をEMC (Electro Magnetic Compatibility: 電磁両立性) と呼びます(☞1)。

“電波雑音”は、EMIを引き起こす要因の一つで、放射性エミッション(☞

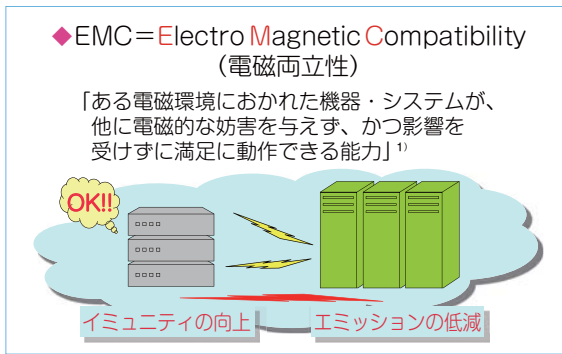


図1 EMC = 電磁両立性

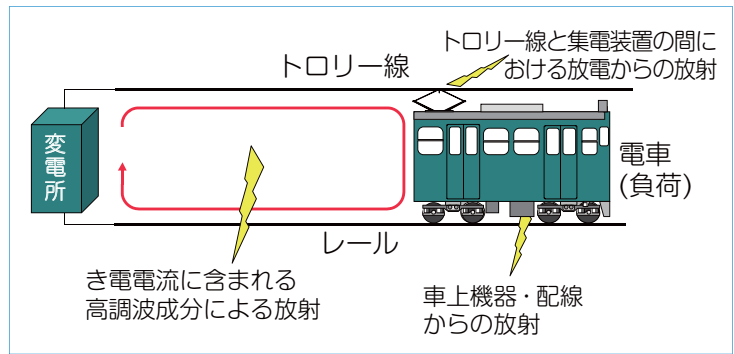


図2 電気鉄道の概要と電波雑音の発生源



図3 測定用ワゴン車



(a)沿線の測定アンテナ



(b)測定車の中の測定機材

図4 沿線での測定の様子

参照)の一種です。JIS¹⁾では、“無線雑音”として定義されており、「明らかに情報を伝えず、かつ、希望信号に重畳又は結合する可能性のある無線周波数帯の電磁波」と定義しています。

EMIを防ぐためには、エミッションを低減する必要がありますが、電気を利用する以上、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、電磁波を受ける側でも、電磁波を受けても正常に動作できるように、“免疫”を持つことが必要になります。この電磁波に耐えられる能力を“イミュニティ (immunity)”と呼んでいます。イミュニティが高いほど、電磁波の影響を受けにくくなります。

放射線イミュニティ

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、“放射性”は空間中に電磁波として放出される現象を指します。

鉄道が放射する電波雑音の特徴

電気鉄道が沿線に放射する電波雑音の放射源には、トロリー線と集電装置の間における放電と、き電電流・帰線電流に含まれる高調波成分などがあります(図2)。VVVF制御車が登場する以前は、トロリー線と集電装置間の放電が主な放射源であり、VHFテレビ放送における電波雑音の放射防止を目的とした各種の対策が開発、実施されてきました。これにより、離線に伴うパルス性の電波雑音は、強度・発生頻度ともに低減されています。一方、VVVF制御車の普及により、10MHz以下の電波雑音が見られるようになりました。

EMC規格

さまざまな電気電子機器が電磁的に共存できる環境を整えるためには、放出されている電磁波の強さと、電磁波に対する耐性を把握する必要があります。電磁的な環境の測定評価を少しでも実施しやすくし、誰が実施しても同

じ結果が得られるように、測定評価手法が研究・開発され、EMC規格として発行されています。

EMC規格では、測定の方法と条件、限度値が定義されます。評価者に依存しない公正な評価と、再現性が確保できるように、測定方法と条件が設定されます。ただし、エミッションやイミュニティは、製品や使用条件によればらつくので、全ての製品・条件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、EMC規格では、試験対象機器の標準的な使用状況とともに、仮想的な使用条件を定めて測定法と限度値を定義しています。従って、EMC規格が定める限度値を守ることによって、実使用環境でのEMIをかなり防ぐことができます。しかし、如何なる状況でもEMIが起きないことを保証するものではありません。

鉄道における電波環境の把握

鉄道から沿線に放射される電波雑音に対しては、国際電気標準会議(IEC)が

発行しているEMC規格(IEC 62236-2²⁾, IEC 62236-3-1²⁾)によって, 測定法と限度値が定義されています³⁾。鉄道総研では, これらのEMC規格に準じた測定試験に対応できる測定用ワゴン車を所有し, 測定評価を実施しています(図3, 4)。なお, IEC 62236-2には, 鉄道総研で実施している高架鉄道の沿線での測定法が採用されています。

IEC 62236-2に準拠した測定方法により, 0.1MHz, 1MHz, 100MHzの3周波数の電波雑音強度を同時に測定した結果の例を図5に示します。図5の横軸は経過時間(秒)で, 電車の先頭がアンテナの前を通過した時刻を0としています。縦軸は電波雑音強度の相対値(dB)です。100MHzなどVHF帯以上の周波数では列車通過時のみに電波雑音が受信される例が多いのに対し, 0.1MHzや1MHzなど10MHz以下の周波数では, 列車が測定点を通過する前後の数分間に電波雑音が受信され, 電車の走行と連動して強度が変動する例が多くなります。

また, 図3に示した測定用ワゴン車は, 地上テレビ放送の受信品質の測定にも使用されています。地上テレビ放送が2011年に完全デジタル化され, 電波雑音による受信障害は大幅に減少しています。ただし, デジタル放送では, 放送波と雑音の強さの比が所定の値を下回ると受信品質が急激に劣化する特徴があります。このため, アナログ時代は品質が悪くても視聴できたエリアでは, 放送波強度の一時的な変動によって画質が大きく変化する可能性があります。鉄道総研では, 鉄道沿線向けの受信品質, 特に列車通過に伴う動的な受信品質の評価手法を2003年にまとめ, 測定評価も行っています。

電波環境を予測する手法の開発

前節で述べた実測による把握には,

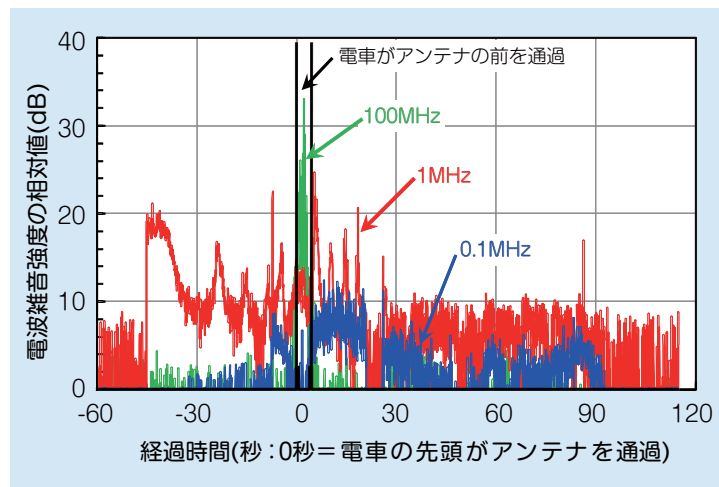


図5 電波雑音強度の時間変化の測定例

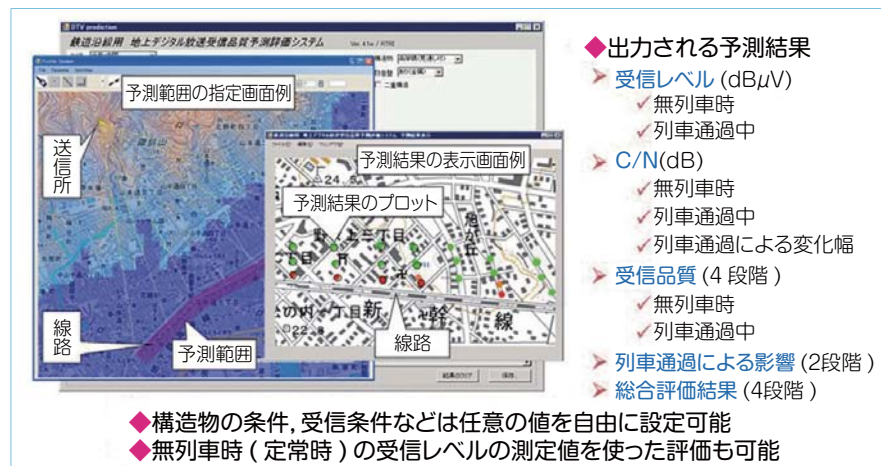


図6 鉄道沿線向け地上デジタル放送受信品質評価システム⁴⁾

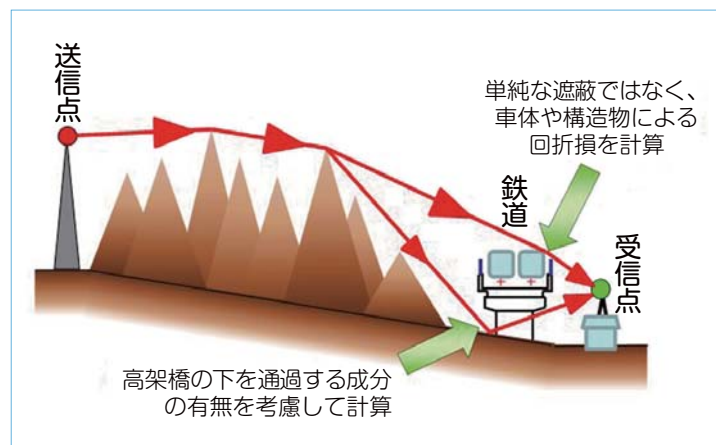


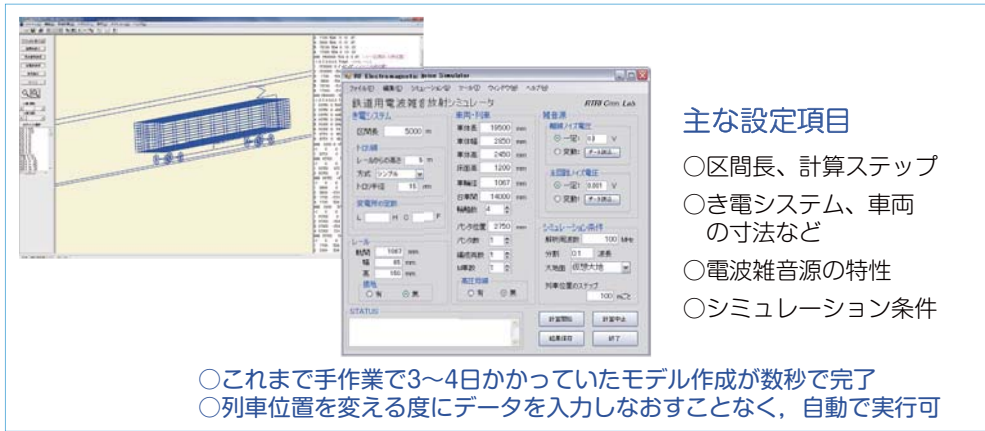
図7 放送波強度の計算モデル

多くの時間と労力が必要です。実測の前に電波環境を予測できれば, 障害が発生する可能性を推測したり, 測定場所や条件を絞り込んで試験期間を短縮することができます。また, 対策効果を事前に確認することもできます。そこで, 走行列車が地上デジタル放送

の受信品質に与える影響の予測手法や, 鉄道沿線に放射される電波雑音のシミュレーション手法の開発に取り組んできました。

(1) 地上デジタル放送の受信品質予測

高架構造物と通過列車による影響の予測を主目的として, 鉄道沿線向け地



主な設定項目

- 区間長、計算ステップ
- 電システム、車両の寸法など
- 電波雑音源の特性
- シミュレーション条件

- これまで手作業で3~4日かかっていたモデル作成が数秒で完了
- 列車位置を変える度にデータを入力しなおすことなく、自動で実行可

図8 走行列車からの電波雑音放射のシミュレーションツール⁶⁾
(鉄道モデル生成+電磁界解析ソフト制御)

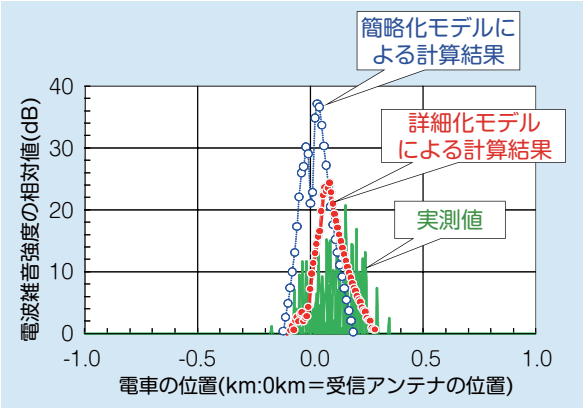


図9 シミュレーション結果の一例⁶⁾

関する話題を取り上げ、EMCの概念や、実際の測定方法と予測手法の研究状況を紹介しました。今後、鉄道内外の電波環境を客観的・定量的に測定評価することがますます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把握し、鉄道沿線の電波環境を評価すべきか、これからも新しい技術を取り入れながら、測定法と予測法の研究に取り組んでいく予定です。**RRR**

上デジタル放送受信品質評価システムを開発しました(図6)。この予測評価システムでは、地形の影響だけでなく、高架下を通過する電波や車体での回折波なども考慮して列車の有無による放送波と雑音の強度比(C/N)の変化を計算し、受信品質を予測します(図7)。C/Nの変動幅の計算精度は概ね±6dB程度で、実際に画質に影響が発生する地点をほぼ予測することが可能です⁴⁾。

(2) 電波雑音シミュレーション

図5に示したように、鉄道から沿線に放射される電波雑音の強度変動は複雑で、周波数によって特性が異なります。このような複雑な現象を再現できる計算モデルの構築は非常に難しい課題です。大学や研究機関では、軍用大型車両や航空機などの巨大システムを対象とする電磁解析手法が研究されていますが、計算規模が大きくコスト

も高いので、手軽に利用できる手法ではありません。また、鉄道は、解析対象が数十~数百kmオーダーと極端に細長く、かつ発生源が高速で移動するという特徴があります。鉄道総研では、鉄道をアンテナとしてモデル化し、モーメント法と呼ばれる電磁界解析手法によって電波雑音の放射をシミュレーションする手法を研究しています⁵⁾。現在、様々な条件の下で相対的な強度変動をシミュレーションできる環境が整い(図8)、予測精度も向上しています(図9)⁶⁾。今後も、モデルや計算手法を改良し、IEC 62236-2への適合の可否を試験前に予測できるレベルを目指す予定です。

おわりに

ここでは、鉄道沿線環境に関する話題の一つとして、電磁環境・EMCに

文献

- 1) 日本工業標準調査会：JIS C 60050-161 EMCに関するIEV用語，日本規格協会，1997
- 2) 国際電気標準会議：IEC 62236 Edition 2.0, Railway Applications - Electromagnetic Compatibility, IEC, 2008
- 3) 川崎邦弘：鉄道用EMC国際規格の現状と動向，鉄道総研報告，Vol.21, No.11, pp.47-52, 2007.11
- 4) 川崎邦弘，中村一城：鉄道沿線における地上デジタル放送の受信品質の予測手法，鉄道総研報告，Vol.24, No.3, pp.41-46, 2010.3
- 5) 川崎邦弘：電気鉄道による電波雑音強度変動の推定手法の基礎検討，鉄道総研報告，Vol.23, No.1, pp.45-50, 2009.1
- 6) 川崎邦弘：電気鉄道用電波雑音シミュレーション手法の開発，鉄道総研報告，Vol.25, No.5, pp.47-52, 2011.5