

鉄道沿線の電波環境を守る

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

鉄道沿線の環境に関する分野の一つに、電波環境があります。鉄道沿線の電波環境を守るためには、放送通信の受信に影響を与えるような電波が鉄道から出ていないか、また逆に、鉄道で使われている様々な装置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、を把握することがまず必要となります。ところが、電波は、騒音や振動とは異なり、人間が五感で直接感じることができません。そこで、空間を飛んでくる電波の周波数と強さをいかに正しく、定量的に捉えるかが鍵となります。しかし、測定者が、自分の都合のよいように測定の方法や条件を決めて測定したのでは、測定結果がばらばらになってしまい、公正な比較・評価ができなくなってしまいます。そのため、再現性が確保できる測定条件と方法(以下では、測定条件と方法をまとめて「測定法」と呼びます)が規格などによって定義されており、測定者は、その条件と方法にきちんと従って測定しなければなりません。鉄道総研では、こういった鉄道沿線の電波環境を保全していくうえで必要となる測定評価手法の開発に取り組んでいます。ここでは、国際的に決められている鉄道周辺での電波の測定法のほか、鉄道総研

が開発した鉄道沿線向けの地上デジタル放送の受信品質の予測計算方法について紹介します。

電波と測定方法

電波は、電界と磁界がともに振動しながら空間を伝搬する、いわば電気エネルギーの波です(図1)。この電気の波が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。電波は光の速度で空間中を進みますので、周波数 f と波長 λ (ギリシャ文字のラムダ)の関係は、以下の式から求められます。

$$\text{波長 } \lambda \text{ (m)} = \text{光速 (m/s)} \div \text{周波数 } f \text{ (Hz)}$$

光の速度は約 3×10^8 m/sですので、例えばAMラジオで使われている1MHz(MHz=メガヘルツ, 10^6 Hz)の電波の波長は約300m、地上デジタル放送で使われている500MHz前後の電波の波長は約60cm、無線LANで使用されている2.45GHz(GHz=ギガヘルツ, 10^9 Hz)の電波は約12cmの波長になります。

電波を送受信するために不可欠なのがアンテナです。アンテナは、送受信しようとする電波の周波数(波長)や利用形態によって、図2のように様々なタイプがあります。これらのアンテナは、使う周波数によって大きさが決まり、波長 λ の1/2や1/4など、波長 λ を基準にしてエレメント(アンテナを構成する電線)の長さが決められています。携帯電話やテレビ放送、また列車無線など、ある特定の周波数を送受信する場合には、アンテナをその周波数に同調させ、使う周波数だけを効率よく送受信できるようにする必要があります。電波環境を評価するためには、使おうとする周波数だけでなく、数kHzから数GHzに至るまで、広い周波数範囲を測定しなければならない場合が多いので、図3に示すようなやや大型の測定専用の広帯域アンテナを使用します。

電波環境の測定では、これらのアンテナを使って空間を

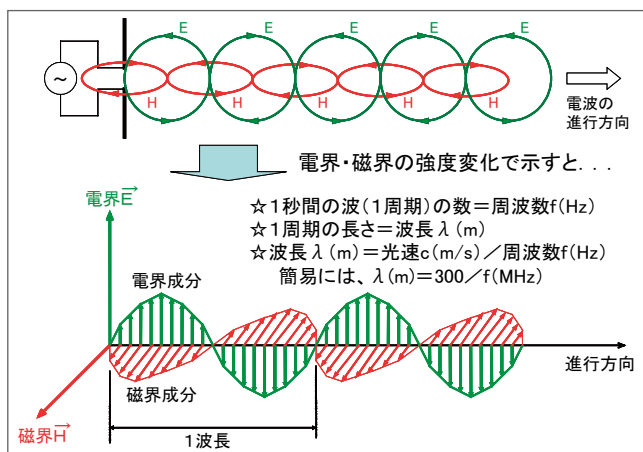


図1 電波

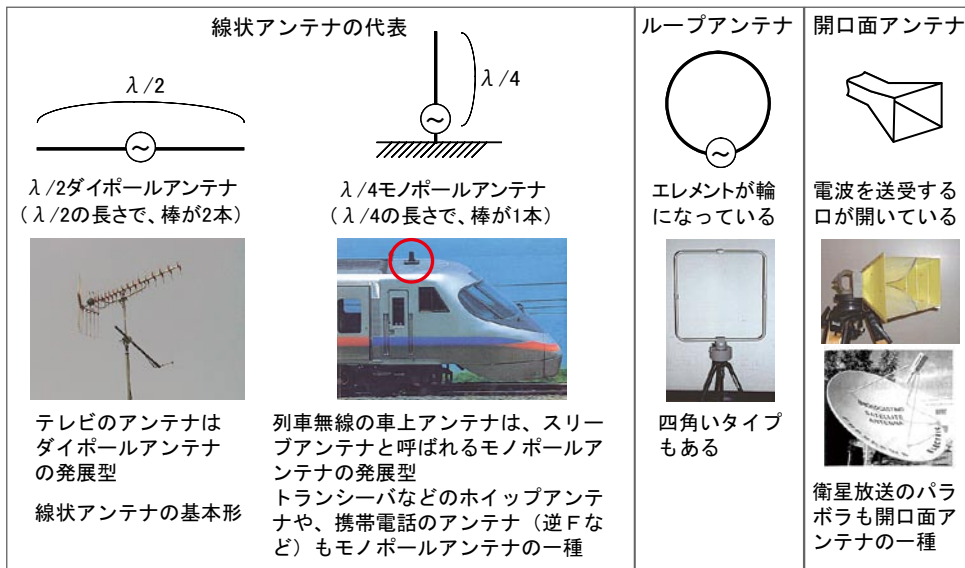


図2 さまざまなアンテナの例

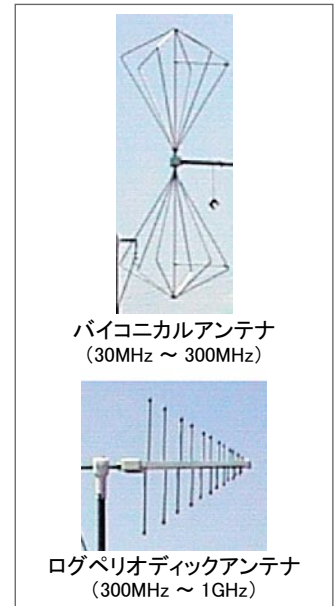


図3 広帯域アンテナの例

飛んでくる電波を電圧・電流に変換し、その大きさを測ることによって、電波の周波数や大きさを調べます(図4)。電波の測定の場合、アンテナと測定器を接続する電線は何でもよいわけではなく、無線周波数でも損失が少ない同軸

ケーブルを使用する必要があります。この時、アンテナと測定器、そして両者を接続する同軸ケーブルの特性(正確には「特性インピーダンス」と呼ばれる信号に対する抵抗値)をきちんと合わせなければ、正しい値を得ることができません。測定器では、入力された電圧・電流の大きさを測り、電波の強さを示す単位(電界強度: V/mまたは磁界強度: A/m)に換算して表示あるいは出力します。具体的な測定器としては、電界強度計(ある調べたい周波数の電波の強さが変動する様子を測定できる測定器)や、スペクトラムアナライザ(どのような周波数の電波が、どのような強さで届いているかを測定できる測定器)などが使用されますが、使用するべき測定器の性能や仕様については、関連する規格等で決められています。

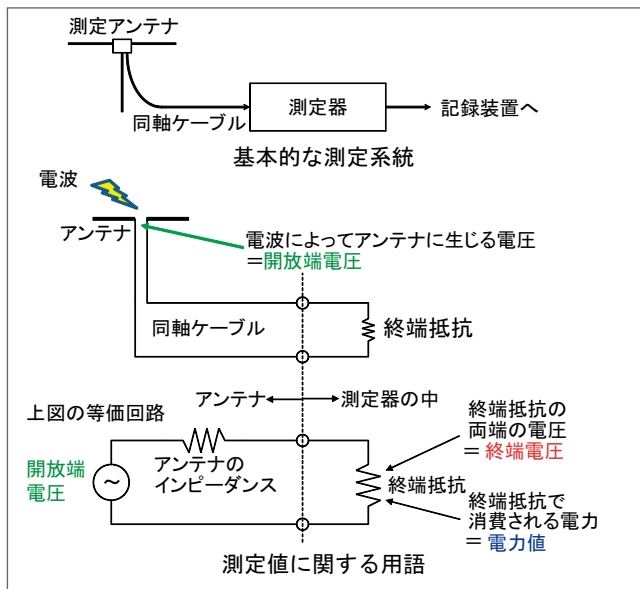


図4 電波を測定する仕組み

表1 IEC 62236の構成

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

沿線における電波環境の測定

鉄道沿線における電波の測定法のうち、鉄道システムから沿線に放射される電波については、国際規格で測定法と限度値が定められています。これは、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。この国際規格は、表1に示すように6つのパートで構成されていますが、ここでは、パート2(IEC 62236-2)で定義されている鉄道から沿線に放射される電波の測定法を紹介します。

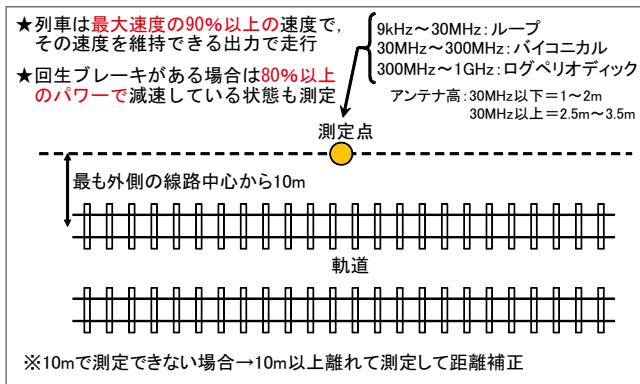


図5 規格で定義されている測定位置

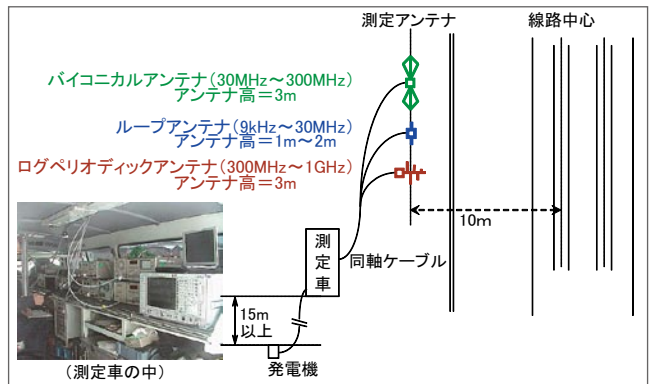


図6 実際の測定配置の例と測定機材の例

表2 規格で定義されている測定の設定

	9kHz～150kHz	150kHz～30MHz	30MHz～300MHz	300MHz～1GHz
使用アンテナ	ループ		バイコニカル	ログペリオディック
アンテナの向き	ループ面が大地に垂直、線路(または変電所のフェンス)に平行		アンテナのエレメントが大地に垂直・水平の双方	アンテナのエレメントが大地に垂直・水平の双方
アンテナ高	1m～2m	1m～2m	2.5m～3.5m	2.5m～3.5m
水平離隔	10m (10m以上の場合、規定された換算式で補正する)			
測定器	CISPR 16準拠の電波雑音測定器			

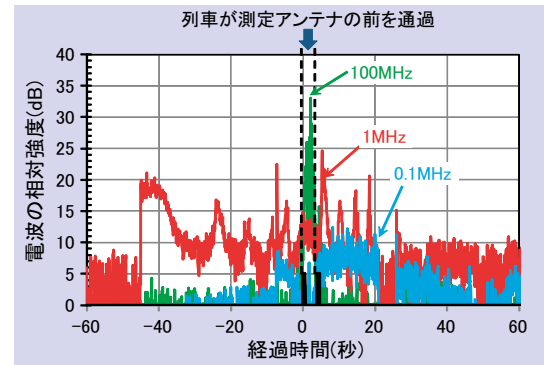


図7 測定される電波の強さの変化のイメージ

IEC 62236-2では、図5に示すように鉄道の線路中心から10m離れた位置にアンテナを設置して測定することを基本としています。もし10m離れた位置にアンテナが置けない場合は、10mより離れた位置にアンテナを置き、測定結果を換算することとしています。実際の測定アンテナの配置と測定機材の例を図6に、また表2に測定の設定の概要を示します。測定周波数は、9kHz～1GHzの範囲から少なくとも16点の周波数を選びます。なお、測定周波数は、放送波や通信波が存在する周波数や既に鉄道以外から発生している妨害波の周波数をあらかじめ確認しておく、その周波数を避けて設定する必要があります。

各周波数の電波の強さは、列車が通過する前後数分間の時間変化を連続して測定します。これは、鉄道の場合、沿線に放射される電波の強さは一定ではなく、列車の走行によって大きく変動するためです(図7)。さらに、同一の測定条件下で複数のサンプルを得るため、規格で定義されている運転条件下での試験走行を複数回行わなければなりません。このような実際の沿線での測定を実施する際に最も重要なことは、測定場所の選定と走行条件の設定です。測定場所の適否はそのまま測定結果の正しさに直結しますので、測定場所の選定作業は慎重に行わなければならない、列車の走行条件も規格の指定通りに設定する必要があります。

測定によって得られた時間変化のデータから、測定中の

周囲環境の状況も考慮しながら評価すべき電波の強さを求めて、測定対象・測定条件に応じて設定されている限度値に照らし、電波環境の状態を判断します。

鉄道総研では、このような国際規格に従った沿線での測定評価に対応できる測定用ワゴン車(図8)を所有しており、実際に測定評価を実施しています。また、国際規格の審議作業にも参加し、測定法などの提案を行っています。

なお、図8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。1999年まではアナログ放送の測定のみでしたが、2000年からは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、列車通過に伴う受信品質の時間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。また、沿線における地上デジタル放送の受信品質を予測するためのプログラムの開発にも取り組んでいます。

沿線における地上デジタル放送の受信品質の予測

地上デジタル放送が2006年12月に全国で開始され、2011年7月にはアナログ放送が終了して地上放送が完全にデジタル化される予定となっています。地上デジタル放送は、電波の強さの変動や電波雑音等による影響を受けに



図8 測定用ワゴン車

くく、受信した放送波の強さと雑音の強さの比（“C/N” = “シーエヌ”と呼ばれます）がある一定以上の値であれば、高い品質の映像と音声を安定して受信することができます。この地上放送のデジタル

化によって、鉄道沿線の大部分の箇所では良好に受信できるようになることが期待されています。特に、高架橋や列車の車体等によって電波が反射されて発生するゴースト現象（映像が二重・三重にぶれて映る現象）は、デジタル放送の原理上、完全に無くなります。

ところが逆に、C/Nがその値よりも低い場合、すなわち受信できる放送波の強さが弱く、雑音が多いような場合には、今度は映像や音声は全く出力されなくなります。つまり、デジタル放送では映像や音声を「1」か「0」のデジタルデータで伝送していますので、影響の出方もデジタル的になり、受信できるか、できないか、のいずれかになります。もし、このC/Nが変動していて、一時的に所定の値よりも下がるような場合には、ブロックノイズと呼ばれる現象が現れ、場合によっては画面が動かなくなってしまう画像凍結という現象が起きます。アナログ放送では、C/Nの大小によって画質が変化してしまいましたが、全く復調（受信した電波から映像や音をとりに出すこと）ができないC/Nの他まで下がらない限り、品質は悪くても受信して映像を見ることが可能でした。このため、鉄道の沿線において、従来のアナログ放送のときには品質が悪くとも受信できたのに、デジタル放送になると受信できなくなる、あるいは列車通過のタイミングなどによって一時的に受信品質に影響が表れるような箇所が存在する可能性があります。

このような鉄道沿線における地上デジタル放送の受信状況を把握、特に列車通過等による一時的な受信品質の変化が表れてしまうような箇所があるか否かを把握するためには実測調査が必要となりますが、全線にわたって状況を把握するためには、膨大な時間と経費がかかってしまいます。そこで、実測に依らずに鉄道構造物や列車通過の影響

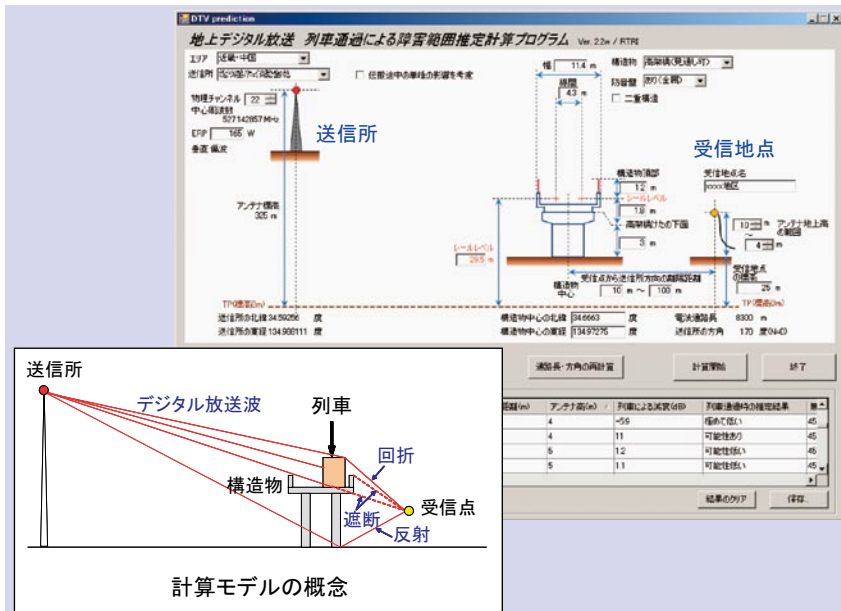


図9 鉄道沿線向け地上デジタル放送受信品質予測計算プログラム

が予測できるよう、高架橋や列車による回折現象と、高架下を通過して到来する電波の影響を考慮して受信レベルを計算・評価するプログラムを開発しました（図9）。このプログラムでは、計算対象とする地域の送信所を選択して鉄道構造物の位置・大きさと受信地点の位置・高さ等を任意に設定することにより、列車通過に伴うC/Nの変動幅を計算し、影響が起こる可能性を4段階（極めて低い、低い、あり、高い）で予測します。特異な電波伝搬条件でなければ、列車通過に伴う放送波強度の変動幅を±6dB程度の誤差で算出できます。このプログラムにより、影響が出る可能性がほとんどない地点と、影響が出る可能性のある地点とを分別でき、実測調査すべき箇所をあらかじめ選ぶことができますので、実測調査にかかる時間と経費を軽減することができます。

現在のプログラムは、列車通過による変動幅の計算に重点を置いて開発しましたが、今後は、受信できる放送波強度の絶対値を予測計算できるようにし、沿線での受信品質を総合的に評価できるシステムに発展させる予定です。

おわりに

ここでは、鉄道の沿線での電波環境を測定評価する方法と、地上デジタル放送の受信品質の変動を予測するプログラムについて紹介しました。鉄道沿線の電波環境を守るためには、客観的・定量的にきちんと測定評価を行い、現状を正しく把握することがまず第一歩となります。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波環境を把握・予測すべきか、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を検討していく予定です。RRR