

電波環境をとらえる

川崎 邦弘

信号通信技術研究部(通信 主任研究員)



かわさき くにひろ

はじめに

鉄道沿線の環境に関する話題の一つとして、電波による妨害や干渉を扱う電波環境があります。電波環境を整えるためには、鉄道沿線での放送通信に影響を与えるような電波が鉄道から出ているか、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、空間を飛んでいる電波の周波数と強さをいかに正しく定量的にとらえるかが鍵となります。そのため、再現性を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。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うからです。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や、鉄道総研が国土交通省の国庫補助金を受けて開発した鉄道用高感度3軸光電界センサーについて紹介します。

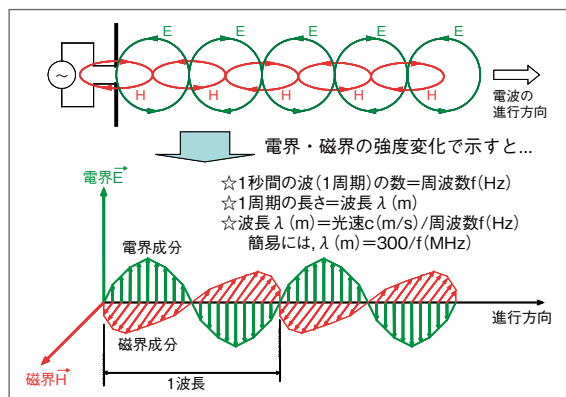


図1 電波とは

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中を伝搬する電気エネルギーの波です(図1)。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 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) 付近の電波の波長は約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。

電波を送信したり、受信したり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

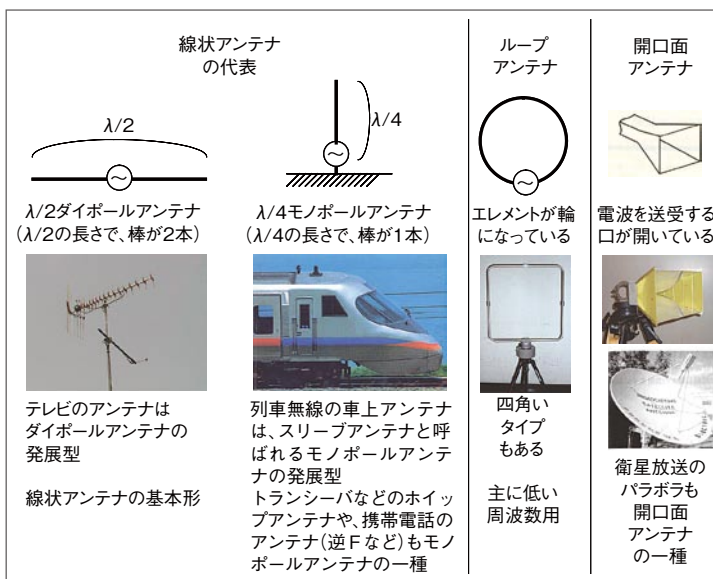


図2 さまざまなアンテナの例

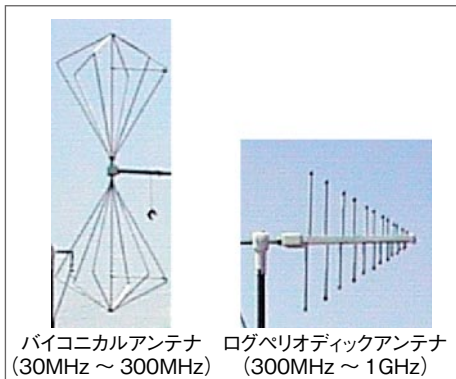


図3 広帯域アンテナの例

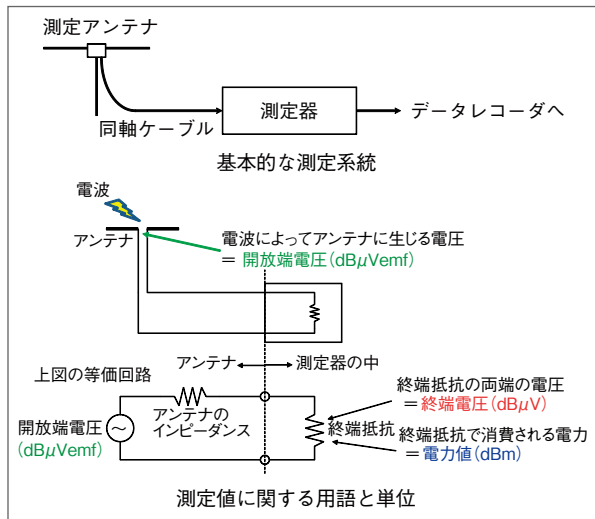


図4 電波を測定する仕組み

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、必要な周波数だけを効率よく送受信できるようにすることが求められます。これに対し、電波環境を測定するためには、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する必要があります。このような広い周波数範囲を測定するためには、図3のような専用のやや大型の広帯域アンテナを使用する必要があります。

アンテナで受信された電波は高周波の電圧・電流に変換され、同軸ケーブルを経て測定器に入力されます（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、高い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」といいます）をきちんと合わせ

表1 国際規格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機器

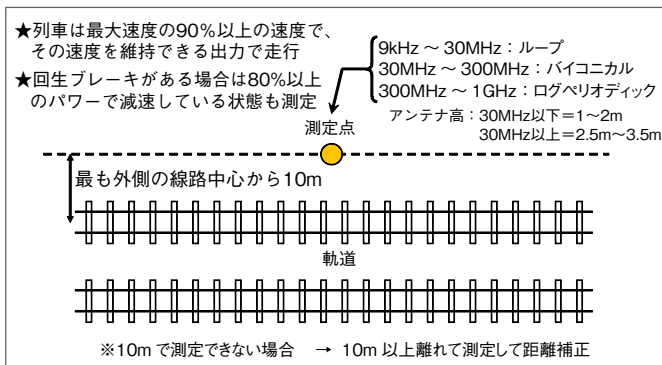


図5 規格で定義されている測定位置

なければ、電波の強さを正しく得ることができません。測定器では、入力された高周波の電圧・電流の大きさを測り、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、メジャリングレシーバ、スペクトラムアナライザなどが使用されますが、電波環境の測定では、使用すべき測定器の性能や仕様が国際規格で決められています（IECが発行している“CISPR 16”と呼ばれる規格があります）。

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、鉄道システムから外へ放射される電波については、国際規格で測定法が定められています。これは、IEC 62236と呼ばれるもので、国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission：IECと略称されます）が2003年に発行した国際規格です。この国際規格は、表1に示すように6つのパートからなる規格ですが、ここでは、パート2で定義されている鉄道から外界へ放射される電波の測定法を紹介します。

規格では、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

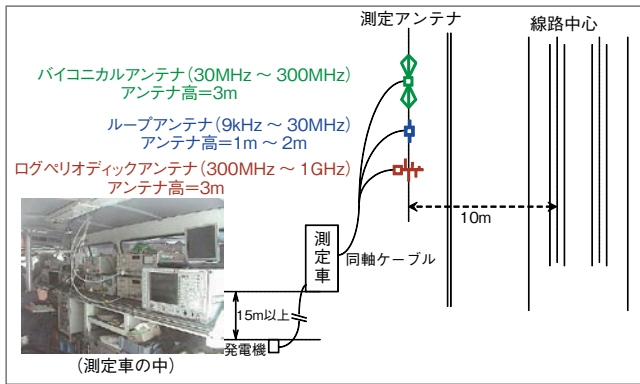


図6 実際の測定配置の例と測定機材の例

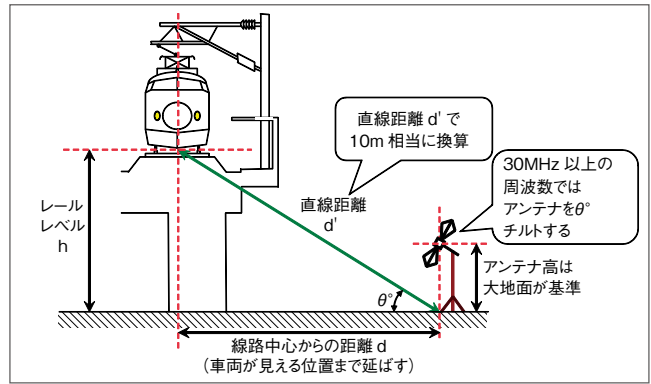


図7 高架の場合の測定方法

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		垂直偏波面 水平偏波面	垂直偏波面 水平偏波面
アンテナ高	1m ~ 2m	1m ~ 2m	2.5m ~ 3.5m	2.5m ~ 3.5m
水平離隔	10m (10m 以上の場合は、規定された換算式で補正する)			
測定器	CISPR 16 準拠の測定器			
検波方式	鉄道沿線は尖頭値, 変電所周辺は準尖頭値			
測定帯域幅 (BW)	200Hz	9kHz	120kHz	120kHz

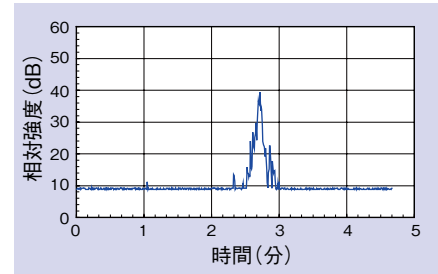


図8 測定される電波の強さの変化のイメージ

示します。なお、高架鉄道の場合には、図7のようにアンテナから列車が見える位置まで水平離隔距離を伸ばし、アンテナをチルトして指向方向を列車に向けることとしています。この測定方法は、鉄道総研が実施していた測定法で、日本からの提案によって国際規格に盛り込まれたものです。

測定周波数は、9kHz~1GHzの範囲から最低でも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き、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、列車の走行や運転の条件によって大きく変動するためです(図8)。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りませんし、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。

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9)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、測定法の提案などを行っています。

なお、図9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。鉄道総研では、地上デジタル放送の試験が開始された2000年から鉄道沿線での受信品質の測定法の検討を始め、列車通過に伴う動的な受信品質の変化の測定法を提案し、デジタル放送用の測定機材の整備を進め、測定評価等を行ってきています。

車両内における電波環境の測定

近年、鉄道の車両内でも様々な通信技術が利用されるようになり、車両内における電波環境を把握したいという



原動機・駆動	2500cc ディーゼル・4WD (NOx・PM法適合)	
車両寸法	全長	4760mm
	全幅	1695mm
	全高	2490mm
車両重量	自重	2380kg
	最大積載量	750kg
	総重量	3295kg

- 各種測定機器および測定用アンテナ
- 測定台、測定用椅子、備品ラック
- リモコン式電動ボール(最大地上高10m)
- 測定用電源(外部AC入力、車内DC/AC)
- 照明機器(室内灯、車外サーチライト)
- 天井デッキ、ケーブル通線箱
- GPSポジショニングシステム

図9 測定用ワゴン車

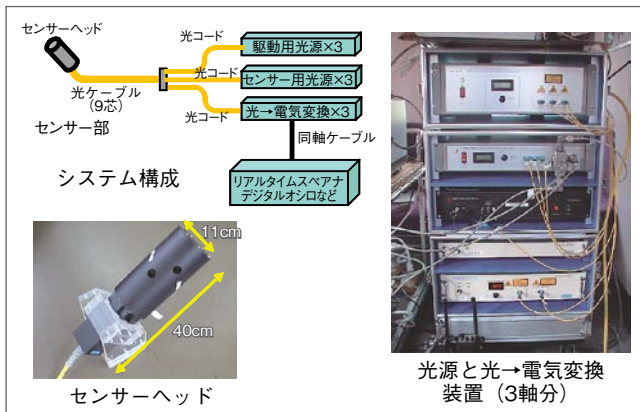


図10 鉄道用高感度3軸光電界センサー

ニーズが高まっています。沿線の場合と同様に広い周波数範囲の電波を測定するためには、図3のような広帯域アンテナを車両内で使う必要があります。ところが、鉄道の車両内に図3のアンテナを持ち込んで測定しようとすると、アンテナが大きすぎて測定したい位置にアンテナが置くことができず、また、アンテナが車体などの金属板に近づくことによってアンテナの特性が変わってしまい、正しく測定できないなどの問題が起こります。

そこで、鉄道総研では、車両内で使用でき、かつ1台で広い周波数域の電波を効率的に測定することができる小型のアンテナ（センサー）を開発しました。これは、電界の強さの変化を光の強度の変化に変換する光電界センサーを応用したものです。光電界センサーの最大の特徴は、大きさを非常に小さくでき、使用する金属の量を最小限にできることです。このため、センサー周囲の電磁界の乱れが小さいというメリットが生まれます。光電界センサーは他の産業分野や放送分野でも利用されていますが、鉄道の無線通信などで使われている電波や電波環境を測定するためには、そのままでは使うことができませんでした。そこで、鉄道環境での測定に使える感度を実現するため、電界を光に変換する部分に光給電で動作する超小型の増幅器を内蔵し、光ケーブルの配線方法と筐体を工夫した高感度型の光電界センサーを開発しました。さらに、光電界センサー本体が小さいというメリットを活かして、3つの光電界センサーユニットを直交する3軸方向（垂直方向+水平2方向）に配置した高感度3軸光電界センサーも開発しました。電波を測定する場合には、電波の到来方向や偏波面（図1で示した電界成分が振動している面を偏波面といいます）を考慮する必要がありますので、図3に示したような従来のアンテナを使う場合には測定の度にアンテナの向きを変更したり調整したりする必要がありました。開発した高感度3軸光電界センサーでは、1台で3軸方向を同時に測定することができますので、アンテナの向きを変える必要があり



図11 鉄道用高感度3軸光電界センサーと従来のアンテナの比較

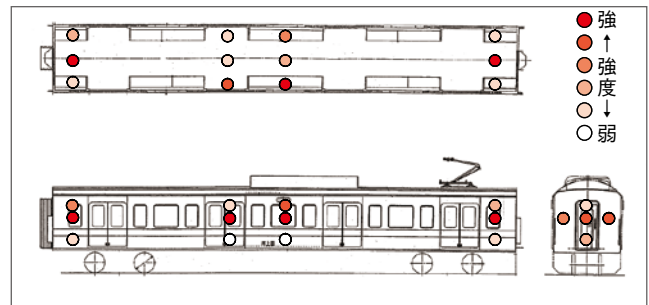


図12 鉄道用高感度3軸光電界センサーによる車両内の電波強度分布の測定例（AMラジオの放送波強度）

ません。

実際に開発した高感度型3軸光電界センサーの外観とシステム構成を図10に示します。光電界センサーのユニット本体は100mm×33mm×30mmと小型ですが、鉄道車両上での使用に耐えられるよう、アクリル製の筐体（直径110mm×長さ393mmの円筒形）に収めています。この大きさは、従来のアンテナに比べて1/10以下ですので、今まで測定できなかったような位置に置くことができます（図11）。この高感度光電界センサーを使うことにより、図12のような車両内の電波強度の分布を測定できるようになりました。

おわりに

ここでは、鉄道の沿線での測定方法と、鉄道車両内における電波の測定に適した高感度3軸光電界センサーについて紹介しました。今後、鉄道内外の電波環境を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波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、測定評価法を検討していく予定です。RRR