

第 109 回

電波雑音評価手法

はじめに

電気が流れている電線などの導体からは、目に見えない電波が必ず放射されています。この電波の放射が、意図したものなのか、意図していないものなのかにより、その扱いは大きく異なります。放送や通信のために意図して放射された電波であれば、その強さを安定させる必要があります、意図せず放射された電波であれば、その強さを極力少なくする必要があります。ここでは、後者の意図せず放射された電波の測定評価に関する取り組みを紹介します。

電波雑音とは

意図せず放射される電波は「電波雑音」もしくは「電磁雑音」とよばれます。電波雑音は、無線を使った通信や放送の品質を低下させるなどの影響を与える可能性があります。鉄道においては、電波雑音が放射されることにより(図1)、沿線での放送の受信や無線通信システムの通信性能に影響を与える可能性があります。また逆に、外部からの電波雑音によって鉄道を動かすためのシステムや機器が影響を受ける可能性もあります。そのため、鉄道環

境から放射される電波雑音は、できるだけ強度を弱く、また頻度も少なくする必要があります。同様に、影響を受ける側の電子機器においても、ある程度の電波雑音による影響に耐えられる耐性をもつことが求められます。これらの、電波雑音の抑制と電波雑音に対する耐性の両方の特性を備えることで電波雑音による障害や故障を低減する考え方を電磁両立性 (Electromagnetic Compatibility : EMC) といいます。このEMCを実現するためには、鉄道環境における電波雑音を定量的に測定・評価して、その影響の可能性を把握し、コスト効果を考慮した対策を導入することが必要となります。

旧国鉄における電波雑音に関する研究

電波雑音に関する研究は、鉄道総研の前身である旧国鉄の鉄道技術研究所(鉄道技研)において1948(昭和23)年頃から始まりました。国立駅付近で長波から超短波までの広い周波数帯(図2)における電波雑音の測定が行われ、その特性を明らかにするとともに、予想される影響範囲(線路からの距離)を周波数帯ごとに示しています¹⁾。現在とは使用したアンテナなどが異なりますが、当時から電波雑音を定量的に測定・評価する手法に関する研究が必要とされていたことがうかがえます。

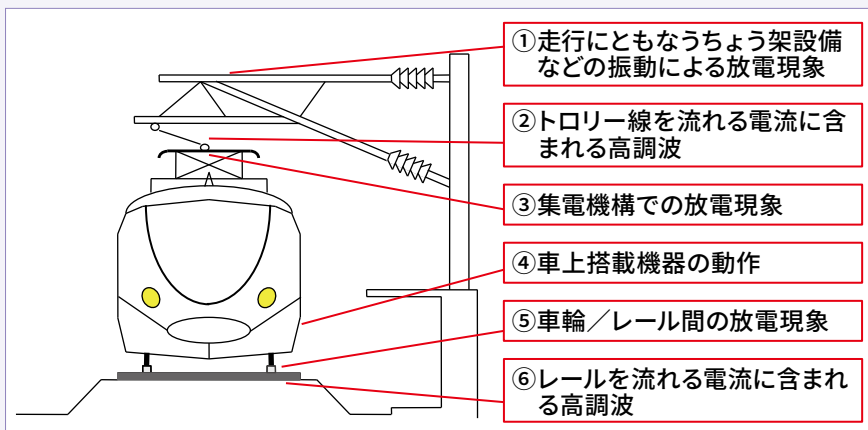


図1 列車の走行にともなう主な電波雑音の放射源

周波数	3kHz	30kHz	300kHz	3MHz	30MHz	300MHz	3GHz	30GHz	300GHz	3THz
	VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF	THF	
	(超長波)	(長波)	(中波)	(短波)	(超短波)	(極超短波)	(マイクロ波)	(ミリ波)	(サブミリ波)	
									(テラヘルツ波)	
波長	100km	10km	1km	100m	10m	1m	10cm	1cm	1mm	0.1mm

図2 周波数の分類

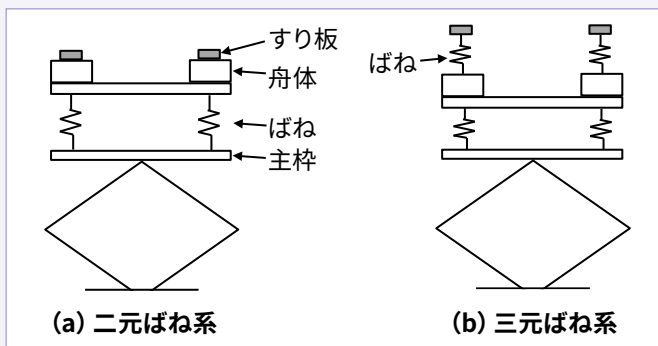


図3 パンタグラフ集電機構²⁾

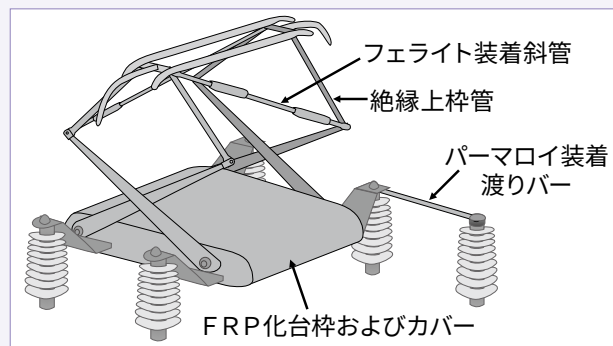


図4 電波雑音抑止パンタグラフ²⁾

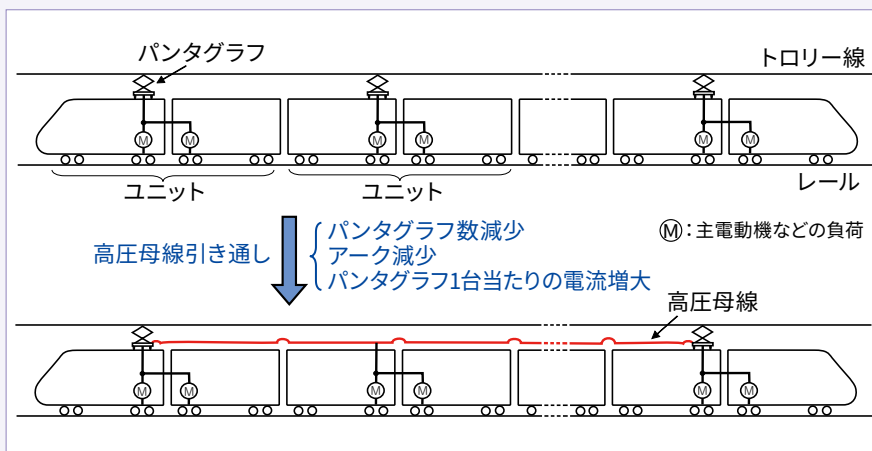


図5 高圧母線の引き通し²⁾



図6 測定車の外観

さらに、1950（昭和25）年代には、走行中に車上および地上での電波雑音測定が何回も繰り返され、直流電車から発生する中波および短波帯の電波雑音の発生機構および伝搬特性が明らかにされました。1960（昭和35）年代には、各地で進められた鉄道電化にともない、固定設備から発生する電波雑音が鉄道沿線で問題となり、その測定と防止対策の指導にあたって記録されています。とくに1968（昭和43）年から1970（昭和45）年にかけて多数発生したテレビ受信障害に対し、その原因が6kV信号高圧線を支えるために傘状の碍子^{がいし}を重ねて用いられていた重連けん垂碍子の金具連結部の不完全接触であることを明らかにし、俗称けむしとよばれるブラシの挿入や、ボンディングを行うなどの対策方法が確立されました。

1970年代になると、新幹線沿線において、電車が走行した時に発生する

電波雑音によるテレビの受信障害が社会問題となり、調査が行われました。その結果、パンタグラフに流れる負荷電流の高周波成分やトロリー線との間で発生するアークが強制的に切断されることが、電波雑音の発生に大きく影響していることがわかりました。そこで、高周波成分を抑圧するための磁性材料を斜管と渡りバーへ装着するとともに、すり板をバネを介して舟体に取り付け、小さな上下動に対する追従性を良くすることでアーク発生の原因となる離線をしにくい、三元ばね系方式（図3）を採用した、電波雑音抑止改良型パンタグラフ（図4）が開発されました。さらに、編成として、1つのパンタグラフが離線したとしてもほかのパンタグラフが補うことで、全体として離線による電流の急変が起こりにくくなるよう、高圧母線の引き通し（図5）が導入され、実際に電波雑音が減少することが確認されています。この改良

型パンタグラフや高圧母線の引き通しによる電波雑音対策は東北・上越新幹線に採用されました。高圧母線はほかの新幹線でも導入されており、沿線での電波障害の抑制に貢献しています。

電波雑音測定用ワゴン車

鉄道から放射される電波雑音の測定では、鉄道が発する成分のみをとらえるため、周囲に鉄道以外の電波雑音発生源の少ない場所で行います。そのため、人家や事業所、工場などから離れた辺りな場所での測定が必然的に多くなります。このような測定箇所は、交通の便が悪く、測定機材を設置する部屋や電源もありません。そこで、鉄道総研では、電波雑音に必要な機材一式を積み込んで移動でき、現地での測定室としても活用できる、測定用ワゴン車（以下、測定車）を保有しています（図6）。測定車は、1BOXタイプのワゴン車

をベースに、車内で効率的に電波の測定ができるよう、さまざまな改造が施されています。例えば、車内に測定器を設置して測定するために、後部座席を撤去し、測定器を複数台並べて置くことができる測定台が設置されています(図7)。また、車両中央には、天井を貫く形で伸縮ポールが設置されており、電動で地上高10mまで伸ばすことができます。さらに、車内でAC100V電源が利用できるよう、運転用バッテリーのほかに、床下には2.5kWの発電機、車両側面には外部の発電機や建物のコンセントから電源供給可能な端子が設けられています。これにより、周囲に何も無いような場所でも、電源を確保して測定を実施することが可能となっています。現在の測定車は、2019年に更新したもので、前述した新幹線開業時の電波障害調査のために導入された初代から数えて5代目になります。

鉄道における電波雑音に関する国際規格³⁾

鉄道総研では、前述したように1940年代から電波雑音の測定・評価に取り組んできていますが、2000年頃までは、鉄道システム全体を網羅できるような、電波雑音に関する基準は存在していませんでした。そのため、他の産業機器のEMC規格を準用しつつ、放送や無線通信など個々の事象に

応じて測定・評価を行ってきました。

しかし、1990年代から国内外において鉄道を対象としたEMC規格の必要性がいわれはじめたことから、鉄道総研も専門委員として参加している国際電気標準会議(IEC)の国際無線障害特別委員会(CISPR)や鉄道用電気設備とシステム専門委員会(TC9)において、規格発行に向けた議論が行われました。その結果、TC9とCISPRが合同で規格を作成することになり、2003年にIEC 62236シリーズが鉄道用のEMC国際規格として発行されました。この規格は、6つのパートで構成されており、システムの構成装置から、鉄道システム全体まで、幅広く対象としています(表1)。なお、この国際規格は、欧州で制定された文書(EN 50121)が原案となっていましたので、国内の鉄道システムにも適用できるよう、日本から具体的な測定事例を示して多くの修正提案を行いました。その結果、ほとんどの日本提案が採用され、発行された規格の中に反映されています。例えば、高架鉄道における測定・評価の方法などは、鉄道総研が永年蓄積してきた測定ノウハウと実績に基づいて提案して、規格に盛り込まれたものです。

当該規格は、その後2008年、2018年にそれぞれ改定され、現在は第3版が最新バージョンとなっています。

鉄道総研においても、IEC 62236シリーズに基づく電波雑音の測定・評価

を、国内外で数多く実施しています。

近年、国内外の鉄道事業者が、車両や電気製品、システムの製造者に対し、納入する製品がIEC 62236をはじめとする関連のEMC規格を満足していることの証明を求めることが増えていきます。これは、電磁的な障害を減らして、安定した列車運行を実現することの重要性・必要性が認識され、EMCに取り組む姿勢や風土が国内外で定着してきていることの現れといえるでしょう。

鉄道総研における電波雑音測定・評価に対する取り組みと今後の展望

鉄道総研では、規格に準じた現場での測定・評価と並行して、新たな測定・評価手法の研究開発を続けています。本章では、そのいくつかを紹介します。

<シミュレーションによる評価手法>

電波雑音の評価は、実際に測定を行ったデータに基づいて行われますが、測定には多くの時間と労力が必要になります。電波雑音の防止対策の効果を確認する際にも測定が行われますが、もし効果が出なかったときには、対策内容を変更するたびに測定をし直さなければなりません。そこで、対策の設計段階で事前に机上で効果を予測して評価することができれば、測定・評価作業と対策の施工にかかる労力の省力化と時間の短縮を図ることができます。



図7 測定車内の様子

表1 鉄道用EMC国際規格 IEC 62236シリーズの構成

規格番号	対象	主な目的
IEC 62236-1	総則	規格の目的、EMC管理の考え方などの記述
IEC 62236-2	鉄道システム全体から外界への放射	鉄道システム内におけるEMC
IEC 62236-3-1	鉄道車両全体からの放射	
IEC 62236-3-2	車上機器(信通機器含)のEMC性能	
IEC 62236-4	地上信通機器のEMC性能	
IEC 62236-5	給電設備で使用される機器のEMC性能	

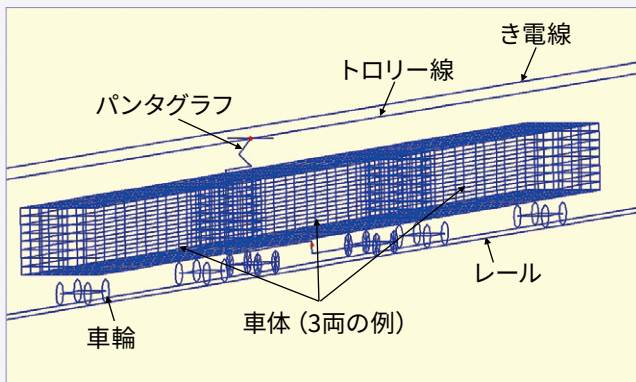


図8 シミュレーターにおけるモデル例

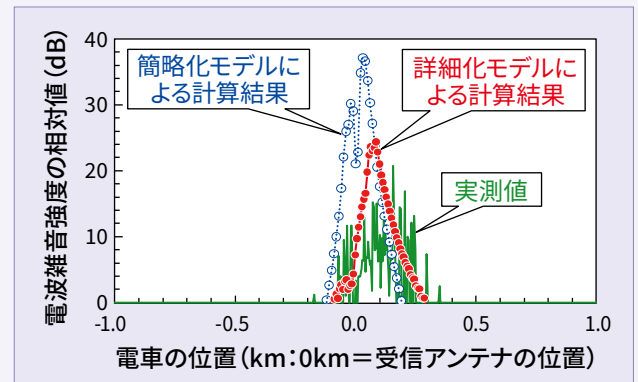


図9 シミュレーション結果の例

このような対策効果や規格への適合性が予測できるよう、走行する車両から放射される電波雑音強度を予測するシミュレーション手法を検討しています⁴⁾。図8に示すように、鉄道車両や架線、レールなどを線の組み合わせでモデル化し、これらの線に流れる電流から、放射される電波雑音の強度変動を求めます。

実際に、モデル化した際の線の本数を少なくした簡略化モデルによる計算結果と、詳細にモデル化した場合の計算結果を実測値と相対比較した結果、詳細化モデルであれば、実測値に近い結果が得られることがわかりました(図9)。引き続き、絶対値での評価を実現すべく、精度向上に向けた検討を進めています。

<新たな測定・評価方法>

2018年に改訂された最新版のIEC 62236では、鉄道システム全体からの放射を測定する際の測定方法として、新たに周波数掃引法(周波数をスキャンして測定する方法)が規定されました。高速走行する列車を測定する場合は、周波数をスキャンするスピードが遅いと測定できない周波数域が出てしまうため、それまでは、周波数1桁当たり3点以上の周波数(例えば、10MHz~100MHzの間であれば、10MHz、20MHz、50MHzなど)を選定して、その周波数に固定して列車通過時の時間変化を測

定する方法が規定されていました。それが近年の測定器の性能向上によって周波数を高速でスキャンできるようになり、高速列車に対しても周波数掃引法が活用できるようになりました。鉄道総研でも、広い周波数域にわたって高速でスキャンできる測定器を新たに導入して、従来の固定周波数法では測定できなかった細かい周波数分布の把握と評価に活用していく予定です。

また、近年デジタル無線システムに対する評価手法として、電波雑音の振幅を確率的に評価する、振幅確率分布(APD)による評価手法が、産業用機器を対象としたEMC規格に導入されました。鉄道においても、1980年代にはすでにその有効性が確認されましたが⁵⁾、当時はアナログの無線システムが主流であり、前述した鉄道用EMC規格にも採用されていないため、その後の活用に向けた検討がしばらく行われていませんでした。しかし、今後、第5世代移動通信システム(5G)などの高い周波数の電波を使ったデジタルの無線システムの活用が鉄道でも進むことが期待されていることから、まだ確立されていない鉄道環境における高い周波数に対する電波雑音の評価手法を、APDによる測定・評価手法の活用も視野に入れつつ提案していく予定です。さらに、その成果は、国際規格に反映したいと考えています。

おわりに

電気を使用する限り、EMCの問題は決してなくなることはありません。さまざまなシステムや機器が動作できる電磁的な環境を整えるためには、複雑な現象を客観的・定量的に測定評価することが必要となります。

鉄道総研では、シミュレーションや新たな測定手法を活用した、より精度が高く、かつ省力化が可能な電波雑音の測定・評価手法の検討を引き続き行い、鉄道環境におけるEMCの問題解決に寄与できる成果の創出を目指していきたいと考えています。

(中村一城/信号・情報技術研究部
ネットワーク・通信研究室)

文献

- 1) 関英男:無線通信における雑音-特に電車より発生する障害波, 鉄道業務研究資料, Vol.6, pp.92-93, 1949
- 2) 吉田順重, 川村武彦:鉄道の電波雑音, RRR, Vol.49, No.6, pp.9-14, 1992
- 3) 川崎邦弘:電気鉄道のEMC規格の動向, 鉄道総研報告, Vol.16, No.7, pp.5-8, 2002
- 4) 川崎邦弘:鉄道沿線の電波環境を把握・予測する, RRR, Vol.69, No.7, pp.16-19, 2012
- 5) 田口優生, 川瀬真, 坪井克衛:電波雑音統計分布(APD/CRD)測定システムの開発, 第21回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集, pp.670-674, 1984