

電波利用技術とEMC <4>

～ 無線機器からの不要電波の測定 ～

無線機器から出る不要電波は他の機器の動作や通信に障害を与える恐れがあります。NICT では不要電波を正確にかつ効率よく測定するための研究開発を進めています。

国立研究開発法人情報通信研究機構
電磁波研究所 電磁環境研究室
研究マネージャー
町澤 朗彦



受信用パラボラアンテナ越しに見る不要発射測定場

隣の庭にゴミを捨ててはダメ

電波の単位には MHz や GHz などといった周波数がありますが、無線機器を利用するために必要な電波の周波数と強さが、それぞれの機器に割り当てられています。これは土地に番地が振ってあって、どの番地が誰のものか決められているのと同じです。勝手に他人の土地を使ったり、隣の庭にゴミを投げ捨てたりしてはいけません。同様に、電波も他の機器に割り当てられている周波数を勝手に使ったり、はみ出たりしてしまうと、他の機器の動作や通信に障害を与えることがあります。そこで、無線機器に割り当てられた周波数帯から外に漏れ出る電波を不要発射と呼び、電波法で規制しています [1]。

例えば、地上デジタルテレビ放送は 470 ～ 710MHz の周波数帯域にチャンネル間隔 6MHz で各放送局に割り当てられていて、僅かな隙間を挟んで各局の電波がギッシリと詰まっています (図 1)。この場合、チャンネル間隔の 6MHz が必要周波数帯幅と呼ばれる使用が許可された周波数であり、その外側は不要発射領域となります。不要発射が強いと、周波数的に隣の放送局の信号と混信し受信障害を引き起こしてしまいます。

他の無線機器の利用に障害を与えないように、我が国では総務省の省令等で不要発射の規制値や試験方法 (測定方法) が定められていますが、新たな無線機器の登場や技術の進歩に伴って試験方法も改善が必要となります。国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT)

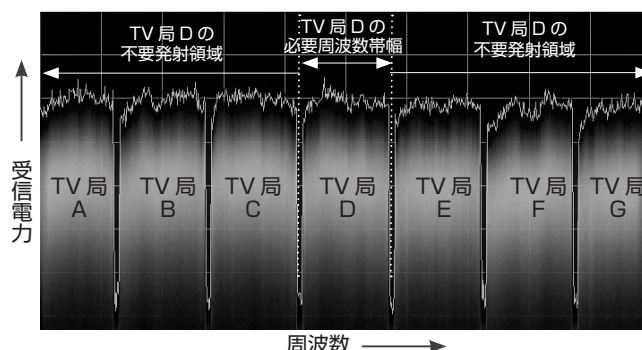


図 1 周波数分析器で計測した関東における地上デジタルテレビ放送の周波数利用状況

は不要発射を正確に測定するための試験法の研究開発を進めていますが、中でも船舶用レーダーは不要発射の測定が困難な無線機器の一つです。本稿では船舶用レーダーの不要発射測定に関わる技術的課題と現在検討を進めているその解決方法について紹介します。課題としては測定に時間が掛るので高速な測定方法が必要であること、また、測定する場所も測定値に大きな影響を与えるので適切な測定場を構築する必要があります。

1粒1粒つまみ上げる地道な作業

まず、船舶用レーダー信号の特徴をみてみましょう。船舶には衝突事故を防ぐためにレーダーが搭載されて

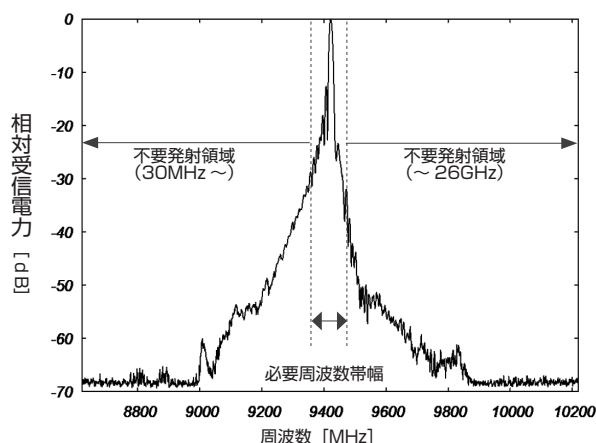


図2 レーダー信号の周波数分布例

います。レーダーは自らが発射した電波が他の物体に当たって反射して戻ってくる電波を受信して周囲の物体を検知するシステムで、暗闇や霧など目視が効かない状況でも周囲の状況を調べることができます。電波が光速で伝搬することから、電波を発射してから物体に当たって戻ってくるまでの遅延時間を用いて物体までの距離を求めることができます。更に、船舶用レーダーはアンテナを回転させて電波を発射する方向を変えることで周囲360度どの方向に物体があるか検知することもできます。このようにレーダーは便利なものですが、レーダーの電波は広い周波数帯域を必要とし、図2に示すようにスペクトルが不要発射領域にも漏れ出すことがあります。しかも、レーダーの電波は強いので、不要発射領域に漏れ出る電波も強くなる可能性があります。ただし、不要発射領域に全く漏れ出してはいけなく、許容できる強さが規定されており、それぞれのレーダーの不要発射が許容値以下に収まっているか確認する必要があります。

さて、一般的な船舶用レーダーのアンテナは約3秒間掛けて一回転しますので、測定する受信用アンテナに向くのは3秒間に1回だけ。その瞬間に測定しなければなりません。しかも、規定上30MHzから26,000MHzまで1MHz（船舶用レーダーの短パルスの場合）ずつ測定する必要があります。これは25,971粒の豆を3秒毎に1粒ずつつまみ上げる地道な作業のようなもので、所要時間は $25,971 \times 3 \text{ 秒} = 77,913 \text{ 秒} = 21 \text{ 時間 } 38 \text{ 分 } 33 \text{ 秒}$ となります。その間に雨が降ったり天候が変わったりすると電波の飛び方が変化し、正確に測ることが難しくなります。よって、より短時間で測定を実行できる高速な測定方法も望まれています。

理想の土地を探し求めて

さて、どこでレーダーの不要発射を測定するかも重要です。レーダー不要発射の測定場に求められる条件には、(1)十分な広さがあり、(2)外来電波が少なく、(3)電波の反射物が少なく、(4)自由に電波を出せることなどがあります。

(1)測定する場所の広さは測定する周波数が高いほど、またアンテナが大きい（長い）ほど距離を必要とし、船舶用レーダーでは直線距離で数百メートルほどの広さが必要となります。

(2)屋外では測定対象のレーダーの信号だけではなく、携帯電話やテレビ放送など様々な電波が飛び交っています。不要発射の許容値は他の無線機器に影響を与えないように規定されていますので、他に大きな電波があると小さな不要発射は埋もれてしまって測定が困難となるため、できるだけ他の電波が少ない場所を選ぶ必要があります。

(3)電波は地面や建物等に当たると反射しますが、送信アンテナから受信アンテナまでどこにも反射せずに直接届く電波と何かに反射してきた電波を同時に受信すると、「波の合成（干渉）」が生じ、受信アンテナの位置を僅かに動かすだけで、受信する電波が強くなったり弱くなったりして正確に測ることができません（図3）。そこで電波が伝搬する途中で電波を反射するような建物や立木がない土地で測定する必要があります。地面からの反射については、地球上では地面のない場所は難しいので、地面からの反射を如何に防ぐかが課題となります。

(4)電波は送信アンテナから離れるほど弱くなりますが（減衰）、測定場の地形等によって減衰の度合いが異なります。理想的には宇宙空間のように、周りに電

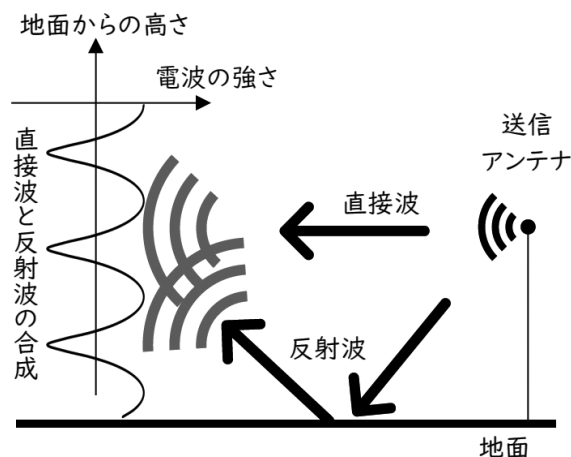


図3 直接波と反射波の合成

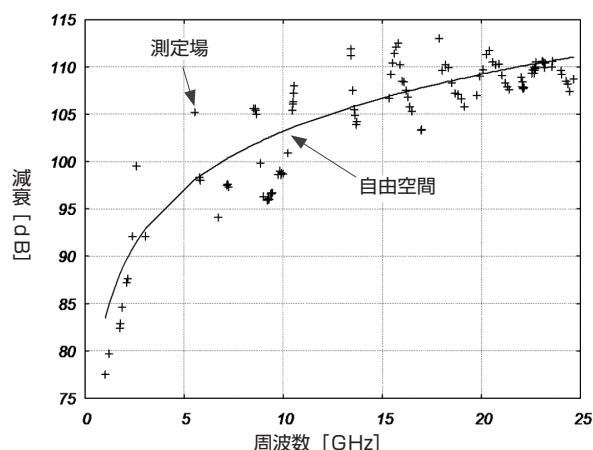


図4 測定場の電波伝搬減衰特性例
(送受信間距離 345m)

波を反射したり遮ったりするような物体が何も無い場所（自由空間）が良いのですが、実際は、周波数によっては自由空間と比べて減衰が大きかったり、逆に小さかったりもします（図4）。例えば、不要発射の測定結果が規制値以下に見えても、実は測定場による減衰が大きいために規制値以下に収まってしまったといったこともあり得ます。そこで、それぞれの測定場に合わせて測定値を補正する必要がある、事前に既知の強さの電波を出して補正值を求めておきます。一方、地面からの反射波への対策を施す場合にも、その測定場で実際に様々な周波数の電波を出して、対策法の効果を検証する必要があります。このように、測定場を整備するためには多数の電波を出す必要がありますが、多数の周波数を使用する無線局の免許取得は困難が伴います。

(2)～(4)については、電波暗室と呼ばれる外界と電波を遮断し、電波を吸収する素材で内部を覆った施設が適しているのですが、(1)の条件のような広い電波暗室は減価に無いので、屋外の測定場を探します。

ザルの目からこぼれる

これらの課題に対して、NICTでは様々な取り組みを行っています。まず、地道に1粒1粒つまんでいては時間が掛るので、網でまとめてすくい上げる方法を検討しています。例えば、高速フーリエ変換を用いて周波数分析すれば、信号波形に含まれる周波数成分を一度に解析することができます。

ところで、レーダーで物体の大きさを正確に検知するためには電波の発射時間を短くします。発射時間が長いと、近くの物体で反射した電波とそのちょっと先で反射した電波が重なり合うと、精度が落ちるからで

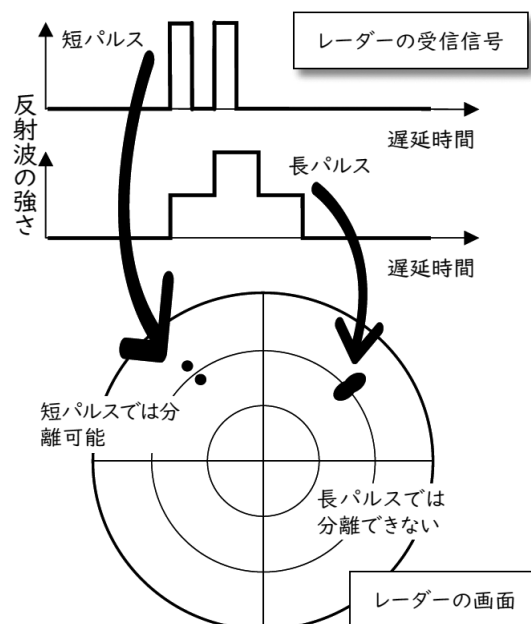


図5 レーダー信号の発射時間と分解能

す。例えば、図5は発射時間が短いパルス（短パルス）と長いパルス（長パルス）が2つの物体に当たった場合の受信信号の時間変化とレーダー画面を模式的に示していますが、短パルスでは2つの小さな物体が分離していることが確認できるのに対し、長パルスでは1つの大きな物体として誤検知してしまいます。そこで船舶用レーダーでは、ほんの一瞬だけ（約100ナノ秒程度）電波を発射するようにしています。

さて、このような極短いパルスの周波数分布を正確に測定するのは容易ではありませんが、最近ではリアルタイム周波数分析器の性能が向上し、レーダーのような極短いパルス信号でもその周波数分布を把握できるようになってきました。このような測定器は短時間だけデータを取り込んで分析し、また短時間だけデータを取り込んで分析する作業を繰り返しますが、設定

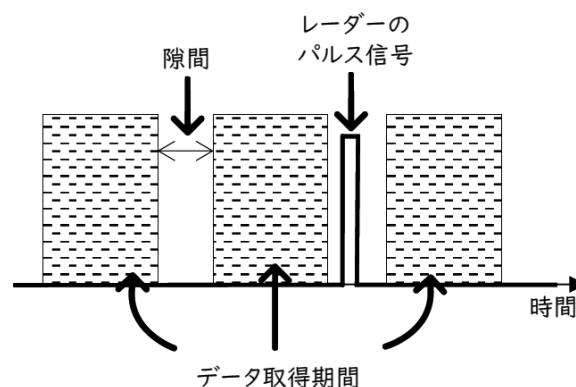


図6 周波数分析器のデータ取得時の隙間

等によってはデータを取り込む間隔に隙間が生じる場合があります。レーダーのように極短時間しか信号を出さない場合、その隙間に信号が落ちてしまい分析から漏れてしまう場合もあります（図6）。ザルの目からこぼれてしまうのです。そこで我々はできるだけこの隙間の短い分析器を整備するとともに、信号の捕捉状況を評価することで、より正確な測定を実現しようと考えています。

理想のマイホームが手に

測定場に関してはNICTから近い首都圏を中心に探しましたが、地元との調整に難航したり、絶滅のおそれのある生物が確認されたり、となかなか思うようにいきませんでした。それでもようやく和歌山県と大阪府の県境の近くに候補地を見つけることができました。東西北の三方向を山に囲まれており、山の向こう側に大きな街は無く、到来電波が若干ありますが測定に支障をきたすほどではありません。また、南北に直線距離約400mのほぼ平地が確保でき、区域内に木立や建物もない、理想のマイホームが手に入りました。南側には和歌山市街と和歌山港が存在しており、この方角からは船舶用レーダーや携帯電話などの電波が到来していますので、測定にあたっては受信用パラボラアンテナを北に向けることなどで南側からの電波の影響を低減するようにします。

電波は曲者

最後に、地面からの反射波対策です。光でしたら光の通り道の直線上に障害物を置けば遮ることができますが、電波はちょっと違います。電波でも一部を遮ることはできますが、一部は障害物の裏側に回り込めます。電波は曲者（くせものではなく曲がりものと読んでください）です。そこで、草地等による拡散反射と反射波防止板による遮断効果を用いることを検討しています。まず、拡散反射によって特定の方向への反射波を減衰させます。更に反射波防止板では、防止板手前の地面からの反射波を遮断するだけでなく、防止板の裏側が送信アンテナからは陰になるため、直接電波が当たることを防ぎます（図7）。それでも、反射波防止板を曲がりこんだ電波が地面に到達しますが、こちらも草地等で拡散反射させて反射する電波を弱らせます。

しかし、電波は曲者ですから、防止板が直接波を遮ってしまう恐れがあります。電波は第1フレネルゾーン

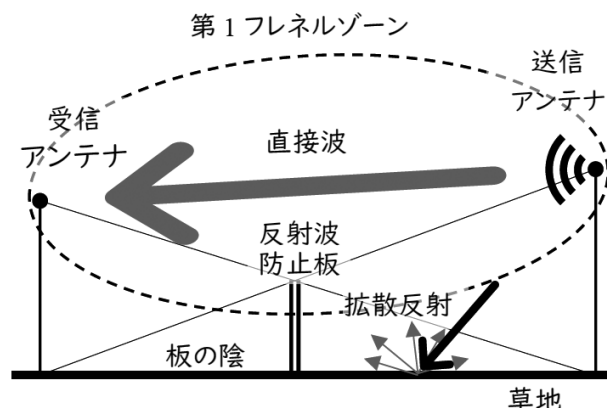


図7 反射波防止板

と呼ばれる送信アンテナと受信アンテナを結ぶ直線を中心とした回転楕円体状の空間に障害物があると、受信アンテナに届く電波は影響を受けます。そこで、防止板ができるだけこの第1フレネルゾーンに入らないように工夫する必要があります。

おわりに

近年、電波を使う機器が増えています。スマートフォンやパソコンを始め、ワイヤレスのヘッドホンやドローンなどなど。これらも無線機器ですから、知らない間に不要な電波を出してしまわないよう、特定無線設備の技術基準適合証明等のマーク（技適マーク）が付いている無線機器を使いましょう。

<文献>

[1]総務省「無線設備の『スプリアス発射の強度の許容値』の見直し」(<https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/others/spurious/files/sanko002.pdf>)

❖❖ 筆者紹介 ❖❖

町澤 朗彦



チバニアン地球磁場逆転地層にて

●略歴：1984年上智大学理工学部電気電子工学科卒、同年郵政省電波研究所（現NICT）入所。以来、画像の高能率符号化、パケット通信網における時刻同期、レーダースプリアス測定法等の研究開発に従事。1996～1999年乳国（ニュージーランド）Dept. Computer Science, Univ. Canterbury 客員研究員。現在、NICT電磁波研究所電磁環境研究室研究マネージャ。

●EMCの研究を始めたきっかけ：現在の研究室に異動になってから。それまでEMCの知識は大学の電磁気学の授業で習ったことしか無く、今も勉強の毎日です。

●趣味：DIY全般。家族から一番喜ばれているのはは某R-x乳酸菌を使った自家製ヨーグルト。毎日食べているお陰かすっかり風邪をひかなくなり、花粉症の症状も緩和された気がします。（個人の感想です）