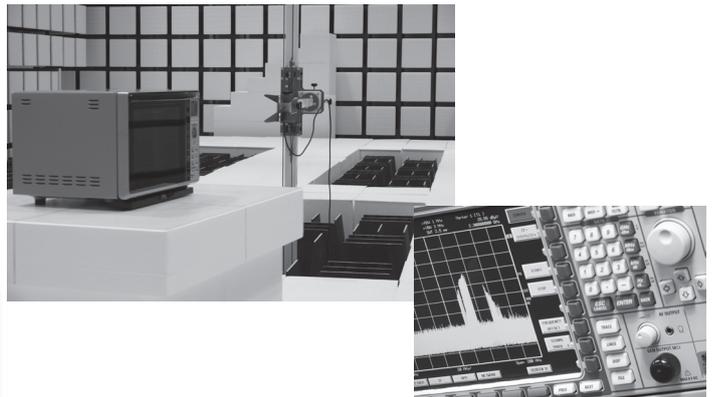


電波利用技術とEMC <3>

～ 電磁妨害波による無線通信への影響と妨害波許容値 ～

各種電気・電子機器から発する電磁妨害波が、周囲の無線通信や放送サービスに電磁干渉を与えることがある。NICTでは、電磁干渉を起こすことなく無線・放送サービスを利用するための電磁妨害波の測定法や許容値を定める国際標準化活動とともに、電磁妨害波の評価技術の研究開発を行っている。

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
後藤 薫



放射妨害波測定の様子（1GHz以上）

電磁妨害波とは

私たちの暮らしにはあらゆる電気製品が取り込まれており、生活からそれらを切り離すことは困難な時代である。多くの家庭で、冷蔵庫、洗濯機、テレビ、パソコン、照明、エアコンなどが生活の一部となっている。これらの電気製品において、複雑な動作制御のために欠かせないのが、マイコンを含むデジタル回路である。パソコンにはもちろんのこと、ごはんの焼き加減を自動調節する炊飯器にも、室温を一定にしつつタイマー機能や風向き調整を実現するエアコンにも、デジタル回路が内蔵されている。まさに電気製品の中心技術となっているデジタル回路であるが、クロック周波数に応じた信号の2値変動を基本動作としているため、電磁妨害波発生の原因ともなっている。また、商用交流電源から各電気機器の駆動に必要な直流電圧を得るためのスイッチング電源回路を内蔵する製品も多くあるが、これらも、半導体を用いて電流のON/OFF動作を行っていることにより、電磁妨害波を発生させることが知られている。

電気製品から電磁妨害波が発生することは、物理的な意味においてやむを得ない。しかし、これらの電磁妨害波が周囲の無線通信や放送に電磁干渉を与えると、それは大きな問題となる。現代の人々にとっては、電気製品と同様に無線通信サービスも不可欠なもの

になっており、携帯電話、スマホ、タブレットなどの情報端末を所持しない人は少なくなっている。放送もまた、公共性の高い重要な情報インフラであり、これらが電磁干渉を受けるような状況は避けなければならない。さらに、IoT（Internet of Things：モノのインターネット）時代と呼ばれる現代では、様々な電気製品が無線でつながり、人間を介さずに情報を送り合う。つまり、電磁妨害波を発する電気機器自体に通信機能が搭載されることとなり、干渉側（電磁妨害波源）と被干渉側（無線通信受信部）が空間的に接近することによって、電磁干渉の可能性がより高まってしまう。

電磁干渉を避けるためには、干渉側となる電気製品における電磁妨害波低減のためのEMC対策が必要であり、その基準として必要となるのが、国際的合意に基づく電磁妨害波の許容値である。IEC（国際電気標準会議）の特別委員会であるCISPR（国際無線障害特別委員会）では、機器及び設備から発する電磁妨害波の測定法および許容値の規格を定め、国際的な基準統一を行っている。規格は、基本規格、製品群・製品規格、共通規格の3種類に分類される。基本規格は、電磁妨害波の性質や周波数に対応した測定場所及び測定方法や、測定に使用する受信機及び補助装置などを定めた規格である。製品群・製品規格は、共通の特徴

をもつ製品別に測定法や許容値を定めた規格である。共通規格は、製品群・製品規格の存在しない機器及び設備に対する許容値を定めた規格である。日本では、情報通信審議会情報通信技術分科会電波利用環境委員会において、主な CISPR 規格の翻訳と審議が行われ、電波法および電気用品安全法や、製造業界の自主基準等に反映されている。

電磁妨害波の測定法

電磁妨害波の許容値を定めるにあたっては、まず、測定法を定める必要がある。電磁妨害波は、干渉を受ける相手への伝わり方によって、空間へ放射し伝搬する放射妨害波と、電源線や通信線を伝搬する伝導妨害波に大別される。CISPR に規定される放射妨害波の測定は、通常、1GHz よりも下の周波数では床面が金属の電波半無響室もしくはオープンエリアテストサイトにおいて、1GHz をこえる周波数では電波無響室において行われる [1]。一般的な供試体（測定対象となる機器及び設備）は、高さ 80cm の木製または発泡スチロールの台にセットされ、360 度回転させられる。測定アンテナは、供試体から 3m または 10m の位置で、高さ 1m から 4m まで掃引し、水平偏波・垂直偏波の両方で妨害波の最大値を探す。測定アンテナは、標準ダイポールアンテナのほか、測定周波数範囲に応じた広帯域アンテナも用いられる。供試体により特殊なケースも存在するが、一般的には、30MHz 以下であれば直径 60cm のループアンテナが、30～200MHz (300MHz) ではバイコンカルアンテナが、200MHz (300MHz) から 1GHz まででは対数周期ダイポールアレイアンテナが、1GHz 以上ではダブルリッジドウェーブガイドホーンアンテナが使用される [2]。冒頭に放射妨害波測定の様子を示す。一方で、伝導妨害波の測定においては、供試体の発する電磁妨害波を分離し取り出すために、電源線の測定には疑似電源回路網 (AMN: Artificial Mains Network) が、通信線の測定にはインピーダンス安定化回路網 (ISN: Impedance Stabilization Network) が使用される [3]。測定受信機としては、放射妨害波・伝導妨害波測定ともに、EMI (Electro-Magnetic Interference) レシーバと呼ばれる、妨害波測定に特化した測定用受信機が使用される [4]。EMI レシーバと一般のスペクトラムアナライザとの大きな違いは、CISPR においてバンド A (9kHz～150kHz)、B (150kHz～30MHz)、C (30MHz～300MHz)、D (300MHz～1GHz)、E (1GHz～6GHz) と区分される測定対象周波数の範

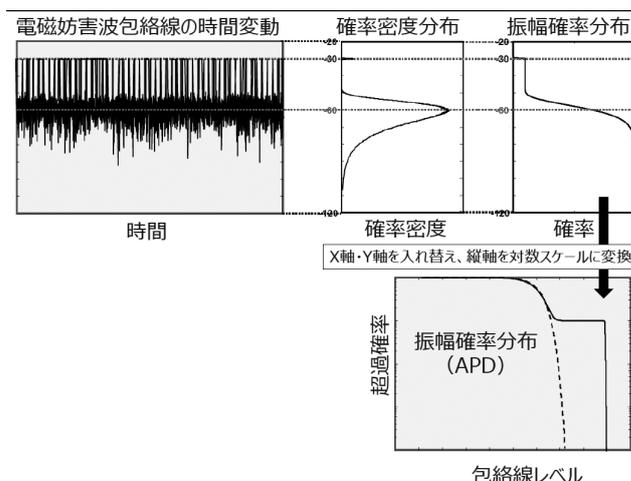


図 1 電磁妨害波の振幅確率分布 (APD)

囲外の信号の侵入を防ぐプリセクタが搭載されていること、CISPR に規定される測定帯域幅 (6dB 帯域幅 200Hz・9kHz・120kHz、インパルス帯域幅 1MHz) を設定できること、電磁妨害波測定特有の準尖頭値 (QP: Quasi-Peak) 検波モードや振幅確率分布 (APD: Amplitude Probability Distribution) 測定機能を備えることにある。QP 検波は電磁妨害波がアナログ無線通信に与える影響を、APD 測定は電磁妨害波がデジタル無線通信に与える影響を定量化する測定法である。

ここで、NICT からの提案によって CISPR 規格化された APD 測定機能について紹介する。妨害波測定における APD とは、図 1 に示すように、電磁妨害波の包絡線が、あるレベルを超える時間確率で定義される。電磁妨害波が一瞬だけ高いレベルを示すのか、持続的に高いレベルを持つのかによって、その電磁妨害波が無線通信へ与える影響は大きく異なるため、その評価には APD のような統計的手段が適している。電磁妨害波の APD と、その電磁妨害波がデジタル無線通信へ与える通信品質劣化特性との間には相関があるため [5]、APD 測定による電磁妨害波の規制はデジタル無線通信の保護に有用である。NICT は、CISPR における 1GHz 以上の電磁妨害波測定への APD 測定の導入を目指した標準化活動に加えて、高機能多チャンネル APD 測定器の研究開発や、当時は新しい変調方式であった OFDM の通信品質劣化に対する電磁妨害波の APD 評価などを行った。その結果、基本規格である CISPR 16-1-1 に APD 測定が採用され、現在市販されている EMI レシーバには APD 測定機能が搭載されている。続いて NICT は、工業、科学及び医療用装置の製品群規格である CISPR 11 に対して、

1GHz から 18GHz の周波数範囲における電子レンジ放射妨害波の APD 許容値を提案し、これも採用されている。

電磁妨害波の許容値

電磁妨害波の許容値は、無線通信及び放送へ障害を与えないように定められる。その際には、電磁妨害波の波形、スペクトル、伝搬特性、及び被害を受ける無線通信・放送の感受性等が考慮される [6、7]。また、機器及び設備がどの地域に設置されているかによって、無線通信・放送に及ぼし得る妨害の度合いが異なると考えられるため、隣家へ電磁干渉を与えないよう、地域に応じた保護距離が設定される。工業地域で使用される機器（クラス A）では保護距離 30m が、住宅・商業・軽工業地域で使用される機器（クラス B）では保護距離 10m が想定されている。よってクラス B 機器に対しては、クラス A よりも厳しい許容値が適用される。また共通規格では、住宅・商業・軽工業地域とも工業地域とも区分できないケース、例えば住宅街の中に店舗や病院などの公共施設や簡易作業を行う工場が存在する場合について、それらの場所で電磁干渉を避けながらも特殊な機器及び設備を使用することができるよう、新たな地域設定も試みられている。

一方で、先に述べたような、電気製品の自機内で電磁干渉が起こる場合（自家中毒ともよばれる）や、電磁妨害波源と干渉を受ける無線通信の受信系が近接して設置される場合は、隣家への干渉回避を基本とする CISPR 規格の考え方で解決は困難である。

電磁妨害波源と無線通信システムが近接する問題（LED 照明と医用テレメータの例）

電気製品と無線通信システムの近接利用の例として、医療機関における電磁干渉問題を紹介する。近年の LED 照明の普及は、当然のように、医療機関にも及んでいる。LED 照明の優れた特徴である長寿命性や節電効果の観点から、今後の更なる普及が見込まれる中で、LED 照明に内蔵されるスイッチング電源回路から発生する電磁妨害波による電磁干渉問題が生じている。LED 照明を街灯に用いた場合の放送への障害などが報告されており、照明機器を対象とする CISPR 15 の最新版では、300MHz から 1GHz までの周波数範囲において、放射妨害波に対する許容値が追加された。しかしながら、医療機関においては医用テレメータのような特殊な無線機器が使用されているこ

とに注意が必要である。医用テレメータを使用する患者は、心電図波形などの生体信号をモニタリングするセンサと、取得情報を無線で送信するための送信機が一体となった、ポケットに入る程度の小型装置を装着する。患者が受診、検査、トイレのために医療機関内を移動しても、生体信号を連続的にモニタリングできるように、病院内の天井付近に受信アンテナを複数設置して、患者の行動範囲をカバーしている。このアンテナに、LED 照明から発する電磁妨害波が受信されることによって医用テレメータの受信に障害が生じる事例があり、医用テレメータのアンテナ配置設計を困難にしている。LED 照明と医用テレメータの受信アンテナの双方とも天井近くの限られた空間に設置する必要があり、CISPR における無線保護の考え方ではカバーできない特殊な問題であるために、EMCC（電

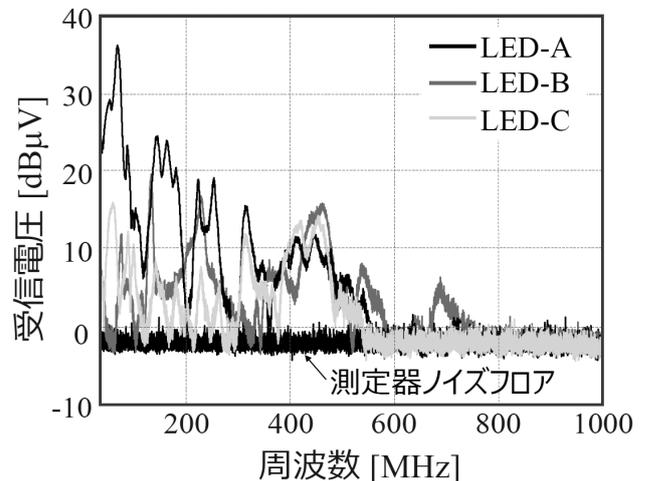


図 2 LED 照明から発する放射妨害波のスペクトラムの例

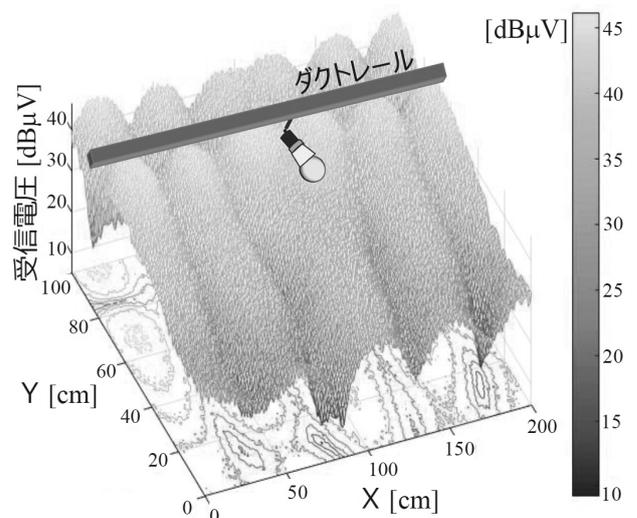


図 3 LED 照明から発する放射妨害波受信電圧の空間分布

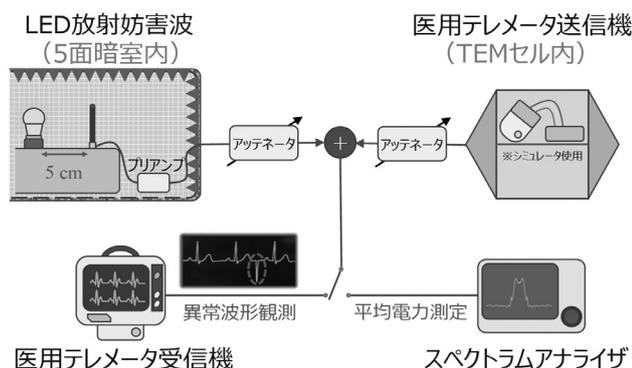


図4 医療テレメータの電磁干渉実験系

波環境協議会)では、関係者によって電磁干渉回避のための技術的な議論が行われた。

NICTでは、LED照明から生じる電磁妨害波の評価と医用テレメータが受ける干渉の評価を実施した。図2にLED照明からの放射妨害波のスペクトラムを、図3にLED照明と電源線周囲の受信電圧分布を示す。医用テレメータは400MHz帯を使用する特定小電力無線局(電波法に規定される免許を要しない無線局の一種)であるが、LED照明の放射妨害波がその周波数帯に及んでいることがわかる。さらに図3から、LED照明に起因する電磁妨害波が電源線(ダクトレール)を伝わり、電源線自体からも放射されている様子が確認される。そこで図4に示す干渉評価系を構築し、LED照明から放射する電磁妨害波の干渉下にある医用テレメータにおいて、正常受信に必要とされるCNRの評価を行った[8]。これらを元に、一定のテレメータ信号受信電圧に対する、LED照明と医用テレメータ受信アンテナ間の離隔距離を求めることができる。

おわりに

電磁干渉源となる機器及び設備の開発と、被干渉側である無線通信システムの整備は、それぞれが交差することなく独立に実施され、独立に社会に広まり、整合の機会がないままに電磁干渉問題が起こることが多く、その対処に多大な時間とコストがかかることも稀ではない。今後、私たちの生活をより便利に豊かにする新たな電気製品、新たなシステム、新たな無線サービスが登場しても、問題が表面化する前に、電磁干渉の可能性を検討した上で対処を実施し、正しい使用方法や運用方法のもとで、誰もが電磁干渉問題などを意識することなく電波の安心安全な有効利用を進めていくために、残される課題は多い。

さらに今後、機器及び設備や無線通信サービスの空間的な利用密度がますます上がるであろうことを考えると、複数の電磁妨害波源が存在する場合の電磁干渉評価や、電磁妨害波の到来時間間隔が無線通信に与える影響の評価が、重要な研究課題となる。NICTでは、複数供試体による電磁妨害波の特性検討や、電磁妨害波の到来間隔等の時間情報を含めた雑音確率モデルの研究開発の他、CISPRの電磁妨害波許容値算出モデルに必要な確率要素、例えば被干渉無線受信端末の存在密度(空間分布)を考慮した、電磁妨害波源と被干渉受信機間の平均距離の利用を提案するといった国際標準化への寄与を行っている。

最後に。そんなNICTの電磁環境研究室で働いてみたいという、若くて元気な方はいらっしゃいませんか。専門知識をフルに発揮して、社会に直接役立つ研究開発を、ぜひ、私たちと一緒にいきましょう。

<文献>

- [1]CISPR 16-1-4 Ed. 4.0: 2019
- [2]CISPR 16-2-3 Ed. 5.0: 2019
- [3]CISPR 16-2-1 Ed. 3.1: 2014+AMD1: 2017
- [4]CISPR 16-1-1 Ed. 5.0: 2019
- [5]後藤, 松本, 電磁妨害波の振幅確率分布(APD)測定とその研究動向について, エレクトロニクス実装学会誌, Vol. 10, No.3, 2007年
- [6]清水, 杉浦 編著, 電磁妨害波の基本と対策, コロナ社
- [7]CISPR TR 16-4-4 Ed. 2.1: 2007+AMD1: 2017
- [8]石田 他, LED照明の電磁雑音による医用テレメータ受信感度劣化の評価, 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会

❖❖ 筆者紹介 ❖❖

後藤 薫

●略歴: 2002年電気通信大学菅平電波観測所非常勤講師。2003年CRL(現NICT)入所。以来、電磁妨害波の測定法、無線通信と電磁妨害波の電磁干渉、電磁妨害波の統計モデルに関する研究開発に従事。現在、NICT電磁波研究所電磁環境研究室研究マネージャー。博士(工学)。

●日頃の研究で大切にしていること: 他の研究者がすでにやったことで、使用器具を少しだけ変えたといった研究は避けたいと思いつつ、ヒラメキ天才人間ではないため、先行論文も大幅に参考しております。ただし国際標準化のように、過去に多くの人が多くの時間をかけて決めたことを踏襲しながらも、新しい問題を解決していかなければならない分野では、別の考え方が必要と思っています。

●仕事の息抜き: 猫を4匹飼っています。可愛い仔猫にも惹かれるのですが、里親の見つかりそうにない老猫や病気の猫を保護猫シェルターからひきとっています。福島原発周辺の立入禁止区域からボランティアさんの手で救出された猫もいます。癒されます。この一言に尽きます。

●趣味: 登山やロッククライミング。雪の剣岳やイタリアのドライチンネ登攀など、過去にはエクストリームのこともやっておりましたが、最近では仕事がエクストリームすぎて、趣味に刺激を求めなくなりました(単純に、行く時間がなくなってしまったからということもあります)。深い達成感が得られるという面では、研究も登攀も同じと感じます。

●国の研究機関で働くことについて: 学生時代から社会に役立つ仕事に携わりたいと希望していました。今はその夢が叶ったと思っています。国際標準化や干渉調整に対しては、日本の国益、最大多数の最大幸福、技術的知見をもとにしたフラットな意識で臨むことを心がけています。