

電波利用技術とEMC <2>

～ NICT における電磁環境技術の研究開発 ～

電磁環境の把握は、電波の強さを正しく測ることから始まる。正しく測ることができなければ、電磁環境を把握したとは言えない。NICT では、電波を正確に測定するための研究開発とともに、電波法に基づいて測定器やアンテナの較正サービスを提供している。

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
藤井 勝巳



バイコニカルアンテナの較正

<はじめに>

いきなり質問だが、いま、あなたは、いくつの無線機を持っているだろうか。無線機というと、送信機と受信機が一体となっているトランシーバーを思い浮かべがちだが、例えば、スマートフォンには、通話に用いる3G/4Gといった携帯電話方式の無線機や、データ通信に用いるWi-Fi、Bluetooth規格の無線機が搭載されているだろう。ワイヤレス充電のための受信機能も備えているかも知れない。今どきのノートパソコンにもWi-Fi規格の無線機が内蔵されているはずだし、会社の社員証や学生証も、財布の中のSuicaやEdyといった非接触ICカードも、ケーブルを繋ぐことなくデータの送信・受信を行うことができるのだから無線機の一つと数えることができるだろう。家では、固定電話機には親機と子機の間をつなぐ無線機、台所には、電子レンジ、IH調理器といった強い電波を利用する機器があるだろう。居間には、テレビ、ラジオ、電波時計といった受信機があって、これらが受信する電波は、スカイツリーのような鉄塔の上、あるいは、上空約36,000 kmの静止軌道にある人工衛星から発射されている。標準電波やAMラジオ放送では、鉄塔自身が大きな送信アンテナである。

こんなにも数多くの電波を発射・受信する無線機が日常生活に溢れているが、それぞれが正しく通信を行い、通信だけでなく、調理、充電、金銭のやりとりまで行っていることを、我々は、驚くことも不思議に思うこともなく、暮らしの一部として受け入れている。パソコン、冷蔵庫、洗濯機、エアコン、蛍光灯、LED電球など、ありとあらゆる電気機器、電子機器からは、電磁雑音が発生し、無線通信に対して干渉し、大なり小なりの妨害を与えているにも関わらずである。

2017年が「IoT元年」と呼ばれ、IoT (Internet of Things: モノのインターネット) という言葉が、広く知られるようになった。いよいよ、すべてのモノ同士が繋がろうとするときには無線接続される、すなわち電波が利用されることは疑いの余地がない。

IoT社会の実現に向けて、電磁雑音から干渉を受けて誤動作を起こさずに、正常に通信を行うための「電波を正確に測定する」技術の必要性は、否が応でも高まっていくに違いない。

電波とは？

電波は電磁波の一つである。我が国では、「『電波』とは、3百万メガヘルツ (3 THz) 以下の周波数の電磁波をいう。」と電波法で定めている。図1に示すように、光も電磁波の一つであるし、レーザー光線に用いられている赤外線も、日焼けの原因となる紫外線も、病気の診断に用いるX線も電磁波の一つである。

法令上、電波は、上記の周波数や電界の強さなどで区分して扱われるが、直接、測定できないので、電気に変換し、間接的に測定する。このとき使用する測定器は、あくまでも電気 (電圧、電流、高周波電力) の周波数や強さを測定する装置であって、電波 (電界、磁界、電力密度) の周波数や強さを、直接測定する装置ではない。したがって、後で説明するように、電波の量を電気の量に変換する装置と、両者の値の読み替え (換算・変換) が必要になる。

無線用測定器等の較正

情報通信研究機構 (以下、NICT) は、その前身である電波研究所 (1952～1988年) から、通信総合研究所 (1988～2004年) の時代を経て、現在に至るまで、無線機器を試験するために使用する測定器やアンテナといった無線用測定器等の較正 (こうせい)^{*1} サービスと、較正手法に関する研究開発を行っている。

較正は、測定器が本当に正しい値を表示しているのかを測定によって確認し、ずれている程度・ずれてい

電磁波																									
電波											赤外線		紫外線		X線		γ線								
マイクロ波						テラヘルツ波					可視光線														
商用電源			標準電波			AMラジオ			FMラジオ			地デジ			BS/CS			赤外線通信			殺菌		手荷物検査		
電波航法			非接触IC			消防無線			携帯電話			衝突防止レーザー			各種センサー										
ELF	SLF	ULF	VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF															
周波数		3 Hz			3 kHz			3 MHz			3 GHz			3 THz			3 PHz			3 EHz			3 ZHz		
波長		100 Mm			100 km			100 m			10 cm			100 μm			100 nm			100 pm			100 fm		

図1 電波とは

ないことを明らかにする作業であり、測定器が示す値を疑うという仕事である。日頃、あなたは、測定器が表示する値を疑うことはせず、いつも正しいと信じていると思うが、NICTで較正サービスを行う者たちは、「この測定値は、本当に正しいの?」という気持ちで、測定器を眺めている。

古い文献 [1] を紐解くと、NICTの前身である電波研究所が測定器の較正を始めた理由は、電波研究所が最も正しいとして扱っている標準器と、工業技術院 電気試験所（現・産業技術総合研究所）や、日本電信電話公社 電気通信研究所（現・NTT 電気通信研究所）などが有する標準器との間の食い違いを除去し、国内統一を図るためと、測定器の確度を向上させるためだったらしい。「〇〇社製の測定器を使うと試験に合格しやすい・免許を取りやすいぞ」といった問題を防ごうことや、「電波が強すぎます。電波法に違反しています」と行政指導するなど、正しい電波の利用を促すためには、「測定結果が正しい」ことが大前提である。言い換えれば、どんなに法律や規則を定めたとしても、正しい測定が出来ないのであれば、免許の交付も指導も行うことはできないのである。

さらに、現在では、国内に留まらず、測定器や無線機を輸出入するために、測定結果に対して国際的な整合性を確保する必要が生じている。一秒あたりのエネルギー、すなわち電力は「ワット(W)」という単位で表わしているが、もし、世界各国のワットの定義が異なっていたら、通貨のドル (\$) が、米ドル、豪ドル、

	買い	売り	前日比	
米ドル/円	112.46	112.49	-0.05	
豪ドル/円	80.93	80.97	+0.15	
加ドル/円		米W	豪W	日W
米W			0.998	1.003
豪W	1.002			1.005
日W	0.997	0.995		

図2 単位の換算

加ドルと呼び分けられ区別され、為替市場で変換レートが決められているように、ワットは、米ワット、豪ワット、日ワットと区別され、それぞれのワットを、いちいち換算しなければならなかっただろう（図2）。世界中のどの国で、どの測定器を使って測っても「1ワットは1ワットである」という当たり前のことが、じつは、較正によって守られている。

さらに、このワットは、自動車のエンジンの出力を表わすワットや、エアコンの消費電力を示すワットと等しい。これは、ワットという単位が、国際単位系(SI)として定義された単位の一つだからである。2018年、キログラム(kg)を始めとする4つの基本単位の定義について、2019年5月20日から新しい定義が適用されることが決まったが、国際単位系として定められたすべての単位は、7つの基本単位（長さ(m:メートル)、質量(kg:キログラム)、時間(s:秒)、電流(A:アンペア)、温度(K:ケルビン)、物質質量(mol:モル)、光度(cd:カンデラ))から組み立てられる仕組みになっている。ワットは7つの基本単位を組み合わせで作られる「組立単位」とよばれる単位の1つであり、 $1\text{ W} = 1\text{ m}^2 \cdot \text{kg} / \text{s}^3$ の関係がある。我が国における単位（基本単位・組立単位とも）の維持・管理・供給は、産業技術総合研究所 計量標準供給センターが

*1 「校正」と「較正」
発音はどちらも同じ「こうせい」である。一般的には、「校正」を使用することになっているが、電波法では特別に「較正」を使っている。これは、「校正」は測定器のずれを求める作業のみを指す用語であるのに対し、電波法では「較正」は測定器のずれを求める作業だけでなく、正しい値を表示するようにずれを調整する作業も含むとして、総務省が、あえて区別して表しているためである。しかしながら、近年の測定器は、構造が複雑であったりICチップに回路が内蔵されていたりしており、測定器メーカーの人以外が調整することは難しいため調整は行っておらず、したがって、「較正」と「校正」との間に、技術的な違いはない。

行っている。

2018年3月、NICTは、産業技術総合研究所と共同で、300 GHz帯の電力標準器を、世界に先駆けて開発した[2]。具体的には、最高周波数330 GHzまで0.1 mWを正しく測定できるカロリメータである。

カロリメータとは、高周波電力(単位:ワット)を、抵抗器に直流電圧を加えて発生した直流電力(単位:ワット)と比較して、カロリメータに入射した高周波電力の値を正確に決定する装置である。例えるならば、カロリメータは、高周波電力と直流電力とを、熱を介して比較する「天秤」である。

いま、高周波電力をカロリメータで測定したとき、電力が0.100 mWであると判ったとする。同じ電力を、市販の電力計Aで測定したとき、例えば、0.103 mWと表示されたら、2つの測定値を比較することにより、この電力計Aは、0.003 mWずれて表示しているという「較正結果」が得られたことになる。電力計Aのずれが明らかになったのだから、次は、この「較正済み」の電力計Aを基準として、別の電力計のずれを知ることができる。このようにして較正を繰り返していけば、すべての電力計のずれが明らかになり、どの電力計を使って測定しても、同じ測定結果が得られるようになる。これなら、無線局に対して免許や指導を行う際、測定器の違いによる問題は生じない。

図3に較正の連鎖の様子を示すが、ある電力計による測定結果が、SI基本単位を現示する原器にまで遡ることができる仕組みを「計量トレーサビリティ」という。牛肉について、牛がどのように飼育され、加工されて流通し販売されたかといった一連の経緯がすべて分かるようにする「牛トレーサビリティ制度」[3]と同様、電力計の測定値についても、「計量トレーサビリティ」によって、その根拠や妥当性が保障される。

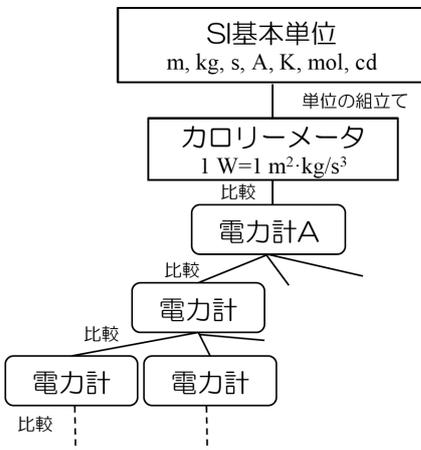


図3 計量トレーサビリティ

アンテナ係数

電波を測定すると言っても、先にも述べたように、電波は、直接測定することはできない。そのため、空間を伝わる電波を、アンテナを使って受信し、電力計やスペクトラムアナライザを使って測定できるようにする必要がある。アンテナは、電波を電気に変換する装置(電界-電圧変換装置)であると言える。

アンテナの特性を示すパラメータとしては、利得や指向性が挙げられるが、ここでは、変換装置としての説明がしやすい「アンテナ係数」について述べる。

アンテナ係数は、電磁環境問題の一つである電気・電子機器などから放射される妨害波を測定するとき、広く利用されているパラメータである[4]。図4は電波を受信している様子であるが、いま、受信する電波の強さを電界 E (単位はV/m)で表わす。一方、測定器の出力は電圧(単位V)で表わす。電界 E を受信して、電圧 V に変換するのがアンテナの役割である。いま、電界 E が大きくなれば電圧 V も大きくなるという比例関係があることを考慮すれば、電波を受信したときの E と V の間の係数をアンテナ係数 F_a とし、

$$E = F_a \cdot V$$

と定める。アンテナ係数の単位は1/mになる。これによって、電界と電圧を変換することができるようになるから、我々は電圧を測定すれば、電界を知ることができる。

図5は、各種エネルギーの相互関係を示している。エネルギーは様々な形態を持つが、相互関係の図を描くときには、中央に「電気エネルギー」を置くと描きやすくなる。これは、電気が他の形態と比べて、エネルギーを送ったり、受け取ったり、貯えたりと、扱いやすいことを意味しているのかも知れない[5]。

アンテナ係数を決定するための較正(アンテナ較正)技術は、不要妨害波を含む電波を正確に計測するために不可欠な技術である。NICTでは、図6に示す、幅30 m×長さ45 mの金属板を敷き詰めた屋外試験場(オープン・エリア・テスト・サイト)や、幅17 m

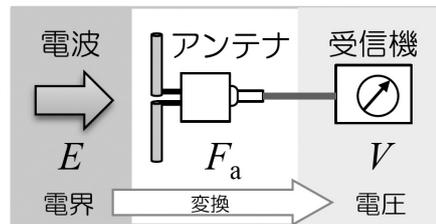


図4 アンテナ係数

×長さ 28.5 m ×高さ 11.7 m の広さを持つ大型電波暗室を有しており、これらの設備を使って、アンテナ較正サービスと、較正法に関する研究開発を行っている。

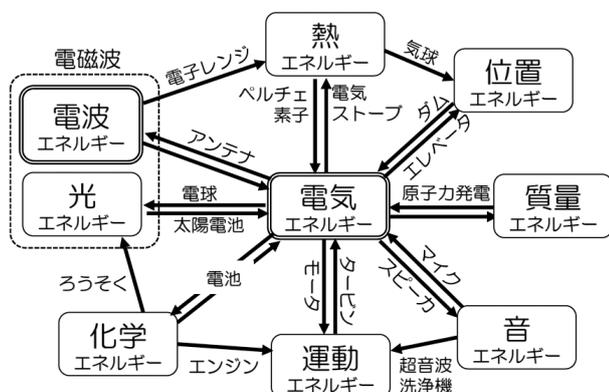
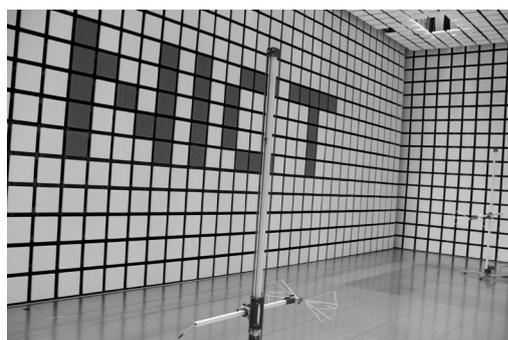


図5 エネルギー変換



(a) 屋外試験場



(b) 電波暗室

図6 NICTのアンテナ較正用施設

おわりに

IoT時代の到来を受けて、電波は、ますます身近なものとなり、我々の生活の中に広く・深く溶け込み、水道や電気と同じように、誰もが意識することなく使える・使えて当たり前の社会基盤（インフラストラクチャー）と化すことだろう。

美味しい水や、安定した電力の供給を可能にするための技術と同様、安定した電波利用の実現のためのク

リーンな電波環境を実現するための技術は、我々の快適な生活を実現するために欠かせない技術要素となるに違いない。

「研究」というと、誰も知らなかったことや作れなかった物を、新発見したり新開発したりといった、ピラミッドの頂上を高くする最先端の研究を想像するかもしれないが、ピラミッドが安定して高く積み上がるように、ピラミッドの底面にある残り4辺の最先端を上げ、裾野を広げ、土台を固めることも大切な「研究」である。

NICTでも、電波を利用した数多くの最先端の研究が行われているが、電波を正しく測る技術、測定器やアンテナを較正する技術についての研究開発も、一緒に行うことで、社会の発展と電波環境の維持に貢献している。

華々しい研究成果は、正しく測定できて当たり前を実現する計測・較正に関する研究成果によって支えられているのである。

<文献>

- [1] 較正季報 第1号, 郵政省電波研究所, (1954年1月)
- [2] テラヘルツ帯の精密な高周波電力測定を実現, NICTプレスリリース (2018年3月13日)
[Web] <https://www.nict.go.jp/press/2018/03/13-1.html>
- [3] 牛・牛肉のトレーサビリティ, 農林水産省 (2018年8月20日更新)
[Web] <http://www.maff.go.jp/j/syouan/tikusui/trace/>
- [4] 末武, 杉浦監修, 不要電波問題対策協議会 編, 図解 EMC 用語早わかり, pp.116-117, オーム社, (1999年1月)
- [5] 佐藤, “電気が支える便利な暮らし,” Science Window 2017年冬号(1-3月号), vol.10, no.4, pp.6-8, (2017年1月)

❖❖ 筆者紹介 ❖❖

藤井 勝巳

- 略歴：2001年東北大学電気通信研究所助手。2006年NICT入所。以来、高周波電力計やアンテナを始めとする無線機の試験に必要な測定器類の較正サービス及び較正法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）。
- EMCとの出会い：中学生のときに電子工作とアマチュア無線に出会ったのが始まりです。大学4年生になって所属した研究室が、EMC計測に関する研究に取り組んでいて、アンテナの較正法や測定場の特性評価法に関する研究に携わりました。以来、現在に至るまで、一貫してEMCの研究を行っています。
- 研究者としての日々：好きなことで生きていく、趣味の延長で仕事ができるというのは、とても恵まれた境遇だと思います。ただ、仕事が趣味であるがゆえに、寝食を忘れて働き過ぎてしまったり、趣味のはずなのに、ストレスを感じてしまったりすることがあるので、新たに夢になれる趣味を探しています。
- 研究者として大事にしていること：シンプル・イズ・ベスト。大切なこと・物事の本質は、簡単に表わすことができる・単純かつ美しい方程式で表わすことができるに違いないと信じています。また、自分の研究成果は、できる限り多くの人に使っていただける形にまで整えて送り出すことを心がけています。
- 好きな言葉：人間万事塞翁が馬。由来となった物語を知り、そのとおりだと思いました。人生、何が幸いで、何が災いかなんて分からないし、それはきっと自分次第。
- 好きな映画：「予告犯」「ゴールデンランパー」「ショーシャンクの空に」。
- 好きな音楽：最近よく聴くのは、amazarashiの「ひる」。
- 尊敬する人：吉田憲一さん。洋上加工船のファクトリー・マネージャー。彼のようなリーダーになりたいと、NHKの「プロフェッショナル 仕事の流儀」を観て以来、思い続けています。YouTuberのバイリンガル（吉田ちかさん）の実父。
- 国の研究機関で働くこと：国の研究機関では様々な研究が行われていますが、NICT電磁環境研究室における研究は、電磁環境を維持するための法令を作る際の技術的根拠となったり、較正サービスは法令が誰にでも平等に適用されるためのサービスであったりして、皆さんの社会生活を支える研究を行っています。自分の研究成果が、当たり前のように社会実装され、目に見えないところで利用されることを誇りに思っています。