

## INTERVIEW

## 安全・確実な電磁環境の実現を目指して



松本 泰 (まつもと やすし)

電磁波研究所 電磁環境研究室  
室長

1985年郵政省電波研究所(現NICT)入所。移動体衛星通信の研究開発に従事、その後NASDA(現JAXA)、東北大学を経て、衛星搭載アンテナ、電磁環境技術に関する研究開発などに従事。博士(工学)。

スマートフォンをはじめとする携帯情報端末から家電製品まで——。現在、我々の「便利な生活」の多くが、無線通信技術の発展によって成り立っている。この「便利な生活」のための道具は、100%が電波を利用する電子機器であり、それらからは例外なく電磁波が出されている。今や、我々は電磁波に囲まれて生活していると言って過言ではない。この電磁波は、周りのものにどのような影響を与えるのか。電磁波の周辺環境との相互作用の評価と、電磁波影響への対策の研究を進める、電磁波研究所電磁環境研究室の松本 泰室長にお話を伺った。

## ■電磁的両立性の追求とNICT

——研究室の名前にもなっている「電磁環境」の技術ですが、これはそもそもどのようなものなのでしょうか。

**松本** 私たちの身の回りにあふれるようになった電子機器からは、多くの電磁波が出ています。それは意図的に出しているものもありますが、出すつもりはないのに出てしまう電磁的な雑音もあります。

ある機器なり、システムなりが、他の機器や人に対し電磁的に悪影響を与えないように、同時に、他の機器の電磁波により、悪影響を受けないようにする——この双方向の能力や性質を電磁的両立性、もしくは頭文字を取ってEMC (ElectroMagnetic Compatibility) と呼びます。この両立性の確保が、電磁環境技術のテーマです。

特に近年、IoT、あるいは第5世代移動通信システムなどによる無線の利用がますます、しかも急激に増大する傾向にあります。NICTは総務省所管の国立の研究開発機関として、特に無線通信に関する電磁環境、電磁的両立性の研究をしています。

我々は5年ごとの中長期計画の下に動い

ていますが、今中長期(平成28~32年度)に関しては大きく2つの柱を設定しています。1つは「先端EMC計測」、そして、もう1つが「生体EMC技術」です。平たく言えば、前者は、モノとモノの間の電磁的両立性、後者はヒトとモノの間の電磁的両立性の研究です。

現在、先端EMC計測に関しては3つ、生体EMC技術は2つのチームが活動しています。

## ■いよいよ増大する「電磁的雑音」

——「先端EMC計測」、つまりモノとモノの間の両立性に関しては、どのような研究が行われているのでしょうか。

**松本** 先端EMC計測の中にも、いくつかのテーマがあります。

例えば、省エネ機器などが発生する電磁的雑音です。省エネ家電、例えばLED照明には、交流を直流に変換するスイッチング電源が使われています。あるいは太陽光発電にも、同様の仕組みで、逆に直流から交流に変換するスイッチング・コンバータが使われます。

これらの変換素子ではエネルギーのロスを少なくするためにスイッチのON/OFFの間の時間をできるだけ短くするのですが、その結果、広い帯域の電磁的雑音が発生します。このことで無線通信や地上デジタル放送などに妨害を引き起こす懸念があり、若干の実例も報告されています。

そうした電磁的雑音をどのように測るか、また、どういった影響を及ぼすかを定量的に評価するのが、我々の1つめのテーマとなります。実際に各機器の雑音を低減するといったことは個々のメーカーの仕事になると思いますが、我々はその前提として電磁的雑音の評価法を確立するとともに、電磁的雑音のレベルを規制する国際標準作り

IoT時代の電波利用を支える電磁環境技術

INTERVIEW

安全・確実な電磁環境の実現を目指して

にも関わっています。  
 2つめのテーマとして、無線機器が発生する不要な電波の測定があります。どんな無線機も、本来発信すべき電波（所望波）に加えて、出さなくていい電波（不要波）がどうしても出てしまいます。この不要波についても電磁的雑音同様、ある値以下に収めるという国際的ルール作りが行われていますが、これに関しても、前提として“きちんと測る”ことが求められます。我々はそのための技術開発を行っています。  
 3つめのテーマもこれと深く関わりますが、不要波を測定するにあたり、その正しさを担保する一測定器が正確かどうかを検証する一機能をNICTが担っています。専門用語で「較正」と言いますが、要するに、度量衡における原器の役割です。我が国に

おいては、物理標準は産業技術総合研究所（産総研）の管轄ですが、電波の基準に関しては、電波法上、NICTによる較正が基準となっています（図1）。

■人体への影響評価も細分化

—では、「生体EMC技術」の分野に関しては、いかがでしょうか。

**松本** こちらはその名称から連想されたとおり、電波が生体（人体）に対してよくない影響を及ぼさないか、その安全性の確保に関する研究です。具体的には2つの柱があります。

1つめは電波が人体に当たるとどうなるかを定量的に評価する技術で、「ばく露評

価技術」と呼ばれます。もちろん人体実験をするわけにはいかないもので、基本的にはデジタルデータで人体を再現した「数値人体モデル」を用いた計算シミュレーションを行います。またこれは健康影響に関する事なので、我々のような工学系の研究者だけではカバーできない部分もあり、そうしたところは医学系の大学や他の研究機関との共同研究も行っています。

もう1つは、発生する様々な電波を健康被害を及ぼさないレベルに抑えるためのガイドライン（わが国では『電波の人体防護指針』が策定され、その一部が電波法の規制値となっています）に対し、実際の機器が合致しているかどうかを正しく判断する技術開発。これは「防護指針適合性評価技術」と呼ばれています。

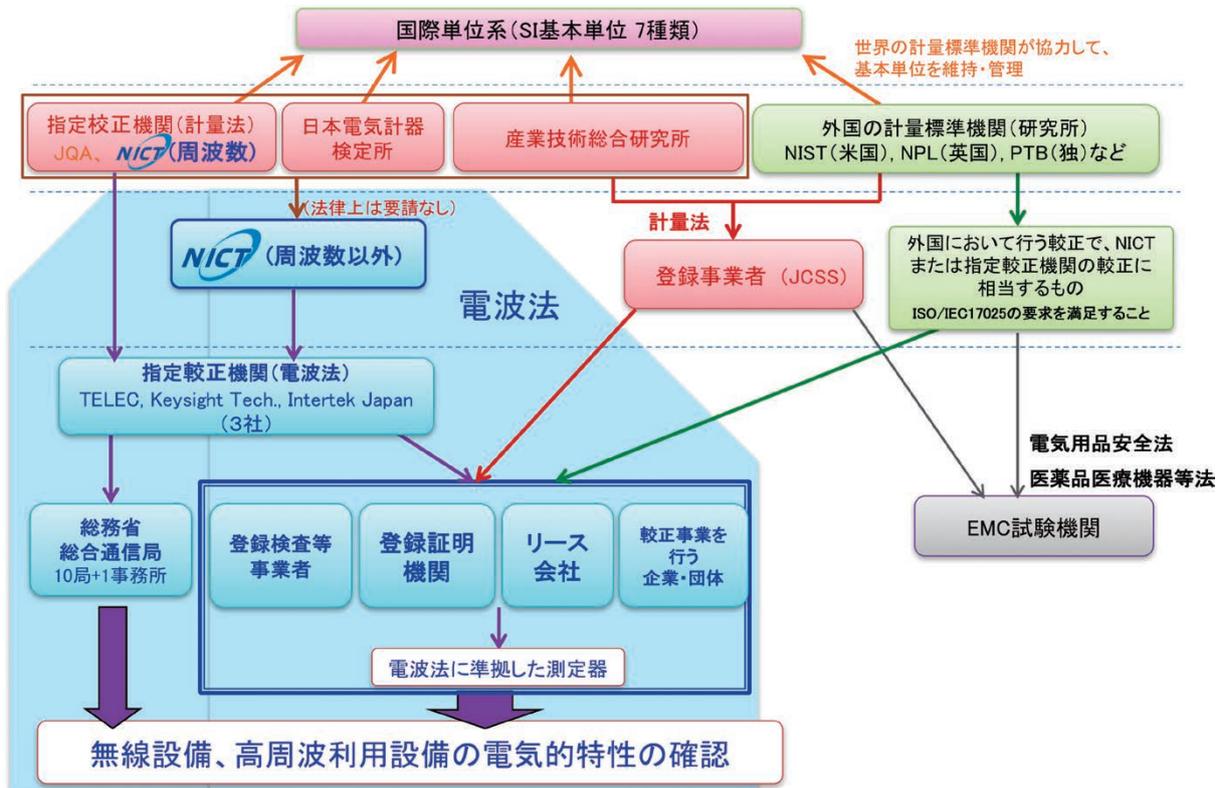


図1 我が国における無線設備用測定器の較正体系



大型電波無響室：様々な波長の電波（30 MHz～40 GHz）に対して精密な測定を行うために広い空間を確保し、室内での電波の反射を防止した実験設備（床にも吸収体を敷設した6面暗室（写真）の状態、D23.4m×W11.9m×H7.9m（内壁間））

これに関しては、例えば従来の携帯電話に比べ、スマートフォンの場合だと、耳元ではなく手で使うなど、もっぱら使用する位置も違ってきます。かつては通話だけだったのがインターネット接続がメインになり、通信の時間や内容も変わってくる。周波数もマルチバンド化により、時々に応じて様々な周波数が使われる。このようにパラメータが膨大になってきていることが、それだけ評価を難しいものになっています。

### ■無線技術の進歩とEMCの研究は表裏一体

——伺っていると、非常に多方面にわたって、細かく一つひとつ固めていかなければならない大変なお仕事という感じがします。

**松本** ますます広がる電波の利用に関して不都合が起きないようにする研究ですから、最悪値想定というか、「こんなことも起こるかもしれない、こうしたことも考慮する必要がある」という事柄に対して、それぞれを突き詰めていかなければなりません。

特に、無線通信の技術の進歩と、EMCの研究開発というのは、常に表裏一体です。様々な情報端末、無線機器によって我々の生活は大いに便利になっていますが、その便利の裏側で事故が起きたりし

ないようにしなければならない。そのため研究は、公的研究機関がきちんと対処していくべきことだと思っています。

もともと、「影響がないこと」を証明するのは、非常に難しいのですが。

### ■進化を続ける無線技術を安心して利用するために

——IoT時代の進展に伴い、電波利用には今後も更に新しい動きが生まれてくるのではないかと思います。それに関し、どのように備えていく必要があるとお考えですか。

**松本** 要約すれば「電波・無線が、ますます広範なシーンで使われるようになる」ということだと思います。

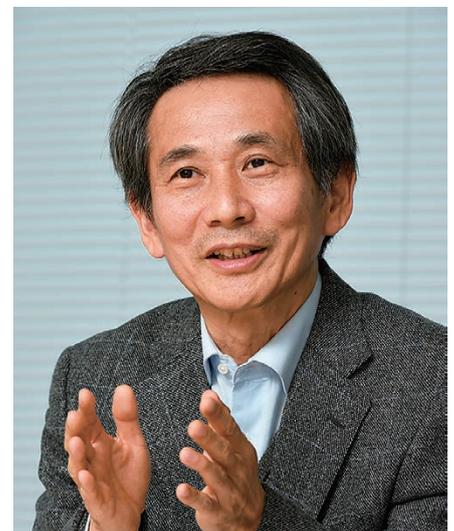
工場内のオートメーションだけでなく、家の中でも機器同士が無線で情報をやり取りする。高齢者の見守り、遠隔医療など福祉や医療の分野でも利用が広がる。スマートグリッドなど、インフラ分野でもより細かい制御が行われ、そこでも電波が使われます。

これは、一方で不要な電波もたくさん出てくることになります。家庭内、オフィス、産業の現場でも電磁波の干渉による不都合の可能性は高まると予想されます。

また、利用が進む分だけ電波が足りなく

なり、より高い周波数へ移行・拡大していくこととなります。当然ながら、こうした動きに対応した計測技術、較正の技術、人体への影響の評価技術などがまた新たに必要になってきます。さらに、携帯端末などの電波利用は世界的規模で進むわけですから、EMCの研究開発でも国際協調や国際標準化がますます重要となっていきます。

人々が安心して無線機器などを使えるためには、常に将来の無線技術の動向を見据え、できれば先回りをして何か問題が起きる前に対処できる態勢を整えていく。そのための研究が、我々に求められていることだと考えています。



## 無線電力伝送システムに対する安全性評価技術の研究

安全性評価の世界標準を目指して



**中** 間周波数帯(300 Hz-10 MHz)を利用する無線電力伝送(Wireless Power Transfer: WPT)技術は急速に進歩しており、近い将来広く普及する見込みです。本研究では、WPTシステムに対する人体の安全性評価について、用途や利用状況に応じて解剖学的数値人体モデルを用いた数値解析及び新しく提案したカップリングファクター(Coupling Factor: CF)による実際の適合性評価を行いました。本稿ではこれらの研究紹介と、WPTシステムに対するばく露評価法の標準化について、これまでの活動及び今後の展望を示します。

### ■研究背景

近年、中間周波数帯の電磁波を利用したWPTシステムを導入するニーズが高まっています。WPT技術によって、車載電池の小型化や様々な場所でのモバイル機器の充電が可能となり、機器の利便性が向上します。一方、WPTシステムの取り扱う電力は従来の無線通信機器よりも大きいため、周囲に発生する電磁界強度も大きくなります。そのため、WPT機器に近接する

人に好ましくない影響を及ぼさないよう、電波エネルギー量等を規定した電波防護指針に基づいて人体に対する安全性評価を行う必要があります。

中間周波数帯電波は、これまで身の回りではあまり用いられていなかったことから、安全性の検討が必ずしも十分に行われていません。また、ばく露評価方法も十分に確立されているとは言えません。特に100 kHz-10 MHzの周波数帯では、低周波で支配的な刺激作用の体内誘導電界( $E_{in}$ )及び高周波で支配的な熱作用の比吸収率(Specific Absorption Rate: SAR)の両方を評価する必要があります。また、人体の配置や姿勢が利用状況によって異なるため、用途に応じた評価を行わなければなりません。例えば、電気自動車(Electric Vehicle: EV)用WPTシステムは車体の底部に設置されているのに対して、パソコン・モバイル機器用WPTシステムは人体の極近傍に配置される可能性を考慮する必要があります(図1)。

そこで、WPTシステムを人体近傍に配置した数値解析を行い、それぞれのシステムに対応した適合性評価法を検討しました。

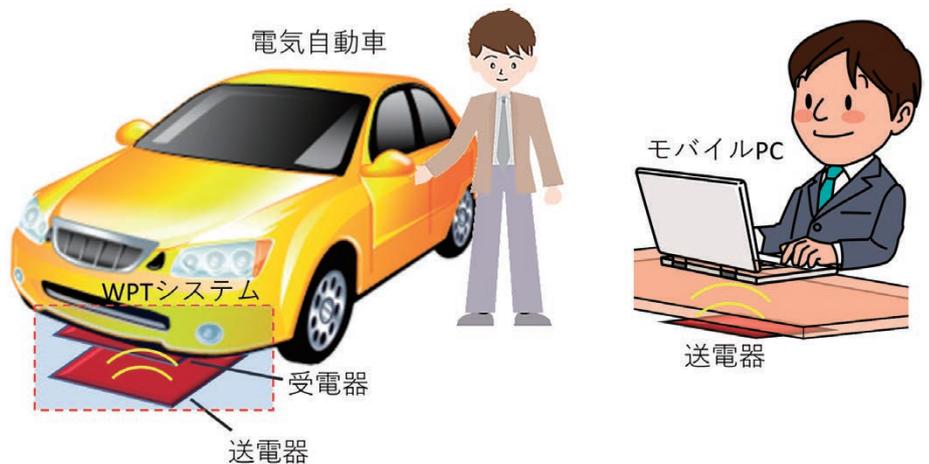


図1 WPTシステムを利用した電気自動車及びモバイル機器への充電のイメージ

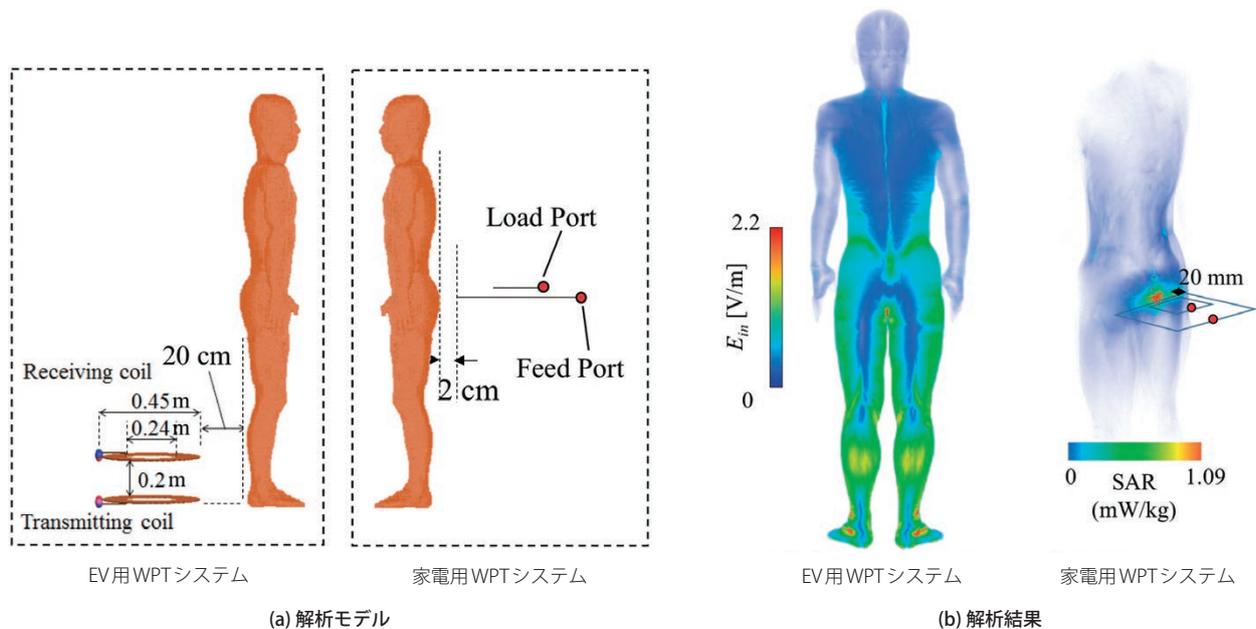


図2 EV用及び家電用WPTシステムに対する解析モデル及び解析結果

## ■ WPTシステム近傍における体内誘導量の数値解析

本研究では、インピーダンス法及び低周波解析のために新たに提案した、高速化改良時間領域有限差分法<sup>[1][2]</sup>を用いて解析を行いました。NICTで開発した日本人成人モデルの近傍に、EV用及び家電用WPTシステムを図2 (a) のように配置し、解析した結果 ( $E_{in}$ 及びSAR) を図2 (b) に示します。図2 (b) よりEV用WPTシステムの場合、人体の下部(足や股の間等)に  $E_{in}$ が高いのに対して、家電用WPTシステムの場合、システムの極近傍の局所のみSARが高いことがわかりました。

また、実際のWPTシステムの周囲で測定した入射電磁界を用いたばく露評価手法を新たに開発し、数値モデル化が困難な実際のWPT製品に対するばく露評価も行えるようになりました。

## ■ カップリングファクター(CF)による適合性評価

実際のWPT製品に対する適合性評価を行う場合、高度な数値解析が困難です。また測定が容易な入射電磁界による安全性評価は人体へのばく露を想定しているため、WPTシステムのように不均一なばく露に対しては、体内誘導量に基づく評価に比べて厳しすぎます。そのため、予め体内

誘導量と入射磁界を関連付けたCFを求めておくことで、測定入射電磁界のみで体内誘導量を等価的に評価する手法を新たに提案しました<sup>[3]</sup>。CFは熱作用及び刺激作用について以下の式で表すことができます。

$$a_{c1} = \left( \frac{\sqrt{SAR_{max}^{10g}}}{H_{max}} \right) / \left( \frac{\sqrt{SAR_{limit}^{10g}}}{H_{limit}} \right)$$

$$a_{c2} = \left( \frac{E_{max}^{in}}{H_{max}} \right) / \left( \frac{E_{limit}^{in}}{H_{limit}} \right)$$

$SAR_{max}^{10g}$	: 最大局所10g平均SAR
$SAR_{limit}^{10g}$	: 最大局所10g平均SARの制限値
$E_{max}^{in}$	: 体内誘導電界強度
$E_{limit}^{in}$	: 体内誘導電界強度の制限値
$H_{max}$	: 人体を占める空間内の最大磁界強度
$H_{limit}$	: 磁界の制限値

上記の定義によって求めたCFは、それぞれEV用及び家電用WPTシステムで、0.050及び0.0041となります。実際の適合性評価の際に、CFを測定磁界強度に掛けた結果を用いることで、過剰に制限された出力を、安全性を確保しながら大きくできます。例えば、EV用WPTシステムに対して、CFとして0.05を用いることで入力電力を400倍大きくできます。

## ■ 今後の展望

今後、WPTシステムは工場ロボットや体内カプセル内視鏡等への様々な応用が期

待されています。また、電波受信方式のWPTシステムの実用化も検討されています。そのため、それぞれのシステムに対しても適切な安全性評価法の開発が必要になります。

最後に、WPTシステムの安全性評価について、日本では、当研究室での計算結果に基づき総務省情報通信審議会の答申が行なわれ、世界に先駆けて技術基準が作成されました。一方で、平成27年度より、国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission : IEC) において、WPTシステムの適合性評価方法についての検討が開始され、技術報告 (Technical Report : TR) が発行される予定です。当研究室では、国際標準化会議を通じてWPTシステムに対する人体の安全性を確保し、WPTシステム利用増加が想定される未来社会基盤の強化に精力的に取り組んでいきます。

### 参考文献

- [1] J. Chakaroathai, K. Wake, S. Watanabe, "Convergence of a single-frequency FDTD solution in numerical dosimetry," IEEE Trans. MTT, vol. 64, no. 3, pp. 707-714, Mar. 2016.
- [2] J. Chakaroathai, K. Wake, S. Watanabe, "Scalable GPU-parallelized FDTD method for analysis of large-scale electromagnetic dosimetry problems," ACES Journal, vol. 31, no. 6, June 2016.
- [3] K. Wake, I. Laakso, A. Hirata, J. Chakaroathai, et. al., "Derivation of Coupling Factors for Different Wireless Power Transfer Systems: Inter- and Intralaboratory Comparison," IEEE Trans. EMC, vol. 59, no. 2, pp. 677-685, Dec. 2016.

## 利用拡大が進む準ミリ波・ミリ波帯における電波利用技術に対する安全性評価技術の研究



佐々木 謙介 (ささき けんすけ)

電磁波研究所 電磁環境研究室  
研究員

大学院修了後、2011年 NICT に入所。極低周波からサブミリ波帯までの生体組織等の物理定数測定や準ミリ波帯・ミリ波帯における安全性に関する研究に従事。  
博士 (工学)

**新**しい無線通信システムに準ミリ波帯 (10~30 GHz)・ミリ波帯 (30~300 GHz) の利用が検討されています。これに伴い、準ミリ波・ミリ波帯における電波利用技術を安全かつ安心して利用するための調査・研究が求められています。電磁波研究所では、新しい電波利用技術に対する人体安全性に関して、生体組織の電気定数についての研究や体内に吸収される電力量等の解析・測定技術の研究を推進しています。また、電波への人体ばく露に対する防護指針値の制定・改定やこれらの指針値に対する適合性評価技術の国際規格策定のための標準化活動を行っています。

### ■次世代無線通信技術に対する安全性評価研究

日本国内における通信トラフィックは年々増加しており、より高速な通信を可能とするシステムが求められています。60 GHz 帯を用いた WiGig (Wireless Gigabit) は実用化されており、また次世代 (第5世代: 5G) の携帯無線端末・基地局に準ミリ波帯 (10~30 GHz)、ミリ波帯 (30~300 GHz) の利用が国際電気通信連合 (ITU) にて検討されています。電磁波研究所では、これらの新しい無線通信技術の普及において、電波を安全に利用するため

の調査研究、そして安全を担保するための技術開発を行っています。

### ■電波ばく露による人体の応答を決定づける生体組織の電気定数測定技術

人体が電波にばく露された際の体内での透過・吸収量等を評価する上で、人体を構成する各生体組織の電気的な物理定数 (以下、電気定数)、具体的には誘電率・導電率を正確に把握する必要があります。生体組織の電気定数は組織の組成や周波数によって異なるため、準ミリ波帯・ミリ波帯における各生体組織の電気定数を測定する必要があります。

そのため電磁波研究所では、生体組織の電気定数を正確に測定するための装置を開発しています (図1)。そして、安全性評価研究の推進において必要な生体組織、具体的にはブタ等から採取される組織\*の電気定数を測定・分析しています (図2)。特に、ミリ波帯での電気定数測定に関する研究報告は少なく、ここでの成果のほとんどが世界で初めて取得されたものです。これらの研究成果を利用することで、人体が電波にばく露された際の電磁界の散乱現象や体内での吸収現象を正確に評価することが可能となります。

また、生体組織の電気定数は人体安全性評価だけでなく、医療応用技術の開発研究等にも利用される、極めて利用価値の高い基盤的な情報といえます。このことから、今後はより多様な生体組織、例えば脳を構成する詳細な組織の電気定数を測定・分析することにより、世界最大規模の組織数や周波数範囲を有する生体組織電気定数のデータベースの構築に向け、研究開発に取り組んでいきます。

\* 主に畜産副産物 (家畜から食肉を生産する際に派生する副産物) を使用しています。

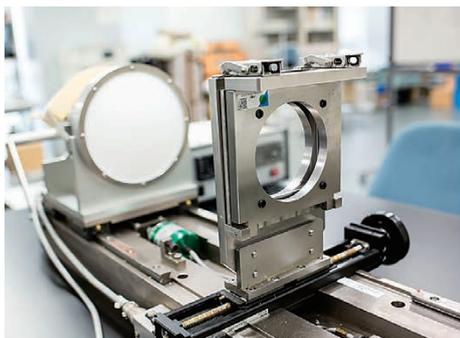


図1 (左) 準ミリ波・ミリ波帯における電気定数測定装置。直径100 mm程度の試料の電気定数を測定する装置。(右) 直径10 mm程度のセンサ型の装置であり、採取量が少ない生体組織の測定に適しています

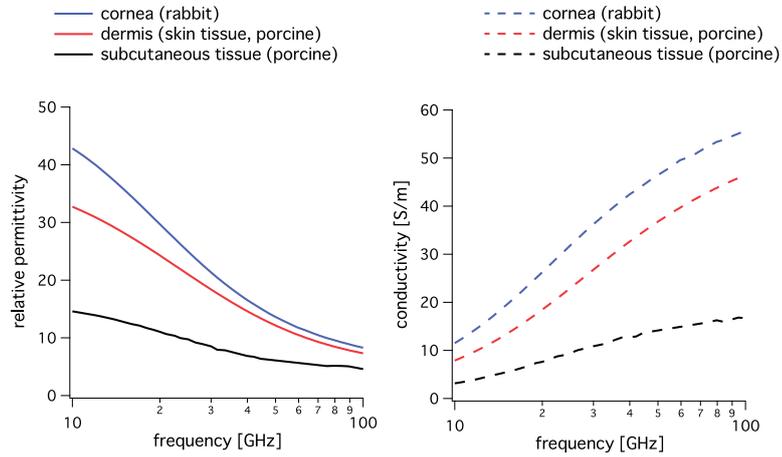


図2 生体組織の電気定数 (実線：比誘電率、点線：導電率)  
青線：角膜 (ウサギ)、赤線：真皮 (ブタ)、黒線：皮下組織 (ブタ) の測定結果

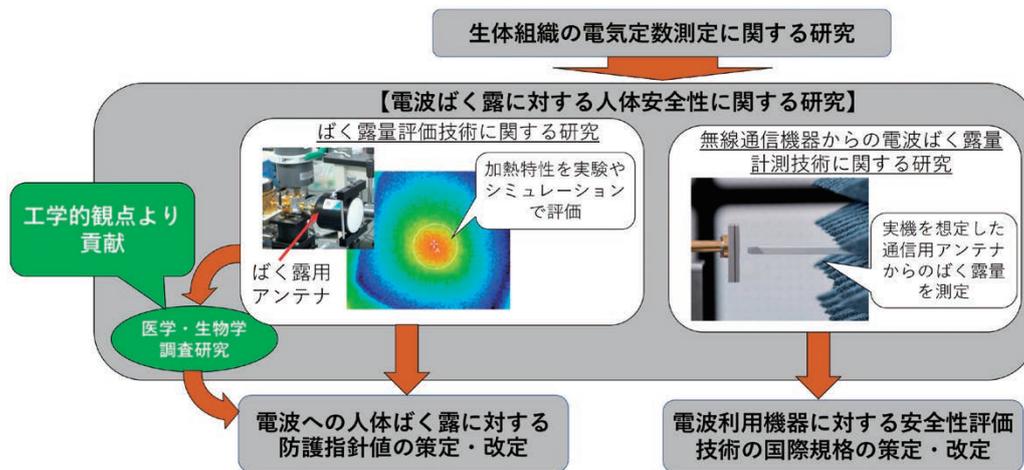


図3 電波の安全性評価研究に関する電磁波研究所の取組

### ■電波ばく露量の評価技術に関する研究

電波ばく露量とは、生体に入射される電力束密度や、電波ばく露の際の人体内部での電力吸収量や加熱の程度といった、生体内での誘導量を指します。準ミリ波帯・ミリ波帯の電波は体表での電力吸収が大きいため、体表組織での電力吸収に起因する加熱が主要な生体作用として知られています。電磁波研究所では生体中の電力吸収特性や加熱特性を、シミュレーションを用いた手法や人体の電気的特性を模擬した生体等価ファントム等を利用した実験的手法により評価することで、調査・研究を推進しています (図3)。

また、電波ばく露による生体影響を評価するにあたり、医学・生物学的な知見が不可欠です。電磁波研究所では医学系大学や生物学系の研究機関と連携し、電波ばく露による生体への医学・生物学的影響、例えば電波ばく露による組織の加熱に起因する

炎症等の生体影響の程度や熱以外に起因する生体影響の有無の調査について、共同研究を推進しています。これらの共同研究では、再現性の高い実験を可能とする装置開発やその装置のばく露量評価など、工学的観点から研究の推進に貢献しています。

準ミリ波帯・ミリ波帯の電波ばく露における人体安全性については、十分な科学的知見が得られておらず、引き続き調査・研究が求められています。実際、電波への人体ばく露に対する防護指針値 (以下、指針値) を作成している、国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) や米国電気電子学会 (IEEE) において、これらの周波数帯における指針値の改定に向け、議論が進められています。電磁波研究所では上述の調査・研究成果に基づいて、国際的なリスクマネジメント活動に貢献することで、電波を安全・安心に利用するための指針値の策定・改定に貢献しています。

### ■新しい無線通信技術に対する安全性を担保するための研究活動

新しい無線通信技術の実用化において、無線端末等の実際の機器からのばく露量を正確に把握し、指針値への適合性を評価する必要があります。

現在、国際電気標準会議第106専門委員会 (IEC TC106) では5Gシステムを含む、準ミリ波帯・ミリ波帯を利用した無線通信機器からのばく露量を測定するための国際規格の策定に向け、議論が進められています。5Gシステムの日本国内でのサービス開始は2020年を予定しており、この国際規格の策定は喫緊の課題として挙げられます。NICTはこのIEC TC106における標準化活動の国際エキスパートメンバーとして参加しており、新しい電波利用技術を安全・安心に利用するための国際規格の策定に向け、活動しています (図3)。