

1 NICT における電磁環境技術の研究の経緯と今後の展望

1 History and Future Prospective of Research and Development of Electromagnetic Compatibility (EMC) in NICT

渡辺 聡一

WATANABE Soichi

NICT における電磁環境技術に関する研究開発の対象は主に電気電子機器から発生する電磁雑音による無線通信への干渉を対象とする Emission、無線通信電波による電気電子機器の誤動作を防止するための電磁耐性の性能を対象とする Immunity、無線通信機器等から放射される電波に人体がばく露された場合の安全性評価や防護を対象とする Radiation に大別され、その成果は国際標準規格や国内の技術基準等に反映されている。NICT における電磁環境技術のルーツは 1935 年の無線設備の型式検定業務にまで遡ることができ、1983 年の電磁環境研究室発足以来、Emission と Immunity を対象とする先端 EMC 技術と Radiation を対象とする生体 EMC 技術に関する研究開発が行われている。現在の電磁環境研究室の研究開発プロジェクトである通信 EMC、較正技術、生体 EMC、モニタリングの 4 プロジェクトの研究の経緯と今後の展開について概略した。

The research and development activities on electromagnetic compatibility (EMC) technology at NICT primarily focus on the interference to wireless communications caused by electromagnetic noise generated from electrical and electronic devices (Emission), the performance of electrical and electronic devices to prevent malfunctions caused by wireless communication signals (Immunity), and the human exposure to electromagnetic waves (Radiation). The outcomes are reflected in international standards and domestic technical regulations. The roots of NICT's EMC technology can be traced back to the type approval of wireless equipment in 1935. Since the establishment of the EMC Laboratory in 1983, research and development have been conducted on advanced EMC measurement technology (Emission and Immunity), as well as on bio-EMC technology (Radiation). The current research projects at the EMC Laboratory include Communication EMC, Calibration Technology, Bio-EMC, and Monitoring. This paper provides an overview of the research history and future developments of these four projects.

1 まえがき

NICT は情報通信分野を専門とする我が国唯一の公的研究機関として、電磁環境技術の研究開発や試験・較正業務を進めてきた。電磁環境技術では様々な装置や人間が電磁的に共存(両立)している電磁的両立性(Electromagnetic Compatibility: EMC)という課題に取り組んでいる。図 1 に EMC の課題を示している。

NICT では、電磁雑音の干渉問題(Emission)、無線通信電波に対する電気電子機器の電磁耐性(Immunity)、無線設備の機器の試験や較正に関する課題を「先端 EMC 計測技術」として研究開発を行ってきた。一方で、電波ばく露における人体防護(Radiation)に関する課題を「生体 EMC 技術」として研究開発を行ってきた(図 2)。



図 1 EMC の課題の概念図

電気機器・ICT 機器から発生する不要な電磁雑音が無線通信に干渉する Emission の課題、無線通信の電波により電気電子機器が誤動作する電磁耐性(Immunity)の課題、電波への人体ばく露の防護(Radiation)の課題がある。

1 NICTにおける電磁環境技術の研究の経緯と今後の展望

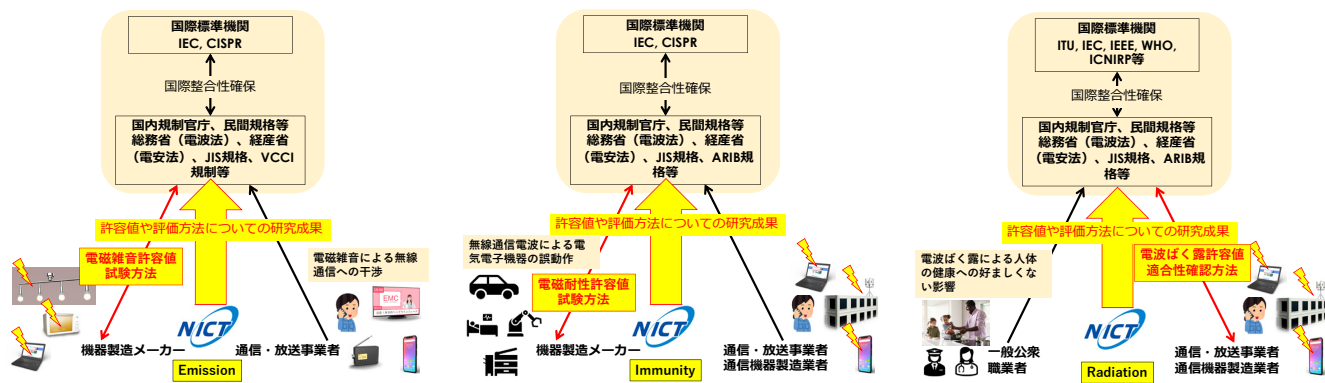


図2 先端EMC計測技術(Emission(左図)、Immunity(中図)と生体EMC技術(Radiation(右図))の研究開発と成果の展開

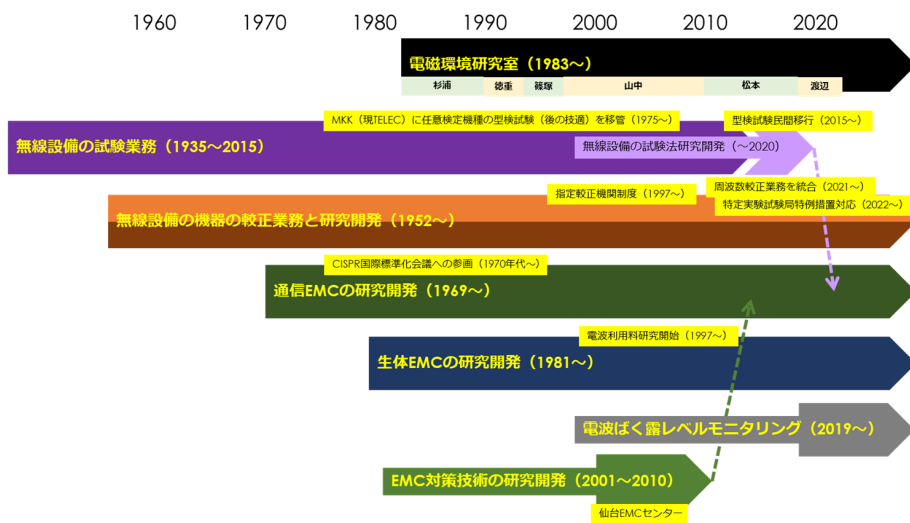


図3 NICTにおける電磁環境技術の沿革

NICTの電磁環境研究は与干渉側と被干渉側が存在する課題に対して中立な立場で客観的なデータを提供し、両者が合意できる国際規格や国内規制に反映されている。この際、EmissionやImmunityに関するNICTの研究成果は最終的に電気電子機器から漏れ出す雑音許容値とその試験方法や電気電子機器が備えるべき電磁耐性の能力を試験する方法などに反映されており、これらの規格・規制の対象はほぼ全ての電気電子機器や自動車や電力設備や鉄道施設等に渡っている。一方で、Radiationに関するNICTの研究の主要なターゲットは人体の近傍で使用される携帯電話であり、2022年度の年間販売台数が12億台にもなる携帯電話(スマートフォン)の安全性の許容値やその適合性の確認方法の国際規格や国内規制に反映されている。したがって、NICTの電磁環境技術の研究は国内外の無線通信システムやそれ以外の様々な工業製品・設備に影響を及ぼすため、高い中立性と信頼性が求められている。

さらにNICTは、国内の無線設備の性能を試験するために使用する測定装置に対して、電波法における国内最上位の較正機関として較正サービスを実施するほ

か、ISO/IEC 17025の認定機関として国際MRA(多国間相互認証)に対応した国家標準にトレーサブルのJCSS校正サービスを実施している。このサービスを安定的に実施するための高精度・高信頼電磁波計測技術に関する研究開発も進めている。また、詳細は次節にて説明するが、2015年度までは国からの委託による無線設備の型式検定試験業務も実施しており、2020年度までは関連技術の研究開発も進めてきた。このようにNICTは我が国の無線通信システムの適切な運用に必要な試験・較正業務にも貢献してきている。

本特集は2006年の「EMC特集」[1]、2016年の「較正技術及び無線機器試験技術特集」[2]に次ぐ電磁環境技術に関する特集号である。本特集号では最近のNICTの電磁環境技術に関する研究トピックスについて収録している。Emissionに関する研究開発は2-1、2-3及び3-3の論文で対象としている。Immunityに関する研究開発は2-2の論文で対象としている。また、無線設備の型式検定試験に関する研究開発は2-4の論文で、無線設備の機器の較正に関する研究開発の成果は3-1及び3-2の論文で対象としている。Radiationのう

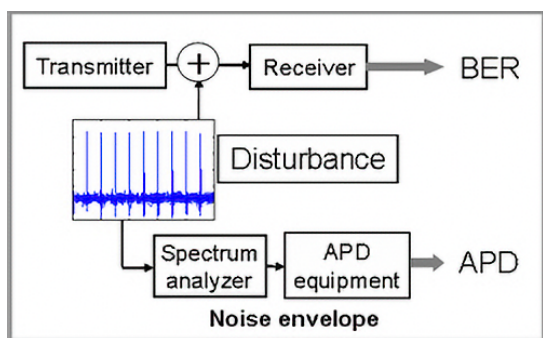


図4 振幅確率密度分布 (APD) の評価系と評価例

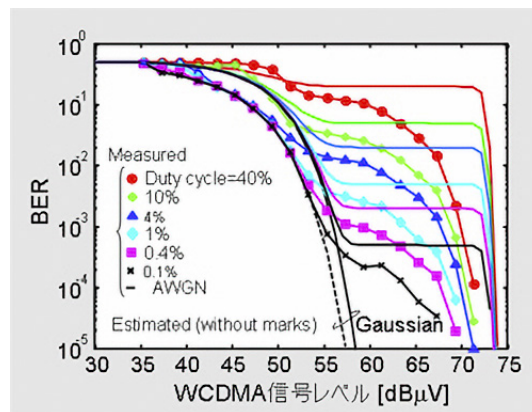


図5 標準電界法によるループアンテナの校正

ち適合性評価やばく露評価に関する研究開発は 4 の論文で対象としており、電波ばく露レベルモニタリングに関する研究開発は 5 の論文で対象としている。本稿では、NICT におけるこれまでの電磁環境技術の研究開発や試験・校正業務の経緯と今後の展望について概説する。

2 NICT における電磁環境技術の研究の経緯

図3にNICTの電磁環境技術の沿革を示す。NICTの電磁環境技術のルーツは戦前の1935年5月から開始された通信省電気試験所における無線機器の型式検定業務に遡ることができる。1952年からは無線設備の機器の校正業務を開始し、その後にEmissionやImmunityを対象とした通信EMC、Radiationを対象とした生体EMCの研究開発を開始している。1983年から電磁環境研究室が設置され、一時期はEMCセンター(2003年度～2010年度)を経て、現在に至っており、これまでに著者を含めた6人が室長を務めてきている。

また、EMCの対策技術を対象とした研究開発を行うために2001～2010年に仙台EMCセンターが設置

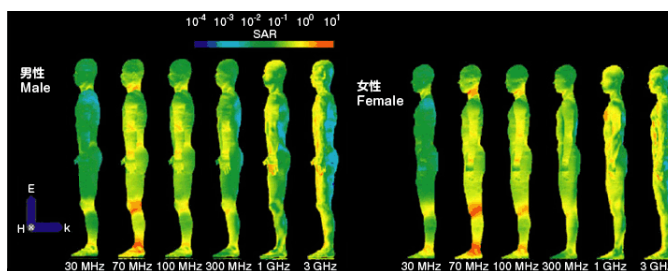


図6 数値人体モデル(成人男性・女性)を用いた電波ばく露吸収量(比吸収率: Specific absorption rate (SAR))の数値シミュレーションの例(人体前面から平面電磁界が入射した場合の人体表面の比吸収率分布を30 MHz から3 GHzまでの各周波数について示している)。

されたが、その後は通信EMCの研究プロジェクトに統合されている。さらに、型式検定試験業務のうち任意検定機種別の型式検定試験が1975年以降は財団法人無線設備検定協会(MKK)(現・一般財団法人テレコムエンジニアリングセンター:TELEC)に移管され、以降は海上人命安全条約(SOLAS)により国の主管庁が実施しなくてはならない船舶や飛行機に設置が義務付けられている無線機器の型式検定に係る試験をNICTで実施していたが、2016年以降は型式検定に係る試験業務も民間に移行(国から民間の試験機関に委託)されており、関連の研究開発も2021年からは通信EMC研究プロジェクトに統合されている。ちなみに、1975年に移管された任意検定機種別の型式検定試験はその後無線設備の技術基準適合証明制度(技適マーク)として運用されている。

2.1 先端EMC計測技術

通信EMCの研究プロジェクトでは国際無線障害特別委員会(CISPR)における無線通信を保護するための電磁雑音の許容値や国際電気標準化会議(IEC)の第77技術委員会(TC77:電磁両立性)における電磁耐性試験方法についての研究開発を行ってきた。特に、最近のデジタル無線通信方式における無線干渉の評価方法として振幅確率密度分布(APD)を用いた許容値

と試験方法(図4)を提案してきており、CISPR 国際規格 [3][4] に反映されている。

較正技術の研究プロジェクトではNICTが実施している較正サービスのためのアンテナ較正方法についての研究開発を進めており、較正サービスに反映にされるだけでなく、電磁雑音の測定方法等のCISPR 国際規格 [5] に反映されている。特に最近は無線電力伝送等で利用が拡大している 30 MHz 以下の電磁雑音の測定のためのアンテナ較正方法等についての研究開発(図5)を進めており、それらの成果はCISPR 国際規格または改定版ドラフト [5]-[7] に反映されている。また、Beyond 5G / 6G に向けて研究開発が進んでいる 110 ~ 330 GHz の周波数帯において産業技術総合研究所と共同で電力標準を開発し、世界で初めて 330 GHz までの電力計較正サービスを開始している [8]。

2020 年度まで実施していた無線設備の試験法の研究プロジェクトでは次世代レーダー技術として研究開発が進んでいた固体素子レーダーの試験方法やレーダースプリアスの試験方法などについての研究開発を行っており、我が国のレーダー無線設備の技術基準等に反映されている。



図7 NICT 開発技術を実装した 5G スマートフォン等を対象とした適合性確認システム

2.2 生体 EMC 技術

生体 EMC の研究プロジェクトでは電波を使っている時に人体のどこにどれだけの電波が吸収されるのかを測定または計算により明らかにするべく露評価(Dosimetry)の研究開発を行ってきている。特に、倫理的な制約から人体に対する実験的な評価が困難であることから、MRI 画像等の解剖学的データに基づいて、人体の詳細な構造をコンピューター内にモデル化した数値人体モデル(図6)を開発してきており、一部のモデルデータについては非営利の研究利用等には無償で、営利目的の利用には有償で提供してきている [9]。また、最近では数値人体モデルを用いた電磁界解析数値シミュレーションに必要な生体組織の電気定数について、ミリ波帯を含む大規模なデータベースを構築し、広く公開をしている [10]。これらの研究成果は電波の人体ばく露に関する国際ガイドライン [11][12] 等に反映されている。

生体 EMC の研究プロジェクトではスマートフォンなどの実際に使用されている無線設備が電波防護ガイドラインに適合していることを確認するための適合性確認方法についても研究開発を進めている。適合性確認では簡便かつ信頼性の高いばく露評価方法が求められており、その成果はIECの第106技術委員会(TC106: 人体ばく露に関する電界、磁界及び電磁界の評価方法)の国際規格に反映されている。特に近年に発行された5Gスマートフォン等を対象とした適合性確認のためのIEC国際規格 [13] や無線電力伝送の適合性確認に関するIEC技術報告書 [14] では規格策定ワーキンググループのリーダー(コンビナー等)を務める等、主導的な役割を果たしてきた。また、NICT 開発技術を実装した5Gスマートフォン等を対象とした適合性確認システムが市販化されている(図7)。

2019 年度から開始された電波ばく露レベルモニタリングの研究プロジェクトでは、日常生活環境中の電波ばく露レベルを大規模かつ詳細に取得・蓄積し、電波ばく露に関するリスクコミュニケーションに活用することを目的として、研究開発や調査を進めている



図8 電波ばく露レベルモニタリング手法の概要(電磁界プローブによる定点測定(左図)、携帯型測定器による測定(中図)、電測車による測定(右図))



図9 NICT 第5期中長期計画における電磁環境技術の研究開発の概要
 先端 EMC 計測技術は通信 EMC プロジェクトと較正技術プロジェクトにより実施している。
 生体 EMC 技術は生体 EMC プロジェクトとモニタリングプロジェクトにより実施している。

(図8)。特に、日本国内の市街地・郊外・地下街における500か所以上での大規模測定を実施し、10年以上前の同地域での測定結果と比較し、携帯電話基地局からの電波ばく露レベルの長期変動傾向を我が国で初めて明らかにしている [15]。

3 NICTにおける電磁環境技術の研究の今後の展望

5Gシステムの本格的な普及が進み、より高性能なBeyond 5G / 6Gに向けた研究開発が進んでおり、これらの超高性能無線システムを社会インフラとして機能するSociety 5.0を実現するためには電磁環境技術の進展も不可欠であり、NICTは2021年度から開始している第5期中長期計画において5Gシステム等の最新無線システムの普及に対応するための電磁環境技術とBeyond 5G / 6Gシステム等のミリ波・テラヘルツ波を利用したシステムの研究開発に対応するための電磁環境技術の二つの観点から研究計画を策定している(図9)。

NICTの電磁環境技術に関する研究開発を進めるにあたり、大学・研究機関等との研究ネットワーク構築や共同研究の実施等により、電磁環境技術に関する国内の中核的研究機関としての役割を果たしていくこととしている。特に、電磁環境技術に関して国内唯一の産学官フォーラムであるNICT/EMC-net活動 [16]において国内の産業界や通信・放送業界との情報共有や

意見交換を図っている。また、研究開発で得られた知見や経験に基づき、国際標準化活動や国内外の技術基準の策定等に寄与していく。

以下に第5期中長期計画の研究計画と更にその先の展望について述べる。

3.1 先端 EMC 計測技術

通信 EMC プロジェクトでは、5Gシステムなどの高度化した無線通信システムと省エネ性能に優れた高効率パワーエレクトロニクスを有する電気電子機器から発生する広帯域電磁雑音の干渉問題に取り組む。特に、近い将来に実現するであろうスマートハウス環境において高度化した通信機器と電気電子機器が混在する状況下においても通信機器が性能を劣化させることなく使用でき、一方で電気電子機器における電磁雑音の発生・漏えいを対策するコストが過剰にかかることがないような、バランスのとれた雑音許容値とその評価方法の研究開発に取り組む。得られた成果はCISPR国際標準化文書に反映させるとともに、local 5Gを利用したスマートファクトリーのような環境における電磁干渉の評価・対策のガイドラインを策定することで、我が国の産業活動の高度化・効率化・高信頼化等に貢献する。また、NICTが開発した、電磁耐性試験に関するIEC国際規格に準拠する電磁耐性試験用高性能アンテナの製品化 [17]に取り組むとともに、更なる改良・拡張に取り組み、電気電子機器の電磁耐性試験のコス

ト削減と電磁耐性試験の信頼性向上に貢献する。これらの取組を通じて、5G/IoT環境を支える電磁雑音や電磁耐性の許容値と試験法の確立に寄与する。

将来に向けては、今後の技術発展による与干渉側(電気電子機器)の構造の変化、被干渉側(通信・放送システム)の高度化、そして生活様式の変化に対して、適切な電磁環境を常に維持構築するために、電磁雑音評価技術を産業界へ展開する源となるべく研究開発を行う。さらには、電磁干渉が発生しないように電磁雑音を規制するという現在のアプローチから、電磁干渉そのものを積極的に解消するといったフェーズの移行を目指す。例えば、電磁雑音と無線通信のパラメータを自律的に制御する技術開発への発展等が考えられる。更なる将来では、電磁雑音を活用する研究開発へとつなげ、電磁環境設計を専門とする建築設計士やスマートハウスコーディネーターが電磁雑音を価値あるソースとして利用し、よりスマートな電磁環境をデザインすることができる時代の到来を研究開発のゴールとして進む。

較正技術プロジェクトの研究開発では、5Gシステム等の最新無線通信システムの電磁干渉評価に必要な高分解能波形計測などの高分解能電磁環境計測技術に取り組む。このために先進レーダーシステムやBeyond 5G/6G等で用いられる広帯域パルス電磁界の高精度評価技術を確立する。また、無線通信環境や電磁環境計測環境を改善するために電波を自在に吸収・散乱・反射するための電磁波制御技術に取り組む。特に5Gシステムのミリ波通信で問題となる遮蔽による不感領域の改善のための電波散乱シートの社会実装に取り組む。さらに、NICTが実施している電波法における国内最上位の無線設備の機器の較正サービスの高精度化・高信頼化・高安定化のための較正システム・手順の改良に取り組む。特に、国内でNICTだけが較正可能な110 GHz以上の較正サービスの改良に取り組む。

較正サービス自体の手法としては、インターネット技術を活用した次世代型の較正サービスが、世界の幾つかの計量標準機関において検討され始めており、較正結果を証明する書類の電子化・ペーパーレス化も試行され始めている。較正結果の電子化・ペーパーレス化が普及すると、商取引、貿易に必要な手続きは簡便になると考えられる。また、周波数の較正については、いつでも較正サービスを受けられる遠隔較正サービスが、今まで以上に活用されるようになり、世界中の生産現場において、常に直前に較正された測定器を使って、高精度な測定・試験が行えるようになることが予想される。グローバル化が進んだ社会のニーズを満たすためには、我が国の法律にのみ適合した較正サービスを提供するだけでなく、国際的にも整合したサービスを提供していく必要があることから、引き続き国際相互

認証を可能とする較正・試験機関に関する国際規格[18]を満足するサービスを提供していく。

3.2 生体 EMC 技術

生体 EMC プロジェクトでは、無線技術の高度化に対応した安全・安心な電波利用環境を構築するための研究開発を進める。具体的には、新たな無線システム等の電波防護指針への適合性を簡便かつ高い信頼性で評価する技術として、ミリ波帯電波を発射する5Gスマートフォンの電波ばく露許容値への適合性をより適切に評価するために、ミリ波帯の吸収電力密度を簡便かつ高い信頼性で評価する技術や従来の携帯電話の周波数帯におけるスマートフォン等の電波ばく露許容値の適合性を高速に評価する技術やワイヤレス電力伝送システムの波ばく露許容値の適合性を確認する技術等の開発と国際標準化に取り組み、5G/IoT環境に最適化した適合性評価方法を確立する。

また、これまでに電波ばく露許容値が策定されていない300 GHzを超える周波数領域を含むBeyond 5G等で利用されるテラヘルツ帯までの電波の人体ばく露特性を高精度に評価する技術等の研究開発を進める。具体的にはテラヘルツ帯までの生体組織の電気定数データベースを構築し、人体と等価な電気特性を有する人体等価ファントムを開発するとともに、光電界変換素子を用いたテラヘルツ波帯における電波ばく露測定技術や超高分解能数値人体モデルや大規模並列計算機環境を用いたテラヘルツ波帯における電波ばく露計算技術の研究やテラヘルツ波帯のばく露特性評価のための高強度テラヘルツ波源の開発などに取り組み、Beyond 5G等に対応した電波ばく露許容値の策定に寄与する。

将来、電波利用の超高周波数帯への拡張や高機能な通信方式の導入に伴い、通信速度、接続の安定性が飛躍的に向上すると予想され、仮想空間と現実空間の融合した社会が実現し、自然災害の発生時には被災状況の把握や人命救助活動、遠隔医療・遠隔診断等に対して電波がこれまで以上に活用される時代が到来する。このような未来を実現するために、長波からテラヘルツ波に対する人体ばく露量を高精度に評価するための基盤技術(数値人体モデル、生体組織の電気定数データベース、ばく露量測定技術、ばく露量計算技術)の研究開発等を国際的に主導し、引き続き国内外の安全・安心な電波利用環境の維持に貢献する。また、現在の電波ばく露許容値と適合性確認による人体の電波防護の枠組みに対して、より柔軟な電波防護の枠組みを実現し、電波をより一層有効活用することを見据え、新しい電波防護手法についての検討課題を探っていく。

モニタリングプロジェクトでは、人体電波ばく露レ

ベルに関する詳細かつ大規模なデータを取得・蓄積するために、電磁界プローブを用いたスポット測定、携帯型測定装置を用いた個人ばく露レベル測定、電測車による広域測定、全国に展開したモニタリングシステムによる長期定点測定等に取り組む。また、取得したデータを長期にわたり比較・検証が可能とするためのデータフォーマットの検討やデータサーバーを構築する。さらに、取得した電波ばく露モニタリングデータを5G/IoT等の電波ばく露に関するリスクコミュニケーション等に活用するための手法を大規模アンケート調査などに基づいて検討し、ホームページや一般向け説明会等での情報発信や双方向コミュニケーションの取組を行い、その効果を検証する。

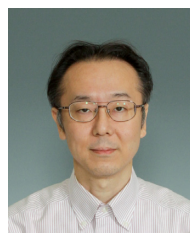
将来に向けては、身の周りの様々な無線機器から電波ばく露の情報を具体的に提供できるようになり、身の周りの電波に対する理解を助け、例えば今後行われる疫学研究の信頼性向上などに寄与できることを目指す。また、国際的な取組との連携により、諸外国の取組と歩調を合わせた取組を行い、ITUなどで議論されている電波ばく露レベルモニタリング手法に関する国際標準に積極的に寄与していく。これらの取組を通じて、様々な無線機器の開発普及を円滑に促進する。また、取得したデータを電波防護の目的だけでなく、国内唯一の大規模電波環境ビッグデータとして公開することで、様々な分野で活用されるようにしていく。

4 むすび

NICTにおける電磁環境技術に関する研究開発の対象は主にEmission、Immunity、Radiationに大別され、その成果は国際標準規格や国内の技術基準等に反映されている。NICTにおける電磁環境技術のルーツは1935年の無線設備の型式検定業務にまで遡ることができ、1983年の電磁環境研究室発足以来、無線設備と電気電子機器の電磁両立性(EmissionとImmunity)を対象とする先端EMC技術と無線設備からの電波への人体ばく露(Radiation)を対象とする生体EMC技術に関する研究開発が行われている。現在の電磁環境研究室の研究開発プロジェクトである通信EMCプロジェクト、較正技術プロジェクト、生体EMCプロジェクト、モニタリングプロジェクトの研究の経緯と今後の展開について概略した。5Gの本格普及やBeyond 5G/6Gの研究開発を促進するための電磁環境技術の研究開発に取り組み、将来的には新しい電磁環境技術の在り方の探求も視野に入れている。NICTの電磁環境技術のより詳細な情報を知りたい場合は電磁波研究所のビジョンとミッション[19]や電磁環境研究室のWebページ(<https://emc.nict.go.jp/>)を参照されたい。

【参考文献】

- 1 情報通信研究機構季報, EMC特集, vol.52, no.1, March, 2006.
- 2 情報通信研究機構研究報告, 較正技術及び無線機器試験技術特集, vol.62, no.1, Dec., 2016.
- 3 CISPR 16-1-1:2019, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Measuring apparatus," 2019.
- 4 CISPR 11:2015+AMD1:2016+AMD2:2019, "Industrial, scientific and medical equipment - Radio-frequency disturbance characteristics - Limits and methods of measurement," 2019.
- 5 CISPR 16-1-6:2014+AMD1:2017+AMD2:2022, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - EMC antenna calibration," 2022.
- 6 CISPR 16-1-4:2019+AMD1:2020+AMD2:2023, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Antennas and test sites for radiated disturbance measurements," 2023.
- 7 CIS/A/1391/FDIS, "CISPR 16-2-3/AMD2 ED4: Amendment 2: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity - Radiated disturbance measurements," 2023.
- 8 テラヘルツ帯の精密な高周波電力測定を実現～300 GHz帯の高周波電力を計測する標準器を開発～, 2018. <https://www.nict.go.jp/press/2018/03/13-1.html>
- 9 数値人体モデルデータ提供のご案内 https://bioemc.net/bio/data-offer/?page_id=18
- 10 5G時代向け 世界最大規模の「生体組織の電気定数データベース」を公開～人体に対する20ギガヘルツ超の電波ばく露のシミュレーションなどに利用可能～, 2023. <https://www.nict.go.jp/press/2023/03/30-1.html>
- 11 ICNIRP Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz), Health Physics, vol.118, no.5, pp.483–524, 2020. https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRP_RF_GL2020_Japanese.pdf, (in Japanese)
- 12 IEEE C95.1-2019, IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz, 2019.
- 13 IEC/IEEE 63195-1:2022, Assessment of power density of human exposure to radio frequency fields from wireless devices in close proximity to the head and body (frequency range of 6 GHz to 300 GHz) - Part 1: Measurement procedure, 2022.
- 14 IEC TR 63377:2022, Procedures for the assessment of human exposure to electromagnetic fields from radiative wireless power transfer systems - Measurement and computational methods (frequency range of 30 MHz to 300 GHz), 2022.
- 15 生活環境における携帯電話基地局等の電波強度を明らかに～我が国で初めて電波ばく露レベルの大規模・長期測定を実施～, 2021. <https://www.nict.go.jp/press/2021/12/07-1.html>
- 16 NICT/EMC-net, <https://emc.nict.go.jp/emc-net/>
- 17 電子機器の電波への耐性試験に適したアンテナの販売を開始, 2020. <https://www.nict.go.jp/info/topics/2020/11/13-1.html>
- 18 ISO/IEC 17025:2017, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, 2017.
- 19 電磁波研究所ビジョンとミッション～第5期中長期計画から未来へ～, 2021. <https://rri.nict.go.jp/about/vm.html>



渡辺 聡一 (わたなべ そういち)

電磁波研究所
電磁波標準研究センター
電磁環境研究室
室長
博士(工学)
環境電磁工学

【受賞歴】

2022年 電波功績賞電波産業会会長表彰
2021年 電子情報通信学会業績賞
2012年 平成24年度文部科学大臣表彰
科学技術賞

