



## 安心・安全・高信頼の通信設備を実現する通信システム設計に関する国際標準化トピックス



日本電信電話株式会社 情報ネットワーク総合研究所 **たかや かずひろ**  
**高谷 和宏**

### 1. はじめに

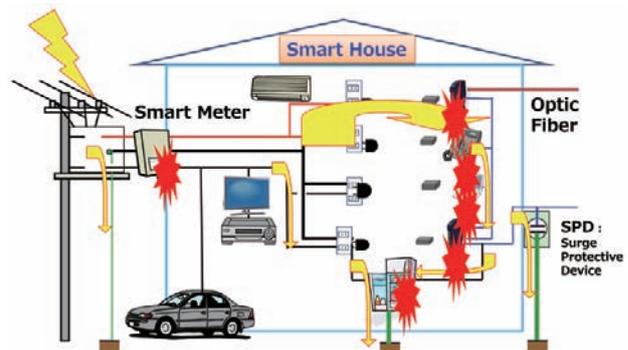
ITU-T SG5は、情報通信技術（ICT）の環境的側面における評価・試験方法に関する研究を担当しており、ICTによって発生する電磁界現象、ICTが気候・環境に及ぼす影響、電子廃棄物を考慮した環境マネジメントなどに関するITU-T勧告を作成している。また、第5世代移動通信（5G）のサービス開始に向けて、5Gを対象とした、過電圧耐力（Resistibility）、電磁環境両立性（EMC）、電磁界による人体ばく露（Human Exposure to EMFs）及び給電・電力効率（Energy feeding & efficiency）に関する環境的要求条件の標準化も推進している。本稿では、表に示す検討課題のうち、Working Party 1（WP1）で検討されている雷防護・過電圧耐力、EMF評価、EMC、電磁的セキュリティ・ソフトウェアについて、安心・安全・高信頼の通信設備を実現するための取組みを紹介する。

### 2. 雷防護・過電圧耐力

通信設備の雷防護やICT機器の過電圧耐力に関する研究は、課題1、2（Q1、Q2）で検討されている。近年の電気電子機器の多くは、主たる機能に加えて、通信機能も具備しているが、通信装置は、古くから、雷サージの入口と

出口となり得る、電源ポートと通信ポートの両方を備えているため、雷防護、過電圧耐力に関する国際標準のほとんどはITU-T SG5で策定されている。スマートハウスにおける機器構成例（図1）を見ても、IoT（Internet of Things）の進展により、様々な機器が無線／有線で複雑に接続されるため、雷サージの侵入／伝搬経路（雷故障リスク）の増加が容易に推測される。

雷サージから機器を防護するためには、機器と建物接地を等電位となるように接続し、雷サージの侵入を緩和するためのサージ防護デバイス（SPD）を電力線と通信線の入り口に設置する方法が有効である。通信センタビルのよう



■図1. スマートハウスにおける機器構成例と雷故障リスク

■表. ITU-T SG5の検討課題

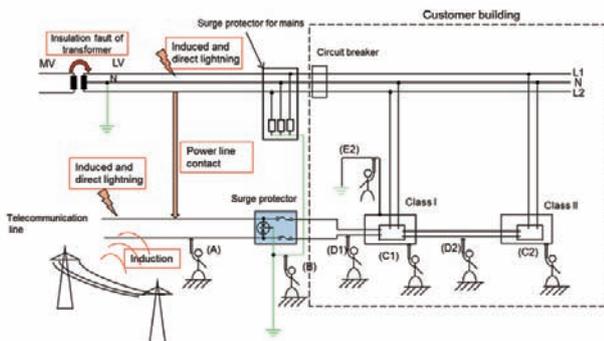
SG5	Environment and circular economy
Q8	Guides and terminology on environment and climate change
WP1	EMC, lightning protection, EMF
Q1	Protection of information and communication technology (ICT) infrastructure from electromagnetic surges
Q2	Equipment resistibility and protective components
Q3	Human exposure to electromagnetic fields (EMFs) from information and communication technologies (ICTs)
Q4	Electromagnetic compatibility (EMC) issues arising in the telecommunication environment
Q5	Security and reliability of information and communication technology (ICT) systems from electromagnetic and particle radiations
WP2	Environment, Energy Efficiency and the Circular Economy
Q6	Achieving energy efficiency and smart energy
Q7	Circular economy including e-waste
Q9	Climate change and assessment of information and communication technology (ICT) in the framework of the Sustainable Development Goals (SDGs)



に、良好な接地が確保されている場合は、機器の電源線または通信線と接地線との間にSPDを設置することで、サージ電流の機器への侵入を緩和できる。しかし、スマートハウスを含む住宅や商業施設では、建物接地と機器のボンディングが必ずしも良好ではない。

そのため、SG5では、過電圧耐力に関する基本規格であるITU-T勧告K.44に加え、K.20/K.21/K.45の製品群規格を策定している。K.20/K.21/K.45はそれぞれ、通信センタビル内装置/お客様宅内装置/有線・無線アクセス装置に対応した過電圧要求条件である。また、K.66では、住宅及び商業施設に設置されるICT機器を対象として、接地とボンディングに関する推奨事項を提供している。雷故障リスクを減らすためには、設置場所に求められる過電圧耐力を有する機器を用いることが最も重要であるが、雷対策においては、できる限り短いケーブルで機器と接地をボンディングすること、対策の有効性がSPDや建物内のボンディングの状況に依存することなど、注意点も記載している。

特に、我が国の単相低圧電源系統（TTシステム）では、機器を接地するための保護接地導体が電力線とともに供給されていないため、雷サージの機器への侵入をSPDによって防ぐためには、機器に接続された通信線と電源線の間にSPDを設置する必要がある。その一方で、機器とその配線に異常な電流が侵入する場合は、図2に示すように、人が触れると人体に傷害を与える可能性のあるケースがいくつか存在する。そのため、人体への傷害を防止するハザードベース・セーフティ・エンジニアリング（HBSE）の観点から、ICT機器やオーディオ・ビデオ機器を対象とした新しい安全規格：IEC-62368-1が発行されているが、人体の安全と機器の雷防護を両立させるための手法に関する記載はない。そこで、SG5では、通信事業者がICT機器をお客様宅内に設置する際に、人体の安全と機器の雷防護を両



■ 図2. TTシステムを用いるお客様宅内の人が接触可能な部分  
(出典：ITU-T勧告K.143)

立させるためのガイダンスを記載したK.143（AAP：代替承認の手中）を策定している。これにより、保護接地導体が提供されない場合も、安全と雷防護を両立するための対策方法の選択肢が増えた。

### 3. 電磁界（EMF）評価

無線基地局などの通信設備やICT機器によって発生する電磁界（EMF）が人体に与える影響の測定及び評価方法に関する研究は、課題3（Q3）で検討されている。EMFに対する懸念の多くは、人の五感で、電磁界の状態を直接見たり、検出したりすることができないことに起因している。特に、無線基地局や無線端末はその周囲に電磁界を発生させることが明らかであるため、住民への説明や適切な情報発信の不足、法令や規制の整備不足が、人々の不信感や恐れとなる可能性がある。

図3は、EMF評価に対する国際標準化機関の役割分担を示す図である。同図に示すように、各国の国家規制（人体ばく露基準）は国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）のガイドラインに基づいており、その根拠は世界保健機関（WHO）による科学的文献のレビューとリスク評価に基づいている。また、EMF評価の測定方法や計算方法は、国際電気標準会議（IEC）や米国電気電子学会（IEEE）によって提供されている。ITU-Tでは、住民の不信感や恐れにつながるようなリスクコミュニケーション不足が無線通信技術の発展を妨げないように、通信事業者やICT機器ベンダが法令や基準を遵守するための分かりやすいガイダンスをITU-T勧告として提供している。

例えば、K.52は、無線基地局などの通信設備や頭部及び人体の近くで使用される無線端末が安全基準を遵守することを支援するガイダンスを提供しており、K.61は、国や地

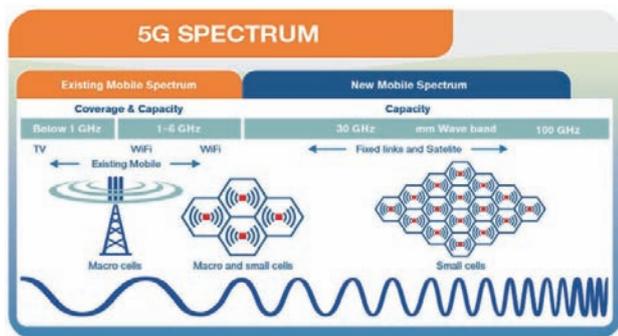


■ 図3. EMF評価に関する役割分担

域の規制機関によって定められた人体ばく露基準を満足しているかの検証方法（測定手順）を提供している。一方、K.91は、無線基地局などの通信設備周辺の無線周波数帯のEMFによる人体ばく露の評価方法とそのモニタリング方法に関するガイダンスを提供しており、K.121は無線基地局周辺における無線周波数帯のEMFをどのようにマネジメントし、ばく露基準に準拠させるか、あるいは、住民の懸念への対応プロセスをどのように定着させるかなどのガイダンスを提供している。

次に、EMF評価の5Gに関する取組みを紹介する。図4に示すように、5Gではミリ波帯を使用し、従来よりも小さいセル構成が用いられることから、無線基地局数が大幅に増加することが容易に想定される。また、既存システムも考慮すると、周波数帯ごとに異なる無線アクセス技術が用いられ、これらが共存することにより、無線基地局周辺では様々な周波数成分の電磁界が発生する。さらに、基地局と端末の間では、ビームフォーミングやMassive MIMOによる空間的制御が行われるため、人体に対するばく露条件も大きく変化することが予想される。このような状況に鑑み、SG5では、5Gに関する環境要求条件の明確化に関する取組みの一環として、いくつかの補足文書（Supplement）を作成している。

例えば、K Suppl.9では、5Gのメリットと安全性を正しく社会や消費者に説明することの必要性の観点から、5Gシステム周辺における人体ばく露レベルに関する解析結果を紹介するとともに、IEC規格に基づく無線基地局の設置基準を紹介している。K Suppl.14では、ICNIRPやIEEEのガイドラインより厳しい基準を適用している場合についてのシミュレーション結果を示し、適切な基準が規定されなかった場合のデメリットも紹介している。K Suppl.16では、3.5GHz帯の基地局周辺のEMFに関するケーススタディや27GHz帯



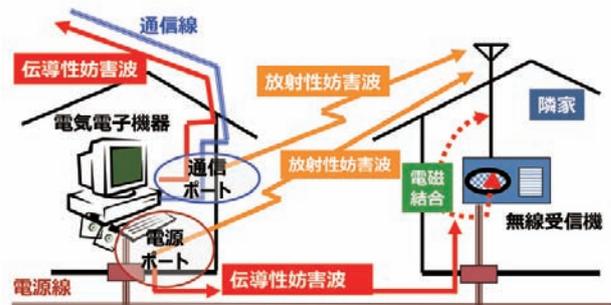
■図4. 既存システム及び5Gで使用する周波数スペクトラム  
（出典：K Suppl.16）

のsmallセルに関するケーススタディを紹介するとともに、5Gシステムが基準値を遵守するためのガイダンスを提供している。

このほか、SG5では、WTSA-16で承認された決議72に基づいて、住民、ステークホルダ、政府関係者に対して、教育的情報を提供するためのITU EMF Guide (<http://emfguide.itu.int/emfguide.html>) を提供している。このWEBサービスでは、EMFに関する典型的な質問や誤解を招いた事例を紹介するとともに、WHOで有益とされる科学的情報も提供している。今後は、5Gに関する情報などがアップデートされ、さらに有益な情報源となると考えられる。

## 4. 電磁環境両立性 (EMC)

通信設備やICT機器のEMCに関する研究課題は課題4 (Q4) で検討されている。安全・安心・高信頼の通信システム設計において、機器の動作時に非意図的に放出される不要な電磁波（エミッション）を抑制することと、機器が他の機器などから放出される干渉波／妨害波の影響を受けないように耐え得る能力（イミュニティ）を向上させることが重要である。



■図5. 電波障害を解決するためのエミッションモデル

図5は、国際無線障害特別委員会（CISPR）が電波障害を解決するための要求条件を定める際の前提モデルである。従来のエミッションモデルは、10m離れた隣家の無線機器に対する影響がないように不要な電磁波を抑制することを目的としている。しかし、無線機器と妨害源／干渉源となり得る機器が稠密に設置されるIoT環境を考慮すると、従来モデルに基づく規定を満足するだけでは、信頼性の高い通信を実現できない可能性がある。そのため、K.141では、Y.2060のIoTアーキテクチャモデル（図6）に基づいて、IoTデバイスの知覚機能に関するEMC要件を規定している。特に、通信事業者が制御できない使用環境（住宅、商工業エリア、鉄道、発電所など）において、従来の保護距離（10m）



よりも短い距離に妨害源／干渉源が存在することを想定している。一方、イミュニティについては、IECやCISPRにおいて、無線機器が対象機器の近くで使用されることを想定した規格 (IEC 61000-4-39、CISPR 35) が作成されている。これらの規格は、携帯電話や無線LANの急速な普及により、電波を意図的に発する無線システムが様々な機器の近くで使用され、妨害源／干渉源にもなり得ることへの対応である。従来の通信機械室やデータセンタなどでは、通信サービスに影響を与える可能性のある無線システムの使用を禁止していたが、設備保守者の減少や保守コストの削減要望もあり、ICT機器近傍においても安全に無線利用できる仕組みづくりが求められていた。そこで、保守者がICT機器近傍で2.4／5.2GHz帯の無線LAN端末を使用しても、ICT機器に影響が生じないイミュニティ要求条件を規定したK.127を策定した。今後は、5Gなどの新たな無線方式を

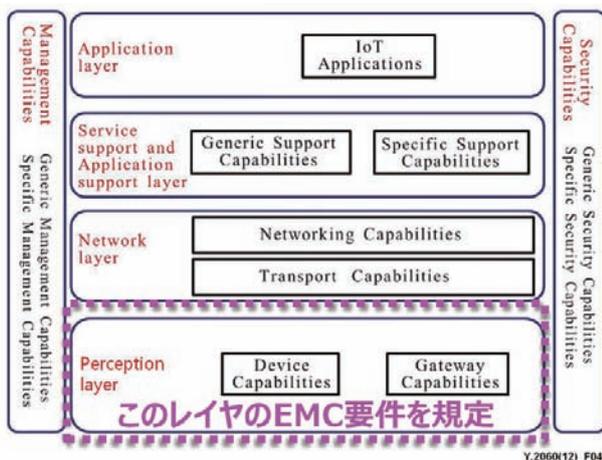
活用した自動化・無人化要求が高まるため、さらに高い周波数帯 (~40GHz) を想定したイミュニティ要求条件の確立が望まれる。

## 5. 電磁的セキュリティとソフトウェア

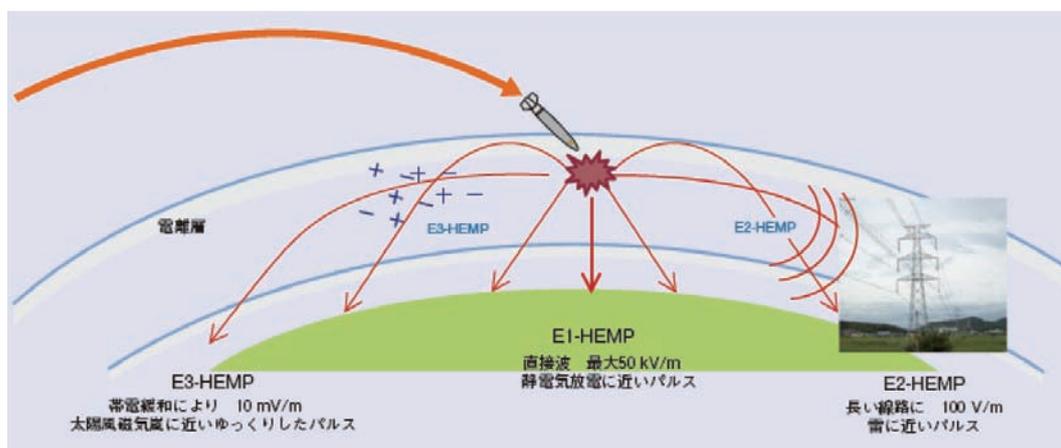
課題5 (Q5) では、ICT機器 (ハードウェア) の電磁的セキュリティと宇宙線などの放射線に起因する信頼性問題 (ソフトウェア) についての研究が行われている。電磁的セキュリティに関する検討では、X.1051のセキュリティマネージメントに基づいて、意図的な電磁攻撃 (IEMI) である高高度核爆発 (HEMP) や高電力電磁波 (HPEM) のほか、電磁波を介した情報漏えいに対する信頼性向上を目的としたK.78/K.81/K.84を策定している。

HEMPは、数十kmの高高度で核爆発が起きたときに発生する電磁波パルスであり、電磁パルスの立ち上がりと減衰の時間でE1/E2/E3に分類されている (図7)。HEMPに対する要求条件はK.78に記載されているが、各パルスのICT機器に与える影響は、K.48に記載されたイミュニティ要求条件と相関が高い。例えば、振幅が大きく継続時間の短いE1に対する耐性は、電氣的ファーストトランジェント／バースト (EFT/B) 試験を用いて評価できる。また、誘導雷に近いE2に対してはサージイミュニティ試験が適用され、継続時間が1分以上となるE3に対しては伝導イミュニティ試験が適用される。

一方、HPEMに対するイミュニティ対策はK.81に記載されており、IEMI攻撃に使用する装置の可搬性／入手容易性と、悪意を持った攻撃者の侵入可能エリアによってリスク分類されている。基本的な対策方法は、ICT機器のイミュ



■ 図6. IoTアーキテクチャモデル (出典: ITU-T勧告Y.2060)



■ 図7. 高高度核爆発 (HEMP)



ニティレベルに応じたシールド対策と、可搬性や侵入可能エリアを考慮した設置場所の設計である。K.84では、漏えい電磁波からモニタ画面に表示された画像を推定する手法(TEMPEST)への対策に関するガイダンスが示されており、漏えい電磁波を傍受できないようにするためのシールド対策や傍受装置からの十分な隔離が有効とされている。

宇宙線などの放射線に含まれる粒子がICT機器に衝突すると、機器内部の半導体デバイスのビット情報に影響を与える可能性がある。このような現象はソフトエラーと呼ばれ、半導体デバイスなどに直接的な損傷は与えないが、アラーム検出ができない故障(サイレント故障)を引き起こす可能性がある。サイレント故障は、再起動などで回復する反面、原因究明に時間を要するため、故障対応稼働を増加させる要因となっている。

近年のICT機器では、プログラマブルなゲートアレイ(FPGA)の利用が増加しており、小型化や省エネの観点から、半導体デバイスの微細化も進んでいる。図8は、FPGAの1個当たりの故障率の微細化による推移を示した図である。微細化によって従来のハード故障の割合が増加していないのに対し、ソフトエラーの増加が顕著である。そのため、ソフトエラーの概要を記載したK.124のほかに、ネットワークの信頼性に応じたソフトエラー試験・対策・評価のためのガイダンスとして、K.130/K.131/K.138/K.139を提供している。

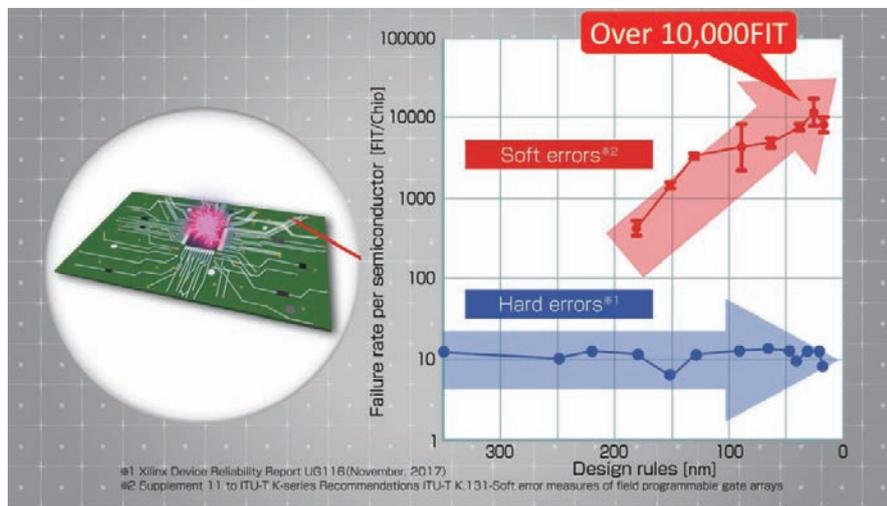
K.130はソフトエラー試験方法を記載した勧告であり、試験を実施するための加速器施設の要件や加速器を用いた中性子照射試験方法が示されている。K.131はソフトエ

ラー対策設計に関するガイダンスであり、ソフトエラー発生率の見積方法、対策すべき箇所の抽出方法、対策例に対する効果と注意点を記載している。K.138には、信頼性の評価方法に対するガイダンスが記載されており、K.139は信頼性要求基準を記載している。ソフトエラーでは、サイレント故障の発生、装置間の信号断、部品交換などの保守稼働の必要性が問題となるため、これらに対する信頼度により、ソフトエラー設計や対策の効果を評価することができる。

## 6. おわりに

本稿では、安心・安全・高信頼の通信設備を実現するためのITU-T SG5の取組みを紹介した。ICTの持続可能な開発のために、電磁環境を含む、環境への配慮は不可欠であり、今後普及が進むIoTや5Gが環境に対してどのような影響を及ぼすのか、適切な情報を適切なタイミングで発信していくことが、SG5の使命と考える。2019年12月には、AIなどの革新的技術が環境に与える効果に着目したフォーカスグループ(FG AI4EE)の活動が開始され、新規研究課題等の議論も行われる。MaaSに代表されるように、自動化へのICTの寄与が大きくなればなるほど、安心・安全・高信頼であることが求められるため、新たなユースケースを考慮した要求条件等を定義していくことが今後の課題である。

(2019年7月5日 ITU-T研究会より)



■図8. FPGAの1個当たりの故障率