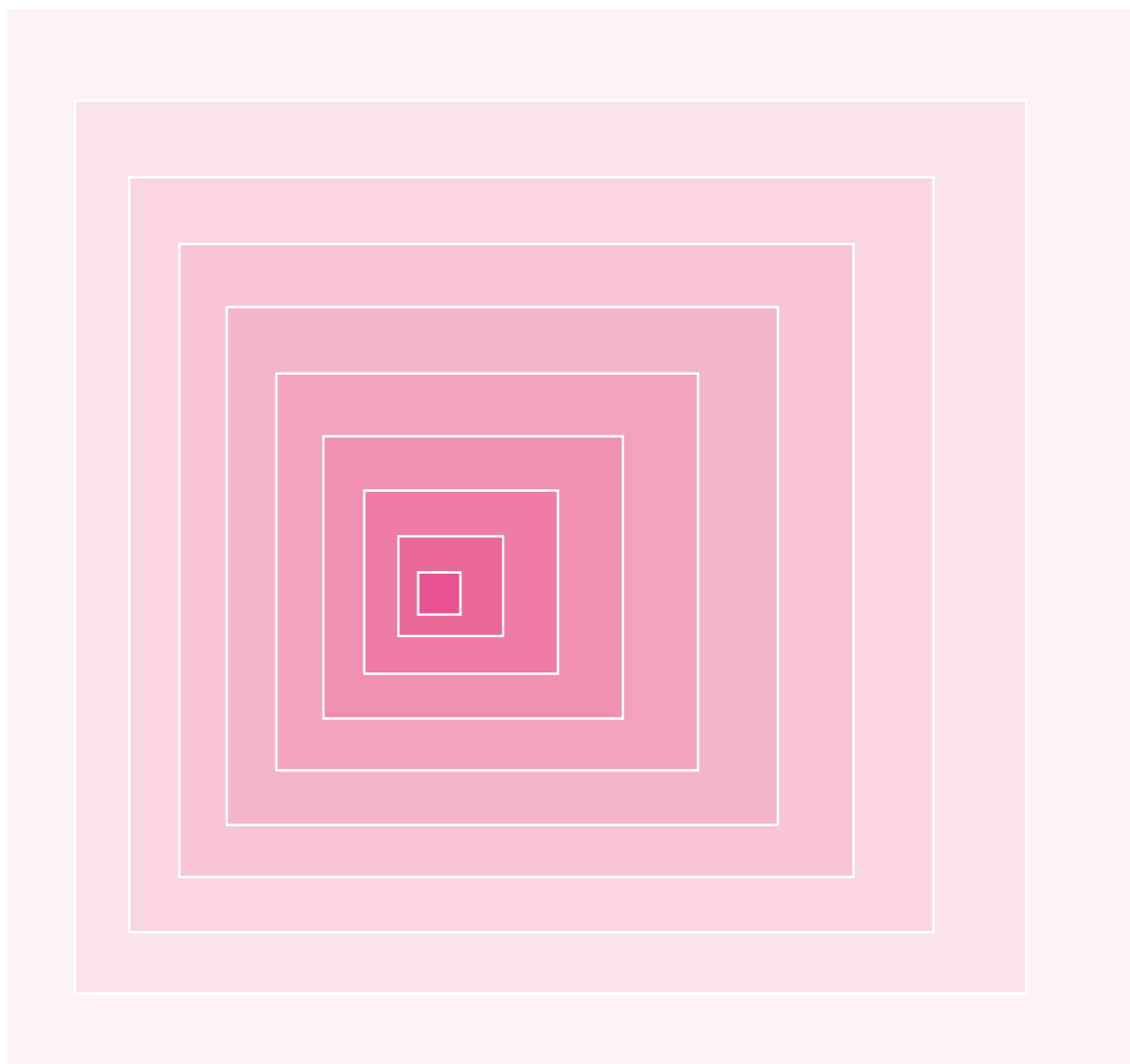


EMCCレポート



著作：電波環境協議会

EMCC レポート第37号 目次

- 医療機関において安心・安全に電波を利用するための手引き」の改定…………… 3
滋慶医療科学大学大学院 医療管理学研究科
加納 隆

- 医療機関における電波利用機器に配慮した建築ガイドライン・同解説
－医用テレメータ編－ …………… 10
日本建築学会 電磁環境運営委員会
大成建設株式会社
遠藤 哲夫

- 宇宙線起因半導体ソフトエラーの対策・評価技術と国際標準化 …………… 17
NTT 宇宙環境エネルギー研究所
岩下 秀徳

- 2019 年度 イミュニティ委員会の活動
近接電磁界イミュニティ試験に関する調査研究（アンテナ種別による依存性）…………… 23
一般社団法人 情報通信ネットワーク産業協会（CIAJ）
電磁妨害対策委員会
飯塚 二郎

医療機関において安心・安全に電波を利用するための手引き」の改定

滋慶医療科学大学大学院 医療管理学研究科
加納 隆

1. はじめに

病院内で電波を利用する医用電気機器（ME機器）には、心電図等をモニタリングする医用テレメータがあるが、携帯電話（スマートフォンを含む）・PHSや無線LAN（Wi-Fi）等の電波を利用する情報通信機器の普及も目覚ましく、医療スタッフだけでなく患者・来訪者にも欠かせないものとなっている。特に、新型コロナウイルス感染症の発生をきっかけとして、医療機関における感染症対策のための電波利用が広がっている。2020年度のアンケート調査結果¹⁾によれば、新型コロナウイルス感染症の発生後、オンライン診療用無線端末やオンライン面会端末、無線型監視カメラ、無線型見守りセンサ、無線式呼出しチャイム等の導入が広がっている（図1）。しかし、一方では、携帯電話の電波によるME機器への影響が危惧されたり、医用テレメータや電子カルテ用無線LANの電波不到達・混信・電波干渉などの問題も顕在化してきている。

そこで、電波環境協議会（EMCC）は総務省の指示の下、厚生労働省と連携して関係識者・団体等による

詳細な検討を行い、平成28年には「医療機関において安心・安全に電波を利用するための手引き」²⁾を発行した。この中では特に電波管理が重要と指摘されている医用テレメータ、無線LANならびに携帯電話について、これらの電波と安心・安全に付き合うにはどうすればよいかについて書かれている。さらに、令和3年7月30日には、EMCCの医療機関における電波利用推進委員会（医療推進委員会）から、その改定版³⁾が発行されたが、本稿ではこの改定版に書かれている内容の中でも、特に医療従事者が知っておくべき電波利用に関する諸情報と留意点について解説する。

2. 手引き改定版の変更点

この度「医療機関において安心・安全に電波を利用するための手引き」の改定版が発行されたが、その内容が大きく変わったということではない。医療推進委員会による初版発行後の調査活動として、医用テレメータの電波不到達の原因やノイズ源の調査が行われたが、その結果を反映したものとなっている。また、

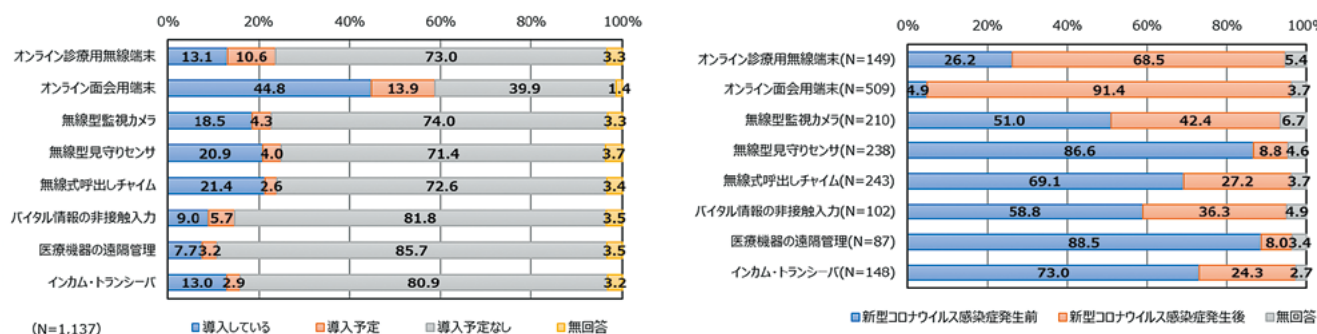


図1. 病院における電波利用機器の導入状況と導入時期（2020年度アンケート調査結果）

医療機関における電波利用の拡大状況や最新の無線方式の紹介（ローカル5G、sXGPなど）ならびにME機器のEMC規格改定による離隔距離の変化等の最新情報の更新が行われている。

さらに、医療従事者に対する周知のために手引きの概要をポスター形式で1枚にまとめたエッセンス版を作成したり、Q & A形式でよくある質問と回答を手引きの参考資料として紹介するとともに、医療機関のエリア別の実施例も同じく参考資料として紹介し、手引きの利用しやすさの改善も行われた。

3. 医用テレメータ

総務省・EMCCによる全国の病院約3,000施設を対象に行った2019年度のアンケート調査⁴⁾では、回答病院の80.9%で医用テレメータを導入していることが分かったが、導入病院における無線チャンネル管理の実施率は66.3%で、33.2%の病院で「実施していない」もしくは「分からない」と回答している。さらに、管理実施病院における担当者は、「小電力医用テレメータの運用規程」⁵⁾で無線チャンネル管理者に相応しいと記載されている臨床工学技士が大半であるが、2018年度アンケート調査⁶⁾にあるように、臨床工学技士が不在の病院では医師、看護師ならびに外部事業者が担当しているところも少なくない。また、2019年度のアンケート調査では、医用テレメータの電波に関するトラブルの経験については、40.9%で「トラブルの経験がある」、58.6%で「特にトラブルの経験がない」

と回答している。また、その「トラブルの経験がある」と答えた群で、最も多いのが「特定の場所で電波が十分に届かない」であり、トラブル経験の76.8%を占めている。そのほか、「チャンネル設定を間違える」、「電池切れに気が付かない」、「同一チャンネルの送信機が使われる」などの人的ミスも目立つ（図2）。

このアンケート調査では、「特定の場所で電波が十分に届かない」というトラブル経験が約8割を占めていたが、この主な原因は病院の建築設計段階で適切な受信アンテナシステム（マルチアンテナ方式と漏洩同軸ケーブルアンテナ方式があり病室の天井裏の空間に設置する）の配置ならびに遮蔽対策が行われないことによるものである。実際、受信範囲になっている病室の天井裏にコンクリートの梁や防火壁があることで必要なアンテナ・ケーブルの配線ができていない事例も少なくない。この問題を解決するためには、建築設計段階における早めの対応が重要であるが、現状では病院建設後に適切なアンテナ・ケーブルの配線ができないことに気付くケースが後を絶たない。具体的には予めコンクリートの梁や防火壁に貫通孔というケーブルを通す穴をあけておく必要があるが、そのことを理解している臨床工学技士や医療機器メーカーへの相談がないままに病院建設工事が進み、手遅れになってしまっている現状がある。これは非常に大きな問題であり、従来の手引きにおいても早めの対応の必要性が書かれているが、目に見えた改善が見られないこともあって、医療推進委員会の協力の下、主に建築設計・施工者向けに、医用テレメータの受信用アンテナシステムを付設する場合の留意点が記載された建築ガイドライン（医療機関における電波利用機器に配慮した建築ガイドライン・同解説－医用テレメータ編－）が作成され、令和3年9月に発行された。この建築ガイドラインは、病院建築設計者・施工者、医用テレメータを利用・管理する病院関係者ならびに医用テレメータ製造販売業者が、施設計画段階から情報を共有することによって、医用テレメータを安心して使用するための電波環境を提供することを目的としている。

それ以外に、アンテナシステムの経年劣化が受信不良の原因の場合もあり、臨床工学技士等による定期的な電波環境の点検も必要である。

また、「チャンネル設定を間違える」、「電池切れに気

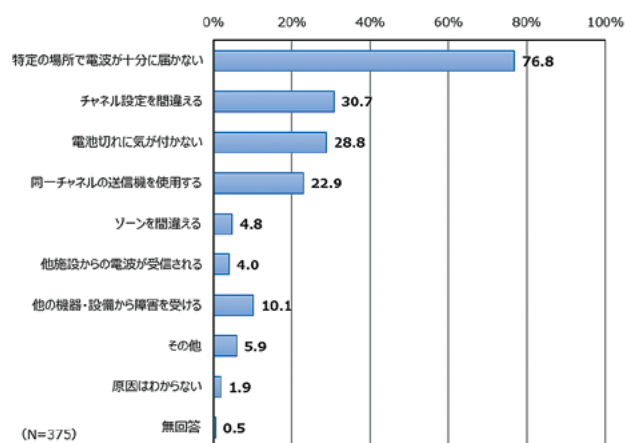


図2. 医用テレメータの電波に関するトラブルの内容（2019年度アンケート調査結果【病院】）（2020年度アンケート調査結果）

が付かない」、「同一チャネルの送信機が使われる」などの人的ミスによるトラブルも多く、使用者教育の重要性が示唆される。その他、回答数は少ないが「他施設からの電波が受信される」というトラブルの報告もあり、施設間の使用チャネル情報の共有やID機能（IDの異なる他施設から到来する電波を受信表示しない機能）の活用も必要である。さらに「他の機器・設備から障害を受ける」には、医用テレメータと一部同じチャネルを共用しているテレメータテレコントロール（非観血圧患者モニタ、離床センサシステム、分娩監視装置、一人歩き監視システム、輸血用血液製剤保管庫の温度計測用データロガーなど）による混信や同じ天井裏に設置される電気・電子機器（LED照明器具、無線LANアクセスポイント、無線式監視カメラ等）から発生する電磁ノイズによる受信障害事例も報告されている。前述の建築ガイドラインには天井裏に設置される電気・電子機器から発生する電磁ノイズによる受信障害対策についても記載されている。

以上のように、医用テレメータの電波に関するトラブルに対して、「トラブルの経験がある」とトラブルを認識している群はそのトラブル対策を検討するであろうが、問題は「特にトラブルの経験はない」と回答した約6割の群である。これは“トラブルをトラブルと思わない”、もしくは“トラブル発生に気が付かない”ことによる回答が含まれている可能性が高い。ナースステーションから遠く離れた病室の患者を見守るはずの医用テレメータが、その本来の使命を果たせていないかもしれない現状を重く受け止めるべきであろう。

4. 無線LAN

現在、無線LAN（Wi-Fi）は病院内の電子カルテシステムをはじめとして、様々な用途に使用されており、2019年度のアンケート調査では、回答病院の88.7%で導入されている。また、「無線LANにつながらない・つながりづらい」（71.3%）、「特定の場所で電波が十分に届かない」（56.2%）などのトラブルも多く経験されている（図3）。

これは、無線LANが電子カルテを含む医療情報シ

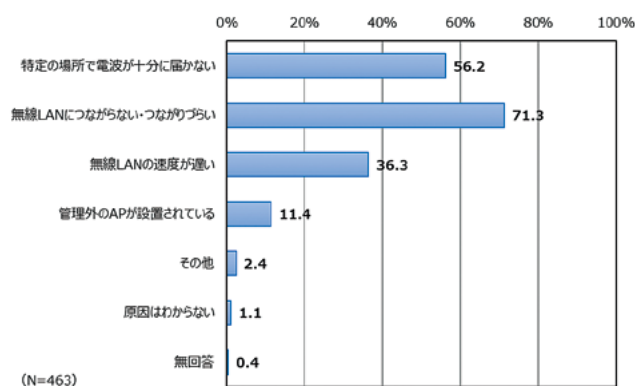


図3. 無線LANのトラブルの内容（2019年度アンケート調査結果【病院】）

ステムをはじめとして、インターネットへの接続、医療機器のデータ伝送用など、幅広い用途に用いられていることや、同一周波数帯が他の機器・システムにも使用されていることによる電波干渉がその主な原因である。特に、2.4GHz帯の無線LANは利用可能な無線チャンネル数が少なく、チャンネルの重なりによる電波干渉の可能性が高い。具体的には、医療スタッフが管理者に無断で手術室や執務室等に無線LANアクセスポイントを設置したり（アンケート調査結果の「管理外のAPが設置されている：11.4%」に相当する）、患者や来訪者がWi-Fiモバイルルータや携帯電話を用いてテザリングを行ったりすることで、電子カルテシステムに通信障害が発生する事例が報告されている。

ここでテザリングの説明を加える。テザリングとは、Wi-Fiモバイルルータや携帯電話を用いて、①テザリングを行う機器とインターネットの間を携帯電話通信で、②テザリングを行う機器と他の無線LAN機器の間を無線LAN通信で、それぞれ接続する機能で、無線LANがない環境でも、無線LAN機器からインターネットに接続することができる（図4）。

また、電子レンジ、高周波治療器、Bluetooth機器、



図4. テザリングのイメージ（手引き改定版より引用）

RFID機器など、同じ2.4GHz帯を使用する無線LAN以外の電波利用機器が近くで用いられている場合にも、電波干渉による通信速度の低下等の通信障害が発生する可能性があるため、注意が必要である。

対策としては電子カルテ用には利用可能なチャネル数が多く、競合する電波干渉源の少ない5GHz帯を使用することが第一に挙げられるが、患者・来訪者向けに無線LAN（専用のSSID）を提供し、これを使用してもらうように誘導すれば、テザリング対策としても有効と考えられる。

無線LANは病院内の様々なシステムに利用されているため、各システムの無線LANの通信量の増加が他のシステムのネットワークに影響を与えないように、システムや用途ごとにネットワークの分離を行うことが有効である。特に、患者・来訪者向けに無線LANを提供する場合は、これと業務用無線LANのネットワークを分離することが重要で、ネットワーク分離には、用途ごとにネットワーク自体を別系統で構築（物理分離）するほか、仮想LAN（Virtual LAN: VLAN）技術や無線LANのネットワークの名称（SSID）によって論理的に別のネットワークを構築（論理分離）する方法がある（図5）。



図5. 無線LANネットワークの分離（手引き改定版より引用）

5. 携帯電話

携帯電話は、病院内のME機器に近接して使用された場合には、誤作動などの影響を与える可能性があり、通話時の音声、着信音等によるマナーの問題も心配される。そのため、平成26年8月に総務省・EMCCから出された「医療機関における携帯電話等の使用に関する指針」（以下、指針）では、病院内における携帯

電話の使用に際しては、一定の使用制限を設けるなど、使用に関して適切なルール作りが求められている。

しかし、最近は医療スタッフや患者・来訪者の利便性向上などのために、医療機関での携帯電話の利用が急速に拡大している。2020年度のアンケート調査結果によれば、病院の47.8%、有床診療所の27.7%が、携帯電話を業務用端末として導入している（図6）。

携帯電話は現在、第3世代（W-CDMA、CDMA2000、送信電力：250mW）、第4世代（LTE、送信電力：200mW）、第5世代（5G、送信電力：200mW）と呼ばれる方式を用いて、音声通話サービスや、メール・インターネットなどのデータ通信サービスが提供されている（図7）。なお、それ以前の第2世代の携帯電話は、携帯電話端末の最大送信電力が800mWで、現在運用されている携帯電話に比較して3～4倍の非常に大きな送信電力となっていたが、日本では、2012年をもって全ての第2世代携帯電話サービスは終了し、以降の携帯電話の最大送信電力は第3世代の携帯電話端末の250mWへと大きく下がった。このため、携帯電話端末によるME機器へ影響の可能性は低くなってきている。

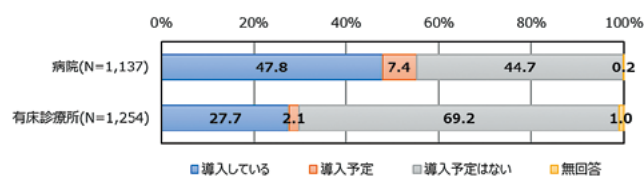


図6. 業務用端末としての携帯電話の導入状況（2020年度アンケート調査結果）

無線アクセス方式	無線周波数帯	公称最大送信電力
第3世代(W-CDMA)	800MHz帯/900MHz帯/1.5GHz帯/1.7GHz帯/2GHz帯	250mW
第3世代(CDMA2000)	800MHz帯/2GHz帯	250mW
第3.9世代(LTE)	700MHz帯/800MHz帯/900MHz帯/1.5GHz帯/1.7GHz帯/2GHz帯/3.5GHz帯	200mW
第4世代(LTE-Advanced)	3.7GHz帯/4.5GHz帯/28GHz帯 ^{注)}	200mW

注) 第3.9世代、第4世代の周波数帯に第5世代のサービスを提供することも可能

図7. 日本における携帯電話システムの概要（手引き改定版より引用）

ところで、指針における携帯電話とME機器間の推奨される離隔距離（1m程度）は、ME機器の電磁両立性（EMC）に関する国際規格IEC 60601-1-2:2001+A1:2004（国内規格はJIS T 0601-1-2:2012）の

推奨分離距離の計算式から算出されたものであるが、各医療機関において独自に行った試験の結果やME機器の取扱説明書等からの情報をもとに安全性を確認している場合は、1m程度よりも短い離隔距離を設定することができるとしている。例えば、最新の規格であるIEC 60601-1-2:2014（国内規格はJIS T 0601-1-2:2018）に適合したME機器の場合、携帯電話等の携帯型の無線通信機器がME機器に近接した場合を考慮したより厳しい試験（表1）が追加されており、この試験を基に30cmの離隔距離（最小分離距離）を設定することができる。さらに、海外で使用されている携帯電話の最大電力 $P = 2W$ の場合は、離隔距離 $d = 0.3m$ では電界強度 $E = 28V/m$ のイミュニティ試験レベルのクリアが必要であるが、これを日本の携帯電話の最大電力の $P = 0.25W$ で計算すると、離隔距離 $d \approx 11cm$ となる。つまり、海外で製造販売される新規格適合のME機器を日本国内で使用する場合、この離隔距離がほぼ担保されていると考えることもできる。

表1. 近接電磁界に対するイミュニティ試験（手引き改定版より引用）

RF 無線通信機器からの近接電磁界に対するイミュニティ試験：

試験周波数：規格で規定された試験周波数^{注1)}

最小分離距離：0.3m (30cm)

試験レベル： $E=6/d \times \sqrt{P}$ V/m^{注2)}

P ：無線通信機器の最大電力（W）

注1) 規格に示されている周波数はあくまで無線通信機器（携帯電話や無線LAN機器）で使われる周波数の代表例であり、例えば日本で使用されている携帯電話の周波数帯が全て網羅されているわけではない。各国で用いている周波数及びサービス、最新の通信サービスを考慮して試験周波数を追加することが望ましいとされている。

注2) より高い試験レベル（電界強度）で適合している場合は、より高い試験レベルから算出したより短い最小分離距離としてもよい。

一般に携帯電話端末が発する電波によるME機器への影響は、携帯電話端末の送信電力に大きく依存し、送信電力が大きくなればその影響も大きくなる。また、携帯電話端末は、携帯電話基地局からの電波の受信状況に応じて、携帯電話端末の電波の強さ（送信電力）が変化する。電波の受信状況が良好ならば、携帯電話端末から発射される電波の送信電力は小さくなり、ME機器への影響が小さくなる（ただし、受信状況が

良くても、大量のデータを高速に伝送する場合、例えばSNSに大容量の動画や画像をアップロードする、ビデオ通話をする場合は、一時的だが携帯電話端末が強い電波を発射することがあるので注意する）。一方、電波の受信状況が不良の場合は、携帯電話端末から発射される送信電力は大きくなり、ME機器への影響が大きくなる（図8）。病院では、建物の構造的な特性（壁・天井・床・扉等で金属が多く用いられている等）による電波遮へい効果で、屋外にある基地局からの電波が届きにくい場所がある。特に手術室、検査室、地下室などは、携帯電話端末から発射される送信電力が大きくなる傾向があるので、ME機器の使用に当たっては注意が必要である。



図8. 電波の受信状況によるME機器への影響（手引き改定版より引用）

したがって、そのエリアの電波状況を確認できれば、ME機器への影響に対する配慮も変わってくる。具体的には携帯電話端末のアンテナ表示で携帯電話基地局からの電波の強さは容易に確認できる（図9）。携帯電話の場合は、特に患者・来訪者向けの使用ルールの設定が重要であるが、具体的なルール作りは指針ならびに手引き改定版等を参考に、各病院個別の状況を考慮しながら適切に設定することが望まれる。

しかし、ME機器への影響に対する配慮をエリアご

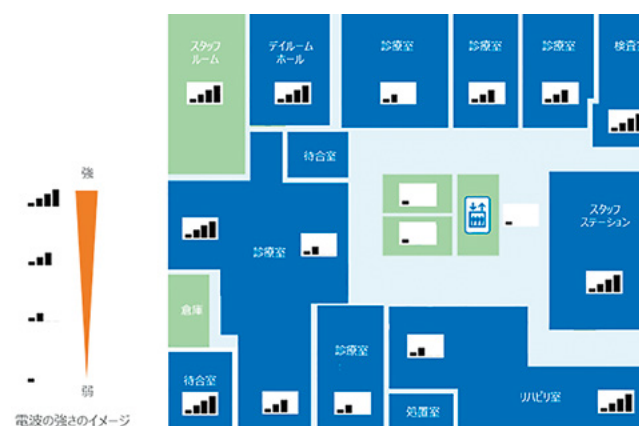


図9. 携帯電話基地局からの電波の強さの目安の確認例【アンテナ表示が最大4本の場合】（手引き改定版より引用）

とに替えることは医療スタッフの負担になる場合もある。そこで、屋内基地局を設けて、PHSのように病院内各所に屋内アンテナを設置すれば、受信状況は改善され、携帯電話によるME機器への影響は格段に低下する。したがって、指針で推奨されている最大出力状態を前提とした離隔距離（1m程度）を保つ必要性もなくなり、安心・安全な携帯電話の院内使用が可能となる。

現在、ポストPHSとして業務用の携帯電話ならびに屋内基地局の導入が進みつつあるが、一般用の携帯電話に対応した屋内基地局を設けるためには、携帯電話事業者各社に対応するシステムを導入する必要がある。その場合、多大なインフラ整備コストがかかることから、総務省では災害時を含む医療機関における通信確保の重要性に鑑みて、基幹災害拠点病院ならびに地域災害拠点病院を対象に、携帯電話の電波受信状況を改善する「電波遮へい対策事業」⁷⁾を行っている。これは無線システム普及支援事業等補助金として、国が総事業費の3分の1を負担し、（公社）移動通信基盤整備協会が2分の1を負担することによって、病院は6分の1の費用負担（状況によっては負担なし）で携帯電話の電波遮へい対策工事が施行できる。現在、対象となる医療機関は限られているが、今後、このような事業が拡大すれば、医療機関における携帯電話使用の安全性と利便性の向上が期待される。

6. 病院内電波管理体制の構築

病院内ではいろいろな目的で様々な電波利用機器が使用され、特に医用テレメータ、無線LANならびに携帯電話はその主なものであるが、それぞれを管理する部門が異なっている場合が大半である。そのことで、ある部門で使用している電波が別の部門の電波利用機器に影響を与える事例が発生している。したがって、特に電波に関しては部門横断的な管理が必要と考えられるが、今まではそのような電波管理が行われておらず、問題が発生してからその対応に追われる事態になっているのが現状である。平成28年に総務省・EMCCによる「医療機関において安心・安全に電波を利用するための手引き」が発行されたのはそのよう

な現状を鑑みて作成されたものであるが、各病院内で具体的にどのような電波管理体制を構築すればいいかの提案も必要であった。平成29年に公表された“医療機関における「電波の安全利用規程（例）」”⁸⁾はそのニーズに応えるものである。各医療機関の実情に合わせて、すぐにでも作成可能な規程のひな形が提示されているので、参考にして頂きたい。その概要を図10に示すが、新たに委員会を立ち上げることが難しい場合は、近い役割を持つ既存の委員会（例：医療安全管理委員会、医療機器安全管理委員会、情報システムに関する委員会等）の所管としたり、既存の委員会の下部組織（WGや専門委員会等）として設置することも可能である。また、こういった病院内の電波管理の推進の実務を担う「電波利用コーディネータ」の人材であるが、この分野に関する学校教育も受け、また、「小電力医用テレメータの運用規程」で無線チャネル管理者に最適任と記載されている臨床工学技士（医療機器管理担当）等が適任ではないかと考える。

しかしながら、現状ではこのような病院内電波管理体制の充実が進まない施設が多いのも事実である（図11）。そこで、総務省ならびにEMCC医療推進委員会では、2018年10月に（公財）日本医療機能評価機構に赴き、医療機関内における電波管理の重要性を説明し、理解を得ることができた。その後、医療推進委員会の周知啓発作業部会において「電波環境整備に資する病院機能評価の修正案」を作成し、次回の病院機能評価の改定の際に、電波管理に関する評価項目の追加を検討して頂くことになった。したがって、各医療機関では今から施設内の電波管理体制の構築と推進に取り組み、準備する必要があるのではないかと考える。

1. 電波利用安全管理委員会の設置
 - ・電波利用に関する情報の共有、調整
2. 電波利用コーディネータの設置
 - ・各部門の担当者間の調整 ・院内の他部門や対外的な窓口
3. 電波管理担当者の配置
 - ・委員会への参加 ・製造販売業者等との連携
4. 電波利用状況の把握／トラブル対応
 - ・電波利用リストの作成 ・電波環境調査
 - ・トラブル発生時の原因確認・解決
5. 職員の教育・研修
6. 病院関係者へ必要な教育（周知啓発用の動画、リーフレット、e-learning教材）

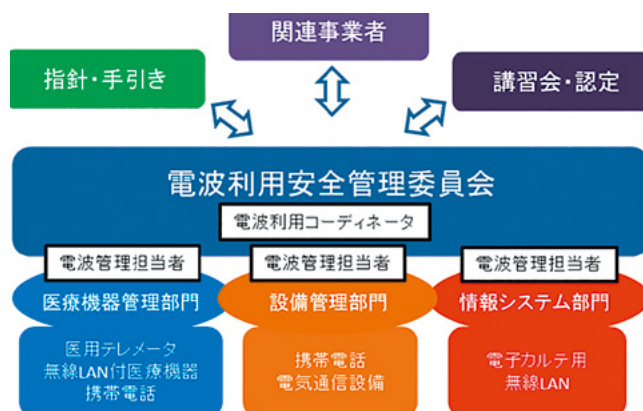


図10. 病院内における電波管理体制（例）

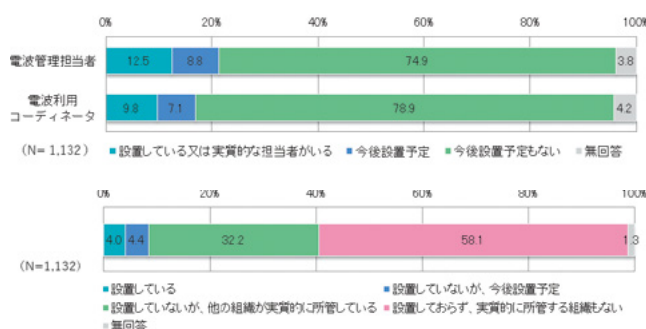


図11. 電波管理担当者・電波利用コーディネータ・電波環境の管理を所管する組織（委員会等）の設置状況（2019年度アンケート調査結果【病院】）

7. おわりに

本稿では2021年7月に発行された「医療機関において安心・安全に電波を利用するための手引き（改定版）」に書かれている内容を中心に、特に医療機関の関係者が知っておくべき電波利用に関する諸情報と留意点について解説させて頂いた。また、多くの方に手引き改定版の全文を読んで頂きたいところではあるが、100頁以上にも上る冊子なので、少なくとも参考資料となっている【よくある質問と回答（Q&A）】と【エリア別の実施例】には目を通して頂ければと思う。さらに、手引き改定版には、エッセンス版（1枚のポスター）も用意されているので、病院内の各部署に配布し周知して頂きたい。

また、本稿では触れていないが、医療機関における安心・安全な電波利用には、セキュリティ対策も重要である。これに関しては、総務省から「Wi-Fi提供者向けセキュリティ対策の手引き」（2020年5月）等が発行されているので、こちらの方を参照願いたい。

【参考資料】

- 1) 電波環境協議会 医療機関における電波利用推進委員会：2020年度医療機関における適正な電波利用推進に関する調査の結果【病院】 2021年5月
- 2) 電波環境協議会 医療機関における電波利用推進委員会：「医療機関において安心・安全に電波を利用するための手引き」 2016年4月
- 3) 電波環境協議会 医療機関における電波利用推進委員会：「医療機関において安心・安全に電波を利用するための手引き」（改定版） 2021年7月
- 4) 電波環境協議会 医療機関における電波利用推進委員会：2019年度医療機関等における適正な電波利用推進に関する調査の結果【病院】 2020年6月
- 5) 電子情報技術産業協会：JEITA AE-5201B小電力医用テレメータの運用規定 2020年3月
- 6) 電波環境協議会 医療機関における電波利用推進委員会：2018年度医療機関における適正な電波利用推進に関する調査の結果【病院】 2019年5月
- 7) 総務省（遮蔽対策事業）：令和3年度「無線システム普及支援事業費等補助金」（電波遮へい対策事業のうち医療施設を対象とするもの）に係る提案の公募
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban16_02000258.html
- 8) 電波環境協議会 医療機関における電波利用推進委員会：医療機関における「電波の安全利用規程（例）」 2017年6月

医療機関における電波利用機器に配慮した 建築ガイドライン・同解説 －医用テレメータ編－

日本建築学会 電磁環境運営委員会 (Electromagnetic Environment Steering Committee)
大成建設株式会社 (Taisei Corporation)

遠藤 哲夫 (Tetsuo ENDO)

1. 目的

携帯電話を積極的に利用する医療機関が増え、医用テレメータや無線LANなどの電波利用が拡大する中、電波管理が適正でない場合に、医療機器にトラブルが発生することが危惧されている。

2019年度に電波環境協議会医療機関における電波利用推進委員会が行ったアンケート調査（実施期間：2020年1月～2月、回答数1,132件）において、医療機関で多く利用されている電波利用機器は、業務用内線電話（PHS）：82.6%、無線LAN：81.1%、医用テレメータ：80.9%であった。このうち、「つながらない・つながりづらい」、「特定の場所で電波がとどかない」などのトラブルを経験した医療機関は、無線LANが50.4%、医用テレメータが40.9%であった。

携帯型テレメータ送信機を利用した患者情報モニタリングシステムの基本構成を図-1に示す⁽¹⁾。テレメータ送信機から400MHz帯の電波が送信され、天井に設置したアンテナシステムで受信する。アンテナシステムから患者情報をモニタリングするための受信機（セントラルモニタ）までは受信した信号を有線で伝

送する。ここで、アンテナシステムで受信する信号強度と環境ノイズの比で表されるC/N比が十分でない場合、モニタリングしている波形に異常が見られる等のトラブルが発生する。C/N比は伝送系における搬送波の受信強度（C）と電磁ノイズ（N）との大きさの比であり、安定して通信するためには必要な強度の搬送波を確実に受信すると共にセントラルモニタで受信する環境ノイズが低い電波環境を確保する事が重要である。

C/N比が低下する要因は、「送信機と受信アンテナの距離が遠い（距離減衰）」、「送信機と受信アンテナの間に建築部材・設備配管など電波を遮へいする特性を持つ材料がある」など搬送波の減衰によって受信強度が低下し、正常動作に必要なC/N比が得られないケースと受信アンテナ周囲の電気機器等からの環境ノイズをアンテナシステムが受信し正常動作に必要なC/N比が得られないケースが考えられる。後者は、前者の搬送波の受信強度が弱い環境では、相対的に環境ノイズの影響を受けやすいためC/N比が低下する可能性が高くなり注意が必要である。

このため電波を安心して利用する環境を提供するには搬送波の減衰を考慮したアンテナシステムの配置計画を行う必要がある。そこで、日本建築学会電磁環境運営委員会では、電波環境協議会、日本医療福祉設備協会臨時委員会「無線通信と電磁環境研究委員会」と協力して、医療機関における電波利用に配慮した建築計画について検討を進め、2021年度9月に環境工学基準「医療機関における電波利用機器に配慮した建築ガイドライン・同解説－医用テレメータ編」（以下、建築ガイドライン）を発行した⁽²⁾。

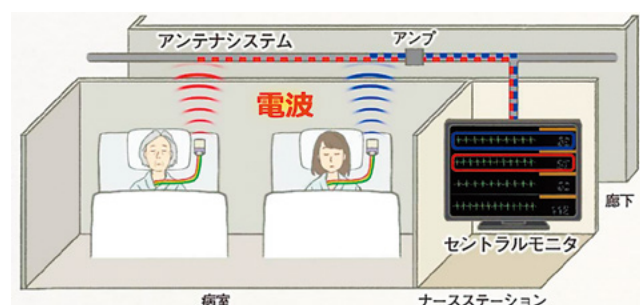


図-1 医用テレメータの基本構成

建築ガイドラインは、電波を管理する医療従事者（施設管理部門、情報システム部門、臨床工学技士、看護師など）、医療機器製造販売業者（医療機器メーカー）、建築設計者・施工者が施設計画段階から情報を共有することによって、電波を利用した医療機器を安心して使用するための電波環境を提供することを目的とし、医用テレメータを建物内に設置して運用する際に安定して無線通信を行うために、施設計画上注意すべき点や避けるべき事項を記載した。本レポートでは建築ガイドラインの概要を紹介する。

2. 医用テレメータの概要

建築ガイドラインは、医療機関において医用テレメータの受信障害を低減する為の建築計画、設備計画、設計（基本設計、実施設計）、及び受信状態を評価するための評価方法について規定する。

医用テレメータは、テレメータ送信機（携帯型、据置型）、アンテナシステム（マルチアンテナ方式、漏えい同軸ケーブルアンテナ方式）、セントラルモニタで構成されている。

テレメータ送信機（携帯型）は、患者が移動する病室内・トイレ・検査室・食堂・談話室、検査室、リハビリ室などで生体情報をモニタリングする装置である。テレメータ送信機（据置型）は、主に移動しない患者に使用しベットサイドで患者の生体情報をモニタリングする装置である。写真1-1、写真1-2に各送信機の例を示す。

テレメータ送信機は、400MHz帯の電波を発信する機器を対象とし、建築ガイドラインでは、医用テレメータに割り当てられた周波数：420.0500～449.6625MHzを適用周波数とした。

アンテナシステム（マルチアンテナ方式）は、受信

アンテナ（ホイップアンテナ）、分配器、増幅器で構成され、分配器は集合器としても作動する機能を持つ。図-2にマルチアンテナ方式のシステム構成例を示す。

アンテナシステム（漏えい同軸ケーブルアンテナ方式）は、受信アンテナ（漏えい同軸ケーブルアンテナ）、分配器、増幅器で構成され、分配器は集合器としても作動する機能を持つ。図-3に漏えい同軸ケーブルアンテナ方式のシステム構成例を示す。

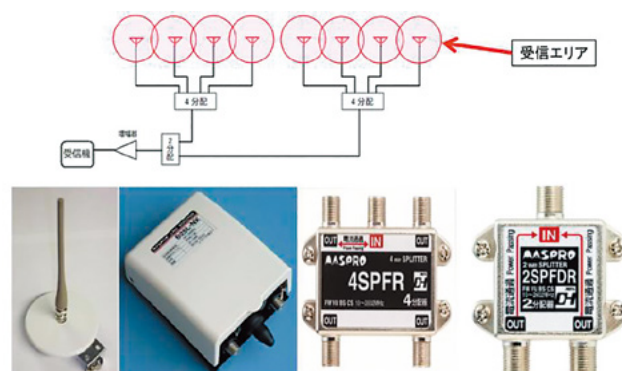


図-2 マルチアンテナ方式の構成例

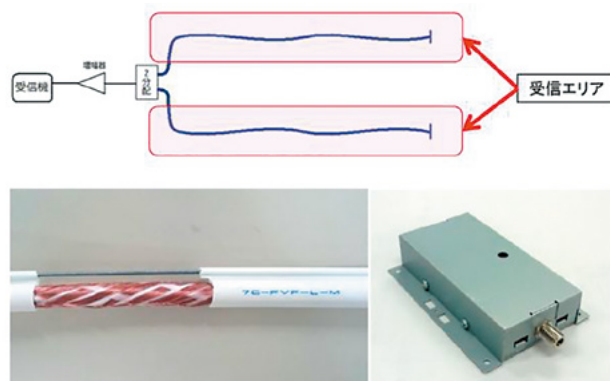


図-3 漏えい同軸ケーブルアンテナ方式の構成例



写真-2 セントラルモニタの運用例



写真 1-1 携帯型送信機

写真 1-2 据置型送信機

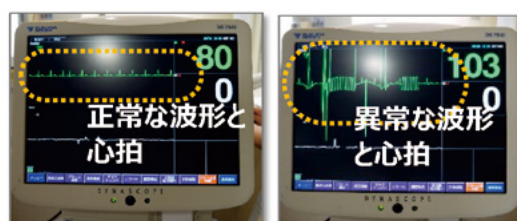


写真-3 セントラルモニタのトラブル発生例

セントラルモニタは、主にスタッフステーションに置かれたテレメータ受信機である。写真-2にセントラルモニタ4台で32人の患者を集中モニタリングの例を示す。波形に異常がでるとアラームが出る仕組みになっている。写真-3に電波トラブルが発生した場合のセントラルモニタの写真を示す。このように患者の生体情報が適切に表示されないなどの問題が発生する。

3. 基本設計

建築設計者、医療関係者などは、医用テレメータおよびそのシステムが適切に構築され、問題なく運用できるように配慮する必要がある。

医用テレメータが利用される医療機関の基本計画・基本設計においては、医用テレメータの通信障害が生じないように、適切な通信環境を整える必要がある。そのためには、医用テレメータの設置要件や建物の意匠図、構造図、設備図などの情報を関係者間（建築設計者、医療関係者および医療機器製造販売業者）で共有し、アンテナシステムの配置や配線経路、および建物内の電波環境などの計画を適切に行うことが望ましい。

図-4に医用テレメータを導入する医療施設を新築する場合に医療機関、医用テレメータ製造販売業者、建築事業者が共有すべき情報と取組みのフローを示す。建築事業者が「テレメータ導入に伴う設計変更」を適切に行うために医療機関は、医用テレメータの導入判

断・製造販売業者を決定し、受信エリアの検討・事前調査などに関する情報を建築事業者と共有することが望ましい。これにより、建築事業者は医用テレメータ製造販売業者と協力して医用テレメータの受信システムの最適設計・アンテナ施工・分配器や増幅器などの機器配置を行うことが可能となり、「電波トラブル」を起こさない病院建築を進めるうえで最も重要な対応であると考えている。

また、建築事業者は、医用テレメータのアンテナシステムに関する情報として、竣工図に受信アンテナの設置や配線を行う際に必要な天井点検口や壁等の貫通口の位置やサイズ等を記載し、医療機関に提出することが望ましい。これにより、電波トラブルが発生した場合のアンテナシステムの改修が容易になると考えている。

マルチアンテナ方式の標準概念図を図-5に示す。ホイップアンテナの設置間隔は7m以内が推奨されているため、各病室に1台以上の受信アンテナを設置することが望ましい。また、廊下から病室の貫通口を2か所にすることで2系統のアンテナの設置によるダイバーシティ方式の採用が可能となり、より安定した電波の受信が可能になる。

同軸ケーブルアンテナ方式の標準概念図を図-6に示す。受信アンテナのカバーエリアは漏えい同軸ケーブルから5m以内が推奨されるため、各病室中央付近に漏えい同軸ケーブルを配線することが望ましい。このため、漏えい同軸ケーブルの配線経路は、病室間を

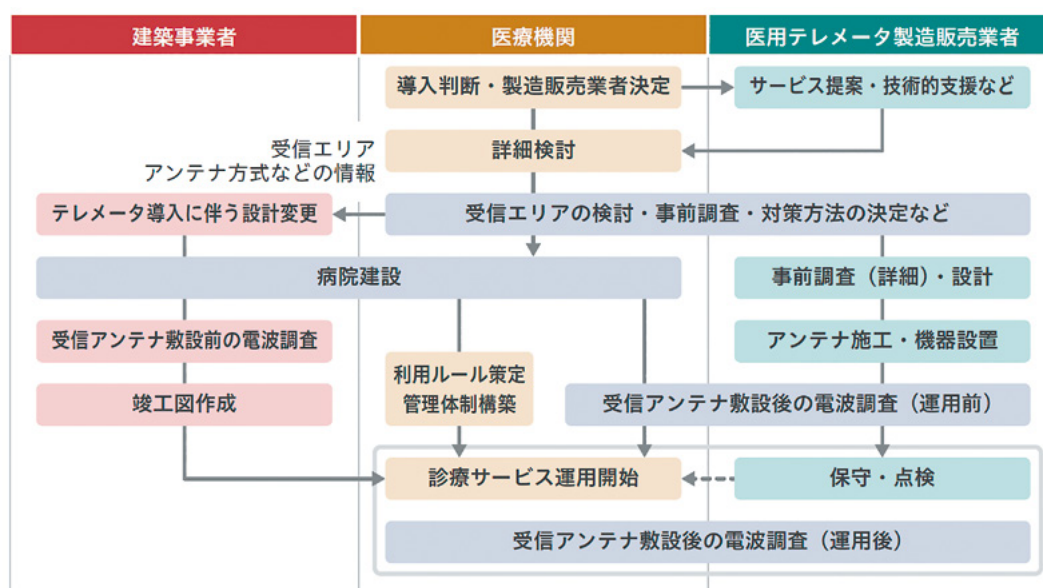


図-4 医療テレメータ導入に関する取組みフロー

貫通するルートを推奨する。さらに、十分なC/N比が得られない場合のアンテナ増設を想定し、廊下と病室間には2か所以上の貫通口を設けることが望ましい。

また、医用テレメータのアンテナシステムは、受信アンテナ周辺の金属体やノイズなど周辺環境によって影響を受ける。図-7に通信障害に関わる模式図を示す。受信アンテナの周囲に金属製の物があると、アンテナの利得や指向性が変化し、受信強度を低下させる要因となる。空調ダクトなど受信アンテナに比べて比較的面積の大きな金属体との離隔距離は30cm以上確保することが望ましい。ただし、受信アンテナが適切に設置され、所望の受信強度が確保された状態であっても、環境ノイズの混入により通信障害が生じる場合がある。このような電波干渉（通信障害）を避けるため、電磁環境に配慮した設備機器を採用することに努

め、50cm以上の離隔距離を確保することが望ましい。

医用テレメータの電波調査は、①病院建設中、②医用テレメータ導入後（診療サービス運用開始前）、③診療サービス運用開始後の各段階で実施することが重要である。電波調査の方法については6. 評価で記載する。

4. 実施設計

実施設計では、関連する機器などの具体的な配置が決まり、機器相互の電磁的干渉について想定が可能となる。医用テレメータの受信アンテナから50cm以内での設置や利用が考えられる設備機器については、医用テレメータが使用する周波数帯（420MHzから

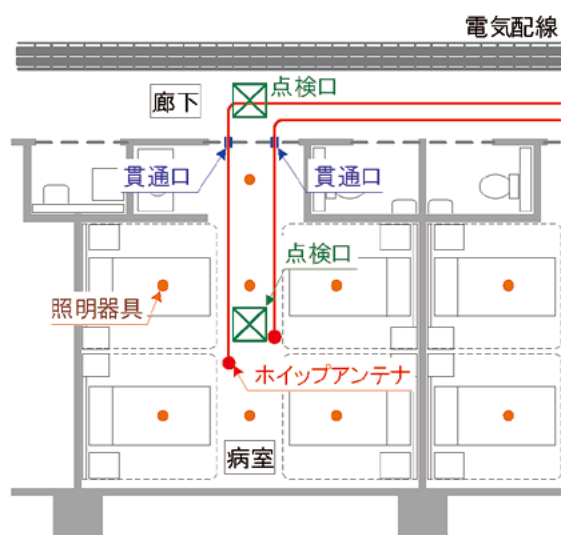


図-5 マルチアンテナ方式の標準概念図

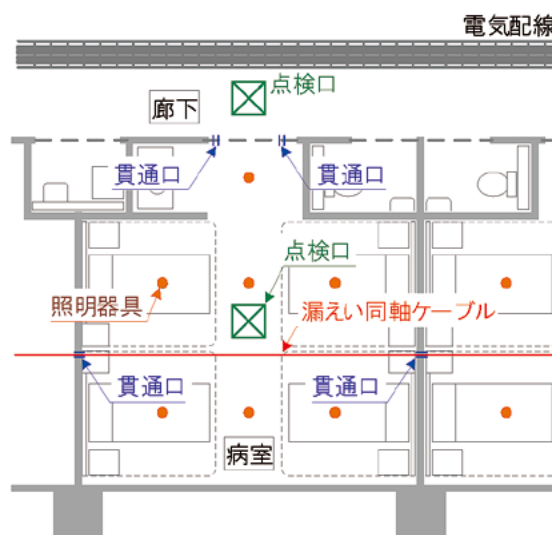


図-6 漏えい同軸ケーブルアンテナ方式の標準概念図

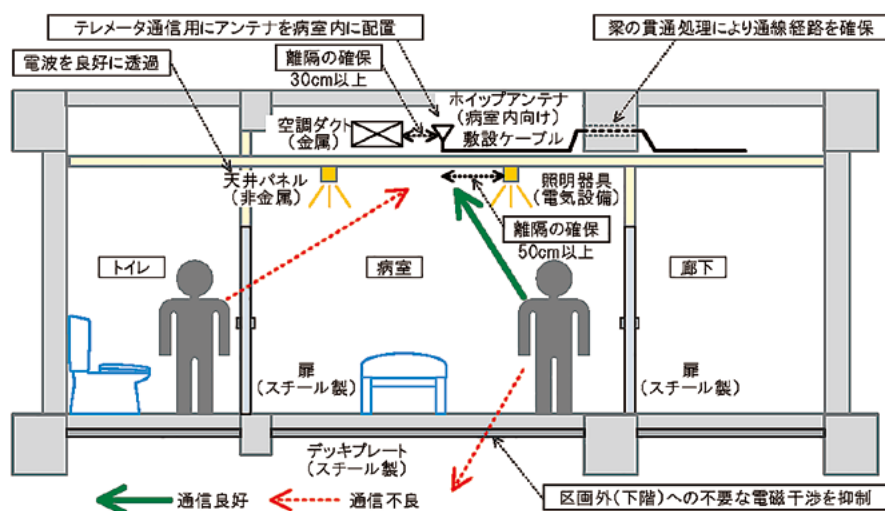


図-7 医用テレメータの通信障害に関する模式図

450MHz) における放射ノイズが、CISPR 規格、FCC 規格、VCCI 規格などにおいて定める許容値を満たす機器を選定することに努める。住宅環境相当の許容値を満たすことができない機器の場合には更に距離をとることが望ましい。

また、電磁的なノイズを放射する可能性がある設備機器の電気配線とアンテナシステムは、50cm 以上の離隔距離を取ることが望ましい。特に、漏えい同軸ケーブルアンテナは、ノイズを放射する電気配線と並行して敷設した場合、ノイズの影響を受けやすいため、配線ルートを再検討するなどの配慮が必要となる。表-1 に過去にノイズによる受信障害の原因となった設備機器の例を示す。

表-1 受信障害の原因となった設備機器の例

干渉波源	分類
LED照明器具	ノイズ障害
無線LANアクセスポイント	〃
ナースコール集合装置	〃
患者名廊下表示装置	〃
保安監視カメラ	〃
有線テレビジョン放送の配信ケーブル	〃
非観血血圧モニタ(無線通信式)	混 信
分娩監視装置(無線通信式)	〃
無線式離床センサシステム	〃
徘徊検知ゲート	〃
温度計測データロガー	〃

建築ガイドラインでは実施設計段階で医用テレメータ用配線ルートを確保することを推奨している。また、医用テレメータ用アンテナシステムの設置工事では、以下の配慮を行う事が望ましい。

- ① 通線管は後施工を想定した配管サイズとし、配線距離やケーブルの曲げ半径、配管の屈折数などを考慮し配線経路を確保する。
- ② 防火区画を貫通する場合は建築基準法に準拠した工法による。
- ③ 必要箇所に点検口を設ける。
- ④ 遮音・防振壁の貫通処理は機能を低下させない工法を選定する。
- ⑤ 貫通処理が構造に影響するときは、構造設計に反映する。
- ⑥ 通線管の本数は、アンテナシステムの配線を単独で通す前提で決める。

5. 施工

現状、医用テレメータの施工は、建物引き渡し後に行うことが多く、アンテナシステムの位置や配線経路の制限から、通信障害が発生する要因となっている。

医療機器製造販売業者は、施工中にアンテナシステムの配置、配線経路などに関する要望を建築事業者に伝えることが望ましい。建築事業者は、医療機器製造販売業者の要望を受け配線スペースを確保する。その際、受信アンテナと電磁ノイズの放射が考えられる設備機器や配線との離隔、ダクトなど金属体との離隔についての情報を共有することが望ましい。

アンテナシステムの配線および固定は、医療機器製造販売業者の施工要領に従い、実施することを基本とする。

また、吊りボルトへアンテナシステムを固定する場合は、躯体工事の段階で建築事業者と情報共有し、医療機器製造販売業者の責任で施工する。なお、後施工でアンカーや吊りボルトを増設する場合は、躯体埋設配管を傷つけるおそれがあるため、建築事業者と十分協議して施工する必要がある。

6. 評価

医用テレメータの受信不良などの無線に係るトラブルが発生した際の原因調査、対応検討を効率よく進めるために医療関係者が受信アンテナ設置前後の電波環境に関する情報を記録・継承していくことが望ましい。建築ガイドラインでは、受信アンテナ設置前後の電波環境を測定する方法の指針を日本建築学会として規定した。

6.1 アンテナを設置する前の電波環境調査

受信アンテナを設置する前の電波環境調査は、周辺の他医療機関もしくは同一医療機関別棟からの医用テレメータ電波や医用テレメータと同一の周波数帯域を利用する他の無線機器による電波の有無を確認し、医療関係者へ情報提供することを目的とする。

受信アンテナ設置前に行う測定器の構成図を図-8 に示す。測定装置はスペクトラムアナライザと測定

アンテナ（半波長ダイポールアンテナ、ログペリオディックアンテナ、バイコニカルアンテナ）で構成し、基準階の東西南北側の窓・外壁面に近い箇所、もしくは屋上など、周囲の見通しが取れる箇所において測定を行うことを基本とする。以下に測定手順を示す。

- ① スペクトラムアナライザの各種条件（周波数スパン（420MHz ～ 450MHz）、RBW（1kHz）、VBW（1kHz）、掃引時間など）を設定する。
- ② 測定アンテナを測定箇所に設置する。測定アンテナ高さは床面から天井までの間の中央を基本とする。ここでの天井高さとは竣工時の天井高とする。
- ③ 測定アンテナの偏波面は、垂直、水平の2偏波を測定することを基本とする。
- ④ スペクトラムアナライザの最大値ホールドモード（MAX HOLD）を選択し、1分以上の最大値保持を行い、測定値を記録する。

6.2 受信アンテナ設置後の電波環境測定

携帯型テレメータ送信機の受信エリアを網羅するように定めた送信点に逐次移動させて、その都度、受信信号電圧とノイズレベルをセントラルモニタの設置箇所

所に配置したスペクトラムアナライザで測定する。受信アンテナ設置後の接続例を写真-4に示す。セントラルモニタに接続するケーブルを分岐しスペクトラムアナライザに接続する。スペクトラムアナライザの設定例を表-2に示す。また、送信機は携帯型テレメータ送信機は、再現性向上のため図-9の例のように固定する。設置治具は、金属材料を用いない。心電図誘電コードを固定し、同じ状態を保つ。設置高さを一定とする。などに配慮する。測定手順を以下に示す。

- ① セントラルモニタへの入力ケーブルを取り外してスペクトラムアナライザに接続する。
- ② スペクトラムアナライザの各種条件を「受信アンテナを設置する前の電波環境調査」と同じ設定とする。
- ③ スペクトラムアナライザの最大値ホールドモード（MAX HOLD）を選択し、1分以上の最大値保持を行い、測定値を記録する。
- ④ 携帯型テレメータ送信機を送信点に移動させて、電波を発信する。
- ⑤ スペクトラムアナライザで測定した受信信号電圧値とノイズレベルから算出したC/N比を評価する。

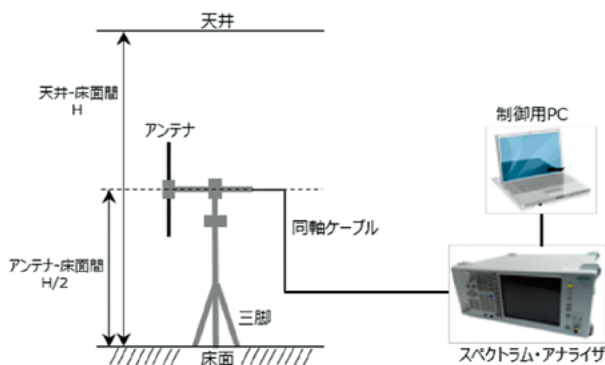


図-8 受信アンテナ設置前の測定概念図



写真-4 受信アンテナ設置後の接続例

表-2 スペクトラムアナライザの設定例

項目	内容
周波数範囲	420.0500MHz～421.0375MHz 424.4875MHz～425.9750MHz 429.2500MHz～429.7375MHz 440.5625MHz～441.5500MHz 444.5125MHz～445.5000MHz 448.6750MHz～449.6625MHz
周波数スパン	1～2MHz（上のいずれかの周波数範囲を含む）
RBW	8～10kHz
VBW	RBWとおなじ、または機種依存による自動設定
検波	RMS検波が望ましいが、使用機材によって設定できない場合は、アペレージ検波、または機種依存による自動設定
測定値単位	dBμVを推奨

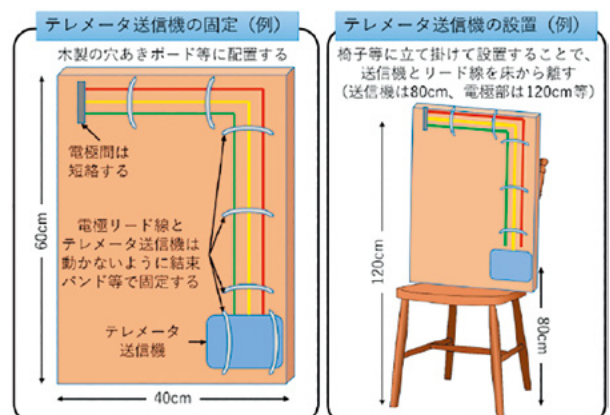


図-9 電波調査時の送信機の固定例

7. まとめ

建築ガイドラインは、電波を管理する医療従事者、医療機器製造販売業者、建築事業者が施設計画段階から情報を共有することによって、建物建設後に電波を利用した医療機器を安心して使用するための電波環境を提供することを目的とした。

今後、本ガイドラインが広く普及し医用テレメータの電波トラブルが解消することを期待する。

【参考・引用文献】

- (1) 医療機関で電波を安全に利用するための手引き（改定版）、電波環境協議会・総務省、2021年7月.
- (2) 医療機関における電波利用機器に配慮した建築ガイドライン・同解説-医用テレメータ編、日本建築学会、2021年9月.

宇宙線起因半導体ソフトウェアの対策・評価技術と国際標準化

NTT 宇宙環境エネルギー研究所 (NTT Space Environment and Energy Laboratories)
岩下 秀徳 (Hidenori Iwashita)

1. はじめに

サービスの多様化、利便性の追求により、現代の社会基盤は、デジタルトランスフォーメーションが進んでいる。社会が便利になる一方で、原因の特定が困難な宇宙現象による電子機器のトラブルであるソフトウェアが増えている。

ソフトウェアは永久的に半導体デバイスが故障するハードエラーとは異なり、電氣的ノイズにより発生する一時的な故障（メモリのビット反転）で、半導体デバイスの再起動やデータの上書きで回復可能な故障である。保存データが書き換わり誤動作やシステムダウンを引き起こす可能性がある一方、再起動・上書きで回復するため事象の再現や原因特定が困難である。発生すると利用者に多大な影響を及ぼす可能性があり、また運用者にも原因究明・対策が大きな負担となる場合がある。通信装置ではこのような故障も想定しサービスに影響を及ぼさないように設計するが、ソフトウェアの再現が困難であるため、開発段階での十分な検証ができなかった。

このような状況に対応するため、NTT 研究所では、一般企業が保有できる数メートル程度の小型加速器中性子源を用いて通信装置のソフトウェアを再現させ、効率的に通信装置のソフトウェアによる影響を測定することができる技術確立した。さらに、本試験の実施により開発段階でのソフトウェア対策が可能となり大幅な通信品質の向上が図られるため、ITU-T 標準化活動を行いソフトウェアに関する新規勧告が制定された。

本記事では、このようなソフトウェアに関するメカニズムや対処法、試験法およびITU-T 国際標準について解説する。

2. ソフトエラー発生メカニズム

ソフトウェアが発生する主な要因は半導体デバイスに微量に含まれる放射性同位元素から生成される α 線と、宇宙線によって生成される中性子線がある。 α 線によるソフトウェアに対する影響は高純度材料（低 α 線樹脂等）を採用することによって低減することができる。一方、中性子線によるソフトウェアの影響は以下のように発生する。図1に示すように宇宙では太陽や超新星爆発によって、陽子を主体とした高エネルギー粒子が飛び交っている。この高エネルギー粒子が地球の大気に突入すると、大気中の窒素原子核や酸素原子核と衝突し、核反応が起きる。この時、原子核内部にあった中性子が飛散する。大気中で発生した中性子の大部分は通常、半導体デバイスに突入しても透過

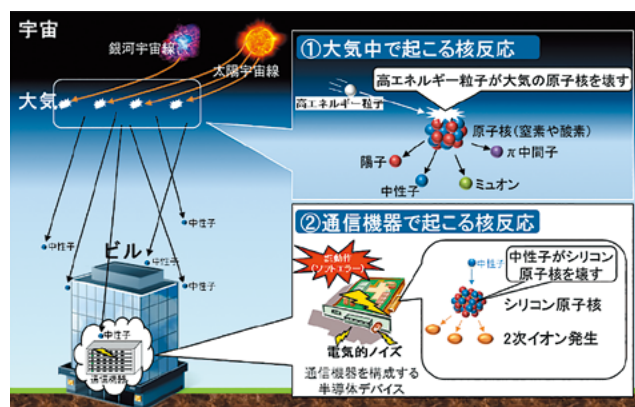


図1 ソフトエラー発生メカニズム

し何ら影響を与えないが、まれに半導体デバイスを構成するシリコン原子核と核反応を起こし、電荷を持った様々な粒子を発生させる。これが電氣的なノイズとなり、一時的なエラーであるソフトエラーを発生させる。

3. 中性子とソフトエラー発生率の関係

さまざまな環境における、ソフトエラー発生率（単位時間当たりのソフトエラー発生数）を算出するためには、ソフトエラー断面積 σ （中性子が半導体へ入射した時にソフトエラーが発生する割合）が不可欠である。ソフトエラー断面積は下記の式で表せる。

$$\sigma_{SEU}(E_n) = \frac{N_{SEU}(E_n)}{\Phi(E_n)} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 $\Phi(E_n)$ はデバイスに照射された単位面積当たりの中性子数（中性子フルエンス）で、 $N_{SEU}(E_n)$ はそれら中性子によって生じたソフトエラーの発生数を示します。中性子が引き起こすソフトエラー発生率には中性子が持つエネルギー E_n による違いがある。宇宙から降り注ぐ中性子や加速器で発生させる中性子は、それぞれ異なるエネルギー分布を持つので、環境ごとの中性子エネルギー分布 $\phi(E_n)$ を考慮してソフトエラー発生率 SER を式(2)で算出できる。

$$SER = \int_0^{\infty} \sigma_{SEU}(E_n) \phi(E_n) dE_n \quad \text{式(2)}$$

このように、ソフトエラー断面積 σ は、ある環境におけるソフトエラー発生率を算出するためには不可欠なデータであれば、従来までソフトエラー断面積 σ の



図2 米国ロスアラモス国立研究所 800 MeV 陽子加速器

中性子エネルギー依存性の測定は困難な状況であった。そこで、NTT研究所は世界で初めて飛行時間法によるソフトエラー断面積の中性子エネルギー依存性の測定を行った。実験は米国ロスアラモス国立研究所の800 MeV陽子加速器（図2）で実施し、図3のような連続的な中性子エネルギー毎のソフトエラー断面積を測定した¹⁾。

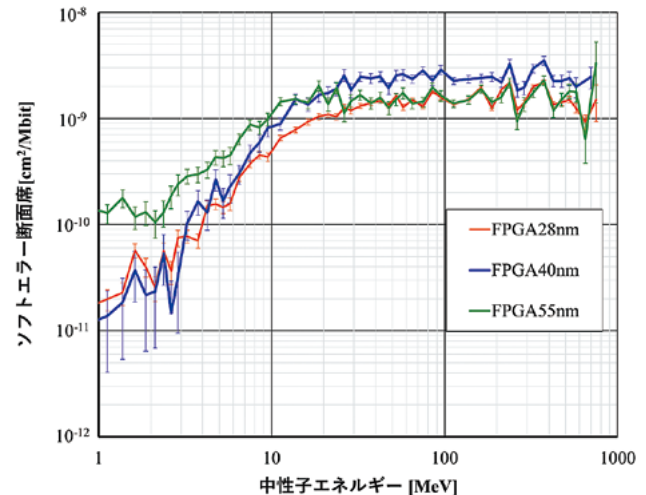


図3 中性子エネルギー毎のソフトエラー断面積

4. ソフトエラーの増加と通信装置の動作へ及ぼす影響

情報通信を支える通信装置は年々増加する膨大な通信トラフィックを処理するため、大容量化・高機能化が求められており、それらに使われる半導体デバイスの高集積化・微細化も進んでいる。

しかし、半導体デバイスの高集積化・微細化に伴いソフトエラー影響を受けやすくなる。特にSRAM（Static Random Access Memory）はソフトエラーの影響を受けやすく、微細化に伴う低電圧化により、急激にソフトエラー発生率が高くなる傾向にある。図4は、半導体プロセス技術の微細化によりソフトエラーが増加する傾向を示している。通信装置では、高速処理が求められているため読み書きの速いSRAMが大量に使用されている。

ソフトエラーがキャリア通信システムにおいて発生すると想定される事象が故障解析時に事象が再現しない未再現故障である。図5は未再現故障が発生した場合の保守フローを示している。

キャリア通信システムにおいて故障が発生した場合、

通信ルートを切り替え、通信サービスへの影響を回避するとともに、ネットワーク監視センタへ故障を示す警報を通知する。故障個所を交換し、システムメーカーの工場にて故障個所の再現試験や検査を行うが、再起動によってソフトエラーは回復しているため、システムメーカー工場では事象は再現せず、解析が長期化してしまう。

また、一部の故障モードではソフトエラーによってシステムの動作に異常が発生していても、警報を保守者へ通知することができず、保守者が必要な保守アクションを取ることができないサイレント故障となる可能性がある。サイレント故障は、ユーザからの申告によって初めて保守者が事象に気づくこともあるため、問題の長期化や重大なサービス品質の低下に繋がる可能性がある。

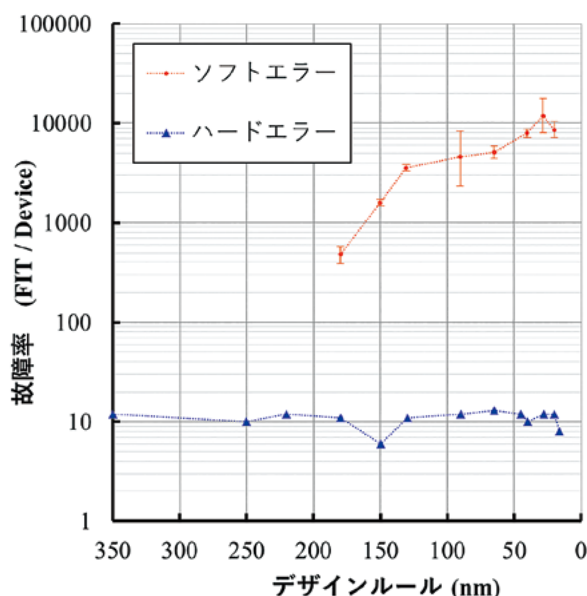


図4 半導体プロセス技術の微細化に伴うソフトエラーの増加

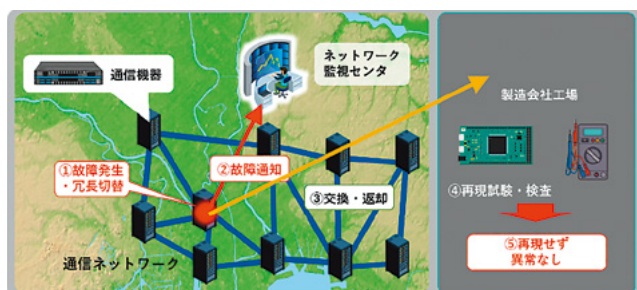


図5 未再現故障が発生した場合の保守フロー

5. ソフトエラー対策方法

前述のようにソフトエラーは通信装置の信頼性や通

信サービスに重大な影響を与える可能性があることから、設計段階で様々な対策手法を導入する必要がある。ソフトエラーの対策手法は(1)低減、(2)隔離、(3)訂正の3つに大別される。

(1) 低減

ソフトエラー低減対策は、ソフトエラー発生そのものを抑制するものである。半導体デバイスと異なるソフトエラー発生のない磁性体材料等の部品を使用する方法、Fin-FETのような3次元トランジスタ構造化しソフトエラーの影響を受ける面積を縮小させる方法、高速イオンがシリコンに衝突して発生する電荷をダミーのインバータ回路で吸収させるRCC技術を適用するなどの物理構造を工夫する方法、ソフトエラー耐力の小さいSRAMの使用量を少なくする方法がある。したがって、ソフトエラー低減対策は、部品レベルの対策であり装置設計の部品選定段階の対策となる。

(2) 隔離

ソフトエラー隔離対策は、ソフトエラーが発生しても品質影響がないように発生部分を隔離するものである。三重化回路構成としソフトエラー発生箇所は切り離し動作を継続する、メモリをインタリーブ構成としMCUの影響を軽減するなどの回路構成を工夫する方法と機能影響の有無を識別し機能影響のないソフトエラーは無視する方法がある。ソフトエラー隔離対策は、回路設計および装置設計段階の対策となる。

(3) 訂正

ソフトエラー訂正対策は、ソフトエラーは半導体デバイス自体が壊れるのではなく保持しているデータの一部のビットが反転してしまうという事象であることから、ソフトエラー発生箇所に対し正常データの上書きや初期化により訂正し正常復旧させるものである。訂正を行う契機の違いからハードウェア自律訂正、装置の制御プログラムと連携した装置自律訂正、保守者からの指示による訂正の方法がある。ハードウェア自律訂正方法としては、主にメモリ回路に対するECCまたは正常データを上書きするスクラビング機能、論理回路のラッチ内部で発生したソフトエラーを補償するDICE構造の適用がある。装置自律訂正方法は、エラー検出時に制御プログラムが訂正動作を実行するものである。これに対し、保守者指示による訂正方法は、エラー検出時にエラー影響および訂正影響を見て保守

者判断により訂正を行うものであり、本方法のみが保守品質に影響する。いずれの対策もソフトエラー発生の検出と訂正の2段階で行うことになる。

いずれの訂正対策もソフトエラー発生の検出と訂正の2段階で行うことになる。

6. ソフトエラー試験

前述のように、ソフトエラーの発生は増加しつつあり、またソフトエラーの発生は、通信サービスの提供、運用へ多大な影響を与える可能性があることから対策を講じる必要がある。しかしながら、ソフトエラーは通信システム1台あたりで見れば数年～数十年に1回程度しか発生しないため、開発時や再現検証時にソフトエラーを再現させることはできなかった。設計のみでソフトエラーによる電子機器の動作や機能の影響を考慮し、対策処理を施すのは困難を極める。

そこで、NTT研究所では2013年に効率的にソフトエラーを再現させるため、北海道大学と協力して小型加速器中性子源によるソフトエラー再現技術確立した²⁾。小型加速器中性子源は、スケジュールが柔軟に組めるというメリットがある。これは通信機器の開発段階では、トライ・アンド・エラー的な修正と再試験が重要であるからである。これまでは、半導体チップレベルで世界的にも数カ所しか存在しない高エネルギー加速器（数百 MeV）を用いてソフトエラーを再現させる研究は行われていたが、電子システムレベルのソフトエラー試験は行われていない状況だった。

この試験は、図6に示すように電子加速器によって加速された電子が鉛ターゲットに衝突すると発生する光核反応によって中性子を生成する。中性子源から遮

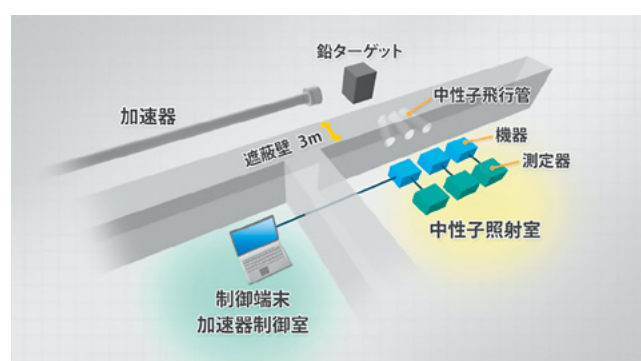


図6 ソフトエラー試験技術

蔽用のコンクリートを隔てて通信機器を設置し、中性子を照射する。通信機器には、ユーザ信号を模擬するため測定器により常に通信トラフィックを流し、その影響を把握する。

この様に小型加速器中性子源を用いたソフトエラー試験は非常に有用であることがわかったため、NTT研究所は通信システムだけではなく、近年の高集積化・微細化された半導体デバイスを用いる電子機器の信頼性を向上させるため、本試験の需要があると見込み名古屋大学、住重アテックス株式会社と商用化のための共同実験を行い、2016年12月にNTT-ATにてソフトエラー試験の商用サービスを開始した。

7. ITU-T 国際標準

NTT研究所は、このようなソフトエラーの問題に対し、高信頼のネットワークを構築するため、TTCにて、システム、半導体ベンダと共に議論を行った。その結果、通信の国際標準化を行う国連専門機関ITU-Tにおいて、表1に示すソフトエラーに対する6つの標準勧告の制定が完了した。ここでは、本標準の中で特に重要である基準の考え方について解説する。

表1 ITU-T ソフトエラーに関する勧告一覧

勧告番号	略称	タイトル
K.124	概要編	Overview of particle radiation effects on telecommunications systems (通信装置の粒子放射線影響の概要)
K.130	試験編	Soft error test method for telecommunication equipment (通信装置のソフトエラー試験手法)
K.131	設計編	Design methodologies for telecommunication systems applying soft error measures (通信装置のソフトエラー対策設計手法)
K Suppl.11	補足編	Supplement to K.131 - Soft error measures for FPGA (K.131 補足資料 - FPGAのためのソフトエラー対策)
K.139	基準編	Reliability requirement of particle radiation effect for telecommunication systems (通信装置の粒子放射線影響の信頼性要求基準)
K.138	評価編	Quality estimation methods and application guidelines for mitigation measures based on particle radiation tests (粒子放射線検査に基づく対策のための品質推定方法とアプリケーションガイドライン)

K.150	デバイス編	Information of semiconductor devices required for the design of telecommunication equipment applying soft error mitigation measures (ソフトウェア対策設計を適用する通信装置の設計に必要な半導体デバイスの情報)
-------	-------	--

図7に示すように半導体デバイスの高集積化に伴いハードエラーに対してソフトエラーが急増しているが、ソフトエラーはハードエラーとは異なり対策によって大幅にトラブルを低減することができる。そこで、従来から発生しているハードエラーを基準として、ソフトエラー起因の故障交換率および主信号断の発生率が統計誤差に収まる範囲をそれぞれの目標基準に設定した(図8)。ただし、ソフトエラーによって、まれに誤動作を検出できないサイレント故障が発生する可能性がある。サイレント故障は発生が許容されないので、1万年分相当の中性子線を照射してもサイレント故障が発生しないことを信頼性基準として設定した(図9)。このように、故障交換率・主信号断発生率の低減、サイレント故障を防ぐため、3つの信頼度基準を定義

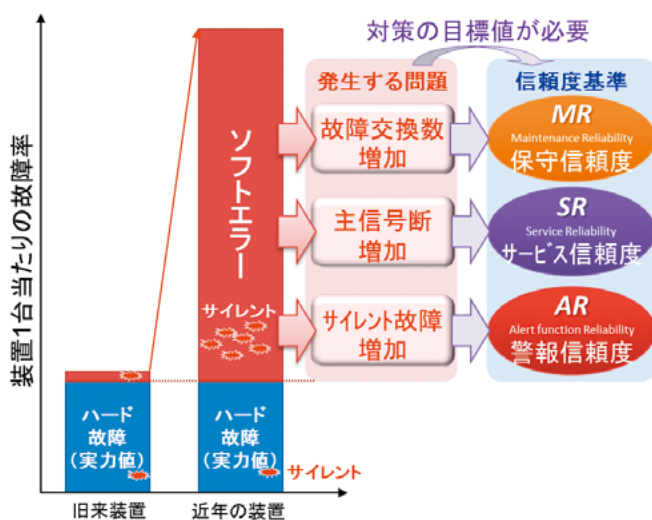


図7 通信装置のハードエラーとソフトエラーの割合と発生する問題

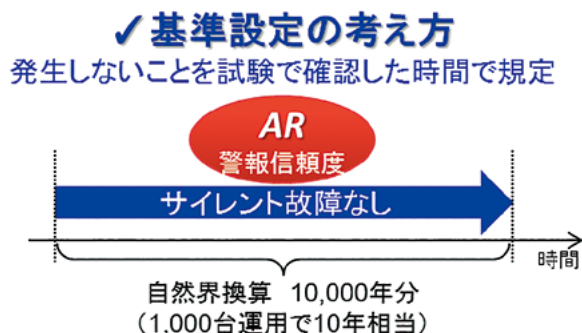


図9 警報信頼度の基準の考え方

し、クラスを設定した(図10)。この基準を満たすことで、大規模ネットワークを構築した場合の信頼性を確保できる。

続いて、実際の評価方法について解説する。小型の加速器を用いた中性子照射試験により試験、評価を行うことができる。この試験では自然界の数百万倍から数億倍の強度で中性子を照射することで短時間でソフトエラーを再現させることができる。まず、図11に示すように中性子線を照射しソフトエラーを発生させる。主信号状態および警報発生状態を確認し、発生した事象を「3つの信頼度基準」へ分類する。照射時間から換算した自然界稼働時間と発生頻度から基準値を満たすかを算出する方法である。例えば、図10の1回目のソフトエラーでは装置警報が発生し、主信号が切れた状態である。この場合は、保守交換が必要と想定されるのでMRに該当する事象としてカウントする。また、主信号断も発生したので、SRに該当する事象とカウントする。次に2回目のソフトエラーは自動訂正が働き、装置警報もなく主信号影響もない状態

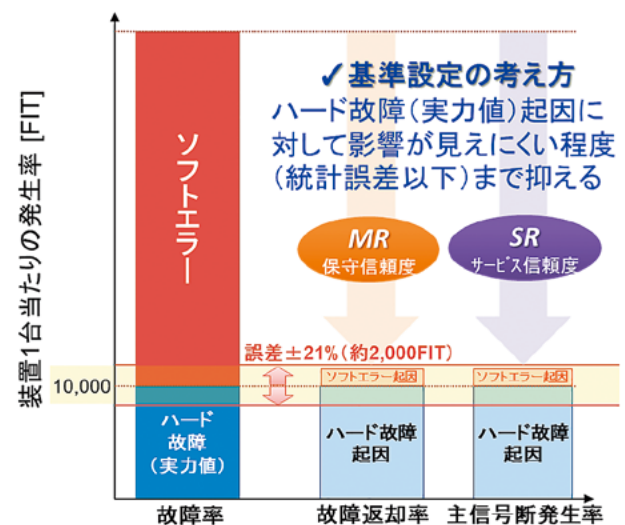


図8 保守信頼度とサービス信頼度の基準設定の考え方

信頼度基準	目的	基準値
MR Maintenance Reliability 保守信頼度	✓ 故障交換率(遠隔保守作業を含む)を低減 	装置1台当たり保守作業が必要な頻度(FIT数)で規定 MR class 事象発生率 X キャリアとベンダで決定 A < 2,000 FIT B < 10,000 FIT
SR Service Reliability サービス信頼度	✓ 主信号断発生率を低減 	装置1台当たり主信号断時間と頻度(FIT数)で規定 SR class 事象発生率 X キャリアとベンダで決定 A < 2,000 FIT < 200 FIT B < 10,000 FIT < 1,000 FIT
AR Alert function Reliability 警報信頼度	✓ サイレント故障を防ぐ 	自然界換算時間で装置1台当たりサイレント故障が発生しない時間で規定 AR class 自然界換算時間 X キャリアとベンダで決定 A 10,000 年相当 B 2,000 年相当

Class X: 特に高品質が要求される装置の特別規定
Class A: キャリアネットワーク品質
Class B: 特に品質が求められる装置/導入台数が多い装置など

図10 3つの信頼度基準と基準値

であった。この場合は、どの信頼度にもカウントされないということになる。この様に、試験では主信号影響と、装置警報状態を確認する。そして例えば8回目のソフトウェアでは、装置警報が無い状態で、主信号断が継続しているので、これはサイレント故障に該当し、ARが1回とカウントできる。この様に各信頼度基準に該当する事象をカウントする。さらに、照射時間から換算した自然界稼働時間と発生頻度から基準値を満たすかどうか判定することができる。

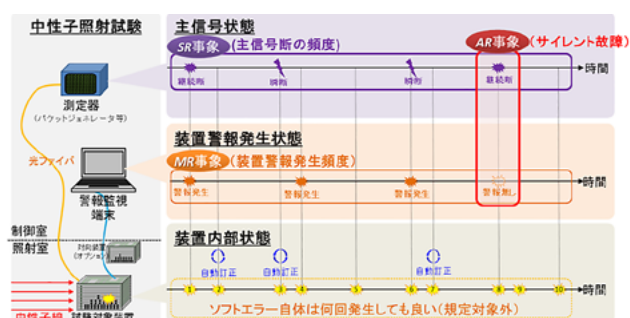


図 11 評価方法の例

8. まとめ

NTT 研究所は、ソフトウェアによるトラブルをなくし、信頼性の高いネットワークを構築するため、宇宙線起因中性子とソフトウェアの発生率の関係を解明し、ソフトウェア試験技術の確立・商用化、そしてITU-T 国際標準化に取り組んだ。この取り組みにより、今後世界的に様々な電子機器で発生が想定されるソフトウェアに関する課題の解決に貢献できると考えている。

参考文献

- 1) H. Iwashita et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. 67 (2020) 2363.
- 2) H. Iwashita et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. 64 (2017) 689.

2020年度 イミュニティ委員会の活動

近接電磁界イミュニティ試験に関する調査研究（アンテナ種別による依存性）

一般社団法人 情報通信ネットワーク産業協会（CIAJ）
電磁妨害対策委員会

飯塚 二郎

1. 背景

近年スマートフォンやタブレット端末のような携帯型端末の普及がめざましく1人1台保有する時代となっている。これらの携帯型端末は、例えばスマートフォンの場合、ノートPC等で作業をしながら通話したり、タブレット端末の場合では、保守者が必要なデータを装置の近傍でダウンロードして通話しながら保守をしたりとマルチメディア機器の近傍で使用されることが多くなっている。このため、これらの端末から発するRF電波によって、マルチメディア機器が誤動作を起こす可能性が懸念される。しかしながら、マルチメディア機器のイミュニティ試験を規定しているCISPR 35では近接でRF送信機が使用されることを想定した試験法は規定されておらず、製品がイミュニティ性能判定基準を満足すると期待される無線機器との保護距離を情動的付則として掲載している。国際規格ではIEC 61000-4-39[1]が装置の近傍でRF送信機が使用されることを想定した近接電磁界イミュニティ試験を規定している。

これらのことから、2019年度の研究テーマでは、近接電磁界イミュニティの規格であるIEC 61000-4-39[1]で規定されている広帯域アンテナ（TEMホーンアンテナ）およびEMC測定で広く用いられているDRGAを使用し、マルチメディア機器へ与える影響について調査を実施した。本研究では、2019年度の実験結果を踏まえ、マルチメディア機器に与えた動作影響の差について、アンテナ種別による依存性に関して調査・検討をすることとした。

2. 目的

2019年度テーマ（IEC 61000-4-39に規定されているアンテナの違いによる近接電磁界イミュニティの影響の検証に関する調査研究）では、EUTを設置した場所の電界均一性は使用したアンテナでほぼ同じであったが、異なる結果（課題）となった。

本研究テーマでは、2019年度の調査に使用したアンテナ3種について、EUT設置条件による特性評価を行い、この比較結果から、2019年度の試験結果が異なった原因について調査・検討を行うこととした。

3. 2019年度の試験結果について（振り返り）

2019年度に使用したEUT2（メディアコンバーター）では、垂直偏波の妨害波を照射時に、ANT-1の妨害波周波数 3.50GHz 及び、ANT-3の妨害波周波数 1.95GHzにおいて、受信フレームロスが発生し、アンテナの違いによる結果に差が生じた。（2019年度に使用したEUT1では、全てのアンテナに対し受信フレー

表 4.1 アンテナの違いによる試験結果（EUT2）

アンテナ 偏波面	妨害波 周波数 [GHz]	ANT-1			ANT-2			ANT-3		
		TEM ホーン NICT 製			TEM HOHN AMETEX 製			DRGA ETS-LINDGREN 製		
		パルス変調周波数			パルス変調周波数			パルス変調周波数		
		2Hz	217Hz	1kHz	2Hz	217Hz	1kHz	2Hz	217Hz	1kHz
垂直	1.4454	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	1.9500	無	無	無	無	無	無	有	有	有
	3.5000	有	有	有	無	無	無	無	無	無
水平	1.4454	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	1.9500	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	3.5000	無	無	無	無	無	無	無	無	無

有：受信フレームロス有
無：受信フレームロス無

ムロスは発生しなかった。)

本結果より今年度は、受信ロスが発生したアンテナ偏波面（垂直）、妨害波周波数（1.95GHz、3.50GHz）に条件を絞り、電界強度分布の測定とVSWRの測定を行いアンテナの違いによる特性の違いについて調査・検討を行う。

5. 試験構成、および試験条件

1) 試験構成

2019年度に使用したアンテナを用いて、受信ロスが発生した垂直偏波の周波数1.95GHz、3.50GHzについて、EUTがなにもない状態（測定系①、④）、メディアコンバータ（無給電状態）がある状態（測定系②、⑤）、および金属板がある状態（測定系③、⑥）の3条件にて、電界強度分布の測定とVSWRの測定を行う。

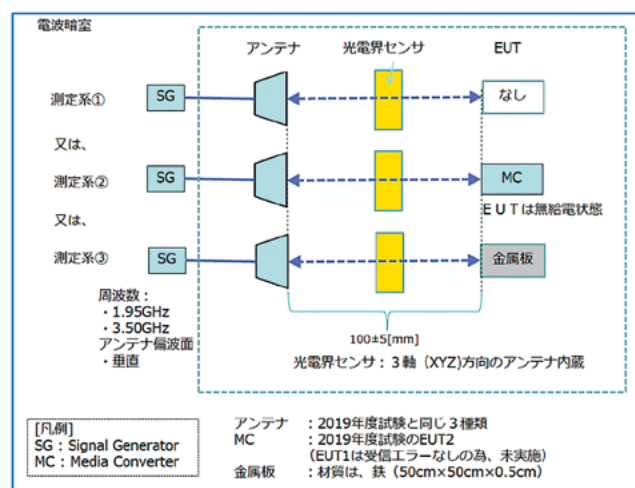


図 5.1.1 電界強度分布の測定構成。

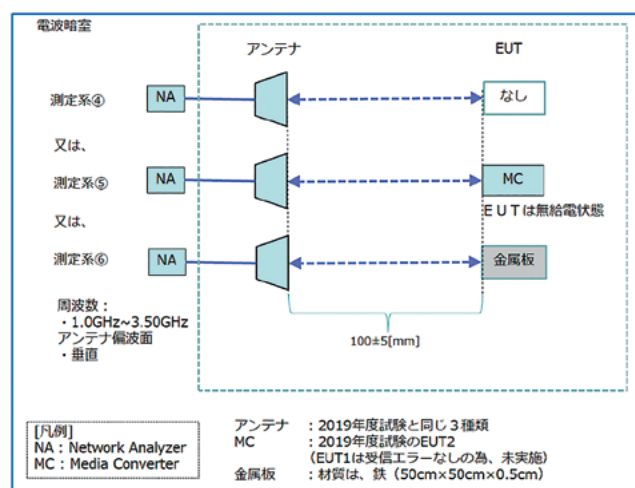


図 5.1.2 VSWRの測定構成。

2) 測定項目

電界強度分布とVSWRの測定項目を表5.2.1および表5.2.2に示す。

表 5.2.1 電界強度分布の測定項目（全18パターン）

測定系	周波数	EUT	アンテナ
測定系①	1.95GHz	なし	ANT-1
			ANT-2
			ANT-3
	3.50GHz		ANT-1
			ANT-2
			ANT-3
測定系②	1.95GHz	MC	ANT-1
			ANT-2
			ANT-3
	3.50GHz		ANT-1
			ANT-2
			ANT-3
測定系③	1.95GHz	金属板	ANT-1
			ANT-2
			ANT-3
	3.50GHz		ANT-1
			ANT-2
			ANT-3

表 5.2.2 VSWRの測定項目（全9パターン）

測定系	周波数	EUT	アンテナ
測定系④	1.0GHz ～ 3.50GHz	なし	ANT-1
			ANT-2
			ANT-3
測定系⑤		MC	ANT-1
			ANT-2
			ANT-3
測定系⑥		金属板	ANT-1
			ANT-2
			ANT-3

3) メディアコンバータ（MC）について

本研究テーマのEUTの三つの条件に含めたEUTとして2019年度の研究テーマの試験にて、受信ロスが発生したMCを用いた。なお、MCは2019年度の研究テーマで使用したEUT2である。

4) アンテナについて

本研究テーマで使用するアンテナは、2019年度に使用したアンテナと同一である。表5.4.1に各アンテナの仕様および図5.4.1から図5.4.3に外観を示す。

表 5.3.1 MC の仕様

メーカー	I/F	プロトコル (@1Gbps)	端子形状
B 社	UTP 側	IEEE 802.3ab	RJ-45
	光側	IEEE 802.3z	2 芯 SC 端子



図 5.3.1 MC の外観

表 5.4.1 アンテナの仕様

アンテナ	アンテナ タイプ	メーカー	周波数帯域	サイズ (W x H x D [mm])
ANT-1	TEM ホーン (プロトタイプ)	NICT/ ノイズ研究所	380MHz~6GHz	800 x 450 x 800
ANT-2	TEM HORN (プロトタイプ)	AMETEK	600MHz~6GHz	160 x 175 x 210
ANT-3	DRGA	ETS-LINDGREN	750MHz~18GHz	244 x 150 x 279

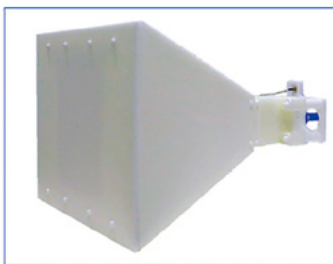


図 5.4.1 ANT-1 外観(TEM ホーン)



図 5.4.2 ANT-2 外観(TEM HORN)

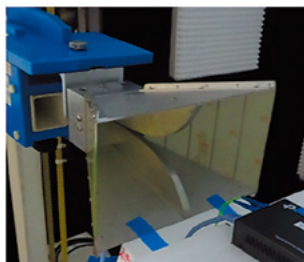


図 5.4.3 ANT-3 外観(DRGA)

6. アンテナ特性の評価

1) 電界強度分布の測定方法

IEC 61000-4-39では、アンテナの開口面から10cmの距離を測定面と規定している。本研究テーマではEUTとした三つの条件の影響により、測定面での電界強度分布がどのように変化するか検証するためEUTとアンテナの間に光電界センサを配置することとした。光電界センサは、X軸、Z軸方向に走査させ

るため図6.1.1に示すような測定構成としたが、物理的制約からEUTとアンテナの中間位置である5cmとした。このため、アンテナから5cmの面を電界均一面として電界強度を測定した。ただし、ANT-2については、開口面の位置が不明なためアンテナカバー端からの距離とした。

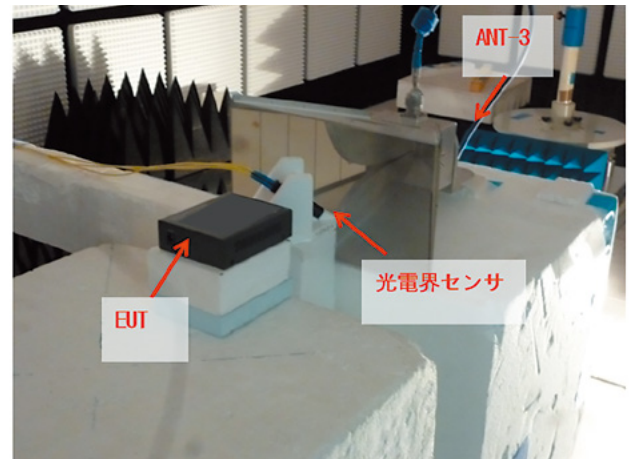


図 6.1.1 電界強度分布の測定時の様子(ANT-3 垂直偏波、EUT ありの例)

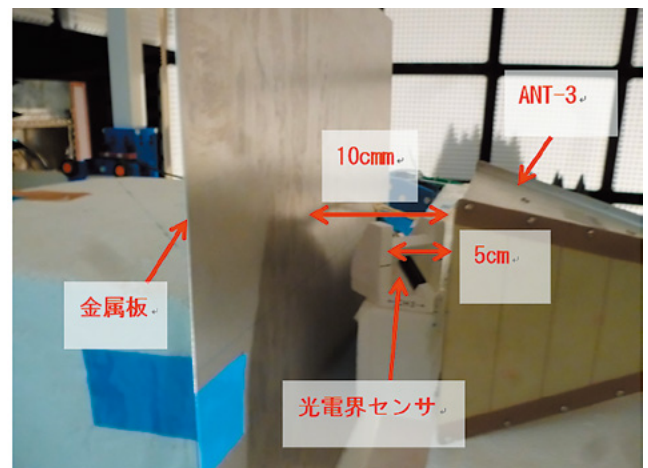


図 6.1.2 電界強度分布の測定時の様子(ANT-3 垂直偏波、金属板の例)

2) 電界強度分布の測定結果

表5.2.1に示した電界強度分布の測定項目について測定した結果から、EUTを設置しない場合が無い時の各アンテナのZ軸中心箇所の電界強度値を基準として、三軸それぞれの面（X/Y/Z面）の電界強度値との差分を電界測定面の均一エリアとして示す。図6.2.1から図6.2.9が1.95GHz照射時の均一面の結果、図6.2.10から図6.2.18が3.50GHz照射時の均一面の結果である。

EUTを設置していない状態での電界測定面の均一エリアは、Y,X軸方向に比べてZ軸方向のエリアが広い。また、ANT-1は他のアンテナに比べて開口面積

が広いので均一エリアが他のアンテナに比べて広いと考えられる。

EUTのMCを設置した状態での電界測定面の均一エリアは、EUTを設置しない状態とほぼ同じ傾向となった。

金属板を設置した状態での電界測定面の均一エリアは、EUTを設置していない状態およびEUT2を設置した状態の両状態に比べて、X,Y,Z軸の3軸方向共に

均一エリアは広い傾向となった。これは、金属板の影響により照射した電波が広い範囲で反射しているのではないかと推定する。

EUTを設置していない状態での電界測定面の均一エリアは、Y,X軸方向に比べてZ軸方向のエリアが広い。また、ANT-1は他のアンテナに比べて開口面積が広いので均一エリアが他のアンテナに比べて広いと考えられる。ただし、1.95GHzと比較すると均一エリ

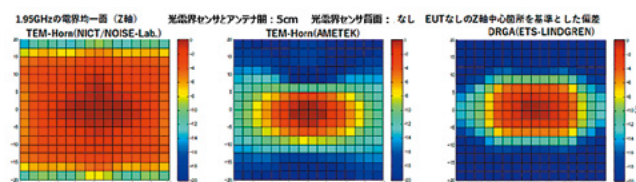


図 8.2.1 1.95GHz の EUT なし 電界測定面の均一エリア Z 軸(5cm/div) (左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

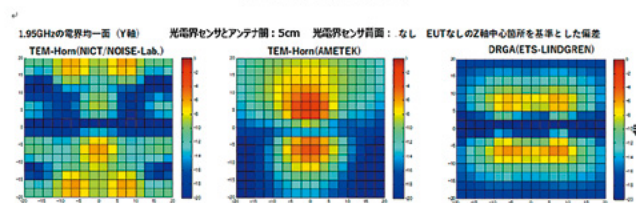


図 8.2.2 1.95GHz の EUT なし 電界測定面の均一エリア Y 軸(5cm/div) (左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

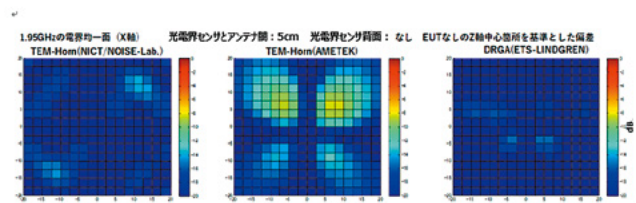


図 8.2.3 1.95GHz の EUT なし 電界測定面の均一エリア X 軸(5cm/div) (左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

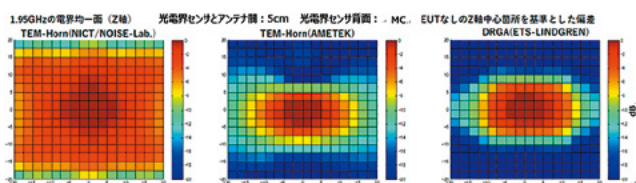


図 8.2.4 1.95GHz の EUT あり 電界測定面の均一エリア Z 軸(5cm/div) (左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

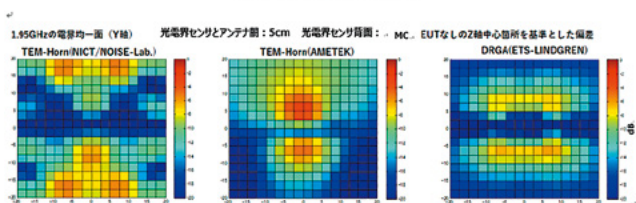


図 8.2.5 1.95GHz の EUT あり 電界測定面の均一エリア Y 軸(5cm/div) (左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

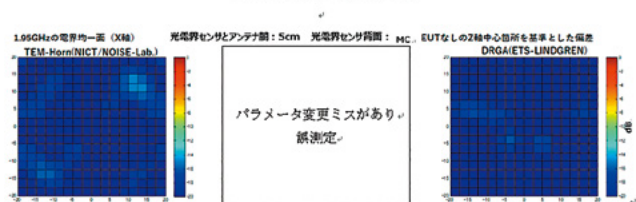


図 8.2.6 1.95GHz の EUT あり 電界測定面の均一エリア X 軸(5cm/div) (左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

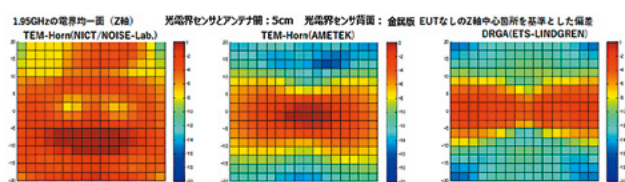


図 8.2.7 1.95GHz の金属板 電界測定面の均一エリア Z 軸(5cm/div) (左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

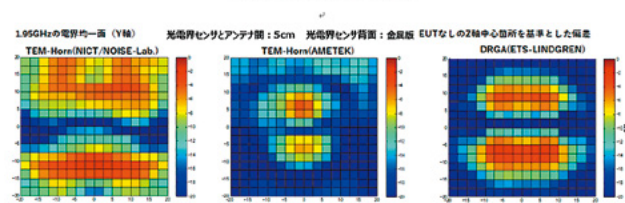


図 8.2.8 1.95GHz の金属板 電界測定面の均一エリア Y 軸(5cm/div) (左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

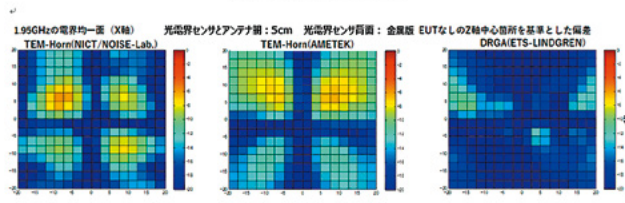


図 8.2.9 1.95GHz の金属板 電界測定面の均一エリア X 軸(5cm/div) (左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

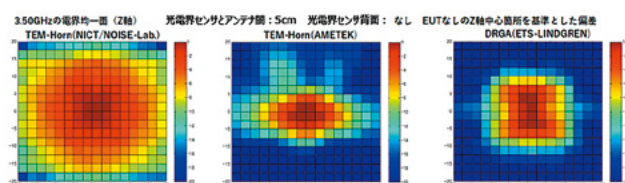


図 8.2.10 3.50GHz の EUT なし 電界測定面の均一エリア Z 軸(5cm/div) (左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

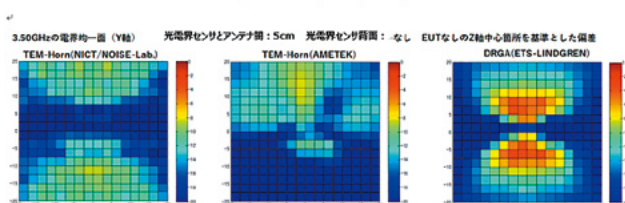


図 8.2.11 3.50GHz の EUT なし 電界測定面の均一エリア Y 軸(5cm/div) (左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

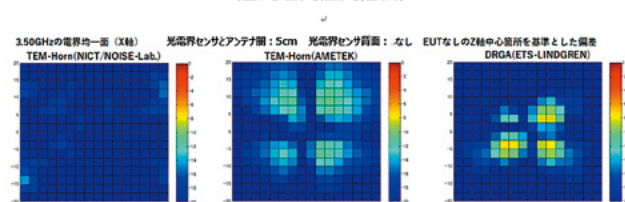


図 8.2.12 3.50GHz の EUT なし 電界測定面の均一エリア X 軸(5cm/div) (左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

アの範囲が狭くなっている。これは、周波数によるアンテナの放射パターンなどの特性による差異であると推定する。

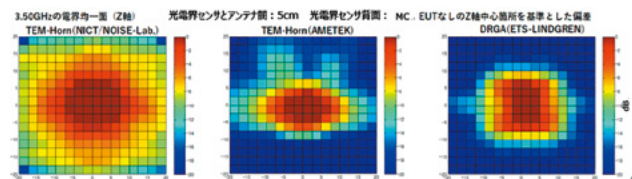


図 8.2.13 3.50GHz の EUT あり 電界測定面の均一エリア Z 軸(5cm/div)
(左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

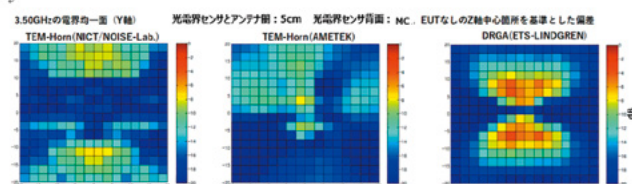


図 8.2.14 3.50GHz の EUT あり 電界測定面の均一エリア Y 軸(5cm/div)
(左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

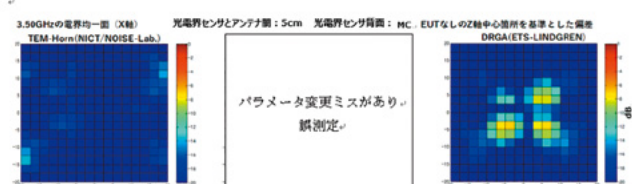


図 8.2.15 3.50GHz の EUT あり 電界測定面の均一エリア X 軸(5cm/div)
(左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

EUT2のMCを設置した状態での電界測定面の均一エリアは、EUTを設置しない状態とほぼ同じ傾向となった。

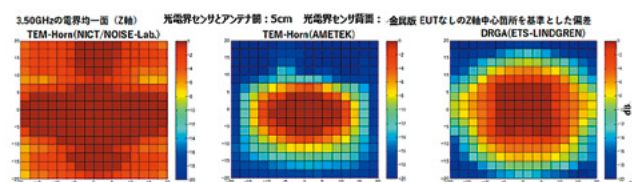


図 8.2.16 3.50GHz の金属板 電界測定面の均一エリア Z 軸(5cm/div)
(左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

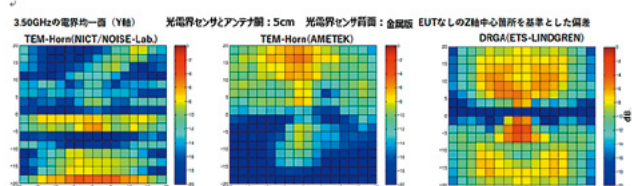


図 8.2.17 3.50GHz の金属板 電界測定面の均一エリア Y 軸(5cm/div)
(左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

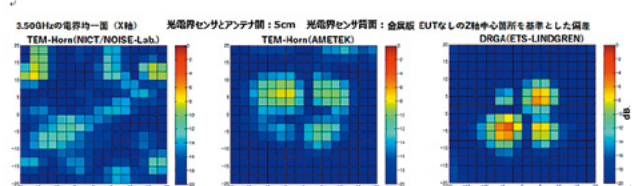


図 8.2.18 3.50GHz の金属板 電界測定面の均一エリア X 軸(5cm/div)
(左から ANT-1, ANT-2, ANT-3)

金属板を設置した状態での電界測定面の均一エリアは、EUTを設置していない状態およびEUT2を設置した状態の両状態に比べて、X,Y,Z軸の3軸方向共に

均一エリアは広い傾向となった。これは、金属板の影響により照射した電波が広い範囲で反射しているのではないかと推定する。

3) VSWRの測定結果

アンテナ毎のVSWRの測定結果を図6.3.1から図6.3.3に示す。

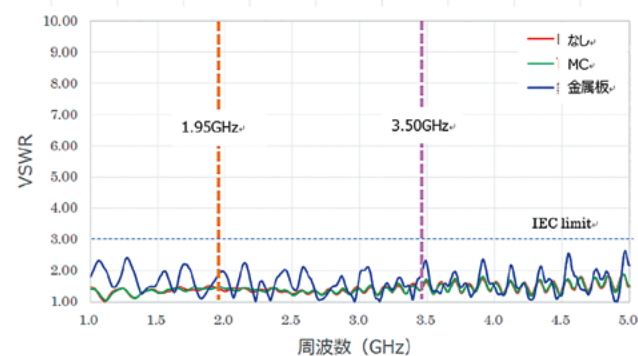


図 6.3.1 ANT-1 の VSWR

ANT-1のVSWR測定結果は、全周波数でIEC 61000-4-39が規定する許容値 ($VSWR \leq 3$) を満足しており、EUT (MC) を設置した状態とVSWR値に大きな差異はみられない。また、金属板を設置した場合でも $VSWR < 2.5$ となり反射波による影響は少ない。1.95GHzおよび3.5GHzのVSWR値については、EUTの設置による差異はなく、反射板の設置により、若干高くなっている。

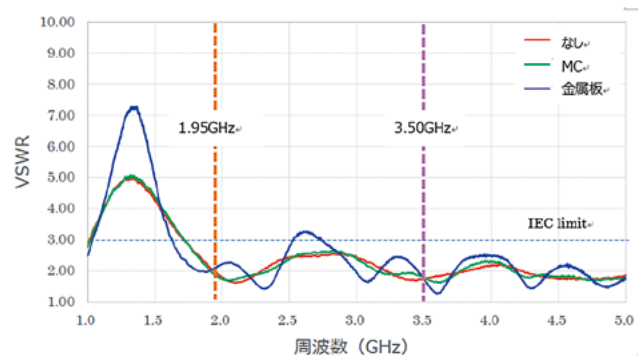


図 6.3.2 ANT-2 の VSWR

ANT-2のVSWR測定結果は、1.7GHz以上でIEC61000-4-39の許容値 ($VSWR \leq 3$) 満足しており、EUT (MC) を設置した状態とVSWR値に大きな差異はみられない。一方、金属板を設置した場合、特に、1.5GHz以下で $VSWR < 7$ となり反射波による影響が大きい。1.95GHzおよび3.5GHzのVSWR値については、EUTおよび反射板の設置による差異はほとんどない。

ANT-3の測定結果は、他のTEMホーンと同様にEUT (MC) の設置によるVSWR値に大きな差異はみられない。金属板を設置した状態では、2GHz以下の周波数帯でVSWR<5となり反射波による影響が大きい。1.95GHzおよび3.5GHzのVSWR値については、EUTの設置による差異はないが、反射板の設置の場合、若干低くなっている。

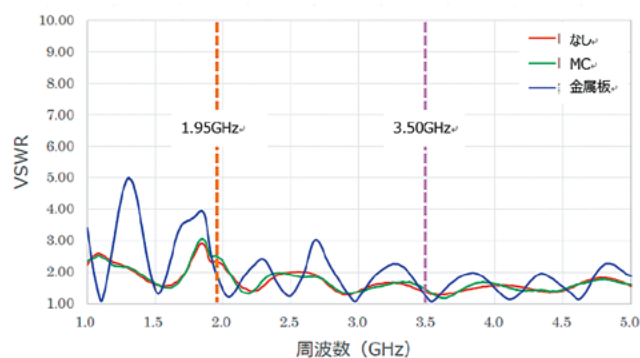


図 6.3.3 ANT-3のVSWR

7. 結果のまとめ

2019年度の試験結果を踏まえ、今回測定した電界強度分布の測定結果、及びVSWRの測定結果を比較検討すると以下の内容が判明した。

1) 電界強度分布の測定結果のまとめ

2019年度の試験結果にて、EUT2を設置した状態において受信ロスが発生したANT-3による1.95GHzについて、今回測定した電界測定面の均一エリア (X、Y、Z軸) の結果とANT-1、ANT-2の結果を図7.1.1に示す。(白枠□は、EUTの横寸法7.3cm 正方形を描画し、EUTへ与える影響の範囲を示す。)

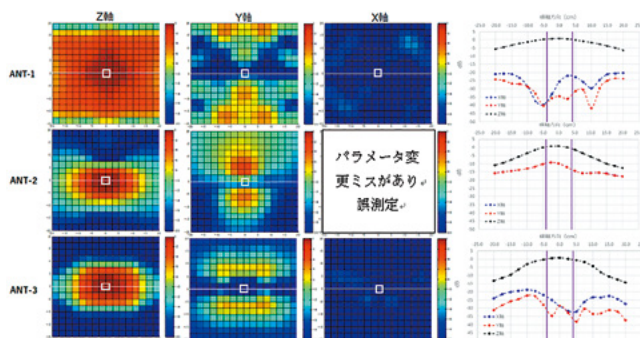


図 7.1.1 1.95GHzのEUT2あり 電界測定面の均一エリア (X、Y、Z軸) の比較

EUTを設置しない状態でのアンテナ毎におけるZ軸中心箇所を基準として3軸の中心との差を表7.1.1に

示す。2019年度の試験において、受信ロスが発生したANT-3のY軸およびZ軸の値は、ANT-1のこれらの値と大きな差はみられなかった。

表 7.1.1 Z軸中心の電界強度を基準とした各軸中心点の強度差 (1.95GHzのEUTあり)

アンテナ	Z軸中心の電界強度を基準とした各軸中心点の強度差 (dB)		
	Z軸	Y軸	X軸
ANT-1	0(基準)	-28	-35
ANT-2	0(基準)	-10	-10
ANT-3	0(基準)	-27	-27

2019年度の試験結果にて、EUT2を設置した状態において受信ロスが発生したANT-1による3.50GHzについて、今回測定した電界測定面の均一エリア (X、Y、Z軸) の結果とANT-2、ANT-3の結果を図7.1.2に示す。(白枠□は、EUTの横寸法7.3cm 正方形を描画し、EUTへ与える影響の範囲を示す。)

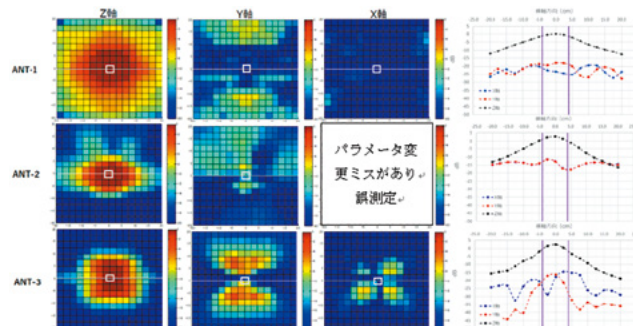


図 7.1.2 3.50GHzのEUT2あり 電界測定面の均一エリア (X、Y、Z軸) の比較



図 7.1.3 EUT2の寸法及び外観

EUTを設置しない状態でのアンテナ毎におけるZ軸中心箇所を基準として3軸の中心との差を表7.1.2に示す。2019年度の試験において、受信ロスが発生したANT-1のY軸およびZ軸の値は、ANT-3のこれらの値と大きな差はみられなかった。

表 7.1.2 Z軸中心の電界強度を基準とした各軸中心点の強度差 (3.50GHzのEUTあり)

アンテナ	Z軸中心の電界強度を基準とした各軸中心点の強度差 (dB)		
	Z軸	Y軸	X軸
ANT-1	0(基準)	-17.5	-23
ANT-2	0(基準)	-12	-12
ANT-3	0(基準)	-18	-17

2) 電界測定面の均一エリア面積とVSWRについて

EUT2を設置した状態におけるアンテナ毎のVSWRの測定結果を図7.2.1に示す。

2019年度の試験結果では、EUTとしたMCにLANケーブルを接続していたため、EUT本体以外のメタルケーブル等へ与える影響も考えられる。このた

め、今回測定した1.95GHzと3.50GHzのZ軸中心の電界強度を基準とした電界測定面の均一エリアにおいて-4dB以上が占める面積の割合を算出してVSWR測定値と比較することとした。

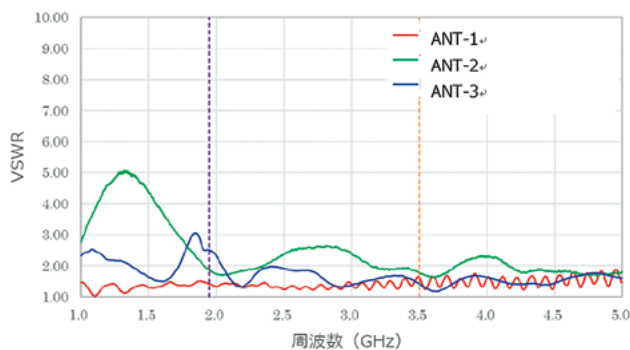


図 7.2.1 EUT あり 1.95GHz と 3.50GHz の VSWR の測定結果

表 7.2.1 -4dB 以上の電界測定面の均一エリアが占める面積割合と VSWR (1.95GHz)

アンテナ	ANT-1		ANT-2		ANT-3	
	面積割合 (%)	VSWR	面積割合 (%)	VSWR	面積割合 (%)	VSWR
EUT なし	54.3	1.41	9.0	1.97	11.4	2.34
EUT あり	52.9	1.46	10.4	1.87	12.1	2.52
金属板	49.5	1.87	19.0	2.11	18.3	1.95

2019年度の試験結果にて、受信ロスが発生した ANT-3の-4dB以上の電界測定面の均一エリアが占める面積の割合は、他のアンテナよりも低い VSWRの測定値は最も高かった。

表 7.2.2 -4dB 以上の電界測定面の均一エリアが占める面積割合と VSWR (3.50GHz)

アンテナ	ANT-1		ANT-2		ANT-3	
	面積割合 (%)	VSWR	面積割合 (%)	VSWR	面積割合 (%)	VSWR
EUT なし	24.9	1.88	8.2	1.74	9.0	1.35
EUT あり	21.1	1.08	8.7	1.78	10.4	1.42
金属板	84.1	2.16	17.0	1.75	23.5	1.18

2019年度の試験結果にて、受信ロスが発生した ANT-1の-4dB以上の電界測定面の均一エリアが占める面積の割合は最も高かった。ただし、VSWRの測定値はANT-2が最も高く、ついでANT-1であった。2019年度の試験結果では、ANT-2において受信ロスは発生していない。

8. まとめ及び考察

近接イミュニティ試験でのEUTの配置条件によるアンテナ特性評価を行った。TEMホーンおよびDRGAの電界測定面の均一エリアおよびVSWRの測定評価から、(1)アンテナ種類により、開口面近傍での均一性およびVSWRが異なる。(2)MCのような均一エリア内に設置できる小さなEUTの場合、各アン

テナのVSWRへの影響は少ない。一方、(3)大きな金属面を有するEUTの場合、アンテナにより影響は大きく異なることを示した。例えば、ANT-1の電界測定面の均一エリアは、他のアンテナに比べて広く、1GHzから5GHzの周波数帯におけるVSWR値は、他のアンテナと異なり金属反射板からの影響は低い。

2019年度の実験において受信データロスが発生した周波数について、電界均一エリアおよびVSWRの測定結果を比較した。EUTの配置された場所での各アンテナの電界均一性に大きな差異はないが、3.50GHzで受信ロスが発生したANT-1は、他のアンテナに比べて-4dB以上となる電界均一エリアが占める面積の割合は最も高い。このため、同じ電界均一エリア内にEUTを設置した場合でも、照射範囲がアンテナによって異なるため、EUTに接続するLANケーブルや給電線などがこの均一エリア外にあれば、照射強度が異なり誤動作の要因となると考えられる。

9. 課題

以上のことより、今後の課題となる点を挙げる。

- 近傍電磁界によるイミュニティ試験において、今後アンテナの影響を調査するためには、どのようなEUTを選択するのがポイントとなる。
- EUTに接続されるメタルケーブルの影響についても検討する必要がある。
- EUTにおける誤動作発生メカニズムを検討するためには、単純化した構成でかつ内部の誘導電圧や信号劣化を把握できる模擬EUTを制作することも一つの手段と考えられる。
- EUTへの影響について、電磁波シミュレーションを使用する手法についても検討する必要がある。
- 近傍電磁界イミュニティ試験を適用する場合に、大きなエリアの金属筐体面については試験が免除されているが、メッシュ、通気孔の大きさなどについても免除できるかどうかなど、適用面で検討する事項は残されている。

10. CISPRへの対応

マルチメディア機器のイミュニティ規格である CISPR 35 第1版では、製品がイミュニティ性能判定基準を満足すると期待される無線機器との保護距離を情報的付則として掲載している。しかしながら、この情報的付則において掲載している電界強度値は、放射源からの距離と放射電力、自由空間伝搬定数から算出した値であり、実験的な検証に基づいたものではない。このため、2019年度の研究テーマでは、携帯電話等の無線機が機器類の近接で使用することを想定した近接イミュニティ試験法である IEC 61000-4-39によりマルチメディア機器に対する影響を検証することとした。この結果、使用した2種類のTEMホーンアンテナの試験結果が異なったことから、本年度の研究テーマでは各々のアンテナの特性評価を行うこととした。アンテナの特性としては、電界均一エリアの広さの違い以外に、アンテナとEUTおよび金属板を対向させた状態において2種のTEMホーンアンテナのVSWRに違いが生じることがわかった。ただし、これらの影響が2019年度に実施した試験結果の違いの要因であるのか特定するに至らないため、継続して原因解析のための検証を行う必要がある。

近接イミュニティ試験は、他国においても注目されており、IEC 61000-4-39をベースとした試験法の提案が今後される予定である。これらの動向を注視するとともに、2019年度および本研究において明らかとなった課題をCISPR SC-Iへ報告し、検討に寄与すると共に、課題の解決に向けて各国と協調して検討を進める予定である。

－無断転載を禁ず－

EMCCレポート第37号

2022年3月

著 作：電波環境協議会

Electromagnetic Compatibility Conference Japan
〒100-0013 東京都千代田区霞が関1-4-1（日土地ビル）
一般社団法人電波産業会内
電波環境協議会事務局
TEL 03-5510-8596
FAX 03-3592-1103

