

# 携帯電話・スマートフォンの発する電波に関する医療機器への電磁干渉調査

先進技術研究所 い や ま た か ひ ろ し 井山 隆弘 お お に し て る お 大西 輝夫

ドコモでは、医療機関における携帯電話・スマートフォン利用の促進に向けて、これら無線通信機器の発する電波が医療機器に与える電磁干渉の調査を行っている。対象の無線システムは、最近のスマートフォンに搭載されている3G/LTE、4G、およびWLANであり、さらには5G候補周波数についても調査を行った。

なお、本調査は金沢大学附属病院（経営企画部・長瀬教授）との共同研究により実施した。

## 1. まえがき

1990年代の携帯電話の普及期において、端末の電波が周辺の電子機器に電磁干渉を与える可能性があったことから、特に医療機器に与える影響に対する懸念が高まった。そこでそのような影響について、不要電波問題対策協議会（現、電波環境協議会\*1）は、第1世代移動通信システム（アナログNTT方式）や第2世代移動通信システム（PDC：Personal Digital Cellular）の携帯電話、PHS（Personal Handyphone System）、アマチュア無線などを対象とした調査を行い、ドコモも主体的に協力し調査方法の開発などを行った [1]。調査結果を踏まえ同協議会は、1997年に「医用電気機器への電波の影響を防止するための携帯電話端末等の使用に関する指針」を公表した [2]。この指針は、手術室、集中治療室などに携帯電話端末を持ち込まないこと、検査室、診察室、

病室、および処置室などにおいては携帯電話端末の電源を切ることなどを推奨しており、医療機関内での携帯電話などの使用を原則禁ずるものであった。さらに、総務省はW-CDMA（Wideband Code Division Multiple Access）を含めた第3世代移動通信システム（3G）の携帯電話端末およびPHS、無線LAN（WLAN：Wireless Local Area Network）端末についての医療機器への電磁干渉調査を行い、2002年に報告書を公表した [3]。調査結果から、上記指針を引続き適用することが妥当であると判断された。そのような状況の中、医療機関における携帯電話などの利用については、マナーなどの観点を含めた総合的な判断の下、各医療機関が独自にルールを定めてきた。

しかしその後、無線通信システムの発展とスマートフォンなどの普及により、医療機関内で医療従事者のみならず患者による利用の要求が高まってきて

©2018 NTT DOCOMO, INC.  
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

\*1 電波環境協議会：産学官で連携して、電磁干渉などの課題に取り組む協議会。

† 現在、ネットワーク部

いた。そこで本共同研究では、医療機器への電磁干渉のリスクを把握・分析することを目的として、その時々最新の状況を踏まえた電磁干渉調査を行ってきた。具体的には、2011年に3G、その高速パケット規格であるHSPA (High Speed Packet Access)、およびFDD (Frequency Division Duplex)\*2方式による第3.9世代移動通信システム (LTE: Long Term Evolution) の電波について、医療機器の電磁干渉調査を行い、2016~2017年にかけて、WLAN、第4世代移動通信システム (4G) すなわちLTE-Advancedとして3.5GHz帯を使用したTDD (Time Division Duplex)\*3方式によるLTE、および第5世代移動通信システム (5G) の候補周波数について、同様の調査を行った。本稿では、これら調査の概要とその結果について解説する。

なお、本調査は金沢大学附属病院 (経営企画部・長瀬啓介教授) との共同研究により実施した。各種医療機器の動作設定、電磁障害の判断、およびその程度の判定については、同病院にて医療機器の操作、保守・点検などを担当している臨床工学技士の方々にご協力をいただいた。

## 2. 調査概要

本調査の概要について以下に解説する。外部動向や各種関連規格の詳細については、文献 [4] を参照されたい。

### 2.1 電波の主な諸元

調査を行った無線システムおよび電波の主な諸元

表1 調査を行った無線システムおよび電波の主な諸元

無線システム	3G/FDD-LTE	TD-LTE	WLAN (IEEE 802.11a, 11g)	5G (候補周波数)
周波数	800MHz帯, 1.5GHz帯, 1.7GHz帯, 2GHz帯	3.5GHz帯	2.4GHz帯, 5.2GHz帯, 5.6GHz帯	3.7GHz帯, 4.5GHz帯, 28GHz帯
アンテナ	半波長ダイポール/端末実機			半波長ダイポール/ホーン

\*2 FDD: 上りリンクと下りリンクで、異なるキャリア周波数、周波数帯域を用いて信号伝送を行う方式。  
\*3 TDD: 上りリンクと下りリンクで同じ周波数を用い、時間スロットで分割して信号伝送を行う方式。

を表1に示す。3G/FDD-LTEおよびTD-LTEでは、ドコモの割当周波数帯域のおおむね中心となるチャネルに対して実際の運用状況に即した変調を掛けた信号を用いた。WLANでは、各利用周波数帯域のおおむね中心となるチャネルを選択して変調信号を、5G候補周波数では各帯域の中心周波数で無変調信号を、それぞれ用いた。最大送信電力は、各無線システムの技術基準を参照した。また、過去の調査結果から、医療機器は1分間に60回程度ONとOFFを繰り返す断続モード時 (図1(a)参照) の電波に対して電磁干渉を生じやすいことが分かっているため、これを再現した信号とした。電波を放射するアンテナには、一般的に携帯電話・スマートフォンに内蔵されているものよりも効率が良く干渉が発生しやすい半波長ダイポールアンテナ\*4、またはホーンアンテナ\*5を用いた。干渉が発生した場合やこれらのアンテナを用いることが難しい場合には、当該無線システムに対応した携帯電話・スマートフォンの実機を併用した。

### 2.2 調査場所

本調査では、電波が外部に漏れないようにする必要があるので、金沢大学附属病院のシールドルーム内、あるいは病院内の一室に構築したシールドテナ内で行うこととした。

### 2.3 調査手順

医療機器の電磁干渉が最も生じやすい条件、すなわち、

- ・断続モード

\*4 半波長ダイポールアンテナ: アンテナの中でもっとも基本的なアンテナ。ケーブル (給電点) の先に、波長の1/4の長さの2本の直線状の導線 (エレメント) をつけたアンテナである。  
\*5 ホーンアンテナ: 角錐・円錐の形状を持ち、特定の方向へ強い電波を放射するアンテナ。

- ・最大送信電力
- ・アンテナを医療機器に密着

の各条件において、医療機器の各面について波源をくまなく走査し、また波源の向きを変えながら、調査を行った。これを基本調査と呼ぶ。医療機器にセンサやケーブル類が接続されている場合には、それらに対しても調査を行った。電磁干渉が発生した場合には、

- ・断続モードから連続モード（図1(b)参照）への切替え
- ・最大送信電力のままアンテナを医療機器から離す
- ・アンテナを医療機器に密着させたまま電力を下げる

といった追加調査を行った。干渉が発生した場合やこれらのアンテナを用いることが難しい場合には、アンテナを端末実機に置き換えて調査を行った。調査のイメージと実際の様子を図2および写真1にそれぞれ示す。

## 2.4 電磁干渉の分類

電磁干渉が確認された場合、干渉の判断に、実際の診療に及ぼす影響の程度を表す指標として2002年に総務省が公表した報告書 [3] に記載のカテゴリ分類を用いた。カテゴリは、医療機器の障害状態の物理的分類と診療障害状態から、表2に従って決定される。カテゴリの数字が大きいほど、診療への影響が大きいことを示す。

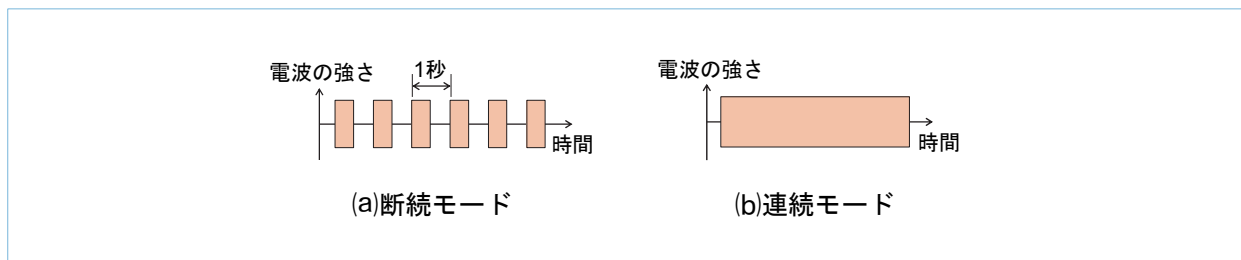


図1 送信モード

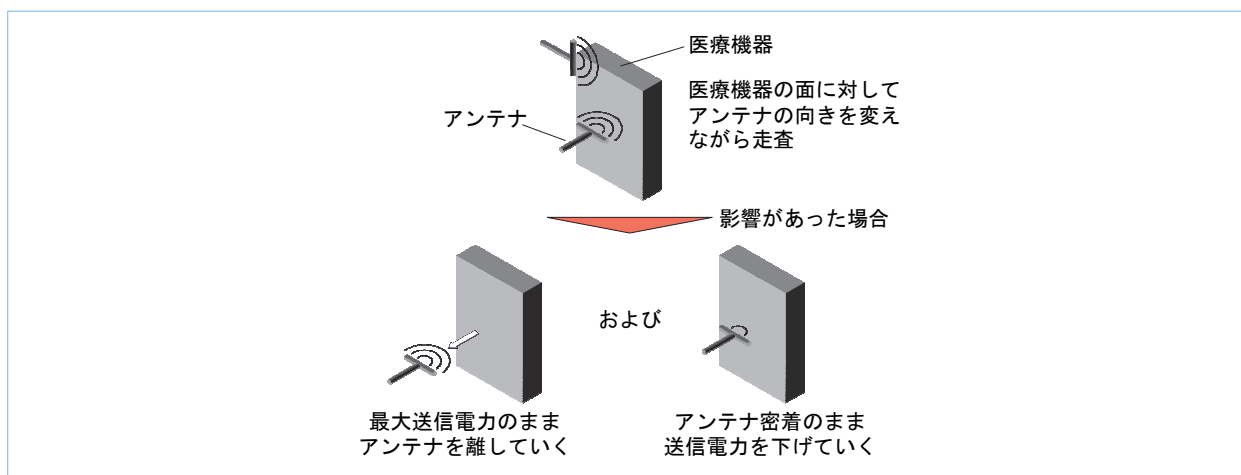
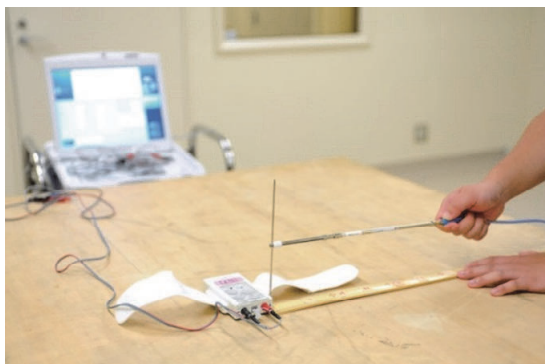


図2 調査のイメージ



半波長ダイポールアンテナを用いた調査風景



ホーンアンテナを用いた調査風景

写真1 調査の様子

表2 医療機器障害の分類

機器障害の物理的状态 診療障害の状態	正 常	可逆的※1	不可逆的※2 (正常復帰には以下が必要)	
			機器の操作	機器の修理
障害なし (正常)	1	—	—	—
診療擾乱状態※3	—	2	3	4
誤診療状態※4	—	3	4	5
病態悪化状態※5	—	4	5	6
致命的状態※6	—	6	7	8
破局的状態※7	—	8	9	10

医療機器障害状態の物理的分類

※1 可逆的状态	医用機器における何らかの障害が、その原因となる携帯電話を離せば（あるいは医用機器を遠ざければ）、医用機器が正常状態に復帰する状態。
※2 不可逆的状态	医用機器における何らかの障害が、その原因となる携帯電話を離しても（あるいは医用機器を遠ざけても）、その障害が消失せず、何らかの人的操作あるいは技術的手段を施さなければ、正常動作状態に復帰し得ない状態。

診療障害状態の分類

※3 診療擾乱状態	医用機器本来の診療目的は維持されているが、診療が円滑に行えない状態（微小な雑音混入や基線の動揺、不快音の発生、文字ブレなど）。
※4 誤診療状態	医用機器の誤動作状態が誤診を招いたり、誤治療が遂行されている状態、適正な診療状態ではないが、患者に致命的障害を及ぼさない状態（無視できない雑音混入や基線の動揺、表示値の異常、アラームの発生による停止など）。
※5 病態悪化状態	医用機器の誤動作状態により、誤治療が遂行されている状態、すぐに対応しないと病態が悪化する可能性がある状態（設定値の大きな変化、生命維持管理装置の停止、アラームの発生がない停止など）。
※6 致命的状態	医用機器の誤動作状態により、誤治療が遂行されている状態、すぐに対応しないと致命的になる状態。
※7 破局的状態	医用機器の破壊などによる動作不能状態により、患者が死亡したり周囲のスタッフが重篤な障害となる状態。

## 2.5 調査した医療機器

2011年度に実施した3G/FDD-LTEに関する電磁干渉調査では、医療機器の種類を絞らず網羅的に、医療施設内の手術室、集中治療室、および検査室で利用される電気メス、輸液ポンプ、人工呼吸器、超音波エコーなど53台の医療機器に対して電磁干渉調査を行った。その後の2016～2017年度の調査では、WLAN、TD-LTE、および5G候補周波数について、2011年度の調査結果を踏まえ電磁干渉が発生しやすいと考えられる医療機器を中心として、WLANについて44台、TD-LTEについて23台、および5G候補周波数について23台の医療機器に対してそれぞれ電磁干渉の調査を行った。

## 3. 調査結果

前述の医療機器の電磁干渉が最も生じやすい条件における無線システムごとの最大影響発生距離・最大カテゴリの一覧および周波数帯ごとの最大影響発生距離をそれぞれ表3および図3に示す。また、無線システムあるいは周波数ごとの調査結果を以下に解説する。

### 3.1 3G/FDD-LTE

網羅的に選択した医療機器のうちおおむね4割で何らかの電磁干渉の発生が確認された。最大影響発生距離は80cm、最大カテゴリは4であった。比較的電磁干渉の発生しやすい医療機器は、体外式心臓ペースメーカー、心電計、神経刺激装置、輸液ポンプ、

表3 調査結果の一覧

調査時期	無線システム／周波数帯	医療機器の数	最大影響発生距離	最大カテゴリ
2011年	3G/FDD-LTE	53	80cm	4
2016年	WLAN	44	28cm	5
2017年	TD-LTE	23	45cm	4
	5G（候補周波数帯）	23	40cm ※28.5GHzは干渉なし	4

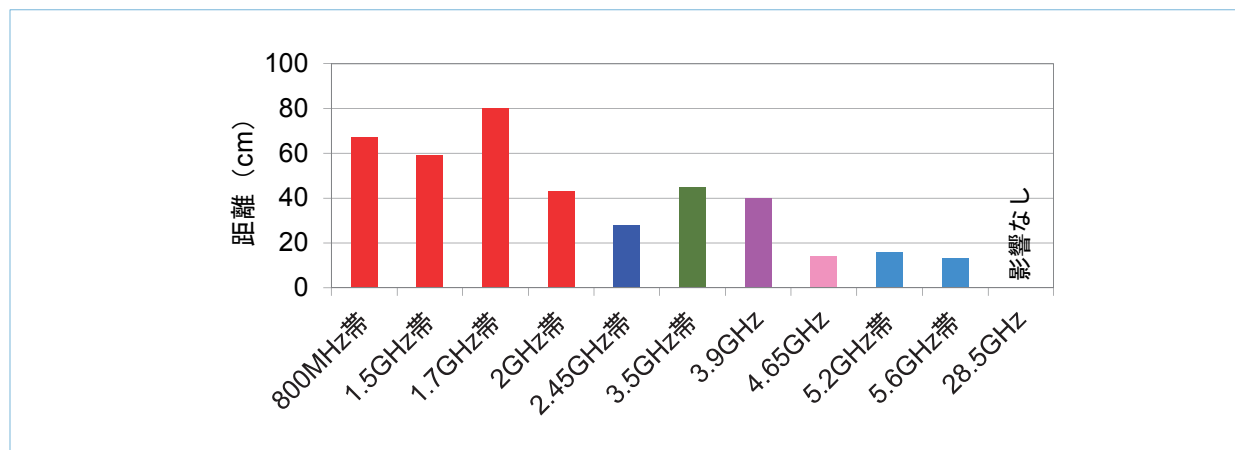


図3 周波数帯ごとの最大影響発生距離

人工呼吸器などであった。また、電磁干渉は電波の PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)\*6や変調の仕方には依存せず、主に放射電力に依存することを確認した [5]。本測定データは、電波環境協議会が2014年に発表した「医療機関における携帯電話等の使用に関する報告書」[6]にも反映されている。また、同協議会は、過去および最新の調査結果を踏まえて、医療機関が適切なルールを作成することで携帯電話などの利用が可能であり離隔距離1mを目安とすることができるとする「医療機関における携帯電話等の使用に関する指針」[7]を発表している。

### 3.2 WLAN (802.11a/g) および 3.5GHz帯TD-LTE (LTE-Advanced)

比較的電磁干渉の発生しやすいものを中心に選択した医療機器のうちおおむね4割で何らかの電磁干渉の発生が確認された。WLANおよびTD-LTEについて、最大影響発生距離は28cmおよび45cm、最大カテゴリは5および4であった。ただし、WLANのうち、端末実機でも電磁干渉が発生した医療機器は1台だけであり、実際のWLAN製品で電磁干渉が発生する可能性は非常に小さいものと考えられる。

### 3.3 5G候補周波数

比較的電磁干渉の発生しやすいものを中心に選択した医療機器のうち、3.7GHz帯および4.5GHz帯ではおおむね2割で何らかの電磁干渉の発生が確認された。最大影響発生距離はそれぞれ40cmおよび14cm、最大カテゴリは共に4であった。28GHz帯については、電磁干渉の発生がなかった。

## 4. あとがき

本稿では、携帯電話・スマートフォンの発する電

波に関する医療機器への電磁干渉調査について解説した。本調査の結果は、電波環境協議会の指針策定およびその有効性の裏付けに寄与しており、長らく携帯電話の使用が原則禁止されていた医療機関においてこれを緩和し携帯電話・スマートフォンの使用を可能とするための礎となっている [6]。5Gを含めたその他の無線システムについても調査を進めており、今後、医療機関内で携帯電話・スマートフォンの安心・安全な利用を可能とすることで、医療分野の課題をICTで解決する世界の実現に寄与していく。

### 文 献

- [1] 野島, ほか: “移動通信におけるEMC,” 本誌, Vol.5, No.4, pp.6-14, Jan. 1998.
- [2] 不要電波問題対策協議会 (現, 電波環境協議会): “医用電気機器への電波の影響を防止するための携帯電話端末等の使用に関する指針,” 1997年.
- [3] 総務省: “電波の医用機器等への影響に関する調査研究報告書,” Mar. 2002年.
- [4] S. Ishihara, J. Higashiyama, T. Onishi, Y. Tarusawa and K. Nagase: “Electromagnetic Interference with Medical Devices from Third Generation Mobile Phone Including LTE,” EMC'14/Tokyo, 14P1-H6, May, 2014.
- [5] K. Nagase, S. Ishihara, J. Higashiyama, T. Onishi and Y. Tarusawa: “Electromagnetic interference with medical devices from mobile phones using high-speed radio access technologies,” IEICE ComEX, Vol.1, No.6, pp.222-227, 2012.
- [6] 電波環境協議会: “医療機関における携帯電話等の使用に関する報告書,” Aug. 2014.
- [7] 電波環境協議会: “医療機関における携帯電話等の使用に関する指針—医療機関でのより安心・安全な無線通信機器の活用のために—,” Aug. 2014.

\*6 PAPR: ピークの大きさを示す指標であり、平均信号電力に対するピーク信号の電力の比を指す。