

携帯電話システムにおける電波環境評価技術の研究

学位論文内容の要旨

本論文は、携帯電話システムに関わる電磁環境両立性(EMC)の確保に必要な測定評価技術の研究成果をまとめたものである。携帯電話システムのハードウェアは主として、携帯電話端末、基地局無線装置、基地局間を結ぶネットワーク装置から構成される。本研究は、特に携帯電話端末の発射する電波と不要な妨害波、並びに基地局の発射する電波が存在する新たな電磁環境(電波環境と称する)を対象とするものである。

第1章では、まず携帯電話システムの発展経緯を概説する。それに伴って生じた電波環境の変化を分析し、携帯電話サービスの普及した今日さらに将来のユビキタス社会において電磁環境両立性を確保するためには、新しい測定評価技術が必要となることを述べる。第2章以降の構成と得られた成果の概要を以下に示す。

医用電気機器は、生命に関わる重要な電気電子機器である。第2章では、携帯電話端末の電波による医用電気機器の電磁干渉を正確に評価するための試験法について述べ、ダイポールアンテナと携帯電話送信シミュレータから構成した電磁干渉の試験法を考案した。医用電気機器の携帯電話電波に対するイミュニティレベルは、ダイポールアンテナ入力と干渉発生時のダイポールアンテナと医用電気機器間の最大干渉距離とした。医用電気機器のなかで植込み型心臓ペースメーカは、胸部に植込まれるので、携帯電話との距離が接近する可能性が高い。本提案の試験法を用いて、日本医用機器関係工業会ペースメーカ協議会は、大規模な試験調査を行い、平成8年にペースメーカ装着者の携帯電話利用時のガイドラインを発表している。また、病院内で使用している医用電気機器についても、電波環境協議会(旧 不要電波問題協議会)は、本試験方法を用いて、平成9年に「携帯電話端末の使用に関する調査報告書」を発表し、病院内等の医療施設での携帯電話利用の指針を示している。

携帯電話の普及により、携帯電話の航空機への持ち込みが日常的に生じており、携帯電話端末による航空機搭載無線装置等への干渉を避けるために、妨害波の測定評価は、重要である。第3章では、携帯電話端末から電波を発射した状態で、携帯電話のデジタル回路等からの妨害波を正確に測定する方法を考案した。また、携帯電話の発射する電波の電界強度を実際の旅客機内部で測定した結果についても述べており、共振による局所的な電界強度の上昇は、無く、コックピット、機械室の電界強度は、 1V/m 以下であった。これらの測定結果は、平成8年と平成9年に実施された財団法人航空振興財団の「航空機内で使用する電子機器の電磁干渉技術基準調査」において、航空機内での携帯電話使用の指針作成に反映されている。

携帯電話の普及とともに携帯電話基地局は、民間ビルの屋上を利用することが多くなっている。このため、基地局アンテナの近くに一般の人が出入りする状況となる。第4章では、アンテナから発射する電波の強度が生体の電波防護のための基準値以下であることを確認するため、簡易推定法の妥当性

を確認した。また、電波防護適合確認用電界強度測定装置の構成法を提案し開発した。

本章で確認した推定法、測定装置は、携帯電話基地局の新たな建設時に、近隣住民への電波強度の説明に用いられ、携帯電話基地局建設の円滑化に寄与している。さらに本章では、携帯電話基地局アンテナから発射される電波による植込み型心臓ペースメーカー電磁干渉評価について述べた。携帯電話基地局の送信信号のピーク電力は、キャリア数やコード数に依存して大きくなる。しかし、実際の送信信号を用いた心臓ペースメーカー干渉実験結果は、ピーク電力に依存せずに、平均電力に依存することを示した。

第5章では、自動車に携帯電話端末装置を備えた場合のEMCについて検討している。900MHz帯の送信アンテナを自動車に取り付けた時の自動車周辺電界強度分布を実測するため、実車の周囲でセンサを移動できる自動車用のスキャナ装置を開発した。このスキャナ装置を用いた実測結果から、生体の電波防護の基準値を超える電界強度値は観測されなかった。しかし、車室内で電界強度が10V/m程度となる条件もあった。このため、自動車に搭載する電子機器のイミュニティレベルとして、10V/m以上必要であることを明らかにした。

第6章では、電波環境評価の基本測定機器の高性能化を目的として周波数シンセサイザ、ASK変調器の新しい構成法を提案している。環境の電界の周波数スペクトルを正確に測定するため、局部発振器として使用する周波数シンセサイザの位相雑音低減と正確で高速の周波数切換え特性が重要である。周波数シンセサイザの位相雑音を低減するため低雑音電圧制御発振器の設計法を明らかにした。また、ツインカウンタ型デジタルループプリセット周波数シンセサイザを考案し、従来型のPLL周波数シンセサイザに比べて周波数切換え時間は、1/40以下となった。この周波数シンセサイザは、低消費電力であり、デジタルIC技術により小形化が可能である。この周波数シンセサイザ技術は、携帯電話システムにおいて、携帯電話無線回路の高速周波数スキャン性能を必要とするモバイルアシステッドハンドオーバーを実現を可能にしている。さらに、イミュニティ評価を正確に行うために必要なバースト信号生成用ASK変調器の構成法を考案し、小形の回路で40dB以上のON/OFF比を達成した。

学位論文審査の要旨

主査 教授 野 島 俊 雄
副査 教授 宮 永 喜 一
副査 教授 小 柴 正 則
副査 教授 小 川 恭 孝

学位論文題名

携帯電話システムにおける電波環境評価技術の研究

本論文は、携帯電話システムに関わる電磁環境両立性（EMC）の確保に必要な測定評価技術の研究成果をまとめている。携帯電話システムのハードウェアは主として、携帯電話端末、基地局無線装置、基地局間を結ぶネットワーク装置から構成される。本研究は、特に携帯電話端末の発射する電波と不要な妨害波、並びに基地局の発射する電波が存在する新たな電磁環境（電波環境と称する）を対象としている。

第1章では、携帯電話システムの発展経緯を概説している。それに伴って生じた電波環境の変化を分析し、携帯電話サービスの普及した今日さらに将来のユビキタス社会において電磁環境両立性を確保するための新しい測定評価技術の必要性を述べている。

第2章では、携帯電話端末の電波による医用電気機器の電磁干渉を正確に評価するための試験法について述べ、考案したダイポールアンテナと携帯電話送信シミュレータから構成した電磁干渉の試験法を明らかにしている。医用電気機器のなかで植込み型心臓ペースメーカは、胸部に植込まれるので、携帯電話との距離が接近する可能性が高い。本提案の試験法を用いて、ペースメーカ協議会は株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモと協力して大規模な試験調査を行い、平成8年にペースメーカ装着者の携帯電話利用時のガイドラインを開発・発表している。また、病院内で使用している医用電気機器についても本試験方法が利用され、不要電波問題対策協議会（現電波環境協議会）は、平成9年に「携帯電話端末の使用に関する調査報告書」を発表し、病院等の医療施設内での携帯電話利用の指針を示している。

第3章では、航空機搭載無線装置等への干渉に関して、携帯電話端末から電波を発射した状態で、携帯電話のデジタル回路等からの妨害波を正確に測定する方法を考案している。実際の旅客機内部における携帯電話電波の電界強度測定実験についても述べており、測定結果は、平成8年と平成9年に実施された財団法

人航空振興財団の「航空機内で使用する電子機器の電磁干渉技術基準調査」において、航空機内での携帯電話使用の指針作成に反映されている。

第4章では、基地局アンテナから発射する電波の電磁界強度について生体の電波防護基準適合性を評価するために開発した簡易推定法の妥当性を確認している。また、適合性を測定確認するための電界強度測定装置の構成法を提案し開発している。これらの推定法と測定装置は、携帯電話基地局の建設時等に実際に使用されている。さらに本章では、携帯電話基地局アンテナから発射される電波による植込み型心臓ペースメーカーへの電磁干渉について実験評価法を開発している。基地局送信電波を模擬したマルチキャリア信号と実際のアンテナを用いた心臓ペースメーカー干渉実験を遂行して、干渉特性がピーク電力に依存せず、平均電力に依存することを明らかにしている。

第5章では、自動車に装備した携帯電話利用に関する EMC を検討している。900MHz 帯の送信アンテナを自動車に取り付けた時の自動車周辺電界強度分布を高い空間分解能で測定するための電界センサ走査型測定系を開発し、生体防護基準の適合性を評価している。

第6章では、電波環境評価に用いる基本測定機器を高性能化することを目的として周波数シンセサイザ、ASK 変調器の新しい構成法を提案している。周波数シンセサイザの位相雑音を低減するため低雑音電圧制御発振器の設計法を明らかにし、ツインカウンタ型デジタルループプリセット周波数シンセサイザを考案している。この周波数シンセサイザ構成技術は、携帯電話システムにおいて、携帯電話無線回路の高速周波数スキミング性能を必要とするモバイルアシステッドハンドオーバーの実現を可能にしている。さらに、イミュニティ評価を正確に行うために必要なバースト信号生成用 ASK 変調器の構成法を考案し 40dB 以上の ON/OFF 比を達成している。

第7章は結論であり、本論文の成果を要約している。

これを要するに、著者は、携帯電話端末の発射する電波と不要な妨害波、並びに基地局の発射する電波によって生ずる電磁環境の測定評価技術に関する有益な新知見を得たものであり、環境電磁工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。