

氏 名	ヤマ ナカ ユキ オ 山 中 幸 雄
学 位 の 種 類	博士 (工学)
学 位 記 番 号	論博第276号
学位授与の日付	平成24年3月16日
学位授与の条件	学位規則第4条第2項該当 論文博士
学 位 論 文 題 目	1GHz超の電磁妨害波の特性及び妨害波測定法に関する研究

論文審査委員	主 査	教 授	藤 原	修
		教 授	菊 間	信 良
		教 授	王	建 青

論文内容の要旨

電子機器の高速化に伴い、それらから放射される電磁雑音（電磁妨害波）の高周波化が進んでいる。一方で、1GHz以上のデジタル通信システムが次々と開発され、実用に使われている。このような状況から、1GHz超の電磁干渉問題が懸念されている。このため、国際電気標準会議(IEC)や国際無線障害特別委員会(CISPR)などの国際標準化機関においては1990年代後半より1GHz超の妨害波規制について検討を行ってきた。この種の電磁干渉問題を解決するには、まず電磁妨害波の性質を明らかにし、次に電磁干渉のメカニズムを理解したうえで、電磁妨害波の適切な許容値とその測定法を決める必要がある。しかしながらこれまでは、電磁妨害波については主に1GHz未満の周波数を対象とし、被害システムとしてはアナログ通信を想定した検討が行われ、それに基づいて規制が行われてきた。

このような背景から、本研究では、まず、1GHz超の代表的な電磁妨害波の特性に関する検討を行った。電磁妨害波は時間的に不規則に変化するため、その特徴を雑音振幅の平均値や実効値などの決定論的なパラメータで記述することは困難である。このため、電磁妨害波の確率論に基づく振幅確率分布(APD)、交叉率分布(CRD)、パルス間隔分布(PSD)、パルス継続時間分布(PDD)などの統計量を計測するための装置を開発した。この装置を用いて、1.5GHz、2.1GHz、2.6GHzの準マイクロ波帯における都市雑音（自動車雑音）の統計的分布を、東京都心の路上において走行しながら測定した。測定の結果、周波数が高くなると雑音電界強度が減少すること、雑音インパルスの振幅は対数正規分布に従い、その発生はポアソン分布で記述できること、などが分かった。

次に、1GHz超の電磁妨害波がデジタル無線通信システムに及ぼす影響について検討を行った。1GHz超の代表的妨害波源として電子レンジ妨害波を対象に、発生妨害波の特性を時間領域および1-18GHzの周波数領域で測定し、電源方式によって雑音の特性が異なること、高調波とそれ以外の妨害波では発生機構が異なること、などを明らかにした。一方、被害側のデジタル通信システムの基本（客観）的な品質は主にビット誤り率（BER）で評価さ

れることに鑑み、妨害波の時間波形から通信システムの BER 特性の劣化がシミュレーションによって推定できることを示した。さらに、電磁妨害波の統計パラメータとして APD に着目し、APD と BER とに相関があること、ある仮定の下で APD からパーソナルハンディホン(PHS)の BER 劣化の推定が可能であること、などを示した。

続いて、1GHz 超の妨害波測定法、特に許容値との適合性判定のための CISPR で議論されている標準的な測定法について検討を行った。まず、測定用受信機としてのスペクトラムアナライザのパルス特性を測定し、機種により IF フィルタの形状が異なるため、指示値が異なること、インパルス帯域幅と指示値の関係を示し、これから正確かつ再現性の良い測定のためには IF フィルタの形状等の規格化が必要であること、などを指摘した。

また、測定用アンテナについては、アンテナ係数を自由空間において正確に校正する必要があるが、EMC 測定の基本サイトであるオープンサイトや EMC 用の 5 面暗室では金属床面や側面の吸収体からの反射波が存在するものの、このような環境においても校正が簡便に可能となる手法を提案した。本手法は、送受アンテナ間の距離を変化させながらその減衰量の振幅と位相を同時測定し、直接波の位相変化のみを補償して合成することにより直接波成分を強調する一方で周囲反射波を抑圧する方法(位相合成法と呼ぶ)を 3 アンテナ法に適用したものである。

さらに、1GHz 超の測定サイトについては、CISPR では(準)自由空間を必要としているが、その品質はサイト定在波比 (Site Voltage Standing Wave Ratio : SVSWR) によって規定することが提案された。このため、モデル計算と実測から SVSWR 評価法の有効性及びその測定パラメータの妥当性を確認し、SVSWR 値(サイトの性能)と妨害波測定結果のばらつきとの関係を調べるとともに、SVSWR 値に基づいて放射妨害波測定の不確かさの導出法を提案した。

本論文は、以上の研究成果を取りまとめたもので、全 7 章から構成される。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的を述べ、本論文の内容と構成を示した。

第 2 章は、統計的な電磁妨害波の測定に関するもので、電磁妨害波の雑音振幅に関する統計量 (APD, CRD, PSD, PDD) を計測するための装置を開発し、この装置を用いて測定した準マイクロ波帯における都市雑音(自動車雑音)の統計的分布を示した。

第 3 章は、1GHz 超の電磁妨害波として電子レンジ妨害波がデジタル無線通信システムに及ぼす影響に関するもので、妨害波統計パラメータとして APD、デジタル通信の品質を表すパラメータとして BER に着目し、電子レンジ妨害波の APD と、その妨害波による PHS(PDC)の BER 劣化の間に相関があること、ある仮定の下で APD から BER 劣化の推定が可能であること、などを示した。

第 4 章は、測定用受信機としてのスペクトラムアナライザを用いたパルス特性の測定に関するもので、IF フィルタの形状で指示値が異なることから、インパルス帯域幅と指示値との関係を示し、正確かつ再現性の良い測定のためには IF フィルタの形状に関する規格化が必要であることを指摘した。

第 5 章は、測定用アンテナの自由空間アンテナ係数の正確な較正法に関するものであり、周囲反射波が存在する環境においても、位相合成法を適用した 3 アンテナ法によりその較正が簡便に可能となる手法を提案した。

第 6 章は、1GHz 超の測定サイトの評価法に関するものであり、CISPR で検討されている SVSWR 法の有効性を理論と実験の両側面から確認するとともに、測定サイトの不完全性による、妨害波測定結果の不確かさの推定法を提案した。

第 7 章は、総括であり、本研究成果の結論と今後の課題について述べた。

論文審査結果の要旨

本論文は、1GHz超の電磁妨害波の特性および妨害波測定法に関してなされた研究成果を取り纏めたもので、全7章から構成されている。第1章は序論であり、本論文の背景と目的を述べ、本論文の内容と構成を示している。

第2章は、1GHz超の代表的な電磁妨害波の特性に関するものである。電磁妨害波は時間的に不規則に変化するため、その特徴を雑音振幅の平均値や実効値などの決定論的なパラメータで記述することは困難であるため、電磁妨害波の確率論に基づく振幅確率分布(APD)、交叉率分布(CRD)、パルス間隔分布(PSD)、パルス継続時間分布(PDD)などの統計量を計測するための装置を開発している。同装置を用いて、準マイクロ波帯における都市雑音(自動車雑音)の統計的分布を、東京都心の路上において走行しながら測定し、雑音電界強度が周波数の増大と共に減少すること、雑音インパルスの振幅は対数正規分布にしたがい、その発生はポアソン分布で記述できること、などを明らかにしている。

第3章は、1GHz超の電磁妨害波がデジタル無線通信システムに及ぼす影響に関するものである。1GHz超の代表的妨害波源として電子レンジ妨害波を対象に、発生妨害波の特性を時間領域および1GHzから18GHzの周波数領域で測定し、電源方式によって雑音の特性が異なること、高調波とそれ以外の妨害波では発生機構が異なること、などを示すと共に、被害側のデジタル通信システムの客観的な品質は主にビット誤り率(BER)で評価されることに鑑み、妨害波の時間波形から通信システムのBER特性の劣化がシミュレーションによって推定できること、電磁妨害波の統計パラメータとしてAPDに着目し、APDとBERとに相関があること、APDからパーソナルハンディホン(PHS)のBER劣化の推定が可能であること、などを明らかにしている。

第4章では、1GHz超の妨害波に対する許容値との適合性判定を巡って国際無線障害特別委員会(CISPR)で審議されている標準的な測定法に関するものである。測定用受信機としてのスペクトラムアナライザのパルス特性を測定し、機種によりIFフィルタの形状が異なることで指示値が異なること、インパルス帯域幅と指示値の関係を明らかにし、これから正確かつ再現性の良い測定のためにはIFフィルタの形状の規格化が必要であること、などを指摘している。

第5章は、測定用アンテナの自由空間アンテナ係数の正確な較正法に関するものである。測定用アンテナについては、アンテナ係数を自由空間において正確に較正する必要があるが、電磁両立性(EMC)測定の基本サイトであるオープンサイトやEMC用の5面暗室では金属床面や側面の吸収体からの反射波が存在するものの、このような環境においても較正が簡便に可能となる手法を提案している。本手法は、送受アンテナ間の距離を変化させながら、その減衰量の振幅と位相を同時測定し、直接波の位相変化のみを補償して合成することにより直接波成分を強調する一方で周囲反射波を抑圧する方法(位相合成法と呼ぶ)を3アンテナ法に適用したものである。

第6章は、1GHz超の測定サイトの評価法に関するものである。1GHz超の測定サイトにおいては、CISPRでは(準)自由空間を必要としているが、その品質はサイト定在波比(SVSWR)によって規定することが定められているため、モデル計算と実測からSVSWR評価法の有効性及びその測定パラメータの妥当性を確認し、SVSWR値(サイトの性能)と妨害波測定結果のばらつきとの関係を明らかにすることで、SVSWR値に基づく放射妨害波測定の不確かさの導出法を新たに提案している。

第7章は、総括であり、本研究成果の結論と将来の課題について述べている。

以上の研究成果は、電子情報通信学会論文誌に7篇、電気学会論文誌に2篇、Radio Science誌に1篇、国際会議録として7篇の合計17篇が査読あり論文として公表され、1GHz超の電磁妨害波に関する測定法の確立に資するだけでなく、わが国における電波環境の保護、通信・放送の品質の確保にも大きく貢献し、その価値は学術的にも工業的にも極めて高い。さらに研究成果の一部は、標準化の推進により国内法だけに留まらず国際規格として世界中で運用されていることから、産業へ果たした貢献は計り知れない。以上を総合して、本論文は博士(工学)の学位論文として十分値するものと認める。