

## 論文審査の結果の要旨

氏名：小 林 一 彦

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：次世代移動通信端末向け受信評価用電波暗箱の基礎研究

審査委員：（主査） 教授 三 枝 健 二

（副査） 教授 大 谷 昭 仁                      教授 山 崎 恆 樹

高度情報化社会の発展に伴い、移動無線通信、特にセルラー通信においては、主な通信は音声による通話からデータ通信へと変わり、年ごとに更なる通信速度の高速化が求められている。これに対し、我が国は、ほぼ5年ごとの周期で新しい通信方式を採用して通信速度の高速化を図っており、今後もこれと同等の周期で通信速度の改善が行われると考えられる。通信速度の高速化は、原理的に通信帯域の拡大等により成される。現行の4G（4-Generation）システムであるLTE（Long Term Evolution）-Advancedでは、CA（Carrier Aggregation）技術を採用し、複数のキャリアを束ねることで広帯域化を行っている。次世代の5G（5-Generation）システムでも、6GHz以下ではこのCA技術を継承することが考えられている他、帯域が違う複数の周波数を同時に送受信する方式が検討されている。

移動通信端末の受信性能評価は、これまでアンテナの特性を理想的と仮定して、移動通信端末の高周波回路の入出力部と評価装置間をケーブルにより接続して行われてきた。しかし、上記のように帯域が違う複数の周波数を同時に使用する場合、アンテナの特性が全周波数にわたって理想的であると考える方法を適用するのは現実でない。すなわち、実際に移動通信端末に電波を送信し、アンテナの特性を含めた性能評価が必要となる。実際に電波を放射して評価が行える環境として、電波暗室と電波暗箱がある。後者は前者と比較し、サイズが1/10程度で実験室に設置あるいは移動も可能であり、利便性が高く、低コスト等の特長を有する。この観点から、今後、更に電波暗箱の需要は高まっていくと予想される。しかし、この電波暗箱の評価環境が、上記に述べた次世代移動通信端末の広帯域にわたる受信特性評価に耐え得る環境であるかは明確でない。

そこで申請者は、次世代移動通信端末の受信性能評価に適用可能な電波暗箱を構築するという最終目標に対し、基礎検討として実現の可能性を示すことを目的として研究を行った。なお、本研究は、電波暗箱の外形寸法は2.0m×1.5m×1.5m以内とすることを目標とし、検討周波数は700MHz～3GHzを対象としている。まず、既存の電波暗箱の電磁界解析を行い、自由空間の電界分布との比較から評価に適用する際の問題点を明らかにしている。これを基に、特性改善を図った電波暗箱構造を提案し、寸法をパラメータとした検討を行っている。なお、目標とする電波暗箱の性能値をマイクロ波通信システムシミュレータにより求め、これを基準に評価を行っている。更に、広帯域化、小型化等の検討を行い、実用に供し得る電波暗箱構造を提案している。論文はその成果をまとめたものであり、序論から結論までの8章からなる。以下、論文の章立てに沿って、研究の意義や審査判断の内容を報告し、論文審査の結果の要旨とする。

第1章は、序論として研究の背景、目的、論文の構成について述べている。背景では、移動無線通信の動向が示され、研究の社会的意義が明確にされている。また、次世代移動通信端末の受信性能評価にどのような環境が必要であるかを述べることにより、本論文の研究課題を明らかにしている。

第2章は、電波暗箱の電磁界解析に必要な、電波暗箱を構成する電波吸収体の材料定数について述べている。電磁界解析には、有限要素法を原理とする電磁界解析シミュレータを使用する。材料定数は市販の電波吸収体を用いた実験により求めており、その妥当性を試作した電波暗箱内の電界分布について解析結果と実験結果を比較することにより確認している。また、これより本解析が電波暗箱の電磁界解析に有効であることを示している。

第3章は、現状一般に使用されている電波暗箱内部の電界分布を解析し、その結果と自由空間における電界分布の解析結果の比較を行っている。その結果より、電波暗箱内部の電界分布は伝搬にした

がって減衰し、また電波吸収体からの反射波の影響が少ない領域が狭く、それも周波数によって変化してしまうなど、既存の電波暗箱を次世代移動通信端末の受信性能評価に適用する場合の問題点を明らかにしている。

第4章は、次世代移動通信端末の受信性能評価に適用可能な電波暗箱の性能指標値を求めている。電波暗箱の性能はQZ (Quiet Zone) で評価されるが、ここでは波源からの直接波で正規化した反射波レベルを示すQZ レベルを定義している。それと受信端末のBER (Bit Error Rate) 特性の関係をマイクロ波通信システムシミュレータにより求め、端末の受信性能評価に適用するのに必要な電波暗箱のQZ レベルは-30dB 以下としている。

第5章は、QZ レベル-30dB 以下を実現する電波暗箱の構造を提案し、寸法をパラメータとした検討を行っている。その構造は、第3章で示した問題点を考慮し、送信アンテナに指向性の鋭いホーンアンテナを採用し、また、放射方向に垂直な断面の面積を広げている。これは、電波暗箱の側面からの反射波を抑え、対面の電波吸収体による反射波を主とすることを図っている。寸法をパラメータとした解析を行い、現状における最良寸法を求めている。その結果、タブレットサイズまでの次世代移動通信端末の受信性能評価に適用可能な電波暗箱の実現性が示されており、提案構造の有効性が認められる。

第6章は、提案した電波暗箱の広帯域化、小型化、特性改善の可能性に関して検討している。広帯域化は、電波吸収体として最低評価周波数で-40dB 程度以下の反射係数を有するピラミッド型電波吸収体を、また、送信アンテナとしてダブルリッジホーンアンテナを採用することにより可能であることを示している。小型化、特性改善は、反射特性が異なる2種類のピラミッド型電波吸収体を適切に配置し、また、送信電波の入射角度の絶対値を35度以下にすることにより可能であることを示している。これらの検討結果より、目標とする電波暗箱の実現の可能性が示された。本論文で提案された電波暗箱の構造は、過去に例がなく、独創性、新規性の高いものと判断される。

第7章は、スマートフォン、タブレットなどの移動通信端末を、実際に電波暗箱内部に設置して評価を行う際の問題点を明らかにし、構造の更なる改良及び移動通信端末の適切な設置位置について述べている。これより提案電波暗箱が実用に供し得ると判断される。

第8章は申請者の研究成果をまとめ、結論として整理している。

申請者は、次世代移動通信端末の受信性能評価に適用可能な電波暗箱の構築を目標とし、既存の電波暗箱を適用した際の問題点を明らかにし、それを基に特性改善を図った電波暗箱構造を提案し、その実現の可能性を示すと共に、更に広帯域化、小型化、評価の際の精度改善等について検討し、実用に供し得る電波暗箱の設計法を示した。これら申請者の研究成果は、次世代移動通信端末の受信性能評価の簡便かつ低コストでの実施を可能とし、移動通信技術の発展に寄与すると認められる。

このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するために必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以上

平成29年2月16日