

UWB 無線システム用 平面型超広帯域アンテナに関する研究 学位論文内容の要旨

本論文は, Ultra-Wideband(以下 UWB と略する) 無線通信に適した平面型超広帯域アンテナの基本設計法を確立し, その研究成果をまとめたものである. 葉状ボウタイ素子を考案し, 伝送特性における波形ひずみの定量的評価法を提案している. また, マイクロ波帯における波形ひずみを実験的に検証し, 設計法の妥当性を確認している.

近年, オフィスや家庭において, あらゆる機器に情報通信機能を搭載し, これらの機器をネットワーク化することにより, 事務の効率化, 生活の利便性向上を目指す「ユビキタス社会」の実現に大きな期待が寄せられている. ユビキタス社会を実現するためには, 低電力で, 高速データ伝送を可能とする無線通信技術の確立が不可欠である. 一方で, 携帯電話や無線 LAN などの既存の無線システムが利用するマイクロ波帯は, 多くの無線システムに割り当てられており, 新たな周波数資源を確保することが難しい状況にある.

マイクロ波帯において, 高速データ伝送を行うための新しい手段として, UWB 技術を利用した無線システム (以下「UWB 無線システム」とする) が注目を集めている. 同システムは, 1 ナノ秒以下のインパルス信号を用いて通信を行うことにより, 周波数当たりの電力を押さえ, 既存の狭帯域無線システムへの干渉を低減し, 同じ周波数帯域を共有するという点に大きな特徴がある. また, 従来の無線システムに比べ低電力で 500Mbps 規模の高速無線伝送が可能になる. 同システムの実用化には, インパルス信号の送受を可能とする小型・薄型の超広帯域アンテナの開発が必要不可欠である.

UWB 無線システム用のアンテナには, 入力インピーダンス・放射指向性・利得のすべての特性に対して広帯域性が求められる. また, 同システムでは, インパルスの波形そのものに情報が付与されるため, アンテナ特性の周波数分散が波形をひずませ, 信号対ノイズ比を劣化させてしまうという問題があり, 従来の狭帯域無線におけるアンテナ設計法をそのまま適用することはできない. したがって, UWB 無線システムに適した, 周波数分散性の少ないアンテナの設計法を確立することが重要となる.

現在, 多くの研究グループにより各種の UWB 用アンテナが提案されている. これらは, 導体板や円錐状等の放射素子で構成されており, 立体的でバルキーな構造を有しているため, その製造は容易ではなく, コンパクト化が要求される UWB 無線システムへの導入は困難である. また, UWB において重要な波形ひずみ特性に着目したアンテナの特性評価・最適化は十分でない.

本論文ではこのような問題に対し, 平面形状のまま広帯域なインピーダンス特性を実現するために有効な自己補対構造を検討し, 有限差分時間領域法 (Finite Difference Time Domain method; 以下 FDTD 法と略する) を用いた平面型自己補対アンテナの解析法を示した. 次に, 平面型の超広帯域ア

ンテナ素子として葉状ボウタイ素子が適していることを発見し、その設計法を明らかにした。また、超広帯域アンテナが発生する波形ひずみの定量的評価法を提案し、葉状ボウタイアンテナの波形ひずみが極めて小さいことを実験的に明らかにするとともに、反射板を利用することにより高利得化と波形ひずみの低減を両立した超広帯域アンテナの開発に成功した。さらに、実環境における通信性能を評価し、ビット誤り率の観点から葉状ボウタイアンテナの有効性を示した。

以下、本論文によって得られた結果および考察を各章に分けて要約し、その意義を述べる。

第1章は、序論であり、研究の背景と目的ならびに概要を述べる。

第2章では、FDTD法による広帯域電磁界解析について述べる。また、マイクロストリップ線路の特性インピーダンス周波数特性を、実験結果から求められた計算式による値とFDTD法による値を比較することで、同手法による解析精度と、シミュレーション条件の関係を明らかにする。

第3章では、UWB無線システム用のアンテナに求められる諸条件を示し、平面自己補対構造が有する入力インピーダンスの広帯域性を解説するとともに、有限の平面自己補対アンテナ放射素子として、ボウタイ素子、菱形ボウタイ素子、葉状ボウタイ素子の3種の形状についてアンテナ特性を明らかにする。水平面内における利得の均一性の観点から、従来のボウタイ素子よりも菱形ボウタイ素子が優れている事を示し、さらに利得の広帯域性の観点から菱形ボウタイ素子よりも葉状ボウタイ素子が優れていることを明らかにする。また、50 Ω 系の不平衡給電ケーブルと平衡型自己補対アンテナ素子を接続するためのバラン機能とインピーダンス変換機能を有した給電回路を設計し、測定結果とFDTD法による計算結果との比較を行い、広帯域な水平面無指向性アンテナを実現可能であることを明らかにする。

第4章では、広帯域アンテナが発生する波形ひずみに着目し、アンテナ間の伝送特性の測定結果から算出された受信パルス波形とテンプレートパルス波形の相互相関係数によって、波形のひずみ度合いを定量的に評価することを提案する。また、第3章で設計した葉状ボウタイアンテナの波形ひずみの定量的評価を行い、葉状ボウタイアンテナが発生する波形ひずみが極めて小さいことを示す。

第5章では、広帯域アンテナのさらなる高性能化を目指し、反射板の設置による指向性の単一指向性化および利得の向上を検討する。UWB無線システム用アンテナの高利得化を行う場合、利得の周波数分散性増大によりアンテナが発生する波形ひずみが増大するため、高利得化と波形ひずみの低減はトレードオフの関係にある。本章では、高利得化と波形ひずみ低減を両立した広帯域アンテナの設計指針を明らかにする。

第6章では、第3章および第5章で設計した水平面無指向性および単一指向性の葉状ボウタイアンテナを、実際のUWB無線システムで利用した場合、どの程度の通信品質が得られるかを明らかにする。具体的には、電波暗室内および低マルチパス室内環境においてアンテナ間の伝送特性を測定し、その測定結果を用いてシステムのBERシミュレーションを行い、実環境における通信品質の観点から、葉状ボウタイ素子を用いた平面型超広帯域アンテナの有効性を明らかにする。

第7章では結論を述べ、論文全体の成果を要約する。

本論文は、UWB無線システムに適した新しいアンテナ形状として葉状ボウタイ素子を提案した点、アンテナが発生する波形ひずみを相互相関係数によって定量的に評価した点、高利得化と波形ひずみの低減を両立したアンテナの開発に成功した点で優れた成果を有しており、同システムの今後のさらなる進歩・発展に貢献することが期待される。

学位論文審査の要旨

主 査	准教授	山 本	学
副 査	教 授	野 島	俊 雄
副 査	教 授	小 川	恭 孝
副 査	教 授	小 柴	正 則
副 査	教 授	宮 永	喜 一

学 位 論 文 題 名

UWB 無線システム用

平面型超広帯域アンテナに関する研究

本論文は, Ultra-Wideband(以下 UWB と略する) 無線システムに適した平面型超広帯域アンテナの基本設計法および特性評価法に関する研究成果をまとめたものであり, 第 1 章から第 7 章の全 7 章で構成されている。

高速データ伝送を行うための新しい無線通信手段として, 近年, UWB 技術を利用した無線システム (以下「UWB 無線システム」とする) が注目を集めている。これまでに多くの研究グループにより各種の UWB 用アンテナが提案されている。これらは, 導体板や円錐状等の放射素子で構成されており, 立体的でバルキーな構造を有しているため, その製造は容易ではなく, コンパクト化が要求される UWB 無線システムへの導入は困難である。また, UWB において重要な波形ひずみ特性に着目したアンテナ特性の評価および最適化は十分になされていない。

本論文ではこのような問題に対し, 平面形状のまま広帯域なインピーダンス特性を実現するために有効な自己補対構造を検討し, 有限差分時間領域法 (Finite Difference Time Domain method; 以下 FDTD 法と略する) を用いた平面型自己補対アンテナの解析法を示している。平面型の超広帯域アンテナ素子として葉状ボウタイ素子が有効であることを示すとともに, その設計法を明らかにしている。また, 超広帯域アンテナが発生する波形ひずみの定量的評価法を提案し, 葉状ボウタイアンテナの波形ひずみが極めて小さいことを実験的に明らかにするとともに, 反射板を利用することにより高利得化と波形ひずみの低減を両立した超広帯域アンテナを開発している。さらに, 実環境における通信性能を評価し, ビット誤り率の観点から葉状ボウタイアンテナの有効性を明らかにしている。

以下に本論文の構成を示す。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。

第2章ではFDTD法による広帯域電磁界解析について述べるとともに、同手法による解析精度とシミュレーション条件との関係を明らかにしている。

第3章では、UWB無線システム用のアンテナに求められる諸条件を示し、平面自己補対構造が有する入力インピーダンスの広帯域性を解説するとともに、ボウタイ素子、菱形ボウタイ素子および葉状ボウタイ素子の平面自己補対アンテナ放射素子についてアンテナ特性を明らかにしている。水平面内における利得の均一性の観点から、従来のボウタイ素子よりも菱形ボウタイ素子が優れている事を示すとともに、利得の広帯域性の観点から菱形ボウタイ素子よりも葉状ボウタイ素子が優れていることを明らかにしている。また、不平衡給電ケーブルと平衡型自己補対アンテナ素子を接続するためのバラン機能とインピーダンス変換機能を有する給電回路を設計し、測定結果とFDTD法による計算結果との比較を行っている。これにより、広帯域な水平面無指向性アンテナが実現可能であることを確認している。

第4章では、超広帯域アンテナの伝送特性の測定結果を用いて受信パルス波形とテンプレートパルス波形の相互相関係数を算出することにより、超広帯域アンテナが有する波形ひずみの影響を定量的に評価する手順が述べられている。また、第3章で設計された葉状ボウタイアンテナの波形ひずみの定量的評価を行うことにより、葉状ボウタイアンテナが発生する波形ひずみが極めて小さいことを明らかにしている。

第5章では、広帯域アンテナのさらなる高性能化を目指し、反射板の設置による指向性の単一指向性化および利得の向上を検討している。UWB無線用アンテナの高利得化を行う場合、アンテナが発生する波形ひずみが増大するため、高利得化と波形ひずみの低減はトレードオフの関係にある。本章では、高利得化と波形ひずみ低減を両立した平面型超広帯域アンテナの設計指針を明らかにしている。

第6章では、第3章および第5章で設計された水平面無指向性および単一指向性の葉状ボウタイアンテナを実際のUWB無線システムで利用した場合を想定し、どの程度の通信品質が得られるかを評価している。具体的には、電波暗室内および低マルチパス室内環境においてアンテナ間の伝送特性を測定し、その測定結果を用いてシステムのBERシミュレーションを行い、実環境における通信品質の観点から、葉状ボウタイ素子を用いた平面型超広帯域アンテナの有効性を明らかにしている。

第7章では結論を述べ、論文全体の成果を要約している。

これを要するに、著者は、UWB無線システムに適した平面型超広帯域アンテナの基本設計法および特性評価法に関する有益な知見を得たものであり、アンテナ工学の分野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。