

令和元年5月20日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06332

研究課題名(和文) 超高速ワイヤレスシステムのための未利用周波数帯高機能アンテナ技術に関する研究

研究課題名(英文) Study on unused frequency band high performance antenna technology for ultra high speed wireless system

研究代表者

山本 学 (Yamamoto, Manabu)

北海道大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：20301939

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：超高速ワイヤレスシステムの普及に伴い、周波数資源のひっ迫が切実な問題となりつつある。その対策として、MIMO(Multiple-Input-Multiple-Output)技術などの高速無線伝送方式を用いることで周波数資源の利用効率を高めつつ、更に高マイクロ波帯やミリ波帯などの未利用周波数帯域を活用することが挙げられる。本研究課題では、未利用周波数帯域における高速無線伝送方式に対応可能な高機能アンテナ技術を開発した。未利用周波数帯域におけるMIMOアンテナシステムを構成するための素子アンテナ技術を開発するとともに、それらを用いた多ポートMIMOアンテナを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、平面型アンテナ素子を基本的な構成要素として、未利用周波数帯における高速無線伝送方式に適用可能な高機能アンテナシステムを実現することで、同アンテナシステムの大量生産・低コスト化に貢献した。また、本研究課題において開発された平面構造を基本とした高機能アンテナ技術は、未利用周波数帯への拡張も容易であり、本研究課題の成果は、超高速ワイヤレスシステムにおける未利用周波数帯の利用促進に寄与しているものである。

研究成果の概要(英文)：With the spread of ultra-high-speed wireless systems, tightness of frequency resources is becoming a serious problem. It is effective to introduce high-speed wireless transmission methods such as Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) technology in unused frequency bands as a measure against the tightness of frequency resources. In this research subject, high-performance antenna technologies applicable to high-speed wireless transmission system in unused frequency band have been developed. Antenna technologies for constructing MIMO antenna systems in unused frequency bands have been developed. Based on these technologies, multiport MIMO antennas have been developed.

研究分野：アンテナ工学

キーワード：超高速ワイヤレスシステム 広帯域平面アンテナ MIMO技術 未利用周波数帯

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高品質な映像や音声などの大容量データを移動通信環境において高速伝送することが可能な超高速ワイヤレスシステムは、世界経済と社会の発展に大きく寄与しており、多くの人々にとって日常生活で必要不可欠なものとなっている。現在、サービスが展開されている超高速ワイヤレスシステムの具体例として、第4世代携帯電話システム LTE (Long Term Evolution) やモバイル WiMAX (Mobile Worldwide Interoperability for Microwave Access) などが挙げられる。これらに代表される超高速ワイヤレスシステムの急速な普及に伴い、高速無線伝送のための周波数資源のひっ迫が切実な問題となりつつある。とりわけ、携帯電話や無線 LAN などのワイヤレスシステムが多用する低マイクロ波帯においては、周波数資源の枯渇が現実のものになるうとしている。

限られた周波数資源を効率良く利用しつつ、通信容量及び伝送速度・品質の向上を図ることを目的として、上述のような超高速ワイヤレスシステムでは、MIMO 技術に代表される高速無線伝送方式が採用されている。MIMO 技術とは、送信データを予め複数の信号 (ストリーム) に分割し、それらを複数の送受信アンテナを用いて同一の周波数帯域で同時転送することで、周波数資源の有効利用と大容量データの超高速伝送の両者を実現する無線伝送方式である。周波数資源のひっ迫状況を緩和するとともに、次世代の超高速ワイヤレスシステムにおける通信量の増大に対応するためには、MIMO 技術などの高速無線伝送方式を発展させ、それを有効に用いることで周波数資源の更なる利用効率向上を実現することに加えて、高マイクロ波帯やミリ波帯などの未利用周波数帯域の活用を促進するための技術開発が求められる。

例えば 2020 年以降の実用化・普及が見込まれる次世代の超高速ワイヤレスシステムである第5世代 (5G) 無線アクセスに関して、従来の低マイクロ波帯に加えて、高マイクロ波帯やミリ波帯の活用も視野に入れた研究開発が進められている。また、多数の送受信アンテナを用いることで電波資源の利用効率の飛躍的向上が期待される大規模 MIMO 技術も、5G 無線アクセスのための要素技術として盛んに検討がなされている。以上の背景を踏まえて、本研究課題では、未利用周波数帯である高マイクロ波帯やミリ波帯における新しい高速無線伝送方式に対応可能な高機能アンテナ技術に関する検討に取り組むこととなった。

2. 研究の目的

本研究課題では、高マイクロ波帯やミリ波帯などの未利用周波数帯域における高速無線伝送方式に対応可能な高機能アンテナ技術を開発・提供することにより、超高速ワイヤレスシステムの飛躍的発展と、同システムにおける新しい周波数資源の利活用促進に資することを目的として、以下の事項について検討した。

(1) 未利用周波数帯における MIMO 対応アンテナシステムのための素子アンテナ技術: 本研究代表者が過去に受けた科学研究費などによる研究を通じて培った平面アンテナ技術を礎として、高マイクロ波帯やミリ波帯などの未利用周波数帯における MIMO 対応アンテナシステムのための素子アンテナ技術の確立を目標として、次の事項につき研究を進めた。携帯端末などの小形機器に実装可能な未利用周波数帯 MIMO 対応アンテナシステムのための素子アンテナの開発。基地局やアクセスポイントへの応用を想定した未利用周波数帯 MIMO 対応アンテナシステムのための素子アンテナの開発。前述の素子アンテナを隣接して配置した場合における素子間相互結合の低減手法に関する基礎検討。

(2) 未利用周波数帯における MIMO 対応マルチアンテナ技術: 少数の素子アンテナからなる MIMO システムを想定したマルチアンテナを未利用周波数帯で実現するための基本検討を行った。具体的には、本研究代表者が従来受けた科学研究費などによる研究において開発したマルチセクタアンテナ技術と、上記(1)で開発された素子アンテナ技術を融合することにより、未利用周波数帯における MIMO 対応マルチアンテナ技術を開発した。

(3) 未利用周波数帯における大規模 MIMO 対応マルチアンテナ技術: 次世代の超高速ワイヤレスシステムでの導入が見込まれる大規模 MIMO への対応を念頭においたマルチアンテナの基本技術に関して検討した。前述(2)で開発された技術を拡張することで、多数の素子アンテナからなるマルチアンテナを構成するための基本技術を開発した。更に、大規模 MIMO への対応において必要となる、ビーム形成のための基礎技術に関して検討した。

3. 研究の方法

(1) MIMO 対応アンテナシステムのための素子アンテナ技術の開発: MIMO 対応アンテナシステムを構成するための素子アンテナとして、誘電体基板上に作成可能であり、未利用周波数帯への対応も可能な特徴を有する自己補対型のストリップ導体やスロット素子を採用する。理想的な励振状態を仮定した上で、低マイクロ波帯などの既存周波数帯において、放射指向性および利得などのアンテナ諸特性が MIMO 対応アンテナシステムに適合するように、放射素子の形状・配置を工夫する。数値シミュレーションによるアンテナの特性解析を行い、その結果を踏まえながらアンテナ素子構造の最適化を進める。次に、給電線路として、誘電体基板上に作成可能なマイクロストリップ線路等の平面型線路を導入する。給電線路と、上述の数値シミュレーションにおいて最適化したアンテナ素子との結合法を開発する。給電線路とアンテナ素子

とを一体化した構造について、数値シミュレーションによる特性評価を行い、給電線路における反射損が上記の周波数帯において十分に抑えられるように、アンテナ素子と給電線の結合法の最適化を図る。以上の過程を高マイクロ波帯やミリ波帯などにおいて繰り返すことで、未利用周波数帯における MIMO 対応アンテナシステムのための素子アンテナ技術を構築する。

(2) 未利用周波数帯における MIMO 対応マルチアンテナ実現のための基礎検討：MIMO 対応マルチアンテナを模擬した基本モデルとして、上記(1)で開発した素子アンテナを同一基板上に複数個（主に 2 素子）配置したアンテナ系について、数値シミュレーションを行い、アンテナ素子間の相互結合を評価する。その結果を踏まえつつ、素子アンテナ間の相互干渉抑制の観点から、素子アンテナの形状と配置法の最適化を行う。素子アンテナの配置法最適化に関しては、本研究代表者が従来受けた科学研究費などによる研究において開発されたマルチセクタアンテナ技術の活用も考慮しつつ検討を進める。本課題に関して高マイクロ波帯やミリ波帯などに代表される未利用周波数帯の利用を想定した検討を行い、未利用周波数帯における MIMO 対応マルチアンテナ実現のための基礎技術を構築する。

(3) 未利用周波数帯における MIMO 対応マルチアンテナ技術の開発

上記検討課題(1)及び(2)の成果を融合し、それを発展させることで、未利用周波数帯における MIMO 対応マルチアンテナ技術の開発を進める。上記(1)の素子アンテナ素子を多素子（3 素子以上）用いたアンテナ系に、上記(2)のアンテナ素子間干渉抑制手法を導入した場合につき、数値シミュレーションを行う。その結果を踏まえながら、素子アンテナ間の相互干渉を抑えつつ複数のアンテナ素子間隔を最小化することを目標として、アンテナ素子の最適配置法および形状の最適化を進める。更に、大規模 MIMO への対応において必要となる高精度なビーム形成実現のための基礎技術に関して検討する。

4. 研究成果

(1) MIMO 対応アンテナシステムを構成するための素子アンテナとして、誘電体基板上に作成可能であり、未利用周波数帯への対応も可能な特徴を有する広帯域葉状モノポールアンテナ（図 1）及びノッチアンテナ（図 2）を開発した。初めに、これらのアンテナ素子について理想的な給電が行われているものと仮定した上で、既存周波数帯である低マイクロ波帯において、放射指向性および利得などのアンテナ諸特性が MIMO 対応アンテナシステムに適合するように、放射素子の形状・配置法等について、数値シミュレーションと測定の両面から最適化を行った。次に、放射素子を励振するための伝送線路として、平面型伝送線路であるマイクロストリップ線路を採用し、上述のアンテナ素子と本伝送線路とを同一基板上に集積化した場合について、アンテナ素子と線路との最適な結合法を開発した。更に、高マイクロ波帯である UWB ハイバンド（7GHz～10GHz）において、上記の過程を繰り返すことで、MIMO 対応アンテナシステムのための素子アンテナ技術を構築した。

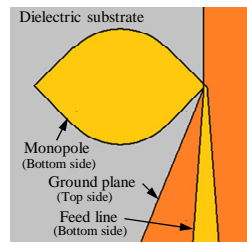


図 1 広帯域葉状モノポールアンテナ

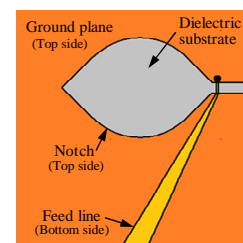
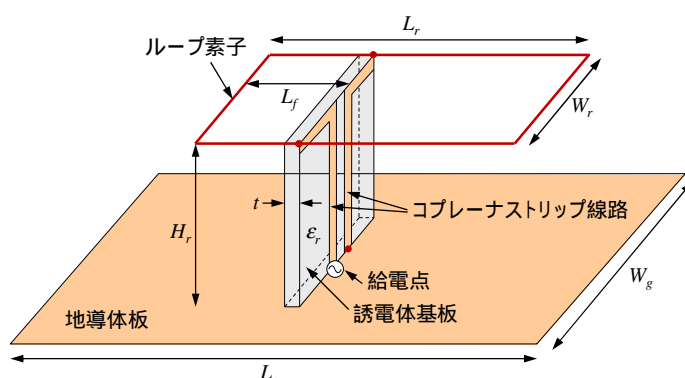
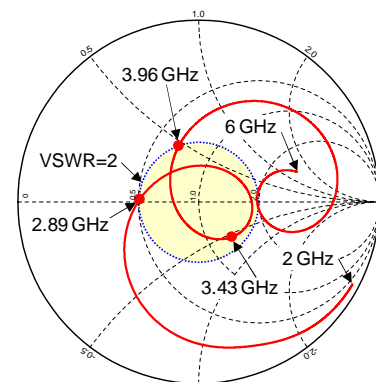


図 2 広帯域葉状ノッチアンテナ

(2) 基地局やアクセスポイントへの応用を想定した未利用周波数帯 MIMO 対応アンテナシステムのための素子アンテナとして、地板上矩形ループアンテナを開発した。図 3(a)に示すように、地板上に配置された矩形の複合ループアンテナにつき、平行二線式線路を介して地板側から不平衡給電することで単指向性の 2 周波共用アンテナとして動作することを明らかにした。更に、平行二線式線路の特性インピーダンスを適切に設定することで、上記アンテナの広帯域化が可能であることを数値シミュレーションによって明らかにした。その具体例として、広帯域化が実現された地板上矩形ループアンテナのインピーダンス特性を図 3(b)に示す。



(a) 地板上矩形ループアンテナ



(b) 広帯域化された場合のインピーダンス特性

図 3 地板上矩形ループアンテナ

(3) MIMO 対応マルチアンテナを模擬した基本モデルとして、上記(1)の素子アンテナを同一基板上に複数個(4素子)配置したアンテナ系について、時間領域差分法(FDTD法)による数値シミュレーションを行い、その結果を踏まえつつ、素子アンテナ間の相互干渉抑制の観点から、素子アンテナの形状及び配置法の最適化を行った。本検討は、高マイクロ波帯である UWB ハイバンド(7GHz~10GHz)において行われた。素子アンテナとして葉状モノポールアンテナと葉状ノッチアンテナを2素子ずつ用いた構造と、葉状ノッチアンテナを4素子用いた構造について素子アンテナの形状及び配置法の最適化を行い、図4及び図5に示す4ポート広帯域 MIMO アンテナを実現した。これらの MIMO アンテナについて、数値シミュレーションに加えて試作測定を行い、実現された構造の有効性を示した。

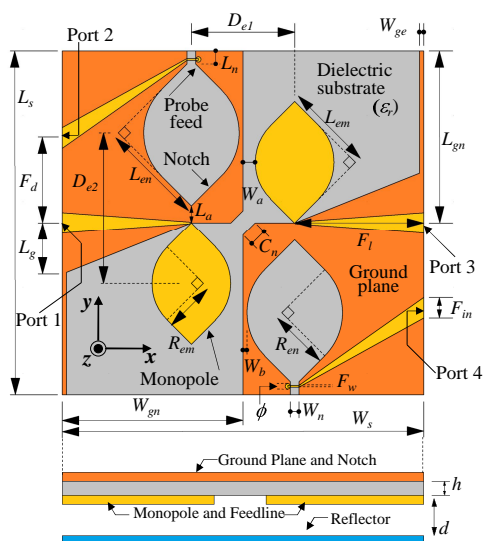


図4 葉状モノポール及びノッチアンテナを用いた4ポートMIMOアンテナ

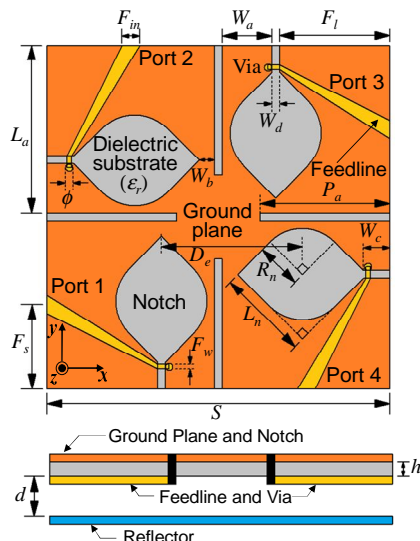


図5 葉状ノッチアンテナを4素子用いた4ポートMIMOアンテナ

(4) MIMO 対応アンテナシステムのための素子アンテナとして、上記(1)において開発された広帯域葉状モノポールアンテナ及びノッチアンテナを複数(6素子)用いたアンテナ系に、上記(3)において確立されたアンテナ素子間干渉抑制手法を導入した場合につき、時間領域差分法(FDTD法)による数値シミュレーションを行った。その結果を踏まえながら、素子アンテナ間の相互干渉を抑えつつ複数のアンテナ素子間隔を最小化することを目標として、アンテナ素子の配置法および形状の最適化を行ったことに加えて、給電回路構成法の最適化を行った。以上の検討によって、大規模 MIMO への応用も視野に入れた、多ポート広帯域 MIMO アンテナが開発された。本アンテナの構造例を図6に示す。また、図7は開発されたアンテナのポート間相互結合解析・測定結果であって、いずれのポート間結合も十分に小さく、本構造の多ポート MIMO アンテナとしての有効性が確認できる。

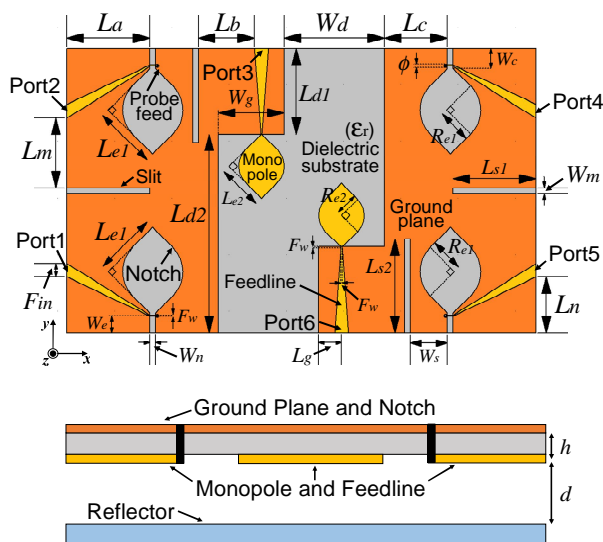


図6 葉状モノポール及びノッチアンテナを用いた多ポート広帯域 MIMO アンテナ

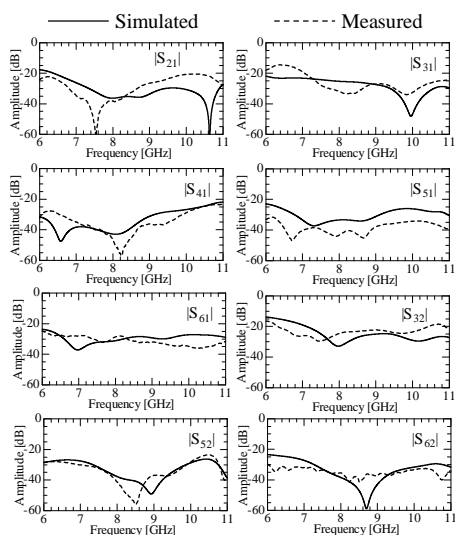


図7 多ポート広帯域 MIMO アンテナのポート間結合解析・測定結果例

(5) MIMO 対応アンテナシステムにおけるビーム形成実現のための基本技術として、葉状ボウタイスロットアンテナ素子からなる広帯域アレーアンテナ (図 8) 上に、複数の誘電体板を配置する手法を提案し、時間領域差分法 (FDTD 法) による数値シミュレーションによって、その有効性を明らかにした。本検討の結果の一例として、図 8 に示すように、4 素子広帯域葉状ボウタイスロットアンテナアレー上に、2 枚の誘電体板を配置した場合について、動作利得の周波数特性と放射パターンの数値シミュレーション結果を図 9 に示す。誘電体板をアレーアンテナ正面に配置することで、高利得化と放射パターンの狭ビーム化が可能であることが分かる。

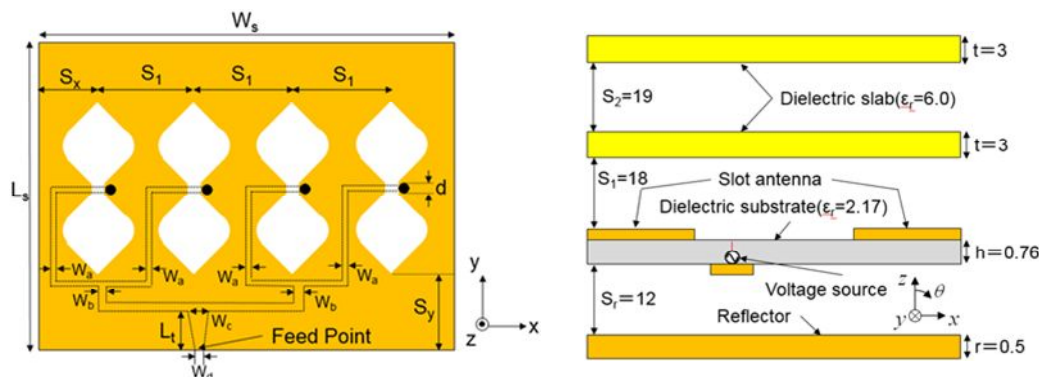


図 8 誘電体板を付加した広帯域アレーアンテナ

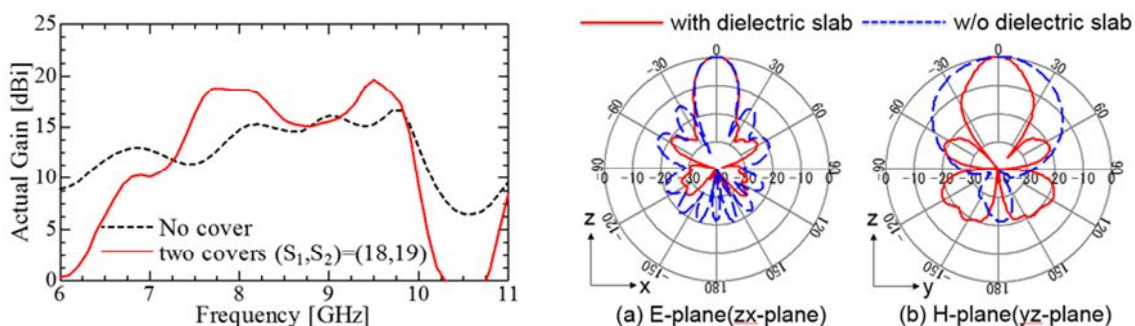


図 9 誘電体板付加時の広帯域アレーアンテナの動作利得及び放射パターン

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

野村 早希, 山本 学, 地板上矩形ループアンテナの 2 周波共用化, 電子情報通信学会論文誌 B, vol. J101-B, no. 9, pp.790-792, 2018 年, 査読有.

DOI: 10.14923

Hayaki Nomura and Manabu Yamamoto, Design of a Dual-Frequency Rectangular Loop Antenna Placed on a Ground Plane, 2018 IEEE AP-S Symposium on Antennas and Propagation and URSI CNC/USNC Joint Meeting (AP-S/URSI 2018), TU-A1.1A.2, 2018 年, 査読有.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8608654>

Jumpei Motohashi and Manabu Yamamoto, Design of a Wideband 6-port MIMO Antenna Using Leaf-Shaped Monopole and Notch Antennas, 2017 International Symposium on Antennas and Propagation, 3A1-2, 2017 年, 査読有.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8228760>

Jumpei Motohashi and Manabu Yamamoto, A Wideband 4-Port MIMO Antenna Using Leaf-Shaped Notch Antennas, 2016 International Symposium on Antennas and Propagation, 4E1-3, 2016 年, 査読有.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7821334>

〔学会発表〕(計 10 件)

蒔苗 匠馬, 山本 学, 誘電体板を装荷した葉状ボウタイスロットアレーアンテナ, 2019 年電子情報通信学会総合大会, B-1-77, 2019 年 3 月.

蒔苗 匠馬, 山本 学, 誘電体板装荷による葉状ボウタイスロットアレーアンテナの高利得化, 平成 30 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, no. 86, p.127, Oct. 2018.

野村 早希, 山本 学, 誘電体基板上に配置された矩形ループアンテナの広帯域化の検討, 平成 30 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, no. 84, p.125, Oct. 2018.

野村 早希, 山本 学, 地板上矩形ループアンテナの広帯域化に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 118, no. 134, AP2018-58, pp. 95-99, July 2018.

蒔苗 匠馬, 本橋 諄平, 日景 隆, 山本 学, 平賀 健, 内田 大誠, 誘電体板付加によるパッチアレーアンテナの高利得化に関する基礎検討, 2018 年電子情報通信学会総合大会, B-1-64, 2018 年.

野村 早希, 本橋 諄平, 山本 学, 誘電体基板上に配置された 2 周波共用矩形ループアンテナ, 平成 29 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, p.85, 2017 年.

Jumpei Motohashi, Takashi Hikage, and Manabu Yamamoto, Design of a Wideband 6-Port MIMO Antenna Array Consisting of Leaf-shaped Radiating Elements, 2017 Asian Workshop on Antennas and Propagation, P1-09, 2017 年.

本橋 諄平, 山本 学, 葉状モノポール及びノッチ素子を用いた 6 ポート広帯域 MIMO アンテナ (第 2 報), 2017 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, B-1-114, 2017 年.

本橋 諄平, 山本 学, 葉状放射素子で構成された 6 ポート広帯域 MIMO アンテナの設計, 平成 28 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, p.85, 2016 年.

本橋 諄平, 山本 学, 葉状モノポール及びノッチ素子を用いた 6 ポート広帯域 MIMO アンテナ, 2016 年電子情報通信学会ソサエティ大会, B-1-113, 2016 年.

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。