

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K06429

研究課題名(和文) 新しい無線通信方式を実現する空間波動信号処理アクティブアレーアンテナの研究

研究課題名(英文) Active integrated array antenna for microwave signal processing

研究代表者

豊田 一彦 (Toyoda, Ichihiko)

佐賀大学・理工学部・教授

研究者番号：80612663

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、電磁波の偏波や伝搬方向といった空間的波動パラメータを活用した次世代無線通信システムを実現するためのアクティブアレーアンテナについて検討した。偏波を使った空間変調通信システムを実現するための3つの構成案に基づいて研究を進め、それぞれの構成についてシミュレーションと試作アンテナの測定により検討を行い、その実現性と特性を確認した。初期の目標を達成するとともに、計画を上回って電磁波の伝搬方向を制御することのできるアンテナ構成についても基本的な検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、これまで積極的に利用されてこなかった電波の空間的波動パラメータである偏波を効果的に利用する技術として学術的にも産業的にも価値が高い。また、様々なものがワイヤレスでネットワークにつながるIoT社会において、ミリ波やテラヘルツ波の利用が今後ますます進められるが、このような高周波数帯ではアンテナと高周波回路の接続が大きな課題となる。本研究課題で実現したアクティブアンテナの技術は、アンテナと高周波回路を本質的に一体複合化する技術であり、高周波帯を使った無線通信に広く適用できるものであり、これによってSociety 5.0の実現に大きく資する技術である。

研究成果の概要(英文)：In this study, active integrated array antennas for next generation wireless communication systems which effectively utilize the spatial radio wave parameters such as polarization and propagation direction have been examined. Three types of polarization agile active integrated array antennas were studied through simulation and prototype evaluation. As a result, their feasibility and performance were confirmed. In addition to achieving our initial goal, a basic evaluation of active integrated array antenna configurations using the other spatial parameter of radio waves, i.e., propagation direction, were also performed.

研究分野：通信工学

キーワード：アクティブアンテナ 空間変調 偏波

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

従来の無線通信では、振幅・位相・周波数といった電磁波の時間軸パラメータを利用して情報を伝送している。一方、電磁波は偏波や伝搬方向といった空間軸のパラメータを持っており、今後ますます利用が拡大すると考えられる無線通信ではこのような空間的な波動情報の利用が必須である。さらに、このような電磁波の空間的波動情報を積極的に利用するには、RF 信号を低周波信号に変換して、これをデジタル処理するのではなく、RF 帯で直接信号処理することが有効である。

### 2. 研究の目的

本研究では、次世代無線通信に必須となる、電磁波の空間的波動情報の1つである偏波を活用した空間変調無線通信方式の実現を目的として、マイクロ波機能回路とアレーアンテナを一体複合化した RF 信号処理機能をもつ偏波切替アクティブアレーアンテナ(AIAA)を実現することを目標とした。

### 3. 研究の方法

図1に示すような、偏波切り替え機能を持つ発振器内蔵アクティブアレーアンテナの3つの構成案を持って研究を開始した。いずれの構成もアレーアンテナと発振器および偏波を切り替えるための変調器を内蔵した構成である。Type Aは、4つの発振器を同期させ、中央の変調器により発振位相差を制御し、右旋・左旋・水平・垂直の4偏波を切り替えるものである。Type Bは、2つの発振器と経路を切り替える変調器を一体化することにより水平・垂直の直線偏波あるいは右旋・左旋の円偏波を切り替えるものである。また、Type Cは、多ポート発振器と位相変調器を内蔵し、2つの偏波を切り替える構成である。

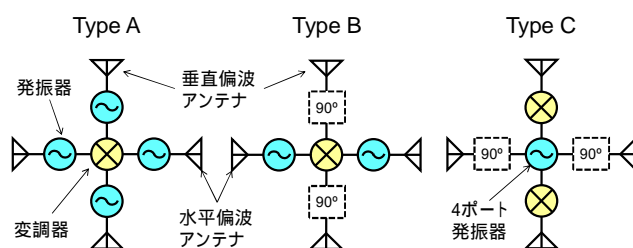


図1: 発振器内蔵偏波切替 AIAA の構成案

これらの構成に対して、シミュレーションによる計算的手法と試作回路・試作アンテナによる実験的手法を組み合わせ、アクティブアンテナを構成する各要素回路・アンテナについて検討を進めるとともに、アンテナとマイクロ波機能回路を一体複合化したアクティブアレーアンテナについて研究を進めた。

### 4. 研究成果

(1) 2つの発振器を内蔵した偏波切替リングスロットアンテナ  
 図1に2つの Gunn 発振器を内蔵した直線偏波切替リングスロットアンテナの構成を示す。1/2 波長マイクロストリップ共振器に Gunn ダイオードを装荷した2つの発振器を、リングスロットアンテナで結合することにより2つの発振器を同期させ、さらに、リングスロットアンテナに偏波切替用の変調器を組み込んだ構成である。上述の Type B に相当するものであり、発振器やアンテナについて詳細に検討した。提案コンセプトの実現性を実証した。

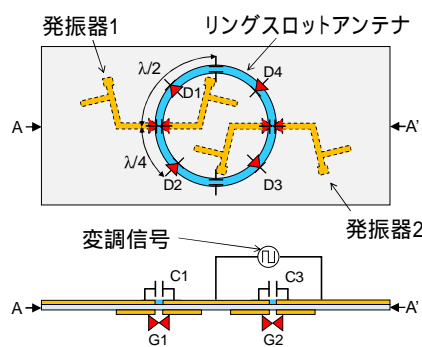


図1: 2つの発振器を内蔵した偏波切替リ

図2に試作アンテナの測定結果を示す。制御電圧すなわち変調信号の正負を切り替えることにより偏波の方向を±45度で切り替えることができることを確認し、提案コンセプトの実現性を実証した。

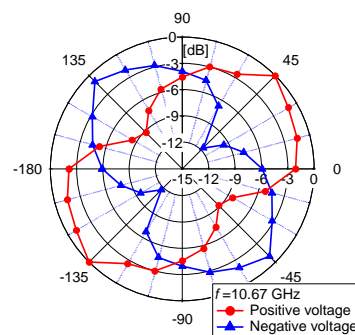


図2: 偏波切替リングスロットアンテナの偏波切替特性

(2) 4ポート発振器を内蔵した偏波切替12素子アクティブアレーアンテナ

図3に4ポート発振器を内蔵した直線偏波切替12素子アクティブアレーアンテナの構成を示す。2つの Gunn ダイオードをスロットリング共振器で同期させた4ポート発振器と2つの PSK 変調器を12素子偏波共用マイクロストリップアレーアンテナと一体複合化しており、上

述の Type C の構成に相当する．発振器や PSK 変調器といった各マイクロ波機能回路について，シミュレーションと試作回路により詳細にその特性を把握するとともに，アンテナと一体化したアクティブアレーアンテナの測定を行った．

図 4 は，放射パターンの測定結果とシミュレーション結果である．12 素子アンテナを使うことにより低サイドローブの鋭い指向性が得られている．良好な特性を得，提案コンセプトの実現性を実証した．

### (3)2 ポート発振器を内蔵した偏波切替 4 素子アクティブアレーアンテナ

図 5 に 2 ポート発振器を内蔵した直線偏波切替 4 素子アクティブアレーアンテナの試作アンテナの写真を示す．2 つの Gunn ダイオードをスロットリング共振器で同期させた 2 ポート発振器と PSK 変調器を 4 素子マイクロストリップアレーアンテナと一体複合化したものであり，Type C に相当する．(2)の 12 素子のもと同様のコンセプトであるが，簡易な構成のアクティブアレーアンテナを実現している．

### (4)2 ポート発振器を内蔵した偏波切替 2 素子アクティブアレーアンテナ

図 6 に 2 ポート発振器を内蔵した直線偏波切替 2 素子アクティブアレーアンテナの構成を示す． $1/2$  波長マイクロストリップ共振器に Gunn ダイオードを装荷した Gunn 発振器と経路切替用スイッチを 2 素子アレーアンテナと一体複合化した構成である．本アンテナでは，2 層基板を用いて裏面に発振器を配置し，層間の接地導体に設けたスロット線路によって表面のアンテナに給電する構成としている．アクティブアレーアンテナでは，発振器などの能動回路とアンテナが同一面にあると，アンテナ素子の配置が制限されサイドローブが大きくなり，発振器からの放射により放射パターンが乱れるという課題があった．本構成では，アンテナと発振器を接地導体の両面に配置することによりこの問題を解決している．

### (5)4 つの発振器を内蔵した偏波切替 12 素子アクティブアレーアンテナ

図 7 に 4 つの発振器を内蔵した偏波切替 12 素子アクティブアレーアンテナの構成を示す．4 つの Gunn 発振器を中央のスロットリング変調器で同期させ，12 素子偏波共用アレーアンテナに給電する構成であり，上述の Type A の構成である．中央のスロットリングに装荷したダイオードを制御することで偏波の切り替えを実現する構成である．本構成については，その重要な要素である 4 つの発振器をスロットリング共振器で同期させることを検討した．4 つの発振器を同期させるためには，ガンダイオードの均一性が重要であることが明らかとなった．

上記の他にも，様々な構成のアクティブアレーアンテナについて検討し，論文・国際会議などで発表を行った．その結果，多くの賞を受賞した．また，本研究をさらに発展させて，もう一つの空間的波動パラメータである伝搬方向についてビーム切り替え機能を持つアクティブアレーアンテナの検討を開始し，計画以上の成果を得た．

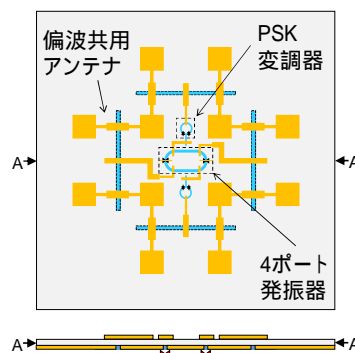


図 3:4 ポート発振器内蔵型 12 素子偏波切替 AIAA の構成

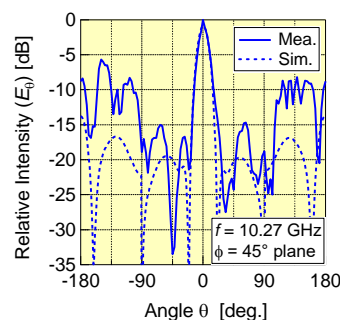


図 4:12 素子 AIAA の放射パターン

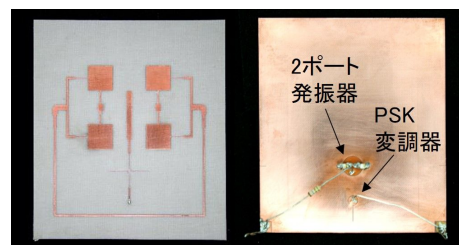


図 5:2 ポート発振器内蔵 4 素子偏波切替 AIAA の試作アンテナ

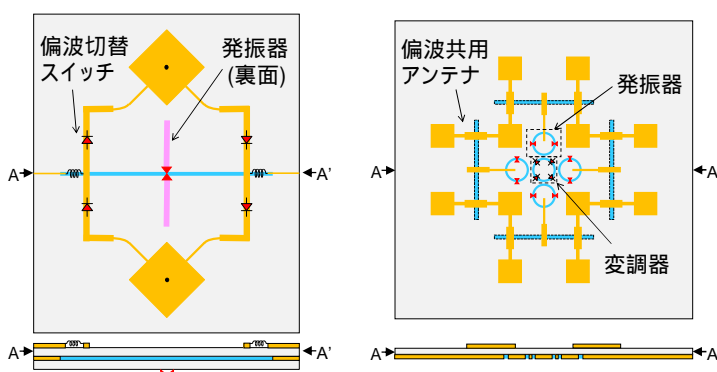


図 6:多層基板を用いた 2 素子偏波切替 AIAA の構成

図 7:4 つの発振器を内蔵した 12 素子偏波切替 AIAA の構成

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Hasan Maodudul, Nishiyama Eisuke, and Toyoda Ichihiko	4. 巻 8
2. 論文標題 A polarization switchable active integrated array antenna with a single-lambda slot-ring Gunn oscillator and PSK modulator	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 560 ~ 565
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2019GCL0044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 豊田一彦, 田中裕喜, 田中高行, 西山英輔	4. 巻 J101-C
2. 論文標題 RF信号処理による入力振幅比制御型2軸指向性可変アレーアンテナ	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 445-453
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Rimi Rashid, Eisuke Nishiyama, and Ichihiko Toyoda	4. 巻 81
2. 論文標題 A Planar Extended Monopulse DOA Estimation Antenna Integrating an RF Multiplier	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress In Electromagnetics Research C	6. 最初と最後の頁 53-62
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2528/PIERC17110906	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Rimi Rashid, Md. Azad Hossain, Eisuke Nishiyama, and Ichihiko Toyoda	4. 巻 7
2. 論文標題 Dual-axis monopulse direction-of-arrival estimation planar antenna employing multilayer structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 224-229
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2018XBL0023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 豊田一彦, 古川義晃, 西山英輔, 田中高行, 相川正義	4. 巻 138
2. 論文標題 空間変調無線通信方式の実現を目指した偏波切替機能付き発振器一体型アクティブアンテナの構成法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電気学会論文誌	6. 最初と最後の頁 678-684
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 HASAN Maodudul, NISHIYAMA Eisuke, TOYODA Ichihiko	4. 巻 E104.B
2. 論文標題 A Beam-Switchable Self-Oscillating Active Integrated Array Antenna Using Gunn Oscillator and Magic-T	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 1419 ~ 1428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2021EBP3003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hasan Maodudul, Nishiyama Eisuke, Tanaka Takayuki, Toyoda Ichihiko	4. 巻 116
2. 論文標題 A DUAL-BEAM SWITCHABLE SELF-OSCILLATING KU-BAND ACTIVE ARRAY ANTENNA INTEGRATING POSITIVE FEEDBACK TYPE PUSH-PUSH OSCILLATOR AND PSK MODULATOR	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress In Electromagnetics Research C	6. 最初と最後の頁 181 ~ 192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2528/PIERC21092801	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hasan Maodudul, Nishiyama Eisuke, Toyoda Ichihiko	4. 巻 1
2. 論文標題 Multi-layer approach of polarization agile oscillating-type active integrated array antennas for RFtransmitter front-end	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Microwave and Wireless Technologies	6. 最初と最後の頁 1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S1759078722000460	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 M. Hasan, E. Nishiyama, T. Tanaka and I. Toyoda
2. 発表標題 Design of Dual-Beam Switchable Self-Oscillating Active Array Antenna Integrating Positive Feedback Type Push-Push Oscillator and PSK Modulator
3. 学会等名 2020 Int. Conf. Emerg. Tech. for Comm. (ICETC2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Hasan, E. Nishiyama, and I. Toyoda
2. 発表標題 A Microstrip-Line Gunn Oscillator Loaded Active Integrated Array Antenna Using Inclined Patches for Polarization Switching Function
3. 学会等名 2020 Int. Symp. Antennas Propag. (ISAP2020) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 I. Toyoda
2. 発表標題 [Keynote speech] Polarization Agile Active Integrated Array Antenna for Next Generation Wireless Systems
3. 学会等名 2021 Int. Conf. Sust. Dev. in Tech. for 4th Ind. Rev. (ICSdTIR-2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Hasan, E. Nishiyama, and I. Toyoda
2. 発表標題 Design of a Beam Switchable Self-Oscillating Active Integrated Array Antenna Using a Microstrip Line Gunn Oscillator and Planar Magic-Ts
3. 学会等名 2020 IEICE Society Conf.
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 M. Hasan, E. Nishiyama, and I. Toyoda
2 . 発表標題 [Invited Lecture] Research and Development Activities of Active Integrated Antenna for Polarization and Beam Switching Functions
3 . 学会等名 IEICE Tech. Mtg. on Short Range Wireless Communications (招待講演)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 M. Hasan, R. Moroishi, E. Nishiyama, and I. Toyoda
2 . 発表標題 Proposal of Polarization Agile Active Array Antenna Integrated with Gunn Oscillator and Diode-Loaded Cross Slots
3 . 学会等名 2021 IEICE General Conf.
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Maodudul Hasan, Eisuke Nishiyama, and Ichihiko Toyoda
2 . 発表標題 A Polarization Agile Self-Oscillating Active Integrated 2×2 Array Antenna Using PSK Modulators
3 . 学会等名 Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Ichihiko Toyoda, Eisuke Nishiyama, and Takayuki Tanaka
2 . 発表標題 Polarization Agile Active Integrated Antenna and Its Application to Wireless Power Transfer
3 . 学会等名 2019 Asian Wireless Power Transfer Workshop (AWPT2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Maodudul Hasan, Eisuke Nishiyama, and Ichihiko Toyoda
2. 発表標題 Proposal of a Planar Polarization Switchable Self-Oscillating Active Integrated 2×2 Array Antenna with a Microstrip Gunn Oscillator and PSK Modulators
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Maodudul Hasan, Eisuke Nishiyama, and Ichihiko Toyoda
2. 発表標題 Design Concept of a Self-Oscillating Active Array Antenna Integrating a Microstrip-Line Gunn Oscillator with Inclined Patches for Spatial Modulation Systems
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Maodudul Hasan, Eisuke Nishiyama, and Ichihiko Toyoda
2. 発表標題 Design of a Miniaturized Polarization Agile Self-Oscillating Ring-Slot Active Integrated Antenna for Short Range Wireless Communications
3. 学会等名 電子情報通信学会短距離無線通信研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Maodudul Hasan, Hiroki Ushiroda, Eisuke Nishiyama, and Ichihiko Toyoda
2. 発表標題 A Polarization Switchable Active Array Antenna Integrating a Multiport Oscillator and PSK Modulators
3. 学会等名 2018 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Maodudul Hasan, Eisuke Nishiyama, Takayuki Tanaka, and Ichihiko Toyoda
2. 発表標題 Basic Evaluation of a Coupled Slot-Ring Gunn Oscillator Array for Active Antennas
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ichihiko Toyoda, Eisuke Nishiyama, and Takayuki Tanaka
2. 発表標題 Active Integrated Array Antenna with Oscillation and Modulation Function for Spatial Modulation Wireless Communications
3. 学会等名 12th Asia-Pacific Engineering Research Forum on Microwaves and Electromagnetic Theory (APMET2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Maodudul Hasan, Eisuke Nishiyama, and Ichihiko Toyoda
2. 発表標題 Proposal of a Polarization Switchable Active Array Antenna Integrating a Single-Lambda Slot-Ring Gunn Oscillator and PSK Modulator
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後田寛紀, 西山英輔, 豊田一彦
2. 発表標題 偏波切替え機能を有するガン発振器一体型4素子パッチアクティブアレーアンテナの試作検討
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 後田寛紀, 西山英輔, 豊田一彦
2. 発表標題 偏波変調器とガン発振器を一体化した12素子アクティブアレーアンテナの特性検討
3. 学会等名 映像情報メディア学会放送技術研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Hasan, H. Ushiroda, E. Nishiyama, and I. Toyoda
2. 発表標題 Simulated and Measured Performance of a Gunn-Oscillator Integrated 12-Patch Active Array Antenna With Polarization Switching
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Hasan, E. Nishiyama, T. Tanaka, and I. Toyoda
2. 発表標題 Proposal of Pattern-Reconfigurable Self-Oscillating Active Array Antenna Integrating Slot-Line Gunn Oscillator and Hybrid Coupler
3. 学会等名 2021 Int. Conf. Sci. Contemporary Tech. (ICSCT2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. A. Rahman, M. Hasan, E. Nishiyama, and I. Toyoda
2. 発表標題 A Gunn Diode Based Self-Oscillating Active Integrated Array Antenna With a Concept for Beamwidth Controllability
3. 学会等名 2021 IEEE Int. Conf. Telecom. Photon. (ICTP2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 M. Hasan, E. Nishiyama, and I. Toyoda
2 . 発表標題 Design of Tri-State SPDT Switch Using Shunt Open Stub Resonator
3 . 学会等名 2021 IEICE Society Conf.
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Manago, T. Tanaka, and I. Toyoda
2 . 発表標題 Experimental Study of Active Antenna Integrated With Transistor-Based Oscillator
3 . 学会等名 2021 Joint Conf. Electrical, Electronics and Information Engineers in Kyushu
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 M. Hasan, E. Nishiyama, and I. Toyoda
2 . 発表標題 Design of Simple 4 × 2 Beam-Forming Network for Four-Beam Array Antenna
3 . 学会等名 2022 IEICE General Conf.
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 I. Toyoda
2 . 発表標題 Active Integrated Array Antenna for Next Generation Wireless Communication Systems - Challenge to Advanced Antenna Utilizing Spatial Parameter of Radio Wave
3 . 学会等名 Int. Conf. Physics-2022 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Ichihiko Toyoda	4. 発行年 2019年
2. 出版社 IntechOpen	5. 総ページ数 11
3. 書名 Modulation in Electronics and Telecommunications	

〔産業財産権〕

〔その他〕

通信工学研究室 <a href="http://www.ceng.ec.saga-u.ac.jp/">http://www.ceng.ec.saga-u.ac.jp/</a> 佐賀大学教員活動データベース <a href="https://research.dl.saga-u.ac.jp/profile/ja.7ee2b677e200fb88.html">https://research.dl.saga-u.ac.jp/profile/ja.7ee2b677e200fb88.html</a>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	田中 高行  (Tanaka Takayuki)  (60207107)	佐賀大学・理工学部・准教授   (17201)	
研究分担者	西山 英輔  (Nishiyama Eisuke)  (30295026)	佐賀大学・理工学部・准教授   (17201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------