

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06051

研究課題名(和文) 管軸と平行な偏波を放射する導波管広壁面上の平面アレーアンテナの研究

研究課題名(英文) Study on a planar array antenna on a broad wall of a rectangular waveguide for linear polarization parallel to the axis

研究代表者

木村 雄一 (KIMURA, Yuichi)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：90334151

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)：本研究の目的は、方形導波管とマイクロストリップアンテナを組み合わせた新しい平面アレーアンテナを開発することである。方形導波管の広壁面上に配列されるスロットアレーアンテナで管軸に平行な偏波を実現しようとする、グレーティングローブの発生が問題となる。そこで、本研究では方形導波管広壁面上のスロットアレーの上部にマイクロストリップアンテナを配列した平面アレーアンテナを提案した。素子アンテナの解析では放射量の制御が可能であること、設計されたアレーアンテナの実験ではグレーティングローブが抑制された良好な特性を示すことが明らかにされた。以上により、提案された平面アレーアンテナの有効性が実証された。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study is to develop a novel planar array antenna with a microstrip antenna fed by a rectangular waveguide. A waveguide slot array on a broad wall for linear polarization parallel to the axis always faces a problem of grating lobes. In order to overcome this problem, a microstrip antenna array fed by transverse slots on the broad wall of the rectangular waveguide is proposed. It is revealed that radiation power ratio of the array element can be controlled sufficiently and that the proposed array exhibits an excellent performance with suppressed grating lobes. The validity of the proposed planar array antenna is fully demonstrated.

研究分野：電磁波工学

キーワード：平面アンテナ アレーアンテナ マイクロストリップアンテナ 導波管スロットアレー グレーティングローブ

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 導波管スロットアレーアンテナは給電線路に低損失な導波管を用いるため高利得が容易に得られ、また、大電力を扱うことができることから、船舶・航空機・気象などの各種レーダー用アンテナとして広く用いられている。また、近年は自動車用ミリ波レーダーや自動運転システム、あるいは子供や独居老人の見守りシステムなどの研究も盛んであり、周囲の環境や障害物、人物の動き等を詳細に把握するためのレーダー・センサシステムの高性能化が求められている。レーダー・センサシステムの高性能化にはアンテナから得られる情報量を増加させる必要があり、その方法の一つとして直線偏波(垂直、水平)や円偏波(右旋、左旋)といった複数の偏波を用いる方法が有効である。安心・安全で高度な社会サービスを実現するための技術基盤として、レーダー・センサ技術の高度化は必須の技術課題である。

(2) 導波管スロットアレーアンテナの代表的な構成例として、狭壁面を利用した管軸に平行な偏波を放射するスロットアレーと広壁面を利用した管軸に垂直な偏波を放射するスロットアレーが知られている。導波管の広壁面を用いて管軸に平行な偏波を実現するにはスロットを導波管の1管内波長間隔で配列しなければならないため、グレーティングローブを抑制が課題となる。そのためには導波管内を伝搬する管内波長を短縮する必要があり、導波管内部に遅波構造を装荷する方法やリッジ導波管を用いる方法が報告されているが、これらの方法は導波管内部の構造が複雑になるため、実用上問題となる。そこで、遅波構造等を用いない通常の方角導波管を用いて、導波管の広壁面で管軸に平行な偏波を放射する導波管平面アレーアンテナの実現が課題である。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、方形導波管とマイクロストリップアンテナを組み合わせた新しい平面アレーアンテナを開発することである。本研究では、方形導波管広壁面上のスロットアレーの上部にマイクロストリップアンテナを配列した平面アレーアンテナを提案する。これによりグレーティングローブの問題を解決し、管軸に平行な偏波を放射するアレーアンテナを実現することができる。

(2) 図1に本研究で提案する新しい平面アレーアンテナの構成を示す。このアンテナは導波管の広壁面上に誘電体基板を配置し、その上に複数のマイクロストリップアンテナを配列した構造である。導波管の広壁面には管軸に平行な偏波を放射するスロットが1管内波長間隔で配置される。一般に導波管の管内波長は自由空間波長より長いため、不要なグレーティングローブが発生し、問題となる。そこで、提案手法では各スロットの両側にマイクロストリップアンテナを配置し、両者を

マイクロストリップラインで接続する。各スロットはマイクロストリップラインを介して、両側のマイクロストリップアンテナを励振する。このとき、放射素子であるマイクロストリップアンテナは管軸に平行な偏波を放射し、また、素子間隔はスロットの間隔である1管内波長の半分となるため、グレーティングローブを発生しないアレーアンテナを構成することができる。そこで、本研究では提案するアレーアンテナの設計手法を確立する必要がある。具体的な検討項目は次の通りである。

アレーの構成要素である素子アンテナ(導波管により給電される2素子マイクロストリップアンテナ)の諸特性を明らかにし、さらに、その放射量の制御方法を確立する。

上記の で開発された素子アンテナを複数配列したアレーアンテナを設計し、実験により提案するアンテナ構造の有効性を実証する。

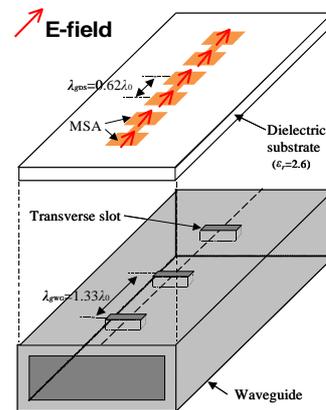


図 管軸に平行な偏波を放射する導波管広壁面上の平面アレーアンテナ

## 3. 研究の方法

(1) 提案する平面アレーアンテナの構成要素となる素子アンテナ(導波管により給電される2素子マイクロストリップアンテナ)をモデル化し、シミュレーションによりその放射特性を明らかにする。

(2) アレー設計を行うには、素子アンテナの共振周波数を一定に保ちつつ、素子アンテナの放射量(導波管に入射される電力に対する素子アンテナから放射される電力の割合)を所望の値に設定する必要がある。そこで、素子アンテナの放射量の制御方法をシミュレーションにより検討する。

(3) 上記の解析結果を基に一樣励振となる定在波励振アレーおよび進行波励振アレーの設計を行う。また、設計されたアレーアンテナを試作し、実験により提案するアレーアンテナの特性を評価する。

## 4. 研究成果

(1) 図1に提案する平面アレーアンテナの構成要素となる素子アンテナの構造図を示す。これは方形導波管の広壁面上に開けられた

スロットの上に誘電体基板を置き、その上にマイクロストリップラインで接続された2素子のマイクロストリップアンテナが配列されている。マイクロストリップラインの中心がスロットの中心と一致するように配置され、マイクロストリップラインを通してスロットから両側のマイクロストリップアンテナを励振する。導波管はXバンドの標準導波管とし、誘電体基板は比誘電率2.6、厚さ1.2 mm のテフロンガラスファイバー基板を使用する。導波管の両端を各々 Port 1、Port 2 と設定し、電磁界解析シミュレータ HFSS を用いて素子アンテナの特性を解析した。図3に各パラメータを  $l_s = 8.6$  mm,  $l_f = 13.2$  mm,  $w = 1.0$  mm,  $a = 8.4$  mm,  $b = 9.6$  mm,  $c = 2.0$  mm,  $d = 2.0$  mm とした場合の反射量(S11)および透過量(S21)の周波数特性を示す。11.2 GHz 付近で共振していることがわかる。図4にこの周波数における放射パターンの一例を示す。E面パターンは、約  $50^\circ$  方向にヌル点が現れていることから、この素子アンテナを導波管の1管内波長間隔で配列してもグレーティングローブは抑制できると考えられる。なお、このときの放射量は約 20.4 % である。

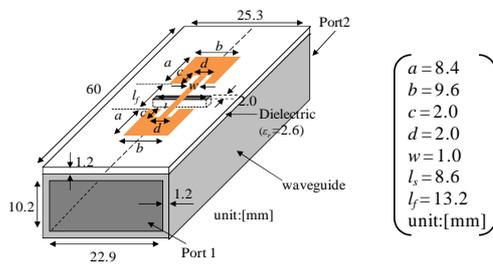


図2 素子アンテナの構造図

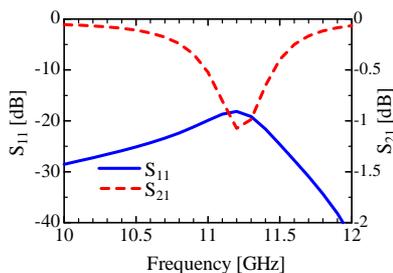


図3 素子アンテナの反射特性 (S11) と透過特性 (S21)

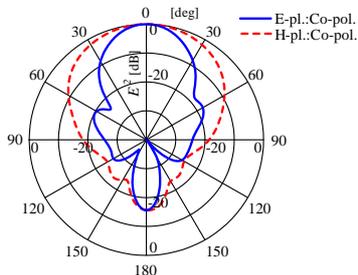


図4 素子アンテナの放射パターンの一例

(2) 次に、素子アンテナの放射量の制御方法

について検討を行った。図5にスロット長  $l_s$  に対する素子アンテナの放射量と指向性利得の変化を示す。このとき、他のパラメータは各々調整している。スロット長  $l_s$  を変化させることで、一定の共振周波数 11.2 GHz を保ちつつ放射量を数%から 50%まで変化させることが明らかにされた。この放射量の変化幅はアレイ設計を行うのに十分である。また、指向性利得は放射量を変化させても 11 dBi 以上の値が得られることが明らかにされた。

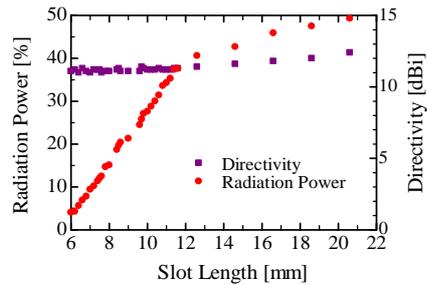


図5 スロット長に対する素子アンテナの放射量と指向性利得の変化

(3) 素子アンテナの解析結果を利用して、定在波励振アレイアンテナを設計した。図6に設計された定在波励振アレイアンテナの構造図を示す。導波管広壁面のスロット上に誘電体基板を置き、マイクロストリップラインで接続された2素子のマイクロストリップアンテナをサブアレイとして複数配列される。導波管の1管内波長間隔で配列されたスロットアレイから放射されるグレーティングローブを抑制するため、1個のスロットに対して2素子ずつマイクロストリップアンテナが配列される。定在波励振アレイとするため、スロット間隔は1管内波長とし、導波管の終端は短絡とした。ここではスロットを3個配列する6素子定在波励振アレイアンテナを設計し、アンテナを試作した。図7に各パラメータを  $l_s = 10.4$  mm,  $l_f = 13.2$  mm,  $w = 1.0$  mm,  $a = 8.4$  mm,  $b = 8.4$  mm,  $c = 2.0$  mm,  $d = 2.0$  mm とした場合の反射量(S11)の周波数特性を示す。実測値とシミュレーション値の傾向はよく一致している。図8に利得の周波数特性を示す。実測値はシミュレーション値の傾向を概ね捉えており、11.2 GHz の利得はシミュレーション値 15.7 dBi に対して、実測値は 14.7 dBi であった。図9に 11.2 GHz における放射パターンを示す。主偏波についてはシミュレーション値と実測値は良く一致しており、スロットが1管内波長間隔で配列されたことにより発生する  $60^\circ$  方向のグレーティングローブは約 -20 dB に抑制されている。なお、ポアサイト方向の交差偏波レベルの実測値は約 -19 dB であった。以上のことから、設計された定在波励振アレイは良好な特性であることが確認された。

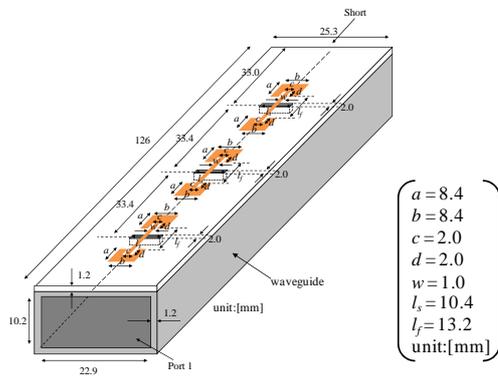


図 6 6素子定在波励振アレーアンテナの構造図

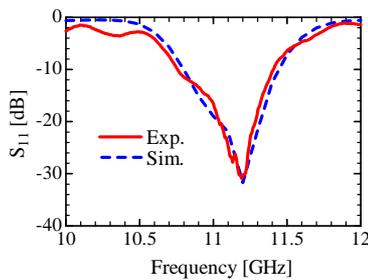


図 7 6素子定在波励振アレーアンテナの反射特性

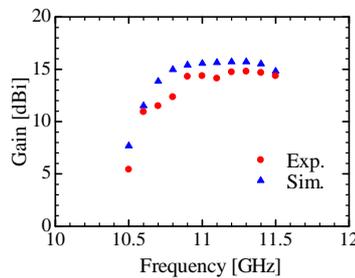
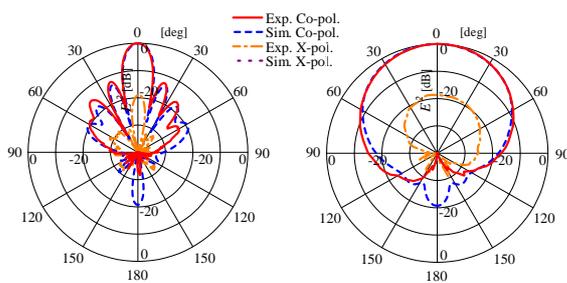


図 8 6素子定在波励振アレーアンテナの利得特性



(a) E面 (b) H面  
図 9 6素子定在波励振アレーアンテナの放射パターン

(4) 次に、進行波励振アレーの設計を行った。図 10 に設計された進行波励振アレーアンテナの構造図を示す。末端を短絡した導波管広壁面のスロット上に誘電体基板を置き、マイクロストリップラインで接続された 2 素子のマイクロストリップアンテナが複数配列される。ここではスロットを 8 個とする 16 素子進行波励振アレーアンテナを設計した。一様励振分布となる進行波励振アレーを設計

するために、末端側から数えたサブアレー # $n$  の放射量が  $1/n$  となるように各サブアレーの寸法を決定した。また、給電点での反射を抑制するため、最大放射方向が正面から約  $3^\circ$  傾くようにスロット間隔を 35 mm に設定した。設計された 16 素子進行波励振アレーアンテナの各パラメータを図 10 に示す。図 11 に反射量( $S_{11}$ )の周波数特性を示す。 $S_{11}$  は設計周波数の 11.2 GHz で -20 dB 以下となっており、実測値とシミュレーション値はよく一致している。図 12 に利得の周波数特性を示す。11.2 GHz における利得はシミュレーション値 20.0 dBi に対して、実測値は 17.5 dBi であった。図 13 に 11.2GHz における E 面放射パターンを示す。主偏波についてはシミュレーション値と実測値は良く一致しており、スロットが 1 管内波長間隔で配列されたことにより発生する  $60^\circ$  方向のグレーティングローブは約 -20 dB に抑制されている。以上のことから、設計された進行波励振アレーは良好な特性であることが確認された。

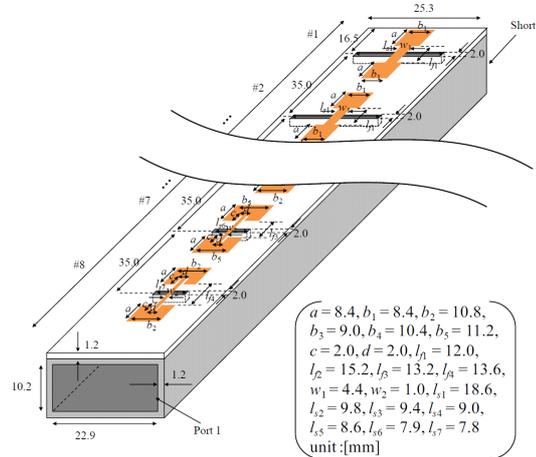


図 10 16素子進行波励振アレーアンテナの構造図

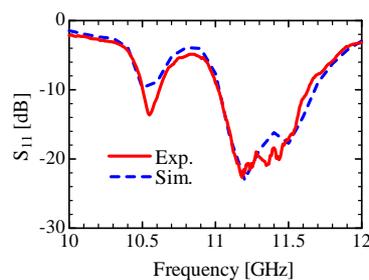


図 11 16素子進行波励振アレーアンテナの反射特性

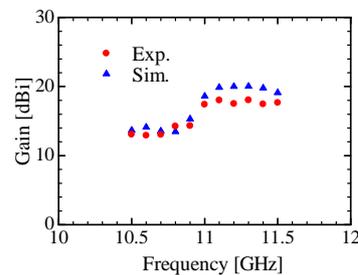


図 12 16素子進行波励振アレーアンテナの利得特性

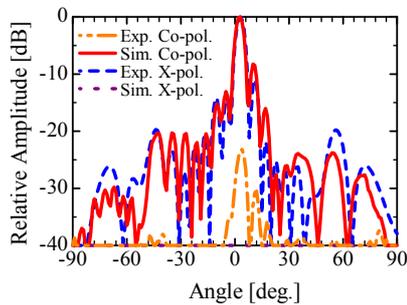


図 13 16 素子進行波励振アレーアンテナの E 面放射パターン

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 30 件)

- (1) 池田 透, 斉藤 作義, 木村 雄一, “リング形素子の片側を短絡した可変リアクタンス素子装荷 2 周波動作一層構造リング形マイクロストリップアンテナの周波数制御に関する一検討,” 2018 年電子情報通信学会総合大会, B-1-37, Mar. 2018. (査読無)
- (2) 島守 真太郎, 斉藤 作義, 木村 雄一, “管軸に垂直な偏波を放射する方形導波管狭壁面上の平面アレーアンテナの定在波励振アレーの設計,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 117, no. 350, AP2017-150, pp. 23-28, Dec. 2017. (査読無)
- (3) T. Ikeda, S. Saito, and Y. Kimura, “A Frequency-Tunable Varactor-Loaded Single-Layer Ring Microstrip Antennas Fed by an L-probe with a Reduced Bias Circuit,” Proc. 2017 Int. Symp. Antennas Propagat. (ISAP2017), 2B3.5, Nov. 2017. (査読有)
- (4) 池田 裕磨, 斉藤 作義, 木村 雄一, “L プローブにより給電されるバラクタ装荷円偏波リング形マイクロストリップアンテナの周波数制御に関する一検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 117, no. 242, AP2017-102, pp. 39-44, Oct. 2017. (査読無)
- (5) 山崎 一晴, 斉藤 作義, 木村 雄一, “斜め 45 度の直線偏波を放射する導波管広壁面上の平面アレーアンテナに関する基礎検討,” 2017 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-107, Sep. 2017. (査読無)
- (6) 島守 真太郎, 斉藤 作義, 木村 雄一, “管軸に垂直な偏波を放射する導波管狭壁面上の平面アレーアンテナの定在波励振設計に関する一検討,” 2017 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-106, Sep. 2017. (査読無)
- (7) 池田 透, 斉藤 作義, 木村 雄一, “バイアス回路を削減した可変リアクタンス素子装荷 2 周波動作一層構造リング形マイクロストリップアンテナの周波数制御に関する一検討,” 2017 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-102, Sep. 2017. (査読無)
- (8) 池田 裕磨, 斉藤 作義, 木村 雄一, “バラクタ装荷円偏波リング形マイクロストリップアンテナの周波数制御に関する基礎検討,” 2017 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-101, Sep. 2017. (査読無)
- (9) S. Sato, S. Saito, and Y. Kimura, “A Frequency-Tunable Dual-Band Multi-Ring Microstrip Antenna Fed by an L-probe with Varactor Diodes,” Proc. 2017 IEEE AP-S Int. Symp., TH-A1.2A.2, pp. 1363-1364, July 2017. (査読有)
- (10) 上村 俊介, 斉藤 作義, 木村 雄一, “15GHz ビーム成形マイクロストリップアレーアンテナの放射特性改善に関する一検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 117, no. 77, AP2017-44, pp. 25-30, June 2017. (査読無)
- (11) 池田 透, 斉藤 作義, 木村 雄一, “バイアス回路を削減したバラクタ装荷一層構造リング形マイクロストリップアンテナの周波数制御に関する一検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 117, no. 31, AP2017-26, pp. 21-26, May 2017. (査読無)
- (12) Y. Kimura, “Frequency-Tunable Multiband Microstrip Antennas Fed by an L-probe with Varactor Diodes,” Proc. 2017 Asian Workshop on Antennas and Propagation (AWAP2017), I-11, p. 127-128, June 2017. (査読無, 招待講演)
- (13) 池田 透, 斉藤 作義, 木村 雄一, “リング形素子の片側を短絡した可変リアクタンス素子装荷一層構造リング形マイクロストリップアンテナの周波数制御に関する一検討,” 2017 年電子情報通信学会総合大会, B-1-95, Mar. 2017. (査読無)
- (14) 島守 真太郎, 斉藤 作義, 木村 雄一, “管軸に垂直な偏波を放射する導波管狭壁面上の平面アレーアンテナの放射素子に関する一検討,” 2017 年電子情報通信学会総合大会, B-1-90, Mar. 2017. (査読無)
- (15) 上村 俊介, 斉藤 作義, 木村 雄一, “15GHz ビーム成形マイクロストリップアレーアンテナの指向性改善に関する一検討,” 2017 年電子情報通信学会総合大会, B-1-89, Mar. 2017. (査読無)
- (16) 木村 雄一, 毛呂晃人, 斉藤 作義, “スタブ装荷リング形マイクロストリップアンテナを用いたリフレクタアレー用素子アンテナに関する基礎検討,” 2017 年電子情報通信学会総合大会, B-1-2, Mar. 2017. (査読無)
- (17) S. Shimamori, S. Saito, and Y. Kimura, “A microstrip antenna array on a narrow wall of a rectangular waveguide for linear polarization perpendicular to the axis,” Proc. 2016 Int. Symp. Antennas Propagat. (ISAP2016), POS1-61, pp. 406-407, Oct.

2016. (査読有)
- (18) T. Ikeda, S. Saito, and Y. Kimura, "A dual-band frequency-tunable varactor-loaded single-layer multi-ring microstrip antenna," Proc. 2016 Int. Symp. Antennas Propagat. (ISAP2016), POS1-4, pp. 293-294, Oct. 2016. (査読有)
- (19) S. Kamimura, S. Saito, Y. Kimura, R. Nagareda, and M. Nakano, "Measurement of 15 GHz beam adjustable microstrip antenna arrays with a variable short stub and with a varactor diode," Proc. 2016 Int. Symp. Antennas Propagat. (ISAP2016), 1F4-3, pp. 110-111, Oct. 2016. (査読有)
- (20) 池田 透, 斉藤 作義, 木村 雄一, "バイアス回路を削減した可変リアクタンス素子装荷一層構造リング形マイクロストリップアンテナの周波数制御に関する基礎検討," 2016年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-100, Sep. 2016. (査読無)
- (21) 池田 透, 館野 華江, 斉藤 作義, 木村 雄一, "バラクタ装荷一層構造多リング形マイクロストリップアンテナの周波数制御に関する一検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 116, no. 218, AP2016-104, pp. 85-90, Sep. 2016. (査読無)
- (22) H. Tateno, S. Saito, and Y. Kimura, "A frequency-tunable varactor-loaded single-layer ring microstrip antenna with a bias circuit on the backside of the ground plane," Proc. 2016 IEEE AP-S Int. Symp., TU-A1.3P.1, pp. 829-830, June 2016. (査読有)
- (23) 木村 雄樹, 斉藤 作義, 木村 雄一, 猪瀬 譲, 萩原 玄, "素子内側のマイクロストリップラインにより放射位相を制御する直線偏波ラジアルライン MSA アレーの設計," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 116, no. 43, AP2016-29, pp. 71-76, May 2016. (査読無)
- (24) 島守 真太郎, 斉藤 作義, 木村 雄一, "管軸に垂直な偏波を放射する導波管狭壁面上の平面アレーアンテナの基礎検討," 2016年電子情報通信学会総合大会, B-1-135, Mar. 2016. (査読無)
- (25) 池田 透, 斉藤 作義, 木村 雄一, "可変リアクタンス素子装荷 2 周波動作一層構造多リング形マイクロストリップアンテナの周波数制御に関する基礎検討," 2016年電子情報通信学会総合大会, B-1-46, Mar. 2016. (査読無)
- (26) 上村 俊介, 斉藤 作義, 木村 雄一, 流田 理一郎, 中野 雅之, "15 GHz におけるビーム成形マイクロストリップアレーアンテナに関する一検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 506, AP2015-218, pp. 81-84, Mar. 2016. (査読無)
- (27) Y. Kimura, F. Nonaka, and S. Saito, "Standing-wave and traveling-wave excitation of a microstrip antenna array fed by transverse slots on a broad wall of the rectangular waveguide for linear polarization parallel to the axis," Proc. 2016 Asian Workshop on Antennas and Propagation (AWAP2016), pp. 11-12, Jan. 2016. (査読無)
- (28) 佐藤 脩平, 斉藤 作義, 木村 雄一, "バラクタ装荷多リング形マイクロストリップアンテナの周波数制御に関する一検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 226, AP2015-80, pp. 5-10, Sep. 2015. (査読無)
- (29) 館野 華江, 斉藤 作義, 木村 雄一, "バイアス回路を基板背面に配置した可変リアクタンス素子装荷一層構造リング形マイクロストリップアンテナの周波数制御に関する一検討," 2015年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-40, Sep. 2015. (査読無)
- (30) S. Sato, S. Saito, and Y. Kimura, "A frequency tunable ring microstrip antenna fed by an L-probe with varactor diodes," Proc. 2015 IEEE AP-S Int. Symp., THP-A1.5A.2, pp. 2409-2410, July 2015. (査読有)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

木村 雄一 (KIMURA, Yuichi)  
 埼玉大学・理工学研究科・准教授  
 研究者番号: 90334151

### (2) 研究協力者

野中 郁彦 (NONAKA, Fumihiko)