



Title	スロット給電FET集積パッチアンテナアレイのビームステアリング
Author(s)	木下, 大輔; 塩見, 英久; 山本, 錠彦
Citation	電子情報通信学会技術研究報告. MW, マイクロ波. 2002, 102(241), p. 7-10
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/51315">https://hdl.handle.net/11094/51315</a>
rights	Copyright©2002IEICE
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## スロット給電FET集積パッチアンテナアレイのビームステアリング

木下大輔<sup>†</sup> 塩見英久<sup>†</sup> 山本錠彦<sup>†</sup>

† 大阪大学大学院基礎工学研究科 〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町1-3

E-mail: †shiom@ee.es.osaka-u.ac.jp

あらまし 近年の大容量データ通信の普及により、指向性通信が必要なミリ波により移動体通信を実現する要求が高まっており、ミリ波フェーズドアレイアンテナの研究が盛んにおこなわれている。なかでも、アクティブアレイアンテナによるミリ波フェーズドアレイアンテナは広く研究され、高効率なミリ波発振源として確立されつつある。本報告では、通信用のアクティブアレイアンテナに関する基礎検討を行う為の準備段階として、参照信号をスロットにより電磁給電されたFET集積パッチアンテナアレイについて実験的に検討した。素子間隔  $2\lambda_0/2$  素子アクティブアレイアンテナを試作し、発振周波数 10.5GHz で発振した。また、注入信号を入力することで約 5[deg] のビームチルト角が得られた。

**キーワード** FET集積パッチアンテナ、アクティブアレイアンテナ、アクティブ集積アンテナ、ビームステアリング、注入同期

## Beamsteering of FET Integrated Patch Antenna Array with Slot Feeder

Daisuke KINOSHITA<sup>†</sup>, Hidehisa SHIOMI<sup>†</sup>, and Sadahiko YAMAMOTO<sup>†</sup>

† Osaka University Graduate School of Engineering Science Machikaneyama-cho 1-3, Toyonaka, Osaka 560-8531, Japan

E-mail: †shiom@ee.es.osaka-u.ac.jp

**Abstract** Recently, the needs of the wireless broad band communication using the millimeter-wave. In order to realize the millimeter-wave mobile communication system, the many research of the millimeter-wave phased array was carried out. The phased array using the active array antenna at millimeter-wave frequency was established for the high efficiency millimeter-wave power source. In this report, the prototype of the active array antenna for the communication was fabricated and measured. The array antenna was composed by the FET integrated patch antenna standing in a line. In order to realize the phase locking, the slot aperture with feeding line for the reference signal was arranged on the reverse side of the patch antenna. The fabricated two element array antenna with the element distance of the  $2\lambda_0$  was oscillated at 10.5GHz and was obtained the beam tilt angle of 5 degrees.

**Key words** FET Integrated Antenna, Active Array Antenna, Active Integrated Antenna, Beam Steering, Injection Locking

### 1. はじめに

近年、大容量データ通信の普及により、移動体通信回線の大容量化が求められており、搬送波周波数の高周波化が進められている。特に、大きな周波数帯域をもつミリ波帯を移動体通信に用いる要求は高いが、自由空間伝搬損失が大きいため、数十メートルの距離の通信においても、高利得アンテナによる指向性通信が必要であり、自在に最大利得方向を変化することができるミリ波フェーズドアレイアンテナの実現が望まれている。

ミリ波帯フェーズドアレイアンテナの構成方法にアクティブアレイアンテナがある。フェーズドアレイを構成する為の様々

な素子はミリ波帯において大きな損失があるのでこれを極力排除するため、発振位相を制御できるミリ波発振源を要素アンテナに用意する方式であり空間電力合成の分野で広く研究されている。<sup>[1]～[3]</sup> しかしながら、アクティブアレイアンテナの通信応用に関しては限定的に応用が試みられている段階で、必ずしも充分な検討が為されているとは言えない。

本報告では、ミリ波通信用アクティブアレイアンテナの検討の準備として、典型的なX帯 FET集積アクティブアレイアンテナを試作し、その基本特性を実験的に調べた。アンテナ素子間隔を考慮して、要素アンテナには FETを集積したパッチアンテナ<sup>[1]</sup>を用いた。また、通信用途に供することを考慮し、

外部発振器から各発振器に参照信号を注入する方法をとり、その際、給電回路をパッチアンテナの裏面に設けることにより、給電回路がアレイアンテナの要素配列を妨げない構成にした。まず、典型的なアクティブアレイアンテナの原理を簡単に説明し、試作した要素アンテナの特性、アレイアンテナの特性を示す。アレイアンテナの特性から、注入同期時に発振器の発振位相が幾らであるか見積もった。

## 2. 原理

本報告で検討するアクティピアレイアンテナの構成を図3.に示す。複数の要素アンテナに接続された同数の電圧制御発振器に、信号源から分配された参照信号を給電線により注入するアクティピアレイアンテナである。要素アンテナに接続された発振器により発生したマイクロ波は要素アンテナから放射され、発振器の発振位相により放射界が変化する。このときの発振位相は、発振器の自励発振周波数と参照信号の周波数、及び発振器のQ値によって決定される。したがって、発振器の発振周波数制御電圧により発振位相を制御し、任意の放射界を形成することができる。この型のアクティピアレイアンテナは古くからよく検討されているが、他の型のアクティピアレイアンテナと比較して動作が比較的単純で、アクティピアレイアンテナの基本動作の検討に適している。

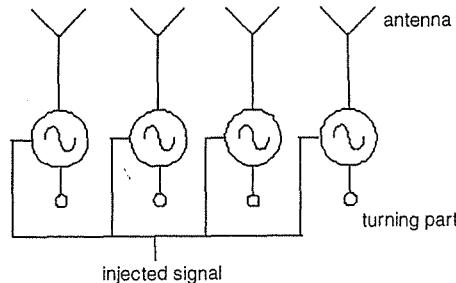


図1 注入同期された発振器を用いたアクティブアレイアンテナ

### 3. 構成

試作した要素アンテナの構成を図3.に示す。発振波長の1/4程度の長さのパッチがE面方向に接近して配置され、中央にFETが装荷された。FETのドレイン端子は一方のパッチへ、ソースおよびゲート端子はいま一方のパッチへ接続された。ゲート及びソース端子に接続されたパッチは、低域通過フィルタの役割を果たす高インピーダンスの線路で直流接地された。また、ドレイン端子に接続されたパッチは、バイアス回路を介して直流電圧源に接続された。パッチの背面には参照信号を注入するためのスロットを介して給電線が設けられた。給電線はスロットと磁界結合するよう1/4波長開放タブで終端された。

直流電圧源を用いてバイアス電圧をかけると、ソースに接続されたパッチによる直列帰還による正帰還により FET が不安定になり発振する。自走発振角周波数  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  はゲート及びドレインに接続されたパッチのなすリアクタンスにより決定される。パッチはアンテナとしても機能するため、発生したマイク

口波は空間に放射される。注入信号源より発生した参照信号は、スロットにより電磁結合された給電線を通って要素アンテナに注入され、その発振周波数に同期する。

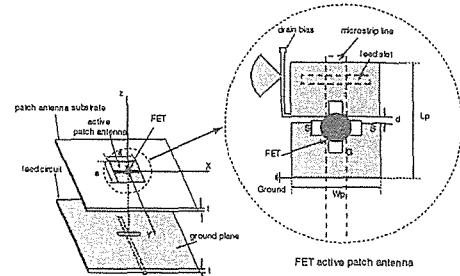


図 2 FET を集積したパッチアンテナ (要素アンテナ)

試作したアクティブアンテナは、図3.の測定系により測定された。電波暗室内にポリプロピレン棒を5mの間隔をおいて鉛直に設置し、一方の棒は回転台上に設置した。回転台上に設置した棒の上部に供試アンテナを固定し、いま一方の棒の上部にはスペクトラムアナライザに接続した標準ホーンを固定した。供試アンテナには、細い銅線を介して接続された定電圧源により直流電源を供給し、同軸線路を通して接続されたシンセサイザにより参照信号を供給した。

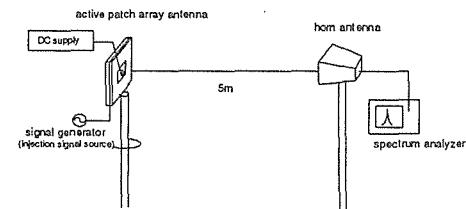


図3 アクティイブアンテナの測定系

図3.の測定系において、供試アンテナに図3.の要素アンテナを用い、アンテナを正面方向に向け、直流電圧のみを供給した。このとき、スペクトラムアナライザに図3.に示すスペクトルが得られた。発振信号の周波数は10.5GHz、受信電力は-40.19dBmであった。

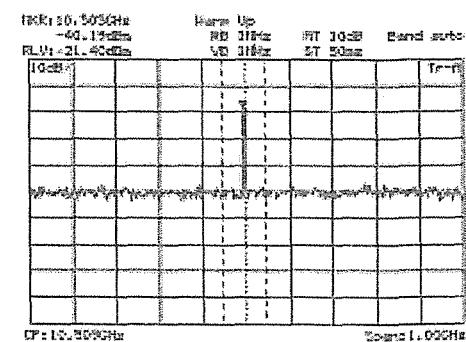


図4 要素アンテナの発振スペクトル

バイアス電圧を変化すると、FET 内部のリアクタンスによる定常発振条件が変化するため、発振周波数が変化する。**要**

要素アンテナの発振周波数とバイアス電圧の関係を図3.に示す。バイアス電圧が1.25Vから2.25Vの間の区間では、バイアス電圧に対して発振周波数がほぼ線形に減少しており、最大周波数は10.68GHz、最小周波数は10.45GHzであり、調整幅は約230MHzであった。

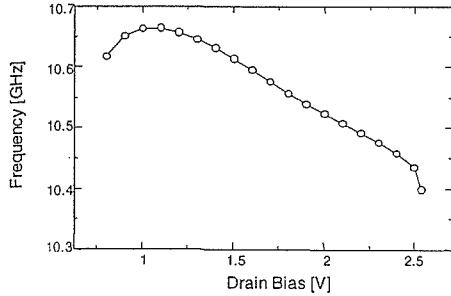


図5 バイアス電圧による発振周波数の調整幅

要素アンテナのE面放射界とH面放射界をそれぞれ図3.、3.に示す。破線はパッチアンテナの磁流源モデルにより求められた計算値、実線が測定値を、一点鎖線が直交偏波成分を表す。E面、H面共に直交偏波成分が15dB未満に抑えられている。また、計算値および測定値が共によく一致することを確認した。測定値が角度により1dB程度変動しているのは、基板の端効果によると考えられる。

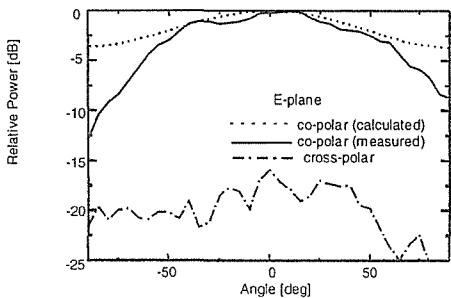


図6 要素アンテナのE面遠方界

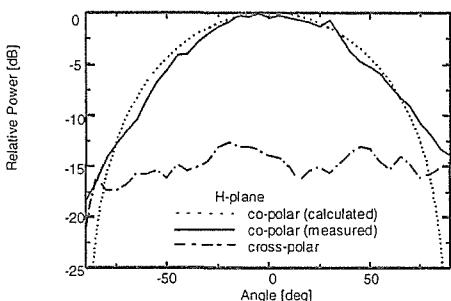


図7 要素アンテナのH面遠方界

試作したアレイアンテナの構成を図3.に示す。FET発振器を集積した2素子の要素アンテナがH面方向に並べて配置された。参照信号源に接続された給電線が、分配回路を介してそれぞれの要素アンテナの背面に配置された。また、給電線とア

ンテナとの間に小さなスロットが設けられた。

それぞれの要素アンテナは角周波数 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ で自走発振し、マイクロ波を空間に放射する。給電線へ注入信号源から同相分配された角周波数 $\omega_0$ の参照信号を入力すると、要素アンテナは共に信号に注入同期され、 $\omega_0$ の周波数で発振を始める。このときの要素アンテナの発振信号の発振位相 $\Delta\phi$ は自励発振周波数と参照信号周波数の差及び発振器のQ値によって定められる。空間に放射されたマイクロ波はアンテナの正面方向から角度 $\theta = \sin^{-1} \Delta\phi / kd$ の方向に放射される。ここで、 $d$ は要素アンテナ間隔、 $k = 2\pi/\lambda$ は放射されるマイクロ波の波数である。

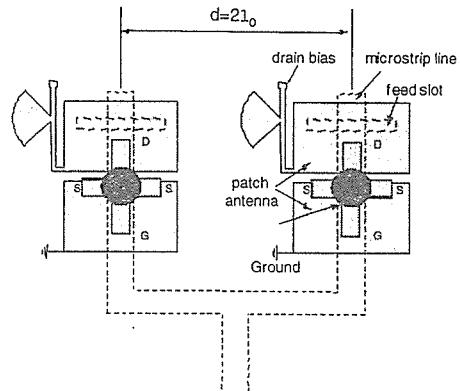


図8 パッチによるアクティブアレイアンテナの構成

まず、要素アンテナがそれぞれ同一周波数で発振するようにバイアス電圧を調整したアレイアンテナの放射界を測定した。このとき、要素アンテナに内蔵された発振器が放射による電磁結合により相互に注入同期することが確認された。発振器の相互注入同期の影響が大きすぎると、給電線より注入される参照信号との注入同期に影響すると考えられるので、参照信号への注入同期に影響を与えない距離を実験的に検討したところ、本アンテナでは $2\lambda_0$ 程度の素子間隔を与えることで相互注入同期の影響を充分小さくすることができた。 $2\lambda_0$ 程度の間隔で要素アンテナを並べた2素子アクティブアレイアンテナのE面放射界を図3.に示す。破線はE面方向にアンテナ間隔 $2\lambda_0$ で配置され、同相等振幅で励振された2素子パッチアレイアンテナのE面放射界の計算値を示し、実線は試作したアクティブアレイアンテナの測定値を示す。実線と破線を比較するとよく一致する。すなわち、アクティブアレイアンテナがほぼ同相等振幅で発振していることがわかる。

要素アンテナを参照信号で注入同期することで、要素アンテナが共に参照信号の周波数で発振し、その発振位相は参照信号と自励発振周波数との差および発振器のQ値により決定される。要素アンテナの自励発振周波数と参照信号の差によって要素アンテナ間に発振位相が生じ、最大放射方向が左右に偏移する。図3.は、試作したアクティブアレイアンテナの給電線から参照信号を注入した結果である。実線が参照信号を注入していない時のE面放射界、破線は参照信号を注入した時のE面放射界である。破線と実線を比較すると、参照信号を注入することで最大放射方向が正の方向に約5[deg]偏移したことがわか

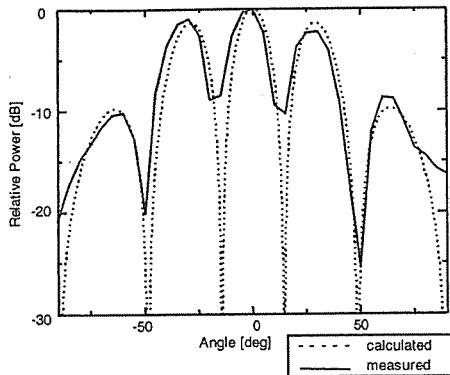


図 9 2 素子アクティブアレイアンテナのE面放射界

る。これは、参照信号を注入することによって要素アンテナ間に発振位相が生じた為である。

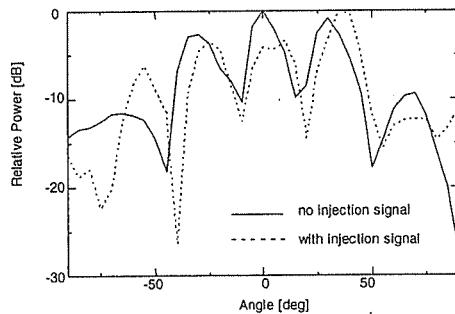


図 10 注入同期された2素子アクティブアレイアンテナのE面放射界

どの程度発振位相差が生じたか検討するため、要素アンテナ間の位相をパラメータとして図3.で求めたのと同様の方法で、2素子パッチアレイアンテナの放射界を計算して測定値と比較した。測定値と計算値が最も一致する位相は78.89[deg]であった。位相78.89[deg]の時の放射界の計算値と、注入同期時のアクティブアンテナの放射界を図3.に示す。実線が計算値、破線が測定値を示す。実線と破線がよく一致しており、試作したアクティブアンテナに参照信号を注入することで発振位相が約78.89[deg]発生したと考えられる。したがって、試作したアクティブアレイアンテナによって、発振位相約80[deg]に対して約5[deg]の放射方向の偏移が得られた。アンテナ間隔を狭めることによりさらに放射方向を大きくすることが可能であり、一般的なアレイアンテナの要素アンテナ間隔 $\lambda_0/2$ では、約20[deg]最大放射方向が偏移することが期待される。また、バイアス条件をより適切に設定することによりさらに大きな発振位相を与えることが可能である。

#### 4. ま と め

通信用アクティブアンテナ検討の準備として、スロットにより参照信号を注入するFET集積パッチアンテナを用いた2素子アクティブアレイアンテナを試作、測定をおこなった。試作した要素アンテナは10.5GHzで発振し、バイアス電圧による発振周波数制御範囲は約230MHzであった。2素子アレイアン

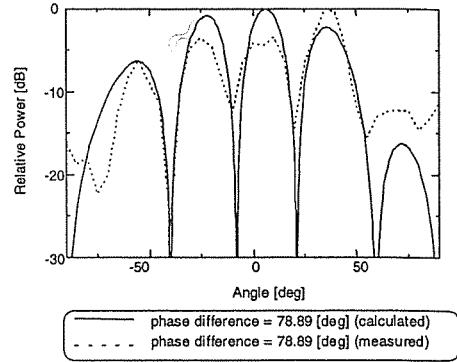


図 11 注入同期された2素子アクティブアレイアンテナのE面放射界の測定値及び計算値

テナを構成するにあたって、参照信号への注入同期が要素アンテナ同士の電磁結合に影響されることがわかり、アンテナ間隔を約 $2\lambda_0$ 設けることによって影響を低減することができた。参照信号により注入同期することで、試作した2素子アクティブアレイアンテナの主放射方向は約5[deg]変化した。このとき発振位相は約80[deg]であり、アンテナ間隔が仮に $\lambda_0/2$ だった場合、約20[deg]の主放射方向の変化が得られると考えられる。本報告の結果は、通信用アクティブアレイアンテナの検討に有用である。

#### 文 献

- [1] R.A. York, R.D. Martinez, R.C. Compton, "Active Patch Antenna Element for Array Applications," *Electronics Letters*, Vol.26, No.7, pp.494-495, 1990.
- [2] R.A. York, T. Itoh, "Injection- and Phase-Locking Techniques for Beam Control," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, Vol.46, No.11, pp.1920-1929, 1998.
- [3] S. Kawasaki, "High Efficient Spatial Power Combining Utilizing Active Integrated Antenna Technique," *IEICE Trans. Electron.*, Vol.E80-C, No.6, pp.800-805, 1997.