



Title	デュアルフィードパッチによるアクティブフェーズドアレイアンテナ
Author(s)	森榮, 真一; 塩見, 英久; 岡村, 康行
Citation	信学技報. 2008, SPS2007(11), p. 5-10
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/51285
rights	Copyright©2008IEICE
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

デュアルフィードパッチによるアクティブフェーズドアレイアンテナ

森榮 真一[†] 塩見 英久[†] 岡村 康行[†]

[†] 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: [†]morisaka@ec.ee.es.osaka-u.ac.jp, ^{††}{shiomio,okamura}@ee.es.osaka-u.ac.jp

あらまし アクティブフェーズドアレイアンテナの試作と特性の評価を行った。発振器を結合させ、両側から強制信号を注入し、発振器の同期現象を利用し、各発振器の励振位相を制御するアクティブフェーズドアレイアンテナである。本論分では、デュアルフィードパッチアンテナを介して各発振器を結合させるアクティブフェーズドアレイアンテナを提案した。パッチアンテナは放射器としても動作する。提案するアンテナは、2.665GHz で動作した。強制信号に 29 度の位相差を与えたところ、1.2 度のビーム走査を確認できた。

キーワード アクティブアレイアンテナ, デュアルフィードパッチ

Active Fased Array Antenna by Dual Feed Patch Antenna

Shinnichi MORISAKA[†], Hidehisa SHIOMI[†], and Yasuyuki OKAMURA[†]

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

E-mail: [†]morisaka@ec.ee.es.osaka-u.ac.jp, ^{††}{shiomio,okamura}@ee.es.osaka-u.ac.jp

Abstract This paper describes fabrication of Active Fased Array Antenna and evaluation of characteristic. That antenna is active fased array antenna that consist of copled oscillator, injected signal, and controll each oscillator's phase by utilization of synchronize phenomenoma. In this paper, fased array antenna that consist of oscillator coupled by dual-feed-patch-antenna is proposed. Patch antenna works as also radiator. Proposed antenna worked in 2.665GHz. By 29 degree of fase differnce of injection signal, a direction of main beam tilted 1.2 degree.

Key words ActiveArrayAntenna, DualFeed-PatchAntenna

1. ま え が き

環境への負荷が小さい発電方法として宇宙太陽光発電が注目されている。宇宙太陽光発電では、発電した電力をマイクロ波で地球の受電ポイントに送電する。受電ポイントに対して高精度に送電するために、電子的に高速なビーム走査のできるマイクロ波アンテナが必要とされる。従来のフェーズドアレイアンテナでは、電力分配の際の電力損失が大きくなること、多くの移相器が必要となるという課題があった。

本論分では、アクティブフェーズドアレイアンテナに注目し、電子的にビーム走査が可能なアンテナに取り組む。アレイ化した各アンテナに発振器を取り付け、発振器は伝送線路など適当な方法で結合させ、アレイの両端から強制信号を注入する。強制信号に発振器を同期させることで、各発振器の励振位相の制御を行う。ビーム走査は、両端の強制信号の位相差を变化させることで行う。各アンテナに発振器を取り付けることから電力損失が小さく、また、強制信号の位相差を制御する以外の移相器は不要になるという特徴がある [アクティブアレイアンテナ

の様々な方式を紹介した論文]。

しかしながら、上に挙げた方式では、同期の安定性に課題がある。発振器は能動素子に正帰還をかけて構成される。一方、発振器を伝送線路などで結合させることから、伝送線路や隣の発振器を含んだ複雑な正帰還ループが形成される。この正帰還ループによって、強制信号と異なる信号が生成される、同期が不安定になりやすい。[同期現象を利用したアンテナの課題について書いた論文]。

本論分では、安定した同期が得られるように、デュアルフィードパッチアンテナを介して各発振器を結合させたアクティブフェーズドアレイアンテナを提案する。

以下、提案するアクティブフェーズドアレイアンテナの構造と動作原理について述べる。また、提案するアンテナの動作を確認するために F D T D 法とオイラー法の連成計算によるシミュレーションを行った。シミュレーションについて述べる。最後に、アクティブフェーズドアレイアンテナの試作と特性評価について述べる。

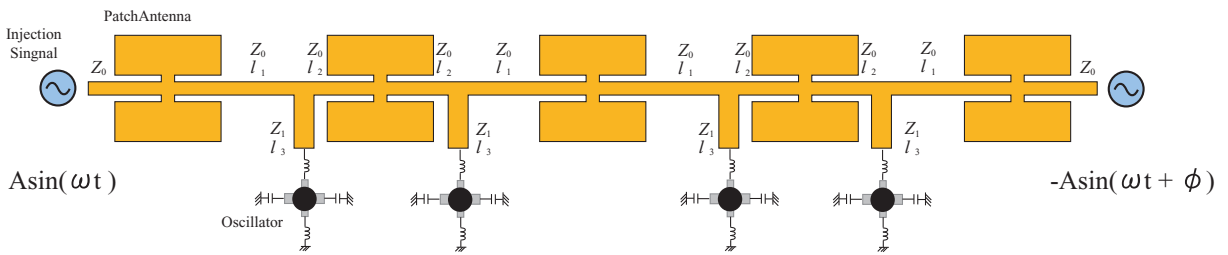


図1 提案するアクティブフェーズドアレイアンテナの構造
Fig.1 Structure of proposed active phased array antenna

2. 提案する構造・動作原理

2.1 提案するアクティブフェーズドアレイアンテナの構造

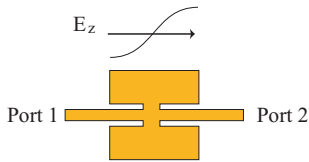


図2 デュアルフィードパッチアンテナ
Fig.2 dual-feed patch antenna

図1に提案するアクティブフェーズドアレイアンテナの構造を示す。発振器はデュアルフィードパッチアンテナを介して結合されている。両端からほぼ逆位相の強制信号を注入する。強制信号の位相差によってビームの方向を制御する。

発振器は、FETで構成し、直列帰還型の発振器とした。

デュアルフィードパッチアンテナは、図2のようにパッチアンテナのE面方向の対称な位置に2つの給電ポートを設けたパッチアンテナである。デュアルフィードパッチアンテナの共振モードの電界分布から、二つの給電ポートの電圧は逆位相になる。また、入力インピーダンスが50オームになるように、給電位置をパッチの内側ヘインセットしている。

マイクロストリップラインのパラメータは表1の通りである。パッチアンテナ間はパッチアンテナと整合するように特性イン

表1 マイクロストリップラインのパラメータ
Table 1 Parameter of Micro Strip Line

Z_0, Z_1	50, 25
l_1, l_2, l_3	$3\lambda_g/4, \lambda_g/4, \lambda_g/2$

ピーダンス50のマイクロストリップ線路で接続され、その長さ λ_g である。パッチアンテナ間のマイクロストリップラインを1:3に内分する位置から、 $\lambda_g/2$ のマイクロストリップラインが分岐し、その端に発振器が接続されている。後で述べるが、分岐点Aから見込んだ入力インピーダンスは25になる。 $\lambda_g/2$ のマイクロストリップラインの特性インピーダンスを25としている。

強制信号のパワーは、各発振器の出力の半分としている。

2.2 提案するアクティブフェーズドアレイアンテナの動作原理

2.2.1 同期の安定性

アクティブフェーズドアレイアンテナでは、同期の安定性に課題がある。発振器は能動素子に正帰還をかけて構成される。一方、発振器を伝送線路などで結合させることから、伝送線路や隣の発振器を含んだ複雑な正帰還ループが形成される。この正帰還ループによって、強制信号と異なる信号が生成され、同期が不安定になりやすい。本論文では、デュアルフィードパッチアンテナを介して発振器を接続することで、安定な同期動作の実現を狙った。

デュアルフィードパッチアンテナは放射系であるから、放射抵抗をもつ。二つのポートに流れ込む電流の周波数差・位相差によって、放射抵抗が変化する。詳しくは後で述べるが、所望の発振位相では、発振器から見込んだインピーダンスは25Ωである。仮に、強制信号の隣の発振器で強制信号と異なった信号が生成されたとき、その信号に対する抵抗は25Ωとは異なった値になる。このために、その信号に対する正帰還ループは弱まり、その信号が減衰・抑圧されることが期待できる。強制信号の隣の発振器からは、強制信号に同期したコヒーレントな正弦波が生成される。すると、強制信号の隣の隣の発振器からも、強制信号に同期したコヒーレントな正弦波が生成される。結果、安定した同期動作をすることが考えられる。

2.2.2 同期時の位相分布

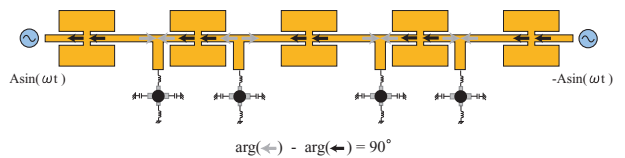


図3 $\phi=0$ での電流分布
Fig.3 Current distribution when $\phi=0$

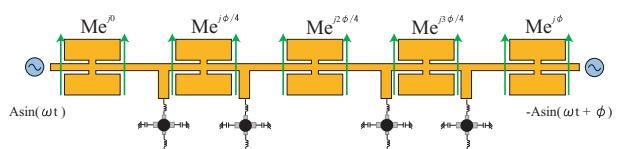


図4 フェーズドアレイ
Fig.4 phased array

強制信号に同期したときの各発振器の発振位相について述

べる。

逆位相の強制信号を注入した場合の各発振器の発振位相について述べる。デュアルフィードパッチアンテナの両側のポートが逆位相になること、また $l_1 - l_2 = \lambda_g/2$ であることから、各発振器が強制信号に同期した際の電流分布は図3のようになる。このとき、パッチの解放端には、等振幅・等位相の等価磁流源があらわれ、正面方向にビームが形成される。マイクロストリップラインの分岐点から見込んだインピーダンスは25オームになる。また、発振器から見込んだ入力インピーダンスも25になる。

次に、図4のように強制信号の位相差を逆位相から ϕ ずらした場合について述べる。強制信号の位相差を ϕ ずらすことで、位相のずれが各発振器に均等に分配される。そのとき、等価磁流源の位相が、図のように均等にずれ、ビームがチルトする。

3. シミュレーション

3.1 シミュレーション手法

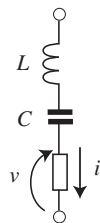


図6 VDP
Fig.6 VDP

アクティブアレイアンテナは非線形のデバイスを含むため、時間領域でのシミュレーションが適当であると考えられる。図5にシミュレーションモデルを示す。パッチアンテナについては、Maxwellの方程式を時間領域で解析できるFDTD法[FDTDの論文]でシミュレーションを行った。マイクロストリップラインと、発振器については、回路網方程式を解析できるオイラー法で行った。FDTD法とオイラー法は電流源法によって結合させ、連成計算を行った。マイクロストリップラインはFDTD法でシミュレーションするより、オイラー法でシミュレーションするほうが、FDTD法でのセル数を減らすことができ、シミュレーションの際の計算機への付加を減らすことができる。

パッチアンテナへの給電ポートは、グラウンドのすぐ上にギャップを設けデルタギャップ給電としている。ギャップとパッチは完全導体の線で接続している。完全導体の線で接続することで、付加リアクタンスが現れる。付加リアクタンスを打ち消すために直列に、キャパシタを挿入している。FETの直列帰還型の発振器は、図6に示すような直列型VDPの等価回路で置き換えている。VDP発振器の*i-v*特性はであらわされる。

$$v = -R_1 i + R_3 i^3 \quad (1)$$

各パラメータは表2のように定めた。基盤の誘電率と基板の厚み、パッチアンテナの寸法・間隔は試作アレイアンテナと同じにしてある。なお、基板の導電率は、実際に使用するガラス

エポキシ基板の誘電損失・導体損に相当する。表2の基板パラメータとパッチ寸法で、パッチアンテナ単独でシミュレーションしたところ、パッチアンテナの共振周波数は2.3865GHzとなった。パッチアンテナの共振周波数に合わせて、VDP発振器の発振周波数と強制信号の周波数を2.3865GHzとしている。また、VDP発振器の25付加での飽和電圧は456.4Vである。強制信号の電圧は、VDPの電圧の2倍の912.8Vとしている。

表2 各パラメータ

Table 2 Parameter of array antenna

基板の比誘電率	4.8
基板の導電率	$1.3 \times 10^{-6} \text{ S/m}$
基板の厚み	0.8mm
パッチの一边	28.00mm
パッチの間隔	46.34mm
VDPの発振周波数	2.363GHz
VDPの $\frac{L}{C}$	2.25×10^6
R_1	50.0
R_3	0.1
強制信号の周波数・振幅	2.3865GHz 912.8 V

3.2 シミュレーション結果

VDP発振器の初期電圧を0Vとして、シミュレーションを行った。強制信号の位相差 ϕ は0.0°および、40.1°で行った。初期状態から100ns前後で、定常状態に達してマルチモード発振のないコヒーレントな、正弦波が得られた。定常状態での、各ポートの電圧・位相分布を図8図9に示す。若干の分布の乱れは見られるが、各ポートがほぼ等振幅で、フェーズドアレイ動作に必要な位相分布が得られたことがわかる。分布の乱れは、パッチアンテナ間の電磁結合のためだと考えられる。電磁結合によってリアクタンス成分が現れ、そのために振幅・位相の分布が乱れたと考えられる。



図7 パッチアンテナのポート番号

Fig.7 Number of port of patch antenna

4. アレイアンテナの試作・特性評価

4.1 発振器の作製・特性の評価

作製した発振器・測定系を図10に示す。アクティブフェーズドアレイアンテナが原理で述べた所望の動作をするとき、発振器の負荷は25になる。25負荷での特性を測定できるように、図10のような測定系を組んだ。ドレインの出力ポートには特性インピーダンス25のマイクロストリップラインを接続し、その先で50のマイクロストリップライン2本に分岐する。分岐した先は、それぞれ、50のダミーロード、スペクトルアナライザとなる。ゲートバイアスを0.0V、ドレインバイアスを変化させたときのスペクトルアナライザで測定されたパワーを示す。実際の発振器のパワーは図11のグラフ+3.01dBである。発振周波数はドレインバイアスを変化させてもほとんど変化せず $2.597\text{GHz} \pm 1\text{MHz}$ であった。

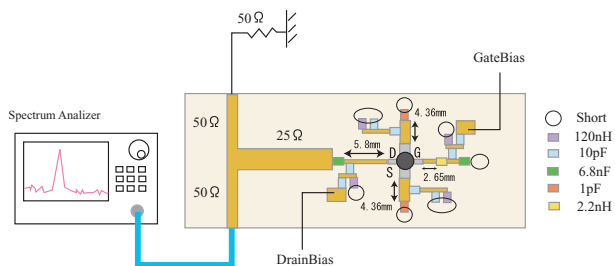


図 10 発振器
Fig. 10 Oscillator

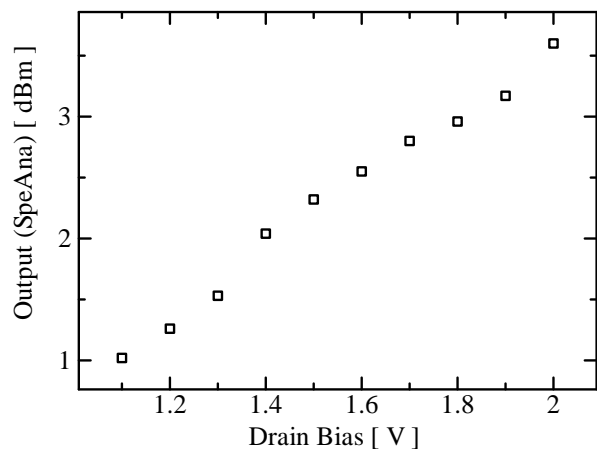


図 11 発振器の出力
Fig. 11 Output of oscillator

タの出力をパワーデバイダで分配し、片方には電気長 $180^\circ + \phi$ の同軸線路を挿入し、位相差をつけている。発振器の発振周波数 2.6GHz に合わせて、パッチアンテナの共振周波数が 2.6GHz になるようにパッチの寸法を調整した。また、マイクロストリップラインについても同様に長さを決定した。なお、試作アンテナとシミュレーションとで、パッチの寸法を 28.0mm にそろえているが、パッチの共振周波数が若干ずれている。これは、使用したガラスエポキシ基板の比誘電率の誤差のためだと考えられる。

4.3 アレイアンテナの放射パターン

各発振器に供給するゲートバイアスは 0.0V、ドレインバイアスは 1.33V とした。ドレインバイアスを 1.33V としたときの、発振器の出力は図 11 の測定結果から 4.6dBm であるから、両側から注入する強制信号のパワーは 1.6dBm とした。アンテナから放射されるマイクロ波のスペクトルをスペクトルアナライザで観測しながらシグナルジェネレータの周波数の調整を行った。シグナルジェネレータの周波数を 2.665GHz としたときに、スペクトルが 1 本になり同期した。設計周波数の 2.6GHz より若干ずれたが、これは使用したチップ部品の誤差や基板の寸法誤差のためだと考えられる。

位相差を 0° および、 29° としたときの、放射パターンを図 13 に示す。また、正面方向付近の拡大図を図 14 に示す。強制信号に 29° の位相差を与えることで、 1.2° 主ビーム方向が変化した。

図 13 の放射パターンを理論値と比較する。パッチの開放端

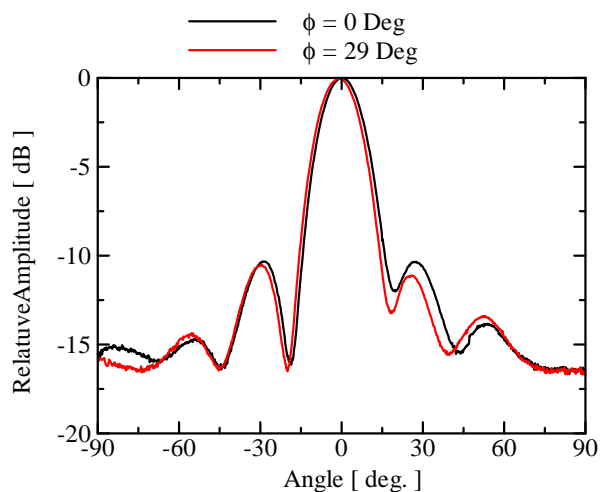


図 13 放射パターン
Fig. 13 Radiation Pattern

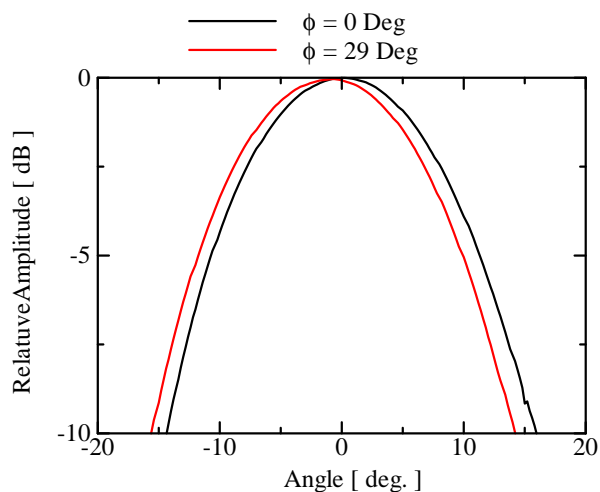


図 14 放射パターン-正面近傍
Fig. 14 Radiation Pattern - near boreside

には図 4 のように 10 本の等価磁流源が並んでいる。この等価磁流源から計算される放射パターン理論値と実測値の比較を図 15 図 16 に示す。理論値は点線で、実測は実線で示している。なお、ビームのチルト角の理論値は 1.85° であるが、実測では 1.2° と小さくなった。これは、シミュレーション結果と同様に、パッチの励振位相に乱れがあり、そのためチルト角が小さくなったと考えられる。

5. まとめ

デュアルフィードパッチアンテナで各発振器を結合したアクティブフェーズドアレイアンテナを提案した。提案するアンテナは、シミュレーションの結果、安定した同期が得られること、各パッチが等振幅で励振されること、フェーズドアレイ動作に必要な位相勾配が得られることが確認できた。また、試作アンテナの特性評価の結果、安定した同期が得られること、放射パターンが理論値とよく一致することを確認した。強制信号に位相差を与えることで 1.2° のビーム走査を確認できた。

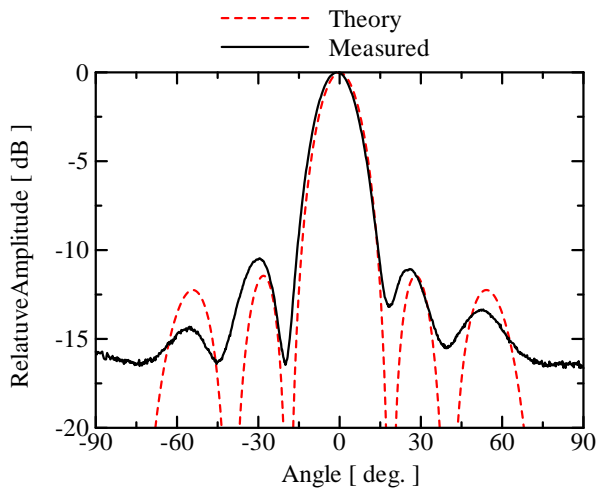


図 15 理論値との比較- $\phi=0\text{deg}$
 Fig. 15 compare with theory- $\phi=0\text{deg}$

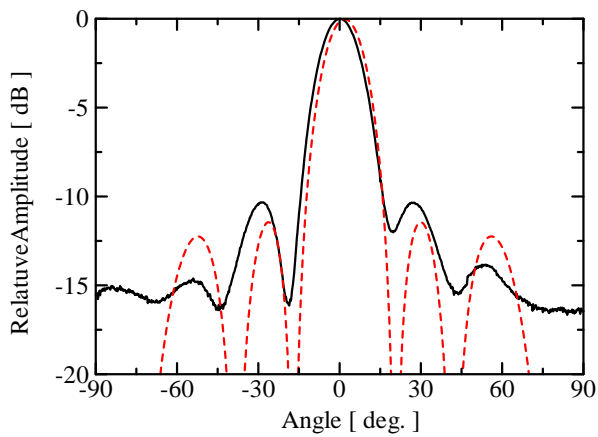


図 16 理論値との比較- $\phi=29\text{deg}$
 Fig. 16 compare with theory- $\phi=29\text{deg}$

謝 辞

本論文の数値計算は京大生存圏研究所の共同利用研究プロジェクトとして電波科学計算機実験装置(KDK)を用いて行われました。研究のサポートを頂いた研究所の方々に感謝いたします。

文 献

- [1] 宇野亨, "FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析", コロナ社, 1998.
- [2] 羽石操 他, "小型・平面アンテナ", 電子情報通信学会, 1996.