

## **A Design Method of a Laminated Active Integrated Amplifier Antenna Array**

Hiroyuki Hayakawa, Yoshiharu Kido, Yuki Yoshida, Shigeo Kawasaki, <sup>†</sup>Tadashi Takano,  
<sup>†</sup>Susumu Sasaki, <sup>†</sup>Makoto Nagatomo, <sup>†</sup>Yoshihiro Naruo

Tokai University  
Department of Communications Engineering  
1117 Kita-kaname, Hiratsuka, Kanagawa 159-1292 Japan  
Phone: +81-463-58-1211 / Fax: +81-463-58-8320  
E-mail: kawasaki@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

<sup>†</sup>The Institute of Space Astronautical Science  
3-1-1, Yoshinodai Sagamihara, 229-5810 Kanagawa Japan  
Phone: 0427-51-3911 / Fax: 0427-59-4255  
E-mail: ttakano@radionet.isas.ac.jp

### **Abstract**

Among important problems for the solar power satellite in the SPS2000 project, a payload problem is significant. In order to cope with this problem, the spacetenna is required to satisfy light-weight and multifunctions. As one of the antenna techniques to realize these requirements, an application of the active integrated antenna technique has been proposed.

The feature of this technique is to incorporate a planar antenna with a planar circuit. Utilizing this compactness, the reduction of power loss between the planar circuit and the planar antenna is improved. Further, in order to realize the down-sizing of radar system, each function of the active integrated antenna was proposed to be laminated such as functional layers of oscillator, amplifier, and mixer. In the laminated and functional layer fashion, the weight reduction and the multifunctions are expected to be realized.

In this report, a fundamental configuration of the laminated active integrated amplifier antenna is introduced, and the design method of the stratified layers optimized by using an electromagnetic simulator is described. Based on the design method described here, the configuration of the active integrated amplifier antenna adopted two-stage FET amplifier is shown for increasing the radiation power. Furthermore, experimental results of fabricated active integrated amplifier antenna array were discussed.

## 積層型アクティブ集積アンテナアレイの設計法

早川宏之、木戸善晴、吉田雄輝、川崎繁男、<sup>†</sup>高野忠、<sup>†</sup>佐々木進、  
<sup>†</sup>長友信人、<sup>†</sup>成尾芳博

東海大学工学部通信工学科  
〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117  
Phone: 0463-58-1211 / Fax: 0463-58-8320  
E-mail: kawasaki@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

<sup>†</sup>文部省宇宙科学研究所  
〒229-8510 神奈川県相模原市由野台  
3-1-1  
Phone: 0427-51-3911 / Fax: 0427-59-4255  
E-mail: ttakano@radionet.isas.ac.jp

### 1. 序論

SPS2000 計画における太陽発電衛星の重要な問題の1つにペイロード問題が挙げられる[1]。この問題を解決するために、衛星の送電アンテナ部は小型・軽量・多機能等の要求を満たす必要があり、このような要求を満足するアンテナ技術の1つとして、擬光学技術を用いたアクティブ集積アンテナ技術が挙げられる。このアクティブ集積アンテナ技術は、能動素子を含む平面回路と平面アンテナを一体化した構造を有しているため、伝送損の低減や小型化を容易に実現できる特徴がある。さらに本研究では、発振器、増幅器、ミキサ等の機能を持った平面回路の積層化を達成することにより、限られた面積の中で多機能化を実現する機能層を提案した[2]-[4]。

本報告では、積層型のアクティブ集積アンテナの設計法について述べ、アクティブ集積アンテナにおける積層構造の設計方針を示すために、電磁界シミュレータを用いて各層の組み合わせを解析し、アンテナ形状を最適化した結果について説明する。最後に試作・測定したアンテナの特性について検討を行った。ここではさらに、積層型アクティブ集積アンテナの電力を増加するために、二段の FET 増幅器を用いたユニットセルの測定結果を追加した。

### 2. 設計法

#### 2.1 ユニットセルの構成

図 1 に本研究で用いた積層型アクティブ集積アンテナのユニットセルの

構造図を示す。このアンテナは、FET 増幅器を有する増幅器層、2つのスロット開口面からなる結合層、パッチアンテナで構成される放射層の三層構造で形成されている。まず、増幅器層より入力された 2.45GHz のマイクロ波基準信号は中央の共振器パッチにおいてフィルタリングされ、回路内のループに配置された増幅器によって増幅された後、偏波が切換えられ、再び中央の共振器パッチに電力が供給される。増幅された増幅層の電力は結合層の 2つのスロット開口面によって、信号は放射層に結合され、パッチアンテナが励振される。

FET 増幅器の設計においては、FET のゲート及びドレイン側にマッチング用のオープンスタブをそれぞれ設けてあり、FET のゲート側に安定化用に  $150\Omega$  の抵抗を並列に挿入した。図 2 に、FET 増幅器のブロック図を示す。また、増幅器の設計利得は周波数 2.45GHz において 17dB とした。FET 増幅器の設計には高周波回路シミュレータ(MDS:HP-EEsof)を用いた。

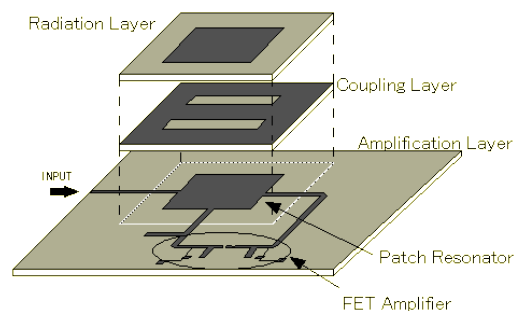


図 1. ユニットセルの構造図

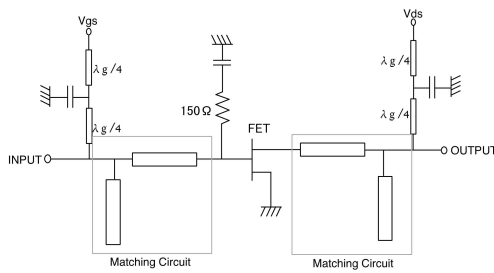


図 2.FET アンプブロック図

## 2.2 積層構造の最適化

平面回路の積層化実現のため、各層の構造を最適化するための設計法について述べる。最適化された積層構造を得るために無損失基板を一段重ねる毎に市販の電磁界シミュレータ (HP-EEsof: Momentum) を用いてリターンロスが最適化されるように設計周波数において構造を決定した。第一段階として、共振器パッチに結合層を重ねてスロット開口面の位置を調節し最適化を行った[図 3(a),(b)]。第二段階として、第一段階の形状に放射層用の誘電体スラブを重ねて最適化を行った[図 3(c),(d)]。そして第三段階としては、第二段階の形状にさらにパッチアンテナを加え共振器パッチ、スロット開口面及びパッチアンテナの位置の最適化を行った[図 3(e),(f)]。

以上の方針で最適な積層構造が決定された。結合層のスロット開口面を 2 つとした理由は、共振器パッチに供給された電力を効率よく放射層へと結合するためである。

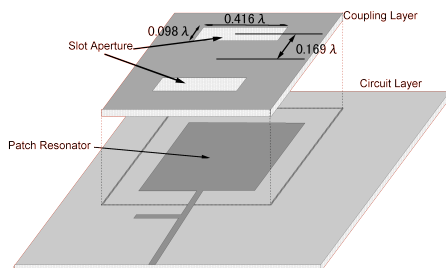


図 3.(a)積層構造第一段階解析構造図

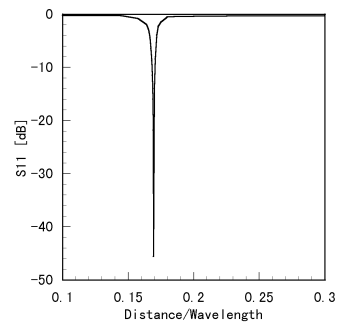


図 3.(b)積層構造第一段階解析結果

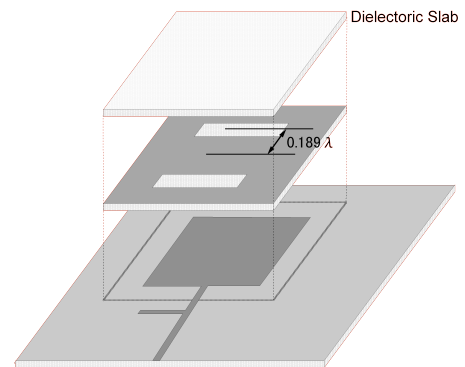


図 3.(c)積層構造第二段階解析構造図

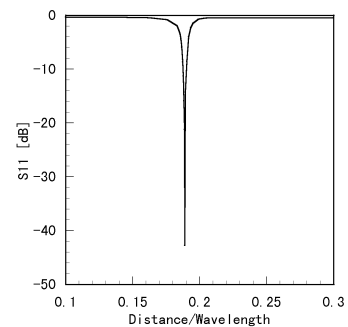


図 3.(d)積層構造第二段階解析結果

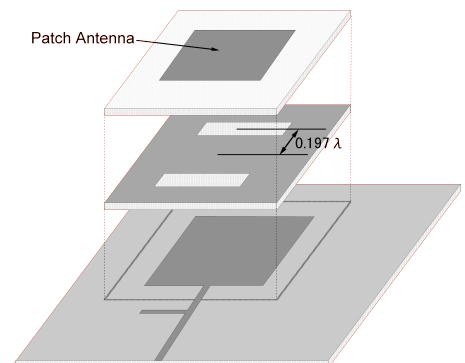


図 3.(e)積層構造第三段階解析構造図

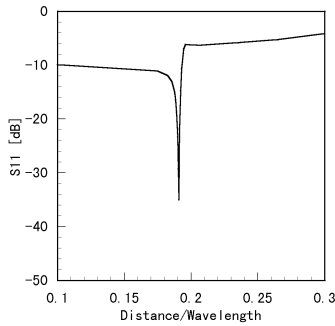


図 3.(f)積層構造第三段階解析結果

### 2.3 ユニットパッチプレート

ユニットセルアレイの構造図を図 4 に示す。本研究では特に  $2 \times 2$  ユニットセルアレイをユニットパッチプレートと定義する。H 面方向に関して、各ユニットセルを同振幅で動作させるために方向性結合器は結合度を補う FET アンプの出力側に配置され、同位相で動作するように各ユニットセル間の電気長が決定された。E 面方向に関しては、入力された信号の一部が方向性結合器によって取り出され、次段の入力側に配置された結合度を補う増幅度を持つ増幅器によって電力が供給される。また、同位相で動作するようにユニットセル間の電気長が決定された。このように FET 増幅器と方向性結合器の組み合わせによってユニットセルを 2 次元に周期配列することができる。アンテナ素子間隔は H 面方向が  $0.919\lambda_0$ 、E 面方向が  $0.780\lambda_0$  とした。しかし、これらの値は制作の都合上、最適化された値ではない。

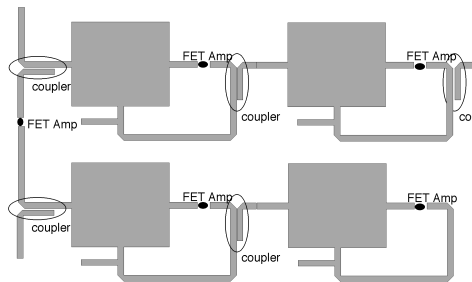


図 4.ユニットセルアレイ構造図

### 2.4 ユニットパッチのシステム展開

アンテナのシステム展開の概念図を図 5 に示す。ユニットパッチプレートを金属のガイドレールに入れ込めるようにする

ことにより、アンテナをシステムに容易に展開することが可能となる。さらにガイドレールに接続窓を設ければ、窓からコネクタを通すことによりユニットパッチプレートを二次元に接続することができる。

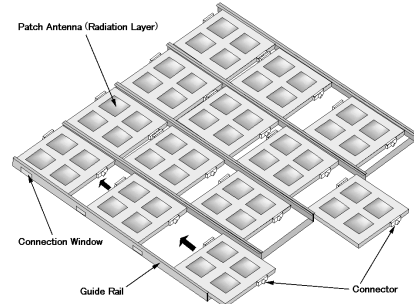


図 5.システム展開概念図

### 3.試作・測定

図 6(a),(b)に本研究で試作したアクティブ集積アンテナユニットセルのアンテナパターンを示す。試作アンテナ受信用ホーンアンテナ間距離を 1.7m、アンテナ基板への外部からの入力電力 2.5dBm の条件で、最大受信電力は -19.17dBm であった。さらにピークポイントにおける直交偏波は -15dB 以下であった。このときのユニットセル 1 枚の重量は 50g であった。

ユニットパッチプレートのアンテナパターンを図 7(a),(b)に示す。上記と同じ測定条件で、最大受信電力は -9.30dBm であった。また、ピークポイントにおける直交偏波は -15dB 以下であった。実測値のメインローブ及びヌルポイントがほぼ計算値と一致していることから、ユニットパッチプレートの各ユニットセルは同振幅・同位相で動作しているといえる。

$2 \times 2$  ユニットパッチプレートアレイの試作品及びそのアンテナパターンをそれぞれ図 8、9 に示す。アンテナパターンより、有限基板によるサイドからの不要放射の影響によってサイドローブが増加しているが、メインローブ及びヌルポイントがほぼ一致していることより、ユニットパッチプレートアレイの各ユニットセルは同位相で動作していることが確認で

きる。

電力向上のため二段増幅器を搭載したユニットセルのアンテナパターンを図10(a),(b)に示す。二段目のFET増幅器には高出力用FET(富士通:FLL107ME)を用いた。この時の最大受信電力は-5.67dBmであった。これにより1段の増幅器を搭載した場合と比較して13.5dBの増加を確認した。ユニットセルの受信電力の比較を表1に示す。1段の低雑音増幅器を搭載した場合のユニットセルの受信電力は増幅器を搭載していないユニットセルと比較して11.5dBの増加を確認できる。これは低雑音増幅器の入出力特性(図11)と比較して増幅度が低下しているが、これは信号が上層の基板へと伝達される際のロスが原因と考えられる。2段の増幅器を搭載した場合(図12)はさらに13.5dBの増加が確認できる。すなわち二段の増幅器で受信電力が25dB増加したことが確認された。

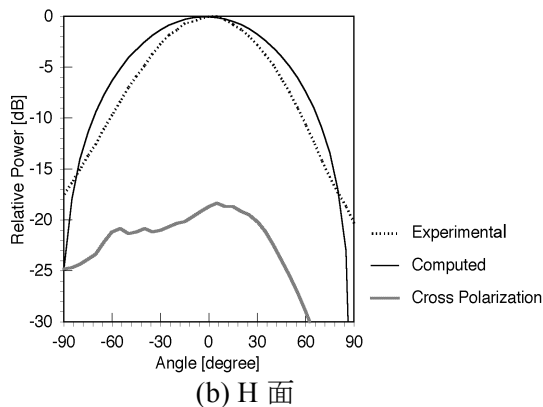
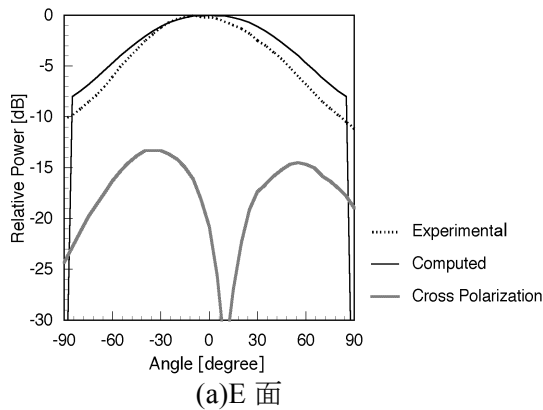


図6.ユニットセルアンテナパターン

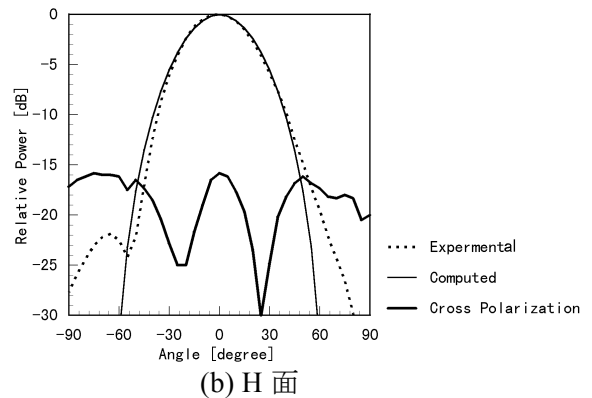
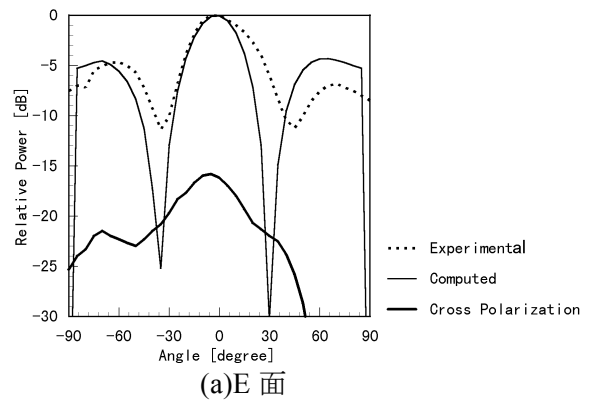


図7.ユニットパッチアンテナパターン

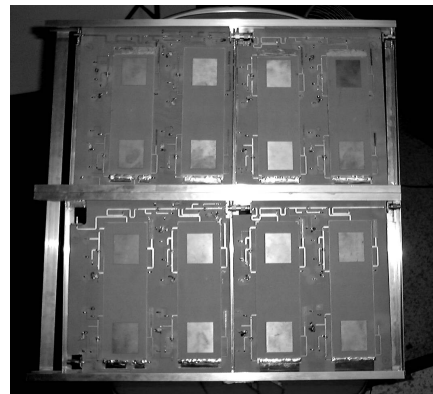


図8.2×2ユニットパッチプレートアレイ

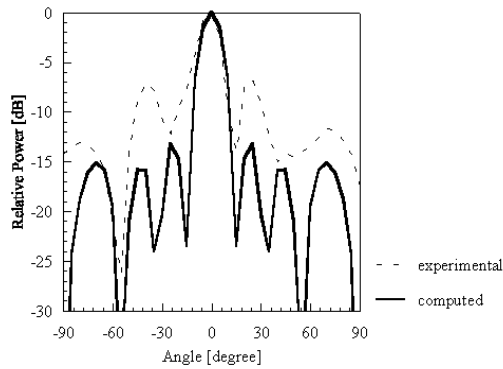


図 9.2×2 ユニットパッチアレイアンテナパターン

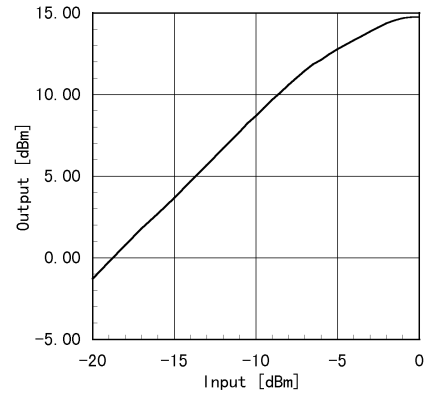
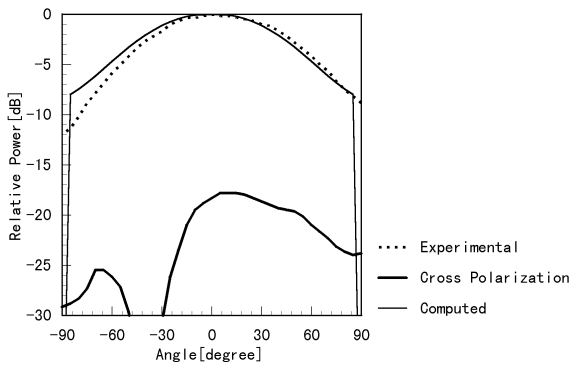
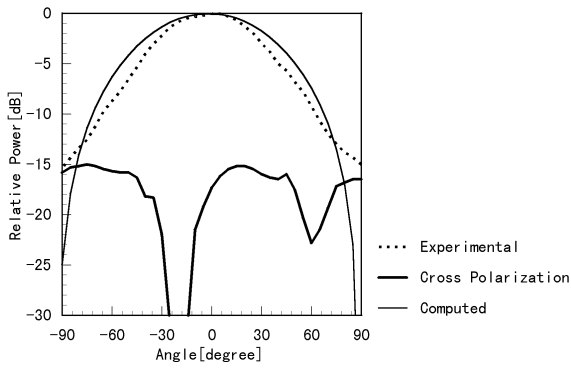


図 11.低雑音 FET を用いた増幅器の入出力特性



(a)E 面



(b)H 面

図 10.二段増幅器を搭載したユニットセルアンテナパターン

表 1.ユニットセルにおける受信電力の比較

増幅器なし	-30.67dBm
単段増幅器搭載	-19.17dBm
二段増幅器搭載	-5.67dBm

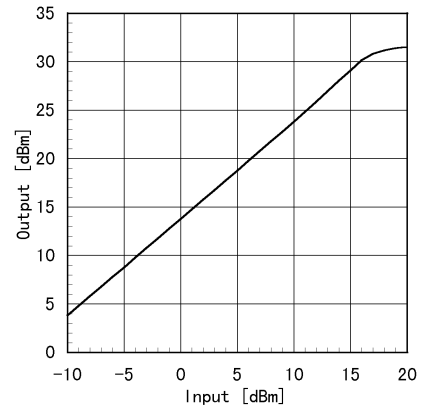


図 12.高出力 FET を用いた増幅器の入出力特性

#### 4.まとめ

本報告では、SPS2000 計画における送電用アンテナの小型・軽量・多機能化を満足する積層型アクティブ集積アンテナアレイの設計方法について報告し、設計法に基づいて試作したアンテナの測定を行った。さらに、二段増幅器を搭載したユニットセルの試作・測定を行い、その結果より、高出力アレイ化への基礎データを得ることができた。

#### 参考文献

[1] 太陽発電衛星ワーキンググループ SPS2000 タスクチーム “SPS2000 概念計画書 暫定版” 宇宙科学研究所、1993 年 7 月。

[2] S. Kawasaki, Y. Kido, T. Takano, “Laminated Active Integrated Amplifier Antenna Arrays for a Space Solar Power

- Satellite,” IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol.47, pp1901-1909, Sep. 1999.
- [3]木戸善晴、早川宏之、吉田雄輝、川崎繁男、高野忠、長友信人、佐々木進 “積層型 2×2 アクティブ集積アンプアンテナアレイの改善”, 信学技法 MW99-124, pp.45-50, 1999 年
- [4]木戸善晴、早川宏之、石橋宏幸、鎌田宏之、川崎繁男、高野忠、長友信人、佐々木進、成尾芳博 ”ユニットパッチ型送電用アクティブ集積アンプアンテナのシステム”, 第1回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム講演要旨集, pp71