

# Thermal Distribution of Amplifiers of High Power Active Integrated Antennas for Space Solar Power System\*

Kazuyoshi Nanokaichi<sup>1)</sup>, Shigeo Kawasaki<sup>1)</sup>, Naoki Shinohara<sup>1)</sup>, Hiroshi Matsumoto<sup>1)</sup>,  
Koji Tanaka<sup>2)</sup>, Susumu Sasaki<sup>2)</sup>, Yusuke Iida<sup>3)</sup>, Yohei Niki<sup>3)</sup>,  
Haruo Kawasaki<sup>4)</sup>, Hiroyuki Yoshida<sup>4)</sup>, Hideshi Kagawa<sup>4)</sup>, Yasumasa Hisada<sup>4)</sup>, and Masahiro Mori<sup>4)</sup>

1) Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011 Japan

2) Institute of Space and Astronautical Science (ISAS) / Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

3) Tokai University, 4) Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

## Abstract

Basic measurement results of thermal distribution characteristics of amplifiers of high power Active Integrated Antennas for Space Solar Power System are reported in this paper. Wireless power transmission system with high-power Active Integrated Antenna (AIA) requires high power output and high efficiency. However, power amplifiers need proper heat radiating system especially for high-power transmission systems. In this study, basic thermal measurements of power amplifiers for AIA were carried out toward a novel concept of integrated antennas with heat radiation structure.

Characteristics of two types of amplifiers, a driver amplifier and a two-stage amplifier fabricated by our previous study, were measured with a thermo couple, an infrared thermo viewer and a radiation thermometer. As for the driver amplifier, the maximum temperature of 38 degrees and uniform temperature distribution both on the dielectric substrate and the aluminum plate were observed. As for the two-stage amplifier, the maximum temperature of 50 degrees and the temperature distribution difference between the driver amplifier and the high power amplifier circuit plane were observed. On the other hand, on the backside aluminum plate, approximately uniform temperature distribution was observed. Therefore, the heat generated from the amplifiers diffused well into the aluminum plates, and as a future step, a compact heat transfer system will be designed and attached to the metals to radiate the heat effectively.

---

\* Presented at 8<sup>th</sup> SPS Symposium, 16-17 September, 2005

## SSPS 用高出力増幅器およびアクティブ集積アンテナの熱分布特性<sup>注1</sup>

七日市 一嘉†, 川崎 繁男, 篠原 真毅, 松本 紘 (京都大学生存圏研究所)  
田中 孝治, 佐々木 進 (ISAS/JAXA), 飯田 雄介, 仁木 洋平 (東海大学大学院)  
川崎 春夫, 吉田 裕之, 香河 英史, 久田 安正, 森 雅裕 (ISTA/JAXA)  
†E-mail: nanoka@rish.kyoto-u.ac.jp

要旨: SSPS への適用を目的とした, 高出力半導体増幅器を有するアクティブ集積アンテナ実現に向け, 高出力を効率良く得るためには能動素子から発生する熱の廃熱処理が重要となる. 本報告では, 熱的設計に有用な情報を得ることを目的として, 試作された高出力増幅器およびアクティブ集積アンテナの温度分布の基礎的測定実験を行ったのでその結果を報告する.

### 1. はじめに

我々の研究グループでは, 宇宙太陽発電システム(Space Solar Power System: SSPS)に適用可能な, アクティブ集積アンテナ技術を用いた送電ユニットパネルの実現を目標に試作研究を進めている [1][2][3][4][5]. 増幅部の高出力化・高効率化は課題の一つである. 特に, 地上伝送試験・デモンストレーションにおいては高出力 (一素子 5W~) が要求されており, 集積アンテナから多量の熱が発生するために放熱機構を適切に設けることが重要となる. ここでは, 既存の高出力増幅器の熱分布特性の測定を行い, 今後目指している廃熱構造を集積したアクティブ集積アンテナ[6]のデザインに有用な情報を得ることを目的とする.

### 2. 測定方法

熱分布の測定には, 熱電対, サーモビュア, ハンディ型放射温度計を併用して行った.

#### (ア) 熱電対

増幅器の回路中, 熱電対が貼りつけ可能な箇所 (アルミ放熱板, マイクロストリップ回路面端部) には熱電対を貼り付けることで測定を行った.

#### (イ) 赤外線サーモビュア

平面上の温度分布が測定できるサーモビュアを用いて回路部全体の温度分布を測定する. 絶対温度は熱電対による測定結果と合わせて推定する.

#### (ウ) ハンディ型放射温度計

回路中心部や, MESFET 表面などには熱電対を貼り付けることができないため, 放射温度計でポイントの温度を測定した.

### 3. 測定対象

#### 3.1. ドライバ段増幅器

図 1 に, ドライバ段増幅器の実機写真を示す. その構造は, マイクロストリップ線路による整合回路を有する回路基板の裏側に, 放熱のためのアルミ板 (厚さ 3mm) を固定した構造になっている. 発熱源は, MESFET チップ (S-Ku band, ゲート幅 3mm, チップサイズ 0.5mm×1.0mm) である. MESFET は, それ自身より一回り大きいアルミ製サブキャリアチップを介して, 導

<sup>注1</sup> 第 8 回 SPS シンポジウム, 帝京大学, 2005 年 9 月 16, 17 日開催

電性接着剤によりアルミ板に直接固定され、放熱を促すようにしている。ドライバ段増幅器に対する直流投入電力は、ドレイン電圧 3.0V×ドレイン電流 300mA=900mW である。測定条件は小信号動作（線形動作）を仮定して行ったため、直流投入電力 900mW がほぼ全て廃熱となる。

### 3.2. 二段増幅器（ドライバ段+高出力）

図 2 に、二段増幅器の実機写真を示す。3.1 のドライバ段の後段に高出力増幅器(HPA)を組み合わせたものである。構造は、ドライバ段増幅器と同一であるが、発熱源である MESFET は 2 つとなる。電力フローとしては、図 2 に示しているように、RF 入力 60mW、DC 入力 2394mW に対して RF 出力が 441mW であり、廃熱が 1953mW 発生する。DC-RF 変換効率は 18%程度である。

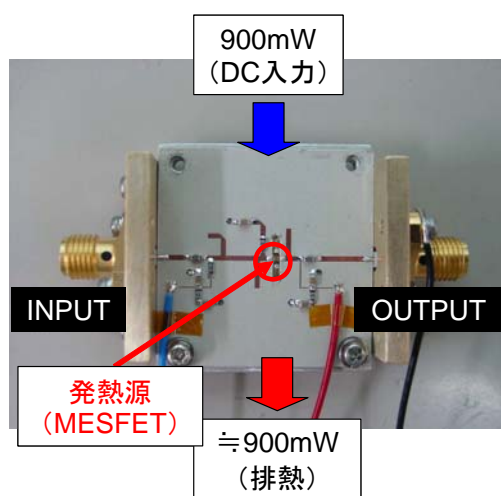


図 1: ドライバ段増幅器

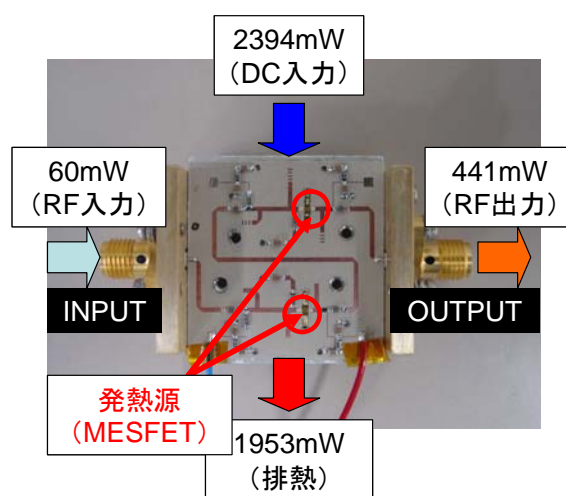


図 2: 二段増幅器

## 4. 測定結果

### 4.1. ドライバ段増幅器

ドライバ段増幅器に対する測定結果を示す。まず、熱電対を増幅器の各所に貼り付け、温度計測を行った。図 3 に、熱電対の貼り付け位置を示す。測定条件は自然空冷とし、測定時の周囲温度（平衡温度）は 25 度とした。

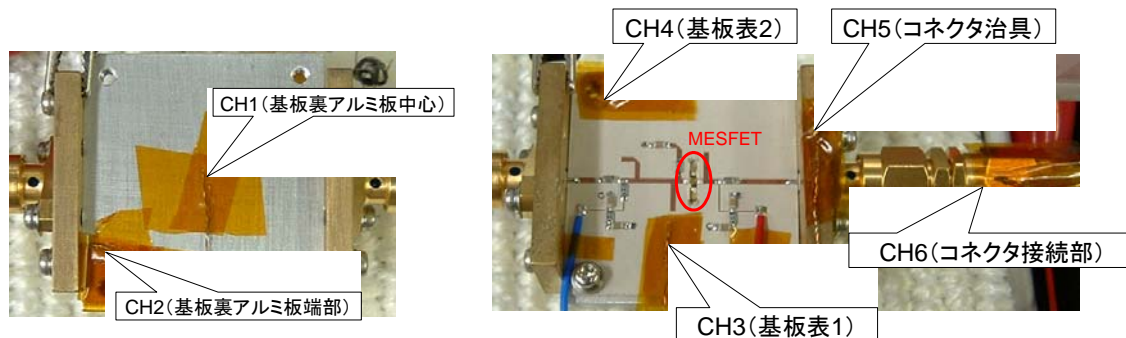


図 3: ドライバ段増幅器の熱電対配置

図 4 に、熱電対による温度測定結果を示す。横軸に時間 (分)、縦軸に温度を示しており、増幅器の通電開始時から、温度が一定になる平衡状態となるまで測定を行った。グラフより分かるように、約 30 分で各部の温度はほぼ定常状態に達した。基板裏面の温度をまず見ると、中心が 37.5℃、端部が 37℃で定常となっており、ほぼ同一温度になっている。また基板表面の温度についても CH3,4 はほぼ同一となった。更に、コネクタの治具についても、伝熱による温度上昇が見られ、コネクタ接続部分にも若干の温度上昇が見られた。よってコネクタ部からも熱が逃げていることが分かる。

次に、図 5 にサーモビューアによる温度分布計測結果を示す。絶対温度は、熱電対による測定結果を用いて推定している。回路面のうち、誘電体基板はほぼ均一な温度分布を示しているが、金属コネクタ治具および回路面のマイクロストリップ線路パターンは、熱電対による測定結果から基板と同程度の温度に達しているはずであるが、低温に観測された。これは、金属部の光学特性により、見かけ上低温に観測されたと考えられる。一方、放熱面については、ほぼ一定の温度分布が観測された。今回の測定対象の増幅器は、3mm 厚のアルミ板を放熱板として用いているが、一様な温度分布が観測されたことから、3mm の厚さで十分に熱が拡散されることが確認できた。

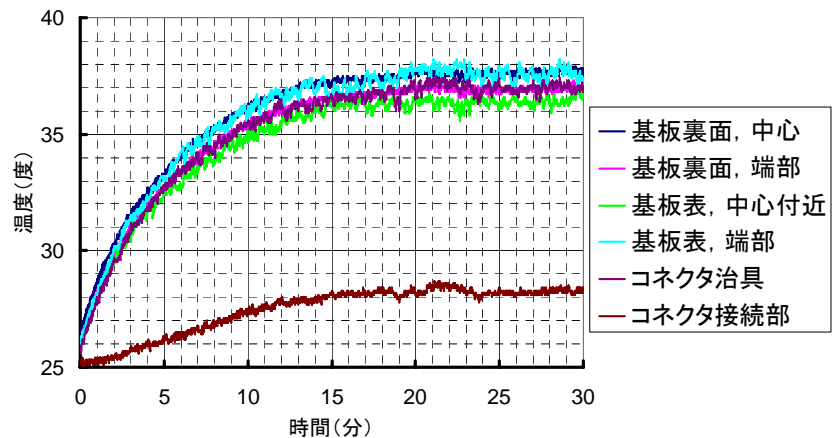


図 4: 熱電対による温度測定結果 (ドライバ段増幅器)

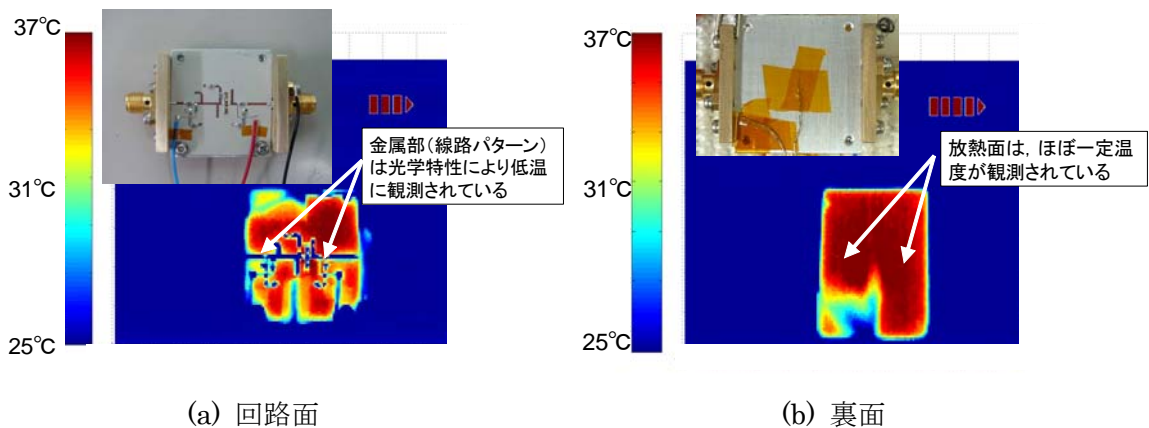


図 5: サーモビューアによる温度分布 (ドライバ段増幅器)

## 4.2. 二段増幅器

二段増幅器の温度分布測定時における熱電対配置を図6に示す。CH1, CH2はドライバ増幅器と同様、回路裏側のアルミ板の中心および端部にそれぞれ貼り付け、CH3を回路基板のドライバ段に近い部分に、CH4をHPAに近い部分にそれぞれ配置した。

図7に、熱電対を用いた温度測定結果を示す。ドライバ増幅器の場合と同様、約30分で定常に達している。ただし、基板表面の測定結果には時間に対して変動が見られ、また、基板表面の温度と、裏面（アルミ板）の定常温度に大きな差が見られる。これは、回路基板面積が少ないために熱電対を確実に固定するための面積を十分に確保することができず、熱が熱電対に十分に伝達していないことが有力な原因として考えられる。その一方、基板裏面の温度は、約50°Cにまで達し、ドライバ段のみの場合より熱的に厳しくなっていることが分かる。

図8に、ポイントの温度測定が可能な放射温度計を用いて、回路面各部の温度を測定した結果を示す。レイアウト図内の数値は、その箇所における温度を°Cで表している。ドライバ付近と、HPA付近とでは、温度分布に差が見られ、発熱源付近でドライバが34°C、HPAが50°C程度の温度になっており、温度分布が現れていることが分かった。一方、裏面の放熱面に関しては、図7の結果からも分かるように、熱は均一に拡散していることが分かった。従って、このアルミ板にヒートパイプなどの更なる放熱機構を設けることにより、効率的に廃熱が行えることが予想される。

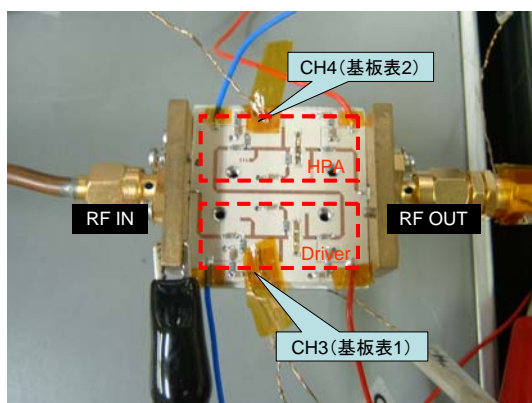


図6: 熱電対配置 (二段増幅器)

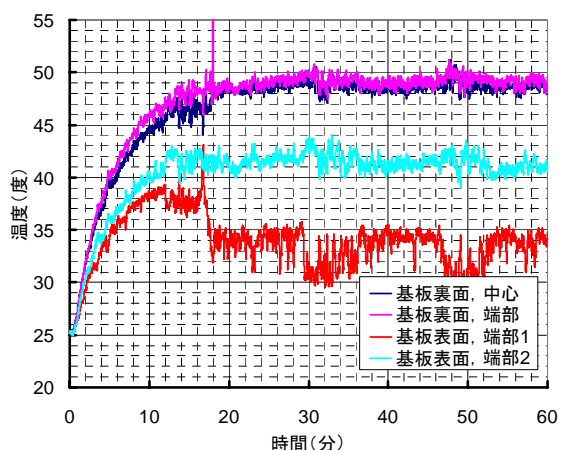


図7: 熱電対による温度測定結果  
(二段増幅器)

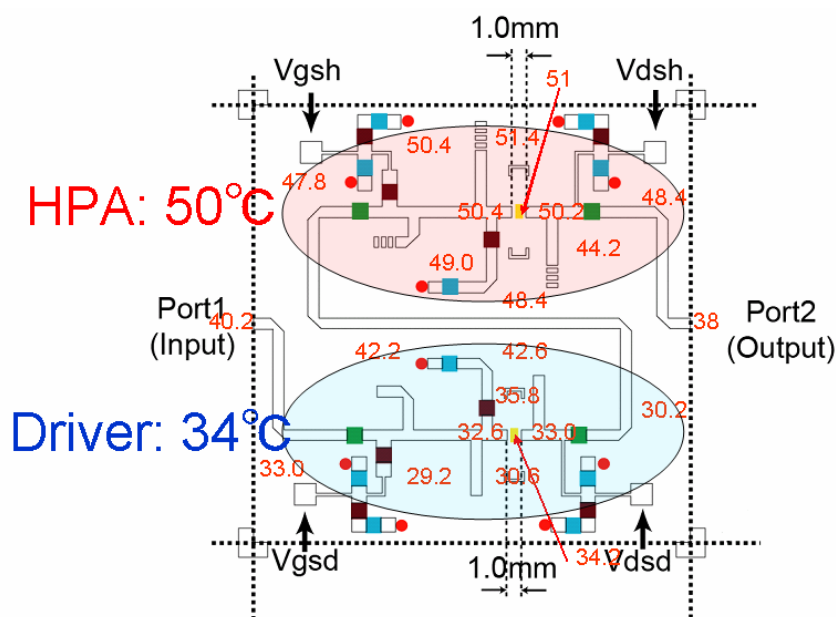


図 8: 温度分布 (二段増幅器 ; 数値はその箇所の温度°Cを示す)

## 5. まとめ

SSPS 用高出力・高効率アクティブ集積アンテナを実現する上での基礎的実験として、高出力増幅器の熱分布の測定実験を行った。FET から発生した熱は、放熱のための 3mm 厚程度のアルミ板にほぼ均一に分布することを確認した。二段増幅器では最大温度 50°C を観測し、ドライバ段と HPA の温度分布に差が見られたが、裏面のアルミ板には熱が均一に広がっていることを確認した。今後、発生した熱を効率的に排熱する構造 (ヒートパイプ等) を検討し、廃熱構造を組み込んだアクティブ集積アンテナの動作実証・実現を目指す。

## 参考文献

- [1] 篠原真毅, “宇宙太陽発電所 SPS とマイクロ波送電技術-超巨大宇宙システムへのアクティブ集積アンテナの応用,” MWE2003 Microwave Workshop Digest, pp.357-362, Dec. 2003.
- [2] 大石太洋, 川崎繁男, 篠原真毅, 松本 紘, “スロット-パッチアンテナによる空間電力増幅器,” 信学技報, MW2002, 21-26, 2002.
- [3] 川崎繁男, 七日市一嘉, 山田修平, 仁木洋平, 飯田雄介, 奥村 碧, 篠原真毅, 松本 紘, “レトロディレクティブ機能を持つ SSPS 用小型アクティブ集積アンテナアレイの開発,” 信学技報, SPS2004-13, Feb. 2005.
- [4] 七日市一嘉, 篠原真毅, 川崎繁男, 三谷友彦, 松本 紘, “マイクロ波送電用導波管スロット給電型アクティブ集積アンテナ,” 信学総大, C-2-129, Mar. 2005.
- [5] 七日市一嘉, 川崎繁男, 篠原真毅, 松本 紘, 吉田裕之, 香河英史, 久田安正, 森 雅裕, “SSPS 用アクティブ集積アンテナの小型増幅器の諸特性,” 信学技報, SPS2005-08, Jun. 2005.
- [6] 七日市一嘉, 川崎繁男, 篠原真毅, 松本 紘, “廃熱構造を有する高出力アクティブ集積アンテナの検討,” 信学技報, vol. 105, no. 271, MW2005-65, pp. 15-19, Sep. 2005.