

# 耐飽和低雑音増幅器と高線形固体電力増幅器の開発

藤野義之 三浦 周

地上／衛星共用携帯電話システムの衛星搭載機器における低雑音増幅器 (LNA) として、地上系システムからの高レベルの干渉を避けるため、干渉波が所望波より 40dB 以上高い状況においても有効に動作する LNA を開発した。また、固体電力増幅器として、高度な線形性と高効率動作を兼ね備え、電力付加効率 60% 以上で、IM3 が 16dB 以上の GaN デバイスを用いた固体電力増幅器 (SSPA) を開発した。

## 1 まえがき

STICS では地上系から衛星系の双方の通信システムが同一周波数で使用され、衛星上では所望波である衛星系の他に地上系からの干渉波が共に受信される。このため、衛星上のユーザリンク側受信系では、これら大量の干渉波が存在しても適切に動作する、耐妨害波特性や抗たん性の高い搭載用低雑音増幅器 (Low Noise Amplifier: 以下 LNA という) が必要となる。また、固体電力増幅器 (Solid State Power Amplifier: 以下 SSPA という) については、多数の通信チャネルを同時増幅するために、高線形性である必要があり、また、通信衛星の電力のほとんどを消費するため、高効率に動作することが望まれる。

従来、S 帯での衛星搭載用 LNA の実現例として、文献[1] では雑音指数 (以下 NF という) 1.4 dB、利得 44.8 dB、振幅周波数特性 0.5 dB/5 MHz、フェーズシフト 0.6° /5 MHz のものが実現されているが、LNA に関する耐飽和特性は述べられていない。

本稿では、干渉波レベルが所望波より 40 dB 以上高い状態で有効に動作する衛星搭載用耐飽和 LNA を開発し、環境試験、簡易放射線解析等を行って有効性を検証した。また、衛星搭載用高線形性 SSPA を最新デバイスである窒化ガリウムを用いて製作し、同様に環境試験、簡易放射線解析等を行って有効性を検証した。

本稿の構成は、**1** は緒言であり、**2** に耐飽和低雑音増幅器の開発を示す。**3** に高線形性 SSPA の開発を示し、**4** でまとめを行う。

## 2 耐飽和低雑音増幅器の設計と開発<sup>[2]</sup>

衛星搭載移動体通信システムミッション系の耐飽和低雑音増幅器に対しては、地上系システムからの干渉

を回避するために、高線形性を有しつつ、衛星通信用として適する NF が求められる。

線形性に優れ、かつ低雑音特性の LNA を実現するには、LNA を前段と後段の 2 つに分け、前段を NF 重視の増幅器、後段を所望の飽和出力を持つ増幅器とする基本構成とする。

この場合、前段の増幅器に求められる特性は、雑音特性に優れているという条件と共に、利得について 2 つの考え方がある。一方は、後段の増幅器の NF が LNA 全体の NF に与える影響を低減するため、高利得が要求され、他方では、前段の増幅器自身の混変調歪 (IM3) による線形性悪化が LNA 全体の線形性に影響しないよう、低い利得が望まれる。これら両者のトレードオフにより設計することが重要である。

また、後段の増幅器に求められる特性は、低雑音特性と LNA 全体の消費電力低減を考慮しつつ、所望の飽和出力を確保し、高線形性を保てることであり、飽和出力と消費電力のトレードオフを考えて設計することが重要と考えられる。耐飽和 LNA を上記観点に基づき設計・製作した。

### 2.1 耐飽和低雑音増幅器の構成

送受共用給電部における耐飽和低雑音増幅器 (LNA) は、周波数 1,980~2,010 MHz 帯の入力信号を、低雑音特性を保ちながら所望の出力電力に増幅する機能を有している。LNA を構成する内部の機能については、以下のとおりである。

#### ① 低雑音増幅部の機能

入力信号の S/N (信号対雑音比) 劣化を抑えながら所望の出力レベルに信号を増幅して出力する。増幅素子には、低雑音特性に優れた NEC 製 GaAs HEMT チップ NE32500 を使用した。

#### ② 利得増幅部の機能

低雑音増幅部からの入力信号を所望の出力レベ

ルに増幅する。増幅素子には、低雑音特性よりも飽和出力を考慮して、NEC 製 GaAs FET チップ NE67400 を使用したが、より大きな飽和出力を要求される場合、GaN FET の採用も考慮される。

これらの要求に基づき、LNA の目標性能を次のように設定した。

A) 低雑音増幅部の性能

低雑音増幅部の目標性能を、1980～2010 MHz において、利得 32 dB Typical、NF 0.75 dB max とした。

B) 利得増幅部の性能

利得増幅部の目標性能を、1980～2010 MHz において、利得 29.5 dB Typical、NF 5 dB max、0.5 dB、利得圧縮時出力 +17.5 dBm、IM3 24 dBc 以上 (0.5 dB 利得圧縮時) とした。

低雑音増幅部と利得増幅部を組み合わせた耐飽和低雑音増幅器試作 LNA 全体の目標性能は以下のとおり。

利得：45 dB (Typical)

NF：0.9 dB 以下 (常温)、1.1 dB 以下 (+55℃)

IM3：24 dBc 以上 (0.5 dB 利得圧縮点時)

耐飽和性能の目標値は以下のように設定した。STICS における衛星搭載用 LNA の信号レベルは 1 波あたり -123.6 dBm<sup>[3]</sup> であり、30 MHz 帯域では収容数を 2 万局とすると -80 dBm 程度

となる。これより 1 万倍 (衛星端末と同じ出力電力の地上端末で 2 億局)、すなわち 40 dB 高い干渉信号が入力されても線形動作を行うことを現実的な要求値とした。上記の構成により、最大 -40 dBm 程度の入力電力に対して飽和出力 (0.5 dB 利得圧縮時) に対して 40 dB 程度のバックオフ状態になると予測した。

この LNA の構成図を図 1 に示す。入力端から入力された受信信号はアイソレータを経由したのち、低雑音増幅部と利得増幅部を経て出力される。段間には利得調整用アッテネータを挿入すると共に、バイアス回路より電源供給される。外観写真を図 2 に示す。

2.2 耐飽和低雑音増幅器の実験結果

作成した LNA に対して、利得、NF 等の電気的特性の測定及び、振動試験、温度サイクル試験等の機械的特性の測定試験を実施した。表 1 に試験結果のまとめを示す。

また、図 3 に雑音指数の周波数特性を各温度について取得した結果を示す。雑音指数は周囲温度が低くなるほど良好であり、-10℃ の時 0.7 程度であった。また、最大温度 +55℃ においても 1.0 dB 以下となっている。図 4 に利得の周波数特性を示す。帯域内で 45.7～46.0 dB の線形利得が得られている。

図 5 に入出力特性を示す。周波数は 1.995 GHz を用い、0.5 dB 圧縮点にて、出力電力 8.8 dBm を達成した。図 6 に干渉波入力時の耐飽和特性の測定結果を、所望波のみの場合と所望波より 40 dB 高い干渉波が同じ帯域内に入力された場合の入出力特性を比較して示す。干渉波の有無により入出力特性の差異を測定すると、干渉波がある場合の 0.5 dB 利得圧縮点となる入

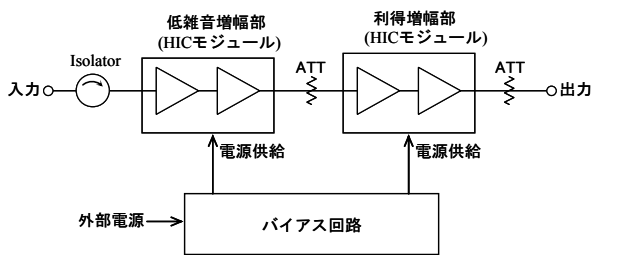


図 1 LNA の構成図

copyright©2013 IEICE



図 2 LNA 外観写真

copyright©2013 IEICE

表 1 試験結果

項目	試験結果
周波数	1980～2010 MHz
利得	46 dB (Typ.)
雑音指数	1.0 dB 以下 @+55℃
3 次混変調歪	24.2 dBc 以上
IIP3 / OIP3	-25.0 dBm / +20.5 dBm
入力リターンロス	19.2 dB 以上
出力リターンロス	23.1 dB 以上
入出力振幅特性	0.2 dBp-p 以下
フェーズシフト	1.37 deg 以下
干渉条件	所望電力から 40 dB 高い干渉波電力の総和に対しても線形動作を確認
ランダム振動試験	試験前後で特性に変動無し
温度サイクル試験	試験前後で特性に変動無し

copyright©2013 IEICE

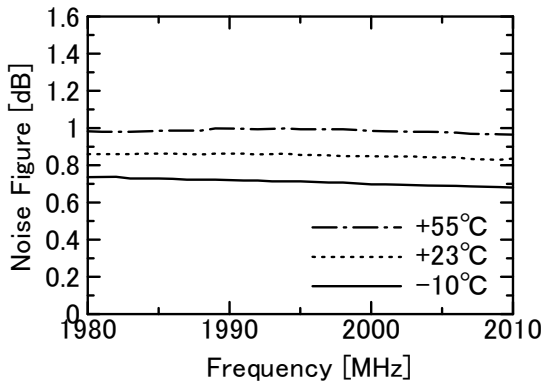


図3 雑音指数の周波数特性

copyright©2013 IEICE

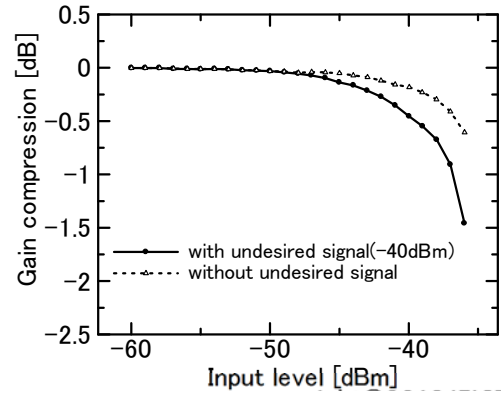


図6 耐飽和特性

copyright©2013 IEICE

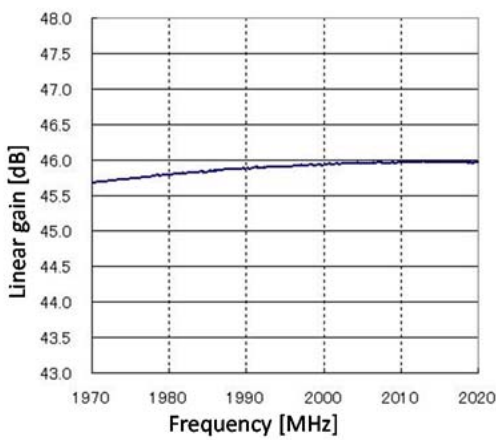


図4 利得周波数特性

copyright©2013 IEICE

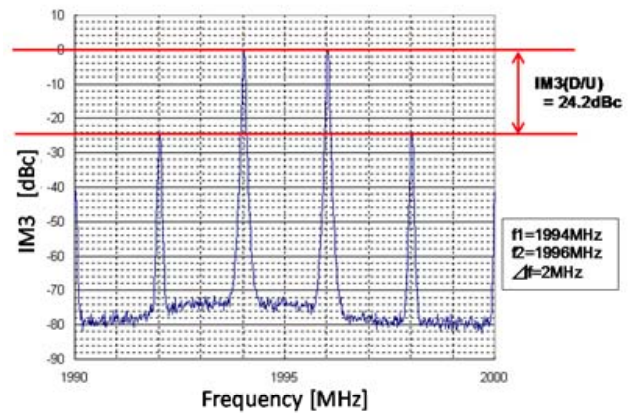


図7 3次混変調ひずみ特性(常温)

copyright©2013 IEICE

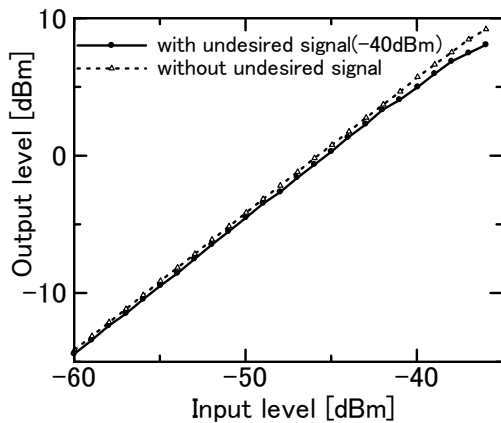


図5 入出力特性

copyright©2013 IEICE

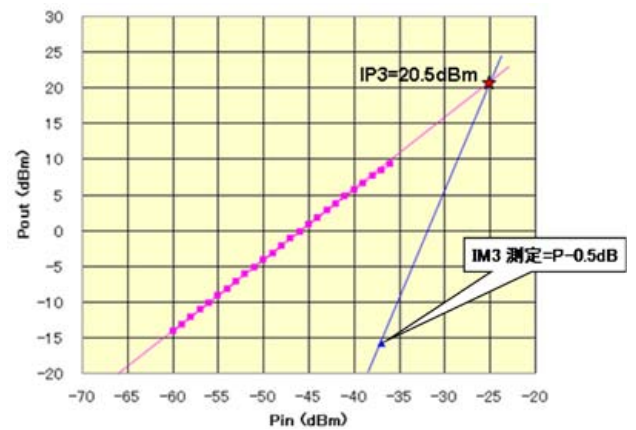


図8 3次入力インターセプトポイント特性

copyright©2013 IEICE

力電力は  $-40$  dBm であり、所望波の基準入力レベル  $-80$  dBm より  $40$  dB 大きいことが分かる。このことから所望波より  $40$  dB 大きい干渉波の元でも飽和せずに線形動作していると結論することができる。

図7に本LNAの3次高調波ひずみ(以下IM3という)特性を、図8に3次入力インターセプトポイント(以下IIP3と略す)特性を示す。図7より、IM3は

$24.2$  dBc であることが分かる。また、図8よりIIP3は  $-25$  dBm であり、これを3次出力インターセプトポイント(以下OIP3と略す)変換すると  $20.5$  dBm であった。

フェーズシフト特性については、 $0.5$  dB 利得圧縮点でのフェーズシフトは  $1.37$  deg であったが、干渉波の最大入力レベル ( $-40$  dBm) におけるフェーズシフ

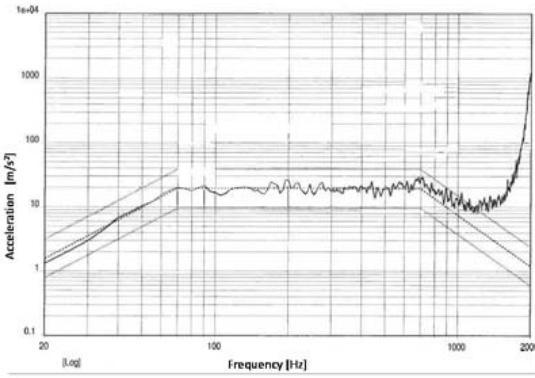


図9 ランダム振動試験結果

copyright©2013 IEICE

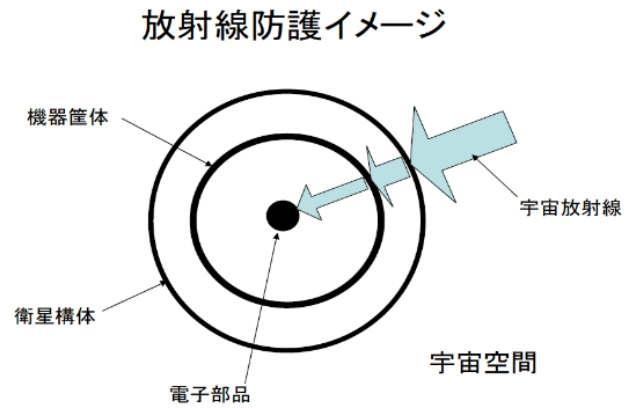


図11 衛星搭載機器の放射線防護概念図

copyright©2013 IEICE

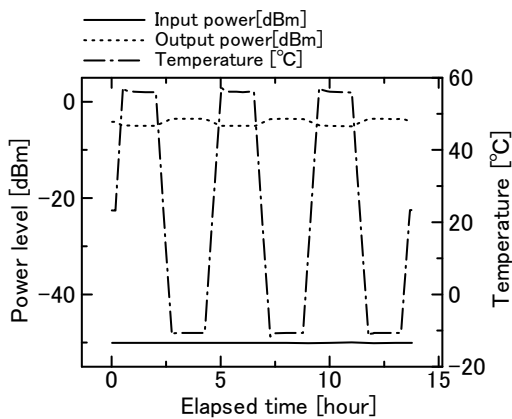


図10 温度サイクル試験結果

copyright©2013 IEICE

トは 0.55 deg 以下であるため、システム上問題はないと考えられる。

### 2.3 耐飽和低雑音増幅器の環境試験

本 LNA の衛星搭載化のために、ランダム振動試験と熱サイクル試験を実施した。ランダム振動試験の結果例を図9に、20 Hz から 2,000 Hz まで、最大 20 m/s<sup>2</sup> の加速度を加え、加振前後の特性に変化がないことを確認した。また、熱サイクル試験の結果を図10に示す。-15°C から +55°C の3回の熱サイクルに対し、出力電力、利得に問題がないことを確認した。

### 2.4 耐飽和低雑音増幅器の簡易放射線解析

図11に衛星搭載機器に関する放射線防護概念図を示す。この簡易放射線解析では、10年のトータルドーズ量にて下記のとおり解析検討を行った。

本 LNA で放射線に最もクリティカルな部品は、DC/BIAS 回路に使用予定の3端子レギュレータであり、この3端子レギュレータの耐放射線量はトータルドーズとして 300 Krad-Si である。本3端子レギュレータには、LNA 筐体で最低 1.6 mm アルミ厚相当のシールド

ルドを有しており、加えて、衛星構体では一般的に 0.8 mm アルミ厚相当のシールドを期待できることから、合計で 2.4 mm アルミ厚相当のシールドを確保している。

一例として GPM/DPR 衛星の放射線環境に当てはめると、300 Krad-Si では 0.3 mm アルミ厚相当のシールドを必要とするが、本 LNA では 2.4 mm アルミ厚相当のシールドを確保しているため、約 800% の余裕を持ったシールド厚が確保されている。周回衛星である GPM/DPR 衛星と静止衛星である STICS 衛星の放射線環境は、同等レベルか静止衛星環境の方がやや厳しいレベルだが、今回の解析結果では十分なシールドマージンがあるため、放射線耐量については静止衛星環境下でも問題のない設計と考えられる。

### 2.5 耐飽和低雑音増幅器のまとめ

地上衛星共用携帯電話システムの衛星搭載機器における低雑音増幅器として、耐飽和性が良好で低雑音特性 (NF1 dB 以下) である LNA を開発した。干渉波が所望波より 40 dB 以上高い状況においても線形動作することを確認し、環境試験、簡易放射線解析を行って STICS 用衛星搭載低雑音増幅器としての有効性を確認した。本技術は他の衛星搭載低雑音増幅器の耐妨害波特性や抗たん性の向上にも資することができると考える。

## 3 高線形性固体電力増幅器の検討及び要素試作

### 3.1 高線形性固体電力増幅器の概要

高線形固体電力増幅器はフェーズドアレー給電部最終段に設置され、放射素子に RF 電力を供給する装置である。STICS に要求される固体電力増幅器 (SSPA) に対しては、マルチキャリアの信号を増幅するため

に、線形性の高い性能が要求される。SSPA の高線形性を実現するためには、SSPA の飽和出力を高くすることが最初の課題であり、出力パワーの大きな SSPA が必要となる。近年、マイクロ波通信用のデバイスとして注目されている GaN FET (Gallium Nitride Field Effect Transistor: 窒化ガリウム電界効果型トランジスタ) は、SSPA の飽和出力と小型軽量に適したデバイスとして開発が進み、地上のマイクロ波通信装置に適用されるに至っている。GaN FET を衛星搭載移動体通信システムミッション系の SSPA に適用することで、従来のデバイスを適用した SSPA に比べて、高線形性とより小型軽量を同時に実現する SSPA を提供できる。

本研究では、GaN FET を使用した衛星搭載移動体通信システムミッション系の高線形性固体電力増幅器の試作を行った。まず、要素試作として最終段の GaN 増幅器ユニットを 3.2 から 3.3 にて開発し、その後、3.4 以降で衛星搭載 SSPA としてリニアライザ、前段増幅器等を用いて、利得 25 dB 以上の増幅器の形でまとめると共に、熱真空試験、簡易放射線解析等を行って搭載時の有効性を確認した。

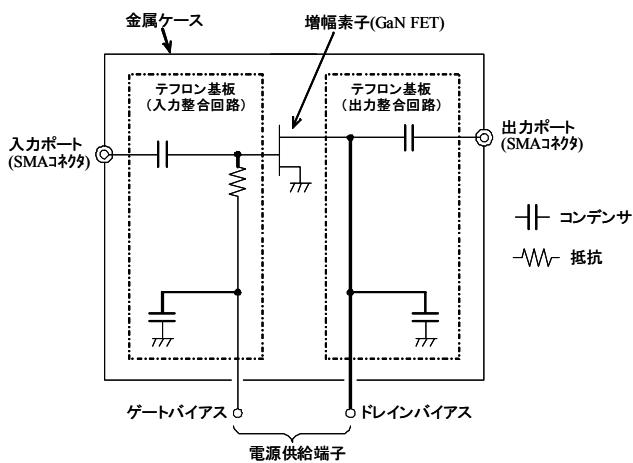


図 12 高線形性固体電力増幅器終段ユニット機能系統図

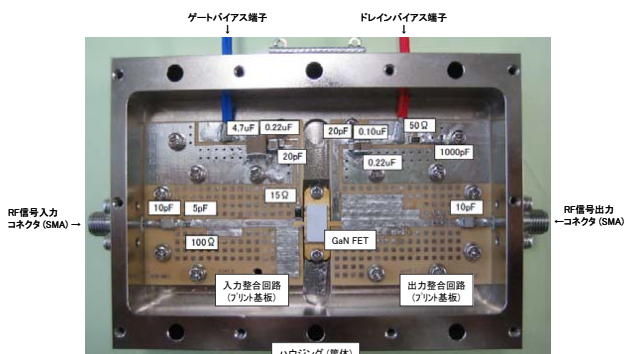


図 13 高線形性増幅器終段ユニットの外観

### 3.2 高線形性固体電力増幅器終段ユニット

図 12 に本線形性増幅器の終段ユニットの機能系統図を示す。

図 13 に製作した高線形性能増幅器の終段ユニットの外観図を示す。

全体サイズは (95 mm × 66 mm × 22 mm) 以下となる。中央に GaN FET をマウントし、入力及び出力回路にテフロン基板に構成した整合回路を付与している。回路全体はドレイン、ゲート電圧を付与するコネクタと RF の入出をする RF コネクタで外部とインタフェースする。

### 3.3 高線形性固体電力増幅器終段ユニットの測定結果

本高線形性増幅器を用いた測定結果を表 2 に示す。

図 14 に本増幅器の終段ユニットの入出力特性を示す。

測定周波数は、中心周波数である 2.185 GHz を用いた。黒線は RF 入力と RF 出力の関係を示す。2 dB 圧縮点にて 43.2 dBm (20.9 W) を達成し、目標値を満足した。青線は電力付加効率を示し、同動作点での電力付加効率は 59% となった。今回の製作機による測定では、60% の目標をわずかに満足しなかったが、F 級増幅器の理論を用いた高調波整合回路を出力側に付加することにより、60% の目標達成可能であることを確認した。

図 15 に相互変調歪特性の測定結果について示す。周波数は  $f_1=2.184$  GHz、 $f_2=2.186$  GHz を用いた。1 波あたり 8 dB バックオフ点での相互変調特性は -28 dBc となった。目標値の -32 dBc は満足しない結果となったが、本増幅器の前段に今後イコライザを使用することにより、SSPA 総合として線形性の改善

表 2 高線形性固体電力増幅器終段ユニットの測定結果

項目	設計結果	試作結果
アンテナ部、周辺回路部と整合すること。	同左	同左
周波数 2170 ~ 2200 MHz	同左	同左
出力電力 20 W 以上 (1 波あたり、2 dB 圧縮点出力において)	同左	43.2 dBm (20.9 W)
電力付加効率 60% (1 波あたり、2 dB 圧縮点において)	同左	59%
増幅器形式 GaN 或いは GaAs	GaN	GaN
3 次相互変調歪 -32 dB (1 波あたり 8 dB バックオフの 2 入力時)	同左	-28 dBc (今後、リニアライザ追加による改善可能)

が図れると判断する。

### 3.4 高線形性固体電力増幅器 (SSPA) 試作

#### (1) SSPA の機能・性能

その後、高線形性固体電力増幅器に関しては、高線形固体電力増幅器終段ユニットについて、電力効率の改善を行い、さらに衛星搭載に必要な熱真空試験、振動試験、放射線解析を実施し、搭載機器としての宇宙環境条件での動作を確認した。高線形固体電力増幅器は 20 W 級出力を想定し、先進デバイスである GaN を使用し、線形性を維持しつつ最終段電力変換効率 62% を達成した。前節で開発した高線形性固体電力増幅器終段ユニットを更に再構成し、前段増幅器等を導入して高線形性固体電力増幅器としてまとめた。この概要を以下に示す。

送受共用給電部における高線形固体電力増幅器 (以下 SSPA) は、+9 dBm の標準入力レベルの信号を入力して、20 W 以上の出力レベルで信号を出力する機能を有している。SSPA を構成する内部モジュールの機能については、以下のとおりである。

- ① LNZR (Linearizer) : 最終段 GaN FET の線形性、特に入力レベルに対する出力信号の通過位相に対して、逆の特性を有するリニアライザであり、SSPA トータルの通過位相特性を改善 (補償) するためのモジュールである。GaN FET の線形性が劣化する入力レベルの高い領域では、通過位相の劣化も IM3 に代表される線形性劣化の 1 つの原因であるため、IM3 改善の機能も有する。
- ② PIN ATT (可変減衰器) : SSPA の総合利得を調整するための可変減衰器である。利得調整の機能と同時に、SSPA の利得温度補償機能を持たせることも可能であるが、本 SSPA については、温度補償機能は付加していない。
- ③ LPA : 小信号レベルの増幅器である。
- ④ MPA : LPA の出力信号を、最終段増幅器 HPA の入力レベルに増幅する。
- ⑤ HPA : 最終段の増幅器として、入力信号を高効率に 20 W 以上のパワーに増幅する。
- ⑥ PSU : 一次電圧を入力して、SSPA 内部の各モジュールで使用する各電源電圧を供給するための電源である。本試作では、一次電圧を +45 V に設定した。

SSPA の目標性能を表 3 に示す。

#### (2) SSPA の構成、外観

図 16 に SSPA の構成を示す。3.1 に用いた終段ユニットに、リニアライザ、PIN ダイオードアッテネータ、前段増幅器を設置すると共に、終段ユニットについても更なる電力効率の改良につとめた。

図 17 に SSPA の外観を示す。

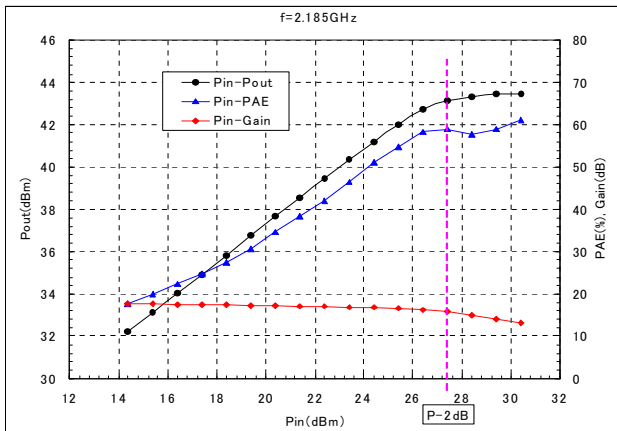


図 14 高線形増幅器の入出力特性 (測定値)

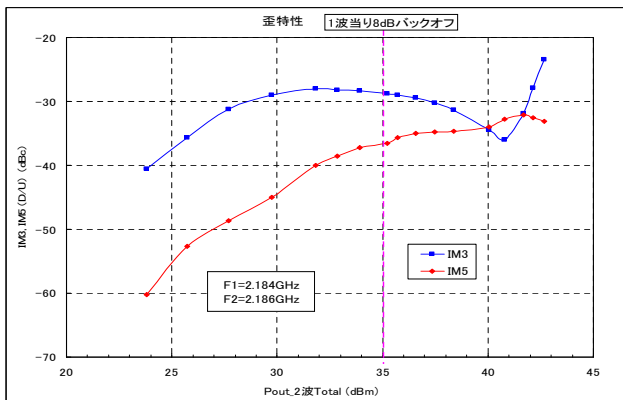


図 15 高線形増幅器の 3 次相互変調特性

表 3 SSPA の目標性能

項目	SSPA 目標性能
周波数帯	2170~ 2200 MHz
出力電力	20 W 以上 (1 波当り 2 dB 利得圧縮点出力において)
電力付加効率	最終段増幅器単体で 60% 以上 (1 波当り 2 dB 利得圧縮点出力において)
3 次混変調歪	16 dB 以上 (2 波入力で 2 dB comp point において)
利 得	25 dB 以上
入力リターンロス	19 dB 以上
フェーズシフト	15 deg 以下 (1 波あたり 2 dB comp point において)
帯域内振幅偏差	0.5 dBp-p 以下
消費電力	55 W 以下
その他	衛星搭載を考慮した環境試験 (振動試験、熱真空試験)、及び簡易放射線解析を実施する。

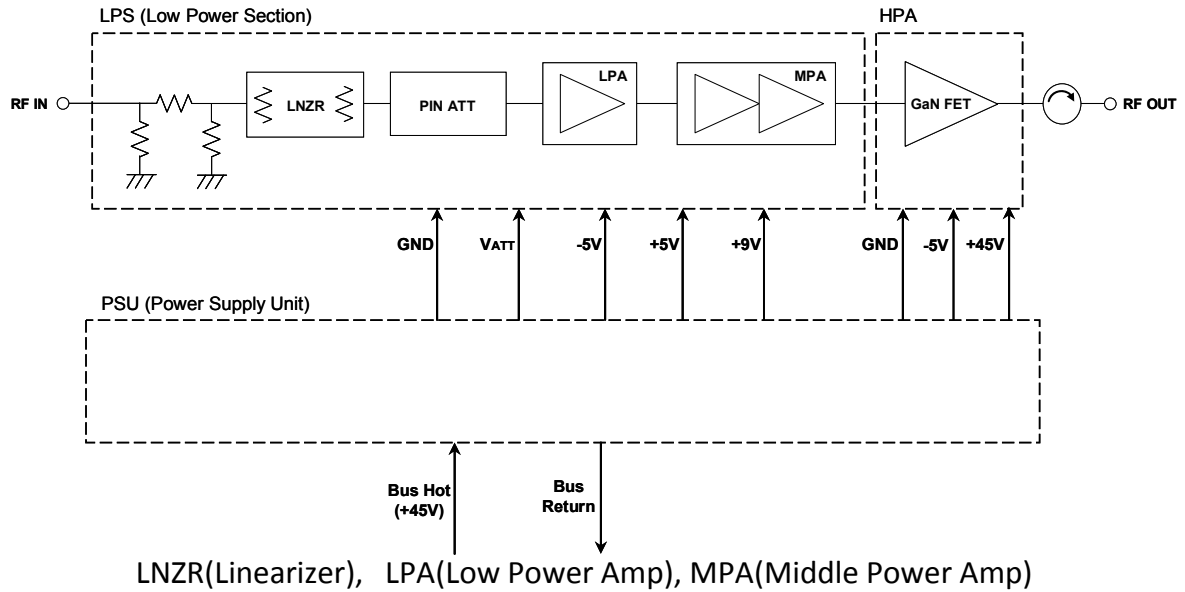


図 16 SSPA の構成図

### (3) SSPA の性能試験結果

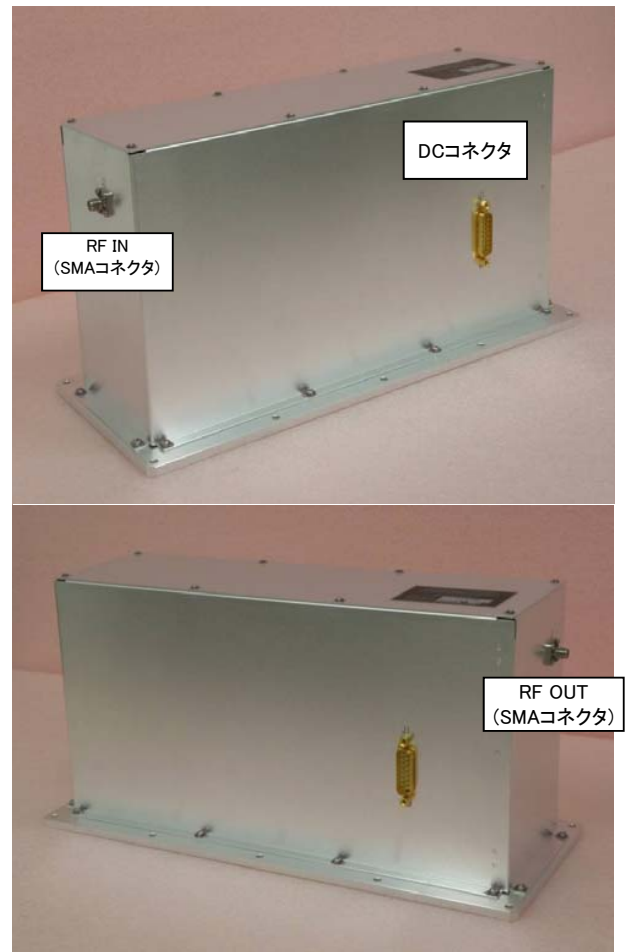
SSPA の目標性能に対する試験結果を表 4 に示す。

代表的な試験結果を以下の図 18～26 に示す。図 18 に新たに製作した GaN FET 終段ユニットの単体入力電力対出力電力特性 (Pin vs. Pout) を示す。また、図 19 に入力電力対利得特性 (Pin vs. Gain) を示す。さらに、図 20 に入力電力対効率特性 (Pin vs. 効率) を示す。これらの図で、P-2 と示してあるのは 2 dB 圧縮点 (33.1 W (45.2 dBm)) である。この点において、62% 以上の電力効率を得ることができた。

次に、SSPA 全体としての特性を取得した。図 21 に常温における SSPA の入力電力対出力電力、消費電力、利得の各特性を示す。出力電力を 20 W の定格値とすると、利得は 37 dB、消費電力は 55 W 以下を実現した。図 22 に常温における SSPA の入力電力対フェーズシフト特性を示す。2 dB 圧縮点において 2.2° 以下の優秀な特性を有している。図 23 に IM3 特性を示す。2 波入力で 2 dB comp point において D/U16.3 dB 以上を実現している。

### (4) SSPA の環境試験結果

本 SSPA の衛星搭載化のために、熱真空試験とランダム振動試験を実施した。熱真空試験のセットアップを図 24 に、結果を図 25 に示す。-10°C から +50°C の 2 回の熱サイクルに対し、出力電力、利得に問題がないことを確認した。ランダム振動試験の結果例を図 26 に示す。20 Hz から 2,000 Hz まで、最大 20 m/s<sup>2</sup> の加速度を加え、加振前後の特性に変化がないことを確認した。



324(L) × 132.8(W) × 153.5(H) (mm)

図 17 SSPA 外観図 (RF/IN 側、RF/OUT 側)

### 3 地上／衛星間干渉回避及び周波数割当技術

表4 試験結果

試験項目	目標性能	試験結果
電气的性能		
周波数	2170～2200 MHz	同左
出力電力	20 W 以上 (1波当たり2 dB 利得圧縮 点出力において)	33.1 W (45.2 dBm) 以上
線形利得	25 dB 以上	37 dB 以上
入力リターンロス	19 dB 以上	19.9 dB 以上
IM3	D/U 16 dB 以上 (2波入力で2 dB comp point において)	16.3 dB 以上
フェーズシフト	15 deg 以下 (1波あたり2 dB comp point において)	2.2 deg 以下
帯域内振幅偏差	0.5 dBp-p 以内	0.2 dBp-p 以下
消費電力	55 W 以下	55 W 以下
最終段増幅器電力 付加効率	60% 以上	62% 以上
環境試験		
ランダム振動試験	試験前後で特性に変動 ないこと	変動無し
熱真空試験	試験前後で特性に変動 ないこと	変動無し

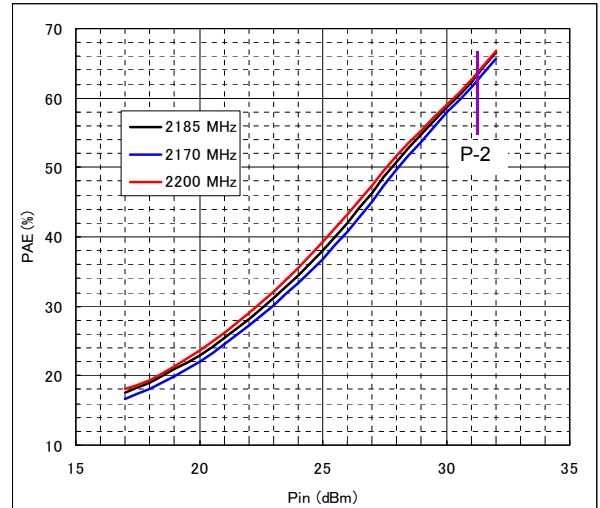


図20 GaN FET 単体入出力特性 (Pin vs. 効率)

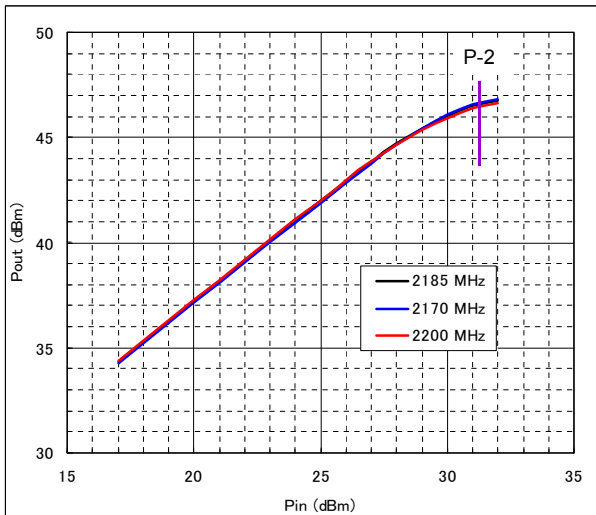


図18 GaN FET 単体入出力特性 (Pin vs. Pout)

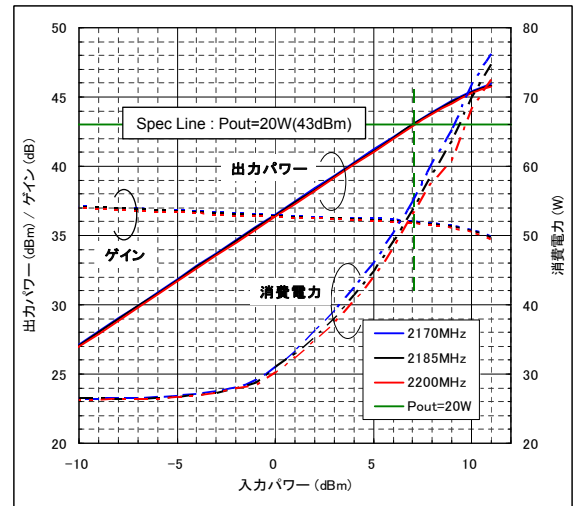


図21 SSPA のパワー特性 (常温)

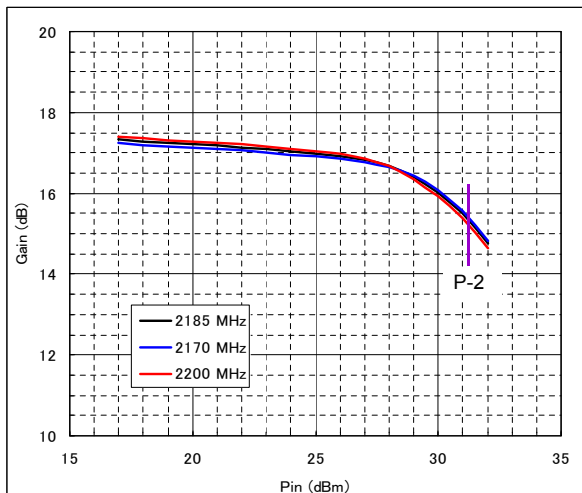


図19 GaN FET 単体入出力特性 (Pin vs. Gain)

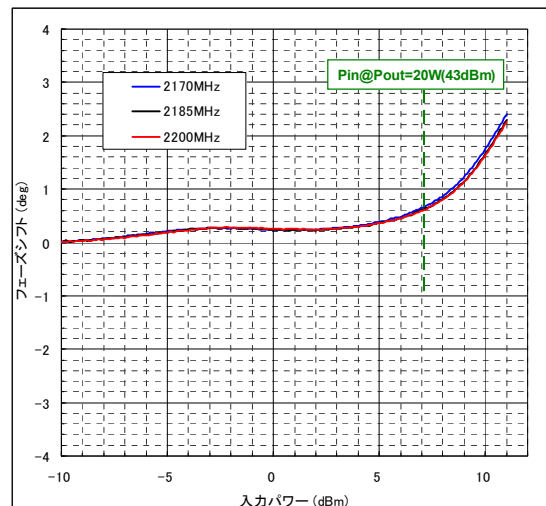


図22 SSPA のフェーズシフト特性 (常温)



(5) 簡易放射線解析

図 11 に衛星搭載機器／部品に関する放射線防護概念図を示す。

この簡易放射線解析では、10年のトータルドーズ量にて下記のとおり解析検討を行った。

本 SSPA においては、放射線に最もクリティカルな部品は PIN ATT 部に使用されている PIN ダイオードである。それ以外の部品では、PSU に使用しているダイオードやトランジスタ (MOS FET) 等は耐放射線環境に強い部品 (トータルドーズ量 500~1,000 Krad-Si) を使用しており、また RF 用デバイスは GaAs、GaN をベースとした部品であるため、耐放射線量はトータルドーズ量 1,000 Krad-Si と十分な耐量がある。

PIN ダイオードについては、耐放射線量はトータルドーズ量として 12 Krad-Si である。

PIN ダイオードを使用している PIN ATT は、HIC として金属ケースに封入されており、さらに SSPA 筐体で最低 1.8 mm アルミ厚相当のシールドを有している。加えて、衛星構体では一般的に 0.8 mm アルミ厚相当のシールドを期待できることから、合計で 2.6 mm アルミ厚相当のシールドを確保している。

一例として GPM/DPR 衛星の放射線環境に当てはめると、12 Krad-Si では 1.8 mm アルミ厚相当のシールドを必要とするが、本 SSPA では 2.6 mm アルミ厚相当のシールドを確保しているため、約 40% の余裕を持ったシールド厚が確保されている。周回衛星である GPM/DPR 衛星と静止衛星である STICS 衛星の放射線環境は、同等レベルか静止衛星環境の方がやや厳しいレベルだが、今回の解析結果では十分なシールドマージンがあるため、放射線

耐量については静止衛星環境下でも問題のない設計と考えられる。

3.5 高線形性固体電力増幅器の試作結果のまとめ

送受共用給電部における高線形性固体電力増幅器



図 24 熱真空試験系セットアップ (中央は真空チャンバー)

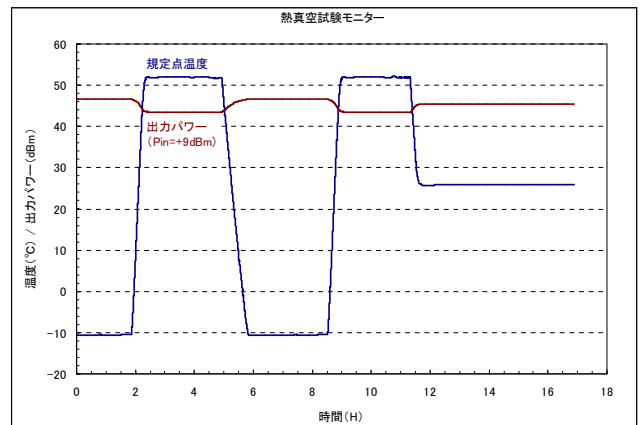


図 25 熱真空試験モニター図

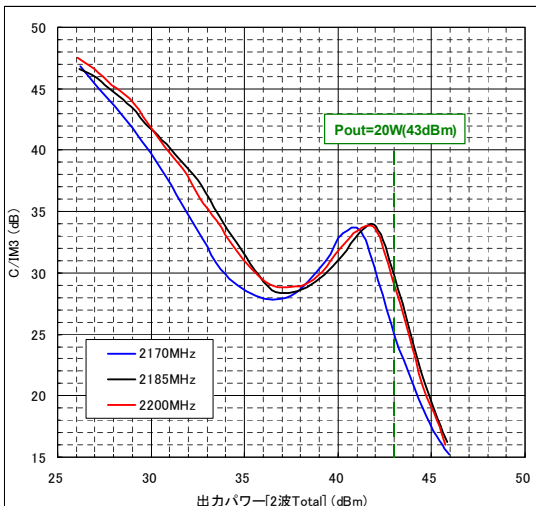


図 23 SSPA の IM3 特性 (常温)

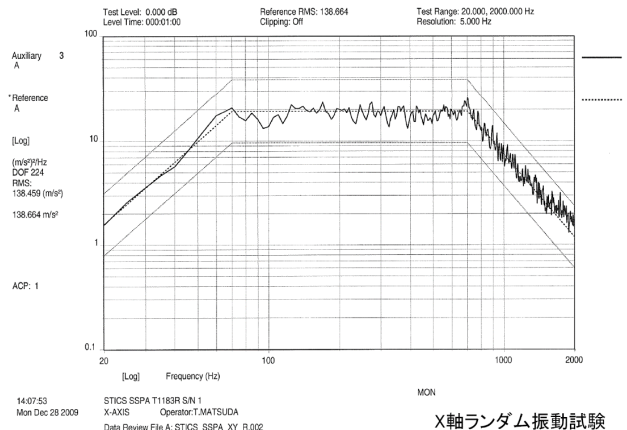


図 26 X 軸ランダム振動試験モニター図

### 3 地上／衛星間干渉回避及び周波数割当技術

について、終段ユニット、前置増幅器、リニアライザ等の設計・試作・評価を行い、出力 20 W クラスで 62 % 以上の電力付加効率を満足する増幅器を製作することができた。また、環境試験、簡易放射線解析より STICS 衛星用 SSPA として問題のないことを確認した。

さらなる特性向上への今後の課題としては、

- 1) PIN ATT 部に温度補償機能を付加させて、SSPA 全体の温度変動特性の向上を図る。
- 2) 20 W 出力における SSPA 最終段の GaN FET の最適化選定を行い、SSPA 全体の効率向上を図る。
- 3) さらに PSU に GaN FET の電源電圧調整機能を持たせることで、消費電力の低減を図る。等が挙げられる。



三浦 周 (みうら あまね)

ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室主任研究員  
博士 (情報科学)  
衛星通信、アンテナ

## 4 まとめ

地上／衛星共用携帯電話システムの低雑音増幅器 (LNA) として、干渉波が所望波より 40 dB 以上高い状況においても有効に動作する LNA を開発した。また、高線形性固体電力増幅器として電力付加効率 60 % 以上で、IM3 が 16 dB 以上の GaN デバイスを用いた固体電力増幅器を開発した。それぞれ、環境試験、簡易放射線解析等を行うことで衛星搭載時の有効性を確認した。

## 謝辞

本研究は総務省の研究委託「地上／衛星共用携帯電話システムの研究開発」により実施した。関係各位に深謝する。

### 【参考文献】

- 1 上野健二, “3-6-1 給電部の構成,” 技術試験衛星 VII 型 (ETS-VII) 特集号, 通信総合研究所季報, Vol.49, No. 3/4, pp.47-55, 2003.
- 2 藤野他, “地上衛星共用携帯電話システムのための衛星搭載用耐飽和低雑音増幅器の開発,” 電子情報通信学会論文誌 B, J97-B (11) pp.1066-1070, Nov. 2014.
- 3 蓑輪正, 田中正人, 浜本直和, 藤野義之, 西永望, 三浦龍, 鈴木健治, “安心・安全のための地上／衛星統合移動通信システム,” 信学論 (B), Vol. J91-B, No.12, pp.1629-1640, Dec. 2008.



藤野義之 (ふじの よしゆき)

東洋大学理工学部電気電子情報工学科教授／  
元ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室主任研究員  
(～ 2013 年 4 月)  
博士 (工学)  
衛星通信、アンテナ、無線電力伝送