

# 美笹深宇宙探査用地上局向け 30kW級X帯固体電力増幅装置の開発

中原 智勇 山田 庸平 大竹 俊也 浅尾 博之 泉倉 健司 小東 幸助

## 要旨

NECは国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）様との契約により、長野県佐久市にある美笹深宇宙探査用地上局に30kW級X帯固体電力増幅装置を納入しました。これまで深宇宙探査機運用に必要となる大電力のX帯送信機にはクライストロンが採用されていましたが、今回国産GaN（窒化ガリウム）素子を用いた電力増幅ユニットの多段合成により、固体型としては世界で初めてとなる30kW級のX帯電力増幅装置を実現しましたので紹介します。



深宇宙探査用地上局/X帯/固体電力増幅装置/GaN/ラジアル型合成器/多段合成/熱交換器

## 1. はじめに

NECは、これまで衛星及びロケット搭載機器の開発、追跡管制システムの開発、ロケット用射点、射場システムの開発をはじめ、各種関連システム/設備を担当し、衛星、ロケットから地上システムを含めたトータルシステムインテグレーションメーカーとして、宇宙開発事業に携わってきました。特に深宇宙探査機用地上局に関しては、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）様臼田宇宙空間観測所に納入した送受信運用設備の整備に始まり、35年余りにわたり数多くの開発、運用実績を積んでいます。

2021年2月、臼田宇宙空間観測所の後継局として、美笹深宇宙探査用地上局が長野県佐久市に整備されました。NECは臼田宇宙空間観測所と同様、送受信設備を担当しました。

これまで深宇宙探査機運用に必要となる大電力のX帯送信機は、クライストロン型が採用されてきましたが、この電力クラスのクライストロンは供給元が米国1社に限られており、国産化が望まれていました。

NECは国産GaN（窒化ガリウム）を用いた125W電力増幅ユニットを多段合成することにより、固体型として世界で初めて30kW級の大電力増幅装置を実現しました。

本稿では、この30kW級X帯固体電力増幅装置について紹介します。

## 2. X帯固体電力増幅装置の構成

X帯固体電力増幅装置（以下、X-SSPA：X-band Solid State Power Amplifier）の系統を図に示します。

まず、X-SSPAに入力されたX帯（7GHz帯）の信号を励振増幅器へ入力し、励振増幅を行います。励振増幅された信号は、いったん2分配され、導波管で電力増幅部

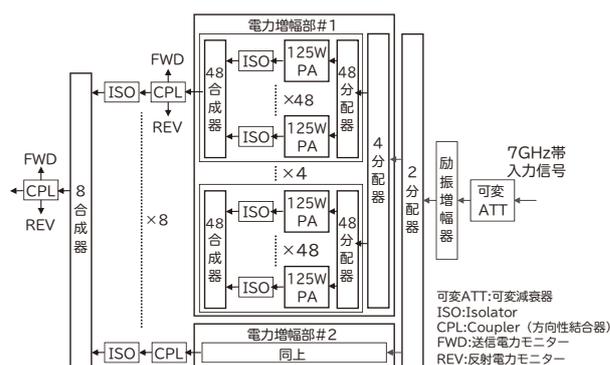


図 X帯固体電力増幅装置系統

#1、電力増幅部 #2にそれぞれ出力されます。電力増幅部 #1と電力増幅部 #2では、更にそれぞれ192分配 (4分配×48分配) され、電力増幅部内に実装する384本の125W電力増幅ユニット (以下、125W\_PA) に入力します。電力増幅部では、1台の125W\_PA当たり125Wへ電力増幅を行い、48台ごとに合成して約4.8kWの送信信号を生成します。電力増幅部一式当たり48合成器を4台実装し、4系統の4.8kWの送信信号を8合成器へ出力します。

そして、8合成器では、各電力増幅部からの8系統の4.8kWの信号を合成し、30kW級の送信信号を生成します。

X-SSPAは、各8系統の4.8kWの送信信号に対して、送信電力、反射電力をモニターするための方向性結合器を具備するとともに、8合成器出力の送信信号に対しても送信電力、反射電力をモニターするための方向性結合器を具備しています。また、8合成器以降の負荷側でなんらかの異常が発生し、4.8kWの送信信号あるいは8合成器出力の送信信号の反射電力がしきい値を超過した場合、瞬時に大電力増幅装置の出力を遮断する保護機能を有しています。

### 3. X帯固体電力増幅装置の要素技術

#### 3.1 GaN素子を使用した125W\_PA

125W\_PAに入力されたX帯信号は、初段アンプで増幅された後、後段アンプで更に増幅されて125Wの出力電力を実現します。

初段のアンプには、住友電工デバイス・イノベーション株式会社製のGaN素子を、後段のアンプにも同社製のGaN素子を使用しています。

125W\_PAの外観を写真1に示します。

125W\_PAは、GaNを実装した電力増幅部と電力増幅部にDC電源を供給する電源部から構成されており、

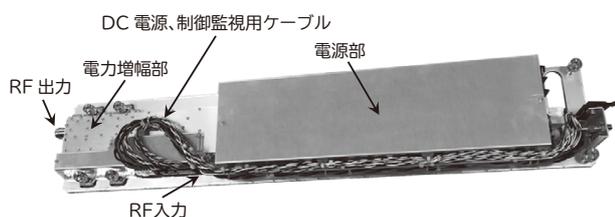


写真1 125W\_PA

30kW級X-SSPA向けにNECネットワーク・センサ株式会社と株式会社多摩川電子様が共同開発しました。SSPA方式において通常課題となり得る後段アンプの発熱抑制のため、125W\_PAは、デバイス性能が最大パフォーマンスとなるパワーと効率整合を行い、平均43%の電力付加効率 (PAE: Power Addition Efficiency) を実現しています。

#### 3.2 電力合成技術

125W\_PAの出力は、まず48合成器に入力され、48合成されます。48合成器の外観を写真2に示します。

入力 (48系統) は同軸ケーブル、出力は導波管です。48個の入力ポートを円周上に等間隔に配置したラジアル

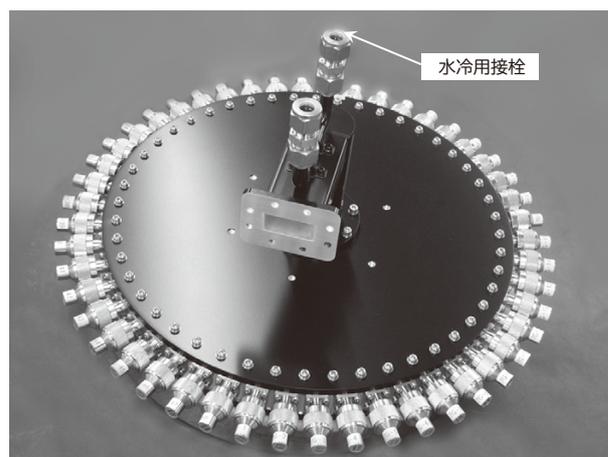


写真2 48合成器

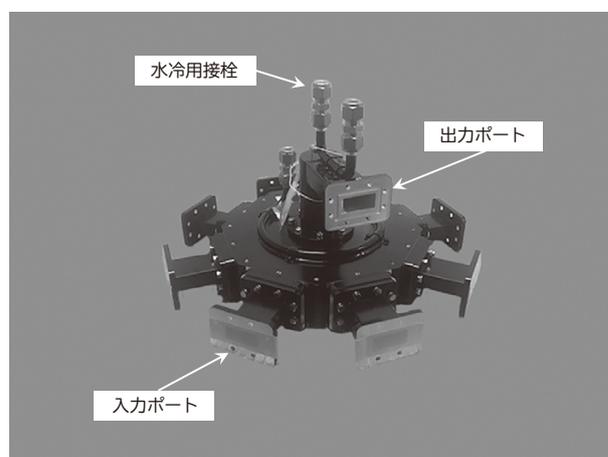


写真3 8合成器

型の合成器です。

8つの48合成器の出力を合成する8合成器モジュラ型合成器です。8合成器の外観を写真3に示します。

これらラジアル型合成器には、NECネットワーク・センサ株式会社と日本高周波株式会社様の共同研究による既存技術を採用し、384台の各125W\_PAの振幅と位相を最適値にキャリブレーションする多段合成補正により、多段合成損失が0.4dBという低合成損失（48合成器と8合成器のトータルの合成損失。間の導波管ロスを含まず）を実現しています。

### 3.3 水冷方式による冷却技術

125W\_PAを安定的に動作させるためには、特に後段のGaN素子で発生する熱を放熱し、温度を一定に保つことが重要になります。

X-SSPAでは48個の125W\_PAごとに冷却板を設けて各125W\_PAを冷却板に接触させ、その冷却板を水冷することにより温度制御を行っています。

水冷のための熱交換器の外観を写真4に示します。熱交換器は東横化学株式会社製です。

30kW級の大電力出力であることから、導波管回路における信号損失に伴う発熱も大きいため、導波管回路も水冷による冷却を行っています。

### 3.4 ALC機能

X-SSPAでは、出力電力が0.3dBの範囲で一定となるように自動調整する機能（ALC機能：Automatic

Level Control）を有しています。

8合成器の出力部にある方向性結合器（図）で送信電力を検出し、検出した送信電力をもとに励振増幅器の前段に設けた可変減衰器（図）により信号入力レベルを自動制御して、出力レベルを0.3dBの範囲内に保ちます。

## 4. X帯固体電力増幅装置の特長

X-SSPAの主要諸元を表に、装置の外観を写真5に示します。

今回開発したX-SSPAは、200W/2kW/20kWの3つの出力電力モードがあり、探査機運用に応じて必要な電力モードを選択します。

200W/2kW出力モードでは、稼働させる125W\_PAの数をそれぞれ48台（1/8）、128台（1/3）に減らして運転を行います。

20kW出力モードでは384台の125W\_PAすべてを稼働させて運用します。1台ないし2台の125W\_PAが

表 X-SSPA主要諸元

項目	諸元
周波数帯	7GHz帯
出力電力モード	200W/2kW/20kW*
出力電力可変範囲	各出力電力モードに対して、-3dB～0dB
消費電力	220kW。制御部、熱交換器の消費電力を含む

\*アンテナとのインタフェース点における電力。8合成器出力端からインタフェース点までの導波管回路のロス分だけ電力低下。



写真4 熱交換器（一部）

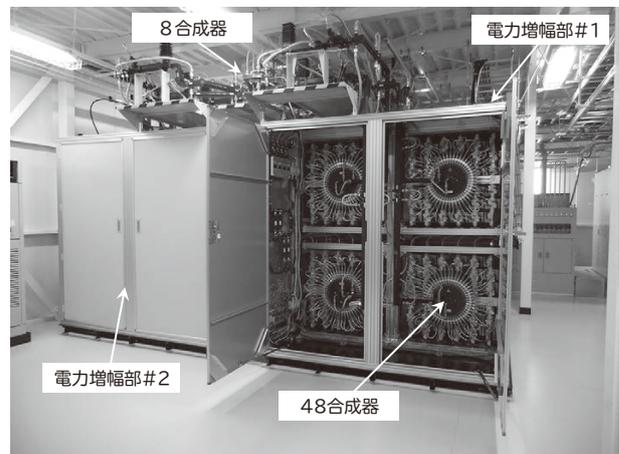


写真5 X帯固体電力増幅装置

故障しても全体の電力低下はわずかであるため、運用継続が可能であり、安定した探査機運用を提供します。

また、将来的な拡張性を実現するため、電力アップ可能なSSPA合成方式を採用しています。

## 5. むすび

以上、30kW級X帯固体電力増幅装置について紹介しました。固体型大電力増幅装置の実現により、クライストロン型よりも安定した動作が可能となりますが、大きさや消費電力の点では、依然クライストロン型が優位です。今後更なる小型化、省電力化が期待されており、その実現に向けて研究開発を継続していく予定です。

## 執筆者プロフィール

### 中原 智勇

宇宙システム事業部  
シニアエキスパート

### 山田 庸平

宇宙システム事業部  
マネージャー

### 大竹 俊也

宇宙システム事業部  
主任

### 浅尾 博之

NEC ネットワーク・センサ株式会社  
技術開発本部  
電波・センサ技術部  
シニアエキスパート

### 泉倉 健司

NEC ネットワーク・センサ株式会社  
技術開発本部  
電波・センサ技術部  
マネージャー

### 小東 幸助

NEC ネットワーク・センサ株式会社  
技術開発本部  
構造設計技術部  
主任

## 関連URL

### JAXA 美笹深宇宙探査用地上局 (MDSS) GREAT2 PROJECT

<https://www.isas.jaxa.jp/home/great/index.html>

### 住友電工デバイス・イノベーション株式会社 製品情報 GaN 素子関連

<https://www.sedi.co.jp/products/index.html>

# NEC 技報のご案内

NEC 技報の論文をご覧いただきありがとうございます。  
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご一読ください。

NEC 技報 WEB サイトはこちら

NEC 技報 (日本語)

NEC Technical Journal (英語)

## Vol.74 No.1 安全・安心・公平・効率を提供する社会インフラ特集

安全・安心・公平・効率を提供する社会インフラ特集によせて  
社会インフラを通じて、すべての人が豊かさを受用できる社会の実現を目指す NEC の取り組みについて

### ◇ 特集論文

#### 社会システムの DX を実現する技術 ～ 政府・行政サービスの DX

デジタル・ガバメントを推進する、これからのクラウド活用  
自治体 DX に向けた取り組み  
音声の可視化による学びの改革 協働学習支援ソリューション

#### 社会システムの DX を実現する技術 ～ 放送システムの DX

映像流通 DX が目指す新たな社会インフラ「映像プラットフォームサービス」  
未来の放送業界の DX を支える映像符号化技術

#### 社会システムの DX を実現する技術 ～ 空港の DX

空港の税関検査場の混雑緩和とスムーズな手続きを実現する税関検査場電子申告ゲート  
顔認証を活用した新しい搭乗手続き「Face Express」(成田国際空港「One ID」)  
GPS を利用した航空機進入着陸システム (GBAS) の開発  
次世代に向けた航空交通管理への取り組み

#### 社会システムを支えるセンシング技術 ～ 見えないところで活躍するセンシング技術

気候変動観測衛星 (しきさい) を支えた光学センサ技術と成果  
宇宙から見守るまちの安全・安心 ～ 衛星搭載合成開口レーダ活用サービス～  
ミュオグラフィを活用した内部構造の観測  
海中の音波をあやつる可変深度ソナー  
マスト中段配置型艦船用 TACAN (電波灯台) アンテナの開発  
画像解析を活用して鉄道の沿線検査業務を支援する「列車巡視支援システム」

#### 社会システムを支えるセンシング技術 ～ 検知と認識のセンシング技術

電波識別技術の現状と将来  
ディープラーニング技術を用いた指紋照合技術の現状と将来  
顔の三次元情報の計測と顔画像照合への応用  
インビジブルセンシング技術によるウォークスルーセキュリティ検査

#### 未来の社会を支える最先端技術 ～ 社会に浸透してゆく先端技術

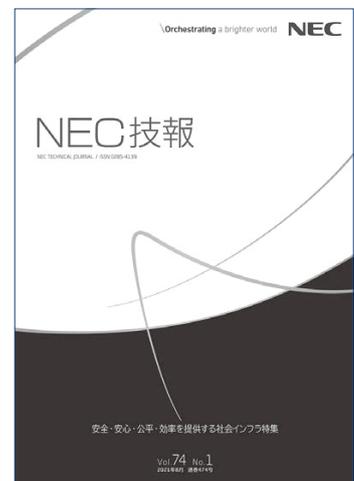
ソフトウェア無線技術のその発展と取り組み  
人工衛星運用における自動化・省力化技術  
光が導く次世代の暗号技術「量子暗号」  
重作業の省人化・無人化を実現するロボティクス技術  
海中の無人機に効率良く大電力を伝送できるワイヤレス給電アンテナの開発

#### 未来の社会を支える最先端技術 ～ 宇宙で活躍する先端技術

はやぶさ2 イオンエンジンと今後の展望  
はやぶさ2 リュウグウへの高精度タッチダウンを実現した自律航法誘導制御  
はやぶさ2 の快挙をセンシング技術で支えた「衛星搭載ライダー」  
はやぶさ2 システム設計と運用結果  
高速・大容量のデータ通信を実現する光衛星間通信技術  
美笹深宇宙探査用地上局向け 30kW 級 X 帯固体電力増幅装置の開発  
世界最高性能の薄膜太陽電池パドルの開発

### ◇ NEC Information

2020 年度 C&C 賞表彰式典開催



Vol.74 No.1  
(2021年8月)

特集TOP