

3-6 Ka帯広域電子走査アンテナ

3-6 Ka-band Active Phased Array Antenna

谷島正信 黒田知紀 前田 剛 島田政明 長谷川 巧 北尾史郎
針生健一

YAJIMA Masanobu, KURODA Tomonori, MAEDA Tsuyoshi, SHIMADA Masaaki,
HASEGAWA Takumi, KITAO Shiro, and HARIU Kenichi

要旨

広域電子走査アンテナ(APAA)は、超高速インターネット衛星(WINDS)のミッション機器の一つであり、Ka帯を使用して最大1.2 Gbpsの大容量データ伝送を行う。APAAは送受信それぞれ128のアンテナ素子と各アンテナ素子に設けられた小型高密度RFモジュールにより、送受各2ビームを独立に電子走査できる。これにより衛星から可視領域にある、地球上のほぼ全域に対して通信が可能となる。

本稿では、APAAの運用・役割、開発経緯・機能・キー技術及び主要諸元を紹介するとともに、開発成果について述べる。

Active Phased Array Antenna (APAA) is one of mission equipment on WINDS and the frequency band is Ka band, and maximum data rate 1.2 Gbps communication will be realized by APAA. It consists of 128 antenna elements and many extremely miniaturized RF modules. It can scan two beams of a transmitting antenna and a receiving antenna electronically and independently. WINDS service area covers almost all of the world which is a visible region from the satellite by APAA.

This paper introduces APAA role, background, functions, key technologies, and major specifications, and describes development results.

[キーワード]

広域電子走査アンテナ, ビーム制御回路

Active phased array antenna, Beam steering controller

1 まえがき

WINDSにはミッション機器の一つとしてKa帯APAAが搭載される。本APAAは送受信それぞれ128のアンテナ素子と各アンテナ素子に設けられた小型高密度RFモジュールにより、送受各2ビームを独立に電子走査できる。これにより衛星からの可視領域を対象に、地球上のほぼ全域に通信が可能となる。

本文では、**2**でAPAAの運用と役割について述べた後、**3**、**4**、**5**でAPAAの主要機能とキー技術、主要諸元、技術開発を説明し、**6**で開発成果を述べる。

2 APAAの運用と役割

APAAは衛星システムにおけるビームホッピング可能なアンテナとして開発しているものであり、国内外におけるグローバルな超高速通信を実現するために、アンテナ性能として高EIRP、高G/Tの通信特性が要求される。また、需要のある任意の地域に対して迅速に通信を行うために、アンテナの通信方向を電子的かつ高速に制御することが要求されるため、次章以降に述べる様々なAPAA技術を用いて本要求を実現させている。運用では最大1.2 Gbpsの大容量高速伝送が計画されているほか、622 Mbpsの非再生中継による

高速伝送、155 Mbps の再生中継による伝送が想定されており、地球局の規模に応じて多様な運用が可能である。また、APAA は図 1 に示すように、WINDS からの視野領域のほぼ全域をカバーするようにビーム走査範囲が設定されている。APAA の最大の特徴は、任意の地点間で通信が可能であることにあり、この点を生かして、特に災害時等に場所を選ばず通信回線を確保できることから、社会的・国際的にも APAA への期待が寄せられている。

3 APAA の主要機能とキー技術

3.1 主要機能

APAA の主な機能を以下に示す。

- (1) 28 GHz 帯のアップリンク信号を受信及び増幅する受信アンテナ機能並びに 18 GHz 帯のダウンリンク信号を増幅及び送信する送信アンテナ機能
- (2) 送受信各 2 ビームを有し、独立にビーム走査可能なビーム制御機能
- (3) 連続波モード、SS-TDMA (Satellite Switched-TDMA) モード運用に対応するビーム制御機能
- (4) 軌道上での APAA の素子故障診断を容易にする補助機能

3.2 キー技術

APAA のキー技術を以下に示す。

- (1) 衛星への搭載性実現のために低消費電力化、小型化、軽量化が可能な MMIC を用いた高周波デバイス (高出力増幅器・低雑音増幅器・移相器等) の開発及び高密度実装化を実施。
- (2) 多様な通信を実現するために、連続波モード、SS-TDMA モードで運用可能なアンテナ制御方式を採用し、SS-TDMA 運用では、送受各 2 ビームを 2 ms で高速ビーム走査可能な制御回路を開発。
- (3) APAA を単独で性能保証するために、自己熱制御機能を有し、APAA 構体には連結ヒートパイプを用いた 3 次元排熱方式を採用。

4 APAA の主要諸元

APAA の主要諸元を表 1 に、ブロック図を図 2 に、外観を図 3 に示す。APAA は主に送信アンテナ、受信アンテナ及びこれらを制御するビーム制御回路 (BSC)、これらに電源を供給する DC/DC コンバータ (DC/DC)、ヒータ制御を実施するヒータ制御回路 (HCU)、バス電圧を APAA 内部で分配する電力分配器 (PDU) から構成される。また、ヒートパイプは APAA 構体の 3 面のパネ

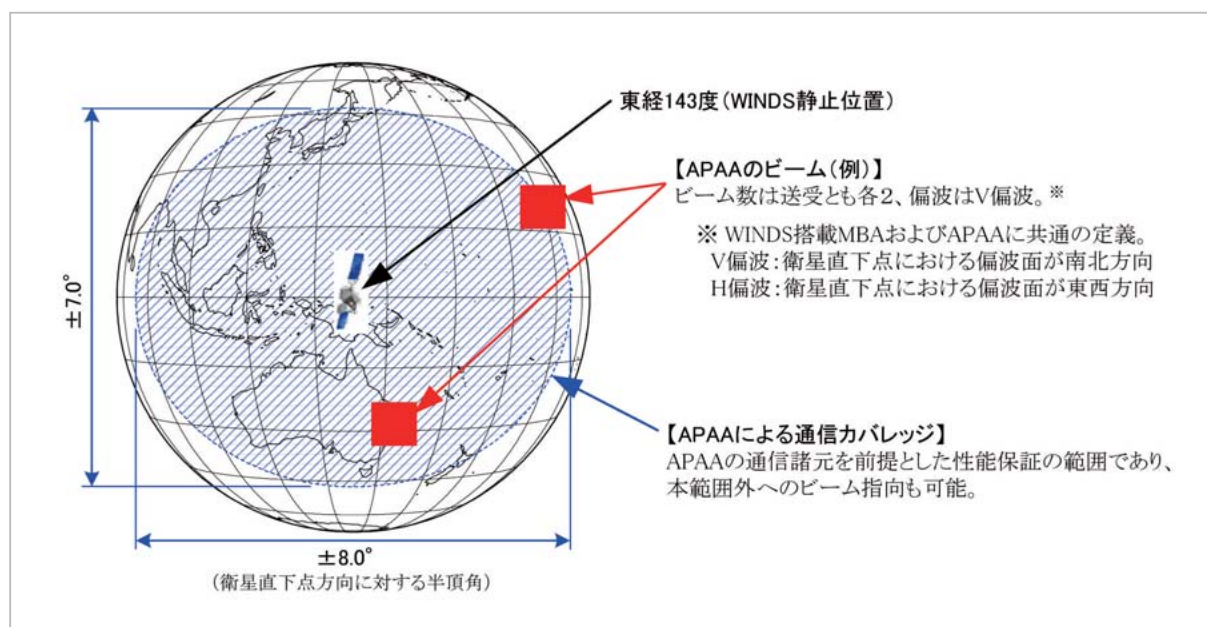


図 1 APAA の通信カバレッジ

ルにレイアウトされ、3次元排熱方式を実現している。

なお、図3には、座標系の定義を併せて示す。 θ はAPAA正面方向(衛星直下点方向)に対する

表1 APAAの主要諸元

項目	単位	APAA	
		送信アンテナ	受信アンテナ
アンテナ形式	—	直接放射フェーズドアレーアンテナ	
APAA寸法	mm	1510×990×1530	
APAA質量	kg	183	
アレー開口寸法	mm	649×539	287×468
周波数帯	GHz	18	28
周波数帯幅	GHz	1.1	
素子数	—	128	128
偏波	—	直線偏波	
ビーム走査範囲	deg	長軸： $\theta=8$ 以内、短軸： $\theta=7$ 以内 $\phi=0\sim 360$ の楕円範囲内	
ビーム数	—	2	2
EIRP	dBW	54.6以上/1波 52.1以上/2波	—
G/T	dB/K	—	7.1以上
移相器ビット数	bit	5	5
動作モード	—	SS-TDMAモード 連続波モード	
ビーム走査タイミング	ms	2 (SS-TDMAモード)	
消費電力	W	750以下	

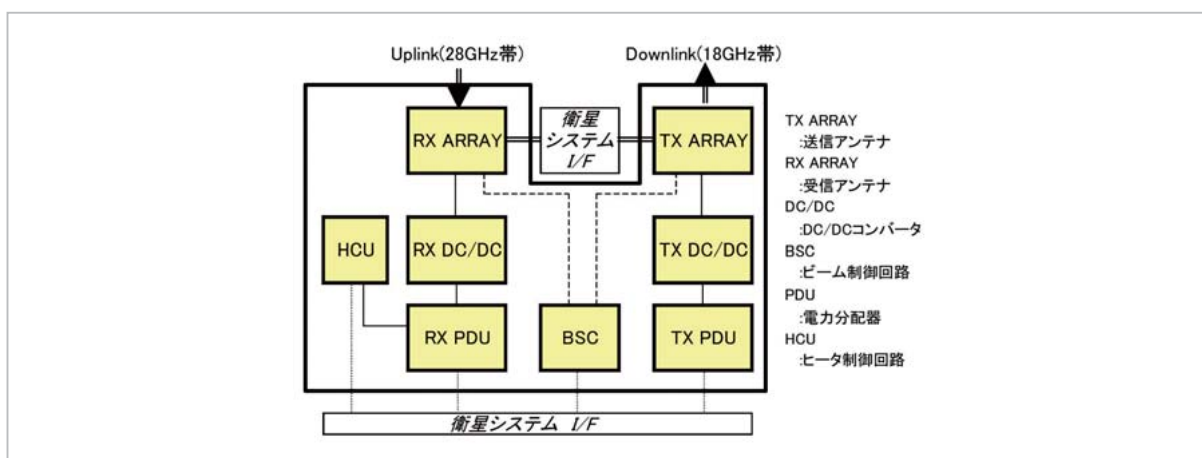


図2 APAAブロック図

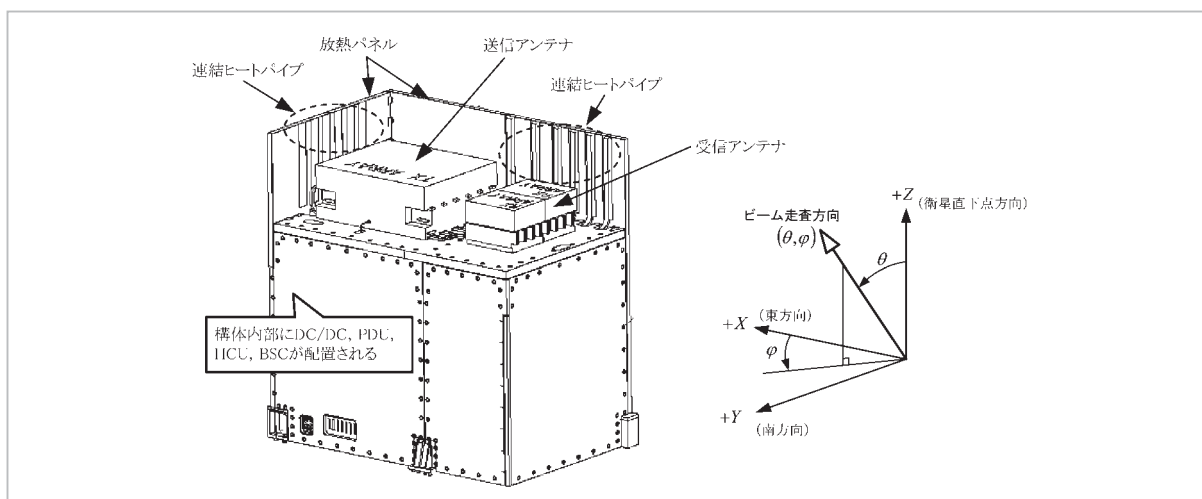


図3 APAA外観と座標系

半頂角を示し、 $\phi = 0^\circ$ 面が軌道面(東西方向)、 $\phi = 90^\circ$ 面が軌道面に垂直な面(南北方向)である。

5 APAA 技術開発

5.1 送信/受信アンテナ RF 系設計

送信アンテナ、受信アンテナは、各々 128 の素子アンテナから構成される。素子アンテナには角錐ホーンアンテナを採用し、素子配列は静止軌道からの地球視野を考慮して、ビーム走査方向によらずグレーティングローブが地球視野外となるように設定している。図 4 に送信及び受信アンテナの外観を示す。

また、送信及び受信アンテナともに 2 ビームを実現するために各素子アンテナに対して 2 個の移相器を有し、MMIC を用いた高密度実装設計のモジュールの採用により、小型化を実現している。また、高出力増幅器及び低雑音増幅器も MMIC

を用いて小型化しており、さらに、APAA の低消費電力、軽量化を実現している。図 5 に送受信アンテナのブロック図を示す。

5.2 ビーム制御系設計

APAA のビーム制御は BSC で実施する。BSC は送信及び受信アンテナそれぞれ 2 ビームに対応した移相器 (5 bit デジタル移相器) を独立制御

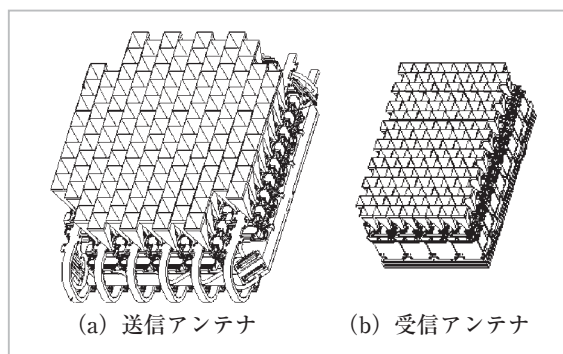


図4 送信/受信アンテナ外観

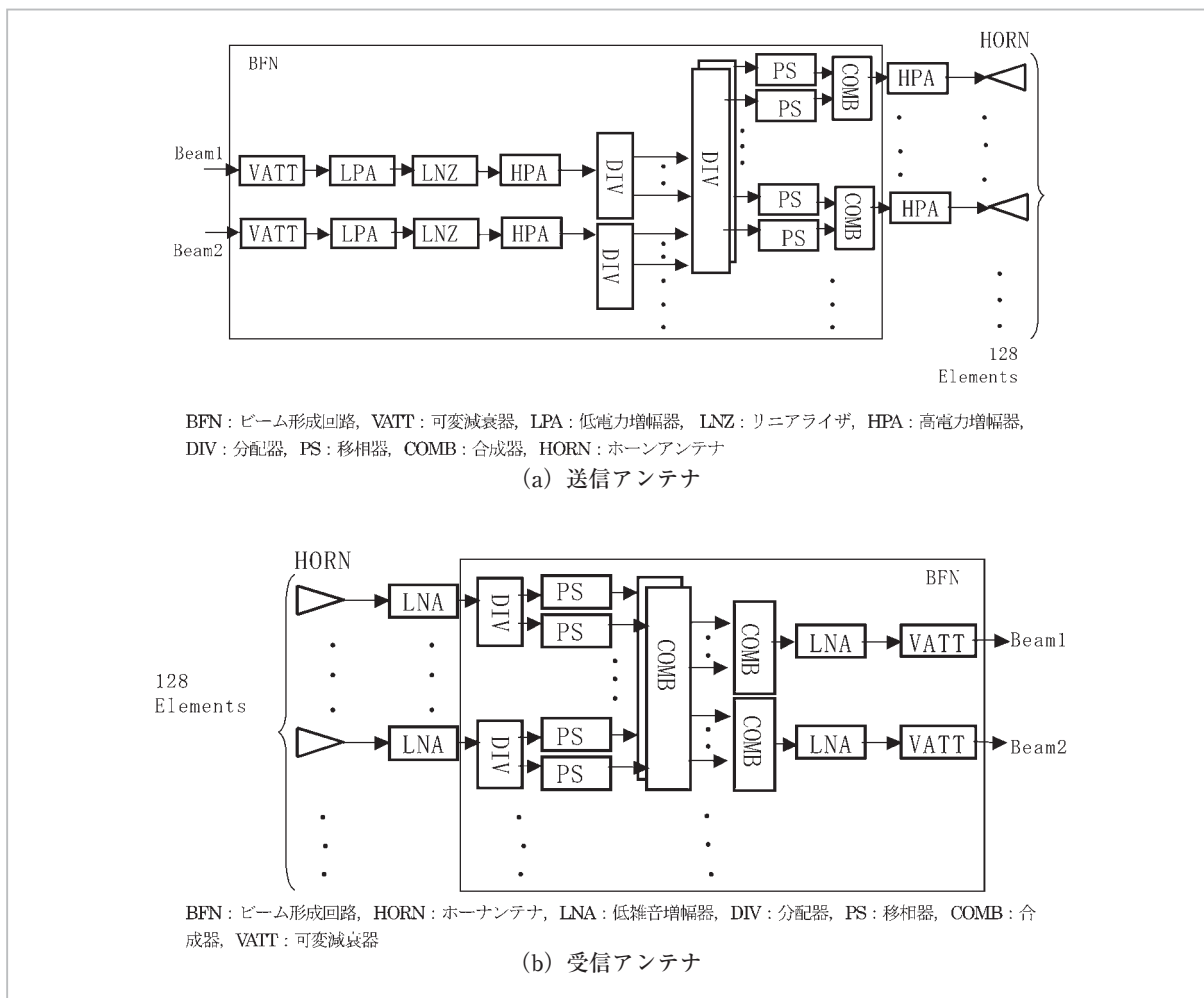


図5 送信/受信アンテナブロック図



図6 送信アンテナ、受信アンテナ、BSC、APAA のPFM 外観写真

する機能を有する。また、連続波モード、SS-TDMA モードの多様な通信に対応でき、SS-TDMA モードにおいて、高速にビーム方向を切り換えることが可能であり、1 ビームにつき最大 8 か所のビームポイント方向での運用を可能としている。さらに、軌道上での温度変化によらず内部利得を一定に保つために、可変減衰器を制御する機能も有している。

5.3 熱制御系設計

APAA は衛星システムと独立した熱設計となっており、軌道上での温度制御はヒータ及びヒートパイプによる能動型熱制御方式を併用して自己熱制御する。ヒータ制御は HCU にて、コマンドによる ON/OFF 制御可能なリプレースメントヒータと、自動的に制御可能な熱制御ヒータの 2 種類で、APAA の熱制御を実現する。また、ヒートパイプは APAA 構体に埋め込まれた 3 次元のヒートパイプと送信アンテナに組み込まれたヒートパイプから構成される。

6 APAA 開発結果

APAA プロトフライトモデル (PFM) は、構成コンポーネントの製造・試験を終えた後、APAA

の組立・試験を実施した。これら試験結果から、APAA 性能を満足する結果が得られている。図 6 に送信アンテナ、受信アンテナ、BSC、APAA の PFM 外観写真を示す。

APAA の放射特性、振幅周波数特性結果をそれぞれ図 7、8 に示す。放射特性のグラフはピーク利得で正規化しているため、 $\theta = 0^\circ$ と 8° との二つの方向にビームを走査した際の振幅成分が同一のように見えるが、放射素子である角錐ホーンアンテナの放射パターンの寄与分 (エレメントファクタ) をこれに考慮すると、 $\theta = 0^\circ$ に走査した場合の方が実際のピーク利得は大きい。図 8 の受信アンテナの振幅周波数特性で表している縦軸の Gain は、アンテナ素子以降の増幅器等を含む受信アンテナ全体の利得を表している。

7 まとめ

WINDS 搭載 Ka 帯 APAA の運用・役割について述べ、APAA の機能・性能とそれを達成するための要素技術を示した。また、質量・消費電力等を考慮した Ka 帯でのアクティブデバイスの開発結果及びビーム制御・熱制御についても設計のポイントと特徴を示した。APAA PFM については、構成コンポーネントの製造・試験を終えた後、

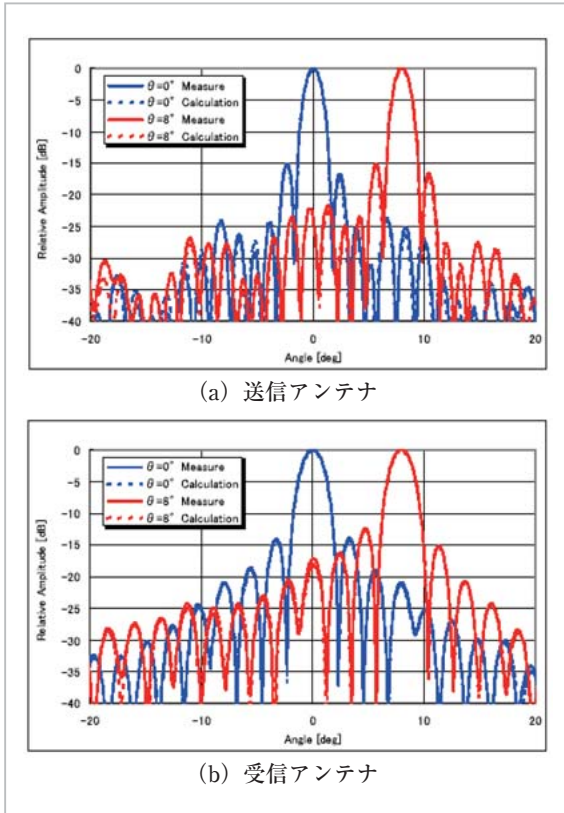


図7 APAA 放射特性

APAA の組立・試験を実施した。これら試験結果から、APAA 性能を満足する結果が得られた。

今後は衛星本体に搭載され、通信ミッション系全体の機能・性能が確認される。

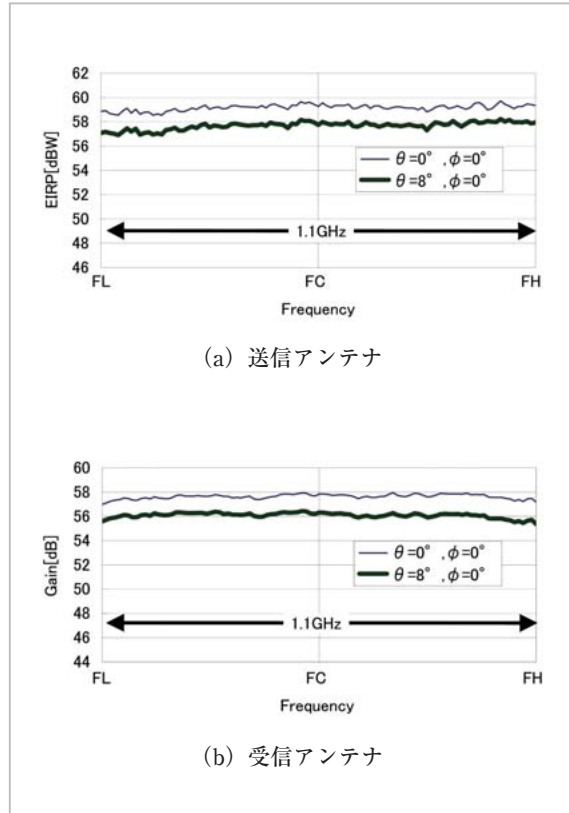
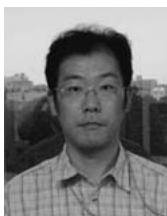


図8 APAA 振幅周波数特性

謝辞

APAA の設計、データ評価等について、多くの貴重なご助言を頂きました、元 JAXA 招へい職員の川崎繁男氏に深謝いたします。



やしまさのぶ
谷島正信

独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙利用推進本部 WINDS プロジェクトチーム



くろだともり
黒田知紀

独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙利用推進本部 WINDS プロジェクトチーム

まえだ つよし
前田 剛

独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙利用推進本部 WINDS プロジェクトチーム

WINDS プロジェクトにおける衛星開発全般



しまだまさあき
島田政明

独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙利用推進本部 WINDS プロジェクトチーム

衛星通信



はせがわ たくみ
長谷川 巧

宇宙技術開発株式会社
衛星通信、アンテナ

きたおしろう
北尾史郎

三菱電機株式会社鎌倉製作所宇宙総合試験部品管理課チームリーダー
衛星搭載用アクティブフェーズドアレーアンテナの開発、通信システム設計

はりうけんいち
針生健一

三菱電機株式会社鎌倉製作所宇宙システム部 通信システム第一課課長
博士(工学)

衛星搭載用アクティブフェーズドアレーアンテナの開発、通信システム設計